การศึกษาเปรียบเทียบโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน

COMPARISON OF SLOPE STABILITY PROGRAM

ชูเลิศ จิตเจือจุน [1], ดร.วรากร ไม้เรียง [2]

[1] นิสิตปริญญาโท
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
[2] รองศาสตราจารย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ: ในปัจจุบัน การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน เข้ามีบทบาทสำคัญในงานก่อสร้างทางวิศวกรรมโยธาเป็นอย่างมาก เช่น งานเขื่อน, ถนน, คลองส่งน้ำ, กำแพงกันดิน ฯลฯ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพนั้น ปัจจุบันใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือในการคำนวณ เพราะถูกต้อง และรวดเร็ว กว่าการคำนวณด้วยมือ บทความนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบ ข้อดีและข้อเสียของโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพที่นิยมใช้กันในปัจจุบันนี้ โดยจะเปรียบเทียบถึง รูปแบบการติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface), ความแม่นยำในการคำนวณ (โดยเปรียบเทียบกับวิธีของ Morgenstern and Price), ความเร็วในการคำนวณ, ประสิทธิภาพของการแสดงผล, ราคา และความสามารถพิเศษอื่นๆ โดยโปรแกรมที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างในการเปรียบเทียบนี้ เป็นโปรแกรมที่นิยมใช้กันมากและเป็นที่รู้จักกันดี เช่น Slope/W, Sb-slope, Xstabl, KUslope เป็นต้น จุดประสงค์หลักของการศึกษานี้ เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับวิศวกร ในการพิจารณาถึงความสามารถ ขอบเขต ข้อจำกัดของแต่ละโปรแกรมโดยสามารถที่จะเลือกใช้โปรแกรมได้อย่างเหมาะสมกับความต้องการ และยังนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาให้เป็นส่วนเชื่อมต่อกับระบบผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินต่อไป

ABSTRACT: Presently, slope stability analysis had played an important role in civil engineering construction such as dam, highway, canal and retaining wall. In general, The personal computer can be effectively used for the analysis comparing to manual calculation. This paper presents the comparison of several stability analysis programs available. The user-friendly interface, computation accuracy (as comparing to Morgenstern and Price method), speed, presentation, price and other features are considered for comparison. Several local well-know programs such as Slope/W, Sb-slope, Xstabl, KUslope are investigated. The main purposes of the study are aiming to be the reference for engineer to make appropriate selection, and also for support the developing expert system for slope stability analysis.

KEYWORDS: Slope Stability, Computer Program, Comparison

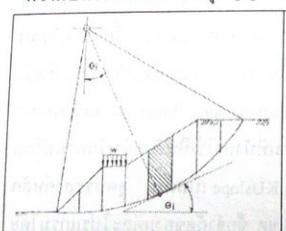
For further details, contact *Chulert Jitjurjun, Faculty of Engineering Kasetsart University, Bangkok*

1.บทนำ

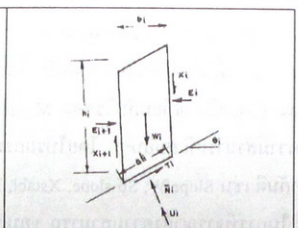
การวิเคราะห์เสถียรภาพในปัจจุบัน ได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง ซึ่งในประเทศไทย มีอยู่หลายโปรแกรมที่มีความสามารถเป็นที่ยอมรับ และใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยแต่ละโปรแกรมต่างก็มีข้อดี ข้อเสีย ขอบเขตและความสามารถที่แตกต่างกัน บทความนี้ได้ทำการเปรียบเทียบถึงสิ่งเหล่านี้ เพื่อให้วิศวกรสามารถใช้เป็นแนวทาง ในการพิจารณาเลือกใช้โปรแกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยและพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินที่เหมาะสมต่อการใช้งานในประเทศไทยต่อไป

2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินนั้น โดยปกติใช้วิธีการพิจารณา "สมดุลย์จำกัดของมวลดิน" (Limit Equilibrium) วิธีนี้มีสมมติฐานว่า " ณ. ช่วงเวลาที่เกิดการเคลื่อนพังพอดี ในขณะนั้นมวลดินอยู่ในสภาวะสมดุลย์" การวิเคราะห์เริ่มต้นด้วยการสมมติ รูปแบบลักษณะ ของผิวการเคลื่อนพัง ว่าเป็นแบบใด เช่น เส้นตรง วงกลม โค้งก้นหอย รูปหลายเหลี่ยม ฯลฯ แล้วทำการคำนวณแรงต้านทานที่เพียงพอทำให้เกิดความสมดุลย์ของมวลดินที่พิบัติ หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างกำลังของดินต่อหน่วยแรงต้านทานขณะสมดุลย์ ซึ่งเรียกว่า"อัตราส่วนความปลอดภัย" (Factor of Safety, F.S.) แล้วทำการทดลองสุ่มหาค่าของอัตราส่วนความปลอดภัย โดยการเปลี่ยนลักษณะหรือตำแหน่งของผิวการเคลื่อนพังที่น่าจะหรือมีโอกาสเกิดขึ้นไปเรื่อยๆ จนพบค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่น้อยที่สุด [1] ซึ่งวิธีที่ใช้ในการคำนวณ อาจใช้วิธีของ Fellenius (1927) ซึ่งทำได้โดยการแบ่งมวลดินในผิวการเคลื่อนพังออกเป็นชิ้นๆตามแนวดิ่งจากผิวดินจนถึงผิวเคลื่อนด้านล่าง จากนั้นจึงนำเอาแรงที่กระทำต่อดินในแต่ละชิ้น ซึ่งอยู่ในสภาพสมดุลย์ตามแนวขนานและแนวตั้งฉากกับผิวเคลื่อนมาพิจารณา แต่ค่าของอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้ อาจไม่ถูกต้องแม่นยำมากนัก เนื่องจาก วิเคราะห์เฉพาะสมดุลย์ของแรงในแนวแกนเท่านั้น ไม่ได้นำสมดุลย์ของ Moment เข้ามาคิดด้วย ในขณะที่วิธีของBishop (1955) พิจารณาแรงและสมดุลย์ละเอียดขึ้นคือ มีการคิดสมดุลย์ของ Momentในแต่ละแท่งดิน และยังนำเอาแรงที่กระทำด้านข้างของแท่งดินมาพิจารณาด้วย ส่วนวิธีของ Morgenstern and Price (1965, M/P)นั้น ในปัจจุบันถือว่าเป็นวิธีที่ให้ความถูกต้องมากที่สุด แต่เนื่องจากมีความยุ่งยากในการคำนวณมาก โดยทั่วไปจึงนิยมใช้ วิธีของ Bishopเป็นหลัก ในการคำนวณสุ่มหาตำแหน่งของผิวการเคลื่อนพังหลายๆครั้ง เพื่อที่จะให้ได้ ค่าของอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุด บางครั้งอาจต้องทำหลายร้อย หลายพันครั้ง จึงจะได้ค่าของอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุด ด้วยเหตุนี้เองคอมพิวเตอร์จึงได้เข้ามามีส่วนช่วยอย่างมาก ปัจจุบันมีโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณ วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินอยู่มากมาย ในที่นี้จะนำบางโปรแกรมที่นิยมใช้มาทดสอบ ประกอบไปด้วย โปรแกรม SLOPE/W 3.03 , SB-SLOPE 2.0 , XSTABL 5.0 พัฒนามาจาก PCSTABL 5Mของ Purdue University และ KUslope 1.0 พัฒนาที่มาจาก RE5 โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



รูปที่1 แสดงการเคลื่อนพัง และการดัดแปลงมวลดิน



รูปที่2 แสดง Free Body Diagram ของแรงที่กระทำต่อมวลดิน

3.วิธีการและมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบโปรแกรมได้มีการพิจารณาคุณสมบัติที่สำคัญดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ วิธีการที่ใช้ในการทดสอบ

วิธีที่ใช้ในการทดสอบ	สิ่งที่พิจารณาในการทดสอบ
1.รูปแบบการติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)	1. รูปแบบวิธีที่ใช้ในการสร้างรูปตัดของลาดดิน 2. ความยากง่ายในการป้อนข้อมูล รูปตัดและคุณสมบัติต่างๆ 3. ความสามารถการแก้ไขปรับปรุงข้อมูล
2.ความสามารถในการคำนวณ	โดยเปรียบเทียบระหว่าง ผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ ของค่าอัตราส่วนความปลอดภัย เมื่อเทียบกับวิธีของ M/P
3.ความเร็วในการคำนวณ	ต่อจำนวนของการแบ่งชิ้นส่วนมวลดินในผิวการเคลื่อนพัง เปรียบเทียบความเร็วในการคำนวณ ด้วย10 กรณีอ้างอิง เช่นกรณีของ ลาดธรรมชาติ คลองส่งน้ำ งาน
4.ประสิทธิภาพของการแสดงผล	เขื่อน ฯลฯ โดยกำหนดให้ จำนวนของผิวการเคลื่อนพัง ที่ใช้เท่ากัน ความครบถ้วนชัดเจนของการนำเสนอ ความยืดหยุ่น การสื่อความหมายที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ
5.ความสามารถในการค้นหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย	ความสามารถและข้อจำกัดต่างๆในการค้นหา ความรวดเร็วและความถูกต้องแม่นยำ

4.แสดงผลสรุปของการศึกษาเปรียบเทียบโปรแกรม

จากการทดสอบโปรแกรม สามารถสรุปถึงข้อดี ข้อเสีย ของแต่ละโปรแกรมได้ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลสรุปของการศึกษาเปรียบเทียบโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพ

ข้อเปรียบเทียบ	SLOPE/W	SB-SLOPE	XSTABL	KUslope
รูปแบบการติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)				
- ความง่ายต่อการเรียนรู้ การใช้งาน	3	5	4	4
- การป้อนข้อมูล (Input)	4	3.5	3.5	4
- การเพิ่มเติมข้อมูล (Insert geometry)	4.5	2	4	4
- รูปแบบในการสร้าง Geometry	3.5	3	4	4
ความสามารถในการคำนวณ				
- ความสามารถในการแบ่งชิ้นส่วน ของมวลดิน	4	2	NA	5
- ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย	SB-SLOPE > XSTABL > SLOPE/W > KUslope			
ความเร็ว (Speed)				
- ความเร็วในการคำนวณ	3	2	2.5	5
- ความเร็วในการ Input ข้อมูล (สร้าง Geometry)	3.5	3	4	4
ประสิทธิภาพของการแสดงผล	5	3.5	3	3
ความสามารถในการค้นหา FS. ที่ต่ำที่สุด	4	3	3.5	5
ความสามารถพิเศษอื่นๆ (Other Features)				
- ความสามารถในการตรวจสอบข้อผิดพลาดจากการสร้าง Geometry	√	√	×	×
- Tension Crack	√	√	√	×
- Phreatic Line	√	√	√	√
- Anisotropic	√	×	√	×
- Reinforcement	√	×	√	×
- Grid of Pore Pressure	√	×	√	×
- Point Load	√	×	×	×
ราคา (Price) [2]	3495 $	625 $	540 $	-

การให้คะแนนความสามารถต่างๆ แบ่งออกเป็น 5 ลำดับดังนี้

5 = ดีมาก

4 = ดี

3 = ปานกลาง

2 = พอใช้

1 = ใช้ไม่ได้

- *รูปแบบการติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)*

- SLOPE/W มีข้อดีคือ การกำหนด Boundary Line มีกฎเกณฑ์ที่รัดกุม จึงไม่ค่อยเกิดความผิดพลาด หากแต่ทุกๆ Boundary Line จะต้องมี ค่าX ที่จุดเริ่มต้น และจุดสุดท้ายเท่ากัน[3] ซึ่งทำให้ยุ่งยากและเสียเวลา เพราะมีเส้นซ้ำซ้อนกันมาก ส่วนการสร้างรูปตัด สามารถทำได้ 2 วิธี คือ 1.ใช้ mouse ในการระบุพิกัดของแต่ละจุด

บนBoundary Line ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ที่ยังไม่ชำนาญ และ2. โดยการกรอกข้อมูลในตาราง

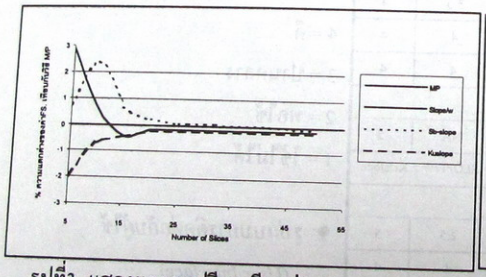
- SB-SLOPE มีรูปแบบในการสร้างGeometry โดยการกำหนดเป็น Line segment และต้องกำหนดคุณสมบัติของดินให้กับทุกๆ Line segment ซึ่งวิธีนี้ มีข้อดีคือ เข้าใจง่ายและเรียนรู้ได้รวดเร็ว แต่ก็มีข้อเสียอยู่ที่ ในกรณีที่รูปตัดมีรายละเอียดมาก จะต้องทำอย่างระมัดระวัง เพราะอาจก่อให้เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย เนื่องจากมีจำนวนของ Line segment มาก และยังไม่สามารถสร้าง Line segment ที่อยู่ในแนวดิ่งได้

- XSTABL มีรูปแบบในการสร้างGeometry โดยการกำหนดเป็น Surface Boundary และ Subsurface Boundary ซึ่งทำได้สะดวกและไม่ค่อยเกิดความผิดพลาด

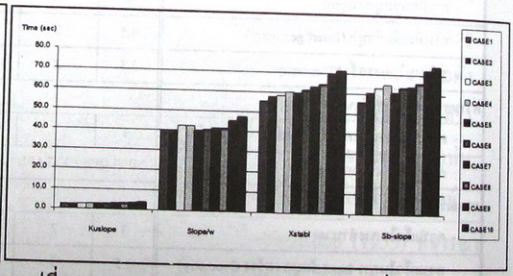
- KUslope มีรูปแบบในการสร้างGeometry โดยการกำหนดเป็น Bottom Line และ Boundary Line ทำให้ไม่ค่อยเกิดปัญหา ในการกำหนดคุณสมบัติของชั้นดินผิดพลาด แต่ลักษณะการกำหนดคุณสมบัติของชั้นดิน จะแตกต่างกับโปรแกรมอื่นๆ คือ คุณสมบัติของดินจะอยู่เหนือเส้น Boundary Line ขึ้นไป[4]

- *ความสามารถในการคำนวณ*

ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม KUslope สามารถเข้าสู่สถานะคงที่ได้เร็วที่สุด ดังรูปที่3 และจะให้ค่าที่ต่ำกว่าวิธีของ M/P เสมอ ซึ่งมีผลดี คือ จะให้ค่าที่มีความปลอดภัยมาก แต่ในบางกรณีก็อาจทำให้สิ้นเปลืองได้เช่นกัน ในส่วนของโปรแกรม SB-SLOPEและ SLOPE/Wนั้น ในกรณีที่จำนวนชิ้นส่วนของการตัดน้อยๆ อาจให้ค่าที่มากกว่าผลที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี M/P ซึ่งจะทำให้ไม่ปลอดภัย ส่วนสาเหตุที่ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้จาก โปรแกรม KUslope สามารถเข้าสู่ค่าคงที่ได้เร็วที่สุดนั้น เนื่องมาจาก Algorithm ที่ดี ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม คือ โปรแกรมจะทำการแบ่ง Slice เพิ่มโดยอัตโนมัติ ในกรณีที่จุดนั้นมีการเปลี่ยนแปลงความชัน หรือเปลี่ยนแปลงชั้นดิน



รูปที่3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า Factor of Safety ของแต่ละโปรแกรม เทียบกับค่าที่ได้จากวิธี M/P



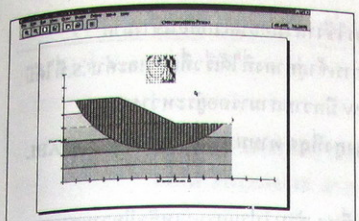
รูปที่4 แสดงผลการเปรียบเทียบความเร็วที่ใช้ในการคำนวณของแต่ละโปรแกรม

- *ความเร็วในการคำนวณ*

ผลจากการทดสอบในรูปที่4 แสดงให้เห็นว่า โปรแกรม KUslope ใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด โดยใช้เวลาน้อยกว่าโปรแกรมอื่นๆมาก ทั้งนี้เพราะ ในส่วนที่ใช้สำหรับการคำนวณของโปรแกรม KUslope ใช้ภาษาC ในการเขียนโปรแกรม และโปรแกรมยังมี Algorithm ในการคำนวณที่ดี คือ จะมีการคำนวณรัศมีที่มากที่สุด และค่ารัศมีที่น้อยที่สุด ที่วงกลมการเคลื่อนพังสามารถจะตัดผ่านได้ ก่อน แล้วจึงทำการคำนวณต่อไป ซึ่งจะทำให้ไม่ต้องเสียเวลา ในการคำนวณ จำนวนของผิวการเคลื่อนพังที่ไม่จำเป็น ออกไปได้

- *ประสิทธิภาพของการแสดงผล*

รูปแบบของการแสดงผล ในแต่ละโปรแกรม ถือว่าเพียงพอต่อความต้องการในการใช้งาน โดยที่โปรแกรม



รูปที่5 การแสดงผลของโปรแกรม SLOPE/W

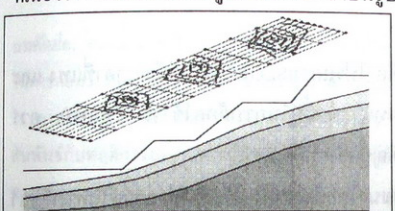
SLOPE/W จะมีรูปแบบของการแสดงผลที่ดีที่สุดดังรูปที่5 คือ มีการแสดงสีตามแต่ละชนิดของชั้นดิน แสดงContourของค่าFS.และยังสามารถ เพิ่มรายละเอียดต่างๆเป็นข้อความ ได้ตามต้องการ รองลงมาคือ SB-SLOPE ที่สามารถแสดงGridของค่าF.S.ได้ ส่วนKUslopeและXSTABLนั้นใกล้เคียงกัน โดย KUslope นั้นสามารถแสดงสี ตามชนิดของชั้นดินเป็นเส้นได้ และ XSTABL สามารถแสดงการสุ่มผิวของการเคลื่อนพังในขณะคำนวณได้

- *ความสามารถในการค้นหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย*

โดยทั่วไปแล้ว ความสามารถในการค้นหามีด้วยกันหลักๆ 4 ประเภท คือ

1.แบบกำหนดจุดแน่นอน (Specified Point) โดยระบุจุดศูนย์กลางของวงกลมและรัศมี รูปแบบนี้ มีประโยชน์มากเมื่อนำมาใช้ในกรณีของการวิเคราะห์ย้อนกลับ(Back Analysis) ซึ่งความสามารถนี้มีอยู่ในทุกโปรแกรม

2.แบบค้นหาเป็นโครงข่าย (Grid Search) โดยการสร้างGrid เป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมการเคลื่อนพัง ซึ่งความสามารถนี้มี ในโปรแกรม SLOPE/W, SB-SLOPE และKUslope โดยที่ SLOPE/Wและ KUslope จะมีประสิทธิภาพที่ดีเนื่องจากสามารถเปลี่ยนรูปร่างของGrid เป็นรูปสี่เหลี่ยมแบบต่างๆได้หลายรูปแบบ เหมาะกับการวิเคราะห์ลาดธรรมชาติที่อาจมีจุดเกิดค่าF.S.ต่ำในหลายบริเวณ ดังรูปที่8 และในกรณีของโปรแกรมKUslopeนั้นจะมีความสามารถที่เป็นพิเศษ คือ เมื่อได้ค่าF.S.จากการค้นหาโดยวิธีโครงข่ายแล้วโปรแกรมจะทำการค้นหาแบบอัตโนมัติต่อไปอีก ค่าF.S.ที่ได้จึงเป็นค่าF.S.ที่น้อยที่สุด ซึ่งจะต่างกับโปรแกรมอื่น ที่ค่าของF.S.ที่ได้ อาจจะไม่ใช่ค่าที่ต่ำที่สุดจริงๆ เนื่องจากจำนวนของจุดศูนย์กลางของวงกลมที่ใช้ในการค้นหา มีค่าตายตัว เพราะถูกกำหนดโดย จำนวนจุดตัดระหว่างโครงข่าย ในแนวแกนXและแกนY



รูปที่ 8 ตัวอย่างของการวิเคราะห์ลาดธรรมชาติ

3.แบบอัตโนมัติ (Automatic) วิธีนี้กำหนดเพียงจุดศูนย์กลางของการค้นหา และ ความละเอียดในการค้นหา จากนั้นโปรแกรมจะทำการค้นหา ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุดให้โดยอัตโนมัติ ซึ่งโปรแกรมจะทำการค้นหา โดยการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ได้จากจุดแรก กับค่าของจุดที่อยู่ในแนวราบทั้งซ้ายและขวา และในแนวดิ่ง จนกว่าจะได้จุดที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุดในบริเวณนั้น ความสามารถนี้ มีในโปรแกรม SB-SLOPE และKUslope

4.แบบกำหนดเป็นช่วงของการตัดผ่าน ซึ่งวิธีนี้มีอยู่เฉพาะในโปรแกรม XSTABLE คือ เป็นการกำหนดช่วงที่ผิววงกลมการเคลื่อนพังจะเริ่มตัดผ่านและสิ้นสุดที่ช่วงระยะใดๆที่กำหนด[5] วิธีนี้มีประโยชน์มาก ในกรณีที่ต้องการกำหนด ให้วงกลมการเคลื่อนพังตัดผ่านเฉพาะในบริเวณที่ต้องการ แต่ก็มีข้อเสียคือ ไม่สามารถใช้งานได้ดีในกรณีของ การวิเคราะห์ลาดดินธรรมชาติ เพราะต้องมีการระบุช่วงของการตัดผ่านหลายๆครั้ง จึงจะได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุด

5. สรุปผล

1.รูปแบบการติดต่อกับผู้ใช้ โปรแกรมSB-SLOPE เป็นโปรแกรมที่สามารถเรียนรู้การใช้งานได้ง่ายที่สุด รองลงมา

คือ KUslope และXSTABLE ส่วนSLOPE/Wนั้น ต้องเสียเวลาเรียนรู้การใช้งานในตอนแรกค่อนข้างมาก

2. ความสามารถในการคำนวณ โปรแกรมKUslope มีความสามารถในการเข้าสู่ค่าคงที่ได้เร็วที่สุด และค่าF.S.ที่ได้มีค่าต่ำที่สุด ส่วนโปรแกรมSB-SLOPEนั้นจะตรงข้ามกัน โดยที่SLOPE/W มีความสามารถอยู่ระหว่างกลาง

3. ความเร็วในการคำนวณ โปรแกรมKUslope มีความเร็วในการคำนวณสูงที่สุด ตามมาด้วย SLOPE/W, XSTABL และSB-SLOPE ตามลำดับ

4. ประสิทธิภาพของการแสดงผล โปรแกรมSLOPE/W มีความโดดเด่นที่สุด ส่วนโปรแกรมที่เหลือมีความสามารถที่ใกล้เคียงกัน

5. ความสามารถในการค้นหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย โปรแกรม SB-SLOPEมีทางเลือกของการค้นหามากที่สุด และโปรแกรม KUslope สามารถค้นหา ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุดได้ดีและรวดเร็วที่สุด

6. ความสามารถพิเศษอื่นๆ ในส่วนนี้ โปรแกรม SLOPE/W มีความโดดเด่นที่สุด คือ มีทฤษฎีการคำนวณ รูปแบบในการวิเคราะห์ผิวเคลื่อนพัง และแรงกระทำภายนอก ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้หลายรูปแบบ และยังสามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับโปรแกรมอื่นในชุดเดียวกันได้เป็นอย่างดี รองลงมาคือ XSTABL ส่วน SB-SLOPEและKUslopeนั้นมีความสามารถใกล้เคียงกัน

6. ราคา ความคุ้มทุน และแนวโน้มในอนาคต

จะเห็นได้ว่า โปรแกรมที่มีความสามารถสูงที่สุดในที่นี้ก็คือ โปรแกรมSLOPE/W แต่ด้วยราคาที่แพง และความสามารถหลายอย่างที่อาจไม่ได้ใช้งาน จึงอาจไม่คุ้มค่าที่จะลงทุน ดังนั้นในการเลือกใช้งานโปรแกรม ควรพิจารณาถึงขอบเขตของงานที่ทำเป็นหลัก และพิจารณาถึงความสำคัญข้ออื่นๆตามมา

ปัจจุบันโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพ แทบทั้งหมดถูกพัฒนาโดยต่างชาติ และมีจุดประสงค์ในการพัฒนาเพื่อใช้กับงานในประเทศเหล่านั้นเป็นหลัก ซึ่งความสามารถบางอย่างอาจไม่เหมาะสมหรือไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้กับงานในประเทศไทย ดังนั้นทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จึงได้ทำการศึกษาวิจัยและพัฒนา โปรแกรมเพื่อช่วยในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน โดยในอดีตใช้ชื่อว่า RE5 และได้พัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมาเป็นโปรแกรม KUslope ในปัจจุบัน ซึ่งทำงานบนระบบปฏิบัติการ Window95/98/NT และยังสามารถเชื่อมต่อกับระบบผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ที่ในปัจจุบันใกล้เสร็จสมบูรณ์แล้ว

เอกสารอ้างอิง

1. วรากร ไม้เรียง, วิศวกรรมเขื่อนดิน, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 5-17, 2541.
2. The Geotechnical and Geoenvironmental Software Directory, http://www.ggsd.com
3. User's Guide SLOPE/W for slope stability analysis Version 3, GEO-SLOPE International Ltd. Calgary, Alberta, Canada, p.84-91, 1995.
4. คู่มือการใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน KUslope, คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์,หน้า 35-40, 1999.
5. Final Report COMPUTER ANALYSIS OF GENERAL SLOPE STABILITY PROBLEMS, Ronald A. Siegal, Purdue University West Lafayette Indiana, p.77-95, 1975.