



รายงานการวิจัย

การพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ
ความลาดชันของชั้นหิน โดยใช้กรณีศึกษาความรู้และประสบการณ์
จากผู้เชี่ยวชาญ

**Development of Computer Software for Analysis and Design of Rock
Slopes Based on Expert's Knowledge and Experience**

ผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. กิตติเทพ เฟื่องขจร
สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2545 และ 2546
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2545 และ 2546 ซึ่งงานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีก็ด้วยความช่วยเหลือจากนางสาวกัลญา พับโพธิ์ ในการพิมพ์รายงานการวิจัย และนางฉนิษฐาภัทร สิริทธิคุณ ในการตรวจสอบความถูกต้องของรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัย

กันยายน 2546

บทคัดย่อ

คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เพื่อใช้ในการประเมินเสถียรภาพและออกแบบการค้ำยันของความลาดเอียงมวลหินภายใต้ลักษณะทางธรณีวิทยาและความต้องการทางด้านวิศวกรรมในรูปแบบต่าง ๆ ระบบการทำงานของซอฟต์แวร์ไม่อยู่ในพื้นฐานของสูตรการคำนวณและทฤษฎีแบบดั้งเดิม แต่จะอาศัยความรู้ ขบวนการการเชื่อมโยง และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญซึ่งสนับสนุนโดยความเป็นเหตุเป็นผลของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ดังนั้น ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อเสถียรภาพและนอกเหนือไปจากความสามารถของสูตรดั้งเดิมจึงสามารถนำมาใส่ในขบวนการวิเคราะห์ของระบบได้ ปัจจัยเหล่านี้ เช่น ประวัติของความลาดเอียงมวลหิน วิธีที่ใช้ในการขุดเจาะ ลักษณะพีชที่ปกคลุมอยู่ การค้ำยันที่มีอยู่ในปัจจุบัน เป็นต้น

คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ในงานวิจัยนี้ถูกสร้างขึ้นโดยเครือข่ายทางความคิดของแนวทางและขบวนการตัดสินใจที่ใช้คุณลักษณะความลาดเอียงมวลหินมาใส่เป็นข้อมูล มีการประเมินข้อมูลนั้น ๆ และนำไปสู่ผลลัพธ์ในรูปของความน่าจะเป็นในการพังทลาย ชนิดของการพังทลายที่พิจารณา คือ การไหลแบบแผ่นระนาบและแผ่นรูปกลม การพลิกคว่ำและการพังทลายแบบรูปโค้ง โครงสร้างของโปรแกรมถูกพัฒนาอยู่ใน Visual basic ซอฟต์แวร์ ดังนั้น ระบบจึงสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้อย่างง่ายดายและยังสามารถแก้ไขปรับปรุงได้สะดวก ปัจจัยที่เกี่ยวกับความลาดเอียงมวลหินที่นำมาใส่เป็นข้อมูลถูกจำแนกออกเป็นลำดับและแบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม โดยใช้เกณฑ์คุณลักษณะของพื้นที่ลักษณะทางด้านธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา คุณสมบัติเชิงกลศาสตร์ รูปทรงเชิงเรขาคณิตของความลาดเอียง ประวัติการพังทลาย พีชปกคลุม การสั่นสะเทือนของพื้นที่ ความต้องการเชิงวิศวกรรม ข้อจำกัดในการออกแบบ จุดประสงค์ของโครงการ ฯลฯ ในขั้นแรกระบบจะวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์เพื่อบ่งชี้ถึงชนิดของการพังทลายทั้งหมดที่จะเป็นไปได้ ชุดของคะแนนจะถูกกำหนดลงในปัจจัยเหล่านี้เนื่องจากตระหนักว่าบทบาทของปัจจัยเหล่านี้จะต่างกันไปตามลักษณะมวลหินที่แตกต่างกัน ดังนั้น ชุดของค่าอิทธิพลจะถูกกำหนดขึ้นเพื่อเป็นตัวคูณค่าคะแนนเหล่านี้ ความน่าจะเป็นของการพังทลายสามารถคำนวณได้โดย $P\{f\} = \sum (R_n * I_n)$ โดยที่ R_n คือ คะแนนของแต่ละปัจจัย หรืออัตราความไม่มีเสถียรภาพของแต่ละปัจจัย (มีค่าอยู่ระหว่าง 0-70) I_n คือ ค่าอิทธิพลหรือระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยในการไม่มีเสถียรภาพของความลาดชัน (ผลรวมของทุกปัจจัยที่นำมาพิจารณามีค่าเท่ากับ 10) และ n เป็นจำนวนปัจจัยทั้งหมดที่นำมาพิจารณาในแต่ละการวิเคราะห์ ความน่าจะเป็นของการพังทลายที่ซอฟต์แวร์คำนวณได้มีค่าระหว่าง 0-100% ความสามารถในการคาดคะเนของระบบ ได้ถูกสอบทานโดยการเปรียบเทียบกับความลาดเอียงมวลหินจริง 32 แห่ง ทั้งที่มีเสถียรภาพและไม่มีเสถียรภาพ ซึ่งผลออกมาเป็นที่น่าพอใจ สำหรับการออกแบบการค้ำยันระบบจะกำหนดความต้องการของหน้าที่ของแต่ละชนิดการพังทลาย จากนั้นจะเลือกคำตอบของการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดโดยนำคุณลักษณะความลาดเอียงมวลหินนั้น ๆ มาพิจารณา คำตอบในการออกแบบจะมีทั้งหมด 9 กลุ่มที่แตกต่างกัน แต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยองค์ประกอบของการออกแบบหรือการรวมองค์ประกอบของการออกแบบที่ต่างกันด้วย องค์ประกอบเหล่านี้ เช่น หมุดยึดหิน ตาข่ายลวด ซีเมนต์ลาด ท่อระบายน้ำ ฯลฯ รายละเอียดขององค์ประกอบเหล่านี้ก็จะถูกคำนวณโดยอาศัยคุณลักษณะของการพังทลายและค่าความปลอดภัยที่ต้องการเป็นพื้นฐาน หายชุดข้อเสนอแนะในการออกแบบก็จะรวมไปถึงขบวนการก่อสร้างหรือติดตั้งอุปกรณ์การค้ำยันแต่ละชนิด

Abstract

A computer software has been developed for use in the stability evaluation and support design of rock slopes under various geological conditions and engineering requirements. The proposed system is not based on the known analytical solutions or theories, but are based on the heuristic knowledge, inference procedure and experience of a slope expert backed by the rationale and logic. As a result, other factors (beyond those considered in the classical methods), that may have an impact on the stability can be explicitly incorporated in the analysis, e.g., slope history, excavation methods, existing vegetation, current support, etc.

This computer software is formed by neural network of paths and decision making procedures that use rock slope characteristics as input, evaluate the information, and lead to the output in form of the probability of failure. The modes of failure considered are plane and wedge sliding, toppling and circular failures. The program structure is developed on Visual Basic software, and hence makes it interactive, user-friendly and revisable. The input rock slope parameters are hierarchically characterized into several groups using various criteria, e.g., site characteristics, geological and hydrological conditions, mechanical properties, slope geometry, past failure, vegetation, ground vibration, engineering requirements, design constraints, and project goals, etc. The kinematics analysis is first performed to identify all potential modes of failure. A set of rating is assigned to these parameters for each failure mode considered. Recognizing that the role of these parameters can be different for different conditions of the rock mass, a set of influencing factors is also derived as a multiplying factor for the corresponding parameter. The probability of failure for each mode can be calculated by $P\{f\} = \sum\{R_n * I_n\}$, where R_n is the rate for each parameter, I_n is the influencing factor, and n represents type or number of the parameters considered for each slope (varying from 1, 2, 3, 4...n). The predictive capability of the proposed software has been verified by comparing with 32 actual rock slopes under a variety of stable and unstable conditions. The results are satisfactory. For the support design, the system first identifies the functional requirements for each mode of failure. Based on the slope characteristics, the software selects the most suitable design solution for the reinforcements. A total of 9 design solutions are available. They comprise different combinations of the design components (e.g., rock bolt, wire mesh, shotcrete, drained pipe, etc.). The specifications for each design component are determined by the failure characteristics and the safety requirements. The final design recommendations also include the construction process for each type of rock support.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์.....	1
วิธีดำเนินงานวิจัย.....	2
ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	5
บทที่ 1 การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
1.1 วิธีการวิเคราะห์ความลาดเอียงของมวลหิน.....	7
1.2 การวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์.....	8
1.3 ระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลข.....	10
1.4 ทฤษฎีหิ้นก่อน.....	13
1.5 ระบบปัญญาประดิษฐ์.....	14
บทที่ 2 การสำรวจภาคสนามและรวบรวมกรณีศึกษา.....	17
2.1 ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม.....	17
2.1.1 ความลาดเอียงมวลหินเขาเจ้าสายใหญ่.....	18
2.1.2 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณภาคตะวันออก.....	18
2.1.3 ความลาดเอียงของเหมืองหินปูนเขาสมโภชน์และบนทางหลวงหมายเลข 2256.....	21

สารบัญญ (ต่อ)

หน้า

2.1.4	ความลาดเอียงมวลหินบนทางหลวงหมายเลข 2 บริเวณเขื่อนลำตะคอง และจังหวัดสระบุรี.....	23
2.1.5	เหมืองแร่ Barite จังหวัดเลซ ของบริษัท PAND Barite group.....	23
2.1.6	ความลาดเอียงบนทางหลวงหมายเลข 12.....	26
2.1.7	เส้นทางหลวงหมายเลข 105 และริมเขื่อนอุบลรัตน์.....	26
2.2	การทบทวนกรณีศึกษา.....	26
บทที่ 3	การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ.....	31
3.1	ขอบเขตและข้อจำกัดขององค์ความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ.....	31
3.2	แนวคิดในการพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์.....	31
3.3	ปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญนำมาพิจารณาประเมินความลาดเอียงมวลหิน.....	33
3.3.1	ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทั่วไปของความลาดเอียงมวลหิน.....	33
3.3.2	ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของชุดรอยแตก.....	33
3.3.3	ข้อมูลทางกลศาสตร์ของมวลหิน.....	34
3.4	แนวคิดในการจำแนกกลุ่มข้อมูล.....	34
3.4.1	ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทั่วไปของความลาดเอียงมวลหิน.....	34
3.4.2	ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของชุดรอยแตก.....	37
3.4.3	กลุ่มข้อมูลทางกลศาสตร์ของมวลหิน.....	39
3.5	การจำแนกลักษณะธรณีวิทยาของมวลหินและประเมินข้อมูลเบื้องต้น.....	39
3.5.1	การจำแนกลักษณะของมวลหินบนความลาดเอียง.....	40
3.5.2	ลำดับชุดของข้อมูลที่ผู้เชี่ยวชาญนำมาพิจารณา.....	41
3.6	วิธีการประเมินเสถียรภาพของผู้เชี่ยวชาญ.....	43
3.6.1	การพังทลายแบบรูปโค้ง.....	44
3.6.2	ความน่าจะเป็นของการพังทลายแบบแผ่นระนาบและแบบรูปลิ้ม.....	48
3.6.3	ความน่าจะเป็นของการพังทลายแบบพลิกคว่ำ.....	54
3.6.4	การประเมินเสถียรภาพการพังทลายในความลาดเอียงมวลหินแบบชันอ่อน สลับชันแข็ง.....	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 เกณฑ์การออกแบบการคำนวณของผู้เชี่ยวชาญ.....	68
3.7.1 ปัญหาที่พบ.....	69
3.7.2 ตัวแปรที่นำมาพิจารณาในการออกแบบ.....	70
3.7.3 วิธีการออกแบบและเกณฑ์การคัดเลือกแต่ละวิธี.....	72
3.7.4 อุปสรรคการออกแบบ.....	74
3.7.5 คุณลักษณะของการออกแบบ.....	74
3.7.6 การออกแบบการก่อสร้าง.....	76
บทที่ 4 แผนภูมิการไหลของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์.....	77
บทที่ 5 การพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์.....	95
5.1 กรอบของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์.....	95
5.1.1 กรอบของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ส่วนรับข้อมูล.....	95
5.1.2 กรอบของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์แสดงผล.....	97
5.2 การควบคุมการทำงานของระบบและการจัดเก็บข้อมูลกรณีศึกษา.....	98
บทที่ 6 การสอบทานคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์กับข้อมูลจริงในภาคสนาม.....	99
บทที่ 7 ผลการออกแบบการคำนวณ.....	107
บทที่ 8 การวิจารณ์ผลงานวิจัย.....	121
8.1 ความริเริ่มสร้างสรรค์ของแนวคิด.....	121
8.2 ขอบเขตของการศึกษาในเชิงลักษณะของความคาดแย้ง.....	122
8.3 ปัจจัยและผลกระทบของปัจจัยที่พิจารณา.....	122
8.4 ความครอบคลุมของข้อมูลภาคสนามและกรณีศึกษา.....	123
8.5 ความเหมาะสมของวิธีการประเมินเสถียรภาพ.....	123
8.6 ความแม่นยำของการคาดคะเนด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์.....	124
8.7 ความเหมาะสมของการออกแบบการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์.....	124
8.8 การนำคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ไปประยุกต์ใช้.....	125

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 9 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	127
9.1 สรุป.....	127
9.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	128
บรรณานุกรม.....	129
ภาคผนวก ก ข้อมูลภาคสนามความลาดเอียงมวลหิน	
ภาคผนวก ข การทบทวนกรณีศึกษา	
ภาคผนวก ค การประเมินความเป็นไปได้ของการพังทลายเบื้องต้น โดยใช้วิธีทางเรขาคณิต	
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้โปรแกรม	
ประวัติผู้วิจัย	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 อัตราความไม่มีเสถียรภาพของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาการพังทลายแบบรูปโค้ง.....	45
3.2 ระดับความสำคัญของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาการพังทลายแบบรูปโค้ง.....	47
3.3 อัตราความไม่มีเสถียรภาพของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาการพังทลายแบบแผ่นและรูปลิ้ม.....	50
3.4 ระดับความสำคัญของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาการพังทลายแบบแผ่นและรูปลิ้ม.....	53
3.5 อัตราความไม่มีเสถียรภาพของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาการพังทลายแบบพลิกคว่ำ.....	56
3.6 ระดับความสำคัญของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาการพังทลายแบบพลิกคว่ำ.....	59
3.7 อัตราความไม่มีเสถียรภาพของการพิจารณาเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินแบบแข็งสลับอลัน.....	64
3.8 ระดับความสำคัญของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาความลาดเอียงมวลหินแบบแข็ง66สลับอลัน.....	66
6.1 การเปรียบเทียบระหว่างการคาดคะเนด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์กับสภาวะจริงของความลาดเอียงมวลหิน.....	100
7.1 ตัวอย่างของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาออกแบบการก้ำยัน.....	108

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 รูปแบบต่าง ๆ ของการพังทลายของหน้าลาดเอียงของมวลหิน และเปรียบเทียบทิศทางของการเทและมุมเทในรูปแบบของ Stereoplots	9
2.1 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินขนาดใหญ่ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี	19
2.2 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินในกลุ่มภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่นำมาศึกษา	20
2.3 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาในกลุ่มเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง และทางหลวงหมายเลข 2256 อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี	22
2.4 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาในกลุ่มบริเวณทางหลวงหมายเลข 2 จังหวัดนครราชสีมา ถึงจังหวัดสระบุรี	24
2.5 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาของกลุ่มเหมืองแร่ Barite อำเภอเข็ญคาน จังหวัดเลย	25
2.6 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาของกลุ่มทางหลวงหมายเลข 12 อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ถึงอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์	27
2.7 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาของกลุ่มทางหลวงหมายเลข 105 จังหวัดตาก ถึงอำเภอแม่สอด	28
2.8 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น	29
3.1 เครื่องมือแนวคิดโดยทั่วไปของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์และและออกแบบความลาดชันของมวลหิน	32
3.2 แผนภูมิของกระบวนการออกแบบและการคำนวณความลาดเอียงมวลหิน	70
4.1 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล	78
4.2 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)	79
4.3 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)	80
4.4 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)	81
4.5 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)	82
4.6 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)	83
4.7 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)	84
4.8 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)	85
4.9 แผนภูมิการไหลส่วนประเมินและการจำแนกข้อมูลเบื้องต้น	86

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เป็นที่รู้กันอย่างกว้างขวางว่างานทางด้านวิศวกรรมธรณี หรือวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับดินและหิน เป็นงานที่ต้องเผชิญกับความไม่แน่นอนในเชิงคุณสมบัติและพฤติกรรมของดินและหินที่นำมาใช้ การก่อสร้างที่ท่าอู่บนและในชั้นดินหรือชั้นหินมีความไม่แน่นอน อันเนื่องมาจากความเป็นเนื้อต่างกันของดินและหิน ความแปรปรวนทางด้านคุณสมบัติและด้านกายภาพ (Inhomogeneous) ความยากลำบากในการคาดคะเน (Unpredictable) คุณสมบัติเหล่านั้น จากความซับซ้อนทางด้านธรณีวิทยาและทางด้านกลศาสตร์ของมวลหินและดิน ความซับซ้อนของรูปทรงเรขาคณิต ขบวนการ และลำดับขั้นตอนของสิ่งก่อสร้างด้านวิศวกรรม ด้วยเหตุนี้ทำให้ในหลายกรณีที่หลักการคำนวณและสมการสำเร็จไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างสมบูรณ์ ถึงแม้จะใช้สมมติฐานเพิ่มขึ้นมากมาย ผลที่ได้ก็อาจจะไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมของมวลหินที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริง ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะไม่สามารถทำได้ง่าย หรือในบางกรณีอาจจะทำไม่ได้เลย งานทางด้านวิศวกรรมความลาดเอียงของมวลหินก็ต้องเผชิญกับปัญหาในลักษณะนี้เช่นเดียวกัน วิธีการดั้งเดิม (Classical method) ที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดเอียงของมวลหินจะอาศัยหลักการทางกลศาสตร์หินเข้ามาช่วย และอาศัยสมมติฐานในเชิงรูปทรงเรขาคณิต และในการกำหนดค่าตัวแปรและคุณสมบัติของมวลหินอย่างคร่าวๆ เพื่อให้การคำนวณนั้นเป็นไปได้ แต่ในทางปฏิบัติการที่จะได้มาซึ่งตัวแปรและค่าที่ต่าง ๆ ที่จำเป็นในการคำนวณนั้นเป็นไปได้ยาก ซึ่งทำให้มากกว่าร้อยละ 50 ของความลาดเอียงมวลหินได้ถูกออกแบบโดยใช้ประสบการณ์และวิจารณ์ญาณของผู้เชี่ยวชาญเข้ามาประกอบไม่มากนักน้อย จะเห็นได้ว่าถ้ามีการนำประสบการณ์และวิจารณ์ญาณของผู้เชี่ยวชาญทางด้านความลาดเอียงมวลหินเข้ามาประมวลและรวบรวมไว้อย่างเป็นระบบก็จะสามารถนำเอาความรู้นี้เข้ามาประยุกต์ใช้เมื่อจำเป็น กล่าวคือ เมื่อวิธีการดั้งเดิมหรือการคำนวณด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขไม่สามารถกระทำได้เนื่องจากขาดแคลนข้อมูลที่สำคัญ การรวบรวมและประมวลประสบการณ์และวิจารณ์ญาณของผู้เชี่ยวชาญเฉพาะนี้สามารถทำได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ โดยใช้การพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์เข้ามาช่วย

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์โดยการประมวลผลของการออกแบบที่สำเร็จในอดีตและอาศัยแนวคิดและประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ นำมาสร้างเครือข่ายทางความคิดและความรู้เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบความลาดชันของมวลหิน การวิเคราะห์และออกแบบความลาดชันของหินนั้นจะอาศัยคุณลักษณะทางกายภาพของหินชั้นพื้นฐาน โดยมีตัวแปรทางด้านวิศวกรรมและทางด้านคณิตศาสตร์น้อยที่สุด เพื่อให้ซอฟต์แวร์นี้ง่ายและสะดวกต่อการใช้ โดยเฉพาะสำหรับวิศวกรใหม่หรือผู้ประกอบการทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง

วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษาจะแบ่งออกเป็น 9 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1-4 จะดำเนินการเสร็จสิ้นภายในปีแรกของงานวิจัย ขั้นตอนที่ 5-9 จะเสร็จสมบูรณ์ภายในปีที่ 2

1) การรวบรวมข้อมูลและเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง เอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องจะนำมารวบรวมและศึกษา ในการรวบรวมเอกสารนี้จะรวมไปถึงเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์และออกแบบความลาดชันของหินที่ใช้สูตรคำนวณตามหลักวิชาการ และเอกสารที่เกี่ยวกับกรณีศึกษาทั้งในและต่างประเทศ เอกสารทั้งหมดจะถูกนำเสนอในรายงานฉบับสมบูรณ์

2) การวิเคราะห์กรณีศึกษา ในขั้นตอนนี้จะมีการประมวลความรู้ที่ได้จากกรณีศึกษาเพื่อนำผลที่ได้มาเทียบเป็นเชิงตัวเลขทั้งในรูปแบบของ Input และ Output เมื่อสำเร็จแล้วจะนำมาสร้างแผนผังเพื่อโยงใยแสดงถึงแนวคิดในการวิเคราะห์และออกแบบความลาดชันของหินโดยอาศัยข้อมูลจากกรณีศึกษา ซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะเป็นการสร้าง Neural Network

3) การเขียนโปรแกรม ผลที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 จะถูกนำมาบันทึกในโปรแกรม Microsoft Access ซึ่งจะอนุญาตให้ผู้ใช้โปรแกรมนี้สามารถใส่ Input ซึ่งเป็นข้อมูลทางด้านวิศวกรรมธรณีขั้นพื้นฐาน และนำไปสู่ Output ซึ่งเป็นคำตอบในเชิงวิเคราะห์และออกแบบของความลาดชันของหิน ซอฟต์แวร์ในขั้นตอนนี้จะเป็นช่วงแรกของ Expert System ที่จะถูกพัฒนาขึ้น

4) การจัดเตรียมฐานข้อมูลและแบบสอบถาม คำถามต่าง ๆ จะเรียบเรียงขึ้นโดยเป็นไปตามลำดับของการวิเคราะห์และออกแบบความลาดชันของหิน คำถามเหล่านี้จะเริ่มตั้งแต่การหาข้อมูลพื้นฐาน เช่น ชนิดของหิน และความสูงของความลาดชัน ไปจนถึงคำถามที่ต้องการคำตอบโดยใช้หลักวิชาการขั้นสูง เช่น ความต้านแรงดึงและความต้านแรงเฉือนของรอยแตกในชั้นหิน และความดันของน้ำที่อยู่ในชั้นหิน เป็นต้น คำถามเหล่านี้จะมีการทบทวนเพื่อให้แน่ใจถึงความสมบูรณ์ในทุก ๆ ด้านของการวิเคราะห์และออกแบบความลาดชันของชั้นหิน

5) การสัมภาษณ์ แบบสอบถามที่ได้จัดเตรียมขึ้นจะถูกนำมาถามผู้เชี่ยวชาญ คำตอบที่ได้จะออกมาเป็นเชิงตัวเลข ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงการออกแบบที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่นั้น ๆ คำถามที่นำมาสัมภาษณ์นั้นจะครอบคลุมถึงปัจจัยทุกด้านที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญได้รู้ข้อมูลที่มีอยู่ไม่ว่ามากหรือน้อยก็ตาม ในการสัมภาษณ์นี้จะต้องมีการใช้ตัวอย่างภาคสนามของจริงอย่างน้อย 50-60 พื้นที่ของความลาดชันของหินที่มีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมธรณีต่าง ๆ กัน

พื้นที่เหล่านี้ส่วนใหญ่จะถูกเลือกขึ้นตามถนนตัด เช่น ถนนมิตรภาพจากสระบุรีถึงเขื่อนลำตะคอง ทางสายชุมแพ-หล่มสัก ทางสายปักธงชัย-กบินทร์บุรี ทางสายตาก-แม่สอด ทางเชื่อมต่อระหว่าง จังหวัดเลยและจังหวัดแพร่ เป็นต้น นอกจากนี้ตัวอย่างความลาดชันของหินยังจะรวมไปถึงเหมืองแร่ ที่ทำบนควินติน เหมืองที่เลือกไว้ในงานวิจัยนี้คือ เหมืองหินปูนที่จังหวัดสระบุรี เหมืองโคโลไมท์ที่ จังหวัดกาญจนบุรี เหมืองแบร์ท์จังหวัดเลย และเหมืองหินปูนที่อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี เป็นต้น ผู้เชี่ยวชาญที่ให้องค์ความรู้ในงานวิจัยนี้คือ Prof. Jaak J.K. Daemen จาก University of Nevada

6) การวิเคราะห์ ความเห็นที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญจะถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปของความ สอดคล้อง และขัดแย้งในเนื้อหาของตัวมันเอง การวิเคราะห์จะรวมไปถึงการค้นคว้าจากบทความ ความขาดแคลนทางวิชาการและการอ้างอิงของความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ ข้อบกพร่องเหล่านี้จะได้รับการแก้ไขในขั้นตอนนี้

7) การเขียนคอมพิวเตอร์โปรแกรม แผนผังที่แสดงถึงการรวบรวมข้อมูล ปัจจัยทาง วิศวกรรม ทางเลือก แนวคิด การวิเคราะห์ และในที่สุดผลลัพธ์ในการออกแบบจะถูกสร้างขึ้น แผนผังนี้ จะถูกทบทวนเพื่อให้มั่นใจว่าทิศทางของแนวคิดได้ครอบคลุมถึงปัจจัยทุกด้าน และให้แน่ใจว่าทิศทาง ของแนวคิดนี้จะไม่นำไปสู่ทางตัน กล่าวคือ ทุก ๆ ทางจะมีคำตอบในรูปแบบของการออกแบบ อย่างไม่จำกัดตามถ้าข้อมูลที่มีนำมาใช้น้อยมาจนกระทั่งแม้แต่ประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญก็มิอาจออกแบบ ความลาดชันของชั้นหินนั้น ๆ ได้ เส้นทางการดำเนินงานนี้ก็ให้นำไปสู่คำตอบที่ยอมรับว่า “การออกแบบไม่สามารถทำได้ด้วยเหตุผลที่ว่าข้อมูลไม่เพียงพอ” จากทิศทางนี้ผู้เชี่ยวชาญก็จะให้ คำแนะนำว่าผู้ใช้โปรแกรมควรจะหาข้อมูลเฉพาะเจาะจงเพิ่มเติม เมื่อแผนผังที่สมบูรณ์ซอฟต์แวร์ก็ จะถูกเขียนขึ้นโดยจะป้อนข้อมูลแผนผังเข้าไป โปรแกรมที่จะใช้คือ Microsoft Access

8) การทบทวนและการตรวจสอบคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ เมื่อซอฟต์แวร์ได้เขียน สำเร็จขึ้นก็จะถูกนำมาใช้ในการออกแบบความลาดชันของหินในพื้นที่จริง อย่างน้อยที่สุดความลาดชัน ของหินที่มีคุณลักษณะและคุณสมบัติต่าง ๆ กัน 5 แบบ จะถูกนำมาทดสอบเพื่อดูว่าซอฟต์แวร์ที่ได้ พัฒนาขึ้น โดยใช้ประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญสามารถให้คำตอบในเชิงวิเคราะห์และออกแบบได้ ทัคเทียมหรือดีกว่าของจริงทั้ง 5 แบบนั้น ถ้ามีความแตกต่างเกิดขึ้นก็จะมีการศึกษาและทบทวน ผลที่ ได้จากซอฟต์แวร์นั้น และผลที่ได้จากการออกแบบของจริง

9) การเขียนรายงาน ในรายงานฉบับสมบูรณ์จะอธิบายขั้นตอนในการศึกษาอย่าง ละเอียด ซึ่งรวมไปถึงแบบสอบถามที่ถูกตั้งขึ้น ปัจจัยทางด้านวิศวกรรมธรณีที่ถูกนำมาพิจารณา โครงสร้าง ของแผนผังที่สะท้อนถึงแนวคิดในการออกแบบ ขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบ และท้ายที่สุด ขั้นตอนในการทบทวนและตรวจสอบ

ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยที่เสนอมานี้จะมุ่งไปถึงการวิเคราะห์และออกแบบทางวิศวกรรมธรณี ในเชิงเสถียรภาพของความลาดชันของชั้นหินที่ทำการขุดเจาะเพื่อใช้ในการสร้างถนน ทางรถไฟ เขื่อนเขื่อนแ่ และสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่จะต้องมีการตัดหรือขุดหินที่มีความลาดชัน เสถียรภาพที่กล่าวถึงนั้นจะครอบคลุมเพียงการพังทลายของชั้นหิน และจะไม่ครอบคลุมถึงสิ่งก่อสร้างทางวิศวกรรม (ตึก อาคาร สะพาน ฯลฯ) ที่สร้างอยู่บนชั้นหินนั้น ๆ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ คือ ซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จะมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับวิศวกรโยธา วิศวกรเหมืองแร่ และวิศวกรธรณีทั้งในภาครัฐและเอกชน เพื่อที่จะนำมาช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบความลาดชันของหินในโครงการต่าง ๆ อาทิเช่น การตัดถนนในชั้นหิน การสร้างทางรถไฟผ่านชั้นหิน การสร้างอ่างเก็บน้ำ การทำเหมืองและการสร้างคลองส่งน้ำ ยี่ป่กันตัน หรืออีกทางหนึ่งวิศวกรในแขนงเหล่านี้สามารถนำผลที่ได้จากการใช้ Software ที่ได้ทำขึ้นจากโครงการวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับกรออกแบบของตน หรือการออกแบบที่มีอยู่แล้ว เพื่อเสริมสร้างความมั่นใจ หรือเพื่อเพิ่มทางเลือกในเชิงเสถียรภาพในการตัดหรือขุดเจาะชั้นหินให้มีความลาดเอียงในลักษณะต่าง ๆ กัน

ในขบวนการดังกล่าวข้างต้นวิศวกรไทยจะสามารถพึ่งตนเองได้มากขึ้น และจะช่วยประหยัดเงินและค่าใช้จ่ายในการว่าจ้างวิศวกรที่ปรึกษาจากต่างประเทศ โครงการใหญ่ ๆ ในประเทศไทยในขณะนี้เราต้องพึ่งพาวิศวกรจากต่างประเทศโดยเฉลี่ยจะใช้ค่าใช้จ่ายในการออกแบบไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30-40

ประโยชน์ที่องค์กรในภาครัฐและเอกชนจะได้รับในงานวิจัยนี้ยังจะรวมไปถึง

1. การเก็บและอนุรักษ์ประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญอย่างถาวรและเป็นระบบ
2. วิศวกรที่เกี่ยวข้องสามารถนำซอฟต์แวร์นี้ไปใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจในเชิงออกแบบ
3. องค์กรที่เกี่ยวข้องจะมีเครื่องมืออย่างมีระบบเพื่อใช้ในการฝึกหัดวิศวกรใหม่ที่ยังไม่มีประสบการณ์
4. ระบบการทำงานขององค์กรที่เกี่ยวข้องจะราบรื่นขึ้น
5. องค์กรจะประหยัดค่าใช้จ่ายเนื่องจากการตัดสินใจในการออกแบบสามารถทำให้รวดเร็วมากขึ้นและมีความผิดพลาดน้อยลง

องค์ความรู้ใหม่นี้จะเป็น โครงการนำร่องเพื่อเป็นตัวอย่างและเสริมสร้างการพัฒนา ซอฟต์แวร์ในแขนงอื่น ๆ และสาขาอื่น ๆ ในภาควิศวกรรมและจะผลักดันให้วิศวกรไทยก้าวไปสู่อ การใช้ เสริมสร้าง และอนุรักษ์ประสบการณ์ที่ได้รับเพื่ออนุรักษ์ผู้อนุชนรุ่นหลังต่อไป

หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ ได้แก่

1. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
2. การรถไฟแห่งประเทศไทย
3. กรมทรัพยากรธรณี
4. กรมทางหลวง
5. กรมโยธาธิการ
6. บริษัทเหมืองแร่
7. บริษัทก่อสร้างทางค้ำฉนวนวิศวกรรมธรณีและวิศวกรรมโยธา

บทที่ 1

การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้คือผลและข้อสรุปที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เสถียรภาพและการออกแบบเชิงวิศวกรรมของความปลอดภัยของมวลหิน ซึ่งประกอบด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์ ระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลข ทฤษฎีหิ้นก้อนและระบบปัญญาประดิษฐ์

1.1 วิธีการวิเคราะห์ความลาดเอียงของมวลหิน

เป็นที่รู้กันอย่างกว้างขวางว่างานทางด้านวิศวกรรมธรณี หรือวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับดินและหิน เป็นงานที่ต้องเผชิญกับความไม่แน่นอนในเชิงคุณสมบัติและพฤติกรรมของดินและหินที่นำมาใช้ การก่อสร้างที่ท้าวอยู่บนและในชั้นดินหรือชั้นหินมีความไม่แน่นอน อันเนื่องมาจากความเป็นเนื้อเดียวกันของดินและหิน ความแปรปรวนทางด้านคุณสมบัติและด้านกายภาพ (Inhomogeneous) ความยากลำบากในการคาดคะเน (Unpredictable) คุณสมบัติเหล่านั้น จากความซับซ้อนทางด้านธรณีวิทยาและทางด้านกลศาสตร์ของมวลหินและดิน ความซับซ้อนของรูปทรงเรขาคณิต ขบวนการ และลำดับขั้นตอนของสิ่งก่อสร้างด้านวิศวกรรม ด้วยเหตุนี้ทำให้หลักการคำนวณและสมการสำเร็จรูปที่มีอยู่ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เหมาะสม ถึงแม้จะใช้สมมติฐานเพิ่มขึ้นมากมาย ผลที่ได้ก็อาจจะไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมของมวลหินที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริง ซึ่งโดยส่วนใหญ่ จะไม่สามารถทำได้ง่าย หรือในบางกรณีอาจจะทำไม่ได้เลย ซึ่งงานทางด้านวิศวกรรมความลาดเอียงของมวลหินก็ต้องเผชิญกับปัญหานี้เช่นเดียวกัน วิธีการดั้งเดิม (Classical method) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความลาดเอียงของมวลหินจะอาศัยหลักการทางกลศาสตร์หิ้นเข้ามาช่วย และต้องอาศัยสมมติฐานมากมายในเชิงรูปทรงเรขาคณิต และในการกำหนดค่าตัวแปรและคุณสมบัติของมวลหิน ดังนั้นในการประเมินเสถียรภาพและการออกแบบ โครงสร้างทางด้านวิศวกรรมที่ซับซ้อนดังกล่าวได้มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์อย่างหลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 30 ปีที่ผ่านมาวิวัฒนาการทางด้านคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ได้พัฒนาอย่างรวดเร็ว มีบทบาทในการพัฒนา การเผยแพร่ และการประยุกต์ใช้วิธีการแบบใหม่ ๆ เพื่อช่วยในการคำนวณความเครียด และการเปลี่ยนรูปของมวลหินทั้งในสองมิติและสามมิติ ดังนั้นโดยสรุปแล้ววิธีการวิเคราะห์สำหรับความลาดเอียงของมวลหินสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก คือ การวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์ ระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลข ทฤษฎีหิ้นก้อน และระบบปัญญาประดิษฐ์

การวิเคราะห์เสถียรภาพและการออกแบบความลาดเอียงของมวลหินเป็นกิจกรรมที่พบอยู่มากมายในหลายรูปแบบและหลายขนาด ตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น การขุดคลองส่งน้ำ ช่องเขาหรือไหล่เขาที่มีการขุดตัดเพื่อสร้างถนนหรือทางรถไฟ หินลาดที่ทำหน้าที่รองรับฐานรากของโครงสร้างทางวิศวกรรม ไปจนถึงขนาดใหญ่ เช่น ความลาดเอียงของมวลหินที่อยู่รอบอ่างเก็บน้ำหรือเหมืองเปิดขนาดใหญ่ โดย Hoek and Bray (1981) ได้จำแนกลักษณะความไม่เสถียรภาพหรือรูปแบบของการพังทลายของความลาดเอียงของมวลหินออกเป็นสี่แบบดังนี้ (รูปที่ 1.1)

1) การพังทลายรูปโค้ง (Circular failure) ลักษณะเช่นนี้มักเกิดจากมวลหินที่มีรอยแตกมากหรือมีความไม่ต่อเนื่องสูง และจะมีลักษณะคล้ายกับการพังทลายของมวลดินหรือหินผสมดิน

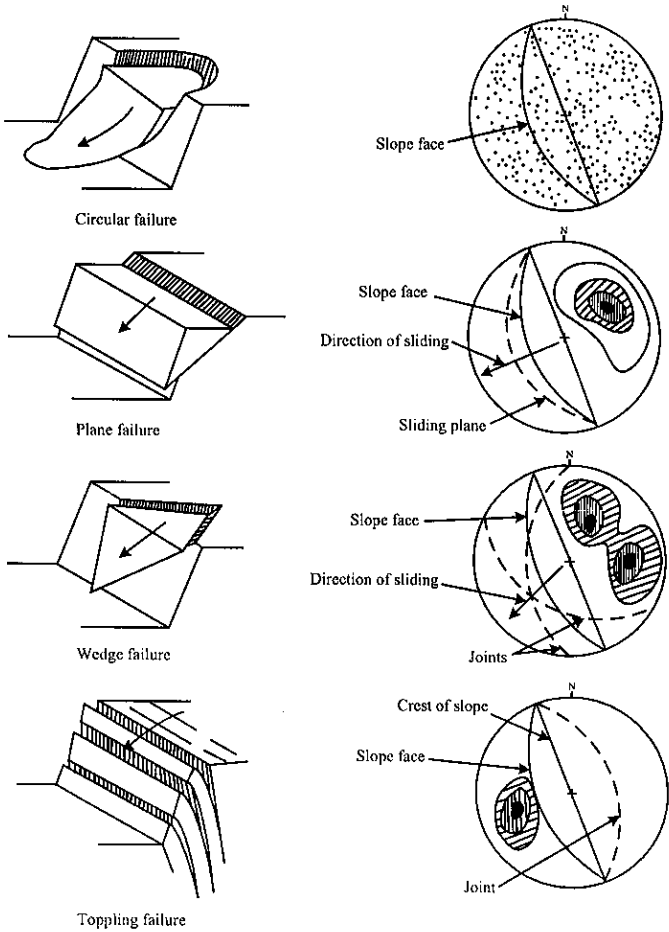
2) การเลื่อนตามระนาบ (Plane sliding) การเลื่อนเช่นนี้พบได้น้อย จะเกิดจากความลาดเอียงที่มีทิศทางหรือแนวระดับ (Strike) ขนานหรือเกือบขนานกับแนวระดับของความไม่ต่อเนื่องชุดหนึ่ง และมุมเท (Dip angle) ของความไม่ต่อเนื่องหรือของรอยแตกนั้นจะต้องสูงกว่ามุมเสียดทานของรอยแตก (Friction angle) แต่จะต้องมีค่าน้อยกว่ามุมเทของหน้าลาดเอียงของมวลหิน

3) การเลื่อนแบบรูปสามเหลี่ยม (Wedge sliding) ลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นเมื่อเส้นที่เกิดจากการตัดกันของรอยแตกสองชุดมีมุมเทไปในทิศทางเดียวกันหรือใกล้เคียงกันกับ "ทิศของมุมเท" (Dip direction) ของหน้าลาดเอียง และมุมเทของรอยตัดนั้นจะต้องมากกว่ามุมเสียดทานของรอยแตกหิน แต่จะต้องน้อยกว่ามุมเทของความลาดชันของมวลหิน รูปร่างของก้อนหินที่เลื่อนลงจะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมซึ่งเกิดจากการตัดกันของรอยแตกทั้งสองชุด

4) การพังแบบพลิกคว่ำ (Toppling failure) ลักษณะการพังเช่นนี้เกิดขึ้นเมื่อมวลหินมีชุดของความไม่ต่อเนื่องหรือชุดของรอยแตกหลักที่มีมุมเทสูง และมีทิศทางของมุมเทไปในทางตรงกันข้ามกับทิศของมุมเทของหน้าลาดเอียงของมวลหิน และอาจจะมีมุมเทไปทางเดียวกับทิศของมุมเทของหน้าลาดเอียงของมวลหิน โอกาสที่จะเกิดการพลิกคว่ำของก้อนหินที่เกิดจากการตัดกันของชุดรอยแตกทั้งสองนี้จะมีมากขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างรอยแตก (Spacing) ของชุดแรก (ที่มีมุมเทสูง) มีค่าน้อยกว่าระยะห่างระหว่างรอยแตกของชุดที่สอง

1.2 การวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์

วิธีการวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์สถิต เป็นวิธีการดั้งเดิม (Classical method) และเป็นวิธีพื้นฐานในการประเมินเสถียรภาพและออกแบบการค้ำยันความลาดเอียงของมวลหิน ซึ่งได้เสนอไว้โดยตำราทางด้านกลศาสตร์หินมากมาย เช่น Hoek and Brey (1981) และ Goodman (1989) วิธีนี้อาศัยหลักการเชิงสมดุลของแรงทั้งหมดที่มากระทำต่อส่วนของมวลหินที่วางตัวอยู่บนหน้าลาดเอียง ส่วนของมวลหินนี้ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม รูปแผ่น หรือรูปปริมาตร ที่เกิดจากการตัดกันของรอย



รูปที่ 1.1 รูปแบบต่าง ๆ ของการพังทลายของหน้าลาดเชิงของมวลหิน และเปรียบเทียบกับทิศทางของการแตกและมุมเทในรูปแบบของ Stereoplots (จาก Hoek and Bray, 1981)

แตก รอยชั้นหิน หรือรอยเลื่อนที่มีอยู่แล้วในมวลหิน ในการประเมินเสถียรภาพ แรงที่มากระทำทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งคือแรงที่ขับเคลื่อนหรือผลักให้ส่วนของมวลหินที่กำลังพิจารณานั้นไถลหรือพลิกลงมาจากหน้าลาดเอียง แรงในส่วนนี้จะประกอบด้วยน้ำหนักของมวลหิน แรงดันของน้ำบาดาล และแรงที่เกิดจากการตื้นสะเทือน ซึ่งอาจเกิดจากการระเบิด การจางจร หรือแผ่นดินไหว แรงในส่วนที่สองคือแรงที่ต้านทานการไถล หรือต้านการพลิกคว่ำของมวลหิน แรงในส่วนนี้จะประกอบด้วยแรงที่เกิดจากความเสียดทานของรอยแตกต่าง ๆ ในมวลหินนั้น และอาจจะรวมไปถึงแรงที่เกิดจากการค้ำยันที่ออกแบบขึ้น ในการคำนวณค่าปัจจัยของความปลอดภัย (Factor of safety) ก็สามารถทำได้โดยการหาอัตราส่วนระหว่างแรงในส่วนที่สอง (แรงต้านทานการไถล) หารด้วยแรงในส่วนที่หนึ่ง (แรงขับเคลื่อน)

ข้อดีสำหรับวิธีนี้คือ การคำนวณสามารถทำได้โดยง่ายซึ่งอาศัยเพียงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงเรขาคณิตของหน้าลาดเอียงและของรอยแตก ประกอบกับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของความเสียดทานของรอยแตกในมวลหิน

ข้อเสียของการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้คือ การนำมาประยุกต์ใช้มีข้อจำกัดและอยู่ภายใต้สมมติฐานมากมาย เช่น หน้าลาดเอียงจำเป็นต้องมีรูปทรงเรขาคณิตที่แน่นอนและง่ายต่อการคำนวณ ปริมาตร การวางตัวของทิศทางและมุมของรอยแตกชุดต่าง ๆ จะต้องมีความสม่ำเสมอ และมีการแปรปรวนน้อย แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในรอยแตกก็จะต้องสม่ำเสมอและเท่ากันสำหรับรอยแตกทุกชุด แรงที่มากระทำทั้งหมดจะต้องผ่านจุดศูนย์กลางของส่วนมวลหินซึ่งมีแนวโน้มที่จะพังลงมา ฯลฯ

จากข้อจำกัดที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าวิธีวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์สถิตถึงแม้จะสะดวกและง่ายต่อการใช้และการทำความเข้าใจ แต่เป็นวิธีที่ค่อนข้างจะไม่สมจริงและต้องอาศัยสมมติฐานเชิงกลศาสตร์มากมาย ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะทำให้ผลที่คำนวณได้ออกไปในเชิงอนุรักษ์ค่อนข้างสูง

1.3 ระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลข

ระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical methods - Pande et al., 1990) ได้เริ่มมีการพัฒนามานานกว่า 30 ปีแล้ว และเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันสำหรับการวิเคราะห์ในเชิงวิศวกรรมหิน สาเหตุเนื่องมาจากการพัฒนาอย่างรวดเร็วทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ วิธีนี้เกี่ยวข้องกับการเขียนโปรแกรมเพื่อแก้สมการอย่างเป็นระบบ เพื่อคำนวณค่าความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นในมวลหินภายใต้ปัจจัยสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น แรงที่มากระทำ ความเค้นแรกเริ่มในมวลหิน อุณหภูมิ ความดันน้ำ เป็นต้น วิธีนี้สามารถคำนวณได้แม้รูปร่างทางเรขาคณิตจะซับซ้อนเพียงใดก็ตาม โดยทั่วไประเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขที่พัฒนาขึ้นเป็นโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ในกลศาสตร์หินจะต้องอาศัยองค์ประกอบ 4 ประการในการคำนวณ คือ

- 1) สภาวะสมดุล (Equilibrium)
- 2) การเข้ากันได้ของความเครียด (Strain compatibility)
- 3) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress-strain relation)
- 4) สภาวะเริ่มแรกและสภาวะขอบเขตที่เป็นไปได้เชิงกลศาสตร์ (Initial and boundary conditions)

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์กลศาสตร์หินจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขพื้นฐานทั้งสี่ข้อ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในข้อที่สามนั้นจะขึ้นกับความต้องการในระดับความสามารถของโปรแกรมที่เขียนขึ้น เช่น โปรแกรมขั้นพื้นฐานก็อาจจะสมมติให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นไปตามทฤษฎีความยืดหยุ่นเชิงเส้นตรง หรือโปรแกรมขั้นสูงที่ต้องการแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมที่ซับซ้อนก็อาจจะสร้างความสัมพันธ์เป็นแบบพลาสติก ความหนืดแบบยืดหยุ่น หรือความหนืดแบบพลาสติก เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วการวิเคราะห์อาจจะอยู่ในรูปสองมิติสำหรับโปรแกรมขั้นพื้นฐาน หรืออยู่ในรูปสามมิติสำหรับโปรแกรมขั้นสูง ชนิดของระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- 1) Finite Element Method (FEM) และ Finite Element Difference Method (FDM)
- 2) Boundary Element Method (BEM)
- 3) Discrete Element Method (DEM)

FEM และ FDM จะเป็นวิธีที่อยู่ในกลุ่มของ Domain methods (Desai and Siriwardane, 1984; Segerline, 1984) ซึ่งจะใช้วิธีแบ่งมวลหินออกเป็นช่องเล็ก ๆ (ในสองมิติ) หรือเป็นลูกบาศก์เล็ก ๆ (ในสามมิติ) ช่องเหล่านี้เรียกว่าเป็น Elements ส่วนจุดตัดของเส้นที่แบ่งช่องเหล่านี้คือ Nodal points ตำแหน่งของจุดตัดทั้งหมดจะถูกบันทึกอยู่ในระบบแกนเดียวกันทั้งหมด คุณสมบัติเชิงกลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องจะถูกกำหนดลงไปในรูปแบบจำลองนั้น ซึ่งอาจจะมากกว่าหนึ่งชนิดก็ได้ การคำนวณความสัมพันธ์และผลตอบสนองของแรงในแต่ละช่องและระหว่างช่องจะเป็นไปตามเงื่อนไขที่ประการที่กล่าวข้างต้น วิธี FEM และ FDM จะอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่าขอบเขตของมวลหินที่นำมาศึกษาจะมีความต่อเนื่องในเชิงกลศาสตร์ (Continuum mechanics) โดยแบบจำลองของมวลหินที่จะศึกษาต้องมีขอบเขตที่แน่นอนและมีการกำหนดสภาวะขอบเขตที่สอดคล้องกับหลักการเชิงกลศาสตร์ (ในสภาวะสมดุล) ข้อแตกต่างระหว่าง FEM และ FDM คือ FEM จะมีวิธีการแก้สมการโดยใช้วิธี Integral ส่วน FDM จะแก้สมการภายในโดยใช้วิธีอนุพันธ์ (Differentiation)

BEM (Crouch and Starfield, 1983) มีวิธีคำนวณโดยการแบ่งขอบเขตของแบบจำลองหรือของมวลหินออกเป็นช่องเล็ก ๆ และอาศัยสมการสำเร็จรูปเข้ามาช่วยคำนวณความเค้นและการเปลี่ยนรูปของมวลหินในแต่ละช่อง จากนั้นจะใช้เงื่อนไขที่ต่อเนื่องเข้ามาเพื่อปรับค่าที่คำนวณได้ เพื่อให้ผลของการคำนวณในแต่ละช่องอยู่ในสภาวะสมดุล มีความต่อเนื่องของมวลหิน และมีการเข้ากันได้ของความเครียด วิธี BEM สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาของมวลหินที่ไม่มีขอบเขตได้ (Infinite medium) เนื่องจากการแบ่งช่องคำนวณจะทำเฉพาะแนวขอบเขตที่กำหนดเท่านั้น ดังนั้น ปริมาณข้อมูลที่ต้องป้อนเข้าไปในโปรแกรมของ BEM จึงมีขนาดเล็ก แต่ข้อจำกัดอีกข้อหนึ่งของวิธีนี้คือคุณสมบัติของมวลหินจะต้องเป็นชนิดเดียวกันทั้งแบบจำลอง

DEM (Pande et al., 1990) มีการคำนวณโดยแบ่งมวลหินออกเป็นช่องเล็ก ๆ คล้ายกับวิธีของ FEM และ FDM หลักการคำนวณจะไม่อาศัยทฤษฎีของความต่อเนื่อง แต่จะใช้หลักการสภาวะสมดุลเชิงพลศาสตร์ (Dynamic equilibrium) แต่ละช่องที่ถูกแบ่งออกไปจะเปรียบเสมือนก้อนหินแข็งที่ไม่มีการเปลี่ยนรูป แต่สามารถเคลื่อนตัวไปทั้งก้อนได้ด้วยแรงที่มากระทำจากก้อนหินข้างเคียง กฎของความสัมพันธ์กันที่ขอบของแต่ละก้อนจะถูกตั้งขึ้นและจะสัมพันธ์กับแรงที่เปลี่ยนแปลงไป DEM จึงเหมาะสำหรับคำนวณการเคลื่อนตัวของก้อนหินที่เกิดจากการตัดกันของรอยแตกในมวลหิน การเคลื่อนตัวนี้สามารถมีค่ามากได้ เพราะการคำนวณไม่ได้ใช้หลักการของความต่อเนื่อง จึงไม่ขึ้นกับสมมติฐานของความเครียดคงที่

ได้มีการนำระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขในแต่ละกลุ่มไปประยุกต์ใช้ในการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงของมวลดินและมวลหินมากมาย เช่น Ishida et al. (1987) ได้นำวิธี DEM ไปประยุกต์ใช้สำหรับวิเคราะห์การพังแบบพลิกคว่ำในมวลหิน Zhu and Zhang (1998) ได้นำวิธีทาง FEM ไปวิเคราะห์เพื่อกำหนดการติดตั้งอุปกรณ์ต้านความลาดเอียงของมวลหินที่มีรอยแตกมากในบริเวณช่องปรับระดับน้ำของ Three Gorges Dam นอกจากนี้ Hu and Kempfert (1999) ได้นำวิธี FEM ไปใช้จำลองการพังแบบหักงอของความลาดเอียงของมวลหิน โดยมีการคำนวณที่อยู่บนพื้นฐานของ Nonlinear theory, Fujita (1999) ได้นำวิธี FEM ซึ่งมีการคำนวณอยู่บนพื้นฐานของ Elasto-viscoplastic ไปศึกษาถึงปัญหาการเกิดมวลดินไหล Nicot et al. (2001) ได้ทำการออกแบบตาข่ายลวดเพื่อใช้สำหรับป้องกันการตกของก้อนหินในความลาดเอียงของมวลหินโดยใช้วิธี DEM ในการสร้างตัวอย่างการยึดตัวของตาข่ายลวด Forlati et al. (2001) ได้ใช้วิธี FEM ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างความลาดเอียงของมวลหินในทะเลลึก เพื่อเป็นแนวทางการป้องกันการเกิดมวลหินไหลขนาดใหญ่ Lenart and Fifer-Bizjak (2002) ได้นำวิธี FDM (Program FLAC) มาใช้ในการวิเคราะห์ผลของคลื่นแผ่นดินไหวที่มีผลต่อการเกิดกระบวนการดินไหลที่ Julian Alps ทางตะวันตกของ Slovenia ต่อมา Ugai and Cai (2002) ได้นำวิธี FEM ที่มีการคำนวณอยู่บนพื้นฐานของ 3-D Elasto-plastic มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อป้องกันการเกิดมวลดินไหล โดยใช้ Piles เสริมความแข็งแรงมวลดิน และท้ายสุด

Cai and Ugai (2002) นำระเบียบวิธีคำนวณเชิงตัวเลขไปใช้วิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากฝนตก โดยจุดประสงค์ของงานวิจัยคือการนำ BEM ไปใช้อธิบายการไหลของน้ำผ่านดินที่ไม่มีน้ำและดินอิ่มน้ำ และอธิบายผลกระทบทางลักษณะชลศาสตร์ ปริมาณน้ำที่จุดเริ่มต้นของดิน ความดันน้ำระหว่างฝนตก และเสถียรภาพความลาดเอียงของมวลหิน เป็นต้น

1.4 ทฤษฎีหินก้อน

Goodman and Shi (1985) ได้พัฒนาทฤษฎีใหม่ขึ้นมาอันหนึ่งเพื่อใช้ในการคำนวณการเคลื่อนตัวของก้อนหินที่มีผลกระทบมาจากสิ่งก่อสร้างทางวิศวกรรม ทฤษฎีใหม่นี้ชื่อ “Block theory” และจะเรียกทฤษฎีนี้ว่า “ทฤษฎีหินก้อน” ทฤษฎีนี้เหมาะสำหรับการเคลื่อนตัวของมวลหินแข็งที่ประกอบไปด้วยชุดของความไม่ต่อเนื่องหรือชุดของรอยแตกมากมาย แต่อยู่ภายใต้ความเค้นแรกเริ่มที่ค่อนข้างต่ำ หลักการในการคำนวณจะอาศัยรูปทรงเรขาคณิตของก้อนหินและทิศทางของรอยแตกมาพิจารณา โดยใช้วิธี Stereographic projection เพื่อตรวจสอบว่าหินแต่ละก้อนที่เกิดจากชุดต่าง ๆ ของรอยแตกจะมีโอกาสเคลื่อนตัวลงมาจากความลาดเอียง หรือมีโอกาสที่จะตกลงมาจากหลังคาอุโมงค์หรือจากผนังอุโมงค์หรือไม่ แนวคิดนี้ก็คล้ายคลึงกับวิธีวิเคราะห์เชิงสมดุลจำกัด (Limit equilibrium analysis) เพียงแต่ซับซ้อนมากกว่า เนื่องจากทิศทางการวางตัวของรอยแตกทุกชุดในพื้นที่ที่จะต้องนำมาพิจารณาซึ่งอาจจะมีอยู่หลายชุด นอกจากนั้นทิศทางของผิวหินอิสระ (Free surface) ของโครงสร้างที่จะวิเคราะห์จะต้องนำมาพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบกับชุดของรอยแตกนั้นด้วย วิธีนี้ได้เขียนให้อยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวกในการศึกษา Goodman and Shi ยังเสนอว่า การเคลื่อนตัวของก้อนหินออกจากผิวอิสระ โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นกับก้อนหินที่มีทิศทางและรูปทรงเฉพาะเท่านั้น ซึ่งถ้าสามารถคำนวณไม่ให้ก้อนหินชนิดนี้เคลื่อนตัวได้ หินก้อนอื่นก็ไม่สามารถเคลื่อนตัวได้ ก้อนหินที่ควบคุมเสถียรภาพของมวลหินในโครงสร้างแบบหลังนี้อาจจะมีความกว่าหนึ่งรูปร่างและมากกว่าหนึ่งทิศทาง ก้อนหินชนิดนี้เรียกว่า Key block สำหรับโครงสร้างนั้น ๆ ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ในจุดเริ่มต้นจึงควรหาและกำหนด Key block ทั้งหมดที่อยู่ในโครงสร้างเพื่อทำการคำนวณ วิธีการหา Key block สามารถทำได้โดยใช้วิธี Stereographic projection ทฤษฎีหินก้อนนี้ค่อนข้างง่ายในการทำความเข้าใจและในการนำไปประยุกต์ใช้ แต่มีข้อจำกัดคือก้อนหินที่สมมติจะต้องไม่มีการเปลี่ยนรูปร่าง ไม่มีการนำความเค้นมาพิจารณา และความเสียดทานระหว่างก้อนหิน (ความเสียดทานของรอยแตก) ก็จะไม่นำมาพิจารณา ดังนั้นผลที่ได้จึงเป็นไปในทางอนุรักษ์ค่อนข้างสูง

ทฤษฎีหินก้อนนี้ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมธรณีต่าง ๆ ดังสรุปไว้โดย Hatzor (1995) ซึ่งได้อธิบายการนำทฤษฎีหินก้อนมาประยุกต์ใช้ศึกษาเสถียรภาพความลาดเอียงของมวลหินของฐานรากของเขื่อน Pacoima ใน California ประเทศสหรัฐอเมริกา และผล

ของกรศึกษาจะช่วยในการวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของฐานรากในระหว่างการเกิดแผ่นดินไหว Hatzor (1999) ทำการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดเอียงของมวลหินที่อนุสาวรีย์แห่งชาติ Masada ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกของอิสราเอล โดยใช้ทฤษฎีหินก้อน และ DDA modeling และพบว่า Key block จะมีค่าการตอบสนองเร็วต่อแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ทำให้ค่าแรงเสียดทานระหว่างรอยแตกลดลง Jeong-gi et al. (1996, 2001) ได้ใช้ทฤษฎีหินก้อนและวิธีทาง Stereographic projection กับการวิเคราะห์หามุมเทที่มากที่สุดบนความลาดเอียงของมวลหิน ทฤษฎีหินก้อนได้นำมาช่วยในการก่อสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศจีนที่ชื่อว่า Three Gorges Dam ซึ่งสร้างกันแม่น้ำ Yangtze โดยผลจากการวิเคราะห์สามารถบอกได้ถึงทิศทางและค่ามุมที่ปลอดภัยของหน้าลาดเอียงของมวลหินในตำแหน่งต่าง ๆ ได้

1.5 ระบบปัญญาประดิษฐ์

ระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence – Rich and Knight, 1991) หรือเรียกย่อ ๆ ในที่นี้ว่า “AI” การนำ AI เข้ามาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมหินเริ่มขึ้นเมื่อประมาณ 20 ปีที่แล้ว AI คือ การสร้างเครือข่ายของแนวคิด (Neural network) หรือขบวนการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาเฉพาะที่มีความซับซ้อน มีปัจจัยที่ต้องพิจารณามากมาย และมีเงื่อนไขการตัดสินใจที่แน่นอนในแต่ละขั้นตอน เครือข่ายของแนวคิดก็เปรียบเสมือนแผนภูมิที่มีแนวทางมุ่งไปหาคำตอบ โดยนำข้อมูลและปัจจัยทั้งหมดที่มีอยู่มาพิจารณา AI จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการประเมินเสถียรภาพหรือออกแบบในวิศวกรรมหินที่ต้องเผชิญกับปัญหาที่ซับซ้อนและมีความแปรปรวนของปัจจัยที่นำมาพิจารณาเช่นกัน AI ไม่ใช่ฐานข้อมูล (Database) แต่เป็นระบบที่สร้างขึ้นให้มัลไกในการพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างครบถ้วน และจะมีการประเมินด้วยข้อแม้และเงื่อนไขเพื่อมุ่งไปสู่คำตอบที่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้ AI จึงถูกเขียนให้อยู่ในรูปแบบคอมพิวเตอร์เพื่อให้มีความสะดวกในการใช้และการปรับปรุงแก้ไข

ขบวนการของการพิจารณา AI อย่างง่าย ๆ อาจจะดูออกแบบให้เป็นไปตามหลักการที่มีอยู่แล้ว เช่น การจำแนกมวลหินในระบบ Q system (Hoek and Brown, 1980) หรือในระบบ RMR (Goodman, 1989) เป็นต้น โปรแกรมของ AI ที่ซับซ้อนขึ้นจะเขียนโดยอาศัยสูตรทางคณิตศาสตร์และทางสถิติเข้ามาช่วยในการประเมินและประมวลผลข้อมูล โดยจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลที่นำมาพิจารณา ซึ่งข้อมูลที่ใส่เข้าไปอาจจะครบถ้วนหรือไม่ครบก็ได้ AI ที่มีการนำประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญเข้ามาประกอบในการพิจารณาตัดสินใจและออกแบบบางครั้งอาจจะเรียกชื่อเป็นระบบองค์ความรู้ (Knowledge-base system) หรือระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert system) ซึ่งกระบวนการเขียน โปรแกรมทั้งสองระบบก็จะเหมือนกันกับระบบ AI เพียงแต่ว่าวิจารณ์ญาณของผู้เชี่ยวชาญในการแก้ปัญหาเฉพาะอันหนึ่งจะถูกถ่ายทอดและจัดอย่างเป็นระบบในรูปของเครือข่ายแนวคิด และได้มีผู้อธิบายถึงระบบปัญญาประดิษฐ์ไว้ในเรื่องต่าง ๆ โดย Adeli (1988) งานเนกการงานของระบบปัญญาประดิษฐ์ไว้สามแบบ คือ 1) แบบ Forward chaining เป็นระบบที่เหมาะสมกับปัญหาที่มี

จำนวนตัวแปรด้านเข้าน้อยกว่ากลุ่มของคำตอบที่อยู่ด้านนอก วิธีนี้กลุ่มตัวแปรในด้านเข้าจะเป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบที่จะมุ่งสู่คำตอบที่เหมาะสมและมีอยู่บ่อยมาก 2) แบบ Backward chaining เป็นระบบที่เหมาะสมกับปัญหาที่มีจำนวนตัวแปรด้านเข้ามากกว่ากลุ่มคำตอบที่เป็นผลเฉลยด้านออก ซึ่งวิธีนี้คำตอบจะเป็นจุดเริ่มต้นของการทำงานที่มุ่งสู่กลุ่มตัวแปรในด้านเข้าที่เหมาะสมกับคำตอบ และ 3) แบบ Combination เป็นการรวมทั้งสองวิธีเข้าด้วยกัน Adeli (1988) อธิบายถึงข้อดีและข้อเสียของระบบปัญญาประดิษฐ์ไว้ว่า ระบบปัญญาประดิษฐ์มีข้อดีคือ สามารถคิดได้อย่างเป็นระบบตามที่เราผู้เชี่ยวชาญวางแนวทางไว้ สามารถคิดได้อย่างรวดเร็วและไม่ลืมตัวแปรที่ต้องนำมาพิจารณา ไม่โกหก สืบแพร่หรือตัดสินใจผิดพลาด สามารถตรวจสอบข้อมูลที่เข้ามาในระบบได้ในแต่ละขั้นตอน และสามารถปรับปรุงแก้ไขระบบที่วางไว้ได้ง่าย ส่วนข้อเสียของระบบปัญญาประดิษฐ์คือ ขาดทักษะทางความคิดและขาดวิจารณญาณ ใช้ได้กับเฉพาะกลุ่มคนเท่านั้น และมีขอบเขตที่จำกัดในการแก้ปัญหา ซึ่ง Adeli (1988) อธิบายขั้นตอนของการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ไว้ตามลำดับดังนี้ 1) รวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เช่น จากหนังสือ วารสาร บทความ รายงานการประชุม 2) ตั้งคำถามเพื่อที่จะใช้ในการสอบถามผู้เชี่ยวชาญ 3) นำคำถามไปสอบถามผู้เชี่ยวชาญและนำคำตอบมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ และ 4) ทดสอบการทำงานของระบบโดยเทียบกับวิธีอื่น ๆ หรือกับกรณีศึกษา Sinha and Singupta (1989) ได้อธิบายถึงลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปของระบบผู้เชี่ยวชาญว่าประกอบไปด้วยสามส่วนหลัก ๆ คือ 1) ส่วนฐานองค์ความรู้ 2) ส่วนสื่อสารกับฐานองค์ความรู้ และ 3) ส่วนสื่อสารกับผู้ใช้ โดยมีส่วนฐานองค์ความรู้เป็นศูนย์กลางของระบบ และแต่ละส่วนจะมีหน้าที่ต่างกันออกไป

บทที่ 2

การสำรวจภาคสนามและรวบรวมกรณีศึกษา

จุดประสงค์ของการสำรวจภาคสนามและการรวบรวมกรณีศึกษา คือ เพื่อนำข้อมูลจริงส่วนหนึ่งมาใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) แนวคิดและหลักเกณฑ์ของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ระบบผู้เชี่ยวชาญมีความครอบคลุมและมีรายละเอียดที่จำเป็น ข้อมูลอีกส่วนหนึ่งจะนำมาใช้ในการสอบทาน (Verification) ผลที่ได้จากการทำนายและประเมินเสถียรภาพของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายผลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามและการทบทวนกรณีศึกษาโดยสังเขป ส่วนรายละเอียดของข้อมูลและขบวนการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมธรณี ได้ไว้ในภาคผนวก ก และ ข

2.1 ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

การสำรวจภาคสนามในงานวิจัยมีจุดประสงค์เพื่อสร้างพื้นฐานแนวคิดของผู้เชี่ยวชาญอย่างเป็นระบบ เพื่อนำข้อมูลภาคสนามส่วนหนึ่งไปใช้สอบเทียบกับแนวความคิดของผู้เชี่ยวชาญในงานวิศวกรรมลาดเอียงมวลหิน และนำข้อมูลภาคสนามอีกส่วนหนึ่งไปใช้สอบทานการทำงานของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ เพื่อปรับแก้ให้มีความถูกต้องและสามารถทำนายได้แม่นยำมากขึ้น สำหรับพื้นที่การสำรวจและเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้คัดเลือกตามหลักเกณฑ์ คือ ลักษณะความลาดเอียงมวลหินจะต้องมีความหลากหลายในเชิงธรณีวิทยาวิศวกรรมธรณี การนำไปประยุกต์ใช้หรือระดับความปลอดภัยที่ต้องการ และความหลากหลายของลักษณะการพังทลาย การสำรวจภาคสนามสามารถจำแนกออกได้เป็น 7 พื้นที่ คือ

- 1) พื้นที่เขาเจ้าลายใหญ่ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ทำการสำรวจเมื่อวันที่ 18-20 ธันวาคม 2542
- 2) พื้นที่ภาคตะวันออก ครอบคลุมบางส่วนของจังหวัด นครราชสีมา ปราจีนบุรี สระแก้ว จันทบุรี และชลบุรี ดำเนินการสำรวจเมื่อวันที่ 26-28 มกราคม 2544
- 3) พื้นที่จังหวัดลพบุรี ดำเนินการสำรวจเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2544 ประกอบด้วย ความลาดเอียงของเหมืองหินปูนเก่าที่เขามงโกชน์ และข้างทางหลวงหมายเลข 2256
- 4) พื้นที่บริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างจังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดสระบุรี โดยเน้นที่ความลาดเอียงมวลหินบนทางหมายเลข 2 บริเวณเขื่อนลำตะคอง ทำการสำรวจเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2544
- 5) พื้นที่เหมือง Barite อำเภอเชิงฉาน จังหวัดเลย ดำเนินการสำรวจเมื่อวันที่ 25-27 มิถุนายน 2545

6) ทางหลวงหมายเลข 12 เชื่อมต่อระหว่างอำเภอชุมแพและอำเภอลำทะเมนชัย ทำการสำรวจเมื่อ 29-30 พฤศจิกายน และวันที่ 1 ธันวาคม 2544

7) ทางหลวงหมายเลข 105 ระหว่างจังหวัดตากไปแม่สอด และบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น ทำการสำรวจเมื่อเมื่อ 9-11 พฤษภาคม 2545

จากการสำรวจในภาคสนาม 7 พื้นที่ ประกอบด้วย 52 ความลาดเอียง (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก) สามารถสรุปลักษณะทางวิศวกรรมธรณีได้โดยสังเขป ดังนี้

2.1.1 ความลาดเอียงมวลหินเขาเจ้าลายใหญ่

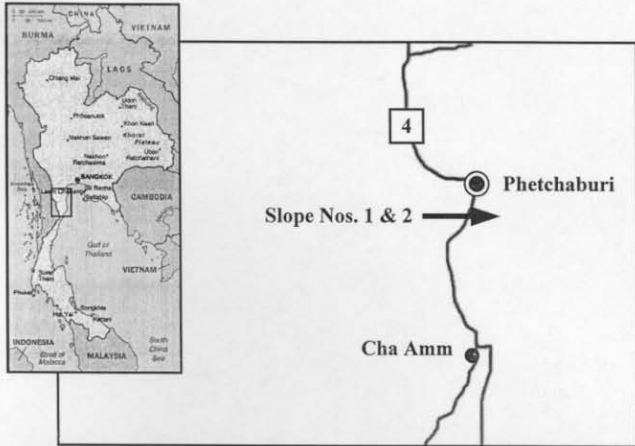
การสำรวจความลาดเอียงมวลหินที่เขาเจ้าลายใหญ่ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ได้ดำเนินการที่ความลาดเอียง 2 แห่ง (รูปที่ 2.1) โครงสร้างทางวิศวกรรมธรณีเป็นแบบชั้นหินอ่อนสลับชั้นหินแข็ง โดยชั้นหินอ่อนคือหินตะกอนเนื้อประสมวางตัวอยู่ด้านล่าง และชั้นหินปูนวางตัวอยู่ด้านบน ชั้นหินตะกอนเนื้อประสมหนาประมาณ 80 เมตร และชุดชั้นหินปูนหนาประมาณ 120 เมตร มีรอยแตก (Joints) 3 ชุด (Slope No. 1 และ Slope No. 2 ในภาคผนวก ก)

การพังทลายเป็นแบบ Secondary toppling ของชั้นหินปูน ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการถล่มของมวลหินตะกอนในบริเวณฐานซึ่งรองรับชั้นหินปูนที่มีรอยแตกบางชุดอยู่ในแนวค้ำ และมีมุมการวางตัว เกือบขนานกับหน้าความลาดเอียง (Slope face) และยังมีสาเหตุมาจากปริมาณน้ำในมวลหินตะกอน รวมทั้งแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากการระเบิดบริเวณเหมืองหินที่อยู่ด้านตรงข้าม

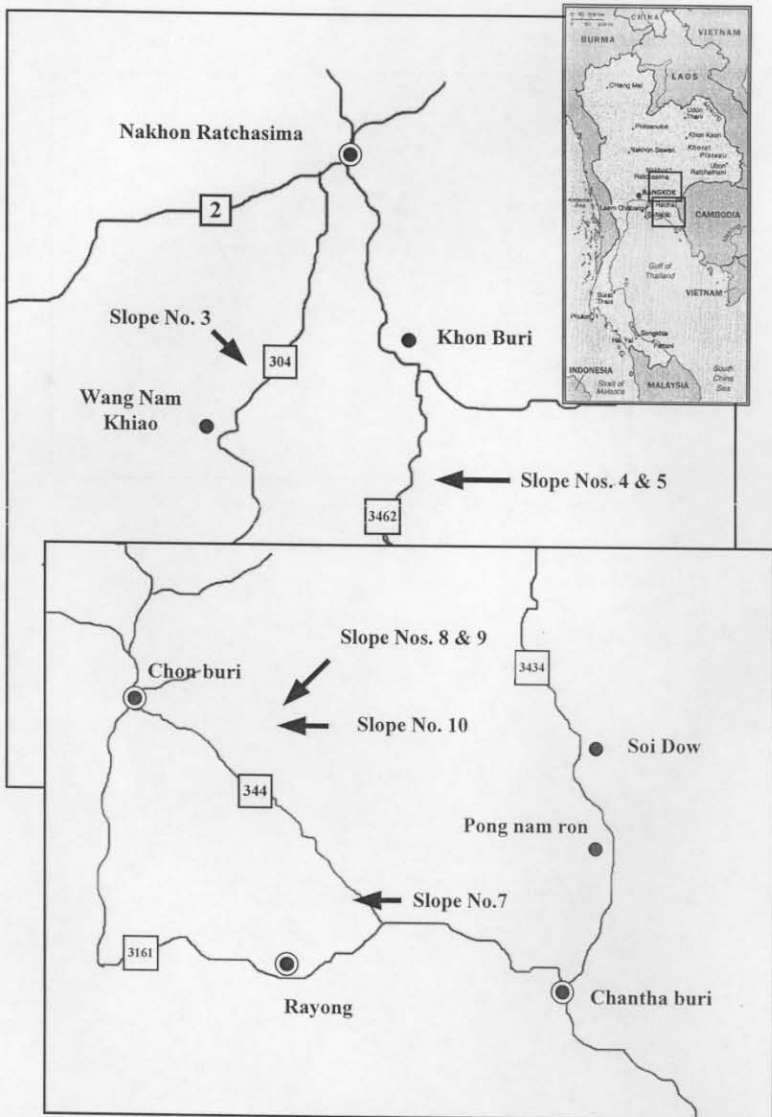
2.1.2 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณภาคตะวันออก

ในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทยได้ทำการสำรวจความลาดเอียง 8 แห่ง (รูปที่ 2.2) โดยรายละเอียดของลักษณะทางวิศวกรรมธรณีได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก (Slope No. 3 ถึง Slope No. 10) ลักษณะของมวลหินที่พบใน 8 แห่งนี้สามารถจำแนกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1) ชั้นหินอ่อนสลับชั้นหินแข็ง (Hard-soft rock interbedded) พบที่บริเวณอำเภอบึงกรวย จังหวัดนครราชสีมา และบางส่วนของจังหวัดสระแก้วซึ่งเป็นขอบของชุดหินโคราช (Slope Nos. 3, 4 และ 5 ในภาคผนวก ก) ประกอบด้วยหินทรายสลับกับหินดินดาน แต่ละชั้นมีความหนาเฉลี่ย 1 เมตร มีรอยแตกโดยเฉลี่ย 3 ชุด การพังทลายเป็นแบบ Secondary toppling โดยมีสาเหตุมาจากการผุกร่อน (Weathering) และการเคลื่อนตัวของชั้นหินที่อ่อนกว่าโดยน้ำและแรงโน้มถ่วงซึ่งเป็นสองปัจจัยหลัก



รูปที่ 2.1 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินบริเวณเขาเจ้าลายใหญ่ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินในกลุ่มภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่นำมาศึกษา

2) มวลหินแบบมีรอยแตกมาก (Heavily jointed rock mass) พบที่จังหวัดปราจีนบุรี และจันทบุรี (Slope No. 6 และ Slope No. 7 ในภาคผนวก ก) ซึ่งประกอบด้วยหินดินดานเนื้อประสม มีรอยแตกมาก ระยะห่างระหว่างรอยแตกน้อย มีปริมาณน้ำมาก และมีค่ากำลังรับแรงอัดประมาณ 5-25 MPa (ประเมินโดยใช้วิธีของ ISRM) มีการพังทลายในหลายรูปแบบ เช่น บริเวณบ้านโป่งน้ำร้อน จังหวัดปราจีนบุรี การพังทลายเป็นแบบแผ่นระนาบ (Plane failure) ผสมกับแบบพลิกคว่ำ (Toppling failure) และในบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 92-93 ของทางหลวงหมายเลข 344 ในเขตจังหวัดจันทบุรี การพังทลายเป็นแบบแผ่นระนาบผสมกับแบบรูปไหลโค้ง (Circular failure) โดยทั้งสองมีสาเหตุการพังทลายเนื่องมาจากความสูงและมุมเทของหน้าความลาดเอียงที่มากเกินไป

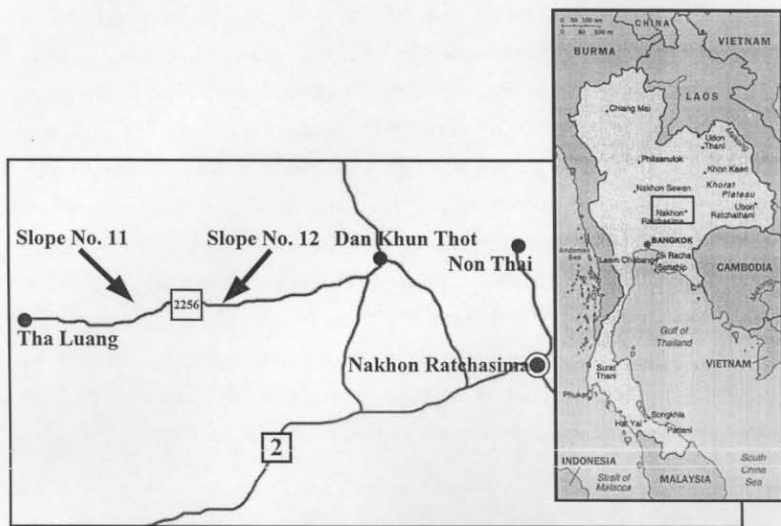
3) มวลหินแบบมวลก้อน (Blocky rock mass) พบที่บริเวณ จังหวัด ชลบุรี (Slope Nos. 8, 9 และ 10 ในภาคผนวก ก) ประกอบด้วยหิน 2 ชนิด คือ หินปูน ได้แก่ ความลาดเอียงมวลหินที่เขaperแกะสลัก และที่เหมืองหินปูนบริเวณใกล้เคียงกัน ทั้งสองแห่งมีรอยแตกในมวลหินโดยเฉลี่ย 3 ชุด มีเสถียรภาพดี หินชนิดที่สองคือหินกึ่งดินดาน (Slaty-Shale) ซึ่งอยู่ในบริเวณเหมืองหินเก่า มวลหินมีรอยแตก 3 ชุด มีระยะห่างระหว่างรอยแตกน้อย มีปริมาณน้ำมาก และการพังทลายเป็นแบบพลิกคว่ำ

2.1.3 ความลาดเอียงของเหมืองหินปูนเขาสมโภชน์และบนทางหลวงหมายเลข 2256

เหมืองหินปูนเขาสมโภชน์และความลาดเอียงบนทางหลวงหมายเลข 2256 อยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี (รูปที่ 2.3) แสดงรายละเอียดของลักษณะทางวิศวกรรมธรณีไว้ในภาคผนวก ก (Slope No. 11 และ Slope No. 12) โดยลักษณะมวลหินสามารถจำแนกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1) มวลหินแบบมวลก้อน พบที่เหมืองหินปูนเขาสมโภชน์ (Slope No. 11 ในภาคผนวก ก) มีจำนวนรอยแตก 3 ชุด มีระยะห่างของรอยแตกโดยเฉลี่ย 0.5-0.8 เมตร มีระยะเปิดเศษมาก เนื่องจากแรงระเบิด และแบ่งย่อยออกเป็น 3 หน้าความลาดเอียง โดยมีลักษณะการพังทลายแบบแผ่นระนาบและแบบพลิกคว่ำบนหน้าความลาดเอียงทิศตะวันตกและตะวันออกตามลำดับ

2) มวลหินแบบชั้นหินอ่อนสลับชั้นหินแข็ง (Slope No. 13 ในภาคผนวก ก) พบที่บริเวณหลักกิโลเมตร ที่ 67-68 ทางด้านทิศเหนือของทางหลวงหมายเลข 2256 ประกอบด้วยชั้นหินทรายสลับกับชั้นหินดินดาน ทั้งสองชั้นมีความหนาเฉลี่ย 0.2 ถึง 1 เมตร มีจำนวนรอยแตก 3 ชุด มีลักษณะการพังทลายแบบ Secondary toppling อันเนื่องมาจากการผุกร่อนและการเคลื่อนตัวของชั้นหินดินดาน



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาในกลุ่มเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าและทางหลวงหมายเลข 2256 อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

2.1.4 ความลาดเอียงมวลหินบนทางหลวงหมายเลข 2 บริเวณเขื่อนลำตะคองและจังหวัดสระบุรี บนทางหลวงหมายเลข 2 ในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดสระบุรีได้ทำการสำรวจความลาดเอียงจำนวน 5 แห่ง (รูปที่ 2.4) โดยมีรายละเอียดของลักษณะทางวิศวกรรมแสดงไว้ในภาคผนวก ก (Slope No. 13 และ Slope No. 17) มวลหินที่พบในห้าแห่งนี้สามารถจำแนกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1) มวลหินแบบชั้นหินอ่อนสลับกับชั้นหินแข็ง พบบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 196 และ 194 ซึ่งอยู่ในบริเวณเขื่อนลำตะคอง (Slope No. 13 และ Slope No. 14 ในภาคผนวก ก) ชั้นหินอ่อนคือ หินดินดานซึ่งไม่สามารถวัดค่าการวางตัวและมุมเทของรอยแตกได้ มีความหนาโดยเฉลี่ยประมาณ 0.1 ถึง 0.7 เมตร และชั้นหินแข็ง คือ หินทราย ที่มีความหนาโดยเฉลี่ย 0.3 ถึง 1 เมตร มีรอยแตก 3 ชุด มีปริมาณน้ำมากโดยเฉพาะในฤดูฝนและมีลักษณะการพังทลายแบบ Secondary toppling และ แบบรูปปลี้มในมวลหินทราย

2) มวลหินแบบมวลหนา (Massive rock) พบที่ช่วงกิโลเมตรที่ 136 ถึง 137 (Slope No. 15 และ Slope No. 16 ในภาคผนวก ก) เป็นมวลหินปูนที่มีรอยแตก 3 ชุด มีระยะห่างของรอยแตก i ถึง 1.5 เมตร มีระยะเปิดแยกกว้าง มีความขรุขระสูง และรอยแตกมีความต่อเนื่องต่ำ จึงทำให้ความลาดเอียงมีเสถียรภาพค่อนข้างดี

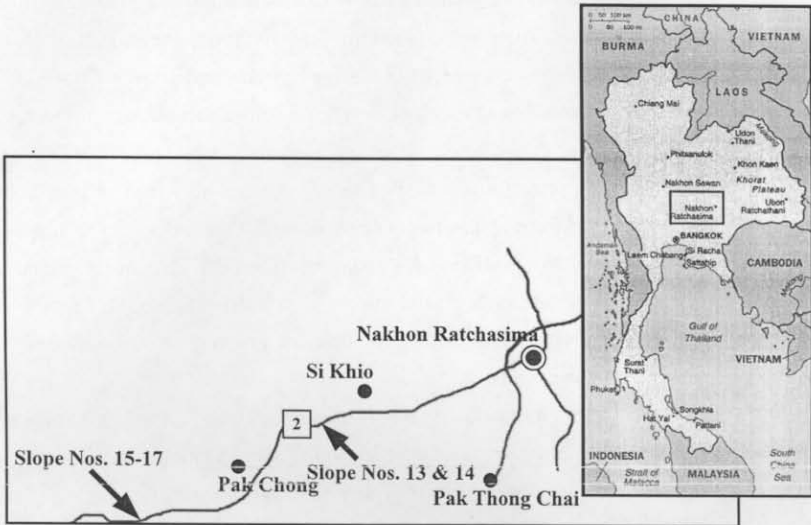
3) มวลหินแบบแผ่นระนาบ (Bedded rock) พบระหว่างกิโลเมตรที่ 134-133 (Slope No. 17 ในภาคผนวก ก) เป็นมวลหินกึ่งดินดานที่มีรอยแตก 3 ชุด รอยแตกมีความต่อเนื่องสูง สัมประสิทธิ์ความขรุขระต่ำ และมีดินเหนียวแทรกในรอยแตก การพังทลายเป็นแบบแผ่นระนาบแต่เกิดเป็นบางจุดเท่านั้นเนื่องจากหน้าของความลาดเอียงปรับเข้าสู่มุมที่ระดับสมดุล

2.1.5 เหมืองแร่ Barite จังหวัดเลย ของบริษัท PANDS Barite group

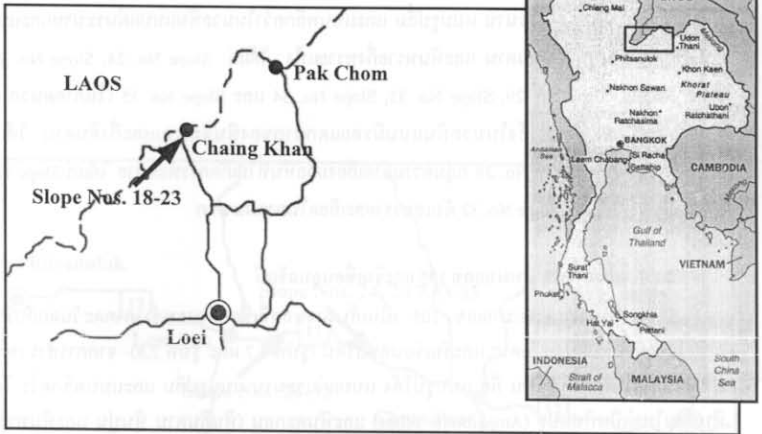
เหมืองแร่ Barite แห่งนี้อยู่ในเขตพื้นที่อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ได้ทำการสำรวจความลาดเอียงจำนวน 6 แห่ง (รูปที่ 2.5) โดยมีรายละเอียดของลักษณะทางวิศวกรรมแสดงไว้ในภาคผนวก ก (Slope No. 18 และ Slope No. 23) ความลาดเอียงที่ศึกษาสามารถจำแนกออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) ความลาดเอียงของ Footwall ประกอบไปด้วยมวลหิน 2 ลักษณะ คือ มวลหินแบบมวลหนา ได้แก่ มวลหินปูน มีจากรอยแตกโดยเฉลี่ย 3 ชุด มีระยะห่างระหว่างรอยแตกของแต่ละชุดกว้าง ส่วนมวลหินดินดาน เป็นมวลหินแบบมีรอยแตกมาก มีจำนวนจากรอยแตกมากกว่า 3 ชุดและมีระยะห่างรอยแตกต่ำกว่า 10 เซนติเมตร

2) ความลาดเอียงของ Hanging wall ลักษณะของมวลหินจะคล้ายกับส่วน Footwall ลักษณะการพังทลายมี 3 รูปแบบประกอบด้วย แบบแผ่นระนาบ แบบรูปปลี้ม และแบบพลิกคว่ำ



รูปที่ 2.4 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาในกลุ่มบริเวณทางหลวงหมายเลข 2
จังหวัดนครราชสีมา ถึง จังหวัดสระบุรี



รูปที่ 2.5 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาของกลุ่มเหมืองแร่ Barite อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย

เขตที่มีแร่หายากประเภท 1.2

พื้นที่ที่มีแร่หายากประเภท 1.2 นี้จะพบที่จังหวัดเลยและจังหวัดหนองบัวลำภู โดยพื้นที่จังหวัดเลยจะพบที่อำเภอเชียงคานและอำเภอวังสะพุง ส่วนพื้นที่จังหวัดหนองบัวลำภูจะพบที่อำเภอโนนสังและอำเภอโนนสะอาด นอกจากนี้ยังมีพื้นที่จังหวัดขอนแก่นและจังหวัดอุดรธานีที่มีแร่หายากประเภท 1.2 อยู่ด้วย

แร่หายากประเภท 1.2 นี้เป็นแร่ที่มีค่าสูงและมีปริมาณสำรองที่มากที่สุดในประเทศไทย โดยพบที่จังหวัดเลยและจังหวัดหนองบัวลำภู ซึ่งพื้นที่จังหวัดเลยมีปริมาณสำรองที่มากกว่าจังหวัดหนองบัวลำภูถึง 10 เท่า

แร่หายากประเภท 1.2 นี้มีประโยชน์ในการผลิตสารกึ่งตัวนำและวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมเทคโนโลยีสารสนเทศและอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมรถยนต์ไฟฟ้า

ประเทศไทยมีปริมาณสำรองแร่หายากประเภท 1.2 ที่เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศได้ประมาณ 10 ปี แต่หากมีการส่งออกแร่หายากประเภท 1.2 ไปยังต่างประเทศแล้ว ปริมาณสำรองจะหมดลงภายในเวลาอันสั้น

ดังนั้น การอนุรักษ์และบริหารจัดการแร่หายากประเภท 1.2 ในประเทศไทย就显得尤为重要 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่จังหวัดเลยและจังหวัดหนองบัวลำภู

2.1.6 ความลาดเอียงบนทางหลวงหมายเลข 12

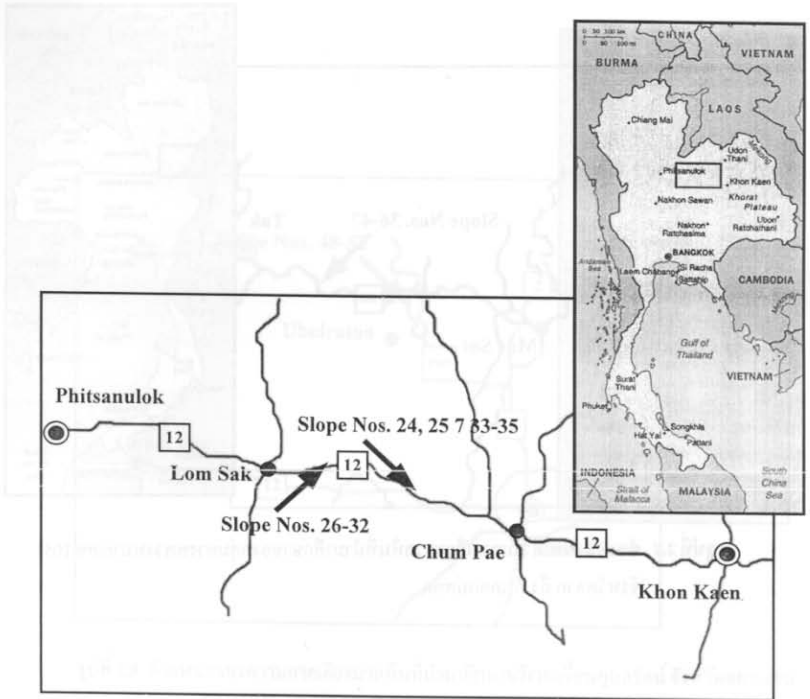
ทางหลวงหมายเลข 12 เป็นเส้นทางหลักที่เชื่อมต่อระหว่างภาคตะวันออกเฉียงเหนือกับภาคกลาง โดยอยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดขอนแก่นกับจังหวัดเพชรบูรณ์ (รูปที่ 2.6) การสำรวจพบการพังทลายในหลายรูปแบบ คือ แบบรูปโค้ง แบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม และแบบพลิกคว่ำ โดยพบการพังทลายแบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม และแบบพลิกคว่ำในมวลหินแบบแผ่นระนาบและแบบมวลก้อนของหินปูน หินดินดาน และหินทรายกึ่งทรายแป้ง ได้แก่ Slope No. 24, Slope No. 25, Slope No. 26, Slope No. 29, Slope No. 33, Slope No. 34 และ Slope No. 35 (ในภาคผนวก ก) พบการพังทลายแบบรูปโค้งในมวลหินแบบมีรอยแตกมากของหินดินดานและกึ่งดินดาน ได้แก่ Slope No. 27 และ Slope No. 28 กลุ่มความลาดเอียงมวลหินที่ไม่เกิดการพังทลาย ได้แก่ Slope No. 30, Slope No. 31 และ Slope No. 32 ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก

2.1.7 เส้นทางหลวงหมายเลข 105 และริมเขื่อนอุบลรัตน์

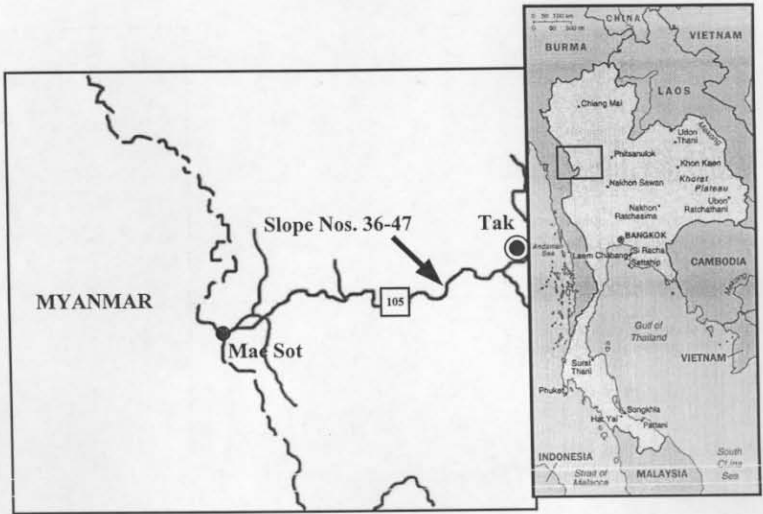
ทางหลวงหมายเลข 105 เป็นเส้นทางหลักที่เชื่อมต่อระหว่างภาคตะวันออกเฉียงเหนือกับภาคกลาง โดยอยู่ในพื้นที่จังหวัดตาก และริมเขื่อนอุบลรัตน์ (รูปที่ 2.7 และ รูปที่ 2.8) จากการสำรวจพบการพังทลายในหลายรูปแบบ คือ แบบรูปโค้ง แบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม และแบบพลิกคว่ำ โดยหินส่วนใหญ่เป็นหินแปร (Amphibolite schist) และหินตะกอน (หินดินดาน หินปูน และหินทราย) โดยพบการพังทลายแบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม และแบบพลิกคว่ำที่ Slope No. 36, Slope No. 37, Slope No. 40, Slope No. 42, Slope No. 43, Slope No. 44 และสำหรับ Slope No. 45, Slope No. 47, Slope No. 48 และ Slope No. 50 พบการพังทลายแบบรูปโค้งในมวลหินดินดานที่มีรอยแตกมากของมวลหินดินดาน และมวลหินที่มีความสึกกร่อนสูง ได้แก่ Slope No. 38 และ Slope No. 41 กลุ่มความลาดเอียงมวลหินที่ไม่เกิดการพังทลาย ได้แก่ Slope No. 39, Slope No. 46, Slope No. 49, Slope No. 51 และ Slope No. 52 ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก

2.2 การทบทวนกรณีศึกษา

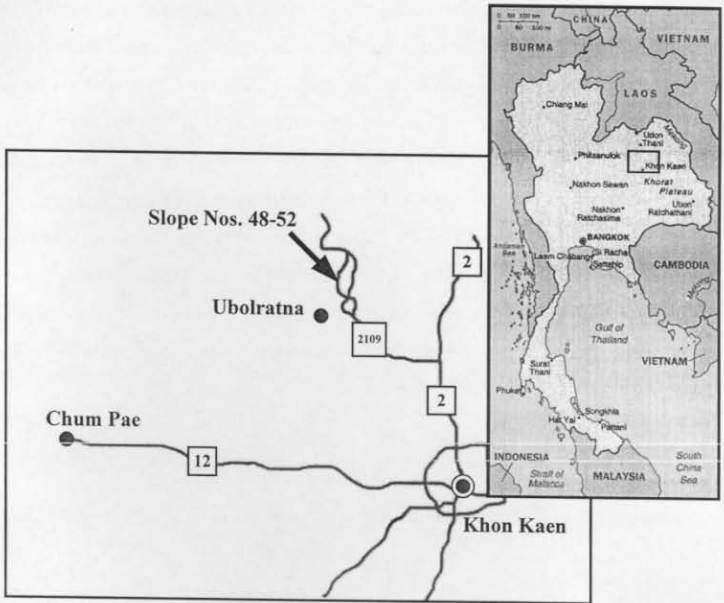
การทบทวนกรณีศึกษาของงานวิจัยมีจุดประสงค์หลักคือ นำข้อมูลจากกรณีศึกษาไปใช้เปรียบเทียบกับกรณีประเมินจากระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์ความแตกต่าง ข้อมูลที่ได้มาจากรายงานที่อยู่ในวารสารและรายงานการประชุมทางวิชาการด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิคและวิศวกรรมโยธา ตัวอย่างวารสาร เช่น Rock Mechanics and Rock Engineering, Rock Mechanics and Mining Sciences, Geological Engineering and Geotechnical Engineering, Engineering Geology และตัวอย่างรายงานการประชุม เช่น Regional Symposium on Sedimentary Rock Engineering, International Symposium on Geotechnical Stability in Surface Mining, South Africa, Mining Latin America/Minerla Latinoamericana conference, US Symposium on Rock Mechanics โดยข้อมูลส่วนใหญ่ (ร้อยละ 80) ได้มาจากรายงานการประชุมทางวิชาการ



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาของกลุ่มทางหลวงหมายเลข 12 อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ถึง อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์



รูปที่ 2.7 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาของกลุ่มทางหลวงหมายเลข 105 จังหวัดตาก ถึง อำเภอแม่สอด



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น

จากบทความทั้งหมดกว่า 200 บทความ พบว่ามีเพียง 1 ใน 4 ส่วน คือ ประมาณ 55 บทความที่สามารถนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลได้ บทความส่วนใหญ่จะนำเสนอข้อมูลที่จำเป็นไม่ครบถ้วนจึงนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลไม่ได้ เกณฑ์การคัดเลือกบทความคือ บทความจะต้องให้ข้อมูลในส่วนที่สำคัญ เช่น ค่าความสูงของความลาดเอียงมวลหิน มุมเทของหน้าความลาดเอียง (Slope face angle) และการนำไปใช้กับงานอะไร ลักษณะการพังทลายหรือว่าปัญหาที่พบ จำนวนรอยแตก (Number of joints set) คุณลักษณะของรอยแตก เช่น การวางตัวของรอยแตก (Joints orientation) มุมเทของรอยแตก (Joints dip angle) ระยะห่างรอยแตก (Joints spacing) ระยะเปิดเขยของรอยแตก (Joints aperture) วัสดุแทรกในรอยแตก (Joints infilling) ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของรอยแตก (Joint Roughness Coefficient, JRC) ค่ามุมเสียดทานของหินหรือของรอยแตก (Friction angle หรือ Internal friction angle) ค่าความเค้นยึดติดของผิวรอยแตก (Joints cohesion) ค่าความต่อเนื่องของรอยแตก (Joints persistence ระดับของน้ำบาดาล (Groundwater level) รายละเอียดของข้อมูลทั้ง 55 บทความที่ได้คัดเลือกมาได้นำเสนอใน ภาคผนวก ข

บทที่ 3

การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องทุกประเด็นที่เกี่ยวกับการสัมภาษณ์ บันทึกคำตอบ และประมวลผลจากผู้เชี่ยวชาญ (Prof. Jaak J.K. Daemen) ซึ่งสามารถสรุปได้เป็น 7 หัวข้อ คือ 1) ขอบเขตและข้อจำกัดขององค์ความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ 2) แนวคิดในการพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ 3) ปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญนำมาพิจารณาความลาดเอียงมวลหิน 4) แนวคิดในการจัดกลุ่มข้อมูล 5) การจำแนกลักษณะธรณีวิทยาของมวลหินและประเมินข้อมูลเบื้องต้น 6) วิธีการประเมินเสถียรภาพของผู้เชี่ยวชาญ และ 7) กฎเกณฑ์การออกแบบการค้ำยันของผู้เชี่ยวชาญ

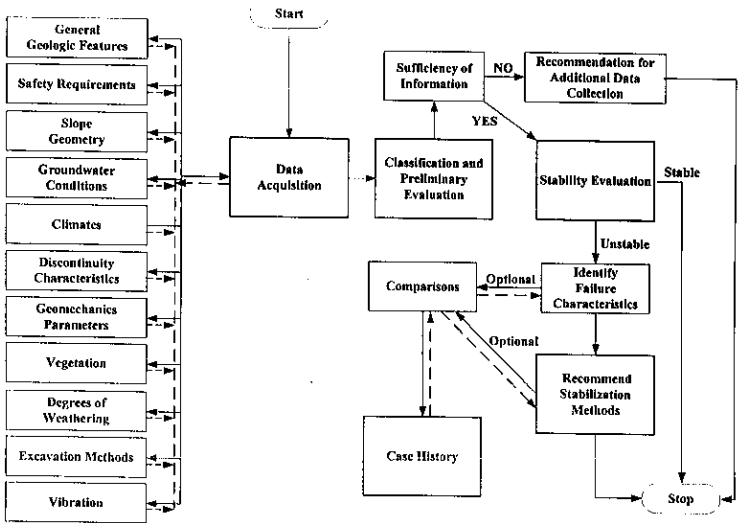
3.1 ขอบเขตและข้อจำกัดขององค์ความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ

ผู้เชี่ยวชาญจำแนกลักษณะทางธรณีวิทยาของมวลหินบนหน้าลาดเอียงออกเป็น 6 ประเภท คือ 1) มวลหินแบบมวลหนา (Massive rock) 2) มวลหินแบบก้อน (Blocky rock) 3) มวลหินแบบแผ่น (Bedded rock) 4) มวลหินแบบมีรอยแตกมาก (Heavily jointed rock) 5) มวลหินแบบมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ (Soft rock) และ 6) ชั้นหินแบบอ่อนสลับแข็ง (Hard-soft interbedded rock)

การประเมินและออกแบบความลาดเอียงมวลหินจะพิจารณาเฉพาะที่เป็นมวลหินเท่านั้น และความลาดเอียงจะเป็นแบบระดับเดียว (Single bench) มีการพิจารณารูปแบบการพังทลาย 4 ลักษณะ คือ เมารูปโค้ง (Circular failure) แบบแผ่นระนาบ (Plane failure) เมารูปสามเหลี่ยม (Wedge failure) และแบบพลิกคว่ำ (Toppling failure) ดังรูปที่ 1.2 ในบทที่ 1 การพิจารณาจะไม่ครอบคลุมความลาดเอียงมวลดิน (Soil slope) และความลาดเอียงที่เกิดจากการนำดินหรือหิน ไปกองถมกัน (Soil or rock fill)

3.2 แนวคิดในการพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์

รูปที่ 3.1 แสดงเครือข่ายแนวคิดโดยทั่วไปของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ที่สร้างเป็นความสัมพันธ์ของ 4 องค์ประกอบหลัก คือ 1) ส่วนรับข้อมูล (Data acquisition) 2) ส่วนการจำแนกลักษณะความลาดเอียงมวลหินและประเมินข้อมูลเบื้องต้น (Classifications and preliminary evaluation) 3) ส่วนประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน (Stability evaluation) และ 4) เกณฑ์การออกแบบการค้ำยันของผู้เชี่ยวชาญ (Recommended stabilization methods) ส่วนประกอบเหล่านี้ได้นำมาจัดเรียงอย่างเป็นระบบเพื่อนำข้อมูลมาประเมินในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ทราบคำตอบโดยจะอยู่ในรูปของความน่าจะเป็นของการพังทลาย และในรูปของการออกแบบการค้ำยัน



รูปที่ 3.1 เครื่องช่วยแนวคิดโดยทั่วไปของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ และออกแบบความลาดชันของมวลหิน

คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้นจะสื่อสารและโต้ตอบกับผู้ใช้เป็นภาษาอังกฤษ เพื่อให้ผู้ใช้ได้อย่างแพร่หลายในวงกว้าง ดังนั้นแนวคิดและการจำแนกปัจจัยต่าง ๆ ที่จะนำเสนอในบทนี้จึงมีภาษาอังกฤษกำกับไว้ในวงเล็บ เพื่อให้ผู้อ่านสามารถเชื่อมโยงคำศัพท์ที่ใช้ในการจำแนกกับคำศัพท์ที่ใช้ในซอฟต์แวร์ได้อย่างสะดวกและถูกต้อง

3.3 ปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญนำมาพิจารณาประเมินความลาดเอียงมวลหิน

ผู้เชี่ยวชาญจำแนกประเภทของข้อมูลหรือปัจจัยที่นำมาพิจารณาออกเป็น 3 กลุ่มหลักดังต่อไปนี้

3.3.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทั่วไปของความลาดเอียงมวลหิน ประกอบด้วย

- 1) ระดับน้ำบาดาลที่อยู่ในความลาดเอียงมวลหิน (Groundwater level)
- 2) สภาพภูมิอากาศ (Climate)
- 3) รูปทรงเรขาคณิตของความลาดเอียงมวลหิน ประกอบด้วย ความสูงและความยาว (Slope height and length)
- 4) การวางตัวของหน้าลาดเอียงมวลหิน ซึ่งประกอบด้วยทิศทางของมุมเท (Slope dip direction) ค่ามุมเท (Slope dip angle) และการวางตัวของหน้าลาดเอียงมวลหินส่วนบน (Upper Slope face direction และ Upper slope face angle)
- 5) รอยแยก (Tension crack) ในความลาดเอียงมวลหิน ซึ่งอาจจะอยู่บนหน้าลาดเอียงหรือส่วนบนของหน้าลาดเอียง
- 6) รูปร่างของความลาดเอียงมวลหิน (Slope shape)
- 7) ระดับความปลอดภัยที่ต้องการ (Safety requirements)
- 8) ชนิดของหิน (Rock types)
- 9) ลักษณะของต้นพืชที่ปกคลุมบนความลาดเอียงมวลหิน (Vegetation)
- 10) วิธีการขุดเจาะความลาดเอียงมวลหิน (Excavation methods)
- 11) ระดับของการผุกร่อน (Degree of weathering)
- 12) แรงสั่นสะเทือน (Vibration) ในบริเวณความลาดเอียงมวลหิน

3.3.2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของชุดรอยแตก ประกอบด้วย

- 1) จำนวนชุดรอยแตกในมวลหิน (Number of joint sets)
- 2) ทิศทางมุมเทของรอยแตก (Joints dip direction) และค่ามุมเทของรอยแตก (Joints dip angle)

- 3) ระยะเปิดแยกของรอยแตกแต่ละชุด (Joints aperture)
- 4) ระยะห่างระหว่างรอยแตกแต่ละชุด (Joints spacing)
- 5) ความต่อเนื่องของรอยแตกแต่ละชุด (Joints persistence)
- 6) วัสดุที่แทรกในรอยแตกแต่ละชุด (Infilling)
- 7) สัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวรอยแตก (Joint roughness coefficient, JRC)

3.3.3 ข้อมูลทางกลศาสตร์ของมวลหิน ประกอบด้วย

- 1) กำลังรับแรงอัดของหิน (Uniaxial compressive strength)
- 2) มุมเสียดทานพื้นฐาน (Basic friction angle) ของรอยแตกในชุดต่าง ๆ
- 3) ความหนาแน่นของหิน (Unit weight of rock)

3.4 แนวคิดในการจำแนกกลุ่มข้อมูล

กลุ่มข้อมูลหรือปัจจัยที่นำมาพิจารณาประเมินความลาดเอียงมวลหินจะถูกนำมาจำแนกแบ่งช่วงหรือแบ่งคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างเป็นระบบในแต่ละชุดของข้อมูลเพื่อแปลงลักษณะทางกายภาพ ทางธรณีวิทยา และทางกลศาสตร์ของปัจจัยต่าง ๆ ให้ออกมาในเชิงตัวเลขดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.4.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทั่วไปของความลาดเอียงมวลหิน

- 1) ระดับน้ำบาดาลที่พิจารณาในความลาดเอียงมวลหิน จำแนกเป็น 5 ระดับ คือ
 - (1) แห้งแบบสมบูรณ์ (Completely dry)
 - (2) ระดับน้ำบาดาลอยู่ที่ 25%
 - (3) ระดับน้ำบาดาลอยู่ที่ 50%
 - (4) ระดับน้ำบาดาลอยู่ที่ 75% และ
 - (5) ระดับน้ำบาดาลอยู่ที่ 100% (Fully saturated) ของความสูงความลาดเอียงมวลหิน
- 2) สภาพภูมิอากาศ จำแนกเป็น 2 ลักษณะ คือ
 - (1) ภูมิอากาศแบบแห้งแล้ง (Arid) และ
 - (2) ภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Tropical)
- 3) รูปทรงเรขาคณิตของความลาดเอียงมวลหิน ประกอบด้วย ความยาวและความสูง ซึ่งช่วงความยาวกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 5 m และไม่เกิน 200 m ส่วนความสูงจะจำแนกเป็น 6 ช่วงคือ

- (1) ช่วงความสูงน้อยกว่า 7 m
 - (2) 7-10 m
 - (3) 10-15 m
 - (4) 15-30 m และ
 - (5) 30 - 50 m
 - (6) ช่วงความสูงมากกว่า 50 m
- 4) ทิศทางมุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน จะพิจารณาทุกหนึ่งองศาในระบบ Azimuth คือ ตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา ค่ามุมเทของหน้าความลาดเอียง พิจารณาทุกหนึ่งองศา ตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา ทิศทางมุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหินส่วนบนกำหนดให้เป็น ค่าเดียวกับค่าที่มุมเทของหน้าลาดเอียง และค่ามุมเทของลาดเอียงมวลหินส่วนบน จะพิจารณาทุกหนึ่งองศาตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา
- 5) รอยแยกในความลาดเอียงมวลหิน จะมีสองกรณีโดยรอยแยกนี้จะอยู่ในแนวตั้ง และวางตัวขนานกับหน้าลาดเอียง คือ
- (1) มีรอยแยก และ
 - (2) ไม่มีรอยแยก
- 6) รูปร่างของความลาดเอียงมวลหิน จำแนกเป็น 3 ลักษณะ คือ
- (1) ลักษณะ โ้โค้งเข้า (Concave)
 - (2) ลักษณะ เส้นตรง (Straight) และ
 - (3) ลักษณะ โ้โค้งออก (Convex)
- 7) ระดับความปลอดภัยที่ต้องการ จำแนกเป็น 4 ระดับจากสูงไปหาต่ำ คือ
- ระดับ A คือ ระดับความปลอดภัยสูงสุดเมื่อมีโครงสร้างที่สำคัญมากอยู่ใกล้กับ ความลาดเอียงมวลหิน เช่น สถานที่สร้างโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ สถานีรถไฟ สถานีกีฬา และที่อยู่อาศัย
- ระดับ B คือ ระดับความปลอดภัยที่ต้องการเมื่อมีสิ่งปลูกสร้างที่สำคัญอยู่ใกล้กับ ความลาดเอียงมวลหิน เช่น โรงไฟฟ้า ทางหลวงสายหลัก ทางรถไฟ อ่างเก็บน้ำ ขนาดใหญ่ ฐานรากของเขื่อนและสะพาน
- ระดับ C คือ ระดับความปลอดภัยทั่วไปที่มีสิ่งปลูกสร้างทางวิศวกรรมอยู่ใกล้กับ ความลาดเอียงมวลหิน เช่น ถนนขนาดเล็ก อ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก

ระดับ D คือ ระดับความปลอดภัยต่ำสุดเมื่อความลาดเอียงมวลหินอยู่ในเหมืองเปิด
เหมืองชั่วคราว ถนนในเหมือง เป็นต้น

- 8) ชนิดของหิน ซึ่งปัจจัยนี้จะนำมาประเมินค่ากำลังแรงอัดของหินในกรณีที่ไม่มี
ข้อมูลเกี่ยวกับค่าเหล่านี้
- 9) ลักษณะและขนาดของต้นพืชที่ปกคลุมบนความลาดเอียงมวลหิน แบ่งเป็น 4 กรณี คือ
- (1) กรณีต้น ไม้ที่ปกคลุมเป็น ไม้ที่มีอายุหลายฤดูกาล (Full grown trees)
 - (2) กรณีมีต้นหญ้าและต้น ไม้ขนาดเล็กปกคลุม (Grass with small trees)
 - (3) กรณีมีต้นหญ้าปกคลุมอย่างเดียว (Only grass) และ
 - (4) กรณีไม่มีต้นพืชปกคลุม (No vegetation)
- 10) วิธีการขุดเจาะความลาดเอียงมวลหิน จำแนกเป็น 3 กรณี คือ
- (1) กรณีใช้รถคัก (Backhoe) ในการขุด
 - (2) กรณีใช้การเจาะระเบิด โดยมีการเจาะทำแนวการระเบิดไว้ก่อน (Blasting with pre-splitting) และ
 - (3) กรณีใช้การเจาะระเบิด โดยไม่มีการเจาะวางแนวการระเบิดไว้ก่อน (Blasting without pre-splitting)
- 11) การสุกร่อน จำแนกเป็น 5 ระดับ โดยอิงตามกฎเกณฑ์ของ International society of
rock mechanics (ISRM Brown, 1981) คือ
- (1) เนื้อหินที่ยังสด ไม่มีการสุกร่อนเลย (Fresh rock)
 - (2) เนื้อหินที่มีการสุกร่อนเล็กน้อย (Slightly weathered)
 - (3) เนื้อหินที่สุกร่อนปานกลาง (Moderately weathered)
 - (4) เนื้อหินที่สุกร่อนมาก (Highly weathered) และ
 - (5) เนื้อหินที่มีการสุกร่อนอย่างสมบูรณ์ (Completely weathered)
- 12) แรงสั่นสะเทือน จำแนกเป็น 3 กรณี คือ
- (1) กรณีที่ความลาดเอียงมวลหินตั้งอยู่ใกล้กับบริเวณที่มีการระเบิด หรือบริเวณ
พื้นที่เกิดแผ่นดินไหว (Near blasting or earthquake)
 - (2) กรณีที่ความลาดเอียงมวลหินตั้งอยู่ใกล้กับทางหลวงสายหลัก (Near main
highway) และ

- (3) กรณีที่ความลาดเอียงมวลหินตั้งอยู่ในบริเวณที่ไม่มีแรงสั่นสะเทือน (No vibration)

3.4.2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของชุดรอยแตก เป็นข้อมูลที่สำคัญที่ผู้เชี่ยวชาญนำมาพิจารณาในการประเมินเสถียรภาพ ประกอบด้วย

- 1) จำนวนชุดรอยแตกในมวลหิน จำแนกเป็น 4 กรณี คือ
 - (1) กรณีรอยแตก 1 ชุด
 - (2) กรณีรอยแตก 2 ชุด
 - (3) กรณีรอยแตก 3 ชุด และ
 - (4) กรณีรอยแตก 4 ชุด

- 2) การวางตัวของรอยแตก ทิศทางมุมเทจะพิจารณาทุกหนึ่งองศาตามระบบ Azimuth ตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา ค่ามุมเทจะพิจารณาทุกหนึ่งองศาตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา โดยค่าเหล่านี้จะนำมาพิจารณาในการประเมินเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหิน สำหรับกรณีที่หินเป็นหินแข็งปานกลางจนถึงหินแข็ง

- 3) ระยะเปิดแยกของรอยแตกในมวลหิน จำแนกเป็น 6 ช่วง คือ
 - (1) ระยะเปิดน้อยกว่า 0.1 mm
 - (2) 0.1-0.25 mm
 - (3) 0.25-0.5 mm
 - (4) 0.5-2.5 mm
 - (5) 2.5-10 mm และ
 - (6) ระยะเปิดแยกมากกว่า 10 mm โดยอ้างอิงตามข้อเสนอแนะของ ISRM (Brown, 1981)

- 4) ระยะห่างระหว่างรอยแตก จำแนกเป็น 7 ช่วง ซึ่งอ้างอิงตามข้อเสนอแนะของ ISRM (Brown, 1981) คือ
 - (1) ระยะน้อยกว่า 20 mm
 - (2) 20-60 mm
 - (3) 60-200 mm
 - (4) 200-600 mm

- (5) 600-2,000 mm
- (6) 2,000-6,000 mm และ
- (7) ระยะเวลาที่มากกว่า 6,000 mm
- 5) ความต่อเนื่องโดยเฉลี่ยของรอยแตกในแต่ละชุด ซึ่งกำหนดโดยข้อมูลจากงานภาคสนาม จำแนกเป็น 5 ช่วง คือ
- (1) น้อยกว่า 20%
- (2) 20-40%
- (3) 40-60%
- (4) 60-80% และ
- (5) ช่วงความต่อเนื่อง 80-100%
- 6) วัสดุแทรกในรอยแตกแต่ละชุด จำแนกเป็น 4 ชนิด คือ
- (1) วัสดุแทรกที่เป็นแร่ประกอบหินปูน (Calcite)
- (2) ไม่มีวัสดุแทรก (Nothing)
- (3) วัสดุแทรกที่เป็นทรายหรือทรายแป้ง (Sand or silt) และ
- (4) วัสดุแทรกที่เป็นดินเหนียว (Clay)
- 7) สัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวรอยแตก แบ่งได้เป็น 10 ช่วง ตามเลขดัชนีของ JRC ซึ่งกำหนดไว้โดย Hoek and Bray (1981) ซึ่งค่าเหล่านี้ได้มาจากเกณฑ์ของ Barton (1977) ที่นำมาเทียบกับข้อมูลภาคสนาม คือ
- (1) ช่วง 0-2
- (2) ช่วง 2-4
- (3) ช่วง 4-6
- (4) ช่วง 6-8
- (5) ช่วง 8-10
- (6) ช่วง 10-12
- (7) ช่วง 12-14
- (8) ช่วง 14-16
- (9) ช่วง 16-18 และ
- (10) ช่วง 18-20

3.4.3 กลุ่มข้อมูลทางกลศาสตร์ของมวลหิน

- 1) กำลังรับแรงอัดของหิน แบ่งได้เป็น 6 ช่วงตามเกณฑ์ของ ISRM (Brown, 1981) คือ
 - (1) R0 มีค่าน้อยกว่า 1 MPa
 - (2) R1 มีค่า 1-5 MPa
 - (3) R2 มีค่า 5-25 MPa
 - (4) R3 มีค่า 25-50 MPa
 - (5) R4 มีค่า 50-100 MPa
 - (6) R5 มีค่า 100-250 MPa และ
 - (7) R6 มีค่ามากกว่า 250 MPa

- 2) มุมเสียดทานพื้นฐาน แบ่งออกเป็น 7 ช่วง คือ
 - (1) ช่วงน้อยกว่า 15 องศา
 - (2) ช่วง 15-20 องศา
 - (3) ช่วง 20-25 องศา
 - (4) ช่วง 25-30 องศา
 - (5) ช่วง 30-35 องศา
 - (6) ช่วง 35-40 องศา และ
 - (7) มากกว่า 40 องศา

- 3) ความหนาแน่นของหิน เป็นข้อมูลที่ช่วยในการประเมินเสถียรภาพและออกแบบการค้ำยัน และในกรณีที่ไม่มีทราบผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้เป็น 2.65 ton/m^3 ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของหินโดยทั่วไป

3.5 การจำแนกลักษณะธรณีวิทยาของมวลหินและประเมินข้อมูลเบื้องต้น

จุดประสงค์คือ เพื่อจำแนกลักษณะทางธรณีวิทยาและประเมินข้อมูลเบื้องต้น โดยจำแนกลักษณะทางธรณีวิทยาของความลาดเอียงมวลหินว่าเป็นรูปแบบใด และทำการตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูล จากนั้นทำการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้รับจะต้องไม่ขัดแย้งกันเอง เรียงลำดับความสำคัญของข้อมูลตามกรอบแนวความคิดของผู้เชี่ยวชาญ โดยจำแนกข้อมูลออกเป็นสองลักษณะคือ ข้อมูลปฐมภูมิหรือข้อมูลหลักที่ผู้เชี่ยวชาญจำเป็นต้องทราบ และข้อมูลทุติยภูมิหรือข้อมูลรองที่จะทราบหรือไม่ก็ได้ โดยขึ้นอยู่กับกรณีของปัญหาที่เข้ามา

3.5.1 การจำแนกลักษณะของมวลหินบนความลาดเอียง

มวลหินบนความลาดเอียงจะถูกจำแนกเป็น 6 ลักษณะ ในเชิงวิเคราะห์ของความลาดเอียง คือ

1) มวลหินแบบหนา คือ มวลหินที่ประกอบไปด้วยหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง R3 ถึง R6 มวลหินอาจจะเป็นแบบมวลก้อน มีจำนวนซุครอยแตกน้อย มีความต่อเนื่องต่ำ และไม่ค่อยมีทิศทางที่แน่นอนหรืออาจจะเป็นชั้นหนา เมื่อนำไปเทียบกับค่าความสูงของความลาดเอียงมวลหิน ซึ่งจะกำหนดด้วยความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ คือ $3 \times [\text{Average joints spacing}] \geq [\text{Slope height}]$ และสามารถมีลักษณะการพังทลายแบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม และแบบพลิกคว่ำ

2) มวลหินแบบก้อน คือ มวลหินที่ประกอบด้วยหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดในช่วง R3 ถึง R6 มีซุครอยแตกที่ชัดเจน มีความต่อเนื่องเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 80% มีจำนวนซุครอยแตกอย่างน้อยสามชุด และมีความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของระยะห่างโดยเฉลี่ยของซุครอยแตกเมื่อนำไปเทียบกับค่าความสูงของความลาดเอียงเท่ากับ $50 \times [\text{Average joints spacing}] \geq [\text{Slope height}]$ และสามารถมีลักษณะการพังทลายแบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม และแบบพลิกคว่ำ

3) มวลหินแบบแผ่น คือ มวลหินที่ประกอบไปด้วยหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดในช่วง R2 ถึง R6 มีซุครอยแตกที่มีความเด่นชัดอยู่หนึ่งชุด ซึ่งส่วนมากจะเป็นชุดของชั้นหิน (Bedding plane) และจะต้องมีความต่อเนื่องเฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 80% อาจจะมีจำนวนซุครอยแตกมากกว่าหนึ่งชุด แต่ถ้าในมวลหินมีรอยแตกชุดเดียวจะต้องมีระยะห่างระหว่างรอยแตกน้อยกว่า 30 cm และจะต้องนำไปเปรียบเทียบกับกรณีมวลหินแบบหนา สำหรับมวลหินที่มีซุครอยแตกมากกว่าหนึ่งชุดจะมีความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของระยะห่างของรอยแตกในชุดที่มากที่สุดเมื่อนำไปเทียบกับระยะห่างของซุครอยแตกที่น้อยที่สุด ดังนี้ $[\text{Maximum joints spacing}] > 5 [\text{Minimum joints spacing}]$ และจะมีลักษณะการพังทลายแบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม และแบบพลิกคว่ำ

4) มวลหินที่มีรอยแตกมาก คือ มวลหินที่ประกอบไปด้วยหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดในช่วง R2 ถึง R6 และมีจำนวนซุครอยแตกมากกว่าสองชุด มีความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของระยะห่างโดยเฉลี่ยของรอยแตกเมื่อนำไปเทียบกับค่าความสูงของความลาดเอียง คือ $50 \times [\text{Average joints spacing}] < [\text{Slope height}]$ และมีลักษณะการพังทลายแบบรูปโค้ง แบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม และแบบพลิกคว่ำ

5) มวลหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ คือ มวลหินที่ประกอบด้วยหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดในช่วง R0 ถึง R3 มีรอยแตกได้ตั้งแต่หนึ่งซุดขึ้นไป และมีลักษณะการพังทลายแบบรูปโค้ง

6) มวลหินแบบชั้นอ่อนสลับชั้นแข็ง คือ มวลหินที่ประกอบด้วยหินสองชนิดที่มีความแข็งแรงและความอ่อนต่างกันวางสลับชั้นกัน โดยชั้นหินที่แข็งจะมีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง R3 ถึง R6 ชั้นหินที่อ่อนกว่าจะมีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง R0 ถึง R2 และทั้งสองชั้นจะต้องมีความหนาโดยเฉลี่ยมากกว่า 30 cm

3.5.2 ถ้าดับชุดของข้อมูลและผู้เชี่ยวชาญนำมาพิจารณา

1) ข้อมูลปฐมภูมิ คือ ข้อมูลหลักที่ผู้เชี่ยวชาญจำเป็นต้องทราบในการนำไปใช้จำแนกลักษณะธรณีวิทยาของความลาดเอียง การประเมินเสถียรภาพ และการออกแบบการค้ำยัน โดยจำแนกข้อมูลเป็น 3 ชุด ตามลักษณะการพังทลาย คือ

(1) ชุดข้อมูลปฐมภูมิของการพังทลายแบบรูปโค้ง ได้แก่ ความลาดเอียงที่มีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่าหรือเท่ากับ R3 หรือเป็นมวลหินแบบที่มีรอยแตกมาก โดยมีข้อมูลผู้เชี่ยวชาญต้องทราบ คือ

- ความสูงของความลาดเอียงมวลหิน
- ค่ามุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน
- กำลังรับแรงอัดของหิน
- ระดับความปลอดภัยที่ต้องการ

(2) ชุดข้อมูลปฐมภูมิของการพังทลายเนื่องมาจากรอยแตก ได้แก่ ความลาดเอียงที่มวลหินมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า R2 และมีลักษณะทางธรณีวิทยาของมวลหินแบบหนา แบบมวลก้อน และแบบแผ่น โดยมีข้อมูลผู้เชี่ยวชาญต้องทราบ คือ

- ความสูงของความลาดเอียงมวลหิน
- ทิศทางมุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน
- ค่ามุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน
- จำนวนชุดของรอยแตก
- ทิศทางมุมเทของรอยแตกแต่ละชุด
- ค่ามุมเทของรอยแตกแต่ละชุด
- ระยะห่างระหว่างรอยแตกแต่ละชุด
- ระดับความปลอดภัยที่ต้องการ

(3) ชุดข้อมูลปฐมภูมิของการพังทลายที่เกิดกับมวลหินแบบชั้นหินอ่อนสลับกับชั้นหินแข็ง เป็นลักษณะของการพังทลายที่เกิดจากกระบวนการผุร่อน การพัฒนา (Transportation) ในชั้นหินที่อ่อน และรอยแตกในมวลหินแข็ง ซึ่งจะมีข้อมูลที่ใช้เป็นการประเมินเสถียรภาพและการออกแบบการค้ำยัน คือ

- ความสูงของความลาดเอียงมวลหิน
- ค่ามุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน
- ความหนาโดยเฉลี่ยของแต่ละชั้น
- กำลังรับแรงอัดของหิน
- ระดับความปลอดภัยที่ต้องการ

2) ข้อมูลทุติยภูมิ คือ ข้อมูลที่นำมาช่วยในการประเมินเสถียรภาพและออกแบบการค้ำยัน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญจะสามารถใช้วิจารณ์ญาณและประสบการณ์มาช่วยประเมินค่าเหล่านี้ ในกรณีที่ค่าเหล่านี้ไม่ได้เก็บมาจากการสำรวจภาคสนาม

(1) ลักษณะทางธรณีวิทยาของความลาดเอียงไม่จำเป็นต้องรู้ลักษณะทางธรณีวิทยาเริ่มต้นก็ได้ เนื่องจากผู้เชี่ยวชาญจะจำแนกลักษณะของความลาดเอียงมวลหินตามข้อมูลที่ได้รับ

(2) ระดับของน้ำบาดาลเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญต่อการประเมินเสถียรภาพ และในกรณีไม่ทราบระดับน้ำบาดาลผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้เป็นกรณีระดับอิมตัว (ระดับน้ำ 100%)

(3) สภาพภูมิอากาศจะต้องไม่ขัดแย้งกับระดับของน้ำบาดาล เช่น กรณีระดับน้ำบาดาลเป็นแบบอิมตัวแต่ลักษณะภูมิอากาศแบบแห้งแล้งจะเป็นข้อมูลที่ขัดแย้งกัน

(4) รอยแตกในความลาดเอียงมวลหิน ผู้เชี่ยวชาญจะไม่นำมาใช้ในการประเมินเสถียรภาพ เพราะในสภาวะความเป็นจริงส่วนใหญ่เป็นการขากที่จะพบร่องรอยแตก และถ้าพบก็ยากที่จะบอกได้ว่าลึกเท่าไร

(5) รูปร่างของความลาดเอียงมวลหินจะมีความสำคัญในการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน

(6) วัสดุแทรกในรอยแตกจะมีความสำคัญต่อการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน

(7) ความต่อเนื่องของรอยแตกจะมีความสำคัญในการจำแนกลักษณะและส่วนประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน

(8) สัมประสิทธิ์ความขรุขระมีความสำคัญในการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน

(9) ชนิดของหินจะนำไปใช้ในกรณีที่ไม่ทราบค่ากำลังรับแรงอัดของหินเพื่อสมมติค่ากำลังรับแรงอัดของหิน

(10) ความหนาแน่นของหินเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบการค้ำยัน

(11) ค่ามุมเสียดทานพื้นฐานมีความสำคัญในการประเมินเสถียรภาพ

(12) ลักษณะและขนาดค้ำยันพีซีทีปกคลุมจะนำไปช่วยในการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน โดยอ้างอิงถึงประวัติหรืออดีตในเชิงเสถียรภาพของความลาดเอียง

(13) วิธีการขุดเจาะ นำไปใช้ในส่วนของการประเมินเสถียรภาพ โดยจะมีการตรวจสอบข้อมูลการขุดเจาะว่าจะต้องไม่ขัดแย้งกับค่ากำลังรับแรงอัดของหิน เช่น วิธีการขุดเจาะด้วยรถขุดจะต้องใช้กับหินที่มีค่าความแข็งต่ำกว่า R3 หรือ ในกรณีที่ลักษณะของความลาดเอียงมวลหินเป็นแบบ Heavily jointed rock และการขุดเจาะด้วยวิธีการระเบิดจะต้องเป็นหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าหรือเท่ากับ R3

(14) การผุกร่อนจะนำไปใช้ประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน

(15) แรงสั่นสะเทือนจะนำไปใช้ในการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน

3.6 วิธีการประเมินเสถียรภาพของผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินมีจุดประสงค์เพื่อประเมินลักษณะของการพังทลายว่าอยู่ในรูปใด และจะต้องทำการแก้ไขหรือไม่และอย่างไร โดยมีกระบวนการพิจารณา 2 ขั้นตอน คือ

1) การตรวจสอบความเป็นไปได้สำหรับการพังทลาย (Possibility of failure) โดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงเรขาคณิตของรอยแตกแต่ละชุด (Kinematics analysis) ซึ่งจะใช้กับลักษณะของมวลหินที่การพังทลายเกิดมาจากรอยแตก และมีหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าหรือเท่ากับ R2 ได้แก่ กลุ่มความลาดเอียงมวลหินแบบหนา แบบก้อน แบบแผ่น และแบบมีรอยแตกมาก โดยมีรายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข ซึ่งความเป็นไปได้ของการพังทลาย คือทิศทางของมุมเทของรอยแตกจะต้องชี้ไปในทิศทางข้างหน้าของความลาดเอียง และจะต้องมีมุมน้อยกว่าค่ามุมเทของความลาดเอียง เป็นต้น

2) การประเมินค่าความน่าจะเป็นของการพังทลาย (Probability of failure) จะประเมินตามลักษณะของการพังทลาย คือ การประเมินเสถียรภาพที่เกิดจากการพังทลายแบบรูปไหล ไถ้ แบบแผ่นระนาบ แบบรูปถ้ำ และแบบพลิกคว่ำ โดยมีรายละเอียดแต่ละกลุ่ม ดังนี้

(9) ชนิดของหินจะนำไปใช้ในกรณีที่ไม่ทราบค่ากำลังรับแรงอัดของหินเพื่อสมมติค่ากำลังรับแรงอัดของหิน

(10) ความหนาแน่นของหินเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบการค้ำยัน

(11) ค่ามุมเสียดทานพื้นฐานมีความสำคัญในการประเมินเสถียรภาพ

(12) ลักษณะและขนาดค้ำยันที่ปกคลุมจะนำไปช่วยในการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน โดยอ้างอิงถึงประวัติหรืออดีตในเชิงเสถียรภาพของความลาดเอียง

(13) วิธีการขุดเจาะ นำไปใช้ในส่วนของการประเมินเสถียรภาพ โดยจะมีการตรวจสอบข้อมูลการขุดเจาะว่าจะต้องไม่ขัดแย้งกับค่ากำลังรับแรงอัดของหิน เช่น วิธีการขุดเจาะด้วยรถขุดจะต้องใช้กับหินที่มีค่าความแข็งต่ำกว่า R3 หรือ ในกรณีที่ลักษณะของความลาดเอียงมวลหินเป็นแบบ Heavily jointed rock และการขุดเจาะด้วยวิธีการระเบิดจะต้องเป็นหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าหรือเท่ากับ R3

(14) การผุกร่อนจะนำไปใช้ประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน

(15) แรงสั่นสะเทือนจะนำไปใช้ในการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน

3.6 วิธีการประเมินเสถียรภาพของผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินมีจุดประสงค์เพื่อประเมินลักษณะของการพังทลายว่าอยู่ในรูปใด และจะต้องทำการแก้ไขหรือไม่และอย่างไร โดยมีกระบวนการพิจารณา 2 ขั้นตอน คือ

1) การตรวจสอบความเป็นไปได้สำหรับการพังทลาย (Possibility of failure) โดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงเรขาคณิตของรอยแตกแต่ละชุด (Kinematics analysis) ซึ่งจะใช้กับลักษณะของมวลหินที่การพังทลายเกิดมาจากรอยแตก และมีหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าหรือเท่ากับ R2 ได้แก่ กลุ่มความลาดเอียงมวลหินแบบหนา แบบก้อน แบบแผ่น และแบบมีรอยแตกมาก โดยมีรายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข ซึ่งความเป็นไปได้ของการพังทลาย คือทิศทางของมุมเทของรอยแตกจะต้องชี้ไปในทิศทางข้างหน้าของความลาดเอียง และจะต้องมีมุมเทน้อยกว่าค่ามุมเทของความลาดเอียง เป็นต้น

2) การประเมินค่าความน่าจะเป็นของการพังทลาย (Probability of failure) จะประเมินตามลักษณะของการพังทลาย คือ การประเมินเสถียรภาพที่เกิดจากการพังทลายแบบรูปไหลไถ่ แบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม และแบบพลิกคว่ำ โดยมีรายละเอียดแต่ละกลุ่ม ดังนี้

3.6.1 การพังทลายแบบรูปโค้ง

การพังทลายแบบรูปโค้งจะเกิดกับความลาดเอียงมวลหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดในช่วง R0 ถึง R3 หรือว่าในมวลหินที่มีรอยแตกมาก ๆ และระยะห่างระหว่างรอยแตกน้อยหรือมวลหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ และมวลหินแบบมีรอยแตกมาก โดยมีข้อมูลที่ใช้ประเมินเสถียรภาพ คือ

- 1) ความสูงของความลาดเอียงมวลหิน
- 2) ค่ามุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน
- 3) ระดับน้ำบาดาล
- 4) ระดับของการผุกร่อน
- 5) ลักษณะและขนาดของค้ำพิชที่ปกคลุม
- 6) จำนวนชุดรอยแตกในมวลหิน
- 7) แรงตึงสะท้อน
- 8) ระยะห่างโดยเฉลี่ยของรอยแตก

ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาพิจารณาภายใต้กฎเกณฑ์ โดยผู้เชี่ยวชาญจะกำหนดอัตราของแต่ละปัจจัยข้างต้น (Rating, R_n โดยมีคะแนนเต็มเป็น 10 คะแนน) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.1 ซึ่งสามารถสรุปได้โดยสังเขป คือ

- 1) ความสูงเพิ่มขึ้นจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น
- 2) ถ้ามีค่ามุมเทสูงขึ้นจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น
- 3) ถ้ามีปริมาณน้ำมากก็จะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้น และกรณีที่ไม่ทราบระดับน้ำบาดาลผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้มีอัตราความไม่มีเสถียรภาพเท่ากับกรณีระดับน้ำแบบอิมตัว เพื่อให้ผลการประเมินออกมาในเชิงอนุรักษ์
- 4) ระดับการผุกร่อน ถ้ามวลหินมีระดับการผุกร่อนสูงก็จะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงด้วย และกรณีที่ไม่ทราบข้อมูลเกี่ยวกับระดับการผุกร่อนผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้มีอัตราความไม่มีเสถียรภาพอยู่ในช่วงเฉลี่ยถึงปานกลาง
- 5) ลักษณะของค้ำพิชที่ปกคลุม ผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำว่าถ้าขนาดของค้ำพิชที่อยู่บนความลาดเอียงมีขนาดใหญ่และมีมากจะทำให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพมีค่าลดลง แต่ถ้ากรณีที่ไม่ทราบลักษณะของค้ำพิชปกคลุม ผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพเท่ากับกรณีมีค้ำพิชฐานและค้ำพิชเล็ก ๆ ซึ่งจะทำให้ผลที่ได้ออกมาในเชิงอนุรักษ์
- 6) จำนวนชุดรอยแตกในมวลหิน ถ้ามวลหินมีจำนวนชุดรอยแตกมากขึ้นจะทำให้มีอัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้น แต่ถ้ากรณีที่ไม่ทราบจำนวนชุดรอยแตกผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพเท่ากับกรณีมีจำนวนชุดรอยแตก 3 ชุดซึ่งเป็นค่าที่พบได้โดยทั่วไป

ตารางที่ 3.1 อัตราความไม่มีเสถียรภาพของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาการพังทลายแบบรูปโค้ง

Slope height		Slope face angle		Groundwater		Degree of weathering	
(m)	Rate	Degrees	Rate	(%)	Rate	Conditions	Rate
<7	1	<25	0	0	0	Fresh	2
7-10	5	25-30	1	25	5	Slightly	4
10-15	8	30-35	2	50	10	Moderately	6
>15	10	35-40	3	75	10	Highly	8
		40-45	5	100	10	Completely	10
		45-50	6	Unknown	*5 or 10	Unknown	5
		50-55	8				
		55-60	9				
		60-65	9				
		65-70	10				
		>70	10				
Vegetation		Number of discontinuity		Vibration		Average discontinuity spacing	
Conditions	Rate	(Sets)	Rate	Conditions	Rate	(mm)	Rate
No vegetation	10	≤ 2	1	Near Blasting sites, earthquake	10	< 20	10
Only grass	7	3	8	Near main highway	5	20-60	7
Grass with small trees	5	≥ 4	10	No vibration	0	60-200	5
Full grown trees	0	Unknown	5	Unknown	5	>200	0
Unknown	5					Unknown	5
* 5 for arid climate, 10 for tropical climate							

7) แรงสั่นสะเทือน ถ้าความลาดเอียงโคมิอัตรของแรงสั่นสะเทือนสูงหรืออยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดแรงสั่นสะเทือนจะทำให้อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้น และถ้ากรณีไม่ทราบว่าแรงสั่นสะเทือนอยู่ในลักษณะใดผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพเท่ากับกรณีที่ใกล้กับเส้นทางหลวงสายหลัก

8) ระยะห่างโดยเฉลี่ยของรอยแตก ถ้ามีระยะห่างมากขึ้นจะทำให้อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้น และถ้ากรณีไม่ทราบว่าระยะห่างโดยเฉลี่ยของรอยแตกมีค่าเท่าไร ผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพเท่ากับกรณีมีระยะห่าง 60-200 mm ซึ่งเป็นค่าที่พบโดยทั่วไป

ระดับความสำคัญหรือระดับอิทธิพลของปัจจัยที่นำมาพิจารณาจะไม่คงที่ แต่จะขึ้นอยู่กับความแข็งของหินบนความลาดเอียง (Influencing factor, I_n) ดังตารางที่ 3.2 โดยจำแนกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มข้อมูลที่มีระดับความสำคัญเพิ่มขึ้นตามค่ากำลังรับแรงอัดของหินที่สูงขึ้น ประกอบด้วยระดับการผุกร่อน ลักษณะและขนาดคั่นพีซที่ปกคลุม วิธีการขุดเจาะ และแรงสั่นสะเทือน

2) กลุ่มข้อมูลที่มีระดับความสำคัญลดลงเมื่อค่ากำลังรับแรงอัดของหินที่สูงขึ้น ประกอบด้วยความสูง ระดับมุมเทของหน้าลาดเอียง และระดับน้ำบาดาล

เมื่อพิจารณาในระดับคะแนนความสำคัญของตัวแปรทั้งแปดตัวในแต่ละค่ากำลังรับแรงอัด (ซึ่งมีคะแนนเต็ม 10 คะแนน) สามารถเรียงลำดับความสำคัญของข้อมูลแต่ละชุดจากมากไปน้อยคือ ระยะห่างโดยเฉลี่ยของรอยแตกมีค่าความสำคัญคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 23% ระดับน้ำบาดาลมีสัดส่วนประมาณ 22% ค่ามุมเทและค่าความสูงของหน้าลาดเอียงมวลหินมีสัดส่วนประมาณ 13% ลักษณะและขนาดคั่นพีซที่ปกคลุมมีสัดส่วน 12% แรงสั่นสะเทือนมีสัดส่วน 10% จำนวนขุรอยแตกมีสัดส่วน 5% และระดับการผุกร่อนมีสัดส่วนประมาณ 2%

เมื่อกำหนดคะแนนเสร็จทั้งสองชุดแล้วจะต้องนำคะแนนทั้งสองชุดมาคูณและนำมารวมกันเป็นค่าความน่าจะเป็นของการพังทลาย (Probability of failure) ซึ่งค่าจะอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์การเกิดการพังทลายแบบรูปสี่เหลี่ยม โดยแสดงเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$P\{f\}_{circular} = \sum \{R_n \cdot I_n\}, n = 1, 2, 3, \dots, 7 \quad (3.1)$$

โดย $P\{f\}_{circular}$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการพังในรูปแบบรูปโค้ง

R_n คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของตัวแปรที่ n

R_1 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของความสูงของความลาดเอียงมวลหิน

ตารางที่ 3.2 ระดับความสำคัญของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาการพังทลายแบบรูปโค้ง

Rock grade	Slope height	Slope face angle	Groundwater	Degree of weathering
R0	2.0	2.0	3.1	0
R1	1.7	1.8	2.2	0.2
R2	0.1	0.1	1.2	0.4
Rock grade	Vegetation	Number of discontinuity	Vibration	Average discontinuity spacing
R0	0.5	0	2.4	0
R1	1.1	0.4	0.5	2.1
R2	2.0	1.2	0.1	4.9

- R_2 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของค่ามุมเทของหน้าลาดเอียง
- R_3 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของระดับน้ำบาดาล
- R_4 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของระดับการสุกร่อน
- R_5 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของลักษณะและขนาดคันพิชที่ปกคลุม
- R_6 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของจำนวนชุดรอยแตก
- R_7 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของแรงสั่นสะเทือน
- R_8 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของระยะห่าง โดยเฉลี่ยของรอยแตก
- I_n คือ ระดับความสำคัญของตัวแปรที่ n
- I_1 คือ ระดับความสำคัญของความสูงของความลาดเอียงมวลหิน
- I_2 คือ ระดับความสำคัญของค่ามุมเทของหน้าลาดเอียง
- I_3 คือ ระดับความสำคัญของระดับน้ำบาดาล
- I_4 คือ ระดับความสำคัญของระดับการสุกร่อน
- I_5 คือ ระดับความสำคัญของลักษณะและขนาดคันพิชที่ปกคลุม
- I_6 คือ ระดับความสำคัญของจำนวนชุดรอยแตก
- I_7 คือ ระดับความสำคัญของแรงสั่นสะเทือน
- I_8 คือ ระดับความสำคัญของระยะห่าง โดยเฉลี่ยของรอยแตก

3.6.2 ความน่าจะเป็นของการพังทลายแบบแผ่นระนาบและแบบรูปลิ้ม

การพังแบบแผ่นระนาบและแบบรูปลิ้มจะเกิดกับความลาดเอียงมวลหินที่มีค่ากำลังแรงอัดของหินอยู่ในช่วง R_2 ถึง R_5 และจำนวนอยู่ในกลุ่มความลาดเอียงมวลหินแบบหนา แบบกึ่งแบบแผ่น และแบบมีรอยแตกมาก โดยมีขั้นตอนการพิจารณาแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1) การคำนวณความเป็นไปได้ที่จะเกิดการพังโดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงเรขาคณิตของรอยแตกแต่ละชุด ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข โดยใช้ข้อมูลประกอบ ดังนี้

- (1) จำนวนชุดรอยแตก (มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งชุดในกรณีแบบแผ่นระนาบ และมากกว่าหรือเท่ากับสองชุดในกรณีแบบรูปลิ้ม)
- (2) ทิศทางมุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน
- (3) ค่ามุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน
- (4) ทิศทางมุมเทของรอยแตกแต่ละชุด
- (5) ค่ามุมเทของรอยแตกแต่ละชุด

2) การประเมินความน่าจะเป็นของการพังทลายแบบแผ่นระนาบและแบบรูปลิ้ม จะดำเนินการเมื่อการคำนวณทางเรขาคณิตพบชุดรอยแตกชุดนั้นขาดเสถียรภาพหรือว่ามีความเป็นไปได้ที่จะพังทลาย (Day-light) โดยทั้งสองรูปแบบจะใช้ข้อมูลในการประเมินเหมือนกัน และมีค่าตัวแปรที่นำมาพิจารณาทั้งหมด 12 ตัวแปร ประกอบด้วย

- (1) จำนวนชุดรอยแตกทั้งหมด
- (2) ความสูงของความลาดเอียงมวลหิน
- (3) ระยะเปิดแยกของรอยแตกชุดที่พิจารณา
- (4) วัสดุแทรกในรอยแตกชุดที่พิจารณา
- (5) ความต่อเนื่องของรอยแตกชุดที่พิจารณา
- (6) สัมประสิทธิ์ความขรุขระของรอยแตกชุดที่พิจารณา
- (7) ความต่างระหว่างค่ามุมเทของรอยแตกชุดที่พิจารณากับค่ามุมเสียดทานพื้นฐาน
- (8) ระดับการผุกร่อน
- (9) ระดับน้ำบาดาล
- (10) ลักษณะรูปร่างของความลาดเอียงมวลหิน
- (11) ลักษณะและขนาดดันพิชที่ปกคลุม
- (12) วิธีการขุดเจาะ

ข้อมูลเหล่านี้จะนำมาพิจารณาอย่างเป็นระบบ ผู้เชี่ยวชาญจะกำหนดอัตราความไม่มีเสถียรภาพ (Rating, R_n โดยมีคะแนนเต็ม 10 คะแนน) ของแต่ละกลุ่มข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยมีรายละเอียดของเกณฑ์การประเมินดังนี้

- 1) จำนวนรอยแตกทั้งหมดจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้นตามจำนวนชุดรอยแตกที่มากขึ้น และถ้าอยู่ในกรณีที่ไม่ทราบจำนวนรอยแตก ผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้มีอัตราความไม่มีเสถียรภาพอยู่ระหว่างสองถึงสามชุดเพราะเป็นค่าที่พบโดยทั่วไปในงานภาคสนาม
- 2) ความสูงของความลาดเอียงมวลหิน อัตราความไม่มีเสถียรภาพจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความลาดเอียงมีความสูงเพิ่มขึ้น
- 3) ระยะเปิดแยกของรอยแตกของชุดที่พิจารณาทำให้แรงเสียดทานของรอยแตกนั้นลดลง โดยถ้ามีระยะเปิดแยกมากจะทำให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้น และในกรณีที่ไม่ทราบจะกำหนดระยะเปิดแยกให้อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 2.5 mm ซึ่งเป็นค่าที่พบโดยทั่วไปในงานภาคสนาม
- 4) วัสดุแทรกในรอยแตก อัตราความไม่มีเสถียรภาพจะผันแปรตามชนิดของวัสดุที่แทรกอยู่ โดยถ้าวัสดุที่แทรกเป็นแร่ประกอบหินปูนก็จะทำให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพมีค่าต่ำสุด

ตารางที่ 3.3 อัตราความไม่มีเสถียรภาพของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาการพังทลายแบบแผ่นและรูปลิ้ม

Number of other discontinuity		Slope height		Apertures of the analyzed set		Infilling of the analyzed set	
Sets	Rate	(m)	Rate	(mm)	Rate	Type	Rate
1	2	<7	1	<0.1	1	Calcite	0
2	6	7-10	2	0.1-0.25	2	Nothing	5
3	10	10-30	4	0.25-0.5	3	Sand, Silt	10
4	10	30-50	8	0.5-2.5	5	Clay	10
Unknown	8	>50	10	2.5-10	8	Unknown	5
				>10	10		
				Unknown	5		
Persistence		JRC first set		$(\psi_p - \phi)^*$		Degree of weathering	
%	Rate		Rate	Degrees	Rate	Conditions	Rate
0-50	0	<4	10	70-80	10	Fresh	2
50-80	2	4-6	9	60-70	10	Slightly	5
80-100	10	6-8	7	50-60	8	Moderately	8
Unknown	5	8-10	6	40-50	5	Highly	10
		10-12	4	30-40	3	Completely	10
		12-14	2	20-30	2	Unknown	8
		>14	0	10-20	1		
		Unknown	5	0-10	1		
				-10-0	0.5		
				<-10	0		
Groundwater		Slope shape		Vegetation		Excavation methods	
(%)	Rate	Shape	Rate	Conditions	Rate	Methods	Rate
0	1	Concave	5	No vegetation	10	Blasting with pre-splitting	5
25	5	Straight	7	Only grass	7	Blasting without pre-splitting	10
50	10	Convex	10	Grass & small tree	5	Backhoe	0
75	10			Full grown tree	0	Unknown	5
100	10			Unknown	5		
Unknown	** 5 or 10						
* ψ_p = sliding plane angle; ϕ = friction angle of joint							
** 5 for arid climate, 10 for tropical climate							

เพราะว่าจะมีการเชื่อมประสานรอยแตกได้ดี กรณีไม่มีวัสดุแทรกจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้น เพราะในกรณีนี้ผิวหน้าของรอยแตกจะมีการสัมผัสกันซึ่งจะทำให้มีค่ากำลังรับแรงเฉือนได้ในระดับหนึ่ง แต่รอยแตกก็ยังไม่เชื่อมประสานกัน วัสดุแทรกที่เป็นทรายหรือว่าทรายแป้ง และวัสดุแทรกที่เป็นดินเหนียว วัสดุทั้งสามจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงสุดเพราะวัสดุทั้งสามชนิดจะมีค่ากำลังรับแรงเฉือนต่ำโดยเฉพาะดินเหนียว อีกทั้งวัสดุทั้งสามยังไม่สามารถประสานรอยแตกได้ และถ้าไม่ทราบชนิดของวัสดุแทรกผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้อยู่ในกรณีไม่มีวัสดุแทรก ซึ่งเป็นการคาดคะเนในเชิงอนุรักษ์

5) ความต่อเนื่องของรอยแตกของชุดที่พิจารณา ถ้ารอยแตกมีค่าความต่อเนื่องสูง อัตราความไม่มีเสถียรภาพจะสูงขึ้น เพราะรอยแตกที่มีความต่อเนื่องสูงจะทำให้กระบวนการเคลื่อนไหลเกิดง่ายขึ้นและทำให้เกิดพื้นผิวอิสระมากขึ้น

6) สัมประสิทธิ์ความขรุขระของรอยแตกในชุดที่พิจารณาถ้ามีค่ามากขึ้นจะทำให้ อัตราความไม่มีเสถียรภาพน้อยลง และถ้าไม่ทราบค่านั้นผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้อยู่ในช่วง 10 ถึง 12 ซึ่งเป็นช่วงที่พบได้โดยทั่วไปในงานภาคสนาม

7) ความต่างระหว่างระดับมุมของชุดรอยแตกที่พิจารณาเมื่อเทียบกับค่ามุมเสียดทานพื้นฐาน ถ้ามีค่าความแตกต่างสูงจะทำให้ อัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้น ซึ่งอยู่ในข้อแม้ที่ว่ามิติศทางของมุมเทไปทิศทางใดก็เดียวกัน ($\pm 45^\circ$)

8) ระดับการผุกร่อน ถ้าหินมีระดับการผุกร่อนสูงจะทำให้ อัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงตามไปด้วย และถ้าไม่ทราบลักษณะการผุกร่อนผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้มีค่าเท่ากับระดับปานกลาง ซึ่งเป็นการคาดคะเนในเชิงอนุรักษ์

9) ระดับของน้ำบาดาล ถ้ามีระดับของน้ำบาดาลสูงขึ้นจะทำให้ อัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้น และถ้าไม่ทราบว่าน้ำอยู่ที่ระดับใดผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้มีค่าเท่ากับกรณีมีน้ำอิ่มตัว ซึ่งเป็นการคาดคะเนในเชิงอนุรักษ์

10) ลักษณะรูปร่างของความลาดเอียง จะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ (1) รูปร่างเป็นแบบรูปโค้งเข้า จะมีเสถียรภาพมากที่สุด (2) รูปร่างเป็นแบบรูปเส้นตรงจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพจะมากขึ้น และ (3) รูปร่างเป็นแบบรูปโค้งออก

11) ลักษณะต้นพืชที่ปกคลุม ผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำว่าถ้าขนาดของต้นพืชที่อยู่บนความลาดเอียงมีขนาดใหญ่และมีมากจะทำให้มีอัตราความไม่มีเสถียรภาพต่ำลง แต่ถ้ากรณีที่ไม่ทราบว่าลักษณะใดผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้มีอัตราความไม่มีเสถียรภาพเท่ากับกรณีมีต้นหญ้าและต้นไม้เล็ก ๆ เป็นรูปแบบที่มีอัตราความไม่มีเสถียรภาพมากที่สุด ซึ่งจะบ่งบอกถึงความลาดเอียงนั้นเกิดการพังทลายมาในอดีต

12) วิธีการขุดเจาะ จะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้นตามความเสียหายของผิวหน้าการขุดเจาะในแต่ละวิธี วิธีที่สามารถทำให้ผิวหน้าของความลาดเอียงเรียบที่สุดจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพต่ำสุด และในกรณีที่ไม่ว่าวิธีขุดเจาะผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้เป็นแบบการระเบิดแบบมีการเจาะวางแนวการระเบิดไว้ก่อน

หลังจากมีการกำหนดอัตราความไม่มีเสถียรภาพทั้ง 12 ตัวแปร จะมีการนำตัวแปรในแต่ละชุดมาเปรียบเทียบระดับความสำคัญ โดยจะมีการเปรียบเทียบใน 2 ลักษณะ คือ นำตัวแปรแต่ละชนิดในแต่ละระดับค่ากำลังรับแรงอัดของหินมาเปรียบเทียบกัน และนำตัวแปรทั้ง 12 ตัวมาเปรียบเทียบกันเอง จากตารางที่ 3.4 สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มข้อมูลที่มีระดับความสำคัญเพิ่มขึ้นตามค่ากำลังรับแรงอัดของหินที่สูงขึ้น ประกอบด้วย จำนวนชุดรอยแตก ระยะเปิดรอยแตก วัสดุแทรก ค่าความต่อเนื่อง และสัมประสิทธิ์ความขรุขระ

2) กลุ่มข้อมูลที่มีระดับความสำคัญลดลงเมื่อค่ากำลังรับแรงอัดของหินสูงขึ้น ประกอบด้วย ค่าความต่างระหว่างค่ามุมเทของรอยแตกชุดที่พิจารณากับค่ามุมเสียดทานพื้นฐาน ความสูงของความลาดเอียงมวลหิน ระดับการผุกร่อน ระดับน้ำบาดาล ลักษณะรูปร่างของความลาดเอียงมวลหิน ลักษณะและขนาดต้นพีชที่ปกคลุม และวิธีการขุดเจาะ

เมื่อนำค่าตัวแปรทั้ง 12 ตัวมาเปรียบเทียบกันเองพบว่าแต่ละตัวแปรจะมีความสำคัญต่อการประเมินเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหิน โดยมีลำดับความสำคัญเฉลี่ยจากมากไปน้อย คือ ค่าความแตกต่างระหว่างค่ามุมเทของรอยแตกชุดที่พิจารณากับค่ามุมเสียดทานพื้นฐานมีสัดส่วนประมาณ 22% ความสูงของความลาดเอียงมวลหินและความต่อเนื่องของรอยแตกชุดที่พิจารณา 12% วัสดุแทรกและระดับน้ำบาดาล 10% สัมประสิทธิ์ความขรุขระ 9% จำนวนชุดรอยแตก 8% ระดับการผุกร่อนและระยะเปิดรอยแตกประมาณ 5% ลักษณะและขนาดของพีชปกคลุม 4% วิธีการขุดเจาะ 3% และลักษณะรูปร่างของความลาดเอียง 2%

เมื่อทำการกำหนดคะแนนทั้งสองชุดแล้วจะนำคะแนนทั้งสองชุดมาคูณและนำมารวมกันเป็นค่าความน่าจะเป็นของการพังทลาย (Probability of failure) โดยจะอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ของการเกิดการพังทลายแบบแผ่นระนาบหรือแบบรูปสี่เหลี่ยม และสามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$P\{f\}_{\text{plane \& wedge}} = \sum \{R_n \cdot I_n\}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, 12 \quad (3.2)$$

โดย $P\{f\}_{\text{plane \& wedge}}$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการพังในรูปแบบแผ่นระนาบและแบบรูปสี่เหลี่ยม
 R_n คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของตัวแปรที่ n
 I_n คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของจำนวนรอยแตกทั้งหมด
 R_2 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของความสูงของความลาดเอียงมวลหิน

ตารางที่ 3.4 ระดับความสำคัญของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาการพังทลายแบบแผ่นและรูปลิ้ม

Rock grade	Other discontinuity	Slope height	Aperture	Infilling	Persistence	JRC first set
R2	0	2.1	0	0	0	0
R3	0.4	1.8	0.3	0.9	0.5	0.5
R4	1.3	0.8	0.5	1.3	1.8	1.0
R5	1.3	0	1.0	1.8	2.4	2.0

Rock grade	$\psi_p - \phi$	Degree of weathering	Groundwater	Slope shape	Vegetation	Excavation methods
R2	3.0	1.0	2.1	0.5	0.7	0.6
R3	2.5	0.6	1.2	0.3	0.5	0.5
R4	1.8	0.3	0.5	0.2	0.3	0.2
R5	1.5	0	0	0	0	0

- R_3 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของระยะเปิดเผยอของรอยแตกชุดอื่น
- R_4 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของวัสดุแทรกในชุดรอยแตกที่พิจารณา
- R_5 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของความต่อเนื่องของชุดรอยแตกที่พิจารณา
- R_6 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของสัมประสิทธิ์ความขรุขระของรอยแตกชุดที่พิจารณา
- R_7 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของความต่างระหว่างค่ามุมทรอยแตกชุดที่พิจารณากับค่ามุมเสียดทานพื้นฐาน
- R_8 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของระดับการผุกร่อน
- R_9 คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของระดับน้ำบาดาล
- R_{10} คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของลักษณะรูปร่างของความลาดเอียง
- R_{11} คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของลักษณะและขนาดคันพีชที่ปกคลุม
- R_{12} คือ อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพของวิธีการขุดเจาะ
- I_n คือ ระดับความสำคัญของตัวแปรที่ n
- I_1 คือ ระดับความสำคัญของจำนวนรอยแตกทั้งหมด
- I_2 คือ ระดับความสำคัญของความสูงของความลาดเอียงมวลหิน
- I_3 คือ ระดับความสำคัญของระยะเปิดเผยอของรอยแตกชุดอื่น
- I_4 คือ ระดับความสำคัญของวัสดุแทรกในชุดรอยแตกที่พิจารณา
- I_5 คือ ระดับความสำคัญของความต่อเนื่องของรอยแตกชุดที่พิจารณา
- I_6 คือ ระดับความสำคัญของสัมประสิทธิ์ความขรุขระของชุดรอยแตกที่พิจารณา
- I_7 คือ ระดับความสำคัญของความต่างระหว่างค่ามุมเทของรอยแตกของชุดที่พิจารณากับค่ามุมเสียดทานพื้นฐาน
- I_8 คือ ระดับความสำคัญของการผุกร่อน
- I_9 คือ ระดับความสำคัญของน้ำบาดาล
- I_{10} คือ ระดับความสำคัญของลักษณะรูปร่างของความลาดเอียง
- I_{11} คือ ระดับความสำคัญของลักษณะคันพีชที่ปกคลุม
- I_{12} คือ ระดับความสำคัญของวิธีการขุดเจาะ

3.6.3 ความน่าจะเป็นของการพังหลายแบบพลิกคว่ำ

การพังหลายแบบพลิกคว่ำจะเกิดกับความลาดเอียงมวลหินที่มีค่ากำลังแรงอัดของหินอยู่ในช่วง R_2 ถึง R_6 และถูกจำแนกอยู่ในกลุ่มความลาดเอียงมวลหินแบบหนา แบบกึ่งอน แบบแผ่น และแบบมีรอยแตกมาก โดยมีขั้นตอนการพิจารณาแบ่งเป็น 2 ขั้น คือ

1) การคำนวณความเป็นไปได้ที่จะเกิดการพังทลายแบบพลิกคว่ำ โดยวิธีวิเคราะห์ทางเรขาคณิตของชุดรอยแตก ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ข โดยใช้ข้อมูลประกอบดังนี้

- (1) จำนวนชุดรอยแตก (มากกว่าหรือเท่ากับสองชุด)
- (2) ทิศทางมุมเทของหน้าลาดเชิงมวดหิน
- (3) ค่ามุมเทของหน้าลาดเชิงมวดหิน
- (4) ทิศทางมุมเทของรอยแตกแต่ละชุด
- (5) ค่ามุมเทของรอยแตกแต่ละชุด
- (6) รั้งระหว่างรอยแตกชุดที่พิจารณา
- (7) มุมเสียดทานพื้นฐาน

2) การประเมินความน่าจะเป็นของการพังทลายแบบพลิกคว่ำ จะดำเนินการเมื่อการคำนวณทางเรขาคณิตพบว่ารอยแตกชุดนั้นขาดเสถียรภาพหรือมีความเป็นไปได้ที่จะพัง โดยมีค่าตัวแปรที่นำมาพิจารณาทั้งหมด 12 ตัวแปร ประกอบด้วย

- (1) จำนวนรอยแตกทั้งหมด
- (2) ความต่อเนื่องโดยเฉลี่ยของรอยแตกชุดที่ 2 และ 3
- (3) ระยะเปิดแยกโดยเฉลี่ย
- (4) วัสดุแทรกในรอยแตกของชุดที่ 3
- (5) ความต่อเนื่องของรอยแตกของชุดที่ 1
- (6) สัมประสิทธิ์ความขรุขระของรอยแตกชุดที่ 3
- (7) ค่ามุมเทของรอยแตกของชุดที่ 1
- (8) ระดับการผุกร่อนของหิน
- (9) ระดับน้ำบาดาล
- (10) ลักษณะของดินพืชที่ปกคลุม
- (11) วิธีการขุดเจาะ
- (12) แรงสั่นสะเทือน

ข้อมูลเหล่านี้จะนำมาพิจารณาอย่างเป็นระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญจะกำหนดอัตราความไม่มีเสถียรภาพ (Rating, R_n โดยมีคะแนนเต็ม 10 คะแนน) ของแต่ละกลุ่มดังแสดงในตารางที่ 3.5 โดยเกณฑ์การประเมินสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 3.5 อัตราความไม่มีเสถียรภาพของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาการพังทลายแบบพลิกคว่ำ

Number of other discontinuity		Average persistence of set 2 & 3		Average of apertures		Infilling set 3	
Sets	Rate	%	Rate	(mm)	Rate	Type	Rate
1-2	0	0-20	2	<0.1	1	Calcite	0
3	8	20-40	2	0.1-0.25	5	Nothing	10
4	10	40-60	6	0.25-0.5	10	Sand, Silt	10
Unknown	5	60-80	8	0.5-2.5	10	Clay	10
		80-100	10	2.5-10	10	Unknown	10
		Unknown	6	6	10		
				Unknown	10		
Persistence of set 1		JRC of set 3		Dip of set 1		Degrees of weathering	
%	Rate		Rate	Degrees	Rate	Conditions	Rate
0-20	2	0-2	10	80-90	3	Fresh	2
20-40	2	2-4	10	20-80	10	Slightly	5
40-60	6	4-6	9	0-20	10	Moderately	8
60-80	8	6-8	5			Highly	10
80-100	10	8-10	5			Completely	10
Unknown	6	10-12	5			Unknown	8
		12-20	2				
		Unknown	5				
Groundwater table		Vegetation		Excavation methods		Vibration	
(%)	Rate	Conditions	Rate	Methods	Rate	Conditions	Rate
0	1	No vegetation	10	Blasting with pre-splitting	5	Near Blasting sites, earthquake	10
25	5	Only grass	7	Blasting without pre-splitting	10	Near main highway	5
50	5	Grass & small tree	5	Backhoe	0	No vibration	0
75	5	Full grown tree	0	Unknown	5		
100	10	Unknown	5				
Unknown	** 5 or 10						

** 5 for arid climate, 10 for tropical climate

- 1) จำนวนชุดของรอยแตกทั้งหมดจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้นตามจำนวนชุดรอยแตกที่มากขึ้น และในกรณีที่ไม่ทราบจำนวนชุดของรอยแตกผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพอยู่ระหว่างสองชุด
- 2) ความต่อเนื่องโดยเฉลี่ยของรอยแตกชุดที่ 2 และ 3 อัตราความไม่มีเสถียรภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อรอยแตกมีค่าความต่อเนื่องโดยเฉลี่ยสูงขึ้น เพราะว่ารอยแตกที่มีความต่อเนื่องสูงจะทำให้กระบวนการหลุดหลิกคว้งเกิดง่ายขึ้นและทำให้มีพื้นผิวอิสระมากขึ้น แต่ถ้าไม่ทราบผู้เชี่ยวชาญจะกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง 40% ถึง 60%
- 3) ระยะเปิดแยกโดยเฉลี่ยของรอยแตกเป็นชุดข้อมูลที่ทำให้ความเสียหายลดลง โดยถ้ามีระยะเปิดแยกมากจะทำให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้น และในกรณีที่ไม่ทราบระยะเปิดแยกผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้ระยะเปิดแยกมากกว่า 0.25 mm วัสดุแทรกในรอยแตกชุดที่ 3 อัตราความไม่มีเสถียรภาพจะผันแปรตามชนิดของวัสดุที่แทรกอยู่ กล่าวคือ แร่ประกอบหินปูนจะมีค่าต่ำสุด เพราะว่าแร่หินปูนสามารถเชื่อมประสานรอยแตกได้ดี สำหรับกรณีไม่มีวัสดุแทรกผิวหน้าของรอยแตกจะมีการสัมผัสกันได้ดีซึ่งจะทำให้มีค่ากำลังรับแรงดึงสูง แต่รอยแตกก็ยังไม่เชื่อมประสานกัน วัสดุแทรกที่เป็นทรายหรือทรายแป้งและวัสดุแทรกที่เป็นดินเหนียวจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงสุด เพราะวัสดุทั้งสามชนิดจะมีค่ากำลังรับแรงดึงต่ำโดยเฉพาะดินเหนียว อีกทั้งวัสดุทั้งสามยังไม่เป็นวัสดุเชื่อมประสานรอยแตก และถ้ากรณีไม่ทราบชนิดของวัสดุแทรกผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้เป็นกรณีที่ไม่มีวัสดุแทรก
- 4) ความต่อเนื่องของรอยแตกของชุดที่ 1 ถ้ารอยแตกมีความต่อเนื่องสูงอัตราความไม่มีเสถียรภาพจะสูงขึ้น
- 5) สัมประสิทธิ์ความขรุขระของรอยแตกของชุดที่ 3 ถ้ามีสัมประสิทธิ์ของความขรุขระสูงจะทำให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพลดลง และถ้าไม่ทราบว่าค่าทำไรผู้เชี่ยวชาญจะกำหนดให้อยู่ในช่วง 8 ถึง 12 ซึ่งเป็นช่วงที่พบได้โดยทั่วไปในงานภาคสนาม
- 6) ค่ามุมเทของชุดรอยแตกชุดที่ 1 ถ้าค่ามุมเทสูงขึ้นจะทำให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพลดลง
- 7) ระดับการผุกร่อน ถ้ามีระดับการผุกร่อนมากก็จะให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงด้วย และถ้าไม่ทราบค่าผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้มีค่าระดับการผุกร่อนปานกลาง
- 8) ระดับของน้ำบาดาล ถ้ามีระดับของน้ำบาดาลสูงจะทำให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้น และถ้าไม่ทราบวาระดับน้ำอยู่ที่ระดับใดผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้มีค่าเท่ากับ 25% ถึง 75% ของความสูงหน้าลาดเอียง
- 9) ลักษณะดินพีชที่ปกคลุม ผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำว่าถ้าขนาดของดินพีชมีขนาดใหญ่และมีมาก จะบ่งบอกว่าหน้าลาดเอียงนั้นมีเสถียรภาพสูงในอดีต แต่ถ้ากรณีที่ไม่ทราบลักษณะ

ของคั้นพืชปกคลุมผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพเท่ากับกรณีมีต้นหญ้าและต้นไม้เล็ก ๆ ซึ่งบ่งบอกว่าความลาดเอียงนั้นเกิดการพังทลายลงมาบ้างในอดีต

10) วิธีการขุดเจาะ จะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้นตามความเสียหายของผิวหน้าการขุดเจาะในแต่ละวิธี วิธีที่สามารถทำให้ผิวหน้าความลาดเอียงเรียบที่สุดจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพต่ำสุด และในกรณีที่ไม่ทราบว่าคุณลักษณะการใช้วิธีการขุดเจาะแบบใดผู้เชี่ยวชาญจะกำหนดให้อยู่ในรูปแบบการระเบิดแบบมีการเจาะวางแนวการระเบิดไว้ก่อน

11) แรงสั่นสะเทือน จำแนกเป็น 4 ลักษณะเรียงตามอัตราความไม่มีเสถียรภาพจากมากไปหาน้อย คือ ความลาดเอียงที่อยู่ใกล้กับบริเวณที่มีการระเบิดและแผ่นดินไหว บริเวณใกล้กับทางหลวง บริเวณที่ไม่มีแรงสั่นสะเทือน และกรณีที่ ไม่ทราบคุณลักษณะนั้นผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้เป็นกรณีอยู่บริเวณใกล้กับถนนหลวง

หลังจากกำหนดค่าอัตราความไม่มีเสถียรภาพทั้ง 12 ตัวแปร จะนำตัวแปรในแต่ละชุดมาเปรียบเทียบระดับความสำคัญ โดยจะมีการเปรียบเทียบใน 2 ลักษณะ คือ นำตัวแปรแต่ละชนิดในแต่ละระดับของค่ากำลังรับแรงอัดของหินมาเปรียบเทียบและนำตัวแปรทั้ง 12 มาเปรียบเทียบกันเอง จากตารางที่ 3.6 ซึ่งสามารถจำแนกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มข้อมูลที่มีระดับความสำคัญเพิ่มขึ้นตามค่ากำลังรับแรงอัดของหินที่สูงขึ้น ประกอบด้วย จำนวนชุดรอยแตก ความต่อเนื่องโดยเฉลี่ยของรอยแตกชุดที่ 2 และ 3 วัสดุแทรกความต่อเนื่องของชุดรอยแตกชุดที่ 1 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของรอยแตกชุดที่ 3 และแรงสั่นสะเทือน

2) กลุ่มข้อมูลที่มีระดับความสำคัญลดลงเมื่อค่ากำลังรับแรงอัดของหินสูงขึ้น ประกอบด้วย ระยะเปิดเขยอโดยเฉลี่ยของรอยแตก ระดับการผุกร่อน ระดับน้ำบาดาล ลักษณะและขนาดของต้นพืชที่ปกคลุม และวิธีการขุดเจาะ

3) กลุ่มข้อมูลที่ผู้เชี่ยวชาญให้ระดับความสำคัญเท่ากันหรือว่ากลุ่มข้อมูลที่ไม่ขึ้นกับค่ากำลังรับแรงอัดของหิน คือ ค่ามุมเทของรอยแตกชุดที่ 1

เมื่อนำค่าตัวแปรทั้ง 12 ตัวมาเปรียบเทียบกันเองพบว่า มีระดับความสำคัญของแต่ละตัวแปรต่อการประเมินเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหินซึ่งมีลำดับความสำคัญโดยเฉลี่ยจากมากไปน้อย คือ ค่ามุมเทของรอยแตกชุดที่ 1 คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 30% จำนวนชุดรอยแตก 11% แรงสั่นสะเทือน 9% ลักษณะและขนาดของต้นพืชปกคลุม 8% ค่าความต่อเนื่องโดยเฉลี่ยของรอยแตกชุดที่ 1 ชุดที่ 2 และ ชุดที่ 3 และระยะเปิดเขยอโดยเฉลี่ยประมาณ 7% ระดับการผุกร่อน 6% สัมประสิทธิ์ความขรุขระของรอยแตกชุดที่ 3 เท่ากับ 4% ระดับน้ำบาดาลและวิธีการขุดเจาะ 3% และวัสดุแทรกในรอยแตกชุดที่ 3 เท่ากับ 2%

ตารางที่ 3.6 ระดับความสำคัญของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาการพังทลายแบบพลิกคว่ำ

Rock grade	Other discontinuity	Average persistence set 2 & 3	Average of apertures	Infilling set 3	Average persistence of set 1	JRC of the set 3
R2	0.8	0.5	0.9	0.1	0.5	0.2
R3	1.0	0.6	0.8	0.2	0.6	0.3
R4	1.2	0.7	0.7	0.2	0.7	0.4
R5	1.3	0.8	0.6	0.3	0.9	0.5
R6	1.4	1.0	0.5	0.4	1.0	0.7

Rock grade	Dip of set 1	Degree of weathering	Groundwater table	Vegetation	Excavation methods	Vibration
R2	3	1.1	0.6	1.0	0.6	0.7
R3	3	0.9	0.4	1.0	0.4	0.8
R4	3	0.7	0.3	0.9	0.3	0.9
R5	3	0.4	0.2	0.8	0.2	1.0
R6	3	0.0	0.2	0.5	0.1	1.2

เมื่อทำการกำหนดคะแนนทั้งสองชุดแล้วนำคะแนนทั้งสองชุดมาคูณและนำมารวมกันเป็นค่าความน่าจะเป็นของการพังทลาย (Probability of failure) ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของการเกิดการพังทลายแบบพลิกคว่ำ โดยมีความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$P\{f\}_{\text{toppling}} = \sum \{R_n \cdot I_n\}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, 12 \quad (3.3)$$

โดย

$P\{f\}_{\text{toppling}}$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการพังแบบพลิกคว่ำ

R_n คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของตัวแปรที่ n

R_1 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของจำนวนรอยแตกทั้งหมด

R_2 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของความต่อเนื่องโดยเฉลี่ยของรอยแตกชุดที่ 2 และ 3

R_3 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของระยะเปิดแยกโดยเฉลี่ยของรอยแตก

R_4 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของวัสดุแทรกในชุดรอยแตกชุดที่ 3

R_5 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของความต่อเนื่องของชุดรอยแตกชุดที่ 1

R_6 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของสัมประสิทธิ์ความขรุขระของรอยแตกชุดที่ 3

R_7 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของค่ามุมเทของชุดรอยแตกที่ 1

R_8 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของระดับการผุกร่อน

R_9 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของระดับน้ำบาดาล

R_{10} คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของลักษณะและขนาดคันพีชที่ปกคลุม

R_{11} คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของวิธีการขุดเจาะ

R_{12} คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของแรงสั่นสะเทือน

I_n คือ ระดับความสำคัญของตัวแปรที่ n

I_1 คือ ระดับความสำคัญของจำนวนรอยแตกทั้งหมด

I_2 คือ ระดับความสำคัญของความต่อเนื่องโดยเฉลี่ยของรอยแตกชุดที่ 2 และ 3

I_3 คือ ระดับความสำคัญของระยะเปิดแยกโดยเฉลี่ยของรอยแตก

I_4 คือ ระดับความสำคัญของวัสดุแทรกในชุดรอยแตกชุดที่ 3

I_5 คือ ระดับความสำคัญของความต่อเนื่องของชุดรอยแตกชุดที่ 1

I_6 คือ ระดับความสำคัญของสัมประสิทธิ์ความขรุขระของชุดรอยแตกชุดที่ 3

I_7 คือ ระดับความสำคัญของค่ามุมเทของชุดรอยแตกที่ 1

I_8 คือ ระดับความสำคัญของการผุกร่อน

I_9 คือ ระดับความสำคัญของน้ำบาดาล

I_{10} คือ ระดับความสำคัญของลักษณะคันพีชที่ปกคลุม

- I_{11} คือ ระดับความสำคัญของวิธีการขุดเจาะ
 I_{12} คือ ระดับความสำคัญของแรงสั่นสะเทือน

3.6.4 การประเมินเสถียรภาพการพังทลายในความลาดเอียงมวลหินแบบชั้นอ่อนสลับชั้นแข็ง

การพังทลายที่เกิดขึ้นกับความลาดเอียงมวลหินที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาแบบนั้น ผู้เชี่ยวชาญจะพิจารณาแยกจากมวลหินแบบอื่น ๆ เนื่องจากปัจจัยหลักที่มีความสำคัญต่อเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหิน คือ กระบวนการผุกร่อนและกระบวนการพัดพา (Transportation) ซึ่งอาจจะเกิดจากน้ำหรือลมเป็นตัวกลางพัดพา ผู้เชี่ยวชาญได้กำหนดปัจจัยที่นำมาประเมินเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหินแบบอ่อนสลับแข็งต่างจากหรือมีข้อมูลเพิ่มมาจากแบบอื่น ๆ ที่กล่าวไว้ข้างต้น คือ

ปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญนำมาพิจารณาประเมินความลาดเอียงมวลหิน ประกอบด้วย 3 กลุ่มหลัก ๆ ที่กล่าวไว้ข้างต้นร่วมกับปัจจัยที่เพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณลักษณะของมวลหินแบบแข็งสลับอ่อน ดังนี้

- 1) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทั่วไปของความลาดเอียงมวลหิน
 - (1) ความหนาของชั้นหินอ่อน (Soft thickness)
 - (2) ความหนาของชั้นหินแข็ง (Hard thickness)
 - (3) ทิศทางมุมเทของชั้นหินแข็ง (Hard formation dip direction)
 - (4) ค่ามุมเทของชั้นหินแข็ง (Hard formation dip angle)
- 2) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของรอยแตก มวลหินแบบอ่อนสลับแข็งจะประกอบด้วยหินสองชนิด และรอยแตกที่มีผลต่อเสถียรภาพของมวลหินจะอยู่ในมวลหินแข็ง ดังนั้นจึงไม่มีการเก็บข้อมูลลักษณะรอยแตกในมวลหินอ่อน
- 3) ข้อมูลทางกลศาสตร์ของมวลหิน
 - (1) กำลังรับแรงอัดของหินแข็ง
 - (2) กำลังรับแรงอัดของหินอ่อน
 - (3) มุมเสียดทานพื้นฐานของรอยแตกในมวลหินแข็ง
 - (4) มุมเสียดทานพื้นฐานของมวลหินอ่อน
 - (5) ความหนาแน่นของหินแข็ง
 - (6) ความหนาแน่นของหินอ่อน

แนวคิดในการจำแนกกลุ่มข้อมูล สำหรับตัวแปรอื่น ๆ จะมีแนวคิดการจำแนกเหมือนกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4 แต่มีความแตกต่างตรงข้อมูลที่เพิ่มเติมเข้ามา คือ

- 1) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทั่วไปของความลาดเอียงมวลหิน
 - (1) ความหนาของชั้นหินอ่อน จะต้องมีความมากกว่า 30 cm ขึ้นไป โดยแบ่งออกเป็น 7 ระดับ ประกอบด้วย
 - 0.3-0.6 m
 - 0.6-0.9 m
 - 0.9-1.2 m
 - 1.2-1.5 m
 - 1.5-1.7 m
 - 1.7-2 m และ
 - ช่วงมากกว่า 2 m
 - (2) ความหนาของชั้นหินแข็งจะต้องมีความมากกว่า 30 cm ขึ้นไป
 - (3) ทิศทางมุมเทของชั้นหินแข็งจะพิจารณาทุก ๆ หนึ่งองศาในระบบ Azimuth คือ ตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา
 - (4) ค่ามุมเทของชั้นหินแข็งจะพิจารณาทุก ๆ หนึ่งองศาตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา

2) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของรอยแตก แนวทิศการจำแนกจะเหมือนกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4 สำหรับหินแข็ง แต่หินอ่อนจะไม่นำรอยแตกมาพิจารณา

3) ข้อมูลทางกลศาสตร์ของมวลหิน แนวทิศการจำแนกจะเหมือนกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4 แต่จะมีสองชุดข้อมูลคือ ชุดข้อมูลสำหรับหินแข็งและชุดข้อมูลสำหรับหินอ่อน

ปัจจัยและวิธีการประเมินเสถียรภาพของผู้เชี่ยวชาญ การพังทลายที่เกิดขึ้นกับมวลหินแบบแข็งสลับอ่อนจะมีกลุ่มข้อมูลที่ผู้เชี่ยวชาญนำมาใช้ประเมินเสถียรภาพ คือ

- 1) ความสูงของความลาดเอียงมวลหิน
- 2) ค่ามุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน
- 3) จำนวนชุดรอยแตกทั้งหมดในมวลหินแข็ง
- 4) ความหนาของชั้นหินอ่อน
- 5) ระยะห่างของรอยแตกในมวลหินแข็งโดยเฉลี่ย
- 6) มุมเบี่ยงเบนระหว่างทิศทางมุมเทหน้าความลาดเอียงกับทิศทางมุมเทของชั้นหินแข็ง
- 7) มุมเทปรากฏของชั้นหินแข็งในทิศทางมุมเทของหน้าความลาดเอียงมวลหิน

โดยมีวิธีการคำนวณมุมเบี่ยงเบนระหว่างทิศทางมุมเทหน้าความลาดเอียงกับทิศทางมุมเทของชั้นหินแข็ง และมุมเทปรากฏของชั้นหินแข็งในทิศทางมุมเทของหน้าความลาดเอียงมวลหิน ดังสูตรการ (3.4) และ (3.5)

$$\text{ถ้า } 0 \leq |\delta_f - \delta_{\text{hard}}| \leq 180 \text{ แล้ว} \quad (3.4)$$

$$\delta_q = |\delta_f - \delta_{\text{hard}}|$$

$$\Psi_{sp} = \text{ArcTan} \{ \text{Tan} (\Psi_{\text{true}}) \cdot \text{Cos} (\delta_q) \}$$

$$\text{ถ้า } 180 < |\delta_f - \delta_{\text{hard}}| < 360 \text{ แล้ว} \quad (3.5)$$

$$\delta_q = 360 - |\delta_f - \delta_{\text{hard}}|$$

$$\Psi_{sp} = \text{ArcTan} \{ \text{Tan} (\Psi_{\text{true}}) \cdot \text{Cos} (\delta_q) \}$$

- โดย
- Ψ_{sp} = มุมเทปปรากฏของชั้นหินแข็งในทิศทางมุมเทของหน้าความลาดเอียงมวลหิน
 - Ψ_{true} = ค่ามุมเทจริงของชั้นหินแข็ง
 - δ_f = ทิศทางมุมเทของหน้าความลาดเอียงมวลหิน
 - δ_{hard} = ทิศทางมุมเทของชั้นหินแข็ง
 - δ_q = มุมเบี่ยงเบนระหว่างทิศทางมุมเทหน้าความลาดเอียงกับทิศทางมุมเทของชั้นหินแข็ง

8) ระดับน้ำบาดาล

9) ลักษณะและขนาดของคันพิชที่ปกคลุม

10) แรงสั่นสะเทือน

ข้อมูลเหล่านี้จะนำมาพิจารณาอย่างเป็นระบบ ผู้เชี่ยวชาญจะกำหนดอัตราความไม่มีเสถียรภาพของแต่ละกลุ่มข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3.7 โดยมีรายละเอียดของเกณฑ์การประเมินดังนี้

1) ความสูงของความลาดเอียงมวลหินสูงขึ้นอัตราความไม่มีเสถียรภาพจะเพิ่มขึ้น

2) ถ้ามีค่ามุมเทสูงขึ้นจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น

3) จำนวนชุดรอยแตกทั้งหมดคในมวลหินแข็งจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้นตามจำนวนชุดรอยแตกที่มากขึ้น และถ้าอยู่ในกรณีที่ไม่ทราบจำนวนรอยแตก ผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้มีอัตราความไม่มีเสถียรภาพอยู่ระหว่างสองถึงสามชุดเพราะว่าเป็นค่าที่พบโดยทั่วไปในงานภาคสนาม

4) ความหนาของชั้นหินอ่อน จะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพมากขึ้นตามความหนาของชั้นหินอ่อนที่เพิ่มมากขึ้น

5) ระยะห่างของรอยแตกในมวลหินแข็งโดยเฉลี่ยจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพลดลงตามระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ยที่กว้างขึ้น

ตารางที่ 3.7 อัตราความไม่มีเสถียรภาพของการพิจารณาความลาดเอียงมวลหินแบบแข็งสลับอ่อน

Slope height		Slope face angle		Number of discontinuities		Soft thickness	
(m)	Rate	Degrees	Rate	Set	Rate	(m)	Rate
5-7	2	20-25	2	1	2	0.3-0.6	3
7-10	5	25-30	3	2	5	0.6-0.9	3
10-15	8	30-35	4	3	7	0.9-1.2	4
15-20	8	35-40	6	4	10	1.2-1.5	5
>20	10	40-45	7	Unknown	5	1.5-1.7	6
		45-50	8			1.7-2.0	7
		50-55	8			> 2.0	10
		55-60	9				
		>60	10				
Average discontinuity spacing of hard rock		δ_q		Ψ_{ap}			
(mm)	Rate	Degrees	Rate	Degrees	Rate		
<20	10	0-10	10	0-10	0		
20-60	8	10-20	9	10-30	2		
60-200	6	20-30	8	30-50	5		
200-600	5	30-40	7	>50	10		
600-2000	4	40-50	6				
2000-6000	3	50-60	5				
>6000	2	60-70	4				
Unknown	5	70-110	3				
		110-120	4				
		120-130	5				
		130-140	6				
		140-150	7				
		150-160	8				
		160-170	9				
		170-180	10				
Groundwater		Vegetation		Vibration			
(%)	Rate	Conditions	Rate	Conditions	Rate		
Completely dry	3	No vegetation	10	Near blasting sites / Earthquake	10		
25	5	Only grass	7	Near main highway	5		
50	7	Grass & small tree	6	No vibration	0		
75	8	Full grown tree	5	Unknown	5		
100	10	Unknown	*5 or 10				
Unknown	10						

* 5 for arid climate, 10 for tropical climate

6) มุมเบี่ยงเบนระหว่างทิศทางลมเทหน้าความลาดเอียงกับทิศทางลมของชั้น หินแข็ง จะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพลดลงเมื่อค่ามุมเบี่ยงเบนสูงขึ้น

7) มุมเทปรากฏของชั้นหินแข็งในทิศทางลมของหน้าความลาดเอียงมวลหิน จะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้นเมื่อระดับมุมเทมีค่ามาก

8) ระดับน้ำบาดาล ถ้ามีระดับของน้ำบาดาลสูงขึ้นไปจะทำให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพ สูงขึ้น และถ้าไม่ทราบว่ามีอยู่ระดับใดผู้เชี่ยวชาญจะนำลักษณะของสภาพภูมิอากาศมาพิจารณา คือ ถ้าภูมิอากาศแบบแห้งแล้ง (Arid climate) ผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้มีค่าเท่ากับกรณีมีน้ำ 25% ของความ สูง แต่ถ้ามีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Tropical climate) ผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้มีค่าเท่ากับกรณีมีน้ำ 100% ซึ่งเป็นการคาดคะเนในเชิงอนุรักษ์

9) ลักษณะดินพืชที่ปกคลุม ผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำว่าถ้าขนาดของดินพืชที่อยู่บน ความลาดเอียงมีขนาดใหญ่และมีมากจะทำให้มีอัตราความไม่มีเสถียรภาพต่ำลง แต่ถ้ากรณีที่ไม่ทราบว่ามีลักษณะใดผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้อัตราความ ไม่มีเสถียรภาพเท่ากับกรณีมีดินหญ้าและต้นไม้เล็ก ๆ เป็นรูปแบบที่มีอัตราความไม่มีเสถียรภาพมากที่สุด ซึ่งจะบ่งถึงว่าความลาดเอียงนั้นเกิดการพังทลาย มาในอดีต

10) แรงสั่นสะเทือน ถ้าความลาดเอียงใดมีอัตราของแรงสั่นสะเทือนสูงหรือว่าอยู่ ใกล้กับแหล่งกำเนิดแรงสั่นสะเทือนจะทำให้มีอัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้น และถ้ากรณีที่ไม่ทราบว่า แรงสั่นสะเทือนอยู่ในลักษณะใดผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้มีอัตราความ ไม่มีเสถียรภาพเท่ากับกรณีที่อยู่ ใกล้กับเส้นทางหลวงสายหลัก

หลังจากมีการกำหนดอัตราความไม่มีเสถียรภาพทั้ง 10 ตัวแปร จะมีการนำตัวแปร ในแต่ละชุด มาเปรียบเทียบระดับความสำคัญ โดยจะมีการเปรียบเทียบใน 2 ลักษณะ คือ นำตัวแปร แต่ละชนิดในแต่ละระดับค่าความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของหินแข็งและอ่อนมาเปรียบเทียบกัน และนำตัวแปรทั้ง 10 ตัวมาเปรียบเทียบกันเองจากตารางที่ 3.8 สามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มข้อมูลที่มีระดับความสำคัญเพิ่มขึ้นตามระดับค่าความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของหินแข็งและอ่อนที่ลดลง ประกอบด้วย จำนวนชุดรอยแตกและระยะห่างของรอยแตกใน มวลหินแข็ง โดยเฉลี่ย

2) กลุ่มข้อมูลที่มีระดับความสำคัญลดลงเมื่อระดับค่าความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของหินแข็งและอ่อนที่ลดลง ประกอบด้วย ความสูงของความลาดเอียงมวลหิน ระดับมุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน ความหนาของชั้นหินอ่อน มุมเบี่ยงเบนระหว่างทิศทางลมเทหน้าความลาดเอียงกับทิศทางลมของชั้นหินแข็ง มุมเทปรากฏของชั้นหินแข็งในทิศทางลมของหน้าความลาดเอียงมวลหิน ระดับน้ำบาดาล ลักษณะและขนาดของดินพืชที่ปกคลุม และแรงสั่นสะเทือน

ตารางที่ 3.8 ระดับความสำคัญของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาความลาดเอียงมวลหินแบบแข็ง
สลับอ่อน

Soft rock & Hard rock	Slope height	Slope face angle	Number of discontinuity	Average discontinuity spacing of hard rock		
R1&R4	1.8	2.1	0	0.2		
R1&R3	1.8	2.0	0.7	0.5		
R2&R5	1.2	2.0	1.3	1.3		
R2&R4	1.0	1.5	2.0	1.9		
R3&R5	0.9	1.3	2.5	2.5		

Soft rock & Hard rock	δ_q	Ψ_{sp}	Groundwater	Vegetation	Vibration
R1&R4	1.0	1.2	1.3	0.4	1.0
R1&R3	0.8	1.2	1.2	0.4	0.6
R2&R5	0.7	1.0	1.0	0.3	0.5
R2&R4	0.7	0.9	0.8	0.2	0.4
R3&R5	0.6	0.8	0.7	0.2	0

δ_q = Oblique angle between dip direction of slope face and dip direction of hard formations
Ψ_{sp} = Apparent dip angle of hard formations along dip direction of slope face

เมื่อนำค่าตัวแปรทั้ง 10 ตัวมาเปรียบเทียบกันเองจะพบว่า มีระดับความสำคัญของแต่ละตัวแปรต่อการประเมินเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหินมีลำดับความสำคัญโดยเฉลี่ยจากมากไปน้อย คือ ระดับมุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน 17.8% ความสูงของความลาดเอียงมวลหิน 13.4% จำนวนชุดรอยแตก 13% ระยะห่างของรอยแตกในมวลหินแข็งโดยเฉลี่ย 12.8% มุมเทปรากฏของชั้นหินแข็งในทิศทางมุมเทของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 10.2% ระดับน้ำบาดาล 10% มุมเบี่ยงเบนระหว่างทิศทางมุมเทหน้าความลาดเอียงกับทิศทางมุมเทของชั้นหินแข็ง 7.6% ความหนาของชั้นหินอ่อน 7.2% แรงดันสะท้อน 5% ลักษณะและขนาดของคันพิชที่ปกคลุม 3%

เมื่อทำการกำหนดคะแนนเสร็จทั้งสองชุดแล้วจะต้องนำคะแนนทั้งสองชุดมาคูณและนำมารวมกันเป็นค่าความน่าจะเป็นของการพังทลายโดยจะอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ของการเกิดการพังทลายแบบแผ่นระนาบหรือแบบรูปลิ้ม และสามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$P\{f\}_{\text{Hard-Soft}} = \sum \{R_n \times I_n\}, n = 1, 2, 3, \dots, 10 \quad (3.6)$$

- โดย $P\{f\}_{\text{Hard-Soft}}$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการพังทลายของมวลหินแข็งสลับอล่อน
- R_n คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของตัวแปรที่ n โดย
- R_1 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของความสูงความลาดเอียงมวลหิน
- R_2 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของท่ามุมเทหน้าลาดเอียงมวลหิน
- R_3 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของจำนวนชุดรอยแตกทั้งหมดในมวลหินแข็ง
- R_4 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของความหนาของชั้นหินอ่อน
- R_5 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของระยะห่างรอยแตกในมวลหินแข็งโดยเฉลี่ย
- R_6 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของมุมเบี่ยงเบนระหว่างทิศทางมุมเทหน้าความลาดเอียงกับทิศทางมุมเทของชั้นหินแข็ง
- R_7 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของมุมเทปรากฏของชั้นหินแข็งในทิศทางมุมเทของหน้าความลาดเอียงมวลหิน
- R_8 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของระดับน้ำบาดาล
- R_9 คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของลักษณะและขนาดของคันพิชที่ปกคลุม
- R_{10} คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของแรงดันสะท้อน
- I_n คือ ระดับความสำคัญของตัวแปรที่ n โดย
- I_1 คือ ระดับความสำคัญของความสูงความลาดเอียงมวลหิน
- I_2 คือ ระดับความสำคัญของระดับมุมเทหน้าลาดเอียงมวลหิน
- I_3 คือ ระดับความสำคัญของจำนวนชุดรอยแตกทั้งหมดในมวลหินแข็ง
- I_4 คือ ระดับความสำคัญของความหนาของชั้นหินอ่อน

- I₅ คือ ระดับความสำคัญของระยะห่างรอยแตกในมวลหินแข็งโดยเฉลี่ย
- I₆ คือ ระดับความสำคัญของมุมเบี่ยงเบนระหว่างทิศทางมุมเทหน้าความลาดเอียงกับทิศทางมุมของชั้นหินแข็ง
- I₇ คือ ระดับความสำคัญของมุมเทปรากฏของชั้นหินแข็งในทิศทางมุมเทของหน้าความลาดเอียงมวลหิน
- I₈ คือ ระดับความสำคัญของระดับน้ำบาดาล
- I₉ คือ ระดับความสำคัญของลักษณะและขนาดของคั่นพืชที่ปกคลุม
- I₁₀ คือ ระดับความสำคัญของแรงสั่นสะเทือน

3.7 เกณฑ์การออกแบบการค้ำยันของผู้เชี่ยวชาญ

เมื่อการประเมินเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหินเสร็จสิ้นลง คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์จะนำผลการประเมินไปเปรียบเทียบกับระดับความปลอดภัยที่ต้องการซึ่งมีอยู่ 3 ระดับ คือ 1) ความปลอดภัยระดับ A คือ ความปลอดภัยที่ยอมให้มีค่าโอกาสการพังทลายไม่เกิน 30% 2) ความปลอดภัยระดับ B คือ ความปลอดภัยที่ยอมให้มีค่าโอกาสการพังทลายไม่เกิน 50% 3) ความปลอดภัยระดับ C และ D คือ ความปลอดภัยที่ยอมให้มีค่าโอกาสการพังทลายไม่เกิน 70% ถ้ากรณีใดกรณีหนึ่งไม่เป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้นระบบจะส่งข้อมูลและรูปแบบการพังทลายเข้าสู่ส่วนของการออกแบบและให้คำแนะนำ ในแต่ละวิธีของการออกแบบจะมีกฎเกณฑ์การคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ข้อมูลทางด้านระดับความปลอดภัยที่ต้องการ ลักษณะธรณีวิทยาเบื้องต้นของความลาดเอียงมวลหิน จุดประสงค์ (Function requirement) ที่สำคัญของการป้องกันการพังทลายและรูปแบบการพังทลายที่ปรากฏ ซึ่งจะเป็นไปตามระเบียบวิธีการออกแบบ (Design methodology) ที่ใช้กันทั่วไปในเชิงวิศวกรรม

ผู้เชี่ยวชาญได้แบ่งกลุ่มของวิธีการออกแบบเป็น 3 กลุ่ม สำหรับ 9 วิธีการออกแบบ โดยการเลือกใช้แต่ละวิธีจะถูกกำหนดโดยลักษณะทางธรณีวิทยาเบื้องต้นของมวลหิน 6 ลักษณะดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 และลักษณะการพังทลายที่เกิดมีดังนี้

1) กลุ่มติดตั้งอุปกรณ์ค้ำยัน (Stabilization methods) ได้แก่

- (1) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้หมุดยึดหินหรือ Cable bolt อย่างเดียว
- (2) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้หมุดยึดหินร่วมกับตาข่ายลวด (Wine mesh)
- (3) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้หมุดยึดหินร่วมกับตาข่ายลวดและท่อระบายน้ำ (Drained pipes)
- (4) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้หมุดยึดหินร่วมกับท่อระบายน้ำ

(5) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้ท่อระบายน้ำอย่างเดียว

2) กลุ่มเปลี่ยนรูปร่าง (Re-excavation) ได้แก่

การปรับปรุงเสถียรภาพโดยการเปลี่ยนรูปร่างของความลาดเอียงมวลหินอย่างเดียว

3) กลุ่มรวมทั้งสองวิธี (Combined methods) ได้แก่

- (1) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยการเปลี่ยนรูปร่างร่วมกับการใช้หมุดยึดหินหรือ Cable bolt
- (2) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยการเปลี่ยนรูปร่างร่วมกับการใช้หมุดยึดหินและตาข่ายลวด
- (3) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยการเปลี่ยนรูปร่างร่วมกับการใช้หมุดยึดหิน ตาข่ายลวด และท่อระบายน้ำ

สำหรับ 9 วิธีการออกแบบและการให้คำแนะนำสามารถแสดงเป็นแผนภูมิดังรูปที่

3.2 โดยแบ่งองค์ประกอบของแผนภูมิเป็น 7 ขั้นตอน ประกอบด้วย

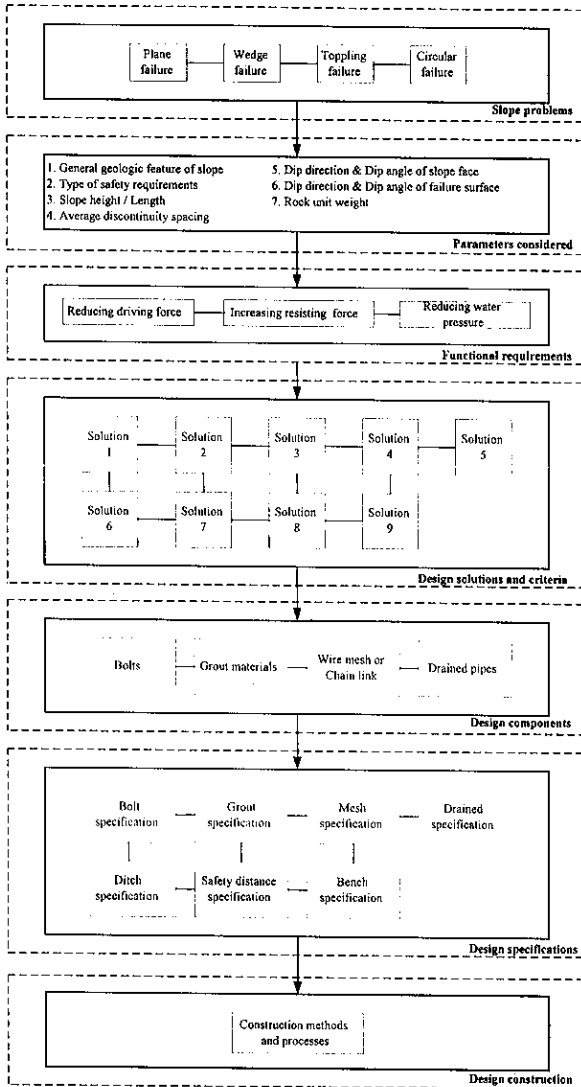
- 1) แผนภูมิแสดงปัญหาที่พบ (Slope problems)
- 2) แผนภูมิแสดงตัวแปรที่นำมาพิจารณาในการออกแบบ (Design parameters)
- 3) แผนภูมิแสดงหน้าที่ของการออกแบบ (Functional Requirements)
- 4) แผนภูมิแสดง 9 วิธีการออกแบบและเกณฑ์การคัดเลือกแต่ละวิธี (9 Design solution and Design criteria)
- 5) แผนภูมิแสดงอุปกรณ์การออกแบบ (Design components)
- 6) แผนภูมิแสดงคุณลักษณะของการออกแบบ (Design specification)
- 7) แผนภูมิแสดงวิธีการออกแบบก่อสร้าง (Design construction)

โดยสามารถแสดงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน ดังนี้

3.7.1 ปัญหาที่พบ

การออกแบบแก้ไขเสถียรภาพทั้ง 9 วิธี เพื่อที่จะให้การออกแบบมีประสิทธิภาพสูงสุดและไม่ให้เกิดการออกแบบที่ซ้ำซ้อน ดังนั้น ก่อนที่จะเลือกวิธีการออกแบบจะต้องมีการจำแนกหาจุดประสงค์ที่สำคัญของการออกแบบ โดยกำหนดตามลักษณะทางกลศาสตร์ของการพังทลายที่เกิดขึ้น ดังนี้

1) การพังทลายที่เกิดตามแนวอ่อนตัว (Weak zone) การพังทลายแบบรูปไหลโคลิ่ง แบบแผ่นระนาบ และแบบรูปลิ้ม การพังทลายจะมีผลมาจาก แรงต้านการเคลื่อนตัว (Resisting force) เช่น แรงเสียดทานที่ผิวการพังทลาย (Slip surface หรือ Failure surface) ของมวลหินหรือรอยแตกมีค่าน้อยกว่าแรงที่ทำให้มวลหินเกิดการเคลื่อนตัว (Driving force) เช่น น้ำหนักของมวลหิน แรงดันน้ำ ดังนั้น จึงมีจุดในการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ



รูปที่ 3.2 แผนภูมิของกระบวนการออกแบบและการคำนวณความลาดเอียงมวลหิน

(1) ปรับปรุงเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหินโดยเพิ่มแรงด้านการเคลื่อนที่ได้แก่วิธีการนำหมุดยึดหินหรือ Cable bolt ติดยึดมวลหิน

(2) ปรับปรุงเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหินโดยลดแรงเคลื่อนตัว ได้แก่ กลุ่มวิธีติดตั้งท่อระบายน้ำและเปลี่ยนรูปร่างของความลาดเอียง

(3) บล็อกกันเศษหินที่หลุดร่วงลงมาที่ฐานของความลาดเอียง ได้แก่ วิธีการติดตั้งตาข่ายลวดสำหรับยึดไม่ให้ก้อนหินขนาดเล็กเคลื่อนตัว

2) การพังทลายที่เกิดจากสมดุของรูปร่างก้อนมวลหิน การพังทลายแบบพลิกคว่ำจะมีกลไกของการพังทลายตามหลักสมดุของโมเมนต์ คือ ถ้าจุดของก้อนหินที่พิจารณามีขนาดของโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำมากกว่า โมเมนต์ด้านการพลิก จะทำให้จุดก้อนหินเกิดการพลิกคว่ำ ดังนั้น จุดประสงค์ของการแก้ปัญหา คือ

(1) เพิ่มโมเมนต์ด้านการพลิกคว่ำโดยใช้หมุดยึดหินหรือ Cable bolt

(2) ป้องกันเศษหินที่หลุดร่วงลงมาที่ฐานของความลาดเอียง ได้แก่ วิธีการติดตั้งตาข่ายลวดสำหรับยึดไม่ให้ก้อนหินขนาดเล็กเคลื่อนตัวพลิกคว่ำ

3.7.2 ตัวแปรที่นำมาพิจารณาในการออกแบบ

ตัวแปรที่สำคัญต่อการออกแบบในแต่ละวิธีจะขึ้นกับรูปแบบของการพังทลาย 2 กลุ่มคือ 1) กลุ่มพังทลายที่เกิดจาก Strength ของหิน ได้แก่ รูปไหลโค้ง 2) กลุ่มการพังทลายที่เกิดจากรอยแตกในมวลหิน ได้แก่ แบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ่ม และแบบพลิกคว่ำ

1) กลุ่มการพังทลายที่เกิดจาก Strength ของหิน มีตัวแปรที่สำคัญต่อการออกแบบ ได้แก่

(1) ทิศทางและมุมเทของหน้าความลาดเอียง จะนำไปใช้กำหนดทิศทางและมุมติดตั้งหมุดยึดหินหรือ Cable bolt และลักษณะของการเปลี่ยนรูปร่างความลาดเอียง

(2) ความสูงของความลาดเอียง จะนำไปใช้ในการกำหนดจำนวนของหมุดยึดหินและ Cable bolt ได้อย่างคร่าว ๆ และลักษณะของการเปลี่ยนรูปร่างความลาดเอียง

(3) ความยาวของความลาดเอียง จะนำไปใช้ในการกำหนดจำนวนของหมุดยึดหินและ Cable bolt ได้อย่างคร่าว ๆ

(4) น้ำหนักเฉพาะของหิน จะนำไปใช้ไปคำนวณหากำลังแรงดึงของของหมุดยึดหินหรือ Cable bolt ที่ต้องการ

2) กลุ่มการพังทลายที่เกิดจากรอยแตกในมวลหิน มีตัวแปรที่สำคัญต่อการออกแบบ ได้แก่

(1) ทิศทางและมุมเทของหน้าความลาดเอียง จะนำไปใช้กำหนดทิศทางและมุมติดตั้งหมุดยึดหินหรือ Cable bolt และลักษณะของการเปลี่ยนรูปร่างความลาดเอียง

(2) ความสูงของความลาดเอียง จะนำไปใช้ในการกำหนดจำนวนของหมุดยึดหินและ Cable bolt ได้อย่างคร่าว ๆ และลักษณะของการเปลี่ยนรูปร่างความลาดเอียง

(3) ความยาวของความลาดเอียง จะนำไปใช้ในการกำหนดจำนวนของหมุดยึดหินและ Cable bolt ได้อย่างประมาณ

(4) ทิศทางและมุมเทของพื้นผิวการพังทลาย จะนำไปใช้กำหนดทิศทางและมุมติดตั้งหมุดยึดหินหรือ Cable bolt และลักษณะของการเปลี่ยนรูปร่างความลาดเอียง

(5) ระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ย จะนำไปใช้ไปคำนวณความยาวและระยะห่างของหมุดยึดหิน หรือ Cable bolt

(6) น้ำหนักจำเพาะของหิน จะนำไปใช้ไปคำนวณน้ำหนักถังแรงดึงของหมุดยึดหินหรือ Cable bolt ที่ต้องการ

3.7.3 วิธีการออกแบบและเกณฑ์การคัดเลือกแต่ละวิธี

ผู้เชี่ยวชาญได้แบ่งกลุ่มของวิธีการออกแบบเป็น 3 กลุ่ม โดยการเลือกใช้ในแต่ละวิธีจะถูกกำหนดโดยลักษณะทางธรณีวิทยาเบื้องต้นของมวลหิน 6 ลักษณะดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 และลักษณะการพังทลายที่เกิด ดังนี้

1) กลุ่มติดตั้งอุปกรณ์ค้ำยัน (Stabilization methods) ได้แก่

(1) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้หมุดยึดหินหรือ Cable bolt อย่างเดียว จะใช้กับความลาดเอียงแบบมวลก้อนและแบบแผ่น ที่มีระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ยมากกว่า 0.5 m และแบบมีกำลังรับแรงอัดต่ำ และมีรูปแบบการพังแบบแผ่นระนาบ แบบรูปสี่เหลี่ยม และแบบไหลโค้ง

(2) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้หมุดยึดหินหรือ Cable bolt ร่วมกับดาข่ายลวด จะใช้กับความลาดเอียงแบบมวลก้อน แบบแผ่น และแบบมีรอยแตกมาก ที่มีระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 0.5 m และมีรูปแบบการพังแบบ แผ่นระนาบ แบบรูปสี่เหลี่ยม และแบบไหลโค้ง

(3) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้หมุดยึดหินหรือ Cable bolt ร่วมกับดาข่ายลวด และท่อระบายน้ำ จะใช้กับความลาดเอียงแบบ มวลก้อน แบบแผ่น และแบบมีรอยแตกมาก ที่มีระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 0.5 m และมีรูปแบบการพังแบบแผ่นระนาบ แบบรูปสี่เหลี่ยม และแบบไหลโค้ง

(4) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้หมุดยึดหินหรือ Cable bolt เป็นจุด ๆ จะใช้กับความลาดเอียงแบบมวดหนา และมีรูปแบบการพังแบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม แบบพลิกคว่ำ

(5) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้ท่อระบายน้ำอย่างเดียว จะใช้กับความลาดเอียงแบบ มวลก้อน แบบแผ่น แบบมีกำลังรับแรงอัดต่ำ และแบบมีรอยแตกมาก มีรูปแบบการพังแบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม แบบพลิกคว่ำ และแบบไหลไถ่ วิธีนี้จะใช้เมื่อผลการประเมินเสถียรภาพประเมินออกมาว่าถ้าความลาดเอียงไม่มีน้ำแล้วจะมีผลทำให้ความลาดเอียงมีเสถียรภาพ

2) กลุ่มเปลี่ยนรูปร่างของความลาดเอียง (Slope modification) ได้แก่

การปรับปรุงเสถียรภาพโดยการเปลี่ยนรูปร่างของความลาดเอียงมวลหินอย่างเดียว จะใช้กับความลาดเอียงแบบมวลก้อน แบบแผ่น แบบมีกำลังรับแรงอัดต่ำ แบบมีรอยแตกมาก และแบบอ่อนสลัแข็ง มีรูปแบบการพังแบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม แบบพลิกคว่ำ และแบบไหลไถ่ โดยจะขึ้นกับความสูงของความลาดเอียงและระดับความต้องการความปลอดภัยที่ต้องการของแต่ละรูปแบบการพังทลาย

3) กลุ่มรวมทั้งสองวิธี (Combined methods) ได้แก่

(1) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยการเปลี่ยนรูปร่างร่วมกับการใช้หมุดยึดหินหรือ Cable bolt จะใช้กับความลาดเอียงแบบมวลก้อน และแบบแผ่นที่มีระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ยมากกว่า 0.5 m และแบบมีกำลังรับแรงอัดต่ำ และมีรูปแบบการพังแบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม แบบพลิกคว่ำ และแบบไหลไถ่ การเปลี่ยนรูปร่างจะขึ้นกับความสูงของความลาดเอียงและระดับความปลอดภัยที่ต้องการของแต่ละรูปแบบการพังทลาย

(2) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยการเปลี่ยนรูปร่างร่วมกับการใช้หมุดยึดหินหรือ Cable bolt และตาข่ายลวดจะใช้กับความลาดเอียงแบบมวลก้อน แบบแผ่น และแบบมีรอยแตกมากที่มีระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 0.5 m และมีรูปแบบการพังแบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม แบบพลิกคว่ำ และแบบไหลไถ่ การเปลี่ยนรูปร่างจะขึ้นกับความสูงของความลาดเอียงและระดับความต้องการความปลอดภัยที่ต้องการของแต่ละรูปแบบการพังทลาย

(3) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยการเปลี่ยนรูปร่างร่วมกับการใช้หมุดยึดหินหรือ Cable bolt ตาข่ายลวดและท่อระบายน้ำ จะใช้กับความลาดเอียงแบบมวลก้อน แบบแผ่น และแบบมีรอยแตกมากที่มีระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ยน้อยกว่า 0.5 m และมีรูปแบบการพังแบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม แบบพลิกคว่ำ และแบบไหลไถ่ การเปลี่ยนรูปร่างจะขึ้นกับความสูงของความลาดเอียงและระดับความปลอดภัยที่ต้องการของแต่ละรูปแบบการพังทลาย

3.7.4 อุปกรณ์การออกแบบ

จากวิธีการออกแบบทั้งหมด 9 วิธีจะมีชุดองค์ประกอบหลักของอุปกรณ์ค้ำยัน และชุดอุปกรณ์สำหรับติดตั้ง ดังนี้

1) อุปกรณ์ค้ำยันและเปลี่ยนรูปร่างของความลาดเอียงมวลหิน

- (1) ชุดหมุดยึดหินหรือสมอยึดหิน ที่ประกอบด้วย แกนเหล็ก (Rebar) แผ่นเหล็กทรง (Steel plates) หัวหมุดยึดหิน (Hut)
- (2) วัสดุยึดที่เป็น Resin หรือ Cement
- (3) รถดักคิน (Backhoe)
- (4) วัตถุระเบิด

2) ชุดอุปกรณ์สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ค้ำยัน

- (1) ท่อฉีดวัสดุยึดติด
- (2) บั้มอัดฉีดน้ำแรงสูงเพื่อทำความสะอาดรู
- (3) บั้มอัดฉีดวัสดุยึดติดแรงสูง (Grout pressure machine)
- (4) ประแจหรือเครื่องมือให้แรงบิด

3.7.5 คุณสมบัติของการออกแบบ (Design specifications)

1) คุณสมบัติของการออกแบบหมุดยึดหิน

(1) ใช้ "Resin fully grout steel rebar" จะใช้ในกรณีความลาดเอียงระดับ A ลักษณะมวลหินเป็น แบบมีรอยแตกมากหรือแบบก้อนที่มีขนาดก้อนเฉลี่ยน้อยกว่า 0.5 m หรือมวลหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ

(2) ใช้ "Cement fully grout steel rebar" จะใช้ในกรณีความลาดเอียงระดับ B ลักษณะมวลหินเป็น แบบมีรอยแตกมากหรือแบบก้อนที่มีขนาดก้อนเฉลี่ยน้อยกว่า 0.5 m หรือมวลหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ

(3) ใช้ "Resin grout point steel rebar" จะใช้ในกรณีความลาดเอียงระดับ A ลักษณะมวลหินแบบก้อนที่มีขนาดก้อนเฉลี่ยมากกว่า 0.5 m มวลหินแบบแผ่น และแบบมวลหนา

(4) ใช้ "Cement grout point steel rebar" จะใช้ในกรณีความลาดเอียงระดับ B ลักษณะมวลหินเป็นแบบก้อนที่มีขนาดก้อนเฉลี่ยมากกว่า 0.5 m มวลหินแบบแผ่น และแบบมวลหนา

(5) "Rock anchor" จะใช้ในกรณีความลาดเอียงระดับ C และ D ลักษณะมวลหินเป็นแบบที่มีขนาดก้อนเฉลี่ยมากกว่า 0.5 m มวลหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ แบบมีรอยแตกมาก มวลหินแบบแผ่น และแบบมวลหนา

(6) ความยาวของหมุดยึดหินประมาณ 2-3 เท่าของระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ย แต่จะต้องไม่น้อยกว่า 3 m

(7) รูปแบบการติดหมุดยึดหินเป็นแบบ Square pattern มีระยะห่างระหว่างหมุดแต่ละตัวเท่ากับ 2 เท่าของระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ย แต่จะต้องไม่น้อยกว่า 2 m

(8) ขนาดของหมุดยึดหินผันแปรจาก 12, 16, 20, 22, 25, 30, 32, 35 จนถึง 51 mm เป็นอย่างต่ำ (ขึ้นกับกำลังรับแรงดึงที่ต้องการ)

(9) ใช้ Rebar ที่ทำจากเหล็กกล้าชุบแข็งมีส่วนผสมของคาร์บอน 0.2%, 0.4% หรือ 0.8% Carbon and Hardened เป็นอย่างต่ำ

2) คุณลักษณะของวัสดุยึด (Grout material)

(1) แรงดันที่ใช้ฉีดวัสดุประสานจะต้องไม่น้อยกว่า 150 ถึง 200 kN/m² (Douglas and Arthur, 1983)

(2) ต้องมีระยะเวลาก่อตัวของ Bond strength ไม่น้อยกว่า 5 นาที สำหรับ Resin และ 24 ชั่วโมงสำหรับ Cement จึงจะสามารถใส่กำลังยึด (Douglas and Arthur, 1983) ได้

3) คุณลักษณะของการออกแบบตาข่ายลวด

(1) ขนาดของตาข่ายลวด (Wire mesh or Chain link) จะต้องน้อยกว่าขนาดเฉลี่ยของก้อน แต่จะน้อยกว่า 50 cm และ

(2) ชนิดของตาข่ายลวดแบบ Galvanized steel ถ้าระดับ A หรือระดับ B และ Steel ถ้าเป็นระดับ C หรือ ระดับ D

4) คุณลักษณะของการออกแบบท่อระบายน้ำ

(1) การออกแบบท่อระบายน้ำจะใช้ท่อพลาสติกหรือท่อเหล็ก

(2) ความยาวตลอดเท่ากับความสูงของความลาดเอียงเป็นอย่างน้อย

(3) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-25 cm (4-8 in)

(4) มีการเจาะร่องตลอดลำท่อ

(5) ติดตั้งที่มุมเทจากแนวระดับ 5-10 degrees

(6) ทิศทางการติดตั้งมุมเดียวกับหน้าของความลาดเอียงมวลหิน

(7) ระยะห่างระหว่างท่อเท่ากับ 10 เท่าของระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ย แต่ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1/10 ของความสูงมวลหิน และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1/5 ของความสูงมวลหิน

5) คุณลักษณะของการออกแบบ Ditch

ในกรณีที่ไม่มีการตัดลาดคาบและก้อนหินมีขนาดน้อยกว่า 50 cm จะต้องทำ Ditch เพื่อรองรับหินที่ตกและเป็นทางระบายน้ำ

6) คุณลักษณะของการออกแบบระยะปลอดภัย

(1) การออกแบบความลาดเอียงที่สามารถกำหนดระยะปลอดภัยระหว่างสิ่งปลูกสร้างกับความลาดเอียงระดับ A หรือระดับ B ควรมีระยะปลอดภัยไม่ต่ำกว่า 10 m

(2) ระดับ C หรือ Type D ควรมีระยะปลอดภัยไม่ต่ำกว่า 5 m

3.7.6 การออกแบบการก่อสร้าง (Design construction)

(1) ถ้าวิธีที่เลือกมาไม่ใช่การเปลี่ยนรูปร่างของความลาดเอียงอย่างเดียวจะต้องทำในขั้นตอนต่อ ๆ ไป

(2) การทำความสะอาดผิวหน้าของความลาดเอียงมวลหิน เช่น กำจัดวัชพืชที่ปกคลุมผิวหน้า จัดแฉะเอาเศษหินที่มีโอกาสจะเกิดการหลุดร่วง (Clearing slope face & Rock scaling)

(3) ทำการเลือกตำแหน่งการติดตั้งหมุดยึดหิน (Selected bolts location) โดยมีหลักเกณฑ์คือเลือกตำแหน่งที่ไม่ตรงกับรอยแตกของมวลหิน ถ้าวิธีนี้มีการติดตั้งท่อระบายน้ำจะต้องกำหนดตำแหน่งของท่อโดยมีเกณฑ์คือ จะต้องเลือกตำแหน่งมวลหินที่มีรอยแตกมาก ๆ

(4) เจาะรูโดยใช้ Small hand-held drilled หรือ Hydraulic หรือ Pneumatic multiple-boom jumps ขุดเจาะซึ่งจะขึ้นกับความอ่อนหรือแข็งของหิน และความละเอียดของงานรวมทั้งงบประมาณ

(5) ถ้ำรูให้สะอาดด้วยการฉีดน้ำแรงดันสูง และทิ้งไว้จนแห้งสนิท

(6) ถ้าวิธีนี้จะต้องติดตั้งท่อระบายน้ำจะต้องทำการติดตั้งในขั้นตอนนี้ โดยติดตั้งตามกฎเกณฑ์ที่ให้ไว้ข้างต้น

(7) ถ้าวิธีนี้จะต้องมีการตัดคาบเพื่อป้องกันหินหล่นจะต้องทำในขั้นตอนนี้ การตัดคาบจะต้องให้แนบสนิทกับผิวของหน้าความลาดเอียง

(8) สอดชุดแกนของหมุดยึดหิน ท่ออัดวัสดุแทรกเข้าไปในรู ติดตั้งแผ่นเหล็กรองและหัวหมุด

(9) อัดวัสดุยึดติดเข้าไปตามท่อฉีดวัสดุยึดติด โดยทำเป็น Grout point anchor ก่อนสำหรับการติดตั้งแบบ “Fully grout steel rebar” หลังจากนั้นจึงอัดฉีดอีกครั้งหลังจากใส่แรงแล้ว แต่ถ้าเป็นการติดตั้งแบบ “Point grout steel rebar” ไม่ต้องอัดฉีดวัสดุยึดให้เต็มรู

(10) หลังจากรอให้เกิดการจับตัวของวัสดุแทรกจนเกิด Bond strength ที่แข็งแรงพอตามเวลาที่กำหนดข้างต้นจะทำการใส่แรงดึงด้วยการขันด้วยประแจหรือเครื่องจักร

บทที่ 4

แผนภูมิการไหลของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์

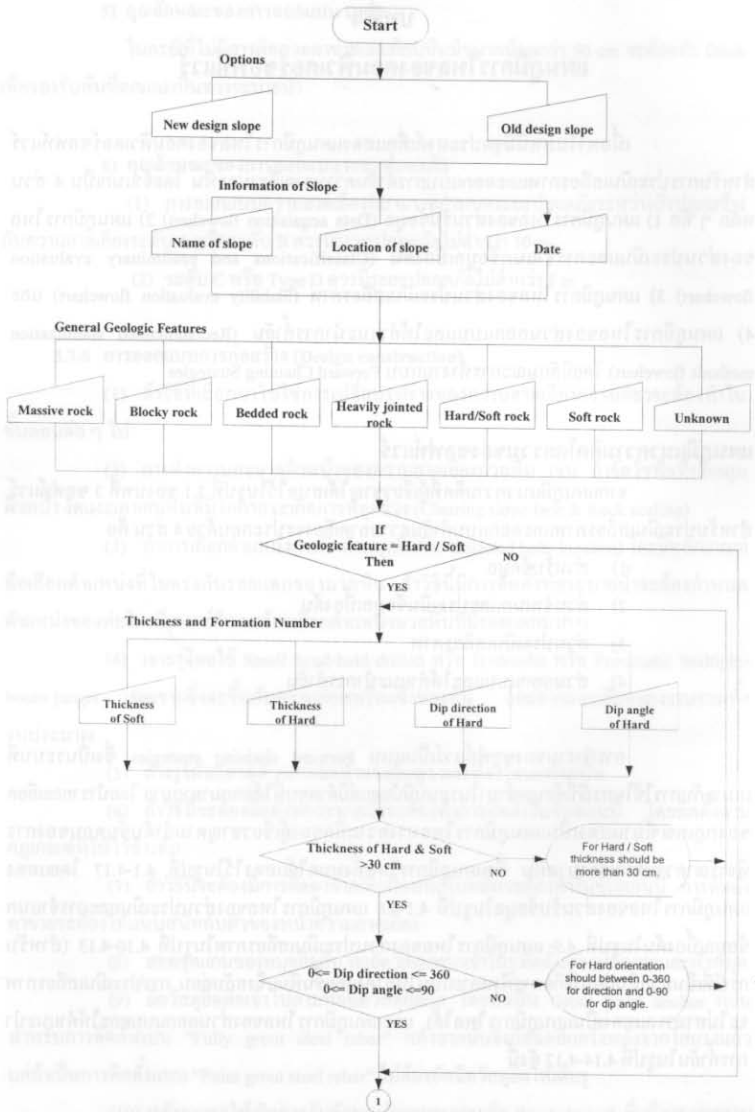
เนื้อหาในบทนี้มีจุดประสงค์เพื่อแสดงแผนภูมิการไหลของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ สำหรับการประเมินเสถียรภาพและออกแบบการกำบังความลาดเอียงมวลหิน โดยจำแนกเป็น 4 ส่วนหลัก ๆ คือ 1) แผนภูมิการไหลของส่วนรับข้อมูล (Data acquisition flowchart) 2) แผนภูมิการไหลของส่วนประเมินและการจำแนกข้อมูลเบื้องต้น (Classifications and preliminary evaluation flowchart) 3) แผนภูมิการไหลของส่วนประเมินเสถียรภาพ (Stability evaluation flowchart) และ 4) แผนภูมิการไหลของส่วนออกแบบและให้คำแนะนำการกำบัง (Recommended stabilization methods flowchart) โดยมีลักษณะการทำงานแบบ Forward Chaining Strategies

แผนภูมิแนวความคิดโดยรวมของซอฟต์แวร์

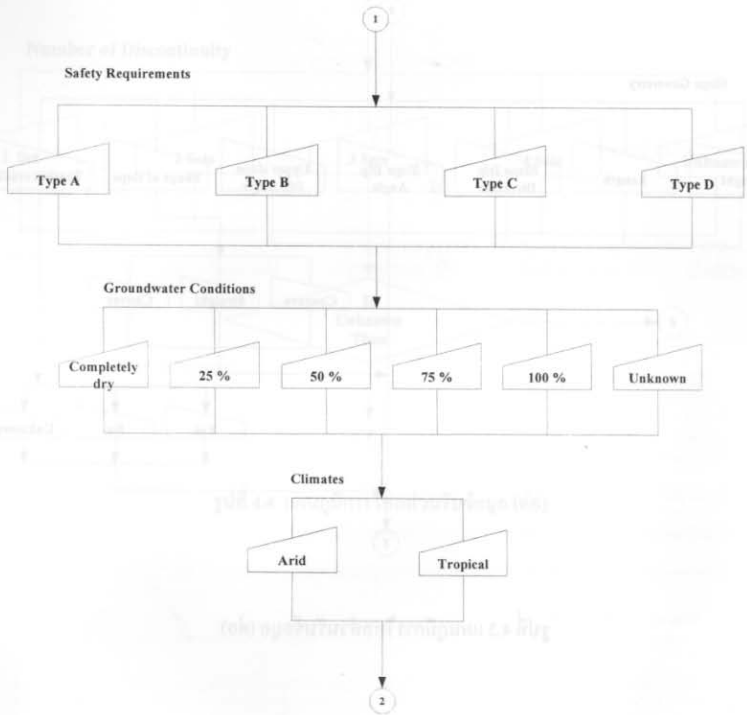
จากแผนภูมิแนวความคิดที่ผู้เชี่ยวชาญได้เสนอไว้ในรูปที่ 3.1 ของบทที่ 3 ซอฟต์แวร์ สำหรับการประเมินเสถียรภาพและออกแบบกำบังความลาดเอียงจะประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

- 1) ส่วนรับข้อมูล
- 2) ส่วนจำแนกและประเมินข้อมูลเบื้องต้น
- 3) ส่วนประเมินเสถียรภาพ
- 4) ส่วนออกแบบและให้คำแนะนำการกำบัง

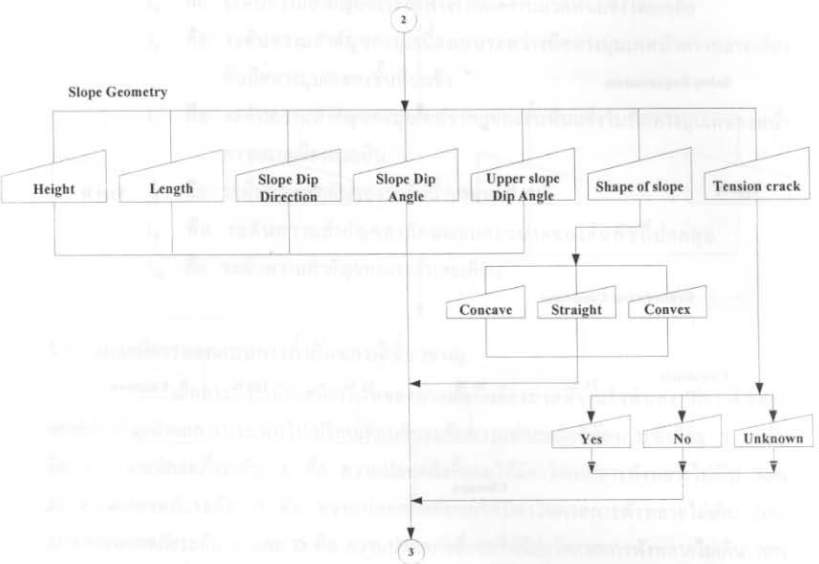
การทำงานของซอฟต์แวร์เป็นแบบ Forward chaining strategies ซึ่งเป็นระบบที่เหมาะสมกับการใช้ในกรณีที่มีข้อมูลเข้ามาในระบบมีน้อยแต่มีคำตอบที่ได้ออกมามากมาย โดยนำรายละเอียดของกฎเกณฑ์มาแสดงเป็นแผนภูมิการไหลทางความคิดของผู้เชี่ยวชาญตามลำดับขั้นตอนของการพิจารณาความลาดเอียงมวลหิน ซึ่งแผนภูมิการไหลทั้งหมดได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1-4.17 โดยแสดงแผนภูมิการไหลของส่วนรับข้อมูลในรูปที่ 4.1-4.8 แผนภูมิการไหลของส่วนประเมินและการจำแนกข้อมูลเบื้องต้นในรูปที่ 4.9 แผนภูมิการไหลของส่วนประเมินเสถียรภาพในรูปที่ 4.10-4.13 (สำหรับกรณีที่หินมวลหินอ่อนที่เกิดการพังทลายแบบไหลโคลิ่งและชั้นหินแข็งสลับอ่อน การประเมินเสถียรภาพ จะไม่สามารถแสดงเป็นแผนภูมิการไหลได้) และแผนภูมิการไหลของส่วนออกแบบและให้คำแนะนำการกำบังในรูปที่ 4.14-4.17 ดังนี้



รูปที่ 4.1 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล

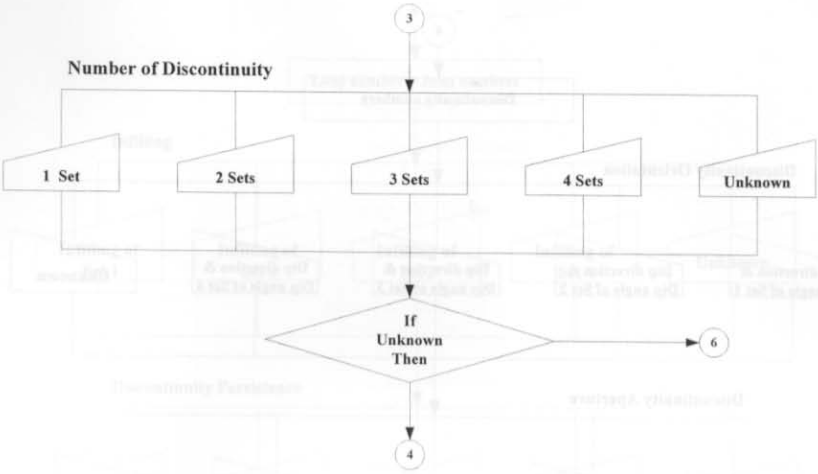


รูปที่ 4.2 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)



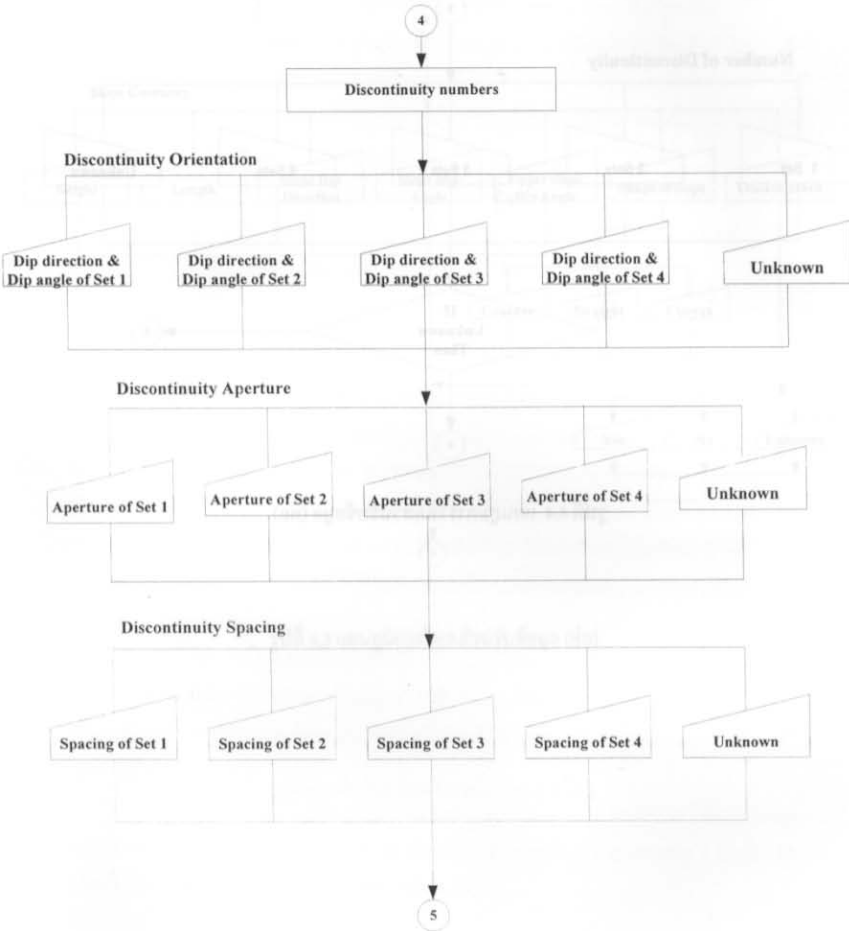
รูปที่ 4.3 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)

- (1) กลุ่มข้อมูลประเภทนี้ (เช่น ความสูงของเนิน) ไม่ดี
- (2) การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพโดยใช้จุดสังเกตทางไกล เช่น บนภาพถ่าย
- (3) การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพโดยใช้จุดสังเกตร่วมกับภาพถ่าย (เช่น ๓๓)
- (3) การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพโดยใช้จุดสังเกตร่วมกับภาพถ่ายจากดาวเทียม (เช่น ๓๓) (๓๓๓๓๓๓๓๓)
- (๓) การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพโดยใช้จุดสังเกตร่วมกับภาพถ่าย

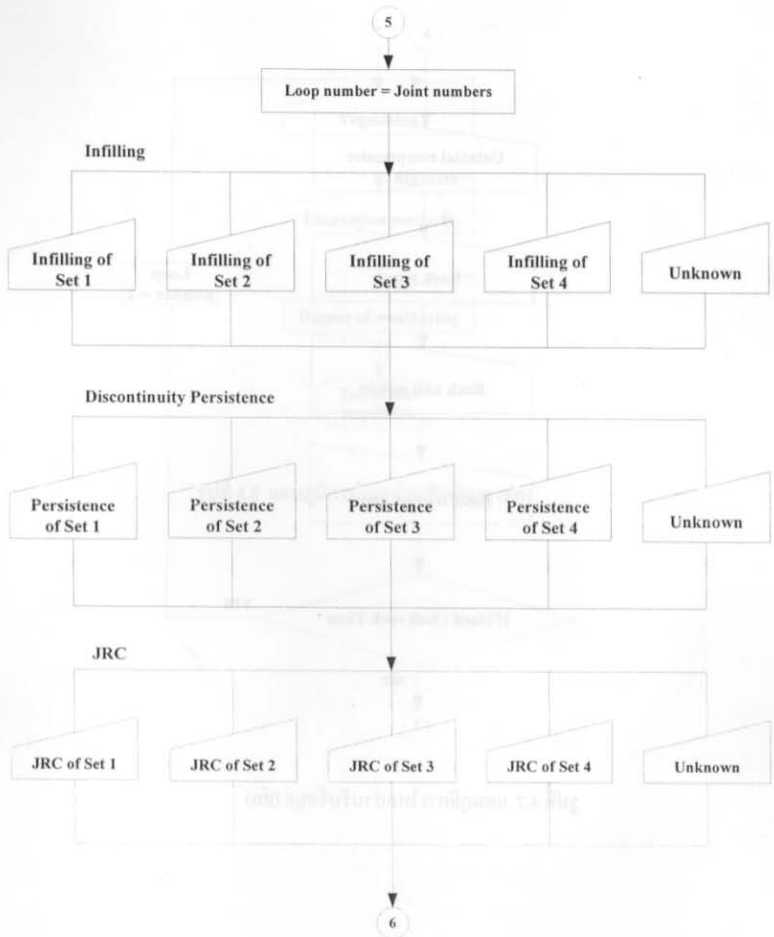


รูปที่ 4.4 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)

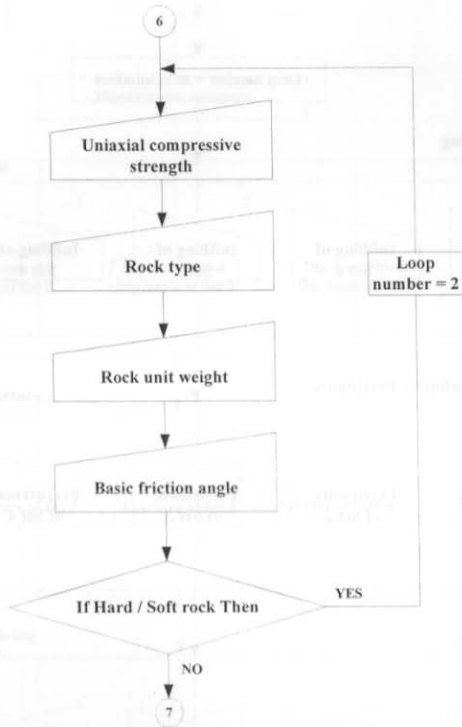
รูปที่ 4.4 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)
(ต่อ) รูปที่ 4.4 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)



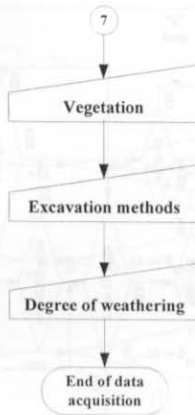
รูปที่ 4.5 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)



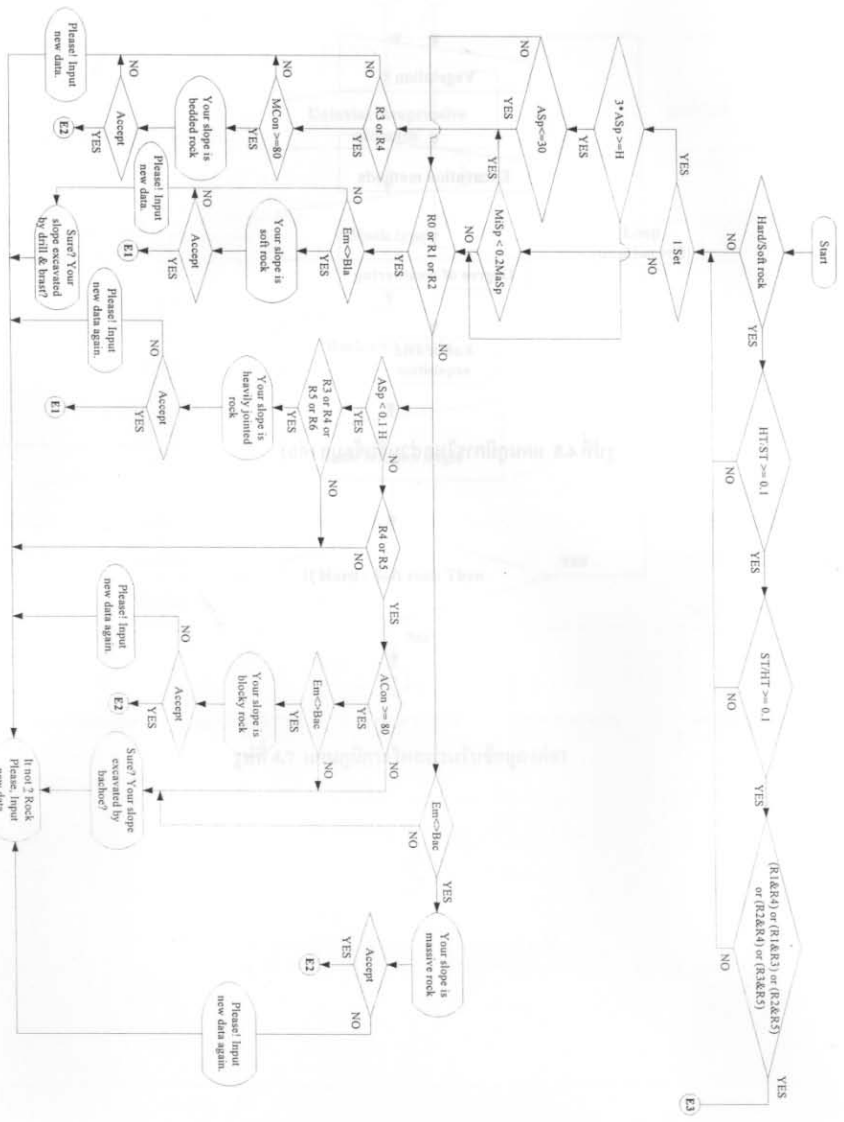
รูปที่ 4.6 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)

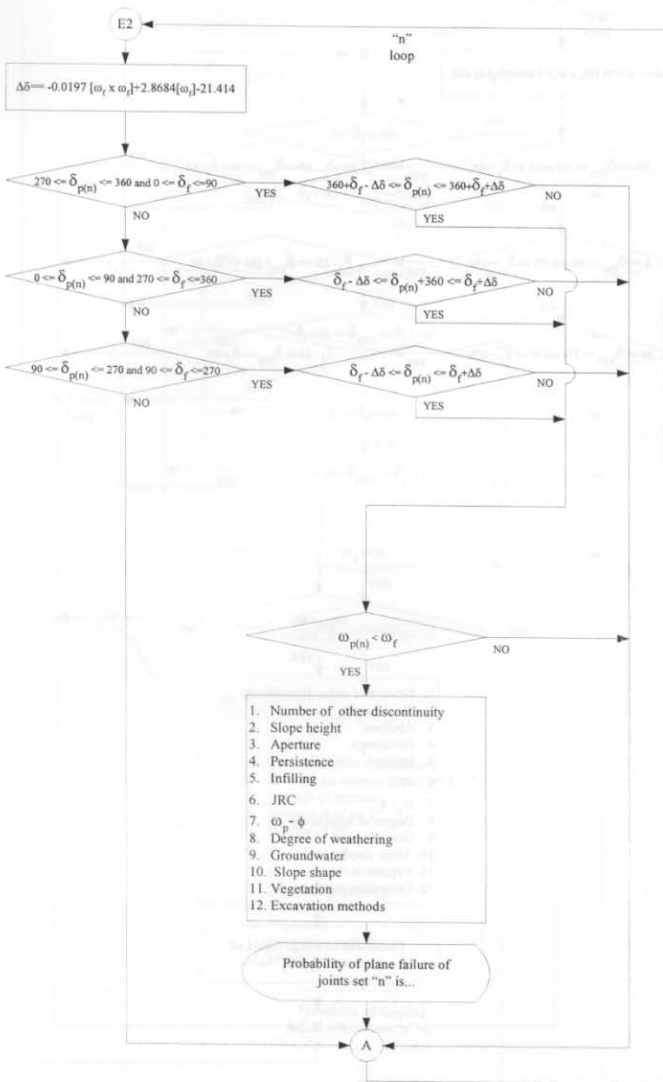


รูปที่ 4.7 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)

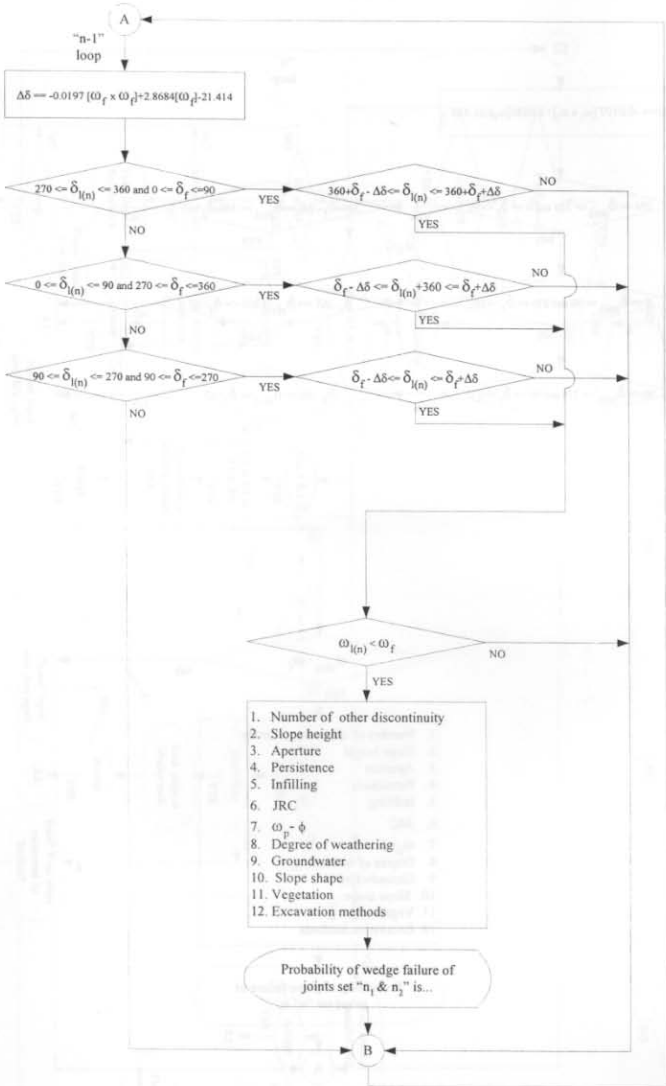


รูปที่ 4.8 แผนภูมิการไหลส่วนรับข้อมูล (ต่อ)

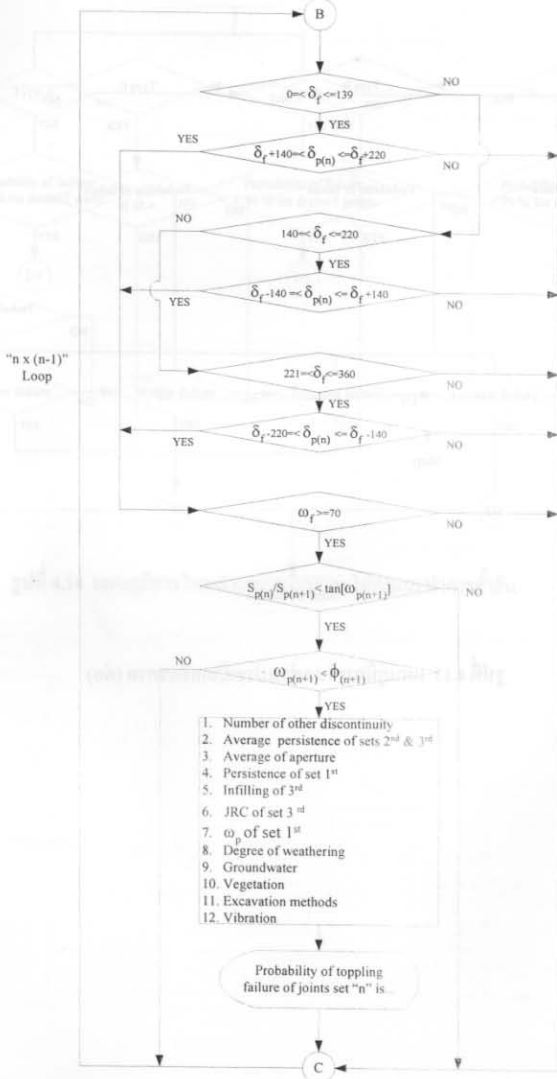




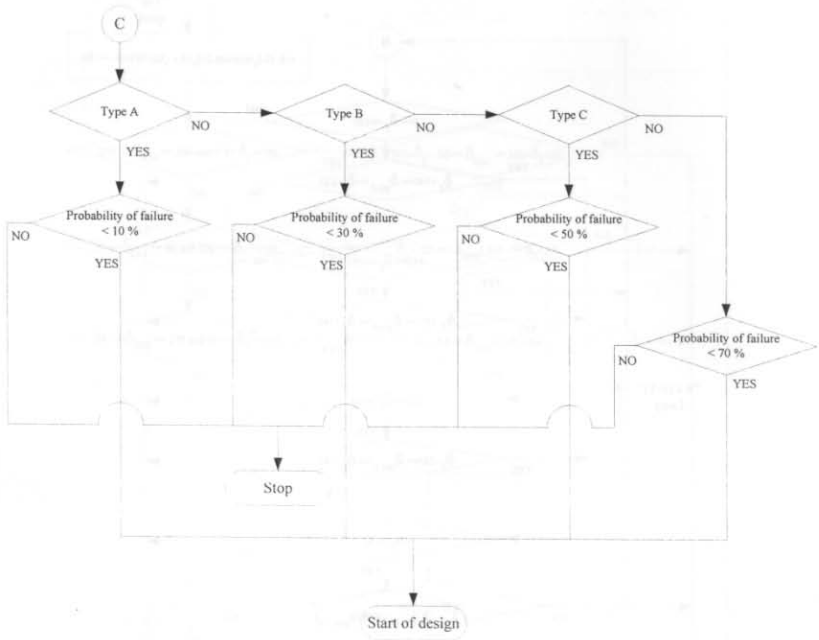
รูปที่ 4.10 แผนภูมิการไหลส่วนประเมินเสถียรภาพ



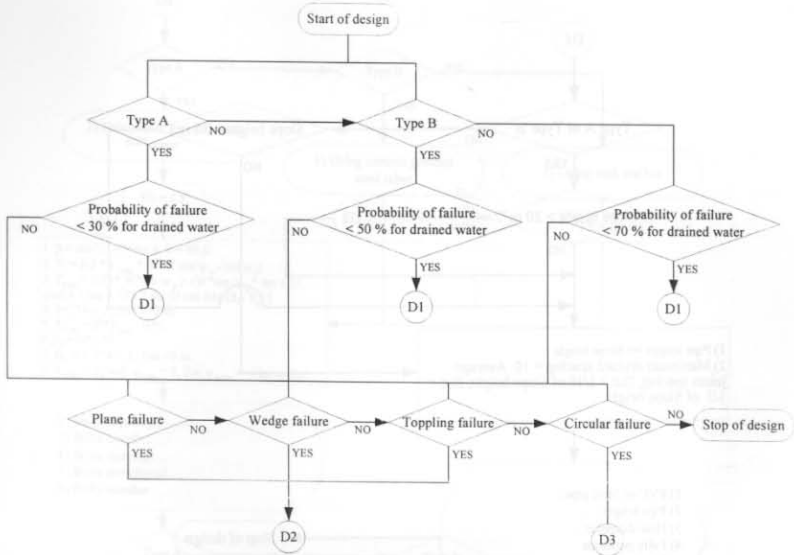
รูปที่ 4.11 แผนภูมิการไหลส่วนประเมินเสถียรภาพ (ต่อ)



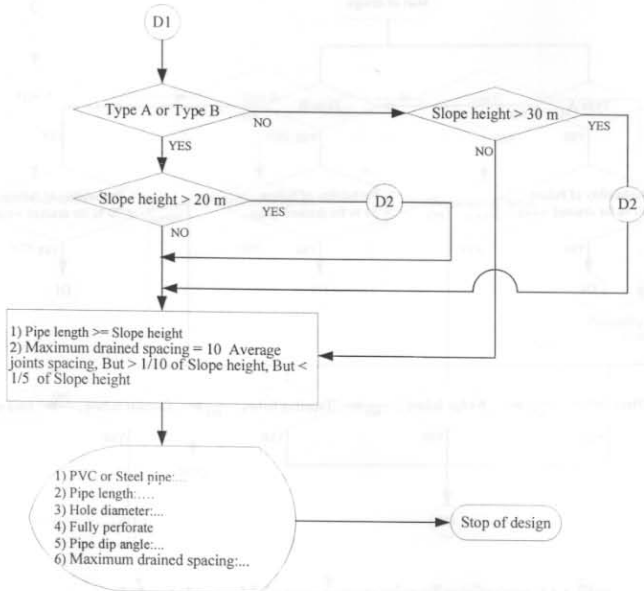
รูปที่ 4.12 แผนภูมิการไหลส่วนประเมินเสถียรภาพ (ต่อ)



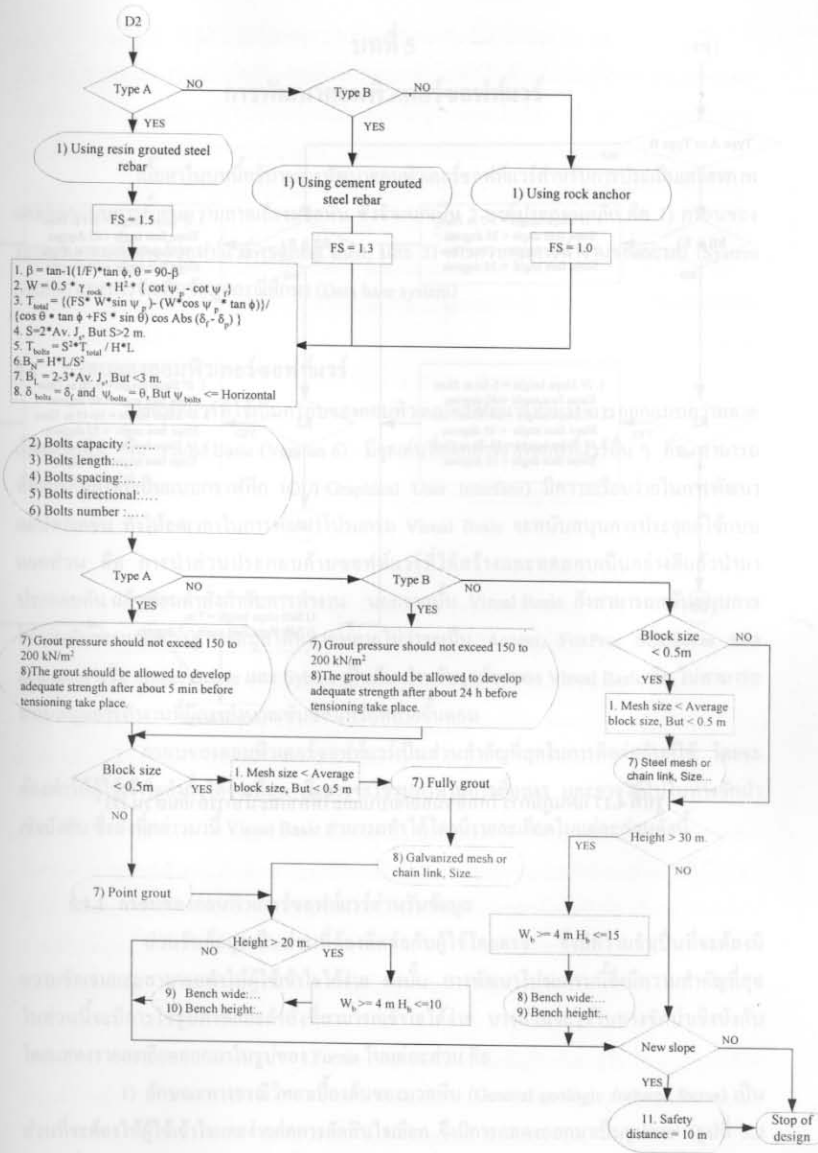
รูปที่ 4.13 แผนภูมิการไหลส่วนประเมินเสถียรภาพ (ต่อ)



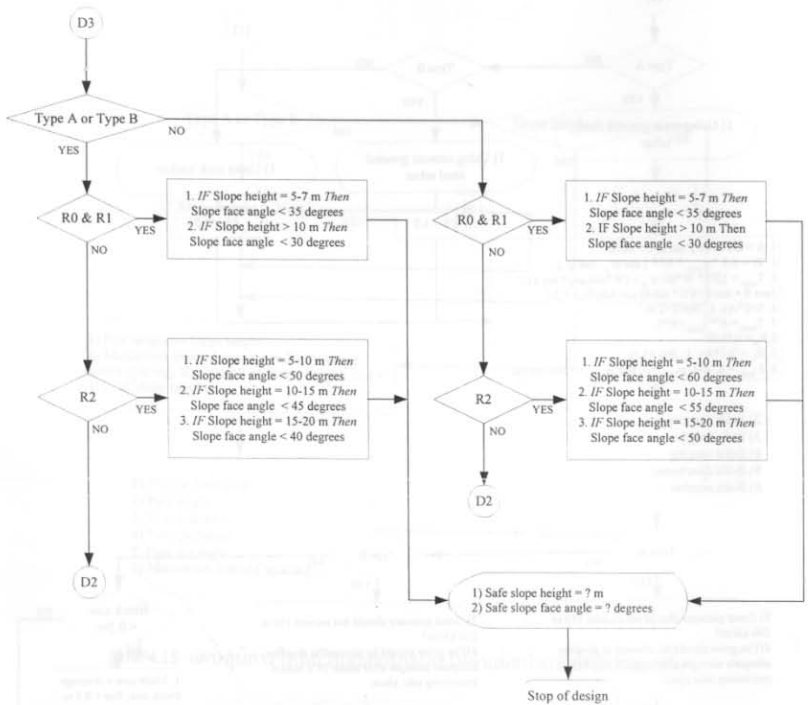
รูปที่ 4.14 แผนภูมิการไหลส่วนออกแบบและให้คำแนะนำการคำนวณ



รูปที่ 4.15 แผนภูมิการไหลส่วนออกแบบและให้คำแนะนำการคำนวณส่วน D1



รูปที่ 4.16 แผนภูมิการไหลส่วนออกแบบและให้คำแนะนำการคำนวณส่วน D2



รูปที่ 4.17 แผนภูมิการไหลส่วนออกแบบและให้คำแนะนำการคำนวณส่วน D3

บทที่ 5

การพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์

เนื้อหาในบทนี้อธิบายการพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์สำหรับการประเมินเสถียรภาพ และออกแบบการคำนวณความลาดเอียงมวลหิน ซึ่งจำแนกเป็น 2 องค์ประกอบหลัก คือ 1) กรอบของระบบในคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ (System shell) และ 2) การควบคุมการทำงานของระบบ (System control) และการจัดเก็บข้อมูลกรณีศึกษา (Data base system)

5.1 กรอบของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ที่ใช้เป็นกรอบของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์สำหรับกรอบออกแบบความลาดเอียงมวลหิน คือ Visual Basic (Version 6) มีจุดเด่นที่แตกต่างจากซอฟต์แวร์อื่น ๆ คือ สามารถสื่อสารกับผู้ใช้ที่เป็นแบบกราฟิก (GUI-Graphical User Interface) มีความเรียบง่ายในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ทำให้ลดเวลาในการพัฒนาโปรแกรม Visual Basic จะสนับสนุนการประยุกต์ใช้แบบแยกส่วน คือ การนำส่วนประกอบด้านซอฟต์แวร์ที่ได้สร้างและทดสอบเป็นอย่างดีแล้วนำมาประกอบกัน แล้วเขียนคำสั่งกำกับการทำงาน นอกจากนี้ Visual Basic ยังสามารถสนับสนุนการใช้งานกับระบบจัดการฐานข้อมูลได้หลากหลายไม่ว่าจะเป็น Access, FoxPro, SQLServer ของ Microsoft หรือ dBase, Oracle และ Sybase เป็นต้น สำหรับจุดด้อยของ Visual Basic คือ ไม่สามารถสนับสนุนการทำงานที่มีการคำนวณซับซ้อนหรือหลายขั้นตอน

กรอบของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์เป็นส่วนสำคัญที่สุดในการติดต่อกับผู้ใช้ โดยจะต้องทำให้ผู้ใช้เข้าใจคำสั่งได้ง่ายที่สุด ซึ่งอาจจะใช้รูปภาพในการสื่อสาร และอาจใช้ไปในทางชักนำเชิงบังคับ ซึ่งสิ่งที่กล่าวมานี้ Visual Basic สามารถทำได้โดยมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

5.1.1 กรอบของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ส่วนรับข้อมูล

ส่วนรับข้อมูลเป็นส่วนที่ต้องติดต่อกับผู้ใช้โดยตรง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีความชัดเจนและสามารถทำให้ผู้ใช้เข้าใจได้ง่าย ดังนั้น การพัฒนาโปรแกรมนี้จึงมีความสำคัญที่สุดในส่วนนี้จะมีการใช้รูปภาพและคำสั่งที่สามารถเข้าใจได้ง่าย บางส่วนจะใช้ในทางชักนำเชิงบังคับ โดยแสดงรายละเอียดออกมาในรูปของ Forms ในแต่ละส่วน คือ

1) ลักษณะทางธรณีวิทยาเบื้องต้นของมวลหิน (General geologic features forms) เป็นส่วนที่จะต้องทำให้ผู้ใช้เข้าใจและง่ายต่อการตัดสินใจเลือก จึงมีการแสดงออกมาเป็นรูปภาพ (รูปที่ 3.2 ในบทที่ 3) ให้เลือกโดยใช้แอปพลิเคชัน "Option Bottom"

2) ความหนาและการวางตัวของชั้นหินแข็ง (Thickness and orientation of Hard formation forms) จะแสดงขึ้นเมื่อผู้ใช้เลือกลักษณะของความลาดเอียงมวลหินในข้อที่ 1 เป็นมวลหินแบบชั้นอ่อนสลับแข็ง โดยจะรับข้อมูลจากผู้ใช้ผ่านทางแอปพลิเคชัน "Text Box"

3) ระดับความปลอดภัยที่ต้องการ (Safety requirements forms) จะแสดงต่อมาจากรูปลักษณะที่ 1 หรือ 2 ซึ่งขึ้นอยู่กับการเลือกในข้อที่ 1) โดยจะรับข้อมูลจากผู้ใช้ผ่านทางแอปพลิเคชัน "Option Bottom"

4) ระดับของน้ำบาดาล (Groundwater conditions forms) จะแสดงออกมาเป็นรูปภาพของระดับน้ำบาดาลทั้ง 5 ลักษณะและระบบจะรับข้อมูลจากผู้ใช้ผ่านทางแอปพลิเคชัน "Option Bottom"

5) ภูมิอากาศ (Climates forms) จะรับข้อมูลจากผู้ใช้ผ่านทางแอปพลิเคชัน "Option Bottom"

- 6) ข้อมูลลักษณะโดยทั่วไปของความลาดเอียงมวลหิน (Slope geometry) ประกอบด้วย
- (1) ความสูง
 - (2) ความยาว
 - (3) ทิศมุมเทของหน้าลาดเอียง
 - (4) ระดับมุมเทของหน้าลาดเอียง
 - (5) ระดับมุมเทส่วนบน
 - (6) รอยแยกในมวลหิน จำแนกเป็น 3 กรณี คือ กรณีมีรอยแยก กรณีไม่มีรอยแยก และกรณีไม่ทราบ
 - (7) ลักษณะรูปร่างของความลาดเอียงมวลหิน จำแนกเป็น 3 แบบ คือ แบบโค้งเข้า แบบเส้นตรง และแบบโค้งออก

โดย (1) ถึง (5) จะรับข้อมูลจากผู้ใช้ผ่านทางแอปพลิเคชัน "Text Box" และ (6) ถึง (7) จะรับข้อมูลจากผู้ใช้ผ่านทางแอปพลิเคชัน "Option Bottom" แสดงเป็นรูปภาพเพื่อให้ผู้ใช้เข้าใจง่าย

- 7) คุณลักษณะของรอยแตก (Joint characteristic forms) ประกอบด้วย
- (1) จำนวนรอยแตก
 - (2) การวางตัวของรอยแตกประกอบด้วยทิศทางมุมเทและระดับมุมเทของแต่ละชุดรอยแตก
 - (3) ระยะเปิดเศษของรอยแตก
 - (4) ระยะห่างระหว่างรอยแตก
 - (5) วัสดุแทรกในรอยแตก
 - (6) ความต่อเนื่องโดยเฉลี่ยของรอยแตก และ

(7) สัมประสิทธิ์ความขรุขระของรอยแตก

โดยข้อ (1) ถึง ข้อ (7) ยกเว้นข้อ (2) การรับข้อมูลจากผู้ใช้จะผ่านทางแอปพลิเคชัน "Option Bottom"

โดยข้อ (2) รับผ่านทางแอปพลิเคชัน "Text Box"

8) ข้อมูลทางกลศาสตร์ของหิน (Geomechanics parameters forms) ประกอบด้วย

- (1) กำลังรับแรงอัดของหิน
- (2) ความหนาแน่นและชนิดของหิน
- (3) มุมเสียดทานพื้นฐาน

โดยข้อ (1) และ (2) จะรับข้อมูลผ่านทางแอปพลิเคชัน "Text Box" ส่วนข้อ (3) จะรับข้อมูลผ่านทางแอปพลิเคชัน "Option Bottom"

9) ลักษณะและขนาดของดินพืชที่ปกคลุม (Vegetation forms) วิธีการขุดเจาะ (Excavation methods forms) ระดับความผุกร่อน (Degree of weathering forms) และแรงสั่นสะเทือน (Vibration forms) ทั้งหมดจะรับข้อมูลจากผู้ใช้ผ่านทางแอปพลิเคชัน "Option Bottom"

10) ฐานข้อมูลความลาดเอียงมวลหิน (Case history forms) การค้นหาจะกำหนดคำที่ใช้หาผ่านทางแอปพลิเคชัน "Option Bottom"

5.1.2 กรอบของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์แสดงผล

การแสดงผลจะประกอบไปด้วย 5 ส่วนหลัก คือ 1) การรับข้อมูล 2) การจำแนกและการประเมินข้อมูลเบื้องต้น 3) การประเมินเสถียรภาพ 4) การออกแบบค้ำยัน และ 5) การค้นหากรณีศึกษา ซึ่งแต่ละส่วนใช้แอปพลิเคชันของ Visual Basic

1) การแสดงผลการรับข้อมูล เมื่อระบบรับข้อมูลจากผู้ใช้ทั้งหมดแล้ว ระบบจะนำข้อมูลเหล่านั้นมาแสดงโดยใช้แอปพลิเคชัน "Text Box"

2) การแสดงผลการจำแนกและการประเมินข้อมูลเบื้องต้น การจำแนกลักษณะทางธรณีวิทยาของความลาดเอียงมวลหิน จะแสดงออกมาในรูปของ "Message Box" โดยแสดงในรูปแบบที่ผู้เชี่ยวชาญประเมินออกมาว่าความลาดเอียงที่กำลังพิจารณาในรูปแบบเป็นอย่างไร ในกรณีที่ผลการประเมินข้อมูลเบื้องต้นเกิดปัญหาเกี่ยวกับข้อมูล ไม่เพียงพอสำหรับการจำแนกหรือการประเมินเสถียรภาพ หรือข้อมูลที่รับมาขัดแย้งกัน ระบบจะแสดงปัญหาเหล่านี้และบอกถึงแนวทางแก้ปัญหาโดยใช้แอปพลิเคชัน "Text Box"

3) การแสดงผลการประเมินเสถียรภาพจะเกิดขึ้นเมื่อปัญหาต่าง ๆ ในข้อที่ 2) ถูกแก้ไขเรียบร้อยแล้ว ระบบจะทำการคำนวณ และประเมินความน่าจะเป็นที่จะเกิดการพังทลายในรูปแบบต่าง ๆ และนำมาแสดงต่อจากข้อมูลที่รับเข้ามาโดยใช้แอปพลิเคชัน "Text Box"

4) การแสดงผลการออกแบบค่าขึ้นจะเกิดขึ้นเมื่อระบบพิจารณาแล้วว่าความลาดเอียงมวลหินนั้นขาดเสถียรภาพและมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดการพังทลายในรูปแบบต่าง ๆ ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ระบบจะอธิบายถึงวิธีการเพิ่มเสถียรภาพโดยการติดตั้งอุปกรณ์ค้ำยันหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของความลาดเอียงมวลหิน แล้วนำมาแสดงผลต่อจากผลการประเมินเสถียรภาพโดยใช้แอปพลิเคชัน “Text Box”

5) การแสดงผลการค้นหาคณิตศึกษาจะแสดงผ่านทาง “Data Grid” ในส่วนของการค้นหาแบบโดยรวม และแสดงใน “Text Box” สำหรับการดูรายละเอียดของแต่ละคณิตศึกษา

5.2 การควบคุมการทำงานของระบบและการจัดเก็บข้อมูลคณิตศึกษา

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบจะใช้ภาษา Basic ผสมผสานกับภาษา C การทำงานโดยรวมของโปรแกรมจะใช้ลักษณะการตัดสินใจ (Decision) การวนซ้ำ (Iteration) การใช้ Array และ การใช้โปรแกรมน้อย (Procedure) เป็นหลัก โดยสามารถแสดงเป็นโครงสร้างหลักของการเขียนโปรแกรมโดยสังเขป ดังนี้

1) โครงสร้างการตัดสินใจ มี 2 รูปแบบ คือ

- (1) โครงสร้างการตัดสินใจเลือกจาก 2 ทางเลือก คือ If...Then...Else
- (2) โครงสร้างการตัดสินใจเลือกมากกว่า 2 ทางเลือก คือ Select... Case

2) โครงสร้างการวนซ้ำ มี 3 รูปแบบ คือ

- (1) การวนซ้ำด้วยจำนวนรอบที่แน่นอน คือ For...Next
- (2) การวนซ้ำด้วยจำนวนรอบที่ไม่แน่นอน คือ While...Wend
- (3) การวนซ้ำด้วยจำนวนรอบที่ไม่แน่นอนและมีการกระโดดออกจากการวนซ้ำ คือ Do/While...Until/Loop

3) การใช้ Array และ Dynamic Array ซึ่งเป็นส่วนที่บันทึกข้อมูลการและข้อมูลชั่วคราวเพื่อใช้คำนวณ

4) โปรแกรมย่อย มี 2 รูปแบบ คือ

- (1) Sub programs (Sub Routine)
- (2) Function (Sub Function)

5) การจัดการกับข้อมูลคณิตศึกษา ข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรูปของ Microsoft access และการค้นหาหรือการเข้าถึงข้อมูลที่จัดเก็บจะใช้กลุ่มคำสั่งของ Data Query Language (SQL) กับ Data Control ของ Visual Basic

บทที่ 6

การสอบทานคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์กับข้อมูลจริงในภาคสนาม

เนื้อหาในบทนี้เสนอผลการสอบทานระหว่างการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์กับสภาวะจริงจากภาคสนาม โดยมีจุดประสงค์เพื่อทดสอบว่าคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญสามารถให้คำตอบในเชิงวิเคราะห์และออกแบบได้ใกล้เคียงของจริงหรือไม่ โดยถ้ามีความแตกต่างเกิดขึ้นก็จะมีการศึกษาและทบทวนผลที่ได้จากการประเมินเสถียรภาพด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการปรับปรุงซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้น

ผลการสอบทานระหว่างการคาดคะเนด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ (P) กับสภาพจริงของความลาดเอียงมวลหินที่ได้ดำเนินการมีจำนวนทั้งหมด 37 แห่ง หรือ 37 Cases โดยแบ่งเป็นสภาพจริงของความลาดเอียงมวลหินในประเทศไทยจำนวน 32 แห่ง (Slope Nos. 7-14, Slope Nos. 24-28, Slope Nos. 33-34, Slope Nos. 37-38, Slope Nos. 41-44, และ Slope Nos. 47-52 รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก) และมี 5 แห่งที่ได้จากการทบทวนกรณีศึกษา (รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ข) โดยแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 6.1 การคัดเลือกความลาดเอียงเพื่อใช้สอบทานทั้ง 37 แห่งนี้ได้พยายามให้มีความหลากหลายทางลักษณะธรณีวิทยาและรูปแบบของการพังทลาย โดยมีเกณฑ์ของระดับเสถียรภาพแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ

- 1) ระดับที่มีเสถียรภาพสูงมาก (Highly stable) ซึ่งเทียบได้กับอัตราความไม่มีเสถียรภาพ (P) อยู่ในช่วง 0 ถึง 20%
- 2) ระดับที่มีเสถียรภาพ (Stable) เทียบได้กับอัตราความไม่มีเสถียรภาพอยู่ในช่วง 20 ถึง 40%
- 3) ระดับที่มีเสถียรภาพอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (Fair) ซึ่งเทียบได้กับอัตราความไม่มีเสถียรภาพอยู่ในช่วง 40 ถึง 60%
- 4) ระดับที่ไม่มีเสถียรภาพ (Unstable) ซึ่งเทียบได้กับอัตราความไม่มีเสถียรภาพอยู่ในช่วง 60 ถึง 80% และ
- 5) ระดับที่ไม่มีเสถียรภาพสูงมาก (Highly unstable) ซึ่งเทียบได้กับอัตราความไม่มีเสถียรภาพอยู่ในช่วง 80 ถึง 100%

รูปที่ 6.1 แสดงผลการสอบเทียบซึ่งระบุว่ามีความลาดเอียงมวลหินจำนวน 5 แห่งมีระดับความมีเสถียรภาพสูงมาก มี 2 แห่งที่อยู่ในระดับที่มีเสถียรภาพ และมี 12 แห่งที่มีเสถียรภาพสามารถยอมรับได้ซึ่งจากทั้งหมด 12 แห่งจะมีอยู่ 8 แห่งที่สภาพจริงพบการพังทลายเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย และมี 15 แห่งที่มีระดับความไม่มีเสถียรภาพเกิดขึ้นจริงสูงมาก จากผลการสอบเทียบพบว่า การประเมินเสถียรภาพด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์จะใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงและจะมีแนวโน้มเป็นไปในเชิงอนุรักษ์ ซึ่งเป็นที่น่าพอใจและบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในการวิจัยและพัฒนา

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบระหว่างการคาดคะเนด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์กับสภาวะจริงของ
ความลาดเชิงมวลหิน

Case No. (Slope No.)	Slope Characteristics	Actual Conditions	Expert System Prediction
Case 1 (Slope No.24)	H = 18 m $\delta_r = 205^\circ$ $\psi_r = 76^\circ$ J1 = $168^\circ/32^\circ$ J2 = $345^\circ/63^\circ$ J3 = $233^\circ/67^\circ$ Saturated	1) plane failure along J1 & J3 2) wedge failure between J1 & J2, J1 & J3 3) toppling failure : J2 & J3	1) plane failure along J1 & J3 : $P_f = 34\%$ 2) wedge failure between J1 & J2, J1 & J3 : $P_f = 34\%$ 3) toppling failure: J2 & J3 : $P_f = 68\%$
Case 2 (Slope No.25)	H = 19 m, $\delta_r = 20^\circ$ $\psi_r = 76^\circ$ J1 = $168^\circ/32^\circ$ J2 = $345^\circ/63^\circ$ J3 = $233^\circ/67^\circ$, Saturated	1) plane failure along J2 2) toppling failure J1 & J2, J1 & J3 & J2 & J3	1) plane failure along J2 : $P_f = 34\%$ 2) toppling failure J1 & J2, J1 & J3 & J2 & J3 : $P_f = 71\%$
Case 3 (Slope No.26)	H = 50 m $\delta_r = 286^\circ$ $\psi_r = 45^\circ$ J1 = $276^\circ/45^\circ$ J2 = $200^\circ/81^\circ$ J3 = $91^\circ/37^\circ$ Saturated	stable	$P_f = 0\%$
Case 4 (Slope No.27)	H = 30 m $\delta_r = 314^\circ$ $\psi_r = 62^\circ$ J1 = $80^\circ/40^\circ$ J2 = $291^\circ/50^\circ$ J3 = $164^\circ/62^\circ$ Saturated	1) circular failure 2) plane failure along : J2 3) wedge failure between J1 & J2, J2 & J3	1) circular failure : $P_f = 65\%$ 2) plane failure along : J2 : $P_f = 68\%$ 3) wedge failure between J1 & J2, J2 & J3 : $P_f = 71\%$
Case 5 (Slope No.28)	H = 16 m $\delta_r = 30^\circ$ $\psi_r = 48^\circ$ J1 = $309^\circ/42^\circ$ J2 = $182^\circ/72^\circ$ J3 = $47^\circ/78^\circ$ Saturated	1) circular failure 2) wedge failure between J1 & J3	1) circular failure : $P_f = 70\%$ 2) wedge failure between J1 & J3 : $P_f = 60\%$
Case 6 (Slope No.28)	H = 18 m $\delta_r = 145^\circ$ $\psi_r = 54^\circ$ J1 = $309^\circ/42^\circ$ J2 = $182^\circ/72^\circ$ J3 = $47^\circ/78^\circ$ Saturated	1) circular failure	1) circular failure : $P_f = 70\%$
Case 7 (Slope No.33)	H = 20 m $\delta_r = 51^\circ$ $\psi_r = 52^\circ$ J1 = $21^\circ/55^\circ$ J2 = $114^\circ/70^\circ$ J3 = $294^\circ/89^\circ$ Saturated	1) wedge failure between J1 & J2, J2 & J3	1) wedge failure between J1 & J2, J2 & J3 : $P_f = 75\%$

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบระหว่างการคาดคะเนด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์กับสภาวะจริงของ
ความลาดเอียงมวลหิน (ต่อ)

Case No. (Slope No.)	Slope Characteristics	Actual Conditions	Expert System Prediction
Case 8 (Slope No.34)	H = 15 m $\delta_f = 30^\circ$ $\psi_f = 55^\circ$ J1 = $21^\circ/55^\circ$ J2 = $114^\circ/70^\circ$ J3 = $294^\circ/89^\circ$ Saturated	1)wedge failure between J1 & J2, J2 & J3	1) wedge failure between J1 & J2, J2 & J3 : $P_f = 75\%$
Case 9 (Slope No.7)	H = 13 m $\delta_f = 30^\circ$ $\psi_f = 60^\circ$ J1 ; J2 J3 = N/A $\sigma_c = 5-25$ MPa Saturated	1)circular failure	1) circular failure : $P_f = 48\%$
Case 10 (Slope No.11)	H = 50 m $\delta_f = 161^\circ$ $\psi_f = 71^\circ$ J1 = $27^\circ/24^\circ$ J2 = $138^\circ/77^\circ$ J3 = $78^\circ/84^\circ$ J4 = $211/78$ Saturated	1)wedge failure between J3 & J4	1) wedge failure between J3 & J4 : $P_f = 53\%$
Case 11 (Slope No.11)	H = 30 m $\delta_f = 240^\circ$ $\psi_f = 70^\circ$ J1 = $27^\circ/24^\circ$ J2 = $138^\circ/77^\circ$ J3 = $78^\circ/84^\circ$ J4 = $211/78$ Saturated	1)wedge failure between J1 & J4 2)toppling failure : J1 & J2, J1 & J3	1) wedge failure between J1 & J4 : $P_f = 48 \%$ 2) toppling failure: J1 & J2, J1 & J3 : $P_f =$ 78%
Case 12 (Slope No.11)	H = 30 m $\delta_f = 84^\circ$ $\psi_f = 80^\circ$ J1 = $27^\circ/24^\circ$ J2 = $138^\circ/77^\circ$ J3 = $78^\circ/84^\circ$ J4 = $211/78$ Saturated	1)plane failure along : J1 & J2 2)wedge failure between J1 & J2, J2 & J3, J3 & J4	1) plane failure along : J1 & J2 : $P_f = 56\%$ 2) wedge failure between J1 & J2, J2 & J3, J3 & J4 : $P_f = 56\%$
Case 13 (Slope No.36)	H = 16 m $\delta_f = 215^\circ$ $\psi_f = 79^\circ$ J1 = $54^\circ/33^\circ$ J2 = $154^\circ/80^\circ$ J3 = $241^\circ/75^\circ$ Saturated	1)plane failure along : J3 2)wedge failure between J2 & J3	1) plane failure along : J3 : $P_f = 54\%$ 2) wedge failure between J2 & J3 : $P_f = 54\%$

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบระหว่างการคาดคะเนด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์กับสภาวะจริงของ
ความลาดเชิงขมวลหิน (ต่อ)

Case No. (Slope No.)	Slope Characteristics	Actual Conditions	Expert System Prediction
Case 14 (Slope No.37)	H = 12 m $\delta_r = 280^\circ$ $\psi_r = 45^\circ$ J1 = 47°/34° J2 = 240°/60° J3 = 177°/51° Saturated	1)wedge failure between J1 & J2	1) wedge failure between J1 & J2 : $P_f = 46\%$
Case 15 (Slope No.38)	H = 10 m $\delta_r = 80^\circ$ $\psi_r = 75^\circ$ UCS = 5-25 MPa Saturated	1)circular failure	1) circular failure : $P_f = 48\%$
Case 16 (Slope No.41)	H = 40 m $\delta_r = 220^\circ$ $\psi_r = 60^\circ$ J1 = 344°/03° J2 = 224°/81° J3 = 190°/70° Saturated	1)circular failure 2)wedge failure between J1 & J3	1) circular failure: $P_f = 78\%$ 2) wedge failure between J1 & J3 : $P_f = 62\%$
Case 17 (Slope No.42)	H = 15 m $\delta_r = 105^\circ$ $\psi_r = 70^\circ$ J1 = 107°/87° J2 = 273°/78° J3 = 48°/66° Saturated	1)plane failure along : J3 2)wedge failure between J1 & J3	1) plane failure along : J3 : $P_f = 53\%$ 2) wedge failure between J1 & J3 : $P_f = 59\%$
Case 18 (Slope No.43)	H = 30 m $\delta_r = 150^\circ$ $\psi_r = 70^\circ$ J1 = 107°/87° J2 = 273°/78° J3 = 48°/66° Saturated	1)wedge failure between J1 & J2	1) wedge failure between J1 & J2 : $P_f = 62\%$
Case 19 (Slope No.44)	H = 50 m $\delta_r = 150^\circ$ $\psi_r = 68^\circ$ J1 = 55°/36° J2 = 76°/79° J3 = 330°/07° J4 = 324°/76° Saturated	stable	$P_f = 0\%$
Case 20 (Slope No.45)	H = 18 m $\delta_r = 115^\circ$ $\psi_r = 70^\circ$ J1 = 55°/36° J2 = 76°/79° J3 = 330°/07° J4 = 324°/76° Saturated	1)plane failure along : J1 2)wedge failure between J1 & J4, J3 & J4	1) plane failure along : J1 : $P_f = 50\%$ 2) wedge failure between J1 & J4, J3 & J4 : $P_f = 51\%$

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบระหว่างการคาดคะเนด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์กับสภาวะจริงของ
ความลาดเชิงมวลหิน (ต่อ)

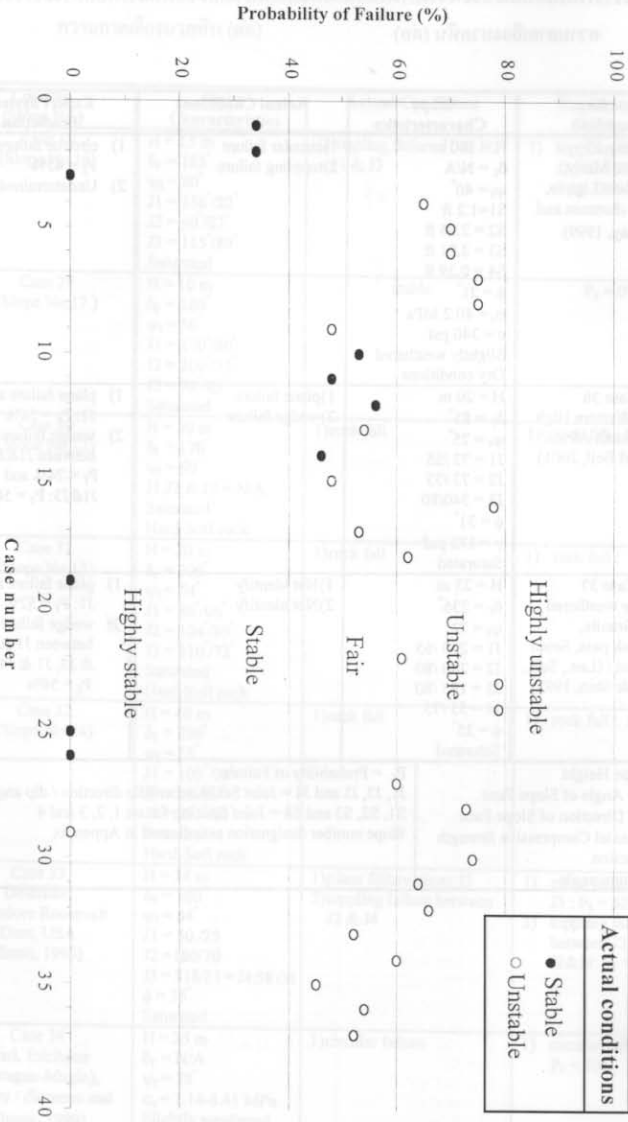
Case No. (Slope No.)	Slope Characteristics	Actual Conditions	Expert System Prediction
Case 21 (Slope No.47)	H = 25 m $\delta_r = 102^\circ$ $\psi_r = 70^\circ$ J1 = $59^\circ/49^\circ$ J2 = $149^\circ/80^\circ$ J3 = $240^\circ/58^\circ$ Saturated	1) plane failure along : J1 2) wedge failure between J1 & J2	1) plane failure along : J1 : $P_f = 50\%$ 2) wedge failure between J1 & J2 : $P_f = 58\%$
Case 22 (Slope No.48)	H = 20 m $\delta_r = 260^\circ$ $\psi_r = 80^\circ$ J1 = $116^\circ/76^\circ$ J2 = $360^\circ/83^\circ$ J3 = $279^\circ/76^\circ$ Saturated	1) plane failure along : J3 2) wedge failure between J1 & J3, J2 & J3 3) toppling failure J1 & J2, J1 & J3	1) plane failure along : J3 : $P_f = 61\%$ 2) wedge failure between J1 & J3, J2 & J3 : $P_f = 79\%$ 3) toppling failure J1 & J2, J1 & J3 : $P_f = 76\%$
Case 23 (Slope No.49)	H = 20 m $\delta_r = 150^\circ$ $\psi_r = 75^\circ$ J1 = $116^\circ/76^\circ$ J2 = $360^\circ/83^\circ$ J3 = $279^\circ/76^\circ$ Saturated	1) wedge failure between J1 & J2, J1 & J3 2) toppling failure J2 & J1, J2 & J3	1) wedge failure between J1 & J2, J1 & J3 : $P_f = 79\%$ 2) toppling failure J2 & J1, J2 & J3 : $P_f = 44\%$
Case 24 (Slope No.50)	H = 16 m $\delta_r = 130^\circ$ $\psi_r = 72^\circ$ J1 = $116^\circ/76^\circ$ J2 = $360^\circ/83^\circ$ J3 = $279^\circ/76^\circ$ Saturated	1) wedge failure between J1 & J2 2) toppling failure J3 & J1, J3 & J2	1) wedge failure between J1 & J2 : $P_f = 79\%$ 2) toppling failure J3 & J1, J3 & J2 : $P_f =$ 72%
Case 25 (Slope No.51)	H = 18 m $\delta_r = 300^\circ$ $\psi_r = 60^\circ$ J1 = $116^\circ/76^\circ$ J2 = $360^\circ/83^\circ$ J3 = $279^\circ/76^\circ$ Saturated	stable	$P_f = 0\%$
Case 26 (Slope No.52)	H = 20 m $\delta_r = 350^\circ$ $\psi_r = 60^\circ$ J1 = $116^\circ/76^\circ$ J2 = $360^\circ/83^\circ$ J3 = $279^\circ/76^\circ$ Saturated	stable	$P_f = 0\%$
Case 27 (Slope No.15)	H = 10 m $\delta_r = 190^\circ$ $\psi_r = 50^\circ$ J1 = $197^\circ/51^\circ$ J2 = $318^\circ/65^\circ$ J3 = $73^\circ/71^\circ$ Saturated	1) wedge failure between J1 & J2, J1 & J3	1) wedge failure between J1 & J2, J1 & J3 : $P_f = 60\%$

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบระหว่างการคาดคะเนด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์กับสภาวะจริงของ
ความลาดเอียงมวลหิน (ต่อ)

Case No. (Slope No.)	Slope Characteristics	Actual Conditions	Expert System Prediction
Case 28 (Slope No.16)	H = 15 m $\delta_r = 185^\circ$ $\psi_r = 80^\circ$ J1 = 356°/22° J2 = 40°/87° J3 = 115°/89° Saturated	1)toppling failure J1 & J2, J1 & J3	1) toppling failure J1 & J2, J1 & J3 : $P_f = 73\%$
Case 29 (Slope No.17)	H = 10 m $\delta_r = 180^\circ$ $\psi_r = 50^\circ$ J1 = 170°/80° J2 = 300°/75° J3 = 92°/83° Saturated	stable	$P_f = 0\%$
Case 30 (Slope No.12)	H = 50 m $\delta_r = 170^\circ$ $\psi_r = 60^\circ$ J1, J2 & J3 = N/A Saturated Hard-Soft rock	1)rock fall	1) rock fall : $P_f = 74\%$
Case 31 (Slope No.13)	H = 20 m $\delta_r = 300^\circ$ $\psi_r = 54^\circ$ J1 = 86°/06° J2 = 104°/89° J3 = 310°/72° Saturated Hard-Soft rock	1)rock fall	1) rock fall : $P_f = 64\%$
Case 32 (Slope No.14)	H = 40 m $\delta_r = 296^\circ$ $\psi_r = 55^\circ$ J1 = 103°/06° J2 = 18°/89° J3 = 293°/83° Saturated Hard-Soft rock	1)rock fall	1) rock fall : $P_f = 66\%$
Case 33 Dolomite, Theodore Roosevelt Dam, USA (Scott, 1995)	H = 34 m $\delta_r = 360^\circ$ $\psi_r = 84^\circ$ J1 = 50°/25° J2 = 180°/70° J3 = 318°/83° = J4:58°/31° $\phi = 35^\circ$ Saturated	1)plane failure along J3 2)toppling failure between J2 & J4	1) plane failure along J3 : $P_f = 52\%$ 2) toppling failure between J2 & J1 and J2&J4: $P_f = 64\%$
Case 34 Marl, Eskihsar (Yatagan-Mugla), Turkey / (Sonmez and Ulusay, 1999)	H = 25 m $\delta_r = N/A$ $\psi_r = 78^\circ$ $\sigma_c = 1.14-6.41$ MPa Slightly weathered Dry conditions	1)circular failure	1) circular failure: $P_f = 60\%$

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบระหว่างการคาดคะเนด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์กับสภาวะจริงของ
ความลาดเอียงมวลหิน (ต่อ)

Case No. (Slope No.)	Slope Characteristics	Actual Conditions	Expert System Prediction
Case 35 Jointed Marly, Kisrakkere Lignite, Turkey / (Sonmez and Ulusay, 1999)	H = 100 m $\delta_r = N/A$ $\psi_f = 40^\circ$ S1 = 1.2 ft S2 = 2.25 ft S3 = 3.21 ft S4 = 0.39 ft $\phi = 21^\circ$ $\sigma_c = 40.2$ MPa c = 340 psf Slightly weathered Dry conditions	1) circular failure 2) toppling failure	1) circular failure: $P_f = 45\%$ 2) Undetermined
Case 36 Norite, Western High Wall, South Africa/ (Rye and Bell, 2001)	H = 20 m $\delta_r = 85^\circ$ $\psi_f = 75^\circ$ J1 = 73 / 55 J2 = 73 / 55 J3 = 340 / 80 $\phi = 31^\circ$ $\gamma = 172$ pcf Saturated	1) plane failure 2) wedge failure	1) plane failure along J1: $P_f = 54\%$ 2) wedge failure between J1 & J2: $P_f = 74\%$ and J1 & J3: $P_f = 58\%$
Case 37 Highly weathered Granite, The Muak pass, Seoul city, Korea / (Lee., Suh., Chang, & Shin, 1992)	H = 23 m $\delta_r = 236^\circ$ $\psi_f = 72^\circ$ J1 = 290 / 65 J2 = 240 / 80 J3 = 195 / 80 J4 = 55 / 75 $\phi = 35^\circ$ Saturated	1) Not identify 2) Not identify	1) plane failure along J1: $P_f = 52\%$ 2) wedge failure between J1 & J2, J1 & J3, J1 & J4 : $P_f = 56\%$
H = Slope Height ψ_f = Dip Angle of Slope Face δ_r = Dip Direction of Slope Face σ_c = Uniaxial Compressive Strength c = Cohesion ϕ = Friction angle		P_f = Probability of Failure J1, J2, J3 and J4 = Joint Set Number (dip direction / dip angle) S1, S2, S3 and S4 = Joint Spacing for set 1, 2, 3 and 4 Slope number designation as indicated in Appendix	



รูปที่ 6.1 ผลการสอบทานระหว่างการคาดคะเนด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญกับการประเมินของกรมการเปลี่ยนแปลงหินจำนวน 37 แห่ง

บทที่ 7

ผลการออกแบบการค้ำยัน

เนื้อหาในบทนี้เสนอผลของการออกแบบการค้ำยันความลาดเชิงมวลหินด้วยคอมพิวเตอร်ซอฟต์แวร์โดยใช้สภาวะจริงจากภาคสนามและกรณีศึกษา มีจุดประสงค์เพื่อแสดงวิธีการออกแบบการค้ำยันทั้งหมด 9 วิธีที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 3 โดยใช้สภาพความลาดเชิงมวลหินที่ได้จากการสำรวจภาคสนามในประเทศไทยจำนวน 32 แห่ง และจากกรณีศึกษา 5 แห่ง ซึ่งถูกนำไปใช้สอบทานการประเมินเสถียรภาพในบทที่ 6

ตารางที่ 7.1 แสดงตัวอย่างผลการออกแบบการค้ำยันด้วยคอมพิวเตอร်ซอฟต์แวร์สำหรับความลาดเชิงมวลหินทั้งหมด 37 แห่ง โดยสดมภ์แรกของตารางแสดงหมายเลขของความลาดเชิงที่นำมาทำการออกแบบการค้ำยัน (สามารถอ้างอิงหมายเลขความลาดเชิงมวลหินได้กับภาคผนวก ก และภาคผนวก ข) สดมภ์ที่สองแสดงลักษณะทางวิศวกรรมความลาดเชิงมวลหินอย่างสังเขปของความลาดเชิงที่นำมาออกแบบการค้ำยัน และสดมภ์ที่สามแสดงรายละเอียดวิธีการค้ำยันที่เหมาะสมกับคุณลักษณะและปัญหาที่พบในแต่ละแห่ง จากผลการออกแบบทั้ง 37 แห่ง พบว่ามีวิธีการออกแบบทั้งหมด 5 วิธีจากทั้งหมด 9 วิธีที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 ได้แก่

- 1) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้หมุดยึดหินหรือ Cable bolt อย่างเดียวในความลาดเชิงหมายเลข (Slope No.) 15, 16, 42, 43, 45, 47, 48, 49 และ 50
- 2) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้หมุดยึดหินหรือ Cable bolt ร่วมกับตาข่ายลวดในความลาดเชิงหมายเลข 11 (Face 2), 24, 25 และ 26
- 3) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้หมุดยึดหินหรือ Cable bolt ร่วมกับตาข่ายลวดและท่อระบายน้ำในความลาดเชิงหมายเลข 17, 28, 33, 34, 36, 37 และกรณีศึกษา 5
- 4) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้การเปลี่ยนรูปร่างร่วมกับการใช้หมุดยึดหิน หรือ Cable bolt ตาข่ายลวดและท่อระบายน้ำในความลาดเชิงหมายเลข 41 และกรณีศึกษา 1
- 5) การปรับปรุงเสถียรภาพโดยใช้วิธีเปลี่ยนรูปร่างอย่างเดียวในความลาดเชิงหมายเลข 7, 12, 13 และ 14

และมีบางส่วนของความลาดเชิงมวลหินที่นำมาออกแบบค้ำยันแล้วคอมพิวเตอร်ซอฟต์แวร์ได้ให้คำแนะนำว่าไม่ต้องทำการค้ำยัน ซึ่งจะเกิดขึ้นกับความลาดเชิงมวลหินที่ถูกประเมินว่ามีเสถียรภาพสูง (Probability of failure = 0%) ได้แก่ ความลาดเชิงหมายเลข 26, 44, 51 และ 52 หรือกรณีโอกาสที่จะเกิดการพังทลายต่ำและสามารถยอมรับได้ในกรณีเฉพาะนั้น ๆ ได้แก่ ความลาดเชิงหมายเลข 11 (Face 1), 11 (Face 3) กรณีศึกษา 2, 3 และ 4

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาออกแบบการค้ำยัน

Slope No.	Slope Characteristics	Support Design
Slope No.24	<p>H = 18 m $\delta_f = 205^\circ$ $\psi_f = 76^\circ$ $J1 = 168^\circ/32^\circ$ $J2 = 345^\circ/63^\circ$ $J3 = 233^\circ/67^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 6 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than 6×100×100 mm² Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 205 degrees. Bolts angle : 54 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Galvanized mesh or galvanized chain link size : less than 40×40 cm² Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place.</p>
Slope No.25	<p>H = 19 m $\delta_f = 20^\circ$ $\psi_f = 76^\circ$ $J1 = 168^\circ/32^\circ$ $J2 = 345^\circ/63^\circ$ $J3 = 233^\circ/67^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 6 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than 6×100×100 mm² Bolts length : not less than 3 m Bolts square spacing : 3 m Bolts direction: 20 degrees. Bolts angle : 54 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Galvanized mesh or galvanized chain link size : less than 40×40 cm² Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place.</p>
Slope No.26	<p>H = 50 m $\delta_f = 286^\circ$ $\psi_f = 45^\circ$ $J1 = 276^\circ/45^\circ$ $J2 = 200^\circ/81^\circ$ $J3 = 91^\circ/37^\circ$ Saturated</p>	<p>No support required</p>

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาออกแบบการตัดชัน (ต่อ)

Slope No.	Slope Characteristics	Support Design
Slope No.27	H = 30 m $\delta_r = 314^\circ$ $\psi_r = 62^\circ$ $J1 = 80^\circ/40^\circ$ $J2 = 291^\circ/50^\circ$ $J3 = 164^\circ/62^\circ$ Saturated	Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 5 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 314 degrees. Bolts angle : 68 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Galvanized mesh or galvanized chain link size : less than $31 \times 31 \text{ cm}^2$ Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place.
Slope No.28	H = 16 m $\delta_r = 30^\circ$ $\psi_r = 48^\circ$ $J1 = 309^\circ/42^\circ$ $J2 = 182^\circ/72^\circ$ $J3 = 47^\circ/78^\circ$ Saturated	Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate strength : not less than 14 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction: 30 degrees. Bolts angle : 82 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place. Using PVC or Steel drained pipe Fully perforated drained pipe Length of drained pipe : not less than 16 m Hole diameter of drained pipe : not less than 10 cm Drained pipe spacing : 2 m Dip direction of drained pipe : 30 degrees Dip angle of drained pipe : 5 to 10 degrees from horizontal

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาออกแบบการค้ำยัน (ต่อ)

Slope No.	Slope Characteristics	Support Design
Slope No.28	<p>H = 18 m $\delta_r = 145^\circ$ $\psi_r = 54^\circ$ $J_1 = 309/42^\circ$ $J_2 = 182/72^\circ$ $J_3 = 47/78^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 12 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 145 degrees. Bolts angle : 76 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place. Using PVC or Steel drained pipe Fully perforated drained pipe Length of drained pipe : not less than 18 m Hole diameter of drained pipe : not less than 10 cm Drained pipe spacing : 4 m Dip direction of drained pipe : 145 degrees Dip angle of drained pipe : 5 to 10 degrees from horizontal.</p>
Slope No.33	<p>H = 20 m $\delta_r = 51^\circ$ $\psi_r = 52^\circ$ $J_1 = 21/55^\circ$ $J_2 = 114/70^\circ$ $J_3 = 294/89^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 5 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Using plastic grout tube : Out-size and In-size diameters should not less than 10 and 6 mm Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 51 degrees. Bolts angle: 65 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Galvanized mesh or galvanized chain link size : less than $31 \times 31 \text{ cm}^2$ Grout pressure should not exceed 150 to 200 kPa. Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place. Using PVC or Steel drained pipe Fully perforated drained pipe Length of drained pipe : not less than 20 m Hole diameter of drained pipe : not less than 10 cm Drained pipe spacing : 3 m Dip direction of drained pipe : 51 degrees Dip angle of drained pipe : 5 to 10 degrees from horizontal.</p>

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาออกแบบการก้ำกั้น (ต่อ)

Slope No.	Slope Characteristics	Support Design
Slope No.34	<p>H = 15 m $\delta_r = 30^\circ$ $\psi_r = 55^\circ$ $J1 = 21^\circ/55^\circ$ $J2 = 114^\circ/70^\circ$ $J3 = 294^\circ/89^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 8 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 30 degrees. Bolts angle: 60 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Galvanized mesh or galvanized chain link size : less than $31 \times 31 \text{ cm}^2$ Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place. Using PVC or Steel drained pipe Fully perforated drained pipe Length of drained pipe : not less than 15 m Hole diameter of drained pipe : not less than 10 cm Drained pipe spacing : 3 m Dip direction of drained pipe : 30 degrees Dip angle of drained pipe : 5 to 10 degrees from horizontal.</p>
Slope No.7	<p>H = 13 m $\delta_r = 30^\circ$ $\psi_r = 60^\circ$ $J1; J2; J3 = \text{N/A}$ $\sigma_c = 5\text{-}25 \text{ MPa}$ Saturated</p>	<p>Slope height is : 13 m Slope face angle is : 45 degrees</p>
Slope No.11 Face 1	<p>H = 50 m $\delta_r = 161^\circ$ $\psi_r = 71^\circ$ $J1 = 27^\circ/24^\circ$ $J2 = 138^\circ/77^\circ$ $J3 = 78^\circ/84^\circ$ $J4 = 211/78$ Saturated</p>	<p>The result of stability evaluation for your slope can be acceptable</p>
Slope No.11 Face 2	<p>H = 30 m $\delta_r = 240^\circ$ $\psi_r = 70^\circ$ $J1 = 27^\circ/24^\circ$ $J2 = 138^\circ/77^\circ$ $J3 = 78^\circ/84^\circ$ $J4 = 211/78$ Saturated</p>	<p>Rock anchor or mechanical bolts Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 7 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 240 degrees. Bolts angle : 35 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Steel mesh or steel chain link size : less than $40 \times 40 \text{ cm}^2$</p>

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างของความลาดเชิงมวลหินที่นำมาออกแบบการค้ำยัน (ต่อ)

Slope No.	Slope Characteristics	Support Design
Slope No.11 Face 3	H = 30 m $\delta_r = 84^\circ$ $\psi_f = 80^\circ$ $J1 = 27/24^\circ$ $J2 = 138/77^\circ$ $J3 = 78/84^\circ$ $J4 = 211/78^\circ$ Saturated	The result of stability evaluation for your slope can be acceptable
Slope No.36	H = 16 m $\delta_r = 215^\circ$ $\psi_f = 79^\circ$ $J1 = 54/33^\circ$ $J2 = 154/80^\circ$ $J3 = 241/75^\circ$ Saturated	Fully grouted steel rebar with cement Steel produced 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 5 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than 6×100×100 mm ³ Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 215 degrees. Bolts angle: 60 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place. Using PVC or Steel drained pipe Fully perforated drained pipe Length of drained pipe : not less than 16 m Holes diameter of drained pipe : not less than 10 cm Drained pipe spacing : 3 m Dip direction of drained pipe : 215 degrees Dip angle of drained pipe : 5 to 10 degrees from horizontal
Slope No.37	H = 12 m $\delta_r = 280^\circ$ $\psi_f = 45^\circ$ $J1 = 47/34^\circ$ $J2 = 240/60^\circ$ $J3 = 177/51^\circ$ Saturated	Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 8 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than 6×100×100 mm ³ Using plastic grout tube : Out-size and In-size diameters should not less than 10 and 6 mm Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 280 degrees. Bolts angle : 25 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Galvanized mesh or galvanized chain link size : less than 13×13 cm ² Grout pressure should not exceed 150 to 200 kPa. Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place. Using PVC or Steel drained pipe Fully perforated drained pipe Length of drained pipe : not less than 12 m Holes diameter of drained pipe : not less than 10 cm Drained pipe spacing : 1 m Dip direction of drained pipe : 280 degrees Dip angle of drained pipe : 5 to 10 degrees from horizontal.

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างของความลาดเชิงมวลหินที่นำมาออกแบบการค้ำยัน (ต่อ)

Slope No.	Slope Characteristics	Support Design
Slope No.38	<p>H = 12 m $\delta_f = 80^\circ$ $\psi_f = 75$ UCS = 5-25 MPa Saturated</p>	<p>Slope height : 12 m. Slope face angle is : 45 degrees</p>
Slope No.41	<p>H = 40 m $\delta_f = 220^\circ$ $\psi_f = 60^\circ$ $J1 = 344^\circ/03^\circ$ $J2 = 224^\circ/81^\circ$ $J3 = 190^\circ/70^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 11 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than 6×100×100 mm³ Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 220 degrees. Bolts angle: 51 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Galvanized mesh or galvanized chain link size : less than 4×4 cm² Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place. Using PVC or Steel drained pipe Fully perforated drained pipe Length of drained pipe : not less than 40 m Hole diameter of drained pipe : not less than 10 cm Drained pipe spacing : 4 m Dip direction of drained pipe : 220 degrees Dip angle of drained pipe : 5 to 10 degrees from horizontal Design bench height : 8 m Design bench wide : 10 m Working safe of slope face angle : 55 degrees</p>
Slope No.42	<p>H = 15 m, $\delta_f = 105^\circ$ $\psi_f = 70^\circ$ $J1 = 107^\circ/87^\circ$ $J2 = 273^\circ/78^\circ$ $J3 = 48^\circ/66^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 5 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than 6×100×100 mm³ Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 105 degrees. Bolts angle: 47 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place.</p>

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างของความลาดเชิงมวลหินที่นำมาออกแบบการค้ำยัน (ต่อ)

Slope No.	Slope Characteristics	Support Design
Slope No.43	<p>H = 30 m $\delta_r = 150^\circ$ $\psi_r = 70^\circ$ $J1 = 107/87^\circ$ $J2 = 273/78^\circ$ $J3 = 48/66^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted steel rebar with cement Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 10 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 150 degrees. Bolts angle : 47 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place.</p>
Slope No.44	<p>H = 50 m $\delta_r = 150^\circ$ $\psi_r = 68^\circ$ $J1 = 55/36^\circ$ $J2 = 76/79^\circ$ $J3 = 330/07^\circ$ $J4 = 324/76^\circ$ Saturated</p>	<p>Stable</p>
Slope No.45	<p>H = 18 m $\delta_r = 115^\circ$ $\psi_r = 70^\circ$ $J1 = 55/36^\circ$ $J2 = 76/79^\circ$ $J3 = 330/07^\circ$ $J4 = 324/76^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 12 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 115 degrees. Bolts angle : 47 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place.</p>
Slope No.47	<p>H = 25 m $\delta_r = 102^\circ$ $\psi_r = 70^\circ$ $J1 = 59/49^\circ$ $J2 = 149/80^\circ$ $J3 = 240/58^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 7 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 102 degrees. Bolts angle: 47 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place.</p>

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างของความลาดเชิงมวลหินที่นำมาออกแบบการค้ำยัน (ต่อ)

Slope No.	Slope Characteristics	Support Design
Slope No.48	<p>H = 20 m $\delta_f = 260^\circ$ $\psi_f = 80^\circ$ $J_1 = 116^\circ/76^\circ$ $J_2 = 360^\circ/83^\circ$ $J_3 = 279^\circ/76^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted cable bolts with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 13 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Cable bolts diameters : not less than 12.7 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Using plastic grout tube : Out-size and In-size diameters should not less than 10 and 6 mm Cable bolts length : not less than 7 m Cable bolts spacing : 4 m (Square pattern) Cable bolts direction : 260 degrees. Cable bolts angle : 61 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Grout pressure should not exceed 150 to 200 kPa. Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place.</p>
Slope No.49	<p>H = 20 m $\delta_f = 150^\circ$ $\psi_f = 75^\circ$ $J_1 = 116^\circ/76^\circ$ $J_2 = 360^\circ/83^\circ$ $J_3 = 279^\circ/76^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted cable bolts with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 5 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Cable bolts diameters : not less than 12.7 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Using plastic grout tube : Out-size and In-size diameters should not less than 10 and 6 mm Cable bolts length : not less than 7 m Cable bolts spacing : 4 m (Square pattern) Cable bolts direction : 150 degrees. Cable bolts angle : 66 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Grout pressure should not exceed 150 to 200 kPa. Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place.</p>
Slope No.50	<p>H = 16 m $\delta_f = 110^\circ$ $\psi_f = 72^\circ$ $J_1 = 116^\circ/76^\circ$ $J_2 = 360^\circ/83^\circ$ $J_3 = 279^\circ/76^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted cable bolts with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 6 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Cable bolts diameters : not less than 12.7 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Using plastic grout tube : Out-size and In-size diameters should not less than 10 and 6 mm Cable bolts length : not less than 7 m Cable bolts spacing : 4 m (Square pattern) Cable bolts direction : 110 degrees. Cable bolts angle : 69 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Grout pressure should not exceed 150 to 200 kPa. Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place.</p>

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างของความลาดเชิงมวลหินที่นำมาออกแบบการค้ำยัน (ต่อ)

Slope No.	Slope Characteristics	Support Design
Slope No.51	<p>H = 18 m $\delta_r = 300^\circ$ $\psi_r = 60^\circ$ $J_1 = 116^\circ/76^\circ$ $J_2 = 360^\circ/83^\circ$ $J_3 = 279^\circ/76^\circ$ Saturated</p>	No support required
Slope No.52	<p>H = 20 m $\delta_r = 350^\circ$ $\psi_r = 60^\circ$ $J_1 = 116^\circ/76^\circ$ $J_2 = 360^\circ/83^\circ$ $J_3 = 279^\circ/76^\circ$ Saturated</p>	No support required
Slope No.15	<p>H = 10 m $\delta_r = 190^\circ$ $\psi_r = 50^\circ$ $J_1 = 197^\circ/51^\circ$ $J_2 = 318^\circ/65^\circ$ $J_3 = 73^\circ/71^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted cable bolts with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 8 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Cable bolts diameters : not less than 12.7 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Cable bolts length : not less than 9 m Cable bolts spacing : 6 m (Square pattern) Cable bolts direction : 190 degrees. Cable bolts angle: 37 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place.</p>
Slope No.16	<p>H = 15 m, $\delta_r = 185^\circ$ $\psi_r = 80^\circ$ $J_1 = 356^\circ/22^\circ$ $J_2 = 40^\circ/87^\circ$ $J_3 = 115^\circ/89^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 5 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 185 degrees. Bolts angle : 7 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place.</p>

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาออกแบบการก้ำยัน (ต่อ)

Slope No.	Slope Characteristics	Support Design
Slope No.17	<p>H = 10 m $\delta_r = 180^\circ$ $\psi_r = 50^\circ$ $J_1 = 170^\circ/80^\circ$ $J_2 = 300^\circ/75^\circ$ $J_3 = 92^\circ/83^\circ$ Saturated</p>	<p>Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 5 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction: 180 degrees. Bolts angle : 63 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place. Using PVC or Steel drained pipe Fully perforated drained pipe Length of drained pipe : not less than 10 m Holes diameter of drained pipe : not less than 10 cm Drained pipe spacing : 2 m Dip direction of drained pipe : 180 degrees Dip angle of drained pipe : 5 to 10 degrees from horizontal</p>
Slope No.12	<p>H = 50 m, $\delta_r = 170^\circ$ $\psi_r = 60^\circ$ $J_1, J_2 \text{ \& } J_3 =$ N/A Saturated Hard-Soft rock</p>	<p>Your slope face angle : should be less than 40 degrees</p>
Slope No.13	<p>H = 20 m $\delta_r = 300^\circ$ $\psi_r = 54^\circ$ $J_1 = 86^\circ/06^\circ$ $J_2 = 104^\circ/89^\circ$ $J_3 = 310^\circ/72^\circ$ Saturated, Hard-Soft rock</p>	<p>Your slope face angle : should be less than 40 degrees</p>
Slope No.14	<p>H = 40 m $\delta_r = 296^\circ$ $\psi_r = 55^\circ$ $J_1 = 103^\circ/06^\circ$ $J_2 = 18^\circ/89^\circ$ $J_3 = 293^\circ/83^\circ$ Saturated Hard-Soft rock</p>	<p>Design bench height : 8 m Design bench wide : 10 m Working safe of slope face angle : 40 degrees</p>

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างของความลาดเชิงมวลหินที่นำมาออกแบบการค้ำยัน (ต่อ)

Slope No.	Slope Characteristics	Support Design
Dolomite, Theodore Roosevelt Dam, USA / (Scott, 1995)	H = 34 m $\delta_r = 360^\circ$ $\psi_r = 84^\circ$ J1 = 50 /25 J2 = 180/70 J3 = 318/83 J4 = 58/31 $\phi = 35^\circ$ Saturated	Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 45 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than 6×100×100 mm ³ Using plastic grout tube : Out-size and In-size diameters should not less than 10 and 6 mm Bolts length : not less than 4 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 90 degrees. Bolts angle : 56 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Grout pressure should not exceed 150 to 200 kPa. Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place. Using PVC or Steel drained pipe Fully perforated drained pipe Length of drained pipe : not less than 34 m Holes diameter of drained pipe : not less than 10 cm Drained pipe spacing : 7 m Dip direction of drained pipe : 90 degrees Dip angle of drained pipe : 5 to 10 degrees from horizontal Design bench height : 10 m Design bench wide : 12 m Working safe of slope face angle : 60 degrees
Marl, Eskihisar (Yatagan-Mugla), Turkey / (Sonmez and Ulusay, 1999)	H = 25 m $\delta_r = N/A$ $\psi_r = 78^\circ$ $\sigma_c = 1.14-6.41$ MPa Slightly weathered Dry conditions	The result of stability evaluation is acceptable without any support.
Jointed Marly, Kistrakdere Lignite, Turkey / (Sonmez and Ulusay, 1999)	H = 100 m $\delta_r = N/A$ $\psi_r = 40^\circ$ S1 = 1.2 ft S2 = 2.25 ft S3 = 3.21 ft S4 = 0.39 ft $\phi = 21^\circ$ $\sigma_c = 40.2$ MPa c = 340 psf Slightly weathered Dry conditions	The result of stability evaluation is acceptable without any support.

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างของความลาดเชิงมวลหินที่นำมาออกแบบการกำยั้น (ต่อ)

Slope No.	Slope Characteristics	Support Design
Norite, Western High Wall, South Africa/ (Bye and Bell, 2001)	H = 20 m $\delta_f = 85^\circ$ $\psi_f = 75^\circ$ J1 = 73 /55 J2 = 73 /55 J3 = 340/80 $\phi = 31^\circ$ $\gamma = 172$ pcf Saturated	The result of stability evaluation is acceptable without any support.
Highly weathered Granite, The Muak pass, Seoul city, Korea / (Lee., Suh., Chang, & Shin, 1992)	H = 23 m $\delta_f = 236^\circ$ $\psi_f = 72^\circ$ J1 = 290 /65 J2 = 240 /80 J3 = 195 /80 J4 = 55 /75 $\phi = 35^\circ$ Saturated	Fully grouted steel rebar with cement. Steel produced of 0.2% carbon and Hot rolled Ultimate pressure : not less than 11 kN Recommended applied load at 30% of ultimate pressure. Bolts diameters : not less than 12 mm Steel plates size : not less than $6 \times 100 \times 100$ mm ³ Using plastic grout tube : Out-size and In-size diameters should not less than 10 and 6 mm Bolts length : not less than 3 m Bolts spacing : 3 m (Square pattern) Bolts direction : 326 degrees. Bolts angle: 39 degrees from horizontal. Hole diameters : not less than 41 mm Galvanized mesh or galvanized chain link size : less than 33.25×33.25 cm ² Grout pressure should not exceed 150 to 200 kPa. Use corrosion protection, for example epoxy coated or galvanized coated. The grout should be allowed to develop adequate strength after about 24 hrs before tension takes place. Using PVC or Steel drained pipe Fully perforated drained pipe Length of drained pipe : not less than 23 m Holes diameter of drained pipe : not less than 10 cm Drained pipe spacing : 3 m Dip direction of drained pipe : 326 degrees Dip angle of drained pipe : 5 to 10 degrees from horizontal
H = Slope Height ψ_f = Dip Angle of Slope Face δ_f = Dip Direction of Slope Face σ_c = Uniaxial Compressive Strength c = Cohesion ϕ = Friction angle		J1, J2, J3 and J4 = Joint Set Number (dip direction/dip angle) S1, S2, S3 and S4 = Joint Spacing for set 1, 2, 3 and 4

บทที่ 8

การวิจารณ์ผลงานวิจัย

การวิจารณ์ผลงานที่นำเสนอในบทนี้จะเน้นไปที่ความครอบคลุม ความเพียงพอ และความเหมาะสมของแนวคิด วิธีการ ขอบเขตของงานวิจัย และความแม่นยำของการคำนวณและการคาดคะเนของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งในการวิจารณ์จะจำแนกเนื้อหาออกเป็น 8 ประเด็น คือ

- 1) ความริเริ่มสร้างสรรค์ของแนวคิด
- 2) ขอบเขตของการศึกษาในเชิงลักษณะของความลาดเอียง
- 3) ปัจจัยและอิทธิพลของปัจจัยที่พิจารณาในการประเมินเสถียรภาพ
- 4) ความครอบคลุมของข้อมูลภาคสนามและกรณีศึกษา
- 5) ความเหมาะสมของวิธีการประเมินเสถียรภาพ
- 6) ความแม่นยำของการคาดคะเนด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์
- 7) ความเหมาะสมในการออกแบบการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์
- 8) การนำซอฟต์แวร์ไปประยุกต์ใช้

8.1 ความริเริ่มสร้างสรรค์ของแนวคิด

ผลจากการทบทวนและศึกษาวรรณกรรมวิจัยระบุว่า คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์สำหรับการประเมินเสถียรภาพและออกแบบการคำนวณของความลาดเอียงมวลหินมีน้อยมากเมื่อเทียบกับวิศวกรรมด้านอื่น เช่น ความลาดเอียงมวลดิน อุโมงค์ อาคารสูง สะพาน การทดสอบ การสำรวจ ฯลฯ คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ของความลาดเอียงมวลหินที่มีอยู่ได้ใช้วิธี Fuzzy set theory ในการประเมินเสถียรภาพจะค่อนข้างซับซ้อนและเป็นที่ยากสำหรับวิศวกรทั่วไป โดยเฉพาะวิศวกรที่มีพื้นฐานระดับปริญญาตรีและมีประสบการณ์น้อย นอกจากนั้นคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ที่มีอยู่นี้ยังไม่ครอบคลุมถึงการออกแบบการคำนวณสำหรับความลาดเอียงที่ไม่มีเสถียรภาพ ดังนั้น คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาจากงานวิจัยนี้จึงมีความสมบูรณ์มากกว่า และมีกลไกของการประเมินเสถียรภาพที่ง่ายต่อการเข้าใจ คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์นี้ยังให้ข้อเสนอแนะในการออกแบบการคำนวณ โดยอาศัยระเบียบวิธีการออกแบบ (Design methodology) ที่คิดขึ้นอย่างเป็นระบบและถูกต้องตามหลักวิธีการเชิงฟิสิกส์ และกลศาสตร์ ซึ่งโดยสรุปแล้วคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ใหม่นี้เป็นแนวคิดใหม่ที่น่าการพิจารณาปัจจัยการประเมินเสถียรภาพและการออกแบบเชิงวิศวกรรมรวมไว้ในซอฟต์แวร์เดียวกัน

8.2 ขอบเขตของการศึกษาในเชิงลักษณะของความปลอดภัย

คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ในงานวิจัยนี้จำแนกลักษณะของความปลอดภัยของมอดูลในเชิงวิศวกรรมกรณีออกเป็น 6 ลักษณะ ซึ่งจะครอบคลุมมากกว่า 80% ของความปลอดภัยของมอดูลทั้งหมดที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติและเกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งทั้ง 6 ลักษณะนี้ถือว่าเป็นลักษณะความปลอดภัยส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในโลก ในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของน้ำบาดาลคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์นี้ก็ได้จำแนกไว้ถึง 5 ระดับ ซึ่งเพียงพอที่จะนำมาเปรียบเทียบกับโจทย์ของความปลอดภัยของมอดูลได้อย่างใกล้เคียงในทุกกรณี อย่างไรก็ตามผู้อ่านหรือผู้ที่จะนำระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ไปใช้ (Users) พึงตระหนักถึงขอบเขตที่สำคัญอันหนึ่งว่า คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับความลาดเอียงมวลดินและความลาดเอียงที่เกิดจาก Rock-fill หรือ Land-fill เนื่องจากปัจจัยผลกระทบและกลไกของการพังทลายของความปลอดภัยเหล่านี้จะแตกต่างกับความลาดเอียงมวลหินอย่างมาก

8.3 ปัจจัยและผลกระทบของปัจจัยที่พิจารณา

ข้อดีหรือข้อได้เปรียบที่สำคัญอันหนึ่งของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์นี้คือ ความสามารถที่จะนำปัจจัยต่าง ๆ อย่างหลากหลายและครอบคลุมปัญหาของความปลอดภัย ซึ่งวิธีการคำนวณแบบดั้งเดิมหรือวิธีเชิงกลศาสตร์ไม่สามารถทำได้ โดยหลายปัจจัยจะไม่อยู่หรือไม่สามารถนำมากำหนดเป็นเชิงตัวเลขในการคำนวณในวิธีเหล่านี้ นอกจากนี้ถึงแม้ว่าผู้ใช้จะไม่สามารถทราบถึงผลกระทบหรือค่าของปัจจัยเหล่านี้ คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ก็สามารถประเมินค่าเหล่านี้ออกมาได้จากข้อมูลสถานะแวดล้อม ธรณีวิทยา และอุทกธรณีวิทยาที่ผู้ใช้ใส่เข้าไปในระบบจากการสอบถามของระบบ ซึ่งทำให้เพิ่มขีดความสามารถของระบบเกินขอบเขตของวิธีการคำนวณแบบดั้งเดิมที่จะทำได้

ในคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์นี้ยังตระหนักด้วยว่าผลกระทบของปัจจัยเหล่านี้จะไม่คงที่แต่จะผันแปรไปตามลักษณะเชิงกลศาสตร์หินของแต่ละความลาดเอียง ดังนั้นระบบจึงได้พิจารณาผลกระทบของแต่ละปัจจัยโดยใช้สัมประสิทธิ์ของอิทธิพล ซึ่งจะเป็นตัวคูณที่ทำให้เกิดการผันแปรของผลกระทบของปัจจัยในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งจากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ (ผู้วิจัย) พบว่าตัวแปรหลักที่จะทำให้เกิดการผันแปรของแต่ละปัจจัยอย่างมาก คือ ความแข็งของหิน หรือค่ากำลังอัดสูงสุด (ค่าความเค้นด้านแรงกดสูงสุด) ดังนั้น ค่านี้จึงนำมาพิจารณาในการผันแปรของปัจจัยแต่ละตัวในเชิงตัวเลข เช่น ผลกระทบของน้ำบาดาลจะมีค่าต่ำลงถ้าความแข็งของหินที่ประกอบเป็นความลาดเอียงมีความแข็งมากขึ้น หรือผลกระทบของความสูงของความลาดเอียงต่อเสถียรภาพจะมีความมากขึ้น ถ้าหินนั้นมีความแข็งน้อยลง เป็นต้น

8.4 ความครอบคลุมของข้อมูลภาคสนามและกรณีศึกษา

จุดประสงค์ของการเก็บข้อมูลจริงจากภาคสนามนอกจากจะนำมาใช้ในการสอบเทียบ ค่าปัจจัยและอิทธิพลของแต่ละปัจจัยแล้ว ยังต้องการความหลากหลายของคุณลักษณะความลาดเอียง มวลหินในเชิงธรณีวิทยา วิศวกรรมธรณี และในเชิงความต้องการทางด้านวิศวกรรม (ค่าความปลดปล่อย) ผลจากการสำรวจเป็นที่น่าพอใจ เพราะได้ครอบคลุมคุณลักษณะที่หลากหลายเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสำรวจได้ดำเนินการในระยะเวลาอันสั้นภายใต้งบประมาณที่จำกัดของโครงการ ซึ่งจะกล่าวได้ว่า คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ได้ถูกสอบเทียบ (Calibrate) และสอบทาน (Verify) จากลักษณะความลาดเอียง มวลหินกว่า 90% ของประเทศ และเมื่อเทียบกับความลาดเอียงมวลหินในต่างประเทศระบบนี้ สามารถครอบคลุมคุณลักษณะของความลาดเอียงได้มากกว่า 70% (ประเมินจากการทบทวนวรรณกรรมวิจัย) ลักษณะที่ไม่ครอบคลุมหรือคุณลักษณะที่คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถ ประเมินเสถียรภาพได้คือ ความไม่มีเสถียรภาพที่เกิดจากการแข็งตัวและการละลายของน้ำบาดาล (ซึ่งสามารถพบได้ในพื้นที่ที่อยู่ในเขตหนาวจัดและมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง) และไม่มีเสถียรภาพที่เกิดจากการสึกกร่อนของลม (สามารถพบได้ในเขตแห้งแล้งที่เป็นทะเลทราย) เป็นต้น

ผลจากการค้นคว้าและศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศระบบว่า บทความ (ส่วนใหญ่อยู่ในวารสารและเอกสารการประชุมนานาชาติ) ที่เกี่ยวข้องกับกรณีศึกษาของความลาดเอียงมวลหินมีมากกว่า 200 บทความ แต่มีเพียง 55 บทความที่ได้ให้ข้อมูลที่จำเป็นก่อนข้าง ครบถ้วนที่จะเป็นประโยชน์ในการนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ ซึ่งการนำข้อมูลเหล่านี้มาใช้ส่วนใหญ่จะ อยู่ในกิจกรรมของการสอบทานค่าปัจจัย ค่าอิทธิพล และกลไกของการประเมินเสถียรภาพของระบบ ผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งถ้าจะกล่าวโดยรวมแล้วบทความส่วนใหญ่จะขาดการชี้แจงข้อมูลสำคัญที่จะนำมา กำหนดปัจจัยที่จำเป็นในระบบ ข้อมูลหรือปัจจัยเหล่านี้ เช่น ทิศทางและการวางตัวของรอยแตกชั้น หินและของหน้าความลาดเอียง ความสูงและรูปร่างทางเรขาคณิต (ความโค้ง) ของหน้าลาดเอียง เป็นต้น เหตุผลที่บทความส่วนใหญ่ไม่ได้เสนอค่าปัจจัยที่จำเป็นนี้เนื่องจากแต่ละบทความจะมี จุดประสงค์และขอบเขตการวิเคราะห์ที่ต่างกัน และต่างกับวิธีที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตาม ผลจากการสอบทานผลของการประเมินเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหินที่มีอยู่จริงจาก 55 บทความ ก็สามารถยืนยันความถูกต้องของแนวคิดและกลไกการประเมินเสถียรภาพของระบบได้เป็นที่น่าพอใจ

8.5 ความเหมาะสมของวิธีการประเมินเสถียรภาพ

การประเมินเสถียรภาพของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการให้ คะแนน (Rating) กับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเสถียรภาพของความลาดเอียงและการให้ค่าอิทธิพล (Influencing factor) ในแต่ละชุดของปัจจัยที่พิจารณาในความลาดเอียงนั้น ๆ ชุดของค่าอิทธิพลยัง ผันแปรไปกับค่าความแข็งของหินที่ประเมินได้ในภาคสนาม นอกจากนั้นแต่ละชนิดของการพังทลาย

ที่คำนวณได้ (Modes of failure) ก็จะมีชุดของคะแนนที่ต่างกันออกไป คะแนนและค่าอิทธิพลที่ให้ในแต่ละปัจจัยก็จะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันและมีค่าระดับคะแนนที่ขึ้นต่อกัน ซึ่งบางกรณีอาจจะมีคะแนนของสองปัจจัยเท่ากันและในบางกรณีคะแนนของแต่ละปัจจัยจะต่างกันอย่างมาก ซึ่งขึ้นกับชนิดของการพังทลาย ค่าอิทธิพลที่ให้ไว้ในระบบก็จะต่างกันอย่างเป็นเหตุเป็นผล ซึ่งขึ้นกับคุณลักษณะของความลาดเอียงมวลหิน ถ้าจะกระจายกรณีเฉพาะของคุณลักษณะความลาดเอียงมวลหินที่ระบบสามารถนำมาพิจารณาได้ก็จะมีมากกว่า 10,000 กรณีที่ต่างกัน ดังนั้น การวัดกลไกของการประเมินเสถียรภาพในลักษณะเช่นนี้จึงสามารถพิจารณาลักษณะมวลหินของจริงได้อย่างหลากหลาย และในขณะเดียวกันกลไกเช่นนี้ก็จะช่วยต่อการเข้าใจสำหรับผู้ใช้นอกจากนั้นพื้นฐานและโครงสร้างของระบบประเมินเสถียรภาพในลักษณะนี้ยังสามารถทำการปรับเปลี่ยนและปรับปรุงระดับคะแนนและค่าอิทธิพลได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพเมื่อมีข้อมูลใหม่เข้ามาพิจารณาในอนาคต

8.6 ความแม่นยำของการคาดคะเนด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์

ผลจากการสอบทานโดยการเปรียบเทียบ “ความน่าจะเป็นของการพังทลาย” ที่คำนวณได้จากคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์กับ “เหตุการณ์จริงที่เกิดขึ้น” ที่สำรวจจากภาคสนามและที่สรุปได้จากกรณีศึกษาในต่างประเทศระบุว่า คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ในงานวิจัยนี้สามารถคาดคะเนระดับเสถียรภาพและความไม่มีเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหินจริงได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือ ถ้าระบบประเมินว่าความน่าจะเป็นพังทลายของหน้าลาดเอียงแห่งใดก็ตามมากกว่า 50% หรือ 60% ก็จะสามารถพบการพังทลายของมวลหินนั้น ๆ เกิดขึ้นจริง และถ้าระบบประเมินว่าความน่าจะเป็นของการพังทลายมีน้อยกว่า 30-40% ก็จะพบในกรณีจริงว่ามวลหินนั้น ๆ จะมีเสถียรภาพสูงและไม่มีการพังทลายเกิดขึ้น

8.7 ความเหมาะสมของการออกแบบการก้ำยั้งด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์

แนวคิดที่ใช้ในขบวนการออกแบบการก้ำยั้งในคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ได้อาศัยทฤษฎีและระเบียบวิธีของการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยจะเริ่มจากการประเมินชนิดของการพังทลายของแต่ละความลาดเอียง (Problem statements) และทำการบ่งบอกจุดประสงค์เฉพาะของการออกแบบ (Design objectives) จากนั้นจะจัดตั้งความต้องการของหน้าที่ในระบบการก้ำยั้ง (Functional requirements) ในแต่ละหน้าที่จะเสนอคำตอบเพื่อสนองต่อหน้าที่นี้ (Design solutions) ในแต่ละชุดของคำตอบก็จะประกอบด้วยองค์ประกอบเชิงวิศวกรรมของการออกแบบ (Design components) ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้คือ หมุดก้ำยั้ง (Rock bolt) ตาข่ายลวด (Wire mesh) ซีเมนต์คาค (Cement grout) เป็นต้น จากนั้นระบบจะทำการคัดเลือกคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยขบวนการ Optimization โดยนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดและผลจากการประเมินเสถียรภาพเข้ามาช่วยในขบวนการคัดเลือกดำเนินการ

ที่เหมาะสมที่สุด เมื่อได้คำตอบแล้วระบบก็จะให้คำอธิบายและแนะนำเกี่ยวกับ Design specifications (ขนาดและรูปร่างของวัสดุทางวิศวกรรมที่นำมาใช้) และท้ายสุดระบบก็จะให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ค้ำยันแต่ละชนิด ดังนั้น ขนาดการออกแบบเช่นนี้จึงถือได้ว่าได้ดำเนินการเป็นไปตามหลักเกณฑ์เชิงวิศวกรรมความลาดเอียงมวลหินทั้งสิ้น และก่อนข้างออกไปในเชิงอนุรักษ์ ที่สำคัญคือระบบจะดำเนินการตามขั้นตอนทุกประการโดยไม่ละเว้นปัจจัยสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบ

8.8 การนำคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ไปประยุกต์ใช้

สถานการณ์ที่เหมาะสมที่จะนำคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้คือ ในกรณีที่จะต้องประเมินเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหินในขณะที่มีข้อมูลเชิงวิศวกรรมธรณีไม่เพียงพอและไม่สามารถใช้วิธีคำนวณแบบดั้งเดิมได้ หรือในกรณีที่จำเป็นต้องประเมินเสถียรภาพและออกแบบความลาดเอียงมวลหินอย่างรวดเร็วในลักษณะทางธรณีวิทยาที่ซับซ้อนและใช้วิธีคำนวณแบบดั้งเดิมไม่ได้ หรือในกรณีที่ต้องการความเห็นของผู้เชี่ยวชาญท่านหนึ่งเพื่อมาผลมาเปรียบเทียบกับในเชิงออกแบบ และท้ายสุดในกรณีสำหรับผู้ใช้ที่เป็นวิศวกรใหม่และยังไม่มีความชำนาญเพียงพอในการออกแบบก็สามารถนำคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์มาเป็นแนวทางในการเรียนรู้อย่างเป็นขั้นตอน ผู้ใช้ควรตระหนักว่าคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์นี้เป็นความเห็นและแนวคิดของวิศวกรที่มีประสบการณ์ด้านความลาดเอียงมวลหินท่านหนึ่งเท่านั้น ไม่ได้เป็นความเห็นรวมของวิศวกรทั้งหมด ดังนั้น แต่ละผู้เชี่ยวชาญก็จะมีความคิดเห็นต่างกันไปตามแต่พื้นฐานของประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญนั้น ๆ นอกจากนั้นคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ใด ๆ ก็ไม่ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนหน้าที่ของวิศวกรแต่ที่จริงแล้วระบบเหล่านี้จะสามารถนำมาตรวจสอบหรือเปรียบเทียบกับผลของการออกแบบด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น การใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขหรือการคำนวณด้วยสูตรแบบดั้งเดิม เป็นต้น และท้ายสุดซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่ง คือ ผู้ใช้ที่จะนำระบบในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้จะต้องเข้าใจขอบเขตความสามารถของระบบอย่างละเอียด การนำระบบไปใช้เกินขอบเขตที่ระบบจะทำได้อาจจะทำให้ผลการประเมินเสถียรภาพและการออกแบบผิดพลาดได้

บทที่ 9

สรุปและข้อเสนอแนะ

9.1 สรุป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ พัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการประเมินเสถียรภาพและออกแบบการค้ำยันของความลาดเอียงมวลหิน ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมหลัก 7 ประการ คือ 1) การทบทวนวรรณกรรมวิจัยและประมวลกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ 2) การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้มาซึ่งแนวคิดและขอบเขตองค์ความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ 3) การสำรวจภาคสนามเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลจริงสำหรับใช้ในการสอบเทียบและสอบทานผลที่ได้จากคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ 4) การสร้างเครือข่ายทางความคิดเพื่อเก็บข้อมูลและนำไปสู่คำตอบที่ผู้เชี่ยวชาญประสงค์จะได้รับ 5) การเขียนคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์สำหรับเครือข่ายทางความคิด 6) การสอบทานความแม่นยำและความสามารถของระบบ และ 7) การเขียนรายงาน

เครือข่ายทางความคิดของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์นี้ได้ใช้ระบบการพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวกับเสถียรภาพและมีการให้คะแนน (Rating) แต่ละปัจจัยและค่าอิทธิพล (Influencing factor) ที่แต่ละปัจจัยจะมีผลกระทบต่อระดับความไม่มีเสถียรภาพ ซึ่งผลจากการประเมินเสถียรภาพจะออกมาในรูปของความน่าจะเป็นของการพังทลายซึ่งจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 100% โดยที่ค่าความน่าจะเป็นที่สูงขึ้นหมายถึงโอกาสที่จะเกิดการพังทลายจะมีมากขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้ระบบยังพิจารณาระดับค่าความปลอดภัยในเชิงวิศวกรรมที่ต้องการในแต่ละความลาดเอียง ซึ่งจะนำไปสู่ข้อเสนอแนะในการออกแบบการค้ำยันที่เหมาะสมในแต่ละระดับ ในส่วนของการออกแบบก็จะนำปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องรวมถึงลักษณะของการพังทลายเข้ามาพิจารณาเพื่อเลือกสรรวัสดุและวิธีการของการค้ำยัน ซึ่งทั้งหมดนี้ได้เขียนอยู่ในโปรแกรม Visual basic ซึ่งจะสามารถติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้ได้อย่างสะดวกและเป็นขั้นตอนทั้งในรูปของการกรอกข้อมูลและการแสดงผล

ผลจากการสอบทานการคาดคะเนของคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์เมื่อเทียบกับลักษณะเสถียรภาพหรือการพังทลายที่เกิดขึ้นจริงระบุว่า คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์นี้สามารถคาดคะเนระดับความไม่มีเสถียรภาพในของจริงได้ใกล้เคียงอย่างเป็นเหตุเป็นผลและเป็นที่น่าพอใจ โดยที่การคาดคะเนของระบบจะออกไปในเชิงอนุรักษ์ กล่าวคือ ระบบจะให้ค่าความน่าจะเป็นของการพังทลายค่อนข้างสูงในบางกรณีที่ไม่สามารถมั่นใจได้ว่าการพังทลายเกิดขึ้น

ในส่วนของการออกแบบการคำนวณคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์อาศัยทฤษฎีและเกณฑ์ของระเบียบวิธีการออกแบบในเชิงวิศวกรรม โดยที่ขบวนการของการออกแบบจะเริ่มขึ้นจากการแจงโจทยหรือปัญหาของความไม่มีเสถียรภาพที่มีความเป็นไปได้ในแต่ละความลาดเอียงมวลหิน จากนั้นจะตั้งหน้าที่ของสิ่งที่จะออกแบบนั้น ระบบจะเสนอคำตอบซึ่งมีทั้งหมด 9 คำตอบที่ต่างกัน ในแต่ละคำตอบจะมีองค์ประกอบของอุปกรณ์หรือการผสมผสานของอุปกรณ์หลายชนิด และท้ายสุดระบบจะแนะนำรายละเอียดที่เกี่ยวกับ Specifications และวิธีการติดตั้งของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้คำนวณ

9.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ในงานวิจัยนี้สามารถปรับปรุงให้มีความแม่นยำมากขึ้นและครอบคลุมปัญหามากขึ้นได้โดยอาศัยข้อมูลใหม่ ๆ ที่หลากหลายและยืนยันได้จริง เช่น ข้อมูลภาคสนาม ด้วยชุดของข้อมูลใหม่นี้ผู้ใช้หรือผู้ที่จะพัฒนาโปรแกรมสามารถปรับเปลี่ยนค่าคะแนนหรือค่าอิทธิพลของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ผลการทำนายใกล้เคียงกับของจริงมากขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเพิ่มตัวแปรที่เป็นปัจจัยทำให้เพื่อใช้ในการพิจารณาเพิ่มเติมได้ การปรับปรุงโปรแกรมนี้สามารถทำได้โดยง่าย เนื่องจากเครือข่ายทางความคิดที่ใช้เป็นระบบการให้คะแนน ซึ่งสามารถทำให้ค่าคะแนนหรือค่าอิทธิพลผันแปรไปในรูปใดหรือตามความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบใดก็ได้ อย่างไรก็ตามผู้ที่ปรับปรุงโปรแกรมต่อไปควรจะคุ้นเคยกับการทำงานและการคาดคะเนของระบบนี้เป็นอย่างดีก่อนที่จะทำการปรับปรุงระบบ

บรรณานุกรม

- Adeli, H. (1988). AI techniques and the development of expert systems: **Expert Systems in Construction and Structural Engineering** (pp 13-21). London, New York : Chapman and Hall.
- Adeli, H. (1988). An overview of expert systems in civil engineering: **Expert Systems in Construction and Structural Engineering** (pp 45-83). London, New York : Chapman and Hall.
- Adeli, H. (1988). Artificial intelligence and expert systems: **Expert Systems in Construction and Structural Engineering** (pp 1-12). London, New York : Chapman and Hall.
- Al-Homoud, A.S., Saket, S.K., and Husein, A.I. (1994). Investigation of failure of highway embankment founded on Coluvium and suggested stabilization measures forreconstruction. **Eng. Geol.** 38 : 95-116.
- Alim S., and Munro, J. (1987). PROLOG-Based Expert Systems in Civil Engineering. **Proc. Instn. Civ. Engrs Part 2**, Vol. 83 : 1-14.
- Ast, J.P., Ke, C., Faure, R.M., and Mascarelli, D. (1995). The SISYPHE And XPEN Projects - Expert-Systems For Slope Instability. Bell, D.H. (ed.) **Proc. 6th Int. Symp. Landslides Christchurch** (pp 1647-1652). Balkema, Rotterdam.
- Baliga, B.D., and Singh, V.K. (1992). Geotechnical investigation and appraisal of face stability in jointed rock mass in copper open-pit Rajasthan. **Regional Symp. on rock Slopes 1992** (pp 27-33). India.
- Baliga, B.D., Sign, V.K., and Prakash, A.J. (1992). Geotechnical studies for planning of a deep lead zinc open-pit. **Regional Symp. on rock Slopes 1992** (pp 35-43). India.
- Barton, N., and Choubey, V. (1977). The shear strength of rock joints in theory and practice. In **Proceeding of Mechanics**. (Vol. 10, pp. 1-54). New York: Pergamon.
- Bell, F.G. (1992). **Engineering in Rock Masses**. London: Butterworth-Heinemann Ltd.

- Bergamin, St., Kirchhofer, P., and Filippini, R. (2001). Rock Mechanics Investigations for the Endangered Bristen Road. **Rock Mechanics and Rock Engineering** Vol. 34 (2) : 83-98.
- Blackwell, G.H. (1986). Wall instability monitoring and analysis at Brenda Mines. In Singhal, R.K. (ed.). **International Symposium on Geotechnical Stability in Surface Mining** (pp335-339). Netherlands : A.A. Balkema.
- Bovis, M.J., and Evans, S.G. (1996). Extensive deformations of rock slopes in southern Coast Mountains, southwest British Columbia, Canada. **Engineering Geology** Vol.44 : 163-182.
- Brown, ET. (1981). **Rock Characterization Testing and Monitoring**. London, England: Pergamon Press Ltd.
- Budetta, P., and Santo, A. (1993). Morphostructural evolution and related kinematics of rockfalls in Campania (southern Italy) : A case study. **Engineering Geology** Vol.36:197-210.
- Bye, A.R.,and Bell, F.G. (2001). Stability assessment and slope design at Sandstoot open pit, South Africa. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences** Vol. 38. Elsevier Science Ltd : 449-466.
- Cai, F., and Ugai, K. (2002). Some aspects of finite analysis of rainfall effects on slope stability. Popescu, M (ed.). **Proceedings of the 3rd International Conference on Landslides, Slope Stability and the safety of Infra-Structures**. Singapore : CI-Premier Conference Organisation.
- Carson, A.M., and Woods, N.P. (1995). Design and construction of rock slopes in Shropshire, United Kingdom. **Int. Cong. on Rock Mechanics**, Vol. 3. Japan.
- Chang, C.T., Hou, P.C., and Chang, C.Y. (1998). Case Study on Dip-slope Hazards in Sandstone and Shale Alternations. **Regional Symposium on Sedimentary Rock Engineering**, November 20-22, 1998 (pp 191-195). Taipei, Taiwan: Pssre.
- Charbonneau, D. (1986). Slope design problems and proposed solutions at Key Lake Mining's Deikmann Pit. In Singhal, R.K. (ed.). **International Symposium on Geotechnical Stability in Surface Mining** (pp 87-92). Netherlands: A.A. Balkema.

- Chen, Z., Wang, J., Wang, Y., Yin, J.H., and Haberfield, C. (2001). A three-dimensional slope stability analysis method using the upper bound theorem Part II: numerical approaches, applications and extensions. **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences** Vol.38 : 379-397.
- Crouch, S.L., and Starfield, A.M. (1983). **Boundary Element Methods in Solid Mechanics**. George Allen & Unwin, London, 322 pp.
- Culshaw, M.G., and Bell, F.G. (1991). The rockfalls of James Valley, St Helena. Bell (ed.). **Landslides** (pp 925-935). Balkema, Rotterdam.
- Denby, B., and Kizil, M.S. (1991). Application of Expert Systems in Geotechnical Risk Assessment for Surface Coal Mine Design. **Int. Jnl. of Surface Mining and Reclamation** Vol. 5 (2) : 75-82.
- Desai, C.S., and Siriwardane, H.J. (1984). **Constitutive Laws for Engineering Materials with Emphasis on Geologic Materials**. Prentice-Hall, Inc., Englewood cliffs, 469 pp.
- Douglas, T. H., and Arthur, L. J. (1983). **A guide to the use of rock reinforcement**. London: Construction Industry Research and Information Association.
- Durkin, J. (1994). **Expert Systems Design And Development**. United States of America: Macmillan Publishing Company.
- Endicott, L.J., Tong, J., and Kwong, J. (1981). Design of final face for Tai Sheung Kok quarry. **Asian mining** ' 81 (pp 195-202). Singapore: The Institution of Mining and Metallurgy.
- Enoki, M., and Kokubu, A.A. (1999). Relation between slope stability and groundwater flow caused by rainfalls. Yagi, N., Yamagami, T & Jiang, J.C. (eds.). **Proceeding of the international symposium on slope stability engineering** (pp 169-174). Shikoku, Japan. 8-11 November. Balkema, Rotterdam.
- Farquhar, O.C. (1980). Geologic Processes Affecting the Stability of Rock Slopes Along Massachusetts Highways. **Engineering Geology** Vol. 16 :135-145.

- Faure, R.M., Mascarelli, D., Vaunat, J., Leroueil, S. and Tavenas, F. (1995). Present State of Development of XPENT, Expert-System for Slope Stability Problems. Bell, D.H. (ed.) **Proc. 6th Int. Symp. Landslides, Christchurch** (pp 1671-1678). Balkema, Rotterdam.
- Faure, R.M., Mascarelli, D., Zelfani, M., Charveriat, L., Gandar, J. and Mosuro, O. (1991). XPENT – An Expert System for Slope Stability. Topping, B.H.V.(ed.) **Artificial Intelligence and Civil Engineering** (pp 143-147). Edinburgh : Civil-Comp Press.
- Fenton, M.M., Trudell, R.M., Pawlowicz, J.G., Jones, C.E., Moran, S.R., and Nikols, D.J. (1986). In Singhal, R.K. (ed.). **International Symposium on Geotechnical Stability in Surface Mining** (pp 225-234). Netherlands: A.A. Balkema.
- Forlati, F., Gioda, G., and Scavia, C. (2001). Finite Element Analysis of a Deep-scated Slope Deformation. **Rock Mechanics and Rock Engineering** Vol.34 (2) : 135-159.
- Froldi, P., and Sartini, G. (1991). Investigation on rock landslide in complex formations. Bell (ed.). **Landslides** (pp 75-82). Balkema, Rotterdam.
- Fujita, T. (1999). Geological characteristics of landslides of the soft rock type. N, Yagi, T, Yamagami & J.C, Jiang, (eds), **Proceeding of the international symposium on slope stability engineering** (pp 169-174). Shikoku, Japan, 8-11 November. Balkema, Rotterdam.
- Galster, R.W. (1992). Landslides near abutments of three dams in the Pacific Northwest, USA. Bell (ed.). **Landslides** (pp 1241-1248). Balkema, Rotterdam.
- Ghosh, A., and Daemen, J.K.K. (1993). Fractal characteristics of rock discontinuities. **Engineering Geology** 34 : pp.1-9.
- Ghosh, A., Harpalani, S., and Daemen, J.K.K. (1987). Expert System for Coal Mine Roof Bolt Design. I.W. Farmer, J.K.K. Daemen, C.S. Desai, C.E. Glass, S.P. Neuman (eds.). **Proc. 28th US Rock Mechanics Symposium, Tuscon, Arizona.** (pp 1137-1144). USA.
- Goodman, R.E. (1989). **Introduction to Rock Mechanics.** John Wiley & Son, New York, 562 pp.
- Goodman, R.E., and Shi, G.H. (1985). **Block Theory and Its Application to Rock Engineering.** Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 338 pp.

- Grivas, D.A., and Reagan, J.C. (1988). An Expert System for the Evaluation and Treatment of Earth Slope Instability. Lausanne, Bonnard, C. (ed.). **Proc. 5th Int. Symp. On Landslides** (pp 649-654). Brookfield VT : Balkema, Rotterdam.
- Hadjigeorgiou, J., Coutore, R., and Locat, J. (1996). In-situ block size distributions as tools for the study of rock avalanche mechanics. **Rock Mechanics** (pp 509-514). Balkema, Rotterdam.
- Hantz, D. (1986). Pit slope design in French surface coal mines. In Singhal, R.K. (ed.). **International Symposium on Geotechnical Stability in Surface Mining** (pp 107-111). Netherlands: A.A. Balkema.
- Hao, S.Y., and Zhang, Q. (1994). An Expert-System for Stability Analysis of Rock Slope Morgantown, Siriwardane, H.J. & Zaman, M.M. (eds.). **Proc. 8th Int. Conf. Computer Methods and Advances in Geomechanics** (pp 435-439). Balkema, Rotterdam.
- Hatzor, Y. H. (1995). Application of block theory to rock slope stability studies. Daemen and Schultz (eds.). **Rock Mechanics** (pp 71-77). Balkema, Rotterdam.
- Hatzor, Y.H. (1999). Dynamic rock slope stability analysis at Masada national monument using Block Theory and DDA. Amadei, Kranz, Scott and Dineallie (eds.). **Rock Mechanics for Industry** (pp 63-70). Balkema, Rotterdam.
- Hoek, E., and Brown, J.W. (1980). Empirical strength criterion for rock masses. **J. Geotechnical Engineering Div., A.S.C.E.**, Vol. 106, No. GT9 : 1013-1035.
- Hoek, E., and Bray, J.W. (1981). **Rock Slope Engineering** (Revised third edition). Institution of Mining and Metallurgy.
- Hoek, E. (2000). **Factor of safety and probability of failure**. [On-line]. <http://www.rocscience.com/roc/Hock/Hoeknotes2000.htm>.
- Homoud, A.S. and Masri, G.A. (1998). An Expert System for Evaluating Failure Potential of Cut Slopes and Embankments Using Fuzzy Sets Theory. **Geotechnical Engineering Bulletin** Vol. 7, No. 4 : 249-276.

- Hu, Y., and Kempfert, H.G. (1999). Geological characteristics of landslides of the soft rock type. N, Yagi, T, Yamagami & J.C, Jiang, (eds), **Proceeding of the International symposium on slope stability engineering** (pp 349-354). Shikoku, Japan, 8-11 November. Balkema, Rotterdam.
- Hudson, J. A., and Harrison, J. P. (1997). **Engineering Rock Mechanics An Introduction to the Principles**. UK : Pergamon.
- Ishida, T., Chigira, M., and Hibino, S. (1987). Application of the Distinct Element Method for Analysis of Toppling Observed on a Fissured Rock Slope. **Rock Mechanics and Rock Engineering** Vol. 20 : 277-283.
- Jaeger, J.C., and Cook, N.G.W. (1979). **Fundamentals of Rock Mechanics**. London: Chapman and Hall.
- Jeong-gi, Um., Pinnaduwa, H.S., and Kulatilake, H.S.W. (1996). Maximum safe slope angles for proposed permanent shiplock slopes of the Three Gorges dam site in China based on application of block theory to major discontinuities. Aubertin, Hassani and Mitri (eds.). **Rock Mechanics** (pp 529-536). Balkema, Rotterdam.
- Jeong-gi, Um., Pinnaduwa, H.S., and Kulatilake, H.S.W. (2001). Kinematic and Block Theory Analysis for Shiplock Slopes of the Three Gorges Dam Site in China. **Geotechnical and Geological Engineering** Vol. 19. Netherlands: Kluwer Academic Publishers : 21-42.
- Jerny, C.A. (1991). An assessment of the slope stability of some opencast coal mines in South Africa. Bell (ed.). **Landslides**. Balkema, Rotterdam : 1279-1285.
- Kandaris, P.M. (1999). Use of gabions for localized slope stabilization in difficult terrain. In Amadei, Kranz, Scott and Smeallie (eds.). **Rock Mechanics for Industry** (pp 1221-1227). Balkema, Rotterdam.
- Kawamura, K., and Ogawa, S. (1997). Slope failure in major tertiary mudstone zone. **Deformation and progressive failure in geomechanics** (pp 701-706). Japan.
- Kulatilak, P.H.S.W., and Fuenkajorn, K. (1987). Factor of safety of tetrahedral wedges: A probabilistic study. **International Journal of Surface Mining** Vol. 1 : 147-153.

- Kumsar, H., Akgun, M., and Aydan, Ö. (1998). A Back Analysis of Circular Slope Failure at Pamukkale-Golemezli Irrigation Canal in Turkey. **Regional Symposium on Sedimentary Rock Engineering**, November 20-22, 1998 (pp 197-203). Taipei, Taiwan: Pssre.
- Kumsar, H., Aydan, Ö., and Ulusay, R. (2000). Dynamics and static stability assessment of rock slopes against wedge failures. **Rock Mech. Rock Eng.** Vol. 33(1) : 31-51.
- Lee, C.I., Suh, Y.H., Chang, K.M., and Shin, S.C. (1992). Malanjkh and copper project-Overview of the geotechnical investigation for optimum mining exploitation. **Regional Symp. on rock Slopes 1992** (pp 69-78). India. (pp 65-75). Balkema, Rotterdam.
- Lee, C.I., Suh, Y.h., Chang, K., and Shin, S.C. (1992). Stability analysis and remedial works on a rock slope at the Muak Pass in Seoul City. **Regional Symp. on rock Slopes 1992**, (pp 147-151). India.
- Lenart, S., and Fifer-Bizjak, K. (2002) Numerical analysis of a seismic response of the Stezo Landslide. Popescu, M (ed.). **Proceedings of the 3rd International Conference on Landslides, Slope Stability and the safety of Infra-Structures**. Singapore : CI-Premier Conference Organisation.
- Leung, C.F., and Lo, K.W. (1993). Stability Analysis of Multiple-Block Sliding Surfaces. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomech.Abstr.** Vol. 30. (7) : 1579-1584.
- Leventhal, A.R., Barker, C.S., and De Ambrosis, L.P.(1992). Malanjkh and copper project-Overview of the geotechnical investigation for optimum mining exploitation. **Regional Symp. on rock Slopes 1992** (pp 69-78). India.
- Mairaing. W. (1997). Thai Knowledge-Based System in Slope Stability Analysis. **Nation Conferences in Civil Engineering, Proc.4 th** (pp GTE 12-1-10). 12-14, November. Phuket, Thailand.
- Mammino, A., and Tonon, F. (1999). Stabilization of Candide landslide. In Amadei, Kranz, Scott and Smeallie (eds.). **Rock Mechanics for Industry** (pp 1205-1212). Balkema, Rotterdam.

- Mario, V.A., Jaime, G.R., Patricio, G.A., Cristian, V.L., and Mahtab, M.A. (1986). South wall stability at Rio Blanco mine, Chile. **South Africa. Mining Latin America/Minerla Latinoamericana conference** (pp 413-419). England : Barnes Design+Print Group.
- Martin, D.C., Steenkamp, N.S.L., and Lill, J.W. (1986). Application of statistical analysis technique for design of high rock slopes at Palabora mine, **South Africa. Mining Latin America/Minerla Latinoamericana conference** (pp 241-255). England: Barnes Design+Print Group.
- McCaffrey, M.A., and Sacco, E.G. (1999). Stability of high overhanging rock slope subject to rapid drawdown. In Amadei, Kranz, Scott and Smeallie (eds.). **Rock Mechanics for Industry** (pp 71-77). Balkema, Rotterdam.
- Moon, H.K., Na, S.M., and Lee, C.W. (1995). Artificial Neural-Network Integrated with Expert-System for Preliminary Design of Tunnels and Slopes. Fujii, T. (ed.). **Proc. 8th International Congress on Rock Mechanics**, Tokyo, Japan Vols 1 & 2. (pp 901-905). Balkema, Rotterdam.
- Moula, M., Toll, D.G., and Vaptismas, N. (1995). Knowledge-based systems in geotechnical engineering, **Geotechnique**. Vol. 45 (2) : 209-221.
- Mules, G.J. (1991). Landslide features reflecting valley-wall rebound, Kaiya River, Porgera, Papua New Guinea. Bell (ed.). **Landslides**. Balkema, Rotterdam : 1311-1316.
- Najm, K., and Ishijima, Y. (1992). Graphical back analysis of slope stability A case study. **Regional Symp. on rock Slopes 1992** (pp 189-194). India.
- Neaupane, K.M., and Adhikari, N.R. (2002). Application of Neural Network for the Prediction of Settlements above Tunnels. **Research and Development Journal** Vol.13 (1).Thailand: 9-17.
- Nicot, F., Cambou, B., and Mazzoleni, G. (2001). Design of Rockfall Restraining Nets from a Discrete Element Modelling. **Rock Mechanics and Rock Engineering** Vol.34 (2) : 99-118.

- Ozgenoglu, A., and Ocal, A. (1994). SEVDUR - An Expert-System For Slope Stability Analysis. Karpuz, A.G., Eskikaya, C., Hizal, S. (eds.). **Proc. 3rd Int. Symp. Mine Planning And Equipment Selection, Istanbul** (pp 625-628). Pasamehmetoglu. Balkema, Rotterdam.
- Ozgenoglu, A., Pasamehmetoglu, A.G., Kulaksiz, S., and Sari, D. (1992). Slope failure associated with soft layers- A case study. **Regional Symp. on rock Slopes 1992** (pp 445-451). India.
- Pande, G.N., Beer, G., and Williams, J.R. (1990). **Numerical Methods in Rock Mechanics**. John Wiley & Sons, New York, 650 pp.
- Papini, M., and Scesi, L. (1991). Geological conditions and stability of rock slopes: Two case studies. Bell (ed.). **Landslides**. Balkema, Rotterdam : 177-182.
- Perera, A.K.S.A. (1986). Control over geomechanical processes during the formation of quarry slopes. In Singhal, R.K. (ed.). **International Symposium on Geotechnical Stability in Surface Mining** (pp 305-312). Netherlands : A.A. Balkema.
- Qin, S., Jiao, J.J., and Wang, S. (2001). A cusp catastrophe model of instability of slip buckling slope. **Rock Mech. Rock Eng.** Vol. 34 (2) : 119-134.
- Ramamurthy, T., Rao, K.S., Goel, S., and Mohi-ud-din, A.G. (1992). Stability analysis of some slides in Garhwal Himalayas. **Regional Symp. on rock Slopes 1992** (pp 219-224). India.
- Read, J.R.L., and Maconochie. (1991). The Vancouver Ridge landslide, Ok Tedi mine, Papua New Guinea. Bell (ed.). **Landslides** (pp 1317-1321). Balkema, Rotterdam.
- Rechiski, V.I., Reznikova, V.I., and Gusarova T.J. (1992). Design of rock slope in hydropower engineering. **Regional Symp. on Rock Slopes 1992** (pp 459-465). India.
- Reid, G., and Stewart, D. (1986). A large scale toppling failure at Afton. In Singhal, R.K. (ed.). **International Symposium on Geotechnical Stability in Surface Mining** (pp 215-223). Netherlands: A.A. Balkema.
- Rich, E., and Knight, K. (1991). **Artificial Intelligence**. McGraw-Hill, Inc., New York, 621 pp.
- Robert, J. B., and D. V Jerome. (1988). **Principles of Engineering Geology**. John Wiley & Son, Singapore.

- Sagaseta, C., Sanchez, J.M., and Canizal, J. (2001). A general analytical solution for the required anchor force in rock slope with toppling failure. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**. Vol. 38. Elsevier Science Ltd : 421-435.
- Saini, G.S. (1992). Slope stability analysis of presplit rock cutting at Rubha Mor, Loch Lomond, Dumbartonshire, Scotland. **Regional Symp. on rock Slopes 1992** (pp 225-234). India.
- Schalkoff, R.J. (1990). **Artificial Intelligence. An Engineering Approach**. Singapore: McGraw-Hill.
- Scott, G.A. (1995). Rock slopes: Some construction case histories. **Rock Mechanics**. (pp 65-75). Balkema, Rotterdam.
- Segerlind, L.J. (1984). **Applied Finite Element Analysis**. John Wiley & Sons, New York, 427 pp.
- Siddle, H.J., and Hutchinson, J.N. (1991). A sliding and multiple toppling failure in South Wales, UK. Bell (ed.). **Landslides**. Balkema, Rotterdam : 213-218.
- Sijing, W. (1981). On the Mechanism and Process of Slope Deformation in an Open Pit Mine. **Rock Mechanics**. Vol.13. Springer-Verlag : 145-156.
- Singh, B., and Goel, R.K. (2001). **Rock Mass Classification: A Practical Approach in Civil Engineering**. Netherland: Elsevire Science Ltd.
- Sinha, A.K., and Singupta, M. (1989). Expert system approach to slope stability. **Mining Science and technology**. Vol. 8 : 21-29.
- Sirat, M., and Talbot, C.J. (2001) Application of artificial neural networks to fracture analysis at the Aspo HRL, Sweden: fracture sets classification. **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**. Vol. 38 : 621-639.
- Smith I.G.N., and Oliphant J. (1991). The Use of a Knowledge-Based System for Civil Engineering Site Investigations. Topping, B.H.V. (ed.). in **Artificial Intelligence and Civil Engineering** (pp 105-112) Edinburgh : Civil-Comp Press.
- Sonmez, H., and Ulusay, R. (1999). Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**. Vol. 36. Elsevier Science Ltd : 743-760.

- Sonmez, H., Ulusay, R., and Gokceoglu, G.(1998). A Practical Procedure for the Back Analysis of Slope Failures in Closely Jointed Rock. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences** .Vol. 35. (2). Elsevier Science Ltd : 219-233.
- Sperling, T., and Freeze, A.R. (1987). A risk-cost-benefit framework for the design of dewatering systems in open pit mines. **28th US Symposium on Rock Mechanics/ Tucson/29 June-1 July**. (pp 999-1007). USA.
- Stewart, D.P., Coulthard, M.A., and Swindells, C.F. (1996). Studies into the influence of underground workings on open-pit slope stability. **Rock Mechanics** (pp 515-522). Balkema, Rotterdam.
- Swamy, N.R., and Trivedi, V.P. (1992). Factors considered to evolve measures for rock slopes stability in open excavation of hydropower complex of Sardar Sarovar (Narmada) Project, Gujarat State, India. **Regional Symp. on rock Slopes 1992** (pp 321-331). India.
- Tan, B.K. (1998). Assessment and hazard zonations of limestone cliffs in the Tambun area, Perak, Malaysia. **Regional Symposium on Sedimentary Rock Engineering**, November 20-22, 1998 (pp 211-215). Taipei, Taiwan: Pssre.
- Thompson, A.G.,Windsor, C.R., Robertson., and Robertson, I.G. (1995). Case study of an instrumented reinforced pit slope. Daemen and Schultz (eds.). **Rock Mechanics** (pp 381-386). Balkema, Rotterdam.
- Tocher, R.J., and Fishel, W.K. (1986). Design of the development pit highwalls at the An Tai Bao mine. In Singhal, R.K. (ed.). **International Symposium on Geotechnical Stability in Surface Mining** (pp 31-38). Netherlands: A.A. Balkema.
- Toh, C.T., Yap, T.F., and Chee, S.K. (1993). Slope Stabilization in High Level Granites. **Eleventh Southeast Asian Geotechnical Conference**, 4-8 May 1993 (pp 679-682). Singapore.
- Toll, D.G. (1995) **The Role of a Knowledge-based System in Interpreting Geotechnical Information**, *Geotechnique*, 45, 3, pp. 525-531.
- Tominaga, Y ., Kon, N., Arakawa, M., and Yamaguchi, S. (1989). Development of an expert system for climate control underground. **Today 's technology for the mining and metallurgical industries**. Japan : Dotesios Printers Ltd.

- Ugai, K., and Cai, F. (2002). Three-dimensional finite element analysis of landslides prevention piles. Popescu, M (ed.). Proceedings of the 3rd International Conference on Landslides, **Slope Stability and the safety of Infra-Structures**. Singapore: CI-Premier Conference Organisation.
- Ulusay, R., and Aksoy, H. (1994). Assessment of the failure mechanism of a highway slope under spoil pile loading at a coal mine. **Eng. Geol.** Vol. 38 :117-134.
- Um, J., and Kulatilake, P.H.S.W. (1996). Maximum safe slope angles for proposed permanent shiplock slopes of the Three Gorges dam site in China based on application of block theory to major discontinuities. **Rock Mechanics** (pp 529-536). Balkema, Rotterdam.
- Wade, N.H., and Peterson, T.W.P. (1986). Highwall monitoring, instrumentation and stability analysis at Highvale Coal Mine, Alberta. In Singhal, R.K. (ed.). **International Symposium on Geotechnical Stability in Surface Mining** (pp 373-384). Netherlands: A.A. Balkema.
- Wang, J., Tan, W., Feng, S., and Zhou, R. (2000). Reliability analysis of open pit coal mine slope. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences** Vol. 37. Elsevier Science Ltd : 715-721.
- Wharry M.B., and Ashley D.B. (1986). Resolving Subsurface Risk in Construction Using an Expert System. **Tech. Report UTCEPM-86-1**. University of Texas: Austin.
- Wibowa, J.L., and Nicholson, G.A. (1996). Rock slope stability analyses for a proposed intake tower access road at Seven Oaks Dam. **Rock Mechanics** (pp 537-542). Balkema, Rotterdam.
- Wyllie, D. (1980). Toppling Rock Slope Failures Examples of Analysis and Stabilization. **Rock Mechanics** Vol.13 : 89-98.
- Wyrwoll, K.H. (1986). Characteristics of a planar rock slide: Hamersley Range, Western Australia. **Engineering Geology** Vol. 22 : 335-348.

- Zhang, Q., Mo, Y.B., and Tian, S.F. (1988). An Expert System for Classification of Rock Masses. Cundall, P.A., Sterling, R.L. & Starfield, A.M., (eds.). **Proc. 29th U.S. Symposium, Minneapolis** (pp 283-288). Brookfield VT : Balkema.
- Zhu, W., and Zhang, Y. (1998). Effect of Reinforcing the High Jointed Slopes of Three Gorges Flight Lock. **Rock Mechanics and Rock Engineering** Vol. 33 (1) : 63-77.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลภาคสนามความลาดเอียงมวลหิน

ข้อมูลภาคสนามความลาดเอียงมวลหิน

1. ความลาดเอียงมวลหินเขาเจ้าลายใหญ่

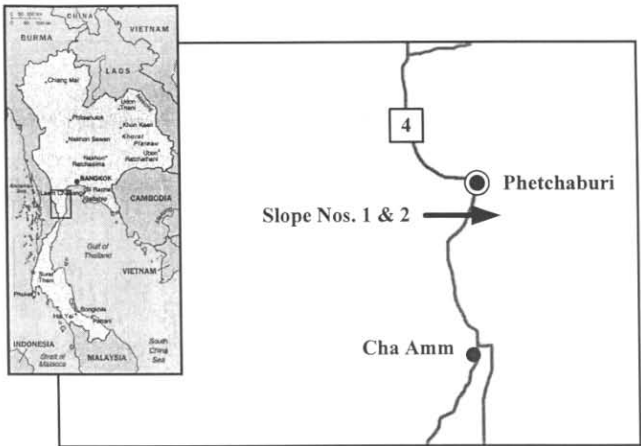
ความลาดเอียงมวลหินที่เขาเจ้าลายใหญ่ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ได้ดำเนินการที่ความลาดเอียง 2 แห่งดังรูปที่ ก-1 โครงสร้างทางวิศวกรรมธรณีเป็นแบบชั้นหินอ่อนสลับชั้นหินแข็ง โดยชั้นหินอ่อน คือหินตะกอนเนื้อประสมวางตัวอยู่ด้านล่างและชั้นหินปูนวางตัวอยู่ด้านบน ดังแสดงรายละเอียดใน Slope No.1 และ Slope No.2 คือ

Slope No.1, ความลาดเอียงมวลหินเขาเจ้าลายใหญ่ ดังแสดงรูปที่ ก-2 และ รูปที่ ก-3 ตั้งอยู่ในพื้นที่ของอำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี โครงสร้างทางวิศวกรรมธรณีของเขาเจ้าลายใหญ่ ประกอบด้วยชั้นหินปูนวางตัวอยู่ด้านบน และหินตะกอนเนื้อประสมเนื้อละเอียด (Fine-grained clastic sedimentary rocks) วางตัวอยู่ด้านล่าง หินทั้งสองชนิดมี Strike 160 ถึง 200 degrees มุมเท (Dip angle) อยู่ระหว่าง 25 ถึง 30 degrees ในตะกอนเนื้อประสมเนื้อละเอียด แบ่งได้เป็น 3 ชั้น คือ

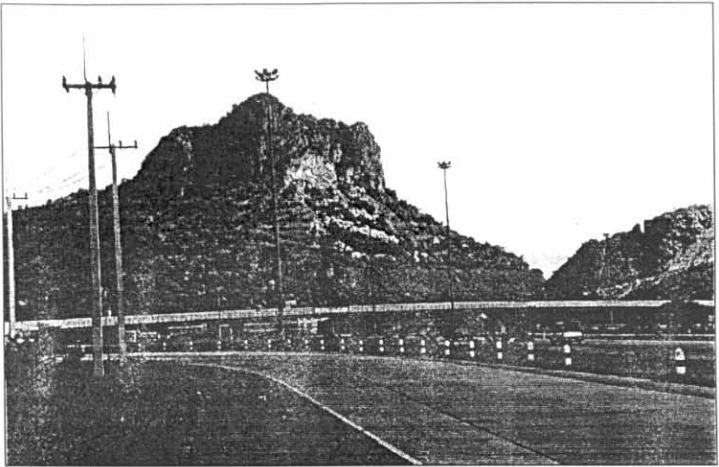
- 1) ชั้นต่ำสุด เป็นชั้นหินดินดานที่อ่อนมาก และมีสีคล้ำเนื่องจากมีดินเหนียว (Clay) เข้ามาแทรก
- 2) ชั้นกลาง เป็นหินดินดานที่อ่อนกว่า และมีชั้นหินทรายแทรกอยู่
- 3) ชั้นบน อยู่ติดกับชั้นหินปูน เรียกว่าหินทราย-หินทรายแป้ง (Sandstone และ Siltstone) มีลักษณะค่อนข้างแข็ง

คุณลักษณะของรอยแตก (Joint) มี Strike ของชั้นหิน (Bedding planes) อยู่ระหว่าง 140 ถึง 160 degrees และมีมุมเทอยู่ระหว่าง 20 ถึง 25 degrees ความหนาโดยเฉลี่ย 10 ถึง 20 cm มีระยะเปิดแยก (Aperture) ระหว่างรอยแยกนี้บางแห่งพบการแทรกของสายแร่แคลไซต์ (Calcite filling) หนา 0.3 ถึง 0.5 cm และบางแห่งมีตะกอนดินเหนียว (Clay) หนา 0.1 ถึง 0.3 cm มีความต่อเนื่องสูงและมีผิวเรียบ ในหินดินดานพบรอยแตก 3 ชุด ดังแสดงในรูปที่ ก-4 และรูปที่ ก-5

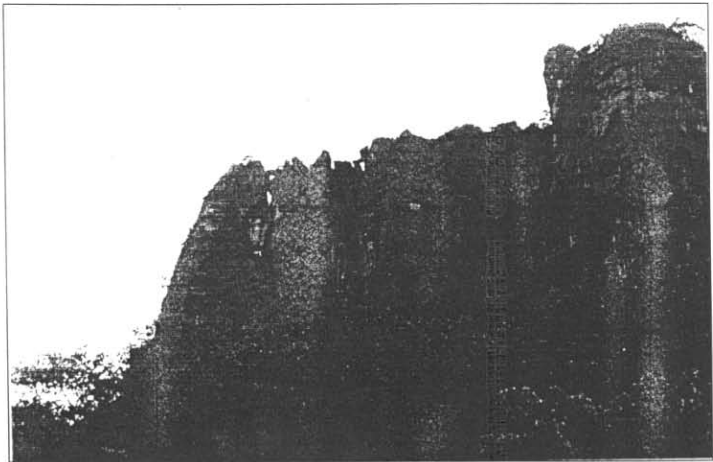
รอยแตกชุดที่ 1 มี Strike 55 ถึง 65 degrees และมีมุมเท 80 ถึง 90 degrees ระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ย (Average spacing) 10 ถึง 20 cm มีระยะเปิดแยก ระหว่างรอยแยกนี้บางแห่งพบการแทรกของสายแร่แคลไซต์หนา 0.3 ถึง 0.5 cm บางแห่งมีตะกอนดินเหนียวหนา 0.1 ถึง 0.3 cm มีความต่อเนื่องค่อนข้างสูงและมีผิวเรียบ



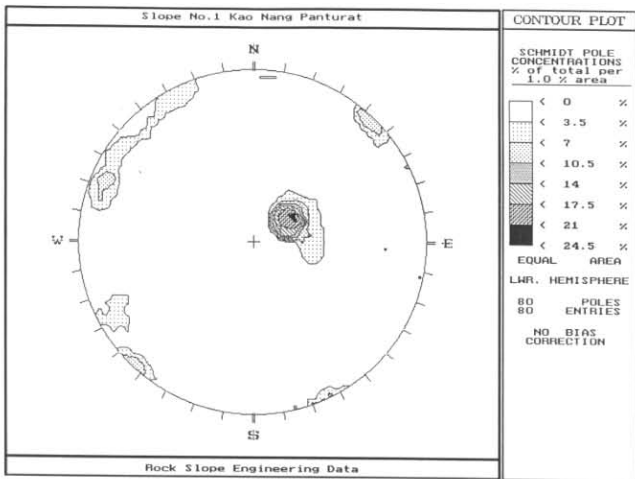
รูปที่ ก-1 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินเขาเจ้าสายใหญ่ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี



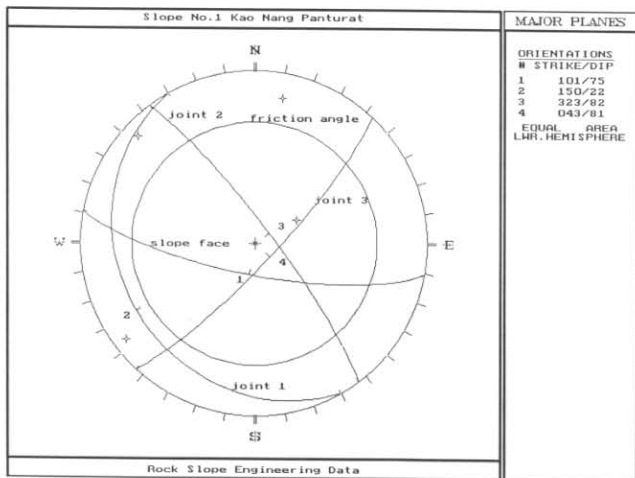
รูปที่ ก-2 การพังทลายแบบ Secondary toppling ของเขาเจ้าลายใหญ่ บริเวณ โกลินางพันธุรัตน์ (Slope No.1)



รูปที่ ก-3 ลักษณะของรอยแตกที่อยู่ในแนวคั้งของมวลหินปูนเขาเจ้าลายใหญ่ ในบริเวณ โกลิ นางพันธุรัตน์ ส่วนที่ยังไม่พังทลาย (Slope No.1)



รูปที่ ก-4 Contour plots ของรอยแตกของหินดินดานของความลาดเอียงมวลหินเขาเจ้าลายใหญ่ (Slope No.1)



รูปที่ ก-5 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินดินดานของความลาดเอียงมวลหินเขาเจ้าลายใหญ่ (Slope No.1)

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 130 ถึง 140 degrees และมีมุมเท 80 ถึง 90 degrees ระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ย 10 ถึง 30 cm มีระยะเปิดเศษ ระหว่างรอยแยกนี้บางแห่งพบการแทรกของสายแร่แคลไซต์หนาประมาณ 0.1 ถึง 1 cm บางแห่งมีตะกอนดินเหนียวหนา 0.1 ถึง 0.3 cm มีความต่อเนื่องน้อยและมีผิวเรียบปานกลาง

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 245 ถึง 260 degrees และมีมุมเทอยู่ระหว่าง 70 ถึง 80 degrees ระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ย 10 ถึง 20 cm ไม่มีการเปิดเศษ มีความต่อเนื่องค่อนข้างน้อยมาก และมีผิวค่อนข้างเรียบ

การศึกษาในชั้นหินปูน (Limestone) พบรอยแตก 3 ชุด ดังแสดงในรูปที่ ก-6 และ ก-7 ชั้นหินมี Strike อยู่ระหว่าง 170 ถึง 180 degrees มุมเท 15 ถึง 25 degrees หนา 1 m ความต่อเนื่องสูง

รอยแตกชุดที่ 1 ในชั้นหินปูนมี Strike 270 ถึง 285 degrees และมีมุมเท 85 degrees ระยะห่างรอยแตก 10 ถึง 15 m ระยะเปิดเศษ 1 ถึง 2 m ไม่มีวัสดุแทรก มีความต่อเนื่องต่ำ

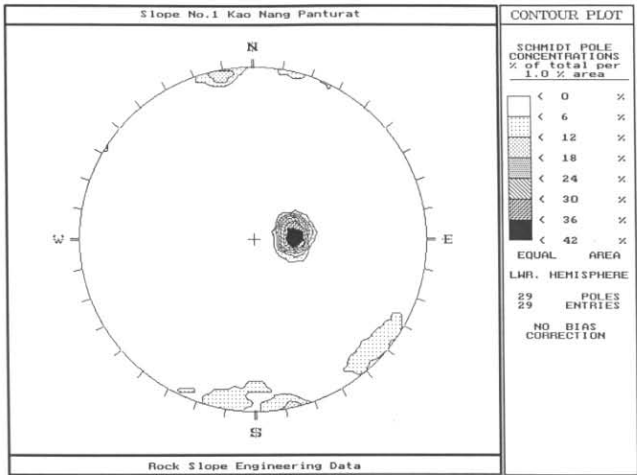
รอยแตกชุดที่ 2 ในชั้นหินปูนมี Strike 215 ถึง 225 degrees และมีมุมเท 80 degrees ระยะห่างรอยแตก 10 ถึง 15 m ระยะเปิดเศษ 1 ถึง 2 m ไม่มีวัสดุแทรก มีความต่อเนื่องต่ำ

รอยแตกชุดที่ 3 ในชั้นหินปูนมี Strike 65 ถึง 80 degrees มีมุมเท 85 ถึง 90 degrees ระยะห่างรอยแตก 5 ถึง 10 m ระยะเปิดเศษ 0.5 ถึง 1.0 m และมีความต่อเนื่องสูง

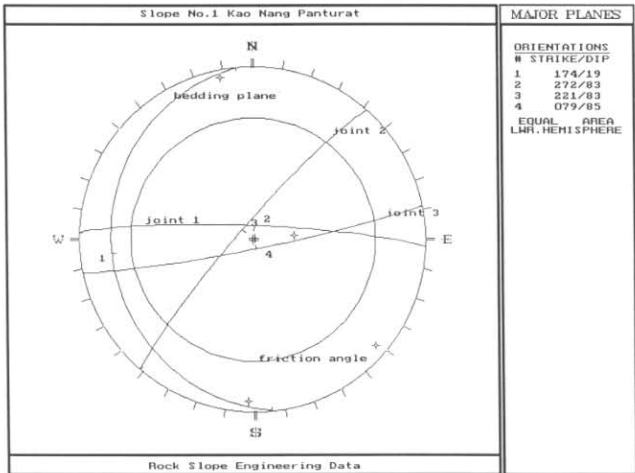
Slope No 2. ความลาดเอียงมวลหินเขาเจ้าลายใหญ่ ดังรูปที่ ก-8 และ ก-9 ประกอบด้วยหินตะกอนเนื้อประสมเนื้อละเอียด (Fine-grained clastic sedimentary rocks) มีทิศทางการวางตัวของชั้นหิน (Attitude of bedding) ที่ Strike 180 ถึง 220 degrees และมุมเท 15 ถึง 25 degrees ความหนาเฉลี่ย 15 ถึง 30 cm ชั้นหินแบบสนิท แต่ในบางแห่งพบสายแร่แคลไซต์แทรกทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก โดยมีความหนาประมาณ 0.3 ถึง 20 cm บางแห่งมีตะกอนดินเหนียวแทรกอยู่และหนาประมาณ 0.1 ถึง 0.3 cm แนวชั้นหินมีความต่อเนื่องสูงและมีผิวเรียบ สำหรับคุณลักษณะของรอยแตกในหินดินดาน ดังแสดงในรูปที่ ก-10 และรูปที่ ก-11 แต่ละชุดรอยแตกมีดังนี้

รอยแตกชุดที่ 1 มี Strike 5 ถึง 15 degrees และมีมุมเทอยู่ระหว่าง 85 ถึง 95 degrees ระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ย 5 ถึง 15 cm มีระยะเปิดเศษ 0.1 ถึง 0.5 cm พบการแทรกของสายแร่แคลไซต์และมีตะกอนดินเหนียวหนาแทรก รอยแตกมีความต่อเนื่องสูงและมีผิวเรียบมาก

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 145 ถึง 155 degrees และมีมุมเทอยู่ระหว่าง 80 ถึง 85 degrees ระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ย 10 ถึง 20 cm มีระยะเปิดเศษ ระหว่างรอยแยกนี้บางแห่งพบการแทรกของสายแร่แคลไซต์หนาประมาณ 0.1 ถึง 1.5 cm บางแห่งมีตะกอนดินเหนียวแทรกอยู่เล็กน้อย มีความต่อเนื่องของรอยแตกสูงและมีผิวเรียบ



รูปที่ ก-6 Contour plot ของรอยแตกของหินปูนของความลาดเอียงมวลหินเขาเจ้าสายใหญ่ (Slope No.1)



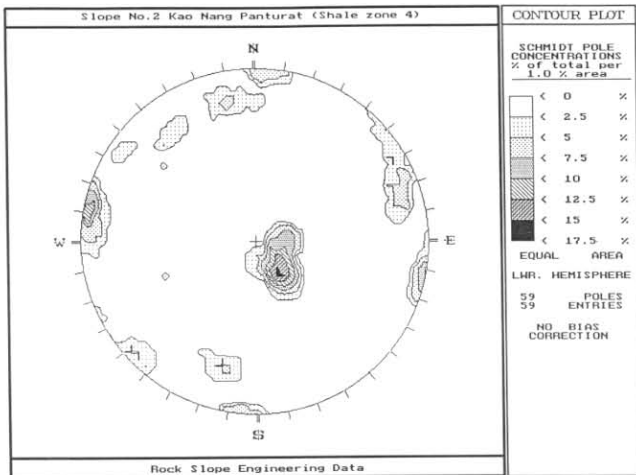
รูปที่ ก-7 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินปูนของความลาดเอียงมวลหินเขาเจ้าสายใหญ่ (Slope No.1)



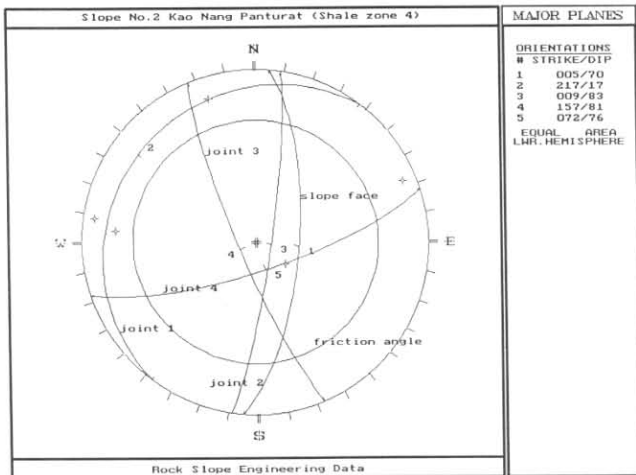
รูปที่ ก-8 การลักลอบขุดเอาส่วนที่เป็นหินดินดานที่บริเวณฐานของเขาเจ้าลายใหญ่
(Slope No.2)



รูปที่ ก-9 ด้านข้างของหน้าความลาดเอียงที่เกิดจากการขุดเอาส่วนที่เป็นหินดินดานที่บริเวณฐานของเขาเจ้าลาขใหญ่ (Slope No.2)



รูปที่ ก-10 Contour plot ของรอยแตกของหินดินดานของความลาดเอียงมวลหินเขาเจ้าลายใหญ่ (Slope No.2)



รูปที่ ก-11 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินดินดานของความลาดเอียงมวลหินเขาเจ้าลายใหญ่ (Slope No.2)

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 60 ถึง 80 degrees และมีมุมเท 65 ถึง 75 degrees ระยะห่างรอยแตกโดยเฉลี่ย 10 ถึง 20 cm ระยะการเปิดแยก 0.1 ถึง 1.5 cm มีความต่อเนื่องสูงและมีผิวเรียบปานกลาง

2. ความลาดเอียงมวลหินบริเวณภาคตะวันออก

ในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทยบริเวณสองข้างทางหลวงสายหลักและสายรอง โดยครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา ปราจีนบุรี สระแก้ว จันทบุรี และชลบุรี ได้ทำการสำรวจความลาดเอียง 8 แห่งดังรูปที่ ก-12 โดยรายละเอียดของลักษณะทางวิศวกรรมแสดงใน Slope No.3 ถึง Slope No.10

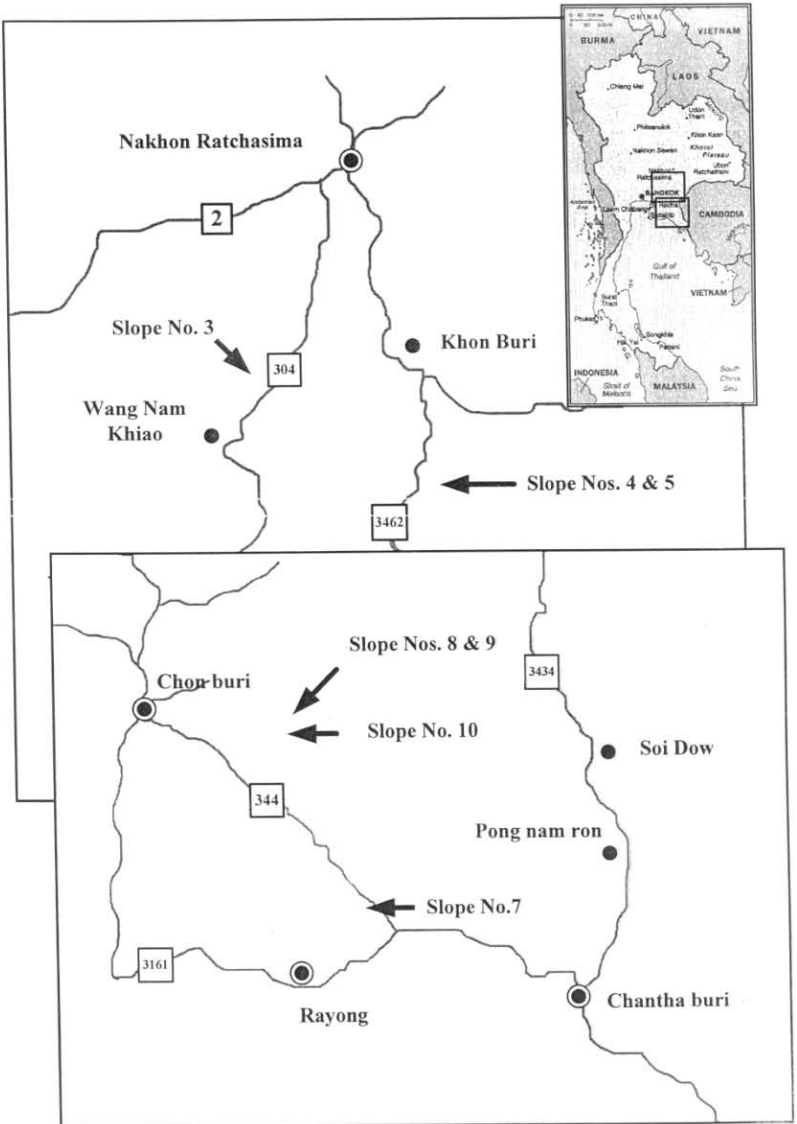
Slope No 3. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 70 ของทางหลวงหมายเลข 304 อ้อมอภิกรงชัย หรือที่ 47 P 0813538 และ UTM 1600267 ดังรูปที่ ก-13 และรูปที่ ก-14 เส้นทางตัดผ่านภูเขาหินทรายชุดพระวิหาร (Phra Wihan sandstone) สลับชั้นกับหินดินดาน (Shale) ความหนาในแต่ละชั้นหิน 0.7 และ 1.5 m ตามลำดับ ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 4 ถึง 5 m ขาวประมาณ 30 m Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 020 degrees มุมเทของหน้าลาดเอียง 35 degrees ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความผุกร่อน (Degree of weathering) ในมวลหินดินดานมีค่าสูง มีระยะห่างจากถนน (Safety distance) ประมาณ 6 m ประกอบด้วยร่องรองรับหิน (Ditch) ที่ตัก มีความลึก 1.5 m กว้าง 2 m และในมวลหินทรายมีรอยแตกสามชุด คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหิน (Bedding plane) มี Strike 136 degrees และมุมเท 21 degrees หรือมีการวางตัวเกือบอยู่ในแนวระดับ (Near horizontal) ความหนาเฉลี่ยของหินทรายประมาณ 0.7 m ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Joint Roughness Coefficient, JRC) ประมาณ 3 และมีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 240 degrees มุมเท 80 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.8 m ระยะเปิดแยก 2 ถึง 10 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และมีความต่อเนื่องประมาณ 80%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 335 degrees มุมเท 57 ถึง 80 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.5 m ระยะเปิดแยก 2 ถึง 10 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

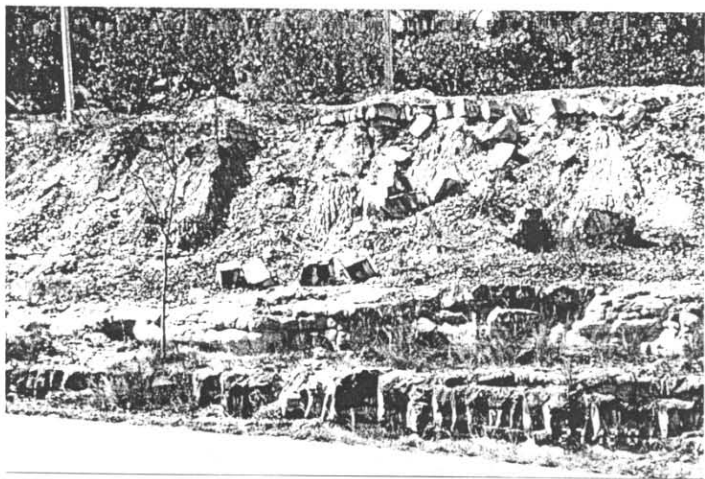
พบว่ามีการพังทลายในรูปแบบการพลิกคว่ำโดยพบขนาดของก้อนหินที่ร่วงหล่นบริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินขนาดประมาณ $0.7 \times 0.8 \times 0.5 \text{ m}^3$



รูปที่ ก-12 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินในกลุ่มภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่นำมาศึกษา



รูปที่ ก-13 การพังทลายแบบ Secondary toppling ของความลาดเอียงแบบแข็งสลับอลันในบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 70 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 304 (Slope No.3)



รูปที่ ก-14 การพังทลายของชั้นหินทรายที่วางสลับลับชั้นกับหินดินดาน โดยขนาดของ Block ประมาณ $0.7 \times 0.8 \times 0.5 \text{ m}^3$ (Slope No.3)

Slope No 4. บริเวณทางหลวงหมายเลข 3462 เป็นเส้นทางสัญจรระหว่างจังหวัดสระแก้ว กับอำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา หรือที่ 47 P 0811068 และ UTM 1582341 ดังรูปที่ ก-15 ตัดผ่านภูเขาหินทรายชุดพระวิหาร สลับชั้นกับหินดินดาน ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 15 m ขาวประมาณ 30 m Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 035 degrees มุมเทของหน้าลาดเอียง 30 degrees ระดับน้ำบาดาลค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน มีระยะห่างจากถนน 2 m ประกอบด้วยร่องรองรับหินที่ตกลงมาซึ่งมีความลึก 0.7 m กว้าง 1.2 m ความลาดเอียงค่อนข้างมีเสถียรภาพ มีการใช้คอนกรีตพ่น (Shotcrete) ตะแกรงลวด (Wire mesh) และท่อน้ำไหล (Weep holds) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 cm มาช่วยป้องกันการพังของความลาดเอียงมวลหิน

Slope No 5. บริเวณทางหลวงหมายเลข 3462 เป็นเส้นทางสัญจรระหว่างจังหวัดสระแก้ว กับอำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา หรือที่ 47 P 0198523 และ UTM 1548638 เส้นทางตัดผ่านภูเขาหินทรายชุดพระวิหาร สลับชั้นกับหินดิน มีค่ากำลังรับแรงอัดของหิน 50-100 และ 25-50 MPa ตามลำดับ มีความหนาในชั้นหินทรายประมาณ 0.8 ถึง 1 และชั้นหินดินดาน 1 m ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 5 m ขาวประมาณ 20 m Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 040 degrees มุมเทของหน้าลาดเอียง 60 ถึง 70 degrees ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสูงร่อนในมวลหินดินดานมีค่าสูง มีระยะห่างจากถนน 2 m ประกอบด้วยร่องรองรับหินที่ตกลงมาซึ่งมีความลึก 1 m กว้าง 1.2 m มีต้นไม้ขนาดใหญ่อยู่บนหลัง (Back slope) ของความลาดเอียง และในมวลหินทรายมีรอยแตกสามชุด คือ

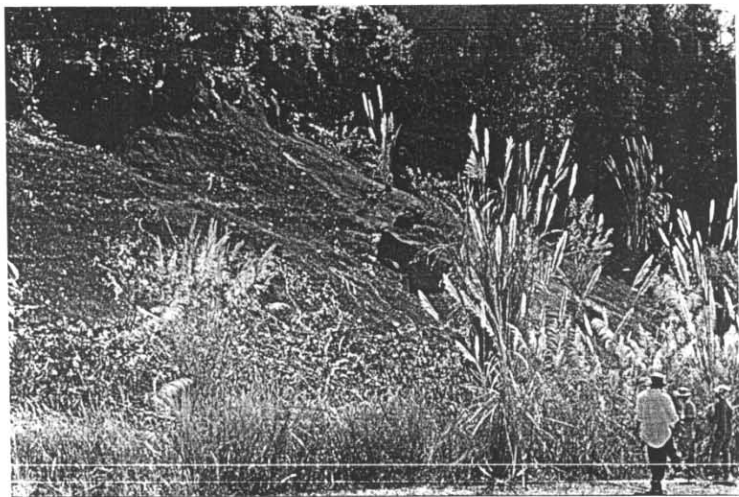
รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหิน มี Strike 330 degrees และมุมเท 20 degrees หรือวางตัวเกือบอยู่ในแนวระดับ มีความหนาเฉลี่ยของหินทราย 1 m ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 255 degrees มุมเท 90 degrees ระยะห่างรอยแตก 1 ถึง 1.5 m ระยะเปิดแยก 2 ถึง 10 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และมีความต่อเนื่องประมาณ 80%

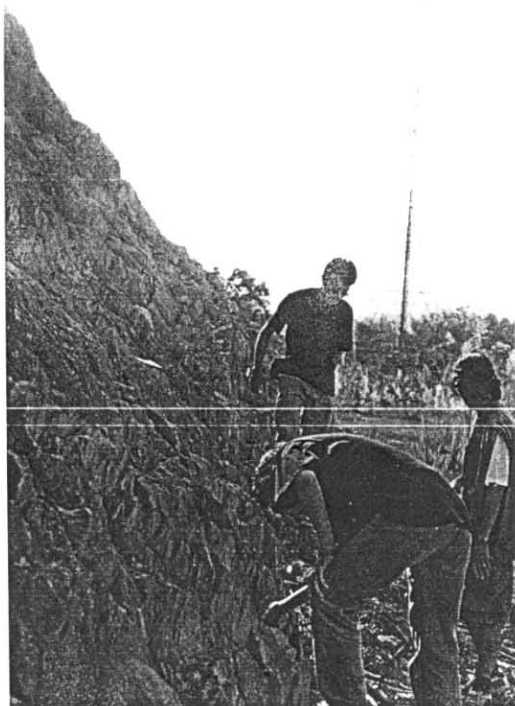
รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 340 degrees มุมเท 80 degrees ระยะห่างรอยแตก 1 m ระยะเปิดแยก 2 ถึง 5 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

จากการสำรวจไม่พบการพังทลายของความลาดเอียงมวลหิน

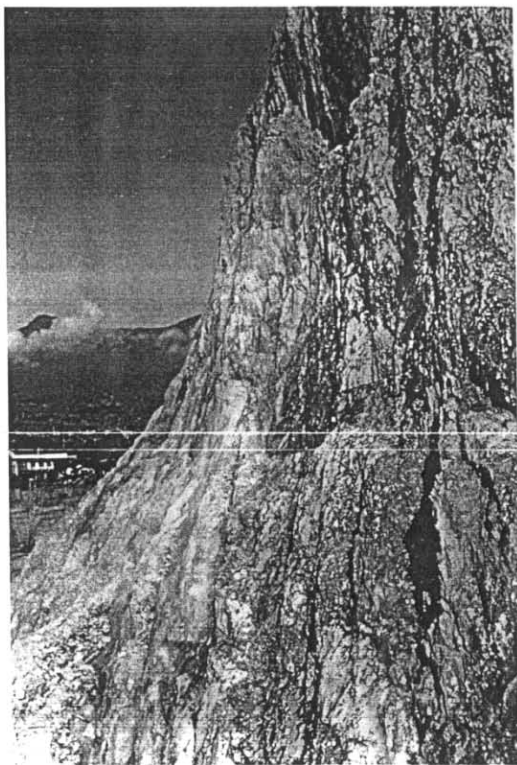
Slope No 6. บริเวณเมืองหินดินดาน อำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี หรือที่ 47 P 0203877 และ UTM 1427846 ดังรูปที่ ก-16 และรูปที่ ก-17 หินดินดานมีค่ากำลังรับแรงอัด 5-25 MPa ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 8 ถึง 10 m ขาวประมาณ 30 m Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาด-



รูปที่ ก-15 การกัดพังคองกริตบนคิ้วหน้าความลาดเอียงมวลหินแบบแข็งสลับอ่อนในบริเวณ
เส้นทางหลวงหมายเลข 3462 (Slope No.4)



รูปที่ ก-16 เหมืองหินดินดานบริเวณอำเภอปงน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี ลักษณะของมวลหิน มีรอยแตกมาก และกระบวนการผุพังอยู่ในอัตราสูง (Slope No.6)



รูปที่ ก-17 เหมือนหินดินดานบริเวณอำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี มวลหินมีรอยแตกมาก และกระบวนการผุพังอยู่ในอัตราสูง (Slope No.6)

เฉียงมวลหินแปรผันจาก 080 ถึง 150 degrees มุมเทของหน้าลาดเอียง 80 degrees ระดับน้ำบาดาลค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความผุกร่อนในมวลหินมีค่าสูงมาก (Highly weathered) และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 340 degrees และมุมเท 85 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.1 ถึง 0.2 m ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 015 ถึง 085 degrees มุมเท 73 ถึง 90 ระยะห่างรอยแตก 0.05 ถึง 0.10 m ระยะเปิดแยก 0.1 ถึง 0.5 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 และมีความต่อเนื่องประมาณ 50%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 015 degrees มุมเททางตัวเกือบอยู่ในแนวระดับ ระยะห่างรอยแตก 1 m ระยะเปิดแยก 0.1 ถึง 0.5 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 ถึง 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 60-80%

จากการสำรวจภาคสนามพบว่ามีการพังทลายเกิดขึ้นแบบพลิกคว่ำและการไหลตามแผ่นระนาบ (Plane failure)

Slope No 7. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 92+600 ของทางหลวงหมายเลข 344 จากจังหวัดฉะเชิงเทราเข้าสู่จังหวัดชลบุรี หรือที่ 47 P 0784101 และ UTM 1421792 ดังรูปที่ ก-18 และรูปที่ ก-19 ตัดผ่านเนินเขาสูงที่ประกอบด้วยหินดินดานที่มีค่ากำลังรับแรงอัดประมาณ 5-25 MPa ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 13 m ยาวประมาณ 180 m Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 300 degrees มุมเทของหน้าลาดเอียง 55 ถึง 60 degrees ระดับน้ำบาดาลสูง โดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความผุกร่อนในมวลหินมีค่าสูง มีระยะห่างจากถนนประมาณ 6 m โดยประกอบด้วยร่องรองรับหินที่ตกลงมา มีความลึก 0.8 m กว้าง 1.5 m และในมวลหินมีรอยแตกสองชุด คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 190 ถึง 205 และมุมเท 40 ถึง 45 degrees มีความหนาเฉลี่ยของหินทราย 0.05 ถึง 0.15 m ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และมีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 270 ถึง 305 degrees มุมเท 60 ถึง 85 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.05 m ระยะเปิดแยก 0.1 ถึง 0.5 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และมีความต่อเนื่องประมาณ 70%

จากการสำรวจพบว่ามีการพังทลายเกิดขึ้นแบบไหลโค้ง (Circular failure) มีขนาดของก้อนหินขนาดเล็กที่ร่วงหล่นอยู่บริเวณฐานของความลาดเอียงเล็กน้อย



รูปที่ ก-18 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 92+600 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 340 ซึ่งมีลักษณะของมวลหินที่มีรอยแตกมาก และ กระบวนการผุพังอยู่ในอัตราสูง (Slope No.7)



รูปที่ ก-19 การพังทลายแบบรูปโค้ง ของมวลหินดินดานบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 92+600 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 340 (Slope No.7)

Slope No 8. บริเวณรูปพระแกะ วัดเขาชีจรรย์ จังหวัดชลบุรี หรือที่ 47 P 0712817 และ UTM 1411742 ดังรูปที่ ก-20 ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 170 m ยาวประมาณ 20 m หินปูนที่มีค่ากำลังรับแรงอัด 50-100 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหินแนวเหนือใต้ มุมเทของหน้าลาดเอียงซึ่งเป็นแนวของผารอยเลื่อน (Fault scarp) ประมาณ 60 ถึง 70 degrees ระดับน้ำบาดาลค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุรอรอนในมวลหินมีค่าปานกลางถึงระดับต่ำ มีการติดตั้งหมุดค้ำยัน (Rock bolts) และท่อระบายน้ำ (Drained pipe) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 cm บริเวณหน้าของความลาดเอียง

Slope No 9. บริเวณเหมืองหินปูนใกล้กับวัดเขาชีจรรย์ จังหวัดชลบุรี หรือที่ 47 P 0713246 และ UTM 1409209 ดังรูปที่ ก-21 และรูปที่ ก-22 ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 60 m ยาวประมาณ 40 m หินปูนที่มีค่ากำลังรับแรงอัด 50-100 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 030 degrees มุมเทของหน้าลาดเอียง 60 ถึง 70 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียง สะอาดและไม่มีต้นไม้ขึ้น แต่ในส่วนบนของความลาดเอียงมีชั้นดินหนาประมาณ 5 ถึง 10 m วางทับอยู่ ระดับน้ำบาดาลค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุรอรอนในมวลหินมีค่าต่ำ และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด คือ

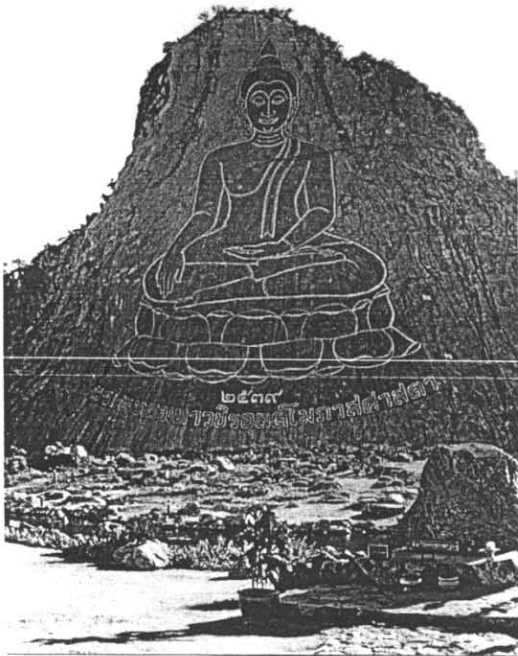
รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 120 degrees และมุมเท 45 degrees มีความหนาเฉลี่ยของชั้นหิน 0.2 ถึง 0.3 m ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 ถึง 5 และมีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 225 degrees มุมเท 61 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 0.5 m ระยะเปิดแยก 1 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 ถึง 5 และมีความต่อเนื่องประมาณ 80%

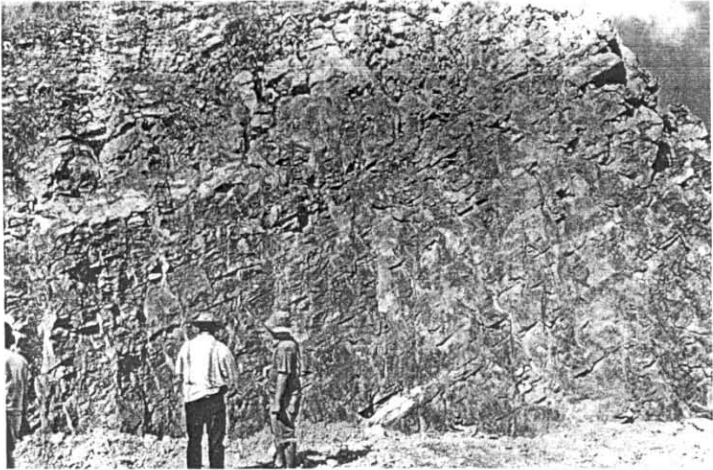
รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 320 degrees มุมเท 55 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.5 ถึง 0.7 m ระยะเปิดแยก 0.5 ถึง 2 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 ถึง 5 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 70%

จากการสำรวจพบว่ามีการพังทลายแบบพลิกคว่ำเกิดขึ้น โดยจะพบขนาดของก้อนหินที่ร่วงหล่นบริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินขนาดประมาณ $0.3 \times 0.4 \times 0.5 \text{ m}^3$

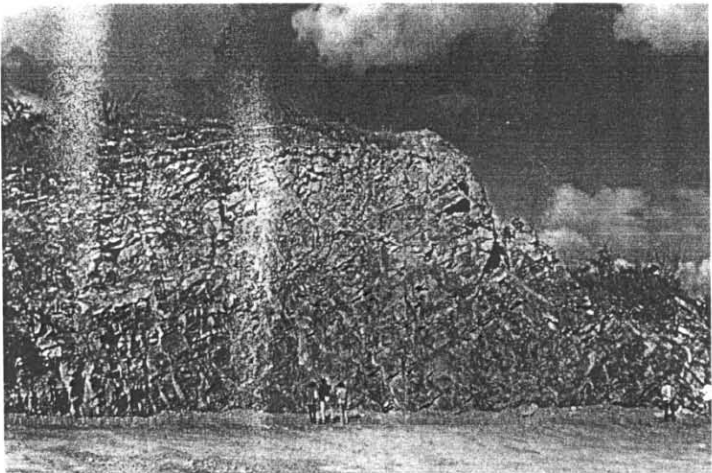
Slope No 10. บริเวณเหมืองหินดินดาน ห่างจากตัวเมืองจังหวัดชลบุรีไปทางทิศเหนือประมาณสองกิโลเมตร หรือที่ 47 P 0714024 และ UTM 1405059 ดังรูปที่ ก-23 และรูปที่ ก-24 ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 12 m ยาวประมาณ 20 m หินดินดานมีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 080 degrees มุมเทของหน้าลาดเอียง 65 ถึง 70



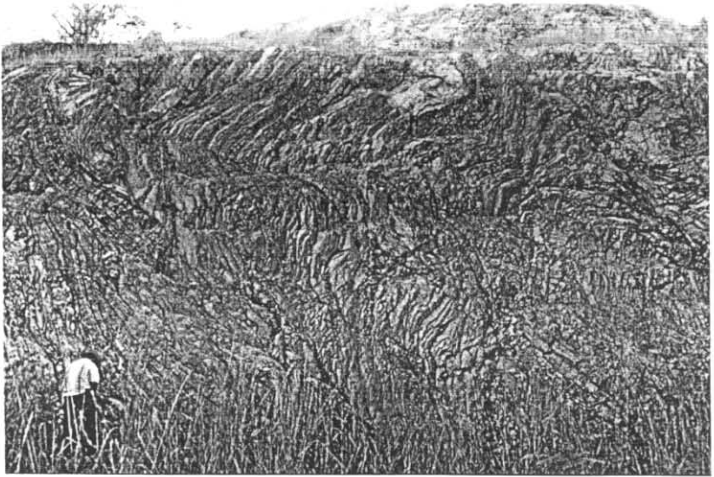
รูปที่ ก-20 การนำความลาดเอียงมวลหินปูนมาประยุกต์เป็นสถานที่ท่องเที่ยวในบริเวณ
วัดเขาชีจรรย์ (Slope No.8)



รูปที่ ก-21 Blocky rock ของความลาดเอียงมวลหินปูนบริเวณเหมืองหินที่ตั้งอยู่ใกล้กับ
วัดเขาชีจรรย์ จังหวัดชลบุรี (Slope No.9)



รูปที่ ก-22 Blocky rock ของความลาดเอียงมวลหินปูนบริเวณเหมืองหินที่ตั้งอยู่ใกล้กับ
วัดเขาชีจรรย์ จังหวัดชลบุรี (Slope No.9)



รูปที่ ก-23 Folding ของหินบริเวณเหมืองหินดินดานที่บริเวณจังหวัดชลบุรี (Slope No.10)



รูปที่ ก-24 Blocky rock ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณเหมืองหินดินดานที่บริเวณจังหวัดชลบุรี (Slope No.10)

degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงสะอาดและไม่มีต้นไม้อื่น ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกก่อนในมวลหินมีค่าต่ำ และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 250 ถึง 255 degrees และมุมเท 75 ถึง 85 degrees มีความหนาเฉลี่ยของหินดินดานประมาณ 0.03 ถึง 0.1 m ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุขระ 3 ถึง 5 มีดินเหนียวและเศษหินหัก (Rock fragment) เป็นวัสดุแทรก

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 160 degrees มุมเท 80 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.03 ถึง 0.05 m ระยะเปิดเขย 1 ถึง 2 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุขระ 3 และมีความต่อเนื่องประมาณ 60-80%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 100 degrees มุมเท 80 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.1 m ระยะเปิดเขยของชุดรอยแตก 0.5 ถึง 2 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุขระ 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

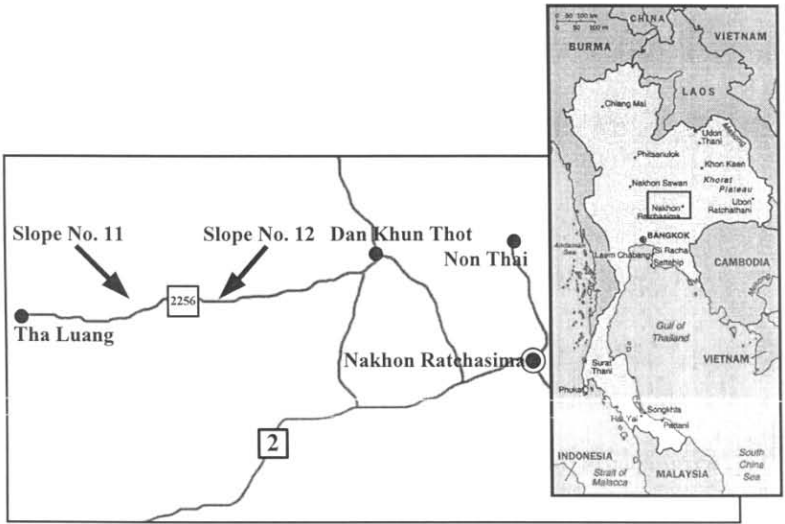
จากการสำรวจพบว่ามีการพังทลายแบบพลิกคว่ำเกิดขึ้น โดยจะพบขนาดของก้อนหินที่ร่วงหล่นบริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินขนาดประมาณ $0.03 \times 0.40 \times 0.05 \text{ m}^3$ เพียงเล็กน้อย

3. ความลาดเอียงของเหมืองหินปูนเขาสมโภชน์ และทางหลวงหมายเลข 2256

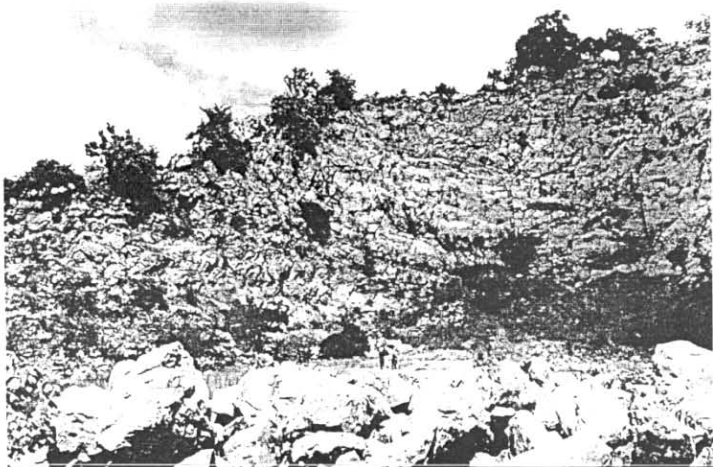
การสำรวจครอบคลุมพื้นที่ของเหมืองหินปูนเขาสมโภชน์ และสองข้างทางหลวงหมายเลข 2256 ทั้งสองสถานที่อยู่ในเขตพื้นที่ของจังหวัดลพบุรี ได้ทำการสำรวจความลาดเอียงจำนวน 2 แห่งดังรูปที่ ก-25 โดยมีรายละเอียดของลักษณะทางวิศวกรรมแสดงไว้ใน Slope No. 11 และ Slope No. 12 คือ

Slope No. 11. บริเวณเหมืองหินปูนวัดเขาสมโภชน์ จังหวัดลพบุรี หรือที่ 47 P 0748946 และ UTM 1672234 ดังรูปที่ ก-26 และรูปที่ ก-27 ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 40 ถึง 60 m ยาวประมาณ 120 m ประกอบด้วยหินปูนชุดสระบุรี มีค่ากำลังรับแรงอัด 50-100 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหินแบ่งเป็นสามหน้า คือ (Strike/Dip) 354/86 degrees 070/65 degrees และ 150/70 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงสะอาดมีต้นไม้อื่นและต้นหญ้าขึ้นเล็กน้อย ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกก่อนในมวลหินมีค่าต่ำและในมวลหินมีรอยแตกสี่ชุด ดังแสดงในรูปที่ ก-28 และรูปที่ ก-29 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 280 degrees และมุมเท 25 degrees มีความหนาเฉลี่ยของหินดินดาน 0.3 ถึง 0.5 m ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุขระ 3 ถึง 5 มีสายแร่แคลไซต์เป็นวัสดุแทรก และมีความต่อเนื่องสูง



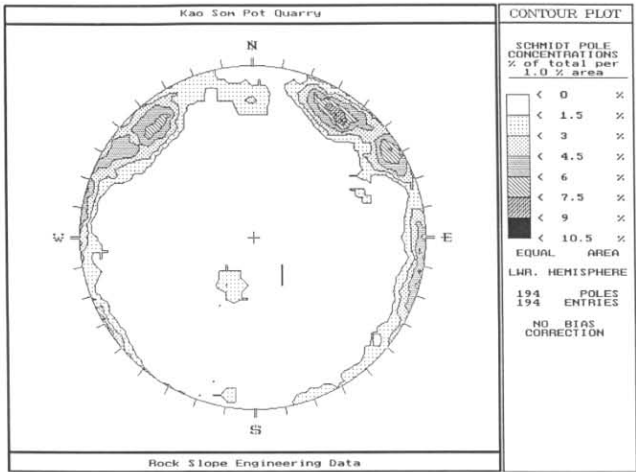
รูปที่ ก -25 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาในกลุ่มเขาสมโภชน์ และทางหลวงหมายเลข 2256 อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี



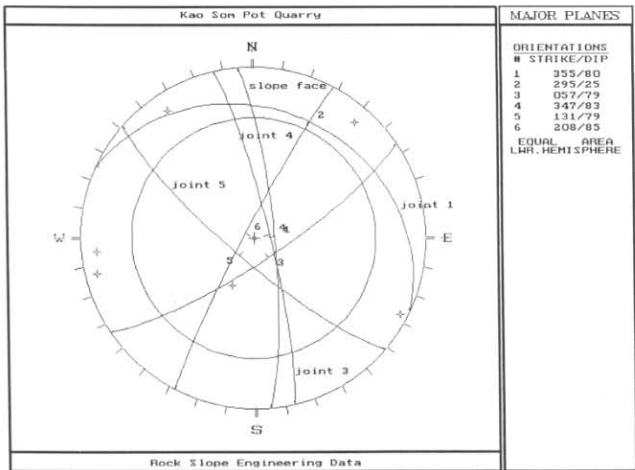
รูปที่ ก-26 Blocky rock ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณเหมืองหินปูนวัดเขาสม โภชน์
จังหวัดลพบุรี (Slope No.11)



รูปที่ ก-27 ลักษณะรอยแตกของมวลหินปูนที่อยู่บริเวณเหมืองหิน ซึ่งเกิดจากธรรมชาติและ
จากแรงระเบิด (Slope No.11)



รูปที่ ก-28 Contour plot ของรอยแตกมวลหินปูนบริเวณเหมืองหินเขาสมโขชน์ จังหวัดลพบุรี (Slope No.11)



รูปที่ ก-29 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle เหมืองหินปูนเขาสมโขชน์ จังหวัดลพบุรี (Slope No.11)

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 025 degrees มุมเท 90 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.25 ถึง 0.3 m ระยะเปิดเขยอ 0.5 ถึง 2 cm มีสายแร่แคลไซต์เป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีความต่อเนื่องประมาณ 70%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 315 degrees มุมเท 80 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.4 ถึง 0.5 m ระยะเปิดเขยอ 0.5 ถึง 5 cm มีสายแร่แคลไซต์เป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 ถึง 7 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

รอยแตกชุดที่ 4 มี Strike 142 degrees มุมเท 80 degrees ค่าความต่อเนื่องประมาณ 60% ระยะห่างรอยแตก 0.3 m ระยะเปิดเขยอของชุดรอยแตก 1 ถึง 5 cm ไม่มีวัสดุแทรกในรอยแตก และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5

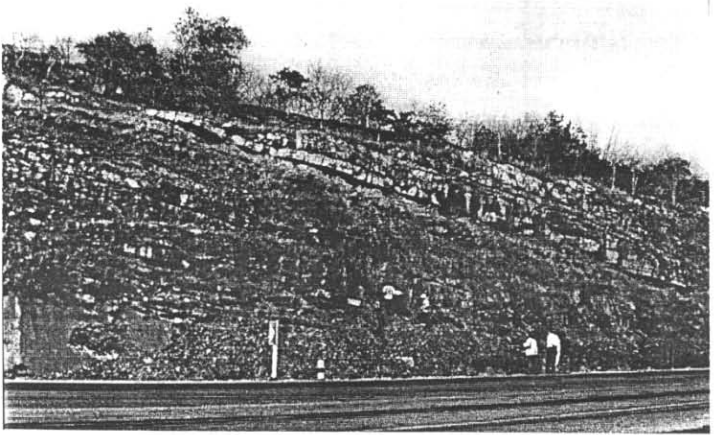
จากการสำรวจพบว่ามีกรงฟงหลายเกิดขึ้นในหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับการศึกษาความลาดเอียงมวลหินในทิศทางใด เช่น กรงฟงที่เกิดในหน้าความลาดเอียง (Strike/Dip) 354/86 degrees เกิดฟงกว่าและไหลแบบแผ่นระนาบในหน้าความลาดเอียง (Strike/Dip) 150/70 degrees โดยจะพบขนาดของก้อนหินที่ร่วงหล่นบริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินขนาดประมาณ $0.5 \times 0.5 \times 0.7$ และ $0.5 \times 0.5 \times 0.4 \text{ m}^3$

Slope No 12. บริเวณข้างทางหลวงสาย 2256 จังหวัดพบุรี หรือที่ 47 P 0759028 และ UTM 1670703 ดังรูปที่ ก-30 และรูปที่ ก-31 ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 50 m ยาวประมาณ 70 m ประกอบด้วยหินทรายลึบชั้นกับหินดินดาน มีค่ากำลังรับแรงอัด 50-100 MPa ในหินทราย และ 25-50 MPa ในหินดินดาน Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 080 degrees และมีมุมเท 60 degrees ชั้นหินทรายหนา 0.8 m และหินดินดานหนา 0.1 ถึง 0.7 m บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงสะอาดไม่มีต้นไม้อื่น ระดับน้ำบาดาลค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกของมวลหินมีค่าระดับสูงในชั้นหินดินดาน และในมวลหินทรายมีรอยแตกสามชุด คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ โดยมีมุมเท 25 degrees เทไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีความหนาเฉลี่ย 0.8 m ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 ถึง 5 มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 105 degrees มุมเท 80 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.25 ถึง 0.3 m ระยะเปิดเขยอ 0.5 ถึง 2 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีความต่อเนื่องประมาณ 70%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 175 degrees มุมเท 72 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.15 ถึง 0.7 m ระยะเปิดเขยอ 0.5 ถึง 5 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%



รูปที่ ก-30 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณทางหลวงหมายเลข 2256 จังหวัดลพบุรี (Slope No.12)



รูปที่ ก-31 ก้อนมวลหินทรายขนาด $0.8 \times 0.7 \times 0.7 \text{ m}^3$ กลิ้งตกมาจากส่วนบนของความลาดเอียงมวลหินบริเวณไหล่ทาง (Slope No.12)

จากการสำรวจพบว่ามีการพังทลายแบบพลิกคว่ำเกิดขึ้น โดยจะพบขนาดของก้อนหินที่ร่วงหล่นบริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินขนาดประมาณ $0.5 \times 0.5 \times 0.7$ และ $0.2 \times 0.2 \times 0.4$ m^3

4. ความลาดเอียงมวลหินของทางหมายเลข 2 บริเวณเขื่อนลำตะคอง และจังหวัดสระบุรี

ทางหลวงหมายเลข 2 อยู่ในเขตพื้นที่ของจังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดสระบุรี ได้ทำการสำรวจความลาดเอียงจำนวน 5 แห่ง ดังรูปที่ ก-32 โดยมีรายละเอียดของลักษณะทางวิศวกรรมแสดงไว้ใน Slope No. 13 ถึง Slope No. 17 คือ

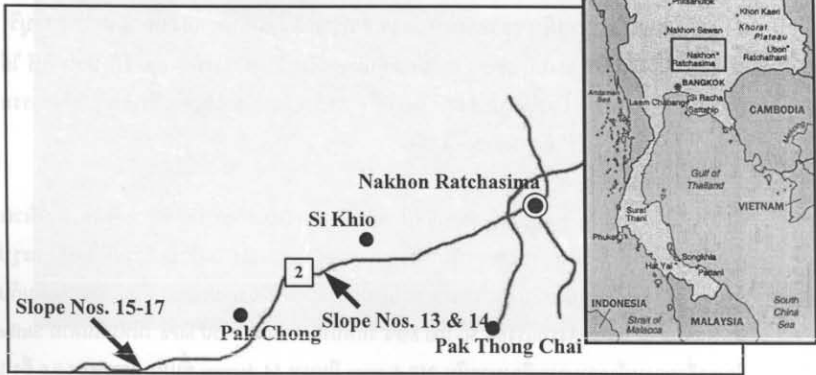
Slope No. 13, บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 196+100 ของทางหลวงสายมิตรภาพ บริเวณเขื่อนลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา หรือที่ 47 P 0776496 และ UTM 1842789 ดังรูปที่ ก-33 และรูปที่ ก-34 ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 20 m ขาวประมาณ 240 m ประกอบด้วยหินทรายลึกลับกับชั้นหินดินดาน มีค่ากำลังรับแรงอัด 50-100 MPa ในหินทราย และ 25-50 MPa ในหินดินดาน Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 210 degrees มีมุมเท 54 degrees ชั้นหินทรายหนา 0.6 ถึง 1 m และหินดินดานหนา 0.5 ถึง 1.5 m บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงไม่มีต้นไม้อื่นๆ เนื่องจากมีการพังทลายทุกปี ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุร่อนในมวลหินมีค่าระดับสูงมากในชั้นหินดินดาน ฐานของความลาดเอียงมวลหินอยู่ห่างจากขอบถนนประมาณ 7.5 m มีการสร้างกำแพงคอนกรีตสูงประมาณ 1 m เพื่อกันหินกึ่งถึงข้างบนถนน และในมวลหินทรายมีรอยแตกสามชุด คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 356 degrees มีมุมเท 06 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.6 ถึง 0.8 m ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก และมีความต่อเนื่องสูง

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 014 degrees มุมเท 89 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 0.8 m ระยะเปิดเขย 2 ถึง 5 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีความต่อเนื่องประมาณ 60-80%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 220 degrees มุมเท 72 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.8 ถึง 1.2 m ระยะเปิดเขย 1 ถึง 5 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

จากการสำรวจพบว่ามีการพังทลายแบบพลิกคว่ำเกิดขึ้น โดยจะพบขนาดของก้อนหินที่ร่วงหล่นบริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินขนาดประมาณ $0.5 \times 0.5 \times 0.7$ ถึง $2.0 \times 1 \times 1$ m^3



รูปที่ ก-32 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาในกลุ่มบริเวณทางหลวงหมายเลข 2
จังหวัดนครราชสีมา ถึง จังหวัดสระบุรี



รูปที่ ก-33 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 196 ของทางหลวงหมายเลข 2 บริเวณ
เขื่อนลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา (Slope No.13)



รูปที่ ก-34 มวลหินทรายขนาด $2 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$ ที่ ร่วงหล่นที่ฐานของความลาดเอียงมวลหิน (Slope No.13)

Slope No 14, บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 194+000 ของทางหลวงสายมิตรภาพ บริเวณเขื่อนลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา หรือที่ 47 P 0775301 และ UTM 1641908 ดังรูปที่ ก-35 รูปที่ ก-36 และรูปที่ ก-37 ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 40 m ยาวประมาณ 270 m ประกอบด้วยหินทรายสลับกับชั้นหินดินดาน มีค่ากำลังรับแรงอัด 50-100 MPa ในหินทราย และ 25-50 MPa ในหินดินดาน Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 206 degrees มีมุมเท 55 degrees ชั้นหินทรายนหนา 0.6 ถึง 1 m และหินดินดานหนา 0.15 ถึง 1 m บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงมีต้นไม้ขึ้นเล็กน้อย ในบริเวณที่มีเสถียรภาพ ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความผุกร่อนในมวลหินมีค่าระดับสูงมากในชั้นหินดินดาน ความลาดเอียงมวลหินอยู่ห่างจากขอบถนนประมาณ 6.5 m และในมวลหินทรายมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-38 และรูปที่ ก-39 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 013 degrees มีมุมเท 06 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.3 ถึง 1 m ระยะเปิดแยก 1 ถึง 5 cm ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก

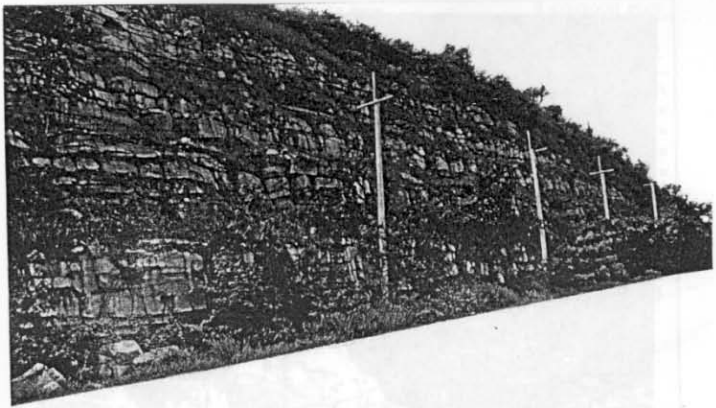
รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 288 degrees มุมเท 89 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.3 ถึง 2 m ระยะเปิดแยก 1 ถึง 4 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 ถึง 7 และมีความต่อเนื่องประมาณ 80%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 202 degrees มุมเท 83 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.6 m ระยะเปิดแยก 2 ถึง 3 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 ถึง 7 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

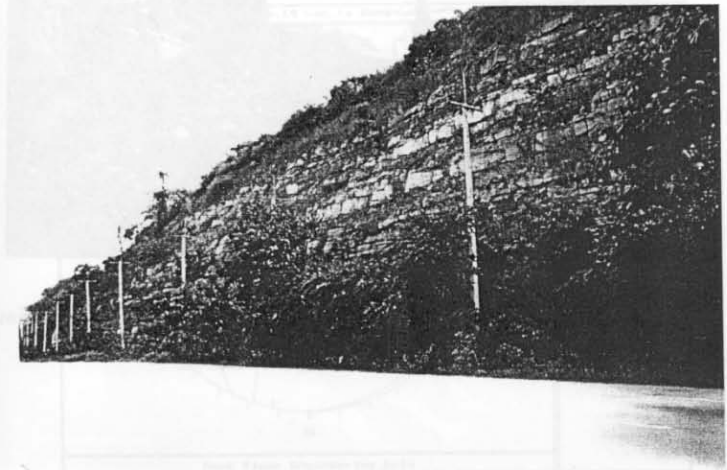
จากการสำรวจพบว่ามีกรงหลายแบบพลิกคว่ำเกิดขึ้น โดยจะพบขนาดของก้อนหินที่ร่วงหล่นบริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินขนาดประมาณ $0.2 \times 0.3 \times 0.5$ ถึง $0.6 \times 0.8 \times 1$ m³

Slope No 15, บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 136+800 ของทางหลวงสายมิตรภาพ เขตอำเภอวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี หรือที่ 47 P 0732026 และ UTM 1619048 ดังรูปที่ ก-40 และรูปที่ ก-41 ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 10 ถึง 15 m ยาวประมาณ 80 m ประกอบด้วยหินปูน มีค่ากำลังรับแรงอัด 50-100 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 100 degrees และมีมุมเท 50 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงไม่มีต้นไม้ขึ้น ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความผุกร่อนในมวลหินมีค่าระดับต่ำ มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 4 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-42 และรูปที่ ก-43 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 107 degrees มีมุมเท 51 degrees มีความหนาเฉลี่ย 1 m ระยะเปิดแยก 5 ถึง 10 cm ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 15 มีสายแร่แคลไซต์เป็นวัสดุแทรก



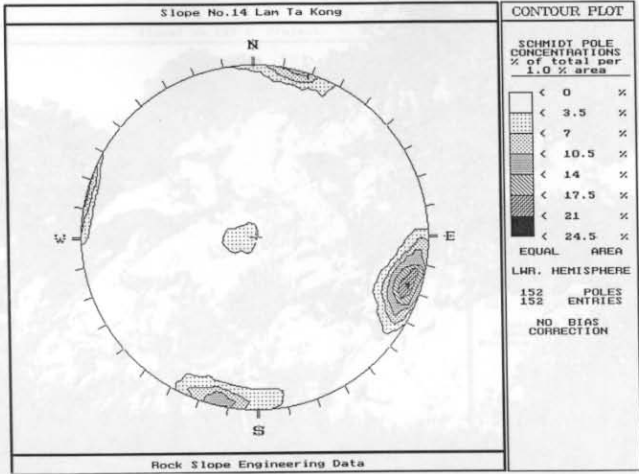
รูปที่ ก-35 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 194 ของทางหลวงหมายเลข 2 บริเวณ
เขื่อนลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา (Slope No.14)



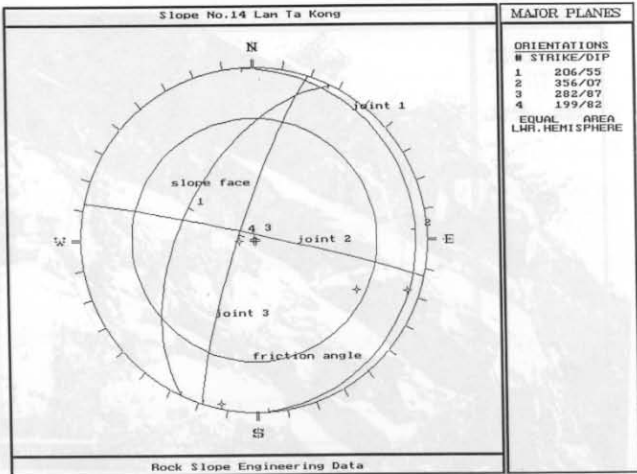
รูปที่ ก-36 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 194 ของทางหลวงหมายเลข 2 บริเวณ
เขื่อนลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา (Slope No.14)



รูปที่ ก-37 ลักษณะของการพังทลายที่ปรากฏของความลาดเอียงมวลหินแบบแข็งสลับอ่อน
(Slope No.14)



รูปที่ ก-38 Contour plot ของรอยแตกของหินทรายของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 194 ถึง 195 ของทางหลวงหมายเลข 2 (Slope No.14)



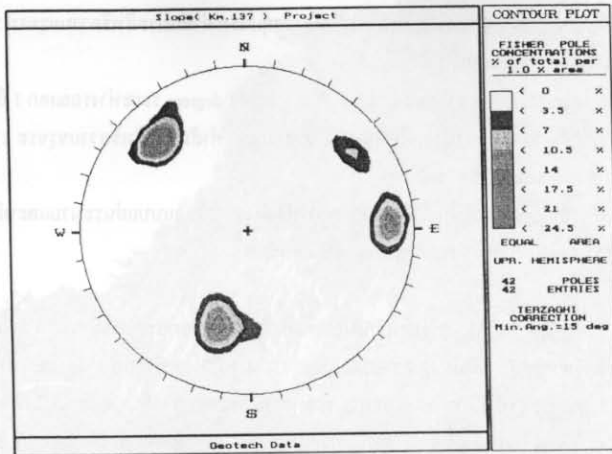
รูปที่ ก-39 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินทรายบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 194 ถึง 195 ของทางหลวงหมายเลข 2 (Slope No.14)



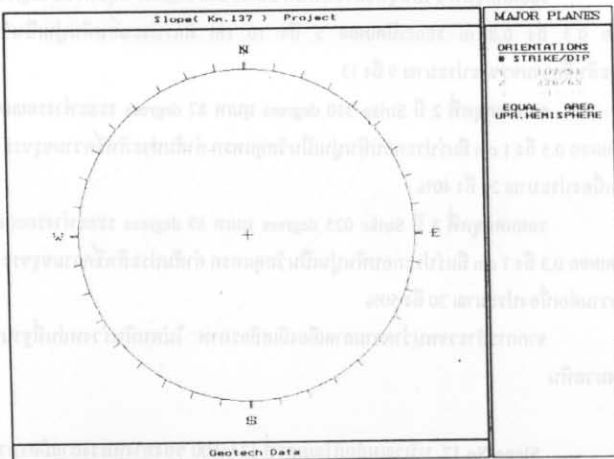
รูปที่ ก-40 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 136-137 ของทางหลวงหมายเลข 2 บริเวณอำเภออมก๋อยเหล็ก จังหวัด สระบุรี (Slope No.15)



รูปที่ ก-41 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 136-137 ของทางหลวงหมายเลข 2 บริเวณอำเภออมก๋อยเหล็ก จังหวัด สระบุรี (Slope No.15)



รูปที่ ก-42 Contour plot ของรอยแตกหินปูนของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 136-137 ทางหลวงหมายเลข 2 (Slope No.15)



รูปที่ ก-43 Representative plane ของชุดรอยแตกหินปูนบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 136-137 ของทางหลวงหมายเลข 2 (Slope No.15)

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 228 degrees มุมเท 65 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.5 ถึง 2 m ระยะเปิดเขย 5 ถึง 20 cm มีแร่ประกอบหินปูนเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 ถึง 7 และมีความต่อเนื่องประมาณ 60 ถึง 80%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 343 degrees มุมเท 71 degrees ระยะห่างรอยแตก 1 ถึง 2 m ระยะเปิดเขย 5 ถึง 20 cm มีแร่ประกอบหินปูนเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 11 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 40 ถึง 60%

จากการสำรวจพบว่ามีโอกาสเกิดการพังทลายการไหลแบบแผ่นระนาบและพลิกคว่ำ โดยพบหินร่วงหล่นที่ฐานของความลาดเอียงมวลหินเล็กน้อย

Slope No 16, บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 136 ของทางหลวงสายมิตรภาพ เขตอำเภอ มวกเหล็ก จังหวัด สระบุรี หรือที่ 47 P 0731404 และ UTM 1619159 ดังรูปที่ ก-44 และรูปที่ ก-45 ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 15 m ยาวประมาณ 40 m ประกอบด้วยหินปูน มีค่ากำลังรับแรงอัด 50-100 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 95 degrees และมีมุมเท 80 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงไม่มีคันไม้ขึ้น ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความผุกร่อนในมวลหินมีค่าระดับต่ำ มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 1.5 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด คือ

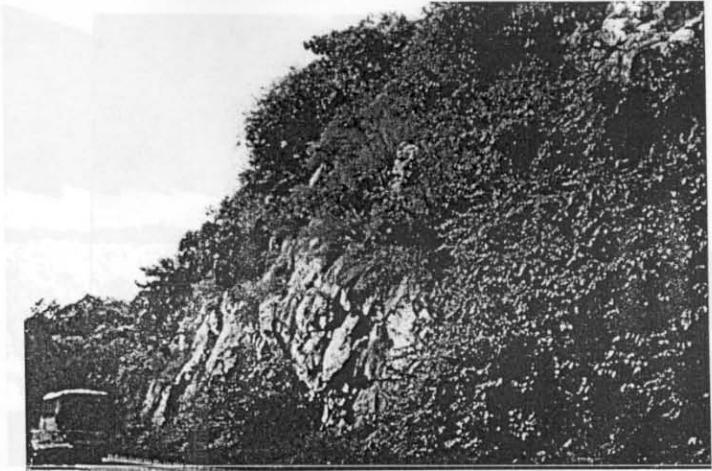
รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 266 degrees มีมุมเท 22 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.3 ถึง 0.8 m ระยะเปิดเขย 5 ถึง 10 cm มีแร่ประกอบหินปูนเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระประมาณ 9 ถึง 13

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 310 degrees มุมเท 87 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.3 m ระยะเปิดเขย 0.5 ถึง 1 cm มีแร่ประกอบหินปูนเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 11 และมีความต่อเนื่องประมาณ 20 ถึง 40%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 025 degrees มุมเท 89 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.3 m ระยะเปิดเขย 0.3 ถึง 1 cm มีแร่ประกอบหินปูนเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 11 ถึง 17 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 30 ถึง 50%

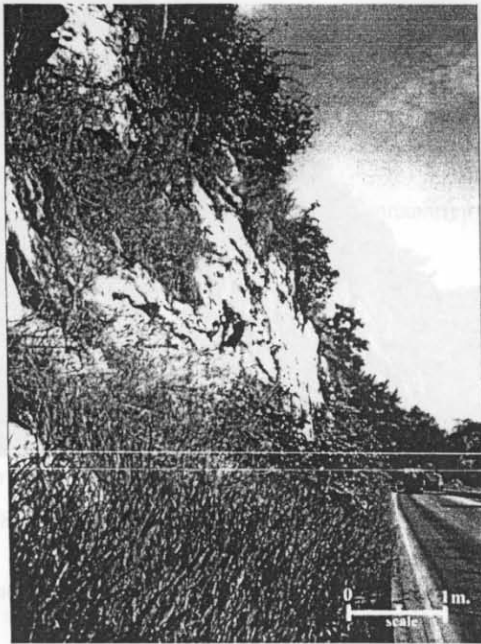
จากการสำรวจพบว่าความลาดเอียงมีเสถียรภาพ ไม่พบหินร่วงหล่นที่ฐานของความลาดเอียงมวลหิน

Slope No 17, บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 134+000 ของทางหลวงสายมิตรภาพ บริเวณ หน้าโรงเรียนซีเมนต์ ทีพีไอ อำเภอ มวกเหล็ก จังหวัด สระบุรี หรือที่ 47 P 0729186 และ UTM 1619102 ดังรูปที่ ก-46 และรูปที่ ก-47 ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 10 m ยาวประมาณ 65 m ประกอบ



รูปที่ ก-44 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 135-136 ของทางหลวงหมายเลข 2 บริเวณอำเภอมากเหล็ก จังหวัดสระบุรี (Slope No.16)

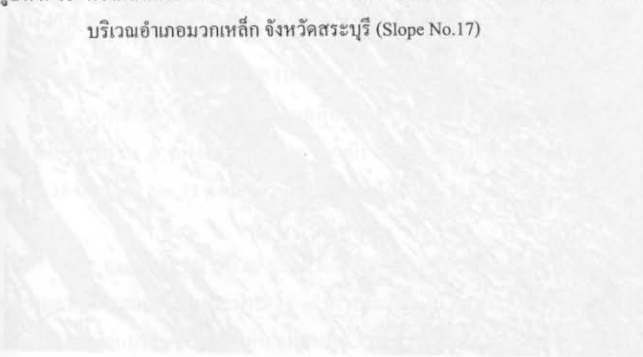
โครงการพัฒนาระบบขนส่งทางบก ระยะที่ 2 (โครงการพัฒนาระบบขนส่งทางบก ระยะที่ 2) (Slope No.16) บริเวณอำเภอมากเหล็ก จังหวัดสระบุรี



รูปที่ ก-45 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 135-136 ของทางหลวงหมายเลข 2 บริเวณอำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี (Slope No.16)

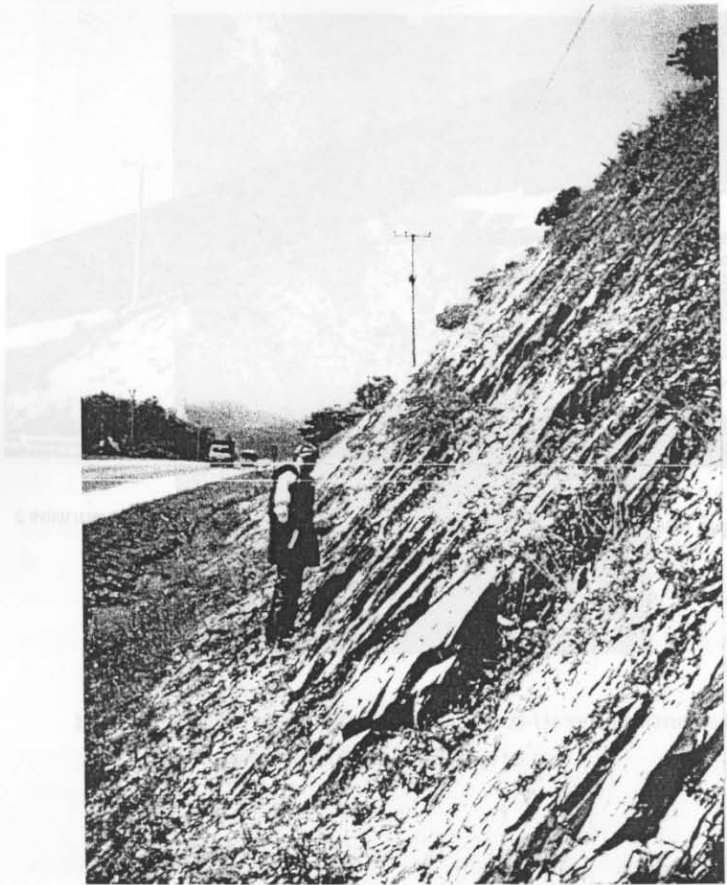


รูปที่ ก-46 ความลาดเอียงมวลหินแบบแผ่นบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 134 ของทางหลวงหมายเลข 2 บริเวณอำเภอมากเหล็ก จังหวัดสระบุรี (Slope No.17)



ความลาดเอียง 25 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ สำหรับความสูง 50-100 เมตร โดยทั่วไปจะพบหินทรายและหินปูน
 หินทรายและหินปูนเป็นหินที่อ่อนนุ่มและสึกกร่อนได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีน้ำซึม
 รั่วซึมลงมาตามรอยแตกหรือรอยต่อของหิน ซึ่งจะทำให้หินแตกเป็นชิ้นๆ และเกิดเป็นรูหรือโพรง
 ภายในหินได้ ในบริเวณที่มีน้ำซึมรั่วซึมลงมาตามรอยแตกหรือรอยต่อของหิน จะทำให้หินแตกเป็น
 ชิ้นๆ และเกิดเป็นรูหรือโพรงภายในหินได้

ความลาดเอียง 15 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับความสูง 10-50 เมตร โดยทั่วไปจะพบหินทรายและหินปูน
 หินทรายและหินปูนเป็นหินที่อ่อนนุ่มและสึกกร่อนได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีน้ำซึม
 รั่วซึมลงมาตามรอยแตกหรือรอยต่อของหิน ซึ่งจะทำให้หินแตกเป็นชิ้นๆ และเกิดเป็นรูหรือโพรง
 ภายในหินได้ ในบริเวณที่มีน้ำซึมรั่วซึมลงมาตามรอยแตกหรือรอยต่อของหิน จะทำให้หินแตกเป็น
 ชิ้นๆ และเกิดเป็นรูหรือโพรงภายในหินได้



รูปที่ ก-47 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 134 ของทางหลวงหมายเลข 2
บริเวณอำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี (Slope No.17)

ด้วยหินชนวน มีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 90 degrees และมีมุมเท 50 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงไม่มีดิน ไม้ขึ้น ระดับน้ำบาดาลสูง โดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกก่อนในมวลหินมีค่าระดับปานกลาง มีระยะห่างจากขอบถนน ประมาณ 4 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-48 และรูปที่ ก-49 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 080 degrees มุมเท 47 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.05 ถึง 0.1 m ระยะเปิดเขยอ 5 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุขระ เท่ากับ 1

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 210 degrees มุมเท 75 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.55 m ระยะเปิดเขยอ 1 ถึง 2 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุขระ 1 ถึง 3 และมีความต่อเนื่องประมาณ 80 ถึง 100%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 002 degrees มุมเท 83 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.7 m ระยะเปิดเขยอ 1 ถึง 2 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุขระ 1 ถึง 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

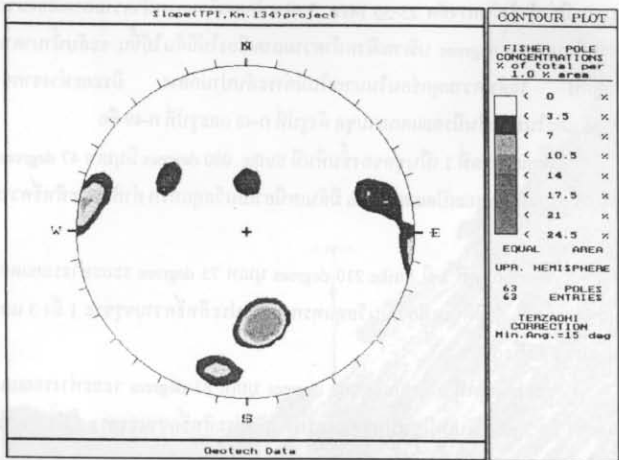
จากการสำรวจพบว่ามีโอกาสเกิดการพังหลายในรูปแบบแผ่นระนาบ โดยจะพบหินร่วงหล่นที่ฐานของความลาดเอียงมวลหิน

5. เหมืองแร่ Barite จังหวัดเลย ของบริษัท PAND Barite group

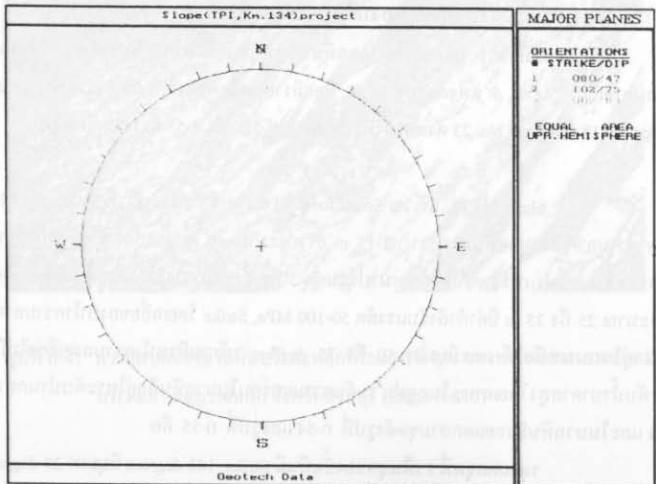
เหมืองแร่ Barite อยู่ในเขตพื้นที่ของอำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ได้ทำการสำรวจความลาดเอียงจำนวน 6 แห่งดังรูปที่ ก-50 โดยมีรายละเอียดของลักษณะทางวิศวกรรมแสดงไว้ใน Slope No.18 ถึง Slope No. 23 ดังแสดงในรูปที่ ก-51, ก-52 และ ก-53 มีรายละเอียดดังนี้

Slope No 18. บริเวณ South footwall ของเหมืองแร่แบไรต์ อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 15 m ยาวประมาณ 40 m ประกอบด้วยหินปูนที่วางสลับชั้นกันระหว่างสายแร่แบไรต์ที่มีความหนาประมาณ 3 ถึง 7 m กับ Dolomitic limestone ที่มีความหนาประมาณ 25 ถึง 35 m มีค่ากำลังรับแรงอัด 50-100 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหินอยู่ในแนวเหนือใต้ และมีมุมเท 50 ถึง 75 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงไม่มีดิน ไม้ขึ้น ระดับน้ำบาดาลสูง โดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกก่อนในมวลหินมีอยู่ในระดับปานกลางถึงระดับสูง และในมวลหินมีรอยแตกสามชุดดังรูปที่ ก-54 และรูปที่ ก-55 คือ

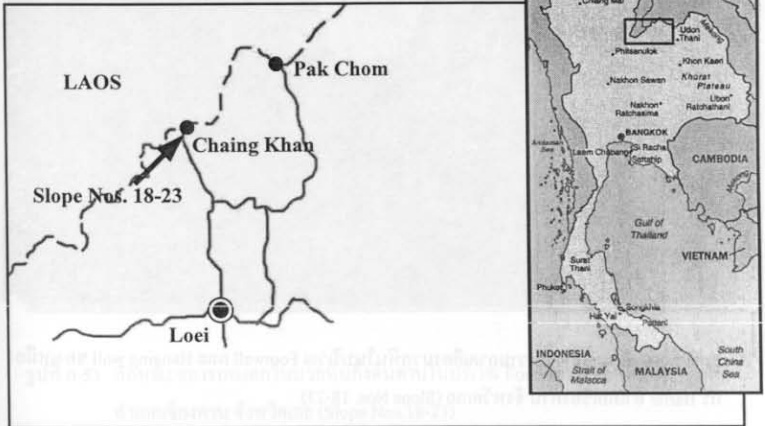
รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 143 degrees มุมเท 29 degrees มีความต่อเนื่องต่ำ ความหนาเฉลี่ย 0.4 ถึง 1.5 m ระยะเปิดเขยอ 0.1 cm มีกราบแร่เหล็ก (Ferrous oxide) เป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุขระ 3 ถึง 5



รูปที่ ก-48 Contour plot ของรอยแตกหินกึ่งดินดานของความลาดเอียงมวลหิน บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 134 ทางหลวงหมายเลข 2 (Slope No.17)



รูปที่ ก 49 Representative plane หินกึ่งดินดานบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 134 ของ ทางหลวงหมายเลข 2 (Slope No.17)



รูปที่ ก-50 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาของกลุ่มเหมืองแร่ Barite
อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย

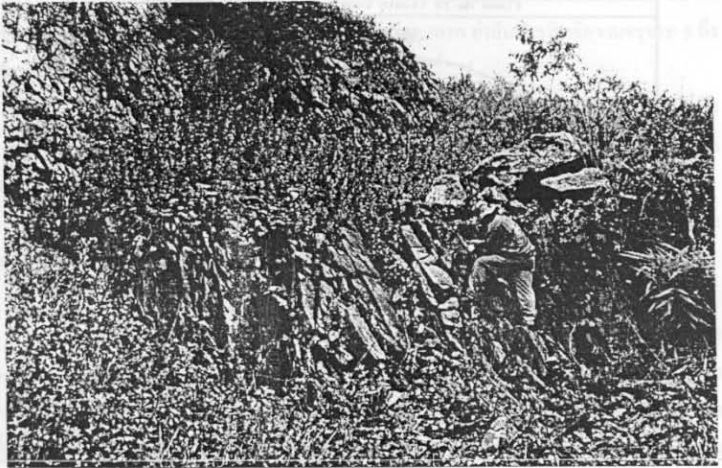




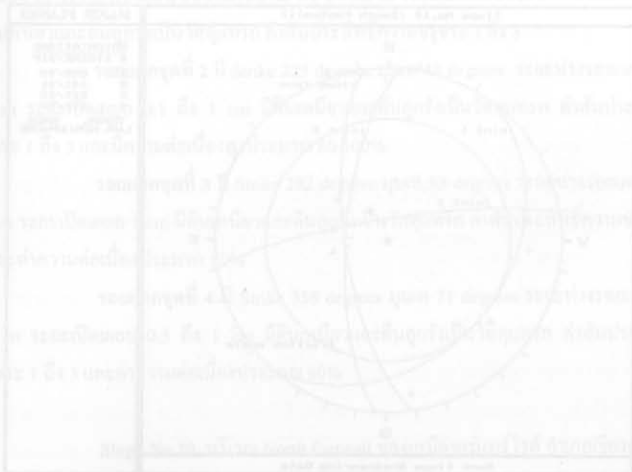
รูปที่ ก-51 ลักษณะของความลาดเอียงมวลหินในบริเวณ Footwall และ Hanging wall ของเหมืองแร่ Barite อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย (Slope Nos. 18-23)

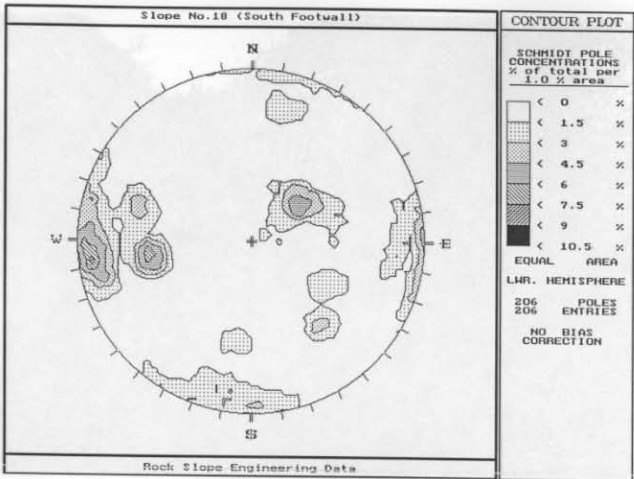


รูปที่ ก-52 ลักษณะของมวลหินกึ่งดินดานในบริเวณ Footwall ของเหมืองแร่ Barite อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย (Slope Nos. 18-23)

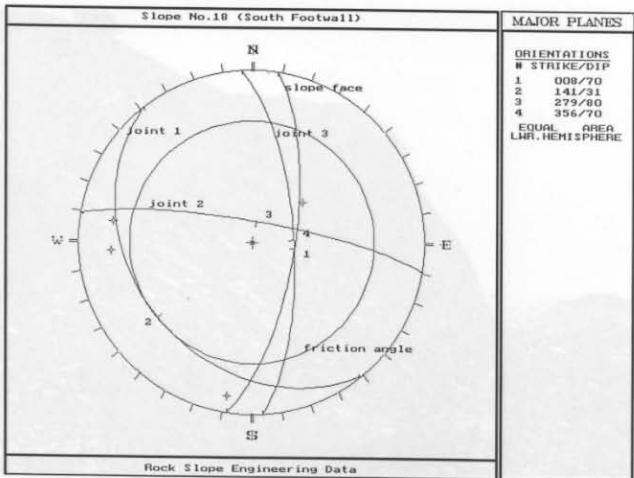


รูปที่ ก-53 ลักษณะของรอยแตกในมวลหินกึ่งดินดานในบริเวณ Footwall ของเหมืองแร่ Barite อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย (Slope Nos.18-23)





รูปที่ ก-54 Contour plots ของรอยแตกของหินปูนบริเวณ South Footwall ของความลาดเอียง มวลหินเหมืองเปิดแร่ Barite อำเภอกง เชียงคาน จังหวัดเลย (Slope No.18)



รูปที่ ก-55 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินปูนของความลาดเอียง มวลหินเหมืองเปิดแร่ Barite อำเภอกง เชียงคาน จังหวัดเลย (Slope No.18)

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 282 degrees มุมเท 83 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 0.9 m ระยะเปิดเขยอ 0.1 ถึง 1 cm มีมีคราบแร่เหล็กเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 ถึง 5 และมีความต่อเนื่องต่ำประมาณ 20-40%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 356 degrees มุมเท 71 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 0.9 m ระยะเปิดเขยอของชุดรอยแตก 0.1 cm มีคราบแร่เหล็กเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 60-80%

จากการสำรวจพบว่าบริเวณส่วนบนของความลาดเอียงมวลหินเกิดการพังทลายแบบพลิกคว่ำและพังแบบแผ่นระนาบในบางส่วน แต่ในบางบริเวณจะมีเสถียรภาพดี

Slope No 19, บริเวณ South footwall ของเหมืองแร่แบริร์ไรต์ อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 5 ถึง 6 m ขาดตามถนนที่ใช้ในเมือง ประกอบด้วยหินดินดานที่มีหินทรายแป้งและหินทรายแทรกอยู่เล็กน้อย ค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหินอยู่ในแนวเหนือใต้ และมีมุมเท 75 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงไม่มีดินไม้ขึ้น ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความผูกอ่อนในมวลหินมีระดับปานกลางจนถึงระดับสูงในบางแห่ง และในมวลหินมีรอยแตกที่จัดตั้งรูปที่ ก-56 และรูปที่ ก-57 คือ

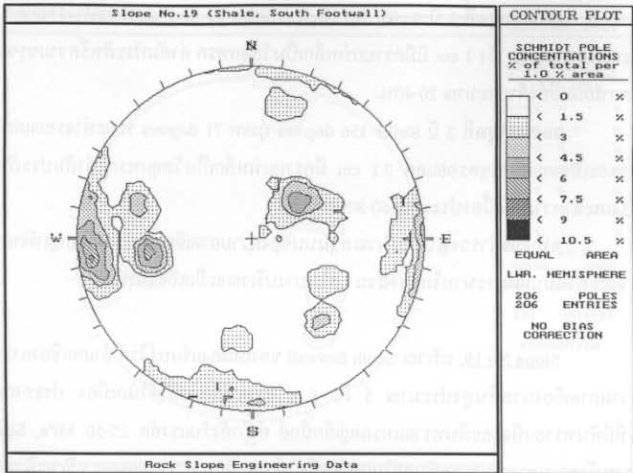
รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 143 degrees มีมุมเท 29 degrees มีความต่อเนื่อง 80-100% ความหนาเฉลี่ยประมาณ 0.1 ถึง 0.3 m ระยะเปิดเขยอของชั้นหินประมาณ 0.5 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 ถึง 3

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 225 degrees มุมเท 48 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.05 ถึง 0.2 m ระยะเปิดเขยอ 0.1 ถึง 1 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 ถึง 3 และมีความต่อเนื่องสูงประมาณ 80-100%

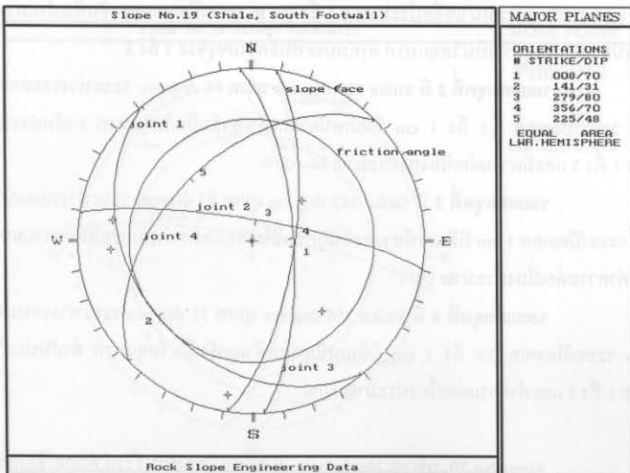
รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 282 degrees มุมเท 83 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.07 ถึง 0.3 m ระยะเปิดเขยอ 1 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 ถึง 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

รอยแตกชุดที่ 4 มี Strike 356 degrees มุมเท 71 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.1 ถึง 0.3 m ระยะเปิดเขยอ 0.5 ถึง 1 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 ถึง 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

Slope No 20, บริเวณ North footwall ของเหมืองแร่แบริร์ไรต์ อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 5 ถึง 15 m ขาดตามถนนที่ใช้ในเมือง ประกอบด้วยหินดินดานที่มีหินทรายแป้งและหินทรายแทรกชั้นอยู่เล็กน้อย ค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดย



รูปที่ ก-56 Contour plots ของรอยแตกของหินดินดานบริเวณ South Footwall ของความลาดเอียงมวลหินเหมืองเปิดแร่ Barite อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย (Slope No.19)



รูปที่ ก-57 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินดินดานบริเวณ South Footwall ของความลาดเอียงมวลหินเหมืองเปิดแร่ Barite อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย (Slope No.19)

เฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหินอยู่ในแนวเหนือใต้ และมีมุมเท 75 ถึง 80 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงไม่มีต้นไม้ใหญ่ขึ้นจะมีแต่ต้นหญ้าเล็กน้อย ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกร้อนในมวลหินมีระดับปานกลางจนถึงระดับสูงในบางแห่ง และในมวลหินมีรอยแตกสามชุดดังรูปที่ ก-58 และรูปที่ ก-59 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 023 degrees มุมเท 38 degrees มีความต่อเนื่องประมาณ 80 ถึง 100 ความหนาเฉลี่ยประมาณ 0.05 ถึง 0.3 m ระยะเปิดแยก 0.5 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุกระ 1 ถึง 3

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 272 degrees มุมเท 77 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.05 ถึง 0.3 m ระยะเปิดแยก 0.1 ถึง 0.5 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุกระ 1 ถึง 3 และมีความต่อเนื่องสูงประมาณ 80-100%

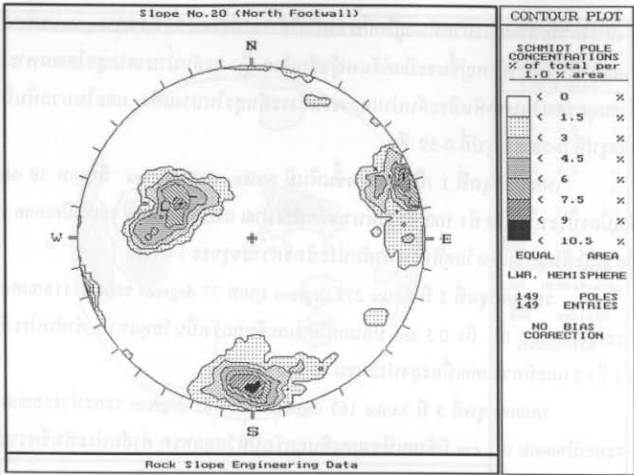
รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 163 degrees มุมเท 81 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.1 ถึง 0.3 m ระยะเปิดแยก 0.3 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุกระ 1 ถึง 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

Slope No 21, บริเวณ North hanging wall ของเหมืองแร่เบอร์ไรด์ อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 5 ถึง 20 m ขาดตามถนนที่ใช้ในเมืองและหน้าเมือง ประกอบด้วยหินดินดานที่มีหินทรายแข็งและหินทรายแทรกชั้นอยู่เล็กน้อย ค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหินอยู่ในแนวเหนือใต้ และมีมุมเท 60 ถึง 75 degrees ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกร้อนในมวลหินมีระดับปานกลางจนถึงระดับสูงในบางแห่ง และในมวลหินมีรอยแตกสี่ชุดดังรูปที่ ก-60 และรูปที่ ก-61 คือ

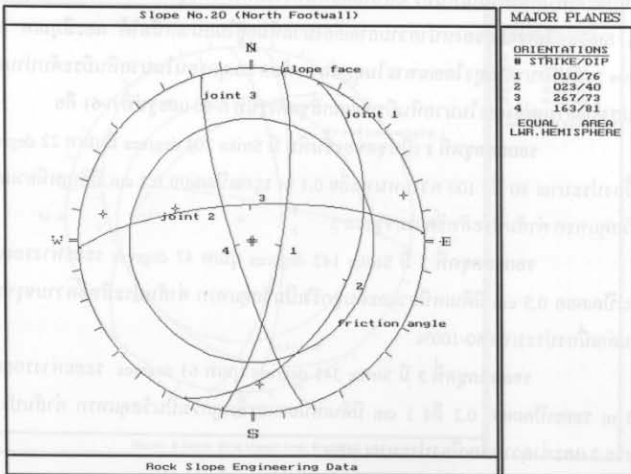
รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหิน มี Strike 204 degrees มุมเท 22 degrees มีความต่อเนื่องประมาณ 80 ถึง 100 ความหนาเฉลี่ย 0.1 m ระยะเปิดแยก 0.2 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุกระ 3

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 142 degrees มุมเท 47 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.1 m ระยะเปิดแยก 0.5 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุกระ 3 และมีความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

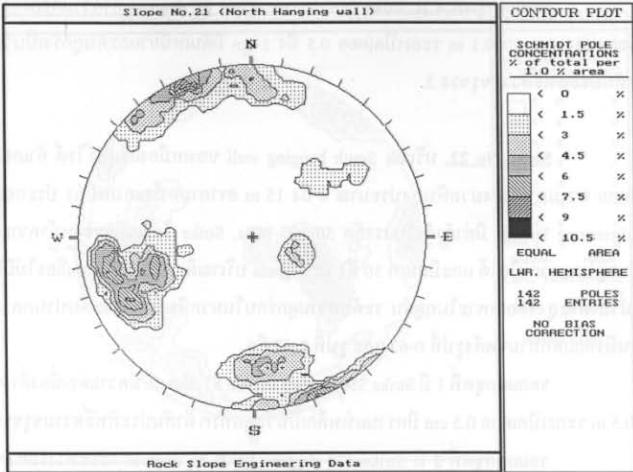
รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 341 degrees มุมเท 63 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.1 ถึง 0.15 m ระยะเปิดแยก 0.2 ถึง 1 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุกระ 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%



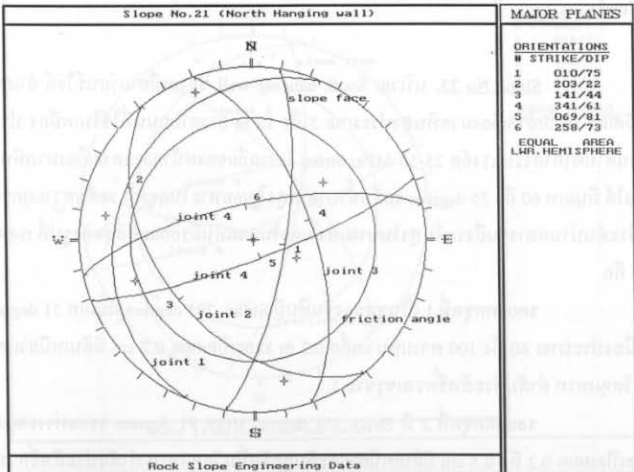
รูปที่ ก-58 Contour plots ของรอยแตกของหินดินดานและหินทรายแบ่งบริเวณ North Footwall ของความลาดเอียงมวลหินเหมืองเปิดแร่ Barite อำเภอเชิงคัน จังหวัดเลย (Slope No.20)



รูปที่ ก-59 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินดินดานและหินทรายแบ่งบริเวณ South Footwall ของความลาดเอียงมวลหินเหมืองเปิดแร่ Barite อำเภอเชิงคัน จังหวัดเลย (Slope No.20)



รูปที่ ก-60 Contour plots ของรอยแตกของหินดินดานและหินทรายแป้งบริเวณ North Hanging wall ของความลาดเอียงมวลหินเหมืองเปิดแร่ Barite อำเภอเชียงคน จังหวัดเลย (Slope No.21)



รูปที่ ก-61 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินดินดานและหินทรายแป้งบริเวณ North Hanging wall ของความลาดเอียงมวลหินเหมืองเปิด

รอยแตกชุดที่ 4 มี Strike 066 degrees มุมเท 88 degrees ค่าความต่อเนื่องประมาณ 80% ระยะห่างรอยแตก 0.1 m ระยะเปิดรอย 0.5 ถึง 1 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3

Slope No 22. บริเวณ South hanging wall ของเหมืองแร่แบร์ไรต์ อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 8 ถึง 15 m ขาวตามหน้าของเหมือง ประกอบด้วยหินปูน (Limestone lenses) มีค่ากำลังรับแรงอัด 50-100 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหินอยู่ในแนวเหนือใต้ และมีมุมเท 50 ถึง 75 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงไม่มีต้นไม้อื่น ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกร้อนในมวลหินมีอยู่ในระดับปานกลาง และในมวลหินมีรอยแตกสามชุดคั่งรูปที่ ก-62 และ รูปที่ ก-63 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 มี Strike 354 degrees มีมุมเท 81 degrees มีความต่อเนื่องต่ำ ความหนาเฉลี่ย 0.5 m ระยะเปิดรอย 0.5 cm มีคราบแร่เหล็กเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5

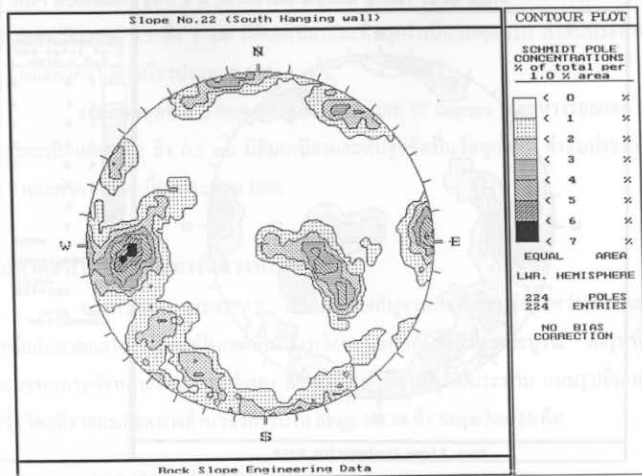
รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 178 degrees มุมเท 86 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.5 m ระยะเปิดรอย 0.5 cm มีคราบแร่เหล็กเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีความต่อเนื่องต่ำ

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 270 degrees มุมเท 80 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.5 m ระยะเปิดรอย 0.2 cm มีคราบแร่เหล็กเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และค่าความต่อเนื่องต่ำ

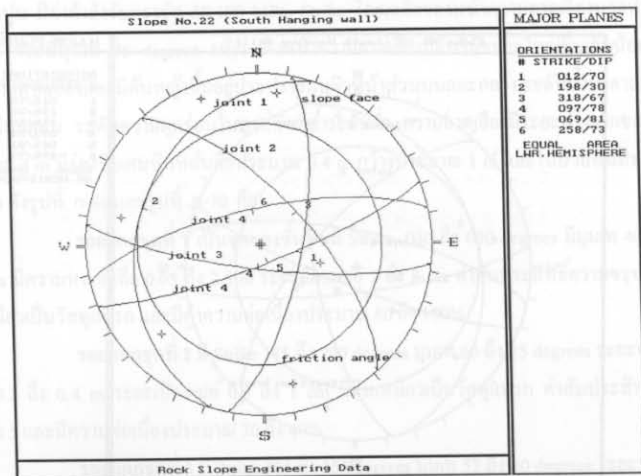
Slope No 23. บริเวณ South hanging wall ของเหมืองแร่แบร์ไรต์ อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ความลาดเอียงมวลหินสูงประมาณ 5 ถึง 15 m ขาวตามถนนที่ใช้ในเมือง ประกอบด้วย หินดินดานค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหินอยู่ในแนวเหนือใต้ มีมุมเท 60 ถึง 75 degrees ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกร้อนในมวลหินมีระดับปานกลางจนถึงระดับสูงในบางแห่ง และในมวลหินมีรอยแตกสี่ชุดคั่งรูปที่ ก-64 และรูปที่ ก-65 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 201 degrees มีมุมเท 31 degrees มีความต่อเนื่องประมาณ 80 ถึง 100 ความหนาเฉลี่ย 0.2 m ระยะเปิดรอย 0.2 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3

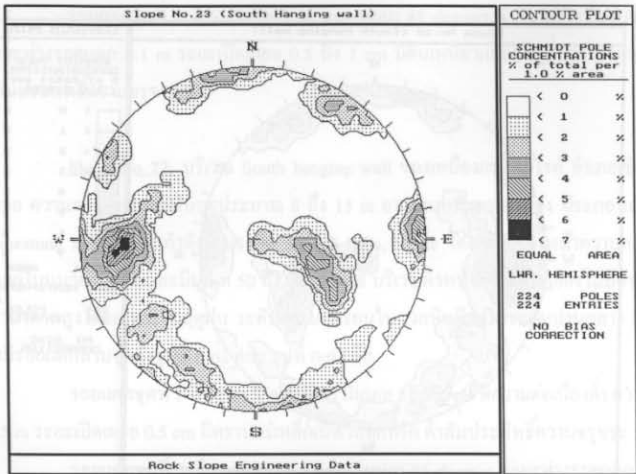
รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 354 degrees มุมเท 81 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 m ระยะเปิดรอย 0.2 ถึง 0.5 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และมีความต่อเนื่องประมาณ 80-100%



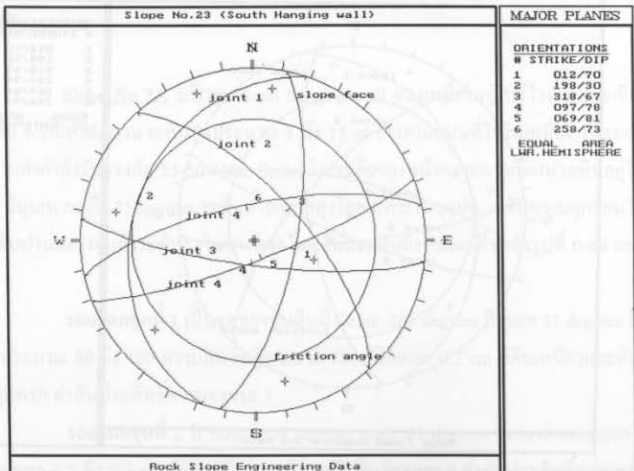
รูปที่ ก-62 Contour plots ของรอยแตกของหินปูนบริเวณ South Hanging wall ของความลาดเอียงมวลหินเหมืองเปิดแร่ Barite อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย (Slope No.22)



รูปที่ ก-63 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินปูนบริเวณ South Hanging wall (Slope No.22)



รูปที่ ก-64 Contour plots ของรอยแตกของหินดินดานบริเวณ South Hanging wall ของความลาดเอียงมวลหินเหมืองเปิดแร่ Barite อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย (Slope No.23)



รูปที่ ก-65 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินดินดานบริเวณ South Hanging wall (Slope No.23)

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 178 degrees มุมเท 86 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.07 ถึง 0.15 m ระยะเปิดเขย 0.5 ถึง 1 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

รอยแตกชุดที่ 4 มี Strike 076 degrees มุมเท 87 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.05 ถึง 0.1 m ระยะเปิดเขย 0.2 ถึง 0.5 cm มีดินเหนียวและดินลูกรังเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

6. งานภาคสนามของเส้นทางหลวงหมายเลข 12

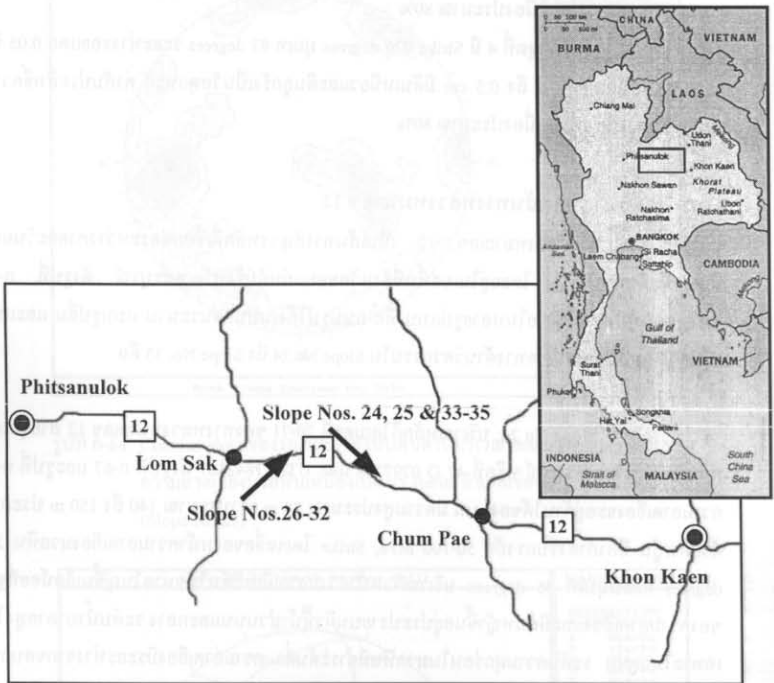
ทางหลวงหมายเลข 12 เป็นเส้นทางสัญจรหลักที่เชื่อมต่อระหว่างภาคตะวันออกเฉียงเหนือกับภาคกลาง โดยอยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดขอนแก่นกับจังหวัดเพชรบูรณ์ ดังรูปที่ ก-66 การสำรวจพบการพังทลายในหลายรูปแบบ คือ แบบรูปโค้ง แบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม และแบบพลิกคว่ำ โดยมียาวละเอียดทางด้านวิศวกรรมใน Slope No.24 ถึง Slope No. 35 คือ

Slope No 24, บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 70-71 ของทางหลวงหมายเลข 12 สายชุมแพ-หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ หรือที่ 47 Q 0797746 และ UTM 1842167 ดังรูปที่ ก-67 และรูปที่ ก-68 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านใต้ของถนน มีความสูงประมาณ 20 m ยาวประมาณ 140 ถึง 150 m ประกอบด้วยหินปูน มีค่ากำลังรับแรงอัด 50-100 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 290 degrees และมีมุมเท 75 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงมีดินไม้ขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อยที่ฐานของความลาดเอียงและมีต้นหญ้าขึ้นอยู่ประปรายบนผิวหน้าส่วนบนและกลาง ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกร้อนในมวลหินมีค่าระดับต่ำ ความลาดเอียงมีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 4 m มีร่องรับเศษหินหล่นลึกประมาณ 0.4 m กว้างประมาณ 1 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-69 และรูปที่ ก-70 คือ

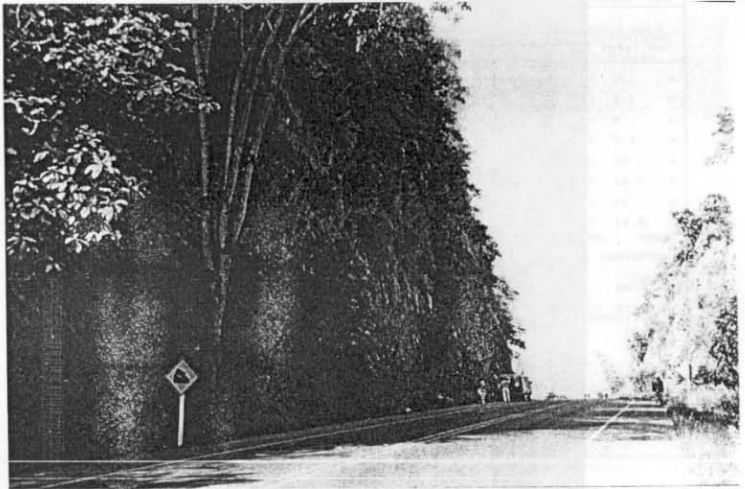
รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 030 ถึง 080 degrees มีมุมเท 40 ถึง 65 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.05 ถึง 2.5 m ระยะเปิดเขย 2 ถึง 3 cm ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80 ถึง 100%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 185 ถึง 260 degrees มุมเท 60 ถึง 75 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 0.4 m ระยะเปิดเขย 0.5 ถึง 1 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีความต่อเนื่องประมาณ 30 ถึง 40%

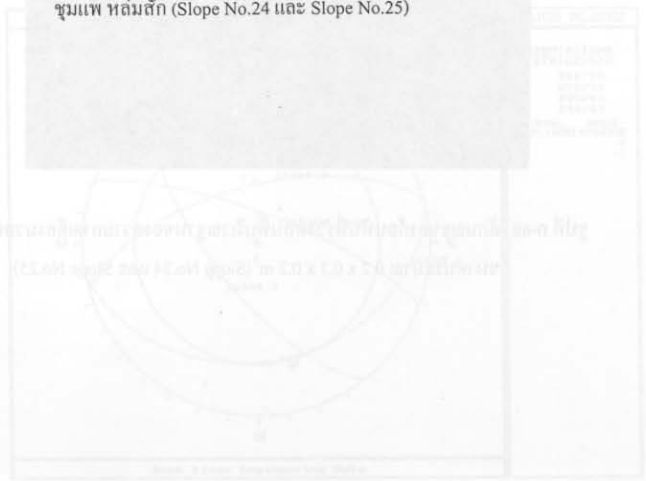
รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 105 ถึง 155 degrees มุมเท 53 ถึง 80 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.5 m ระยะเปิดเขย 0.1 ถึง 0.3 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 60%



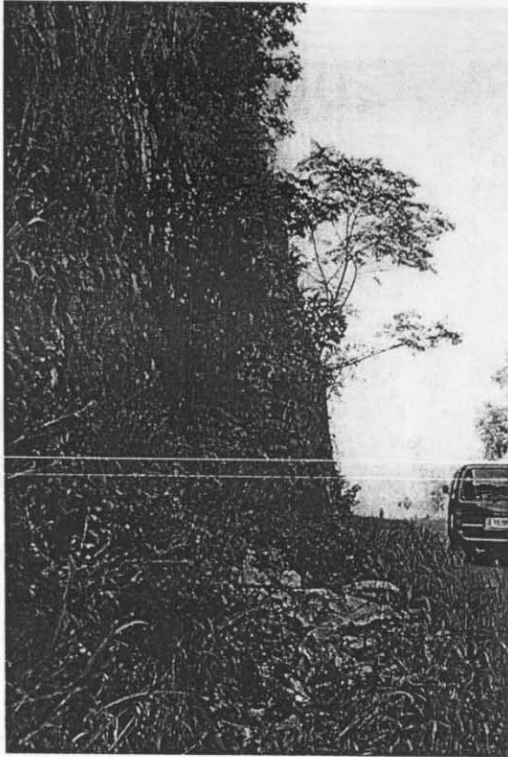
รูปที่ ก-66 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาของกลุ่มทางหลวงหมายเลข 12
อำเภอ ชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ถึง อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์



รูปที่ ก-67 ความลาดเอียงมวลหินปูนบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 70-71 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 12
ชุมแพ หล่มสัก (Slope No.24 และ Slope No.25)

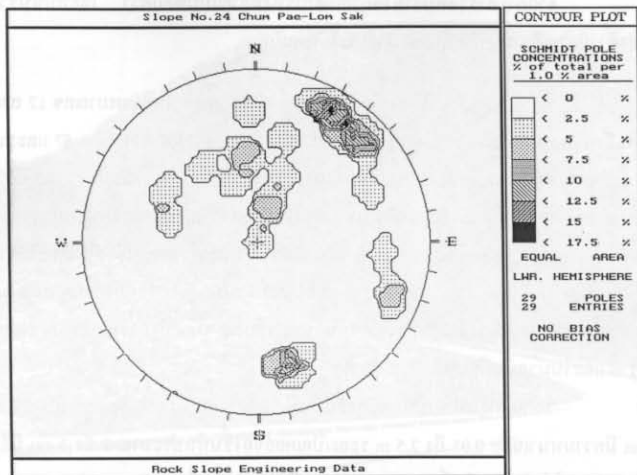


รูปที่ ก-68 ความลาดเอียงมวลหินปูนบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 69-70 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 24)

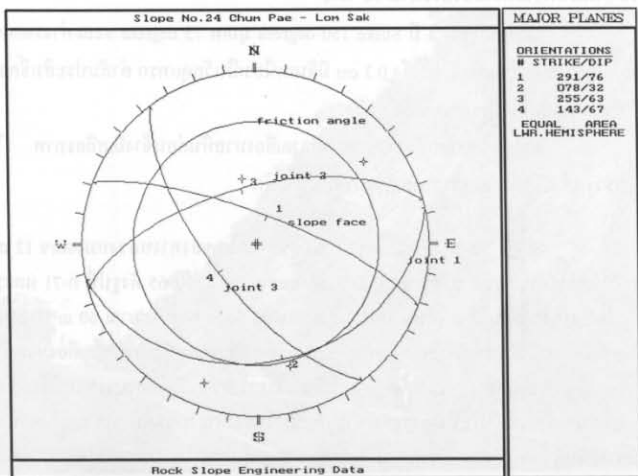


รูปที่ ก-68 ด้านหนึ่งของความลาดเอียงบริเวณด้านหน้าบริเวณที่รับน้ำหนักของถนนสาย 33

รูปที่ ก-68 ลักษณะของก้อนหินที่ร่วงหล่นที่บริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินปูน
ขนาดประมาณ $0.2 \times 0.3 \times 0.2 \text{ m}^3$ (Slope No.24 และ Slope No.25)



รูปที่ ก-69 Contour plots ของรอยแตกของหินปูนของความลาดเอียงมวลหินบริเวณทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 24)



รูปที่ ก-70 Representative plane, Slope orientation และ Basic friction angle ของหินปูนบริเวณทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 24)

จากการสำรวจพบว่ามีโอกาสเกิดการพังทลายแบบพลิกคว่ำ โดยพบหินร่วงหล่นที่ฐานของความลาดเอียงมวลหินเป็นบางจุดและไม่มากนัก

Slope No 25. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 70-71 ของทางหลวงหมายเลข 12 สายชุมแพ-หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ หรือที่ 47 Q 0797746 และ UTM 1842167 ดังรูปที่ ก-67 และรูปที่ ก-68 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านเหนือของถนน มีความสูงประมาณ 18 m ยาวประมาณ 140 ถึง 150 m ประกอบด้วยหินปูน มีค่ากำลังรับแรงอัด 50-100 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าผากความลาดเอียงมวลหินประมาณ 115 degrees มีมุมเท 78 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงไม่มีต้นไม้ขนาดใหญ่ขึ้นและมีต้นหญ้าขึ้นอยู่ประปราย ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกร้อนในมวลหินมีค่าระดับต่ำ ความลาดเอียงมีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 4 m มีร่องรับเศษหินหล่นลึก 0.4 m กว้าง 1 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 030 ถึง 050 degrees มีมุมเท 35 ถึง 53 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.05 ถึง 2.5 m ระยะเปิดแยกของชั้นหินประมาณ 2 ถึง 3 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 185 ถึง 260 degrees มุมเท 60 ถึง 75 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 0.4 m ระยะเปิดแยก 0.5 ถึง 1.0 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีความต่อเนื่องประมาณ 30-40%

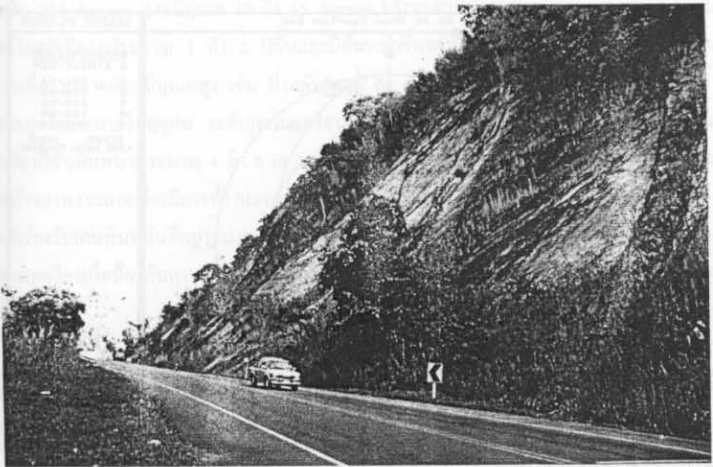
รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 150 degrees มุมเท 75 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.5 m ระยะเปิดแยกของชุดรอยแตก 0.1 ถึง 0.3 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 60%

จากชุดรอยแตกทั้งสามชุดความลาดเอียงมวลหินค่อนข้างมีเสถียรภาพ โดยไม่พบเศษหินร่วงหล่นที่ฐานของความลาดเอียงมวลหินมากนัก

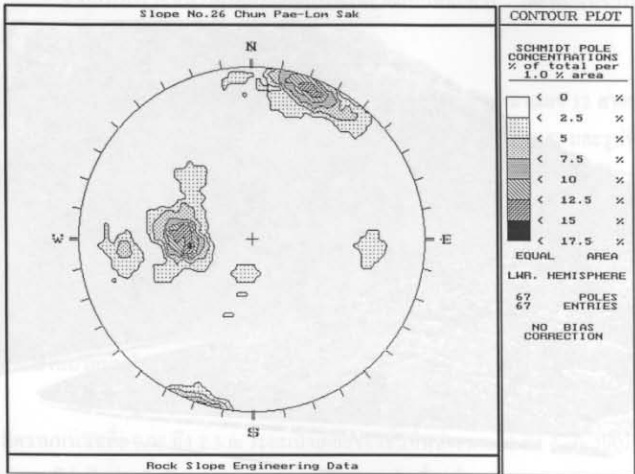
Slope No 26. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 19-20 ของทางหลวงหมายเลข 12 สายชุมแพ-หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ หรือที่ 47 Q 0752546 และ UTM 1850965 ดังรูปที่ ก-71 และรูปที่ ก-72 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านใต้ของถนน มีความสูงประมาณ 50 m ยาวประมาณ 60 m ประกอบด้วยหินกึ่งดินดานมีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าผากความลาดเอียงมวลหิน 190 ถึง 200 degrees และมีมุมเท 45 ถึง 50 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีต้นไม้ขนาดใหญ่ขึ้นและมีต้นหญ้าขึ้นอยู่ประปราย ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกร้อนในมวลหินมีค่าระดับต่ำ ในบริเวณนี้ยังพบการดันตัวขึ้นมาของหินภูเขาไฟ (Andesite dike) จำนวนสองจุดบนผิวหน้าความลาดเอียง ความลาดเอียงมีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 5.0 m มีร่องรับเศษหินหล่นลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1.5 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-73 และรูปที่ ก-74 คือ



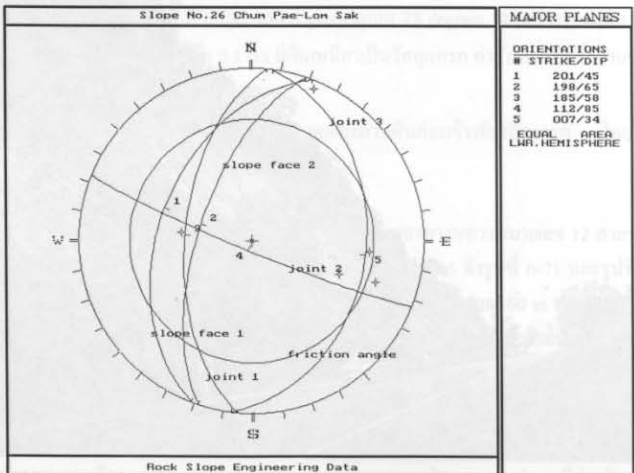
รูปที่ ก-71 ความลาดเอียงมวลหินกึ่งดินดานบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 19-20 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 12 ชุมแพ หล่มสัก (Slope No.26)



รูปที่ ก-72 Dike ที่แทรกและปรากฏที่ผิวหน้าของความลาดเอียงความลาดเอียงบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 19-20 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 12 ชุมแพ หล่มสัก (Slope No.26)



รูปที่ ก-73 Contour plots ของรอยแตกของหินกึ่งดินดานของความลาดเอียงมวลหิน บริเวณทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 26)



รูปที่ ก-74 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินกึ่งดินดาน ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 26)

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 187 ถึง 190 degrees มีมุมเท 44 ถึง 60 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.02 ถึง 0.2 m ระยะเปิดเขยของชั้นหินแนบสนิทกัน ถึง ประมาณ 0.2 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 110 ถึง 120 degrees มุมเท 75 ถึง 85 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.01 ถึง 0.4 m ระยะเปิดเขย 0.1 ถึง 1 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 และมีความต่อเนื่องประมาณ 70 ถึง 90%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 005 ถึง 020 degrees มุมเท 70 ถึง 75 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.06 ถึง 0.35 m ระยะเปิดเขย 0.1 ถึง 0.3 cm มีดินเหนียวและแร่ประกอบหินปูนมาเชื่อมประสานเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

จากการสำรวจพบว่าความลาดเอียงมวลหินค่อนข้างมีเสถียรภาพในบางส่วน และพบเศษหินร่วงหล่นที่ฐานของความลาดเอียงมวลหินไม่มากนัก

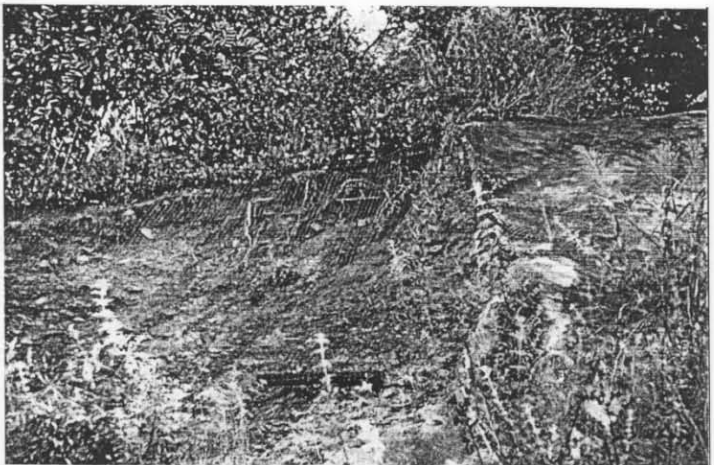
Slope No 27. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 20-21 ของทางหลวงหมายเลข 12 สายชุมแพ-หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ หรือที่ 47 Q 0754024 และ UTM 1851415 ดังรูปที่ ก-75 และ รูปที่ ก-76 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านใต้ของถนน และมีความสูงประมาณ 30 ถึง 40 m ยาวประมาณ 25 m ประกอบด้วยหินถึงดินดานมีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 225 degrees และมีมุมเท 50 ถึง 65 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีอายุประมาณ 1 ถึง 2 ปีขึ้นและมีต้นหญ้าขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มุมเทต่ำ ๆ แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมเทสูง เช่น ที่ระดับมุมเท 65 degrees จะไม่พบต้นไม้พืชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความผูกอ่อนในมวลหินมีค่าระดับสูง บริเวณด้านบนของความลาดเอียงมีชั้นดินหนาประมาณ 4 ถึง 6 m วางทับอยู่และมีการพังทลายรูปไหลโคลงในชั้นดิน บริเวณผิวหน้าของความลาดเอียงมีการทำ Shotcrete ความลาดเอียงมีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 1.5 ถึง 2 m มีร่องรับเศษหินหล่นลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1 m และมีการใช้ Gabion วางที่ฐานของความลาดเอียงเพื่อป้องกันการก่ิงของเศษหินที่หล่น ในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-77 และ รูปที่ ก-78 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 320 ถึง 345 degrees มีมุมเท 35 ถึง 40 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.07 m ระยะเปิดเขยของชั้นหิน 0.1 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

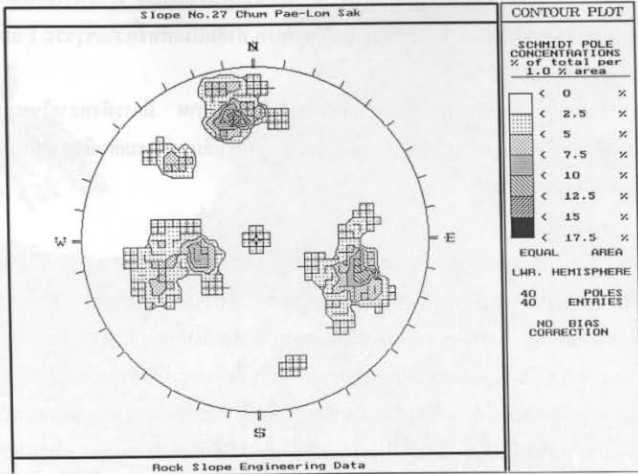
รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 195 ถึง 200 degrees มุมเท 50 ถึง 60 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.04 ถึง 0.4 m ระยะเปิดเขย 1 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 และมีความต่อเนื่องประมาณ 90%



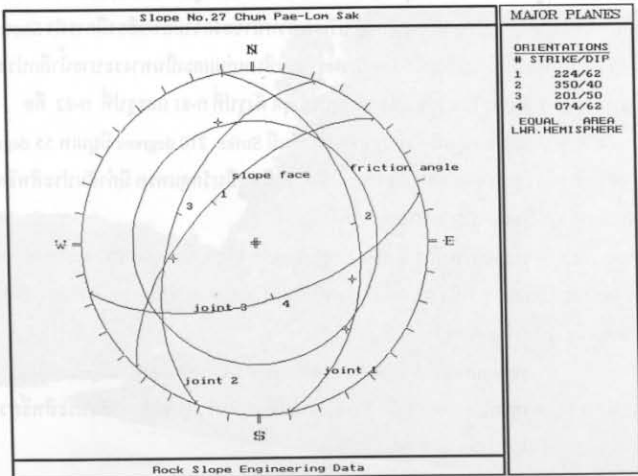
รูปที่ ก-75 ความลาดเอียงมวลหินดินดานบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 20-21 ของเส้นทางหลวง
หมายเลข 12 ชุมแพ หล่มสัก (Slope No.27)



รูปที่ ก-76 ลักษณะของการพังทลายแบบ Circular ที่เกิดบริเวณคิ้วหน้าของความลาดเอียงมวลหิน
แบบมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ (Slope No.27)



รูปที่ ก-77 Contour plots ของรอยแตกของหินดินดานของความลาดเอียงมวลหินบริเวณทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 27)



รูปที่ ก-78 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินดินดานของความลาดเอียงมวลหินบริเวณทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 27)

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 085 degrees มุมเท 64 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.07 ถึง 0.4 m ระยะเปิดเขยอ 0.3 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

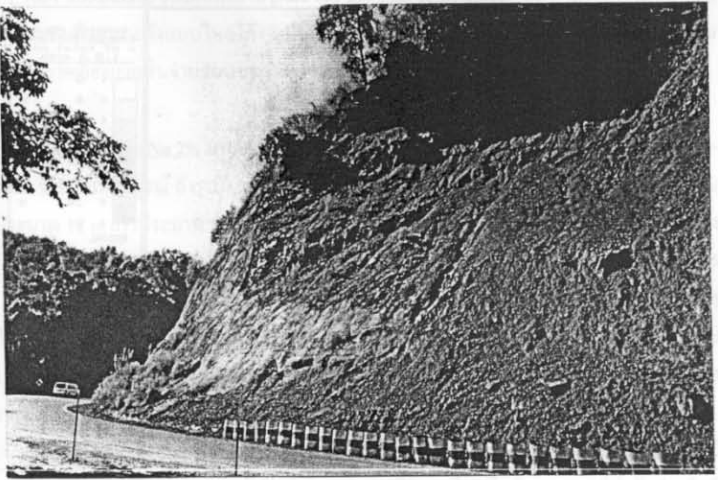
จากการสำรวจพบว่าความลาดเอียงไม่มีเสถียรภาพ มีการพังทลายในหลายรูปแบบ ประกอบด้วย การพังแบบไหลไถ่ แบบแผ่นระนาบ แบบรูปปลี และพบเศษหินร่วงหล่นที่ฐานของความลาดเอียงมวถหินมาก

Slope No. 28. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 22-23 ของทางหลวงหมายเลข 12 สายชุมแพ-หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ หรือที่ 47 Q 0754604 และ UTM 1851201 ดังรูปที่ ก-79 และรูปที่ ก-80 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านเหนือของถนนและมีอยู่สองหน้า คือหน้าที่มีความสูงประมาณ 16 กับ 18 m ยาวประมาณ 10 กับ 200 m ตามลำดับ ประกอบด้วยหินกึ่งดินดานมีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวถหินหน้าที่หนึ่งประมาณ 110 degrees และมีมุมเท 48 degrees และในหน้าที่สองวางตัวอยู่ที่ประมาณ 055 degrees มีมุมเท 54 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนของหน้าที่หนึ่งมีต้นไม้อายุเล็กและมีต้นหญ้าปกคลุม ในบริเวณหน้าที่สองมีต้นไม้อายุประมาณ 1 ถึง 2 ปีขึ้นและมีต้นหญ้าขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มุมเทต่ำ ๆ แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมเทสูง เช่น บริเวณที่เกิดการพังทลายจะไม่พบต้นพืชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูง โดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกชื้นในมวถหินมีค่าระดับสูง บริเวณด้านบนของความลาดเอียงมีชั้นดินหนาประมาณ 1 ถึง 2 m วางทับอยู่ บริเวณผิวหน้าของความลาดเอียงมีการทำ Shotcrete มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 1.5 ถึง 2 m มีร่องรับเศษหินหล่นและเป็นทางระบายน้ำลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1 m และในมวถหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-81 และรูปที่ ก-82 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 210 degrees มีมุมเท 55 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.1 m ระยะเปิดเขยอ 1 ถึง 1.5 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 102 degrees มุมเท 82 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.02 ถึง 0.15 m ระยะเปิดเขยอ 0.1 ถึง 0.5 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 และความต่อเนื่องประมาณ 80%

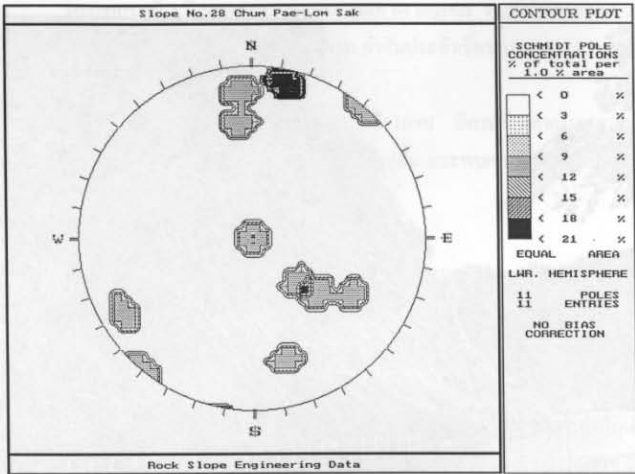
รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 310 degrees มุมเท 80 ถึง 90 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.02 ถึง 0.1 m ระยะเปิดเขยอ 0.1 ถึง 2 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%



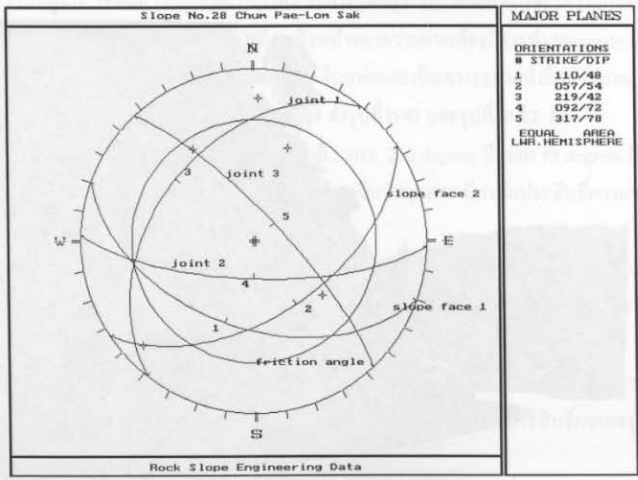
รูปที่ ก-79 ความลาดเอียงมวลหินดินดานบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 22-23 ของเส้นทางหลวง
หมายเลข 12 ชุมแพ หล่มสัก (Slope No.28)



รูปที่ ก-80 การพังทลายแบบ Circular ที่เกิดบริเวณผิวหน้าของความลาดเอียงมวลหิน
แบบมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ (Slope No.28)



รูปที่ ก-81 Contour plots ของรอยแตกของหินกึ่งดินดานของความลาดเอียงมวลหิน บริเวณทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 28)



รูปที่ ก-82 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินกึ่งดินดาน ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 28)

จากชุดรอยแตกทั้งสามชุดความลาดเอียงมวลไม่มีเสถียรภาพ มีการพังในหลายรูปแบบประกอบด้วย การพังแบบไหลโคลง แบบแผ่นระนาบ แบบรูปปลี และพบเศษหินร่วงหล่นที่ฐานของความลาดเอียงมวลหินจำนวนมาก

Slope No 29, บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 23-24 ของทางหลวงหมายเลข 12 สายชุมแพ-หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ ดังรูปที่ ก-83 และรูปที่ ก-84 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านใต้ของถนน มีความสูงประมาณ 12 m ยาวประมาณ 20 m ประกอบด้วยหินทรายถึงทรายแป้ง (Silty-sandstone) มีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 040 degrees และมีมุมเท 65 ถึง 70 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีต้นหญ้าขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มีมุมเทต่ำ ๆ แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมสูงหรือบริเวณที่มีการพังเกิดขึ้นจะไม่พบต้นพืชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความชุ่มชื้นในมวลหินมีค่าระดับสูง และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-85 และรูปที่ ก-86 คือ

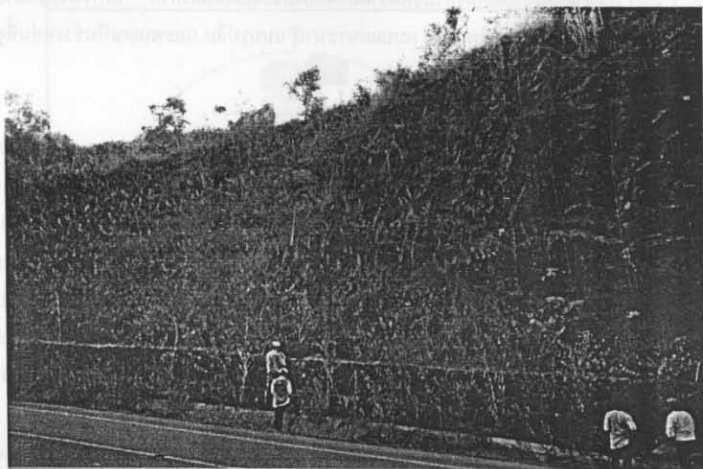
รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 300 degrees มุมเท 35 ถึง 40 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.2 ถึง 0.5 m ระยะเปิดรอย 0.5 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก มีค่าสัมประสิทธิ์ความซึบซึบ 3 ถึง 5 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 40-60%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 195 ถึง 200 degrees มุมเท 45 ถึง 50 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.15 ถึง 0.3 m ระยะเปิดรอย 0.5 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซึบซึบ 3 และมีความต่อเนื่องประมาณ 70%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 050 degrees มุมเท 30 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.4 m ระยะเปิดรอย 0.3 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซึบซึบ 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 60%

จากการสำรวจความลาดเอียงมวลหินไม่มีเสถียรภาพ มีการพังหลายแบบรูปปลี และพบเศษหินร่วงหล่นที่ฐานของความลาดเอียงมวลหิน บริเวณผิวหน้าของความลาดเอียงมีการคิดลดตาข่ายขนาด 5×6 cm² และหมุดยึดหินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 cm ยาว 47 cm ขนาดของแผ่นรอง (Plate) 16×16 cm² มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 1.5 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1 m และมีการใช้ Gabion ขนาดสูง 0.8 m ยาว 2 m วางทับที่ฐานของความลาดเอียงจำนวนสองชั้นเพื่อป้องกันการกรัดถล่มของเศษหินที่หล่น

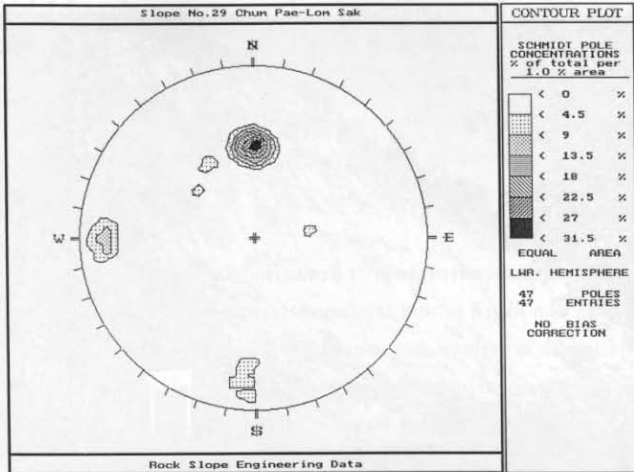
Slope No 30, บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 16-17 ของทางหลวงหมายเลข 12 สายชุมแพ-หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ หรือที่ 47 Q 0750708 และ UTM 1850850 ดังรูปที่ ก-87 และรูปที่ ก-88 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านใต้ของถนน มีความสูงประมาณ 50 m ยาวประมาณ 40 m ประกอบด้วยหิน



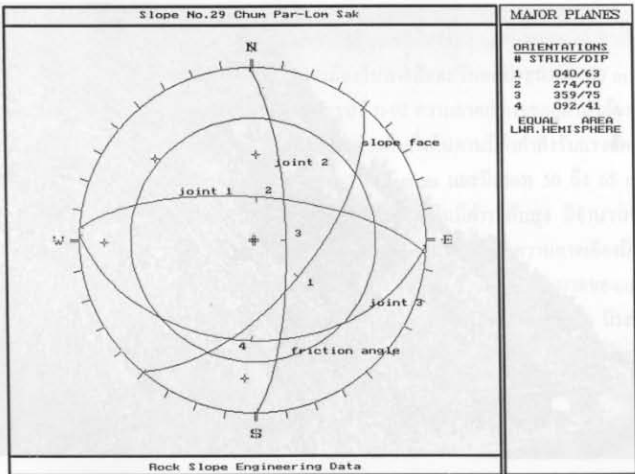
รูปที่ ก-83 ความลาดเอียงมวลหินทรายกึ่งทรายแบ่งบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 23-24
ของเส้นทางหลวงหมายเลข 12 ชุมแพ หล่มสัก (Slope No.29)



รูปที่ ก-84 การพังทลายแบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม โดยพบเศษหินที่ร่วงหล่นอยู่ที่ฐาน
ของความลาดเอียง (Slope No.29)



รูปที่ ก-85 Contour plots ของรอยแตกของหินทรายกึ่งทรายแป้งของความลาดเอียงมวลหิน บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 23-24 ทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 29)



รูปที่ ก-86 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินทรายกึ่งทรายแป้ง ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 23-24 ทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 29)



รูปที่ ก-87 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 16-17 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 12
ชุมแพ หล่มสัก (Slope No.30)

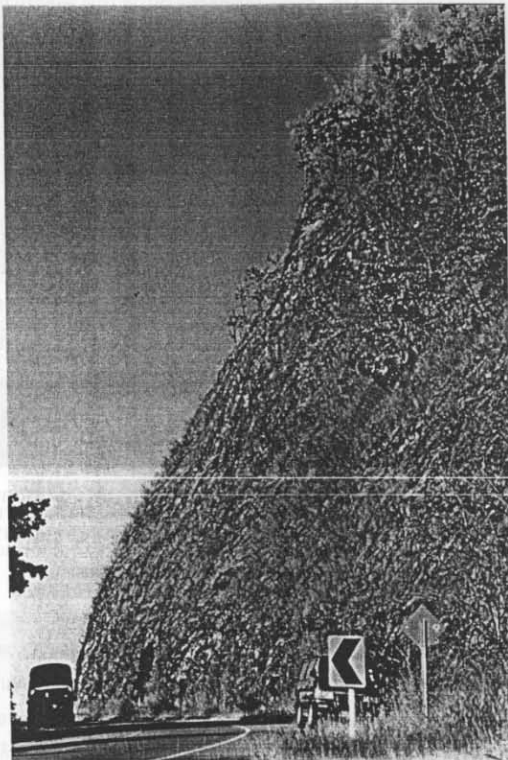


รูปที่ ก-88 บางส่วนของความลาดเอียงมวลหินที่เกิดการพังทลาย (Slope No.30)

ดินดานมีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 070 degrees และมีมุมเท 60 ถึง 70 degrees ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกชื้นในมวลหินมีค่าปานกลาง และไม่ทราบจำนวนชุดของรอยแตกในมวลหินเนื่องจากบริเวณผิวหน้าของความลาดเอียงมีการใช้คอนกรีตติดพื้น มีการคิดตะแกรงลวดและท่อระบายน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 cm ยาวประมาณ 40 cm มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 2.5 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.8 m กว้างประมาณ 1 m

Slope No 31. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 17-18 ของทางหลวงหมายเลข 12 สายชุมแพ-หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ หรือที่ 47 Q 0751256 และ UTM 1850768 ดังรูปที่ ก-89 และรูปที่ ก-90 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านใต้ของถนน และมีความสูงประมาณ 35 m ยาวประมาณ 40 m ประกอบด้วยหินกึ่งดินดานมีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 065 ถึง 075 degrees และมีมุมเท 72 degrees ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกชื้นในมวลหินมีค่าระดับต่ำ และมีจำนวนชุดของรอยแตกในมวลหินประมาณ 3 ถึง 4 ชุด และมีความต่อเนื่องโดยเฉลี่ยต่ำ และเนื่องจากความลาดเอียงมีเสถียรภาพค่อนข้างดีจึงไม่ได้ทำการเก็บข้อมูล แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีเศษหินขนาดเล็กกว้างหล่นลงมาเล็กน้อย ระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 1.5 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1 m

Slope No 32. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 18-19 ของทางหลวงหมายเลข 12 สายชุมแพ-หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ ห่างจากสะพานพ่อขุนผาเมือง ไปทางทิศตะวันตกประมาณ 100 m หรือที่ 47 Q 0752212 และ UTM 1850850 ดังรูปที่ ก-91 และรูปที่ ก-92 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านใต้ของถนน มีความสูงประมาณ 20 m ยาวประมาณ 30 m ประกอบด้วยหินกึ่งดินดานมีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 320 degrees และมีมุมเท 50 ถึง 65 degrees ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกชื้นในมวลหินมีค่าระดับสูง มีจำนวนชุดของรอยแตกในมวลหินประมาณ 3 ชุด มีความต่อเนื่องโดยเฉลี่ยสูง และเนื่องจากความลาดเอียงมีการคิดลวดตาข่ายขนาด $5 \times 6 \text{ cm}^2$ หมุดยึดหินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 cm ยาว 47 cm ขนาดของแผ่นรอง $16 \times 16 \text{ cm}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างหมุดยึดหินแต่ละตัวประมาณ 2.5 m (Bolt spacing) มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 1.5 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1 m มีการใช้ Gabion ขนาด สูง 0.8 m ยาว 2 m วางทับที่ฐานของความลาดเอียงจำนวนสองชั้นเพื่อป้องกันการกรดิ่งของเศษหินที่หล่น



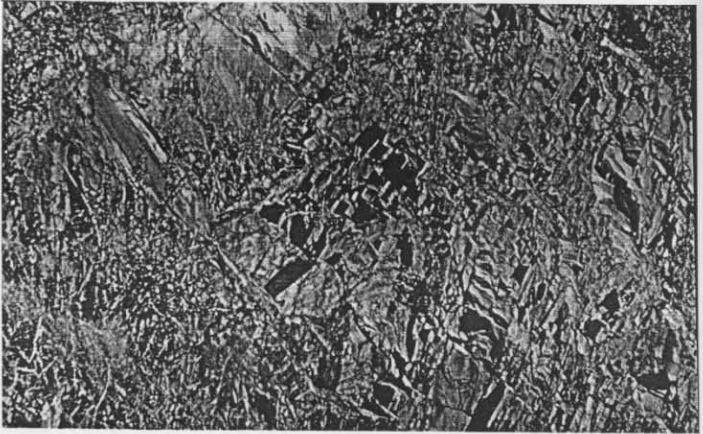
รูปที่ ก-89 ความลาดเอียงมวลหินกิ่งดินดานบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 17-18 ของเส้นทางหลวง
หมายเลข 12 ชุมแพ หล่มสัก (Slope No.31)



รูปที่ ก-91 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 18-19 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 12
ชุมแพ หล่มสัก (Slope No.32)



รูปที่ ก-92 ลักษณะของ Gabion ที่วางอยู่ที่บริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินเพื่อป้องกันการกรดิ่งของหินที่ร่วงหล่น (Slope No.32)



รูปที่ ก-90 ลักษณะของรอยแตกในมวลหินกึ่งดินดานของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตร 17-18 ของทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No.31)



บริเวณปากอ่าวบริเวณเมืองโบราณของกรุงศรีอยุธยา (ก-91) ความยาว 25-30 เมตร (CC-04-0000) มหาวิทยาลัยศิลปากร

Slope No 33. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 36+300 ของทางหลวงหมายเลข 12 สาย ชุมแพ-หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ หรือที่ 47 Q 0766446 และ UTM 1853761 ดังรูปที่ ก-93 และรูปที่ ก-94 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านใต้ของถนน มีความสูงประมาณ 20 m ยาวประมาณ 50 m ประกอบด้วย หินถึงดินดาน มีค่ากำลังรับแรงอัด 25 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 320 degrees มีมุมเท 50 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีดินหญาขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มี มุมเตต่ำ ๆ แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมสูงหรือบริเวณที่มีการพังทลายเกิดขึ้นจะไม่พบดินพืช ปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุร่อนในมวลหินมีค่าระดับสูง บริเวณ ผิวหน้าของความลาดเอียงมีการใช้คอนกรีตฉีดพื้น มีการติดตะแกรงลวดและท่อระบายน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 cm ยาวประมาณ 40 cm มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 1.5 m มีร่องรับ เศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-95 และรูปที่ ก-96 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 293 degrees มีมุมเท 55 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.05 ถึง 0.5 m ระยะเปิดเขยอโดยส่วนใหญ่ของรอยแตกแนบสนิท มีดินเหนียวเป็นวัสดุ แทรกในบางส่วนของที่เปิด มีค่าสัมประสิทธิ์ความซรุขระ 1 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 025 degrees มุมเท 82 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.05 ถึง 0.3 m ระยะเปิดเขยอ 1 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุขระ 3 และมีความ ต่อเนื่องประมาณ 80%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 308 degrees มุมเท 65 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.12 ถึง 0.25 m ระยะเปิดเขยอ 0.5 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความซรุขระ 1 ถึง 3 และค่า ความต่อเนื่องประมาณ 80%

จากการสำรวจพบว่าความลาดเอียงมวลหินไม่มีเสถียรภาพ มีการพังทลายแบบแผ่น ระนาบโดยพังลงมาพร้อมกับคอนกรีตที่ฉีดพื้น บริเวณด้านบนของความลาดเอียงมีชั้นดินหนา ประมาณ 2 ถึง 5 m วางทับอยู่ และพบเศษหินร่วงหล่นที่ฐานของความลาดเอียงมวลหิน

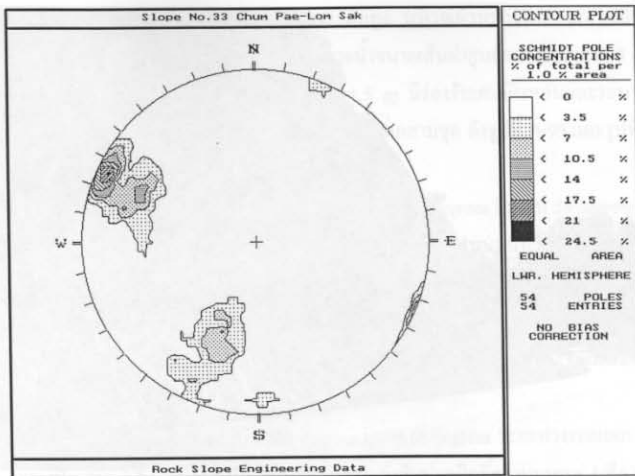
Slope No 34. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 37 ของทางหลวงหมายเลข 12 สายชุมแพ- หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ หรือที่ 47 Q 0766878 และ UTM 1853357 ดังรูปที่ ก-97 และรูปที่ ก-98 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านใต้ของถนน และมีความสูงประมาณ 15 m ยาวประมาณ 20 m ประกอบด้วย หินถึงดินดานมีค่ากำลังรับแรงอัด 25 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 303 degrees มีมุมเท 55 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีดินหญาขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มี มุมเตต่ำ ๆ และมีดิน ไม้ขนาดใหญ่ที่มีอายุมากกว่า 3 ปีขึ้นอยู่บนหลังของความลาดเอียง แต่ในบริเวณ ที่ความลาดเอียงมีมุมสูงหรือบริเวณที่มีการพังทลายจะไม่พบดินพืชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดย



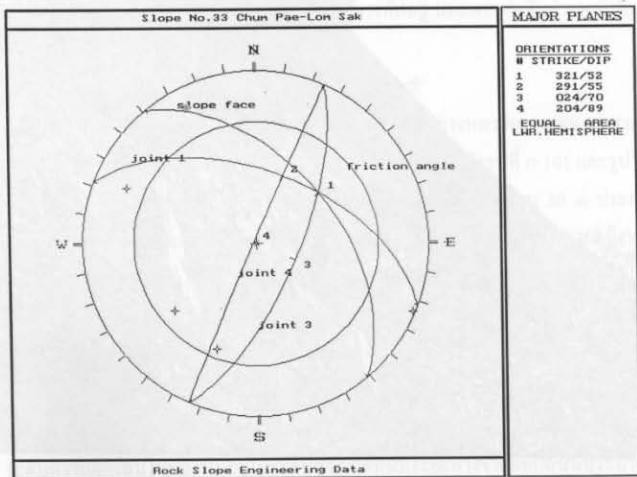
รูปที่ ก-93 ความลาดเอียงมวลหินกิ่งดินดานบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 36+300 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 12 ชุมแพ หล่มสัก (Slope No.33)



รูปที่ ก-94 การพังทลายแบบแผ่นระนาบ ผสมผสานกับแบบ ไหลโค้งของชั้นดินที่วางกคทับ อยู่บริเวณด้านบน (Slope No.33)



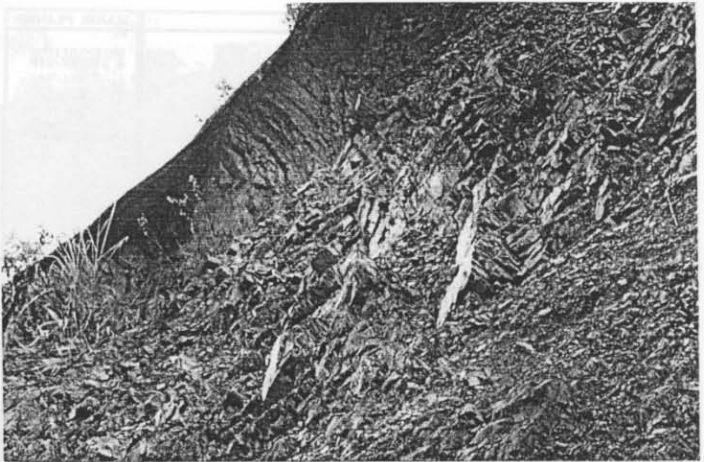
รูปที่ ก-95 Contour plots ของรอยแตกของหินกึ่งดินดานของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 36+300 ทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 33)



รูปที่ ก-96 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินกึ่งดินดานของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 36+300 ทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 33)



รูปที่ ก-97 ความลาดเอียงมวลหินกิ่งดินคานบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 36+600 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 12 ชุมแพ หล่มสัก (Slope No.34)



รูปที่ ก-98 ลักษณะของ Shot-crete ที่เหลืออยู่หลังจากผิวหน้าของความลาดเอียงเกิดการพังทลาย และลักษณะของ Flexural toppling ของรอยแตกที่เกิดจากการกดทับของชั้นดิน (Slope No.34)

เฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกร้อนในมวลหินมีค่าระดับสูง บริเวณผิวหน้าของความลาดเอียงมีการใช้คอนกรีตฉีคพื้น มีการติดตั้งแกรงลวดและท่อระบายน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 cm ขาวประมาณ 40 cm มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 1.5 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-99 และรูปที่ ก-100 คือ

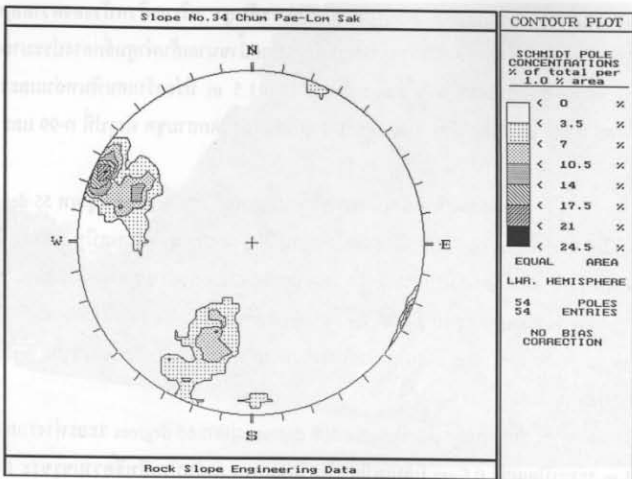
รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 293 degrees มุมเท 55 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.05 ถึง 0.5 m ระยะเปิดเขยงโดยส่วนใหญ่ของรอยแตกแบบสนิท มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรกในบางส่วนที่เปิด มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 025 degrees มุมเท 82 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.05 ถึง 0.3 m ระยะเปิดเขยง 1 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และมีความต่อเนื่องประมาณ 80%

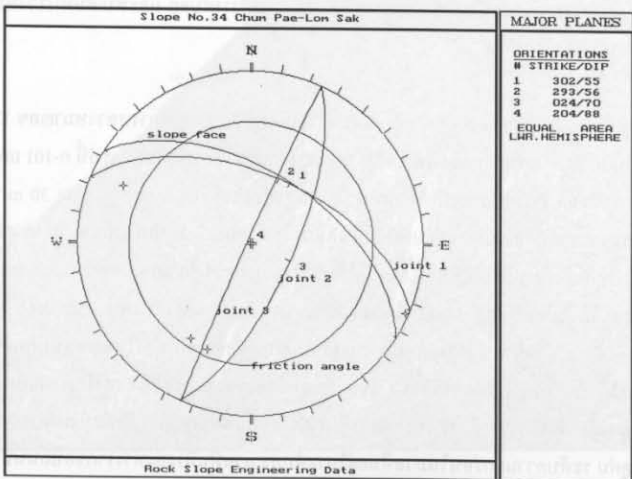
รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 308 degrees มุมเท 65 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.12 ถึง 0.25 m ระยะเปิดเขยง 0.5 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 ถึง 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

จากชุดรอยแตกทั้งสามชุดความลาดเอียงมวลไม่มีเสถียรภาพ มีการพังแบบแผ่นระนาบและยังพบการพังในรูปของ Flexural toppling โดยพังลงมาพร้อมกับคอนกรีตที่ฉีคพื้น บริเวณด้านบนของความลาดเอียงมีชั้นดินหนาประมาณ 2 m วางทับอยู่ และพบเศษหินร่วงหล่นที่ฐานของความลาดเอียงมวลหิน

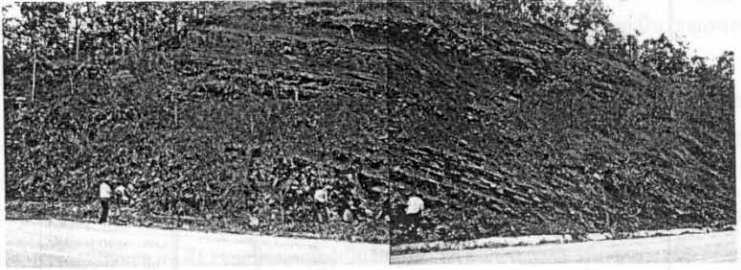
Slope No 35, บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 76-77 ของทางหลวงหมายเลข 12 สายชุมแพ-หล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ หรือที่ 47 Q 0784421 และ UTM 1847721 ดังรูปที่ ก-101 และรูปที่ ก-102 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านเหนือของถนน มีความสูงประมาณ 15 m ขาวประมาณ 30 m ประกอบด้วยหินทรายและทรายแป้งวางสลับกับชั้นหินดินเหนียว (Mudstone) ชั้นหินทรายและทรายแป้งหนา 1 m ชั้นหินดินเหนียวหนา 0.2 ถึง 0.8 m มีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa ในหินทรายและทรายแป้ง และ 5-25 ในหินดินเหนียว Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 156 degrees มีมุมเท 55 degrees บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีดินหญ้าขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มีมุมเทต่ำ ๆ และมีต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีอายุมากกว่า 3 ปีขึ้นอยู่บนหลังของความลาดเอียง แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมเทสูงหรือบริเวณที่มีการพังหลายเกิดขึ้นจะไม่พบต้นไม้ที่ชุกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกร้อนในมวลหินอยู่ในระดับสูง มวลหินมีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 1.5 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-103 และรูปที่ ก-104 คือ



รูปที่ ก-99 Contour plots ของรอยแตกของหินกึ่งดินดานของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 37 ทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 34)



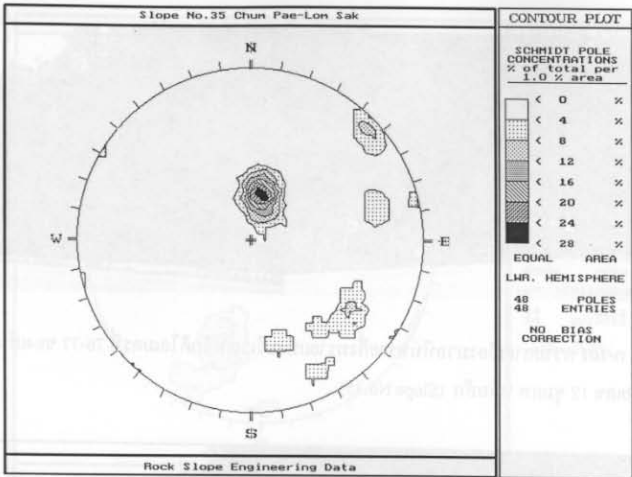
รูปที่ ก-100 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินกึ่งดินดานของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 37 ทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 34)



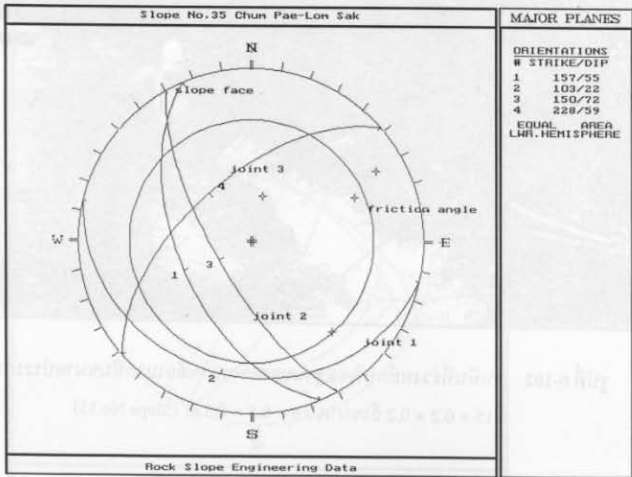
รูปที่ ก-101 ความลาดเอียงมวลหินทรายกึ่งทรายแป้งบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 76-77 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 12 ชุมแพ หล่มสัก (Slope No.35)



รูปที่ ก-102 เศษหินที่ร่วงหล่นบริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินขนาดประมาณ $0.15 \times 0.2 \times 0.2$ ถึงขนาด $0.6 \times 0.5 \times 0.3 \text{ m}^3$ (Slope No.35)



รูปที่ ก-103 Contour plots ของรอยแตกของหินทรายกึ่งทรายแป้งของความลาดเอียงมวลหิน บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 76-77 ทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 35)



รูปที่ ก-104 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินทรายกึ่งทรายแป้ง ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 76-77 ทางหลวงหมายเลข 12 (Slope No. 35)

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 007 degrees มีมุมเท 35 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.1 ถึง 0.5 m ระยะเปิดเขย 0.1 ถึง 0.8 cm มีดินเหนียวและแร่แคลไซต์เป็นวัสดุแทรก มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 ถึง 5 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 114 ถึง 185 degrees มุมเท 61 ถึง 82 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.5 ถึง 1 m ระยะเปิดเขย 1 ถึง 2 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และมีความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

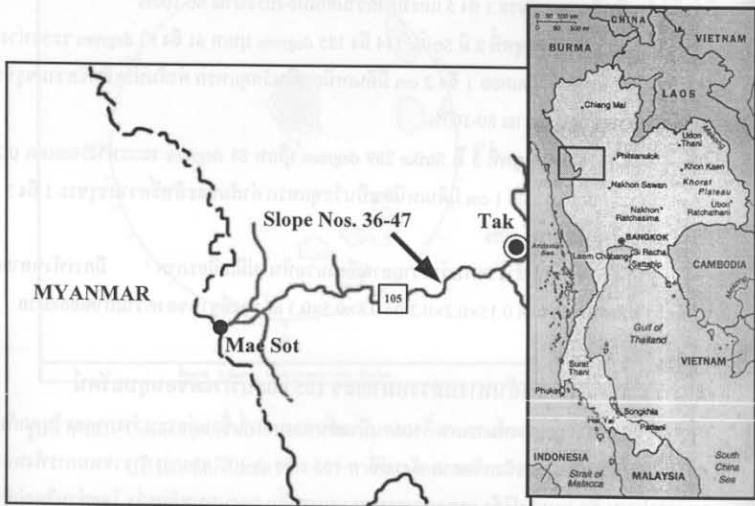
รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 289 degrees มุมเท 88 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 0.6 m ระยะเปิดเขย 0.5 ถึง 1 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 ถึง 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 60%

จากการสำรวจพบว่าความลาดเอียงมวลหินไม่มีเสถียรภาพ มีการพังทลายแบบพลิกคว่ำ พบเศษหินขนาด $0.15 \times 0.2 \times 0.2$ ถึง $0.6 \times 0.5 \times 0.3$ m³ ร่วงที่ฐานของความลาดเอียงมวล

7. งานภาคสนามของเส้นทางหลวงหมายเลข 105 และบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์

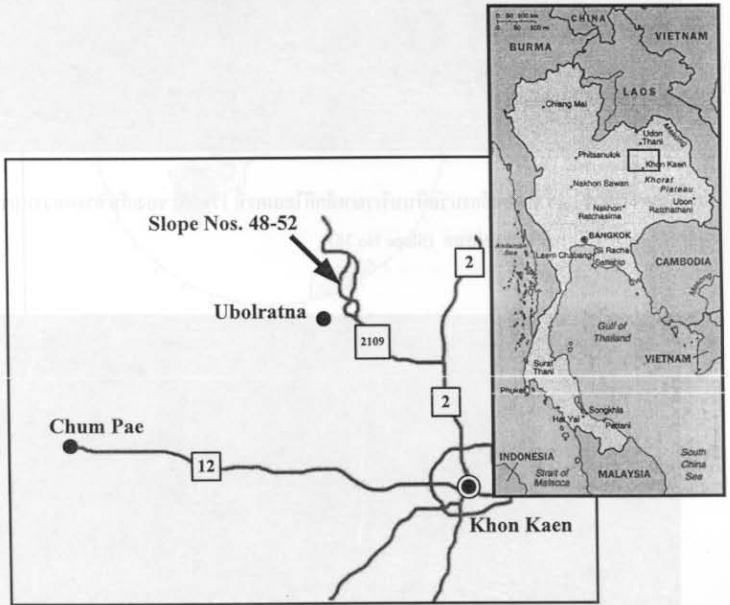
ทางหลวงหมายเลข 105 เป็นเส้นทางหลักที่เชื่อมต่อระหว่างภาคตะวันออกเฉียงเหนือกับภาคกลาง โดยอยู่ในพื้นที่ของจังหวัดตาก ดังรูปที่ ก-105 และ ก-106 จากการสำรวจพบการพังทลายในหลายรูปแบบ คือ แบบรูปโค้ง แบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม และแบบพลิกคว่ำ โดยส่วนใหญ่เป็นหินแปร คือ Amphibolite schist, Argillaceous limestone, Calcareous shale และหินตะกอน คือ หินดินดานและหินทราย โดยพบการพังทลายแบบแผ่นระนาบ แบบรูปลิ้ม แบบพลิกคว่ำแบบก้อนและแบบแผ่นระนาบ

Slope No 36, บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 17+200 ของทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก-แม่สอด จังหวัดตาก หรือที่ 47 Q 0498146 และ UTM 18S8567 ดังรูปที่ ก-107 และรูปที่ ก-108 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านเหนือของถนน และมีความสูงประมาณ 16 m ยาวประมาณ 40 m ประกอบด้วย Amphibolite schist มีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 125 degrees และมีมุมเท 79 degrees รูปร่างของความลาดเอียงเป็นเส้นตรง บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีต้นหญ้าขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มีมุมเทต่ำ ๆ และมีต้นไม้อายุมากกว่า 3 ปีอยู่บนหลังของความลาดเอียง แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมเทสูงจะไม่พบต้นพืชปกคลุมระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสูงร่อนในมวลหินอยู่ในระดับต่ำ ระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 1.5 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-109 และรูปที่ ก-110 คือ



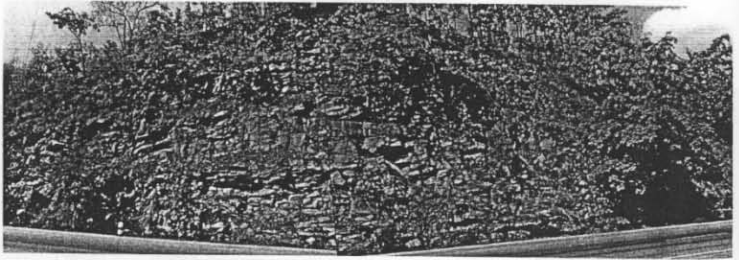
รูปที่ ก-105 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาของกลุ่มทางหลวงหมายเลข 105 จังหวัดตาก ถึง อำเภอแม่สอด

รูปที่ ก-104 ทัศนวิสัยของทางหลวงหมายเลข 105 บริเวณความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาของกลุ่มทางหลวงหมายเลข 105 จังหวัดตาก ถึง อำเภอแม่สอด (Slope Nos. 35)

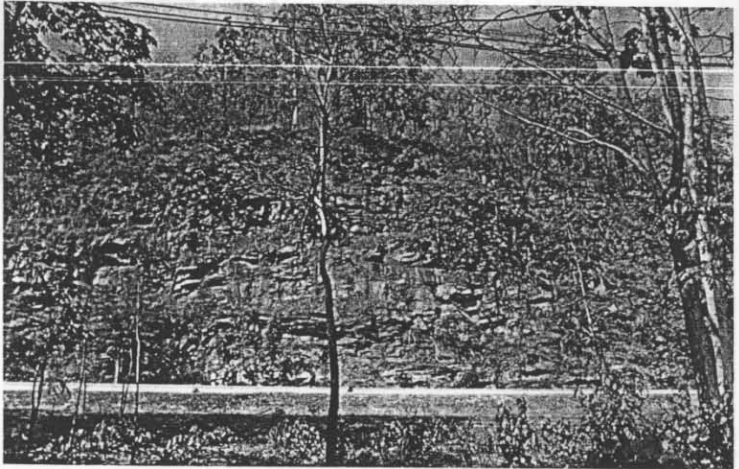


รูปที่ ก-106 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัด ขอนแก่น

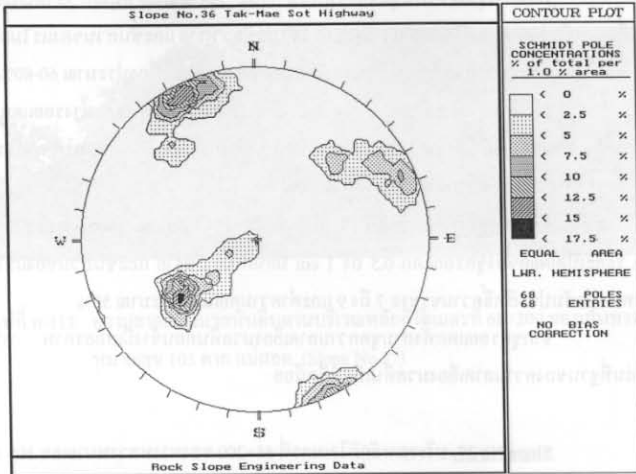
รูปที่ ก-110 Representative place, Slope of the 100m High Project along the Amphibious Canal
ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ 100-200 เมตรเหนือเขื่อนอุบลรัตน์
(Slope No. 56)



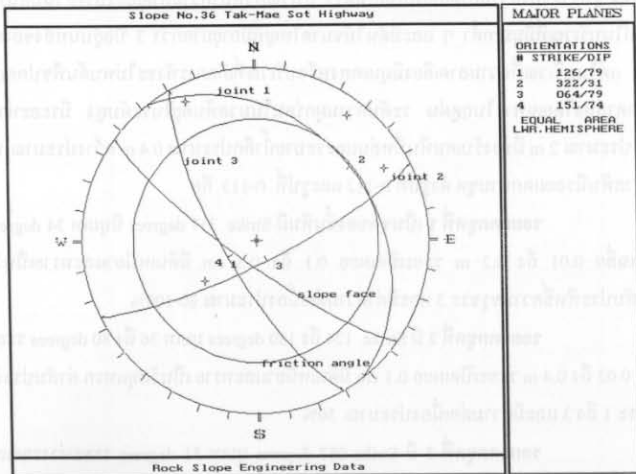
รูปที่ ก-107 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 17+200 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 105 ตาก แม่สอด (Slope No.36)



รูปที่ ก-108 การพังทลายแบบรูปลิ้มที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยของมวลหิน Amphibolite schist (Slope No.36)



รูปที่ ก-109 Contour plots ของรอยแตกของหิน Amphibolite Schist ของความลาดเอียงมวลหิน บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 17+200 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 36)



รูปที่ ก-110 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หิน Amphibolite Schist ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 17+200 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 36)

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 324 degrees มีมุมเท 33 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.4 ถึง 1 m ระยะเปิดเขย 0.1 ถึง 1 cm มีดินเหนียว ทราย และชิ้นส่วนของแร่ไมกา (Mica) เป็นวัสดุแทรก มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 ถึง 9 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 60-80%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 064 degrees มุมเท 80 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.04 ถึง 0.4 m ระยะเปิดเขย 1 cm มีดินเหนียว ทราย และชิ้นส่วนของแร่ไมกาเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 ถึง 7 และมีความต่อเนื่องประมาณ 70%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 151 degrees มุมเท 75 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 0.4 m ระยะเปิดเขยของชุดรอยแตก 0.5 ถึง 1 cm มีดินเหนียว ทราย และชิ้นส่วนของแร่ไมกาเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 7 ถึง 9 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 50%

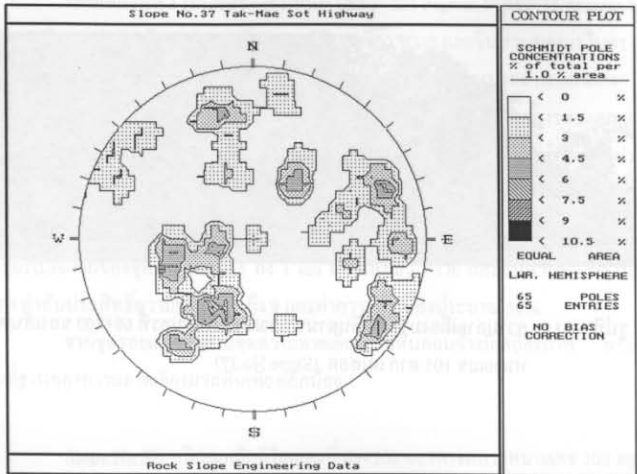
จากชุดรอยแตกทั้งสามชุดความลาดเอียงมวลหินค่อนข้างมีเสถียรภาพ พบเศษหินร่วงหล่นที่ฐานของความลาดเอียงมวลหินเพียงเล็กน้อย

Slope No 37, บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 68+200 ของทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก-แม่สอด จังหวัด ตาก หรือที่ 47 Q 0462229 และ UTM 1853800 ดังรูปที่ ก-111 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านใต้ของถนน มีความสูงประมาณ 20 m ยาวประมาณ 50 m ประกอบด้วยหินดินดาน มีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 190 degrees และมีมุมเท 52 degrees รูปร่างของความลาดเอียงเป็นเส้นตรง บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีต้นหญ้าขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มีมุมเตี้ย ๆ และมีต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีอายุมากกว่า 3 ปีอยู่บนหลังของความลาดเอียง แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมเตสูงหรือบริเวณที่เกิดการพังจะไม่พบต้นพืชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกชื้นในมวลหินอยู่ในระดับสูง มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 2 m มีร่องรับเศษหินที่หล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.4 m กว้างประมาณ 1.5 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-112 และรูปที่ ก-113 คือ

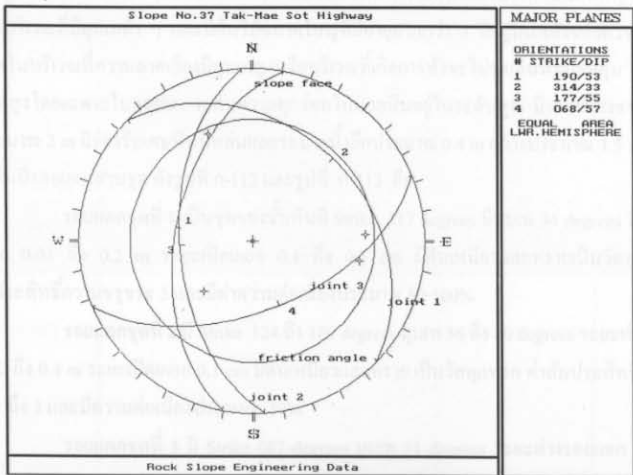
รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 317 degrees มีมุมเท 34 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.01 ถึง 0.2 m ระยะเปิดเขย 0.1 ถึง 0.5 cm มีดินเหนียวและทรายเป็นวัสดุแทรก มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 124 ถึง 180 degrees มุมเท 36 ถึง 80 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.02 ถึง 0.4 m ระยะเปิดเขย 0.1 cm มีดินเหนียวและทราย เป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 ถึง 3 และมีความต่อเนื่องประมาณ 50%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 087 degrees มุมเท 51 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 m ระยะเปิดเขยของชุดรอยแตก 0.1 cm มีดินเหนียวและทราย เป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 1 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 70%



รูปที่ ก-112 Contour plots ของรอยแตกของหินดินดานของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 68+200 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 37)



รูปที่ ก-113 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินดินดานของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 68+200 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 37)

จากชุดรอยแตกทั้งสามชุดทำให้ความลาดเอียงมวลหินไม่มีเสถียรภาพ มีรูปแบบการพังแบบแผ่นระนาบ พบเศษหินร่วงหล่นที่ฐานของความลาดเอียงมวลหินขนาด $0.01 \times 0.02 \times 0.2$ ถึง $0.2 \times 0.4 \times 0.2 \text{ m}^3$

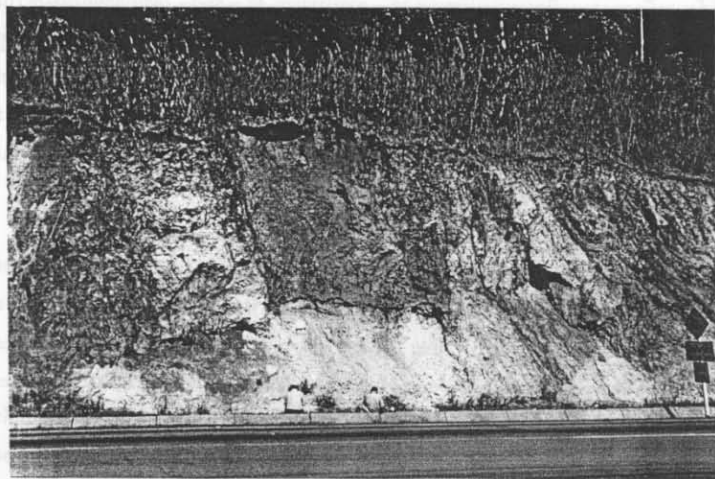
Slope No 38. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 62+500 ของทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก-แม่สอด จังหวัดตาก หรือที่ 47 Q 0466571 และ UTM 1854099 ดังรูปที่ ก-114 และรูปที่ ก-115 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านเหนือของถนน มีความสูงประมาณ 12 m ยาวประมาณ 50 m ประกอบด้วยหินดินดานและ Argillaceous limestone ที่มีค่ากำลังรับแรงอัด 5-25 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 350 degrees และมีมุมเท 70 ถึง 80 degrees ระดับน้ำบาดาลสูง โดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความชุ่มชื้นในมวลหินอยู่ในระดับสูง มีจำนวนชุดของรอยแตกในมวลหินประมาณ 3 ชุด มีความต่อเนื่อง โดยเฉลี่ยปานกลาง มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 10 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1 m รูปแบบการพังหลายที่พบเป็นแบบรูปไหลโคลงซึ่งเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

Slope No 39. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 53+250 ของทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก-แม่สอด จังหวัดตาก หรือที่ 47 Q 0472233 และ UTM 1852690 ดังรูปที่ ก-116 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านเหนือของถนน มีความสูงประมาณ 30 m ยาวประมาณ 40 m Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 075 degrees มีมุมเท 40 degrees ลักษณะรูปร่างเป็นเส้นตรง ระดับน้ำบาดาลสูง โดยเฉพาะในฤดูฝน ไม่ทราบจำนวนชุดของรอยแตกในมวลหินเนื่องจากบริเวณผิวหน้าของความลาดเอียงมีการใช้คอนกรีตฉาบพื้น มีการติดตะแกรงลาด และท่อระบายน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 cm ยาวประมาณ 40 cm มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 2 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.4 m กว้างประมาณ 1.5 m

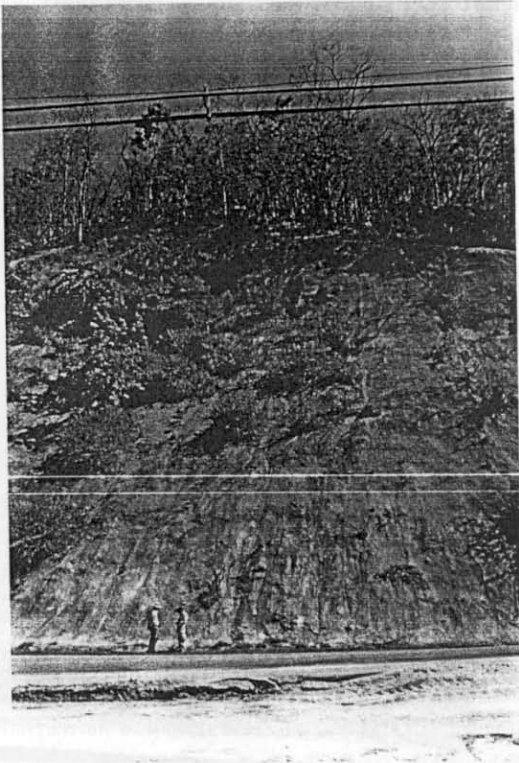
Slope No 40. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 49+250 ของทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก-แม่สอด จังหวัดตาก หรือที่ 47 Q 0476575 และ UTM 1853523 ดังรูปที่ ก-117 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านเหนือของถนน มีความสูงประมาณ 25 ถึง 30 m ยาวประมาณ 50 m ประกอบด้วยหิน Calcareous shale มีค่ากำลังรับแรงอัด 50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 230 degrees มีมุมเท 61 degrees รูปร่างของความลาดเอียงเป็นเส้นตรง บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีต้นหญ้าขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มีมุมเทต่ำ ๆ และมีต้นไม้น้ำขนาดใหญ่ที่มีอายุมากกว่า 3 ปีอยู่บนหลังของความลาดเอียง แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมเทสูงหรือบริเวณที่เกิดการพังจะไม่พบต้นพืชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูง โดยเฉพาะในฤดูฝนและพบคราบน้ำสูงบริเวณรอยแตกของมวลหิน ระดับความสุ-



รูปที่ ก-114 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 62+500 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 105 ตาก แม่สอด (Slope No.38)

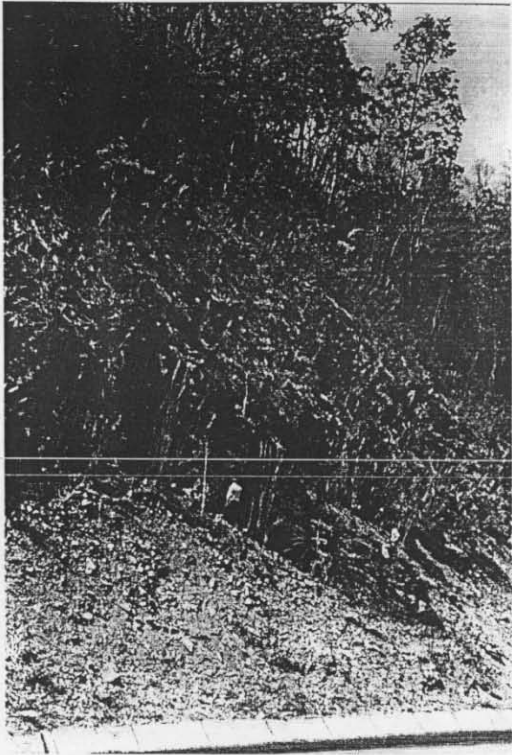


รูปที่ ก-115 การพังทลายแบบ Circular ที่เกิดบริเวณผิวหน้าของความลาดเอียงมวลหิน Calcareous shale (Slope No.38)



รูปที่ ก-116 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 53+250 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 105 ตาก-แม่สอด (Slope No.39)

ตามเอกสารที่ 1 ซึ่งระบุของพื้นที่ ก-116 254 ตาราง เมตร มีพื้นที่ 0.1 ตาราง เมตร มีความสูงเฉลี่ย 5.10 เมตร และมีความลาดเอียง 61.0 องศา มีลักษณะดินเป็นดินร่วนซุย มีความจุของดินประมาณ 1.0 และมีความชื้นในดินประมาณ 18.5%



รูปที่ ก-117 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 49+250 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 105 ตาก-แม่สอด (Slope No.40)

กร่อนในมวลหินอยู่ในระดับสูง มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 2.5 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.4 m กว้างประมาณ 1.5 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-118 และรูปที่ ก-119 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 324 degrees มีมุมเท 33 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.15 ถึง 0.4 m ระยะเปิดแยก 0.5 ถึง 1 cm มีดินเหนียวและแร่แคลไซต์เป็นวัสดุแทรก มีค่าสัมประสิทธิ์ความ 7 ถึง 9 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

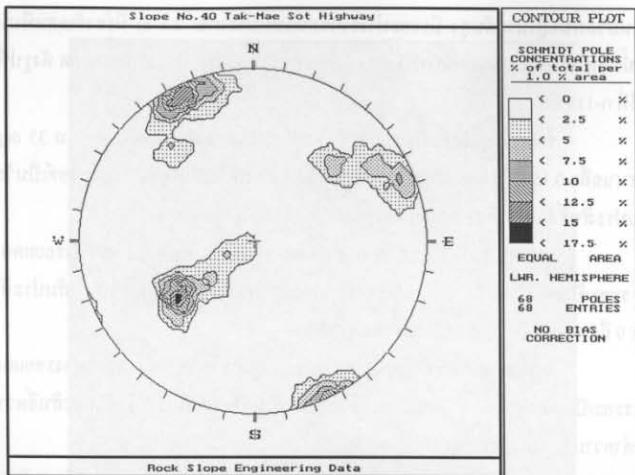
รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 064 degrees มุมเท 80 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.04 ถึง 0.4 m ระยะเปิดแยก 0.5 ถึง 1 cm มีดินเหนียวและแร่แคลไซต์เป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 9 ถึง 11 และมีความต่อเนื่องประมาณ 70%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 151 degrees มุมเท 75 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 0.4 m ระยะเปิดแยก 0.5 ถึง 1 cm มีดินเหนียวและเศษหินเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 9 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 50%

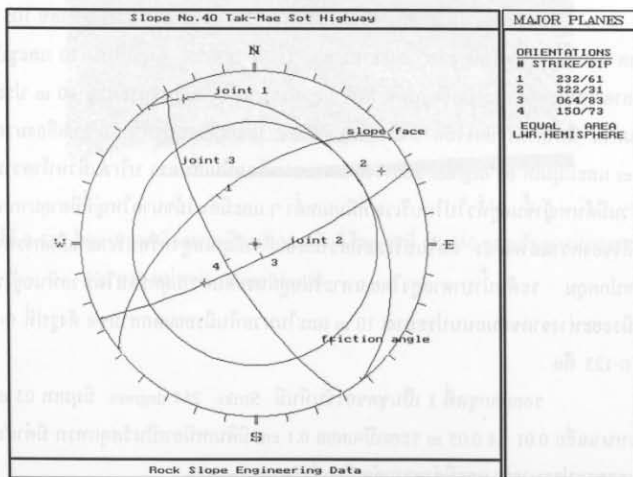
จากการสำรวจพบว่าความลาดเอียงมวลหินไม่มีเสถียรภาพโดยมีการพังทลายแบบพลิกคว่ำและแถบแผ่นระนาบแต่ก็เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย บริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินจะพบเศษหินร่วงหล่นเล็กน้อยขนาด $0.4 \times 0.2 \times 1 \text{ m}^3$

Slope No 41. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 31-32 ของทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก-แม่สอด จังหวัดตาก หรือที่ 47 Q 0488782 และ UTM 1853952 ดังรูปที่ ก-120 และรูปที่ ก-121 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านเหนือของถนน มีความสูงประมาณ 40 m ยาวประมาณ 60 m ประกอบด้วยหินดินดาน มีค่ากำลังรับแรงอัด 5-25 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 130 degrees และมีมุมเท 60 degrees รูปร่างของความลาดเอียงเป็นเส้นตรง บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีดินหญ้าขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มีมุมเทต่ำ ๆ และมีต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีอายุมากกว่า 3 ปีอยู่บนหลังของความลาดเอียง แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมเทสูงหรือบริเวณที่เกิดการพังจะไม่พบต้นพืชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝนระดับความสูงกร่อนในมวลหินอยู่ในระดับสูงมาก มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 10 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-122 และรูปที่ ก-123 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 254 degrees มีมุมเท 03 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.01 ถึง 0.05 m ระยะเปิดแยก 0.1 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระประมาณ 3 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80-100%



รูปที่ ก-118 Contour plots ของรอยแตกของหิน Calcareous Shale ของความลาดเอียงมวลหิน บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 49+250 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 40)



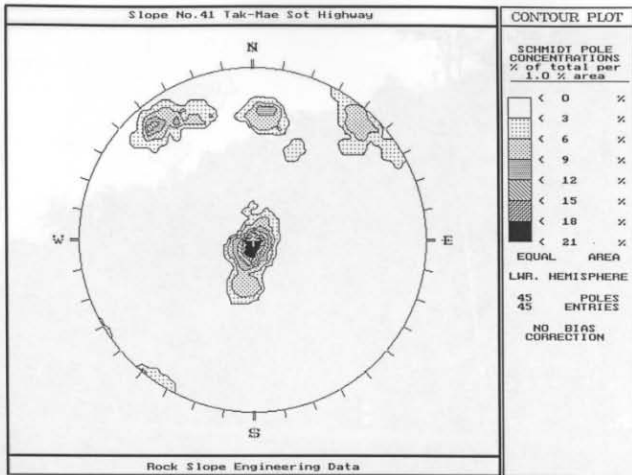
รูปที่ ก-119 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หิน Calcareous Shale ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 49+250 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 40)



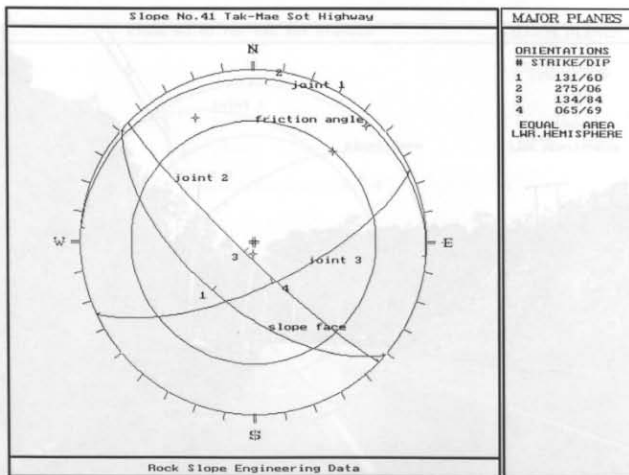
รูปที่ ก-120 ความลาดเอียงมวลหินดินดานบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 31-32 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 105 ตาก-แม่สอด (Slope No.41)



รูปที่ ก-121 ความลาดเอียงมวลหินดินดานด้านทิศเหนือและใต้ และระยะปลอดภัยของขอบถนนที่ห่างจากฐานของความลาดเอียง (Slope No.41)



รูปที่ ก-122 Contour plots ของรอยแตกของหินดินดานของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 31-32 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 41)



รูปที่ ก-123 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินดินดานของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 31-32 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 41)

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 134 degrees มุมเท 81 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.02 ถึง 0.15 m ระยะเปิดเขยอ 0.1 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีความต่อเนื่องประมาณ 70-80%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 098 ถึง 134 degrees มุมเท 63 ถึง 81 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.01 ถึง 0.03 m ระยะเปิดเขยอ 0.1 ถึง 1 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 50-60%

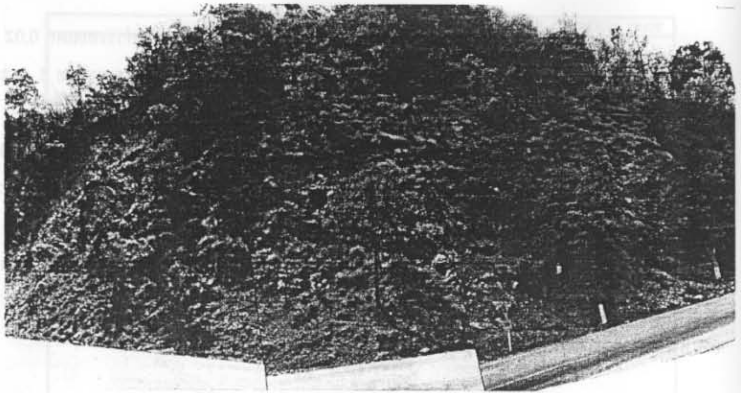
จากการการสำรวจพบว่าความลาดเอียงมวลหินไม่มีเสถียรภาพ มีการพังแบบแผ่นระนาบและแบบไหลไถ่ แต่ทั้งหมดเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยบริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินจะพบเศษหินร่วงหล่นและมีการไหลลงมาตามร่องที่เกิดจากการกัดเซาะของน้ำ

Slope No 42. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 21-22 ของทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก-แม่สอด จังหวัดตาก หรือที่ 47 Q 0495395 และ UTM 1857734 ดังรูปที่ ก-124 และรูปที่ ก-125 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านเหนือของถนน มีความสูงประมาณ 15 m ยาวประมาณ 50 m ประกอบด้วยหิน Schist มีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 015 degrees มีมุมเท 70 degrees รูปร่างของความลาดเอียงเป็นเส้นตรง บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีดินหยาบขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มีมุมเตต่ำ ๆ และมีต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีอายุมากกว่า 3 ปีอยู่บนหลังของความลาดเอียง แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมเทสูงหรือบริเวณที่เกิดการพังจะไม่พบต้นพืชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความชื้นร้อนในมวลหินอยู่ในระดับต่ำ มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 2.5 ถึง 10 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.4 m กว้างประมาณ 1.5 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-126 และรูปที่ ก-127 คือ

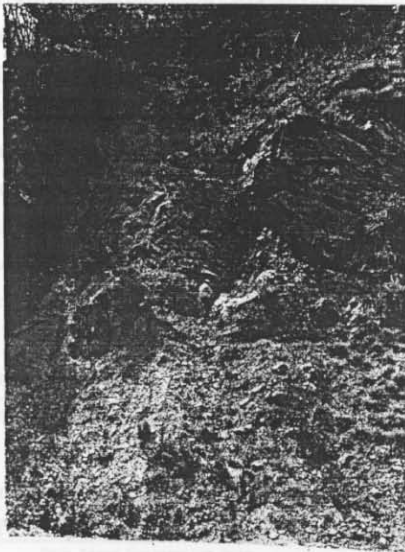
รอยแตกชุดที่ 1 มีการวางตัวอยู่ในแนวประมาณ 017 degrees มีมุมเท 87 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.2 ถึง 1 m ระยะเปิดเขยอ 0.1 cm ไม่มีวัสดุแทรก และมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3-5 และมีความต่อเนื่องประมาณ 60%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 183 degrees มุมเท 78 ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 1 m ระยะเปิดเขยอ 0.1 cm มีดินเหนียวและแร่ไมกาเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 degrees และมีความต่อเนื่องประมาณ 20%

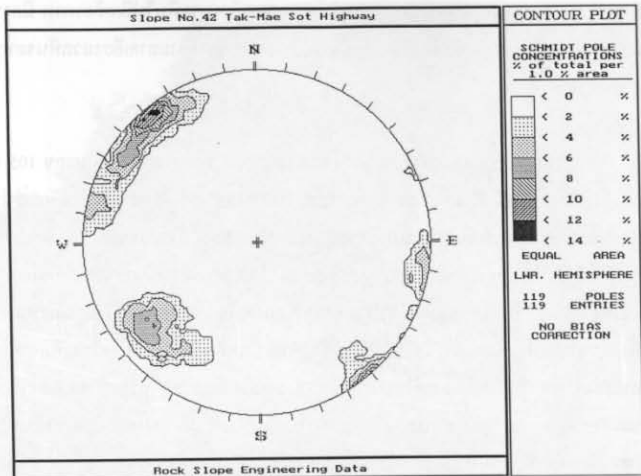
รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 318 degrees มุมเท 66 ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 0.4 m ระยะเปิดเขยอของชุดรอยแตก 0.3 ถึง 0.5 cm มีดินเหนียวและแร่ไมกาเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5-7 degrees และค่าความต่อเนื่องประมาณ 30-50%



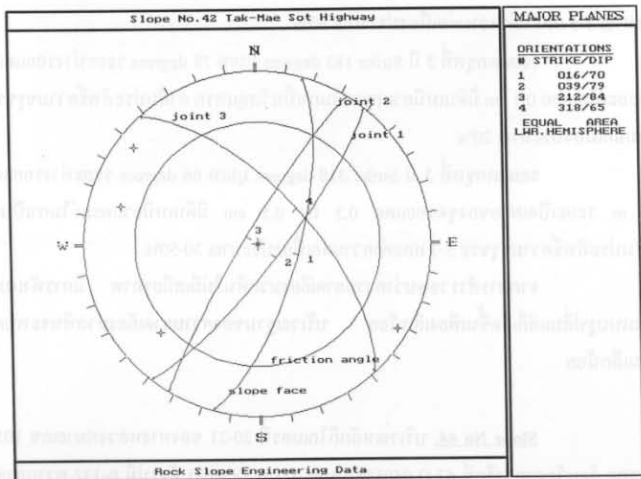
รูปที่ ก-124 ความลาดเชิงมวลหิน Schist บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 21-22 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 105 ตาก แม่สอด (Slope No.42)



รูปที่ ก-125 ความลาดเชิงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 21-22 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 105 ตาก แม่สอด และลักษณะการพังทลายแบบพลิกคว่ำ (Slope No.42)



รูปที่ ก-126 Contour plots ของรอยแตกของหิน Schist ของความลาดเชิงมวลหิน บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 21-22 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 42)



รูปที่ ก-127 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หิน Schist ของ ความลาดเชิงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 21-22 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 42)

จากชุดรอยแตกทั้งสามชุดทำให้ความลาดเอียงมวลหินไม่มีเสถียรภาพ มีการพังแบบพลิกคว่ำและแบบรูปลิ้มแต่ก็เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย บริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินจะพบเศษหินร่วงหล่นเล็กน้อย

Slope No 43. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 21-22 ของทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก-แม่สอด จังหวัดตาก หรือที่ 47 Q 0495395 และ UTM 1857734 ดังรูปที่ ก-128 และรูปที่ ก-129 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านเหนือของถนน มีความสูงประมาณ 30 m ยาวประมาณ 200 m ประกอบด้วยหิน Schist มีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 060 degrees มีมุมเท 62 ถึง 80 degrees รูปร่างของความลาดเอียงเป็นเส้นตรง บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีดินเหนียวขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มีมุมเทต่ำ ๆ และมีต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีอายุมากกว่า 3 ปีอยู่บนหลังของความลาดเอียง แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมเทสูงหรือบริเวณที่เกิดการพังจะไม่พบดินพืชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝนระดับความสูงร่อนในมวลหินอยู่ในระดับต่ำ มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 2.5 ถึง 10 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.4 m กว้างประมาณ 1.5 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-130 และรูปที่ ก-131 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 มีการวางตัวอยู่ในแนวประมาณ 017 degrees มีมุมเท 87 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.2 ถึง 1 m ระยะเปิดเขย 0.1 cm ไม่มีวัสดุแทรก มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระประมาณ 3-5 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 60%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 183 degrees มุมเท 78 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 1 m ระยะเปิดเขย 0.1 cm มีดินเหนียวและแร่ไมกาเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีความต่อเนื่องประมาณ 20%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 318 degrees มุมเท 66 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 0.4 m ระยะเปิดเขยของชุดรอยแตก 0.3 ถึง 0.5 cm มีดินเหนียวและแร่ไมกาเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5-7 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 30-50%

จากการสำรวจพบว่าความลาดเอียงมวลหินไม่มีเสถียรภาพ มีการพังแบบพลิกคว่ำและแบบรูปลิ้มแต่ก็เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย บริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินจะพบเศษหินร่วงหล่นเล็กน้อย

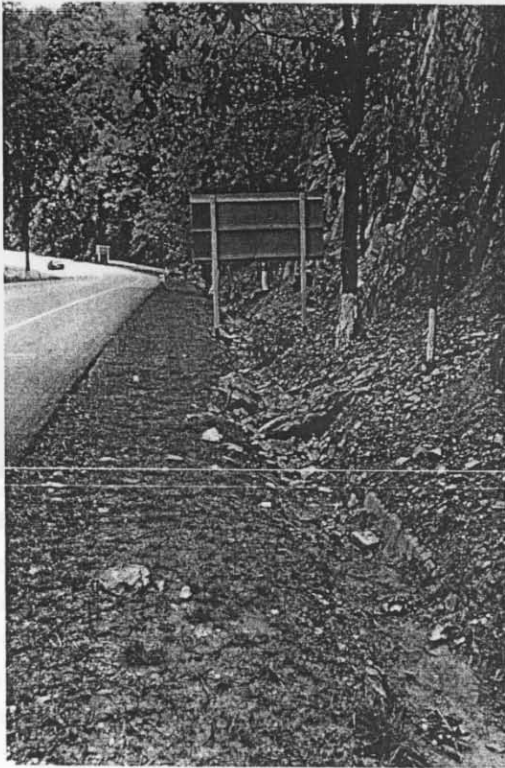
Slope No 44. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 20-21 ของทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก-แม่สอด จังหวัดตาก หรือที่ 47 Q 0495531 และ UTM 1858081 ดังรูปที่ ก-132 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านเหนือของถนน มีความสูงประมาณ 50 m ยาวประมาณ 60 m ประกอบด้วยหิน Schist มีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 060 degrees มีมุมเท 68



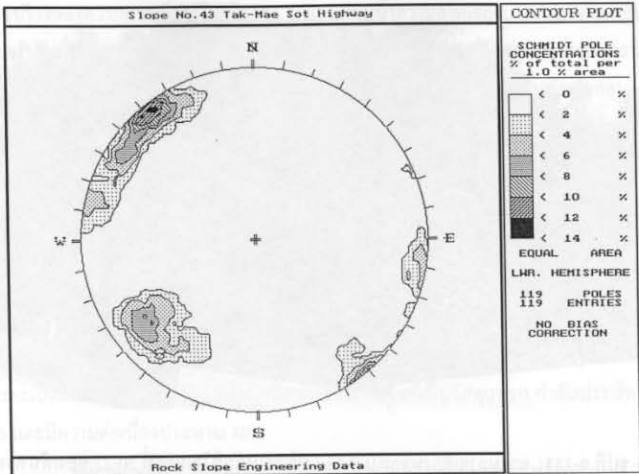
รูปที่ ก-128 ความลาดเชิงมวลหิน Schist บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 21-22 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 105 ตาก-แม่สอด (Slope No.43)



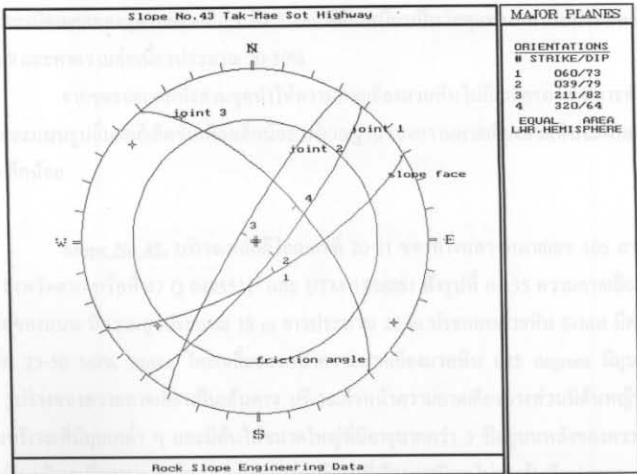
รูปที่ ก-128 Representative plane, Slope inclination 15° Friction angle 15° Schist with ความลาดเชิงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 21-22 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 43)



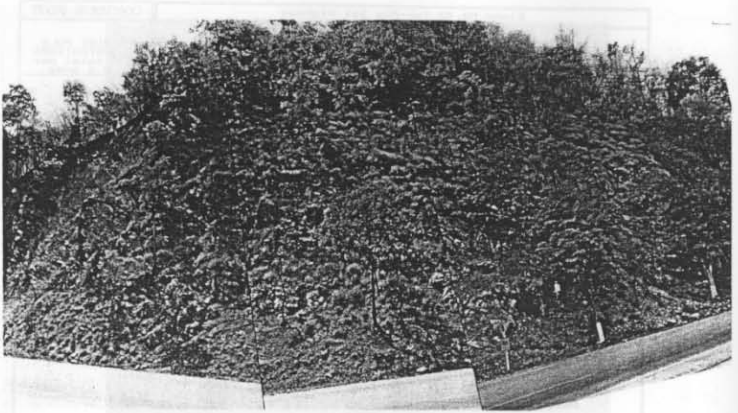
รูปที่ ก-129 ลักษณะการพังทลายที่เกิดกับความลาดเอียงมวลหิน Schist (Slope No.43)



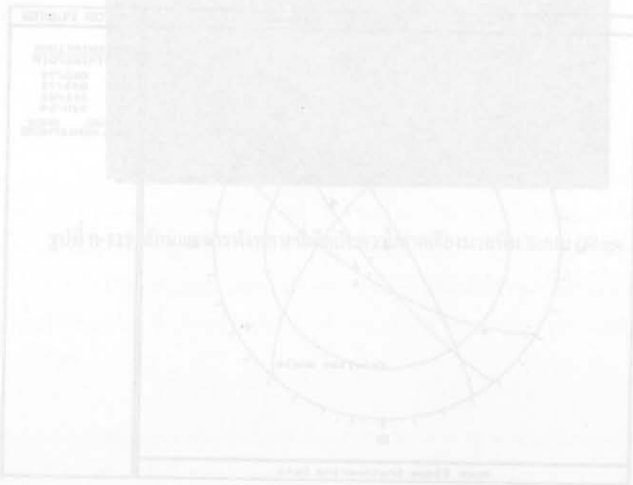
รูปที่ ก-130 Contour plots ของรอยแตกของหิน Schist ของความลาดเชิงมุมหิน บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 21-22 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 43)



รูปที่ ก-131 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หิน Schist ของ ความลาดเชิงมุมหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 21-22 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 43)



รูปที่ ก-132 ความลาดเอียงมวลหิน Schist บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 20-21 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 105 ตาก แม่สอด (Slope No.44)



รูปที่ ก-131 ลักษณะการพังทลายของดินบริเวณลาดเชิงเขาบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 20-21

รูปที่ ก-132 นี้มี slope number ที่ 44 และ slope number ที่ 44-1 นี้มี slope number ที่ 44-1-1

รูปที่ ก-131 นี้มี slope number ที่ 44-1-1 นี้มี slope number ที่ 44-1-1-1

degrees รูปร่างของความลาดเอียงเป็นเส้นตรง บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีดินเหนียวขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มีมุมเทต่ำ ๆ และมีดินไม้ขนาดใหญ่ที่มีอายุมากกว่า 3 ปีอยู่บนหลังของความลาดเอียง แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมเทสูงหรือบริเวณที่เกิดการพังจะไม่พบดินพีชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกร้อนในมวลหินอยู่ในระดับต่ำ มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 2.5 ถึง 10 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.4 m กว้างประมาณ 1.5 m และในมวลหินมีรอยแตกสี่ซุด ดังรูปที่ ก-133 และรูปที่ ก-134 คือ

รอยแตกซุดที่ 1 เป็นซุดของชั้นหินมี Strike 325 degrees มุมเท 36 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.05 ถึง 1.2 m ระยะเปิดเขย 0.1 ถึง 1 cm ไม่มีวัสดุแทรก มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80 %

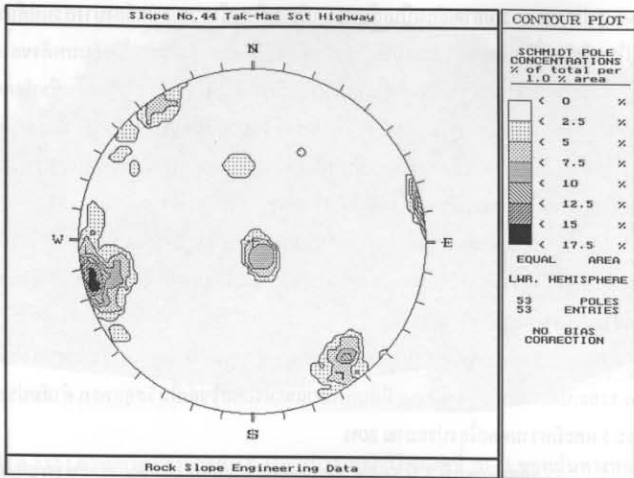
รอยแตกซุดที่ 2 มี Strike 346 degrees มุมเท 79 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 0.4 m ระยะเปิดเขย 0.1 ถึง 0.3 cm มีดินเหนียวและแร่แคลไซต์เป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีความต่อเนื่องประมาณ 80%

รอยแตกซุดที่ 3 มี Strike 240 degrees มุมเท 07 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.15 ถึง 0.4 m ระยะเปิดเขยของซุดรอยแตก 0.1 ถึง 0.3 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 9-11 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 20-30%

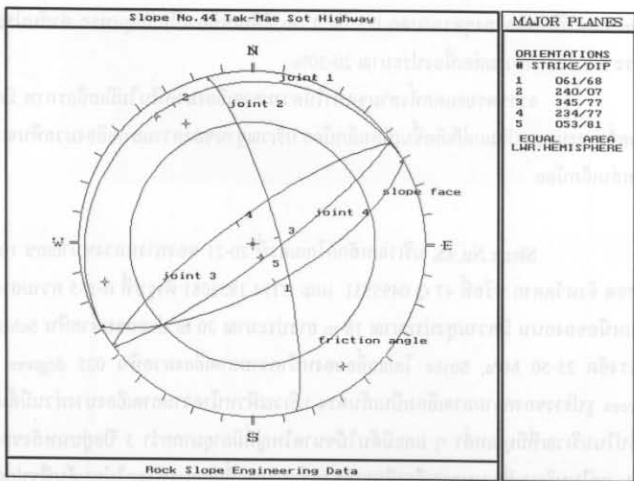
รอยแตกซุดที่ 4 มี Strike 234 degrees มุมเท 76 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.3 ถึง 0.8 m ระยะเปิดเขยของซุดรอยแตก 0.5 ถึง 2 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5-9 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 20-30%

จากซุดรอยแตกทั้งสามซุดทำให้ความลาดเอียงมวลหินไม่มีเสถียรภาพ มีการพังแบบพลิกคว่ำและแบบรูปล้มแต่ก็เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย บริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินจะพบเศษหินร่วงหล่นเล็กน้อย

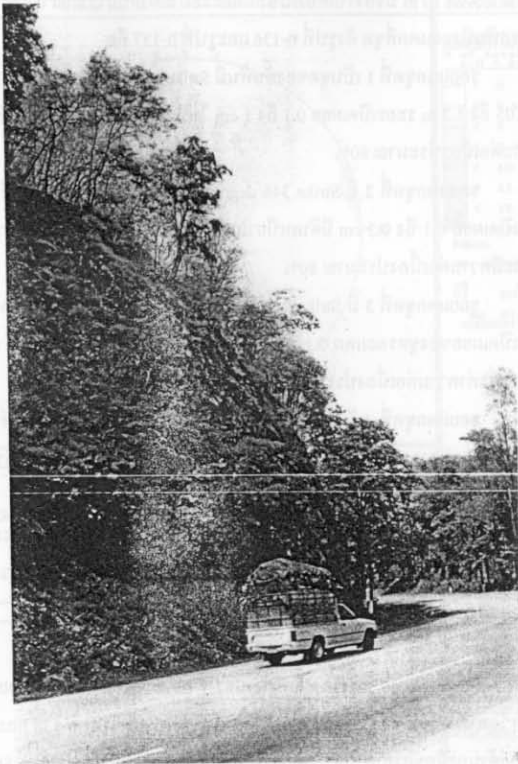
Slope No. 45. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 20-21 ของทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก-แม่สอด จังหวัดตาก หรือที่ 47 Q 0495531 และ UTM 18S8081 ดังรูปที่ ก-135 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านเหนือของถนน มีความสูงประมาณ 18 m ยาวประมาณ 20 m ประกอบด้วยหิน Schist มีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 025 degrees มีมุมเท 70 degrees รูปร่างของความลาดเอียงเป็นเส้นตรง บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีดินเหนียวขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มีมุมเทต่ำ ๆ และมีดินไม้ขนาดใหญ่ที่มีอายุมากกว่า 3 ปีอยู่บนหลังของความลาดเอียง แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมเทสูงหรือบริเวณที่เกิดการพังจะไม่พบดินพีชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝนระดับความสุกร้อนในมวลหินอยู่ในระดับต่ำ มีระยะห่างจากขอบ



รูปที่ ก-133 Contour plots ของรอยแตกของหิน Schist ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 20-21 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 44)



รูปที่ ก-134 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หิน Schist ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 20-21 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 44)



รูปที่ ก-135 ความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 20-21 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 105 ตาก แม่สอด (Slope No.45)

ถนนประมาณ 2.5 ถึง 10 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.4 m กว้างประมาณ 1.5 m และในมวลหินมีรอยแตกที่สุด ดังรูปที่ ก-136 และรูปที่ ก-137 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 325 degrees มีมุมเท 36 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.05 ถึง 1.2 m ระยะเปิดแยก 0.1 ถึง 1 cm ไม่มีวัสดุแทรก มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 346 degrees มุมเท 79 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 0.4 m ระยะเปิดแยก 0.1 ถึง 0.3 cm มีดินเหนียวและแร่แคลไซต์เป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีความต่อเนื่องประมาณ 80%

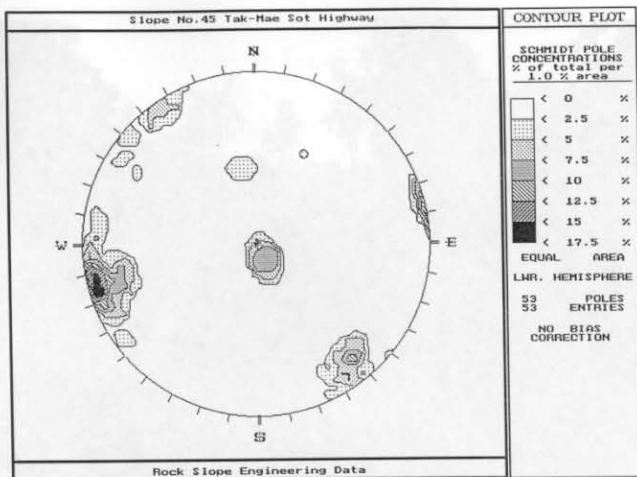
รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 240 degrees มุมเท 07 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.15 ถึง 0.4 m ระยะเปิดแยกของชุดรอยแตก 0.1 ถึง 0.3 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 9-11 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 20-30%

รอยแตกชุดที่ 4 มี Strike 234 degrees มุมเท 76 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.3 ถึง 0.8 m ระยะเปิดแยกของชุดรอยแตก 0.5 ถึง 2.0 cm มีดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5-9 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 20-30%

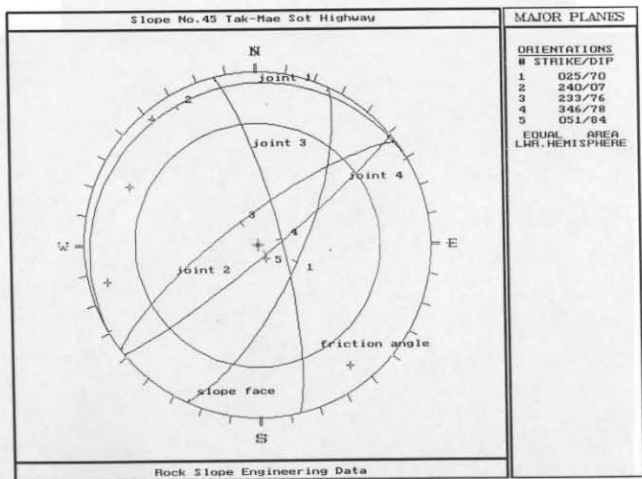
จากชุดรอยแตกทั้งสามชุดทำให้ความลาดเอียงมวลหินไม่มีเสถียรภาพ มีการพังแบบพลิกคว่ำและแบบรูปลิ้นแต่ก็เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย บริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินจะพบเศษหินร่วงหล่นเล็กน้อย

Slope No 46. บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 19-20 ของทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก-แม่สอด จังหวัดตาก หรือที่ 47 Q 0495531 และ UTM 1858450 ดังรูปที่ ก-138 และรูปที่ ก-139 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านเหนือของถนน มีความสูงประมาณ 40 m ขาวประมาณ 70 m Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 020 ถึง 075 degrees มีมุมเท 70 degrees ลักษณะรูปร่างเป็นรูปโค้งออกระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน มีจำนวนชุดของรอยแตกในมวลหินประมาณ 3 ชุด มีการคิดลาดตาข่าย มีการใช้ Gabion ขนาดสูง 1 m ขาว 1.5 m วางทับที่ฐานของความลาดเอียงจำนวนสองชั้นเพื่อป้องกันการกรัดของเศษหินที่หล่น มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 2 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำ ลึกประมาณ 0.4 m กว้างประมาณ 1.5 m

Slope No 47. บริเวณช่วงกิโลเมตรที่ 17-18 ของทางหลวงหมายเลข 105 สายตาก-แม่สอด จังหวัดตาก หรือที่ 47 Q 0497475 และ UTM 1858878 ดังรูปที่ ก-140 ความลาดเอียงจะอยู่ด้านเหนือของถนน มีความสูงประมาณ 25 m ขาวประมาณ 50 m ประกอบด้วยหิน Schist มีค่ากำลังรับแรงอัด 25-50 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 012 degrees มีมุมเท 70 ถึง 75



รูปที่ ก-136 Contour plots ของรอยแตกของหิน Schist ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 20-21 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 45)



รูปที่ ก-137 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หิน Schist ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 20-21 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 45)



รูปที่ ก-138 ความลาดเอียงมวลหินดินดานบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 19-20 ของเส้นทางหลวงหมายเลข 105 ตาก แม่สอด (Slope No.46)



รูปที่ ก-139 การพังทลายแบบ ไหลโคลนที่บริเวณคิ้วหน้าของความลาดเอียงมวลหินดินดาน และลักษณะของคาข่ายลวดที่ใช้ป้องกันการร่วงหล่นของก้อนหิน (Slope No.46)

degrees รูปร่างของความลาดเอียงเป็นเส้นตรง บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีดินหญ้าขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณที่มุมเตี้ย ๆ และมีต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีอายุมากกว่า 3 ปีอยู่ด้านหลังของความลาดเอียง แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมสูงหรือบริเวณที่เกิดการพังจะไม่พบต้นพืชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกร้อนในมวลหินอยู่ในระดับต่ำ มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 2.0 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.4 m กว้างประมาณ 1.5 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-141 และรูปที่ ก-142 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 329 degrees มุมเท 49 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.02 ถึง 0.7 m ระยะเปิดเขย 0.3 ถึง 0.5 cm ไม่มีวัสดุแทรก มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 70-80%

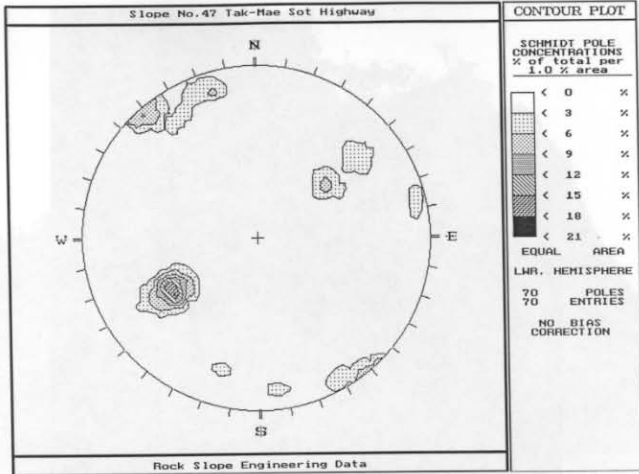
รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 059 degrees มุมเท 80 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.1 ถึง 0.8 m ระยะเปิดเขย 0.2 cm มีดินเหนียวและแร่ไมกาเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 และมีความต่อเนื่องประมาณ 60%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 150 degrees มุมเท 58 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 m ระยะเปิดเขยของชุดรอยแตก 0.1 cm มีดินเหนียวและแร่ไมกาเป็นวัสดุแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5-9 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 30-40%

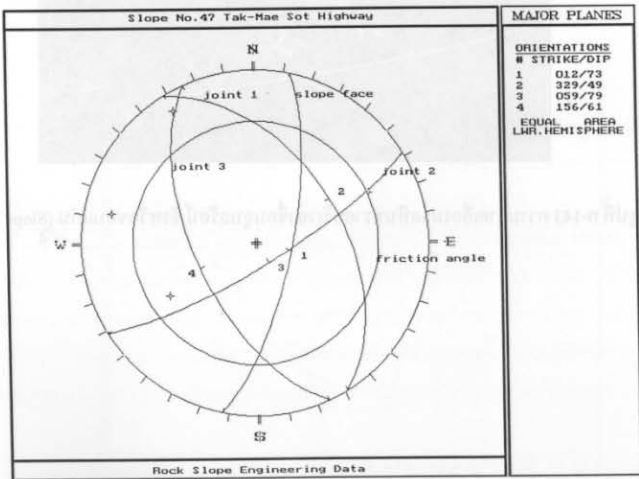
จากการสำรวจพบว่าความลาดเอียงมวลหินไม่มีเสถียรภาพ มีการพังแบบพลิกคว่ำและแบบรูปลิ่มแต่ก็เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย บริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินจะพบเศษหินร่วงหล่นเล็กน้อย

Slope No 48, บริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น หรือที่ 47 Q 0245671 และ UTM 1859043 ดังรูปที่ ก-143 และรูปที่ ก-144 ความลาดเอียงมวลหินมีความสูงประมาณ 20 m ขาวประมาณ 30 m ประกอบด้วยหินทรายมีค่ากำลังรับแรงอัด 50 ถึง 100 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 170 degrees มุมเท 90 degrees รูปร่างของความลาดเอียงเป็นเส้นตรง บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงบางส่วนมีดินหญ้าขึ้นอยู่ทั่วไปในบริเวณเชือกรอยแตกของหิน แต่ในบริเวณที่ความลาดเอียงมีมุมสูงหรือบริเวณที่เกิดการพังจะไม่พบต้นพืชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความสุกร้อนในมวลหินอยู่ในระดับต่ำ มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 4 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1.5 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-145 และรูปที่ ก-146 คือ

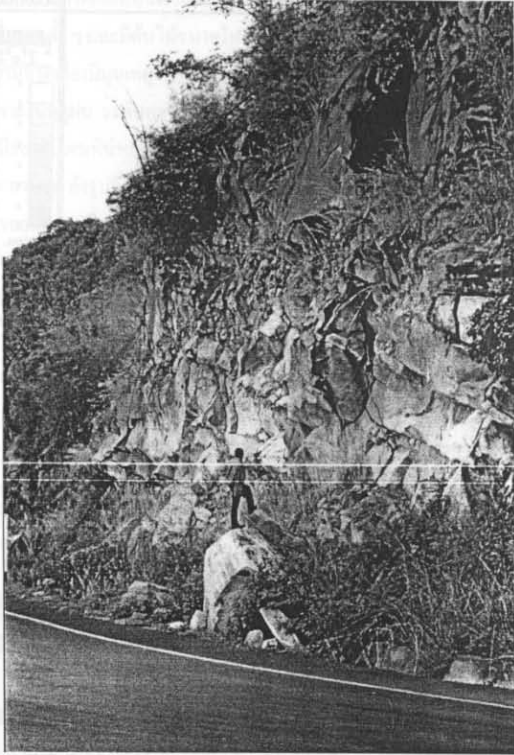
รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 026 degrees มุมเท 26 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.15 ถึง 1 m ระยะเปิดเขย 0.5 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทราย มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80-100%



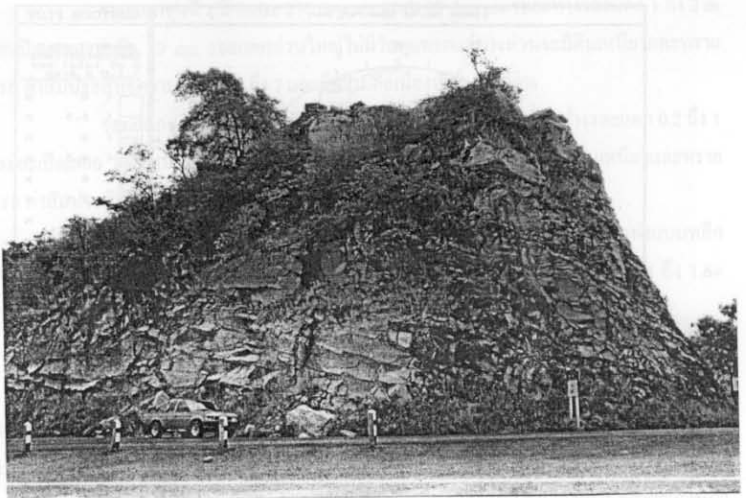
รูปที่ ก-141 Contour plots ของรอยแตกของหิน Schist ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 17-18 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 47)



รูปที่ ก-142 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หิน Schist ของความลาดเอียงมวลหินบริเวณหลักกิโลเมตรที่ 17-18 ทางหลวงหมายเลข 105 (Slope No. 47)



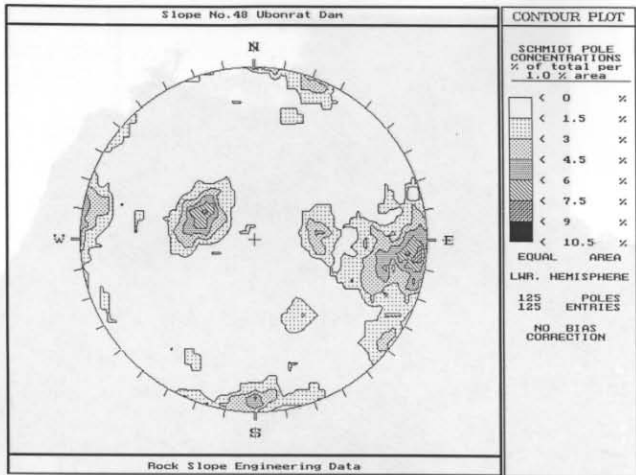
รูปที่ ก-143 ความลาดเอียงมวลหินทรายบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No.48)



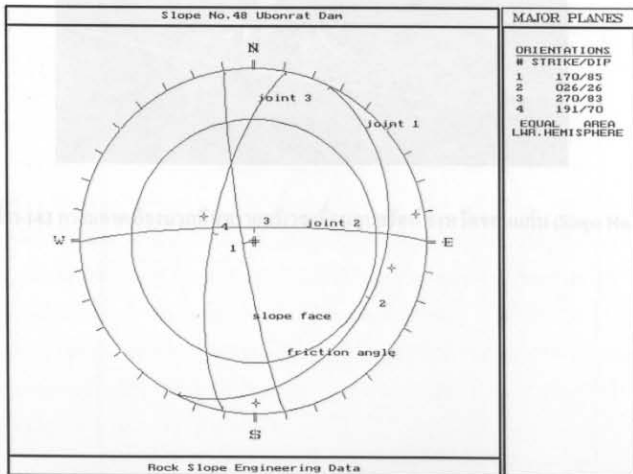
รูปที่ ก-144 ความลาดเอียงมวลหินทรายบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No.48)



ความลาดเอียงของมวลหินทรายบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น มีลักษณะเป็นรูปวงกลม มีรัศมีประมาณ 100 เมตร และมีความสูงประมาณ 10 เมตร ความลาดเอียงของมวลหินทรายบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น มีลักษณะเป็นรูปวงกลม มีรัศมีประมาณ 100 เมตร และมีความสูงประมาณ 10 เมตร



รูปที่ ก-145 Contour plots ของรอยแตกของหินทรายของความลาดเอียงมวลหินบริเวณ
เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No. 48)



รูปที่ ก-146 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินทรายของ
ความลาดเอียงมวลหินบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No. 48)

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 270 degrees มุมเท 83 degrees ระยะห่างรอยแตก 1 ถึง 2 m ระยะเปิดเขยอ 5 ถึง 10 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทรายแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 ถึง 7 และมีความต่อเนื่องประมาณ 30%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 189 degrees มุมเท 76 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 1 m ระยะเปิดเขยอ 3 ถึง 10 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทรายแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 7-9 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 60-70%

จากข้อมูลภาคสนามพบว่าความลาดเอียงมวลหินไม่มีเสถียรภาพ มีการพังแบบพลิกคว่ำและแบบรูปปลีมี บริเวณฐานของความลาดเอียงมวลหินจะพบเศษหินขนาด $0.2 \times 0.1 \times 0.3$ ถึง $1.6 \times 2 \times 1.2 \text{ m}^3$ ร่วงหล่น

Slope No 49, บริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น หรือที่ 47 Q 0245671 และ UTM 1859043 ดังรูปที่ ก-147 ความลาดเอียงมวลหินมีความสูงประมาณ 20 m ขาวประมาณ 12 m ประกอบด้วยหินทรายมีค่ากำลังรับแรงอัด 50 ถึง 100 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 060 degrees มีมุมเท 75 degrees รูปร่างของความลาดเอียงเป็นรูปโค้งออก บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงไม่พบชั้นพีชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝนระดับความผุกร่อนในมวลหินอยู่ในระดับต่ำ และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-148 และรูปที่ ก-149 คือ

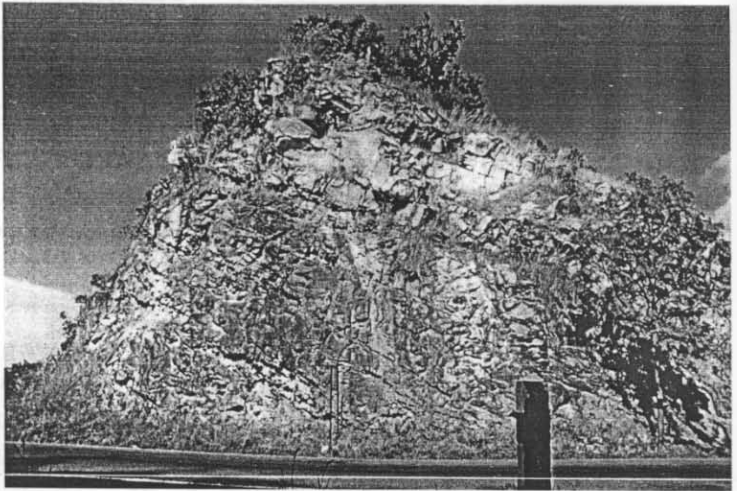
รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 026 degrees มีมุมเท 26 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.15 ถึง 1 m ระยะเปิดเขยอ 0.5 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทราย มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และมีความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 270 degrees มุมเท 83 degrees ระยะห่างรอยแตก 1 ถึง 2 m ระยะเปิดเขยอ 5 ถึง 10 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทรายแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 ถึง 7 และมีความต่อเนื่องประมาณ 30%

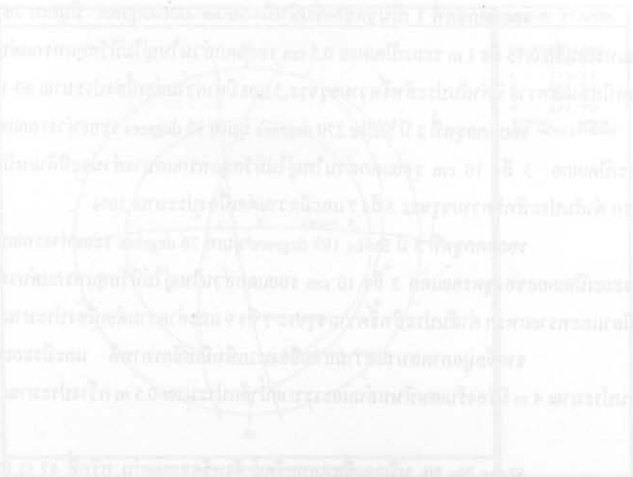
รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 189 degrees มุมเท 76 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 1 m ระยะเปิดเขยอของชุดรอยแตก 3 ถึง 10 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทรายแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 7 ถึง 9 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 60-70%

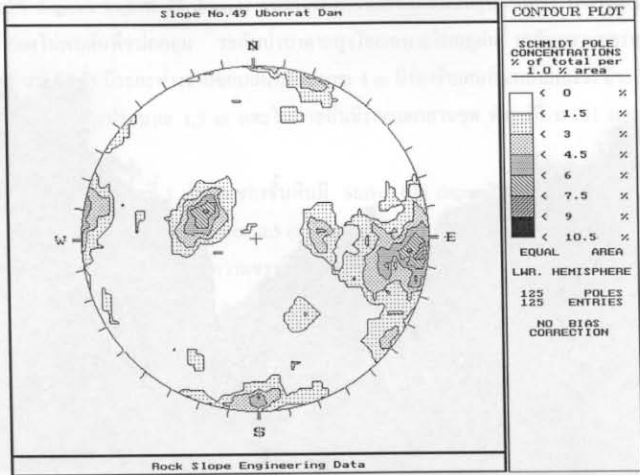
จากข้อมูลภาคสนามความลาดเอียงมวลหินมีเสถียรภาพดี และมีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 4 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1.5 m

Slope No 50, บริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น หรือที่ 47 Q 0245671 และ UTM 1859043 ดังรูปที่ ก-150 ความลาดเอียงมวลหินมีความสูงประมาณ 16 m ขาวประมาณ 30 m ประกอบด้วยหินทรายมีค่ากำลังรับแรงอัด 50 ถึง 100 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียง

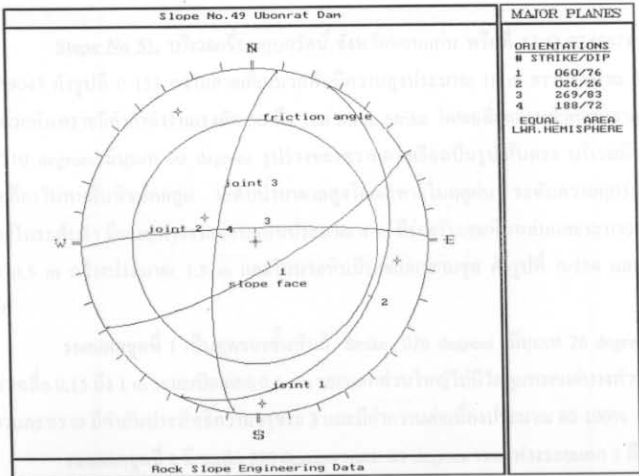


รูปที่ ก-147 ความลาดเอียงมวลหินทรายบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No.49)

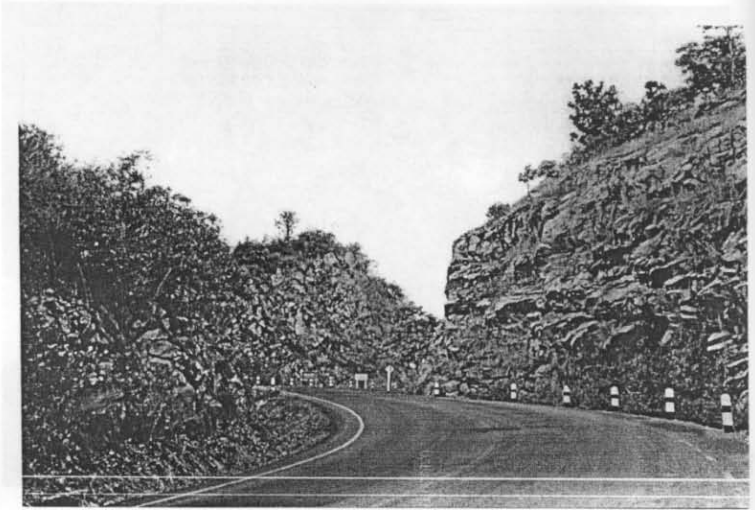




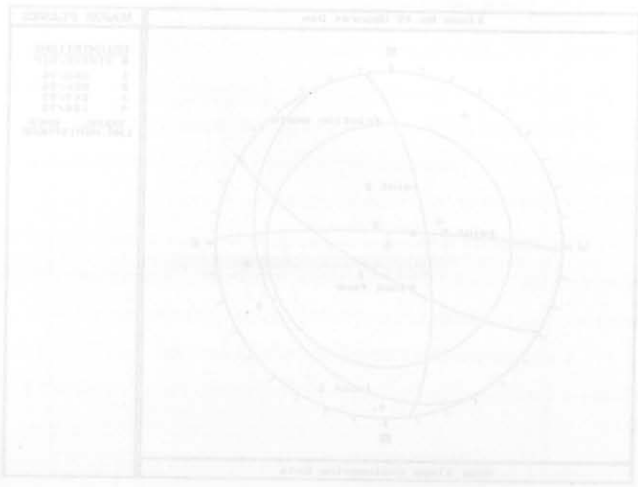
รูปที่ ก-148 Contour plots ของรอยแตกของหินทรายของความลาดเอียงมวลหินบริเวณ เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No. 49)



รูปที่ ก-149 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินทรายของ ความลาดเอียงมวลหินบริเวณ เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No.



รูปที่ ก-150 ความลาดเอียงมวลหินทรายบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No.50)



รูปที่ ก-150 ความลาดเอียงมวลหินทรายบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No.50)

มวลหิน 020 degrees มีมุมเท 72 degrees รูปร่างของความลาดเอียงเป็นรูปเส้นตรง บริเวณผิวหน้า ความลาดเอียงไม่พบต้นพืชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความชุ่มชื้นในมวลหินอยู่ในระดับต่ำ มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 4 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1.5 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-151 และรูปที่ ก-152 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 026 degrees มีมุมเท 26 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.15 ถึง 1 m ระยะเปิดแยก 0.5 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทราย มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 270 degrees มุมเท 83 degrees ระยะห่างรอยแตก 1 ถึง 2 m ระยะเปิดแยก 5 ถึง 10 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทราย แทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 ถึง 7 และมีความต่อเนื่องประมาณ 30%

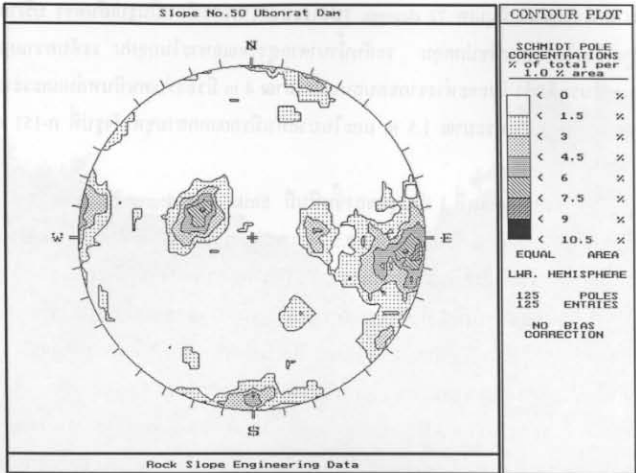
รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 189 degrees มุมเท 76 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 1 m ระยะเปิดแยก 3 ถึง 10 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทราย แทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 7-9 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 60-70%

จากข้อมูลภาคสนามความลาดเอียงมวลหินมีเสถียรภาพดี แต่ก็มีารพังแบบพลิกคว่ำของหินเล็กน้อย ที่ฐานของความลาดเอียงพบเศษหินร่วงหล่นเพียงเล็กน้อย

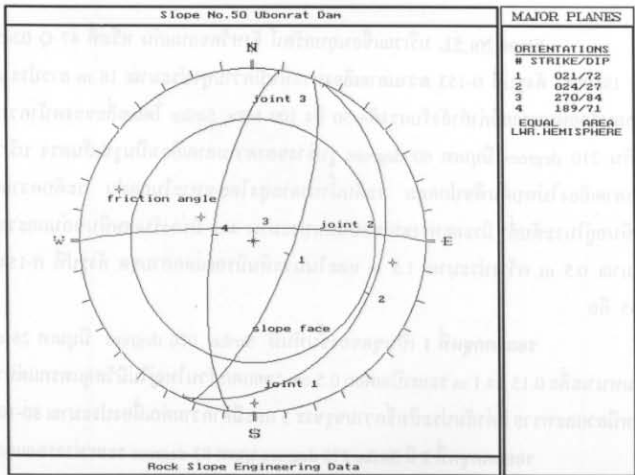
Slope No 51. บริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น หรือที่ 47 Q 0245671 และ UTM 1859043 ดังรูปที่ ก-153 ความลาดเอียงมวลหินมีความสูงประมาณ 18 m ยาวประมาณ 30 m ประกอบด้วยหินทรายมีค่ากำลังรับแรงอัด 50 ถึง 100 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 210 degrees มีมุมเท 60 degrees รูปร่างของความลาดเอียงเป็นรูปเส้นตรง บริเวณผิวหน้า ความลาดเอียงไม่พบต้นพืชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความชุ่มชื้นในมวลหินอยู่ในระดับต่ำ มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 4 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1.5 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-154 และรูปที่ ก-155 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 026 degrees มีมุมเท 26 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.15 ถึง 1 m ระยะเปิดแยก 0.5 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทราย มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 270 degrees มุมเท 83 degrees ระยะห่างรอยแตก 1 ถึง 2 m ระยะเปิดแยก 5 ถึง 10 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทราย แทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 ถึง 7 และมีความต่อเนื่องประมาณ 30%



รูปที่ ก-151 Contour plots ของรอยแตกของหินทรายของความลาดเอียงมวลหินบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No. 50)



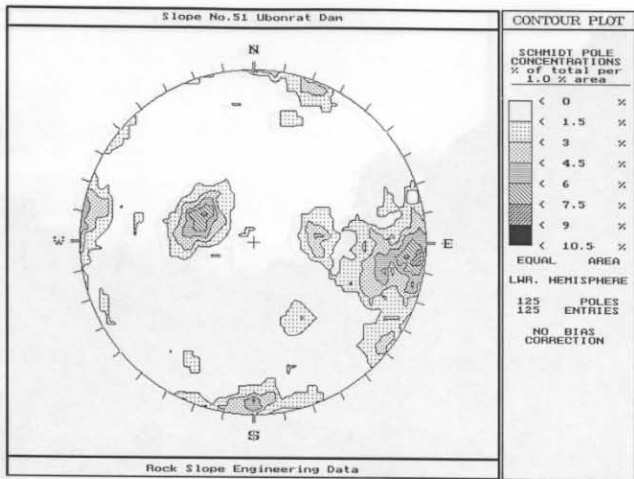
รูปที่ ก-152 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินทรายของความลาดเอียงมวลหินบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No. 50)



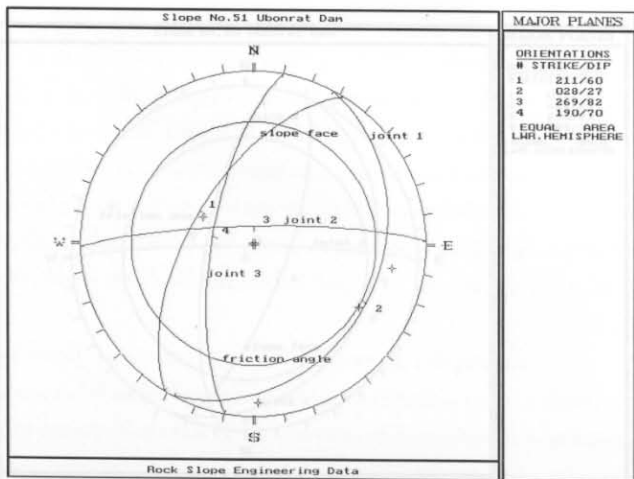
รูปที่ ก-153 ความลาดเอียงมวลหินทรายบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No.51)



รูปที่ ก-154 ความลาดเอียงมวลหินทรายบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No.52)



รูปที่ ก-154 Contour plots ของรอยแตกของหินทรายของความลาดเอียงมวลบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No. 51)



รูปที่ ก-155 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินทรายของความลาดเอียงมวลหินบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No. 51)

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 189 degrees มุมเท 76 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 1 m ระยะเปิดแยก 3 ถึง 10 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทรายแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 7 ถึง 9 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 60-70%

จากข้อมูลภาคสนามความลาดเอียงมวลหินมีเสถียรภาพดี ที่ฐานของความลาดเอียงพบเศษหินร่วงหล่นเพียงเล็กน้อย

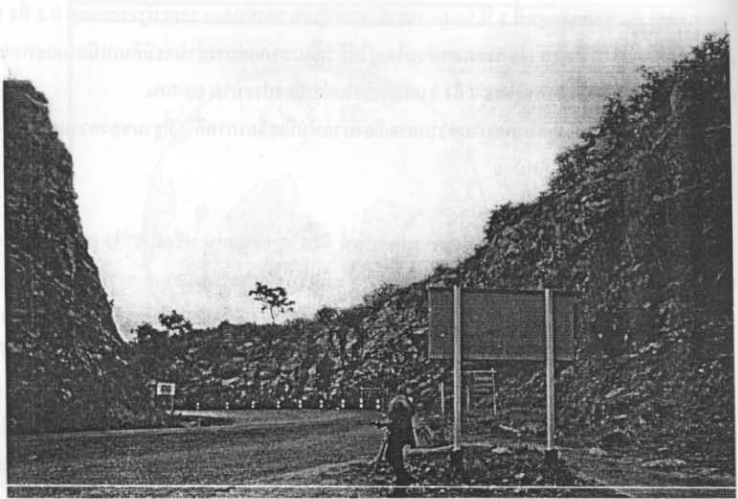
Slope No 52. บริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัด ขอนแก่น หรือที่ 47 Q 0245671 และ UTM 1859043 ดังรูปที่ ก-156 ความลาดเอียงมวลหินมีความสูงประมาณ 20 m ยาวประมาณ 20 m ประกอบด้วยหินทรายมีค่ากำลังรับแรงอัด 50 ถึง 100 MPa, Strike โดยเฉลี่ยของหน้าความลาดเอียงมวลหิน 260 degrees มุมเท 60 degrees รูปร่างของความลาดเอียงเป็นรูปเส้นตรง บริเวณผิวหน้าความลาดเอียงไม่พบต้นพืชปกคลุม ระดับน้ำบาดาลสูงโดยเฉพาะในฤดูฝน ระดับความผุกร่อนในมวลหินอยู่ในระดับต่ำ มีระยะห่างจากขอบถนนประมาณ 4 m มีร่องรับเศษหินหล่นและระบายน้ำลึกประมาณ 0.5 m กว้างประมาณ 1.5 m และในมวลหินมีรอยแตกสามชุด ดังรูปที่ ก-157 และรูปที่ ก-158 คือ

รอยแตกชุดที่ 1 เป็นชุดของชั้นหินมี Strike 026 degrees มุมเท 26 degrees มีความหนาเฉลี่ย 0.15 ถึง 1 m ระยะเปิดแยก 0.5 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทราย มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 3 และมีค่าความต่อเนื่องประมาณ 80-100%

รอยแตกชุดที่ 2 มี Strike 270 degrees มุมเท 83 degrees ระยะห่างรอยแตก 1 ถึง 2 m ระยะเปิดแยก 5 ถึง 10 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทรายแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 5 ถึง 7 และมีความต่อเนื่องประมาณ 30%

รอยแตกชุดที่ 3 มี Strike 189 degrees มุมเท 76 degrees ระยะห่างรอยแตก 0.2 ถึง 1 m ระยะเปิดแยก 3 ถึง 10 cm รอยแตกส่วนใหญ่ไม่มีวัสดุแทรกแต่บางส่วนจะมีดินเหนียวและทรายแทรก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 7 ถึง 9 และค่าความต่อเนื่องประมาณ 60 ถึง 70%

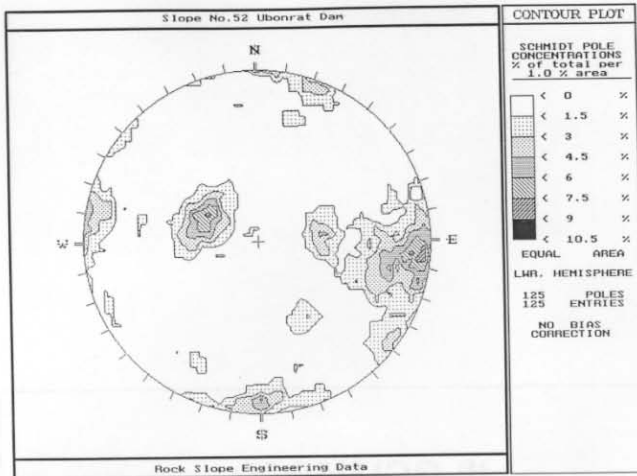
จากข้อมูลภาคสนามความลาดเอียงมวลหินมีเสถียรภาพดี ที่ฐานของความลาดเอียงพบเศษหินร่วงหล่นเพียงเล็กน้อย



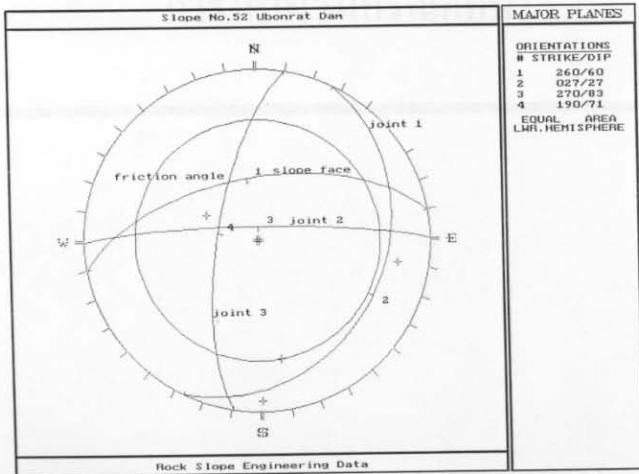
รูปที่ ก-156 ความลาดเอียงมวลหินทรายบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No.52)



รูปที่ ก-155 Diagram of a plane, Slope No. 52 at the Ubon Ratchathani Dam, Thailand



รูปที่ ก-157 Contour plots ของรอยแตกของหินทรายของความลาดเอียงมวลบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No. 52)



รูปที่ ก-158 Representative plane, Slope orientation และ Friction angle หินทรายของความลาดเอียงมวลหินบริเวณเขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น (Slope No. 52)

ภาคผนวก ข

การทบทวนกรณีศึกษา

การทบทวนกรณีศึกษา

การทบทวนกรณีศึกษาของงานวิจัยมีจุดประสงค์หลัก คือ เพื่อนำข้อมูลจากกรณีศึกษาไปใช้เปรียบเทียบกับคำแนะนำหรือการประเมินจากระบบผู้เชี่ยวชาญ เพื่อดูความแตกต่างระหว่างผลการประเมินและออกแบบที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญเมื่อเทียบกับกรณีศึกษา ข้อมูลที่ได้มาจกบทความที่อยู่ในวารสารและรายงานการประชุมทางวิชาการด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิคและวิศวกรรมโยธา โดยข้อมูลส่วนใหญ่ร้อยละ 80 ได้มาจกรายงานการประชุมทางวิชาการ จากบทความทั้งหมด 200 บทความ พบว่ามีเพียง 1 ใน 4 ส่วน คือ ประมาณ 55 บทความเท่านั้นที่สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลได้ บทความส่วนใหญ่จะนำเสนอข้อมูลที่มีความจำเป็นไม่ครบถ้วนจึงนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลไม่ได้ เกณฑ์การคัดเลือกบทความ คือ บทความจะต้องให้ข้อมูลในส่วนที่สำคัญ เช่น ค่าความสูงของความลาดเอียงมวลหิน มุมเทของหน้าความลาดเอียง (Slope face angle) และการนำไปประยุกต์ใช้ ลักษณะการพังทลายหรือปัญหาที่พบ จำนวนรอยแตก (Number of joints set) คุณลักษณะของรอยแตก เช่น การวางตัวของรอยแตก (Joints orientation) มุมเทของรอยแตก (Joints dip angle) ระยะห่างรอยแตก (Joints spacing) ระยะเปิดแยกของรอยแตก (Joints aperture) วัสดุแทรกในรอยแตก (Joints infilling) ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของรอยแตก (Joint Roughness Coefficient, JRC) ค่ามุมเสียดทานของหินหรือของรอยแตก (Friction angle หรือ Internal friction angle) ค่าความเค้นยึดติดของผิวรอยแตก (Joints cohesion) ค่าความต่อเนื่องของรอยแตก (Joints persistence ระดับของน้ำบาดาล (Groundwater level)

ผลสรุปที่ได้จากการทบทวนกรณีศึกษาทั้ง 55 บทความจะนำเสนอในรูปแบบตารางเพื่อให้มีการทบทวนและเปรียบเทียบได้อย่างรวดเร็ว โดยจะเน้นไปที่กลไก ปัจจัย และลักษณะของเสถียรภาพหรือลักษณะการพังทลายของแต่ละกรณี และเพื่อให้ผู้อ่านสามารถตรวจสอบความถูกต้องแหล่งที่มาของแต่ละบทความซึ่งไว้ใน Column สุดท้ายของแต่ละกรณีศึกษา

Location	Rock Type	Intact strength (MPa)	Slope Height (m)	Slope Orientation (strike/dip)	Joint Set Numbers	Joint Orientation (strike/dip)	Joint Spacing (m)	Joint Aperture (cm)
Eskihisar (Yatagan-Mugla), Turkey, Case1	Marl & Thin coal bed	1.14-6.41 Average: 4.15	27	-78	4 & two tension crack	SE/75-85 to NE, SW	J1:0.65 (bed) J2:0.71 J3:0.82 J4:1.26	0.1
Baskoyak barite, Alolia, Turkey, Case2	Schist	4.2-6.15 Average: 5.2	18	-34	3	-	Average: 0.04	0.1-0.3
Kisrakdere lignite, Turkey, Case 3	Jointed marly Soft clay Coal	35.4-44.3 Average: 40.2 For Marly	110	-40 Working face	4	Bedding plane dip opposite with slope	J1:0.4 (bed) J2:0.75 J3:1.07 J4:0.13 J1:0.11 (bed) J2:0.37 J3:0.65	<0.1 & 0.1-0.5
Himmetoglu mine, Turkey, Case4	Marly rock mass	-	8.5	-76	3	-	-	-
Yima coal mine, Chi-	Sandstone Claystone	30.14	33-67	-20 to 32	-	-	0.27	-
Singapore, Face: W-W	Weathered shale	-	9.9	-68	-	-	-	-
Singapore, Face: X-X	Weathered shale	-	17.36	-63	-	-	-	-
Singapore, Face: Y-Y	Weathered shale	-	17.8	-50	-	-	-	-
Singapore, Face: Z-Z	Weathered sandstone	-	10.9	-58	-	-	-	-
Lincoln County, Northern of Taiwan	Weathered shale Weathered sandstone	-	-	078-085/28-32	-	Near parallel with slope face	-	-
Pamukkale-Golemezli canal, Turkey	Sandstone & Shale Alternation	-	46	N-75	-	-	-	-
Southwestern, British, Columbia Case:1	Conglomerated Loosely sand, silt	-	20	-	3	Perpendicular & parallel slope face	2.5	-
Rocky mountains, Columbia, Case:2	Granite	-	150	-	-	Overtuned & dip>70	B:2-3	-

Infilling (type)	Persistence (%)	JRC/Friction Angle/ Cohesion (degrees/kPa)	Ground-water Conditions	Slope Type	Stable/ Unstable	Rock Supports	References
Soft coating	High persistence	JRC:Smooth surfaces & Slightly weathered	Dry	Surface mine	Circular failure	-	Sonmez, H., Ulusay, R. (1999)
Soft coating	High persistence	JRC:Smooth to slickensided surfaces & Highly weathered	Dry	Surface	Circular failure	-	Sonmez, H., Ulusay, R. (1999)
Soft coating	High persistence	17.7(c) 21(ϕ) Smooth & Slightly weathered	Dry	Surface mine	Circular failure & Toppling	-	Sonmez, H., Ulusay, R. (1999)
Soft coating	-	JRC:Slickensided surfaces & Moderate weathered	Dry	Surface mine	Circular failure	-	Sonmez, H., Ulusay, R. and Gokceoglu, G. (1998)
-	-	c=211 c=37 ϕ =37.1 ϕ =12.8	25%	Surface mine	Circular failure	-	Wang, J., Tan, W., Feng, S. and Zhou, R. (2000)
-	-	c=20-25	75%	Road cut	Land sliding	Shotcrete	Leung, C.F., Lo, K.W. (1993)
-	-	c=20-25	50%	Road cut	Circular failure	Rock bolts	Leung, C.F., Lo, K.W. (1993)
-	-	c=20-25 c=6 ϕ =32	75%	Road cut	Circular failure	Rock bolts & Shotcrete	Leung, C.F., Lo, K.W. (1993)
-	-	c=20-25 c=6 ϕ =32	75%	Road cut	Circular failure	Shotcrete	Leung, C.F., Lo, K.W. (1993)
-	-	ϕ =31	Fully saturated	Home	Land slide	Retaining wall, Pre-stressed anchors, Concrete grid, Drained pipe	Chang, C.T., Hou, P.C. and Chang, C.Y. (1998)
-	-	c=7 ϕ =32.5	Dry	Canal	Circular	Bench	Kumsar, H., Akgun, M. and Aydan, Ö. (1998)
-	-	ϕ =47	-	Rail way	Block toppling	Rock bolts, Blast	Wyllie, D. (1980)
-	-	Side:25(ϕ) Base:42(ϕ)	-	Coal mine	Secondary toppling	Modified Shape	Wyllie, D. (1980)

Location	Rock Type	Intact strength (MPa)	Slope Height (m)	Slope Orientation (strike/dip)	Joint Set Numbers	Joint Orientation (strike/dip)	Joint Spacing (m)	Joint Aperture (cm)
Southwestern, British, Columbia, Case:3	Andesite	-	120	-/Vertical ~70	2 Falts	Perpendicular & parallel slope face	-	-
Western high Wall	Norite	190 (150-210)	20	355/70-75 Working (56-59)	3	J1:343-24/17-55 J2:239-288/65-90 J3:201-261/70-90	0.2 0.3 0.4	0.2-6 0.2-2 0.2-2
North / South Foot wall	Calcite Silicate	140 (100-180)	-	265/ Working (51)	3	J1:357(345-8)/85-90, 163(143-182)/75(60-90)	0.4	0.2-2
North / South Foot wall	Calcite Silicate	140 (100-180)	-	265/ Working (51)	3	J2:284 (265-302)/86 (81-90), 106 (87-125)/79 (68-90) J3:34 (8-59)/61 (42-80)	0.5 0.3	0.2-2 0.2-2
North hanging wall & Foot wall	Parapyroxenite Serpentinized	200 (180-250) 270 (200-310)	-	-51-59 Potential Failure with J1: 100/-	4	J1:354/72, 173/73 J2:267/78, 93/82 J3:220/70, 35/62 J4:147/72, 335/63	0.5 0.4 0.3 0.15	-
North Quarry, Tanbun area, Perak, Malasia	Limestone	-	-	-	4	B: 166/55 J1:288/30 (daylight) J2:20/90 J3:300/80 J4:140/90 B=dominant	-	-
Section 43 to 44 Tanbun area, Perak, Malasia	Limestone	-	60 & lower haft overhang 40	-/90	-	Mostly Vegetation	-	-
Section 44-45 Tanbun area, Perak, Malasia	Limestone	-	50	-/90	-	-	-	-
Section 45-46 Tanbun area, Perak, Malasia	Limestone	-	50	-/90	-	-	-	-
Section 46-47 Tanbun area, Perak, Malasia	Limestone	-	Major Overhang 100 m. & 50 m.	-3 cliff faces 90	1	B:180/60 J:320/40 B:180/60	-	-
Section 47-48 Tanbun area, Perak, Malasia	Limestone	-	120	90	-	Vegetation cover	-	-

Infilling (type)	Persistence (%)	JRC/Friction Angle/ Cohesion (degrees/kPa)	Ground-water Conditions	Slope Type	Stable/ Unstable	Rock Supports	References
-	-	$\phi=15$	-	Rail way	Block toppling	Rock bolts & Blast	Wyllie, D. (1980)
Thick calcite Serpentine Some inactive clay Calcite	-	$c=100$ $\phi=31$	Saturated	Platinum mine	Plane slide	Bench	Bye, A.R. and Bell, F.G. (2001)
Calcite	-	$\phi=32$	Saturated	Platinum mine	Wedge slide	-	Bye, A.R., and Bell, F.G. (2001)
Serpentine, calcite Calcite	-	$\phi=32$	Saturated	Platinum mine	Wedge slide	Bench	Bye, A.R. and Bell, F.G. (2001)
Serpentine, calcite Calcite Serpentine Calcite	-	$\phi=55$	Saturated	Platinum mine	Flexural Topping failure	Bench	Bye, A.R. and Bell, F.G. (2001)
-	-	-	Saturated	Quarry	J1:Plane slide, Massive Rock fail J3:&B Wedge slide	Rock bolt, Rock dowels, concrete buttress	Tan, B.K. (1998)
-	-	-	Saturated	Quarry	NIL	-	Tan, B.K. (1998)
-	-	-	Saturated	Hill	NIL	Stable	Tan, B.K. (1998)
-	-	-	Saturated	Hill	NIL	Stable	Tan, B.K. (1998)
-	-	-	Saturated	Hill	NIL	Stable	Tan, B.K. (1998)
-	-	-	Saturated	Hill	NIL	Stable	Tan, B.K. (1998)

Location	Rock Type	Intact strength (MPa)	Slope Height (m)	Slope Orientation (strike/dip)	Joint Set Numbers	Joint Orientation (strike/dip)	Joint Spacing (m)	Joint Aperture (cm)
Section 48-49 Tanbun area, Perak, Malasia	Limestone	-	-	Overhang	-	Limestone's Pinnacles B:147/52 Base of cliff face B:168/63	-	-
Section 50-51 Tanbun area, Perak, Malasia	Limestone	-	50	Overhang	-	B:182/54, 180/60 Av:181/63	-	-
Section 51-52 Tanbun area, Perak, Malasia	Limestone	-	120	Vertical cliff face	-	B:155/62	-	-
Section 53-54 Tanbun area, Perak, Malasia	Limestone	-	30	Overhang	2	Av:B:180/76 Av:J1:93/84 Av:J2:280/88	B:1/2	-
Tai Sheung Kok quarry, Hong Kong Area: A	Granite Volcanic rock	-	100	-/70	Falts	F:-/75-88	-	-
Tai Sheung Kok quarry, Hong Kong Area: B	Granite Volcanic rock	-	-	-/70	Falts	F:-/75-88	-	-
Tai Sheung Kok quarry, Hong Kong Area: C	Granite Volcanic rock	-	130	-/58	Falts	F:-/65	-	-
Jinchuan open pit, Southwest slope, China	Migmatite Marble Schists	-	120	Drag-sliding zone 30-40 Main-sliding zone 49	Falt & Fracture	Intersect-ion line 81/33 & 65/53	-	Major fracture =20
West Pit Wall, Tai Bao mine, China	Loess Alluvium Falts zone Red clay- Gravel Coal	- - - - -	H:V= 2:1, 3:1 H:V= 3:1 H:V= 1.5:1	-/27 -/18 -/16 -/37	- - - -	- - - Horizontal	- - - -	- - - -
Over burden	Outwash sand Fresh Sandstone Weathered Sandstone	51.71 3.32	- 70	NE/32 Working face=NE/37 Bench=NE /80	- - -	B:Near horizontal J:070/80 330/Vertical 145/46 J:NW/30-50	B:>0.5	- - -
Base-Ment, Key Lake, Canada	Gneiss	-	-	NE/30-50	-	-	-	-
Gard open pits, South of France	Sandstone Siltstone	-	400	-/40-55	Heavily fracture	-	-	-

Infilling (type)	Persistence (%)	JRC/Friction Angle/ Cohesion (degrees/kPa)	Ground-water Conditions	Slope Type	Stable/ Unstable	Rock Supports	References
-	-	-	Saturated	Hill	Major Rockfalls	Rock bolt, Rock dowels	Tan, B.K. (1998)
-	-	-	Saturated	Hill	Major Rock falls ½ to 8 m. length of boulders	Rock bolt, Rock dowels	Tan, B.K. (1998)
-	-	-	Saturated	Hill	Rock falls	Rock bolt, Rock dowels	Tan, B.K. (1998)
-	-	-	Saturated	Hill	J1 intersect bedding-Blocks Possible Rock falls	Rock bolt, Rock dowels	Tan, B.K. (1998)
-	-	0(c), 40(φ) Fault zone: 13(c), 25(φ)	-	Quarry mine	Stable	Buttress in weak zone & Modified slope face	Endicott, L.J., Tong, J. and Kwong, J. (1981)
-	-	0(c), 40(φ) Fault zone: 13(c), 25(φ)	-	Quarry mine	Stable	Buttress in weak zone & Modified slope face	Endicott, L.J., Tong, J. and Kwong, J. (1981)
-	-	0(c), 40(φ) Fault zone: 13(c), 25(φ)	-	Quarry mine	Stable	Buttress in weak zone & Modified slope face	Endicott, L.J., Tong, J. and Kwong, J. (1981)
-	-	-	-	Open pit mine	Sliding, Toppling	-	Sijing, W. (1981)
-	-	φ=30 c=14.44 φ=30 c=38.52 φ=22 c=144.5 φ=40	Saturated	Open pit mine	Stable	Modified shape of slope, Bench	Tocher, R.J. and Fishel, W.K. (1986)
kaolinite chlorite gypsum hematite	-	φ=35 c=48 φ=35.5 c=0 φ=35.5 φ=12-26	Saturated	Open pit mine	Stable Stable	Bench, Ditch, Sump, Drainage System	Charbonneau, D. (1986)
-	-	25000(c), 45(φ) 15000(c), 40(φ)	Saturated	Open pits	Circular	Bench	Hantz, D. (1986)

Location	Rock Type	Intact strength (MPa)	Slope Height (m)	Slope Orientation (strike/dip)	Joint Set Numbers	Joint Orientation (strike/dip)	Joint Spacing (m)	Joint Aperture (cm)
Tarn open pits, South-west of France	Sandstone Siltstone	-	-	-	Normal fault, Fracture	NW-SW	-	-
Aiton mine, Canada	Volcanogenic sediments	0.06-68	250	EW/40	Fault, Fracture	F:20-30/65-75	-	3.2-31.8
Rubha Mor, Scotland	Phyllite & Mica schist	-	70	S-N/45-56 to east	4	J1:160/50 J2:081/90 J3:120/50 J4:040/60	J1:0.3-1 J2:>1.0 J3:widely J4:widely	J1:tight- moderate J2:open J3:open J4:right
Highvale mine, USA	Sandstone, Mudstone, Coal	-	45	EW/70-80	Fracture	NW/ - EW/ -	-	-
Huge iron mine, Russia	Clay, Carbonate, Sand, Loams	-	11.6	-/32	-	-	-	-
Brenda mines, British Columbia	Quartz diorite	-	270-400	-/40-45	Joints, Fault	J:EW/70	-	-
Hilton mine pit, Ottawa river, Canada, Hanging Wall	Granite, Granodiorite, Limestone Sandstone	-	-	157/-	4	J1:093/55N J2:020/84E J3:136/26SW J4:165/59E	J1:1.6 J2:2.1 J3:1.0 J4:2.10	-
Hilton mine pit, Ottawa river, Canada, East Wall	Granite, Grano diorite, Limestone, Sandstone	-	-	298/-	4	J1:093/55N J2:020/84E J3:136/26SW J4:165/59E	J1:1.6 J2:2.1 J3:1.0 J4:2.10	-
Hilton mine pit, Ottawa river, Canada, East Hanging Wall	Granite, Grano diorite, Limestone, Sandstone	-	-	178/-	4	J1:093/55N J2:020/84E J3:136/26SW J4:165/59E	J1:1.6 J2:2.1 J3:1.0 J4:2.1	-
Hilton mine pit, Ottawa river, Canada, North east Hanging Wall	Granite, Grano-diorite, Limestone, Sandstone	-	-	232/-	4	J1:093/55N J2:020/84E J3:136/26SW J4:165/59E	J1:1.6 J2:2.1 J3:1.0 J4:2.10	-

Infilling (type)	Persistence (%)	JRC/Friction Angle/ Cohesion (degrees/kPa)	Ground-water Conditions	Slope Type	Stable/ Unstable	Rock Supports	References
-	-	-	Saturated	Open pit	-	-	Hantz, D. (1986)
Clay, calcite, chlorite, hematite	-	2068-3448(c), 15-25(ϕ)	Saturated	Open pits	Unstable large toppling	Drain pipe, Extensometers	Reid, G. and Stewart, D. (1986)
J1: thick gouge J2: nothing J3: clay J4: nothing	J1: >80 J2: ~80 J3: ~50 J4: ~20	J1: smooth J2: undulating J3: undulating J4: smooth & 30(ϕ)	Present	Road	Plane & Wedge slide	Height=50 m. & Face angle=45 degrees	Saini, G.S. (1992)
-	-	-	Saturated	Open pits	Semi-Circular, Circular Block slide, Slump	Bench, $\omega_r=35$, Buttress, Drain-pipe	Fenton, M.M., Trudell, R.M., Pawlowicz, J.G., Jones, C.E., Moran, S.R. and Nikols, D.J. (1986)
-	-	Clay: 2(c), 14(ϕ)	-	Open pits	Landslide	Bench or Drainpipe Pre-loading	Perera, A.K.S.A. (1986)
Clay	-	-	-	Open Pits	Unstable from Blasting & Water	Bench $H_b=15m$ $W_b=30m$ $\omega_b=50-70$ Monitoring	Blackwell, G.H. (1986)
-	-	-	Saturated	Pit	Wedge slide	Investigation of shear strength design of artificial support near haul road or critical area	Wade, N.H. and Peterson, T.W.P. (1986)
-	-	-	Saturated	Open pit	Wedge slide	Scale benches, controlled blasting, possible use of inclined face	Wade, N.H. and Peterson, T.W.P. (1986)
-	-	-	Saturated	Open pit	Plane Wedge	shear strength investigation; possible artificial support near haul roads and critical area	Wade, N.H. and Peterson, T.W.P. (1986)
-	-	-	Saturated	Open pit	Plane Wedge	shear strength investigation; possible artificial support near haul roads and critical area	Wade, N.H. and Peterson, T.W.P. (1986)

Location	Rock Type	Intact strength (MPa)	Slope Height (m)	Slope Orientation (strike/dip)	Joint Set Numbers	Joint Orientation (strike/dip)	Joint Spacing (m)	Joint Aperture (cm)
Hilton mine pit, Ottawa river, Canada, East Footwall	Granite, Grano-diorite, Limestone, Sandstone	-	-	016/-	4	J1:093/55N J2:020/84E J3:136/26SW J4:165/59E	J1:1.6 J2:2.1 J3:1.0 J4:2.1	-
Hilton mine pit, Ottawa river, Canada, South-west nose	Granite, Grano-diorite, Limestone, Sandstone	-	-	324 / -	4	J1:093/55N J2:020/84E J3:136/26SW J4:165/59E	J1:1.6 J2:2.1 J3:1.0 J4:2.1	-
Hilton mine pit, Ottawa river, Canada, West footwall	Granite, Grano-diorite, Limestone, Sandstone	-	-	232 / -	4	J1:093/55N J2:020/84E J3:136/26SW J4:165/59E	J1:1.6 J2:2.1 J3:1.0 J4:2.1	-
Palabora mine, South Africa	Fenite, Micaceous pyroxenite, Foskorite, Carbo-tite	37-70	Working slope: 200-350	-	-	-	-	-
Rio Blanco mine, Chile Level 8-9	Andesite	-	53	-/60	2	J1:023/85 J2:183/66	-	-
Rio Blanco mine, Chile Level 9-11	Andesite	-	95	-/80	5	J1:061/78 J2:334/86 J3:156/69 J4:323/58 J5:065/48	-	-
The Paddington Gold Mine, Western, Australia	Quartz vein	-	70	-	3	J1:180/75 J2:330/83, 17082 J3:351/20, 144/09, 344/64, 339/88	-	J1:Closely J2: Moderate to widely J3: Moderately
The Hamersley Range, Western Australia	Massive chert, Argillaceous, shale	15 12	12	150/26	3	J1:65/17 (b) J2:51/nearly vertical J3:150/ nearly vertical	J1:0.01-0.23 J2:2-8 J3:8-10	J1:50-100 J2:- J3:-

Infilling (type)	Persistence (%)	JRC/Friction Angle/ Cohesion (degrees/kPa)	Ground-water Conditions	Slope Type	Stable/ Unstable	Rock Supports	References
-	-	-	Saturated	Open pit	Plane Wedge	Use of inclined faces, shear strength investigation; possible artificial support near haul roads and critical area	Wade, N.H. and Peterson, T.W.P. (1986)
-	-	-	Saturated	Open pit	Plane Wedge	Use of inclined faces shear strength investigation; possible artificial support and drainage in critical area Artificial support where required	Wade, N.H. and Peterson, T.W.P. (1986)
-	-	-	Saturated	Pit	Plane Wedge	Use of incline bench faces, possible some artificial support or where required	Wade, N.H. and Peterson, T.W.P. (1986)
-	-	$\phi=15-35$	Saturated	Open pit	Wedge, Plane	Bench	Martin, D.C., Steenkamp, N.S.L. and Lill, J.W. (1986)
-	-	$c=62$ $\phi=36$	-	Open pit	Wedge, Plane	-	Mario, V.A., Jaime, G.R., Patricio, G.A., Cristian, V.L. and Mahtab, M.A. (1986)
-	-	$c=62$ $\phi=36$	-	Open pit	Wedge, Plane	-	Mario, V.A., Jaime, G.R., Patricio, G.A., Cristian, V.L. and Mahtab, M.A. (1986)
-	-	-	-	Open pit	Toppling	4-row of rock bolt, $\phi=15.2$ mm. 500-1000 kN, Portland cement Length 15-20 m. Bolt spacing=4-6 m. Drainpipe	Thompson, A.G., Windsor, C.R., Robertson and Robertson, I.G. (1995)
-	-	J1:2-4(JRC) J2:16-18(JRC) J3:16-18(JRC) 19-22(ϕ)	-	-	Plane slide	-	Wyrwoll, K.H. (1986)

Location	Rock Type	Intact strength (MPa)	Slope Height (m)	Slope Orientation (strike/dip)	Joint Set Numbers	Joint Orientation (strike/dip)	Joint Spacing (m)	Joint Aperture (cm)
Granitee Rail quarry, USA	Granite	-	70	-/65 (Overhang)	4	Discontinuity parallel to the face	-	-
Jame valley, St Hele-, South Atlantic island	Basaltic & Andesite	-	100	-/38	-	-	-	-
Pacoima Dam, California, USA	Diorite, Schistose, Gneiss, Granite, Gabro, Pegmatite	-	30	-	4	J1:78/84 J2:170/82 J3:264/44 J4:65/28	-	-
Horse Mesa Dam road, Central Arizo-, USA	Volcanic and Volcanoclastic, Volcanic tuff	-	4.6	-	-	-	-	-
Keles lignite coal mine, Turkey, Region A	Clay, Coal, Marl, Limestone	-	-	NW-SE/55-60	4	Coal:NW-SE/5-15 Fault:NW-SE & NE-SW J:220/, 240/, 62/All set vertical dipping	-	-
Keles lignite coal mine, Turkey Region B	Clay, Coal, Marl, Limestone	-	-	NW-SE/34	4	Coal:NW-SE/5-15 Fault: 300/90, 250/85 J: 347/, 324/, 70/All set vertical dipping	-	-
Keles lignite coal mine, Turkey Region C	Clay, Coal, Marl, Limestone	-	-	NW-SE/43	4	Coal:NW-SE/5-15 Fault:230/70, 330/70, 345/80 J:321/, 69/All set vertical dipping	-	-
Ok Tedi mine, Papua New Guinea	Siltstone, Sandstone, Limestone, Mudstone	-	500	-	Closely jointed	-	-	-
Candide landslide, northern, Italy	Schist, highly weathered phyllitic	30	50	-/30-35	-	-	-	-
Massachusetts highways, USA	Granite, Gneiss and Schist Basalt	180-207 Basalt	-	-	-	Irregular pattern & steeply dipping	0.05-0.3	Open discontinuity
Keshwar tunnel Tehran	Calcareous shale, Heavily weathered	-	120	N-S/45	-	Rock mass dip:N-S/65	-	-

Infilling (type)	Persistence (%)	JRC/Friction Angle/ Cohesion (degrees/kPa)	Ground-water Conditions	Slope Type	Stable/ Unstable	Rock Supports	References
-	-	-	75%	Quarry	Rock fall, Toppling	Quarry	McCaffrey, M.A. and Sacco, E.G. (1999)
-	-	-	Saturated	Home	Rock fall Toppling	-	Culshaw, M.G. and Bell, F.G. (1991)
-	-	$\phi=22$	Saturated	Dam abutments	Plane slide	-, Using block theory	Hatzor, Y. H. (1995)
-	-	-	Saturated	Dam road	Unstable	Rock back fill & Use Gabions stabilized	Kandaris, P.M. (1999)
Fault:Clay	-	-	75%	Open pit	Wedge slide	Bench	Ozgenoglu, A., Pasamehmetoglu, A.G., Kulaksiz, S. and Sari, D. (1992)
Fault:Clay	-	$\phi=30$	75%	Open pit	Toppling failure	Bench	Ozgenoglu, A., Pasamehmetoglu, A.G., Kulaksiz, S. and Sari, D. (1992)
Fault:Clay	-	-	75%	Open pit	Toppling failure	Bench	Ozgenoglu, A., Pasamehmetoglu, A.G., Kulaksiz, S. and Sari, D. (1992)
-	-	-	Saturated	Open pit	Large land slide	-	Read, J.R.L. and Maconochie. (1991)
-	-	$\phi=35$	-	Oldest palaces of architecture	Large land slide	Cablebolt, Mocropiles, Reinforced concrete & Drains	Mammuto, A. and Tomon, F. (1999)
Quartz	-	Irregular	50%	Main highway	Toppling	Riprap	Farquhar, O.C. (1980)
-	-	$\phi=25$ $c=200$	50%	Railway	Laugh circular	Remove over burden	Najm, K. and Ishijima, Y. (1992)

Location	Rock Type	Intact strength (MPa)	Slope Height (m)	Slope Orientation (strike/dip)	Joint Set Numbers	Joint Orientation (strike/dip)	Joint Spacing (m)	Joint Aperture (cm)
Campania, South of Italy	Limestone	50-100	120	NW-SE/45 Fault plane=210-220 (East slope)	6	J1:40/16 J2:295/64 J3:120/80 J4:73/75 J5:276/72 J6:150/85	0.8-1 (Average)	-
Campania, South of Italy	Limestone	50-100	160	NW-SE/45 Fault plane=210-220 (West slope)	6	J1:76/15 J2:322/85 J3:148/74 J4:116/84 J5:118/54 J6:56/85	0.8-1 (Average)	-
The Masada mountain, Israel	Dolomite & Limestone	300	250	East face & North face	Intensely fractured	J24/14(b) Parallel and normal to the long axis of the mountain	0.25-0.5 (Average)	Closely spaced
Lignite strip coal mine, Turkey	Coal, Laminated Marl, Clayey limestone, Claystone	-	26 25 25	Section:3-3 Section:2-2 Section:1-1	6	R:-/3 J2:NE-SW/80-90 J3:NW-SE/80-90 F1:NEE-SWW /60-80SE F2:NE-SW/ 60-80NW F3:NW-SW/ 60-80SW	Average spacing of discontinuity:0.39	Moderately spaced
The Bawang Mountain landslide, Japan	Limestone	-	940	-/40	-	Parallel with slope face	-	-
Seven Oaks Dam, USA Region 1	Gneiss, Quartz diorite	-	12 18	NW-SE/76 NW-SE/76	1	J1:130/60-85 Fault zone: extensively jointed, highly fractured	-	-
Seven Oaks Dam, USA Region 2	Gneiss, Quartz diorite	-	12 18	NW-SE/76 NW-SE/76	2	J1:170/60 J2:110/60 Fault zone: extensively jointed, highly fractured	-	-
Charmonctier landslide, French Alps.	Megmatic amphibole, Granite, Sedimentary formation	-	600	NW-SE/38NE	-	Foliation: Parallel with slope face with 30-40 degrees	-	-
Thornton pit, Canada		-	30	-/25	-	-	-	-
Eskihisar strip coal mine, Turkey	Marl	-	-	E-W/-	2	F:-/22 J:-/84 Dip of intersection line=50	-	-

Infilling (type)	Persistence (%)	JRC/Friction Angle/ Cohesion (degrees/kPa)	Ground-water Conditions	Slope Type	Stable/ Unstable	Rock Supports	References
-	-	-	-	Home	Rock fall Wedge failure	-	Budetta, P. and Santo, A. (1993)
-	-	-	-	Home	Rock fall Wedge failure	-	Budetta, P. and Santo, A. (1993)
Crushed dolomite	Very persistence	$\phi=22.7$	-	Nation park	Toppling, Plane slide	-	Hatzor, Y.H. (1999)
B:Clay	80	B: Smooth-planar J2: Smooth-planar	75%	Open pit	Circular Failure Fail in Marl	-	Ulusay, R. and Aksoy, H., 1994
-	-	$c=40$ $\phi=17$	Dry	Mountain	Bucking	-	Qin, S., Jiao, J.J. and Wang, S. (2001)
-	80-100	$\phi=23$ $c=1100$	30%	Dam	Toppling, Wedge, Plane slide	Bench, Overall face=50	Wibowa, J.L. and Nicholson, G.A. (1996)
-	100	$\phi=23$ $c=1100$	30%	Dam	Toppling, Wedge, Plane slide	Bench, Overall face=50	Wibowa, J.L. and Nicholson, G.A. (1996)
-	-	-	-	Mountain	Large landslide	-	Hadjigeorgiou, J., Coutore, R. and Locat, J. (1996)
-	-	$\phi=28-35$	-	Open pit	-	Bench	Sperling, T. and Freeze, A.R. (1987)
-	>80	F:c=18.0 J:c=8.7 F: $\phi=26$ J: $\phi=31.8$	-	Open pit	Wedge slide	-	Kumsar, H., Aydan, Ö. and Ulusay, R. (2000)

Location	Rock Type	Intact strength (MPa)	Slope Height (m)	Slope Orientation (strike/dip)	Joint Set Numbers	Joint Orientation (strike/dip)	Joint Spacing (m)	Joint Aperture (cm)
Zelve Open Museum, A-tolia	-	-	-	165/81	2	J1:228/64 J2:118/44 Dip of intersection line=78	-	-
Ankara Castle, USA	-	-	-	72/69	2	J1:103/45 J2:15/62 Dip of intersection line=42	-	-
Earthquake-prone Area, Turkey	-	-	-	SW-NE/76NW	2	J1:SE-NW/76NE J2: SE-NW/74SW Dip of intersection line=50	-	-
Mt. Mayuyama, Japan	-	-	-	N-S/35	3	J1:300/45 J2:60/46 J3:45/65 Dip of intersection line=23	-	-
Open cast coal mine, Duvha colliery, South Africa	Coal	-	17	305/70	2	J1:288/42-65 J2:186-200/61-87	-	-
Open cast coal mine, Eikeboon colliery, South Africa	Coal	-	17	292/85	3	J1:340/82 J2:149/88 J3:281/66	-	-
Kaiya River, Porgera Papua New Guinea	Mudstone	-	70	NE-SW/80	-	B:-/50	-	-
Esino Lario and Piasco, Italy	Limestone, marls and dolomite	20-70	50	-/80	-	F:NE-SW/Subvertical J:NW-SF/25-45 and E-W/25-40	-	-
Pre-Alps, Italy	Micaschist, Gneiss, Granite	-	-	-	-	NW-SE/-, NE-SW/-	-	-
The South Wales Coalfield, UK	Sandstone, Siltstone, Mudstone, Coal, Scatearths	-	~130	-	-	B:NE-SW/ 4-5NW J:120-200/ near vertical	B:0.3-1 (Sandstone) J:1-3	B:More closely spaced J:30
The Noto Peninsula, Japan	Mudstone	0.0553	16	First:-/40 Second:-/26.5	-	-	-	-
Copper mine, Rajasthan, India	Hanging wall: Phyllites, Footwall: Felspar, amphibole, Quartzite	74.5-80.3	148 (Overall)	-/60	4	J1:280/85 J2:250-257/86-88 J3:122-130/26-30 J4:20/88	-	-

Infilling (type)	Persistence (%)	JRC/Friction Angle/ Cohesion (degrees/kPa)	Ground-water Conditions	Slope Type	Stable/ Unstable	Rock Supports	References
-	-	$\phi=30$ Slightly rough surfaces	-	Open pit	Wedge slide	-	Kumsar, H., Aydan, Ö. and Ulusay, R. (2000)
-	-	$\phi=30$	-	Open pit	Wedge slide	-	Kumsar, H., Aydan, Ö. and Ulusay, R. (2000)
-	-	$\phi=41$	-	Home	Wedge slide	-	Kumsar, H., Aydan, Ö. and Ulusay, R. (2000)
-	-	$\phi=30-40$	-	Home	Wedge slide	-	Kumsar, H., Aydan, Ö. and Ulusay, R. (2000)
-	-	-	-	Open pit	Plane slide	-	Jermy, C.A. (1991)
-	-	-	-	Open pit	Plane slide	-	Jermy, C.A. (1991)
-	-	-	Saturated	River	Circular, Toppling	-	Mules, G.J. (1991)
-	-	$\phi=34$	-	Mountain area	Landslide	-	Papini, M. and Scesi, L. (1991)
-	-	-	-	Mountain area	Landslide	-	Papini, M., and Scesi, L. (1991)
B:Smooth surface: Siltstone & Mudstone J:-	J:50 (Medium persistence)	B:Planar rough surfaces J:Undulating rough	-	Mountain area	Secondary toppling, Landslide failure	-	Siddle, I.J. and Hutchinson, J.N. (1991)
-	-	-	>80%	-	Circular failure	Temporary retaining wall, Drainpipe	Kawamura, K. and Ogawa, S. (1997)
-	-	$\phi=24-30$ $c=28645-30411$	-	Open pit	Stable	Bench design: Average heights 15-30 m & wide =3-9, Face angle =75-80 degrees	Baliga, B.D. and Singh, V.K. (1992)

Location	Rock Type	Intact strength (MPa)	Slope Height (m)	Slope Orientation (strike/dip)	Joint Set Numbers	Joint Orientation (strike/dip)	Joint Spacing (m)	Joint Aperture (cm)
Malaysia	Residual Granite	-	-	-	-	-	-	-
Upper Stillwater Dam Abutment, USA	Sandstone, Argillites	-	-	95/76	2	J1:110/45 J2:195/85	-	-
Stewart Mountain Dam, USA	Granite, Quartz diorite	-	44	350/80	2	J1:330/32 (slide) J2:55/87 (release)	-	-
Sugar Pine Dam, USA	Weathered rock	-	30	-	2	J1:210/30 J2:155/46	-	-
Theodore Roosevelt Dam, USA	Dolomite	-	37	270/84	-	B:320/25 J1:90/70 J2:228/83 J3:328/31	-	-
Theodore Roosevelt Dam, USA	Sandstone, Siltstone	-	12	264/76	-	B:320/25-50 J1:90/70 J2:228/83 J3:328/31	-	-
Deerfield Dam, USA	Biotite schist	-	18	110/63	-	J1:100/45 J2:005/70 J3:285/70	-	-
Tashlykская pumped storage, Russia	Granite	-	Slope1: ~35 Slope2: ~50	Slope 1:-/63 (3:1) Slope 2:-/50	6	J1:-/80-90 J2:40-65 J3:-/0-10 J4:-/40-65	-	1 Average
Kurciskaya hydroelectric, Russia	Dolerite, Sandstone, Siltstone	-	75	-/62	-	-	-	-
Inguri river, Arc dam, Russia	Limestone, Dolomites	-	-	-	-	R: -/55-60 SE	-	-
Lead zinc, Rajasthan, India	Gneisses, Schists and Intrusive rock	-	70-80	NS-SW/ 50-55 SE	6	J1:N45W/70S W to vertical J2:N45W/70NE to vertical J3:N44E/75 SE J4:N67W/36NE J5:N15W/34NE J6:N68 W/74NE Faults:N60 E- N/65 E	-	-

Infilling (type)	Persistence (%)	JRC/Friction Angle/ Cohesion (degrees/kPa)	Ground-water Conditions	Slope Type	Stable/ Unstable	Rock Supports	References
-	-	c=25	Saturated	Highway	Creep	Anchored caisson wall: 100 ton capacity	Toh, C.T., Yap, T.F. and Chee, S.K. (1993)
35(ϕ) 30(ϕ_b) 700(c)	-	-	Saturated	Dam	Block slide	Temporary rock bolts	Scott, G.A. (1995)
-	>80	$\phi=30$	Saturated	Spillway of dam	Block slide	Temporary rock bolts	Scott, G.A. (1995)
-	-	$\phi=20$	Saturated	Spillway of dam	Plane slide	Rock bolts:7-10 m long, Bolt spacing:2 m, Drain holes:16 m, & Spaced of drain 7 m.	Scott, G.A. (1995)
-	-	$\phi=45$	-	Road	Toppling failure	Rock bolts: 6-m long bolts on 3-m spacing	Scott, G.A. (1995)
Clay	-	c=15-20	Saturated	Spillway of dam	Plane slide	Rock bolts	Scott, G.A. (1995)
-	-	-	Saturated	Spillway of dam	-	Rock reinforcement	Scott, G.A. (1995)
-	>80	Zone B:c=40 Zone C:c=60	-	Open pit	-	Face 1:72 (5:1) Face 2:50 & bench design	Rechiski, V.I., Reznikova, V.I. and Gusarova T.J. (1992)
-	-	Zone B:c=50 Zone C:c=20	Saturated	Spillway	Unstable	Decrease face=60, Bench design	Rechiski, V.I., Reznikova, V.I. and Gusarova T.J. (1992)
-	-	c=10	Saturated	Dam abutment	Unstable	Increased cohesion=20 kPa	Rechiski, V.I., Reznikova, V.I. and Gusarova T.J. (1992)
-	-	-	Low	Open pit	Unstable	Design:Slope face=38 degrees for footwall & 48 degrees for hangingwall, Bench height in waste rock=10 m. & Ore=5 m. Overall face=65-68 degrees	Baliga, B.D., Sign, V.K. and Prakash, A.J. (1992)

Location	Rock Type	Intact strength (MPa)	Slope Height (m)	Slope Orientation (strike/dip)	Joint Set Numbers	Joint Orientation (strike/dip)	Joint Spacing (m)	Joint Aperture (cm)
The Muak pass, Seoul city, Korea	Highly weathered Granite	-	20-30	Region A: (0-60 m) 150/76	3	J1:155/80 J2:235/81 J3:330/60	-	-
The Muak pass, Seoul city, Korea	Highly weathered Granite	-	20-30	Region B: (60-148) 147/73-84	4	J1:52/70 J2:200/73 J3:300/80 J4:100/83	-	-
The Muak pass, Seoul city, Korea	Highly weathered Granite	-	20-30	Region C: (148-222) 145/50-87	3	J1:215/85 J2:140/80 J3:40/83	-	-
The Muak pass, Seoul city, Korea	Highly weathered Granite	-	20-30	Region D: (222-280) 146/69-75	4	J1:200/65 J2:150/80 J3:105/80 J4: 65/75	-	-
The Muak pass, Seoul city, Korea	Highly weathered Granite	-	20-30	Region E: (280-320) 148/78	3	J1:100/67 J2:200/80 J3:22/75	-	-
The Malankhand Copper Mine, India	Granite, Quartz, Granite, Basics	Footwall Granite=155 Orebody Granite & quartz=161, Hanging wall Granite=170 Basics=138	100	-	9	Average: ~70 to East	-	-
Garhwal, Himalayas, India Section: Kirtinagar slide	Phyllite & Quartzite	Phyllite:68 Quartzite: 103.5	~60	Phyllite: 290/45 Quartzite: 280/50	3	Phyllite J1:120/45 J2:315/23 J3:345/56 Quartzite J1:005/70 J2:270/66 J3:65/45	Phyllite J1:0.01-0.06 J2:<0.06 J3:0.01-0.07 Quartzite J1, J2 & J3: 0.02-0.06	-
Garhwal, Himalayas, India Section: Devprayag slide	Phyllite	Phyllite: 75.3	~120	015/42	3	Phyllite J1:045/42 J2:- J3:-	Phyllite J1:0.05-0.2 J2:- J3:-	-

Infilling (type)	Persistence (%)	JRC/Friction Angle/ Cohesion (degrees/kPa)	Ground-water Conditions	Slope Type	Stable/ Unstable	Rock Supports	References
-	-	$\phi=35$	Saturated	Home	Small scale wedge failure	150/40 Safe face	Lee, C.I., Suh, Y.H., Chang, K.M. and Shin, S.C. (1992)
-	-	$\phi=35$	Saturated	Home	Toppling failure, Rock fall	147/45 Safe face	Lee, C.I., Suh, Y.H., Chang, K.M. and Shin, S.C. (1992)
-	-	$\phi=35$	Saturated	Home	Wedge failure	145/45-50 Safe face	Lee, C.I., Suh, Y.H., Chang, K.M. and Shin, S.C. (1992)
-	-	$\phi=35$	Saturated	Home	Toppling failure	146/42 Safe face	Lee, C.I., Suh, Y.H., Chang, K.M. and Shin, S.C. (1992)
-	-	$\phi=35$	Saturated	Home	Local wedge failure	148/68 Safe face	Lee, C.I., Suh, Y.H., Chang, K.M. and Shin, S.C., (1992)
-	-	-	-	Open pit	Plane. Wedge, failure	Bench design: Bench Height =12 m. & Dip 70 degrees	Leventhal, A.R., Barker, C.S. and De Ambrosis, L.P. (1992)
Phyllite J1:Clay J2:NO J3:NO Quartzite J1, J2: Fine sand J3:NO	-	Phyllite J1:smooth J2:moderate J3:smooth 15-25 (ϕ) Quartzite J1, J2 & J3: moderated 15-35 (ϕ)	<25%	Highway	Landslide	-	Ramamurthy, T., Rao, K.S., Goel, S. and Mohi-ud-din, A.G. (1992)
Phyllite J1:Sand J2:NO J3:NO	-	Phyllite J1: moderate J2:- J3:- 125-35(ϕ)	<25%	Highway	Landslide	-	Ramamurthy, T., Rao, K.S., Goel, S. and Mohi-ud-din, A.G. (1992)

ภาคผนวก ค

การประเมินความเป็นไปได้ของการพังทลาย
เบื้องต้นโดยใช้วิธีทางเรขาคณิต

ในภาคผนวกนี้จะกล่าวถึงวิธีการพิจารณาความเป็นไปได้ของการพังทลายสำหรับการพังแบบแผ่นระนาบ แบบรูปสี่เหลี่ยม และแบบพริกคว่ำ การพังในลักษณะต่าง ๆ นี้จะต้องมีคุณลักษณะเชิงเรขาคณิตที่เหมาะสมระหว่างทิศทางและมุมของรอยแตกชุดต่าง ๆ กับทิศทางและมุมของหน้าลาดเอียง การพิจารณาว่าลักษณะการพังนั้นจะเกิดขึ้นได้หรือไม่จะอาศัยการคำนวณเชิงเรขาคณิตในสามมิติ แล้วมาเทียบเกณฑ์ของความเป็นไปได้ เช่น คุณลักษณะแบบ Daylight จะต้องเกิดขึ้นถ้าหน้าลาดเอียงนั้นมีการพังแบบแผ่นระนาบหรือแบบรูปสี่เหลี่ยม เป็นต้น

การพิจารณาด้วยวิธีนี้จะสามารถตัดชุดรอยแตกที่ไม่สามารถเกิดการพังได้ในเชิงเรขาคณิตออกไปจากการประเมินความน่าจะเป็นของการพังทลาย ซึ่งจะทำให้ขอบข่ายการประเมินรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น การคำนวณเชิงเรขาคณิตนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของการพังทลาย

1. การตรวจสอบความเป็นไปได้ของการเคลื่อนไหลบนแผ่นระนาบ

ในขบวนการของการพิจารณาความเป็นไปได้ของการไหลบนแผ่นระนาบจะมีการตรวจสอบเชิงเรขาคณิตสำหรับชุดรอยแตกชุดใด โดยแต่ละชุดจะแยกนำมาพิจารณา การคำนวณจะกำหนดให้มีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- ω_r คือ มุมของหน้าความลาดเอียงมวลหิน [องศา]
- δ_r คือ ทิศทางมุมของหน้าความลาดเอียงมวลหิน [องศา]
- $\omega_{r(n)}$ คือ มุมของชุดรอยแตกชุดที่ n [องศา]
- $\delta_{r(n)}$ คือ ทิศทางมุมของชุดรอยแตกชุดที่ n [องศา]
- $\Delta\delta$ คือ ค่าผลต่างระหว่างทิศทางของมุมของชุดรอยแตกเทียบกับมุมของหน้าความลาดเอียงมวลหิน [องศา]
- ϕ คือ มุมเสียดทานพื้นฐานของรอยแตกชุดที่ n [องศา]

การวิเคราะห์แบ่งได้เป็น 3 กรณีตามทิศทางมุมของรอยแตก และทิศทางของมุมของหน้าความลาดเอียง ความเป็นไปได้ในการเคลื่อนไหลบนแผ่นระนาบจะเกิดขึ้นเมื่อจุดสมการที่ (1), (2), (3) หรือ (4), (5), (6) หรือ (7), (8), (9) เป็นจริง

ในกรณีที่ $270 \leq \delta_{r(n)} \leq 360$ และ $0 \leq \delta_r \leq 90$ การเคลื่อนไหลจะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อ

$$\Delta\delta = -0.0197 \cdot [\omega_r]^2 + 2.8684 \cdot [\omega_r] - 21.4140 \quad (1)$$

และ $[360 + \delta_r - \Delta\delta] \leq \delta_{r(n)} \leq [360 + \delta_r + \Delta\delta]$ (2)

และ $\phi < \omega_{p(n)} < \omega_r$ (3)

หรือในกรณีที่ $0 \leq \delta_{p(n)} \leq 90$ และ $270 \leq \delta_r \leq 360$ การเคลื่อนไหลจะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อ

$$\Delta\delta = -0.0197 \cdot [\omega_p]^2 + 2.8684 \cdot [\omega_p] - 21.4140 \quad (4)$$

และ $[\delta_r - \Delta\delta] \leq \delta_{p(n)} + 360 \leq [\delta_r + \Delta\delta]$ (5)

และ $\phi < \omega_{p(n)} < \omega_r$ (6)

หรือในกรณีที่ $90 < \delta_p < 270$ และ $90 < \delta_r < 270$ การเคลื่อนไหลจะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อ

$$\Delta\delta = -0.0197 \cdot [\omega_p]^2 + 2.8684 \cdot [\omega_p] - 21.4140 \quad (7)$$

และ $[\delta_r - \Delta\delta] \leq \delta_{p(n)} \leq [\delta_r + \Delta\delta]$ (8)

และ $\phi < \omega_{p(n)} < \omega_r$ (9)

2. การตรวจสอบความเป็นไปได้ของการเคลื่อนไหลแบบรูปลิ้ม

ในขบวนการของการพิจารณาความเป็นไปได้ของการไหลแบบรูปลิ้มจะมีการตรวจสอบเชิงราคาคณิตสำหรับคู่ชรอยแตกชุดใด โดยแต่ละคู่จุดจะแยกนำมาพิจารณา การคำนวณจะกำหนดให้ห้ตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม ดังนี้

$\delta_{i(n)}$ คือ ทิศทางมุมของเส้นที่เกิดตัดกันของระนาบรอยแตก 2 ชุด เส้นที่ n [องศา]

$\omega_{i(n)}$ คือ มุมของเส้นที่เกิดตัดกันของระนาบรอยแตก 2 ชุด เส้นที่ n [องศา]

ω_{upper} คือ มุมของส่วนบนของหน้าความลาดเอียงมวลหิน [องศา]

a_x คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศแกน X ของระนาบตั้งฉากของรอยแตกชุดที่ 1

a_y คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศแกน Y ของระนาบตั้งฉากของรอยแตกชุดที่ 1

a_z คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศแกน Z ของระนาบตั้งฉากของรอยแตกชุดที่ 1

b_x คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศแกน X ของระนาบตั้งฉากของรอยแตกชุดที่ 2

b_y คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศแกน Y ของระนาบตั้งฉากของรอยแตกชุดที่ 2

b_z คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศแกน Z ของระนาบตั้งฉากของรอยแตกชุดที่ 2

d_x คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศแกน X ของระนาบตั้งฉากของมุมเทส่วนบนของหน้าลาดเอียง

- d_y คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศแกน Y ของระนาบตั้งฉากของมุมเทส่วนบนของหน้าลาดเอียง
- d_z คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศแกน Z ของระนาบตั้งฉากของมุมเทส่วนบนของหน้าลาดเอียง
- i_x คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศแกน X ของเส้นตัดของระนาบรอยแตกที่ 1 และระนาบรอยแตกที่ 2
- i_y คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศแกน Y ของเส้นตัดของระนาบรอยแตกที่ 1 และระนาบรอยแตกที่ 2
- i_z คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศแกน Z ของเส้นตัดของระนาบรอยแตกที่ 1 และระนาบรอยแตกที่ 2
- p คือ ผลรวมของผลคูณเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแต่ละแกนของเส้นตัดระนาบรอยแตกที่ 1 และระนาบรอยแตกที่ 2 กับ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแต่ละแกนของระนาบตั้งฉากของ มุมเทส่วนบนของหน้าลาดเอียง
- rr คือ ผลรวมของผลคูณเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแต่ละแกนของระนาบตั้งฉากของรอยแตกชุดที่ 1 กับ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแต่ละแกนของระนาบตั้งฉากของรอยแตกชุดที่ 2

การประเมินจะเริ่มจากการคำนวณหาทิศทางและมุมเทของระนาบ 2 แผ่นที่ติดกัน โดยใช้สมการที่แปลงมาจาก Hoek and Bray (1981) ดังนี้

คำนวณหา $\omega_{(n)}$ และ $\delta_{(n)}$ โดย

$$\omega_{(n)} = \text{Arcsin}(v \cdot i_z)$$

$$\delta_{(n)} = \text{Arctan}(-v \cdot i_x / -v \cdot i_y)$$

$$a_x = \text{Sin}(\omega_{p(n)}) \cdot \text{Sin}(\delta_{p(n)})$$

$$a_y = \text{Sin}(\omega_{p(n)}) \cdot \text{Cos}(\delta_{p(n)})$$

$$a_z = \text{Cos}(\omega_p)$$

$$b_x = \text{Sin}(\omega_{p(n+1)}) \cdot \text{Sin}(\delta_{p(n+1)})$$

$$b_y = \text{Sin}(\omega_{p(n+1)}) \cdot \text{Cos}(\delta_{p(n+1)})$$

$$b_z = \text{Cos}(\omega_{p(n+1)})$$

$$d_x = \text{Sin}(\omega_{\text{upper}}) \cdot \text{Sin}(\delta_r)$$

$$d_y = \text{Sin}(\omega_{\text{upper}}) \cdot \text{Cos}(\delta_r)$$

$$d_z = \text{Cos}(\omega_{\text{upper}})$$

$$\begin{aligned}
 i_x &= (b_x \cdot a_z - b_z \cdot a_x) \\
 i_y &= (b_z \cdot a_x - b_x \cdot a_z) \\
 i_r &= (b_x \cdot a_y - b_y \cdot a_x) \\
 p &= (i_x \cdot d_x + i_y \cdot d_y + i_z \cdot d_z) \\
 rr &= (a_x \cdot b_x + a_y \cdot b_y + a_z \cdot b_z) \\
 R &= (1 - \pi \cdot \pi)^2 \\
 v &= (1/R) \cdot (p / |p|)
 \end{aligned}$$

เมื่อหาค่าทิศทางมุมของเส้นที่เกิดการตัดกันของระนาบรอยแตก 2 ชุด เส้นที่ n และ มุมของเส้นที่เกิดตัดกันของระนาบรอยแตก 2 ชุด เส้นที่ n จะนำทั้งสองค่าวิเคราะห์โดยแบ่งได้เป็น 3 กรณีตามทิศทางมุมของรอยแตก และของหน้าความลาดเอียง โดยความเป็นไปได้ในการเคลื่อนไหลแบบรูปสี่เหลี่ยมจะเกิดขึ้นเมื่อชุดสมการที่ (10), (11), (12) หรือ (13), (14), (15) หรือ (16), (17), (18) กรณีใดกรณีหนึ่งเป็นจริง ดังนี้

ในกรณีที่ $270 \leq \delta_{(n)} \leq 360$ และ $0 \leq \delta_r \leq 90$ การเคลื่อนไหลจะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อ

$$\Delta\delta = -0.0197 \cdot [\omega_p]^2 + 2.8684 \cdot [\omega_p] - 21.4140 \quad (10)$$

$$\text{และ} \quad [360 + \delta_r - \Delta\delta] \leq \delta_{(n)} \leq [360 + \delta_r + \Delta\delta] \quad (11)$$

$$\text{และ} \quad \phi(n) < \omega_{(n)} < \omega_r \quad (12)$$

หรือในกรณีที่ $0 \leq \delta_{(n)} \leq 90$ และ $270 \leq \delta_r \leq 360$ การเคลื่อนไหลจะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อ

$$\Delta\delta = -0.0197 \cdot [\omega_p]^2 + 2.8684 \cdot [\omega_p] - 21.4140 \quad (13)$$

$$\text{และ} \quad [\delta_r - \Delta\delta] \leq \delta_{(n)} + 360 \leq [\delta_r + \Delta\delta] \quad (14)$$

$$\text{และ} \quad \phi < \omega_{(n)} < \omega_r \quad (15)$$

หรือในกรณีที่ $90 < \delta_{(n)} < 270$ และ $90 < \delta_r < 270$ การเคลื่อนไหลจะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อ

$$\Delta\delta = -0.0197 \cdot [\omega_p]^2 + 2.8684 \cdot [\omega_p] - 21.4140 \quad (16)$$

$$\text{และ} \quad [\delta_r - \Delta\delta] \leq \delta_{(n)} \leq [\delta_r + \Delta\delta] \quad (17)$$

$$\text{และ } \phi < \omega_{p(n)} < \omega_r \quad (18)$$

3. การตรวจสอบความเป็นไปได้ของการพังทลายแบบพลิกคว่ำ

เป็นการวิเคราะห์ทางเรขาคณิต โดยใช้รอยแตกอย่างน้อยสองชุดตามวิเคราะห์ โดยจะแบ่งเป็น 3 กรณี ตามทิศทางมุมของหน้าความลาดเอียง โดยความเป็นไปได้ในการพลิกคว่ำจะเกิดขึ้นเมื่อสมการที่ (19) หรือ (20) หรือ (21) กรณีใดกรณีหนึ่งเป็นจริง และสมการที่ (22), (23) และ (24) เป็นจริง การคำนวณจะกำหนดให้มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม ดังนี้

$S_{p(n)}$ คือ ระยะห่างระหว่างรอยแตกของชุดที่ n

$S_{p(n+1)}$ คือ ระยะห่างระหว่างรอยแตกของชุดที่ $n+1$

$\omega_{p(n+1)}$ คือ มุมเทของชุดรอยแตกชุดที่ $n+1$ [องศา]

ในกรณีที่ $0 \leq \delta_r \leq 139$ การพลิกคว่ำจะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อ

$$\delta_r + 140 \leq \delta_{p(n)} \leq \delta_r + 220 \quad (19)$$

หรือในกรณีที่ $140 \leq \delta_r \leq 220$ การพลิกคว่ำจะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อ

$$\delta_r - 140 \leq \delta_{p(n)} \leq \delta_r + 140 \quad (20)$$

หรือในกรณีที่ $221 \leq \delta_r \leq 360$ การพลิกคว่ำจะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อ

$$\delta_r - 220 \leq \delta_{p(n)} \leq \delta_r - 140 \quad (21)$$

$$\text{และ } \omega_r \geq 70 \quad (22)$$

$$\text{และ } S_{p(n)} / S_{p(n+1)} < \tan [\omega_{p(n+1)}] \quad (23)$$

$$\text{และ } \omega_{p(n+1)} < \phi \quad (24)$$

ภาคผนวก ง

คู่มือการใช้โปรแกรม

คู่มือการใช้โปรแกรม “ROSES Program”

1. ระบายของคอมพิวเตอร์ที่ต้องการ (System Requirements)
 - ความเร็วของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ไม่น้อยกว่า 200 MHz
 - มีหน่วยความจำ (RAM) ไม่น้อยกว่า 60 MB
 - มีหน่วยเก็บข้อมูล (Hard disk space) ไม่น้อยกว่า 40 MB
 - มีส่วนควบคุมการแสดงผล (Display Controller) ที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 1024×768 จุด (เป็นค่าที่แนะนำ)
 - มีระบบการทำงานด้วย WINDOWS 98 หรือใหม่กว่า

2. การติดตั้งฐานข้อมูลกรณีศึกษาจะมีขั้นตอนปฏิบัติ ดังนี้
 - 2.1 ไปที่ “Start Menu” ที่มุมล่างซ้ายของจอคอมพิวเตอร์
 - 2.2 ไปที่ “Setting”
 - 2.3 Click ที่ปุ่ม “Control Panel”
 - 2.4 Double Click ที่ปุ่ม “ODBC Data Sources (32 bit)”
 - 2.5 Click ที่ปุ่ม “System DSN”
 - 2.6 Click ที่ปุ่ม “Add”
 - 2.7 Double Click ที่ “Driver do Microsoft Access (*.mdb)”
 - 2.8 ไปที่ Text Box “Data Source Name” แล้วพิมพ์ค่า เป็น ROSES
 - 2.9 Click ที่ปุ่ม “Select...”
 - 2.10 หาฐานข้อมูลที่มีชื่อว่า “CaseHistoryLmdb” แล้ว Click OK แล้วคลิก ที่ปุ่ม “Control Panel”

3. เมื่อติดตั้งฐานข้อมูลเสร็จแล้วก็จะสามารถใช้โปรแกรม “ROSES” ได้โดย Double Click ที่ Icon



4. เมื่อเริ่มทำงานจะพบหน้าแรกเป็นชื่อ โปรแกรม "Rock Slope Design Using Expert System : ROSES Program" และจะมีปุ่มที่ควบคุมการทำงาน โดยในหน้าแรกนี้จะแสดง 2 ปุ่ม คือ "Exit" และ "Next"
5. Click ปุ่ม "Next" จะเกิดไปยังหน้าที่ 2 ของโปรแกรมซึ่งแสดงสัญลักษณ์ของโปรแกรมวิชา วิศวกรรมธรณี (Geological Engineering) และจะมีปุ่มให้เลือก 4 ปุ่มที่ควบคุมการทำงาน คือ "Help", "Cancel", "Back" และ "Next" และเมื่อทำการ Click "Help" จะแสดงรายละเอียดของที่มา แนวคิด ขอบเขตและข้อจำกัด ข้อมูลที่ต้องหามาได้ และขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เป็นต้น
6. Click ปุ่ม "Next" จะเกิดไปยังหน้าที่ 3 แสดงข้อตกลงทางกฎหมายของการใช้โปรแกรม ซึ่งถ้า ผู้ใช้เลือกที่จะยอมรับข้อตกลงโปรแกรมจะแสดงปุ่ม "Next" และพร้อมที่จะทำงานต่อไป
7. Click ปุ่ม "Next" จะเปิดไปยังหน้าที่ 4 แสดงความต้องการของผู้ใช้ 2 ประการ คือ
 - 1) การประเมินเสถียรภาพและออกแบบความลาดเอียงที่มีอยู่แล้ว
 - 2) การประเมินเสถียรภาพและออกแบบความลาดเอียงที่ขุดเจาะขึ้นใหม่
8. เมื่อ Click ปุ่ม "Next" จะเปิดไปยังหน้าที่ 5 แสดงข้อมูลโดยทั่วไปของโปรแกรม ได้แก่ ชื่อของความลาดเอียง สถานที่ตั้ง และวัน/เดือน/ปี ที่ทำการประเมิน
9. เมื่อ Click ปุ่ม "Next" จะเกิดไปยังหน้าที่ 6 แสดง 6 ลักษณะทางธรณีวิทยาของความลาดเอียงมวลหินที่เป็นขอบเขตการทำงานของโปรแกรม ได้แก่ Massive Rock, Blocky Rock, Bedded Rock, Heavily Jointed Rock, Soft Rock และ Hard/Soft Rock Interbedded Rock
10. เมื่อผู้ใช้เลือกหนึ่งในห้าของลักษณะทางธรณีวิทยาของความลาดเอียงมวลหิน (ยกเว้น Hard-Soft Rock Interbedded Rock) เมื่อ Click ปุ่ม "Next" จะเกิดไปยังหน้าที่ 8 แสดงระดับความปลอดภัยที่ต้องการ แต่ถ้ในข้อ 9 ผู้ใช้เลือกลักษณะทางธรณีวิทยาของความลาดเอียงมวลหินแบบ "Hard-Soft Rock Interbedded Rock" เมื่อ Click ปุ่ม "Next" จะเกิดไปยังหน้าที่ 7 แสดงส่วนรับข้อมูล อันประกอบด้วยความหนาของชั้นหินอ่อนและชั้นหินแข็ง ทิศทางและค่ามุมของชั้นหินแข็ง และเมื่อ Click "Next" จะแสดงหน้าที่ 8

11. หน้าที่ 9 แสดง 5 ลักษณะของระดับน้ำบาดาล ได้แก่ ที่ 0%, 25%, 50%, 75% และ 100% ของความสูงความลาดเอียง
12. หน้าที่ 10 แสดง 2 ลักษณะของภูมิอากาศ คือ Tropical และ Arid
13. หน้าที่ 11 แสดงส่วนรับข้อมูลสำหรับลักษณะรูปร่าง ความสูง ความยาว ทิศทางและค่านุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน เป็นต้น
14. หน้าที่ 12 แสดงส่วนรับข้อมูลสำหรับจำนวนชุดของรอยแตกในมวลหิน ซึ่งมีค่าสูงสุด 4 ชุด
15. หน้าที่ 13 แสดงส่วนรับข้อมูลสำหรับทิศทางและมุมเทของรอยแตกแต่ละชุด
16. หน้าที่ 14 แสดงส่วนรับข้อมูลสำหรับระยะเปิดเขยของรอยแตกแต่ละชุด
17. หน้าที่ 15 แสดงส่วนรับข้อมูลสำหรับระยะห่างระหว่างรอยแตกแต่ละชุด
18. เมื่อ Click ปุ่ม "Next" จะเกิดไปยังหน้าที่ 16 แสดงส่วนรับข้อมูลที่กำหนดวัสดุแทรกในรอยแตกแต่ละชุด
19. หน้าที่ 17 แสดงส่วนรับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับค่าความต่อเนื่องของรอยแตก
20. หน้าที่ 18 แสดงส่วนรับข้อมูลสำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ
21. หน้าที่ 19 แสดงส่วนรับข้อมูลสำหรับค่ากำลังรับแรงอัดของหิน ซึ่งถ้าในกรณีมวลหินเป็นแบบ Hard/Soft Interbedded Rock ค่ากำลังรับแรงอัดของหินจะมี 2 ชุด คือ ชั้นหินอ่อนและชั้นหินแข็ง
22. หน้าที่ 20 แสดงส่วนรับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับชนิดหิน และค่าความดุ้งจำเพาะของหิน ซึ่งถ้าในกรณีมวลหินเป็นแบบ Hard/Soft Interbedded Rock ชนิดหินและค่าความดุ้งจำเพาะของหินจะมี 2 ชุด คือ ชั้นหินอ่อนและชั้นหินแข็ง

23. หน้าที่ 21 แสดงส่วนรับข้อมูลที่เกี่ยวกับมุมเสียดทานพื้นฐานของรอยแตก ซึ่งถ้าในกรณีมวลหินเป็นแบบ Hard-Soft Interbedded Rock มุมเสียดทานพื้นฐานของรอยแตกจะมี 2 จุด คือ ชั้นหินอ่อนและชั้นหินแข็ง
24. หน้าที่ 22 แสดงส่วนรับข้อมูลที่เกี่ยวกับลักษณะและขนาดของดินพีชที่ปกคลุมหน้าความลาดเอียง
25. หน้าที่ 23 แสดงส่วนรับข้อมูลที่ระบุถึงวิธีการขุดเจาะความลาดเอียงมวลหิน
26. หน้าที่ 24 แสดงส่วนรับข้อมูลสำหรับระดับความสุกัรอนของมวลหิน และ
27. หน้าที่ 25 แสดงส่วนรับข้อมูลที่เกี่ยวกับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบริเวณความลาดเอียงมวลหิน

(จบส่วนรับข้อมูล)

28. Click ปุ่ม "Stability Evaluation" จะแสดง "Message Box" ที่สรุปลักษณะทางธรณีวิทยาของมวลหินและปัญหาที่พบจากข้อมูลที่ผู้ใช้ใส่เข้าไปทั้งหมด
29. เมื่อ Click ข้อความคำสั่งที่ปรากฏที่ "Message Box" โปรแกรมจะแสดงผลการประเมินเสถียรภาพออกมาในรูปของโอกาสที่จะเกิดการพังทลายในแต่ละรูปแบบ (P)
30. Click ปุ่ม "Support Design" โปรแกรมจะแสดงผลการออกแบบการค้ำยันและขั้นตอนการติดตั้งคูกรรล์ค้ำยัน

(จบการประเมินเสถียรภาพและออกแบบการค้ำยัน)

31. Click ปุ่ม "Case History" โปรแกรมจะแสดงส่วนที่ใช้ในการค้นหาข้อมูลกรณีศึกษาที่ได้รับรวบรวมไว้ในโปรแกรม
32. การค้นหาข้อมูลกรณีศึกษาจะสามารถค้นหาโดยใช้ 7 กลุ่มคำสำคัญ (Keywords) โดย Click ที่ปุ่ม "Search" คือ

- 1) ค้นหาด้วยการกำหนดสถานที่ เช่น ชื่อประเทศ จังหวัด อำเภอ
 - 2) ค้นหาด้วยการกำหนดค่าความสูงของความลาดเอียง
 - 3) ค้นหาด้วยการกำหนดค่ามุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน
 - 4) ค้นหาด้วยการกำหนดชนิดของหิน
 - 5) ค้นหาด้วยการกำหนดลักษณะการนำไปใช้ หรือระดับความปลอดภัยที่ต้องการ
 - 6) ค้นหาด้วยการกำหนดค่ากำลังแรงอัดของมวลหิน และ
 - 7) ค้นหาด้วยการกำหนดรูปแบบการพังทลาย
33. เมื่อทำการค้นหาแล้วเสร็จและต้องการดูรายละเอียดทั้งหมดให้ Click ปุ่ม “Details” โปรแกรมจะแสดง “Message Box” เพื่อให้ผู้ใช้ใส่ค่า SLOPE ID ที่ต้องการดูรายละเอียดแล้ว Click ปุ่ม “OK” ที่ “Message Box” โปรแกรมจะแสดงรายละเอียดของ SLOPE ID ที่ผู้ใช้สนใจ

ประวัตินักวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. กิตติเทพ เพ็ญขจร เกิดเมื่อวันที่ 16 กันยายน 2500 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร จบการศึกษาปริญญาเอกจาก University of Arizona ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ในสาขาวิชา Geological Engineering ในปี ค.ศ. 1988 และสำเร็จ Post-doctoral Fellows ในปี ค.ศ. 1990 ที่ University of Arizona ปัจจุบันมีตำแหน่งเป็นประธานกรรมการบริษัท Rock Engineering International ประเทศสหรัฐอเมริกา และดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำอยู่ที่สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา มีความชำนาญพิเศษทางด้านกลศาสตร์ของหินในเชิงการทดลอง การออกแบบและการวิเคราะห์โดยใช้คอมพิวเตอร์ เป็นหัวหน้าโครงการวิจัยที่สำเร็จมาแล้วมากกว่า 20 โครงการทั้งในสหรัฐอเมริกาและประเทศไทย มีสิ่งตีพิมพ์นานาชาติมากกว่า 50 บทความ ทั้งวารสาร นิตยสาร รายงานรัฐบาล และบทความการประชุมนานาชาติ เป็นผู้แต่งตำรา "Sealing of Boreholes and Underground Excavations in Rock" ที่ใช้อยู่ในหลายมหาวิทยาลัยในสหรัฐอเมริกา ดำรงตำแหน่งเป็นที่ปรึกษาทางวิชาการขององค์กร รัฐบาลและหลายบริษัทในประเทศสหรัฐอเมริกา และแคนาดา เช่น U.S. Nuclear Regulatory Commission, U.S. Department of Energy, Dow Chemical Co., Southwest Research Institute, UNOCAL, Phelps Dodge Co. และ Amoco Oil Co. เป็นวิศวกรที่ปรึกษาของ UNISEARCH จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ บริษัท Asia Pacific Potash Corporation จังหวัดอุดรธานี เป็นคณะกรรมการในการคัดเลือกข้อเสนอโครงการของ U.S. National Science Foundation และ Idaho State Board of Education และเป็นคณะกรรมการในการคัดเลือก บทความทางวิชาการของสำนักพิมพ์ Chapman & Hall ในประเทศอังกฤษ และ Elsevier Sciences Publishing Co. ในประเทศเนเธอร์แลนด์