



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบ และวิเคราะห์เสถียรภาพโครงสร้างกำแพงกันดิน

Design and Analysis of the Stability of Retaining Wall Structures

นาย ภาวิศ ตั้งนันทนาการ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบ และวิเคราะห์เสถียรภาพโครงสร้างกำแพงกันดิน

Design and Analysis of the Stability of Retaining Wall Structures

นายภวิศ ตั้งนันทนาการ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการสหกิจศึกษา	การออกแบบ และวิเคราะห์เสถียรภาพโครงสร้างกำแพงกันดิน
นักศึกษา	นาย ภาวิศ ตั้งนันทนาการ รหัสนักศึกษา 62010675
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
อาจารย์นิเทศ	รศ.ดร ศลิษา ไชยพุทธ
ผู้นิเทศงาน	นาย ธนรัฐ น้าวแสง
สถานประกอบการ	ศุภาลัย ไพร์ด ศรีราชา

### บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ได้อธิบายถึงที่มา ปัญหาของงานวิจัย การออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดินเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการถมดิน และการวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัว และแรงมีมากระทำต่อโครงสร้างกำแพงกันดินทั้งก่อนการออกแบบ และหลังการออกแบบ โดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางไฟไนต์อีลิเมนต์ ซึ่งในการวิจัยนี้จะไม่ทำการทุบโครงสร้างเดิมแล้วสร้างขึ้นใหม่ แต่จะทำการต่อเติมโครงสร้างเพิ่มเติมจากโครงสร้างเดิมแทน เพื่อประหยัดต้นทุนกับทรัพยากรที่ต้องเสียทั้งในด้านของเวลา วัสดุ แรงงาน และอื่นๆ นอกจากนี้งานวิจัยนี้นำไปสู่แนวทางในการเลือกใช้วิธีการก่อสร้างในการแก้ไขปัญหา เมื่อเกิดปัญหาเช่นนี้ในบริเวณอื่นๆในอนาคต

คำสำคัญ : การออกแบบกำแพงกันดิน, ดินถม, ไฟไนต์อีลิเมนต์

<b>Reserch</b>	Design and Analysis of the Stability of Retaining Wall Structures
<b>Student</b>	Mr. Pavit Tangnantanakarn ID 62010675
<b>Curriculum</b>	Bachelor of Engineering Program in Civil Engineering
<b>Advisor</b>	Dr. Salisa Chaipayut
<b>Supervisor</b>	Mr. Thanarat Nowsang
<b>Enterprise</b>	Supalai Pride Sriracha

## ABSTRACT

The full cooperative education report informs its origins. research problems, retaining wall structure design to solve problems arising from backfills, analysis of movements and the forces acting on the retaining wall structure both before and after design by analyzing with a finite element program. In this research, the original structure will not be demolished and rebuilt. But will build additional structures instead to save costs and resources in terms of time, materials, labor and others. In addition, this research leads to guidelines for choosing construction methods to solve problems, when problems like this occur in other areas in the future.

Keywords: Retaining Wall Design, Backfill, Finite Element

## กิตติกรรมประกาศ

การที่ข้าพเจ้าได้มาปฏิบัติงานในรายวิชาสหกิจศึกษา (01096003) ณ บริษัท ศุภาลัย จำกัด มหาชน ตั้งแต่ วันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2565 ถึง 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2565 เป็นเวลา 98 วัน ข้าพเจ้าได้รับความรู้ทั้งด้านการ ควบคุมงานก่อสร้างบ้าน 2 ชั้น ในโครงการ ศุภาลัย ไพร์ด ศรีราชา รวมไปถึงหัวข้อปัญหา การออกแบบ และ วิเคราะห์เสถียรภาพโครงสร้างกำแพงกันดิน ที่ข้าพเจ้าเลือกศึกษา เป็นประสบการณ์ที่ช่วยพัฒนาทักษะ ของ ชีวิตการทำงานและชีวิตประจำวันของข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก การได้ร่วมทำงานกับผู้อื่นทั้งในองค์กรและ นอก องค์กร สำหรับรายงานวิชาสหกิจศึกษานี้สำเร็จได้ด้วยดีมาจากการได้รับความร่วมมือและการ สนับสนุน จากหลายฝ่ายดังนี้

- |                                |                  |
|--------------------------------|------------------|
| 1. นาย ศรายุทธ ประจวบศิริสุข   | ผู้จัดการโครงการ |
| 2. นาย ธนรัฐ น้าวแสง           | วิศวกรสนามอาวุโส |
| 3. นาย สุทธิศักดิ์ อินทรสนิท   | วิศวกรสนามอาวุโส |
| 4. นาย กิตติคุณ ธงชัยรุ่งเรือง | วิศวกรสนามอาวุโส |
| 5. นาย พลวัฒน์ พันกันทะ        | ผู้ควบคุมงาน     |

และบุคลากรท่านอื่นที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่าน ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ ที่ให้ความเมตตา และคำแนะนำรวมถึงความห่วงใยในการใช้ชีวิตประจำวันในการทำงานและช่วยเหลือในการทำ รายงาน สหกิจฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้ ประโยชน์และประสบการณ์อันพึงมีนี้จากรายงานฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแต่ผู้มี พระคุณทุกท่าน

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) .....	I
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VII
สารบัญรูป .....	IX
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย .....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย .....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
<b>2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>4</b>
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1.1 กำแพงกันดินสำเร็จรูป .....	4
2.1.2 แรงดันด้านข้างของดิน (Lateral Earth Pressure) .....	5
2.1.3 แรงดันดินที่สภาวะอยู่นิ่ง (At Rest Earth Pressure) .....	6
2.1.4 ทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของ Rankine .....	8
2.1.5 การตรวจสอบการพลิกคว่ำของโครงสร้าง (Overturning) .....	16
2.1.6 เสถียรภาพกำแพงกันดิน (Stability of Wall) .....	17
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	18
2.2.1 การศึกษาวิธีการวิเคราะห์กำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ .....	18

# สารบัญ

หน้า

<b>3</b>	<b>วิธีดำเนินการวิจัย .....</b>	<b>20</b>
3.1	ข้อมูลโครงการ .....	21
3.2	ขอบเขตการวิจัยและข้อตกลงเบื้องต้น .....	22
3.2.1	ปัญหาการวิจัย .....	22
3.2.2	คำถามการวิจัย .....	23
3.2.3	สมมติฐานเบื้องต้น .....	23
3.2.4	เงื่อนไขเบื้องต้นของงานวิจัย .....	23
3.3	ข้อมูลสภาพชั้นดินของโครงการ .....	24
3.3.1	ศึกษาข้อมูล Boring Log .....	26
3.3.2	คุณสมบัติของดิน .....	28
3.4	การออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดิน .....	31
3.4.1	บริเวณที่ก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเพิ่มจากโครงสร้างเดิม .....	31
3.4.2	การหาแรงดันดินด้านข้าง .....	33
3.4.3	การออกแบบต่อม่อ และแผ่นกำแพงกันดิน .....	58
3.5	การวิเคราะห์ด้วย Plaxis 2D .....	61
3.5.1	ศึกษาโปรแกรมทาง Finite Element .....	61
3.5.2	การวิเคราะห์โครงสร้างกำแพงกันดิน .....	61
<b>4</b>	<b>ผลการวิจัย .....</b>	<b>82</b>
4.1	ผลการวิจัย .....	82
4.2	การวิเคราะห์ผล .....	82
4.3	การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง .....	88
<b>5</b>	<b>สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>89</b>
5.1	สรุปผลการวิจัย .....	89
5.2	ข้อเสนอแนะ .....	89

# สารบัญ

หน้า

เอกสารอ้างอิง .....	90
ภาคผนวก .....	91
ประวัติผู้เขียน .....	94



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่า Coefficient of earth pressure at rest ..... 8
2.2	สรุปสมการที่ใช้คำนวณแรงดันดินด้านข้าง ..... 15
3.1	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT-N กับ $\phi$ ของทราย และ $S_{uc}$ ของดินเหนียว ..... 28
3.2	มาตรฐานการจำแนกดินระบบ USCS ..... 29
3.3	ตารางแสดง Soil Parameter ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ ..... 33
3.4	แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้าง กำแพงกันดินก่อนการออกแบบ ..... 37
3.5	แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้าง กำแพงกันดินก่อนการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 20 เซนติเมตร ..... 40
3.6	แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้าง กำแพงกันดินหลังการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 20 เซนติเมตร ..... 41
3.7	แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้าง กำแพงกันดินก่อนการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 30 เซนติเมตร ..... 44
3.8	แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้าง กำแพงกันดินหลังการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 30 เซนติเมตร ..... 45
3.9	แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้าง กำแพงกันดินก่อนการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 40 เซนติเมตร ..... 48
3.10	แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้าง กำแพงกันดินหลังการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 40 เซนติเมตร ..... 49
3.11	แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้าง กำแพงกันดินก่อนการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 50 เซนติเมตร ..... 52
3.12	แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้าง กำแพงกันดินหลังการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 50 เซนติเมตร ..... 53

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.13 แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้าง กำแพงกันดินก่อนการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร .....	56
3.14 แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้าง กำแพงกันดินหลังการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร .....	57
3.15 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ .....	62
3.16 ข้อมูลสมบัติของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ .....	67
3.17 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ .....	72
3.18 ข้อมูลสมบัติของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ .....	77
4.1 เปรียบเทียบค่า Factor of Safety ของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อน และหลังการออกแบบที่ระดับดิน ต่างๆ .....	82



## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กำแพงกันดินและรั้วสำเร็จรูป .....	4
2.2	ลักษณะการเกิดแรงดันดินด้านข้าง .....	5
2.3	(A) แรงดันดินที่ความลึก Z (B) การกระจายแรงดันดินที่สภาวะอยู่นิ่งและแรงดันน้ำ .....	6
2.4	ระนาบการวิบัติตามทฤษฎีของ Rankine (a) Rankine active state, (b) Rankine passive state .	9
2.5	แรงดันดินด้านข้างตามทฤษฎีของ Rankine (a) Back side vertical, (b) Back side inclined .....	9
2.6	การวิบัติของดินในสภาวะแอกทีฟ .....	10
2.7	Mohr circle แสดงสถานะของหน่วยแรงเมื่อดินวิบัติในสภาวะแอกทีฟ .....	11
2.8	การกระจายของแรงดันดินด้านข้างในสภาวะแอกทีฟ .....	12
2.9	ตัวอย่างการก่อสร้างที่ก่อให้เกิดแรงดันดินแบบแพชซีฟ .....	13
2.10	การวิบัติของดินในสภาวะแพชซีฟ .....	13
2.11	Mohr circle แสดงสถานะของหน่วยแรงเมื่อดินวิบัติในสภาวะแพชซีฟ .....	14
2.12	การกระจายของแรงดันดินด้านข้างในสภาวะแพชซีฟ .....	15
2.13	แสดงตัวแปรในการตรวจสอบการพลิกคว่ำของโครงสร้าง .....	16
2.14	(a) กำแพงขาดเสถียรภาพภายนอก (b) กำแพงขาดเสถียรภาพภายใน .....	17
3.1	ผังวิธีดำเนินการวิจัย .....	20
3.2	ผังโครงการ ศุภาลัย ไพรัตน์ ศรีราชา .....	21
3.3	ผังโครงการ ศุภาลัย ไพรัตน์ ศรีราชาก่อนทำการย้ายท่อระบายน้ำ .....	22
3.4	ผังโครงการ ศุภาลัย ไพรัตน์ ศรีราชาหลังทำการย้ายท่อระบายน้ำ .....	23
3.5	แผนที่แสดงที่ตั้งโครงการ .....	24
3.6	แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณที่ตั้งโครงการ และพื้นที่ใกล้เคียง .....	25
3.7	แผนที่แสดงหลุมเจาะสำรวจ .....	27
3.8	รูปตัดขวางชั้นดินตามแนว A-A' .....	30
3.9	รูปบริเวณที่ก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเพิ่มจากโครงสร้างเดิม .....	32
3.10	Borehole Logs and Soil Properties .....	34

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.11 รูปแสดง Parameter ดินชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ของโครงสร้างกำแพงกันดินเดิม และแรงดันดินด้านข้าง .	35
3.12 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินเดิมที่จุดหมุน x	36
3.13 รูปแสดง Parameter ดินชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และดินถมสูง 20 เซนติเมตรของโครงสร้างกำแพงกันดิน และแรงดันดินด้านข้าง	38
3.14 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 20 เซนติเมตร	39
3.15 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 20 เซนติเมตร	40
3.16 รูปแสดง Parameter ดินชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และดินถมสูง 30 เซนติเมตรของโครงสร้างกำแพงกันดิน และแรงดันดินด้านข้าง	42
3.17 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 30 เซนติเมตร	43
3.18 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 30 เซนติเมตร	44
3.19 รูปแสดง Parameter ดินชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และดินถมสูง 40 เซนติเมตรของโครงสร้างกำแพงกันดิน และแรงดันดินด้านข้าง	46
3.20 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 40 เซนติเมตร	47
3.21 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 40 เซนติเมตร	48
3.22 รูปแสดง Parameter ดินชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และดินถมสูง 50 เซนติเมตรของโครงสร้างกำแพงกันดิน และแรงดันดินด้านข้าง	50
3.23 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 50 เซนติเมตร	51

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.24	แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 50 เซนติเมตร ..... 52
3.25	แสดง Parameter ดินชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และดินถมสูง 60 เซนติเมตรของโครงสร้างกำแพงกันดิน และแรงดันดินด้านข้าง ..... 54
3.26	แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร ..... 55
3.27	แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร ..... 56
3.28	แบบขยายต่อม่อ ..... 59
3.29	แบบขยายแผ่นกำแพงกันดิน ..... 60
3.30	โมเดลโครงสร้างกำแพงกันดินและรั้วสำเร็จรูปหลังการออกแบบ ..... 61
3.31	การกำหนด Project Properties ที่จะทำการวิเคราะห์ ..... 62
3.32	ข้อมูลทั่วไปของดินชั้น Medium dense silty Sand ..... 63
3.33	ข้อมูล Parameters ของดินชั้น Medium dense silty Sand ..... 63
3.34	ข้อมูล Interfaces ของดินชั้น Medium dense silty Sand ..... 64
3.35	ข้อมูล Initial ของดินชั้น Medium dense silty Sand ..... 64
3.36	ข้อมูลทั่วไปของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand ..... 65
3.37	ข้อมูล Parameters ของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand ..... 65
3.38	ข้อมูล Interfaces ของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand ..... 66
3.39	ข้อมูล Initial ของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand ..... 66
3.40	การใส่ข้อมูล Borehole ของ BH – 3 ..... 67
3.41	การใส่ข้อมูลเสาเข็ม ..... 68
3.42	การใส่ข้อมูล Cap Beam ..... 68
3.43	การใส่ข้อมูลเสารั้วสำเร็จรูป ..... 69
3.44	ใส่โครงสร้างกำแพงกันดิน ..... 70

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.45	ใส่ระดับชั้นดินที่ต้องการถม .....	70
3.46	ผลจากการกำหนดอิลิเมนต์ที่มีความละเอียดมาก .....	71
3.47	การกำหนด Project Properties ที่จะทำการวิเคราะห์ .....	72
3.48	ข้อมูลทั่วไปของดินชั้น Medium dense silty Sand .....	73
3.49	ข้อมูล Parameters ของดินชั้น Medium dense silty Sand .....	73
3.50	ข้อมูล Interfaces ของดินชั้น Medium dense silty Sand .....	74
3.51	ข้อมูล Initial ของดินชั้น Medium dense silty Sand .....	74
3.52	ข้อมูลทั่วไปของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand .....	75
3.53	ข้อมูล Parameters ของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand .....	75
3.54	ข้อมูล Interfaces ของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand .....	76
3.55	ข้อมูล Initial ของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand .....	76
3.56	การใส่ข้อมูล Borehole ของ BH - 3 .....	77
3.57	การใส่ข้อมูลเสาเข็ม .....	78
3.58	การใส่ข้อมูล Cap Beam .....	78
3.59	การใส่ข้อมูลเสาสำเร็จรูป .....	79
3.60	การใส่ข้อมูลต่อม่อ .....	79
3.61	ใส่โครงสร้างกำแพงกันดิน .....	80
3.62	ใส่ระดับชั้นดินที่ต้องการถม .....	80
3.63	ผลจากการกำหนดอิลิเมนต์ที่มีความละเอียดมาก .....	81
4.1	แสดงการเสีรูปร่างของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร .....	83
4.2	แสดงการเคลื่อนตัวในแนวรวมของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ .....	83
4.3	แสดงการเคลื่อนตัวในแนวราบของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ .....	84
4.4	แสดงการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ .....	84
4.5	แสดงความเค้นหลักที่กระทำต่อโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบเมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร .....	85

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
4.6	แสดงการเสียรูปของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร .....	86
4.7	แสดงการเคลื่อนตัวในแนวรวมของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ .....	86
4.8	แสดงการเคลื่อนตัวในแนวราบของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ .....	87
4.9	แสดงการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ .....	87
4.10	แสดงความเค้นหลักที่กระทำต่อโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบเมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร .....	88



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

กำแพงกันดิน (Retaining Wall) ถือเป็นรูปแบบโครงสร้างที่ได้รับการออกแบบให้มีความทนทานมากเป็นพิเศษ โดยสร้างขึ้นเพื่อต้านทานแรงดันทางด้านข้างของมวลดิน หรือ ของไหล เช่น โคลน และน้ำ เมื่อมีการก่อสร้าง หรือ สภาพธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลงไปแล้วทำให้เกิดระดับดินที่ต่างกัน และมีความลาดชันมากกว่าที่ชั้นดินจะคงตัวอยู่ได้ด้วยตัวเองอย่างปลอดภัย จะทำให้เกิดการเคลื่อนพังทลายของมวลดิน ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายตามมาได้ เช่น ในพื้นที่บ่อก่อสร้างฐานราก , ช่องทางระบายน้ำล้นของเขื่อน หรือ ริมตลิ่งแม่น้ำ เป็นต้น วิศวกรต้องออกแบบโครงสร้างกันดินแบบต่างๆที่เหมาะสมเพื่อที่จะป้องกันการพังทลาย หรือ การเคลื่อนตัวที่มากเกินไปของชั้นดิน เพื่อให้สิ่งก่อสร้างที่เกี่ยวข้องสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ โดยต้องเลือกรูปแบบ หรือ ชนิดของโครงสร้างกันดินให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ และลักษณะการใช้งาน นอกจากนี้กำแพงกันดินยังช่วยป้องกันไม่ให้น้ำใต้ดินซึมเข้าสู่ชั้นใต้ดินของอาคาร อีกทั้งยังช่วยต้านทานแรงของน้ำหนักที่กดทับจากพื้นผิวด้านบน เช่น น้ำหนักยานพาหนะ หรือ สิ่งปลูกสร้างต่างๆ กำแพงกันดินจึงมีบทบาทสำคัญต่อการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างเป็นจำนวนมากตั้งแต่อดีต จนถึงปัจจุบัน [1] โดยที่ผ่านมา ในปี พ.ศ. 2554 มีผลงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาวิธีการวิเคราะห์กำแพงกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ โดยศึกษาหาแนวทางการวิเคราะห์กำแพงกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอที่ยอมรับได้ในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ระหว่างวิธีคำนวณมือ กับวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบทั้งสองวิธีเพื่อหาความสอดคล้องสัดส่วนที่เหมาะสมของทั้งสองวิธี สรุปได้ว่าจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นกับกำแพงกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ ทั้งในส่วนของแรงเฉือน และโมเมนต์ทำให้ทราบแนวโน้มของวิธีคำนวณมือว่ามีค่ามากกว่าวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์มีปัจจัยอื่นๆเข้ามาเกี่ยวข้อง และ ในปี พ.ศ.2560 มีผลงานวิจัยเกี่ยวกับตรวจสอบเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันน้ำด้วยโปรแกรม Plaxis 2D โดยศึกษาด้านเสถียรภาพ พฤติกรรมของโครงสร้างกำแพงกันน้ำ สรุปได้ว่าอัตราส่วนความปลอดภัยของกำแพงกันน้ำ เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ กับอัตราส่วนความปลอดภัยที่กำหนด ได้ว่าเสถียรภาพภายนอกของกำแพงกันน้ำซึ่งได้จากการวิเคราะห์มีค่าสูงกว่าที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้ ดังนั้นเสถียรภาพนอกของกำแพงกันน้ำจึงเพียงพอ

เนื่องจากทางโครงการศุภาลย์ ไพร์ด ศรีราชาได้ทำการย้ายระบบระบายน้ำของไซต์จากทางท้ายไซต์ไปยังข้างไซต์ เพราะมีผู้อยู่อาศัยใกล้เคียงร้องเรียน ดังนั้นบริเวณระบบระบายน้ำเก่าจึงต้องมีการถมดินเพื่อปรับระดับสำหรับสร้างบ้าน ซึ่งการถมดินมีตั้งแต่สูง 20 – 60 เซนติเมตรอาจจะส่งผลกระทบต่อกำแพงกันดินและรั้วสำเร็จรูปที่ได้มีการสร้างไว้อยู่แล้ว เพื่อให้ได้รับผลกระทบต่อกำแพงกันดินและรั้วสำเร็จรูปน้อยที่สุด จึงต้องทำการออกแบบกำแพงกันดินและรั้วสำเร็จรูปใหม่จากกำแพงกันดินและรั้วสำเร็จรูปเดิมโดยใช้งบประมาณให้น้อยที่สุดและให้ปลอดภัยที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาเสถียรภาพภายนอกของโครงสร้างกำแพงกันดินที่ออกแบบ

1.2.2 ออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดินใหม่เพื่อให้การถมดินเกิดผลกระทบต่อกำแพงกันดินและรั้วสำเร็จรูปน้อยที่สุด และปลอดภัยที่สุด

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบเมื่อมีดินถมมากระทำต่อตัวโครงสร้างกำแพงกันดินด้วยวิธี Finite Element Method

1.2.4 เพื่อเป็นการเป็นแนวทางในการก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเมื่อเกิดปัญหานี้ขึ้นในบริเวณอื่นในอนาคต

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตด้านข้อมูล

ข้อมูลที่ผู้วิจัยทำการศึกษาและรวบรวมนั้น เป็นข้อมูลที่ได้มาจาก รายงานการสำรวจสภาพชั้นดินของโครงการศุภาลย์ ไพร์ด ศรีราชา จังหวัดชลบุรี

ขอบเขตด้านระยะเวลา

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้เวลาศึกษา รวบรวมข้อมูล ออกแบบ และวิเคราะห์ข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 8 สิงหาคม 2565 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2565

## 1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ทำความเข้าใจแบบแปลนกำแพงกันดินและรั้วสำเร็จรูป
- 1.4.2 ศึกษาการก่อสร้างกำแพงกันดินและรั้วสำเร็จรูป
- 1.4.3 กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัยและแนวทางในการดำเนินการวิจัย
- 1.4.4 คำนวณแรงดันด้านข้างของดินและออกแบบกำแพงกันดิน
- 1.4.5 ทำการศึกษาวิธีการใช้งานไฟไนต์อีลิเมนต์ Plaxis 2D
- 1.4.6 วิเคราะห์ผลกระทบของกำแพงกันดินที่ทำการออกแบบ
- 1.4.7 สรุปผลการวิจัย

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทราบถึงพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเมื่อมีแรงดันของดินมากระทำเนื่องจากการถมดินที่ระดับความสูงต่างๆ
- 1.5.2 ทราบถึงแรงที่มากระทำกับกำแพงกันดินที่มาจากดินที่ระดับความสูงต่างๆ ว่ามีค่าเท่าไร
- 1.5.3 ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กำแพงเดิมเมื่อต้องรับน้ำหนักดินถมที่เพิ่มมากขึ้น
- 1.5.4 ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการสร้างกำแพงใหม่

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 กำแพงกันดินสำเร็จรูป [2]

ระบบกำแพงกันดินสำเร็จรูปทำให้โครงสร้างมีความทนทานมากเป็นพิเศษ ช่วยต้านทานแรงดันทางด้านข้างของมวลดิน ใช้สำหรับป้องกันดินสไลด์ และดินถล่มตามแนวตลิ่ง หรือตามแนวรั้วบ้าน ที่ระดับดินต่ำสูง ไม่เท่ากันทำให้รั้วที่อยู่เหนือพื้นดินไม่ล้มหรือทรุดตัวลง ช่วยให้แนวรั้วคงสภาพความสวยงามได้ตลอดอายุการใช้งาน เหมาะสำหรับงานอาคารทุกประเภท โดยมีขั้นตอนการติดตั้งกำแพงกันดินสำเร็จรูป ดังนี้

1. สำรวจพื้นที่การก่อสร้าง ซึ่งผู้ว่าจ้างเป็นผู้กำหนดแนวกำแพงกันดิน รวมทั้งพื้นที่ทางเข้าออก และเคลียร์พื้นที่หน้างานพร้อมปรับระดับพื้นที่ เพื่อให้สามารถทำงานได้สะดวก
2. กำหนดพิกัดเสาเข็มและระดับตามที่กำหนดไว้ในแบบ ทำการขุดเปิดหน้าดิน และตอกเข็มตามแนวที่กำหนด
3. เสียบแผ่นกันดินทีละแผ่น พร้อมทั้งใช้ปูนทรายอุดช่องระหว่างเสาเข็มกับแผ่นกันดิน
4. หล่อคานทับหลัง เหนือแนวแผ่นกันดินตามระดับที่กำหนด



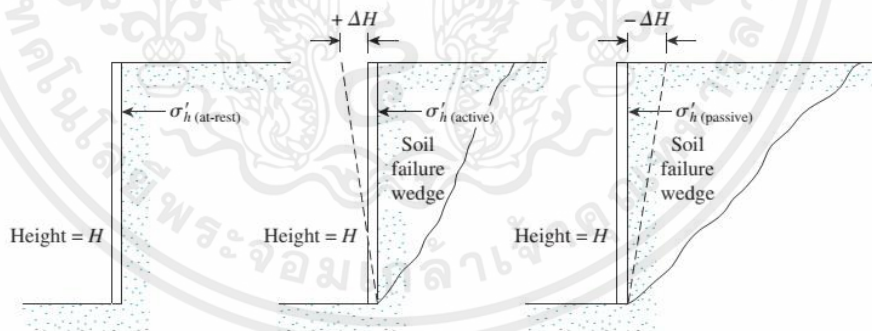
รูปที่ 2.1 กำแพงกันดินและรั้วสำเร็จรูป

## 2.1.2 แรงดันด้านข้างของดิน (Lateral Earth Pressure)

การวิเคราะห์หาแรงดันดินด้านข้างมีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบกำแพงกันดิน หรือ โครงสร้างกันดินต่างๆ ขนาดและทิศทางของแรงดันดินด้านข้างเป็นข้อมูลที่จำเป็นอย่างมาก เพื่อใช้ในการ ออกแบบโครงสร้างกันดินและกำแพงกันดิน เพื่อให้มีอัตราส่วนความปลอดภัยที่มากเพียงพอ แรงดันดินด้านข้าง ขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนตัวของกำแพง แบ่งเป็นสามกรณี (รูปที่ 2.2) ดังนี้

- แรงดันดินด้านข้างที่สภาวะอยู่นิ่ง (At Rest Earth Pressure)
- แรงดันดินด้านข้างเมื่อดินเคลื่อนตัวดันกำแพง (Active Earth Pressure)
- แรงดันดินด้านข้างเมื่อดินกำแพงเคลื่อนตัวดันดิน (Passive Earth Pressure)

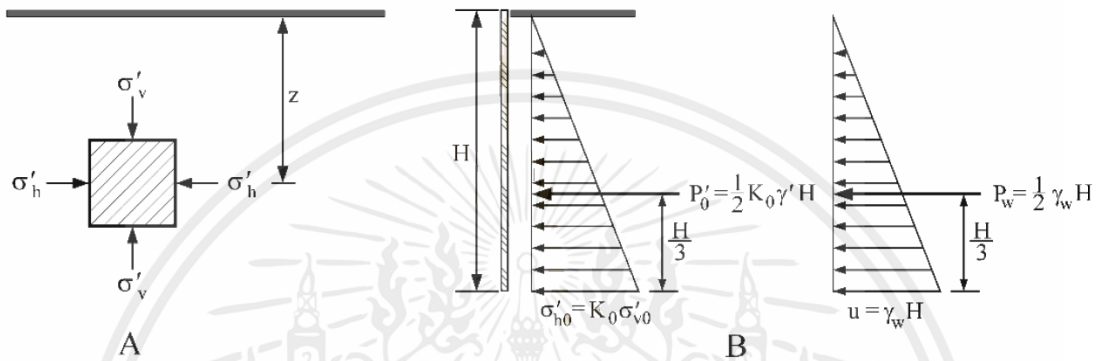
แรงดันดินที่สภาวะอยู่นิ่ง เป็นสภาวะที่แรงดันดินด้านข้างกระทำต่อกำแพงหรือโครงสร้างกันดิน โดยที่ตัว กำแพงและมวลดินไม่เกิดการเคลื่อนที่ หากตัวโครงสร้างกำแพงกันดินเกิดการเคลื่อนตัวออกจากดินถล่มหลัง กำแพงส่งผลให้แรงดันดินด้านข้างลดลง จนกระทั่งดินเกิดการวิบัติเป็นรูปลิ้ม ซึ่งเรียกรูปแบบนี้ว่า แรงดัน ดินที่สภาวะ Active และในทางตรงกันข้ามหากตัว โครงสร้างกำแพงกันดินเคลื่อนตัวเข้าหาดินถล่มด้านหลังของ กำแพงกันดิน ทำให้แรงดันดินด้านข้างของผิวกำแพงเพิ่มขึ้นและผิวดินเกิดการปูดขึ้นจนกระทั่ง ดินเกิดการวิบัติ เรียกรูปแบบนี้ว่า แรงดันดินที่สภาวะ Passive [6]



รูปที่ 2.2 ลักษณะการเกิดแรงดันดินด้านข้าง [6]

### 2.1.3 แรงดันดินที่สภาวะอยู่นิ่ง (At Rest Earth Pressure)

แรงดันดินในกรณีนี้อาจเกิดขึ้นกับมวลดินถมด้านหลังโครงสร้างกำแพงกันดินที่มีความหนาและแทบจะไม่เกิดการเคลื่อนตัวของกำแพง ซึ่งดินที่อยู่บริเวณผิวของกำแพงจะไม่เกิดความเครียดด้านข้าง แรงดันดินในลักษณะนี้จะมีขนาดอยู่ระหว่างสภาวะ Active และ Passive [6]



รูปที่ 2.3 (A) แรงดันดินที่ความลึก Z (B) การกระจายแรงดันดินที่สภาวะอยู่นิ่งและแรงดันน้ำ [6]

จากรูปที่ 2.3 (A) เมื่อพิจารณาความเค้นบนชิ้นส่วนเล็กๆ ในชั้นดินที่ความลึก  $z$  ถ้ามวลดิน อยู่ที สภาวะอยู่นิ่ง (At rest) แม้ว่ามวลดินนี้จะมีการทรุดตัวในแนวตั้งเมื่อมีน้ำหนักมากกระทำ แต่จะไม่เกิดการเคลื่อน ตัวในแนวนอน ซึ่งสภาวะเช่นนี้เปรียบเสมือนดินที่อยู่ในสภาวะสมดุลที่ด้านหลังของกำแพงกันดินหนาและเรียบ และไม่มีการเคลื่อนตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (B) ในกรณีนี้ความดันดินประสิทธิผล (Effective lateral earth pressure) ที่ฐานของกำแพงและแรงลัพธ์ประสิทธิผลต่อความยาวใน 1 หน่วย [6] สามารถหาได้ดังนี้

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v \quad (1)$$

$$\sigma'_h = K_0 \gamma' H \quad (2)$$

$$P'_0 = \frac{1}{2} K_0 \gamma' H \quad (3)$$

เมื่อ  $\sigma'_h$  คือ แรงดันประสิทธิผลที่ฐานของกำแพง

$P'_0$  คือ แรงลัพธ์เนื่องจากความดันดินประสิทธิผลที่สถานะอยู่หนึ่งต่อความยาว 1 หน่วย

$K_0$  คือ สัมประสิทธิ์แรงดันดินที่สถานะอยู่หนึ่ง

$\gamma'$  คือ หน่วยน้ำหนักประสิทธิผล

H คือ ความสูงของกำแพง

เมื่อแรงดันดินด้านข้างรวม (Total lateral earth pressure,  $\sigma_h$ ) ที่กระทำต่อกำแพงเท่ากับผลรวมของแรงดันดินด้านข้างประสิทธิผล (Effective lateral earth pressure,  $\sigma'_h$ ) และแรงดันน้ำ (Pore pressure, u)

$$\sigma_h = \sigma'_h + u \quad (4)$$

เนื่องจากแรงดันดินด้านข้างประสิทธิผลแรงดันน้ำมีขนาดที่เพิ่มขึ้นตามความลึกของชั้นดินดังนั้นแรงดันรวมที่กระทำต่อกำแพงมีขนาดเพิ่มขึ้นตามความลึกด้วยเช่นกัน และแรงดันรวมที่กระทำต่อกำแพงก็จะเป็นผลรวมของแรงดันเนื่องจากแรงดันประสิทธิผลและแรงดันน้ำ

$$P_h = P'_0 + P_w \quad (5)$$

เมื่อ  $P_h$  คือ แรงดันดินด้านข้างรวมที่กระทำต่อกำแพง

$P_w$  คือ แรงดันน้ำ

ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันดินที่สถานะอยู่หนึ่ง ( $K_0$ ) คืออัตราส่วนระหว่างแรงดันดินด้านข้างต่อแรงดันดินในแนวตั้งในพจน์ของความเค้นประสิทธิผล โดยทั่วไป  $K_0$  จะมีค่าน้อยกว่า 1.0 สำหรับดินเหนียวอัดตัวปกติ ยกเว้นในกรณีของดินเหนียวอัดตัวมากกว่าปกติซึ่งค่า  $K_0$  อาจมีค่าสูงประมาณ 3.0 สำหรับทราย  $K_0$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 สำหรับทรายแน่น และ 0.5 สำหรับทรายหลวม

ในการหาสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างที่สถานะอยู่หนึ่งในสนามนั้นกระทำได้ยาก จึงได้มีผู้ศึกษาและวิจัยหลายท่านได้นำเสนอสมการเชิงประสพการณ์ (Empirical equations) สำหรับการประมาณค่า  $K_0$  [6] ดังแสดงในตารางที่ 2.1

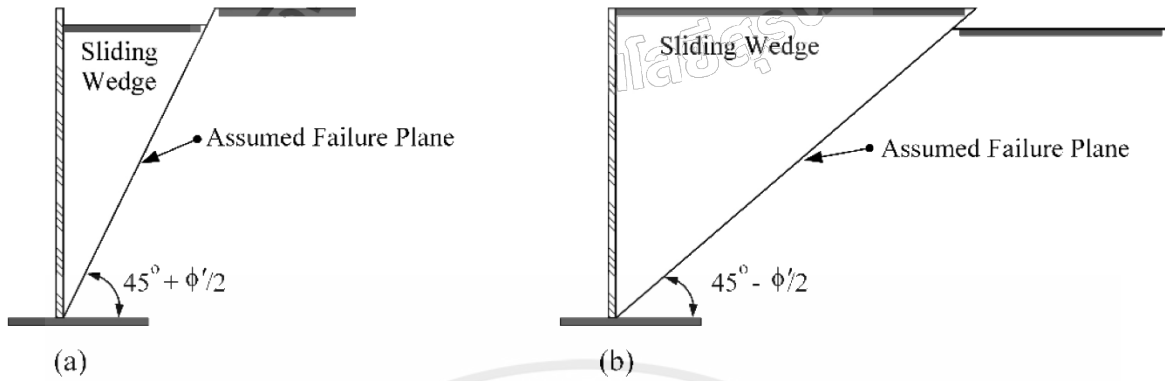
ตารางที่ 2.1 ค่า Coefficient of earth pressure at rest [6]

ชนิดของดิน	สมการ
Normally consolidation soil; Jaky (1944)	$K_0 = 1 - \sin \phi$
Normally consolidation soil; Brooker and Ireland's (1965)	$K_0 = 0.04 + 0.007(PI)$ ; $PI = 0 - 40 \%$ $K_0 = 0.64 + 0.001(PI)$ ; $PI = 40 - 80 \%$
Over consolidated clay; Alpan (1967)	$(K_0)_{oc} = (K_0)_{nc}(OCR)^n$ $PI \leq 40 \%$ , $n = 0.42$ $PI > 40 \%$ , $n = 0.32$

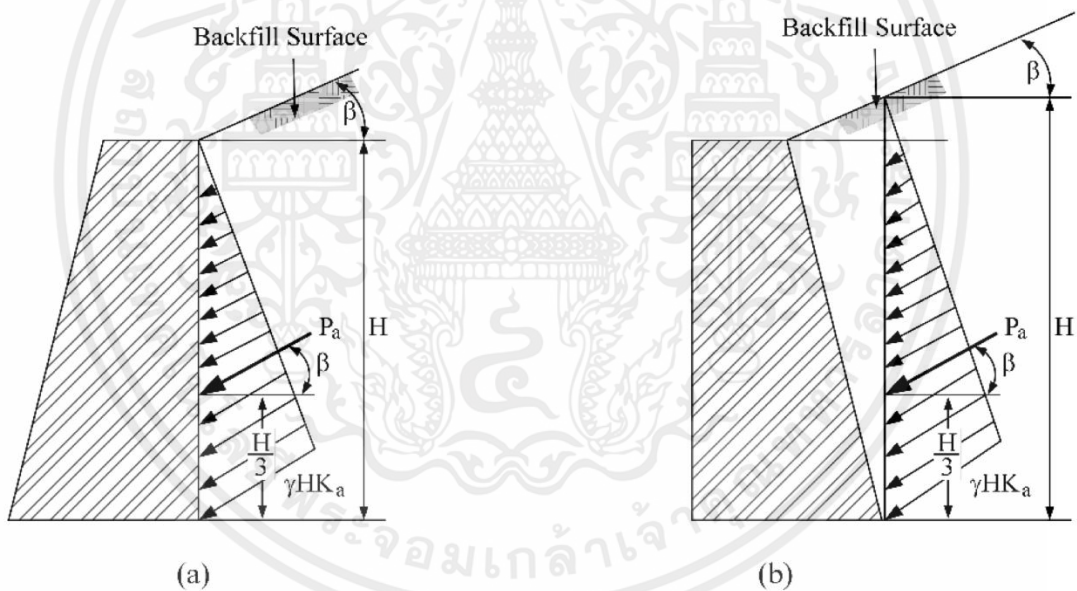
#### 2.1.4 ทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของ Rankine

ทฤษฎีของ Rankine สำหรับหาแรงดันดินด้านข้างของดินในสภาวะ Active และ Passive ซึ่งเสนอโดย Rankine (1857) ตั้งอยู่บนสมมติฐานหลักสามข้อ ดังนี้

1. กำแพงอยู่ในแนวตั้งและไม่มีแรงยึดเหนี่ยว (Adhesion) หรือแรงเสียดทาน (Friction) ระหว่างดินกับพื้นผิวของผนัง
2. แนวการวิบัติของดินถูกสมมติให้เป็นการไหลของลิ่มตลอดแนวระนาบวิบัติซึ่งอยู่ในรูปของมุมเสียดทานภายในของดิน (Internal friction angle,  $\phi$ )
3. ขนาดของแรงดันดินที่เพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันเส้นตรงกับความลึกและแรงลัพธ์เนื่องจากแรงดันดินด้านข้างถูกสมมติให้กระทำที่ระยะหนึ่งในสามของความสูง วัดจากฐานของกำแพงกันดินถึงระดับดินถมและทิศทางของแรงลัพธ์นี้ขนานกับผิวของดินถม [6]



รูปที่ 2.4 ระนาบการวิบัติตามทฤษฎีของ Rankine (a) Rankine active state, (b) Rankine passive state [6]



รูปที่ 2.5 แรงดันดินด้านข้างตามทฤษฎีของ Rankine (a) Back side vertical, (b) Back side inclined [6]

สมมติฐานของทฤษฎีนี้ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย ถึงแม้ว่าสมมติฐานพื้นฐานของทฤษฎีนี้จะไม่ตรงกับความเป็นจริงมากนัก แต่เนื่องจากผลการคำนวณที่ได้มีค่ามากกว่าความเป็นจริงอยู่เล็กน้อย ทำให้กำแพงกันดินที่ได้ทำการออกแบบด้วยวิธีนี้จึงมีขนาดใหญ่ [6]

วิธีการคำนวณหาแรงดันรอบข้างรวมซึ่งเท่ากับผลรวมของแรงดันดินประสิทธิผลและ แรงดันน้ำในดิน เม็ดหยาบและดินเหนียวในสภาวะอนันต์ (Long term) แรงดันน้ำสามารถคำนวณหาได้ง่าย ซึ่งเท่ากับแรงดัน Hydrostatic (แรงดันน้ำส่วนเกินมีค่าเป็นศูนย์) แต่สำหรับกรณีของดินเหนียวในสภาวะไม่ระบายน้ำ (Undrained/Short term) แรงดันน้ำในดินจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดัน Hydrostatic และแรงดันน้ำส่วนเกิน ซึ่งในการคำนวณหาแรงดันน้ำส่วนเกินนี้ทำได้ยากด้วยเหตุนี้เอง ในการคำนวณแรงดันดินด้านข้างรวมของดินเหนียวอิมตัวด้วยน้ำในสภาวะไม่ระบายน้ำ กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินจะสมมติให้มีค่าคงที่ตลอดความลึกเท่ากับกำลังต้านทานแรงเฉือนในสภาวะไม่ระบายน้ำ ( $S_u$ ) [6]

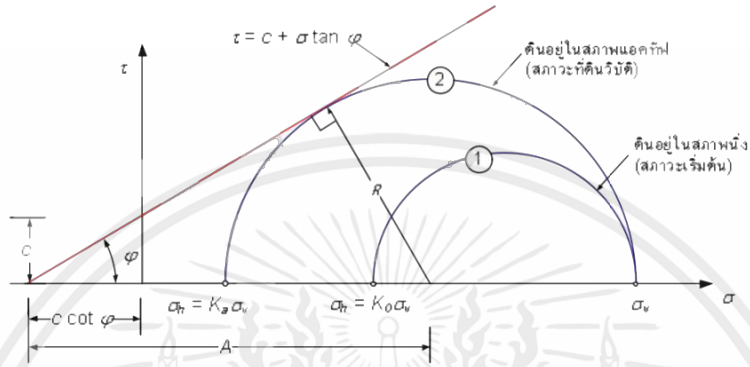
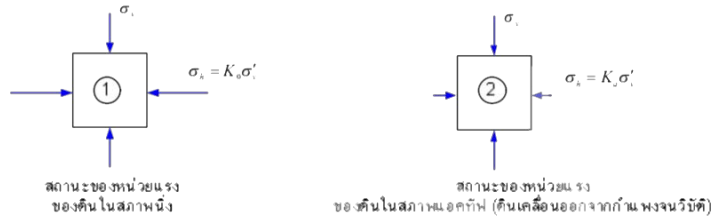
1) แรงดันดินด้านข้างเมื่อดินเคลื่อนตัวดันกำแพง (Active earth pressure) [3]

แรงดันดินด้านข้างในสภาวะแอคทีฟ และแพชซีฟที่เสนอโดย Rankine (1857)

- กำแพงอยู่ในแนวตั้ง
- ไม่มีแรงเสียดทานระหว่างดินกับกำแพง
- ดินถมหลังกำแพงอยู่ในแนวราบและไม่มีหน่วยแรงเฉือนเกิดขึ้นในระนาบราบและระนาบตั้ง
- กำแพงแข็งและยาวไม่สิ้นสุดโดยดินเป็นดินที่มีเนื้อสม่ำเสมอ (homogeneous) และมีคุณสมบัติเหมือนกันในทุกๆ แกนที่พิจารณา (isotropic)
- สภาวะของดินเริ่มแรกจะต้องอยู่ในสภาพนิ่ง (at – rest state)



รูปที่ 2.6 การวิบัติของดินในสภาวะแอคทีฟ [3]



รูปที่ 2.7 Mohr circle แสดงสถานะของหน่วยแรงเมื่อดินวิบัติในสภาวะแอคทีฟ [3]

$$\sin \phi = \frac{R}{A} = \frac{(\sigma_v - \sigma_h)/2}{(\sigma_v + \sigma_h + 2c \cot \phi)/2} \quad (6)$$

เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\sigma_h (1 + \sin \phi) = \sigma_v (1 + \sin \phi) - 2c \cos \phi \quad (7)$$

หน่วยแรงดันดินด้านข้างในสภาวะแอคทีฟคำนวณได้จาก

$$\sigma_h = \sigma_v \left( \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right) - 2c \sqrt{\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}} \quad (8)$$

ถ้าให้

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad (9)$$

จะได้

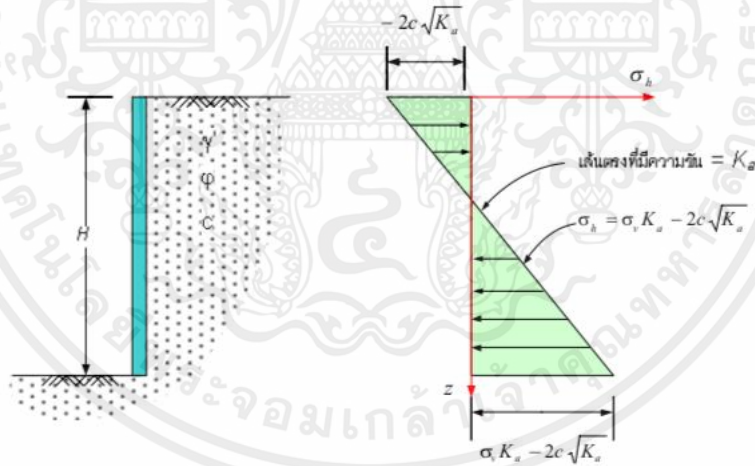
$$\sigma'_h = \sigma'_v K_a - 2c\sqrt{K_a} \quad (10)$$

เมื่อ  $K_a$  = Coefficient of active lateral earth pressure

$c$  = cohesion of soil

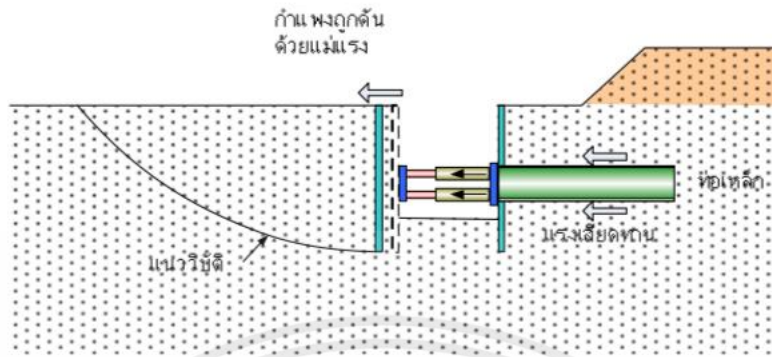
$\phi$  = friction angle

จากสมการของแรงดันดินด้านข้างในสภาวะแอคทีฟสามารถนำเขียนเป็น Stress profile ได้ดังรูป

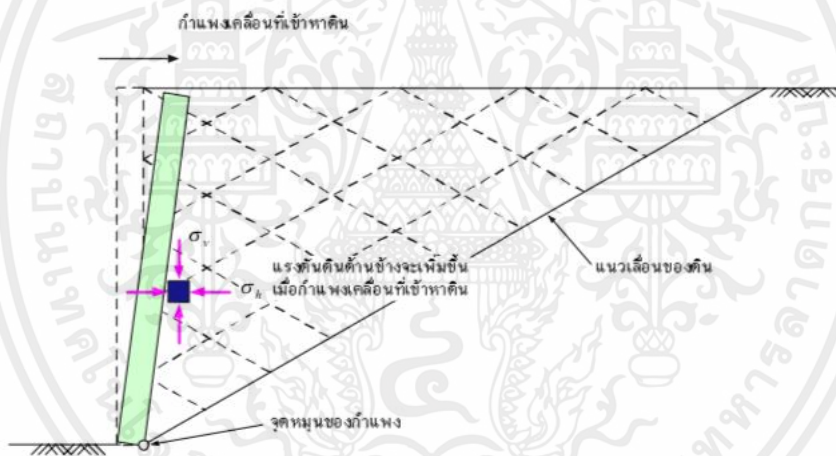


รูปที่ 2.8 การกระจายของแรงดันดินด้านข้างในสภาวะแอคทีฟ [3]

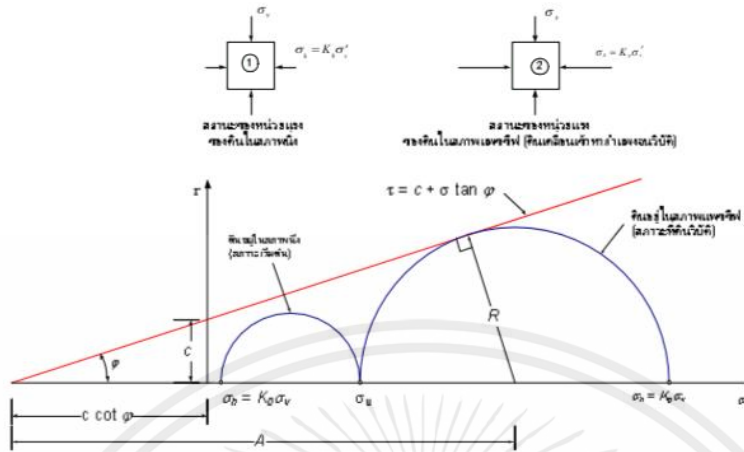
2) แรงดันดินเมื่อกำแพงเคลื่อนตัวดันดิน (Passive earth pressure) [3]



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการก่อสร้างที่ก่อให้เกิดแรงดันดินแบบแพชซีฟ [3]



รูปที่ 2.10 การวิบัติของดินในสภาวะแพชซีฟ [3]



รูปที่ 2.11 Mohr circle แสดงสถานะของหน่วยแรงเมื่อดินวิบัติในสภาวะแพชซีฟ [3]

$$\sin \phi = \frac{R}{A} = \frac{(\sigma_v - \sigma_h)/2}{(\sigma_v + \sigma_h + 2c \cot \phi)/2} \quad (11)$$

เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\sigma_h (1 + \sin \phi) = \sigma_v (1 - \sin \phi) - 2c \cos \phi \quad (12)$$

หน่วยแรงดันดินด้านข้างในสภาวะแอคทีฟคำนวณได้จาก

$$\sigma_h = \sigma_v \left( \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right) - 2c \sqrt{\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}} \quad (13)$$

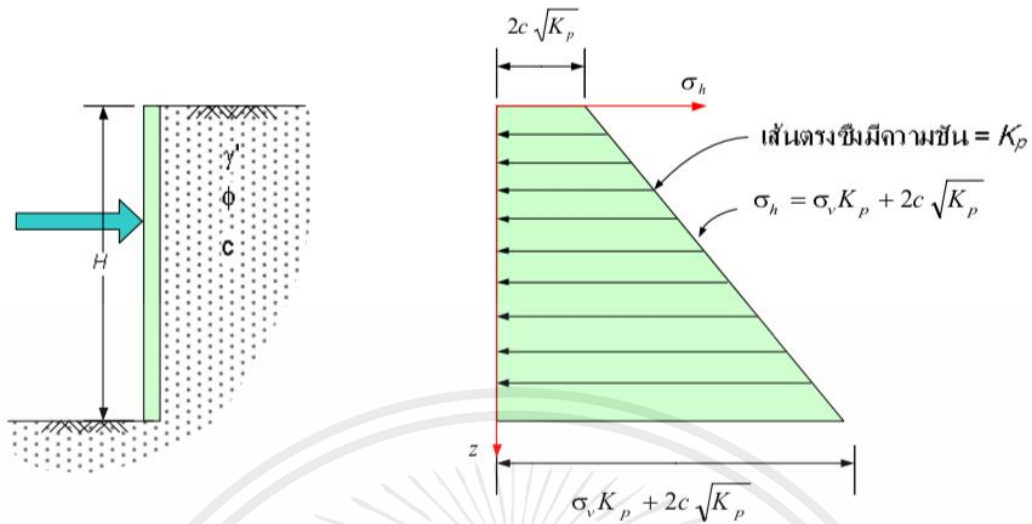
ถ้าให้

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (14)$$

จะได้

$$\sigma'_h = \sigma'_v K_p - 2c \sqrt{K_p} \quad (15)$$

เมื่อ  $K_p$  = Coefficient of passive lateral earth pressure

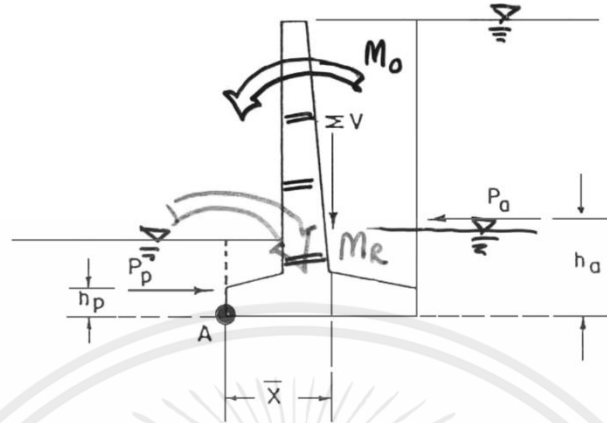


รูปที่ 2.12 การกระจายของแรงดันดินด้านข้างในสภาวะแพชซีฟ [3]

ตารางที่ 2.2 สรุปสมการที่ใช้คำนวณแรงดันดินด้านข้าง [3]

สภาวะของดิน	สมการ
สภาวะนิ่ง (At rest)	$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v$
สภาวะแอคทีฟ (Active) Rankine (1857)	$\sigma'_h = \sigma'_v K_a - 2c\sqrt{K_a}$ $K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$
สภาวะแพชซีฟ (Passive) Rankine (1857)	$\sigma'_h = \sigma'_v K_p - 2c\sqrt{K_p}$ $K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$

## 2.1.5 การตรวจสอบการพลิกคว่ำของโครงสร้าง (Overturning)



รูปที่ 2.13 แสดงตัวแปรในการตรวจสอบการพลิกคว่ำของโครงสร้าง [4]

$$F.S. = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_o} = \frac{(P_p * h_p) + (\bar{x} * \Sigma v)}{P_a + h_a} \quad (16)$$

เมื่อ  $\Sigma M_R$  = ผลรวมของโมเมนต์ต้านทานการพลิกรอบจุด A มักเกิดจากน้ำหนักผนัง, น้ำหนักดินเหนือฐาน, แรงดันดินเชิงรับ

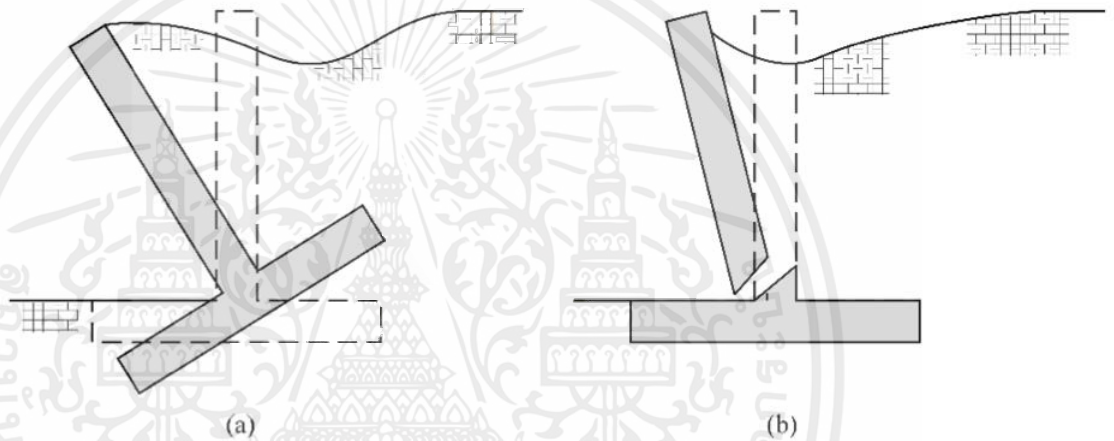
$\Sigma M_o$  = ผลรวมของโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกรอบจุด A มักเกิดจากแรงดันดินเชิงรุกของดินด้านใน

F.S. > 1.5 สำหรับดินทราย

> 2.0 สำหรับดินเหนียว [4]

## 2.1.6 เสถียรภาพกำแพงกันดิน (Stability of Wall)

การออกแบบและวิเคราะห์กำแพงกันดินนั้นจะคำนึงถึงเสถียรภาพของกำแพงอยู่สองประการคือ กำแพงต้องมีเสถียรภาพภายนอก (External Stability) และเสถียรภาพภายใน (Internal Stability) ดังรูปที่ 2.14 โดยที่กำแพงที่ขาดเสถียรภาพภายนอกนั้นจะก่อให้เกิดการวิบัติในมวลดิน ในขณะที่กำแพงที่ขาดเสถียรภาพภายในนั้นจะก่อให้เกิดการวิบัติของตัวโครงสร้าง เสถียรภาพทั้งสองนี้ไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกัน และในการวิเคราะห์นั้นจะพิจารณาแยกเป็นกรณีออกไป



รูปที่ 2.14 (a) กำแพงขาดเสถียรภาพภายนอก (b) กำแพงขาดเสถียรภาพภายใน [6]

สำหรับในงานวิจัยนี้ซึ่งเป็นการตรวจสอบเสถียรภาพภายนอกของกำแพงกันดินที่มีการต่อเติมโครงสร้างกำแพงกันดินขึ้นไป เนื่องจากต้องรับแรงดันดินด้านข้างจากการถมดินสูงประมาณ 20 - 60 เซนติเมตรโดยการคำนวณเพื่อตรวจสอบการพลิกคว่ำของโครงสร้างว่าอัตราส่วนความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์หรือไม่ แต่อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจว่ากำแพงกันดินนี้จะมีเสถียรภาพภายนอกที่เพียงพอ จึงต้องการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element Method เพื่อเป็นการยืนยัน และสรุปผลอีกที่ [4]

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การศึกษาวิธีการวิเคราะห์กำลังกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอในชั้นดินเหนียว  
กรุงเทพ ฯ [7]

### 2.2.1.1 การวิเคราะห์กำลังกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ

ในการวิเคราะห์หน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับกำลังกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มตัวไอ ใช้  
ทฤษฎีแรงดันด้านข้างของกำลังกันดิน มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ มีจุดที่แตกต่างกันนั่นคือกำลังกันดิน  
แบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มตัวไอ มีส่วนของโครงสร้างที่ฝังอยู่ในชั้นดินเหนียว อยู่สองชนิดนั่นคือในส่วนของตัว  
แผ่นผนังกำลัง และส่วนของเสาเข็มที่ฝังยื่นยาวต่อไป ซึ่งในทางทฤษฎีจะมีส่วนของตัวผนังกันดินฝังลงในชั้น  
ดินเพียงส่วนเดียว ทำให้กำลังกันดินแบบแฉกคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอ มีความสะดวกรวดเร็วในการ  
ก่อสร้าง เนื่องจากชิ้นส่วนวัสดุที่ใช้ เป็นวัสดุสำเร็จรูป มีความประหยัดในเรื่องของสัดส่วนความปลอดภัย  
เนื่องจาก ไม่จำเป็นต้องฝังผนังกำลังให้ลึกลงไปชั้นดินมากเกินไป

### 2.2.1.2 วิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างทางธรณีนั้นได้เริ่มมีการใช้  
กันในปี ค.ศ. 1966 โดย Reyes และ Deene (1966) ได้ใช้วิธีการนี้ในการประยุกต์ใช้กับงานอุโมงค์ใต้ดิน ต่อมา  
Clough และ Woodward (1967) ได้ใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์หาค่าความเค้น และการเคลื่อนตัว  
ของคันทาง โดยหลังจากนั้นจึงเริ่มมีนักวิจัยหลายท่านทำการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ทำให้เกิดทฤษฎี  
แบบจำลองต่างๆขึ้นมากมาย เช่น แบบจำลองมอร์ - คูลอมบ์ แบบจำลองไฮเปอร์โบลิก เป็นต้น โดยหลักการ  
ของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่นำมาวิเคราะห์สามารถแยกรายละเอียดของพื้นที่ศึกษามวลดิน ออกเป็นหน่วยย่อยๆ  
แยกออกจากกันเรียกว่าไฟไนต์เอลิเมนต์ มีความต่อเนื่องกันภายในด้วยจุดต่อจุดของด้านหน่วยย่อยเล็กๆ ที่  
เรียกว่า Nodal plane ซึ่งมีการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ และพฤติกรรมการเสียรูปอย่างง่าย ๆ ซึ่งขึ้นกับค่า  
Poisson's ratio และโมดูลัสยืดหยุ่นของการเกิด Local yield ของแต่ละส่วน แล้วรวมกันส่งผลถึงทั้งระบบ  
และในไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นจะมีการเคลื่อนตัว ความเค้น ความเครียด ตามทฤษฎี Elasto -Plastic ในการวิเคราะห์หา  
คำตอบของโครงสร้างดินเมื่อมีน้ำหนักมากระทำกับโครงสร้างดิน จะเกิดการเคลื่อนตัวโดยจะหาค่าตอบภายใต้  
เงื่อนไขของการสมดุลแรง และโมเมนต์ภายในไฟไนต์เอลิเมนต์ให้เท่ากับศูนย์ และการเคลื่อนตัวต่างๆ ของไฟไนต์เอลิเมนต์มี  
ความต่อเนื่องกัน ซึ่งวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีความสะดวกในการใช้งานหลายอย่างดังนี้

1) รูปร่างของแบบจำลองสามารถเปลี่ยนแปลงจากสภาพเริ่มต้นไปจนถึงสุดท้ายโดยมีการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นขั้นเป็นตอนได้ ซึ่งจะมีความสอดคล้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้นสามารถทำได้ โดยการเติมอิเลิเมนต์ หรือนำอิเลิเมนต์ออกจากโครงข่าย (Mesh) ที่ใช้ในการวิเคราะห์

2) คุณสมบัติของดินสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในขั้นตอนต่างๆ เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริงอันเนื่องมาจากขั้นตอนการก่อสร้าง

3) สามารถจำลองการกระทำของน้ำหนักในสภาพต่างๆ เช่น น้ำหนักที่กระจายไม่สม่ำเสมอ ได้ใกล้เคียงกับสภาพจริง

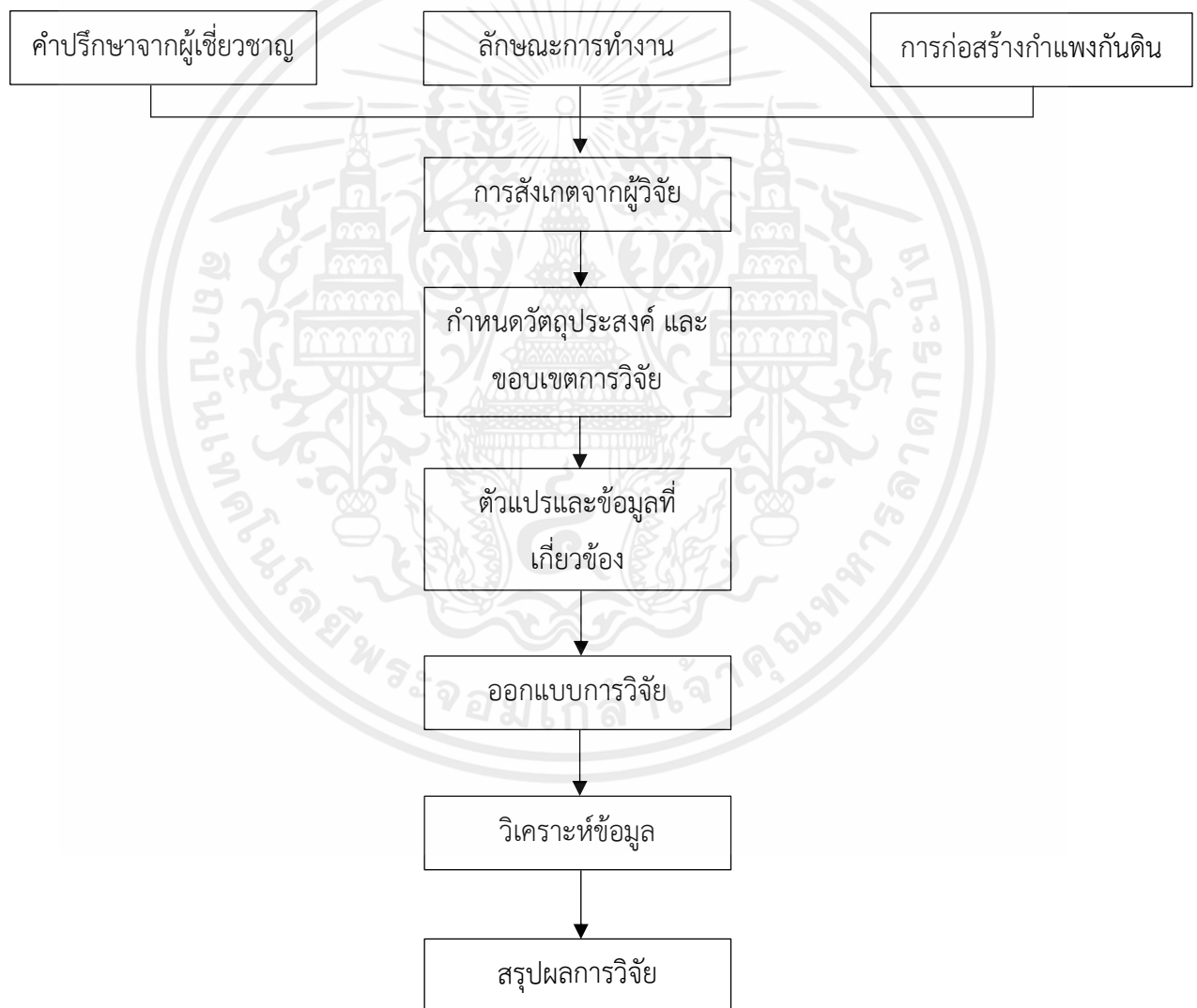
4) ให้ผลลัพธ์พฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงความเค้น และความเครียดของโครงสร้าง เช่น ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นต่างๆ และกรเคลื่อนตัว เป็นต้น



### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย เป็นส่วนที่แสดงรายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับดำเนินการวิจัย เช่น การออกแบบโครงสร้าง กำหนดกันดิน การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดในการวิจัย เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้เป็น การวิจัยออกแบบ แก้ปัญหา และวิเคราะห์เสถียรภาพโครงสร้างกำหนดกันดิน โดยเนื้อหาของงานวิจัยจะมุ่งเน้น การออกแบบ และวิเคราะห์โครงสร้างกำหนดกันดินโดยผ่านการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ โดยมี วิธีดำเนินการวิจัยตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการวิจัยดังนี้



รูปที่ 3.1 ผังวิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 ข้อมูลโครงการ

โครงการศุภาลัย ไพร์ด ศรีราชา มีพื้นที่ในโครงการรวมทั้งหมด 21845.9 ตารางวา พื้นที่จัดสรรรวมทั้งหมด 14454.6 ตารางวา คิดเป็น 66.2% ของพื้นที่ในโครงการรวมทั้งหมด พื้นที่สาธารณูปโภครวม 7391.3 ตารางวา คิดเป็น 33.8% ของพื้นที่ในโครงการรวมทั้งหมด มีจำนวนแปลงที่ดินขอจัดสรร 276 แปลง เป็นบ้านเดี่ยว 2 ชั้น จำนวน 164 แปลง คิดเป็น 60.0% ของจำนวนแปลงที่ดินขอจัดสรร เป็นบ้านแฝด 2 ชั้น จำนวน 112 แปลง คิดเป็น 40.0% ของจำนวนแปลงที่ดินขอจัดสรร



รูปที่ 3.2 ผังโครงการ ศุภาลัย ไพร์ด ศรีราชา





รูปที่ 3.4 ผังโครงการ ศุภาลัย ไพรีด ศรีราชาหลังทำการย้ายที่ระบายนํ้า

### 3.2.2 คำถามการวิจัย

- 1) จะออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดินเพิ่มเติมอย่างไรให้ปลอดภัย
- 2) ผลกระทบของกำแพงกันดินก่อนและหลังการถมดินในระดับต่างๆเป็นอย่างไรบ้าง

### 3.2.3 สมมติฐานเบื้องต้น

การต่อเติมโครงสร้างกำแพงกันดินใหม่ แทนที่จะทำการทุบโครงสร้างเดิมแล้วก่อสร้างใหม่ สามารถรับแรงดันดินจากดินถมได้และมีความปลอดภัยเช่นกัน

### 3.2.4 เงื่อนไขเบื้องต้นของงานวิจัย

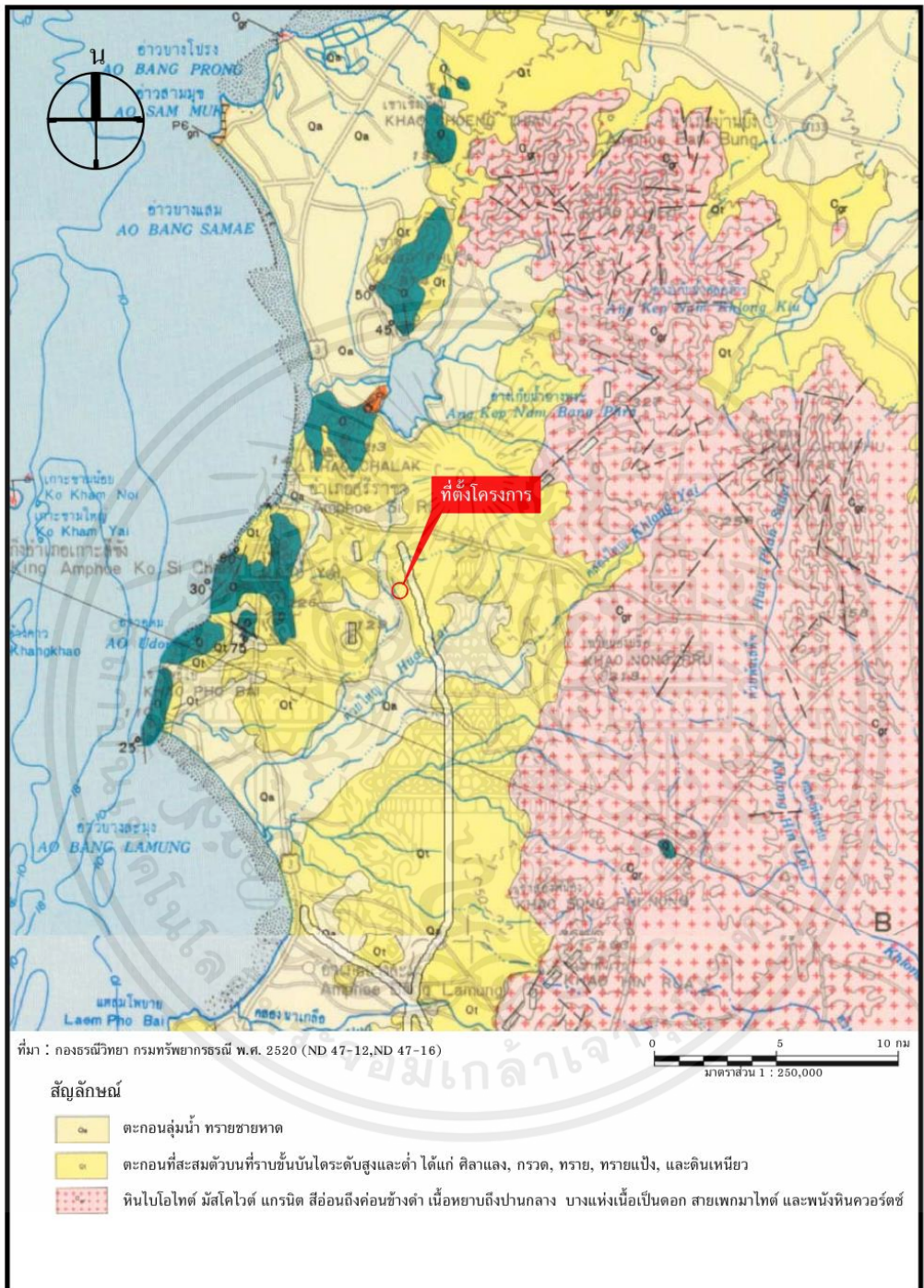
- 1) เป็นการต่อเติมโครงสร้างกำแพงกันดินใหม่

### 3.3 ข้อมูลสภาพชั้นดินของโครงการ

ที่ตั้งโครงการอยู่ในเขตอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี จากแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย จังหวัดชลบุรี (ND 47 - 12, ND 47 - 16) มาตรฐาน 1 : 500000 ปีพ.ศ. 2519 (รูปที่ 3.5) ซึ่งจัดทำโดยสำนักธรณีวิทยาหรือกองธรณีวิทยา (เดิม) กรมทรัพยากรธรณี พบว่าพื้นที่โครงการประกอบด้วยตะกอนที่สะสมตัวบนที่ราบขั้นบันไดระดับสูงและต่ำ ได้แก่ ตีลาแลง กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว [5]



รูปที่ 3.5 แผนที่แสดงที่ตั้งโครงการ [5]



รูปที่ 3.6 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณที่ตั้งโครงการ และพื้นที่ใกล้เคียง [5]

### 3.3.1 ศึกษาข้อมูล Boring Log

การเจาะสำรวจดินสำหรับโครงการศุภาลัย ไพร์ด ศรีราชา ทางบริษัท จีไอ-เทคโนโลยี คอนซัลแตนท์ จำกัด ได้ดำเนินการเจาะสำรวจดิน จำนวน 3 หลุม คือ BH-1 ถึง BH-3 มีความลึก 13.95-16.95 เมตร ซึ่งค่าพิกัดหลุมเจาะ และค่าระดับปากหลุมเจาะ (กำหนดให้ BM-1 อยู่ตรงกลางถนนบริเวณหน้าโครงการ = +0.0 เมตร) [5] มีค่าดังนี้

<u>หลุมเจาะ</u>	<u>พิกัดหลุมเจาะ</u>	<u>ระดับปากหลุมเจาะ, เมตร</u>	<u>ความลึก, เมตร</u>
BH-1	N13.14003, E100.98119	-2.43	16.95
BH-2	N13.13790, E100.98185	+0.32	16.95
BH-3	N13.13944, E100.97949	-3.33	13.95

การเจาะสำรวจได้ใช้เครื่องเจาะติดตั้งหัวเจาะ และเพื่อป้องกันการพังของหลุมเจาะได้ใส่ท่อกรุกดินพัง (Steel Casings) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร (4นิ้ว) ในชั้นดินช่วงบนหรือในช่วงความลึกที่จำเป็นขณะเจาะสำรวจ สำหรับกระบวนการเจาะที่ใช้เป็นการเจาะแบบฉีดล้าง (Wash Boring) โดยแผนที่แสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแน่นอน การเก็บตัวอย่างดินจะทำทุกระยะความลึก 1.5 เมตร โดยในช่วง 3 เมตรแรกจะเก็บตัวอย่างทุกระยะความลึก 0.5 เมตร โดยใช้กระบอกผ่า (Split Spoon Sampler) ลักษณะกระบอกผ่าเป็นกระบอกเหล็กซึ่งผ่าออกเป็น 2 ซีก นำมาประกบกันไว้โดยมีเกลียวครอบหัวและท้ายกระบอก เมื่อเก็บตัวอย่างดินแล้วสามารถจะเปิดแยกเพื่อดูตัวอย่างดินได้ กระบอกผ่ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและภายในเท่ากับ 5.0 เซนติเมตร และ 3.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ยาว 69 เซนติเมตร การเก็บตัวอย่างดินแข็งหรือทรายจะทำหลังจากทำความสะอาดกันหลุมเจาะเรียบร้อยแล้ว โดยตอกลงไปในดินด้วยลูกตุ้มเหล็กหนัก 63.5 กิโลกรัม ระยะยกลูกตุ้ม 76.2 เซนติเมตร ลกตุ้มเหล็กกระทบบนเป็นก้านนำส่ง จดบันทึกค่าการตอกทุกระยะจมลง 15 เซนติเมตร เป็นจำนวน 3 ระยะ ค่าการตอก 2 ระยะหลังรวมกันเรียกว่า ค่า Standard Penetration Number การทดสอบนี้เรียกว่า การตอกทดลอง (Standard Penetration Test -SPT) ซึ่ง

สามารถนำไปวิเคราะห์หาความต้านทานของดิน (ตารางที่ 3.1) โดยการทดสอบนี้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 1586 [5]



รูปที่ 3.7 แผนที่แสดงหลุมเจาะสำรวจ [5]

ตารางที่ 3.1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT-N กับ  $\phi$  ของทราย และ  $S_{uc}$  ของดินเหนียว [5]

ก. ทราย

SPT-N Blows (Blows/300 mm)	Relative density	Angle of internal friction ( $\phi$ ), (deg.)
0 - 4	Very Loose	< 28°
4 - 10	Loose	28° - 30°
10 - 30	Medium Dense	30° - 36°
30 - 50	Dense	36° - 41°
> 50	Very Dense	> 41°

ข. ดินเหนียว

SPT-N Blows (Blows/300 mm)	Consistency	Undrained shear strength $S_{uc}$ , (kN/m <sup>2</sup> )
< 2	Very Soft	< 15
2 - 4	Soft	15 - 25
4 - 8	Medium	25 - 50
8 - 15	Stiff	50 - 100
15 - 30	Very Stiff	100 - 200
> 30	Hard	> 200

ที่มา: Peck, R.B., Hansen, W.E., and Thornburn, T.H. (1974), Foundation Engineering, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, USA.

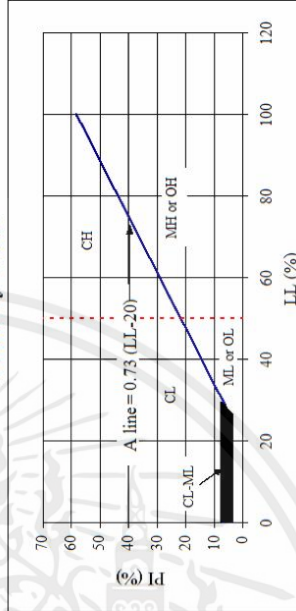
3.3.2 คุณสมบัติของดิน

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินที่ทำการสำรวจและทดสอบ พบว่าปริมาณน้ำในมวลดินตามธรรมชาติมีค่าการกระจายระจายน้อยและมีค่าปานกลาง ส่วน SPT-N มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก ดินที่พบในพื้นที่โครงการสามารถจำแนกได้คือ ดินเหนียวและทราย ซึ่งสามารถจำแนกเป็น SM, SM-SP และ SC ตามมาตรฐาน USCS [5] (ตารางที่ 3.2)

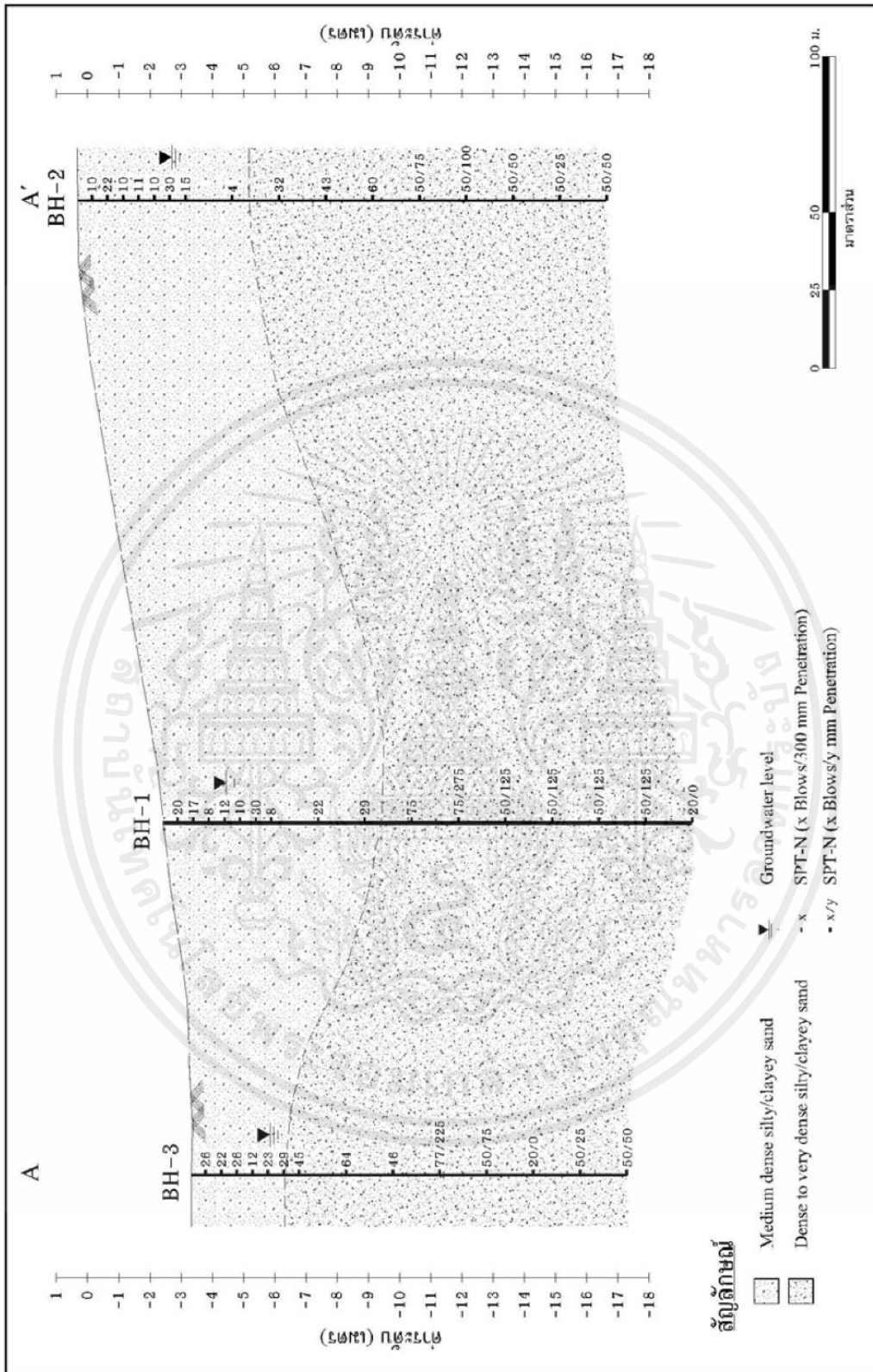
ตารางที่ 3.2 มาตรฐานการจำแนกดินระบบ USCS [5]

Major Divisions		Group Symbols	Typical Names	Laboratory Classification Criteria		
Coarse grained Soils (more than half of material is larger than No. 200 sieve size)	Gravels (more than half of coarse fraction is larger than No. 4 sieve size)	Clean gravels (little or no fines) (Appreciable amount of fines)	Well graded gravels, gravel sand mixture, little or no fines	$C_u = D_{60} / D_{10} > 4$ and $1 < C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) < 3$ Not meeting all gradation requirements for GW	Above 'A' line with PI between 4 and 7 are border line cases requiring use of dual symbols	
		Gravels with fines (little or appreciable amount of fines)	Poorly graded gravels, gravel sand mixture, little or no fines			
Fine grained Soils (more than half of material is smaller than No. 200 sieve size)	Sands (more than half of coarse fraction is smaller than No. 4 sieve size)	Clean Sands	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	$C_u = D_{60} / D_{10} > 6$ and $1 < C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) < 3$ Not meeting all gradation requirements for SW	Above 'A' line with PI between 4 and 7 are border line cases requiring use of dual symbols	
		Sands with fines (Appreciable amount of fines)	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures			
	Sils and clays (Liquid limit less than 50)	Sils and clays (Liquid limit greater than 50)	ML	Well graded sands, gravelly sands, little or no fines	Depending on % of fines (fraction smaller than No. 200 sieve) coarse grained soils are classified as follows: Loss than 5% : GW, GP, SW, SP More than 12% : GM, GC, SM, SC * 5 - 12 % Border line cases requiring dual symbols	Above 'A' line with PI between 4 and 7 are border line cases requiring use of dual symbols
			CL	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines		
			OL	Silty sands, sand-silt mixtures		
			MH	Clayey sands, sand-clay mixtures		
Highly organic soils	Highly organic soils	CH	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands, or clayey silts with slight plasticity	Not meeting all gradation requirements for SW	Above 'A' line with PI between 4 and 7 are border line cases requiring use of dual symbols	
		OH	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays			
		Pt	Organic silts and organic silty clays of low plasticity			
			Organic clays of high plasticity, fat clays			

Plasticity Chart



\* Border line classifications used for soil possessing characteristics of two groups are designated by combinations of group symbols. For example: GW-GC implies well graded gravel - sand mixture with clay binder.



รูปที่ 3.8 รูปตัดขวางชั้นดินตามแนว A-A' [5]

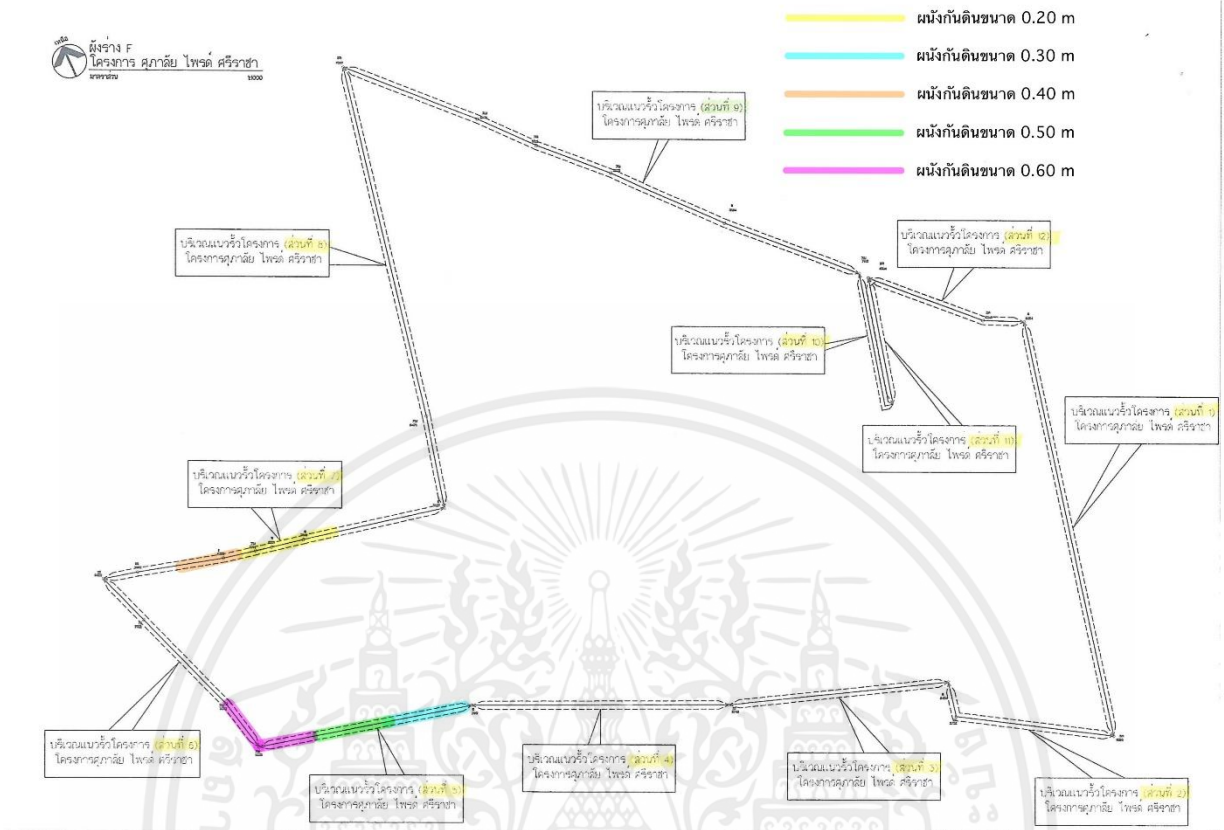
### 3.4 การออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดิน

#### 3.4.1 บริเวณที่ก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเพิ่มจากโครงสร้างเดิม

บริเวณที่ก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเพิ่มจากโครงสร้างเดิมมีทั้งหมด 5 ช่วงดังนี้

- 1) ช่วงที่ผนังกันดินมีขนาด 0.2 เมตร ทำการถมดินสูง 20 เซนติเมตรจากระดับดินเดิม ความยาวของโครงสร้างกำแพงกันดินยาวประมาณ 50.92 เมตร
- 2) ช่วงที่ผนังกันดินมีขนาด 0.3 เมตร ทำการถมดินสูง 30 เซนติเมตรจากระดับดินเดิม ความยาวของโครงสร้างกำแพงกันดินยาวประมาณ 30.00 เมตร
- 3) ช่วงที่ผนังกันดินมีขนาด 0.4 เมตร ทำการถมดินสูง 40 เซนติเมตรจากระดับดินเดิม ความยาวของโครงสร้างกำแพงกันดินยาวประมาณ 21.00 เมตร
- 4) ช่วงที่ผนังกันดินมีขนาด 0.5 เมตร ทำการถมดินสูง 50 เซนติเมตรจากระดับดินเดิม ความยาวของโครงสร้างกำแพงกันดินยาวประมาณ 27.00 เมตร
- 5) ช่วงที่ผนังกันดินมีขนาด 0.6 เมตร ทำการถมดินสูง 60 เซนติเมตรจากระดับดินเดิม ความยาวของโครงสร้างกำแพงกันดินยาวประมาณ 15.94 เมตร

หมายเหตุ : ทั้ง 5 ช่วงอยู่ในดินบริเวณหลุมเจาะสำรวจ BH - 3



รูปที่ 3.9 รูปบริเวณที่ก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเพิ่มจากโครงสร้างเดิม

### 3.4.2 การหาแรงดันดินด้านข้าง

#### ❖ การคำนวณแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ

- Soil Parameter

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดง Soil Parameter ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ [5]

#### Summary of Test Results

ศุภชัย ไพรัด ศรีราชา  
จ.ชลบุรี

BH-3

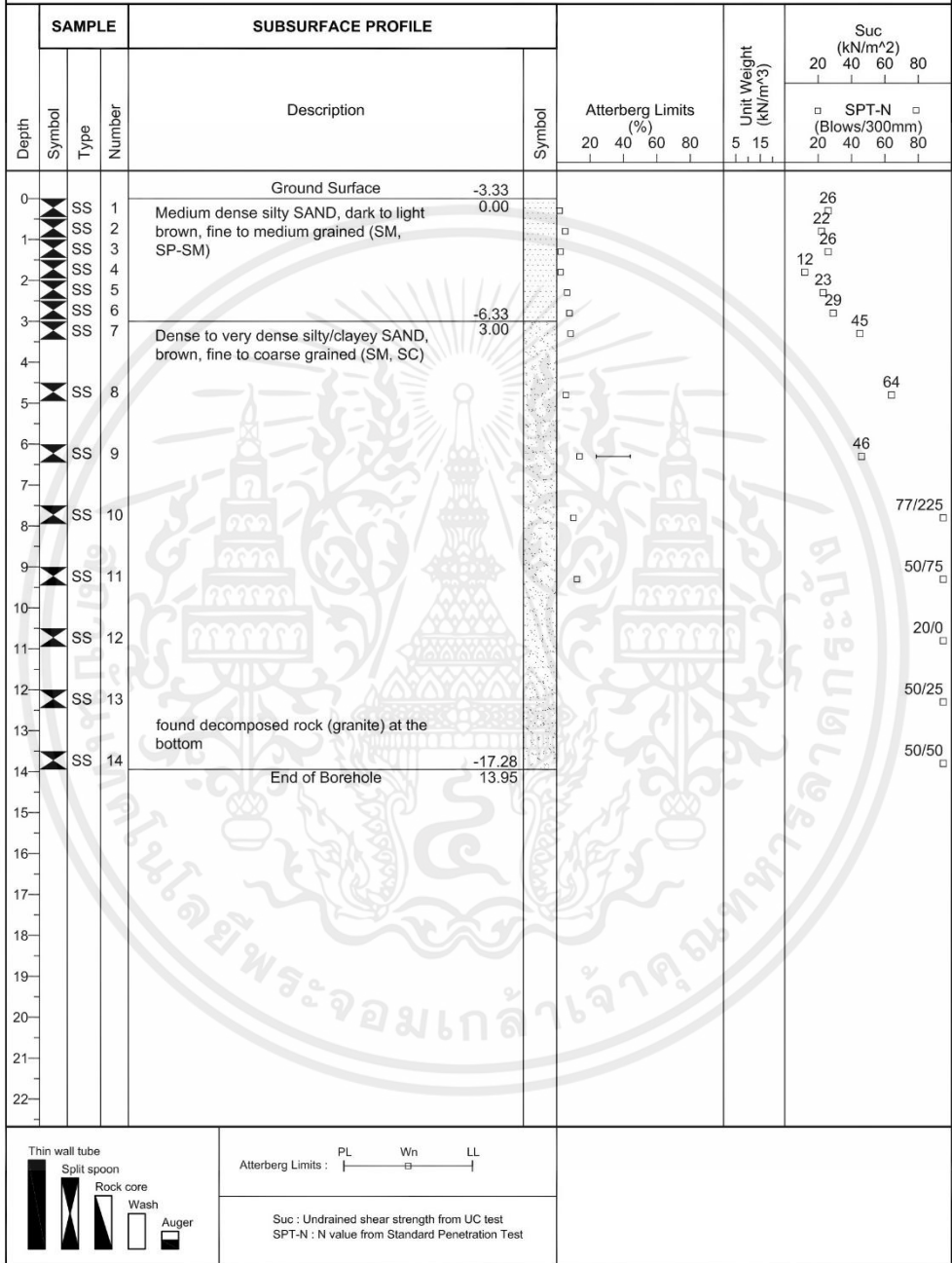
Sample No.	Depth (m)		W <sub>n</sub> (%)	Atterberg Limits (%)			Sieve Analysis (% Passing (US Standard Sieve))							USCS Group <sup>a</sup>	Unit <sup>b</sup> (kN/m <sup>3</sup> )	SPT-N <sup>c</sup> (Blows/ 300 mm)			
	From	To		LL	PL	PI	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#10	#40				#100	#200	
	SS- 1	0.00		0.45	1.8	Non Plastic							100				45	16	11
SS- 2	0.50	0.95	5.1	Non Plastic							100	99	39	18	14	SM	-	22	
SS- 3	1.00	1.45	2.3	Non Plastic							100	99	36	17	13	SM	-	26	
SS- 4	1.50	1.95	2.3	Non Plastic							100	99	48	22	16	SM	-	12	
SS- 5	2.00	2.45	6.2	Non Plastic							100	97	50	28	22	SM	-	23	
SS- 6	2.50	2.95	7.6	Non Plastic							100	96	57	34	28	SM	-	29	
SS- 7	3.00	3.45	8.3	Non Plastic							100	97	47	28	23	SM	-	45	
SS- 8	4.50	4.95	5.5	Non Plastic							100	99	75	44	32	SM	-	64	
SS- 9	6.00	6.45	13.7	44.1	23.7	20.4					100	99	82	45	36	33	SC	20.5	46
SS- 10	7.50	7.95	10.0	Non Plastic							100	98	80	39	28	25	SM	-	23, 42, 35/75
SS- 11	9.00	9.45	12.1	Non Plastic							100	93	70	27	17	14	SM	-	35, 50/75, -
SS- 12	10.50	10.95	-	No Recovery							No Recovery (Sand)					-	20/0, -, -		
SS- 13	12.00	12.45	-	No Recovery							No Recovery (Sand)					-	50/25, -, -		
SS- 14	13.50	13.95	-	No Recovery							No Recovery (Granite)					Decomposed Rock	-	50/50, -, -	

Soil 1 (0.00 to 3.00 m)  
Soil 2 (3.00 to 13.95 m)

#### Notes:

- USCS groups provided in parenthesis are from visual classification
- Unit Weight provided for split spoon samples (SS) are for disturbed samples from SPT tests.
- If the sampler is driven less than 450 mm, the number of blows per each complete and partial (less than or equal to 150 mm) increments were recorded.

<b>Project No. :</b> 21014	<b>Borehole Number :</b> BH-3	<b>Page 1 of 1</b>
<b>Project :</b> โครงการศูภาลัย ไพรัตน์ ศรีราชา		
<b>Borehole Location :</b> จ.ชลบุรี	<b>Latitude, N (deg) :</b> 13.13944	
<b>Ground Elevation (m) :</b> -3.33	<b>Longitude, E (deg) :</b> 100.97949	
<b>G.W.L. (m) :</b> 2.50 (m below from ground)	<b>Date Started :</b> 23/01/2564	
<b>Total Depth (m) :</b> 13.95	<b>Date Finished :</b> 23/01/2564	



Source : Geo-Technology Consultants Co., Ltd.

รูปที่ 3.10 Borehole Logs and Soil Properties [5]

จากตารางที่ 3.1 และ 3.3 จะได้ว่า

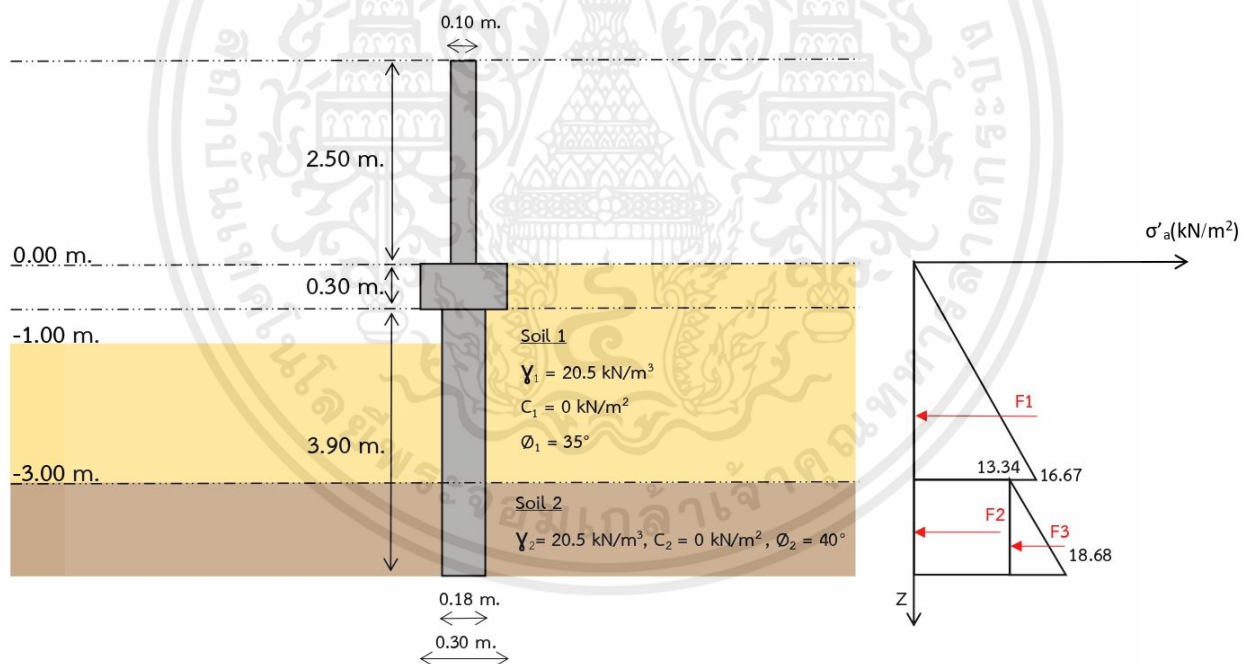
$$\gamma_1 = 20.5 \text{ kN/m}^3$$

$\phi_1$  จากการเฉลี่ยค่า SPT-N ของ Soil 1 จะได้เท่ากับ 25 Blows/300mm นำไปหาค่า  $\phi$  จากตารางที่ 3.1 ก จะได้  $\phi_1$  เท่ากับ  $35^\circ$

$$\gamma_2 = 20.5 \text{ kN/m}^3$$

$\phi_2$  จากการเฉลี่ยค่า SPT-N ของ Soil 2 จะได้เท่ากับ 25 Blows/300mm นำไปหาค่า  $\phi$  จากตารางที่ 3.1 ก จะได้  $\phi_2$  เท่ากับ  $40^\circ$

- คำนวณแรงดันดินด้านข้าง



รูปที่ 3.11 แสดง Parameter ดินชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ของโครงสร้างกำแพงกันดินเดิม และแรงดันดินด้านข้าง

ดินฝังโครงการ (ทางขวา)

$$K_{a1} = \left( \frac{1 - \sin 35^\circ}{1 + \sin 35^\circ} \right) = 0.271$$

$$K_{a2} = \left( \frac{1 - \sin 40^\circ}{1 + \sin 40^\circ} \right) = 0.217$$

$$\sigma'_{a1} = 0.271 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 3 \text{ m} = 16.67 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a2} = 0.217 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 3 \text{ m} = 13.34 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a3} = (0.217 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 1.2 \text{ m}) + 13.34 \text{ kN/m}^2 = 18.68 \text{ kN/m}^2$$

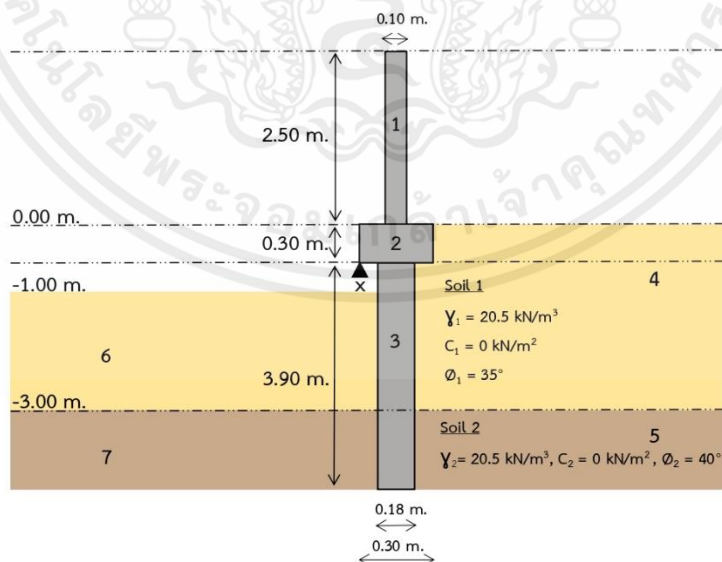
$$F_1 = 0.5 * 16.67 \text{ kN/m}^2 * 3 \text{ m} = 25 \text{ kN/m}$$

$$F_2 = 13.34 \text{ kN/m}^2 * 1.2 \text{ m} = 16.01 \text{ kN/m}$$

$$F_3 = 0.5 * (18.68 - 13.34) \text{ kN/m}^2 * 1.2 \text{ m} = 3.20 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F_x = (25 + 16.01 + 3.20) \text{ kN/m} = 44.21 \text{ kN/m}$$

- Factor of Safety against Overturning



รูปที่ 3.12 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินเดิมที่จุดหมุน x

ตารางที่ 3.4 แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของ  
โครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ

คิด โมเมนต์ที่ จุด X			
กำหนดให้	$\gamma_{\text{reinforced concrete}}$	25	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 1}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 2}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$

Section no.	Area ( $\text{m}^2$ )	Weight/unit length ( $\text{kN/m}$ )	Moment arm from point X (m)	Moment ( $\text{kN-m/m}$ )
1	0.25	6.25	0.15	0.94
2	0.09	2.21	0.15	0.33
3	0.7	17.5	0.15	2.63
4	15	307.5	2.74	842.55
5	6	123	2.74	337.02
6	15	307.5	2.44	750.3
7	6	123	2.44	300.12
			$\Sigma M_R$	133.05

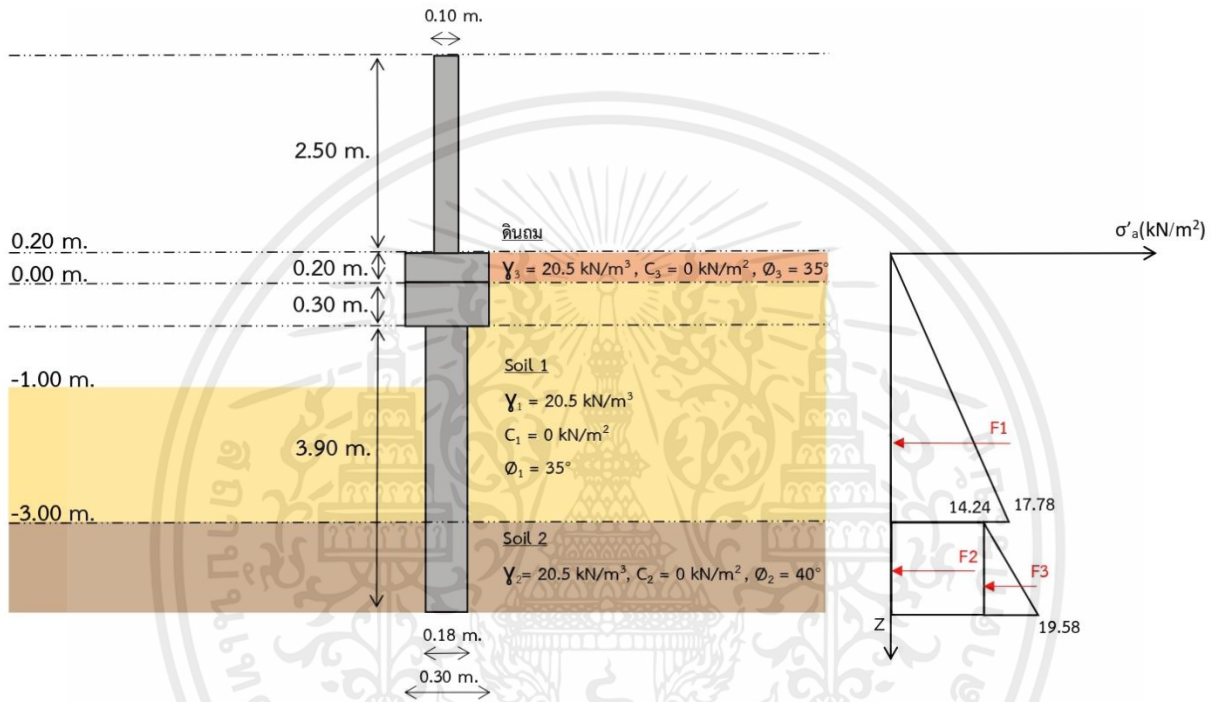
The overturning moment			
$M_o$	=	66.32	$\text{kN-m/m}$
$FS_{\text{(overturning)}}$	=	2.01	
Check	$FS > 1.5$	OK	

❖ การคำนวณแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดิน เมื่อถมดินสูง 20 เซนติเมตรจากระดับดินเดิม

- Soil Parameter

ใช้ข้อมูลจากตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.10

- คำนวณแรงดันดินด้านข้าง



รูปที่ 3.13 แสดง Parameter ดินชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และดินถมสูง 20 เซนติเมตรของโครงสร้างกำแพงกันดิน และแรงดันดินด้านข้าง

ดินฝังโครงการ (ทางขวา)

$$K_{a1} = \left( \frac{1 - \sin 35^\circ}{1 + \sin 35^\circ} \right) = 0.271$$

$$K_{a2} = \left( \frac{1 - \sin 40^\circ}{1 + \sin 40^\circ} \right) = 0.217$$

$$\sigma'_{a1} = 0.271 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 3.2 \text{ m} = 17.78 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a2} = 0.217 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 3.2 \text{ m} = 14.24 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a3} = (0.217 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 1.2 \text{ m}) + 14.24 \text{ kN/m}^2 = 19.58 \text{ kN/m}^2$$

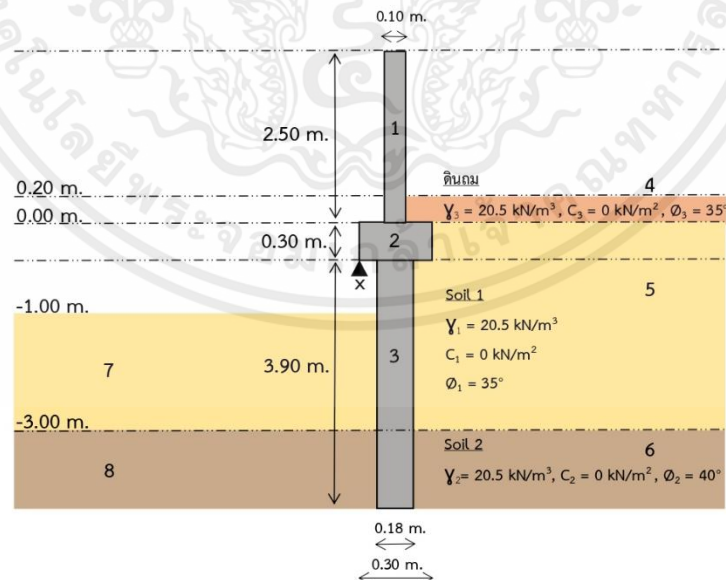
$$F_1 = 0.5 * 17.78 \text{ kN/m}^2 * 3.2 \text{ m} = 28.45 \text{ kN/m}$$

$$F_2 = 14.24 \text{ kN/m}^2 * 1.2 \text{ m} = 17.09 \text{ kN/m}$$

$$F_3 = 0.5 * (19.58 - 14.24) \text{ kN/m}^2 * 1.2 \text{ m} = 3.20 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F_x = (28.45 + 17.09 + 3.20) \text{ kN/m} = 48.74 \text{ kN/m}$$

● Factor of Safety against Overturning



รูปที่ 3.14 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ

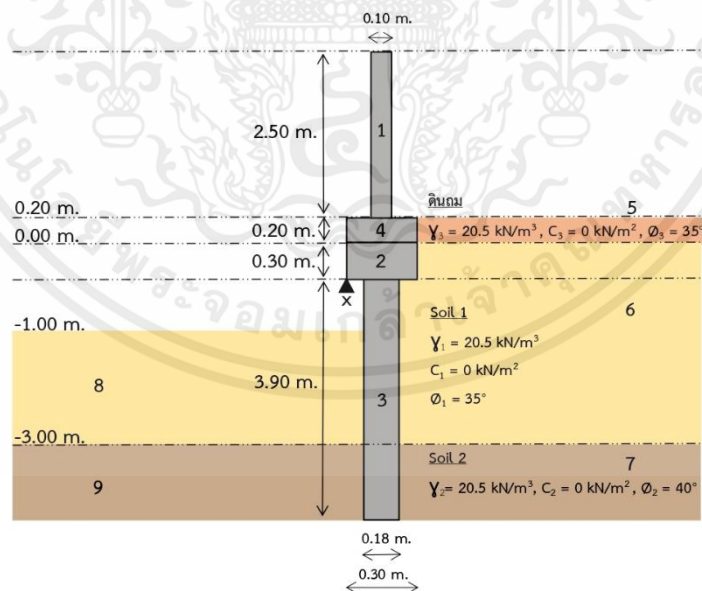
ที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 20 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.5 แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 20 เซนติเมตร

คิดโมเมนต์ที่ จุด X			
กำหนดให้	$\gamma_{\text{reinforced concrete}}$	25	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 1}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 2}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$

Section no.	Area ( $\text{m}^2$ )	Weight/unit length ( $\text{kN/m}$ )	Moment arm from point X (m)	Moment ( $\text{kN-m/m}$ )
1	0.25	6.25	0.15	0.94
2	0.09	2.25	0.15	0.34
3	0.7	17.5	0.15	2.63
4	1	20.5	2.74	56.17
5	15	307.5	2.74	842.55
6	6	123	2.74	337.02
7	15	307.5	2.44	750.3
8	6	123	2.44	300.12
			$\Sigma M_R$	189.23

The overturning moment			
$M_o$	=	97.48	$\text{kN-m/m}$
$FS_{\text{(overturning)}}$	=	1.94	
Check	$FS > 1.5$	OK	



รูปที่ 3.15 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ

ที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 20 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.6 แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของ โครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 20 เซนติเมตร

คิดโมเมนต์ที่ จุด X			
กำหนดให้	$\gamma_{\text{reinforced concrete}}$	25	kN/m <sup>3</sup>
	$\gamma_{\text{soil 1}}$	20.5	kN/m <sup>3</sup>
	$\gamma_{\text{soil 2}}$	20.5	kN/m <sup>3</sup>

Section no.	Area (m <sup>2</sup> )	Weight/unit length (kN/m)	Moment arm from point X (m)	Moment (kN-m/m)
1	0.25	6.25	0.15	0.94
2	0.09	2.25	0.15	0.34
3	0.7	17.5	0.15	2.63
4	0.06	1.5	0.15	0.23
5	1	20.5	2.74	56.17
6	15	307.5	2.74	842.55
7	6	123	2.74	337.02
8	15	307.5	2.44	750.3
9	6	123	2.44	300.12
$\Sigma M_R$				189.46

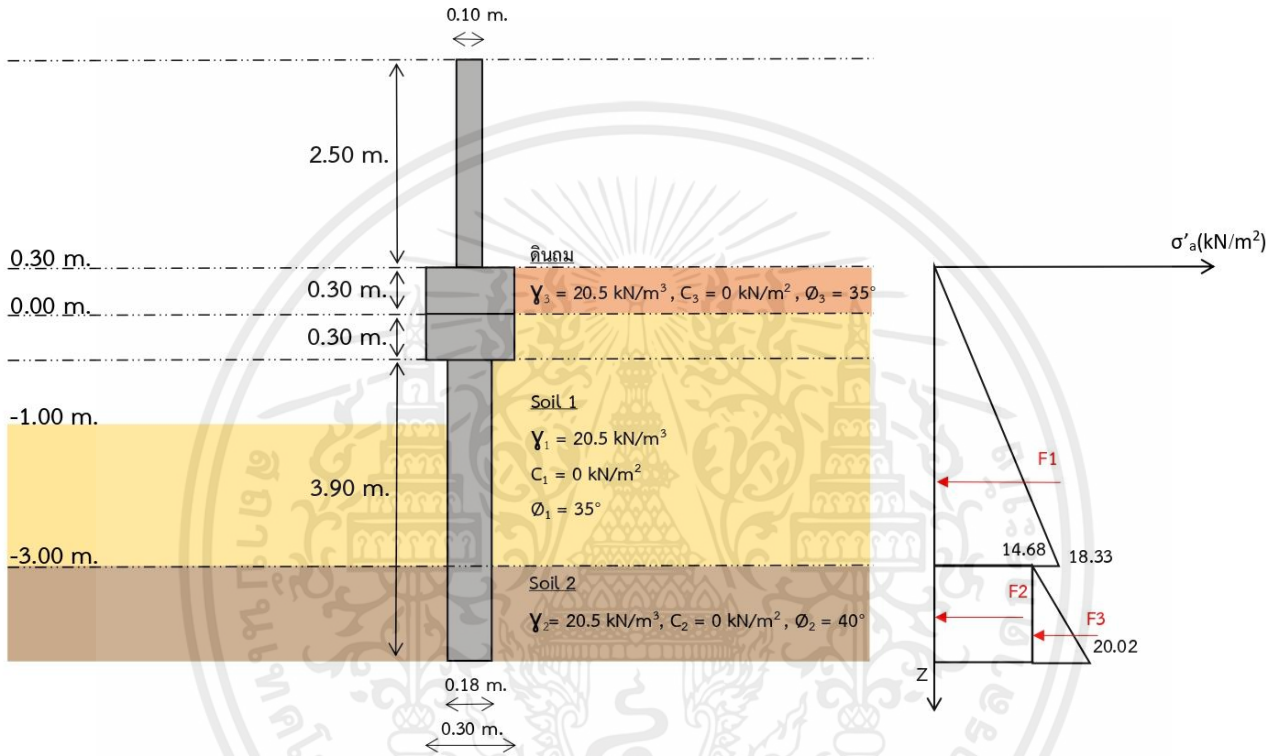
The overturning moment			
$M_o$	=	87.24	kN-m/m
$FS_{\text{(overturning)}}$	=	2.17	
Check	$FS > 1.5$	OK	

❖ การคำนวณแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดิน เมื่อถมดินสูง 30 เซนติเมตรจากระดับดินเดิม

- Soil Parameter

ใช้ข้อมูลจากตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.10

- คำนวณแรงดันดินด้านข้าง



รูปที่ 3.16 แสดง Parameter ดินชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และดินถมสูง 30 เซนติเมตรของโครงสร้างกำแพงกันดิน และแรงดันดินด้านข้าง

ดินฝังโครงการ (ทางขวา)

$$K_{a1} = \left( \frac{1 - \sin 35^\circ}{1 + \sin 35^\circ} \right) = 0.271$$

$$K_{a2} = \left( \frac{1 - \sin 40^\circ}{1 + \sin 40^\circ} \right) = 0.217$$

$$\sigma'_{a1} = 0.271 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 3.3 \text{ m} = 18.33 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a2} = 0.217 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 3.3 \text{ m} = 14.68 \text{ kN/m}$$

$$\sigma'_{a3} = (0.217 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 1.2 \text{ m}) + 14.68 \text{ kN/m}^2 = 20.02 \text{ kN/m}^2$$

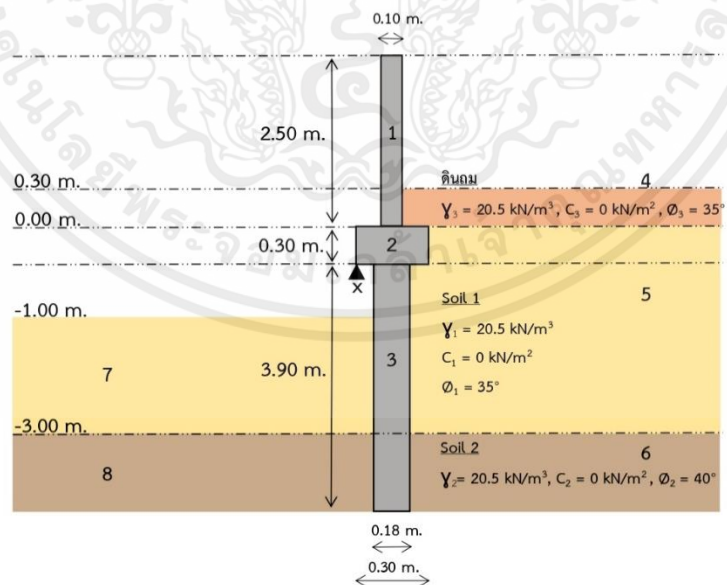
$$F_1 = 0.5 * 18.33 \text{ kN/m}^2 * 3.3 \text{ m} = 30.24 \text{ kN/m}$$

$$F_2 = 14.68 \text{ kN/m}^2 * 1.2 \text{ m} = 17.62 \text{ kN/m}$$

$$F_3 = 0.5 * (20.02 - 14.68) \text{ kN/m}^2 * 1.2 \text{ m} = 3.20 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F_x = (30.24 + 17.62 + 3.20) \text{ kN/m} = 51.06 \text{ kN/m}$$

- Factor of Safety against Overturning



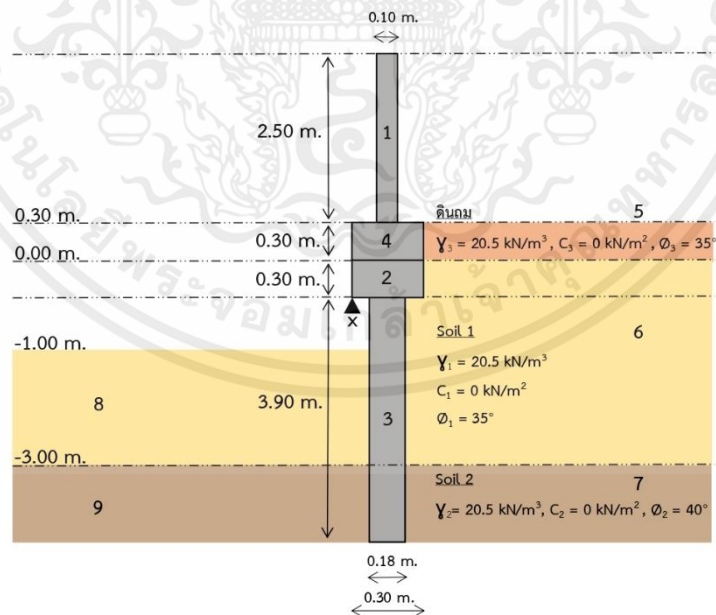
รูปที่ 3.17 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ  
ที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 30 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.7 แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 30 เซนติเมตร

คิดโมเมนต์ที่จุด X			
กำหนดให้	$\gamma_{\text{reinforced concrete}}$	25	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 1}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 2}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$

Section no.	Area ( $\text{m}^2$ )	Weight/unit length ( $\text{kN/m}$ )	Moment arm from point X (m)	Moment ( $\text{kN-m/m}$ )
1	0.25	6.25	0.15	0.94
2	0.09	2.25	0.15	0.34
3	0.7	17.5	0.15	2.63
4	1.5	30.75	2.74	84.26
5	15	307.5	2.74	842.55
6	6	123	2.74	337.02
7	15	307.5	2.44	750.3
8	6	123	2.44	300.12
			$\Sigma M_x$	217.32

The overturning moment			
$M_o$	=	112.33	$\text{kN-m/m}$
$FS_{\text{(overturning)}}$	=	1.93	
Check	$FS > 1.5$	OK	



รูปที่ 3.18 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ ที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 30 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.8 แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของ  
โครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 30 เซนติเมตร

คิดโมเมนต์ที่ จุด X			
กำหนดให้	$\gamma_{\text{reinforced concrete}}$	25	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 1}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 2}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$

Section no.	Area ( $\text{m}^2$ )	Weight/unit length ( $\text{kN/m}$ )	Moment arm from point X (m)	Moment ( $\text{kN-m/m}$ )
1	0.25	6.25	0.15	0.94
2	0.09	2.25	0.15	0.34
3	0.7	17.5	0.15	2.63
4	0.09	2.25	0.15	0.34
5	1.5	30.75	2.74	84.26
6	15	307.5	2.74	842.55
7	6	123	2.74	337.02
8	15	307.5	2.44	750.3
9	6	123	2.44	300.12
			$\Sigma M_R$	217.66

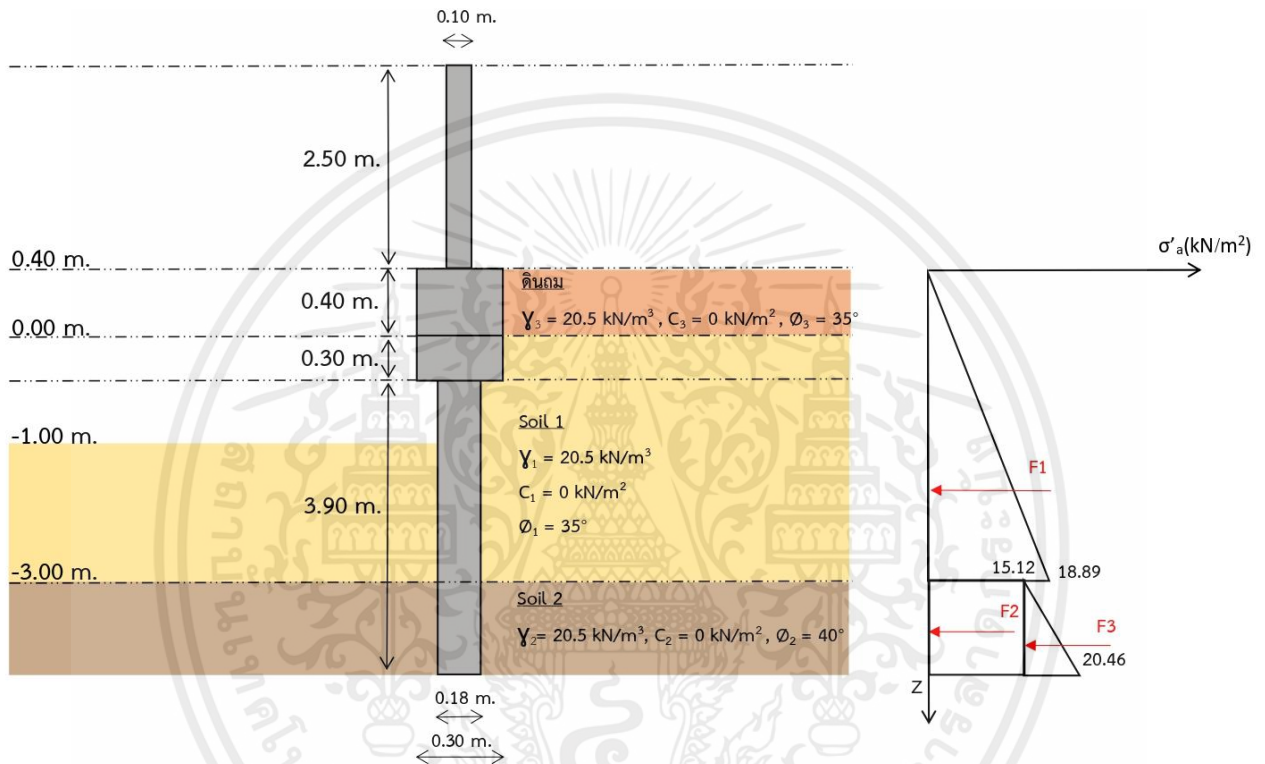
The overturning moment			
$M_o$	=	102.63	$\text{kN-m/m}$
$FS_{\text{(overturning)}}$	=	2.12	
Check	$FS > 1.5$	OK	

❖ การคำนวณแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดิน เมื่อถมดินสูง 40 เซนติเมตรจากระดับดินเดิม

- Soil Parameter

ใช้ข้อมูลจากตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.10

- คำนวณแรงดันดินด้านข้าง



รูปที่ 3.19 แสดง Parameter ดินชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และดินถมสูง 40 เซนติเมตรของโครงสร้างกำแพงกันดิน และแรงดันดินด้านข้าง

ดินฝังโครงการ (ทางขวา)

$$K_{a1} = \left( \frac{1 - \sin 35^\circ}{1 + \sin 35^\circ} \right) = 0.271$$

$$K_{a2} = \left( \frac{1 - \sin 40^\circ}{1 + \sin 40^\circ} \right) = 0.217$$

$$\sigma'_{a1} = 0.271 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 3.4 \text{ m} = 18.89 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a2} = 0.217 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 3.4 \text{ m} = 15.12 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a3} = (0.217 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 1.2 \text{ m}) + 15.12 \text{ kN/m}^2 = 20.46 \text{ kN/m}^2$$

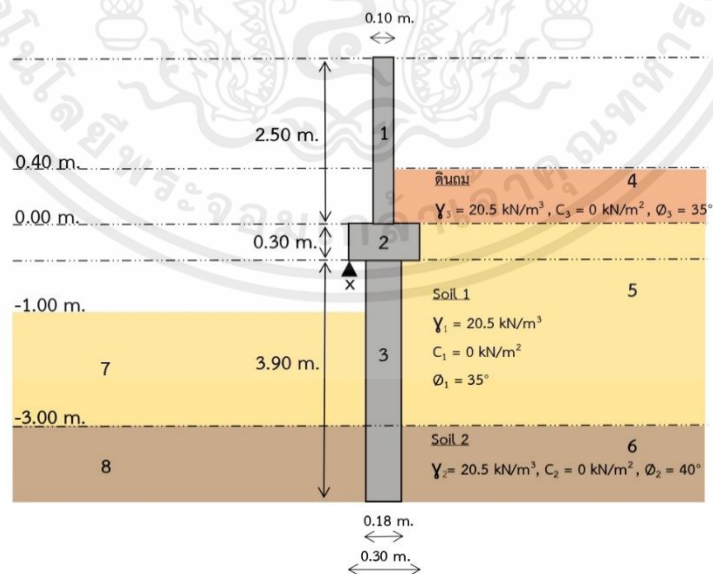
$$F_1 = 0.5 * 18.89 \text{ kN/m}^2 * 3.4 \text{ m} = 32.11 \text{ kN/m}$$

$$F_2 = 15.12 \text{ kN/m}^2 * 1.2 \text{ m} = 18.14 \text{ kN/m}$$

$$F_3 = 0.5 * (20.46 - 15.12) \text{ kN/m}^2 * 1.2 \text{ m} = 3.20 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F_x = (32.11 + 18.14 + 3.20) \text{ kN/m} = 53.45 \text{ kN/m}$$

- Factor of Safety against Overturning



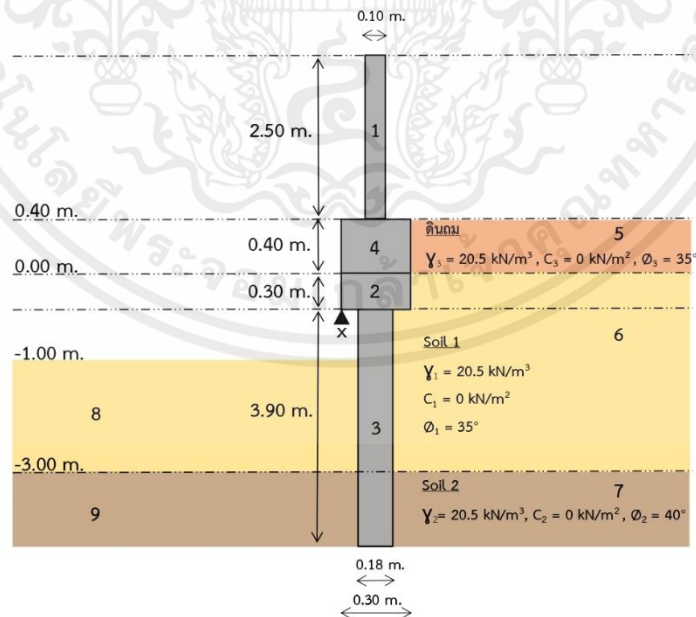
รูปที่ 3.20 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ  
ที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 40 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.9 แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 40 เซนติเมตร

คิดโมเมนต์ที่จุด X			
กำหนดให้	$\gamma_{\text{reinforced concrete}}$	25	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 1}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 2}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$

Section no.	Area ( $\text{m}^2$ )	Weight/unit length ( $\text{kN/m}$ )	Moment arm from point X (m)	Moment ( $\text{kN-m/m}$ )
1	0.25	6.25	0.15	0.94
2	0.09	2.25	0.15	0.34
3	0.7	17.5	0.15	2.63
4	2	41	2.74	112.34
5	15	307.5	2.74	842.55
6	6	123	2.74	337.02
7	15	307.5	2.44	750.3
8	6	123	2.44	300.12
			$\Sigma M_R$	245.4

The overturning moment			
$M_o$	=	128.28	$\text{kN-m/m}$
$FS_{\text{(overturning)}}$	=	1.91	
Check	$FS > 1.5$	OK	



รูปที่ 3.21 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ ที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 40 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.10 แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 40 เซนติเมตร

คิดโมเมนต์ที่ จุด X			
กำหนดให้	$\gamma_{\text{reinforced concrete}}$	25	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 1}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 2}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$

Section no.	Area ( $\text{m}^2$ )	Weight/unit length ( $\text{kN/m}$ )	Moment arm from point X (m)	Moment ( $\text{kN-m/m}$ )
1	0.25	6.25	0.15	0.94
2	0.09	2.25	0.15	0.34
3	0.7	17.5	0.15	2.63
4	0.12	3	0.15	0.45
5	2	41	2.74	112.34
6	15	307.5	2.74	842.55
7	6	123	2.74	337.02
8	15	307.5	2.44	750.3
9	6	123	2.44	300.12
			$\Sigma M_R$	245.85

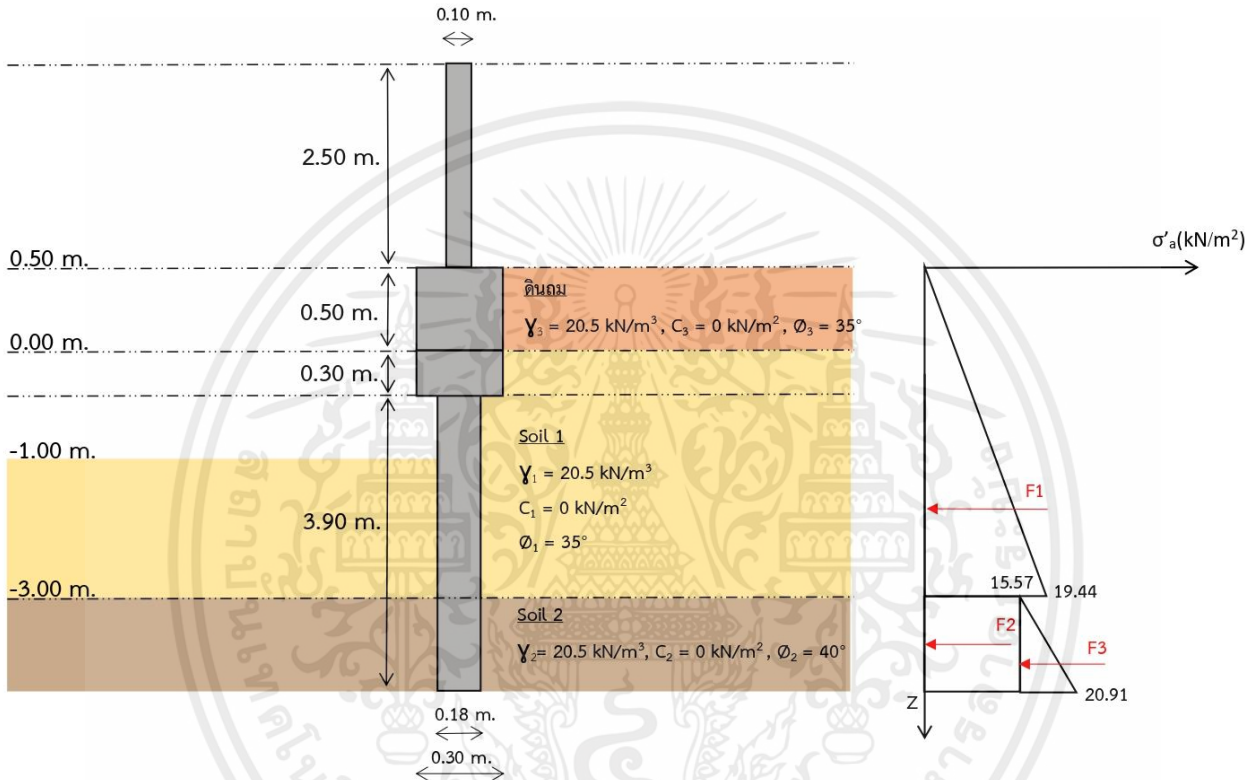
The overturning moment			
$M_o$	=	118.12	$\text{kN-m/m}$
$FS_{\text{(overturning)}}$	=	2.08	
Check	$FS > 1.5$	OK	

❖ การคำนวณแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดิน เมื่อถมดินสูง 50 เซนติเมตรจากระดับดินเดิม

- Soil Parameter

ใช้ข้อมูลจากตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.10

- คำนวณแรงดันดินด้านข้าง



รูปที่ 3.22 แสดง Parameter ดินชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และดินถมสูง 50 เซนติเมตรของโครงสร้างกำแพงกันดิน และแรงดันดินด้านข้าง

ดินฝังโครงการ(ทางขวา)

$$K_{a1} = \left( \frac{1 - \sin 35^\circ}{1 + \sin 35^\circ} \right) = 0.271$$

$$K_{a2} = \left( \frac{1 - \sin 40^\circ}{1 + \sin 40^\circ} \right) = 0.217$$

$$\sigma'_{a1} = 0.271 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 3.5 \text{ m} = 19.44 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a2} = 0.217 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 3.5 \text{ m} = 15.57 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a3} = (0.217 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 1.2 \text{ m}) + 15.57 \text{ kN/m}^2 = 20.91 \text{ kN/m}^2$$

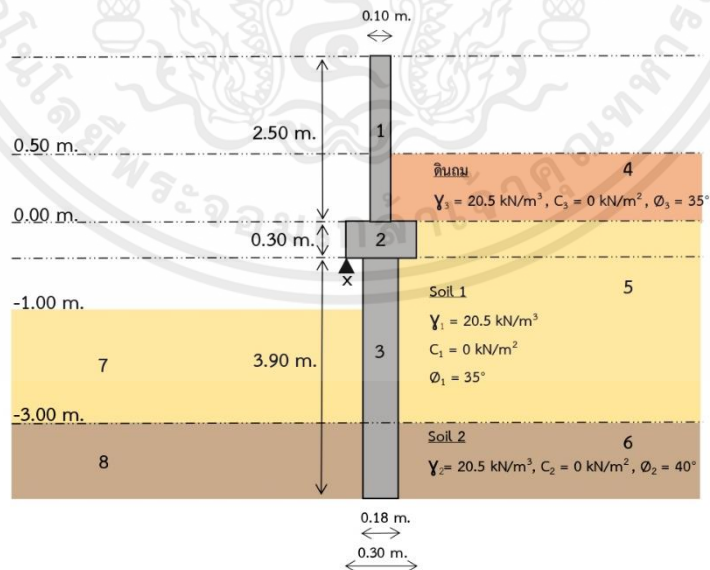
$$F_1 = 0.5 * 19.44 \text{ kN/m}^2 * 3.5 \text{ m} = 34.02 \text{ kN/m}$$

$$F_2 = 15.57 \text{ kN/m}^2 * 1.2 \text{ m} = 18.68 \text{ kN/m}$$

$$F_3 = 0.5 * (20.91 - 15.57) \text{ kN/m}^2 * 1.2 \text{ m} = 3.20 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F_x = (34.02 + 18.68 + 3.20) \text{ kN/m} = 55.9 \text{ kN/m}$$

- Factor of Safety against Overturning



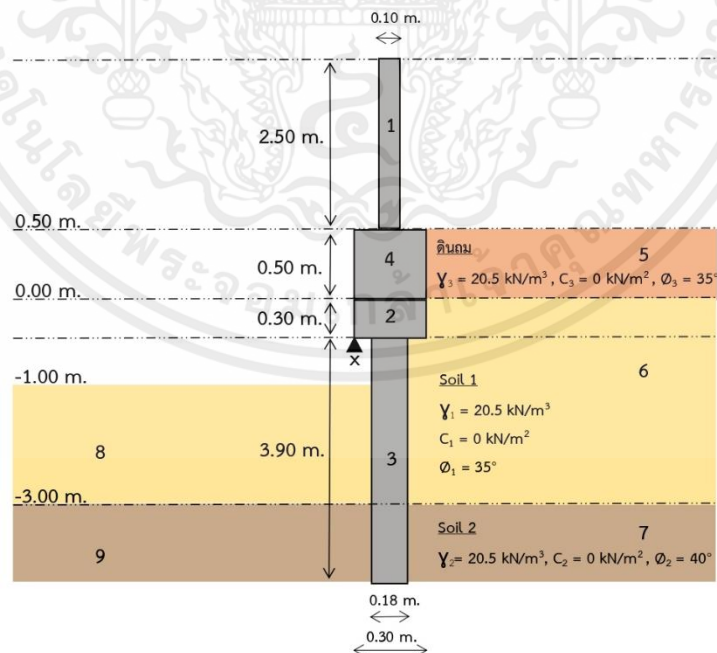
รูปที่ 3.23 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ  
ที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 50 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.11 แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 50 เซนติเมตร

คิด โมเมนต์ที่ จุด X			
กำหนดให้	$\gamma_{\text{reinforced concrete}}$	25	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 1}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 2}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$

Section no.	Area ( $\text{m}^2$ )	Weight/unit length ( $\text{kN/m}$ )	Moment arm from point X (m)	Moment ( $\text{kN-m/m}$ )
1	0.25	6.25	0.15	0.94
2	0.09	2.25	0.15	0.34
3	0.7	17.5	0.15	2.63
4	2.5	51.25	2.74	140.43
5	15	307.5	2.74	842.55
6	6	123	2.74	337.02
7	15	307.5	2.44	750.3
8	6	123	2.44	300.12
			$\Sigma M_R$	273.49

The overturning moment			
$M_o$	=	145.34	$\text{kN-m/m}$
$FS_{\text{(overturning)}}$	=	1.88	
Check	$FS > 1.5$	OK	



รูปที่ 3.24 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ ที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 50 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.12 แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 50 เซนติเมตร

คิดโมเมนต์ที่ จุด X			
กำหนดให้	$\gamma_{\text{reinforced concrete}}$	25	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 1}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 2}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$

Section no.	Area ( $\text{m}^2$ )	Weight/unit length ( $\text{kN/m}$ )	Moment arm from point X (m)	Moment ( $\text{kN-m/m}$ )
1	0.25	6.25	0.15	0.94
2	0.09	2.25	0.15	0.34
3	0.7	17.5	0.15	2.63
4	0.15	3.75	0.15	0.56
5	2.5	51.25	2.74	140.43
6	15	307.5	2.74	842.55
7	6	123	2.74	337.02
8	15	307.5	2.44	750.3
9	6	123	2.44	300.12
			$\Sigma M_R$	274.05

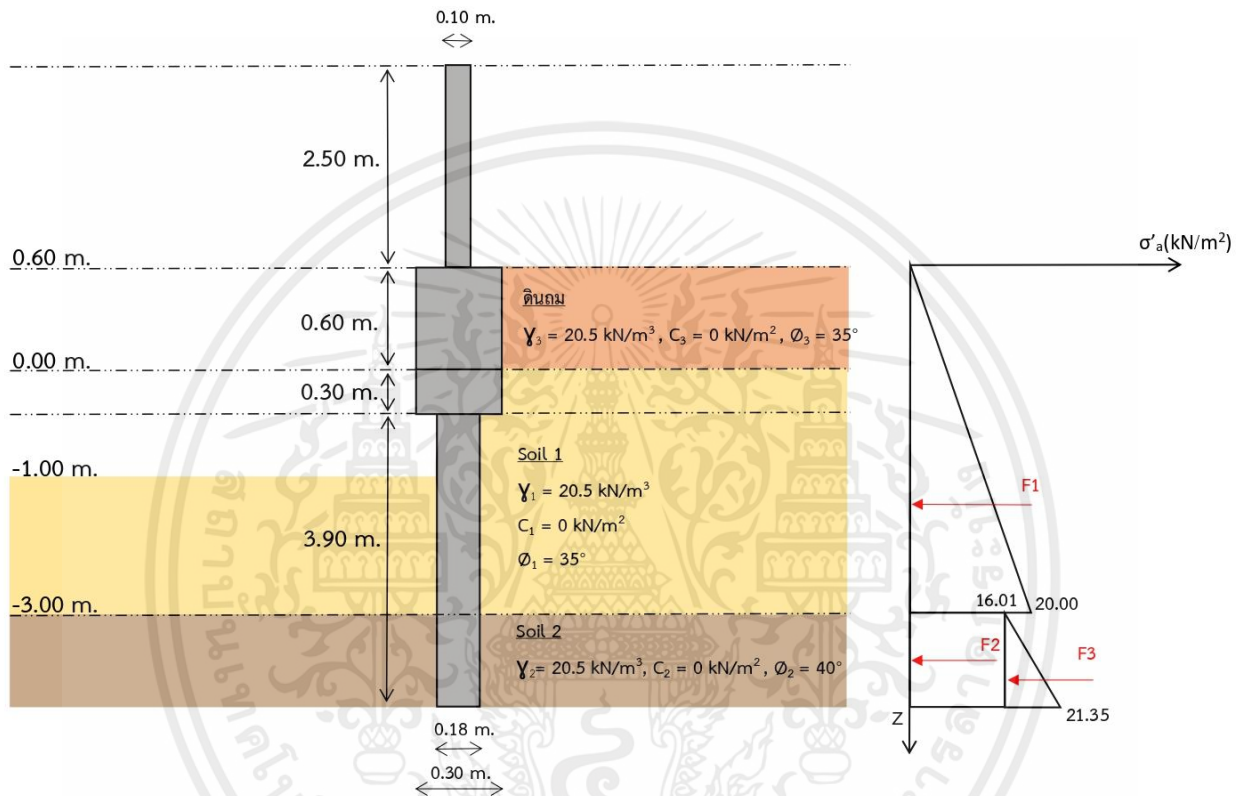
The overturning moment			
$M_o$	=	136.96	$\text{kN-m/m}$
FS <sub>(overturning)</sub>	=	2	
Check	FS > 1.5	OK	

❖ การคำนวณแรงดันดินด้านข้างของกำแพงกันดิน เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตรจากระดับดินเดิม

- Soil Parameter

ใช้ข้อมูลจากตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.10

- คำนวณแรงดันดินด้านข้าง



รูปที่ 3.25 แสดง Parameter ดินชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2 และดินถมสูง 60 เซนติเมตรของโครงสร้างกำแพงกันดิน และแรงดันดินด้านข้าง

ดินฝังโครงการ(ทางขวา)

$$K_{a1} = \left( \frac{1 - \sin 35^\circ}{1 + \sin 35^\circ} \right) = 0.271$$

$$K_{a2} = \left( \frac{1 - \sin 40^\circ}{1 + \sin 40^\circ} \right) = 0.217$$

$$\sigma'_{a1} = 0.271 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 3.6 \text{ m} = 20 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a2} = 0.217 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 3.6 \text{ m} = 16.01 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a3} = (0.217 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 1.2 \text{ m}) + 16.01 \text{ kN/m}^2 = 21.35 \text{ kN/m}^2$$

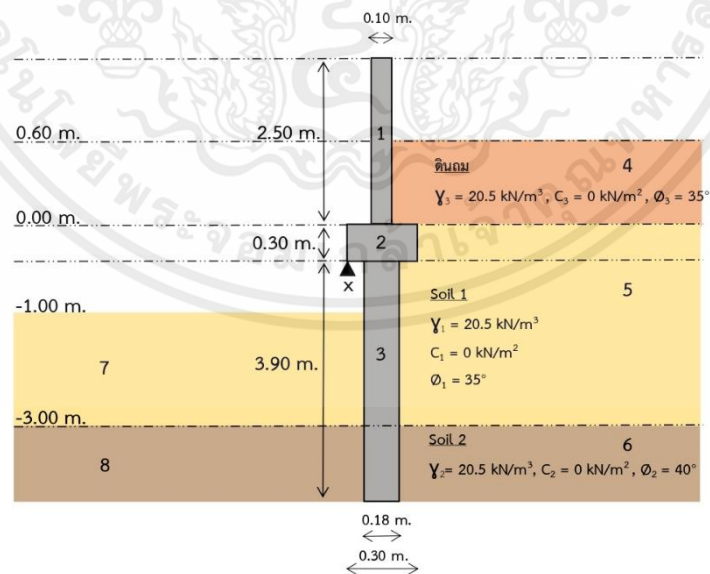
$$F_1 = 0.5 * 20 \text{ kN/m}^2 * 3.6 \text{ m} = 36 \text{ kN/m}$$

$$F_2 = 16.01 \text{ kN/m}^2 * 1.2 \text{ m} = 19.21 \text{ kN/m}$$

$$F_3 = 0.5 * (21.35 - 16.01) \text{ kN/m}^2 * 1.2 \text{ m} = 3.20 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma F_x = (36 + 19.21 + 3.20) \text{ kN/m} = 58.41 \text{ kN/m}$$

- Factor of Safety against Overturning



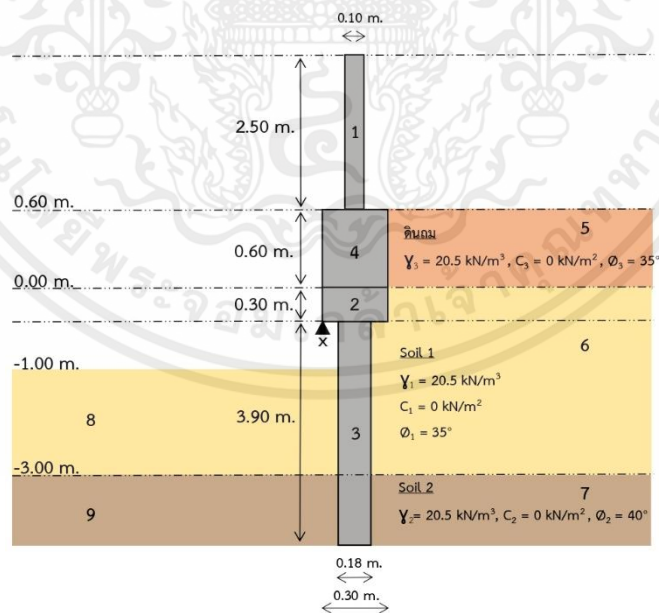
รูปที่ 3.26 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ  
ที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.13 แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร

คิดโมเมนต์ที่ จุด X			
กำหนดให้	$\gamma$ reinforced concrete	25	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 1}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 2}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$

Section no.	Area ( $\text{m}^2$ )	Weight/unit length ( $\text{kN/m}$ )	Moment arm from point X (m)	Moment ( $\text{kN-m/m}$ )
1	0.25	6.25	0.15	0.94
2	0.09	2.25	0.15	0.34
3	0.7	17.5	0.15	2.63
4	3	61.5	2.74	168.51
5	15	307.5	2.74	842.55
6	6	123	2.74	337.02
7	15	307.5	2.44	750.3
8	6	123	2.44	300.12
			$\Sigma M_R$	301.57

The overturning moment			
$M_o$	=	163.55	$\text{kN-m/m}$
$FS_{\text{(overturning)}}$	=	1.84	
Check	$FS > 1.5$	OK	



รูปที่ 3.27 แสดงการคำนวณเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบที่จุดหมุน x เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.14 แสดงการหา Resisting moment, Overturning Moment และ Factor of Safety ของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร

คิด โมเมนต์ที่ จุด X			
กำหนดให้	$\gamma_{\text{reinforced concrete}}$	25	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 1}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$
	$\gamma_{\text{soil 2}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$

Section no.	Area ( $\text{m}^2$ )	Weight/unit length ( $\text{kN/m}$ )	Moment arm from point X (m)	Moment ( $\text{kN-m/m}$ )
1	0.25	6.25	0.15	0.94
2	0.09	2.25	0.15	0.34
3	0.7	17.5	0.15	2.63
4	0.18	4.5	0.15	0.68
5	3	61.5	2.74	168.51
6	15	307.5	2.74	842.55
7	6	123	2.74	337.02
8	15	307.5	2.44	750.3
9	6	123	2.44	300.12
			$\Sigma M_R$	302.25

The overturning moment			
$M_o$	=	157.71	$\text{kN-m/m}$
$FS_{\text{(overturning)}}$	=	1.92	
Check	$FS > 1.5$	OK	

### 3.4.3 การออกแบบตอม่อ และแผ่นกำแพงกันดิน

จากโครงสร้างกำแพงกันดินเดิมเมื่อเราทำการถมดินตามความสูงต่างๆโดยไม่ได้ทำการออกแบบระดับของดินที่ถมจะอยู่ประมาณความสูงของรั้วซึ่งทำให้เกิดแรงดันดินด้านข้างต่อรั้ว และแผ่นรั้วสำเร็จรูปทำให้เกิดความไม่เสถียรภาพในโครงสร้างได้จึงทำการออกแบบใหม่ โดยทำการตัดเสารั้วแล้วถอดแผ่นรั้วสำเร็จรูปออก ทำการเทตอม่อขึ้นตามระดับความสูงของดินที่ถมแล้วหล่อแผ่นกำแพงกันดินเข้ากับตอม่อ และเชื่อมตอม่อกับคานทับหลังโดยเจาะรูคอนกรีตคานทับหลังแล้วใส่เหล็กเส้นผูกกับเหล็กตอม่อแล้วเชื่อมด้วยอีพ็อกซี

#### ❖ ออกแบบตอม่อ

กำหนดให้  $f_c = 180 \text{ ksc}$

$f_y = 3000 \text{ ksc}$ , DB 12 mm (smallest)

จาก DL<sub>ดิน</sub> = 101.97 kg/m \* 3.0 m = 305.91 kg

DL<sub>เสารั้ว</sub> = 0.1 m \* 0.1 m \* 2.5 m \* 2400 kg/m<sup>3</sup> = 60 kg

DL<sub>แผ่นรั้วสำเร็จรูป</sub> = 0.07 m \* 3 m \* 2.5 m \* 2400 kg/m<sup>3</sup> = 1260 kg

DL<sub>ทั้งหมด</sub> = 1625.91 kg

- Assume column dimension (b\*h = A<sub>g</sub>)

สมมติหน้าตัดเท่ากับ 30 cm \* 30 cm = 900 cm<sup>2</sup>

- Determine P<sub>u</sub>, P<sub>n</sub>, P<sub>o</sub>

$P_u = 1.4DL + 1.7LL = 1.4(1625.91 \text{ kg}) + 1.7(0) = 2276.27 \text{ kg}$

$P_n = P_u / \phi = 2276.27 \text{ kg} / 0.7 = 3251.81 \text{ kg}$

$P_o = P_n / \phi = 3251.81 \text{ kg} / 0.8 = 4064.76 \text{ kg}$

- Substitute A<sub>g</sub> in

$P_o = 0.85 f_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$

จะได้  $A_{st} = -46.94 \text{ cm}^2$

หมายเหตุ : เมื่อคำนวณได้ค่า A<sub>st</sub> ติดลบซึ่งหมายความว่าไม่จำเป็นต้องใส่เหล็กจึงต้องทำการลดหน้าตัดตอม่อ แต่ถึงแม้จะลดหน้าตัดตอม่อแล้วค่า A<sub>st</sub> ยังติดลบ จึงไม่จำเป็นต้องใส่เหล็กในตอม่อ แต่ในที่นี้ทางโครงการให้ใส่เหล็กเพื่อความสมบูรณ์ และความปลอดภัยของตอม่อ

จึงใช้  $A_{st} = 46.94 \text{ cm}^2$

$$\rho = \frac{A_{st}}{A_g} = \frac{46.94 \text{ cm}^2}{900 \text{ cm}^2} * 100 = 5.22 \%$$

Check ( $1\% < \rho = 5.22\% < 8\%$ ) : OK

$$\text{Use 4 DB 20 (12.56 cm}^2\text{)} : \rho = \frac{12.56 \text{ cm}^2}{900 \text{ cm}^2} * 100 = 1.40 \%$$

Check ( $1\% < \rho = 1.40\% < 8\%$ ) : OK

- ทหาระยะห่างเหล็กปลอก

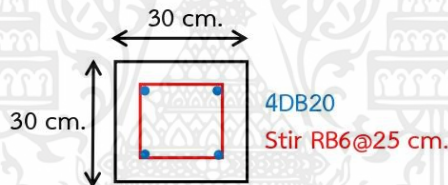
เลือกขนาดเหล็กปลอก 1 – RB 6

- 16 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กแกนเสา = 32 cm

- 48 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก = 28.8 cm

- ด้านแคบสุดของเสา = 30 cm

Using stirrup 1 – RB 6 @ 25 cm



รูปที่ 3.28 แบบขยายต่อม่อ

- ❖ ออกแบบแผ่นกำแพงกันดิน (สำหรับความสูงของดินถม 0.2 m, 0.3m, 0.4 m, และ 0.5 m ใช้เหล็กตามความสูงตามของดินถมที่สูงที่สุด 0.6 m เลย)

กำหนดให้  $f_c = 350 \text{ ksc}$

$$f_y = 2400 \text{ ksc}$$

$$\text{จาก } n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2.04 * 10^6 \text{ ksc}}{15200 \sqrt{350} \text{ ksc}} = 7$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{n f_c}} = \frac{1}{1 + \frac{120 \text{ ksc}}{7(157.5) \text{ ksc}}} = 0.479$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 1 - \frac{0.479}{3} = 0.840$$

- Check bending capacity

Depth 0.6 m

$$P_a = (K_{a1} * \gamma_1 * h) = (0.271 * 20.5 \text{ kN/m}^3 * 0.6 \text{ m}) = 3.33 \text{ kN/m}^2$$

w = 3.33 kN/m

$$M_{\max} = \frac{1}{8} wL^2 = \frac{1}{8} * 3.33 \text{ kN/m} * (2.50 \text{ m})^2 = 2.60 \text{ kN} - \text{m} = 265.13 \text{ kg} - \text{m}$$

$$A_s = \frac{M}{f_s j d} = \frac{265.13 \text{ kg-m} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}}{1200 \text{ ksc} * 0.840 * 7.5 \text{ cm}} = 3.51 \text{ cm}^2$$

- Detail Drawing

$$\text{Spacing} = \frac{100 \text{ cm}}{A_{s, \text{required}}} (A_{\text{rebar}})$$

If using RB 9,  $A_{\text{rebar}} = 0.636 \text{ cm}^2$

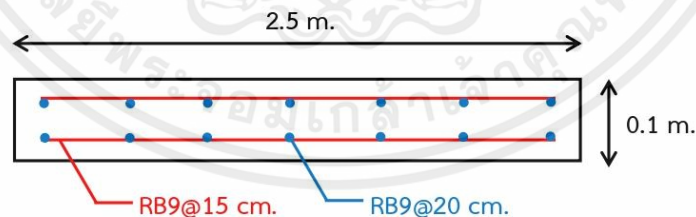
$$A_{\text{st}} = \rho_{\min} b d = 0.0025 * 100 \text{ cm} * 10 \text{ cm} = 2.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Spacing} = \frac{100 \text{ cm}}{3.51 \text{ cm}^2} (0.636 \text{ cm}^2) = 18.12 \text{ cm}$$

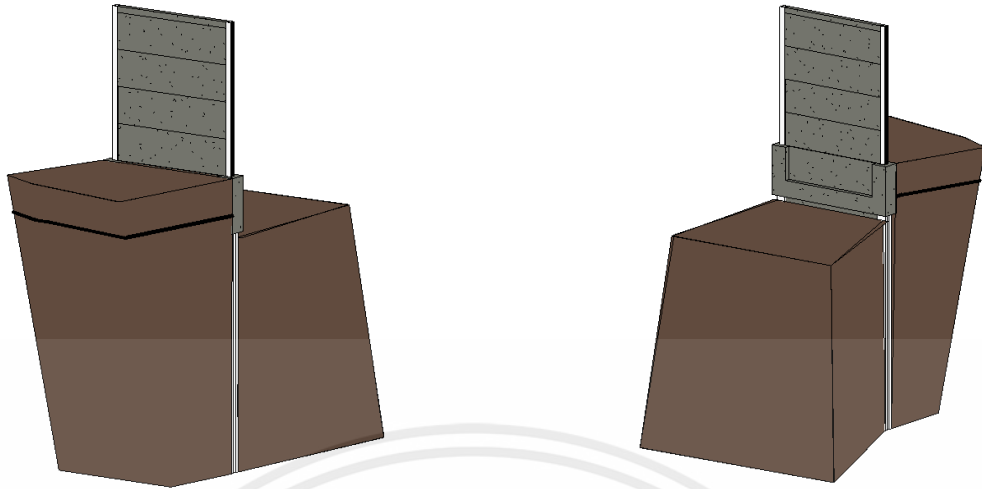
Used RB 9 @ 15 cm

$$\text{Spacing} = \frac{100 \text{ cm}}{2.5 \text{ cm}^2} (0.636 \text{ cm}^2) = 25.44 \text{ cm}$$

Used RB 9 @ 20 cm



รูปที่ 3.29 แบบขยายแผ่นกำแพงกันดิน



รูปที่ 3.30 โมเดลโครงสร้างกำแพงกันดินและรั้วสำเร็จรูปหลังการออกแบบจากโปรแกรม Revit

### 3.5 การวิเคราะห์ด้วย Plaxis 2D

#### 3.5.1 ศึกษาโปรแกรมทาง Finite Element

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำโปรแกรม Plaxis 2D มาใช้ ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) ภายในขอบเขตของวิศวกรรมธรณีเทคนิค รวมถึงการเสียรูป ความเสถียร และการไหลของน้ำ โดยผู้วิจัยใช้โปรแกรมนี้เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ และแรงดันดินที่กระทำกับกำแพงกันดินก่อน และหลังการออกแบบ

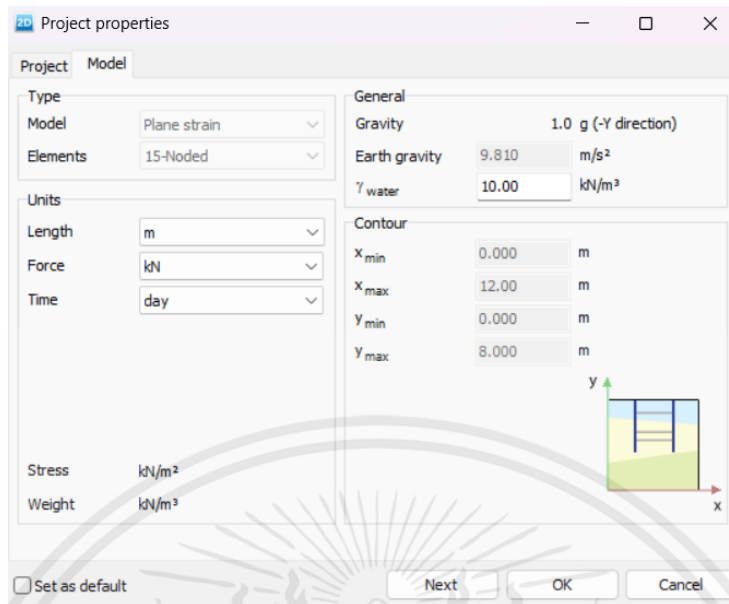
#### 3.5.2 การวิเคราะห์โครงสร้างกำแพงกันดิน

ทำการวิเคราะห์เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตรก่อนการออกแบบ

##### ❖ การกำหนด Project Properties

การวิเคราะห์ด้วย Plaxis 2D โดยคำนวณบนระนาบความเครียด (Plane Strain)

กำหนดให้ ชั้นส่วนรูปสามเหลี่ยม (Element) มี 15 ชั้นส่วน (Noded) กำหนดแบบจำลองในแกน x 12.00 เมตร และในแกน y 8.00 เมตร



รูปที่ 3.31 การกำหนด Project Properties ที่จะทำการวิเคราะห์

❖ การกำหนดข้อมูลดิน

นำข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน BH – 3 มาเป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ สภาพดินที่จำลองแบ่งออกเป็น Medium dense silty Sand และ Dense to Very dense silty/clayey Sand การวิเคราะห์ที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขการวิบัติของ มอร์ - คูลอมบ์ (Mohr – Coulomb Failure Criteria) โดยมีการระบายน้ำ (Drained)

ตารางที่ 3.15 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์

Soil	Distance from Ground Surface		Thickness (m)	Description	Soil Classification	Friction Angle (Degree)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	E' (kN/m <sup>2</sup> )	Poisson's Ratio	Interfaces
	Top	Bottom								
1	0	-3	3	Medium dense silty Sand	SM, SP-SM	35	20.5	35000	0.3	0.7
2	-3	-4.2	1.2	Dense to Very dense silty/clayey Sand	SM, SC	40	20.5	35000	0.35	0.7

## นำข้อมูลคุณสมบัติของดินจากรายงในโปรแกรม Plaxis 2D

- Medium dense silty Sand

Soil - Mohr-Coulomb - Medium dense silty Sand

General Parameters Groundwater Interfaces Initial

Property	Unit	Value
<b>Material set</b>		
Identification		Medium dense silty Sand
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 161, 226, 232
Comments		
<b>General properties</b>		
$Y_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	20.50
$Y_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	22.50
<b>Advanced</b>		
<b>Void ratio</b>		
Dilatancy cut-off <input type="checkbox"/>		
$e_{crit}$		0.5000
$e_{min}$		0.0000
$e_{max}$		999.0

Next OK Cancel

รูปที่ 3.32 ข้อมูลทั่วไปของดินชั้น Medium dense silty Sand

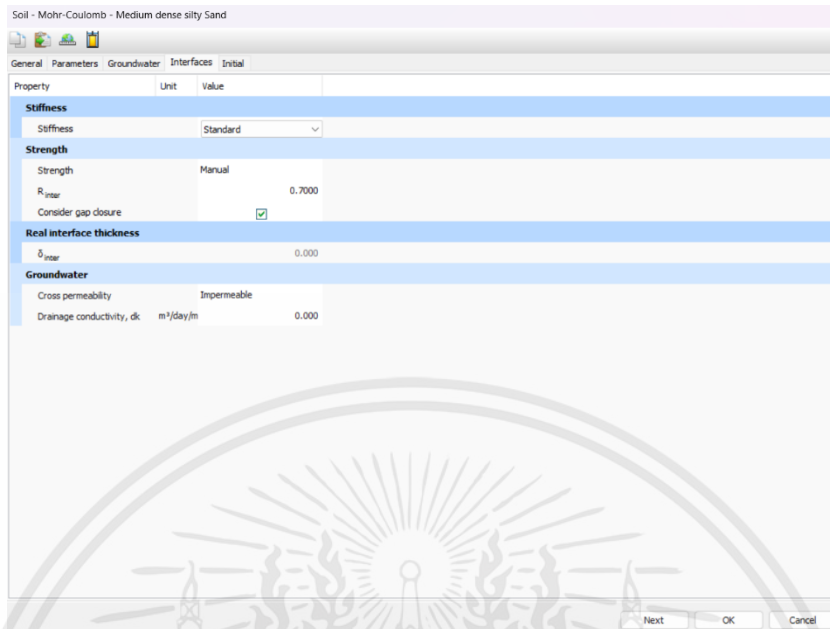
Soil - Mohr-Coulomb - Medium dense silty Sand

General Parameters Groundwater Interfaces Initial

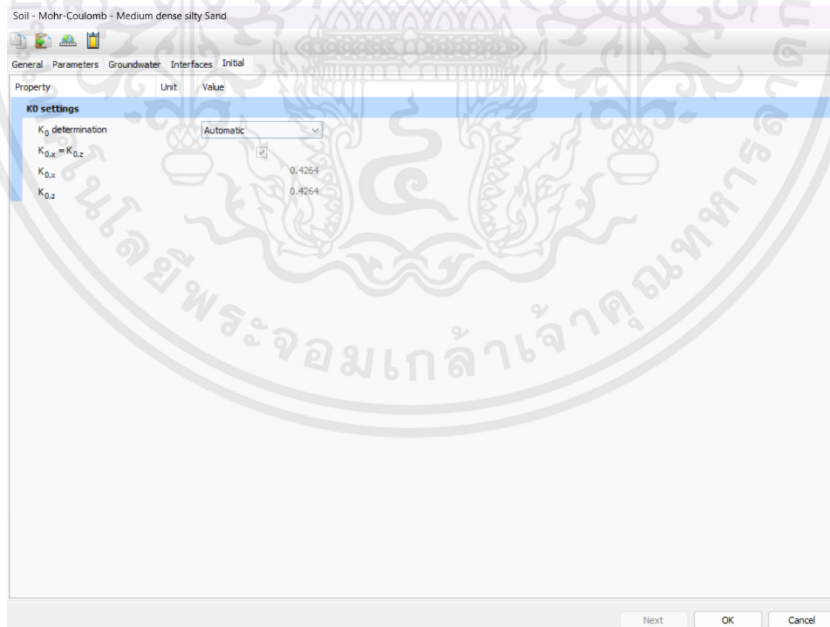
Property	Unit	Value
<b>Stiffness</b>		
$E$	kN/m <sup>2</sup>	35.00E3
$\nu$ (nu)		0.3000
<b>Alternatives</b>		
$G$	kN/m <sup>2</sup>	13.46E3
$E_{oed}$	kN/m <sup>2</sup>	47.12E3
<b>Strength</b>		
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	0.000
$\phi'$ (phi)	°	35.00
$\psi$ (psi)	°	0.000
<b>Advanced</b>		
Set to default values <input checked="" type="checkbox"/>		
<b>Stiffness</b>		
$E'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0.000
$Y_{ref}$	m	0.000
<b>Strength</b>		
$c'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0.000
$Y_{ref}$	m	0.000
Tension cut-off		<input checked="" type="checkbox"/>
Tensile strength	kN/m <sup>2</sup>	0.000
<b>Undrained behaviour</b>		
Undrained behaviour		Standard
Skempton-B		0.9783
$\nu_u$		0.4950

Next OK Cancel

รูปที่ 3.33 ข้อมูล Parameters ของดินชั้น Medium dense silty Sand

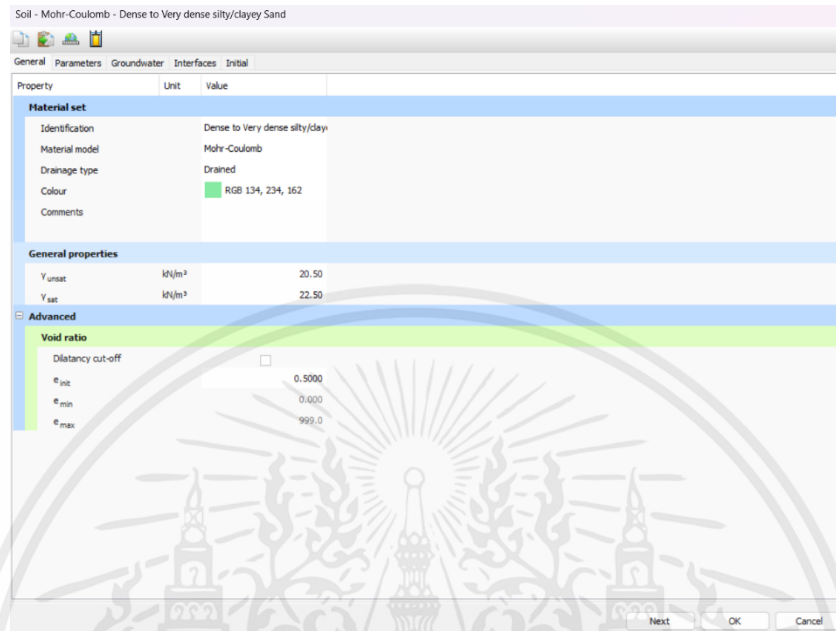


รูปที่ 3.34 ข้อมูล Interfaces ของดินชั้น Medium dense silty Sand

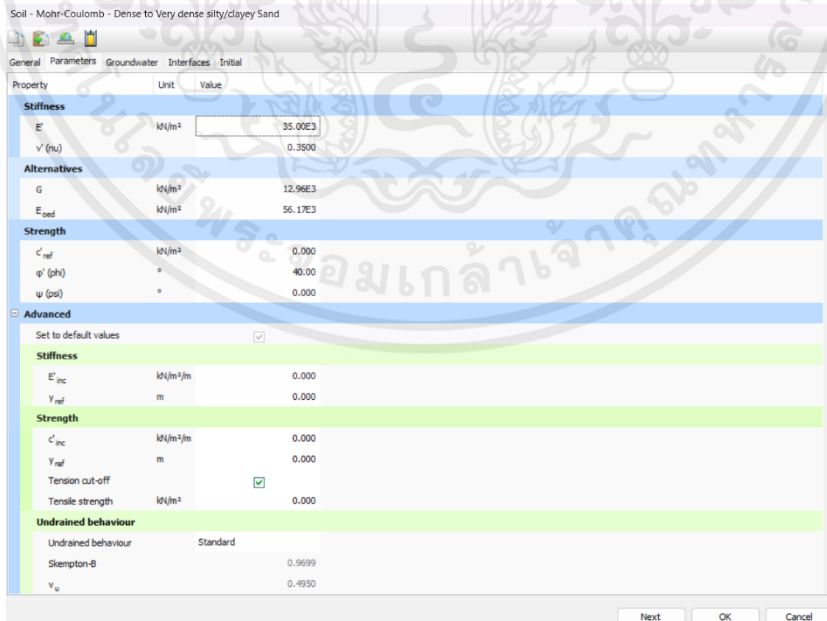


รูปที่ 3.35 ข้อมูล Initial ของดินชั้น Medium dense silty Sand

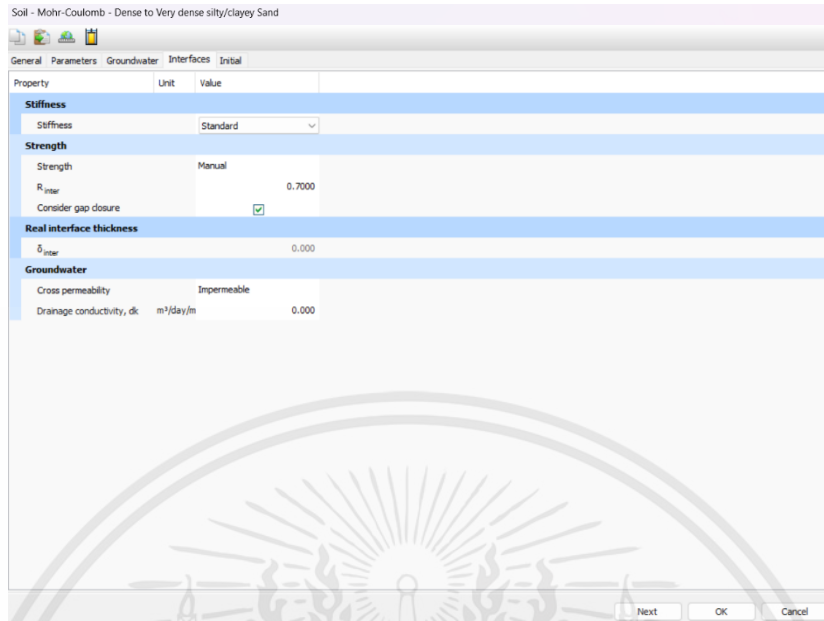
- Dense to Very dense silty/clayey Sand



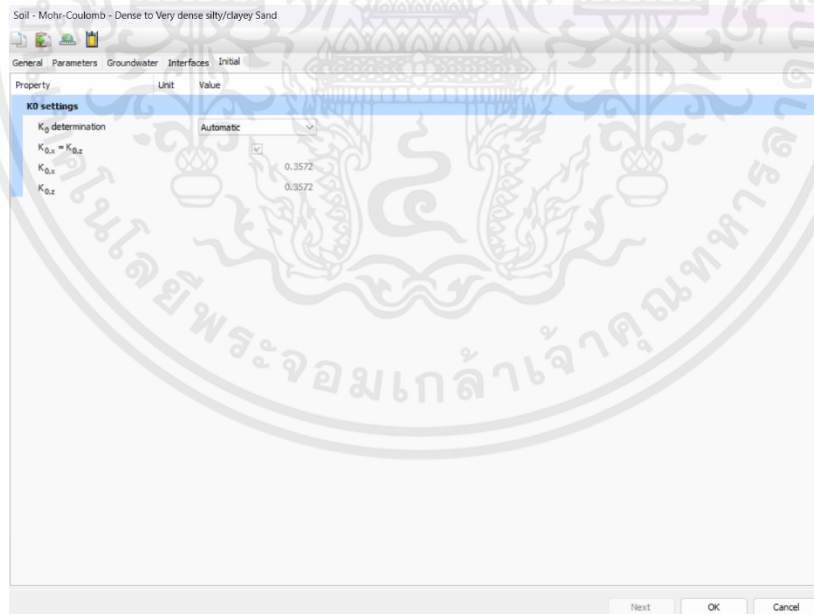
รูปที่ 3.36 ข้อมูลทั่วไปของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand



รูปที่ 3.37 ข้อมูล Parameters ของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand

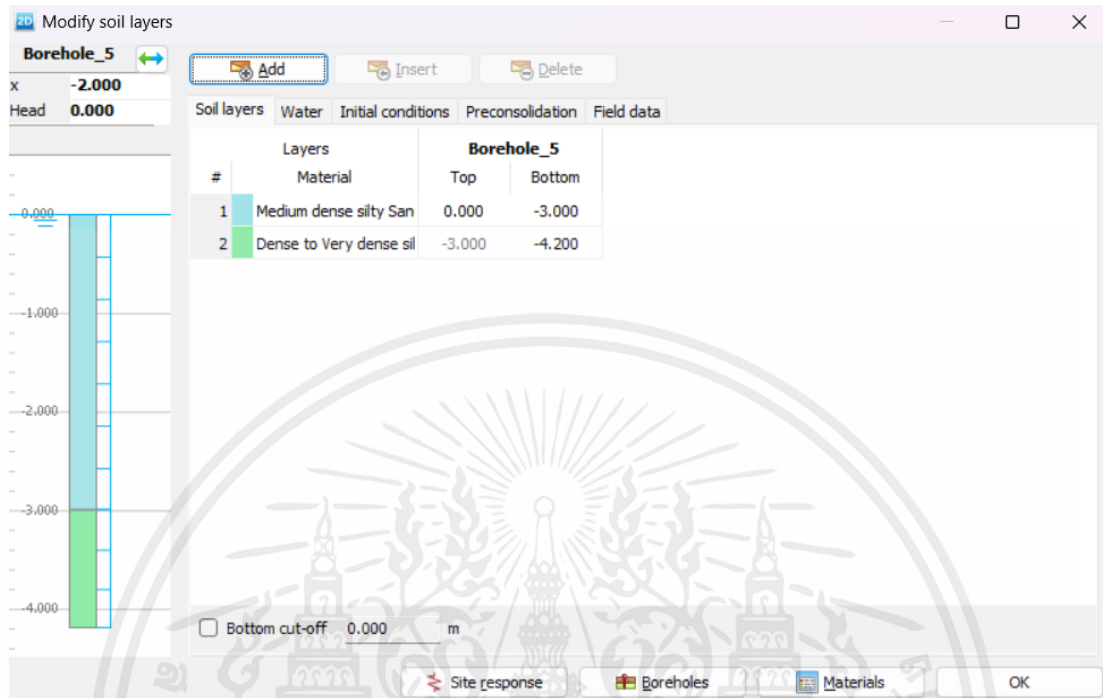


รูปที่ 3.38 ข้อมูล Interfaces ของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand



รูปที่ 3.39 ข้อมูล Initial ของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand

- การใส่ข้อมูล Borehole ของ BH – 3



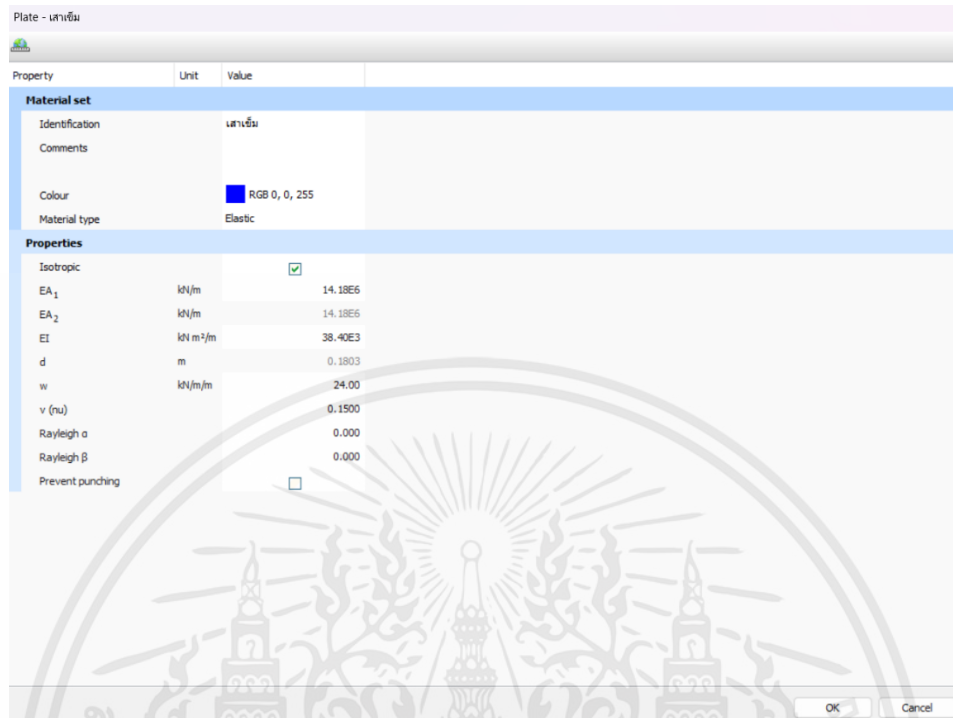
รูปที่ 3.40 การใส่ข้อมูล Borehole ของ BH – 3

- ❖ การใส่ข้อมูล Structure โครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ

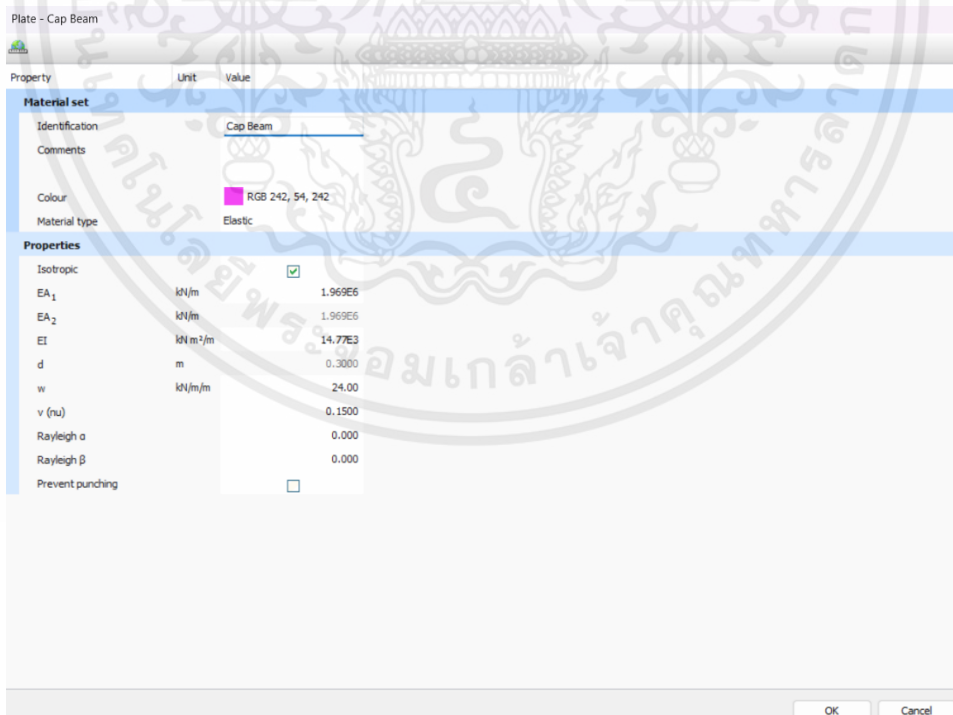
ตารางที่ 3.16 ข้อมูลสมบัติของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์

โครงสร้าง	ความหนา (m)	E (ksc)	A (m <sup>2</sup> )	I (m <sup>4</sup> )	EA (kN/m)	EI	Poisson's Ratio	w
เสาเข็ม	0.18	2.03E+07	0.7	1.90E-03	14182000	3.84E+04	0.15	24
Cap Beam	0.3	2.19E+07	0.09	6.75E-04	1969200	1.48E+04	0.15	24
เสาหัวสำเร็จรูป	0.1	2.03E+07	0.25	2.08E-04	5065000	4.22E+03	0.15	24

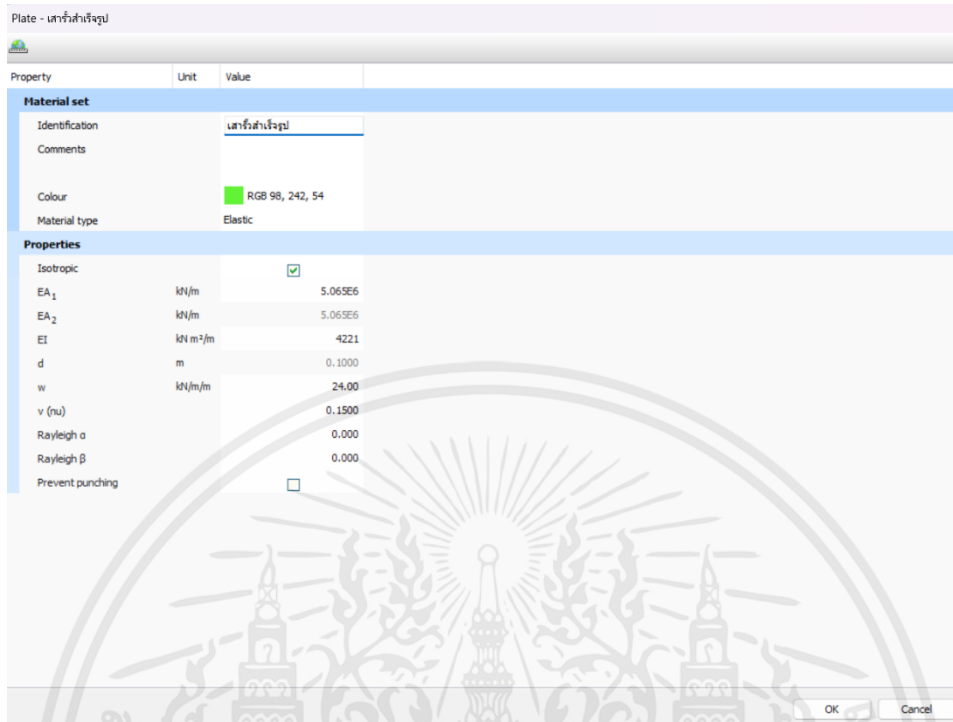
### ทำการใส่ข้อมูลโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนออกแบบ



รูปที่ 3.41 การใส่ข้อมูลเสาค้ำ



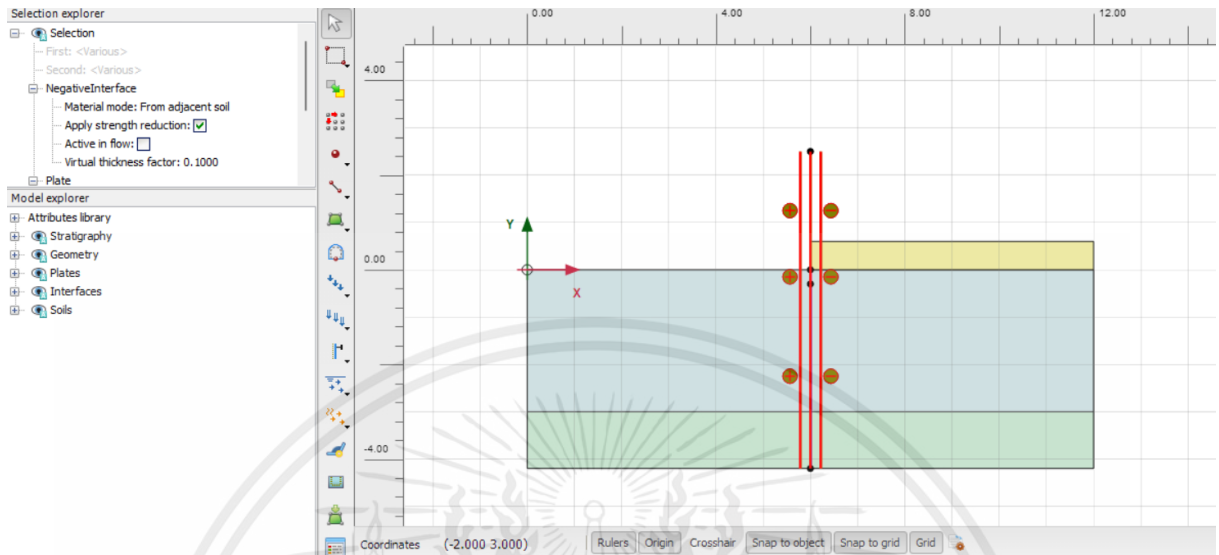
รูปที่ 3.42 การใส่ข้อมูล Cap Beam



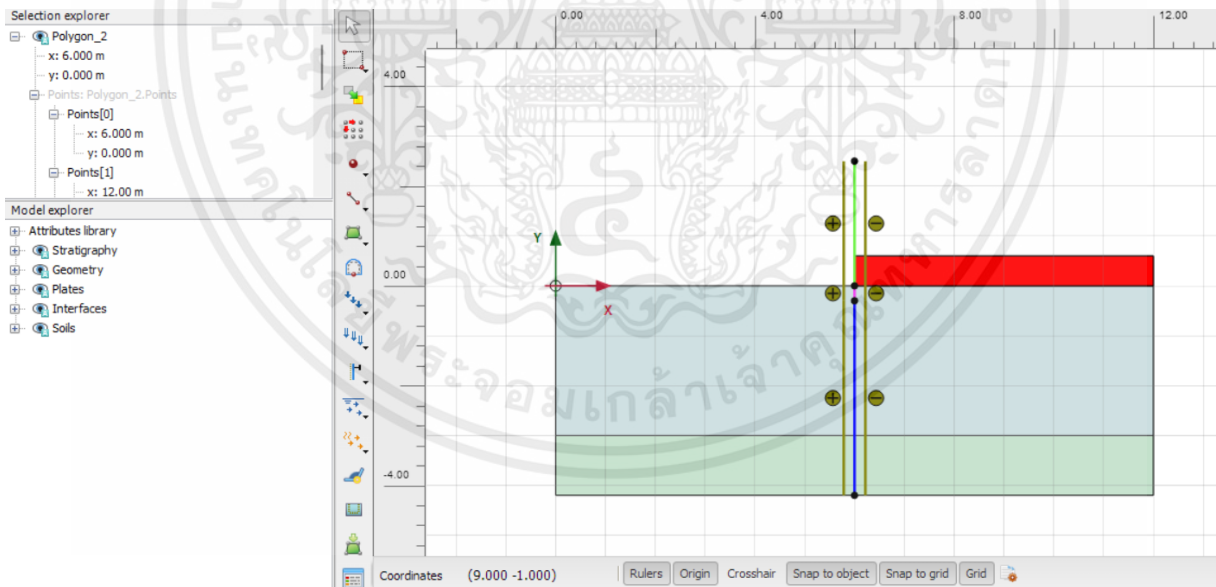
รูปที่ 3.43 การใส่ข้อมูลเสาสำเร็จรูป

❖ ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล

- ทำการติดตั้งโครงสร้างกำแพงกันดิน ให้ได้ระยะตามที่โครงการกำหนด
  - ใส่โครงสร้างกำแพงกันดิน
  - ทำการใส่ Positive / Negative Interface
  - ใส่ดินถมสูง +0.60 เมตร ดินถมใช้ค่าทั้งหมดเหมือนกับดิน Medium dense silty Sand

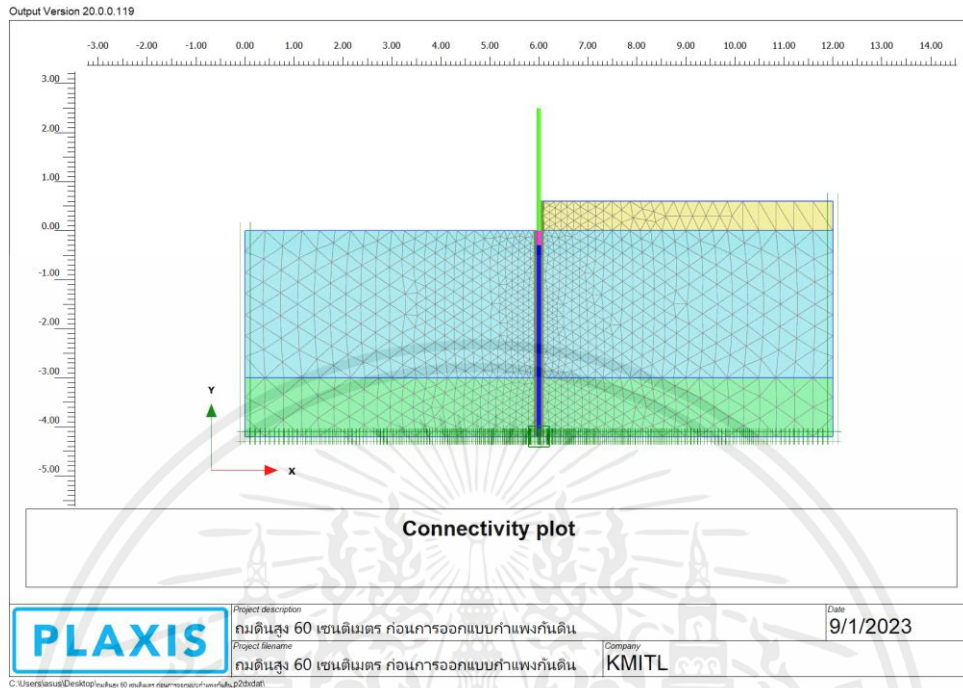


รูปที่ 3.44 ใส่โครงสร้างกำแพงกันดิน



รูปที่ 3.45 ใส่ระดับชั้นดินที่ต้องการถม

- กำหนดอิลิเมนต์ที่มีความละเอียดมาก (Very Fine Mesh)



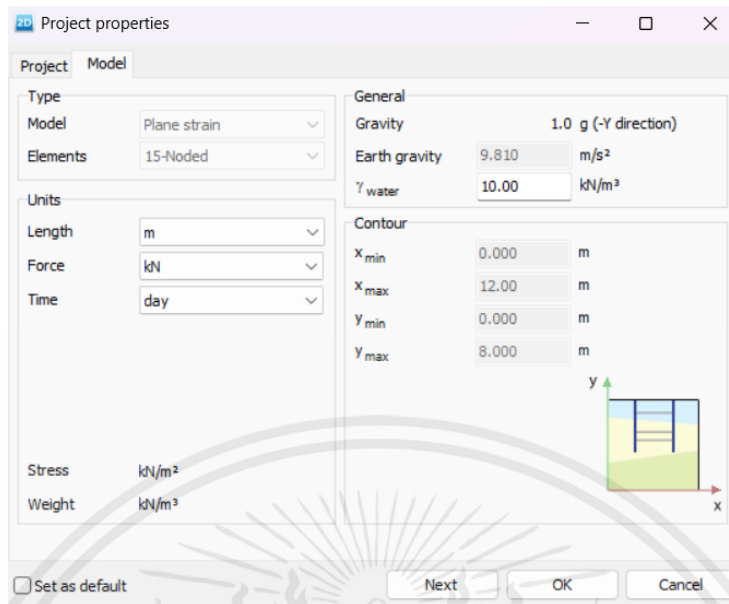
รูปที่ 3.46 ผลจากการกำหนดอิลิเมนต์ที่มีความละเอียดมาก

ทำการวิเคราะห์เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตรหลังการออกแบบ

❖ การกำหนด Project Properties

การวิเคราะห์ด้วย Plaxis 2D โดยคำนวณบนระนาบความเครียด (Plane Strain)

กำหนดให้ ชิ้นส่วนรูปสามเหลี่ยม (Element) มี 15 ชิ้นส่วน (Noded) กำหนดแบบจำลองใน  
แกน x 12.00 เมตร และในแกน y 8.00 เมตร



รูปที่ 3.47 การกำหนด Project Properties ที่จะทำการวิเคราะห์

❖ การกำหนดข้อมูลดิน

นำข้อมูลจากการเจาะสำรวจดิน BH – 3 มาเป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ สภาพดินที่จำลองแบ่งออกเป็น Medium dense silty Sand และ Dense to Very dense silty/clayey Sand การวิเคราะห์อยู่ภายใต้เงื่อนไขการวิบัติของ มอร์ - คูลอมบ์ (Mohr – Coulomb Failure Criteria) โดยมีการระบายน้ำ (Drained)

ตารางที่ 3.17 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์

Soil	Distance from		Thickness (m)	Description	Soil Classification	Friction Angle (Degree)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	E' (kN/m <sup>2</sup> )	Poisson's Ratio	Interfaces
	Ground Surface									
	Top	Bottom								
1	0	-3	3	Medium dense silty Sand	SM, SP-SM	35	20.5	35000	0.3	0.7
2	-3	-4.2	1.2	Dense to Very dense silty/clayey Sand	SM, SC	40	20.5	35000	0.35	0.7

## นำข้อมูลคุณสมบัติของดินจากรายงในโปรแกรม Plaxis 2D

- Medium dense silty Sand

Soil - Mohr-Coulomb - Medium dense silty Sand

General Parameters Groundwater Interfaces Initial

Property	Unit	Value
<b>Material set</b>		
Identification		Medium dense silty Sand
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 161, 226, 232
Comments		
<b>General properties</b>		
$Y_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	20.50
$Y_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	22.50
<b>Advanced</b>		
<b>Void ratio</b>		
Dilatancy cut-off <input type="checkbox"/>		
$e_{crit}$		0.5000
$e_{min}$		0.0000
$e_{max}$		999.0

Next OK Cancel

รูปที่ 3.48 ข้อมูลทั่วไปของดินชั้น Medium dense silty Sand

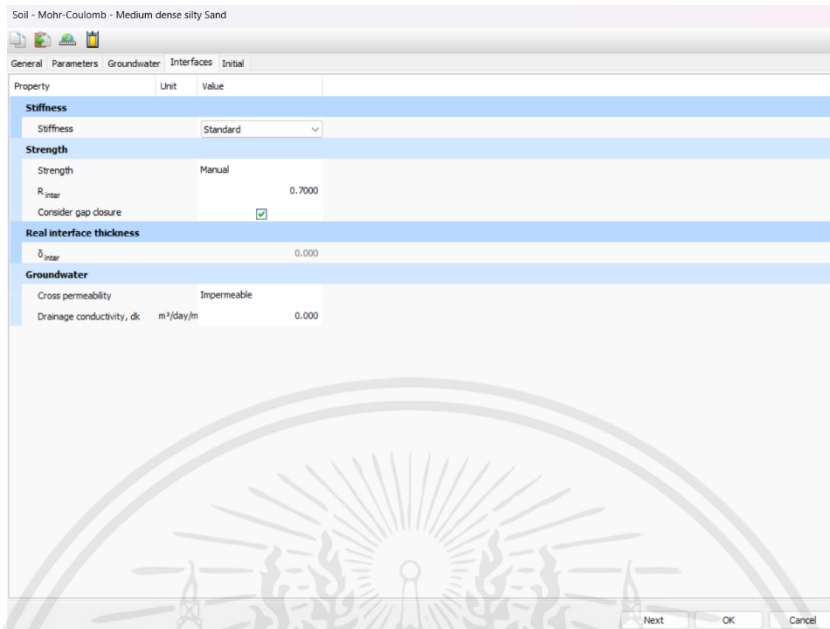
Soil - Mohr-Coulomb - Medium dense silty Sand

General Parameters Groundwater Interfaces Initial

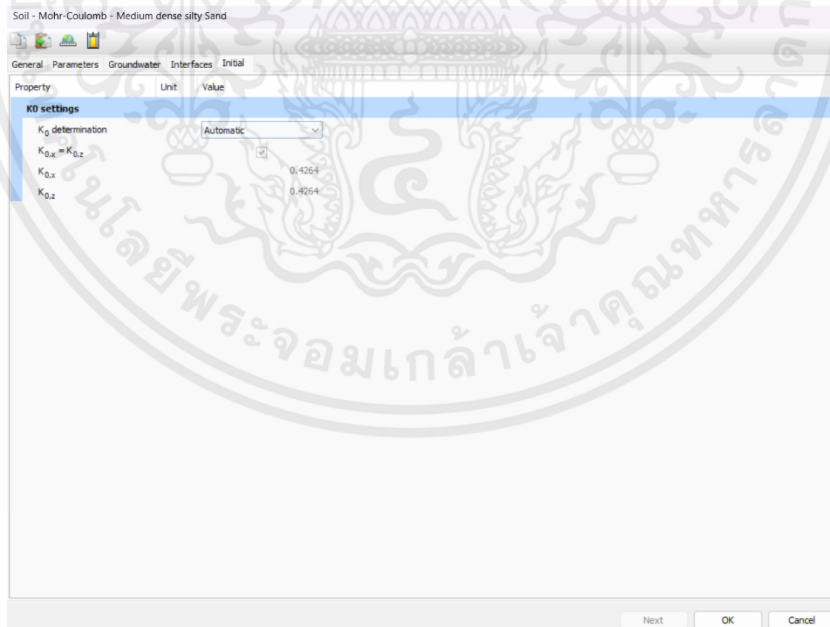
Property	Unit	Value
<b>Stiffness</b>		
$E$	kN/m <sup>2</sup>	35.00E3
$\nu$ (nu)		0.3000
<b>Alternatives</b>		
$G$	kN/m <sup>2</sup>	13.46E3
$E_{oed}$	kN/m <sup>2</sup>	47.12E3
<b>Strength</b>		
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	0.000
$\phi'$ (phi)	°	35.00
$\psi$ (psi)	°	0.000
<b>Advanced</b>		
Set to default values <input checked="" type="checkbox"/>		
<b>Stiffness</b>		
$E'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0.000
$Y_{ref}$	m	0.000
<b>Strength</b>		
$c'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0.000
$Y_{ref}$	m	0.000
Tension cut-off		<input checked="" type="checkbox"/>
Tensile strength	kN/m <sup>2</sup>	0.000
<b>Undrained behaviour</b>		
Undrained behaviour		Standard
Skempton-B		0.9783
$\nu_u$		0.4950

Next OK Cancel

รูปที่ 3.49 ข้อมูล Parameters ของดินชั้น Medium dense silty Sand

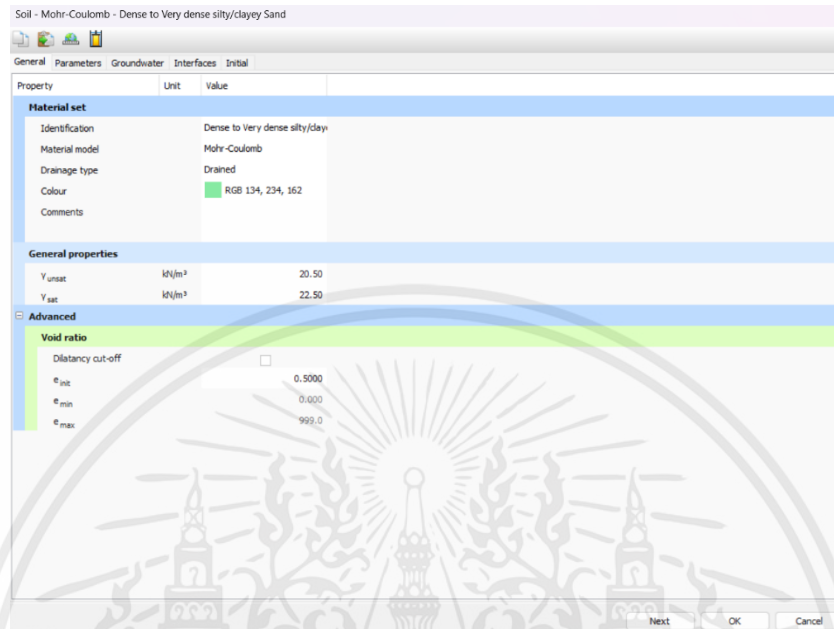


รูปที่ 3.50 ข้อมูล Interfaces ของดินชั้น Medium dense silty Sand

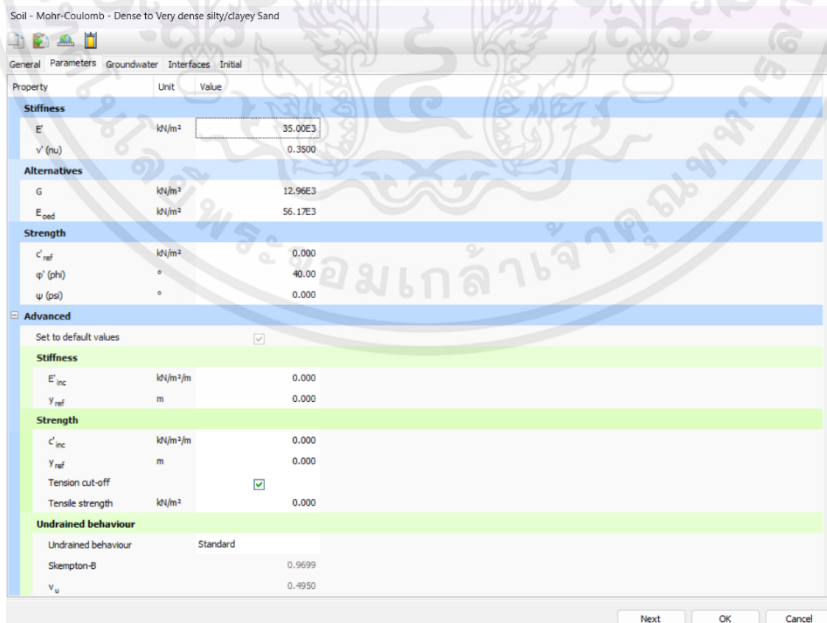


รูปที่ 3.51 ข้อมูล Initial ของดินชั้น Medium dense silty Sand

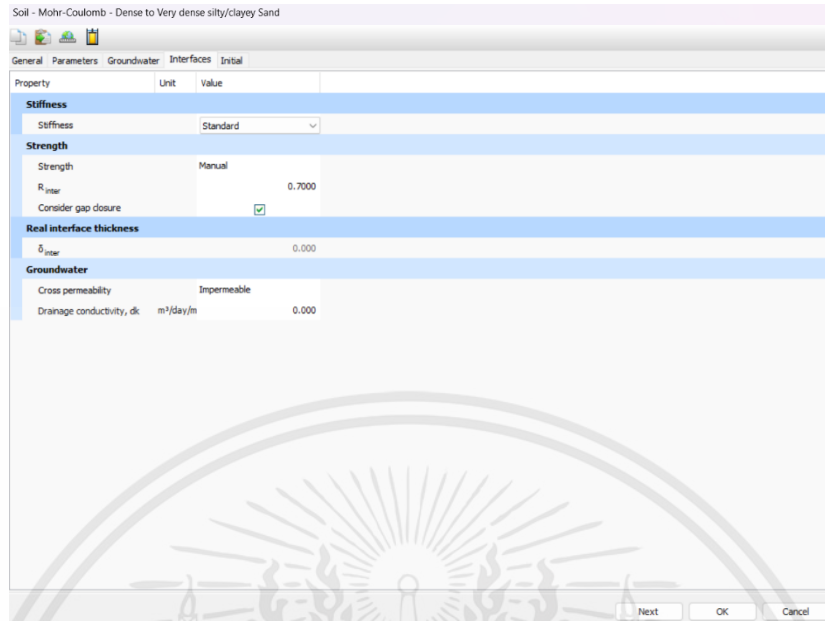
- Dense to Very dense silty/clayey Sand



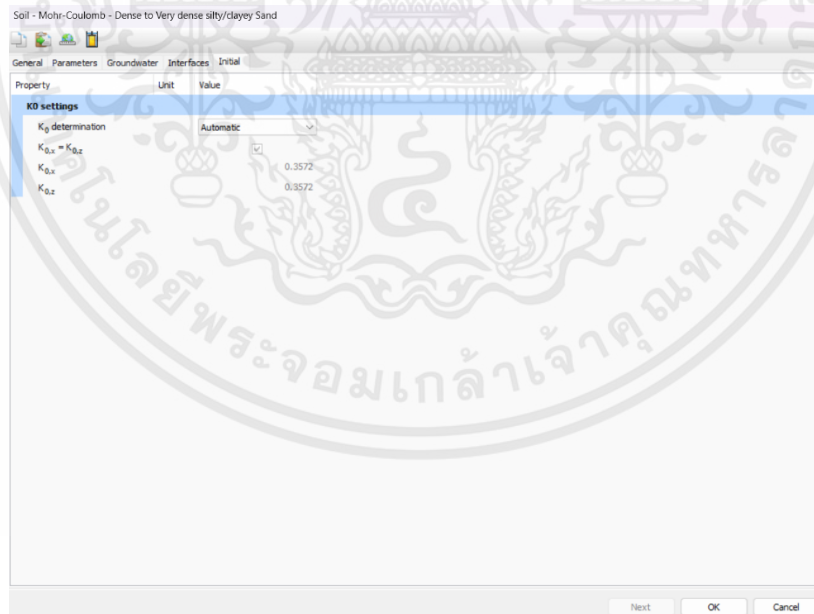
รูปที่ 3.52 ข้อมูลทั่วไปของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand



รูปที่ 3.53 ข้อมูล Parameters ของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand

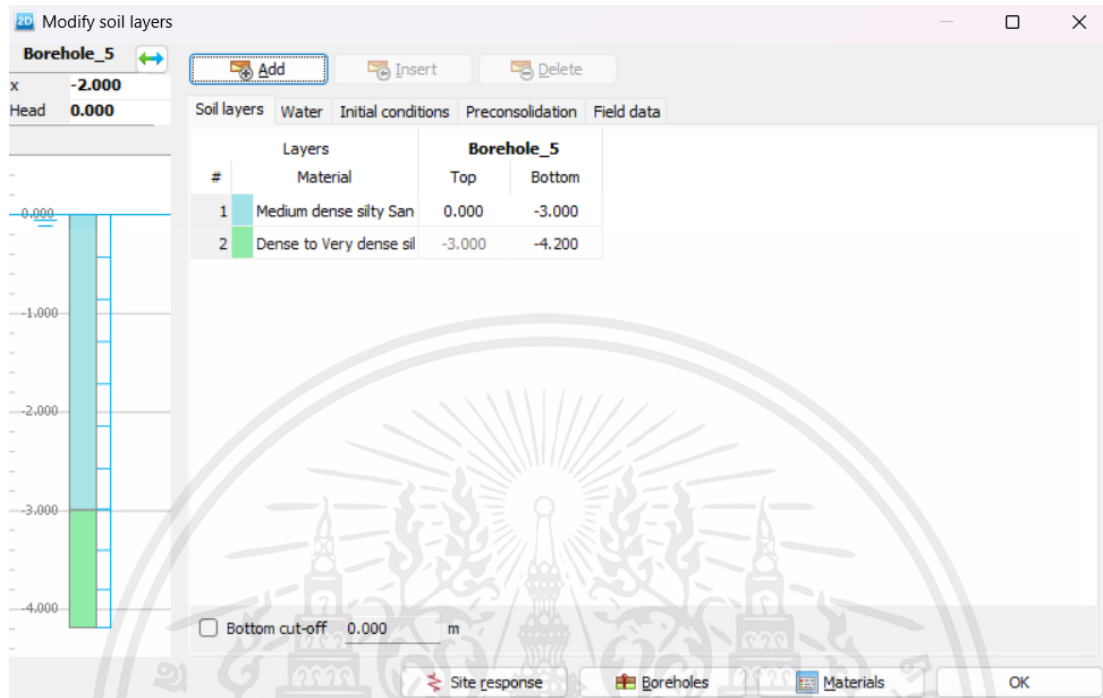


รูปที่ 3.54 ข้อมูล Interfaces ของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand



รูปที่ 3.55 ข้อมูล Initial ของดินชั้น Dense to Very dense silty/clayey Sand

- การใส่ข้อมูล Borehole ของ BH – 3



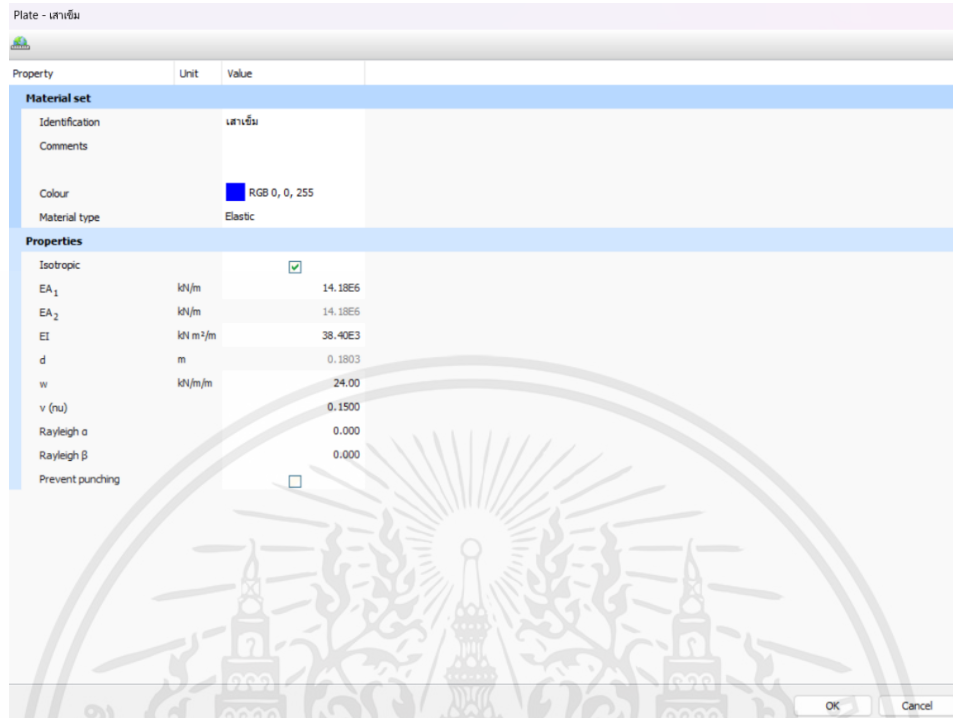
รูปที่ 3.56 การใส่ข้อมูล Borehole ของ BH – 3

❖ การใส่ข้อมูล Structure โครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ

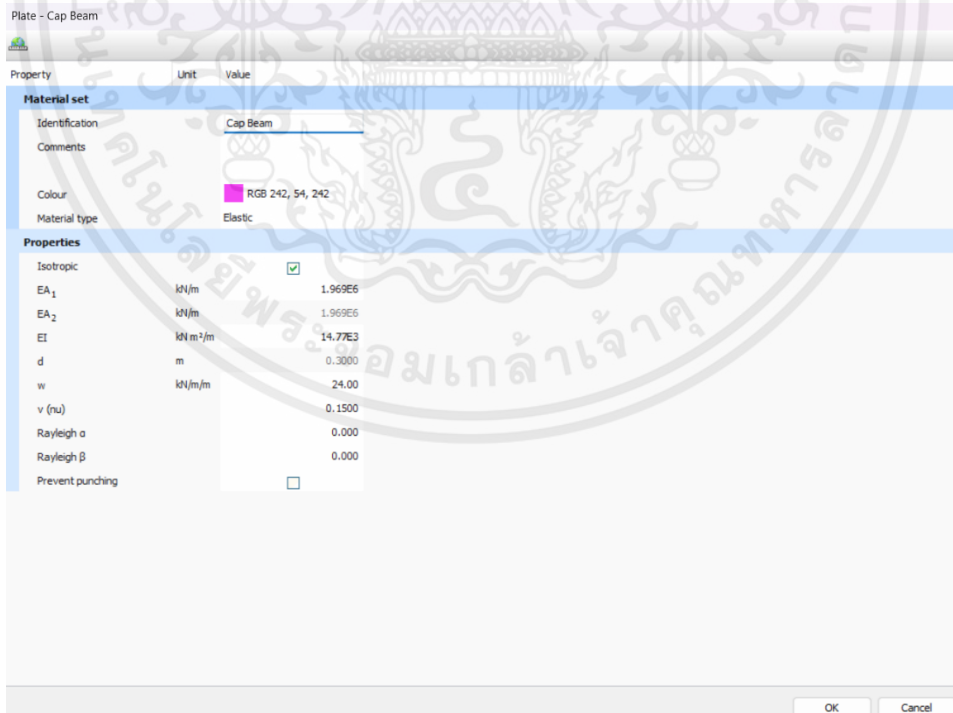
ตารางที่ 3.18 ข้อมูลสมบัติของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์

โครงสร้าง	ความหนา (m)	E (ksc)	A (m <sup>2</sup> )	I (m <sup>4</sup> )	EA (kN/m)	EI	Poisson's Ratio	w
เสาเข็ม	0.18	2.03E+07	0.7	1.90E-03	14182000	3.84E+04	0.15	24
Cap Beam	0.3	2.19E+07	0.09	6.75E-04	1969200	1.48E+04	0.15	24
เสาหัวสำเร็จรูป	0.1	2.03E+07	0.25	2.08E-04	5065000	4.22E+03	0.15	24
ค่อม่อ	0.3	2.03E+07	0.18	1.35E-01	3646800	2.74E+06	0.15	24

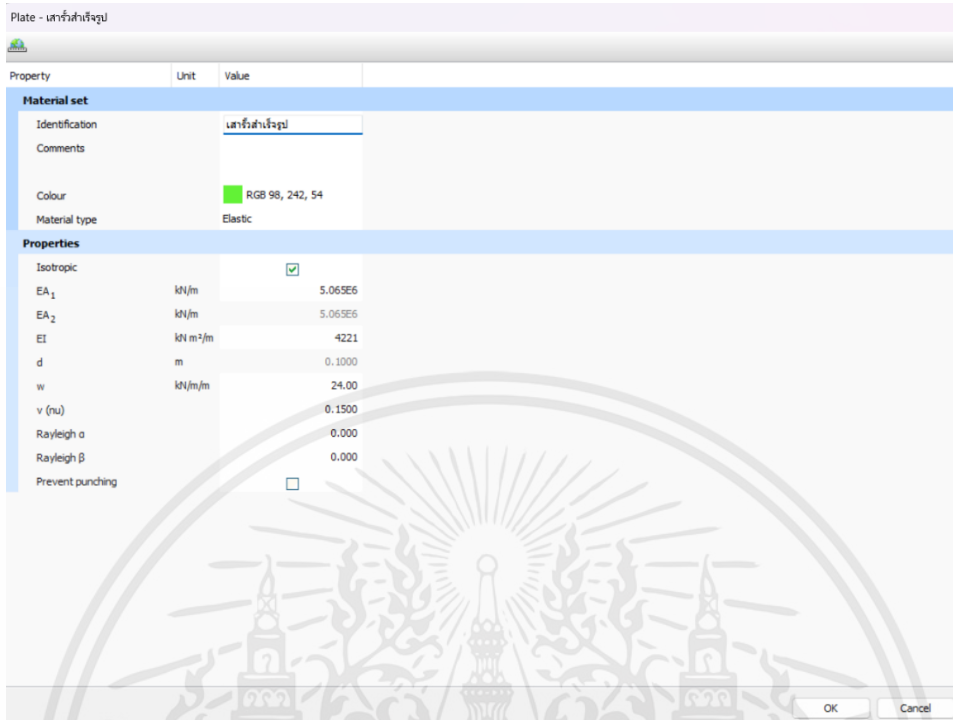
ทำการใส่ข้อมูลโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ



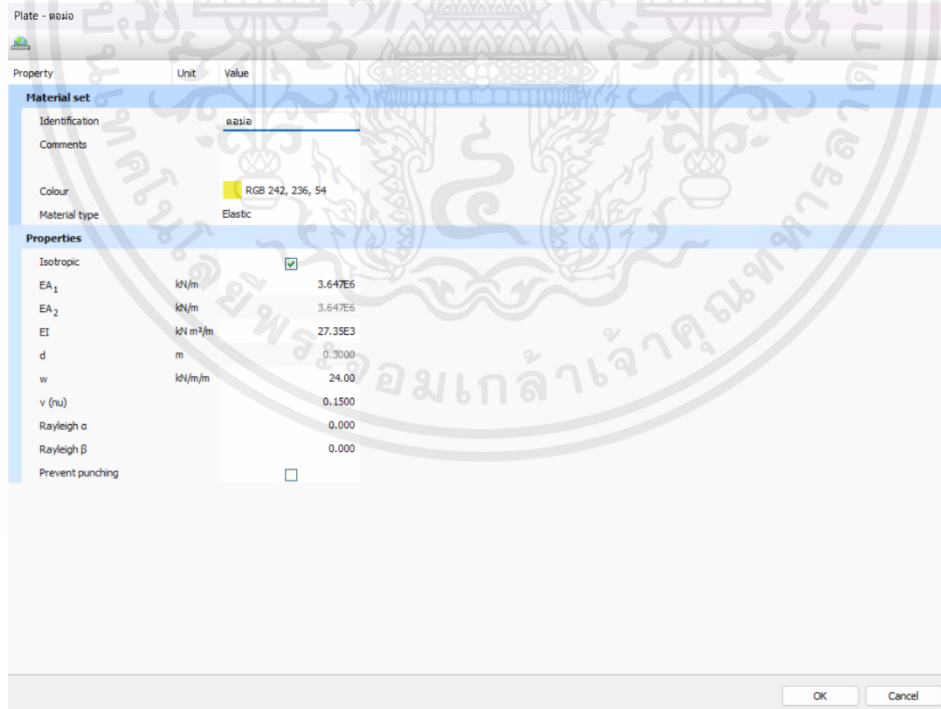
รูปที่ 3.57 การใส่ข้อมูลเสาค้ำ



รูปที่ 3.58 การใส่ข้อมูล Cap Beam



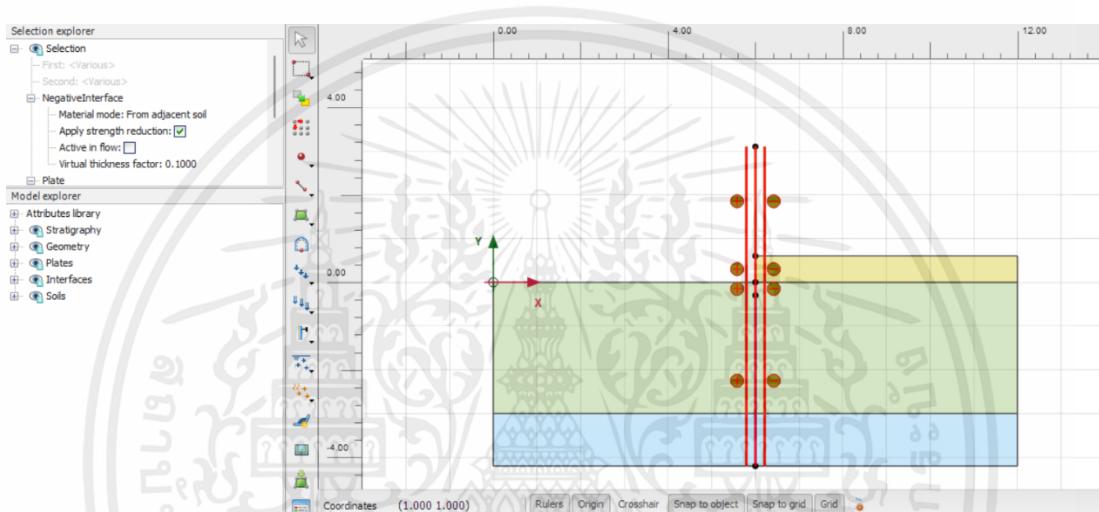
รูปที่ 3.59 การใส่ข้อมูลเสาหัวสำเร็จรูป



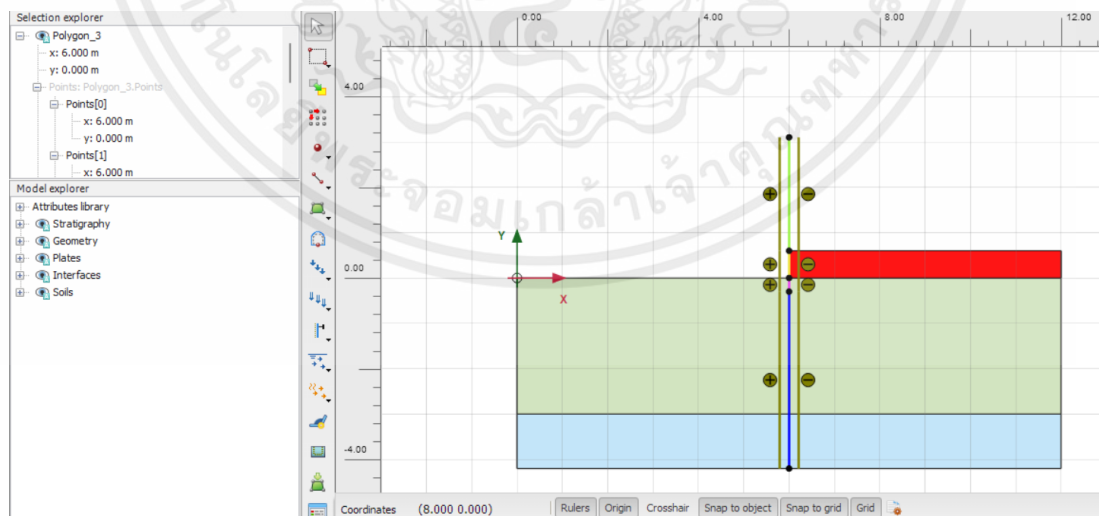
รูปที่ 3.60 การใส่ข้อมูลตอม่อ

## ◆ ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล

- ทำการติดตั้งโครงสร้างกำแพงกันดิน ให้ได้ระยะตามที่โครงการกำหนด
  - ใส่โครงสร้างกำแพงกันดิน
  - ทำการใส่ Positive / Negative Interface
  - ใส่ดินถมสูง +0.60 เมตร ดินถมใช้ค่าทั้งหมดเหมือนกับดิน Medium dense silty Sand

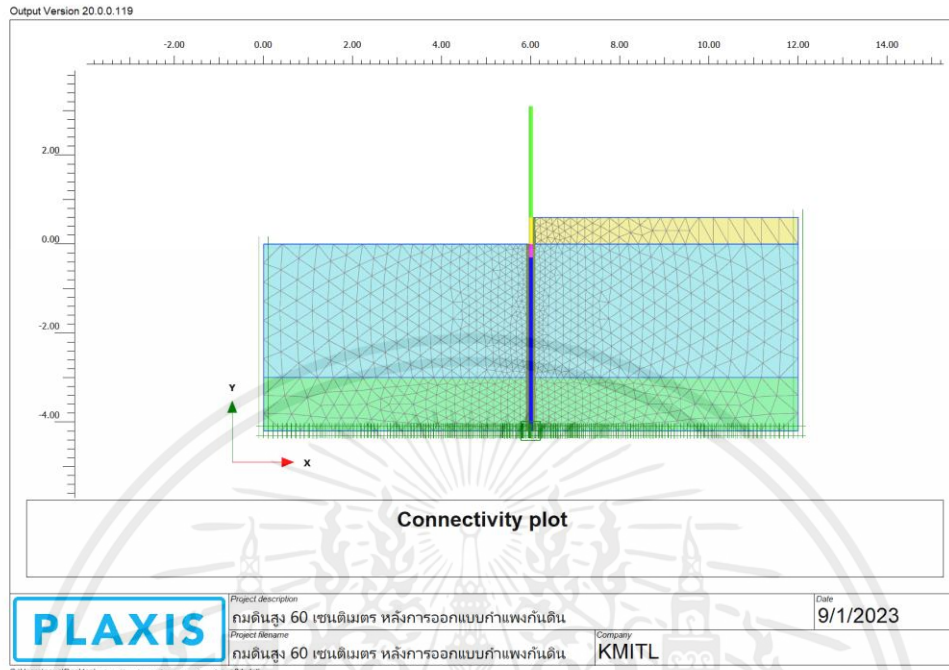


รูปที่ 3.61 ใส่โครงสร้างกำแพงกันดิน



รูปที่ 3.62 ใส่ระดับชั้นดินที่ต้องการถม

- กำหนดอิเลิเมนต์ที่มีความละเอียดมาก (Very Fine Mesh)



รูปที่ 3.63 ผลจากการกำหนดอิเลิเมนต์ที่มีความละเอียดมาก

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ผลการวิจัย

จากการคำนวณหา Factor of Safety ของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนและหลังการออกแบบ เมื่อถมดินสูงตั้งแต่ 20 – 60 เซนติเมตร จะได้ว่าหลังทำการออกแบบ ค่า Factor of Safety ของโครงสร้างกำแพงกันดินจะมากกว่าการออกแบบ แล้วมากกว่าค่าที่ยอมรับได้ซึ่งคือ ค่า Factor of Safety มากกว่า 1.5 ในดินทรายจึงสรุปได้ว่าโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบมีความแข็งแรง และปลอดภัย สามารถใช้งานได้จริง นอกจากนี้แล้ว ยังเป็นแนวทางในการก่อสร้างเมื่อเกิดปัญหานี้บริเวณอื่นในอนาคต

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่า Factor of Safety ของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อน และหลังการออกแบบที่ระดับดินถมต่างๆ

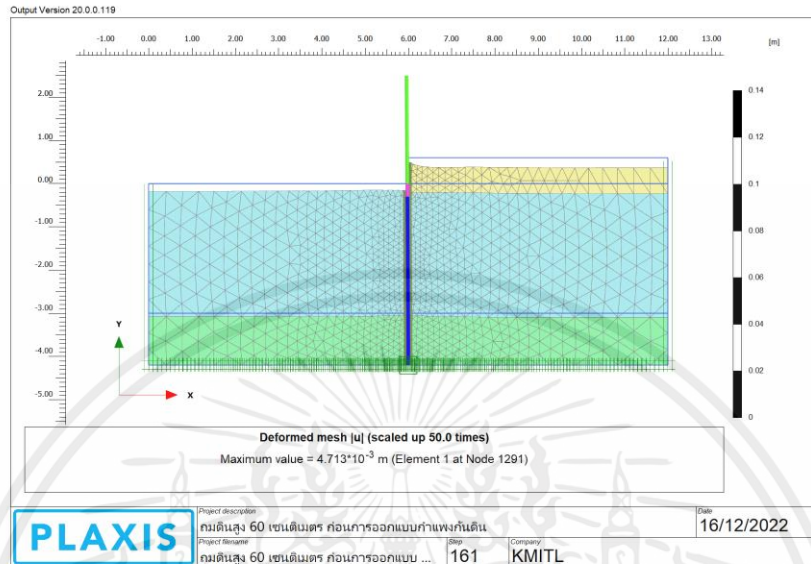
ความสูงของดินถม (cm)	Factor of Safety ก่อนออกแบบ	Factor of Safety หลังออกแบบ
20	1.94	2.17
30	1.93	2.12
40	1.91	2.08
50	1.88	2
60	1.84	1.92

#### 4.2 การวิเคราะห์ผล

จากการใช้โปรแกรม Plaxis 2D ในการวิเคราะห์หาการเสีรูปร่างของกำแพงกันดิน การเคลื่อนตัวของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินทั้งแนวตั้ง แนวราบ และความเค้นหลักที่กระทำต่อโครงสร้างกำแพงกันดิน เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตรทั้งก่อนการออกแบบ และหลังการออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดิน

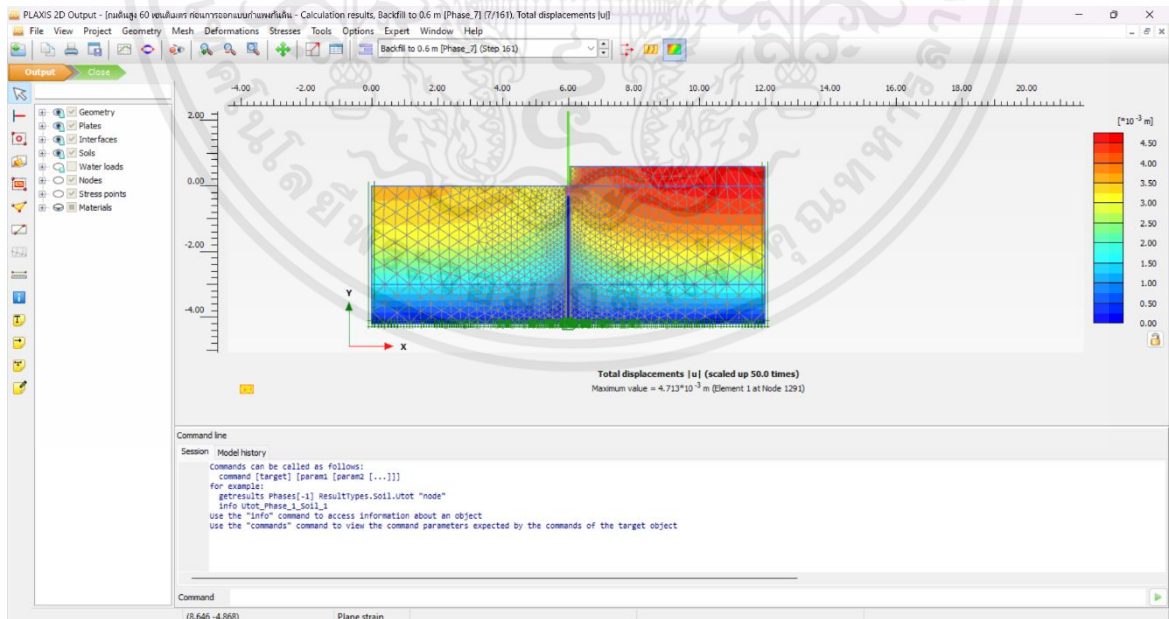
#### 4.2.1 การวิเคราะห์ผลก่อนการออกแบบ

จากรูปที่ 4.1 โครงสร้างกำแพงกันดินมีการเสียรูปรวม ซึ่งมีค่ามากที่สุดเท่ากับ  $4.713 \times 10^{-3}$  m



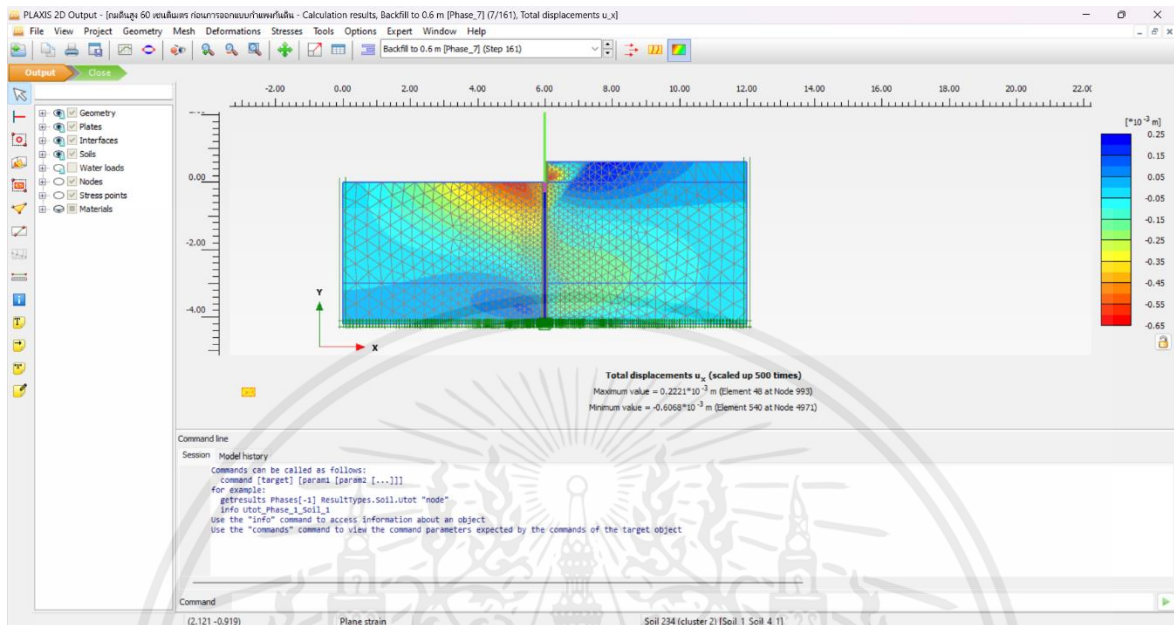
รูปที่ 4.1 แสดงการเสียรูปของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร

ส่วนการเคลื่อนตัวในแนวรวมของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ  $4.713 \times 10^{-3}$  m ดังแสดงในรูปที่ 4.2



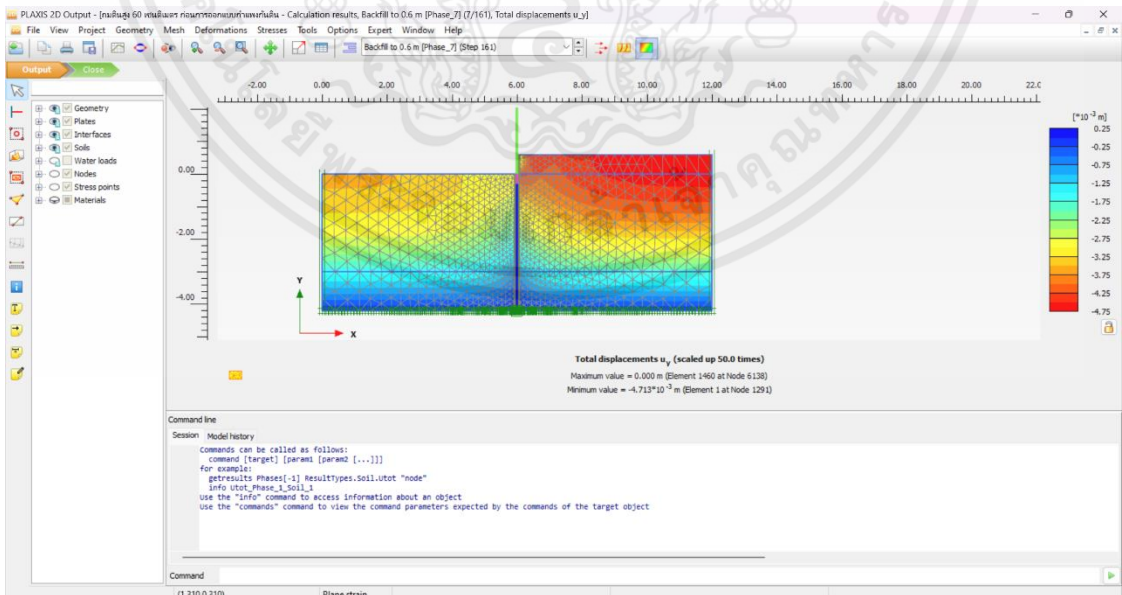
รูปที่ 4.2 แสดงการเคลื่อนตัวในแนวรวมของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ

ส่วนการเคลื่อนตัวในแนวราบของของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ  $0.2221 \times 10^{-3}$  m และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ  $-0.6068 \times 10^{-3}$  m ดังแสดงในรูปที่ 4.3



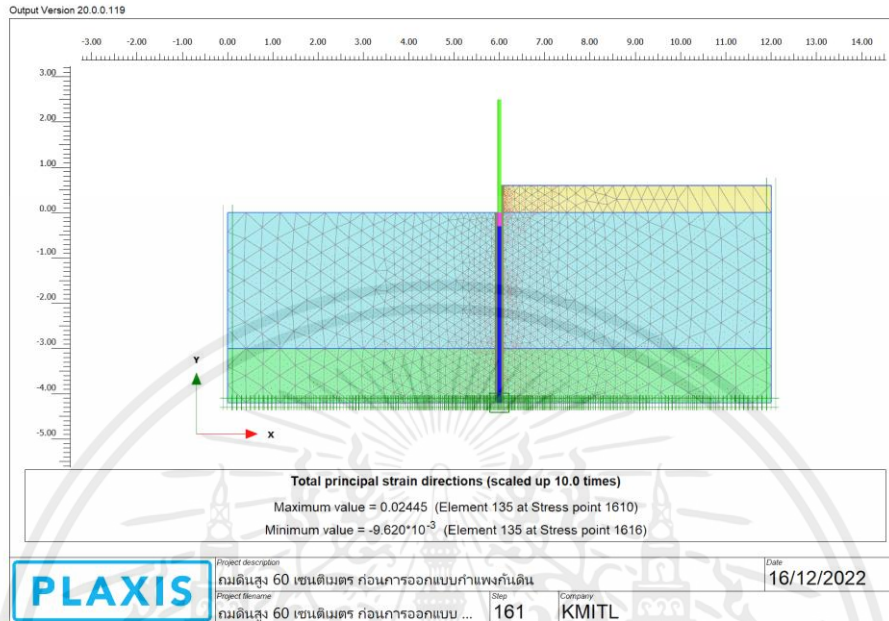
รูปที่ 4.3 แสดงการเคลื่อนตัวในแนวราบของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ

ส่วนการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0 m และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ  $-4.713 \times 10^{-3}$  m ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ

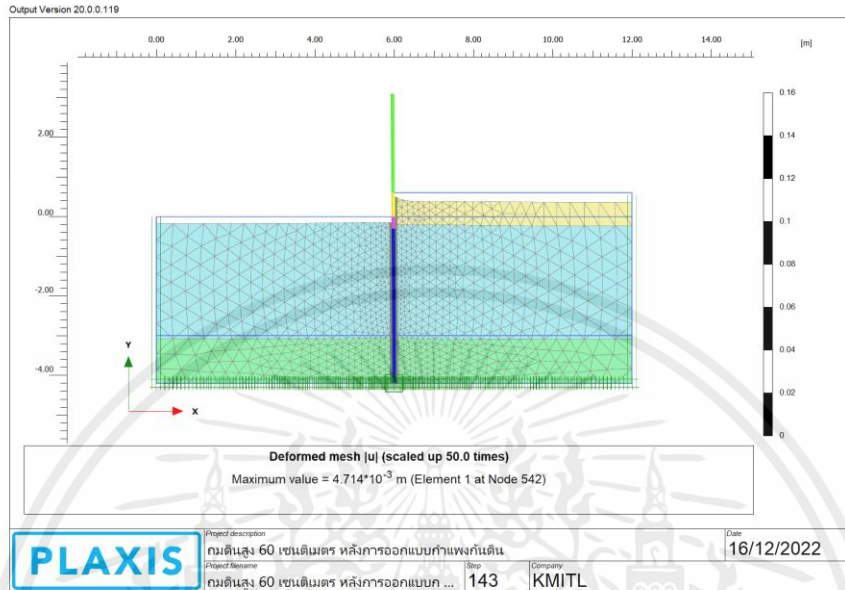
และในส่วนของความเค้นหลักที่กระทำต่อโครงสร้างกำแพงกันดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.02445 และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ  $-9.620 \times 10^{-3}$  ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงความเค้นหลักที่กระทำต่อโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร

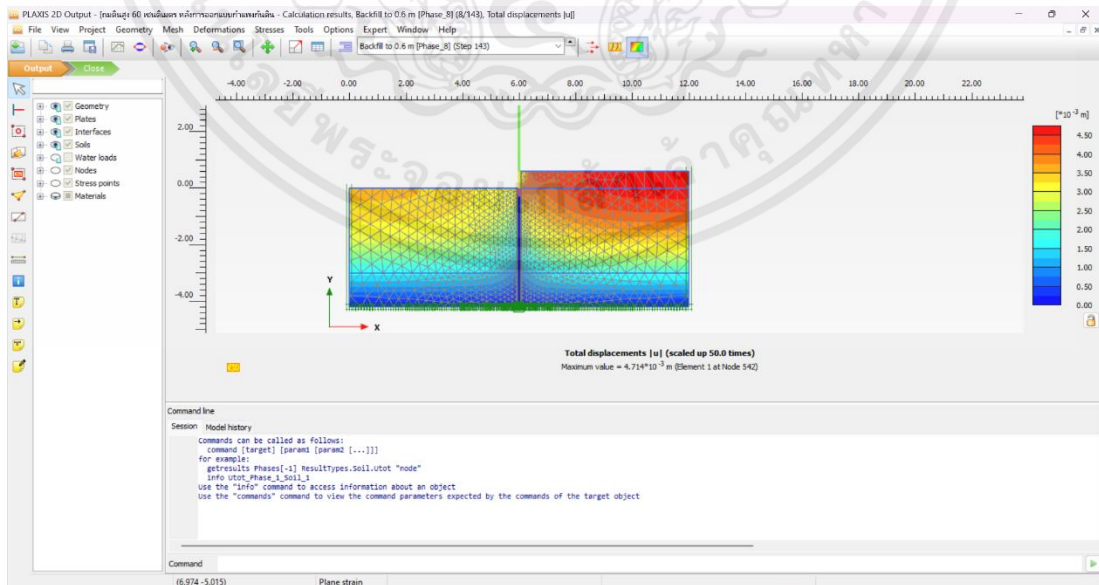
#### 4.2.2 การวิเคราะห์ผลหลังการออกแบบ

จากรูปที่ 4.6 โครงสร้างกำแพงกันดินมีการเสียรูปรวม ซึ่งมีค่ามากที่สุดเท่ากับ  $4.714 \times 10^{-3}$  m



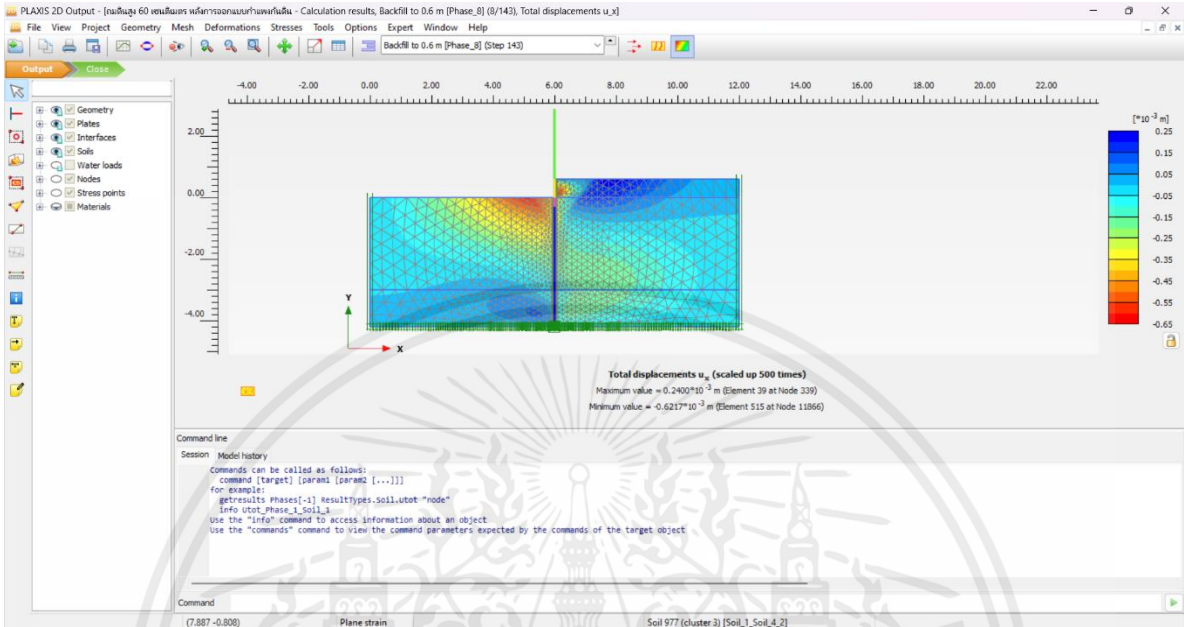
รูปที่ 4.6 แสดงการเสียรูปของโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร

ส่วนการเคลื่อนตัวในแนวรวมของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ  $4.714 \times 10^{-3}$  m ดังแสดงในรูปที่ 4.7



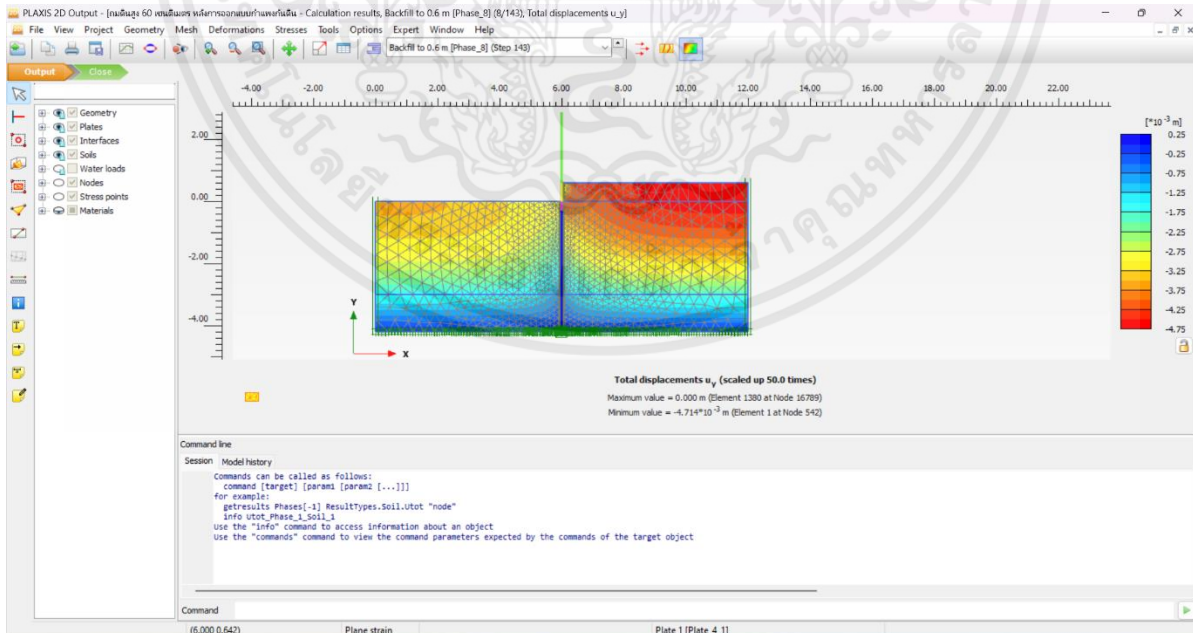
รูปที่ 4.7 แสดงการเคลื่อนตัวในแนวรวมของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ

ส่วนการเคลื่อนตัวในแนวราบของของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ  $0.2400 \times 10^{-3}$  m และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ  $-0.6217 \times 10^{-3}$  m ดังแสดงในรูปที่ 4.8



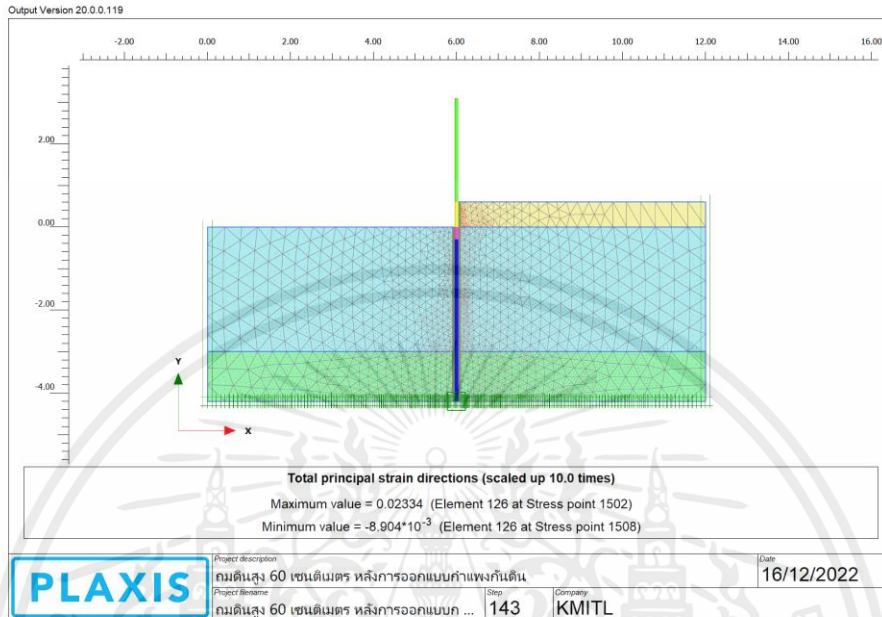
รูปที่ 4.8 แสดงการเคลื่อนตัวในแนวราบของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ

ส่วนการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0 m และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ  $-4.714 \times 10^{-3}$  m ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของดินในบริเวณโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ

และในส่วนของความเค้นหลักที่กระทำต่อโครงสร้างกำแพงกันดินมีค่ามากที่สุดเท่ากับ  $0.02334$  และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ  $-8.904 \times 10^{-3}$  ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงความเค้นหลักที่กระทำต่อโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบ เมื่อถมดินสูง 60 เซนติเมตร

#### 4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

บริเวณก่อสร้างมีการสำรวจสภาพชั้นดิน เพื่อแสดงการจัดเรียงตัวของชั้นดิน ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมต่างๆของแต่ละชั้นดิน และวิเคราะห์หาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกโครงสร้างในโครงการได้อย่างปลอดภัย และถูกต้องตามหลักวิศวกรรม จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจริงของโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนการออกแบบ และหลังการออกแบบโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ การสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขชอเมอร์-โคลอมบ์ ซึ่งประกอบด้วย Soil Parameter ที่สำคัญได้แก่ ค่าหน่วยน้ำหนัก ( $\gamma$ ), ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดิน ( $E$ ), อัตราส่วนปัวซอง ( $\nu$ ), และค่ามุมเสียดทานภายใน ( $\phi$ ) ดังนั้นแบบจำลองและตัวแปรสามารถนำมาใช้เพื่อศึกษาการเคลื่อนตัวของโครงสร้างกำแพงกันดินต่อไป

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ตลอดระยะเวลา 4 เดือนที่ผ่านมา ทางผู้วิจัยได้ศึกษาการก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินในโครงการ ศึกษา ทัศนียภาพแรงดันดินด้านข้าง ค้นคว้าหาข้อมูลสภาพชั้นดินในโครงการ รวมถึงการออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดิน เพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ จากการศึกษาพบว่าเสถียรภาพภายนอกของโครงสร้างกำแพงกันดินที่ ออกแบบมีเสถียรภาพภายนอกที่ดี โครงสร้างกำแพงกันดินที่ออกแบบไม่มีการเคลื่อนตัวที่มากจนทำให้ขาด เสถียรภาพนอก ซึ่งหมายความว่าไม่เกิดการวิบัติในมวลดินหลังการออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดิน ส่วนการ ออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดินหลังการออกแบบเพื่อรับน้ำหนักจากดินถมจากการคำนวณ พบว่าเกิดผล กระทบต่อกำแพงกันดินและรั้วสำเร็จรูปน้อยที่สุด และปลอดภัยที่สุด จะเห็นได้จากค่า Factor of Safety against Overturning อยู่ในเกณฑ์ ในด้านการวิเคราะห์ผลกระทบของโครงสร้างกำแพงกันดินด้วยโปรแกรม ทางไฟไนต์อีลิเมนต์พบว่า การเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันดิน การเคลื่อนตัวของโครงสร้างกำแพงกันดิน และความเค้นหลักที่กระทำต่อโครงสร้างกำแพงกันดิน มีค่าน้อยมาก ซึ่งสรุปได้ว่าโครงสร้างกำแพงกันดิน ที่ ออกแบบมีความปลอดภัย และสุดท้ายนี้ผู้วิจัยคาดหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการก่อสร้างโครงสร้าง กำแพงกันดินเมื่อเกิดปัญหานี้ขึ้นในบริเวณอื่นในอนาคต

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การปรับปรุงการก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเพิ่มเติมควรคิดหลายๆวิธีมาเปรียบเทียบกัน เพื่อให้มี ความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น
- 2) ควรมีข้อมูลการสำรวจสภาพชั้นดินที่ครบถ้วนและสมบูรณ์

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กำแพงกันดิน (Retaining Wall) มีกี่ประเภท แต่ละประเภทมีคุณสมบัติเด่น และวิธีการนำไปใช้งานอย่างไร. ค้นหามือ 2 กันยายน 2565 จาก <https://www.wazzadu.com/article/2907>
- [2] ระบบกำแพงกันดินสำเร็จรูป และขั้นตอนการติดตั้งกำแพงกันดิน. ค้นหามือ 2 กันยายน 2565 จาก <https://www.scgbuildingmaterials.com/media/default/2020/download/catalog/smart%20retaining%20wall-catalog.pdf>
- [3] ทฤษฎีแรงดันดินด้านข้างของ Rankine. ค้นหามือ 7 กันยายน 2565 จาก <http://eng.sut.ac.th/ce/oldce/pornpot/foundbook/c4retaining.pdf>
- [4] การออกแบบฐานราก รศ.ดร. วรากร ไม้เรียง. ค้นหามือ 10 กันยายน 2565 จาก [http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Graduate/Downloads/warakorn/Found\\_กำแพงกันดิน\\_2BW.pdf](http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Graduate/Downloads/warakorn/Found_กำแพงกันดิน_2BW.pdf)
- [5] รายงานการสำรวจสภาพชั้นดิน โครงการศุภาลัย ไพรัตน์ ศรีราชา จังหวัดชลบุรี จัดทำโดย บริษัท จีไอ - เทคโนโลยี คอนซัลแตนท์ จำกัด. ค้นหามือ 20 กันยายน 2565
- [6] นายจักรกฤษณ์ ยืนยงค์. (2560). การตรวจสอบเสถียรภาพของโครงสร้างกำแพงกันน้ำด้วยโปรแกรม Plaxis 2D. ค้นหามือ 23 กันยายน 2565 จาก <http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/handle/123456789/7734>
- [7] นายพิศาล หมอปาน. (2554). การศึกษาวิธีการวิเคราะห์กำแพงกันดินแบบแผงคอนกรีตในร่องเข็มรูปตัวไอในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ (A STUDY OF METHOD ANALYSIS FOR RETAINING WALL AS CONCRETE PANEL IN GROOVE PILE I SECTION IN BANGKOK CLAY). ค้นหามือ 26 กันยายน 2565 จาก <https://opac.lib.kmitl.ac.th/catalog/Bibltem.aspx?BibID=b00185918>

## ภาคผนวก

### สภาพรั้วสำเร็จรูป และกำแพงกันดินในโครงการ



## สภาพรั้วสำเร็จรูป และกำแพงกันดินในโครงการ (ต่อ)



## สภาพรั้วสำเร็จรูป และกำแพงกันดินในโครงการ (ต่อ)



## ประวัติผู้เขียน

ข้าพเจ้า นายภวิศ ตั้งนันทนาการ รหัสนักศึกษา 62010675 ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้เข้าร่วมฝึกงานสหกิจศึกษา ปีการศึกษา 2565 กับบริษัท ศุภาลักษณ์ จำกัด มหาชน ซึ่งเป็นบริษัทและบริษัทย่อยประกอบธุรกิจพัฒนาอสังหาริมทรัพย์เพื่อเป็นที่อยู่อาศัยและเพื่อการพาณิชย์ เป็นผู้ดำเนินการและเป็นเจ้าของโครงการบ้านอยู่อาศัยประเภท บ้านเดี่ยว บ้านแฝด ทาวน์เฮ้าส์ และอาคารชุด ในหลากหลายทำเลทั่วเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลรวมถึงต่างจังหวัด โดยได้ประจำที่โครงการ ศุภาลักษณ์ ไพรด์ ศรีราชา โดยทาง บริษัท ศุภาลักษณ์ จำกัด (มหาชน) ได้ให้โอกาสผู้วิจัยทำโครงการงานสหกิจที่โครงการศุภาลักษณ์ ไพรด์ ศรีราชา ในตำแหน่งวิศวกรสนาม มีหน้าที่รับผิดชอบงานตรวจโครงสร้างบ้าน งานวางหมุดโดยใช้กล้อง Total Station และงานตรวจบ้าน ซึ่งได้รับความรู้ และประสบการณ์มากมายในการฝึกงานสหกิจศึกษาที่บริษัทนี้ ถือว่าเป็นประสบการณ์การทำงานที่ดีครั้งหนึ่งในชีวิตข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าหวังว่างานวิจัยเรื่องการออกแบบ และวิเคราะห์เสถียรภาพโครงสร้างกำแพงกันดิน จะมีประโยชน์ต่อผู้สนใจ ไม่ว่าจะเป็นนักศึกษา หรือผู้ที่ต้องการนำไปศึกษาต่อ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ไม่มากนัก

น้อย