

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาวิธีการวิเคราะห์กำลังกำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ
ในชั้นดินเหนียวกรุงเทพ ฯ

A STUDY OF METHOD ANALYSIS FOR RETAINING WALL AS
CONCRETE PANEL IN GROOVE PILE I SECTION IN BANGKOK CLAY



T117901



พ.ศ.
พ.จ.ว.ก.
2554

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

117901

22 ส.ค. 2554

๑. 1234 8983
๒.
๓.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2554

KMITL-2011-EN-M-093-099

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A STUDY OF METHOD ANALYSIS FOR RETAINING WALL AS
CONCRETE PANEL IN GROOVE PILE I SECTION IN BANGKOK CLAY**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2011

KMITL-2011-EN-M-093-099

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาวิธีการวิเคราะห์กำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่อง เข็มรูปตัวไอในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ฯ
นักศึกษา	นายพิศาล หมอปาน
รหัสนักศึกษา	49061516
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2554
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. อума สีบุญเรือง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการวิเคราะห์กำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ฯ พร้อมทั้งแนะนำรูปแบบสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับกำแพงกันดินชนิดนี้โดยใช้หลักการวิเคราะห์หาแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดินแบบคานยื่น มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ และทำการเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ โดยแบ่งตัวอย่างดินถมหลังกำแพงกันดินที่ใช้ทดสอบออกเป็น 2 กรณี นั่นคือ ดินถมหลังกำแพงกันดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมั่น หรือดินทราย และดินถมหลังกำแพงกันดินชนิดที่มีความเชื่อมั่นหรือดินเหนียว โดยการตรวจสอบแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินเป็นหลัก ซึ่งพบว่าค่าแรงเฉือน และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ประยุกต์ใช้นั้น ให้ค่าที่มากกว่าวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์อันเนื่องจากวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ได้พิจารณาถึง การเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นของดิน และกำแพงกันดินด้วย ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบจากทั้งสองวิธีนี้ พบว่าวิธีที่ประยุกต์ใช้มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์ห้ออกแบบกำแพงกันดินที่มีดินถมเป็นดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมั่น และสัดส่วนที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบในส่วนของกำแพงกันดินที่มีดินถมเป็นดินชนิดที่มีความเชื่อมั่น จะนำไปสู่การเลือกใช้วิธีการในการวิเคราะห์ห้ออกแบบ และเป็นแนวทางที่ใช้ในการออกแบบกำแพงกันดินชนิดนี้ต่อไป

Thesis Title	A STUDY OF METHOD ANALYSIS FOR RETAINING WALL AS CONCRETE PANEL IN GROOVE PILE I SECTION IN BANGKOK CLAY
Student	Mr.Pisan Morpan
Student ID.	49061516
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2011
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Uma Seeboonruang

ABSTRACT

This research to study of method analysis for retaining wall as concrete panel in groove pile I section in Bangkok soft clay. Also suggest the suitable form and proportion type of retaining wall in case of lateral earth pressure analysis of retaining wall as cantilever beam for apply an analyze lateral earth pressure of retaining wall to compare with finite element method by separate 2 cases of the specimens testing of soil back fill behind retaining wall are type of cohesionless soil or sand and cohesion soil or clay by verify the result of major force reaction of retaining wall. It was found out value of shear force and moment as retaining wall by application method analysis are more than finite element method because the finite element method was considered of soil movement and retaining wall. For these results of both methods analysis comparison were found the application method is properly to analyze & design for retaining wall including cohesionless soil back fill and the proportion from analysis comparison in part of retaining wall including cohesion soil back fill will bring to be selected the methods of analysis & design and further for ideas to design this type of retaining wall.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก ผศ.ดร. อูมา สีนุญ
เรื่อง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์, ผศ. สมเกียรติ ขวัญพฤษดิ์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์
ร่วม ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสองท่าน และขอขอบพระคุณเป็น
อย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์วิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ
และให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุก
ท่าน

พิศาล หมอปาน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 เหตุผล และความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ และผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา.....	3
2.1 ทฤษฎีแรงดันด้านข้างของดิน.....	3
2.2 ทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดิน	9
บทที่ 3 วิธีการศึกษา.....	16
3.1 การวิเคราะห์กำแพงกันดินแบบแฉงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ.....	16
3.2 คุณสมบัติของดิน และวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	20
3.3 วิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	32
3.4 แบบจำลองที่ศึกษา.....	38
3.5 ตัวอย่างปัญหางานก่อสร้างจริงที่ใช้ในการศึกษา	43
บทที่ 4 ผลการวิจัย และการวิเคราะห์.....	53
4.1 ผลการวิจัย.....	53
4.2 การวิเคราะห์ผล	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	75
บรรณานุกรม.....	78
ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และวิธีประยุกต์ ที่เกิดจากดินถม 1.....	79
ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และวิธีประยุกต์ ที่เกิดจากดินถม 2.....	133
ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	160
ประวัติผู้เขียน.....	162



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าขนาดการเคลื่อนที่เอียง ต่อความลึก (δ/H) ของกำแพงกันดินที่ทำให้เกิดสภาพเชิงรุก และเชิงรับ.....	7
2.2 ระยะเวลาเคลื่อนตัวเข้าสู่สภาวะเคลื่อนที่ และตำนานการเคลื่อนที่.....	8
3.1 คุณสมบัติโดยประมาณของชั้นดินกรุงเทพฯ ฯ	21
3.2 คุณสมบัติโดยประมาณของชั้นดินกรุงเทพฯ ฯ	21
3.3 ค่าโดยทั่วไปของโมดูลัสยืดหยุ่น สำหรับดินเหนียว และดินทราย.....	27
3.4 ค่าความแข็งแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ.....	29
3.5 Young Modulus ของดินเหนียวแบบ ไม่ระบายน้ำ, E_u ในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ.....	30
3.6 ค่าตัวแปรทั่วไปที่ใช้ในการออกแบบโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินกรุงเทพฯ ฯ ในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ.....	30
3.7 หน่วยน้ำหนักของดินในชั้นดินกรุงเทพฯ ฯ, γ_s	31
3.8 สรุปข้อมูลพื้นฐานคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์	31
3.9 สรุปข้อมูลพื้นฐานคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์	32
3.10 สรุปข้อมูลพื้นฐาน และเงื่อนไขในการวิเคราะห์หิวัยของแบบจำลอง กรณีดินถม 1	39
3.11 สรุปข้อมูลพื้นฐาน และเงื่อนไขในการวิเคราะห์หิวัยของแบบจำลอง กรณีดินถม 2	39
4.1 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงและ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 12KN/m^2	58
4.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงและ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 16KN/m^2	59
4.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงและ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 20KN/m^2	60
4.4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงและ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 12KN/m^2	61
4.5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงและ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 16KN/m^2	62
4.6 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงและ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 20KN/m^2	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การ โกงตัวที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน	1
2.1 แรงดันด้านข้างของดิน.....	3
2.2 แรงดันดินแบบแอ็คทีฟ.....	4
2.3 ความดันดินที่มีความเชื่อมั่นแน่น	5
2.4 แบบจำลองเทียบเท่าของความดันดินเชิงรุก.....	6
2.5 การกระจายความดันดินที่มีความเชื่อมั่นแน่นตามแบบจำลองที่ 3.....	7
2.6 การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินที่ทำให้เกิดสภาพแรงดันเชิงรุกและเชิงรับ	8
2.7 ประเภทกำแพงกันดินแบบคานยื่น และแบบสายสมอ.....	9
2.8 รูปแบบการเสียบรูปของกำแพงกันดิน	10
2.9 แสดงลักษณะของความดันด้านข้างสุทธิของดินที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่ฝังในดินทราย.11	11
2.10 ความดันดินที่กระทำกับกำแพงกันดินแบบคานยื่น ที่ฝังในดินทราย	12
2.11 ความดันดินที่กระทำกับกำแพงกันดินแบบคานยื่น ที่ฝังในดินเหนียว.....	14
2.12 แสดงการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเมื่อเปลี่ยนแปลงการก่อสร้าง และนำหน้าบรทุกที่ เกิดขึ้น.....	15
2.13 การกระจายความดันดินด้านข้างเนื่องจากนำหน้าบรทุก หลายประเภท.....	15
3.1 ลักษณะของกำแพงกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ	16
3.2 ภาพตัดแสดง โครงสร้างของกำแพงกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ	17
3.3 แผนภูมิแรงเฉือน และ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน.....	19
3.4 ลักษณะชั้นดินบริเวณกรุงเทพฯ ฯ โดยทั่วไป.....	22
3.5 ภาพตัดขวางชั้นดินที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตามแนวเหนือ ใต้.....	22
3.6 ค่า Typical approximate strain range limits for reliable measurement of soil stiffness	25
3.7 แผนภาพแสดงค่าประมาณของโมดูลัสยืดหยุ่นของดินเหนียวแบบไม่ระบายน้ำ.....	26
3.8 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และอัตราส่วนปัวซอง.....	27
3.9 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบ Triaxial Test	28
3.10 กราฟแสดงอัตราส่วนค่า โมดูลัสยืดหยุ่นของดินเหนียวกับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียว แบบไม่ระบายน้ำที่สัมพันธ์กับค่า Overconsolidation Ratio.....	29
3.11 ตัวอย่างแสดงการขึ้นรูปด้วยโปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์	36
3.12 ตัวอย่างแสดงการขึ้นรูปด้วยโปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

3.13	ตัวอย่างแสดงโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	37
3.14	ตัวอย่างแสดงทิศทางการเคลื่อนตัวของดิน ด้วย โปรแกรม ไฟไนต์เอลิเมนต์	37
3.15	แสดงรูปตัดแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา	38
3.16	สภาพโดยรอบของบ่อบำบัดน้ำเสีย.....	43
3.17	สภาพการโค้งตัวของกำแพงกันดิน โดยรอบของบ่อบำบัดน้ำเสีย	44
3.18	การโค้งตัวในด้านสั้นของบ่อบำบัดน้ำเสีย.....	44
3.19	สภาพรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นกับเสาเข็ม	45
3.20	การโค้งตัวในด้านยาวของบ่อบำบัดน้ำเสีย	45
3.21	การโค้งตัวในด้านยาวของบ่อบำบัดน้ำเสีย	46
3.22	การโค้งตัวในด้านยาวของบ่อบำบัดน้ำเสีย	46
3.23	สภาพรอยแตกร้าวที่มุมของบ่อบำบัดน้ำเสีย.....	47
3.24	สภาพแนวการโค้งตัวของบ่อบำบัดน้ำเสียในด้านสั้นที่มีการแก้ไข	48
3.25	สภาพแนวการโค้งตัวของบ่อบำบัดน้ำเสียในด้านสั้นที่มีการแก้ไข	48
3.26	สภาพแนวการโค้งตัวของบ่อบำบัดน้ำเสียในด้านยาวที่มีการแก้ไข.....	49
3.27	แสดงรูปโดยรวมของโครงการที่ได้มีการแก้ไขแล้ว	49
3.28	การเคลื่อนตัวของบ่อบำบัดน้ำเสียในด้านยาวหลังจากที่ได้มีการปรับสภาพดิน โดยรอบ	50
3.29	รอยแตกร้าว รึกขาดระหว่างเสาเข็ม กับคานยึดหัวเสาเข็ม	50
3.30	การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน และแนวการพังทลายของดิน	51
3.31	การเคลื่อนตัวรึกขาด และพังทลายของกำแพงกันดิน.....	51
3.32	สภาพการพังทลายของกำแพงกันดินอย่างสมบูรณ์.....	52
4.1	แสดงรูปตัดแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา	53
4.2	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วย โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex1,D4,C12).....	54
4.3	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex1,D4,C12).....	54
4.4	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วย โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex4,D6,C12).....	55
4.5	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex4,D6,C12).....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาหรับการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นาเบเซบระเขยนตาในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

4.6	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยโปรแกรมไฟไนต์อิเลเมนต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex6,D9,C12).....	56
4.7	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex6,D9,C12)	56
4.8	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยโปรแกรมไฟไนต์อิเลเมนต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex4,D6,C16).....	57
4.9	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex4,D6,C16)	57
4.10	กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 12KN/m^2	64
4.11	กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 12KN/m^2	64
4.12	กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 16KN/m^2	65
4.13	กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 16KN/m^2	65
4.14	กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 20KN/m^2	66
4.15	กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 20KN/m^2	66
4.16	กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 12KN/m^2	67
4.17	กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 12KN/m^2	67
4.18	กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 16KN/m^2	68
4.19	กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 16KN/m^2	68
4.20	กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 20KN/m^2	69

เอกสารนี้ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 20KN/m^2 ไปลงภาคในหนังสือไปใช้ประโยชน์ในการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

4.21	กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับค่าแรงแกกันที่เกิดขึ้นจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ ฯ มีค่าเท่ากับ 20KN/m^2	69
4.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับค่าแรงแกกันดินกับระดับความสูงดินถม หลังค่าแรงแกของดินถม 1 ที่ค่า $C = 12\text{KN/m}^2$	70
4.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับค่าแรงแกกันดินกับระดับความสูงดินถม หลังค่าแรงแกของดินถม 1 ที่ค่า $C = 12\text{KN/m}^2$	70
4.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับค่าแรงแกกันดินกับระดับความสูงดินถม หลังค่าแรงแกของดินถม 1 ที่ค่า $C = 16\text{KN/m}^2$	71
4.25	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับค่าแรงแกกันดินกับระดับความสูงดินถม หลังค่าแรงแกของดินถม 1 ที่ค่า $C = 16\text{KN/m}^2$	71
4.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับค่าแรงแกกันดินกับระดับความสูงดินถม หลังค่าแรงแกของดินถม 1 ที่ค่า $C = 20\text{KN/m}^2$	72
4.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับค่าแรงแกกันดินกับระดับความสูงดินถม หลังค่าแรงแกของดินถม 1 ที่ค่า $C = 20\text{KN/m}^2$	72
4.28	การโค้งตัวที่เกิดขึ้นของค่าแรงแกกันดินแบบแรงแกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ โครงการบ่อ บำบัดน้ำเสีย โรงงานมาลีบางกอก	73
4.29	แสดงรอยแตกร้าวที่มุมของค่าแรงแกกันดินแบบแรงแกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ โครงการบ่อ บำบัดน้ำเสีย โรงงานมาลีบางกอก	74
5.1	แสดงสมมติฐานหน่วยแรงที่ศึกษาของทั้งสองวิธี ประเภทดินถม 1.....	75
5.2	แสดงสมมติฐานหน่วยแรงที่ศึกษาของทั้งสองวิธี ประเภทดินถม 2.....	76
5.3	แบบจำลองค่าแรงแกกันดินแบบแรงแกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ โดยมีสายสมอยึดรั้ง.....	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 เหตุผลและความเป็นมาของปัญหา

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา โครงการก่อสร้างกำแพงกันดินแบบแฉงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวโอ ในเขตกรุงเทพ ฯ ได้ถูกสร้างขึ้นอันเนื่องมาจากความจำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันการพังทลายของดิน เนื่องมาจากการขุดดิน และการถมดินที่เพิ่มขึ้น รวมไปถึงการป้องกันตลิ่งของลำน้ำ และคูคลองที่มีการขุดลอก และถมตลิ่งเพิ่มเติมอีกด้วย ซึ่งในงานก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดนี้ ในเขตกรุงเทพ ฯ โดยทั่วไปพบว่ามีการก่อสร้างในชั้นดินเหนียวอ่อน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัว และการพังทลายของกำแพงกันดินอยู่เสมอถึงรูปด้านล่าง ปัญหาที่พบส่วนใหญ่คือ การขาดความรู้ความเข้าใจในการวิเคราะห์ห้ออกแบบกำแพงกันดินชนิดนี้ นำไปสู่ความผิดพลาดในการประเมินค่าแรงดันดินที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินในชั้นดินเหนียวอ่อน ซึ่งมีผลต่อการวิเคราะห์หาค่าแรงเฉือน และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินชนิดนี้ โดยเป็นค่าที่จำเป็นในการออกแบบความแข็งแรง และความมั่นคงของกำแพงกันดินแบบแฉงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวโอ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษา และวิเคราะห์แรงดันดิน แรงเฉือน และ โมเมนต์ ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินชนิดนี้



รูปที่ 1.1 การโค้งตัวที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาหาแนวทางการวิเคราะห์ค่าแรงแกกันดินแบบแผลงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอที่ยอมรับได้ในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ฯ ระหว่างวิธีที่ได้ประยุกต์ใช้ซึ่งเป็นวิธีคำนวณมือ กับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างทั้งสองวิธี เพื่อหาความสอดคล้องสัดส่วนที่เหมาะสมของทั้งสองวิธี และใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ออกแบบค่าแรงแกกันดินชนิดนี้ต่อไปในอนาคต

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา และเปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้น จากการประยุกต์ใช้ทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของค่าแรงแกกันดินแบบคานยื่น กับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ฯ โดยเลือกใช้โปรแกรม Plaxis เข้ามาวิเคราะห์ในส่วนองวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ นำแรงเฉือน และ โมเมนต์สูงสุด ที่ได้จากโปรแกรม มาเปรียบเทียบกับวิธีที่ได้ประยุกต์ใช้ขึ้น โดยแบ่งดินถมหลังค่าแรงแกกันดินที่ทำการทดสอบออกเป็นสองประเภท คือดินถมชนิดที่ไม่มี ความเชื่อมั่นแน่นหรือดินทราย และดินถมชนิดที่มีความเชื่อมั่นแน่นหรือดินเหนียว

1.4 ประโยชน์ และผลที่คาดว่าจะได้รับ

- ศึกษาแนวทางที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าแรงแกกันดินแบบแผลงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอในชั้นดินเหนียวอ่อน จากการประยุกต์ใช้ทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของค่าแรงแกกันดินแบบคานยื่น
- ศึกษาการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อใช้วิเคราะห์หาแรงที่เกิดขึ้นกับค่าแรงแกกันดินแบบแผลงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ
- ศึกษาปัญหา งานก่อสร้างจริงของค่าแรงแกกันดินแบบแผลงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ
- วิเคราะห์และเปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นกับค่าแรงแกกันดินแบบแผลงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ จากวิธีที่ได้ประยุกต์ใช้ขึ้นกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาข้อสรุปความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันระหว่างสองวิธี

1.5 ประโยชน์ และผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบถึงสัดส่วนที่แตกต่างกันของ แรงเฉือน และ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับค่าแรงแกกันดินระหว่างทั้งสองวิธี สำหรับดินถมหลังค่าแรงแกกันดินทั้งสองประเภท

เป็นทางเลือกใช้ระหว่างทั้งสองวิธี ระหว่างวิธีที่ประยุกต์ใช้ขึ้นซึ่งเป็นวิธีคำนวณมือ กับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งเป็นวิธีที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis และทำให้ทราบถึงความเหมาะสมของวิธีที่ประยุกต์ใช้ขึ้นกับดินถมหลังค่าแรงแกกันดินทั้งสองประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการศึกษาการวิเคราะห์แรงดันดินที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน ซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของดิน และทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดิน

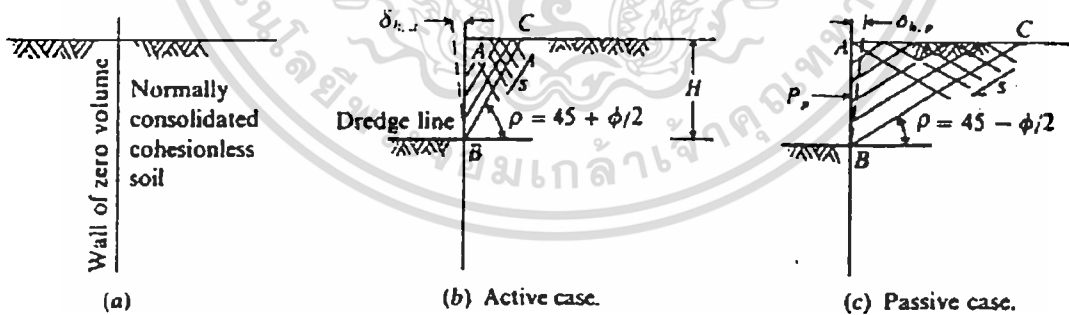
2.1 ทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของดิน

แรงดันดินด้านข้างของดินคือแรงดันที่กระทำต่อโครงสร้างกันดิน เช่น กำแพงกันดิน แรงดันดินด้านข้างของดินมีอยู่ 3 แบบคือ

- **แรงดันดินแบบอยู่กับทึ่** คือแรงดันของดินที่กระทำต่อผนังกำแพงกันดินด้านข้าง แล้วไม่ทำให้กำแพงกันดินเคลื่อนตัว รูปที่ 2.1

- **แรงดันดินแบบแอ็คทีฟ** คือแรงดันของดินที่กระทำต่อผนังกำแพงกันดินด้านข้าง แล้วทำให้กำแพงกันดินเคลื่อนที่ออกไปจากดินถมหลังกำแพง รูปที่ 2.1

- **แรงดันดินแบบพาสซีฟ** คือแรงดันดินด้านข้างของดินที่กระทำต่อด้านหน้ากำแพงกันดิน ในสภาพที่กำแพงกันดินเคลื่อนที่เข้าหาดินถมหลังกำแพง รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แรงดันดินด้านข้างของดิน

ทฤษฎีแรงดันดินที่ใช้คำนวณหาแรงดันดินด้านข้างของดิน อาศัยทฤษฎีที่สำคัญคือ

- **ทฤษฎีของแรงกิ้น Rankine (1857)** ใช้การสมดุลในช่วงพลาสติก พิจารณาสมการสมดุลของชั้นดิน โดยสมมติให้แรงดันดินด้านข้างของดินที่กระทำต่อกำแพงกันดินมีความสัมพันธ์ต่อแรงดัน

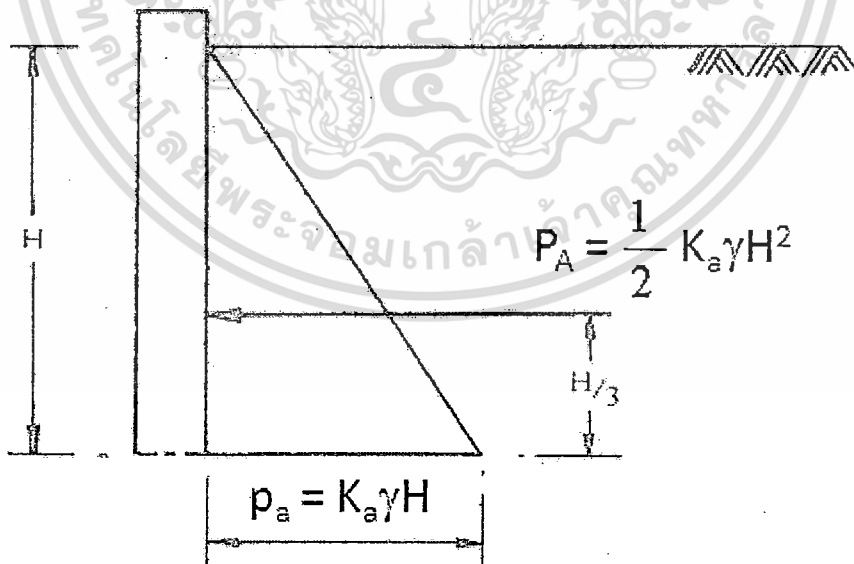
ทางตั้ง ส่วนใหญ่จะใช้ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวตั้ง และผิวหน้าของดินด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กำแพงกันดินเป็นแนวราบ ดังนั้นจึงไม่มีความฝืดหรือแรงเสียดทานระหว่างดินกับกำแพงกันดิน ไม่วากกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทฤษฎีรูปสี่เหลี่ยมของคูลอมบ์ Coulomb (1776) คูลอมบ์ได้ศึกษาเกี่ยวกับแรงดันของดิน โดยศึกษาจากสภาพสมดุลของมวลดินรูปสี่เหลี่ยมหลังกำแพงกันดิน ค่าแรงดันด้านข้างของดินที่จุดวิบัติ อยู่ในรูปของแรงดันรวม ส่วนใหญ่ใช้ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินไม่เป็นแนวตั้ง และผิวหน้าของดินด้านหลังกำแพงกันดินไม่เป็นแนวราบ จึงมีความผิดหรือแรงเสียดทานระหว่างดินกับกำแพงกันดิน

1.) การหาแรงดันดินแบบแอ็คทีฟของดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมั่น

Tschebotarioff (1951) ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงระดับของดินธรรมชาติ จะเป็นโครงการขุดหรือการถม จะทำให้ดินพยายามเคลื่อนตัวไปยังส่วนที่ต่ำกว่า การเปลี่ยนแปลงระดับของดินนี้ จะมีความสูงจำกัด ที่ดินสามารถอยู่ในสภาพสมดุลเนื่องจากมีแรงต้านทานอันเกิดแรงยึดเหนี่ยว และแรงเสียดทาน เมื่อเลยระดับของความสูงจำกัดนี้แล้ว ดินก็จะเกิดการวิบัติ จึงจำเป็นต้องสร้างกำแพงกันดินขึ้น เพื่อป้องกันการวิบัติของดิน เมื่อสร้างกำแพงกันดินแล้วมวลดินจะลงแรงกระทบด้านข้างต่อกำแพงกันดิน ทำให้ตัวกำแพงกันดินเคลื่อนที่ออกจากมวลดิน และดินจะเกิดการขยายตัว แรงกระทบของดินในลักษณะนี้เรียกว่า แรงดันดินแบบแอ็คทีฟ ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นดินที่ไม่มีความเชื่อมั่น และกำแพงกันดินอยู่ในแนวตั้ง ระดับผิวดินด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวราบ รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แรงดันดินแบบแอ็คทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถหาค่าความดันดินแบบแอ็คทีฟได้จากทฤษฎีของแรงกิ้นได้ดังนี้

$$p_a = K_a \gamma H \quad (2.1)$$

$$\text{เมื่อ } K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) \quad (2.2)$$

แรง แอ็คทีฟ P_A สามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P_A &= \frac{1}{2} p_a H \\ &= \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \end{aligned} \quad (2.3)$$

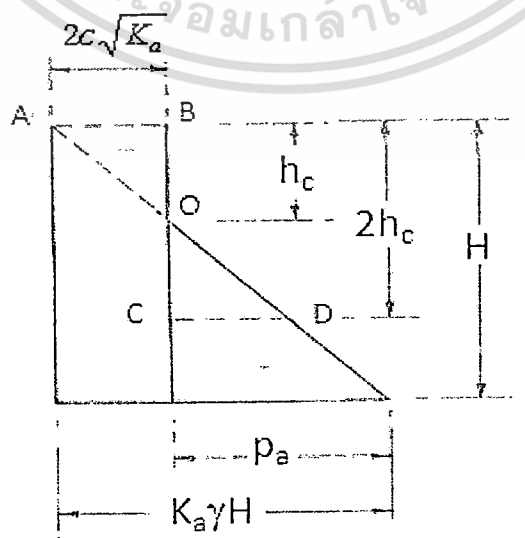
ซึ่งจะกระทำที่ระยะ $\frac{H}{3}$ จากขอบล่างของกำแพงกันดิน

2.) การหาความดันดินแบบแอ็คทีฟของดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น

สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น ความดันดินที่กระทำต่อกำแพงกันดิน จะน้อยกว่าดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่นซึ่งมีความหนาแน่นและมุมเสียดทานภายในเท่ากัน เพราะว่าส่วนหนึ่งดินจะยึดติดกันด้วยตัวมันเอง เบล Bell (1915) ได้พัฒนาวิธีหาความดันดินแบบ แอ็คทีฟ มาจากทฤษฎีของแรงกิ้น สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น และระดับดินอยู่ในแนวราบ ความดันดินแบบ แอ็คทีฟ ที่ความลึก h จะได้เท่ากับ

$$p_a = K_a \gamma h - 2c \sqrt{K_a} \quad (2.4)$$

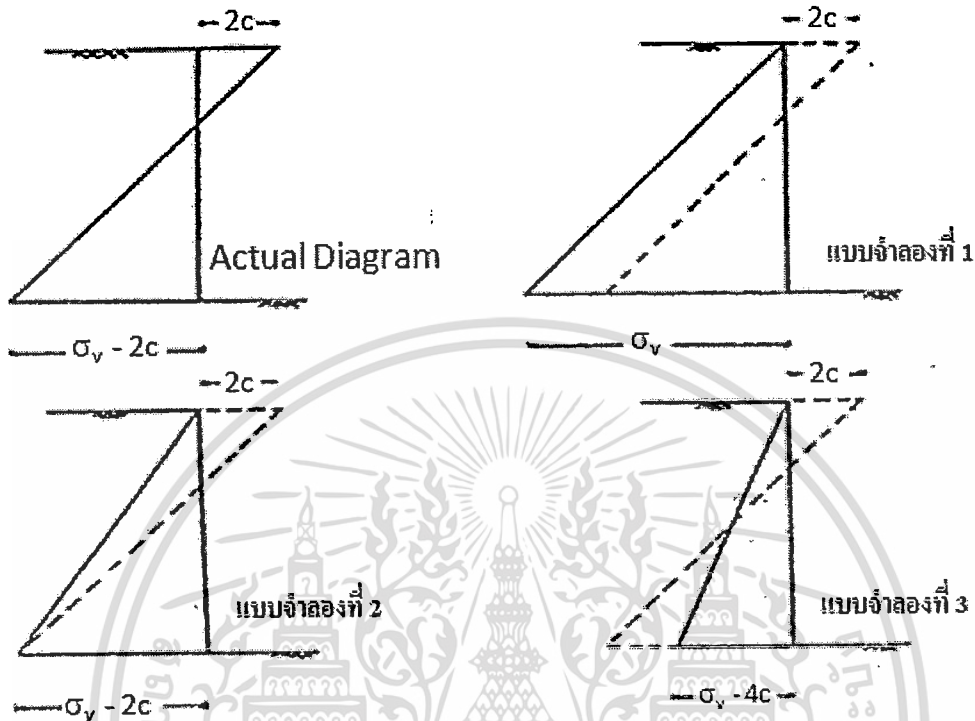
ดังนั้น แรงเชื่อมแน่นของดินมีผลทำให้ความดันดินแบบ แอ็คทีฟ ลดลงเท่ากับ $2c \sqrt{K_a}$ นั่นคือดินจะยึดอยู่ด้วยตัวเองมากขึ้น รูปที่ 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 ความดันดินที่มีความเชื่อมแน่น

ในการออกแบบกำแพงกันดินทั้งถาวร และชั่วคราว สามารถแบ่งรูปของแผนภูมิความดันดินแบบแอ็คทีฟ สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่นอยู่หลายแบบ ดังรูปที่ 2.4



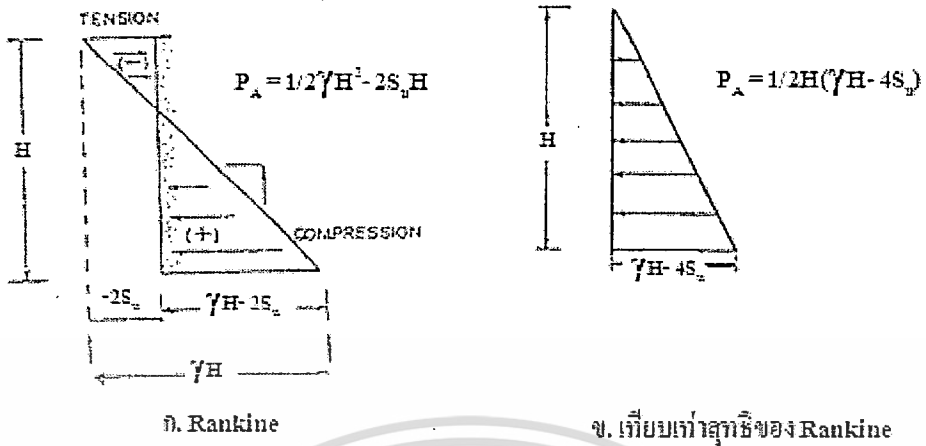
รูปที่ 2.4 แบบจำลองเทียบเท่าของความดันดินเชิงรุก

แบบจำลอง 1 ให้ความดันดินด้านข้างเท่ากับศูนย์ที่ผิวดิน และเส้นแผนภูมิความดันขนานกับทฤษฎีของ Rankine

แบบจำลอง 2 ให้ความดันดินด้านข้างที่ผิวดินเท่ากับศูนย์ และให้ความดันดินที่ระดับจุดเท่ากับทฤษฎีของ Rankine

แบบจำลอง 3 ให้ความดันดินด้านข้างที่ผิวดินเท่ากับศูนย์ และพื้นที่ของความดันดินเท่ากับทฤษฎีของ Rankine

พิจารณารูปแบบของแบบจำลอง ในการวิเคราะห์พบว่าแบบจำลอง ที่ 2 และแบบจำลองที่ 3 เหมาะสมกับการใช้งานมากกว่าแบบจำลอง 1 เพราะแบบจำลอง 1 ให้ค่าความดันดินที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินมากเกินไปจนความจำเป็น US. Corporation of engineer ได้แนะนำให้ใช้ค่าแบบจำลอง 3 ซึ่งเรียกว่า Triangular pressure distribution equivalent to net rankine force ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การกระจายความดันดินที่มีความเชื่อมแน่นตามแบบจำลองที่ 3

3.) การหาความดันดินแบบเพัสซีฟของดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น

เกิดจากที่ค่าแรงดันในแนวนอนเพิ่มขึ้น ในขณะที่แรงดันในแนวตั้งคงที่ กำแพงกันดินเคลื่อนที่เข้าหามวลดิน มวลดินจะอัดตัวเข้าหากัน เป็นการเพิ่ม Constrain ทางด้านข้าง แรงกระทบของดินในลักษณะนี้เรียกว่า ความดันดินเชิงรับ (Passive lateral earth pressure) การเคลื่อนที่ของส่วนบนของกำแพงกันดินที่จะทำให้เกิดแรงต้านทานของมวลดินมีค่าโดยประมาณดังตารางที่ 2.1 NAVFAC DM-7.2 (1982)

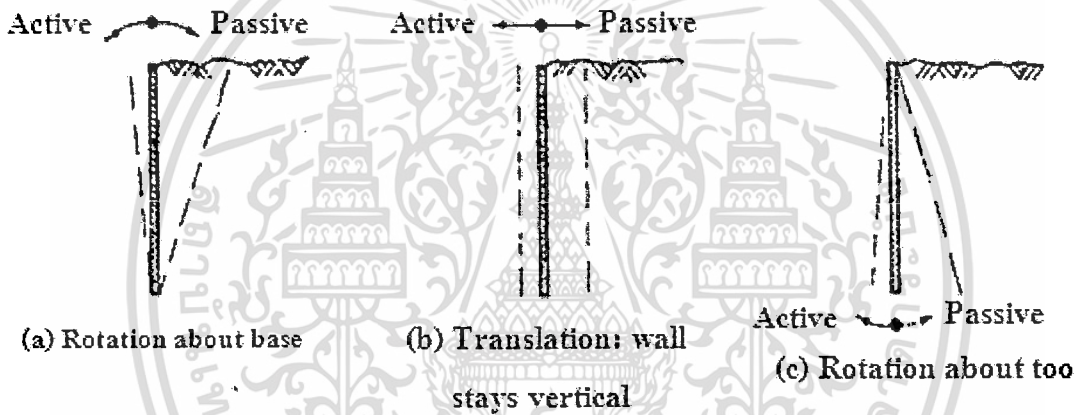
ตารางที่ 2.1 ค่าขนาดการเคลื่อนที่ที่เอียง ต่อความลึก (δ/H) ของกำแพงกันดินที่ทำให้เกิดสภาพเชิงรุก และเชิงรับ

ชนิดของดิน	δ/H	
	เชิงรุก	เชิงรับ
ทรายแน่น	0.0005	0.002
ทรายหลวม	0.002	0.006
ดินเหนียวแข็ง	0.01	0.02
ดินเหนียวอ่อน	0.02	0.04

ในทางปฏิบัติกำแพงมีความยาวจำกัด ดังนั้นบริเวณที่เกิดการเคลื่อนที่เข้าสู่สภาวะเคลื่อนที่หรือสภาวะต้านการเคลื่อนที่ จึงมีอาณาบริเวณจำกัดติดอยู่หลังกำแพงดังรูปที่ 2.6 จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อกำแพงสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลพอ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดดินและรูปแบบการเคลื่อนที่ของกำแพงกันดิน ดังตารางที่ 2.2 Wu (1976) งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ระยะการเคลื่อนตัวเข้าสู่สถานะเคลื่อนที่และด้านทานการเคลื่อนที่

ดิน	สถานะ	รูปแบบการเคลื่อนตัว	ระยะเคลื่อนตัว
ทราย	เคลื่อนที่	ขนานกับแนวกำแพง	0.001H
	เคลื่อนที่	หมุนรอบฐานกำแพง	0.001H
	เคลื่อนที่	หมุนรอบฐานกำแพง	0.02H
	ด้านทานการเคลื่อนที่	ขนานกับแนวกำแพง	0.05H
	ด้านทานการเคลื่อนที่	หมุนรอบฐานกำแพง	>0.10H
	ด้านทานการเคลื่อนที่	หมุนรอบฐานกำแพง	0.05H
ดินเหนียว	เคลื่อนที่	ขนานกับแนวกำแพง	0.004H
	เคลื่อนที่	หมุนรอบฐานกำแพง	0.004H



รูปที่ 2.6 การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินที่ทำให้เกิดสภาพแรงดันเชิงรุก และเชิงรับ

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวตั้ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงเป็นแนวราบ สามารถหาความดันดินแบบพีแอสตีฟได้จากทฤษฎีของ Rankine (1857) ดังนี้

$$p_p = K_p \gamma H \quad (2.5)$$

เมื่อ
$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.6)$$

4.) การหาความดันดินแบบพีแอสตีฟของดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น

สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น ความดันดินที่กระทำต่อกำแพงกันดินแบบ พีแอสตีฟ จะมีค่ามากกว่าในดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น ซึ่งมีค่าความหนาแน่น และมุมเสียดทานภายใน เท่ากัน และสามารถหาได้จากวิธีของ Bell (1915) ซึ่งได้พัฒนาวิธีหาความดันดินแบบ พีแอสตีฟ มาจากทฤษฎีของ Rankine (1857) สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่นผิวดินอยู่ในแนวราบ และสมมติว่าไม่มีแรงเสียดทานด้านหลังกำแพงกันดินที่เป็นแนวตั้ง สามารถหาความดันดินแบบ พีแอสตีฟ ได้ดังนี้

$$p_p = K_p \gamma h + 2c \sqrt{K_p} \quad (2.7)$$

$$\text{เมื่อ} \quad K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

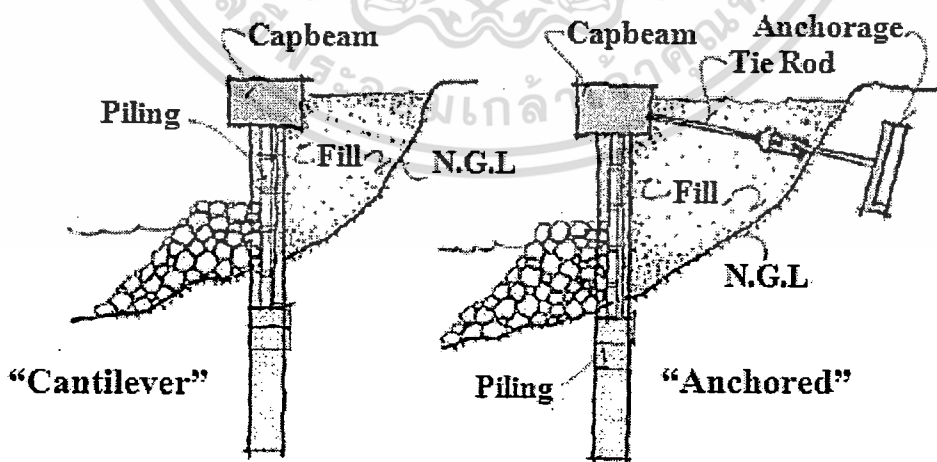
จะเห็นได้ว่าแรงเชื่อมแน่นของดินมีผลทำให้ความดันดินแบบ แพลสตีฟ เพิ่มขึ้นเท่ากับ $2c \sqrt{K_p}$ ซึ่งในกรณีของดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น หรือ $c = 0$ ค่าความดันแบบแพลสตีฟมีค่าดังนี้

$$p_p = K_p \gamma H$$

2.2 ทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดิน

แรงดันดินด้านข้างที่กระทำต่อกำแพงกันดิน สามารถจำแนกตามลักษณะของโครงสร้างได้เป็น 3 ประเภท คือ

- กำแพงกันดินแบบ โน้มถ่วง กำแพงกันดินแบบนี้จะอาศัยน้ำหนักของกำแพงในการต้านทานแรงดันทางด้านหลังของกำแพง
- กำแพงกันดินแบบ คานยื่น เป็นกำแพงกันดินที่ได้รับการออกแบบส่วนประกอบของโครงสร้างให้มีเสถียรภาพมากพอในการต้านทานต่อแรงดัน และ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากมวลดินหลังกำแพงกันดิน รูปที่ 2.7
- กำแพงกันดินแบบ สายสมอยึด มีลักษณะกำแพงกันดินคล้ายกับ กำแพงกันดินแบบคานยื่น แต่มีการดึงสายสมอยึดรั้งตัวกำแพงไว้ เพื่อช่วยต้านแรงดันด้านข้าง ซึ่งแรงดึงในสายสมอนี้จะถูกส่งผ่านไปยังเข็มสมอ เพื่อต้านทานแรงดึงที่เกิดขึ้น ดังนั้นเข็มสมอจะต้องฝังลึก และอยู่ห่างจากกำแพงกันดินเพียงพอ รูปที่ 2.7

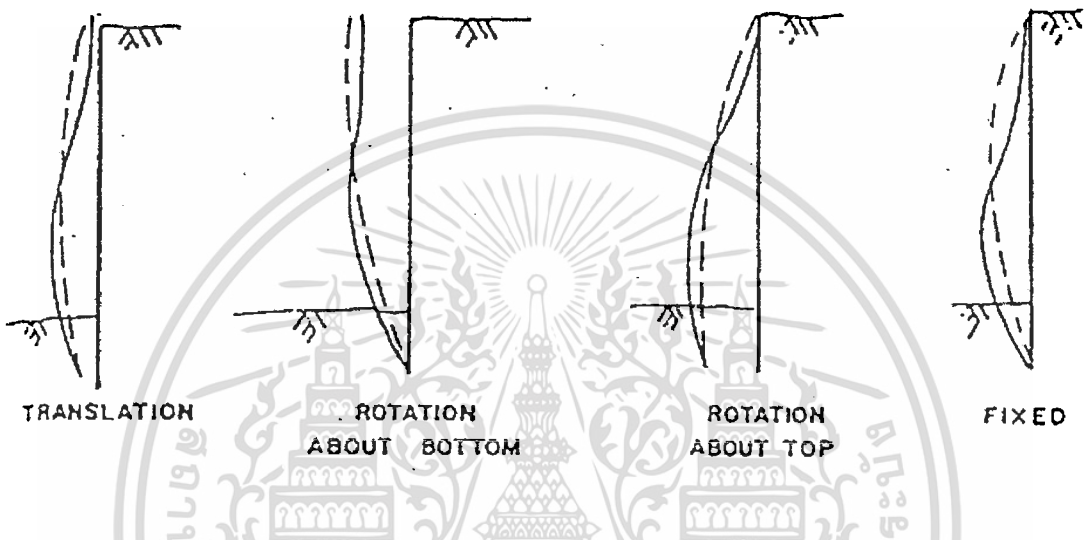


รูปที่ 2.7 ประเภทกำแพงกันดินแบบคานยื่น และแบบสายสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) รูปแบบทั่วไปของการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน

ในงานก่อสร้างกำแพงกันดินทั้งแบบที่มีสายสมอ และไม่มีสายสมอยึดรั้ง หากมีการก่อสร้างโดยที่มีระยะฝังของกำแพงกันดินลึกไม่เพียงพอ หรือไม่มีการค้ำยันที่เหมาะสม มักจะเกิดปัญหาการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน โดยมีรูปแบบทั่วไปของการเสียรูปของกำแพงกันดินในงานก่อสร้าง สามารถแบ่งได้เป็น 4 แบบดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 รูปแบบการเสียรูปของกำแพงกันดิน

1.1) Translation เป็นลักษณะการเสียรูปที่ปลายล่างของกำแพงกันดินมีการเคลื่อนตัวเนื่องจากปลายกำแพงกันดินฝังในชั้นดินลึกไม่เพียงพอ หรือไม่ห้อยถึงชั้นดินแข็ง

1.2) Rotation about bottom เป็นลักษณะการเสียรูปที่เกิดขึ้นโดยปลายล่างของกำแพงกันดินไม่เกิด translation แต่มี rotation เกิดขึ้น ในกรณีนี้ปลายล่างของกำแพงกันดินมีระยะฝังลึกเพียงพอ หรือฝังลึกถึงชั้นดินแข็ง การเสียรูปในแบบนี้รวมถึงการเสียรูปของกำแพงกันดินแบบคานยื่น จะเกิดขึ้นในช่วงแรกของการขุดดินก่อนที่จะมีการอัดแรงในค้ำยัน

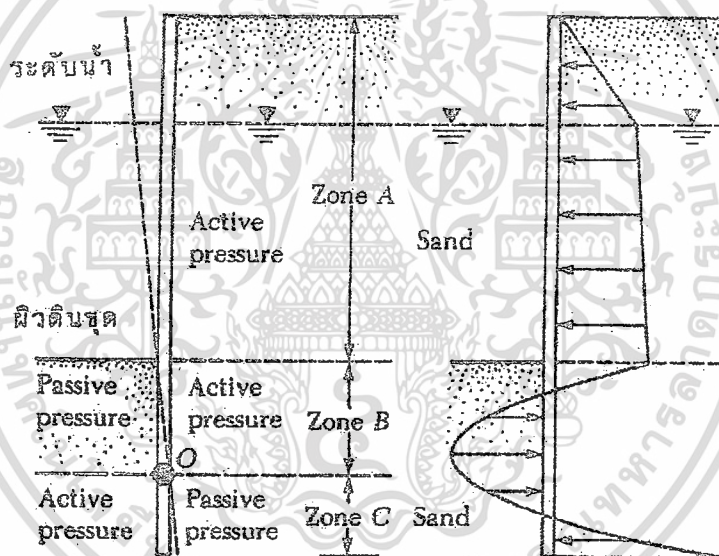
1.3) Rotation about top เป็นการเสียรูปที่เกิดขึ้นโดยที่ปลายบนของกำแพงกันดินไม่เกิดการเคลื่อนตัว แต่มี rotation เกิดขึ้นมักจะเกิดในงานขุดที่มีการค้ำยัน ใกล้เคียงกับระดับดินเดิมหลังกำแพงกันดิน โดยมีปลายล่างอยู่ในชั้นดินอ่อน มีระยะฝังลึกไม่เพียงพอ

1.4) Fixed เป็นการเสียรูปที่เกิดขึ้นโดยทั้งปลายบน และปลายล่างของกำแพงกันดินไม่เกิดการเคลื่อนตัวแต่มี rotation เกิดขึ้นทั้งสองปลายมักจะเกิดในงานขุดที่มีการค้ำยัน ใกล้เคียงกับระดับดินเดิมหลัง กำแพงกันดิน และมีปลายล่างอยู่ในชั้นดินแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) ความดันดินด้านข้างที่กระทำกับกำแพงกันดินแบบคานยื่นในดินทราย

ลักษณะของความดันดินด้านข้างของกำแพงกันดินแบบคานยื่นที่ฝังในดินทรายแสดงดังรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน มีจุดหมุนอยู่ที่จุด O โดยพิจารณาความดันข้างของดินเท่านั้น เนื่องจากระดับน้ำทั้งในด้านหน้ากำแพง และด้านหลังกำแพงมีระดับเท่ากัน บริเวณดินในโซน A พิจารณาความดันดินแบบแอ็คทีฟที่กระทำกับกำแพงกันดิน บริเวณโซน B พิจารณาการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันดินที่กระทำกับกำแพงกันดินในโซน A ทำให้เกิดความดันดินแบบพาสซีฟในฝั่งด้านหน้ากำแพงกันดิน และความดันดินแบบแอ็คทีฟในฝั่งด้านหลังกำแพงกันดิน บริเวณโซน C ความดันดินที่เกิดขึ้นจะตรงข้ามกับความดันดินที่เกิดขึ้นในโซน B เนื่องจากความดันดินที่เกิดขึ้นในโซนนี้อยู่ใต้ระดับจุดหมุนของกำแพงกันดิน โดยใช้หลักการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเช่นเดียวกับในกรณีของดินในโซน B



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของความดันด้านข้างสุทธิของดินที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่ฝังในดินทราย

พิจารณากำแพงกันดิน แบบคานยื่นที่ฝังลงในชั้นดินเดิม หรือดินฐานรากที่เป็นทราย สมมุติให้ดินเดิม และทรายถมเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน กล่าวคือมีหน่วยความหนาแน่น และมุมเสียดทานภายในเท่ากัน รูปที่ 2.10 ระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับสันเขื่อนเป็นระยะเท่ากับ L_1 ในส่วนของดินที่อยู่เหนือ dredge line ความดันดินด้านหลังเขื่อนเป็นความดันดินเชิงรุกซึ่งความดันดินดังกล่าวได้แก่ ความดันดิน a และ b สามารถหาได้จาก

$$a = k_a \gamma L_1 \quad (2.8)$$

$$b = k_a (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

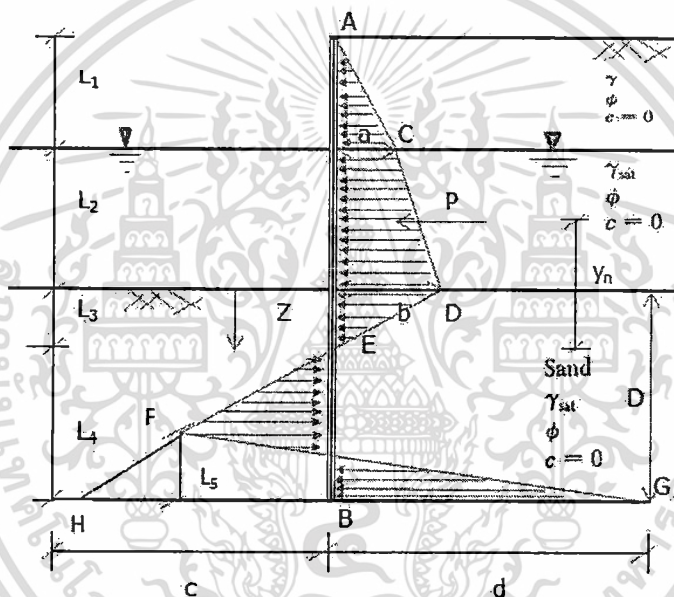
ส่วนดินที่อยู่ใต้ dredge line แต่อยู่เหนือจุดหมุน หน่วยแรงดันดินเชิงรุก และหน่วยแรงดันดินด้านหน้าเชื่อมเป็นหน่วยแรงดันดินเชิงรับ ซึ่งหน่วยแรงดันดินทั้งสองที่ความลึก Z ใด ๆ จาก dredge line สามารถคำนวณหาได้จาก

$$\sigma_a(Z) = K_a(\gamma L_1 + \gamma' L_2 + \gamma' Z) = b + K_a \gamma' Z \quad (2.10)$$

$$\sigma_p(Z) = K_p \gamma' Z \quad (2.11)$$

เมื่อ $\sigma_a(Z)$ และ $\sigma_p(Z)$ เป็นหน่วยแรงดันดินเชิงรุก และหน่วยแรงดันดินเชิงรับที่ความลึก Z ใด ๆ จาก dredge line ดังนั้นหน่วยแรงดันดินด้านข้างสุทธิที่อยู่ระหว่าง dredge line และจุดหมุนสามารถคำนวณได้จากผลต่างของหน่วยแรงดัน $\sigma_a(Z)$ และ $\sigma_p(Z)$ หรือ

$$\sigma(Z) = \sigma_a(Z) - \sigma_p(Z) = b - (K_p - K_a) \gamma' Z \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.10 ความดันดินที่กระทำกับกำแพงกันดินแบบคานยื่น ที่ฝังในดินทราย

ถ้าสำหรับความลึกที่ความดันดินมีค่าเท่ากับศูนย์ (Zero pressure) หรือระยะ L_3 ได้ dredge line สามารถคำนวณได้จากการแทนค่าหน่วยแรงดันสุทธิในสมการ (2.12) เท่ากับศูนย์ และความลึก z เท่ากับ L_3 หรือ

$$\sigma(L_3) = \sigma_a(L_3) - \sigma_p(L_3) = 0 \quad (2.13)$$

$$\text{หรือ} \quad b - (K_p - K_a) \gamma' L_3 = 0 \quad (2.14)$$

$$\text{จะได้} \quad L_3 = b / [\gamma' (K_p - K_a)] \quad (2.15)$$

จาก รูปที่ 2.6 และสมการ (2.15) จะสังเกตได้ว่า การกระจายหน่วยแรงดันดินสุทธิ DEF มีความลาดเอียงเท่ากับ $\gamma' (K_p - K_a)$ ดังนั้นความดันดิน C ที่ปลายเข็มนด้านหน้าเชื่อมสามารถคำนวณหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = \gamma'(K_p - K_a)L_4 \quad (2.16)$$

สำหรับดินที่อยู่ใต้จุดหมุน หน่วยแรงดันที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางตรงข้ามกับหน่วยแรงดันดินของดินในส่วนบน กล่าวคือ ด้านหลังเขื่อนจะเกิดหน่วยแรงดันดินเชิงรับ และด้านหน้าเขื่อนจะเกิดหน่วยแรงดันดินเชิงรุก ดังนั้นหน่วยแรงดันดินสุทธิที่ปลายเข็มด้านหลังเขื่อนมีขนาดเท่ากับ

$$\sigma(D) = d = \sigma_p(D) - \sigma_a(D) = K_p(\gamma L_1 + \gamma' L_2 + \gamma' D) - K_a \gamma' D \quad (2.17)$$

หลังจากทราบขนาดของหน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นทั้งหมดแล้ว ก็สามารถคำนวณหาความยาวของเข็มที่ฝังลงในดินฐานรากได้โดยอาศัยสมมูลของโมเมนต์รอบจุดใด ๆ ดังนี้

ผลรวมของแรงในแนวราบ

$$\text{พื้นที่หน่วยแรงดันดิน ACDE} - \text{พื้นที่ EFHB} + \text{พื้นที่ FHBG} = 0$$

$$\text{หรือ} \quad P - 0.5 c L_4 + 0.5 L_5 (c+d) = 0$$

เมื่อ P คือ แรงลัพธ์ของพื้นที่หน่วยแรงดันดิน ACDE

ผลรวมของโมเมนต์รอบปลายเข็ม (จุด B)

$$P(L_4 + y_n) - (0.5 c L_4)(L_4/3) + 0.5 L_5 (c+d)(L_5/3) = 0 \quad (2.18)$$

เมื่อ y_n คือ ระยะจากจุด E ถึงตำแหน่งที่แรงลัพธ์ P กระทำ จากนั้นสมมูลสมการเพื่อหาความยาว L_4 และ L_5 ซึ่งความลึกของเข็มฝังที่ฝังในดินทรายหรือ D สามารถหาได้จาก

$$D = L_3 + L_4$$

การกำหนดความปลอดภัยสามารถทำได้ 2 วิธี คือ เพิ่มความลึก D อีกประมาณร้อยละ 30 ถึง 40 หรือลดค่า K_p ที่ใช้ในการคำนวณลงประมาณร้อยละ 40 ถึง 50

3.) ความดันดินด้านข้างที่กระทำกับกำแพงกันดินแบบคานยื่นในดินเหนียว

พิจารณากำแพงกันดิน แบบคานยื่น เช่นเดียวกับกรณีฝังในดินทรายแต่ดินฐานรากในที่นี้เป็นดินเหนียวที่มีความเชื่อมแน่น เท่ากับ c การกระจายของหน่วยแรงดันดินสามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 2.11 ความดันดิน a และ b สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับ กรณีฝังในดินทราย สำหรับดินที่อยู่ใต้ dredge line แต่อยู่เหนือจุดหมุน ด้านหลังเขื่อนจะเกิดหน่วยแรงดันดินเชิงรุก และด้านหน้าเขื่อนเกิดหน่วยแรงดันดินเชิงรับ ซึ่งหน่วยแรงดันดินดังกล่าวที่ความลึกใด ๆ จาก dredge line สามารถคำนวณได้จาก

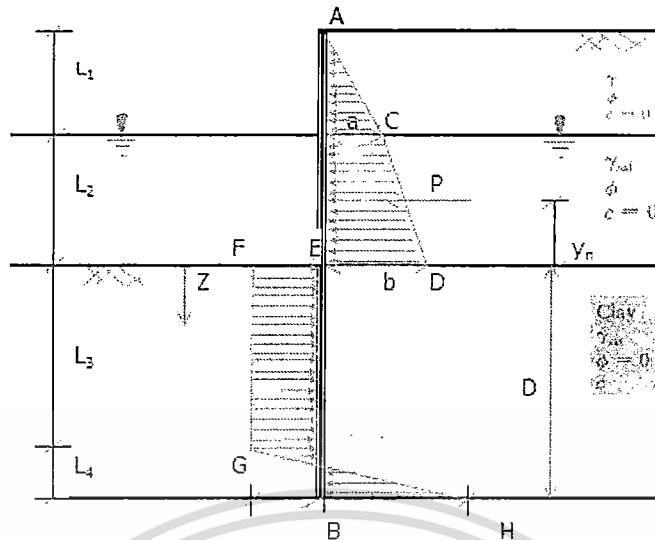
$$\sigma_a(Z) = K_a(\gamma L_1 + \gamma' L_2 + \gamma_{sat} Z) - 2C \sqrt{K_a} \quad (2.19)$$

$$\sigma_p(Z) = K_p(\gamma_{sat} Z + 2C \sqrt{K_p}) \quad (2.20)$$

ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินเชิงรุก และเชิงรับสำหรับดินเหนียวที่ไม่มีค่ามุมเสียดทานภายในจะมีขนาดเท่ากับหนึ่ง ดังนั้นหน่วยแรงดันดินด้านข้างสุทธิที่อยู่ระหว่าง dredge line และจุดหมุนสามารถคำนวณได้จากผลต่างของสมการ 2.19 และ 2.20 โดยให้ค่า K_a และ K_p เท่ากับหนึ่ง จะได้

$$\sigma(Z) = \sigma_p(Z) - \sigma_a(Z) = 4C - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \quad (2.21)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ความดันดินที่กระทำกับกำแพงกันดินแบบคานยื่น ที่ฝังในดินเหนียว

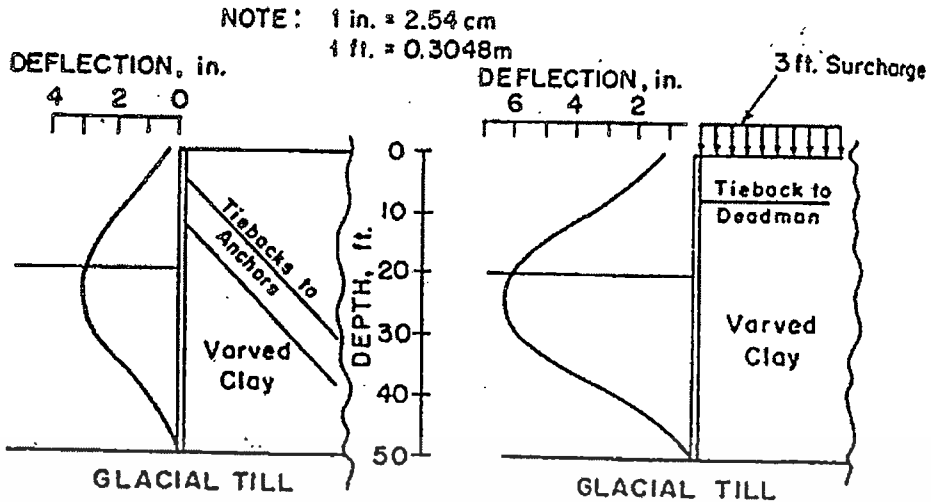
สำหรับดินที่อยู่ใต้จุดหมุน หน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะตรงข้ามกับหน่วยแรงดันดินของดินที่อยู่เหนือจุดหมุน ดังนั้นหน่วยแรงดันดินสุทธิที่ปลายเข็มจะมีขนาดเท่ากับ

$$\sigma(D) = d = \sigma_p(D) - \sigma_a(D) = 4C + (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \quad (2.22)$$

หลังจากทราบขนาดของหน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นทั้งหมดแล้ว สามารถคำนวณหาความยาวของเข็มที่ฝังลงในดินเหนียวได้เช่นเดียวกับที่ฝังลงในดินทราย โดยการสมดุลของแรงตามแนวราบ และสมดุลของโมเมนต์รอบจุดใด ๆ

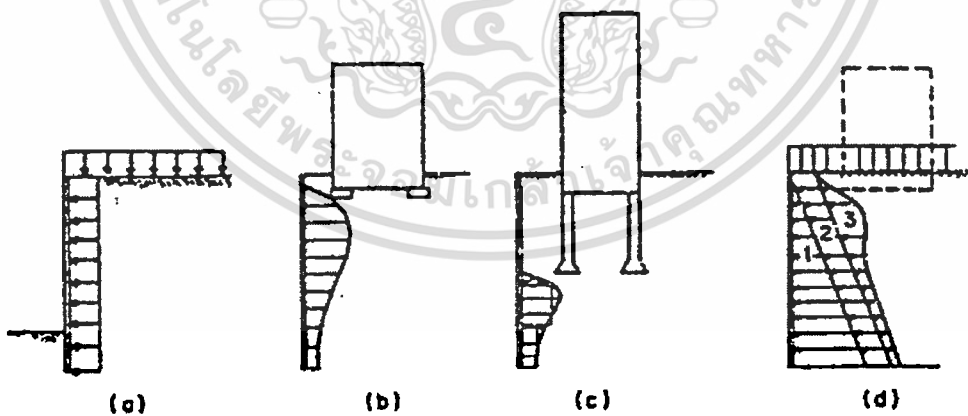
4.) ผลกระทบของน้ำหนักรรทุกต่อแรงดันดินด้านข้างและการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน

Clough (1976) ศึกษาโครงการใน Hanford ที่เคยศึกษาร่วมกับ Murphy และ Woolworth ซึ่งเป็นการสร้างระบบค้ำยันแบบ tie back โดยมีการเปลี่ยนแปลงระบบค้ำยันในระหว่างการดำเนินการก่อสร้างคือการเปลี่ยนระบบค้ำยันจากเดิมที่ใช้ tie back ยึดกับ anchor เปลี่ยนเป็นยึดกับ deadman นอกจากนี้ระบบการออกแบบเดิมไม่ได้มี น้ำหนักรรทุกมากระทำที่ด้านหลังกำแพงกันดิน แต่ระหว่างการดำเนินการก่อสร้างกลับมีน้ำหนักรรทุกกระทำ ซึ่งมีผลทำให้การโก่งตัวของตัวกำแพงเกิดการเปลี่ยนแปลงดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.13 พบว่าการโก่งตัวของกำแพงเพิ่มขึ้นจาก 7.5 cm. เป็น 15 cm. ซึ่งเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว



รูปที่ 2.12 แสดงการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเมื่อเปลี่ยนแปลงการก่อสร้าง และน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้น

ทฤษฎี Rankine คิดผลของน้ำหนักบรรทุกจากการก่อสร้างหรือหน่วยแรงที่กระทำที่ผิวดิน โดยคิดอยู่ในรูปของ σ_v คือ น้ำหนักบรรทุก ต้องกระทำอยู่บนผิวดินที่เกิดการวิบัติทั้งหมด ดังนั้นไม่สามารถใช้ได้กับกรณีที่ น้ำหนักบรรทุกกระทำบนพื้นที่เล็ก ๆ หรือ Concentrate load การคำนวณค่าหน่วยแรงในแนวนอนที่เพิ่มขึ้นอาจทำได้โดยใช้ทฤษฎีอัสตติก แสดงสมการสำหรับคาดคะเนซึ่งสามารถแบ่งเป็นกรณีดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 การกระจายความดันดินด้านข้างเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก หลายประเภท a.) Excavation earth or Uniform surcharge b.) Building on shallow foundation c.) Building on deep foundation d.) Additional of lateral of lateral Pressure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

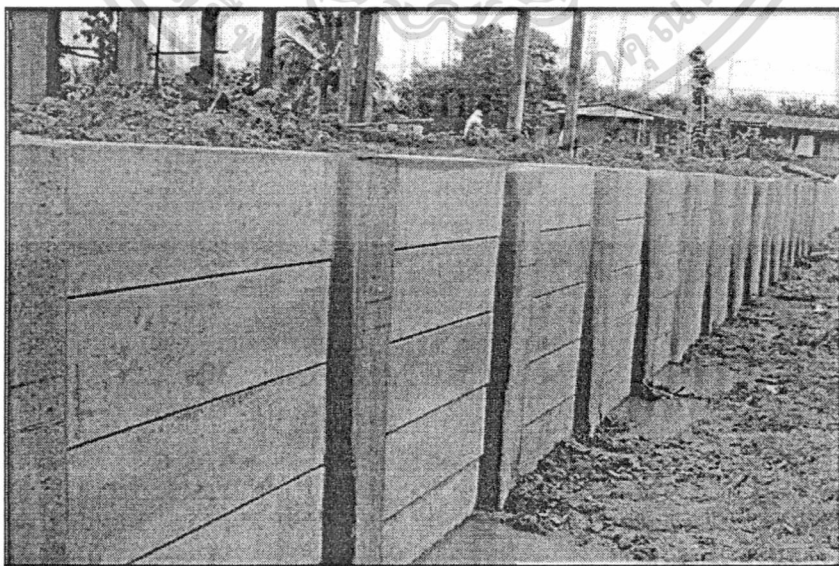
บทที่ 3

วิธีการศึกษา

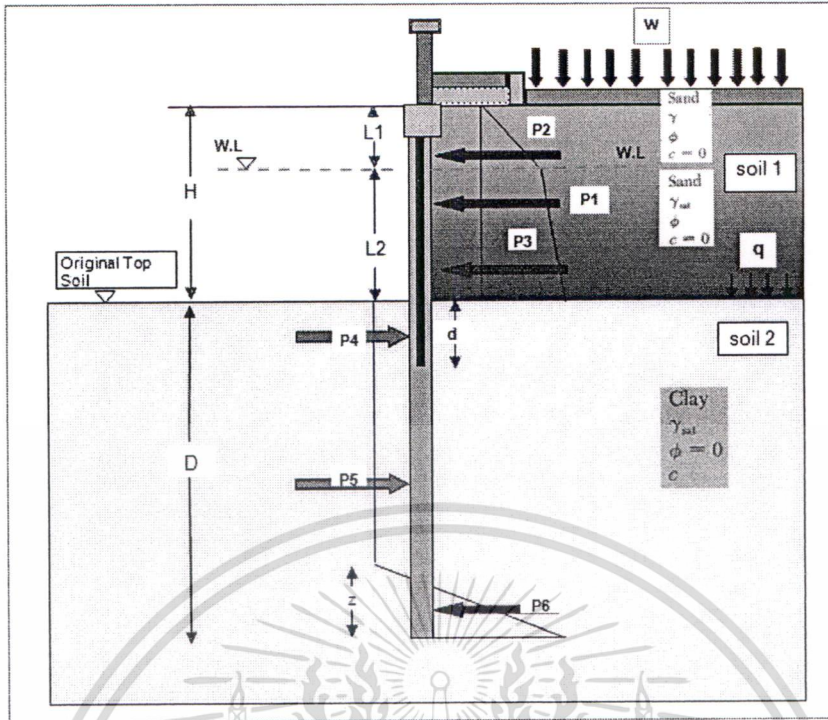
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการที่ใช้ในการศึกษาการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ คุณสมบัติของดิน และวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ และตัวอย่างงานก่อสร้างจริงที่ใช้ในกรณีศึกษา รวมถึงวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ของแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน กับวิธีที่ได้ประยุกต์ใช้ขึ้น

3.1 การวิเคราะห์กำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ

ในการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มตัวไอ ใช้ทฤษฎีแรงดันด้านข้างของกำแพงกันดิน มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ มีจุดที่แตกต่างกันนั่นคือ กำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มตัวไอ มีส่วนของโครงสร้างที่ฝังอยู่ในชั้นดินเหนียว อยู่สองชนิดนั่นคือในส่วนของตัวแผ่นผนังกำแพง และส่วนของเสาเข็มที่ฝังยื่นยาวต่อไป ซึ่งในทางทฤษฎีจะมีส่วนของตัวผนังกันดินฝังลงในชั้นดินเพียงส่วนเดียว ทำให้กำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ มีความสะดวกรวดเร็วในการก่อสร้าง เนื่องจากชิ้นส่วนวัสดุที่ใช้ เป็นวัสดุสำเร็จรูป มีความประหยัดในเรื่องของสัดส่วนความปลอดภัย เนื่องจาก ไม่จำเป็นต้องฝังผนังกำแพงให้ลึกลงไปชั้นดินมากเกินไป ดังรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3.1 ลักษณะของกำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ภาพตัดแสดงโครงสร้างของกำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ

ในส่วนของทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้ใช้ทฤษฎีแรงดันด้านข้างของกำแพงกันดิน แบบคานยื่นมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ โดยมีการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงดันด้านข้างของดิน ให้มีเสาเข็มเข้ามารับแรงด้วย ซึ่งแตกต่างจากเดิมที่มีแต่เพียงกำแพงกันดินรับแรงดันของดินเพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินได้ตั้งสมการต่อไปนี้

$$P1 = k_a w H W \quad (3.1)$$

$$P2 = \frac{1}{2} k_a \gamma_w L_1^2 \quad (3.2)$$

$$P3 = \frac{1}{2} k_a (2\gamma L_1 + \gamma' L_2) w L_2 \quad (3.3)$$

$$P4 = (4c - q) w d \quad (3.4)$$

$$P5 = (4c - q)(D - d - Z) b \quad (3.5)$$

$$P6 = \frac{1}{2} (4c + q) b Z \quad (3.6)$$

P1-P6 = แรงที่กระทำกับกำแพงกันดิน (KN)

H = ระดับความสูงของดินถมหลังกำแพงกันดิน (m)

L₁ = ระดับความสูงของดินถมเหนือระดับน้ำหน้ากำแพง (m)

L₂ = ระดับความสูงของดินถมใต้ระดับน้ำหน้ากำแพง (m)

D = ระดับความลึกของเสาเข็มรูปตัวไอที่ปักลงไปนชั้นดินเดิม (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b = ขนาดหน้าตัดของเสาเข็ม (m)

W = ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม (m)

$W.L.$ = ระดับน้ำหน้ากำแพงกันดิน (m)

w = หน่วยน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนชั้นดินถม (KN/m^2)

q = หน่วยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นระหว่างดินเดิมกับดินถม (KN/m^2)

$$= (\gamma L_1 + \gamma' L_2)$$

c = ค่าแรงยึดเหนี่ยวของดิน (KN/m^2)

γ = หน่วยน้ำหนักของดินถม (KN/m^3)

γ' = หน่วยน้ำหนักจมน้ำของดินถม (KN/m^3)

K_u = ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินแบบแอ็คทีฟ

สามารถคำนวณหาความยาวของเข็มที่ฝังลงในดินเหนียว และความลึกของกำแพงกันดินได้ โดยการกำหนดความลึกของกำแพงกันดิน หรือความยาวของเข็มที่ฝังลงในดิน ค่าใดค่าหนึ่ง จากนั้นทำการสมดุลแรงตามแนวราบ และสมดุลของโมเมนต์รอบจุดใด ๆ เพื่อใช้ในการหาค่าแรงเฉือน และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินและเสาเข็ม ดังตัวอย่างที่แสดงการหาระยะฝังของกำแพงกันดิน ได้ดังนี้

จากรูปที่ 3.2 กำหนดให้

ความสูงของดินถม $L_1 = 1.30$ m

ความสูงของดินถม $L_2 = 0.50$ m

แรงยึดเหนี่ยวของดิน $c = 10 \text{ KN/m}^2$

ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินแบบแอ็คทีฟ $K_u = 0.50$

หน่วยน้ำหนักของดินถม $\gamma = 17 \text{ KN/m}^3$

หน่วยน้ำหนักของดินถมอิ่มตัว $\gamma_{\text{sat}} = 18 \text{ KN/m}^3$

หน่วยน้ำหนักจมน้ำของดินถม $\gamma' = 8 \text{ KN/m}^3$

หน่วยน้ำหนักบรรทุก $w = 2 \text{ KN/m}^2$

หน่วยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นระหว่างดินเดิมกับดินถม $= q = (\gamma L_1 + \gamma' L_2) = 26.10 \text{ KN/m}^2$

ขนาดหน้าตัดของเสาเข็ม $b = 0.26$ m

ความยาวของเสาเข็ม $D = 6.00$ m

ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม $W = 1.00$ m

จากสมดุลของแรงในแนวราบ $\sum F = 0$

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_6 = P_4 + P_5 \quad (3.7)$$

เอกสารค่าตัวแปรที่กำหนดลงในสมการที่ 3.1-3.6 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ $Z = 0.30 + 0.74d$ (3.8)

จากสมการของโมเมนต์ที่ปลายล่างของเสาเข็ม $\Sigma M = 0$

$(P1 \times 6.90) + (P2 \times 6.93) + (P3 \times 6.24) + (P6 \times Z/3) = (P4 \times (D - 0.5d)) + (P5 \times ((D - d - Z)/2 + Z))$ (3.9)

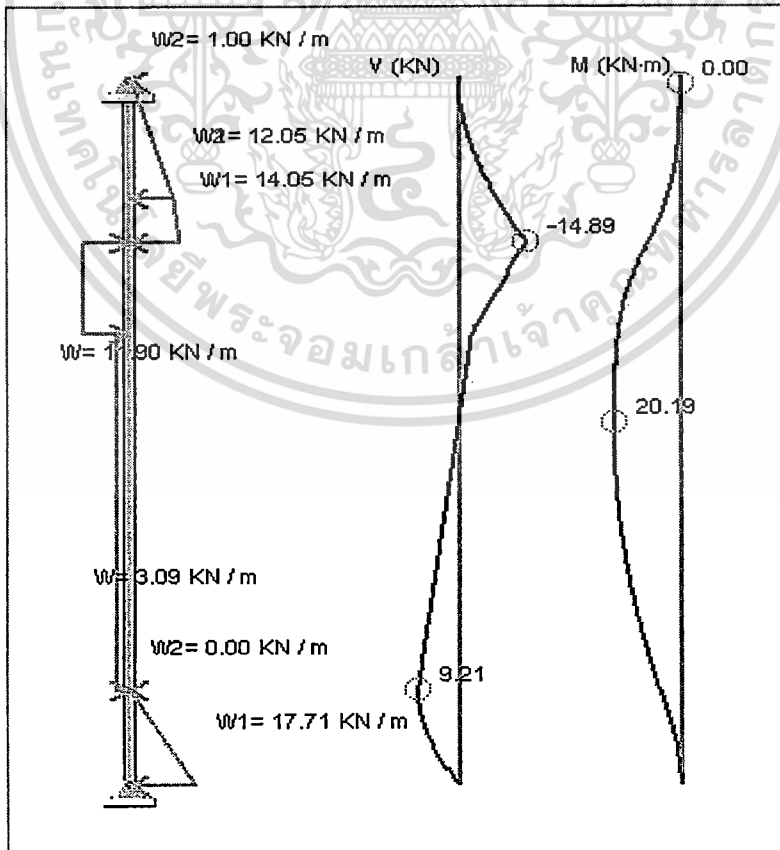
ได้ $Z^2 = -0.98d^2 + 11.75d - 9.81$ (3.10)

แทนค่าสมการที่ 3.8 ลงในสมการที่ 3.10

ได้ $1.52d^2 - 11.31d + 9.90 = 0$ (3.11)

แก้สมการกำลังสองได้ค่า $d = 1.01 \text{ m}$

ซึ่งในทางกลับกันถ้ากำหนดค่าฝั่งลึกของกำแพงกันดิน d สามารถหาความยาวของเสาเข็มที่ใช้ได้ตามวิธีการสมดุลของแรงในแนวราบ และการสมดุลของโมเมนต์ตามตัวอย่างข้างต้น แต่โดยทั่วไปในทางออกแบบมักจะพิจารณากำหนดความยาวของเสาเข็มก่อน เนื่องจากในการพิจารณาข้อมูลดินเบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบ จะทำให้ทราบถึงความลึกของชั้นดินที่เหมาะสมที่ควรใช้การวางปลายของเสาเข็ม และข้อจำกัดของขนาด และความยาว มาตรฐานของเสาเข็มเป็นสำคัญ จากนั้นนำค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน ระยะความลึกของกำแพงกันดิน ความลึกของเสาเข็ม ระยะ Z ที่หาได้ นำไปเขียนแผนภูมิกำลังเฉือน และ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน ดังรูปที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.3 แผนภูมิกำลังเฉือน และ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกพิมพ์ใหม่เมื่อเกิดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นแผนภูมิที่ได้จากการใช้สมมติฐานกำแพงกันดินเป็นวัตถุแข็งเกร็ง ซึ่งไม่มีการเคลื่อนตัวของดิน และการโก่งตัวของกำแพงกันดินเกิดขึ้น โดยจะใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่จะกล่าวถึงต่อไป

3.2 คุณสมบัติของดิน และวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์กำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ ในงานวิจัยนี้พิจารณาถึงกำแพงกันดินที่ปักอยู่ในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯเป็นหลัก โดยใช้คุณสมบัติของชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯในการวิเคราะห์ ซึ่งมีรายละเอียดทั่วไปดังนี้

1.) ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

สภาพดินเป็นที่ราบลุ่มภาคกลาง โดยเฉพาะปริมณฑล และเขตกรุงเทพฯ ปกคลุมด้วยชั้นดินอ่อนผืนใหญ่ของดินตะกอนลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นดินที่รับน้ำหนักได้น้อย ยุบตัวได้สูง ไหลตัวได้ง่ายเมื่อน้ำหนักบรรทุก ดินเหนียวอ่อนบริเวณกรุงเทพฯ เป็นดินเหนียวที่มีขนาดเล็กมาก สามารถผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 200 (0.074 มม.) ร้อยละร้อย ซึ่งเกิดจากการพัดพาของน้ำ หรือดินแขวนลอยไหลตามน้ำมา เมื่อความเร็วของกระแส น้ำชะลอลง อันมาจากเนื่องกระแส น้ำปะทะกับกระแสน้ำทะเลในอ่าวไทย ทำให้ดินที่แขวนลอยมากับน้ำตกตะกอน โดยมีบางส่วนไหลไปตกตะกอนในอ่าวไทย และบางส่วนที่ละเอียดมาก ๆ กลับมาตกตะกอนบริเวณกรุงเทพฯ โดยแขวนลอยมากับน้ำทะเลหนุน ดังนั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จึงเป็นดินที่ละเอียดมาก มีปริมาณน้ำบรรจุ (Water content) อยู่ระหว่างร้อยละ 60-140 % มีขีดจำกัดความเหลว (Liquid limit) ระหว่างร้อยละ 60-120 ค่าสัมประสิทธิ์ซึมได้ของน้ำ (Coefficient of permeability, K) ต่ำ คือ ประมาณ 10^{-8} - 10^{-6} ซม./วินาที อัตราส่วนโพรง (Void ratio) อยู่ระหว่าง 0.8-3.5 มีค่า ความแข็งแรงเฉือนไม่มีการระบายน้ำ หรือแรงยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่าง 0.3-2.5 ton/m² ค่าหน่วยน้ำหนักเปียก 1.6 ton/m³ มีแร่ แคลโอไลน์ (Kaolinite) เป็นส่วนประกอบใหญ่ รองลงไปก็คือ มอนโมริลโลไนท์ (Montmorillonite) ผสมอยู่ร้อยละ 40-75 และแร่ดินเหนียวอิลไลต์ (Illite) ร้อยละ 10-20 โดยพบว่าชั้นดินตั้งแต่ผิวดินจนถึงระดับความลึก -50 ม. ซึ่งเป็นชั้นดินที่มีความสำคัญต่องานวิศวกรรมสามารถแบ่งออกตามหลักเกณฑ์ทางวิศวกรรมปฐพี โดยเรียงลำดับตามความลึกดังแสดงตามตารางที่ 3.1 และ 3.2 และรูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติโดยประมาณของชั้นดินกรุงเทพฯ ๑

Soil Type Layer	Depth (m)	Wn %	LL. %	PL. %	PI. %	LI.	γ_t t/m ³	Void Ratio, e	G_s
Weathered Clay	0-20	35-70	35-55	-	23-30	0.7-1.0	1.6-1.8	1.3-1.4	2.6-2.7
Soft Clay	1-16	65-90	65-90	30-40	40-63	0.6-0.9	1.5-1.7	1.5-2.6	2.7
Stiff Clay	0-25	24-34	40-75	20-28	18-50	0.1-0.2	1.9-2.0	0.65-0.95	2.7-2.8
First Sand	14-38	17-25					1.8-2.1	0.7	2.7
Hard Clay	24-43	30-35	55-69	18-25	31-44	0.1-0.3	1.8-2.0	0.8-0.95	2.7
Second Sand	30-58	20					1.8-2.6	0.75	2.7
Hard Clay	51-67	22-26	48-70	23-25	25-46	0.1	2.04	0.65-0.72	2.74
Sand	67-85	16							2.69
Hard Clay	79-96	19-20	56-57	22-26	32-34	0.1	2.0-2.1	0.55-0.61	2.7-2.6

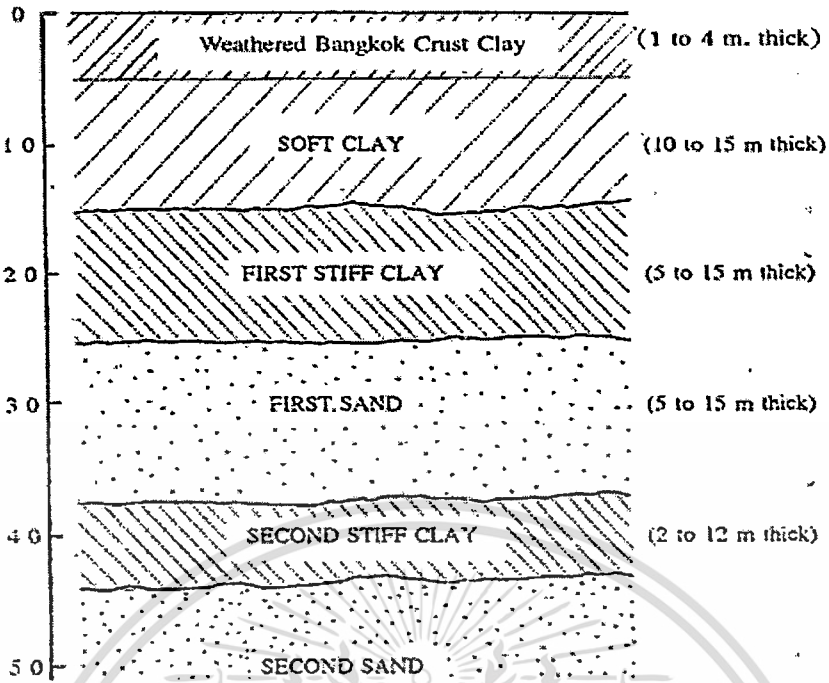
ที่มา : Tonygate (1978)

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติโดยประมาณของชั้นดินกรุงเทพฯ ๑

Soil Type Layer	Wn %	LL. %	PL %	PI. %	OCR.	γ_t t/m ³	Void Ratio, e	E_{11} kN/m ²	S_U kN/m ²	ϕ Degree
Weathered Clay	30-100	30-40	20-35	15-50	6-13	1.55-1.9	-	8200	20	17-37
Soft Clay	40-110	40-120	20-40	20-85	1.5-3.3	1.45-1.75	1.3-3.8	3000	6-27	21-24
1 st Stiff Clay	15-40	23-90	15-40	10-50	1.5	1.8-2.15	0.4-1.2	700- 1000	30-270	22-23
First Sand	17-25	17-25	-	-	-	1.9-2.3	0.7	-	-	30-40
2 nd Clay	15-35	30-70	15-35	15-45	1-1.6	2.02-2.08	0.8-1.3	-	60-210	-

ที่มา : Oonchittikul (1989)

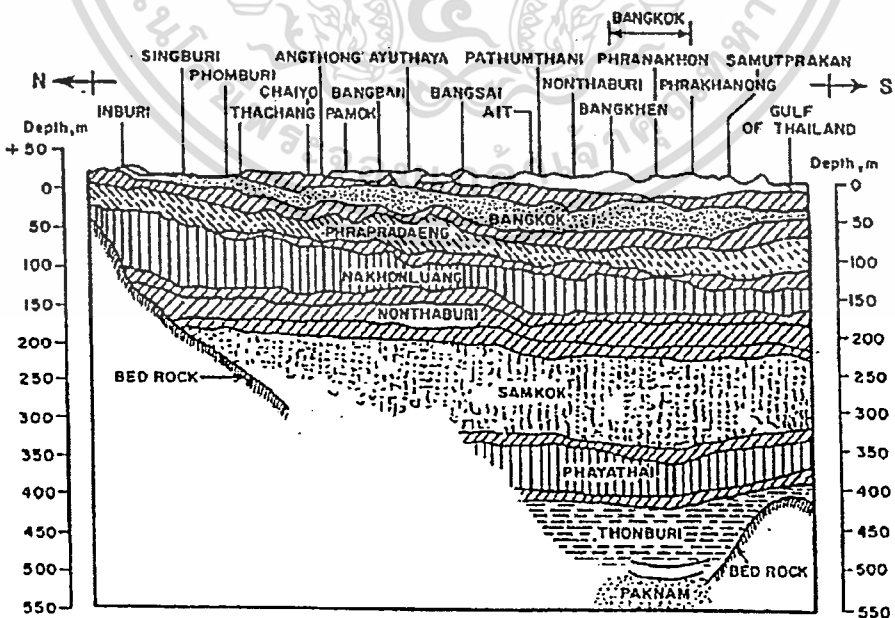
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่มา : Kerdsuwan (1984)

รูปที่ 3.4 ลักษณะชั้นดินบริเวณกรุงเทพฯ โดยทั่วไป

Moh (1969) สภาพชั้นดินโดยทั่ว ๆ ไปของที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนล่าง ประกอบด้วยชั้นดินเหนียว และทรายลึกกว่า 100 เมตร ไม่ปรากฏชั้นหิน (Bed rock) ในบริเวณชั้นดินกรุงเทพฯ ดังรูปที่ 3.5 โดยในทางวิศวกรรมสามารถจำแนกชั้นดินหลัก ๆ ดังรูปที่ 3.4 ได้ดังนี้



รูปที่ 3.5 ภาพตัดขวางชั้นดินที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตามแนวเหนือใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง การนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการฝ่าฝืนระเบียบข้อบังคับว่าด้วยการนำเอกสารไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) *Weathered bangkok crust clay* ลักษณะเป็นผิวบนแข็งมีความหนาโดยประมาณ 1 - 4 ม. เป็นดินเหนียวสีเทา และน้ำตาลพร้อมทั้งรอยแตกแยก ในบางแห่งอันเนื่องมาจากความแปรผันของความชื้นของดิน ดินชั้นนี้เป็นดินเหนียวชนิดอัดแน่นเกินตัว ที่มีค่าความแข็งแรงเฉือนไม่มีการระบายน้ำประมาณ 3-5 ton/m²

Moh (1969) กล่าวว่า ดินชั้นนี้โดยทั่วไปจะมีสีเทาดำ และบางครั้งจะมีสีแดงและสีน้ำตาลปนอยู่ด้วย มักพบรอยแตกแยกที่บริเวณผิว ความหนาโดยเฉลี่ยประมาณ 4-5 เมตร

Moum and Rosenquist (1957) พบว่า จากการทดสอบกำลังของดินในชั้นนี้ปรากฏว่ากำลังของดินจะสูงที่ผิวดิน และจะลดค่าลงไปจนกระทั่งต่ำสุดที่ความลึกประมาณ 5 ม. จึงจะเริ่มมีค่าสูงขึ้น และสูงขึ้นไปตามความลึกจนกระทั่งถึงชั้นดินแข็ง แสดงว่าผิวดินในช่วงความลึก 5 ม. ถูก weathered โดยธรรมชาติ ด้วยขบวนการชะล้าง ทำให้ปริมาณเกลือในช่องว่างเม็ดดินลดลง ปริมาณ Sodium ion ที่มีอยู่ในดินถูกชะล้างออกไป เหลือ Potassium ion ไว้ ทำให้อัตราส่วนของโปแตสเซียม ต่อ โซเดียมในช่องว่างเม็ดดินเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้กำลังแรงเฉือนเพิ่มขึ้น

Eide (1968) พบว่าค่าความไวตัวของดินชั้นนี้ ที่ได้จาก Vane shear test หรือวิธีอื่น ๆ จะอยู่ประมาณ 8 ถึง 10 แสดงว่าดินชั้นนี้มีค่าความไวตัวค่อนข้างสูง

Kanjanophas (1969) สรุปไว้ว่าขบวนการ weathering มีผลทำให้ค่าขีดจำกัดความเหลวเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความชื้นตามสภาพธรรมชาติ (Natural water content) เปลี่ยนไปไม่มากนัก มีผลทำให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้น

Moh (1969) พบว่า ผลการทดลองการยุบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) แสดงว่าดินชั้นผิวบนนี้ มีค่าอัตราส่วนอัดแน่นเกินตัว, OCR สูง จัดอยู่พวกดินเหนียวชนิดอัดแน่นเกินตัว

(2) *ชั้นดินเหนียวอ่อนมากจนถึงปานกลาง (Very soft to medium bangkok clay)* เป็นชั้นดินเหนียวตกตะกอนสีเทามีกำลังต่ำ และมีค่า Compressibility สูง อยู่ใต้ดินชั้น Weathered clay มีความหนาประมาณ 10 ถึง 15 ม. โดยความหนานี้จะมีค่ามากเมื่ออยู่ใกล้ทะเล และมีความหนาเฉลี่ย 14 ม. ในบริเวณส่วนกลางของกรุงเทพฯ มีสีเทาเข้ม หรือเทาปนเขียว โดยอาจมีเศษเปลือกหอยปนเล็กน้อยอันเนื่องมาจากเป็นดิน Marine clay ดินชั้นนี้มีค่าความไวตัว ตั้งแต่มากจนถึงปานกลาง จากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบ Vane shear test ในสนามพบว่า ค่าความไวตัวมีค่าตั้งแต่ 8 ถึง 10 โดยค่าความไวตัวจะลดลงเมื่อดินมีระดับความลึกมากขึ้นค่าปริมาณความชื้น (Natural water content) มีค่ามากโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 70% โดยมีค่าเกือบเท่ากับค่าความชื้นที่ Liquid limit โดยดินเหนียวอ่อนมาก ซึ่งอยู่ถัดลงมาจากชั้นเปลือกจะมีค่า Unconfined compression test, S_u เพียง 1-2 ton/m² ค่า Compression index, C_c มีค่าประมาณ 0.5-1.5 ดินชั้นนี้เป็นดินที่มีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ และค่าการยุบตัวสูง อันเป็นผลให้เป็นตัวสร้างปัญหาในงานวิศวกรรมฐานราก ที่ถูกเรียกว่าดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Bangkok soft clay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินชั้นนี้จะมีสีเทาอ่อนจนถึงสีเทาเข้ม และมีสีเขียวปนอยู่บ้าง ซึ่ง Cox (1968) ได้สรุปผลการทดสอบของดินชั้นนี้ว่าประกอบด้วย Clay 40 to 50%, Silt 40 to 60% และ Sand 0 to 10% จากปริมาณของ Silt และ Clay ที่เท่า ๆ กัน จึงเรียกดินชั้นนี้ว่า Silt clay

Moh (1969) สรุปไว้ว่าดินชั้น Soft clay นี้จัดว่าเป็น Normally consolidated หรือบางครั้งก็เป็น Slightly overconsolidated โดยมีค่าความชื้นสภาพธรรมชาติใกล้เคียงกับค่าขีดจำกัดความเหลว ค่าความแข็งแรงเหนือน ไม่มีการระบายน้ำ โดยทั่วไปจะต่ำมาก ซึ่ง วิชาญ (2517) ได้ประมาณค่ากำลังของดินชั้นนี้จากการทดสอบ Vane shear มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5-2.5 ตัน/ตารางเมตร ค่า Sensitivity ของดินชั้นนี้อยู่ระหว่าง 5-15 และเพราะว่าเป็นการยากมากในการเก็บตัวอย่างดินที่ไม่รบกวนของ Bangkok soft clay ดังนั้นค่าความแข็งแรงเหนือน ไม่มีการระบายน้ำ ที่ได้จากการทดสอบในสนาม เช่น Field vane shear test จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้มากกว่าค่าที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ (Eide, 1968; Brand, 1971)

(3) ชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก (First stiff clay) เป็นชั้นดินที่อยู่ถัดจากชั้นดินอ่อนลงมา มักมีสีเหลือง เทาอ่อน น้ำตาล และสีแดงคละกั้นอยู่ มีความหนาเฉลี่ยประมาณ 5-10 เมตร บางแห่งอาจลึกลงไปถึงระดับ -30.0 เมตร โดยมีความหนาเฉลี่ย 5 เมตร ในบริเวณส่วนกลางของกรุงเทพฯ ความหนาแน่นจะมีค่าน้อยในบริเวณทางเหนือ และในส่วนตะวันตกของกรุงเทพฯ ดินมีสีเทา และน้ำตาล โดยอาจมีทราย หรือทรายแป้ง (Silt) ปนอยู่เล็กน้อย มีปริมาณความชื้น (Natural water content) โดยประมาณ 20% มีกำลังรับแรงเหนือนแบบไม่ระบายน้ำมากกว่า 10 ton/m^2

Hengchaovanich (1969) พบว่าดินชั้น Stiff clay โดยมากมักจะมีทรายผสมอยู่ด้วย ค่าขีดจำกัดความเหลวมีค่าใกล้เคียงกับดัชนีพลาสติก และมีลักษณะเป็น Highly overconsolidated มีค่าความแข็งแรงเหนือนสูง โดยค่าความแข็งแรงเหนือน ไม่มีการระบายน้ำที่ได้จากผลการทดลอง Unconfined-compression และ Unconsolidated undrained triaxial test จะมีค่าประมาณ 5-15 ton/m^2 ส่วนค่า Compressibility มีค่าต่ำ

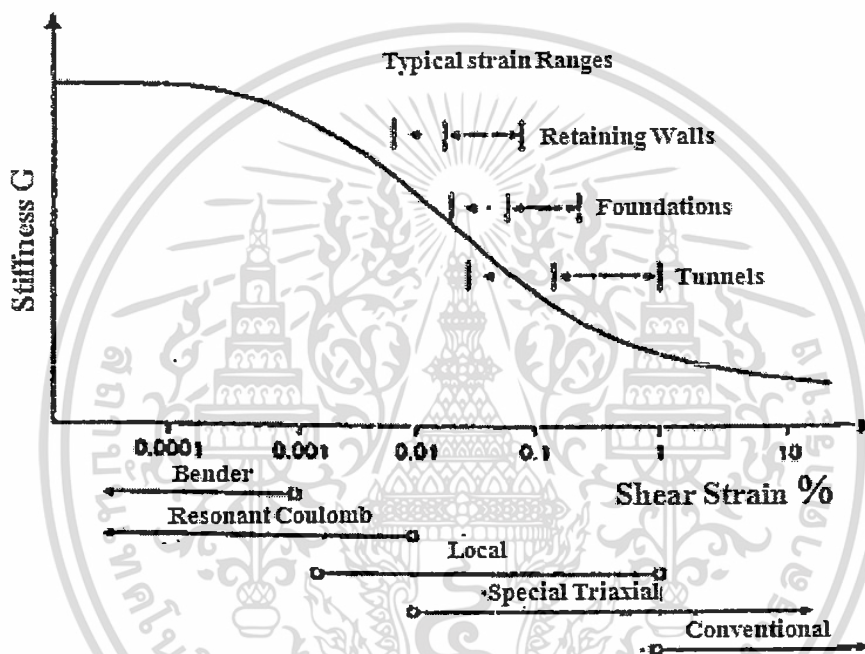
(4) ชั้นทรายชั้นแรก (First sand) เป็นชั้นที่มีดินเหนียวผสมคละรวมอยู่ด้วย, ดินทรายปนตะกอนทราย (Silt), SM. พบที่ความลึกประมาณระดับ -20 ถึง -30 เมตร จากผิวดิน โดยมีความหนาประมาณ 5 ถึง 15 เมตร เป็นทรายเม็ดละเอียดถึงเม็ดปานกลาง มีสีน้ำตาลอ่อน และเทาอ่อน โดยในบางแห่งจะพบดินเหนียว หรือตะกอนทรายปนอยู่บ้างเล็กน้อย มีปริมาณความชื้น, W_n ประมาณ 20%

2.) โมดูลัสยืดหยุ่นของดิน (Young's Modulus of soil) E_s

ในอดีตที่ผ่านมา ได้มีผู้ศึกษาถึงเรื่องการวิเคราะห์หาค่า โมดูลัสยืดหยุ่นของดินเหนียวกรุงเทพฯ พบว่าค่า โมดูลัสยืดหยุ่น ที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่าสูงกว่าค่า โมดูลัสยืดหยุ่นที่ทดสอบได้จากห้องทดลอง จนกระทั่งได้มีการคิดค้นวิธีการวัดความเครียด ในตัวอย่างโดยตรง ไม่ผ่านการใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีหลอดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ พบว่า โมดูลัสยืดหยุ่น พบว่าที่ระดับความเครียดต่ำ ๆ ค่า โมดูลัสยืดหยุ่น ของดินจะมีค่าสูงมาก และ

แสดงความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรง โดยความชันของกราฟจะสูงมากที่ความเครียดต่ำ แต่ที่ระดับความเครียดสูง ความชันของกราฟก็จะลดลง

Mair (1993) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น จะต่างกันอย่างมากที่ระดับความเครียดต่ำ ๆ ในส่วนของงานโครงสร้างใต้ดินอาทิ เช่น อุโมงค์ กำแพงใต้ดิน จะพบว่าค่าสตีฟเนสของดินจะเปลี่ยนแปลงตามระดับของความเครียดดังรูปที่ 3.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า Shear stiffness จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความเครียดเฉือน โดยในกรณีของ ไคอะเฟรมวอลด์ ที่ระดับความเครียดจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.01% ถึง 0.10 % เท่านั้น ซึ่งค่า Shear modulus ช่วงนี้จะสูงเกินกว่าที่การทดสอบแบบ จะทำการทดสอบได้

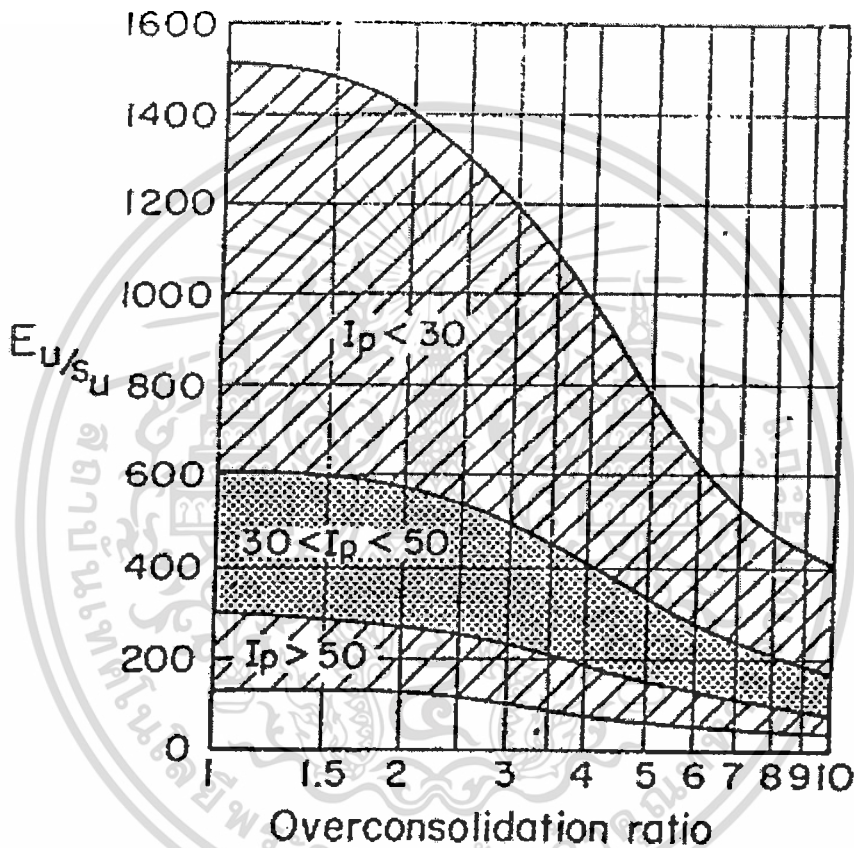


ที่มา : Mair (1993)

รูปที่ 3.6 ค่า Typical approximate strain range limits for reliable measurement of soil stiffness

ปัจจุบันได้มีผู้ทำการวัดค่า Shear modulus ที่ระดับความเครียดต่ำของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ ทั้งในห้องทดลอง และในสนามโดยค่า Shear modulus, G_{max} จะอยู่ระหว่าง $300 - 500S_u$ ซึ่งถ้าแปลงเป็นค่า โมดูลัสยืดหยุ่น ก็จะมีค่าอยู่ระหว่าง $900 - 1500 S_u$ (Shibryet al., 1997) นอกจากนี้ยังมีการทดสอบหาค่า G_{max} ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยใช้ Bender element test พบว่า G_{max} มีค่าอยู่ในช่วง $440 - 570 S_u$ (Terameast, 1998) นอกจากนี้ (Ducan and Buchigani, 1976) ยังได้เสนอว่าค่า โมดูลัสยืดหยุ่น ของดินจะขึ้นอยู่กับ Over consolidated ratio ของดินดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งหากพิจารณาถึงดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ ซึ่งมีค่า Over consolidated ratio = 1.6 จะพบว่าค่า E_u / S_u จะอยู่ที่ประมาณ $300 - 600$ ในส่วนของการทดสอบภาคสนามนั้นได้มีการทดสอบ Self boring pressuremeter test เพื่อใช้ออกแบบสถานีรถไฟใต้ดิน โดยพบว่าค่า E_u / S_u ของดินเหนียว

อ่อน ในช่วง Shear strain ประมาณ 0.1 - 0.2% จะมีค่าประมาณ 500 ในขณะที่ค่าสติเฟนสในดินเหนียวแข็ง ซึ่งมี Shear strain ประมาณ 0.05 - 0.01 % จะมีค่า E_u / S_u ประมาณ 2,000 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ทดสอบด้วยวิธีความเครียดต่ำ จะได้ค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองปกติ ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองปกติ จะไม่สามารถวัดความเครียดที่มีค่าน้อยได้ ซึ่งค่าความเครียดที่อ่านด้วยวิธีปกติส่วนหนึ่งจะเกิดจากตัวอุปกรณ์ การเตรียมตัวอย่าง หรือช่องว่างระหว่างอุปกรณ์กับตัวอย่าง เป็นต้น



ที่มา : Duncan and Buchighani (1976)

รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงค่าประมาณของโมดูลัสยืดหยุ่นของดินเหนียวแบบไม่ระบายน้ำ

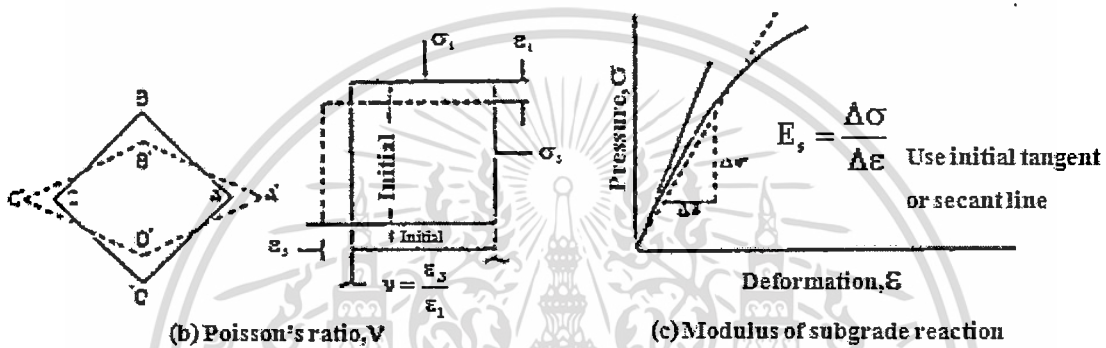
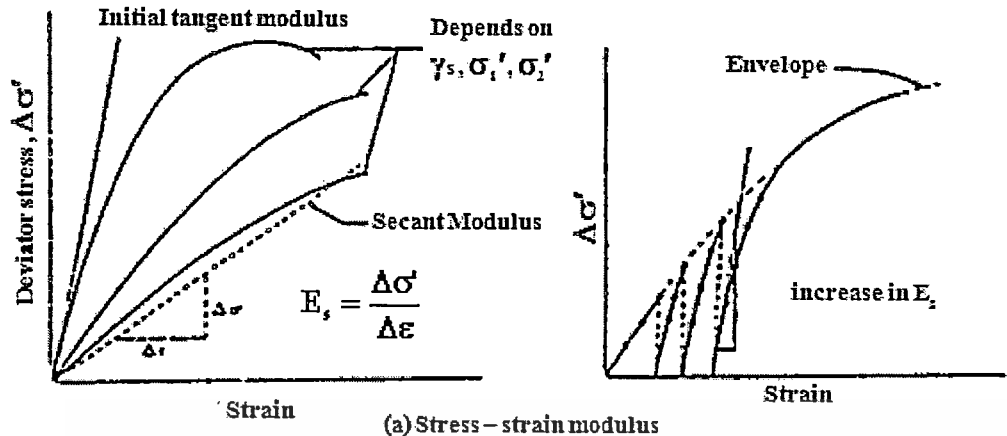
Bowles (1996) ได้กล่าวถึงวิธีการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) จากความสัมพันธ์ของ Stress - Strain curve ดังรูปที่ 3.8 และตารางที่ 3.3 โดยที่อัตราส่วนปัวซอง คือ

$$\nu = \frac{\epsilon_3}{\epsilon_1} \quad (3.12)$$

โดยที่ ϵ_3 = ความเครียดในแนวราบของวัสดุ เมื่อขณะรับแรงในแนวแกน

ϵ_1 = ความเครียดในแนวดิ่งของวัสดุ เมื่อขณะรับแรงในแนวแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และอัตราส่วนปัวซอง

ตารางที่ 3.3 ค่าโดยทั่วไปของ โมดูลัสยืดหยุ่น สำหรับดินเหนียว และดินทราย

Soil Type	Unconfined Compressive Strength, q_u (kN/m ²)	Young's Modulus, E_s (kN/m ²)	Poisson's Ratio, v
Very Soft Clay	0-25	2,000-15,000	-
Soft Clay	25-50	5,000-25,000	0.35-0.45
Medium Clay	50-100	15,000-50,000	0.30-0.35
Stiff Clay	>400	50,000-100,000	0.10-0.30
Sandy Clay	-	25,000-40,000	0.20-0.30
Loose Sand	-	9,000-25,000	0.20-0.40
Dense Sand	-	45,000-80,000	0.30-0.45

ที่มา : Bowles (1996)

ซึ่งค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่าอัตราส่วนปัวซองจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้

- วิธีการทดสอบหากำลังอัดของดิน Unconsolidated undrained test, Consolidated undrained test, Consolidated drained test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรงดันด้านข้าง (Confining pressure, σ_3) โดยที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้นกับการเพิ่มขึ้นกับการเพิ่มแรงดันด้านข้าง

- ปริมาณความชื้นในดิน ถ้ามีค่าความชื้นต่ำ โมดูลัสยืดหยุ่นจะสูง

- อัตราส่วนความเครียดที่ใช้ทดสอบ ซึ่งทดสอบที่อัตราความเครียดต่ำ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จะต่ำเป็น 2 เท่า หรือมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบหาอัตราความเครียดสูง และค่า Over Consolidation Ratio, OCR.

Das (1983) ได้กล่าวถึงวิธีการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินโดยการทดสอบ Triaxial compression test ของดินที่ไม่ถูกรบกวน ตัวอย่างดินที่ทดสอบเก็บตัวอย่างที่ความลึกเท่ากับความกว้างของฐานราก โดยผลของการทดสอบจะได้ดังรูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Deviator stress กับความเครียดอยู่ในรูปของ Hyperbolic (Kondner, 1968) สามารถหาค่า E_u ของดินได้โดย

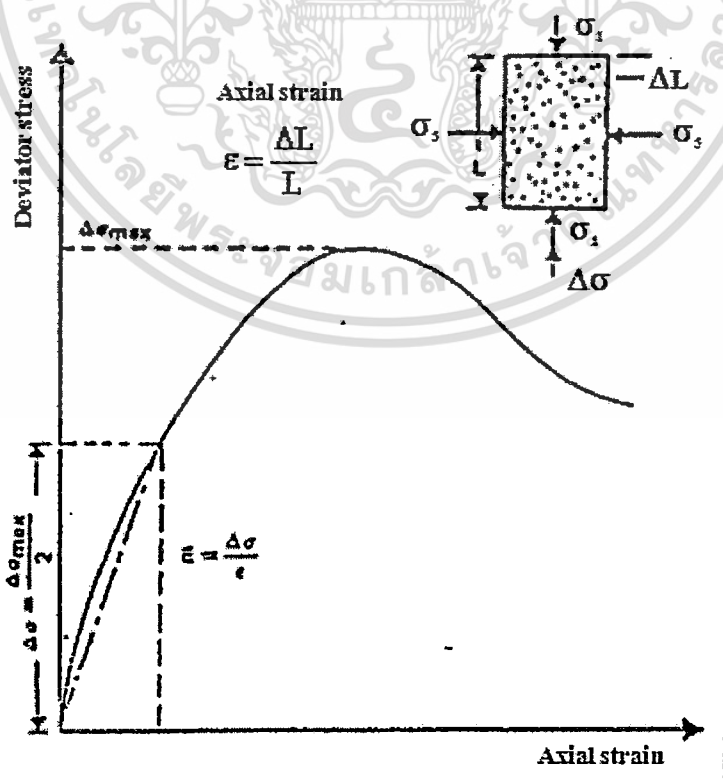
$$E_u = \alpha S_u \tag{3.13}$$

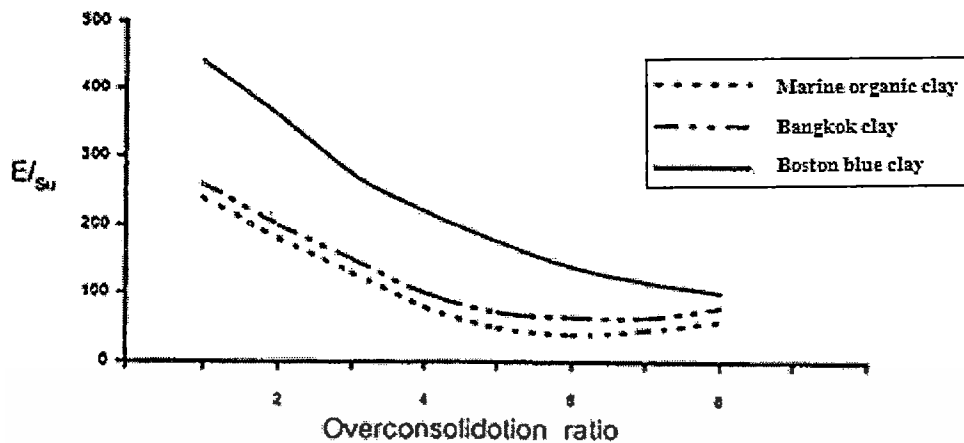
โดย E_u = โมดูลัสยืดหยุ่นของดินไม่ระบายน้ำในช่วงอิลาสติกก่อนจะถึงสภาพพลาสติก

α = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น Multiplier 80 to 260

S_u = ค่าลึงรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained cohesion soil)

ค่าของโมดูลัสยืดหยุ่น ของดินเหนียวต่อค่าค่าลึงรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ กับค่า Overconsolidation ratio ดังรูปที่ 3.10





รูปที่ 3.10 กราฟแสดงอัตราส่วนค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินเหนียวกับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวแบบไม่ระบายน้ำที่สัมพันธ์กับค่า Overconsolidation ratio

Terzaghi (1968) ได้วิเคราะห์หาค่า Poisson's ratio จากหลักการของความเครียดในแนวราบ (ϵ_3) จากวัสดุยืดหยุ่น (Elastic body) ได้ดังนี้

$$\frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \frac{\nu}{(1-\nu)} = K_0 \quad (3.14)$$

ซึ่งในการวิเคราะห์ค่าแรงแกกันดินแบบแฟงคอนกรีตในร่องเข็มตัวไอในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ได้พิจารณากำหนดคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ได้มาจากข้อมูลอ้างอิงผลการทดลองในอดีต ซึ่งมีผู้รวบรวมไว้ในแต่ละชนิด ที่มาจากหลายแห่ง เช่น งานวิจัย ข้อเสนอแนะจาก Code of practice ซึ่งประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 ค่าความแข็งแรงแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

Reference	Medium Clay	Soft Clay (t/m^2)	Stiff Clay (t/m^2)
Moh. (1969)	5.6(t/m^2)	0.7 - 2.3	9.4
Teparkasa W.(1996)	-	0.6 - 2.0	-
Kerdsuwan. (1984)	-	1.0 - 2.0	> 10
Hengchaovanich. (1989)	-	-	5 - 15
Oonchittikul. (1989)	-	-	3 - 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ค่า Young Modulus ของดินเหนียวแบบไม่ระบายน้ำ, E_u ในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ

Formular	Reference	Remark
$E_u = 500S_u$	Coe.(1973)	จากการตรวจสอบการทรุดตัวของดินในถนนธนบุรี-ปากท่อ โดย S_u คัดจากค่าเฉลี่ยของชั้นดินเหนียวอ่อนที่สุด
$E_u = 131S_u$ $E_u = 125-300S_u$	PamPlong.(1985) NAVFAC.DM.7.1(1982)	จากการทดสอบ $C_{kod}-T_c$ ตัวอย่างของถนนบางนาบางประกง คุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ PI = 40-63% (Tongyagate,1978) โดยนำดินที่มีคุณสมบัติของดิน OCR < 3 (Oonchittikul,1989) ค่า $30 < PI < 50\%$ และ $PI < 50\%$
$E_u = 100-500S_u$	Ducan and Buchighani (1976)	คุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ PI = 40-63%, OCR.<3 (Tongyagate,1978)
$E_u = 70-250S_u$ $E_u = 42-162S_u$	Balasubramaniam and Brenner (1987)	$S_{u(FV1)}$ = Uncorrected field vane shear strength เมื่อ $S_{u(FV)}$ = Field vane correction ที่ปรับแก้ (Bjerrum,1972) เมื่อ PI=85% (Oonchittikul,1989)
$E_u = 100-500S_u$	Bowel.(1996)	สำหรับ Normally consolidated sensitive and lightly overconsolidated clay ,When PI.>30 organic
$E_u = 80-260S_u$	Das.(1983)	
$E_u = 150S_u$	Bergado et al(1990)	Bangkok clay เมื่อ PI.>50% จากการศึกษการทรุดตัวของถนนสายบางนาบางประกงจากหน้าตัด 30 จุดสายทาง 55 กม.
$E_u = 250-500S_u$	Bjerrum.(1964)	S_u = Undrained shear strength unconfined compression test or vane shear test

ตารางที่ 3.6 ค่าตัวแปรทั่วไปที่ใช้ในการออกแบบโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินกรุงเทพ ฯ ในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ

Parameter	Crust (where present)	Bangkok Soft Clay
Unit Weight	16-18 kN/m ³	16 kN/m ³
PL	20-40%	20-40%
LL	55-90%	55-90%
LI	0-0.5	0.5-1.0
PI	30-50%	30-50%
Water Content	30-50%	50-80%
Clay Content	35-85%	35-85%
S_u	15-30 kPa	$20 + 3.5(z-7)$ <i>z begins at 7 m from surface</i>
E_u	6,250 kPa	$6,250 + 900(z-7)$ kPa
ϕ'	23	23
K_o	1	0.75
OCR	2-6	1.2
k	N/A	3×10^{-9} m/s

ที่มา : สุชัยวีร์ (2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 หน่วยน้ำหนักของดินในชั้นดินกรุงเทพฯ ๑, γ_s

Reference	Soft Clay (t/m^3)	Medium Clay	Stiff Clay (t/m^3)	Sand (t/m^3)
Tonyagate. (1978)	1.5-1.7	-	1.9-2.0	1.8-2.1
Oonchittikul. (1989)	1.45-1.75	-	1.8-2.15	1.9-2.3

โดยสรุปเป็นข้อมูลพื้นฐาน และเงื่อนไขในการวิเคราะห์ห้ำจัย คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์กำลังกันดินแบบแวงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอในเขตกรุงเทพฯ ๑ ดังตารางที่ 3.8 โดยดินถม 1 เป็นดินถมหลังกำลังกันดิน ซึ่งกำหนดให้คุณสมบัติของดิน เป็นดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยว C มีคุณสมบัติทั่วไปของดินถมดังตารางที่ 3.8 และดินถม 2 เป็นดินถมหลังกำลังกันดินกำหนดให้เป็นดินที่ไม่มีค่ามุมแรงเสียดทานภายใน ϕ มีค่าแรงยึดเหนี่ยว C เท่ากับ 12 KN/m^2 ส่วนดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ ซึ่งเป็นชั้นดินที่ฝั่งปลายของเสาเข็มของกำลังกันดินแบบแวงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ ใช้ข้อมูลดินทั่วไปจาก ข้อมูลอ้างอิงผลการทดสอบในอดีต ดังตารางที่ 3.3 – 3.7

ตารางที่ 3.8 สรุปข้อมูลพื้นฐานคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์

	C	ϕ	γ_{sat}	E	K_s	V
	KN/m^2	$[\circ]$	KN/m^3	KN/m^2		
ดินถม 1	0	20	18	12,000	0.5	0.30
ดินถม 2	12	0	16	6,250	1	0.35
ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑	12-20	0	16	6,250	0.75	0.35

3.) คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์

ประกอบคุณสมบัติของแวงคอนกรีต และเสาเข็ม โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดของแวงคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (f'_c) เท่ากับ 2.75 KN/cm^2 และค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเสาเข็มที่อายุ 28 วัน (f'_c) เท่ากับ 4.41 KN/cm^2 โดยมีระยะห่างระหว่างเสาเข็ม เท่ากับ 1 เมตร มีขนาดหน้าตัดเสาเข็มรูปตัวไอ 26 เซนติเมตร โดยมีพารามิเตอร์ คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม ดังตารางที่ 3.9 ซึ่งค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ว.ส.ท. (2538) หาได้จาก

$$E_c = 15,120\sqrt{f'_c} \quad (3.15)$$

ตารางที่ 3.9 สรุปข้อมูลพื้นฐานคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์

Structure Wall Type	E_c	Area	Inertia	EI	EA	V
	KN/m ²	m ²	m ⁴	KN.m ²	KN	
Pile I Section	3.14×10^7	0.047	0.00034	10,676	1,475,800	0.15
Concrete Wall Panel	2.48×10^7	0.137	0.00041	10,168	3,397,600	0.17

ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของดิน และวัสดุต่าง ๆ เหล่านี้ จะใช้เป็นข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ กัมพวงกันดินแบบแฉงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ และเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

3.3 วิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างทางธรณินั้น ได้เริ่มมีการใช้กันในปี ค.ศ. 1966 โดย Reyes และ Deene (1966) ได้ใช้วิธีการนี้ในการประยุกต์ใช้กับงาน อุโมงค์ใต้ดิน ต่อมา Clough และ Woodward (1967) ได้ใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์หาค่า ความเค้น และการเคลื่อนตัวของคันทาง โดยหลังจากนั้นจึงเริ่มมีนักวิจัยหลายท่านทำการศึกษา กันอย่างกว้างขวาง ทำให้เกิดทฤษฎี แบบจำลองต่าง ๆ ขึ้นมากมาย เช่น แบบจำลองมอร์-คูลอมบี แบบ จำลองไฮเปอร์โบลิก เป็นต้น โดยหลักการของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่นำมาวิเคราะห์สามารถแยก รายละเอียดของพื้นที่ศึกษามวลดิน ออกเป็นหน่วยย่อย ๆ แยกออกจากกันเรียกว่า ไฟไนต์เอลิเมนต์ มีความต่อเนื่องกันภายในด้วยจุดต่อจุดของด้านหน่วยย่อยเล็ก ๆ ที่เรียกว่า Nodal point และผิวของ ด้านที่ใช้ร่วมกันระหว่างหน่วยย่อย เรียกว่า Nodal plane ซึ่งมีการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ และ พฤติกรรมการเสียรูปอย่างง่าย ๆ ซึ่งขึ้นกับค่า Poisson's ratio และ โมดูลัสยืดหยุ่นของการเกิด Local yield ของแต่ละส่วน แล้วรวมกันส่งผลถึงทั้งระบบ และ ในอิติเมนต์ นั้นจะมีการเคลื่อนตัว ความเค้น ความเครียด ตามทฤษฎี Elasto-Plastic ในการวิเคราะห์หาค่าตอบของโครงสร้างดินเมื่อมีน้ำหนักมา กระทำกับโครงสร้างดิน จะเกิดการเคลื่อนตัวโดยจะหาค่าตอบภายใต้เงื่อนไข ของการสมดุลแรง และ โมเมนต์ ภายในอิติเมนต์ให้เท่ากับศูนย์ และการเคลื่อนตัวต่าง ๆ ของอิติเมนต์มีความ ต่อเนื่องกัน ซึ่งวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีความสะดวกในการใช้งานหลายอย่างดังนี้

1.) รูปร่างของแบบจำลองสามารถเปลี่ยนแปลงจากสภาพเริ่มต้นไปจนถึงสุดท้ายโดยมีการ เปลี่ยนแปลงแบบเป็นขั้นเป็นตอนได้ ซึ่งจะมีความสอดคล้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้น สามารถทำได้โดยการเติมอิติเมนต์ หรือนำอิติเมนต์ออกจากโครงข่าย (Mesh) ที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.) คุณสมบัติของดินสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลง ที่เกิดขึ้นจริงอันเนื่องมาจากขั้นตอนการก่อสร้าง

ไม่วารณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) สามารถจำลองการกระทำของน้ำหนักในสภาพต่าง ๆ เช่น น้ำหนักที่กระจายไม่สม่ำเสมอได้ใกล้เคียงกับสภาพจริง

4.) ให้ผลลัพธ์พฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงความเค้น และความเครียดของโครงสร้าง เช่น ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นต่าง ๆ และการเคลื่อนตัว เป็นต้น

การวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินแบบแฉงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์สำเร็จรูป (PLAXIS) เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าการเสียรูป และเสถียรภาพของสิ่งก่อสร้างในด้านเทคนิคธรณี ซึ่งสามารถใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงการที่ต้องการความแม่นยำสูง และจำเป็นที่จะต้องใช้แบบจำลองสมการแบบที่ไม่เป็นเส้นตรง มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับเวลา นอกจากนี้ยังสามารถใช้จำลองรูปแบบในกรณีที่ดินมีหลายสถานะ เช่น ในช่วงที่ไม่มีแรงดันน้ำ และในช่วงที่มีแรงดันน้ำได้อีกด้วย แบบจำลองทางธรณีเทคนิคนั้นนอกจากจะมีความสำคัญในตัวของมันเองแล้ว ก็ยังต้องเกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางด้านโครงสร้าง และแรงกระทำระหว่างโครงสร้างกับดิน ซึ่งโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์ มีคำสั่งที่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างทางเทคนิคธรณีที่ซับซ้อนได้ ซึ่งสามารถสรุปหัวข้อรายละเอียดที่ควรทราบของโปรแกรมได้ดังนี้ Brinkgreve (1998)

- **แบบจำลองแบบมอร์-คูลอมบ์ (Mohr-Coulomb model)** แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองแบบง่ายที่ไม่เป็นเส้นตรง และใช้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของดินซึ่งนิยมใช้โดยทั่ว ๆ ไปอย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้จะไม่สามารถจำลองพฤติกรรมของดินที่เป็นแบบไม่เป็นเส้นตรงได้หมด แบบจำลองแบบมอร์-คูลอมบ์ สามารถใช้คำนวณหาอัตราส่วนความปลอดภัยโดยใช้วิธีการลดค่ามุมเสียดทานและแรงยึดเหนี่ยว (Phi-C reduction) ได้อีกด้วย

- **แบบจำลองชั้นสูง** นอกจากแบบจำลองของมอร์-คูลอมแล้ว โปรแกรม PLAXIS ยังมีแบบจำลองอื่น ๆ ให้สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับพฤติกรรมของดินแต่ละประเภทอีกด้วย เช่น ดินเหนียวอ่อนแบบอัดตัวปกติ (Normally consolidated clay) ควรจะเลือกใช้แบบจำลอง Cam clay ซึ่งแบบจำลองนี้ใช้ชื่อเรียกในโปรแกรม PLAXIS ว่า แบบจำลองในชั้นดินอ่อน (Soft soil model) ส่วนในชั้นดินที่แข็งขึ้น เช่น ดินเหนียวแบบอัดตัวเกินปกติ (Over consolidated clay) และดินทราย ควรจะเลือกแบบจำลองแบบไฮเปอร์โบลิก (Hyperbolic model) ซึ่งเรียกในโปรแกรม PLAXIS ว่า แบบจำลองในชั้นดินแข็ง (Hardening soil model) ซึ่งรายละเอียดของแบบจำลองเหล่านี้ แสดงไว้ในคู่มือโปรแกรม PLAXIS ส่วนที่เป็นแบบจำลองเกี่ยวกับวัสดุ (Material model)

- **การป้อนข้อมูลเกี่ยวกับรูปร่างของแบบจำลอง (Geometry)** คือการกรอกข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะชั้นดิน, ลักษณะโครงสร้าง, ขั้นตอนการก่อสร้าง และเงื่อนไขขอบเขตของชั้นดิน โดยจะใช้วิธีการวาดรูปเป็นหลักซึ่งจะทำให้ได้รายละเอียด และความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งเมื่อได้รูปร่างของแบบจำลองแล้ว การแบ่งชิ้นส่วนย่อย ๆ จะสามารถทำได้โดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การสร้างชิ้นส่วนย่อย ๆ โดยอัตโนมัติ (Mesh) โปรแกรม PLAXIS จะแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นชิ้นส่วนย่อย ๆ โดยอัตโนมัติด้วยวิธีการแบ่งแบบทั้งหมด หรือแบบแบ่งเฉพาะจุด การแบ่งชิ้นส่วนย่อย ๆ นี้จะแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นสามเหลี่ยม

- คาน (Beam) เป็นชิ้นส่วนที่มีพฤติกรรมคล้ายคานในระบบโครงสร้าง ใช้ออกแบบกับโครงสร้างประเภทกำแพงกันดินวัสดุยึดผิวของอุโมงค์ และโครงสร้างที่มีลักษณะผอมบาง พฤติกรรมของชิ้นส่วนเหล่านี้จะกล่าวถึงในด้านความแข็งแรง ความแข็งแกร่งปกติ และโมเมนต์ดัดคล้าย

- สมอ (Anchors) เป็นชิ้นส่วนที่มีลักษณะที่ยึดตัวได้ โดยใช้ออกแบบให้เป็นสมอ และค้ำยัน (Strut) พฤติกรรมของชิ้นส่วนเหล่านี้จะกล่าวถึงในรูปของความแข็งแรง (Stiffness) และค่าแรงที่เกิดขึ้นมากที่สุด

- แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) เป็นแผ่นใยสังเคราะห์ หรือวัสดุเสริมกำลังประเภท Geogrid นิยมใช้ในงานก่อสร้างเพื่อเสริมกำลังให้กับคันทาง ดินถม หรือกำแพงกันดิน ซึ่งในกรณีนี้สามารถนำมาวิเคราะห์ในโปรแกรม โดยการจำลองให้เป็นชิ้นส่วนรับแรงดึง นอกจากนี้ยังสามารถที่จะพิจารณาชิ้นส่วนเหล่านี้ในด้านพื้นผิวสัมผัสเพื่อที่จะจำลองแรงกระทำระหว่างดิน และสะดวกในการวิเคราะห์กรณีที่มีชั้นดินหลาย ๆ ชั้นประกอบกันอีกด้วย

- พื้นผิวสัมผัส (Interface) ใช้สำหรับคำนวณแรงปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับดิน ซึ่งอาจจำลองพฤติกรรมโดยพิจารณาเป็นชั้นบาง ๆ ที่สัมผัสกับฐานราก เสาค้ำยัน แผ่นใยสังเคราะห์ และกำแพงกันดิน เป็นต้น

- ความดันน้ำในโพรงขณะสมดุล (Steady state pore pressure) มีวิธีการ 2 วิธีด้วยกันที่จะกรอก ข้อมูลเกี่ยวกับแรงดันน้ำในสภาพปกติ ถ้าแรงดันน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างซับซ้อน ก็ควรใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ 2 มิติ และค่าแรงดันน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างง่าย ก็สามารถใช้วิธีการวิเคราะห์แบบใช้เส้นระดับน้ำใต้ดิน (Phreatic lines)

- แรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess pore pressure) โปรแกรม PLAXIS สามารถที่จะจำลองพฤติกรรมของดินซึ่งน้ำสามารถซึมผ่านได้ และน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินจะเกิดขึ้นในดินที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ ซึ่งสภาพของดินในลักษณะนี้ใช้ในการตัดสินใจเพื่อวิเคราะห์หาเสถียรภาพของโครงสร้างทางเทคนิคธรณี หลังจากที่ทำการศึกษาวิเคราะห์แล้วพบว่าโครงสร้างไม่มีเสถียรภาพก็จะต้องใช้วิธีการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) เพื่อที่จะลดค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้น

- การอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) การวิเคราะห์การอัดตัวคายน้ำจะใช้คำนวณในกรณีที่ค่าแรงดันน้ำส่วนเกินมีค่าลดลง ซึ่งในการวิเคราะห์จำเป็นต้องใส่ข้อมูลเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (Permeability coefficient) ในชั้นดินแต่ละชั้น

- ขั้นตอนการคาน้ำหนักโดยอัตโนมัติ (Automatic load stepping) โปรแกรม PLAXIS จะสามารถวิเคราะห์ขนาด และเวลาการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้สามารถ

เลือกน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้อย่างเหมาะสมในการคำนวณในช่วงพลาสติก (Plastic calculation) ให้สอดคล้องกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้น

- การวิเคราะห์ชิ้นส่วนย่อยๆ อย่างต่อเนื่อง (Updated lagrangian analysis) รูปแบบนี้ใช้ในการเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนย่อยๆ (Mesh) ในระหว่างการคำนวณได้ ในกรณีที่มีการวิเคราะห์ค่าความเครียดที่มีค่าน้อย (Small strain analysis) แล้วอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของรูปร่าง (Geometry) เหตุการณ์นี้สามารถจะทำให้การคำนวณมีความแม่นยำยิ่งขึ้นโดยการใช้การวิเคราะห์แบบนี้ได้ ซึ่งในโปรแกรม PLAXIS เรียกการวิเคราะห์แบบนี้ว่า “Updated Mesh”

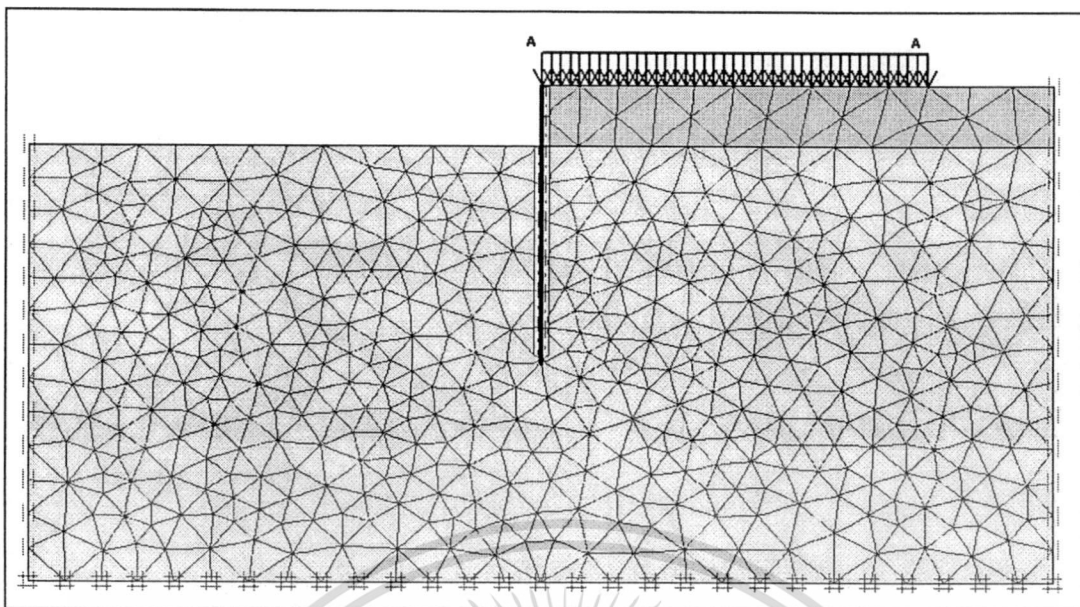
- ขั้นตอนการก่อสร้าง (Stage construction) โปรแกรม PLAXIS สามารถจำลองขั้นตอนการก่อสร้าง และทำการขุดได้โดยการเลือก และไม่เลือกชิ้นส่วน (Cluster) ที่เขียนไว้ได้รูปแบบนี้จะทำให้การวิเคราะห์สอดคล้องกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

- ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Safety factor) ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่าน้ำหนักที่เกิดขึ้นจริง (Working load) กับน้ำหนักประลัย (Failure load) ซึ่งค่าจำกัดความนี้เหมาะสมกับโครงสร้างที่เป็นฐานราก แต่ไม่เหมาะสมกับคันทาง และกำแพงกันดินโดยโครงสร้างเหล่านี้ควรจะใช้ค่าจำกัดความของค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่กล่าวถึงในวิชาทางด้านเทคนิคธรณี ซึ่งกล่าวไว้ว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น (Available shear strength) ต่อค่ากำลังรับแรงเฉือนที่น้อยที่สุด (Minimum shear strength) ที่ทำให้เกิด เสถียรภาพ โปรแกรม PLAXIS สามารถคำนวณหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย โดยใช้วิธีการลดค่ามุมเสียดทานและแรงยึดเกาะ (Phi-C reduction)

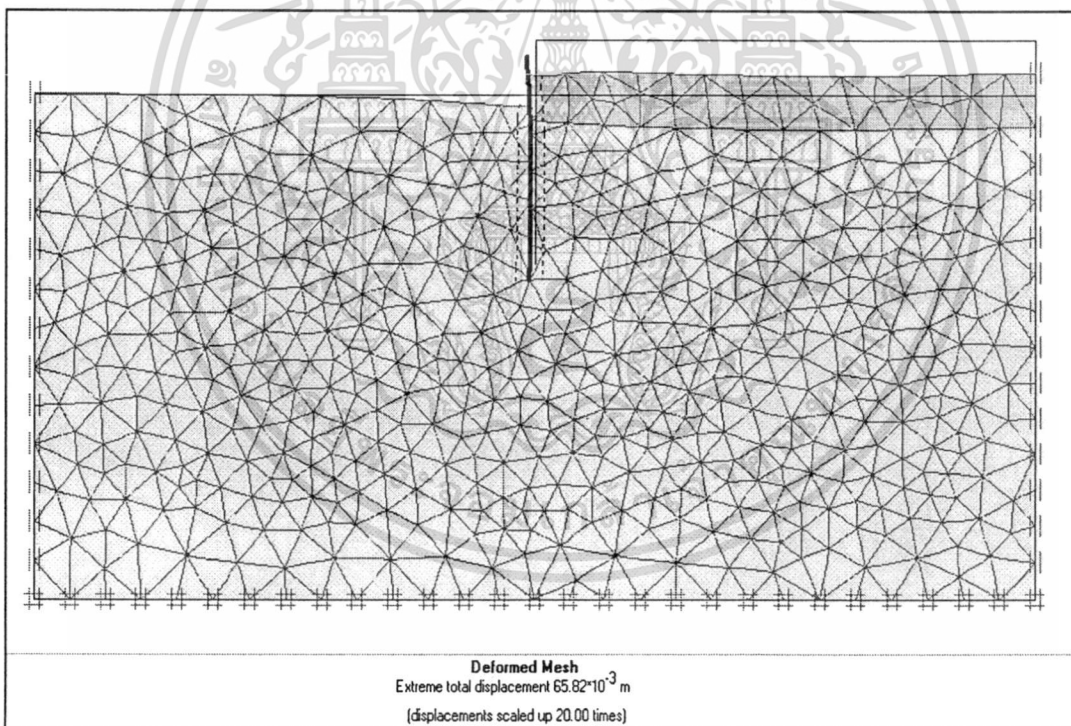
- การนำเสนอผลการวิเคราะห์ โปรแกรม PLAXIS สามารถนำเสนอผลงานการวิเคราะห์ในด้านค่าของความเค้น การเคลื่อนตัว ค่าแรงในโครงสร้าง ในรูปแบบของรูปภาพ กราฟ และตาราง

- วิธีหน่วยแรง (Stress paths) โปรแกรม PLAXIS มีรูปแบบที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการเขียนกราฟของแนวทางการเคลื่อนตัวของค่าความเค้น และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด โดยปกติแล้วค่าวิธีหน่วยแรงจะเป็นค่าพฤติกรรมของดินซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ได้หลังจากคำนวณผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว

- ทิศของเครื่องหมาย (Sign convention) โปรแกรม PLAXIS จะใช้ทิศของเครื่องหมายไม่เหมือนที่ใช้ในวิชาทางด้านเทคนิคธรณี กล่าวคือ ในโปรแกรม PLAXIS ค่าความเค้นที่เป็นแรงดึง (Tensile stress) จะให้เครื่องหมายที่เป็นค่าบวก ในขณะที่ค่าความเค้นที่เป็นแรงอัด (Compression stress) จะใช้ เครื่องหมายที่เป็นค่าลบ ซึ่งทิศของเครื่องหมายนี้ครอบคลุม ไปถึงค่าแรงดันของน้ำด้วยเช่นกัน

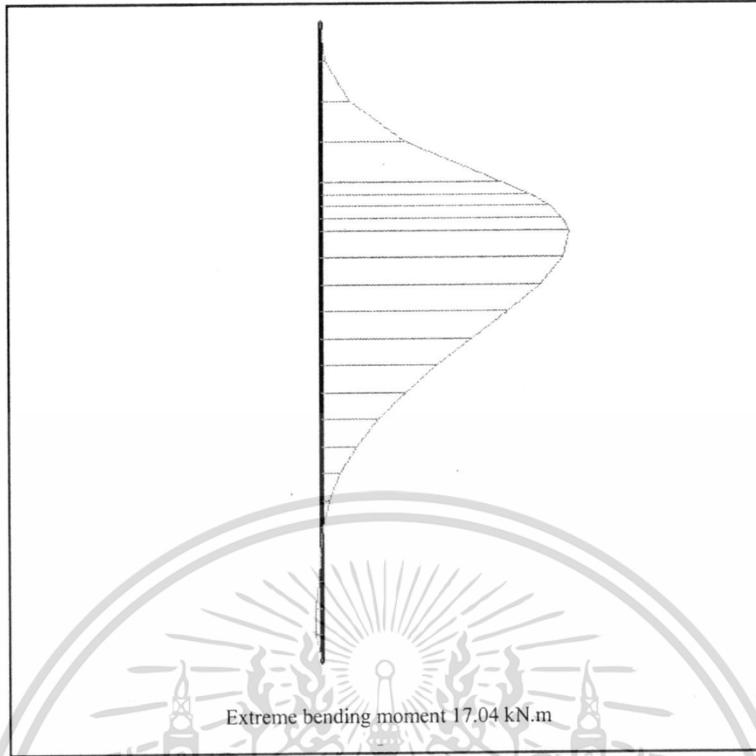


รูปที่ 3.11 ตัวอย่างแสดงการขึ้นรูปด้วยโปรแกรมไฟไนต์อิเลเมนต์

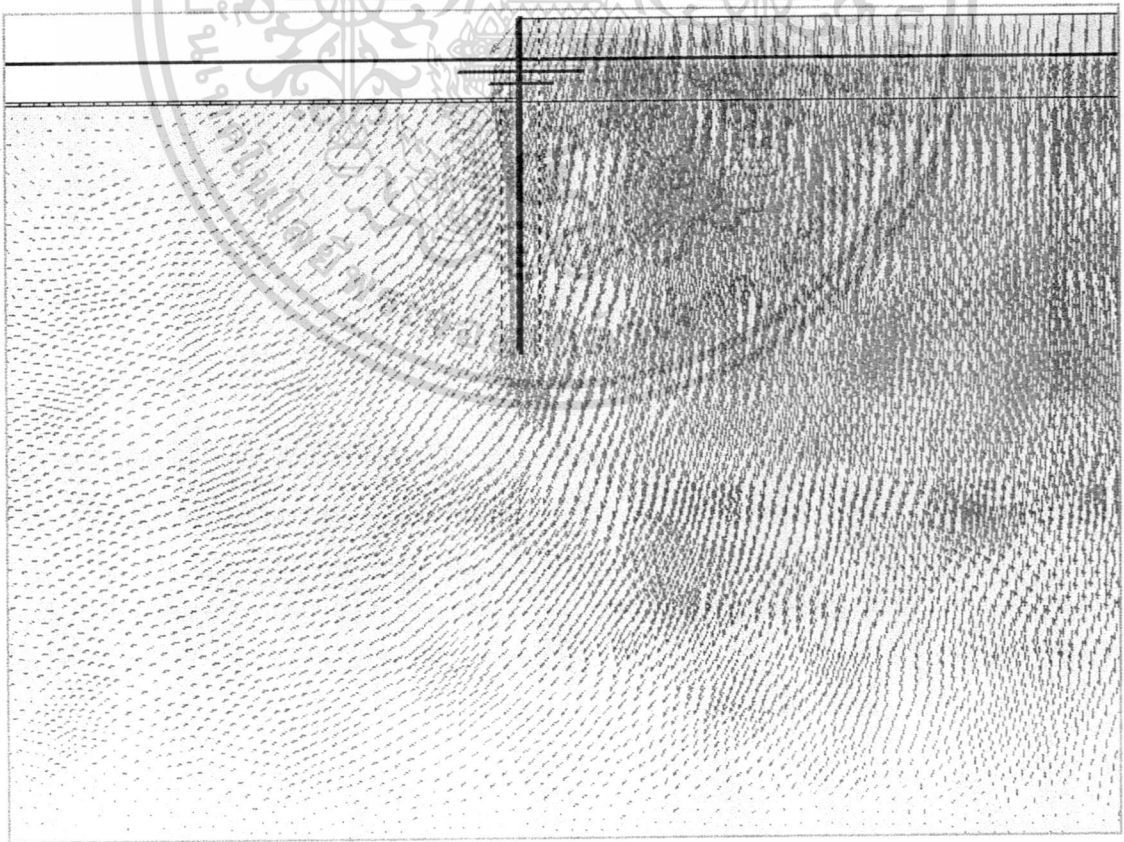


รูปที่ 3.12 ตัวอย่างแสดงการเสียรูปด้วยโปรแกรมไฟไนต์อิเลเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างแสดงโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.14 ตัวอย่างแสดงทิศทางการเคลื่อนตัวของดินด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบงแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แบบจำลองที่ศึกษา

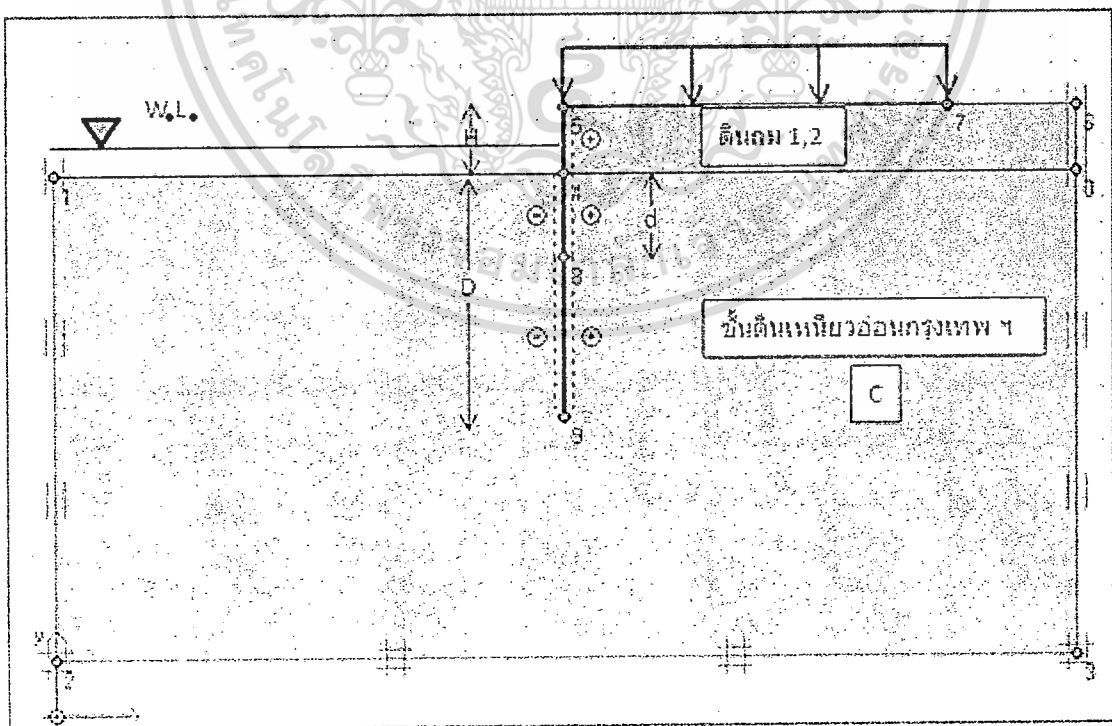
ในการหาแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน ได้ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ โดยใช้คุณสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.8 และตารางที่ 3.9 โดยดินถม 1 และดินถม 2 เป็นดินถมหลังกำแพงกันดิน และชั้นดินที่ปลายกำแพงกันดินฝังอยู่เป็นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ โดยแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์จะใช้แบบจำลองดังรูปที่ 3.15 แต่จะมีการปรับเปลี่ยนแบบจำลองในส่วนของคุณสมบัติของเสาเข็ม D ที่ระดับ 4 เมตร 6 เมตร และ 9 เมตร ระดับดินถมหลังกำแพงกันดิน ค่าแรงยึดเหนี่ยวของชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ และระดับน้ำหน้ากำแพงกันดิน เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริงในสถานการณ์ต่าง ๆ

โดยมีสมมติฐานในการวิเคราะห์ทั่วไปดังนี้

1.) เนื่องจากกำแพงกันดินมีความยาวต่อเนื่องมากพอควร ลักษณะของ Stress-Strain และการเคลื่อนตัวจะพิจารณาในระนาบ 2 มิติการวิเคราะห์เป็นแบบสองระนาบ (Plain strain model)

2.) ใช้แบบจำลองของ มอร์-คูลอมบี้ แบบ 15 Nodes ในการวิเคราะห์

ซึ่งสามารถสรุปเป็นข้อมูลพื้นฐาน และเงื่อนไขในการวิเคราะห์วิจัยของแบบจำลองดังตารางที่ 3.12 โดยกำหนดให้ “H” เป็นความสูงของดินถมหลังกำแพงกันดิน “W.L.” เป็นระดับน้ำหน้ากำแพงกันดิน “D” เป็นความลึกของเสาเข็ม “d” เป็นความลึกของกำแพงกันดินที่ฝังอยู่ในดินเหนียวอ่อน “C” เป็นค่าแรงยึดเหนี่ยวของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน **รูปที่ 3.15** แสดงรูปตัดแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.10 สรุปข้อมูลพื้นฐาน และเงื่อนไขในการวิเคราะห์ห้วงของแบบจำลอง กรณีดินถม 1

Model No.	H m	W.L. m	D m	d m	C KN/m ²
1	1.5	0.0	4	1.58	12
2	1.5	1.0	4	0.46	12
3	1.5	0.0	6	0.84	12
4	2.0	1.0	6	2.13	12
5	2.0	1.5	6	1.00	12
6	2.0	1.0	9	1.14	12
7	2.0	1.5	9	0.33	12
8	2.5	1.5	9	5.31	12
9	2.5	2.0	9	1.98	12
10	1.5	0.0	4	0.25	16
11	2.0	0.0	4	1.88	16
12	2.0	1.0	4	0.83	16
13	2.0	1.5	4	0.50	16
14	2.5	2.0	4	1.59	16
15	2.0	0.0	6	0.94	16
16	2.0	1.0	6	0.31	16
17	2.0	1.5	6	0.06	16
18	2.5	1.0	6	2.05	16
19	2.5	1.5	6	1.26	16
20	2.5	2.0	6	0.71	16
21	3.0	2.5	6	1.94	16
22	2.5	0.0	9	3.14	16
23	2.5	1.0	9	1.05	16
24	2.5	1.5	9	0.50	16
25	3.0	1.5	9	3.18	16
26	3.0	2.0	9	1.79	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.10 (ต่อ)

Model No.	H m	W.L. m	D m	d m	C KN/m ²
27	3.0	2.5	9	0.93	16
28	3.5	2.5	9	5.00	16
29	3.5	3.0	9	2.46	16
30	2.0	0.0	4	0.56	20
31	2.0	1.0	4	0.29	20
32	2.0	1.5	4	0.13	20
33	2.5	1.0	4	1.34	20
34	2.5	1.5	4	0.94	20
35	2.5	2.0	4	0.61	20
36	3.0	2.5	4	1.69	20
37	2.5	0.0	6	1.17	20
38	2.5	1.0	6	0.60	20
39	2.5	1.5	6	0.36	20
40	2.5	2.0	6	0.13	20
41	3.0	1.0	6	2.32	20
42	3.0	1.5	6	1.61	20
43	3.0	2.5	6	0.67	20
44	3.5	2.5	6	2.58	20
45	3.5	3.0	6	1.56	20
46	3.0	0.0	9	2.47	20
47	3.0	1.0	9	1.16	20
48	3.0	1.5	9	0.73	20
49	3.0	2.0	9	0.36	20
50	3.5	1.0	9	4.47	20
51	3.5	2.0	9	1.89	20
52	3.5	3.0	9	0.65	20
53	4.0	3.5	9	1.60	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.11 สรุปข้อมูลพื้นฐาน และเงื่อนไขในการวิเคราะห์ห้ำยของแบบจำลอง กรณีดินถม 2

Model No.	H m	W.L. m	D m	d m	C KN/m ²
1	1.5	0	4	1.12	12
2	1.5	1	4	0.42	12
3	1.5	0	6	0.53	12
4	2	1	6	1.72	12
5	2	1.5	6	0.58	12
6	2	1	9	0.86	12
7	2	1.5	9	0.15	12
8	2.5	1.5	9	3.06	12
9	2.5	2	9	0.95	12
10	1.5	0	4	0.16	16
11	2	0	4	1.68	16
12	2	1	4	0.84	16
13	2	1.5	4	0.36	16
14	2.5	2	4	1.14	16
15	2	0	6	0.81	16
16	2	1	6	0.31	16
17	2.5	1	6	1.77	16
18	2.5	1.5	6	1.16	16
19	2.5	2	6	0.45	16
20	3	2.5	6	1.31	16
21	2.5	0	9	2.93	16
22	2.5	1	9	0.88	16
23	3	1	9	5.27	16
24	3	1.5	9	2.54	16
25	3	2.5	9	0.49	16
26	3.5	3	9	1.49	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

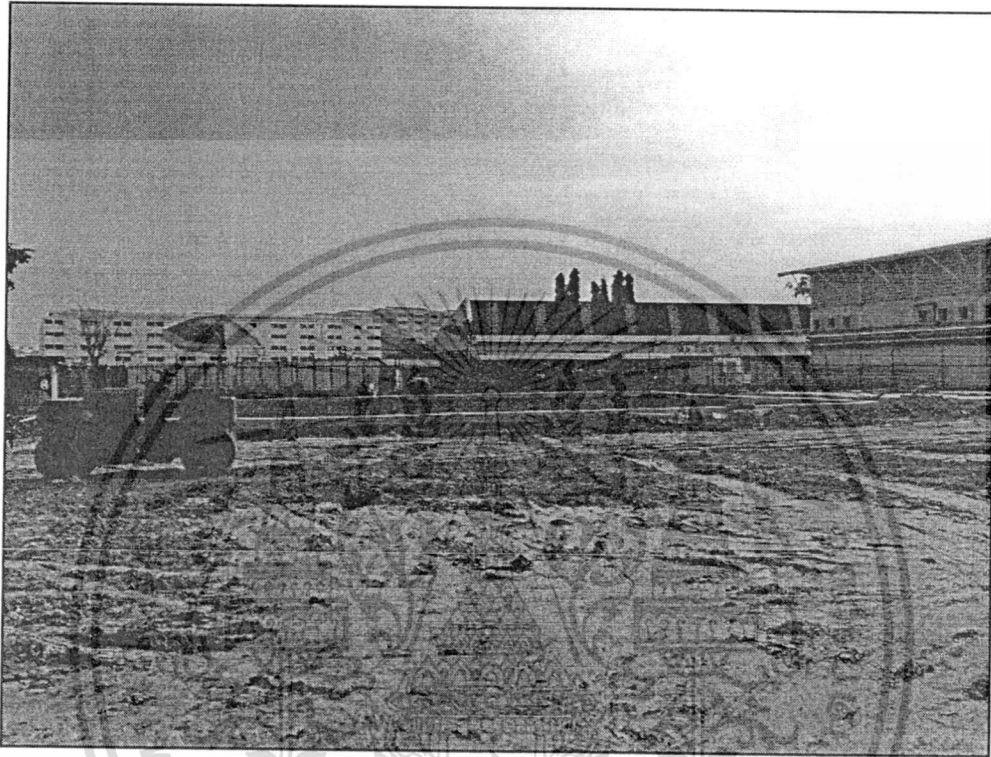
ตารางที่ 3.11 (ต่อ)

Model No.	H m	W.L. m	D m	d m	C KN/m ²
27	2	0	9	0.55	20
28	2	1	9	0.32	20
29	2.5	1	9	1.30	20
30	2.5	1.5	4	0.98	20
31	2.5	2	4	0.48	20
32	3	2.5	4	1.29	20
33	2.5	0	6	1.33	20
34	2.5	1	6	0.58	20
35	2.5	1.5	6	0.38	20
36	3	1	6	2.53	20
37	3	1.5	6	1.57	20
38	3	2.5	6	0.48	20
39	3.5	2.5	6	2.47	20
40	3.5	3	6	1.20	20
41	2.5	0	9	0.55	20
42	3	0	9	2.92	20
43	3	1	9	1.25	20
44	3	2	9	0.35	20
45	3.5	2	9	1.79	20
46	3.5	3	9	0.40	20
47	4	3.5	9	1.13	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ตัวอย่างงานก่อสร้างจริงที่ใช้ในการศึกษา

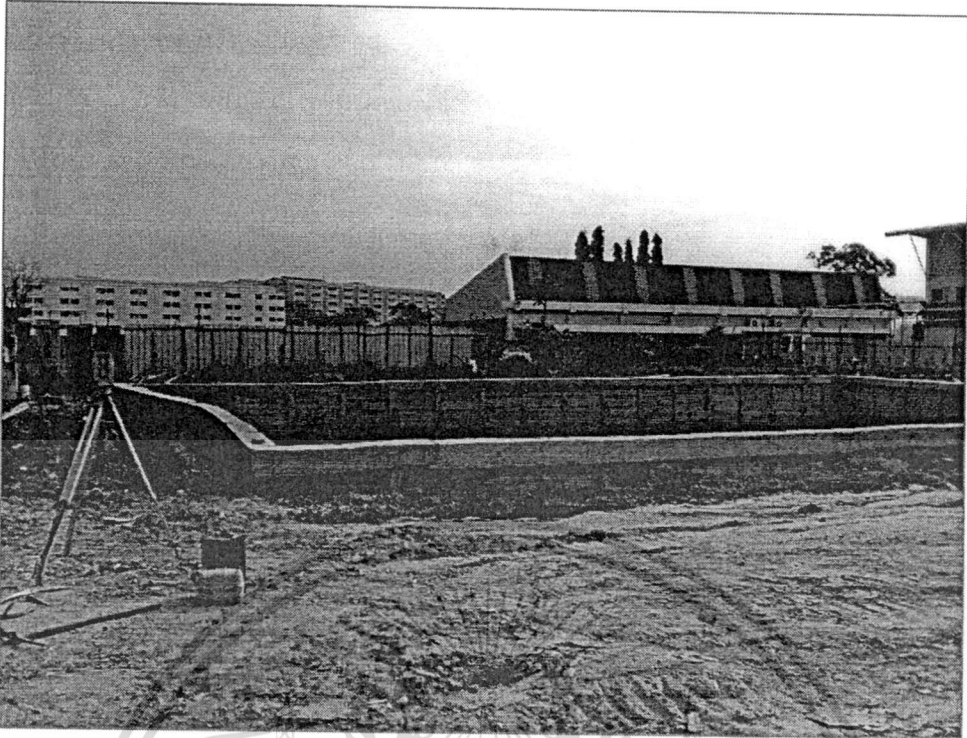
ตัวอย่างปัญหาที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ ในตัวอย่างนี้เป็นโครงการก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย โรงงานมาลีบางกอก จ.สมุทรปราการ ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินเกิดขึ้นแทบทุกส่วนของบ่อบำบัดน้ำเสีย



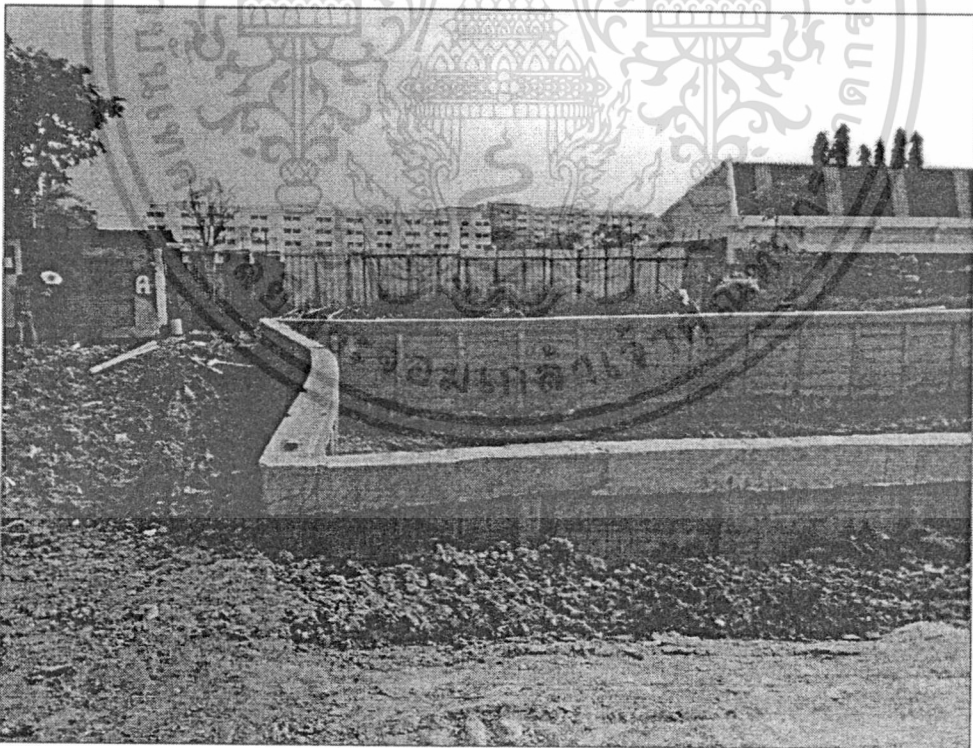
รูปที่ 3.16 สภาพโดยรอบของบ่อบำบัดน้ำเสีย

กำแพงกันดินมีความสูง 2.50 เมตร ใช้เสาเข็มรูปตัวไอขนาด 18 เซนติเมตร มีระยะฝังห่าง 1.50 เมตร ความลึกของเสาเข็ม 5.5 เมตร ไม่มีการเสริมเหล็กด้านทานโมเมนต์ในเสาเข็ม ตัวกำแพงกันดินใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูปขนาดกว้าง 0.35 เมตร หนา 0.05 เมตร ไม่มีการเสริมเหล็กพิเศษ ขณะทำการก่อสร้างไม่มีการค้ำยันในส่วนตัวโครงสร้างกำแพง ไม่มีระดับน้ำหน้ากำแพงกันดิน พบว่ามีการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินโดยรอบบ่อ และเกิดรอยร้าวความเสียหายขึ้นกับกำแพงกันดินดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 สภาพการ โกงตัวของกำแพงกันดิน โดยรอบของบ่อน้ำบาดน้ำเสีย

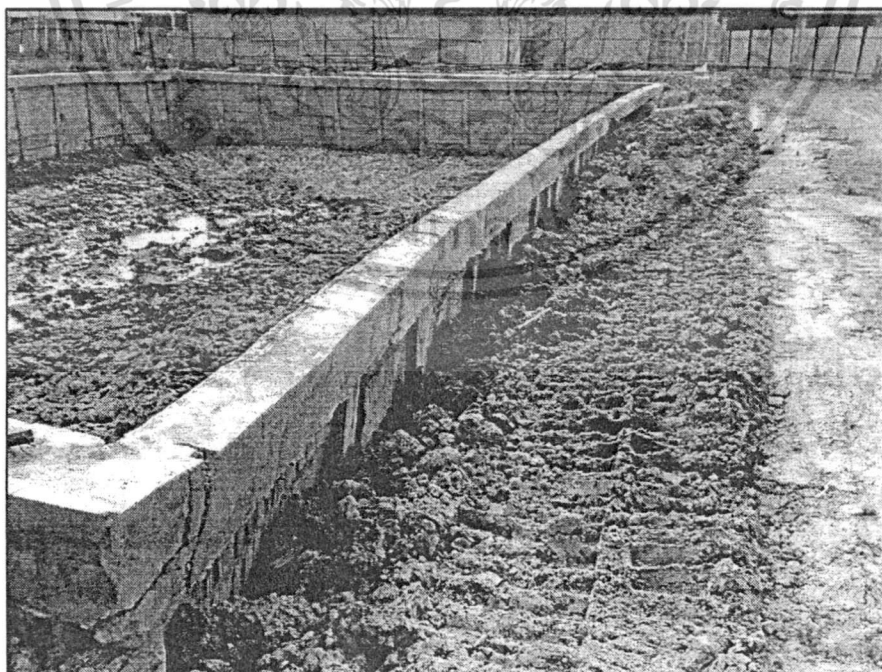


รูปที่ 3.18 การ โกงตัวในด้านสั้นของบ่อน้ำบาดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 สภาพรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นกับเสาเข็ม

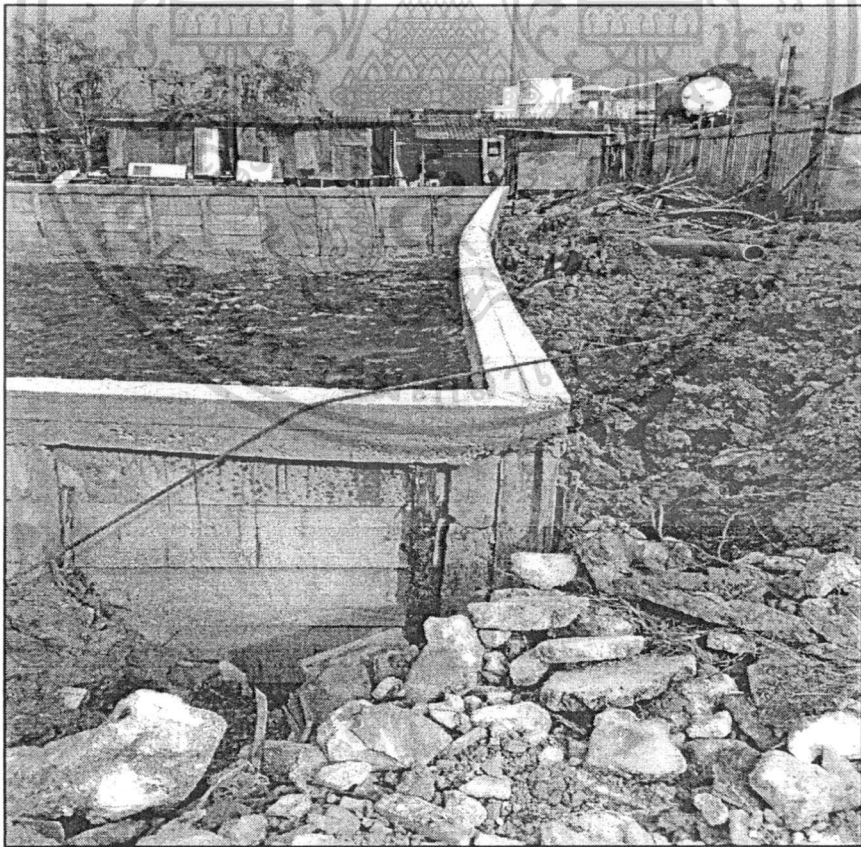


รูปที่ 3.20 การ โกงตัวในด้านยาวของบ่อบำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 การโค้งตัวในคานยาวของบ่อบำบัดน้ำเสีย



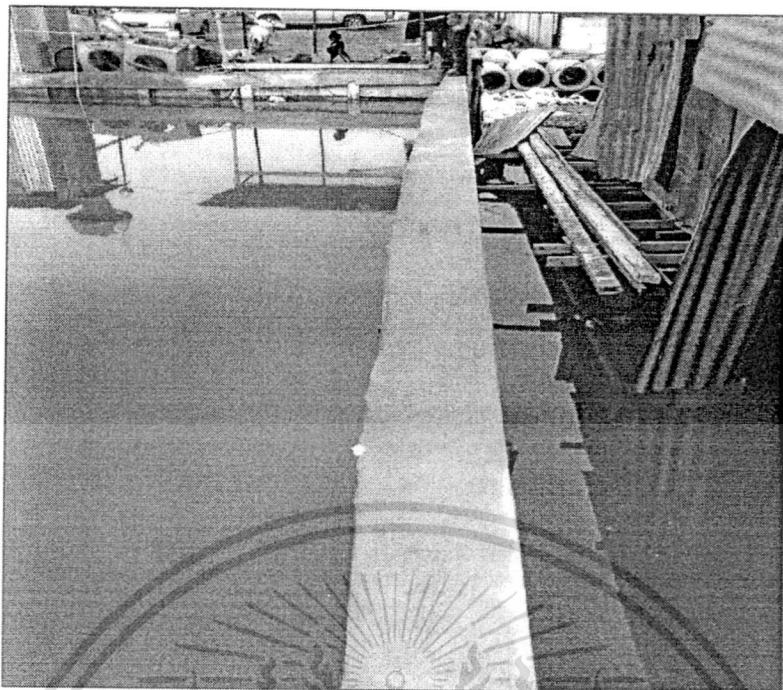
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3.22 การโค้งตัวในคานยาวของบ่อบำบัดน้ำเสีย นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



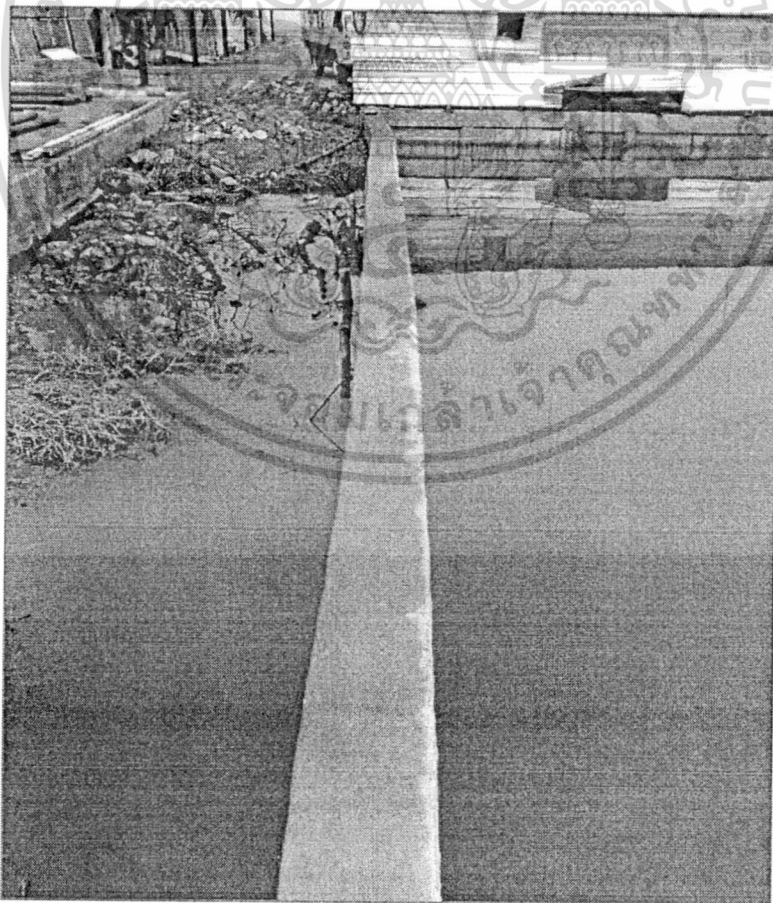
รูปที่ 3.23 สภาพรอยแตกร้าวที่มุมของบ่อบำบัดน้ำเสีย

ซึ่งหลังจากเกิดความเสียหายข้างต้นแล้ว ทางผู้รับเหมาได้มีการซ่อมแซมการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน โดยการตอกเสาเข็มรูปตัวไอเสริมด้านหน้าของกำแพงกันดิน เพื่อพยายามที่จะดึงแนวของกำแพงกันดินที่เคลื่อนตัวกลับมาให้อยู่ในแนวปกติ และทำการปล่อยน้ำเข้าสู่บ่อ ซึ่งผลที่เกิดขึ้นพบว่า สามารถที่จะดึงแนวการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นในตอนแรก ให้กลับมาใกล้เคียงกับแนวปกติได้ดังรูปด้านล่าง

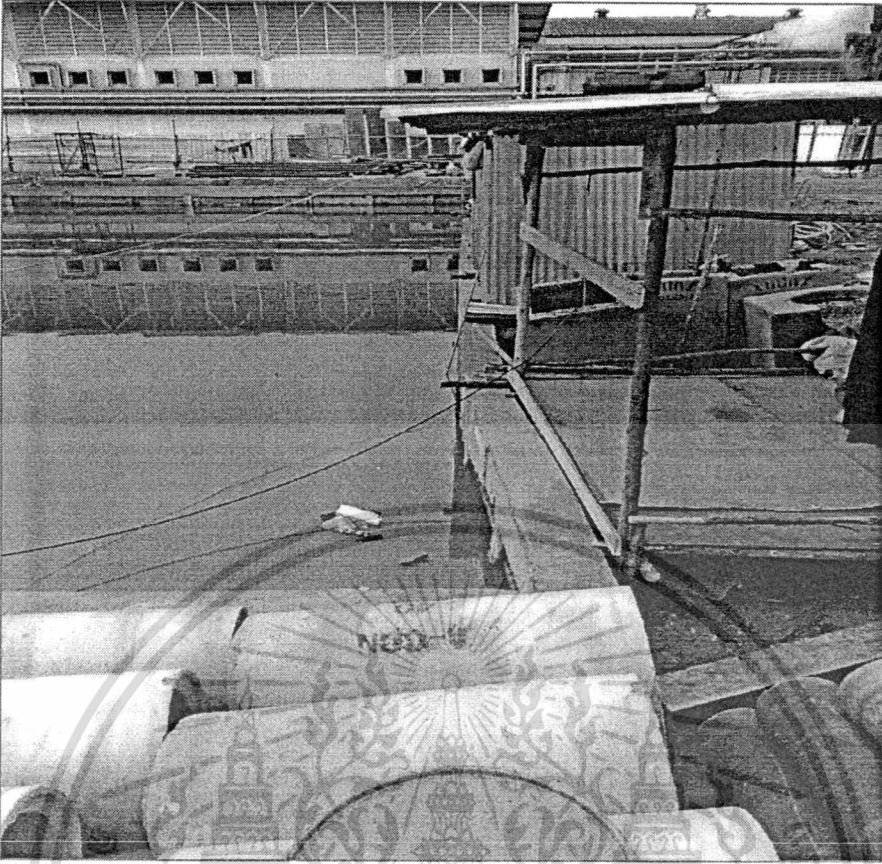
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



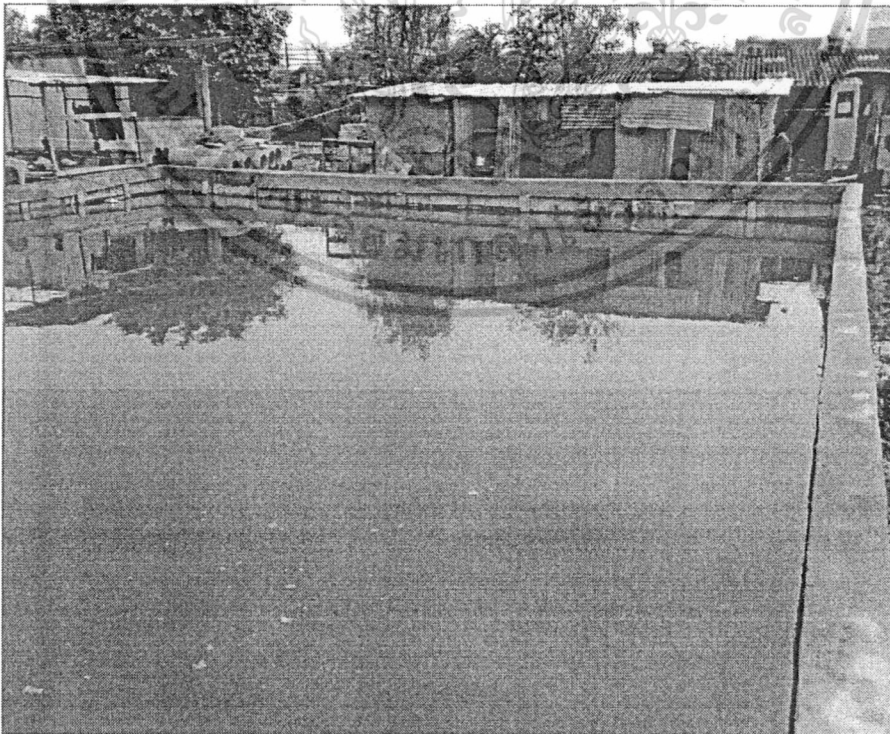
รูปที่ 3.24 สภาพแนวการ โกงตัวของบ่อบำบัดน้ำเสียในด้านสันที่มีการแก้ไข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.25 สภาพแนวการ โกงตัวของบ่อบำบัดน้ำเสียในด้านสันที่มีการแก้ไข
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

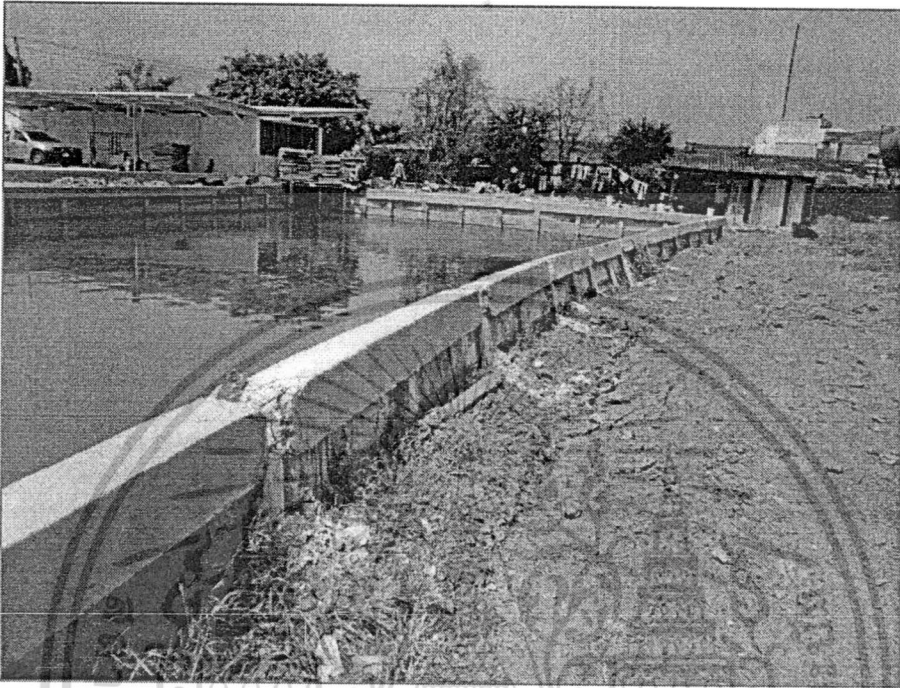


รูปที่ 3.26 สภาพแนวการ โกงตัวของบ่อบำบัดน้ำเสียในด้านยาวที่มีการแก้ไข

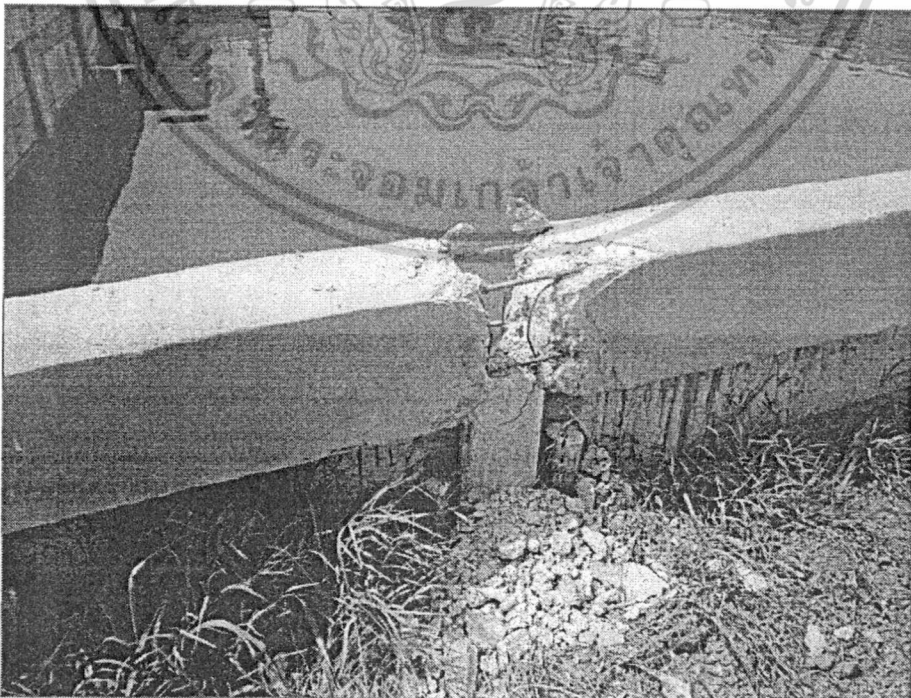


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.27 แสดงรูปโดยรวมของโครงการที่ได้มีการแก้ไขแล้ว
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นต่อมาหลังจากได้มีการปรับระดับสภาพดินข้าง ๆ บ่อน้ำเพิ่มเติม โดยในขณะที่ทำการก่อสร้าง กำแพงกันดินได้เกิดมีการเคลื่อนตัวเพิ่มขึ้นมาก จนกระทั่งเสาเข็มหัก และกำแพงกันดินพังลงในที่สุด ดังรูปด้านล่าง



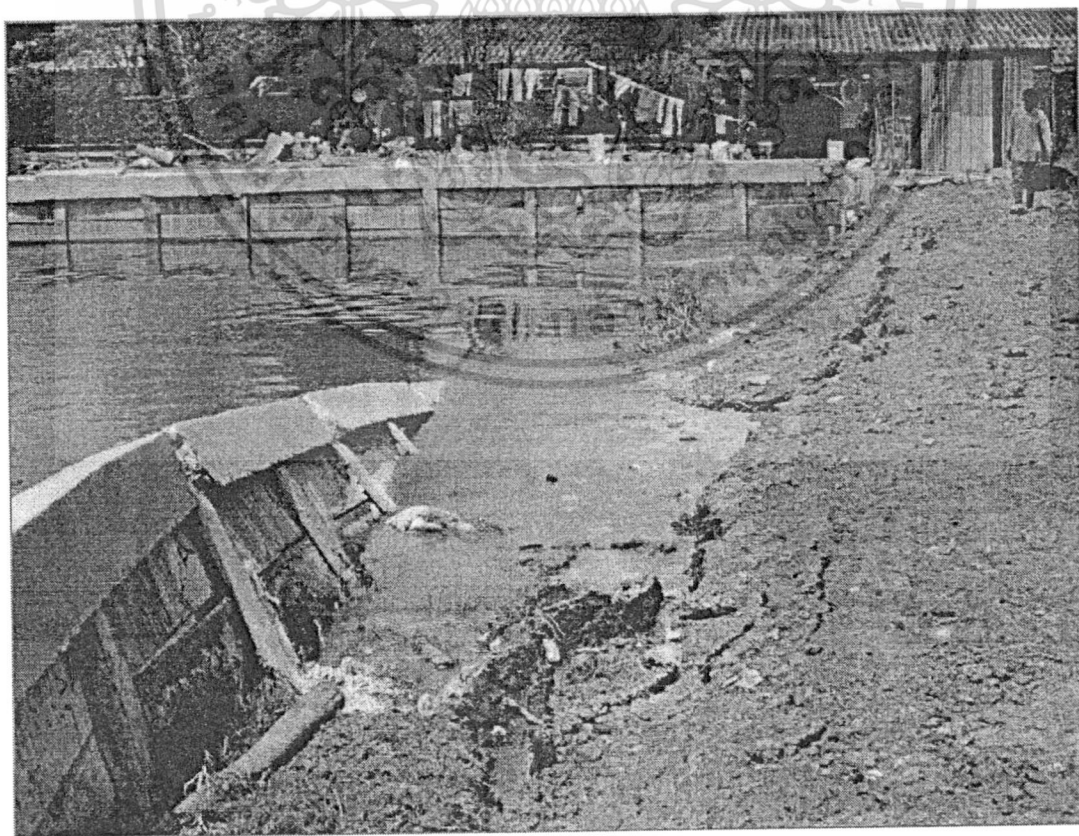
รูปที่ 3.28 การเคลื่อนตัวของบ่อบำบัดน้ำเสียในด้านขวาหลังจากที่ได้มีการปรับสภาพดินโดยรอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งนี้ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลเชิงลึกของเนื้อหาทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน และแนวการพังทลายของดิน



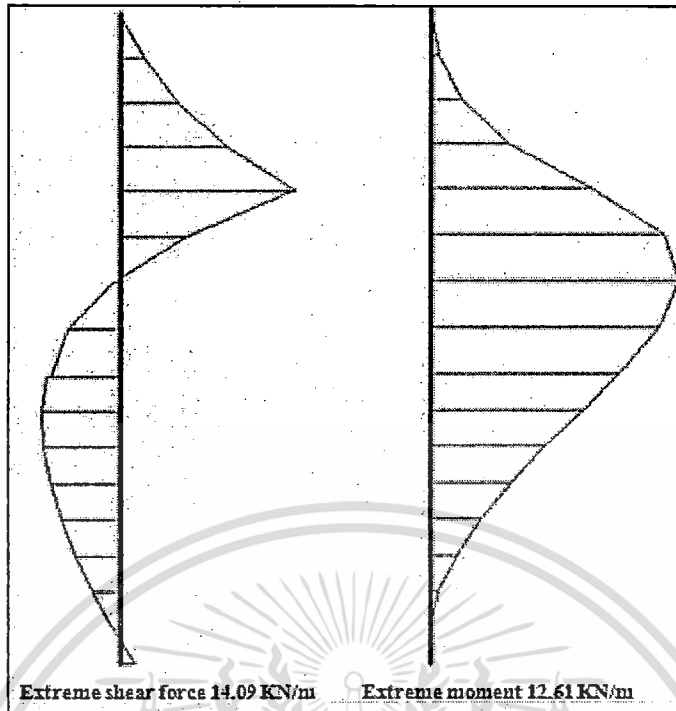
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 3.31 การเคลื่อนตัวเชิงลาด และพังทลายของกำแพงกันดิน**



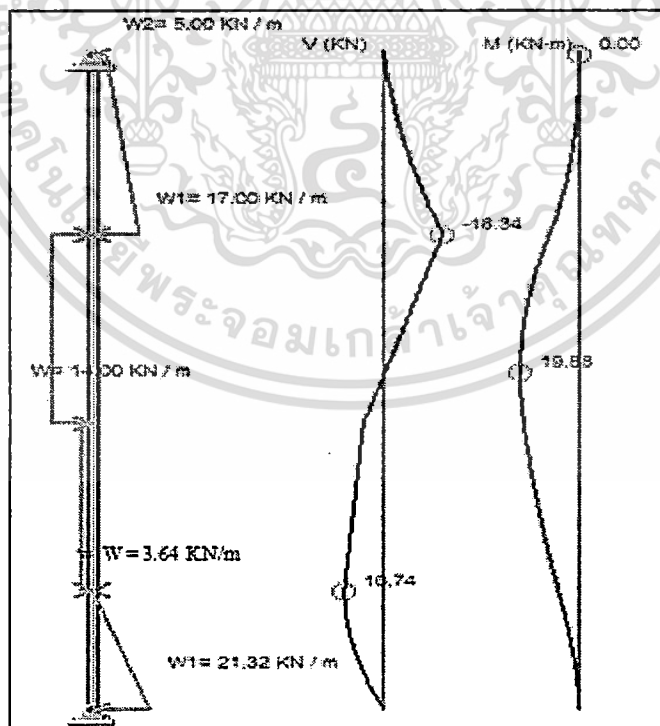
รูปที่ 3.32 สภาพการพังทลายของกำแพงกันดินอย่างสมบูรณ์

ปัญหาที่พบกับโครงการงานก่อสร้างนี้พบว่าการเปลี่ยนแปลงระดับความลึกของงานขุดหน้ากำแพงกันดินจากเดิมที่มีการกำหนดไว้ที่ 2.00 เมตร การเปลี่ยนแปลงแบบที่จากเดิมกำแพงกันดินมีการยึดรั้ง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการขาดความรู้ความเข้าใจของวิศวกรของผู้รับเหมาในการออกแบบ และการก่อสร้างกำแพงกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

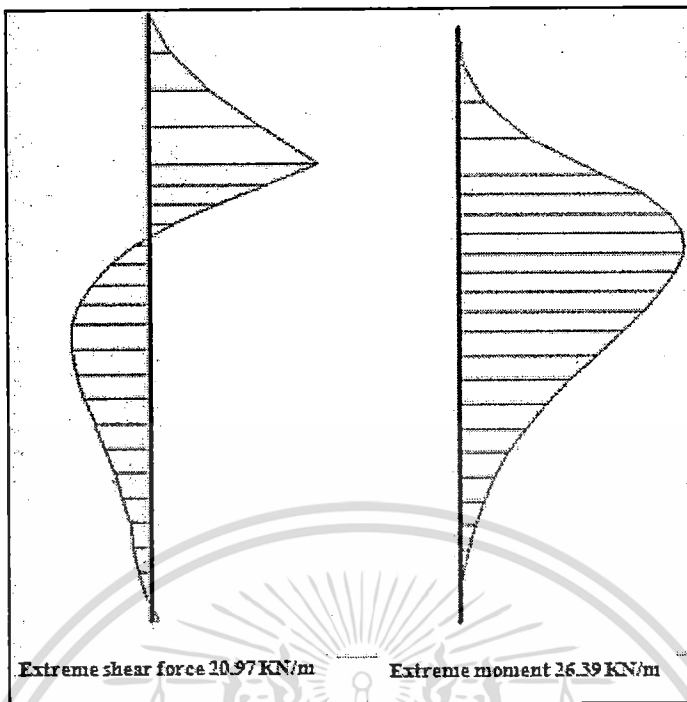


รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex1,D4,C12)

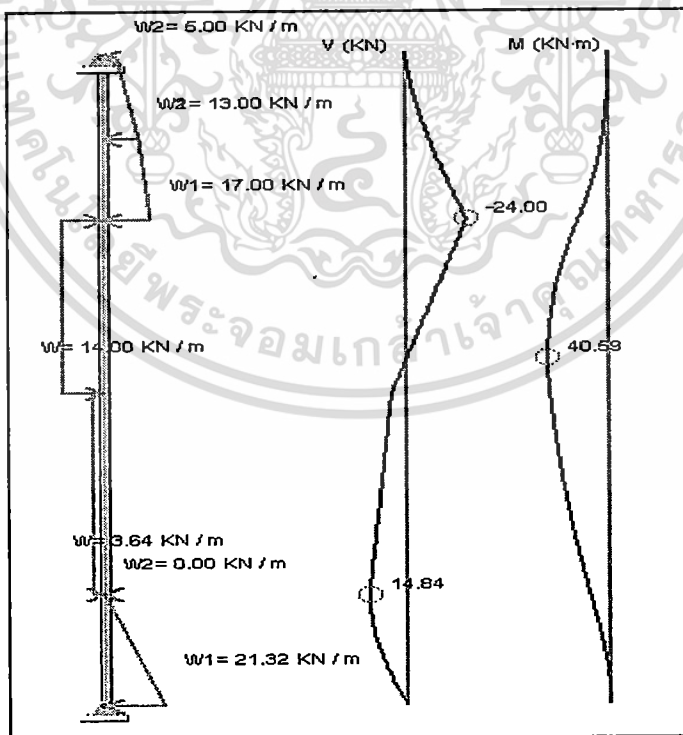


รูปที่ 4.3 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1

เอกสารนี้เป็น (Ex1,D4,C12) ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

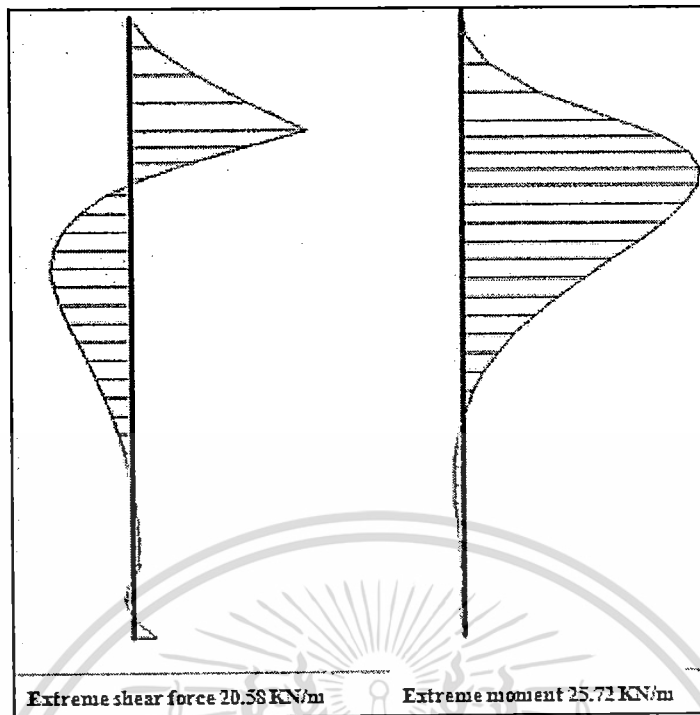


รูปที่ 4.4 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex4,D6,C12)

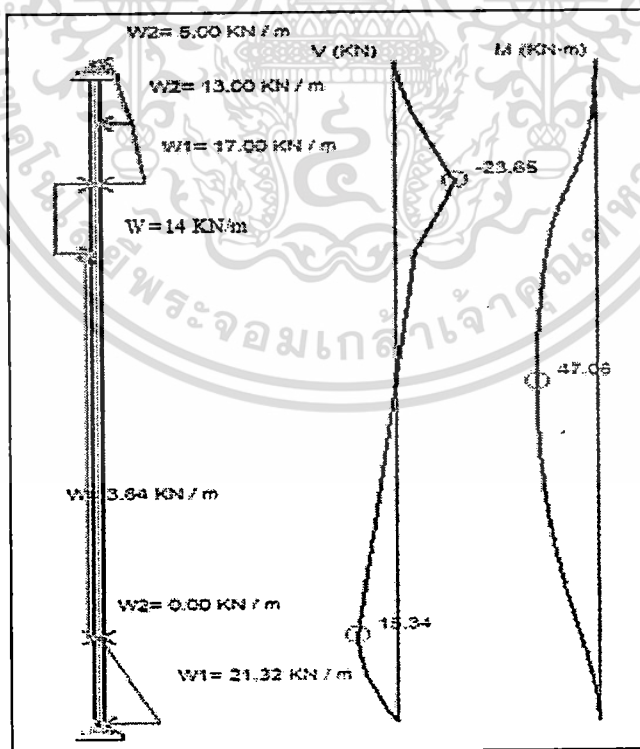


รูปที่ 4.5 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1

(Ex4,D6,C12) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

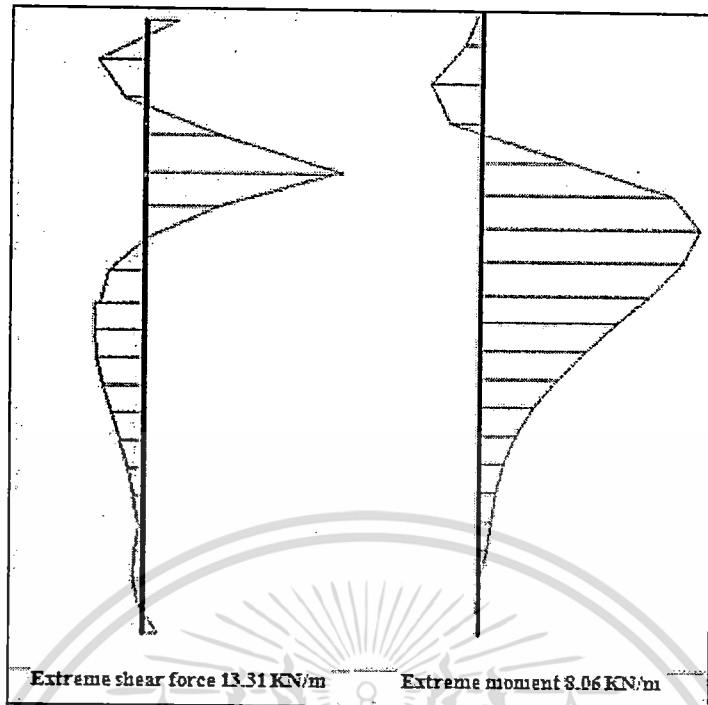


รูปที่ 4.6 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วย โปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex6,D9,C12)

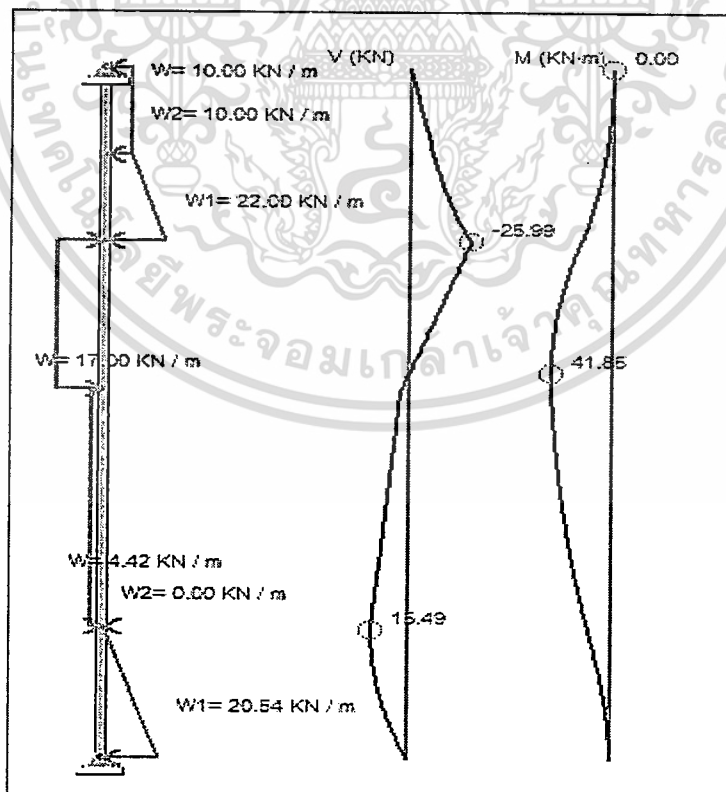


รูปที่ 4.7 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยโปรแกรมไฟในดอลิเมนต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex4,D6,C16)



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยู่ที่ให้นำไปเผยแพร่ขึ้นดำนการค้ำ (Ex4,D6,C16)
ไม่ว่ากรณีใดๆ หงสน อักทงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงและ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ มีค่าเท่ากับ 12KN/m^2

D=4m,C=12KN/m ²				Shear (KN)			Moment (KN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
1	1.5	0	1.58	14.09	16.34	1.16	12.61	19.88	1.58
2	1.5	1	0.46	12.09	14.32	1.18	10.74	15.53	1.45
D=6m,C=12KN/m ²				Shear (KN)			Moment (KN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
3	1.5	0	0.84	13.16	15.46	1.17	11.76	21.98	1.87
4	2	1	2.13	20.97	24.00	1.14	26.39	40.59	1.54
5	2	1.5	1	19.09	21.46	1.12	22.06	32.06	1.45
D=9m,C=12KN/m ²				Shear (KN)			Moment (KN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
6	2	1	1.14	20.58	23.65	1.15	25.72	47.06	1.83
7	2	1.5	0.33	18.15	21.21	1.17	21.10	40.46	1.92
8	2.5	1.5	5.31	28.49	32.72	1.15	48.61	88.75	1.83
9	2.5	2	1.98	25.56	29.11	1.14	40.41	62.65	1.55
						AVG	1.15	AVG	1.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม
1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 16KN/m^2

D=4m,C=16KN/m ²				Shear (KN)			Moment (KN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
10	1.5	0	0.25	13.99	16.21	1.16	11.78	18.40	1.56
11	2	0	1.88	22.55	25.77	1.14	24.65	35.99	1.46
12	2	1	0.83	21.16	23.65	1.12	23.11	29.47	1.28
13	2	1.5	0.5	18.37	21.24	1.16	20.12	26.17	1.30
14	2.5	2	1.59	24.77	29.43	1.19	34.61	45.63	1.32
D=6m,C=16KN/m ²				Shear (KN)			Moment (KN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
15	2	0	0.94	22.46	26.00	1.16	25.14	37.86	1.51
16	2	1	0.31	20.73	23.94	1.15	23.16	39.59	1.71
17	2	1.5	0.06	20.47	21.47	1.05	23.48	40.95	1.74
18	2.5	1	2.05	32.23	35.32	1.10	43.85	64.39	1.47
19	2.5	1.5	1.26	27.56	32.80	1.19	39.00	55.12	1.41
20	2.5	2	0.71	26.17	29.29	1.12	37.46	48.89	1.31
21	3	2.5	1.94	33.48	38.15	1.14	54.45	76.77	1.41
D=9m,C=16KN/m ²				Shear (KN)			Moment (KN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
22	2.5	0	3.14	32.89	37.06	1.13	50.70	86.57	1.71
23	2.5	1	1.05	30.75	34.90	1.13	44.15	74.23	1.68
24	2.5	1.5	0.50	27.70	32.41	1.17	39.66	76.62	1.93
25	3	1.5	3.18	40.61	46.52	1.15	73.92	116.42	1.57
26	3	2	1.79	37.72	42.99	1.14	65.81	96.00	1.46
27	3	2.5	0.93	32.31	38.53	1.19	55.17	88.01	1.60
28	3.5	2.5	5.00	47.15	54.01	1.15	101.14	158.44	1.57
29	3.5	3	2.46	42.24	48.54	1.15	85.17	123.46	1.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้ไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AVG 1.14

AVG 1.52

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม
1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 20KN/m^2

$D=4\text{m}, C=20\text{KN/m}^2$				Shear (KN)			Moment (kN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
30	2	0	0.56	22.46	25.56	1.14	23.45	30.22	1.29
31	2	1	0.29	20.71	23.77	1.15	22.76	30.13	1.32
32	2	1.5	0.13	18.35	21.11	1.15	20.28	29.15	1.44
33	2.5	1	1.34	29.35	35.39	1.21	40.26	52.31	1.30
34	2.5	1.5	0.94	28.27	32.87	1.16	39.54	47.10	1.19
35	2.5	2	0.61	24.52	29.39	1.20	34.13	40.65	1.19
36	3	2.5	1.69	31.89	38.05	1.19	51.85	65.63	1.27
$D=6\text{m}, C=20\text{KN/m}^2$				Shear (KN)			Moment (kN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
37	2.5	0	1.17	32.17	37.29	1.16	42.55	60.21	1.42
38	2.5	1	0.6	30.17	35.18	1.17	41.50	58.25	1.40
39	2.5	1.5	0.36	27.50	32.72	1.19	37.99	58.18	1.53
40	2.5	2	0.13	24.20	29.20	1.21	33.97	57.89	1.70
41	3	1	2.32	42.51	48.52	1.14	69.75	97.70	1.40
42	3	1.5	1.61	39.51	45.96	1.16	65.28	87.93	1.35
43	3	2.5	0.67	32.09	37.98	1.18	52.35	69.58	1.33
44	3.5	2.5	2.58	46.08	53.46	1.16	90.38	120.12	1.33
45	3.5	3	1.56	40.43	47.94	1.19	77.19	100.77	1.31
$D=9\text{m}, C=20\text{KN/m}^2$				Shear (KN)			Moment (KN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
46	3	0	2.47	44.65	51.02	1.14	75.46	117.72	1.56
47	3	1	1.16	42.67	48.96	1.15	69.78	107.16	1.54
48	3	1.5	0.73	38.49	46.60	1.21	63.46	108.31	1.71
49	3	2	0.36	35.46	43.09	1.22	57.75	110.27	1.91
50	3.5	1	4.47	56.24	64.48	1.15	115.06	181.55	1.58
51	3.5	2	1.89	50.51	58.50	1.16	97.75	139.66	1.43
52	3.5	3	0.65	40.20	48.40	1.20	76.76	121.31	1.58
53	4	3.5	1.6	51.17	58.62	1.15	110.62	149.41	1.35
				AVG		1.17		AVG	1.43

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงและ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ มีค่าเท่ากับ 12KN/m^2

$D=4\text{m}, C=12\text{KN/m}^2$				Shear (KN)			Moment (KN.m)				
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio		
1	1.5	0	1.12	10.66	14.87	1.39	5.41	18.56	3.43		
2	1.5	1	0.42	8.84	14.90	1.69	4.59	17.26	3.76		
$D=6\text{m}, C=12\text{KN/m}^2$				Shear (KN)			Moment (KN.m)				
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio		
3	1.5	0	0.53	10.13	15.01	1.48	4.73	22.78	4.82		
4	2	1	1.72	13.31	25.99	1.95	8.06	41.85	5.19		
5	2	1.5	0.58	11.40	19.89	1.74	6.58	32.64	4.96		
$D=9\text{m}, C=12\text{KN/m}^2$				Shear (KN)			Moment (KN.m)				
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio		
6	2	1	0.86	12.71	25.55	2.01	7.10	52.64	7.41		
7	2	1.5	0.15	10.60	21.83	2.06	5.85	53.50	9.15		
8	2.5	1.5	3.06	15.78	35.85	2.27	8.08	83.91	10.38		
9	2.5	2	0.95	13.79	27.59	2.00	7.53	62.51	8.30		
						AVG	1.84			AVG	6.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงและ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม
2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ มีค่าเท่ากับ 16KN/m^2

$D=4\text{m}, C=16\text{KN/m}^2$				Shear (KN)			Moment (KN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
10	1.5	0	0.16	10.17	14.84	1.46	4.36	19.27	4.42
11	2	0	1.68	13.81	25.75	1.86	7.34	38.06	5.19
12	2	1	0.84	13.35	25.72	1.93	7.31	32.38	4.43
13	2	1.5	0.36	11.66	19.86	1.70	6.34	27.12	4.28
14	2.5	2	1.14	14.79	27.94	1.89	8.46	44.71	5.28
$D=6\text{m}, C=16\text{KN/m}^2$				Shear (KN)			Moment (KN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
15	2	0	0.81	13.61	25.96	1.91	6.54	40.50	6.19
16	2	1	0.31	12.65	25.96	2.05	6.38	42.81	6.71
17	2.5	1	1.77	17.69	38.30	2.17	9.46	64.79	6.85
18	2.5	1.5	1.16	15.92	36.03	2.26	6.95	58.91	8.48
19	2.5	2	0.45	13.93	27.72	1.99	6.77	50.94	7.52
20	3	2.5	1.31	16.82	37.06	2.20	7.91	73.70	9.32
$D=9\text{m}, C=16\text{KN/m}^2$				Shear (KN)			Moment (KN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
21	2.5	0	2.93	16.51	41.40	2.51	14.62	98.55	6.74
22	2.5	1	0.88	16.38	37.80	2.31	10.30	79.56	7.72
23	3	1	5.27	20.11	57.65	2.87	19.89	149.24	7.50
24	3	1.5	2.54	19.82	52.48	2.65	15.32	117.40	7.66
25	3	2.5	0.49	16.13	37.21	2.31	12.86	94.04	7.31
26	3.5	3	1.49	18.79	48.57	2.58	12.11	118.27	9.77
					AVG		2.16	AVG	6.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

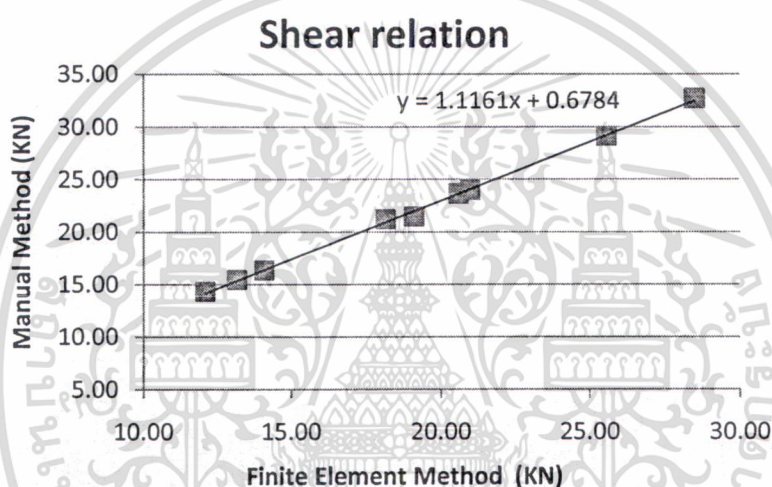
ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงและ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม
2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๗ มีค่าเท่ากับ 20KN/m²

D=4m,c=20KN/m ²				Shear (KN)			Moment (KN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
27	2	0	0.55	14.12	25.74	1.82	7.10	33.20	4.68
28	2	1	0.32	13.25	25.63	1.93	7.02	32.20	4.59
29	2.5	1	1.30	18.25	38.32	2.10	8.69	53.35	6.14
30	2.5	1.5	0.98	16.51	36.15	2.19	7.68	51.20	6.67
31	2.5	2	0.48	14.16	27.88	1.97	7.46	41.44	5.55
32	3	2.5	1.29	16.91	37.04	2.19	8.33	65.80	7.90
D=6m,c=20KN/m ²				Shear (KN)			Moment (KN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
33	2.5	0	1.33	17.07	41.66	2.44	14.61	72.41	4.96
34	2.5	1	0.58	16.86	38.08	2.26	10.34	60.28	5.83
35	2.5	1.5	0.38	15.68	35.94	2.29	7.22	62.21	8.62
36	3	1	2.53	21.27	57.43	2.70	19.44	107.20	5.51
37	3	1.5	1.57	20.73	51.91	2.50	15.11	91.98	6.09
38	3	2.5	0.48	16.52	37.01	2.24	8.01	72.48	9.05
39	3.5	2.5	2.47	22.15	60.70	2.74	15.64	130.27	8.33
40	3.5	3	1.20	19.40	47.92	2.47	11.67	101.32	8.68
D=9m,c=20KN/m ²				Shear (KN)			Moment (KN.m)		
No.	H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Manual	Ratio	Finite	Manual	Ratio
41	2.5	0	0.55	15.00	41.28	2.75	17.42	97.83	5.62
42	3	0	2.92	19.70	61.44	3.12	31.29	151.82	4.85
43	3	1	1.25	19.50	57.68	2.96	21.25	115.61	5.44
44	3	2	0.35	17.85	47.97	2.69	12.36	119.54	9.67
45	3.5	2	1.79	21.57	68.01	3.15	22.60	149.21	6.60
46	3.5	3	0.40	18.21	48.61	2.67	13.06	132.07	10.11
47	4	3.5	1.13	20.73	60.15	2.90	18.05	155.60	8.62
						AVG	2.48		
								AVG	6.83

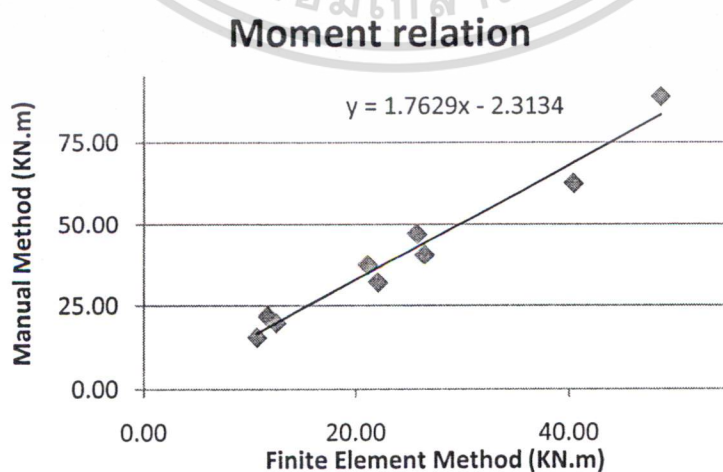
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์ผล

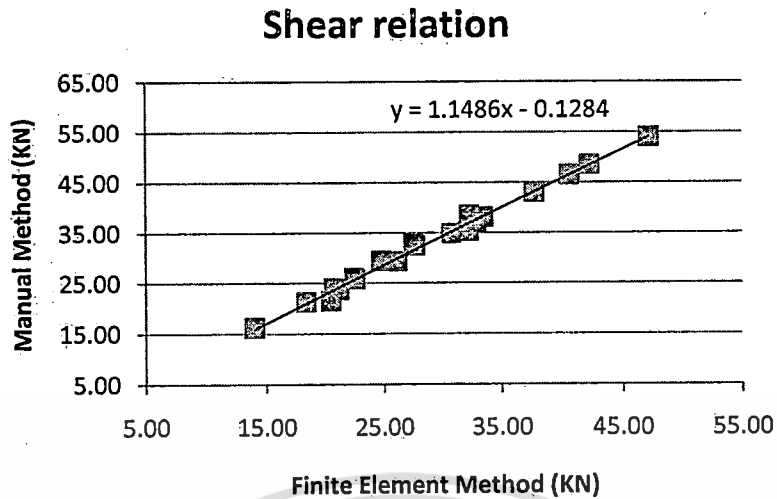
ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์กับวิธีประยุกต์ของดินถม 1 ดังตารางที่ 4.1-4.3 พบว่าค่าที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ค่าที่น้อยกว่าวิธีประยุกต์ทั้งในส่วนของแรงเฉือน และ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน โดยในตัวอย่างของกำแพงกันดินที่ฝังอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ ที่มีค่ายึดเหนี่ยวของดินเหนียว $C = 12\text{KN/m}^2$ ได้อัตราส่วนเท่ากับ 1.15 และ 1.67 เท่าตามลำดับ ที่ค่ายึดเหนี่ยวของดินเหนียว $C = 16\text{KN/m}^2$ ได้อัตราส่วนเท่ากับ 1.14 และ 1.52 เท่าตามลำดับ และ $C = 20\text{KN/m}^2$ ได้อัตราส่วนเท่ากับ 1.17 และ 1.43 เท่าตามลำดับ โดยแสดงความสัมพันธ์กันเป็นสมการเส้นตรง ดังรูปด้านล่าง



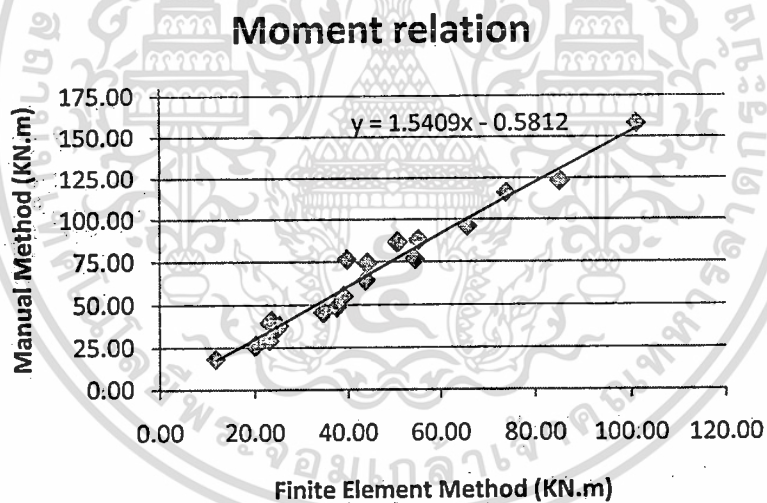
รูปที่ 4.10 กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ มีค่าเท่ากับ 12KN/m^2



รูปที่ 4.11 กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ มีค่าเท่ากับ 12KN/m^2



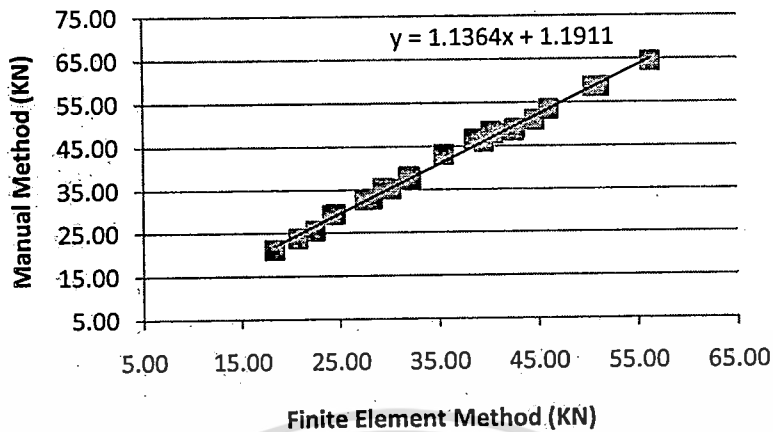
รูปที่ 4.12 กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับค่าแรงกั้นดินที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ มีค่าเท่ากับ 16KN/m^2



รูปที่ 4.13 กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับค่าแรงกั้นที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ มีค่าเท่ากับ 16KN/m^2

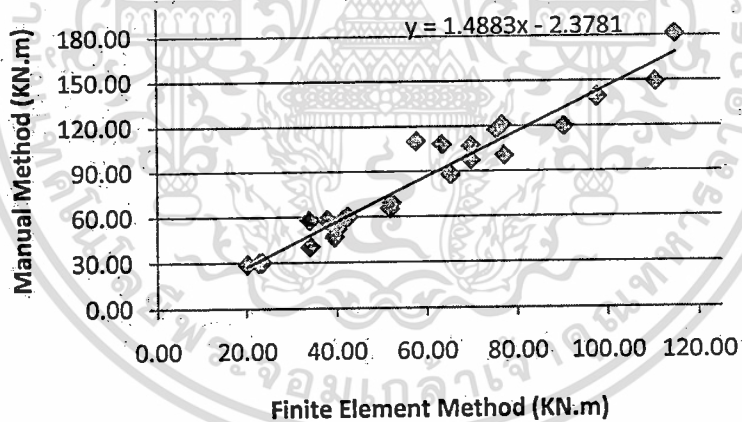
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shear relation



รูปที่ 4.14 กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับค่าแรงแงกกันดินที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ มีค่าเท่ากับ 20KN/m^2

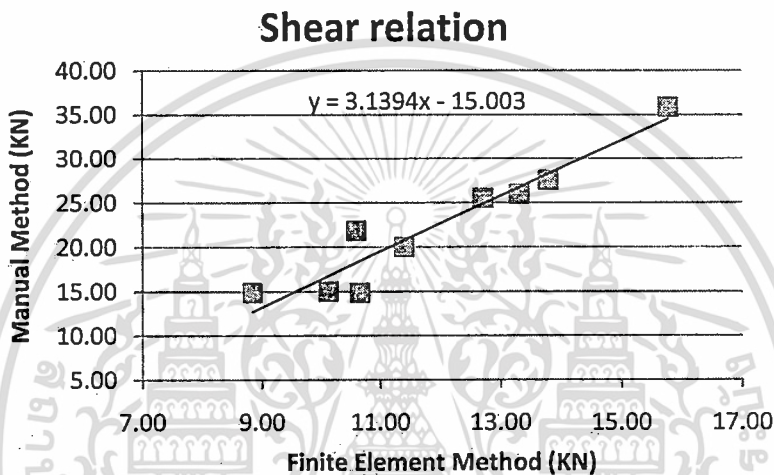
Moment relation



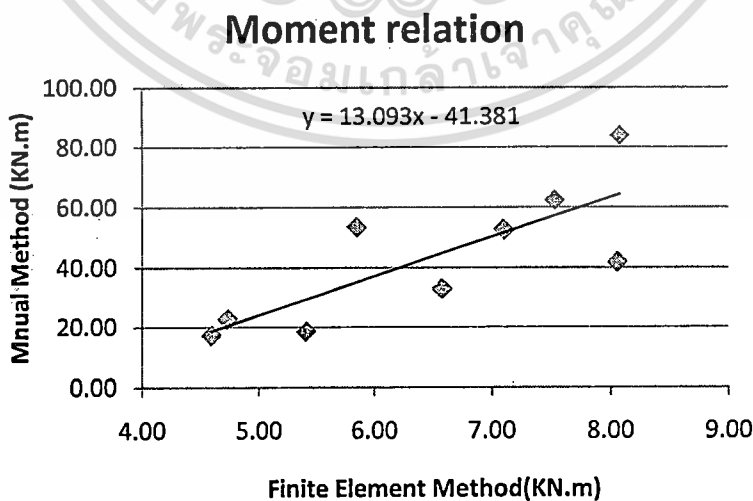
รูปที่ 4.15 กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับค่าแรงแงกกันที่เกิดจากดินถม 1 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ มีค่าเท่ากับ 20KN/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

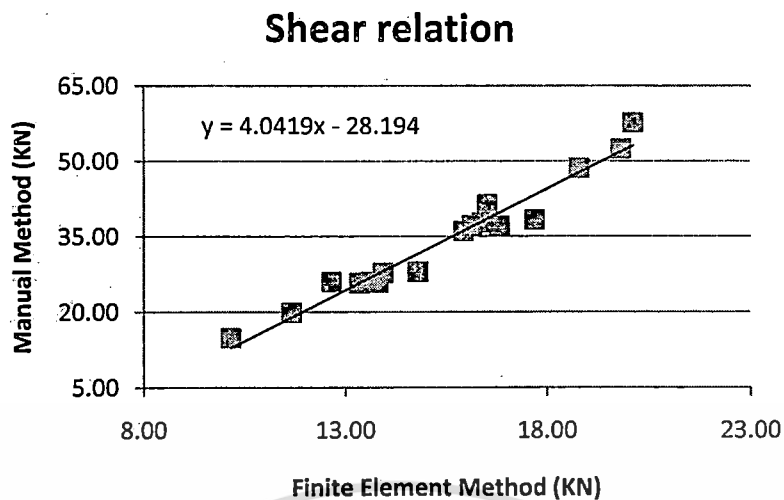
ส่วนผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์กับวิธีประยุกต์ของดินถม 2 ดังตารางที่ 4.4-4.6 พบว่าค่าที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ค่าที่น้อยกว่าวิธีประยุกต์ทั้งในส่วนของแรงเฉือน และ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน เช่นเดียวกับดินถม 1 โดยในตัวอย่างของกำแพงกันดินที่ฝังอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ ที่มีค่ายึดเหนี่ยวของดินเหนียว $C = 12\text{KN/m}^2$ ได้อัตราส่วนเท่ากับ 1.84 และ 6.38 เท่าตามลำดับ ที่ค่ายึดเหนี่ยวของดินเหนียว $C = 16\text{KN/m}^2$ ได้อัตราส่วนเท่ากับ 2.16 และ 6.79 เท่าตามลำดับ และ $C = 20\text{KN/m}^2$ ได้อัตราส่วนเท่ากับ 2.48 และ 6.83 เท่าตามลำดับ โดยแสดงความสัมพันธ์กันเป็นสมการเส้นตรง ดังรูปด้านล่าง



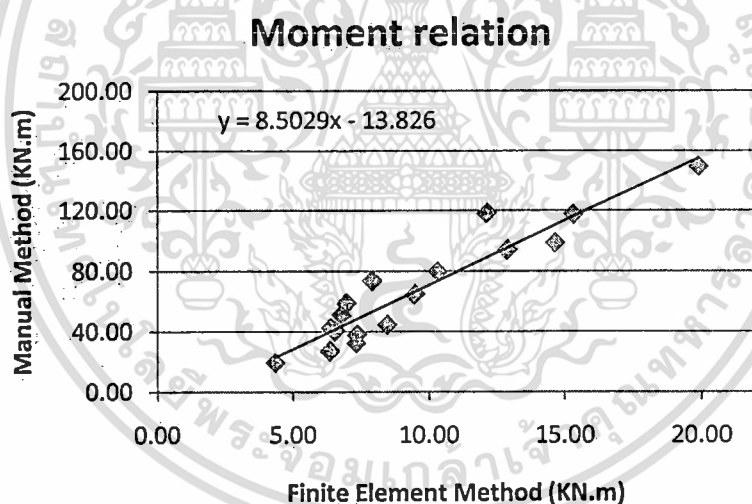
รูปที่ 4.16 กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 12KN/m^2



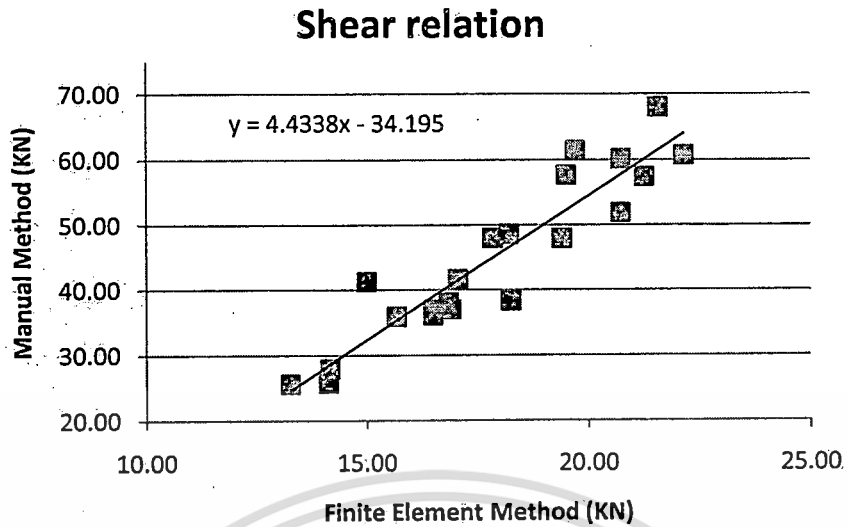
รูปที่ 4.17 กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 12KN/m^2 จากของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



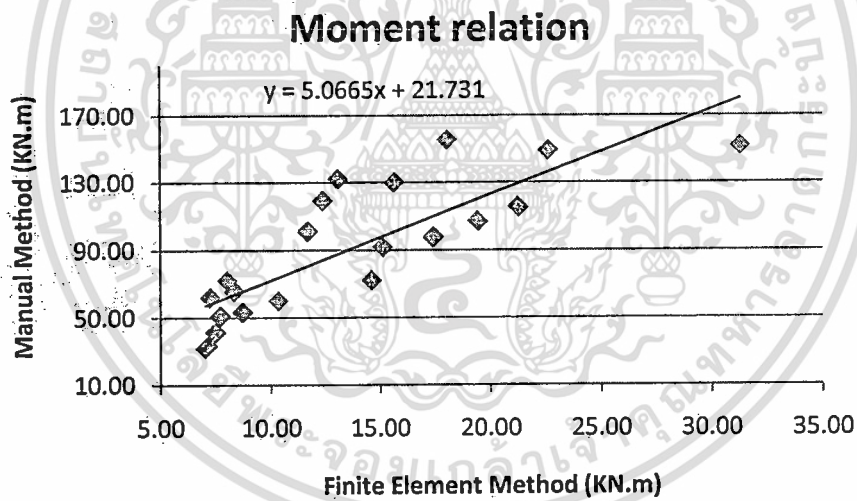
รูปที่ 4.18 กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับค่าแรงแงกกันดินที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 16KN/m^2



รูปที่ 4.19 กราฟผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับค่าแรงแงกกันที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ มีค่าเท่ากับ 16KN/m^2

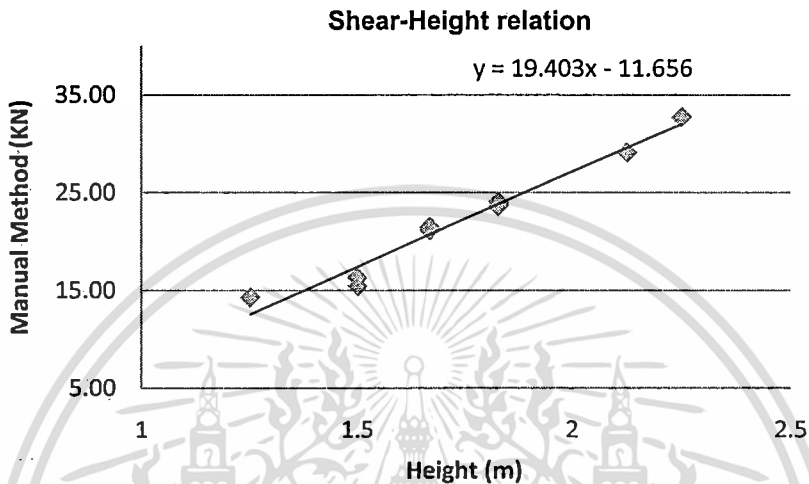


รูปที่ 4.20 กราฟผลการวิเคราะห์ที่เปรียบเทียบแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับค่าแรงกั้นดินที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ มีค่าเท่ากับ 20KN/m^2

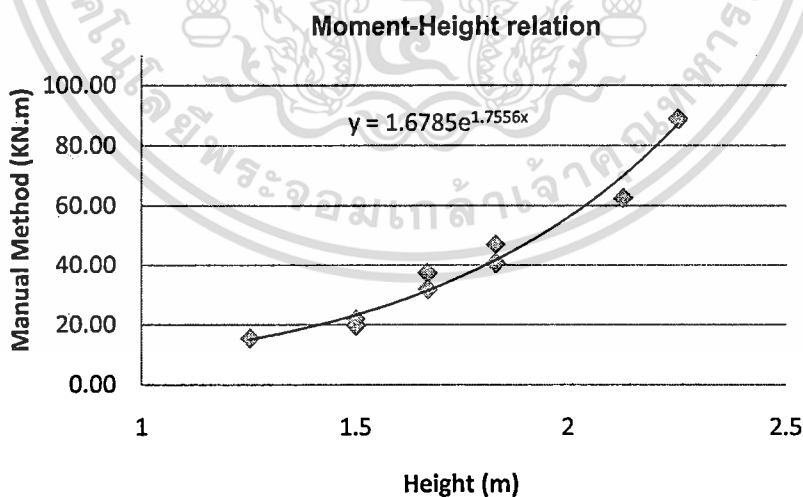


รูปที่ 4.21 กราฟผลการวิเคราะห์ที่เปรียบเทียบโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับค่าแรงกั้นที่เกิดจากดินถม 2 โดยที่ค่า C ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๑ มีค่าเท่ากับ 20KN/m^2

จากนั้นทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน กับความสูงของระดับดินถมหลังกำแพงกันดินของดินถม 1 พบว่าในส่วนของแรงเฉือนกับความสูงของดินถมมีความสัมพันธ์กันเป็นสมการเส้นตรง และในส่วนของความสัมพันธ์ของโมเมนต์ มีความสัมพันธ์เป็นสมการเอ็กซ์โปเนนเชียล ได้ดังรูปด้านล่าง



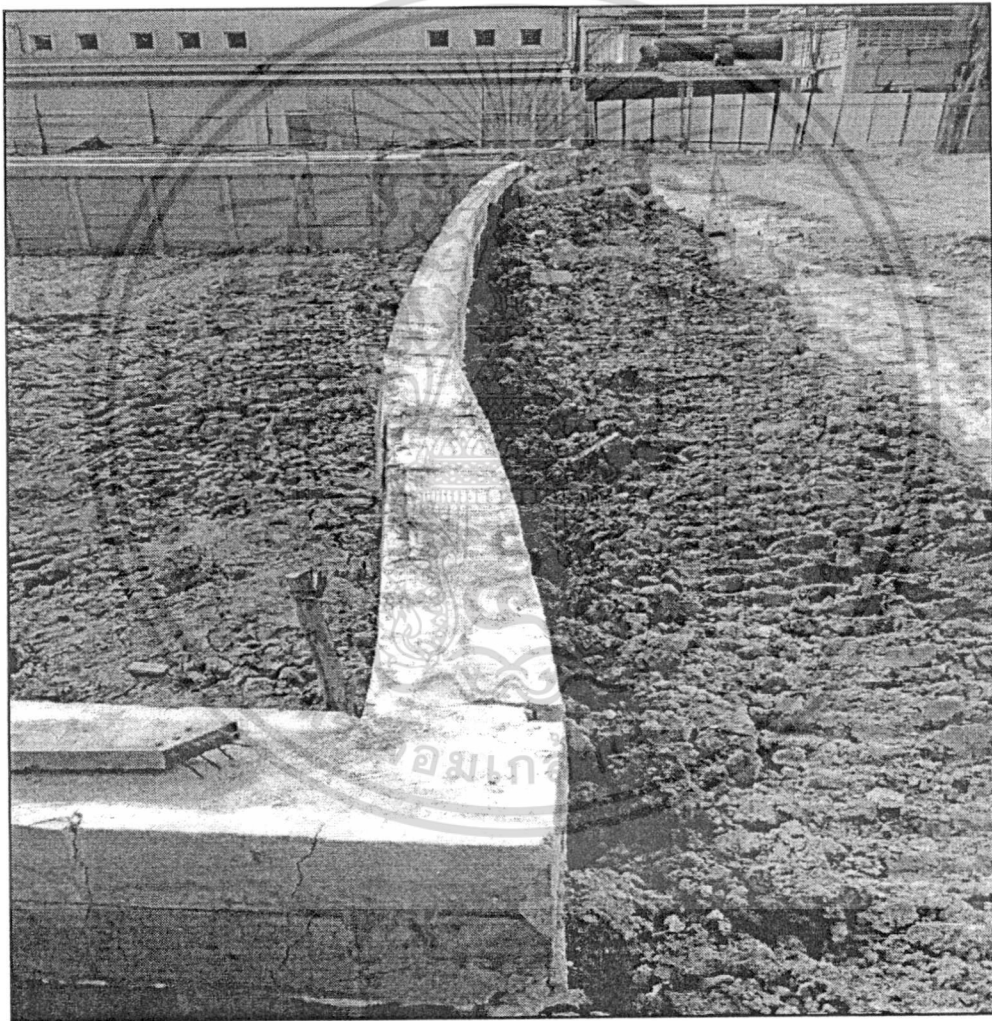
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินกับระดับความสูงดินถมหลังกำแพงของดินถม 1 ที่ค่า $C = 12\text{KN/m}^2$



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินกับระดับความสูงดินถมหลังกำแพงของดินถม 1 ที่ค่า $C = 12\text{KN/m}^2$

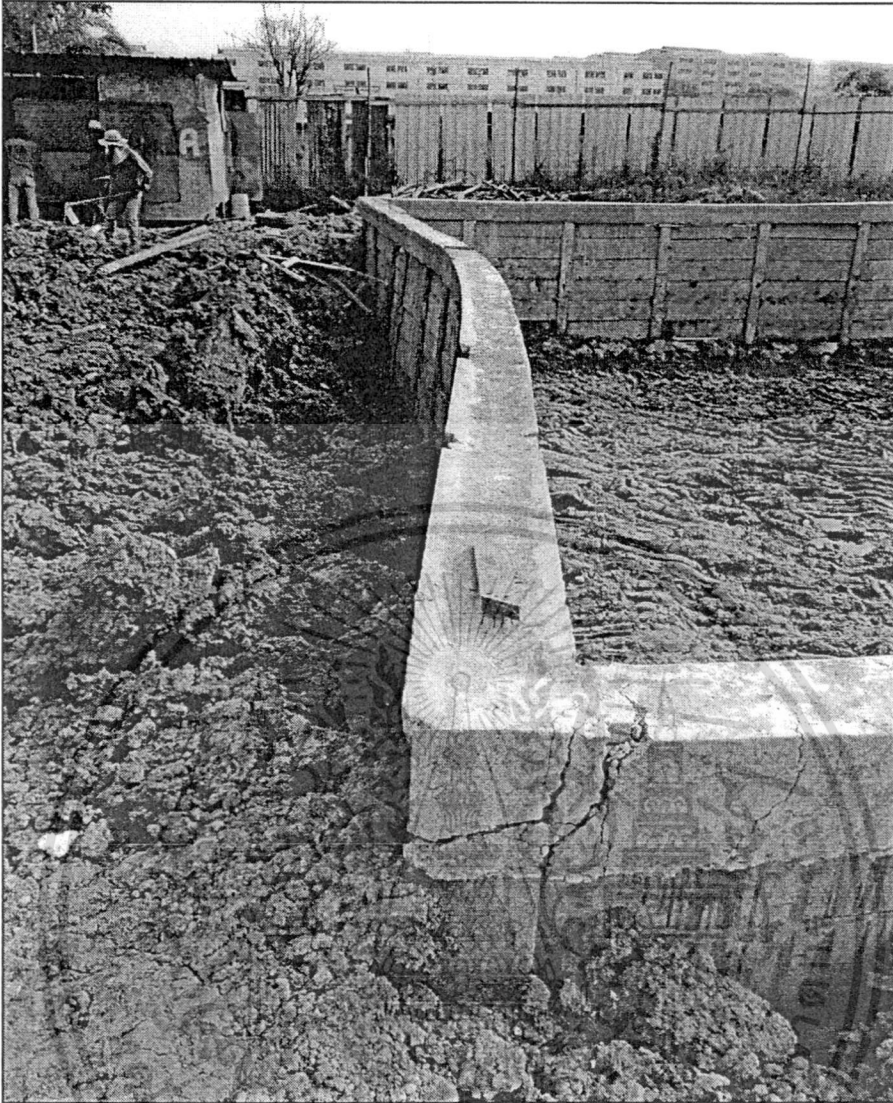
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.22-4.27 ทำให้ทราบถึงค่าของแรงเฉือน และ โมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน ได้ที่ระดับดินถมต่าง ๆ บนชั้นดินเหนียวเดิมที่มีคุณสมบัติชั้นดินตามที่ได้พิจารณาข้างต้น ซึ่งถ้าใช้ พิจารณากับตารางที่ 4.1-4.6 จะทำให้ทราบถึงขอบเขตความสูงของดินที่ใช้ถมหลังกำแพงบนชั้นดิน ที่พิจารณา และความลึกของกำแพงกันดินที่ฝังอยู่ในชั้นดินเหนียวได้ เช่น ตัวอย่างกรณีศึกษา งาน ก่อสร้างกำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ โครงการบ่อบำบัดน้ำเสีย โรงงานมาติ บางกอก สมุทรปราการ ซึ่งมีความสูงของตัวกำแพง 2.50 เมตร ความลึกของเสาเข็มตัวไอ 5.5 เมตร ไม่มีระดับน้ำหน้ากำแพงกันดินขณะก่อสร้าง ค่า C ของดินที่ระดับ 5.5 เมตร มีค่า 12 KN/m^2 พบว่า กำแพงกันดินมีการเคลื่อนตัว และแอ่นตัวด้านข้างมากจนกระทั่งพังทลายในที่สุด ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 4.28 การ โกงตัวที่เกิดขึ้นของกำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ โครงการบ่อ บำบัดน้ำเสีย โรงงานมาติบางกอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 แสดงรอยแตกร้าวที่มุมของกำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ โครงการ บ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานมาลีบางกอก

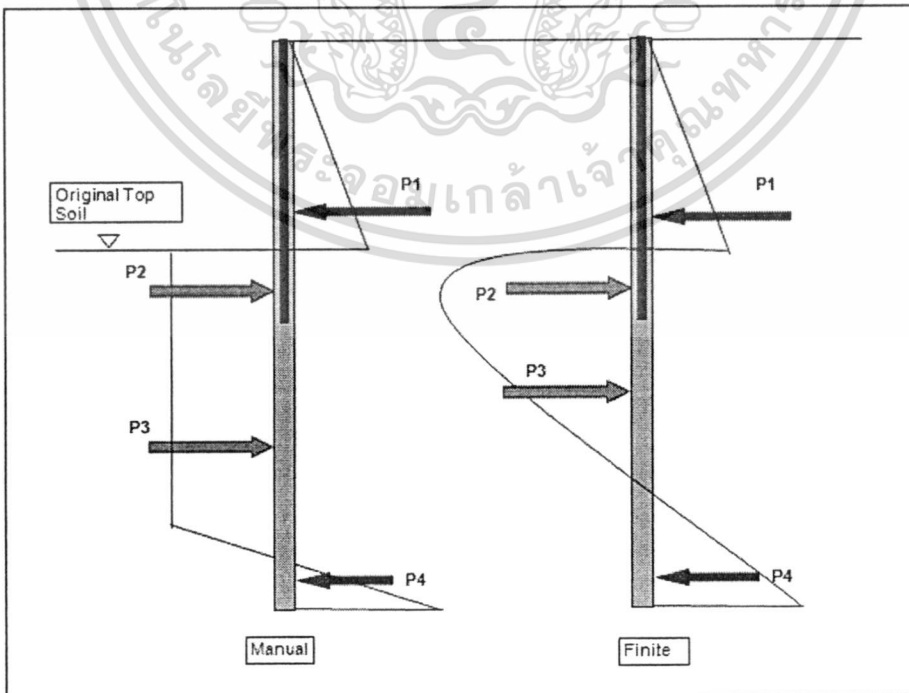
โดยพิจารณาจากตารางที่ 4.1-4.6 พบว่าในงานก่อสร้างในกรณีศึกษากำแพงกันดินนี้ มีการขุดดินลึกมากเกินไป และในขณะทำงานก่อสร้างไม่มีการค้ำยัน โครงสร้างในด้านหน้าของกำแพงกันดินทำให้กำแพงกันดินไม่สามารถต้านทานแรงดันดินที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบจากตารางที่ 4.1-4.6 และเมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างของกำแพงกันดิน พบว่าไม่สามารถต้านทานโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินได้ อันเนื่องมาจากไม่มีการเสริมเหล็กต้านทานโมเมนต์ในเสาเข็ม ซึ่งไม่เพียงพอต่อการต้านทานโมเมนต์ที่เกิดขึ้น แสดงให้เห็นถึงปัญหาในการขาดความรู้ความเข้าใจในการวิเคราะห์ออกแบบกำแพงกันดินชนิดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

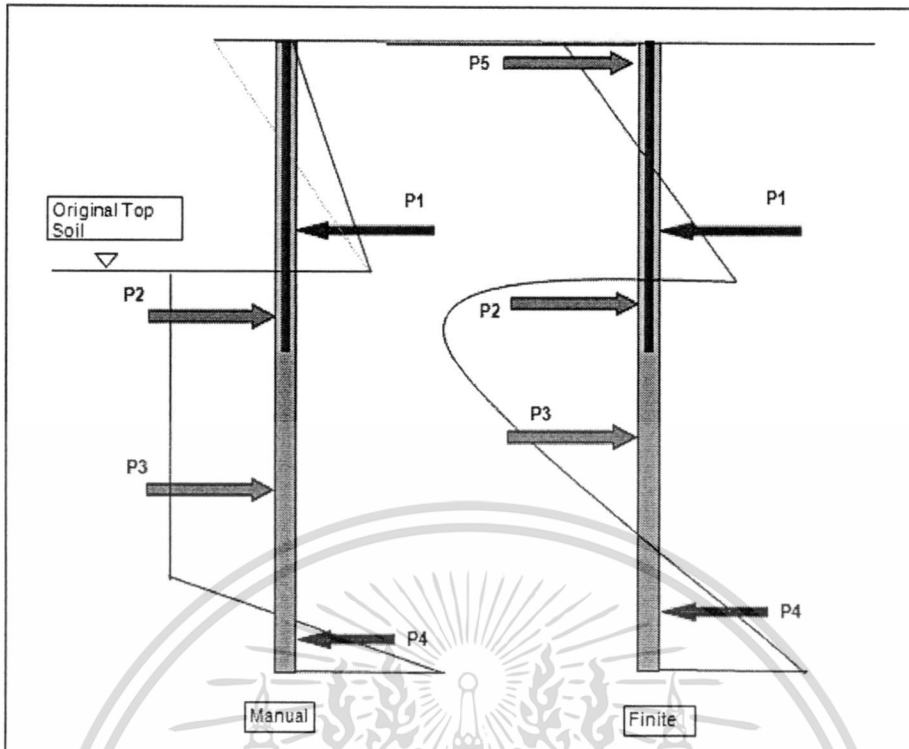
บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ ทั้งในส่วนของแรงเฉือน และ โมเมนต์ทำให้ทราบแนวโน้มของวิธีที่ประยุกต์ใช้ว่ามีค่ามากกว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเนื่องมาจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีปัจจัยอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องทั้งในเรื่องของการเคลื่อนตัวของดิน การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน ขั้นตอนการก่อสร้าง แต่ในทางกลับกันวิธีที่ประยุกต์ใช้นั้น ใช้การวิเคราะห์แบบแข็งเกร็ง โดยมีสมมติฐานที่ไม่ยอมให้กำแพงกันดินมีการเคลื่อนตัวเกิดขึ้น อีกทั้งยังมีความแตกต่างกันในส่วนของงานพิจารณาหน่วยแรงดันดินด้านข้างที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินซึ่งในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์จะพิจารณาในรูปแบบของสมการที่ไม่เป็นเส้นตรง แต่วิธีที่ประยุกต์ใช้ พิจารณาหน่วยแรงดันดินด้านข้างโดยใช้ทฤษฎีแบบคานยื่นเป็นหลัก ซึ่งเป็นทฤษฎีที่มีสมมติฐานการพิจารณาหน่วยแรงดันดินด้านข้างที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินให้เป็นสมการเส้นตรง และในส่วนของดินถมชนิดที่ 2 ซึ่งเป็นดินถมที่มีค่าแรงยึดเหนี่ยวของดิน C พบว่าสมมติฐานหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินในวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และสมมติฐานหน่วยแรงที่ได้ประยุกต์ใช้ขึ้นนั้นมีความแตกต่างกันทำให้แรงที่ได้จากวิธีประยุกต์ใช้มีค่าสูงกว่าค่อนข้างมาก ดังรูปด้านล่าง ซึ่งเหตุผลทั้งหลายเหล่านี้เป็นส่วนที่ทำให้วิธีที่ประยุกต์ใช้ มีสัดส่วนความปลอดภัยมากกว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.1 แสดงสมมติฐานหน่วยแรงที่ศึกษาของทั้งสองวิธี ประเภทดินถม 1
ไม่ว่ากรณีใดๆ หงสน อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



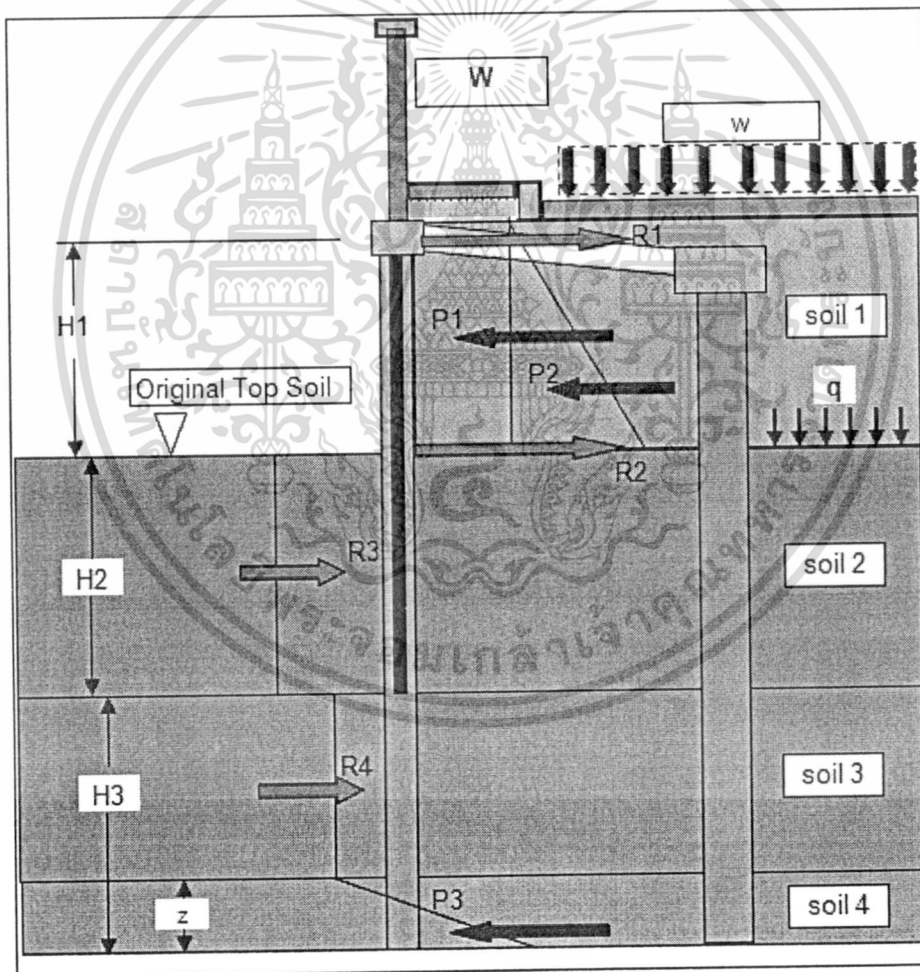
รูปที่ 5.2 แสดงสมมติฐานหน่วยแรงที่ศึกษาของทั้งสองวิธี ประเภทดินถม 2

สัดส่วนที่แตกต่างกันของทั้งสองวิธีนี้ พบว่าในส่วนของดินถมที่เป็นดินถมชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น หรือดินทราย วิธีที่ประยุกต์ใช้มีความเหมาะสมในการใช้วิเคราะห์กำแพงกันดินชนิดนี้ อันเนื่องจากสัดส่วนที่ได้จากทั้งสองวิธีมีความใกล้เคียงกัน อีกทั้งยังเป็นทางเลือกให้กับผู้ที่ได้ทำการศึกษาสามารถทำการเลือกใช้ระหว่างวิธีที่ประยุกต์ใช้ขึ้นซึ่งเป็นวิธีคำนวณมือ กับวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ซึ่งเป็นวิธีที่ต้องใช้โปรแกรมเข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ ส่วนสัดส่วนที่แตกต่างกันระหว่างทั้งสองวิธีของดินถมชนิดที่มีความเชื่อม จะนำไปสู่การเลือกใช้วิธีการในการวิเคราะห์ออกแบบ และเป็นประโยชน์ให้ผู้ออกแบบได้ใช้เป็นข้อมูลร่วมในการตัดสินใจ วิเคราะห์ออกแบบกำแพงกันดินแบบแฉงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอในเขตกรุงเทพฯ ได้มากยิ่งขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นตามมาในการที่ผู้ออกแบบขาดความรู้ความเข้าใจในการวิเคราะห์กำแพงกันดินชนิดนี้ ดังตัวอย่างกรณีศึกษาที่ได้กล่าวไปข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม

ในการวิเคราะห์หาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกำแพงกันดิน ยังสามารถพิจารณาสมมติฐานรูปแบบของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินได้อีกหลายรูปแบบ โดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีที่มีอยู่เดิม หรืองานวิจัยค้นคว้าต่าง ๆ ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการวิเคราะห์กำแพงกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ ที่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต เช่น อาจมีการจำลองรูปแบบของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน ที่แตกต่างกันกับ ค่า $4c-q$ และค่า $4c+q$ ในส่วนของเสาเข็มที่ฝังอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน ซึ่งอาจจะพิจารณาในส่วนของเสาเข็มรับแรงด้านข้างที่เป็นเสาเข็มเดี่ยว เข้ามาเกี่ยวข้อง และอาจมีการทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของแบบจำลองของกำแพงกันดินชนิดนี้ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น กำแพงกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ โดยมีสายสมอยึดรั้ง ดังรูปด้านล่าง เป็นต้น



รูปที่ 5.3 แบบจำลองกำแพงกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ โดยมีสายสมอยึดรั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

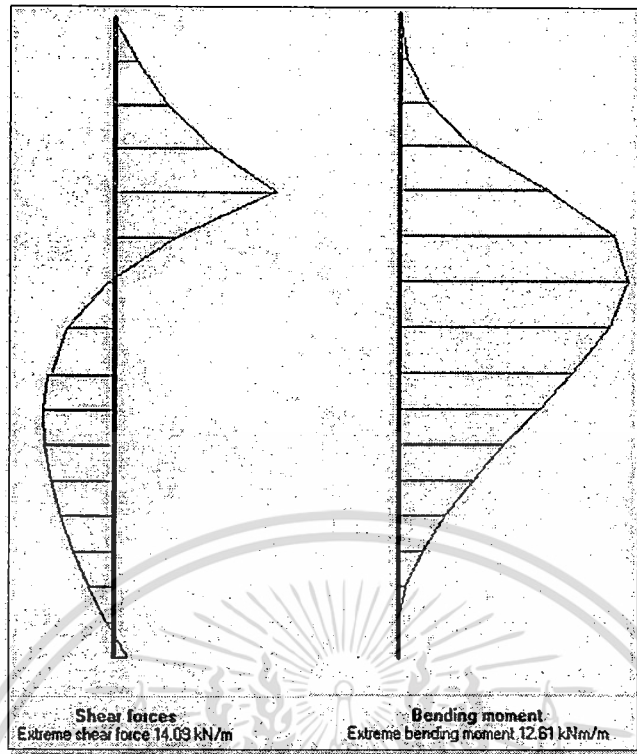
- [1] คณะทำงานจัดการความรู้, 2549. การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง. กรมโยธาธิการและผังเมือง
- [2] มณเฑียร กังศศิเทียม, 2543. กลศาสตร์ของดิน ด้านวิศวกรรม. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์
- [3] วรณี สุขสาตร, 2549. วิศวกรรมฐานราก. สำนักพิมพ์ฟอร์เพช
- [4] พงษ์ศิลป์ เดชะคนวงส์, 2544. การศึกษาพฤติกรรมความดันความเครียดของกำแพงกันดินชนิดเรียงต่อเนื่องโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [5] Suwansawat, S., 2002. Earth Pressure Balance (EPB) Shield Tunneling in Bangkok: Ground Response and Prediction of Surface Settlements Using Artificial Neural Networks. Doctor of Science in Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology
- [6] Das, B.M., 1999. Principles of Foundation Engineering. 4th ed., PWS Publishing
- [7] Tschebotarioff, G.P., 1973. Foundation Retaining and Earth Structure. 2nd ed., McGraw-Hill, New York

ภาคผนวก ก.

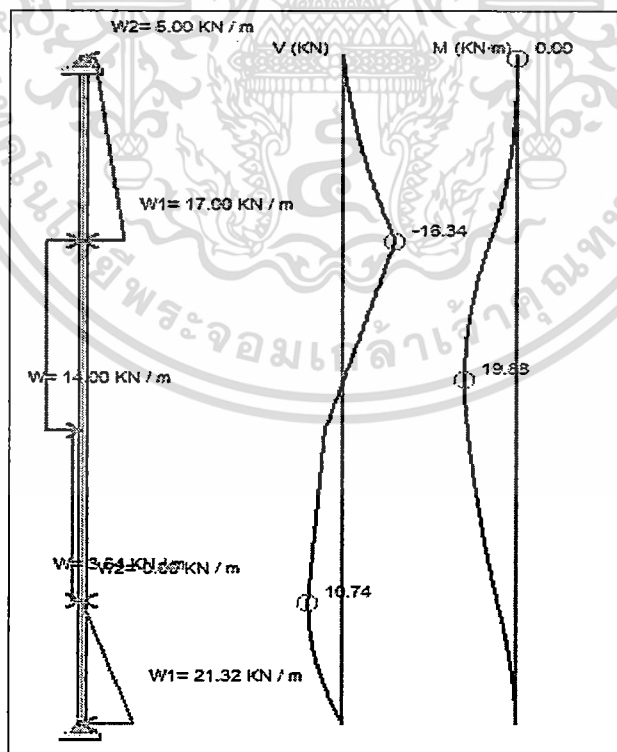
ผลการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และวิธี
ประยุกต์ ที่เกิดจากดินถม 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

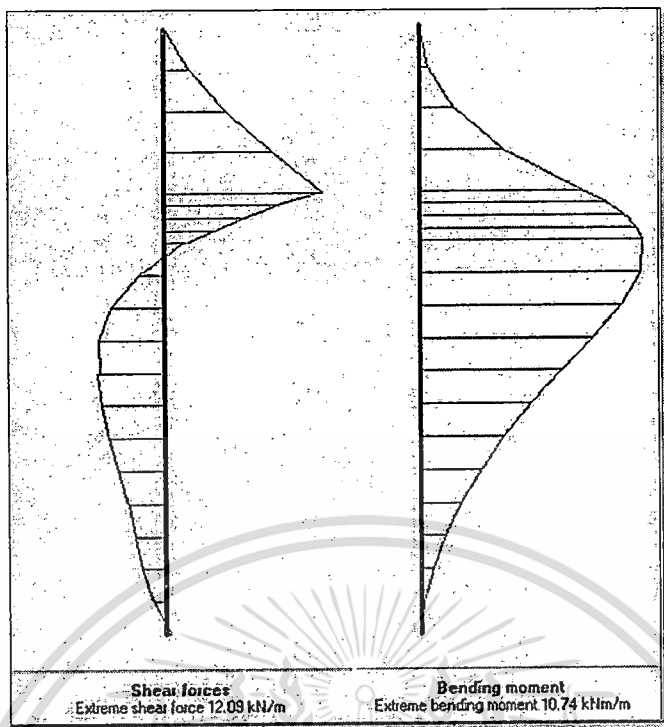


รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex1,D4,C12)

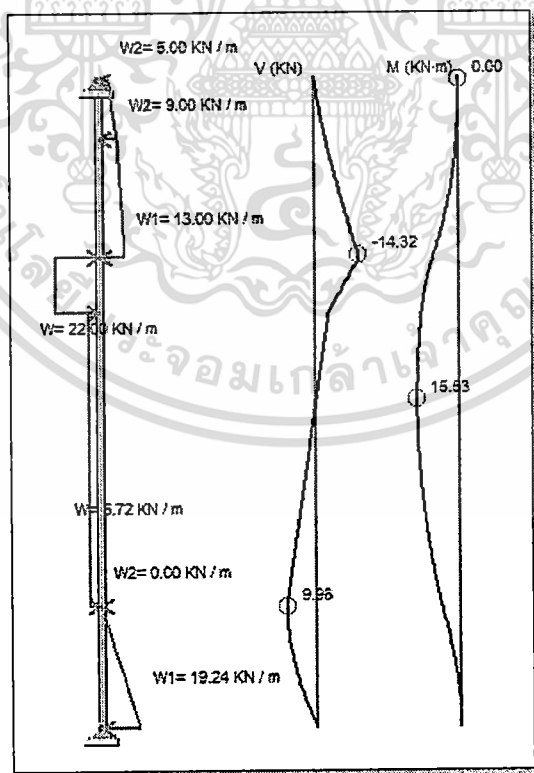


รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex1,D4,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

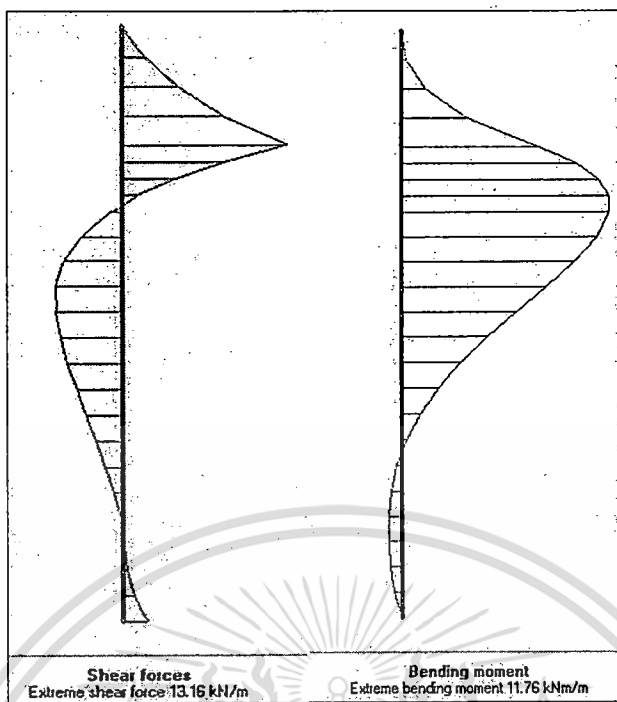


รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วย โปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex2,D4,C12)

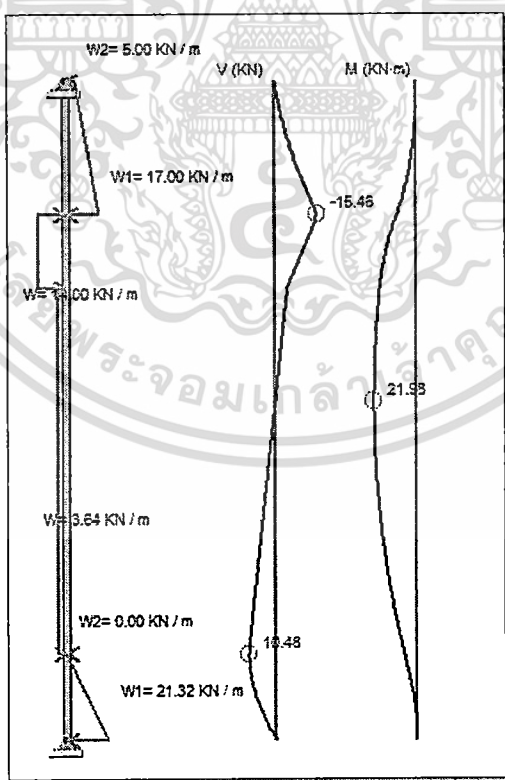


รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex2,D4,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

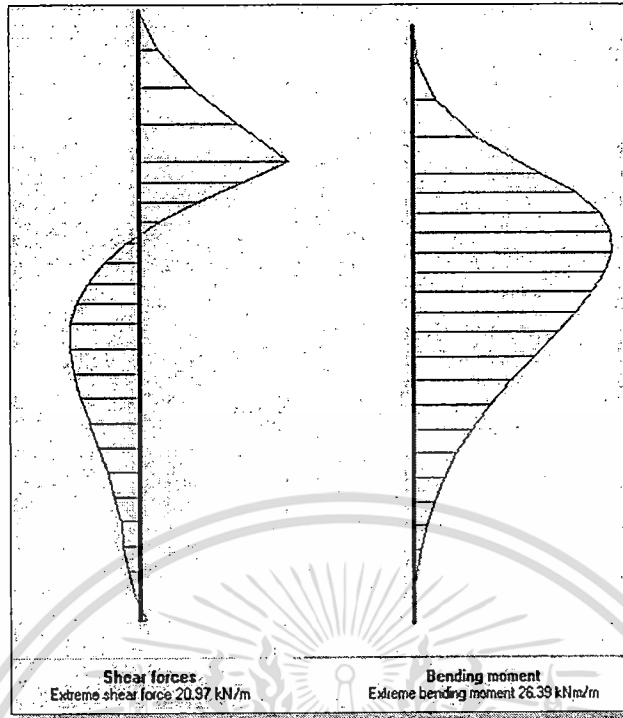


รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex3,D6,C12)

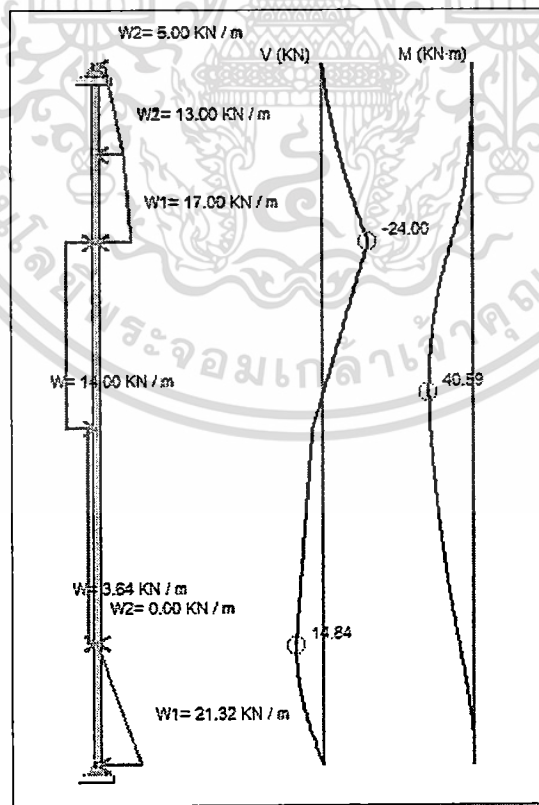


รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex3,D6,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

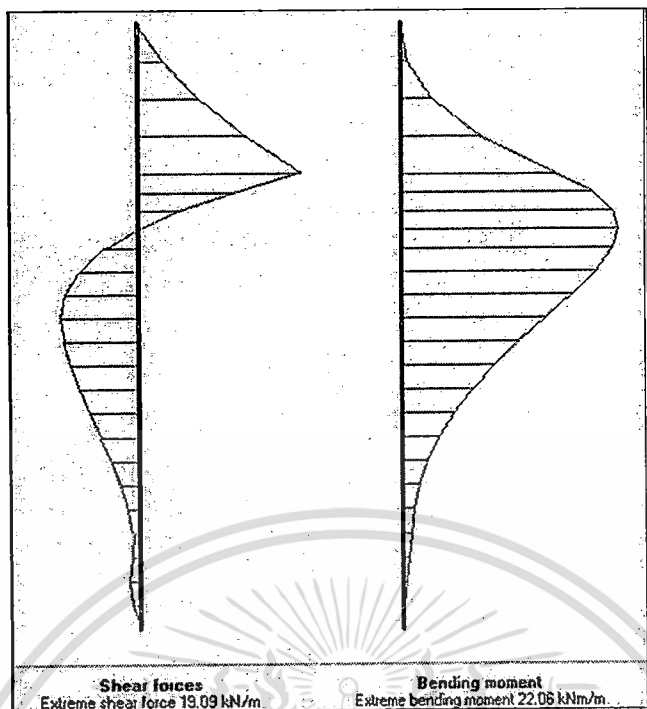


รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex4,D6,C12)

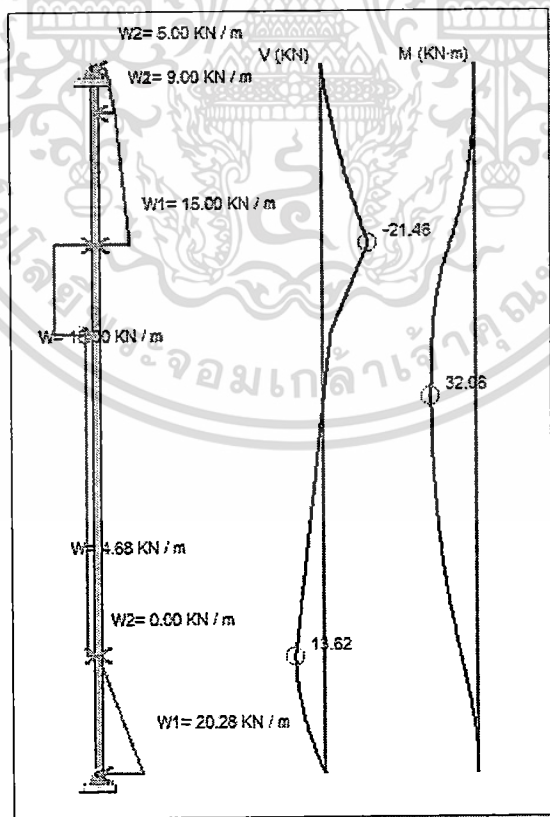


รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1

เอกสารนี้เป็นเอกสาร (Ex4,D6,C12) ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

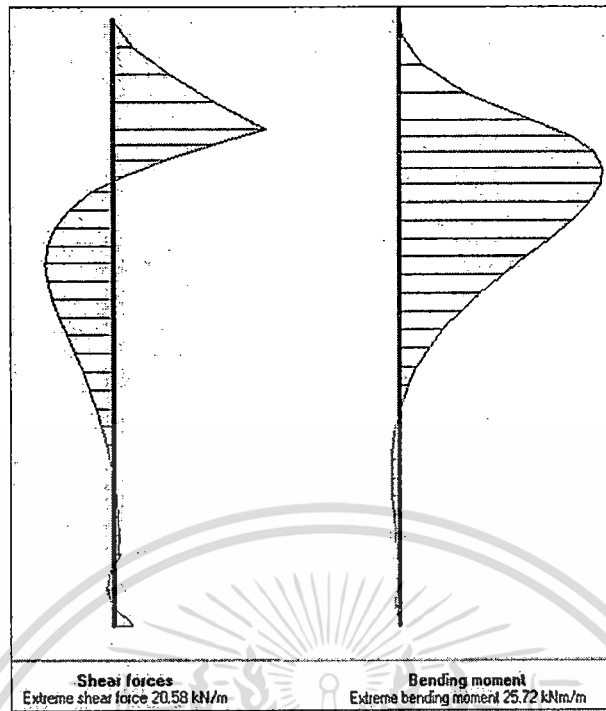


รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex5,D6,C12)

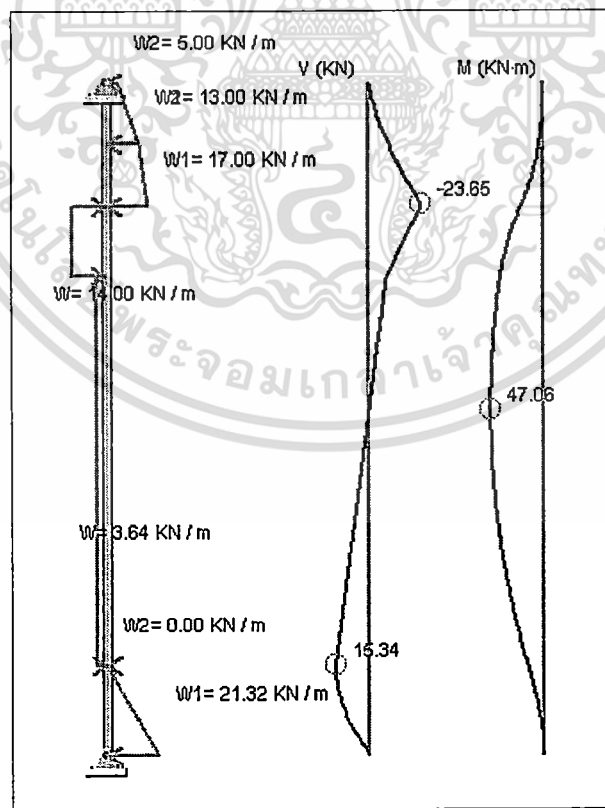


รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1

เอกสารนี้เป็นเอกสาร (Ex5,D6,C12) วิชาการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



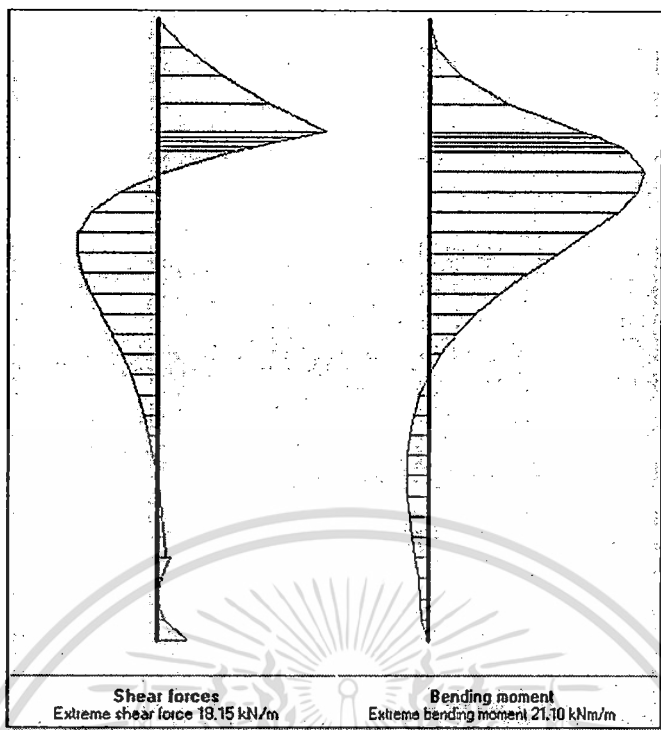
รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex6,D9,C12)



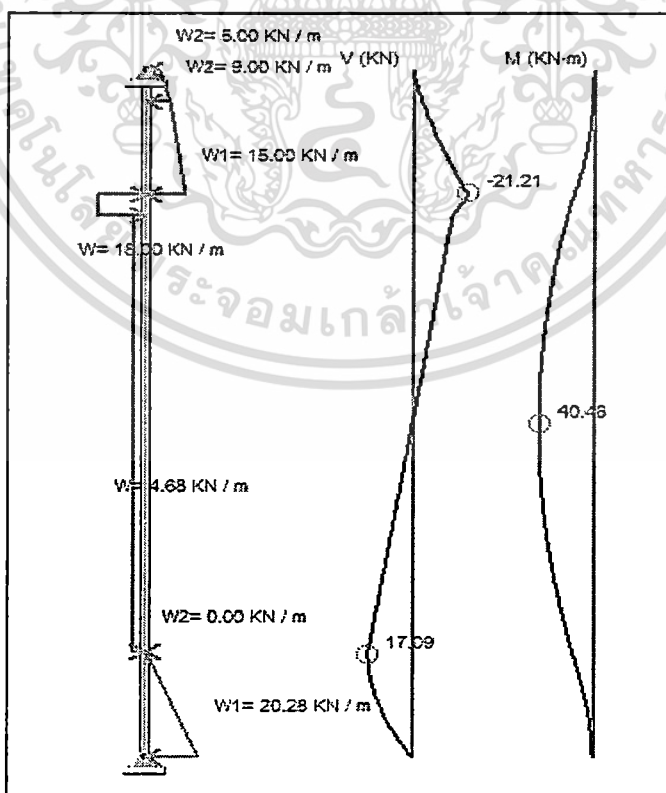
รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1

(Ex6,D9,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

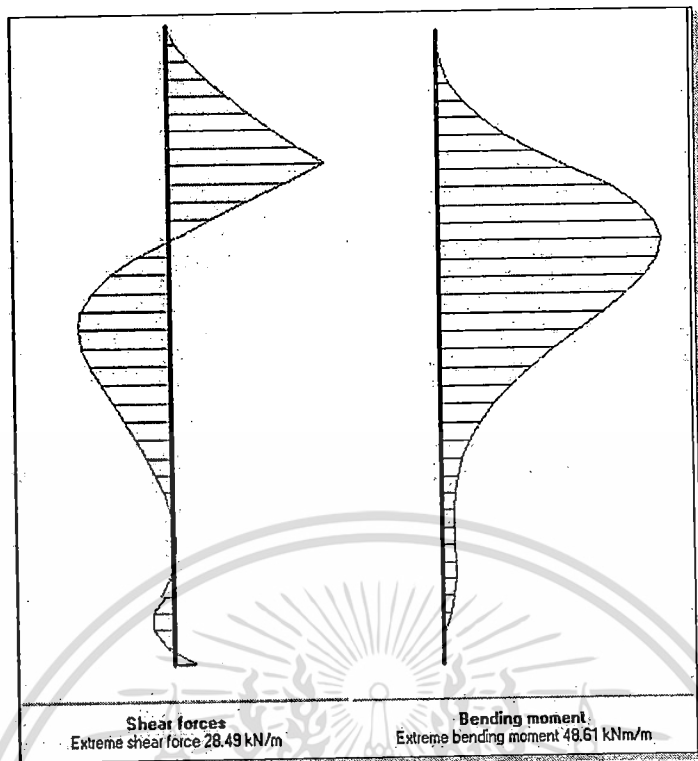


รูปที่ 13 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex7,D9,C12)

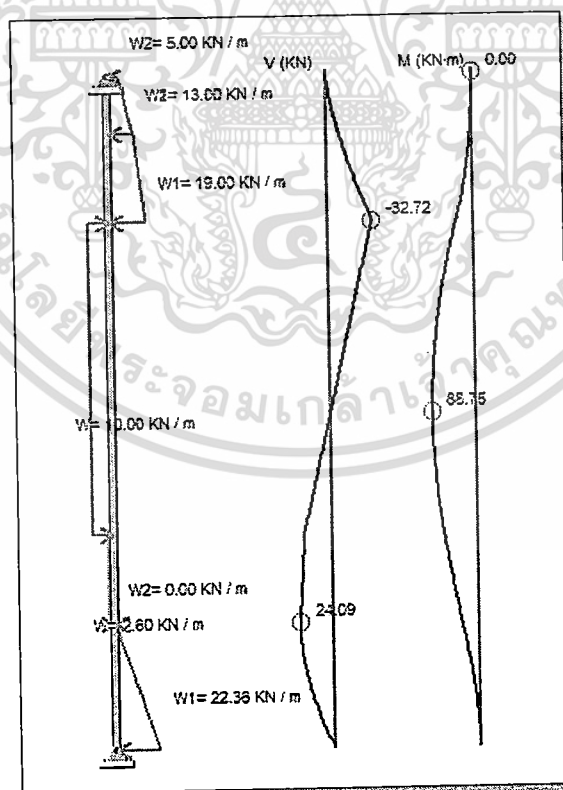


รูปที่ 14 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(Ex7,D9,C12)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

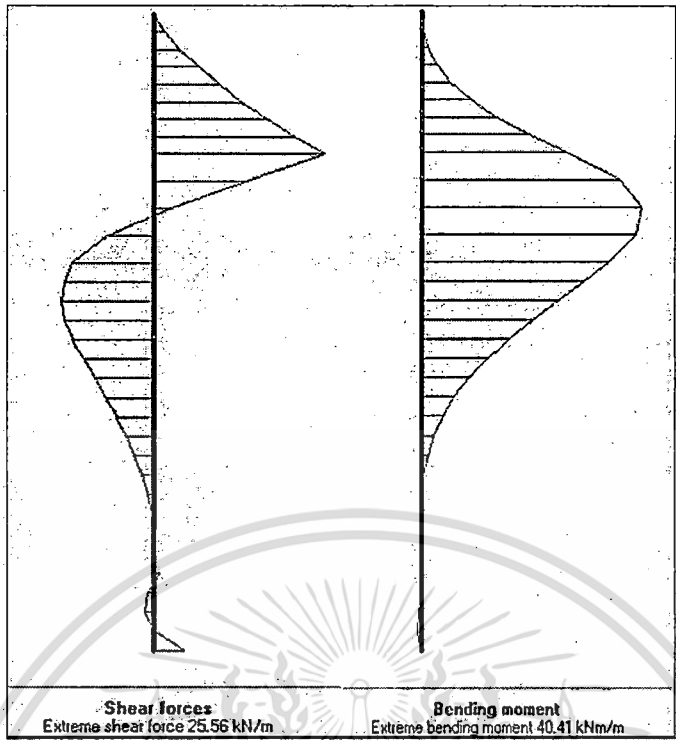


รูปที่ 15 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex8,D9,C12)

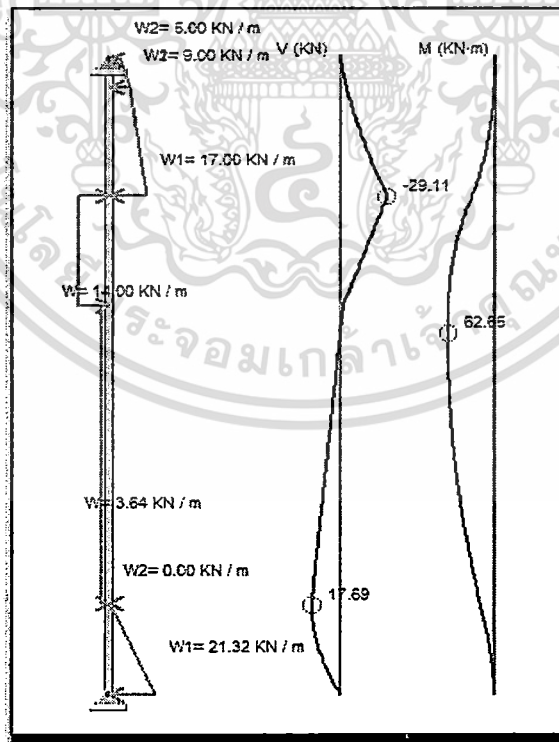


รูปที่ 16 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex8,D9,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

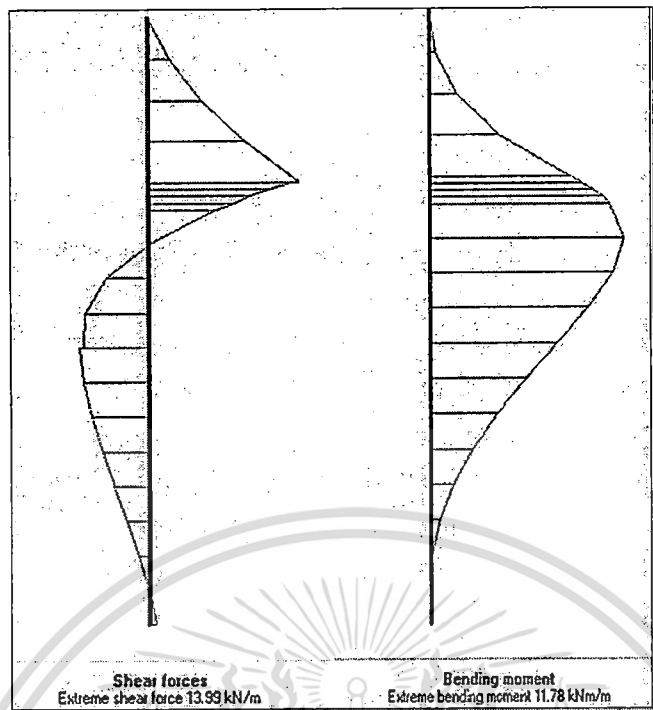


รูปที่ 17 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex9,D9,C12)

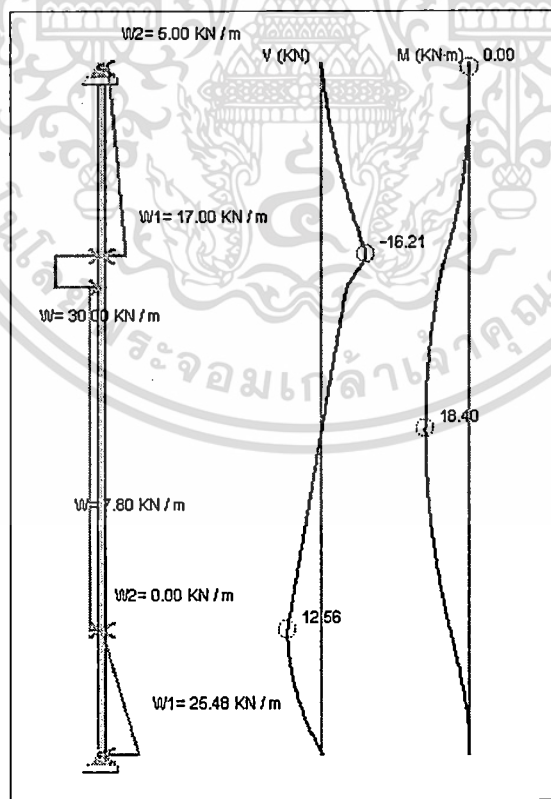


รูปที่ 18 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex9,D9,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

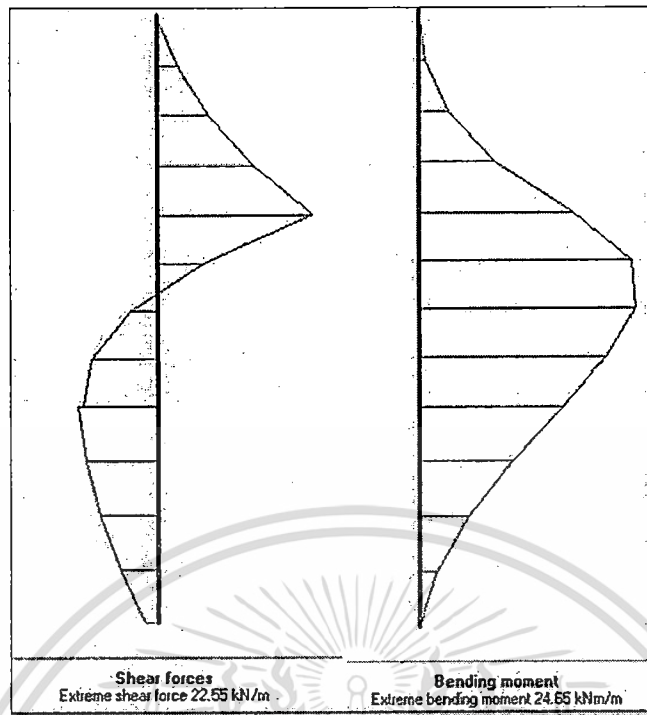


รูปที่ 19 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex10,D4,C16)

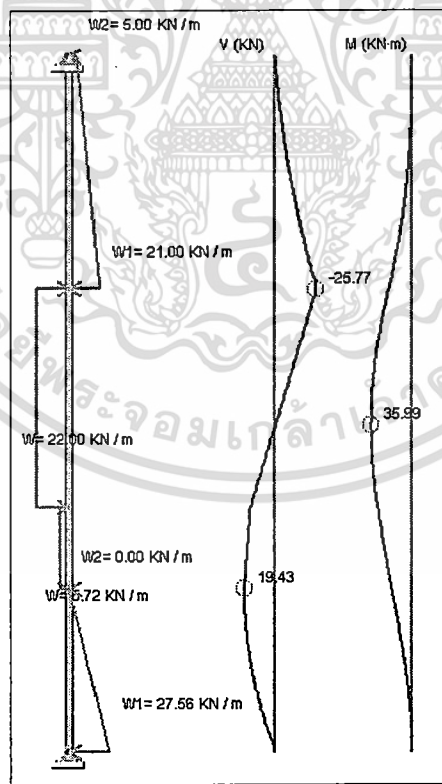


รูปที่ 20 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex10,D4,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

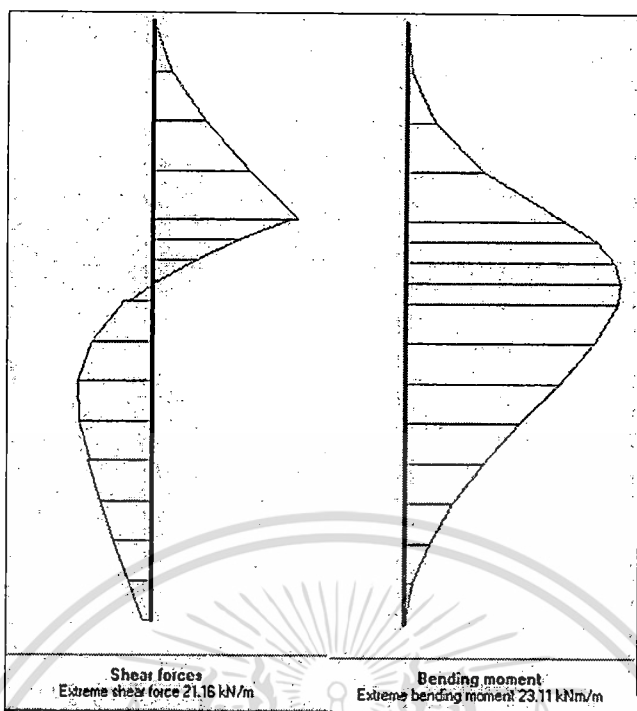


รูปที่ 21 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex11,D4,C16)

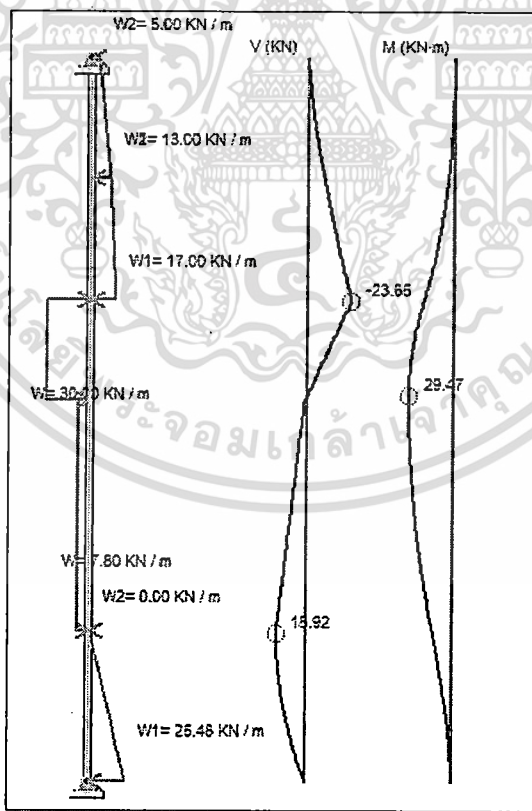


รูปที่ 22 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex11,D4,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

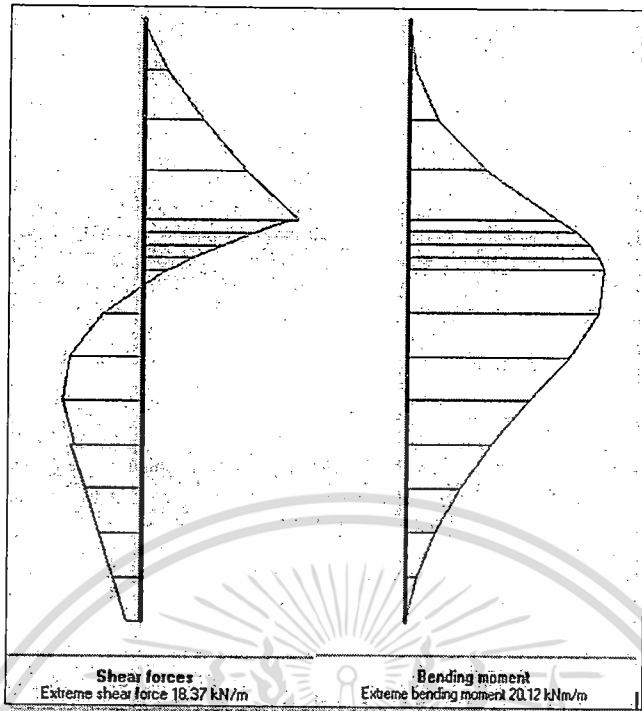


รูปที่ 23 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex12,D4,C16)

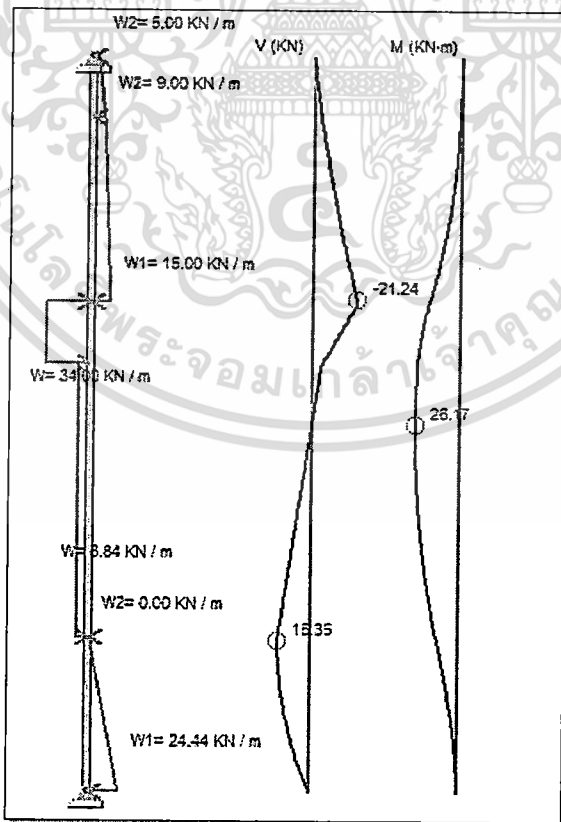


รูปที่ 24 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex12,D4,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

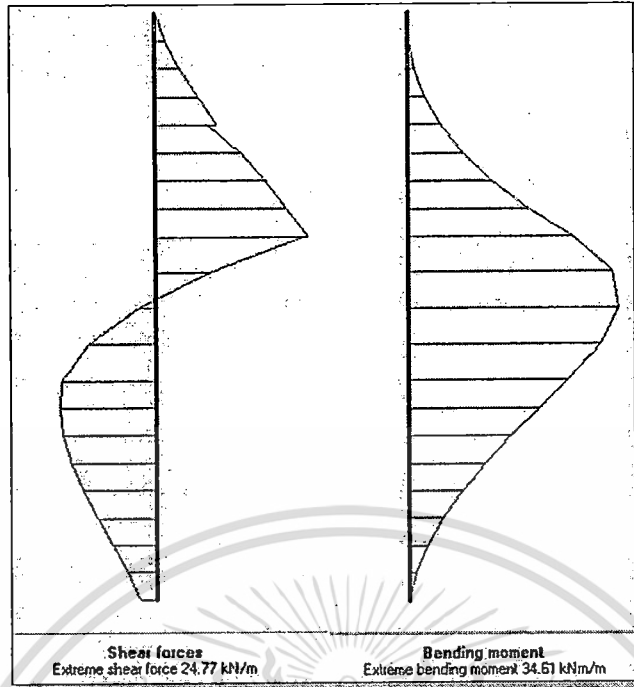


รูปที่ 25 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex13,D4,C16)

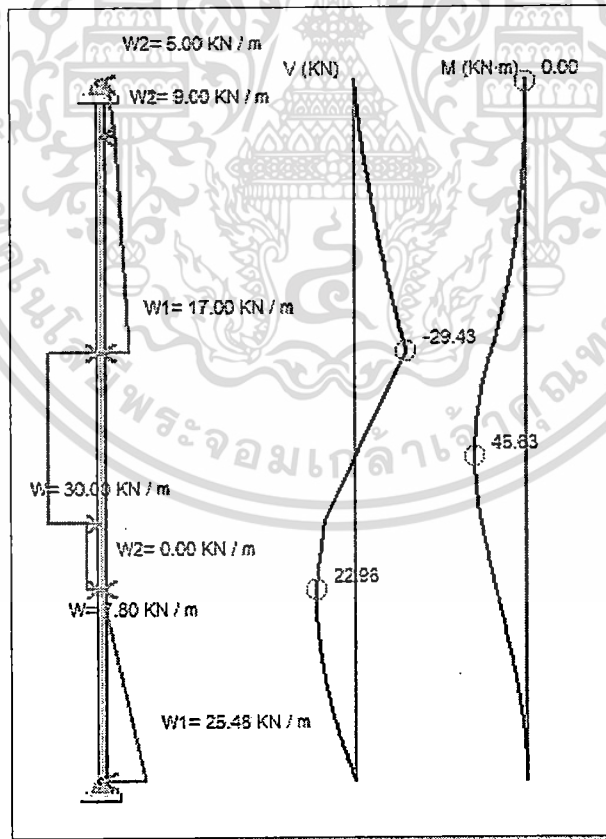


รูปที่ 26 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1

เอกสารนี้เป็นเอกสาร (Ex13,D4,C16) รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

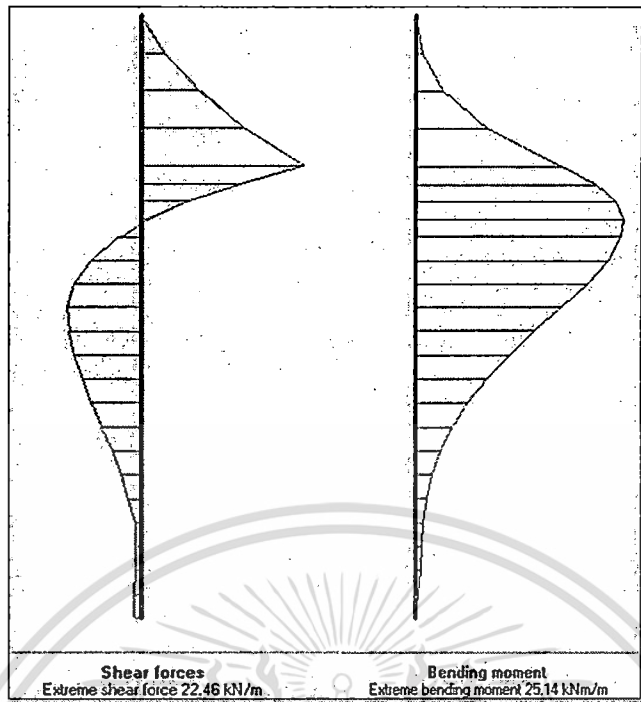


รูปที่ 27 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex14,D4,C16)

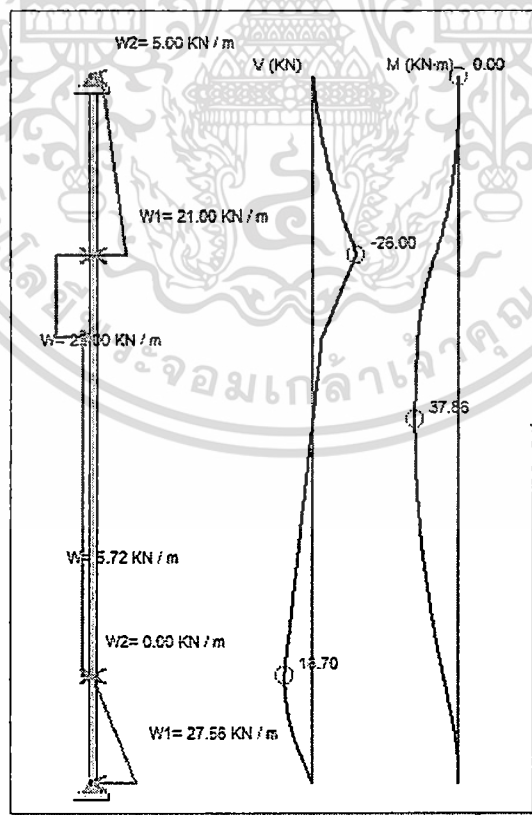


รูปที่ 28 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex14,D4,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

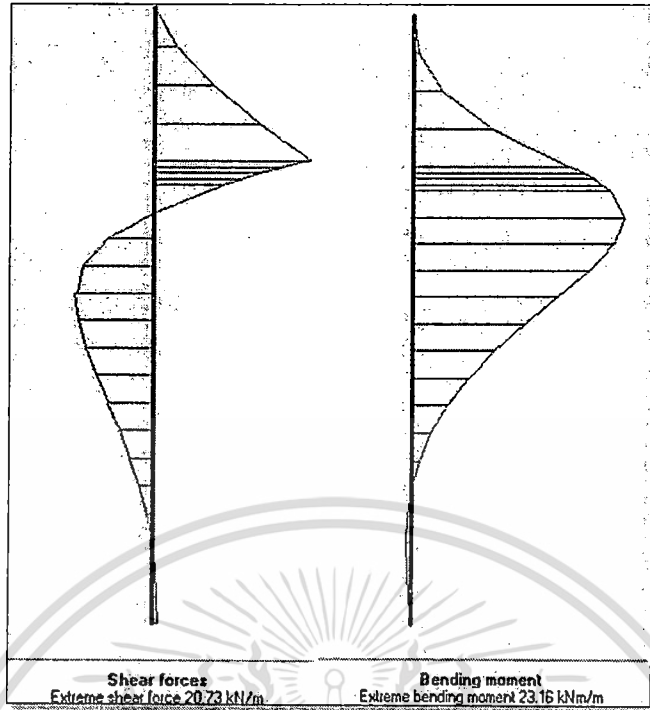


รูปที่ 29 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex15,D6,C16)

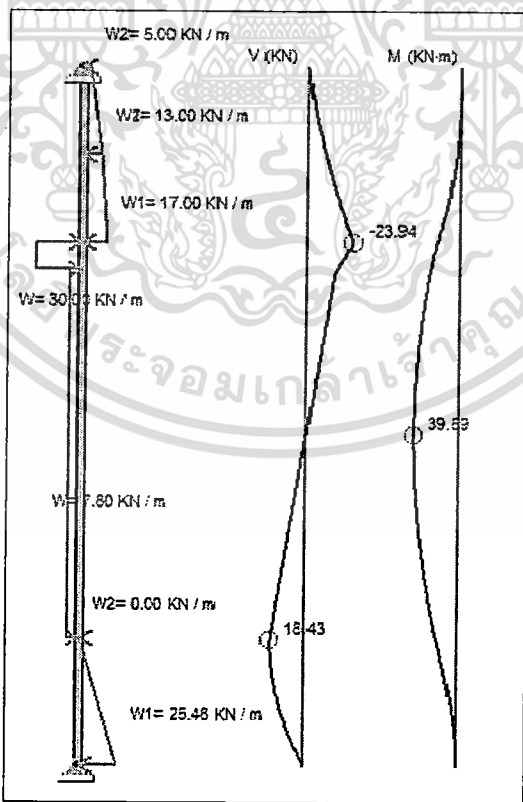


รูปที่ 30 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex15,D6,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

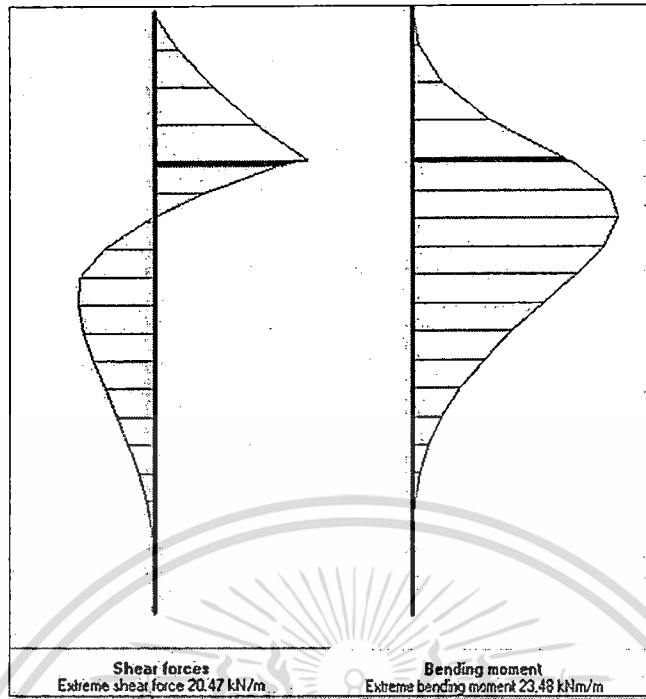


รูปที่ 31 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex16,D6,C16)

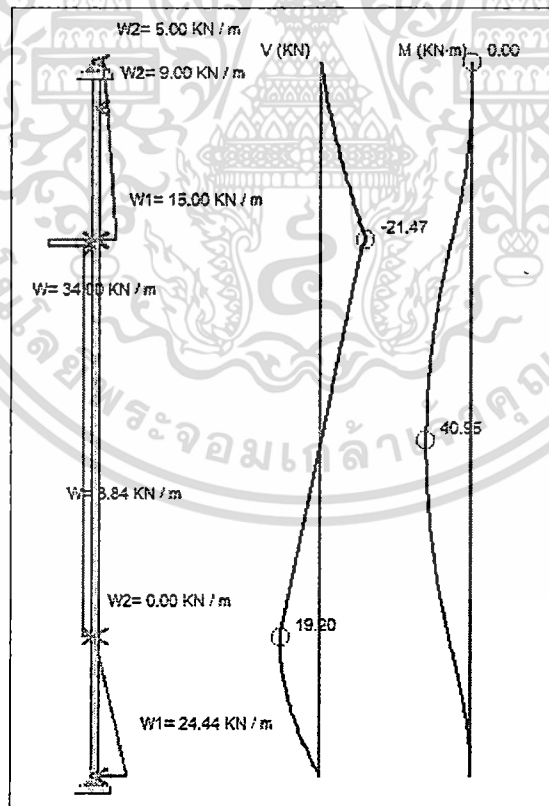


รูปที่ 32 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex16,D6,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

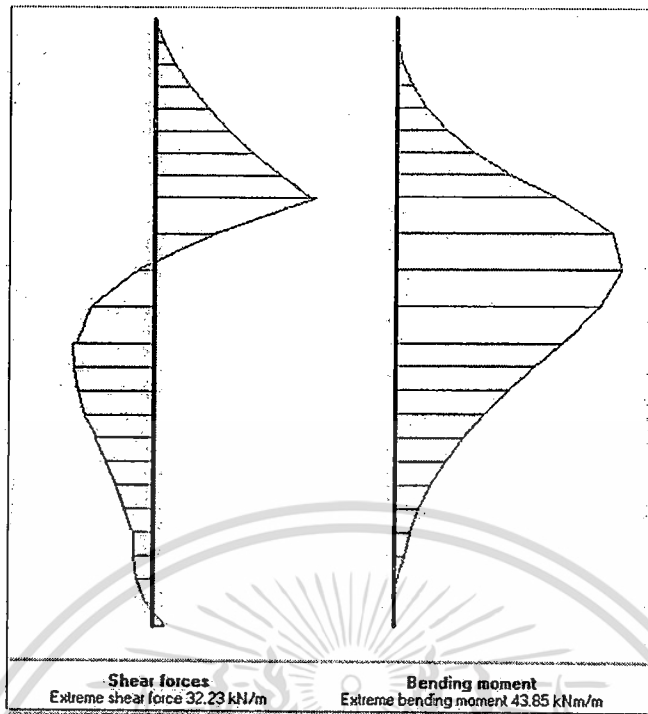


รูปที่ 33 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex17,D6,C16)

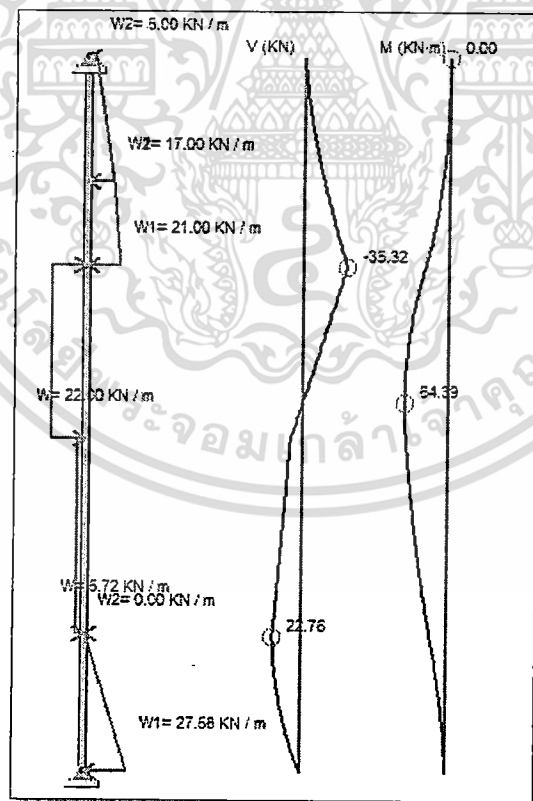


รูปที่ 34 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex17,D6,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

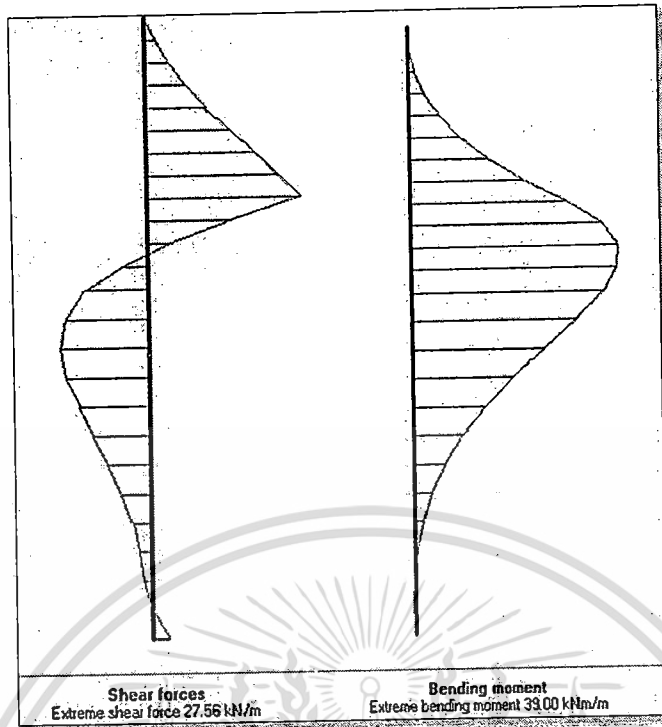


รูปที่ 35 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex18,D6,C16)

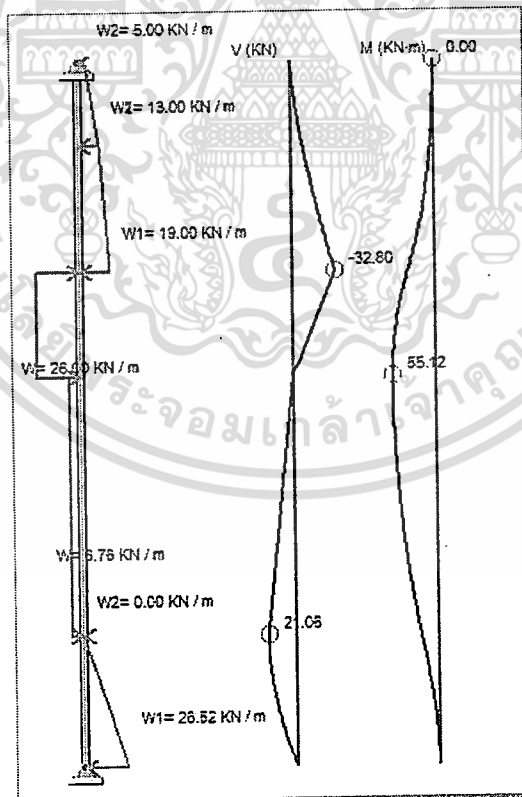


รูปที่ 36 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex18,D6,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

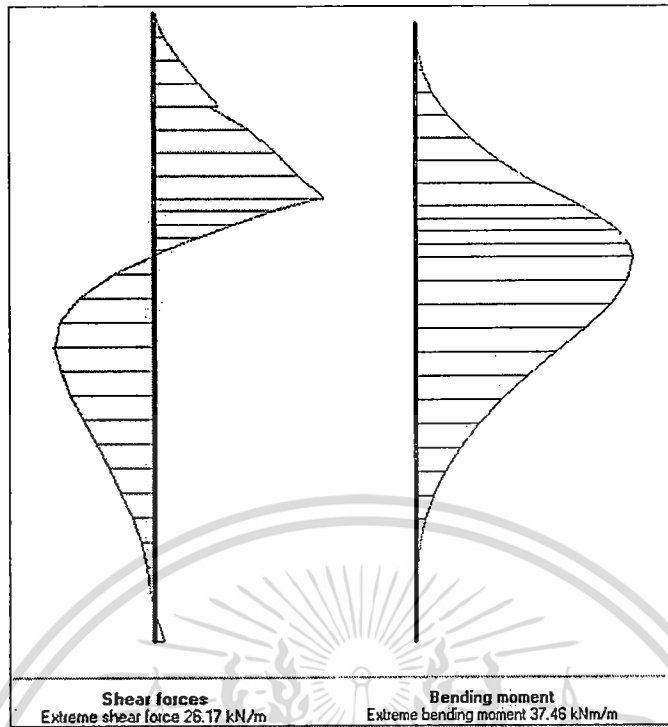


รูปที่ 37 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex19,D6,C16)

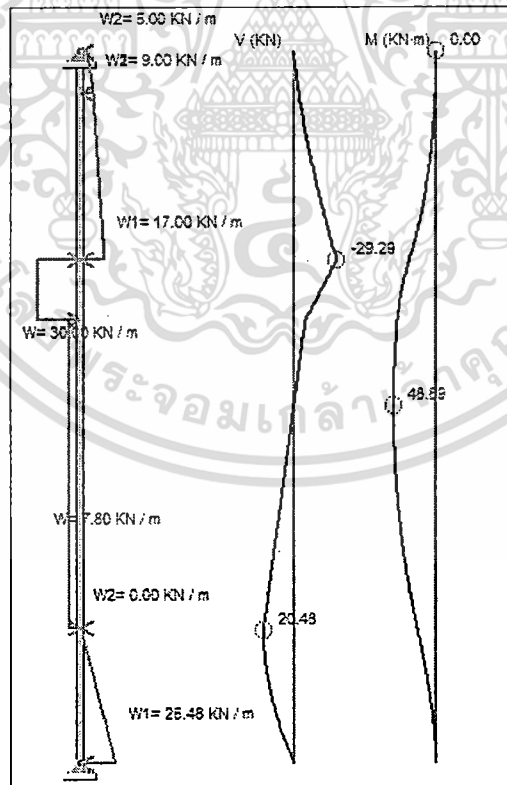


รูปที่ 38 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex19,D6,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

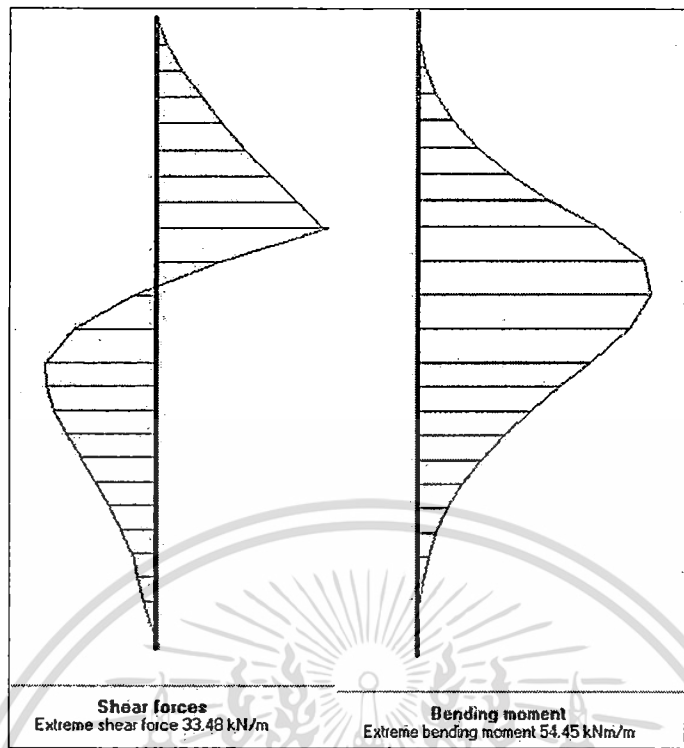


รูปที่ 39 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex20,D6,C16)

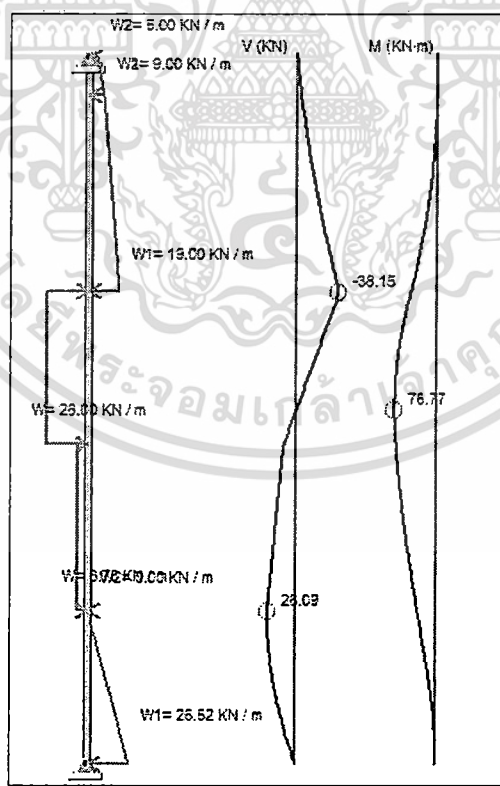


รูปที่ 40 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex20,D6,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

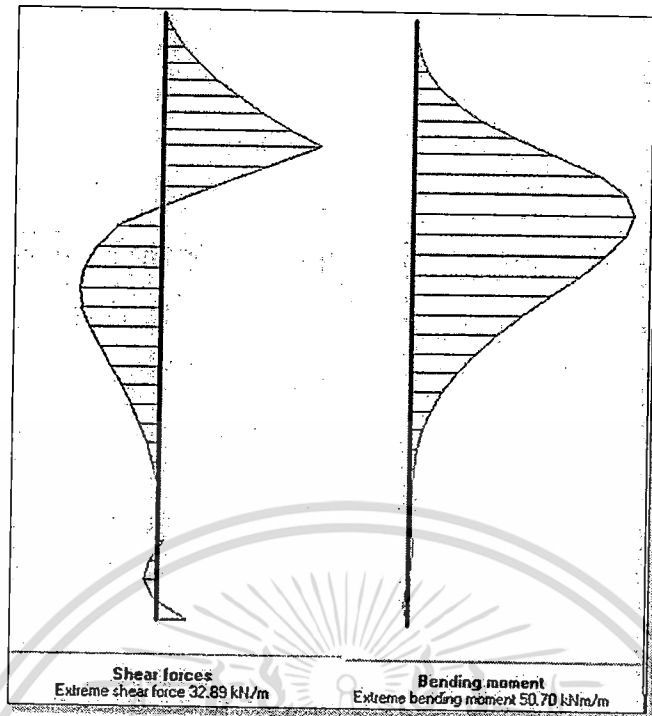


รูปที่ 41 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex21,D6,C16)

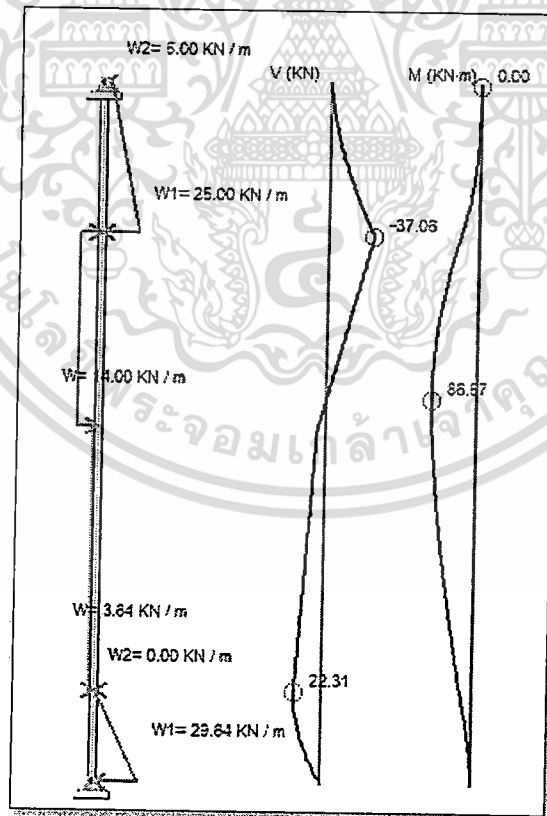


รูปที่ 42 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex21,D6,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

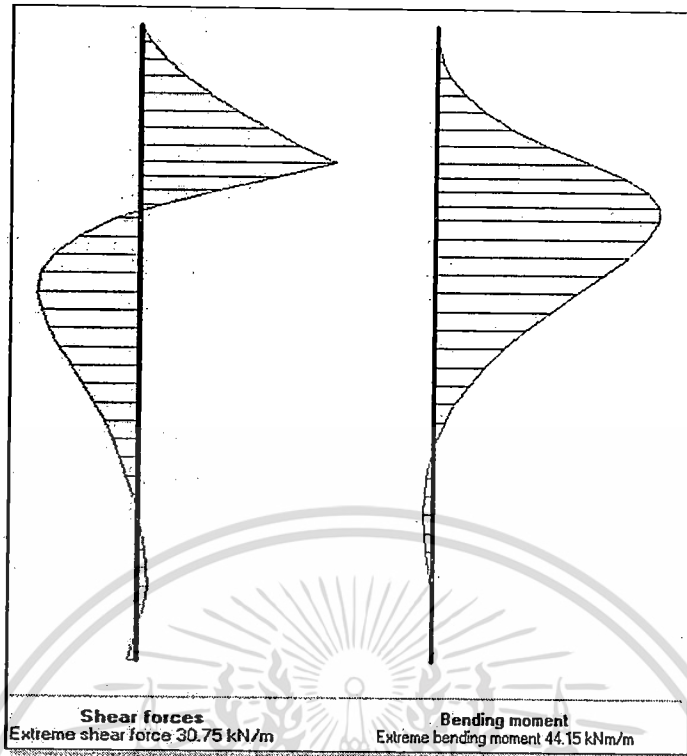


รูปที่ 43 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex22,D9,C16)

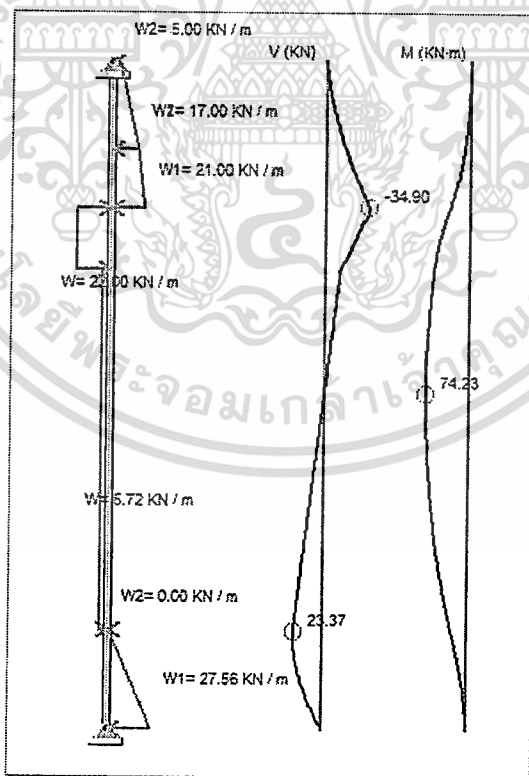


รูปที่ 44 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex22,D9,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

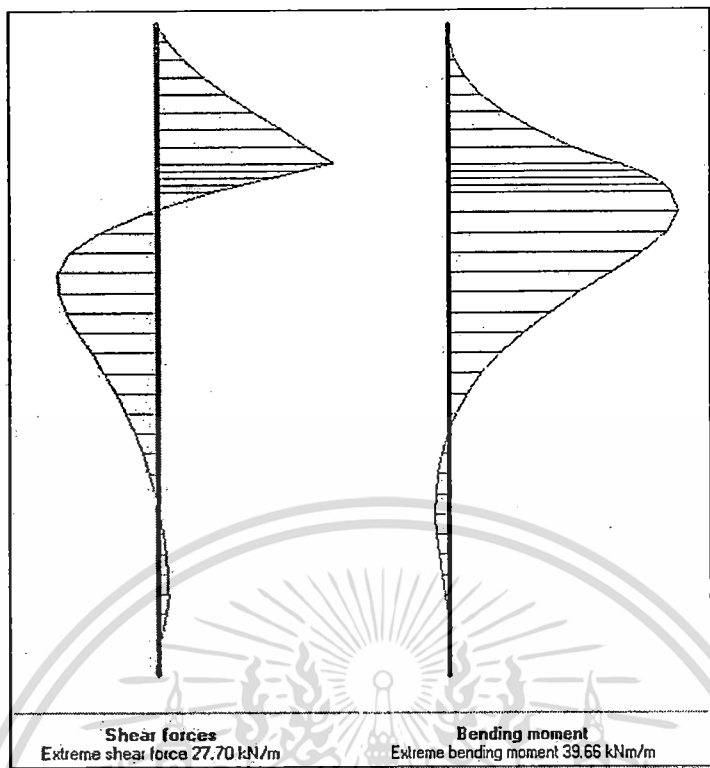


รูปที่ 45 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex23,D9,C16)

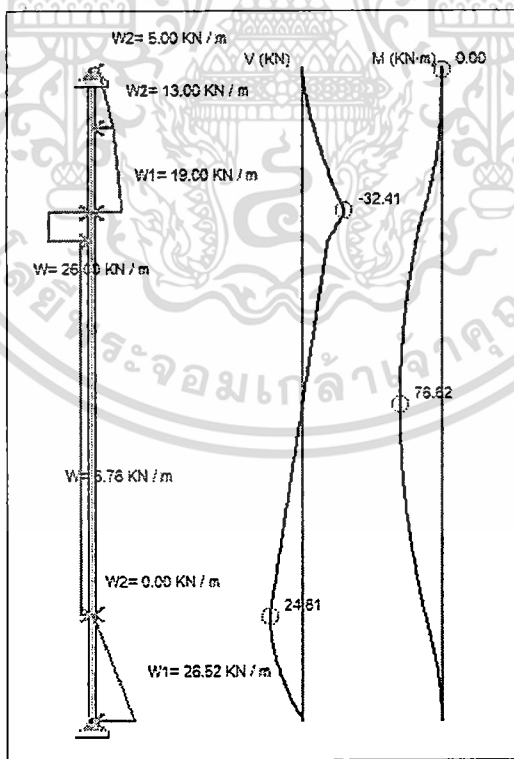


รูปที่ 46 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex23,D9,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

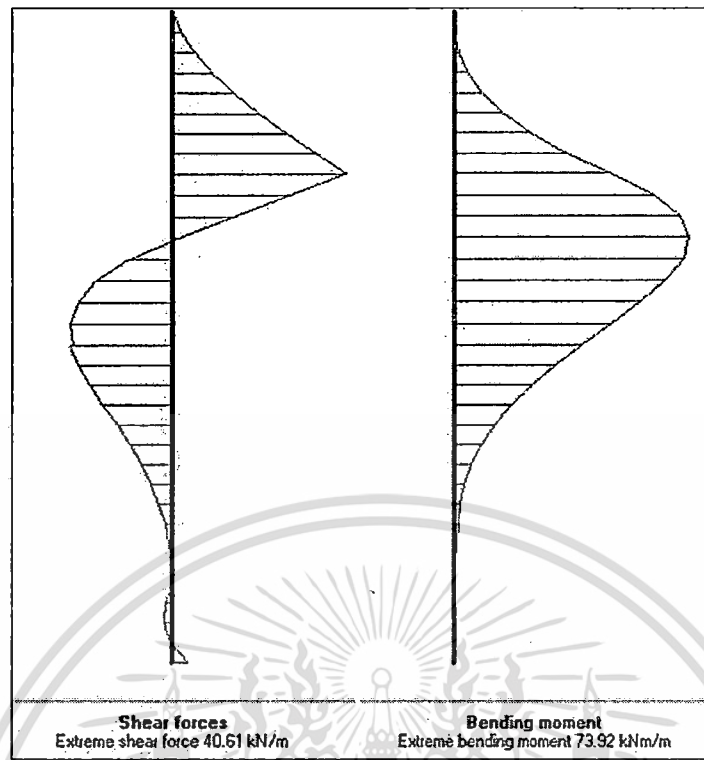


รูปที่ 47 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex24,D9,C16)

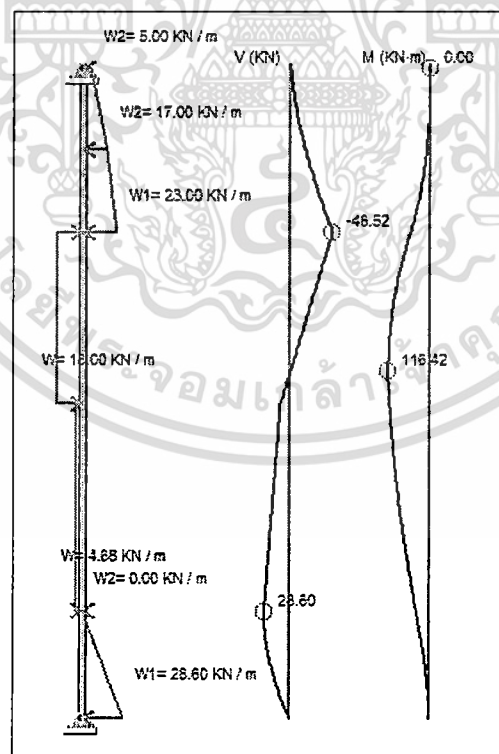


รูปที่ 48 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex24,D9,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

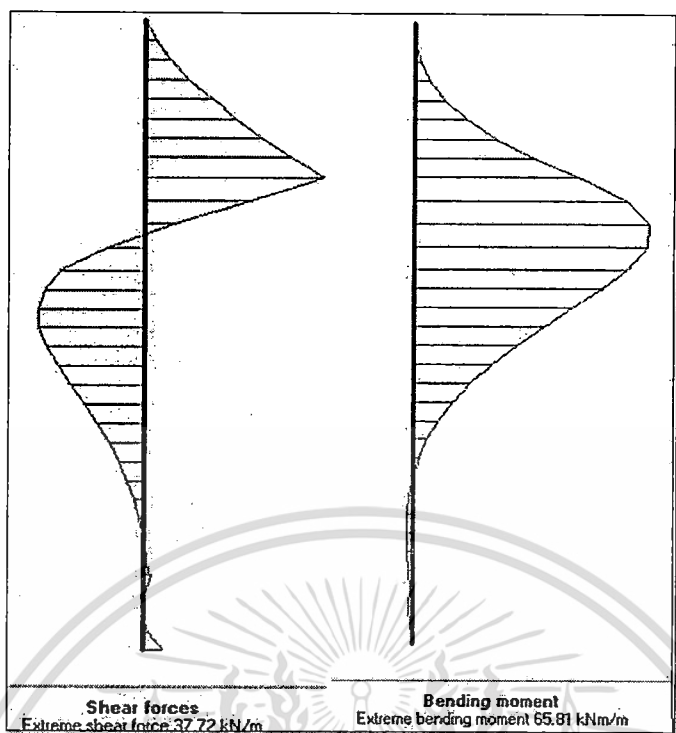


รูปที่ 49 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex25,D9,C16)

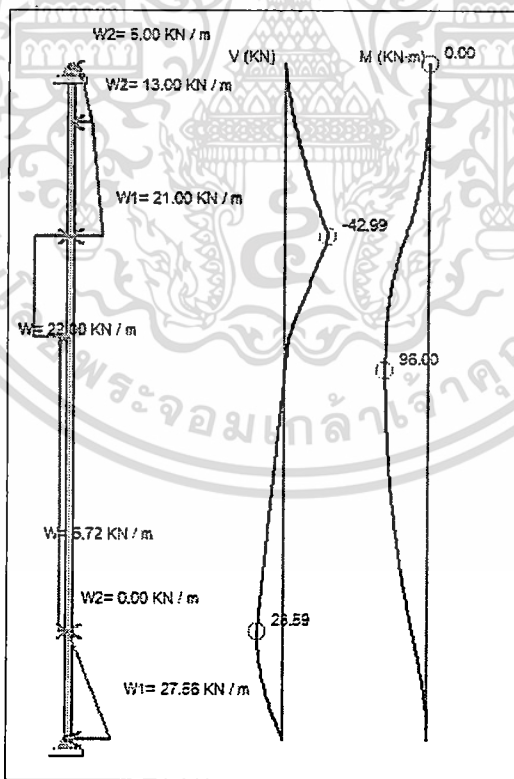


รูปที่ 50 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex25,D9,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

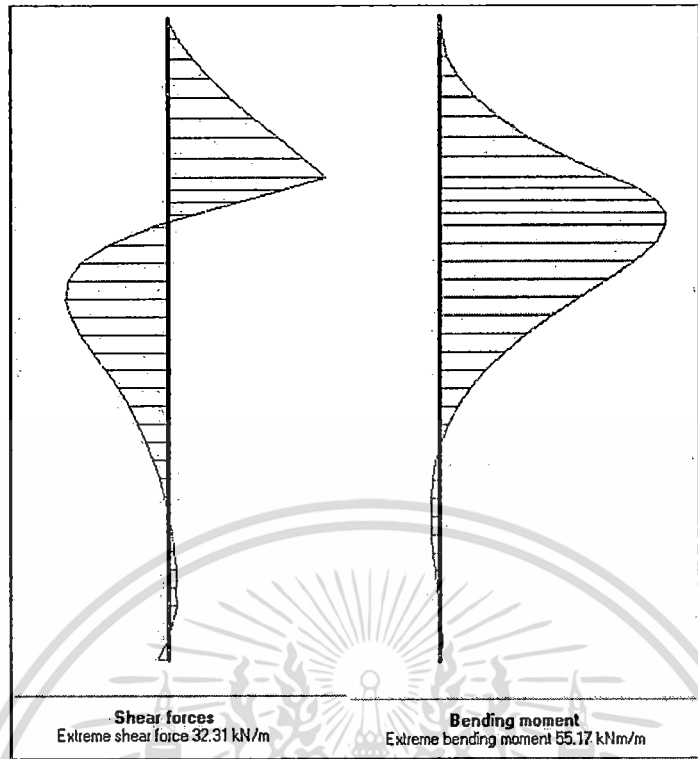


รูปที่ 51 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex26,D9,C16)

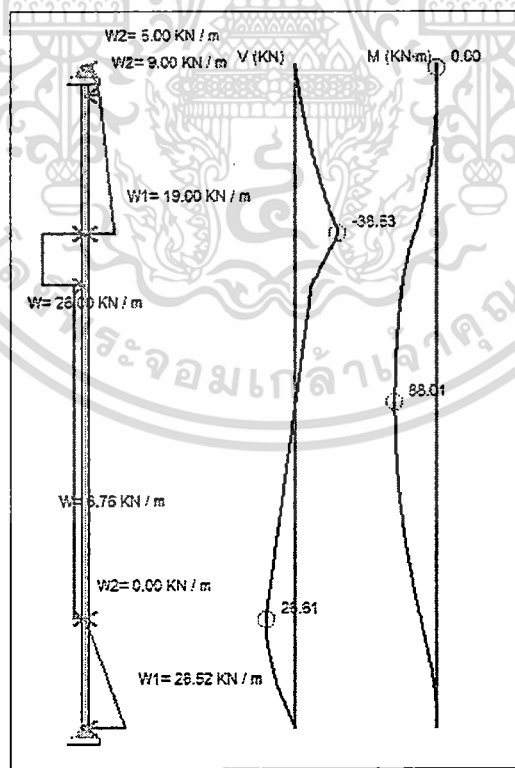


รูปที่ 52 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex26,D9,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

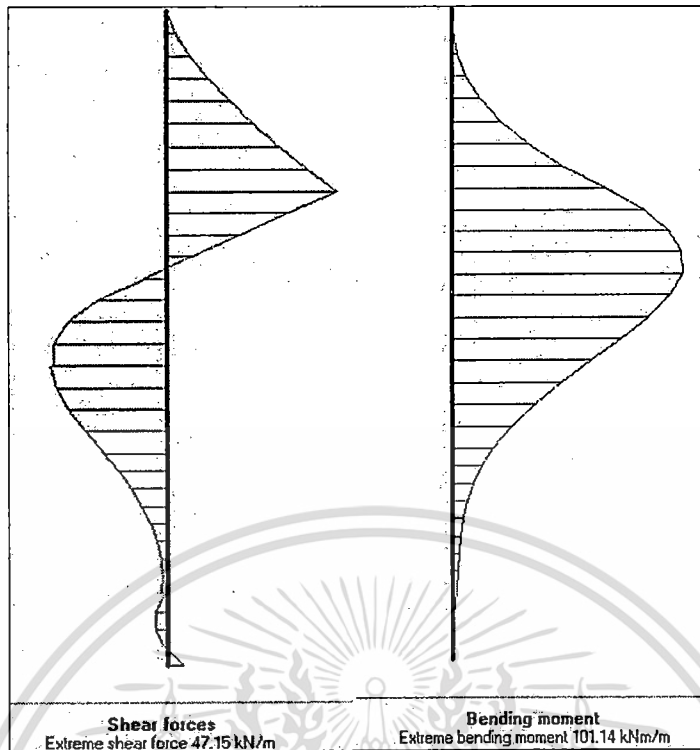


รูปที่ 53 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex27,D9,C16)

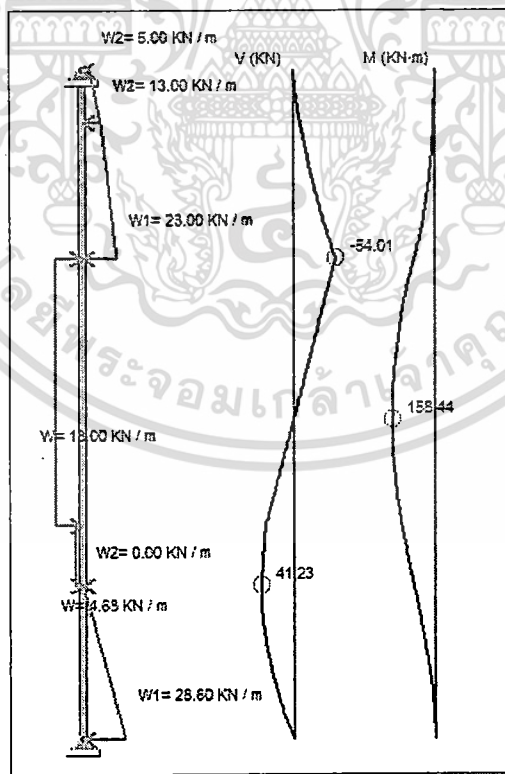


รูปที่ 54 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex27,D9,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

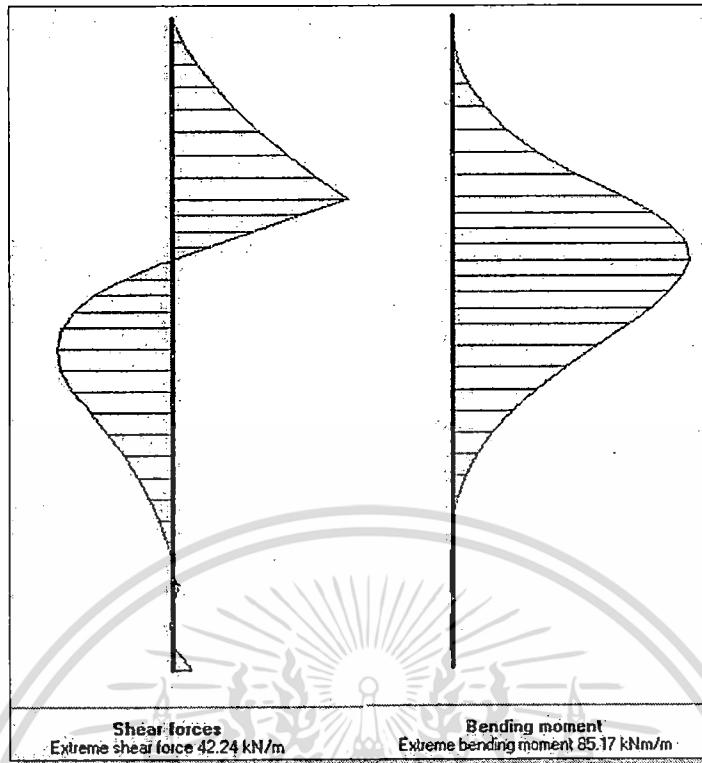


รูปที่ 55 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex28,D9,C16)

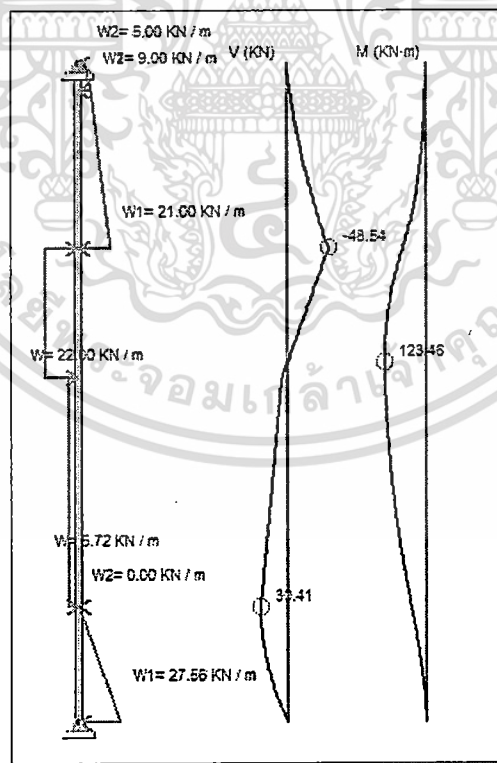


รูปที่ 56 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex28,D9,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

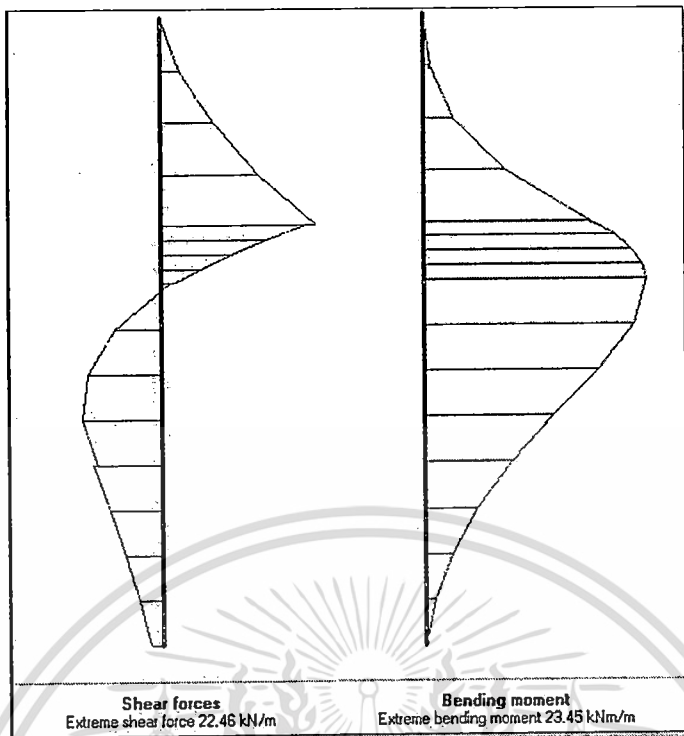


รูปที่ 57 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex29,D9,C16)

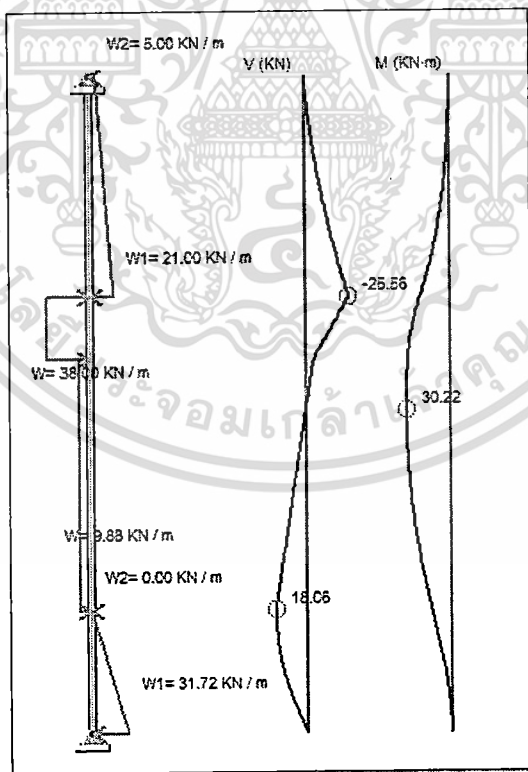


รูปที่ 58 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex29,D9,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

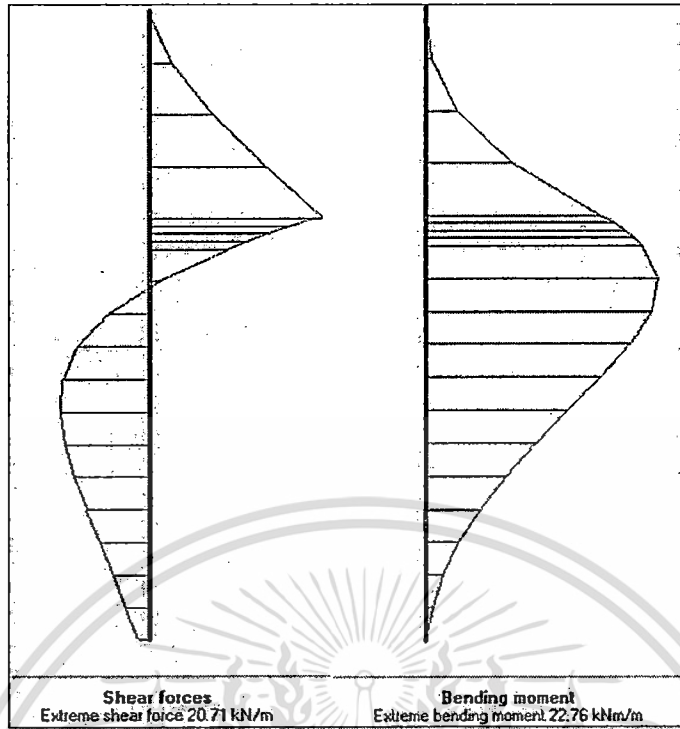


รูปที่ 59 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex30,D4,C20)

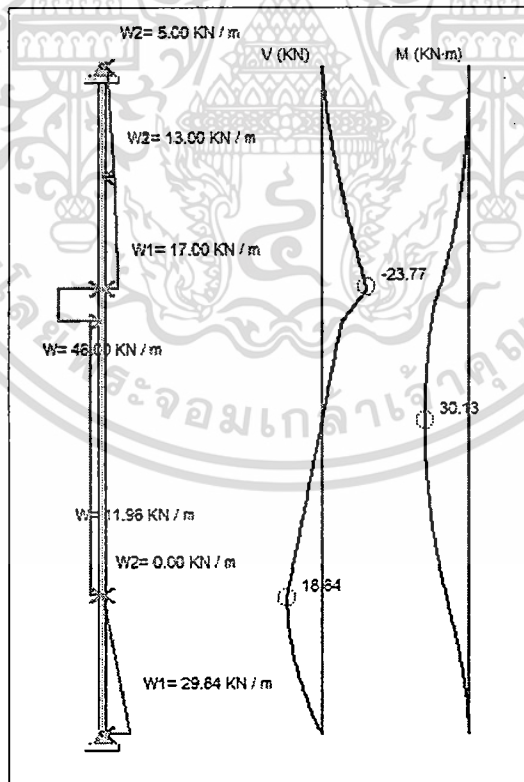


รูปที่ 60 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex30,D4,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

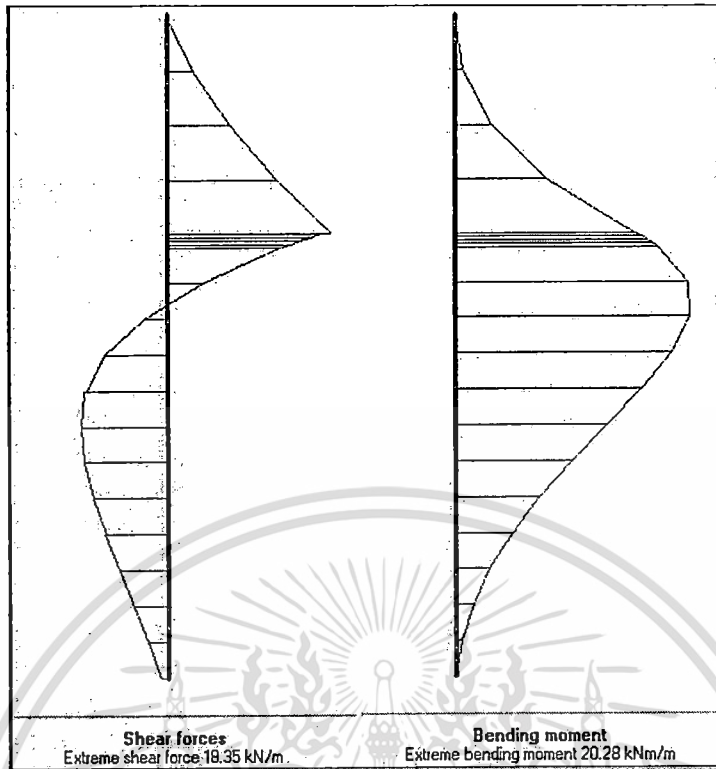


รูปที่ 61 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex31,D4,C20)

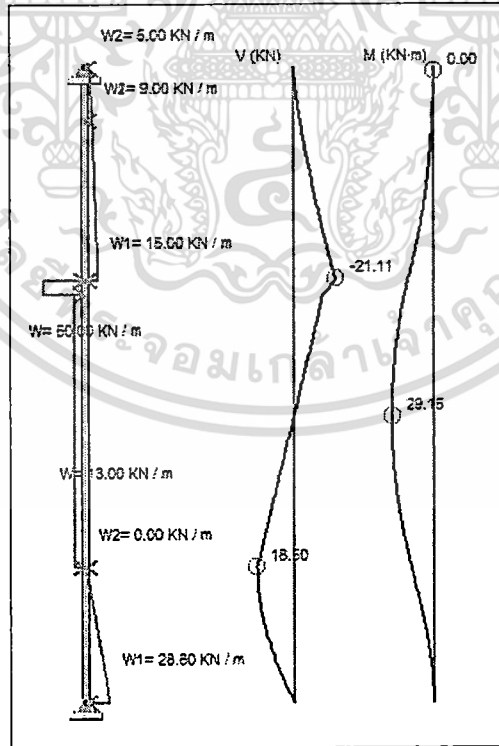


รูปที่ 62 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex31,D4,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

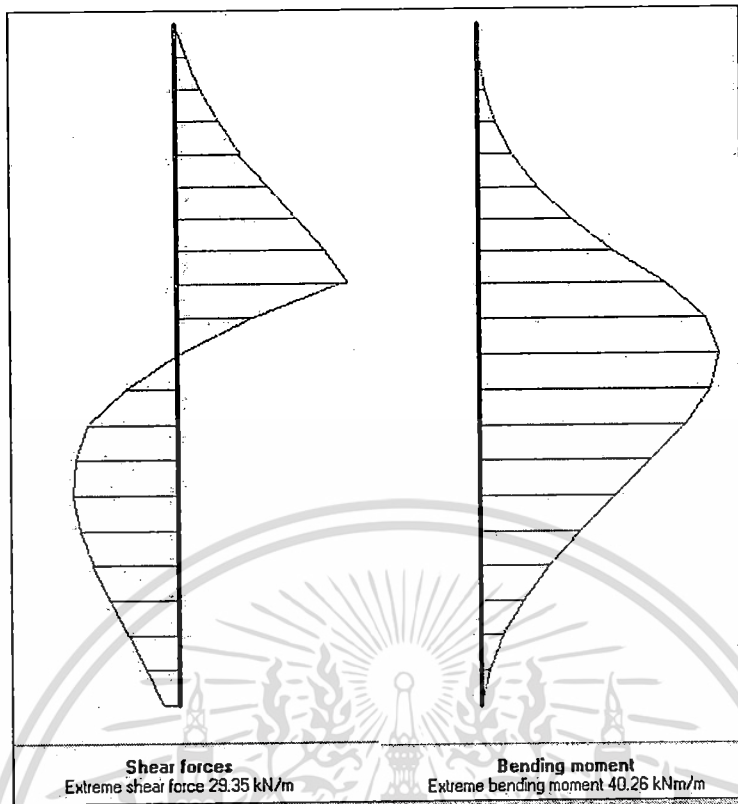


รูปที่ 63 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex32,D4,C20)

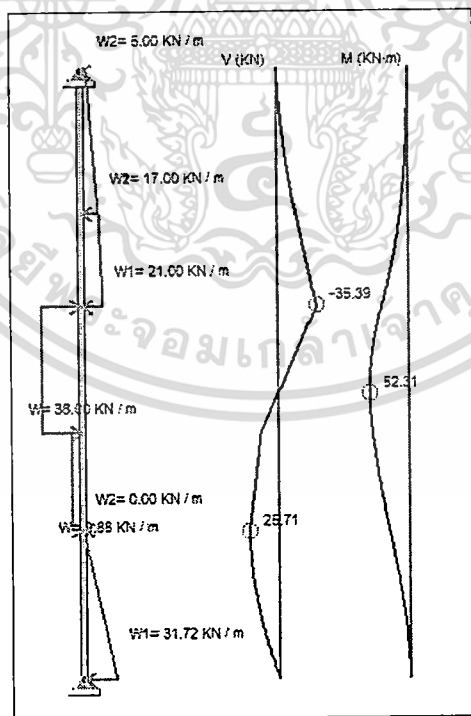


รูปที่ 64 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex32,D4,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

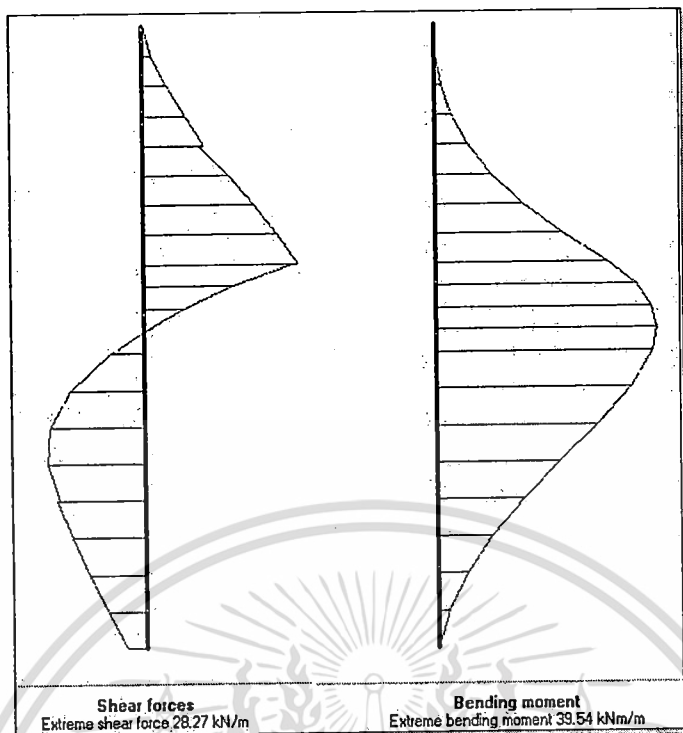


รูปที่ 65 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex33,D4,C20)

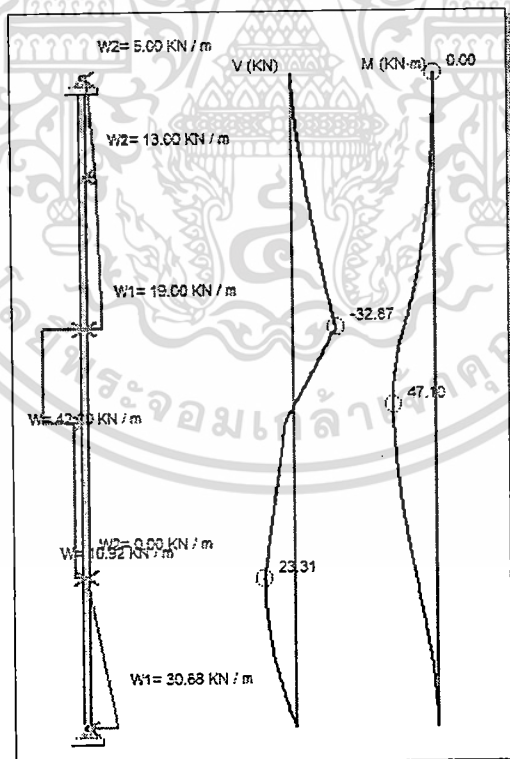


รูปที่ 66 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex33,D4,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

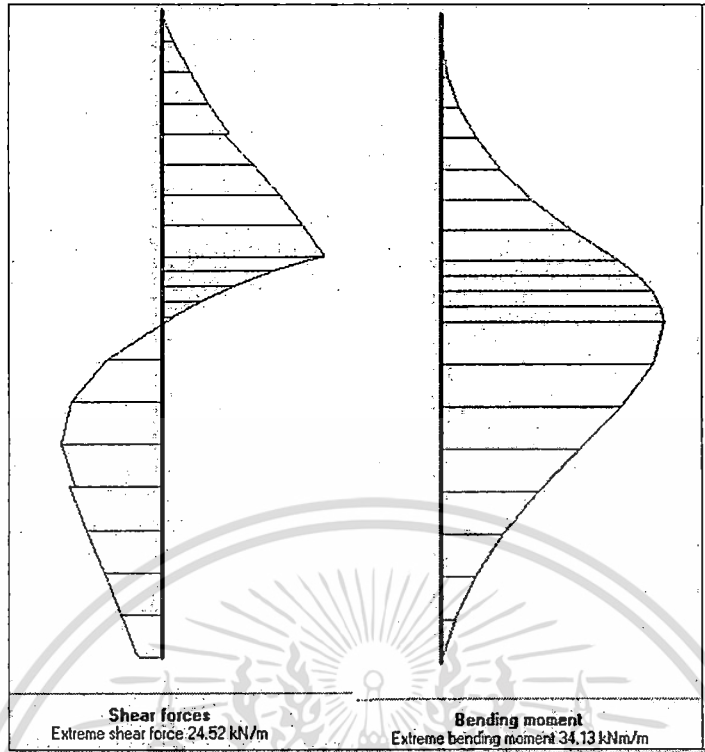


รูปที่ 67 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex34,D4,C20)

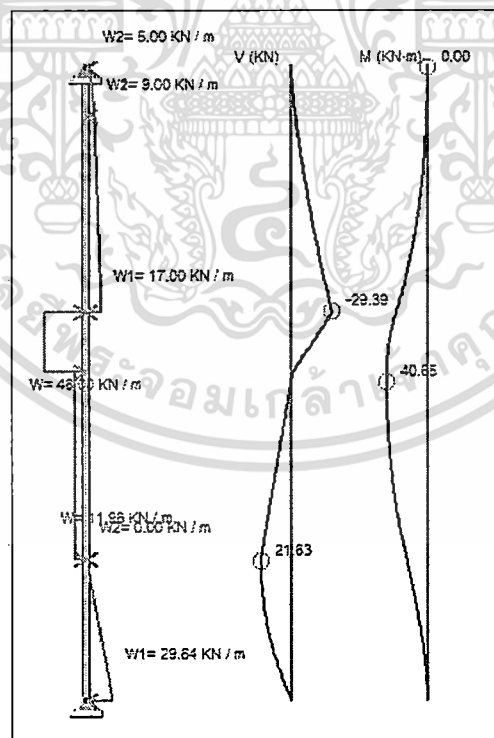


รูปที่ 68 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex34,D4,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

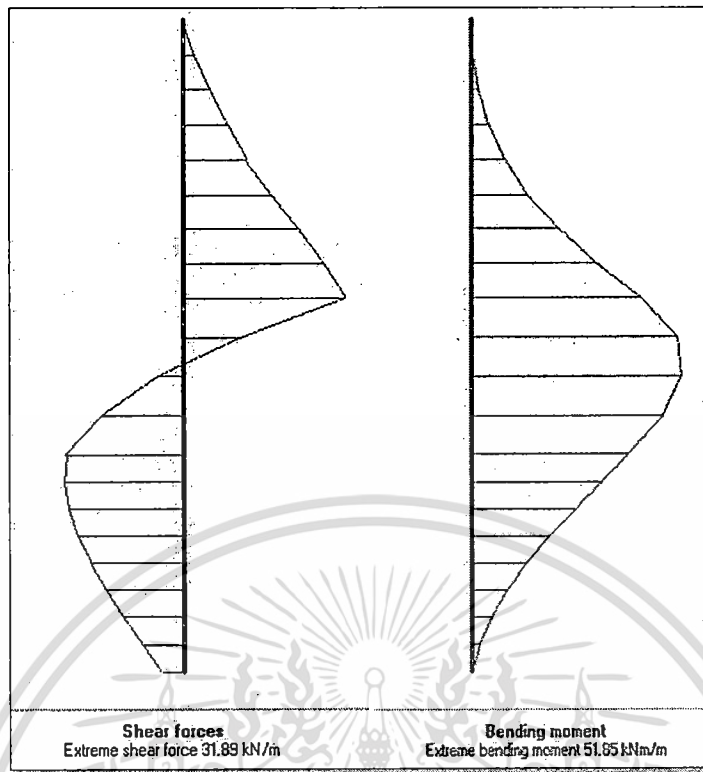


รูปที่ 69 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex35,D4,C20)

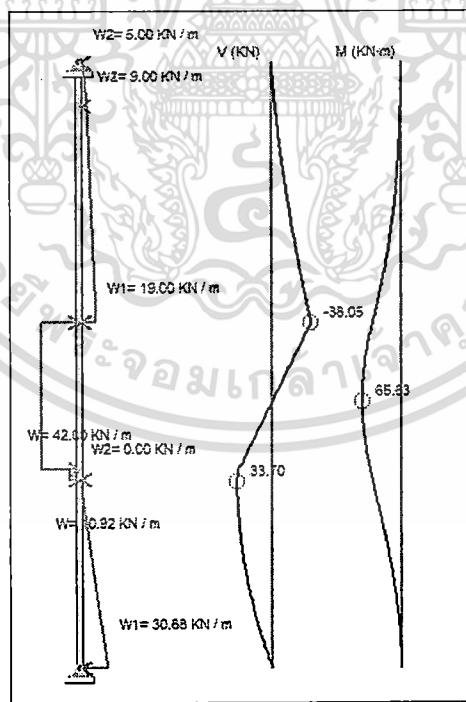


รูปที่ 70 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex35,D4,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

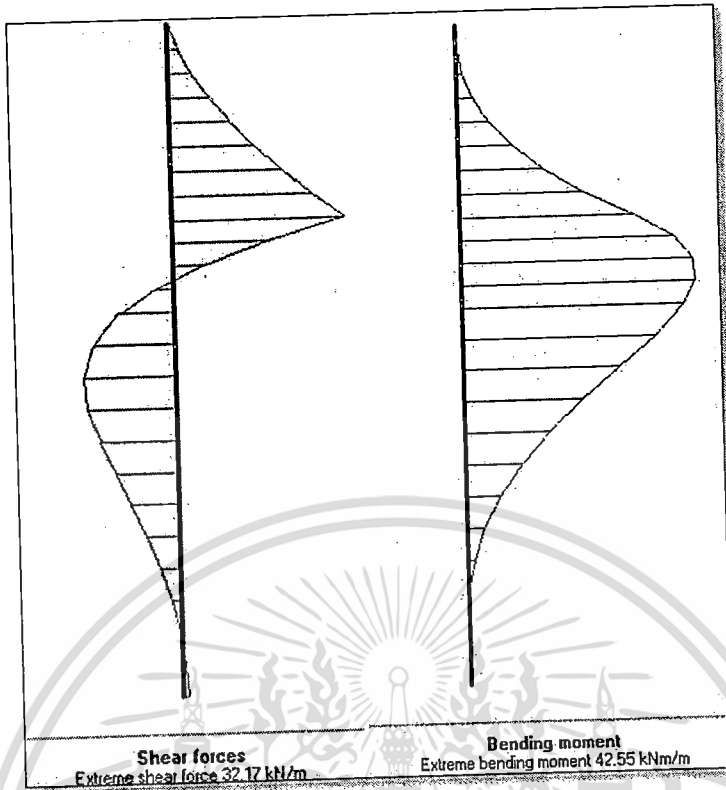


รูปที่ 71 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex36,D4,C20)

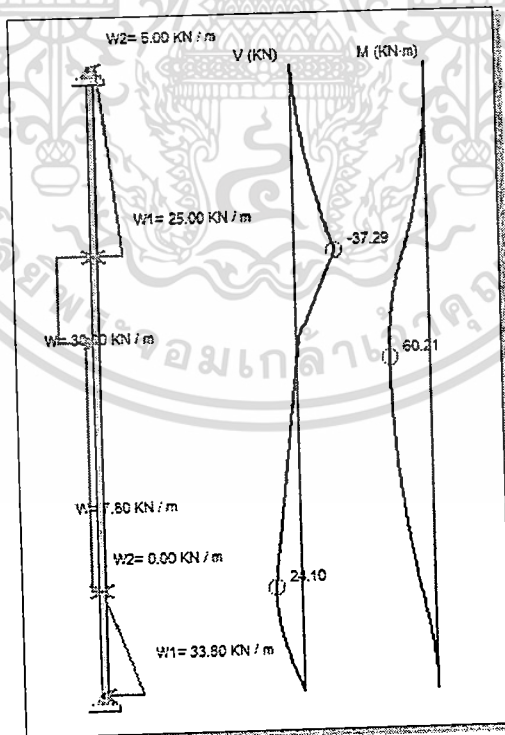


รูปที่ 72 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex36,D4,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

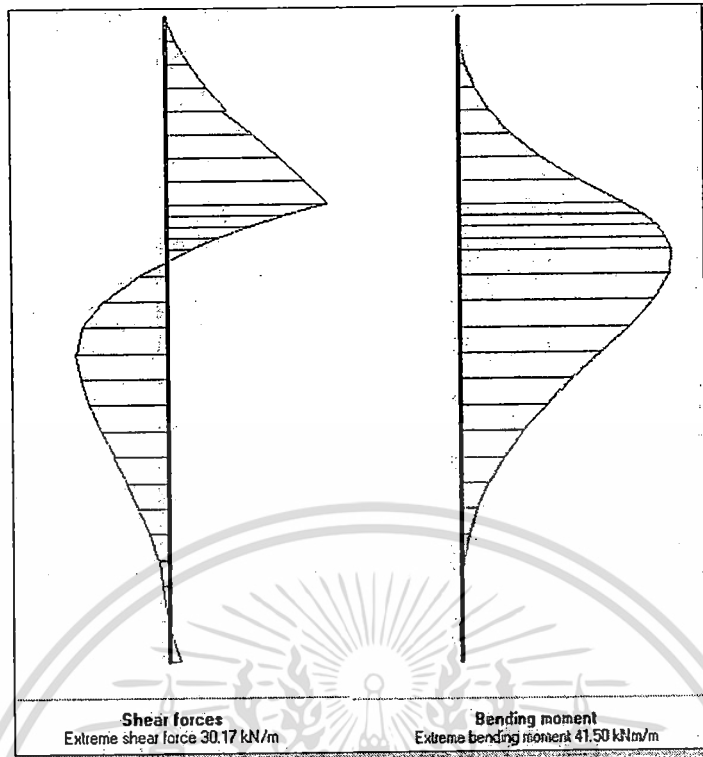


รูปที่ 73 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex37,D6,C20)

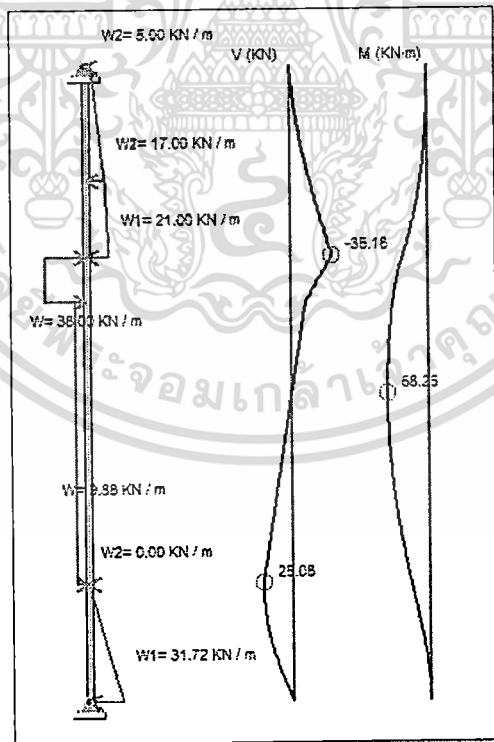


รูปที่ 74 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex37,D6,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

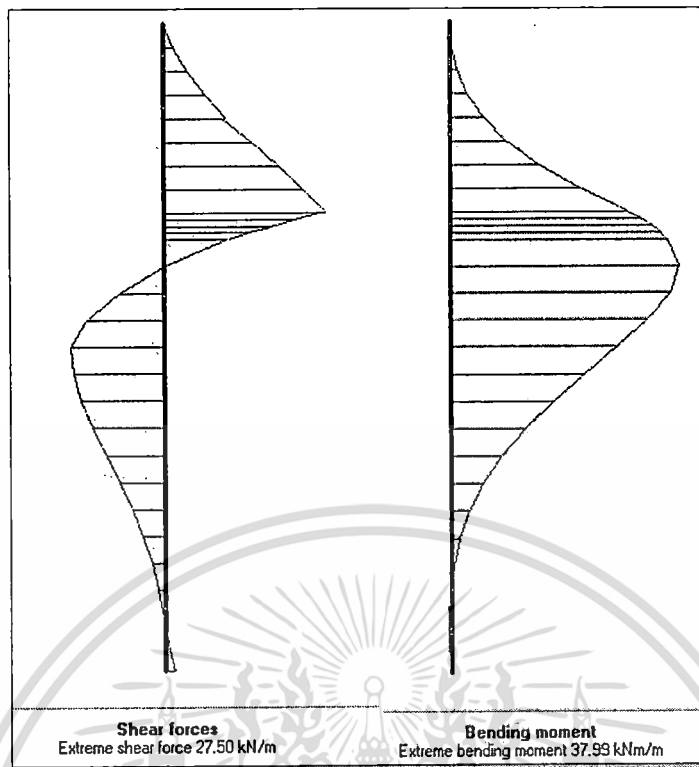


รูปที่ 75 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex38,D6,C20)

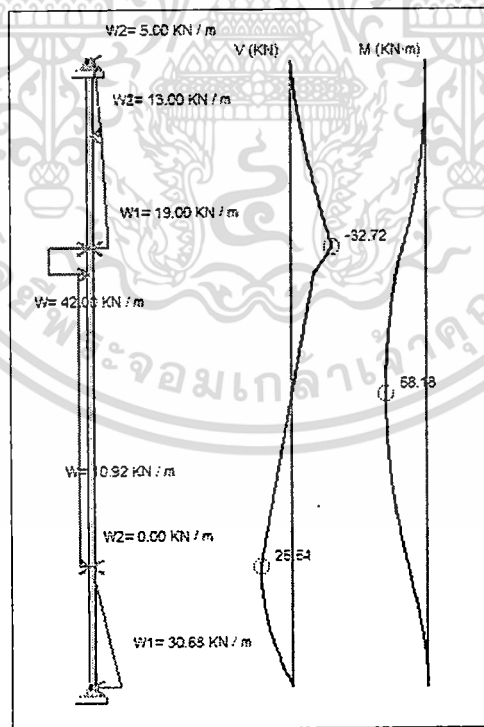


รูปที่ 76 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex38,D6,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

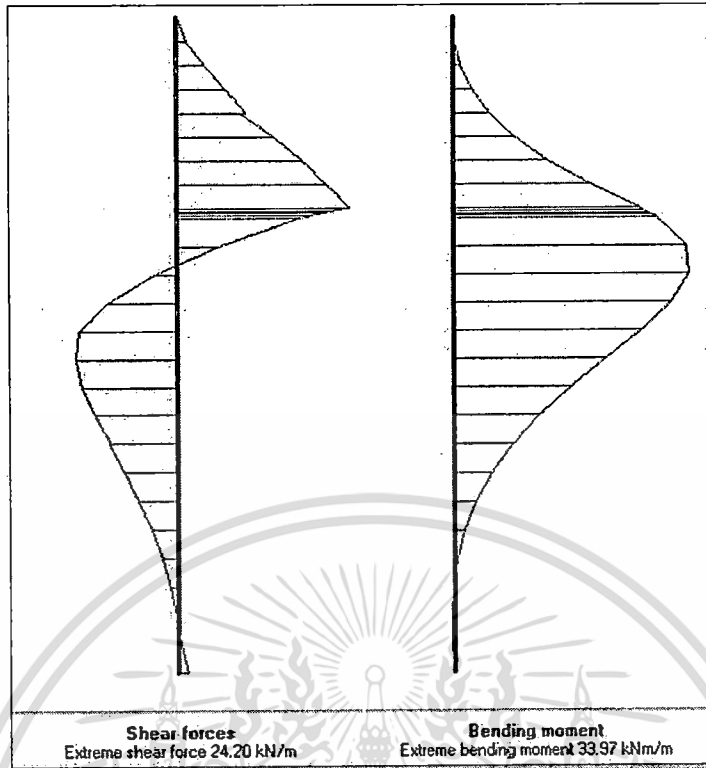


รูปที่ 77 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex39,D6,C20)

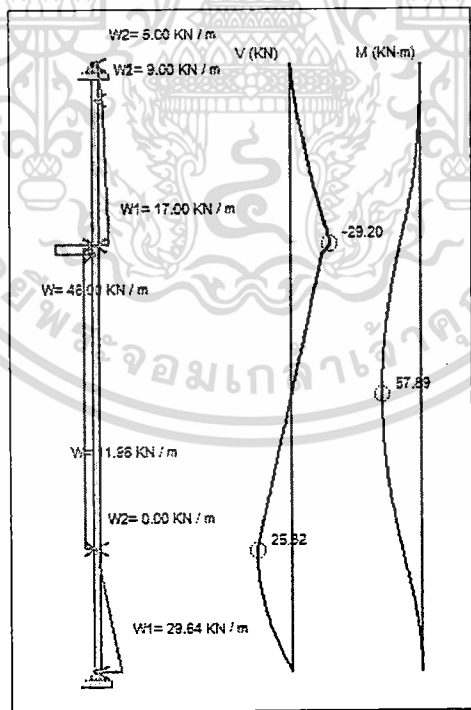


รูปที่ 78 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex39,D6,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

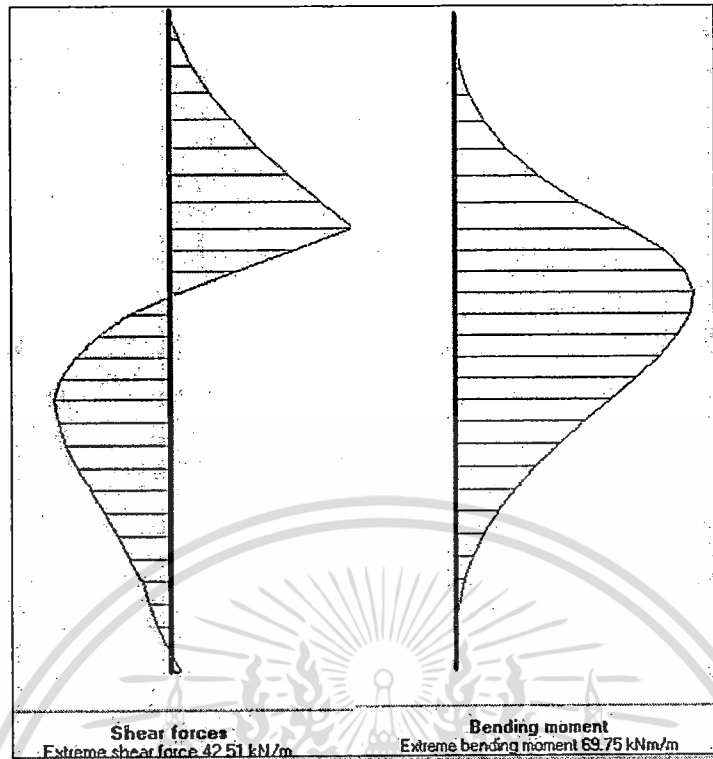


รูปที่ 79 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex40,D6,C20)

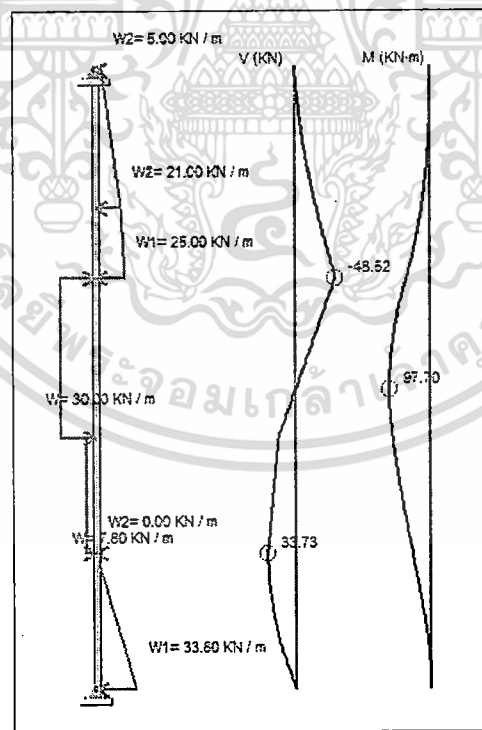


รูปที่ 80 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex40,D6,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

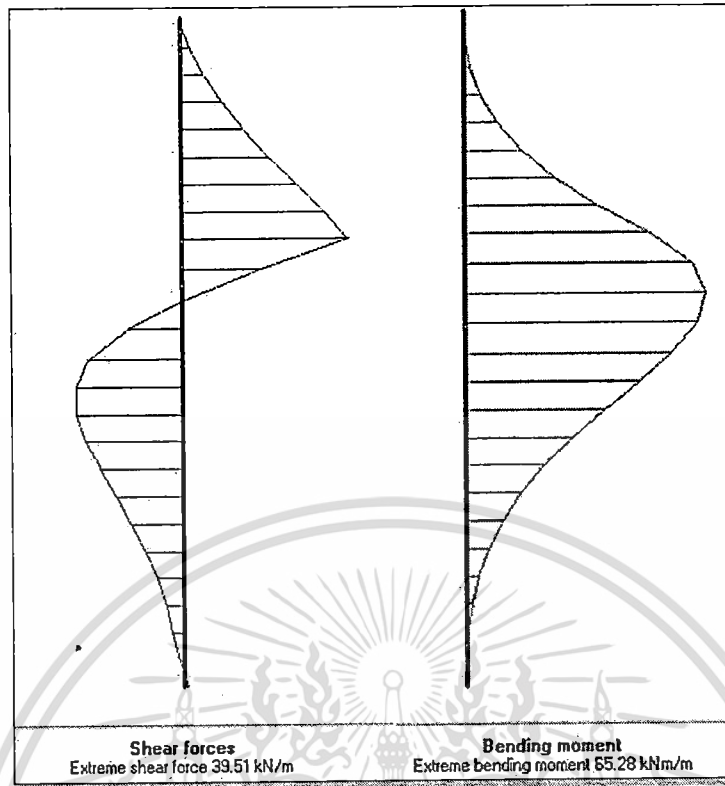


รูปที่ 81 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex41,D6,C20)

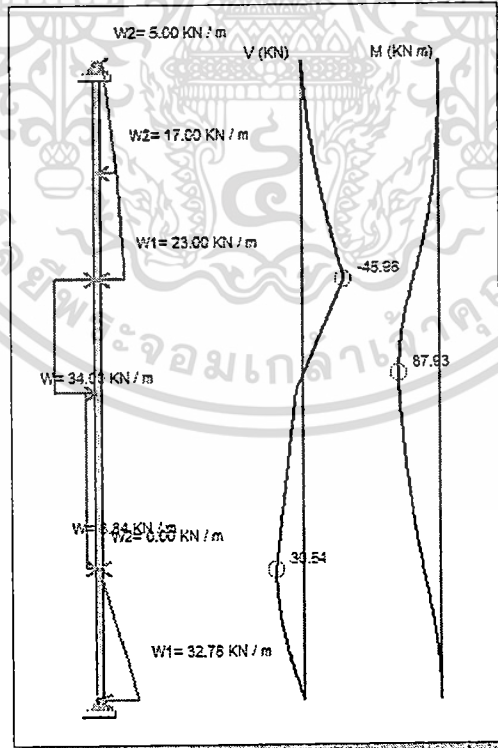


รูปที่ 82 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex41,D6,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

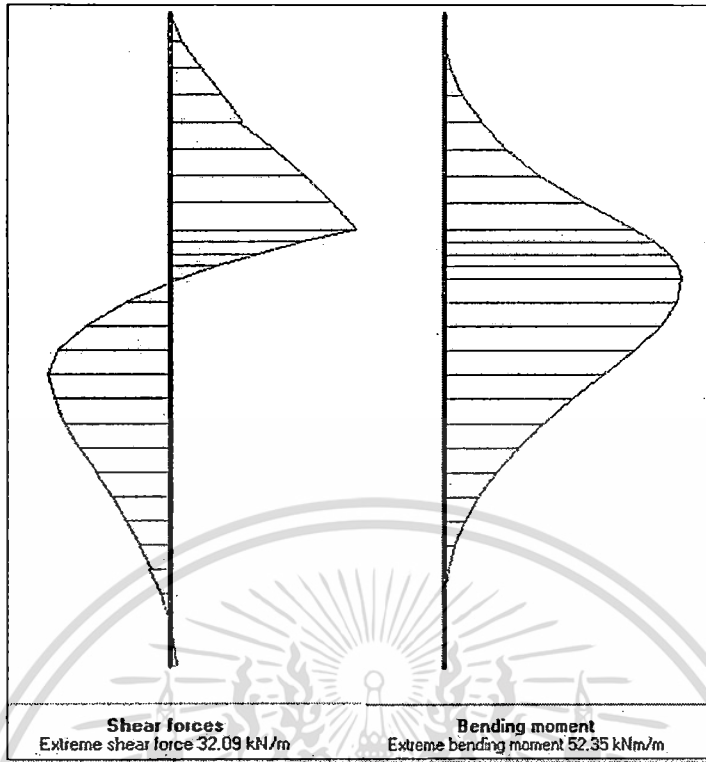


รูปที่ 83 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex42,D6,C20)

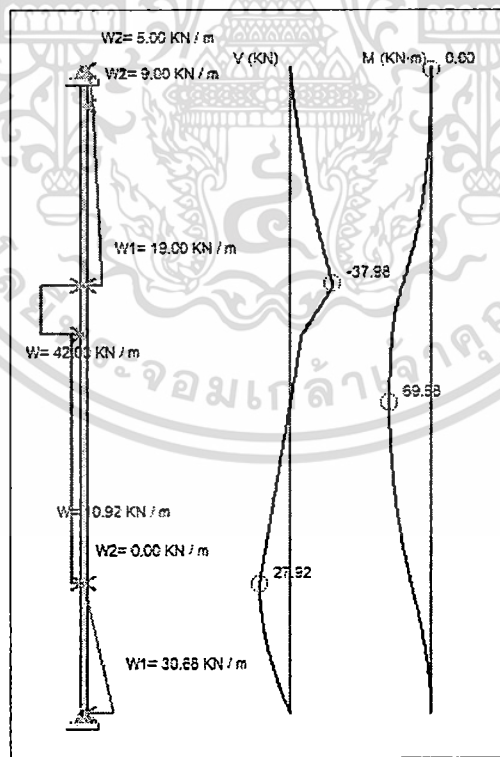


รูปที่ 84 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex42,D6,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

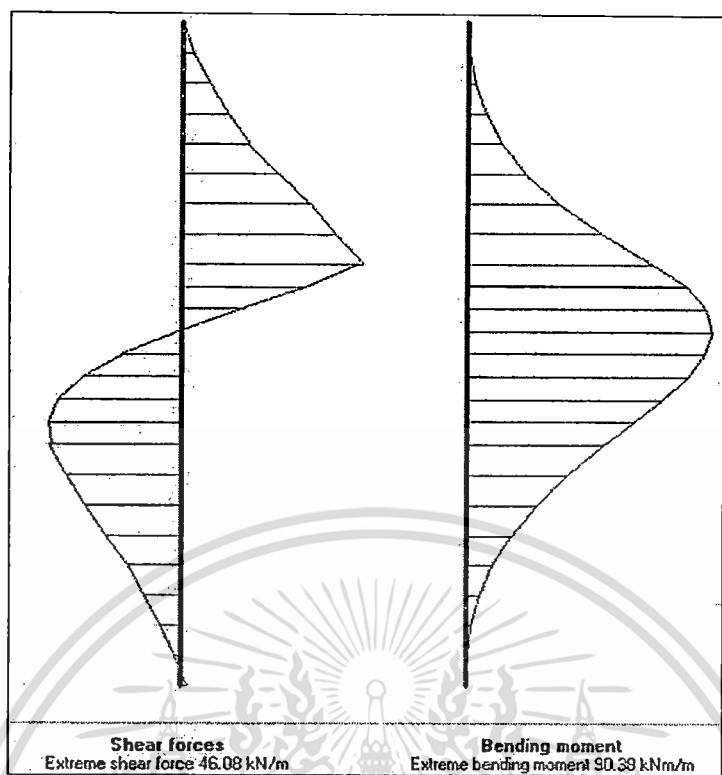


รูปที่ 85 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex43,D6,C20)

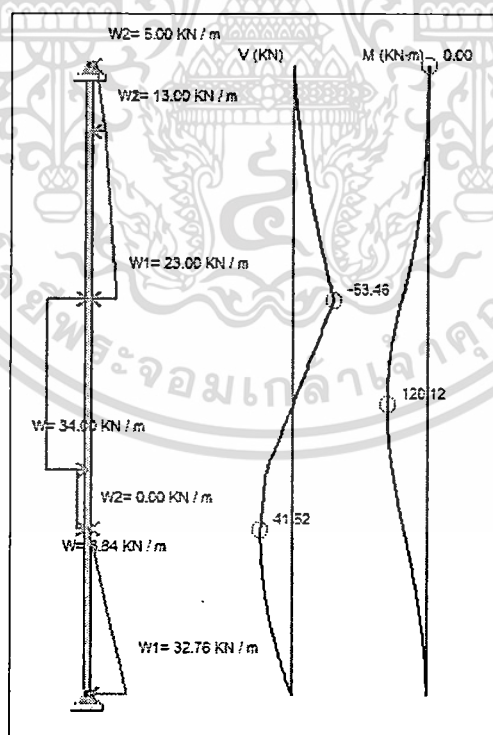


รูปที่ 86 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex43,D6,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

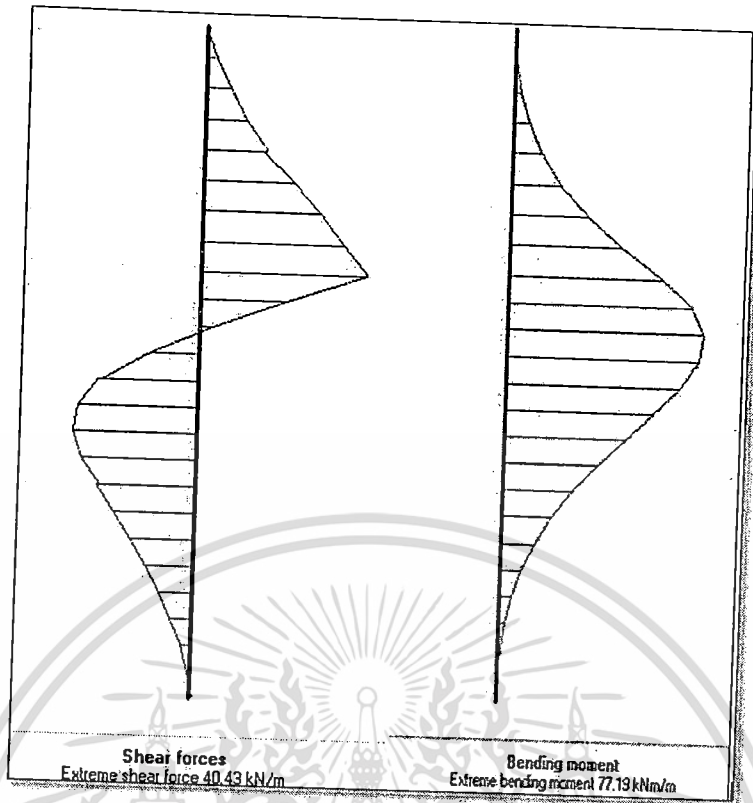


รูปที่ 87 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex44,D6,C20)

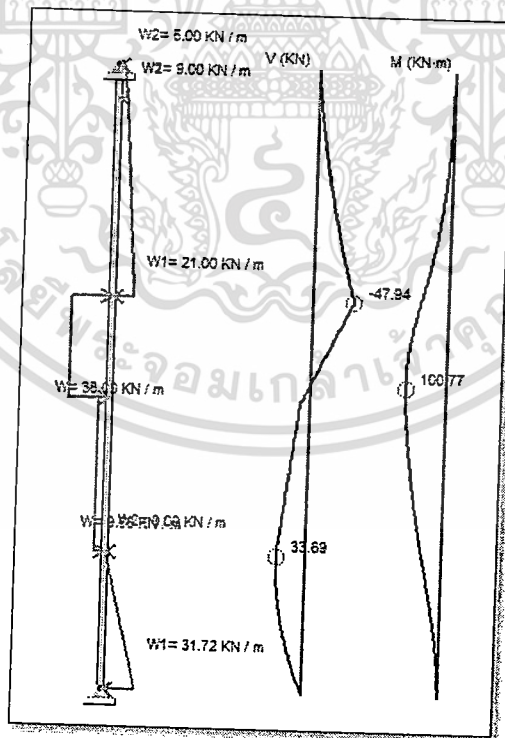


รูปที่ 88 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex44,D6,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

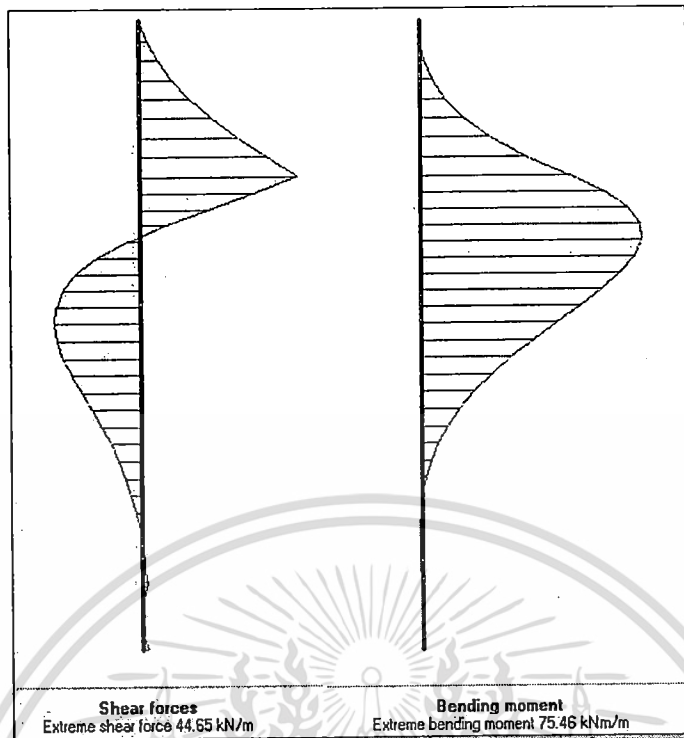


รูปที่ 89 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex45,D6,C20)

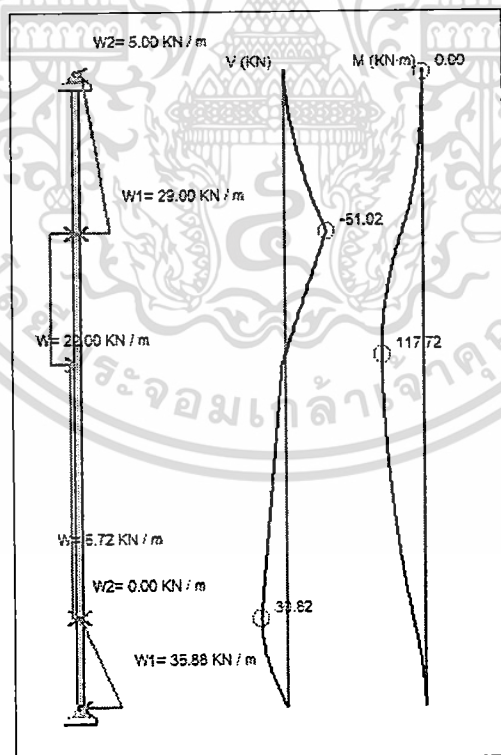


รูปที่ 90 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex45,D6,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

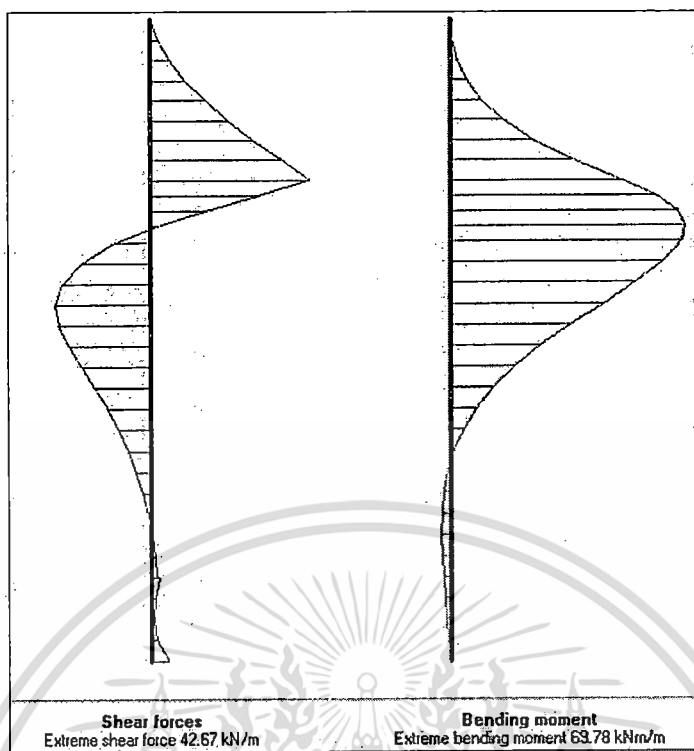


รูปที่ 91 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex46,D9,C20)

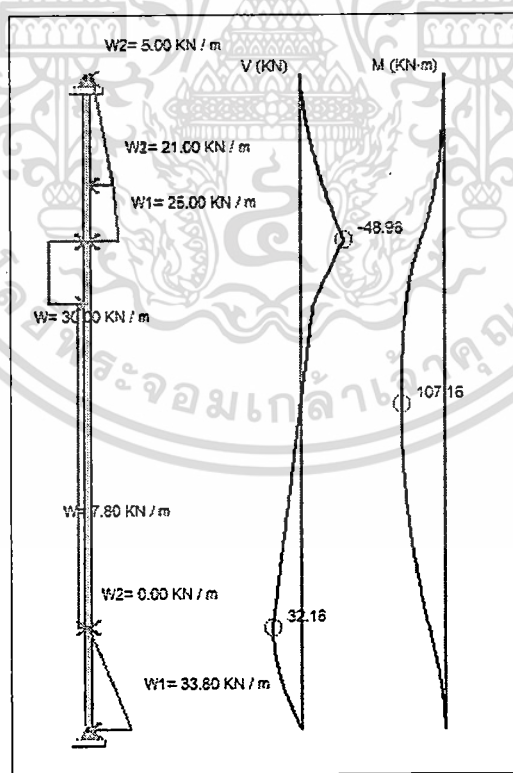


รูปที่ 92 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex46,D9,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

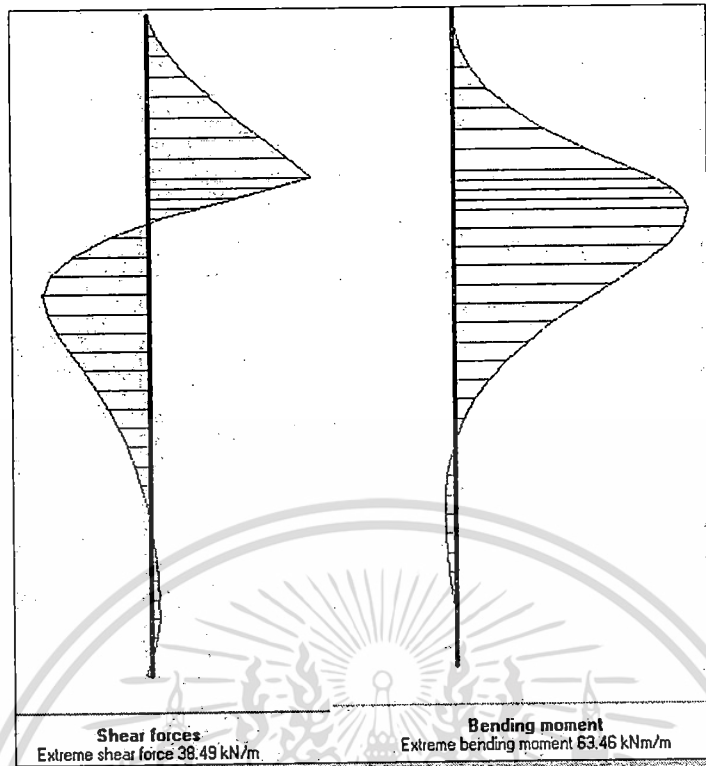


รูปที่ 93 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex47,D9,C20)

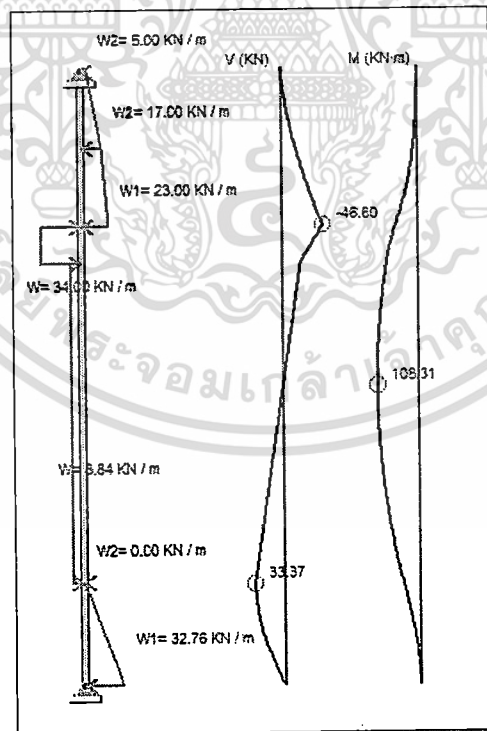


รูปที่ 94 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex47,D9,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

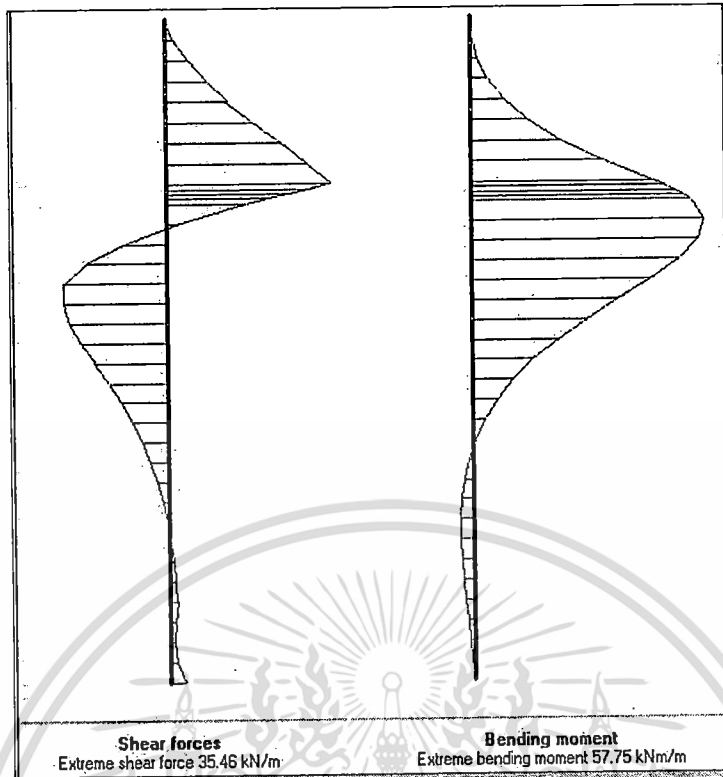


รูปที่ 95 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex48,D9,C20)

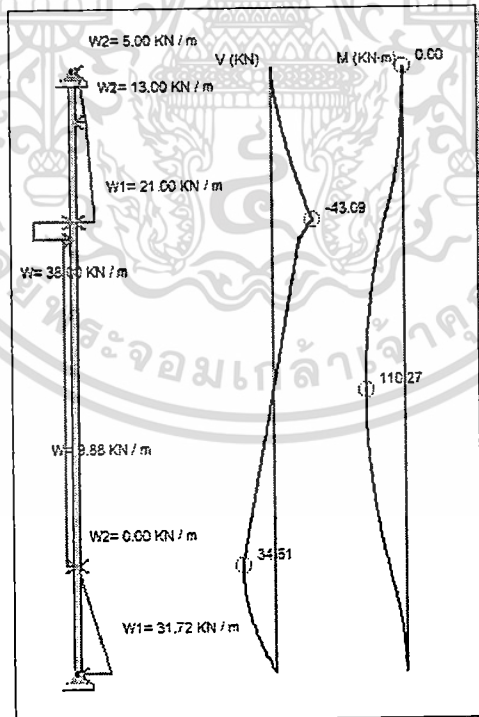


รูปที่ 96 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex48,D9,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

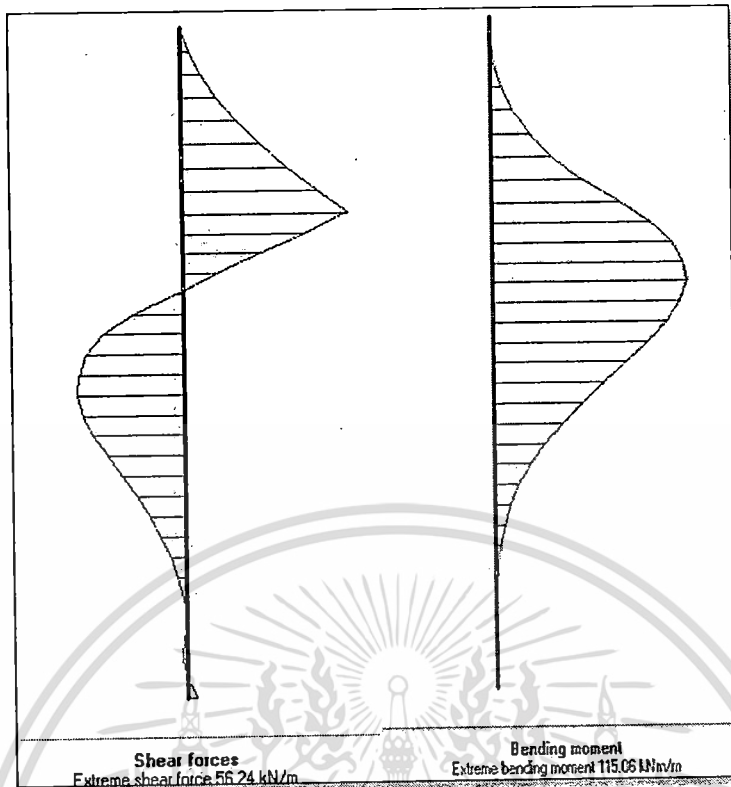


รูปที่ 97 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex49,D9,C20)

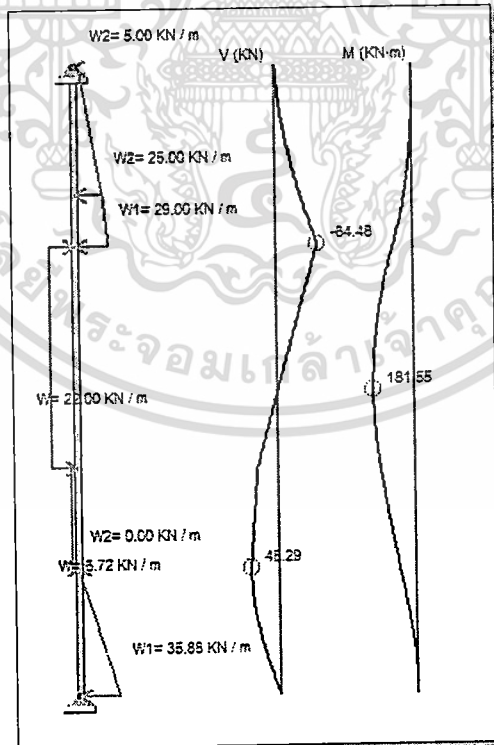


รูปที่ 98 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex49,D9,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

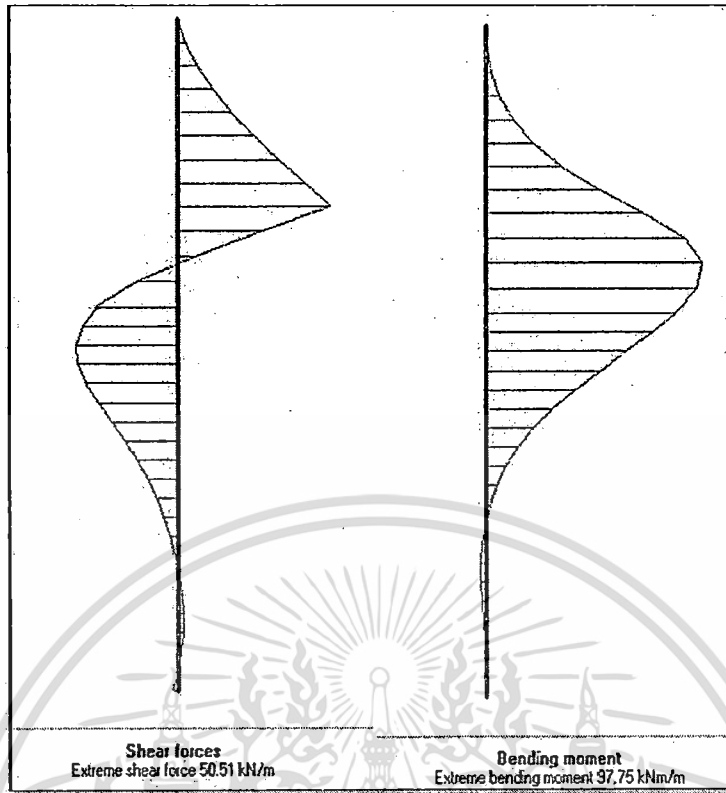


รูปที่ 99 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex50,D9,C20)

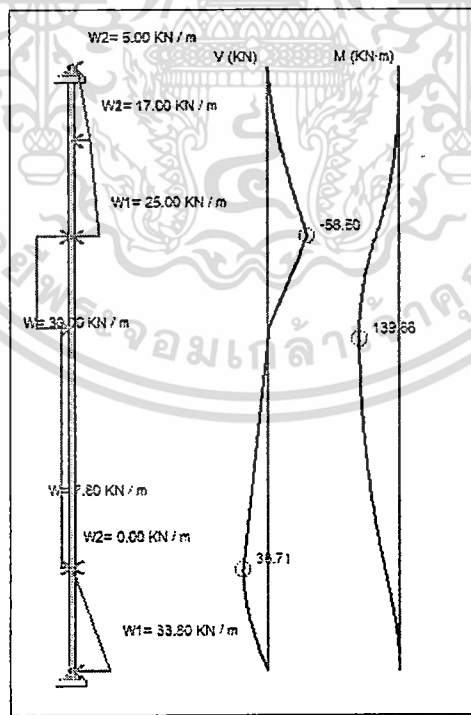


รูปที่ 100 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex50,D9,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

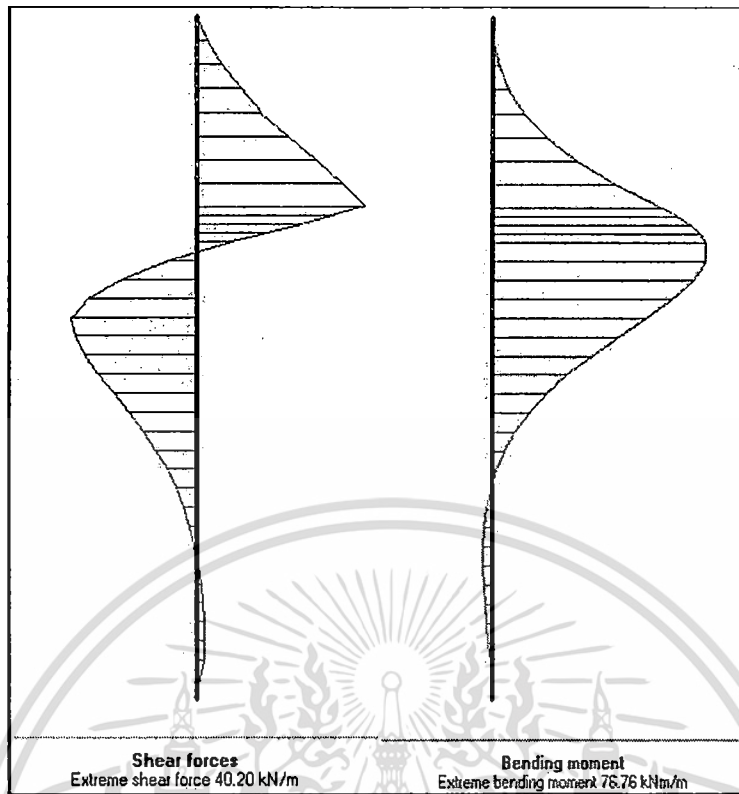


รูปที่ 101 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex51,D9,C20)

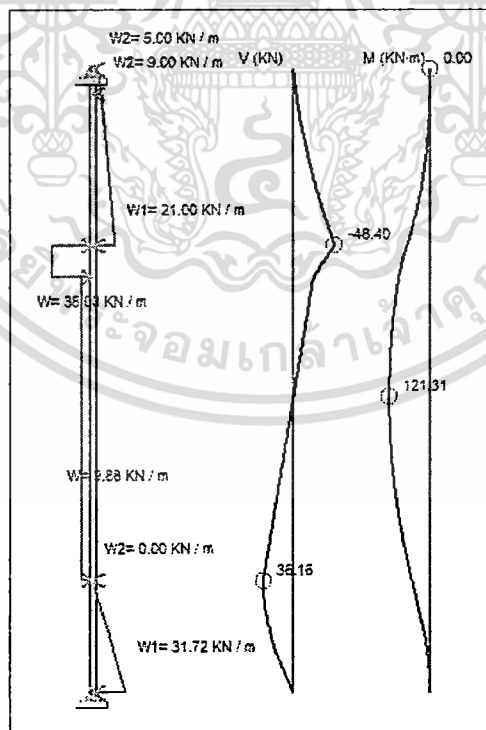


รูปที่ 102 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex51,D9,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

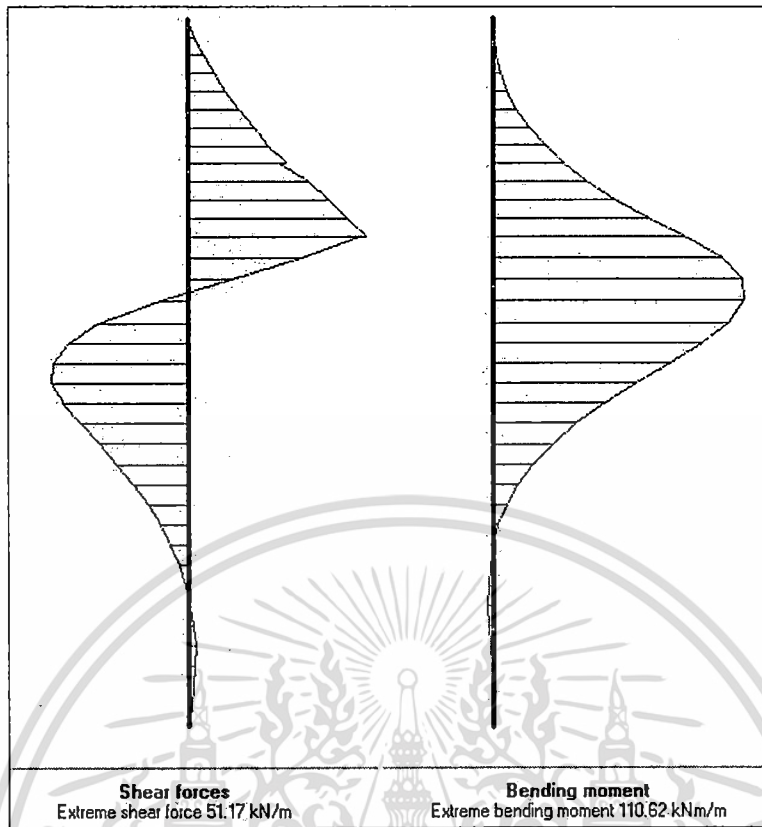


รูปที่ 103 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex52,D9,C20)

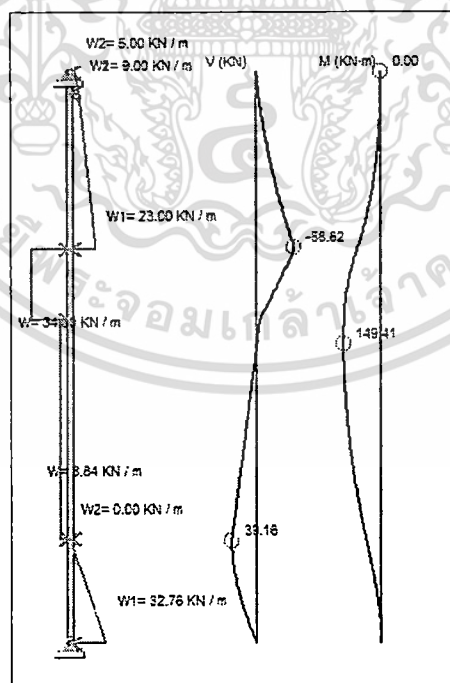


รูปที่ 104 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1 (Ex52,D9,C20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 105 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex53,D9,C20)



รูปที่ 106 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 1
(Ex53,D9,C20)

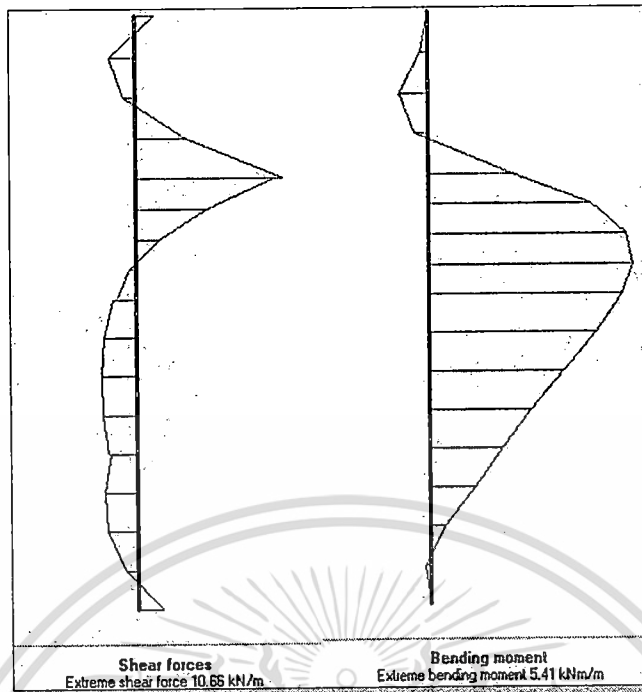
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

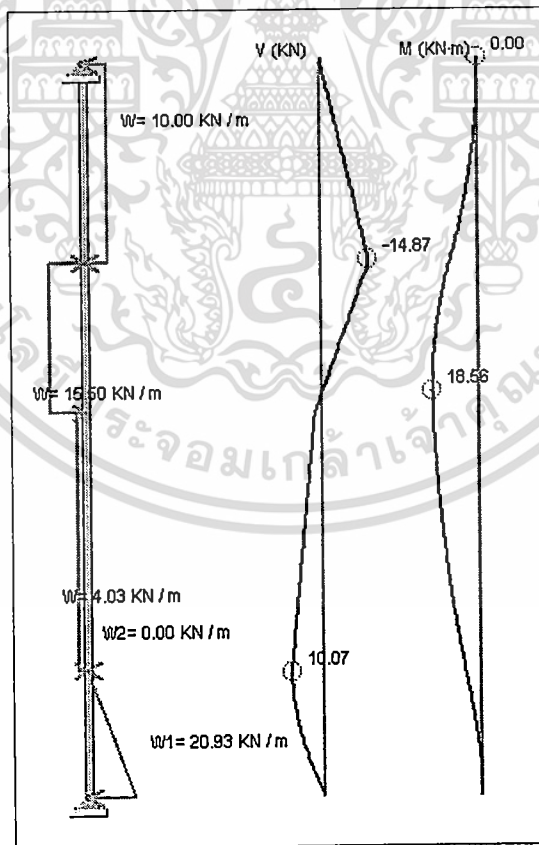
ผลการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และวิธี
ประยุกต์ ที่เกิดจากดินถม 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

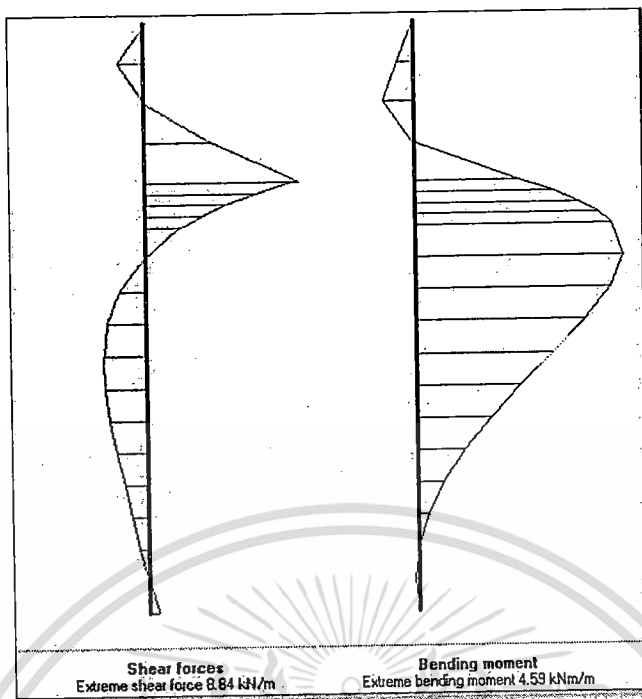


รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex1,D4,C12)

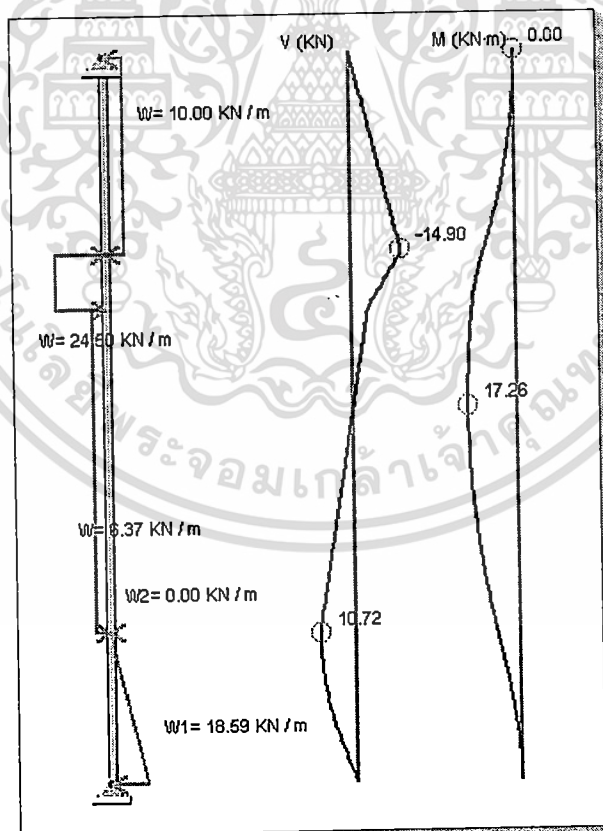


รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex1,D4,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

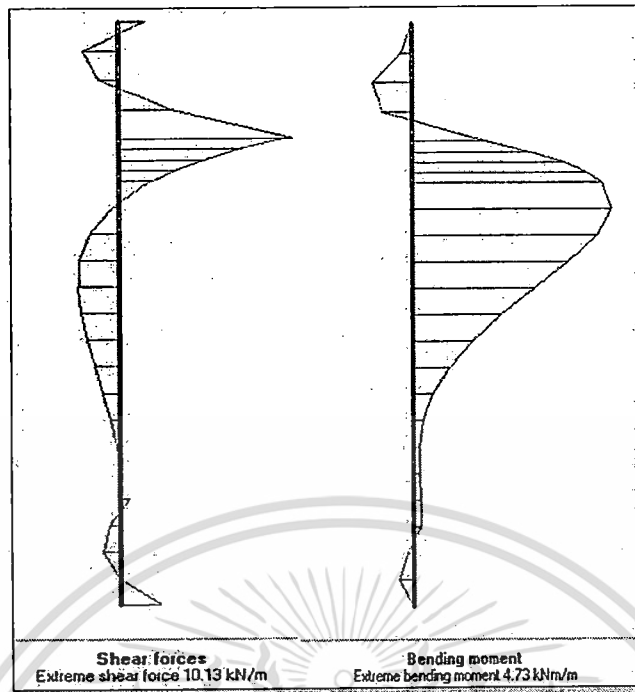


รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex2,D4,C12)

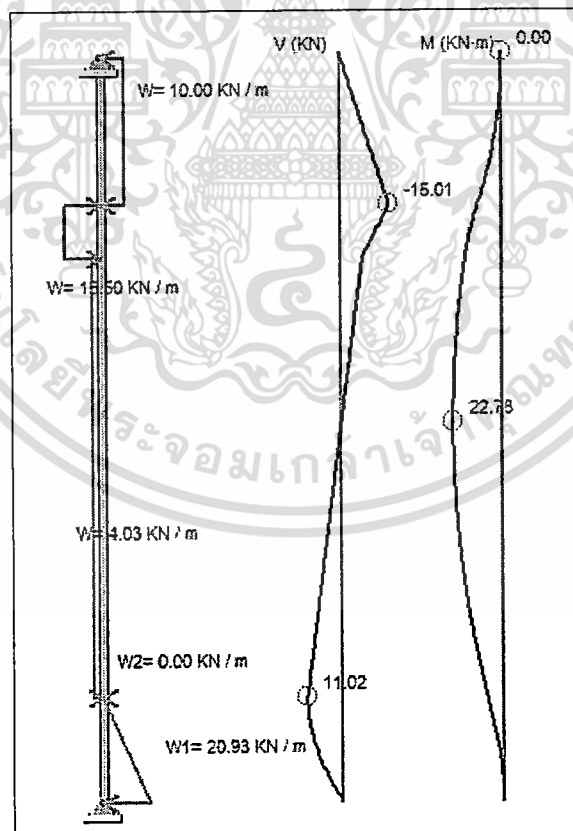


รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex2,D4,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

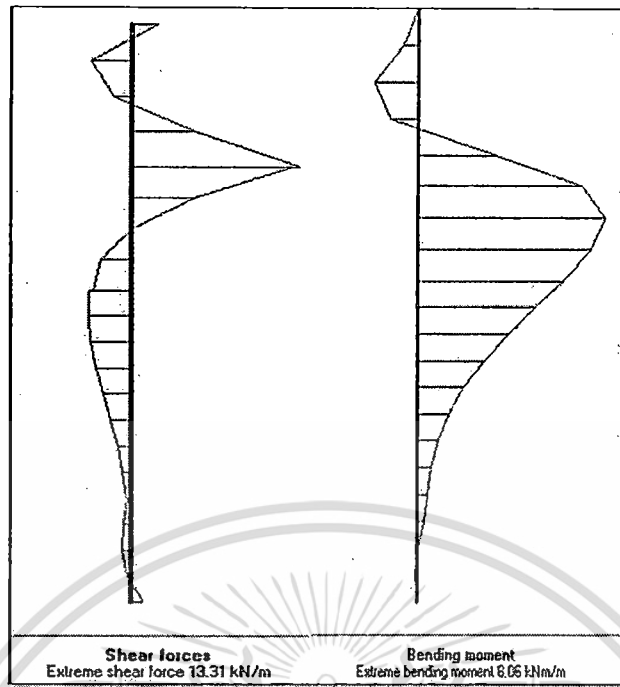


รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex3,D6,C12)

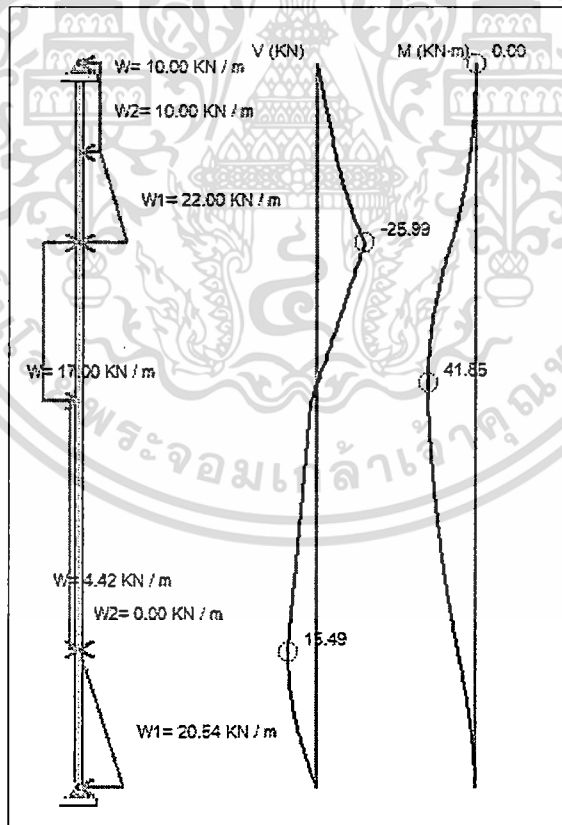


รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex3,D6,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

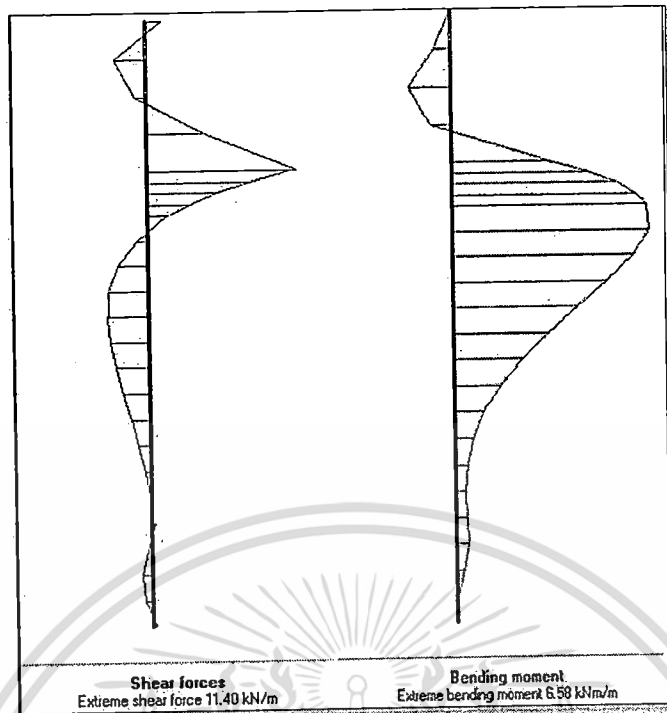


รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex4,D6,C12)

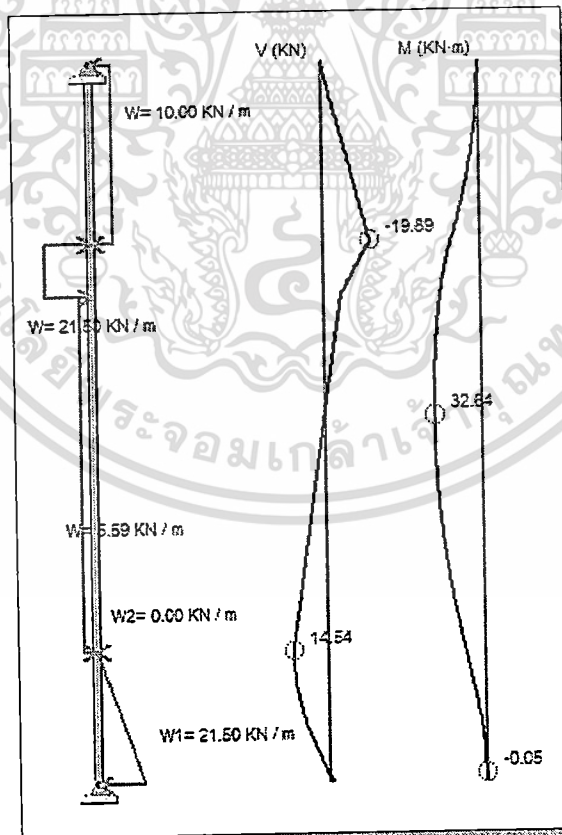


รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex4,D6,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

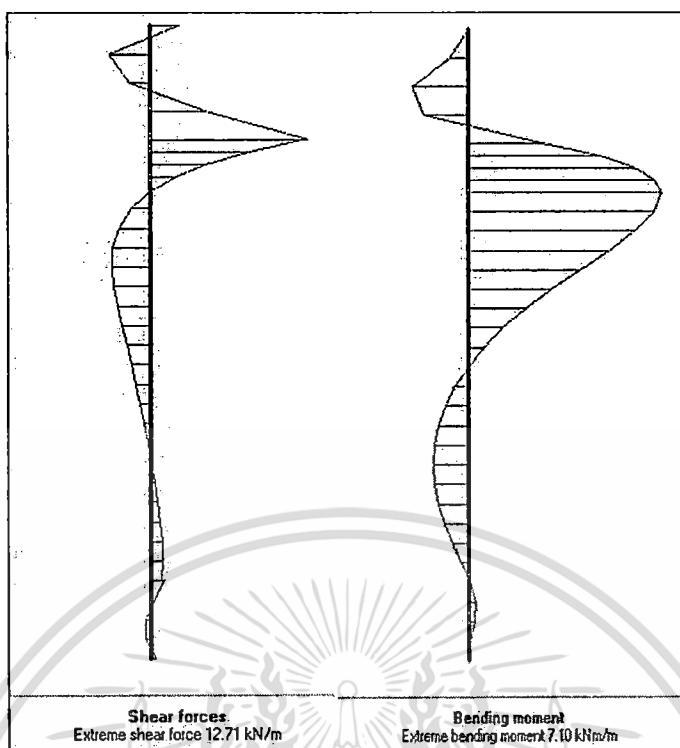


รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex5,D6,C12)

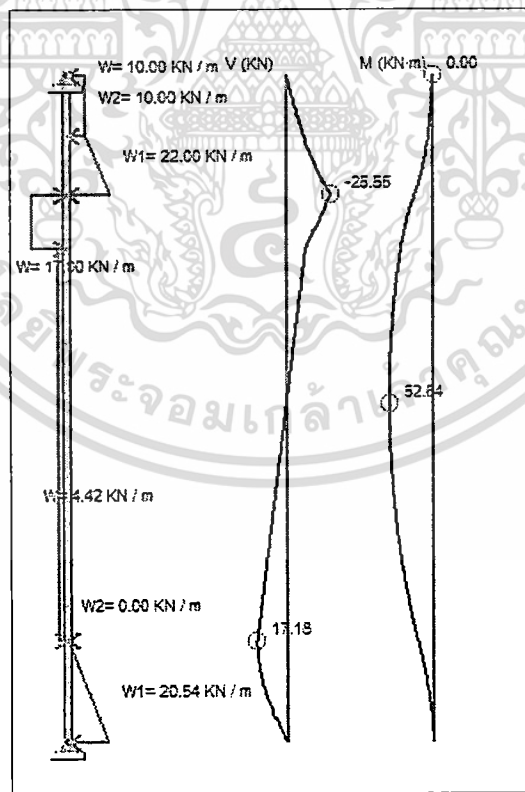


รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex5,D6,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

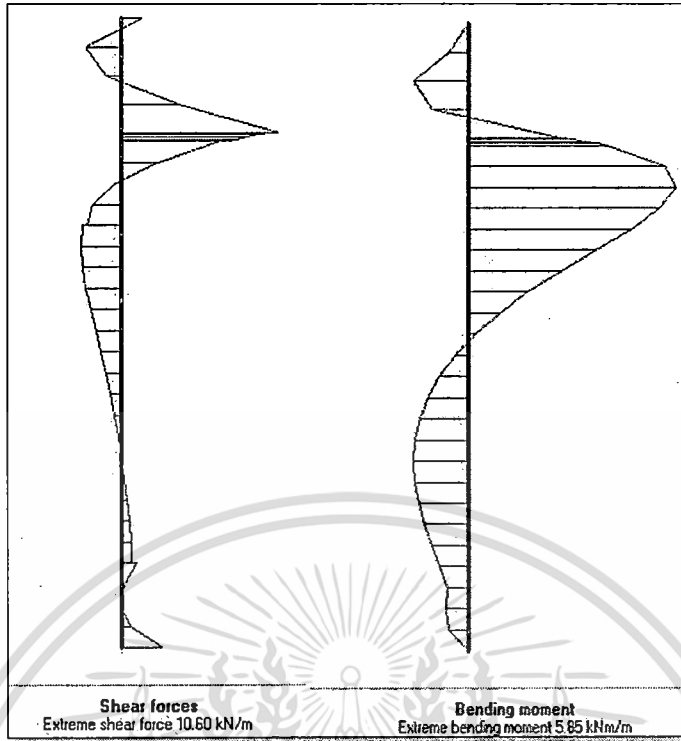


รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex6,D9,C12)

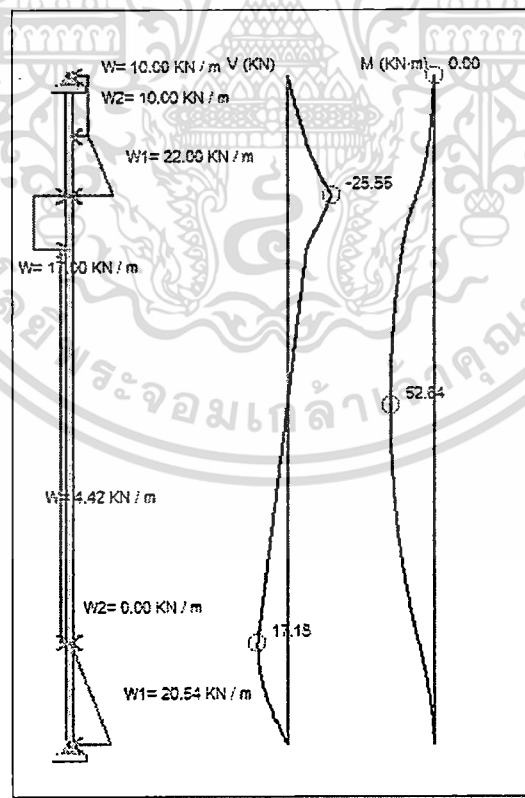


รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex6,D9,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

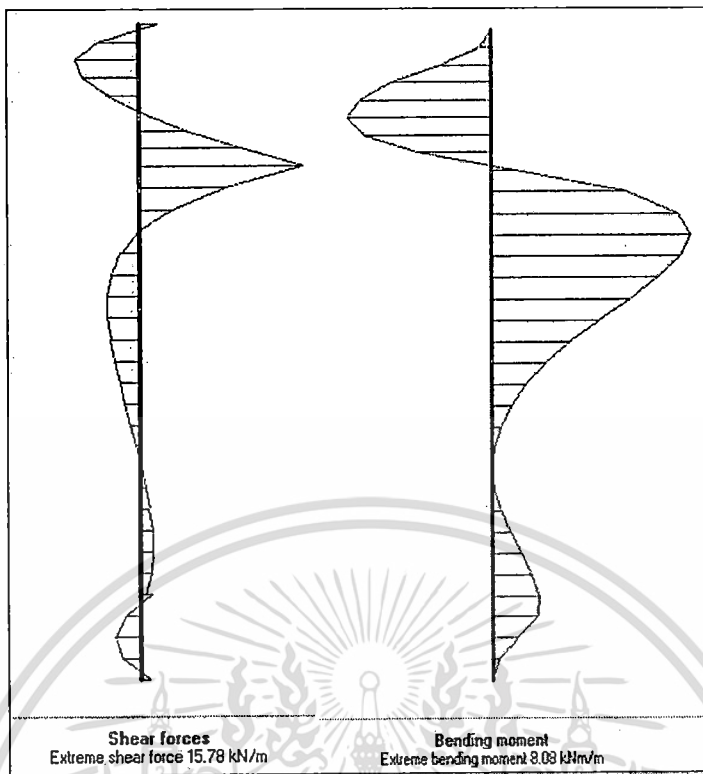


รูปที่ 13 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex7,D9,C12)

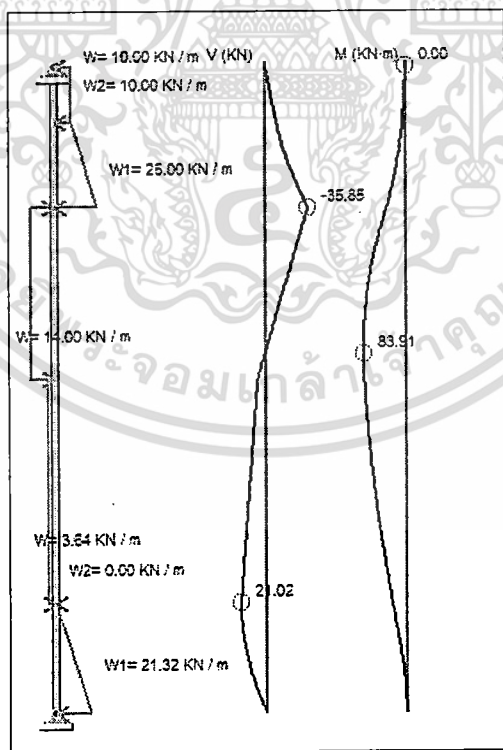


รูปที่ 14 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex7,D9,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

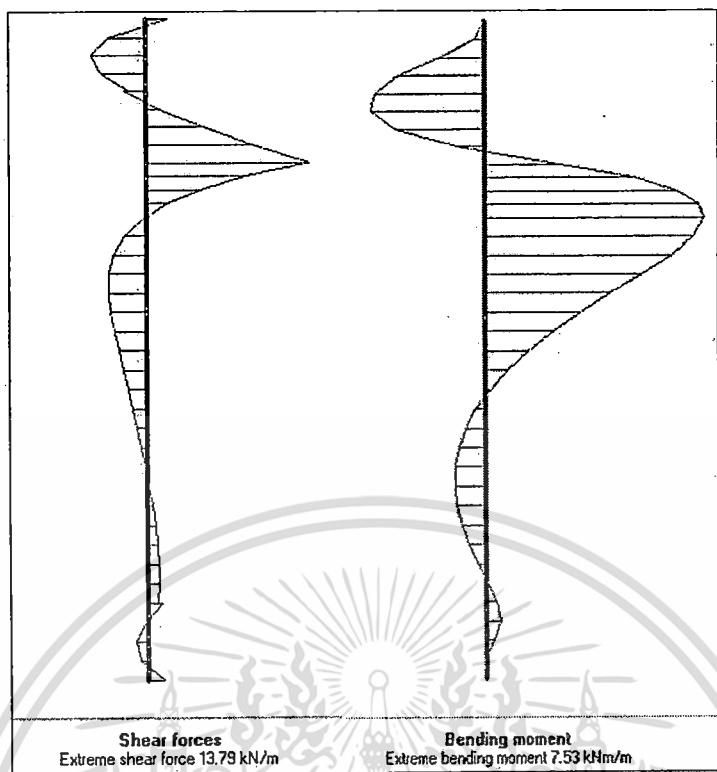


รูปที่ 15 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex8,D9,C12)

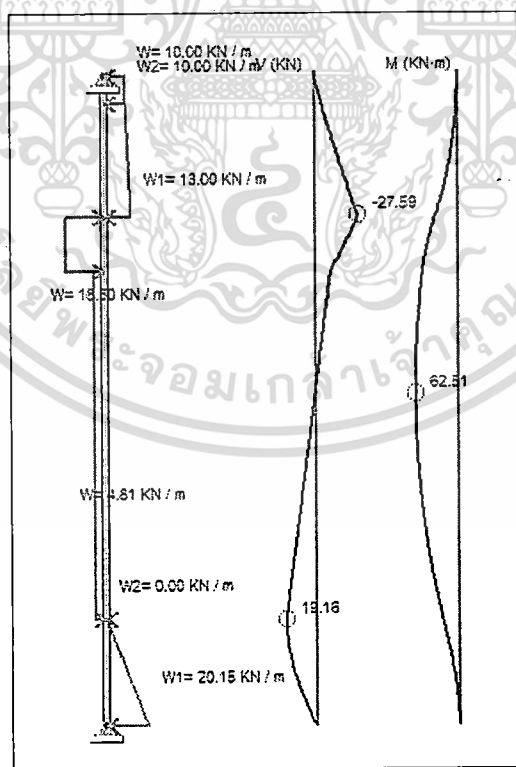


รูปที่ 16 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex8,D9,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

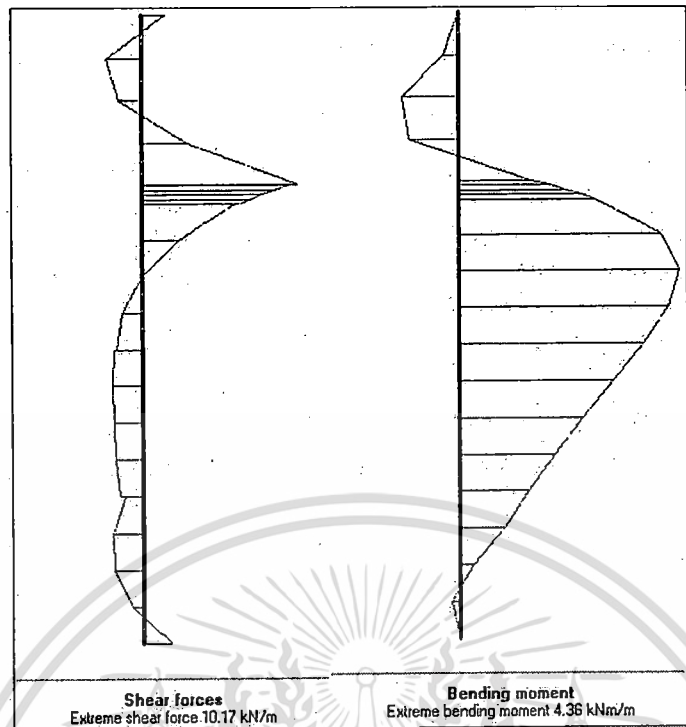


รูปที่ 17 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex9,D9,C12)

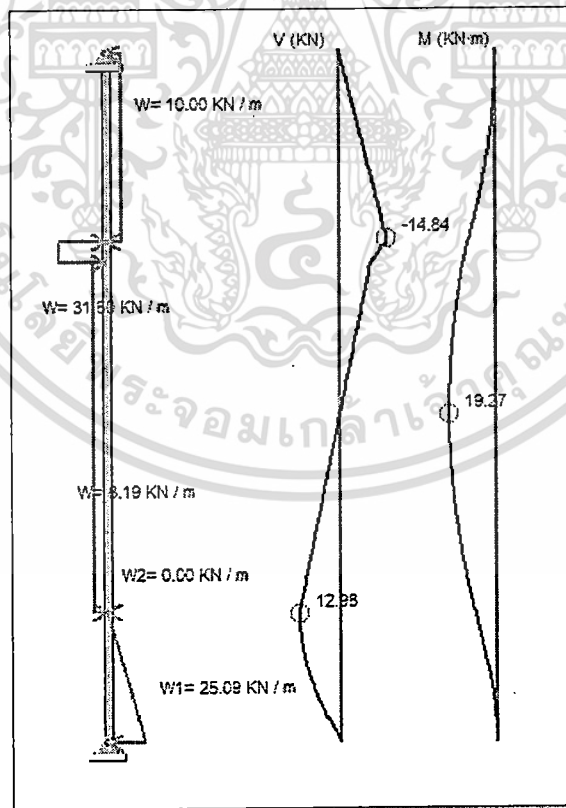


รูปที่ 18 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex9,D9,C12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

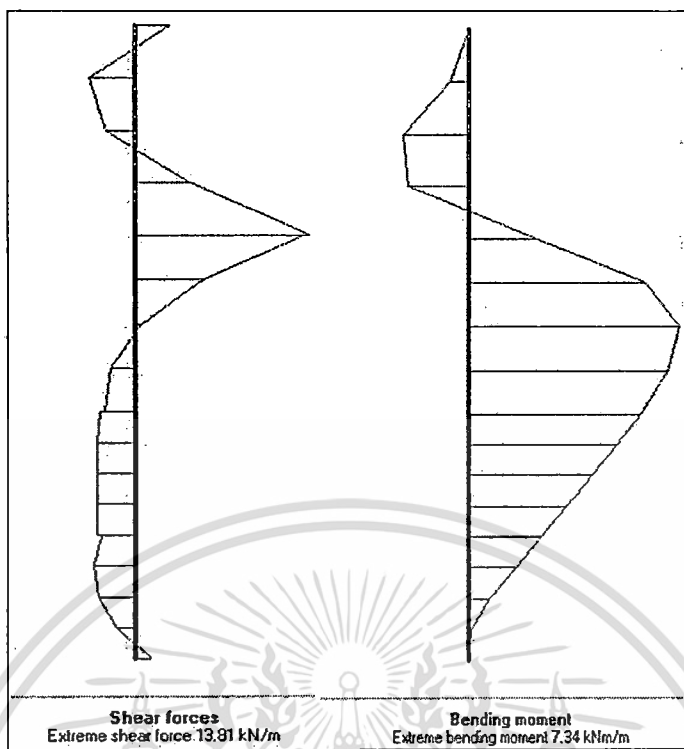


รูปที่ 19 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex10,D4,C16)

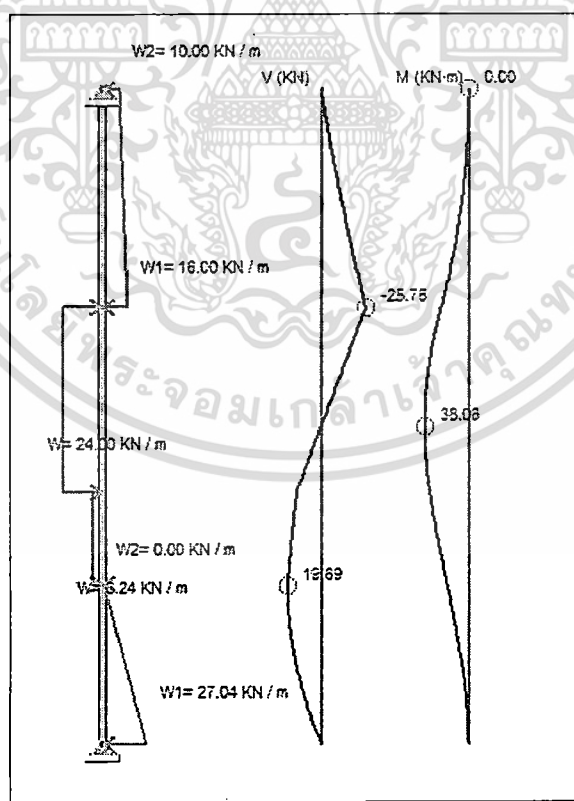


รูปที่ 20 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex10,D4,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

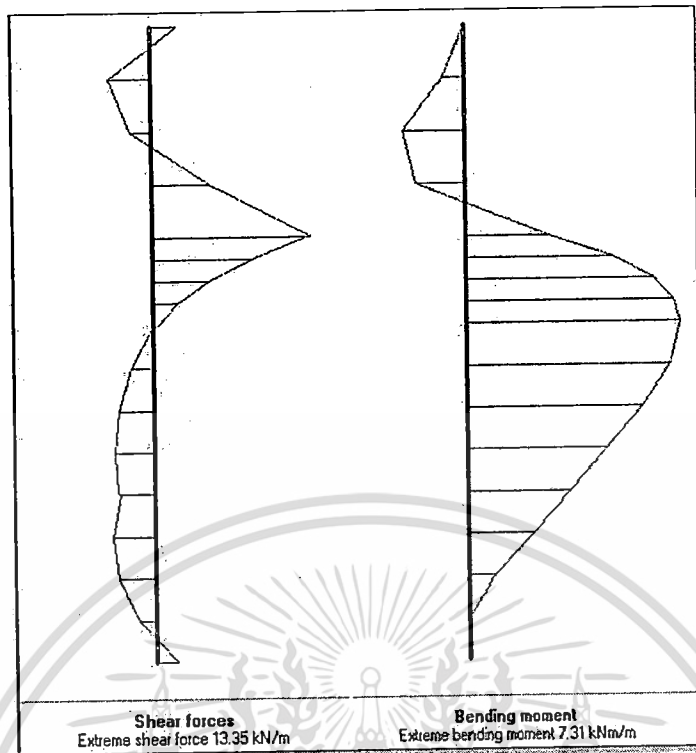


รูปที่ 21 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex11,D4,C16)

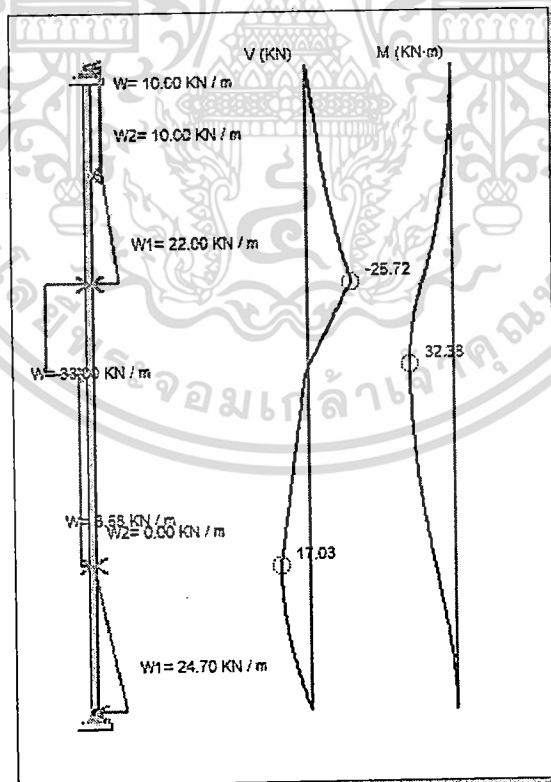


รูปที่ 22 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex11,D4,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

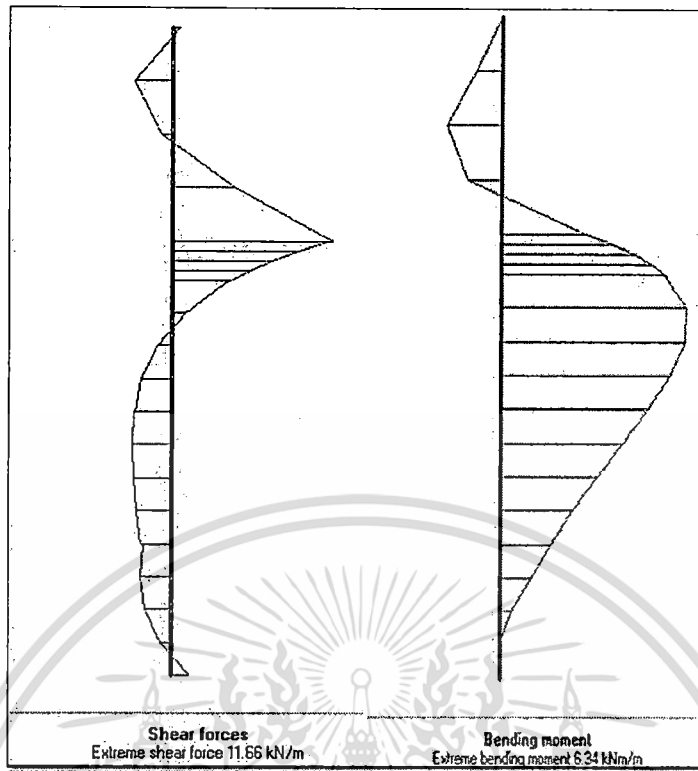


รูปที่ 23 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex12,D4,C16)

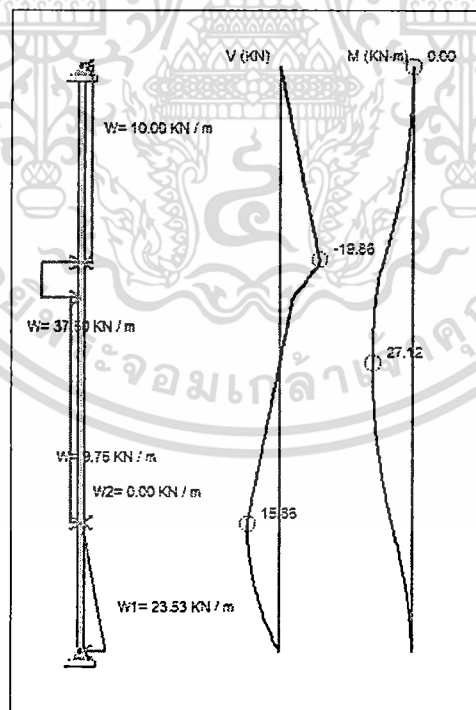


รูปที่ 24 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex12,D4,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

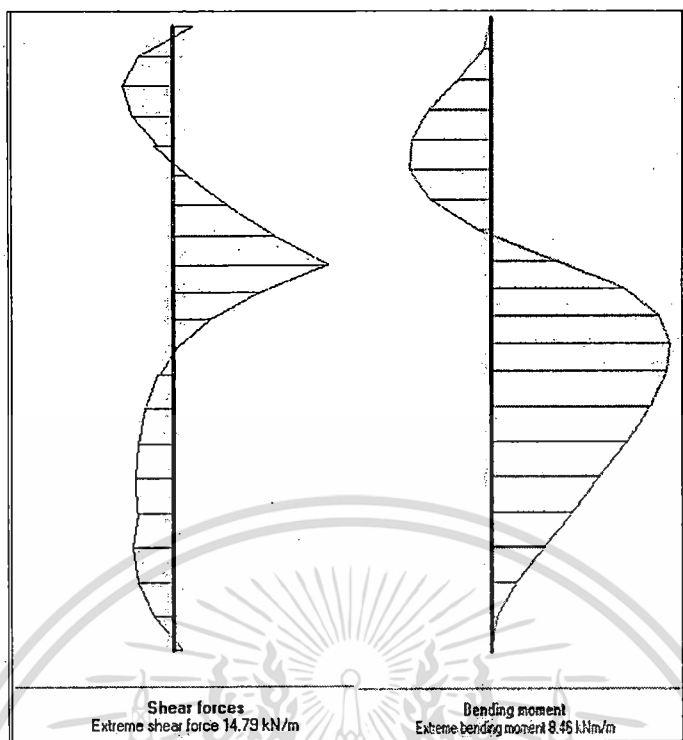


รูปที่ 25 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex13,D4,C16)

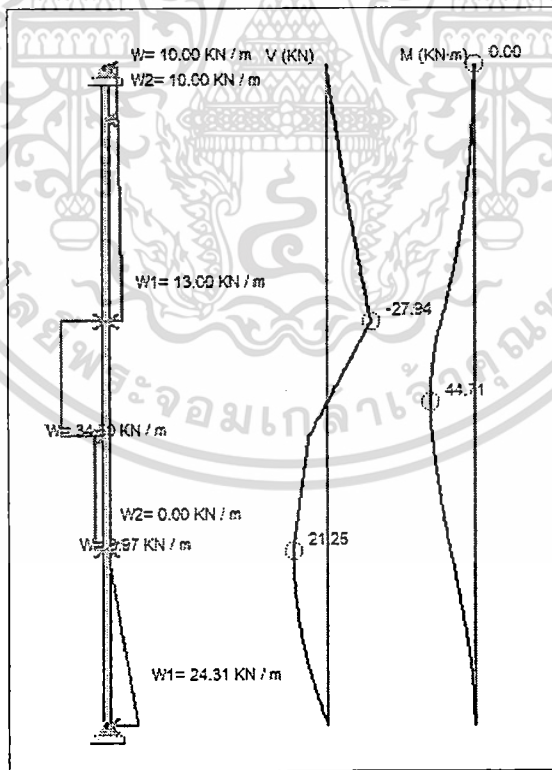


รูปที่ 26 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex13,D4,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

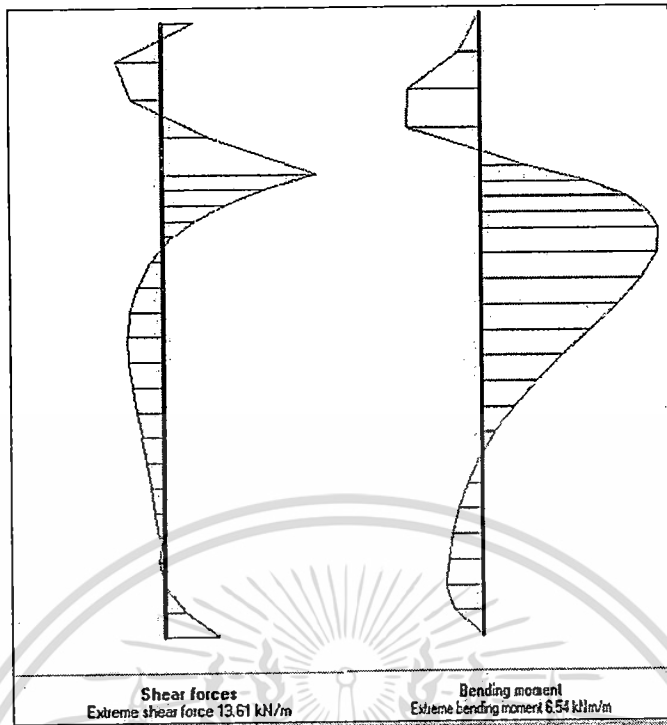


รูปที่ 27 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex14,D4,C16)

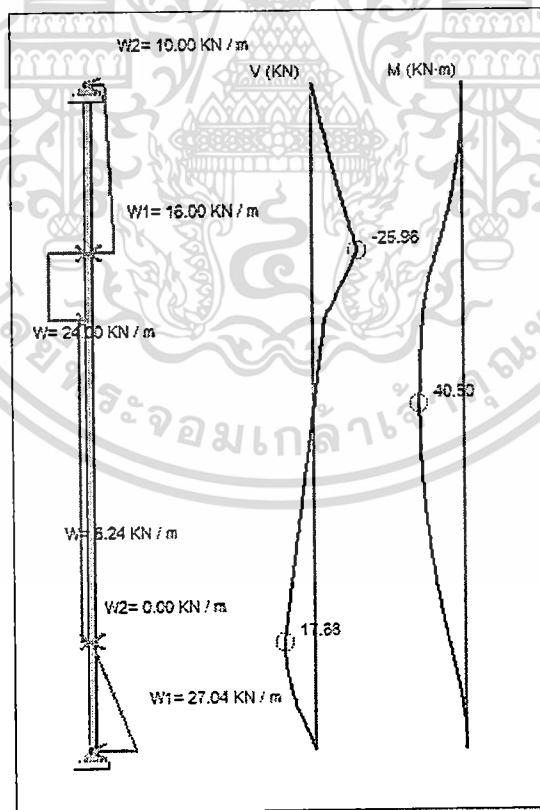


รูปที่ 28 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex14,D4,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

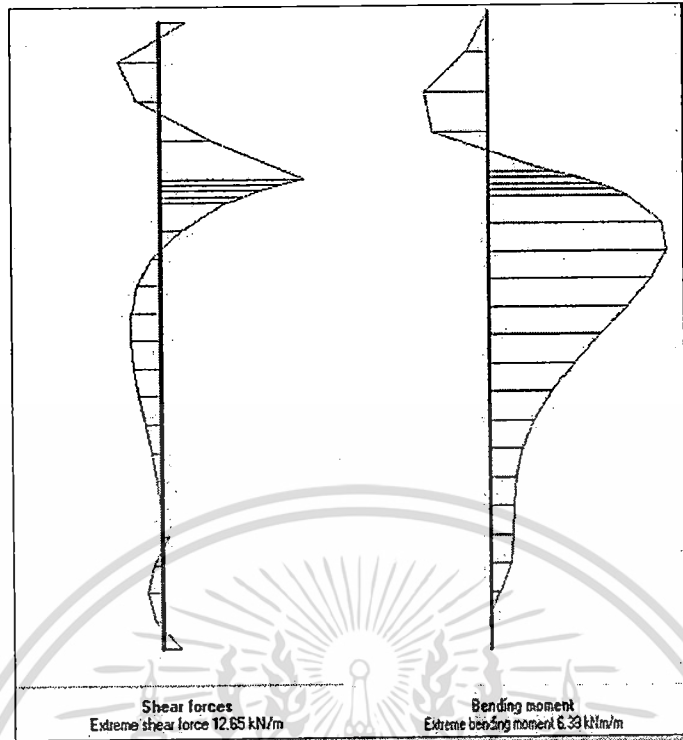


รูปที่ 29 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex15,D6,C16)

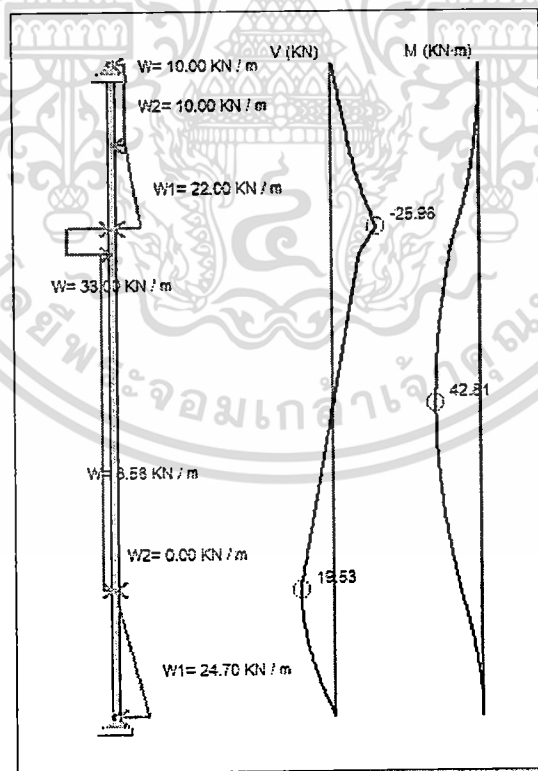


รูปที่ 30 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex15,D6,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

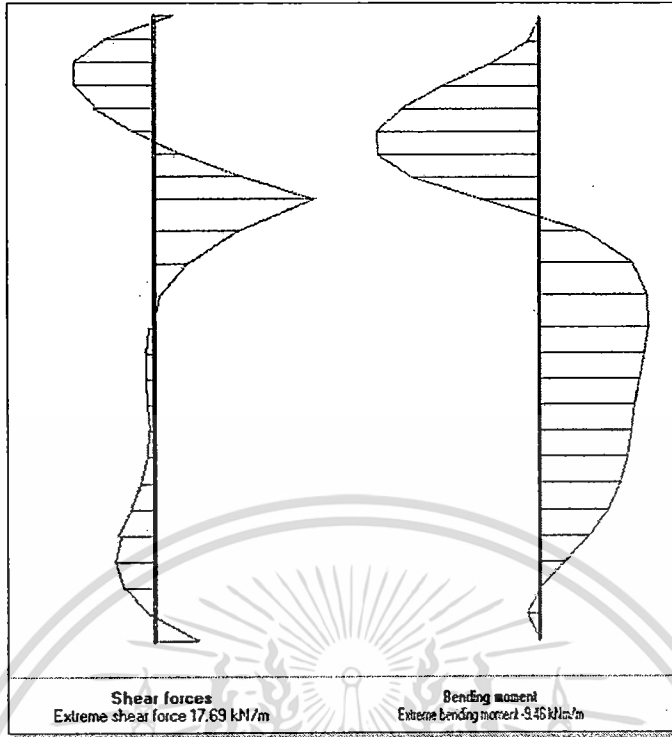


รูปที่ 31 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex16,D6,C16)

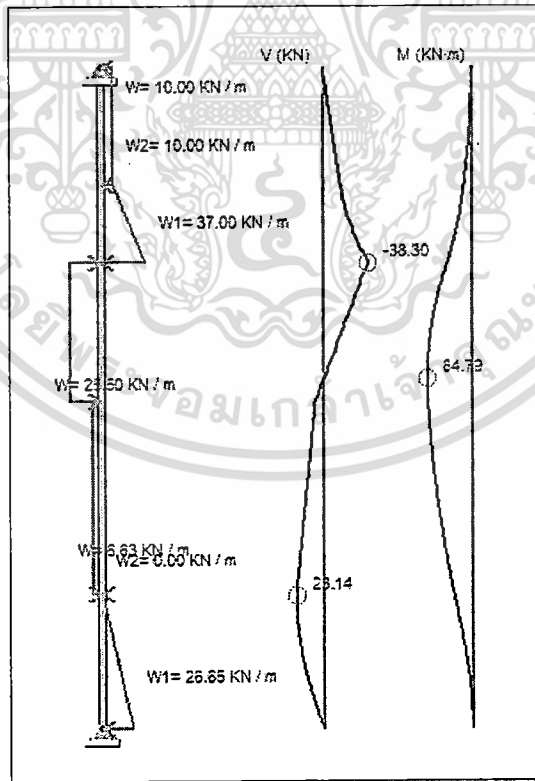


รูปที่ 32 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex16,D6,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

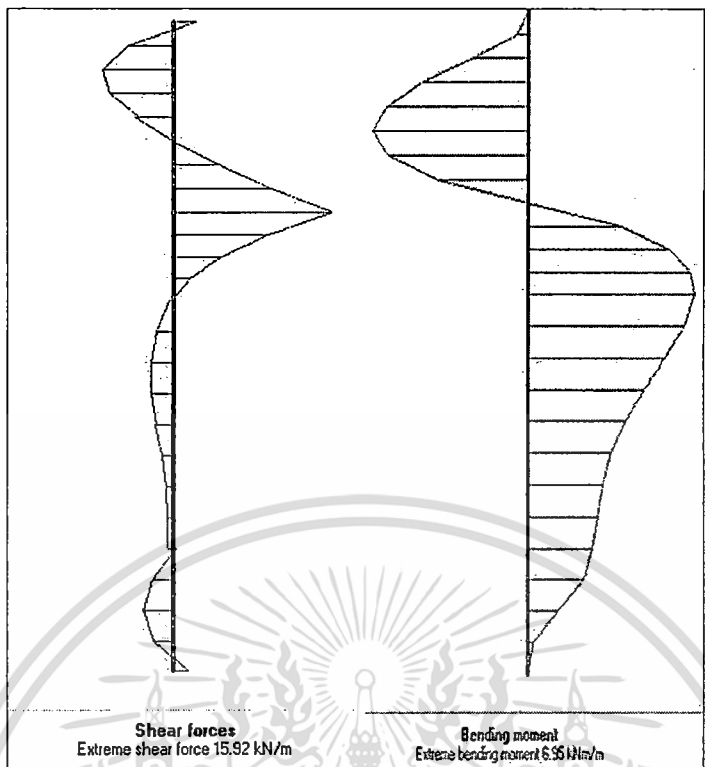


รูปที่ 33 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex17,D6,C16)

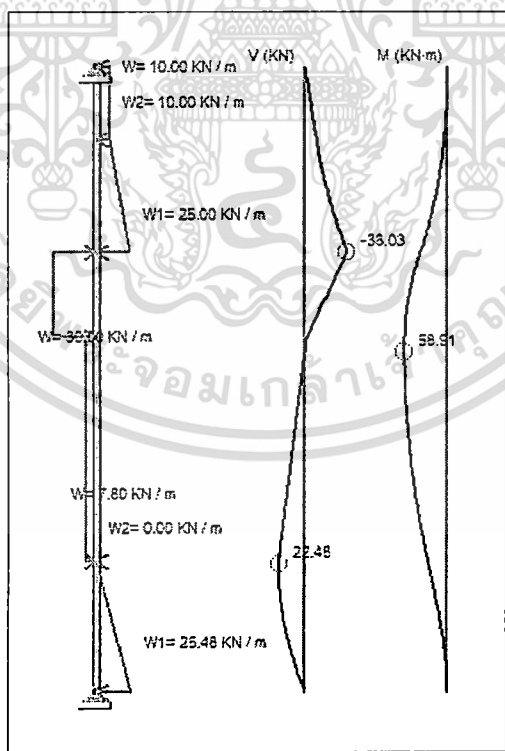


รูปที่ 34 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex17,D6,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

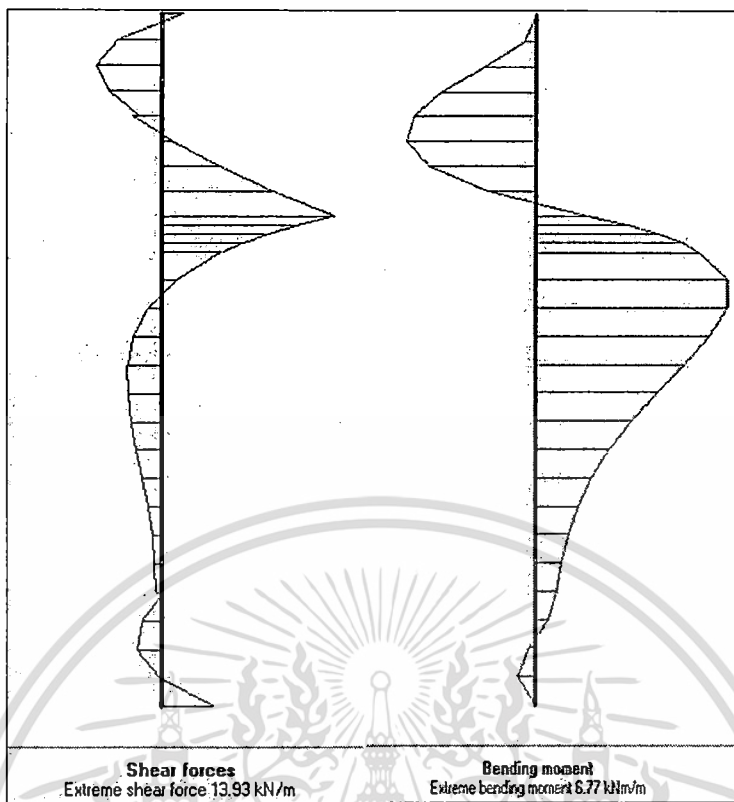


รูปที่ 35 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex18,D6,C16)

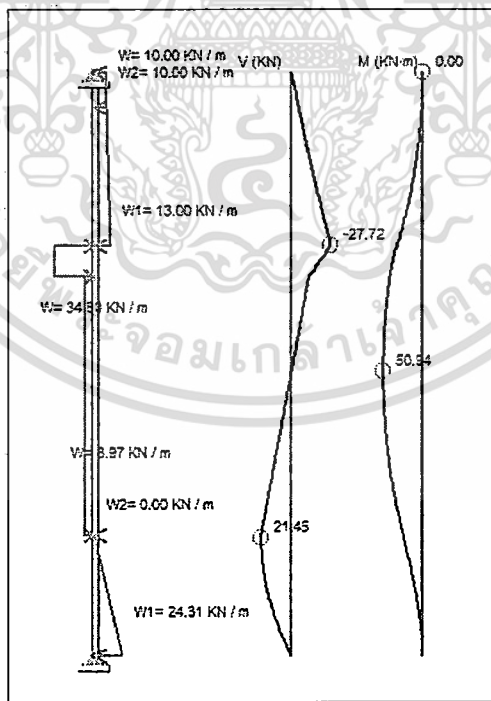


รูปที่ 36 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex18,D6,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

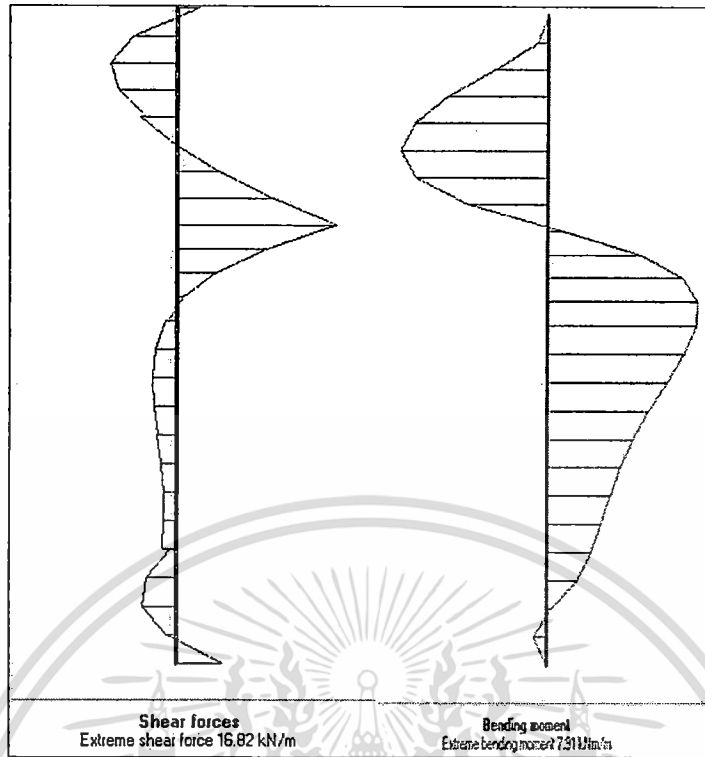


รูปที่ 37 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex19,D6,C16)

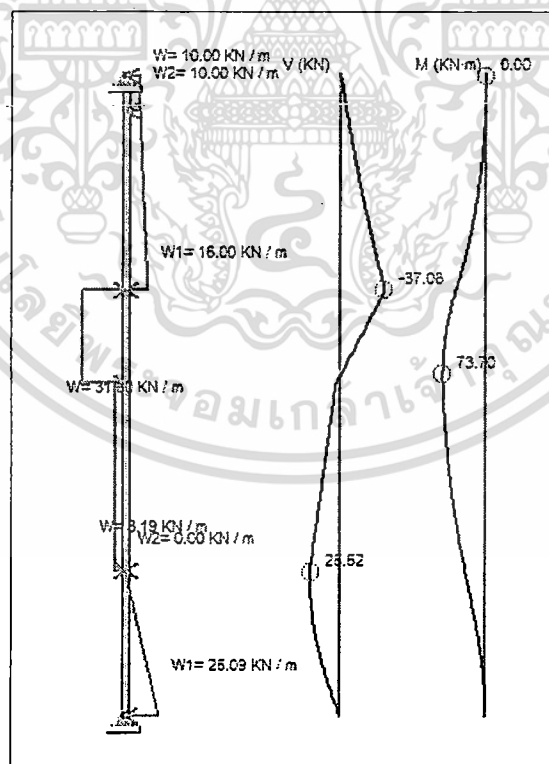


รูปที่ 38 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex19,D6,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

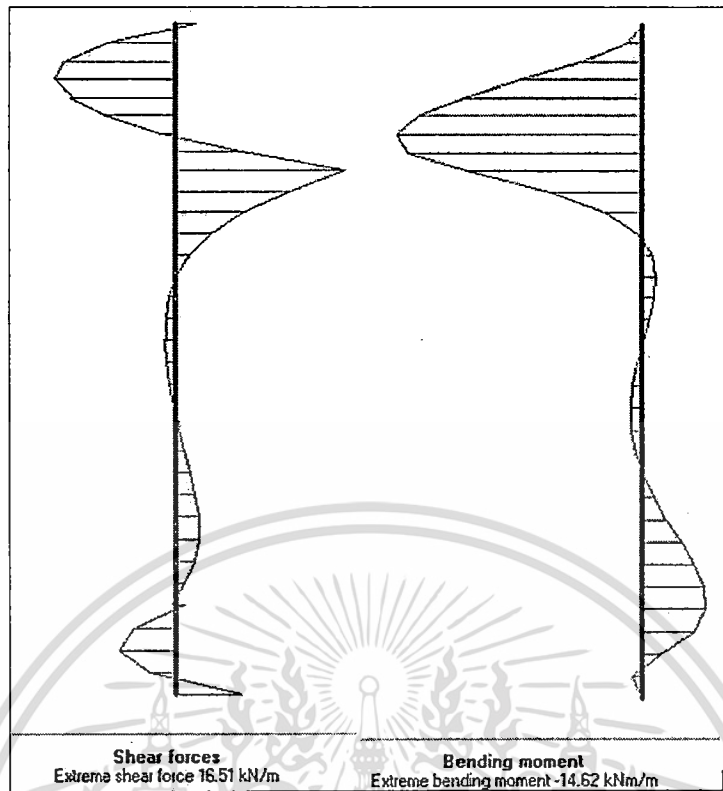


รูปที่ 39 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex20,D6,C16)

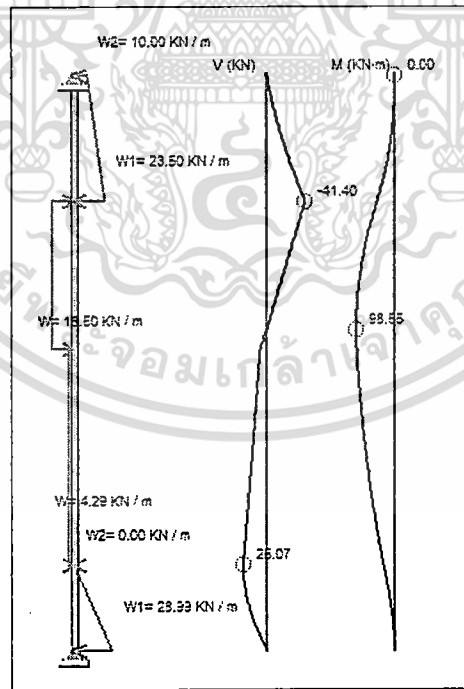


รูปที่ 40 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex20,D6,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

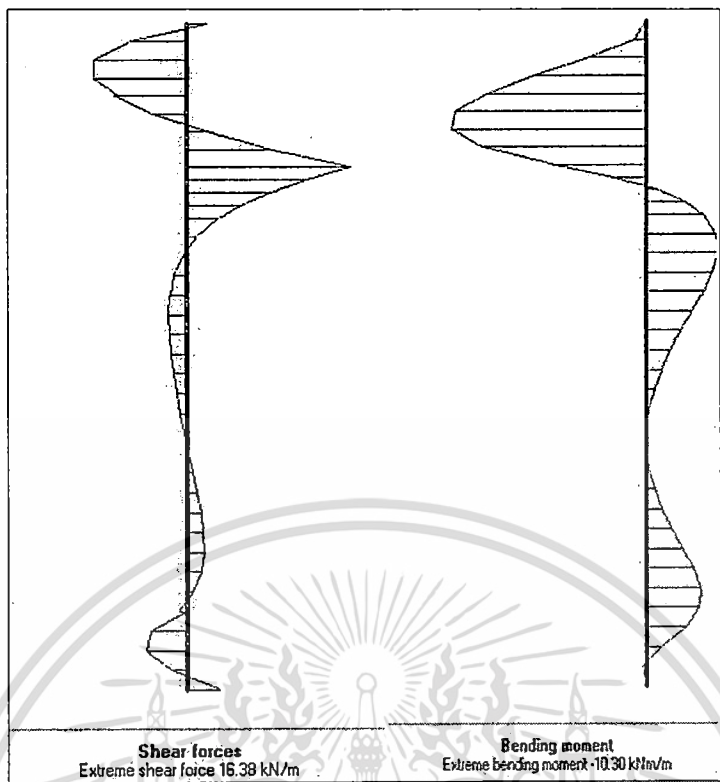


รูปที่ 41 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex21,D9,C16)

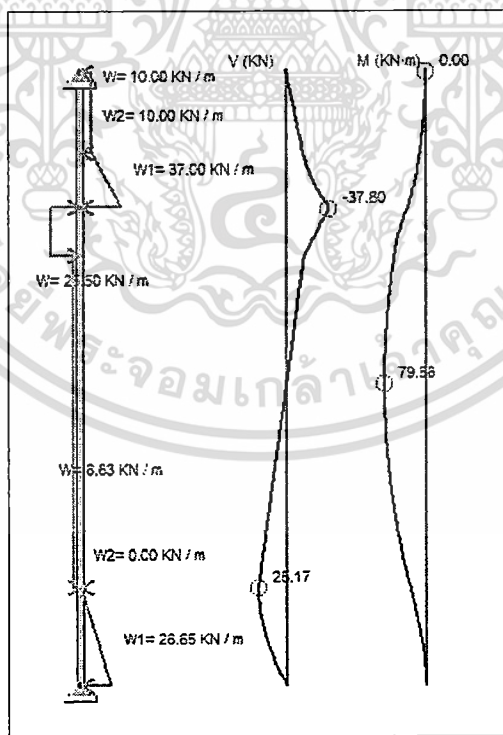


รูปที่ 42 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex21,D9,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

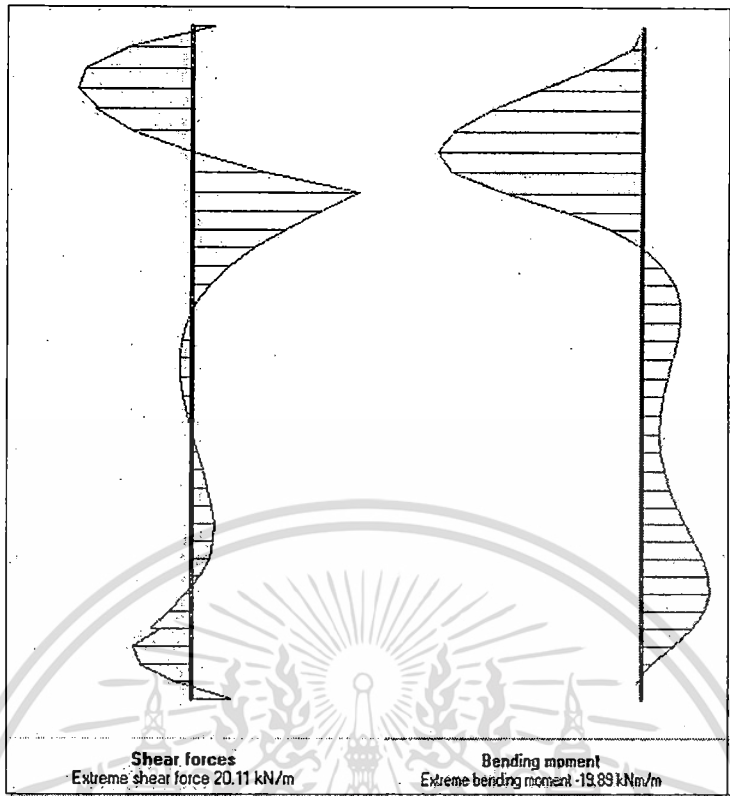


รูปที่ 43 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex22,D9,C16)

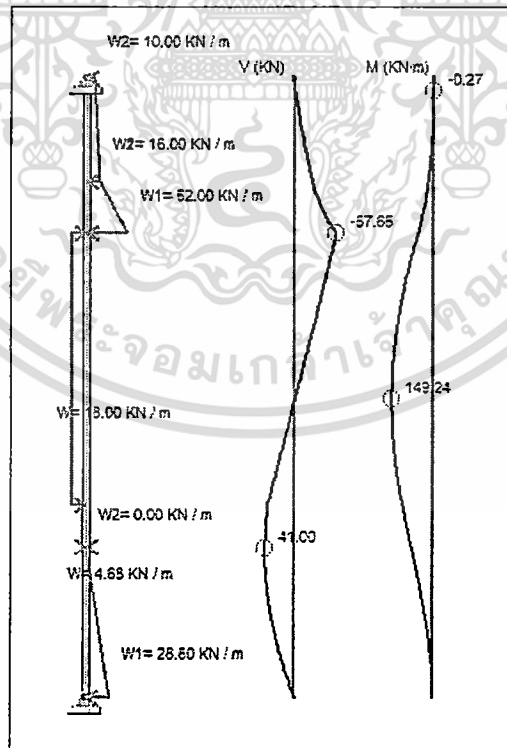


รูปที่ 44 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex22,D9,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

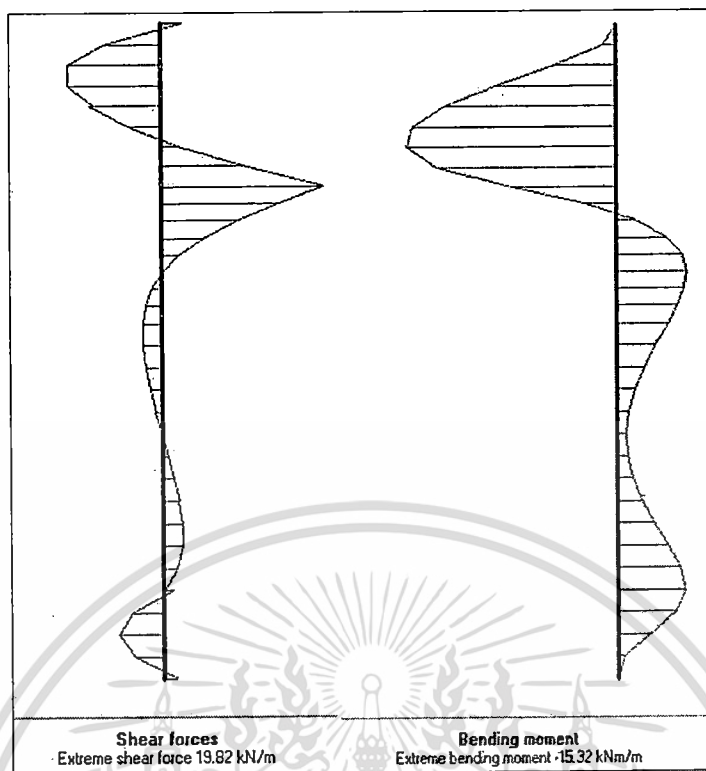


รูปที่ 45 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex23,D9,C16)

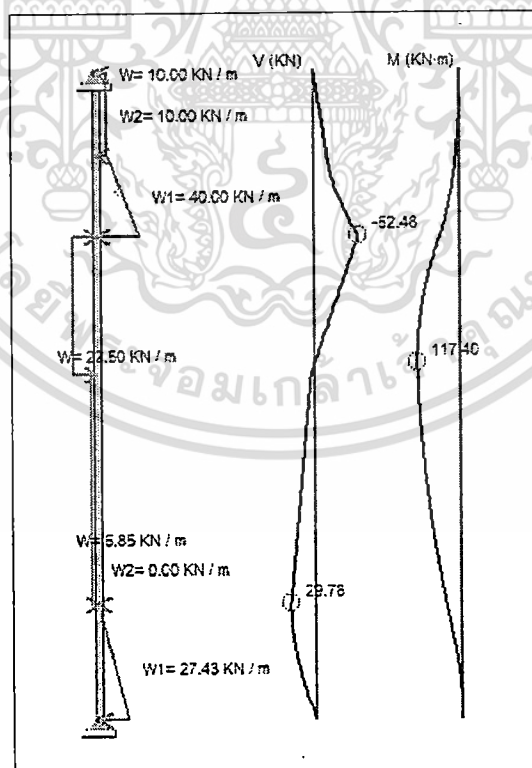


รูปที่ 46 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex23,D9,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

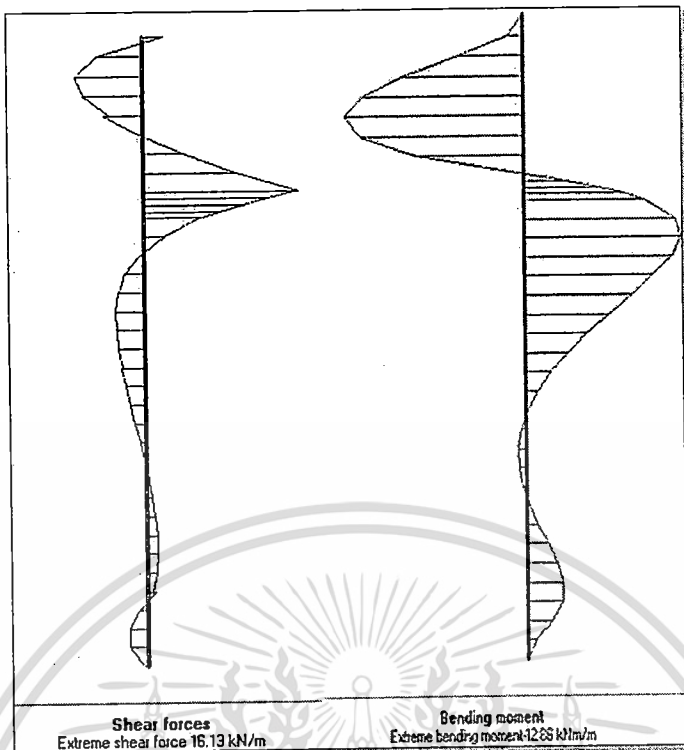


รูปที่ 47 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex24,D9,C16)

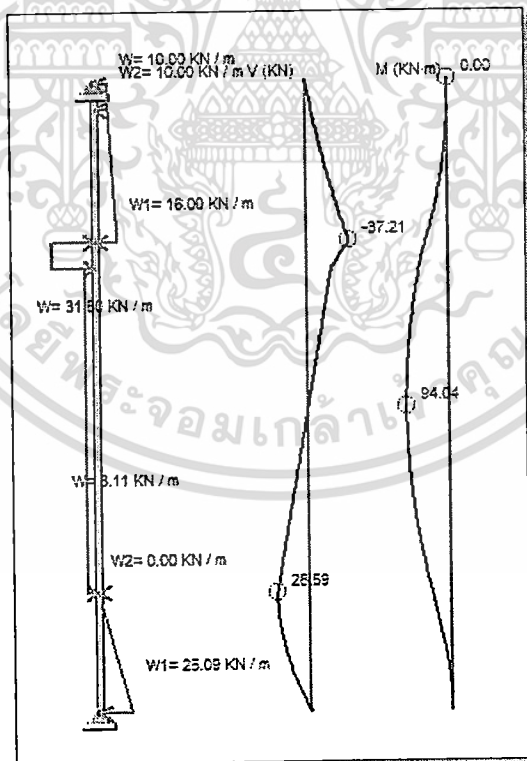


รูปที่ 48 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2
(Ex24,D9,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

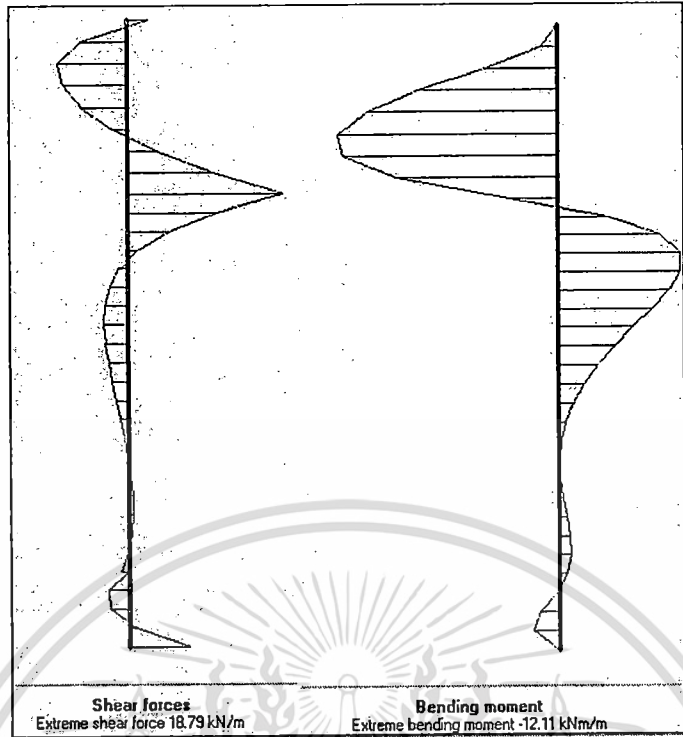


รูปที่ 49 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex25,D9,C16)

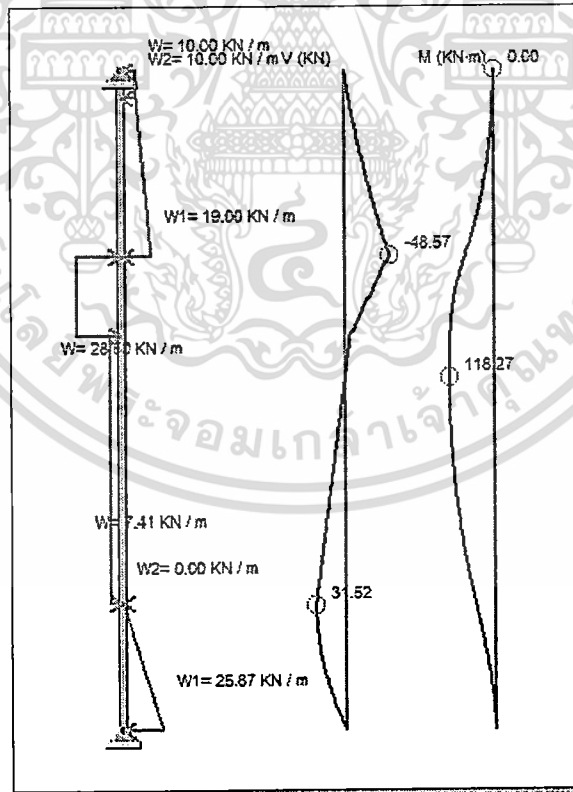


รูปที่ 50 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex25,D9,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 51 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex26,D9,C16)



รูปที่ 52 ผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยวิธีประยุกต์ที่เกิดจากดินถม 2 (Ex26,D9,C16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. Pisan Morpan, Somkiat Khwanpruk, Uma Seeboonruang, "A Study Of Method Analysis For Retaining Wall As Concrete Panel In Groove Pile I Section In Bangkok Clay," The 16th National Convention On Civil Engineering, pp. , Pattaya, Thailand, May 18-20, 2011.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16
PROCEEDINGS OF THE 16th NATIONAL CONVENTION ON CIVIL ENGINEERING

วิศวกรรมโยธากับการเผชิญวิกฤตปัญหาโลก
CIVIL ENGINEERING AND GLOBAL CRISES



สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สงวนลิขสิทธิ์ © 2558 โดยสภาวิศวกรรมการโยธาและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิธีการวิเคราะห์กำแพงกันดินแบบแผงคองกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ
ในชั้นดินเหนียวกรุงเทพ ฯ

A STUDY OF METHOD ANALYSIS FOR RETAINING WALL AS CONCRETE
PANEL IN GROOVE PILE I SECTION IN BANGKOK CLAY

พิศาล หมอปาน (Pisan Morpan)¹, สมเกียรติ ขวัญพฤษ์ (Somkiat Khwanpruk)²,

อุมา สีนุญเรือง (Uma Seeboonruang)³

¹ นักศึกษาปริญญาโท lek_davill@hotmail.com

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ chongko.cng@gmail.com

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ kseuma@kmitl.ac.th

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการวิเคราะห์กำแพงกันดินแบบแผงคองกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอในชั้นดินเหนียวกรุงเทพ ฯ พร้อมทั้งแนะนำรูปแบบสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับกำแพงกันดินชนิดนี้ โดยใช้หลักการวิเคราะห์หาแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดินแบบคานยื่น มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดิน และทำการเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ โดยการตรวจสอบค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินเป็นหลัก ซึ่งพบว่าค่าหน่วยแรงเฉือนและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ประยุกต์ใช้นั้น ให้ค่าที่มากกว่าวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์อันเนื่องมาจากวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ ได้พิจารณาถึง การเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นของดิน และกำแพงกันดินด้วย ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จากทั้งสองวิธีนี้ นำไปสู่การวิเคราะห์เปรียบเทียบหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่แนะนำสำหรับกำแพงกันดินชนิดนี้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบต่อไป

ABSTRACT

This research to study of method analysis for retaining wall as concrete panel in groove pile I section in Bangkok clay. Also suggest the suitable form and proportion for this type of retaining wall by in case of lateral earth pressure of retaining wall as cantilever beam analysis. To be applied for analyze lateral earth pressure of retaining wall to compare with finite element analysis by verify the result of force reaction from the major retaining wall. The result of shear force and moment in retaining wall by those application analyze are more than finite element method because of the finite element method considered of soil movements

* ผู้ติดต่อหลัก (Corresponding author)

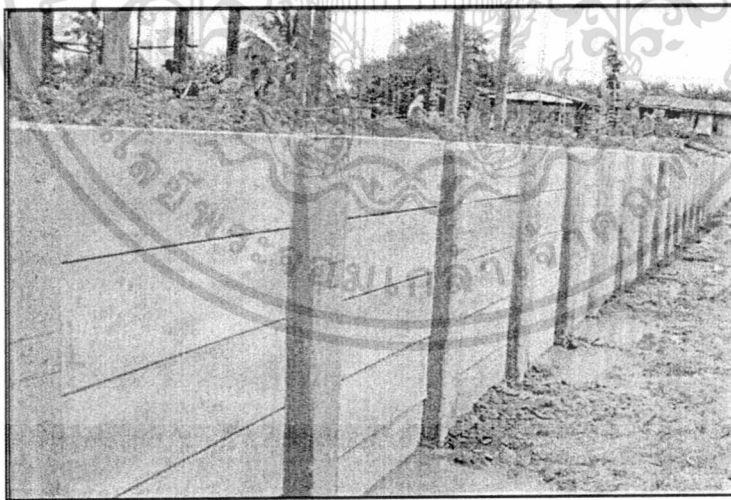
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and also retaining wall. Which these results of both methods analysis will be suggested the comparative analysis to find the suitable proportions for this type of retaining wall. To be used for design analysis in the future.

คำสำคัญ: Retaining Wall; Lateral Earth Pressure; Cantilever Beam Analysis; Finite Element

1. บทนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา โครงการก่อสร้างกำแพงกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ ในเขต กรุงเทพฯ ฯ ได้ถูกสร้างขึ้นอันเนื่องมาจากความจำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันการพังทลายของดิน อันเนื่องมาจากการขุดดิน และการถมดินที่เพิ่มขึ้น รวมไปถึงการป้องกันตลิ่งของลำน้ำ และคูคลองที่มีการขุดลอก และถมตลิ่งเพิ่มเติมอีกด้วย ซึ่งในงานก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดนี้ โดยทั่วไปพบว่าการก่อสร้างในชั้นดินเหนียวอ่อน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัว และการพังทลายของกำแพงกันดินอยู่เสมอ ปัญหาที่พบส่วนใหญ่คือ การขาดความรู้ความเข้าใจในการวิเคราะห์ออกแบบกำแพงกันดินชนิดนี้ อันเนื่องมาจากการประเมินค่าหน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินในชั้นดินเหนียวอ่อนนั้นยังเป็นเรื่องยากที่จะอธิบายได้โดยง่าย โดยหน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นทำให้เกิดค่าหน่วยแรงเฉือน และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน ซึ่งเป็นค่าที่จำเป็นต่อการการออกแบบความแข็งแรง และความมั่นคงของกำแพงกันดินต่อไป เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษา และวิเคราะห์ หน่วยแรงดันดิน หน่วยแรงเฉือน และโมเมนต์ ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินชนิดนี้



ภาพที่ 1 กำแพงกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา และเปรียบเทียบหน่วยแรงที่เกิดขึ้น จากการประยุกต์ใช้ทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดินแบบคานยื่น กับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะเป็นอีกงานวิจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ และมีส่วนในการพัฒนาความรู้ ในการวิเคราะห์ออกแบบก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

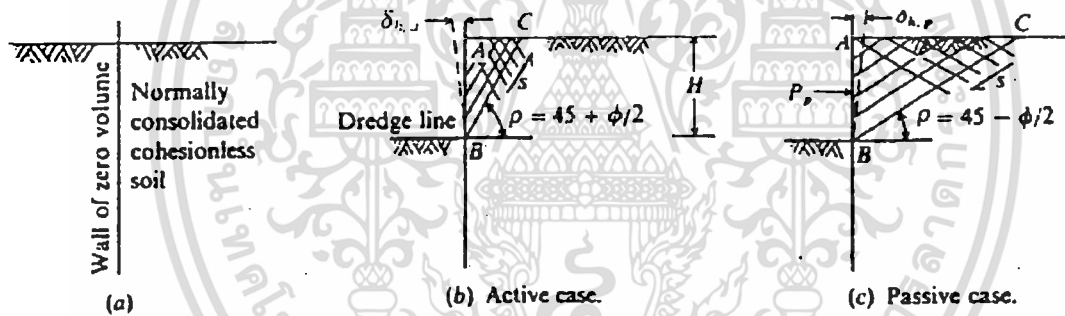
2. ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มตัวไอ ใช้ทฤษฎีในการวิเคราะห์ที่สำคัญ อยู่สองวิธีนั่นคือ ทฤษฎีแรงดันด้านข้างของดิน และทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดินแบบคานยื่น

2.1 ทฤษฎีแรงดันด้านข้างของดิน

แรงดันด้านข้างของดินคือแรงดันที่กระทำต่อโครงสร้างกันดิน เช่น กำแพงกันดิน แรงดันด้านข้างของดินมีอยู่ 3 แบบคือ

- แรงดันดินแบบอยู่กับที่ คือแรงดันของดินที่กระทำต่อผนังกำแพงกันดินด้านข้าง แล้วไม่ทำให้กำแพงกันดินเคลื่อนตัว ภาพที่ 2 พงษ์ศิลป์ (2544)
- แรงดันดินแบบแอ็คทีฟ คือแรงดันของดินที่กระทำต่อผนังกำแพงกันดินด้านข้าง แล้วทำให้กำแพงกันดินเคลื่อนที่ออกไปจากดินถมหลังกำแพง ภาพที่ 2
- แรงดันดินแบบแพสซีฟ คือแรงดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อด้านหน้ากำแพงกันดิน แล้วทำให้กำแพงกันดินเคลื่อนที่เข้าหาดินถมหลังกำแพง ภาพที่ 2



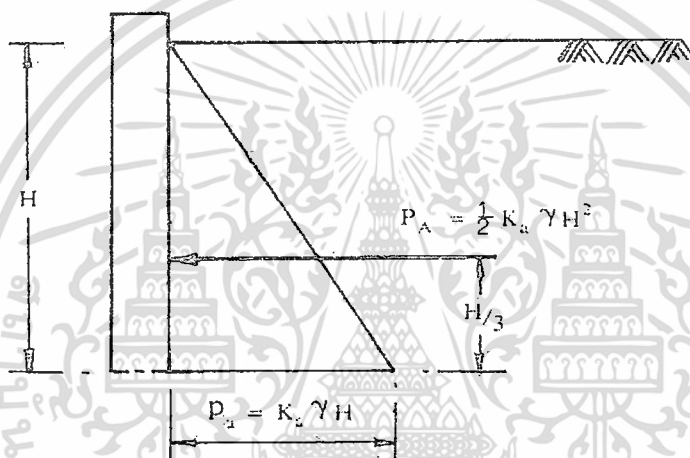
ภาพที่ 2 แรงดันด้านข้างของดินแบบต่าง ๆ

ทฤษฎีแรงดันดินที่ใช้คำนวณหาความดันด้านข้างของดิน อาศัยทฤษฎีที่สำคัญคือ

- ทฤษฎีของแรงกัน Rankine (1857) ใช้การสมดุลในช่วงพลาสติก พิจารณาสมการสมดุลของชั้นดิน โดยสมมติให้แรงดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อกำแพงกันดินมีความสัมพันธ์ต่อแรงดันทางตั้ง ส่วนใหญ่จะใช้ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวตั้ง และ ผิวหน้าของดินด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวราบ ดังนั้นจึงไม่มีความผิดหรือแรงเสียดทานระหว่างดินกับกำแพงกันดิน
- ทฤษฎีรูปลิ้มของคูลอมบ์ Coulomb (1776) คูลอมบ์ได้ศึกษาเกี่ยวกับแรงดันของดินโดยศึกษาจากสภาพสมดุลของมวลดินรูปลิ้มหลังกำแพงกันดิน ค่าแรงดันด้านข้างของดินที่จุดวิบัติ อยู่ในรูปของแรงดันรวม ส่วนใหญ่ใช้ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินไม่เป็นแนวตั้ง และ ผิวหน้าของดินด้านหลังกำแพงกันดินไม่เป็นแนวราบ จึงมีความผิดหรือแรงเสียดทานระหว่างดินกับกำแพงกันดิน

การหาแรงดันดินแบบแอ็คทีฟของดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น

Tschebotarioff (1951) ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงระดับของดินธรรมชาติ จะเป็นโครงการขุดหรือการถม จะทำให้ดินพยายามเคลื่อนตัวไปยังส่วนที่ต่ำกว่า การเปลี่ยนแปลงระดับของดินนี้ จะมีความสูงจำกัด ที่ดินสามารถอยู่ในสภาพสมดุลเนื่องจากมีแรงต้านทานอันเกิดแรงยึดเหนี่ยวและแรงเสียดทาน เมื่อเลยระดับของความสูงจำกัดนี้แล้ว ดินก็จะเกิดการวิบัติ จึงจำเป็นต้องสร้างกำแพงกันดินขึ้น เพื่อป้องกันการวิบัติของดิน เมื่อสร้างกำแพงกันดินแล้วมวลดินจะลงแรงกระทบด้านข้างต่อกำแพงกันดิน ทำให้ตัวกำแพงกันดินเคลื่อนที่ออกจากมวลดิน และดินจะเกิดการขยายตัว แรงกระทบของดินในลักษณะนี้ เรียกว่า แรงดันดินแบบแอ็คทีฟ ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น และกำแพงกันดินอยู่ในแนวตั้ง ระดับผิวดินด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวราบ ภาพที่ 3 มณฑีเยร (2543)



ภาพที่ 3 แรงดันดินแบบแอ็คทีฟ

สามารถหาค่าแรงดันดินแบบแอ็คทีฟ ได้จากทฤษฎีของแรงกันไว้ดังนี้

$$P_a = K_a \gamma H \quad (1)$$

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2)$$

แรง แอ็คทีฟ P_A สามารถหาได้ดังนี้

$$P_A = \frac{1}{2} p_a H$$

$$P_A = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \quad (3)$$

ซึ่งจะกระทำที่ระยะ $\frac{H}{3}$ จากขอบล่างของกำแพงกันดิน

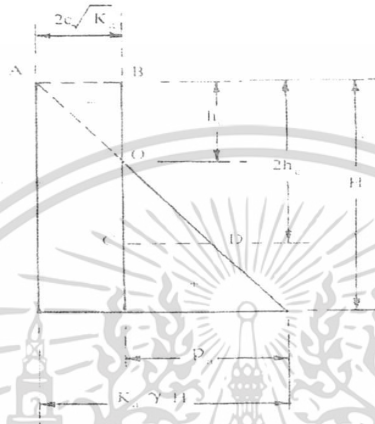
การหาแรงดันดินแบบแอ็คทีฟของดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น

สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น แรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงกันดิน จะน้อยกว่าดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่นซึ่งมีความหนาแน่นและมุมเสียดทานภายในเท่ากัน เพราะว่าส่วนหนึ่งดินจะยึดติดกันด้วยตัวมัน

เอง Bell (1915) ได้พัฒนาวิธีหาแรงดันดินแบบ แอ็คทีฟ มาจากทฤษฎีของแรงกิ้น สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น และระดับดินอยู่ในแนวราบ แรงดันดินแบบ แอ็คทีฟ ที่ความลึก h จะได้เท่ากับ

$$p_a = K_a \gamma h - 2c\sqrt{K_a} \quad (4)$$

ดังนั้น แรงเชื่อมแน่นของดินมีผลทำให้แรงดันดินแบบ แอ็คทีฟ ลดลงเท่ากับ $2c\sqrt{K_a}$ นั่นคือดินจะยึดอยู่ด้วยตัวเองมากขึ้น ภาพที่ 4 มณฑิเยอร์ (2543)



ภาพที่ 4 แรงดันดินที่มีความเชื่อมแน่น

2.2 ทฤษฎีแรงดันด้านข้างของกำแพงกันดิน

ทฤษฎีที่สำคัญที่ใช้ในการหาแรงดันด้านข้างของกำแพงกันดินในงานวิจัยนี้ ใช้ทฤษฎีกำแพงกันดินแบบคานยื่นเป็นหลัก ซึ่งกำแพงกันดินชนิดนี้เป็นกำแพงกันดินที่ได้รับการออกแบบส่วนประกอบของโครงสร้างให้มีเสถียรภาพมากพอในการต้านทานต่อแรงดันและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากมวลดินหลังกำแพงกันดิน โดยทั่วไปมักใช้กับบริเวณที่มีพื้นที่ในการก่อสร้างจำกัด มีระยะกระชั้นชิดระหว่างพื้นที่ใช้สอย กับกำแพงกันดินน้อย เหมาะกับงานกำแพงกันดินที่มีความสูงไม่เกิน 3 - 4 ม.

แรงดันดินด้านข้างที่กระทำกับกำแพงกันดินแบบคานยื่นในดินเหนียว

พิจารณากำแพงกันดินแบบคานยื่นที่ฝังลงในชั้นดินเหนียว ดังภาพที่ 5 Das (1999) โดยใช้ทฤษฎีของแรงกิ้น หาค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินได้ดังนี้

$$p_1 = k_a \gamma L_1 \quad (5)$$

$$p_2 = k_a (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \quad (6)$$

ที่ระดับ z ที่ความลึกใด ๆ

$$\text{ฝั่งดินถมหลังกำแพงกันดิน } P_a = K_a (\gamma L_1 + \gamma' L_2 + \gamma_{sat} Z) - 2C\sqrt{K_a}$$

$$\text{ฝั่งหน้ากำแพงกันดิน } P_p = \gamma_{sat} (z - L_1 - L_2) K_p + 2C\sqrt{K_p}$$

$$p_6 = P_p - P_a = 4C - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \quad (7)$$

ที่ระดับฐานของกำแพงกันดินแบบคานยื่น

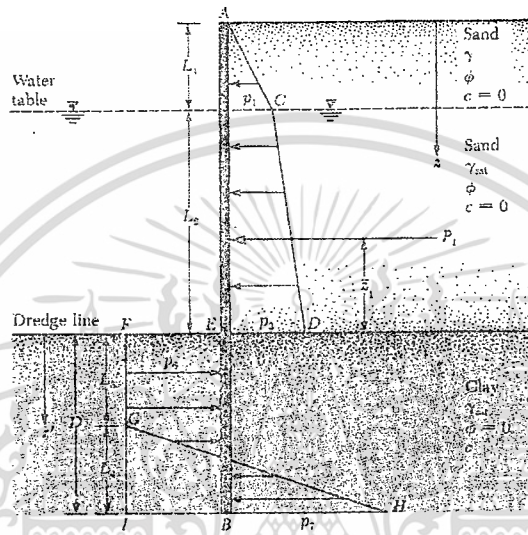
$$\text{ฝั่งดินถมหลังกำแพงกันดิน } P_p = K_p (\gamma L_1 + \gamma' L_2 + \gamma_{sat} D) - 2C\sqrt{K_p}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_a = \gamma_{\text{sat}} D - 2C$$

$$p_7 = P_p - P_a = 4C + (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \quad (8)$$

หลังจากทราบขนาดของหน่วยแรงดันดินที่เกิดขึ้นทั้งหมดแล้ว สามารถคำนวณหาความยาวของเข็มที่ฝังลงในดินเหนียวได้ โดยการสมมูลของแรงตามแนวราบและสมมูลของโมเมนต์รอบจุดใดๆ เพื่อใช้ในการหาค่าหน่วยแรงเฉือน และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินต่อไป



ภาพที่ 5 หน่วยแรงดันดินที่กระทำกับกำแพงกันดินแบบคานยื่น ที่ฝังในดินเหนียว

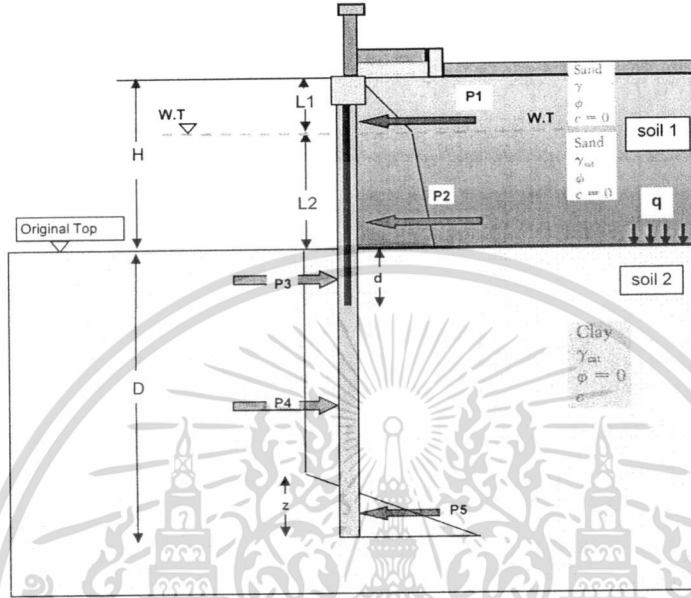
จากแผนภูมิหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินดังภาพที่ 5 พบว่าเป็นค่าที่ตั้งสมมติฐานตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริง แต่ในความเป็นจริง หน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินอาจมีค่ามาก หรือน้อยกว่าเกิดขึ้น ส่งผลไปยังหน่วยแรงเฉือน และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าหน่วยแรงเฉือน และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้คำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์กำแพงกันดินด้วย เช่น การเคลื่อนตัวของดิน ความยืดหยุ่นของกำแพงกันดิน ขั้นตอนในการก่อสร้าง เป็นต้น ทำให้ทราบถึงแนวโน้มของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นของทั้งสองวิธี ซึ่งสามารถใช้ในการประกอบ การพิจารณาวิเคราะห์ออกแบบกำแพงกันดินให้ได้ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริงที่สุด

3. การวิเคราะห์กำแพงกันดินแบบแฉกคองกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ

ในการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินแบบแฉกคองกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ ใช้ทฤษฎีแรงดันด้านข้างของกำแพงกันดิน มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ มีจุดที่แตกต่างกันนั่นคือกำแพงกันดินแบบแฉกคองกรีตในร่องเข็มตัวไอนั้นจะมีส่วนของโครงสร้างที่ฝังอยู่ในชั้นดินเหนียว อยู่สองชนิด นั่นคือในส่วนของตัวแผ่นผนังกำแพง และส่วนของเสาเข็มที่ฝังยื่นยาวต่อไป ซึ่งในทางทฤษฎีจะมีส่วนของตัวผนังกันดินฝังลงในชั้นดินเพียงส่วนเดียว ทำให้กำแพงกันดินแบบแฉกคองกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอ มีความสะดวกรวดเร็วในการก่อสร้าง เนื่องจากชิ้นส่วนวัสดุที่ใช้ เป็นวัสดุสำเร็จรูป มีความประหยัดในเรื่องของสัดส่วนความปลอดภัย เนื่องจาก ไม่จำเป็นต้องฝังผนังกำแพงให้ลึกลงไปชั้นดินมากเกินไป



ภาพที่ 6 ภาพตัดแสดงโครงสร้างของกำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวโอ

ในส่วนของทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้ใช้ทฤษฎีแรงดันด้านข้างของกำแพงกันดิน แบบคานยื่นมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยมี การเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงดันของดินเป็นเสาเข็มเข้ามารับแรงด้วย ซึ่งแตกต่างจากเดิมที่มีแต่เพียงกำแพงกันดินรับแรงดันของดินเพียงอย่างเดียว ดังภาพที่ 6 ซึ่งแรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน ที่มีระยะห่างของเสาเข็มแต่ละต้น เท่ากับ 1 เมตร ได้ตั้งสมการต่อไปนี้

$$P_1 = \frac{1}{2}k_a\gamma wL^2_1 \tag{9}$$

$$P_2 = \frac{1}{2}k_a(2\gamma L_1 + \gamma' L_2)wL_2 \tag{10}$$

$$P_3 = (4c - q)wd \tag{11}$$

$$P_4 = (4c - q)(D - d - Z)b \tag{12}$$

$$P_5 = (4c + q)bZ \tag{13}$$

q = หน่วยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นระหว่างดินเดิมกับดินถม = $(\gamma L_1 + \gamma' L_2)$

b = ขนาดหน้าตัดของเสาเข็ม

w = ระยะระหว่างเสาเข็ม

สามารถคำนวณหาความยาวของเข็มที่ฝังลงในดินเหนียวและความลึกของกำแพงกันดินได้ โดยการกำหนดความลึกของกำแพงกันดิน หรือความยาวของเข็มที่ฝังลงในดิน ค่าใดค่าหนึ่ง จากนั้นทำการสมดุลแรงตามแนวราบและสมดุลของโมเมนต์รอบจุดใดๆ เพื่อใช้ในการหาค่าหน่วยแรงเฉือน และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินและเสาเข็มต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

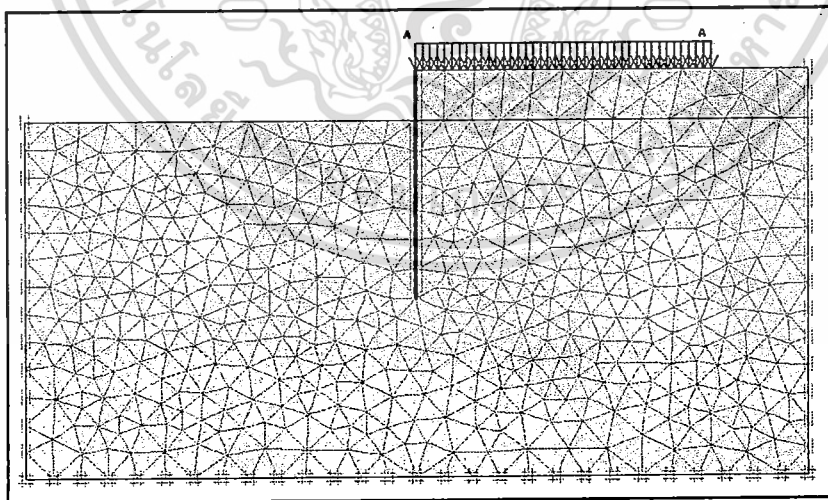
4. การวิเคราะห์เปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน บทความนี้ได้ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ โดยใช้คุณสมบัติต่าง ๆ ของดินดังตารางที่ 1 โดยที่ชั้นดิน Soil 1 เป็นดินถมหลังกำแพงกันดิน และชั้นดิน Soil 2 เป็นชั้นดินที่ปลายกำแพงกันดินฝังอยู่ โดยพิจารณาชั้นดิน Soil 2 เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ ซึ่งใช้ข้อมูลคุณสมบัติของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ฯ จากโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินกรุงเทพฯ ฯ สายสีน้ำเงิน Suwansawat (2002)

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรของดินที่ใช้ในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

คุณสมบัติของดิน		Soil 1	Soil 2
γ_{sat}	[kN/m ³]	18.00	16.00
E_{ref}	[kN/m ²]	12,000.00	6,250.00
ν	[-]	0.30	0.35
C	[kN/m ²]	0.00	12.00
ϕ	[°]	20.00	0.00

โดยแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้แบบจำลองดังภาพที่ 6 และ ภาพที่ 7 แต่จะมีการปรับเปลี่ยนแบบจำลองในส่วนของความลึกของเสาเข็ม D ที่ระดับ 4,6,9 เมตร ระดับน้ำหน้ากำแพงกันดิน เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริงใน สถานการณ์ต่าง ๆ และเพื่อหาความสัมพันธ์กันของค่าหน่วยแรงเฉือน และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับวิธีที่ประยุกต์ใช้ขึ้น



ภาพที่ 7 การจำลองด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

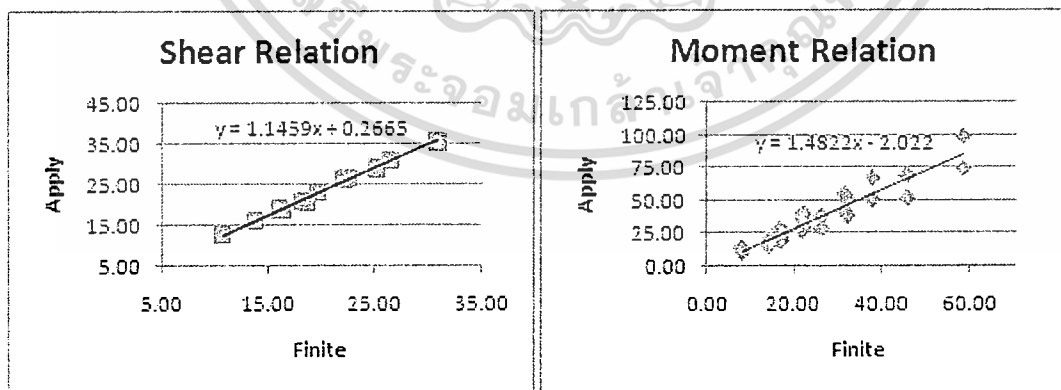
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบดังตารางที่ 2 พบว่าค่าที่ได้จากวิธีไฟไนต์ให้ค่าที่น้อยกว่าวิธีประยุกต์ทั้งในส่วนของทั้งค่าหน่วยแรงเฉือน และโมเมนต์ที่เกิดกับกำแพงกันดิน โดยได้อัตราส่วนเท่ากับ 1.16 และ 1.59 เท่าตามลำดับ โดยมีความสัมพันธ์กันเป็นสมการเส้นตรง ดังภาพที่ 8

ตารางที่ 2

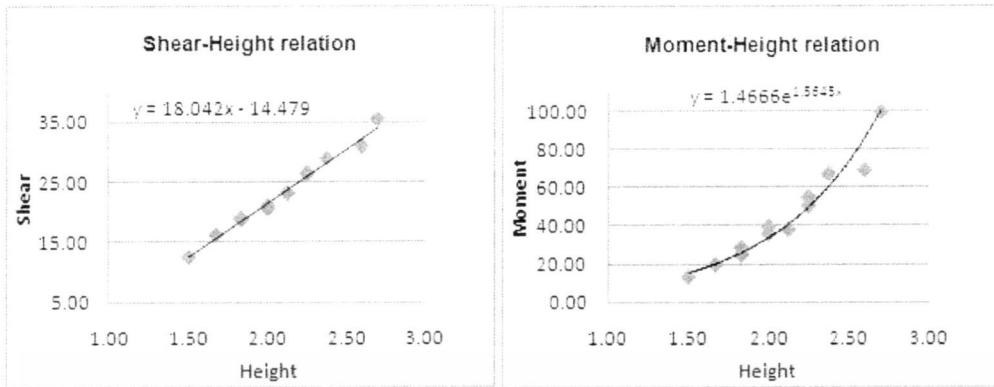
D=4m,c=12kN/m ²			Shear (kN)			Moment (kN.m)				
H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Apply	Ratio	Finite	Apply	Ratio		
1.5	0	0.44	10.71	12.55	1.17	8.21	13.08	1.59		
2	1	1.29	16.39	18.84	1.15	17.17	24.58	1.43		
2	1.5	0.64	13.83	16.24	1.17	14.36	19.43	1.35		
D=6m,c=12kN/m ²			Shear (kN)			Moment (kN.m)				
H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Apply	Ratio	Finite	Apply	Ratio		
2	0	2.53	18.24	20.98	1.15	21.82	35.63	1.63		
2	1	0.62	16.04	18.96	1.18	17.04	28.26	1.66		
2.5	1.5	2.52	22.60	26.63	1.18	32.30	50.21	1.55		
2.5	2	1.14	19.69	23.12	1.17	26.44	37.76	1.43		
D=9m,c=12kN/m ²			Shear (kN)			Moment (kN.m)				
H(m)	W.L(m)	d(m)	Finite	Apply	Ratio	Finite	Apply	Ratio		
2	0	1.42	18.70	20.63	1.10	22.27	39.45	1.77		
2.5	1	3.10	25.24	28.93	1.15	38.02	66.93	1.76		
2.5	1.5	1.33	22.24	26.29	1.18	31.69	54.57	1.72		
3	2	5.37	30.98	35.50	1.15	58.41	99.21	1.70		
3	2.5	1.97	26.58	30.97	1.17	45.80	68.93	1.51		
					AVG	1.16			AVG	1.59



ภาพที่ 8 กราฟความสัมพันธ์หน่วยแรงเฉือน และโมเมนต์ของทั้งสองวิธี

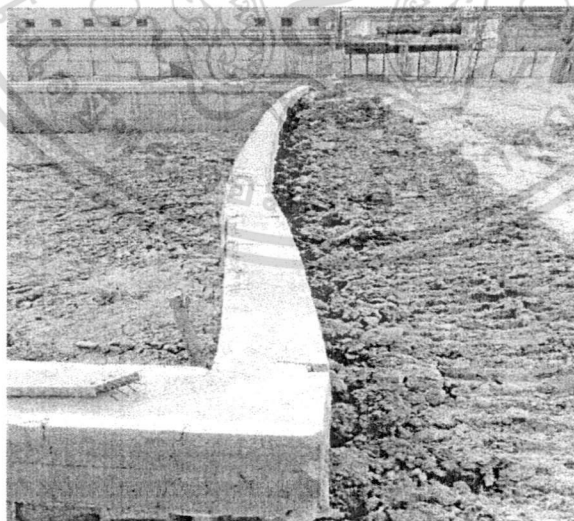
จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดิน กับความสูงของระดับดินถมหลังกำแพงกันดิน ดังภาพที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 9 กราฟความสัมพันธ์หน่วยแรงเฉือน และโมเมนต์ที่เทียบกับความสูงของดินถมหลังกำแพงกันดิน

จากภาพที่ 9 ทำให้ทราบถึงค่าของแรงเฉือน และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินได้ที่ระดับดินถมต่าง ๆ บนชั้นดินเหนียวเดิมที่มีคุณสมบัติชั้นดินตามที่ได้พิจารณาข้างต้น ซึ่งถ้าใช้พิจารณากับตารางที่ 2 จะทำให้ทราบถึงขอบเขตความสูงของดินที่ใช้ถมหลังกำแพงบนชั้นดินที่พิจารณา และความลึกของกำแพงกันดินที่ฝังอยู่ในชั้นดินเหนียวได้ เช่นตัวอย่างกรณีศึกษางานก่อสร้างกำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ โครงการบ่อน้ำบาดน้ำเสียโรงงานมาลีบางกอก สมุทรปราการ ซึ่งมีความสูงของตัวกำแพง 2.50 เมตร ความลึกของเสาเข็มตัวไอ 6 เมตร ไม่มีระดับน้ำหน้ากำแพงกันดินขณะก่อสร้าง ค่า C ของดินที่ระดับ 6 เมตร มีค่า 12 kN/m² พบว่ากำแพงกันดินมีการเคลื่อนตัว และแอ่นตัวด้านข้างมาก ภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ตัวอย่างความเสียหายของกำแพงกันดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยพิจารณาจากตารางที่ 2 พบว่าในงานก่อสร้างในกรณีศึกษากำแพงกันดินนี้ มีการขุดดินลึกมากเกินไป ทำให้กำแพงกันดินไม่สามารถต้านทานแรงดันดินที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบจากตารางที่ 2 และเมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างของกำแพงกันดิน พบว่าไม่สามารถต้านทานโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินได้ อันเนื่องมาจากไม่มีการเสริมเหล็กต้านทานโมเมนต์ในเสาเข็ม และเสาเข็มมีขนาดหน้าตัด 18 cm. ไม่เพียงพอต่อการต้านทานโมเมนต์ที่เกิดขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปัญหาในการขาดความเข้าใจในการวิเคราะห์ออกแบบกำแพงกันดินชนิดนี้

5. บทสรุป

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับทั้งสองวิธี ทั้งหน่วยแรงเฉือน และโมเมนต์ทำให้ทราบแนวโน้มของวิธีที่ประยุกต์ใช้ว่ามีค่ามากกว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเนื่องมาจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีปัจจัยอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องทั้งในเรื่องของการเคลื่อนตัวของดิน การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน ขั้นตอนการก่อสร้าง แต่ในทางกลับกันวิธีที่ประยุกต์ใช้นั้น ใช้การวิเคราะห์แบบแข็งเกร็งไม่ยอมให้กำแพงกันดินมีการเคลื่อนตัวเกิดขึ้น ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้มีสัดส่วนความปลอดภัยที่มากกว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยสัดส่วนที่แตกต่างกันของทั้งสองวิธีนี้ จะเป็นประโยชน์ให้ผู้ออกแบบได้ใช้เป็นข้อมูลร่วมในการตัดสินใจ วิเคราะห์ออกแบบกำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มตัวโอได้มากยิ่งขึ้น

6. บรรณานุกรม

- คณะกรรมการจัดการความรู้, 2549. การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง. กรมโยธาธิการและผังเมือง
มณฑลเชียร กังคศิเทียม, 2543. กลศาสตร์ของดิน ด้านวิศวกรรม. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน
ในพระบรมราชูปถัมภ์
วรรณิ์ สุขสาคร, 2549. วิศวกรรมฐานราก. สำนักพิมพ์ฟอร์เพช
พงษ์ศิลป์ เดชะตุนวงศ์, 2544. การศึกษาพฤติกรรมความเค้นความเครียดของกำแพงกันดินชนิดเรียง
ต่อเนื่องโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. ปริญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Suwansawat, S., 2002. Earth Pressure Balance (EPB) Shield Tunneling in Bangkok: Ground
Response and Prediction of Surface Settlements Using Artificial Neural Networks. Doctor of
Science in Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology
Das, B.M., 1999. Principles of Foundation Engineering. 4th ed., PWS Publishing
Tschebotarioff, G.P., 1973. Foundation Retaining and Earth Structure. 2nd ed., McGraw-Hill,
New York