

กรณีศึกษาค่า Factor of Safety ของความลาดชันของดิน  
โดยโปรแกรม KU Slope และ Plaxis 2D  
A case study of Factor of Safety of slope stability by using  
KU Slope program and Plaxis 2D program



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

กรณีศึกษาค่า Factor of Safety ของความลาดชันของดิน  
โดยโปรแกรม KU Slope และ Plaxis 2D  
A case study of Factor of Safety of slope stability by using  
KU Slope program and Plaxis 2D program



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A CASE STUDY OF FACTOR OF SAFETY OF SLOPE  
STABILITY BY USING KU SLOPE PROGRAM AND  
PLAXIS 2D PROGRAM



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ กรณีศึกษา ค่า Factor of Safety ของความลาดชันของดินโดยโปรแกรม  
KU Slope และ Plaxis 2D  
A case study of Factor of Safety of slope stability by using  
KU Slope Program and Plaxis 2D program

นักศึกษา นาย จิรายุ นรินทร์ รหัสประจำตัว 56010204

นาย ฐิติวิสต์ เจนตระกูลโรจน์ รหัสประจำตัว 56010343

นาย ธนากร บัณฑิตน์ รหัสประจำตัว 56010567

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สุพจน์ ศรีนิล

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
รศ. สุพจน์	ศรีนิล	
ดร. ชลิดา	อู่ตะเภา	
รศ.ดร. แหลมทอง	เหล่าคงถาวร	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 19 เมษายน 2560 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธาชั้น 1 (ห้องประชุมใหญ่)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(รศ.ดร.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

12 มี.ย. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เกินขอบเขตการศึกษานี้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กรณีศึกษาค่า Factor of Safety ของความมั่นคง ของลาดคั่นดินโดยโปรแกรม KU Slope และ Plaxis 2D

นาย จิรายุ นรินทร์ รหัสประจำตัว 56010204

นาย ฐิติวิสส์ เจนตระกูลโรจน์ รหัสประจำตัว 56010343

นาย ธนากร บัณฑิตร์ รหัสประจำตัว 56010567

รศ. สุพจน์ ศรีนิล

ปีการศึกษา 2559

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันได้มีการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ความลาดชันของดินมากขึ้นเพื่อความแม่นยำ สะดวกและรวดเร็ว โดยโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ค่า Factor of Safety ของงานลาดดินนั้นมีมากมาย ในที่นี้ได้ทำการศึกษาค่า Factor of Safety ของลาดดินจากโปรแกรม Ku Slope (version 2.1) และ Plaxis 2D (version 8.6) เพียงสองโปรแกรม โดยการวิเคราะห์ลาดดินจากข้อมูลดินที่มีอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมเอเซียสุวรรณภูมิสมุทรปราการโดยการวิเคราะห์ซ้ำแล้วหาค่าระยะร่นถอยที่ทำให้ค่า สัดส่วนปลอดภัยมีค่ามากที่สุดซึ่งมีระยะการวางของส่วนเท้าคั่นดินอยู่ที่ระยะ 10 เมตรเป็นต้นไปเพื่อ ไม่ให้การพิบัติมีผลต่อบ่อหนองน้ำและได้ค่าสัดส่วนปลอดภัยมากที่สุด ในอีกความหมายหนึ่งคือการ พิบัติจะเกิดขึ้นเฉพาะที่คั่นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# A CASE STUDY OF FACTOR OF SAFETY OF SLOPE STABILITY BY USING KU SLOPE PROGRAM AND PLAXIS 2D PROGRAM

MR. JIRAYU      NARIN      Student ID: 56010207

MR. THITIWAS      JANTRAGOONROJ      Student ID: 56010353

MR. TANAGON      BUNTURAT      Student ID: 56010541

Assoc.prof. SUPOJ      SRINIL

Academic Year 2016

## ABSTRACT

In present day we use computer software programs for slope stability analysis. Because computer software programs are very high precision, comfort and high speed. There are many computer software programs for analyze factors of safety of slope stability. In this case we determine the number of factors of safety by using Ku Slope (version 2.1) and Plaxis 2D (version 8.6). Soil Data get from Asia Industrial Estate Suvarnabhumi Samutprakarn area by repeated analysis for the period of retreating that the proportion secure the most valuable of safety of factor which is the placing of the toe at a distance of 10 meters onwards to prevent failure affects retention pond and the most secure areas. In other words, the failure occurred over the ridge.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ การให้คำปรึกษา ที่เป็นประโยชน์เอื้อต่อการศึกษาค้นคว้า และการทดลองจาก รศ.สุพจน์ ศรีนิล อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา ขอขอบคุณ คุณมนิตย์ คุณสมบัติ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความแนะนำ รวมถึงการจัดหาอุปกรณ์ ที่วางเก็บตัวอย่าง และให้ความสะดวก ในการใช้เครื่องมือทดสอบในห้องปฏิบัติการ

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณ มา ณ ที่นี้



จิรายุ นรินทร์  
จิตติวิสัย เจนตระกูลโรจน์  
ธนากร บัณฑูร์ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมรวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ประเภทของการวิจัย.....	3
2.2 อัตราส่วนปลอดถัย.....	6
2.3 เสถียรภาพของดินไร่ขอบเขต.....	6
2.4 เสถียรภาพของดินจำกัดขอบเขต.....	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	24
3.1 รวบรวมข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ลาดคันดิน.....	24
3.1.1 ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจในนิคมอุตสาหกรรมเอเชียสุวรรณภูมิ.....	24
3.1.2 ข้อมูลหน้าตัดของงานดิน.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IV องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

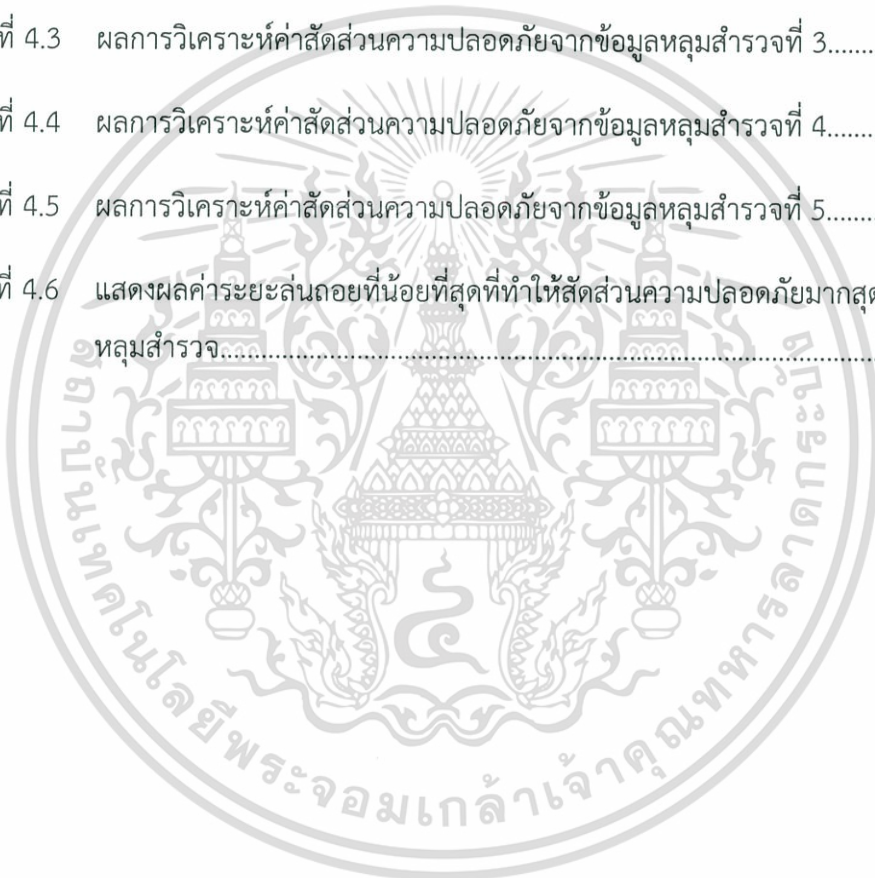
	หน้า
3.2 ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม KUslope 2.1.....	30
3.3 ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6.....	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	38
4.1 ผลการวิเคราะห์ลาดดิน.....	38
4.1.1 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยโปรแกรม KUslope ver.2.1.....	38
4.1.2 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยโปรแกรม Plaxis ver.8.6.....	44
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา.....	45
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์.....	45
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน.....	46
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	46
เอกสารอ้างอิง.....	47
บรรณานุกรม.....	48
ภาคผนวก ก .....	49
ภาคผนวก ข .....	50
ภาคผนวก ค .....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	อัตราส่วนปลอดภัยสำหรับเสถียรภาพของลาดดินแบบเลื่อนวิบัติ (ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธากุล,2558).....	6
ตารางที่ 4.1	ผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนความปลอดภัยจากข้อมูลหลุมสำรวจที่ 1.....	38
ตารางที่ 4.2	ผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนความปลอดภัยจากข้อมูลหลุมสำรวจที่ 2.....	39
ตารางที่ 4.3	ผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนความปลอดภัยจากข้อมูลหลุมสำรวจที่ 3.....	40
ตารางที่ 4.4	ผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนความปลอดภัยจากข้อมูลหลุมสำรวจที่ 4.....	41
ตารางที่ 4.5	ผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนความปลอดภัยจากข้อมูลหลุมสำรวจที่ 5.....	42
ตารางที่ 4.6	แสดงผลค่าระยะสั้นถอยที่น้อยที่สุดที่ทำให้สัดส่วนความปลอดภัยมากที่สุดของแต่ละ หลุมสำรวจ.....	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปภาพที่ 2.1 รูปแบบจำลองลักษณะการเคลื่อนตัวของดินแบบร่วนหล่น.....	3
รูปภาพที่ 2.2 รูปแบบจำลองลักษณะการเคลื่อนตัวของดินแบบการไหล.....	4
รูปภาพที่ 2.3 แสดงแบบจำลองการวิบัติของลาดดินแบบเป็นระนาบ (Translation Slides).....	4
รูปภาพที่ 2.4 แสดงแบบจำลองการวิบัติของลาดดินแบบเลื่อนหมุน (Rotational Slides).....	5
รูปภาพที่ 2.5 รูปภาพประกอบการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเหนียวไร้ขอบเขต (ดร.พัลลภ วิสุทธิเมธากุล, 2558).....	8
รูปภาพที่ 2.6 รูปภาพประกอบการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเหนียวไร้ขอบเขต กรณีไม่มีการไหลของน้ำในดิน (ดร.พัลลภ วิสุทธิเมธากุล, 2558).....	9
รูปภาพที่ 2.7 รูปภาพประกอบการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเหนียวไร้ขอบเขต กรณีไม่มีการไหลของน้ำในดิน (ดร.พัลลภ วิสุทธิเมธากุล, 2558).....	10
รูปภาพที่ 2.8 รูปภาพประกอบการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินด้วยวิธีของ Culmann (ดร.พัลลภ วิสุทธิเมธากุล, 2558).....	12
รูปภาพที่ 2.9 รูปแสดงการวิบัติเป็นวงกลม (ดร.พัลลภ วิสุทธิเมธากุล, 2558).....	13
รูปภาพที่ 2.10 รูปแสดงตัวเลขเสถียรภาพของ Taylor (ดร.พัลลภ วิสุทธิเมธากุล, 2558).....	15
รูปภาพที่ 2.11 การหาตัวประกอบ $n_x$ สำหรับระนาบวิบัติแบบ Midpoint Circle (ดร.พัลลภ วิสุทธิเมธากุล, 2558).....	15

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปภาพที่ 2.12	รูปภาพแสดงวิธีแบ่งชั้นและแรงกระทำบนชั้น (ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธากุล, 2558).....	18
รูปภาพที่ 2.13	รูปภาพแสดงค่า $m_\alpha$ สำหรับวิธีของ Bishop (ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธากุล, 2558).....	20
รูปภาพที่ 2.14	รูปภาพแสดงดินแยกชั้นการไหลซึมของน้ำใต้ดิน (ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธากุล, 2558)	21
รูปภาพที่ 2.15	ค่าปรับแก้ผลกระทบของแรงเฉือนระหว่างชั้นเสนอโดย Janbu (ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธากุล, 2558).....	22
รูปภาพที่ 3.1	แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน.....	24
รูปภาพที่ 3.2	แสดงข้อมูลหลุมเจาะสำรวจบ่อที่ 1.....	25
รูปภาพที่ 3.3	แสดงข้อมูลหลุมเจาะสำรวจบ่อที่ 2.....	26
รูปภาพที่ 3.4	แสดงข้อมูลหลุมเจาะสำรวจบ่อที่ 3.....	27
รูปภาพที่ 3.5	แสดงข้อมูลหลุมเจาะสำรวจบ่อที่ 4.....	28
รูปภาพที่ 3.6	แสดงข้อมูลหลุมเจาะสำรวจบ่อที่ 5.....	29
รูปภาพที่ 3.7	แสดงหน้าตัดของงานลาดคันดิน.....	30
รูปภาพที่ 3.8	ข้อมูลดินและชั้นดินจากข้อมูลหลุมเจาะและหน้าตัดของงาน.....	30
รูปภาพที่ 3.9	ข้อมูลดินและชั้นดินจากข้อมูลหลุมเจาะและหน้าตัดของงาน.....	31
รูปภาพที่ 3.10	แสดงผลการวิเคราะห์.....	31
รูปภาพที่ 3.11	แสดงเครื่องมือและลักษณะชั้นดินที่ได้.....	32
รูปภาพที่ 3.12	แสดงการใส่ค่าพารามิเตอร์ของดิน.....	33
รูปภาพที่ 3.13	แสดงการใส่ค่าพารามิเตอร์ของดิน.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปภาพที่ 3.14 แสดงการใส่ค่าพารามิเตอร์ของดิน.....	34
รูปภาพที่ 3.15 แสดงการแบ่งพื้นที่ตามหลัก Finite Element.....	34
รูปภาพที่ 3.16 แสดงการกำหนดสถานะของดินตอนต้นและระดับน้ำใต้ดิน.....	35
รูปภาพที่ 3.17 แสดงการกำหนดสถานะของดินตอนต้นและระดับน้ำใต้ดิน.....	35
รูปภาพที่ 3.18 แสดงการกำหนดสถานะของดินตอนต้นและระดับน้ำใต้ดิน.....	36
รูปภาพที่ 3.19 แสดงการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อเตรียมการวิเคราะห์.....	36
รูปภาพที่ 3.20 แสดงการเลือกจุดสังเกตเพื่อแสดงผลการวิเคราะห์.....	37
รูปภาพที่ 4.6 กราฟแสดงผลค่าสัดส่วนปลอดภัยที่ได้จากโปรแกรม Plaxis.....	44

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

คงปฏิเสธไม่ได้เลยว่าการก่อสร้างนั้นสิ่งแรกที่วิศวกรและผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงคือความปลอดภัยเป็นอย่างแรก ซึ่งงานดินก็เป็นอีกหนึ่งงานที่มีบทบาทสำคัญในสายงานก่อสร้าง และวิศวกรเองก็ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเช่นเดียวกัน จากการศึกษาการวิบัติของบ่อหนองน้ำในนิคมอุตสาหกรรมเอเชียสุวรรณภูมิพบว่า การพังนั้นเกิดจากดินที่อยู่รอบบ่อสร้างเป็นดินที่มีค่า Sensitivity สูงมากทำให้ดินในบริเวณก่อสร้างถูกรบกวนได้ง่ายเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ นั่นเป็นหนึ่งในเหตุผลที่ทำให้การก่อสร้างคันดินในเขตนั้นพังได้ง่าย อีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้ลาดดินเกิดการวิบัติคือความลาดของดินที่ทำการก่อสร้างและระยะการวางของแนวดินถม ดังนั้นทางด้านผู้จัดทำตัวโครงการวิจัยจึงสนใจศึกษาค่าความลาดของดินและค่าระยะการวางของแนวดินถมที่มีผลต่อการพังของลาดดินโดยใช้โปรแกรม KUslope 2.1 และโปรแกรม Plaxis 8.6 เพื่อนำผลการวิเคราะห์มาเป็นแนวทางในการก่อสร้างต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาค่า Factor of Safety ของบ่อหนองน้ำในนิคมอุตสาหกรรมเอเชียสุวรรณภูมิ

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในการตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการคำนวณโดยใช้โปรแกรมและการคำนวณด้วยมือจะพิจารณาควบคุมตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความแม่นยำของการคำนวณดังต่อไปนี้

- 1) ใช้โปรแกรม KU slope (Version 2.1) และ โปรแกรม Plaxis 2D (Version 8.6) ในการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดคันดิน
- 2) ข้อมูลดินที่ใช้เป็นข้อมูลดินที่ได้จากบ่อหนองน้ำในนิคมอุตสาหกรรมเอเชีย สุวรรณภูมิ ตำบลคลองสวน อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ
- 3) จำกัดการพังเฉพาะการพังแบบวงกลม (Circular failure)
- 4) ใช้วิธี Simplified Bishop สำหรับโปรแกรม KU slope และวิธี Finite element สำหรับ

โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) วิเคราะห์ความลาดแบบ 2 มิติเท่านั้น
- 6) ทำการลองผิดลองถูกค่าความลาด 3 ค่าคือ 1:1, 1:2, 1:2.5
- 7) ทำการลองผิดลองถูกค่าระยะร่นถอยของคันดิน 7 ค่าคือ 1.5, 3.5, 6.5, 10, 12, 14, และ 16 เมตร
- 8) วิเคราะห์ความลาดของคันดินในกรณีที่น้ำในบ่อน้อยมากๆ
- 9) ไม่คิดผลกระทบเนื่องจากแรงภายนอก

#### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถหาระยะร่นถอยและค่าความลาดที่เหมาะสมของคันดินได้
- 2) สามารถวิเคราะห์หาค่า Factor of Safety ที่มากที่สุดและเหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการก่อสร้างคันดินได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรมรวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ดินหรือหินสามารถมีผิวหน้าเอียงโดยเกิดจากธรรมชาติหรือมนุษย์เป็นผู้ทำขึ้น ลาดดิน (Soil Slope) ที่มีเสถียรภาพ (Stability) ต่ำมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนตัว (Move) และเกิดการพังทลาย (Failure) ลงได้ แรงกระทำที่ก่อให้เกิดความไม่เสถียร (Instability) ของลาดดินส่วนใหญ่มาจากแรงโน้มถ่วง (Gravity) และการไหลซึมของน้ำในดิน (Seepage) ส่วนแรงต้านทานการพังทลายของลาดดินมาจากกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ประกอบขึ้นเป็นลาดดิน

#### 2.1 ประเภทของการวิบัติ

การเคลื่อนตัวของมวลดิน (Soil Mass Movement) อาจเกิดจากการวิบัติด้วยแรงเฉือนตามระนาบเฉือน หรือเกิดจากการลดลงของหน่วยแรงประสิทธิผลระหว่างอนุภาคดินทำให้ดินกลายเป็นของเหลวได้ (Liquefied)

การเคลื่อนตัวของดินมีหลายแบบ ซึ่งอาจจะจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทง่ายๆดังนี้

##### 2.1.1 การร่วงหล่น (Falls)

เป็นการเคลื่อนตัวหลุดออกจากรอยแยกที่มีอยู่แล้วซึ่งอาจได้รับการกระตุ้นซ้ำด้วยแรงตามธรรมชาติ เช่น น้ำหรือลม การเคลื่อนตัวแบบร่วงหล่นนั้นมีลักษณะดังรูปที่ 2.1

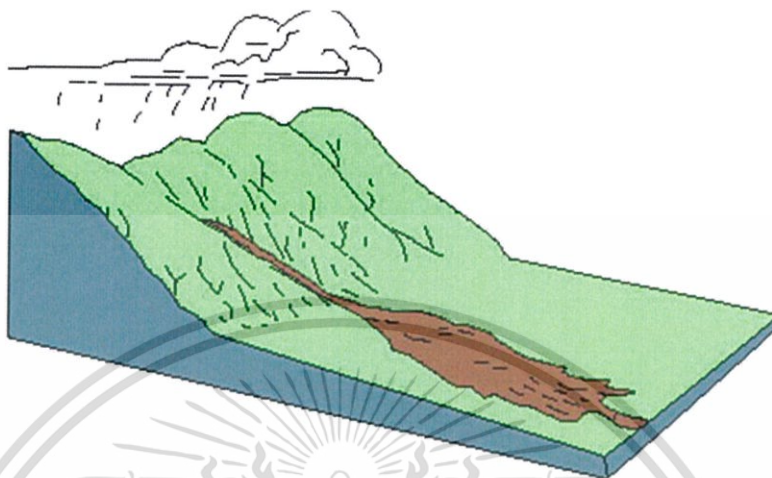


รูป 2.1 รูปแบบจำลองลักษณะการเคลื่อนตัวของดินแบบร่วงหล่น<sup>[1]</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 การไหล (Flows)

มักจะเกิดในดินอ่อน ซึ่งอิ่มน้ำ และความตันทันน้ำในโพรงดินเพิ่มสูงขึ้น จนทำให้ดินสูญเสียกำลัง มวลดินจะเคลื่อนตัวคล้ายของไหลแต่อาจจะมึระนาบวิถีไม่เด่นชัดนักดังรูปที่ 2.2

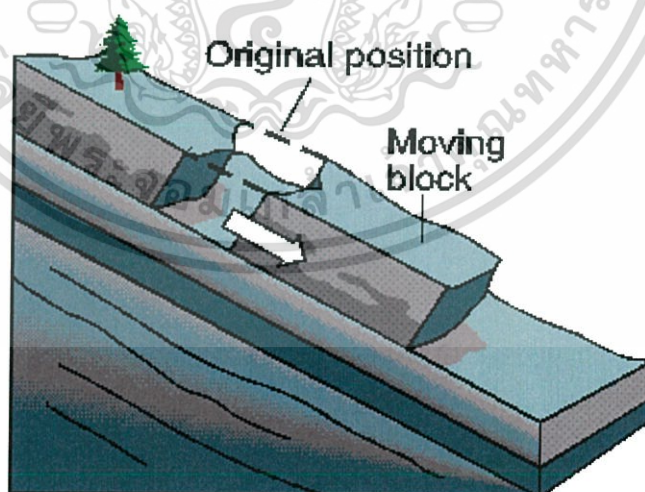


รูป 2.2 รูปแบบจำลองลักษณะการเคลื่อนตัวของดินแบบการไหล<sup>[1]</sup>

### 2.1.3 การเลื่อน (Slides)

มวลดินเกิดการเคลื่อนตามระนาบวิถี แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

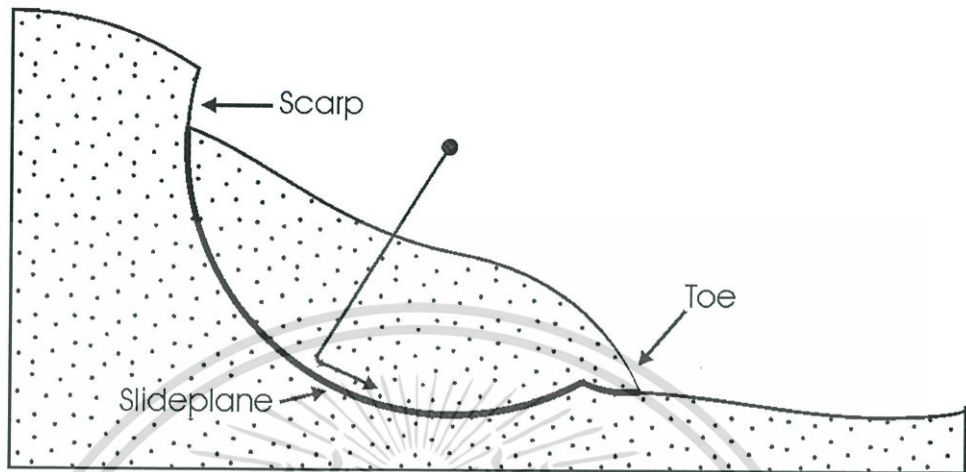
(ก) การเคลื่อนเป็นระนาบ (Translational Slides) ได้แก่ การเคลื่อนตัวของบล็อกหินบนระนาบชั้นหิน หรือการเคลื่อนตัวของมวลดินในระดับค่อนข้างตั้งขนานกับผิวชั้น



รูปที่ 2.3 แสดงแบบจำลองการวิถีของลาดดินแบบเป็นระนาบ (Translation Slides)<sup>[2]</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) การเคลื่อนหมุน (Rotational Slides) มักจะเกิดกับหินชนิดอ่อนหรือดินเหนียว การเคลื่อนตัวเกิดขึ้นตามระนาบเฉือนเป็นรูปโค้ง ทำให้สันของลาดดินยุบตัวลงและดินลงไปกองอยู่บริเวณตีนลาดดิน ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.4



รูป 2.4 แสดงแบบจำลองการวิบัติของลาดดินแบบเคลื่อนหมุน (Rotational Slides)<sup>[2]</sup>

อัตราส่วนปลอดภัย (FS) ของปัญหาเสถียรภาพของลาดดินเหนียวมี 2 กรณีคือ

1. การวิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงประสิทธิผล (ESA) สำหรับสภาวะระยะยาว และ
2. การวิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงรวม (TSA) สำหรับสภาวะระยะสั้น

ส่วยดินเม็ดหยาบจำพวกทรายและกรวด ควรใช้การวิเคราะห์แบบ ESA ทั้งในสภาวะระยะยาวและสภาวะระยะสั้น เพราะทรายและกรวดระบายน้ำได้ดี ในการวิเคราะห์ปัญหาส่วนใหญ่ พบว่า ESA มักให้ค่า FS ต่ำกว่า TSA

พารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนของดินมีความสำคัญมากในการคำนวณอัตราส่วนปลอดภัย เนื่องจากดินบริเวณใกล้ระนาบเฉือน (Slip Surface) มีกำลังใกล้เคียงกับกำลังที่สภาวะวิกฤต (Critical State) ผู้วิเคราะห์จึงควรใช้  $\phi = \phi'_{cs}$  ในการแก้ปัญหาเสถียรภาพของลาดดิน ยกเว้นเฉพาะกรณีของดินเหนียวอัดตัวเกินปกติที่มีรอยแตก (Fissured Overconsolidated Clays) เนื่องจากดินเหนียวชนิดนี้มักจะเกิด Progressive Failure จึงควรใช้  $\phi = \phi'_r$  (Residual Friction Angle) แทน

นอกจากนี้ หากเป็นการวิเคราะห์ลาดดินซึ่งเกิดการวิบัติเลื่อนไถลไปแล้ว ก็ต้องใช้พารามิเตอร์กำลังคงค้างเช่นเดียวกัน ส่วนในกรณี TSA ผู้วิเคราะห์ควรใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ  $C_u$  อย่างระมัดระวัง เนื่องจากการทดสอบหาค่า  $C_u$  มักจะมีความไม่แน่นอนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 อัตราส่วนปลอดภัย

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินคือ การคำนวณหาอัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety, FS) ซึ่งเท่ากับอัตราส่วนหน่วยแรงต้านทานต่อหน่วยแรงกระทำ

ตาราง 2.1 อัตราส่วนปลอดภัยสำหรับเสถียรภาพของลาดดินแบบเลื่อนวิบัติ (ดร.พัลลภ วิสุทธิเมธา กุล,2558)<sup>[3]</sup>

เสถียรภาพของ	การวิเคราะห์	FS
งานขุดชั่วคราวหรือคันดินถม	วิเคราะห์ด้วยกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( $C_u$ )	1.1 ถึง 1.3
งานขุดถาวร	วิเคราะห์ด้วยมุมเสียดทานสถานะวิกฤต ( $\phi'_{cs}$ )	1.2 ถึง 1.4
ฐานรากของคันดินถม	วิเคราะห์ด้วย $C_u$ หรือ $\phi'$	1.2 ถึง 1.5
คันดินถม (ดินบดอัด)	วิเคราะห์ด้วย $\phi'$	1.2 ถึง 1.4
คันดินถมระนาบวิบัติเก่า	วิเคราะห์ด้วยมุมเสียดทานคงค้าง ( $\phi'_r$ )	ค่าธรรมชาติ

เมื่อค่า FS = 1.0 แสดงว่า ลาดดินอยู่ในสถานะที่ใกล้เคียงหรือพร้อมจะวิบัติได้ทุกเมื่อโดยทั่วไป ลาดดินที่มีเสถียรภาพเพียงพอควรมีอัตราส่วนปลอดภัยตามตารางที่ 2-1 หรือไม่ต่ำกว่า 1.5

## 2.3 เสถียรภาพของดินไร้ขอบเขต

ลาดดินไร้ขอบเขต (Infinite Slopes) อาจเกิดการเลื่อนวิบัติเป็นระนาบขนานกับชั้นดิน หรือ หินที่แข็งแรงกว่าที่อยู่ข้างใต้ การวิบัติแบบเลื่อนเป็นระนาบมักเกิดจากการเพิ่มขึ้นของความดันน้ำในโพรงดิน ซึ่งไปลดหน่วยแรงประสิทธิผลจึงทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินลดลง

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ เรามักจะไม่พิจารณาความโค้งที่ส่วนบนและส่วนตีนลาดดินที่เกิดการเลื่อน ดังนั้น ผู้วิเคราะห์พึงตระหนักว่า หากแท้จริงแล้วลาดดินมีลักษณะเว้าเข้า (Concave) จำคำนวณอัตราส่วนปลอดภัยออกมาได้ต่ำเกินไป (Conservative) และหากลาดดินมีลักษณะนูนออก (Convex) จะคำนวณอัตราส่วนปลอดภัยออกมาได้สูงเกินไป จึงไม่ปลอดภัยนัก

### 2.3.1 การวิเคราะห์ลาดดินไร้ขอบเขตแบบไม่ระบายน้ำ

การวิเคราะห์ลาดดินเหนียวซึ่งมีพฤติกรรมแบบไม่ระบายน้ำ จะใช้การวิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงรวม (TSA)

มุมลาดวิกฤตของดินเหนียวไร้ขอบเขตเท่ากับ  $45^\circ$  ส่วนความลึกวิกฤตคือความลึกของรอยแยกดินเนื่องจากแรงดึง (Tension Crack) พิจารณารูปที่ 2.5

น้ำหนักของดิน

$$W = \gamma_t bH$$

แรงขับเคลื่อน

$$W \cdot \sin \beta = \gamma_t bH \sin \beta$$

หน่วยแรงขับเคลื่อน

$$\frac{\gamma_t bH \cdot \sin \beta}{\cos \beta} = \gamma_t H \sin \beta \cos \beta$$

บรรณานา b

กำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวไม่ระบายน้ำ

$$\tau_f = c_u$$

หน่วยแรงต้านทานการเฉือน

$$\tau_m = \frac{\tau_f}{FS} = \frac{c_u}{FS}$$

หน่วยแรงขับเคลื่อน = หน่วยแรงต้านทานการเฉือน

$$\gamma_t H \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta = \frac{c_u}{FS}$$

เนื่องจาก

$$\sin(2\beta) = 2 \sin \beta \cdot \cos \beta$$

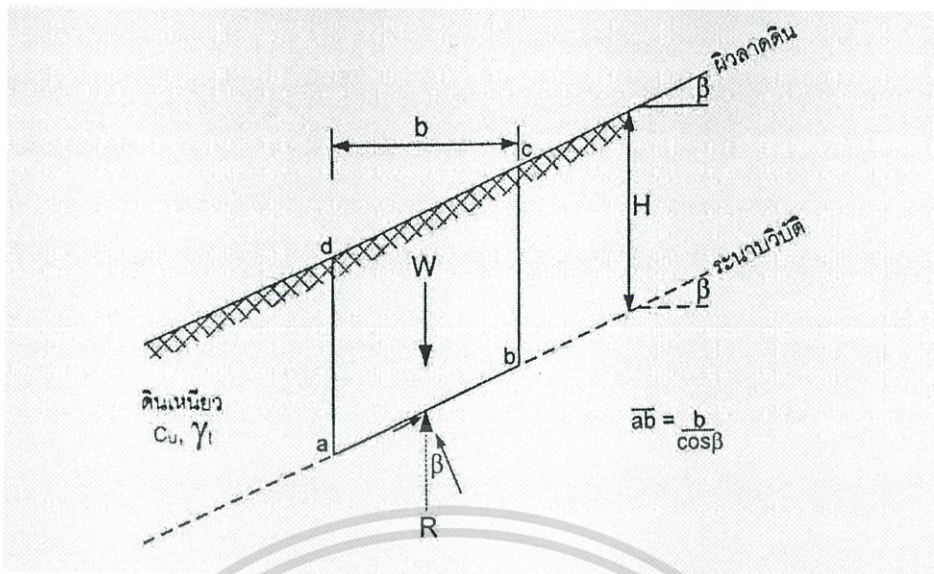
$$FS = \frac{2c_u}{\gamma_t \sin(2\beta)} \quad (2.1)$$

หากกำหนด  $FS = 1.0$  จะคำนวณความลึกวิกฤต ( $H_{cr}$ ) ได้จากสมการ

$$H_{cr} = \frac{2c_u}{\gamma_t \sin(2\beta)} \quad (2.2)$$

อย่างไรก็ดี ลาดดินเหนียวมีแนวโน้มจะวิบัติแบบเลื่อนหมุนมากกว่าแบบเลื่อนเป็นระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.5 การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเหนียวไร้ขอบเขต

(ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธากุล, 2558) [3]

### 2.3.2 การวิเคราะห์ลาดดินไร้ขอบเขตแบบระบายน้ำ

การวิเคราะห์ลาดดินซึ่งมีพฤติกรรมแบบระบายน้ำจะใช้การวิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงประสิทธิผล (ESA) พิจารณารูปที่ 2.6

น้ำหนักของดิน

$$W = \gamma b H$$

แรงขับเคลื่อน

$$W \cdot \sin \beta = \gamma b H \sin \beta$$

หน่วยแรงขับเคลื่อน

$$\frac{\gamma b H \cdot \sin \beta}{\cos \beta} = \gamma H \sin \beta \cdot \cos \beta$$

บนระนาบ ab

กำลังรับแรงเฉือนของดิน  $c' - \phi'$

$$\tau = c' + \sigma'_n \tan \phi'$$

หน่วยแรงต้านทานการเฉือน

$$\tau_m = \frac{\tau_f}{FS} = \frac{1}{FS} [c' + \sigma'_n \tan \phi']$$

โดยที่

$$\sigma'_n = \frac{W \cdot \cos \beta}{\cos \beta} = \gamma H \cdot \cos^2 \beta$$

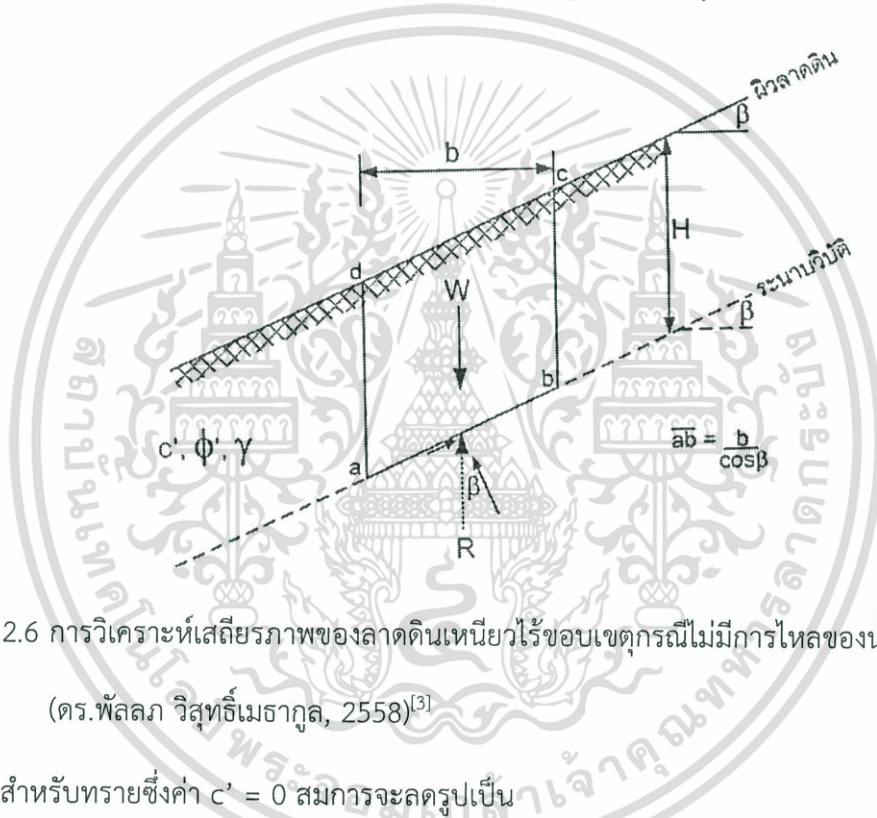
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงขับเคลื่อน = หน่วยแรงต้านทานการเลื่อน

$$\gamma H \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta = \frac{1}{FS} [c' + \gamma H \cos^2 \beta \cdot \tan \varphi']$$

$$FS = \frac{c'}{\gamma H \sin \beta \cos \beta} + \frac{\gamma H \cos^2 \beta \cdot \tan \varphi'}{\gamma H \sin \beta \cdot \cos \beta}$$

$$FS = \frac{c'}{\gamma H \sin \beta \cos \beta} + \frac{\tan \varphi'}{\tan \beta} \quad (2.3)$$



รูป 2.6 การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเหนียวไร้ขอบเขตกรณีไม่มีการไหลของน้ำในดิน  
(ดร.พัลลภ วิสุทธิเมธากุล, 2558)<sup>[3]</sup>

สำหรับทรายซึ่งค่า  $c' = 0$  สมการจะลดรูปเป็น

$$FS = \frac{\tan \varphi'}{\tan \beta} \quad (2.4)$$

แสดงว่า มุมเสียดทานสูงสุดของลาดดินทราย ( $\beta_{max}$ ) เมื่อไม่มีการไหลของน้ำ จะเท่ากับ มุมเสียดทานประสิทธิผลของทรายนั่นจึงทำให้โอกาสเกิดการวิบัติใกล้ผิวดิน (Shallows Failure) มีสูง

ส่วนดิน  $c'-\phi'$  หากกำหนด  $FS = 1.0$  จะคำนวณความลึกวิกฤต ( $H_{cr}$ ) ได้จากสมการ

$$H_{cr} = \frac{c'}{\gamma \cos^2 \beta (\tan \beta - \tan \varphi')} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$FS = \frac{c'}{\gamma_{sat} H \sin \beta \cos \beta} + \frac{\gamma \tan \varphi'}{\gamma_{sat} \tan \beta} \quad (2.6)$$

$$FS = \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \cdot \frac{\tan \varphi'}{\tan \beta} \quad (2.7)$$

เนื่องจาก  $\gamma'/\gamma_{sat}$  ของดินส่วนใหญ่มีค่าประมาณ 0.5 หมายความว่า การไหลของน้ำขนานกับลาดดินทรายจะลดมุมเสถียรสูงสุดของลาดดินเหลือประมาณครึ่งหนึ่งของมุมเสถียรตามประสิทธิผลในดิน  $c'-\phi'$  หากกำหนด  $FS = 1.0$  จะคำนวณความลึกวิกฤต ( $H_{cr}$ ) ได้จากสมการ

$$H_{cr} = \frac{c'}{\cos^2 \beta (\gamma_{sat} \tan \beta - \gamma' \tan \varphi')} \quad (2.8)$$

การวิบัติของลาดดินทรายในระดับตื้นมักเกิดจากปัญหา  $c' = 0$  หากดินมีหน่วยแรงยึดเหนี่ยวบ้างจะช่วยเพิ่มอัตราส่วนปลอดภัยให้สูงขึ้น

## 2.4 เสถียรภาพของลาดดินจำกัดขอบเขต

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินจำกัดขอบเขต (Finite Slopes) ผู้ออกแบบจำเป็นต้องตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับระนาบวิบัติของลาดดินว่าเป็นแบบใด เช่น ระนาบวิบัติแบน ระนาบวิบัติเป็นส่วนโค้งของวงกลม ระนาบวิบัติบนระนาบที่ดินมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ (Weak Plane) เป็นต้น

### 2.4.1 ระนาบวิบัติแบน

Culmann (1875) สมมติให้ระนาบวิบัติเป็นแบบแบน (Plane Failure Surface) ค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่คำนวณได้ด้วยสมมติฐานนี้ จะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับลาดดินที่มีความชันเกือบตั้งเท่านั้น ( $\beta$  สูง)

จากรูปที่ 2.8 มุมวิกฤต (Critical Angle,  $\theta_{cr}$ ) ของระนาบวิบัติเท่ากับ

$$\theta_{cr} = \frac{\beta}{2} + \frac{\varphi'}{2} \quad (2.9)$$

อัตราส่วนปลอดภัย (FS), ความสูงวิกฤต ( $H_{cr}$ ), และความสูงปลอดภัย ( $H_{all}$ ) ได้แก่

$$FS = \frac{4c'}{\gamma \cdot H} \left[ \frac{\sin \beta \cdot \cos \varphi'}{1 - \cos(\beta - \varphi')} \right] \quad (2.10)$$

เมื่อ  $FS = 1.0$ ,  $H = H_{cr}$

$$H_{cr} = \frac{4c'}{\gamma} \left[ \frac{\sin \beta \cdot \cos \varphi'}{1 - \cos(\beta - \varphi')} \right] \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $FS = 1.5$ ,  $H = H_{all}$

$$H_{all} = \frac{2.666c'}{\gamma} \left[ \frac{\sin\beta \cdot \cos\phi'}{1 - \cos(\beta - \phi')} \right] \quad (2.12)$$

กรณีเฉพาะสำหรับดินในสภาวะไม่ระบายน้ำ  $\phi = 0$  และ  $c = c_u$

$$\theta_{cr} = \frac{\beta}{2}$$

$$FS = \frac{4c_u}{\gamma_t \cdot H} \left[ \frac{\sin\beta}{1 - \cos\beta} \right]$$

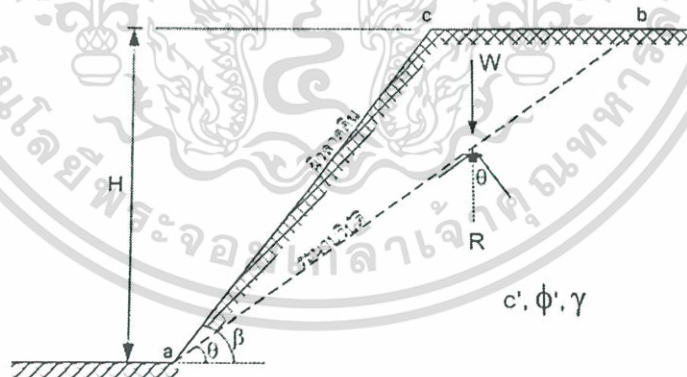
เมื่อ  $FS = 1.0$ ,  $H = H_{cr}$

$$H_{cr} = \frac{4c_u}{\gamma_t} \left[ \frac{\sin\beta}{1 - \cos\beta} \right] \quad (2.13)$$

เมื่อ  $FS = 1.5$ ,  $H = H_{all}$

$$H_{cr} = \frac{2.666c_u}{\gamma_t} \left[ \frac{\sin\beta}{1 - \cos\beta} \right] \quad (2.14)$$

หากลาดดินมีความชันน้อย การสมมติให้ระนาบวิบัติเป็นแบบแบนจะทำให้คำนวณอัตราส่วนปลอดภัยออกมาได้สูงเกินจริงไป ซึ่งไม่ปลอดภัย



รูป 2.8 การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินด้วยวิธีของ Culmann

(ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธากุล, 2558)<sup>[3]</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 ระบายวิบัติวงกลม

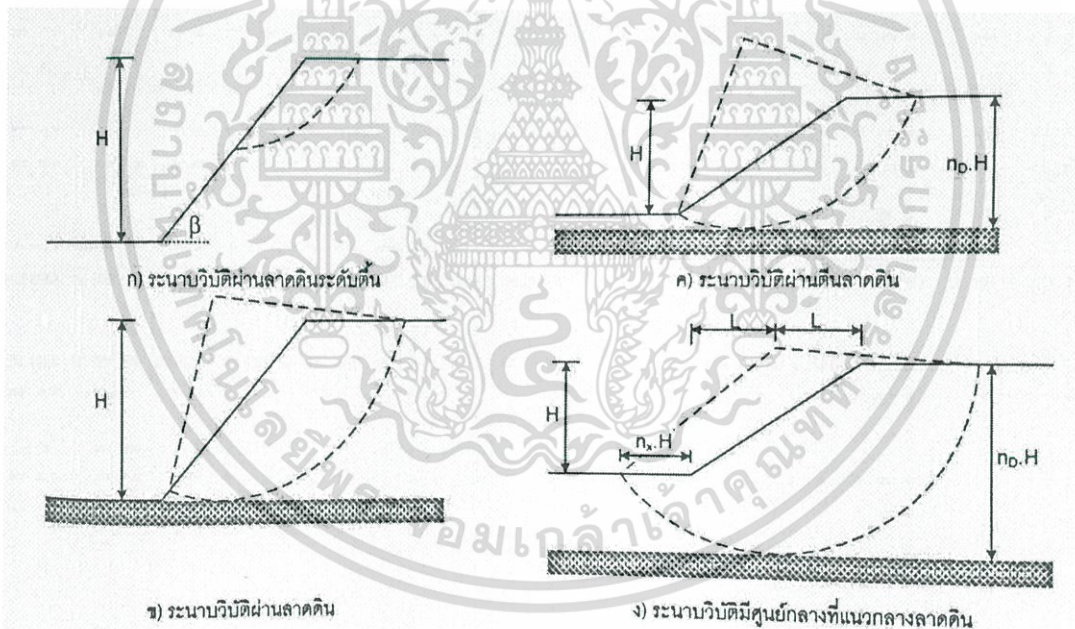
จากการศึกษาการวิบัติของลาดดินจำนวนมากในช่วงปี ค.ศ. 1920-1930 โดย คณะกรรมการธรณีเทคนิคแห่งสวีเดน สรุปได้ว่า

ระบายวิบัติส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะอยู่ในรูปส่วนโค้งของวงกลม (Arc of a Circle) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เมื่อระบายวิบัติผ่านเนื้อดินลาดดินจะเรียกว่า Slope Circle เมื่อระบายวิบัติตลอดใต้ดินลาดดินจะเรียกว่า Shallow Slope Circle เมื่อระบายวิบัติผ่านดินลาดดินจะเรียกว่า Toe Circle และเมื่อระบายวิบัติตลอดใต้ดินลาดดินจะเรียกว่า Midpoint Circle การวิเคราะห์เสถียรภาพอาจแบ่งได้เป็น 2 วิธี ได้แก่

1. วิธีก้อนมวล เหมาะสำหรับดินที่มีคุณสมบัติสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน

2. วิธีแบ่งชั้น เหมาะสำหรับดินแยกชั้น (Layered Soils) หรือดินเนื้อไม่สม่ำเสมอ โดยทำการแบ่งดินภายในระบายวิบัติออกเป็นชั้นย่อยเพื่อวิเคราะห์สมดุล

หัวข้อย่อยถัดไปจะกล่าวถึงหลักการของทั้ง 2 วิธี



รูป 2.9 รูปแสดงการวิบัติเป็นวงกลม (ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธากุล, 2558)<sup>[3]</sup>

### วิธีก้อนมวล (Mass Procedure)

วิธีนี้ใช้ได้กับมวลดินเนื้อสม่ำเสมอ ทั้งดินเหนียวที่สภาวะไม่ระบายน้ำ ( $\phi = 0$  และ  $c = c_u$ ) และดิน  $c'-\phi'$  ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะกรณี ดินเหนียวที่สภาวะไม่ระบายน้ำเท่านั้น อัตราส่วนปลอดภัยคำนวณจากอัตราส่วนของโมเมนต์ต้านการหมุนวิบัติ (Resisting Moment) ต่อ

โมเมนต์ขับเคลื่อนการวิบัติ (Driving Moment)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$FS = \frac{c_u(\text{arc})(r)}{\Sigma(W.\text{arm})} \quad (2.15)$$

โดยที่ arc คือความยาวส่วนโค้งของระนาบวิบัติ

r คือรัศมีของวงกลม

W คือน้ำหนักของมวลดินที่ขับเคลื่อนการวิบัติ

arm คือระยะจากแนวน้ำหนักของมวลดินถึงแนวจุดศูนย์กลางของวงกลม

### วิธีของ Taylor

Taylor (1937) นำเสนอวิธีหาอัตราส่วนปลอดภัยของลาดดินคุณสมบัติเป็นเนื้อเดียว สม่าเสมอในสภาวะไม่ระบายน้ำ ( $\phi = 0$  และ  $c = c_u$ ) โดยเสนอเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวเลขเสถียรภาพ ( $N_s$ ) กับมุมลาดเอียงของลาดดิน ( $\beta$ ) และตัวประกอบความลึก ( $n_D$ ) ดังในรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11 ส่วนนิยามของ  $n_D$  และ  $n_x$  แสดงในรูปที่ 2.9 (ง)

$$N_s = \frac{\gamma_t \cdot H_{cr}}{c_u} \quad \text{สภาวะวิบัติ } FS = 1.0 \quad (2.16)$$

เมื่อทราบ  $N_s$  จากกราฟแล้วจึงจึงคำนวณอัตราส่วนปลอดภัยจาก

$$FS = \frac{N_s \cdot c_u}{\gamma_t \cdot H} \quad (2.17)$$

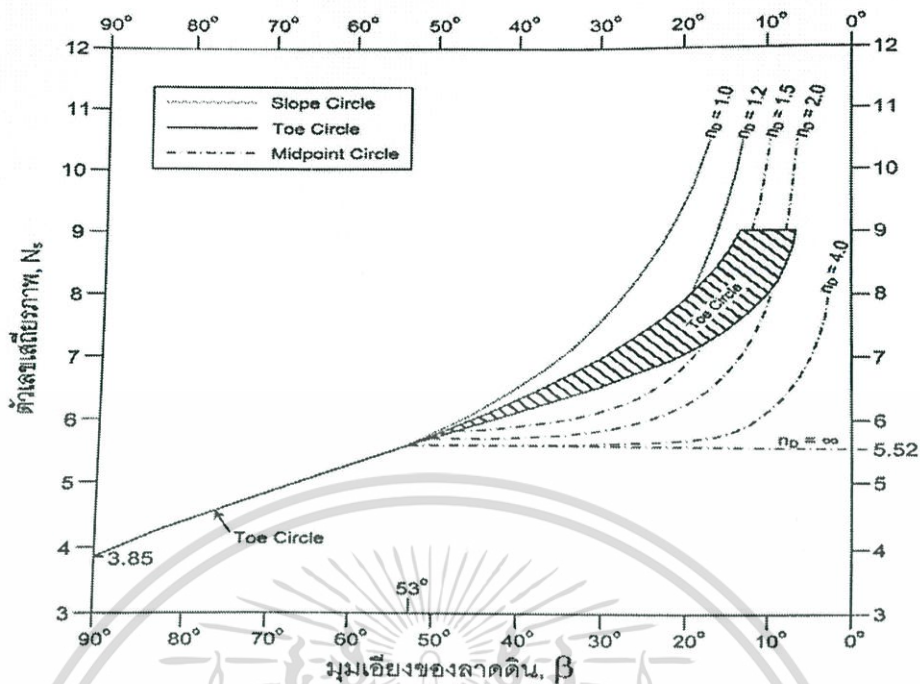
กรณีเฉพาะเมื่อลาดดินอยู่ในแนวตั้ง  $\beta = 90^\circ$

$$FS = \frac{(3.77 \text{ to } 4.0) c_u}{\gamma_t \cdot H} \quad \text{เมื่อ } \beta = 90^\circ \quad (2.18)$$

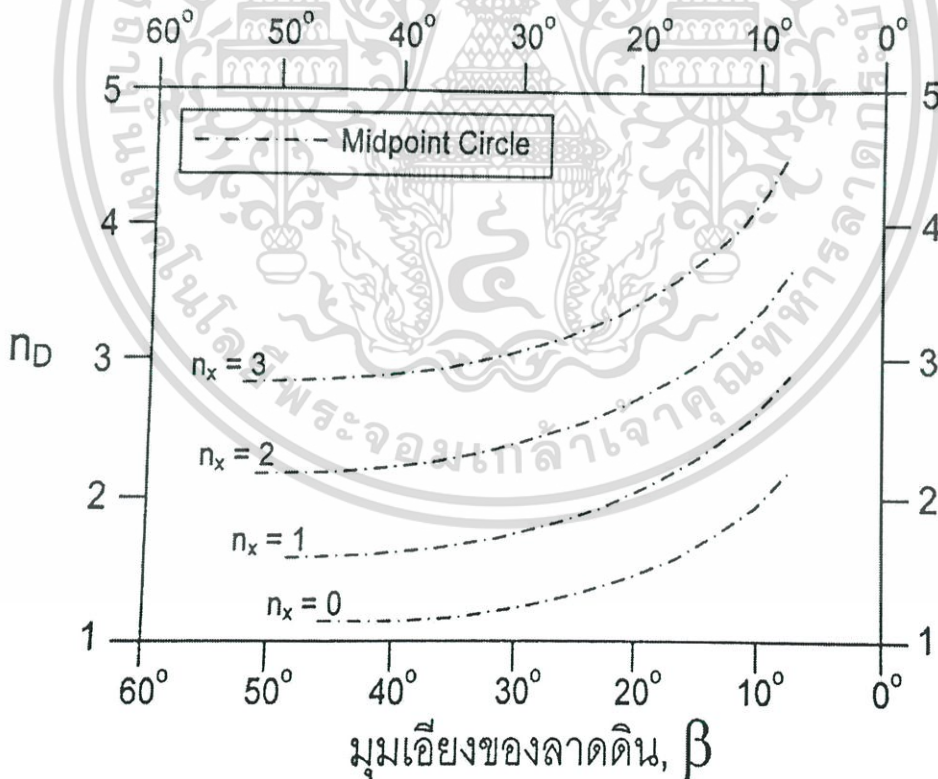
$$H_{cr} = \frac{(3.77 \text{ to } 4.0) c_u}{\gamma_t} \quad \text{เมื่อ } FS = 1.0, H = H_{cr} \quad (2.19)$$

$$H_{all} = \frac{(3.77 \text{ to } 4.0) c_u}{1.5 \gamma_t} \quad \text{เมื่อ } FS = 1.5, H = H_{all} \quad (2.20)$$

โดยที่ Pastor et al. (2002) เสนอตัวเลขเสถียรภาพที่แท้จริง  $N_s = 3.77$  จากการคำนวณแบบซับซ้อนขึ้น



รูป 2.10 ตัวเลขเสถียรภาพของ Taylor (ดร.พัลลภ วิสทธิ์เมธากุล, 2558)<sup>[3]</sup>



รูป 2.11 ตัวประกอบ  $n_x$  สำหรับระนาบวิบัติแบบ Midpoint Circle

(ดร.พัลลภ วิสทธิ์เมธากุล, 2558)<sup>[3]</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีแบ่งชั้นแบบธรรมดาของ Fellenius

วิธีแบ่งชั้นแบบธรรมดา (Ordinary Method of Slices) เสนอเป็นครั้งแรกโดย Fellenius (1927) <sup>[4]</sup> โดยแบ่งมวลดินที่เกิดการเลื่อนออกเป็นชั้นๆ ดังแสดงในรูป 2.11 แล้วทำการวิเคราะห์สมดุลจำกัด (Limit Equilibrium) โดยจะใช้เฉพาะสมดุลของโมเมนต์ (Moment Equilibrium) และไม่นำแรงระหว่างชั้น (Interslice Forces) มาคำนวณ

เมื่อพิจารณาก่อนดิน กขค ในรูปที่ 2.12 ระบาย คง จะถือว่าเป็นเส้นตรงเพื่อความง่ายในการวิเคราะห์ แรงที่กระทำต่อก่อนดินจะประกอบด้วยน้ำหนักของก่อนดิน (W) แรงตั้งฉาก (P) และแรงเฉือน (S) บนระนาบ คง และแรงตั้งฉาก (E) และแรงเฉือน (T) บนระนาบดิ่ง กค และ ขง เนื่องจากลักษณะปัญหาเป็นแบบที่แก้ด้วยสถิตศาสตร์ไม่ได้ (Statically Indeterminate) จึงจำเป็นต้องใช้สมมุติฐานบางอย่างเกี่ยวกับแรง E และ T เพื่อช่วยในการหาคำตอบ

วิธีของ Fellenius จะสมมุติให้แรงลัพธ์ของ  $E_1$  และ  $T_1$  มีขนาดเท่ากับแรงลัพธ์ของ  $E_2$  และ  $T_2$  และแรงลัพธ์ทั้งสองอยู่ในแนวเดียวกัน จึงหักล้างกันไป

จากเงื่อนไขสมดุลของก่อนดิน จะได้ว่า

$$P = W \cos \alpha$$

$$S = W \sin \alpha$$

มุม  $\alpha$  ซึ่งอยู่ฝั่งซ้ายของจุดหมุนมีค่าเป็นลบ (Negative) หน่วยแรงตั้งฉากกับระนาบและหน่วยแรงเฉือนบนระนาบ คง จึงเท่ากับ

$$\sigma_n = W \cos \frac{\alpha}{\Delta L}$$

$$\tau = W \sin \frac{\alpha}{\Delta L}$$

โดยที่  $\Delta L = b / \cos \alpha$  โดยประมาณ

กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบ Mohr-Coulomb

$$\tau_f = c + \sigma_n \tan \phi$$

แรงต้านการเฉือนที่ยอมให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S = \frac{\tau_f}{FS} \Delta L = \frac{1}{FS} (c + \sigma_n \tan \phi) \Delta L = \frac{1}{FS} \left( c + \frac{W \cos \alpha}{\Delta L} \tan \phi \right) \Delta L$$

โมเมนต์ของแรงเฉือนรอบจุด O จะต้องเท่ากับโมเมนต์แรงต้านทานรอบจุด O

$$\sum (W \sin \alpha)(r) = \sum \frac{1}{FS} \left( c + \frac{W \cos \alpha}{\Delta L} \tan \phi \right) \Delta L (r)$$

ดังนั้น

$$FS = \frac{\sum (c \Delta L + W \cos \alpha \tan \phi)}{\sum (W \sin \alpha)} \quad (2.21)$$

กรณีที่วิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงประสิทธิภาพ (ESA) เช่น ทราย หรือดินเหนียวในสภาวะระยะยาว ( $c=0$  และ  $\phi = \phi'_{cs}$ ) และมีการไหลซึมของน้ำใต้ดินมาเกี่ยวข้อง สมการของ Fellenius จะลดรูปเป็น

$$FS = \frac{\sum (W \cos \alpha - u \Delta L) \tan \phi'_{cs}}{\sum (W \sin \alpha)} \quad (2.22)$$

กรณีที่วิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงรวม (TSA) คือ ดินเหนียวในสภาวะระยะสั้น สมการของ Fellenius จะลดรูปเป็น

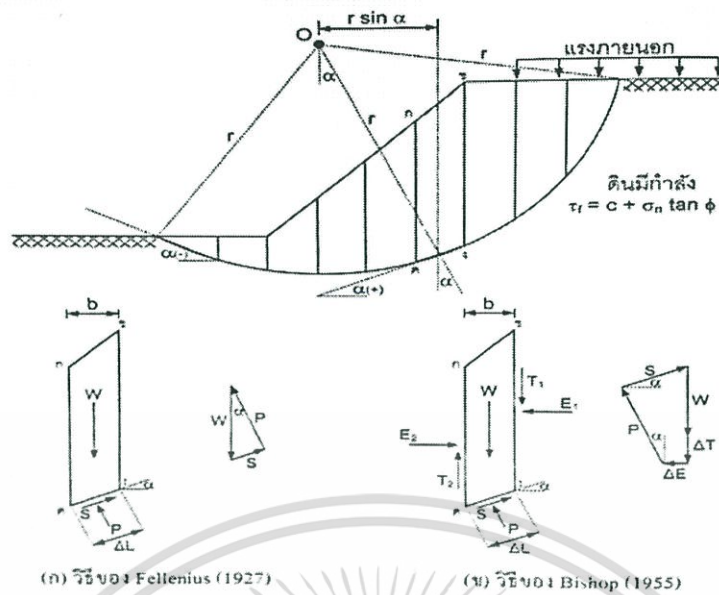
$$FS = \frac{\sum c_u \Delta L}{\sum (W \sin \alpha)} \quad (2.23)$$

วิธีของ Fellenius ค่อนข้างสะดวกเนื่องจากสามารถหา FS ออกมาได้โดยตรงแต่สมมุติฐานที่ใช้ทำให้คำนวณอัตราส่วนปลอดภัยสำหรับ ESA กรณีความดันน้ำในโพรงสูง ออกมาต่ำเกินไป ประมาณ 5 ถึง 20% กล่าวคือ อนุรักษ์นิยมเกินไป วิธีนี้จึงไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน

วิธีแบ่งชั้นอย่างง่ายของ Bishop

Bishop's Simplified Method of Slices นำเสนอโดย Bishop ในปี ค.ศ.1955<sup>[5]</sup> เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบันสำหรับระนาบวิบัติวงกลม

Bishop ทำการปรับปรุงวิธีแบ่งชั้นธรรมดา โดยอาศัยสมการสมดุลของโมเมนต์โดยสมมุติให้แรงแนวราบระหว่างชั้น ( $E_1$  และ  $E_2$ ) อยู่ในแนวเดียวกัน (Collinear)



รูป 2.12 วิธีแบ่งชั้นและแรงกระทำบนชั้น (ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธากุล, 2558) [3]

กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบ Mohr-Coulomb

$$\tau_f = c + \sigma_n \tan \phi$$

แรงต้านการเฉือนที่ยอมให้  $S = \frac{\tau_f}{FS} \Delta L = \frac{c\Delta L}{FS} + P \frac{\tan \phi}{FS}$

พิจารณาสมดุลของแรงแนวตั้ง จากรูปเหลี่ยมของแรง (Force Polygon) ในรูปที่ 2.12(ข)

$$W + \Delta T = P \cos \alpha + S \sin \alpha$$

แทนค่า S ได้  $W + \Delta T = P \cos \alpha + \left( \frac{c\Delta L}{FS} + P \frac{\tan \phi}{FS} \right) \sin \alpha$

จัดรูปสมการได้  $P = \frac{W + \Delta T - \frac{c\Delta L}{FS} \sin \alpha}{\cos \alpha + \frac{\tan \phi \sin \alpha}{FS}}$

แรงต้านการเฉือนที่ยอมให้  $S = \frac{\tau_f}{FS} \Delta L = \frac{1}{FS} (c + \sigma_n \tan \phi) \Delta L = \frac{1}{FS} (c\Delta L + P \tan \phi)$

แทนค่า P เพื่อหาสมการของ S

โมเมนต์ของแรงเฉือนรอบจุด O จะต้องเท่ากับโมเมนต์แรงต้านทานรอบจุด O

$$\sum (W \sin \alpha)(r) = \sum S(r)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า S และจัดสมการใหม่ได้

$$FS = \frac{\sum(cb + W \tan \phi + \Delta T \tan \phi) \frac{1}{m_\alpha}}{\sum(W \sin \alpha)}$$

โดยที่

$$m_\alpha = \cos \alpha + \frac{\tan \phi \sin \alpha}{FS}$$

สมการของ  $m_\alpha$  สามารถวาดเป็นกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เพื่อความง่ายในการใช้งาน Bishop สมมติให้  $\Delta T = 0$  ซึ่งจะเกิดความผิดพลาดเพียง 1% เท่านั้น อัตราส่วนปลอดภัยจึงเท่ากับ

$$FS = \frac{\sum(cb + W \tan \phi) \frac{1}{m_\alpha}}{\sum(W \sin \alpha)} \quad (2.24)$$

เนื่องจากมี FS ทั้งสองข้างของสมการ จึงต้องคำนวณแบบสุ่มเพื่อหา FS ผู้ออกแบบอาจทำในโปรแกรมกระดาษคำนวณ (Spreadsheet) เช่น Excel

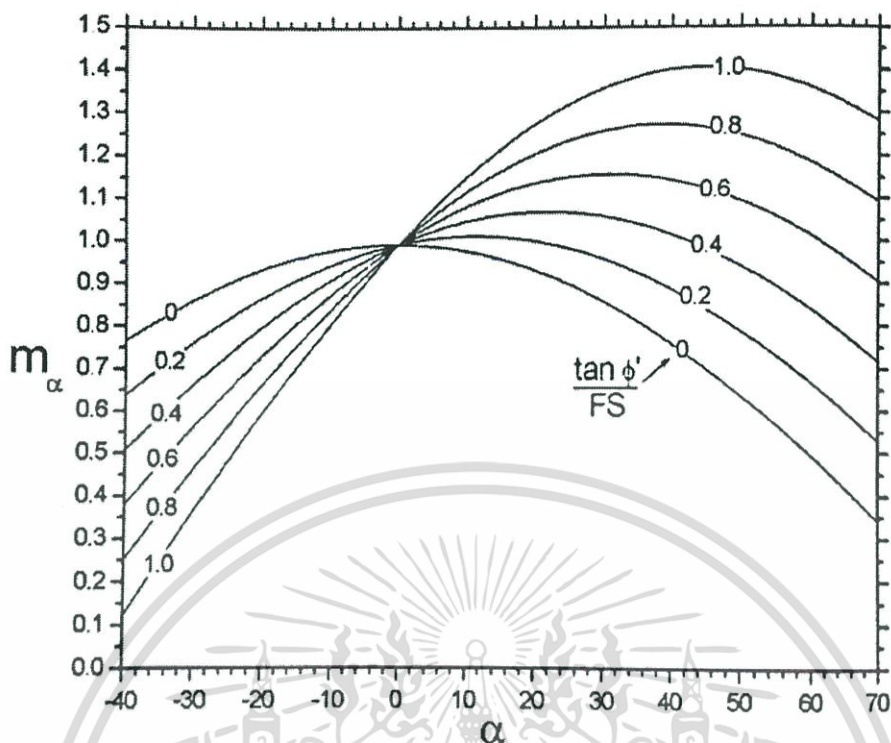
กรณีทีวิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงประสิทธิผล (ESA) เช่น ทราย หรือดินเหนียวในสภาวะระยะยาว ( $c = 0$  และ  $\phi = \phi'_{cs}$ ) และมีการไหลซึมของน้ำใต้ดินมาเกี่ยวข้อง สมการของ Bishop จะลดรูปเป็น

$$FS = \frac{\sum(W - ub) \tan \phi'_{cs} \frac{1}{m_\alpha}}{\sum(W \sin \alpha)} \quad (2.25)$$

กรณีทีวิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงรวม (TSA) คือ ดินเหนียวในสภาวะระยะสั้น สมการของ Bishop จะลดรูปลงดังแสดงข้างล่างนี้ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากรณี TSA ไม่จำเป็นต้องคำนวณแบบสุ่มเพื่อหา FS และสมการอัตราส่วนปลอดภัยจะเหมือนกับวิธีของ Fellenius

$$FS = \frac{\sum c_u \frac{b}{\cos \alpha}}{\sum(W \sin \alpha)} \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.13 รูปภาพแสดงค่า  $m_\alpha$  สำหรับวิธีของ Bishop (ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธากุล, 2558)<sup>[3]</sup>

วิธีอย่างง่ายของ Bishop พิจารณาสมดุลของโมเมนต์รอบจุดหมุนและแรงในแนวตั้ง จึงให้ผลลัพธ์ดีกว่าวิธีแบ่งชั้นแบบธรรมดาของ Fellenius<sup>[4]</sup> โดยเฉพาะกรณีวิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงประสิทธิผล (ESA) และมีความดันน้ำในโพรงค่อนข้างสูง

วิธีของ Bishop ให้ผลลัพธ์พลาดมักไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับการคำนวณแบบซับซ้อนมากขึ้น จึงเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน แต่ก็มีข้อเสียคือ ไม่ได้พิจารณาสมดุลของแรงในแนวราบ (Horizontal Forces) และมีความผิดพลาดสูงเมื่อระนาบวิบัติวงกลมอยู่ลึก ทำให้  $\alpha$  มีค่าสูง ทำให้  $m_\alpha$  มีโอกาสเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งเกิดขึ้นได้ 2 กรณีคือ

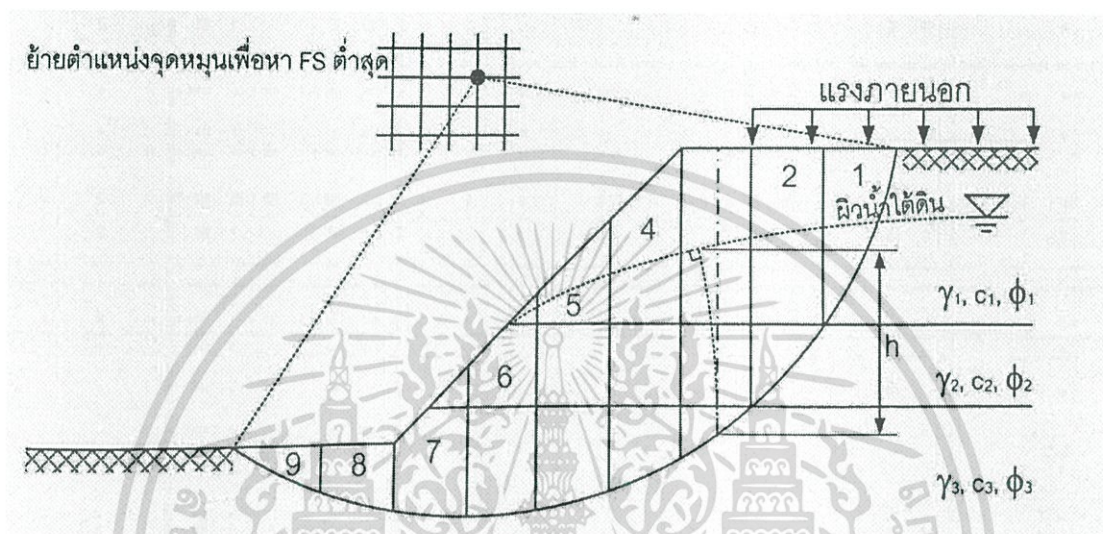
(1)  $\alpha$  เป็นลบและ  $\tan\phi'/FS$  มีค่าสูง

(2)  $\alpha$  บวกสูงและ  $\tan\phi'/FS$  มีค่าต่ำ

ดังแสดงในรูปที่ 2-13 เมื่อ  $m_\alpha$  เข้าใกล้ศูนย์ จะส่งผลทำให้แรงต้านการเฉือนออกมาสูงเกินจริง ส่งผลกระทบต่อค่า FS นอกจากนี้ หาก  $m_\alpha$  ติดลบ จะทำให้คำนวณ FS ออกมาได้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น (Underestimated) หรือติดลบได้ ซึ่งไม่มีความหมายในทางปฏิบัติ

## ผลกระทบของดินแยกชั้นและการไหลซึมของน้ำใต้ดินในวิธีแบ่งชั้น

รูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นสภาพตามธรรมชาติซึ่งดินไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน แต่ถูกแยกออกเป็นชั้นๆ (Layered Soils) เนื่องจากมีคุณสมบัติทางด้านกำลังแตกต่างกัน ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินผู้วิเคราะห์จึงต้องใช้พารามิเตอร์ของดินให้เหมาะสม เช่น ใช้  $c_2$  และ  $\phi_2$  สำหรับระยะแนวนอนใต้ดินชั้นที่ 2 และใช้  $c_3$  และ  $\phi_3$  สำหรับระยะแนวนอนใต้ดินชั้นที่ 3 ถึง 9 เป็นต้น



รูป 2.14 ดินแยกชั้นการไหลซึมของน้ำใต้ดิน (ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธากุล, 2558)<sup>[3]</sup>

ในการวิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงประสิทธิผล (ESA) และมีการไหลซึมของน้ำใต้ดินมาเกี่ยวข้อง จำเป็นจะต้องหาค่าความดันน้ำในโพรงดิน (Pore Water Pressure,  $u$ ) ที่ใต้ดินแต่ละชั้น โดย  $u = \gamma_w h$  เมื่อ  $h$  คือศักย์ความดัน (Pressure Head) ดังแสดงในรูป 2.14

การหาค่า  $h$  จะต้องวาดเส้นสมศักย์ (Equipotential Line) ขึ้นมาก่อน ตัวอย่างเช่น ดินชั้นที่ 3 ในรูปที่ 2-14 เส้นสมศักย์เริ่มจากจุดตัดระหว่างเส้นแบ่งครึ่งดินชั้นที่ 3 กับระยะแนวนอน โค้งไปตัดทำมุมตั้งฉากกับผิวน้ำใต้ดิน (Phreatic Surface) ศักย์ความดันจะเท่ากับระยะแนวตั้งของเส้นสมศักย์

ผู้วิเคราะห์จะต้องลองสุ่มตำแหน่งจุดหมุนและรัศมีของวงกลมไปเรื่อยๆ เพื่อให้ได้ระยะแนวนอนซึ่งมีอัตราส่วนปลอดภัย (FS) ต่ำที่สุด และตรวจสอบว่าค่า FS ต่ำที่สุดที่ได้ี้มีความปลอดภัยเพียงพอหรือไม่ ในทางปฏิบัติต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยเพื่อความสะดวกรวดเร็ว

### 2.4.3 ระบายวิถีไม่เป็นวงกลม

กรณีวิเคราะห์ระบายวิถีไม่เป็นวงกลม (Non-Circular Failure Surface) จะใช้วิธีอย่างง่ายของ Janbu (1954,1973) <sup>[6]</sup> ในรูปที่ 2-15 โดยอาศัยสมการสมดุลของแรงแนวราบ (Equilibrium of Horizontal Forces)

Janbu ใช้สมมติฐานเหมือน Bishop แตกต่างตรงใช้ค่าปรับแก้ (Correction Factor,  $f_0$ ) เพื่อแทนที่แรงเฉือนระหว่างชั้น  $\Delta T$  สมการของ Janbu สำหรับสมดุลของแรงแนวราบอยู่ในรูปสมการ

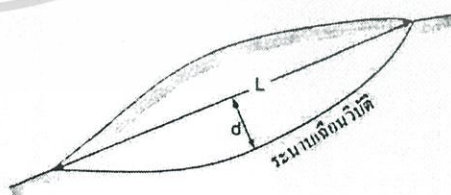
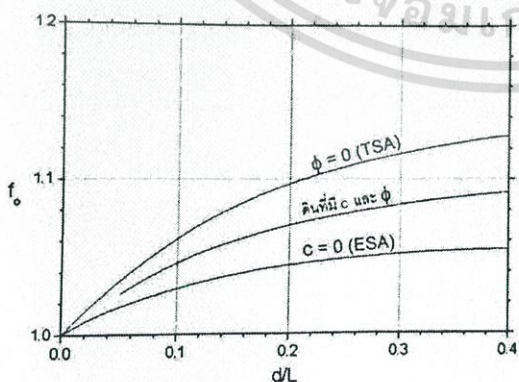
$$FS = f_0 \frac{\sum(cb+W\tan\phi) \frac{1}{\cos\alpha \cdot m\alpha}}{\sum(W\tan\alpha)}$$

กรณีวิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงประสิทธิผล (ESA) เช่นทรายหรือดินเหนียวในสภาวะระยะยาว ( $c = 0$  และ  $\phi = \phi'_{cs}$ ) และมีการไหลซึมของน้ำใต้ดินมาเกี่ยวข้อง สมการของ Janbu จะลดรูปเป็น

$$FS = f_0 \frac{\sum(W-ub)\tan\phi'_{cs} \frac{1}{\cos\alpha \cdot m\alpha}}{\sum(W\tan\alpha)} \tag{2.27}$$

กรณีวิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงรวม (TSA) คือ ดินเหนียวในสภาวะระยะสั้น สมการของ Janbu จะลดรูปลงดังแสดงข้างล่าง ซึ่งจะเห็นว่ากรณี TSA ไม่จำเป็นต้องคำนวณแบบสัมผัสเพื่อหา FS

$$FS = f_0 \frac{\sum(c_u b) \cdot \frac{1}{\cos^2\alpha}}{\sum(W\tan\alpha)} \tag{2.28}$$



รูป 2.15 ค่าปรับแก้ผลกระทบของแรงเฉือนระหว่างชั้นเสนอโดย Janbu

(ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธากุล, 2558)<sup>[3]</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.4 เปรียบเทียบวิธีสมมูลจำกัดและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

วิธีสมมูลจำกัด (Limit Equilibrium Method) แบบวิธีอย่างง่ายของ Bishop นิยมใช้กับระนาบวิบัติวงกลม ส่วนวิธีอย่างง่ายของ Janbu นิยมใช้กับระนาบวิบัติไม่เป็นวงกลม

แม้ว่าทั้งสองวิธีจะไม่สามารถพิจารณาสมมูลโมเมนต์และสมมูลของแรงพร้อมกันอย่างสมบูรณ์ก็ตามขณะที่วิธีของ Morgenstern and Price (1965) ซึ่งไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ พิจารณาสมมูลของโมเมนต์และแรงพร้อมกัน อีกทั้งใช้ได้กับระนาบวิบัติแบบใดก็ได้โดยใช้ฟังก์ชันของแรงระหว่างชั้นแบบแปรผัน (Variable Interslice Force Function) จึงคำนวณอัตราส่วนปลอดภัยได้ถูกต้องมากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีแรงภายนอก (External Forces) มากระทำต่อลาดดิน ปัจจุบัน มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำนวนมากที่ช่วยคำนวณอัตราส่วนปลอดภัยของลาดดินด้วยวิธีสมมูลจำกัด เช่น โปรแกรม KUSlope 2.1 (วรากร และคณะ, 2552)<sup>[7]</sup>

อย่างไรก็ดี มีข้อสังเกตว่า การคำนวณอัตราส่วนปลอดภัยของลาดดินด้วยวิธีสมมูลจำกัดที่มีความถูกต้องสูงอย่างวิธีของ Morgenstern and Price ให้ผลลัพธ์สูงกว่าการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยแบบจำลอง Mohr-Coulomb ประมาณ 5% ถึง 14%

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการและขั้นตอนในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดคันดินในนิคมเอเชียสุวรรณภูมิ โดยการใช้โปรแกรม KUslope 2.1 และ โปรแกรม Plaxis 2D 8.6



รูป 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

### 3.1 รวบรวมข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ลาดคันดิน

#### 3.1.1 ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจในนิคมอุตสาหกรรมเอเชียสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEN CONSULTANTS CO., LTD.

**SUMMARY OF TEST RESULTS**

PROJECT Preloading โครงการท่าอากาศยานเชียงใหม่ (สุวรรณภูมิ) BORING NO. BH-1 TESTED BY สุทิน DATE 9 มีนาคม 2560  
 LOCATION ตำบลบางบัว จังหวัดสมุทรปราการ TOTAL DEPTH 15.50 M. CHECKED BY ชินวัตร DATE 13 มีนาคม 2560

SAMPLE NO.	DEPTH (M)		W <sub>n</sub> %	ATTERBERG LIMITS (%)			GRADATION (% PASSING)					USCS GROUP	PP. t/m <sup>2</sup>	FV. t/m <sup>2</sup>	q <sub>u</sub> . t/m <sup>2</sup>	γ <sub>t</sub> t/m <sup>3</sup>	SPT-N (blow/ft)
	FROM	TO		LL.	PL.	PI.	NO.4	NO.10	NO.40	NO.100	NO.200						
ST-1	1.00	1.50	121.7	66.6	34.0	32.6			100.0	99.9	99.8	CH			2.03	1.35	
ST-2	2.00	2.50	120.2	67.9	33.3	34.6			100.0	99.9	99.8	CH			2.11	1.39	
ST-3	3.00	3.50	138.5	73.6	37.3	36.3			100.0	99.9	99.8	CH			1.27	1.37	
ST-4	4.00	4.50	139.1	74.5	39.3	35.2			100.0	99.9	99.8	CH			2.60	1.37	
ST-5	5.00	5.50	125.9	71.3	37.7	33.6			100.0	99.9	99.8	CH			1.13	1.35	
ST-6	6.00	6.50	106.0	66.6	32.5	34.1			100.0	99.9	99.8	CH			1.26	1.36	
ST-7	7.00	7.50	97.5	64.8	31.1	33.7			100.0	99.9	99.8	CH			0.77	1.35	
ST-8	8.00	8.50	91.0	62.5	31.6	30.9			100.0	99.9	99.8	CH			1.67	1.47	
ST-9	9.00	9.50	108.3	65.6	32.4	33.2			100.0	99.9	99.8	CH			1.47	1.45	
ST-10	10.00	10.50	111.1	66.5	33.7	32.8			100.0	99.9	99.8	CH			3.38	1.41	
ST-11	11.00	11.50	68.8	60.6	30.0	30.6			100.0	99.8	99.6	CH			3.72	1.59	
ST-12	12.00	12.50	55.5	59.9	30.4	29.5			100.0	99.9	99.8	CH			6.53	1.62	
ST-13	13.00	13.50	49.9	61.6	31.1	30.5			100.0	99.9	99.8	CH			6.11	1.67	
ST-14	14.00	14.50	40.4	56.8	27.0	29.8			100.0	99.5	99.3	CH			3.80	1.77	
ST-15	15.00	15.50	36.0	54.8	25.6	29.2			100.0	99.9		CH			12.30	1.89	

รูป 3.2 แสดงข้อมูลหลุมเจาะสำรวจบ่อที่ 1



TEN CONSULTANTS CO., LTD.

**SUMMARY OF TEST RESULTS**PROJECT Preloading นิคมอุตสาหกรรมเอเชีย (สุวรรณภูมิ)BORING NO. BH-2TESTED BY สุทินDATE 9 มีนาคม 2560LOCATION ย่านทองนาบ่อ จังหวัดนครปฐมTOTAL DEPTH 15.50 M.CHECKED BY ชินวัตรDATE 13 มีนาคม 2560

SAMPLE NO.	DEPTH (M)		W <sub>n</sub> %	ATTERBERG LIMITS (%)			GRADATION (% PASSING)					USCS GROUP	PP. $\frac{t}{m^2}$	FV. $\frac{t}{m^2}$	q <sub>u</sub> . $\frac{t}{m^2}$	γ <sub>t</sub> $\frac{t}{m^3}$	SPT-N (blow/ft)
	FROM	TO		LL	PL	PI	NO.4	NO.10	NO.40	NO.100	NO.200						
ST-1	1.00	1.50	40.3	55.9	25.5	30.4			100.0	99.9	99.8	CH			9.99	1.80	
ST-2	2.00	2.50	137.8	73.6	36.3	37.3			100.0	99.9	99.9	CH			1.06	1.39	
ST-3	3.00	3.50	139.8	76.5	40.0	36.5			100.0	99.9	99.9	CH			1.26	1.39	
ST-4	4.00	4.50	147.7	78.1	42.2	35.9			100.0	99.9	99.9	CH			1.13	1.40	
ST-5	5.00	5.50	145.5	50.6	20.0	30.6			100.0	99.9	99.9	CH			1.47	1.40	
ST-6	6.00	6.50	147.8	66.0	33.7	32.3			100.0	99.9	99.8	CH			1.54	1.41	
ST-7	7.00	7.50	133.3	54.3	23.7	30.6			100.0	99.9	99.9	CH			1.68	1.40	
ST-8	8.00	8.50	106.4	53.6	22.4	31.2			100.0	99.9	99.9	CH			1.47	1.45	
ST-9	9.00	9.50	112.0	54.5	23.7	30.8			100.0	99.9	99.9	CH			2.58	1.43	
ST-10	10.00	10.50	103.9	53.6	21.4	32.2			100.0	99.9	99.8	CH			2.00	1.46	
ST-11	11.00	11.50	62.8	52.1	20.5	31.6			100.0	99.9	99.9	CH			4.65	1.63	
ST-12	12.00	12.50	76.1	54.5	21.2	33.3			100.0	99.9	99.8	CH			4.91	1.59	
ST-13	13.00	13.50	68.3	52.6	20.8	31.8			100.0	99.9	99.9	CH			7.31	1.61	
ST-14	14.00	14.50	37.9	53.4	22.9	30.5			100.0	99.9	99.9	CH			3.36	1.74	
ST-15	15.00	15.50	28.2	52.6	21.1	31.5			100.0	99.9	99.8	CH			15.43	1.94	

รูป 3.3 แสดงข้อมูลหลุมเจาะสำรวจบ่อที่ 2



TEN CONSULTANTS CO., LTD.

**SUMMARY OF TEST RESULTS**PROJECT Preloading นิคมอุตสาหกรรมเอเชีย (สุวรรณภูมิ)BORING NO. BH-3TESTED BY สุทินDATE 9 มีนาคม 2560LOCATION ตำบลบางน้ำจืด อำเภอบางน้ำจืด จังหวัดสุพรรณบุรีTOTAL DEPTH 15.50 M.CHECKED BY ชินวัตรDATE 13 มีนาคม 2560

SAMPLE NO.	DEPTH (M)		W <sub>n</sub> %	ATTERBERG LIMITS (%)			GRADATION (% PASSING)					USCS GROUP	PP. t/m <sup>2</sup>	FV. t/m <sup>2</sup>	qu. t/m <sup>2</sup>	γ <sub>t</sub> t/m <sup>3</sup>	SPT-N (blow/ft)
	FROM	TO		LL	PL	PI	NO.4	NO.10	NO.40	NO.100	NO.200						
ST-1	1.00	1.50	74.8	54.6	22.1	32.5			100.0	99.9	99.8	CH			2.02	1.52	
ST-2	2.00	2.50	137.2	58.9	24.4	34.5			100.0	99.9	99.8	CH			2.12	1.39	
ST-3	3.00	3.50	133.4	56.5	23.2	33.3			100.0	99.9	99.8	CH			1.19	1.38	
ST-4	4.00	4.50	127.6	55.3	21.7	33.6			100.0	99.9	99.8	CH			0.49	1.39	
ST-5	5.00	5.50	109.7	55.7	23.1	32.6			100.0	99.9	99.8	CH			2.75	1.46	
ST-6	6.00	6.50	109.1	53.8	23.5	30.3			100.0	99.9	99.8	CH			5.01	1.49	
ST-7	7.00	7.50	98.7	53.6	22.8	30.8			100.0	99.9	99.8	CH			2.35	1.47	
ST-8	8.00	8.50	78.5	54.2	22.1	32.1			100.0	99.9	99.8	CH			4.71	1.54	
ST-9	9.00	9.50	79.2	53.4	21.1	32.3			100.0	99.9	99.8	CH			4.28	1.61	
ST-10	10.00	10.50	80.8	53.6	22.0	31.6			100.0	99.9	99.8	CH			2.15	1.60	
ST-11	11.00	11.50	77.5	55.2	23.1	32.1			100.0	99.9	99.8	CH			3.03	1.76	
ST-12	12.00	12.50	75.9	54.5	22.1	32.4			100.0	99.9	99.8	CH			3.02	1.57	
ST-13	13.00	13.50	36.0	52.9	21.3	31.6			100.0	99.8	99.6	CH			3.25	1.74	
ST-14	14.00	14.50	40.1	53.5	21.4	32.1			100.0	99.7	99.5	CH			4.93	1.76	
ST-15	15.00	15.50	38.4	54.5	23.9	30.6			100.0	99.9	99.8	CH			19.18	1.87	

รูป 3.4 แสดงข้อมูลหลุมเจาะสำรวจบ่อที่ 3



TEN CONSULTANTS CO., LTD.

**SUMMARY OF TEST RESULTS**

PROJECT Preloading นิคมอุตสาหกรรมเอเชีย (สุวรรณภูมิ) BORING NO. BH-4 TESTED BY สุทิน  
 LOCATION ตำบลบางน้อย จังหวัดสมุทรปราการ TOTAL DEPTH 15.50 M. CHECKED BY ชินวัตร DATE 9 มีนาคม 2560  
 DATE 13 มีนาคม 2560

SAMPLE NO.	DEPTH (M)		Wn %	ATTERBERG LIMITS (%)			GRADATION (% PASSING)					USCS GROUP	PP. $\frac{\text{t}}{\text{m}^2}$	FV. $\frac{\text{t}}{\text{m}^2}$	qm. $\frac{\text{t}}{\text{m}^2}$	$\gamma_t$ $\frac{\text{t}}{\text{m}^3}$	SPT-N (blow/ft)
	FROM	TO		LL	PL	PI	NO.4	NO.10	NO.40	NO.100	NO.200						
ST-1	1.00	1.50	37.6	52.6	21.3	31.3			100.0	99.9	99.8	CH			12.11	1.77	
ST-2	2.00	2.50	132.6	61.3	29.0	32.3			100.0	99.9	99.9	CH			0.92	1.34	
ST-3	3.00	3.50	141.6	57.6	23.1	34.5			100.0	99.9	99.9	CH			1.05	1.33	
ST-4	4.00	4.50	131.9	54.2	22.1	32.1			100.0	99.9	99.9	CH			2.47	1.39	
ST-5	5.00	5.50	130.3	54.8	22.3	32.5			100.0	99.9	99.9	CH			1.39	1.36	
ST-6	6.00	6.50	135.0	54.6	22.3	32.3			100.0	99.9	99.9	CH			1.75	1.38	
ST-7	7.00	7.50	137.6	55.0	21.8	33.2			100.0	99.9	99.9	CH			1.75	1.36	
ST-8	8.00	8.50	113.6	53.1	20.8	32.3			100.0	99.9	99.8	CH			1.61	1.42	
ST-9	9.00	9.50	113.7	53.4	21.1	32.3			100.0	99.8	99.6	CH			2.16	1.40	
ST-10	10.00	10.50	90.3	52.6	21.0	31.6			100.0	99.9	99.8	CH			4.53	1.53	
ST-11	11.00	11.50	75.0	57.5	22.4	35.1			100.0	99.9	99.8	CH			3.46	1.59	
ST-12	12.00	12.50	70.1	56.3	21.1	35.2			100.0	99.9	99.8	CH			5.63	1.62	
ST-13	13.00	13.50	75.9	54.2	21.9	32.3			100.0	99.9	99.8	CH			3.97	1.59	
ST-14	14.00	14.50	36.5	53.2	21.1	32.1			100.0	99.9	99.8	CH			4.05	1.78	
ST-15	15.00	15.50	39.2	52.4	20.9	31.5			100.0	99.5	99.3	CH			6.68	1.80	

รูป 3.5 แสดงข้อมูลหลุมเจาะสำรวจบ่อที่ 4



TEN CONSULTANTS CO., LTD.

**SUMMARY OF TEST RESULTS**

PROJECT Preloading โคราชอุตสาหกรรมเอเชีย (สุวรรณภูมิ)

BORING NO. BH-5

TESTED BY สุทิน

DATE 9 มีนาคม 2560

LOCATION อ่างเก็บน้ำ จังหวัดสมุทรปราการ

TOTAL DEPTH 15.50 M.

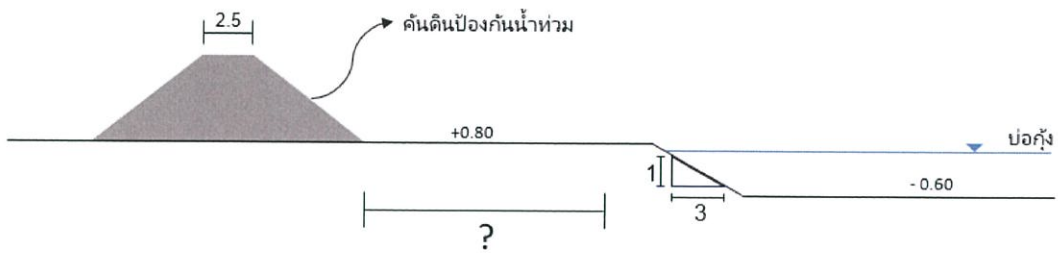
CHECKED BY ชินวัตร

DATE 13 มีนาคม 2560

SAMPLE NO.	DEPTH (M)		Wn %	ATTERBERG LIMITS (%)			GRADATION (% PASSING)					USCS GROUP	PP. $\text{t/m}^2$	FV. $\text{t/m}^2$	qu. $\text{t/m}^2$	$\gamma_t$ $\text{t/m}^3$	SPT-N (blow/ft)
	FROM	TO		LL	PL	PI	NO.4	NO.10	NO.40	NO.100	NO.200						
ST-1	1.00	1.50	44.8	52.6	21.0	31.6			100.0	99.9	99.8	CH			5.52	1.69	
ST-2	2.00	2.50	138.0	55.5	22.2	33.3			100.0	99.9	99.9	CH			2.18	1.34	
ST-3	3.00	3.50	117.2	53.3	20.9	32.4			100.0	99.9	99.9	CH			0.64	1.36	
ST-4	4.00	4.50	134.7	54.2	21.9	32.3			100.0	99.9	99.9	CH			1.35	1.60	
ST-5	5.00	5.50	145.0	65.3	30.7	34.6			100.0	99.9	99.9	CH			1.06	1.46	
ST-6	6.00	6.50	100.9	53.2	20.7	32.5			100.0	99.9	99.9	CH			1.40	1.53	
ST-7	7.00	7.50	113.7	54.5	22.0	32.5			100.0	99.9	99.9	CH			2.03	1.41	
ST-8	8.00	8.50	86.7	52.6	21.0	31.6			100.0	99.9	99.9	CH			1.33	1.47	
ST-9	9.00	9.50	92.2	53.9	22.0	31.9			100.0	99.9	99.8	CH			3.71	1.46	
ST-10	10.00	10.50	84.5	52.7	21.1	31.6			100.0	99.9	99.8	CH			3.72	1.57	
ST-11	11.00	11.50	78.0	54.2	21.9	32.3			100.0	99.9	99.8	CH			2.44	1.43	
ST-12	12.00	12.50	73.0	52.6	21.0	31.6			100.0	99.9	99.8	CH			2.45	1.54	
ST-13	13.00	13.50	33.7	50.8	19.5	31.3			100.0	99.9	99.7	CH			2.75	1.55	
ST-14	14.00	14.50	44.5	51.9	21.3	30.6			100.0	99.6	99.3	CH			4.80	1.57	
ST-15	15.00	15.50	83.1	53.6	22.0	31.6			100.0	99.9	99.8	CH			5.95	1.43	

รูป 3.6 แสดงข้อมูลหลุมเจาะสำรวจบ่อที่ 5

### 3.1.2 ข้อมูลหน้าตัดของงานคันดิน



รูป 3.7 แสดงหน้าตัดของงานลาดคันดิน

### 3.2 ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม KUslope 2.1

ขั้นที่ 1 กำหนดขอบเขตของการวิเคราะห์

1. วิเคราะห์โดยใช้วิธีของ Bishop's Simplified
2. วิเคราะห์การพังแบบ Circular Failure
3. วิเคราะห์โดยใช้ค่าความลาด 1:1, 1:2 และ 1:2.5 เท่านั้น
4. ใช้ระยะร่นถอยของคันดินทั้งหมด 7 ค่า คือ 1.5, 3.5, 6.5, 10, 12, 14, และ 16 เมตร
5. ไม่คิดผลกระทบเนื่องจากน้ำในบ่อและแรงภายนอก

ขั้นที่ 2 ทำการใส่ข้อมูลดินและข้อมูลชั้นดินทั้งหมดจากรูปหน้าตัดและข้อมูลหลุมเจาะ

Soil No.	Cohesion	Phi	Unit Weight	Description
1	6.15	0	1.89 c	
2	1.9	0	1.77 c	
3	3.055	0	1.67 c	
4	3.265	0	1.62 c	
5	1.86	0	1.59 c	
6	1.69	0	1.41 c	
7	0.735	0	1.45 c	
8	0.835	0	1.47 c	
9	0.385	0	1.35 c	
10	0.63	0	1.36 c	
11	0.565	0	1.35 c	

Soil No.	Point No.	Coordi X	Coordi Y
1	1	0	0
1	2	70	0
2	1	0	1
2	2	70	1
3	1	0	2
3	2	70	2
4	1	0	3
4	2	70	3
5	1	0	4
5	2	70	4
6	1	0	5

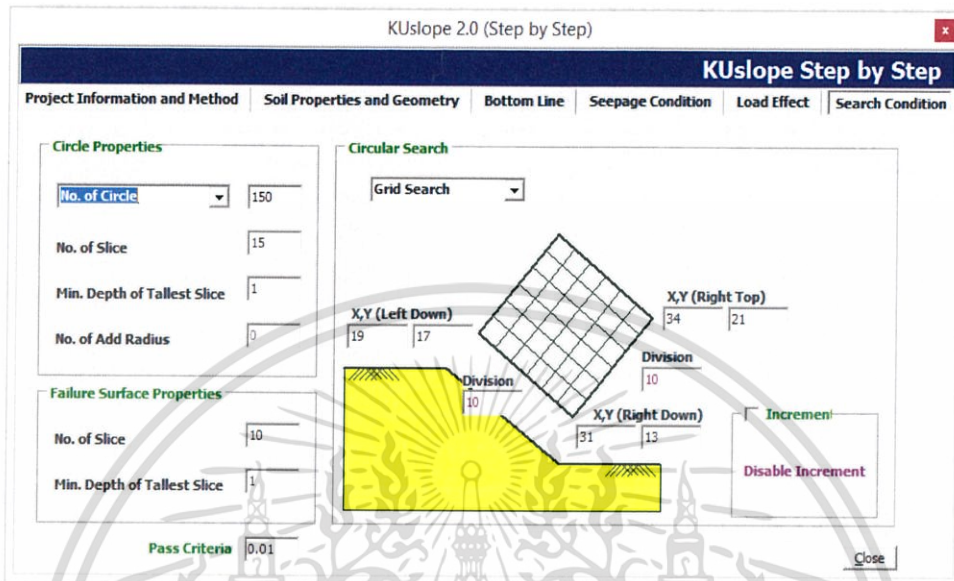
รูป 3.8 ข้อมูลดินและชั้นดินจากข้อมูลหลุมเจาะและหน้าตัดของงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 3 ทำการเลือกวิธีการค้นหาหาค่าส่วนปลอดภัยแบบ Grid Search

โดยการกำหนดค่าจำนวนวงที่ใช้ในการค้นหาจากรัศมีมากที่สุดถึงรัศมีน้อยสุดเป็น 150 ดังรูปที่

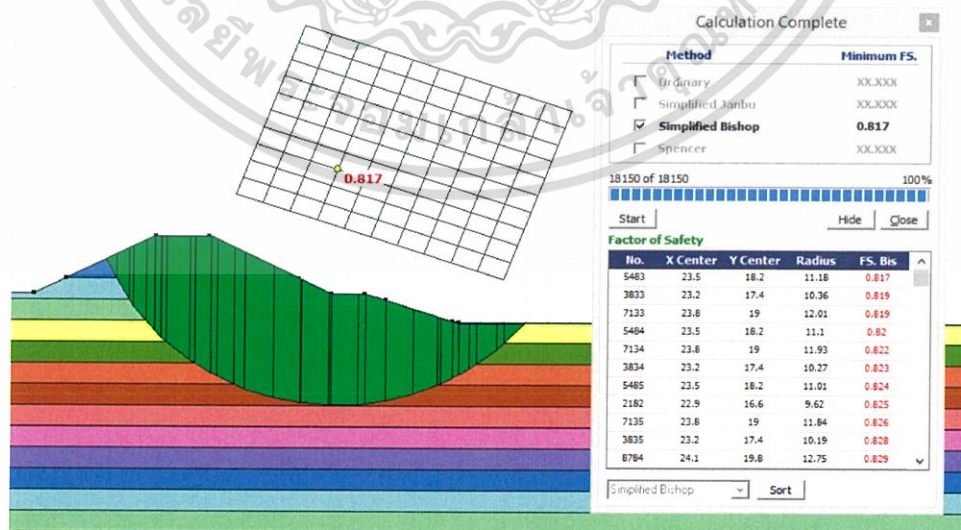
3.9



รูป 3.9 ข้อมูลดินและชั้นดินจากข้อมูลหลุมเจาะและหน้าตัดของงาน

ขั้นที่ 4 เริ่มทำการวิเคราะห์

เริ่มวิเคราะห์โดยการกดปุ่ม Calculation ที่แถบเมนูแล้วเลือก Run จากนั้นกด Start



รูป 3.10 แสดงผลการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากวิเคราะห์เสร็จทำการกดปุ่ม Sort เพื่อหาระนาบการพังที่มีค่าสัดส่วนปลอดภัยน้อยที่สุดดังรูปที่ 3.10

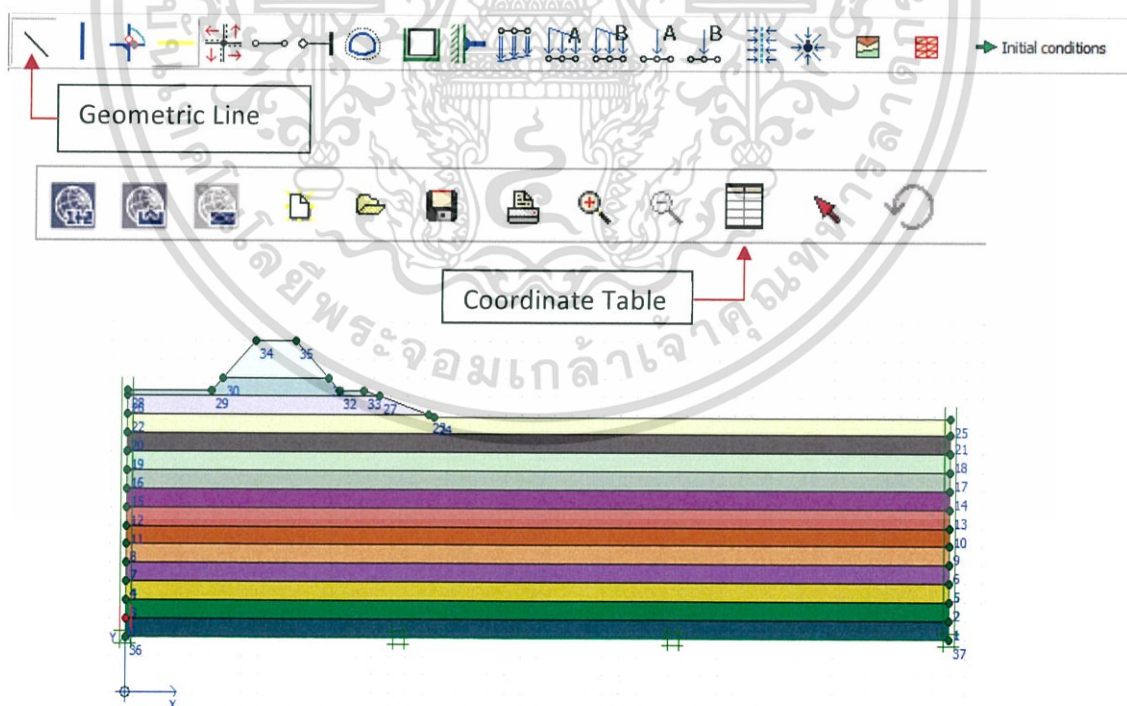
### 3.3 ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6

ขั้นที่ 1 กำหนดขอบเขตของการวิเคราะห์

1. วิเคราะห์โดยใช้วิธี Finite Element
2. ใช้การวิเคราะห์ในรูปแบบ 2 มิติ
3. วิเคราะห์โดยใช้ค่าความลาด 1:1, 1:2 และ 1:2.5 เท่านั้น
4. ใช้ระยะร่นถอยของคันดินทั้งหมด 7 ค่า คือ 1.5, 3.5, 6.5, 10, 12, 14, และ 16 เมตร
5. ไม่คิดผลกระทบเนื่องจากน้ำในบ่อและแรงภายนอก

ขั้นที่ 2 ทำการเปิดโปรแกรม Plaxis 8.6 ในส่วนของ Input ขึ้นมาเพื่อใส่ข้อมูลทั้งหมด

ทำการร่างลักษณะชั้นดิน (Geometric) โดยใช้เครื่องมือ Geometric line หลังจากนั้นทำการปรับพิกัดของชั้นดินโดยใช้คำสั่ง Coordinate table เพื่อให้เป็นไปตามข้อมูลหลุมเจาะและแบบตัดของงานลาดดินดังรูปที่ 3.11



รูป 3.11 แสดงเครื่องมือและลักษณะชั้นดินที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการใส่ข้อมูลดินแต่ละชั้นโดยใช้แถบ Materials เลือก Soil&Interfaces แล้วทำการใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของดินเริ่มตั้งแต่กำหนดชื่อของดิน เลือก Material model เป็นแบบ Mohr-Coulomb ลักษณะของดิน (Material type) เป็นแบบ Undrained ตามรูปที่ 3.12, 3.13 และ 3.14

**Mohr-Coulomb - CH-1**

General		Parameters		Interfaces	
<b>Material set</b>					
Identification:	CH-1				
Material model:	Mohr-Coulomb				
Material type:	UnDrained				
<b>General properties</b>					
$\gamma_{unsat}$ :	18.541	kN/m <sup>3</sup>			
$\gamma_{sat}$ :	18.541	kN/m <sup>3</sup>			
<b>Comments</b>					
<b>Permeability</b>					
$k_x$ :	0.000	m/day			
$k_y$ :	0.000	m/day			
<a href="#">Advanced...</a>					
SoilTest		Next		OK	
				Cancel	

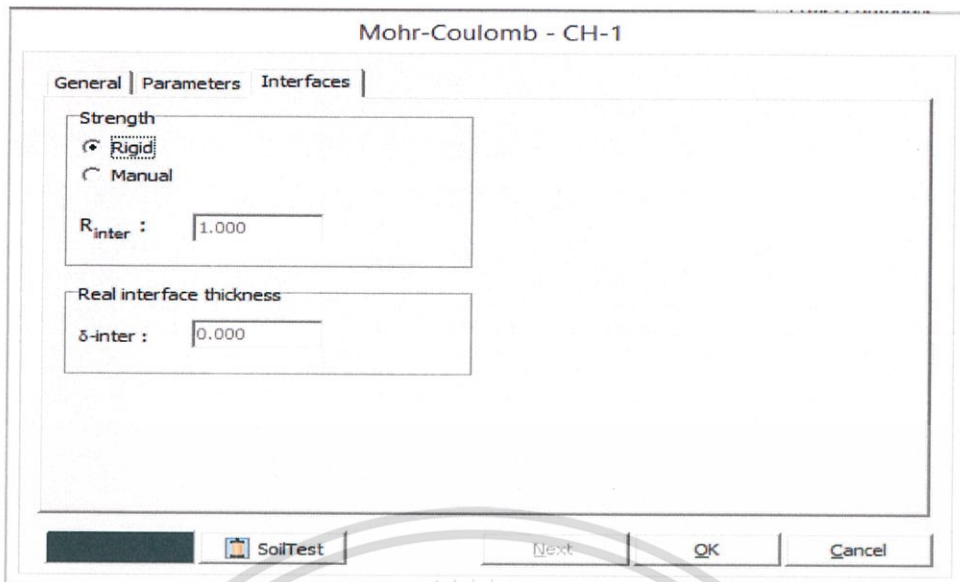
รูป 3.12 แสดงการใส่ค่าพารามิเตอร์ของดิน

**Mohr-Coulomb - CH-1**

General		Parameters		Interfaces	
<b>Stiffness</b>					
$E_{ref}$ :	2.000E+04	kN/m <sup>2</sup>			
$\nu$ (nu):	0.350				
<b>Strength</b>					
$C_{ref}$ :	60.330	kN/m <sup>2</sup>			
$\phi$ (phi):	0.000	°			
$\psi$ (psi):	0.000	°			
<b>Alternatives</b>					
$G_{ref}$ :	7407.407	kN/m <sup>2</sup>			
$E_{oed}$ :	3.210E+04	kN/m <sup>2</sup>			
<b>Velocities</b>					
$V_s$ :	62.570	m/s			
$V_p$ :	130.300	m/s			
<a href="#">Advanced...</a>					
SoilTest		Next		OK	
				Cancel	

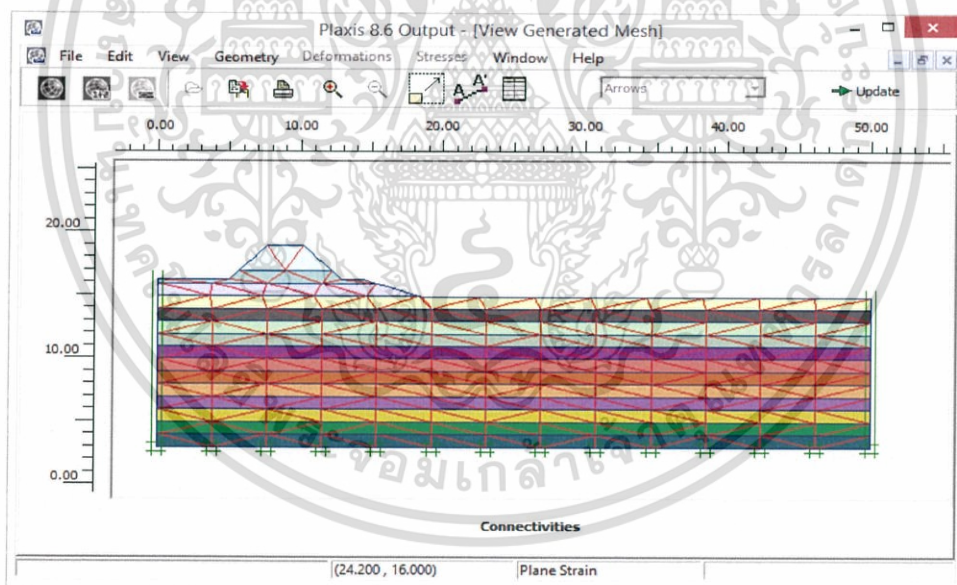
รูป 3.13 แสดงการใส่ค่าพารามิเตอร์ของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.14 แสดงการใส่ค่าพารามิเตอร์ของดิน

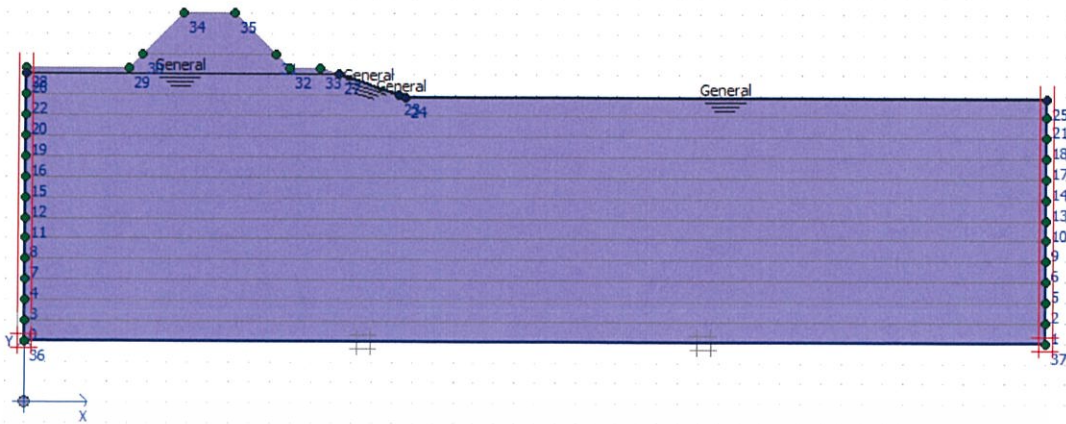
จากเลือกคำสั่ง Generate mesh เพื่อทำการแบ่งพื้นที่ของชั้นดินตามหลักการของ Finite Element ดังรูปที่ 3.15



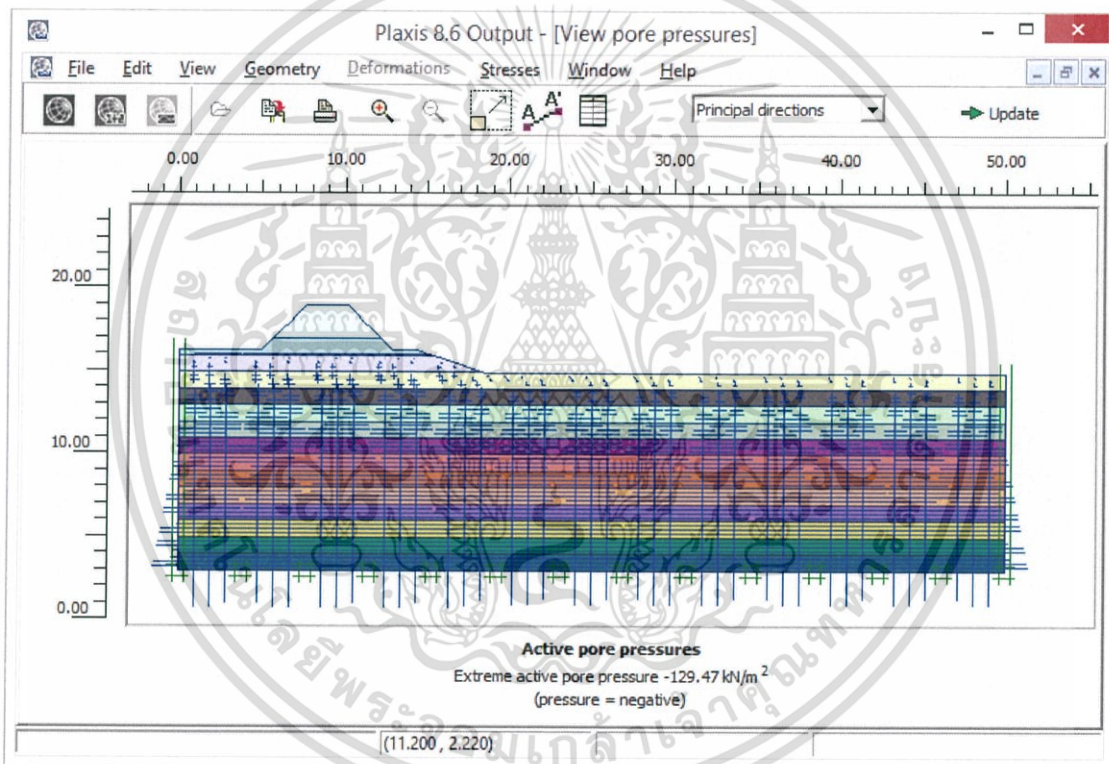
รูป 3.15 แสดงการแบ่งพื้นที่ตามหลัก Finite Element

หลังจากนั้นกด Update แล้วเลือกคำสั่ง Initial Conditions เพื่อกำหนดสถานะเริ่มต้นของ ลาดดินก่อนการวิเคราะห์รวมไปถึงกำหนดระดับน้ำใต้ดินด้วยดังรูปที่ 3.16 และ 3.17 จากนั้นกด Update

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.16 แสดงการกำหนดสถานะของดินตอนต้นและระดับน้ำใต้ดิน

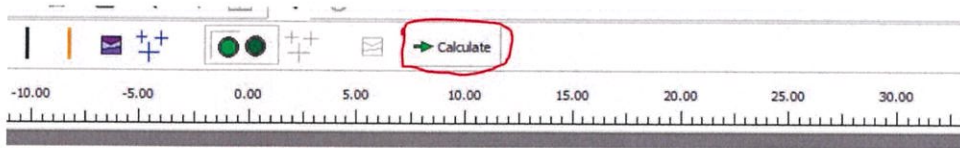


รูป 3.17 แสดงการกำหนดสถานะของดินตอนต้นและระดับน้ำใต้ดิน

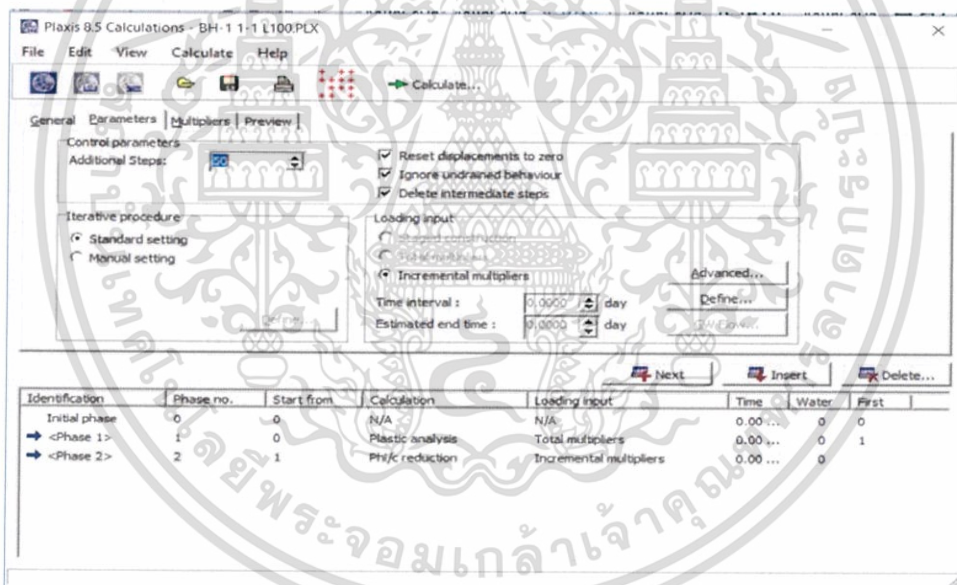
ขั้นที่ 3 ทำการเข้าส่วนของ Calculate เพื่อเริ่มการวิเคราะห์

กดปุ่ม Calculate ในหน้า Initial Condition เพื่อเข้าสู่หน้าต่างการคำนวณดังรูปที่ 3.18 แล้วทำการเพิ่ม Phase ของการคำนวณแล้วปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆในแต่ละ Phase ดังรูปที่ 3.19 หลังจากนั้นทำการเลือกจุดสังเกตที่จะให้แสดงผล ดังรูปที่ 3.20 หลังจากนั้นกด update

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

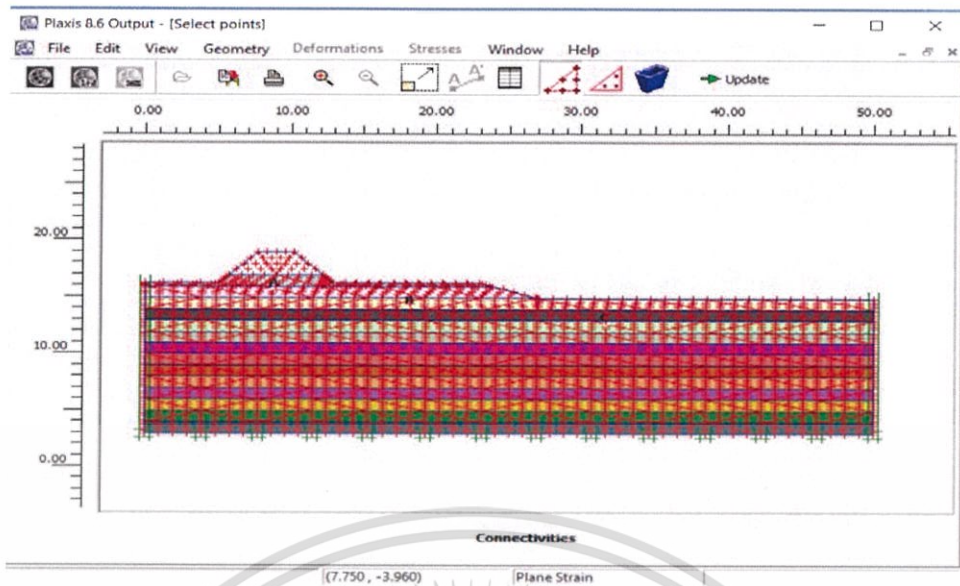


รูป 3.18 แสดงการกำหนดสถานะของดินตอนต้นและระดับน้ำใต้ดิน



รูป 3.19 แสดงการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อเตรียมการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.20 แสดงการเลือกจุดสังเกตเพื่อแสดงผลการวิเคราะห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและผลจากการทดลอง ซึ่งแต่ละการทดลองนั้นได้กล่าววิธีการทดลองไว้แล้วในบทที่ 3 และมีการนำข้อมูลต่างๆที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์เพื่อที่จะแปรผลข้อมูลในบทนี้

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์ลาดดิน

##### 4.1.1 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยโปรแกรม KUslope ver.2.1

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนความปลอดภัยจากข้อมูลหลุมสำรวจที่ 1

Boring No.	Slope	L	F.S.
BH-1	1 ต่อ 1	1.5	0.659
		3.5	0.719
		6.5	0.821
		10	0.995
		12	1.126
		14	1.126
	1 ต่อ 2	16	1.126
		1.5	0.687
		3.5	0.749
		6.5	0.875
		10	1.046
		12	1.046
	1 ต่อ 2.5	14	1.046
		16	1.046
		1.5	0.722
		3.5	0.772
		6.5	0.899
		10	1.066
12	1.066		
14	1.066		
16	1.066		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 สำหรับหลุมเจาะสำรวจที่ 1 จะได้ค่าระยะร่นถอยของคันดินในแต่ละความลาดชันที่ทำให้ค่าสัดส่วนปลอดภัยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 12, 10 และ 10 เมตร สำหรับค่าความลาด 1:1, 1:2 และ 1:2.5 ตามลำดับซึ่งมีค่าสัดส่วนปลอดภัยเท่ากับ 1.126, 1.046 และ 1.066

ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนความปลอดภัยจากข้อมูลหลุมสำรวจที่ 2

Boring No.	Slope	L	F.S.
BH- 2	1 ต่อ 1	1.5	0.821
		3.5	0.872
		6.5	0.872
		10	0.871
		12	0.872
		14	0.872
		16	0.872
		1.5	0.842
		3.5	0.895
		6.5	0.956
BH- 2	1 ต่อ 2	10	0.956
		12	0.956
		14	0.956
		16	0.956
		1.5	0.846
		3.5	0.904
BH- 2	1 ต่อ 2.5	6.5	1.018
		10	1.027
		12	1.027
		14	1.027
		16	1.027

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 สำหรับหลุมเจาะสำรวจที่ 2 จะได้ค่าระยะร่นถอยของคันดินในแต่ละความลาดชันที่ทำให้ค่าสัดส่วนปลอดภัยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.5, 6.5 และ 10 เมตร สำหรับค่าความลาด 1:1, 1:2 และ 1:2.5 ตามลำดับซึ่งมีค่าสัดส่วนปลอดภัยเท่ากับ 0.872, 0.956 และ 1.027

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนความปลอดภัยจากข้อมูลหลุมสำรวจที่ 3

Boring No.	Slope	L	F.S.
BH-3	1 ต่อ 1	1.5	0.59
		3.5	0.651
		6.5	0.651
		10	0.651
		12	0.651
		14	0.651
		16	0.651
BH-3	1 ต่อ 2	1.5	0.735
		3.5	0.753
		6.5	0.753
		10	0.753
		12	0.753
		14	0.753
		16	0.753
BH-3	1 ต่อ 2.5	1.5	0.791
		3.5	0.808
		6.5	0.808
		10	0.808
		12	0.808
		14	0.808

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 สำหรับหลุมเจาะสำรวจที่ 3 จะได้ค่าระยะร่นถอยของคันดินในแต่ละความลาดชันที่ทำให้ค่าสัดส่วนปลอดภัยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.5, 3.5 และ 3.5 เมตร สำหรับค่าความลาด 1:1, 1:2 และ 1:2.5 ตามลำดับซึ่งมีค่าสัดส่วนปลอดภัยเท่ากับ 0.651, 0.763 และ 0.808

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนความปลอดภัยจากข้อมูลหลุมสำรวจที่ 4

Boring No.	Slope	L	F.S.
BH-4	1 ต่อ 1	1.5	0.61
		3.5	0.61
		6.5	0.61
		10	0.61
		12	0.61
		14	0.61
		16	0.61
	1 ต่อ 2	1.5	0.756
		3.5	0.778
		6.5	0.778
		10	0.778
		12	0.778
		14	0.778
	1 ต่อ 2.5	1.5	0.761
		3.5	0.814
		6.5	0.873
		10	0.87
		12	0.87
		14	0.87
		16	0.87

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 สำหรับหลุมเจาะสำรวจที่ 4 จะได้ค่าระยะร่นถอยของคั่นดินในแต่ละความลาดชันที่ทำให้ค่าสัดส่วนปลอดภัยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.5, 3.5 และ 6.5 เมตร สำหรับค่าความลาด 1:1, 1:2 และ 1:2.5 ตามลำดับซึ่งมีค่าสัดส่วนปลอดภัยเท่ากับ 0.61, 0.778 และ 0.873

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนความปลอดภัยจากข้อมูลหลุมสำรวจที่ 5

Boring No.	Slope	L	F.S.
BH-5	1 ต่อ 1	1.5	0.738
		3.5	0.852
		6.5	0.887
		10	0.887
		12	0.887
		14	0.887
		16	0.887
	1 ต่อ 2	1.5	0.817
		3.5	0.881
		6.5	0.981
		10	1.02
		12	1.02
		14	1.02
		16	1.02
1 ต่อ 2.5	1.5	0.835	
	3.5	0.89	
	6.5	0.909	
	10	1.058	
	12	1.058	
	14	1.058	

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 4.5 สำหรับหลุมเจาะสำรวจที่ 5 จะได้ค่าระยะร่นถอยของคันดินในแต่ละความลาดชันที่ทำให้ค่าสัดส่วนปลอดภัยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.5, 10 และ 10 เมตร สำหรับค่าความลาด 1:1, 1:2 และ 1:2.5 ตามลำดับซึ่งมีค่าสัดส่วนปลอดภัยเท่ากับ 0.887, 1.020 และ 1.058

จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม KUSlope ทั้งหมด 5 หลุมสำรวจสามารถหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความปลอดภัยกับระยะร่นถอยที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าสัดส่วนปลอดภัยเป็นค่าสูงสุดในแต่ละหลุมเจาะสำรวจได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.6 แสดงผลค่าระยะล่นถอยที่น้อยที่สุดที่ทำให้สัดส่วนความปลอดภัยมากที่สุดของแต่ละหลุมสำรวจ

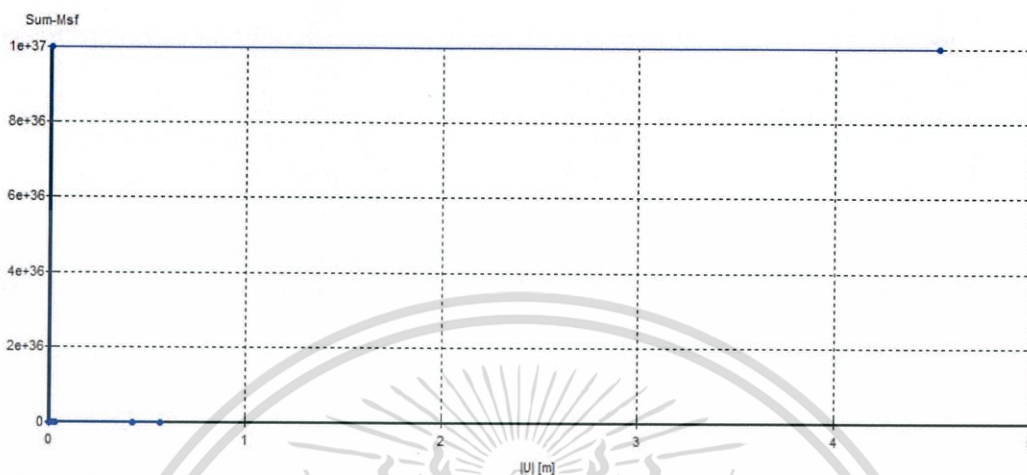
Boring No.	Slope	L (m.)	F.S.
BH-1	1:1	12	1.126
	1:2	10	1.046
	1:2.5	10	1.066
BH-2	1:1	3.5	0.872
	1:2	6.5	0.956
	1:2.5	10	1.027
BH-3	1:1	3.5	0.651
	1:2	3.5	0.753
	1:2.5	3.5	0.808
BH-4	1:1	1.5	0.61
	1:2	3.5	0.778
	1:2.5	6.5	0.873
BH-5	1:1	6.5	0.887
	1:2	10	1.02
	1:2.5	10	1.058

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม KUslope 2.1 ออกมาเป็นตารางรวมของแต่ละหลุมเจาะสำรวจที่มีค่าระยะล่นถอยที่ทำให้ได้ค่าสัดส่วนปลอดภัยสูงที่สุดจากแต่ละค่าความลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยโปรแกรม Plaxis ver.8.6

จากข้อมูลดิน ผู้ศึกษาได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis ได้ผลสรุปของอัตราส่วนความปลอดภัยดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูป 4.6 กราฟแสดงผลค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่ได้จากโปรแกรม Plaxis

จากรูปที่ 4.6 เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสำรวจชั้นที่บ่อสำรวจนั้น ไม่เพียงพอต่อความต้องการของโปรแกรม เช่น ค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในดิน (Permeability), ค่าอีลาสติกโมดูลัสของดิน (Elastic Young modulus) ฯลฯ จึงทำให้ผู้ศึกษาจำเป็นต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่หายไปจากการอ้างอิงแหล่งข้อมูลดินทั่วไปในอินเทอร์เน็ตจึงทำให้ค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่ได้มาเกิดความผิดพลาดสูง

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษา

#### 5.1 สรุปผลการวิเคราะห์

จากผลการทดลองกรณีศึกษาค่าสัดส่วนปลอดภัยของลาดคันดินในนิคมอุตสาหกรรมเอเชียสุวรรณภูมิ สมุทรปราการ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการทำให้การสร้างคันดินใกล้กับบ่อหนองน้ำมีความปลอดภัยเพียงพอคือค่าความลาดของคันดินและค่าระยะร่นถอยที่เพียงพอที่จะทำให้ได้ค่าสัดส่วนปลอดภัยสูงสุดโดยไม่คิดผลกระทบเนื่องจากแรงภายนอกและน้ำในบ่อหนองน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและความแข็งแรงของดินเฉพาะจุดที่ทำการก่อสร้าง จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม KUslope 2.1 ของแต่ละหลุมเจาะสำรวจมีค่าความลาดเท่ากับ 1:1, 1:2 และ 1:2.5 จะให้ค่าสัดส่วนปลอดภัยสูงสุดดังนี้

สำหรับหลุมเจาะสำรวจที่ 1 เท่ากับ 1.126, 1.046 และ 1.066 ที่ระยะร่นถอยของคันดินเท่ากับ 12 เมตร 10 เมตร และ 10 เมตร ตามลำดับ

สำหรับหลุมเจาะสำรวจที่ 2 เท่ากับ 0.872, 0.956 และ 1.027 ที่ระยะร่นถอยของคันดินเท่ากับ 3.5 เมตร 6.5 เมตร และ 10 เมตร ตามลำดับ

สำหรับหลุมเจาะสำรวจที่ 3 เท่ากับ 0.651, 0.763 และ 0.808 ที่ระยะร่นถอยของคันดินเท่ากับ 3.5 เมตร 3.5 เมตร และ 3.5 เมตร ตามลำดับ

สำหรับหลุมเจาะสำรวจที่ 4 เท่ากับ 0.61, 0.778 และ 0.873 ที่ระยะร่นถอยของคันดินเท่ากับ 1.5 เมตร 3.5 เมตร และ 6.5 เมตร ตามลำดับ

สำหรับหลุมเจาะสำรวจที่ 5 เท่ากับ 0.887, 1.020 และ 1.058 ที่ระยะร่นถอยของคันดินเท่ากับ 6.5 เมตร 10 เมตร และ 10 เมตร ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าความลาดมีค่ามากขึ้นจะต้องวางคันดินให้ห่างจากบ่อหนองน้ำไกลขึ้น แต่ที่ระยะเดียวกันสำหรับทุกหลุมเจาะสำรวจตามตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.5 ที่ค่าความลาดมีค่าเท่ากับ 1:1, 1:2 และ 1:2.5 จะได้ค่าสัดส่วนปลอดภัยซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น แต่จากกรณีศึกษาจะพบว่าจากค่าสัดส่วนความปลอดภัยสูงสุดของแต่ละหลุมสำรวจและระยะร่นถอย พบว่าค่าความปลอดภัยไม่ถึง 1.2 (F.S.allowable) เนื่องจากในสภาพหน้างานจริง ณ ตอนเจาะหลุมสำรวจลาดดินได้เกิดการพิบัติไปแล้ว จึงส่งผลให้ข้อมูลดินที่ได้มาเป็นข้อมูลดินเป็นข้อมูลของดินชนิดถูกรบกวนแล้ว (Disturbed)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

เนื่องจากข้อมูลของดินที่ทำการเจาะสำรวจมานั้นมีค่าพารามิเตอร์ไม่เพียงพอต่อความต้องการของโปรแกรมผนวกกับผู้ทำการทดลองมีความเข้าใจในการใช้โปรแกรม Plaxis 8.6 ในระดับพื้นฐาน ส่งผลให้การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอย่างมากจึงไม่สามารถสรุปผลออกมาได้

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

(1) การวิเคราะห์และสรุปผลจากการวิเคราะห์โปรแกรม Plaxis 8.6 นั้นสามารถทำได้ยาก เนื่องจากข้อมูลดินที่ได้จากการเจาะสำรวจดินนั้นมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของโปรแกรมทำให้ผู้ทำการวิเคราะห์นั้นต้องอ้างอิงข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆของดินจากอินเทอร์เน็ตจึงทำให้ผลการวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนอย่างมากและไม่สามารถสรุปออกมาได้

(2) ค้นดินที่ทำการวิเคราะห์ในโครงการวิจัยนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆอีกมากมายที่มีผลต่อค่าสัดส่วนปลอดภัยที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งสองโปรแกรม หากผู้ใดต้องการนำงานวิจัยชิ้นนี้ไปต่อยอดหรือศึกษาต่อก็ควรจะวิเคราะห์เพิ่มในส่วนของผลกระทบอื่นๆที่มีผลต่อค่าสัดส่วนปลอดภัยเช่น ผลกระทบจากแรงภายนอกไม่ว่าจะเป็น แรงกระทำต่อคันดินที่คงที่ หรือ แรงกระทำเนื่องจากแผ่นดินไหว ผลกระทบเนื่องจากการลดลงของน้ำอย่างรวดเร็ว เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อมและธรณีพิบัติภัย กรมทรัพยากรธรณี. สืบค้นจาก [http://www.dmr.go.th/download/Landslide/what\\_landslide1.htm](http://www.dmr.go.th/download/Landslide/what_landslide1.htm)
- [2] Abbott (2004). Rotational and Translational Landslides. Retrieved from <http://people.uwec.edu/jolhm/EH/Beaver/rotational.htm>
- [3] ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธากุล, “คู่มือวิศวกรรมฐานราก” National Library of Thailand Cataloging in Publication Data (2558).
- [4] Fellenius (1927). Slope Staibility overview. Retrieved from <http://www.soilvision.com/downloads/docs/pdf/research/SLOPE%20STABILITY%20OVERVIEW.pdf>
- [5] Bishop (1955). Bishop’s Simplified Method of Slices. The stability of slopes. Retrieved from [https://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj-0on314rUAhWDP48KHcORA68QFggnMAA&url=http%3A%2F%2Fpeople.eng.unimelb.edu.au%2Fstsy%2Fgeomechanics\\_text%2Fch11\\_Slope.pdf&usq=AFQjCNFKyE4TjWzvnVsn0hRXjlqsKoPgCg&sig2=WRqFFHtBaUs42dHEaENZdQ](https://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj-0on314rUAhWDP48KHcORA68QFggnMAA&url=http%3A%2F%2Fpeople.eng.unimelb.edu.au%2Fstsy%2Fgeomechanics_text%2Fch11_Slope.pdf&usq=AFQjCNFKyE4TjWzvnVsn0hRXjlqsKoPgCg&sig2=WRqFFHtBaUs42dHEaENZdQ)
- [6] Janbu (1954,1973). Slope Stability and Stabilization Methods. Retrived from [https://books.google.co.th/books?id=cOI02OqUCdMC&pg=PA356&lpg=PA356&dq=Janbu+\(1954,1973\)&source=bl&ots=ZR35zY1Knb&sig=RR2K3sHe1VXzqDWzU\\_yWQNb858&hl=th&sa=X&ved=0ahUKEwjZsJ6m2YrUAhULuY8KHR\\_TC5AQ6AEILDAB](https://books.google.co.th/books?id=cOI02OqUCdMC&pg=PA356&lpg=PA356&dq=Janbu+(1954,1973)&source=bl&ots=ZR35zY1Knb&sig=RR2K3sHe1VXzqDWzU_yWQNb858&hl=th&sa=X&ved=0ahUKEwjZsJ6m2YrUAhULuY8KHR_TC5AQ6AEILDAB)
- [7] ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมฐานราก. สืบค้นจาก [http://www.gerd.eng.ku.ac.th/About\\_us/Ab\\_Programs\\_KUSlope.html](http://www.gerd.eng.ku.ac.th/About_us/Ab_Programs_KUSlope.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. สำนักธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อมและธรณีพิบัติภัย กรมทรัพยากรธรณี (2553).ความรู้เกี่ยวกับดินถล่ม:การจำแนกชนิดของดินถล่ม [ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์]
2. Abbott (2004). Rotational and Translational Landslides [Electronic version]
3. ดร.พัลลภ วิสุทธิ์เมธากุล, “คู่มือวิศวกรรมฐานราก” National Library of Thailand Cataloging in Publication Data (2558).
4. Fellenius (1927). Slope Stability overview [Electronic version]
5. Bishop (1955). Bishop’s Simplified Method of Slices: The stability of slopes [Electronic version]
6. Janbu (1954,1973). Slope Stability and Stabilization Methods [Electronic version]
7. ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมฐานราก (2535).โปรแกรม KUslope 2.1 [ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์]
8. รศ.ชินะวัฒน์ มุกตพันธุ์ (2552).ปฐพีกลศาสตร์ (Soil Mechanics).พิมพ์ครั้งที่ 2.ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
9. Finite element method, Retrieved since 16 April 2017, From Wikipedia [https://th.wikipedia.org/wiki/Finite\\_element\\_method](https://th.wikipedia.org/wiki/Finite_element_method)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## สัญลักษณ์

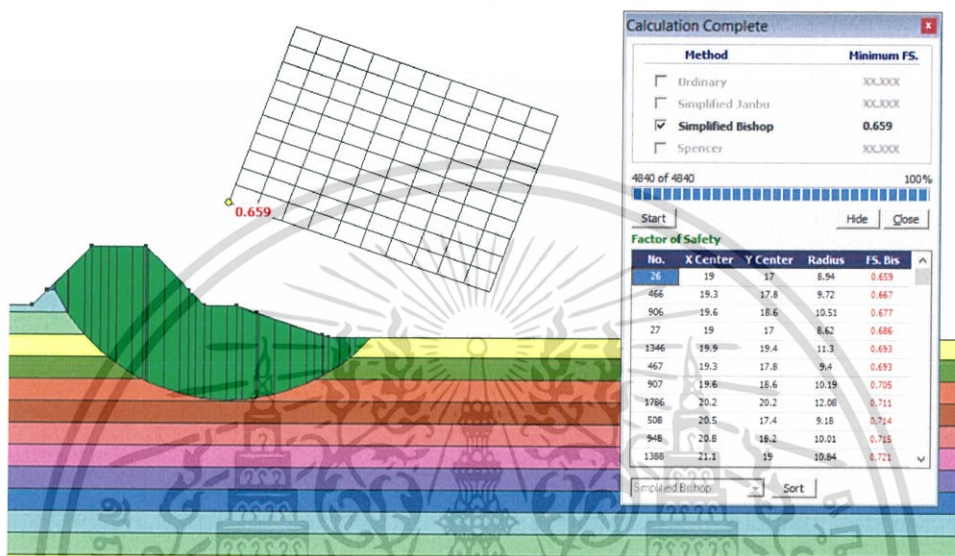
$\emptyset$	=	มุมเสียดทานภายในของดิน
$\emptyset'_r$	=	Residual Friction Angle
$C_u$	=	กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ
FS	=	ค่าสัดส่วนปลอดภัยของลาดดิน
$\delta$	=	ระยะการเคลื่อนตัวของกำแพงเข็มพีตจำลอง
W	=	น้ำหนักของดิน
b	=	ความกว้างของดินที่พิจารณา
H	=	ความสูง
$\gamma_t$	=	หน่วยน้ำหนักรวมของดิน
$\beta$	=	มุมลาดเอียงของลาดดิน
$\tau_f$	=	กำลังรับแรงเฉือนของดินไม่ระบายน้ำ
$C_u$	=	ค่าความเหนียวของดินในสถานะไม่ระบายน้ำ
$\tau_m$	=	หวนแรงต้านทานการเฉือน
$H_{cr}$	=	ความลึกวิกฤต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

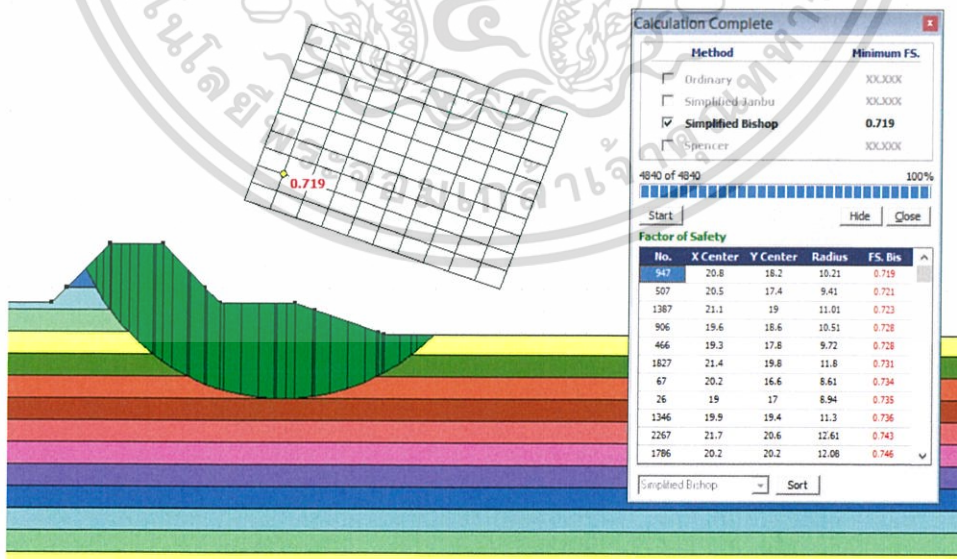
## ภาคผนวก ข

## ผลการวิเคราะห์ลาดดินด้วยโปรแกรม KUslope 2.1

## ข.1 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 1 (Slope 1:1)

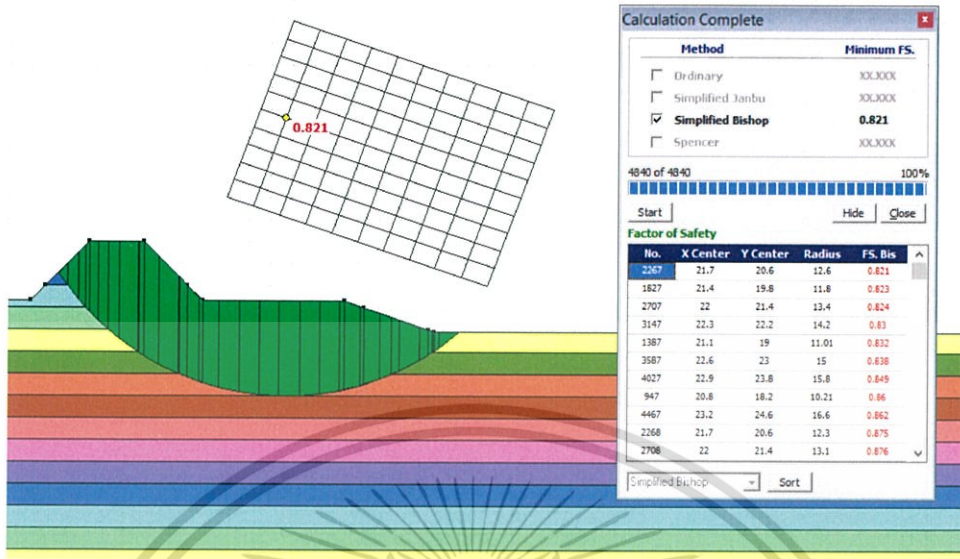


รูป ข.1 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 1.5 เมตร

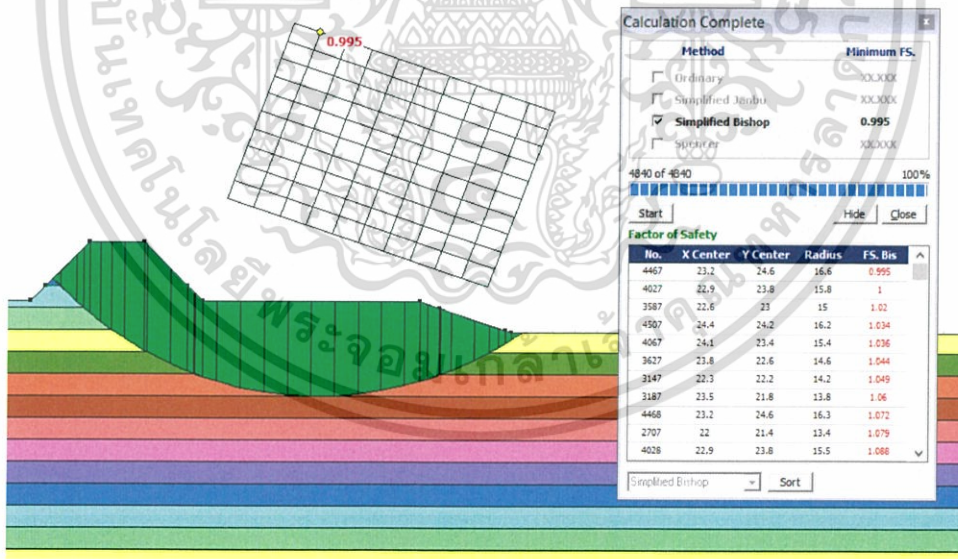


รูป ข.2 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



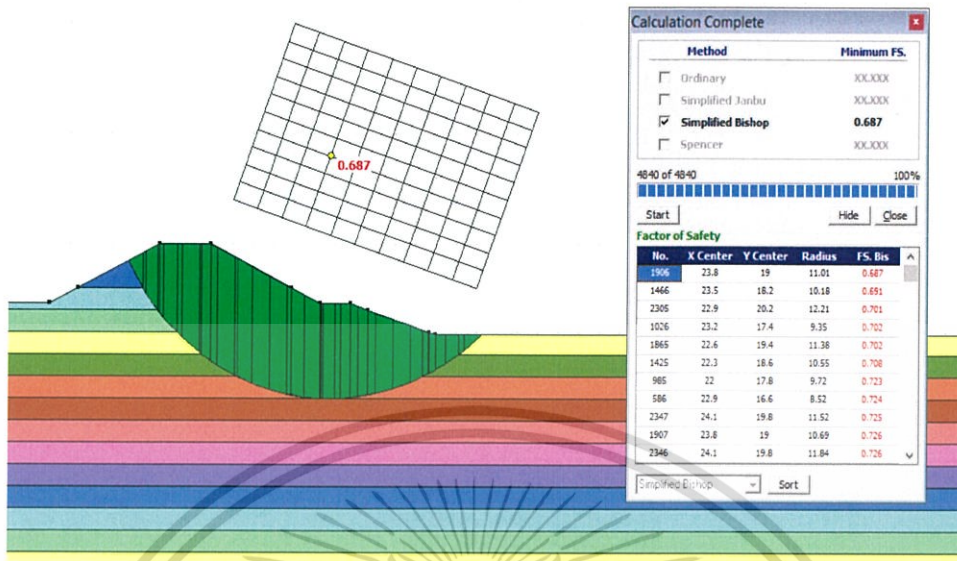
รูป ข.3 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 6.5 เมตร



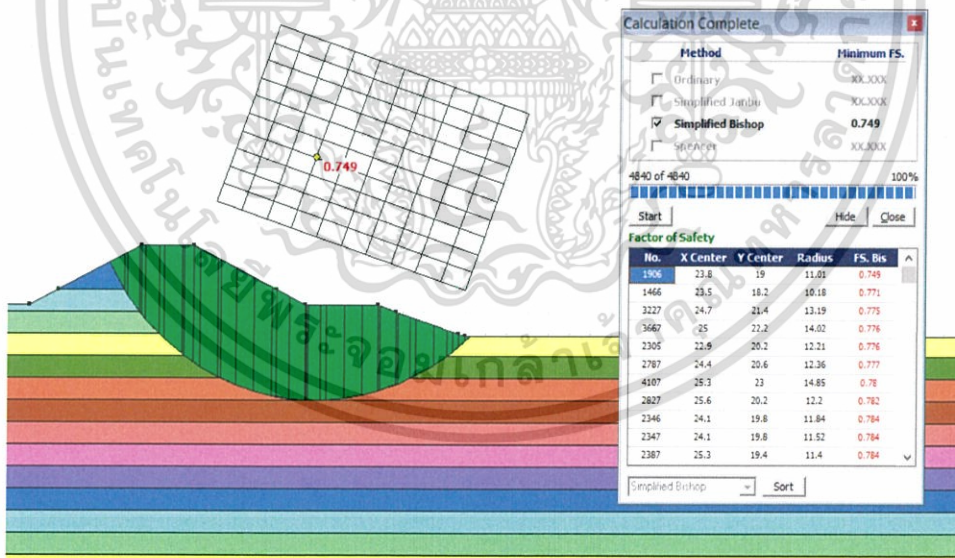
รูป ข.4 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข.2 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 1 (Slope 1:2)

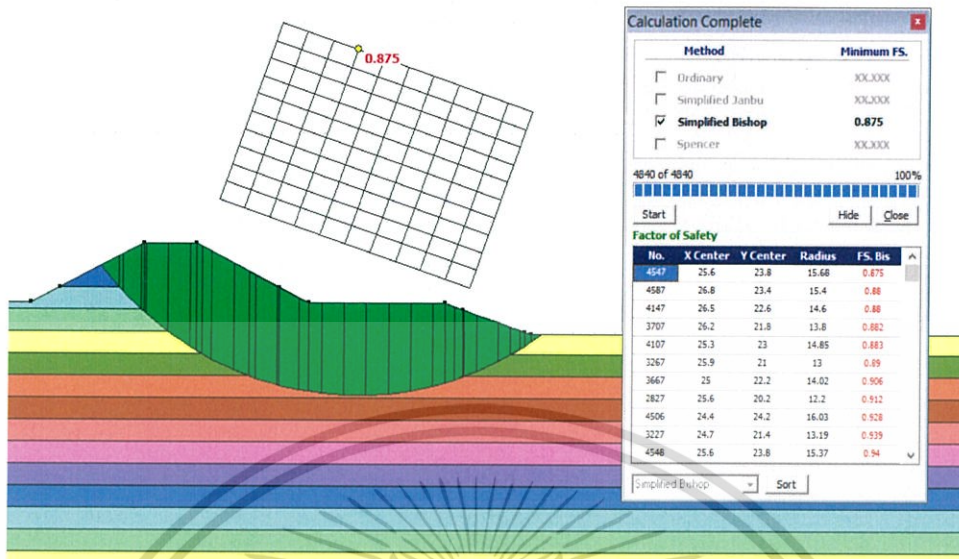


รูป ข.5 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 1.5 เมตร

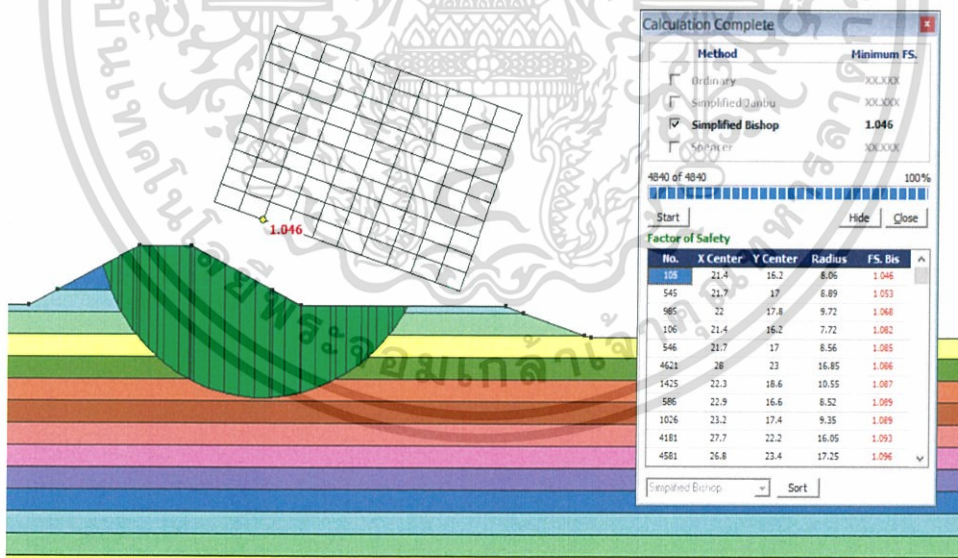


รูป ข.6 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



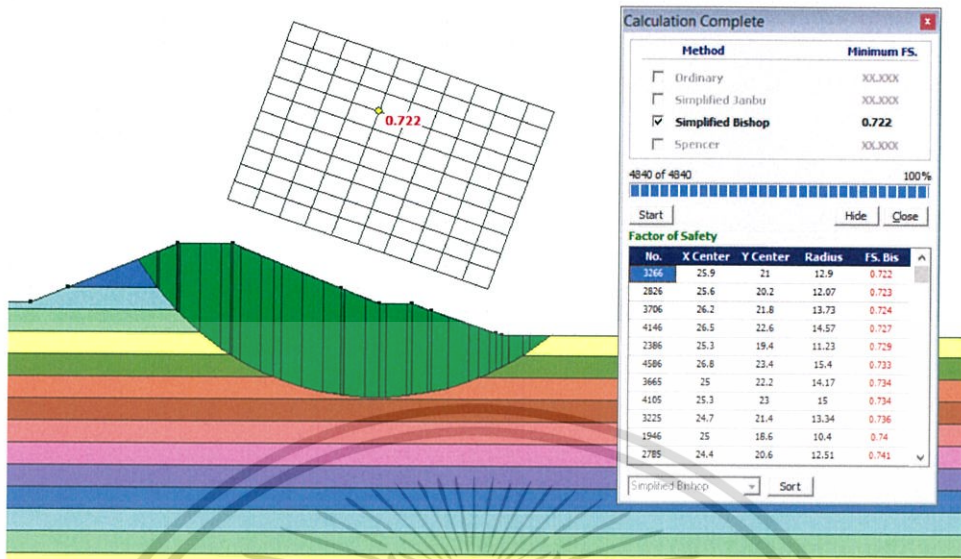
รูป ข.7 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 6.5 เมตร



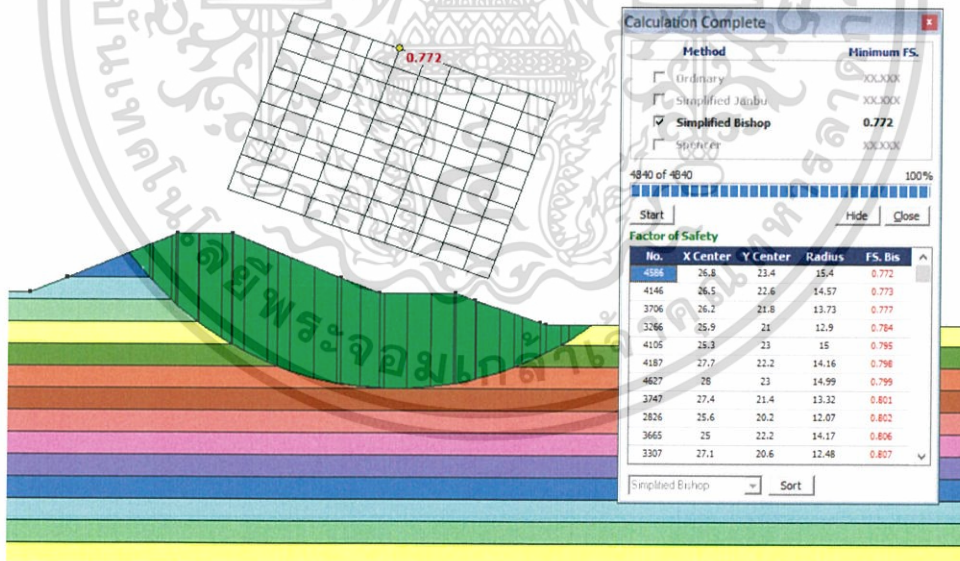
รูป ข.8 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข.3 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 1 (Slope 1:2.5)

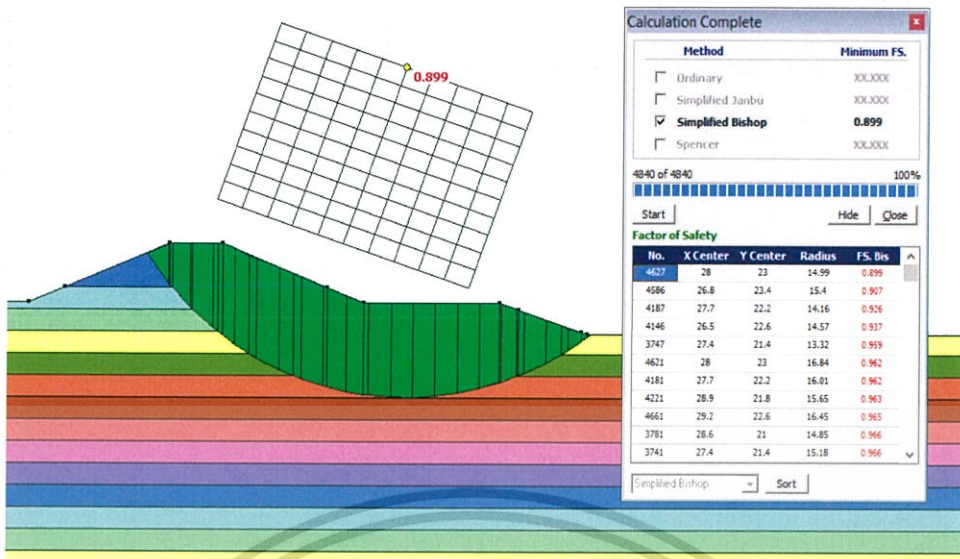


รูป ข.9 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 1.5 เมตร

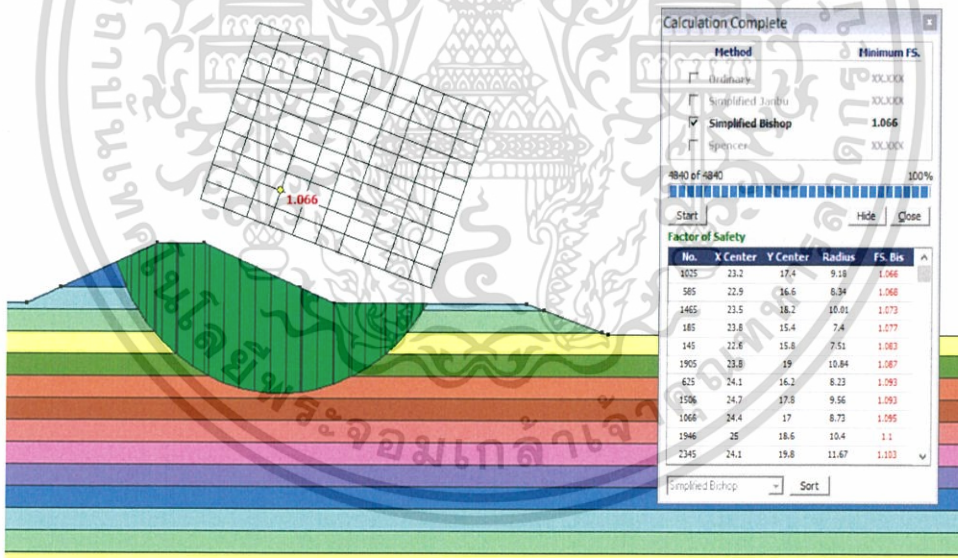


รูป ข.10 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



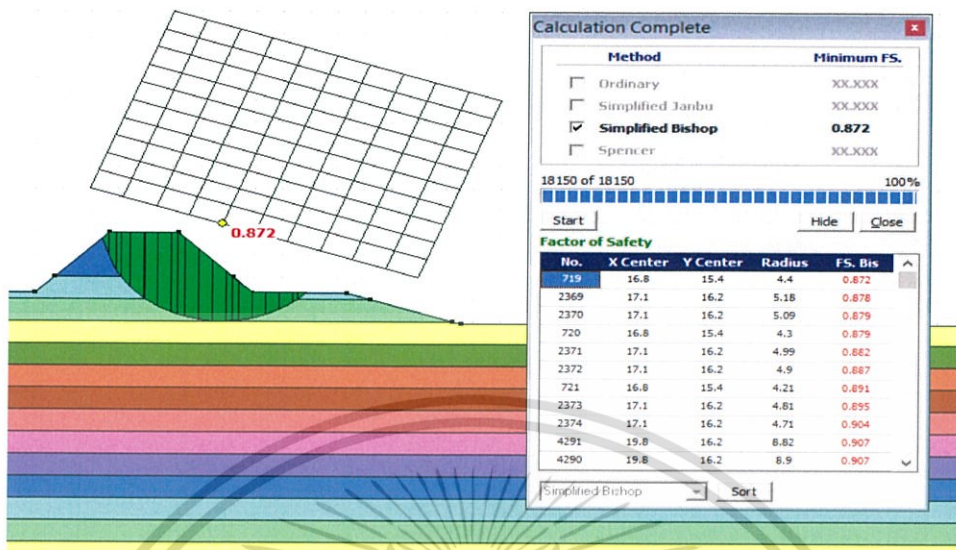
รูป ข.11 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 6.5 เมตร



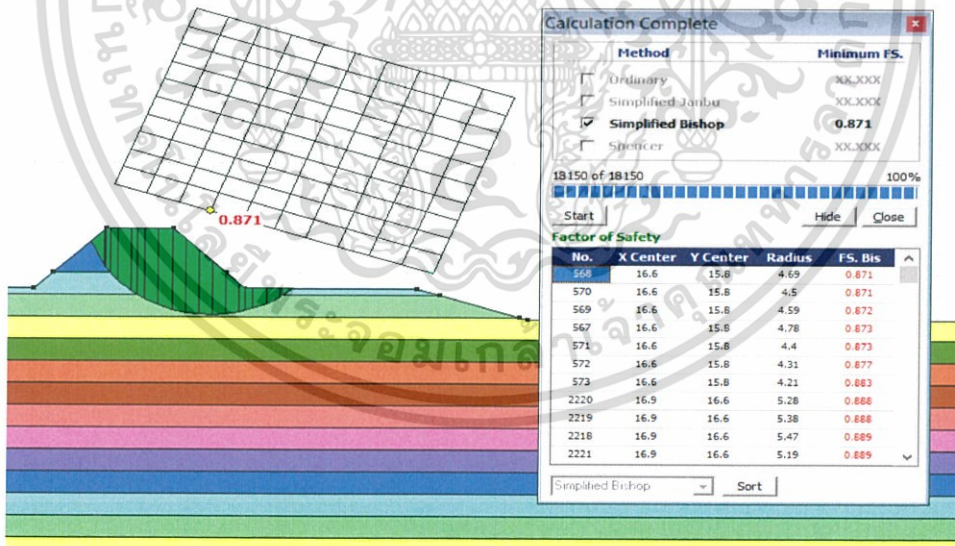
รูป ข.12 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.4 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 2 (Slope 1:1)

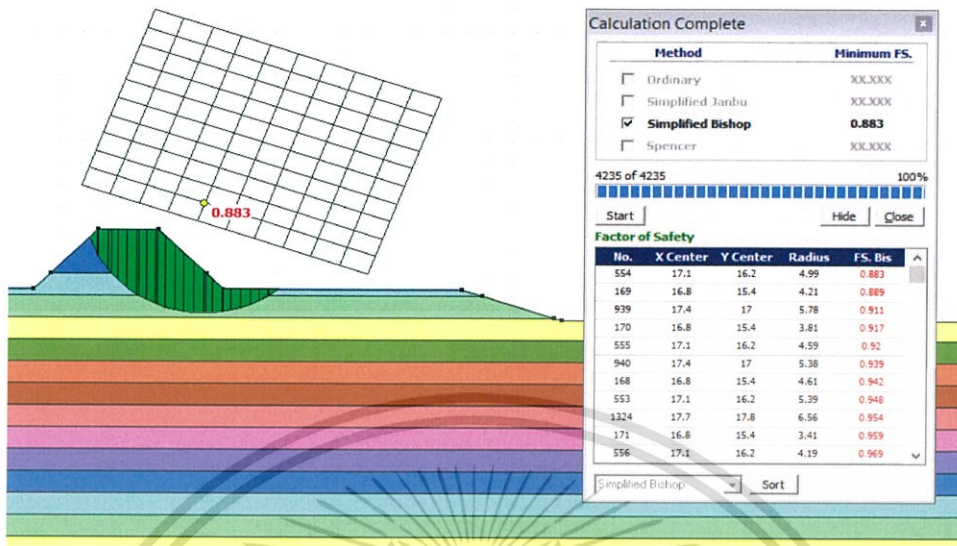


รูป ข.13 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะรัศมีของดินถมเท่ากับ 1.5 เมตร

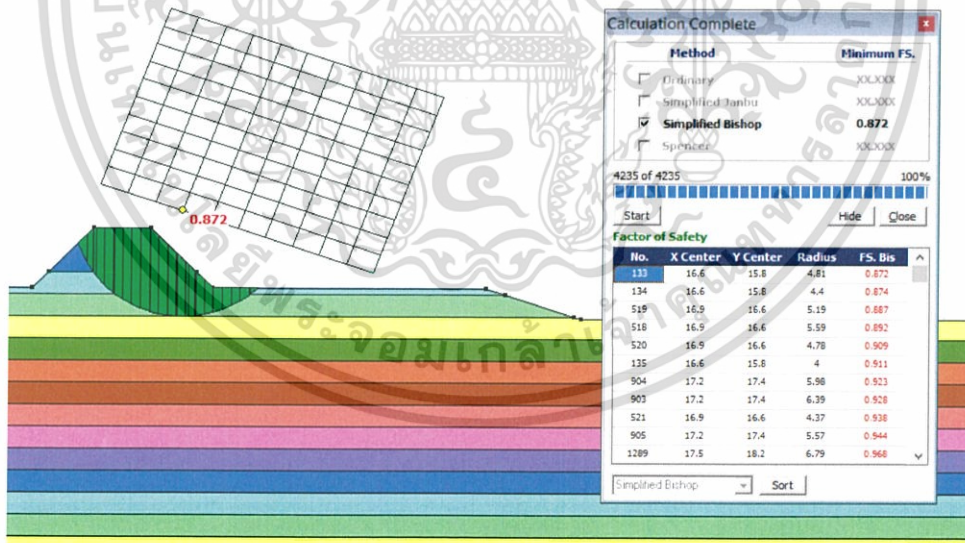


รูป ข.14 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะรัศมีของดินถมเท่ากับ 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



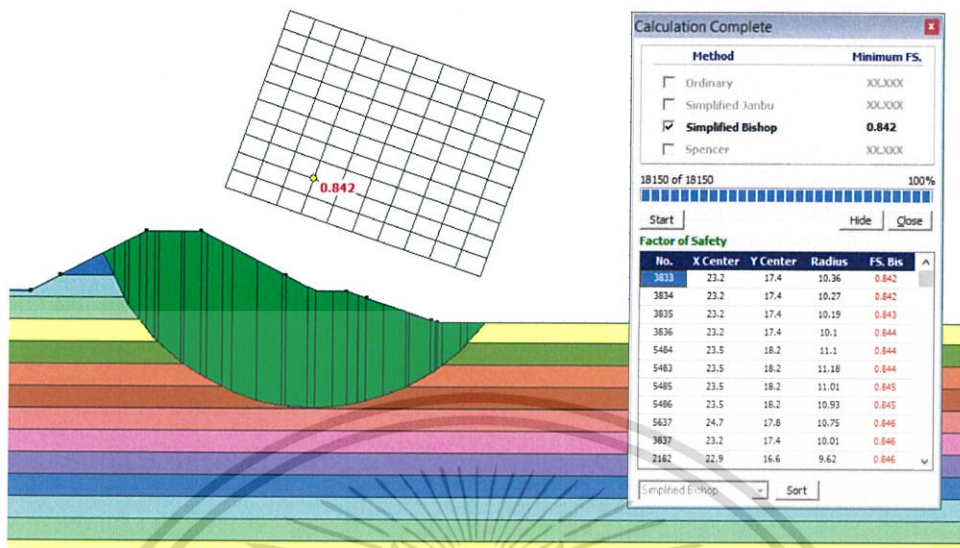
รูป ข.15 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 6.5 เมตร



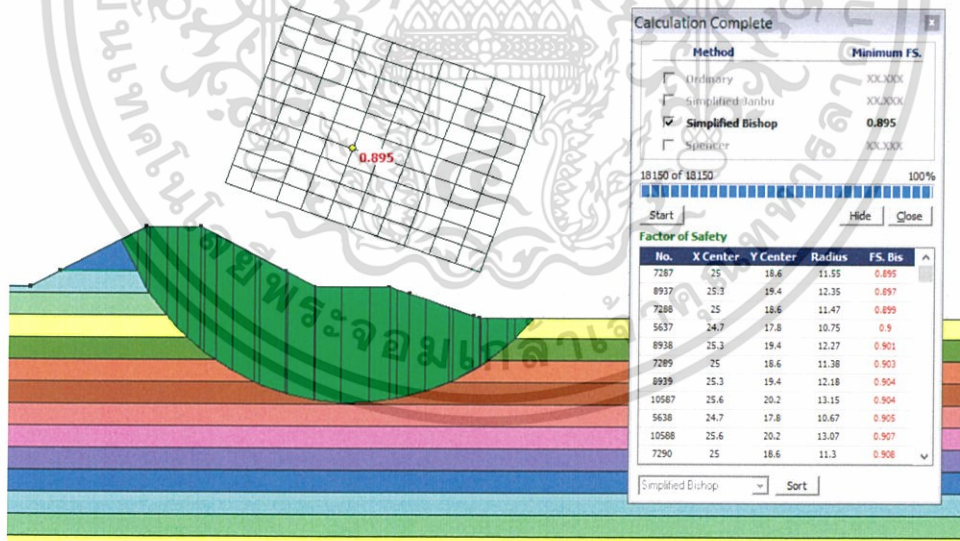
รูป ข.16 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.5 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 2 (Slope 1:2)

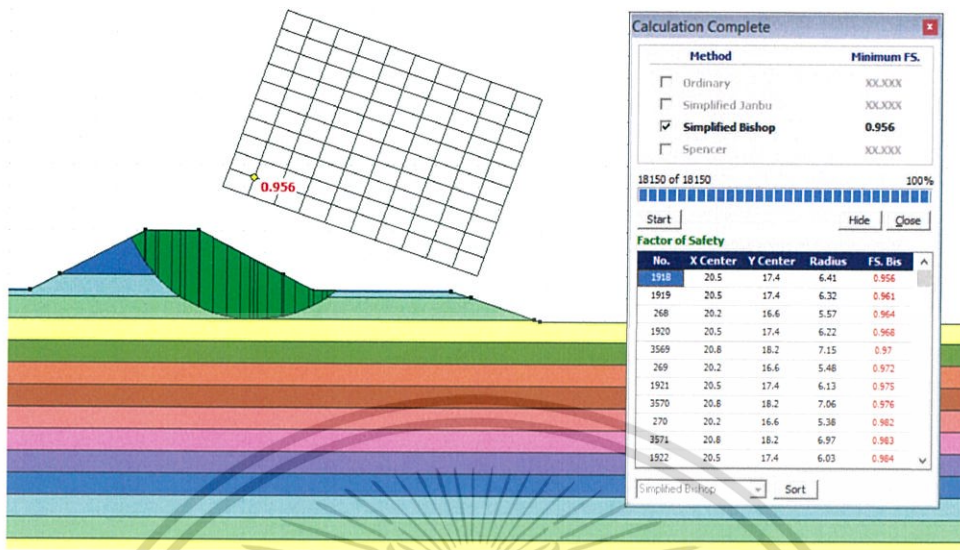


รูป ข.17 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 1.5 เมตร

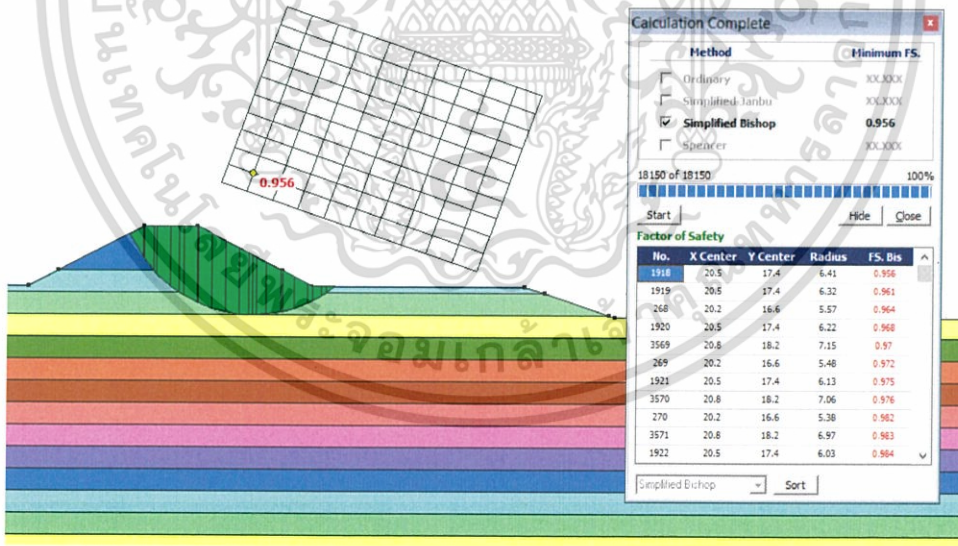


รูป ข.18 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



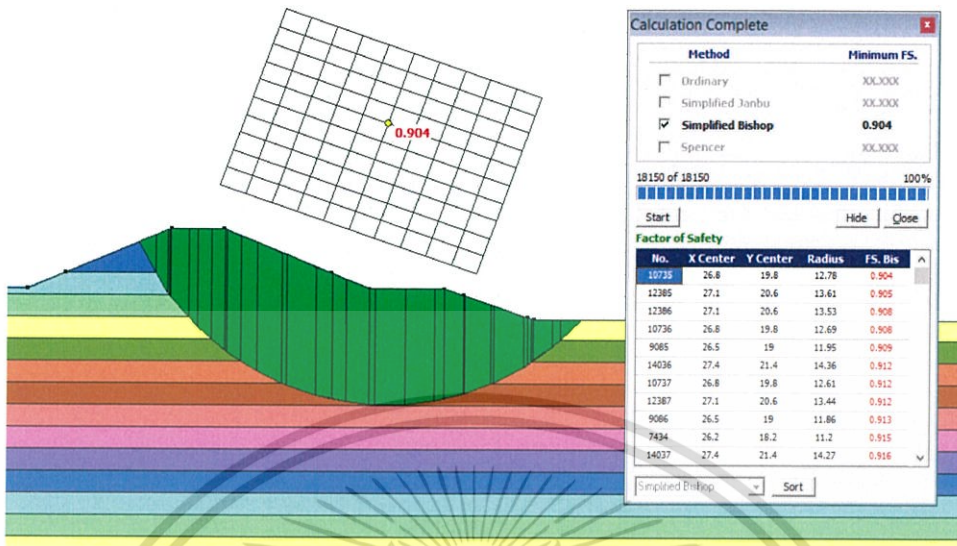
รูป ข.19 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 6.5 เมตร



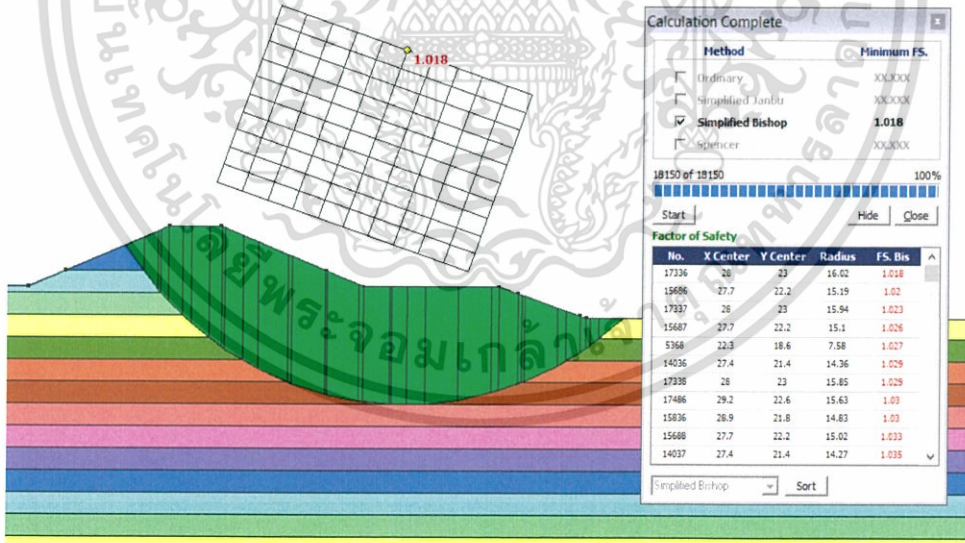
รูป ข.20 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข.6 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 2 (Slope 1:2.5)

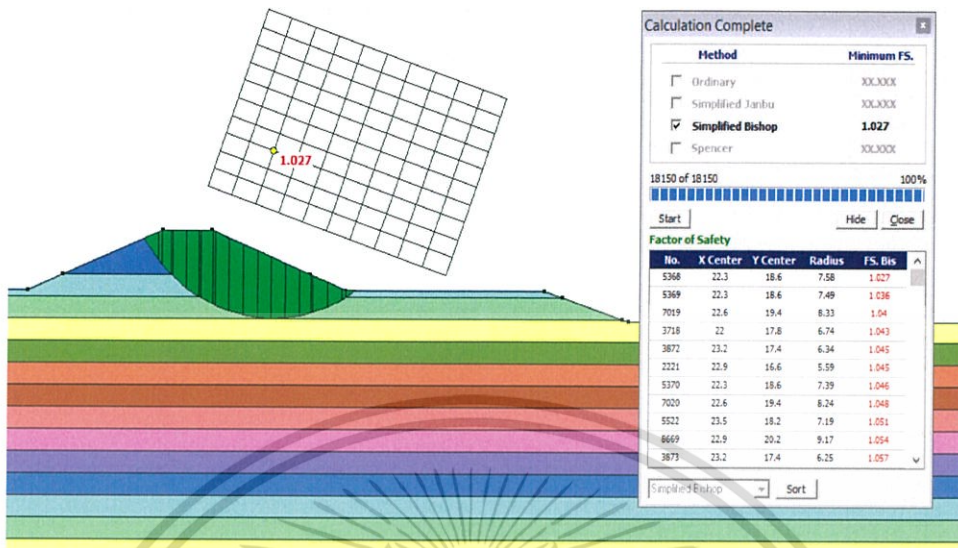


รูป ข.21 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะรัศมีของดินถล่มเท่ากับ 1.5 เมตร

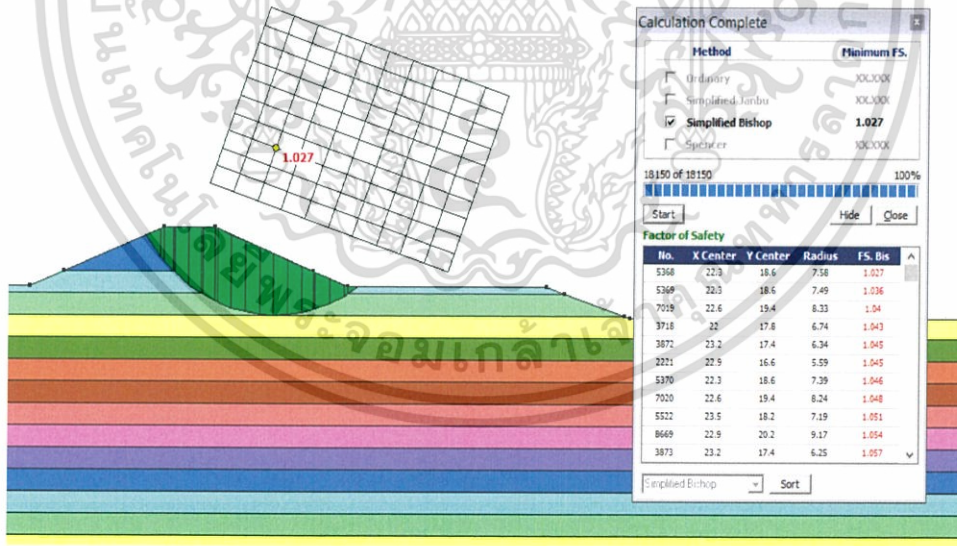


รูป ข.22 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะรัศมีของดินถล่มเท่ากับ 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



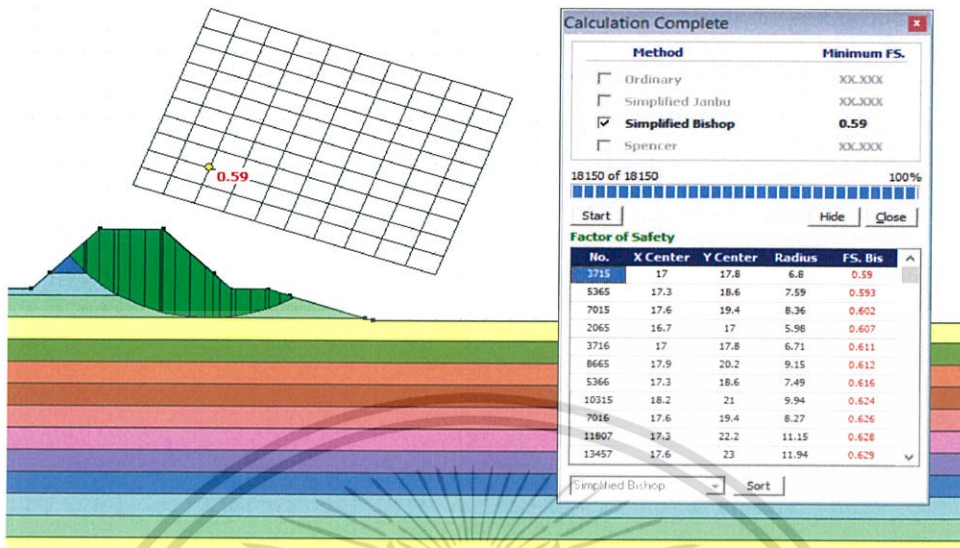
รูป ข.23 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 6.5 เมตร



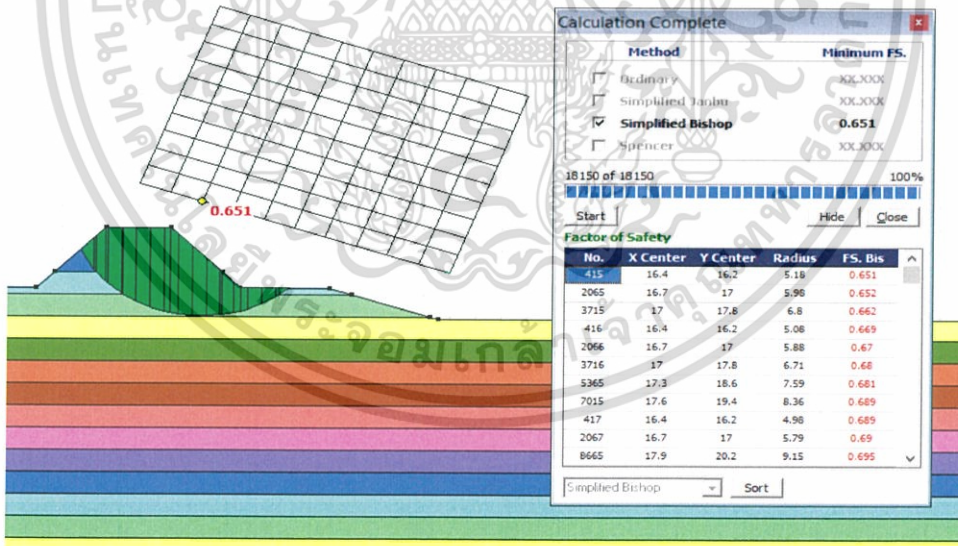
รูป ข.24 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.7 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 3 (Slope 1:1)

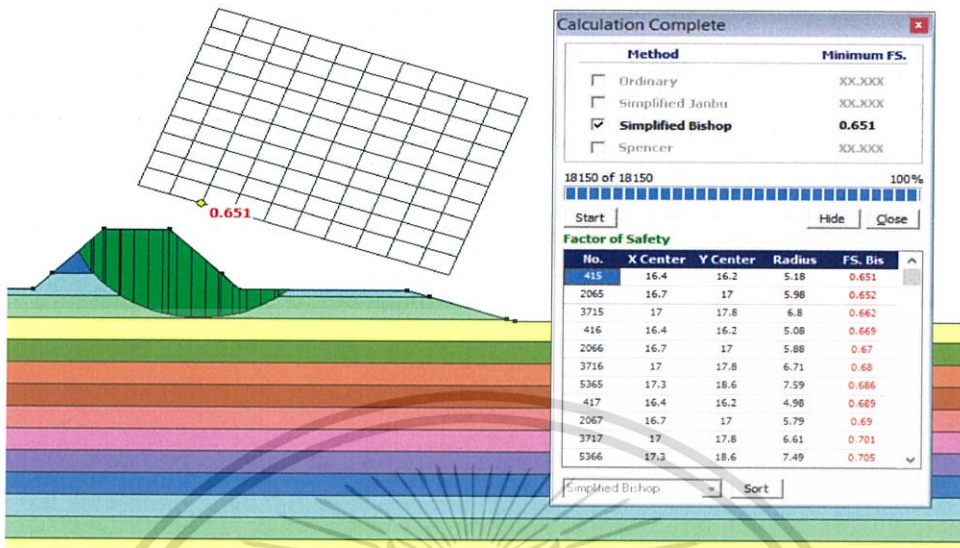


รูป ข.25 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะรัศมีของดินถมเท่ากับ 1.5 เมตร

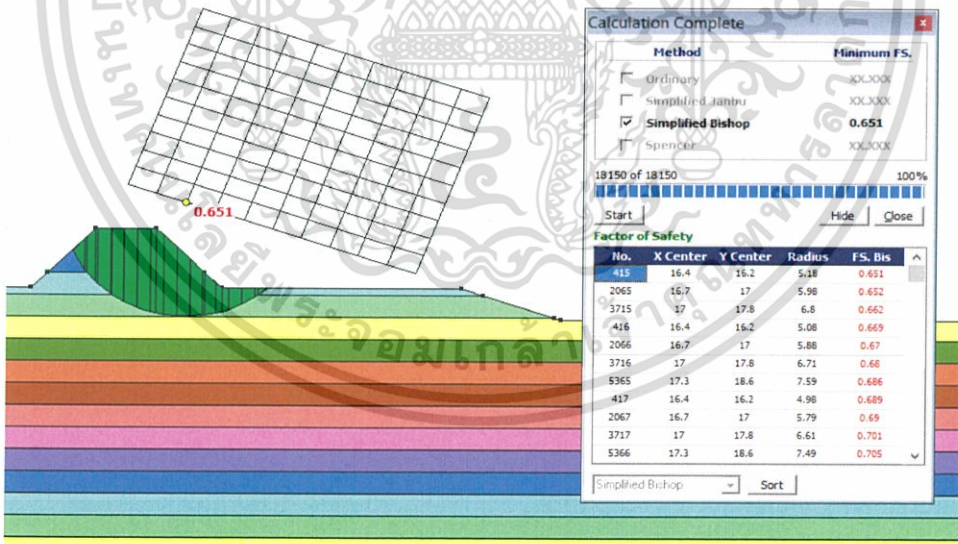


รูป ข.26 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะรัศมีของดินถมเท่ากับ 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



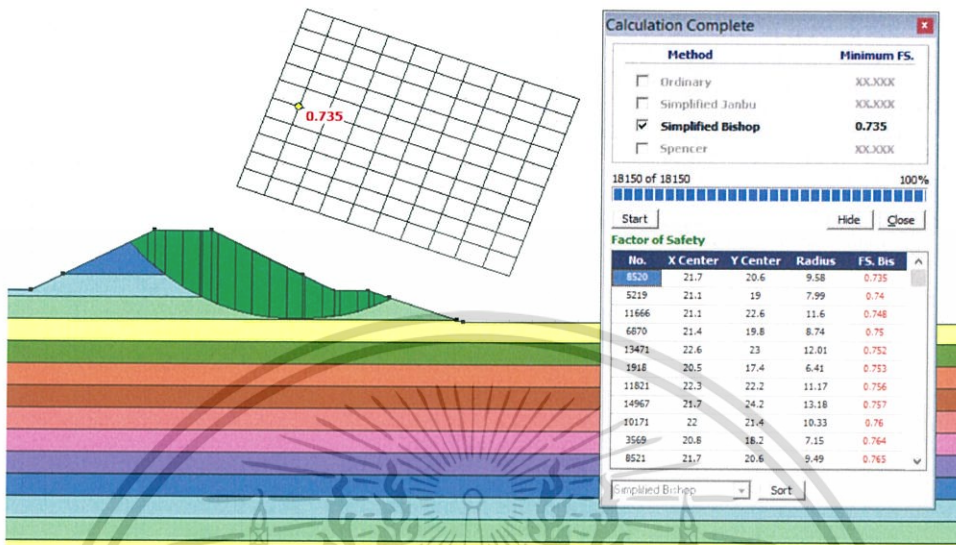
รูป ข.27 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 6.5 เมตร



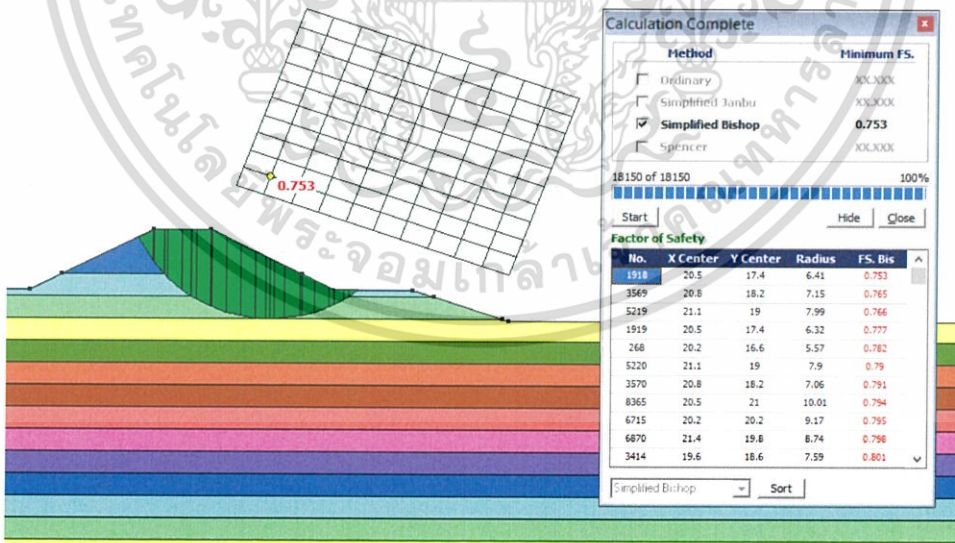
รูป ข.28 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข.8 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 3 (Slope 1:2)

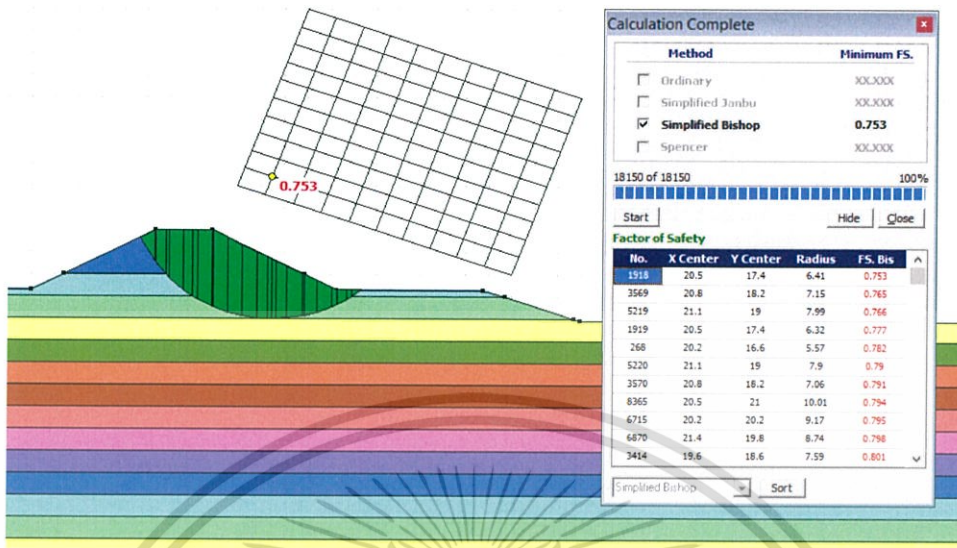


รูป ข.29 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 1.5 เมตร

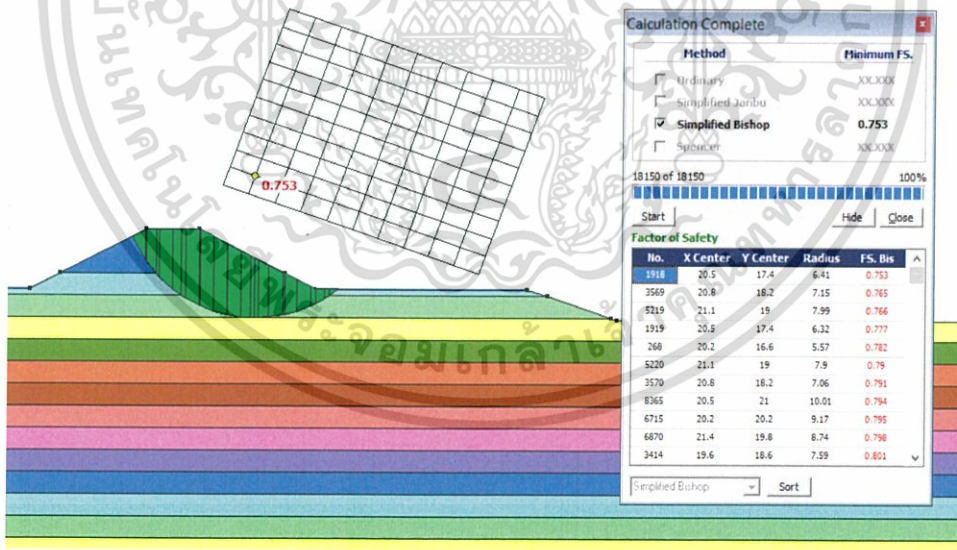


รูป ข.30 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



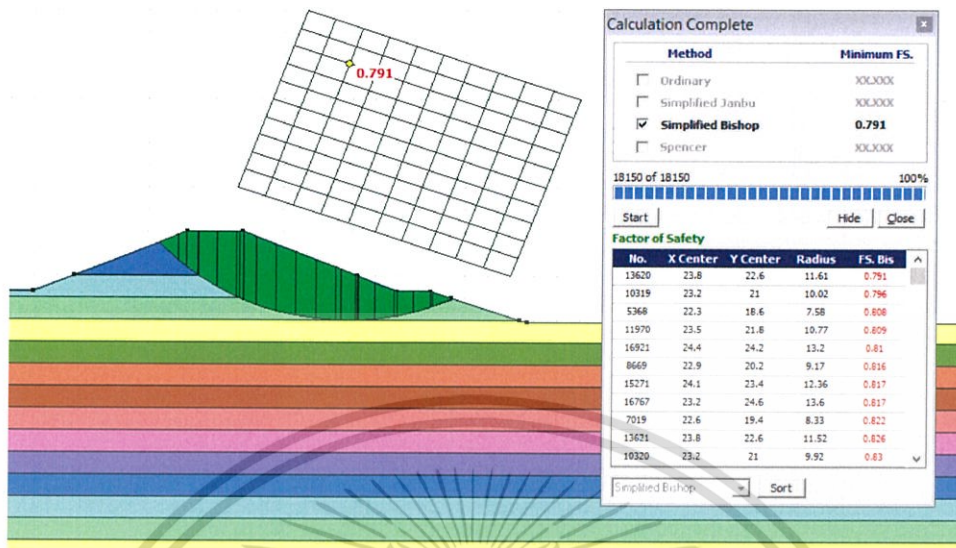
รูป ข.31 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 6.5 เมตร



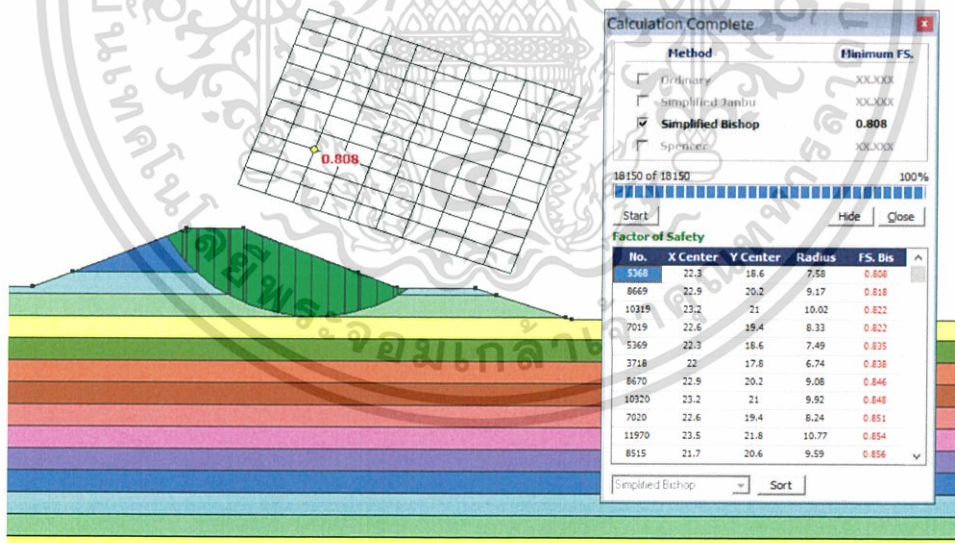
รูป ข.32 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.9 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 3 (Slope 1:2.5)

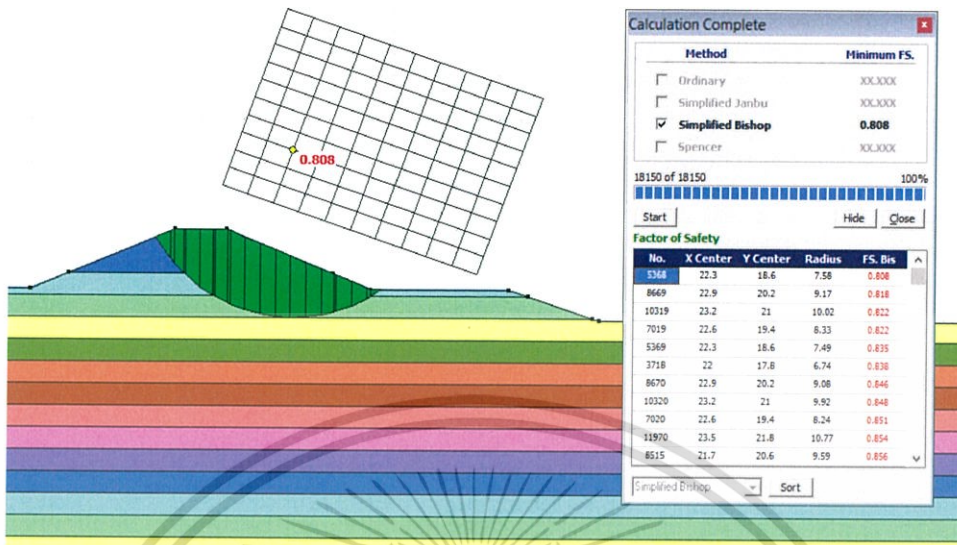


รูป ข.33 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 1.5 เมตร

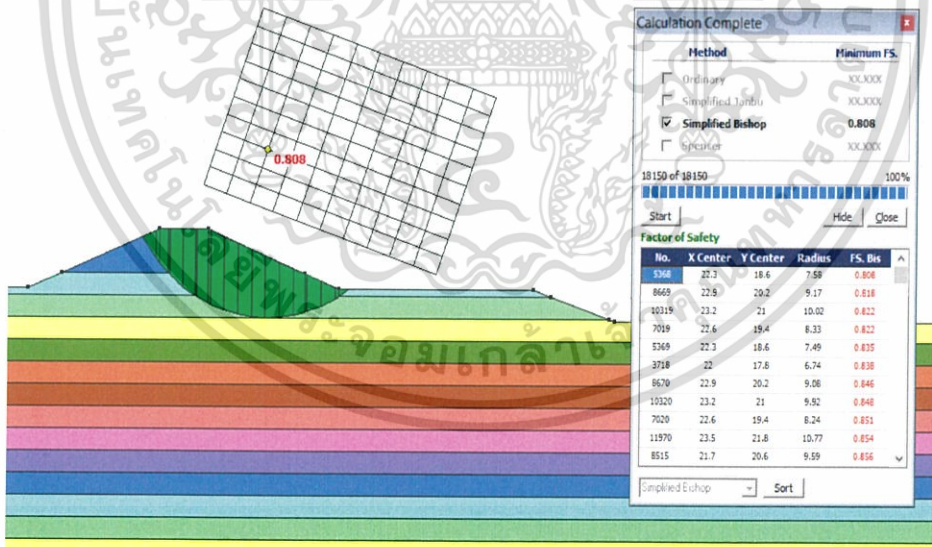


รูป ข.34 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.35 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 6.5 เมตร



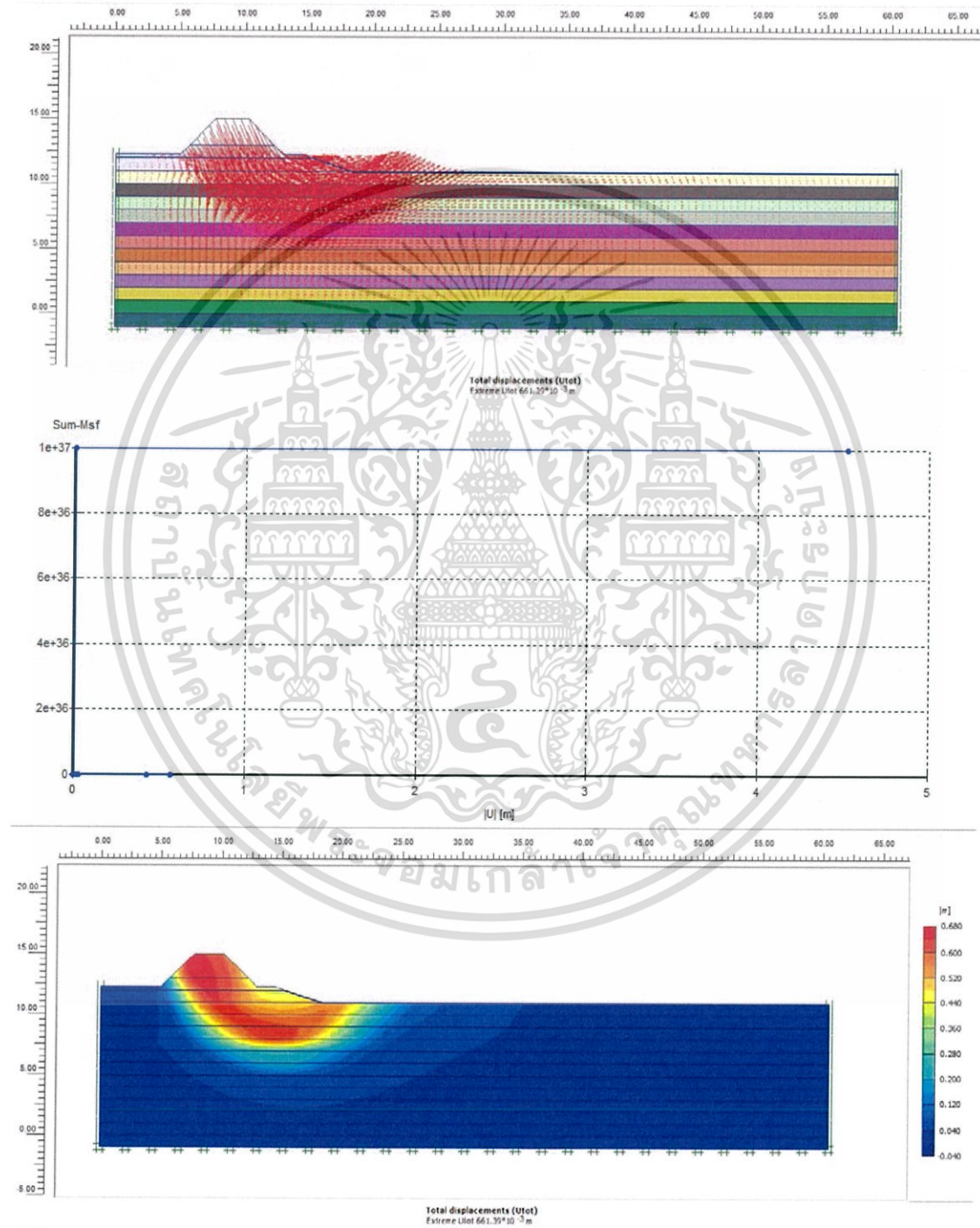
รูป ข.36 ค่าสัดส่วนปลอดภัยเมื่อระยะร่นถอยของดินถมเท่ากับ 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

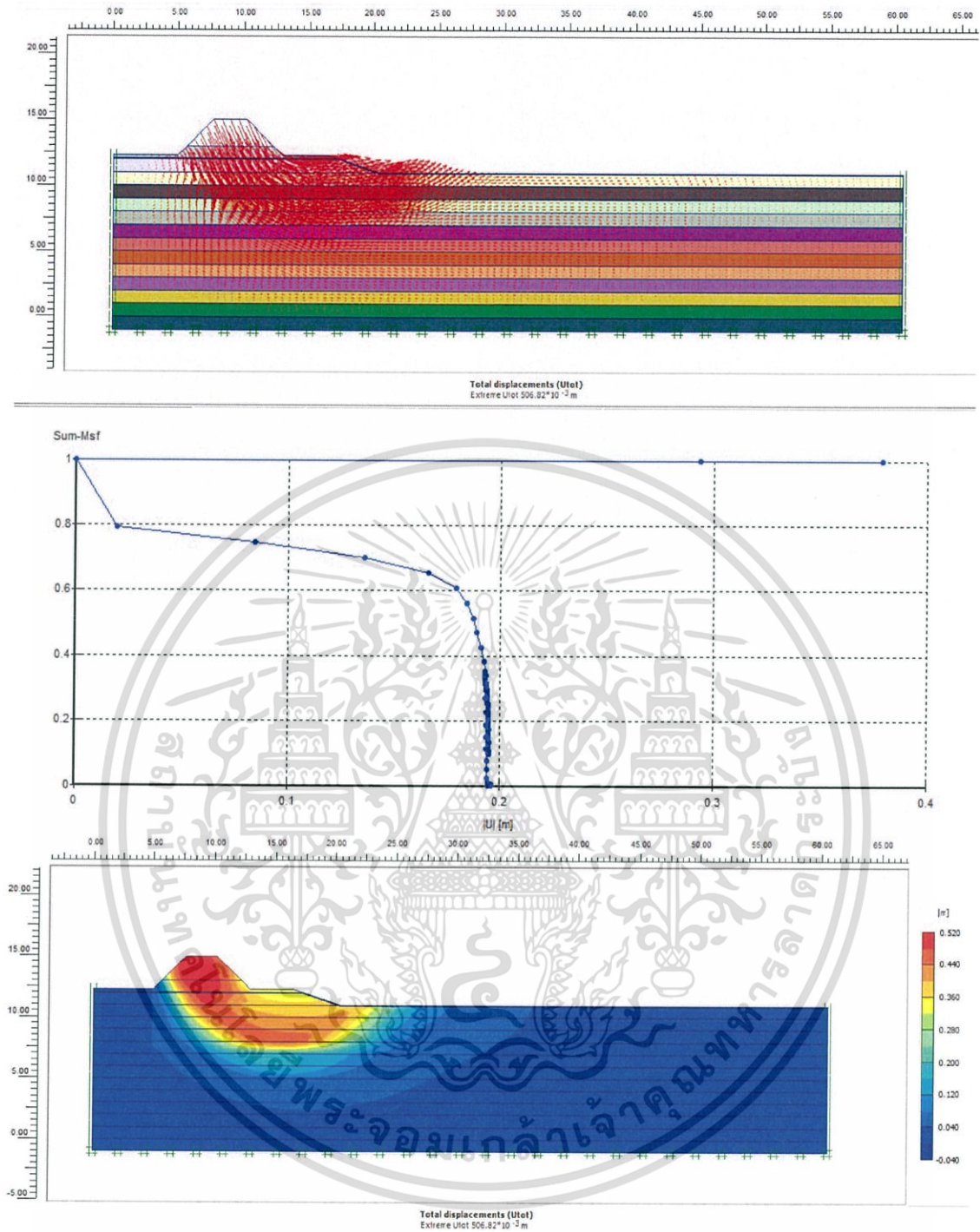
## ผลการวิเคราะห์ลาดดินด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6

## ค.1 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 1 (Slope 1:1)



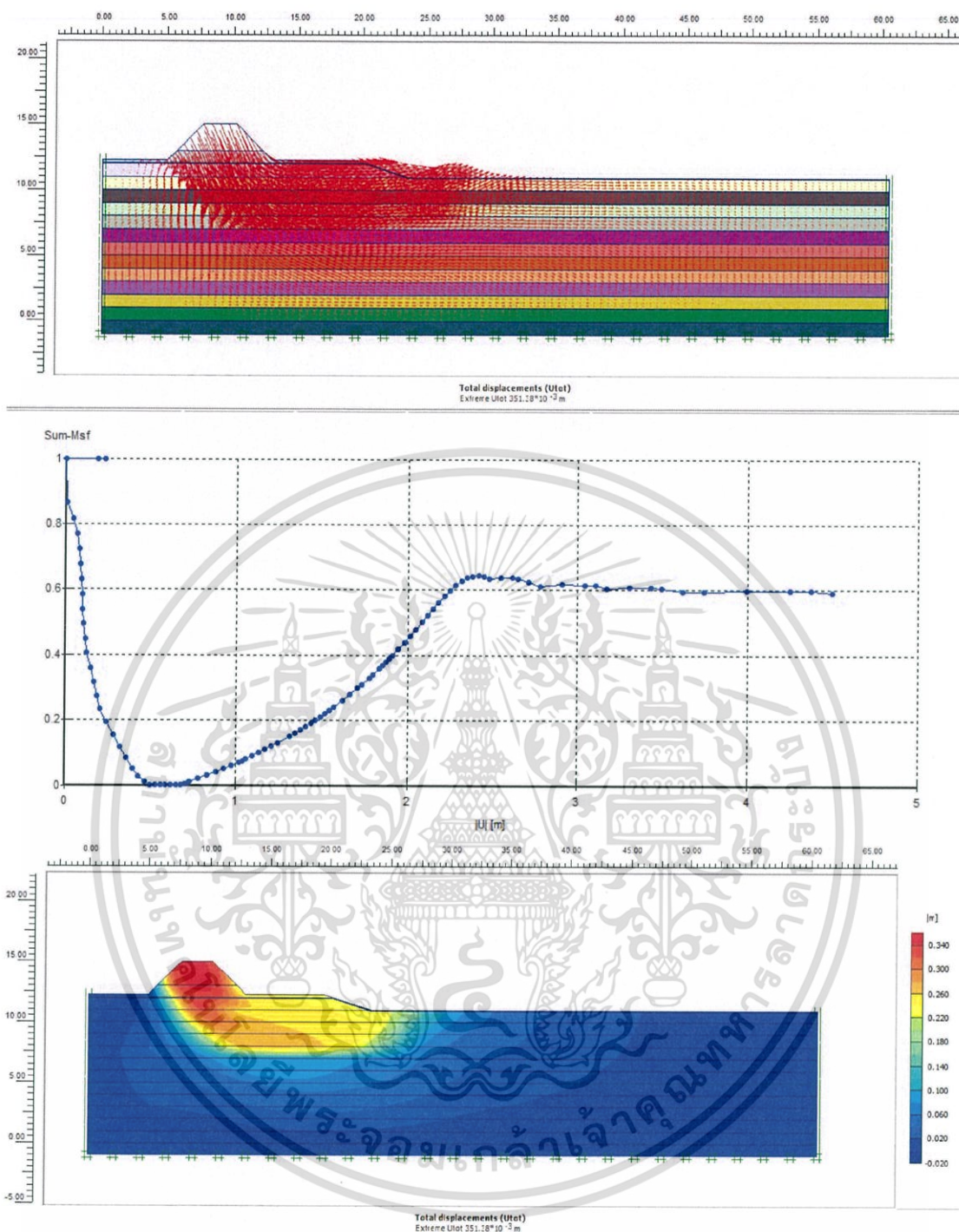
รูป ค.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



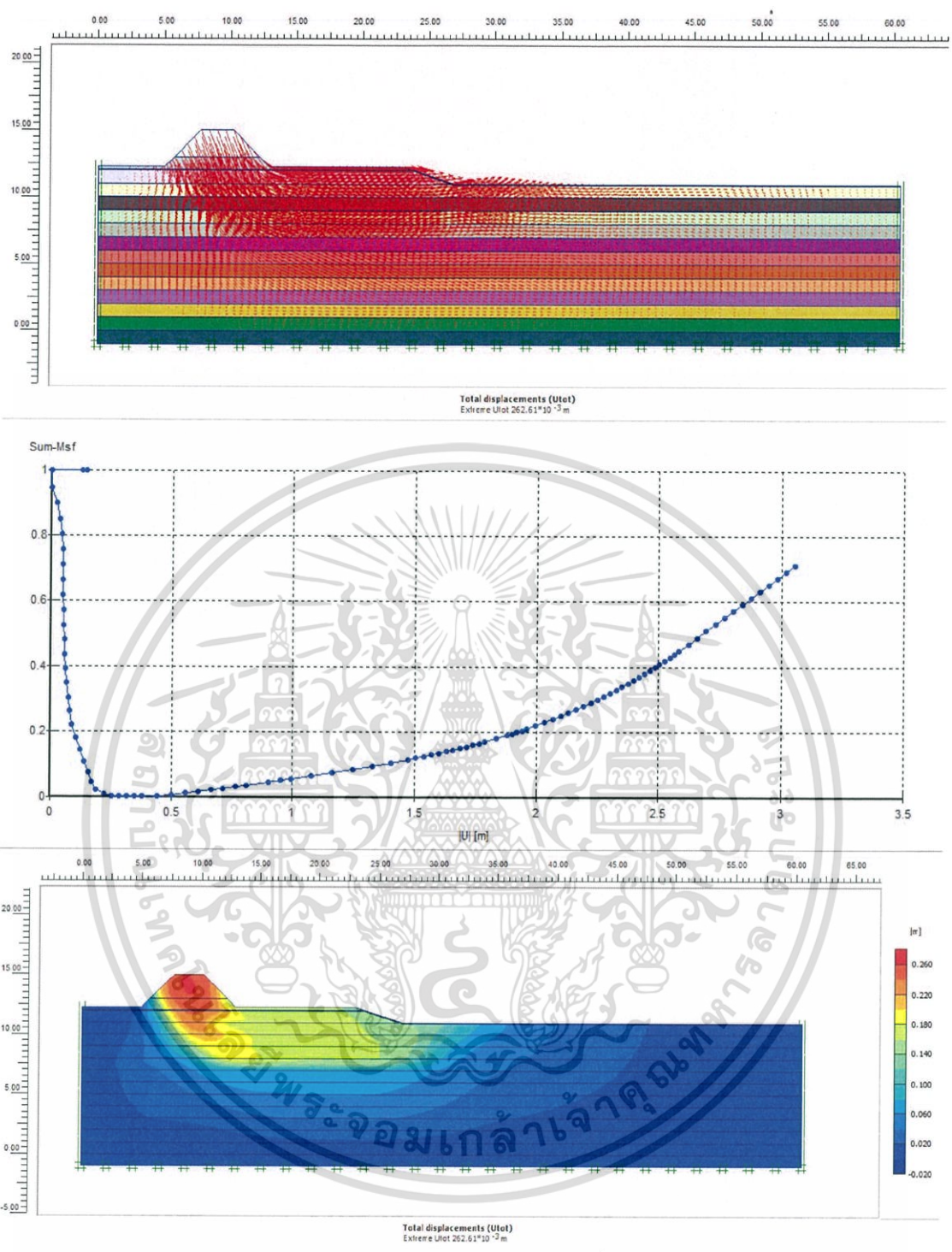
รูป ค.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



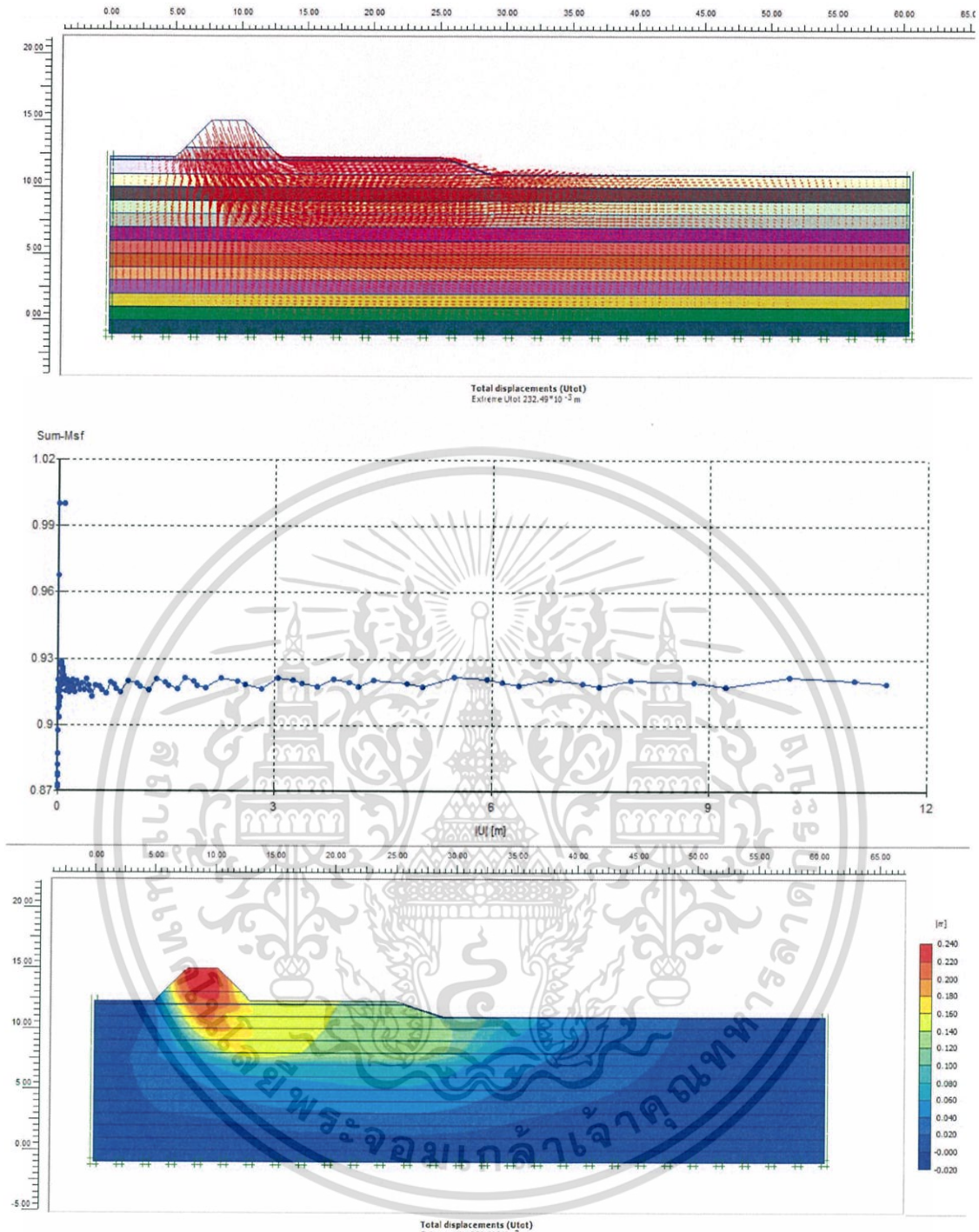
รูป ค.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 6.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



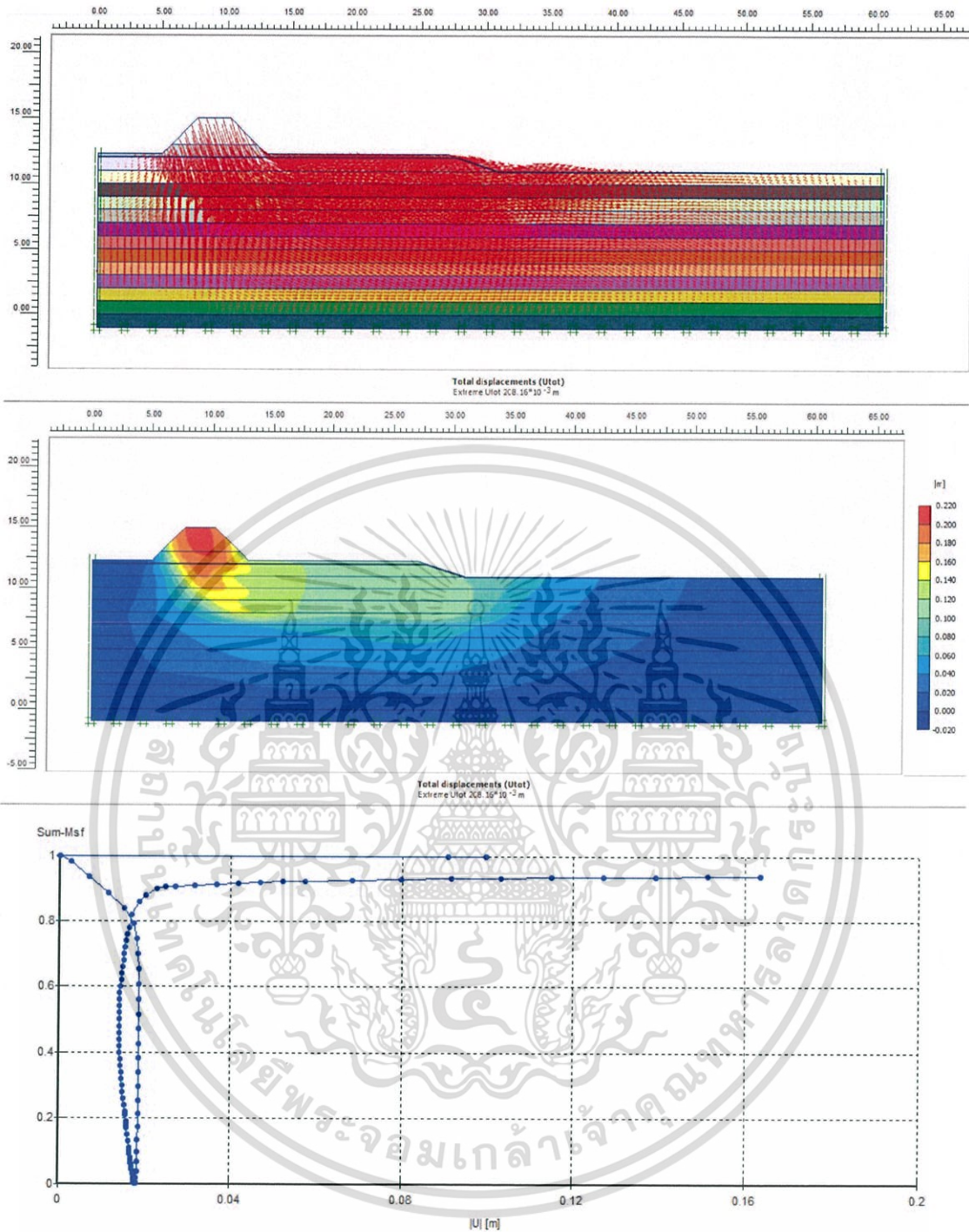
รูป ค.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



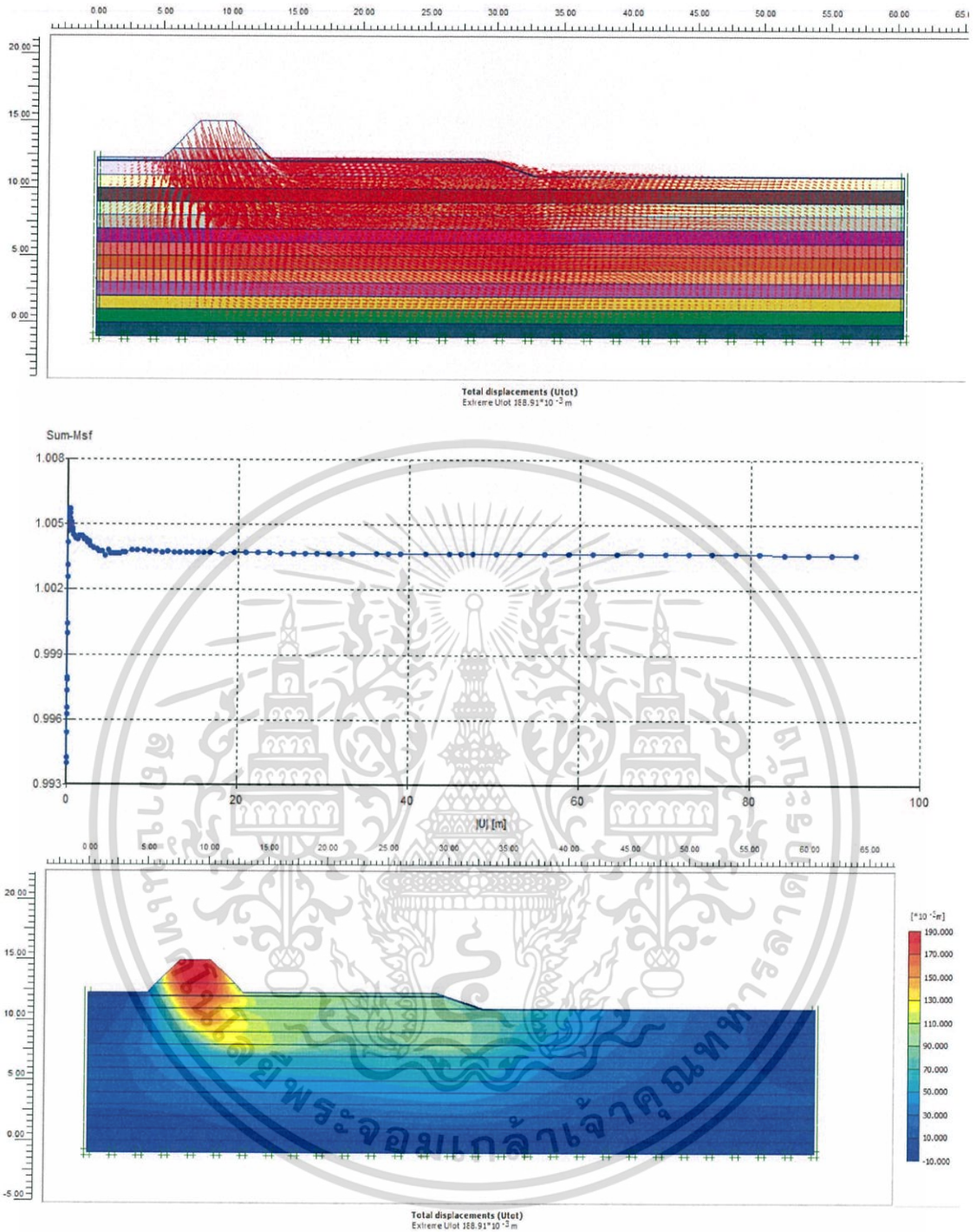
รูป ค.5 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 12 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.6 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 14 เมตร

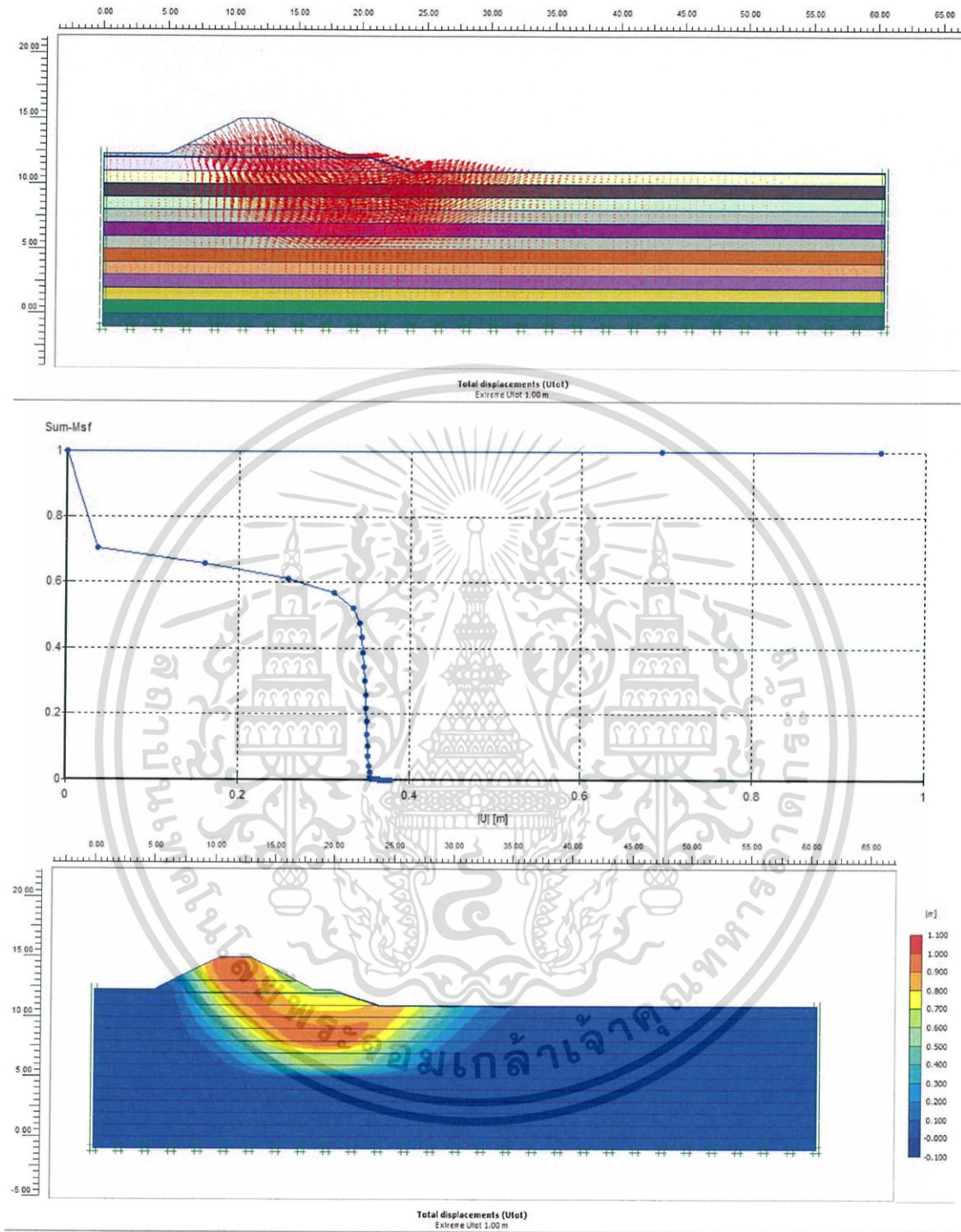
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.7 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 16 เมตร

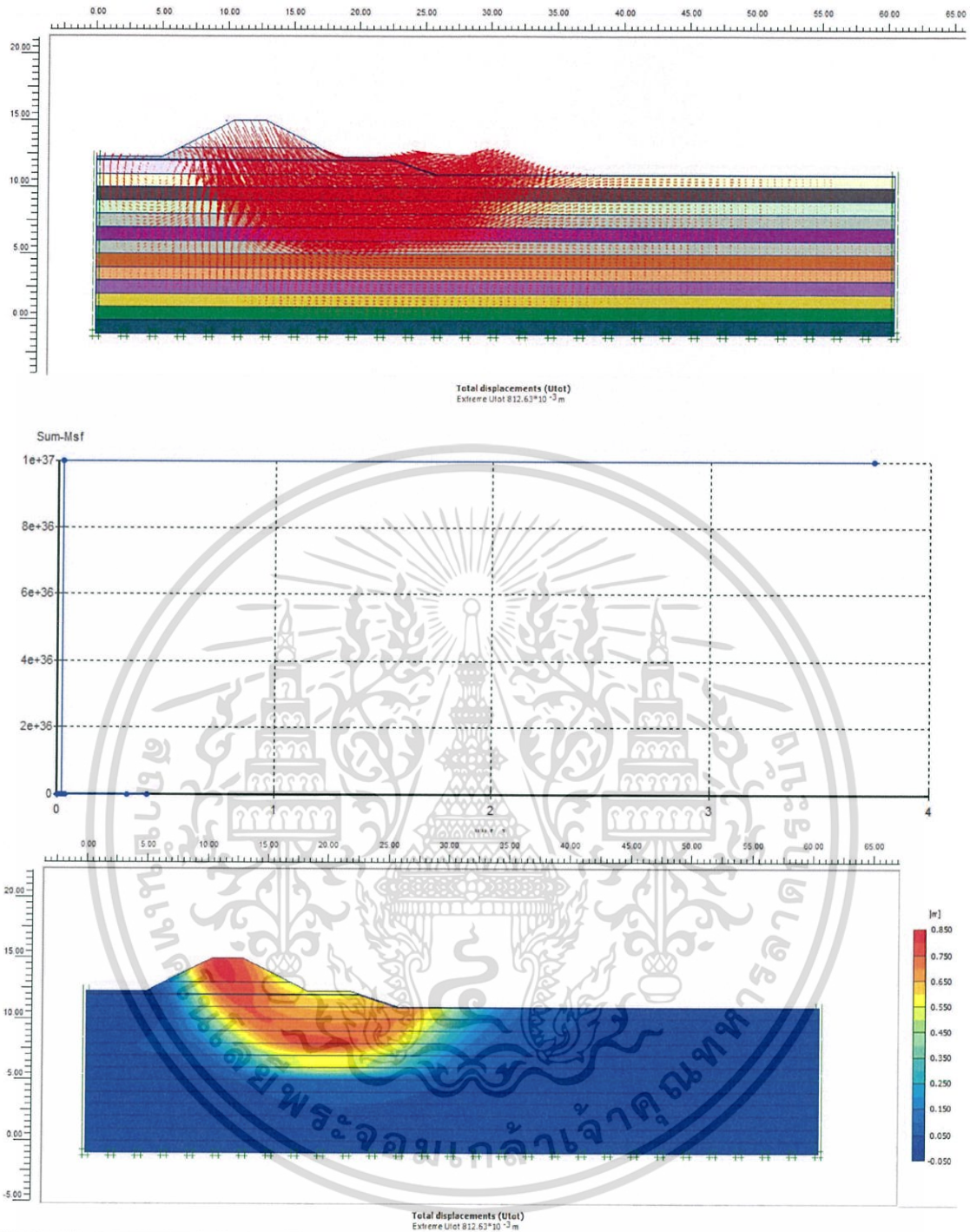
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ค.2 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 1 (Slope 1:2)



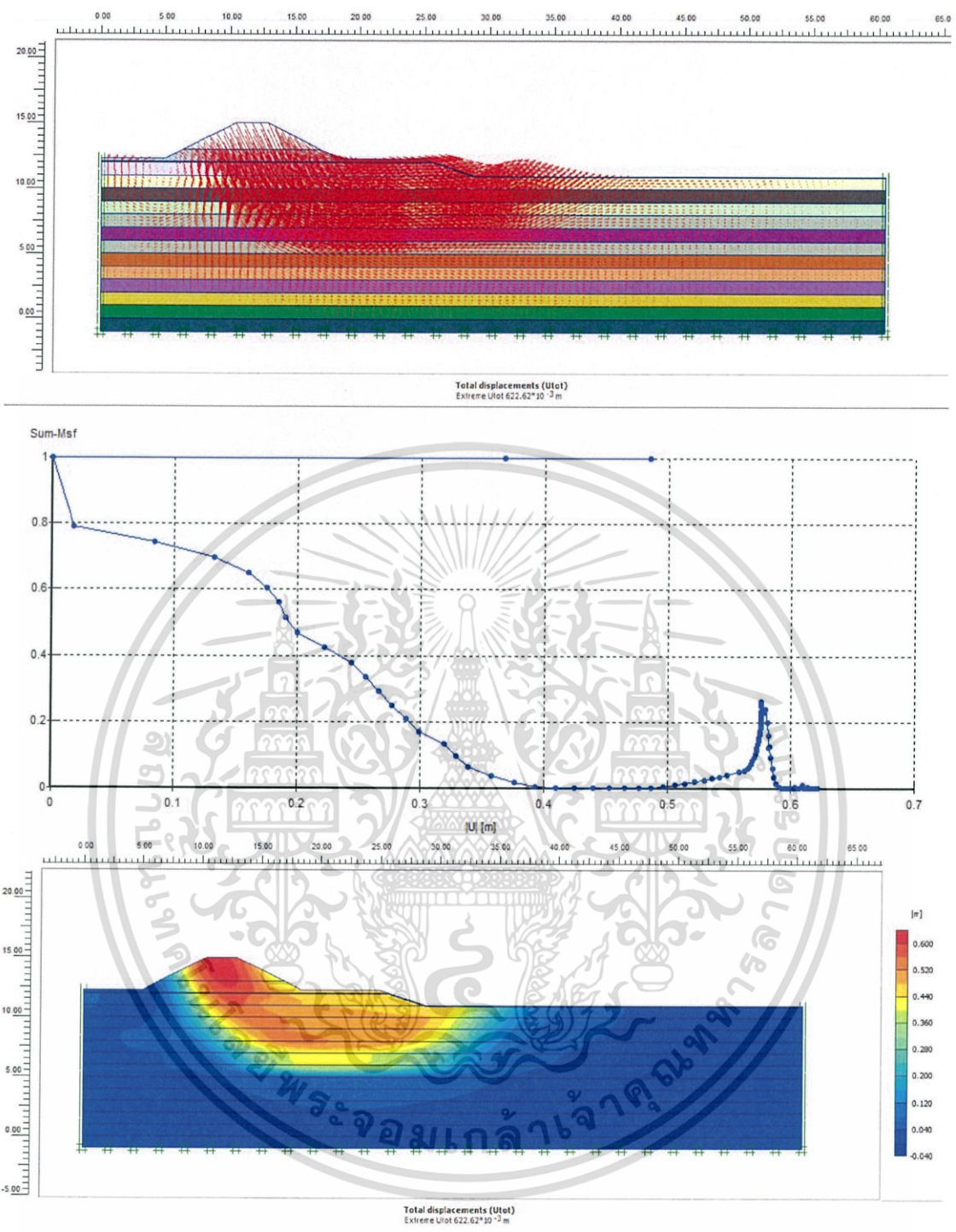
รูป ค.8 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



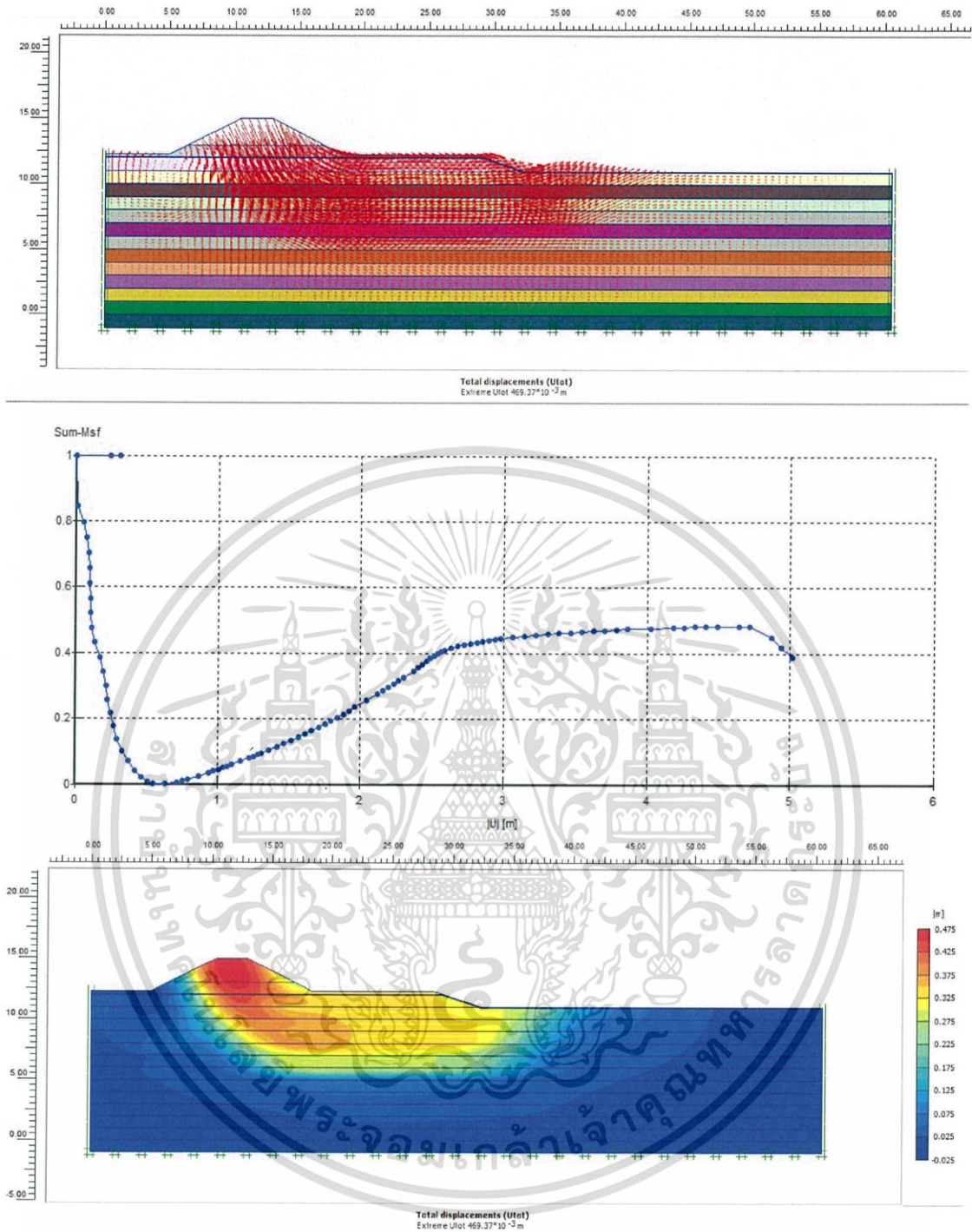
รูป ค.9 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



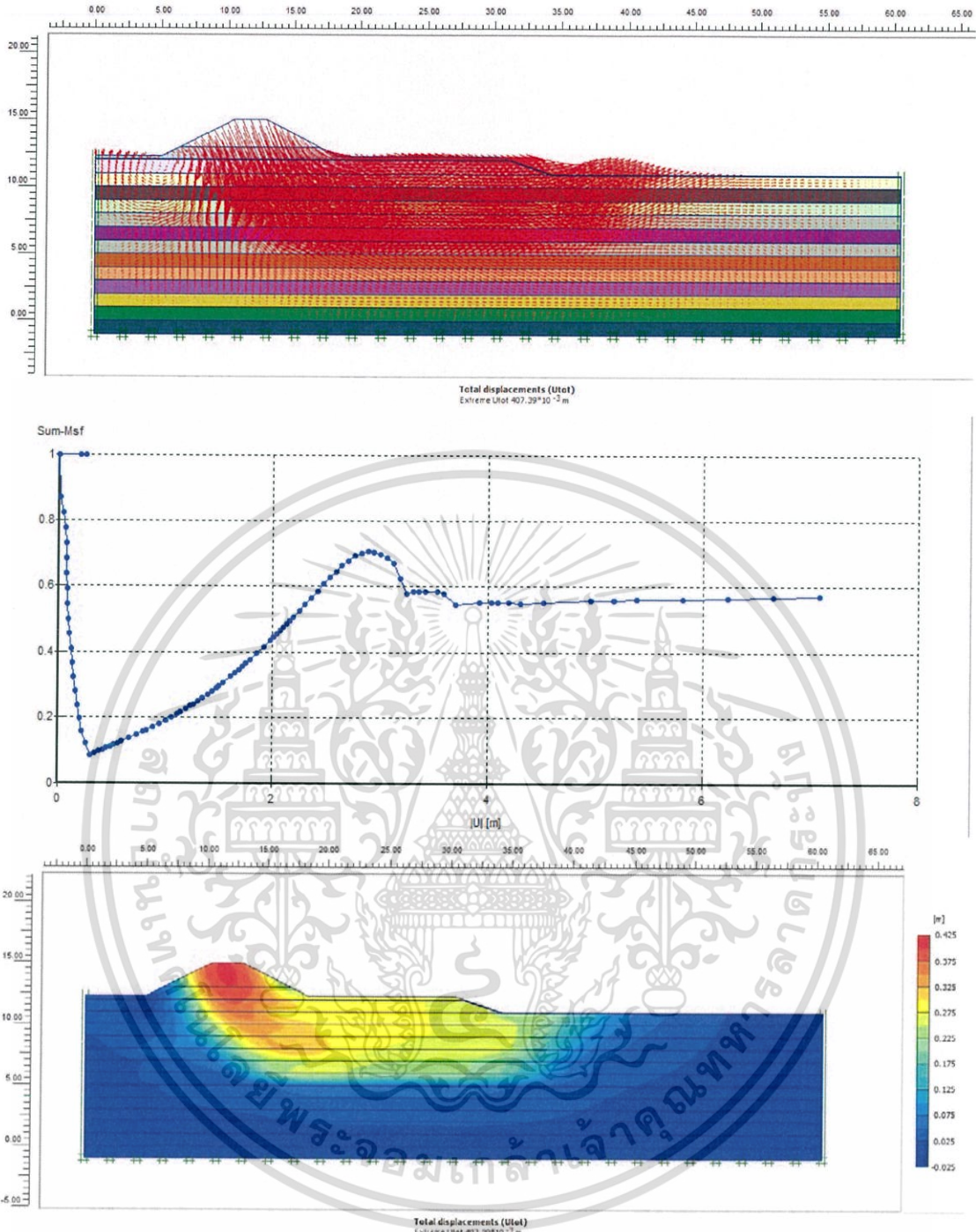
รูป ค.10 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 6.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



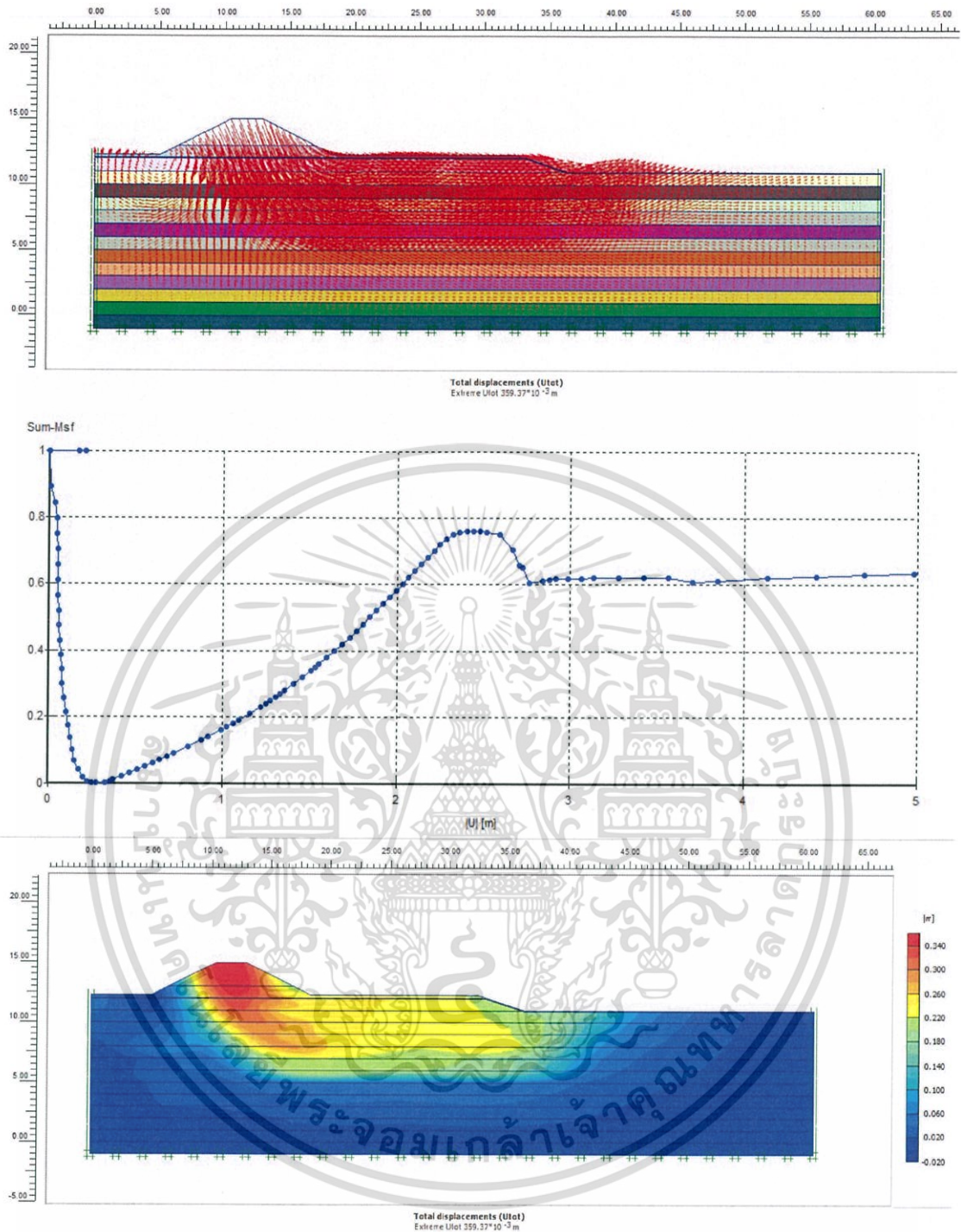
รูป ค.11 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



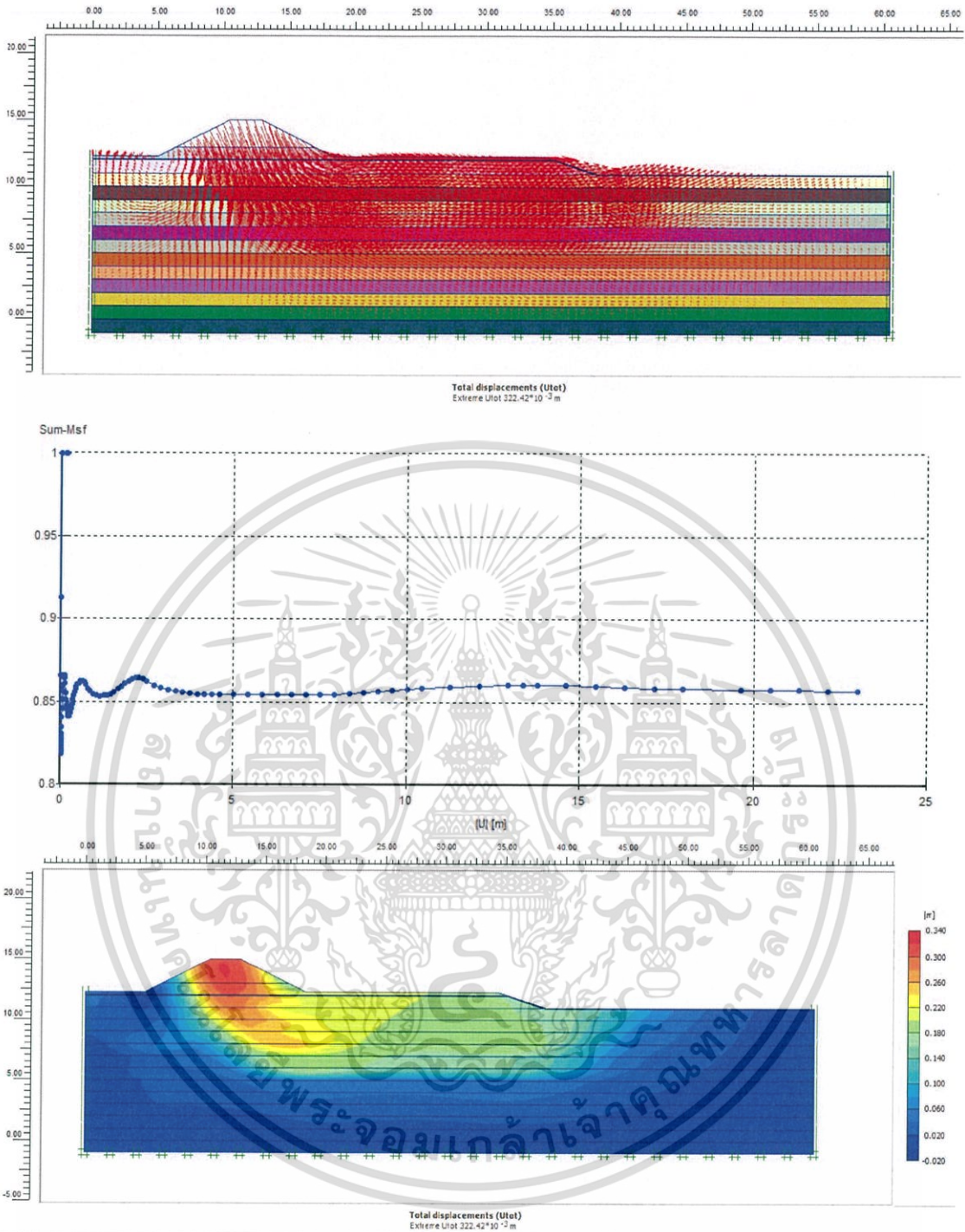
รูป ค.12 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 12 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.13 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 14 เมตร

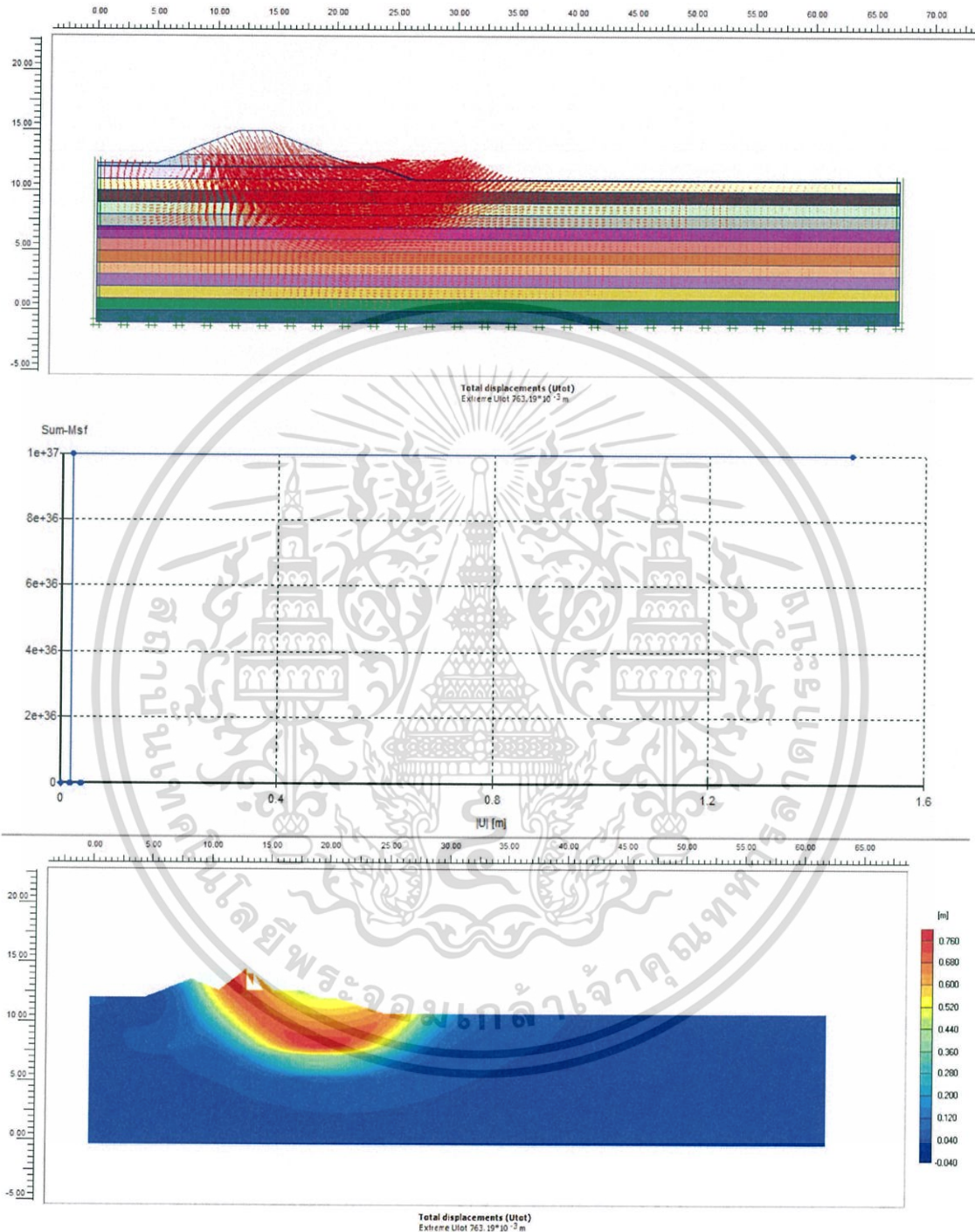
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.14 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 16 เมตร

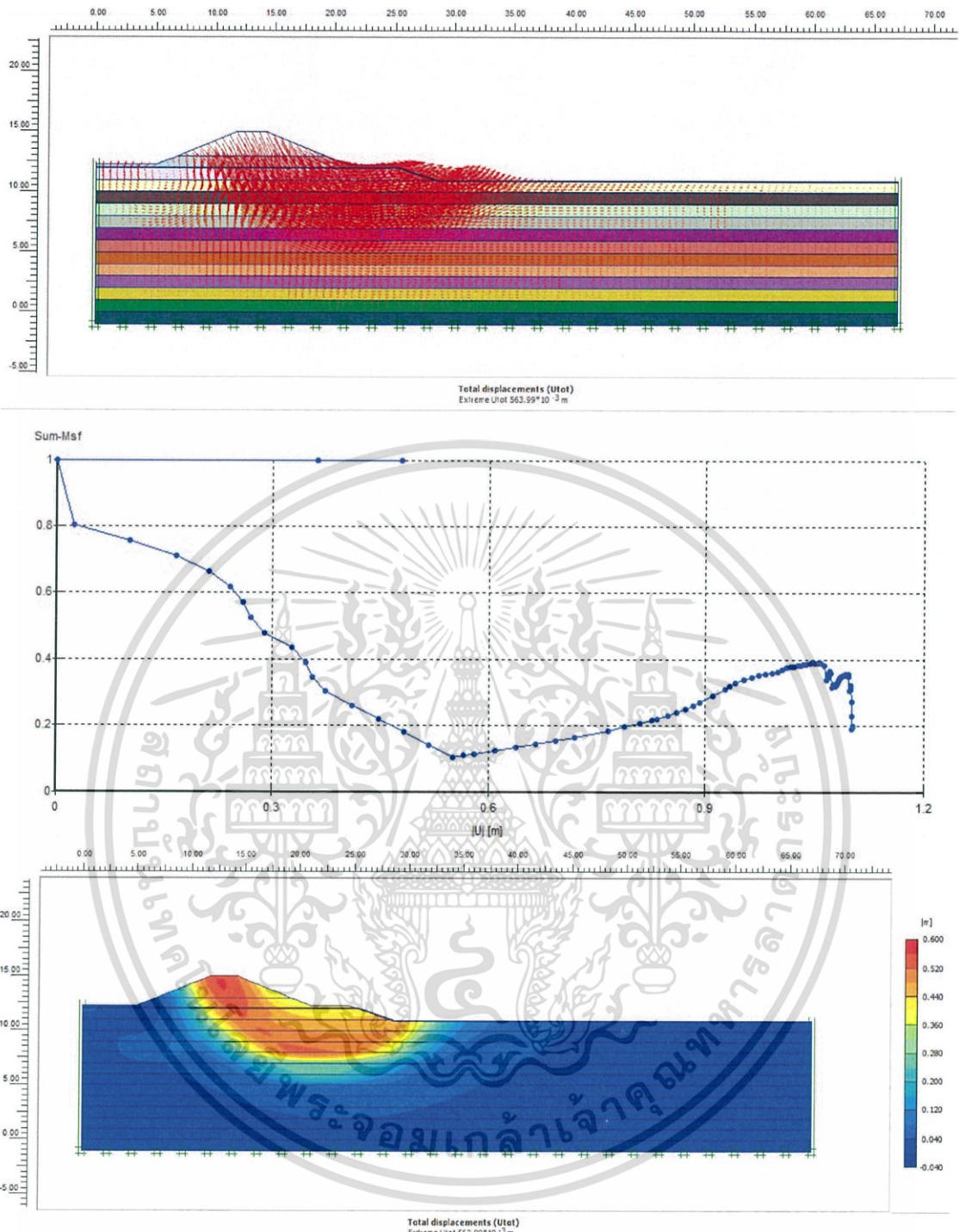
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ค.3 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 1 (Slope 1:2.5)



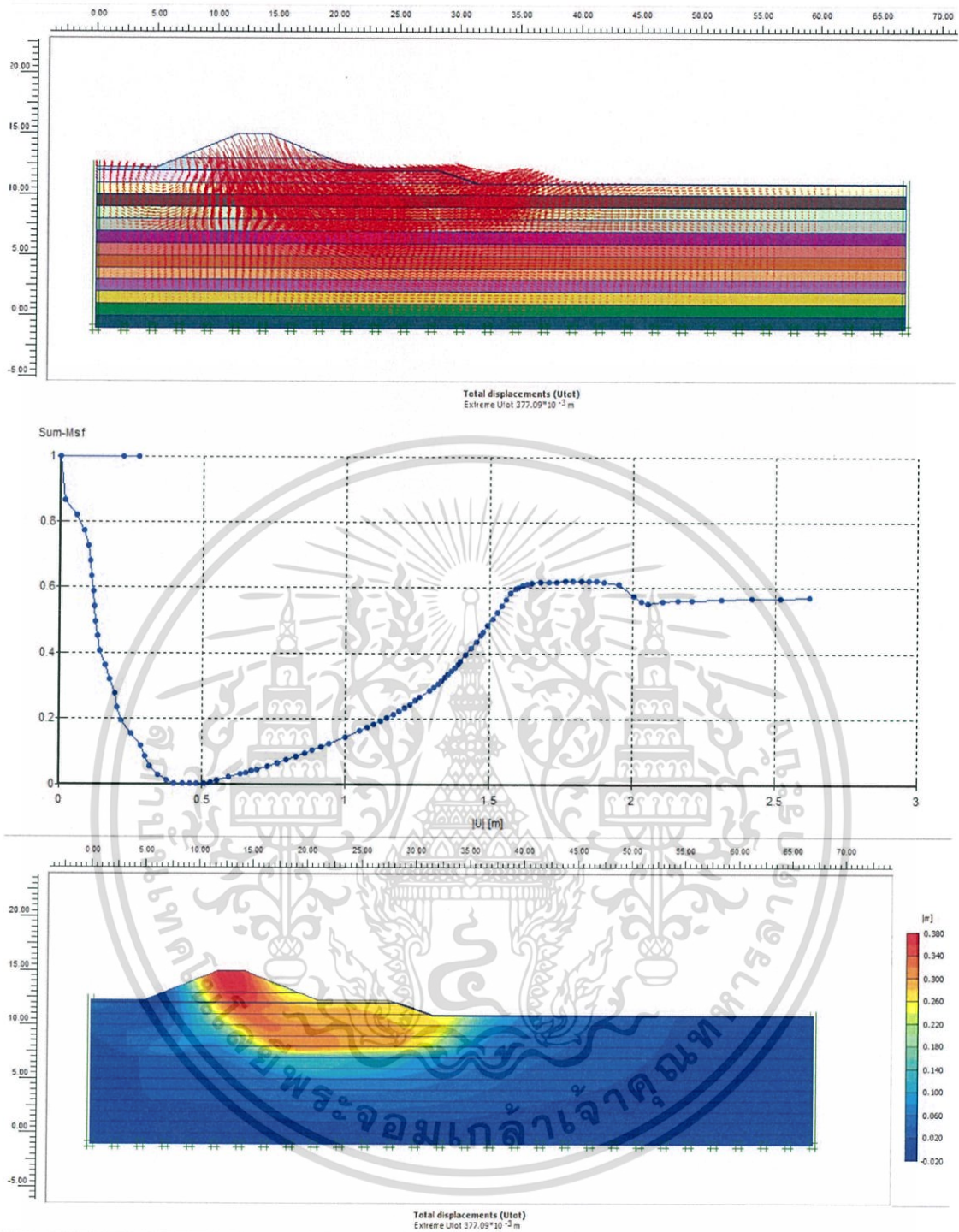
รูป ค.15 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



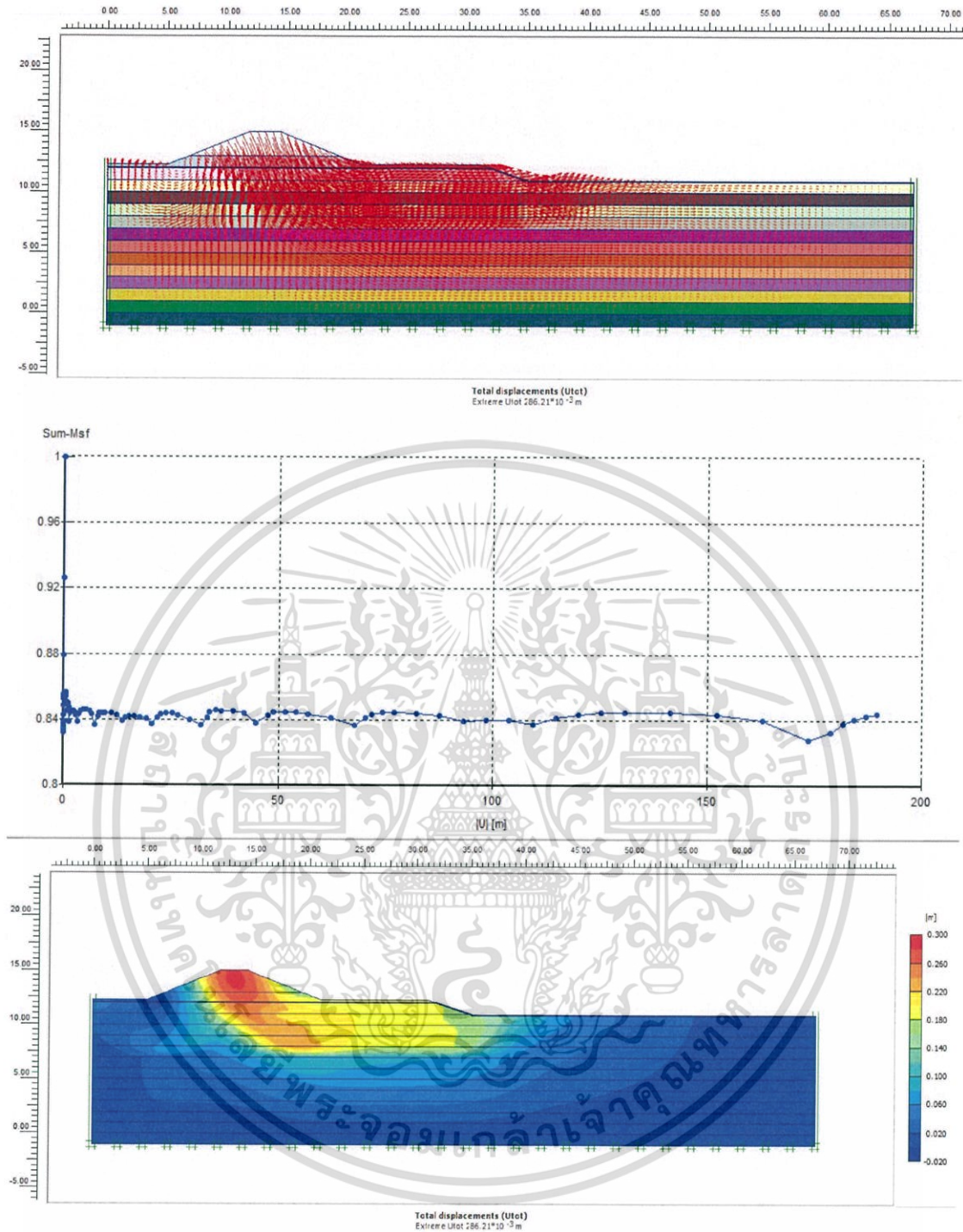
รูป ค.16 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



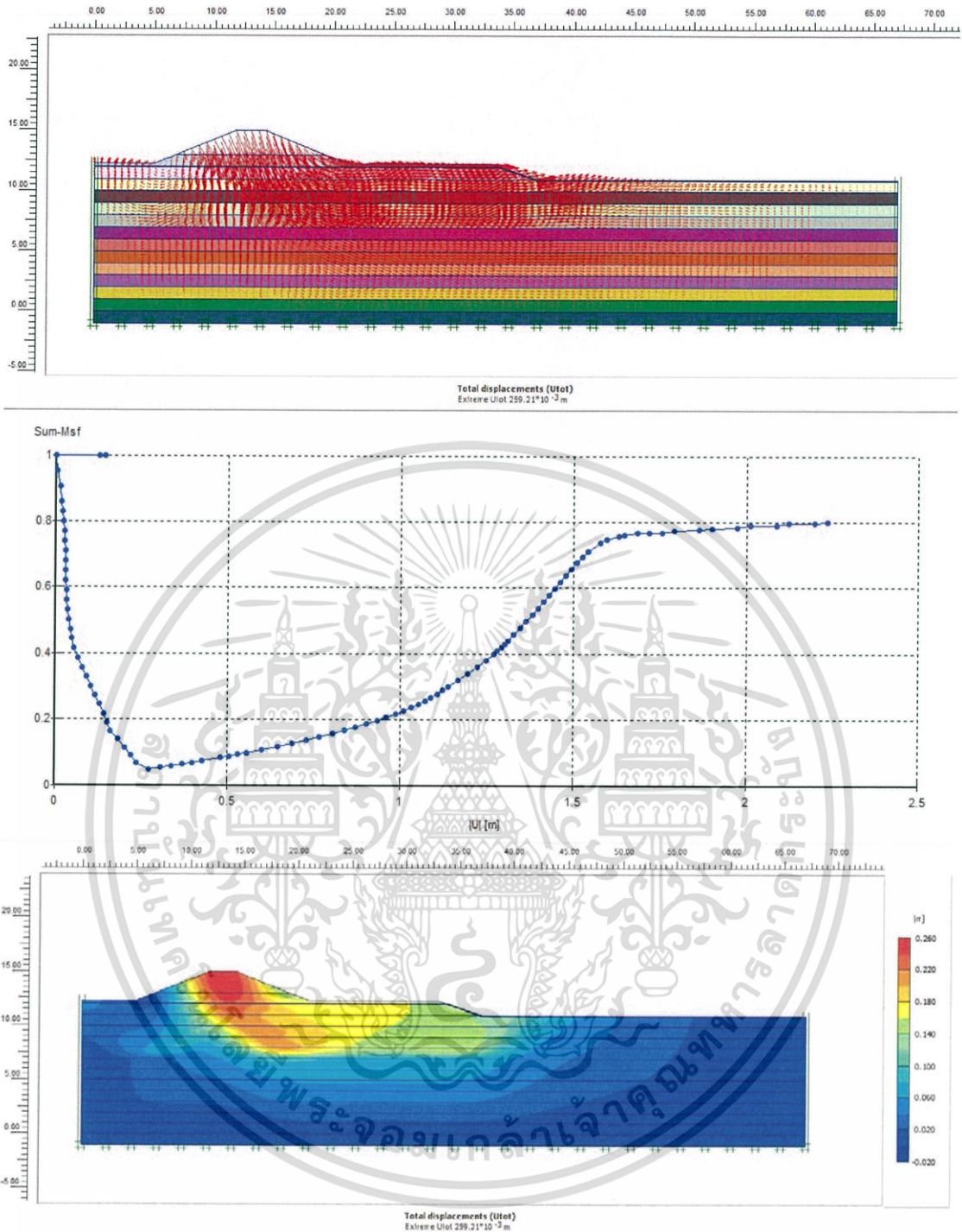
รูป ค.17 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 6.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



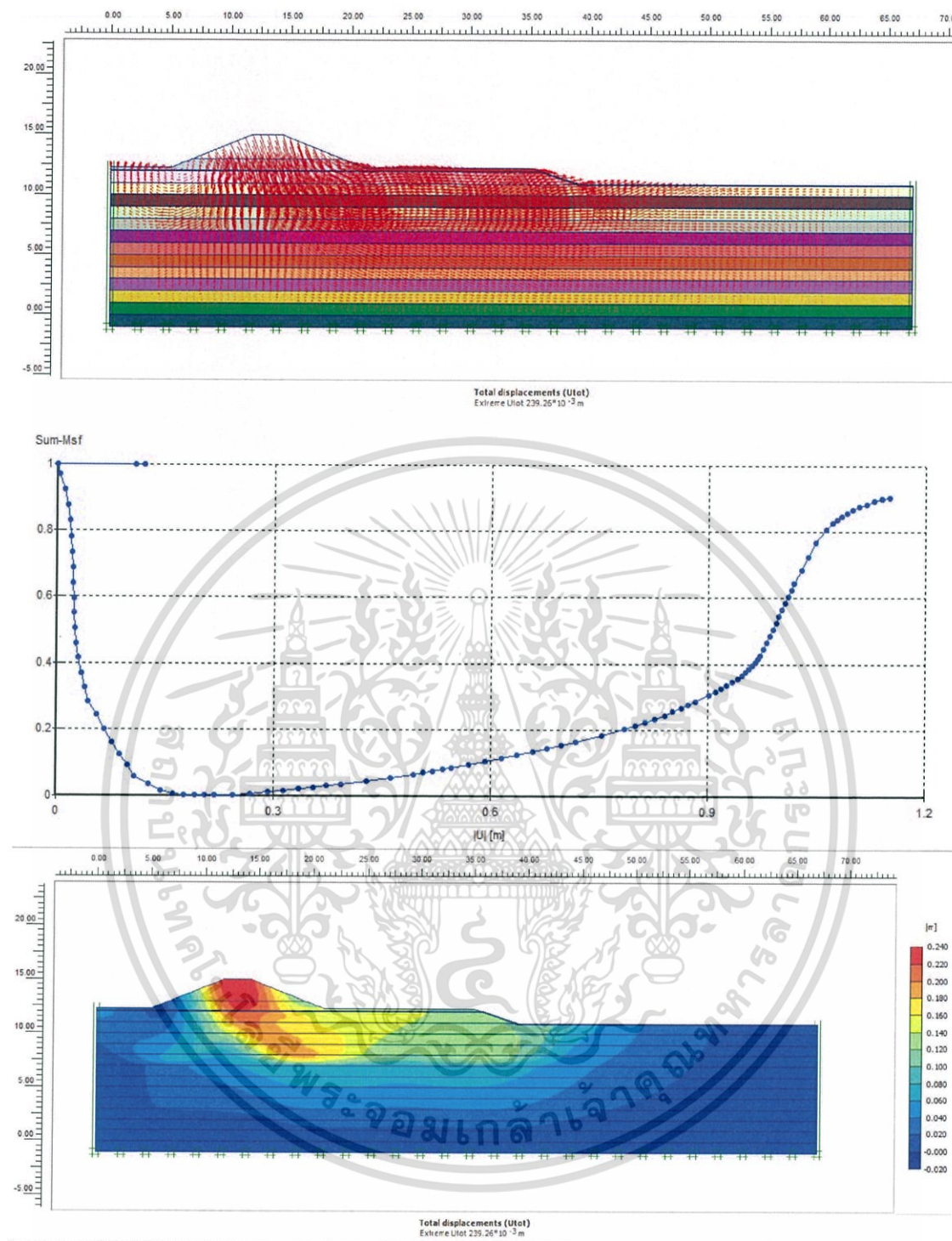
รูป ค.18 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



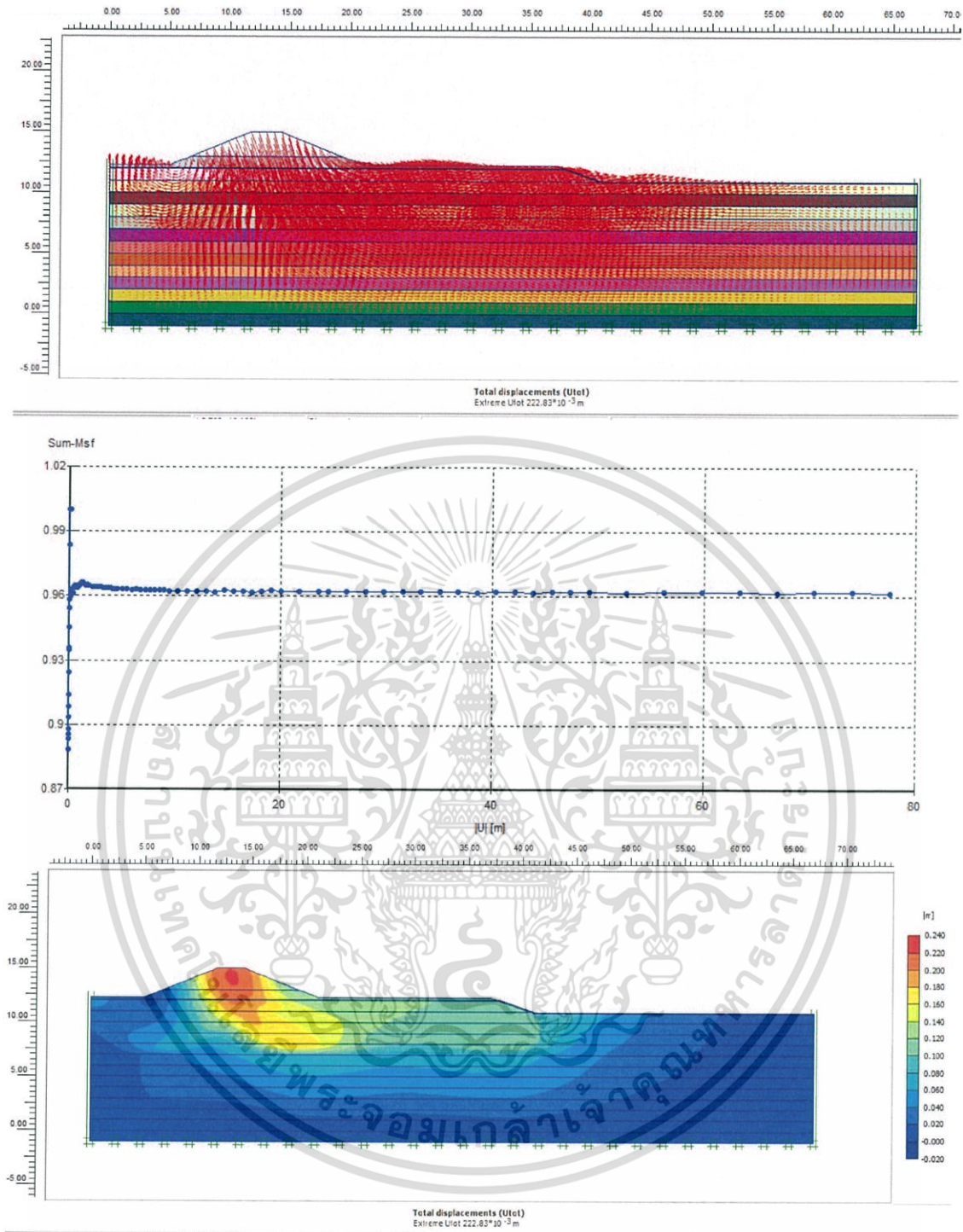
รูป ค.19 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 12 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.20 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 14 เมตร

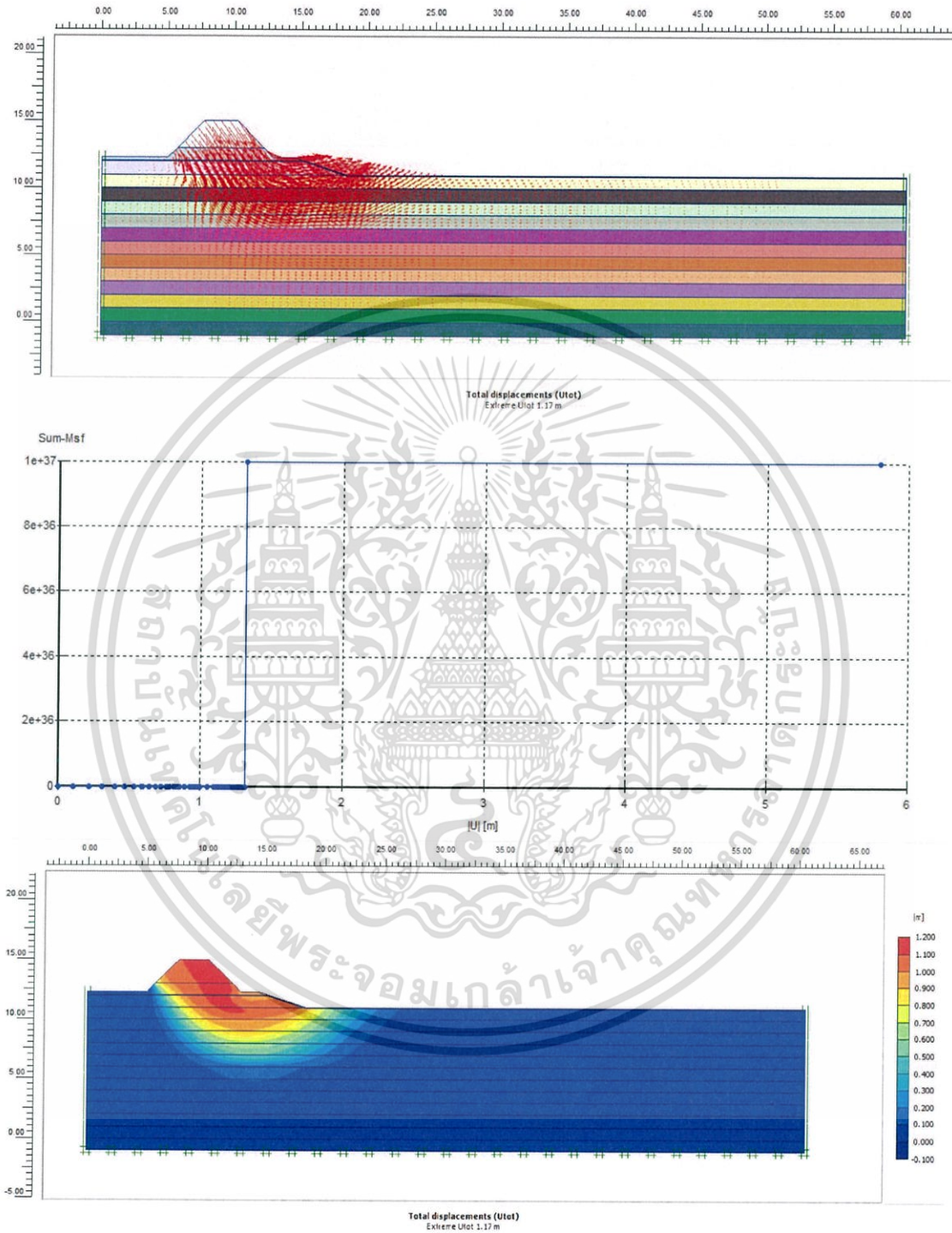
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.21 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 16 เมตร

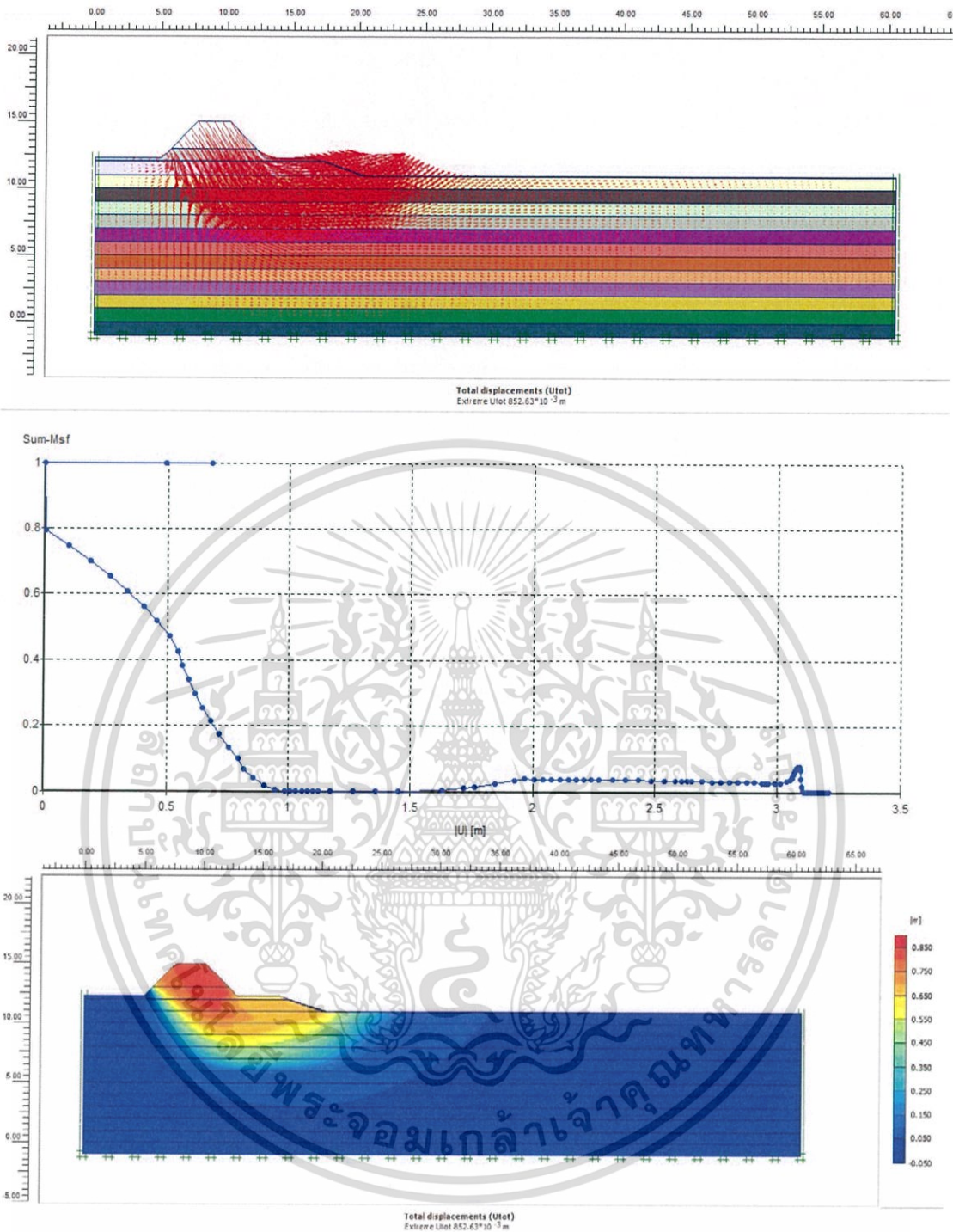
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ค.4 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 2 (Slope 1:1)



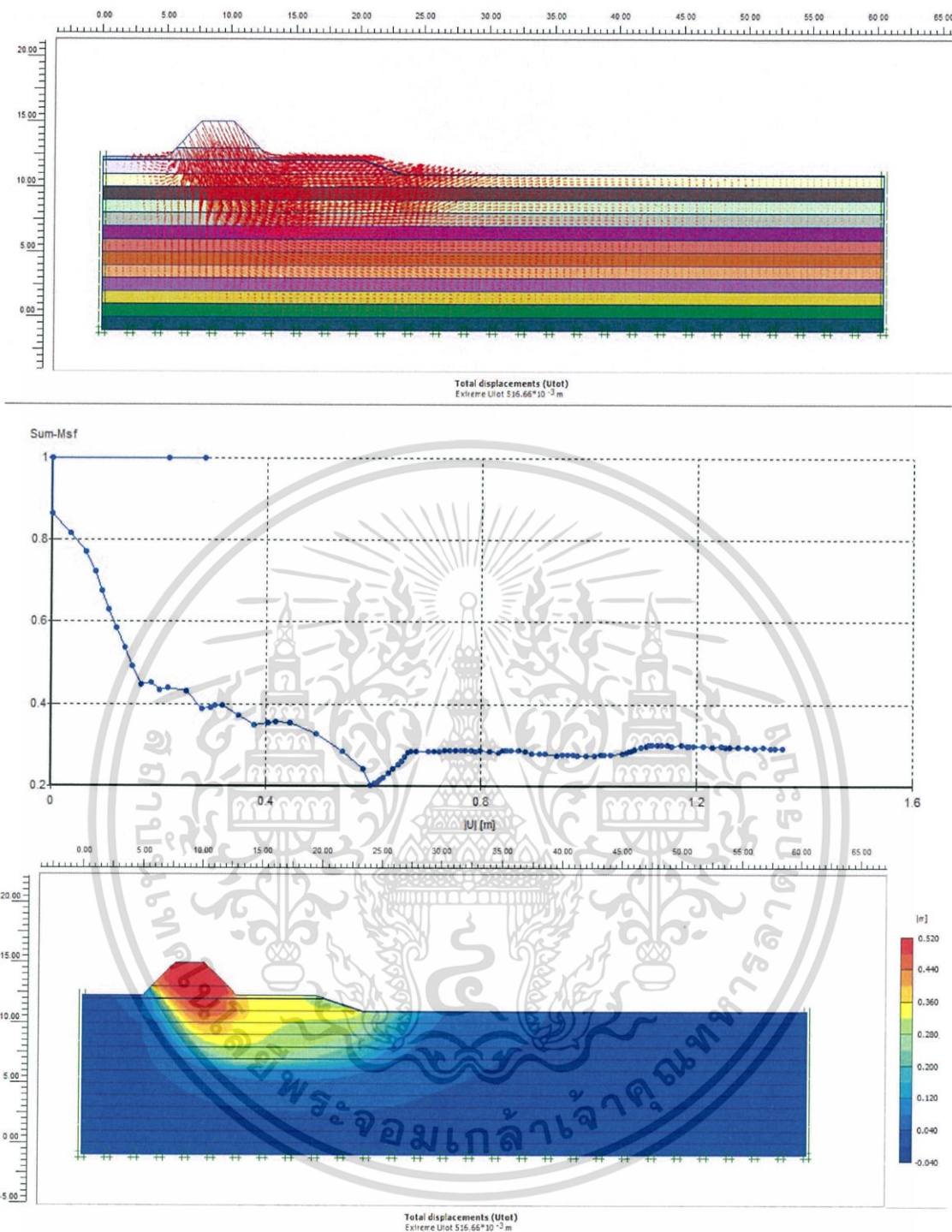
รูป ค.22 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



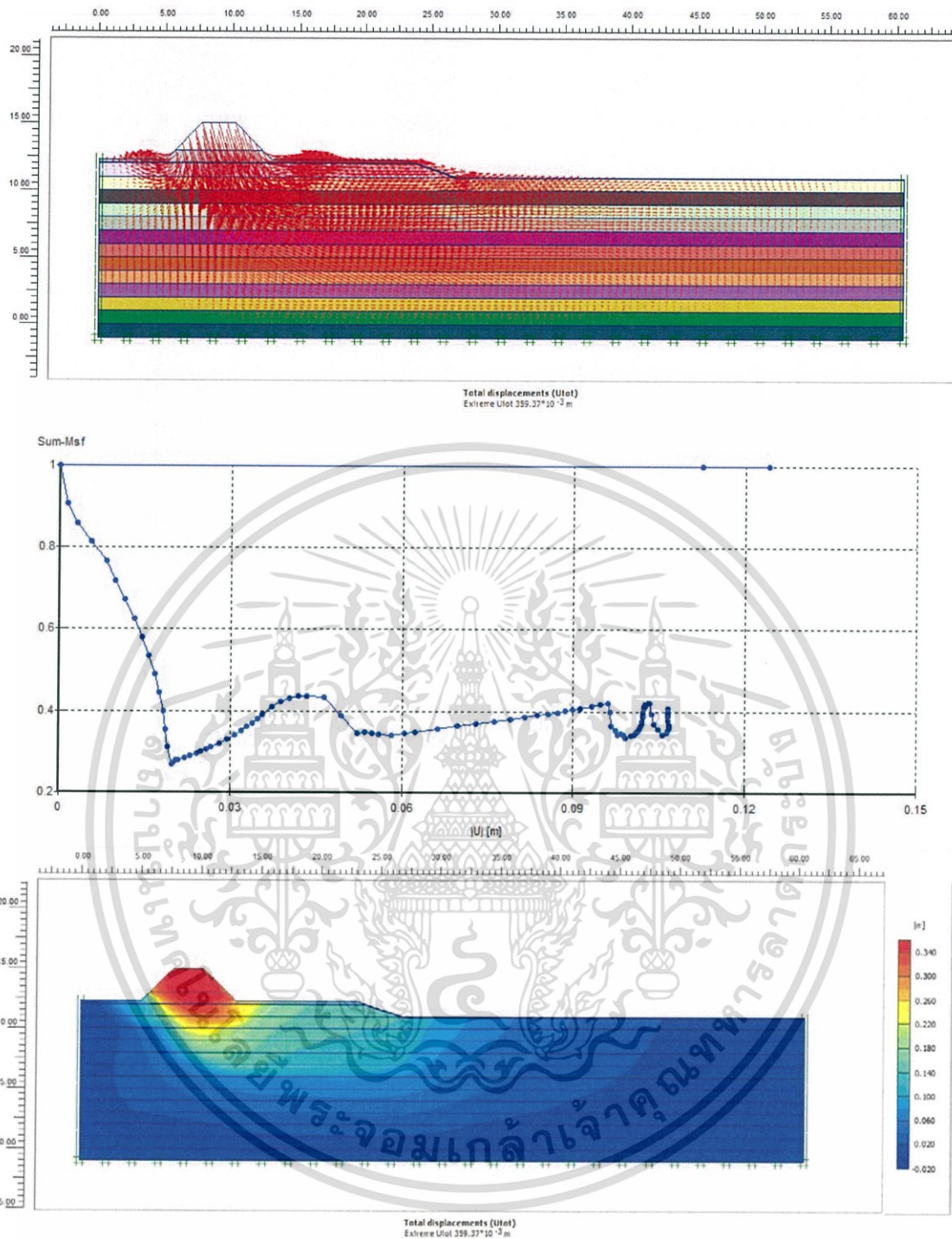
รูป ค.23 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



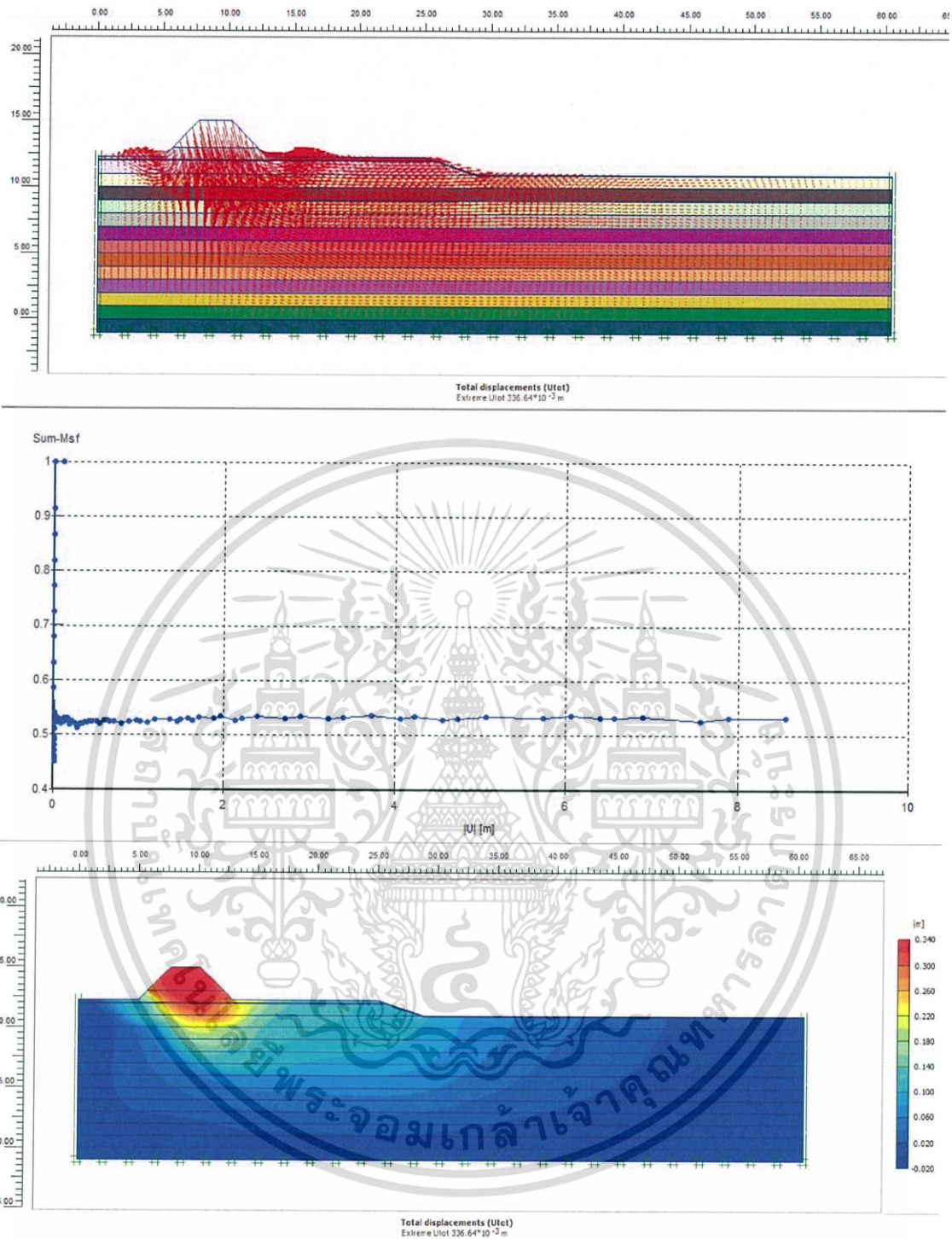
รูป ค.24 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 6.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



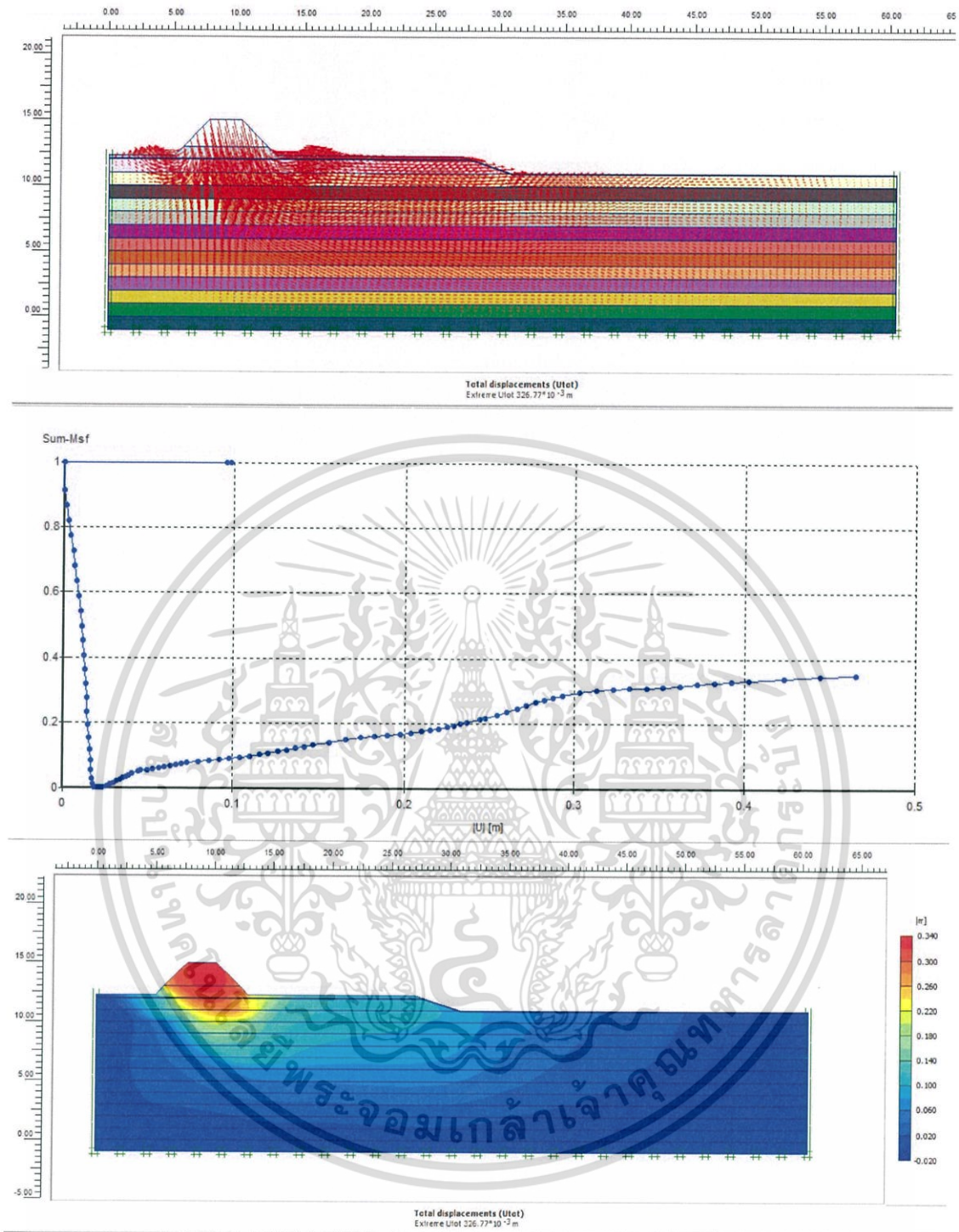
รูป ค.25 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



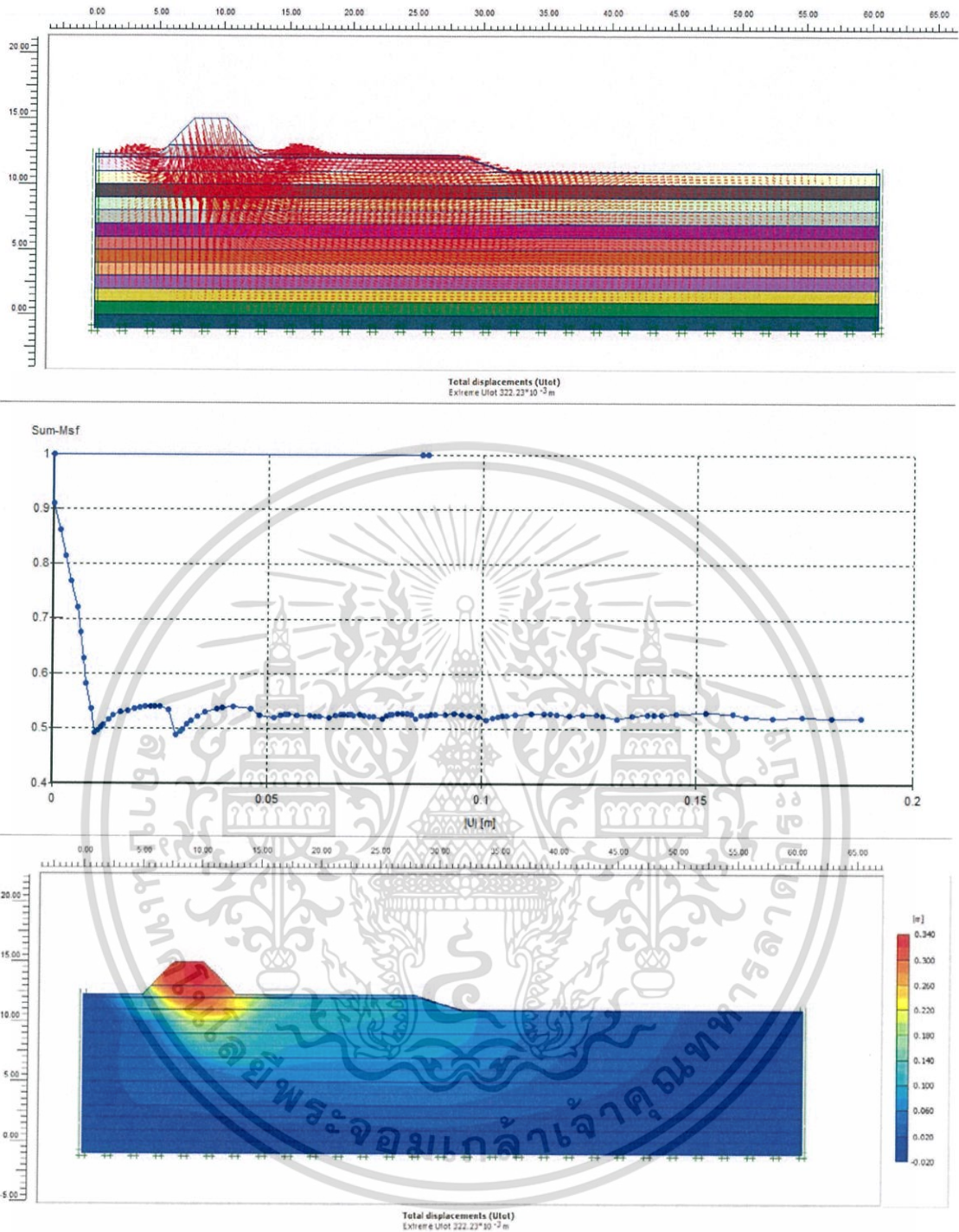
รูป ค.26 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 12 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.27 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 14 เมตร

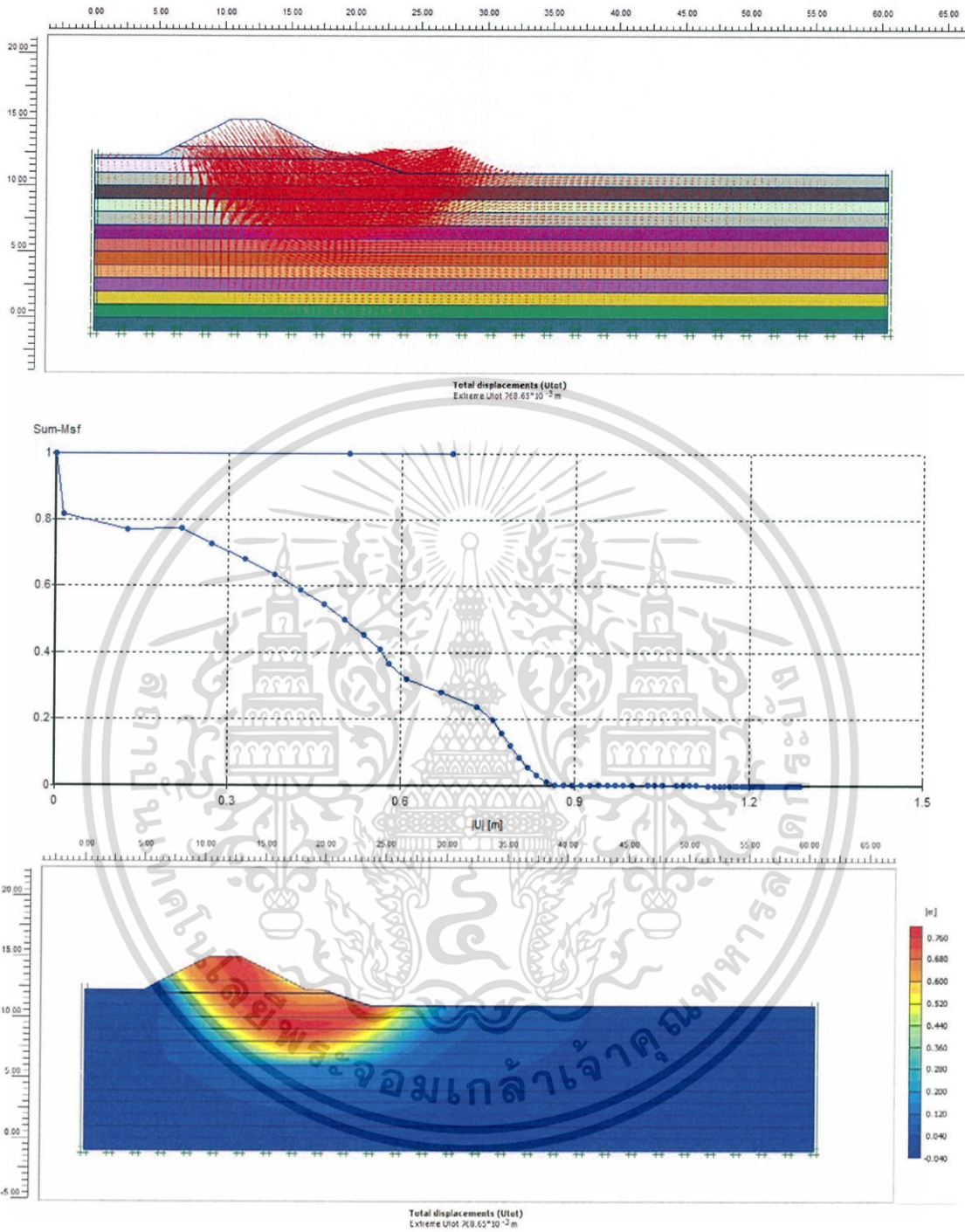
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.28 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 16 เมตร

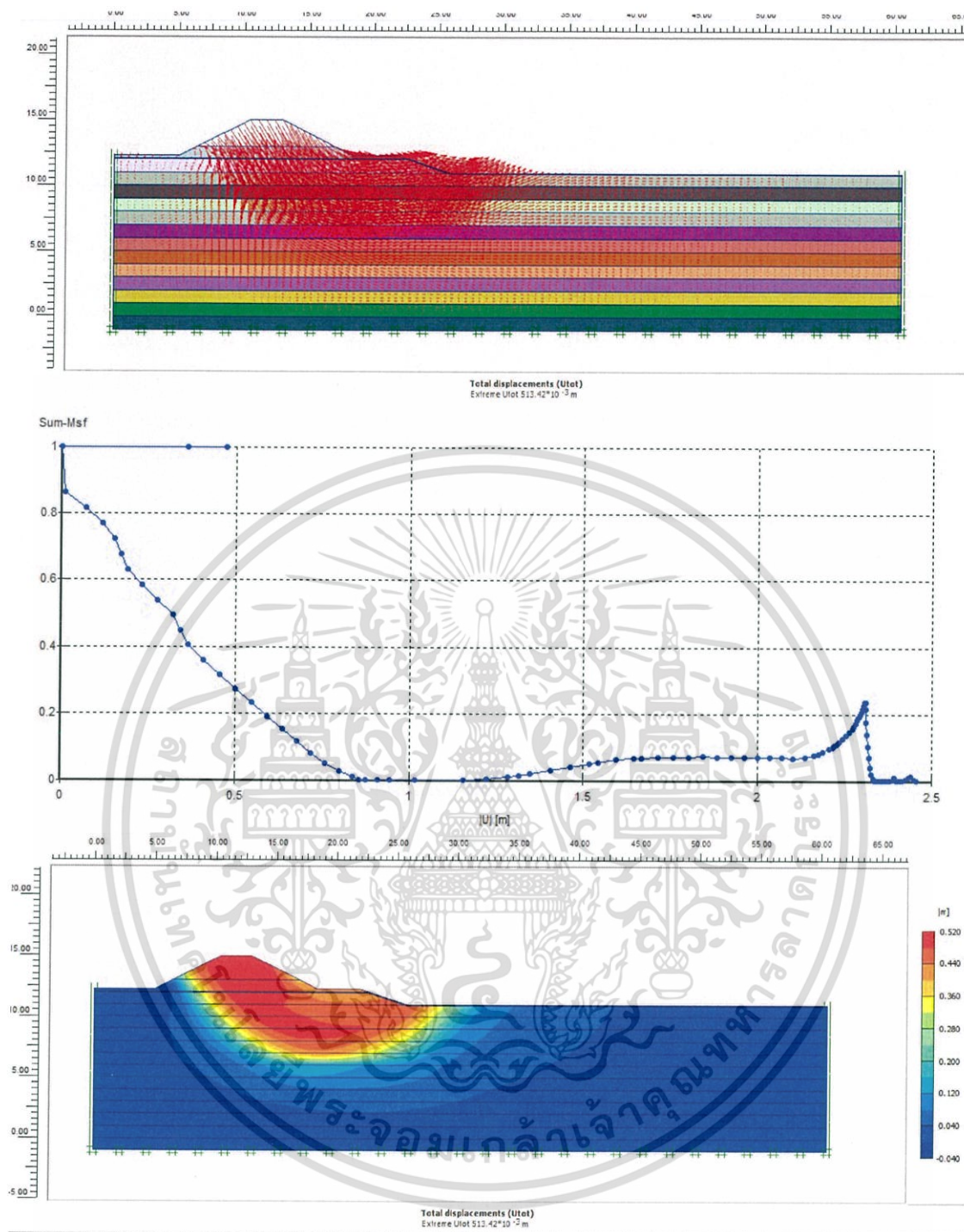
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ค.5 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 2 (Slope 1:2)



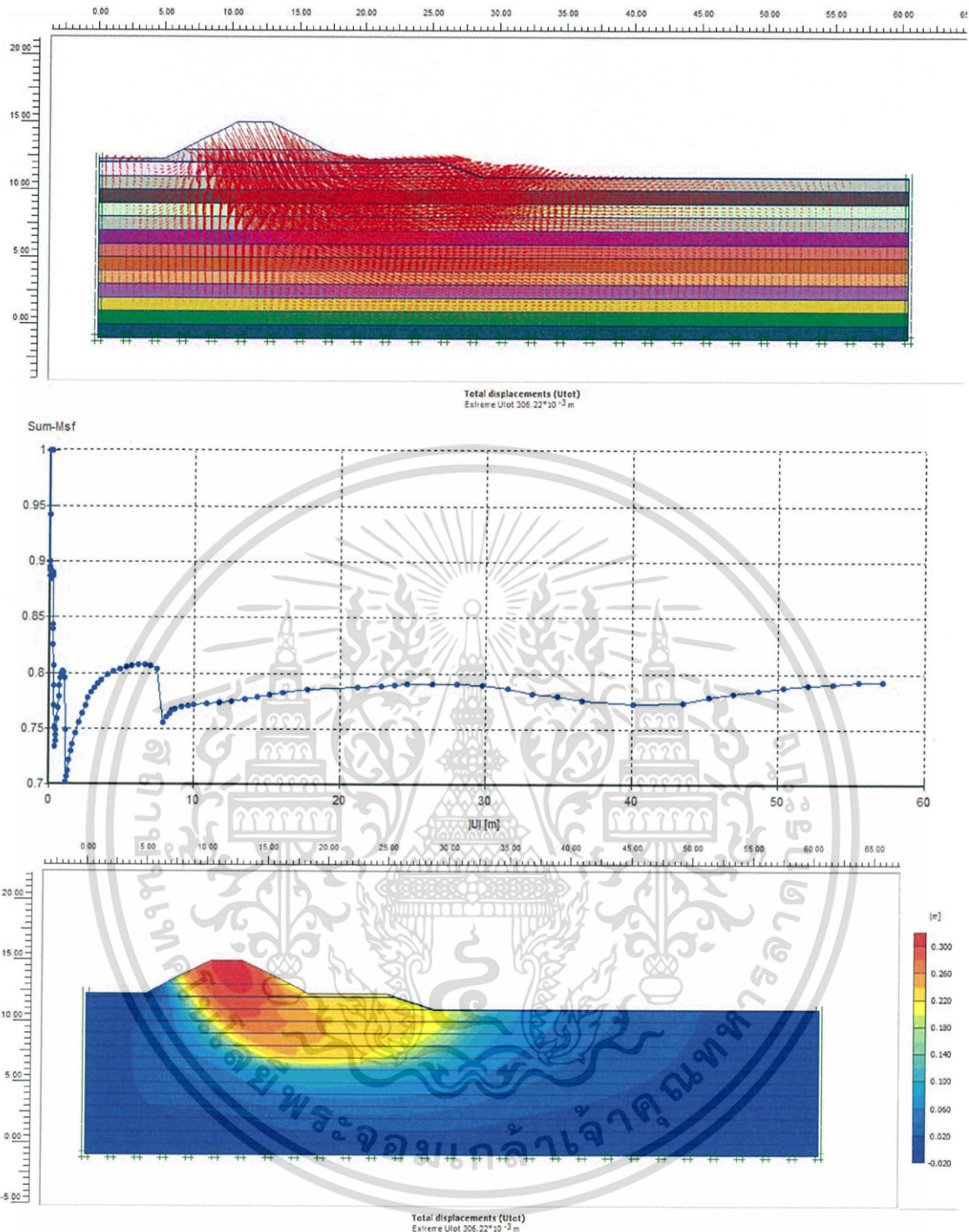
รูป ค.29 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



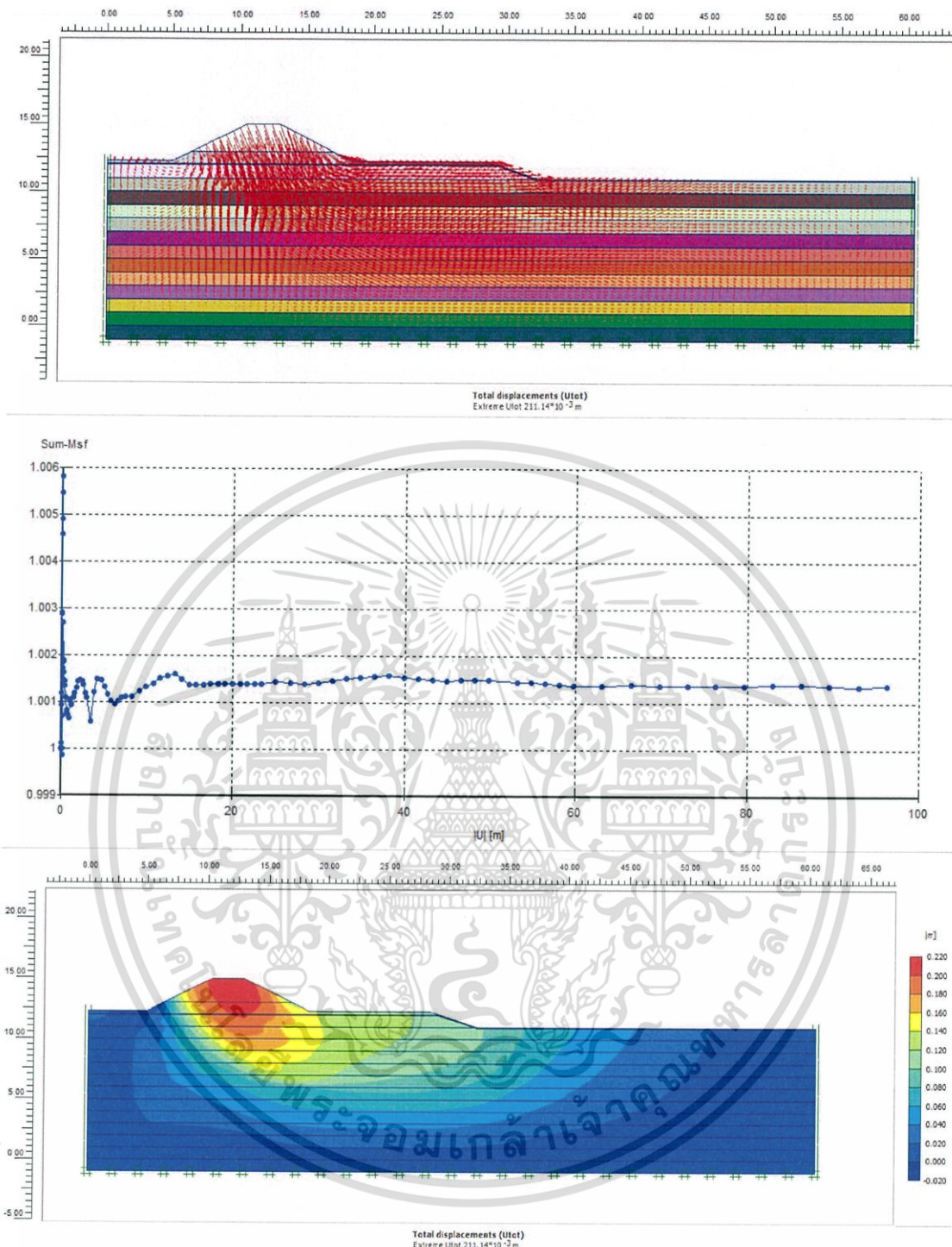
รูป ค.30 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



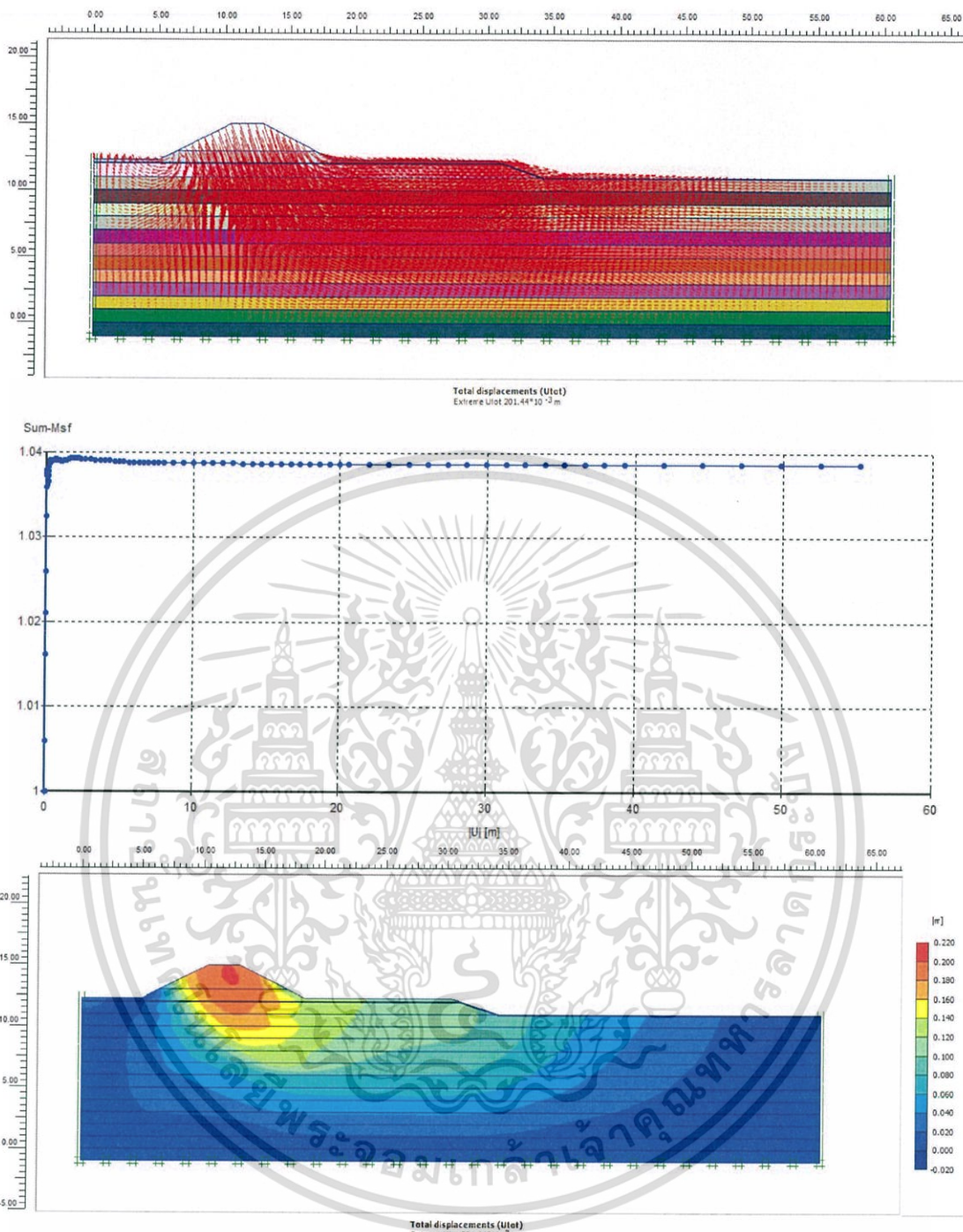
รูป ค.31 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 6.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



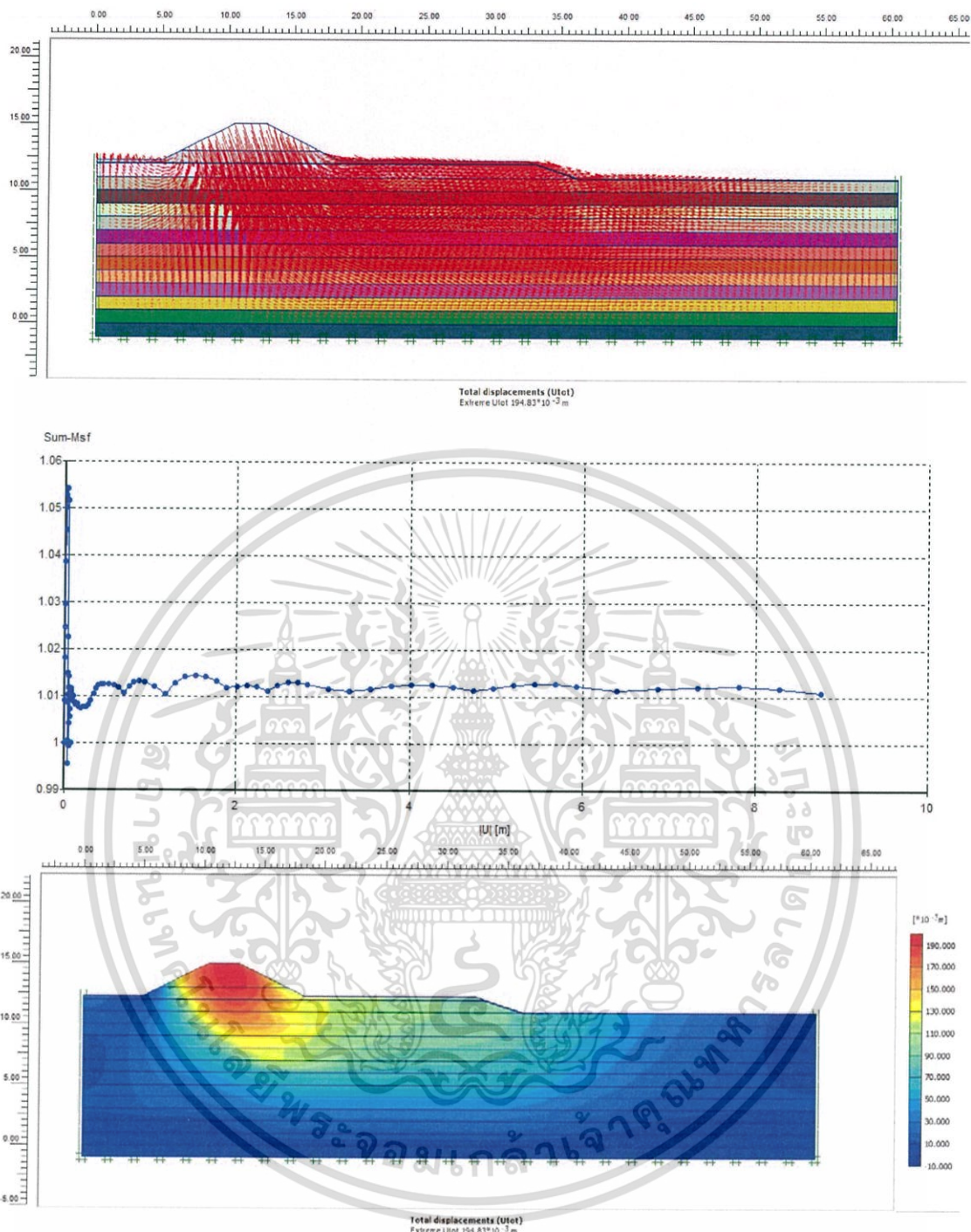
รูป ค.32 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



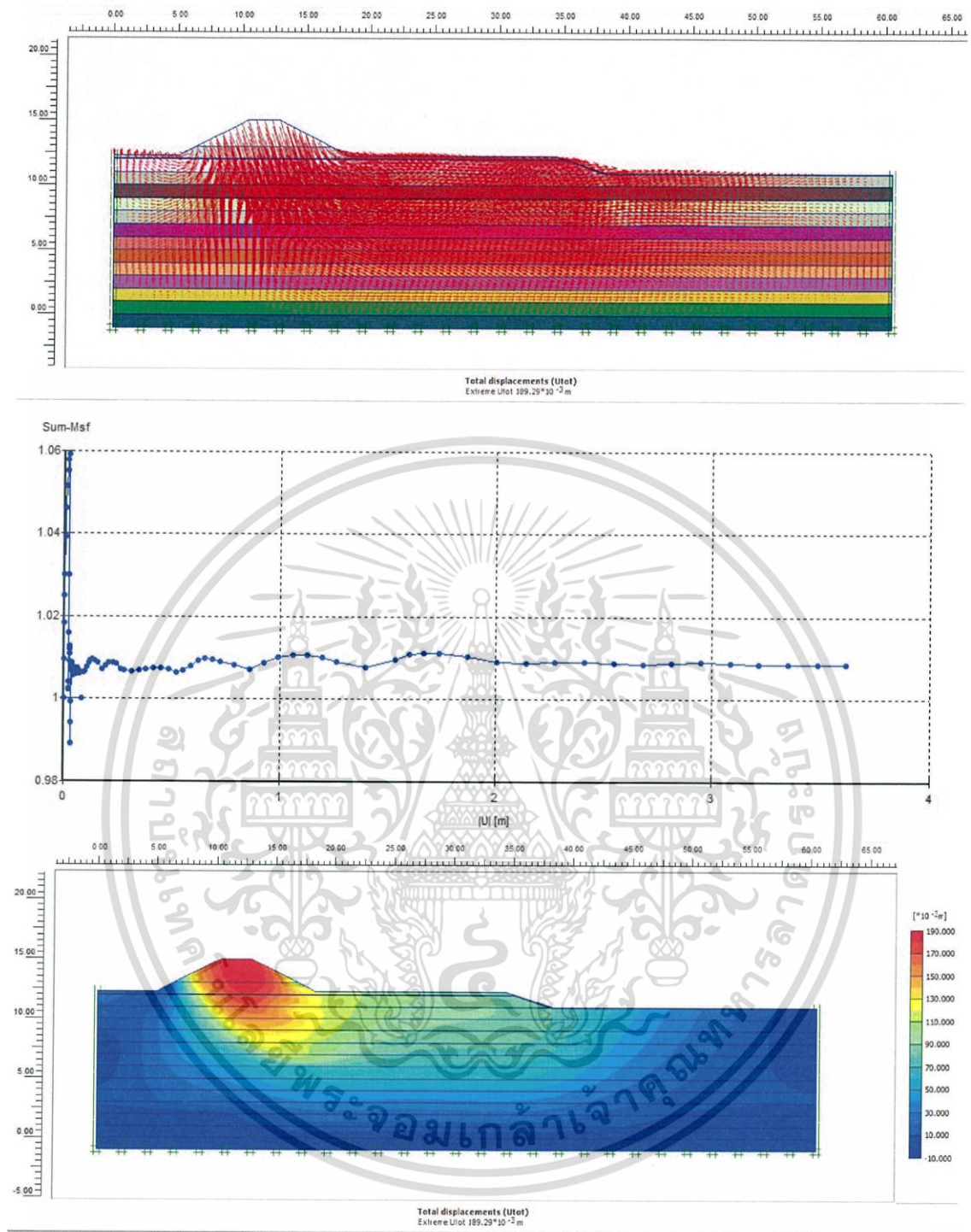
รูป ค.33 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 12 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.34 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะรันถอย 14 เมตร

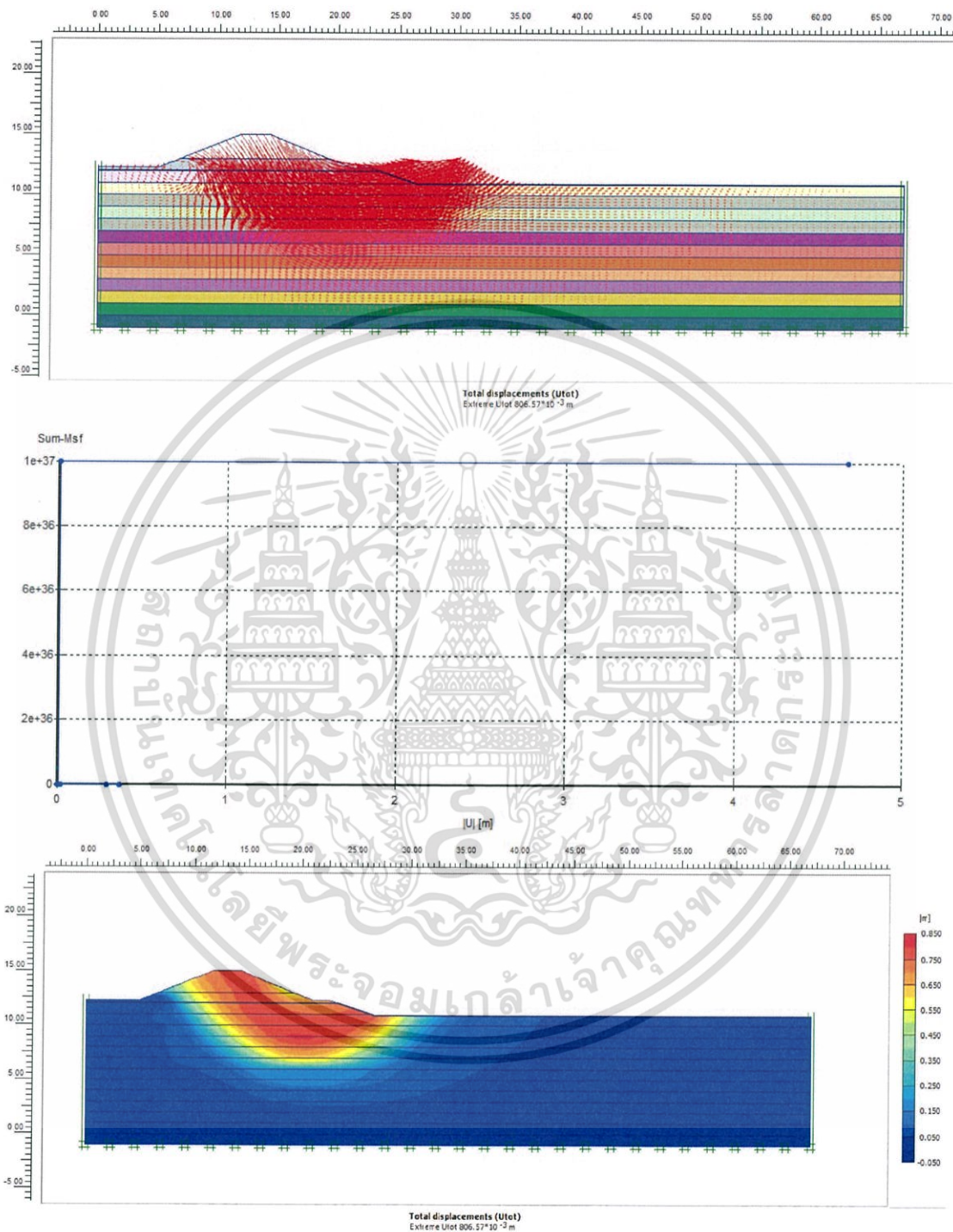
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.35 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะรันถอย 16 เมตร

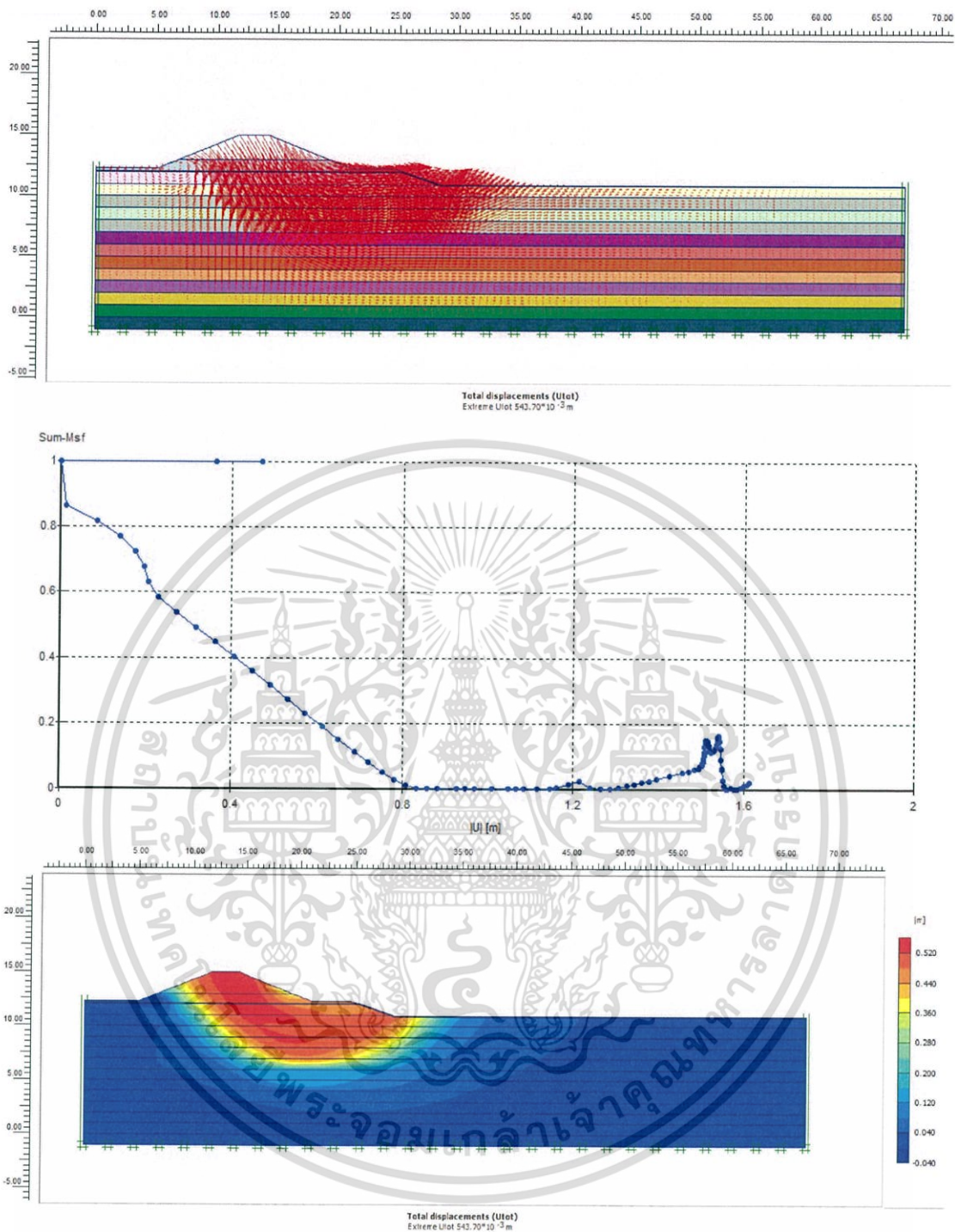
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.6 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 2 (Slope 1:2.5)



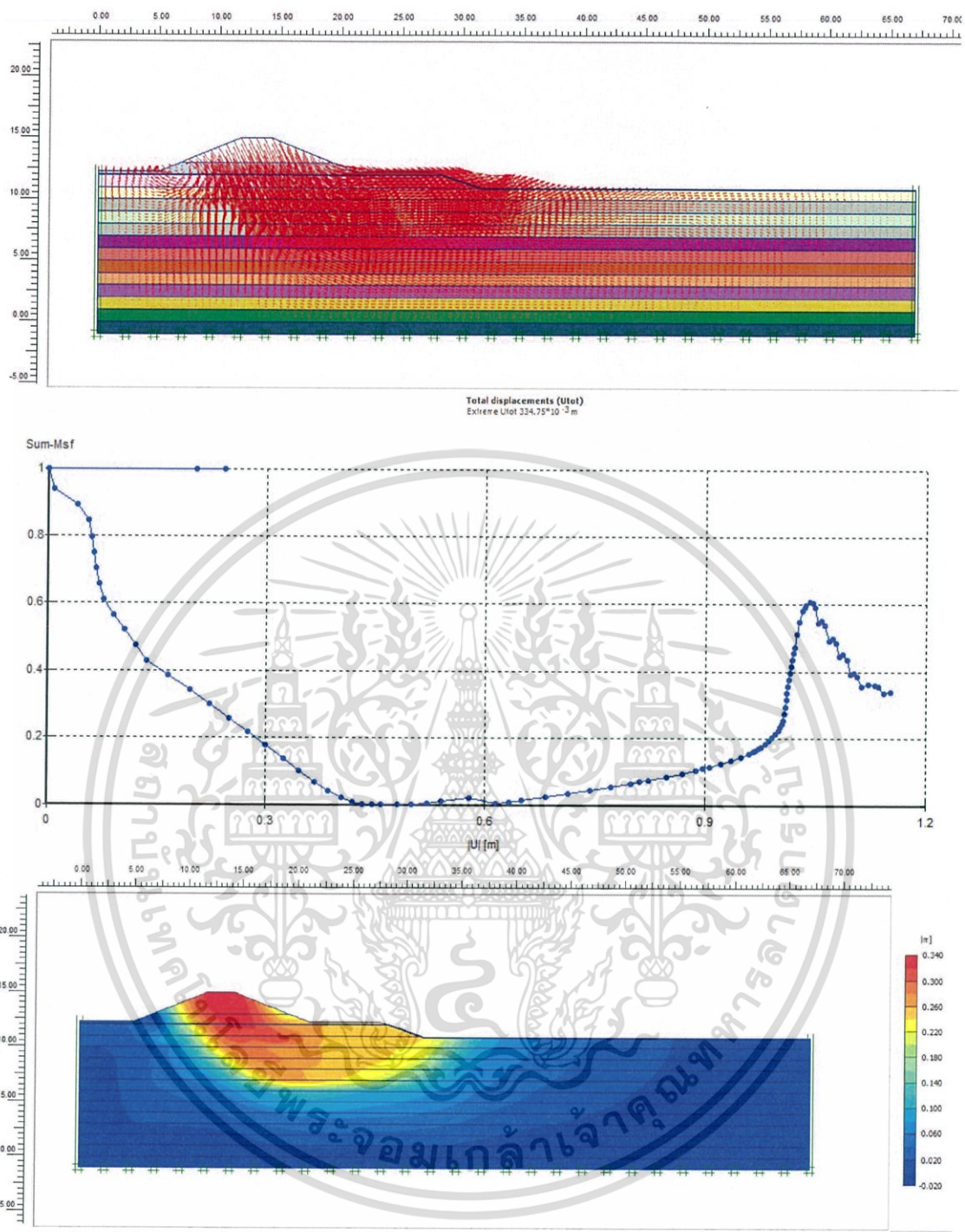
รูป ค.36 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



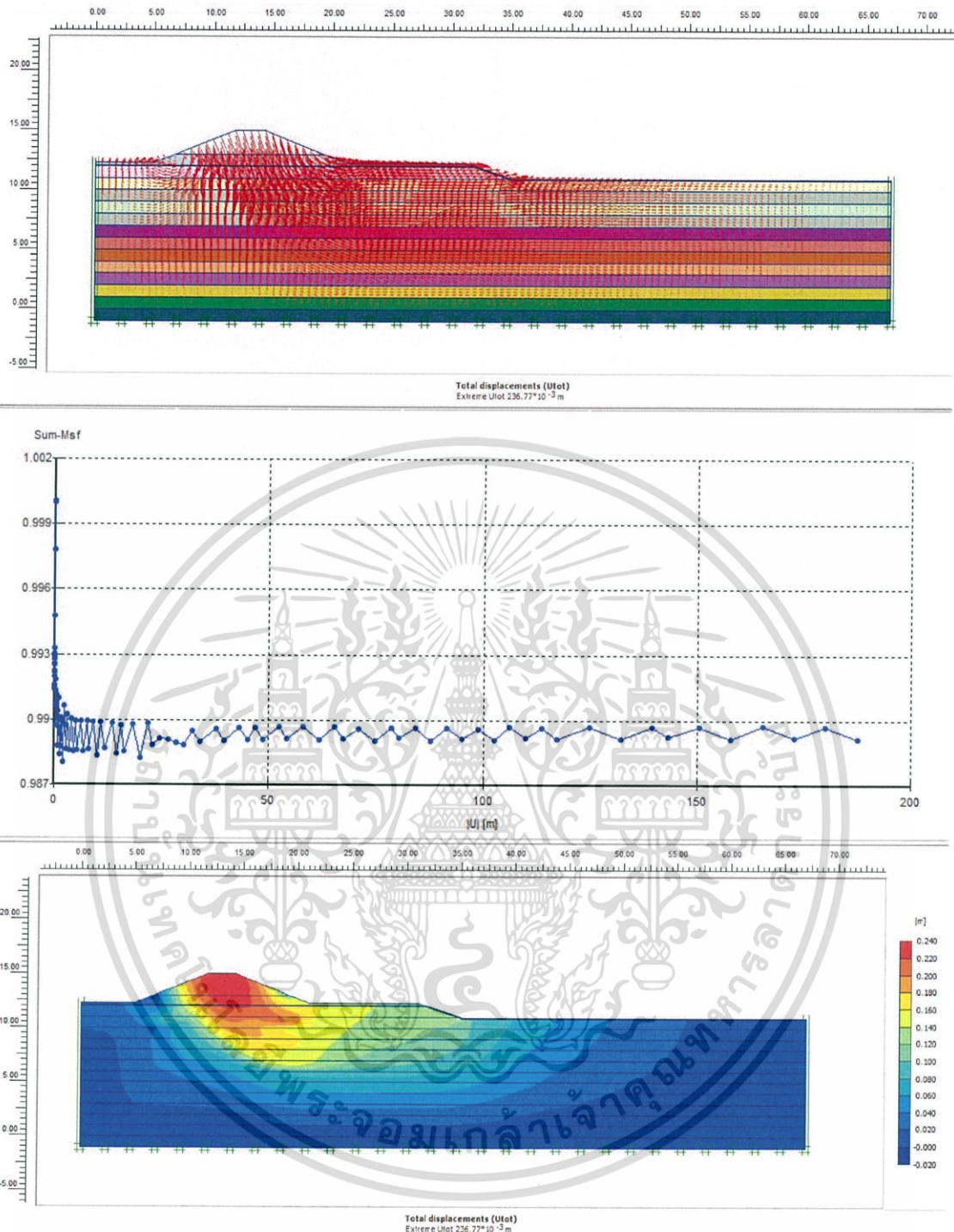
รูป ค.37 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



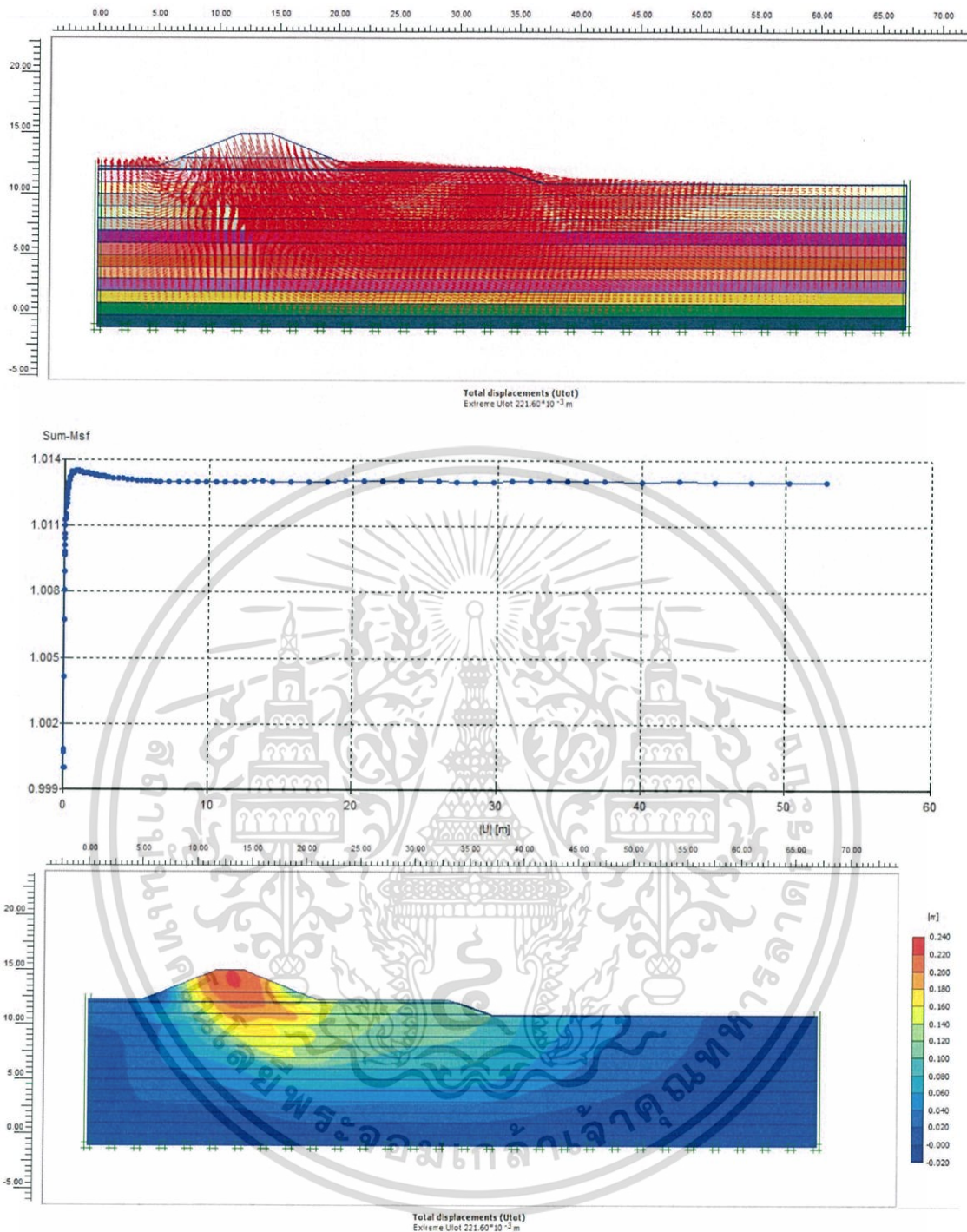
รูป ค.38 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 6.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



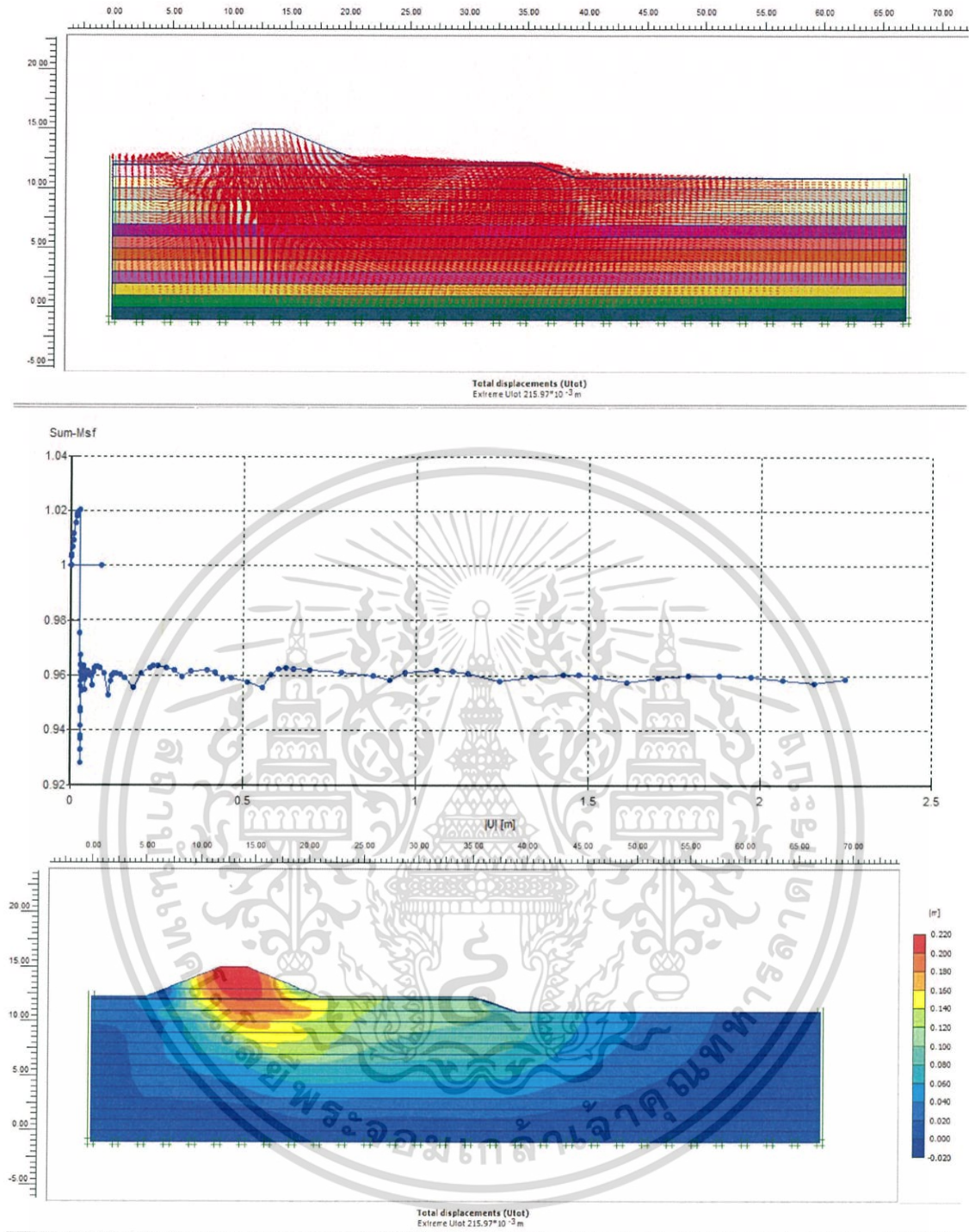
รูป ค.39 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



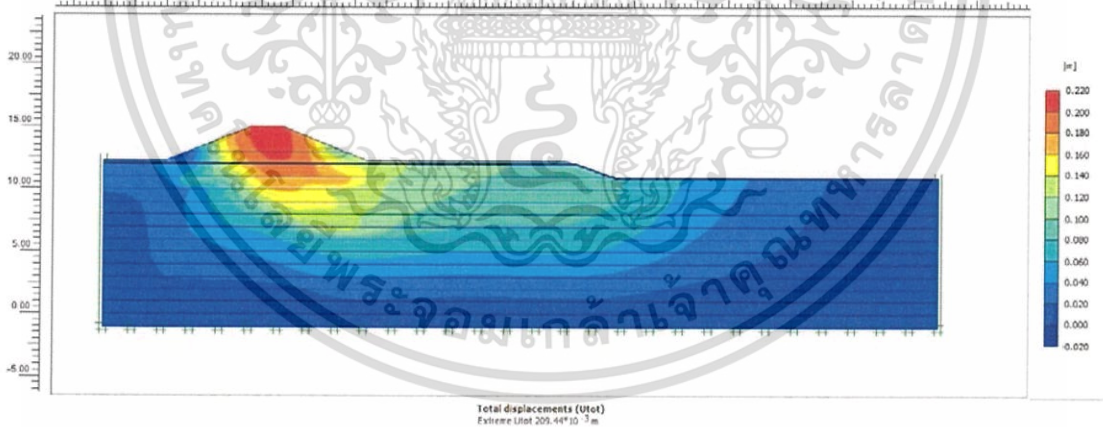
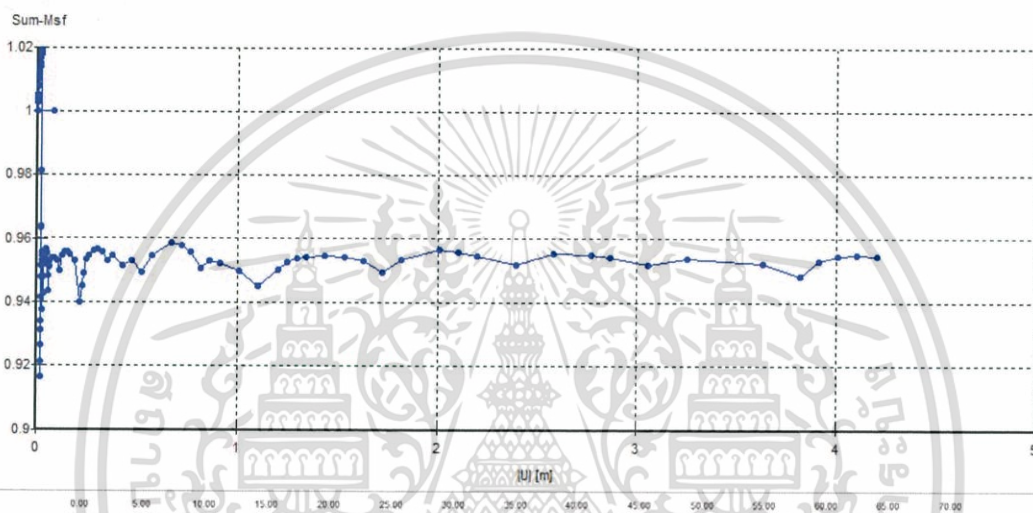
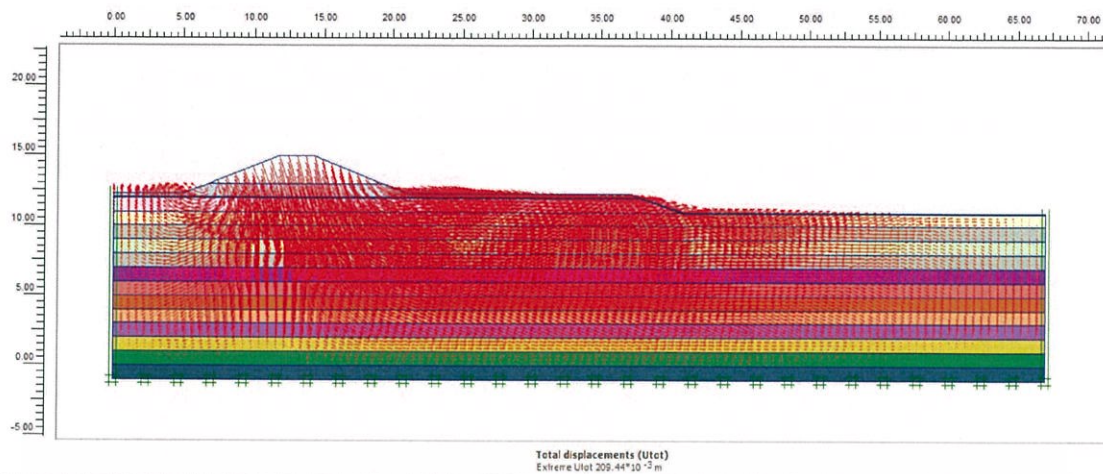
รูป ค.40 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 12 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.41 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 14 เมตร

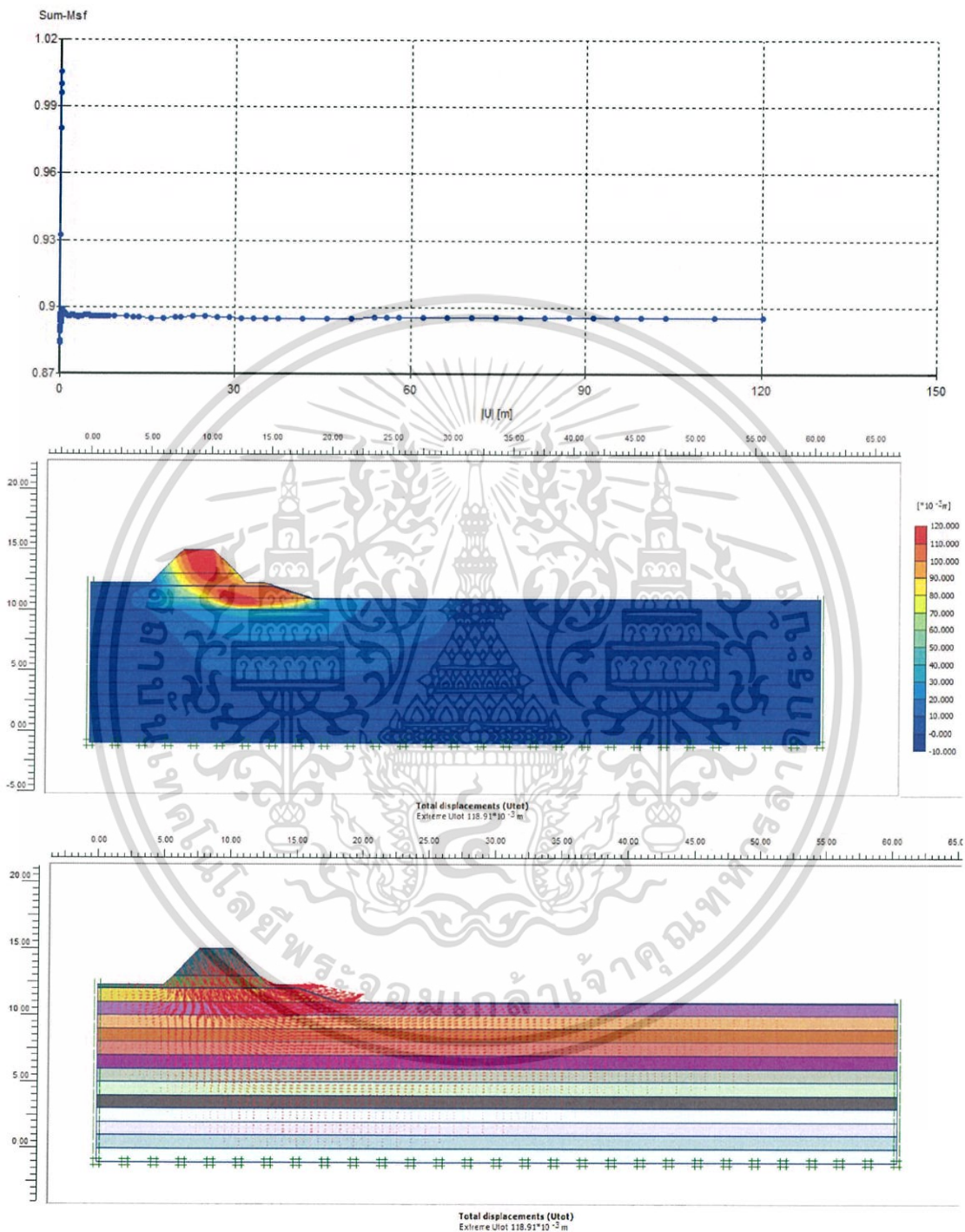
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.42 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 16 เมตร

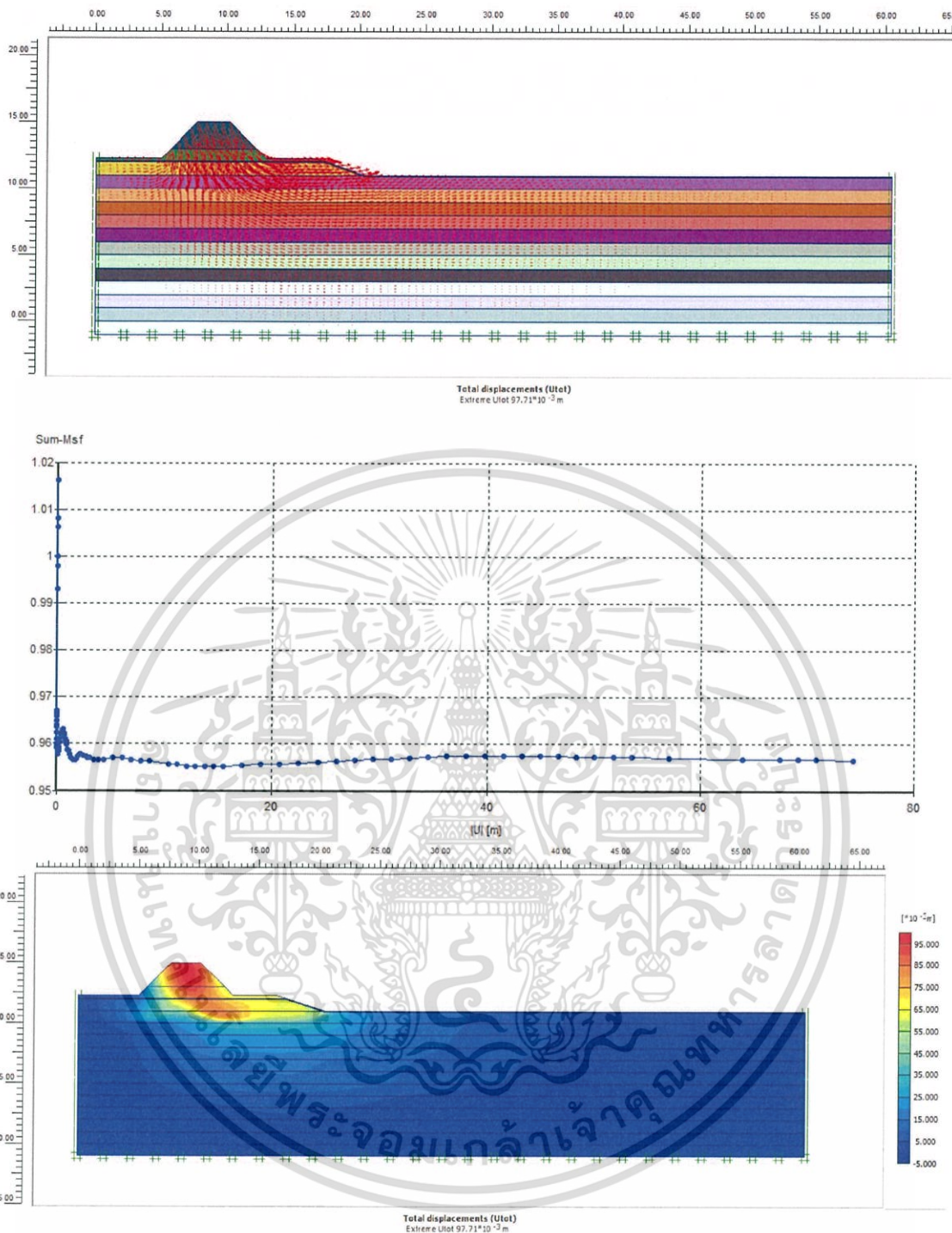
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.7 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 3 (Slope 1:1)



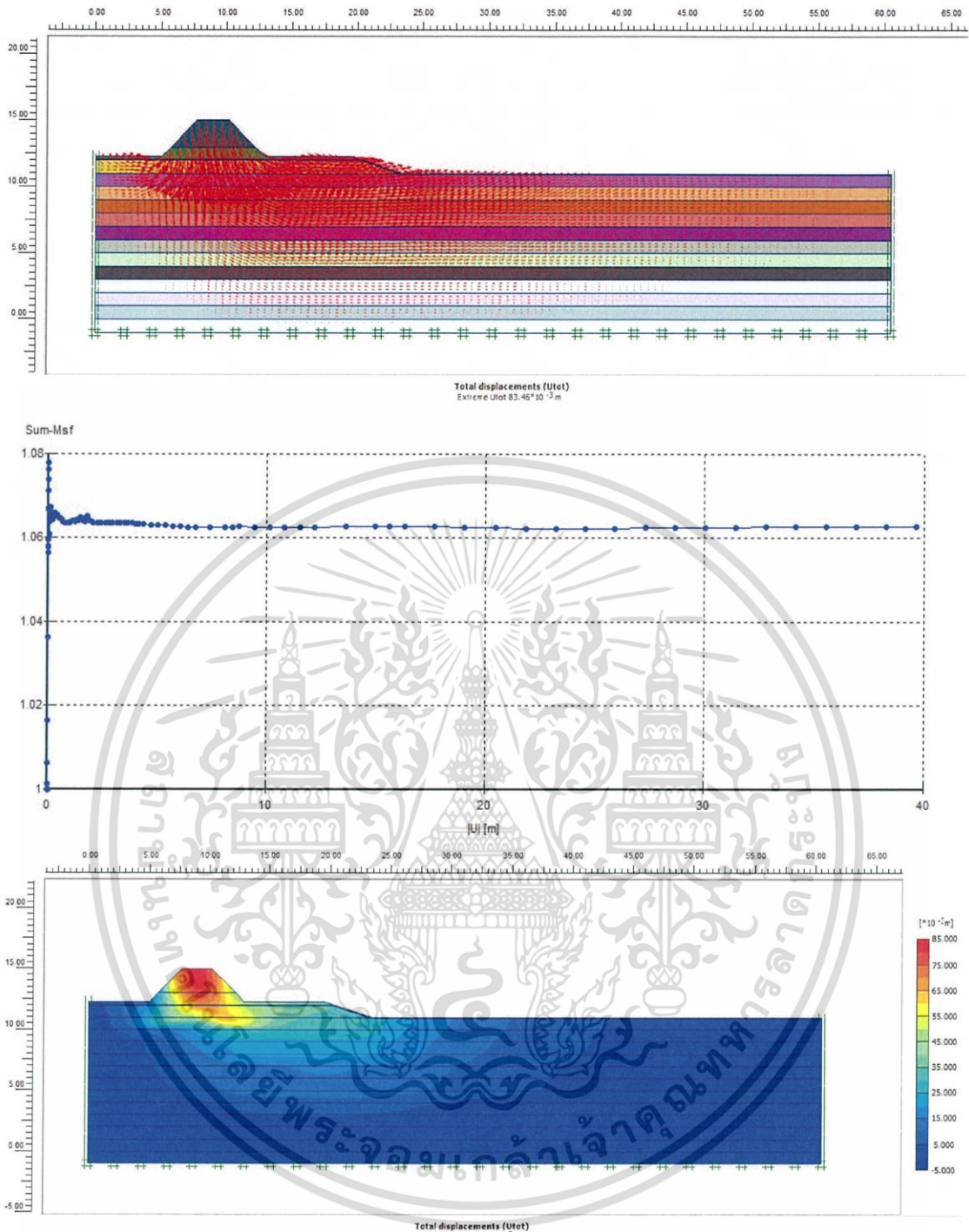
รูป ค.43 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



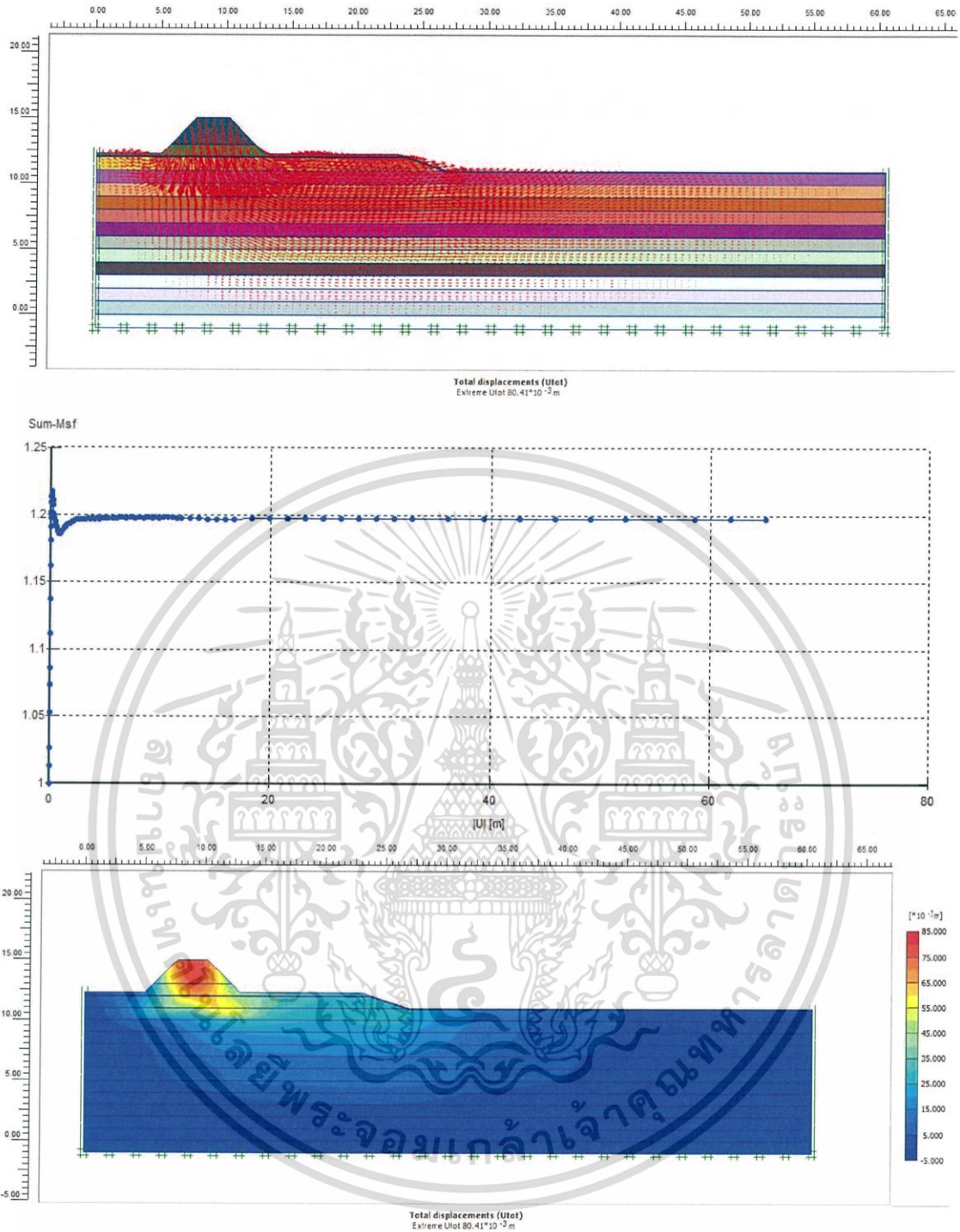
รูป ค.44 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



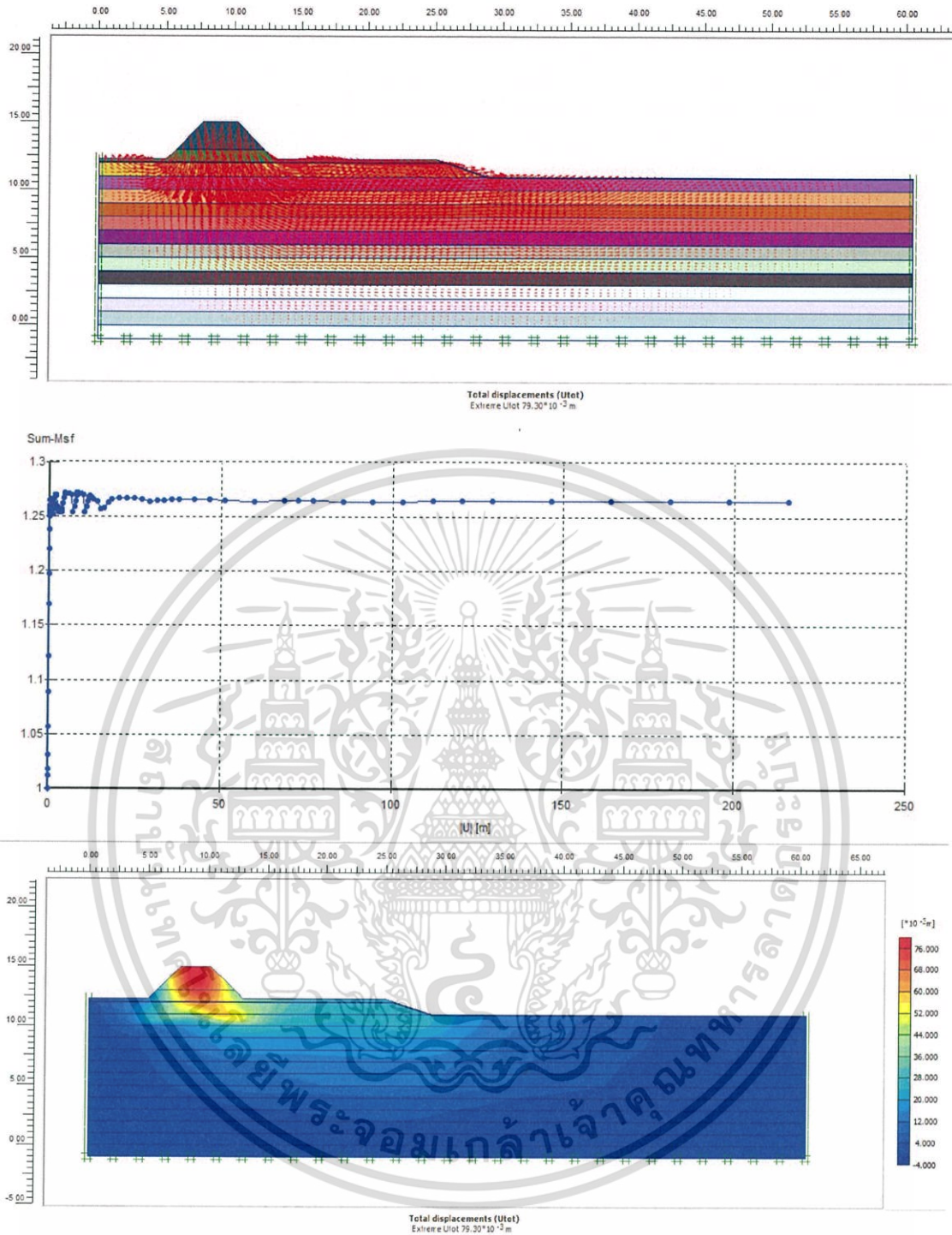
รูป ค.45 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 6.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



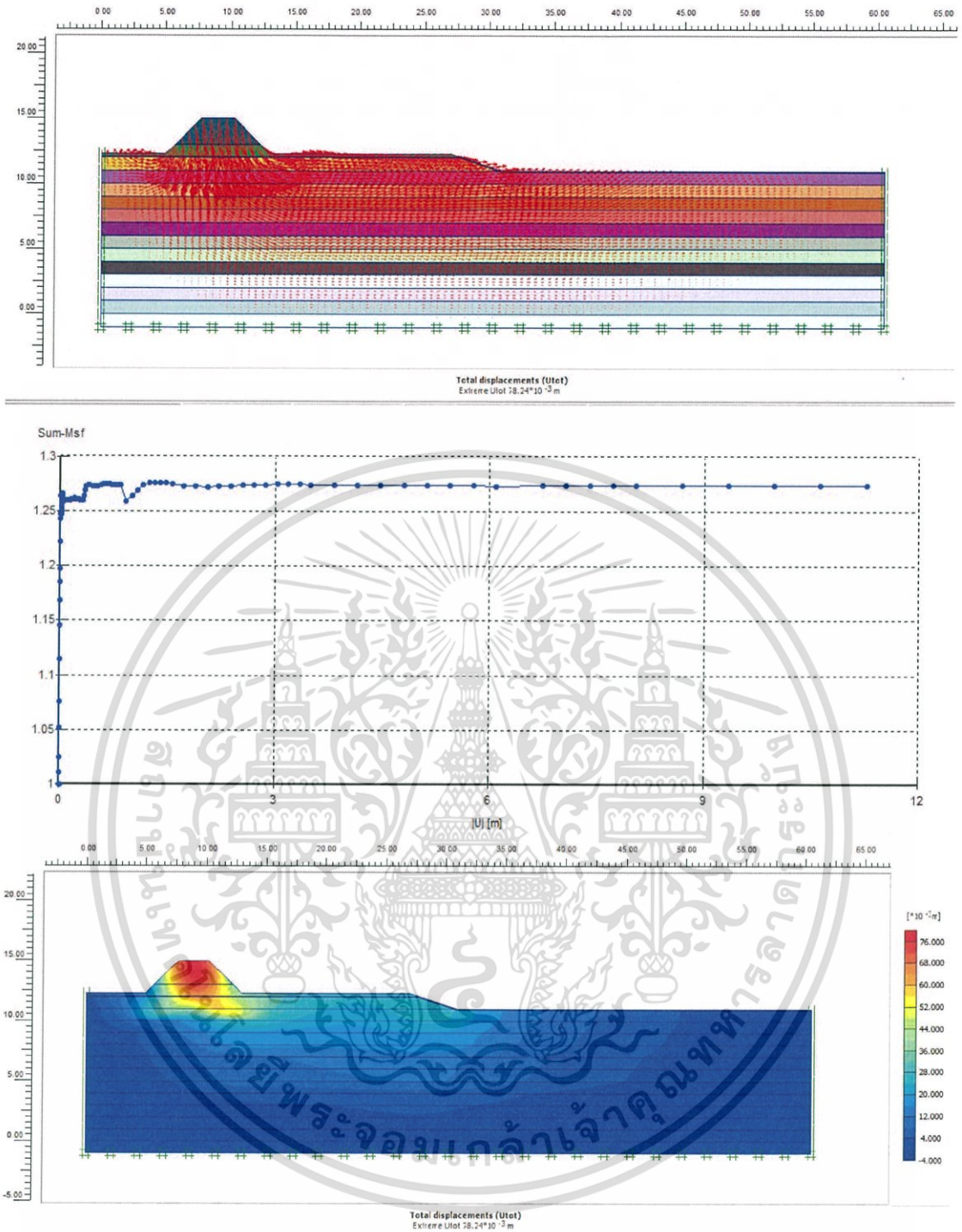
รูป ค.46 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



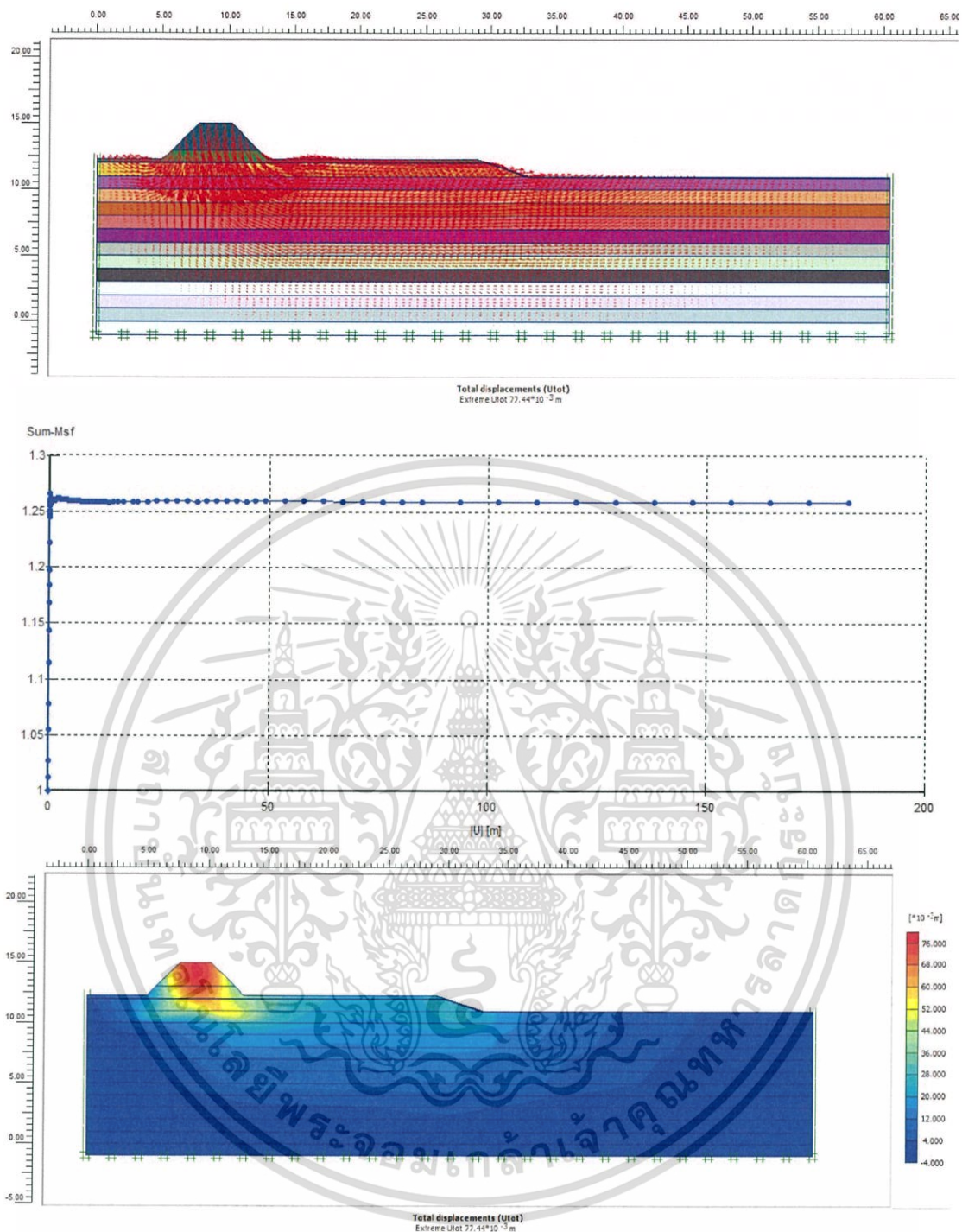
รูป ค.47 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 12 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.48 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 14 เมตร

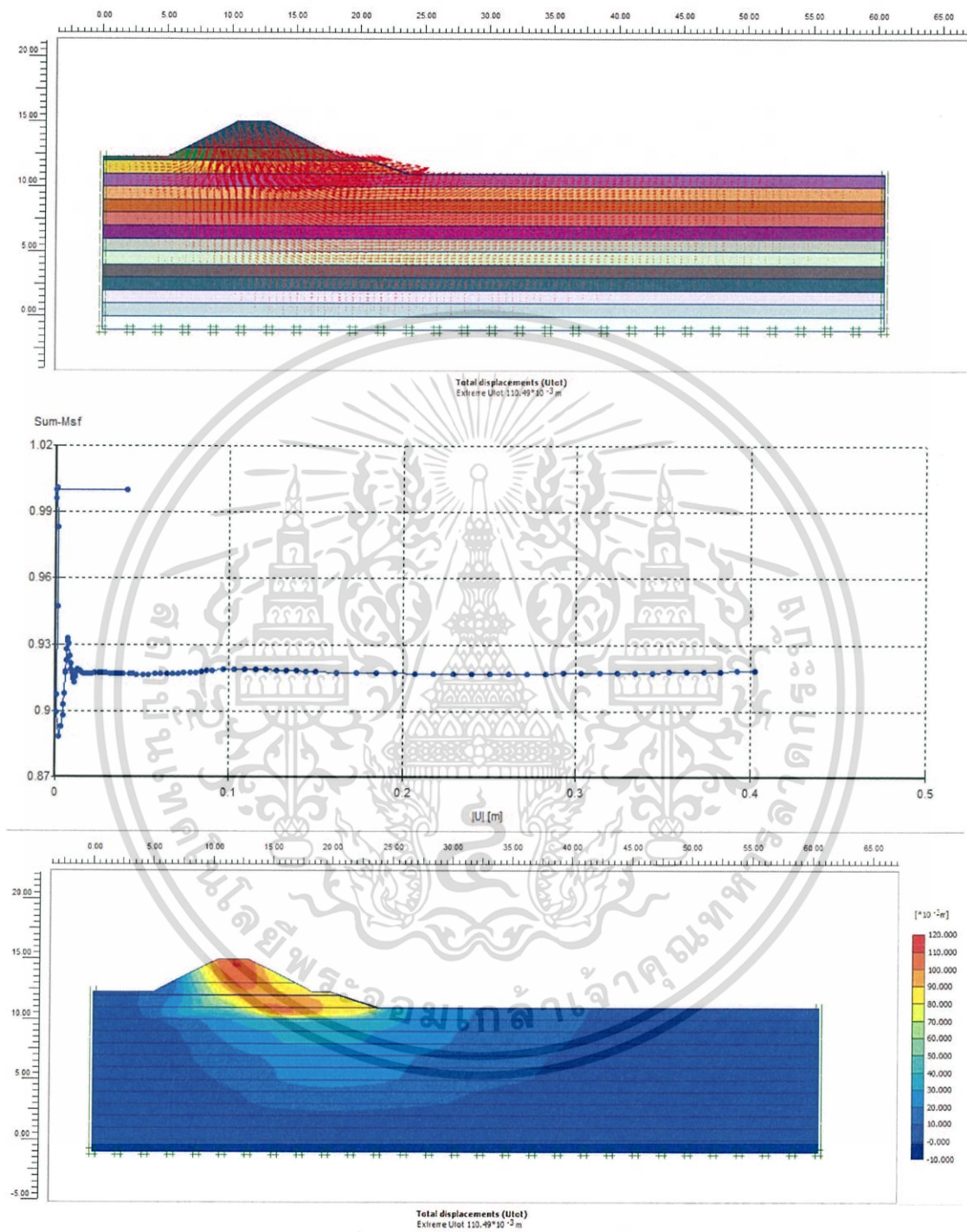
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.49 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 16 เมตร

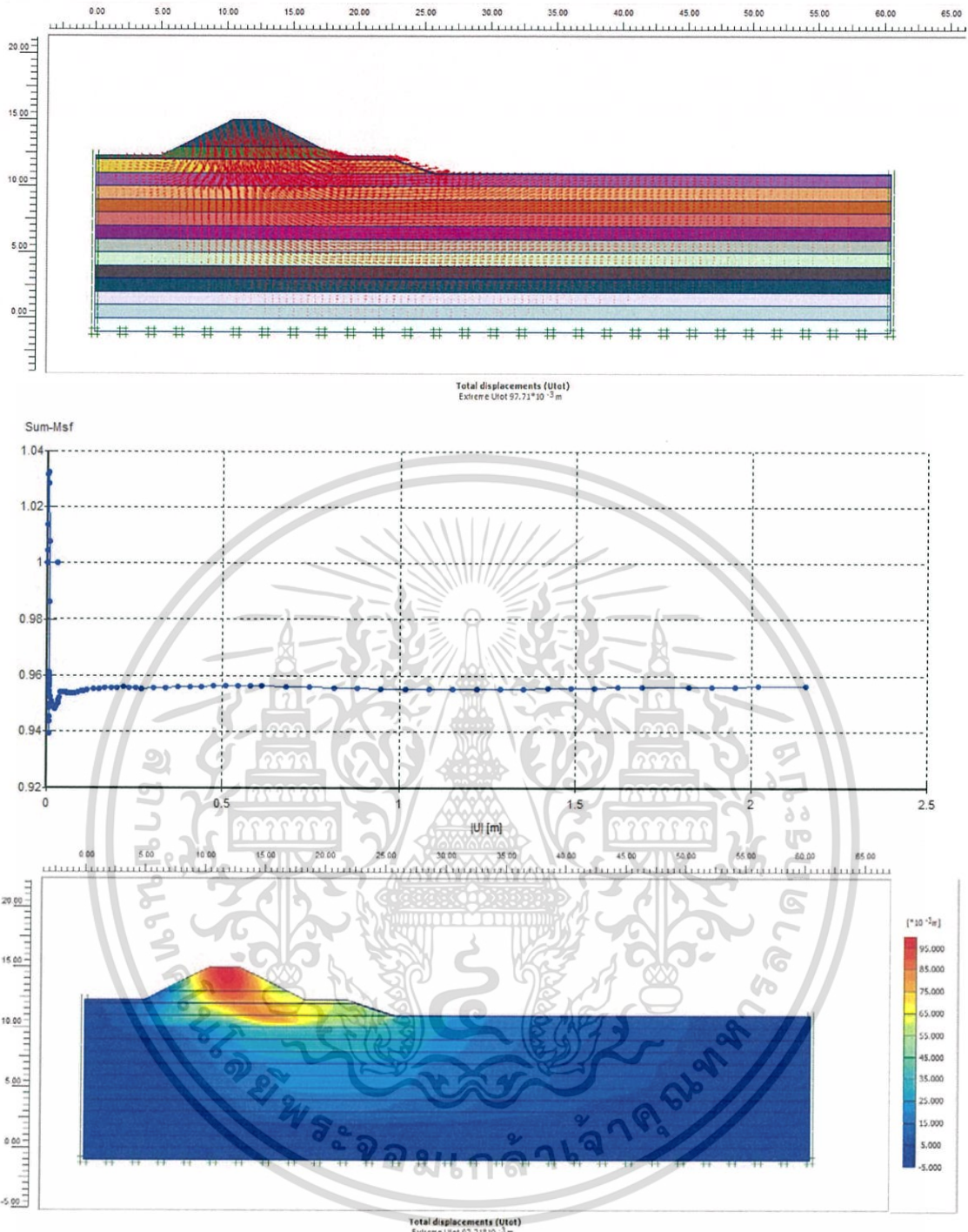
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ค.8 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 3 (Slope 1:2)



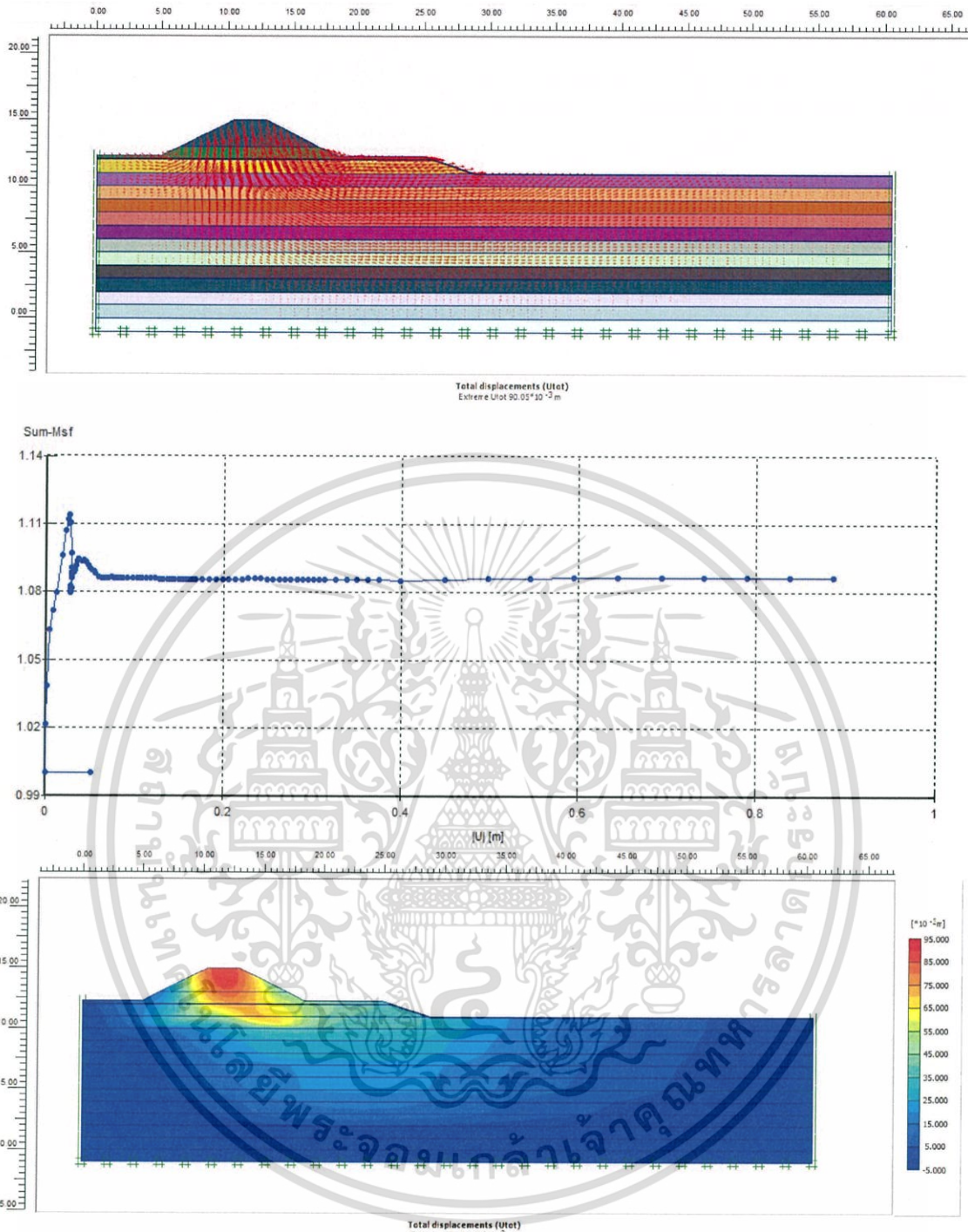
รูป ค.50 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



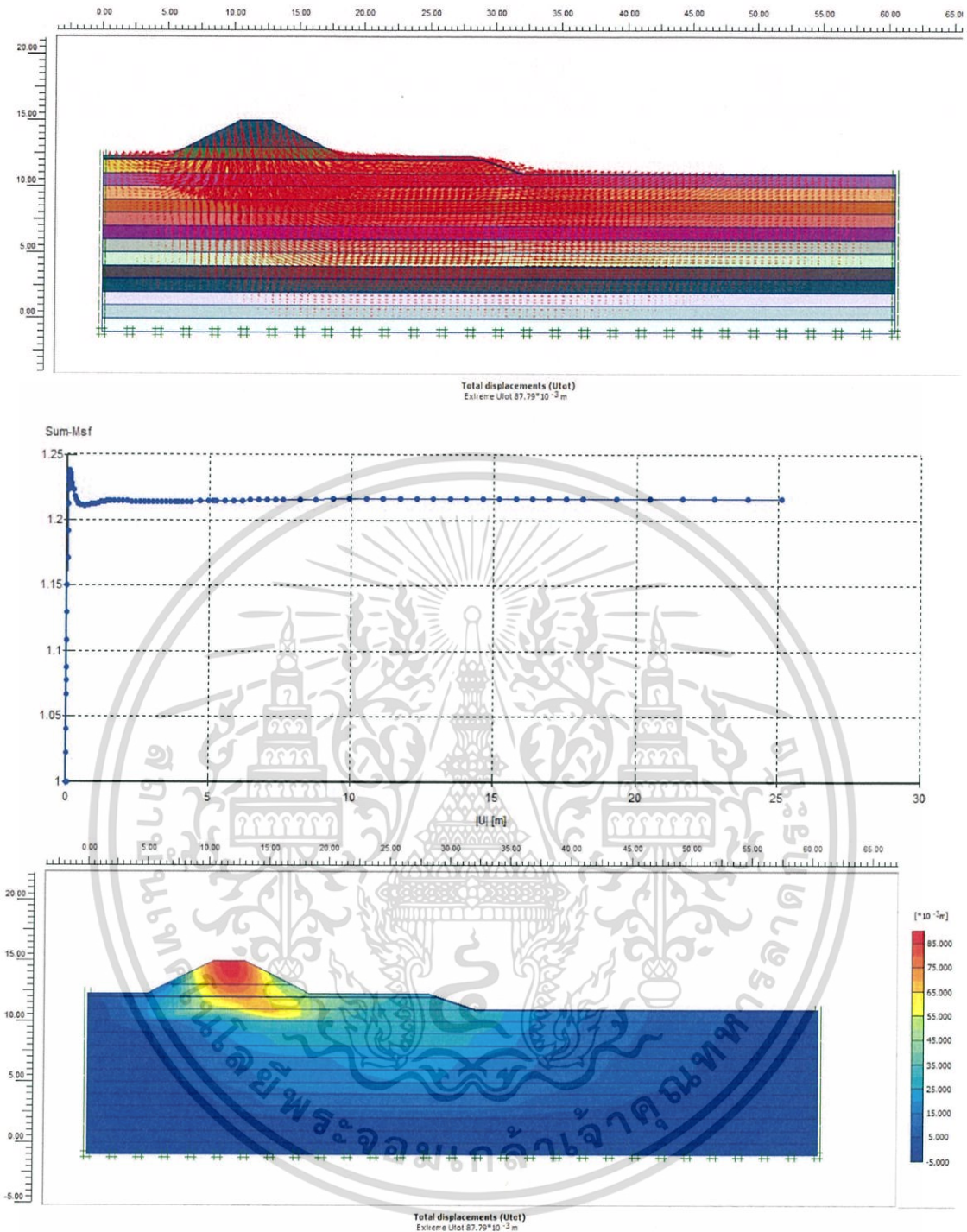
รูป ค.51 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



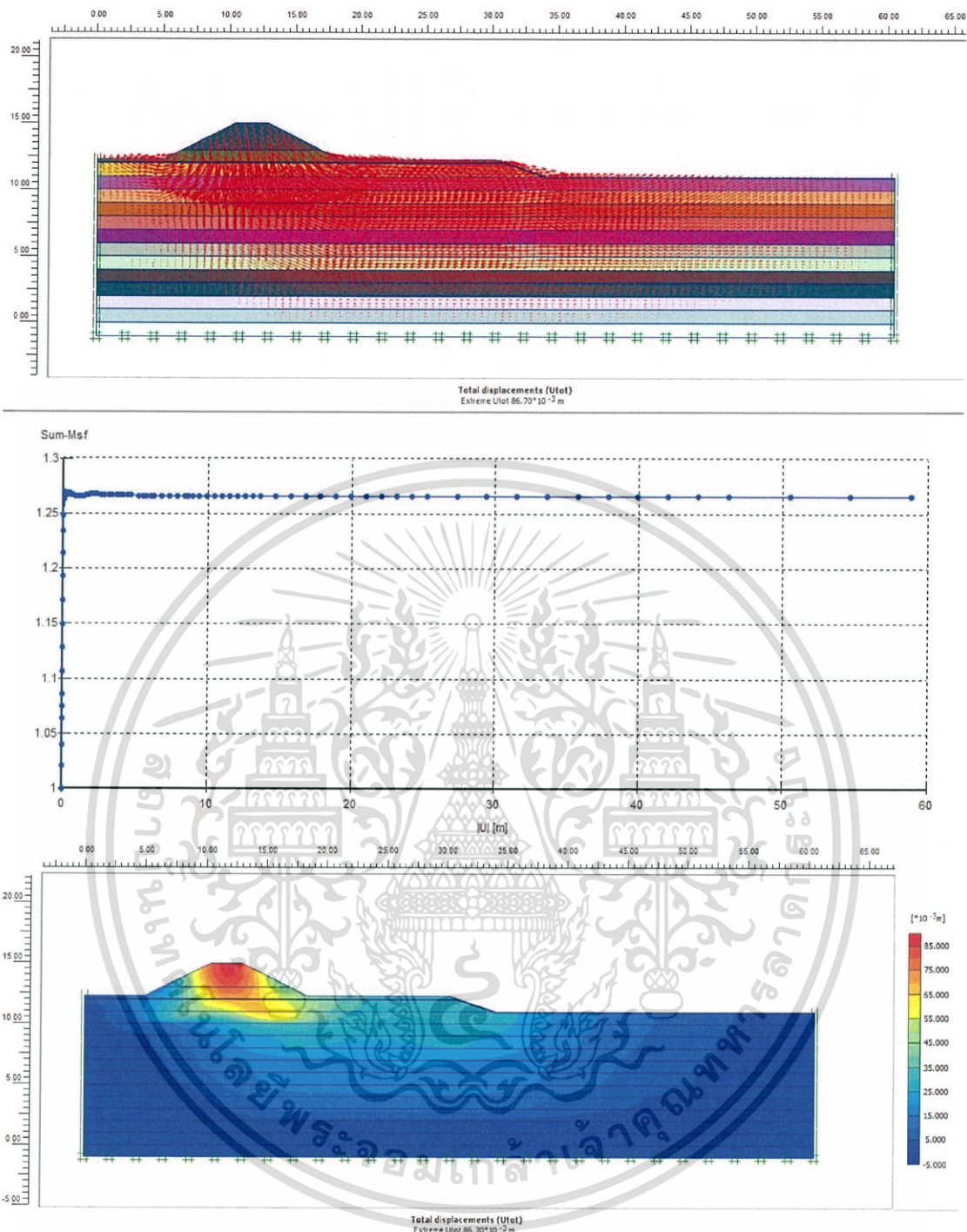
รูป ค.52 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 6.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



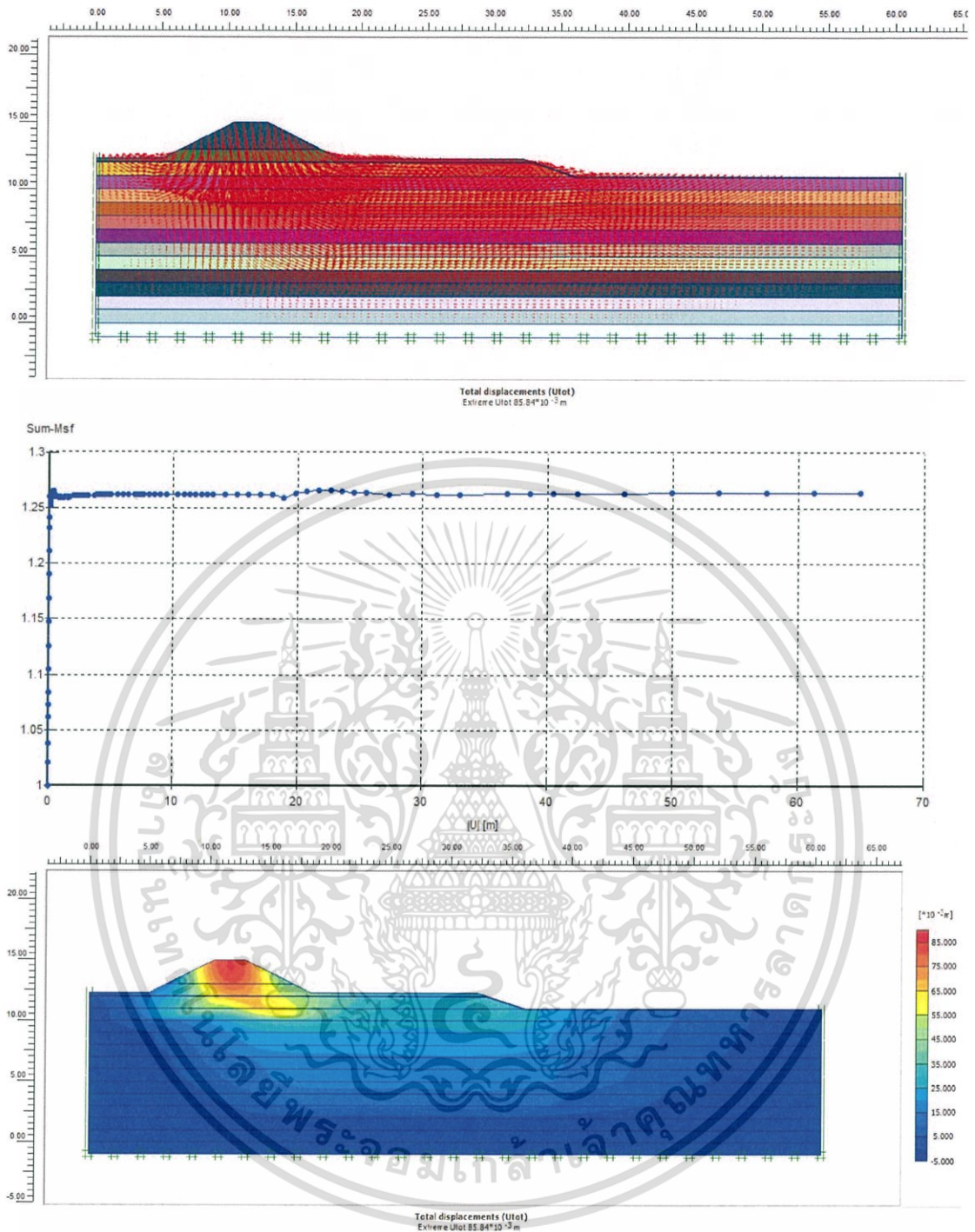
รูป ค.53 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



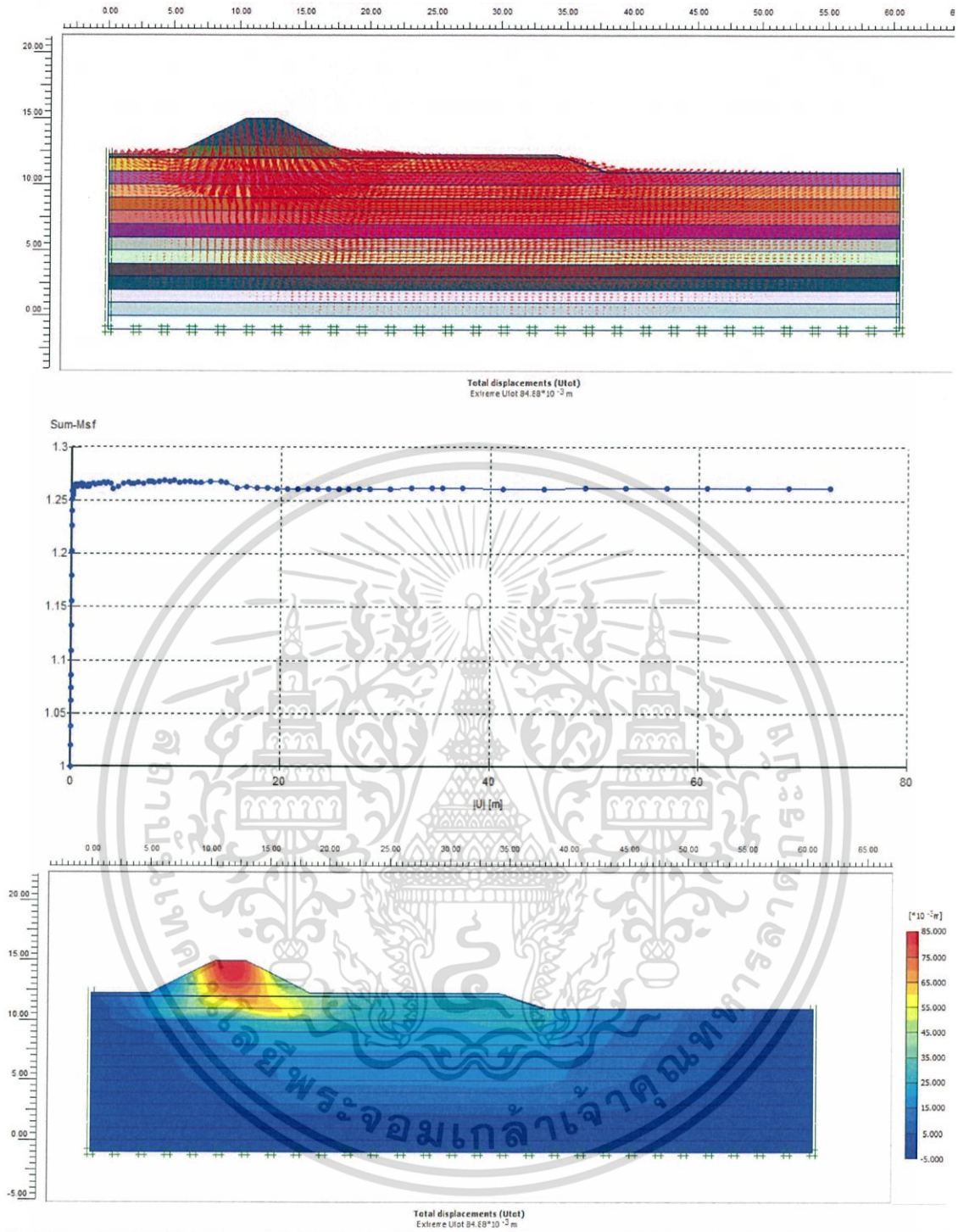
รูป ค.54 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 12 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.55 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 14 เมตร

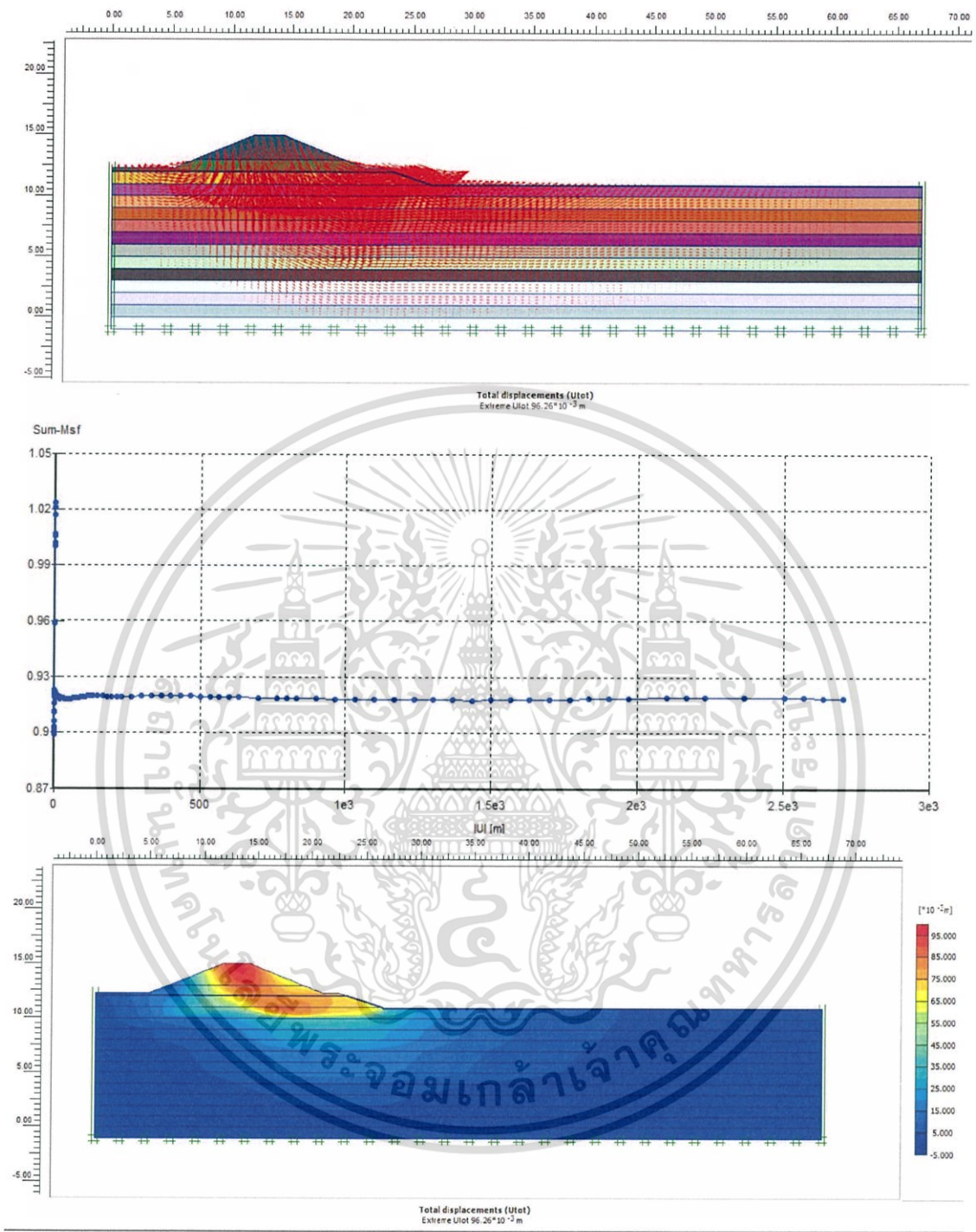
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.56 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 16 เมตร

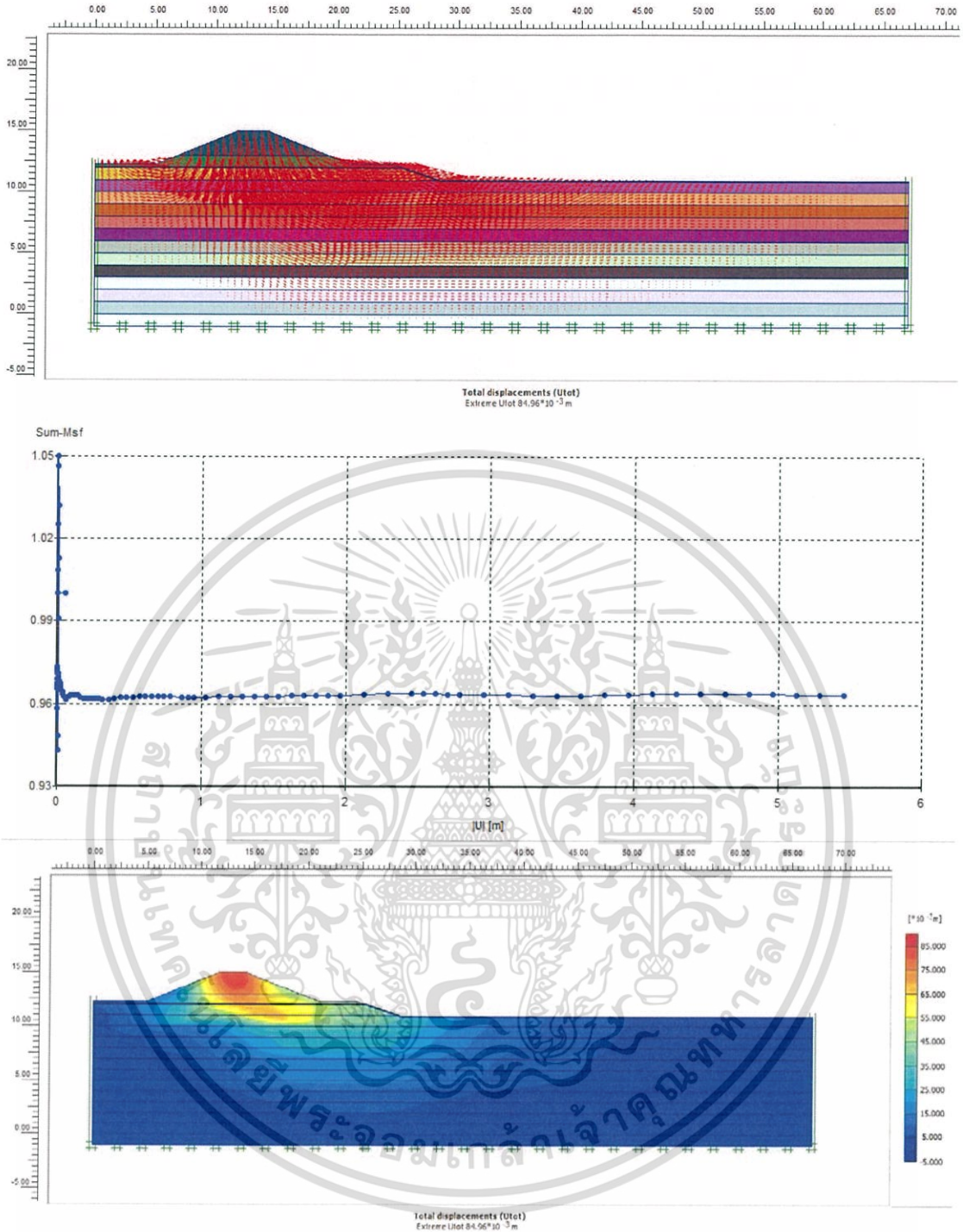
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.9 ผลการวิเคราะห์จากข้อมูลจากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจที่ 3 (Slope 1:2.5)



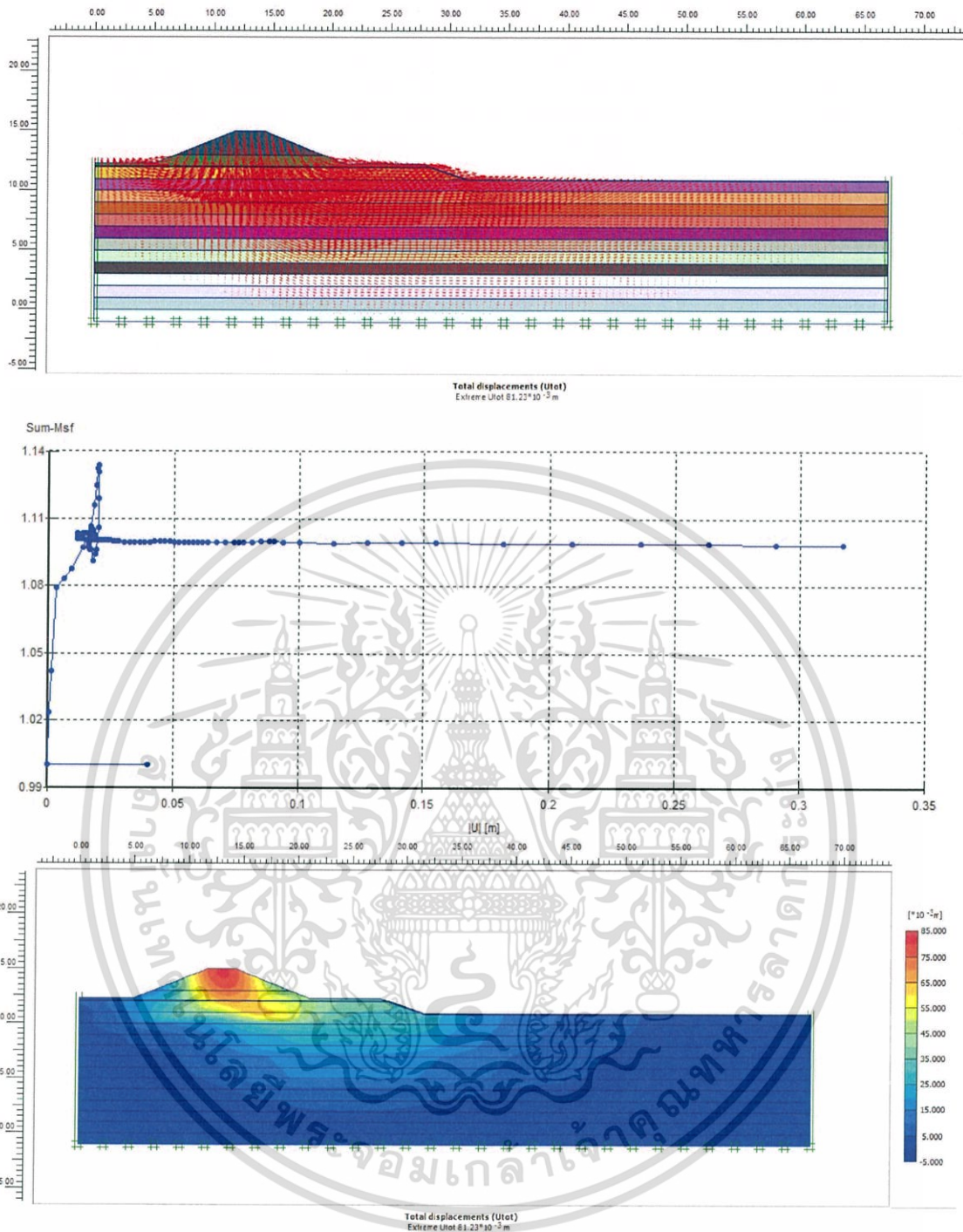
รูป ค.57 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



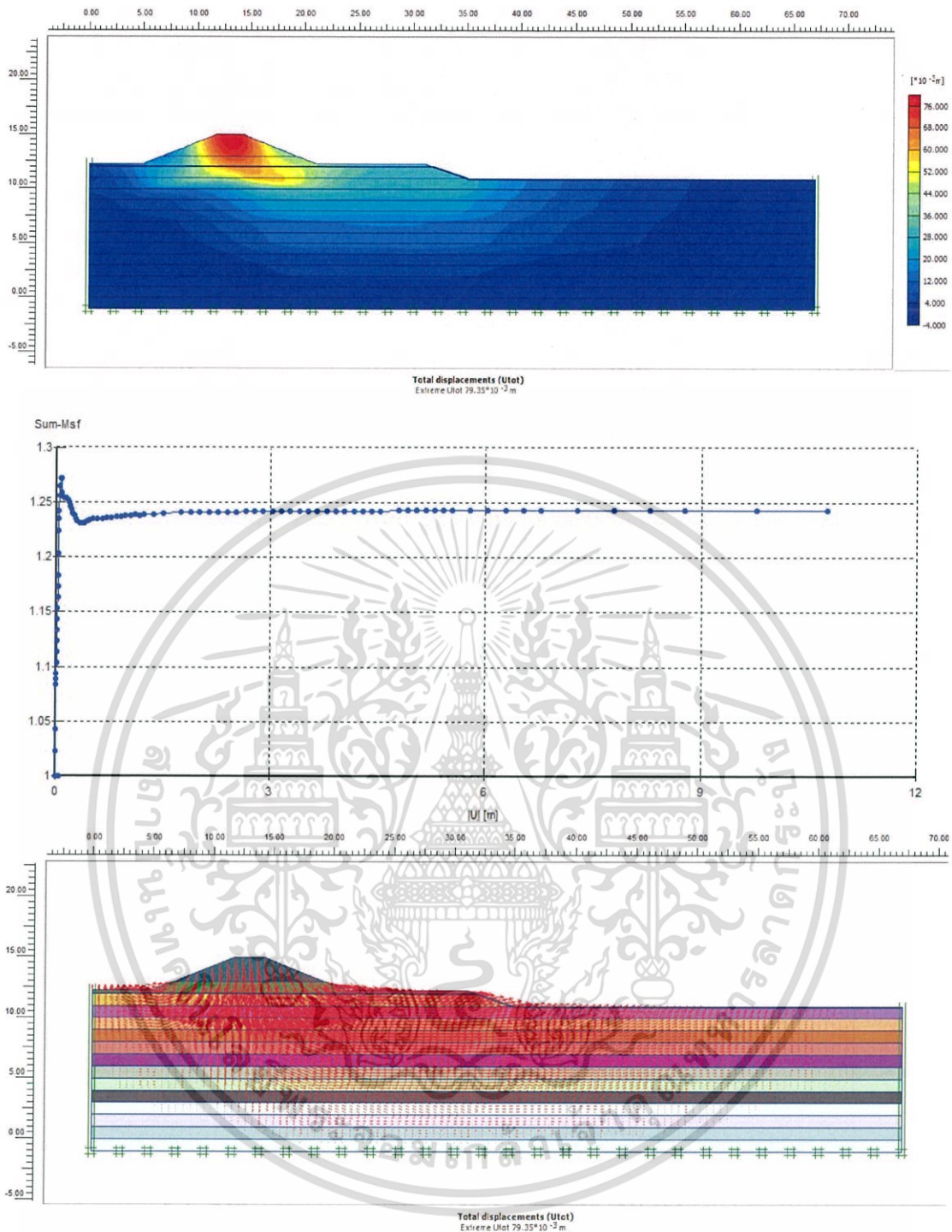
รูป ค.58 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 3.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



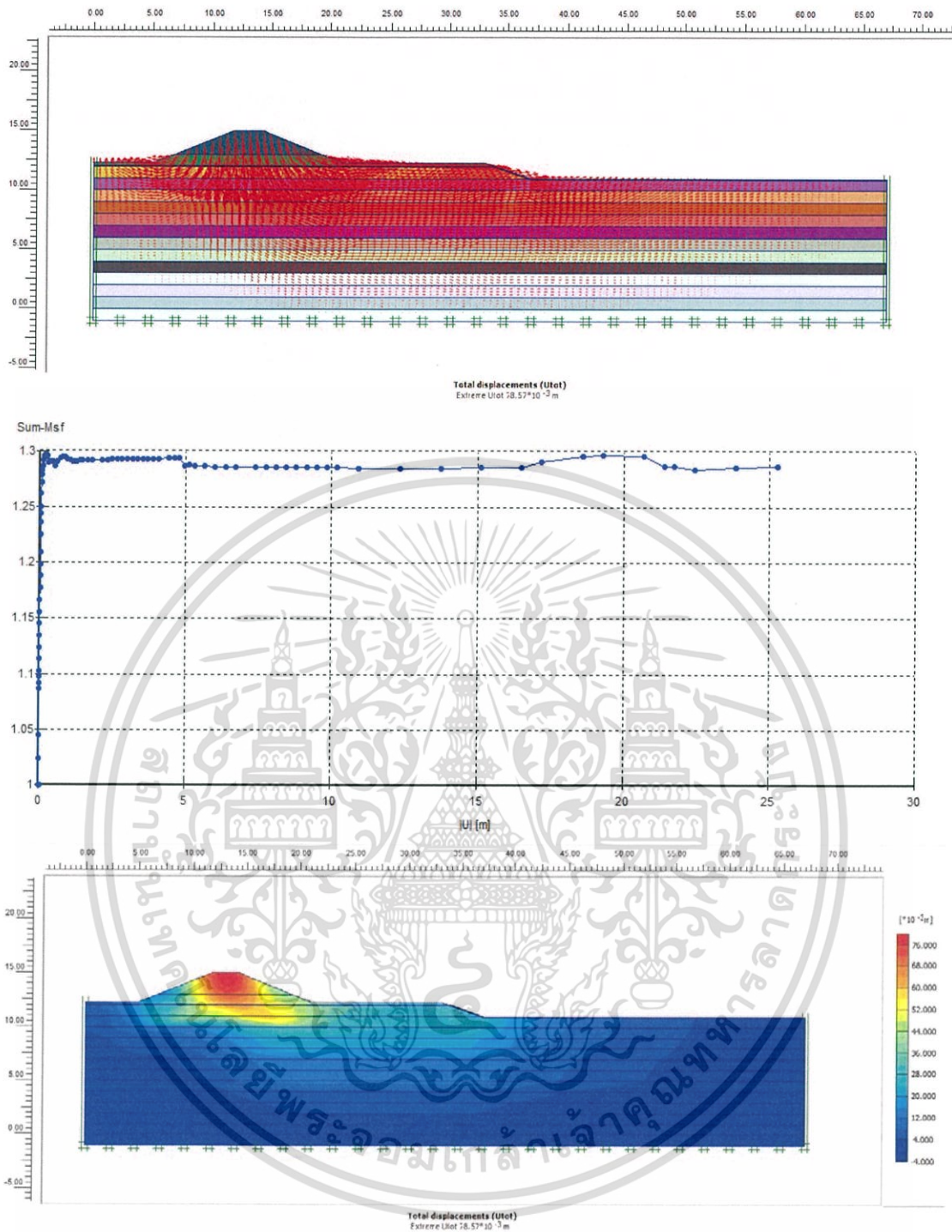
รูป ค.59 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 6.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



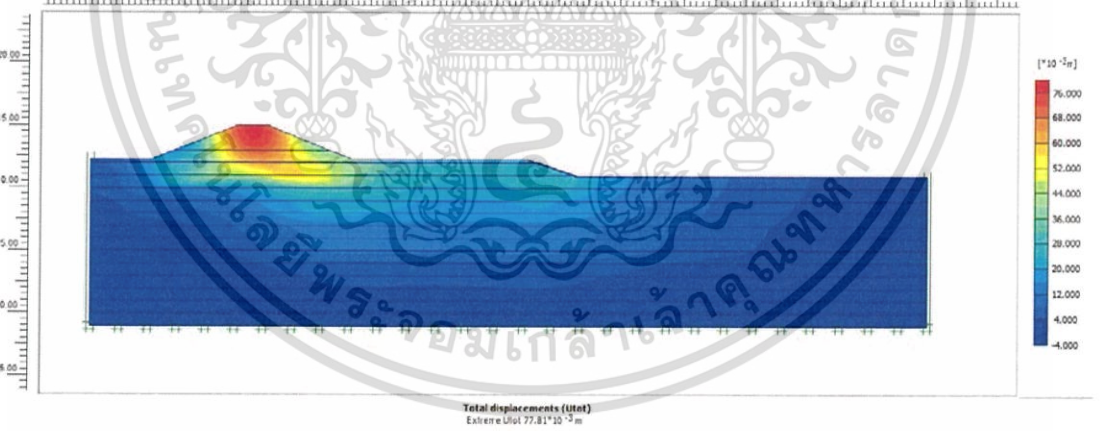
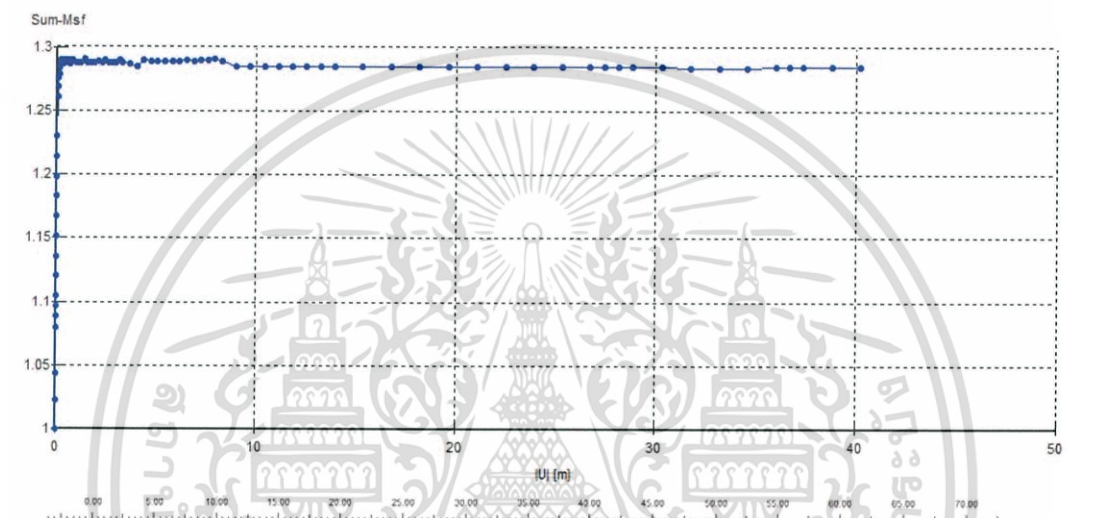
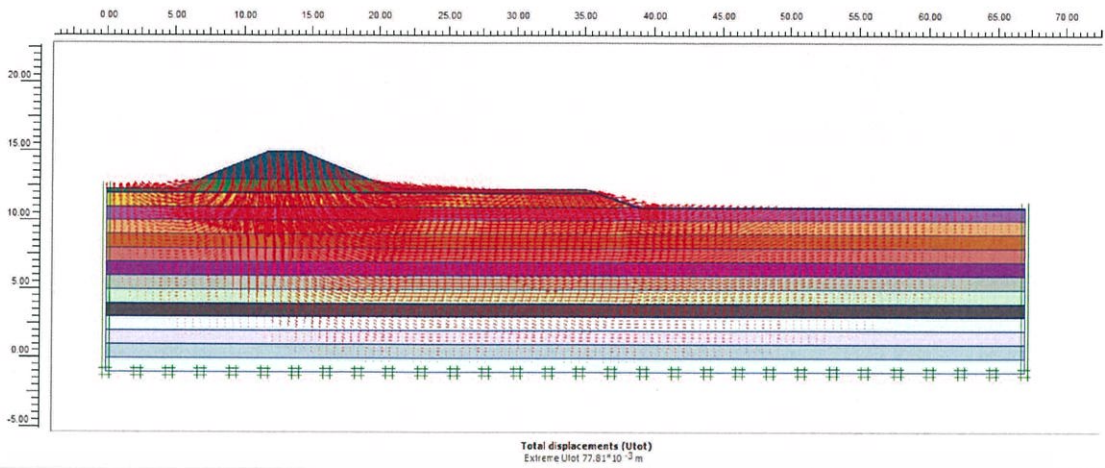
รูป ค.60 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



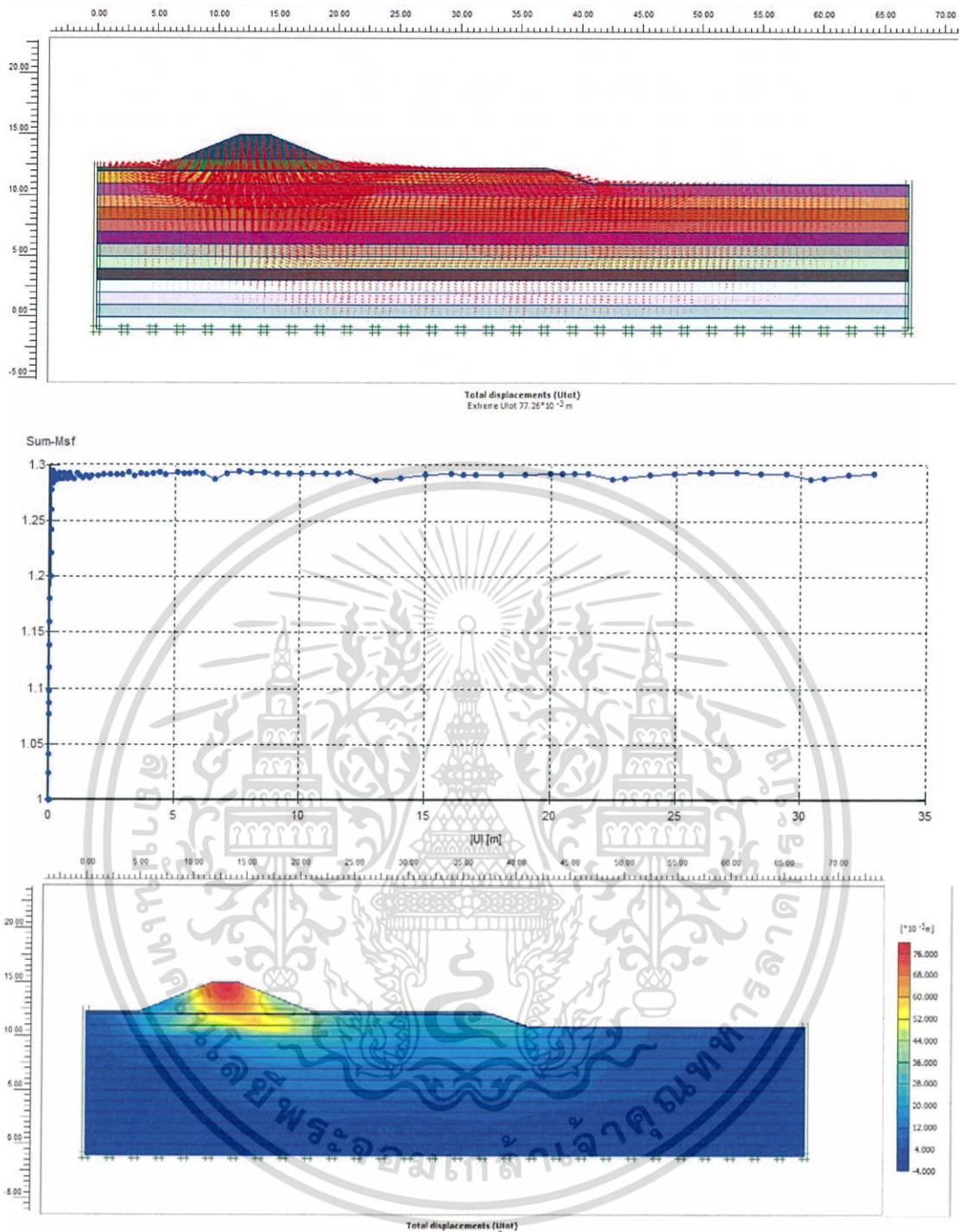
รูป ค.61 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะรันถอย 12 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.62 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 14 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค.63 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis 8.6 ที่ระยะร่นถอย 16 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้