สมใจ ยุบลชิต : ดัชนีผลกระทบต่อการวิบัติของลาดดินตื้นเนื่องจากน้ำฝนเพื่อการพัฒนาระบบเตือนภัย (INFLUENCE INDICES FOR RAINFALL-INDUCED SHALLOW SLOPE FAILURES IN VIEW OF WARNING SYSTEM IMPLEMENTATION) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์, 185 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วยสองส่วน ในส่วนแรกนำเสนอผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการร่วมกับการวิเคราะห์เสถียรภาพบนหลักการลาดดินอนันต์เพื่อบูรณาการความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับดินโคลนถล่มแบบตื้นและเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบเตือนภัยเบื้องต้นผ่านการติดตั้งเครื่องมือวัด สำหรับผลการทดสอบเพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มฝน ความชันลาดดิน และช่วงเวลาระหว่างพายุ (Inter-storm periods) ต่อการตอบสนองเชิงอุทกวิทยาในลาดดินตื้น พบว่า การตอบสนองทางอุทกวิทยาภายใต้ฝนสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ การตอบสนองต่อช่วงการซึม (Infiltration phase) และช่วงการอิ่มตัว (Saturation phase) ในช่วงการซึม ปริมาณความชื้นสูงสุดในดินจะพบเมื่อผิวหน้าเปียก (Wetting front) ที่ถูกขับเคลื่อนด้วยฝนเคลื่อนที่ผ่านมวลดิน ซึ่งเรียกปริมาณความชื้นสูงสุดนี้ว่าความชื้นหลังผิวหน้าเปียก (Water content behind wetting front, θ_{wb}) ในดินชนิดเดียวกัน ความชื้นดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความเข้มฝนเพียงอย่างเดียว โดยจะไม่เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของความชันลาดดินและช่วงเวลาระหว่างพายุ (Inter-storm periods) จากข้อสรุปที่ได้ เมื่อนำไปประเมินระนาบวิบัติด้วยหลักการลาดดินอนันต์ พบว่า รูปแบบการวิบัติในลาดดินตื้นสามารถจำแนกผ่านดัชนีเสถียรภาพ (Stability index, $\tan\varphi'/\tan\beta$) หรือสัดส่วนของอัตราการเพิ่มกำลังในดินต่อความชันลาดดินได้ 3 รูปแบบหลัก ประกอบด้วย 1) การวิบัติตามแนวชั้นทึบน้ำ (Along the impervious layer mode) 2) การวิบัติระดับตื้น (Shallow depth mode) และ3) การวิบัติแบบส่งผ่าน (Transitional mode) จากรูปแบบการวิบัติทั้ง 3 มีเพียงการวิบัติแบบส่งผ่านเท่านั้นที่อ่อนไหวเป็นอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงดัชนีการซึม (Infiltration index, i/k_s) หรืออัตราส่วนระหว่างความเข้มฝนต่อความสามารถซึมผ่านได้ของดินที่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ ส่งผลให้ตำแหน่งของระนาบวิบัติสามารถเกิดขึ้นได้ที่ทุกระดับความลึกในลาดดิน สำหรับการเตือนภัยเบื้องต้น กรอบแนวคิดเบื้องต้นเกี่ยวกับการจำแนกรูปแบบการวิบัติในงานวิจัยนี้สามารถนำใช้ประโยชน์ในการระบุตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการติดเครื่องมือเพื่อเฝ้าระวังดินโคลนถล่มระดับตื้นได้ในอนาคต

ส่วนที่สองของวิทยานิพนธ์นำเสนอผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อดินโคลนถล่มระดับตื้นและกราฟน้ำฝนวิกฤติหรือความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและเวลาที่ลาด

ดินเริ่มเกิดการวิบัติ (Rainfall intensity-duration thresholds for initiation of slope failures, ID thresholds) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการเตือนภัยเบื้องต้น ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข พบว่า อัตราการลดลงของเสถียรภาพลาดดินจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของปริมาณความเข้มฝน แต่จะคงที่เมื่อความเข้มฝนมากกว่าหรือเท่ากับความสามารถในการซึมผ่านได้ของดินที่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ ($i \geq k_s$) นอกจากนี้ ความสามารถในการซึมผ่านได้ของดินที่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำยังแสดงบทบาทสำคัญต่อกราฟน้ำฝนวิกฤติในการความคุมปริมาณความเข้มฝนที่สามารถกระตุ้นการวิบัติของลาดดิน กล่าวคือ เมื่อปริมาณความเข้มฝนอยู่ในช่วงต่ำกว่าความสามารถในการซึมผ่านได้ของดินที่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ เวลาในการวิบัติของลาดดินตื้นจะเร็วขึ้นตามปริมาณความเข้มฝนที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อไหร่ก็ตามที่ปริมาณความเข้มฝนมีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับความสามารถของดินดังกล่าว เวลาในการวิบัติของลาดดินจะไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับความชันลาดดินและช่วงเวลาระหว่างพายุจะแสดงบทบาทหลักต่อการควบคุมเสถียรภาพเริ่มต้นของลาดดิน โดยที่เสถียรภาพเริ่มต้นของลาดดินจะลดลงตามความชันที่เพิ่มขึ้นและการลดลงของช่วงเวลาระหว่างพายุ ดังนั้น จึงทำให้สองปัจจัยนี้ส่งผลกระทบต่อความสัมพันธ์ของกราฟน้ำฝนวิกฤติเช่นกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2559 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

SOMJAI YUBONCHIT : INFLUENCE INDICES FOR RAINFALL-INDUCED SHALLOW SLOPE FAILURES IN VIEW OF WARNING SYSTEM IMPLEMENTATION. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. AVIRUT CHINKULKIJNIWAT, Ph.D., 185 PP.

SHALLOW LANDSLIDES/EARLY WARNING SYSTEM/SLOPE STABILITY/ FINITE ELEMENT ANALYSIS/HYDRO-MECHANICAL RESPONSES

This thesis consists of two main parts. In first part, a series of experiments were undertaken to evaluate the hydrological responses of shallow slopes of varying steepness subjected to varying intensities, periods, and inter-storm periods of rainfall. An analysis of infinite slopes were also undertaken to develop a fundamental understanding of rainfall-induced shallow landslide characteristics. The hydrological and physical responses were characterized in the infiltration and saturation phases. During the infiltration phase, the maximum water content was found behind the wetting front, termed as the water content behind the wetting front (θ_{wb}). For a certain soil type, the magnitude of θ_{wb} was found to be dependent on the magnitude of rainfall intensity, regardless of the slope gradient and initial water content. Based on the relative depth of the failure plane, the failure can be categorized by three prime modes: 1) along the impervious layer mode, 2) shallow depth mode, and 3) transitional mode. These modes can be characterized by the magnitude of a stability index termed as $\tan\varphi'/\tan\beta$ ratio. An infiltration index termed as i/k_s ratio was found to play a role in the depth of failure plane only for the transitional mode. Based on

those failure modes, primary methodology for monitoring device installations to build up physically-based warning system was introduced.

Second part presents a sets of parametric study performed via finite element modeling to investigate the effect of saturated permeability of soil, slope angle and antecedent rainfall on instability of a shallow slope. It was found that the rate of reduction in safety factor increases with an increasing the intensity of rainfall, only in a range of lower than the infiltration capacity at soil saturated state. As such the saturated permeability of the soil, which is equal to the infiltration capacity at soil saturated state, plays an important role in the shallow slope failure. The saturated permeability was found also to govern a range of applicability of the rainfall intensity-duration thresholds (ID thresholds) for initiation of slope failure. If the rainfall intensity is not greater than the infiltration capacity at soil saturated state, the rainfall duration to failure (T_{rf}) can be read from the ID thresholds. Slope angle and antecedent rainfall were found to play significant roles on instability of shallow slopes, as they control the initial stability of slope, which results in the different linear relationship of ID thresholds. In addition, the slope angle might accelerate the rate of rain water infiltration, and hence it reflects the slope of the ID thresholds.

School of Civil Engineering Student's Signature _____

Academic Year 2016 Advisor's Signature _____