

## กรณีศึกษาการออกแบบคันดินถมลาดไหล่เขาและตลิ่งแม่น้ำ

ผศ.ดร.สุทธิตกดี ศรีลัมพ์

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชัน จำเป็นต้องเข้าใจธรรมชาติหลายประการ อันได้แก่ พฤติกรรมการรับแรงเฉือนของดิน รูปแบบกระบวนการพิบัติของลาดดิน และพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดิน เป็นต้น

### 1. แบบจำลองกำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength Model)

แบบจำลองพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของดินมี 2 ประเภท ดังแสดงตามสมการที่ 1 และ 2

$$\text{Effective Stress Analysis; } \tau = (\sigma - u_0 - \Delta u) \tan \phi' + c' \quad \text{---(1)}$$

$$\text{Total Stress Analysis; } \tau = \sigma \cdot \tan \phi + c \quad \text{---(2)}$$

การพิจารณาเลือกใช้แบบจำลองขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการระบายน้ำของดินและลักษณะการเพิ่มน้ำหนักให้กับดิน ที่สำคัญที่สุดคือสามารถหาข้อมูลที่จะวิเคราะห์เพื่อให้ได้ค่า Total Stress ( $\sigma$ ) หรือ Effective Stress ( $\sigma'$ ) โดยทั่วไปในการได้มาซึ่ง  $\sigma'$  จะมีความซับซ้อนกว่าเนื่องจาก  $\sigma' = \sigma - u_0 - \Delta u$  ซึ่งจำเป็นต้องหา  $u_0$  และ  $\Delta u$  ให้ได้ รายละเอียดเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกใช้แบบจำลอง มีดังต่อไปนี้

#### 1. การระบายน้ำของดิน

- กรณีดิน Cohesionless (ทราย, กรวด, ค่าความชื้นน้ำสูง)  $\Delta u = 0$  สามารถหา  $\sigma'$  ได้ จึงวิเคราะห์เป็น Effective Stress Analysis โดยใช้ Drained Strength Parameters
- กรณี Cohesion Soil (ดินเหนียว, ทรายแป้ง, ค่าความชื้นน้ำต่ำ)  $\Delta u \neq 0$  สามารถหา  $\Delta u$  ได้จากการวิเคราะห์หรือจากเครื่องมือวัด จะสามารถหา  $\sigma'$  ได้ ทำให้สามารถวิเคราะห์เป็น Effective Stress Analysis หากไม่สามารถวิเคราะห์หรือหา

$\Delta u$  ได้ จะทำให้ไม่ทราบ จึงไม่สามารถใช้สมการ (1) ได้ จำเป็นต้องใช้สมการ  
Total Stress Analysis (2) โดยใช้ค่า Undrained Strength Parameters

## 2. อัตราการเพิ่มน้ำหนัก ได้แก่ อัตราการก่อสร้างบนชั้นดิน

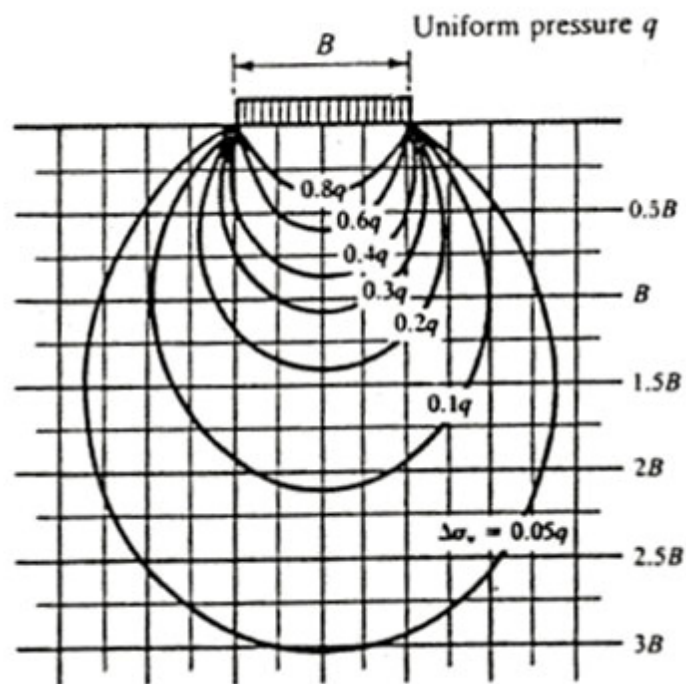
- อัตราการเพิ่มน้ำหนักเร็วบนดิน Cohesionless ไม่มีผลต่อ  $\Delta u$  เพราะ  $\Delta u = 0$  จึงสามารถวิเคราะห์เป็น Effective Stress ได้
- อัตราการเพิ่มน้ำหนักช้าบนดิน Cohesionless หรือดิน Cohesive ถ้าอัตราการเพิ่มน้ำหนักช้ากว่าอัตราการระบายน้ำออกจากดิน  $\Delta u$  จะเท่ากับศูนย์ จึงสามารถวิเคราะห์เป็น Effective Stress Analysis ได้
- กรณีอัตราการเพิ่มน้ำหนักเร็วบนดิน Cohesive Soil  $\Delta u \neq 0$  ถ้าทราบ  $\Delta u$  จะสามารถวิเคราะห์เป็น Effective Stress Analysis ได้ ถ้าไม่ทราบ  $\Delta u$  จะต้องวิเคราะห์เป็น Total Stress Analysis

ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเพียงปัจจัยเบื้องต้น ประเด็นสำคัญคือกิจกรรมการก่อสร้างได้ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของ Excess Pore Pressure ( $\Delta u$ ) หรือไม่และเมื่อ  $\Delta u$  เกิดขึ้นเราสามารถทราบ  $\Delta u$  ได้หรือไม่ ถ้าทราบได้จึงสามารถวิเคราะห์เป็น Effective Stress Analysis ได้ ถ้าไม่สามารถทราบได้จะต้องวิเคราะห์เป็น Total Stress Analysis

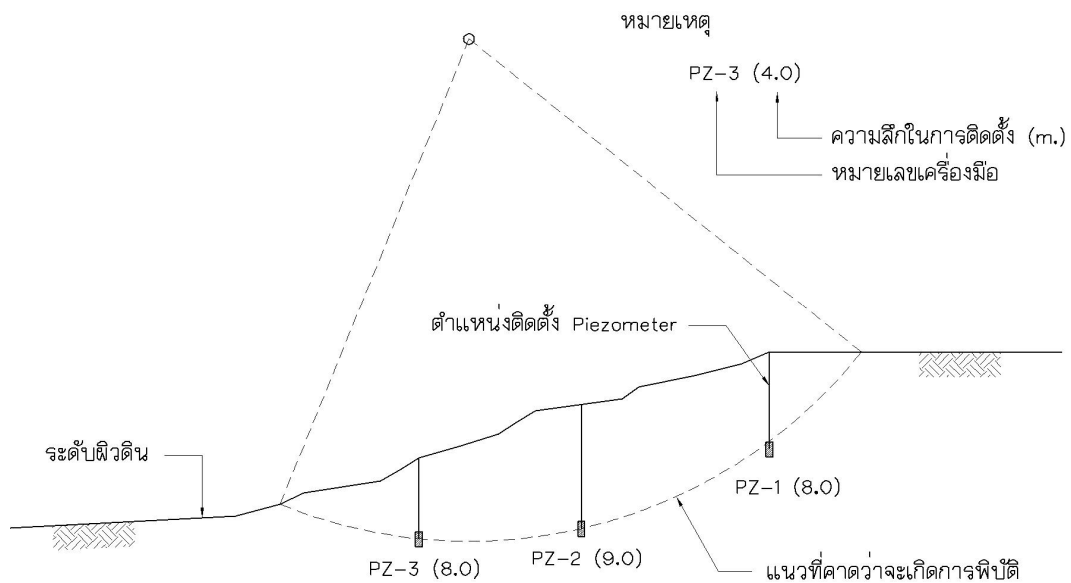
Excess Pore Pressure สามารถหาได้จากวิธีการดังต่อไปนี้

1. การใช้ทฤษฎี Elastic วิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยการประมาณ  $\Delta \sigma = \Delta u$  วิธีนี้อาจมีความผิดพลาดไปในทางที่ไม่ปลอดภัยเนื่องจากระหว่างการก่อสร้างมักมีการรบกวนดิน ทำให้  $\Delta u$  มีค่ามากกว่าการประมาณจากการวิเคราะห์
2. การติดตั้ง Piezometer เพื่อตรวจสอบ  $\Delta u$  ที่เกิดขึ้นระหว่างก่อสร้าง วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมแต่ก็มีปัญหาที่จำนวน Piezometer ไม่สามารถติดตั้งเป็นจำนวนมากได้ ดังรูปที่ 2
3. การใช้  $r_u$  ที่ได้จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา ส่วนใหญ่สำหรับงานดินถมบดอัด

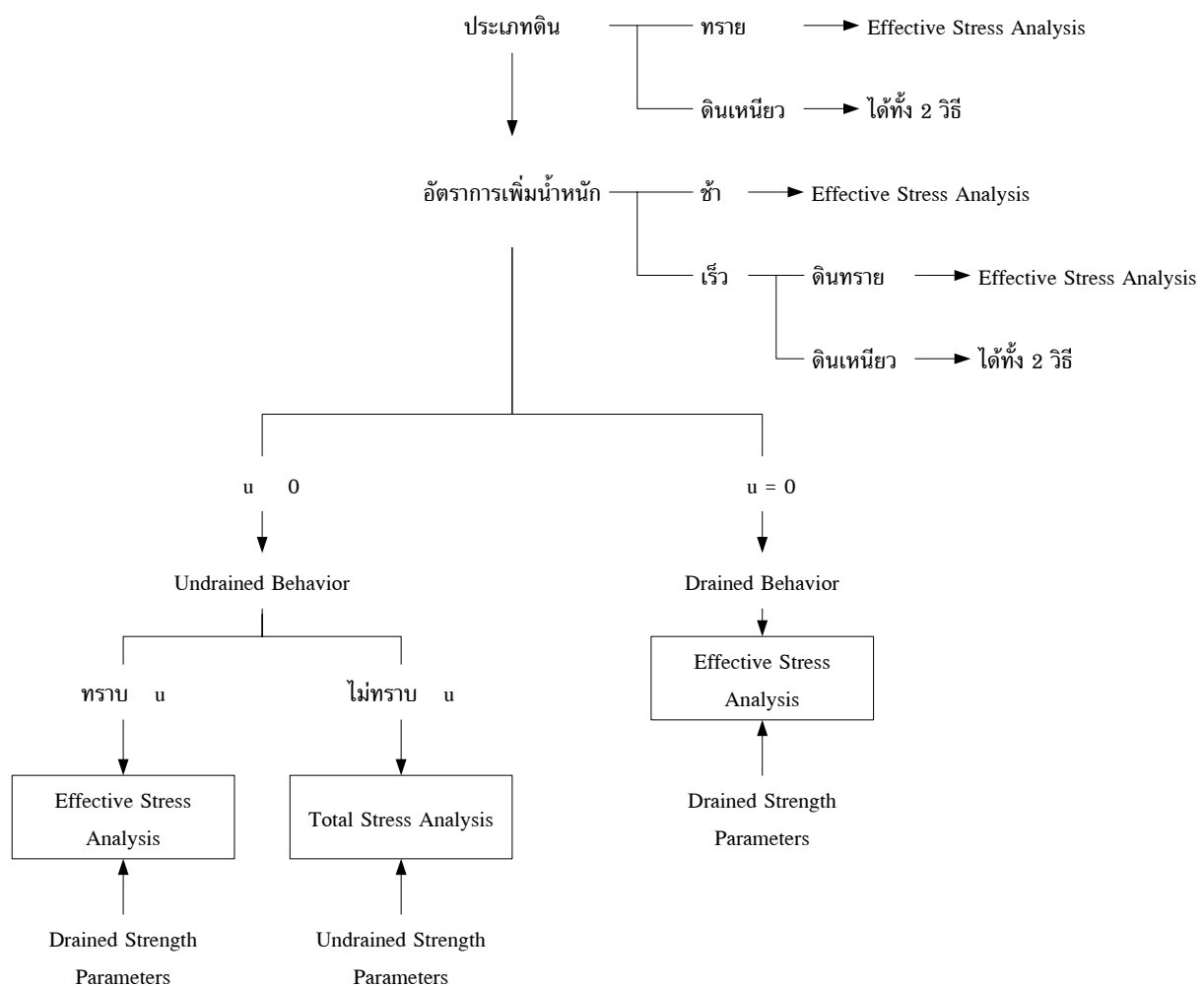
รูปที่ 3 แสดงแผนภูมิการตัดสินใจเลือกวิธีการวิเคราะห์



รูปที่ 1 การกระจายของหน่วยแรงโดยทฤษฎี Elastic ของ Boussinesq



รูปที่ 2 ตัวอย่างการติดตั้ง Piezometer เพื่อตรวจสอบค่าความดันน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างก่อสร้าง



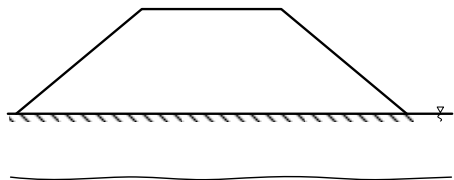
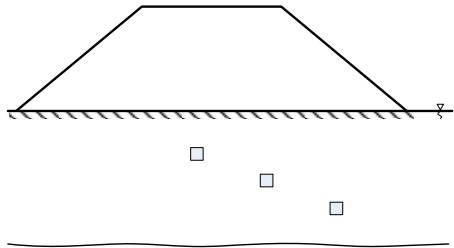
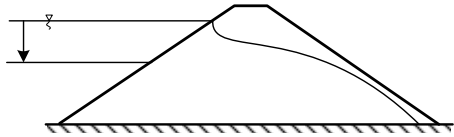
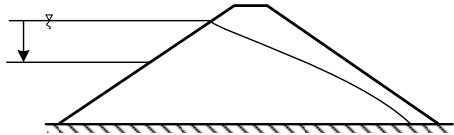
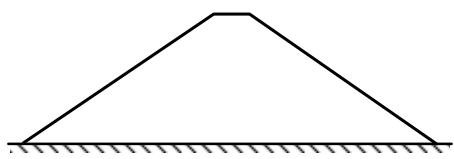
รูปที่ 3 แผนภูมิการตัดสินใจเลือกแบบจำลองกำลังรับแรงเฉือนของดิน

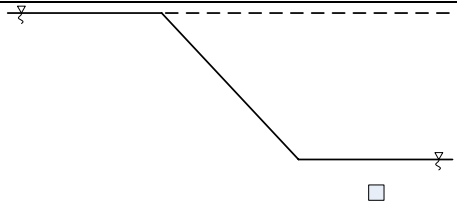
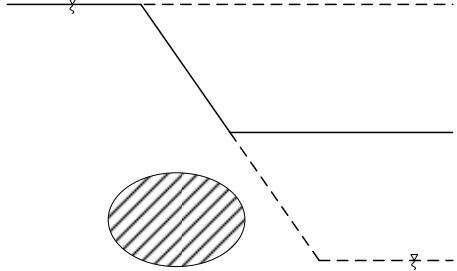
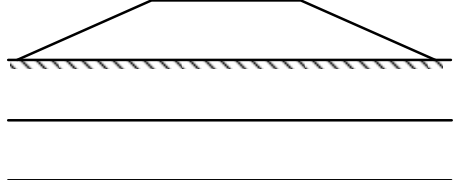
ตารางที่ 1 วิธีการทดสอบและประเภทของ Strength Parameters ที่สามารถทดสอบได้

การทดสอบ		Undrained Strength	Drained Strength
ในสนาม	Vane Shear	$\Delta_{Su_v} \neq$	-
	Cone Penetration	$c, \phi$	$c', \phi'$ (ในชั้นทราย)
	Piezococone	$c, \phi$	$c', \phi'$
	SPT	$S_u (C)$	$\phi$
LAB	UC	$S_u (C)$	-
	DS	$c, \phi$	$c', \phi'$
	TX-UU	$C_{uu}$	-
	TX-CU	$c, \phi$	$c', \phi'$
	TX-CD	-	$c', \phi'$

ตัวอย่างกรณีการวิเคราะห์ที่เลือกใช้แบบจำลองกำลังรับแรงเฉือนของดินในกรณีต่างๆ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กรณีการวิเคราะห์ที่เลือกใช้แบบจำลองกำลังรับแรงเฉือนของดินในกรณีต่าง ๆ

กรณี	แบบจำลองกำลังรับแรงเฉือน
<p>1. ถนนบนดินอ่อน</p> 	<p>การก่อสร้างรวดเร็ว ดินระบายน้ำได้ช้า จึงเกิด <math>\Delta u</math> ไม่มีการติดตั้ง Piezometer จึงไม่ทราบ <math>\Delta u</math> ทำให้ต้องวิเคราะห์เป็น Total Stress Analysis โดยหา Undrained Shear Strength ได้จากการทดสอบ Unconfined Compression หรือการทดสอบ Vane Shear ในสนาม</p>
<p>2. ถนนบนดินอ่อนพร้อม Piezometer</p> 	<p>การติดตั้ง Piezometer ทำให้ทราบ <math>\Delta u</math> จึงสามารถวิเคราะห์โดย Effective Stress Analysis โดยต้องทดสอบตัวอย่างโดย Triaxial Test ประเภท <math>C_u</math> หรือ CD เพื่อให้ได้ Drained Strength Parameters</p>
<p>3. เชื้อนเก็บน้ำระหว่างใช้งาน</p> 	<p>ไม่มีการให้น้ำหนักกับตัวเชื้อน <math>\Delta u = 0</math> วิเคราะห์เป็น Effective Stress Analysis โดยวิเคราะห์หา <math>u_0</math> ณ ตำแหน่งต่างๆ ในตัวเชื้อน โดยการเขียน Flownet หรือถ้าเป็นเชื้อนที่ก่อสร้างแล้ว ให้ตรวจสอบจาก Piezometer Drained Strength Parameter ได้จากการทดสอบดินบดอัดตัวเชื้อนโดย TX-CU</p>
<p>4. เชื้อนหรือลาดตลิ่ง กรณีน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว</p> 	<p>ระดับน้ำที่ลดลงก่อให้เกิดการไหลของน้ำออกจากลาดดิน ในกรณีที่ดินมีค่าความชื้นน้ำสูง ระดับน้ำในลาดดินจะลดลงทันระดับน้ำที่อยู่ในอ่างเก็บน้ำ ในกรณีที่ลาดดินมีค่าความชื้นน้ำต่ำ ระดับน้ำในลาดดินจะสูงกว่าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ ทำให้เกิดแรงดันน้ำในมวลดินเพิ่มขึ้น กรณีนี้หากสามารถวาด Flownet แสดงการไหลออกของน้ำหรืออ่านค่าจาก Piezometer จะสามารถหาแรงดันน้ำและวิเคราะห์เป็น Effective Stress Analysis แต่ถ้าไม่สามารถวาด Flownet ได้ต้องวิเคราะห์เป็น Total Stress Analysis</p>
<p>5. เชื้อนหรือถนนหลังการก่อสร้าง</p> 	<p>การบดอัดดินจะก่อให้เกิดแรงดันน้ำเพิ่มขึ้นในดินบดอัด กรณีนี้การหา <math>\Delta u</math> ไม่สามารถวิเคราะห์ได้โดยง่าย เว้นแต่มีการติดตั้ง Piezometer ดังนั้นจึงควรวิเคราะห์โดยวิธี Total Stress Analysis แต่เนื่องจากดินบดอัดเป็นดินไม่อิ่มตัว การทดสอบ TX-CU อาจไม่เหมือนจริง ดังนั้นจึงควรทดสอบ TX-UU โดยไม่ต้อง Saturate ตัวอย่างจะทำให้ได้ค่า <math>c, \phi</math> สำหรับ Total Stress Analysis</p>
<p>6. งานขุด (ขุดและไม้ลึกมาก, ไม่เกิดการเคลื่อนตัว)</p>	<p>กรณีงานขุด Total Stress (<math>\sigma</math>) ลดลงในช่วงแรก แรงดันน้ำจะเป็นลบเพื่อพยายามรักษา Effective Stress Analysis ให้คงเดิม ทำให้มีความปลอดภัย เมื่อเวลาผ่านไปน้ำใต้ดินหรือน้ำฝนจะทำให้</p>

กรณี	แบบจำลองกำลังรับแรงเฉือน
	<p>แรงดันน้ำที่เป็นลบสลายไป ความปลอดภัยจะลดลง ดังนั้นงานขุดจะอันตรายในระยะยาว การวิเคราะห์สามารถวิเคราะห์โดย Effective Stress Analysis ได้เนื่องจาก <math>+\Delta u</math> ไม่เกิดขึ้น</p>
<p>7. งานขุด (เร็วและลึก, เกิดการเคลื่อนตัว) งานขุดในดินอ่อน</p> 	<p>เมื่อขุดดินเหนียวลึกและเร็ว อาจเกิดการเคลื่อนตัวของลาดดิน ก่อให้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกินบริเวณดินลาดชัน หรือดินอาจเปลี่ยนสภาพเป็นสภาวะ Plastic ในบริเวณดังกล่าว ดังนั้นจึงควรวิเคราะห์โดยวิธี Total Stress Analysis</p>
<p>8. การถมดิน/ ขุดดิน บนชั้นดินหลายประเภท</p> 	<p>ในกรณีการถมดินชั้นดินเหนียวจะมีค่า <math>\Delta u</math> สูงขึ้น ในขณะที่ชั้นดินเหนียว <math>\Delta u = 0</math> ดังนั้นจึงวิเคราะห์โดยวิธี Total Stress Analysis ในชั้นดินเหนียวและ Effective Stress Analysis ในชั้นทราย สำหรับในกรณีงานขุดเนื่องจากค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะต่ำสุดในระยะยาว ดังนั้นจึงควรใช้การวิเคราะห์โดยวิธี Effective Stress Analysis</p>

## 2. แบบจำลองสำหรับลาดดินธรรมชาติ/ไหล่เขา

**Soft Clay**  
 ในกรณีลาดดินธรรมชาติบริเวณไหล่เขา หรือพื้นที่ที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำ หรือมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว พฤติกรรมของกำลังรับแรงเฉือนของดินจะอยู่ในลักษณะที่แตกต่างจากดินที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน เนื่องจากดินอยู่ในสภาวะไม่อิ่มตัว สมการกำลังรับแรงเฉือนของดินไม่อิ่มตัวแสดงในสมการที่ 3

$$\tau = \sigma \cdot \tan \phi' + c' + c \quad \text{---(3)}$$

จากสมการดังกล่าวเทอม  $c$  คือค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในสภาวะไม่อิ่มตัว อันได้แก่ การเชื่อมประสาน (Cementation) โดยสารเชื่อมประสานที่จะถูกทำลายเมื่ออิ่มตัว และแรงยึดเหนี่ยวจากแรงดันด้านลบหรือแรงดูดของอากาศที่อยู่ภายในช่องว่างของเม็ดดิน โดยแรงดูด (Suction) ดังกล่าวจะสลายไปเมื่ออิ่มตัวเช่นเดียวกัน หากพิจารณาเฉพาะแรงดันด้านลบ สมการข้างต้นจะเปลี่ยนไปตามการแปลงสมการที่ 4 และ 5

$$C_s = -S_r \cdot U_w \cdot \tan \phi'$$

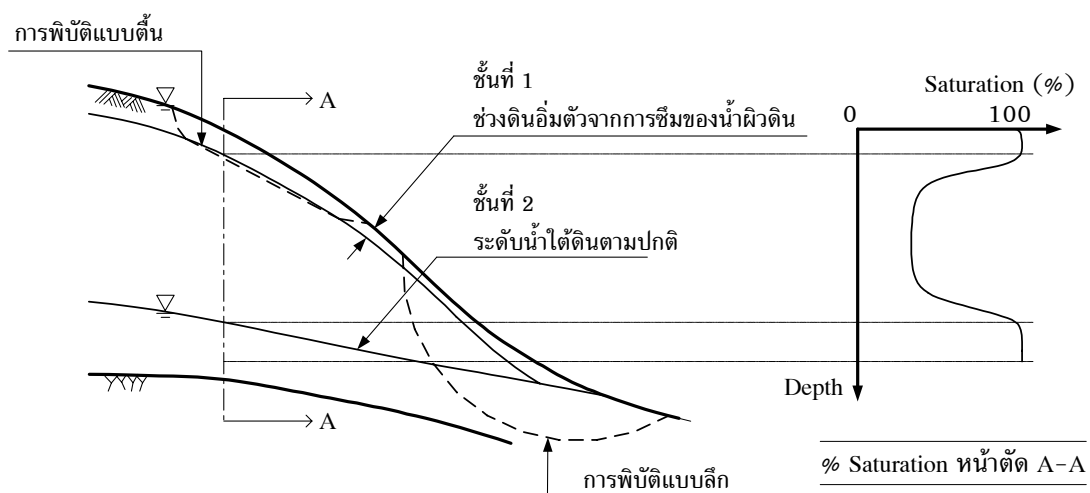
$$\tau = \sigma \cdot \tan \phi' + c' - S_r \cdot U_w \cdot \tan \phi'$$

$$= (\sigma - S_r \cdot U_w \cdot \tan \phi') + c'$$

$$\tau = (\sigma - U_w) \cdot \tan \phi' + c' \quad \text{กรณี } S_r = 1.0, u = + \quad \text{---(4)}$$

$$\tau = (\sigma + S_r \cdot U_w) \cdot \tan \phi + c' \quad \text{กรณี } S_r \neq 1.0, u = - \quad \text{---(5)}$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า สภาวะที่ดินไม่อิ่มตัว กำลังรับแรงเฉือนจะมีค่าสูงกว่าสภาวะอิ่มตัว นั้นเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดดินถล่มเมื่อเกิดฝนตกหนัก เนื่องจากน้ำใต้ดินหรือน้ำที่ซึมผ่านหน้าดินได้เข้าไปทำลายแรงดันด้านลบของภายในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน และในหลายกรณีจะก่อให้เกิดแรงดันน้ำที่เป็นบวกทำให้กำลังรับแรงเฉือนลดต่ำกว่าแรงกระทำ ดินถล่มจึงเกิดขึ้น นอกจากนั้นในการวิเคราะห์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์เป็นลักษณะ Effective Stress Analysis ดังนั้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงแรงดันหรือระดับน้ำในมวลดิน จำเป็นต้องวิเคราะห์ รูปที่ 4 แสดงพฤติกรรมการณ์การไหลของน้ำภายในมวลดินของลาดชันไหล่เขา โดยเมื่อฝนตกน้ำจะไหลซึมผ่านหน้าดินลงสู่ชั้นที่ลึกกว่า อย่างไรก็ตามในหลายกรณีพบว่า ชั้นดินใต้ระดับผิวดินในส่วนที่เป็นดินที่ผูกพันอยู่กับที่ มักจะมีความตึงน้ำกว่าผิวดิน (ขึ้นอยู่กับชนิดหินต้นกำเนิด) ทำให้น้ำไม่สามารถไหลลงไปได้ในระดับลึก ก่อให้เกิดชั้นน้ำใต้ดินใกล้ผิวดินที่อาจทำให้เกิดการพิบัติในลักษณะการพิบัติที่ผิวดินหรือการพิบัติแบบลาดอนันต์ ในขณะเดียวกัน น้ำฝนบางส่วนอาจสะสมลงสู่ชั้นดินชั้นหิน ก่อให้เกิดการยกตัวของระดับน้ำใต้ดินระดับลึก พฤติกรรมดังกล่าวจะก่อให้เกิดการพิบัติขนาดใหญ่และอันตรายกว่า ข้อสังเกตสำคัญคือการพิบัติในลักษณะแรก สามารถเกิดขึ้นได้พร้อม ๆ กัน เป็นบริเวณกว้าง เช่น การพิบัติในพื้นที่จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2549 เป็นต้น ดังรูปที่ 5 ในขณะที่การพิบัติในลักษณะหลังมักเกิดเป็นจุดไม่ได้เกิดขึ้นกว้างขวางเหมือนกรณีแรก ทั้งนี้เนื่องจากน้ำใต้ดินจะไหลตามโครงสร้างทางธรณีวิทยาหรือความลาดชันเฉพาะ



รูปที่ 4 ระดับน้ำใต้ดิน 2 ชั้น เนื่องจากฝนที่ตกหนักในระยะเวลานั้น ๆ

ที่มา: นงลักษณ์ (2546)



รูปที่ 5 ดินถล่มในพื้นที่จังหวัดอุดรดิตถ์

### 3. ระนาบการพิบัติของลาดดิน

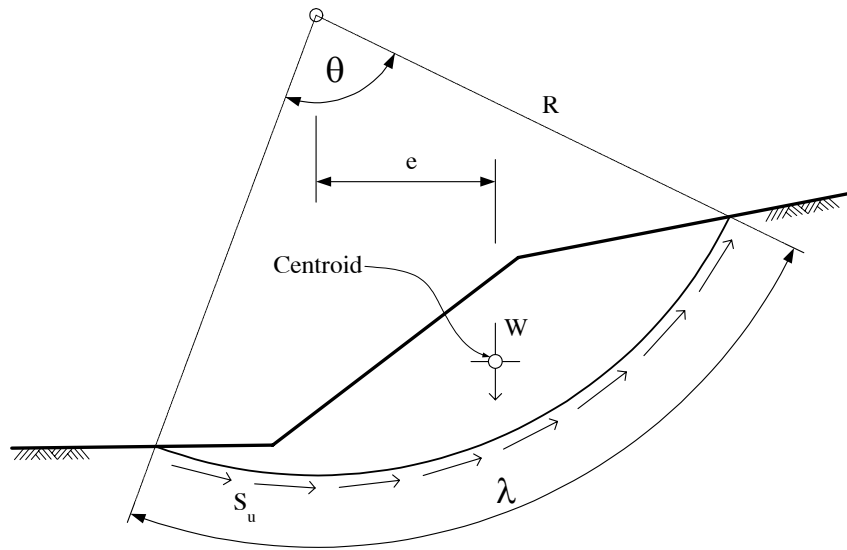
ระนาบการพิบัติขึ้นอยู่กับสภาพของดินตามธรรมชาติ ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหิน ระดับความผุพังของหิน เป็นต้น

#### 3.1 การพิบัติแบบส่วนโค้งของวงกลม (Circular Failure)

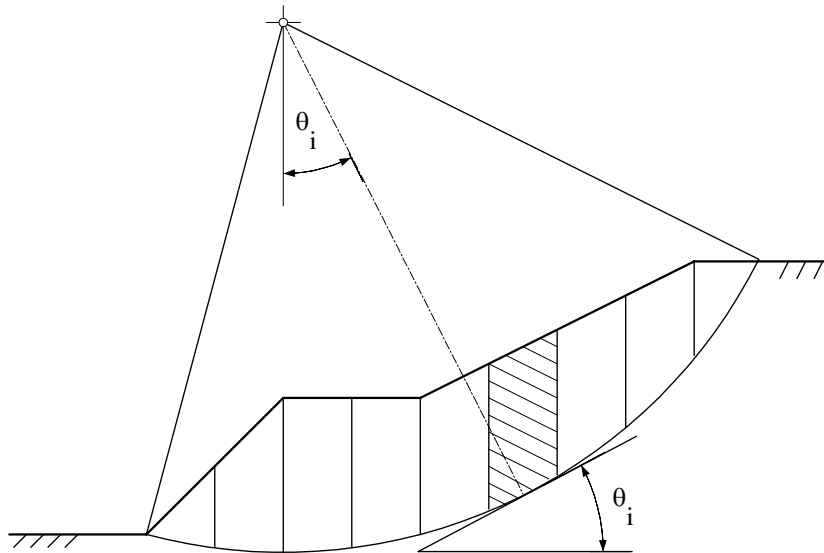
กรณีที่มีมวลดินเป็นดินเหนียว ( $\phi = 0$ ) และเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Materials) พื้นผิวการพิบัติที่วิกฤตที่สุดจะมีลักษณะเป็นส่วนโค้งวงกลม เนื่องจากเป็นพื้นผิวที่ให้ค่าพื้นที่ต่อเส้นรอบรูปมากที่สุด ซึ่งหมายถึงให้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดนั่นเอง การวิเคราะห์สามารถทำได้โดยการพิจารณาสมดุลโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางวงกลมของพื้นผิวพิบัตินั้นๆ ดังรูปที่ 6 และสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (6)

$$F.S. = \frac{\text{Resisting Moment}}{\text{Driving Moment}} = \frac{Su.l.R}{W.e} \quad \text{---(6)}$$

นอกจากนั้นในกรณีที่ชั้นดินมีหลายชั้นประกอบกัน การวิเคราะห์จะใช้วิธีการแบ่งมวลดินในผิวเคลื่อนพัง (Sliding mass) ออกเป็นชั้นๆ ตามแนวตั้งจากผิวดินจนถึงผิวเคลื่อนด้านล่าง ดังรูปที่ 7 โดยการนำเอาแรงที่กระทำต่อดินในแต่ละชั้นซึ่งอยู่ในสภาพสมดุลตามแนวนอนและตั้งฉากกับผิวเคลื่อนมาพิจารณา ลักษณะการจำลองการเคลื่อนพังออกเป็นชั้นๆ ดังกล่าวตรงกับพฤติกรรมการพิบัติจริงของมวลดิน ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 6 การวิเคราะห์โดยสมมูลโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางวงกลมของพื้นผิวพิบัติ



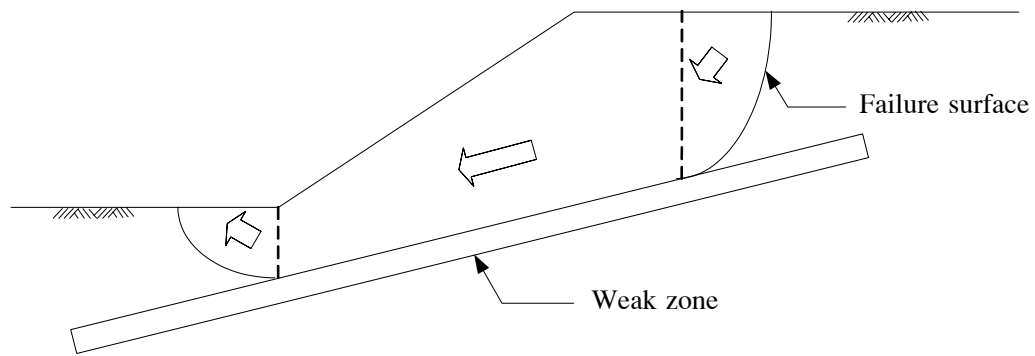
รูปที่ 7 รูปตัดการเคลื่อนพังของลาดดินและการตัดแบ่งมวลดิน



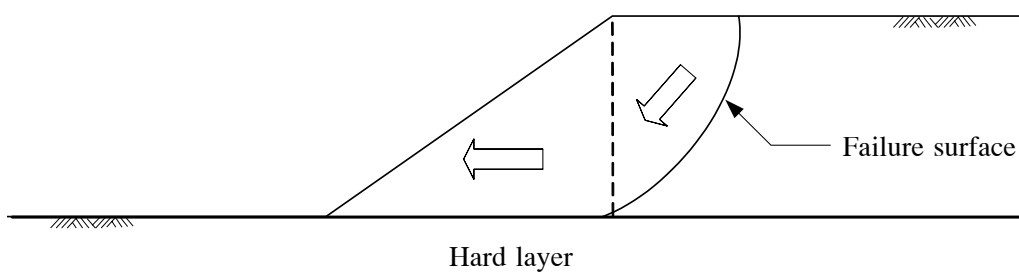
รูปที่ 8 ลักษณะการพังทลายของมวลดิน

### 3.2 การพังทลายแบบไม่เป็นส่วนโค้งของวงกลม (Non-Circular Failure)

การพังทลายแบบไม่เป็นส่วนโค้งของวงกลมนั้นมักเกิดกับดินที่มีความแข็งแรงแตกต่างกันมาก เช่น กรณีที่มีชั้นดินเหนียวอ่อนบังคับแนวการเคลื่อนพัง ดังรูปที่ 9 กรณีลาดดินหรือหินธรรมชาติที่มีแนวชั้นดินอ่อนหรือรอยแตกของชั้นหินลาดลง หรือชั้นดินวางตัวอยู่บนชั้นดินหรือชั้นหินแข็ง ดังรูปที่ 10 และรูปที่ 11 และกรณีของงานเขื่อนที่มีแนวแกนดินเหนียวเอียงไปทางด้านเหนือน้ำ ดังรูปที่ 12 เป็นต้น



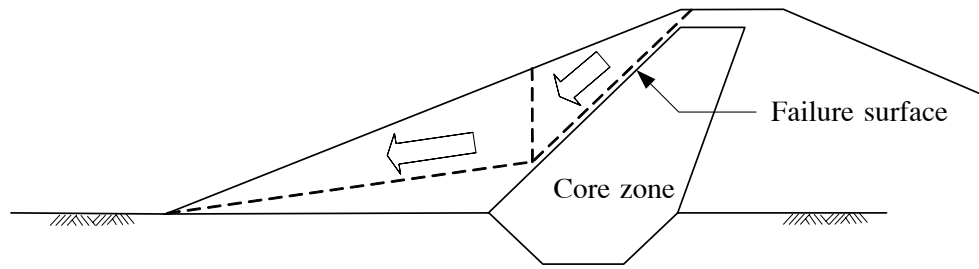
รูปที่ 9 การพังทลายของมวลดิน กรณีมีชั้นดินเหนียวอ่อนบังคับแนวการเคลื่อนพัง



รูปที่ 10 การพังทลายของมวลดิน กรณีชั้นดินวางตัวอยู่บนชั้นดินหรือชั้นหินแข็ง



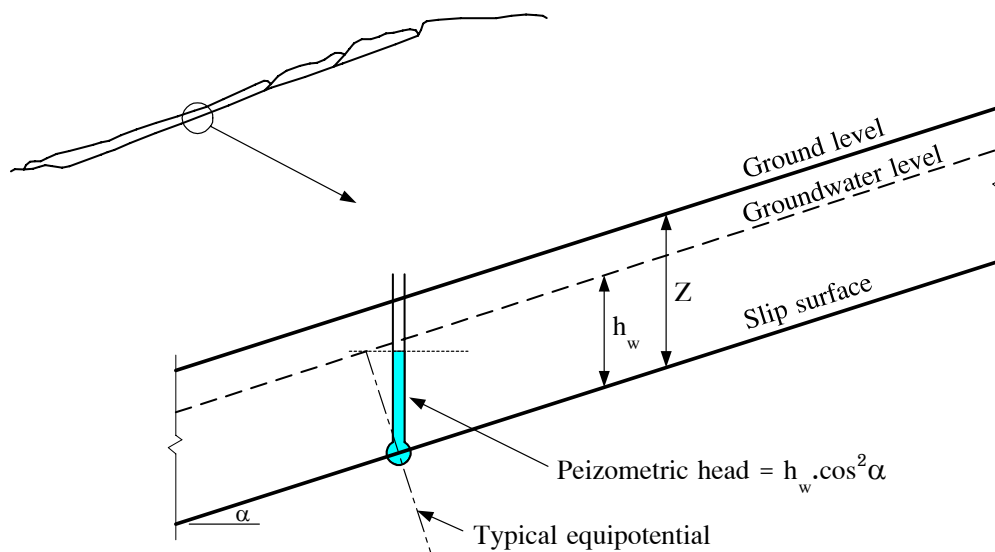
รูปที่ 11 ตัวอย่างการพังทลาย กรณีชั้นดินวางตัวอยู่บนชั้นดินหรือชั้นหินแข็ง



รูปที่ 12 การพิบัติของมวลดิน กรณีเขื่อนที่มีแนวแกนดินเหนียวเอียงไปทางด้านเหนือน้ำ

### 3.3 การพิบัติแบบขนานกับลาดดิน (Infinite Slope Failure)

เป็นการพิบัติที่รูปร่างของผิวเคลื่อนพังมีลักษณะเป็นแผ่นบางขนานกับผิวลาดดิน ความหนาของชั้นดินที่เคลื่อนน้อยกว่า 1 ใน 10 ของความยาวของมวลดินที่เคลื่อนพัง เช่น การทิ้งหินบนลาดเขื่อน การกองวัสดุ เป็นต้น ดังรูปที่ 13 วิธีนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ในกรณีของดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น หรือมีน้อย (Non-Cohesive Soil) และยังสามารถใช้กับลาดดินธรรมชาติที่มีความหนาไม่มาก แต่มีความชันสูง ดังรูปที่ 14



รูปที่ 13 ลักษณะการวิเคราะห์ด้วยวิธี Infinite Slope

ที่มา: Bromhead (1992)



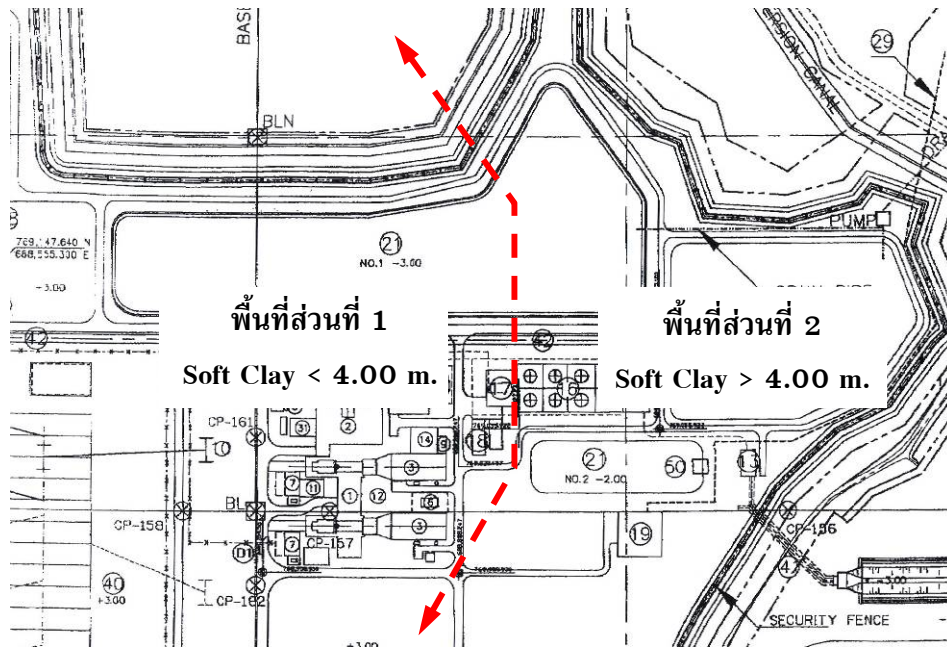
รูปที่ 14 ลักษณะการพิบัติแบบขนานกับลาดดิน กรณีดินลุ่มจังหวัดอุดรดิตถ์

#### 4. กรณีศึกษา

##### 4.1 การออกแบบเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ สำหรับ Holding Pond และ Retention Pond โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม อ.จะนะ จ.สงขลา

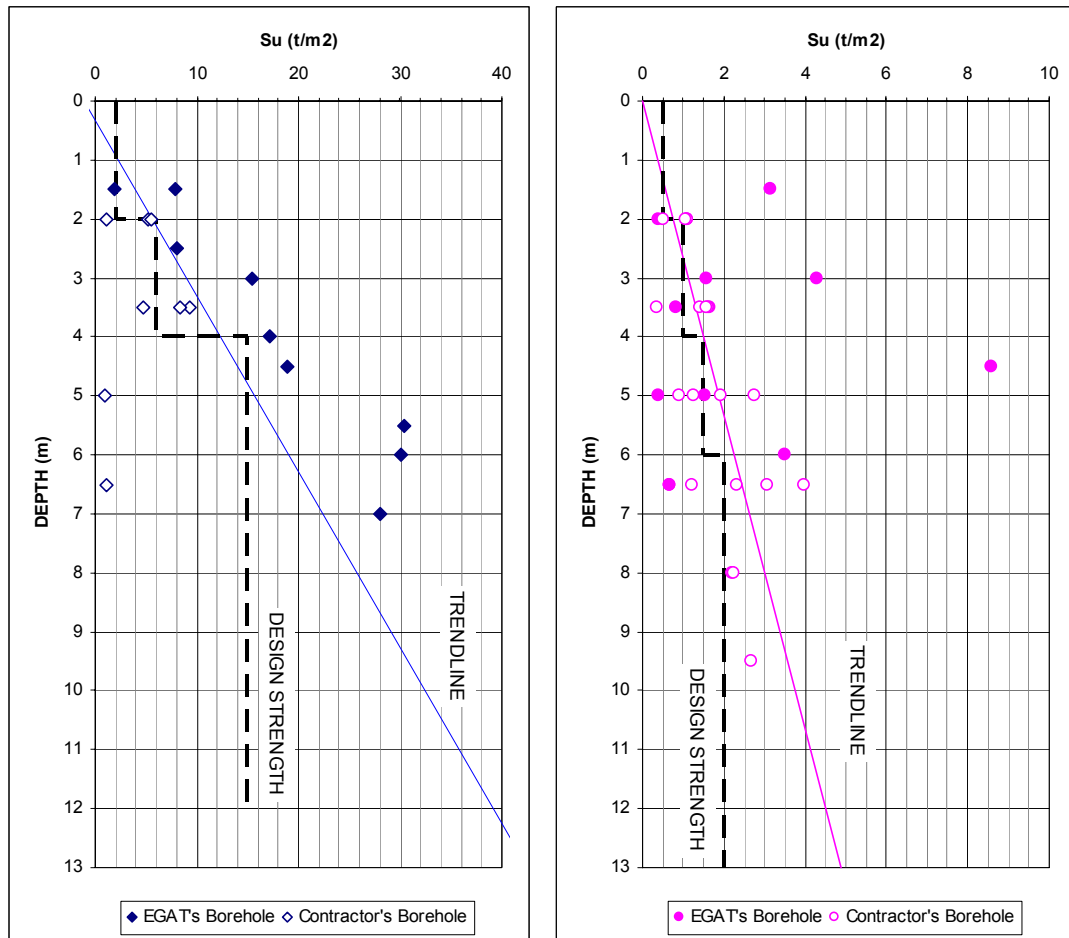
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมีโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมที่อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา โดยพื้นที่ส่วนหนึ่งของโครงการเป็นดินพรุ ซึ่งมีกำลังรับน้ำหนักต่ำ และต้องมีการก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียที่มีการขุดและถมบนชั้นดินดังกล่าว จึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงคุณภาพดินก่อนการก่อสร้างคันดิน โดยเลือกใช้เสาเข็มดิน-ซีเมนต์สำหรับเพิ่มความแข็งแรง (สุทธิศักดิ์ และคณะ, 2549)

พื้นที่การออกแบบแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือพื้นที่บริเวณด้านทิศตะวันตกซึ่งชั้นดินอ่อนหนาน้อยกว่า 4 เมตร และพื้นที่ด้านทิศตะวันออกซึ่งชั้นดินอ่อนหนามากกว่า 4 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 การจำแนกพื้นที่เพื่อการวิเคราะห์

สำหรับดินเหนียวและดิน Organic ซึ่งพบได้ในพื้นที่โครงการ พฤติกรรมที่เกิดขึ้นในขณะที่ดินรับน้ำหนักจะเกิดขึ้นในลักษณะที่ไม่มีการระบายน้ำจากมวลดิน (Undrained Condition) ขอบเขตการวิบัติของดินจึงเกิดขึ้นในลักษณะที่  $\phi = 0$  กำลังรับแรงเฉือนของดินจึงเกิดจากค่า Cohesion แต่เพียงอย่างเดียว ซึ่งค่า Cohesion ของดินโดยทั่วไปสามารถหาได้จากการทดสอบ Unconfined Compression Test โดยค่ากำลังของดินรวมทั้งขอบเขตของค่าความแข็งแรงของดิน (Design Strength) ที่ถูกกำหนดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ (เส้นประ) แสดงในรูปที่ 16



(a) ความหนาชั้นดินอ่อน < 4 เมตร

(b) ความหนาชั้นดินอ่อน > 4 เมตร

### รูปที่ 16 ผลการทดสอบ Unconfined Compression ในพื้นที่โครงการ

ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินบ่อพักน้ำที่ได้ปรับปรุงฐานรากดินอ่อนด้วยเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ โดยปลายเสาเข็มฝังอยู่ในชั้นดินแข็งลึกอย่างน้อย 0.5 เมตร ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในกรณีต่างๆ ในตารางที่ 4 และตัวอย่างดังรูปที่ 17 การวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าหากฝังปลายเสาเข็มไม่ถึงชั้นดินแข็งแล้ว ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ตามแต่กรณี และวงของการพิบัติยังคงเกิดขึ้นในชั้นดินอ่อน จึงจำเป็นต้องเพิ่มความยาวให้อัตราส่วนความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4 ผลวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินบ่อพักน้ำ

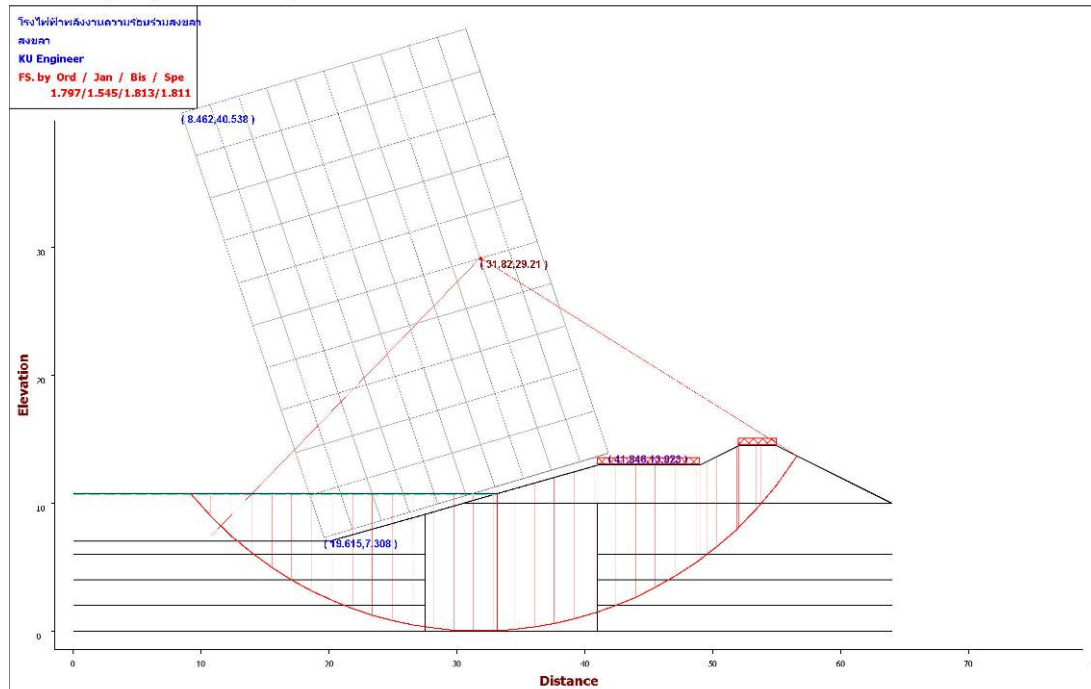
Pond	Section No.	Factor of Safety			Length of Cement Column (m.)
		End of Construction (LL = 2,000 kg/m <sup>2</sup> )	Normal Water Level (LL = 1,000 kg/m <sup>2</sup> )	Rapid Drawdown (LL = 1,000 kg/m <sup>2</sup> )	
		Allowable F.S. = 1.30	Allowable F.S. = 1.50	Allowable F.S. = 1.10	
Holding Pond No. 1	1	3.756	4.496	3.713	L = 4.00 m.
	2	2.337	3.256	2.333	L = 6.50 m.
	3	1.565	2.462	1.661	L = 8.50 m.
Holding Pond No. 2	4	1.937	2.766	2.022	L = 6.50 m.
	5	1.409	2.283	1.539	L = 8.50 m.
Retention Pond	6	1.539	2.287	1.665	L = 8.50 m.
	7	1.320	1.813	1.332	L = 10.50 m.
	8	1.343	1.944	1.355	L = 12.50 m.

**GERD**

Geotechnical Engineering Research and Development

**KUslope**

Version 2.0



รูปที่ 17 ตัวอย่างผลวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินบ่อพักน้ำ

## 4.2 การออกแบบซ่อมแซมลาดถนนเข้าโครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่มาว อ.ฝาง จ.เชียงใหม่

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่มาว ตั้งอยู่ที่บ้านลาน หมู่ 5 ตำบลม่อนปิ่น อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยเกิดการพิบัติของพื้นที่ลาดบริเวณถนนทางเข้าเขื่อนซึ่งเป็นลาดตัด ลักษณะพื้นที่เป็นภูเขาหินแปรที่แปรสภาพมาจากหินทราย (Sandstone) ประกอบด้วยหิน 2 ประเภทหลักคือหินฟิลไลต์ (Phyllitic Sandstone) ซึ่งมีการผุพังสูง และหินควอร์ตไซต์ (Quartzitic Sandstone) ที่มีรอยแตกจำนวนมาก ลักษณะการพิบัติที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 18 และรูปที่ 19 จึงต้องมีการดำเนินการซ่อมแซมแก้ไข

### การสำรวจด้านธรณีวิศวกรรม

การสำรวจทางธรณีวิศวกรรมเป็นขั้นตอนการสำรวจและทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการจัดวางตัวของชั้นหิน กำลังรับแรงเฉือนชั้นหิน รวมทั้งปริมาณการไหลซึมของน้ำ ซึ่งประกอบด้วย

#### (1) การจำแนกมวลหินโดยระบบ RMR และ SMR

ผลจากการวิเคราะห์คุณภาพมวลหินด้วยระบบ RMR และ SMR ในพื้นที่โครงการให้ผลไปในทางเดียวกัน คือ บริเวณทางแยกเข้าเขื่อนและบริเวณที่เกิดการพิบัติ มวลหินมีคุณภาพต่ำ (Poor Rock, Bad) ซึ่งเป็นหินฟิลไลต์ ถัดจากบริเวณที่เกิดการพิบัติจะเป็นหินควอร์ตไซต์ (Quartzitic sandstone) ซึ่งคุณภาพหินอยู่ในระดับปานกลางถึงระดับดี (Fair Rock, Normal to Good)

#### (2) การสำรวจโดยวิธี Seismic Refraction Profile

ผลจากการเดินสำรวจสภาพภูมิประเทศและสภาพธรณีวิทยา ได้นำมาใช้ในการวางแผนทดสอบ Seismic Refraction Profile เพื่อใช้ประเมินลักษณะการวางตัว และความหนาของชั้นหินหรือชั้นดิน ซึ่งผลที่ได้จะช่วยให้การตัดสินใจกำหนดตำแหน่งเจาะสำรวจได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนั้นยังทำให้ทราบถึงลักษณะทางธรณีโดยรวมเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ โดยทำการสำรวจจำนวน 3 แนวตามแนวถนน ตามรูปที่ 20

การแปลผลการทดสอบเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลโดยวิธี Hagiwara's method ประกอบกับการพิจารณาค่าความเร็วคลื่นยืดหยุ่นในหินและแร่สามารถแปลความหมายผลการสำรวจได้ดังนี้คือ

ชั้นที่ 1 เป็นชั้น soft, unconsolidated surface deposits มีความหนาตั้งแต่ 4-10 เมตร

ชั้นที่ 2 เป็นชั้น completely- highly weathered rocks มีความหนาตั้งแต่ 2-10 เมตร

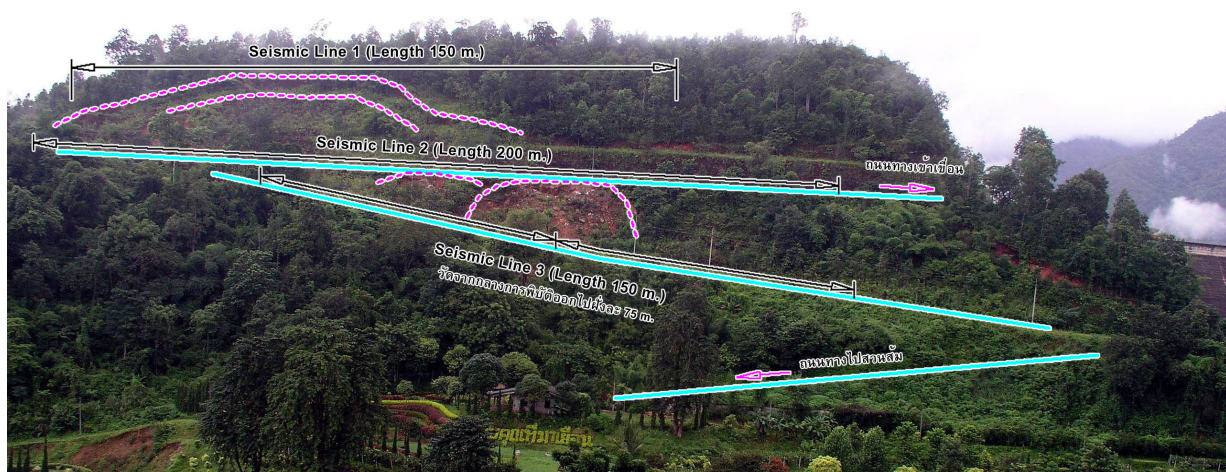
ชั้นที่ 3 เป็นชั้น partially weathered and/or sheared metamorphic, igneous อยู่ในระดับความลึกโดยเฉลี่ยประมาณ 14 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 21



รูปที่ 18 ลักษณะพื้นที่โครงการและการพังทลายที่เกิดขึ้น



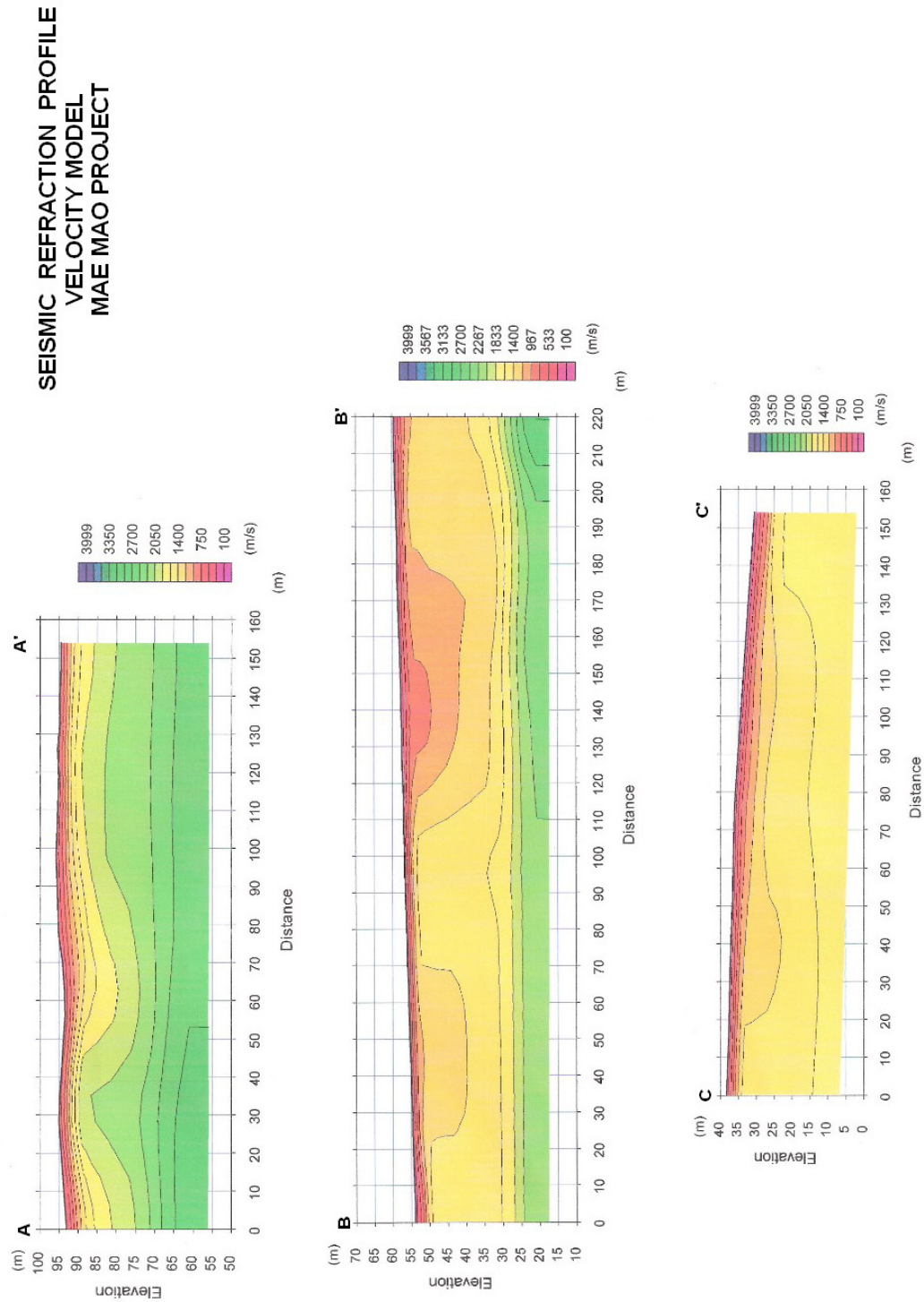
รูปที่ 19 ลักษณะการพิบัติบริเวณถนนทางเข้าเขื่อน



รูปที่ 20 แนวทดสอบ Seismic Refraction

### (3) การเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างหิน

การเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างหินดำเนินการเจาะโดยวิธี Coring และเก็บตัวอย่างขนาด NX-Size จำนวน 3 หลุม ที่ความลึกระหว่าง 10 - 20 เมตร การเจาะสำรวจอย่างน้อย 1 หลุมจะทำการเจาะตั้งฉากกับระนาบการพิบัติหลัก (Major Sliding Plane) ทั้งนี้เพื่อนำตัวอย่างไปทำการทดสอบหา Joint Strength ในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 21 การแปลผลการทดสอบ Seismic Refraction

#### (4) การทดสอบ Permeability ของหิน

Permeability Test ทดสอบระหว่างการเจาะสำรวจในแต่ละช่วงความลึก เพื่อหาค่าความซึม น้ำของหินหรือดินในช่วงความลึกต่างๆ ที่ทำการเจาะสำรวจ ทดสอบโดยวิธี Borehole Test ซึ่งจะบ่งบอกถึงความซึมน้ำและความหนาแน่นของรอยแตกที่ระดับความลึกต่างๆ กัน ผลจากการทดสอบจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์การพิบัติที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำฝน และเพื่อการออกแบบระบบระบายน้ำที่เหมาะสม โดยการทดสอบนี้ดำเนินการร่วมกับงานเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างหิน

#### แนวทางการออกแบบแก้ไข

จากการสำรวจลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะธรณีวิทยา และพิจารณาข้อมูลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ที่ปรึกษามีแนวคิดในการออกแบบแก้ไขโดยผสมผสานหลักการดังต่อไปนี้เข้าด้วยกัน ได้แก่

(1) การเสริมความแข็งแรงของมวลหิน โดยวิธี Rock Anchor ทั้งนี้ใช้ได้กับมวลหินที่มีการผุสลายต่ำ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มแรงเสียดทานบริเวณรอยแตก หลักที่ส่งผลต่อการพิบัติและเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนในระนาบการพิบัติ

(2) การลดน้ำหนักมวลดินและหินในส่วนที่ก่อให้เกิดการพิบัติ (Driving Force) โดยการตัดมวลดินและหินด้านบนลาดชันในลักษณะขั้นบันได (Benching) วิธีนี้สามารถใช้ได้กับมวลดินและหินที่มีอัตราการผุสลายสูง

(3) การเพิ่มน้ำหนักในส่วนที่ก่อให้เกิดแรงต้าน (Resisting Force) โดยการถมดิน/หิน ด้านตีนลาดชันหรือในกรณีที่ดินลาดชันมีความชันมากอาจจำเป็นต้องก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดเสริมกำลังดินที่เรียกว่า Mechanically Stabilized Earth Wall (MSE-Wall)

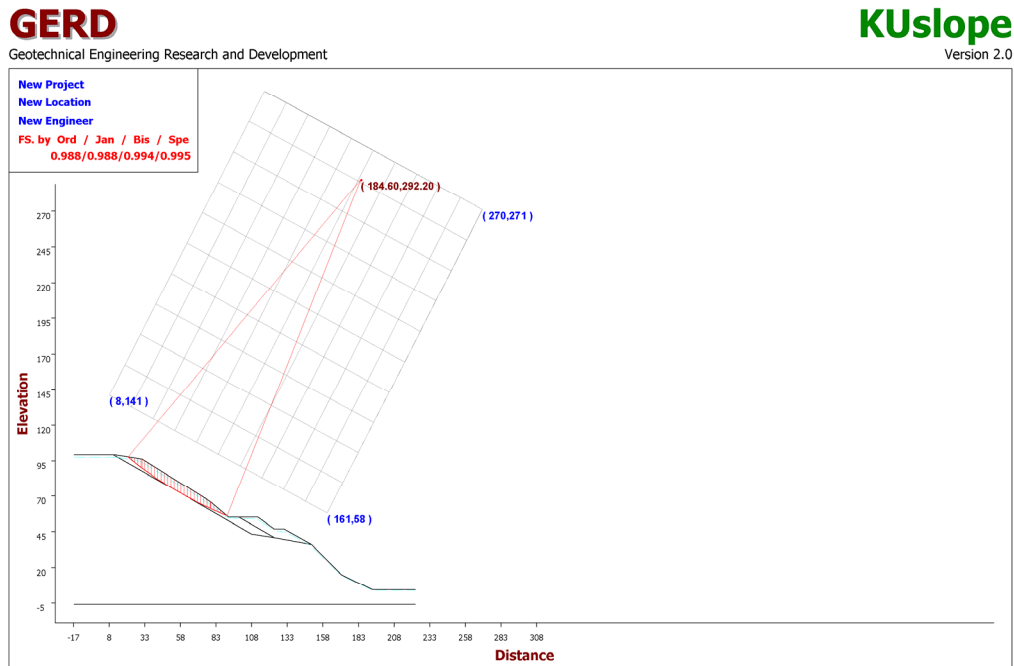
(4) การระบายน้ำออกจากมวลดิน/หิน ทั้งนี้เพื่อลดแรงดันน้ำภายในมวลดิน เนื่องจากแรงดันน้ำในมวลดิน/หิน เป็นสาเหตุให้แรงเสียดทานประสิทธิผลมีค่าลดลงซึ่งส่งผลให้เกิดการพิบัติของมวลดิน/หิน

#### การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเชิงเขา

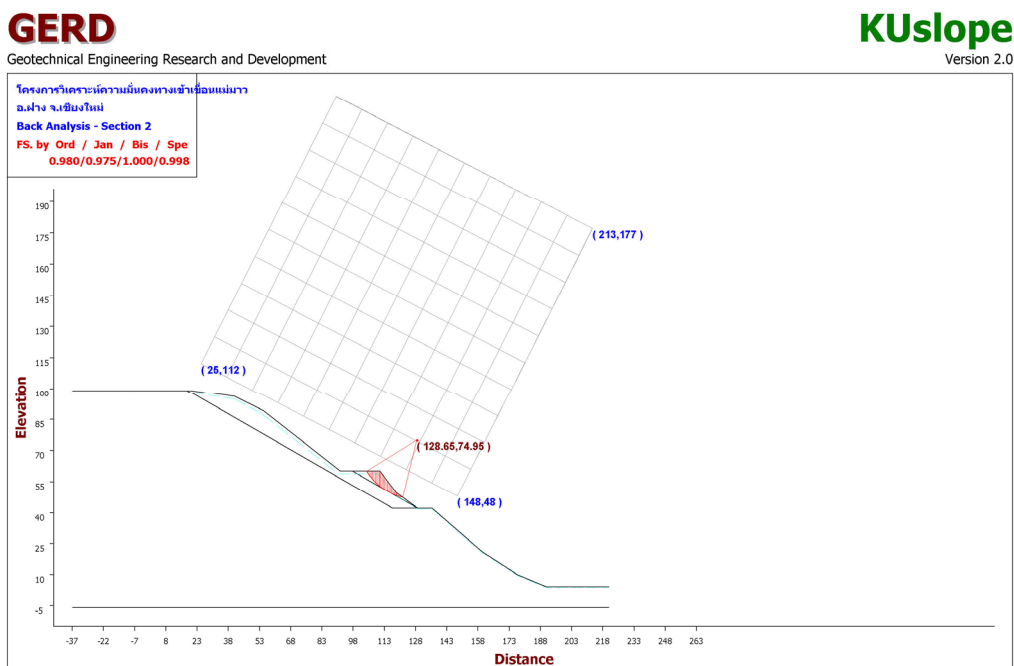
การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเชิงเขา แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการวิเคราะห์แบบย้อนกลับ (Back analysis) และสภาพลาดชันในปัจจุบัน (Existing Analysis) เพื่อตรวจสอบสภาพเดิมของลาดดินในบริเวณที่เกิดการพิบัติ และการวิเคราะห์สำหรับกรณีการออกแบบแก้ไข

### (1) การวิเคราะห์ย้อนกลับ (Back analysis)

การวิเคราะห์ใช้ระดับน้ำอยู่ที่ระดับผิวดิน โดยผลการวิเคราะห์แบบย้อนกลับแสดงให้เห็นว่า สำหรับหน้าตัดที่ 1 การพังทลายเกิดในส่วนบนของลาดเขา หน้าตัดที่ 2 เกิดบริเวณลาดเขาส่งล่าง ดังแสดงใน รูปที่ 22 และ 23 ตามลำดับ ซึ่งคล้ายกับการพังทลายที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งเกิดจากชั้นหินในช่วงบน (0.0-11.0 เมตร) มีความผุพังสูง ประกอบกับลาดเขามีความลาดชันมาก



รูปที่ 22 ผลการวิเคราะห์ย้อนกลับ หน้าตัดที่ 1



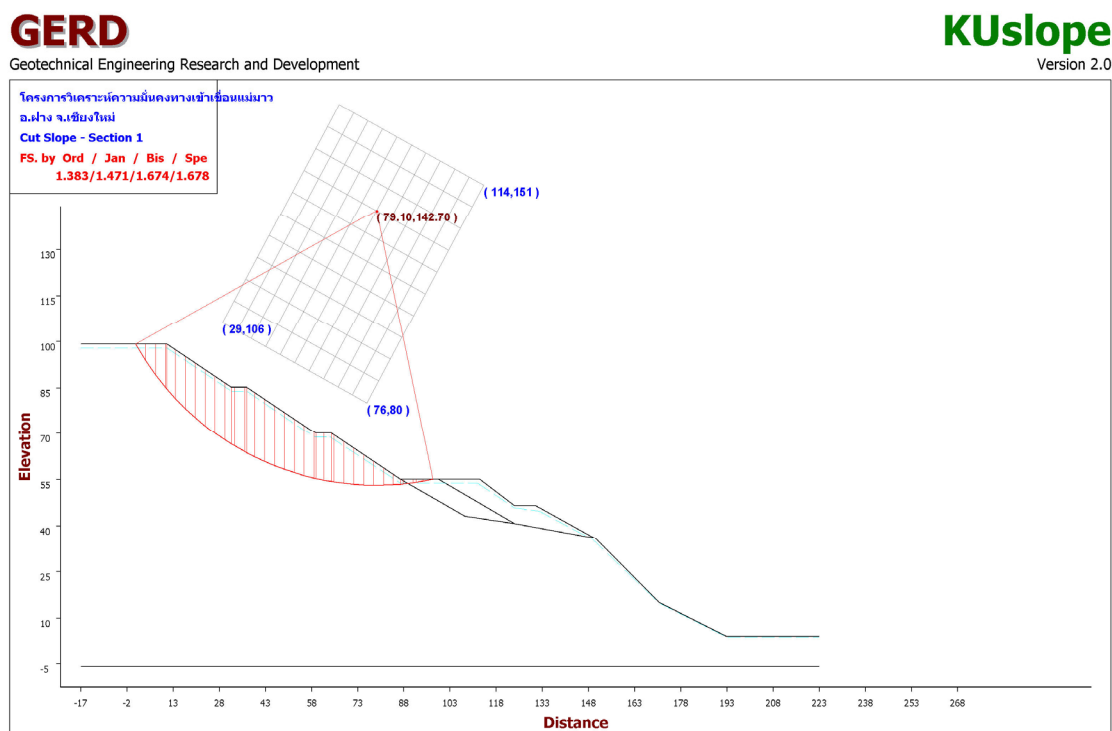
รูปที่ 23 ผลการวิเคราะห์ย้อนกลับ หน้าตัดที่ 2

## (2) การวิเคราะห์สำหรับกรณีการออกแบบแก้ไข

แนวทางออกแบบแก้ไขสำหรับโครงการนี้ที่ปรึกษาเลือกใช้แนวทางการหลีกเลี่ยงบริเวณที่เกิดการพิบัติ เนื่องจากเป็นแนวทางที่ใช้ค่าก่อสร้างน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการใช้โครงสร้างเพื่อดำเนินการพิบัติ รวมถึงมีผลกระทบต่อการใช้เส้นทางในระหว่างการก่อสร้างน้อยกว่า

หลักการแก้ไขจะใช้การตัดลาดเชิงเขาลงไปถึงชั้นหินแข็งเพื่อเอามวลหินที่มีระดับการผุพังสูง ออก และลดความลาดชันให้อยู่ในช่วง 30 องศา (มุมใกล้เคียงกับการวางตัวของชั้นหิน) โดยมีชันพัก (Benching) กว้าง 5.0 เมตร ร่วมกับการใช้ท่อระบายน้ำใต้ดิน (Horizontal Drain) เพื่อลดระดับน้ำบริเวณลาดเอียง

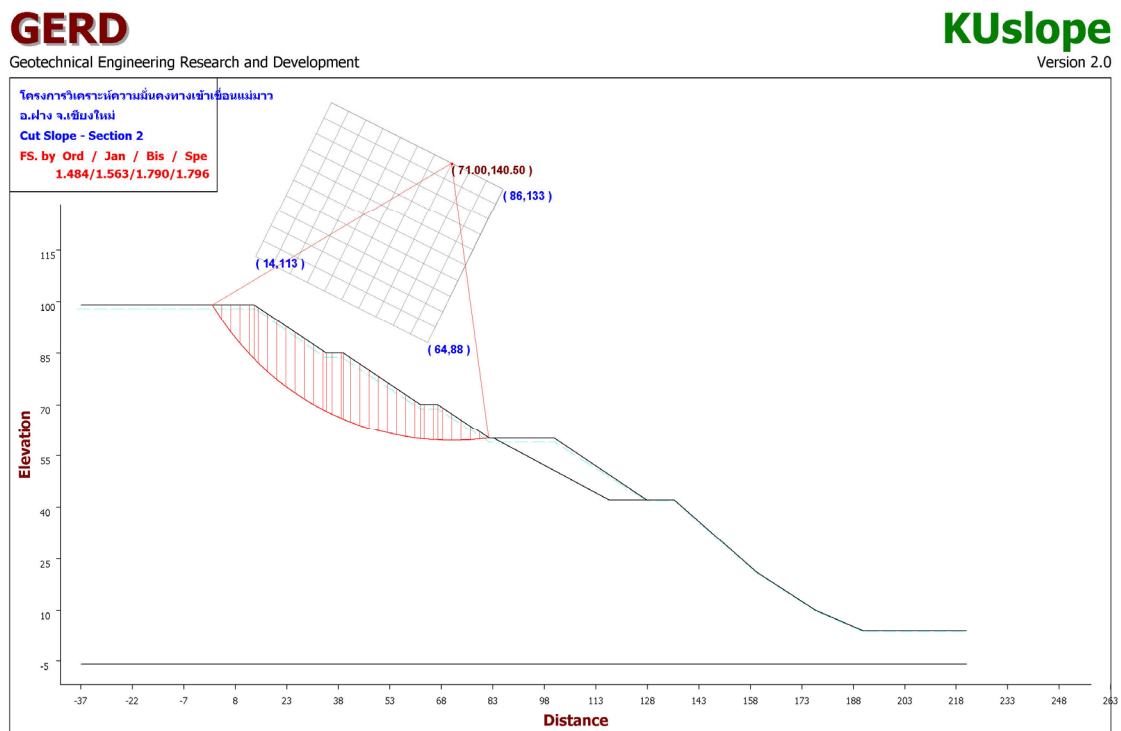
สำหรับการวิเคราะห์ความมั่นคงให้ระดับน้ำอยู่ที่ระดับผิวดิน และออกแบบโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความลื่นสะท้อนในแนวราบ ( $K_h$ ) เท่ากับ 0.05 ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 23 และ 24 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทั้ง 2 กรณีแสดงในตารางที่ 5



รูปที่ 23 การวิเคราะห์สำหรับกรณีการออกแบบแก้ไข หน้าตัดที่ 1

## เอกสารประกอบการสัมมนา

### การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน และการใช้โปรแกรม KUslope



รูปที่ 24 การวิเคราะห์สำหรับกรณีการออกแบบแก้ไข หน้าตัดที่ 2

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเชิงเขา

หน้าตัด ที่	กรณีการวิเคราะห์	Kh	อัตราส่วนปลอดภัย ที่ยอมให้	อัตราส่วน ปลอดภัยที่ คำนวณได้
1	การวิเคราะห์ย้อนกลับ	–	–	0.994
2	การวิเคราะห์ย้อนกลับ	–	–	1.000
1	กรณีการออกแบบแก้ไข	–	1.50	1.868
1	กรณีการออกแบบแก้ไข	0.05	1.20	1.674
2	กรณีการออกแบบแก้ไข	–	1.50	1.999
2	กรณีการออกแบบแก้ไข	0.05	1.20	1.790

## 6. เอกสารอ้างอิง

นงลักษณ์ ไทยเจียมอารีย์. 2546. เสถียรภาพของลาดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำก้อโดยใช้คุณสมบัติทางวิศวกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรากร ไผ่เรียง. 2542. วิศวกรรมเขื่อนดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. ไลบรารี นายน์ พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก. 2549. โครงการศึกษาหาแนวทางแก้ไขออกแบบปรับปรุงป้องกันการทรุดตัวของถนนชั้นเชื่อม และลาดเชิงเขา โครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่มาว อ.ฝาง จ.เชียงใหม่. รายงานฉบับสมบูรณ์. ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ และคณะ. 2549. โครงการออกแบบเสาเข็มดิน-ซีเมนต์. รายงานฉบับสมบูรณ์. ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Bromhead, E.N. 1992. The Stability of Slope. Second edition. Academic & Professional. An Imprint of Chapman & Hall, London.

Fredlund, D.G. and Krahn, J. 1977. Comparison of Slope Stability Methods of Analysis. Canadian Geotechnical Journal Vol. 14, No. 3 : 429-439.