

การศึกษาผลกระทบต่ออุโมงค์เนื่องจากงานขุดดินข้างเคียง

INVESTIGATION OF TUNNEL RESPONSES DUE TO EXCAVATION
CONSTRUCTION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

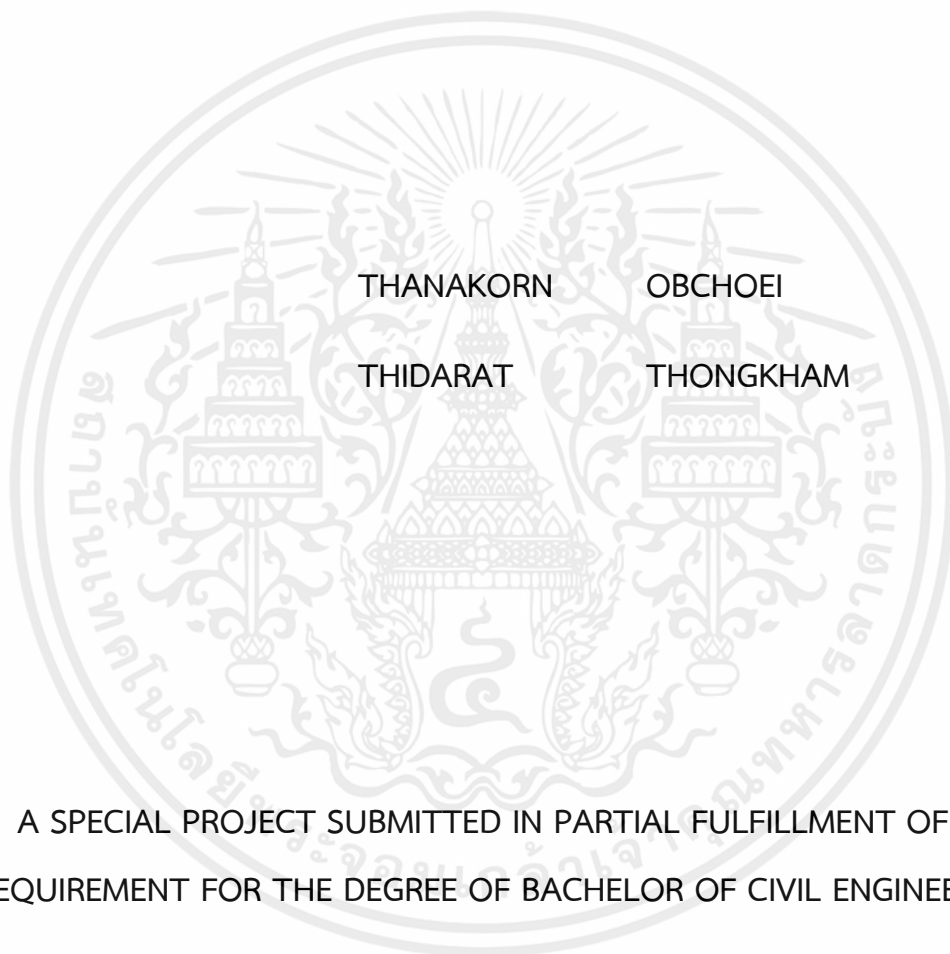
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INVESTIGATION OF TUNNEL RESPONSES DUE TO EXCAVATION
CONSTRUCTION



THANAKORN

OBCHOEI

THIDARAT

THONGKHAM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF THECNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2022

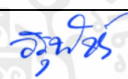


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาผลกระทบต่ออุโมงค์เนื่องจากการขุดด้านข้าง
INVESTIGATION OF TUNNEL RESPONSES DUE TO EXCAVATION
CONSTRUCTION

นักศึกษา นายธนกร อบเชย รหัสนักศึกษา 62010335
นางสาวธิดารัตน์ ทองคำ รหัสนักศึกษา 62010430

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. วิรุพท์ คำชุม

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร. วิรุพท์ คำชุม	
ผศ.ดร. ประทีป หลือประเสริฐ	
ดร. ช่อธรรม ศรีนิล	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(รศ.ดร.ชลิตา อุตะเถา)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่.....

การศึกษาผลกระทบต่ออุโมงค์เนื่องจากงานขุดด้านข้าง

นายธนกร อบเชย รหัสนักศึกษา 62010335

นางสาวธิดารัตน์ ทองคำ รหัสนักศึกษา 62010430

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. วิรุพท์ คำชุม

ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบันกรุงเทพมหานครประสบปัญหาเรื่องการระบายน้ำไม่เพียงพอ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีความต้องการที่จะเพิ่มแนวทางการระบายน้ำให้มากขึ้น แต่การขยายคลองระบายน้ำในกรุงเทพมหานครไม่สามารถทำได้เนื่องจากติดปัญหาอาคารหรือถนนข้างเคียง ดังนั้นการสร้างอุโมงค์ระบายน้ำจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด จากกรณีดังกล่าวจะส่งผลให้ในอนาคตอุโมงค์จำนวนมากจะอยู่ข้างเคียงคลองระบายน้ำและการขุดจากงานก่อสร้างใต้ดินระดับตื้นข้างเคียงได้ซึ่งจะทำให้ส่งผลกระทบต่ออุโมงค์ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุโมงค์เดิมเนื่องจากงานขุดด้านข้าง รวมทั้งศึกษาค่าสติฟเนสของกำแพงกันดินจะมีส่วนช่วยในการลดผลกระทบต่ออุโมงค์ โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาได้แก่ อัตราส่วนระหว่างระยะฝังอุโมงค์กับขนาดของอุโมงค์(C/D) ระยะฝังกำแพงกันดิน(Hi) และค่าสติฟเนสของกำแพงกันดิน(k) ซึ่งทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ PLAXIS 2D ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนระหว่างระยะฝังอุโมงค์กับขนาดของอุโมงค์(C/D) มีผลต่อการเคลื่อนตัวของอุโมงค์อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนระยะฝังกำแพงกันดิน(Hi) และสติฟเนสของกำแพงกันดิน(k) มีส่วนช่วยลดการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INVESTIGATION OF TUNNEL RESPONSES DUE TO EXCAVATION CONSTRUCTION

Mr. Thanakorn Obchoei Student ID. 62010335

Miss. Thidarat Thongkham Student ID. 62010430

Advisor: Assoc.Prof.Dr.Viroon Kamchoom

ACADEMIC YEAR 2022

Abstract

Bangkok is currently facing drainage problems. Relevant agencies hope to add drainage guidelines. However, due to the problems of adjacent buildings or roads, the drainage channels in Bangkok cannot be expanded. Therefore, the construction of drainage tunnel is the most appropriate method. In the future many tunnels will be close to the drainage channel and excavated from the adjacent shallow underground construction, which will affect Tunnel. The purpose of this study is to study the impact of the existing tunnel due to side excavation and the stiffness of the retaining wall will reduce the impact on the tunnel. The parameters studied include the excavation depth. Cover Depth ratio, embedded depth and the stiffness of retaining wall and analyzed by PLAXIS 2D Finite Element method. Results show that Cover Depth ratio, it has a significant impact on tunnel movement. Embedded depth and stiffness of retaining wall it can contributes to reducing the movement of the tunnel.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รศ.ดร.วิรุพห์ คำชุม ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ให้ประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับโครงการนี้ พวกเราผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักอย่างยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคุณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

ธนกร อบเชย

ธิดารัตน์ ทองคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 Hardening Soil Model.....	4
2.1.1 Yield surface.....	5
2.1.2 Alternative stiffness parameter.....	8
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ.....	12
3.1 กรณศึกษาและการเลือกใช้ตัวแปรที่จะทำการศึกษาด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลข.....	12
3.1.1 เส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์.....	14
3.1.2 ระยะฝังอุโมงค์.....	14
3.1.3 ระยะของอุโมงค์จากกำแพงกันดิน.....	14
3.1.4 ความหนาและความยาวของกำแพงกันดิน.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.1.5 ระยะฝังของกำแพงกันดิน.....	14
3.1.6 ระยะการขุด.....	14
3.2 การจำลองโมเดล.....	15
3.2.1 โมเดลดิน.....	15
3.2.1.1 Hardening soil model.....	15
3.2.1.2 Mohr Culomb model.....	15
3.2.2 การจำลองพารามิเตอร์ของชั้นดิน.....	16
3.2.2.1 การสอบเทียบชั้นดิน.....	16
3.2.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ.....	16
3.2.2.3 การสอบเทียบข้อมูลดิน.....	20
3.2.3 การจำลองพารามิเตอร์ของโครงสร้างที่ใช้ในงานขุด.....	21
3.2.3.1 กำแพงกันดิน.....	21
3.2.3.2 อุโมงค์.....	25
3.2.4 Boundary และ Flow conditions.....	26
3.2.5 จำลองลำดับขั้นตอนการขุดในแต่ละขั้นตอน.....	27
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	29
4.1 ผลกระทบเนื่องจากอัตราส่วนระหว่างระยะฝังอุโมงค์กับขนาดของอุโมงค์(Cover depth ratio,C/D).....	29
4.1.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่ออุโมงค์.....	29
4.1.2 การทรุดตัวของผิวดิน.....	32
4.1.3 การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน.....	32
4.2 ผลกระทบเนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดิน(Embedded depth,Hi).....	33
4.2.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่ออุโมงค์.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.2.2 การทรุดตัวของผิวดิน.....	37
4.2.3 การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน.....	37
4.3 ผลกระทบเนื่องจากสติฟเนสของกำแพงกันดิน(Stiffness of retained wall,k).....	39
4.3.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่ออุโมงค์.....	39
4.3.2 การทรุดตัวของผิวดิน.....	41
4.3.3 การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน.....	42
4.4 เปรียบเทียบความเหมาะสมด้านราคา.....	43
4.4.1 ราคาก่อสร้างจากการเพิ่มระยะฝังกำแพงกันดิน.....	43
4.4.2 ราคาก่อสร้างจากการเพิ่มสติฟเนสกำแพงกันดิน.....	44
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา.....	46
บรรณานุกรม.....	47

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานที่ใช้ใน PLAXIS 2D	5
ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่เลือกใช้ในการศึกษา	13
ตารางที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบดินแต่ละชนิด	16
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลดินอ่อนที่ผ่านการทดสอบด้วย HS	21
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลดินทรายที่ผ่านการทดสอบด้วย MC	21
ตารางที่ 3.5 ข้อมูลดินแข็งที่ผ่านการทดสอบด้วย MC	21
ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของกำแพงกันดินชนิดcorrugate sheet pile ความหนา 0.60 เมตร	22
ตารางที่ 3.7 คุณสมบัติของกำแพงกันดินชนิดdiaphragm wall ความหนา 0.60 เมตร	23
ตารางที่ 3.8 คุณสมบัติของกำแพงกันดินชนิดdiaphragm wall ความหนา 1.00 เมตร	23
ตารางที่ 3.9 คุณสมบัติของกำแพงกันดินชนิดdiaphragm wall ความหนา 1.20 เมตร	24
ตารางที่ 3.10 คุณสมบัติของอุโมงค์	25
ตารางที่ 3.11 Construction sequence	27

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 ระดับความสูงของกรุงเทพมหานคร	1
รูปที่ 1.2 การขยายตัวของกรุงเทพมหานคร.....	2
รูปที่ 2.1 yield surface ของ hardening soil model.....	4
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของโค้งHyperbolic stress-strain	6
รูปที่ 2.3 yield surface of p-q plane for oedometer test.....	7
รูปที่ 2.4 การเสียรูปของอุโมงค์เมื่ออุโมงค์อยู่ด้านล่างการขุด (Shun Yi et al.2020).....	8
รูปที่ 2.5 การเสียรูปของอุโมงค์เมื่ออุโมงค์อยู่ด้านข้างการขุด (Shun Yi et al.2020).....	8
รูปที่ 2.6 ผลกระทบเนื่องจาก unloading ratio (Xiaodong Cheng et al.2021).....	9
รูปที่ 2.7 ผลกระทบเนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดินกรณีอุโมงค์อยู่ด้านล่างการขุด	10
รูปที่ 2.8 ผลกระทบของอุโมงค์เมื่อระยะฝังอุโมงค์เพิ่มขึ้น (Shun Yi et al.2020).....	10
รูปที่ 2.9 ผลกระทบของอุโมงค์เมื่อระยะฝังอุโมงค์เพิ่มขึ้น (Xu Huang et al.2013).....	10
รูปที่ 2.10 การเคลื่อนตัวของอุโมงค์ที่ตำแหน่งต่างๆ(Bo Liu et al.2022).....	11
รูปที่ 2.11 isolineของการเคลื่อนตัวของอุโมงค์(Bo Liu et al.2022)	11
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา.....	12
รูปที่ 3.2 ภาพรวมแสดงตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา	13
รูปที่ 3.3 yield surface ของ Hardening soil model	15
รูปที่ 3.4 failure line ของ Mohr Culomb model	15
รูปที่ 3.5 ชั้นดินที่ทำการสอบเทียบ(โครงการก่อสร้างอุโมงค์บางน้ำจืด)	16
รูปที่ 3.6 การทดสอบUnconfined Compression Test.....	17
รูปที่ 3.7 ค่า c และ ϕ จากการทดสอบTriaxial Test	17
รูปที่ 3.8 ค่า c และ ϕ จากการทดสอบDirect Shear Test	18
รูปที่ 3.9 ค่าประมาณของ CuหรือSu เมื่อเทียบกับค่า N(SPT)	18
รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Eu และ Cu	19
รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างdeviatoric stress(kPa)และaxial strain(%)ของผลการสอบเทียบดินระหว่างการทดสอบจากห้องปฏิบัติการและการทดสอบจากPLAXIS 2D	20
รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างvolumetric strain(%)และaxial strain(%)ของผลการสอบเทียบดินระหว่างการทดสอบจากห้องปฏิบัติการและการทดสอบจากPLAXIS 2D	20
รูปที่ 3.13 กำแพงกันดินชนิด corrugate	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.14 กำแพงกันดินชนิด diaphragm	22
รูปที่ 3.15 segmentของอุโมงค์	25
รูปที่ 3.16 กำหนดเงื่อนไขและขอบเขต.....	26
รูปที่ 3.17 Interpolation in geoudwater flow	26
รูปที่ 3.18 Active pore pressure หลังจาก Interpolation	27
รูปที่ 3.19 Phase 0 Initial phase	28
รูปที่ 3.20 Phase 1 Install load 15 kN/m ²	28
รูปที่ 3.21 Phase 2 Reset displacement	28
รูปที่ 3.22 Phase 3 Construction retaining wall.....	28
รูปที่ 3.23 Phase 4 Excavate to 0.5m (1m)	28
รูปที่ 3.24 Phase 5 Excavate to -0.5m (2m).....	28
รูปที่ 3.25 Phase 6 Excavate to -1.5m (3m).....	28
รูปที่ 3.26 Phase 7 Excavate to -2.5m (4m).....	28
รูปที่ 3.27 Phase 8 Excavate to -3.5m (5m)	28
รูปที่ 4.1 การเคลื่อนตัวแนวอนของอุโมงค์อัตราส่วนระหว่างระยะฝังอุโมงค์กับขนาดอุโมงค์	29
รูปที่ 4.2 การเคลื่อนตัวแนวตั้งของอุโมงค์อัตราส่วนระหว่างระยะฝังอุโมงค์กับขนาดอุโมงค์	29
รูปที่ 4.3 พื้นการเสียรูปจากการขุด.....	30
รูปที่ 4.4 คุณสมบัติภายในชั้นส่วนอุโมงค์เนื่องจากC/D	31
รูปที่ 4.5 การทรุดตัวของผิวดินเนื่องจากอัตราส่วนระหว่างระยะฝังอุโมงค์กับขนาดอุโมงค์	32
รูปที่ 4.6 การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินจากอัตราส่วนระหว่างระยะฝังอุโมงค์กับขนาดอุโมงค์	32
รูปที่ 4.7 การเคลื่อนตัวแนวอนของอุโมงค์เนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดิน	33
รูปที่ 4.8 การเคลื่อนตัวแนวตั้งของอุโมงค์เนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดิน	33
รูปที่ 4.9 ลักษณะการเคลื่อนตัวรวม.....	34
รูปที่ 4.10 ผลกระทบจากขั้นตอนติดตั้งกำแพงกันดินที่ C/D = 2.75	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

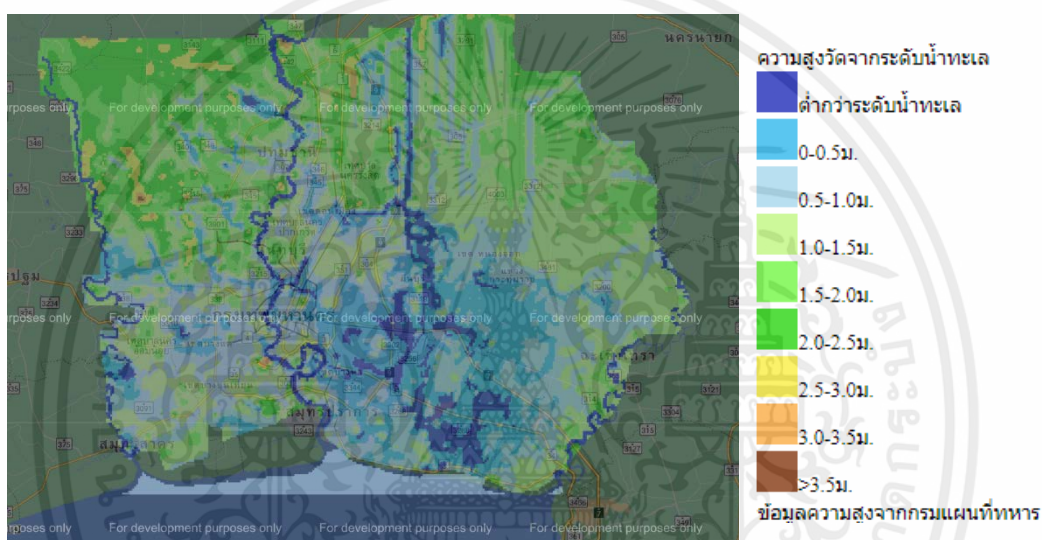
รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.11 ผลกระทบการเคลื่อนตัวแนวตั้งที่ $C/D = 2.75$	35
รูปที่ 4.12 การเสียรูปของอุโมงค์เนื่องจากระยะฝังของกำแพงกันดิน	35
รูปที่ 4.13 คุณสมบัติน้ำในชั้นส่วนอุโมงค์เนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดิน.....	36
รูปที่ 4.14 การทรุดตัวของผิวดินเนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดิน	37
รูปที่ 4.15 การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดิน	37
รูปที่ 4.16 การเคลื่อนตัวแนวนอนของอุโมงค์แนวนอนเนื่องจากสตีเฟนสของกำแพงกันดิน	39
รูปที่ 4.17 การเคลื่อนตัวแนวนอนของอุโมงค์แนวตั้งเนื่องจากสตีเฟนสของกำแพงกันดิน.....	39
รูปที่ 4.18 การเสียรูปของอุโมงค์เนื่องจากสตีเฟนสของกำแพงกันดิน	40
รูปที่ 4.19 คุณสมบัติน้ำในชั้นส่วนอุโมงค์เนื่องจากสตีเฟนสกำแพงกันดิน.....	41
รูปที่ 4.20 การทรุดตัวของผิวดินเนื่องจากสตีเฟนสของกำแพงกันดิน.....	41
รูปที่ 4.21 การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเนื่องจากสตีเฟนสของกำแพงกันดิน.....	42
รูปที่ 4.22 การเคลื่อนตัวอุโมงค์เทียบกับระยะฝังกำแพงกันดิน	43
รูปที่ 4.23 ราคาก่อสร้างเทียบกับระยะฝังกำแพงกันดิน	43
รูปที่ 4.24 อัตราการการเคลื่อนตัวของอุโมงค์เมื่อค่าสตีเฟนสกำแพงกันดินเปลี่ยนไป.....	44
รูปที่ 4.25 อัตราราคาก่อสร้างเมื่อค่าสตีเฟนสกำแพงกันดินเปลี่ยนไป	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันกรุงเทพมหานครประสบปัญหาเรื่องการระบายน้ำไม่ทันโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนและช่วงที่มีฝนตกหนัก เนื่องจากกรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่ลุ่มต่ำที่มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางโดยเฉลี่ยเพียง 1-1.5 เมตรเท่านั้นและบางพื้นที่เป็นแอ่งกระทะทำให้ไม่สามารถระบายน้ำแบบธรรมชาติได้(Gravity Flow)

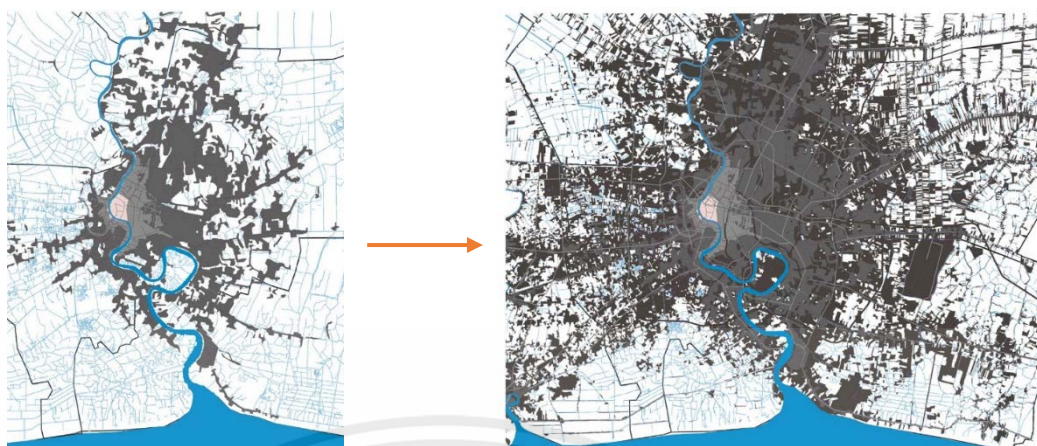


รูปที่ 1.1 : ระดับความสูงของกรุงเทพมหานคร

อ้างอิง : http://www.hep.caltech.edu/~piti/bkk_height/

นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของประชากรในกรุงเทพมหานครอย่างรวดเร็วและการขยายตัวของเมืองที่เพิ่มมากขึ้นย่อมส่งผลให้เกิดการก่อสร้างที่อยู่อาศัยและสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรที่เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งการก่อสร้างดังกล่าวทำให้การก่อสร้างไม่สามารถควบคุมให้เป็นไปตามกฎหมายผังเมืองได้จึงทำให้ระบบการระบายน้ำยังมีประสิทธิภาพการทำงานลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่1.2 : การขยายตัวของกรุงเทพมหานคร

อ้างอิง : <http://thairealestate.org/content/detail/375>

หน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีความต้องการที่จะเพิ่มแนวทางการระบายน้ำให้มากขึ้น เนื่องจากการใช้คลองระบายน้ำไม่เพียงพอ แต่ปัญหาคือการขยายคลองระบายน้ำต่างๆในกรุงเทพมหานครไม่สามารถทำได้เนื่องจากติดปัญหาอาคารหรือถนนข้างเคียง ดังนั้นการสร้างอุโมงค์ระบายน้ำจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด แต่การวางแนวอุโมงค์จำเป็นต้องวางไปพร้อมกับการก่อสร้างคลองระบายน้ำหรือวางตามแนวถนนที่ทางกรุงเทพมหานครเป็นผู้ดูแล จากกรณีการวางแนวอุโมงค์ดังกล่าวจะส่งผลให้อุโมงค์อยู่ภายใต้หรือข้างเคียงการขุดคลองระบายน้ำซึ่งจะทำให้ส่งผลกระทบต่ออุโมงค์ที่อยู่ลึกลงไปทั้งการเคลื่อนตัวและรูปร่างของอุโมงค์ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการขุด

ที่ผ่านมาการศึกษาผลกระทบต่ออุโมงค์ที่อยู่ด้านใต้การขุดได้มีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเป็นจำนวนมาก แต่การศึกษผลกระทบต่ออุโมงค์ที่อยู่ด้านข้างการขุดยังไม่ได้มีการศึกษามากนัก ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงสนใจที่ศึกษาการวิเคราะห์ผลกระทบต่ออุโมงค์ตลอดงานก่อสร้างการขุดเพื่อความปลอดภัยต่อตัวอุโมงค์ตลอดการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเคลื่อนตัวของอุโมงค์เมื่อมีการขุดดินข้างเคียง
2. เพื่อศึกษาผลกระทบต่ออุโมงค์เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างระยะฝังของอุโมงค์กับระยะการขุดและอัตราส่วนระหว่างระยะฝังของอุโมงค์กับระยะฝังของกำแพงกันดิน
3. เพื่อศึกษาค่าstiffnessของกำแพงกันดินส่งผลต่อการเสวยรูปของอุโมงค์อย่างไร

1.3 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบต่ออุโมงค์เมื่อมีงานขุดด้านข้าง โดยศึกษาในชั้นดินกรุงเทพฯ และตัวแปรที่ทำการศึกษาคืออัตราส่วนระหว่างระยะฝังของอุโมงค์กับระยะการขุด อัตราส่วนระหว่างระยะฝังของอุโมงค์กับระยะฝังของกำแพงกันดิน และstiffnessของกำแพงกันดิน ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยโปรแกรมPLAXIS 2D

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

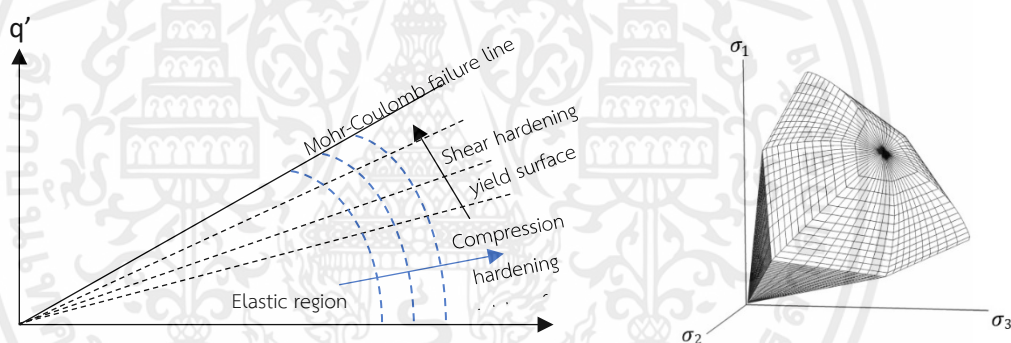
1. เมื่ออัตราส่วนระหว่างระยะฝังอุโมงค์กับขนาดอุโมงค์เพิ่มขึ้น การเคลื่อนตัวของอุโมงค์จะลดลง
2. เมื่ออัตราส่วนระหว่างระยะฝังของอุโมงค์กับระยะฝังของกำแพงกันดินเพิ่มขึ้น การเคลื่อนตัวของอุโมงค์จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าๆหนึ่งหลังจากนั้นการเคลื่อนตัวจะลดลง
3. เมื่อstiffnessของกำแพงกันดินเพิ่มขึ้น การเคลื่อนตัวและการเสวยรูปของอุโมงค์จะลดลง
4. ได้ทราบถึงเงื่อนไขที่เคลื่อนตัวสูงสุดของอุโมงค์และการใช้ค่าstiffnessของกำแพงกันดินอย่างเหมาะสม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 Hardening Soil Model

Hardening Soil Model คือ แบบจำลองดินชั้นสูงสำหรับการจำลองพฤติกรรมของดินประเภทต่างๆ ทั้งดินอ่อนและดินแข็ง โดยใช้ทฤษฎีความเป็นพลาสติก การขยายตัวของดินและการแนะนำ yield surface ซึ่งมีการจำแนกลักษณะของ hardening ไว้สองแบบ ได้แก่ shear hardening และ compression hardening โดยที่ shear hardening ใช้จำลองความเครียดที่ไม่สามารถย้อนกลับได้เนื่องจาก primary deviatoric loading (E_{50}^{ref}) ส่วน compression hardening ใช้จำลองความเครียดที่ไม่สามารถย้อนกลับได้เนื่องจาก primary compression (E_{oed}^{ref}) ซึ่งแบบจำลองนี้เหมาะสมสำหรับปัญหาที่เกี่ยวข้องกับ effective stress และ mobilization of shear strength เช่น การขุดและการก่อสร้างอุโมงค์



รูปที่ 2.1 : yield surface ของ Hardening soil model

ในทางตรงกันข้ามกับ Mohr Columb Model จะเห็นว่า yield surface ของ hardening soil model ไม่ได้คงที่ในพื้นที่ความเค้นหลัก แต่สามารถขยายได้เนื่องจากความเครียดของพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โมเดลนี้พิจารณาโมดูลความแข็งที่ขึ้นกับความเค้น กล่าวคือค่าสตีเฟเนสเพิ่มขึ้นตามแรงกด นอกจากนี้แบบจำลองยังใช้ power law (m) สำหรับการกำหนดความตึงที่ขึ้นกับความเค้น และสามารถอธิบายค่าสตีเฟเนสของดินได้อย่างแม่นยำโดยใช้ค่าสตีเฟเนสที่ต่างกันสามค่า ได้แก่

- E_{50}^{ref} : Secant stiffness in standard drained triaxial test
- E_{oed}^{ref} : Tangent stiffness for primary oedometer loading
- E_{ur}^{ref} : Unloading / reloading stiffness

นอกจากค่าสตีเฟเนสที่กล่าวมาแล้ว ยังมีค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของ Hardening soil model ที่ใช้ในโปรแกรม PLAXIS 2D ตามตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parameters	Description
c'	cohesion
φ	angle of internal friction
E_{50}^{ref}	Secant stiffness in standard drained triaxial test
E_{0ed}^{ref}	Tangent stiffness for primary oedometer loading
E_{ur}^{ref}	Unloading / reloading stiffness
m	Power for stress-level dependency of stiffness
ν^{ur}	Poisson's ratio for unloading-reloading (default = 0.2)
p^{ref}	Reference stress for stiffness (default = 100 kN/m ²)
K_0^{nc}	K_0 - value for normal consolidation (default = $1 - \sin \varphi$)
R_f	Failure ratio q_f/q_a (default = 0.9)

ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานที่ใช้ใน PLAXIS 2D

2.1.1 Yield surface

แนวคิดพื้นฐานของ hardening soil model คือ ความสัมพันธ์แบบไฮเพอร์โบลิกระหว่าง vertical strain (ε_1) และ deviatoric stress (q) จาก primary triaxial loading โดยการทดสอบ triaxial แบบระบายน้ำจะให้เส้นโค้งที่อธิบายจากสมการดังต่อไปนี้

$$-\varepsilon_1 = \frac{1}{E_i} \frac{q}{1 - \frac{q}{q_a}}, \text{ for } : q < q_f \quad (1)$$

$$E_i = \frac{2E_{50}}{2 - R_f} \quad (2)$$

และ

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left[\frac{ccos(\varphi) - \sigma'_3 \sin(\varphi)}{ccos(\varphi) + p^{ref} \sin(\varphi)} \right]^m \quad (3)$$

เมื่อ E_i = Initial stiffness

q_a = Asymptotic value of the shear strength

E_{50}^{ref} = Reference stiffness modulus corresponding to the reference confining pressure p^{ref}

จากความสัมพันธ์ระหว่าง axial stress กับ deviatoric stress จะได้ Ultimate deviatoric stress (q_f) ตามสมการ (4)

$$q_f = (ccot(\varphi) - \sigma'_3) \frac{2 \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)} \text{ และ } q_a = \frac{q_f}{R_f} \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

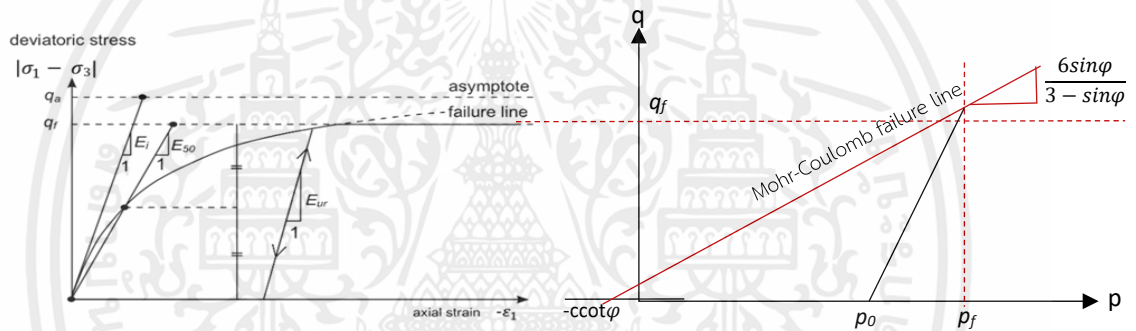
จากสมการ (4) อธิบายความสัมพันธ์ของ Ultimate deviatoric stress ซึ่งเกี่ยวข้องกับ c และ φ จาก failure ของ Mohr-Coulomb เมื่อ $q_f = q_a : (R_f = 1)$ เกณฑ์การวิบัติจะเป็นพลาสติก โดยสมบูรณ์ ซึ่งใน PLAXIS กำหนดค่าเริ่มต้นของ $R_f = 0.9$ ตามรูปที่ 2.2

สำหรับ unloading และ reloading stress paths จะใช้ stiffness ที่ขึ้นกับความเค้นอื่น ดังสมการ (5)

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left[\frac{c \cos(\varphi) - \sigma'_3 \sin(\varphi)}{c \cos(\varphi) + p^{ref} \sin(\varphi)} \right]^m \tag{5}$$

E_{ur}^{ref} = Reference young's modulus and reloading, corresponding to the reference pressure p^{ref}

Note: ใน PLAXIS กำหนดค่าเริ่มต้น $E_{ur}^{ref} \approx 3E_{50}^{ref}$



รูปที่ 2.2 : ความสัมพันธ์ของโค้ง Hyperbolic stress-strain in primary loading for a standard

ฟังก์ชันของ shear hardening yield อธิบายได้จาก

$$f = \bar{f} - \gamma^p \tag{6}$$

เมื่อ \bar{f} = Function of stress

γ^p = Function of plastic strains

$$\bar{f} = \frac{2}{E_i} \frac{q}{1-q/q_a} - \frac{2q}{E_{ur}} = \frac{2-R_f}{E_{50}} \frac{q}{1-q/q_a} - \frac{2q}{E_{ur}} \tag{7}$$

$$\gamma^p = -(\varepsilon_1^p - \varepsilon_2^p - \varepsilon_3^p) = -(2\varepsilon_1^p - \varepsilon_v^p) \approx -2\varepsilon_1^p \tag{8}$$

สำหรับ yield condition $f = 0$; $\varepsilon_1^p \approx \frac{1}{2}\bar{f} = \frac{1}{E_i} \frac{q}{1-q/q_a} - \frac{1q}{E_{ur}}$ (9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $\varepsilon_1^p, \varepsilon_2^p, \varepsilon_3^p =$ Plastic strains
 $\varepsilon_v^p =$ Plastic volume strains

จากสมการฟังก์ชันของ shear hardening yield จะเห็นได้ว่า shear hardening yield surface ถูกควบคุมโดย E_{ur}^{ref} และ E_{50}^{ref}

นอกจาก Hardening soil model จะอธิบาย plastic strains แล้วโมเดลนี้ยังอธิบาย elastic strains ที่เกิดจาก primary loading และ unloading/reloading ตามสมการ (10)

$$-\varepsilon_1^e = \frac{q}{E_{ur}} ; -\varepsilon_2^e = -\varepsilon_3^e = -v_{ur} \frac{q}{E_{ur}} \quad (10)$$

ฟังก์ชันของ cap yield surfaces หรือ Compression hardening yield surface

สำหรับ cap yield surfaces เป็น surface ที่ถูกนำมาปิด elastic region ภายใต้ isotropic compression จะถูกควบคุมโดยค่าสตีเฟนสจาก oedometer test ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

$$f_c = \frac{\bar{q}^2}{M^2} + (p')^2 - p_p^2 \quad (11)$$

ขนาดของ cap yield surfaces ถูกกำหนดโดย pre-consolidation stress (p_p) ซึ่ง hardening function ก็จะสัมพันธ์กับ p_p และ volumetric cap strain (ε_v^{pc}) ด้วย

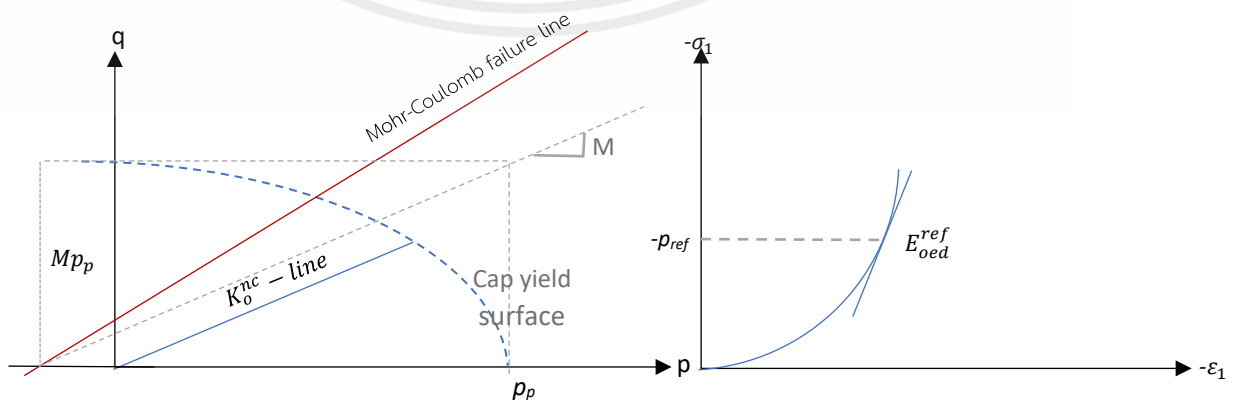
$$\varepsilon_v^{pc} = \frac{\beta}{1-m} \left[\frac{p_p + c \cot \varphi}{p^{ref} + c \cot \varphi} \right]^{1-m} \quad (12)$$

$$\beta = E_{oed}^{ref} \quad (13)$$

$$M \rightarrow K_0^{nc} = 1 - \sin \varphi \quad (14)$$

เมื่อ
$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left[\frac{c \cos(\varphi) - \sigma'_1 \sin(\varphi)}{c \cos(\varphi) + p^{ref} \sin(\varphi)} \right]^m \quad (15)$$

Note: $E_{oed}^{ref} = E_{50}^{ref}$



รูปที่ 2.3 : Yield surface of p - q plane for oedometer test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 Alternative stiffness parameter

เมื่อพิจารณาดินอ่อน สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์จาก compression index, swelling index และ void ratio ได้

ความสัมพันธ์ระหว่าง E_{oed}^{ref} และ compression index (C_c)

$$E_{oed}^{ref} = \frac{2.3(1+e_{init})p_{ref}}{C_c} \quad (16)$$

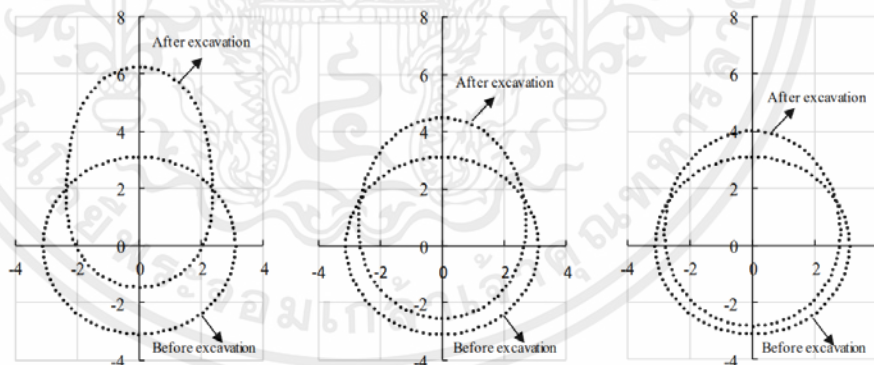
ความสัมพันธ์ระหว่าง E_{ur}^{ref} และ swelling index (C_s)

$$E_{ur}^{ref} = \frac{2.3(1+e_{init})(1+v_{ur})(1-2v_{ur})p_{ref}}{(1-v_{ur})K_0C_s} \quad (17)$$

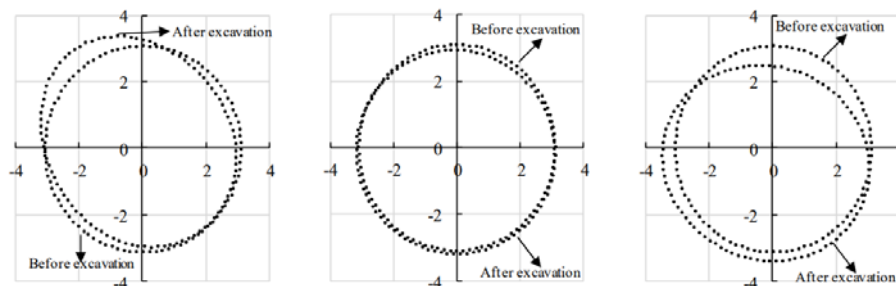
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ผลกระทบเนื่องจากตำแหน่งของอุโมงค์

ในการก่อสร้างงานชุดที่ได้ดินมีอุโมงค์อยู่เดิมในตำแหน่งต่างๆของอุโมงค์นั้นจะมีผลต่อการเสียรูปของอุโมงค์อย่างมาก โดยในกรณีที่อุโมงค์อยู่ด้านล่างการขุดอุโมงค์จะเสียรูปในลักษณะบีบตัวทางด้านข้างและยืดออกตามแนวตั้ง แต่ในเมื่ออุโมงค์อยู่ด้านข้างการขุดการเสียรูปจะมีลักษณะยืดออกทางด้านข้างและบีบอัดตามแนวตั้งโดยลักษณะการเคลื่อนตัวจะเคลื่อนไปทางด้านข้างการขุด (Shun Yi et al. 2020)



รูปที่ 2.4 การเสียรูปของอุโมงค์เมื่ออุโมงค์อยู่ด้านล่างการขุด (Shun Yi et al. 2020)



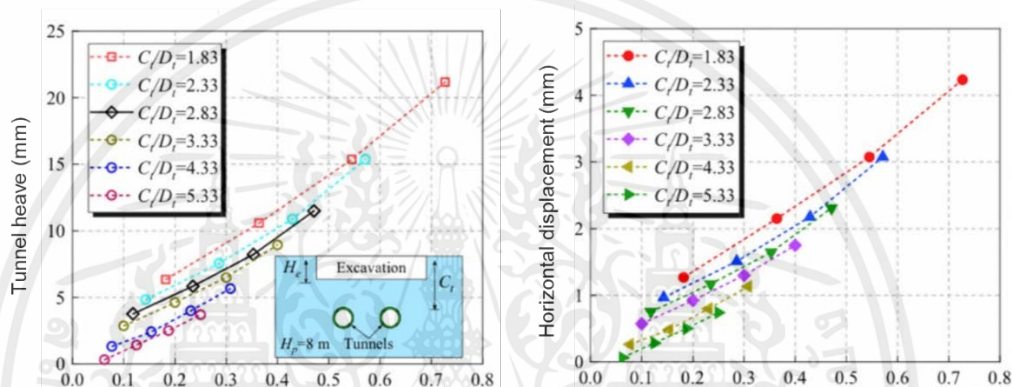
รูปที่ 2.5 การเสียรูปของอุโมงค์เมื่ออุโมงค์อยู่ด้านข้างการขุด (Shun Yi et al. 2020)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นแล้ว Shun Yi et al. (2020) และ Xu Huang et al. (2013) ยังอธิบายอีกว่า เมื่อระยะห่างในแนวนอนระหว่างอุโมงค์กับการขุดเพิ่มขึ้นผลกระทบต่ออุโมงค์จะลดลง แต่เมื่อระยะห่างในแนวตั้งระหว่างอุโมงค์กับการขุดเพิ่มขึ้นนั้นผลกระทบต่ออุโมงค์กลับให้ผลที่แตกต่างกัน

2. ผลกระทบเนื่องจากความลึกการขุด

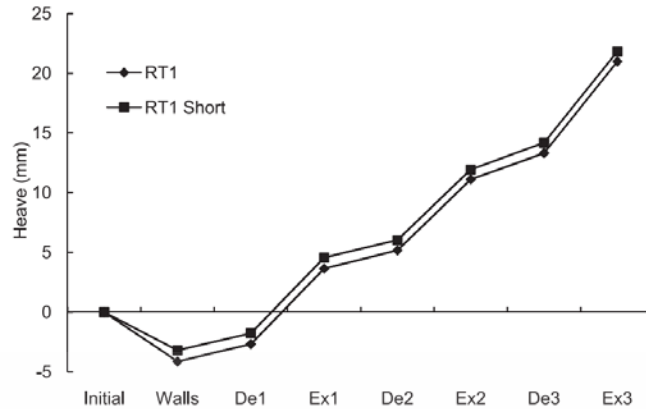
นอกจากตำแหน่งของอุโมงค์แล้วระยะห่างที่เพิ่มขึ้นระหว่างระยะฝังอุโมงค์กับความลึกการขุดนั้นก็สำคัญเช่นเดียวกัน ซึ่งมีการศึกษาในรูปแบบอัตราส่วนการถอนโหลด (unloading ratio) โดยเมื่อระยะห่างระหว่างความลึกการขุดกับระยะฝังอุโมงค์เพิ่มขึ้นการผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นจะลดลง ไม่ที่จะเป็นการ heave หรือการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ (Xiaodong Cheng Et al. 2021)



รูปที่ 2.6 ผลกระทบเนื่องจาก unloading ratio (Xiaodong Cheng et al. 2021)

3. ผลกระทบเนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดิน

ในงานขุดไม่ว่าจะเป็นการขุดต้นหรือขุดลึก โดยเฉพาะการขุดในพื้นที่ที่เป็นดินอ่อนอย่างในกรุงเทพมหานครที่มีดินเป็นลักษณะดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Bangkok clay) ต้องมีการใช้กำแพงกันดินเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อป้องกันดินพัง โดยปกติระยะฝังกำแพงกันดินจะคำนึงถึงแค่การป้องกันดินพัง แต่ในกรณีที่มีอุโมงค์อยู่ด้านข้าง หรือด้านล่างการขุดนั้นจะต้องคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับอุโมงค์ด้วย จากการศึกษาของ Xu Huang et al. (2013) ที่ได้ศึกษาผลกระทบของอุโมงค์เนื่องจากการระยะฝังของกำแพงกันดินกรณีอุโมงค์อยู่ด้านล่างการขุด ผลว่าการลดลงของระยะฝังนั้นไม่ได้ส่งผลให้ผลกระทบที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากอุโมงค์อยู่ข้างในของกำแพงกันดินทั้งคู่

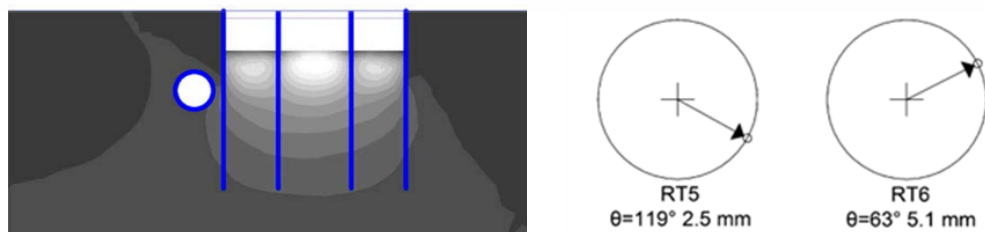


รูปที่ 2.7 ผลกระทบเนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดินกรณีอุโมงค์อยู่ด้านล่างการขุด (Xu Huang et al. 2013)

ในกรณีที่อุโมงค์อยู่ด้านข้างการขุด ไม่ได้มีการศึกษาการฝังของอุโมงค์โดยตรงแต่มีงานวิจัยสองตัวที่ได้ศึกษาการฝังของอุโมงค์ที่ให้ผลแตกต่างกัน คือเมื่อระยะฝังอุโมงค์เพิ่มขึ้นการเคลื่อนตัวของอุโมงค์จะลดลง (Shun Yi et al. 2020) แต่อีกงานวิจัยพบว่าเมื่อระยะฝังอุโมงค์เพิ่มขึ้นการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ก็เพิ่มขึ้น (Xu Huang et al. 2014) เนื่องจากกำแพงกันดินมีส่วนป้องกันผลกระทบที่เกิดขึ้น ความแตกต่างของทั้งสองงานวิจัยนี้เป็นที่น่าสนใจว่าอาจเกิดจากระยะการฝังกำแพงกันดินที่แตกต่างกัน เนื่องจากเขตผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการขุดและกำแพงกันดิน (Bo Liu et al. 2022)



รูปที่ 2.8 ผลกระทบของอุโมงค์เมื่อระยะฝังอุโมงค์เพิ่มขึ้น (Shun Yi et al. 2020)

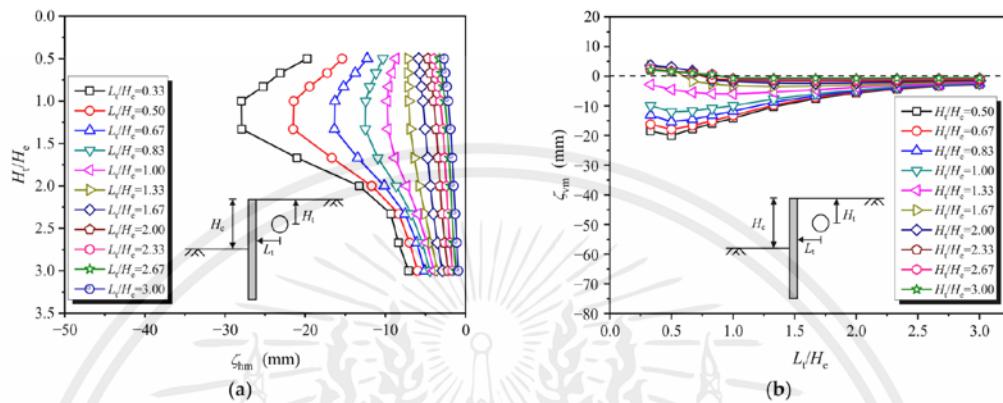


รูปที่ 2.9 ผลกระทบของอุโมงค์เมื่อระยะฝังอุโมงค์เพิ่มขึ้น (Xu Huang et al. 2013)

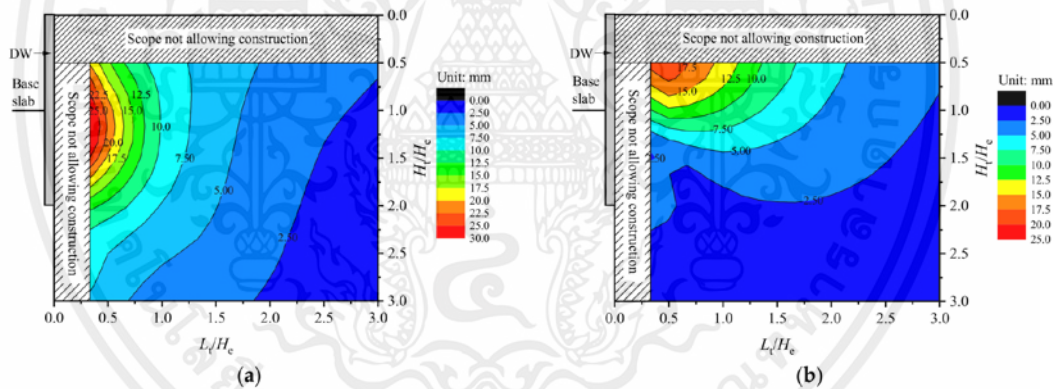
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.เขตผลกระทบของอุโมงค์ที่มีอยู่เดิมจากงานขุด

จากงานวิจัยของ Bo Liu et al. 2022 ที่ได้ทำการศึกษามลกระทบของอุโมงค์จากงานขุดดินลึกเพื่อคาดการณ์เขตพื้นที่ผลกระทบ โดยพิจารณาตำแหน่งของอุโมงค์ที่ต่างออกไปด้านข้างการขุด ทั้งระยะฝั่ง(H_c) และระยะตามแนวนอน(L_c) ตามรูปที่2.10 ทำให้สามารถคาดการณ์เขตผลกระทบของอุโมงค์จากการขุดดินลึกได้ ตามรูปที่2.11



รูปที่2.10 การเคลื่อนที่ของอุโมงค์ที่ตำแหน่งต่างๆ: (a) การเคลื่อนตัวแนวนอน (b) การเคลื่อนตัวแนวนอน



รูปที่2.11 isolines ของการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ : (a) isoline การเคลื่อนตัวแนวนอน; (b) isoline การเคลื่อนตัวแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

การศึกษาผลกระทบต่ออุโมงค์เมื่อมีงานขุดข้างเคียง มีวิธีการศึกษา ดังนี้

3.1 กรณีของการศึกษาและการเลือกใช้ตัวแปรที่จะทำการศึกษด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลข

3.2 การจำลองโมเดล

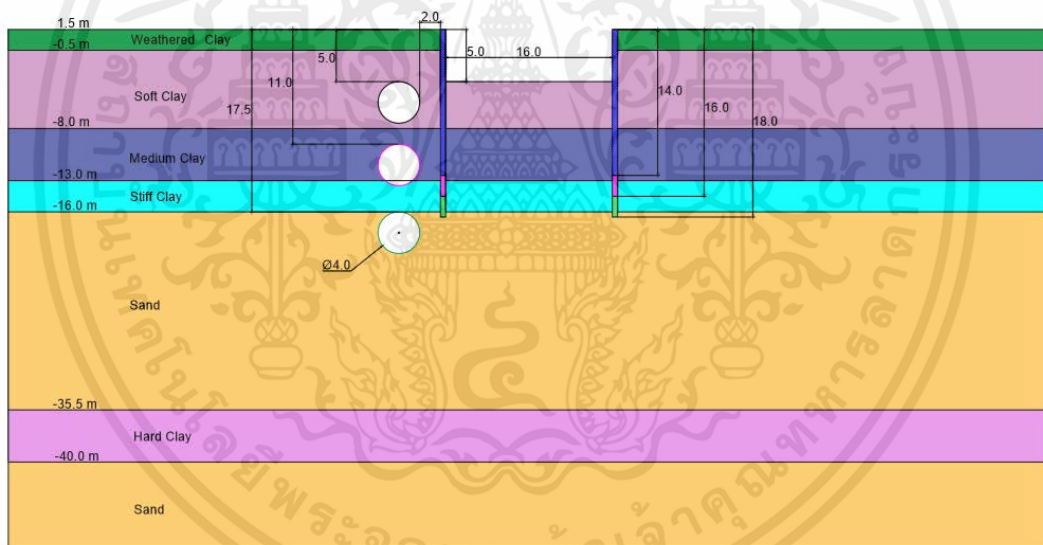
3.2.1 การจำลองพารามิเตอร์ของชั้นดิน

3.2.2 การจำลองพารามิเตอร์ของโครงสร้างที่ใช้ในงานขุด

3.2.3 Boundary และ Flow conditions

3.2.4 การจำลองลำดับขั้นตอนการขุดในแต่ละขั้นตอน

3.1 กรณีของการศึกษาและการเลือกใช้ตัวแปรที่จะทำการศึกษด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลข

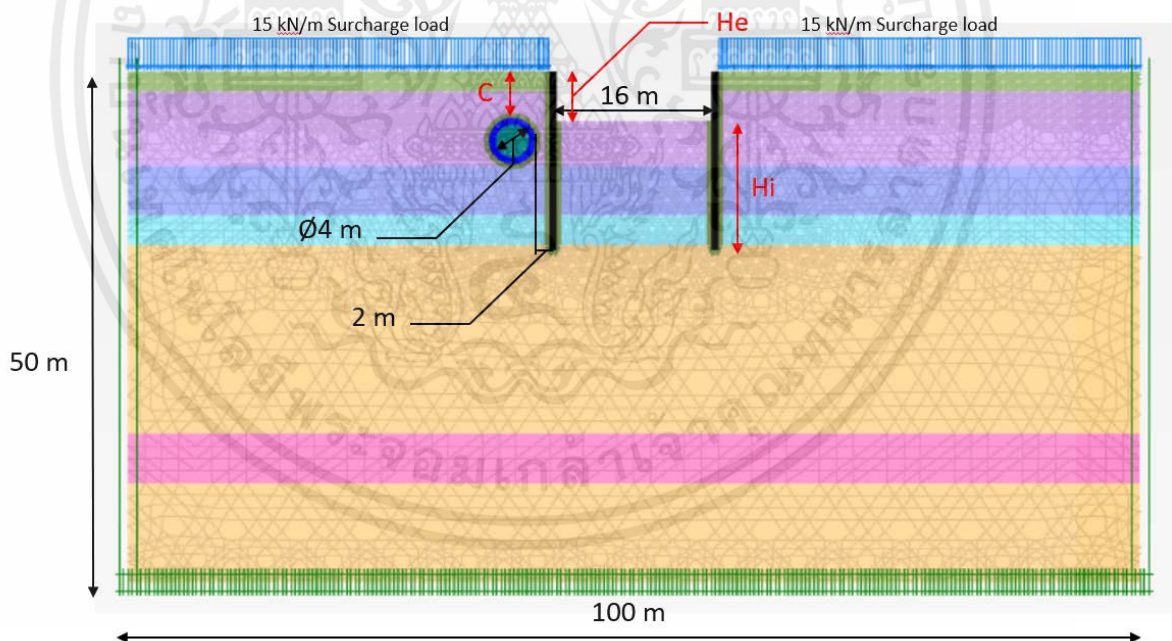


รูปที่ 3.1 : ภาพรวมของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี	ระยะการขุด (He)	ระยะของอุโมงค์จากกำแพง (Lt)	เส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์	ระยะฝังอุโมงค์ (c)	ความหนาของกำแพงกันดิน		ระยะกำแพงกันดิน	
					corrugated	D-wall	ความยาว	ระยะฝัง (Hi)
1	5	2	4	5	0.60		14	9
2	5	2	4	5	0.60		16	11
3	5	2	4	5	0.60		18	13
4	5	2	4	5		0.60	18	13
5	5	2	4	5		1.00	18	13
6	5	2	4	5		1.20	18	13
7	5	2	4	11	0.60		14	9
8	5	2	4	11	0.60		16	11
9	5	2	4	11	0.60		18	13
10	5	2	4	11		0.60	18	13
11	5	2	4	11		1.00	18	13
12	5	2	4	11		1.20	18	13
13	5	2	4	17.5	0.60		14	9
14	5	2	4	17.5	0.60		16	11
15	5	2	4	17.5	0.60		18	13
16	5	2	4	17.5		0.60	18	13
17	5	2	4	17.5		1.00	18	13
18	5	2	4	17.5		1.20	18	13

ตารางที่ 3.1 : ตัวแปรที่เลือกใช้ในการศึกษา



รูปที่ 3.2 : ภาพรวมแสดงตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 เส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์

เลือกใช้อุโมงค์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เมตร ซึ่งเป็นอุโมงค์ที่ขึ้นสามารถจำลองได้เป็นอุโมงค์ระบายน้ำ (สำนักการระบายน้ำ, 2010) ซึ่งอุโมงค์ที่ขึ้นดังกล่าวจะอยู่ใกล้เคียงการขุดในระดับดิน

3.1.2 ระยะฝังของอุโมงค์

เลือกใช้ระยะฝังของอุโมงค์เริ่มที่ 5 , 11 , 17.5 เมตรเนื่องจากต้องการให้อุโมงค์อยู่ในชั้นดิน soft clay medium clay และ sand เพื่อทำการเปรียบเทียบอุโมงค์ที่ฝังอยู่ในชั้นดินต่างๆ

3.1.3 ระยะของอุโมงค์จากกำแพงกันดิน

เลือกใช้ระยะห่างของอุโมงค์จากกำแพงกันดินที่ระยะ 2 เมตร เนื่องจากเป็นระยะที่ใกล้กับการขุดและเห็นผลของการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ที่ชัดเจน

3.1.4 ความหนาและความยาวของกำแพงกันดิน

การเลือกใช้กำแพงกันดินความยาว 14 16 และ 18 เมตร โดยที่ความยาว 14 16 และ 18 เมตรจะใช้กำแพงกันดินแบบ Corrugated sheet pile ชนิด SW600B (JIS 5373) โดยที่จะใช้ความหนา 0.60 เมตร และกำแพงที่มีความยาว 18 เมตรอีกรูปแบบหนึ่งจะใช้กำแพงกันดินแบบ Diaphragm wall ความหนา 0.60 1.00 และ 1.20 เมตร เพื่อทำการเปรียบเทียบความหนาของกำแพงกันดิน

3.1.5 ระยะฝังของกำแพงกันดิน

เลือกใช้ระยะฝังของกำแพงกันดินคือ 9 11 และ 13 เมตรเนื่องจากต้องการให้ปลายของกำแพงกันดินฝังอยู่ในทุกชั้นดิน (medium clay, stiff clay, sand) เพื่อทำการเปรียบเทียบค่า และต้องการให้ระยะฝังของกำแพงกันดินอยู่ในชั้นดินที่แข็งและลึกกว่าระยะการขุดเพื่อความปลอดภัย (Kamol Sumate Chanchai Thayanan, 2006)

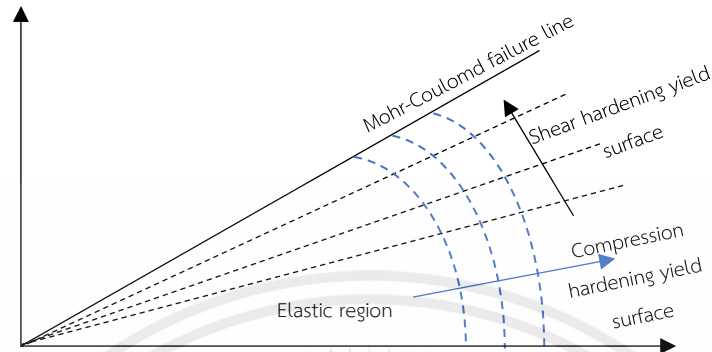
3.1.6 ระยะการขุด

เลือกใช้ระยะการขุด 5 เมตร เนื่องจากว่าระยะการขุดที่เป็นไปได้ในการขุดดินบริเวณกรุงเทพฯ โดยที่ใส่เพียงกำแพงกันดินและไม่ต้องใส่ค้ำยันโดยที่ไม่มีการพังเกิดขึ้น คำนวณโดยประมาณจากวิธีของ Rankine, 1857 ซึ่งความลึกการขุด 5 เมตร สามารถจำลองได้กับการขุดคลองระบายน้ำในกรุงเทพฯ ซึ่งการจำลองนี้จึงเหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริงตามหัวข้อ 3.1.2 เนื่องจากอุโมงค์ระบายน้ำส่วนใหญ่ในกรุงเทพฯ จะวางตามแนวของคลองในกรุงเทพฯ

3.2 การจำลองโมเดล

3.2.1 โมเดลดิน

3.2.1.1 Hardening soil model

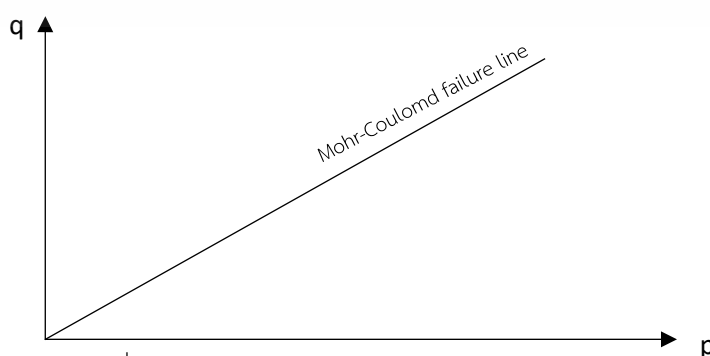


รูปที่ 3.3 แสดง yield surface ของ Hardening soil model

Hardening Soil Model คือ แบบจำลองดินขั้นสูงสำหรับการจำลองพฤติกรรมของดินประเภทต่างๆ ทั้งอ่อนและดินแข็ง โดยใช้ทฤษฎีความเป็นพลาสติก การขยายตัวของดินและการแนะนำ yield surface ซึ่งมีการจำแนกลักษณะของ hardening ไว้สองแบบ ได้แก่ shear hardening และ compression hardening โดยที่ shear hardening ใช้จำลองความเครียดที่ไม่สามารถย้อนกลับได้เนื่องจาก primary deviatoric loading (E_{50}^{ref}) ส่วน compression hardening ใช้จำลองความเครียดไม่สามารถย้อนกลับได้เนื่องจาก primary compression (E_{oed}^{ref}) ซึ่งแบบจำลองนี้ใช้สำหรับปัญหาที่เกี่ยวข้องกับ effective stress และ mobilization of shear strength เช่น การขุดและการก่อสร้างอุโมงค์ จะได้ตัวแปรของแบบจำลองhardening soil ออกมา 3 ค่า ได้แก่ E_{50} , E_{oed} , E_{ur} ตัวแปรของhardening soil model ประกอบด้วย 3 ตัวแปร ได้แก่

1. E_{50} เป็นค่าที่ได้มาจาก deviatoric loading จากการทดสอบ Triaxial Test
2. E_{oed} เป็นค่าที่ได้มาจากการทดสอบ Oedometer loading
3. E_{ur} เป็นค่าที่ได้มาจากการ unloading

3.2.1.2 Mohr Culomb model



รูปที่ 3.4 กราฟ failure line ของ Mohr Culomb model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mohr Columb Model, yield surface ไม่ได้คงที่ในพื้นที่ความเค้นหลัก แต่สามารถขยายได้เนื่องจากความเครียดของพลาสติก

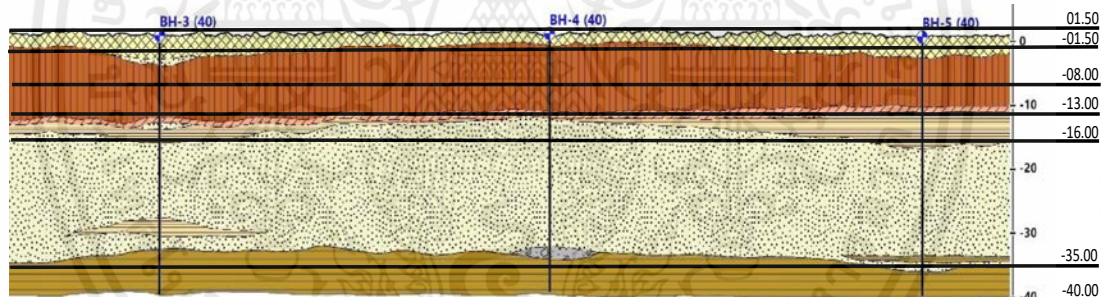
3.2.2 การจำลองพารามิเตอร์ของชั้นดิน

ชั้นดินที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลขต้องผ่านการสอบเทียบข้อมูลดินจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการประมวลผลด้วยโปรแกรมPLAXIS 2D

3.2.2.1 การสอบเทียบชั้นดิน

ชั้นดินที่ทำการสอบเทียบประกอบด้วย 5 ชั้น ได้แก่

1. weathered clay ที่ระดับ 01.50 ถึง -00.50 เมตร
2. soft clay ที่ระดับ -00.50 ถึง -08.00 เมตร
3. medium clay ที่ระดับ -08.00 ถึง -13.00 เมตร
4. stiff clay ที่ระดับ -13.00 ถึง -16.00 เมตร
5. sand ที่ระดับ -16.00 ถึง -35.00 เมตร
6. hard clay ที่ระดับ -35.00 ถึง -40.00 เมตร



รูปที่ 3.5 : ชั้นดินที่ทำการสอบเทียบ (โครงการก่อสร้างอุโมงค์บางน้ำจืด)

3.2.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ

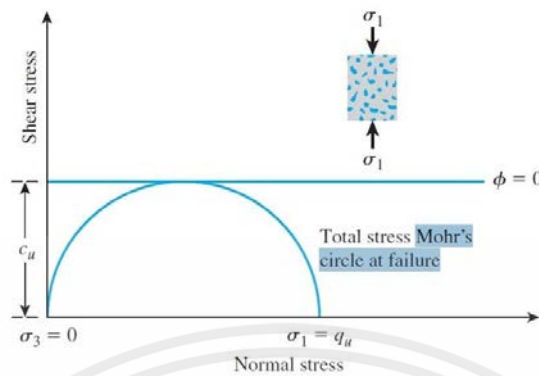
No.	Soil layer	Avg. unit weight, γ	Soil model	Drainage condition	Strength		Stiffness	
					Parameter	Calibration	Parameter	Calibration
1	Weathered Clay	19.0	MC	Undrained C	c_u	UCS	E_u	Eu/Cu Correlations
2	Soft Clay	15.5	HSS	Undrained A	c', ϕ'	Triaxial	E_u, E_{oed}, E_{ur}	Triaxial + Oedometer
3	Medium Clay	16.0	HSS	Undrained A	c', ϕ'	Triaxial	E_u, E_{oed}, E_{ur}	Triaxial + Oedometer
4	Stiff Clay	19.0	MC	Undrained C	c_u	UC/SPT N60/Cu Correlations	E_u	Eu/Cu Correlations
5	Dense Sand	20.0	MC	Drained	c', ϕ'	Direct shear test	E', ν	SPT N60 Correlations
6	Hard Clay	20.0	MC	Undrained C	c_u	SPT N60/Cu Correlations	E_u	Eu/Cu Correlations

ตารางที่ 3.2 : เครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบดินแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.Strength Calibration

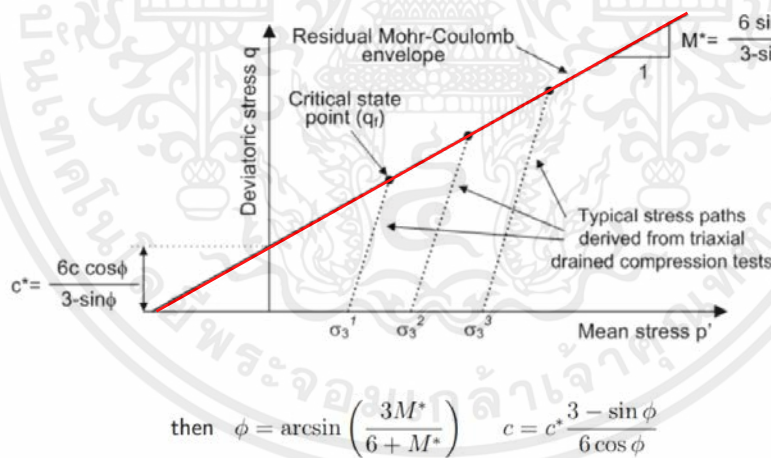
- UCS



รูปที่ 3.6 : การทดสอบ Unconfined Compression Test (Das,2010)

จากรูปที่3.6 เป็นการทดสอบ Unconfined Compression Test จะได้ข้อมูลของค่าCu ซึ่งเท่ากับครึ่งหนึ่งของกำลังสูงสุดของหน่วยแรงกด(qu) เหมาะสำหรับดินถม

- Triaxial



รูปที่ 3.7 : ค่า c และ ϕ จากการทดสอบ Triaxial Test

จากรูปที่ 3.7 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Deviatoric stress(q) กับ Mean stress(p') ได้จากการทดสอบ Triaxial ซึ่งจะสามารถหาค่า c และ ϕ ได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าวโดยการเฉลี่ยค่า σ_1 σ_2 σ_3 โดยการลากเส้นเฉลี่ย(เส้นสีแดง) จากนั้นจุดตัดแกน y จะเป็นค่า c^* และความชันจะเป็นค่า M^* จากนั้นนำค่ามาแทนค่าลงในสมการ

$$\phi = \arcsin\left(\frac{3M^*}{6+M^*}\right) \text{ และ } c = c^* \left(\frac{3-\sin\phi}{6\cos\phi}\right) \text{ จะได้ค่า } c \text{ และ } \phi \text{ ตามลำดับ}$$

ซึ่งการสอบเทียบด้วย Triaxial จะเหมาะสมสำหรับชั้นดิน soft clay และ medium clay เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Direct Shear Test

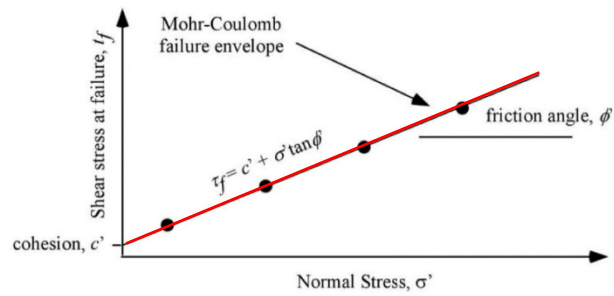


Fig. 12.2 – Mohr-Coulomb failure envelope.

รูปที่ 3.8 : ค่า c และ ϕ จากการทดสอบ Direct Shear Test (Coulomb, 1776)

จากรูปที่ 3.8 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Stress กับ Normal Stress ได้จากการทดสอบ Direct shear test ซึ่งจะสามารถหา c และ ϕ ได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยที่ค่า c หาได้จากจุดตัดแกน y และ ϕ หาได้จากมุมที่เส้นสีแดงกระทำแกน x ซึ่งการสอบเทียบด้วย Direct shear test เหมาะสำหรับดินทราย

-SPT N60-cu Correlations

N Value (blows/ft or 305 mm)	Consistency	Approximate s_u/p_a
0 to 2	very soft	< 1/8
2 to 4	soft	1/8 to 1/4
4 to 8	medium	1/4 to 1/2
8 to 15	stiff	1/2 to 1
15 to 30	very stiff	1 to 2
> 30	hard	> 2

รูปที่ 3.9 : ค่าประมาณของ C_u หรือ S_u เมื่อเทียบกับค่า $N(SPT)$ (Terzaghi and Peck, 1967)

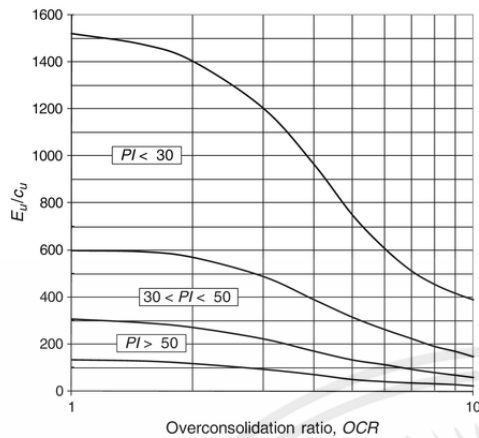
จากสมการ $C_u = 6N_{60} = 6 \times 0.6 \times N(SPT)$ (Kulhawy and Mayne 1990)

เมื่อ $N(SPT)$ = จำนวนครั้งการตอก (blows/ft)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Stiffness Calibration

- E_u/C_u Correlation



ชั้นดิน	Plasticity Index (%)	E_u/C_u
Weathered Soil	30 - 50	350
Stiff Clay	20 - 40	600
Hard Clay	20 - 35	800

รูปที่ 3.10 : ความสัมพันธ์ระหว่าง E_u และ C_u (Duncan & Buchigani 1976)

จากรูปที่ 3.10 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง E_u และ C_u จากการสอบเทียบ SPT N60- C_u Correlations ในขั้นตอน Strength Calibration จะทำให้ได้ค่า C_u เมื่อนำค่า C_u มาเข้าอัตราส่วนระหว่าง E_u/C_u จะทำให้ได้ค่า E_u

- Triaxial และ Oedometer

ค่าตัวแปรของ hardening soil สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$E_{50}^{ref} = E_{50} \left(\frac{p_{ref}}{\sigma'_y} \right)$$

$$E_{oed}^{ref} = \frac{2.3(1+e_{int})p_{ref}}{C_c}$$

$$E_{ur}^{ref} = \frac{2.3(1+e_{int})(1+v_{ur})(1-2v_{ur})p_{ref}}{(1-v_{ur})K_0C_s}$$

เมื่อ E_{50} คือ ความชันที่ 50% ของค่าสูงสุดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง stress กับ strain

p_{ref} คือ 100

σ'_y คือ หน่วยแรงที่กระทำต่อตัวอย่างทดสอบในแนวตั้ง (kPa)

e_{int} คือ ค่าอัตราส่วนช่องว่างเริ่มต้น

C_c คือ Compression index

C_s คือ Swelling index

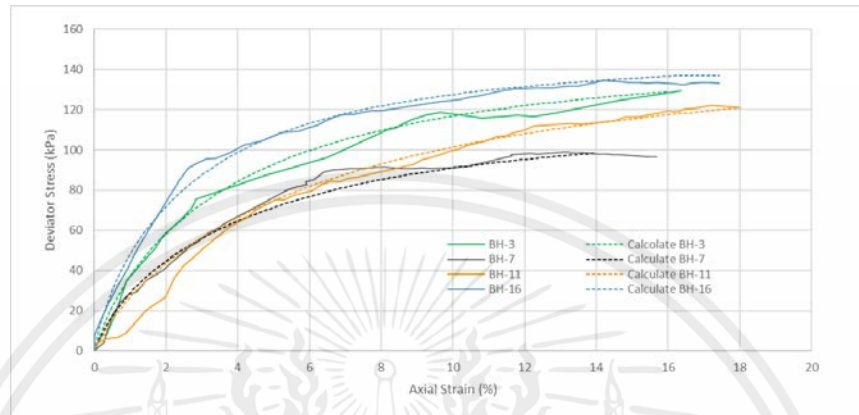
v_{ur} คือ 0.2

K_0 คือ Coefficient at rest earth pressure หาได้จาก $K_0 = 1 - \sin \phi$

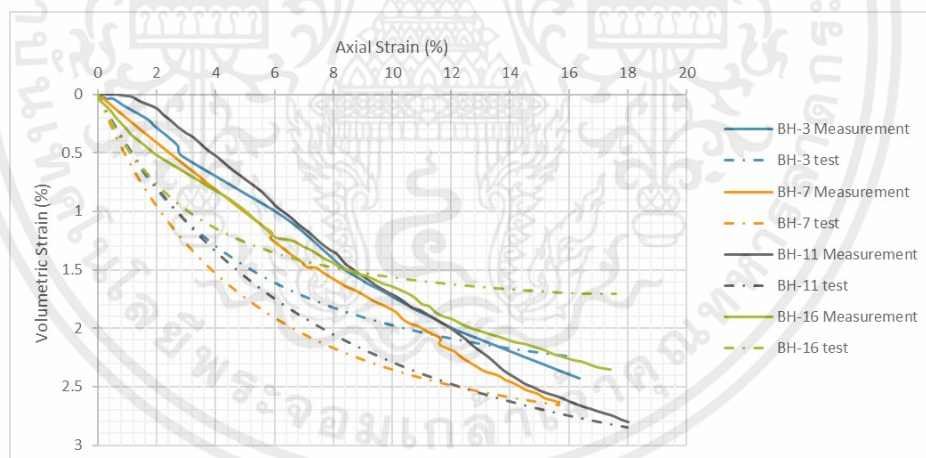
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.3 การสอบเทียบข้อมูลดิน

การสอบเทียบจะทำการสอบเทียบระหว่างการทดสอบTriaxialจากห้องปฏิบัติการและการทดสอบTriaxialจากโปรแกรม PLAXIS 2D เพื่อนำผลลัพธ์มาวิเคราะห์ความใกล้เคียงกันและนำไปใช้ประมวลผลด้วยโปรแกรมต่อไป จากสมการที่ใช้ในhardening soil modelและข้อมูลดินสามารถได้ผลการสอบเทียบดังนี้



รูปที่ 3.11 : ความสัมพันธ์ deviatoric stress(kPa) และ axial strain(%) ของผลการสอบเทียบดินระหว่างการทดสอบจากห้องปฏิบัติการและการทดสอบจากโปรแกรม PLAXIS 2D



รูปที่ 3.12 : ความสัมพันธ์ volumetric strain(%) และ axial strain(%) ของผลการสอบเทียบดินระหว่างการทดสอบจากห้องปฏิบัติการและการทดสอบจากโปรแกรม PLAXIS 2D

จากรูปที่ 3.12 สังเกตได้ว่าข้อมูลการทดสอบTriaxialจากห้องปฏิบัติการและการทดสอบTriaxialจากโปรแกรม PLAXIS 2D มีความใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่าหน่วยแรง(stress)มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันตลอด Axial Strain ที่เกิดขึ้น ดังนั้นข้อมูลดินดังกล่าวสามารถนำไปประมวลผลด้วยโปรแกรม PLAXIS 2D ต่อไปได้ ดังแสดงใน ตารางที่ 3.3-3.5 ข้อมูลดินที่ผ่านการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Soil	Boring log	c' kPa	ϕ' (deg)	Modulus of Hardening Soil Model (kPa)			m	p_{ref}	K_o^{nc}	v'_u	R_f
				E_{50}^{ref}	E_{oed}^{ref}	E_{ur}^{ref}					
Soft clay	BH-3	1	22.5	1176	1226	3677	1	100	0.6173	0.2	0.9
Medium clay	BH-3	0	26	2600	2600	9389	1	100	0.5616	0.2	0.9

ตารางที่ 3.3 : ข้อมูลดินอ่อนที่ผ่านการสอบเทียบด้วย HS

Soil	Boring log	c' kPa	ϕ' (deg)	Density kN/m ³	SPT blow/ft	E' kPa	K_o^{nc}	v'

ตารางที่ 3.4 : ข้อมูลดินทรายที่ผ่านการสอบเทียบด้วย MC

Soil	Boring log	Density kN/m ³	SPT blow/ft	Su kPa	E kPa
Stiff clay	BH-3	19.91	21	75.60	45360
Hard clay	BH-3	20.40	56	201.60	161280

ตารางที่ 3.5 : ข้อมูลดินแข็งที่ผ่านการสอบเทียบด้วย MC

3.2.3 การจำลองพารามิเตอร์ของโครงสร้างที่ใช้ในงานชุด

3.2.3.1 กำแพงกันดิน

1. กำแพงกันดินที่เลือกใช้



รูปที่ 3.13 : กำแพงกันดินชนิด corrugated

ที่มา : <https://www.jhs-system.com/product/2/precast-concrete-for-retaining-wall/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 : กำแพงกันดินชนิด Diaphragm

ที่มา : <https://www.ggu-software.com/en/glossary/diaphragm-walls>

2.คุณสมบัติของกำแพงกันดิน

Properties	Value	Unit
Structure Type	Plate Element	-
Material Type	Elastic	-
EA	6.88×10^6	kN/m
EI	2.54×10^5	$\text{kN.m}^2/\text{m}$
Thickness (d)	0.6	m.
w		kN/m/m
ν	0.2	-

ตารางที่ 3.6 : คุณสมบัติของกำแพงกันดินชนิด corrugated sheet pile ความหนา 0.60 เมตร
 กำแพงกันดินแบบ corrugated sheet pile ชนิด SW600B ; $A=0.21 \text{ m}^2$, $I=7.66 \times 10^{-3} \text{ m}^4$, $M_0=590 \text{ kN-m}$ (JIS 5373)

$$E_{\text{concrete}} = 15100 \times f'c^{0.5} \text{ (มาตรฐาน วสท.)}$$

$$= 15100 \times 500^{0.5} = 337646.30 \text{ ksc}$$

$$EA = 3.31 \times 10^7 \times 0.21 = 6.88 \times 10^6 \text{ kN/m}$$

$$EI = 3.31 \times 10^7 \times 7.66 \times 10^{-3} = 2.54 \times 10^5 \text{ kN.m}^2/\text{m}$$

$$w = (24.50-0.50 \times 16.57) \times 0.21 = 3.37 \text{ kN/m} \text{ สำหรับกำแพงกันดินความยาว 14 เมตร}$$

$$w = (24.50-0.50 \times 19.91) \times 0.21 = 3.02 \text{ kN/m} \text{ สำหรับกำแพงกันดินความยาว 16 เมตร}$$

$$w = (24.50-0.50 \times 20.31) \times 0.21 = 2.98 \text{ kN/m} \text{ สำหรับกำแพงกันดินความยาว 18 เมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties	Value	Unit
Structure Type	Plate Element	-
Material Type	Elastic	-
EA	1.19×10^7	kN/m
EI	3.58×10^5	kN.m ² /m
Thickness (d)	0.6	m.
w		kN/m/m
ν	0.2	-

ตารางที่ 3.7 : คุณสมบัติของกำแพงกันดินชนิด diaphragm wall ความหนา 0.60 เมตร
กำแพงกันดินแบบ diaphragm wall ; A=0.36 m² , I=0.01 m⁴

$$E_{\text{concrete}} = 15100 \times f'c^{0.5} \text{ (มาตรฐาน วสท.)}$$

$$= 15100 \times 500^{0.5} = 337646.30 \text{ ksc}$$

$$EA = 3.31 \times 10^7 \times 0.36 = 1.19 \times 10^7 \text{ kN/m}$$

$$EI = 3.31 \times 10^7 \times 0.01 = 3.58 \times 10^5 \text{ kN.m}^2/\text{m}$$

$$w = (24.50 - 0.50 \times 20.31) \times 0.36 = 5.16 \text{ kN/m}$$

Properties	Value	Unit
Structure Type	Plate Element	-
Material Type	Elastic	-
EA	3.31×10^7	kN/m
EI	2.76×10^6	kN.m ² /m
Thickness (d)	1.0	m.
w		kN/m/m
ν	0.2	-

ตารางที่ 3.8 : คุณสมบัติของกำแพงกันดินชนิด diaphragm wall ความหนา 1.00 เมตร
กำแพงกันดินแบบ diaphragm wall ; A=1.00 m² , I=0.08 m⁴

$$E_{\text{concrete}} = 15100 \times f'c^{0.5} \text{ (มาตรฐาน วสท.)}$$

$$= 15100 \times 500^{0.5} = 337646.30 \text{ ksc}$$

$$EA = 3.31 \times 10^7 \times 1.00 = 3.31 \times 10^7 \text{ kN/m}$$

$$EI = 3.31 \times 10^7 \times 0.08 = 2.76 \times 10^6 \text{ kN.m}^2/\text{m}$$

$$w = (24.50 - 0.50 \times 20.31) \times 1.00 = 14.35 \text{ kN/m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties	Value	Unit
Structure Type	Plate Element	-
Material Type	Elastic	-
EA	4.77×10^7	kN/m
EI	5.72×10^6	$\text{kN.m}^2/\text{m}$
Thickness (d)	1.2	m.
w		kN/m/m
ν	0.2	-

ตารางที่ 3.9 : คุณสมบัติของกำแพงกันดินชนิด diaphragm wall ความหนา 1.20 เมตร

กำแพงกันดินแบบ diaphragm wall ; $A=1.44 \text{ m}^2$, $I=0.17 \text{ m}^4$

$E_{\text{concrete}} = 15100 \times f'c^{0.5}$ (มาตรฐาน วสท.)

$$= 15100 \times 500^{0.5} = 337646.30 \text{ ksc}$$

$$EA = 3.31 \times 10^7 \times 1.44 = 4.77 \times 10^7 \text{ kN/m}$$

$$EI = 3.31 \times 10^7 \times 0.17 = 5.72 \times 10^6 \text{ kN.m}^2/\text{m}$$

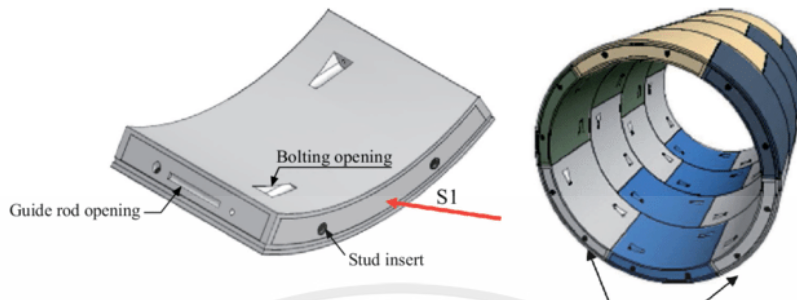
$$w = (24.50 - 0.50 \times 20.31) \times 1.44 = 20.66 \text{ kN/m}$$

2. อินเทอร์เฟซของกำแพงกันดิน

อินเทอร์เฟซเป็นส่วนที่ถูกเพิ่มไปยังกำแพงกันดินเพื่อให้สามารถจำลองปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้างได้อย่างเหมาะสม ซึ่งอินเทอร์เฟซแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ อินเทอร์เฟซที่เป็นบวกลบและอินเทอร์เฟซที่เป็นลบ ซึ่งอินเทอร์เฟซที่เป็นบวกลบจะเป็นด้านที่ผิวอยู่ที่ด้านบวกลบของแกน y และอินเทอร์เฟซที่เป็นลบจะเป็นด้านที่ผิวอยู่ที่ด้านลบของแกน y ซึ่งสัญลักษณ์ของอินเทอร์เฟซจะใช้เพื่อแยกอินเทอร์เฟซทั้งสองด้านของอินเทอร์เฟซเท่านั้น แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรม

3.2.3.2 อุโมงค์

1. อุโมงค์



รูปที่ 3.15 : segmentของอุโมงค์ (Angelo Caratelli et al.,2012)

2. คุณสมบัติของอุโมงค์

Properties	Value	Unit
Structure Type	Plate Element	-
Material Type	Elastic	-
EA	7.40×10^6	kN/m
EI	2.82×10^4	$\text{kN.m}^2/\text{m}$
Thickness (d)	0.21	m.
w	3.63	kN/m/m
ν	0.2	-

ตารางที่ 3.10 : คุณสมบัติของอุโมงค์

Precast Concrete Segment; $A=0.25 \text{ m}^2$, $I=9.53 \times 10^{-4} \text{ m}^4$

$E_{\text{concrete}} = 15100 \times f'c^{0.5}$ (มาตรฐาน วสท.)

$$= 15100 \times 400^{0.5} = 3.02 \times 10^5 \text{ ksc} = 2.96 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

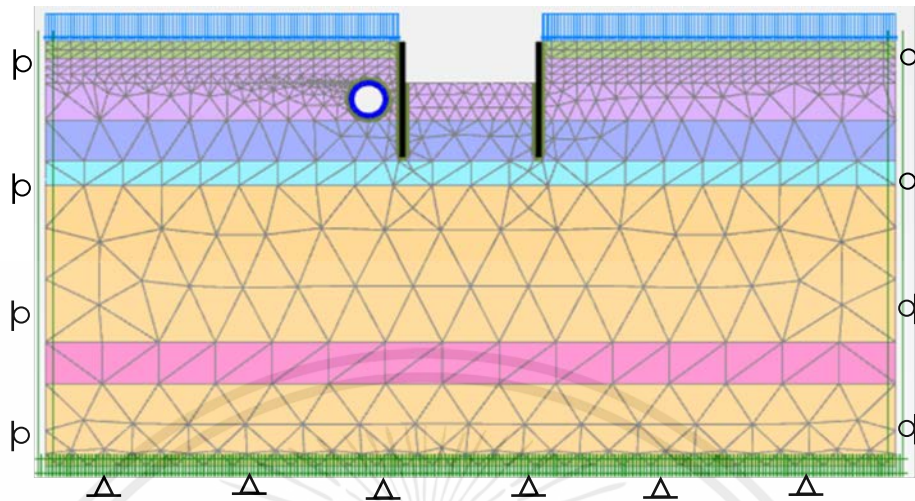
$$EA = 2.96 \times 10^7 \times 0.25 = 7.40 \times 10^6 \text{ kN/m}$$

$$EI = 2.96 \times 10^7 \times 9.53 \times 10^{-4} = 2.82 \times 10^4 \text{ kN.m}^2/\text{m}$$

$$w = (24.50 - 0.50 \times 20) \times 0.25 = 3.63 \text{ kN/m}$$

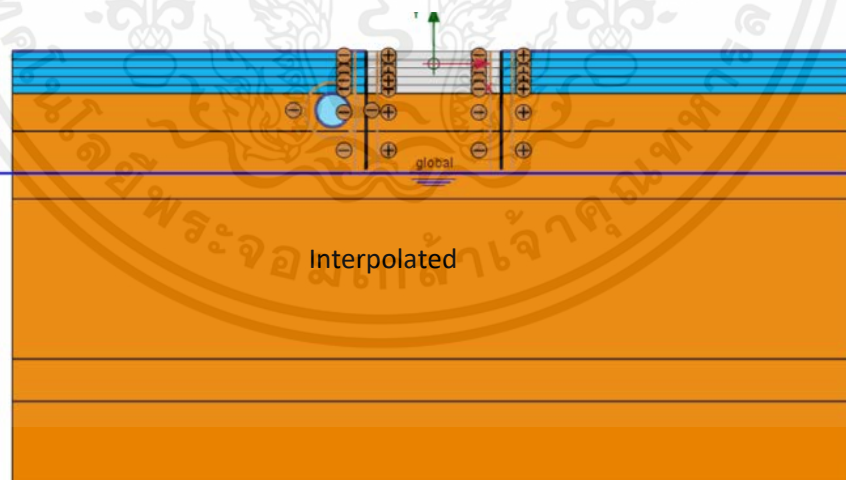
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 Boundary และ Flow conditions



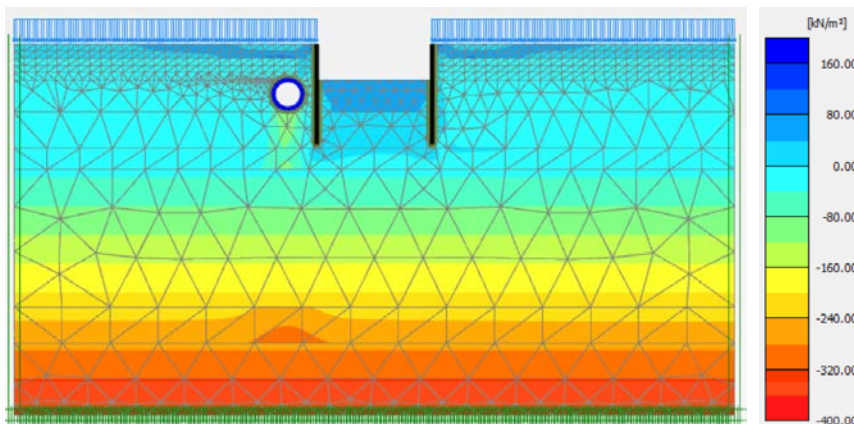
รูปที่3.16 กำหนดเงื่อนไขและขอบเขต

ในขั้นตอนการขุด พื้นที่บริเวณที่ทำการขุดแล้วจะกำหนดให้อยู่ในสถานะที่น้ำถูกสูบออก (dry) ซึ่งก็คือระดับน้ำใต้ดินบริเวณนั้นจะอยู่ที่ผิวของระดับการขุดในปัจจุบัน ซึ่งขั้นตอนการขุดในงานจะแบ่งออกเป็น 5 ครั้ง ในขณะที่ระดับน้ำใต้ดินนอกอยู่ที่ระดับ 13.00 เมตรจากผิวดิน จากการลดลงของระดับน้ำทั้งสอง (ด้านนอกและด้านในการขุด) ทำให้เกิดการไหลของน้ำใต้ดินรอบกำแพงกันดินซึ่งจะกำหนดให้เกิดการแทรก(Interpolated) ระหว่างน้ำทั้งสองฝั่ง



รูปที่3.17 Interpolation in geoudwater flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.18 Active pore pressure หลังจาก Interpolation

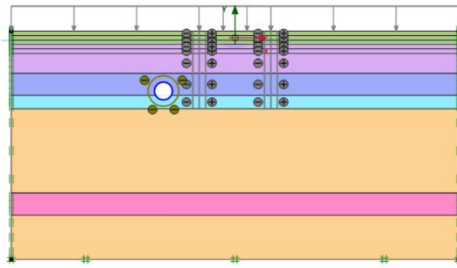
3.2.5 จำลองลำดับขั้นตอนการขุดในแต่ละขั้นตอน

การจำลองขั้นตอนการทำงานในโมเดล ในขั้นตอนเริ่มต้นเป็นการฝังอุโมงค์ที่มีอยู่เดิมโดยห่างจากกำแพงกันดินในทางด้านข้างที่ 2 เมตร โดยกำหนดระดับน้ำใต้ดินของกรุงเทพมหานครอยู่ที่ -13 เมตร จากผิวดิน จากนั้นติดตั้ง Surcharge load 15 kN/m² แล้วรีเซ็ตค่าการเสียรูปให้เป็นศูนย์ ก่อนที่จะเริ่มทำการติดตั้งกำแพงกันดินในขั้นตอนที่สอง สามและสี่ตามลำดับ จากนั้นทำการขุดดินครั้งที่ 1 ที่ระดับผิวดิน 1.5 เมตร ลึกลงไป 1 เมตร โดยทำการขุดทั้งหมด 5 ครั้ง ระยะขุดสุดท้ายจะอยู่ -3.5 เมตร จากผิวดิน รวมระยะการขุดลึก 5 เมตร ตามตารางที่

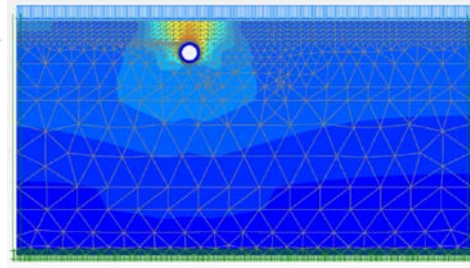
Phase	ID	Initial Elevation	Final Elevation	ΔH (m)	Calculation type
0	Initial phase				K0 procedure
1	Install load				Plastic
2	Reset displacement				Plastic
3	Construction wall				Plastic
4	Excavation	1.5	0.5	1.0	Plastic
5	Excavation	0.5	-0.5	1.0	Plastic
6	Excavation	-0.5	-1.5	1.0	Plastic
7	Excavation	-1.5	-2.5	1.0	Plastic
8	Excavation	-2.5	-3.5	1.0	Plastic

ตารางที่3.11 Construction sequence

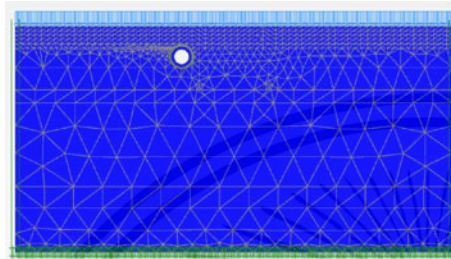
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



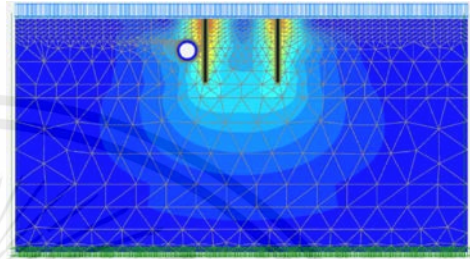
รูปที่3.19 : Phase 0 Initial phase



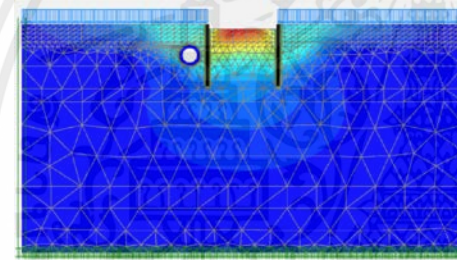
รูปที่3.20 : Phase 1 Install load 15 kN/m²



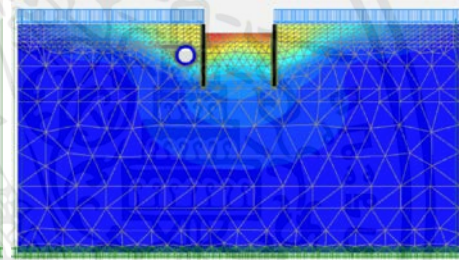
รูปที่3.21 : Phase 2 Reset displacement



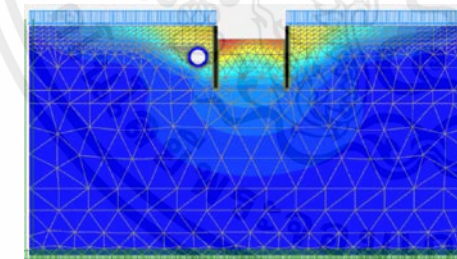
รูปที่3.22 : Phase 3 Construction retaining wall



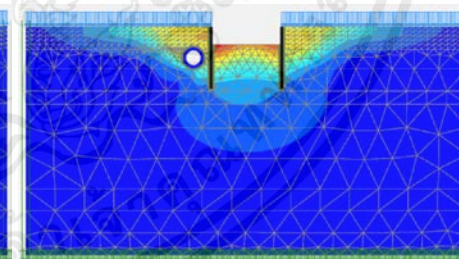
รูปที่3.23 : Phase 4 Excavate to 0.5m (1m)



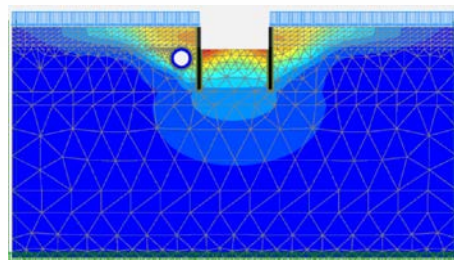
รูปที่3.24 : Phase 5 Excavate to -0.5m (2m)



รูปที่3.25 : Phase 6 Excavate to -1.5m (3m)



รูปที่3.26 : Phase 7 Excavate to -2.5m (4m)



รูปที่3.27 : Phase 8 Excavate to -3.5m (5m)

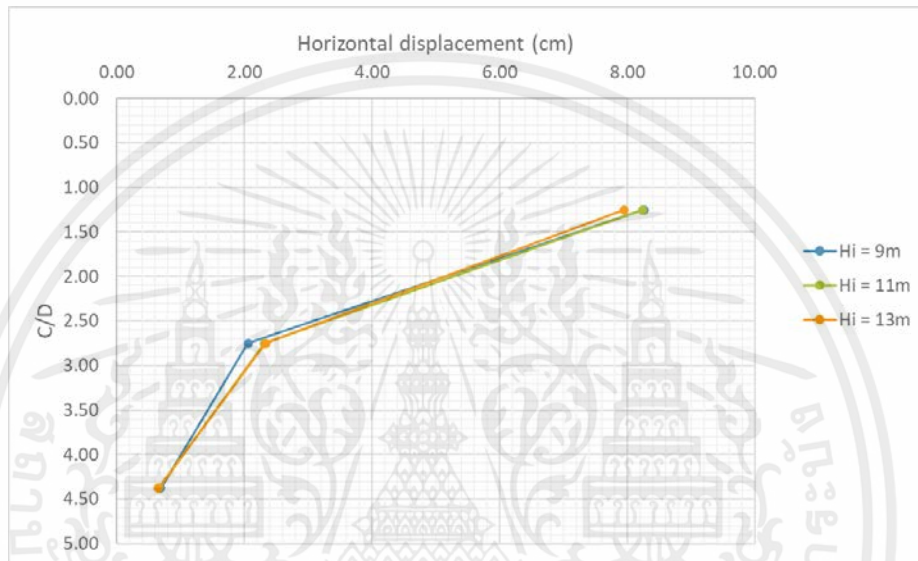
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

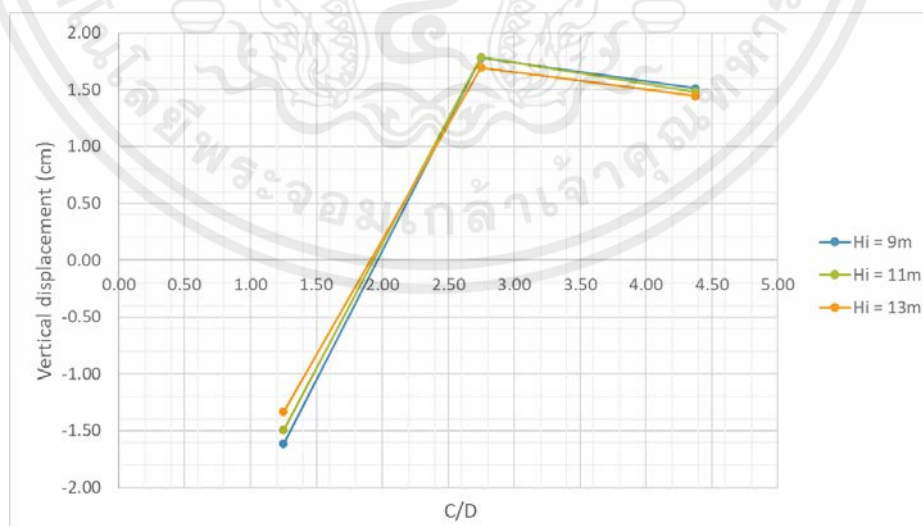
ผลการศึกษา

4.1 ผลกระทบเนื่องจากอัตราส่วนระหว่างระยะฝังอุโมงค์กับขนาดอุโมงค์ (Cover depth ratio, C/D)

4.1.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่ออุโมงค์



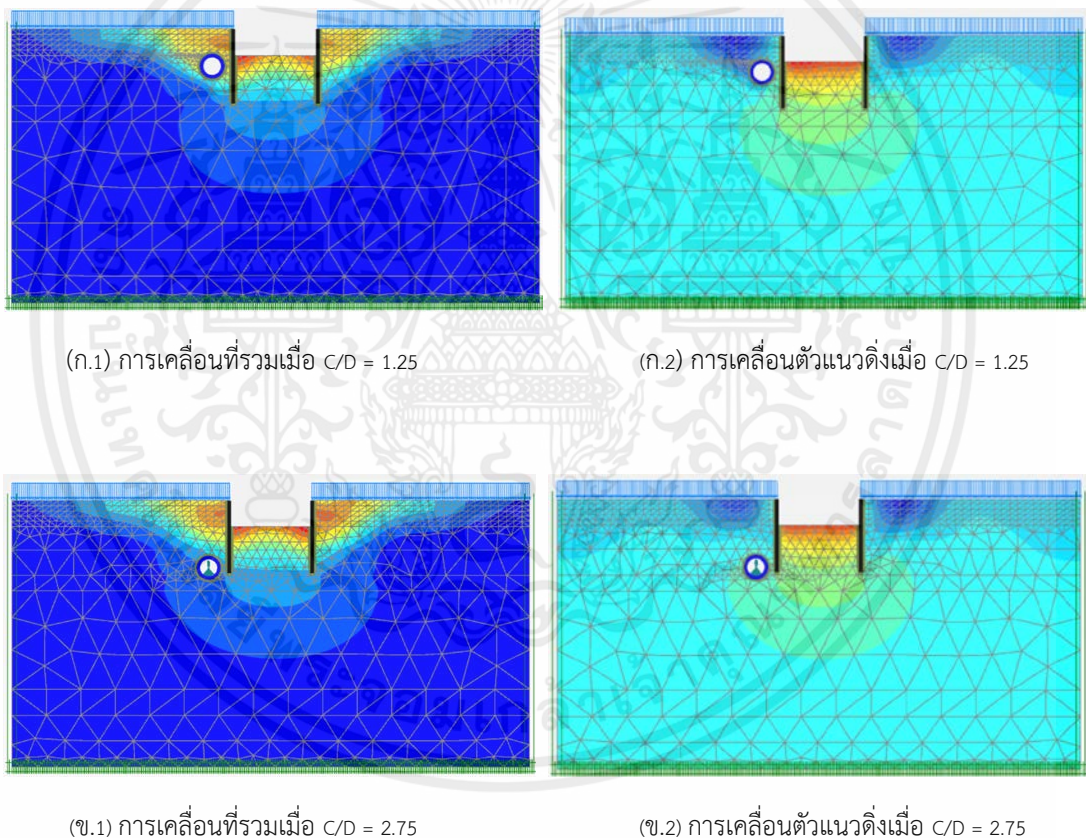
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวแนวนอนของอุโมงค์เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างระยะฝังอุโมงค์กับขนาดอุโมงค์ (C/D)



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวแนวตั้งของอุโมงค์เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างระยะฝังอุโมงค์กับขนาดอุโมงค์ (C/D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

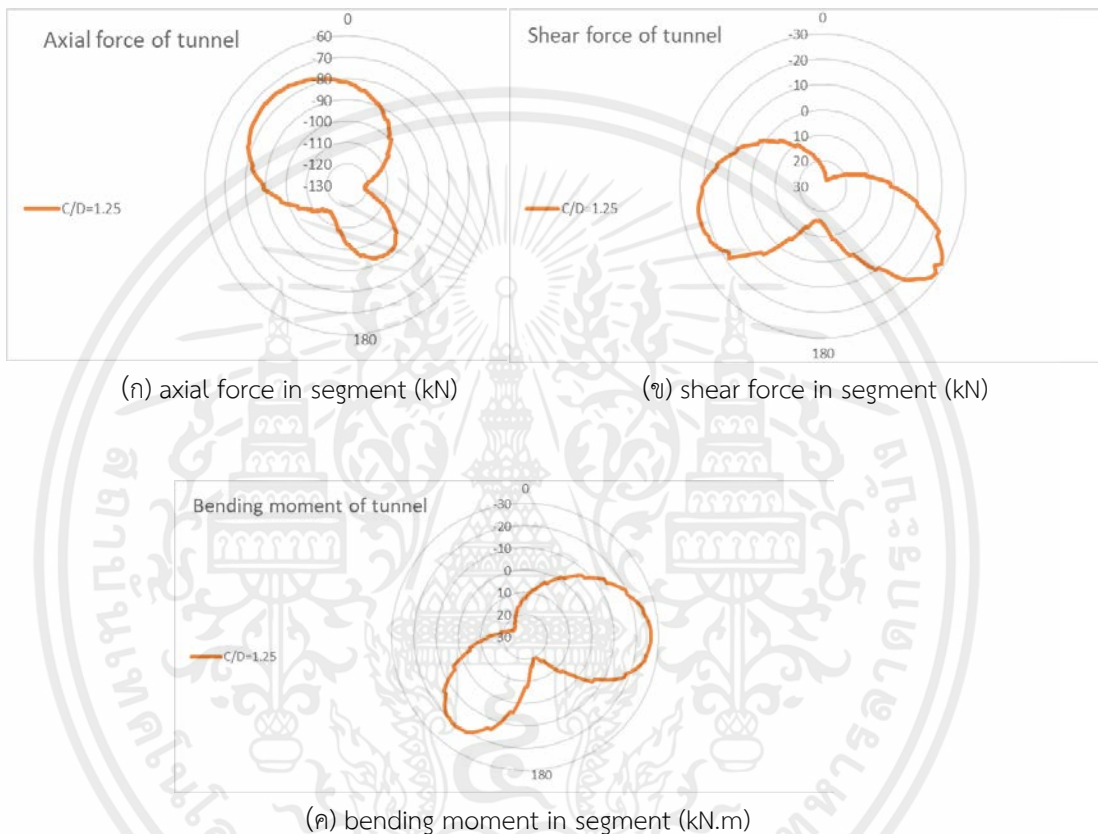
จากรูป 4.1 และ 4.2 แสดงให้เห็นว่าอุโมงค์จะเกิดการเคลื่อนตัวมากที่สุดเมื่ออุโมงค์อยู่ตื้นที่สุด ($C/D = 1.25$) ซึ่งวัดจากกึ่งกลางอุโมงค์ในตำแหน่งเริ่มต้น เนื่องจากดินบริเวณด้านข้างการขุดพยายามเคลื่อนตัวเข้าหาพื้นที่ที่ขุดดินออก ทำให้อุโมงค์เคลื่อนที่เข้าหาการขุดและทรุดตัวลงเนื่องจากระดับผนังบนของอุโมงค์ (crown) อยู่ที่ระดับการขุดพอดี แต่เมื่ออุโมงค์ลึกขึ้นที่ $C/D = 2.75$ การเคลื่อนตัวในแนวนอนและแนวตั้งจะแตกต่างกันไป คือการเคลื่อนตัวในแนวนอนจะลดลงในขณะที่การเคลื่อนตัวแนวตั้งกลับเพิ่มขึ้นในลักษณะการheave พฤติกรรมนี้เกิดขึ้นเนื่องจากตำแหน่งของอุโมงค์อยู่ต่ำกว่าความลึกการขุดที่ปลายกำแพงและยังได้รับผลกระทบจากพื้นที่การขุดอยู่ ซึ่งกำแพงกันดินสั้นเกินไปที่จะป้องกันผลกระทบจากการขุด ทำให้อุโมงค์ที่อยู่ตำแหน่งนี้ได้รับผลกระทบหรือการเคลื่อนตัวในแนวตั้งเพิ่มขึ้นตามรูปที่ 4.3 นอกจากนี้เมื่ออุโมงค์อยู่ลึกลงไปอีกการเคลื่อนตัวอยู่อุโมงค์ทั้งสองแนวจะน้อยลงเรื่อยๆเนื่องจากไม่ได้รับผลกระทบพื้นที่การขุดแล้ว



รูปที่ 4.3 แสดงพื้นที่การเสียรูปจากการขุด

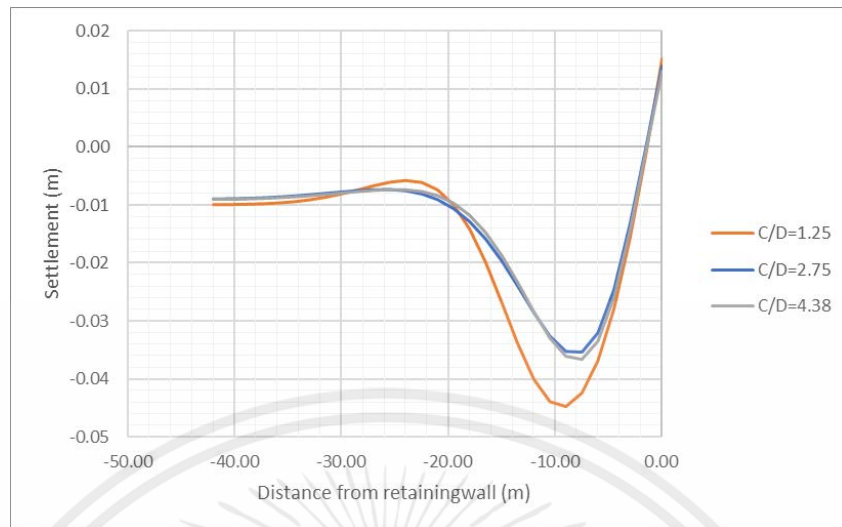
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังทำการพิจารณาคุณสมบัติแรงภายในของอุโมงค์เนื่องจากผลของอัตราส่วนของระยะฝั่งของอุโมงค์กับเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ จากรูปที่4.4เมื่อเปรียบเทียบกับโครงการอุโมงค์ระบายน้ำใต้คลองบางน้ำจืดกับงานวิจัยที่ทำการศึกษพบว่าความหนาของsegmentกับจำนวนเหล็กมีความใกล้เคียงกัน แต่ผลของaxial force, shear force, bending moment ของงานวิจัยที่ทำการศึกษาให้ค่าที่ต่ำกว่างานอ้างอิงมาก จึงสามารถบอกได้ว่างานวิจัยที่ทำการศึกษาอุโมงค์มีความปลอดภัย



รูปที่4.4 คุณสมบัติภายในชิ้นส่วนของอุโมงค์เนื่องจากผลของอัตราส่วนระยะฝั่งกับเส้นผ่านศูนย์กลางอุโมงค์

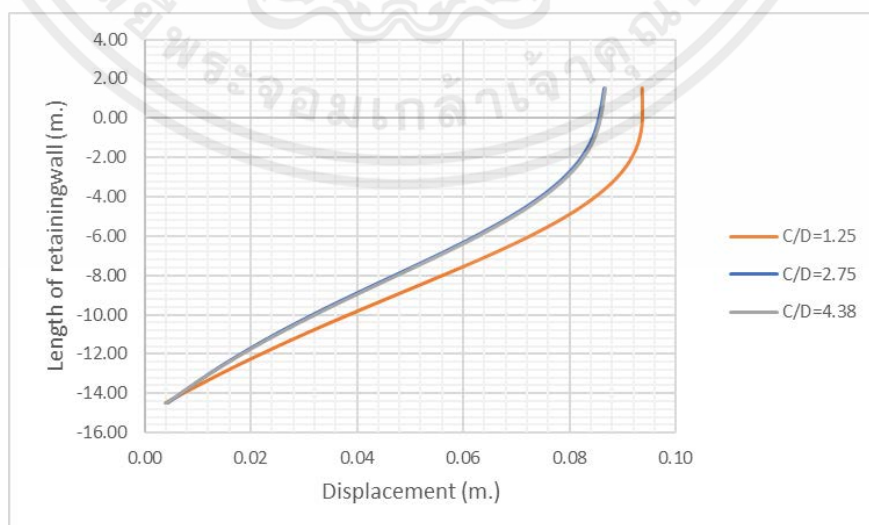
4.1.2 การทรุดตัวของผิวดิน



รูปที่ 4.5 แสดงการทรุดตัวของผิวดินเนื่องจากอัตราส่วนระหว่างระยะฝั่งอุโมงค์กับขนาดอุโมงค์ (C/D)

จากรูปที่ 4.5 จะสังเกตได้ว่า อุโมงค์ที่อยู่ตื้นที่สุด(C/D=1.25) จะมีค่าการทรุดตัวของผิวดินที่สูงที่สุด ส่วนค่าการทรุดตัวของผิวดินสูงสุดรองลงมาคืออุโมงค์ที่อยู่ลึกที่สุด(C/D=4.38) และค่าการทรุดตัวที่ผิวดินน้อยที่สุดเกิดกับอุโมงค์ที่อยู่ตรงกลาง(C/D=2.75) ซึ่งแนวโน้มที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดจากระยะฝั่งของอุโมงค์เท่านั้น ยังต้องพิจารณาอิทธิพลเนื่องจากการฝั่งปลายกำแพงกันดินที่จะส่งผลต่อการทรุดตัวเนื่องจากว่ายังอุโมงค์อยู่ใกล้ปลายกำแพงกันดินจะยิ่งเกิดการทรุดตัวมาก แต่ในกรณีนี้ยังต้องพิจารณาระดับน้ำใต้ดินเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ -13.00 เมตร จะทำให้มีเพียงอุโมงค์ที่อยู่ลึกที่สุดอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินเท่านั้น

4.1.3 การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน



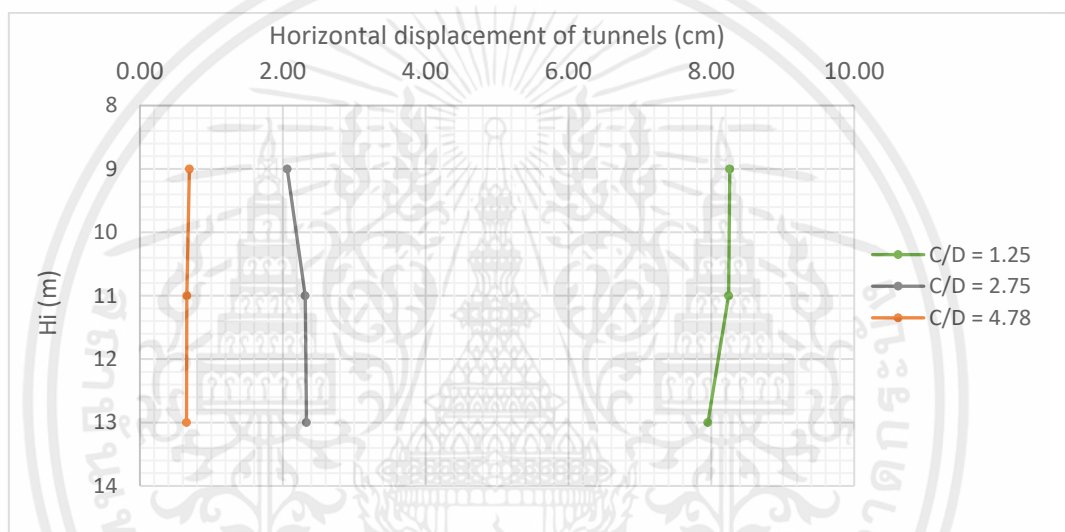
รูปที่ 4.6 แสดงการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเนื่องจากอัตราส่วนระหว่างระยะฝั่งอุโมงค์กับขนาดอุโมงค์ (C/D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

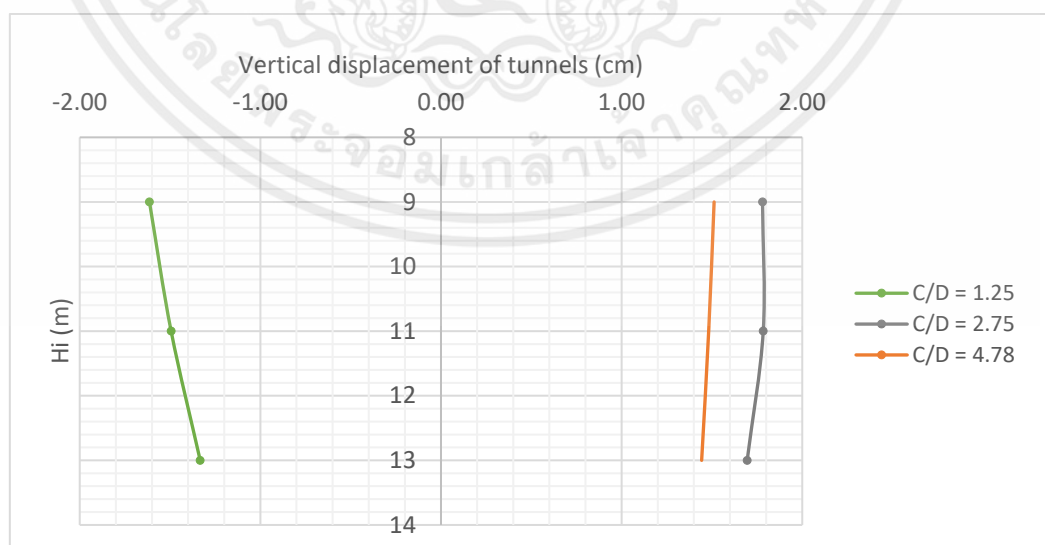
จากรูปที่ 4.6 จะสังเกตได้ว่า อุโมงค์ที่อยู่ตื้นที่สุด($C/D=1.25$) จะมีค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินที่สูงที่สุด ส่วนค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินสูงสุดรองลงมาคืออุโมงค์ที่อยู่ลึกที่สุด ($C/D=4.38$) และค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินน้อยที่สุดเกิดกับอุโมงค์ที่อยู่ตรงกลาง($C/D=2.75$) ซึ่งแนวโน้มที่เกิดขึ้นมีแนวแนวโน้มเดียวกับการทรุดตัวของผิวดิน ซึ่งปัจจัยในการพิจารณาผลก็พิจารณาเช่นเดียวกับการทรุดตัวของผิวดินเนื่องจากอัตราส่วนระหว่างระยะฝังอุโมงค์กับขนาดอุโมงค์ (C/D)

4.2 ผลกระทบเนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดิน (Embedded depth, H_i)

4.2.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่ออุโมงค์



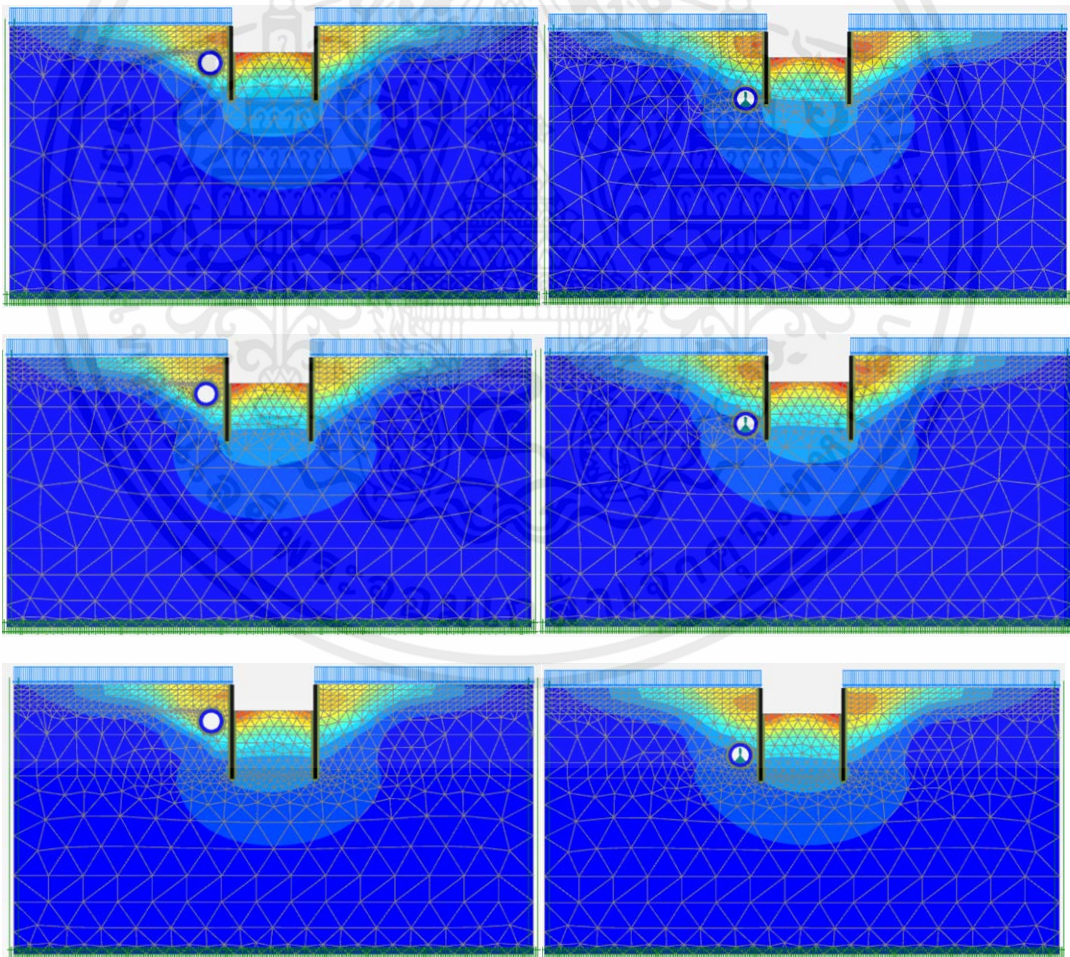
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวแนวนอนของอุโมงค์เนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดิน (H_i)



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวแนวตั้งของอุโมงค์เนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดิน (H_i)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

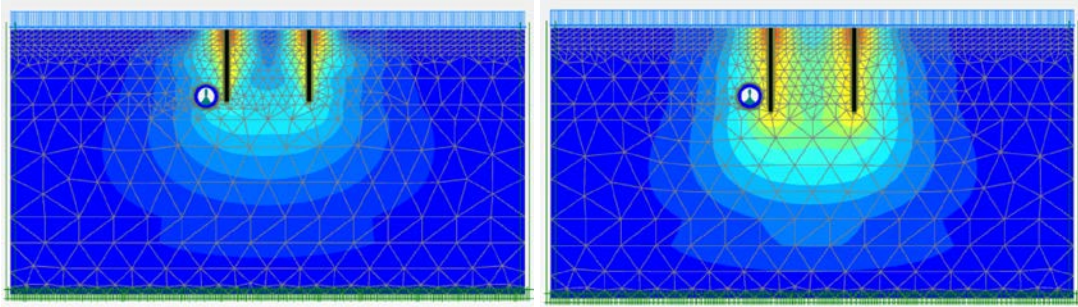
ผลของการเพิ่มระยะฝังกำแพงกันดินเมื่ออุโมงค์อยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ จะแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระยะฝังกำแพงกันดินนั้นมีผลต่อการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ที่ระยะฝังอุโมงค์ต่างๆไม่เหมือนกัน จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 จะเห็นว่า เมื่อ $C/D = 1.25$ การเพิ่มระยะฝังกำแพงกันดินจะทำให้การเคลื่อนตัวของอุโมงค์ลดลงทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง แต่ที่ $C/D = 2.75$ คืออุโมงค์อยู่ในตำแหน่งใกล้ปลายกำแพง การเพิ่มระยะฝังกำแพงกันดินกลับทำให้การเคลื่อนตัวของอุโมงค์ในแนวนอนเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากตัวกำแพงกันดินเองที่มีผลต่อการเคลื่อนตัวในแนวนอนของอุโมงค์ในขั้นตอนการติดตั้งกำแพงรูปที่ 4.10 แต่การเคลื่อนตัวของอุโมงค์ในแนวตั้งลดลงเนื่องจากกำแพงช่วยลดผลกระทบจากการขุดด้านข้างนั่นเอง (รูปที่ 4.11) เมื่อ $C/D = 4.38$ การเพิ่มขึ้นของระยะฝังกำแพงกันดินจะช่วยลดการเคลื่อนตัวของอุโมงค์จากการขุดด้านข้างทั้งแนวตั้งและแนวนอนเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากอุโมงค์อยู่ในตำแหน่งที่ลึกทำให้การเพิ่มขึ้นของกำแพงกันดินไม่ส่งผลทำให้อุโมงค์เคลื่อนตัวมากนักในขั้นตอนการติดตั้งกำแพงกันดินแต่ช่วยลดผลกระทบจากการขุดด้านข้างได้ นอกจากนี้การเพิ่มระยะฝังกำแพงยังช่วยลดการเสียรูปอุโมงค์ด้วย (รูปที่ 4.12) มีอิทธิพลของดินเกี่ยวข้องด้วย



(ก) ระยะฝังกำแพงกันดินที่เพิ่มขึ้นเมื่อ $C/D = 1.25$ (ข) ระยะฝังกำแพงกันดินที่เพิ่มขึ้นเมื่อ $C/D = 2.75$

รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวรวม

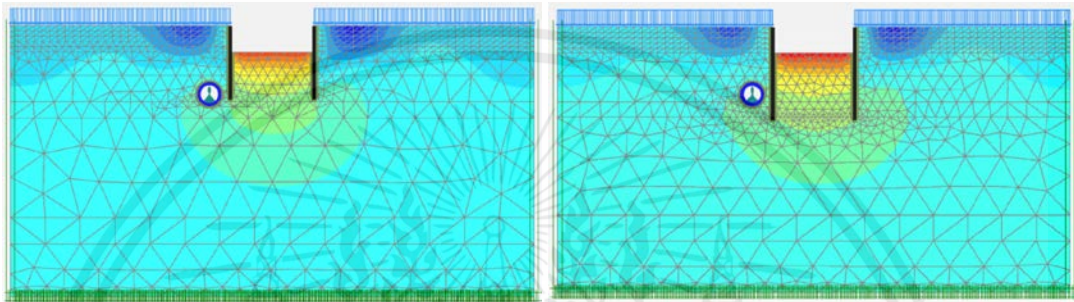
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ระยะฝังกำแพงกันดิน (Hi) = 9m

(ข) ระยะฝังกำแพงกันดิน (Hi) = 13m

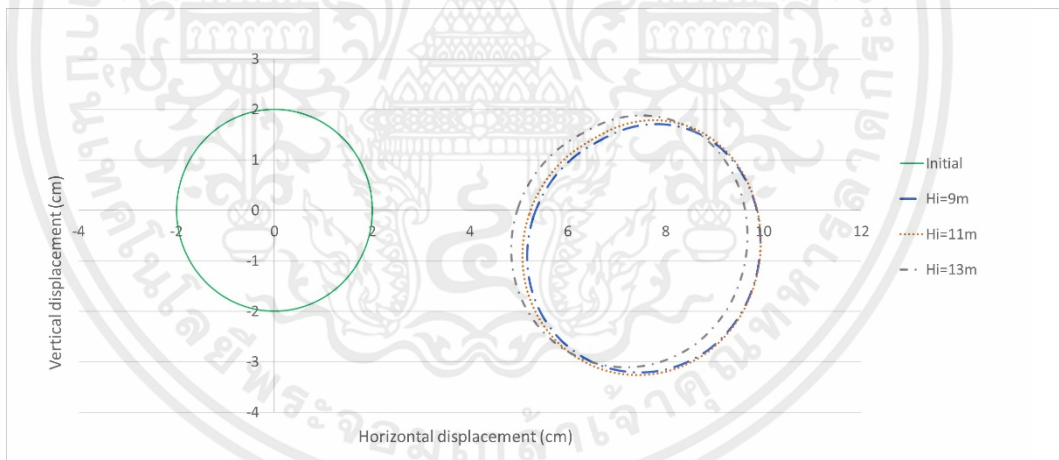
รูปที่ 4.10 ผลกระทบจากชั้นตอนติดตั้งกำแพงกันดินที่ C/D = 2.75



(ก) ระยะฝังกำแพงกันดิน (Hi) = 9m

(ข) ระยะฝังกำแพงกันดิน (Hi) = 13m

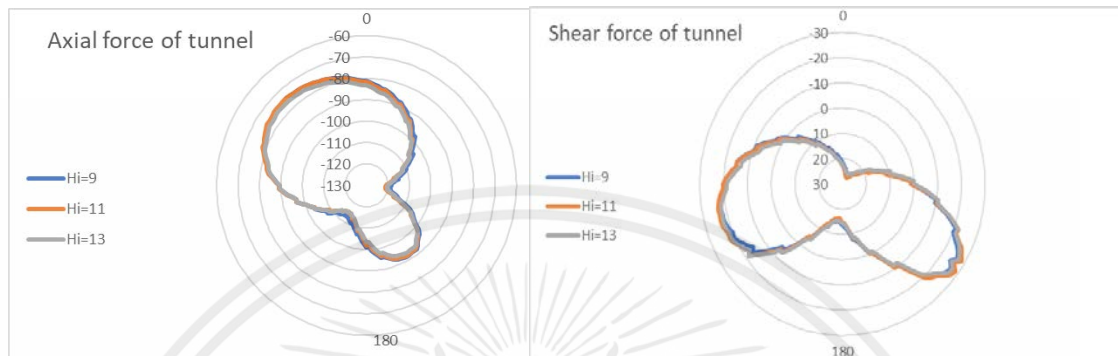
รูปที่ 4.11 ผลกระทบการเคลื่อนตัวแนวตั้งที่ C/D = 2.75



รูปที่ 4.12 การเสียรูปของอุโมงค์เนื่องจากระยะฝังของกำแพงกันดิน

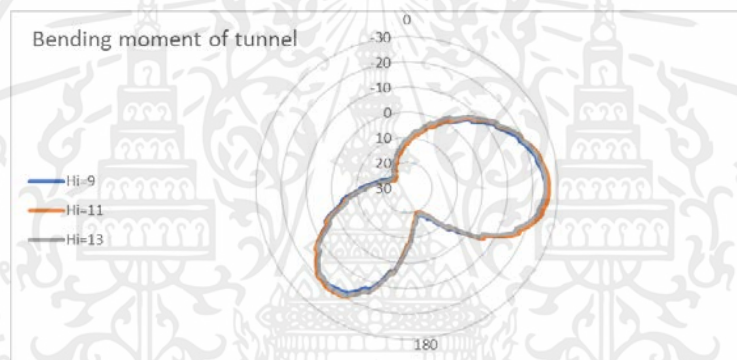
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบกับโครงการอุโมงค์ระบายน้ำใต้คลองบางน้ำจืดกับงานวิจัยที่ทำการศึกษพบว่าความหนาของsegmentกับจำนวนเหล็กมีความใกล้เคียงกัน แต่ผลของaxial force, shear force, bending moment ของงานวิจัยที่ทำการศึกษาให้ค่าที่ต่ำกว่างานอ้างอิงมาก จึงสามารถบอกได้ว่างานวิจัยที่ทำการศึกษาอุโมงค์มีความปลอดภัย



(ก) axial force in segment (kN)

(ข) shear force in segment (kN)

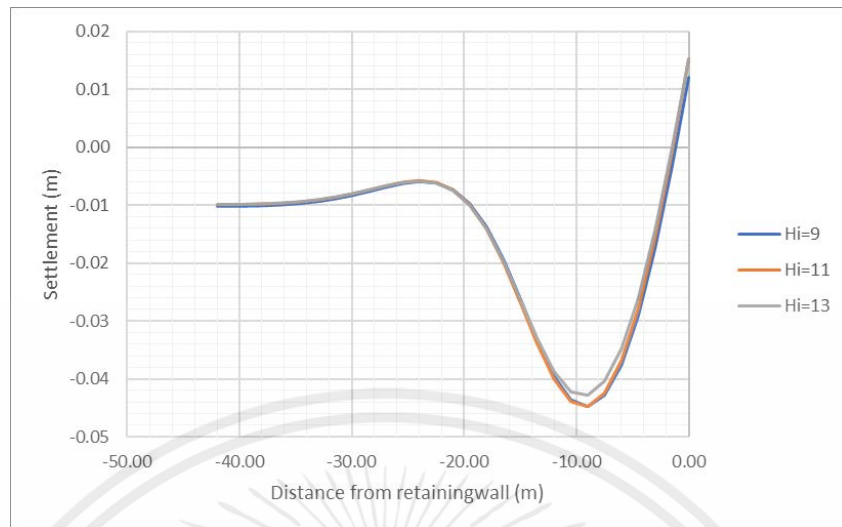


(ค) bending moment in segment (kN.m)

รูปที่ 4.13 คุณสมบัติภายในชิ้นส่วนของอุโมงค์เนื่องจากผลของระยะฝังของกำแพงกันดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

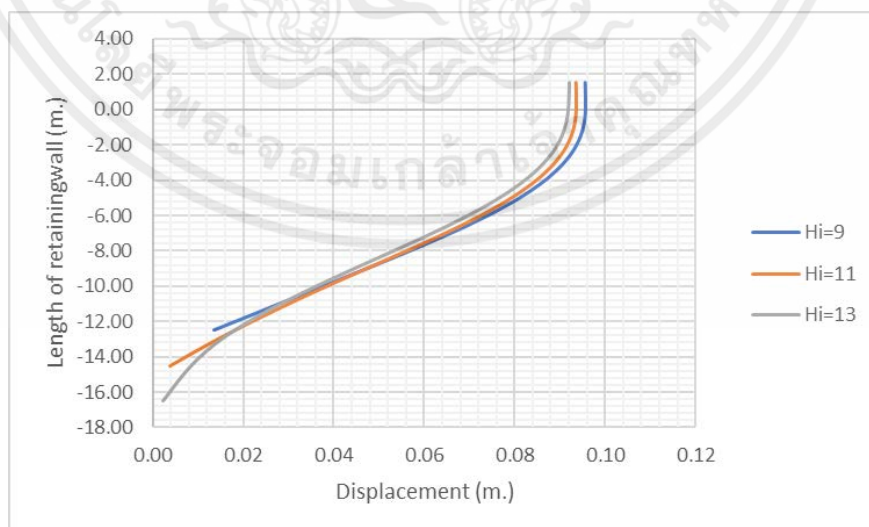
4.2.2 การทรุดตัวของผิวดิน



รูปที่ 4.14 แสดงการทรุดตัวของผิวดินเนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดิน (H_i)

จากรูปที่ 4.14 จะสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มระยะฝังของกำแพงกันดินมากขึ้น ค่าการทรุดตัวของผิวดินสูงสุดจะลดลง นั่นหมายความว่า การเพิ่มระยะฝังของกำแพงกันดินจะช่วยลดการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ และยังช่วยลดการทรุดตัวของผิวดินอีกด้วย เนื่องจากการพิจารณาการเคลื่อนตัวของอุโมงค์มีผลว่า อุโมงค์ที่อยู่ต้นที่สุดจะเกิดการเคลื่อนตัวมากที่สุดเมื่อเทียบกับอุโมงค์ในตำแหน่งตรงกลางและลึกที่สุด จึงทำให้การพิจารณาการทรุดตัวของผิวดินเนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดิน (H_i) จึงเลือกพิจารณาที่ ตำแหน่งอุโมงค์ตื้นที่สุด

4.2.3 การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน



รูปที่ 4.15 แสดงการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเนื่องจากระยะฝังกำแพงกันดิน (H_i)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

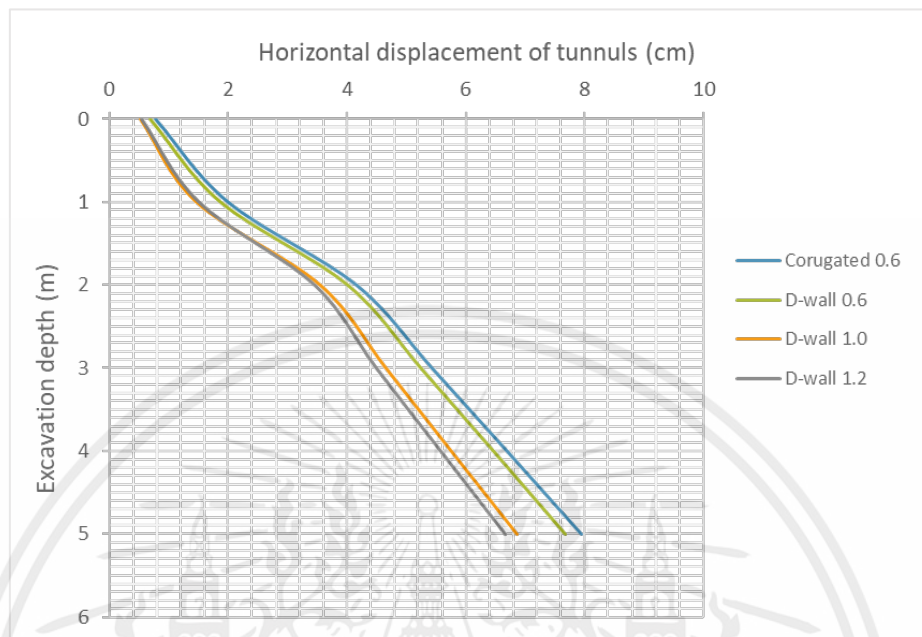
จากรูปที่ 4.15 จะสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มระยะฝั่งของกำแพงกันดินมากขึ้น(Hi) แนวนอนของค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินมีแนวโน้มลดลง นั่นหมายความว่า การเพิ่มระยะฝั่งของกำแพงกันดินจะช่วยลดการเคลื่อนตัวของอุโมงค์แล้วยังช่วยลดการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินอีกด้วย เนื่องจากการพิจารณาการเคลื่อนตัวของอุโมงค์มีผลว่าอุโมงค์ที่อยู่ตื้นที่สุดจะเกิดการเคลื่อนตัวมากที่สุด จึงทำให้การพิจารณาการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเนื่องจากระยะฝั่งกำแพงกันดิน (Hi)จึงเลือกพิจารณาที่ตำแหน่งอุโมงค์ต่ำที่สุดเช่นเดียวกับการพิจารณาการทรุดตัวของผิวดิน



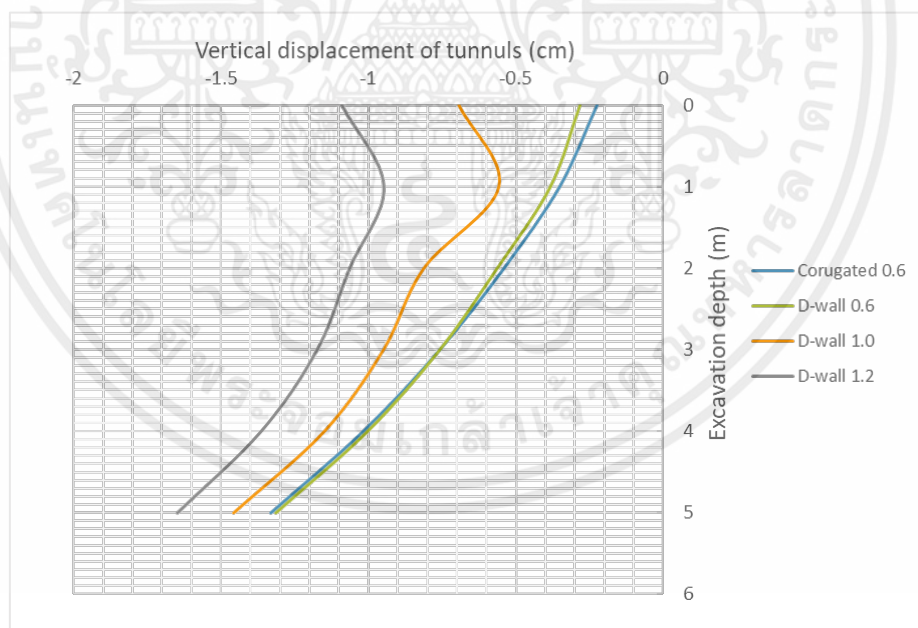
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลกระทบเนื่องจากสติฟเนสของกำแพงกันดิน (Stiffness of retaining wall, k)

4.3.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่ออุโมงค์



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวแนวนอนของอุโมงค์แนวนอนเนื่องจากสติฟเนสของกำแพงกันดิน (k)

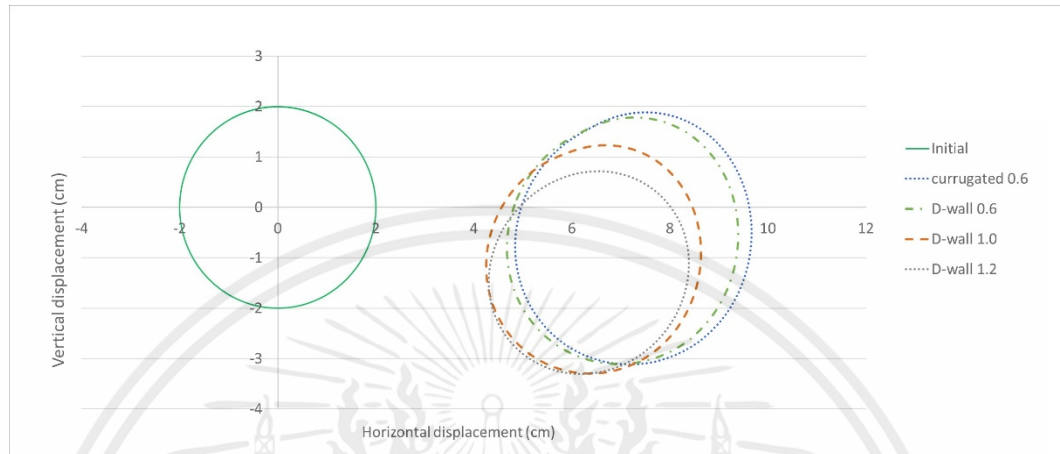


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวแนวนอนของอุโมงค์แนวตั้งเนื่องจากสติฟเนสของกำแพงกันดิน (k)

จากกราฟแสดงการเคลื่อนตัวของอุโมงค์แต่ละความลึกการขุดเนื่องจากสติฟเนสของกำแพงกันดิน (k) ที่ตำแหน่งอุโมงค์ $C/D = 1.25$ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อุโมงค์เคลื่อนตัวสูงสุด และระยะฝังของกำแพงกันดินเท่ากับ 13 เมตร (กำแพงกันดินยาว 18 เมตร) จะเห็นว่าการเคลื่อนตัวของอุโมงค์แนวนอน

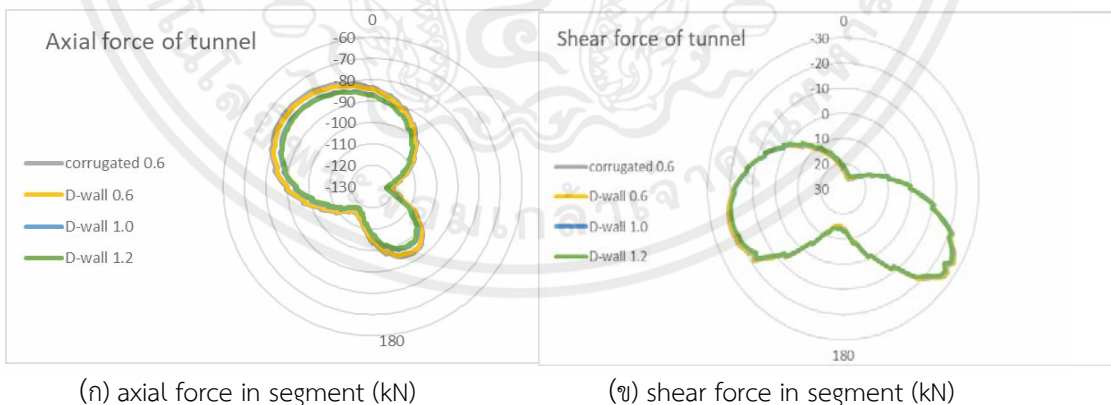
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงเมื่อค่าสติฟเนสของกำแพงกันดินเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.16) และเนื่องจากค่าสติฟเนสที่เพิ่มขึ้นก็ส่งผลทำให้การเคลื่อนตัวของอุโมงค์ในแนวตั้งเพิ่มขึ้นจากที่กำแพงกันดินแข็งและหนักขึ้น (รูปที่ 4.17) ทำให้อุโมงค์เคลื่อนลงแนวตั้งแทนที่จะเคลื่อนไปด้านข้าง นอกจากนี้แล้วการเพิ่มค่าสติฟเนสของกำแพงกันดินยังมีผลทำให้การเสียรูปของอุโมงค์ลดลงด้วย (รูปที่ 4.18)



รูปที่ 4.18 การเสียรูปของอุโมงค์เนื่องจากสติฟเนสของกำแพงกันดิน

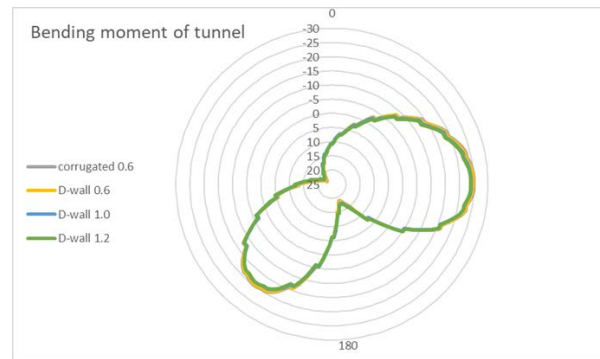
นอกจากนี้ยังทำการพิจารณาคุณสมบัติแรงภายในของอุโมงค์เนื่องจากผลของสติฟเนสของกำแพงกันดิน จากรูปที่ 4.19 เมื่อเปรียบเทียบกับโครงการอุโมงค์ระบายน้ำใต้คลองบางน้ำจืดกับงานวิจัยที่ทำการศึกษพบว่าความหนาของsegmentกับจำนวนเหล็กมีความใกล้เคียงกัน แต่ผลของ axial force, shear force, bending moment ของงานวิจัยที่ทำการศึกษาให้ค่าที่ต่ำกว่างานอ้างอิงมาก จึงสามารถบอกได้ว่างานวิจัยที่ทำการศึกษาอุโมงค์มีความปลอดภัย



(ก) axial force in segment (kN)

(ข) shear force in segment (kN)

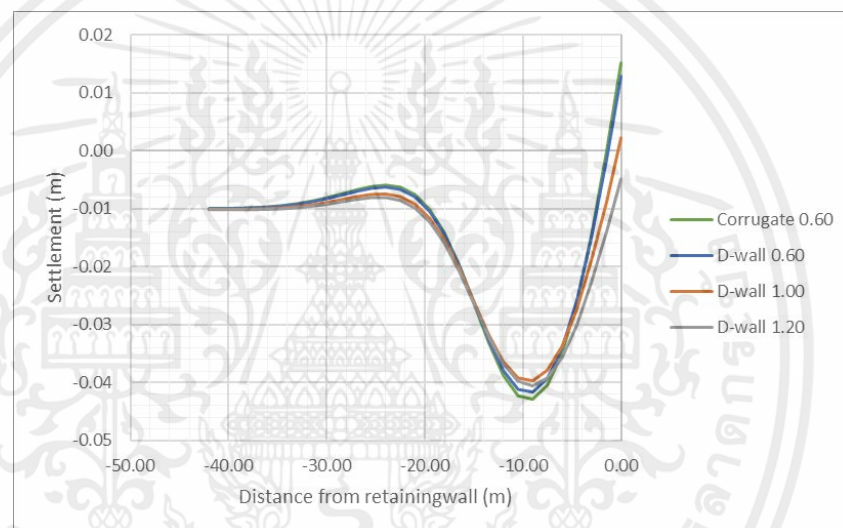
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) bending moment in segment (kN.m)

รูปที่ 4.19 คุณสมบัติภายในชั้นส่วนของอุโมงค์เนื่องจากผลของสตีเฟนของกำแพงกันดิน

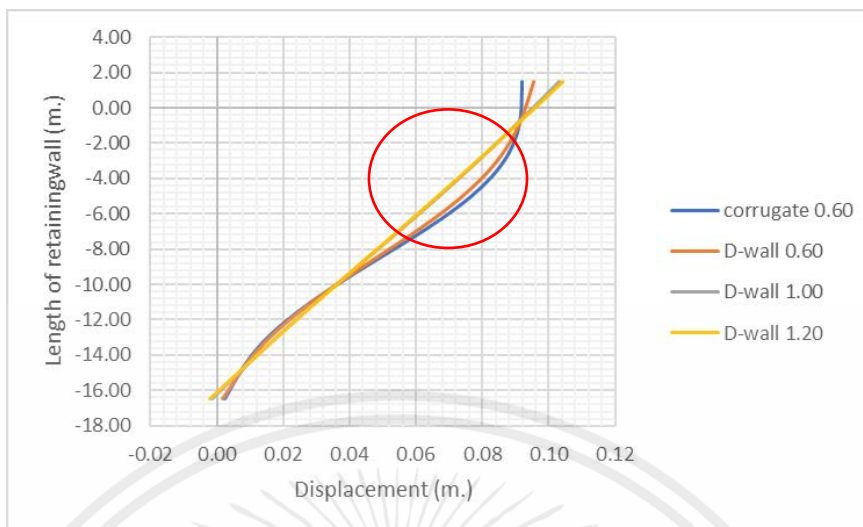
4.3.2 การทรุดตัวของผิวดิน



รูปที่ 4.20 แสดงการทรุดตัวของผิวดินเนื่องจากสตีเฟนของกำแพงกันดิน (k)

จากรูปที่ 4.20 เมื่อพิจารณากำแพงกันดินที่มีความหนาเท่ากันที่ความหนา 0.60 เมตร คือชนิด Corrugate กับ D-wall ผลควรจะทำให้ค่าการทรุดตัวของผิวดินที่เท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาคุณสมบัติกำแพงกันดินด้วยจะพบว่า กำแพงกันดินชนิด D-wall ความหนา 0.60 เมตรจะมีค่า moment of inertia (I) และพื้นที่หน้าตัด (A) ที่สูงกว่ากำแพงกันดินชนิด corrugate จึงทำให้การทรุดตัวของผิวดินจากการใช้กำแพงกันดินชนิด corrugate มีค่าที่มากกว่า ส่วนการพิจารณาความหนา 1.00 เมตร และ 1.20 เมตร ให้แนวโน้มไปในทางเดียวกันคือเมื่อกำแพงหนาขึ้นค่าการทรุดตัวของผิวดินก็จะลดลง มีเพียงที่ความหนา 1.20 เมตรที่ให้ค่าการทรุดตัวที่สูงกว่า 1.00 เมตร อาจเป็นเพราะน้ำหนักตัวกำแพงกันดินความหนา 1.20 เมตรมีค่ามากอาจทำให้เกิดการทรุดตัวของดินมากตามไปด้วย

4.3.3 การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน

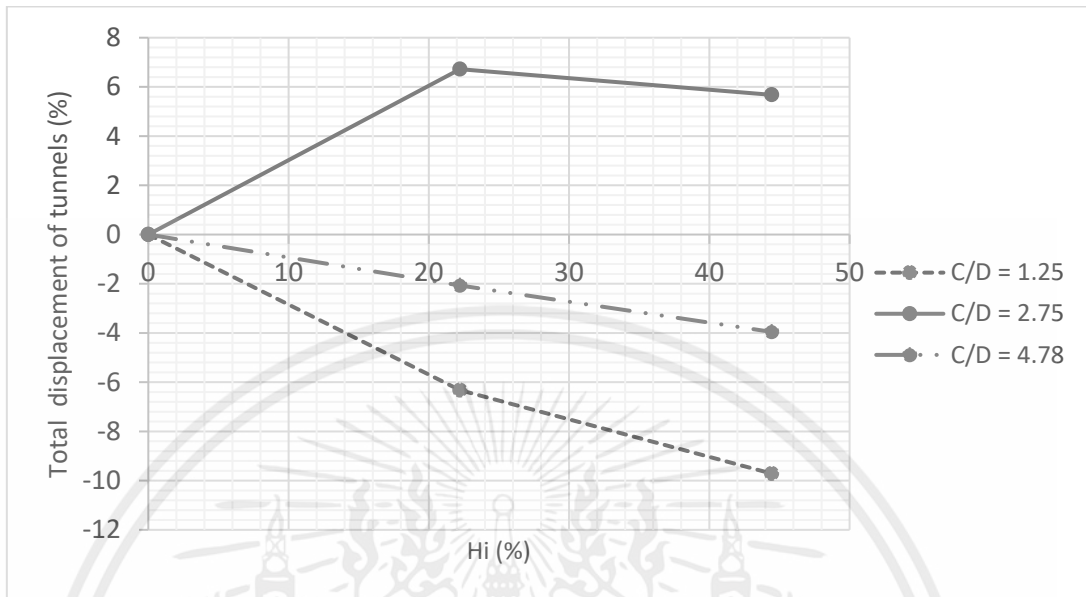


รูปที่ 4.21 แสดงการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเนื่องจากสติฟเนสของกำแพงกันดิน (k)

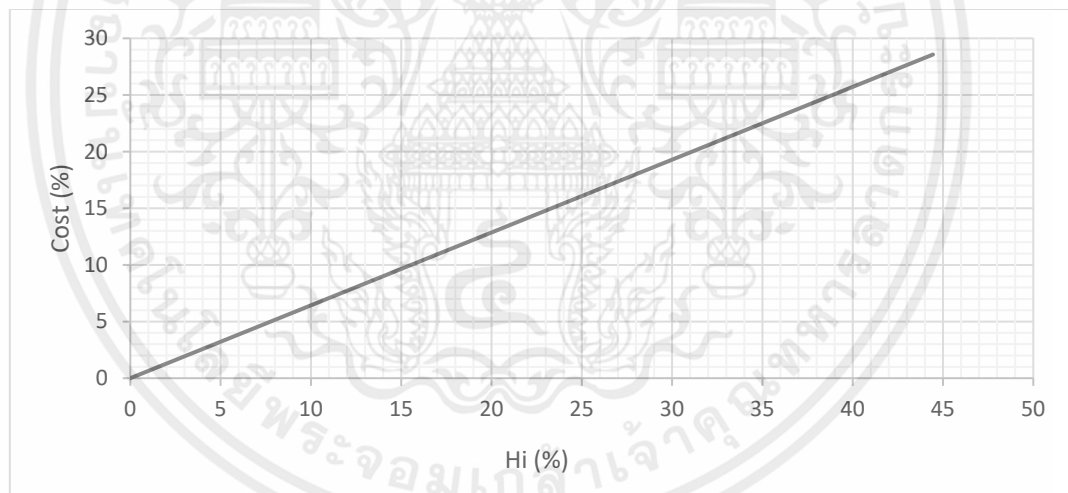
จากรูปที่ 4.21 เมื่อพิจารณากำแพงกันดินที่มีความหนาเท่ากันที่ความหนา 0.60 เมตร คือชนิด Corrugate กับ D-wall ผลควรจะให้ค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินที่เท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาคุณสมบัติกำแพงกันดินด้วยจะพบว่า กำแพงกันดินชนิด D-wall ความหนา 0.60 เมตรจะมีค่า moment of inertia (I) และพื้นที่หน้าตัด (A) ที่สูงกว่ากำแพงกันดินชนิด corrugate จึงทำให้การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินจากการใช้กำแพงกันดินชนิด corrugate มีค่าที่มากกว่าแต่ค่าทั้งสองต่างกันเพียงเล็กน้อยซึ่งค่าที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยนี้อาจไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนกำแพงกันดินเพื่อลดการเคลื่อนตัวเนื่องจากต้องใช้งบประมาณเพิ่ม ส่วนการพิจารณาความหนา 1.00 เมตร และ 1.20 เมตร ให้แนวโน้มไปในทางเดียวกันคือเมื่อกำแพงหนาขึ้นค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินก็จะลดลงในช่วงหลังจากความยาว 2 เมตรแรกของกำแพงกันดินและเนื่องจากกำแพงมีความหนามาก(แข็งมาก)จึงทำให้กำแพงเกิดการเอนออกซึ่งไม่เหมือนกำแพงหนา 0.60 เมตรที่มีความยืดหยุ่นกว่าจึงทำให้กำแพงกันดินมีการเคลื่อนตัวที่แตกต่างกัน ถ้าพิจารณารวมกำแพงกันดินทุกชนิดทุกความหนาก็จะสามารถอธิบายได้ว่า ยิ่งกำแพงกันดินหนามากขึ้น การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินก็จะลดลง แต่มีผลการลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการเพิ่มความยาวกำแพงกันดิน

4.4 เปรียบเทียบความเหมาะสมด้านราคา

4.4.1 ราคาก่อสร้างจากการเพิ่มระยะฝังกำแพงกันดิน (Hi)



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงอัตราการเคลื่อนตัวของโมงค์เทียบกับอัตราระยะฝังกำแพงกันดิน



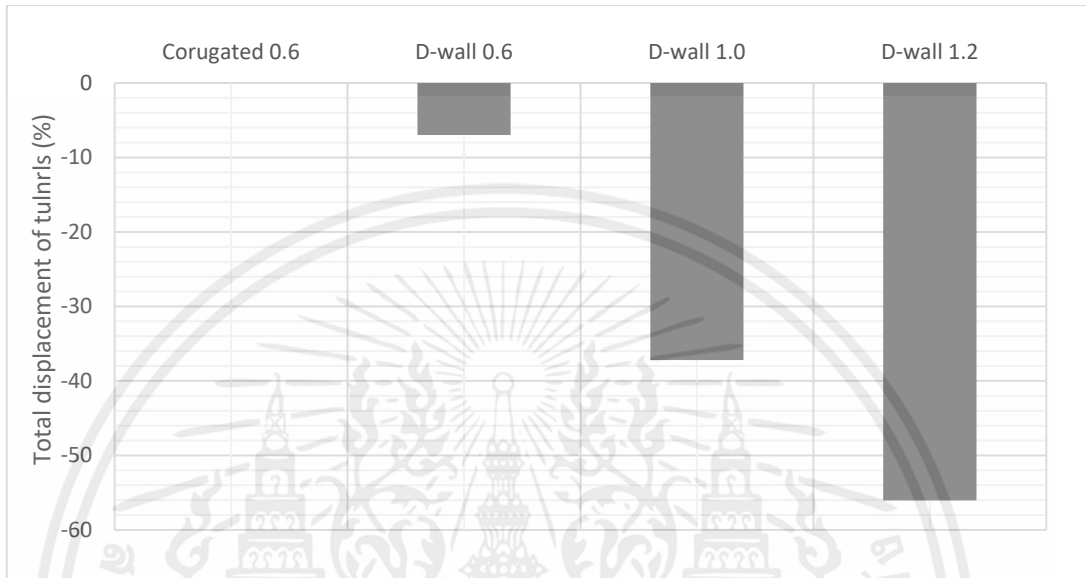
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงอัตราราคาก่อสร้างเทียบกับอัตราระยะฝังกำแพงกันดิน

จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 ที่ตำแหน่งอุโมงค์(C/D) เท่ากับ 1.25 การเพิ่มระยะฝังกำแพงกันดิน 22เปอร์เซ็นต์ และ 44 เปอร์เซ็นต์ จากระยะฝังเดิม(9 เมตร) ซึ่งทำให้ราคาก่อสร้างเพิ่มขึ้นประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ และ 29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ช่วยลดการเคลื่อนตัวของอุโมงค์จากเดิมถึง 6 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ตำแหน่งอุโมงค์(C/D) เท่ากับ 4.78 ช่วยลดการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ และ 4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นว่าการเพิ่มระยะฝังกำแพงกันดินมีจำเป็นอย่างมากที่จะต้องคำนึงถึงตำแหน่งของอุโมงค์ เนื่องจากการเพิ่มระยะฝังกำแพงกันดินนั้น ส่งผลให้ราคาการ

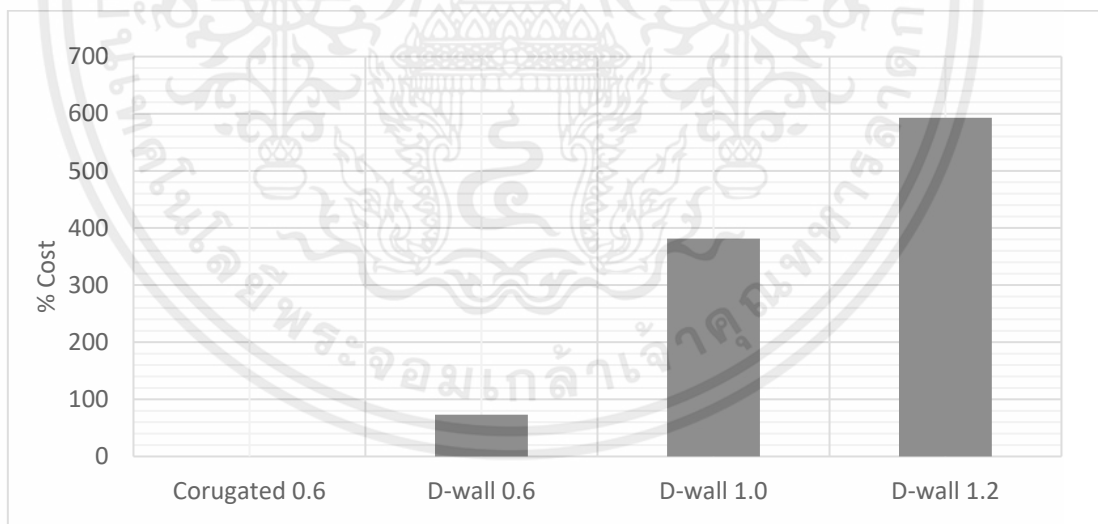
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อสร้างเพิ่มขึ้น แต่ที่ตำแหน่งอุโมงค์ใกล้บริเวณปลายกำแพง(C/D = 2.75) การเพิ่มขึ้นของระยะฝังกำแพงกันดินส่งผลให้การเคลื่อนตัวอุโมงค์เพิ่มขึ้นไม่ควรที่จะเพิ่มระยะฝังที่จะทำให้ราคาก่อสร้างเพิ่มขึ้น

4.4.2 ราคาก่อสร้างจากการเพิ่มค่าสติเฟนสกำแพงกันดิน (k)



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงอัตราการการเคลื่อนตัวของอุโมงค์เมื่อค่าสติเฟนสกำแพงกันดินเปลี่ยนไป



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงอัตราราคาก่อสร้างเมื่อค่าสติเฟนสกำแพงกันดินเปลี่ยนไป

จากรูปที่ 4.24 และ 4.25 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มค่าสติเฟนสของกำแพงกันดินช่วยลดการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ได้อย่างมาก ซึ่งช่วยลดการเคลื่อนตัวสูงถึง 56 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปลี่ยนกำแพงกันดินจาก corrugated 0.60 เป็น Diaphragm wall 1.20 แต่ในขณะเดียวกันก็ส่งผลให้ราคาก่อสร้างก็เพิ่มขึ้นถึง 593 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเทียบความคุ้มค่าของการเพิ่มความยาวของระยะฝั่งของกำแพงดิน(Hi) กับการเพิ่มค่าสตีฟเนส กำแพงกันดินแล้ว ที่การลดการเคลื่อนตัวในอัตราส่วนที่เท่ากัน พิจารณาที่การลดการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ที่ 8 เพอร์เซ็นต์ จะต้องเพิ่มระยะฝั่งของกำแพงกันดิน 30 เพอร์เซ็นต์ซึ่งต้องเพิ่มราคาค่าก่อสร้าง 19 เพอร์เซ็นต์ ส่วนกรณีการเพิ่มสตีฟเนสกำแพงกันดินจะต้องเพิ่มราคาค่าก่อสร้างถึง 78 เพอร์เซ็นต์ จากเดิมที่ใช้กำแพงกันดินชนิดcorrugate 0.60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาผลกระทบต่ออุโมงค์เนื่องจากการขุดดินข้างเคียง สรุปได้ดังนี้

เมื่อพิจารณาผลกระทบเนื่องจากอัตราส่วนระหว่างระยะฝังของอุโมงค์กับขนาดของอุโมงค์(C/D)

1. อุโมงค์เกิดการเคลื่อนตัวสูงสุดเมื่ออุโมงค์อยู่ตื้นที่สุด(C/D=1.25)
 2. การทรุดตัวของผิวดินเกิดการทรุดตัวสูงสุดเมื่ออุโมงค์อยู่ตื้นที่สุด(C/D=1.25) และทรุดตัวน้อยสุดเมื่ออุโมงค์อยู่ตรงกลาง(C/D=2.75) โดยต้องพิจารณาอิทธิพลเนื่องจากการฝังปลายกำแพงกันดินและระดับน้ำใต้ดินด้วย
 3. การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเกิดการเคลื่อนตัวสูงสุดเมื่ออุโมงค์อยู่ตื้นที่สุด(C/D=1.25) และเคลื่อนตัวน้อยสุดเมื่ออุโมงค์อยู่ตรงกลาง(C/D=2.75)
- โดยทั้งข้อ2และข้อ3 ต้องพิจารณาอิทธิพลเนื่องจากการฝังปลายกำแพงกันดินและระดับน้ำใต้ดินด้วย

เมื่อพิจารณาผลกระทบเนื่องจากระยะฝังของกำแพงกันดิน(Hi) กรณีตำแหน่งอุโมงค์เกิดการเคลื่อนตัวสูงสุด(C/D=1.25) ซึ่งต้องพิจารณาผลของความต่างของชั้นดินที่ปลายกำแพงกันดินฝังประกอบด้วย

1. การเพิ่มระยะฝังของกำแพงกันดินจะช่วยลดการเคลื่อนตัวของอุโมงค์
2. การทรุดตัวของผิวดินจะลดลงเมื่อระยะฝังของกำแพงกันดินเพิ่มขึ้น
3. การเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินจะลดลงเมื่อระยะฝังของกำแพงกันดินเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาผลกระทบเนื่องสตีเฟนเนสของกำแพงกันดิน(k) กรณีตำแหน่งอุโมงค์เกิดการเคลื่อนตัวสูงสุด(C/D=1.25)

1. การเพิ่มสตีเฟนเนสของกำแพงกันดินจะช่วยลดการเคลื่อนตัวของอุโมงค์
2. การทรุดตัวของผิวดินจะลดลงเมื่อสตีเฟนเนสของกำแพงกันดินเพิ่มขึ้น
3. เมื่อสตีเฟนเนสของกำแพงกันดินเพิ่มขึ้นการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินจะลดลงในช่วงตำแหน่งหนึ่ง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างระยะฝังกำแพงกันดิน(Hi)และสตีเฟนเนสของกำแพงกันดิน(k) สามารถบ่งบอกได้ว่าการเพิ่มสตีเฟนเนสของกำแพงกันดินจะช่วยลดการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ได้ดีกว่าการเพิ่มระยะฝังของกำแพงกันดินแต่เมื่อพิจารณาค่าก่อสร้างจะพบว่าที่การลดการเคลื่อนตัวของอุโมงค์ด้วยเปอร์เซ็นต์การลดที่เท่ากันการเพิ่มสตีเฟนเนสของกำแพงกันดินจะใช้งบประมาณสูงกว่าการเพิ่มระยะฝังของกำแพงกันดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

นริศรา สุมะมานนท์. (2020). **ทำไมน้ำท่วมกรุงเทพฯไม่เลิก.**

<https://urbancreature.co/bangkok-flood/>

บริษัท ซีพีโก้ จำกัด (มหาชน). **ประสบการณ์งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะและโครงสร้างใต้ดินในประเทศไทย.** <https://www.seafco.co.th/storage/download/innovation/2014/seafco-2014-01.pdf>

สถาบันเทคโนโลยีแคลิฟอร์เนีย. **ความสูงแต่ละพื้นที่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.**
http://www.hep.caltech.edu/~piti/bkk_height/

สำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร. **ระบบตรวจวัดระดับน้ำ.**
<https://weather.bangkok.go.th/water>

Cheng, X., Hong, T., Lu, Z., & Cheng, X. (2021). **Characterization of Underlying Twin Shield Tunnels Due to Foundation-Excavation Unloading in Soft Soils: An Experimental and Numerical Study.** *Applied Sciences*, 11(22), 10938.

Czopowska-Lewandowicz, M. (2018). **Concrete properties in diaphragm walls embedded in non-cohesive soils.** In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 174, p. 01007). EDP Sciences.

Duncan, J. M., & Buchignani, A. L. (1976). **An Engineering Manual for Settlement Studies: By JM Duncan and AL Buchignani.** Department of Civil Engineering, University of California.

Huang, X., Schweiger, H. F., & Huang, H. (2013). **Influence of deep excavations on nearby existing tunnels.** *Int. J. Geomech*, 13(2), 170-180.

JIS 5373 (2004). **precast-prestressed-concrete-products.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Liu, B., Shao, C., & Xu, W. (2022). Influenced Zone of Deep Excavation on Adjacent Tunnel Displacement and Control Effect of Ground Improvement in Soft Soil. *Applied Sciences*, 12(18), 9047.

Plaxis Reference Manuals (2020) PLAXIS 2D: reference manual, version 20.02

Thai Real Estate Business School. **โครงการกรุงเทพฯ250.**

<https://thairealestate.org/content/detail/375/โครงการกรุงเทพฯ-250/>

TPC. **PRESTRESSED CORRUGATED CONCRETE SHEET PILE.**

<https://www.tpcconcrete.com/th/product/4-prestressed-corrugated-concrete-sheet-pile/>

Yi, S., Ke, W., Huang, X., Xiao, M., Chen, J., & Huang, J. (2020, October). **Simulating the effects of braced excavation on the adjacent tunnel using numerical method.** In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1654, No. 1, p. 012121). IOP Publishing.