การศึกษาการวิบัติขององค์อาคาร
ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A STUDY OF BUILDING FAILURE
AT SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

คณะผู้ดำเนินงาน

1. นางสาวถิรา	นาคทั่ง	B 3704370
2. นางสาวจิราพร	โพธิ์ชัย	B 3707401
3. นายวิสิฐศักดิ์	อนันต์พุฒิกุล	B 3800447
4. นายสุรสิทธิ์	พลชู	B 3800768
5. นายสิทธิกร	หมวกสกุล	B 3805428
6. นายสุเทพ	บำรุงพล	B 3807767

นักศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
อ. ธีรวัฒน์ สินศิริ

สำนักวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A STUDY OF BUILDING FAILURE

AT SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

1.	MISS THIRA	NAKTUNG	B 3704370
2.	MISS JIRAPON	POCHAI	B 3707401
3.	MR. VISITSUK	ANUNPUDTIKUL	B 3800447
4.	MR. SURASIT	POLCHOO	B 3800768
5.	MR. SITTIKON	MHUKSAKUL	B 3805428
6.	MR. SUTHEP	BUMRUNGPOL	B 3807767

SCHOOLS OF CIVIL ENGINEERING

ENGINEERING FACUTIES

SURANARE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ADVISER

MR. THEERAWAT SINSIRI

INDUSTIAL INSTITUTES

SURANARE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

บทคัดย่อ

งานโครงการนี้ทำการศึกษาถึงสาเหตุของรอยร้าวที่เกิดขึ้นกับองค์อาคารภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยอาคารตัวอย่างที่เลือกทดสอบคือ อาคารหอพักสุรนิเวศ 4 อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 และอาคารสำนักงานหอพักสุรนิเวศ 7, 8, 9 โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับการติดตามรอยร้าวโดยตรวจสอบการเคลื่อนตัวของรอยร้าว การทรุดตัวแตกต่างของฐานราก การทดสอบดินในสนามเพื่อหากำลังแบกทานของดิน พร้อมทั้งทดสอบคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการและการตรวจสอบการออกแบบโครงสร้างอาคาร

จากการดำเนินการในข้างต้น เราจะนำมาทำการวิเคราะห์ว่าสาเหตุหลักของการเกิดรอยร้าวของอาคารนั้นเกิดจากอะไร เพื่อเตรียมการหาวิธีปรับปรุงแก้ไขที่เหมาะสมต่อไป

ABSTRACTS

This project is the study of the cause of crack, which happened in Suranaree University of Technology. The selected buildings are Sureniwet dormitory 4, Instrumental building 5, , and Dormitory 7, 8, 9 Office. This study is about follow the behavior of crack by checking an active of crack, the differential settlement of foundation, soil testing in field to find the bearing stress in combination with soil testing in laboratory and the checking of designing.

In addition to the procedure above, we will analyze the main cause of the fracture of building. Preparing the procedure to improve and repair if the selected fail in the future.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงการวิจัยนี้มอบส่วนดีให้แก่บุพการีและอาจารย์

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการวิจัย ขอขอบคุณ อ.ธีรวัฒน์ สินศิริ อาจารย์ที่ปรึกษา โครงการวิจัย ที่ให้คำปรึกษา แนะนำในด้านต่าง ๆ ทั้งทางด้านแนวคิดในการดำเนินการทดลอง และตรวจสอบต้นฉบับการเขียนรายงานโครงการวิจัย นอกจากนี้คณะผู้จัดทำโครงการวิจัย

ขอขอบคุณ อ. รณกิตติ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์ ที่ให้คำปรึกษาด้านการทดสอบดิน

ขอขอบคุณ ฝ่ายอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์ แบบก่อสร้างของอาคารต่าง ๆ ที่ทำการวิจัย

ขอขอบคุณ ฝ่ายซ่อมบำรุง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่อำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน

คณะผู้จัดทำโครงการวิจัยสำนึกในคุณค่าของตำรับตำราของคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้นำมากล่าวอ้างไว้ด้วยความเคารพอย่างสูง ความอนุเคราะห์และอนุกูลจากทุกท่านที่กล่าวมาและไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ จะยังคงจารึกไว้จิตใจ ของคณะผู้จัดทำโครงการวิจัย ที่จะยังคงน้อมระลึกถึงตลอดไป

คณะผู้จัดทำโครงการวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
คำอุทิศ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	1
1.4 ขอบเขตของงานที่ศึกษา	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการ ทฤษฎี และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การวิบัติ	3
2.2 สาเหตุของการเกิดรอยร้าวในคอนกรีตเสริมเหล็ก	3
2.3 ประเภทของรอยร้าว	5
2.4 การศึกษาและวินิจฉัยความเสียหายที่เกิดกับโครงสร้างคอนกรีต	11
2.5 หมุดหลักฐานสำหรับการทำระดับ	15
2.6 การทำระดับ	16
2.7 การทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ	18
2.8 ทดสอบดินในสนาม	22
2.9 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีอีลาสติก	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	28
3.1 แนวทางการวิจัย	28
3.2 วิธีการทดสอบ	31
บทที่ 4 ผลการวิจัย และอภิปรายผล	49
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	66

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.1 หอพักสุรนิเวศ 4 66

5.2 อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 67

5.3 อาคารบริการหอพักสุรนิเวศ 7-9 68

เอกสารอ้างอิง 69

ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ 71

ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดสอบในสนาม 97

ภาคผนวก ค. ภาพแสดงรอยร้าวที่เกิดขึ้นในอาคารตัวอย่างที่เลือกศึกษา 117

ภาคผนวก ง. ภาพแสดงการติดตามการเคลื่อนตัวของรอยร้าว
และการติดฐานรองรับไม้วัดระดับ 118

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 รอยร้าวบนแผ่นพื้นที่เกิดจากการหดตัวขณะเป็นคอนกรีตสด 6

รูปที่ 2.2 รอยร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวขณะเป็นคอนกรีตสด 7

รูปที่ 2.3 รอยร้าวมีความยาวตลอดแนวแผ่นพื้น 9

รูปที่ 2.4 รอยร้าวขวางกับแนวเหล็ก 10

รูปที่ 2.5 รอยร้าวขนานตามแนวเหล็ก 10

รูปที่ 2.6 รอยร้าวที่ขอบคานเกิดจากความไม่มีคุณภาพในการถอดไม้แบบ 11

รูปที่ 2.7 รอยร้าวแตกกระจายไปทั่ว 11

รูปที่ 2.8 รูปตัดลักษณะของหมุดหลักฐานถาวร 15

รูปที่ 2.9 ลักษณะของเส้นต่าง ๆ 16

รูปที่ 3.1 วิธีการแยกตัวอย่างที่เป็นตัวแทนจากในกอง 35

รูปที่ 3.2 แสดงการทดสอบไฮโดรมิเตอร์ 37

รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องมือทดสอบพิกัดเหลว (Liquid Limit) 39

รูปที่ 3.4 การทดสอบ Plate Bearing 47

รูปที่ ค-1 พื้นอาคารหอพักสุรนิเวศ 4 ทรุดต่ำลงจากขอบผนังอย่างชัดเจน 117

รูปที่ ค-2 รอยร้าวเกิดระหว่างใต้ท้องคานกับผนัง อาคารหอพักสุรนิเวศ 4 117

รูปที่ ค-3 รอยร้าวจำนวนมากเกิดขึ้นที่ใต้ท้องคาน อาคารเรียนรวม 118

รูปที่ ค-4 รอยร้าวเกิดระหว่างใต้ท้องคานกับผนัง อาคารเรียนรวม 118

รูปที่ ค-5 พื้นอาคารศูนย์เครื่องมือ 5 ทรุดตัวอย่างชัดเจน 119

รูปที่ ค-6 รอยร้าวเกิดระหว่างผนังกับขอบประตูห้องปฏิบัติการกระบวนการผลิต อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 119

รูปที่ ค-7 รอยร้าวที่จุดต่อระหว่างคาน เสา และผนัง อาคารสำนักงานหอพักสุรนิเวศ 7-9 120

รูปที่ ค-8 รอยร้าวเส้นเอียงขนาดใหญ่ที่ผนัง อาคารสำนักงานหอพักสุรนิเวศ 7-9 120

รูปที่ ง-1 การติดกระจกเพื่อติดตามการเคลื่อนตัว(Active)ของรอยร้าว อาคารสำนักงานหอพักสุรนิเวศ 7-9 122

รูปที่ ง-2 การติดกระจกเพื่อติดตามการเคลื่อนตัว(Active)ของรอยร้าว อาคารเรียนรวม 122

รูปที่ ง-3 การทำประวัติรอยร้าวเพื่อติดตามการเคลื่อนตัว(Active)ของรอยร้าว 123

รูปที่ ง-4 การติดเหล็กฉากที่เสาอาคารเพื่อใช้วางไม้วัดระดับ 123

สำนักวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.1ก ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation test)	52
ตารางที่ 5.1ข ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation test)	54
ตารางที่ 5.2ก ผลการทดสอบศักยภาพการพังทลายของดิน (Collapsible soil)	56
ตารางที่ 5.2ข ผลการทดสอบศักยภาพการพังทลายของดิน (Collapsible soil)	58
ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบดัชนีการพังทลายของดิน (Collapsible Index)	56
ตารางที่ ก-1 ข้อมูลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation test)	72
ตารางที่ ก-2 ข้อมูลการทดสอบศักยภาพการพังทลายของดิน (Collapsible soil)	86
ตารางที่ ข-1 ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักของดิน (Plate Bearing test)	98
ตารางที่ ข-2 ข้อมูลการวัดระดับ	104

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากอาคารในมหาวิทยาลัยสุรนารีที่ก่อสร้างส่วนใหญ่ มีการแตกร้าวตามส่วนต่าง ๆ ของอาคาร เช่น ผนัง คาน และ พื้น เป็นต้น

เพื่อศึกษาหาสาเหตุที่อาจเป็นต้นเหตุของการแตกร้าว ดังนั้น ทางสาขาวิศวกรรมโยธาได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าว จึงได้จัดตั้งโครงการการศึกษาสาเหตุการแตกร้าวขององค์อาคารในมหาวิทยาลัยสุรนารีเกิดขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาถึงสาเหตุของการเกิดรอยร้าวของอาคารในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2. เพื่อเสนอแนะวิธีการแก้ไข ซ่อมแซมอาคารที่เกิดรอยร้าว

1.3 สมมุติฐานการวิจัย

1. ดินถมบริเวณฐานรากมีการบดอัดไม่ดีพอ และเกิดการทรุดตัวยังไม่เสร็จสิ้น เมื่อเกิดการทรุดตัวอีกในภายหลังทำให้เกิดการแตกร้าวตามส่วนต่างๆ ของอาคาร
2. ดินสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เมื่ออยู่ในสภาพความชื้นปกติ เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น ดินสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้น้อยลง
3. ดินมีการยุบตัวสูงขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น
4. ดินมีศักยภาพในการพังทลายสูงเมื่อโดนน้ำ

1.4 ขอบเขตของงานที่ศึกษา

กำหนดขอบเขตของการศึกษา ดังนี้

1. การเกิดรอยร้าวของอาคารมีสาเหตุมาจาก
   - การทรุดตัวของดิน (Ground Settlement)
   - ความผิดพลาดในขั้นตอนการก่อสร้าง
2. ลักษณะของรอยร้าวที่เกิดขึ้นกับองค์อาคาร แบ่งการพิจารณาเป็น 4 รูปแบบ คือ
   - รอยร้าวมีทิศทางในแนวราบ
   - รอยร้าวมีทิศทางในแนวดิ่ง
   - รอยร้าวทำมุมกับแนวเหล็กเสริม
   - รอยร้าวกระจายไปทั่ว

สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5 <u>ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย</u>

1. ทราบสาเหตุที่อาจทำให้อาคารเกิดการแตกร้าว
2. เป็นแนวทางในการป้องกันการแตกร้าวของอาคารที่จะสร้างใหม่ต่อไป
3. ทำให้ป้องกันและซ่อมแซมอาคารที่เกิดการแตกร้าวได้ถูกวิธีเมื่อทราบสาเหตุที่แท้จริง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
หลักการ ทฤษฎี และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิบัติ

การวิบัติ(Failure) หมายถึง การชำรุดของอาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารซึ่งมากจนอาคารนั้นไม่สามารถจะใช้งานตามวัตถุประสงค์ได้โดยปลอดภัย ดังนั้นการที่พบว่าผนังก่ออิฐมีรอยร้าวเล็ก ๆ ทั่วไป หรือมีอยู่รอยเดียวยาว ๆ มิได้หมายความว่าอาคารนั้นถึงแก่การวิบัติเสมอไป ซึ่งเป็นหน้าที่ของวิศวกรผู้เกี่ยวข้องจะเป็นผู้วินิจฉัยว่าเป็นการวิบัติที่จำเป็นต้องซ่อมแซม หรือเป็นเพียงการแตกร้าวธรรมดาที่ไม่ลุกลามขยายตัวและสามารถแก้ไขได้ โดยประเมินจาก

ผลในด้านกำลังรับน้ำหนัก จะพิจารณากำลังประลัยในด้านความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้าง เช่นกำลังอัด กำลังดัด กำลังเฉือน เป็นต้น และพิจารณากำลังประลัยทางด้านเสถียรภาพทางโครงสร้าง เช่น การดุ้งของเสา การดัดบิดของคาน เป็นต้น โดยสามารถประเมินได้จากการวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างที่เกิดความเสียหายจากข้อมูลที่มีหรือทำการทดสอบการรับน้ำหนักจริง เพื่อดูพฤติกรรมของโครงสร้างในขณะรับน้ำหนัก

ผลในด้านการบริการหรือการใช้งาน จะพิจารณาหาการแอ่นตัว ความกว้างรอยแตกร้าว การเสื่อมสภาพทางเคมี การยืดหดตัวของโครงสร้างหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากพฤติกรรมกระทำซ้ำ ลักษณะปรากฏ ความคงทน เป็นต้น โดยพิจารณาจากวัตถุประสงค์การใช้งานของโครงสร้างนั้น เช่น เป็นส่วนที่ใช้แสดงภายนอกอาคาร ใช้ป้องกันสภาพแวดล้อมภายนอก หรือเปรียบเทียบกับพิกัดสูงสุดที่ยอมให้ของสภาพความเสียหาย

2.2 สาเหตุของการเกิดรอยร้าวในคอนกรีตเสริมเหล็ก (The Causes of Cracks in Reinforced concrete)

ความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมักเกิดควบคู่กับรอยแตกร้าวและรอยแตกปริ แต่ควรตระหนักว่ารอยแตกร้าวไม่จำเป็นต้องซ่อมไปเสียทั้งหมด

สิ่งสำคัญในการพิจารณาสาเหตุของรอยร้าวคือ ความกว้าง ตำแหน่ง และทิศทางของรอยร้าว ซึ่งจะช่วยในการตัดสินพฤติกรรมของรอยร้าว

สาเหตุของรอยร้าวพิจารณาได้โดยการศึกษาอย่างรอบคอบเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ส่วนความกว้าง ตำแหน่ง และทิศทางของรอยร้าวสามารถพิจารณาได้โดยง่าย ปัญหาที่ตามมาคือความกว้างที่ยอมรับได้ของรอยร้าวเป็นเท่าใด หมายความว่าถ้ารอยร้าวกว้างน้อยกว่าค่านี้แล้วไม่จำเป็นต้องซ่อมแซม

ข้อกำหนดตามมาตรฐานประเทศอังกฤษว่าด้วยการใช้คอนกรีตในงานโครงสร้าง(British Standard Code of Practice, BS8110: Part 2; The Structural Use of Concrete) กำหนดว่า ใน

กรณีทั่ว ๆ ไปความกว้างมากที่สุดของรอยร้าวเท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร โดยการวัดความกว้างรอยร้าวให้วัดที่ผิวคอนกรีต ตามสมมติฐานว่าความกว้างรอยร้าวจะลดลงอย่างค่อนข้างรวดเร็วที่ความลึกเข้าไปจากผิวคอนกรีต ซึ่งสมมติฐานดังกล่าวจะเป็นจริงเมื่อเป็นรอยร้าวที่เกิดจากแรงดึงในส่วนรับแรงดึง(Tension zone)ขององค์อาคาร แต่อาจไม่ถูกต้องนักสำหรับรอยร้าวที่เกิดจากคอนกรีตสัมผัสกับอุณหภูมิสูง(Thermal Contraction) และรอยร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวขณะเป็นคอนกรีตสด(Plastic-settlement) ซึ่งเป็นการยากที่จะวัดความกว้างที่แท้จริงของรอยร้าวภายใต้เงื่อนไขการทำงานในการก่อสร้างจริง

ปัญหาที่สำคัญในทางปฏิบัติคือการเปรียบเทียบความกว้างรอยร้าวที่วัดได้กับค่าที่ยอมรับได้ เพราะไม่รู้ว่ารอยร้าวที่วัดจะยังคงมีความกว้างเท่านี้ไปอีกนานเพียงใด เมื่อเวลาผ่านไปรอยร้าวมีแนวโน้มที่จะปิดเข้าหากันหรือกว้างแยกออกจากกัน ถ้ารอยร้าวเกิดจากการรับน้ำหนักบรรทุกชั่วคราว(Temporary Load) ที่มีค่าสูงเกินไปแล้วรอยร้าวจะปิดเข้าหากันอีกครั้งเมื่อน้ำหนักบรรทุกที่เกินมานี้ลดลง อย่างไรก็ตามถ้ารอยร้าวเกิดจากสาเหตุอันถาวรแล้วรอยร้าวจะไม่ปิดเข้าหากัน และด้วยเงื่อนไขภายนอกต่าง ๆ จะทำให้รอยร้าวมีแนวโน้มที่จะกว้างขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

จากความกว้างของรอยร้าวนี้เอง ทำให้น้ำสามารถเข้าไปในรอยร้าวได้ ถึงแม้จะเป็นเพียงระยะทางสั้น ๆ แต่ถ้าหลังจากนั้นอุณหภูมิลดลงจนต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำส่วนนี้จะกลายเป็นน้ำแข็งและขยายตัว ทำให้เกิดการแตกปริของคอนกรีตตามขอบรอยร้าว รอยร้าวจึงกว้างขึ้นและน้ำอาจเข้าไปถึงเหล็กเสริมได้ ทำให้เหล็กเกิดการผุกร่อน ผลิตผลจากการผุกร่อน(สนิมเหล็ก)รอบเหล็กเสริม จะทำให้เหล็กมีพื้นที่รวมมากกว่าพื้นที่เหล็กเริ่มต้นและดันให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวและแตกปริเพิ่มขึ้น

ตัวแปรที่อาจมีผลทำให้รอยร้าวกว้างขึ้น ได้แก่

1. แรงอัด(Compressive stress) ที่กระทำทางมุมด้านขวาเมื่อเทียบกับเส้นรอยร้าว ซึ่งเดในเขตรับแรงอัด(Compression zone) ขององค์อาคาร
2. ปูนขาวถูกชะออกมาจากซีเมนต์เพสต์(Leaching of lime from cement paste) เนื่องจากมีน้ำไหลผ่านคอนกรีตแล้วต่อมาเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับอนุภาคซีเมนต์
3. การขยายตัวของคอนกรีต(Expansion of concrete) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำในตัวคอนกรีตเอง ตัวอย่างง่าย ๆ คือ ผนังและแผ่นพื้นของโครงสร้างกันน้ำ(Water retaining structure) หลังจากใส่น้ำและเริ่มใช้งาน

จากงานวิจัยของประเทศต่าง ๆ เกี่ยวกับผลกระทบจากความกว้างของรอยร้าวเนื่องจากการผุกร่อนของเหล็กในคอนกรีต สรุปได้ว่าหลังจากก่อสร้างไปแล้ว 2 ปีความกว้างของรอยร้าว(ซึ่งได้จากการทดสอบบรรทุกน้ำหนักบนตัวอย่าง) จะมีผลกระทบถึงปริมาณการผุกร่อนของเหล็กเสริมที่ตัดกับรอยร้าว อย่างไรก็ตามในระยะยาวประมาณ 10 ปีขึ้นไป ผลกระทบดังกล่าวนี้จะสามารถ

ละเลยได้(Beeby, A.W., Cracking: What are crack width for?, 1987) แต่การศึกษาข้างต้นเป็นกรณีเฉพาะเมื่อการผุกร่อนของเหล็กเสริมเริ่มเกิดจากมีรอยร้าวตัดกับเหล็กเสริม ถ้าการผุกร่อนเริ่มต้นจากสาเหตุอื่น เช่น ปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต คาร์บอเนชั่น และคอนกรีตพรุน รอยร้าวจะเกิดจากแรงดันอันเนื่องมาจากการขยายตัวของผลิตผลจากการผุกร่อนของเหล็ก(สนิมเหล็ก)

2.3 ประเภทของรอยร้าว (Types of Cracks)

รอยร้าวในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีอยู่หลายประเภท ถ้าพิจารณาจากจุดประสงค์ในการใช้งานแล้ว สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ

1. <u>รอยร้าวที่เกิดกับโครงสร้าง</u> (Structural Cracking)

เกิดจากโครงสร้างหรือบางส่วนของโครงสร้างแสดงออกเมื่อถึงเวลาหนึ่ง ว่าไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำอยู่ได้ มีสาเหตุมาจาก

1.1 ความผิดพลาดในการคำนวณออกแบบเนื่องจากความรู้เท่าไม่ถึงการณ์หรือสะเพร่า การผิดพลาดนี้มักเกิดกับงานที่เร่งด่วนมาก หรือเป็นโครงสร้างใหม่ที่ยังไม่เคยทำมาก่อน หรือยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีของโครงสร้างนั้น ๆ

1.2 บรรทุกน้ำหนักเกินอัตรา น้ำหนักบรรทุกจริงเกินกว่าค่าที่ใช้ออกแบบ แม้ว่าจะมีการเผื่อตัวประกอบความปลอดภัยไว้แล้ว ดังนั้นในการเลือกใช้น้ำหนักบรรทุกจรควรคำนึงถึงประเภทของอาคาร และโอกาสที่ผู้ใช้อาคารจะเปลี่ยนแปลงการใช้งานในภายหลัง

1.3 การทรุดตัวแตกต่างของฐานราก เนื่องจากชั้นที่รองรับฐานรากเป็นดินอ่อน สภาพดินใต้ฐานรากไม่สม่ำเสมอ ฐานรากวางตัวอยู่บนดินถม ฯลฯ ในขั้นแรกจะเกิดรอยร้าวเป็นเส้นทแยงมุมประมาณ 45 องศากับแนวราบที่ผนังก่ออิฐหรือผนังบล็อค หรือแม้แต่ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก จากนั้นรอยร้าวจะกว้างขึ้นและยาวขึ้นเรื่อย ๆ จนในที่สุดจะเกิดการร้าวที่โครงสร้างตรงรอยเชื่อมระหว่างคานกับเสาและที่หัวเสา โครงสร้างอาจถึงกับวิบัติได้

1.4 ความเสียหายทางกายภาพ เนื่องจากการระเบิด การกระแทก ไฟไหม้ ฯลฯ

1.5 การผุกร่อนของเหล็กเสริม

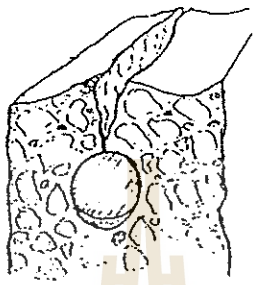
2. <u>รอยร้าวที่ไม่เกี่ยวข้องกับโครงสร้าง</u> (Non-structural Cracking)

เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ได้เช่นเดียวกับรอยร้าวที่เกิดกับโครงสร้าง โดยมักจะเกิดที่ผิวหน้าคอนกรีต แต่ถ้าเพิกเฉยต่อรอยร้าวประเภทนี้แล้ว อาจทำให้เหล็กเสริมเกิดการผุกร่อน และทำให้เกิดรอยร้าวที่สร้างความไม่ปลอดภัยแก่โครงสร้างได้ หรืออาจกล่าวได้ว่ารอยร้าวประเภทนี้เป็นรอยร้าวที่เกิดในโครงสร้างหรือบางส่วนของโครงสร้าง ซึ่งขณะที่ตรวจสอบพบยังสามารถยอมรับได้ตามตัวประกอบความปลอดภัย แต่ถ้าละเลยที่จะแก้ไขแล้วอาจมีผลทำให้เกิดผลกระทบกับโครงสร้างได้ รอยร้าวชนิดนี้เมื่อพิจารณาตามสาเหตุการเกิดสามารถแยกประเภทได้เป็น

2.1 รอยร้าวที่เกิดจากการหดตัวขณะเป็นคอนกรีตสด (Plastic-Shrinkage Cracks)เกิดจากน้ำที่ผิวคอนกรีตระเหยอย่างรวดเร็ว ในขณะที่คอนกรีตยังคงอยู่ในสถานะพลาสติก มักเกิดที่ผิวคอนกรีตขณะกำลังก่อสร้าง เช่น พื้นหรือถนนที่น้ำที่ผิวคอนกรีตระเหยออกไปเร็วมาก สาเหตุหลักของรอยร้าวประเภทนี้ เนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวคอนกรีตสูงกว่าอัตราที่น้ำจะขึ้นสู่ผิวคอนกรีต(การเยิ้ม) ลักษณะรอยร้าวจะเป็นเส้นเล็ก ๆ ที่ค่อนข้างตรง มีความยาวประมาณ 60 – 70 มิลลิเมตรมักมีทิศในแนวขวาง และในบางกรณีอาจขนานกับเส้นรอยร้าวอื่นโดยมีระยะห่างประมาณ 50 – 90 มิลลิเมตร รอยร้าวมักจะตื้นมีความลึกอยู่ใต้เหล็กเสริมชั้นบน บางกรณีอาจลึกลงไปมากกว่านี้และอาจทะลุตลอดความหนาแผ่นพื้น ดังรูป 2.1

<u>รูปที่ 2.1</u> รอยร้าวบนแผ่นพื้นที่เกิดจากการหดตัวขณะเป็นคอนกรีตสด

2.2 รอยร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวขณะเป็นคอนกรีตสด (Plastic-Settlement Cracks) มักเกิดหลังจากเทคอนกรีตเสร็จใหม่ ๆ โดยเฉพาะคอนกรีตที่เหลว เนื่องจากใช้น้ำมาก เนื่องจากน้ำในคอนกรีตพยายามจะหนีเยิ้มขึ้นมาที่ผิว หิน-ทราย ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าจะทรุดตัวลงไปแทนที่ ทำให้เกิดรอยร้าวในแนวเดียวกับเหล็กเสริมหลัก ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เหล็กเสริมเกิดสนิมในภายหลัง



รูปที่ 2.2 แสดงรอยร้าวที่เกิดจากการทรุดตัวขณะเป็นคอนกรีตสด

สาเหตุอื่น ๆ ของการเกิดรอยร้าวประเภทนี้ ได้แก่ ความต้านทานของผิวไม้แบบที่ต่อการเคลื่อนตัวลงของคอนกรีตสดภายใต้การสั่น(Vibration)และแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้คอนกรีตสดเคลื่อนตัวลงได้ช้าลงจึงแข็งตัวและเกิดรอยร้าวขึ้นที่ผิวใกล้กับไม้แบบ โดยไม่เจาะเข้าไปในคอนกรีต จะมีความลึกประมาณ 20 – 25 มิลลิเมตรและมีความกว้างมากที่สุดที่ผิวคอนกรีต

อีกสาเหตุหนึ่ง คือคอนกรีตเกิดการเกาะตัวอยู่บนเหล็กเสริมหรือไม้แบบที่รองรับ(หรือทั้งสอง) รอยร้าวจะเกิดขึ้นเมื่อคอนกรีตแข็งตัว โดยมีความลึกอย่างน้อยที่สุดถึงเหล็กเสริมและมีความกว้างภายในคอนกรีตมากกว่าที่ผิวคอนกรีต

2.3 รอยร้าวที่เกิดจากการหดตัวของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว(Drying Shrinkage Cracking) ส่วนใหญ่มักเกิดจากการออกแบบส่วนผสมผิดพลาด ทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติที่เลวลง เนื่องจากการบ่มไม่เพียงพอ และการใช้แคลเซียคลอไรด์เป็นสารผสมเพิ่มจะทำให้เกิด รอยร้าวเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว เพิ่มขึ้น

การออกแบบส่วนผสมไม่เหมาะสมมักมีน้ำในส่วนผสมมากเกินไป หรือใช้ขนาดมวลรวมละเอียดไม่เหมาะสม ทำให้ส่วนผสมละเอียดในคอนกรีตหรือมอร์ตาร์มีเปอร์เซนต์สูงขึ้น

การหดตัวของคอนกรีตและมอร์ตาร์ทั้งหมดมีแนวโน้มที่จะทำให้รอยร้าวเนื่องจากสาเหตุอื่น(เช่น อุณหภูมิของคอนกรีต)กว้างขึ้น การหดตัวรวม(Total Shrinkage) แบ่งออกเป็นการหดตัวแบบย้อนกลับได้และแบบย้อนกลับไม่ได้ แต่หลังจากวัฏจักรของการเปียกและแห้งผ่านไปแล้ว การ

หดตัวเกือบทั้งหมดจะกลายเป็นแบบย้อนกลับได้ โดยความกว้างของรอยร้าวประเภทนี้สามารถควบคุมได้โดยการใช้เหล็กเสริม

2.4 รอยร้าวที่เกิดจากผลของปฏิกิริยาเคมีและจุลินทรีย์ (Cracking Caused by Chemical Reaction and Microorganism) ปฏิกิริยาเคมีที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในคอนกรีตคือปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์เท่านั้น แต่หากมีปฏิกิริยาอื่น ๆเกิดขึ้น หรือคอนกรีตอยู่ในสภาพเปียก อับชื้นจนทำให้เกิดเชื้อรา จะทำให้คอนกรีตลดความคงทนลงมาก ปกติเมื่อคอนกรีตมีอายุมากขึ้นปฏิกิริยาระหว่างความชื้นในอากาศกับปูนซีเมนต์ในคอนกรีตจะสมบูรณ์ยิ่งขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้น แต่หากคอนกรีตมีปฏิกิริยาแทรกซ้อน หรือขึ้นรา เนื้อคอนกรีตจะยุ่ยเปื่อยผุ หรือหลุดออก

2.5 รอยร้าวที่เกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Thermal Contraction Cracking) ในระหว่างกระบวนการการก่อตัวและการแข็งตัวเริ่มต้นของคอนกรีตจะเกิดความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำและซีเมนต์ ทำให้คอนกรีตมีอุณหภูมิสูงขึ้น กระบวนการที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าอุณหภูมิสูงสุด และเวลาที่ใช้ในการเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิสูงสุดแล้วลดลง ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญหลายอย่าง ได้แก่

- อุณหภูมิของอากาศ
- อุณหภูมิของคอนกรีตขณะเท
- ชนิดของไม้แบบที่ใช้(เป็นไม้ พลาสติก หรือเหล็ก) และระยะเวลาในการคงไม้แบบไว้
- อัตราส่วนของพื้นผิวที่สัมผัสอากาศภายนอก(เช่น พื้นที่ที่ไม่ถูกปิดไว้โดยไม้แบบ)ต่อปริมาตรคอนกรีต
- ความหนาของแบบหล่อ
- ชนิดของปูนซีเมนต์ที่ใช้ และปริมาณในส่วนผสม
- วิธีการใด ๆ ในการป้องกันความร้อนที่จะเกิดกับคอนกรีตหลังจากถอดไม้แบบแล้ว
- วิธีการบ่ม

เมื่ออุณหภูมิของคอนกรีตเพิ่มขึ้นคอนกรีตจะขยายตัว และเมื่ออุณหภูมิลดลงคอนกรีตจะหดตัว โดยสัมประสิทธิ์การขยายตัวและหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับชนิดของมวลรวมที่ใช้และอัตราส่วนผสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

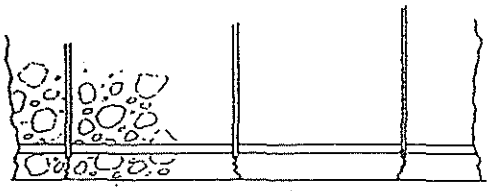
ถ้าขนาดพื้นที่หน้าตัวไม่ถูกควบคุมอย่างสมบูรณ์แล้วเมื่อคอนกรีตมีการหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิลดลงแล้วหน่วยแรงเนื่องจากอุณหภูมิ(Thermal Stress)จะไม่เกิดขึ้น ถ้ายิ่งควบคุมมากหน่วยแรงของการหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิ(Thermal Contraction Stress)จะยิ่งมีคาสูงขึ้น หน่วยแรงนี้มักเป็นแรงดึง แต่มีบางส่วนของโครงสร้างที่เป็นแรงอัด หน่วยแรงดึงนี้มักจะมีคาเกินกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตและกำลังร่วมระหว่างคอนกรีตและเหล็กเสริม ทำให้จึงมีรอยร้าวเกิดขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2.3 รอยร้าวมีความยาวตลอดแนวแผ่นพื้น

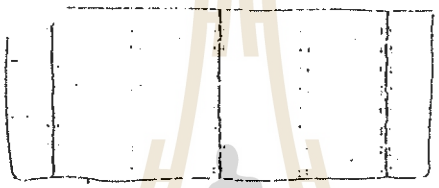
รอยร้า :จากการหดตัวของคอนกรีตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมักมีทิศทางขวางกับแนวเหล็กและยาวไปตลอดองค์อาคารดังรูปที่ 2.3 และรูป 2.4 รอยร้าวประเภทนี้สามารถวัดขนาดได้ง่ายและจะเกิดอยู่อย่างถาวรบนระนาบที่อ่อนแอตลอดองค์อาคารถ้าไม่ได้รับการซ่อม

แซมที่เหมาะสม การหดตัวของคอนกรีตเมื่อแห้งมีแนวโน้มที่จะทำให้รอยร้าวประเภทนี้กว้างขึ้นกว่าตอนที่เริ่มเกิด และมักจะละเอียดขึ้น โดยกว้างขึ้นไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.4 รอยร้าวขวางกับแนวเหล็ก

2.6 รอยร้าวขนานตามแนวเหล็ก (Longitudinal cracks which formed after the concrete hardened) มีลักษณะดังรูป 2.4 สาเหตุหลักมักเกิดจากเหล็กเป็นสนิม ซึ่งถ้าทิ้งไว้คอนกรีตจะแตกร้าว หลุดร่อน และพังทลายในที่สุด

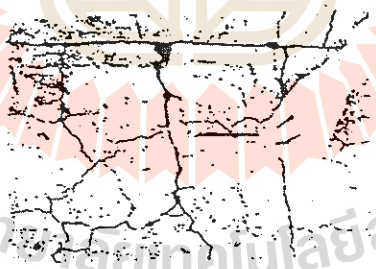


รูปที่ 2.5 รอยร้าวขนานตามแนวเหล็ก

2.7 รอยร้าวที่เกิดจากฝีมือการก่อสร้างไม่ดี (Cracking Caused by Bad Workmanship) มีหลายแนวทางที่การทำงานโดยขาดความเอาใจใส่สามารถทำให้เกิดรอยร้าวในคอนกรีตขณะเทเสร็จใหม่ ๆ และเมื่อยังไม่แข็งตัว เช่น การขาดความเอาใจใส่ในการถอดไม้แบบออกจากคาน เสา และแผ่นพื้น ในคานและเสาจะเกิดความเสียหายประเภทนี้ได้ง่าย ดังรูปที่ 2.6

2.8 รอยร้าวที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอัลคาไลและมวลรวม (Cracking Caused by Alkali-Aggregate Reaction) เกิดจากคอนกรีตมีส่วนผสมของมวลรวม หรือหินบางชนิดที่ขยายตัวในสภาพที่เป็นด่าง มักเกิดภายหลังจากสร้างโครงสร้างไปแล้วหลายปี มีหลายรูปแบบแต่ส่วนใหญ่เป็นการกระจายแบบสุ่ม(Random Distribution) หรือแตกกระจายไปทั่ว(Map Cracking) ดังรูป 2.7 โดยส่วนใหญ่แล้วรอยร้าวประเภทนี้มักสัมพันธ์กับค่าความชื้นเกิน

รูปที่ 2.6 รอยร้าวที่ขอบคานเกิดจากความไม่มีคุณภาพในการถอดไม้แบบ



รูปที่ 2.7 รอยร้าวแตกกระจายไปทั่ว

2.4 การศึกษาและวินิจฉัยความเสียหายที่เกิดกับโครงสร้างคอนกรีต (Investigation and Diagnosis of Defects in Concrete Structure)

ในการศึกษาความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จำเป็นต้องตรวจสอบหาสาเหตุที่แท้จริง เพื่อหาทางบำบัดให้ดีหรือซ่อมแซมให้ใช้งานได้ดังเดิมด้วยวิธีการที่ถูกต้องและเหมาะสม ดังนั้นผู้วินิจฉัยจึงควรติดตามข้อมูลหลัก ๆ ทั้งสิ้น 3 ขั้นตอน เพื่อทำให้สามารถสรุปสาเหตุที่แท้จริงของความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ ดังนี้

1. ข้อมูลพื้นฐาน

ผู้วินิจฉัยควรรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างที่ศึกษาให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เช่น

- วันที่ทำการก่อสร้าง
- รายละเอียดในการก่อสร้าง(ถ้ามี)
- รายละเอียดของคอนกรีต โดยเฉพาะข้อกำหนด การออกแบบส่วนผสม และแหล่งวัสดุ
- การใช้งานในปัจจุบัน และการเปลี่ยนแปลงการใช้งานใด ๆ จากในอดีต
- บันทึกการตรวจสอบที่เคยทำมาก่อน
- พบความเสียหายครั้งแรกเมื่อใด และเคยทำการซ่อมแซมมาก่อนหรือไม่ มีผลเป็นอย่างไร

ข้อมูลข้างต้นควรพิจารณาอย่างรอบคอบ เพราะจะแสดงถึงสาเหตุความเสียหายที่เป็นไปได้ และช่วยในการร่างแผนการศึกษาวิจัย การเก็บตัวอย่าง และการทดสอบ ซึ่งนอกจากการเจาะแก่นคอนกรีตแล้ว ยังมีการทดสอบแบบไม่ทำลาย(Non-destructive Testing, NDT) โดยแต่ละวิธีจะมีข้อจำกัดในตัวเอง ดังนั้นการทดสอบเพียงวิธีใดวิธีเดียวจะไม่สามารถตัดสินใจในขั้นสุดท้ายได้ ควรยืนยันผลการทดสอบร่วมกับวิธีอื่น ๆ ด้วย

2. การตรวจสอบขั้นพื้นฐาน (Preliminary Inspection)

ในทางอุดมคติข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นควรมีอยู่ครบก่อนที่จะทำการตรวจสอบโครงสร้าง แต่ในความเป็นจริงแล้วทำได้ยาก เพราะข้อมูลบางอย่างยากแก่การสืบหา และบางอย่างอาจไม่มีอยู่เลย ดังนั้นผู้วินิจฉัยจึงควรเริ่มต้นจากการสังเกตความผิดปกติของโครงสร้าง เช่น มีชิ้นส่วนของคอนกรีตตกลงมา เกิดรอยร้าว รอยสนิมเหล็ก หรือมีน้ำไหลซึม เป็นต้น

โครงสร้างต่าง ๆ ควรถูกตรวจสอบในขณะที่อากาศแห้งและเปียก เพื่อให้แน่ใจว่าข้อต่อและทางระบายทำงานโดยถูกต้องหรือไม่ โดยควรตรวจสอบแผนผังและประสิทธิภาพของส่วนที่น้ำเข้าไม่ถึง หรือระบบข้อต่อที่ผนึกกับผนังโดยการใช้ซีเมนต์อุด จากประเภทของโครงสร้างและสาเหตุของความเสียหาย ผู้วินิจฉัยควรเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความเสียหายที่เกิดกับองค์อาคารและโครงสร้างให้ได้มากที่สุด โดยใช้กล้องส่องสองตา(Binocular) ค้อนกดกระแทก(Schmidt Rebound Hammer) เครื่องมือวัดความหนาคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม(Cover Meter) และเครื่องมือวัดความกว้างรอยร้าวโดยประมาณ เนื่องจากปัญหาในการพิจารณาความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะสามารถจำกัดให้แคบลงได้ ถ้ามีปริมาณข้อมูลประกอบในขั้นตอนนี้มากเพียงพอ

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบขั้นพื้นฐาน มี 2 ชนิดที่สำคัญคือ

1. ข้อมูลที่แสดงถึงลักษณะทางกายภาพของโครงสร้าง ได้แก่

1.1 ข้อมูลทางด้านการออกแบบ แบ่งออกเป็น

— ข้อมูลทางโครงสร้าง ได้แก่ รายการคำนวณ แบบก่อสร้าง และรายละเอียดการก่อสร้าง

— ข้อมูลทางวัสดุก่อสร้าง ได้แก่ อัตราส่วนผสมของคอนกรีต ผลการทดสอบวัสดุ และข้อกำหนดลักษณะของวัสดุ

1.2 ข้อมูลทางด้านการก่อสร้าง ได้แก่ ขั้นตอนการก่อสร้าง ผลการทดสอบคอนกรีตในที่ และรายงานความก้าวหน้า

1.3 ข้อมูลทางด้านการใช้งาน ได้แก่ อายุของโครงสร้าง รายงานสภาพภูมิอากาศ การใช้งาน และการบำรุงรักษาในอดีต

2. ข้อมูลแสดงความรุนแรงของความเสียหาย โดยแสดงถึงตำแหน่งและขนาดของความเสียหายที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง อาจวัดได้โดยการทดสอบ Ultrasonic Pulse Velocity Test

วัตถุประสงค์ในการตรวจสอบเบื้องต้น เพื่อให้ได้ภาพรวมที่ช่วยในการตัดสินใจสิ่งเหล่านี้ได้

— วิธีการเก็บตัวอย่างและการทดสอบ

— การเข้าถึงของวิธีการตรวจสอบ

— ความต้องการข้อมูลอื่น ๆ เช่น ถ้ามีข้อสงสัยในความบกพร่องของโครงสร้าง แบบก่อสร้างดั้งเดิม(Original Drawing)จะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดสอบในที่หรือในห้องปฏิบัติการเพื่อหาปริมาณและตำแหน่งของเหล็กเสริมลงได้

การตรวจสอบเบื้องต้นอาจแสดงให้เห็นว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้น ไม่ได้เกิดกับโครงสร้าง คือไม่ทำให้โครงสร้างอ่อนแอลงและไม่จำเป็นต้องทำการซ่อมแซม

3. <u>การตรวจสอบในขั้นรายละเอียด</u> (Detailed Inspection)

นอกจากการเตรียมแผนงานด้วยการรวบรวมข้อมูลและสำรวจเบื้องต้นดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น อาจมีการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ในขั้นตอนการตรวจสอบเบื้องต้นเพื่อทดสอบปริมาณคลอไรด์ ความลึกของคาร์บอเนชัน และปริมาณซัลเฟต ซึ่งอาจมีประโยชน์ในการวางแผนที่จะศึกษาในขั้นรายละเอียดต่อไป

ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในขั้นแรกควรวางแผนการเก็บตัวอย่างและการทดสอบตัวอย่าง โดยควรปรึกษากับเจ้าหน้าที่ผู้ทำปฏิบัติการที่มีประสบการณ์ หลังจากพิจารณาและตรวจสอบโครงสร้างแล้วเตรียมนำเสนอข้อมูล จำนวนตัวอย่าง ตำแหน่งตัวอย่าง ปริมาณและประเภทการทดสอบที่ต้องการแก่เจ้าหน้าที่ผู้ทำปฏิบัติการ

— การพิจารณาความมั่นคงของโครงสร้าง(Determination of Structural Integrity) โดยวิธีการสำรวจด้วยสายตา(Visual Survey) ซึ่งผู้มีประสบการณ์จะสามารถทำการสำรวจสังเกตได้ดี ควรกำหนดจำนวนจุดที่จะทำการสำรวจก่อนแล้วจึงสำรวจพื้นที่ทั้งหมด การสำรวจด้วยสายตาอาจใช้ในการเชื่อมโยงกับการทดสอบในสนามและการเก็บตัวอย่าง

การถ่ายรูปเป็นวิธีที่ดีมากในการบันทึกข้อบกพร่อง เช่น รูปแบบของรอยร้าว เป็นต้น ซึ่งเราสามารถทำเครื่องหมายไว้ที่โครงสร้างได้ด้วยชอล์กหรือปากกา

โดยทั่วไปแล้วการสำรวจด้วยสายตาจะใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการทดสอบแบบไม่ทำลาย ดังนั้นจึงต้องบันทึกรายละเอียดที่เห็นให้มากที่สุด และถ้าเป็นไปได้อาจใช้ข้อมูลจากการทดสอบแบบทำลายในการให้เหตุผลสนับสนุน

— การพิจารณาคุณภาพและส่วนผสมของคอนกรีต(Determination of Concrete Quality and Composition) โดยการเจาะแก่นตัวอย่าง(Core Sampling)ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการเก็บตัวอย่างคอนกรีตในที่มาทดสอบในห้องปฏิบัติการ การเจาะจากโครงสร้างจะเจาะแก่นคอนกรีตขนาดประมาณ 40 – 200 มิลลิเมตรขึ้นไป โดยทั่วไปแล้วจะทำการเจาะให้ครอบคลุมถึงความลึกของคอนกรีตอย่างน้อยที่สุดต้องถึงศูนย์กลางของคอนกรีต

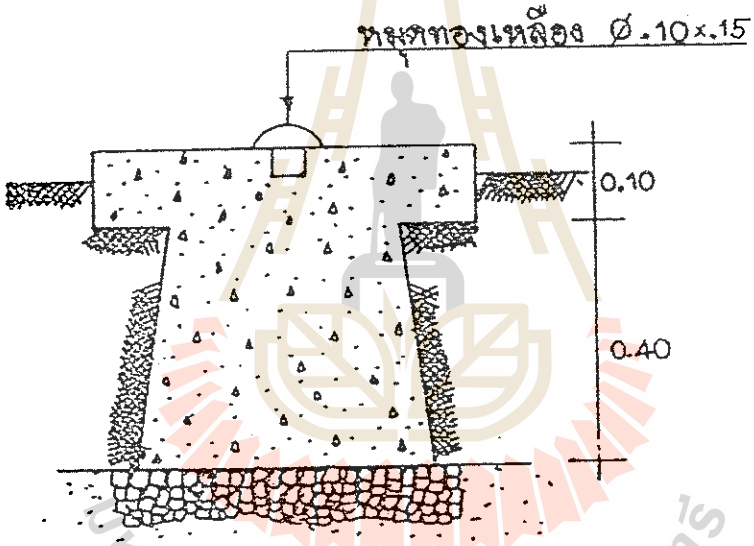
นอกจากนี้ยังมีการทดสอบหากำลังของคอนกรีตในที่แบบไม่ทำลายโดยใช้ค้อนชมิดท์(Schmidt Hammer) ซึ่งค่าที่อ่านได้จะขึ้นอยู่กับกำลังของคอนกรีตมอร์ตาร์ที่อยู่ใกล้บริเวณผิวคอนกรีต ในการใช้งานค้อนชมิดท์จะต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือก่อนทุกครั้งเพื่อสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือกับค่ากำลังที่แท้จริงของคอนกรีต สำหรับใช้เทียบหาค่ากำลังแท้จริงของโครงสร้างที่ทำการทดสอบ

— การพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งานและสภาพของเหล็กเสริม(Steel Serviceability and Condition) การผุกร่อนของเหล็กเสริมและเหล็กอัดแรงในคอนกรีต บางครั้งเป็นอาการที่สังเกตได้ว่าเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายในโครงสร้างคอนกรีต เมื่อเหล็กเป็นสนิมแล้วกำลังทางกลจะลดลง การแตกร้าวและการแตกปริของคอนกรีตเป็นผลมาจากสนิมบนเหล็กเสริม มีวิธีการทดสอบที่หลากหลายในการทดสอบการกัดกร่อนของเหล็ก แต่ที่เป็นที่นิยมมาในการทดสอบในที่ คือ Half-cell Potential Mapping และ Resistivity Testing of Concrete

2.5 หมุดหลักฐานสำหรับการทำระดับ (Bench Mark, BM)

เป็นหมุดที่ใช้อ้างอิงหรือเป็นหมุดที่ใช้แทนความสูงของ Level Line ที่มีค่าความสูงจาก Datum ซึ่งค่าของหมุดนั้นได้จากการหาโดยวิธีการของการทำระดับ เราเรียกว่า ค่าระดับ หมุดอาจจะมี 2 ชนิด คือ หมุดถาวร (Permanent Bench Mark) และ หมุดชั่วคราว (Temporary หรือ Transferred Bench Mark) ซึ่งในที่นี้จะเลือกทำหมุดถาวร

โดยทั่วไป หมุดหลักถาวรมักจะทำเป็นหลักคอนกรีตหล่อฝังส่วนหนึ่งลงไปในดินดังรูป 2.8 เพื่อป้องกันการเคลื่อนไหว จะมีแท่งคอนกรีตส่วนหนึ่งโผล่ขึ้นมา บนแท่งคอนกรีตจะฝังแท่งทองเหลืองมีขนาด 0.10 ม. กลึงหัวบนคล้ายหัวน็อตเอาไว้ เพื่อให้มีจุดสูงสุดเพียงจุดเดียว จะทำให้ตั้งไม้ระดับที่เดิมได้ทุกครั้ง และสกัดตัวเลขค่าระดับที่แท้จริงไว้บนหัวหมุดทองเหลืองนั้นด้วย บางครั้งอาจจะเขียนค่าระดับด้วยสีที่ไม่ลอกง่ายก็ได้



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2.8 รูปตัดลักษณะของหมุดหลักฐานถาวร

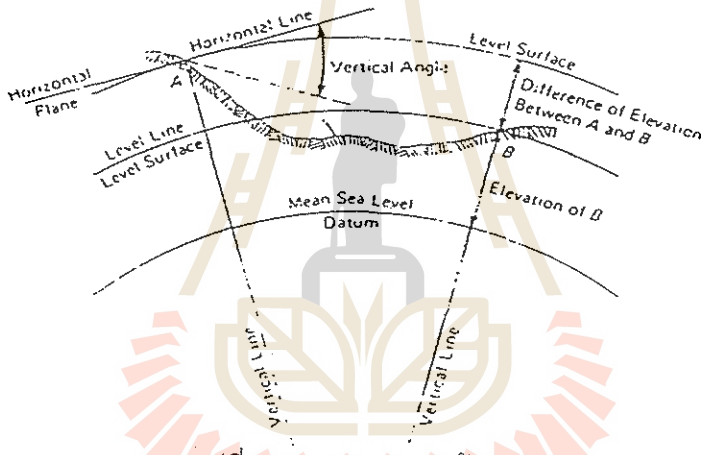
การทำหมุดหลักฐานระดับมาตรฐานมีไว้เพื่อต้องการใช้ค่าระดับมาตรฐาน สำหรับงานเกี่ยวกับระดับในโอกาสข้างหน้า ดังนั้นตัวหมุดระดับมาตรฐานต้องทำให้แข็งแรงและถาวรส่วนมากมักจะทำหว้ในที่ที่ไม่ถูกรบกวนง่าย แต่ต้องไม่ลึกลับจนเกินไปจะต้องสะดวกในการค้นหาหมุดหลักฐานนั้นด้วย

2.6 การทำระดับ (Leveling)

เป็นการสำรวจเพื่อหาระดับ หรือความแตกต่างของระดับระหว่างจุดต่าง ๆ ที่อยู่ห่างกัน ในการทำระดับควรทราบนิยามของคำต่าง ๆ ดังนี้

1. Datum เนื่องจากการทำระดับนั้นเป็นการหาค่าระดับของจุดต่าง ๆ ให้สัมพันธ์กัน เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องกำหนดพื้นฐานการระดับขึ้นมาระนาบหนึ่ง เพื่อให้ความสูงของทุกจุดได้นับเนื่องจากพื้นฐานอันเดียวกันนี้ พื้นฐานการระดับนี้เรียกว่า Datum line หรือ Datum surface ในการระดับจึงกำหนดให้ระดับน้ำทะเลปานกลาง(Mean Sea Level, MSL) ซึ่งทำการวัดมาประมาณ 19 ปีเป็นพื้นฐาน สำหรับในประเทศไทย กรมแผนที่ทหารจะเป็นผู้ดำเนินการ

2. Level line เป็นเส้นระดับที่มีค่าคงที่จาก MSL หรือ Datum เนื่องจากว่าโลกกลม เพราะฉะนั้น Datum line จะโค้งไปด้วย และเส้นระดับนี้ก็จะโค้งขนานไปกับ Datum line เส้นระดับถ้าอยู่ในลักษณะที่เป็นพื้นเราเรียกว่า Level Surface หรือพื้นระดับ และพื้นระดับหรือเส้นระดับนี้จะตั้งได้ฉากกับทิศทางของแรงดึงดูดของโลกดังรูป 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะของเส้นต่างๆ

3. Horizontal line หรือเส้นในแนวราบ ซึ่งเป็นอีกแนวหนึ่งที่ตั้งได้ฉากกับแนวแรงดึงดูดของโลก แนวแรงดึงดูดของโลกเราเรียกว่า Vertical line (แนวดิ่งของกล้องเราเรียกว่า Standing line) แนวราบเส้นนี้จะสัมผัสกับ Level line และถ้าหากว่าตั้งกล้องไว้ระดับจริง ๆ แล้ว แนวเล็งจะทับกับเส้น Horizontal line นี้พอดี ส่วนเส้น Level line จะค่อย ๆ โค้งลง ข้อสังเกตคือเวลาเราอ่าน Staff เราอ่านตามเส้น Horizontal line ไปตัดกับ Staff แต่ว่าระดับที่ต้องการเป็นระดับบนเส้น Level line เพราะฉะนั้นค่า Staff จะต้องแก้ความโค้งของโลก

4. ค่าระดับ(Elevation หรือ EL) หมายถึง ค่าระดับที่นับเนื่องจาก Datum มายังเส้นระดับนั้น จุดต่าง ๆ ที่มีระดับไม่เท่ากันจะมี Level line ที่มีค่าค่างกันของใครของมัน แต่จุดที่มีค่าระดับเท่ากันแสดงว่าจุดเหล่านั้นมี Level line หรือ Level surface อันเดียวกัน

5. หมุดหลักฐานการระดับ(Bench Mark หรือ BM) หรือหมุดหลักฐาน เป็นหมุดที่ใช้อ้างอิงหรือเป็นหมุดที่ใช้แทนความสูงของ Level line ที่มีค่าความสูงจาก Datum ซึ่งค่าของหมุดนั้นได้จากการหาโดยวิธีการของการทำระดับ เรียกว่า ค่าระดับ หมุดมี 2 ชนิดคือ หมุดถาวร(Permanent Bench Mark) ในประเทศไทย กรมแผนที่ทหารจะเป็นผู้จัดสร้างทั่วประเทศ หมุดอีกชนิดหนึ่งคือ หมุด BM ชั่วคราว(Temporary Bench Mark) ใช้เมื่อต้องการนำค่าระดับไปไว้ใกล้ ๆ Site

<u>หลักการในการทำระดับ</u>

หลักการเบื้องต้นที่จะต้องเข้าใจก่อนคือ เมื่อตั้งกล้องตั้งระดับกล้องแล้ว แนวเล็งของกล้อง (Collimation line) และแนวราบ(Horizontal line) จะเป็นเส้นตรงเส้นเดียวกัน ในกรณีที่กล้องไม่มีความผิด

ความสูงของ Collimation line จะนับเนื่องจาก Datum ในกรณีที่จะคำนวณหาค่าระดับของจุดตั้ง Staff และความสูงนี้บางทีเรียกว่า Height of Instrument (HI)

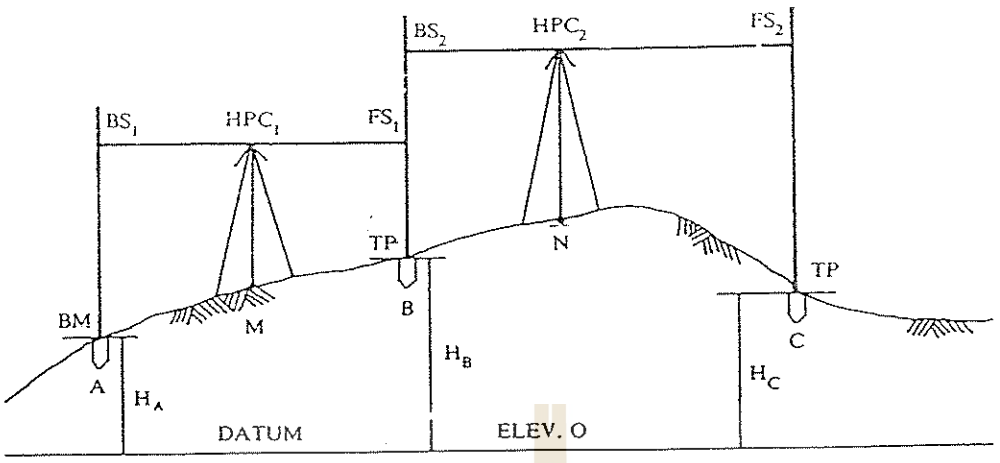
Turning Point (TP) หมายถึง จุดตั้ง Staff ที่เราต้องตอกหมุด TP หรือตั้ง Ground Plate เพื่อการย้ายกล้อง เพื่อถ่ายระดับต่อเนื่องกันไป ใช้ในการส่อง Back Sight (BS) หรือ Staff หลัง และส่อง Fore Sight (FS) หรือ Staff หน้า

Back Sight (BS) หมายถึง ค่า Staff ที่อ่านได้ครั้งแรกหลังจากที่ตั้งกล้องตั้งระดับเสร็จแล้ว

Fore Sight (FS) หมายถึง ค่า Staff ที่อ่านได้เป็นครั้งสุดท้ายหลังจากที่จะย้ายกล้อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิธีการคำนวณระดับ



การคำนวณค่าระดับ(Elev.)จาก HI ทำได้โดย

$$HPC_1 = H_A + BS_1 = BM + BS_2$$

$$H_B = (H_A + BS_1) - FS_1$$

$$HPC_2 = H_B + BS_2$$

$$H_C = (H_B + BS_2) - FS_1$$

หรือ General form Elev. $= HI - FS$

2.7 การทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ

กรณีตัวอย่างดินเป็นตัวอย่างแบบแปลงสภาพ การทดสอบในห้องปฏิบัติการที่จำเป็นเพื่อนำผลไปใช้ในการวิเคราะห์การวิบัติของอาคารและโครงสร้างอาคาร มีดังนี้

1. การสอบหาค่าความชื้นตามธรรมชาติ

ความชื้นของดินตามธรรมชาติคือ น้ำหนักของปริมาณน้ำในดินต่อน้ำหนักดินแห้งคิดเป็นเปอร์เซนต์ การทดสอบนี้เป็นการทดสอบพื้นฐานที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพดิน เช่น แรงเฉือน อัตราส่วนช่องว่างในดิน การทรุดตัวของดิน เป็นต้น

2. การทดสอบหาพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก

ใช้ทดสอบดินที่มีขนาดเม็ดดินเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 40(ขนาด 0.420 มิลลิเมตร) และดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว ถ้าพิจารณาแบบจำลองของดินที่ประกอบด้วยเม็ดดินและน้ำ ในขณะที่ดินมีน้ำอยู่มากดินจะมีสภาพเป็นของเหลว(Liquid) เมื่อความชื้นลดลงปริมาตรของดินจะลดลงตามสัดส่วนของปริมาณน้ำที่ลดลง ดินจะเริ่มมีความแข็งและอยู่ตัว(Plastic) ถ้าลดความชื้นลงไปอีกดินจะอยู่ในสถานะกึ่งของแข็งและสภาพอยู่ตัว(Semi-solid) จากสถานะต่าง ๆ ของความชื้นในดิน

นี้เอง A. Atterberg ได้กำหนดเป็นขีดจำกัดระหว่างสถานะต่าง ๆ ของดินไว้คือ ขีดจำกัดระหว่างของเหลวจะเป็นสถานะอยู่ตัว เรียกว่า พิกัดเหลว(Liquid Limit) จากสถานะอยู่ตัวไปสู่สถานะกึ่งของแข็ง เรียกว่า พิกัดพลาสติก(Plastic Limit) ซึ่งมีวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 423 (อ้างอิง ASTM D 423–66, ASTM D 424–59, ASTM D 427-61)

3. การทดสอบหาน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร

หน่วยน้ำหนักของดินคือ น้ำหนักมวลทั้งหมดของมวลดินตัวอย่างต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของมวลดินนั้น โดยเป็นค่าที่มีความสำคัญเป็นพื้นฐานในการคำนวณค่าหน่วยแรงกดทับของชั้นดินตามธรรมชาติที่ความลึกต่าง ๆ เป็นตัวแปรในสูตรการการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกของฐานรากและการทรุดตัวของดิน

ทดลองได้ด้วยวิธีวงแหวนตัวอย่าง(Sample Ring Method)ใช้กับดินเหนียวที่สามารถตั้งรูปทรงได้ วิธีวัดปริมาตรดินในกระบอกใช้กับดินที่แข็งไม่สามารถดันออกจากกระบอกได้ วิธีแทนที่น้ำใช้กับดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำมาก และวิธีแทนที่ปรอทใช้กับดินที่แห้งหรือแตกง่าย จะเห็นได้ว่าแต่ละวิธีมีความเหมาะสมกับดินต่างชนิดกันไปโดยมีข้อดี-ข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้วิธีทดสอบจึงขึ้นอยู่กับวิจารณญาณของผู้ทำการทดสอบ

4. การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

ในมวลดินจะประกอบด้วยธาตุสารหลายอย่าง ดังนั้นความถ่วงจำเพาะในมวลดินคือ ค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของธาตุสารเหล่านั้น จะเห็นได้ว่าค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินจึงมีความสำคัญมากในการคำนวณค่าต่าง ๆ ในสถานะความสัมพันธ์ขององค์ประกอบดิน(Phase Relationship) เช่น ความพรุน(Porosity) อัตราส่วนช่องว่างในดิน(Void Ratio) ความอิ่มตัว (Saturation) ความหนาแน่น(Density)

ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินมีวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 854-58

5. การทดสอบหาขนาดและการกระจายตัวของเม็ดดิน

เนื่องความคละของเม็ดดินมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของดิน การพิจารณาและจำแนกความคละของดินเม็ดหยาบเพื่อข้อมูลทางด้านวิศวกรรมใช้การแยกด้วยตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ แล้วคิดเป็นเปอร์เซนต์ผ่านแต่ละขนาดตะแกรง ส่วนดินเม็ดละเอียดใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยไฮโดรมิเตอร์

ในกรณีดินเม็ดหยาบปนเม็ดละเอียดจะทำการร่อนแบบเปียก(Wet Sieving) คือ ร่อนดินด้วยการล้างน้ำ ครั้งแรกทำการล้างดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จนน้ำใส ส่วนที่ค้างตะแกรงนำไปอบแห้งแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ แบบร่อนแห้ง ส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 นำไปทดสอบวิเคราะห์ด้วยไฮโครมิเตอร์ต่อไป รายละเอียดการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 422

6. การจำแนกดินตามวิธีเอกภาพ

เป็นวิธีการจำแนกดินที่นิยมแพร่หลายมากที่สุดและเหมาะกับงานวิศวกรรมทั่ว ๆ ไป เช่น งานดินถม งานฐานราก เป็นต้น โดยแบ่งดินออกเป็นกลุ่ม ๆ ใช้อักษรภาษาอังกฤษเป็นสัญลักษณ์แทนชื่อกลุ่มของดิน แต่ละกลุ่มจะมีอักษรอย่างน้อย 2 ตัว ตัวแรกจะเป็นกลุ่มหลัก ได้แก่ G(กรวด) S(ทราย) M(ดินตะกอน) C(ดินเหนียว) และ O(ดินอินทรีย์) ส่วนตัวที่สองจะเป็นกลุ่มย่อยลงไป ได้แก่ W(ขนาดคละกันดี) P(ขนาดสม่ำเสมอ) L(พิกัดเหลวต่ำกว่า 50%) H(พิกัดเหลวสูงกว่า 50%)

หลักการจำแนก ดินเม็ดหยาบจะจำแนกตามลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน และดินเม็ดละเอียดจะจำแนกตามค่าพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก

7. การทดสอบหาค่าแรงเฉือนแบบโดยตรง

การทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง เป็นวิธีการทดสอบหาแรงเฉือนของวัสดุ ทั้งทรายและดินเหนียว รวมทั้งหินผุบางชนิด วิธีการทดสอบเป็นวิธีที่ปฏิบัติได้ง่าย ลักษณะเครื่องมือเป็นกล่องบรรจุตัวอย่างที่บังคับแนววิบัติ (Plane of Failure) ไว้ล่วงหน้า ซึ่งในความเป็นจริงการวิบัติเช่นนี้จะไม่เกิดขึ้นยกเว้นบางกรณี ในปัจจุบันการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรงนี้ยังนิยมปฏิบัติกันทั่วไป เพราะสามารถกระทำแรงเฉือนกลับทิศทาง(Reverse Shear)ได้เมื่อเทียบกับเครื่องมือทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด และยังหาค่ากำลังคงเหลือได้อีกด้วย (Residual Strength) ค่าหน่วยแรงตั้งฉากและหน่วยแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละตัวอย่างดิน สามารถนำมาเขียนกราฟ Mohr's Envelope เพื่อหาค่าองค์ประกอบกำลังของดิน(c,ϕ)ได้โดยตรง ซึ่งมีความสำคัญในการคำนวณค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกแบกทาน(Bearing Capacity)ของดินต่อไป

8. การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)

สมมติฐานการอัดตัวคายน้ำของดิน (Soil Consolidation)

- ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation)
- น้ำและเม็ดดินไม่ยุบตัว (Incompressible)
- ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงเกิดจากการคายน้ำออกจากช่องว่าง (Void) ในดิน
- พฤติกรรมการไหลของน้ำเป็นไปตามกฎ DARCY ที่

- พิจารณาการอัดตัวเพียง ทิศทางเดียว(1-D)ในแนวดิ่งในทิศทางของความดันกระทำเป็นพื้นฐาน
- ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (k) มีค่าคงที่ระหว่างการอัดตัว

9. ความหนาแน่นธรรมชาติ (Natural Density)

ความหนาแน่นะรรมชาติของดินเม็ดละเอียด ในสภาวะความชื้นธรรมชาติ ที่มีค่าน้อยกว่าปกติ (น้อยกว่า หรือ เท่ากับ 1.40 g/cm^3) จะเป็นดินประเภท Collapsible Soil ความหนาแน่นกับ ค่า W_L (Liquid Limit) โดยใช้หลักเกณฑ์ของ Zur and Wiseman (1973)

D_0/D_{LL} < 1.1 , Soil prone to collapse

D_0/D_{LL} > 1.3 , Soil prone to swell

เมื่อ D_0 = ความหนาแน่นแห้งของดินในที่

D_{LL} = ความหนาแน่นแห้งของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และ ความชื้นที่ W_L (Liquid Limit)

10. หมุดหลักฐานสำหรับการทำระดับ (Bench Mark, BM)

เป็นหมุดที่ใช้อ้างอิงหรือเป็นหมุดที่ใช้แทนความสูงของ Level Line ที่มีค่าความสูงจาก Datum ซึ่งค่าของหมุดนั้นได้จากการหาโดยวิธีการของการทำระดับ เราเรียกว่า ค่าระดับ หมุดอาจจะมี 2 ชนิด คือ หมุดถาวร (Permanent Bench Mark) และ หมุดชั่วคราว (Temporary หรือ Transferred Bench Mark) ซึ่งในที่นี้จะเลือกทำหมุดถาวร

โดยทั่วไป หมุดหลักถาวรมักจะทำเป็นหลักคอนกรีตหล่อฝังส่วนหนึ่งลงไปในดิน เพื่อป้องกันการเคลื่อนไหว จะมีแท่งคอนกรีตส่วนหนึ่งโผล่ขึ้นมา บนแท่งคอนกรีตจะฝังแท่งทองเหลืองมีขนาด 0.10 ม. กลึงหัวบนคล้ายหัวน็อตเอาไว้ เพื่อให้มีจุดสูงสุดเพียงจุดเดียว จะทำให้ตั้งไม้ระดับที่เดิมได้ทุกครั้ง และสกัดตัวเลขค่าระดับที่แท้จริงไว้บนหัวหมุดทองเหลืองนั้นด้วย บางครั้งอาจจะเขียนค่าระดับด้วยสีที่ไม่ลอกง่ายก็ได้

การทำหมุดหลักฐานระดับมาตรฐานมีไว้เพื่อต้องการใช้ค่าระดับมาตรฐาน สำหรับงานเกี่ยวกับระดับในโอกาสข้างหน้า ดังนั้นตัวหมุดระดับมาตรฐานต้องทำให้แข็งแรงและถาวรส่วนมากมักจะทำหัวในที่ที่ไม่ถูกรบกวนง่าย แต่ต้องไม่ลึกลับจนเกินไปจะต้องสะดวกในการค้นหาหมุดหลักฐานนั้นด้วย

2.8 ทดสอบดินในสนาม

การทดสอบกดน้ำหนักด้วยแผ่นเหล็ก (Plate Bearing Test)

การทดสอบกดน้ำหนักด้วยแผ่นเหล็ก มีการใช้แพร่หลายในอดีต เนื่องจากให้ค่าน้ำหนักบรรทุกของดินได้โดยตรง แต่ในปัจจุบันเนื่องจากมีวิธีทดสอบอื่นๆ ที่ให้ผลการทดสอบที่ถูกต้องและมีความเหมาะสมกว่า เช่น การเจาะสำรวจด้วยหลุมเจาะ (Soil Boring) การเจาะหยั่ง (Dutch Cone) เป็นต้น ในประเทศที่เจริญแล้ว การใช้การทดสอบกดน้ำหนักด้วยแผ่นเหล็กจึงมีความนิยมลดน้อยลงไป และได้มีการดัดแปลงวิธีการทดสอบให้มีประโยชน์มากขึ้น เช่นการทำการทดสอบลึกลงไปในหลุมเจาะ (Borehole) และการทดสอบแบบ Screw Plate Test เป็นต้น อย่างไรก็ตามการทดสอบกดน้ำหนักด้วยแผ่นเหล็กก็ยังเป็นการทดสอบที่มีความสำคัญอยู่พอควร ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการทดสอบอยู่ 2 ประการ คือ

1.) เพื่อหาค่าน้ำหนักบรรทุกของดิน (Bearing Capacity) สำหรับออกแบบฐานแผ่ การทดสอบใช้แผ่นเหล็กขนาดอย่างต่ำ 30 ซม.

2.) เพื่อหาค่าคุณสมบัติค่าทรุดตัวของดิน (Deformation Characteristic) เช่น การหาค่า k สำหรับการออกแบบถนน การทดสอบใช้แผ่นเหล็กขนาดอย่างต่ำ 76 ซม.

การกดน้ำหนักทดสอบ

เพื่อที่จะให้ได้ค่าทดสอบอย่างน้อย 6-7 ค่า จนกระทั่งดินวิบัติ สำหรับการพล็อตผลจึงต้องประมาณค่าน้ำ หนักที่จะกดแต่ละขั้นให้พอเหมาะ ซึ่งอาจจะแยกวิธีการคำนวณได้ 2 กรณี คือ

1.) เมื่อพิจารณาดูดินแล้วว่าการทดสอบน้ำหนักจะสามารถกดดินได้ถึงจุดวิบัติ จากน้ำหนักกดทับ (Kent ledge) หรือกำลังสว่านสมอที่ใช้ยึดที่มีอยู่ จากนั้นประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติ (Failure) ของดินด้วยประสบการณ์ แล้วจึงแบ่งค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติออกเป็นขั้นๆ ประมาณ 5-6 ขั้น (เผื่อไว้ 1-2 ขั้น กรณีดินไม่ถึงจุดวิบัติ) จากน้ำหนักบรรทุกที่ประมาณไว้นำไปคิดค่าน้ำหนักกดแต่ละขั้น (คูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของขนาดแผ่นเหล็กที่ใช้) ปรับให้เป็นค่าลงตัวเพื่อสะดวกในการควบคุมและการอ่าน

2.) เมื่อทดสอบในชั้นดินที่ไม่สามารถกดทดสอบให้ถึงจุดวิบัติได้ เช่น ชั้นดินแข็งมาก ดินลูกรัง เป็นต้น ในกรณีนี้ประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกที่จะกดสูงสุด เป็นจำนวนเท่าของค่าน้ำหนักบรรทุกที่จะใช้ออกแบบฐานราก เช่น 3 เท่าของค่าน้ำหนักบรรทุกใช้ออกแบบฐานราก 10 ตัน/ม^2 = 3 x 10 = 30 ตัน/ม^2 เป็นต้น จากค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดนี้นำมาแบ่งออกเป็น 6-7 ขั้นการกดน้ำหนัก แล้วจึงนำไปคิดค่าน้ำหนักกดตามลำดับ ค่าน้ำหนักกดแต่ละขั้นควรไม่เกิน 10 ตัน/ม^2

ระยะเวลาที่กดทดสอบแต่ละขั้น

มาตรฐาน ASTM D 1194 กำหนดให้กดน้ำหนักไว้ไม่ต่ำกว่า 15 นาที หรือจนกระทั่งค่าทรุดตัวมีค่าคงที่ เมื่อเลือกระยะเวลาใดๆแล้ว ควรใช้ระยะเวลากดทดสอบเท่ากันทุกขั้นน้ำหนัก การอ่านค่าคืนตัว (ลดน้ำหนัก) ก็ทำเช่นเดียวกัน

การเลือกเครื่องมือให้เหมาะสมกับการทดสอบ

1.) การเตรียมน้ำหนักกดทับแรงปฏิกริยา (Reaction Kent ledge)

การทดสอบกดน้ำหนักจำเป็นต้องเตรียมน้ำหนักกดทับจนมากพอ น้ำหนักกดทับที่จะเตรียมขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดิน และขนาดของแผ่นเหล็กที่ใช้ (น้ำหนักกดทับจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกำลังสองของขนาดแผ่นเหล็กที่เพิ่มขึ้น) ข้อแก้ไขที่จะทำได้คือกำหนดค่าน้ำหนักบรรทุกที่จะทดสอบในกรณีที่ไม่สามารถกดให้วิบัติได้ (เช่น 3 เท่า ค่าที่ใช้ออกแบบ) และเลือกใช้ขนาดแผ่นเหล็กที่พอเหมาะ (อย่างต่ำขนาด 30 ซม.)

ส่วนน้ำหนักกดทับแรงปฏิกริยา อาจออกแบบการใช้วิธียึดสว่านสมอแทนการใช้น้ำหนักบรรทุก การใช้สว่านสมอในดินที่สามารถลงสว่านได้ จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้น้ำหนักกดทับ ส่วนการทดสอบในดินที่ไม่สามารถลงสว่านได้ เช่น ดินดานแข็ง ทรายร่วน ดินถมใหม่ เป็นต้น อาจออกแบบแผงบรรทุกน้ำหนักขนาดพอเหมาะแบบสามารถและประกอบได้ในที่ และขนย้ายด้วยรถบรรทุกเล็ก สามารถบรรทุกถุงทรายหรือถุงปูนซีเมนต์ได้ 50-60 ลูก หรือใช้แทงค์น้ำบรรจุน้ำ

2.) การออกแบบเครื่องมือให้เหมาะสม

- ชุดเสาต่อ มีความจำเป็นมากในการติดตั้งเครื่องมือทดสอบ ควรออกแบบให้ใช้งาน ได้สะดวก ติดตั้งได้รวดเร็ว สามารถปรับความยาวได้ต่อเนื่องตลอดความลึกหลุมทดสอบ ติดตั้งแล้วปรับตั้งแนวดิ่งได้ง่าย
- ชุดยึดมาตรหน้าปัด การทดสอบในหลุมเจาะต้องออกแบบที่ยึดมาตรหน้าปัดแบบที่สามารถติดตั้งในหลุมทดสอบได้สะดวก การใช้ฐานแม่เหล็กจะสั้นไปและไม่สะดวกในการติดตั้งจะเสียเวลา ควรออกแบบที่ยึดมาตรแบบสามารถปรับยึดได้ตามความลึก และเลือกความยาวแขนยึดมากได้ตามความต้องการ

3.) ระยะเวลาการทดสอบ

ควรพิจารณาความเหมาะสมของระยะเวลาที่ใช้กดทดสอบ ไม่ควรทดสอบจนข้ามคืน เพราะจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และเสี่ยงต่อการที่จะถูกรบกวนค่าอ่านมาตรหน้าปัด เช่น ฝนตก คานอ้างอิงถูกกระทบ จะทำให้การทดสอบไม่คุ้มค่า

ถ้าชั้นดินมีลักษณะดีซึ่งส่วนใหญ่ดินที่จะกดทดสอบ ควรจะอยู่ในข่ายที่จะใช้ฐานแผ่ได้อยู่แล้ว จึงมีคุณสมบัติค่อนข่างดี การกดทดสอบจึงควรสังเกตจากอัตราการทรุดตัว ถ้าอัตราการทรุดตัวมีค่าน้อยควรเพิ่มน้ำหนักขั้นต่อไป การกดทดสอบแบบเร็ว (Quick Test) กดทดสอบช่วงละ 15 นาที (ข้อกำหนดต่ำสุดของ ASTM D 1194) จะทำให้สามารถทดสอบได้เร็วขึ้น (วันละ 1-2 หลุม)

2.9 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีอีลาสติก (Working Stress Design)

การออกแบบด้วยวิธีนี้ได้ใช้กันแพร่หลายและคุ้นเคยกันมากในประเทศไทย เป็นการออกแบบให้รูปตัดสามารถต้านทานต่อแรงต่าง ๆ ที่คำนวณหาค่ามาจากการวิเคราะห์โดยทฤษฎีอีลาสติก ให้รับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน(Working Load)ตามประเภทอาคาร โดยมีหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในส่วนของอาคารไม่เกินกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้(Allowable Stresses)ที่กำหนดโดยเทศบัญญัติและพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคาร หรือมาตรฐานทางวิชาชีพ เช่น ข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานฯ เป็นต้น

สมมติฐานเบื้องต้นของทฤษฎีอีลาสติก

1. ระนาบรูปตัด ยังคงเป็นระนาบทั้งก่อนและหลังการรับแรงดัด
2. วัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริมเป็นไปตามกฎของฮุค
3. หน่วยการยืดหรือหดตัวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะที่ห่างจากแนวแกนสะเทิน
4. ไม่คิดกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีต
5. การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมเป็นไปอย่างสมบูรณ์
6. โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเท่ากับ $w^{1.5}4270\sqrt{f_c'}$ กก./ซม.^{2}
7. โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมเท่ากับ 2.04×10^6 กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับใช้ในการออกแบบโดยทฤษฎีอีลาสติกได้มาจากการกำหนดส่วนลดความต้านทานแรงประลัยของวัสดุนั้น ๆ โดยใช้หน่วยแรงในช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่นในส่วนที่เป็นเส้นตรงของเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการยืดตัว หรือหดตัวของวัสดุนั้น

หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีตเมื่อรับแรงต่าง ๆ กำหนดเป็นส่วนเทียบจากกำลังอัดประลัย(f_c')ของแท่งคอนกรีตมาตรฐานรูปทรงกระบอกเมื่ออายุ 28 วัน เช่น หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับแรงดัดเมื่อเกิดหน่วยแรงอัดที่ผิวเท่ากับ $0.45f_c'$ ซึ่งจะเห็นว่าใช้อัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ $f_c'/0.45f_c'$ หรือเท่ากับ 2.2 ส่วนหน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมก็กำหนดเป็นส่วนเทียบจากกำลังจุดคลาก(f_y) เช่น หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมรับแรงดึงเท่ากับ $0.5f_y$ ซึ่งจะเห็นว่าใช้อัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ $f_y/0.5f_y$ หรือเท่ากับ 2.0

<u>หน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.</u>

มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทฤษฎีอีลาสติก สำหรับคอนกรีตและเหล็กเสริมในกรณีที่รับแรงต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับคอนกรีต

สำหรับแรงดัด

หน่วยแรงอัดที่ผิว $f_c = 0.45f_c'$ กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงดึงที่ผิวในฐานรากและกำแพงคอนกรีตล้วน

$f_c = 0.42\sqrt{f_c'}$ กก./ซม.^{2}

สำหรับแรงเฉือน

คานที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน $v_c = 0.59\sqrt{f_c'}$ กก./ซม.^{2}

ตงที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน $v_c = 0.32\sqrt{f_c'}$ กก./ซม.^{2}

คานที่เสริมเหล็กลูกตั้งหรือคอม้า หรือประกอบกันทั้งสองอย่าง

(แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคาน) $v_c = 1.32\sqrt{f_c'}$ กก./ซม.^{2}

พื้นและฐานราก(ตามเส้นขอบ) $v_c = 0.53\sqrt{f_c'}$ กก./ซม.^{2}

สำหรับแรงกด

รับเต็มเนื้อที่ $f_c = 0.25\, f_c'$ กก./ซม.^{2}

รับไม่เกินหนึ่งในสามของเนื้อที่ $f_c = 0.37\, f_c'$ กก./ซม.^{2}

สำหรับแรงยึดเหนี่ยว

เหล็กบนรับแรงดึง $= 1.145\dfrac{\sqrt{f_c'}}{D} < 11$ กก./ซม.^{2} (เหล็กกลม)

เหล็กอื่นรับแรงดึง $= 1.615\dfrac{\sqrt{f_c'}}{D} < 11$ กก./ซม.^{2} (เหล็กกลม)

เมื่อต้องการทราบค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ แทนค่า f_c' ลงในสมการต่าง ๆ ข้างต้น อนึ่งในกรณีที่ทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีต โดยใช้แท่งลูกบาศก์(15×15×15 ซม.) มาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้เทียบเป็นกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกดังนี้

f_c' = 0.885 × กำลังอัดประลัยของแท่งลูกบาศก์

ในกรณีที่มีการควบคุมไม่เข้มงวด ให้ใช้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเท่ากับ 5/6 เท่าของ f_c' ในการคำนวณหาค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ต่าง

2. หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม

เหล็กเส้นที่ใช้เสริมคอนกรีตจะต้องมีหน่วยแรงที่ยอมให้ f_s ดังนี้

ก. รับแรงดึง

—เหล็กเส้นชนิดเหล็กโครงสร้าง(เมื่อไม่มีผลการทดสอบ) ใช้ 1200 กก./ ซม.^{2}

—เหล็กเสริมเอกที่มีขนาก 9 มม. หรือเล็กกว่า ในพื้นเหล็กเสริมทางเดียวที่ช่วงยาวไม่เกิน 3.00 ม. ให้ใช้ 0.50 เท่าของกำลังคลากต่ำสุดแต่ไม่เกิน 2100 กก./ ซม.^{2}

—เหล็กข้ออ้อยที่มี f_y สูงกว่า 3400 กก./ ซม.^{2} ให้ใช้ 0.50 เท่าของกำลังคลากต่ำสุดแต่ไม่เกิน 1500 กก./ ซม.^{2}

—เหล็กข้ออ้อยที่มี f_y สูงกว่า 4200 กก./ ซม.^{2} ใช้ได้ไม่เกิน 1700 กก./ ซม.^{2}

—เหล็กขวั้นใช้ 0.50 เท่าของกำลังพิสูจน์ แต่ไม่เกิน 2400 กก./ ซม.^{2}

ข. รับแรงอัดในเสา

เสาเหล็กปลอกเกลียว

ให้ใช้ 0.40 เท่าของกำลังคลากต่ำสุด แต่ไม่เกิน 2100 กก./ ซม.^{2}

เสาเหล็กปลอกเดี่ยว

ให้ใช้ 0.85 เท่าของค่าที่กำหนดในเสาปลอกเกลียว แต่ไม่เกิน 1750 กก./ ซม.^{2}

เสาที่มีเหล็กยืนเป็นเหล็กรูป ชนิด A 36 (ASTM) ใช้ 1250 กก./ ซม.^{2}

และเหล็กเป็นรูป ชนิด A 7 (ASTM) ใช้ 1100 กก./ ซม.^{2}

ค. รับแรงอัดในโครงสร้างที่รับแรงดัด ใช้ได้ไม่เกินหน่วยแรงดึงที่ยอมให้

1. เหล็กปลยกเกลียว ใช้กำลังคลากได้ไม่เกิน 2800 กก./ ซม.^{2}

2. โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก E_s

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กให้ใช้ 2.04×10^6 กก./ซม.^{2}

3. โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต E_c

ค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ให้คำนวณได้ดังนี้

เมื่อน้ำหนักของคอนกรีต $w = 1.45 - 2.45$ ตัน/ม.^{3}

$$E_c = w^{15}4270\sqrt{f_c'} \text{ กก./ซม.}^2$$

เมื่อน้ำหนักของคอนกรีตธรรมดา $w = 2.33$ ตัน/ม.^{3}

$$E_c = 15210\sqrt{f_c'} \text{ กก./ซม.}^2$$

F_c' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต, กก./ซม.^{2}

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

16. อัตราส่วนโมดูลัส n

คือ อัตราส่วนระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก E_s กับโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต E_c

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2040000}{15210\sqrt{f_c'}} \text{ ประมาณ } 134 / \sqrt{f_c'}$$

ค่า n อาจใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มใกล้เคียงที่สุด แต่ต้องไม่น้อยกว่า 6

ค่า n สำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบา อาจสมมติให้เท่ากับค่า n ของคอนกรีตธรรมดาซึ่งมีกำลังเท่ากัน ยกเว้นสำหรับการคำนวณระยะโก่ง

อัตราส่วนโมดูลัสนี้ใช้ในการคำนวณหน่วยแรงในคาน และพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ใช้เหล็กเสริมรับแรงอัดด้วย โดยแปลงเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมรับแรงอัดให้เป็นคอนกรีตที่มีเนื้อที่หน้าตัด 2n เท่าของเหล็กเสริม หน่วยแรงอัดในเหล็กเสริมที่คำนวณได้ต้องไม่น้อยกว่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้

<u>หน่วยแรงที่ยอมให้ตามข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร</u>

หน่วยแรงที่ยอมให้สำหรับคอนกรีต

คอนกรีตล้วน $f_c = 0.33 f_c' \leq 60$ กก./ซม.^{2}

คอนกรีตเสริมเหล็ก $f_c = 0.375 f_c' \leq 65$ กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม

เหล็กเสริมรับแรงดึง $f_s = 1200$ กก./ซม.^{2}

$f_s = 0.5 f_y \leq 1500$ กก./ซม.^{2}

(เหล็กข้ออ้อยที่มี $f_y \leq 4200$ กก./ซม.^{2})

$f_s = 1700$ กก./ซม.^{2}

(เหล็กข้ออ้อยที่มี $f_y > 4200$ กก./ซม.^{2})

f_y = 0.50เท่าของกำลังพิสูจน์แต่ไม่เกิน 2400กก./ซม.^{2}

เหล็กเสริมรับแรงอัดในเสา

เสาปลอกเกลียว $f_s = 1200$ กก./ซม.^{2} (เหล็กกลม)

$f_s = 0.4 f_y \leq 2100$ กก./ซม.^{2}(เหล็กข้ออ้อย,เหล็กขวั้น)

เสาปลอกเดี่ยว ใช้ 0.35 เท่าของค่าที่กำหนดของเสาปลอกเกลียว แต่ไม่เกิน 1750 กก./ซม.^{2}

เสาเหล็กรูปพรรณ : $f_s = 1250$ กก./ซม.^{2}

เหล็กหล่อ : $f_s = 700$ กก./ซม.^{2}

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แนวทางการวิจัย

1. **รวบรวมข้อมูลในเชิงลายลักษณ์อักษร** (Literature Review)

1.1 รวบรวมเอกสารในเชิงทฤษฎีของการออกแบบอาคารและการเกิดรอยร้าว

1.2 รวบรวมข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับอาคาร

- ข้อมูลการออกแบบ (Design data) และรายการคำนวณ
- แบบของอาคาร (Drawing)

1.3 รวบรวมผลสำรวจชั้นดิน (Geological Survey)

- ผลการทดสอบดิน
- ผลการทดสอบวัสดุ

1.4 ประเมินปัญหาที่เกิดกับอาคารในระยะแรก

- พบความผิดปกติ เช่น รอยร้าว , การเอียง ที่เกิดขึ้นกับอาคาร
- ประวัติการถูกซ่อม และผลการซ่อม

1.5 รวบรวมทฤษฎีการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กและข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบในเชิงทฤษฎีอีลาสติก และทฤษฎีกำลังประลัย

2. **คาดการณ์ผลที่จะได้รับ** (Anticipate of Outcome)

2.1 วัดความผิดปกติขององค์อาคารและโครงสร้าง เช่น การทรุดตัวของฐานราก การแตกร้าว การแตกปริ

2.2 วิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด

2.3 ตั้งสมมติฐานของสาเหตุการเกิดรอยร้าวจาก

- การสังเกตด้วยสายตา (Observation)
- ปรึกษาผู้มีประสบการณ์

2.4 เลือกสมมติฐานที่เป็นไปได้ 2 กรณี แล้วหาข้อมูลเพื่อวิเคราะห์แต่ละกรณี โดยการ

- ทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ
- ทดสอบดินในสนาม

2.5 เลือกกรณีที่น่าจะเป็นไปได้มากที่สุด แล้วหาสาเหตุทั้งหมดของกรณีที่เลือกศึกษา

2.5 สรุปประเด็นโดยวิเคราะห์และทดสอบเพื่อหาสาเหตุที่แท้จริง และเสนอแนะวิธีการแก้ไข

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. รายละเอียดการวิจัยของโครงการ

1. ทำการศึกษา รวบรวม และสรุปทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นพื้นฐานประกอบการพิจารณาศึกษาการเกิดรอยร้าวขององค์อาคาร ได้แก่

1.1 ทฤษฎีการเกิดรอยร้าวขององค์อาคาร

— ประเภทของรอยร้าว

— สาเหตุของการเกิดรอยร้าวในคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.2 วิธีการศึกษาความเสียหายที่เกิดกับโครงสร้าง

— ประเภทของข้อมูลที่ต้องรวบรวมก่อนทำการศึกษารอยร้าว

— ขั้นตอนการศึกษาการเกิดรอยร้าวของโครงสร้าง

1.3 การสำรวจ

— การสร้างหมุดหลักฐาน(B.M.)สำหรับการทำระดับ

— วิธีการทำระดับ(Leveling)

1.4 การทดสอบตัวอย่างดินในที่และในห้องปฏิบัติการ

1.5 การทดสอบดินในสนาม

— การทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่ระดับฐานราก (Plate Bearing Test)

2. ทำการสำรวจเลือกอาคารที่จะทำการศึกษาการเกิดรอยร้าว โดยพิจารณาจากจำนวน ความกว้าง และตำแหน่งของรอยร้าว จากการสำรวจอาคารทั้งหมดในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาคารที่เลือกศึกษามีทั้งสิ้น 3 อาคาร ได้แก่ อาคารหอพักสุรนิเวศ 4 อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 และอาคารสำนักงานหอพัก 7-9 เนื่องจากมีรอยร้าวขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก และส่วนใหญ่เป็นรอยร้าวที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง

3. ติดกระจกคร่อมขนาด 20×50×2 มิลลิเมตร และ 30×70×2 มิลลิเมตร คร่อมขวางรอยร้าวเพื่อติดตามการเคลื่อนตัวของรอยร้าว โดยใช้อีพอกซีเป็นตัวยึดเหนี่ยวระหว่างกระจกและองค์อาคารคอนกรีต เนื่องจากอีพอกซีเป็นสารซึ่งมีความยืดหยุ่นตัวต่ำมาก ดังนั้นหากรอยร้าวยังคงมีการเคลื่อนตัวคือความกว้างของรอยร้าวเพิ่มขึ้นแล้ว กระจกที่ติดไว้จะแตกทันที

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4. รวบรวมข้อมูลทางด้านการออกแบบ การก่อสร้าง และการใช้งาน โดยขอความร่วมมือจากส่วนอาคารและสถานที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อขอข้อมูลดังนี้

- แบบก่อสร้าง
- ผลการทดสอบวัสดุ
- รายงานความก้าวหน้างานก่อสร้าง

โดยได้รับข้อมูลทั้งสิ้น 2 รายการ ดังนี้

- แบบก่อสร้างงานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม
- ข้อกำหนดรายการก่อสร้าง

5. ติดฐานรองไม้ระดับ โดยใช้เหล็กฉาก 2"x 5/32" ยาว 10 เซนติเมตร ติดที่โคนเสาทั้งภายในและภายนอกอาคาร เพื่อใช้วางไม้ระดับ(staff)สำหรับการทำระดับ(Leveling)วัดการทรุดตัวแตกต่างของฐานราก อาคารที่ทำการติดเหล็กฉากเรียบร้อยแล้วคือ อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 และอาคารหอพักสุรนิเวศ 4 โดยเลือกให้ตำแหน่งเสาที่ติดเหล็กฉากมีระยะห่างเท่า ๆ กันและครอบคลุมพื้นที่อาคารทั้งหมด

6. ทำหมุดระดับอ้างอิง (B.M.) ที่อาคารตัวอย่าง อาคารละ 1 หลุม ตามมาตรฐานที่กล่าวไว้ในทฤษฎี โดยจะทำการขุดอัดดินภายในหลุมที่จะวาง B.M.ก่อน แล้วทำการปรับปรุงฐานที่จะวาง โดยใส่ทรายหยาบและหิน แล้วเทคอนกรีตหยาบทับ หลังจากนั้นวาง B.M. ลงในหลุมเทคอนกรีตรอบ ๆ B.M. ให้สูงจากระดับฐาน ของ B.M. ประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อให้ B.M. อยู่ในตำแหน่งที่แน่นอน

7. ทำการเก็บตัวอย่างดิน โดยเก็บแบบแปลงสภาพ ที่ระดับ 0 เมตร, 2 เมตร และ 3 เมตร จากผิวดิน ณ อาคารตัวอย่าง ระดับละประมาณ 200 กิโลกรัม

8. เตรียมตัวอย่างดิน เพื่อนำไปทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ โดยนำตัวอย่างดินที่ได้ไปตากให้แห้ง หลังจากนั้นทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามข้อกำหนดของแต่ละการทดสอบ

9. ทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ จำนวนตัวอย่างดินทั้งหมด 12 ตัวอย่าง โดยทำการทดสอบทั้งหมด 6 ปฏิบัติการ ดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- การหาค่าความชื้นธรรมชาติ (Natural Water Content) และ Atterberg 's Limit
- การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน (Specific Gravity)
- การทดลองหาขนาดของเม็ดดิน (Grain size Analysis)
- การทดลองหาขนาดของเม็ดดินด้วยการวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์(Hydrometer)
- การทดลองการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)
- การทดลองแบบเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test)
- การทดลองการยุบตัวของดินเมื่อโดนน้ำ (Collapsible Soil)

10. ตรวจสอบระดับของอาคารตัวอย่าง โดยทำการวัดระดับ (Leveling) ตามเสาที่ได้ติดเหล็กฉากไว้ ทุก 2 สัปดาห์

11. การทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่ระดับฐานราก (Plate Bearing Test)

3.2 วิธีการทดสอบ

1. **ศึกษาและสรุปทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

รวบรวมทฤษฎีเกี่ยวกับชนิด ประเภท และสาเหตุของรอยร้าว ข้อมูลและตัวแปรที่ควรทราบในการศึกษาติดตามรอยร้าวเพื่อ การทดสอบดินในสนามและในห้องปฏิบัติการ การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีอิลาสติก การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังประลัย รวมทั้งการสำรวจทำระดับ การสร้างหมุดหลักฐานสำหรับการทำระดับ เพื่อใช้อ้างอิงและประกอบการพิจารณาศึกษาการเกิดรอยร้าวของโครงสร้างอาคาร

ใช้เวลา 4 สัปดาห์ คือตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ของเดือนมิถุนายน ถึงสัปดาห์ที่ 1 ของเดือนกรกฎาคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. สำรวจและเลือกอาคารตัวอย่าง

สำรวจรอยร้าวของอาคารและกลุ่มอาคารทั้งหมดในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อเลือกทำการศึกษาการเกิดรอยร้าวของอาคารที่วิกฤต คือมีรอยร้าวขนาดใหญ่ที่โครงสร้างและชิ้นส่วนโครงสร้างอาคารจำนวนมาก อีกทั้งมีแนวโน้มที่อาจจะเกิดการวิบัติต่อไป

ใช้เวลา 4 สัปดาห์ คือตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 ของเดือนมิถุนายน ถึงสัปดาห์ที่ 3 ของเดือนกรกฎาคม

3. ติดตามการเคลื่อนตัวของรอยร้าว

ติดตามการเคลื่อนตัว (Active) ของรอยร้าว โดยการติดแผ่นกระจกขนาด 20x50x2 มิลลิเมตร และ 30x70x2 มิลลิเมตร ด้วยอีพอกซี่(Epoxy)ขวางคร่อมรอยร้าวที่สนใจศึกษาในทุก ๆ อาคารตัวอย่าง ถ้ารอยร้าวยังมีการเคลื่อนตัวแล้วรอยร้าวจะขยายกว้างขึ้นทำให้กระจกดังกล่าวแตก

รวมทั้งทำประวัติของรอยร้าวโดยทำเครื่องหมายที่ปลายสุดของรอยร้าวและบันทึกวันที่ที่ทำเครื่องหมายนี้ จากนั้นสังเกตเป็นระยะ ๆ หากรอยร้าวยังคงยาวขึ้นเรื่อย ๆ ทำเครื่องหมายที่ปลายต่อไปของรอยร้าวและบันทึกวันที่กำกับไว้ทุกครั้ง

ใช้เวลา 3 สัปดาห์ในการดำเนินการ คือสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 4 ของเดือนกรกฎาคม ติดตามผลทุก ๆ 1 สัปดาห์ (ในภาคการศึกษาที่ 2) และ ทุก ๆ 2 สัปดาห์ ในภาคการศึกษาที่ 3

4. รวบรวมข้อมูลทางโครงสร้างและการก่อสร้าง

รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของโครงสร้าง ได้แก่

- ข้อมูลทางด้านโครงสร้าง จากรายการคำนวณ แบบการก่อสร้าง และข้อกำหนดรายละเอียดการก่อสร้าง
- ข้อมูลทางด้านการก่อสร้าง จากผลการทดสอบคอนกรีตในที่ ผลการทดสอบดิน ผลการทดสอบลูกปูน และรายงานความก้าวหน้างานก่อสร้าง
- ข้อมูลทางด้านการซ่อมแซมอาคาร รายการซ่อมแซมอาคาร (ถ้ามี)

โดยขอข้อมูลทั้งหมดจากสวนอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และจากบริษัทผู้ออกแบบ

ใช้เวลา 4 สัปดาห์ คือสัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 4 ของเดือนสิงหาคม

5. ติดฐานรองไม้ระดับ

ติดเหล็กฉาก C X X ยาว 10 ซม. ที่โคนเสาของอาคารตัวอย่าง สำหรับใช้ตั้งไม้ระดับเพื่อติดตามอ่านค่าระดับและวัดค่าการทรุดตัวแตกต่างของฐานราก โดยเลือกให้ตำแหน่งเสาแต่ละต้นที่ติดเหล็กมีระยะห่างเท่า ๆ กันและครอบคลุมพื้นที่อาคาร ด้านของเสาที่ติดเหล็กพิจารณาจากความสะดวกในการสำรวจทำระดับ

ใช้เวลา 1 สัปดาห์ คือสัปดาห์ที่ 1 ของเดือนกันยายน

6. เก็บตัวอย่างดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดิน โดยเก็บตัวอย่างแบบแปลงสภาพ ที่ระดับ 0 เมตร, 2 เมตร และ 3 เมตร จากผิวดิน ณ อาคารตัวอย่าง ระดับละประมาณ 200 กิโลกรัม และเก็บตัวอย่างแบบคงสภาพที่ความลึก 1 เมตรจากผิวดิน เพื่อใช้ทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

ใช้เวลา 2 สัปดาห์ คือสัปดาห์ที่ 1 ของเดือนกันยายน และสัปดาห์ที่ 3 ของเดือนธันวาคม

7. ทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ

ทดสอบตัวอย่างดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในสนามเพื่อทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้ในการจำแนกดินและหาคุณสมบัติที่มีผลต่อการทรุดตัวของดินรองรับอาคารและฐานรากอาคาร โดยทำการทดสอบทั้งสิ้น 7 ปฏิบัติการ ได้แก่ การทดสอบหาขนาดและการกระจายตัวของเม็ดดินด้วยการวิเคราะห์ตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) และการวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis) การทดสอบหาความชื้นตามธรรมชาติของดิน (Natural Water Content) การทดสอบหาพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก (Atterberg Limit) การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของดิน (Total Unit Weight) การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity) การทดสอบการบดอัด (Compaction Test) และการทดสอบค่าซีบีอาร์ (CBR Test) การทดสอบแบบเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test) ใช้เวลาในการทดสอบ 8 เดือน ตั้งแต่เดือนกันยายนถึงเดือนมีนาคม โดยแต่ละการทดสอบมีขั้นตอนการปฏิบัติการดังนี้

1. วิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis)

1.1 เลือกขนาดตะแกรง สำหรับงานจำแนกชนิดของดินขนาดของตะแกรงที่ใช้ได้แก่ 3/4 นิ้ว 3/8 นิ้ว เบอร์ 4 เบอร์ 10 เบอร์ 40 เบอร์ 100 และเบอร์ 200 เตรียมตะแกรงถาดรับ และฝาปิด

1.2 ทำความสะอาดตะแกรงขนาดหยาบด้วยแปรงลวด และขนาดละเอียดด้วยแปรงขนอ่อน นำตะแกรงแต่ละขนาดขึ้นชั่งน้ำหนัก

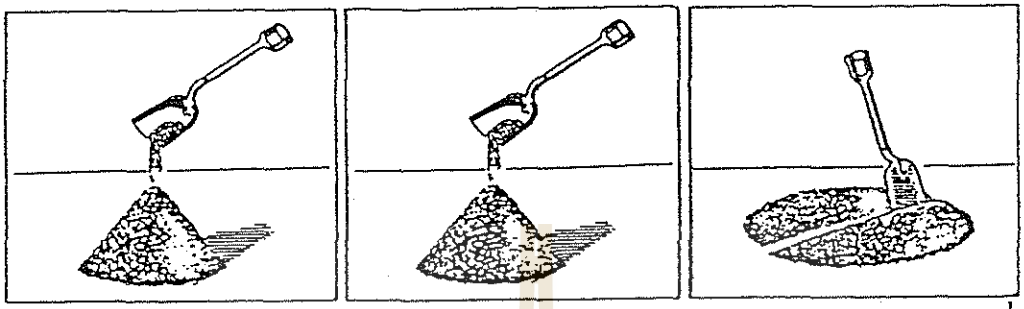
1.3 เตรียมตัวอย่างดิน 500 กรัม นำตัวอย่างดินไปล้างผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จนน้ำใส นำดินส่วนที่ค้างตะแกรงไปอบแห้งเพื่อทดสอบวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อน ส่วนดินที่ผ่านตะแกรงนำไปทดสอบวิเคราะห์ด้วยไฮโดรมิเตอร์ต่อไป

1.4 เรียงตะแกรงบนเครื่องเขย่า โดยวางตะแกรงขนาดใหญ่สุดอยู่บนแล้วเรียงตามลำดับขนาดลงไป และถาดรับอยู่ล่างสุด

1.5 เทตัวอย่างลงบนตะแกรงอันบน ปิดฝา สั่นตะแกรงประมาณ 5-10 นาที จากนั้นแยกตะแกรงแต่ละอันออกมาชั่ง เป็นน้ำหนักดินที่ค้างตะแกรง

1.6 คำนวณเปอร์เซนต์ตัวอย่างดินที่ผ่านตะแกรง และแสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องตะแกรงและเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.1 วิธีการแยกตัวอย่างที่เป็นตัวแทนจากในกอง

2. การวิเคราะห์ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis)

2.1 เตรียมน้ำกลั่นประมาณ 2,000 มิลลิลิตร ไว้ในห้องเพื่อให้อุณหภูมิคงที่

2.2 เตรียมน้ำยา Dispersing Agent เพื่อให้เม็ดดินแตกตัวแยกออกจากกัน โดยใช้ผงโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (Sodium Hexa-Metaphosphate) 4% ละลายในน้ำกลั่น(ผงยา 4 กรัม ละลายน้ำ 100 มิลลิลิตร) ผสมให้เข้ากันดี

2.3 ฝึกการจุ่มไฮโดรมิเตอร์ และอ่านค่าให้ชำนาญ เวลาที่ใช้จุ่มก่อนอ่านควรจะไม่เกิน 15 วินาที

2.4 เตรียมน้ำกลั่นเปล่าในกระบอกแก้ว 1 ใบ จุ่มไฮโดรมิเตอร์ แล้วอ่านค่า

2.5 ทำการสอบเทียบ (Calibrate) ไฮโดรมิเตอร์

2.6 เตรียมกระบอกแก้ว 1 ใบ ใส่น้ำกลั่นถึงขีด 1,000 มิลลิลิตร

2.7 ผสมน้ำโคลนที่ได้จากการล้างดินตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ให้เข้ากันดี เท น้ำโคลนส่วนหนึ่งลงในกระบอกแก้ว เติมน้ำประมาณ 850 มิลลิลิตร เขย่ากระบอกขึ้น-ลง ด้วยฝ่ามือทั้งสองจนเข้ากันดี ทดลองจุ่มไฮโดรมิเตอร์แล้วอ่านค่า ค่าแรกที่อ่าน 15 วินาที ต้องได้ค่าประมาณ 1.025 – 1.030 ถ้าอ่านได้มากกว่านี้แสดงว่าน้ำโคลนที่แบ่งมาทดสอบ มีปริมาณดินมากเกินไป ให้เทน้ำโคลนออกมาส่วนหนึ่งแล้วเติมน้ำ ในทำนองเดียวกันถ้าอ่านค่าได้ต่ำกว่านี้แสดงว่าน้ำโคลนที่แบ่งมาทดสอบมีปริมาณดินน้อยเกินไป ให้เทน้ำโคลนเพิ่ม แล้วทดลองอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์อีกครั้งจนอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

2.8 เทน้ำโคลนใส่กระป๋องปั่นดิน เติมน้ำยา 125 มิลลิลิตร เดินเครื่องปั่นประมาณ 10 นาทีจึงเทน้ำโคลนลงในกระบอก น้ำโคลนส่วนที่เหลือนำเข้าอบแห้ง

2.9 นำตัวอย่างน้ำโคลนที่ปั่นแล้วใส่กระบอก เติมน้ำจนถึงขีด 1,000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดีด้วยฝ่ามือทั้งสอง

2.10 เมื่อตั้งกระบอกลงจุ่มไฮโดรมิเตอร์ทันที แล้วอ่านค่าหลังจากวางกระบอก 15 วินาที 30 วินาที 1 นาที และ 2 นาที หลังจากนั้นผสมน้ำโคลนใหม่ แล้วเริ่มทดลองใหม่ สังเกตค่าอ่านที่ 15 วินาที 30 วินาที 1 นาที ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ อ่านค่าที่ 2 นาทีอีกครั้ง

การอ่าน อ่านขอบบนของโค้งน้ำที่ก้านไฮโดรมิเตอร์

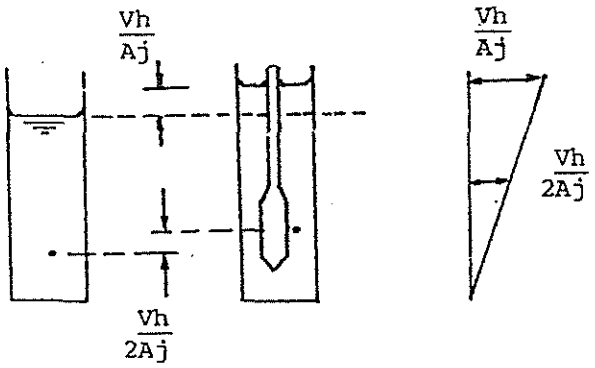
เมื่ออ่านเสร็จยกไฮโดรมิเตอร์ออกไปจุ่มไว้ในกระบอกน้ำเปล่าที่เตรียมไว้

2.11 ทำการอ่านต่อไป เพิ่มระยะเวลาการอ่านครั้งต่อไปประมาณ 2 เท่า อ่านค่าอุณหภูมิเป็นครั้งคราว อ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ในน้ำกลั่นด้วย และอ่านค่าต่อไปวันละ 2 ครั้ง จนกระทั่งค่าอ่านประมาณคงที่ จึงหยุดการทดลอง

2.12 เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง เขย่ากระบอก เทน้ำโคลนออกจากกระบอกใส่ภาชนะ ต้องล้างเศษดินที่ก้นกระบอกออกให้หมด นำเข้าอบแห้ง

2.13 ทำการคำนวณและแสดงผล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.2 แสดงการทดสอบไฮโดรมิเตอร์

3. การทดสอบหาความชื้นตามธรรมชาติของดิน (Natural Water Content)

3.1 ทำความสะอาดกระป๋องตัวอย่างดิน ตรวจสอบเบอร์กระป๋อง ชั่งน้ำหนักกระป๋อง ถ้าเป็นกระป๋องแบบมีฝาปิด ซ้องฝาไว้ที่กระป๋องชั่งน้ำหนักรวมกัน

3.2 ตรวจสภาพตัวอย่างดิน โดยใช้น้ำหนักตัวของตัวแทนตัวอย่างดินที่จะทำการทดสอบดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักตัวอย่างดินสำหรับทดสอบหาความชื้น (ASTM D 2216-80)

ขนาดเม็ดดินที่ค้างตะแกรง มากกว่า 10%ของตัวอย่าง	น้ำหนักมวลตัวอย่างชื้น ที่แนะนำ(ต่ำสุด), กรัม
2.00 มม (เบอร์ 10)	100 – 200
4.75 มม (เบอร์ 4)	300 – 500
19.0 มม (¾ นิ้ว)	500 – 1,000

3.3 บรรจุตัวอย่างดินลงในกระป๋อง ถ้าเป็นกระป๋องมีฝาปิด หลังจากบรรจุตัวอย่างเสร็จปิดฝาไว้

3.4 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินเปียกรวมกระป๋อง ถ้าเป็นกระป๋องที่ไม่มีฝาปิดต้องรีบชั่งตัวอย่างทันทีที่บรรจุตัวอย่างเสร็จ ส่วนกระป๋องที่มีฝาปิด หลังจากปิดฝาแล้วอาจใส่ถาดรวมไว้หลาย ๆ ตัวอย่างจึงนำไปชั่งพร้อม ๆ กัน

3.5 นำกระป๋องตัวอย่างเข้าอบในตู้อบ ถ้าเป็นกระป๋องตัวอย่างที่มีฝาปิด เปิดฝาออก สอดฝาไว้ที่ก้นกระป๋อง การทดลองที่มีกระป๋องตัวอย่างหลาย ๆ กระป๋องควรหาภาชนะใส่กระป๋องรวมกัน เพื่อสะดวกในการค้นหาตัวอย่างเมื่อแห้งแล้ว

3.6 หลังอบตัวอย่างไว้ข้ามคืน (ประมาณ 18 – 24 ชั่วโมง) นำกระป๋องตัวอย่างดินออกจากตู้อบ ปิดฝากระป๋อง ตั้งทิ้งไว้จนเย็น

3.7 นำกระป๋องตัวอย่างที่เย็นแล้วขึ้นชั่ง เป็นน้ำหนักตัวอย่างดินแห้งรวมกระป๋อง จดบันทึกน้ำหนักให้ถูกต้องตามเบอร์กระป๋อง

3.8 คำนวณค่าความชื้นตามธรรมชาติของดิน

4. <u>การทดสอบหาพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก</u> (Atterberg Limit)

4.1 สอบเทียบกระทะเคาะดิน

4.2 ผึ่งตัวอย่างดินในแดดหรือในที่ร่มจนแห้ง นำดินมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ให้ได้น้ำหนักดินที่ผ่านตะแกรงสำหรับนำไปทดสอบประมาณ 150 – 200 กรัม

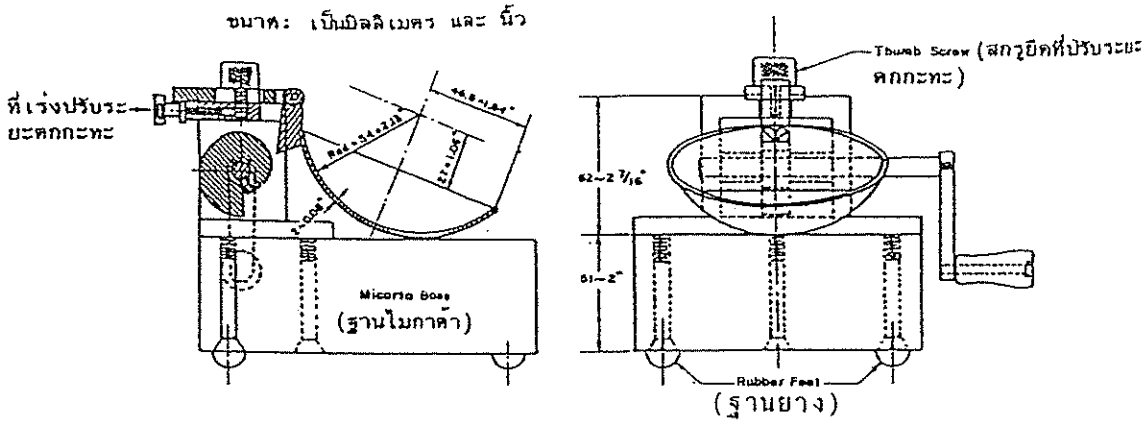
4.3 ผสมน้ำในดินที่เตรียมไว้เล็กน้อย คลุกดินให้เข้ากันจนดี แยกดินส่วนหนึ่งไว้ทดสอบพิกัดพลาสติก (ประมาณ 20 – 30 กรัม) ตามขั้นตอนที่ 4.11 – 4.16 และดินส่วนที่เหลือใช้ทดสอบพิกัดเหลวตามขั้นตอนที่ 4.4 – 4.10

4.4 จากดินที่ผสมไว้ เพิ่มน้ำเข้าไปอีก คลุกให้เข้ากันดี (ใช้ขวดบีบน้ำ)

4.5 ใช้มีดปาดดิน ปาดดินใส่กระทะ กดอัดด้วยมีดให้ดินติดก้นกระทะ ไม่มีฟองอากาศ ปาดให้เรียบ ความลึกของดินในกระทะประมาณลึกเท่ากับความลึกของป่ามีดปาดร่องดิน(ประมาณ 10 มิลลิเมตร)

4.6 ใช้มีดปาดร่องดิน ปาดดินในกระทะให้เป็นร่องตรงกลาง การปาดร่องดินต้องปาดให้มีดปาดร่องอยู่ในตำแหน่งประมาณตั้งฉากกับผิวกระทะ อาจตั้งเครื่องเคาะดินบนพื้นโต๊ะ แล้วใช้มีดปาดร่องดินปาดร่องดินตามแนวตั้งฉากกับผิวกระทะเข้าหาตัวหรือใช้วิธีจับมีดปาดดินอยู่กับที่ในระดับพอเหมาะ แล้วยกกระทะ(และฐาน)หมุนสัมผัสมีดปาดร่องดินในแนวรัศมีมีดปาดดิน ใช้มีดปาดร่องในลักษณะด้านสบคมอยู่ด้านหลัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องมือทดสอบพิกัดเหลว (Liquid Limit)

ถ้าเป็นดินชนิดมี Plasticity ต่ำ อาจจะปาดร่องได้ยาก ควรใช้มีดปาดร่องแบบโค้งจะช่วยให้ปาดร่องง่ายขึ้น ค่อย ๆ ปาดร่องดินหลาย ๆ ครั้ง แต่ละครั้งเพิ่มความลึกสันมีดปาดลงไปเรื่อย ๆ จนติดก้นกระทะ ถ้าการปาดร่องทำให้ดินทั้งสองข้างเคลื่อนตัว ควรจะใช้วิธีวางมีดปาดดินแบบโค้งลงบนกระทะ แล้วค่อย ๆ กดดินทั้งสองด้านให้ดินอัดมีดปาดร่องทั้งสองด้าน เมื่อยกมีดปาดร่องขึ้นจะเป็นรูปร่องปาดตามต้องการ อย่างไรก็ตามดินที่มีปัญหาเช่นนี้จะเป็นดินที่มี Plasticity ต่ำใกล้ Nonplasticity

4.5 เริ่มเคาะกระทะด้วยอัตราความเร็ว 120 ครั้ง/นาที จนกระทั่งร่องดินที่ปาดไว้ไหลเข้ามาชนกันยาวประมาณ 13 มิลลิเมตร(1/2 นิ้ว) นับจำนวนครั้งที่เคาะ ซึ่งการทดลองครั้งแรกควรมีค่าประมาณ 30 – 45 ครั้ง ถ้าสูงกว่านี้เพิ่มน้ำแล้วคลุกดินใหม่ ทำการทดลองใหม่

สำหรับผู้ทดสอบที่ไม่มีประสบการณ์ ควรจะทำการเคาะซ้ำอีกครั้งโดยที่ไม่ต้องเติมน้ำ เพื่อตรวจสอบว่าได้จำนวนครั้งเคาะใกล้เคียงค่าเดิมหรือไม่

ทุกครั้งที่เสร็จการเคาะ ขูดดินออกจากกระทะให้หมด ทำความสะอาดกระทะด้วยกระดาษหรือผ้าให้แห้งสะอาด

4.6 เมื่อได้จำนวนครั้งเคาะที่เหมาะสมแล้ว ใช้มีดปาดดินเก็บตัวอย่างที่บริเวณร่องที่ไหลมาชนกัน ประมาณ 15 กรัม(แซะด้วยปลายมีดคลุกดินตั้งฉากกับร่องดินให้ได้ตัวอย่างดินติดใบมีดประมาณขนาดความขนาดความกว้างของใบมีด) ใส่ตัวอย่างดินในกระป๋องตัวอย่างดินขนาด 2 ออนซ์(ใบเล็ก) ปิดฝา

4.7 ทำการทดลองครั้งต่อไป เพิ่มน้ำอีกเล็กน้อย คลุกเคล้าดินให้เข้ากันดี ทำการทดลองซ้ำข้อ 4.7 – 4.8 ประมาณให้ได้ครั้งเคาะดังนี้

25 – 35 ครั้ง	1	ค่า
20 – 30 ครั้ง	1	ค่า
15 – 25 ครั้ง	1	ค่า

รวมกับค่าเดิมที่ประมาณ 30 – 45 ครั้ง อีก 1 ค่า รวมเป็น 4 – 5 ค่า จึงหยุดการทดลอง

4.10 รวบรวมกระป๋องตัวอย่างดินทั้งหมดเพื่อหาความชื้น (ตามวิธีการทดสอบหาความชื้นตามธรรมชาติของดิน)

4.11นำดินที่คลุกแยกไว้ในข้อ 4.3 มาปั้นบนแผ่นกระจกด้วยฝ่ามือ ถ้าดินเปียกไปเมื่อปั้นดินจะติดฝ่ามือ แผ่ดินบาง ๆ บนแผ่นกระจกเพื่อให้ดินแห้งขึ้น

4.12 เมื่อผสมดินได้ความชื้นพอเหมาะแล้ว แบ่งดินออกจำนวนหนึ่งมาค่อย ๆ ปั้นให้เป็นเส้นบนแผ่นกระจกด้วยฝ่ามือและนิ้วทั้งสี่ พยายามให้เป็นเส้นขนาดเท่ากันตลอดความยาว(ประมาณเท่ากับความยาวฝ่ามือ) ค่อย ๆ คลึงฝ่ามือไปมาประมาณ 80 – 90 ครั้ง/นาที(ไปและมา)

4.13 ปั้นดินจนกระทั่งได้เส้นดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) ภายในระยะเวลาไม่เกินประมาณ 2 นาที ถ้ายังสามารถปั้นเส้นดินให้เล็กลงไปกว่า 3.2 มิลลิเมตรได้(ด้วยการเปรียบเทียบกับเพลาเหล็กที่เตรียมไว้) แสดงว่าดินยังมีความชื้นสูงกว่า Plastic Limit

4.14 หักเส้นดินเป็นท่อน ๆ คลุกขยี้ระหว่างนิ้วมือ แล้วปั้นเส้นดินใหม่จนกระทั่งเมื่อเส้นดินมีขนาดใกล้เคียง 3.2 มิลลิเมตร ดินเริ่มมีรอยแตก และจะหักเป็นท่อนได้ง่าย จากท่อนที่หักออกมา พยายามปั้นให้เล็กลงถึงขนาด 3.2 มิลลิเมตร จนกระทั่งดินเริ่มแตกออกจากกันมากขึ้น หรือไม่สามารถปั้นให้เล็กลงไปกว่า 3.2 มิลลิเมตรได้ สถานะความชื้นของดินนี้เป็น Plastic Limit

4.14 เก็บเศษดินที่ปั้นไว้ ใส่กระป๋องตัวอย่างดินใบเล็ก เพื่อหาความชื้น(ตามวิธีการทดสอบหาความชื้นตามธรรมชาติของดิน)

4.15 แยกดินออกมาจากกองที่เตรียมไว้ ทำการทดลองข้อ 4.11 – 4.15 ซ้ำ

5. <u>การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน</u> (Grain Specific Gravity)

ใช้ขวดแก้วฟลาซ (Volumetric Flask)

5.1 สอบเทียบขวดฟลาซ

5.2 เตรียมตัวอย่างดินประมาณ 50 กรัม(เมื่อแห้ง) เติมน้ำเพิ่มเรื่อย ๆ จนกระทั่งดินเหลวและเข้ากันดี เติมน้ำลงไปอีกให้ดินเหลวพอที่จะเทลงในขวด ถ่ายดินลงขวดแก้วให้หมด ใช้น้ำล้างช่วย (ใช้กรวยถ่าย)

5.3 เติมน้ำในขวดฟลาซถึง 2/3 ของคอขวด ไล่อากาศเช่นเดียวกับวิธีการสอบเทียบขวดแก้ว นำขวดแก้วลงมาจากเตา เติมน้ำกลั่นที่ต้มไล่อากาศเตรียมไว้แล้วลงในขวดแก้ว

5.4 ลดอุณหภูมิของน้ำในขวดด้วยวิธี Water Bath หรือปล่อยขวดทิ้งไว้ค้างคืนให้น้ำเย็นลงในอุณหภูมิห้อง น้ำที่เติมไว้เต็มขวดจะลดลง

5.5 แต่งระดับน้ำในขวดที่ขีดบอกปริมาตร 500 ลบ.ซม. และเช็ดขวดให้แห้ง นำขึ้นชั่ง และวัดอุณหภูมิน้ำ ตรวจสอบว่าอุณหภูมิน้ำในขวดเท่ากันทุกระดับ อุณหภูมิที่ทดลองจะต้องอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ได้สอบเทียบไว้ อาจจะอ่านอุณหภูมิ 1 – 2 ค่า

5.6 เมื่อเสร็จแล้ว เขย่าขวด เทตัวอย่างออกใส่ขัน นำเข้าตู้อบ หลังจากอบแห้งแล้วชั่งน้ำหนักดินแห้ง

5.7 คำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

6. ทดสอบ Consolidation Test (ASTM .D-2435)

<u>เตรียมเครื่องมือ</u>

1) ปรับลูกตุ้มถ่วงระดับน้ำหนักให้ค่าน้ำหนักคานได้สมดุลย์
2) ตรวจสอบระยะต่าง ๆ จากจุดหมุนถึงตำแหน่งกดตัวอย่างและระยะจากจุดหมุนถึงขอแขวนน้ำหนักเพื่อคำนวณอัตราส่วนคานงัด
3) ไล่อากาศแผ่นหินพรุนทั้งสองแผ่น ด้วยการต้มน้ำให้เดือด และปล่อยให้เย็น
4) วัดขนาดวงแหวนตัวอย่างด้วยเวอร์เนียร์ คาลิเปอร์ และชั่งน้ำหนัก
5) ดันตัวอย่าง ดิน ออกจากกระบอกตัวอย่าง และตรวจสอบว่าไม่ถูกรบกวน (Disturbed)
6) ใช้จารบีซิลิโคน ทาภายในวงแหวนตัวอย่างบาง ๆ วางวงแหวนตัวอย่างบนดินตัวอย่างเอาทางคมลงด้านล่าง ใช้เลื่อยเส้นลวดตัดแต่ง ตัวอย่างให้มีขนาดเท่ากับรูขอ งวงแหวนแล้วกดวงแหวนในแนวดิ่งจนกระทั่งดินพ้นขอบขึ้นมาเหนือขอบวงแหวน ทำความสะอาดรอบวงแหวน ชั่งตัวอย่างดินและวงแหวนตัวอย่าง
7) เก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความชื้น ใช้ตัวอย่างดินอย่างน้อย 100 กรัม
8) วางฐานที่บรรจุตัวอย่างลงบนโต๊ะ ไล่อากาศใต้ฐานให้หมดด้วยการเติมน้ำกลั่นลงในภาชนะ แล้วยกระดับให้สูงขึ้นจนน้ำไหลเข้าฐานวางแผ่นหินพรุนแผ่นล่าง ลงบนฐาน พยายามให้น้ำท่วมปริม ๆ ตลอดเวลา อย่าให้แห้ง จุ่มแผ่นกระดาษกรองที่ตัดได้ขนาดเท่ากับแผ่นหินพรุน แล้วจุ่มลงขันน้ำให้เปียก นำมาวางบนแผ่นหินพรุน พยายามวางราบไปด้านหนึ่ง อย่าให้มีฟองอากาศติดอยู่ภายใน
9) ใส่วงแหวนบังคับลงบนฐาน แล้ววางวงแหวนตัวอย่างที่เตรียมไว้ลงบนกระดาษกรอง วิธีเดียวกับแผ่นล่างบนตัวอย่างดิน วางแผ่นหินพรุนลงบนแผ่นกระดาษกรอง วางแผ่นฝากดลงบนแผ่นหินพรุน และวางลูกปืนบนฝากด

10) ประกอบแหวนเกลียวเข้ากับฐาน ใส่น้ำหล่อตัวอย่างจนท่วม ในกรณีดินเหนียวแข็งแข็งมากที่อยู่ลึก หรือดินบดอัด (Compacted Simple) ซึ่งดินจะบวมตัวเมื่อเติมน้ำ จะเลี่ยงการบวมตัวโดยการเติมน้ำในขั้นกดน้ำหนักต่อ ๆ ไป แต่ต้องมีผ้าชื้นคลุมตัวอย่างดินไม่ให้ดินแห้งตัว

11) นำที่บรรจุตัวอย่างที่ประกอบแล้ววางบนเครื่อง

12) ทดสอบวางคานบนจุดกระทำ แล้วแตะฝากด ที่ลูกปืนฝากด ปรับจนกระทั่งคานได้ระดับ ดูที่ลูกน้ำตาไก่ ปรับมาตรหน้าปัด (Dial Gauge) ให้แกนอยู่ในตำแหน่งพอที่จะวัดการทรุดตัวของตัวอย่างที่ทดสอบ ปรับหน้าปัด (Dial Gauge) ให้อ่านค่าวงนอกสัมพันธ์กับค่าวงใน

13) คำนวณค่าน้ำหนักที่จะใช้กดตัวอย่าง เตรียมน้ำหนักสำหรับกดค่าแรกให้พร้อม

14) เริ่มการทดสอบด้วยการวางแผ่นน้ำหนักที่ขอแขวน เริ่มจับเวลา อ่านค่าทรุดตัวของดินที่หน้าปัด ที่เวลา 0.25, 1, 2.25, 4, 6.25, 9, 12.25, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100 นาที หลังจากนั้นอ่านค่าประมาณ 2 เท่าของช่วงเวลาเดิม และอ่านค่าน้ำหนักก่อนออกจากห้องทดลองในตอนเย็น

15) วันรุ่งขึ้นอ่านค่าทรุดตัวสุดท้าย หลังจากนั้นปรับระดับคานให้ได้ระดับสังเกตเข็มหน้าปัด ไม่ควรจะเคลื่อน

16) เพิ่มน้ำหนักกดขั้นต่อไป จดบันทึกค่าอ่านเช่นเดียวการขั้นแรก

17) ทำการกดน้ำหนักตามข้อ 14) - 16) จนกระทั่งเสร็จ ทำการถอดน้ำหนักออก (Rebound)โดยเว้น 1 ขั้น ทุกครั้งที่ถอดน้ำหนักเพียงแค่จดบันทึกค่าบนมาตรหน้าปัด (Dial Gauge) ก่อนจะถอดน้ำหนักขั้นต่อไปเท่านั้น ไม่ต้องจดบันทึกตามเวลา จนกระทั่งถอดน้ำหนักหมด การบวมตัวของดินที่เกิดขึ้นจากการถอดน้ำหนักจะใช้เวลาน้อยกว่าการกดน้ำหนัก จึงสามารถทำการถอดน้ำหนัก 2-3 ขั้น ต่อวัน

18) หลังจากเสร็จการทดสอบแล้ว ถอดตัวอย่างออก เทน้ำให้แห้ง ถอดกระดาษกรองออก ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง แล้วหาความชื้น (ทั้งตัวอย่าง)

8. **ทดสอบดินในสนาม**

<u>การทดสอบกดน้ำหนักด้วยแผ่นเหล็ก</u> (Plate Bearing Test)

การทดสอบกดน้ำหนักด้วยแผ่นเหล็ก มีการใช้เพรหลายในอดีต เนื่องจากให้ค่าน้ำหนักบรรทุกของดินได้โดยตรง แต่ในปัจจุบันเนื่องจากมีวิธีทดสอบอื่นๆ ที่ให้ผลการทดสอบที่ถูกต้องและมีความเหมาะสมกว่า เช่น การเจาะสำรวจด้วยหลุมเจาะ (Soil Boring)

การเจาะหยั่ง (Dutch Cone) เป็นต้น ในประเทศที่เจริญแล้ว การใช้การทดสอบกดน้ำหนักด้วยแผ่นเหล็กจึงมีความนิยมลดน้อยลงไป และได้มีการดัดแปลงวิธีการทดสอบให้มีประโยชน์มากขึ้น เช่นการทำการทดสอบลึกลงไปในหลุมเจาะ (Borehole) และการทดสอบแบบ Screw Plate Test เป็นต้น อย่างไรก็ตามการทดสอบกดน้ำหนักด้วยแผ่นเหล็กก็ยังเป็นการทดสอบที่มีความสำคัญอยู่พอควร ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการทดสอบอยู่ 2 ประการ คือ

3.) เพื่อหาค่าน้ำหนักบรรทุกของดิน (Bearing Capacity) สำหรับออกแบบฐานแผ่ การทดสอบใช้แผ่นเหล็กขนาดอย่างต่ำ 30 ซม.

4.) เพื่อหาค่าคุณสมบัติค่าทรุดตัวของดิน (Deformation Characteristic) เช่น การหาค่า k สำหรับการออกแบบถนน การทดสอบใช้แผ่นเหล็กขนาดอย่างต่ำ 76 ซม.

<u>การกดน้ำหนักทดสอบ</u>

เพื่อที่จะให้ได้ค่าทดสอบอย่างน้อย 6-7 ค่า จนกระทั่งดินวิบัติ สำหรับการพล็อตผลจึงต้องประมาณค่าน้ำ หนักที่จะกดแต่ละขั้นให้พอเหมาะ ซึ่งอาจจะแยกวิธีการคำนวณได้ 2 กรณี คือ

4.) เมื่อพิจารณาดูดินแล้วว่าการทดสอบน้ำหนักจะสามารถกดดินได้ถึงจุดวิบัติ จากน้ำหนักกดทับ (Kent ledge) หรือกำลังสว่านสมอที่ใช้ยึดที่มีอยู่ จากนั้นประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติ (Failure) ของดินด้วยประสบการณ์ แล้วจึงแบ่งค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติออกเป็นขั้นๆ ประมาณ 5-6 ขั้น (เผื่อไว้ 1-2 ขั้น กรณีดินไม่ถึงจุดวิบัติ) จากน้ำหนักบรรทุกที่ประมาณไว้นำไปคิดค่าน้ำหนักกดแต่ละขั้น (คูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของขนาดแผ่นเหล็กที่ใช้) ปรับให้เป็นค่าลงตัวเพื่อสะดวกในการควบคุมและการอ่าน

5.) เมื่อทดสอบในชั้นดินที่ไม่สามารถกดทดสอบให้ถึงจุดวิบัติได้ เช่น ชั้นดินแข็งมาก ดินลูกรัง เป็นต้น ในกรณีนี้ประมาณค่าน้ำหนักบรรทุกที่จะกดสูงสุด เป็นจำนวนเท่าของค่าน้ำหนักบรรทุกที่จะใช้ออกแบบฐานราก เช่น 3 เท่าของค่าน้ำหนักบรรทุกใช้ออกแบบฐานราก 10 ตัน/ม^2 = 3 x 10 = 30 ตัน/ม^2 เป็นต้น จากค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดนี้นำมาแบ่งออกเป็น 6-7 ขั้นการกดน้ำหนัก แล้วจึงนำไปคิดค่าน้ำหนักกดตามลำดับ ค่าน้ำหนักกดแต่ละขั้นควรไม่เกิน 10 ตัน/ม^2

ระยะเวลาที่กดทดสอบแต่ละขั้น

มาตรฐาน ASTM D 1194 กำหนดให้กดน้ำหนักไว้ไม่ต่ำกว่า 15 นาที หรือจนกระทั่งค่าทรุดตัวมีค่าคงที่ เมื่อเลือกระยะเวลาใดๆแล้ว ควรใช้ระยะเวลากดทดสอบเท่ากันทุกขั้นน้ำหนัก การอ่านค่าคืนตัว (ลดน้ำหนัก) ก็ทำเช่นเดียวกัน

การเลือกเครื่องมือให้เหมาะสมกับการทดสอบ

1.) การเตรียมน้ำหนักกดทับแรงปฏิกริยา (Reaction Kent ledge)

การทดสอบกดน้ำหนักจำเป็นต้องเตรียมน้ำหนักกดทับจนมากพอ น้ำหนักกดทับที่จะเตรียมขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดิน และขนาดของแผ่นเหล็กที่ใช้ (น้ำหนักกดทับจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกำลังสองของขนาดแผ่นเหล็กที่เพิ่มขึ้น) ข้อแก้ไขที่จะทำได้คือกำหนดค่าน้ำหนักบรรทุกที่จะทดสอบในกรณีที่ไม่สามารถกดให้วิบัติได้ (เช่น 3 เท่า ค่าที่ใช้ออกแบบ) และเลือกใช้ขนาดแผ่นเหล็กที่พอเหมาะ (อย่างต่ำขนาด 30 ซม.)

ส่วนน้ำหนักกดทับแรงปฏิกริยา อาจออกแบบการใช้วิธียึดสว่านสมอแทนการใช้น้ำหนักบรรทุก การใช้สว่านสมอในดินที่สามารถลงสว่านได้ จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้น้ำหนักกดทับ ส่วนการทดสอบในดินที่ไม่สามารถลงสว่านได้ เช่น ดินดานแข็ง ทรายร่วน ดินถมใหม่ เป็นต้น อาจออกแบบแผงบรรทุกน้ำหนักขนาดพอเหมาะแบบสามารถและประกอบได้ในที่ และขนย้ายด้วยรถบรรทุกเล็ก สามารถบรรทุกถุงทรายหรือถุงปูนซีเมนต์ได้ 50-60 ลูก หรือใช้แทงค์น้ำบรรจุน้ำ

2.) การออกแบบเครื่องมือให้เหมาะสม

- ชุดเสาต่อ มีความจำเป็นมากในการติดตั้งเครื่องมือทดสอบ ควรออกแบบให้ใช้งาน ได้สะดวก ติดตั้งได้รวดเร็ว สามารถปรับความยาวได้ต่อเนื่องตลอดความลึกหลุมทดสอบ ติดตั้งแล้วปรับตั้งแนวดิ่งได้ง่าย
- ชุดยึดมาตรหน้าปัด การทดสอบในหลุมเจาะต้องออกแบบที่ยึดมาตรหน้าปัดแบบที่สามารถติดตั้งในหลุมทดสอบได้สะดวก การใช้ฐานแม่เหล็กจะสั้นไปและไม่สะดวกในการติดตั้งจะเสียเวลา ควรออกแบบที่ยึดมาตรแบบสามารถปรับยึดได้ตามความลึก และเลือกความยาวแขนยึดมากได้ตามความต้องการ

6.) ระยะเวลาการทดสอบ

ควรพิจารณาความเหมาะสมของระยะเวลาที่ใช้กดทดสอบ ไม่ควรทดสอบจนข้ามคืน เพราะจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และเสี่ยงต่อการที่จะถูกรบกวนค่าอ่านมาตรหน้าปัด เช่น ฝนตก คานอ้างอิงถูกกระทบ จะทำให้การทดสอบไม่คุ้มค่า

ถ้าชั้นดินมีลักษณะดีซึ่งส่วนใหญ่ดินที่จะกดทดสอบ ควรจะอยู่ในข่ายที่จะใช้ฐานแผ่ได้อยู่แล้ว จึงมีคุณสมบัติค่อนข่างดี การกดทดสอบจึงควรสังเกตจากอัตราการทรุดตัว ถ้าอัตราการทรุดตัวมีค่าน้อยควรเพิ่มน้ำหนักขั้นต่อไป การกดทดสอบแบบเร็ว (Quick Test) กดทดสอบช่วงละ 15 นาที (ข้อกำหนดต่ำสุดของ ASTM D 1194) จะทำให้สามารถทดสอบได้เร็วขึ้น (วันละ 1-2 หลุม)

วิธีการทดสอบ

1. ชนิดของเครื่องมือ ใช้แม่แรงไฮดรอลิกแบบแยกส่วน อ่านน้ำหนักผ่านวงแหวนวัดแรง น้ำหนักกดทับใช้แผงบรรทุกน้ำหนักแบบประกอบในที่

2. วัตถุประสงค์ หาค่าน้ำหนักบรรทุกของชั้นดิน

3. วิธีการทดสอบ กดทดสอบอัดตัวคายน้ำ กดจนดินมีค่าการทรุดตัวคงที่ เพิ่มน้ำหนักประมาณ 3-7 ขั้น แต่ละขั้นอ่านค่าการทรุดตัวตามระยะเวลา 0, 2, 5, 10, 20, 30 และ 40 นาที (จนค่าการทรุดตัวคงที่)

4. เครื่องมือ

1.) แผ่นเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ซม. หนา 25 มม.

2.) น้ำหนักกดทับ ใช้แผงบรรทุกน้ำหนัก (Plat form) แบบประกอบในที่ และใช้แทงค์น้ำขนาด 1.2 x 1.2 x 1.2 $ม^3$ จำนวน 2 ถัง น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด 3,456 กก.

3.) แม่แรงไฮดรอลิก และวงแหวนวัดแรงขนาด 5,000 กก.

4.) ชุดเบ้าลูกปืน (Spherical Bearing) เป็นแผ่นเบ้าเว้า- นูน ประกบกันสำหรับถ่ายแรงให้ได้แนวดิ่ง

5.) ชุดคานอ้างอิง (Reference Beam) คานไม้ยาว 2 เมตร มีขาตั้งพร้อมอุปกรณ์ติดตั้ง (Dial Gauge)

6.) มาตรหน้าปัด (Dial Gauge) ขนาดช่วงชัก 25 มม. อาจละเอียด 0.01 มม. 3 ตัว

7.) ระดับน้ำ

8.) อุปกรณ์เบ็ดเตล็ด ตลับเมตร นาฬิกาจับเวลา แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล

5. ขั้นตอนการปฏิบัติ

การเตรียมหลุมทดสอบและติดตั้งเครื่องมือ

1.) เตรียมขุดหลุมขนาดประมาณ 1.80 x 2.50 เมตร (กว้างอย่างน้อย 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นเหล็กที่ใช้) ลึกถึงระดับที่จะทดสอบ ซึ่งเป็นระเดียวกับที่จะวางฐานราก การเตรียมหลุม ต้องเตรียมหลุมเสร็จใหม่ ๆ แล้ว

ทำการทดสอบ เพื่อป้องกันผิวดินแห้ง หรือถ้าผิวดินแห้งก่อนการทดสอบ ควรขุดผิวดินเก่าออกเล็กน้อยจนถึงผิวดินที่มีความชื้นตามธรรมชาติ (Natural Water Content) ขุดหลุมดักน้ำ (Sump) ไว้ที่มุมหนึ่ง พยายามอย่าให้ผิวดินบริเวณที่จะวางแผ่นเหล็กกดทดสอบถูกรบกวน

2.) ประกอบแผงเหล็กบนหลุมทดสอบ โดยวางคานล่าง ขวางความกว้างหลุมทดสอบ ประกอบคานขวาง ยึดสลักเกลียวและแป้นเกลียว วางคานขวางบน

3.) วางแทงค์น้ำขนาด 1.2 x 1.2 x 1.2 $ม^3$ จำนวน 2 ถัง ใส่น้ำให้เต็ม แต่จะต้องตรวจสอบความมั่นคงของฐานของแผงที่วางอยู่บนหลุมทดสอบว่ามั่นคงขณะใส่น้ำ

4.) เตรียมจุดทดสอบให้เรียบร้อยและได้ขนาด ใช้ทรายละเอียดเตรียมปาดหน้าให้เรียบวางแผ่นเหล็กขนาดที่จะใช้ลงบนพื้นที่จะใช้ ตรวจสอบระดับแผ่นเหล็กอีกครั้ง

5.) วางแม่แรงไฮดรอลิกบนแผ่นเหล็กให้ได้ศูนย์กลางจนยันได้กับฐานล่างของวงแหวนภายใน ติดตั้งชุดเบ้าลูกปืนกับคานรับแรงต้าน

6.) ติดตั้งคานวัดการทรุดตัวและติดตั้ง Dial Gauge กับแผ่นเหล็กจำนวน 3 ตัว ให้ทำมุมประมาณ 120 องศา พยายามหลีกเลี่ยงการรบกวนที่จะกระทบคาน

การกดน้ำหนักทดสอบ

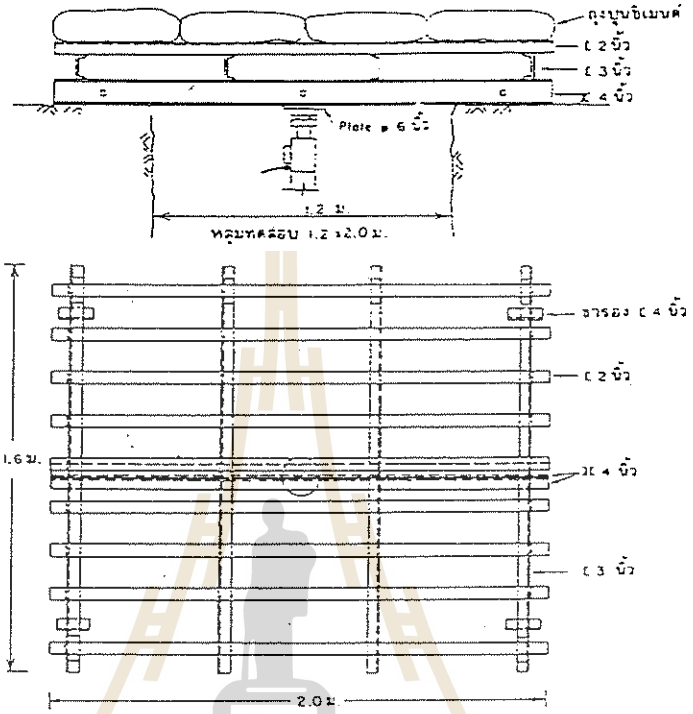
7.) ปรับมาตรหน้าปัดให้เป็นศูนย์ เพิ่มน้ำหนักกดจากแม่แรงไฮดรอลิกประมาณ ½ ของค่าแรงกดขั้นที่ 1 แล้วปล่อยให้เป็นศูนย์ ปรับมาตรหน้าปัดให้เป็นศูนย์อีกครั้ง ทำเพื่อให้แผ่นเหล็กแนบผิวดิน

7.) เพิ่มน้ำหนักบรรทุกขั้นที่ 1 อย่าให้เกิดแรงกระแทกแผ่นเหล็ก เมื่อค่ามาตรวัดความดันขึ้นถึง ระดับที่กำหนดไว้ อ่านค่าทรุดตัวที่มาตรหน้าปัดทั้งสาม (ค่า 0 นาที) และ อ่านมาตรหน้าปัด หลังจากนั้น 2 นาที, 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที, 30 นาที และ 40 นาที ตามลำดับ จนดินมีค่าการทรุดตัวคงที่ ในระหว่างนี้ปรับแม่แรงไฮดรอลิกให้ค่ามาตรวัดความดันอยู่คงที่ตลอดเวลา ป้องกันไม่ให้คานอ้างอิงถูกรบกวน ก่อนอ่านมาตรหน้าปัดทุกครั้ง ใช้ดินสอเคาะ เตือนที่มาตรเบาๆ กันแกนมาตรติด

8.) เพิ่มน้ำหนักขั้นต่อไปตามที่กำหนดไว้ ปฏิบัติตามข้อ 8.) จนกระทั่งดินวิบัติ (หรือค่าทรุดตัวมีค่ามากกว่า 25 มม.) หรือสุดกำลังเครื่องมือ การทดสอบ

จะต้องได้ผล การทดสอบอย่างน้อย 6 ค่า (ก่อนดินวิบัติ) จึงใช้ได้

9.) หยุดทำการทดสอบ ลดแรงลงเป็นศูนย์ อ่านค่าคืนตัว (Rebound) หรือจะลดแรงเป็นขั้นๆ แต่ละขั้นอ่านค่าคืนตัวจนค่าอ่านมาตรหน้าปัดมีค่าคงที่แล้วจึงลดน้ำหนักขั้น ต่อไป



รูปที่ 3.. การทดสอบ Plate Bearing

การคำนวณ

1) ค่าน้ำหนักบรรทุกของดิน,

$$q = \frac{R \times K \times 10}{A} \quad \text{ตัน/ม}^2$$

เมื่อ

R = ค่าอ่านมาตรวัดความดัน กก/ ซม^2

K = ค่าคงที่สอบเทียบมาตรวัดความดัน กก ต่อ กก/ซม^2

A = พื้นที่หน้าตัดแผ่นเหล็ก ม^2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.) ค่าทรุดตัว,

= G* 0.01 มม.

เมื่อ

G = ค่าอ่านมาตรหน้าปัดที่เปลี่ยนแปลง (อ่านละเอียด ขีดละ 0.01 มม.)

การรายงานผล

7.1) พล็อตค่าทรุดตัวของดิน (แกนตั้ง สเกลกลาง) ต่อค่าน้ำหนักบรรทุกของดิน (แกนนอน)

7.2) จัดทำรูปหน้าตัดในหลุมทดสอบ แสดงความลึกชั้นเปลี่ยนความลึกการทดสอบ ระดับน้ำใต้ดิน

9. **สร้างหมุดหลักฐานถาวร** (BM)

สร้างหมุดหลักฐานถาวรเพื่อระบุค่าความสูงจากระดับอ้างอิง (Datum) โดยถ่ายระดับมาจากหมุดหลักฐานที่รู้ค่าความสูงที่แน่นอนไปยังจุดใกล้เคียงอาคารตัวอย่าง แล้วสร้างหมุดหลักฐานอาคารละ 1 หมุดเพื่อใช้อ้างอิงระดับความสูงกล้อง ก่อนอ่านค่าระดับวัดการทรุดตัว แตกต่างของฐานราก

ใช้เวลา 1 สัปดาห์ คือสัปดาห์ที่ 1 ของเดือนกันยายน

10. ทำระดับ

ทำระดับ (Leveling) โดยอ่านค่าจากไม้ระดับบนเหล็กตั้งไม้ระดับที่ติดไว้กับเสาของอาคารตัวอย่าง แต่ละอาคารติดตามอ่านค่าระดับทุก ๆ 1 สัปดาห์และบันทึกค่าที่อ่านได้ทุกครั้งเปรียบเทียบกับค่าอ่านครั้งก่อน เพื่อหาค่าการทรุดตัวของฐานรากแล้วเขียนเส้นแสดงค่าการทรุดตัวเท่ากัน(Settlement Contour)

ใช้เวลา 25 สัปดาห์ คือสัปดาห์ที่ 2 ของเดือนกันยายน ถึงสัปดาห์ที่ 2 ของเดือนมีนาคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินอาคารหอพักสุรนิเวศ 4

			ความลึก		
			0.00 - 0.50 m	2.00 - 2.50 m	3.00 - 3.50 m
Grain Size Distribution					
Gravel	> 4.75	mm, %	4.00	15.16	2.25
Sand	4.750-0.075	mm, %	20.78	23.73	14.64
Silt	0.075-0.005	mm, %	49.08	26.14	44.09
Clay	<0.005	mm, %	15.00	34.97	39.02
Specific Gravity					
G_s			2.749	2.728	2.773
Atterberg's Limit					
Liquid Limit (L.L.)		%	51.33	53.56	52.29
Plastic Limit (P.L.)		%	29.78	31.37	14.61
Plasticity Index (P.I.)		%	21.55	22.19	37.68

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินอาคารศูนย์เครื่องมือ 5

			ความลึก		
			0.00 – 0.50 m	2.00 - 2.50 m	3.00 - 3.50 m
Grain Size Distribution					
Gravel	> 4.75	mm, %	2.07	4.71	8.54
Sand	4.750-0.075	mm, %	26.30	13.76	15.10
Silt	0.075-0.005	mm, %	6.67	12.93	7.86
Clay	<0.005	mm, %	64.96	68.60	68.50
Specific Gravity					
G_s			2.710	2.768	2.748
Atterberg's Limit					
Liquid Limit (L.L.)		%	51.45	53.43	47.86
Plastic Limit (P.L.)		%	32.4	32.56	26.17
Plasticity Index (P.I.)		%	19.05	20.78	21.69

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินอาคารบริการหอพักสุรนิเวศ 7-9

			ความลึก		
			0.00 - 0.50 m	2.00 - 2.50 m	3.00 - 3.50 m
Grain Size Distribution					
Gravel	> 4.75	mm, %	2.08	20.73	29.85
Sand	4.750-0.075	mm, %	50.49	47.74	41.43
Silt	0.075-0.005	mm, %	1.35	5.73	2.58
Clay	<0.005	mm, %	46.08	25.80	26.14
Specific Gravity					
G_s			2.704	2.675	2.663
Atterberg's Limit					
Liquid Limit (L.L.)		%	22.52	27.10	24.96
Plastic Limit (P.L.)		%	12.89	19.03	19.05
Plasticity Index (P.I.)		%	9.33	8.07	5.91

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลอง การอัดตัวคายน้ำ(Cosolidation Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Location: อาคารศูนย์เครื่องมือ 5

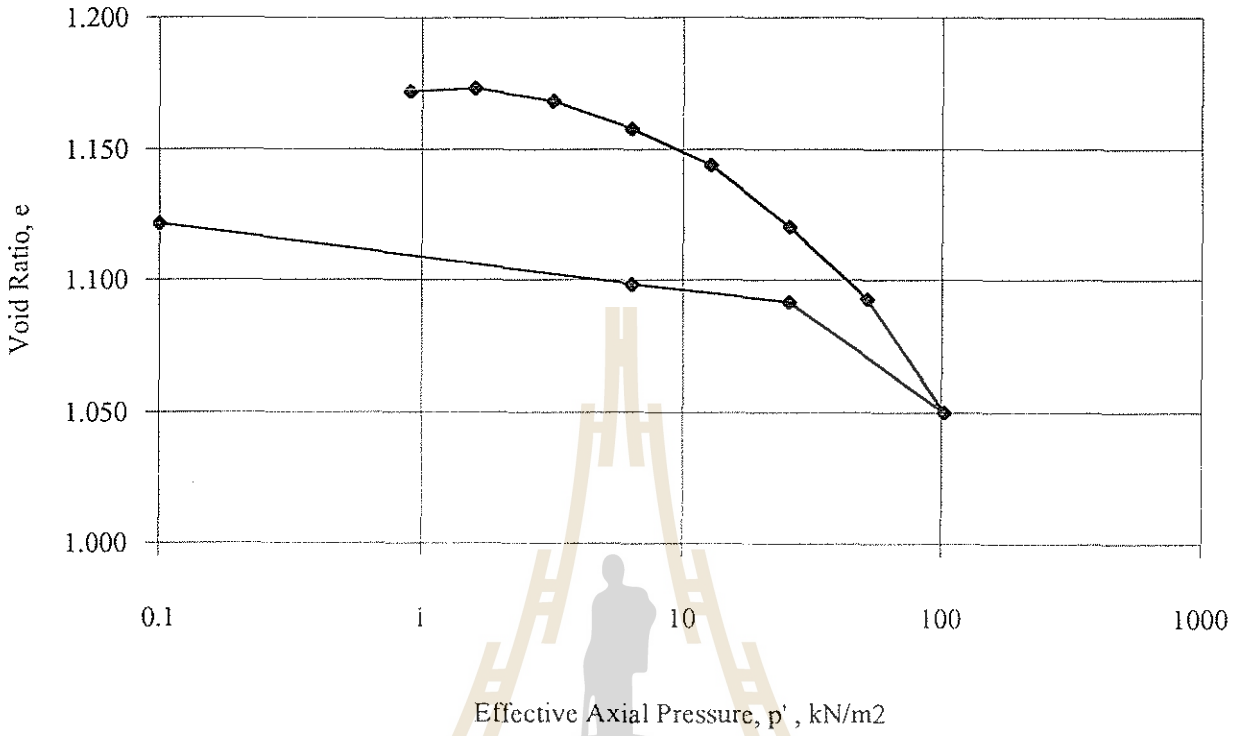
Boring No. 2 Sample No. 1

Depth : 3 m. Specific Gravity, G_S 2.748

Soil Description : CL

Pressure t/m^2	Final Dial Reading (x .002 mm)	Accum. ial Chang (mm)	Sample Height (cm)	oid Heigh (cm.)	Void Ratio e
0	971.0	-0.058	2.0742	1.1192	1.172
0.900	977.0	-0.046	2.0754	1.1204	1.173
1 605	954.0	-0.092	2.0708	1.1158	1.168
3.211	904.0	-0.192	2.0608	1.1058	1.158
6.422	837.0	-0.326	2.0474	1.0924	1.144
12.845	725.0	-0.5500	2.0250	1.0700	1.120
25.690	593.0	-0.8140	1.9986	1.0436	1.093
51.380	388.0	-1.2240	1.9576	1.0026	1.050
102.761	587.0	-0.8260	1.9974	1.0424	1.091
25.690	620.0	-0.7600	2.0040	1.0490	1.098
6.422	730.0	-0.5400	2.0260	1.0710	1.121
0	1630.0	1.3180	2.2060	1.3263	1.508

รูปที่ 1 แสดงผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำตัวอย่างที่ 1 (F5)



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลอง การอัดตัวคายน้ำ(Cosolidation Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Location: อาคารศูนย์เครื่องมือ 5

Boring N 2 Sample No. 1

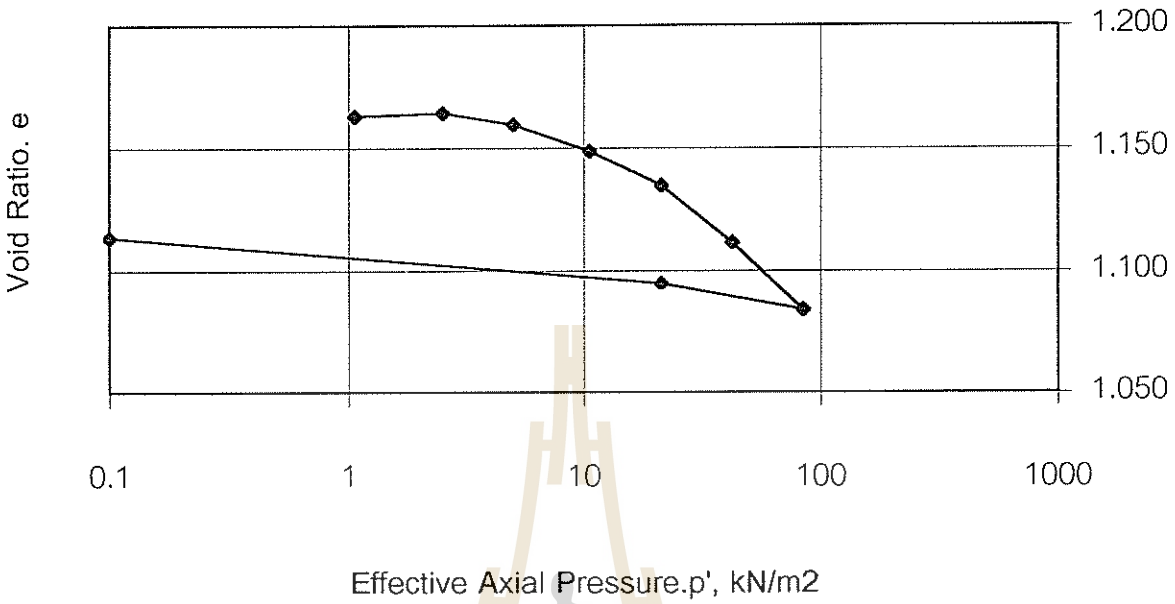
Depth : 3 m. Specific Gravity, G_S 2.748

Soil Description : CL

Pressure t/m^2	Final Dial Reading x .002 mm	Accum. ial Chang (mm)	Sample Height (cm)	Void Height (cm.)	Void Ratio e
1.066	1999.0	-0.002	2.0742	1.1152	1.163
2.515	2029.0	0.058	2.0754	1.1164	1.164
5.030	2018.0	0.036	2.0708	1.1118	1.159
10.600	1992.0	-0.016	2.0606	1.1016	1.149
21.200	1953.0	-0.094	2.0474	1.0884	1.135
42.400	1881.0	-0.2380	2.0250	1.0660	1.112
84.800	1779.0	-0.4420	1.9986	1.0396	1.084
21.200	1854.0	-0.2920	2.0090	1.0500	1.095
0.000	1927.0	-0.1460	2.0270	1.0680	1.114

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2 แสดงผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำตัวอย่างที่ 2



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบศักยภาพการพังของดิน(Collapse Potential Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Location: อาคารศูนย์เครื่องมือ 5

Boring No. 2 Sample No. 3

Depth : 3 m. Specific Gravity, G_s 2.748

Soil Description : CL

BEFORE WETTING

Pressure kN / m^2	Final Dial Reading (x .002 mm)	ccumulate ial Chang (mm)	Sample Height (cm)	oid Heigh (cm.)	Void Ratio e
19.9	2026.0	0	2.0350	1.1553	1.313
39.9	1974.0	-0.104	2.0246	1.1449	1.301
59.9	1908.0	-0.236	2.0114	1.1317	1.286
100	1882.0	-0.288	2.0062	1.1265	1.280
200	1771.0	-0.51	1.9840	1.1043	1.255

AFTER WETTING

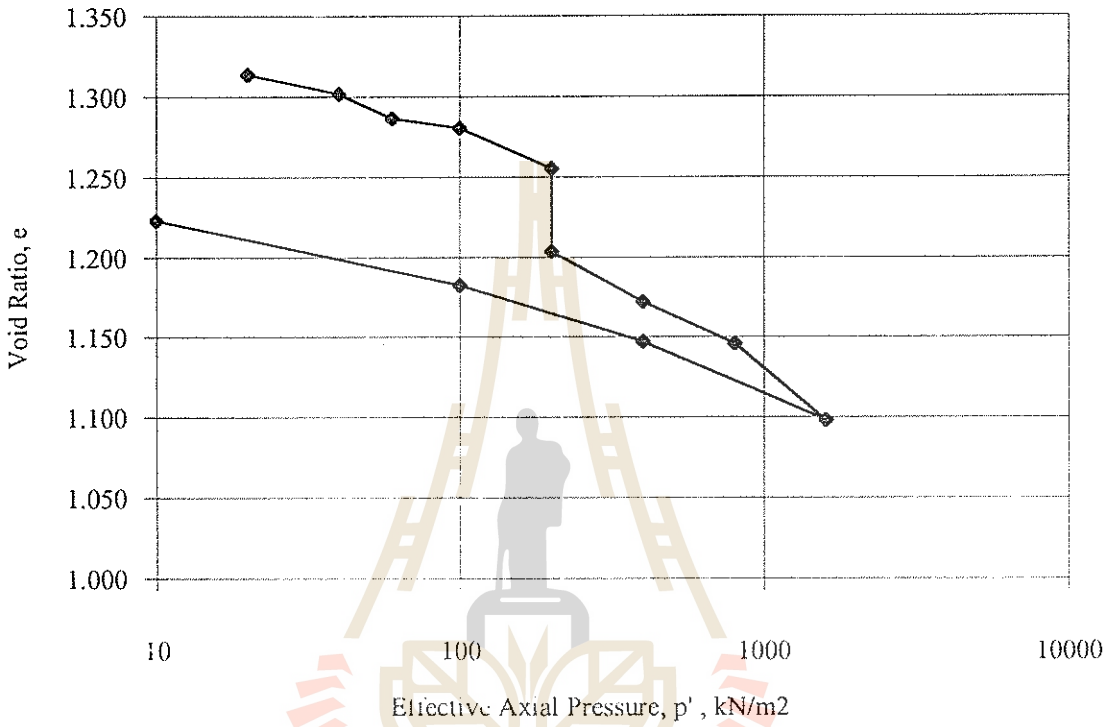
Pressure kN / m^2	Final Dial Reading (x .002 mm)	Accum. ial Chang (mm)	Sample Height (cm)	oid Heigh (cm.)	Void Ratio e
200	1543.0	-0.9660	1.9384	1.0587	1.203
400	1405.0	-1.2420	1.9108	1.0311	1.172
800	1289.0	-1.4740	1.8876	1.0079	1.146
1600	1080.0	-1.8920	1.8458	0.9661	1.098
400	1295.0	-1.4620	1.8888	1.0091	1.147
100	1450.0	-1.1520	1.9198	1.0401	1.182
0	1630.0	-0.7920	1.9558	1.0761	1.223

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบศักยภาพการพังของดิน(Collapse Potential Test)

รูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบศักยภาพการพังของดิน ตัวอย่างที่ 3 (F5)



Collapse Index Calculation

	Pressure (kN/m^2)	Sample Height (cm)
Before wetting :	200	1.9840
After Wetting :	200	1.9384

Collapse Index (I_c) $= \frac{\Delta h}{h} \times 100$

$= \frac{1.9840 - 1.9384}{2.035} \times 100 = 2.24\%$

Classify (ASTM D5333-92) : Moderate Collapsible Soil

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบศักยภาพการพังของดิน(Collapse Potential Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Location: อาคารศูนย์เครื่องมือ 5

Boring No. 2 Sample No. 4

Depth : 3 m. Specific Gravity, G_S 2.748

Soil Description : CL

BEFORE WETTING

Pressure kN / m^2	Final Dial Reading (x .002 mm)	ccumulate ial Chang (mm)	Sample Height (cm)	oid Heigh (cm.)	Void Ratio e
19.9	1947.0	0	1.9750	1.0025	1.031
39.9	1902.0	-0.09	1.9660	0.9935	1.022
59.9	1827.0	-0.24	1.9510	0.9785	1.006
100	1798.0	-0.298	1.9452	0.9727	1.000
200	1690.0	-0.514	1.9236	0.9511	0.978

AFTER WETTING

Pressure kN / m^2	Final Dial Reading (x .002 mm)	ccumulate ial Chang (mm)	Sample Height (cm)	oid Heigh (cm.)	Void Ratio e
200	1423.0	-1.0480	1.8702	0.8977	0.923
400	1315.0	-1.2640	1.8486	0.8761	0.901
800	1147.0	-1.6000	1.8150	0.8425	0.866
1600	1051.0	-1.7920	1.7958	0.8233	0.847
400	1242.0	-1.4100	1.8340	0.8615	0.886
100	1497.0	-0.9000	1.8850	0.9125	0.938
0	1589.0	-0.7160	1.9034	0.9309	0.957

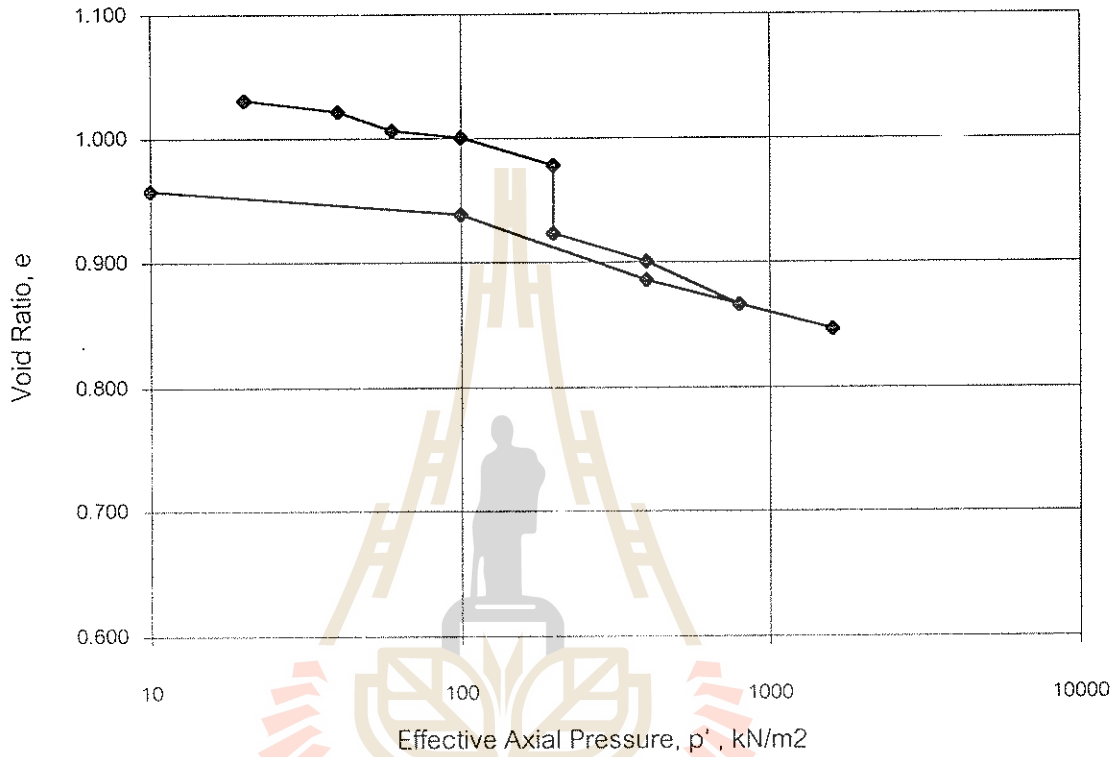
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบศักยภาพการพังของดิน(Collapse Potential Test)

<u>กราฟผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำตัวอย่างที่ 1 (F5)</u>



<u>Collapse Index Calculation</u>

	Pressure (kN/m^2)	Sample Height (cm)
Before wetting :	200	1.9236
After Wetting :	200	1.8702

$$\text{Collapse Index } (I_e) = \frac{\Delta h}{h_c} \times 100$$

$$= \frac{1.9236 - 1.8702}{1.975} \times 100 = 2.70\%$$

Classify (ASTM D5333-92) : Moderate Collapsible Soil

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

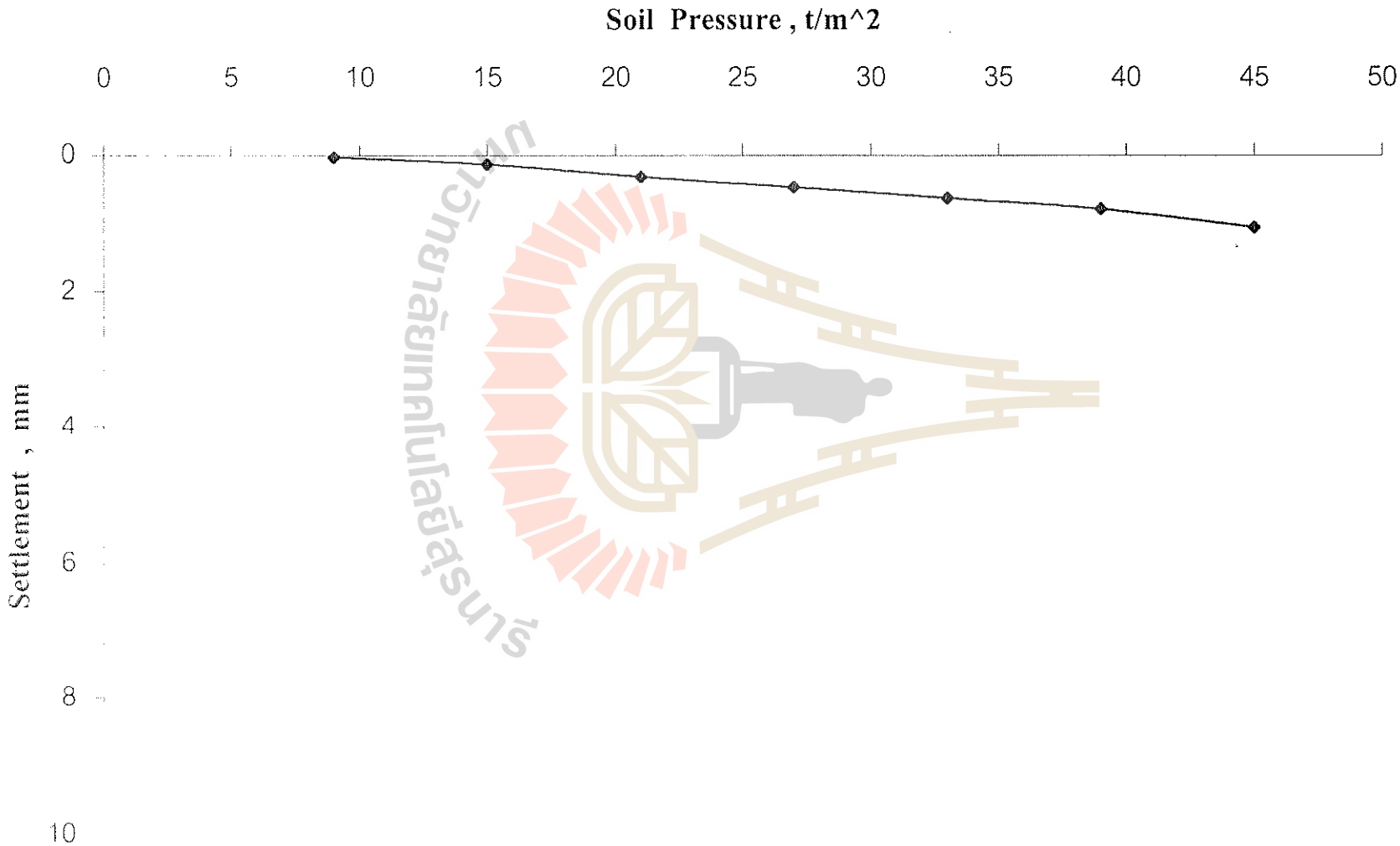
ปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบค่าดัชนีของดินประเภท Collapsible Soil

	Sample 1		Sample 2		Sample 3	
	D_o	D_{LL}	D_o	D_{LL}	D_o	D_{LL}
Weight of Wet Soil+Container g	151.02	33.05	77.29	31.63	105.32	35.75
Weight of Dry Soil+Container g	276.36	73.54	201.87	89.52	234.93	71.62
Weight of Water g	253.17	59.98	176.68	70.29	210.22	59.67
Weight of Container g	102.15	26.93	99.39	38.66	104.9	23.92
Weight of Dry Soil g	23.19	13.56	25.19	19.23	24.71	11.95
Water Content, w %	22.70	50.35	25.34	49.74	23.56	49.96
Diameter of Container cm	6.28	3.45	6.33	3.45	6.31	3.45
Hight of Container cm	2.03	1.55	1.92	1.55	1.95	1.55
Volume of Container cm^3	62.86	14.49	60.49	14.49	60.98	14.49
Weight of Wet Soil g	125.34	24.21	124.58	24.53	122.23	24.21
Total Unit Weight g/cm^3	1.994	1.671	2.060	1.693	2.004	1.671
Dry Unit Weight g/cm^3	1.625	1.859	1.643	2.668	1./20	1.651
D_o/D_{LL} ratio	0.874		0.616		1.042	

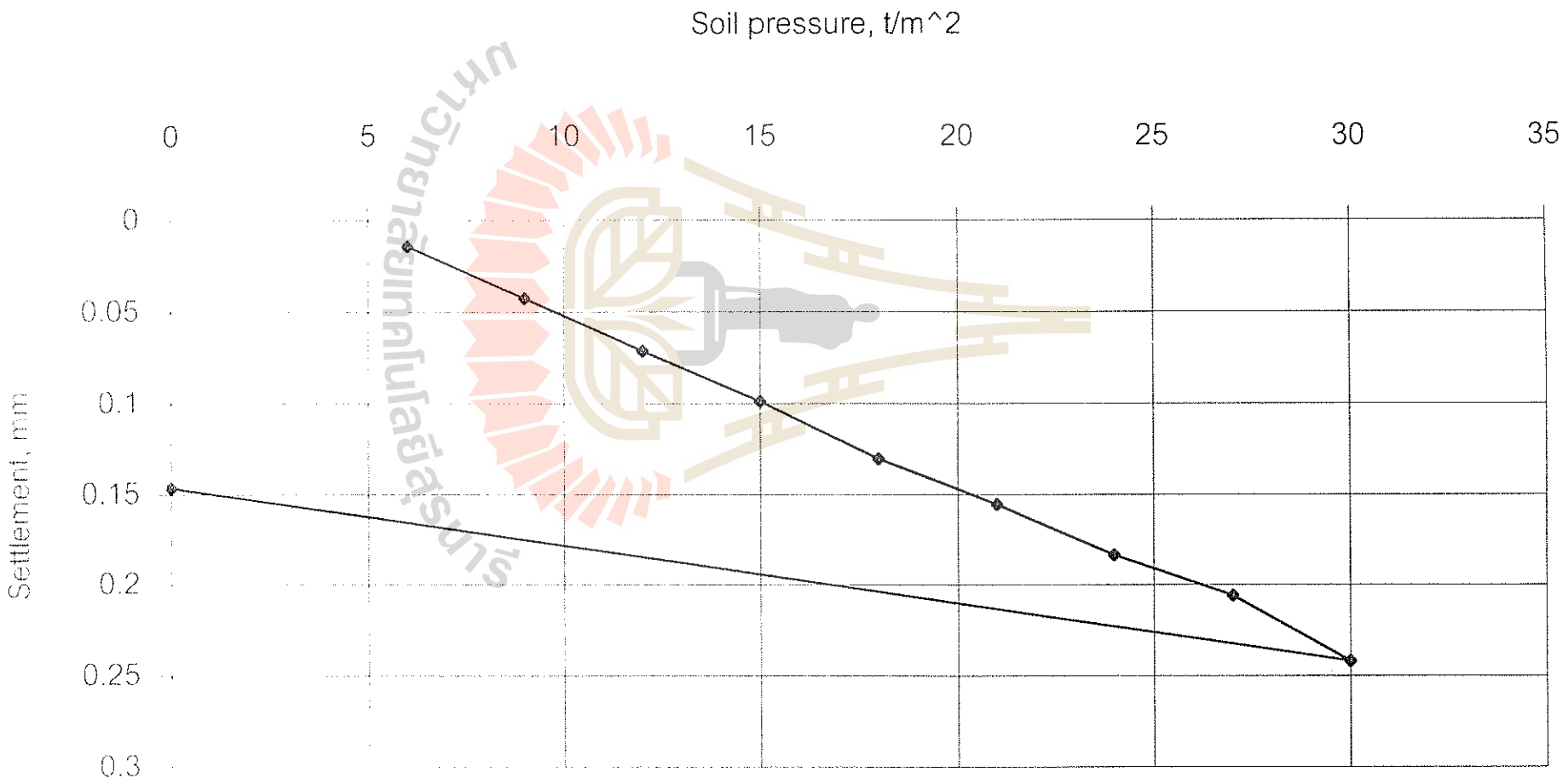
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ แสดงการทดสอบ Plate Bearing อาคารศูนย์เครื่องมือ 5



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการทดสอบ Plate Bearing อาคารบริการ 7-9



อภิปรายผลการทดลอง

4.1 ดินมีการทรุดตัวน้อยเมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้น จากกราฟแสดงผลการทดสอบ Consolidation test

4.2 ดินมีศักยภาพในการพังทลายเมื่อโดนน้ำ(Collapsible soil) ปานกลาง (2.4-2.7%) จากกราฟ Collapsible Potential test

4.2 ผลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดิน(Plate bearing test) ที่ความชื้นใกล้ค่าอิ่มตัวของดิน (Saturation) ดินสามารถรับค่าน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยได้ จากกราฟการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของดิน(Plate bearing test) ทั้งสองตัวอย่างยังไม่มีการ failure ของดินเกิดขึ้น

4.4 ในระหว่างการศึกษา ฐานรากไม่มีการทรุดเพิ่มขึ้น จากการตรวจสอบระดับเป็นเวลาประมาณ 1 ปี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1. หอพักสุรนิเวศ 4

จากการศึกษาการวิบัติของอาคารสุรนิเวศ 4 การวิบัติของอาคารเกิดจากการแตกร้าวของผนังเป็นส่วนใหญ่ โดยการแตกร้าวขององค์อาคารอื่นไม่ปรากฏมาก ซึ่งได้ศึกษาทั้งการตรวจสอบการทรุดตัวของฐานราก การตรวจสอบแบบก่อสร้างและการสอบถามผู้ควบคุมงานเจ้าหน้าที่ฝ่ายอาคารสถานที่ พบว่า การวิบัติเกิดจากสาเหตุที่เป็นไปได้ดังนี้

การแตกร้าวของผนังเกิดจากไม่มีคานรองรับผนัง อาจเป็นไปได้ว่าผู้ออกแบบมิได้ออกแบบให้มีคานรองรับผนัง และผู้ควบคุมงานที่เกี่ยวข้องมิได้ตรวจสอบแบบก่อสร้างให้ละเอียดโดยเฉพาะบริเวณที่ผนังเกิดการแตกร้าวซึ่งเป็นดินถมสูงถึง 3 เมตร ยังไม่มีการทรุดตัวเสร็จสิ้นและการบดอัดอาจไม่ดีพอ เมื่อถูกน้ำหนักจากพื้นและคานคอดินกดทับจึงเกิดการทรุดตัวอีกครั้งเมื่อเวลาผ่านไป ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างดินและพื้น ในขณะที่พื้นต้องรับน้ำหนักจากผนังโดยตรง เมื่อพื้นไม่ได้ออกแบบมาให้รองรับน้ำหนักของผนังโดยตรงจึงเกิดการทรุดตัวของพื้น ในขณะที่พื้นมีการทรุดตัวทำให้ผนังซึ่งไม่มีสิ่งรองรับเกิดการแตกร้าวเป็นแนวยาวบริเวณรอยต่อของพื้นกับผนังและรอยต่อของผนังกับคานชั้น 2 อีกประการหนึ่ง ผนังอาจถูกกดทับจากการแอ่นตัวของคานชั้น 2 ขณะคานรับน้ำหนักใช้งาน
ซึ่งคานกดทับให้ผนังเกิดการแตกร้าวได้อีกทางหนึ่ง

ข้อเสนอแนะ

เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาดังที่กล่าวมา ควรคำนึงถึงการออกแบบให้มีคานรองรับน้ำหนักจากผนังโดยตรง หรือถ้าหากมีการดัดแปลงแก้ไขอาคาร ก็ควรจะต้องมีการเพิ่มรายคานรับน้ำหนักดังกล่าว โดยเฉพาะบริเวณดินถมปรับระดับ และในการซ่อมแซมควรสร้างคานขึ้นมารองรับ เพราะว่าซ่อมแซมโดยการใช้ปูนฉาบไม่สามารถเพิ่มกำลังของแผงได้ ดังนั้นเมื่อมีการแตกของกำแพงเพิ่มอีกอาจทำให้กำแพงล้มลงมาซึ่งเป็นอันตราย

5.2. อาคารศูนย์เครื่องมือ 5

สาเหตุที่อาจทำให้เกิดรอยร้าว

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของดินในด้านต่างๆดังนี้

ผลจากการทดสอบการยุบตัวของดินเมื่อโดนน้ำ (collapsible soil) ดินเป็นชนิดยุบตัวเมื่อโดนน้ำชนิดไม่รุนแรง (ดัชนีการยุบตัวเมื่อโดนน้ำ 2.4-2.7 %) แสดงว่าดินมีการยุบตัวบ้างเมื่อโดนน้ำ หรือเมื่อมีความชื้นเปลี่ยนไปจากสภาพความชื้นปรกติของดิน ซึ่งอาจเปลี่ยนไปตามฤดูกาล เช่น ฤดูฝน หรือสภาพมีน้ำซึมขังจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ท่อน้ำประปาแตก เป็นต้น

ผลทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่ระดับฐานราก (Plate bearing test) ที่ความชื้นยังไม่ถึงจุดอิ่มตัวของดิน ดินไม่มีการวิบัติที่น้ำหนักบรรทุกทดสอบ 45 ตัน/ตารางเมตร ซึ่งมากกว่าน้ำหนักอาคารที่ถ่ายลงสู่ฐานรากซึ่งมีค่า 15 ตันต่อตารางเมตร

จากผลการทดสอบทั้งหมด แสดงว่าสภาพของดินอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อาคารเกิดการแตกร้าวได้จากคุณสมบัติยุบตัวเมื่อโดนน้ำ ประกอบกับการบดอัดดินถมที่อาจไม่ดีพอเมื่อมีการปรับพื้นที่ในการก่อสร้าง ดินยังไม่มีการทรุดตัวเสร็จสิ้นในระหว่างการก่อสร้าง เมื่อถูกน้ำหนักจากพื้นและคานคอดินกดทับ เมื่อเวลาผ่านไป ความชื้นเปลี่ยนไป ดินมีการทรุดตัวเกิดขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างดินและคานคอดิน เมื่ออยู่ในสภาวะใช้งานพื้นและคานคอดินต้องรับน้ำหนักบรรทุกอีกครั้งหนึ่ง เมื่อคานมีการแอ่นตัวและไม่มีสิ่งรองรับทำให้เกิดการแตกร้าวเป็นแนวยาวบริเวณคานคอดิน โดยเฉพาะคานคอดินที่ต้องรับน้ำหนักของผนัง

ข้อเสนอแนะ

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่ระดับฐานราก (Plate bearing test) ทำการทดสอบโดยจำลองสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำโดยการแช่น้ำในหลุมเพียง 1 วัน ดินอาจไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ หากต้องการสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำควรแช่น้ำหลายวัน

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่ระดับฐานราก (Plate bearing test) ควรทำการทดสอบที่ระดับความลึกต่างๆจนถึงที่ความลึกสองเท่าของขนาดฐานรากจากระดับฐานราก เพื่อตรวจสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของดินใต้ระดับฐานราก

ในการก่อสร้างอาคารในที่ที่ดินเป็นดินยุบตัวเมื่อโดนน้ำควรทำทางระบายน้ำรอบอาคารเพื่อป้องกันน้ำขังที่ฐานราก หรือใช้เสาเข็มแทน และในการปรับระดับพื้นควรทำการบดอัดให้ดี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.3. **อาคารบริการหอพักสุรนิเวศ 7-9**

สาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดการแตกร้าว

จากการตรวจสอบการทรุดตัวของฐานราก พบว่าไม่มีการทรุดตัวเกิดขึ้น อาจสังเกตได้โดยไม่มีการแตกร้าวระหว่างรอยต่อของพื้นชั้นล่างและเสา ในด้านปัญหาการรับน้ำหนักของดินที่ระดับฐานราก ซึ่งเป็นดินเหนียวแข็งปนกรวด โดยทำการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของดินโดยใช้แผ่นเหล็กมาตรฐาน (Plate bearing test) ในสภาพธรรมชาติที่ดินมีน้ำซึมขังตลอดเวลา ผลการทดสอบปรากฏว่าดินสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่า 30 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งน้ำหนักอาคารที่ถ่ายลงฐานราก
มีค่าเพียง 12 ตันต่อตารางเมตร

ดังนั้นรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นไม่น่าจะเกิดมาจากความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดินดิน จากการสังเกตุลักษณะของรอยร้าวในอาคารพบว่ารอยร้าวที่ขึ้นน่าจะมีผลมาจาก

1. คานมีความยาวมากอาจเกิดการแอ่นตัวกดทับผนังทำให้ผนังเกิดการแตกร้าว
2. ในการก่อสร้างก่ออิฐชนใต้ท้องคานไม่เผื่อการแอ่นตัวของคานเมื่อคานเกิดการแอ่นตัว

ข้อเสนอแนะ

ในการก่อสร้างอาคารที่มีการออกแบบคานยาวและค่าการแอ่นตัวมาก ๆ การสร้างกำแพงควรพิจารณาใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูงบริเวณรอยต่อของคานและกำแพง วัสดุดังกล่าวจะช่วยลดปัญหาการแตกร้าวของกำแพงเนื่องจากน้ำหนักกดของการแอ่นตัวของคานได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

คีรีเขต ราชธา . การกำหนดระดับหมุดหลักฐานแบบครบถ้วร . คู่มืองานรังวัดสำรวจเบื้องต้น มหาวิทยาลัยขอนแก่น , หน้า 45 – 49

จิรพัฒน์ โชติกไกร, ประทีป ดวงเดือน และวรากร ไม้เรียง . 2525 ปฐพีกลศาสตร์ ทฤษฎีและปฏิบัติการ . ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 21-45

ชยาทิตย์ วัฒนวิทย์กิจ . 2539 คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งแล้ว. เอกสารการสอนวัสดุก่อสร้าง มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 85 – 88

ชัยสวัสดิ์ ศรีรัตนรัฐ . 2539 Crack Repair . เอกสารประกอบการสัมมนา Repair and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures (1) , หน้า 40 – 56

นิพนธ์ สุวรรณสุขโรจน์ และประเสริฐ ดำรงชัย. 2537 การวางแผนการก่อสร้าง .การจัดการงานก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 3-1 ถึง 3-5

บริษัท คอสโม เทคโนโลจิคอล คอนซัลแตนท์ จำกัด, รายงานการเจาะสำรวจดินโครงการอาคารสูง 4 ชั้น ถนนรัตนาธิเบศ แคลาย นนทบุรี, รายงานนำเสนอต่อห้างสรรพสินค้านิวเวิลด์

บริษัท ที่ปรึกษาไทยกรุ๊ป จำกัด และบริษัทเนชั่นแนล เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์ จำกัด, รายละเอียดประกอบแบบก่อสร้าง เล่ม 1 งานสถาปัตยกรรมและโครงสร้าง ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา

บุญไชย สถิตย์มั่นในธรรม. การซ่อมแซม บำบัด และเสริมกำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก . เอกสารประกอบการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 73 – 78

มีชัย เอื้อรุ่งเรือง, ศิริชัย ห่วงจริง และ สุรชาติ สืบวัฒนพงษ์กุล.2536 การศึกษาการวิบัติของอาคารในมหาวิทยาลัยขอนแก่น . รายงานการวิจัย วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 102 หน้า

ยรรยง ทรัพย์สุขอำนวย . 2537 การทำระดับ . การสำรวจเพื่อการก่อสร้าง,หน้า 59 –61

วินิต ช่อวิเชียร และสนั่น เจริญเผ่า . 2537 การออกแบบทฤษฎีอีลาสติก. คอนกรีตเสริมเหล็ก, หน้า 22 – 28

สถาพร ภูวิจิตจารุ . 2540 การทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ. คู่มือการทดสอบดิน, หน้า 49 –81 และ หน้า 127 – 167

สถาพร ภูวิจิตจารุ . 2541 การบดอัดดิน,ปรับปรุงดินและน้ำใต้ดิน. ปฐพีกลศาสตร์,หน้า 5-41 ถึง 5-44 และ 6-3 ถึง 6-46

สถาพร คูวิจิตจารุ. 2539 การทดสอบการเจาะทะลวงแบบมาตรฐาน (SPT) . การเจาะสำรวจและทดสอบดินในสนาม , หน้า 7 – 45

อรุณ ชัยเสรี, การวิบัติของอาคาร สาเหตุ และการแก้ไข ,พิมพ์ครั้งที่ 2 , วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2534

เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ . 2539 Theoretical Background on Repairing Works . เอกสารประกอบการสัมมนา Repair and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures (1) , หน้า 1 – 14

Geoff Mays. 1992. Durability of Concrete Structures Investigation, Repair, Protection , 1st edition , Chapman & Hall , London

Philip S. Perkin. 1986.Repair Protection and Water Proofing of Concrete Strucrures, Chapman & Hall, London

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation test)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลองการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Locatio อาคารศูนย์เครื่องมือ 5

Boring No. 2 Sample No. 1

Depth : 3 m. Specific Gravity, G_S 2.748

Soil Description : CL

APPARATUS MEASUREMENTS

Lever Arm Ratio : 1:12 Ring Area : 31.57 cm^2

Ring Diameter : 6.340 cm. Ring Volume : 65.66 cm^3

Ring Height : 2.080 cm.

WATER CONTENT		Begin	End
Container No.			
Weight of Wet Soil+Container		137.49	142.77
Weight of Dry Soil+Container		114.03	114.88
Weight of Water	g	23.46	27.89
Weight of Container	g	31.47	32.03
Weight of Dry Soil	g	82.56	82.85
Water Content, w	%	28.42	33.66

SOIL SAMPLE		Initial	Final
Sample Ring No.			
Weight of Soil + Ring		200.67	188.71
Weight of Ring		77.97	77.97
Weight of Soil, W_t		122.70	110.74
Volume of Ring,V	c	65.66	65.66
Total Unit Weight,	g/c	1.869	1.686
Dry Unit Weight,	g/c	1.455	1.262
Void Ratio,e = $(2H-H_S)$		1.178	1.121
Degree of Saturation,S		66.29	82.49

Solid Height, $H_S = \dfrac{W_s}{G_s \cdot \rho_w \cdot A}$ cm

$H_S = \dfrac{82.85}{2.748 \times 1.00 \times 31.57} = 0.955$ cm

Void Height, H_V = 2H - H cm

Saturation, $S = \dfrac{w \cdot G_s}{e}$ %

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลอง การอัดตัวคายน้ำ(Consolidation Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m. Date : 17-Feb-42

AFTER WETTING

Pressure Increment 0 to 0.900 t / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
20/3/99	11:40	0.0	1000.0
		0.25	971.0

Pressure Increment 0.900 to 1.605 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
20/3/99	11:55	0.0	971.0
		0.25	961.0
		0.50	961.0
		1.00	961.0
		2.00	960.0
		4.00	960.0
		9.00	960.0
		16.00	962.0
	12:25	30.00	965.0
	12:55	60.00	968.0
	13:55	120	968.0
	15:55	240	975.0
	19:55	480	977.0
21/3/99	9:05	24 hr.	977.0

หมายเหตุ :

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลอง การอัดตัวคายน้ำ(Consolidation Test)

Project : การวิบัติของอาคารใน ม.ท.ส Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m. Date : 18-Feb-42

AFTER WETTING

Pressure Increment 1.605 to 3.211 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
21/3/99	9:05	0.0	977.0
		0.25	964.0
		0.50	964.0
		1.00	963.0
		2.00	962.0
		4.00	961.0
		9.00	960.0
		16.00	960.0
		30.00	959.0
	10:05	60.00	958.0
	11:05	120	957.0
	13:05	240	954.0
	17:05	480	954.0
22/3/99	9:05	24 hr.	954.0

หมายเหตุ :

AFTER WETTING

Pressure Increment 3.211 to 6.422 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
22/3/99	9:05	0.0	954.0
		0.25	925.0
		0.50	923.0
		1.00	922.0
		2.00	920.0
		4.00	919.0
		6.00	918.0
		9.00	916.0
		16.00	915.0
		30.00	913.0
	10:05	60.00	910.0
	11:05	120	908.0
	13:05	240	906.0
	17:05	480	906.0
23/3/99	8:50	24 hr.	904.0

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์
การทดลอง การอัดตัวคายน้ำ(Consolidation Test)

Project : การวิบัติของอาคารใน ม.ท.ส Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m. Date : 20-Feb-42

AFTER WETTING

Pressure Increment 6.422 to 12.845 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
23/3/99	9:00	0.0	904.0
		0.25	868.0
		0.50	865.0
		1.00	863.0
		2.00	861.0
		4.00	857.0
		6.00	855.0
		9.00	853.0
		16.00	850.0
		30.00	848.0
		60.00	847.0
		120	843.0
		180	842.0
		240	840.0
		480	837.0

หมายเหตุ :

Pressure Increment 12.845 to 25.690 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
24/3/99	8:50	0.0	837.0
		0.25	775.0
		0.50	772.0
		1.00	767.0
		2.00	762.0
		4.00	757.0
		6.00	754.0
		9.00	749.0
		16.00	746.0
		30.00	742.0
		60.00	739.0
		120	735.0
		240	732.0
		480	730.0
25/3/99	9:22	24 hr.	725.0

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลอง การอัดตัวคายน้ำ(Consolidation Test)

Project : การวิบัติของอาคารใน ม.ท.ส Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m. Date : 22-Feb-42

AFTER WETTING

Pressure Increment 25.690 to 51.380 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
25/3/99	9:22	0.0	725.0
		0.25	649.0
		0.50	643.0
		1.00	637.0
		2.00	631.0
		4.00	622.0
		9.00	613.0
		16.00	610.0
		30.00	608.0
		60.00	602.0
		120	597.0
		240	596.0
		480	595.0
26/3/99	10:30	24 hr.	593.0

หมายเหตุ :

Pressure Increment 51.380 to 102.761 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
26/3/99	10:30	0.0	593.0
		0.25	488.0
		0.50	481.0
		1.00	472.0
		2.00	462.0
		4.00	450.0
		9.00	435.0
		16.00	427.0
		30.00	421.0
		60.00	412.0
		120	406.0
		240	402.0
		480	397.0
27/3/99	9:30	24 hr.	388.0

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลอง การอัดตัวคายน้ำ(Consolidation Test)

Project : การวิบัติของอาคารใน ม.ท.ส Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m. Date : 22-Feb-42

AFTER WETTING

Pressure Increment 102.761 to 25.690 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
27/3/99	9:00	0.0	388.0
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		6.00	
		9.00	
		12.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	
27/3/99	13:10		587.0

หมายเหตุ :

Pressure Increment 25.690 to 6.422 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
27/3/99	13:10	0.0	587.0
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		6.00	
		9.00	
		12.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	
28/3/99	9:22		620

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลอง การอัดตัวคายน้ำ(Consolidation Test)

Project : การวิบัติของอาคารใน ม.ท.ส Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m. Date : 24-Feb-42

AFTER WETTING

Pressure Increment 6.422 to 0 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
28/3/99	9:22	0.0	620.0
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		6.00	
		9.00	
		12.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	
28/3/99	10:30		730.0

หมายเหตุ :

Pressure Increment ____ to ____ t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
		0.0	
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		6.00	
		9.00	
		12.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลองการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation Test)

Project :	ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส.	Locati	อาคารศูนย์เครื่องมือ 5
Boring N	2	Sample No.	2
Depth :	3 m.	Specific Gravity, G_S	2.748
Soil Description :	CL		

APPARATUS MEASUREMENTS

Lever Arm Ratio :	1:10		Ring Area :	31.57 cm^2
Ring Diameter :	6.340	cm.	Ring Volume :	65.51 cm^3
Ring Height :	2.075	cm.		

WATER CONTENT		Begin	End
Container No.			
Weight of Wet Soil+Contai		137.48	143.75
Weight of Dry Soil+Contai		114.96	115.32
Weight of Water	g	22.52	25.36
Weight of Container	g	33.44	32.13
Weight of Dry Soil	g	81.52	83.19
Water Content, w	%	27.63	30.48

SOIL SAMPLE	Initial	Final
Sample Ring No.		
Weight of Soil + Rin	150.19	198.99
Weight of Ring	69.17	69.17
Weight of Soil, W_t	81.02	129.82
Volume of Ring,V	41.55	41.55
Total Unit Weight,	1.950	3.125
Dry Unit Weight,	1.528	2.312
Void Ratio,e = (2H-	1.164	1.049
Degree of Saturation	65.23	79.85

Solid Height, $H_S = \dfrac{W_s}{G_s \cdot \rho_w \cdot A}$ cm

$H_S = \dfrac{83.19}{2.748 \times 1.00 \times 31.57} = 0.959$ c

Void Height, H_V = 2H - H cm

Saturation, $S = \dfrac{w \cdot G_s}{e}$ %

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลอง การอัดตัวคายน้ำ(Consolidation Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m Date : 24-Feb-42

AFTER WETTING

Pressure Increment 0 to 1.066 t / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .001 mm
20/3/99	11:40	0.0	2000.0
		0.25	1999.0

Pressure Increment 1.066 to 2.515 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .001 mm
20/3/99	11:55	0.0	1999.0
		0.25	1978.0
		0.50	1978.0
		1.00	1978.0
		2.00	1978.0
		4.00	1979.0
		9.00	1983.0
		16.00	1984.0
	12:25	30.00	1989.0
	12:55	60.00	1994.0
	13:55	120	2002.0
	15:55	240	2012.0
	19:55	480	2025.0
21/3/99	9:05	24 hr.	2029.0

หมายเหตุ :

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลอง การอัดตัวคายน้ำ(Consolidation Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m Date : 26-Feb-42

AFTER WETTING

Pressure Increment 2.515 to 5.030 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .001 mm
21/3/99	9:05	0.0	2029.0
		0.25	2022.0
		0.50	2022.0
		1.00	2021.0
		2.00	2021.0
		4.00	2021.0
		9.00	2020.0
		16.00	2020.0
		30.00	2020.0
	10:05	60.00	2019.0
	11:05	120	2019.0
	13:05	240	2018.0
	17:05	480	2018.0
22/3/99	9:05	24 hr.	2018.0

หมายเหตุ :

AFTER WETTING

Pressure Increment 5.030 to 10.600 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .001 mm
22/3/99	9:05	0.0	2018.0
		0.25	2002.0
		0.50	2001.0
		1.00	2001.0
		2.00	2000.0
		4.00	1998.0
		6.00	1997.0
		9.00	1996.0
		16.00	1995.0
		30.00	1994.0
	10:05	60.00	1993.0
	11:05	120	1993.0
	13:05	240	1993.0
	17:05	480	1992.0
23/3/99	8:50	24 hr.	1992.0

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลอง การอัดตัวคายน้ำ(Consolidation Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m Date : 28-Feb-42

AFTER WETTING

Pressure Increment 10.600 to 21.200 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .001 mm
23/3/99	9:00	0.0	1992.0
		0.25	1983.0
		0.50	1978.0
		1.00	1976.0
		2.00	1974.0
		4.00	1971.0
		9.00	1966.0
		30.00	1964.0
		60.00	1961.0
		120	1959.0
		180	1957.0
		240	1956.0
		480	1955.0
24/3/99	8:50	24 hr.	1953.0

หมายเหตุ :

Pressure Increment 21.200 to 42.400 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .001 mm
24/3/99	8:50	0.0	1953.0
		0.25	1934.0
		0.50	1932.0
		1.00	1929.0
		2.00	1925.0
		4.00	1919.0
		9.00	1911.0
		16.00	1903.0
		30.00	1896.0
		60.00	1891.0
		120	1889.0
		240	1887.0
		480	1885.0
25/3/99	9:22	24 hr.	1881.0

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลอง การอัดตัวคายน้ำ(Consolidation Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m Date : 2-Mar-42

AFTER WETTING

Pressure Increment 42.400 to 84.800 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .001 mm
25/3/99	9:22	0.0	1881.0
		0.25	1845
		0.50	1840
		1.00	1836
		2.00	1832
		4.00	1825
		9.00	1814
		16.00	1806
		30.00	1798
		60.00	1794
		120	1789
		240	1787
		480	1784
26/3/99	10:30	24 hr.	1779

หมายเหตุ :

Pressure Increment 84.800 to 21.200 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .001 mm
26/3/99	10:30	0.0	1779.0
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		9.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	
		240	
		480	
27/3/99	9:30	24 hr.	1854.0

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลอง การอัดตัวคายน้ำ(Consolidation Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m Date : 5-Mar-42

AFTER WETTING

Pressure Increment 102.761 to 25.690 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .001 mm
27/3/99	9:00	0.0	1854.0
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		6.00	
		9.00	
		12.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	
27/3/99	13:10		1927.0

หมายเหตุ :

Pressure Increment 25.690 to 6.422 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .001 mm
27/3/99	13:10	0.0	1927.0
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		6.00	
		9.00	
		12.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	
28/3/99	9:22		

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลอง การอัดตัวคายน้ำ(Consolidation Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m Date : 7-Mar-42

AFTER WETTING

Pressure Increment 6.422 to 0 t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .001 mm
28/3/99	9:22	0.0	620.0
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		6.00	
		9.00	
		12.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	
28/3/99	10:30		730.0

หมายเหตุ :

Pressure Increment to t / m2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .001 mm
		0.0	
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		6.00	
		9.00	
		12.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบศักยภาพการพังของดิน(Collapse Potential Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Locatio อาคารศูนย์เครื่องมือ 5

Boring No. 2 Sample No. 3

Depth : 3 m. Specific Gravity, G_S 2.748

Soil Description : CL

APPARATUS MEASUREMENTS

Lever Arm Ratio : 1:12 Ring Area : 31.62 cm^2

Ring Diameter : 6.345 cm. Ring Volume : 64.35 cm^3

Ring Height : 2.035 cm.

WATER CONTENT	Begin	End
Container No.		
Weight of Wet Soil+Container	137.46	140.57
Weight of Dry Soil+Container	115.97	109.92
Weight of Water g	21.49	30.65
Weight of Container g	32.83	33.48
Weight of Dry Soil g	83.14	76.44
Water Content, w %	25.85	40.10

SOIL SAMPLE	Initial	Final
Sample Ring No.		
Weight of Soil + Ring	200.74	185.98
Weight of Ring	78.89	78.89
Weight of Soil, W_t	121.85	107.09
Volume of Ring,V	64.35	64.35
Total Unit Weight, g/	1.894	1.664
Dry Unit Weight, g/	1.505	1.188
Void Ratio,e = (2H-H_S	1.313	1.223
Degree of Saturation,S	54.09	90.08

Solid Height, $H_S = \frac{W_s}{G_s \cdot \rho_w \cdot A}$ cm

Void Height, H_V = 2H - H cm

Saturation, $S = \frac{w \cdot G_s}{e}$ %

$H_S = \frac{76.44}{2.748 \times 1.00 \times 31.57} = 0.880$ cm

BEFORE WETTING

Pressure kN / m^2	Time	Elapsed Time min.	ial Readin (x.002 mm)	Accum. Di hange (mm	Sample Height (cm.)	oid Heigh (cm.)	Void Ratio e
19.9	5:00	0	2026.0	0	2.0350	1.1553	1.313
39.9	5:50	50	1974.0	-0.1040	2.0246	1.1449	1.301
69.9	6:40	100	1908.0	-0.2360	2.0114	1.1317	1.286
100	7:30	150	1882.0	-0.2880	2.0062	1.1265	1.280
200	8:20	200	1771.0	-0.5100	1.9840	1.1043	1.255

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบศักยภาพการพังของดิน(Collapse Potential Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m. Date : 9/3/42

AFTER WETTING

Pressure Increment - to 200 kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
19/3/99	9:10	0.0	1771.0
		0.25	1567.0
		0.50	1565.0
		1.00	1563.0
		2.00	1561.0
		4.00	1558.0
		9.00	1556.0
		16.00	1553.0
		30.00	1550.0
	10:45	60.00	1548.0
	11:45	120	1546.0
	13:45	240	1546.0
	17:45	480	1545.0
20/3/99	9:10	24 hr.	1543.0

หมายเหตุ :

Pressure Increment 200 to 400 kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
20/3/99	9:15	0.0	1543.0
		0.25	1462.0
		0.50	1458.0
		1.00	1453.0
		2.00	1449.0
		4.00	1444.0
		9.00	1438.0
		16.00	1434.0
		30.00	1430.0
	10:20	60.00	1424.0
	11:20	120	1420.0
	13:20	240	1416.0
	17:20	480	1410.0
21/3/99	9:15	24 hr.	1405.0

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบศักยภาพการพังของดิน(Collapse Potential Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m. Date : 10/3/42

AFTER WETTING

Pressure Increment 400 to 800 kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
21/3/99	9:05	0.0	1405.0
		0.25	1383.0
		0.50	1372.0
		1.00	1365.0
		2.00	1360.0
		4.00	1349.0
		9.00	1338.0
		16.00	1330.0
		30.00	1325.0
	10:05	60.00	1313.0
	11:05	120	1310.0
	13:05	240	1303.0
	17:05	480	1297.0
22/3/99	9:05	24 hr.	1289.0

หมายเหตุ :

AFTER WETTING

Pressure Increment 800 to 1600 kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
22/3/99	9:05	0.0	1289.0
		0.25	1180.0
		0.50	1176.0
		1.00	1172.0
		2.00	1165.0
		4.00	1160.0
		9.00	1154.0
		16.00	1149.0
		30.00	1130.0
	10:05	60.00	1123.0
	11:05	120	1118.0
	13:05	240	1112.0
	17:05	480	1105.0
23/3/99	9:00	24 hr.	1080.0

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบศักยภาพการพังของดิน(Collapse Potential Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m. Date : 12/3/42

AFTER WETTING

Pressure Increment 1600 to 400 kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
23/3/99	9:00	0.0	1080.0
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		6.00	
		9.00	
		12.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	
23/3/99	13:10		1295.0

หมายเหตุ :

Pressure Increment 400 to 100 kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
23/3/99	13:10	0.0	1295
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		6.00	
		9.00	
		12.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	
24/3/99	9:22		1450

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบศักยภาพการพังของดิน(Collapse Potential Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m. Date : 14/3/42

AFTER WETTING

Pressure Increment 100 to 0 kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
24/3/99	9:22	0.0	1450.0
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		6.00	
		9.00	
		12.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	
25/3/99	10:30		1630.0

หมายเหตุ :

Pressure Increment to kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบศักยภาพการพังของดิน(Collapse Potential Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Locatio อาคารศูนย์เครื่องมือ 5

Boring No. 2 Sample No. 4

Depth : 3 m. Specific Gravity, G_S 2.748

Soil Description : CL

APPARATUS MEASUREMENTS

Lever Arm Ratio : 1:12 Ring Area : 31.54 cm^2

Ring Diameter : 6.337 cm. Ring Volume : 62.29 cm^3

Ring Height : 1.975 cm.

WATER CONTENT		Begin	End
Container No.			
Weight of Wet Soil+Container		137.46	150.95
Weight of Dry Soil+Container		116.05	118.77
Weight of Water	g	21.41	32.18
Weight of Container	g	32.83	34.48
Weight of Dry Soil	g	83.22	84.29
Water Content, w	%	25.73	38.18

SOIL SAMPLE	Initial	Final
Sample Ring No.		
Weight of Soil + Ring	196.67	194.14
Weight of Ring	77.67	77.67
Weight of Soil, W_t	119.00	116.47
Volume of Ring,V	62.29	62.29
Total Unit Weight, g/	1.910	1.870
Dry Unit Weight, g/	1.519	1.353
Void Ratio,e = (2H-H_S	1.031	0.957
Degree of Saturation,S	68.59	109.61

Solid Height, $H_S = \frac{W_s}{G_s \cdot \rho_w \cdot A}$ cm

Void Height, H_V = 2H - H cm

Saturation, $S = \frac{w \cdot G_s}{e}$ %

$H_S = \frac{84.29}{2.748 \times 1.00 \times 31.54} = 0.973$ cm

BEFORE WETTING

Pressure kN / m^2	Time	Elapsed Time min.	Dial Reading(x .002 mm Original	hange (mm	Sample Height (cm.)	oid Heigh (cm.)	Void Ratio e
19.9	5:00	0	1947.0	0	1.9750	1.0025	1.031
39.9	5:50	50	1902.0	-0.0900	1.9660	0.9935	1.022
59.9	6:40	100	1827.0	-0.2400	1.9510	0.9785	1.006
100	7:30	150	1798.0	-0.2980	1.9452	0.9727	1.000
200	8:20	200	1690.0	-0.5140	1.9236	0.9511	0.978

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบศักยภาพการพังของดิน(Collapse Potential Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m. Date : 17/3/99

AFTER WETTING

Pressure Increment - to 200 kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
19/3/99	9:10	0.0	1690.0
		0.25	1430.0
		0.50	1424.0
		1.00	1422.0
		2.00	1421.0
		4.00	1420.0
		9.00	1419.0
		16.00	1419.0
		30.00	1419.0
	10:45	60.00	1419.0
	11:45	120	1422.0
	13:45	240	1422.0
	17:45	480	1422.0
20/3/99	9:10	24 hr.	1423.0

หมายเหตุ :

Pressure Increment 200 to 400 kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
20/3/99	9:15	0.0	1423.0
		0.25	1356.0
		0.50	1354.0
		1.00	1351.0
		2.00	1348.0
		4.00	1344.0
		9.00	1339.0
		16.00	1335.0
		30.00	1332.0
	10:20	60.00	1327.0
	11:20	120	1324.5
	13:20	240	1322.0
	17:20	480	1319.0
21/3/99	9:15	24 hr.	1315.0

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบศักยภาพการพังของดิน(Collapse Potential Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคาร ใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m. Date : 20/3/99

AFTER WETTING

Pressure Increment 1600 to 400 kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
23/3/99	9:00	0.0	1051.0
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		6.00	
		9.00	
		12.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	
23/3/99	13:10		1242.0

หมายเหตุ :

Pressure Increment 400 to 100 kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
23/3/99	13:10	0.0	1242
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		6.00	
		9.00	
		12.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	
24/3/99	9:22		1497

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบศักยภาพการพังของดิน(Collapse Potential Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m. Date : 18/3/99

AFTER WETTING

Pressure Increment 400 to 800 kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
21/3/99	9:05	0.0	#REF!
		0.25	1272.0
		0.50	1265.0
		1.00	1257.0
		2.00	1249.0
		4.00	1238.0
		9.00	1225.0
		16.00	1213.0
		30.00	1199.0
	10:05	60.00	1168.0
	11:05	120	1165.0
	13:05	240	1158.0
	17:05	480	1154.0
22/3/99	9:05	24 hr.	1147.0

หมายเหตุ :

AFTER WETTING

Pressure Increment 800 to 1600 kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
22/3/99	9:05	0.0	1147.0
		0.25	1135.0
		0.50	1134.0
		1.00	1131.0
		2.00	1127.0
		4.00	1120.0
		9.00	1115.0
		16.00	1110.0
		30.00	1101.0
	10:05	60.00	1094.0
	11:05	120	1087.0
	13:05	240	1081.0
	17:05	480	1074.0
23/3/99	9:00	24 hr.	1051.0

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดสอบศักยภาพการพังของดิน(Collapse Potential Test)

Project : ศึกษาการวิบัติของอาคารใน มทส. Soil Description : CL

Location : อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 Depth : 3 m. Date : 22/3/99

AFTER WETTING

Pressure Increment 100 to 0 kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm
24/3/99	9:22	0.0	1450.0
		0.25	
		0.50	
		1.00	
		2.00	
		4.00	
		6.00	
		9.00	
		12.00	
		16.00	
		30.00	
		60.00	
		120	
25/3/99	10:30		1589.0

หมายเหตุ :

Pressure Increment to kN / m^2

Date	Time	Elapsed time, min	Dial Reading x .002 mm

หมายเหตุ :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข.
ข้อมูลการทดสอบในภาคสนาม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักของดิน (Plate Bearing test)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การทดลองความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุกได้ของดิน

PLATE BEARING TEST

โครงการ : Special Problem in Civil Engineering III วันรับตัวอย่าง : 2 เมษายน 2542

สถานที่ : อาคารเครื่องมือ 5 วันทดสอบ : 2 เมษายน 2542

หลุมทดสอบที่ : 1 ลึก 1.50 เมตร ผู้ตราจสอบ : วิสิฐศักดิ์ , สุเทพ , สุรสิทธิ์ , วิชา , สิทธิกร

มาตรฐาน : ASTM D 1194 - 94

Plate Diameter : 30 cm. Hydraulic Jack: POWER TEAM 25 tons No. C256C

Dead Weight : 32.09 kg. Load Gauge : 3.5 tons

Load Increment No.	Load			Elapesed Time		Settlement			
	Load Gauge (lbf)	Force (kg)	Soil Press. (t/m^2)	Time	(min)	Dial Reading (0.01 mm.)			
						Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial avg.(2,3)
1	542	636	9	16.54	0	0	1	2.5	1.75
				16.56	2	0	1	2.5	1.75
				16.59	5	0	1	3.5	2.25
				17.04	10	0	1	3.5	2.25
				17.14	20	1	3	5	4
				17.24	30	1	3	5	4
2	904	1060	15	17.25	0	1	12	13.5	12.75
				17.27	2	1	13	14	13.25
				17.30	5	1	14	14	14
				17.35	10	1	14	14	14
				17.45	20	1	14	14	14
3	1265	1484	21	17.46	0	2	31.5	27	29.25
				17.48	2	2	34	28	31
				17.51	5	2	35.5	28	31.75
				17.56	10	2	37	28	32.5
				18.06	20	2	37	28	32.5
4	1627	1908	27	18.07	0	8	49	39	44
				18.09	2	8	53	40	46.5
				18.12	5	8	54	40	47
				18.17	10	8	55	40	47.5
				18.22	15	8	55	40	47.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Load Increment No.	Load			Elapesed Time		Settlement			
	Load Gauge (lbf)	Force (kg)	Soil Press. (t/m^2)	Time	(min)	Dial Reading (0.01 mm.)			
						Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial avg.(2,3)
5	1988	2332	33	18.23	0	14	65	50	57.5
				18.25	2	16	69	52	60.5
				18.28	5	17	73	54	63.5
				18.33	10	17	73	54	63.5
				18.38	15	17	73	54	63.5
6	2350	3756	39	18.39	0	28	85	65	75
				18.41	2	28	88	67	77.5
				18.44	5	29	88	67	77.5
				18.49	10	30	90	68	79
				18.54	15	30	90	68	79
7	3695	4334	45	18.55	0	-10	101	105	103
				18.57	2	-5	102	106	104
				19.00	5	-3	102	107	104.5
				19.05	10	0	103	109	106
				19.10	15	0	103	109	106

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์

ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การทดลองความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุกได้ของดิน

PLATE BEARING TEST

โครงการ : Special Problem in Civil Engineering III

สถานที่ : อาคารบริการ 7 - 9

หลุมทดสอบที่ : 1 ลึก 1.50 เมตร

Plate Diameter : 30 cm.

Dead Weight : 32.09 kg.

วันรับตัวอย่าง : 5 มีนาคม 2542

วันทดสอบ : 5 มีนาคม 2542

ผู้ตรวจสอบ : วิสิฐศักดิ์, สุเทพ, สุรสิทธิ์, วิชา, สิทธิกร

มาตรฐาน : ASTM D 1194 - 94

Hydraulic Jack: POWER TEAM 25 tons No. C256C

Load Gauge : 3.5 tons

Load Increment No.	Load			Elapesed Time		Settlement			
	Load Gauge (lbf)	Force (kg)	Soil Press. (t/m^2)	Time	(min)	Dial Reading (0.01 mm.)			
						Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial avg.(1,3)
1	361.5	424	6	15.03	0	8	5	9	8.5
				15.05	2	11	7	11	11
				15.08	5	12	7	12	12
				15.13	10	14	8	12	13
				15.23	20	14	9	12	13
				15.33	30	17	9	12	14.5
				15.43	40	17	9	12	14.5
2	542	636	9	15.45	0	37	15	30	33.5
				15.47	2	40	17	31	35.5
				15.50	5	48	18	37	42.5
				15.55	10	48	18	37	42.5
				16.05	20	48	18	37	42.5
3	723	848	12	16.06	0	64	23	56	60
				16.08	2	68	25	57	62.5
				16.11	5	70	26	59	64.5
				16.16	10	73	26	63	68
				16.26	20	75	27	65	70
				16.36	30	77	28	66	71.5
				16.46	40	77	28	66	71.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Load Increment No.	Load			Elapesed Time		Settlement			
	Load Gauge (lbf)	Force (kg)	Soil Press. (t/m^2)	Time	(min)	Dial Reading (0.01 mm.)			
						Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial avg.(1,3)
4	904	1060	15	16.48	0	93	33	81	87
				16.50	2	98	34	85	91.5
				16.53	5	101	35	88	94.5
				16.58	10	102	36	89	95.5
				17.08	20	106	37	92	99
				17.18	30	106	37	92	99
5	1085	1272	18	17.19	0	120	42	106	113
				17.21	2	125	43	111	118
				17.24	5	129	44	113	121
				17.29	10	132	45	116	124
				17.39	20	135	46	117	126
				17.49	30	137	46	120	128.5
				18.09	50	138	48	123	130.5
6	1265	1484	21	18.10	0	151	51	136	143.5
				18.12	2	154	52	139	146.5
				18.15	5	157	53	141	149
				18.20	10	160	54	144	152
				18.30	20	164	55	147	155.5
				18.40	30	164	55	147	155.5
7	1446	1696	24	18.42	0	172	59	158	165
				18.44	2	177	60	163	170
				18.47	5	182	61	166	174
				18.52	10	185	62	169	177
				19.02	20	188	63	173	180.5
				19.12	30	192	65	175	183.5
				19.22	40	192	65	175	183.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Load Increment No.	Load			Elapesed Time		Settlement			
	Load Gauge (lbf)	Force (kg)	Soil Press. (t/m^2)	Time	(min)	Dial Reading (0.01 mm.)			
						Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial avg.(1,3)
8	1627	1908	27	19.28	0	198	68	183	190.5
				19.30	2	204	69	187	195.5
				19.33	5	207	69	189	198
				19.43	10	210	70	192	201
				19.53	20	212	71	193	202.5
				20.03	30	216	72	193	204.5
				20.13	40	219	73	193	206
9	1808	2120	30	20.14	0	226	75	211	218.5
				20.16	2	228	77	216	222
				20.19	5	230	78	220	225
				20.24	10	237	79	223	230
				20.34	20	239	80	229	234
				20.44	30	244	81	232	238
				20.54	40	245	83	238	241.5
				21.04	50	245	83	239	242
10 (Rebound)	0	0	0	21.10	0	200	67	190	195
				21.12	2	181	50	164	172.5
				21.15	5	171	46	158	164.5
				21.25	10	164	44	152	158
				21.35	20	153	40	140	146.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข-2 ข้อมูลการวัดระดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปผลการวัดระดับ อาคารหอพักสุรนิเวศ 4

	26 ก.ย. 41	3 ต.ค. 41	10 ต.ค. 41	17 ต.ค. 41	23 ต.ค. 41
A4	100.547	100.547	100.545	100.547	100.546
A6	100.620	100.619	100.616	100.619	100.618
A8	100.595	100.598	100.584	100.595	100.595
A10	100.540	100.538	100.540	100.537	100.541
B2	100.544	100.547	100.544	100.555	100.546
B4	100.656	100.656	100.652	100.653	100.653
B6	100.555	100.552	100.554	100.553	100.553
B8	100.538	100.538	100.534	100.538	100.536
B10	100.561	100.559	100.560	100.559	100.559
C4	100.645	100.639	100.639	100.639	100.639
C6	100.535	100.539	100.538	100.535	100.535
C8	100.550	100.548	100.548	100.548	100.548
C10	100.565	100.560	100.562	100.562	100.561
D1	100.504	100.504	100.500	100.504	100.503
D2	100.532	100.533	100.536	100.533	100.532
D3	100.662	100.662	100.662	100.662	100.662
D4	100.569	100.567	100.568	100.569	100.569
D6	100.550	100.549	100.549	100.549	100.549
D8	100.550	100.550	100.550	100.550	100.550
D10	100.540	100.542	100.542	100.542	100.540
F1	100.562	100.561	100.562	100.561	100.561
F2	100.603	100.602	100.602	100.602	100.602
F3	100.618	100.618	100.618	100.619	100.618
F4	100.525	100.520	100.524	100.524	100.522
H1	100.519	100.520	100.520	100.519	100.519
H2	100.610	100.612	100.608	100.610	100.611
H3	100.613	100.613	100.618	100.616	100.615
H4	100.508	100.498	100.499	100.498	100.499
J1	100.497	100.495	100.494	100.495	100.499
J2	100.503	100.507	100.508	100.507	100.503
J3	100.499	100.508	100.498	100.500	100.499
J4	100.559	100.559	100.561	100.559	100.559

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปผลการวัดระดับ อาคารหอพักสุรนิเวศ 4 (ต่อ)

	31 ต.ค. 41	9 พ.ย. 41	14 พ.ย. 41	20 พ.ย. 41	28 พ.ย. 41
A4	100.545	100.547	100.545	100.546	100.546
A6	100.616	100.616	100.618	100.618	100.618
A8	100.594	100.595	100.598	100.596	100.597
A10	100.538	100.537	100.540	100.538	100.538
B2	100.544	100.547	100.547	100.546	100.546
B4	100.652	100.656	100.655	100.653	100.652
B6	100.553	100.557	100.554	100.553	100.552
B8	100.535	100.539	100.538	100.538	100.538
B10	100.559	100.557	100.561	100.557	100.557
C4	100.638	100.642	100.638	100.639	100.640
C6	100.538	100.537	100.538	100.538	100.538
C8	100.548	100.550	100.550	100.548	100.549
C10	100.562	100.560	100.564	100.561	100.561
D1	100.500	100.504	100.505	100.503	100.503
D2	100.535	100.534	100.533	100.533	100.532
D3	100.662	100.664	100.665	100.663	100.664
D4	100.569	100.571	100.570	100.570	100.570
D6	100.549	100.548	100.550	100.550	100.550
D8	100.549	100.548	100.550	100.550	100.549
D10	100.542	100.541	100.544	100.544	100.543
F1	100.563	100.564	100.560	100.562	100.562
F2	100.602	100.602	100.603	100.603	100.603
F3	100.620	100.620	100.617	100.617	100.618
F4	100.523	100.523	100.524	100.524	100.522
H1	100.519	100.521	100.516	100.522	100.518
H2	100.609	100.609	100.611	100.610	100.607
H3	100.617	100.616	100.618	100.615	100.613
H4	100.498	100.497	100.498	100.497	100.498
J1	100.493	100.500	100.499	100.495	100.493
J2	100.508	100.508	100.508	100.506	100.508
J3	100.497	100.496	100.502	100.502	100.506
J4	100.561	100.558	100.558	100.558	100.558

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปผลการวัดระดับ อาคารหอพักสุรนิเวศ 4 (ต่อ)

	12 ธ.ค. 41	26 ธ.ค. 41	9 ม.ค. 42	23 ม.ค. 42	6 ก.พ. 42
A4	100.545	100.544	100.548	100.543	100.547
A6	100.616	100.617	100.616	100.618	100.617
A8	100.595	100.596	100.595	100.598	100.594
A10	100.537	100.536	100.539	100.534	100.538
B2	100.546	100.543	100.546	100.547	100.543
B4	100.654	100.653	100.655	100.658	100.654
B6	100.554	100.553	100.555	100.556	100.540
B8	100.534	100.538	100.535	100.536	100.534
B10	100.554	100.552	100.556	100.552	100.553
C4	100.641	100.638	100.637	100.640	100.637
C6	100.537	100.535	100.536	100.534	100.536
C8	100.548	100.547	100.546	100.550	100.548
C10	100.562	100.561	100.559	100.563	100.598
D1	100.504	100.502	100.501	100.503	100.504
D2	100.534	100.536	100.532	100.530	100.533
D3	100.662	100.665	100.663	100.663	100.664
D4	100.571	100.573	100.569	100.571	100.570
D6	100.551	100.552	100.551	100.550	100.549
D8	100.550	100.549	100.553	100.551	100.549
D10	100.546	100.545	100.547	100.543	100.540
F1	100.561	100.560	100.563	100.559	100.562
F2	100.601	100.603	100.602	100.602	100.600
F3	100.615	100.618	100.607	100.615	100.616
F4	100.523	100.523	100.524	100.520	100.521
H1	100.520	100.519	100.521	100.517	100.520
H2	100.609	100.610	100.609	100.608	100.606
H3	100.615	100.615	100.616	100.618	10.614
H4	100.497	100.497	100.499	100.498	100.496
J1	100.490	100.491	100.492	100.494	100.491
J2	100.504	100.505	100.507	100.505	100.506
J3	100.508	100.506	100.505	100.506	100.505
J4	100.557	100.559	100.558	100.560	100.558

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปผลการวัดระดับ อาคารหอพักสุรนิเวศ 4 (ต่อ)

	20 ก.พ. 42	6 มี.ค. 42	20 มี.ค. 42	3 เม.ย. 42
A4	100.546	100.544	100.545	100.545
A6	100.615	100.616	100.617	100.616
A8	100.595	100.596	100.593	100.597
A10	100.535	100.536	100.535	100.535
B2	100.548	100.545	100.546	100.543
B4	100.657	100.654	100.653	100.655
B6	100.552	100.553	100.555	100.554
B8	100.531	100.532	100.534	100.533
B10	100.554	100.552	100.556	100.553
C4	100.642	100.639	100.638	100.640
C6	100.537	100.540	100.536	100.531
C8	100.545	100.548	100.549	100.547
C10	100.561	100.562	100.599	100.562
D1	100.499	100.501	100.503	100.502
D2	100.531	100.531	100.532	100.534
D3	100.660	100.662	100.661	100.662
D4	100.568	100.572	100.572	100.571
D6	100.551	100.553	100.549	100.550
D8	100.549	100.552	100.548	100.549
D10	100.544	100.543	100.545	100.544
F1	100.560	100.563	100.561	100.562
F2	100.602	100.603	100.601	100.600
F3	100.615	100.617	100.618	100.616
F4	100.523	100.521	100.522	100.522
H1	100.519	100.517	100.518	100.500
H2	100.611	100.608	100.612	100.609
H3	100.613	100.617	100.618	100.620
H4	100.500	100.499	100.451	100.497
J1	100.495	100.492	100.490	100.492
J2	100.508	100.506	100.509	100.508
J3	100.504	100.504	100.505	100.506
J4	100.557	100.556	100.559	100.600

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปผลการวัดระดับ อาคารศูนย์เครื่องมือ 5

	26 ก.ย. 41	3 ต.ค. 41	10 ต.ค. 41	'17 ต.ค. 41	23 ต.ค. 41
A1	101.005	101.003	101.003	101.003	101.001
A13	100.906	100.906	100.906	100.906	100.904
A19	100.915	100.912	100.912	100.912	100.910
A7	101.045	101.045	101.045	101.045	101.043
D1	100.928	100.927	100.927	100.927	100.926
D13	100.803	100.803	100.802	100.800	100.803
D19	100.973	100.976	100.976	100.976	100.973
D7	100.818	100.817	100.815	100.813	100.818
G1	101.135	101.133	101.133	101.133	101.135
G13	100.756	100.755	100.755	100.756	100.757
G19	100.976	100.976	100.976	100.976	100.974
G7	100.739	100.739	100.739	100.738	100.739
K1	100.848	100.848	100.848	100.848	100.847
K13	100.770	100.773	100.773	100.774	100.774
K19	100.876	100.874	100.874	100.875	100.875
K7	100.807	100.806	100.806	100.805	100.804
O1	100.824	100.823	100.823	100.823	100.822
O13	100.722	100.724	100.724	100.724	100.725
O19	101.048	101.046	101.046	101.045	101.047
O7	100.825	100.822	100.822	100.821	100.823
S1	100.813	100.815	100.815	100.815	100.812
S13	100.778	100.778	100.778	100.778	100.779
S19	100.766	100.764	100.763	100.762	100.762
S7	100.752	100.751	100.751	100.750	100.750

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปผลการวัดระดับ อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 (ต่อ)

	31 ต.ค. 41	9 พ.ย. 41	14 พ.ย. 41	20 พ.ย. 41	28 พ.ย. 41
A1	101.003	101.005	101.000	101.003	101.008
A13	100.907	100.907	100.902	100.902	100.901
A19	100.910	100.913	100.916	100.915	100.914
A7	101.042	101.041	101.040	101.041	101.041
D1	100.924	100.923	100.925	100.924	100.923
D13	100.802	100.800	100.801	100.801	100.801
D19	100.976	100.974	100.971	100.971	100.972
D7	100.816	100.818	100.810	100.810	100.810
G1	101.133	101.132	101.130	101.130	101.130
G13	100.754	100.756	100.756	100.754	100.753
G19	100.974	100.973	100.971	100.971	100.971
G7	100.739	100.739	100.739	100.737	100.735
K1	100.846	100.847	100.844	100.844	100.844
K13	100.772	100.773	100.774	100.774	100.773
K19	100.878	100.877	100.875	100.874	100.874
K7	100.803	100.803	100.805	100.804	100.803
O1	100.823	100.825	100.823	100.823	100.827
O13	100.724	100.726	100.726	100.725	100.723
O19	101.048	101.046	101.048	101.048	101.048
O7	100.820	100.822	100.823	100.823	100.823
S1	100.812	100.812	100.815	100.815	100.813
S13	100.778	100.777	100.778	100.777	100.776
S19	100.763	100.762	100.766	100.765	100.766
S7	100.750	100.752	100.753	100.754	100.757

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปผลการวัดระดับ อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 (ต่อ)

	12 ธ.ค. 41	26 ธ.ค. 41	9 ม.ค. 42	23 ม.ค. 42	6 ก.พ. 42
A1	101.003	101.005	101.004	101.004	101.003
A13	100.905	100.904	100.903	100.905	100.906
A19	100.913	100.914	100.911	100.915	100.915
A7	101.044	101.042	101.041	101.043	101.044
D1	100.922	100.925	100.925	100.923	100.922
D13	100.802	100.802	100.801	100.800	100.803
D19	100.974	100.970	100.972	100.971	100.973
D7	100.811	100.809	100.812	100.811	100.810
G1	101.129	101.131	101.128	101.130	101.132
G13	100.756	100.754	100.755	100.755	10.754
G19	10.971	100.973	100.971	100.972	100.972
G7	100.735	100.734	100.736	100.735	100.734
K1	100.845	100.847	100.845	100.843	100.846
K13	100.772	100.771	100.775	100.774	100.773
K19	100.876	100.873	100.875	100.877	100.877
K7	100.803	100.805	100.804	100.806	100.803
O1	100.826	100.829	100.824	100.827	100.825
O13	100.723	100.726	100.724	100.726	100.722
O19	101.049	101.045	101.046	101.048	101.048
O7	100.823	100.824	100.823	100.824	100.826
S1	100.810	100.810	100.813	100.815	100.814
S13	100.775	10.778	100.775	100.775	100.775
S19	100.765	100.764	100.761	100.764	100.765
S7	100.759	10.758	100.756	100.757	100.755

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปผลการวัดระดับ อาคารศูนย์เครื่องมือ 5 (ต่อ)

	20 ก.พ. 42	6 มี.ค. 42	20 มี.ค. 42	3 เม.ย. 42
A1	101.002	101.004	101.003	101.005
A13	100.905	100.904	100.904	100.903
A19	100.916	100.913	100.912	100.914
A7	101.043	101.044	101.045	101.042
D1	100.924	100.922	100.923	100.921
D13	100.801	100.803	100.800	100.801
D19	100.972	100.970	100.973	100.970
D7	100.809	100.812	100.811	100.810
G1	101.131	101.129	101.127	101.131
G13	100.755	100.749	100.752	100.753
G19	100.972	100.973	100.970	100.970
G7	100.736	100.734	100.735	100.736
K1	100.843	100.842	100.845	100.843
K13	100.773	100.772	100.774	100.776
K19	100.875	100.875	100.873	100.876
K7	100.805	100.801	100.806	100.801
O1	100.824	100.829	100.824	100.827
O13	100.726	100.723	100.720	100.721
O19	101.047	101.046	101.045	101.047
O7	100.824	100.820	100.826	100.824
S1	100.815	100.812	100.815	100.813
S13	100.776	100.777	100.780	100.779
S19	100.767	100.768	100.767	100.768
S7	100.757	100.753	100.755	100.754

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปผลการวัดระดับ อาคารบริการหอพักสุรนิเวศ 7-9

	26 ก.ย. 41	3 ต.ค. 41	10 ต.ค. 41	17 ต.ค. 41	23 ต.ค. 41
A1	100.972	100.971	100.966	100.968	100.968
A2	100.681	100.680	100.680	100.679	100.681
A3	100.857	100.857	100.858	100.858	100.858
A4	100.898	100.897	100.898	100.899	100.899
A5	100.375	100.374	100.375	100.376	100.375
B1	100.905	100.905	100.902	100.904	100.904
B2	100.911	100.910	100.910	100.910	100.911
B3	100.933	100.933	100.930	100.932	100.934
B4	101.001	101.001	100.999	100.998	100.998
B5	100.922	100.921	100.921	100.920	100.922
C1	100.507	100.506	100.504	100.505	100.505
C2	101.195	101.195	101.191	101.191	101.195
C3	101.255	101.253	101.250	101.253	101.251
C4	101.002	101.000	100.996	100.997	100.997
C5	101.366	101.366	101.365	101.367	101.366
D1	100.597	100.595	100.591	100.593	100.593
D2	101.106	101.106	101.106	101.107	101.107
D3	101.107	101.107	101.103	101.107	101.105
D4	100.990	100.991	100.990	100.989	100.990
D5	100.975	100.973	100.970	100.971	100.971
E1	100.486	100.486	100.482	100.484	100.484
E2	100.707	100.706	100.704	100.705	100.705
E3	100.642	100.641	100.639	100.641	100.640
E4	100.968	100.968	100.996	100.966	100.966
E5	101.133	101.132	101.131	101.133	101.133

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปผลการวัดระดับ อาคารบริการหอพักสุรนิเวศ 7-9 (ต่อ)

	31 ต.ค. 41	9 พ.ย. 41	14 พ.ย. 41	20 พ.ย. 41	28 พ.ย. 41
A1	100.968	100.969	100.970	100.970	100.967
A2	100.680	100.679	100.681	100.681	100.680
A3	100.858	100.896	100.858	100.858	100.858
A4	100.898	100.895	100.898	100.898	100.900
A5	100.375	100.376	100.370	100.375	100.375
B1	100.904	100.904	100.904	100.904	100.903
B2	100.911	100.911	100.911	100.911	100.910
B3	100.934	100.933	100.934	100.934	100.931
B4	100.997	100.997	100.998	100.999	101.000
B5	100.923	100.920	100.922	100.922	100.922
C1	100.505	100.506	100.505	100.504	100.504
C2	101.194	101.194	101.193	101.192	101.192
C3	101.251	101.251	101.251	101.251	101.251
C4	100.997	100.996	100.997	101.000	100.998
C5	101.367	101.367	101.367	101.367	101.367
D1	100.593	100.593	100.591	100.590	100.590
D2	101.107	101.107	101.107	101.107	101.107
D3	101.105	101.104	101.104	101.103	101.103
D4	100.990	100.990	100.991	100.990	100.989
D5	100.973	100.975	100.973	100.973	100.970
E1	100.484	100.484	100.481	100.480	100.482
E2	100.705	100.705	100.705	100.703	100.704
E3	100.640	100.640	100.641	100.640	100.639
E4	100.965	100.967	100.967	100.967	100.966
E5	101.133	101.133	101.133	101.133	101.132

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปผลการวัดระดับ อาคารบริการหอพักสุรนิเวศ 7-9 (ต่อ)

	12 ธ.ค. 41	26 ธ.ค. 41	9 ม.ค. 42	23 ม.ค. 42	6 ก.พ. 42
A1	100.965	100.968	100.969	100.968	100.967
A2	100.681	100.682	100.680	100.679	100.682
A3	100.857	100.858	100.856	100.856	100.855
A4	100.899	100.897	100.900	100.901	100.897
A5	100.375	100.375	100.374	100.372	100.376
B1	100.904	100.905	100.903	100.904	100.903
B2	100.911	100.912	100.908	100.909	100.910
B3	100.932	100.932	100.930	100.931	100.934
B4	100.998	100.997	101.001	100.998	100.998
B5	100.921	100.923	100.920	100.923	100.921
C1	100.501	100.504	100.502	10.502	100.504
C2	101.195	101.195	101.192	101.193	101.194
C3	101.250	101.252	101.253	101.250	101.251
C4	100.998	101.000	101.001	100.999	100.998
C5	101.365	101.365	101.364	101.364	101.364
D1	100.589	100.591	100.587	100.593	100.592
D2	101.105	101.106	101.107	101.108	101.107
D3	101.103	101.102	101.104	101.101	101.009
D4	100.987	100.987	100.989	100.991	100.990
D5	100.974	100.975	100.972	100.970	100.972
E1	100.482	100.483	100.481	100.480	100.482
E2	100.705	100.706	100.705	100.708	100.704
E3	100.641	100.638	100.642	100.938	100.637
E4	100.965	100.968	100.967	100.969	100.965
E5	101.132	101.135	101.134	101.134	101.132

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

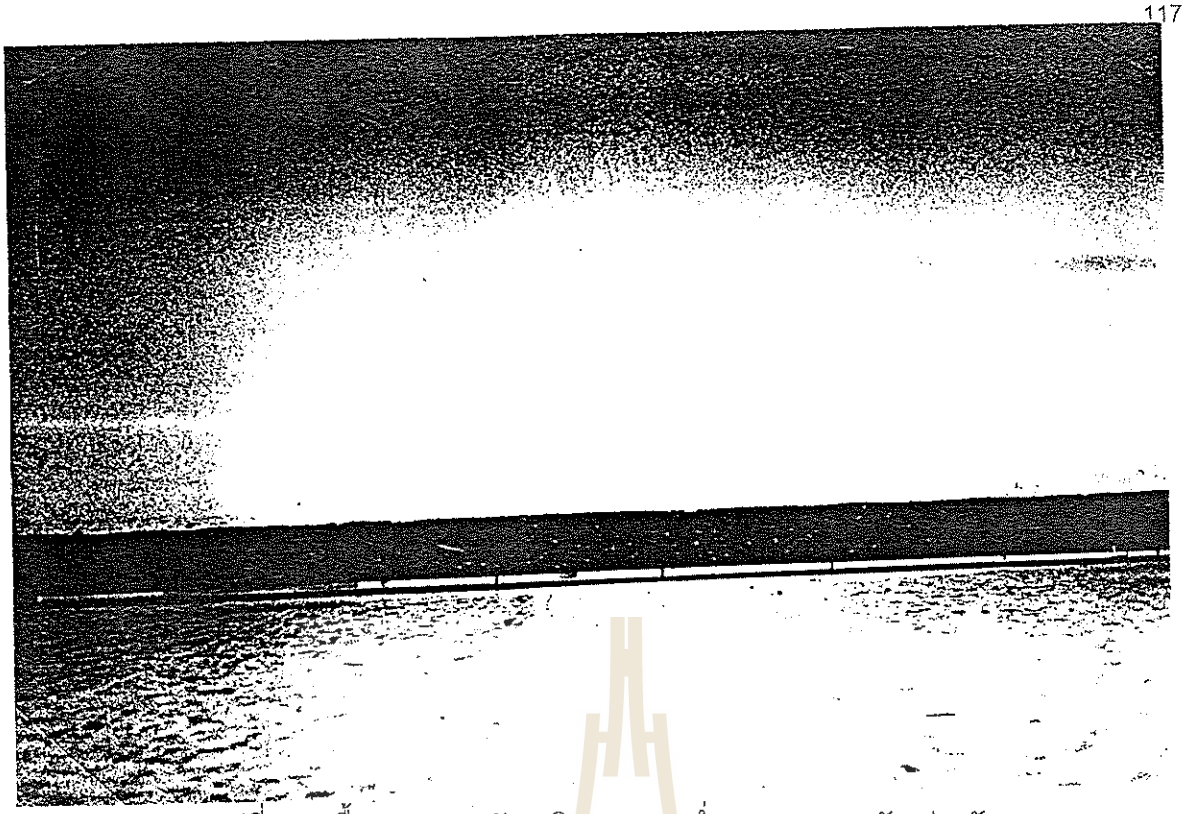
สรุปผลการวัดระดับ อาคารบริการหอพักสุรนิเวศ 7-9 (ต่อ)

	20 ก.พ. 42	6 มี.ค. 42	20 มี.ค. 42	3 เม.ย. 42
A1	100.966	100.967	100.968	100.970
A2	100.682	100.683	100.678	100.680
A3	100.857	100.857	100.858	100.858
A4	100.899	100.898	100.899	100.900
A5	100.374	100.375	100.374	100.374
B1	100.903	100.905	100.901	100.904
B2	100.910	100.913	100.909	100.910
B3	100.932	100.933	100.931	100.932
B4	100.999	101.001	101.000	100.998
B5	100.921	100.921	100.922	100.920
C1	100.506	100.504	100.505	100.503
C2	101.194	101.192	101.193	101.192
C3	101.253	101.252	101.250	101.251
C4	100.998	101.001	100.997	100.998
C5	101.365	101.363	101.364	101.364
D1	100.588	100.589	100.589	100.590
D2	101.106	101.108	101.107	101.105
D3	101.103	101.103	101.102	101.101
D4	100.989	100.988	100.912	100.911
D5	100.973	100.972	100.973	100.972
E1	100.482	100.483	100.482	100.482
E2	100.703	100.705	100.705	100.704
E3	100.642	100.641	100.639	100.640
E4	100.963	100.964	100.965	100.967
E5	101.131	101.135	101.134	101.132

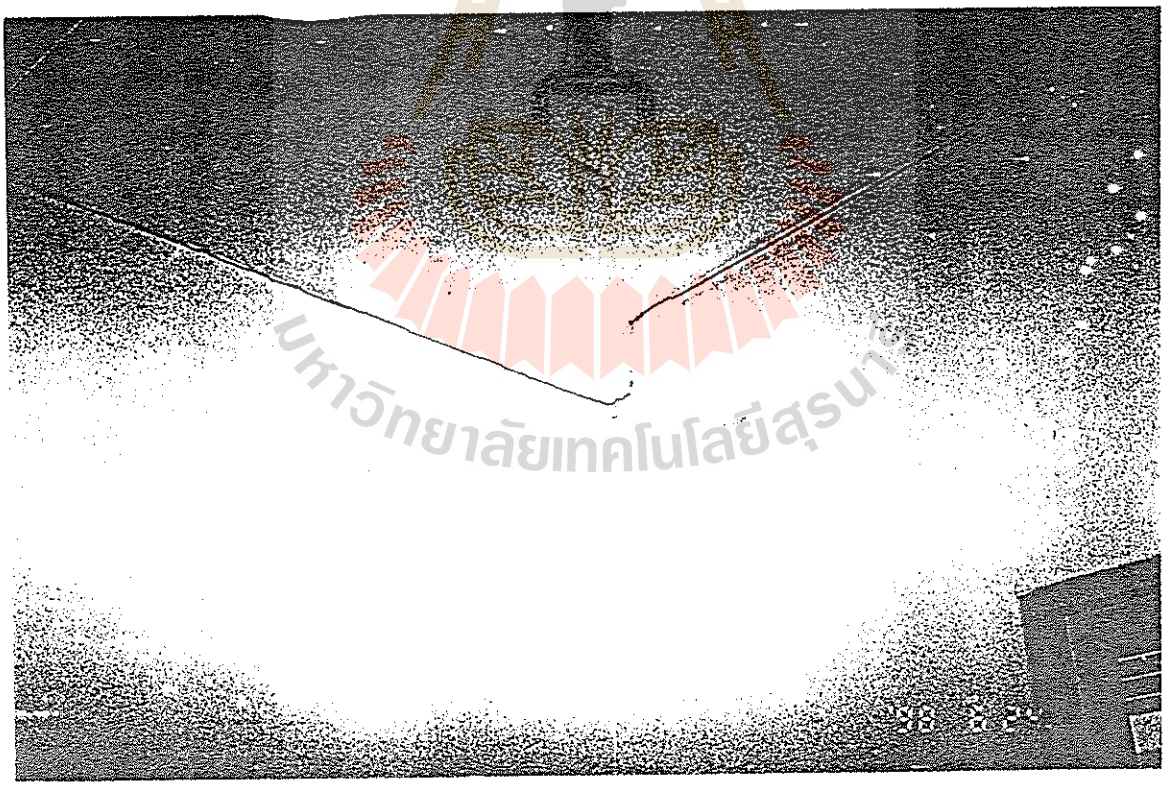
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค
ภาพแสดงรอยร้าวที่เกิดขึ้นในอาคารตัวอย่างที่เลือก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

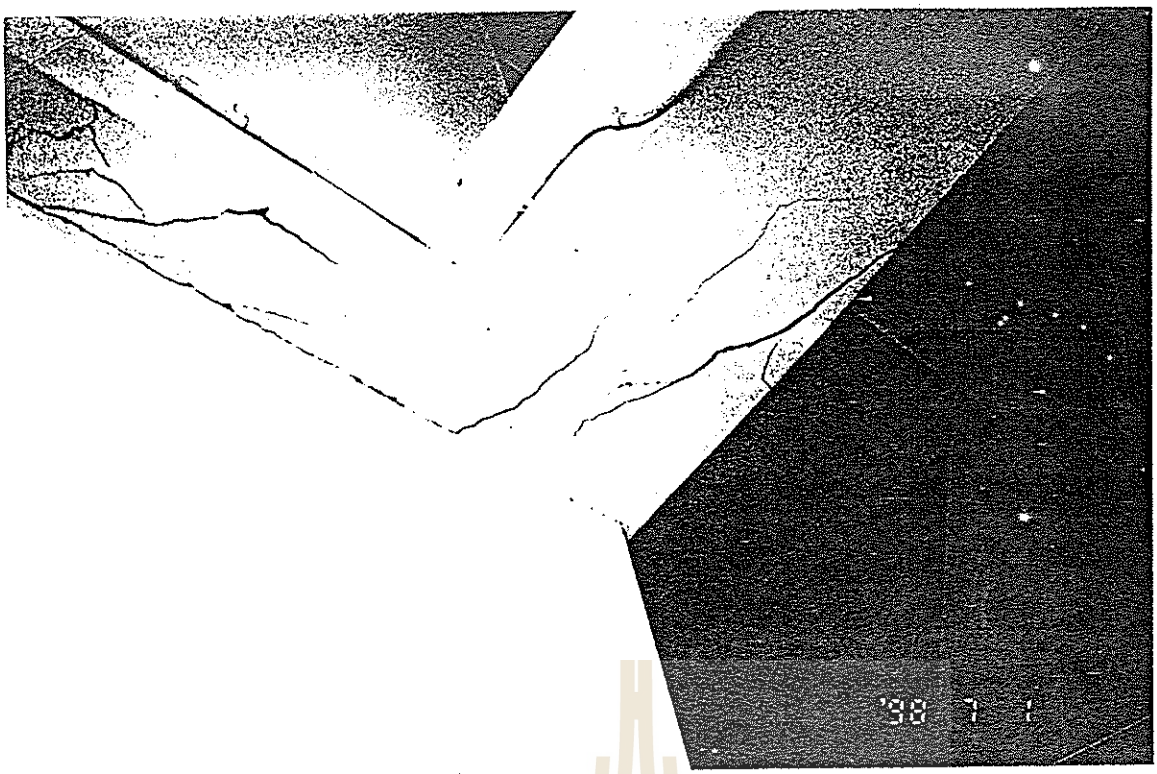


รูปที่ ค-1 พื้นอาคารหอพักสุรนิเวส 4 ทรุดต่ำลงจากขอบผนังอย่างชัดเจน

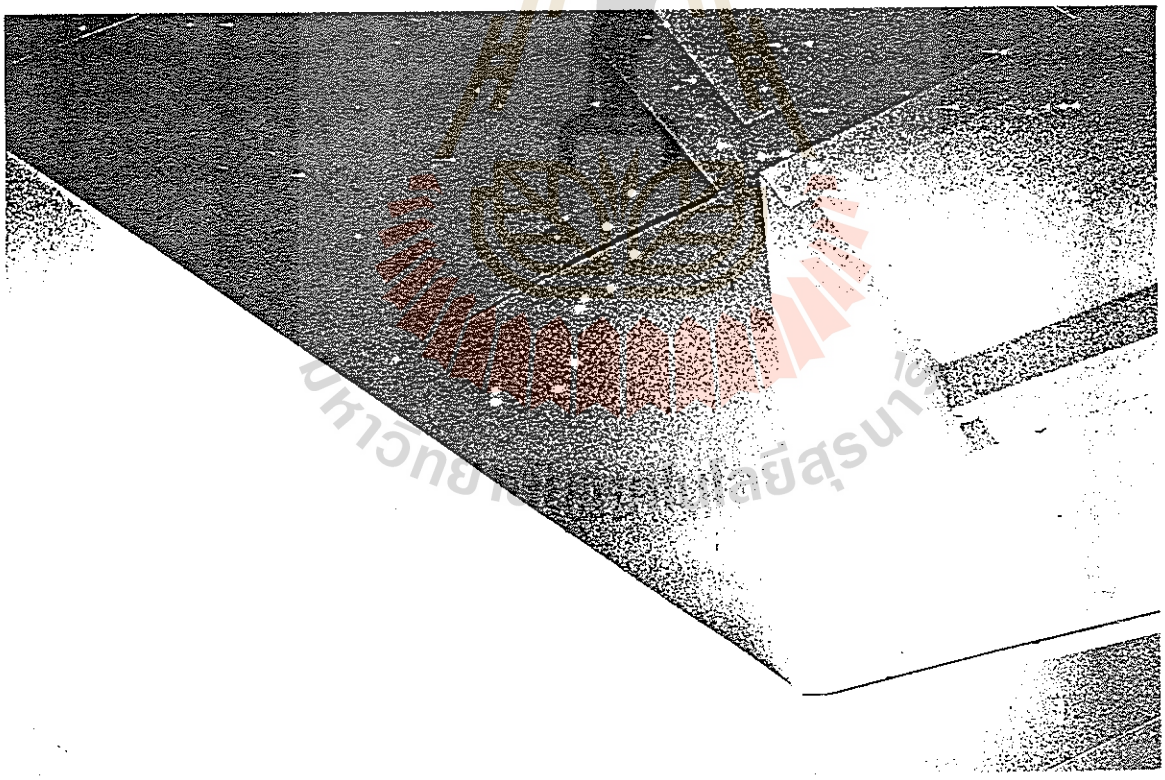


รูปที่ ค-2 รอยร้าวเกิดระหว่างใต้ท้องคานกับผนัง อาคารหอพักสุรนิเวศ 4

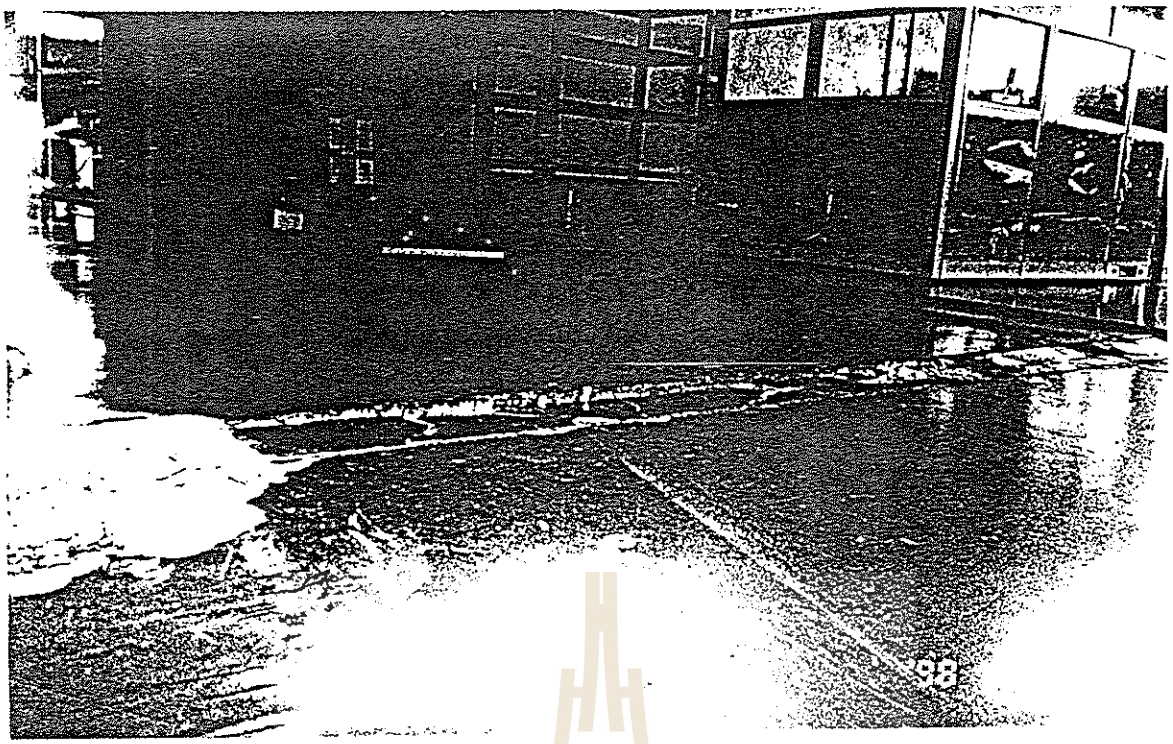
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ค-3 รอยร้าวจำนวนมากเกิดขึ้นใต้ท้องคานอาคารเรียนรวม



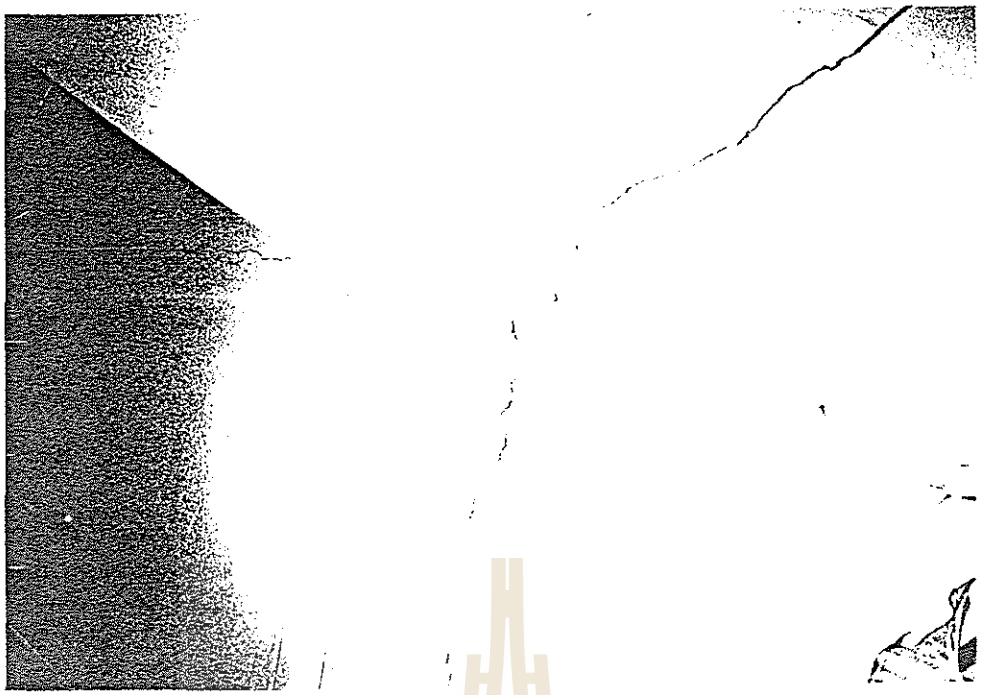
รูปที่ ค-4 รอยร้าวเกิดระหว่างใต้ท้องคานกับผนังอาคารเรียนรวม



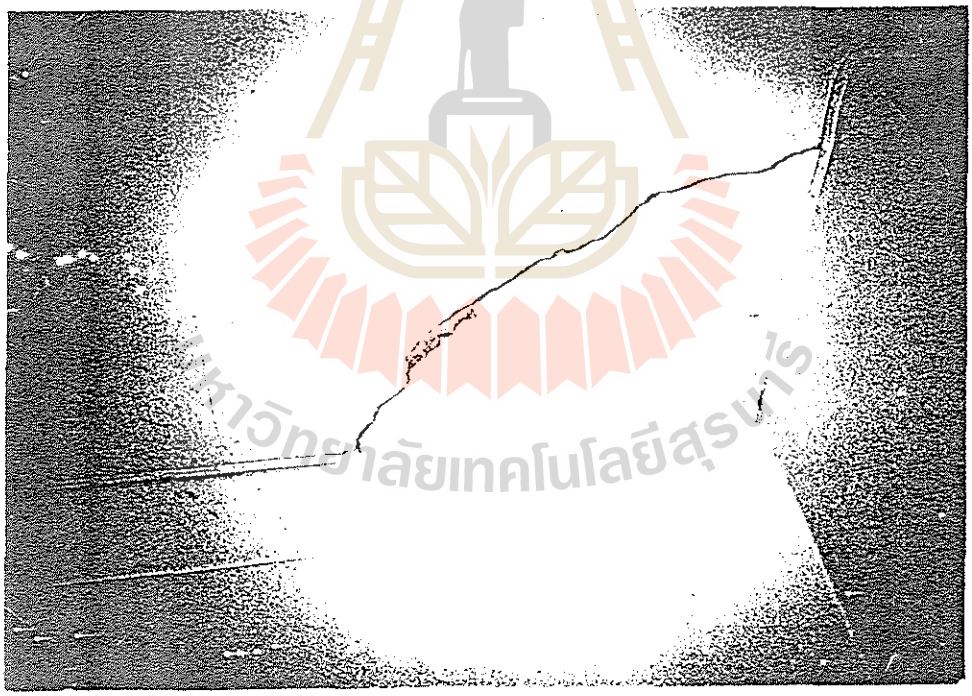
รูปที่ ค-5 พื้นอาคารศูนย์เครื่องมือ 5 ทรุดตัวลงอย่างชัดเจน

รูปที่ ค-6 รอยร้าวในแนวดิ่งเกิดระหว่างผนังและขอบประตูห้องปฏิบัติการกระบวนการผลิตอาคารศูนย์เครื่องมือ 5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ค-7 รอยร้าวเกิดขึ้นที่จุดต่อระหว่างคาน เสา และผนัง อาคารสำนักงานสุรนิเวศ 7-9

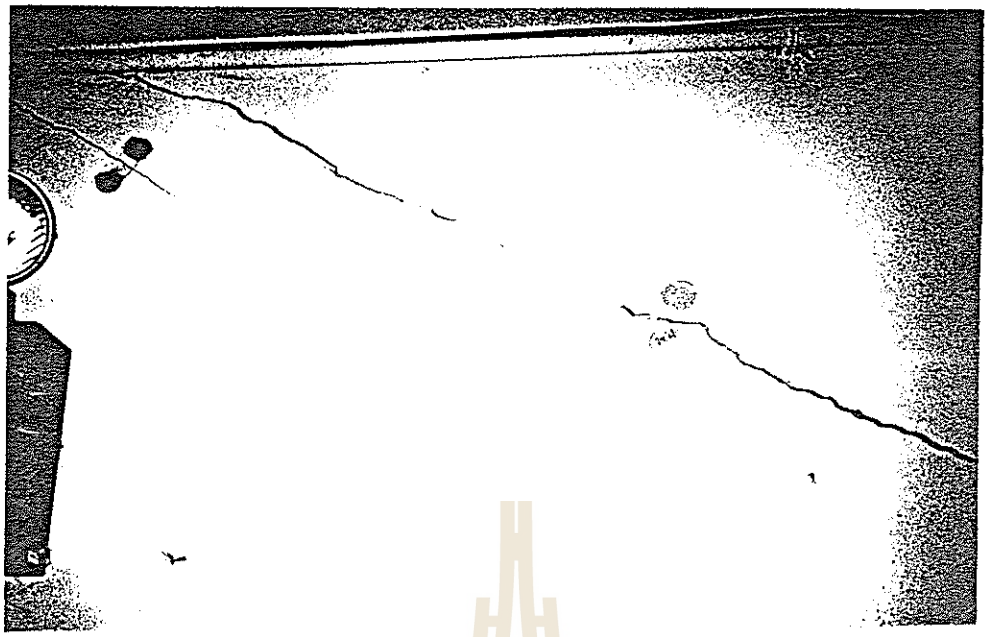


รูปที่ ค-8 รอยร้าวเส้นเอียงขนาดใหญ่ที่ผนังอาคารสำนักงานหอพักสุรนิเวศ 7-9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ง
ภาพแสดงการติดตามการเคลื่อนตัวของรอยร้าว และการติดฐานรองระดับไม้วัดระดับ

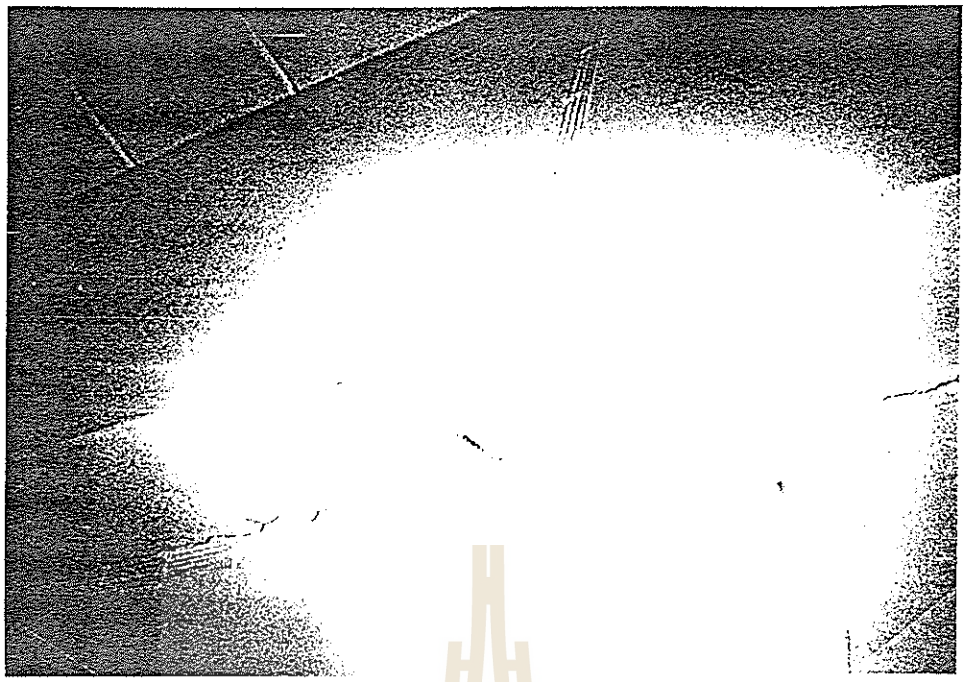
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ง-1 การติดกระจกเพื่อติดตามการเคลื่อนตัวของรอยร้าว
อาคารบริการหอพัก 7-9

รูปที่ ง-2 การติดกระจกเพื่อติดตามการเคลื่อนตัวของรอยร้าว
อาคารเรียนรวม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ง-3 การทำประวัติรอยร้าวเพื่อติดตามการเคลื่อนตัว(Active)ของรอยร้าว อาคารหอพักสุรนิเวศ 4

รูปที่ ง-4 การติดเหล็กฉากที่เสาอาคาร เพื่อใช้วางไม้วัดระดับในการวัดการทรุดตัวของฐานราก

ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี