บทที่ 6

ผลสรุปในการประเมินค่าความเสี่ยง

งานวิจัยในโครงการนี้มีจุดประสงค์หลัก เพื่อช่วยวางแผนพัฒนาเปิดหน้างานก่อสร้างในภาคสนาม แนวทางปกติก่อนเริ่มการพัฒนาหน้างานขุดเจาะ ต้องมีการประเมินเสถียรภาพของมวลสารเพื่อประกันความปลอดภัยของการทำงานในระดับที่ยอมรับได้ รวมทั้งการควบคุมค่าใช้จ่ายในการพัฒนาเปิดหน้างานเพื่อไม่ให้สูงเกินไป ผลสรุปที่ผู้วิจัยนำเสนอในโครงการวิจัยนี้เพื่อแสดงผลลัพธ์ของความเสี่ยงต่อการพังทลายในบริเวณหน้างานที่แตกต่างกัน (เนื่องจากสภาพธรรมชาติของธรณีวิทยาของแต่ละตำแหน่งหน้างานขุดเจาะแตกต่างกัน) เป็นการวางแผนงานพัฒนาที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และสะดวกต่อการพิจารณาผังหน้างานในภาพรวม นอกจากนี้ยังได้นำเสนอข้ออุปสรรคในการวิเคราะห์เชิงความน่าจะเป็น เพื่อนำมาใช้กับโครงสร้างมวลสารที่เป็นดินหรือหิน

6.1 การประเมินความเสี่ยงจากการตัดความลาดมวลหิน

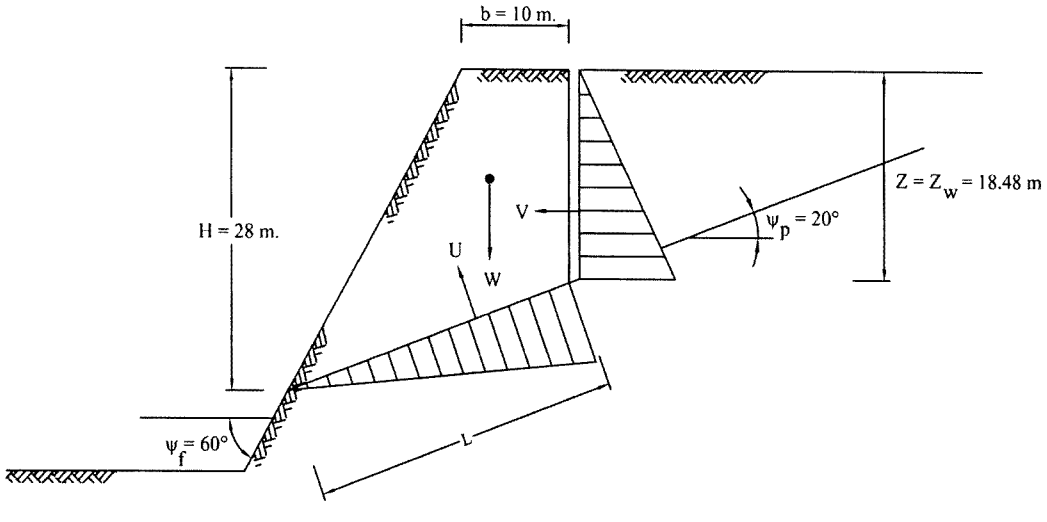
กรณีตัวอย่างรูปแบบแรกเป็นการตัดความลาดในเหมืองหินปูนขนาดใหญ่ เพื่อนำหินปูนมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ข้อมูลเบื้องต้น เช่น สมบัติของมวลสาร (หินปูน) ขนาดของมิติในการตัดความลาด เป็นต้น มีความใกล้เคียงกับการทำงานพัฒนาหน้าเหมืองหินในภาคสนาม

6.1.1 ข้อมูลเฉพาะที่ใช้เป็นกรณีตัวอย่างแรก

กำหนดให้มีการพัฒนาตัดความลาด การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของการพัฒนาหน้างานเป็นไปทั้งในรูปแบบเชิงกำหนด กับในรูปแบบเชิงความน่าจะเป็น โดยมีข้อมูลเฉพาะกับภาพตัดขวางของรูปที่ 6.1 ดังนี้

ก. ค่าสมบัติและค่ามิติของความลาดมวลหิน

- ความสูงหน้าเหมืองหินจากตำแหน่งรอยแตกตัดผ่านถึงจุดยอดความลาด (crest) เท่ากับ 28 เมตร
- มุมหน้าความลาด เท่ากับ 60 องศา
- ระนาบของรอยแตกเอียงเข้าหาหน้างาน เป็นมุม 20 องศา
- รอยร้าวจากแรงดึง (tension crack) เกิดในแนวดิ่ง ห่างจากจุดยอดความลาดถึงจุดที่เกิดรอยร้าว ในแนวราบ เท่ากับ 10 เมตร
- ความลึกของรอยร้าวจากแรงดึง เท่ากับ 18.48 เมตร มีน้ำขังเต็มระดับ
- หน่วยน้ำหนักหินปูน เท่ากับ 25.1 กิโลนิวตันต่อลบ.เมตร
- มุมเสียดทานภายใน เท่ากับ 20 องศา
- ค่าการยึดเกาะกันหรือโคฮีชัน เท่ากับ 100 กิโลพาสคัล



รูปที่ 6.1 การพังทลายตามแนวระนาบ (L) หน้าเหมืองหินปูนที่มีรอยร้าวจากแรงดึงเกิดในชั้นตะพักด้านบน มีน้ำขังเต็มระดับรอยร้าว พจน์ H เป็นความสูงหน้าเหมืองที่เกิดการพังทลาย พจน์ ψ_f เป็นความชันของหน้าเหมือง พจน์ ψ_p เป็นมุมเอียงระนาบรอยร้าว พจน์ Z เป็นความสูงรอยร้าว และ Z_w เป็นความลึกของน้ำที่ขัง ส่วนพจน์ U เป็นแรงยกตัว พจน์ V เป็นแรงผลักของน้ำ พจน์ W เป็นน้ำหนักมวลที่เกิดการพังทลาย และพจน์ b เป็นระยะแนวราบจากจุดยอดถึงรอยร้าว

ข. ค่าเชิงสถิติเพื่อหาค่าโอกาสของความเสี่ยงจากการพังทลาย

– พจน์ตัวแปรสุ่มในระบบ มี 4 พจน์ตัวแปร ได้แก่ ค่ามุมเอียงของระนาบ ค่าหน่วยน้ำหนักหิน ค่ามุมเสียดทานภายใน ค่าการยึดเกาะกัน

– สมมุติให้ตัวแปรสุ่ม มีการแจกแจงฟังก์ชันทั้งในรูปแบบปกติ และในรูปแบบลอการิทึมปกติ

– พจน์ตัวสุ่มในระบบ ที่มีการแจกแจงฟังก์ชันทั้งสองรูปแบบ มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์

ผลเฉลย

วิธีเชิงกำหนด ในการหาค่าอัตราส่วนปลอดภัยการพังทลายแนวระนาบ ในกรณีที่มีแรงดันน้ำยกตัว (uplift force, U) แรงผลักน้ำด้านข้าง (thrust force, V) ตามแนวระนาบยาว L ใช้สมการ

$$\text{F.S.} = \frac{(cL)+[(W\cos\psi_p)-U-(V\sin\psi_p)]\tan\phi}{(W\sin\psi_p)+(V\cos\psi_p)} \qquad (ก)$$

เมื่อแทนค่าที่กำหนด ในสมการ (ก) ทำให้ได้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยเชิงกำหนด ที่จัดเป็น Conventional F.S. = 1.02 ดังที่ระบุไว้ในตารางที่ 6.1

ในกรณีที่จะวิเคราะห์หาค่าความเสี่ยง ใช้ค่าเชิงสถิติที่กำหนดมาให้ โดยแยกการวิเคราะห์เป็นการใช้แบบจำลอง 3 รูปแบบ รูปแบบที่หนึ่งอิงค่าขอบความปลอดภัย (safety margin) รูปแบบที่สองอิงค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่น่าจะเป็นมากที่สุด (the most likely value of factor of safety) ส่วนรูปแบบที่สามเป็นการจำลองข้อมูล โดยเริ่มจากตัวแปรสุ่มระหว่าง 0-1.0 ถูกก่อกำเนิด (generated) และมีการสุ่มตัวแปรฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (probability density function, PDF) ที่อยู่ระหว่าง –4 (S.D.) ถึง +4 (S.D.) เพื่อหาค่าโอกาสการพังทลายจากการจำลองข้อมูล ที่มีการคำนวณซ้ำจำนวน 1000 ครั้ง ผลลัพธ์จากการหาค่าโอกาสการพังทลายทั้ง 3 รูปแบบ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ค่าผลลัพธ์เชิงเสถียรภาพของการตัดความลาดมวลหินปูน ที่ได้จากการใช้วิธีเชิงกำหนด กับการใช้วิธีเชิงความน่าจะเป็นเพื่อหาค่าความเสี่ยงของการพังทลาย ที่ใช้แบบจำลองทั้ง 3 รูปแบบหาค่าผลลัพธ์

CONVENTIONAL F.S. = 1.02		
RISK MODEL I		
Normal Distribution	$\beta_N = 0.114$	$[p(f)]_I = 45.48\%$
Lognormal Distribution	$\beta_{LN} = -0.001$	$[p(f)]_I = 50.03\%$
RISK MODEL II		
Normal Distribution	$\beta_N = 0.168$	$[p(f)]_{II} = 43.34\%$
Lognormal Distribution	$\beta_{LN} = 0.050$	$[p(f)]_{II} = 48.01\%$
RISK MODEL III		
Normal Distribution	$(F.S.)_{range} = 0.66 - 1.45$	$[p(f)]_{SIM} = 42.70\%$
Lognormal Distribution	$(F.S.)_{range} = 0.65 - 1.66$	$[p(f)]_{SIM} = 44.60\%$

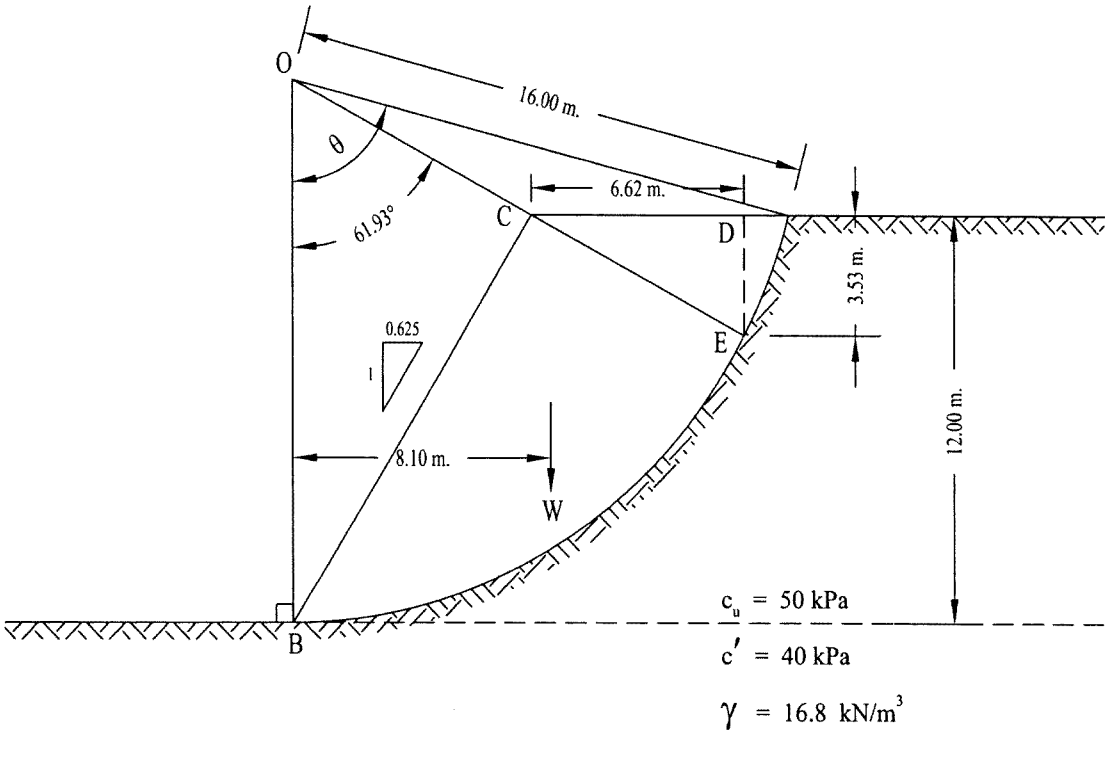
หมายเหตุ การคำนวณเพื่อหา ค่า F.S. ค่า p (f) และค่า β_N ใช้โปรแกรม EXCEL หรือโปรแกรมสำเร็จรูปที่แนบมาหลังปกรายงาน ที่ใช้กับแบบจำลองทั้งสามรูปแบบ (ในบทที่ 4) แต่มีการดัดแปลงบ้างเล็กน้อย (เพื่อใช้กับกรณีโจทย์ข้อนี้) ทำให้ผู้อ่านได้ตรวจสอบว่า วิธีการคำนวณเป็นอย่างไร ผู้วิจัยได้ทำการลำดับขั้นตอนเป็นไฟล์ตัวอย่าง และบันทึกไว้ในแผ่น CD ใน Folder 6.1

6.2 การประเมินความเสี่ยงจากการตัดความลาดมวลดินเหนียวอ่อน

กรณีตัวอย่างรูปที่สองเป็นการตัดความลาดในหน้างานดิน มวลดินที่ยกเป็นกรณีตัวอย่างคือดินเหนียวอ่อน (soft clay soil) ที่มีน้ำอยู่ในมวลดินจนมีลักษณะอิ่มตัว (saturated soil) และมวลดินไม่มีค่าความเสียดทาน (frictionless soil) สมบัติมวลดินดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับชั้นดินฐานรากของสิ่งก่อสร้างในเขตกรุงเทพมหานครและพื้นที่ใกล้เคียง นั่นคือ มวลดินมีสภาพกึ่งพลาสติกที่เปลี่ยนรูปและปริมาตรได้ง่าย

6.2.1 ข้อมูลเฉพาะที่ใช้เป็นกรณีตัวอย่างที่สอง

กำหนดให้มีการพัฒนาตัดความลาด การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของการพัฒนาหน้างานเป็นไปทั้งในรูปแบบเชิงกำหนด กับในรูปแบบเชิงความน่าจะเป็น โดยมีข้อมูลเฉพาะกับภาพตัดขวางของรูปที่ 6.2 ดังนี้



รูปที่ 6.2 การพังทลายรูปวงกลมตามแนวเส้นโค้ง BE ของความลาดดินเหนียวอ่อนที่เป็นดินเหนียวอิ่มตัวไม่มีค่าความเสียดทาน มีน้ำขังเต็มในรอยร้าวจากแรงดึง พจน์ θ เป็นมุมจุดศูนย์กลางวงกลม ส่วนสมบัติดินกับมิติต่าง ๆ ระบุไว้ด้วย

ก. ค่าสมบัติและค่ามิติของความลาดมวลดิน

- ความสูงหน้าความลาดจากตำแหน่งระดับพื้นถึงจุดยอดความลาด (crest) เท่ากับ 12 เมตร
- มุมหน้าความลาด เท่ากับ 58 องศา (ระยะราบต่อระยะดิ่ง = 0.625:1)
- ระนาบของรอยแตกเอียงเข้าหาหน้างาน เป็นแนวเส้นโค้งรูปอาร์ก
- รอยร้าวจากแรงดึง (tension crack) เกิดในแนวดิ่งที่จุด D ห่างจากจุดยอดความลาดถึงจุดที่เกิดรอยร้าว ในแนวราบ เท่ากับ 6.62 เมตร
- ความลึกของรอยร้าวจากแรงดึง (DE) เท่ากับ 3.53 เมตร มีน้ำขังเต็มระดับ
- หน่วยน้ำหนักดินเหนียวอ่อน เท่ากับ 16.8 กิโลนิวตันต่อลบ.เมตร
- ค่าการยึดเกาะกันที่ไม่มีการระบายน้ำออกจากมวล (undrained cohesion, c_u) เท่ากับ 50 กิโลพาสคัล
- ค่าการยึดเกาะกันประสิทธิผล (effective cohesion, c') เท่ากับ 40 กิโลพาสคัล
- ตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงกลม ที่ใช้วิธีสุ่ม อยู่สูงจากระดับพื้นผิว เท่ากับ 16 เมตร (ซึ่งเท่ากับรัศมีของวงกลม) และห่างจากจุดยอดในแนวราบ เท่ากับ 8.10 เมตร รัศมีวงกลมที่ผ่านจุดล่างสุด (toe) และผ่านจุดยอด (crest) กับตำแหน่งล่างสุดของรอยร้าว (จุด E) ทำมุมเท่ากับ 61.93 องศา

ข. ค่าเชิงสถิติเพื่อหาค่าโอกาสของความเสี่ยงจากการพังทลาย

- พจน์ตัวแปรสุ่มในระบบ มี 2 พจน์ตัวแปร ได้แก่ ค่าการยึดเกาะกัน และหน่วยน้ำหนักดินเหนียวอ่อน

- สมมุติให้ตัวแปรสุ่ม มีการแจกแจงฟังก์ชันทั้งในรูปแบบปกติ และในรูปแบบลอการิทึมปกติ

- พจน์ตัวสุ่มในระบบ ที่มีการแจกแจงฟังก์ชันทั้งสองรูปแบบ มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์

ผลเฉลย

การแก้ปัญหาของโจทย์ข้อนี้ ต้องหาพื้นที่ของมวลดินเหนียว BCDE ที่เป็นมวลที่ก่อให้เกิดการพังทลาย ต้องหาระยะเส้นโค้งวงกลม และพื้นที่อื่นก่อน จากนั้นใช้สมการ (ก) เพื่อหาค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่อความหนาหนึ่งหน่วย

$$F.S. = \frac{M_R}{M_D} \qquad (ก)$$

กรณีแรกกำหนดให้ มวลดินเหนียวไม่มีแรงดันน้ำจากรอยร้าวเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยแทนค่าแรงโมเมนต์รอบ จุด O ที่คำนวณได้ค่า Conventional F.S. (dry) = 1.13 ดังที่ระบุไว้ในตารางที่ 6.2

กรณีที่สองมีน้ำขังเต็มในส่วนที่เป็นรอยร้าวจากแรงดึง (tension crack) เมื่อประมาณให้เป็นไดอะแกรมแรงดันน้ำเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก แทนค่าแรงโมเมนต์รอบ จุด O ที่คำนวณได้ค่า Conventional F.S. (wet) = 0.88 ดังที่ระบุไว้ในตารางที่ 6.2

ในกรณีที่จะวิเคราะห์หาค่าความเสี่ยง ใช้ค่าเชิงสถิติที่กำหนดมาให้ โดยแยกการวิเคราะห์เป็นการใช้แบบจำลอง 3 รูปแบบ รูปแบบที่หนึ่งอิงค่าขอบความปลอดภัย (safety margin) รูปแบบที่สองอิงค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่น่าจะเป็นมากที่สุด (the most likely value of factor of safety) ส่วนรูปแบบที่สามเป็นการจำลองข้อมูล (data simulation) โดยเริ่มจากตัวแปรสุ่มระหว่าง 0-1.0 ถูกก่อกำเนิด (generated) และมีการสุ่มตัวแปรฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (probability density function, PDF) ที่อยู่ระหว่าง –4 (S.D.) ถึง +4 (S.D.) เพื่อหาค่าโอกาสการพังทลายจากการจำลองข้อมูล ที่มีการคำนวณซ้ำจำนวน 1000 ครั้ง ผลลัพธ์จากการหาค่าโอกาสการพังทลายทั้ง 3 รูปแบบได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ค่าผลลัพธ์เชิงเสถียรภาพของการตัดความลาดมวลดินเหนียวอ่อน ที่ได้จากการใช้วิธีเชิงกำหนด กับการใช้วิธีเชิงความน่าจะเป็นเพื่อหาค่าความเสี่ยงของการพังทลาย ที่ใช้แบบจำลองทั้ง 3 รูปแบบหาค่าผลลัพธ์

CONVENTIONAL F.S. (dry) = 1.13		
CONVENTIONAL F.S. (wet) = 0.88		
RISK MODEL I (for dry case)		
Normal Distribution	$\beta_N = 0.763$	$[p(f)]_I = 22.3\%$
Lognormal Distribution	$\beta_{LN} = 0.740$	$[p(f)]_I = 23.0\%$
RISK MODEL I (for wet case)		
Normal Distribution	$\beta_N = -0.948$	$[p(f)]_I = 82.8\%$
Lognormal Distribution	$\beta_{LN} = -0.968$	$[p(f)]_I = 83.3\%$
RISK MODEL II (for dry case)		
Normal Distribution	$\beta_N = 0.569$	$[p(f)]_{II} = 28.5\%$
Lognormal Distribution	$\beta_{LN} = 0.536$	$[p(f)]_{II} = 29.6\%$
RISK MODEL II (for wet case)		
Normal Distribution	$\beta_N = -0.638$	$[p(f)]_{II} = 73.8\%$
Lognormal Distribution	$\beta_{LN} = -0.703$	$[p(f)]_{II} = 75.9\%$
RISK MODEL III (for dry case)		
Normal Distribution	$(F.S.)_{range} = 0.45 - 2.51$	$[p(f)]_{SIM} = 28.0\%$
Lognormal Distribution	$(F.S.)_{range} = 0.55 - 2.19$	$[p(f)]_{SIM} = 28.6\%$
RISK MODEL III (for wet case)		
Normal Distribution	$(F.S.)_{range} = 0.37 - 1.83$	$[p(f)]_{SIM} = 75.4\%$
Lognormal Distribution	$(F.S.)_{range} = 0.43 - 1.77$	$[p(f)]_{SIM} = 73.9\%$

หมายเหตุ การคำนวณเพื่อหา ค่า F.S. ค่า p (f) และค่า β_N ใช้โปรแกรม EXCEL หรือโปรแกรมสำเร็จรูปที่แนบมาหลังปกรายงาน ที่ใช้กับแบบจำลองทั้งสามรูปแบบ (ในบทที่ 4) แต่มีการดัดแปลงบ้างเล็กน้อย (เพื่อใช้กับกรณีโจทย์ข้อนี้) ทำให้ผู้อ่านได้ตรวจสอบว่า วิธีการคำนวณเป็นอย่างไร ผู้วิจัยได้ทำการลำดับขั้นตอนเป็นไฟล์ตัวอย่าง และบันทึกไว้ในแผ่น CD ใน Folder 6.2

6.3 ความไม่แน่นอนที่เกิดจากการประเมินความเสี่ยง

กระบวนการประเมินผลลัพธ์ความเสี่ยงในระบบ มีโอกาสเกิดความไม่แน่นอน (uncertainty) ระหว่างประเมินได้ ต้นเหตุและการแก้ปัญหาความไม่แน่นอนที่แยกออกเป็นหลายแนวทาง ขึ้นอยู่กับวิธีการขุดเจาะเปิดหน้าดินในงานวิศวกรรมโยธาหรือวิธีการขุดเจาะเปิดหน้าหินในงานวิศวกรรมเหมืองแร่ รวมทั้งตัวประกอบอื่นในสนาม ผู้วิจัยแยกการประเมินความไม่แน่นอน ดังต่อไปนี้

6.3.1 ตัวประกอบสำคัญที่ก่อให้เกิดความไม่แน่นอนในการประเมิน

ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์เชิงกำหนดหรือเชิงความน่าจะเป็น อิทธิพลของตัวประกอบหลัก (important factors) ที่ก่อให้เกิดความไม่แน่นอน มีความเป็นไปได้ในหลายรูปแบบ ทั้งจากสภาพภูมิประเทศในธรรมชาติ สภาพทางธรณีวิทยาของบริเวณ อิทธิพลของตัวแปรสุ่มในมวลสาร และอิทธิพลของตัวแปรสุ่มภายนอก เมื่อต้องการหาค่าโอกาสการพังทลาย ถึงแม้ว่าค่าเฉลี่ยหรือค่าการคาดหมาย กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างจะทราบแล้ว แต่ยังมีปัญหาในเรื่องการสมมุติฟังก์ชันการแจกแจง (distributed function) ซึ่งมีผลโดยตรงต่อค่าผลลัพธ์เชิงความเสี่ยง กลุ่มผู้วิจัย Mostyn and Li (1993) ระบุไว้ ในบทความ (หน้า 100) ว่าจากการศึกษาเชิงความเสี่ยงของการพังทลายของคันดินถม (soil embankment) เมื่อทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ค่าอัตราส่วนปลอดภัยเชิงกำหนด ได้ค่า F.S. = 2.0 และการหาค่าเชิงสถิติของกลุ่มตัวอย่าง มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (coefficient of variation) = 20% แต่เมื่อเลือกใช้ค่าฟังก์ชันความหนาแน่น (density function) เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ ถ้าการแจกแจงแบบปกติ (normal) ค่าโอกาสการพังทลายหรือ p (f) = 2×10^{-3} แต่ถ้าการแจกแจงแบบลอการิทึมปกติ (lognormal) ได้ค่า p (f) = 2×10^{-4} หรือถ้าการแจกแจงแบบแกมมา (gamma) ได้ค่า p (f) = 2×10^{-4}

6.3.2 ปัญหาในการวิเคราะห์ผลโครงสร้างมวลดิน

การพังทลายในรูปแบบวงกลมของมวลดินในงานวิศวกรรมโยธา การหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางวงกลมวิกฤต (วงกลมที่ให้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดหรือน้อยสุด) การแก้ปัญหาแยกดินเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ กรณีของดินที่ไม่มีค่าการยึดเกาะกันอย่างบริสุทธิ์ (purely cohesionless soil) กับกรณีของดินที่มีค่าการยึดเกาะกันอย่างเดียว (purely cohesive soil)

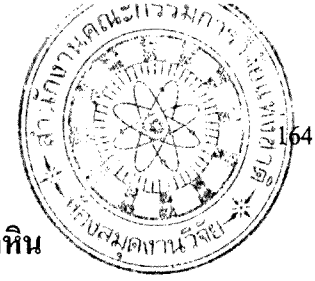
<u>ดินประเภทแรก</u> มีสมบัติที่ไม่มีค่าการยึดเกาะ นั่นคือ ค่า c (ไม่มีแรงดันน้ำเกี่ยงข้อง) = 0 หรือ c' (มีแรงดันน้ำเกี่ยงข้อง) = 0 แต่เป็นดินที่มีค่าความเสียดทาน เมื่อทำการตัดความลาดในมวลดินประเภทนี้ พื้นผิวที่มีโอกาสไถลเลื่อน หรือจัดเป็น critical slip surface ระนาบของพื้นผิว

จะขนานกับหรือร่วมกัน (coincident) กับพื้นผิวของความลาด (slope surface) ทำให้ได้รัศมีวงกลมเป็นค่าอนันต์ หรือ infinite radius วงกลมวิกฤตมีความตื้นมากและค่ารัศมีกว้าง (หรือใหญ่) มาก ทำให้ได้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวงกลม อยู่ในเส้นตรงที่ลากจากจุดกึ่งกลาง (midpoint) ของเส้นหน้าความลาด โดยลากเป็นเส้นตรงตั้งฉากกับพื้นผิวความลาด

<u>ดินประเภทที่สอง</u> มีสมบัติที่ไม่มีค่าความเสียดทาน นั่นคือ ค่า ϕ (ไม่มีแรงดันน้ำเกี่ยวข้อง) = 0 หรือ ϕ' (มีแรงดันน้ำเกี่ยวข้อง) = 0 แต่เป็นดินที่มีค่าการยึดเกาะ เมื่อทำการตัดความลาดในมวลดินประเภทนี้ วงกลมวิกฤตมีโอกาสอยู่ในระดับลึกมากที่สุดเท่าที่จะลึกได้ (as deep as possible) ในกรณีนี้จุดศูนย์กลางของวงกลมวิกฤตจะอยู่ในเส้นตรงที่ลากจากจุดกึ่งกลางของเส้นหน้าความลาด โดยลากเป็นเส้นตรงในแนวดิ่งตั้งฉากกับระดับพื้นผิวดิน แต่มีเงื่อนไขเพิ่มเติมที่ค่าของมุมความลาด (slope angle) มีค่าน้อยกว่า 53 องศา

6.3.3 ปัญหาในการวิเคราะห์ผลโครงสร้างมวลหิน

ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์มวลหินมักสมมุติให้รอยแตกแยก (joint) ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างหินมีผลให้มวลเกิดการพังทลายในแนวระนาบนั้น แต่หินที่เกิดในที่ (in situ rock) มีรอยแตกแยกในธรรมชาติ ทำให้มีโอกาสความเป็นไปได้ของการพังทลายในหลายรูปแบบ เมื่อมีการตัดความลาดในงานวิศวกรรมเหมืองแร่ ถ้าหากมีระนาบตั้งแต่สองระนาบขึ้นไปเกิดในโครงสร้างหินระนาบทั้งสองเกิดการตัดกัน ในลักษณะคล้ายรูปลิ่ม (wedge) แยกมวลหินออกเป็น 2 บล็อก การคำนวณเชิงเสถียรภาพต้องใช้วิธีแรงหลายเหลี่ยม (force polygon) บล็อกด้านบนของความลาด (ที่ผ่านจุดยอดความลาด) มีผลก่อให้เกิดการไถลเลื่อน ส่วนบล็อกด้านล่าง (ที่ผ่านจุดยอดความลาด) มีผลก่อให้เกิดการต้านการไถลเลื่อน ดังนั้นการคำนวณผลลัพธ์จะแตกต่างจากการพังทลายตามแนวระนาบเดี่ยว จำเป็นต้องหาผลลัพธ์ของแรงปฏิกิริยาที่ผิวสัมผัสร่วมของบล็อกทั้งสอง ก่อนที่จะได้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่เหมาะที่สุด ความคลาดเคลื่อน (error) ที่เกิดจากกระบวนการหาผลลัพธ์นั้นเป็นเพราะว่าในภาคสนาม การตรวจวัดค่าระยะหรือมิติของความยาวของระนาบ มีความไม่ต่อเนื่องของแนวระนาบ (ซึ่งในการคำนวณจะสมมุติให้ความยาวระนาบต่อเนื่องกันตลอด) นอกจากนี้ การคำนวณค่าพื้นที่มีโอกาสเกิดความเอนเอียง (biased) เพราะในการตรวจวัดมักใช้วิธีการประมาณค่าการวางตัวของระนาบ (เช่น แนว strike มุม dip ของระนาบ) ปกติในธรรมชาติ รอยแตกแยก 1 เซต จะไม่ค่อยพบว่า มีค่าการวางตัวของระนาบในเซตเท่ากัน ในอีกกรณีหนึ่ง ที่มีการระบุให้แรงดันน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องในมวลหินเมื่อมีฝนตกในช่วงระยะเวลาหนึ่งระดับน้ำใต้ดินย่อมเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ในธรรมชาติ ผลกระทบของแรงดันน้ำไม่คงที่ เช่น ความเร็วระดับน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลง ช่วงฝนตกหนักกับช่วงฝนตกเล็กน้อย



6.3.4 ปัญหาในการวิเคราะห์ผลโครงสร้างมวลดินสลับกับมวลหิน

ชั้นดินและชั้นหินที่มีลักษณะของความสัมพันธ์ร่วมกัน (interface) ต้องใช้ลักษณะเชิงธรณีวิทยาของแต่ละบริเวณ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการแก้ปัญหาเรื่องความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ที่วิเคราะห์ได้ ผู้วิจัยแยกแนวทางในการประเมินกรณีที่มีชั้นดินสลับชั้นหิน ดังนี้

ก. <u>กรณีที่ชั้นดินมีความหนาน้อยและวางตัวบนชั้นหินแข็ง</u> ในกรณีนี้ ค่าความเสียดทานเป็นผลมาจากชั้นหินที่รองรับด้านล่าง ถ้าหากชั้นดินมีค่ามิติความยาวมากเมื่อเทียบกับค่ามิติความหนาหรือความสูงของชั้นหินที่รองรับ การวิเคราะห์ใช้รูปแบบของ infinite slope ตามตัวอย่างที่ระบุในหัวข้อ 5.1.1 บทที่ 5 อย่างไรก็ตาม ถ้าหากมวลดินไม่มีเนื้อเดียวกัน หรือเป็นดินวิวิธพันธุ์ (heterogeneous soil) การพังทลายจะมีลักษณะเป็น แผ่นชั้นบางไถลเลื่อน มีชื่อเรียกเฉพาะว่า slab slide (Hutchinson, 1968) การเกิดการไถลเลื่อนอาจใช้เวลานาน ค่าตัวเลขผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากวิธีการปกติ มีความผิดพลาดได้ง่าย เพราะเป็นปัญหาของ composite surfaces ค่าความเสียดทานไม่ได้เกิดจากชั้นหินแข็งที่รองรับเพียงค่าเดียว

ข. <u>กรณีที่ชั้นดินมีความหนามากและวางตัวบนชั้นหินแข็ง</u> ในกรณีนี้ ควรเกิดการพังทลายเป็นแบบวงกลม หรือ circular failure ชั้นหินที่รองรับด้านล่างจะเป็นฐานล่างหรือ base ถ้าหากมวลดินเป็นดินวิวิธพันธุ์ (heterogeneous soil) การวิเคราะห์ต้องใช้ค่าคุณสมบัติแต่ละส่วน ดังนั้นการหาผลลัพธ์ด้วย analytical method จึงควรใช้การแบ่งส่วนออกเป็นหลายเสี้ยว (slice method) ดังแสดงไว้ในหัวข้อ 5.3.6-5.3.7 หรือใช้วิธีของ Bishop (หัวข้อ 5.3.8-5.3.10)

ค. <u>กรณีที่ชั้นดินสลับชั้นหินแข็งหลายครั้ง</u> ในกรณีนี้ จะต้องพิจารณาเฉพาะปัญหาของรูปแบบการสลับกันระหว่างชั้นดินกับชั้นหิน ถ้าบล็อกของมวลที่เกิดการพังทลายมีชั้นหินคั่นอยู่ตรงกลาง โอกาสการพังทลายของชั้นดินอ่อนที่อยู่บนชั้นหินแข็ง จะเป็นแบบวงกลม โดยวงกลมวิบัติจะมีรัศมีสัมผัสกับชั้นหินแข็ง และอาจไม่มีการพังทลายของชั้นดินที่อยู่ด้านล่างใต้ชั้นหินแข็ง อย่างไรก็ตาม ถ้าหากมีระดับน้ำใต้ดินสูงหรือเกิดฝนตกหนัก ชั้นดินส่วนล่างที่อยู่ใต้ชั้นหินแข็งอาจเกิดการไถลเลื่อนในแนวเชิงเส้นตามลักษณะของ translation slide ได้เป็นรูปแบบของ slab slide

6.3.5 ปัญหาในการเลือกแบบจำลองในการวิเคราะห์ผลลัพธ์

การเลือกแบบจำลองแบบไหน เป็นหัวข้อวิจัยหลักที่ผู้วิจัยโครงการนี้นำเสนอในรายงานวิจัยฉบับนี้ที่เป็นกรณีตัวอย่างที่ 6.1 กับ 6.2 แสดงว่า ค่าผลลัพธ์แต่ละรูปแบบมีค่าไม่เท่ากัน จึงเป็นหน้าที่ของวิศวกรผู้วางแผนที่จะต้องตัดสินใจเลือก และให้ความเชื่อถือค่าผลลัพธ์วิธีไหน ปกติค่าอัตราส่วนปลอดภัยเชิงกำหนดจะเป็นสิ่งแรกที่ใช้พิจารณา จากนั้นการที่ทำการวิเคราะห์ความเสี่ยง

ด้วยแบบจำลองทั้งสามรูปแบบที่งานวิจัยโครงการนี้นำเสนอเพื่อเป็นส่วนประกอบช่วยตัดสินใจ หาเกณฑ์ที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิบัติงานภาคสนาม

ในกรณีที่ปัญหาค่อนข้างสลับซับซ้อน เช่น ในการหาผลลัพธ์จากการพังทลายของมวลดิน การทดลองผิด-ถูก ด้วยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งพิกัดจุดศูนย์กลางและรัศมีวงกลม ปกติใช้การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเลื่อนตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงกลม ในแนวราบและดิ่ง หรือในแนวราบอย่างเดียว หรือในแนวดิ่งอย่างเดียว แต่มีข้อจำกัดที่ต้องให้วงกลมตัดผ่านชั้นดินที่มีสมบัติและข้อมูลเชิงมิติที่กำหนด ถ้าพิกัดของจุดศูนย์กลางมีรัศมีวงกลมใหญ่เกินไปอาจไม่มีประโยชน์ ดังนั้นในช่วงของการค้นหาเพื่อปรับเปลี่ยนพิกัดจุดศูนย์กลางและค่ารัศมีนั้น ชั้นดินที่มีความหนาน้อยสุด (thinnest layer) ต้องปรากฏในภาพตัดขวางด้วย ตามเกณฑ์ทั่วไปหรือ rule of thumb การเพิ่มค่า (พิกัดจุดศูนย์กลาง หรือรัศมี) แต่ละช่วงการค้นหาควรเพิ่มจาก 0.1 H-0.01 H (H = slope height) ซึ่งค่าดังกล่าวไม่มีผลกระทบต่อเวลาในการคำนวณ (computation time) ของคอมพิวเตอร์

ในภาพรวมผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ผล มีโอกาสที่จะได้ค่าดัชนีของตัวเลขอัตราส่วนปลอดภัยที่ระบุว่ามีค่าต่ำสุดหลายค่าหรือได้วงกลมวิกฤตตัดผ่านหน้าตัดชั้นดินได้หลายวงกลม ผู้วิเคราะห์ ต้องพิจารณาวงกลมดังกล่าวว่า วงกลมไหนสมควรจัดให้เป็นตัวแทนวงกลมวิกฤตในการหาค่าอัตราส่วนปลอดภัยเชิงกำหนด หรือเป็นตัวแทนหาค่าความเสี่ยงของการพังทลายมวลสาร