ลักษณะทางธรณีเทคนิคของการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติ

(Geotechnical characterization of natural homogeneous soil slope movement)

ผศ. ร.ต.หญิง วรรณี ศุขสาตร
นิสิตปริญญาเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
กรุงเทพฯ และ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี

รศ.ดร. วรากร ไม้เรียง
รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

Plt. Off. Vannee Sooksatra, Asst. Prof.
Doctoral student, Kasetsart University
Bangkok, and
Assistant Professor,
Department of Civil Engineering
Rangsit University, Patumtanee.

Dr. Warakorn Mairaing, Assoc. Prof.
Associate Professor,
Department of Civil Engineering
Kasetsart University, Bangkok

บทคัดย่อ

การกำหนดลักษณะของพื้นผิวการเคลื่อนที่ หรือรูปแบบของการเคลื่อนที่ของลาดดินตามธรรมชาติ เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน เนื่องจากมีผลต่อความปลอดภัยของสิ่งก่อสร้างและชีวิต ซึ่งในการนี้เป็นการศึกษาวิจัยที่มีขึ้นเพื่อบ่งบอกรูปแบบของการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติ จากทฤษฎีและเอกสารวิชาการตลอดจนกรณีศึกษาของการพังทลายของลาดดินมากกว่า 30 เรื่อง พบว่าประเด็นหลักในการสร้างกฎสำหรับการบ่งบอกรูปแบบของการเคลื่อนที่มาจากสภาพของดินภายในลาดที่พบตามสภาพขององค์ประกอบที่กระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนที่ การนำฐานความรู้ของกลศาสตร์ของดินเนื้อเดียว และองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ คุณสมบัติของดินในบริเวณที่มีการเคลื่อนที่ที่แสดงในค่าของพารามิเตอร์ อาทิเช่น ชนิดของดิน กำลังความแข็งแรงของดิน สภาพความชื้นเหลวของดิน สภาพระดับน้ำในชั้นดิน เป็นต้น และองค์ประกอบภายนอกที่กระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนที่ของลาด (Triggering or Aggravating factors) อาทิเช่น แรงจากแผ่นดินไหว แรงกระทำจากภายนอก เป็นต้น มาพิจารณาและประเมินแสดงการเกิดแต่ละรูปแบบของการเคลื่อนที่เปรียบเทียบกับสภาพของการเคลื่อนที่ที่พบในสนาม และเอกสารทางวิชาการ ทำให้ได้เป็นลักษณะทางธรณีเทคนิคของชั้นดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติของแต่ละรูปแบบการเคลื่อนที่ อาทิเช่น ถ้าสภาพของดินเนื้อเดียวภายในลาดเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน

รูปแบบของการเคลื่อนที่น่าจะเป็น Base rotational slide และสภาพของหน่วยแรงที่ใช้ในการวิเคราะห์ควรจะอยู่ในสภาพของหน่วยแรงรวม (Total stress analysis) เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของฐานความรู้ที่มีอยู่ในระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน และเป็นประโยชน์ต่อไปในการเป็นแนวทางของการกำหนดวิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน เนื้อเดียวตามธรรมชาติ

Abstract

The prediction of natural slope movement is of great importance in slope stability analysis as it may effect the safety of construction and human life. In this paper, it is to assess the type of movement for natural homogeneous soil slope. Evaluation of the information concerning from more than 30 papers of theory, literature review, and case study both in Thailand and other make it possible to conclude that the main controlling law for slope movement is based on the soil type and behavior of soil in the area of movement. The knowledge of soil mechanics ; the controlling factors concerned, which are the soil properties and triggering or aggravating factors, and the evidence of movement from field reconnaissance and literature review are integrated into a geotechnical characteristic of natural homogeneous soil slope movement. The type of movement occurred in the homogeneous soil are discussed from the above factors. For example, it is illustrated that if it is the homogeneous soft clay, the type of movement should be the base rotational slide and the total stress analysis is preferably used. Such a movement characterization can constitute the heart of selection on the method of slope stability analysis. And also it can be forwarded to be one of knowledge base for slope movement in the expert system on slope stability analysis.

บทนำ

การจัดการทางธรณีเทคนิคเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติ ต้องการความรู้ความเข้าใจในการวิเคราะห์ และองค์ประกอบที่ควบคุมปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของลาดดิน โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ คุณสมบัติของดินในบริเวณที่มีการเคลื่อนที่ที่แสดงในค่าของพารามิเตอร์ อาทิเช่น กำลังความแข็งแรงของดิน เป็นต้น ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามอิทธิพลขององค์ประกอบภายนอกที่กระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนที่ของลาด อาทิเช่น แรงจากแผ่นดินไหว เป็นต้น ซึ่งเป็นการนำไปสู่การบอกลักษณะ และพื้นผิวของการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติ ที่เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน เนื่องจากมีผลต่อความปลอดภัยของสิ่งก่อสร้างและชีวิต แนวทางในการดำเนินการประกอบด้วย การศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติ จาก 3 แหล่งความรู้ด้วยกัน คือ จากการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินตามแต่ละลักษณะทางธรณีเทคนิคของดิน, จากสภาพการเคลื่อนที่ที่พบในการตรวจภาคสนาม, และจากสภาพการเคลื่อนที่ที่พบในเอกสารวิชาการ เพื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบ และสรุปเป็นลักษณะทางธรณีเทคนิคของชั้นดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติของแต่ละรูปแบบการเคลื่อนที่ของลาด ซึ่งจะเป็นแนวทางในการกำหนดวิธีวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติที่เหมาะสม อันจะเป็นประโยชน์ต่อวิศวกรโยธา และบุคคลที่เกี่ยวข้อง และเป็นส่วนหนึ่งของฐานความรู้ในระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินต่อไป

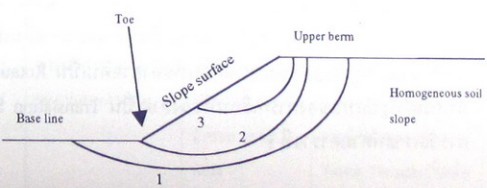
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีเรื่องเสถียรภาพของลาดดิน

ระดับเสถียรภาพของลาดดิน แสดงอยู่ในอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของลาด และแรงที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของลาดตามพื้นผิวของการเคลื่อนที่ ซึ่งเรียกว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัย (Factor of safety) ลักษณะพื้นผิวของการเคลื่อนที่ของลาดดิน ที่มักนำมาใช้ในการวิเคราะห์มีอยู่ 2 แบบ คือ ลักษณะเป็นส่วนโค้งของวงกลม (Circular Surface) และลักษณะเป็นพื้นระนาบ (Planar Surface) ซึ่งการเคลื่อนที่ของลาดดินตามธรรมชาติ มาจากหลายสาเหตุด้วยกัน (เอกสารอ้างอิง [1]) อาทิเช่น การเพิ่มแรงดันน้ำในดิน ทำให้กำลังความแข็งแรงของดินลดลง, ความชันของลาดมากขึ้น ทำให้เพิ่มแรงที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของลาด, แรงกระตุ้นจากภายนอก ทำให้เพิ่มแรงที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของลาด เป็นต้น

วิธีวิเคราะห์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันมาจากพื้นฐานของ Limit Equilibrium Method และ Method of Slices ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี อาทิเช่น Simplified Bishop Method (1955, เอกสารอ้างอิง [2]) ที่มีข้อสมมติฐานสำหรับกรณีพื้นผิวของการเคลื่อนที่เป็นส่วนโค้งของวงกลม และ Simplified Janbu Method (1954 และ 1957, เอกสารอ้างอิง [2]) ที่มีข้อสมมติฐานสำหรับกรณีพื้นผิวของการเคลื่อนที่เป็นพื้นระนาบ โดยมีตำแหน่งของพื้นผิวที่เกิดขึ้นอาจเป็น Base Failure Surface, Toe Failure Surface และ Slope Failure Surface ดังแสดงในรูปที่ 1 ตามสภาพของดินในลาด และรูปหน้าตัดของลาดดิน เป็นต้น โดยที่กำลังความแข็งแรงของดินที่ควรนำมาใช้ในการวิเคราะห์จะต้องพิจารณาถึงรูปแบบของการวิเคราะห์หน่วยแรงที่มี 2 แบบ คือ แบบ Total Stress Analysis และ Effective Stress Analysis ซึ่งเลือกให้เหมาะสมตามสภาพของดิน และ ตามสภาพของงาน เช่น สภาพกำลังความแข็งแรงของดินที่เหมาะสมในงานถมดิน ควรเป็น Total Stress Analysis เป็นต้น

1. Base failure surface
2. Toe failure surface
3. Slope failure surface



รูปที่ 1 ตำแหน่งของพื้นผิวของการเคลื่อนพัง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบการจำแนกประเภทของการเคลื่อนพังของลาดของ Varnes (1978, เอกสารอ้างอิง [3]) เป็นระบบที่ปัจจุบันถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง ซึ่งจำแนกประเภทของการเคลื่อนที่ของลาดตามลักษณะของการเคลื่อนที่ และประเภทของวัสดุในลาด

Boonsinsuk, P. (2538, เอกสารอ้างอิง [4]) ได้กล่าวถึงการเคลื่อนพังของลาดดินในดินถม และดินขุด ที่พบระหว่างก่อสร้าง และหลังก่อสร้างเสร็จในกรุงเทพฯ มักพบว่าเกิดขึ้นในชั้นดินเหนียวอ่อนที่เรียกว่า Bangkok Clay ซึ่งมีชั้นความหนาประมาณ 10 – 15 เมตร กำลังความแข็งแรงประมาณ 1 – 1.5 t/m^2 โดยมีความสูงของการเคลื่อนพังประมาณ 2 – 3 เมตร และรูปแบบของการเคลื่อนที่ของลาดเป็น Ratational Slides ที่มีพื้นผิวของการเคลื่อนที่เป็น

ส่วนโค้งของวงกลม หรืออาจมีลักษณะคล้ายกับรูปแบบการพังทลายที่เรียกว่า Bearing Capacity Failure จากการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจาก Test Embankment ที่หนองงูเห่าพบว่าในช่วง Preliminary Design ของงานดินถม และดินขุด สามารถตรวจสอบเสถียรภาพของลาดได้อย่างรวดเร็ว โดยการคำนวณค่าความสามารถในการรับแรงกดอัดประลัย q_{ult} ของดินเหนียวอ่อนด้วยสมการ (1)

$$q_{ult} = 4 \quad Su \qquad (1)$$

เมื่อ Su เป็นค่ากำลังความแข็งแรงของดินเหนียวอ่อนจาก Field Vane shear Test ที่ยังไม่ปรับแก้

Vaunat, J., et al. (1996, เอกสารอ้างอิง [5]) ได้ดำเนินการศึกษา และจัดทำลักษณะของวัสดุทั้งดินและหิน ทางธรณีเทคนิคของการเคลื่อนที่ของลาด โดยพิจารณาถึงสภาพวิกฤติทางกลศาสตร์ของดินและหิน ร่วมกับพฤติกรรมการแปรเปลี่ยนพฤติกรรมของดินและหิน และรูปแบบการเคลื่อนที่ของลาด ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในความเข้าใจการเคลื่อนที่ของลาดเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญของงาน Slope Engineering เพื่อนำไปใช้ในการเลือกรูปแบบของพฤติกรรมของลาด หรือเพื่อนำไปใช้สำหรับการพิจารณาการปรับปรุงเพิ่มเสถียรภาพของลาดต่อไป

Liener, S, et al. (1996, เอกสารอ้างอิง [6]) ได้สร้างวิธีที่เรียกว่า SLIDISP ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาโดยการนำผลของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเนื้อเดียว ร่วมกับการใช้ GIS มาสร้างเป็น Hazard – index Maps for Landslides

วิธีการศึกษา

การสร้างลักษณะทางธรณีเทคนิคของการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติได้จากการรวบรวมความรู้เรื่องสภาพการพังทลายของลาดที่พบจากการสำรวจภาคสนาม จากเอกสารวิชาการของประเทศไทยและต่างประเทศ และจากผลของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเนื้อเดียว ซึ่งแสดงเป็นค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่ได้จากการกำหนดให้รูปแบบของการเคลื่อนที่ของลาดดินเป็น Rotational Slides ด้วยวิธี Simplified Bishop และจากการกำหนดให้รูปแบบของการเคลื่อนที่ของลาดเป็น Translation Slides ด้วยวิธี Simplified Janbu โดยมีข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามตารางที่ 1

จากผลของการวิเคราะห์ และสภาพพฤติกรรมของหน่วยแรงในดิน ถูกนำมาสรุปรวมเป็นรูปแบบของการเคลื่อนที่ของลาดตามค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่ต่ำกว่าระหว่างสองลักษณะพื้นผิวของแต่ละประเภทของดิน และเมื่อนำความรู้ทั้งหมดที่รวบรวมได้ทั้งจากสนามและเอกสารวิชาการ กับที่วิเคราะห์ มาสรุปเปรียบเทียบ และประเมินสภาพการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติที่ควรจะเป็น

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

ประเภทของดิน	ชนิดของการวิเคราะห์แรง	ระดับน้ำใต้ดิน	มุมเอียงของลาด
1) Soft to medium stiff clay or silt soil	Total stress analysis with $\phi = 0$	ที่ผิวดิน และที่เชิงของลาด	10 องศา ถึง 90 องศา
2) Stiff to hard clay or silt soil	Total stress analysis with $\phi \neq 0$	ที่ผิวดิน และที่เชิงของลาด	10 องศา ถึง 90 องศา
3) Cohesionless soil	Effective stress analysis	ที่ผิวดิน และที่เชิงของลาด	10 องศา ถึง 90 องศา

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ต่อ)

4) Granular soil with cohesion	Effective stress analysis	ที่ผิวดิน และที่เชิงของลาด	10 องศา ถึง 90 องศา

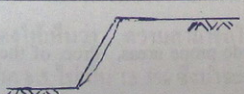
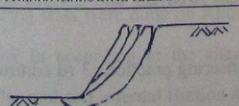
(ϕ = Internal Friction Angle of Soil)

ผลของการศึกษา

สภาพการเคลื่อนที่ของลาดของแต่ละลักษณะของดินทางธรณีเทคนิค ที่พบได้จากการศึกษา มีดังนี้

- จากผลของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเนื้อเดียว พบว่า สภาพการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติมีลักษณะพื้นผิวเป็นส่วนโค้งของวงกลม ที่มีตำแหน่งของพื้นผิวที่แตกต่างกันไปตามสภาพของดินที่มีการเคลื่อนที่, สภาพรูปร่างของลาด, และระดับน้ำในดิน สรุปเป็นรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติ

Soil Type		ผลของการตรวจสอบและความสอดคล้อง		
		จากการวิเคราะห์	จากภาคสนาม	จากเอกสารวิชาการ
Soft to medium stiff clay	$\beta \leq 53°$ $\beta > 53°$ ระดับน้ำในดินไม่มีผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนปลอดภัย ของลาด เมื่อใช้ Total stress analysis with $\phi = 0$	พบจากการวิเคราะห์ 90 รูปแบบตัวอย่าง	พบจากกรณีตัวอย่างสภาพการพังทลายของลาด จำนวน 18 ตัวอย่าง	พบจากกรณีตัวอย่าง สภาพการพังทลายของลาด และสรุปเป็นความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ เช่น Taylor เป็นต้น จำนวน 14 ตัวอย่าง
Stiff to hard clay	ตำแหน่งของพื้นผิวขึ้นกับกำลังความแข็งแรงของดิน และรูปร่างของลาดเมื่อใช้ Total stress analysis with $\phi \neq 0$	พบจากการวิเคราะห์ 90 รูปแบบตัวอย่าง	พบจากกรณีตัวอย่างสภาพการพังทลายของลาด จำนวน 15 ตัวอย่าง	พบจากกรณีตัวอย่าง สภาพการพังทลายของลาดและสรุปเป็นความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ เช่น Taylor, Terzaghi เป็นต้น จำนวน 9 ตัวอย่าง
Cohesionless soil	 ความลึกของพื้นผิว (D) มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของการเคลื่อนที่ (L) นั่นคือ $D/L \leq 0.03$ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากพฤติกรรมระหว่าง stress - strain พบว่าช่วงที่เกิดการเคลื่อนพังมี strain เกิดขึ้นน้อย	พบจากการวิเคราะห์ 84 รูปแบบตัวอย่าง	พบจากกรณีตัวอย่างสภาพการพังทลายของลาด จำนวน 13 ตัวอย่าง	พบจากกรณีตัวอย่าง สภาพการพังทลายของลาดและสรุปเป็นความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 6 ตัวอย่าง
Granular soil with cohesion	 ตำแหน่งของพื้นผิวขึ้นกับความชื้นเหนี่ยวในดิน, ระดับน้ำในดิน และรูปร่างของลาด	พบจากการวิเคราะห์ 84 รูปแบบตัวอย่าง	พบจากกรณีตัวอย่างสภาพการพังทลายของลาด จำนวน 10 ตัวอย่าง	พบจากกรณีตัวอย่าง สภาพการพังทลายของลาด และสรุปเป็นความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ตัวอย่าง

ซึ่งสอดคล้องกับความรู้ที่รวบรวมได้จากสองแหล่งความรู้ คือ

- จากการสำรวจภาคสนามของงานวิจัยเรื่องระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจาก สกว. (เอกสารอ้างอิง [7]) พบสภาพการเคลื่อนพังของลาดดินเหนียวอ่อนใต้ถนนในเขตปริมณฑลของกรุงเทพฯ ของลาดดินเหนียวแข็ง และลาดดิน Granular soil with cohesion ตามริมฝั่งแม่น้ำ มีพื้นผิวของการเคลื่อนพังเป็นส่วนโค้งของวงกลมโดยเริ่มเคลื่อนจากรอยแตกแยกที่ผิวดิน (Tension crack), และสภาพการเคลื่อนพังของลาด Granular soil ที่มีความเชื่อมแน่นน้อยมากของลาดริมทางรถไฟ ในจังหวัดระยอง มีพื้นผิวของการเคลื่อนพังเป็นส่วนโค้งของวงกลมที่มีความลึกของพื้นผิวน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของการเคลื่อนที่
- จากเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้องและนำมาพิจารณาในการประเมินสภาพการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติ ได้แก่ Stability chart ของ Taylor (1948, เอกสารอ้างอิง [8]) สำหรับ Homogeneous clay และ Homogeneous soil with cohesion and internal friction angle, สภาพการเคลื่อนพังของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติใน DM-7.1 (เอกสารอ้างอิง [1]), งานวิจัยของ Vaunat et al. (เอกสารอ้างอิง [5]) สำหรับ สภาพการเคลื่อนพังของลาดดินเนื้อเดียว, ของ Varnes (1958, เอกสารอ้างอิง [9]) สำหรับสภาพการเคลื่อนพังของลาดดินเนื้อเดียว, ของ Terzaghi (1883-1963, เอกสารอ้างอิง [10]) สำหรับสภาพการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวในดินเหนียว ทราย และดิน c - ϕ soil, กรณีสภาพการเคลื่อนพังของลาดดินเนื้อเดียวที่พบในต่างประเทศ (เอกสารอ้างอิง [11]), และสภาพการเคลื่อนพังของลาดดินเนื้อเดียวของ Chowdhury, R. (เอกสารอ้างอิง [2])

เอกสารอ้างอิง

1. NAVFAC DM-7.1, Soil Mechanics, Department of the Navy Naval Facilities Engineering Command, 1982.
2. R.N. Chowdhury, Slope analysis, Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 1978.
3. B.F. Walker, R.J. Blong and J.P. MacGregor, Landslide classification,geomorphology, and site investigations, Proc. of an Extension Course on Soil Slope Instability and Stabilisation 30 Nov – 2 Dec. 1987, Sydney, pp. 1 – 52.
4. P. Boonsinsuk, Common slope failures in Soft Bangkok Clay and simplified analysis, เอกสารการสัมมนาเรื่องปัญหาและความวิบัติทางวิศวกรรมปฐพีและการแก้ไข จัดโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ วันที่ 28 พ.ค. 2538, หน้า 221 – 236.
5. J. Vaunat, et al., Geotechnical characterization of slope movements, Proc. of the 7th Int. Sym. on Landslides 17 – 21 June 1996, Trondheim, pp. 53 – 74.
6. S. Leiner, et al., SLIDISP – A procedure to locate landslide prone areas, Proc. of the 7th Int. Sym. on Landslides 17 – 21 June 1996, Trodheim, pp. 279 – 284.
7. ศูนย์วิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, การตรวจภาคสนามและจัดทำฐานข้อมูล, รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1เสนอ สกว. หน้า 4-1 ถึง 4-38, มิ.ย. 2541.
8. I.S. Dunn, et al., Fundamentals of geotechnical analysis, John Wiley & Sons, 1980.
9. D. J. Varnes, Slope movement types and processes, Landslides Analysis and Control Special Report 176, pp. 11 – 33, 1978.
10. K. Terzaghi, R.B. Peck and G. Mesri, Soil mechanics in engineering practice, 3 rd edition, John Wiley & Sons Inc., New York, 1996.
11. A.B. Hawkins, Assesment and management of landslide risks and hazards, Proc. of the 7th Int. Sym. on Landslides 17 – 21 June 1996, Trondheim, pp. 3 – 284.