

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

กรณีศึกษาการพัง	สภาพชั้นดิน	สภาพการพังและสาเหตุ
ไหลเขาของถนน ความสูงของลาดมีค่ามากกว่า 10 เมตร	จว. เชียงราย, ดอยอ่างขาง จว. เชียงใหม่, ทางสายเด่นชัย แพร่, และทางสายร้องกวาง พะเยา สภาพดินและหินตาม Geological formation เป็น Residual soil และ Weathered rock ของหินต้นกำเนิดแตกต่างกันตามตำแหน่งของพื้นที่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวก Sandstone, Shale, และ Quartzite และมีบางส่วนพบ Granite, Phyllite, Greywacke, และ Laminated shale ซึ่งจัดว่ามีค่าความยึดเหนี่ยวน้อย ข) พื้นที่ในจังหวัดทางภาคใต้ คือ จว. สุราษฎร์ธานี, จว. พังงา, จว. นครศรีธรรมราช, และ จว. ภูเก็ต สภาพดินและหินตาม Geological formation เป็น Residual soil และ Weathered rock ของหินต้นกำเนิดพวก Sandstone, Siltstone และ Granite ซึ่งมีค่าความยึดเหนี่ยวน้อย	1. Shallow seated rotational slide ที่มีตำแหน่งของพื้นผิวอยู่ภายในลาด 2. Falls 3. Debris flows ในช่วงที่มีฝนตกหนัก สำหรับดินที่อุ้มน้ำมาก - การพังคาดว่าสาเหตุมาจากการตัดไหล่เขาที่มีความชันมากกว่าค่า ϕ ของดินและหิน ประกอบกับมีการกัดเซาะที่เชิงของลาด ซึ่งได้รับอิทธิพลจากน้ำฝนในช่วงฤดูฝน ตลอดจนดินอุ้มน้ำได้มาก จนเกิดการพังแบบ Debris flows - รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Shallow seated rotational slide ที่มีตำแหน่งของพื้นผิวอยู่ในลาด และยังพบรูปแบบ Debris flow ในพื้นที่ของจังหวัดภูเก็ต เมื่อเป็นช่วงฤดูฝนตกหนัก - สาเหตุของการพังคาดว่าเกิดจากการตัดไหล่เขาในบริเวณที่มีความชันมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่า ϕ ตลอดจนไม่มีการคำนึงแนวการวางตัวของหินในระหว่างการตัดไหล่เขา
6. กรณีศึกษาการพังของลาดเนื่องจาก การตัดไหล่เขาของเหมือง	ก) พื้นที่ในบริเวณเหมืองแม่เมาะ จว. ลำปาง สภาพดินและหินตาม Geological formation จัดเป็น Residual soil และ Weathered rock ของหินพวก Claystone และ Lignite ข) พื้นที่ในบริเวณโรงงานผลิตซิเมนต์ จว. สุราษฎร์ธานี	- รูปแบบของการเคลื่อนพังสามารถเป็น Shallow seated rotational slide ที่มีตำแหน่งของพื้นผิวอยู่ในลาด หรือ Planar slide ตามแนว Fault plane - การพังมีสาเหตุคาดว่าเกิดจากการตัดไหล่เขาในบริเวณที่มีความชันสูงและค่า ϕ และการตัดไหล่เขาไม่ได้คำนึงถึงแนวการวางตัวของหิน - รูปแบบของการเคลื่อนพังสามารถเป็น Shallow seated rotational slide ที่มีตำแหน่งของ

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

กรณีศึกษาการพัง	สภาพดิน	สภาพการพังและสาเหตุ
7. กรณีศึกษาการพังของลาดธรรมชาติ	สภาพดินและหินตาม Geological formation เป็น Residual soil และ Weathered rock ของหินพวก Laminated slate ก) พื้นที่ในดอยแม่สลอง จว. เชียงราย และในบริเวณของเขื่อนแม่สลอง จว.แพร่ สภาพดินและหินตาม Geological formation จัดเป็น Residual soil และ Weathered rock ของหินอัคนี, Sandstone, Shale, Phyllite, และ Quartzite ที่มีความยึดเหนี่ยวน้อย ข) พื้นที่ในจว. สุราษฎร์ธานี, จว. นครศรีธรรมราช, จว. กระบี่, และ จว.ภูเก็ต สภาพดินและหินตาม Geological formation เป็น Residual soil และ Weathered rock ของหิน Granite และ Sandstone เป็นส่วนใหญ่	พื้นผิวอยู่ในลาด หรือ Planar slide ตามแนว Fault plane - การพังมีสาเหตุคาดว่าเกิดจากการตัดไหล่เขา ไม่มีการค้ำึงถึงแนวการวางตัวของชั้นดินและชั้นหิน โดยเฉพาะแนวการวางตัวที่ยังคงมีการเคลื่อนตัวอย่างต่อเนื่องอยู่ - รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Shallow seated rotational slide ที่มีตำแหน่งพื้นผิวอยู่ในลาด หรือ Planar slide ตามแนว Fault plane - การพังคาดว่าเกิดจากในช่วงฤดูฝนตกหนัก มีการกัดเซาะที่เชิงของลาด ประกอบกับชั้นดินและหินข้างใต้มีความแข็งแรงต่ำ โดยเฉพาะมีความยึดเหนี่ยวน้อยมาก - รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Debris flow - การพังเกิดขึ้นในช่วงที่มีฝนตกหนัก คาดว่าเกิดจากอิทธิพลของน้ำฝน ทำให้ดินมีความชื้นมากจนถึงค่าปริมาตรหนึ่งทำให้ดินมีสภาพเป็นโคลนและสามารถไหลได้
8. กรณีศึกษาการพังของเขื่อนดิน	พื้นที่ในเขื่อนแม่แหลมหลวง จว. เชียงใหม่ สภาพดินและหินตาม Geological formation เป็น Residual soil และ Weathered rock ของหินต้นกำเนิดที่แตกต่างกันตามตำแหน่งของพื้นที่คือหิน Granite, และหิน Basalt,	- รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Planar slide ตามแนว Fault plane, หรือ Shallow seated rotational slide - การพังคาดว่าเกิดจากการตัดไหล่เขามานชั้นดินและหินที่มีความยึดเหนี่ยวน้อยมาก และยังได้รับอิทธิพลจากน้ำฝนในช่วงฝนตกหนัก ที่ทำให้ความแข็งแรงของดินเหนียวอ่อนแอลง และมีการกัดเซาะที่เชิงของลาดด้วย

การประเมินสภาพพิบัติจากข้อมูลของหน่วยงานและเอกสารอ้างอิง

ข้อมูลจากหน่วยงานของรัฐบาลและเอกชนซึ่งมีเอกสารอ้างอิง แสดงสภาพพิบัติของโครงการที่เกิดขึ้นแล้วประกอบด้วยกรณีศึกษาการพังของลาดทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เป็นข้อมูลกรณีพิบัติที่พบในต่างประเทศจำนวนทั้งหมด 4 ตัวอย่าง และในประเทศไทยจำนวนทั้งหมด 49 ตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วย ในภาคกลาง จำนวน 26 ตัวอย่าง, ภาคตะวันออก 3 ตัวอย่าง, ภาคเหนือ จำนวน 2 ตัวอย่าง, ภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 16 ตัวอย่าง, และภาคใต้จำนวน 2 ตัวอย่าง ซึ่งสามารถจัดข้อมูลได้เป็น 4 กลุ่มดังได้กล่าวแล้วข้างต้น ข้อมูลส่วนใหญ่ได้มาจากหน่วยงานราชการ คือ กรมทางหลวง และกรมโยธาธิการ

ในการนี้ ได้จำแนกรูปแบบของการเคลื่อนพังตามระบบของ Varnes (1978) ของแต่ละกรณีศึกษา ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.7 โดยมีข้อสรุปของสภาพพิบัติดังแสดงในตารางที่ 4.2



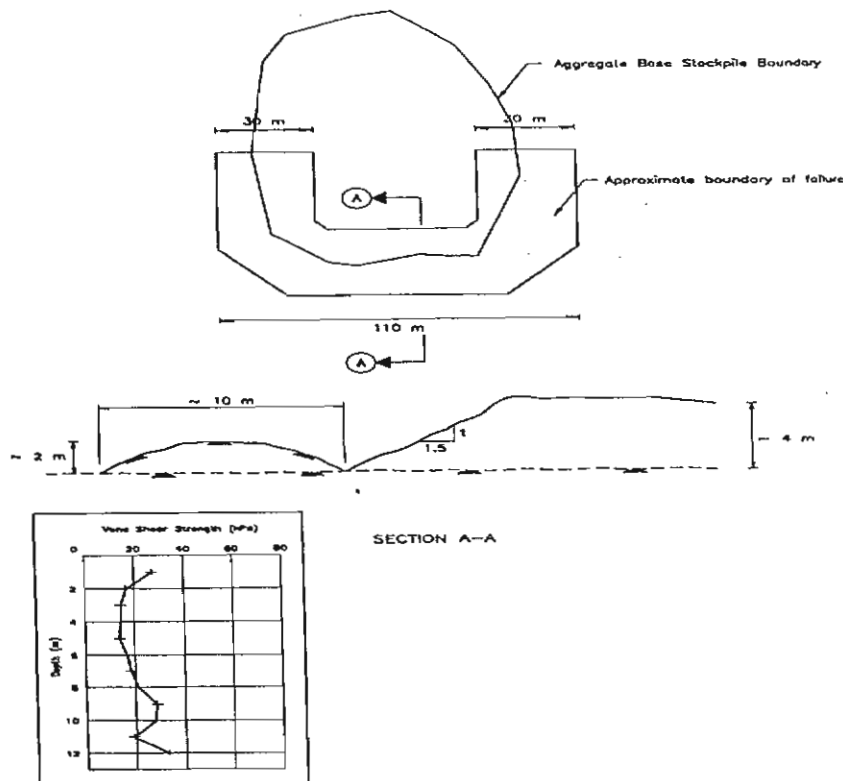
TYPE OF MOVEMENT		EARTH (fine soil)
FALLS		earth fall
TOPPLES		earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	earth slump
	TRANSLATIONAL	earth slide

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างของรูปแบบการพังของคันดินถมของทางสายหมายเลข 3454



(ก)

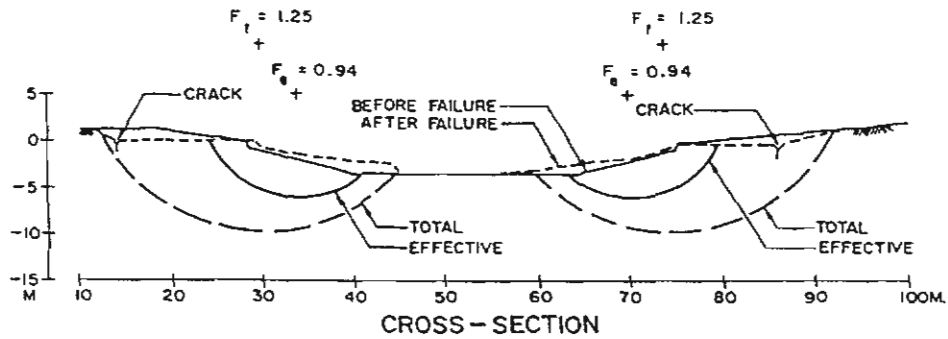
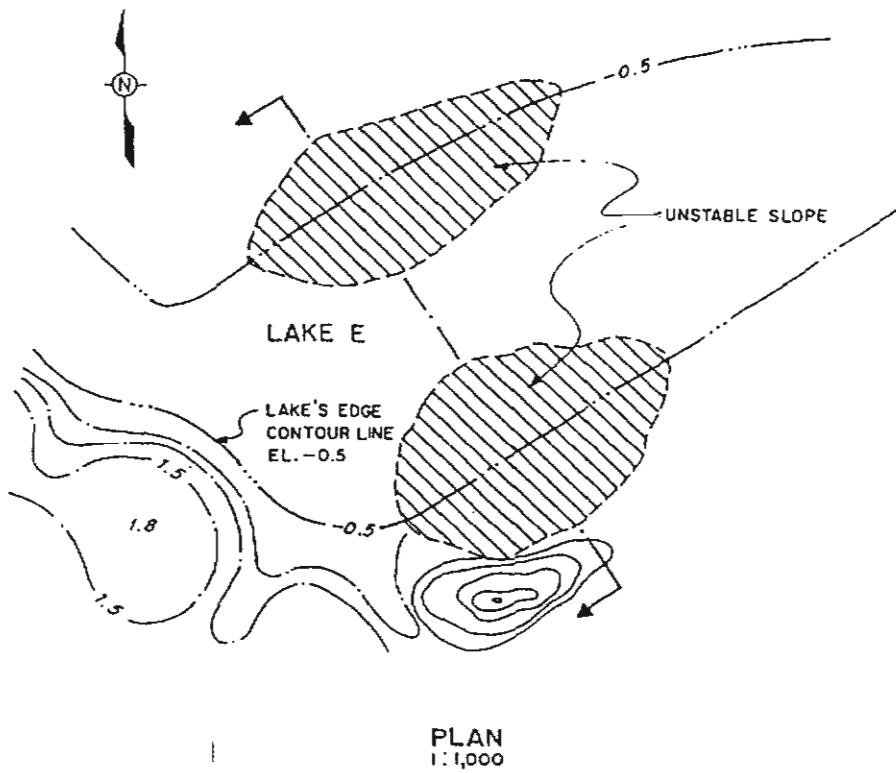
TYPE OF MOVEMENT		EARTH (fine soil)
FALLS		earth fall
TOPPLES		earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	earth slump
	TRANSLATIONAL	earth slide



TYPE OF MOVEMENT		EARTH (fine soil)
FALLS		earth fall
TOPPLES		earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	earth slump
	TRANSLATIONAL	earth slide

(ข)

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างของรูปแบบการพังของ (ก) ค้นดินถมของทางหลวงหมายเลข 305, (ข) งานดินถมที่หนองงูเห่า จังหวัดกรุงเทพฯ, และ (ค) งานขุดดินที่หนองงูเห่า จังหวัด กรุงเทพฯ



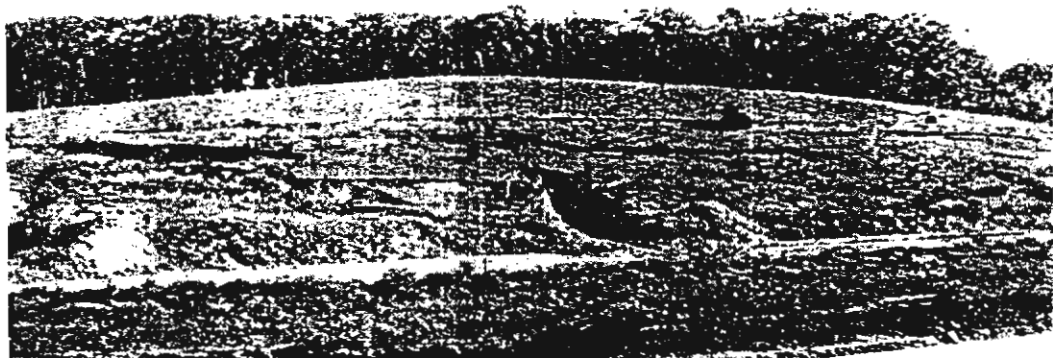
TYPE OF MOVEMENT		EARTH (fine soil)
FALLS		earth fall
TOPPLES		earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	earth slump
	TRANSLATIONAL	earth slide

(ค)

รูปที่ 4.6 (ต่อ)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างของรูปแบบการพังของ (ก) ลาดเขาตามธรรมชาติที่บ้านคิรีวงศ์ จังหวัด นครศรีธรรมราช, และ (ข) ลาดเนื่องจากการตัดไหล่เขาของถนน ในประเทศ ออสเตรเลีย

การจัดจำแนกประเภทการพิบัติและการศึกษาอิทธิพลที่มีต่อการพิบัติ

ระบบการจำแนกที่นำมาใช้งานวิจัย คือระบบของ Varnes เนื่องจากมีความชัดเจนในการ แสดงรูปร่างและลักษณะของพื้นผิวการพิบัติของแต่ละประเภทโดยแสดงในภาพสามมิติ ทำให้ง่ายต่อ การจำแนกประเภทของการพิบัติของลาดที่พบและยังมีความละเอียดในการจำแนกประเภทตาม ลักษณะของวัสดุภายในลาด ซึ่งเป็นลักษณะที่เหมาะสมในการนำมาเป็นหลักการของการสร้างความรู้ เพื่อวินิจฉัยรูปแบบการเคลื่อนพังของลาด

ในงานวิจัย ได้ดำเนินการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการพิบัติของลาด จากที่พบในการ สัมภาษณ์ภาคสนาม เอกสารของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเอกสารอ้างอิง พบว่า มีหลายปัจจัย ซึ่งเป็นทั้ง ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ดังแสดงเป็นข้อสรุปในตารางที่ 4.3 ซึ่งสรุปได้ว่า

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลสรุปสภาพพิบัติที่เคยเกิดขึ้นแล้วจากหน่วยงานและเอกสารอ้างอิง

กรณีศึกษาการพัง	สภาพชั้นดิน	สภาพการพังและสาเหตุ	Reference
1. กรณีศึกษาการพังของคันดิน ถมของถนน ซึ่งขนานกับคลอง ชลประทาน, ถนนในนิคม อุตสาหกรรม	พื้นที่ในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง 1. สภาพดินเดิมช่วงบนเป็นชั้นตะกอนดินเหนียวอ่อน หรือที่ เรียกว่า ดินเหนียวกรุงเทพฯ มีความหนาประมาณ 9 ถึง 15 ม. ลึกลงไปเป็นชั้นดินเหนียวแข็งและ ชั้นทราย 2. สภาพดินตาม Geological formation จัดเป็น Alluvial soil	- รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Deep seated หรือ Base rotational slide และพบ Tension cracks บนผิวดินในพื้นที่ที่มีการพัง - การพังเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลาแตกต่างกันคือ 1. ช่วงระหว่างก่อสร้าง สาเหตุคาดว่าเกิดจากน้ำหนักของวัสดุก่อสร้างกระทำบน คันดินชั่วคราว ซึ่งดินเหนียวอ่อนไม่สามารถรองรับได้ 2. ช่วงเวลาใช้งานและเกิดเหตุการณ์ Rapid drawdown สาเหตุของการพังคาดว่า เกิดจากการที่มีน้ำในดินทำให้ความแข็งแรงของดินลดลง และแรงต้านทานการเคลื่อน ที่ของลาดจากแรงน้ำลดน้อยลงไปด้วย 3. ช่วงเวลาใช้งาน มีสาเหตุของการพังคาดว่าเกิดจากแรงสั่นสะเทือน จากปริมาณการ จราจรที่มากขึ้น	1. รายงานจากศูนย์วิจัยและ พัฒนางานทาง กรมทางหลวง 2. Paochaiyanguyen, 1993 3. กักร, 2541 4. ประเสริฐ และคณะ, 2529 5. ประพจน์, 2529
2. กรณีศึกษาการพังของงาน ถมดิน	ก) พื้นที่ในโครงการสนามบินนานาชาติแห่งที่ 2 ที่หนอง งูเห่า กรุงเทพฯ 1. สภาพดินเดิมช่วงบนเป็นดินเหนียวอ่อน หรือที่เรียกว่า ดินเหนียวกรุงเทพฯ มีความหนาประมาณ 9 ถึง 15 เมตร และมีชั้น Weathered zone มีความหนาประมาณ 4 เมตร 2. สภาพดินตาม Geological formation จัดเป็น Alluvial soil	- รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Deep seated หรือ Base rotational slide และมี Tension cracks บนผิวดินในพื้นที่ที่มีการพัง - การพังคาดว่าเกิดขึ้นระหว่างก่อสร้าง ในช่วงงานของการถมวัสดุบนคันดินจนเกิด การเคลื่อนพังเมื่อถมดินได้สูงประมาณ 4 เมตร เนื่องจากดินเหนียวอ่อนไม่ สามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้ด้วย	ประพจน์, 2538

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

กรณีศึกษาการพัง	สภาพชั้นดิน	สภาพการพังและสาเหตุ	Reference
3. กรณีศึกษาการพังของงานขุดดิน	ข) พื้นที่บน New Castle Harbour ในรัฐ New South Wales ออสเตรเลีย	- รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Deep seated หรือ Base rotational slide - การพังคาดว่าเกิดจากดินเหนียวอ่อนไม่สามารถรองรับน้ำหนักของดินถมได้ จึงเกิดการทรุดตัวและเคลื่อนตัวไปบนดินชั้นทางของถนนใกล้เคียง ทำให้คันดินถนนดังกล่าวเกิดการเคลื่อนพัง	Weisner และ Carr, 1987
	สภาพดินเดิมช่วงบนเป็นดินเหนียวอ่อนมาก ค่าความแข็งแรงของดินสามารถคำนวณได้ด้วยสมการของ Skempton		
	พื้นที่ในจังหวัดกรุงเทพฯ และอ้างทอง	- รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Deep seated หรือ Base rotational slide และมี Tension crack บนผิวดินในพื้นที่ที่มีการพัง - การพังสามารถเกิดขึ้นได้ในแต่ละช่วงเวลาดังนี้ 1. ช่วงเวลาระหว่างก่อสร้าง มีสาเหตุคาดว่าเกิดจากผลกระทบของการรบกวนดินด้วยเครื่องจักรก่อสร้าง ทำให้ความแข็งแรงของดินเหนียวอ่อนลดลง จนไม่สามารถต้านทานการเคลื่อนตัวของมวลดิน ประกอบกับแรงดันจากน้ำในข้อชุดลดลง ทำให้แรงต้านดังกล่าวลดน้อยลง หรืออาจมีสาเหตุจากความแข็งแรงของดินเหนียวลดลงเนื่องจากมีการเพิ่มความชื้นในดินเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการที่มีน้ำจากบริเวณใกล้เคียงซึมเข้าไป ชั้นดินเหนียวอ่อนจึงไม่สามารถรองรับน้ำหนักที่มากขึ้นได้ 2. ช่วงเวลาใช้งาน ซึ่งเป็นผลมาจากพฤติกรรมของดินในลักษณะของงานชุดความแข็งแรงของดินจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาหลังจากสิ้นสุดงานก่อสร้าง ทำให้ไม่สามารถรองรับน้ำหนักได้ จึงควรใช้หน่วยแรงประสิทธิภาพในการวิเคราะห์	1. ประพจน์, 2538 2. นกมล, 2538 3. รายงานจากบริษัทเอกชน
4. กรณีศึกษาการพังของลาดเนื่อง	พื้นที่ในจังหวัดขอนแก่น และหนองบัวลำภู		
	ก) พื้นที่ในจังหวัดขอนแก่น และหนองบัวลำภู	- รูปแบบการเคลื่อนพังเป็น Surface sliding ในลักษณะของ Slope erosion	1. รายงานจากศูนย์วิจัยและ

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

กรณีศึกษาการพัง	สภาพชั้นดิน	สภาพการพังและสาเหตุ	Reference
จากการตัดไหล่เขาของถนน	สภาพดินและหินตาม Geological formation เป็น Residual soil และ Weathered rock ของหินพวก Granite ซึ่งมีความยึดเหนี่ยวน้อย ข) พื้นที่ใน Hue Hue Road ระหว่างเมือง Sydney และ New Castle รัฐ New South Wales ออสเตเลีย สภาพดินและหินตาม Geological formation จัดเป็น Residual soil และ Weathered rock ของหินพวก Claystone, Siltstone และ Sandstone	- การพังคาดว่าจะเกิดในช่วงฝนตกหนัก ซึ่งน้ำฝนได้ซึมผ่านเข้าไปในชั้นดินมาก ทำให้ความแข็งแรงของดินลดลง จนลาดดินถูกกักเกาะตามผิวของลาดดิน เคลื่อนตัวลงมาที่เชิงของลาดสะสมตัวกันมากขึ้น - รูปแบบการเคลื่อนพังประกอบด้วยเริ่มจาก Rotational slide แล้วตามด้วย Planar slide ในชั้นดิน หรือชั้นหินที่อ่อน และพบ Tension crack บนผิวดินในพื้นที่ที่มีการพัง - การพังคาดว่าจะเกิดในช่วงฝนตกหนัก และมีน้ำขังในลาดเนื่องจากกระบวนการระบายน้ำออกจากลาดไม่ดี ทำให้ค่าความแข็งแรงของดินลดลง และน้อยกว่าค่าที่ควรใช้ในการออกแบบ	
5. กรณีศึกษาการพังของลาด เนื่องจาก การตัดไหล่เขาของบ่อ	พื้นที่ใน Lanceley Place เมือง Artarnian รัฐ New South Wales ออสเตเลีย สภาพดินและหินตาม Geological formation จัดเป็น Residual soil และ Weathered rock ของหิน Laminated shale, Siltstone, และ Sandstone	- รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Planar sliding - การพังคาดว่าจะเกิดขึ้นในช่วงระหว่างการก่อสร้าง มีสาเหตุมาจากการขาดการระมัดระวังในการตัดไหล่เขา และการตัดไหล่เขามีความชันมากกว่าค่า ϕ ของชั้นดินและชั้นหิน	
6. กรณีศึกษาการพังของคันดินถมบนชั้นดินเหนียวอ่อน	พื้นที่ใน Hunter Valley รัฐ New South Wales ออสเตเลีย สภาพดินเดิมช่วงบนเป็นดินเหนียวอ่อน ค่าความแข็งแรงในรูปของ Undrained shear strength ประมาณ 0.35 ของ	- รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Deep seated หรือ Base rotational slide - การพังคาดว่าจะเกิดในช่วงระหว่างการก่อสร้าง เนื่องจากดินเหนียวอ่อนไม่สามารถรองรับน้ำหนักที่กระทำบนคันดินได้	

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

กรณีศึกษาการพัง	สภาพชั้นดิน	สภาพการพังและสาเหตุ
ค่า Effective overburden pressure เมื่อค่า O.C.R ของดิน เหนียวมีค่าเท่ากับ 1.30		
7. กรณีศึกษาการพังของริมตลิ่งแม่น้ำ	ก) พื้นที่บนตลิ่งริมแม่น้ำโขง เช่นเดียวกับที่ได้จากการสำรวจออกภาคสนาม ข) พื้นที่บนตลิ่งริมแม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง สภาพดินเดิมช่วงบนเป็นตะกอนดินเหนียวอ่อน หรือที่เรียกว่าดินเหนียวกรุงเทพฯ	เช่นเดียวกับที่ได้จากการสำรวจออกภาคสนาม - รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Deep seated หรือ Base rotational slide - การพังคาดว่าเกิดจากการมีเหตุการณ์ Rapid drawdown ทำให้ความแข็งแรงของดินลดลง และแรงต้านจากแรงน้ำในแม่น้ำลดลง ทำให้ไม่สามารถต้านทานการเคลื่อนตัวของมวลดินเมื่อมีน้ำหนักระลอก - รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Deep seated หรือ Base rotational slide - การพังคาดว่าเกิดจากสภาพ Rapid drawdown เกิดขึ้น ทำให้ความแข็งแรงของดินลดลง และแรงต้านจากแรงน้ำในแม่น้ำลดลง ทำให้ไม่สามารถต้านทานการเคลื่อนตัวของมวลดินเมื่อมีน้ำหนักระลอก
8. กรณีศึกษาการพังของลาดเขาดามธรรมชาติ	พื้นที่บริเวณภูเขาในบ้านนาสาร บ้านพิปูน บ้านคีรีวงค์ สภาพดินและหินตาม Geological formation เป็น Residual soil และ Weathered Rock ของหินดานกำเบ็ด ส่วนใหญ่เป็น Granite และ Sandstone	- รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Debris flow - การพังเกิดขึ้นในขณะที่ย่นตกหนักมากในเดือน พ.ย.1988 ทำให้ดินมีความชื้นมากจนถึงค่าปริมาณหนึ่งที่ทำให้ดินสามารถไหลได้

ตารางที่ 4.3 ข้อสรุปของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพิบัติของลาด

ปัจจัย	เอกสารอ้างอิง	ข้อมูลที่รวบรวมได้ในประเทศไทย
1. สภาพทางธรณีเทคนิคของดิน	1. Caine (1980) 2. Jahns (1978) 3. Vaunaat และคณะ (1996) 4. Varnes (1978) 5. Hutchinson (1988) 6. Janbu (1996) 7. Leroi (1996) 8. Leroueil และคณะ (1983b) 9. Brand และคณะ (1984) 10. Terzaghi (1950) 11. Popescu (1996) 12. Moser และ Hohensinn (1983) 13. Barisone และ Bottine (1990) 14. Romana (1993) 15. Liener และคณะ (1996) 16. Popa และ Fetea (1996) 17. Walker และคณะ (1987)	ข้อมูลทั้งหมดที่เก็บรวบรวมได้ คือ 149 ตำแหน่ง
2. ปริมาณน้ำฝน	1. Nilsen และ Turner (1975) 2. Crozier (1984) และ Lumb (1975) 3. Rober และ Selby (1980) 4. Fukuska (1978) 5. Leroi (1996) 6. Brand และคณะ (1984) 7. Terzaghi (1950) 8. Johnson และ Sitar (1990) 9. Barisone และ Bottino (1990) 10. Romana (1993) 11. Terzaghi (1950) 12. Popescu (1996)	มักพบในการตัดไหล่เขา ในภาคเหนือ และภาคใต้

3. สภาพความชื้นของลาด	1. Barisonc และ Bottino (1990) 2. Romana (1993) 3. Liener และคณะ (1996) 4. Sidle และคณะ (1985) 5. Terzaghi (1950) 6. Popescu (1996)	มักพบในการตัดไหล่เขาในภาคเหนือ และภาคใต้
4. สภาพพืชปกคลุม	1. Greenway (1987) 2. O'Loughlin (1974) 3. Gray และ Leiser (1982) 4. Sidle และคณะ (1985) 5. Popescu (1996)	6. Greenway (1987) 7. O'Loughlin (1974) 8. Gray และ Leiser (1982) 9. Sidle และคณะ (1985) 10. Popescu (1996)
5. น้ำหนักบรรทุก	1. Terzaghi (1950) 2. Popescu (1996)	คันดินถมของถนน และดินถมบนชั้นดินเหนียวอ่อน
6. ความสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหว	1. Keefer (1984) 2. Sidle และคณะ (1985)	ไม่พบ

1. ปัจจัยหลัก คือลักษณะทางธรณีเทคนิคของดิน ซึ่งเป็นปัจจัยภายใน และปริมาณน้ำฝน ซึ่งเป็นปัจจัยกระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนพังของลาด

2. ปัจจัยรอง ส่วนใหญ่เป็นปัจจัยที่กระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนพังของลาด คือ สภาพความชื้นของแผ่นดินไหว ซึ่งนับว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากในพื้นที่ที่มีความชื้นของแผ่นดินไหวสูง อาทิเช่น จังหวัดเชียงรายและจังหวัดกาญจนบุรี ในประเทศไทย เป็นต้น โดยเฉพาะในแหล่งชุมชนและบริเวณโครงสร้างขนาดใหญ่, สภาพพืชปกคลุม, และการกระทำของมนุษย์ และสภาพความชื้นของลาด ซึ่งจัดว่าเป็นปัจจัยภายในลาดและปัจจัยทางธรรมชาติ

3. ปัจจัยที่เกิดจากสหสัมพันธ์ของสองปัจจัยดังกล่าวข้างต้น ดังตัวอย่างที่พบได้ชัดเจนได้แก่ระหว่างลักษณะทางธรณีเทคนิคของวัสดุ และปริมาณน้ำฝน ซึ่งเป็นปัจจัยหลักทั้งคู่ โดยเฉพาะความชื้นในดิน และต่อเนื่องถึงการจัดระดับความเสี่ยงของการพังถล่มของลาด ตามปริมาณของน้ำฝนในช่วงเวลานั้น, และระหว่างปริมาณน้ำฝน และสภาพพืชปกคลุมซึ่งเป็นปัจจัยหลักและปัจจัยรอง ตามลำดับ นั่นคือ บริเวณที่มีพืชปกคลุมอย่างหนาแน่น จะทำให้ลดการไหลชะจากน้ำฝน (Sower และ Royster, 1978) และ การดูดซึมของน้ำในใบไม้ จะทำให้ลดการไหลซึมเข้าไปในดิน ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงของดินลดลง (Greenway, 1987)

ซึ่งพบว่า บางครั้งกรณีพิบัติของลาด ประกอบด้วยรูปแบบของการพิบัติตั้งแต่สองรูปแบบขึ้นไป ที่ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่นอนในลำดับเกิดก่อนหรือเกิดหลังระหว่างแต่ละรูปแบบของการพิบัติ อาทิเช่น

3.1 กรณีพิบัติของลาดริมตลิ่งแม่น้ำโขงที่จังหวัดหนองคาย อาจมีการเคลื่อนพังเริ่มจากการเกิด Scoring ในบริเวณเชิงของลาดในน้ำ แล้วต่อเนื่องด้วยการเลื่อนไถลจากส่วนบนของลาดลงมาเป็นรูปแบบที่เรียกว่า Earth slump หรือ Shallow seated Rotational slide ซึ่งมีตำแหน่งของพื้นผิวการเคลื่อนพังไม่ลึกกว่าเชิงของลาด

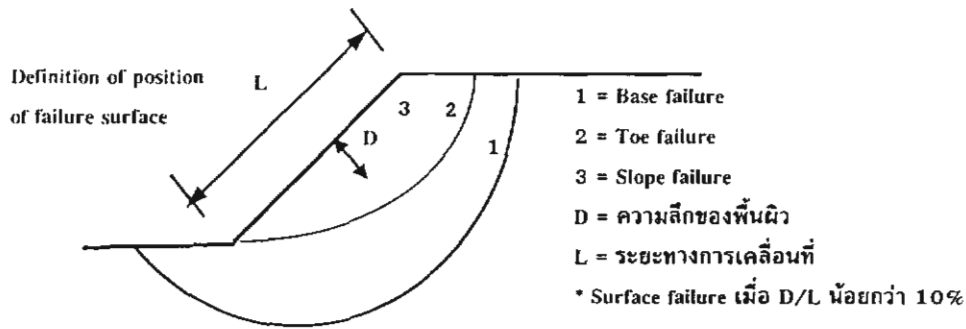
3.2 กรณีพิบัติของลาดเนื่องจากการตัดไหล่เขาได้องค์พระธาตุแม่สลอง จังหวัดเชียงราย อาจมีการเคลื่อนพังเริ่มจากการเกิด Shallow seated rotational slide และ Falls แล้วต่อเนื่องด้วยการไหลลงมาของมวลดินเป็นรูปแบบ Debris flow เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากน้ำฝน ทำให้ดินมีความชุ่มน้ำจนถึงปริมาณหนึ่งที่ดินมีสภาพเป็นของเหลว

ในงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะปัจจัยภายในลาดเท่านั้น คือ ลักษณะของชั้นดินรวมถึงชนิดของดินและความแข็งแรงของดิน, ระดับน้ำใต้ดิน ได้แก่ ดินอิ่มตัว และดินแห้ง, และ ปัจจัยภายนอก คือ ขนาดหน้าตัดของลาด ได้แก่สภาพความชันและความสูงของลาด เนื่องจากปัจจัยภายนอกที่กระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนพังของลาดส่วนใหญ่ มักจะมีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของลาดไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลา ได้แก่อิทธิพลของปริมาณน้ำฝนแปรเปลี่ยนตามฤดูกาล, อิทธิพลของพืชปกคลุมแปรเปลี่ยนตามลักษณะของพืชในแต่ละช่วงเวลา และชนิดของพืช, อิทธิพลของปริมาณการจราจร ซึ่งเป็นการกระทำของมนุษย์ แปรเปลี่ยนในแต่ละช่วงเวลาของการใช้ถนน เป็นต้น ซึ่งในการนี้ มีความจำเป็นต้องศึกษาเชิงรายละเอียดของแต่ละปัจจัยในแต่ละพื้นที่ที่ยังมีความแตกต่างกันทางด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค อาทิเช่น การติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรมแสดงสภาพความชื้นในดิน การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินไม่อิ่มตัว เป็นต้น ซึ่งไม่อยู่ในขอบเขตของงานวิจัยนี้

ผลของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน

ถึงแม้ว่าจะมีข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการออกสำรวจภาคสนาม และเอกสารจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและเอกสารอ้างอิงก็ยังมีจำนวนไม่เพียงพอที่จะกำหนดรูปแบบของการเคลื่อนพังให้ครอบคลุมได้อย่างครบถ้วน จึงต้องเสริมด้วยการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินในสองลักษณะชั้นดิน ได้แก่ Homogeneous soil และ Nonhomogeneous soil (strength varies with depth) บนรูปแบบจำลองหน้าตัดของลาดดังแสดงในรูปที่ 3.3 จำนวนมากกว่า 800 หน้าตัด ด้วยรูปแบบการเคลื่อนพังของลาดดินในลักษณะชั้นดินดังกล่าวเป็น Rotational slide ตามที่พบจากการออกสำรวจในภาคสนาม เอกสารของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและเอกสารอ้างอิง และสภาพการพิบัติที่ประมวลแล้วจากเอกสารอ้างอิง

ผลของการวิเคราะห์จะบ่งบอกตำแหน่งพื้นผิวของการเคลื่อนพัง ว่าเป็น Base rotational slide, Toe rotational slide, Slope rotational slide, หรือ Surface rotational slide ดังแสดงเป็นนิยามในภาพที่ 4.8 และระดับเสถียรภาพของลาดดิน เมื่อกำหนดให้เป็น 3 ระดับตามค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งได้มาจากแนวความคิด 3 ข้อ คือ



รูปที่ 4.8 นิยามของตำแหน่งของพื้นผิวการเคลื่อนพังแบบ Rotational slide

1. ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่จุดเกิดการเคลื่อนพังน้อยกว่า 1.0 (Janbu, 1996; Fell และคณะ, 1996; Popescu, 1996)
2. ความถี่ของอัตราส่วนความปลอดภัยกระจาย เป็นแบบ Normal distribution curve และระดับที่มีเสถียรภาพสูง จะอยู่ที่ค่าเฉลี่ยของ Curve (Janbu, 1996; Popescu, 1996; Wu และคณะ, 1996)
3. ความน่าจะเป็นของการเกิดการเคลื่อนพังคิดเป็นพื้นที่ 10 % ของพื้นที่ทั้งหมดใน Normal standard distribution curve (Myerhof, 1970; Janbu, 1996)

ตารางที่ 4.4 ระดับเสถียรภาพของลาดดินที่ใช้ในงานวิจัย

ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด	ระดับเสถียรภาพของลาดดิน
$F.S. < 1.0$	ระดับไม่เสถียรภาพ (Unstable or Failure, F)
$1.00 < F.S. < 2.50$	ระดับเสถียรภาพมีความเสี่ยง (Marginally stable) ควรมีการตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน (Slope stability analysis, A)
$F.S. > 2.50$	ระดับเสถียรภาพสูง (Stable or Unfailure, U)

ซึ่งในการนี้ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ใช้ในงานวิจัย ไม่ได้มาจากค่าอัตราส่วนที่ยอมให้
 สำหรับใช้ในการออกแบบ และงานที่มีการสำรวจที่ชัดเจน แต่ค่าดังกล่าวที่ใช้ในงานวิจัยมีความเสี่ยง
 น้อย แม้ว่าในการสำรวจดินบางกรณีจะให้ข้อมูลที่เชื่อถือได้น้อยก็ตาม

ผลของการวิเคราะห์ สรุปแยกในแต่ละลักษณะของชั้นดิน คือ

1. Homogeneous soil ตำแหน่งของพื้นผิวการเคลื่อนพัง และระดับเสถียรภาพของลาดดิน
 มีความแตกต่างกันตามประเภทของดิน รูปหน้าตัดของลาด และระดับน้ำใต้ดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.9
 ถึงรูปที่ 4.16 เมื่อพิจารณาสรุปความแตกต่างกันในแต่ละประเภทของดิน มีรายละเอียดดังนี้

1.1 กลุ่ม Cohesive soil ที่มีค่า ϕ ใกล้เคียงศูนย์ พบว่า ตำแหน่งของพื้นผิวอาจเป็น
 Toe หรือ Base rotational slide

1.2 กลุ่มดินที่มีค่า c และ ϕ ไม่ใกล้เคียงศูนย์ พบว่า ตำแหน่งของพื้นผิวการเคลื่อนพัง
 เป็น Slope หรือ Toe หรือ Base rotational slide

1.3 กลุ่ม Cohesionless soil ที่มีค่า c ใกล้เคียงศูนย์ พบว่า ความลึกของพื้นผิว (D) อาจ
 จะน้อยกว่า 10 % ของระยะความยาวของการเคลื่อนที่ของมวลดิน (L) ลักษณะเช่นนี้จัดได้ว่าเป็น
 Surface sliding แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัดของลาด

2. Nonhomogeneous soil (strength varies with depth) ซึ่งเป็นลักษณะของดินเหนียว
 กรุงเทพฯ ที่มีสภาพเนื้อดินเป็นดินอ่อน มีค่ากำลังความแข็งแรงของดินสูงขึ้นตามความลึกและสอดคล้อง
 คล้องกับสมการของ SHANSEP (Ladd และ Foott, 1974) คือ

$$S_u = f(\sigma'_{vo})(O.C.R.)^m$$

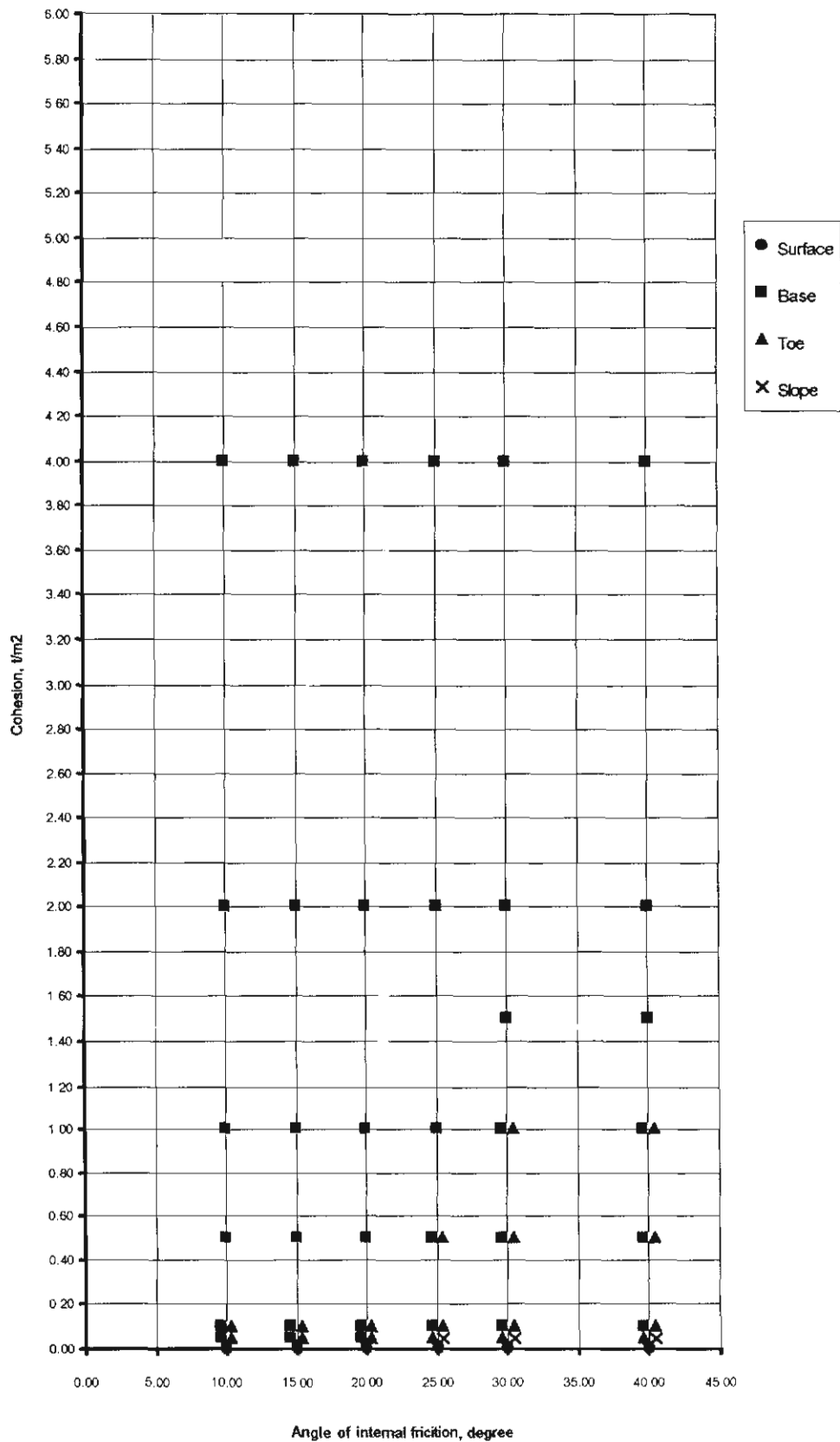
ซึ่งใช้คุณสมบัติของดินจากที่พบบริเวณถนนร่วมพัฒนา เขตหนองจอก จังหวัดกรุงเทพฯ ในการ
 วิเคราะห์ เมื่อ

S_u = Undrained shear strength

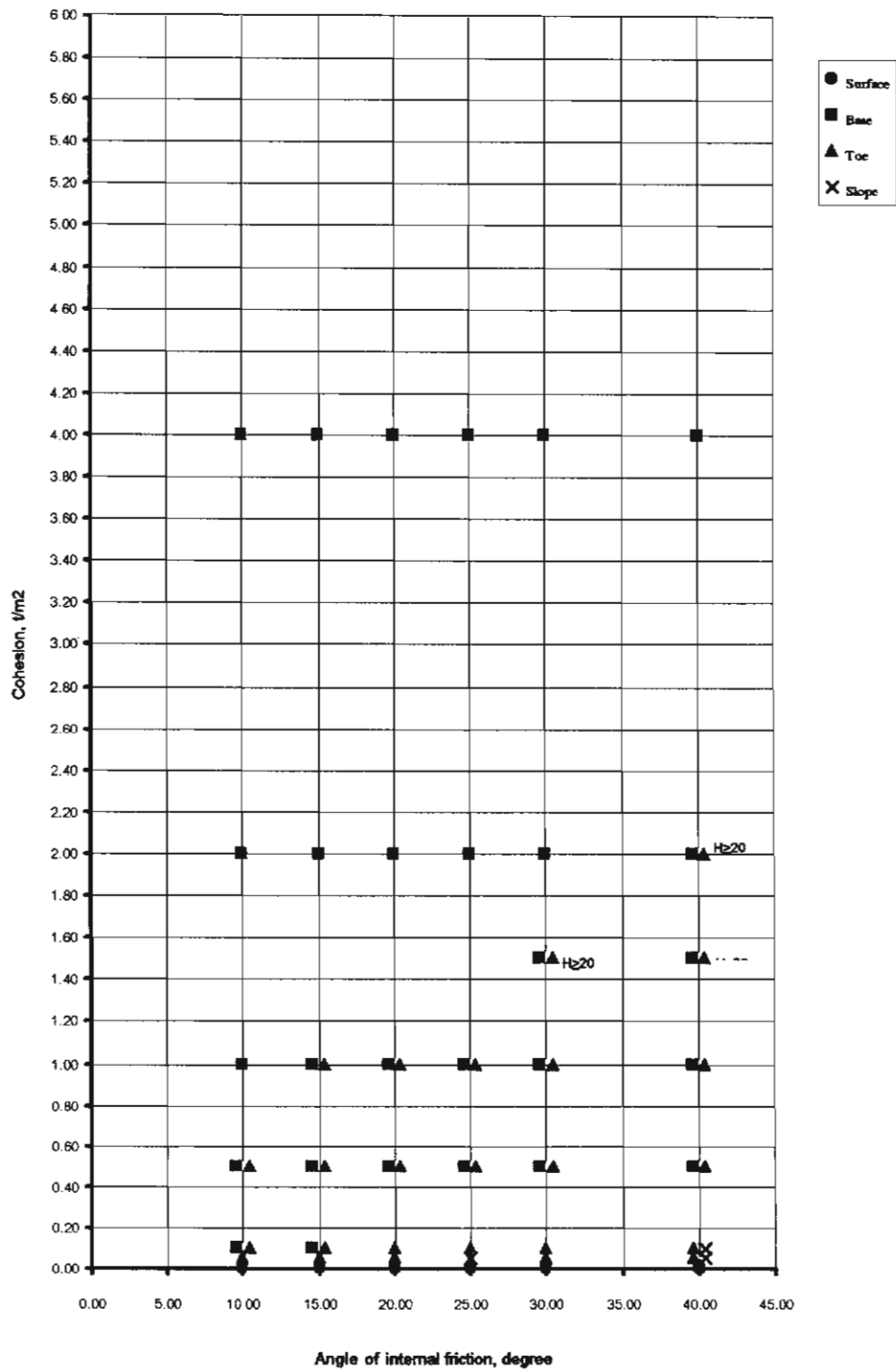
σ'_{vo} = Effective overburden pressure

O.C.R. = Over Consolidation Ratio มีค่า ≈ 1.0

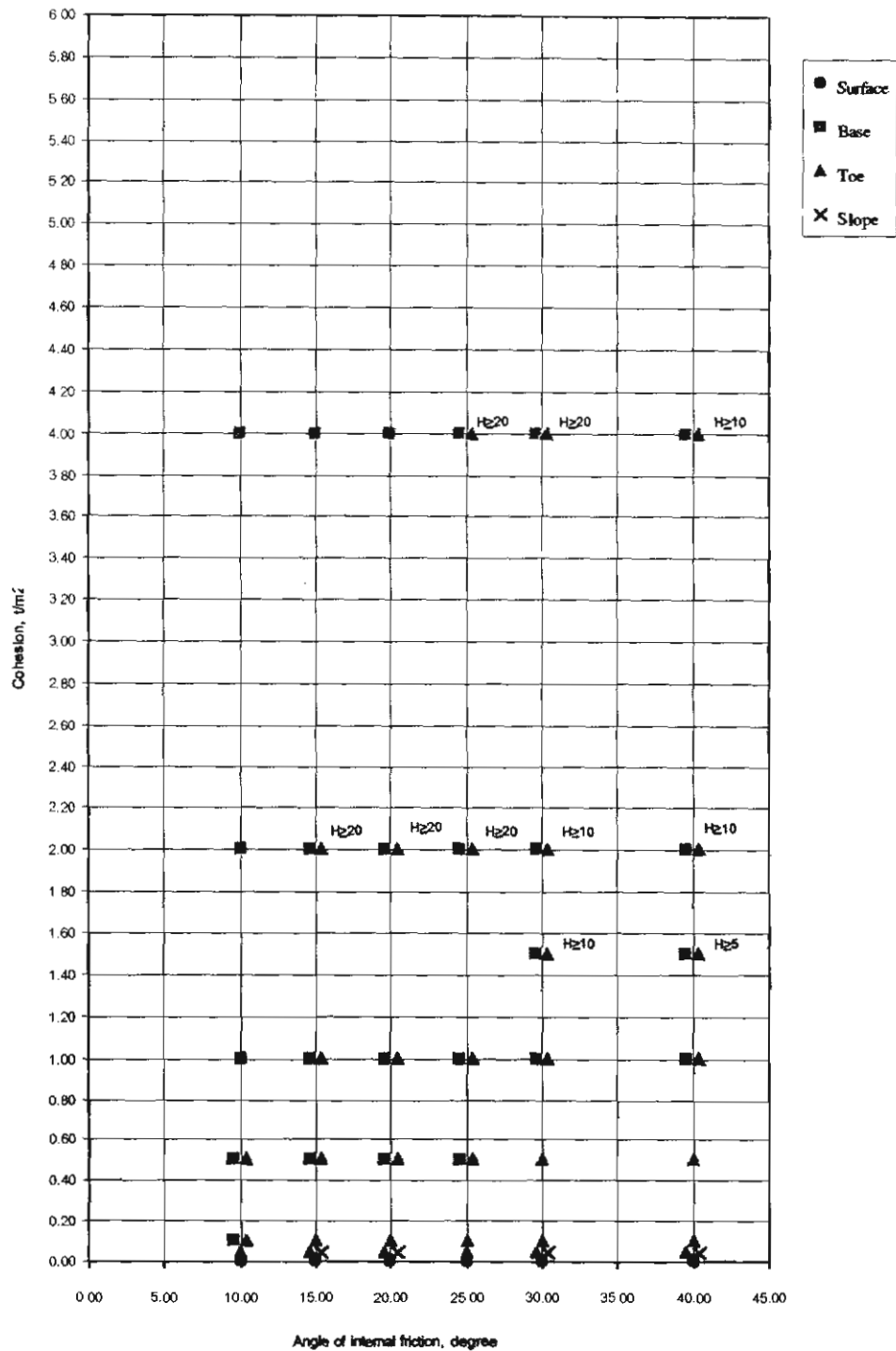
ค่าของ f ประมาณ 0.24



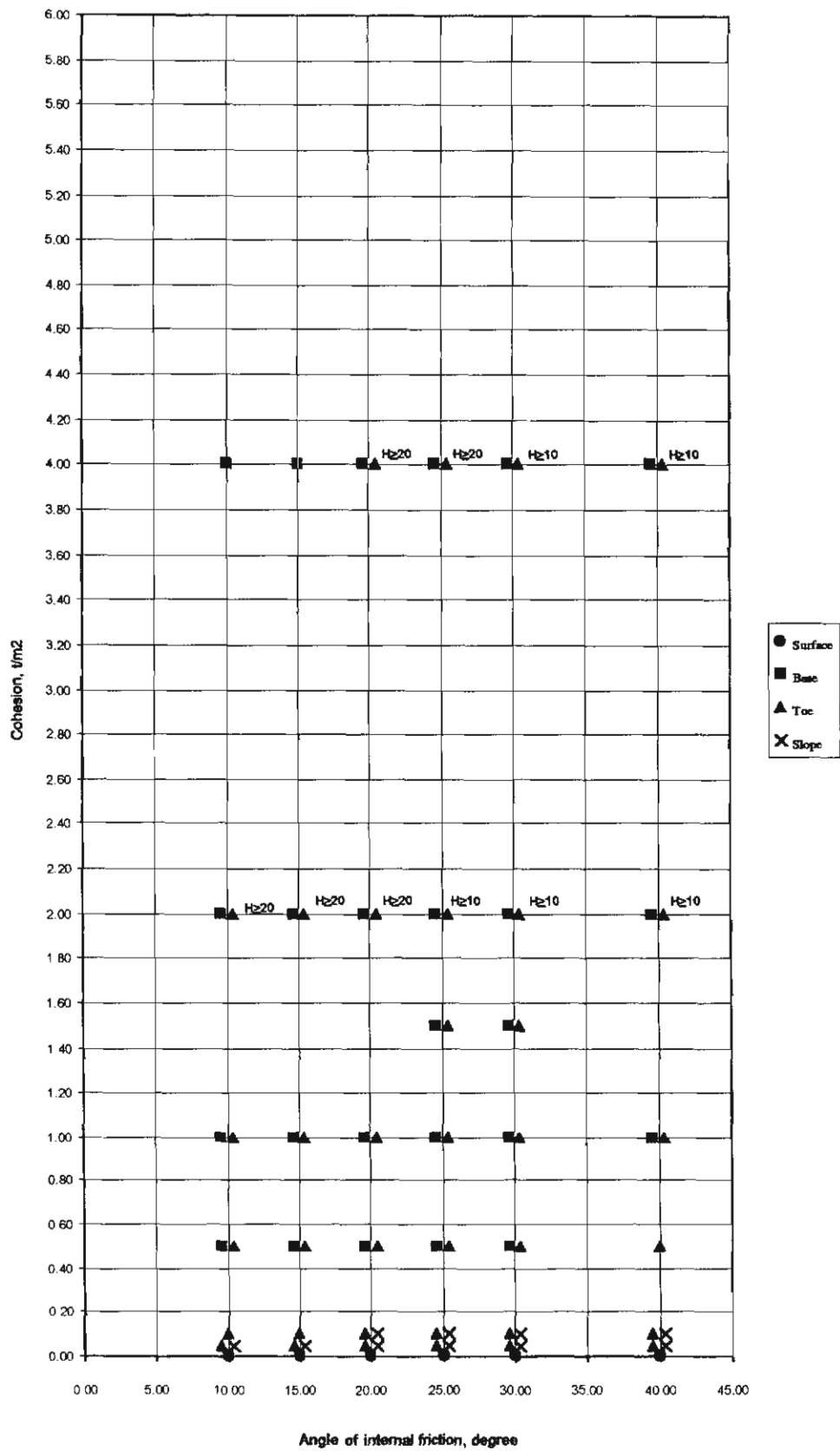
รูปที่ 4.9 รูปแบบการเคลื่อนพังของลาดดินเหนียว เมื่อมุมชันเป็น 10 องศา



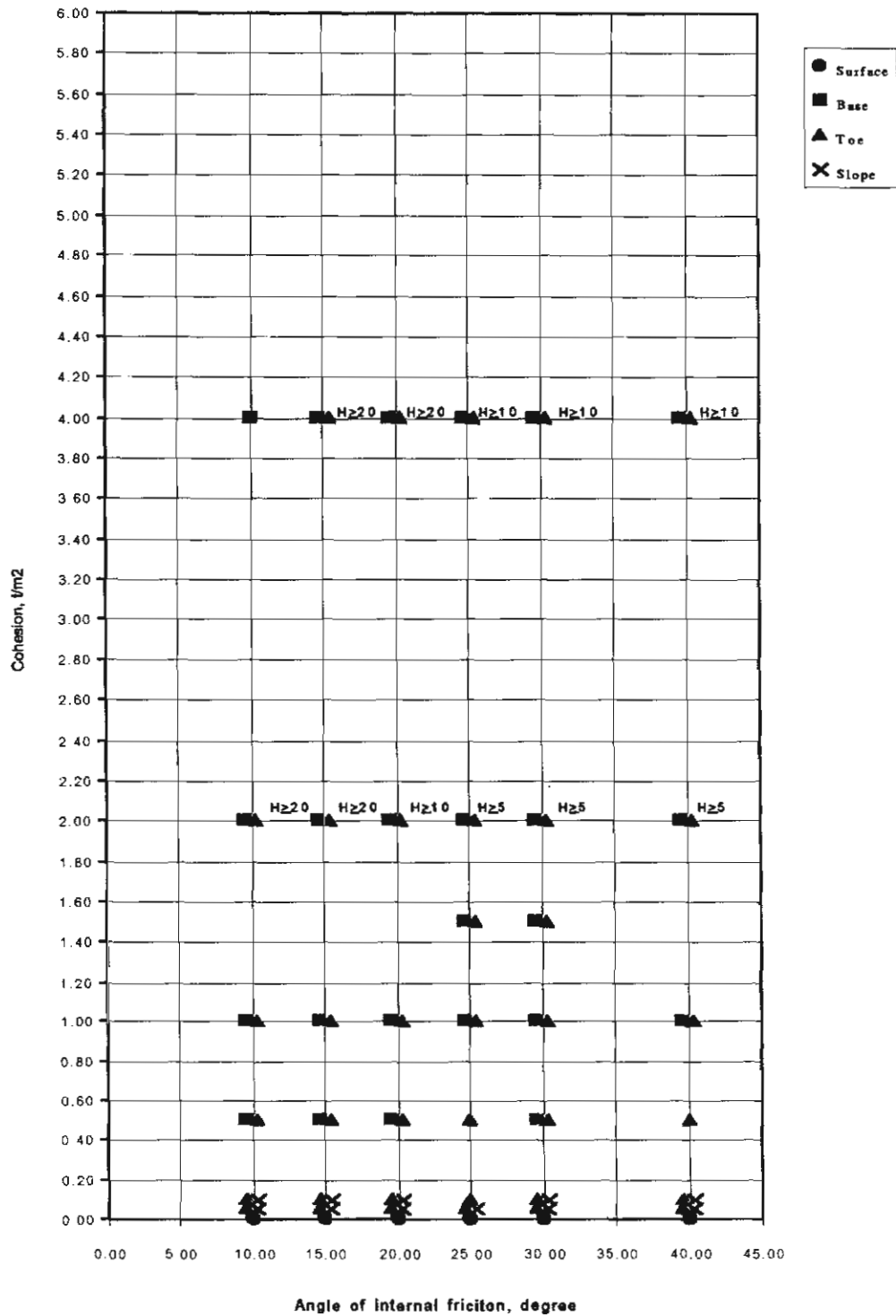
รูปที่ 4.10 รูปแบบการเคลื่อนตัวของลาดดินเนื้อเดียว เมื่อมุมชันเป็น 15 องศา



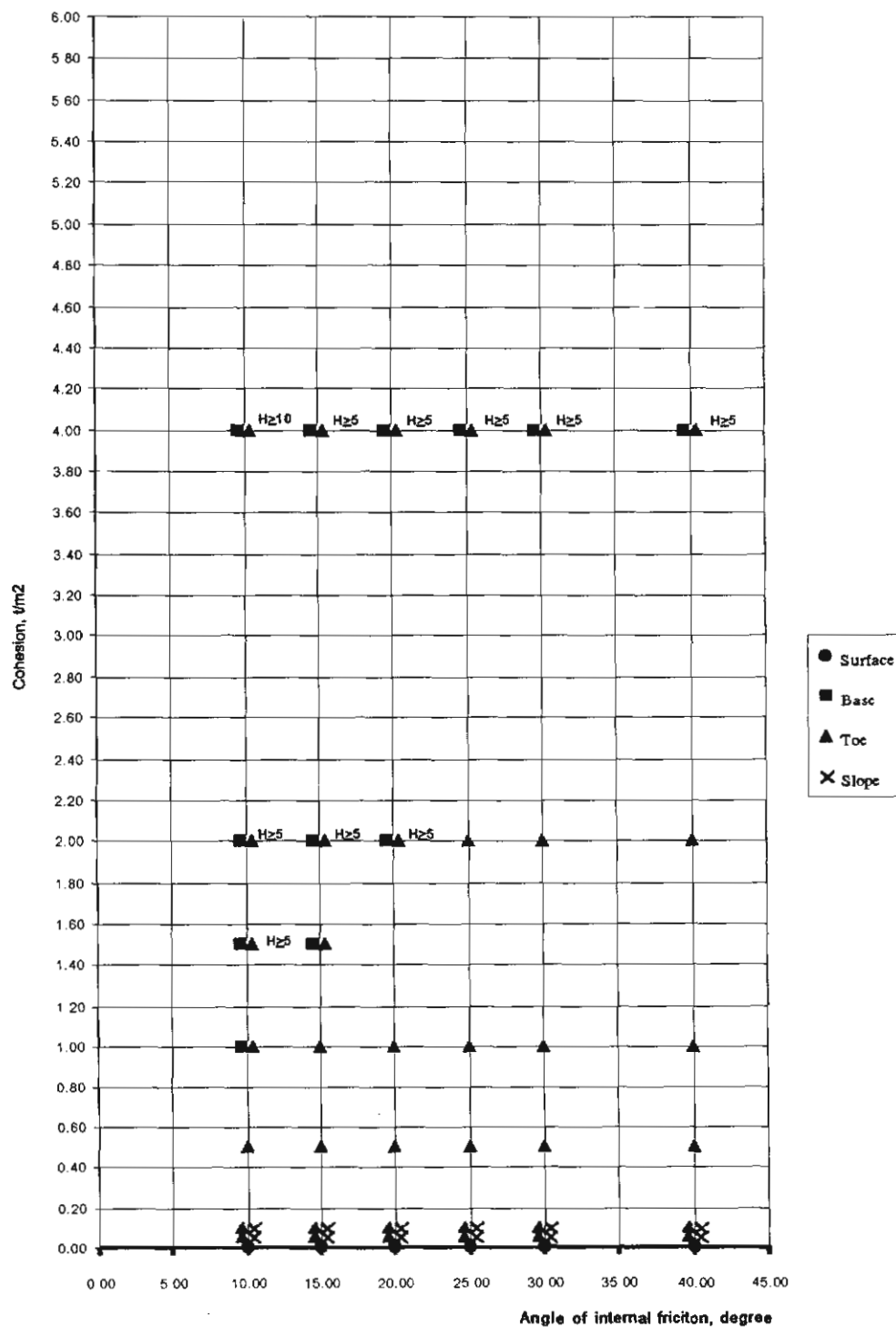
รูปที่ 4.11 รูปแบบการเคลื่อนพังของลาดดินเนื้อเดียว เมื่อมุมชันเป็น 20 องศา



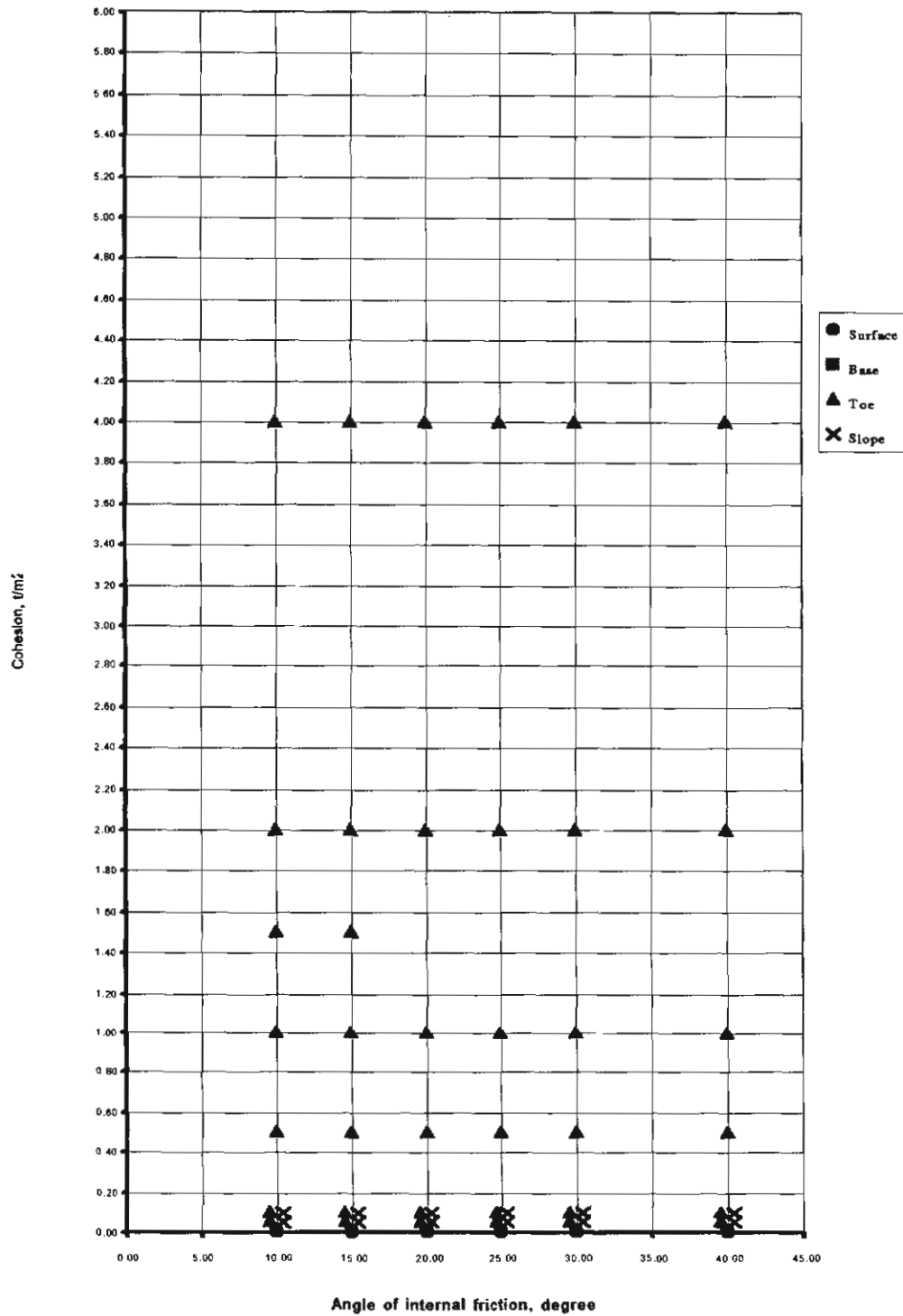
รูปที่ 4.12 รูปแบบการเคลื่อนพังของลาดดินเนื้อเดียว เมื่อมุมชันเป็น 25 องศา



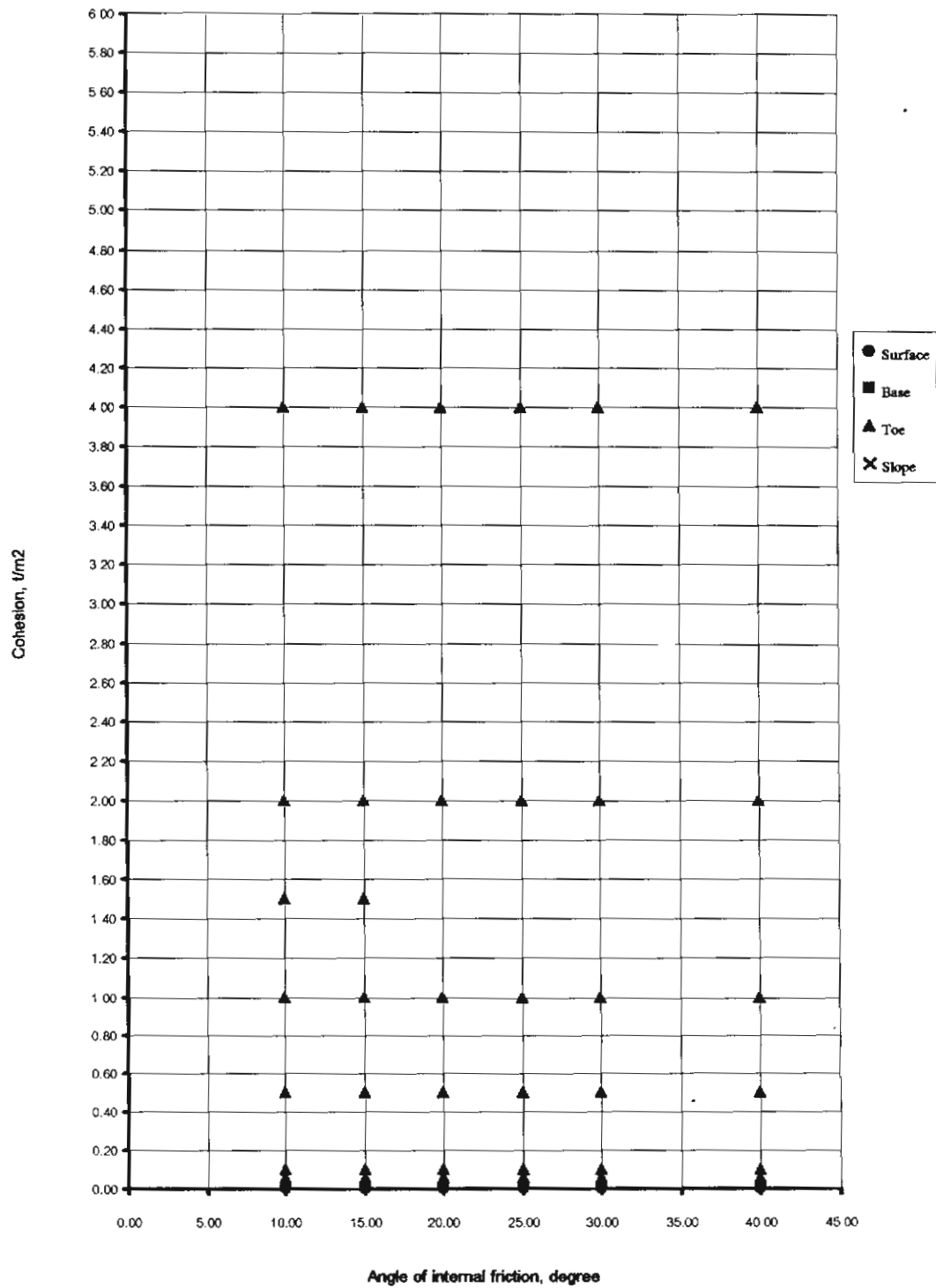
รูปที่ 4.13 รูปแบบการเคลื่อนพังของลาดดินเนื้อเดียว เมื่อมุมชันเป็น 30 องศา



รูปที่ 4.14 รูปแบบการเคลื่อนพังของลาดดินเนื้อเตียว เมื่อมุมชันเป็น 40 องศา



รูปที่ 4.15 รูปแบบการเคลื่อนพังของลาดดินเนื้อเดียว เมื่อมุมชันเป็น 50 องศา



รูปที่ 4.16 รูปแบบการเคลื่อนพังของลาดดินเนื้อเดียว เมื่อมุมชันเป็น 60 องศา

รูปแบบการเคลื่อนพัง ซึ่งมี Crustal zone อยู่ในชั้นบนของดินเหนียวกรุงเทพฯ มักจะพบตำแหน่งของพื้นผิวการเคลื่อนพังเป็น Toe หรือ Base rotational slide จากความแข็งแรงของดินได้มาจากสภาพที่เป็น Undrained shear strength ($\phi = 0$)

ความรู้ในฐานความรู้ KB1: รูปแบบการพิบัติของลาดดิน

ฐานความรู้ KB1 ประกอบด้วยความรู้ที่ได้จากการประเมิน และวิเคราะห์สิ่งที่เก็บรวบรวมจากแหล่งความรู้ดังกล่าวข้างต้น ซึ่งเป็นการพิจารณารูปแบบของการเคลื่อนพังและระดับไม่เสถียรภาพของลาดดินในแต่ละลักษณะของชั้นดิน คือ Homogeneous soil, Nonhomogeneous soil (strength varies with depth), และ Stratified soil ดังแสดงแนวคิดในตารางที่ 4.5

รายละเอียดของความรู้ในการวินิจฉัยรูปแบบการเคลื่อนพังของลาด ในแต่ละกลุ่มของลักษณะชั้นดิน มีดังนี้

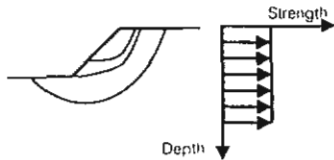
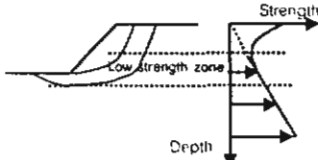
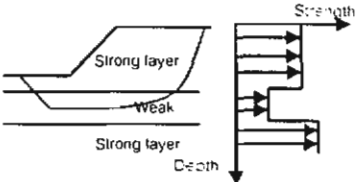
1. Homogeneous soil

รูปแบบการเคลื่อนพังของลาดดินส่วนใหญ่ มีพื้นผิวการเคลื่อนพังใกล้เคียงส่วนโค้ง ของวงกลมที่เรียกว่า Rotational slide ซึ่งมีตำแหน่งของพื้นผิวดังแสดงนิยามในรูปที่ 4.8 และมีความแตกต่างกันตามประเภทของดินดังนี้

1.1 Cohesive soil ที่อิมตัวมีค่า $\phi \approx 0$ พบว่าตำแหน่งของพื้นผิวการพิบัติจะเป็น Toe failure เกิดขึ้นเมื่อมุมเอียงของลาดมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 54 องศา วิธีวิเคราะห์เสถียรภาพที่ควรนำมาใช้เป็น Simplified Bishop หรือ Fellenius method หรือใช้ Stability chart อาทิเช่น Taylor chart เป็นต้น และรูปแบบของหน่วยแรงในการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของดินเป็น Total strength analysis ($\phi \approx 0$)

1.2 Cohesive soil ที่มีค่า c และ ϕ มากกว่า 0 พบว่าตำแหน่งของพื้นผิวเป็น Slope, Toe, หรือ Base failure ขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัด และความชันของลาด, และ Strength parameter ของดิน วิธีวิเคราะห์เสถียรภาพที่ควรนำมาใช้เป็น Simplified Bishop หรือ Fellenius method และรูปแบบของหน่วยแรงสำหรับใช้ในการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของดิน ควรเป็น Total strength analysis ($\phi \neq 0$) หรือ Effective strength analysis สำหรับดินเหนียวแข็ง และ Effective strength analysis สำหรับ Coarse grained soil และ Silt

ตารางที่ 4.5 แนวคิดในการสร้างฐานความรู้ KB1

ลักษณะของชั้นดิน		
Homogeneous soil	Nonhomogeneous soil(strength varies with depth)	Stratified soil
 ลักษณะงาน : Embankment, Uniform soil layer, Weathered granitic soil รูปแบบการพัง: Rotational slide ตำแหน่งของพื้นผิวเคลื่อน: o ใน Soft to medium stiff clay และ Plastic silt ($\phi \approx 0$) พบเป็น Base หรือ Toe failure ขึ้นอยู่กับความชันของลาด o ใน Cohesionless soil ($c \approx 0$) พบเป็น Slope surface failure o ใน Stiff clay, Nonplastic silt, Coarse grained soil พบเป็น Base, Toe, หรือ Slope surface failure ขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัดของลาด และค่า Cohesion ในดิน	 ลักษณะงาน: ดินเหนียวกรุงเทพ, ชั้นดินตะกอนแม่น้ำเจ้าพระยา รูปแบบการพัง: Rotational slide ตำแหน่งของพื้นผิวเคลื่อน: พบเป็น Base, หรือ Toe failure ขึ้นอยู่กับความสูงของลาด	 ลักษณะงาน: Nonuniform soil layer, Slope underlain by thin layer of very soft clay, Old alluvial deposit, Weathered sedimentary rock รูปแบบการพัง: o เมื่อดินชั้นบนเป็น Cohesionless soil ($\phi \approx 0$) ในลักษณะชั้นดินสองชั้นหรือมากกว่า พบเป็น Surface slide หรือ Infinite slope o เมื่อดินชั้นบนเป็น Soft to medium stiff clay ($\phi \approx 0$) วางบนชั้นแข็งมาก พบเป็น Rotational slide o เมื่อดินชั้นบนเป็น Soft to medium stiff clay ($\phi \approx 0$) วางบนชั้นดินอ่อนหรือแข็งกว่า พบเป็น Rotational slide o เมื่อดินชั้นบนเป็น ดินที่มี c และ ϕ ไม่เป็นศูนย์ ในดินสองชั้น พบเป็น Rotational slide หรือ Translational slide และต้องทำการวิเคราะห์ เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบรูปแบบการพัง โดยใช้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่ต่ำกว่า o เมื่อดินชั้นบนเป็นดินที่มีค่า c และ ϕ ไม่เป็นศูนย์ ในชั้นดินมากกว่าสองชั้น พบเป็น Translational slide หรือ Complex ซึ่งประกอบด้วย Rotational slide และ Translational slide และต้องทำการวิเคราะห์ เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบรูปแบบการพัง โดยใช้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่ต่ำกว่า 1

1.3 Cohesionless soil ที่มีค่า $c \approx 0$ พบว่าความลึกของพื้นผิว (D) อาจจะน้อยกว่า 10% ของระยะความยาวของการเคลื่อนพังของมวลดิน (L) ลักษณะเช่นนี้จัดได้ว่าเป็น Surface sliding ดังแสดงเป็นนิยามในรูปที่ 4.8 แต่ในบางรูปหน้าตัดของลาดดินจะพบเป็น Slope หรือ Toe failure ขึ้นอยู่กับขนาดหน้าตัดของลาดดิน วิธีวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินที่ควรนำมาใช้เป็น Simplified Bishop, Fellenius method หรือ Infinite slope method และรูปแบบของหน่วยแรงที่ใช้ในการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของดินควรเป็น Effective strength analysis

2. Nonhomogeneous soil (strength varies with depth)

ลักษณะของชั้นดินแบบนี้มักพบในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง ซึ่งเป็นชั้นดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok clay) หรือที่เรียกว่า Soft marine clay ที่มีสภาพความแข็งแรงเป็นดินอ่อน ค่ากำลังความแข็งแรงของดินเหนียวสอดคล้องกับสมการของ SHANSEP ตำแหน่งของพื้นผิวเป็น Toe หรือ Base failure ขึ้นอยู่กับความสูงของลาด โดยไม่มีผลกระทบจากน้ำใต้ดิน วิธีวิเคราะห์ที่ควรนำมาใช้เป็น Simplified Bishop หรือ Fellenius method รูปแบบของหน่วยแรงสำหรับใช้ในการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของดิน ควรเป็น Total strength analysis

3. Stratified soil

การพิจารณารูปแบบการเคลื่อนพังของลาด สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

3.1 กรณีชั้นดินประกอบด้วยดิน 2 ชั้น มีรูปแบบการเคลื่อนพังของลาดแตกต่างกันตามประเภทของดินดังนี้

เมื่อดินชั้นบนเป็น Cohesive soil มีค่า $\phi \approx 0$ และดินชั้นล่างเป็นดินแข็งมาก (Firm strata) พบรูปแบบการเคลื่อนพังเป็น Rotational slide และตำแหน่งของพื้นผิวเป็น Toe หรือ Base failure และจะสัมผัสกับดินชั้นล่าง

เมื่อดินชั้นบนเป็น Cohesive soil มีค่า $\phi \approx 0$ และดินชั้นล่างเป็นดินอ่อนกว่า พบรูปแบบการเคลื่อนพังเป็น Rotational slide ที่มีการเคลื่อนพังเป็นพื้นผิวใกล้เคียงวงกลมจากผิวดิน และลึกลงไปในชั้นดินอ่อนชั้นล่างเป็นส่วนใหญ่

เมื่อดินชั้นบนเป็น Cohesive soil มีค่า $\phi \approx 0$ และดินชั้นล่างเป็นดินแข็งกว่า พบรูปแบบการเคลื่อนพังเป็น Rotational slide ที่มีการเคลื่อนพังเป็นพื้นผิววงกลม 2 ลักษณะคือ เคลื่อนจากผิวดิน และลึกลงมาสัมผัสกับผิวล่างของชั้นดินบนที่อ่อนกว่า หรือลึกลงไปในชั้นดินแข็ง จึงควรมี

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินจากทั้งสองลักษณะ และพิจารณาเปรียบเทียบใช้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำกว่า

เมื่อดินชั้นบนเป็น Cohesive soil มีค่า c และ ϕ มากกว่าศูนย์ พบว่าการเคลื่อนพังของลาดอาจเป็นสองรูปแบบคือ Rotational slide หรือ Translational slide จึงควรมีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดจากทั้งสองรูปแบบ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับรูปแบบการเคลื่อนพัง อาทิเช่น Janbu method สำหรับ Rotational slide และ Translational slide, Simplified Bishop และ Fellenius method สำหรับ Rotational slide เป็นต้น

เมื่อดินชั้นบนมีค่า $c \approx 0$ มักพบรูปแบบการเคลื่อนพังเป็น Surface sliding คือมีความลึกของพื้นผิวไม่มากกว่า 10% ของระยะความยาวของการเคลื่อนพังของลาดดิน

3.2 กรณีชั้นดินประกอบด้วยดินมากกว่า 2 ชั้น มีรูปแบบการเคลื่อนพังของลาดแตกต่างกันตามประเภทของดินดังนี้

เมื่อดินชั้นบนเป็น Cohesive soil มีค่า $\phi \approx 0$ และดินชั้นล่างเป็นดินอ่อนกว่า พบรูปแบบการเคลื่อนพังเป็น Rotational slide ที่มีการเคลื่อนพังเป็นพื้นผิวโค้งเดียววงกลมจากผิวดิน และลึกลงมาสัมผัสกับผิวล่างของชั้นดินอ่อน

เมื่อดินชั้นบนเป็น Cohesive soil มีค่า $\phi \approx 0$ และดินชั้นล่างเป็นดินแข็งกว่า พบรูปแบบการเคลื่อนพังของลาดเป็นพื้นผิววงกลม 2 ลักษณะ คือเคลื่อนจากผิวดิน และลึกลงมาสัมผัสกับผิวล่างของชั้นดินบนที่อ่อนกว่า หรือสัมผัสกับผิวล่างของชั้นดินชั้นล่างที่แข็งกว่า จึงควรมีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินจากทั้งสองลักษณะ และพิจารณาเปรียบเทียบใช้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำกว่า

เมื่อดินชั้นบนเป็น Cohesive soil มีค่า c และ ϕ มากกว่าศูนย์ พบว่าพื้นผิวการเคลื่อนพังเป็นพื้นระนาบ หรือมีทั้งส่วนที่เป็นส่วนโค้งของวงกลม และพื้นระนาบ ซึ่งจัดได้ว่ารูปแบบการเคลื่อนพังเป็น Translational slide หรือ Complex ที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็น Rotational slide และ Translational slide โดยที่ตำแหน่งของพื้นผิวขึ้นอยู่กับความแตกต่างในความแข็งแรงของดินแต่ละชั้น และตำแหน่งของชั้นดินที่อ่อนกว่า หรือชั้นดินที่แข็งกว่า จึงควรมีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินด้วยวิธีที่เหมาะสมในแต่ละลักษณะของพื้นผิวการเคลื่อนพัง อาทิเช่น Janbu method สำหรับพื้นผิวเป็นพื้นระนาบ, Simplified Bishop สำหรับพื้นผิวเป็นส่วนโค้งของวงกลม เป็นต้น และพิจารณาเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำกว่า

ฐานความรู้ KB2 สำหรับช่วยตัดสินใจในการเลือกช่วงค่าความแข็งแรงของดิน, ลักษณะของดินเหนียวกรุงเทพฯ, และสภาพความชื้นของแผ่นดินไหวของแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย ประกอบด้วยความรู้ที่ได้จากการประเมินข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ จากเอกสารของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเอกสารอ้างอิง

การจำแนกช่วงความแข็งแรงของดินโดยทั่วไป

ความแข็งแรงของดินเป็นพารามิเตอร์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ดังนั้นความถูกต้อง และความปลอดภัยของผลการวิเคราะห์ จำเป็นต้องอาศัยค่าความแข็งแรงที่เหมาะสมซึ่งในงานวิจัยนี้ ค่าความแข็งแรงของดินในระบบ เป็นเพียงข้อเสนอแนะช่วงความแข็งแรงของดินที่ควรเป็นในแต่ละประเภทของดินเท่านั้น และการสำรวจดินยังเป็นสิ่งจำเป็นต้องทำเพื่อวิเคราะห์สภาพดินอย่างละเอียด การจำแนกช่วงความแข็งแรงของดิน เป็นผลจากการประเมินข้อมูลเกี่ยวกับสภาพความแข็งแรงของดินแต่ละประเภท ที่จำแนกดินตามระบบ USCS โดยมีข้อมูลดินทั้งหมด จากโครงการสำรวจดินในประเทศไทยจำนวน 12 โครงการ โดยที่ตามธรรมชาติ Strength parameters ของดินเหนียว และดินทราย อยู่ในรูปแบบที่พบว่า ในกลุ่มดินเหนียวมีค่า c สูง ค่า ϕ จะต่ำ, ในกลุ่มดินทรายค่า c ต่ำ ค่า ϕ จะสูง ด้วยเหตุนี้ การแนะนำช่วงความแข็งแรงของดินทั้งสองกลุ่ม จึงแสดงเป็นรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า c และค่า ϕ ในขณะที่สำหรับ Cohesionless soil พารามิเตอร์ที่ควรนำมาพิจารณาความแข็งแรงเป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Relative density และค่า ϕ

ในงานวิจัยนี้ ได้ประมวลผลออกมาเป็นช่วงความแข็งแรงของดิน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. กลุ่มดิน CH, CL

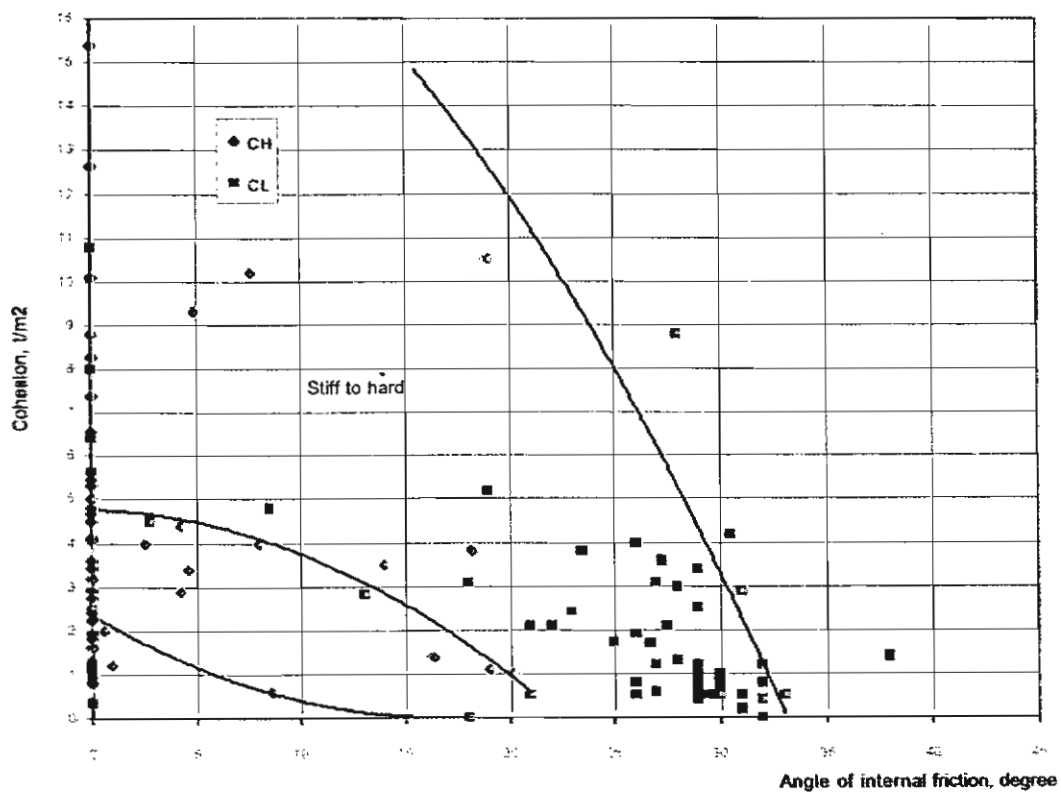
ช่วงความแข็งแรงของดินกลุ่มนี้ มีการจำแนกออกเป็น 3 สภาพความแข็งแรง คือ Very soft to soft, Medium stiff, และ Stiff to Hard ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ซึ่งในการนี้ได้มีขอบเขตค่าความแข็งแรงของดินจากการพิจารณาค่าความแข็งแรงของดินที่แตกต่างกันตามรูปแบบของหน่วยแรงที่ใช้ในการพิจารณาค่าความแข็งแรง

2. กลุ่มดิน ML, SC, SM, SP-SM, และ GP

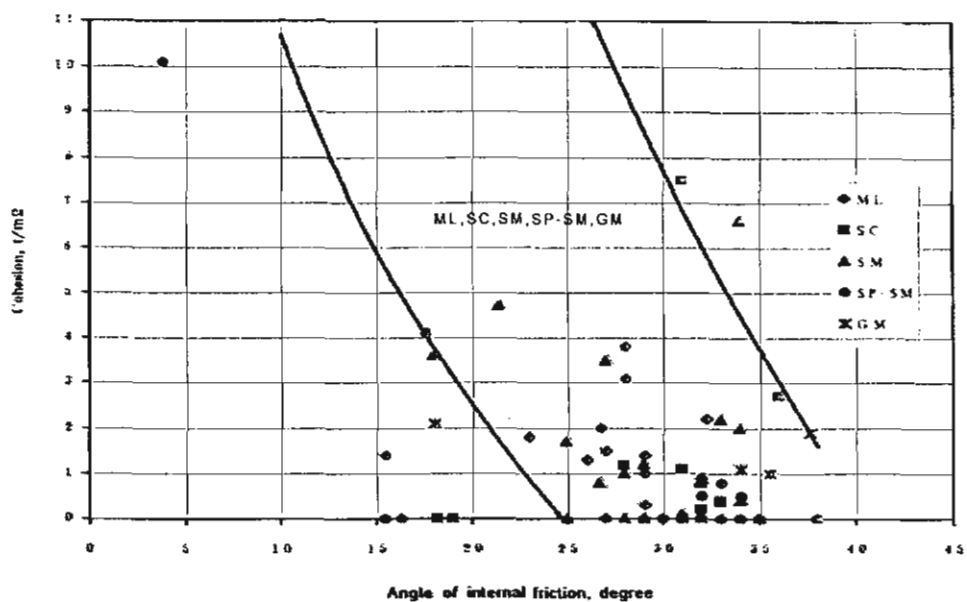
ช่วงความแข็งแรงของดินกลุ่มนี้ จัดอยู่ในสภาพของค่า c และ ค่า ϕ ที่ควรนำมาใช้ดังแสดงในรูปที่ 4.18

3. กลุ่มดิน GW, GP, SW, และ SP

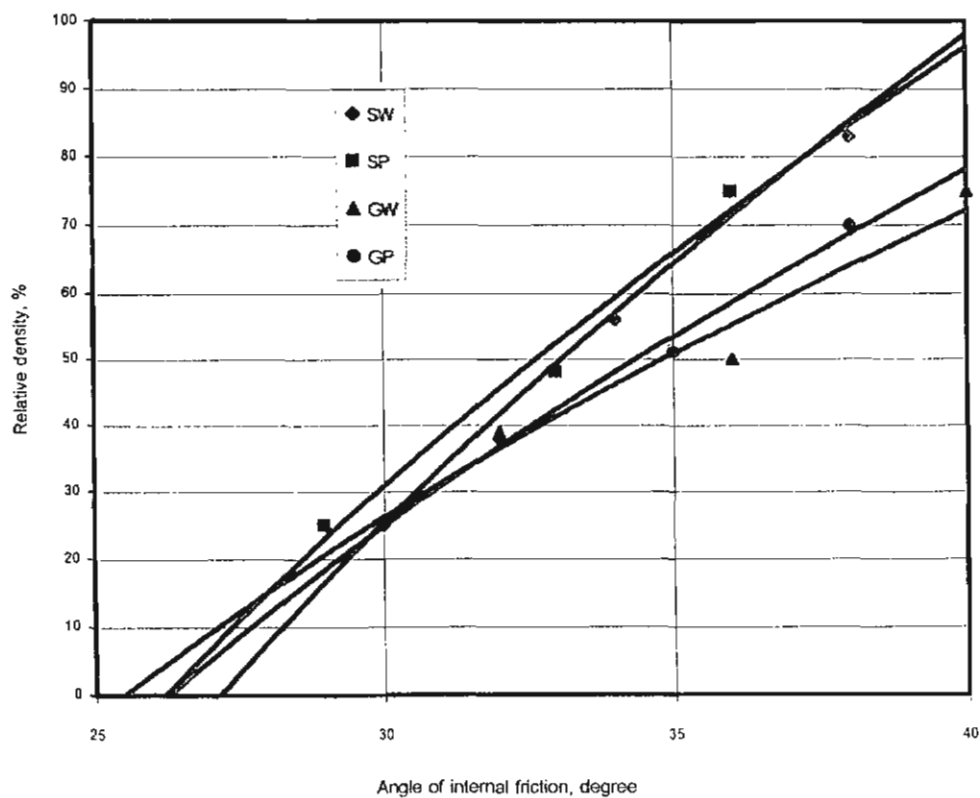
กลุ่มดินนี้จัดได้ว่าเป็น Cohesionless soil ที่มีค่า c ใกล้เคียงศูนย์ ช่วงของค่าความแข็งแรงของดิน จึงจำแนกออกตามสภาพของค่าความหนาแน่นของดินในค่าของ Relative density ที่มีความสัมพันธ์กับค่า ϕ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 โดยที่ดินที่มีความหนาแน่นน้อยลง หรือค่า Relative density น้อยลง ค่า ϕ ของดินจะมีค่าน้อยลงเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.17 Soil chart ของกลุ่มดิน CH และ CL



รูปที่ 4.18 Soil chart ของดินกลุ่ม ML, SC, SM, SP-SM, GM



รูปที่ 4.9 Soil chart ของกลุ่มดิน SW, SP, GW, และ GP

การประเมินลักษณะของดินเหนียวกรุงเทพ

การพิบัติของถนน คันคลอง และบ่อขุด ในแถบภาคกลางตอนล่าง ที่เกิดขึ้นในชั้นดินอ่อน มักเป็นสาเหตุของการพิบัติส่วนใหญ่ของลาดดิน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาพฤติกรรมของชั้นดินอ่อน ซึ่งเรียกว่าดินเหนียวกรุงเทพ ด้วยการรวบรวมข้อมูล แสดงสภาพของดินชนิดนั้น จากเอกสารของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเอกสารอ้างอิง รวมถึงกราฟแสดงค่า Field vane shear strength ตามความลึกของดินของแต่ละพื้นที่เพื่อนำมาประเมินและประมวลผล แสดงเป็นสมการของค่าความแข็งแรงของดินเหนียวกรุงเทพ และนำผลดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน Nonhomogeneous soil (strength varies with depth)

การแนะนำในการบอกลักษณะของดินเหนียวกรุงเทพ สำหรับวิศวกรโยธาและผู้ที่เกี่ยวข้องจะได้นำไปใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง ซึ่งเป็นบริเวณที่ชั้นดินเหนียวกรุงเทพปกคลุมอยู่จากข้อมูลที่ได้รวบรวมได้ และพบว่า

1. สภาพของชั้นดินเหนียวกรุงเทพ เป็นตะกอนดินเหนียวอ่อน ความหนาของชั้นดินมากกว่า 10 เมตร มีค่าความแข็งแรงของดินแปรเปลี่ยนตามความลึก ค่า Water content ประมาณ 70 - 150 % และค่า Unit weight ประมาณ 1.5 - 1.7 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ตลอดจนสภาพประวัติของการยุบอัดตัวของดินเหนียวโดยธรรมชาติเป็น Normally consolidated clay ที่มีค่า O.C.R. ใกล้เคียงหนึ่ง นอกจากบางพื้นที่ที่พบเป็น Over consolidated clay ซึ่งได้แก่บางพื้นที่ทางตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นต้น

2. ชั้นบนสุดของชั้นดินเหนียวกรุงเทพ เป็นชั้นดินที่เรียกว่า Weathered zone หรือ Crustal zone ความหนาประมาณ 3 - 5 เมตร ยกเว้นบริเวณใกล้ปากอ่าวไทยจะบางมากหรือเกือบไม่มีเลย

3. ใต้ชั้นดินเหนียวกรุงเทพ พบเป็นดินเหนียวแข็ง หยาบและกรวด เป็นชั้นดินแยกกัน และปนกันบ้างเรื่อยลงไป

สภาพความแข็งแรงของดินเหนียวกรุงเทพ ตามที่ได้กล่าวข้างต้น มีพฤติกรรมที่สอดคล้องกับสมการของ SHANSEP คือ

$$\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} = f$$

เมื่อค่า f แตกต่างกันตามสภาพของดินเหนียวกรุงเทพในแต่ละพื้นที่ และค่า σ'_{vo} มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างค่า Submerged unit weight (γ') และค่าความลึกของดิน (z) โดยที่ค่า γ' จะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่เช่นเดียวกับค่า f

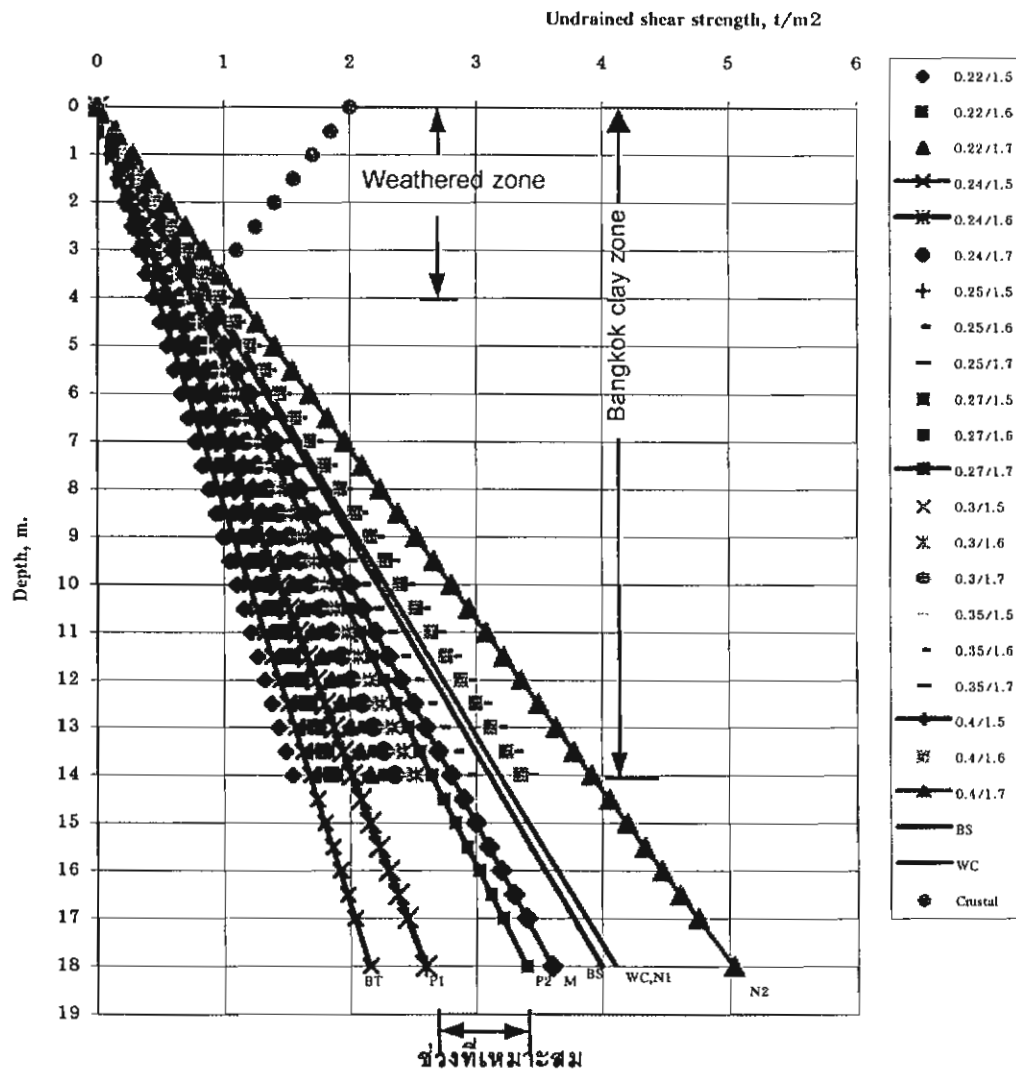
ค่า f ในสมการของค่าความแข็งแรงของดินเหนียวกรุงเทพตามสมการของ SHANSEP ของแต่ละจุดที่ทำการทดสอบ Field vane shear test พบว่า ค่า f อยู่ในช่วงระหว่าง 0.24 (กรณี ที่ Saturated unit weight เป็น 1.5 ตันต่อลูกบาศก์เมตร) ถึง 0.40 (กรณีที่ Saturated unit weight เป็น 1.7 ตันต่อลูกบาศก์เมตร) ดังแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.20 ซึ่งแสดงให้เห็นแนวโน้มของค่า f ที่แต่ละ Saturated unit weight และยังพบว่า บางพื้นที่สภาพดินเหนียวกรุงเทพพื้นที่ทางตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา เป็น Over consolidated clay เนื่องจากเหตุการณ์ธรรมชาติ และจากการกระทำของมนุษย์ ดังเช่นที่พบในพื้นที่ใกล้ริมแม่น้ำท่าจีน อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม มีสภาพเป็น Over consolidated clay เนื่องจากการกักเซาะตลิ่งริมแม่น้ำ, บางพื้นที่ในโรงกรองน้ำมหาสวัสดิ์ จังหวัดนนทบุรี เป็นต้น ค่า f ที่ควรใช้อยู่ระหว่าง 0.24 ถึง 0.27

ความรู้ในฐานความรู้ KB2: ความแข็งแรงของดินและสภาพแผ่นดินไหว

ฐานความรู้ KB2 ประกอบด้วยความรู้ที่ได้จากการประเมิน และวิเคราะห์ข้อมูลแสดงความแข็งแรงของดินแต่ละประเภท ซึ่งจำแนกตามระบบ USCS รวมถึงข้อมูลแสดงลักษณะของดินเหนียวกรุงเทพ และข้อมูลเป็นแผนที่แสดงความเข้มของแผ่นดินไหวของแต่ละพื้นที่ในประเทศไทย โดยที่กำหนดให้ป้อนข้อมูลเป็นภาค จังหวัด และอำเภอ เพื่อแนะนำสภาพความเข้มของแผ่นดินไหว เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแผ่นดินไหว (K_s) และแสดงช่วงของค่าความแข็งแรงของดินโดยประมาณ ซึ่งแยกออกเป็น 2 กลุ่มพื้นที่ คือ

1. กลุ่มพื้นที่ในที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง เป็นพื้นที่ที่มีช่วงดินชั้นบนเป็นดินเหนียวกรุงเทพ ที่มีค่ากำลังความแข็งแรงของดินแปรเปลี่ยนตามความลึก และสมการคำนวณค่ากำลังความแข็งแรงเป็นของ SHANSEP เมื่อค่า f อยู่ระหว่าง 0.24 ถึง 0.27

2. กลุ่มพื้นที่ในส่วนอื่น จะแนะนำช่วงของค่า Strength parameters คือค่า Cohesion (c) และค่า Angle of internal friction (ϕ) ของดินแต่ละประเภท โดยพิจารณาได้จาก Soil chart ในรูปที่ 17 ถึงรูปที่ 19



หมายเหตุ: นิยามของสัญลักษณ์ ได้แก่ BS คือดินที่ทางสายกรุงเทพ-ศรีราชา, BT คือดินที่ถนนบางนา-ตราด

M คือดินที่โรงกรองน้ำมหาสวัสดิ์, N1 คือดินที่หนองงูเห่า (Lower bound of strength),

N2 คือดินที่หนองงูเห่า (Upper bound of strength), P1 คือดินที่ถนนร่วมพัฒนา (Lower bound of strength),

P2 คือดินที่ถนนร่วมพัฒนา (Upper bound of strength), WC คือดินตามแนวคลองส่งน้ำดินจากเขื่อนวชิราลงกรณ
กม.ที่ 67-70,

0.xx/y.y มีความหมายเป็น 0.xx คือค่า f , y.y คือค่า Saturated unit weight หน่วยเป็นตันต่อลูกบาศก์เมตร

รูปที่ 4.20 ช่วงความแข็งแรงของดินเหนียวกรุงเทพ ตามสมการของ SHANSEP และจากที่พบ
ในเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัย การแสดงความรู้ในระบบอยู่ในรูปแบบของกฎ (Ruled base) คือชุดเงื่อนไขในการตัดสินใจ ซึ่งนำไปสู่คำตอบ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มของฐานความรู้ ดังแสดงเป็นรายละเอียด คือ

1. กฎจากฐานความรู้ KB1 ได้สรุปจากความรู้เพื่อการวินิจฉัยรูปแบบการเคลื่อนพัง และระดับไม่เสถียรภาพของลาดดิน มีจำนวนทั้งหมด 1,083 กฎ โดยมีกลุ่มข้อมูลที่ป้อนเข้า ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และลักษณะของคำตอบ ดังแสดงในตารางผนวกที่ ง.1 ซึ่งแสดงเป็นผังของข้อมูลที่ป้อนเข้าและคำตอบของแต่ละกฎแสดงในรูปผนวกที่ ง.1 ถึงรูปผนวกที่ ง.12

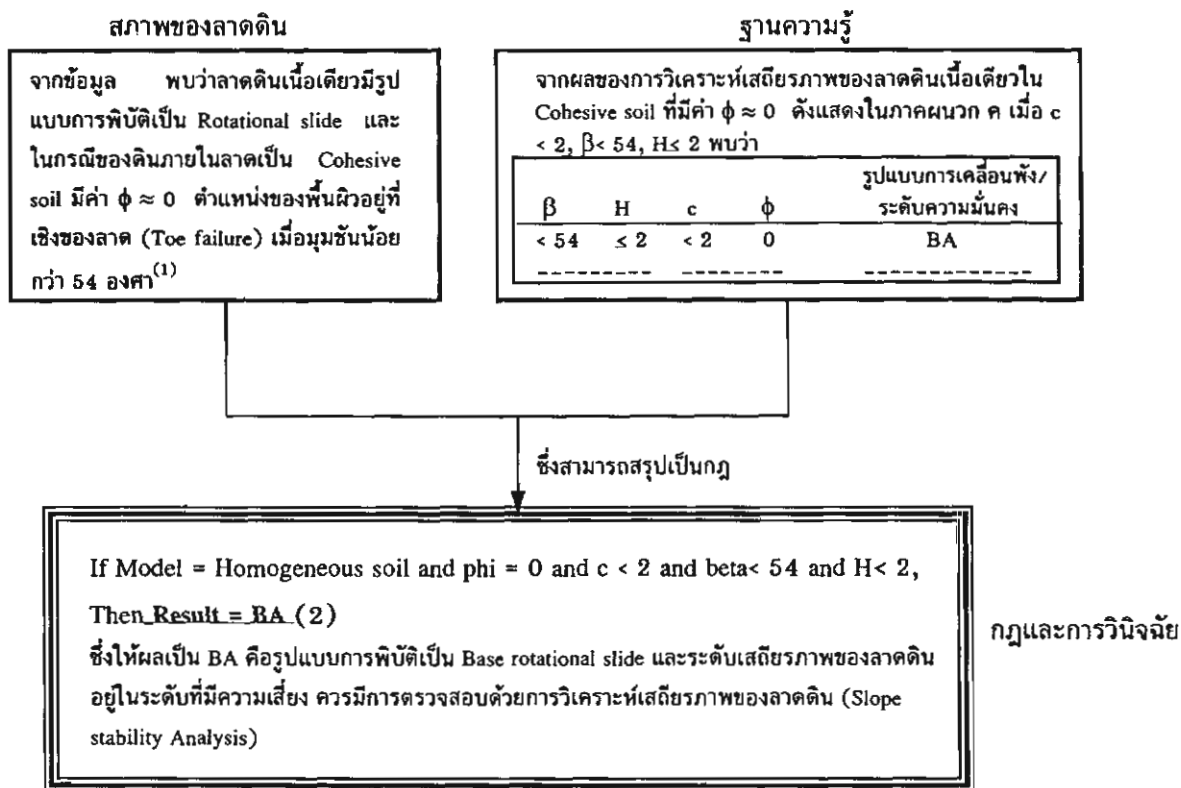
ตารางที่ 4.6 Parameter ของการจำแนกรูปแบบการเคลื่อนพัง และระดับเสถียรภาพของลาดดิน

Parameter	คำอธิบาย	หมายเหตุ
Soil Model	ลักษณะชั้นดิน มีให้เลือก 3 รูปแบบ คือ Homogeneous soil, Nonhomogeneous soil (strength varies with depth, และ Stratified soil	
Phi (Degrees)	มุมเสียดทานภายในเม็ดดิน (Angle of internal friction, ϕ), องศา	
Cohesion (TSM)	ค่ายึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (c), ต้นต่อตารางเมตร	
Beta (Degrees)	มุมชันของลาด (Slope angle, β), องศา	
Hw = 0	ระดับน้ำใต้ดิน (Ground water height, Hw) อยู่ที่ผิวดิน	
Hw = ∞	ระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกมากจากระดับผิวดิน	
H	ความสูงของลาด (Slope height, H), ม.	ดูภาพที่ 47 ประกอบ
No of Soil profile	จำนวนชั้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์	
Upper soil strata	ดินชั้นบน (S1)	
Lower soil strata	ดินชั้นถัดมา (S2)	
Upper soil	สภาพของดินชั้นบน ซึ่งมีให้เลือก phi1 is zero, c1 is zero, หรือ c1 and phi1 is not zero	
Lower soil	สภาพของดินชั้นที่สอง ซึ่งมีให้เลือก firm strata, weaker strata, หรือ stronger strata	
d (m)	ความลึกของดินชั้นบน, ม.	

ซึ่งมีตัวอย่างของกฎในแต่ละลักษณะชั้นดิน ได้แก่

1.1 ตัวอย่างในกรณี Homogeneous soil ซึ่งแสดงกฎในแต่ละกลุ่มของดินภายในลาด คือ

กฎในกรณีของ Cohesive soil มีค่า $\phi \approx 0$ ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 4.21

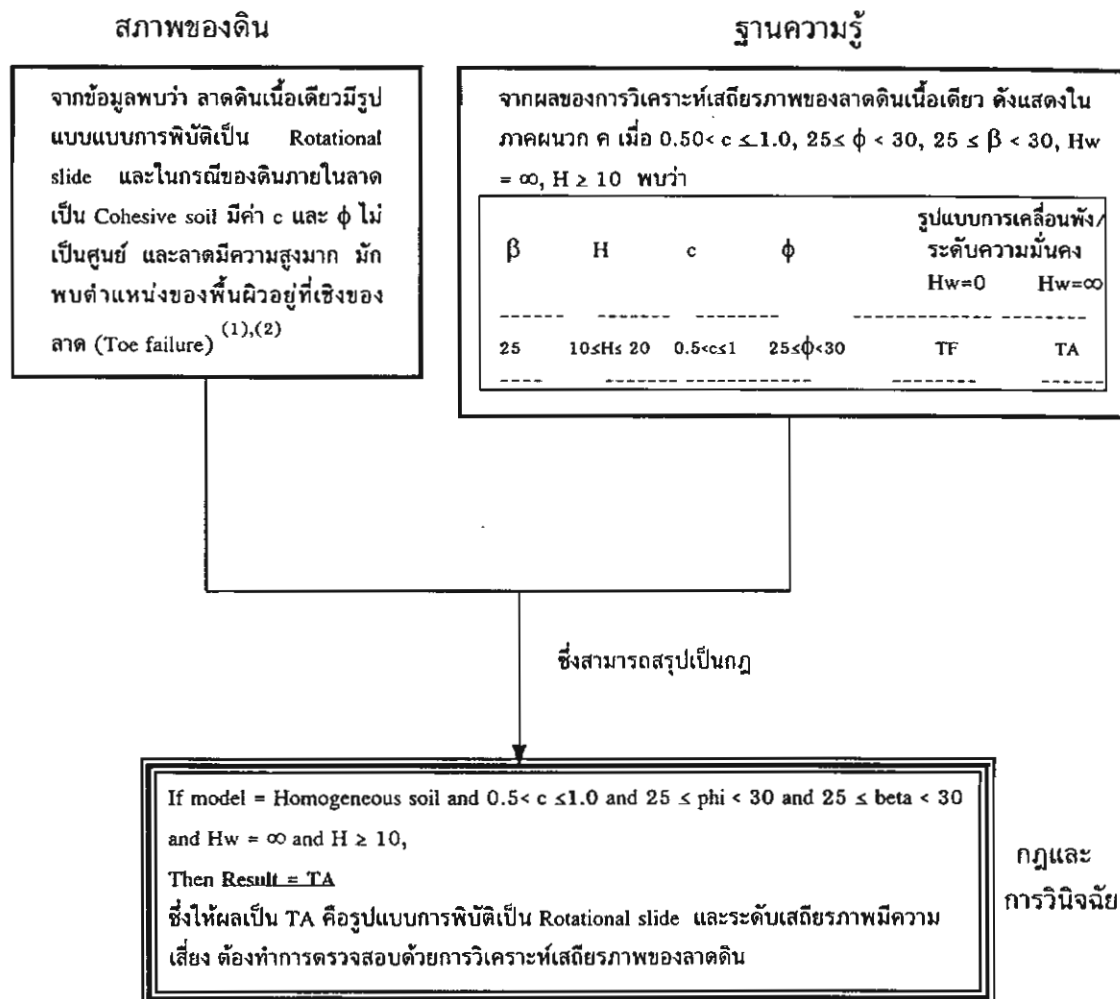


หมายเหตุ:

- (1) เป็น Taylor (1948), Janbu (1967), Chowdhury (1978), Varnes (1978), DM-7.1 (1982), Vaunat และคณะ (1996), Leiner (1996), Terzaghi และคณะ (1996)
- (2) ค่าจำกัดความของอักษรย่อจากตารางผนวกที่ ง.1

รูปที่ 4.21 ตัวอย่างของกฎสำหรับรูปแบบการพิบัติและระดับเสถียรภาพของลาดดินเนื้อเดี๋ยว เมื่อเป็น Cohesive soil มีค่า $\phi \approx 0$

กฎในกรณีของ Cohesive soil มีค่า c และ ϕ ไม่เป็นศูนย์ ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 4.22

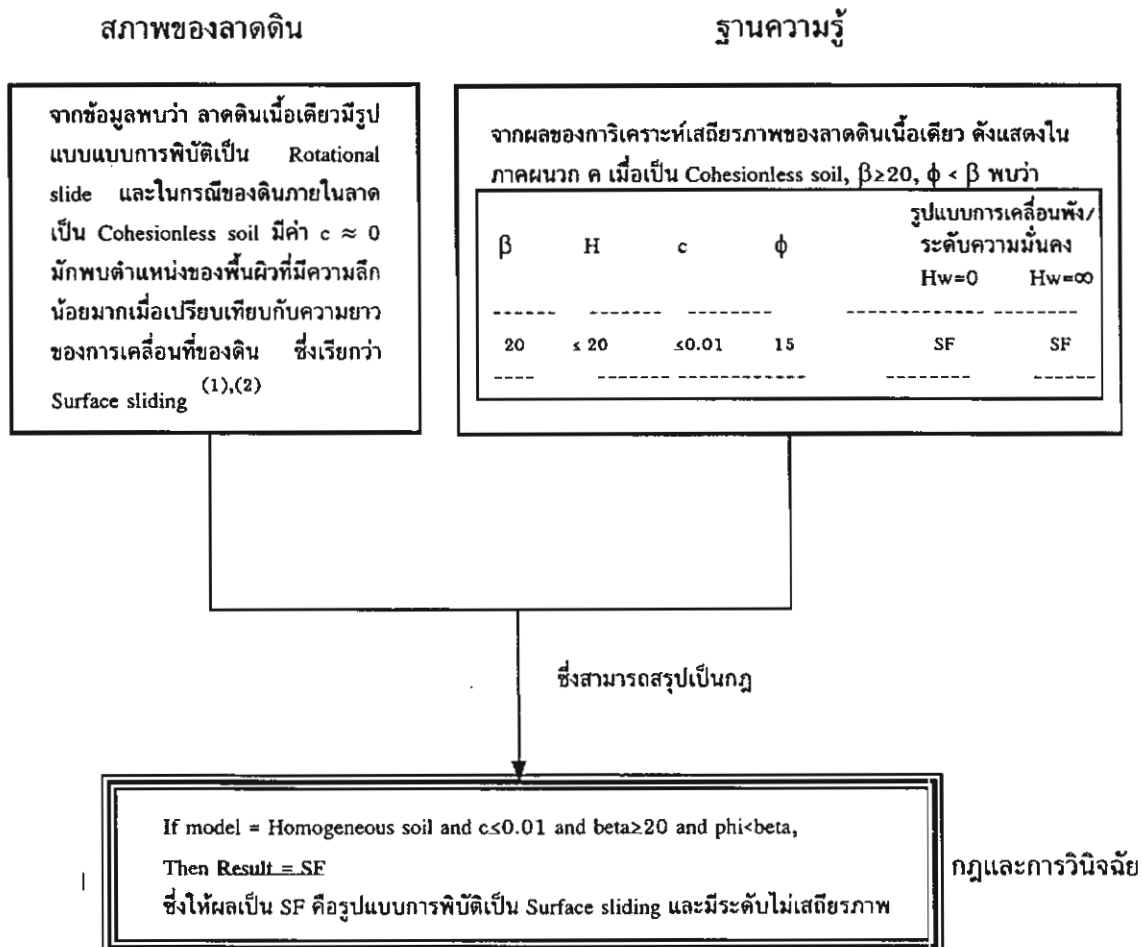


หมายเหตุ:

- (1) เป็น Taylor (1948), Chowdhury (1978), Varnes (1978), DM-7.1 (1982), Vaunat และคณะ (1996), Leiner และคณะ (1996)
- (2) เป็นข้อมูลพิบัติจากการออกสำรวจในภาคสนาม และเอกสารอ้างอิง

รูปที่ 4.22 ตัวอย่างของกฎสำหรับรูปแบบการพังทลายและระดับเสถียรภาพของลาดดินเนื้อเดียวเมื่อเป็น Cohesive soil มีค่า c และค่า ϕ ไม่ใกล้เคียงศูนย์

กฎในกรณีของ Cohesionless soil มีค่า c ใกล้เคียงศูนย์ ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 4.23



หมายเหตุ:

- (1) เป็น Chowdhury (1978), Varnes (1978), DM-7.1 (1982), Leiner (1996), Terzaghi และคณะ (1996), Vaunat และคณะ (1996)
- (2) เป็นข้อมูลการพังทลายที่พบจากการสำรวจในภาคสนาม

รูปที่ 4.23 ตัวอย่างของกฎสำหรับรูปแบบการพังทลายและระดับเสถียรภาพของลาดดินเนื้อเดียว เมื่อเป็น Cohesionless soil มีค่า $c \approx 0$

1.2 ตัวอย่างในกรณี Nonhomogeneous soil (strength varies with depth) ดังแสดงในรูปที่ 4.24

สภาพของลาดดิน

จากข้อมูลพบว่า ลาดดินใน Nonhomogeneous soil (strength varies with depth) ซึ่งเป็นลักษณะของชั้นดินในที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง และในงานวิจัยนี้ใช้สมการของ SHANSEP สำหรับการคำนวณค่า S_u ที่มีค่า $f=0.24$ และ $O.C.R=1$ มีรูปแบบการพังทลายเป็น Rotational slide มักพบตำแหน่งของพื้นผิวในลาดดินที่มีความสูงไม่มากกว่า 5 เมตร เป็น Base rotational slide (1),(2)

ฐานของความรู้

จากผลของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินใน Nonhomogeneous soil ดังแสดงในภาคผนวก ค เมื่อ $\beta \geq 20$, $2 < H \leq 5$ พบว่า

β	H	c	ϕ	รูปแบบการเคลื่อนพัง/ ระดับความมั่นคง	
				Hw=0	Hw= ∞
20	5	แปรเปลี่ยนตามความลึก	0	BFX	BFX

ซึ่งสามารถสรุปเป็นกฎ

If model = Nonhomogeneous soil(strength varies with depth) and $\beta \geq 20$ and $2 < H \leq 5$,

Then Result = BFX

ซึ่งให้ผลเป็น BFX คือรูปแบบการพังทลายเป็น Base rotational slide และมีระดับไม่เสถียรภาพ การวิเคราะห์สามารถใช้ Stability chart ในการพิจารณาระดับเสถียรภาพได้โดยประมาณ

กฎและการวินิจฉัย

หมายเหตุ:

- (1) เป็น Taylor chart (1948), Janbu (1967), Chowdhury (1978), Varnes (1978), DM-7.1 (1982), Leiner (1996), Terzaghi และคณะ (1996), Vaunat และคณะ (1996)
- (2) เป็นข้อมูลการพิบัติจากการสำรวจในสนามและเอกสารอ้างอิงรวมถึงจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ 4.24 ตัวอย่างของกฎสำหรับรูปแบบการพังทลายและระดับเสถียรภาพของลาดดินใน Nonhomogeneous soil (strength varies with depth)

1.3 ตัวอย่างในกรณี Stratified soil ดังแสดงเป็นตัวอย่างกฎในชั้นดินมากกว่า 2 ชั้น ในรูปที่ 4.25 และ ชั้นดิน 2 ชั้นในรูปที่ 4.26

สภาพของลาดดิน

จากข้อมูลพบว่า ลาดดินใน Stratified soil ซึ่งประกอบด้วยชั้นดินมากกว่า 2 ชั้น และดินชั้นบนเป็น Cohesive soil ที่มีค่า c และ ϕ ไม่ใกล้เคียงศูนย์ มีรูปแบบการพิบัติประกอบด้วย พื้นผิวส่วนโค้งของวงกลมจากผิวดินลงมา แล้วต่อเนื่องด้วยพื้นผิวนราบในชั้นดินอ่อน หรือ Translational slide ที่ประกอบด้วย blocks หลาย blocks โดยที่ตำแหน่งของพื้นผิวขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความแข็งแรงของดินในแต่ละชั้น และตำแหน่งของชั้นดินอ่อน^{(1),(2)}

สามารถสรุปเป็นกฎ

กฎและการวินิจฉัย

If Model = Stratified soil and Soil profile = More than two soil layers and Upper soil = $c1$ and $\phi1$ is not zero,
Then Result = R6
ซึ่งให้ผลเป็น R6 คือรูปแบบการพิบัติเป็น Translational slide หรือ Complex type คำอธิบายเป็นรายละเอียดแสดงในตารางผนวกที่ 18

หมายเหตุ:

- (1) เป็น Chowdhury (1978), Vames (1978), DM-7.1 (1982), Terzaghi และคณะ (1996)
- (2) เป็นข้อมูลที่พบจากการสำรวจในภาคสนาม, เอกสารจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง, และเอกสารอ้างอิง

รูปที่ 4.25 ตัวอย่างของกฎสำหรับรูปแบบการพิบัติของลาดดินใน Stratified soil ซึ่งประกอบด้วยชั้นดินมากกว่า 2 ชั้น และดินชั้นบนเป็น Cohesive soil ที่มีค่า c และ ϕ ไม่ใกล้เคียงศูนย์

สภาพของลาดดิน

จากข้อมูลพบว่า ลาดดินใน Stratified soil ซึ่งประกอบด้วยชั้นดิน Cohesive soil ที่มีค่า $\phi \approx 0$ วางบนชั้นดิน Firm strata มีรูปแบบการพังทลายเป็น Rotational slide เมื่อ $d > 0.50$ และ $\beta < 54$ ตำแหน่งพื้นผิวเป็น Base failure⁽¹⁾

กฎและการวินิจฉัย

สามารถสรุปเป็นกฎ

If Model = Stratified soil and Soil profile = Two soil layers and Upper soil = Φ_{il} is zero and Lower soil = Firm strata and $d > 0.50$ and $\beta < 54$,

Then Result = B

ซึ่งให้ผลเป็น B คือรูปแบบการพังทลายเป็น Base rotational slide คำอธิบายเป็นรายละเอียดแสดงในตารางผนวกที่ 18

หมายเหตุ:

(1) เป็น Taylor chart (1948), Janbu (1967), Chowdhury (1978), Varnes (1978), Dm-7.1(1982), Terzaghi และคณะ (1996)

รูปที่ 4.26 ตัวอย่างของกฎสำหรับรูปแบบการพังทลายของลาดดินใน Stratified soil เมื่อเป็นดิน 2 ชั้น และประกอบด้วยชั้นดิน Cohesive soil ที่มีค่า $\phi \approx 0$ วางบน Firm strata

โดยที่คำวินิจฉัยของกฎในฐานความรู้ KB1 เป็นเพียงคำแนะนำเท่านั้น การวิเคราะห์เชิงรายละเอียดยังเป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการอยู่สำหรับการออกแบบและการก่อสร้าง

2. กฎจากฐานความรู้ KB2 ได้สรุปจากความรู้ของค่าความแข็งแรงของดิน, ลักษณะของดินเหนียวกรุงเทพฯ, และสภาพความชื้นของแผ่นดินไหวของแต่ละพื้นที่ในประเทศไทย มีจำนวนทั้งหมด 113 กฎ โดยมีกลุ่มข้อมูลที่ป้อนเข้าดังแสดงในตารางที่ 4.7 และลักษณะของคำตอบดังแสดงในตารางผนวกที่ จ.1 ซึ่งมีผังแสดงข้อมูลที่ป้อนเข้าและคำตอบของแต่ละกฎในรูปผนวกที่ จ.1 ถึง จ.4

ตารางที่ 4.7 Parameter ของคุณสมบัติของดินโดยประมาณและความชื้นของแผ่นดินไหว

Parameter	คำอธิบาย	Attribute list
Part	ภาค	เลือกชื่อภาค ซึ่งมี 5 ภาค คือ Central, Eastern, Northeastern, North, South
Province	จังหวัด	เลือกชื่อจังหวัดในประเทศไทย ซึ่งมี 76 จังหวัด
Amphoe	อำเภอ	เลือกชื่ออำเภอในแต่ละจังหวัด

ซึ่งมีตัวอย่างของกฎ ดังแสดงในรูปที่ 4.27 ถึงรูปที่ 4.28

ตำแหน่งของลาดดิน

จากข้อมูลพบว่า ชั้นดินในจังหวัดกรุงเทพ ประกอบด้วยชั้นดินช่วงบนหนาโดยเฉลี่ยประมาณ 15 - 25 เมตร มีลักษณะเป็นดินเหนียวกรุงเทพ(Bangkok clay) ซึ่งมีความแข็งแรงของดินในสภาพ Undrained shear strength แปรเปลี่ยนตามความลึกที่สอดคล้องกับสมการของ SHANSEP คือ $S_u = f(\sigma'_{vo})$ เมื่อ f มีค่าประมาณ 0.24-0.27 และค่า O.C.R. ใกล้เคียง 1.0 และยังพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของแผ่นดินไหว(K_s) ในบริเวณจังหวัดกรุงเทพฯ มีค่าประมาณ 0.01g ถึง 0.0025g⁽¹⁾

กฎและการวินิจฉัย

สามารถสรุปเป็นกฎ

If Part = Central and Province = Bangkok,

Then Result = BKKC A is 0.01g to 0.025g

ซึ่งให้ผลเป็น BKKC A is 0.01g to 0.025g คือลักษณะของชั้นดินในจังหวัดกรุงเทพประกอบด้วยชั้นดินเหนียวกรุงเทพในช่วงดินชั้นบน และค่า K_s ประมาณ 0.01g ถึง 0.025g คำอธิบายเป็นรายละเอียดแสดงในตารางผนวกที่ 20

หมายเหตุ: (1) เป็นแหล่งของข้อมูลได้แก่ Piencharoen และคณะ (2519), วิชาญ และคณะ (2520), สุวัฒน์ และคณะ (2538), เอกสารรายงานการสำรวจดินของโครงการในประเทศไทย, แผนที่แสดงความเข้มของแผ่นดินไหวตาม Modified Mercalli Scale, แผนที่จังหวัดและอำเภอในประเทศไทย

รูปที่ 4.27 ตัวอย่างของกฎแสดงลักษณะของดินเหนียวกรุงเทพ และสภาพความเข้มของแผ่นดินไหวของพื้นที่ประเทศไทย

ตำแหน่งของลาดดิน

จากข้อมูลพบว่า ชั้นดินในอำเภอเขาสวนกวาง จังหวัดขอนแก่น มีลักษณะไม่เป็นดินเหนียวกรุงเทพ โดยมีคำแนะนำเรื่องช่วงของความแข็งแรงของดินแต่ละประเภทจำแนกตาม USCS แสดงเป็น Soil chart และมีค่า K_s ประมาณ 0.01g to 0.025g⁽¹⁾

กฎและการวินิจฉัย

สามารถสรุปเป็นกฎ

If part = Northeastern and province = Khon Khen and Amphoe Khao Suan Kwang,

Then Result = See soil chart A is 0.01g to 0.025g

ซึ่งให้ผลเป็น See soil chart A is 0.01g to 0.025g คือคำแนะนำช่วงความแข็งแรงของดินแต่ละประเภทที่จำแนกตามระบบ USCS และมีค่า K_s ประมาณ 0.01g ถึง 0.025g คำอธิบายเป็นรายละเอียดแสดงในตารางผนวกที่ 20

หมายเหตุ: (1) เป็นแหล่งของข้อมูล ได้แก่ เอกสารรายงานการสำรวจดินของโครงการในประเทศไทย, แผนที่แสดงความเข้มของแผ่นดินไหวตาม Modified Mercalli Scale, แผนที่จังหวัดและอำเภอในประเทศไทย

รูปที่ 4.28 ตัวอย่างของกฎแสดงช่วงของค่าความแข็งแรงของดินแต่ละประเภท และสภาพความเข้มของแผ่นดินไหวของแต่ละพื้นที่ในประเทศไทย

โดยที่การช่วยตัดสินใจจากกฎในฐานความรู้ KB2 เป็นเพียงคำแนะนำเท่านั้น การสำรวจดินยังเป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการอยู่สำหรับการออกแบบ และการก่อสร้าง

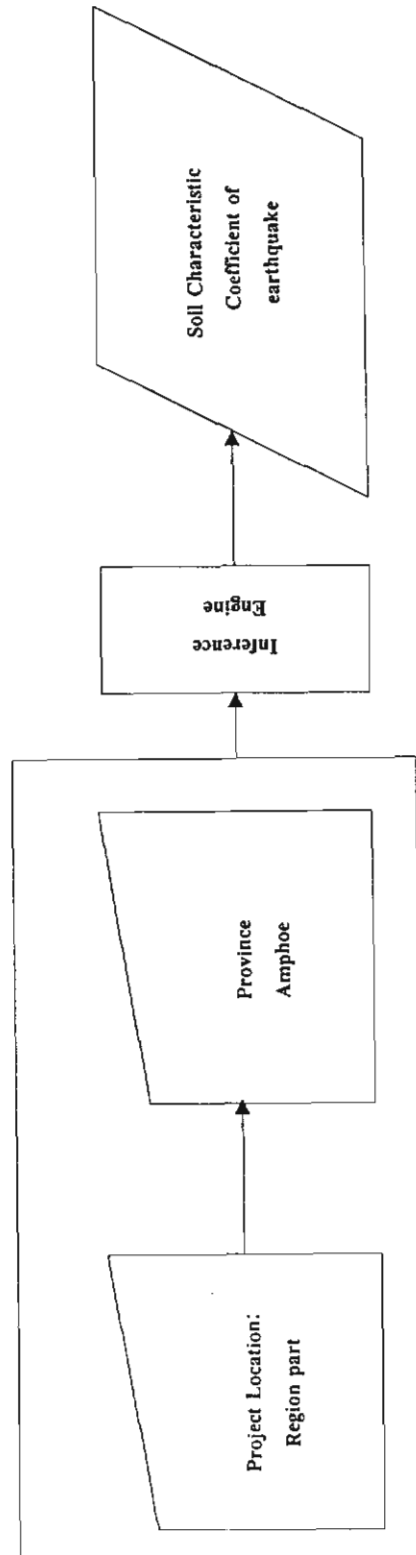
4.3 ผลการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินต้นแบบ, KU-EXslope

ในงานวิจัย ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งมีชื่อว่า KU-EXslope สร้างมาจากการนำฐานความรู้มาจัดการเป็นข้อตัดสินใจในการตอบคำถามแก่ผู้ใช้ โดยแสดงในรูปของกฎมุ่งเน้นเพื่อให้คำแนะนำแก่ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้องมากขึ้น โดยที่กฎต่างๆเหล่านี้จะมีการตรวจสอบความถูกต้องของทั้งเงื่อนไขและคำตอบ ด้วยการเปรียบเทียบกับข้อมูลการพิบัติจากที่พบในสนามและเอกสารที่เกี่ยวข้อง ก่อนการจัดทำระบบ KU-EXslope

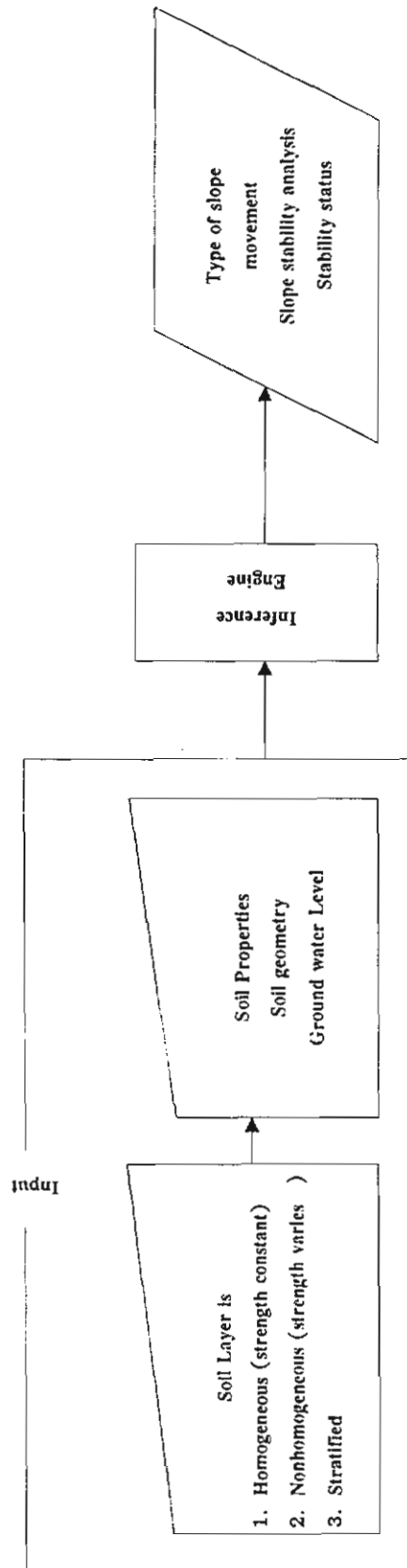
การสร้างระบบ KU-EXslope ได้มาจากการพัฒนามาตรฐานระบบช่วยเขียนระบบผู้เชี่ยวชาญ ที่คัดเลือกแล้ว คือ โปรแกรม RAISON เพื่อให้มีความสะดวกต่อผู้ใช้ในการใช้งานของระบบ ด้วยการป้อนกฎต่างๆเข้าในโปรแกรม RAISON ซึ่งทำหน้าที่จัดการกฎต่างๆ ให้อยู่ในลักษณะที่เป็นระบบต่อการค้นหาและประมวลเป็นคำตอบ ดังแสดงเป็นผังของข้อมูลที่ป้อนเข้า และคำตอบในรูปที่ 4.29 ถึงรูปที่ 4.30

การทำงานของระบบ KU-EXslope

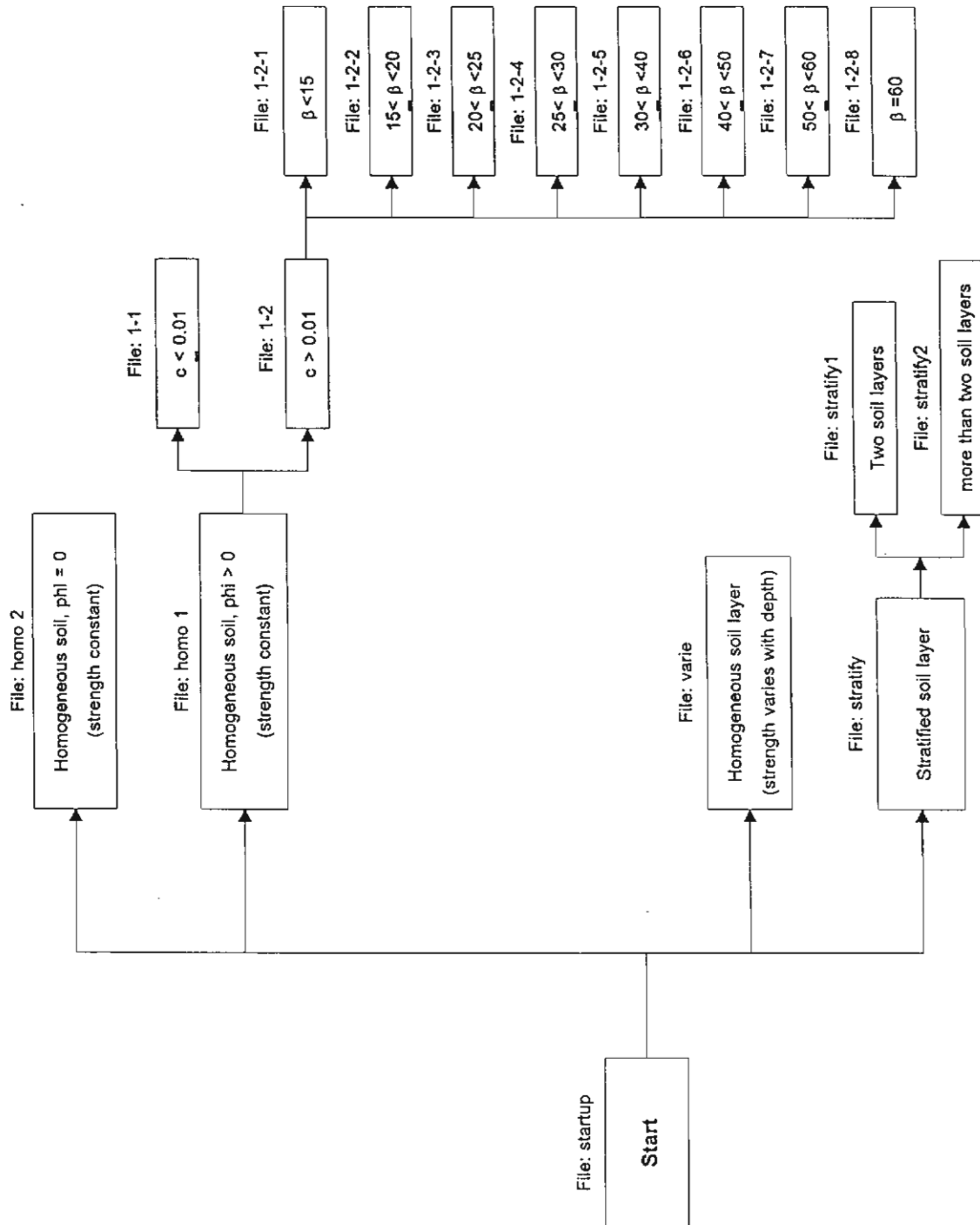
กฎต่างๆในฐานความรู้ จะถูกจัดการและเปรียบเทียบในการหาเหตุผล เพื่อให้ได้คำตอบออกมาเป็น Chart ที่เรียกว่า Decision tree ซึ่งจะแสดงในระบบ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของกฎ โดยโปรแกรม RAISON ในลักษณะที่มีการต่อเชื่อมไปข้างหน้า (Forward chaining) นั่นคือ ค้นหาจากเหตุผลหรือเงื่อนไขในกฎ ไปหาคำตอบ ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า การอนุมาน (Inference) โดยเครื่องอนุมาน (Inference engine) ในระบบ เนื่องจากกฎมีจำนวนมาก และเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของกฎตลอดจนการทำงานของโปรแกรมได้เร็วขึ้น จึงได้แบ่งออกเป็น File ต่างๆ ในแต่ละฐานความรู้ ดังแสดงในรูปที่ 4.31 ถึงรูปที่ 4.32 นอกจากนี้ ยังมีส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ที่เรียกว่า User interface สำหรับให้ผู้ใช้ป้อนค่าต่างๆ สำหรับคำถามในลักษณะที่เรียกว่า Interactive mode ซึ่งในการนี้ ระบบจะทำการวิเคราะห์และตรวจสอบค่าต่างๆ ที่ได้กับกฎต่างๆ เพื่อแสดงคำตอบออกมาทาง Decision tree และแสดงคำตอบแก่ผู้ใช้ทราบทางหน้าจอ



รูปที่ 4.29 ฟังก์ชันข้อมูลที่ใช้ป้อนเข้าและค่าตอบของกฎในฐานความรู้ KB1

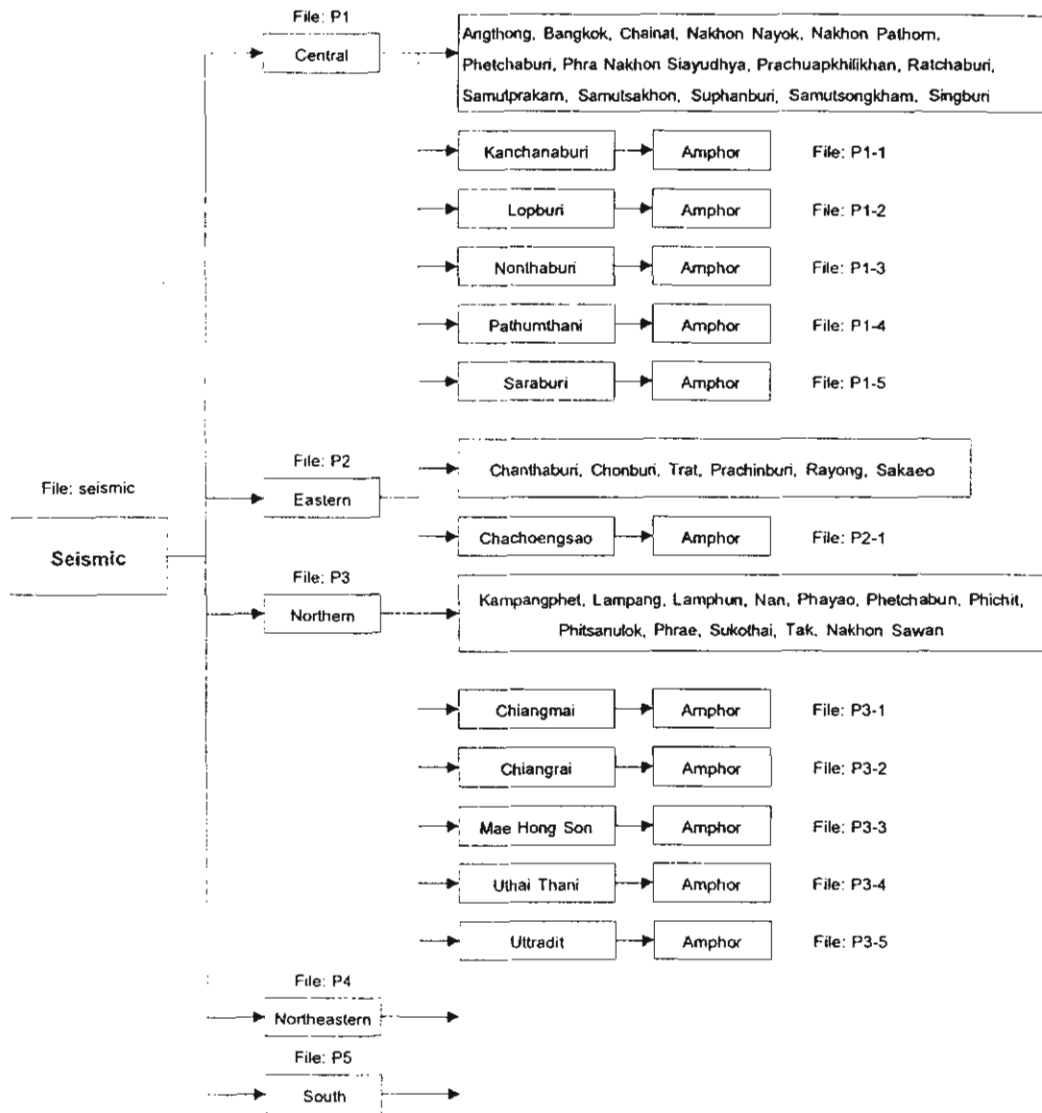


รูปที่ 4.3.๑ ผังของข้อมูลที่ป้อนเข้าและคำตอบของกฎในฐานความรู้ KB2



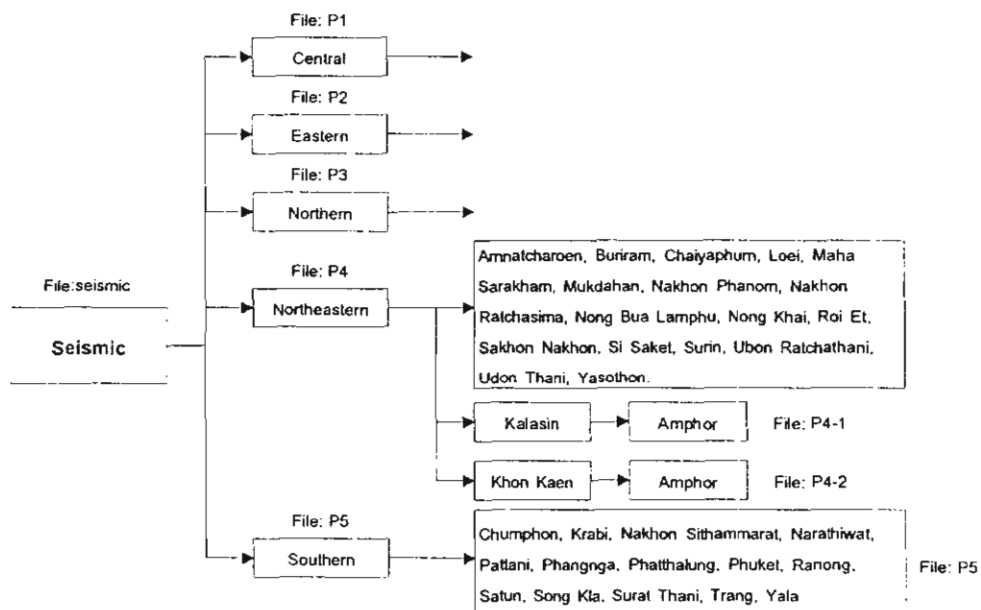
รูปที่ 4.3.1 ฟังก์ชัน File ของฐานความรู้ KB1 ในระบบ KU-EXslope

Note: Extension file เป็น exp.



Note: Extension file เป็น Exp.

รูปที่ 4.32 ผังของ File ของฐานความรู้ KB2 ในระบบ KU-EXslope



Note: Extension file เป็น exp.

รูปที่ 4.32 (ต่อ)

การใช้งาน KU-EXslope เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เริ่มจากผู้ใช้เลือกฐานความรู้ เช่น KB1 สำหรับช่วยเหลือในการวินิจฉัยรูปแบบการเคลื่อนพังและระดับเสถียรภาพของลาดดิน หรือ KB2 สำหรับแนะนำในการตัดสินใจเลือกช่วงของความแข็งแรงของดิน ลักษณะของดินเหนียวกรุงเทพ และ สภาพความชื้นของแผ่นดินไหวของแต่ละพื้นที่ในประเทศไทย ด้วยการเปิด File ชื่อ Startup สำหรับ KB1 และ File ชื่อ Seismic สำหรับ KB2 แล้วจึงดำเนินการป้อนข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ซึ่งระบบจะให้ผลเป็นคำตอบทางหน้าจอ ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 4.33 ถึงรูปที่ 4.35

4.4 การทดสอบและการประเมินสมรรถภาพของระบบ

การพิจารณาความถูกต้องของระบบ จะต้องมีการตรวจสอบโดยพิจารณาจากสภาพการณ์ที่เกิดขึ้นจริง และความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ ด้วยการนำเงื่อนไขต่างๆที่ได้สร้างไว้ในระบบมาทำการทดสอบ ซึ่งในการนี้ได้พิจารณาเปรียบเทียบจากฐานข้อมูลของสภาพการพังทลายของลาดดินที่พบว่าสอดคล้องกันหรือไม่ ดังแสดงเป็นตัวอย่างกรณีศึกษา 4 ตัวอย่าง คือ

กรณีที่ 1 การพังทลายของคันทางของถนนในเขตหนองจอก

กรณีที่ 2 การพังทลายของริมตลิ่งแม่น้ำโขงที่บ้านทรายมูล อ.ธาตุพนม จังหวัดนครพนม

กรณีที่ 3 การพังทลายของคันดินถมข้างทางรถไฟสายกรุงเทพ-มาบตาพุด ที่บ้านกิโลเมตร 16 จังหวัดระยอง

กรณีที่ 4 การพังทลายของลาดเขาเนื่องจากการตัดไหล่เขาเพื่อทำถนน Hue Hue ในประเทศออสเตรเลีย

ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.8 ถึงตารางที่ 4.11

ผลของการทดสอบ พบว่าเงื่อนไขและคำตอบสอดคล้องกับข้อมูลการพิบัติของลาดดิน เนื่องจากกฎที่สร้างขึ้น จะถูกพิจารณาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เก็บรวบรวมก่อนการป้อนเข้าไปในระบบ นอกจากนี้ การป้อนข้อมูลตามเงื่อนไขของกฎ และการทราบคำตอบทางหน้าจอ ประกอบคำอธิบายเป็นรายละเอียดอยู่ด้วย มีลักษณะที่สะดวกและง่ายต่อผู้ใช้ในการนำระบบ KU-EXslope มาใช้งาน ซึ่งในการนี้ได้แสดงขอบเขตของความสามารถของระบบ KU-EXslope สำหรับการวินิจฉัยรูปแบบการเคลื่อนพังและระดับไม่เสถียรภาพของลาดดินของแต่ละลักษณะชั้นดินในแต่ละช่วงของค่า c (Cohesion) ค่า ϕ (Angle of internal friction) ค่า β (Slope angle) และค่า H (Slope height) ดังแสดงในตารางที่ 4.12

1. Click mouse ที่ RAISON for Windows

Modules

2. Click mouse ที่ Expert Systems

3. โปรแกรมส่วน Expert System

4. Click mouse ที่ File

5. Click mouse ที่ Open...

6. Dialog Box Open

7. เลือก File ที่ต้องการ

8. Click mouse ที่ OK

Tool Bar

Rules

Model [Results]

Tree decision

Rules	Model	Results
1	Homogeneous soil	Homo-pi not equal
2	Homogeneous soil	(Pi Homo-pi equal 0)
3	Nonhomogeneous	(str Nonhomo (Varies)
4	Stratified Soil	Stratified Soil
5		

Ready

NUM

รูปที่ 4.33 การเปิดใช้งานระบบ KU-EXslope

Parameter -

เป็นตัวแปรที่ให้ผู้ใช้งานใส่ข้อมูล

Attribute List -

เป็นตัวเลือกของข้อมูลที่ใช้ในการใส่ค่าสำหรับ Parameter

Values Box -

ใช้สำหรับการกำหนดค่าให้ Parameter

รูปที่ 4.34 การป้อนข้อมูลเข้าในระบบ KU-EXslope

Parameter Values List -

สรุปค่าของ Parameter ที่กำหนดขึ้น

Results -

สรุปผลของการตัดสินใจ

Explanations -

อธิบายรายละเอียดของผลที่ได้

รูปที่ 4.35 การแสดงคำตอบทางหน้าจอ

ตารางที่ 4.8 กรณีการพังทลายของคันทางของถนนในเขตหนองจอก

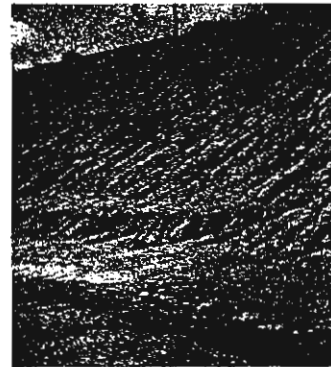
Knowledge base	Input	Result	Fact
KB2	Part = Central Province = Bangkok	BKKC A = 0.010g to 0.025g Explanation: The upper soil layer is soft clay (Bangkok clay), with shear strength varies with depth and $S_u = (0.24 \text{ to } 0.27) \cdot \sigma'_{vo}$, σ'_{vo} is the effective overburden pressure, and also it should be normally consolidated clay. * This is for guideline only. The soil investigation must be done*	ลักษณะชั้นดินพบว่า ช่วงบนเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน ที่เรียกว่า ดินเหนียวกรุงเทพ หนาประมาณ 12 เมตร ซึ่งมีค่า ϕ เป็นศูนย์ และค่า S_u โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 ตันต่อตารางเมตร
KB1	Soil model = Non-homogeneous soil (strength varies with depth) Beta = Slope angle = 35 degree H = Slope height = 2.50 m.	BFX Explanation: Type of movement; Base rotational slide in Bangkok clay using Simplified Bishop or Fellenius method. Stability status; Failure, it should be stabilized. Analysis method for strength test; Total strength analysis ($\phi = 0$) for very soft to medium stiff clay. * This is for guideline only. Slope stability analysis should be done. Stability status is resulted from soil around Ruam Pattana road, Amphoe Nongchok, Bangkok.*	 สภาพการพังทลาย คือเกิดการทรุดตัวลงมาประมาณ 0.50 เมตร รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น Base rotational slide และมี Tension crack ลึกประมาณ 0.50 เมตร คาดว่าเกิดจากการซุดลอกคลองและการลดระดับน้ำทันที (Rapid drawdown)

ตารางที่ 4.9 กรณีการพังทลายของริมตลิ่งแม่น้ำโขงที่บ้านทรายมูล อ.ธาตุพนม จ.นครพนม

Knowledge base	Input	Result	Fact
KB2	Part = Northeastern Province = Nakhon Phanom	See soil chart A is 0.01g to 0.025g Explanation: Soil strength determined from the soil chart, $K_s =$ 0.01g to 0.025g * This is for guideline only. The soil investigation must be done*	ลักษณะชั้นดินพบว่า สภาพดิน เดิมส่วนใหญ่ช่วงบนเป็นดิน ประเภท CL มีความหนา ประมาณ 10 เมตร ซึ่งมีค่า $\phi =$ 11 องศา และค่า $c = 1$ ตันต่อ ตารางเมตร
KB1	Soil model = Homogeneous soil, ϕ more than zero Beta = Slope angle = 45 degree H = Slope height = 10.00 m. Phi = Angle of internal friction	TF Explanation: Type of movement; Toe rotational slide using Simplified Bishop or Fellenius method. Stability status; Failure, it should be stabilized. Analysis method for strength test; Total strength analysis ($\phi \neq$ 0) or Effective strength analysis for stiff to hard clay; Effective strength analysis for coarse grained soil and silt	 สภาพการพังที่พบ คือ รูป แบบของการเคลื่อนพัง เป็น Toe rotational slide คาดว่าเกิดจากการที่สภาพ ดินเป็นกลุ่มดินที่ง่ายต่อ การถูกกัดเซาะ โดยเฉพาะ หน้าน้ำหลากประมาณ เดือนสิงหาคม ซึ่งเป็นช่วง ฤดูฝน ประกอบกับเกิด สภาพลระดับน้ำขึ้นใน แม่น้ำโขง

ตารางที่ 4.10 กรณีการพังทลายของลาดคั่นถรมริมทางรถไฟสายกรุงเทพ-มาบตาพุด จว.ระยอง

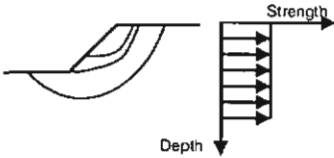
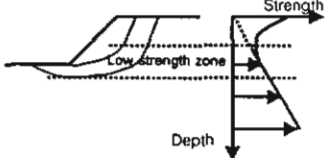
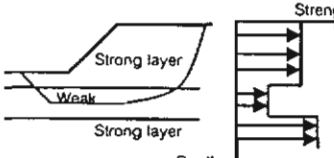
Knowledge base	Input	Result	Fact
KB2	Part = East Province = Rayong	See soil chart A is 0 to 0.01g Explanation: Soil strength determined from the soil chart, $K_s = 0$ to 0.01g * This is for guideline only. The soil investigation must be done*	ลักษณะชั้นดินพบว่า สภาพดินส่วนใหญ่ช่วงบนเป็นดินประเภท SM มีความหนาประมาณ 8 เมตร ซึ่งมีค่า $\phi \approx 22$ องศา และค่า $c = 0$
KB1	Soil model = Homogeneous soil, phi more than zero Beta = Slope angle = 45 degree H = Slope height = 8 m. Phi = Angle of internal friction = 22 degree c = Cohesion = 0	SF Explanation: Type of movement; Rotational slide with surface sliding (the ratio of D/L less than 10%) using Simplified Bishop, Fellenius method, or Infinite slope method. Stability status; Failure, it should be stabilized. Analysis method for strength test; Total strength analysis ($\phi \neq 0$) or Effective strength analysis * This is for guideline only. Slope stability analysis should be done *	สภาพการพังทลาย คือ รูปแบบของการเคลื่อนที่ เป็นการเซาะที่ผิวของลาด ซึ่งในที่นี้จัดได้ว่าเป็น Surface sliding คาดว่าเกิดจากการที่มีน้ำขังภายในดินซึ่งมีผลจากการระบายน้ำออกจากดินไม่ดีพอ ทำให้ความแข็งแรงของดินลดลงกว่าที่ได้ออกแบบไว้ ประกอบกับในช่วงฤดูฝน มีการชะล้างดินให้เคลื่อนตัวลงมา



ตารางที่ 4.11 กรณีการพังทลายของไหล่เขาเพื่อทำถนน Hue Hue ในประเทศออสเตรเลีย

Knowledge base	Input	Result	Fact
KB2	-	-	ลักษณะชั้นดินพบว่า สภาพดินเดิมประกอบด้วย Residual soil และ Weathered rock ของ Claystone ในช่วงบน ถัดลงมาเป็นของ Siltstone และ Sandstone ลึกลงจนพบชั้นดินอ่อนซึ่งเป็น Residual soil และ Highly to extremely claystone (มีค่า $c'=1$ ตันต่อตารางเมตร และค่า $\phi'=15$ องศา)
			
KB1	Soil model = Stratified soil Soil profile = more than two soil layers Upper parameter = $c1$ and $\phi1$ is not zero	R6 Explanation: Translational slide or Complex type composed of circular surface from the ground surface and planar surface along the base of weaker layer, both should be considered in slope stability analysis and using the lower factor of safety * This is for guideline only. Slope stability analysis should be done. *	สภาพการพังทลาย คือ รูปแบบของการเคลื่อนพังเป็น พื้นผิวเป็นส่วนโค้ง จากผิวดินลึกลงมาถึงชั้นดินอ่อน คือ Residual soil และ Highly to extremely ของ Claystone พื้นผิวจะขยายลึกลงมาแล้วเปลี่ยนเป็นพื้นระนาบ สัมผัสและขนานกับส่วนล่างของชั้นดินอ่อนชั้นนี้

ตารางที่ 4.12 ขอบเขตของความสามารถหรือศักยภาพของระบบ KUXslope สำหรับการวินิจฉัยรูปแบบการเคลื่อนพังและระดับไม่เสถียรภาพของลาดดิน

ลักษณะของชั้นดิน	c, ตันต่อตร.ม.	ϕ , องศา	β , องศา	H, ม.
	Hw			
Homogeneous soil 	≤ 0.05	0		0
	$0.05 < c \leq 0.10$	$0 < \phi \leq 10$	10	2
	$0.10 < c \leq 0.50$	$10 < \phi \leq 15$	$10 < \beta \leq 15$	$2 < H \leq 5$
	$0.50 < c \leq 1.00$	$15 < \phi \leq 20$	$15 < \beta \leq 20$	$5 < H \leq 10$
	$1.00 < c \leq 2.00$	$20 < \phi \leq 25$	$20 < \beta \leq 25$	$10 < H \leq 20$
	$2.00 < c \leq 4.00$	$25 < \phi \leq 30$	$25 < \beta \leq 30$	
	> 4.00	$30 < \phi \leq 40$	$30 < \beta \leq 40$	
Nonhomogeneous soil (strength varies with depth) 	≤ 0.05	0		0
	$0.05 < c \leq 0.10$	$0 < \phi \leq 10$	10	2
	$0.10 < c \leq 0.50$	$10 < \phi \leq 15$	$10 < \beta \leq 15$	$2 < H \leq 5$
	$0.50 < c \leq 1.00$	$15 < \phi \leq 20$	$15 < \beta \leq 20$	$5 < H \leq 10$
	$1.00 < c \leq 2.00$	$20 < \phi \leq 25$	$20 < \beta \leq 25$	$10 < H \leq 20$
	$2.00 < c \leq 4.00$	$25 < \phi \leq 30$	$25 < \beta \leq 30$	
	> 4.00	$30 < \phi \leq 40$	$30 < \beta \leq 40$	
Stratified soil 	≤ 0.05	0		0
	$0.05 < c \leq 0.10$	$0 < \phi \leq 10$	10	2
	$0.10 < c \leq 0.50$	$10 < \phi \leq 15$	$10 < \beta \leq 15$	$2 < H \leq 5$
	$0.50 < c \leq 1.00$	$15 < \phi \leq 20$	$15 < \beta \leq 20$	$5 < H \leq 10$
	$1.00 < c \leq 2.00$	$20 < \phi \leq 25$	$20 < \beta \leq 25$	$10 < H \leq 20$
	$2.00 < c \leq 4.00$	$25 < \phi \leq 30$	$25 < \beta \leq 30$	
	> 4.00	$30 < \phi \leq 40$	$30 < \beta \leq 40$	

- คำอธิบาย 1. ศักยภาพระดับ 1 คือระบบสามารถให้คำวินิจฉัยในรูปแบบและตำแหน่งพื้นผิวของการเคลื่อนพัง และระดับไม่เสถียรภาพของลาดดินทุกประเภท
2. ศักยภาพระดับ 2 คือระบบสามารถให้คำวินิจฉัยในรูปแบบและตำแหน่งพื้นผิวของการเคลื่อนพัง และระดับไม่เสถียรภาพของลาดดินเหนียวกรุงเทพฯ โดยเฉพาะบริเวณที่ถนนร่วมพัฒนา เขตหนองจอก กรุงเทพฯ
3. ศักยภาพระดับ 3 คือระบบสามารถให้คำวินิจฉัยในรูปแบบและตำแหน่งพื้นผิวของการเคลื่อนพัง แต่ต้องมีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเพื่อสรุปเป็นคำตอบที่แน่นอน
4. Hw เป็น 0 คือระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน
Hw เป็น ∞ คือระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกมาก และไม่มีผลกระทบต่อเสถียรภาพของลาดดิน

4.5 การเผยแพร่และการประยุกต์ใช้

การเผยแพร่มีขึ้นเพื่อทราบถึงผลของความสามารถในการใช้งานของระบบได้อย่างกว้างขวางจากบุคคลภายนอก ทำให้ทราบถึงความสัมฤทธิ์ผลของงานวิจัย รับฟังความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุง รวมถึงการเผยแพร่เพื่อเป็นประโยชน์แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องและประชาชน ลักษณะของการเผยแพร่มีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบได้แก่ รูปแบบของการนำเสนอเป็นบทความทางวิชาการ เอกสาร การประชุมย่อย Internet และสิ่งตีพิมพ์อื่นๆ ดังแสดงเป็นรายละเอียดในตารางที่ 4.13 และ 4.14

ตารางที่ 4.1.3 การเผยแพร่โปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน “KUslope”

วิธีการเผยแพร่	ลักษณะการนำเสนอ	เป้าหมาย	การดำเนินงาน	ผลของการเผยแพร่
<u>โปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน “KUslope”</u>				
1. การประยุกต์ใช้ในการพัฒนา	-บันทึกแจ้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง -บันทึกแจ้งหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	-เพื่อทดสอบและประเมินผล -สามารถในการวิเคราะห์ผล ของโปรแกรม โดยเปรียบเทียบ กับการที่สร้างขึ้นจริง	-นำกรณีศึกษาที่จัดทำสำเร็จมาทำการวิเคราะห์ผลด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ KUslope ที่ศูนย์วิจัยฯ -นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ มาสรุปเป็นแนวทาง ในการป้องกันและแก้ไขปัญหา	-หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้ใช้เป็นแนวทางในการ ดำเนินงานต่อไป
2. การประยุกต์ใช้ในการพัฒนา	-การประชุมย่อยและการนำเสนอ โดยใช้เครื่อง LCD Projector เป็นสื่อในการนำเสนอ	-เพื่อเสนอแนะวิธีแก้ไขปัญหา การพังทลายของคันแม่ -เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย	-นำกรณีศึกษาที่จัดทำสำเร็จมาทำการวิเคราะห์ผลด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ KUslope ที่ศูนย์วิจัยฯ -นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ มาสรุปเป็นแนวทาง ในการป้องกันและแก้ไขปัญหา	-หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้ใช้เป็นแนวทางในการ ดำเนินงานต่อไป
3. การประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์	-รายงานทางวิชาการและเอกสาร ออกแบบเบื้องต้น โครงการเขียน คลองวังโคก	-เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยโดย นำไปใช้ในทางวิศวกรรม	-ใช้โปรแกรม KUslope ในการวิเคราะห์หาค่าอัตรา ส่วนความปลอดภัยของเขื่อน ในการมีวิกฤตต่าง ๆ	-สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

วิธีการเผยแพร่	ลักษณะการนำเสนอ	เป้าหมาย	การดำเนินงาน	ผลของการเผยแพร่
<u>โปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน "KUSLOPE" (ต่อ)</u>				
4. ใช้ในการวิเคราะห์ห่ออกแบบราย	รายงานทางวิชาการและเอกสาร	- เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยโดย	- ใช้โปรแกรม KUSLOPE ในการวิเคราะห์ห่อค่าอัตรา	- สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ดี
ละเอียด โครงการเชื่อมแก๊วคอนกรีต	รายการคำนวณ	นำไปใช้ในงานทางวิศวกรรม	ส่วนความปลอดภัยของเขื่อน	ในการมีวิกฤตต่างๆ
5. ใช้วิเคราะห์ห่อแบบลาดคด	รายงานทางวิชาการและเอกสาร	- เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยโดย	- ใช้โปรแกรม KUSLOPE ในการวิเคราะห์ห่อค่าอัตรา	- สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ดี
โครงการบ้านสวนป่าสัมฤทธิ์	รายการคำนวณ	นำไปใช้ในงานทางวิศวกรรม	ส่วนความปลอดภัยของลาดคด	ในการมีวิกฤตต่างๆ
6. สัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่องการ	- นำเสนอทฤษฎีทางวิชาการต่างๆ	- เพื่อเผยแพร่โปรแกรม KUSLOPE	- จัดให้ผู้เข้าสัมมนาได้รับฟังบรรยายจากวิทยากรโยธา	- หลังจากสัมมนา พบว่าทุกคนให้ความชื่นชมและ
วิเคราะห์เสถียรภาพด้วย โปรแกรม	โดยใช้เครื่อง LCD Projector	ให้เป็นสื่อในหลักสูตรโยธา	ผู้ทรงคุณวุฒิ	สนับสนุนต่อไป
KUSLOPE	เป็นสื่อในการนำเสนอ	- เพื่อจะได้ทราบข้อเสนอนะ	- จัดให้ผู้เข้าสัมมนาได้ทดลองใช้งานโปรแกรมจริง	ที่พัฒนาโดยคนไทยเอง และได้ให้ข้อเสนอแนะที่ดี
	- สานักวิชาการใช้งานโปรแกรม	สำหรับนำไปใช้พัฒนาปรับปรุง	โดยมีผู้เชี่ยวชาญแนะนำและตอบข้อซักถาม	สำหรับการที่จะพัฒนาต่อไปในอนาคต
	KUSLOPE สำหรับงานออกแบบ	โปรแกรมต่อไป	- จัดสัมมนากลุ่มย่อยเพื่อให้ผู้เข้าร่วมได้มีโอกาส	
	ทางวิศวกรรมโยธา โดยให้ผู้เข้ารับ		แสดงความคิดเห็น	
	การอบรมใช้คอมพิวเตอร์ได้			
	ระหว่างทางสารคดี			

ตารางที่ 4.14 การเผยแพร่ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน "KU-EXslope"

วิธีการเผยแพร่	ลักษณะการนำเสนอ	เป้าหมาย	การดำเนินงาน	ผลของการเผยแพร่
ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน "KU-EXslope"				
1. การประยุกต์ใช้ในชีวิตปฏิบัติของลาดดินรับค้ำยันน้ำบางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา	- การสนทนา	เพื่อทดสอบและประเมินการทำงานของระบบฯ	- นำกรณีพิพาทดังกล่าวมาทดสอบใช้ในระบบฯ ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ศูนย์วิจัยฯ - เสนอผลเป็นคำตอบจากระบบแก่ผู้ใช้	- คำตอบแสดงสภาพข้อมูลดินสอดคล้องกับข้อมูลดินที่ได้จากสนาม - คำตอบแสดงสภาพภาพการพังสลอลลิ่งกับสภาพการพังที่พบจากสนาม
2. การให้คำแนะนำด้านการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน	- ทางไปรษณีย์ - ทางโทรสาร	เพื่อประเมินสมรรถภาพของระบบฯ	- จัดทำเป็นแบบฟอร์มให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลที่จะเป็น - ศูนย์วิจัยฯ จะดำเนินการวิเคราะห์และสรุปผลโดยใช้โปรแกรม KU-EXslope แล้วจึงจัดส่งคำแนะนำแก่ผู้ใช้	- จำนวนผู้ส่งแบบฟอร์มเพื่อขอคำแนะนำมีประมาณ 10 กรณี - จัดส่งคำตอบจากระบบแก่ผู้ใช้แล้ว แต่ยังคงขาดการตอบรับแสดงความคิดเห็นในระบบ KU-EXslope จากผู้ใช้
3. การแนะนำระบบแก่กรมทางหลวง	- การบรรยายผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ และการสนทนา	เพื่อพัฒนาระบบฯ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น	- นำเสนอผลงานวิจัย และแนะนำโปรแกรม KU-EXslope - การใช้จากระบบฯ จากกรณีตัวอย่างของวิศวกรและผู้เกี่ยวข้องของกรมทางหลวง	- จากกรณีนำเสนอ พบว่าทุกคนให้ความสนับสนุนต่อการเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีในการเกิดระบบผู้เชี่ยวชาญ KU-EXslope โดยมีข้อเสนอแนะในการที่จะพัฒนาระบบฯ ต่อไปนี้ 1. การสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับผู้ใช้ง่ายและสะดวก 2. โปรแกรมใช้เวลาน้อยในการแสดงคำตอบแก่ผู้ใช้ 3. บริเวณพื้นที่ที่เป็นดินเหนียวกรุงเทพมหานครถูกแบ่งเป็นพื้นที่ย่อยๆ อีก เพื่อความชัดเจนในสภาพของ

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

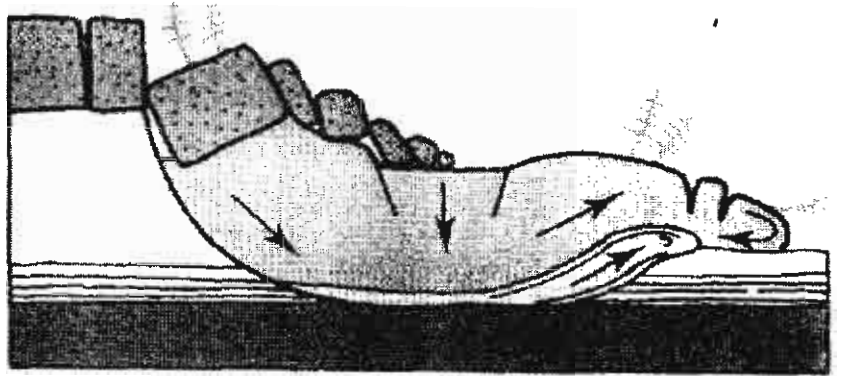
วิธีการเผยแพร่	สื่อที่ใช้	เป้าหมาย	การดำเนินงาน	ผลของการเผยแพร่
ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน "KU-EXslope" (ต่อ)				
3. การแนะนำระบบแก่กรมทางหลวง (ต่อ)				ดินและระดับเสถียรภาพของลาดดินของแต่ละเขตพื้นที่ถูกแบ่ง 4. การเพิ่มการเชื่อมต่อของการทำงานของระบบแบบ Backward chaining สำหรับการวิเคราะห์ย้อนกลับ 5. การเพิ่มการแนะนำสำหรับ การดำเนินงาน Embankment 6. การเพิ่มระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการออกแบบลาดดินที่เหมาะสม. การปรับปรุงแก้ไขลาดดินให้มีเสถียรภาพเป็นขั้นตอนที่เหมาะสมของแต่ละสภาพงาน
4. การแนะนำระบบแก่กรมชลประทาน	-การประชุมย่อยและการนำเสนอโดยใช้เครื่อง LCD Projector เป็นเครื่องมือในการนำเสนอ	-นำเสนอผลงานวิจัย และแนะนำโปรแกรม KU-EXslope -การใช้งานของระบบจากกรณีตัวอย่างของวิศวกรและผู้เกี่ยวข้องของกรมชลประทาน	-จากการนำเสนอ พบว่าทุกคนให้ความสนใจสนทนต่อการเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีใน การเกิดระบบผู้เชี่ยวชาญ KU-EXslope โดยมีข้อเสนอแนะในการที่จะพัฒนาระบบต่อไปในอนาคตดังนี้ 1. การสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับผู้ใช้งานและสะดวก	

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

วิธีการเผยแพร่	สื่อที่ใช้	เป้าหมาย	การดำเนินงาน	ผลของการเผยแพร่
ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน "KU-EXslope" (ต่อ)				
4. การแนะนำระบบแก่กรมชลประทาน (ต่อ)				- โปรแกรมใช้เวลาน้อยในการแสดงค่าตอบแก่ผู้ใช้ - ควรเพิ่มการแนะนำสำหรับกรณีงาน Embankment - ควรเพิ่มระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการปรับปรุงแก้ไขเสถียรภาพของลาดดิน - ควรเพิ่มการเชื่อมต่อกับโปรแกรมการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินคือโปรแกรม Kuslope โดยมีลำดับขั้นตอนของการทำงานคือระบบ KU-EXslope ให้คำแนะนำแก่ผู้ใช้ แล้วส่งข้อมูลต่อไปยังโปรแกรมวิเคราะห์เพื่อเป็นการวิเคราะห์จากสภาพที่แท้จริง แล้วส่งต่อในการให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขเสถียรภาพของลาดดินเมื่อพบว่ามีความไม่เกิดการพังซึ่งได้จากการวิเคราะห์ - ควรเพิ่มการปรับเปลี่ยนแรงดันน้ำในดินในการประมวลผลด้วย

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

วิธีการเผยแพร่	สื่อที่ใช้	เป้าหมาย	การดำเนินงาน	ผลของการเผยแพร่
5. การนำเสนอบทความทางวิชาการในการประชุมทางวิชาการ โดยใช้เครื่อง LCD Projector หน้าชาดครั้งที่ 6	- นำเสนอบทความทางวิชาการ - นำเสนอบทความทางวิชาการ โดยใช้เครื่อง LCD Projector หน้าชาดครั้งที่ 6	เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ	จัดทำบทความดังกล่าว	- ได้รับความสนใจจากผู้เข้าร่วมสัมมนาจำนวนมาก ที่เป็นจุดเริ่มต้นในการรวบรวมข้อมูลและความรู้ของงานลาดคิงไว้อย่างเป็นระบบ
การเผยแพร่ต่อสาธารณชน				
1. การแจกแผ่นพับโครงการวิจัยในการประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 6	- แผ่นพับโครงการวิจัย	- เพื่อเผยแพร่ผลงานของงานวิจัย	- จัดทำแผ่นพับโครงการวิจัย - แจกแผ่นพับโครงการวิจัย	- เป็นการแนะนำระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดคิง คือ โปรแกรม KU-EXslope - โปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดคิง KU-slope, และฐานข้อมูลของกรณีศึกษาที่พบในประเทศไทย - เป็นการให้ความรู้ที่ทันสมัยและเป็นประโยชน์ต่อผู้เกี่ยวข้อง - พิธีของลาดคิงที่เกิดขึ้นในหน้าแล้ง
2. การเขียนบทความ เพื่อเดือนภัยการพิบัติของลาดคิงในหน้าแล้ง	- บทความในหนังสือพิมพ์	- เพื่อให้ความรู้แก่คนทั่วไป	- จัดทำบทความดังกล่าว	- เป็นการให้ความรู้ที่ทันสมัยและเป็นประโยชน์ต่อผู้เกี่ยวข้อง - พิธีของลาดคิงที่เกิดขึ้นในหน้าแล้ง
3. การให้สัมภาษณ์ และข้อมูลแก่สื่อมวลชน เกี่ยวกับภัยพิบัติของลาดคิง	- หนังสือพิมพ์ - วิทยุ - โทรทัศน์	- เพื่อให้ความรู้แก่คนทั่วไป	- จัดเวลาในการให้สัมภาษณ์และข้อมูลต่อสื่อมวลชน	- เป็นการให้ความรู้ที่ทันสมัยและเป็นประโยชน์ต่อผู้เกี่ยวข้อง - พิธีของลาดคิง
4. การทำ Web page	- ระบบเครือข่าย Internet	- เผยแพร่ความรู้ด้านวิศวกรรม	- ให้สัมภาษณ์และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	- เป็นการให้ความรู้และเผยแพร่ความก้าวหน้าของงานวิจัย ซึ่งในปัจจุบันมีผู้เยี่ยมชม Homepage ของโครงการเป็นจำนวนประมาณ 350 ครั้ง
		- เปิดให้บริการรับคำร้องในการขอใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ	- ขอชื่อ URL สำหรับ Homepage โครงการ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	- สามารถเผยแพร่ software ที่ได้พัฒนาขึ้นแก่ผู้ใช้งานในต่างประเทศ
		- เปิดให้บริการขอรับโปรแกรม	เป็น http://www.gerd.eng.ku.ac.th	
		วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดคิง	จัดทำ web page สำหรับเผยแพร่ความรู้และงาน KU-Slope และโปรแกรมวิธีวิจัย	
		การแก้ไขเสถียรภาพของลาดคิง		
		SSM		



5

บทสรุปและเสนอแนะ
เอกสารอ้างอิง

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

การนำระบบผู้เชี่ยวชาญมาประยุกต์ใช้ในงานวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินสำหรับงานวิจัยนี้นับเป็นครั้งแรกในประเทศไทย โดยมีความต้องการให้เป็นประโยชน์สำหรับวิศวกรโยธา และบุคคลที่เกี่ยวข้อง ในการนำไปใช้ในงานวิเคราะห์ได้สะดวกและถูกต้องมากขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. ความเสียหายเนื่องจากการเคลื่อนพังก่อให้เกิดการสูญเสียทรัพย์สิน และชีวิตปีละมากมาย ในขณะที่ประเทศไทยยังพบปัญหาในงานวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดหลายประการ อาทิเช่น ขาดการรวบรวมข้อมูลการพิบัติอย่างเป็นระบบ ผู้เชี่ยวชาญในด้านนี้มีจำนวนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณงาน เป็นต้น โดยที่ความผิดพลาดในการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินมักมีสาเหตุเบื้องต้นมาจากความผิดพลาดในการเลือกคุณสมบัติเฉพาะของดิน และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ จึงนับเป็นครั้งแรกที่มีการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้ข้อแนะนำทางด้านเทคนิคเพื่อช่วยเหลือในการวิเคราะห์

2. ในต่างประเทศได้มีการนำเอาระบบผู้เชี่ยวชาญมาประยุกต์ใช้ในการเสนอแนะเพื่อแก้ไขปัญหาทางด้านงานวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดมีมาไม่น้อยกว่า 10 ปีแล้ว โดยที่ผลงานวิจัยอยู่ในรูปแบบของระบบผู้เชี่ยวชาญที่จัดสร้างขึ้นเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ อาทิเช่น โปรแกรม XPENT ในประเทศฝรั่งเศส ให้ความช่วยเหลือในการบอกรูปแบบของการพังทลาย และการปรับปรุงเสถียรภาพของลาดดิน, Knowledge-based approach to slope stability analysis ในประเทศมาเลเซีย ให้ความช่วยเหลือในการพิจารณาวิธีปรับปรุงเสถียรภาพของลาด เป็นต้น

3. ในงานวิจัยนี้ได้สร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินมีชื่อว่า KU-EXslope ประกอบด้วยฐานความรู้ 2 ฐาน คือ KB1 เป็นความรู้สำหรับการวินิจฉัยรูปแบบการเคลื่อนพังและระดับไม่เสถียรภาพของลาดดิน และ KB2 เป็นความรู้สำหรับให้ความช่วยเหลือในการตัดสินใจเลือกข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์อยู่ 3 ส่วนด้วยกันได้แก่ การหาค่าประมาณของความแข็งแรงของดินแต่ละประเภทที่จำแนกตามระบบ USCS, การประมาณค่าความแข็งแรงของดินเหนียวกรุงเทพฯ, และการประมาณค่าของความเข้มของแผ่นดินไหวของแต่ละพื้นที่ในประเทศไทย

4. ฐานความรู้ที่ใช้สร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วยความรู้ที่ประเมินมาจากข้อมูล 4 ส่วน คือ

4.1 ส่วนของด้านรูปแบบการเคลื่อนพังของลาดดิน ประเมินจากข้อมูลกรณีพิบัติของลาดจากการออกสำรวจในสนาม จากเอกสารของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และจากเอกสารอ้างอิง

4.2 ส่วนของด้านข้อมูลของค่าความแข็งแรงของดินจากรายงานการสำรวจดินของโครงการต่าง ๆ ในประเทศไทย และเอกสารอ้างอิง

4.3 ส่วนของด้านข้อมูลของค่าความเข้มของแผ่นดินไหวจากแผนที่แสดงความเข้มของแผ่นดินไหวตาม Modified Mercalli Scale และแผนที่แสดงตำแหน่งของจังหวัดและอำเภอในประเทศไทย

4.4 ส่วนของด้านตำแหน่งพื้นผิวของการเคลื่อนพัง และระดับเสถียรภาพของลาดดินใน Homogeneous soil และ Nonhomogeneous soil (strength varies with depth) จากผลของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเพิ่มเติมในกรณีของทั้งสองลักษณะชั้นดิน

5. รูปแบบการเคลื่อนพังของลาดดิน และระดับไม่เสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งพิจารณาอิทธิพลจากปัจจัยภายในลาดคือความแข็งแรงของดินและระดับน้ำใต้ดิน (ระดับน้ำที่ผิวดินและระดับน้ำอยู่ลึกมาก) และขนาดหน้าตัดของลาด มีความแตกต่างกันในสามลักษณะชั้นดิน ได้แก่

5.1 Homogeneous soil พบเป็น Rotational slide ที่มีตำแหน่งพื้นผิวเป็น Base, Toe, Slope, หรือ Surface failure และระดับเสถียรภาพของลาดดินที่แตกต่างกันตามประเภทของดินในลาด คือ Cohesive soil ที่มีค่า $\phi \approx 0$ Cohesive soil ที่มีค่า c และ ϕ มากกว่า 0 และ Cohesionless soil ที่มีค่า $c \approx 0$, ค่า Strength parameters ในดิน, ขนาดหน้าตัดของลาด, และตำแหน่งของระดับน้ำใต้ดิน

5.2 Nonhomogeneous soil (strength varies with depth) ซึ่งเน้นไปที่ชั้นดินเหนียวกรุงเทพ พบเป็น Rotational slide มีตำแหน่งพื้นผิวเป็น Base หรือ Toe failure และระดับเสถียรภาพของลาดดิน ที่แตกต่างกันตามค่า c และขนาดหน้าตัดของลาด

5.3 Stratified soil พบเป็น Rotational slide, Translational slide, หรือ Complex type แตกต่างกันตามประเภทของดินในลาด, ตำแหน่งของชั้นดิน Firm strata, และตำแหน่งของชั้นดินอ่อน

6. ระบบแนะนำสภาพความเข้มของแผ่นดินไหวของแต่ละพื้นที่ในประเทศไทย ซึ่งได้แสดงในค่าของสัมประสิทธิ์ของแผ่นดินไหว (K_s) โดยได้นำค่า K_s จากแผนที่แสดงความเข้มของแผ่นดินไหว มาจัดจำแนกในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ซึ่งทำให้สามารถจัดแบ่งพื้นที่ในประเทศไทยตามค่าความเข้มของแผ่นดินไหว ที่สามารถบอกเป็นค่า K_s ได้ละเอียดลงไปถึงระดับอำเภอ

7. สภาพความแข็งแรงของดิน มีความแตกต่างกันตามตำแหน่งที่ตั้งเป็นภาคและจังหวัด โดยแสดงเป็น 2 พื้นที่ คือ

7.1 พื้นที่ในหลายจังหวัดของที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง ตามที่ประเมินจากส่วนของด้าน ข้อมูลดินพบว่าชั้นดินช่วงบนส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวกรุงเทพฯ ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่า 10 เมตร มีความแข็งแรงแปรเปลี่ยนตามความลึก และเมื่อนำลักษณะของความแข็งแรงดังกล่าวมาประมวลเป็น รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Undrained shear strength (S_u) และความลึกของชั้นดิน จะได้ ว่าสมการในการคำนวณค่า S_u สอดคล้องกับสมการของ SHANSEP โดยมีค่า f ประมาณ 0.24 ถึง 0.27 และค่า O.C.R ใกล้เคียงหนึ่ง และยังพบว่าเหนือชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ เป็นชั้น Weathered zone หรือ Crustal zone ที่มีความหนาประมาณ 3 – 5 เมตร

7.2 พื้นที่ในส่วนอื่น ชั้นดินจะมีค่าความแข็งแรงของดินแตกต่างกันตามประเภทของดิน ที่จำแนกตามระบบ USCS ดังแสดงเป็น Soil chart ซึ่งได้จากการประเมินส่วนของด้านข้อมูลดิน และ ประมวลเป็น Soil chart แสดงค่าความแข็งแรงของดินกลุ่มที่มีค่า c ไม่เป็นศูนย์ในรูปของกราฟความ สัมพันธ์ระหว่างค่า c และ ϕ , และของดินกลุ่มที่เป็น Cohesionless soil ในรูปของกราฟความ สัมพันธ์ระหว่างค่า Relative density และ ϕ

8. ระบบ KU-EXslope เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญที่นำมาพัฒนาระบบช่วยเขียนระบบผู้เชี่ยวชาญ ที่มีชื่อว่า RAISON เพื่อให้ความสะดวกต่อผู้ใช้ในการใช้งานของระบบ ด้วยการโต้ตอบระหว่างผู้ ใช้กับระบบโดย User interface และเพื่อให้การจัดการประมวลผลเป็นคำตอบจากการค้นหาในฐาน ความรู้ในลักษณะต่อเชื่อมไปข้างหน้าอย่างเป็นระบบ โดย Inference engine เมื่อแสดงความรู้ในรูป แบบของกฎ (Rules) ซึ่งประกอบด้วยเงื่อนไขของการตัดสินใจ และนำไปสู่คำตอบของกฎนั้น ๆ กฎใน ฐานความรู้ KB1 มี 1,083 กฎ และกฎในฐานความรู้ KB2 มี 113 กฎ

9. การใช้งานของระบบ KU-EXslope อยู่ในรูปแบบการโต้ตอบระหว่างผู้ใช้และระบบ ด้วย การป้อนข้อมูลเข้าไปในระบบตามเงื่อนไขของกฎในแต่ละฐานความรู้ตามชนิดของคำตอบที่ต้องการ ที่ระบบแสดงให้ผู้ใช้ทราบทางหน้าจอ พร้อมคำอธิบาย ซึ่งเป็นการสะดวกต่อผู้ใช้

10. ผลของการประเมินสมรรถภาพของระบบ KU-EXslope สรุปได้ว่า เงื่อนไขและคำตอบ ของกฎในแต่ละฐานความรู้ สอดคล้องกับสภาพจริงที่เกิดขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับข้อมูลกรณี พิบัติที่เก็บรวบรวมได้ และ หน่วย User interface ในระบบ อยู่ในรูปแบบที่ง่ายและสะดวกสำหรับผู้ใช้ แต่ยังคงขาดความสามารถในการเชื่อมโยงของการทำงานระหว่างระบบกับโปรแกรมอื่นที่เกี่ยวข้อง

11. ผลสรุปของความรู้และความจริงที่พบจากการทำฐานความรู้ในระบบ คือ

11.1 กรณีพิบัติของคันทางของถนนบนดินเหนียวกรุงเทพฯ โดยเฉพาะคันทางของถนน ขนานกับคลองชลประทาน มักพบรูปแบบการเคลื่อนพังเป็น Rotational slide และพบรอยแตกร้าวที่ พื้นผิวดิน ซึ่งมีสาเหตุส่วนใหญ่จากการลดระดับน้ำทันที จึงมักพบเห็นได้มากในช่วงที่มีการสูบน้ำและ

ลอกคลองในหน้าแล้ง และยังมีสาเหตุอื่นจากดินมีความแข็งแรงไม่เพียงพอในการรับน้ำหนักจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อลักษณะของหน่วยแรงที่ใช้ในการวิเคราะห์ควรเป็น Total stress analysis

11.2 กรณีพิบัติของลาดดินถมบนดินเหนียวกรุงเทพฯ มักพบรูปแบบการเคลื่อนพังเป็น Rotational slide และพบรอยแตกร้าวที่พื้นผิวดิน ซึ่งมีสาเหตุจากดินมีความแข็งแรงไม่เพียงพอในการรับน้ำหนักของวัสดุที่ทับถมอยู่ เมื่อลักษณะของหน่วยแรงที่ใช้ในการวิเคราะห์ควรเป็น Total strength analysis

11.3 กรณีพิบัติของลาดดินชุดในดินเหนียวกรุงเทพฯ มักพบรูปแบบการเคลื่อนพังเป็น Rotational slide มักพบรอยแตกร้าวที่พื้นผิว และเกิดการพังเมื่อใช้งานแล้วในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งมีสาเหตุจากความแข็งแรงของดินลดลงตามระยะเวลา อันเป็นผลจากการเกิด Negative pore water pressure ที่ช่วงเวลาลิ้นสุดงานก่อสร้าง (End of construction) และเมื่อเวลาผ่านไป Negative pore water pressure จะค่อยลดลง แต่การพังของลาดดินชุดอาจเกิดขึ้นได้ในช่วงระหว่างงานก่อสร้าง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการรบกวนดินทำให้ความแข็งแรงของดินลดลง และไม่สามารถต้านทานการเคลื่อนพังของลาดดิน

11.4 กรณีพิบัติของลาดเนื่องจากการตัดไหล่เขาเพื่อทำถนน มักเกิดขึ้นในช่วงฝนตกชุก โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีสภาพดินตาม Geologic formation เป็น Residual soil และ Weathered rock ของหินแกรนิต ซึ่งมีค่าความยึดเหนี่ยวในดินน้อย เนื่องจากดินมีลักษณะที่อุ้มน้ำ ทำให้ความแข็งแรงในดินลดลง และมีการกัดเซาะบริเวณเชิงของไหล่เขา จึงเกิดการเคลื่อนพังของลาดดินในรูปแบบ Shallow seated rotational slide และหากเกิดฝนตกหนัก สภาพของดินจะมีความชื้นมากจนอยู่ในสภาพไหลได้ ที่เรียกว่า Debris flow ดังที่พบมากในภาคเหนือและภาคใต้

12. ผลสรุปของสิ่งที่เกิดขึ้น เมื่อนำระบบ KU-EXslope มาใช้ในงานวิเคราะห์ คือ

12.1 การให้ความช่วยเหลือในการให้ความรู้ทางเทคนิคสำหรับการเลือกลักษณะของการวิเคราะห์หน่วยแรงในการหาค่าความแข็งแรงของดิน, การแนะนำช่วงของค่าความแข็งแรงของดินแต่ละประเภทที่จำแนกตามระบบ USCS รวมถึงลักษณะของดินเหนียวกรุงเทพฯ ในที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง และสภาพความชื้นของแผ่นดินไหวของแต่ละพื้นที่ในประเทศไทย, และการเลือกวิธีวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดที่เหมาะสม ซึ่งเป็นปัจจัยที่ต้องนำมาใช้ในการวิเคราะห์และมีอิทธิพลต่อระดับความถูกต้องของค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

12.2 การลดขั้นตอนของการวิเคราะห์ให้น้อยลง ในกรณีของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินใน Homogeneous soil และ Nonhomogeneous soil (strength varies with depth) นั่นคือ

ระบบ KU-EXslope สามารถบอกระดับไม่เสถียรภาพของลาดดิน ตามรูปแบบจำลองของลาดที่กำหนดไว้ในระบบ และตามข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในระบบ ทำให้สามารถผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์สำหรับลาดดินที่ไม่เสถียรภาพ เพื่อไปดำเนินการพิจารณาเลือกวิธีการปรับปรุงแก้ไขให้ลาดดินมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น และนำไปสู่การออกแบบลาดดิน

5. เมื่อมีการเผยแพร่ระบบ KU-EXslope ออกสู่สาธารณชน ผลของการนำเอาระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ไปใช้ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น คือทำให้กรณีพิบัติของลาดดินเกิดขึ้นน้อยลง และมาตรฐานของการออกแบบลาดดินสูงขึ้นอย่างเป็นระบบ.

5.2 ข้อเสนอแนะ

ระบบ KU-EXslope ได้รับการพัฒนาเป็นครั้งแรก และในระหว่างการจัดทำงานวิจัยได้พบว่าระบบควรได้มีการพัฒนาต่อไปอีก เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไปสำหรับงานดิน คือ

1. ระบบควรได้รับการพัฒนาในการเชื่อมโยงการทำงาน ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลและการส่งผ่านผล ระหว่างระบบกับโปรแกรมอื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

1.1 ระบบฐานข้อมูลกรณีพิบัติ เพื่อเป็นการปรับปรุงฐานความรู้ให้เหมาะสมกับสภาพการณ์ที่เกิดขึ้นตลอดเวลา และสามารถเก็บกรณีพิบัติที่เกิดขึ้นได้อย่างเป็นระบบในฐานข้อมูลซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ของระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อเป็นการสะดวกในการป้อนข้อมูลในลักษณะของตำแหน่งพื้นที่บนแผนที่ และการทราบคำตอบเป็นรูปร่างของพื้นที่ อาทิเช่น สภาพทางธรณีวิทยา สภาพความชื้นของแผ่นดินไหว เป็นต้น

1.3 โปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งมีลักษณะเป็นโปรแกรมคำนวณเพื่อเป็นการสะดวกในการลดความซ้ำซ้อนในการป้อนข้อมูลที่เหมือนกันทั้งในระบบ KU-EXslope และโปรแกรมวิเคราะห์ รวมถึงการส่งผ่านคำตอบระหว่างทั้งสองโปรแกรมคอมพิวเตอร์

2. ฐานความรู้ ในระบบควรได้รับการพัฒนาให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานลาดดินได้มากขึ้น ได้แก่

2.1 การนำ Dynamic factors มาพิจารณาในการสร้างกฎ อาทิเช่น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับการพิบัติของลาด โดยเฉพาะพื้นที่ตามไหล่เขาในภาคเหนือและภาคใต้,

สภาพของพืชที่มีอิทธิพลต่อการพิบัติของลาด, ระดับน้ำในคลองที่ขนานกับถนนบนดินเหนียวอ่อน ที่มีอิทธิพลต่อการพิบัติของลาด เป็นต้น

2.2 การจัดทำฐานความรู้เชิงรายละเอียดของการปรับปรุงเสถียรภาพของลาดดิน เพื่อให้ระบบทำงานได้ครบถ้วนสำหรับงานลาดดิน

3. ในระหว่างการทำวิจัย ยังพบว่าไหล่เขามีการพิบัติเป็นจำนวนมาก ทั้งที่เป็นลาดเขาตามธรรมชาติ และการตัดไหล่เขาเพื่อทำถนน เขื่อน เขื่อนกั้น เป็นต้น ซึ่งมักจะเกิดในดินที่เกิดจากหินแกรนิตเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในช่วงฝนตกชุก ความชื้นจะทำให้ดินมีสภาพชุ่มน้ำ ทำให้เกิดการเคลื่อนพังในลักษณะ Rotational slide และ Debris flow จึงควรจะต้องมีการศึกษาเป็นรายละเอียดของพฤติกรรมทางด้านธรณีเทคนิคของลาดดินภูเขาที่เกี่ยวข้อง

4. เนื่องจากการพิบัติของลาดดินหลายแห่งอยู่ในพื้นที่ที่เข้าถึงยากได้แก่ ในป่าลึก หรือพื้นที่ภูเขาสูง เป็นต้น ทำให้มีข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลได้อย่างทั่วถึง และไม่สามารถประเมินความรุนแรงและปริมาณการเกิดของพื้นที่พิบัติได้อย่างถูกต้อง ดังนั้น หากสามารถนำเทคนิคของภาพถ่ายทางอากาศ หรือภาพถ่ายดาวเทียมก็จะสามารถศึกษาการกระจายของการพิบัติได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะนำไปสู่การจัดจำแนกพื้นที่เสี่ยงภัยทางการพิบัติของลาดดินได้ในอนาคต

5. การใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ มาประยุกต์กับงานวิจัยทางการพิบัติของลาดดิน ในการประมวลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพิบัติ อาทิเช่น ปริมาณน้ำฝน สภาพธรณีวิทยา เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ในต่างประเทศได้ใช้เป็นเครื่องมือในการจัดทำแผนที่แสดงระดับความเสี่ยงต่อการพิบัติของลาด จึงน่าจะได้มีการนำวิธีการนี้นำมาใช้ในประเทศไทย เพื่อเป็นการเตือนภัยเนื่องจากการเคลื่อนพังของลาดในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละพื้นที่ และเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการออกแบบและการก่อสร้างงานดิน

6. ปัญหาที่พบมาก คือมีความยุ่งยากในการเก็บรวบรวมข้อมูลกรณีพิบัติทั้งจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ นั่นคือ กรณีของหน่วยงาน พบว่าการจัดเก็บข้อมูลอย่างไม่เป็นระบบ และขาดความพร้อมของหน่วยงานในการจัดการด้านข้อมูลกรณีพิบัติ, และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรณีของการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ พบว่าปริมาณของข้อมูลมีน้อย และรายละเอียดของข้อมูลไม่ครบถ้วน ดังนั้น ในอนาคตจึงควรมีหน่วยงานดังกล่าวสำหรับข้อมูลภัยพิบัติทางธรรมชาติ ได้แก่ ภัยพิบัติจากการเคลื่อนพังของลาดและดินถล่ม ภัยพิบัติจากน้ำท่วม ภัยพิบัติจากไฟไหม้ป่า เป็นต้น เพื่อความเป็นระบบของข้อมูล และการให้ข้อมูล รวมถึงความครบถ้วนของรายละเอียดซึ่งเกี่ยวข้องกับการพิบัติของลาด

7. การเผยแพร่ควรจะได้มีการดำเนินการ เพื่อทราบถึงข้อบกพร่องและความสัมฤทธิ์ผลของระบบ ซึ่งจะทำให้ระบบ KU-EXslope มีประสิทธิภาพสองชั้น โดยการจัดพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการ การจัดอบรมสัมมนา และการแลกเปลี่ยนข้อมูลทาง Internet

เอกสารอ้างอิง

กรุงเทพมหานคร. 2540. รายงานผลการสำรวจธรณีเทคนิคถนนร่วมพัฒนา. กระทรวงมหาดไทย, กรุงเทพฯ. 140 น.

กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม. 2530. แผนที่ธรณีวิทยาของประเทศไทย มาตราส่วน 1:2,500,000.

นภดล เพียรเวช. 2538. ปัญหาเสถียรภาพของลาดดินชุด, น. 261-273. ใน รายงานการสัมมนาเรื่องปัญหาและความวิบัติทางวิศวกรรมปฐพีและการแก้ไข. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

ปณิธาน ลักษณะประสิทธิ์ และนพดล คูหาทสนะดีกุล. 2536. เขตแผ่นดินไหวและสัมประสิทธิ์แผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย, น. 268-287. ใน รายงานการประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2536. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

ประพจน์ บุญสินสุข. 2538. Common slope failures in soft Bangkok Clay and simplified analysis, น. 221-236. ใน รายงานการสัมมนาเรื่องปัญหาและความวิบัติทางวิศวกรรมปฐพีและการแก้ไข. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

วรกร ไม้เรียง. 2542. วิศวกรรมเขื่อนดิน. Library and Nine, กรุงเทพฯ. 264 น.

วรกร ไม้เรียง และ วรณี ศุขสาตร, ร.ต.หญิง. 2542. ลักษณะทางธรณีเทคนิคของการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติ, น. 196-201. ใน เอกสารการประชุมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 5. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

วรกร ไม้เรียง และ ชูเลิศ จิตเจื้อจุน. 2543. การศึกษาเปรียบเทียบโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน, น. 400-405. ใน เอกสารการประชุมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 6. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

วิชาญ ภูพัฒน์, ศรีสุข จันทรางศุ, เรืองวิทย์ โชติวิทยานิพันธ์, ธิตี ปวีณธนา, สุรินทร์ กาญจโนภาส, และ วิจิตต์จรรยา สรรพกิจจำนง, ม.ล. 2520. ข้อมูลสภาพดินบริเวณลุ่มแม่น้ำ

เจ้าพระยาตอล่าง. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรม
ราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ. 92 น.

ศูนย์วิศวกรรมปฐพีและฐานราก. 2541. รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 3 งานวิจัยเรื่องระบบ
ผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน. มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 131 น.

. 2542. รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 4 งานวิจัยเรื่องระบบ
ผู้เชี่ยวชาญเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุง เทพฯ. 82 น.

สุวัฒน์ ดิยะไพรัช, นรินทร์ ชัยมณี และฟิลิธีร์ อีรดิolk. 2538. ดินเหนียวกรุงเทพ : สภาพ
ธรณีวิทยาและการประยุกต์ใช้, น. 93-99. ใน การประชุมวิชาการ เรื่องความก้าวหน้า
และวิสัยทัศน์ของการพัฒนาทรัพยากรธรณี. กรุงเทพฯ.

Abramson, L.W., T.S. Lee, S. Sharma and G.M. Boyce. 1996. Slope Stability and
Stabilization Method. John Wiley & Sons, U.S.A. 627 p.

Arnould, M. and P. Frey. 1978. Analyse des responses a une Enquete Internationale de
l'UNESCO sur les glissements de terrain. International Associated Engineering
Geology Bulletin 17 : 114-118.

Aste, J.P. 1992. SISYPHY: system d'aide au diagnostic en matiere d'instabilite de
pentes., pp. 515-524. In Proceeding of International Conference on Geotechnics
and Computers. Paris.

Barisone, G. and G. Bottino. 1990. Metodologia adottata per la studio generate delle
condizioni di stabilita dei versanti nel Comune di Carema. Bull. A.M.S.,
Annoxxv, n° 1-2, marzo3 giugno 1991 : 253-259.

Bishop, A.W. 1955. The use of the slip circle in the stability analysis of earth slopes.
Geotechnique Vol. 5, No. 1 : 7-17.

Bishop, A.W. and L. Bjerrum. 1960. The relevance of the triaxial test to the solution
of stability problems, pp. 439-501. In Proceeding Research Conference on the
Shear Strength of Cohesive Soils. Denver, Colorado.

Blong, R.J. 1973. A numerical classification of selected landslides of the debris slide-avalanche-flow type. *Engineering Geology* 7 : 99-114.

_____. 1974. Landslide form and hillslope morphology: an example from New Zealand. *Australia Geography* 12: 425-438.

Brand, E.W., Y. Premchitt and H.B. Phillipson. 1984. Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong, pp. 377-384. *In* Proceeding 4th International Symposium on Landslides. Toronto, Vol. 1 : 337-384.

Brand, E.W. and H.B. Phillipson. 1984. Site investigation and geotechnical engineering practice in Hong Kong. *Geotechnical Engineering* 15 : 97-153.

Caine, N. 1980. The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flow. *Geografiska Annaler* 62A (1-2) : 23-27.

Chowdhury, R.N. 1978. *Slope Analysis*. Elsevier Scientific Publishing Company, New York. 422 p.

Crozier, M.J. 1973. Techniques for the morphometric analysis of landslips. *Zeitschrift fur Geomorphologie* 17 (1) : 78-101.

Crozier, M.J., R.J. Eyles, S.L. Marx, J.A. McConchie and R.C. Owen. 1980. Distribution of landslips in the Wairarapa hill country. *N.Z.J. Geol. Geophys* 23 : 575-586.

Denby, B. and M.S. Kizil. 1991. Application of expert systems in geotechnical risk assessment for surface coal mine design. *Journal Survey Mining Reclamation* 5, No. 2: 75-82.

Dimmick, K., S.K. Bhatia and J. Hassett. 1991. Geotextile edge drain design and specification by expert system. *Geotechnique Special Publish No. 27* : 288-297.

DOE : Department of the Environment. 1994. *Landsliding in Great Britain*. HMSO, London. 361 p.

- Douglas, D.J., A.P. Maconochie and B.K. McMahon. 1987. Slip failure in Ashfield Shale at Artarmon, Sydney, pp. 305-314. *In* B.F. Walker and R. Fell (eds.). Soil Slope Instability and Stabilisation. A.A. Balkema, Netherland.
- Dunn, I.S., L.R. Anderson and F.W. Kiefer. 1980. Fundamentals of Geotechnical Analysis. John Wiley & Sons, New York. 414 p.
- East, T.J. 1978. Mass movement landforms in Baarcon Pocket, South-East Queensland: a study of form and process. *Queensland Geographical Journal* 4: 37-67.
- Faure, R.M., S. Leroueil, J.P. Rajot, P. LaRochelle, G. Seve and F. Tavenas. 1988. XPENT, systeme expert en stabilite des pentes, pp. 625-629. *In* Proceeding 5th International Symposium on Landslides. Lausanne.
- Faure, R.M., D. Mascarelli, M. Zelfani, L. Charveriat, J. Gandar and O. Mosuro. 1991. XPENT: and expert system for slope stability, pp. 143-147. *In* Artificial Intelligence and Civil Engineering. CIVIL-COMP Press, Edinburgh.
- Federal Highway Administration. 1988. Highway Slope Maintenance and Slide Restoraion Workshop, pp. 200-247. *In* T.C. Hopkins (ed.). Report No. FHWA-RT-88-040. Washington, D.C.
- Fell, R., J. PatrickMaccregor, J. Williams and P. Searle. 1987. Hue Hue Road landslide, Wyong, pp. 315-324. *In* B.F. Walker and R. Fell (eds.). Soil Slope Instability and Stabilisation. A.A. Balkema, Netherland.
- Fell, R., P. Finlay and G. Mostyn. 1996. Framework for assessing the probability of sliding of cut slopes, pp. 201-208. *In* Proceeding 7th International Symposium on Landslides. Trondheim.
- Fellenius, W. 1936. Calculation of the stability of earth dams, pp. 445-459. *In* Transaction 2nd Congress on Large Dams Vol. 4, Washington D.C.
- Fukuoka, M. 1978. Estimation of risks due to landslides. *Bulletin International Associated Engineering Geology* 17 : 44.

- Geotechnical Control Office. 1984. Geotechnical Manual for Slopes 2nd ed. Civil Engineering Services Department, Hong Kong.
- Greenway, D.R. 1987. Vegetation and slope stability, pp. 187-230. *In* M.J. Anderson and K.S. Richards (eds.). Slope Stability, Wiley.
- Gray, D.H. and A.T. Leiser. 1982. Biotechnical slope protection and erosion control. Van Nostrand Reinhold, New York. 40 p.
- Hansen, A. 1984. Landslide hazard analysis, in Brunaden and Prior: 523-603.
- Hayes-Roth, F., D. Waterman and D. Lenat. 1983. Building expert systems. Addison-Wesley. U.S.A. 147 p.
- Hirokane, M., I. Mikami, K. Yagashire and S. Ohmori. 1993. Knowledge acquisition and evaluation for selection of slope protection structures, pp. 161-169. *In* B.H.V. Topping (ed.). Knowledge-based systems for civil and structural engineering, Edinburgh.
- Hutchinson, J.N. 1978. A geotechnical classification of landslides, in Crozier : 19-86.
- Hunt, R.E. 1986. Geotechnical Engineering Analysis and Evaluation. McGraw-Hill, Inc. U.S.A. 729 p.
- Ismil, Z. 1989. Knowledge-based approach to slope stability analysis, pp. 1-8. *In* International Conference on Engineering Geology in Tropical Terrains. Kuala Lumpur.
- Jahns, R.H. 1978. Landslides. National Academy of Sciences, Geophysical Predictions: 58-65.
- Janbu, N. 1967. Discussion of dimensionless parameters for homogeneous earth slopes. Journal Soil Mechanics and Foundation Engineering Division Vol. 93, No. SM6 : 367-374.
- _____. 1996. Slope stability evaluation in engineering practice, pp. 17-34. *In* Proceeding 7th International Symposium on Landslides. Trondheim.

Japan Ministry of Construction. 1972. Dangerous Slope Failure. Department of River Works, Japan. 14 p.

Johnson, K.A. and N. Sitar. 1990. Hydrological conditions leading to debris flow initiation. *Canadian Geotechnical Journal* 27 : 789-790.

Keefer, D.K. 1984. Landslides caused by earthquakes. *Bulletin Geological Society American* 95: 406-421.

Lacasse, S. and F. Nadim. 1994. Reliability issues and future challenges in geotechnical engineering for offshore structures, pp. 9-38. *In Proceeding 7th International Conference on the Behavior of Offshore Structures*. Cambridge, USA.

Lambe, T.W. and R.V. Whitman. 1969. *Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, New York. 553 p.

Leroi, E. 1996. Landslide hazard-Risk maps at different scales: Objectives, tools and developments, pp. 35-52. *In Proceeding 7th International Symposium on Landslides*. Trondheim.

Leroueil, S., F. Tavenas and J.P. Le Blhan. 1983b. Propriétés caractéristiques des argiles de l'est du Canada. *Canadian Geotechnical Journal* Vol. 20 : 681-705.

Liener, S., H. Kienholz, M. Liniger and B. Krummenacher. 1996. SLIDISP A procedure to locate landslide prone areas, pp.279-284. *In Proceeding 7th International Symposium on Landslides*. Trondheim.

Lowe, J. 1969. Stability analysis of embankments, pp. 1-36. *In Proceeding ASCE : Stability and Performance of Slopes and Embankments*. Berkeley, California.

Lumb, P. 1975. Slope failures in Hong Kong. *Quarterly Engineering Geology* 8: 31-65.

Mascarelli, D., R.M. Faure and R. Kastner. 1992. Anatomie d'un projet à base de connaissances XPENT système de travail en ingénierie des pentes, pp. 587-598. *In Proceeding of International Conference on Geotechnics and Computers*. Paris.

- Mintzer, O.W. 1962. Terrain Investigation Techniques for Highway Engineers. Annual Report No. 196-1, Engineering Experiment Station, Ohio State University, Columbus, Ohio. 42 p.
- Mitchell, J.M. 1976. Fundamentals of Soil Behavior. John Wiley & Sons, New York. 422 p.
- Morgenstern, N.R. and V.E. Price. 1965. The analysis of the stability of general slip surfaces. *Geotechnique* Vol. 15, No. 1 : 79-93.
- Morgenstern, N.R. 1995. Managing risk in geotechnical engineering. Proceeding 10th Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Guadalajara, Vol. 4 : 31-45.
- Meyerhof, G.G. 1970. Safety factors in soil mechanics. *Canadian Geotechnical Journal* Vol. 7 (4) : 349-355.
- Moser, M. and F. Hohensinn. 1983. Geotechnical aspects of soil slips in Alpine regions. *Engineering Geology* 19 : 185-211.
- Moula, M., D.G. Toll and N. Vaptismas. 1995. Knowledge-based systems in geotechnical engineering. *Geotechnique* 45 (2). pp. 209-221.
- Mullarkey, P.W. 1986. A geotechnical KBS using fuzzy logic, pp. 847-859. In D. Sriram and R. Adey (eds.). *Applications of Artificial Intelligence in Engineering Problems* Vol. 2, Berlin.
- Mullarkey, P.W. and S.J. Fenves. 1986. Fuzzy logics in a geotechnical knowledge-based system : CONE. *Civil Engineering System* 3 No. 2 : 58-81.
- Naval Facility Engineering Command. 1982. *Soil Mechanics, Design Manual DM-7.1*. Alexandria, Virginia: Department of the Navy, U.S.A. 348 p.
- Nilsen, T.H. and B.L. Turner. 1975. Influence of rainfall and ancient landslide deposits on recent landslides (1950-71) in urban areas of Contra Costa County, California. *USGS Bulletin* 1388 : 1-18.

- Nutalaya, P. and J.L. Rau. 1981. Bangkok : The sinking metropolis. Episodes Vol. 4 : 3-8.
- O'Loughlin, C.L. 1974. A study of tree root strength deterioration following clear felling. Canadian Journal of Forestry Research 4(1): 107-113.
- Parikh, S.A. and N. KameswaraRao. 1991. An expert system for civil engineering applications. Geotechnical Spec. Publication 1 No. 27: 413-421.
- Paochaiyangyuen, R. 1993. Analysis of slope instability along Rangsit-Nakhon Nayok Highway. M.Eng. thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- Patterson, D.W. 1990. Introduction to Artificial Intelligence & Expert Systems. Prentice-Hall Inc., New York. 448 p.
- Piancharoen, C. and C. Chuamthaisong. 1976. Groundwater of Bangkok Metropolis, Thailand, pp. 510-526. In Proceeding International Hydrogeological Conference. Budapest.
- Pilgrim, A.T. and A.J. Conacher. 1974. Causes of earthflows in the southern Chittering Valley, Western Australia. Australia Geology Studies 12 : 38-56.
- Popa, A. and L. Fetea. 1996. Risk factors monitoring for landslides, pp. 337-338. In Proceeding 7th International Symposium on Landslides. Trondheim.
- Popescu, E.M. 1996. From landslide causes to landslide remediation, pp. 75-95. In Proceeding 7th International Symposium on Landslides. Trondheim.
- Rehak, D.R., P.P. Christiano and D.D. Norkin. 1985. SITECHAR: and expert system component of a geotechnical site characterization workbench, pp. 117-133. In C.L. Dym (ed.). Applications of Knowledge-based Systems to Engineering Analysis and Design. American Society of Mechanical Engineers, New York.
- Reshad, M.M., N.A.B. Yehia, A.I. Bazaraa and A.I. Dessouki. 1991. Foundcom: a conceptual model for the integrated knowledge-based CAD systems for foundation design, pp. 125-135. In Artificial Intelligence and Civil Engineering. CIVIL-COMP Press, Edinburgh.

- Rib, H.T. and T. Liang. 1978. Recognition and Identification, pp. 74-80. In R.L. Schuster and R.J. Krizek (eds.). Landslides Analysis and Control, Transportation Special Report No 176. National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Rice, R.M., E.S. Corbett and R.G. Bailey. 1969. Soil slips related to vegetation, topography, and soils in southern California. *Water Resources Research* 5(3): 647-659.
- Rich, E. 1983. Artificial Intelligence. McGraw-Hill, New York. 176 p.
- Rogers, N.W. and M.J. Selby. 1980. Mechanisms of shallow translational landsliding during summer rainstorms : North Island, New Zealand. *Geografiska Annaler* 62A : 11-21.
- Romana, M.R. 1993. A geomechanical classification for slopes: Slope Mass Rating, in comprehensive Rock Engineering. Pergamon Press. Vol. 3: 575-591.
- Sassa, K. 1985. The geotechnical classification of landslides. *Proceeding IVth International Conference and Field Workshop on Landslides*. Tokyo: 31-40.
- Schuster, R.L. 1978. Introduction, pp. 1-10. In R.L. Schuster and R.J. Krizek (eds.). Landslides Analysis and Control, Transportation Special Report No 176. National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Selby, M.J. 1967. Aspects of the geomorphology of the greywacke ranges bordering the lower and middle Waikato Basins. *Earth Science* 1: 37-58.
- Shyu, G.C. and R.D. Hryciw. 1991. SOLES: a knowledge-based soil liquefaction potential evaluation system. *American Society of Civil Engineers*: 403-412.
- Sidle, R.C., A.J. Pearce and C.L. O'Loughlin. 1985. Hillslope Stability and Land Use. American Geophysical Union Water Resources Monograph II, U.S.A. 20 p.
- Skempton, A.W. 1953. Soil mechanics in relation to geology. *Proceeding Yorkshire Geological Society* 29 (1): 33-62.

- Sowers, G.F. and D.L. Rayster. 1978. Field investigation, pp. 81–111. *In* R.L. Schuster and R.J. Krizek (eds.). Landslides Analysis and Control, Transportation Special Report No 176. National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Taylor, D.W. 1948. Fundamentals of Soil Mechanics. John Wiley & Sons, New York. 700 p.
- Terzaghi, K. 1950. Mechanisms of landslides. Geological Society of America, Berkeley Volume : 83–123.
- Terzaghi, K. and R.B. Peck. 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons, New York. 729 p.
- Terzaghi, K., R.B. Peck and G. Mesri. 1996. Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons, Inc., Singapore. 549 p.
- Toll, D.G., M. Moula, A. Oliver and N. Vaptimas. 1992. A knowledge-based system for interpreting site investigation information, pp. 607–614. *In* Proceeding of International Conference on Geotechnics and Computers. Paris.
- Toll, D.G. 1996. Artificial Intelligence Applications in Geotechnical Engineering. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, <http://geotech.civen.okstate.edu/ppr9608/index.htm>, January 15, 1998.
- Varnes, D.J. 1978. Slope movement types and processes, pp. 11–33. *In* R.L. Schuster and R.J. Krizek (eds.). Landslides Analysis and Control, Transportation Special Report No 176. National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Vaunat, L., S. Leroueil, L. Picarelli, J. Locat, H. Lee and R. Faure. 1996. Geotechnical characterization of slope movement, pp. 53–74. *In* Proceeding 7th International Symposium on Landslides. Trondheim.
- Walker, B.F. and R. Fell. 1987. Soil Slope Instability and Stabilisation. A.A. Balkema Publishers, Netherlands. 440 p.