ความแปรปรวนของคุณสมบัติดินที่มีต่อการพิบัติของริมตลิ่งแม่น้ำโขง ที่ บ้านท่าโพธิ์ อำเภอบึงกาฬ จังหวัดหนองคาย

EFFECT OF UNCERTAINTY IN SOIL PARAMETER TO SLOPE RIVER BANK FAILURE AT BANN THAPO AMPHOR BUNGKAN NONG KHAI PROVINCE

สิรัญญา ทองชาติ[1] ผศ.ร.ต.หญิง ดร.วรรณี ศุขสาตร[2] และ ผศ. ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์[3]

บทคัดย่อ

ปัญหาทางด้านเสถียรภาพของลาดตลิ่งแม่น้ำ เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายอย่าง โดยความแปรปรวนของคุณสมบัติของดินริมตลิ่งแม่น้ำก็เป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของเสถียรภาพของลาดตลิ่งด้วย ดังนั้นในบทความนี้จึงได้ทำการพิจารณาความแปรปรวนของคุณสมบัติดินที่มีต่อการพิบัติของตลิ่งแม่น้ำโขงที่บ้านท่าโพธิ์ อ.บึงกาฬ จ.หนองคาย โดยผลศึกษา พบว่า ถ้าข้อมูลมีความแปรปรวนมากก็จะส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของผลลัพธ์ (FS.) ซึ่งเป็นผลให้ความน่าจะวิบัติ (p_f) มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น ในการเพิ่มข้อมูลหลุมเจาะสำรวจเป็นการลดความแปรปรวนเนื่องจากผลการทดสอบที่น้อยเกินไป (Statistical Error in Mean) และผลที่เกิดจากการสุ่มทดสอบที่ผิดพลาด (Random Testing Error) ส่วนผลของความแปรปรวนภายในเนื้อของดินเอง (Real Spatial Variation) ไม่สามารถทำการลดได้ เนื่องจากสภาพของเนื้อดินเป็นคุณสมบัติภายในตามธรรมชาติของดิน และความแปรปรวนตัวสุดท้ายเป็นความแปรปรวนเนื่องจากการทดสอบที่ผิดพลาด (Bias in Measurement Procedure) สามารถลดได้จากการทำการทดสอบคุณสมบัติของดินด้วยการทดสอบที่แม่นยำ และให้ความถูกต้องของผลการทดสอบสูง เช่น Triaxial Test เป็นต้น

<u>คำสำคัญ</u> : การวิเคราะห์เสถียรภาพ, ตลิ่งแม่น้ำโขง, เขื่อนป้องกันตลิ่ง

Abstract

The uncertainty in the stability of a river bank slope is affected by many factors, especially soil parameter. This paper describes how soil parameter uncertainty can affect stability analysis of Mekong River bank at Bann Thapo, Amphor Bung Kan, Nong Khai Province. The result shows that uncertainty in soil parameter has effect on uncertainty in factor of safety (FS.) as well as on failure probability (p_f). Increasing in number of bore hole is to reduce mean and random testing statistical error. The real spatial variation due to variability within the soil profile cannot be reduced since it is inherent in natural. The last variation due to bias in measurement procedure can be reduced by reliability in testing, eg. Triaxial Test.

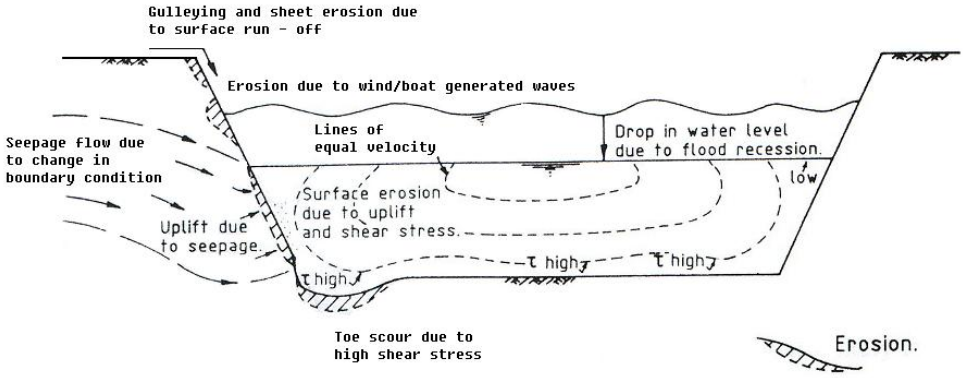
<u>KEY WORD:</u> SLOPE STABILITY, MEKONG RIVER BANK, RIVER BANK PROTECTION

---

[1] นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิต
[2] อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิต
[3] อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

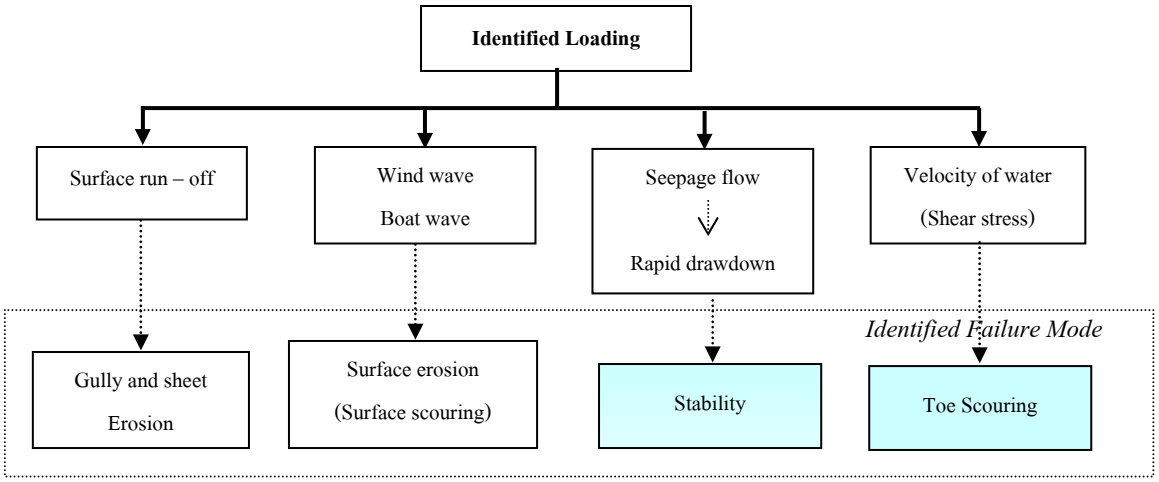
1. บทนำ

การกัดเซาะพังทลายของตลิ่งแม่น้ำเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งโดยปกติแล้วลำน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงภูมิสัณฐานอยู่ตลอดเวลา แต่ในบางครั้งกิจกรรมหรือปัจจัยบางประการก็กระตุ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง และทำให้ตลิ่งขาดเสถียรภาพจนเกิดการพังทลายในที่สุด ดังนั้นการป้องกันปัญหาดังกล่าว สามารถทำได้โดยการสร้างระบบป้องกัน ซึ่งรู้จักกันดีที่เรียกว่า “เขื่อนป้องกันตลิ่งแม่น้ำ (Streambank / Riverbank Protection)” ในการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งนี้ผู้ออกแบบต้องเข้าใจกระบวนการกัดเซาะ การเปลี่ยนแปลงและสาเหตุของการพังทลาย ซึ่งการออกแบบเริ่มต้นจากการตั้งวัตถุประสงค์ในการออกแบบก่อน โดยวัตถุประสงค์นี้จะเป็นพื้นฐานสำหรับการเลือกเทคนิคที่จะนำมาใช้ในการออกแบบและการจัดตั้งเงื่อนไขสำหรับการออกแบบ (Design Criteria) หลังจากนั้นเราต้องทำความเข้าใจกลไก (Mechanism) และสาเหตุของการพิบัติ ซึ่งเกี่ยวกับแรงที่มากระทำดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นกระบวนการทางชลศาสตร์ที่ทำให้เกิดการกัดเซาะและเป็นสาเหตุที่ทำให้ตลิ่งเกิดการพังทลาย



รูปที่ 1 กระบวนการทางชลศาสตร์ที่ทำให้เกิดการกัดเซาะ (IWEM, 1989)

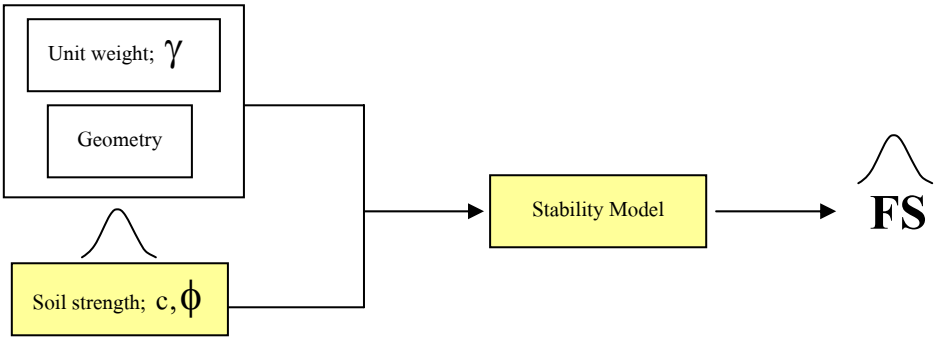
จากรูปที่ 1 สามารถนำมาแสดงเป็นแผนภูมิความสัมพันธ์ของแรงที่กระทำกับรูปแบบของการพิบัติได้ดังรูปที่ 2



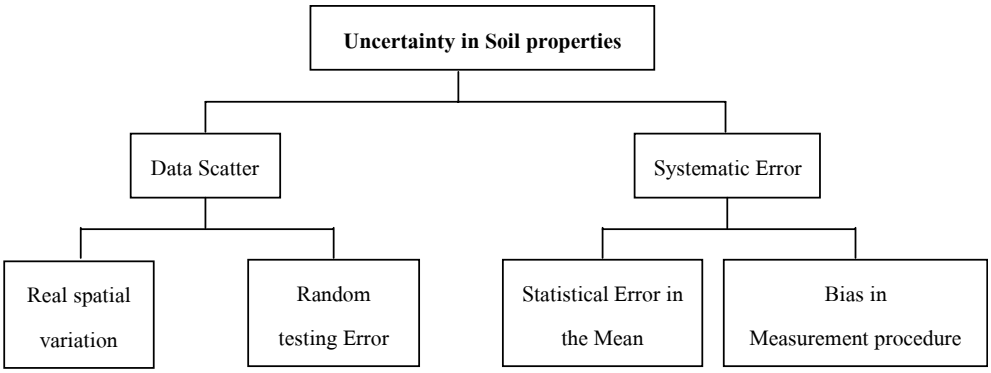
รูปที่ 2 แผนภูมิของแรงกระทำและรูปแบบการพิบัติ

2. ขั้นตอนการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพังทลายของลาดตลิ่งแม่น้ำตามธรรมชาติ ซึ่งจากแผนภูมิของแรงกระทำและรูปแบบการพิบัติในรูปที่ 1 และ 2 ได้พิจารณารูปแบบการพิบัติเป็น 2 รูปแบบได้แก่ Stability Model และ Stability and scouring Model ซึ่งถือว่าเป็นกรณีที่วิกฤต เนื่องจากการกัดเซาะที่เชิงลาดเขื่อนมักจะทำให้เกิดการพิบัติ การพิจารณาแต่ละปัจจัยที่จะนำไปสู่การออกแบบระบบป้องกันจะต้องทำความเข้าใจกระบวนการพิบัติของแต่ละปัจจัย และความแปรปรวนของปัจจัยดังกล่าวซึ่งส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของผลลัพธ์ด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการพิจารณาความแปรปรวนของแต่ละปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพังทลายของตลิ่งแม่น้ำ โดยเลือกพื้นที่ศึกษาที่แม่น้ำโขง ม. 6 บ้านท่าโพธิ์ อ.บึงกาฬ จังหวัดหนองคาย และนำเสนอผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในแบบจำลองการวิเคราะห์เสถียรภาพ (Stability Model) ซึ่งโดยปกติแล้วงานทางด้านวิศวกรรมปฐพีจะแสดงเสถียรภาพด้วยค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety; FS) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินกับหน่วยแรงที่กระทำให้ลาดดินเกิดการพิบัติ แต่โดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติของดิน (Soil properties) มีความแปรปรวนมาก เนื่องจากดินเป็นวัสดุตามธรรมชาติที่ไม่สามารถทราบค่าที่แน่นอนได้ ดังนั้นถ้าคุณสมบัติของดินมีความแปรปรวนจะทำให้ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน (FS.) มีความแปรปรวนด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่ง Christian et al. (1992) ได้ทำการศึกษาความแปรปรวนของคุณสมบัติของดิน โดยแบ่งความแปรปรวนออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ ความแปรปรวนของข้อมูลและของระบบ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 ความไม่แน่นอนของตัวแปรในการวิเคราะห์เสถียรภาพ (Soralump, 2002)



รูปที่ 4 ความไม่แน่นอนของคุณสมบัติดิน (Christian et al., 1992)

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ ดังรูปที่ 3 ตัวแปรที่มีความแปรปรวนและส่งผลต่อการวิเคราะห์ได้แก่ ค่ามุมเสียดทานของดิน (ϕ) และ ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (c) ซึ่ง Harr (1996) and Duncan (2000) ได้ทำการรวบรวมสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of variation; COV) ของตัวแปรต่างๆ ไว้ดังตารางที่ 1 ส่วนค่าหน่วยน้ำหนักของดิน (γ) มี COV ต่ำมากอีกทั้งค่าหน่วยน้ำหนักของดินจะมีผลต่อทั้งแรงกระทำต่อดิน (Driving Force) และแรงต้านการพิบัติ (Resisting Force) ซึ่งจะไม่นำมาพิจารณาในการคำนวณความแปรปรวน

ตารางที่ 1 Coefficient of variation for various soil parameter

Parameter		Coefficient of Variation, %	Source
Degree of Saturation		10	Fredlund and Dahlman (1972)
Unit Weight		3 ★	Hammitt (1966)
Friction Angle	Gravel	7	Schultze (1972)
	Sandy	12 ★	Schultze (1972)
Strength parameter; C		40 ★	Fredlund and Dahlman (1972)

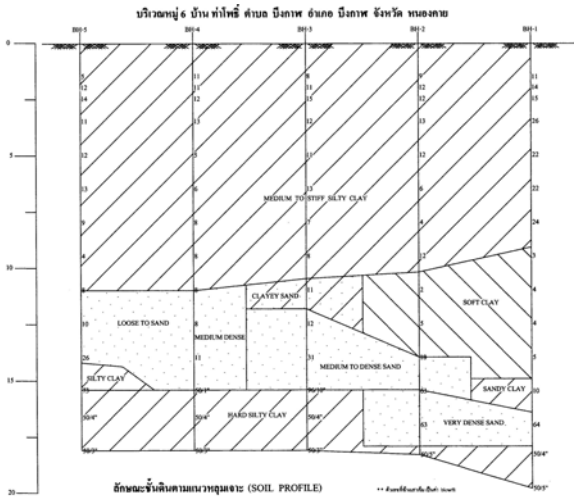
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรจะใช้วิธี Simplified First Order Second Moment (SFOSM) ซึ่งเป็นวิธีทางด้านสถิติที่ง่าย โดยใช้ค่า Mean และ σ, σ^2 ซึ่งมีสมมติฐานว่ารูปแบบการแจกแจงของชุดข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบปรกติ (Normal Distribution) โดยพิจารณาจากอนุกรมของ Taylor's ดังสมการ

$$V[y] = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{k}\frac{\partial g}{\partial x_i}\frac{\partial g}{\partial x_j}C[x_i x_j] + V[e] \qquad \text{.....} \quad (1)$$

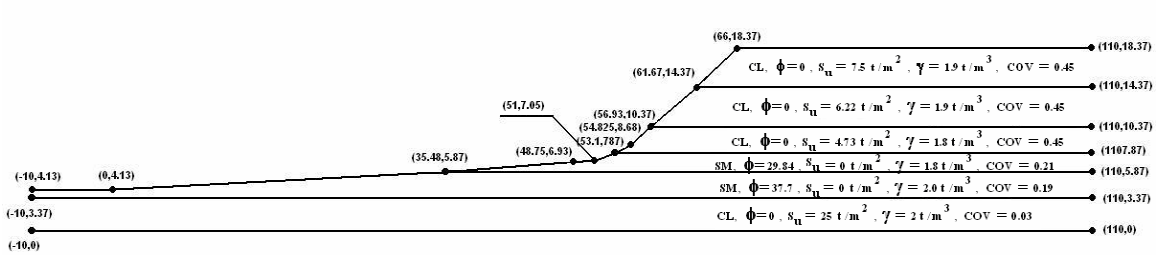
ถ้าเป็นกรณีของปัญหาทางด้านเสถียรภาพ (โดยไม่คิดพจน์ของ Model Error) รูปแบบของสมการสามารถเขียนได้ดังนี้

$$V[FS] = \sum_{i=1}^{k}\left[\frac{\Delta F(xi)}{2}\right]^2 \qquad \text{.....} \quad (2)$$

การวิเคราะห์จะเริ่มจากการนำข้อมูลคุณสมบัติดินมาทำการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิท (Goodness-of-fit-test) ด้วยโปรแกรม CESTTEST (Civil Engineering Statistical TEST) ที่พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยรังสิต ซึ่งจะแสดงผลรูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสมของชุดข้อมูลที่ผ่านการทดสอบด้วยวิธีไคกำลังสอง (Chi-square test) และวิธี K – S (Kolmogorov Smirnov test) (วินัย อวยพรประเสริฐ, 2544) โดยข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์เป็นค่า N-value ของดินเหนียวแข็งปานกลางถึงแข็ง ในช่วงความลึก 0-10.5 เมตร แสดงดังรูปลักษณะชั้นดินในรูปที่ 5 หลังจากนั้นจะนำเส้นชั้นความสูงจากข้อมูล Boring log มาทำการเขียนลักษณะลาดดิน (Geometry) ดังรูปที่ 6 ซึ่งเป็นรูปหน้าตัดที่วิกฤตที่สุดในพื้นดังกล่าว โดยพิจารณาชั้นดินจากหลุมเจาะที่ BH-3 ถึง BH-5 (เนื่องจากมีชั้นดินที่สอดคล้องกัน) และทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) ของชุดข้อมูลดังกล่าว โดยกำหนด Phreatic Line อยู่ตามแนวระดับผิวดิน



รูปที่ 5 ลักษณะชั้นดิน (Soil profile) บ้านท่าโพธิ์ อ.บึงกาฬ จ.หนองคาย



รูปที่ 6 ภาพตัดลาดดิน บ้านท่าโพธิ์ ม.6 อำเภอบึงกาฬ จังหวัดหนองคาย

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม KU – Slope ซึ่งพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแต่ละชั้นดินด้วยค่า $E \pm \sigma$ (COV = 0.45)

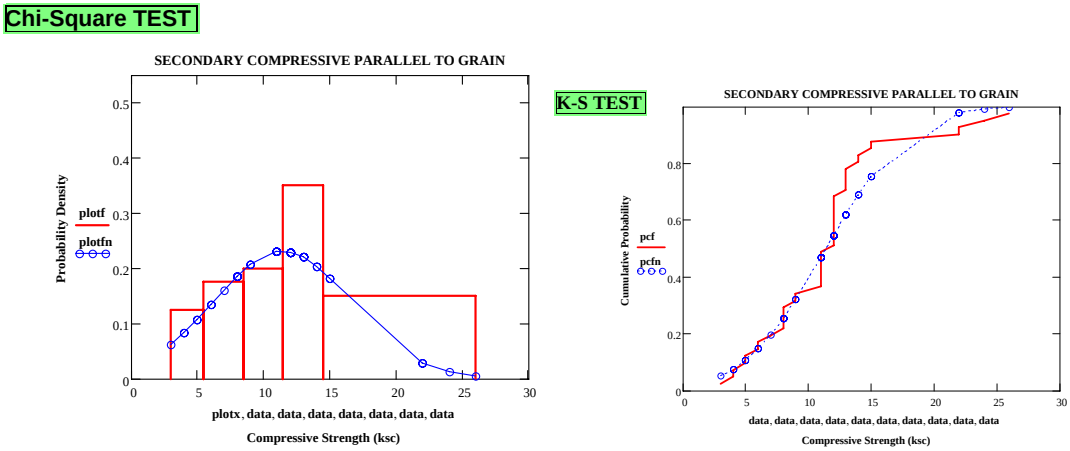
3. ผลการวิเคราะห์

ผลจากการวิเคราะห์แสดงเป็นรายละเอียด ดังหัวข้อต่อไปนี้

3.1 ผลการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิท แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 2 และรูปที่ 7

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบจากโปรแกรม CESTTEST

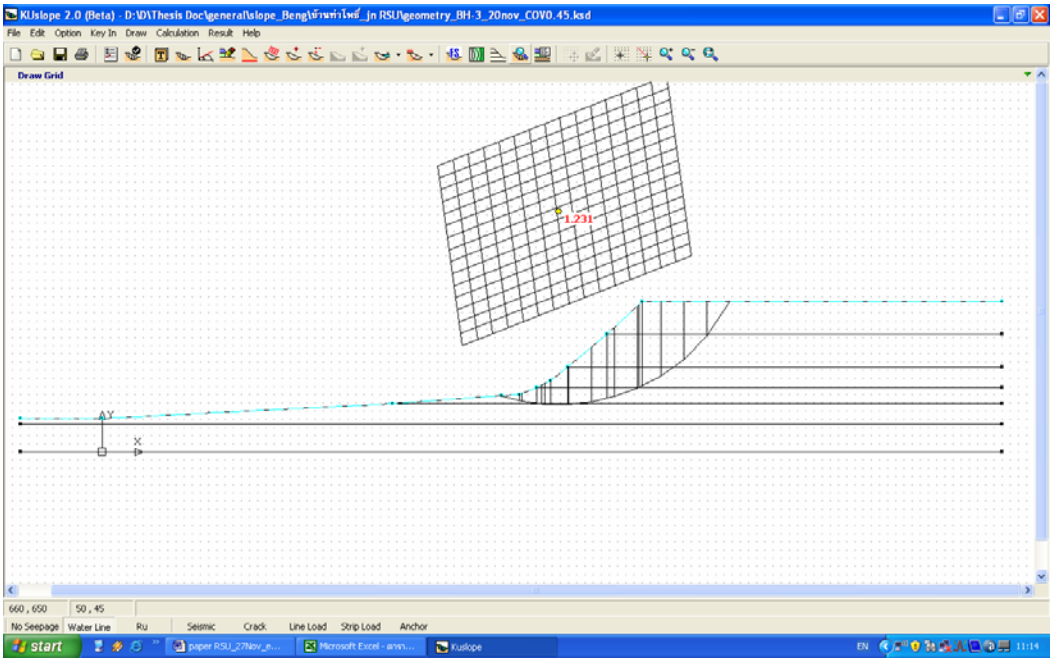
	จำนวนชุดข้อมูล	E	σ	COV	รูปแบบการแจกแจง
N-value (ชั้นดินเหนียว; 0 – 10.5 ม.	40	11.4	5.18	0.45	การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)



รูปที่ 7 ผลการทดสอบภาวะเข้ารูปสนิท สำหรับ N-value (ก) ทดสอบด้วย Chi – Square (ข) ทดสอบด้วย K – S

รูปแบบการแจกแจงของชุดข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบปรกติ ซึ่งจะสอดคล้องกับสมมติฐานของวิธี SFOSM จึงได้ใช้สมการที่ 2 มาหาค่าความไม่แน่นอนของชุดข้อมูล แสดงผลการศึกษาในหัวข้อถัดไป

3.2 ผลการหาความแปรปรวนของชุดข้อมูล (BH-3 ถึง BH-5) และความน่าจะวิบัติ (P_f) จากผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน จะได้ค่า Expected Value ของค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (E [FS]) มีค่าเท่ากับ 1.231 แสดงดังรูปที่ 8 ที่มีระนาบการพิบัติอยู่ที่ x = 55.8.2, y = 29.4, R = 23.6493 และผลจากการวิเคราะห์หาความไม่แน่นอนของข้อมูลและความน่าจะวิบัติ แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งทำให้สามารถหาค่าความน่าจะวิบัติ (P_f) มีค่าเท่ากับ 0.1693 (P_f = 16.93 %) นั่นหมายถึง มีโอกาสเกิดการพิบัติได้ 16.93 กรณีใน 100 กรณี หรือใน 100 หน้าตัดที่มีลักษณะดังรูปที่ 6 มีโอกาสเกิดการพิบัติได้ 16.93 หน้าตัด

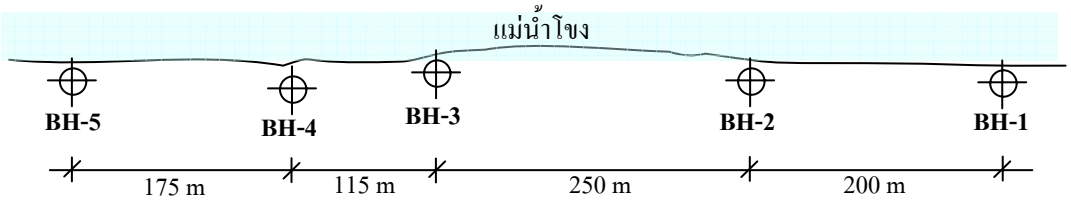


รูปที่ 8 รูปแบบการพิบัติของลาดดิน

ตารางที่ 3 การคำนวณความแปรปรวนของตัวแปร

Run	Su layer 1	Su layer 2	Su layer 3	ϕ layer 4	ϕ layer 5	Su layer 6	F.S	Variance Component	% of Variance
Expected Value	7.5	6.22	4.73	29.84	37.7	25	1.231		
2	4.125	6.22	4.73	29.84	37.7	25	1.068		
3	10.875	6.22	4.73	29.84	37.7	25	1.392	0.02624	43.81
4	7.5	3.421	4.73	29.84	37.7	25	1.124		
5	7.5	9.019	4.73	29.84	37.7	25	1.337	0.01134	18.93
6	7.5	6.22	2.602	29.84	37.7	25	1.098		
7	7.5	6.22	6.859	29.84	37.7	25	1.362	0.01742	29.08
8	7.5	6.22	4.73	23.574	37.7	25	1.164		
9	7.5	6.22	4.73	36.106	37.7	25	1.304	0.00490	8.18
8	7.5	6.22	4.73	29.84	32.422	25	1.219		
9	7.5	6.22	4.73	29.84	42.978	25	1.244	0.00016	0.26
8	7.5	6.22	4.73	29.84	37.7	24.250	1.231		
9	7.5	6.22	4.73	29.84	37.7	25.750	1.231	0.00000	0.00
							SUM	0.05991	100.00
							σ[FS]	0.2448	
							COV	0.1988	
							β_{ln}	0.9570	
							P_f	**0.1692881**	

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ชั้นดินชั้นที่ 1 มีค่าความแปรปรวนมากที่สุด ($\sigma^2 = 43.81$) รองลงมาคือชั้นที่ 3 และชั้นที่ 2 ตามลำดับ (ความหนาชั้นดิน 10.5 เมตร) ดังนั้น จึงได้ทำการพิจารณาความแปรปรวนของชั้นดินทั้งสามชั้นนี้อีกครั้ง โดยการพิจารณาทีละหลุมเจาะ ซึ่งเริ่มจากหลุมที่ 5 ก่อน แล้วค่อยเอาหลุมอื่นมาพิจารณาทีละหลุม หาค่า COV ซึ่งแผนผังตำแหน่งหลุมเจาะ แสดงดังรูปที่ 9 และนำไปพิจารณาหาค่าความแปรปรวน แสดงดังตารางที่ 4

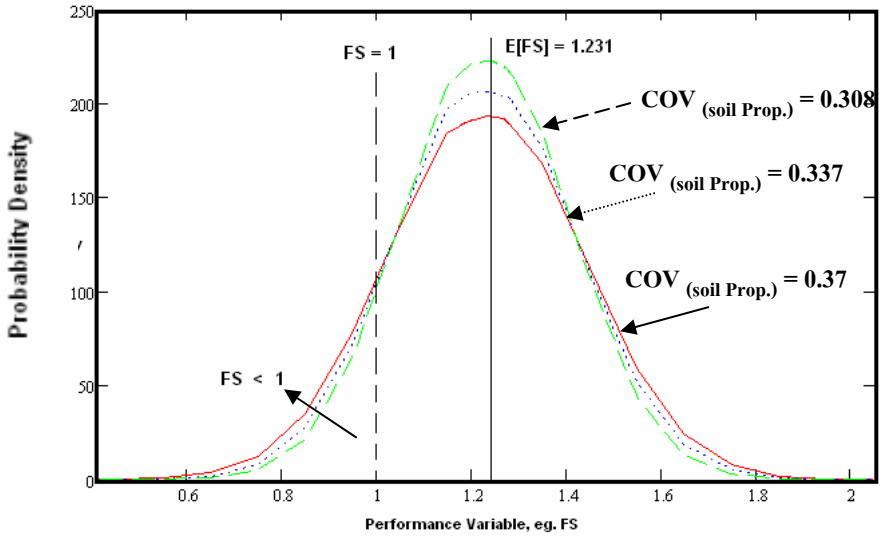


รูปที่ 9 แผนผังตำแหน่งหลุมเจาะ

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COV กับค่าความน่าจะวิบัติ (p_f)

	BH-5	BH-4 ถึง BH -5	BH-3 ถึง BH -5	BH-2 ถึง BH -5	BH-1 ถึง BH -5
COV (Soil prop)	0.37	0.337	0.308	0.309	0.45
COV (FS)	0.1665	0.1535	0.142	0.1427	0.1998
$\sigma_{FS.}$	0.205	0.1889	0.1748	0.1756	0.2448
β	1.174	1.2859	1.402	1.393	0.957
p_f	**0.1202**	**0.0992**	**0.0807**	**0.0818**	**0.1693**

จากตารางที่ 4 สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังกราฟรูปที่ 10



รูปที่ 10 รูปแบบการแจกแจงของค่า E[FS] กับความแปรปรวนของข้อมูล

ความแปรปรวนของข้อมูลจะส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของผลลัพธ์ (FS.) ถึงแม้ว่าค่า E[FS] คงเดิม แต่เมื่อความแปรปรวนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพิ่มขึ้น กราฟก็จะเบนออกมากขึ้น ทำให้พื้นที่ใต้กราฟที่มีค่า FS น้อยกว่า 1 มีค่ามากขึ้น ความน่าจะวิบัติ(p_f) ก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

4. บทสรุป

การเพิ่มจำนวนข้อมูลของหลุมเจาะ เท่ากับเป็นการลดความแปรปรวนเนื่องจากผลของจำนวนการทดสอบที่น้อยเกินไป (Statistical Error in Mean) ตามการจัดประเภทความแปรปรวนของ Christian et al. (1992) ดังรูปที่ 4 แต่เมื่อนำลักษณะชั้นดินจากหลุม BH-1 เข้ามาพิจารณาร่วมด้วยแล้ว ปรากฏว่าค่า COV ของข้อมูลมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากลักษณะชั้นดินที่ไม่สอดคล้องกันกับข้อมูลของทั้ง 4 หลุมเจาะ ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่า BH-1 เป็น ความแปรปรวนประเภท Random Testing Error ซึ่งเกิดจากการสุ่มทดสอบที่ผิดพลาดหรือที่ไม่สอดคล้องกัน ซึ่งความแปรปรวนทั้ง 2 ประเภทนี้ สามารถลดได้เนื่องจากการเพิ่มจำนวนหลุมเจาะ ส่วนผลของ Real Spatial Variation เป็นความแปรปรวนเนื่องจากลักษณะชั้นดิน และความแปรปรวนตัวสุดท้ายเป็นความแปรปรวนเนื่องจากการทดสอบที่ผิดพลาด (Bias in measurement procedure) สามารถลดได้จากการทำการทดสอบคุณสมบัติของดินด้วยการทดสอบที่แม่นยำ และให้ความถูกต้องของผลการทดสอบสูง เช่น Triaxial Test เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

Christain, J.T., Ladd. C.C and Baecher, G.B. Stability and performance of slope and embankment-II. Proceedings of a Specialty Conference, ASCE, Berkeley, California, 2, 1071 – 1110. 1992.

Hey, R.D., and Tovey, N.K. Causes of bank failures. In: River Engineering Part II, Structures and Coastal Defence Work, Institution of Water and Environmental Management, Water Practice Manual No. 8, 1989.164-171.

Soralump, S. Estimation probability of Earthquake – induced failure of earth dams. Unpublished Ph.D. dissertation. Utah State University, Logan, Utah. 2002. 414 p.