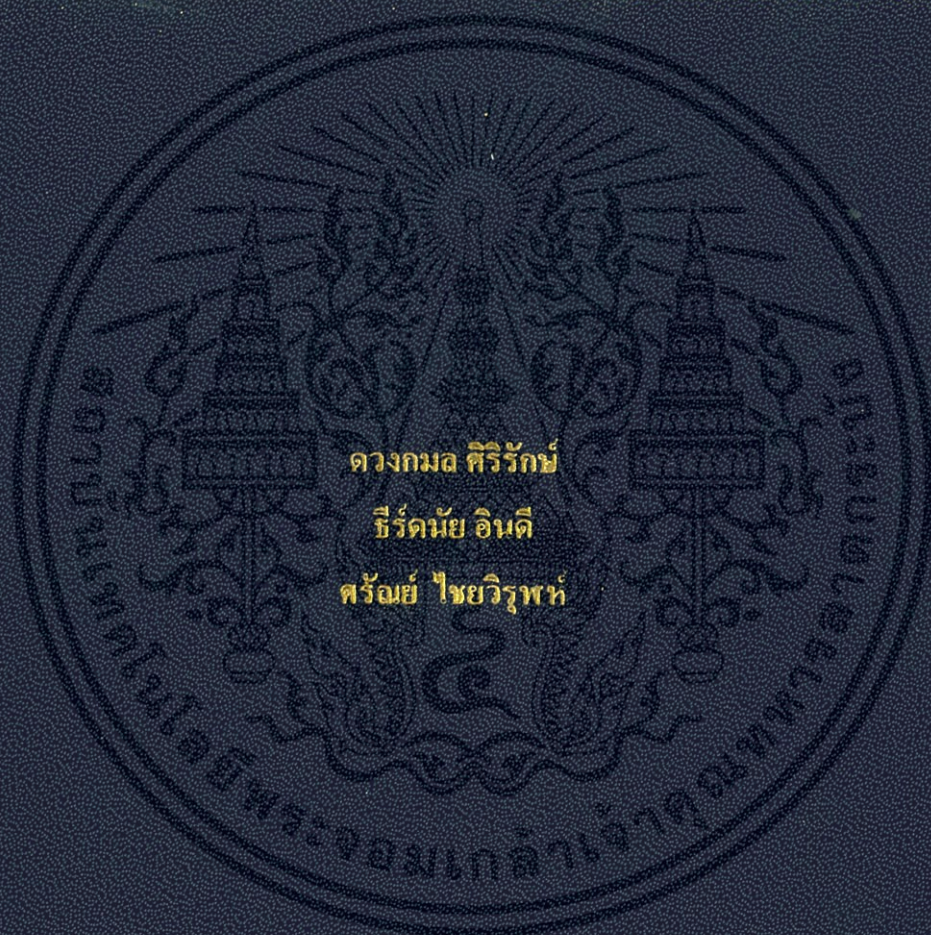


การพัฒนาสมการอย่างง่ายเพื่อประเมินค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน  
ในงานขุดลึกในชั้นดินเหนียวอ่อนโดยวิธีเชิงตัวเลข

DEVELOPMENT OF SIMPLIFIED EQUATIONS TO EVALUATE  
THE MOVEMENT OF DIAPHRAGM WALLS IN BRACED  
EXCAVATION IN CLAY BY NUMERICAL ANALYSES



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาสมการอย่างง่ายเพื่อประเมินค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน  
ในงานขุดลึกในชั้นดินเหนียวอ่อนโดยวิธีเชิงตัวเลข

DEVELOPMENT OF SIMPLIFIED EQUATIONS TO EVALUATE  
THE MOVEMENT OF DIAPHRAGM WALLS IN BRACED  
EXCAVATION IN CLAY BY NUMERICAL ANALYSES



T141098

ดวงกมล ศิริรักษ์

ธีรดนัย อินดี

ศรัณย์ ไชยวิรุพห์

๑๗  
๑๑๕๓ก  
๒๕๕๗

เลขหมู่..... 141098  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี 24 ก.พ. ๒๕๕๗

b. 12745042  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DEVELOPMENT OF SIMPLIFIED EQUATIONS TO EVALUATE  
THE MOVEMENT OF DIAPHRAGM WALLS IN BRACED  
EXCAVATION IN CLAY BY NUMERICAL ANALYSES**



**DUANGKAMOL SIRIRAK  
TEEDANAI INDEE  
SARAN CHAIWIRUN**

**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHEL OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKOUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2014**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาสมการอย่างง่ายเพื่อประเมินค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน  
ในงานขุดลึกในชั้นดินเหนียวอ่อน โดยวิธีเชิงตัวเลข

นักศึกษา นางสาวดวงกมล ศิริรักษ์ รหัสนักศึกษา 54010470  
นายธีรพัฒน์ อินดี รหัสนักศึกษา 54010627  
นายศรัณย์ ไชยวิรุฬห์ รหัสนักศึกษา 54011245

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.พรเกษม จงประดิษฐ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ผศ.ดร.ชนาดล คงสมบูรณ์ อาจารย์ อูบะ ศิริแก้ว	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ชนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 25 เดือน พค. พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การพัฒนาสมการอย่างง่ายเพื่อประเมินค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในงานขุดลึกในชั้นดินเหนียวอ่อน

## โดยวิธีเชิงตัวเลข

นางสาวดวงกมล	ศิริรักษ์	54010470
นายธีรคณัย	อินดี	54010627
นายศรัณย์	ไชยวิรุฬห์	54011245
ศ.ดร.สุชัชวีร์	สุวรรณสวัสดิ์	อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.พรเกษม	จงประดิษฐ์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2557

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันงานก่อสร้างใต้ดินมีอิทธิพลกับงานก่อสร้างในจังหวัดกรุงเทพฯ เช่น อาคารจอดรถหรืออาคารที่มีชั้นใต้ดินต่างๆ เนื่องจากพื้นที่การก่อสร้างบนดินที่มีอย่างจำกัดในปัจจุบัน งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในงานขุดลึกในชั้นดินกรุงเทพมหานคร ซึ่งปัจจัยของการเคลื่อนตัวมีหลายปัจจัย เช่น ความแข็งแรงของชั้นดิน ความหนาของกำแพงกันดิน ความลึกการขุด ซึ่งต้องใช้การวิเคราะห์ขั้นสูง อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น ผู้ออกแบบต้องการประเมินค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงเพื่อการประเมินด้านความสามารถในการทำงานได้ เพื่ออำนวยความสะดวกในการออกแบบเบื้องต้นดังกล่าว งานวิจัยนี้เสนอการสมการอย่างง่ายเพื่อทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน โดยใช้การจำลองปัจจัยหรือการสร้างข้อมูลเทียม (Artificial Data) ที่เกี่ยวข้องกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคัดกรองเพื่อสร้างสมการอย่างง่ายโดยวิธีการวิเคราะห์เชิงถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis) การศึกษาพบว่าได้ผลการทำนายจากสมการอย่างง่ายนี้มีความใกล้เคียงกับผลการตรวจวัดจริง

# Development of Simplified Equations to Evaluate the Movement of Diaphragm Walls in Braced Excavation in Clay by Numerical Analyses

Ms. Duangkamol	Sirirak	54010470
Mr. Teedanai	Indee	54010627
Mr. Sarun	Chaivirun	54011245
Prof.Dr. Suchatvee	Suwansawat	Advisor
Assoc.Prof. Dr Pornkasem	Jongpradist	Co-Advisor

Academic Year 2014

## ABSTRACT

Due to construction's area on ground is limited, underground works play a key role in construction works in Bangkok such as basement in multi-storey car parks or buildings. This research focuses on the movement of diaphragm wall in deep excavation in Bangkok clay. The movement is affected by various factors such as soil strength, thickness of diaphragm wall, excavation depth and thickness of soft clay of which the advanced analysis is required to achieve the reasonable prediction. To accommodate the designers in the preliminary design, appropriate prediction of wall movement is necessary. This research presents the simple equation to evaluate the movement of diaphragm wall. The simple equation is created by the multiple linear regression analysis of artificial data which is generated from finite element analyses. By comparison with the measured data, the prediction by the developed equation can provide a satisfaction.

# กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.พรเกษม จงประดิษฐ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ที่ได้สละเวลาอันมีค่า ให้คำปรึกษาแนะนำ และเสนอแนะข้อคิดเห็นต่างๆ จนทำให้โครงการนี้ได้บรรลุวัตถุประสงค์ได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ในด้านวิศวกรรมโยธา ทำให้สามารถนำวิชาความรู้มาประยุกต์ใช้ได้เป็นอย่างดี รวมถึงกรรมการคุมสอบโครงการพิเศษนี้ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงาน

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้เสมอมา รวมถึงเพื่อนทุกคนที่คอยให้การช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณพี่ๆ ในศูนย์วิศวกรรมการก่อสร้างใต้ดินและอุโมงค์พระจอมเกล้าลาดกระบังทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษา และให้การช่วยเหลือเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ทางผู้จัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการนี้จะเป็นแนวทางในการศึกษาเกี่ยวกับการก่อสร้างใต้ดินให้กับผู้ที่สนใจได้ใช้ประโยชน์ต่อไป

ดวงกมล

ธีรรัตน์

ศรัณย์

ศิริรักษ์

อินดี

ไชยวิรุฬห์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 ข้อมูลชนิดของดินกรุงเทพฯ.....	4
2.3 small-strain stiffness ของดินเหนียวกรุงเทพฯ.....	9
2.4 ชนิดของระบบในการขุดเจาะในดินกรุงเทพมหานคร.....	11
2.5 ข้อจำกัดของการขุดดินลึก.....	13
2.6 การใช้ FEM วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากการขุด.....	19
2.7 สมการSemi-Epirical เพื่อทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงที่เกิดจากกระบวนการขุด.....	24
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	27
3.1 กล่าวนำ.....	27
3.2 ศึกษาข้อมูลจากกรณีศึกษาของการขุดดินแบบมีค้ำยัน.....	28
3.3 การวิเคราะห์และเลือกแบบจำลองดินที่เหมาะสม.....	29

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.4 การสร้างสมการอย่างง่ายสำหรับการทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน ในระบบ 2 มิติ.....	33
3.5 การตรวจสอบความแม่นยำของสมการ.....	38
บทที่ 4 อภิปรายและ	
สรุปผล.....	39
4.1 การสร้างสมการอย่างง่าย เพื่อทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน.....	39
4.2 ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการอย่างง่าย.....	48
บทที่ 5 สรุปผลและ	
ข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	49

# สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 คุณสมบัติของชั้นดินถม (Suwansawat ,2002) .....	6
2.2 คุณสมบัติของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (Suwansawat,2002).....	7
2.3 คุณสมบัติของชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก.....	8
2.4 คุณสมบัติของชั้นให้น้ำดินกรุงเทพฯ (Suwansawat,2002).....	9
2.5 ตัวอย่างของการขุดเจาะในเขตกรุงเทพมหานครช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา.....	13
2.6 สรุปตัวแปรที่นำเข้าและขอบเขตของไฟไนต์อีลิเมนต์ 2D ในการทดลองเชิงตัวเลข.....	24
2.7 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการเปลี่ยนแปลงของเส้นตรงของห้าตัวแปร (Kung et al., 2007).....	25
2.8 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการลดถอย.....	26
3.1 สรุปข้อมูลการขุดดินของกรณีศึกษา.....	29
3.2 MC soil model parameters.....	32
3.3 MCC soil model parameters.....	32
3.4 HS and HSsmall soil model parameters.....	32
3.5 Structural parameters.....	33
3.6 ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า และ ใช้ในการวิเคราะห์แบบ 2-D FEM.....	37
3.7 กรณีศึกษาที่มีการก่อสร้างแบบ Top-Down.....	38
3.8 กรณีศึกษาที่มีการก่อสร้างแบบ Bottom-Up.....	38
4.1 สัมประสิทธิ์ตัวคูณของสมการพาราโบลาของแต่ละตัวแปร.....	40

# สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 กำลังรับแรงเฉือนของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานครและชั้นดินแข็ง.....	5
2.2 สัมประสิทธิ์ความดันดินของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ, ชั้นดินแข็ง และ ทราย.....	6
2.3 ลักษณะแรงดันน้ำของชั้นดินกรุงเทพฯ.....	7
2.4 พฤติกรรมของค่าความแข็งและความเครียดของชั้นดินกับความเครียดโดยทั่วไป ของงานก่อสร้างด้านธรณีวิทยากับการทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	9
2.5 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความแข็งกับความเครียดเฉือนของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ, ชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก และชั้นทรายใต้น้ำของดินกรุงเทพฯ.....	10
2.6 สรุปรูปการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพง.....	14
2.7 กราฟการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดินและผิวดิน การทรุดตัวสำหรับระบบรองรับใน ดินเหนียว.....	14
2.8 แสดงการทำนายการเคลื่อนตัวด้านข้าง โดยแบบจำลองดิน Elastic, แบบ Modified Cam Clay (MCC) และ แบบ MIT-E3 .....	15
2.9 Peck's method (1969) สำหรับการประมาณค่าการทรุดตัวผิวดิน.....	17
2.10 Clough and O'Rourke (1990) สำหรับประมาณพื้นที่ผิว : (a) sand (b)stiff to very stiff clay และ (c) soft to medium soft clay.....	18
2.11 ประเภทของการทรุดตัวผิวดิน.....	18
2.12 Ou and Hsieh 's method สำหรับการประมาณการทรุดตัวของผิวดิน.....	19
2.13 ตัวอย่างพื้นที่ผิวสัมผัสที่ใช้.....	21
2.14 ความสัมพันธ์ของแบบจำลองชนิด Hardening Soil .....	22
2.15 กราฟความสัมพันธ์ของความเค้นกับความเครียดในการทดสอบแรงอัดสามแกน.....	23
2.16 กราฟความสัมพันธ์ของความเค้นกับความเครียดในการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ.....	23
2.17 ลักษณะพฤติกรรมของความเครียดในดินจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและโครงสร้าง..	24
2.18 ประสิทธิภาพของสมการ 2.2 และ 2.3 ที่ในขั้นตอนต่างๆของการขุด .....	26
3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....	27
3.2 แผนผังกรณีศึกษา BMAH.....	28
3.3 ข้อมูลชั้นดินกรณีศึกษา BMAH.....	29
3.4 Finite element mesh ของกรณีศึกษา BMAH.....	33

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
3.5 ชั้นดินเหนียวอ่อนหนา 11 เมตร ค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดิน เท่ากับ 10.01 มิลลิเมตร.....	34
3.6 ชั้นดินเหนียวอ่อนหนา 14 เมตรค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดิน เท่ากับ 12.96 มิลลิเมตร.....	35
3.7 ชั้นดินเหนียวอ่อนหนา 16.5 เมตร ค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดิน เท่ากับ 16.10 มิลลิเมตร.....	35
3.8 ตำแหน่งของเสาเข็มเจาะ.....	36
3.9 ลักษณะทางกายภาพของการขุดดินกรณีต่างๆ.....	39
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า B/2.....	41
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า t.....	41
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า Suso-over.....	42
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า G0so-Over.....	42
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า G0st-Over.....	43
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า H.....	43
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า d (m).....	44
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า B/2 เมื่อทำการปรับแก้ให้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง.....	44
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า t เมื่อทำการปรับแก้ให้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง.....	45
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า Suso-Over เมื่อทำการปรับแก้ให้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง.....	45
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า G0so-Over เมื่อทำการปรับแก้ให้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง.....	46
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า G0st-Over เมื่อทำการปรับแก้ให้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง.....	46
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า H เมื่อทำการปรับแก้ให้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง.....	47

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างจากค่าที่ได้กับสมการกับค่าแบบจำลองดินทางไฟไนต์อีลิเมนต์.....	47
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ทำนายโดยสมการกับค่าตรวจวัดจริง.....	48



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากการขยายตัวในเขตเมืองในปัจจุบันได้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดความต้องการปัจจัยในการดำเนินชีวิตเพิ่มมากขึ้น นำมาซึ่งการพัฒนาาระบบสาธารณูปโภคและสิ่งก่อสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) โดยเฉพาะ อาคาร ที่พักอาศัย ซึ่งนับเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่ง แต่ด้วยพื้นที่การก่อสร้างบนผิวดินที่มีอย่างจำกัด ดังนั้นการก่อสร้างใต้ดินจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการแก้ไขปัญหาความไม่เพียงพอของพื้นที่ผิวดินในเขตเมือง เช่น ทำห้องใต้ดิน ลานจอดรถใต้ดิน ฯลฯ ซึ่งงานก่อสร้างใต้ดินต้องทำการขุดดินที่ระดับความลึกที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อโครงสร้างข้างเคียง ดังนั้นงานก่อสร้างใต้ดินจึงมีความจำเป็นต้องมีการใช้กำแพงกันดิน (Retaining wall) เพื่อป้องกันการพังทลายในการขุดดินลึก และเป็นวิธีที่ประหยัดพื้นที่ในการทำ side slope

การก่อสร้างกำแพงกันดินมีหลายวิธี แต่วิธี Diaphragm wall เป็นอีกหนึ่งในวิธีที่นิยมเลือกใช้ เพราะเป็นวิธีที่มีการเคลื่อนตัวน้อยและสามารถใช้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างได้ถึงแม้ว่ากำแพงกันดินจะเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากและมีความปลอดภัยค่อนข้างสูง แต่ก็สามารถก่อให้เกิดความเสียหายได้ เช่น กรณีที่กำแพงกันดินเกิดการเคลื่อนตัวทำให้ดินบริเวณนั้นเกิดการเคลื่อนตัวตามไปด้วย หากบริเวณนั้นมีสิ่งก่อสร้างอยู่ด้านบน อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้างนั้นได้ ดังนั้น การทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินด้วยวิธีที่สะดวกและรวดเร็วได้ จะทำให้สามารถประเมินความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้และทำให้สามารถหาแนวทางป้องกันได้ก่อนเกิดความเสียหาย

ซึ่งที่ผ่านมา มีผู้สนใจศึกษาเพื่อหาวิธีในการหาค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน ตัวอย่างเช่น วิธีของ Clough and O'Rourke (1996) ได้ศึกษาเพื่อหาค่าการเคลื่อนตัว แต่ด้วยวิธีดังกล่าวมีข้อจำกัด คือ ไม่มีการใช้ข้อมูลดิน มาใช้ในการหาค่าการเคลื่อนตัวด้วย ทำให้สามารถใช้งานได้เฉพาะพื้นที่ที่มีการเก็บข้อมูลมาทำกราฟเท่านั้น สำหรับพื้นที่อื่นที่มีข้อมูลดินแตกต่างออกไป จะทำให้ผลการประเมินมีความคลาดเคลื่อน เพื่อให้มีความถูกต้องสูงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากงานก่อสร้างจริงจำนวนมาก ซึ่งต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด ที่มีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อหาวิธีการที่สะดวก และมีความแม่นยำ นำเชื่อถือในการหาค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน โดยใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite element method, FEM) ในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าการเคลื่อนตัวในกรณีต่างๆจำนวนมาก โดยใช้ข้อมูลเทียม (Artificial data) ที่ได้จากการวิเคราะห์นี้สามารถสร้างสมการ empirical ด้วยการวิเคราะห์เชิงถดถอยแบบเส้นตรง (Linear regression) แล้วตรวจสอบโดยการนำค่าการเคลื่อนตัวที่ได้จากสมการ ไปเปรียบเทียบกับค่าการเคลื่อนตัวจากการตรวจวัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์ เพื่อทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในงานขุดดินลึก โดยการใช้ไฟไนต์อีลิเมนต์ในการจำลองการเคลื่อนตัวและวิเคราะห์เชิงถดถอยแบบเส้นตรง

- 1) เพื่อศึกษางานวิจัยที่มีอยู่ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในงานขุดลึก
- 2) ศึกษารูปแบบจำลองการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน โดยใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์
- 3) สร้างสมการ empirical จากค่าการเคลื่อนตัวที่ได้จากวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์โดยใช้วิเคราะห์เชิงถดถอยแบบเส้นตรง

## 1.3 สมมติฐาน

การเลือกใช้ข้อมูลที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน มาจำลองโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ ถ้าเลือกข้อมูลที่เหมาะสมและเพียงพอ จะทำให้ค่าการเคลื่อนตัวที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าการเคลื่อนตัวจากการตรวจวัดจริง ส่งผลให้เมื่อนำค่าการเคลื่อนที่ใกล้เคียงค่าจากการตรวจวัดจริง และตัวแปรที่เลือกมาไปหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการ empirical ด้วยการวิเคราะห์เชิงถดถอยแบบเส้นตรง สมการที่ได้ก็จะมีค่าที่ถูกต้องและแม่นยำ และนำค่าการเคลื่อนตัวที่ได้จากสมการ empirical ไปเปรียบเทียบกับค่าการเคลื่อนตัวจากการตรวจวัดจริง

## 1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินงานขุดดินในชั้นดินเหนียวอ่อนในกรุงเทพฯ
- 2) จำลองการเคลื่อนตัวด้วยโปรแกรมทางไฟไนต์อีลิเมนต์แบบ 2 มิติ
- 3) สร้างสมการ empirical ด้วยการวิเคราะห์เชิงถดถอยแบบเส้นตรง

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาชนิดและข้อมูลคุณสมบัติของชั้นดินเหนียวอ่อน
- 2) เลือกตัวแปรข้อมูลดินที่มีผลต่อการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน
- 3) จำลองรูปแบบการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินจากข้อมูลดินโดยใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบ 2 มิติ เพื่อหาค่าการเคลื่อนตัว
- 4) นำค่าการเคลื่อนตัวที่ได้จากวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ ในทุกๆกรณีมาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆกับการเคลื่อนตัวในรูปแบบของสมการ empirical ด้วยการวิเคราะห์เชิงถดถอยแบบเส้นตรง

5) ตรวจสอบสมการที่ได้โดยเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวจากสมการ empirical กับค่าการเคลื่อนตัวจากการตรวจวัดจริง

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้เรียนรู้ฝึกทักษะการใช้โปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์ในการจำลองการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในงานขุดดินลึก

2) ได้สมการ empirical ที่ใช้ในการหาค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน ที่มีความแม่นยำ และ สะดวกรวดเร็ว ในการทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในงานขุดดินลึก



## บทที่ 2

# วรรณกรรมปริทัศน์

### 2.1 บทนำ

บทนี้กล่าวเกี่ยวกับความสำคัญของการพัฒนารูปแบบและการวิเคราะห์สำหรับการขุดดินลึกที่มีแรงยึดเหนี่ยวซึ่ง การวิเคราะห์เชิงตัวเลข โดยผ่านวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นวิธีการเลือกใช้สำหรับการวิเคราะห์การขุดดินที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันซึ่งสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้หลายวิธี เช่น วิธีการวิเคราะห์เชิงสมการ (Analytical) รวมถึงการใช้ เทคนิคเชิงตัวเลข สำหรับพฤติกรรมดินที่มีต่อการขุดเจาะดินเหนียวตัวอย่าง รวมถึงพฤติกรรมของดินในกรุงเทพ

### 2.2 ข้อมูลชนิดของดินกรุงเทพ

จังหวัดกรุงเทพมหานครตั้งอยู่ในแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นจุดที่ต่ำที่สุดและเป็นจุดศูนย์กลางของภูมิภาคของประเทศไทยที่เป็นพื้นที่เรียบและอยู่ใกล้ปากอ่าวของประเทศไทยถึงภาคใต้ ภาคเหนือ และใต้มีแนวโน้มของโครงสร้างที่มีการยุบตัวลงซึ่งเกิดขึ้นจากการดูแลการกระทบของตึก โครงสร้างต่างๆที่ได้ก่อสร้างขึ้นระหว่างช่วง tertiary (64 ล้านปีก่อนปัจจุบัน ถึง 1.8 ล้านปี) ความถูกต้องของข้อมูลชั้นดินดานยังไม่รู้แน่ชัด แต่ที่ถูกคิดไว้มีระหว่าง 550 เมตร 2000 เมตร (1640 ฟุต และ 6600 ฟุต) ได้ระดับน้ำน้ำใต้ดิน (Prust et al, 2005) ข้อมูลทั่วไปของดินกรุงเทพสามารถให้ข้อมูลได้ตามข้างล่างนี้

- 0 – 2 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวที่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ
- 2 – 11 เมตร เป็นดินเหนียวที่มีความอ่อนถึงอ่อนมาก
- 11 – 15 เมตร เป็นดินเหนียวแข็งปานกลาง
- 15 – 24 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1
- 24 – 36 เมตร เป็นชั้นดินทรายชั้นที่ 1
- 36 – 43 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2
- > 43 เมตร เป็นชั้นดินทรายชั้นที่ 2

การสูบน้ำใต้ดินในชั้นให้น้ำของดินกรุงเทพฯ สำหรับใช้ในบ้ำนและจุดประสงค์สำหรับอุตสาหกรรมซึ่งการลดลงของระดับน้ำใต้ดินจากการตรวจวัดจะเกิดขึ้น ทางทิศใต้ของแม่น้ำเจ้าพระยา การยุบตัวของระดับน้ำใต้ดินอยู่ตรงกลางของพื้นที่กรุงเทพมหานคร แต่ทางด้านอุตสาหกรรมอยู่ห่างออกไปจากตัวเมือง การสูบน้ำจึงเพิ่มขึ้นในพื้นที่อุตสาหกรรมจากทางใต้และ

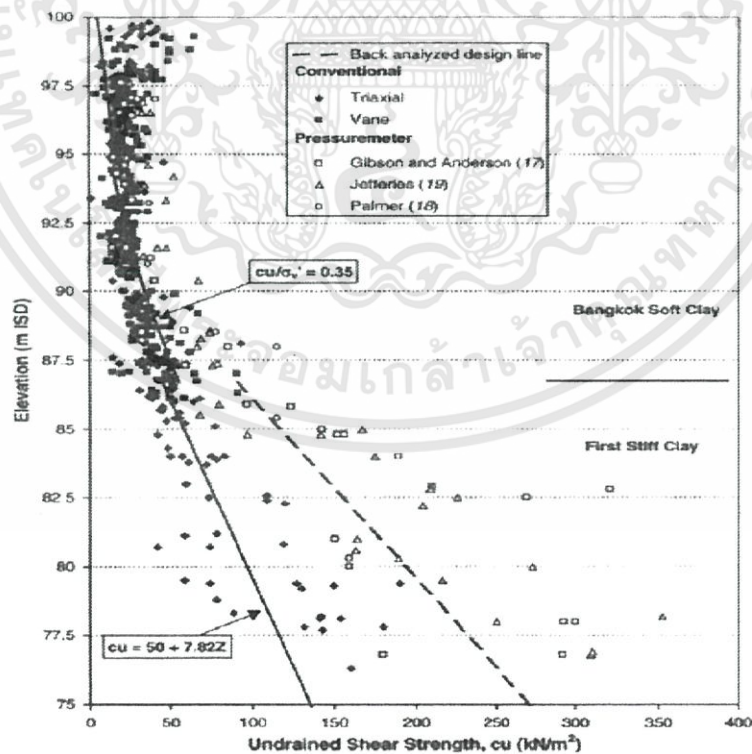
ตะวันออกของเมืองนั้น ระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่นั้นจึง กลายเป็นการยุบตัวพร้อมกับในพื้นที่ กรุงเทพมหานคร ระดับน้ำใต้ดิน ได้ถูกสมมติให้อยู่ที่ระดับ 2 เมตร ใต้ระดับพื้นผิวดิน

### 2.2.1 ชั้นดินถม (Filled)

โดยทั่วไปแล้วชั้นดินถมนี้จะประกอบด้วย ดินเหนียวที่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ , ดินทราย , กรวด , ดินสีแดงที่ประกอบด้วยวัสดุแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งถูกพบอยู่ในเหนือระดับความหนา 4 เมตร คุณสมบัติโดยทั่วไปแสดงไว้ดังตารางที่ 2.1

### 2.2.2 ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานคร

ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานครตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ใกล้น้ำทะเลในพื้นที่ ปากแม่น้ำของแม่น้ำเจ้าพระยา โดยทั่วไปบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีลักษณะชั้น ดินเป็นดินเหนียว (Bangkok Clay) ชั้นดินนี้เกิดจากการทับถมของตะกอนดินจากการพัดพาของน้ำ เป็นเวลานานปกคลุมอ่าวไทยบริเวณกรุงเทพฯและพื้นที่ภาคกลาง ดังนั้นสภาพทางธรณีวิทยาจะ แตกต่างจากภูมิภาคอื่นๆ ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) เป็นชั้นดินที่อยู่ใต้ชั้นบนสุด หนาประมาณ 10-15 เมตร เป็นดินอ่อนถึงอ่อนมาก มีความไวตัวสูง พังทลายได้ง่ายหากถูกรบกวน ยุบตัวง่ายเมื่อน้ำหนักมากระทำ ชั้นดินเหนียวอ่อนนี้เป็นชั้นดินที่ก่อปัญหาทางการออกแบบและการก่อสร้าง เป็นอย่างมาก ดังตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (Suwansawat,2002)

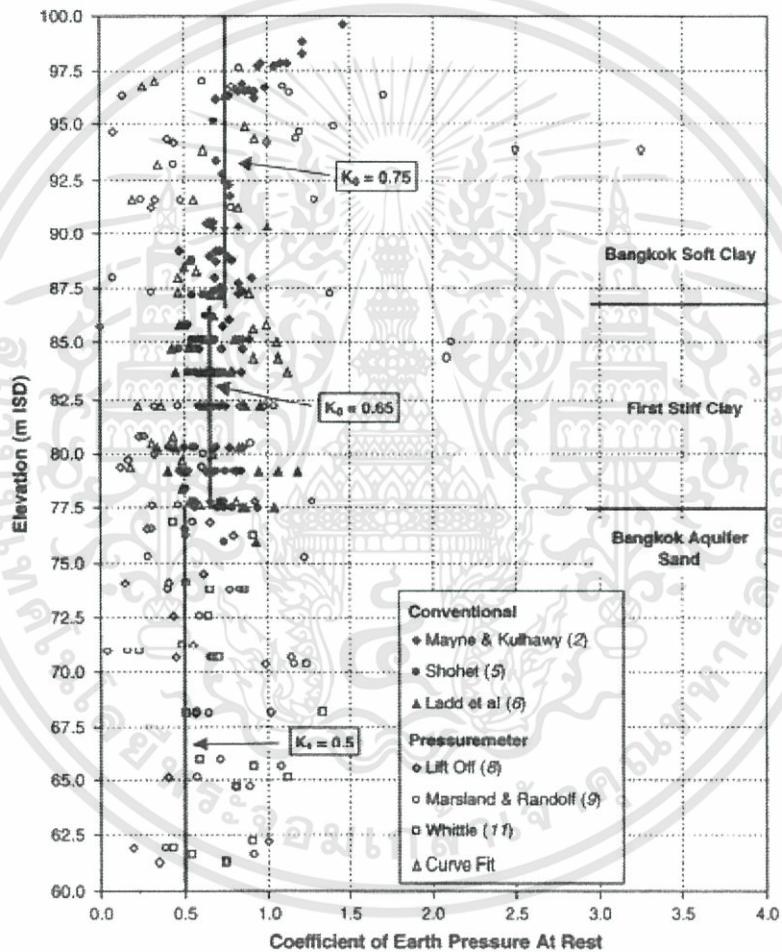


รูปที่ 2.1 กำลังรับแรงเฉือนของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานครและชั้นดินแข็ง (Prust et al.,2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของชั้นดินถม (Suwansawat, 2002)

Parameter	Made Ground
Bulk unit weight	18 kN/m <sup>3</sup>
Undrained shear strength	N/A
Effective shear strength	$C' = 0, \phi' = 25$
Stiffness	$E' = 500$ kPa
Poisson ratio	0.3

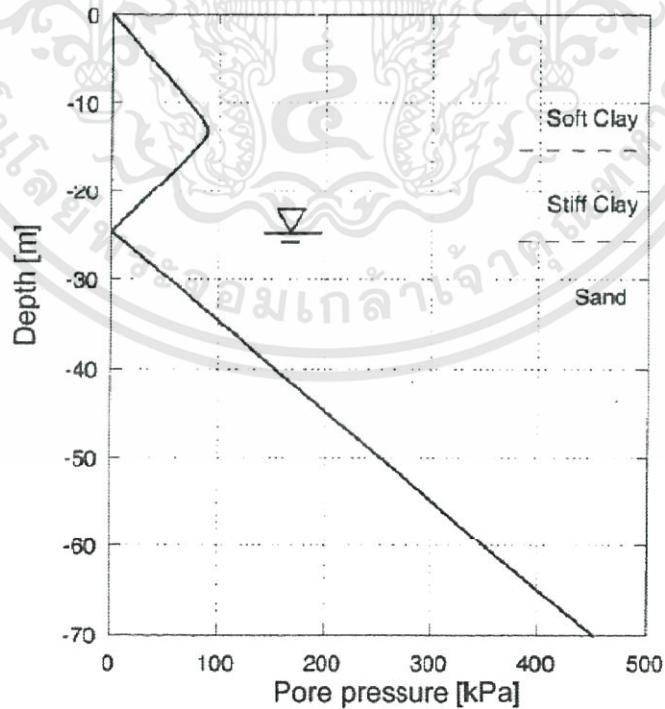


รูปที่ 2.2 สัมประสิทธิ์ความดันดินของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ, ชั้นดินแข็ง และ ทราย (Prust et al., 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (Suwansawat,2002)

Parameters	Bangkok soft clay
Unit weight	16 kN/m <sup>3</sup>
PL	20-40%
LL	55-90%
LI	0.5-1.0
PI	30-50%
Water content	50-80%
Clay content	35-85%
Undrained shear strength, $s_u$	20+3.5(z-7) kPa <i>z begin at 7 m from surface</i>
Undrained elastic modulus, $E_u$	6250 + 900(z-7) kPa
Effect friction angle, $\phi'$	23
$K_o$	0.75
OCR	1.2
Coefficient of permeability, $k$	$3.0 \times 10^{-9}$ m/s



รูปที่ 2.3 ลักษณะแรงดันน้ำของชั้นดินกรุงเทพ (Suwansawat, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 ชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก

ชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก โดยทั่วไปลักษณะสีน้ำตาลอ่อน หรือสีเขียวปนเทา สีเทาปนสีน้ำตาล หรือมีลักษณะเป็นดินเหนียวปน โคลนที่มีสีเหลืองน้ำตาล โดยเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นจะเริ่มเป็นดินเหนียวปนทรายซึ่งโดยลักษณะของดินเหนียวแข็งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ดังตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก (Suwansawat ,2002)

Parameters	Above 20 m	Below 20 m
Unit weight	19 kN/m <sup>3</sup>	19 kN/m <sup>3</sup>
PL	25-40%	15-25%
LL	60-80%	30-50%
LI	-0.25 to 0.4	-0.25 to 0.4
PI	30-50%	15-30%
Water content	25-40%	15-25%
Clay content	85%	20%
Undrained shear strength, $s_u$	78 kPa at 13 m to 120 kPa at 20 m	120 kPa
Undrained elastic modulus, $E_u$	43,000 kPa at 13 m to 52800 kPa at 20 m	52,800 kPa
Effect friction angle, $\phi'$	26	26
$K_o$	0.65	0.65
OCR	1.65	1.65
Coefficient of permeability, $k$	$1 \times 10^{-9}$ m/s	$1 \times 10^{-9}$ m/s

### 2.2.4 ชั้นให้น้ำของดินกรุงเทพฯ

การให้น้ำของชั้นดินในกรุงเทพฯ ซึ่งเป็นดินเหนียวแข็งชั้นแรก ส่วนมากจะอยู่เหนือชั้นให้น้ำ ซึ่งอยู่ใต้สามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งจะอยู่ที่ชั้นดิน โคลนที่น้ำพัดพามาและสภาพแวดล้อมของสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ จะประกอบไปด้วยทรายกับชั้นดินเหนียว โดยทั่วไปแล้วจะมีความหนาแน่นน้อยกว่า 5 เมตร โดยทั่วไปของชั้นให้น้ำในกรุงเทพมหานครจะแบ่งชั้นดินเหนียวแข็งออกเป็น 3 ชั้นลึกประมาณ 70 เมตรจากใต้พื้นผิวดิน ตารางที่ 2.4 คือคุณสมบัติของชั้นให้น้ำดินกรุงเทพมหานคร

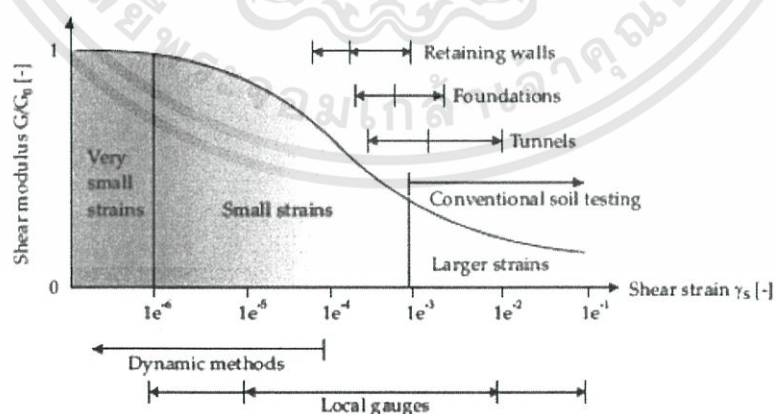
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของชั้นให้น้ำดินกรุงเทพฯ (Suwansawat,2002)

Parameter	Dense Sand
Unit weight	20 kN/m <sup>3</sup>
Clay content	<35%
Effect friction angle, $\phi'$	36
$K_o$	1.5
OCR	0.5
Coefficient of permeability, $k$	$1 \times 10^{-7}$ m/s

### 2.3 small-strain stiffness ของดินเหนียวกรุงเทพฯ

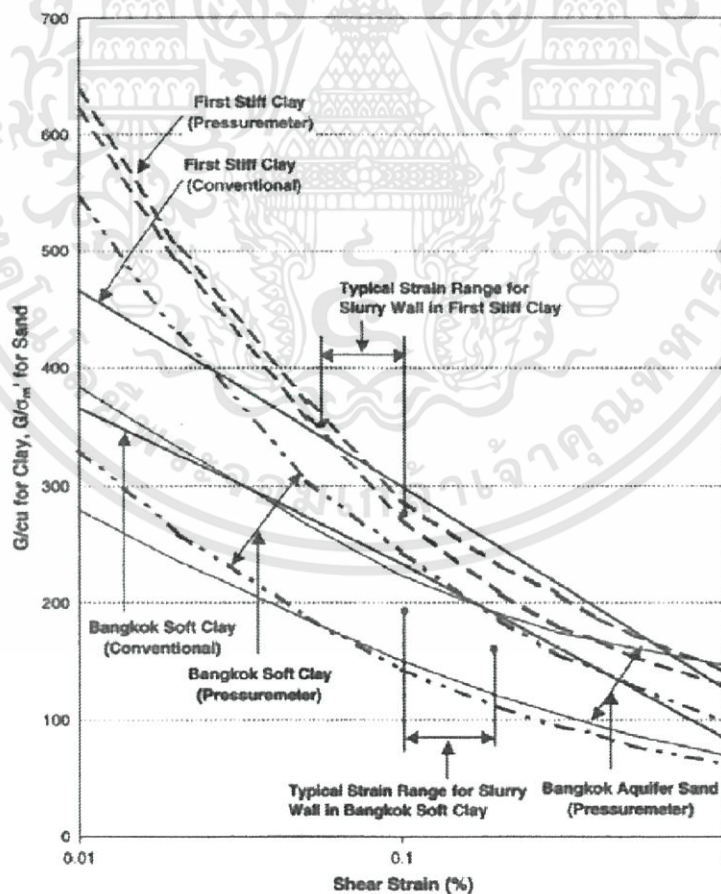
ค่าความแข็งของดินคือปัจจัยที่มีความสำคัญในการทำงานทางด้านธรณีวิทยาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ ถึงค่าการเคลื่อนตัวของชั้นดิน ความถูกต้องแม่นยำของการวิเคราะห์เชิงตัวเลขขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างของดินค่าความแข็งของดินที่สภาวะเริ่มต้นที่อยู่ในช่วงที่น้อย (small strains) เป็นสิ่งสำคัญในการวิเคราะห์ทางด้านธรณีวิทยา เช่น การขุดเจาะอุโมงค์ และการขุดเจาะโครงสร้างด้วยของแข็ง ดังรูปที่ 2.4 คือตัวอย่างของกราฟที่แสดงค่าช่วงความแข็งของชั้นดิน โดยเส้นโค้งจะบ่งบอกถึงพฤติกรรมของ ค่าความเครียดเฉือน (Shear Strains) ซึ่งแสดงขอบเขตของค่าความแข็งในการก่อสร้างทางธรณีวิทยา และสามารถที่จะปรับใช้ได้ของช่วง strain จากการทดลอง นั้นสามารถบอกค่าน้อยสุดของ ค่าความเครียด ซึ่งเป็นการวัดที่สามารถนำเชื่อถือจากการทดลอง เช่น Triaxial test และ Oedometer test โดยไม่ใช่เครื่องมือที่พิเศษ โดยค่าความแข็งของดินจะลดลงอย่างสม่ำเสมอมีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของค่าเริ่มต้น



รูปที่ 2.4 พฤติกรรมของค่าความแข็งและความเครียดของชั้นดินกับความความเครียดโดยทั่วไปของงานก่อสร้างด้านธรณีวิทยากับการทดลองในห้องปฏิบัติการ (after Atkinson & Salfors,1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาพฤติกรรมของความแข็งของดินที่สภาวะเริ่มต้นของดินเหนียวกรุงเทพมหานคร Teachavorasinkun et al. (2001) ใช้แรงในรูปแบบแบบวัฏจักรที่ถูกควบคุมโดยจะให้แรงเป็นขั้นตอนเพื่อที่จะวัดค่าการเคลื่อนตัวของดินเหนียวอ่อนในกรุงเทพมหานครที่มีความลึกประมาณ 6 เมตร โดยผลลัพธ์การใช้แรงแบบวัฏจักรในการทดสอบจาก 2 วิธีนั้นค่าความเครียดที่เกิดขึ้น ที่มีลักษณะที่เหมือนกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าโมดูลัสแรงเฉือน (shear modulus) ผลของการทดสอบได้แสดงค่าโมดูลัสแรงเฉือนสูงสุด (Maximum shear modulus) ซึ่งถูกคำนวณจากค่า Young's modulus,  $E$ , มีค่าประมาณ 10.5MPa, 14.2 MPa ที่ 0.01% shear strain at initial stress (ค่าความเค้นที่สภาวะเริ่มต้น) 50 kPa และ 100kPa ตามลำดับ Shibuya et al. (1997) and Teramast (1998) ซึ่งได้ศึกษาในค่า Low strain stiffness ของดินเหนียวอ่อนในกรุงเทพมหานคร พบว่าค่า maximum shear modulus มีค่าประมาณ 300 Su ถึง 500 Su (Su : Undrained shear strength) โดยใช้การคำนวณในห้องทดลอง และการคำนวณในสนาม vane shear test ซึ่งเป็นผลการศึกษาที่ได้รับการยอมรับ Shibuya et al. ได้นำเสนอค่า maximum shear modulus มีค่าประมาณ 400Su ถึง 570 Su ซึ่งอ้างอิงจากพื้นฐานการทดสอบ Bender element test ของ Teramast



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความแข็งกับความเครียดเฉือนของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ  
ชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก และชั้นทรายใต้น้ำของดินกรุงเทพฯ (Prust et al., 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในชั้นดินเหนียวแข็ง ยากที่จะเลือกตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวนสำหรับการทดสอบในห้องทดลอง การศึกษาส่วนใหญ่เกี่ยวกับค่าของชั้นดินเหนียวแข็งนั้นจะความสนใจในการทดสอบหน้าสนามโดย Prust et al. (2005) ใช้ข้อมูลจาก 40 ตัวอย่างข้อมูล wash boring และ 6 ตัวอย่าง self-boring pressure meter tests จากโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน เพื่อที่จะประมาณค่า ความแข็งแรงของดิน และความดันในขณะก่อสร้าง เพื่อที่จะใช้ในการออกแบบ Slurry walls การศึกษาพบว่าที่ระดับ shear strain 0.05% ค่าเฉลี่ย shear modulus มีค่าประมาณ 333Su นอกจากนั้นการวิเคราะห์อัตราส่วนของ  $G/Su$  เปลี่ยนแปลง จาก 300 ถึง 1100 ที่ shear strain 0.01% เมื่อโชว์ในรูปแบบที่ 2.5 ตามที่ที่กล่าวถึง  $G/Su$  มันชี้เฉพาะว่าการเปลี่ยนแปลง strain ที่เล็กน้อย ( $<10^{-5}$ ) shear modulus ควรจะมีที่จุดเก็บค่าต่างๆ Seed and Ississ (1970) พบว่าความเหมาะสมของ สัมพันธ์ระหว่าง low strain cyclic shear modulus ของดินเหนียวกับค่า the undrained shear strength มีค่าประมาณ 1500Su-3000Suค่า The low-amplitude shear modulus ( $G_0$ ) สามารถคำนวณ ได้จากการใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear wave velocity ( $V_s$ ) และ  $G_0 = \rho v_s^2$  เมื่อ  $\rho$  คือค่าความหนาแน่น งานวิจัยของ Immai and Tonouchi (1982) ได้ทำการศึกษาโดยแยกการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_s$  และ ค่ามาตรฐาน penetration test value (SPT-N value) สำหรับค่าความแตกต่างชนิดของดิน (ดินเหนียว, ทราย, กรวด) ของการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา (alluvial, diluvial, fill, etc) แนวโน้มทั้งหมดสำหรับชนิดดินทั้งหมดที่ถูกแสดงออกมาใน  $V_s = 97N^{0.314}$

## 2.4 ชนิดของระบบในการขุดเจาะในดินกรุงเทพมหานคร

งานขุดเจาะจำนวนมากในกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่แล้วจะใช้ 3 ระบบ นั่นก็คือ Diaphragm wall, Sheet pile wall และ Contiguous pile wall เหตุผลส่วนใหญ่ในการเลือกตัดสินใจในการใช้ระบบใดๆนั้น คือ ราคา, ระดับความลึกในการขุดเจาะ และลักษณะโครงสร้างใต้ดิน Sheet pile wall นั้นจะมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างต่ำ แต่ Diaphragm wall ถูกพัฒนามาเพื่อที่จะใช้ในการขุดดินลึก ดังนั้น Contiguous pile wall ถูกตัดแปลงมาจาก Diaphragm wall ในลักษณะของการขุดดินลึก แต่จะมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่า Diaphragm wall ตัวอย่างส่วนมากในการขุดเจาะในกรุงเทพมหานคร ใน 2 ทศวรรษสุดท้าย ได้โชว์ในตารางที่ 2.5

### 2.4.1 Diaphragm wall

มี 2 เหตุผล หรือ ความสำเร็จของการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคนิค Diaphragm wall ลำดับที่ 1 ก็คือ ความสะดวกสบาย ความง่ายของการทำงานสำหรับการขุดเจาะ และ ประสิทธิภาพของพื้นที่การก่อสร้าง ลำดับที่ 2 คือ ราคาต่อหน่วยพื้นที่ ( $m^2$ ) ของการลดราคาลงในกรณีของราคาในการขุดเจาะ

Diaphragm wall ถูกออกแบบเพื่อที่จะต้านทานแรงของโครงสร้างที่กระทำ นอกจากนั้นยังทนต่อแรงแนวราบได้อีกด้วย เนื่องจากอิทธิพลของแรงดันของโลก, แรงที่กดทับลงมา, แรงดันน้ำ, ความเบี่ยงเบน และ ค่าความเครียด สิ่งต่างๆ เหล่านี้ มีอิทธิพลของระบบและความลึกในระดับต่างๆ ความโค้งงอของวัตถุที่มีความแข็ง (rigid) ของกำแพงนั้น มีความสูงมากกว่า Sheet pile 1 แท่ง การโค้งงอจะมีการเสียรูปเล็กน้อยขณะที่ต้านทาน โมเมนต์ดัด (Bending moment) แรงในแนวแกนมีการเคลื่อนย้ายที่เป็นไปได้โดย incorporating the Barrete pile (CHAISERI et al., 1991) หรือความง่ายในรูปแบบของ “legs” การเปลี่ยนแปลงความลึกถูกให้ใน wide range

#### 2.4.2 Sheet piles wall

โดยทั่วไปแล้ว Sheet piles wall มีเพื่อต้านทาน โครงสร้างชั่วคราวของการขุดระดับตื้นในกรุงเทพมหานคร ใช้ Sheet piles wall ในการทำงานมากและเป็นที่ยอมรับมากเพราะการก่อสร้างมีราคาที่ถูกกว่าและในด้านแง่ของเวลานั้นการทำงานก็จะง่ายกว่า Sheet piles wall สามารถถูกเคลื่อนย้ายจากดิน ได้โดยการรื้อหรือการสั่นอยู่กับที่ และมีแรงขัดกันอีกด้วย หรือมีการเชื่อมต่อกับตัวอื่นๆอีก วัสดุหลายๆชนิดถูกนำมาใช้และก่อสร้าง Sheet piles wall เช่น ไม้, คอนกรีต และเหล็ก Steel sheet piles ถูกใช้งานมากในงานขุดเจาะ

#### 2.4.3 Contiguous piles wall

Contiguous piles wall หรือ Slurry wall จะสามารถถูกใช้พิจารณาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง Diaphragm wall ซึ่งแต่ละอันจะถูกสร้างขึ้นมาเป็นของ Continuous bored piles forming a straight wall หรือ การย้าย bored pile (Secant-pile wall) ชนิดของกำแพงสามารถถูกใช้ก่อนการพัฒนาของกำแพงกันดินแบบคอนกรีตในกรุงเทพมหานคร Contiguous bored-pile ถูกรู้จักซ้ากว่า Diaphragm wall

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างของการขุดเจาะในเขตกรุงเทพมหานครช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา

Sheet piles Wall	Contiguous piles wall	Diaphragm wall
Charoen Nakorn	Bangplad Underpass	Bangkok. United Insurance
Paolo Hospital	Millennium Condo	Building
Saladang		IFCT Tower
Gaysorn Plaza		International Trade Center
Ramaland		Green Tower
Baiyok II Tower		Winsor Hotel
Siam Motor Machine		Le Raffine 24
		Lumpini Park
		TPI Building
		Oriflame Building
		Sathorn Complex
		Pratunam Complex
		China Tower
		President Tower
		Rajavej Hotel
		Central Rachada Rama III
		United Business Center II
		Thammasart University
		Dindang Underpass

## 2.5 ข้อจำกัดของการขุดดินลึก

ในพื้นที่ในเมืองมีพื้นที่ในการใช้สอยน้อย โครงสร้างใต้ดินเช่น basement , อุโมงค์ ในพื้นที่ใต้ดินถูกสร้างขึ้นมาเพื่อตอบสนองความต้องการของคนในเมือง หนึ่งในปัญหาที่สำคัญที่สุดเพื่อที่จะพิจารณาในงานการขุดดินลึกคือผลกระทบของโครงสร้างรอบข้าง โครงสร้างรอบข้างที่ติดกับงานขุดดินลึกมีความเสียหายที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนตัวของดินซึ่งมีอิทธิพลต่อการขุดดินลึก การพิจารณาการเคลื่อนตัวด้านข้างและแนวตั้งของการขุดดินเป็นสิ่งที่สำคัญมาก

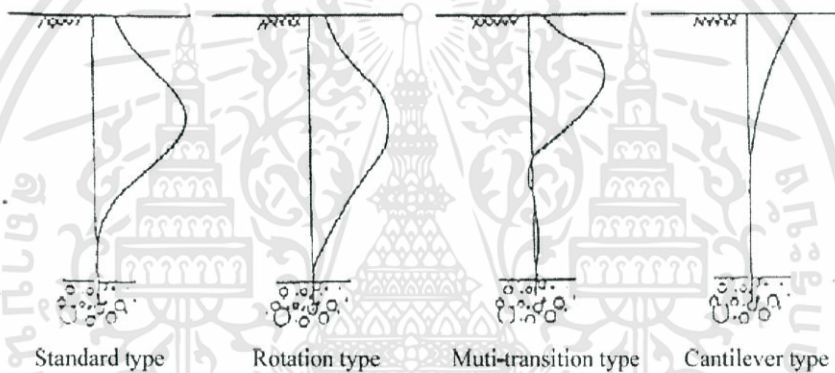
### 2.5.1 การเคลื่อนตัวด้านข้าง

WU et al. (1997) ได้สรุปข้อมูลของโครงการ MRT ในประเทศไทย และระบุเกี่ยวกับรูปแบบของการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินซึ่งควรจะแบ่งอย่างง่าย ๆ ได้เป็น 4 แบบ ดังนี้คือ

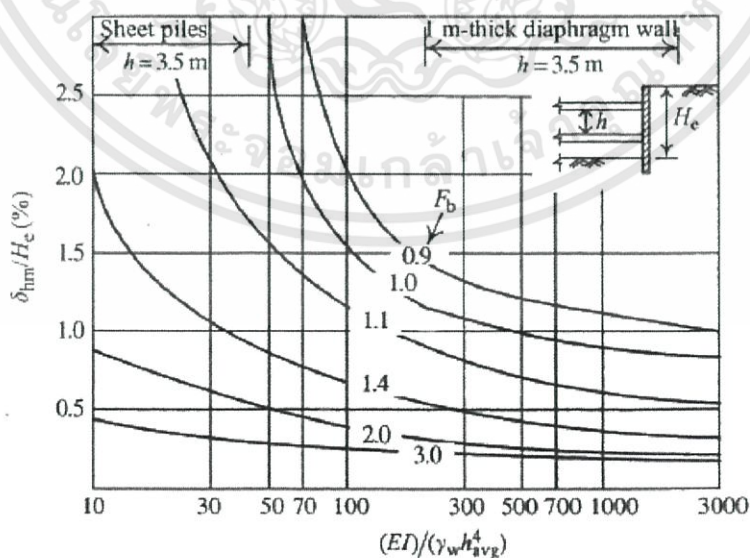
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเคลื่อนตัวแบบธรรมดา 2. การเคลื่อนตัวแบบหมุน 3. การเคลื่อนตัวแบบผสม 4 การเคลื่อนตัวแบบ Cantilever movement ดังรูปที่ 2.6 ได้แสดงถึงรูปแบบการเคลื่อนตัวของ Diaphragm wall ทั้ง 4 แบบ

Clough & O'Rourke (1990) ศึกษาการเคลื่อนตัวเกี่ยวข้องกับการขุดดินลึกโดยข้อมูลตัวอย่างของการวัดในพื้นที่นั้นๆ และการศึกษาจากข้อมูลก่อนหน้านี้ โดยนำเสนอ Semi-empirical เพื่อที่จะประมาณค่าการเคลื่อนตัวของการขุดดินในชั้นดินเหนียวซึ่งเกี่ยวกับค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินด้านข้างที่มากที่สุด ค่าการเคลื่อนตัวมากที่สุดของกำแพงกันดินถูกประมาณค่าที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องเกี่ยวกับค่าความปลอดภัย(safety factor) และระบบของความแข็งแรง(system stiffness) หน้าที่ของ system stiffness คือป้องกัน function of flexural stiffness ,average spacing of support , and unit weight of water ซึ่งได้แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 สรุปการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพง (WU et al., 1997)



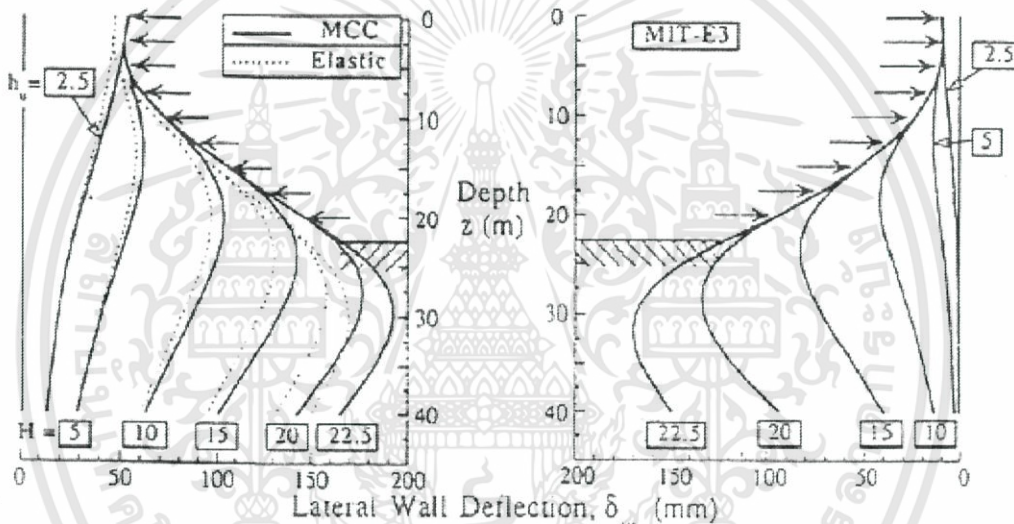
รูปที่ 2.7 กราฟการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดินและมิวดิน การทรุดตัว

สำหรับระบบรองรับในดินเหนียว (from Clough and O'Rourke,1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นวิธี Semi-empirical ที่พัฒนามาจากการสังเกตในสนาม วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขที่ทำให้สำเร็จให้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ ซึ่งจากวิธีมากมายเหล่านี้ มีวิธีที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก คือ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Whittle and Hashash (1994) แสดงการทำนายการเคลื่อนตัวด้านข้างที่มีความหลากหลายในแต่ละระดับของการขุดดินในชั้นดินที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยใช้การวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยแสดงผลลัพธ์เปรียบเทียบกับแบบจำลองชั้นดิน 3 แบบดังรูปที่ 2.8 คือ Elastic , Modified Cam Clay and MIT-E3 เป็นแบบจำลองชั้นดินซึ่งถูกใช้ประมาณค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน โดยรูปแบบค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินมีลักษณะคล้ายกันทั้ง 3 แบบ แต่แบบจำลอง MIT-E3 มีความแตกต่างที่เกิดขึ้นอย่างมาก



รูปที่ 2.8 แสดงการทำนายการเคลื่อนตัวด้านข้าง โดยแบบจำลองดิน Elastic แบบ Modified Cam Clay (MCC) และ แบบ MIT-E3

### 2.5.2 การทรุดตัวที่ผิวดิน

ในครั้งแรกเทคนิคเพื่อที่จะประมาณค่าการทรุดตัวที่พื้นผิวดินของ sheet pile ถูกตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์โดย (Peck, 1969) แรงด้านข้างซึ่งถูกเพิ่มเติมบนกำแพงกันดิน ซึ่งถูกประมาณค่าแบบ Trapezoidal (Caspé, 1966) และทั้งหมดใช้พื้นฐานของทฤษฎี elastic

Caspé (1969) ได้เสนอเทคนิคของการประมาณค่าการทรุดตัวที่ผิวดินที่อยู่ใกล้กับส่วนการขุดเจาะ โดยใช้สมมติฐานที่ว่าปริมาตรคงที่และรูปแบบการเคลื่อนตัวที่เป็นรูปลิ้ม ด้านหลังของผิวการขุด การคำนวณของปริมาตรถูกตั้งอยู่บนพื้นฐานการแบ่งที่ขึ้นส่วนที่เท่ากันขยายลงไปถึงพื้นที่ในส่วนที่ negligible zone โดยจะใช้การประมาณค่าแบบ Trapezoidal

Peck (1969) สร้างความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวทั้งหมดของดินและการขุดดิน ลึกลงด้านล่าง Sheet pile ความสัมพันธ์ได้แสดงในรูปที่ 2.9 เปรียบเทียบการทรุดตัวของดิน ลึกลงกับระยะทางจากพื้นที่ที่มีค่าการทรุดตัวมากที่สุดของการขุดดิน ลึกลงถึงระยะที่เปลี่ยนแปลงและ เงื่อน ไชของดินที่ได้แสดงดังรูป ซึ่งแสดงค่าการทำนายที่เป็นการทรุดตัวที่สูงสุดในบริเวณชั้นแรก (ทรายหรือดินเหนียวแข็ง) ประมาณ ( 1% ) ของระยะลึกของการขุด ในขณะที่ดินเหนียวอ่อนอยู่ที่ ประมาณ ( 1-3% ) ของระยะลึกของการขุดหรือมากกว่านั้น

Bowles (1988) เสนอวิธีการประมาณค่า spandrel-type settlement profile ซึ่งมี ขั้นตอนดังนี้

- 1) ประมาณค่าการทรุดตัวด้านข้างกำแพงกันดิน
- 2) กำหนดปริมาตรของการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินจำนวนมาก ( $V_s$ )
- 3) ประมาณชั้นดินที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ( $D$ ) ใช้ขั้นตอนที่ถูกเสนอโดย Caspe (1966)

$$D = (H_c + H_d)\tan(45 - \phi/2) \quad (2.1)$$

เมื่อ  $H_c$  คือการขุดดินลึกที่สุด และ  $\phi$  คือ มุมเสียดทานภายในของเม็ดดิน  $H_d = B$  เมื่อ  $B$  คือความกว้างของการขุด สำหรับ Cohesionless soil ,  $H_d = 0.5B\tan(45 + \phi/2)$

- 4) ประมาณค่าการทรุดตัวของผิวดินมากที่สุด ( $s_{vm}$ ) สมมุติค่ามากที่สุดของการ ทรุดตัวเกิดขึ้นที่กำแพงกันดิน

$$S_{vm} = 4V_s/D \quad (2.2)$$

- 5) เส้นโค้งการทรุดตัวคือการสมมุติเป็น Parabolic การทรุดตัว ( $s_v$ ) ที่จุดระยะทาง จาก the supported wall ( $d$ ) สามารถถูกปรากฏดังนี้

$$S_v = S_{vm}(X/D)^2 \quad (2.3)$$

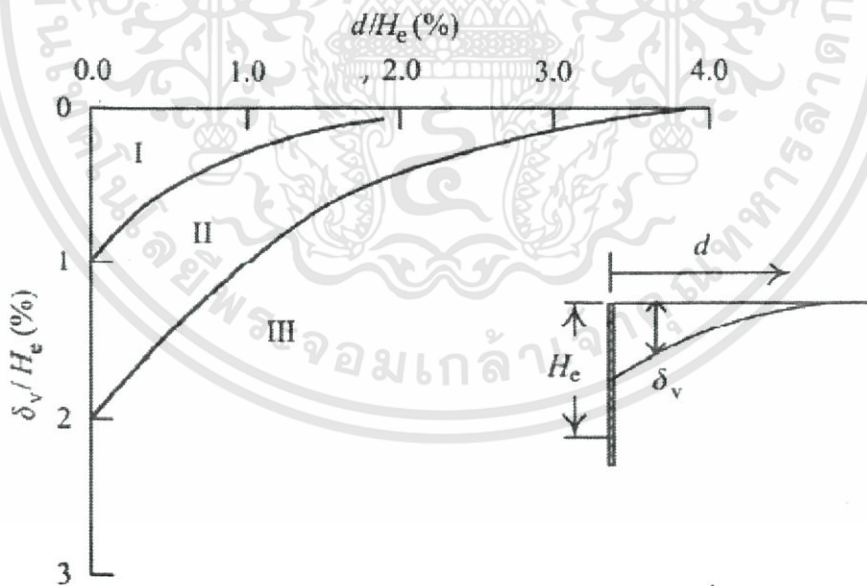
เมื่อ  $D-x$  คือระยะทางถึงจากกำแพงกันดิน

Clough and O'Rourke (1990) ได้เสนอว่าข้อมูลการทรุดตัว โดยการทรุดตัวมี รูปแบบเป็นรูปสามเหลี่ยมสำหรับการขุดดินในดินทรายของดินเหนียวแข็ง ชั้นผิวดินมีค่ามากที่สุด จะเกิดขึ้นที่จุดกำแพงกันดิน (เช่น ., spandrel settlement model) ข้อมูลแสดงในรูป 2.10a และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

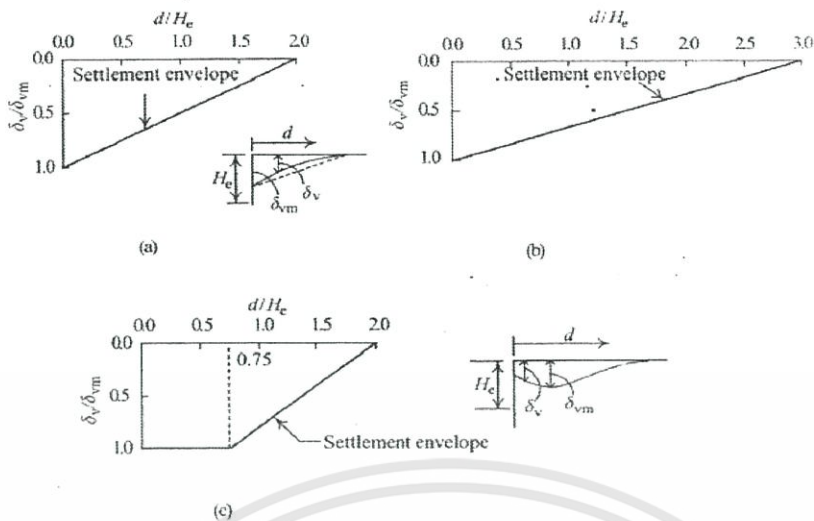
2.10b โดยพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบคือ  $2H_e$  และ  $3H_e$  สำหรับการขุดดินในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง ค่าทรุดตัวที่มากที่สุดปกติแล้วจะเกิดขึ้นที่บางจุดที่ไกลจากกำแพงกันดิน ค่าการทรุดตัวในรูปแบบสี่เหลี่ยมคางหมูแสดงดังรูปที่ 2.10c โชนการทรุดตัวคือ  $2H_e$  สำหรับวิธีนี้ ความลึกของการขุดเจาะ (He) และค่ามากที่สุดของการทรุดตัวที่พื้นผิว ( $S_{vm}$ ) ถูกใช้เป็นตัวแปรพฤติกรรม ซึ่งให้เห็นว่าการศึกษาของ Clough และ O'Rourke ได้ครอบคลุมถึงค่าการทรุดตัวที่ด้านหลังกำแพง ซึ่งทำให้ได้รู้ถึงระยะของการทรุดตัวที่ผิวดิน  $S_{vm}$  เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้ว การทรุดตัวที่ระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงสามารถประมาณได้

Hsieh and Ou (1998) นำเสนอวิธีการจากประสบการณ์ เพื่อทำนายการทรุดตัวของดินที่ผิวดิน มีการทรุดตัวของชั้นผิวดินอยู่ 2 ชนิด คือ Spandrel และ Concave ได้แสดงในภาพ 2.11 โดยวิธีการนี้มีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์เชิงทดลองในการสังเกตภาคสนามจากเส้นโค้งของการทรุดตัวที่มีความชัดเจนมากกว่า วิธีนี้ถูกพิสูจน์ผ่านกรณีตัวอย่าง 9 ตัวอย่างของอดีต ซึ่งวิธีนี้ให้การทำนายที่ดี สมเหตุสมผลของการทรุดตัวที่ผิวดินและข้อมูลการทรุดตัว ทั่วไปแล้ว ค่าการทรุดตัวที่ผิวดินมากที่สุด,  $S_{vm}$  คือ  $0.5S_{hm}$  ถึง  $0.75S_{hm}$  ชนิดของข้อมูลการทรุดตัวสามารถถูกใช้เป็นข้อพิสูจน์ได้เป็นพื้นฐานของความสัมพันธ์ของ cantilever area และ deep in ward area of wall deflection



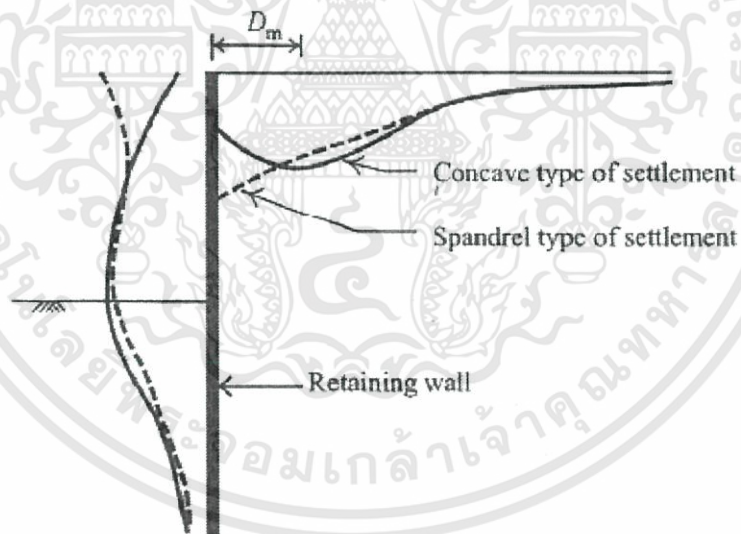
รูปที่ 2.9 Peck's method (1969) สำหรับการประมาณค่าการทรุดตัวผิวดิน

141098



รูปที่ 2.10 Clough and O'Rourke (1990) สำหรับประมาณพื้นที่ผิว

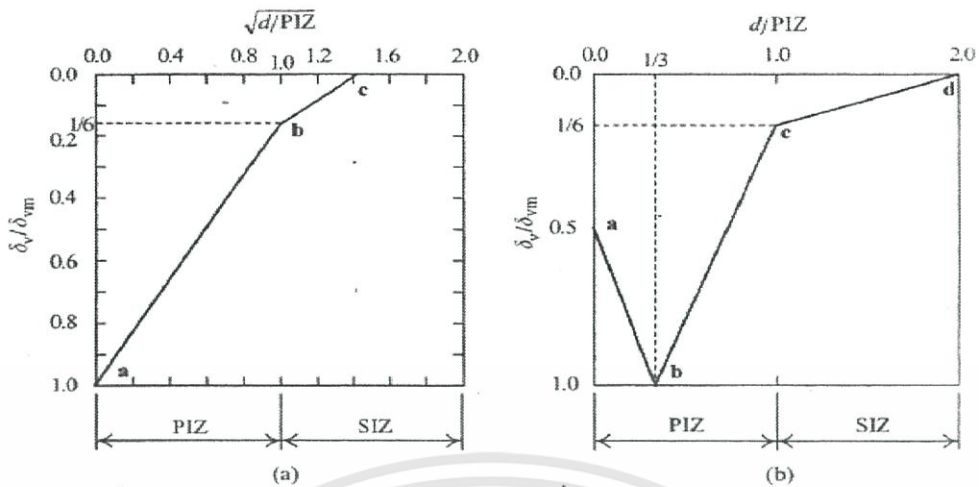
- (a) sand
- (b) stiff to very stiff clay
- (c) soft to medium soft clay



รูปที่ 2.11 ประเภทของการทรุดตัวผิวดิน (Hsieh and Ou, 1993)

Ou and Hsieh (2000) พัฒนารูปแบบที่จะทำนายการทรุดตัวของดินในแบบพื้นฐานของการศึกษาของชนิดของการทรุดตัวของดินพื้นผิว ชั้นที่มีอิทธิพล ตำแหน่งของค่าการทรุดตัวที่มากที่สุด และค่าการทรุดตัวที่มากที่สุด โดยได้นำเสนอกราฟ แสดงในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 Ou and Hsieh 's method สำหรับประมาณการทรุดตัวของผิวดิน  
(Ou and Hsieh,200; Ou et al.,2005)

## 2.6 การใช้ FEM วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากการขุด

Sutabutr (1992) จำลองพฤติกรรมของชั้นดินกรุงเทพโดยใช้การวิเคราะห์ FEM ในการทำนายค่าการเคลื่อนตัวของดินด้านข้าง โดยใช้แบบจำลอง Modified Cam Clay model (MCC) และ elastic-perfectly plastic ซึ่งมีพื้นฐานจากทฤษฎี Mohr- Couloum ในการจำลองของพฤติกรรมของดินเหนียวและทรายตามลำดับ ในการศึกษาการทรุดตัวและเสีรูปร่าง พฤติกรรมของตัวรองรับ กำแพงในความแข็งแรงที่แตกต่างถูกตั้งข้อสังเกตสำหรับชั้นทรายจะทรุดตัวสูงสุดจะสูงกว่าค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุด ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างและค่าการทรุดตัวเกี่ยวข้องกับ ค่าความแข็งแรงของกำแพง,ค่าการทรุดตัวด้านข้าง,  $\delta_{hw}$ (mm.), คือ  $7.5 \times 10^2(EI)^{-0.72}$  และค่าการทรุดตัว  $\delta_{vw}$ (mm.), คือ  $5.5 \times 10^2(EI)^{-1.3}$  เมื่อความแข็งแรงกำแพงวัดเป็น MPa

Ou, Shiau and Wang (2000) ศึกษาที่ Taipei National Enterprise Center (TNEC) โครงการขุดเจาะเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนไหวแบบสามมิติของดินและกำแพงโดยสังเกตภาคสนามและการวิเคราะห์โดย FEM ผลพบว่าดินที่อยู่บริเวณรอบนอกเขตการขุดมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนตัวเข้าไปยังศูนย์กลางการขุด ผลจาก FEM ระบุการเสีรูปร่างและการทรุดตัวที่ผิวสามารถทำนายใกล้เคียงโดยมีการวิเคราะห์จาก FEM สามมิติ

Trinidad (2002) ทำการศึกษาพื้นดินเสีรูปร่างที่มีการขุดลึกลงไปในความหนาของชั้นดินเหนียว ในการศึกษาแบบของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นต้นแบบของการทดสอบการเจาะแบบหมุนเหวี่ยง จากผลการศึกษา โดยการบันทึกเวลาของโครงสร้างลำจูน พบว่า การมีโครงสร้างลำจูนช่วยป้องกันการเสีรูปร่างและการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้นแบบของการทรุดตัวของผิวดินเป็นผลมาจาก FEM ร่วมกับ การทดสอบรูปแบบหมุนเหวี่ยงแต่ไม่เข้ากับตำแหน่งของการทรุดตัวสูงสุดและการ

คำนวณการเปลี่ยนของทิศทางของกำแพงกับการเปลี่ยนแปลงการเสียดรูปสังเกตในการทดสอบการหมุนเหวี่ยง

Mitew (2005) ได้ศึกษาการทดสอบเชิงตัวเลขที่เหมาะสมเพื่อที่จะใช้ในการวิเคราะห์ที่ย้อนกลับการขุดในWarsaw สามวิธีที่แตกต่างกันที่ใช้ในขั้นตอนการตอบสนองฐานรากร่วมกับการประมาณแรงดัน FEM ใช้สี่ตัวเลือกที่แตกต่างกันของมอดูลัสเชิงเส้น ถูกนำมาใช้ในการศึกษาตัวแปร ถึงแม้ว่าการเคลื่อนตัวในแนวนอนค่อนข้างเล็กน้อยสำหรับการวิเคราะห์แต่มันเป็นประเด็นที่สำคัญของการทำงานของ Mitew

- ตัวเลือกของมอดูลัสฐานรากในแนวนอน,  $k_h$ , คำนวณสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการประมาณการเคลื่อนตัวและประมาณค่าแรงภายในกำแพง

- การหาค่า  $k_h$  ใช้ทฤษฎีหรือการทดลอง ประมาณค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงและกำหนด  $k_h$  จากการวัดความดันเพื่อประมาณค่าการเคลื่อนตัว

- ใช้ FEM ในการวิเคราะห์ประมาณค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุด

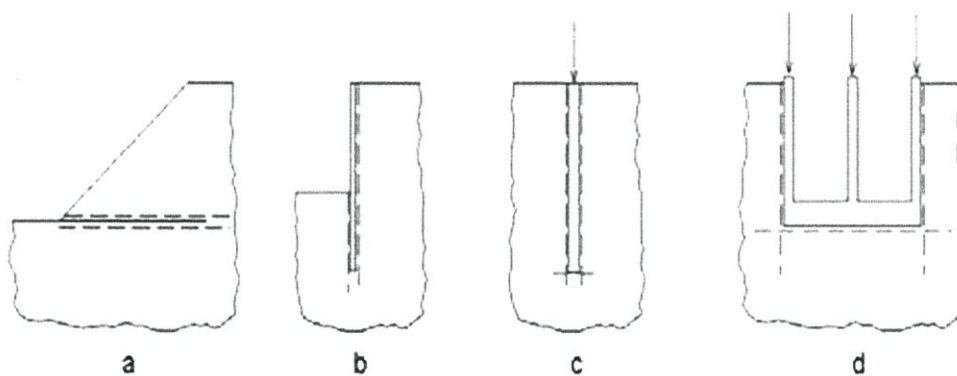
### 2.6.1 โปรแกรม Plaxis

การพัฒนาของ Plaxis เริ่มต้นขึ้นใน ค.ศ. 1987 ที่ Technical University เป็นความคิดริเริ่มของกรมโยธาธิการและการจัดการน้ำ เริ่มพัฒนาจากองค์ประกอบที่ง่ายต่อการใช้งานสำหรับวิเคราะห์การก่อสร้างเขื่อนในดินอ่อนของซอนแลนด์ ในปีต่อมา Plaxis ได้ขยายให้ครอบคลุมไปยังพื้นที่อื่นๆในงานวิศวกรรมปฐพี Plaxis มีวัตถุประสงค์เฉพาะสำหรับวิเคราะห์การเคลื่อนตัวและความเสถียรในโครงการวิศวกรรมปฐพี ซึ่งเป็นโปรแกรมขั้นสูงใช้ในการจำลองพฤติกรรมของดินที่ไม่เป็นเส้นตรง ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของดิน นอกจากนี้ เนื่องจากดินเป็นวัสดุหลายเฟส ขั้นตอนที่สำคัญคือต้องจัดการกับแรงดันน้ำ ที่ไม่มีแรงดันน้ำ และแรงดันน้ำส่วนเกินในดิน การสร้างแบบจำลองของดินเป็นเรื่องที่สำคัญกับหลายโครงการที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมปฐพี การสร้างแบบจำลองของโครงสร้าง และมีปฏิริยาระหว่างโครงสร้างและดิน Plaxis เป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติพิเศษในการจัดการกับหลายพฤติกรรมของโครงสร้างปฐพี

#### พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างโครงสร้างและดิน

พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างโครงสร้างและดิน โดยทั่วไปโปรแกรมของพื้นที่ผิวสัมผัสจะอยู่ในรูปแบบการทำงานร่วมกันระหว่างกำแพงกันดินและดิน ในโปรแกรมนี้จะมีดินอยู่ที่ทั้งสองด้านของผนังกำแพง ซึ่งความขรุขระของแบบจำลองที่เลือกมีผลต่อแรงที่ทาปฏิกิริยา ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับแรงของพื้นที่ผิวสัมผัส (แรงเสียดทานและแรงยึดเกาะ) เพื่อความแข็งแรงของดิน(มุมเสียดทานและมุมยึดเหนี่ยวระหว่างดิน) จากรูป 2.13 แสดงให้เห็นองค์ประกอบของพื้นที่ผิวสัมผัสที่เชื่อมต่อกับองค์ประกอบของดิน เมื่อให้องค์ประกอบของดิน 6 จุดต่อ โดยองค์ประกอบพื้นที่ผิวสัมผัส ถูกกำหนดด้วย 3 คู่ของจุดต่อ ในขณะที่องค์ประกอบของดิน 15จุดต่อ ที่สอดคล้องกับองค์ประกอบพื้นที่ผิวสัมผัส ถูกกำหนดโดย 5คู่ของจุดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างพื้นที่ผิวสัมผัสที่ใช้ (Brinkgreve and Vermer, 2001)

ในรูปองค์ประกอบของพื้นที่ผิวสัมผัส แสดงที่ความหนาจำกัดแต่ในการกำหนด พิกัดของ FEM แต่ละคู่จะเหมือนกัน ซึ่งหมายความว่าองค์ประกอบพื้นที่ผิวสัมผัสมีความหนาเป็น ศูนย์ ในโปรแกรม Plaxis เมทริกซ์ความแข็งแรงขององค์ประกอบ พื้นที่ผิวสัมผัสใช้หลักการ Newton-Cotes ในการรวมจุด ตำแหน่งของการรวมจุด(หรือจุดความเครียด) สอดคล้องกับตำแหน่ง จุดต่อ ดังนั้นจาก 6 จุดต่อ องค์ประกอบของพื้นที่ผิวสัมผัส ถูกใช้ Newton-cotes รวม 3 จุด ในขณะที่ 10 จุดต่อของพื้นที่ผิวสัมผัส ใช้รวม 5 จุด

#### การกำหนดแบบจำลอง

การสร้างองค์ประกอบของ FEM เริ่มต้นด้วยการสร้างรูปแบบเรขาคณิตซึ่งเป็นการ แสดงปัญหาที่น่าสนใจ รูปแบบเรขาคณิตประกอบด้วย จุด เส้น และ กระจุก จุดและเส้นถูกป้อน โดยผู้ใช้งานในขณะที่กระจุก จะถูกสร้างขึ้น โดยโปรแกรมนอกจากองค์ประกอบพื้นฐานเหล่านี้ โครงสร้างหรือเงื่อนไขพิเศษต่างๆสามารถกำหนดให้กับรูปแบบเรขาคณิตได้ แนะนำให้เริ่มต้นการ สร้างรูปแบบเรขาคณิตโดยการวาดเส้นรูปทรงเรขาคณิตแบบเต็มรูป นอกจากนี้อีกหนึ่งสิ่งคือ สามารถระบุชั้นวัสดุ, วัสดุโครงสร้าง เส้นที่ใช้สำหรับแบ่งขั้นตอนการก่อสร้าง ,แรงและขอบเขต เงื่อนไข รูปแบบเรขาคณิตไม่ได้หมายถึงแค่สถานการณ์เบื้องต้นแต่ยังรวมถึงขั้นตอนการก่อสร้าง ขั้นสุดท้ายที่มีการพิจารณาในระยะสุดท้าย หลังจากรูปแบบเรขาคณิตเสร็จเรียบร้อยแล้วสิ่งหนึ่งควร ประกอบด้วยชุดข้อมูลคุณสมบัติวัสดุ และกำหนดชุดข้อมูลส่วนของรูปทรงเรขาคณิตที่สอดคล้อง เมื่อเรขาคณิตเสร็จเต็มรูปแบบที่กำหนดและองค์ประกอบเรขาคณิตต้องมีคุณสมบัติตามกำหนด รูปแบบเรขาคณิตจะเสร็จสมบูรณ์และตาข่ายถูกสร้างเสร็จสมบูรณ์

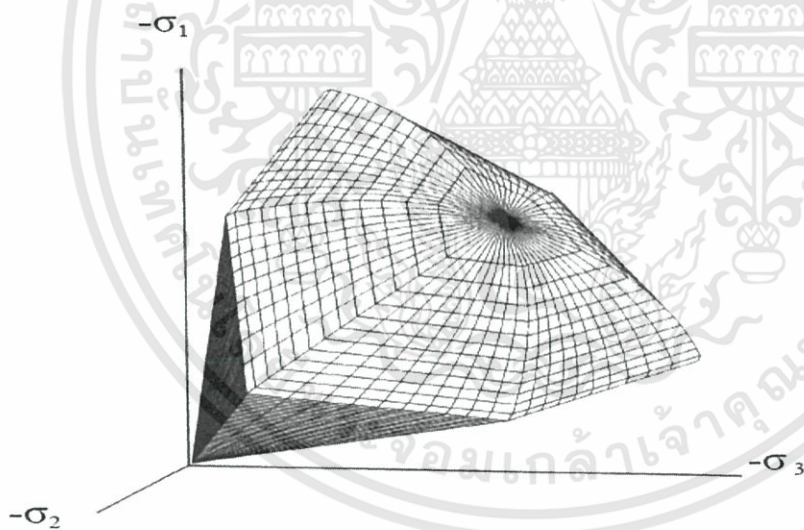
#### 2.6.2 การพิจารณาแบบจำลองจากการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

วัสดุแบบจำลอง เป็นตัวแปรสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์การเคลื่อนตัว ซึ่งความถูกต้องของการวิเคราะห์เชิงตัวเลขขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุแบบจำลอง

แบบจำลองเชิงเส้นแบบยืดหยุ่น : พฤติกรรมของโครงสร้างที่อาจจะกำหนดเป็นวัสดุเชิงเส้นแบบยืดหยุ่น orthotropy หรือเป็นโค้งแรงเสียดรูป แบบไม่เป็นเส้นตรงแบบยืดหยุ่น ใช้กับคาน ผนัง และพื้น

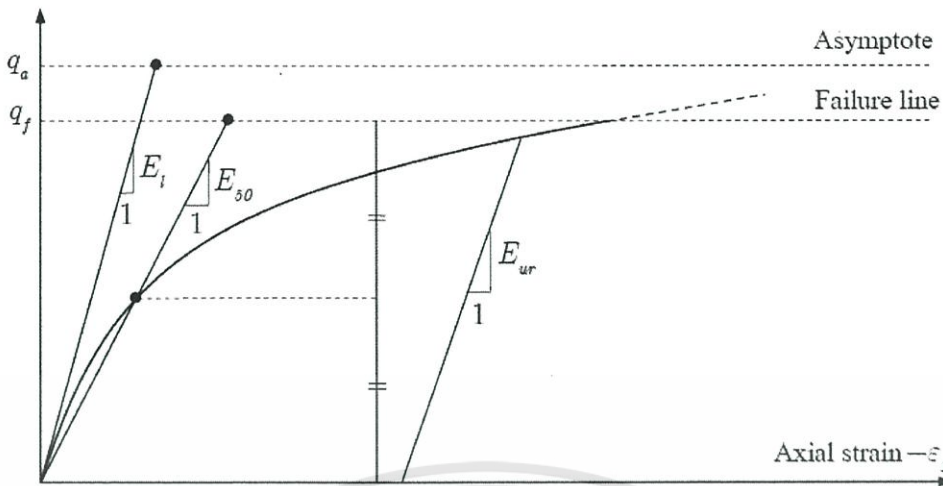
แบบจำลองมอร์-คูลอมบ์ : เป็นที่นิยมมากในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค โดยมีที่มาจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการไม่ว่าจะเป็นการทดสอบกล่องแรงเฉือนโดยตรง หรือการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบระบายน้ำผลการทดสอบทั้งสองจะนำมาวิเคราะห์โดยใช้วงกลมมอร์ ซึ่งการนิยามเงื่อนไขโครากนิคมใช้ตัวแปรความเค้นตั้งฉากและความเค้นเฉือน

แบบจำลองชนิด Hardening Soil (HS) : ความสัมพันธ์ของแบบจำลองพฤติกรรมของดินแสดงไว้ในรูปที่ 2.14 เป็นแบบพลาสติก ซึ่งเป็นการปรับปรุงแบบจำลองของมอร์-คูลอมบ์ (Mohr-Coulomb model) โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ มุมเสียดทานของดิน (friction angle,  $\phi$ ) ค่าการยึดเกาะกันของดิน (cohesion,  $c$ ) และมุมไคเลชัน (Dilatancy angle,  $\psi$ ) ส่วนค่าโมดูลัสของดินต้องทำการป้อนเพิ่มเติมมากกว่าในกรณีของแบบจำลองมอร์-คูลอมบ์ ได้แก่ ค่า Triaxial loading stiffness ( $E_{s0}$ ) ค่า Triaxial unloading stiffness ( $E_{ur}$ ) และค่า Oedometer loading stiffness ( $E_{oed}$ ) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.15 และ 2.16

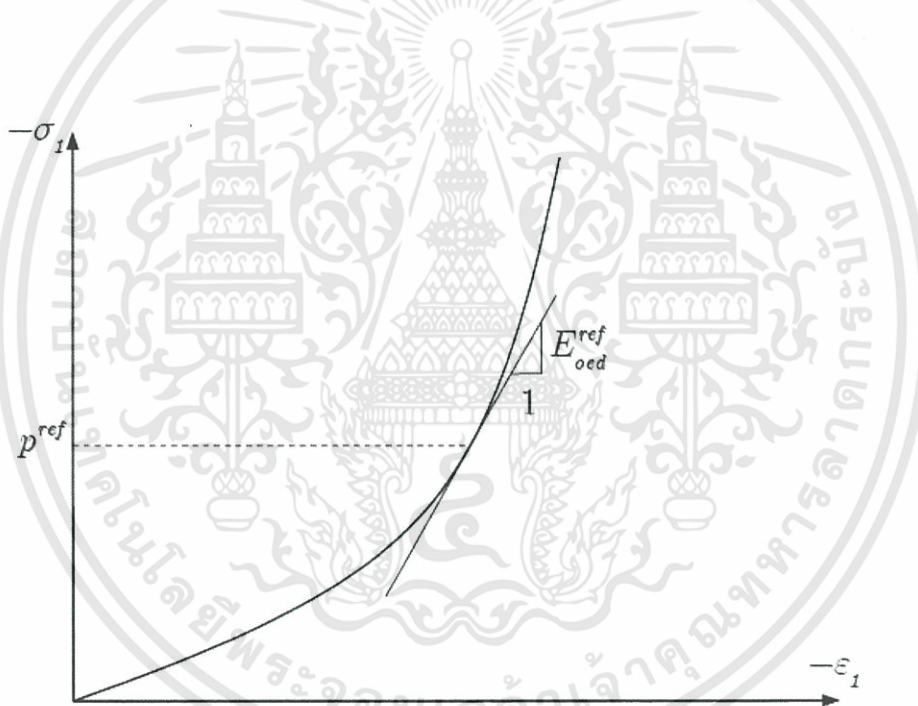


รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ของแบบจำลองชนิด Hardening Soil

Deviatoric stress  $|\sigma_1 - \sigma_3|$



รูปที่ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ของความเค้นกับความเครียด  
ในการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial test)

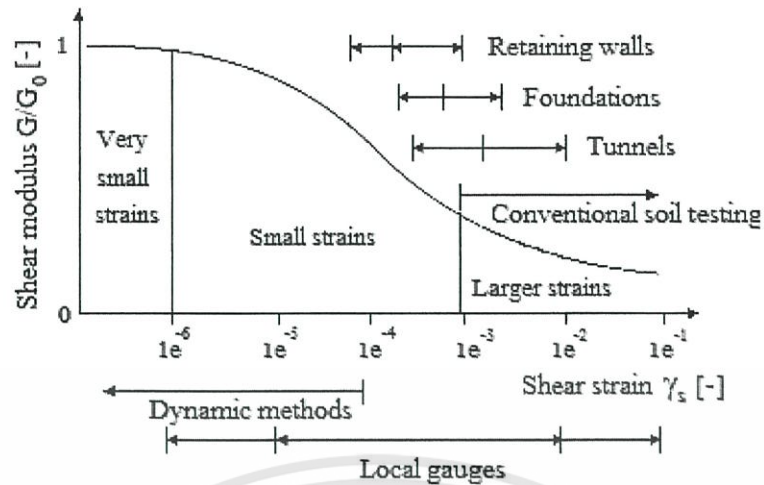


รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ของความเค้นกับความเครียดในการทดสอบการอัดตัวคลายน้ำ

### Hardening Soil model กับ small-strain stiffness

แบบจำลอง Hardening Soil แบบเดิมเป็นการสมมติพฤติกรรมแบบอีลาสติก ระหว่างที่เอาน้ำหนักบรรทุกออกและเพิ่มน้ำหนักบรรทุก อย่างไรก็ตามช่วงความเครียดในดินก็มักจะอยู่ในช่วง อีลาสติก ตัวอย่างเช่น เมื่อมีการปรับปรุงดินช่วงความเครียดก็เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยโดยการเพิ่มขึ้นของความเครียดในดินแข็งจะมีอัตราลดลงแบบไม่เป็นเส้นตรง กราฟ log ความเครียดของดินแข็งมีลักษณะเป็นรูปตัว S ดังรูป 2.17 เป็นตัวอย่างของเส้นโค้งความแข็งที่ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ลักษณะพฤติกรรมของความเครียดในดินจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

## 2.7 สมการ Semi-Empirical เพื่อทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงจากกระบวนการขุด

ความแม่นยำในการทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ส่วนมากขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของดิน ข้อมูลของดินที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองพฤติกรรมโดยทั่วไปได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการในขั้นตอนสุดท้ายผลจากการวิเคราะห์จากไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกสร้างเป็นสมการ semi-empirical เพื่อทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงด้านข้าง

Kung et al. (2007) ได้นำเสนอ semi-empirical model สำหรับทำนายการโก่งตัวสูงสุดของกำแพง พื้นผิวการทรุดตัวสูงสุด และรูปโครงสร้างพื้นผิวการทรุดตัวเนื่องจากการขุดในชั้นดินเหนียวอ่อนปานกลาง ข้อมูลเทียมจำนวนมากถูกสร้างขึ้นโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์จากการตรวจวัดที่ดีแบบจำลองดิน small-strain ข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วย การเคลื่อนตัวของกำแพงและการทรุดตัวของพื้นผิวดินในการขุดดินในชั้นดินเหนียวอ่อนปานกลาง ตัวแปรจะแสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 สรุปตัวแปรที่นำเข้าและขอบเขตของไฟไนต์เอลิเมนต์ 2D ในการทดลองเชิงตัวเลข

(Kung et al., 2007)

Variable	Applicable range
Excavation depth, $H_e$ (m)	0-30
$EI/h^4 \cdot \gamma_w$	$0 \leq$
Excavation width, $B$ (m)	0-100
Normalize shear strength ( $S_u / \sigma'_v$ )	0.2-0.4
$E_i / \sigma'_v$	200-1200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีสมมติในตารางที่ 2.6 (1)ความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละแปดตัวแปรและการโค้งตัวสูงสุดที่ระดับความลึกของการขุดกำแพงและ (2)เพื่อให้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ตัวแปรเชิงถดถอยก่อนการวิเคราะห์เชิงถดถอย ตัวแปรทั้งแปดตัวที่นำเข้ามาจะเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงระหว่างการโค้งตัวสูงสุดของกำแพงและตัวแปรเหล่านี้คือผลสำเร็จ รูปแบบฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงถูกสร้างผ่านการสุ่มวิเคราะห์หามากมาย เพื่อวัตถุประสงค์ซึ่งดำเนินต่อไปให้เป็นรูปแบบเดียวกันและเป็นรูปแบบฟังก์ชันที่ง่ายในการป้อนตัวแปรต่อมาฟังก์ชันถูกนำมาใช้สำหรับเปลี่ยนแปลงที่แสดงในสมการ 2.4

$$X = t(x) = a_1x^2 + a_2x + a_3 \quad (2.4)$$

เมื่อ  $X =$  ตัวแปรของข้อมูล  $H_e, \ln(EI/h^4_{avg} \gamma_w), B/2, S_u/\sigma'_v,$  or  $E_i/\sigma'_v$ ) และ  $x =$  ตัวแปรที่เปลี่ยนแปลง, ค่าสัมประสิทธิ์  $a_1, a_2,$  และ  $a_3$  สำหรับแต่ละตัวแปรจะผ่านการปรับปรุงข้อผิดพลาดในการใช้ ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นเกิดจากการวิเคราะห์โดยใช้ ไฟไนต์อิลิเมนต์ และแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการเปลี่ยนแปลงของเส้นตรงของห้าตัวแปร (Kung et al., 2007)

Variables (x)	Applicable Range	Coefficients of Eq. 2.2		
		$a_1$	$a_2$	$a_3$
$H_e$ (m)	0-30	-0.4	24	-50
$\ln(EI/h^4_{avg} \gamma_w)$	$0 \leq$	11.5	-295	2,000
$B/2$ (m)	0-100	-0.04	4	90
$S_u/\sigma'_v$	0.2-0.4	3,225	-2,882	730
$E_i/\sigma'_v$	200-1200	0.00041	-1	500

ทั้งหมด 144 ตัวอย่างถูกสมมติใช้เพื่อสร้างสมการประมาณค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพง ( $\delta_{hm}$ ) การพัฒนาสมการเชิงถดถอยที่แสดงในสมการ 2.5

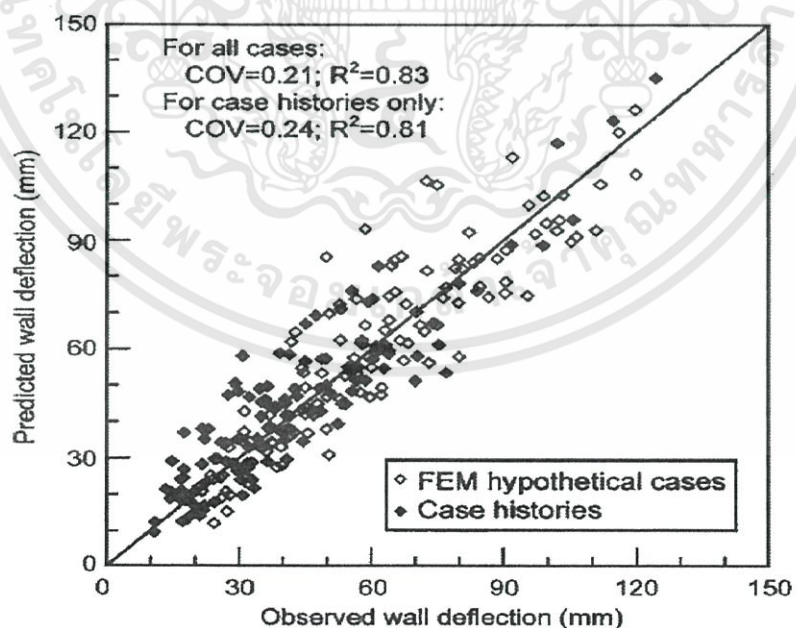
$$\delta_{hm} \text{ (mm)} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_1X_2 + b_7X_1X_3 + b_8X_1X_5 \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย มีดังนี้

	X	B
0	-	-13.41973
1	$t(H_e)$	-0.49351
2	$t[\ln(EI/h^4_{avg} \cdot \gamma_w)]$	-0.09872
3	$t(B/2)$	0.06025
4	$t(S_u / \sigma'_v)$	0.23766
5	$t(E_i / \sigma'_v)$	-0.15406
6	-	0.00093
7	-	0.00285
8	-	0.00198

การโค้งตัวของกำแพงคำนวณโดยใช้สมการ 2.5 เมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้จริงจาก 30 กรณี และวิเคราะห์โดยใช้ไฟไนท์อีลิเมนต์สำหรับ 144 ตัวอย่างแสดงในรูป 2.18 สมการ 2.4 และสมการ 2.5 แสดงประสิทธิภาพที่มีเพื่อประเมินการเกิดค่าสูงสุดของการโค้งตัวของกำแพงในดินเหนียวอ่อนปานกลางให้ค่าสัมประสิทธิ์การคำนวณสูง ( $R^2$ ) และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่า (COV)



รูปที่ 2.18 ประสิทธิภาพของสมการ 2.2 และ 2.3 ที่ในขั้นตอนต่างๆของการขุด (Kung et al., 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

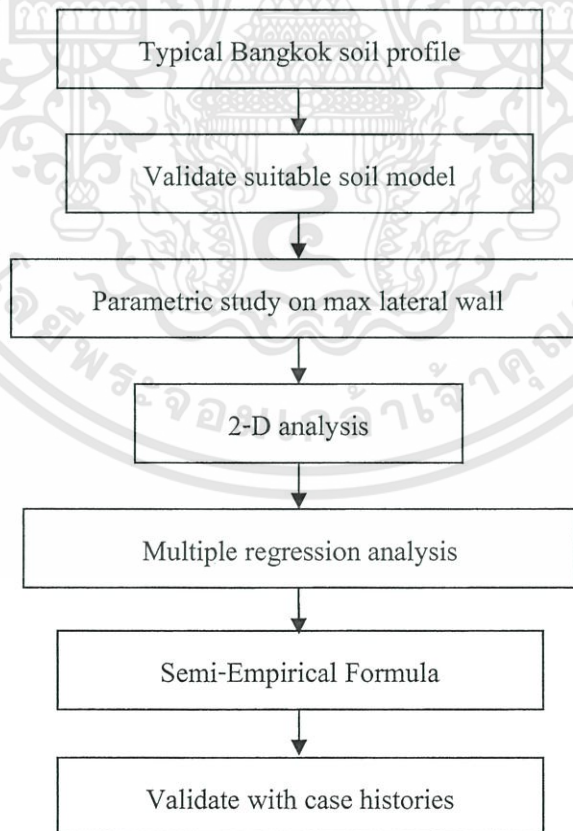
## ขั้นตอนการดำเนินงาน

### 3.1 กล่าวนำ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ การพัฒนาสมการอย่างง่าย เพื่อประมาณการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดินในงานขุดดินลึกในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ และเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ การศึกษาประกอบด้วย

- 1) ศึกษาข้อมูลจากกรณีศึกษาของการขุดแบบมีค้ำยันในกรุงเทพมหานคร
- 2) สร้างแบบจำลองดินที่เหมาะสม เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของดินในการขุดดิน
- 3) สร้างข้อมูลเทียมโดยพิจารณาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน
- 4) สร้างสมการอย่างง่าย ด้วยการวิเคราะห์เชิงถดถอย
- 5) ตรวจสอบความแม่นยำของสมการกับกรณีศึกษา

ขั้นตอนการพัฒนาสมการ สามารถเขียนเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

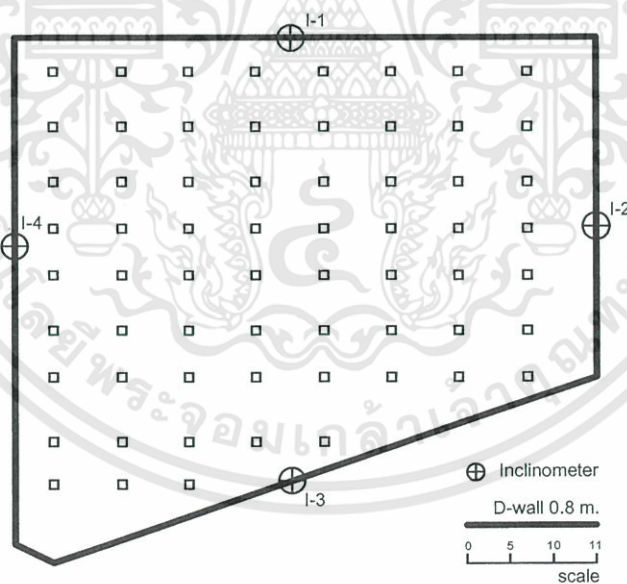
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ศึกษาข้อมูลจากกรณีศึกษาของการขุดดินแบบมีค้ำยัน

จากกรณีศึกษาของการขุดดินลึกในกรุงเทพมหานครที่มีข้อมูลเพียงพอและเหมาะสม ได้มีการเลือกใช้กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารจอดรถใต้ดิน BMAH มาใช้ในการสร้างแบบจำลองและพัฒนาสมการ

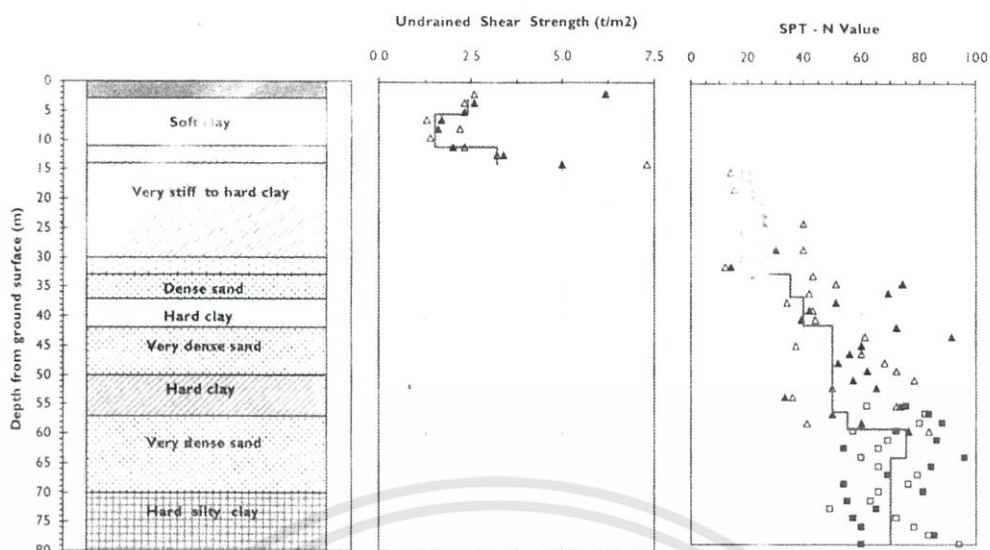
ข้อมูลชั้นดิน ของโครงการก่อสร้างอาคารจอดรถใต้ดิน BMAH แสดงในรูปที่ 3.2 และ รูปที่ 3.3 ระบบ โครงสร้างถาวรของโครงการ BMAH ถูกก่อสร้างแบบ Top-Down โดยใช้กำแพงกันดินหนา 0.8 เมตรเป็นอาคารจอดรถ 4 ชั้น ขุดดินลึก 13 เมตรมีความลึกและพื้นที่ใช้สอยประมาณ 2800 ตารางเมตรมีโครงสร้างคานที่ -0.5 เมตร เป็นค้ำยันชั้นแรกและพื้นที่ค้ำยันหนา 0.3 เมตรติดตั้งที่ -2.5,-5.6 และ -8.1 เมตรลำดับชั้นของการขุดและขั้นตอนการก่อสร้างอธิบายได้ดังนี้

- 1) ขุดลึก 1 เมตร และสร้างคานที่ -0.5 เมตร
- 2) ขุดลึก 5.6 เมตร และสร้างพื้นที่ -5.3 เมตร
- 3) ขุดลึก 13 เมตร และสร้างฐานราก
- 4) สร้างพื้นที่ -8.1 เมตร
- 5) สร้างพื้นที่ -2.5 เมตร



รูปที่ 3.2 แผนผังกรณีศึกษา BMAH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ข้อมูลชั้นดินกรณีศึกษา BMAH

จากกรณีศึกษานี้ สามารถสรุปความลึกของการขุด และระบบการค้ำยัน ได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สรุปข้อมูลการขุดดินของกรณีศึกษา

Item	Range [m.]
Excavation width	25-60
Excavation Length	40-120
Wall Length	14-28
Wall thickness	0.6-1.0
Final depth	6.3-19.2
The fist excavation depth	1.0-3.2
Average vertical spacing of bracing	2.5-5.5

### 3.3 การวิเคราะห์และเลือกแบบจำลองดินที่เหมาะสม

#### 3.3.1 พิจารณาแบบจำลองดิน

เทคนิคการขุดดินสมัยใหม่ ตัวอย่างเช่น การใช้กำแพงกันดิน สามารถช่วยให้ดินเกิดการเสถียรของชั้นดินน้อยกว่าการก่อสร้างสมัยก่อน อย่างไรก็ตามก็ยังคงเป็นเรื่องยากที่จะควบคุมการเคลื่อนที่ของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อปลายของกำแพงกันดินฝังอยู่ในชั้นดินเหนียว วิธีการเชิงตัวเลขมักจะถูกใช้ทำนายค่าความเค้น และการเสถียร เพราะสามารถเลือกวิธีที่เหมาะสมได้หลายรูปแบบ เนื่องจากความลึกของงานขุดในกรุงเทพมหานครอยู่ที่ประมาณ 5-15 เมตร และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน จึงต้องการแบบจำลองดินที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของดินกรุงเทพฯ ได้ โดยทั่วไปแบบจำลองดินทางไฟไนต์อีลิเมนต์ ที่มักจะถูกใช้และเป็นที่รู้จัก คือ Elastic model, Elastic-perfectlyplastic, Mohr-Coulomb (MC) model, Modified Cam Clay (MCC) model เนื่องจากแบบจำลองเหล่านี้ สามารถหาตัวแปรได้ง่าย ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข แบบจำลองจะอธิบายพฤติกรรมของดินและวัสดุคล้ายันต่างๆ ซึ่งควรจะให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องสูง ในบทนี้จะวิเคราะห์แบบจำลองดินเหนียวที่เหมาะสม ในงานชุดดิน หลากๆแบบจำลอง ได้แก่ MC, MCC, Hardening Soil (HS) และ Hardening Soil model with small-strain stiffness (HSsmall)

พฤติกรรมของดินมีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear) และความเค้นซึ่งขึ้นอยู่กับพฤติกรรมในอดีต การวิเคราะห์ทั้งสองสิ่งนี้ ต้องพิจารณาเลือกอย่างมีเหตุผล Mohr-Coulomb model, MC เป็นแบบจำลองที่เป็นที่นิยมในการวิเคราะห์งานดิน ความได้เปรียบที่สุดของ MC คือใช้ตัวแปรเพียงสองตัวเท่านั้น ( $\phi$  และ  $c$ ) ก็สามารถอธิบายพฤติกรรมแบบพลาสติกได้ และสามารถหาค่าตัวแปรได้ง่าย งานชุดดินลึกจำนวนมากที่ได้ศึกษา (i.e. Teparaksa et al. 1998, 1999) ใช้แบบจำลองดินรูปแบบนี้ ผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับค่าที่สังเกตได้จากสนาม แต่แบบจำลองนี้จะให้ผลลัพธ์ที่ดีในกรณีที่มีค่าความเค้นที่ยอมรับได้เท่านั้น

จากที่กล่าวมา แบบจำลองดินที่เหมาะสม ไม่เพียงแต่จะใช้งานได้เท่านั้น แต่จะต้องมีตัวแปรที่เหมาะสม สามารถใช้ได้กับโปรแกรมทางวิศวกรรมที่เลือกใช้ ซึ่งในการศึกษาวิจัยชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯครั้งนี้ ได้พิจารณาแบบจำลองต่างๆ ดังนี้

### **Mohr-Coulomb (MC)**

แบบจำลองของมอร์-คูลอมบ์ เป็นที่นิยมอย่างมากในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค โดยมีที่มาจากทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตัวแปรต่างๆ เช่น  $E$  และ  $\nu$  ที่แสดงถึงความยืดหยุ่นของดิน (soil elasticity)  $\phi$  และ  $c$  ที่แสดงถึงสภาพพลาสติกของดิน (soil plasticity) และ  $\mu$  ซึ่งเป็นมุมไคเลชันของดินทราย

แบบจำลองของมอร์-คูลอมบ์นี้ แสดงถึงให้เห็นการประมาณพฤติกรรมลำดับแรก ของดิน ในแต่ละชั้นจะถูกประมาณค่าคงที่ของความแข็งแรงเฉื่อย และเนื่องจากค่าคงที่ของความแข็งแรงเอง ทำให้ผลจากการคำนวณมีแนวโน้มเป็นไปตามการเคลื่อนตัวที่พบในครั้งแรก

### **Modified Cam Clay (MCC)**

Roscoe และ Burland (1968) ได้พัฒนาแบบจำลองโมดิฟายแคมเคลย์ (Modified Cam Clay ,MCC) ขึ้น โดยมีการพิจารณาพลังงานที่สูญเสียไปทั้งในกระบวนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรแบบพลาสติก และกระบวนการเนียนเบียงเบนพลาสติก แบบจำลองดินนี้เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในกลุ่มผู้ใช้ไฟไนต์อีลิเมนต์ เพราะตัวแปรนำเข้าสามารถหาได้จากข้อมูลตรวจวัดต่างๆไป และแบบจำลองนี้สามารถอธิบายพฤติกรรมความเค้น ความเครียดของดินได้

### Hardening-Soil model (HS)

Hardening-Soil model เป็นแบบจำลองขั้นสูงสำหรับจำลองพฤติกรรมของดิน ซึ่งเป็นการปรับปรุงแบบจำลอง Mohr-Coulomb (MC) โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ มุมเสียดทานของดิน ( $\phi$ ) ค่าการยึดเกาะกันของดิน ( $c$ ) และมุมไคเลชัน ( $\psi$ ) ส่วนค่าโมดูลัสของดินต้องทำการป้อนเพิ่มเติมมากกว่าในกรณีของ Mohr-Coulomb ได้แก่ ค่า Triaxial loading stiffness ( $E_{50}$ ) ค่า Triaxial unloading stiffness ( $E_{ur}$ ) และค่า Oedometer loading stiffness ( $E_{oed}$ )

### Hardening Soil model with small-strain stiffness (HSsmall)

แบบจำลอง HSsmall เป็นการปรับปรุง แบบจำลอง Hardening-Soil โดยการพิจารณาเพิ่มค่าความแข็งของดิน (stiffness) ในช่วงระดับความเครียดน้อยๆ การกำหนดค่า small strains stiffness มีที่มาจากงานวิจัยของ Benz (2006) ที่ช่วงระดับความเครียดน้อยๆ ดินส่วนมากจะแสดงค่าความแข็งสูงกว่าที่ระดับความเครียดวิศวกรรม ซึ่งความแข็งนี้ มีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเส้นตรงกับความเครียด พฤติกรรมนี้ถูกอธิบายด้วยแบบจำลอง HSsmall โดยเพิ่มตัวแปร strain-history และเพิ่มสองตัวแปรวัตถุ ได้แก่  $G_0$  ref and  $\gamma_{0.7}$  ซึ่ง  $G_0$  คือ small-strain shear modulus และ  $\gamma_{0.7}$  คือ strain level ที่ shear modulus ลดลงเหลือ 70% ของ small-strain shear modulus

#### 3.3.2 ตัวแปรข้อมูลดิน

คุณสมบัติทั่วไปของชั้นดินกรุงเทพฯ (Oonchittikul, 1990) และข้อมูลในพื้นที่จริง (untrained shear strength, ค่า SPT) ได้ถูกนำมาใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของวัตถุซึ่งตัวแปรดังกล่าวที่นำมาใช้ในการศึกษา ได้สรุปไว้ดังตารางที่ 3.2, 3.3, 3.4 และ 3.5

โดยทั่วไปแล้ว ลักษณะและคุณสมบัติของดินในพื้นที่กรุงเทพฯ ก่อนข้างจะมีค่าคงที่ตามที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 ซึ่งตัวอย่างของคุณสมบัติดินที่เคยมีการนำเสนอไว้ในการศึกษาที่ผ่านมา ก็มีผลลัพธ์ที่เป็นที่น่าพอใจการปฏิบัติกัน โดยทั่วไปในประเทศไทยมักจะอธิบายคุณสมบัติของชั้นดินด้วยการหาข้อมูลในสนามงานวิจัยจำนวนมาก แสดงให้เห็นถึงการศึกษาคัดลอกเพื่ออธิบายค่าความแข็งของดิน โดยเฉพาะในรูปของแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (undrained shear strength,  $s_u$ ) ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์การขุดดิน ในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ Balasubramanian and Brener (1981) ได้นำเสนอไว้ว่า  $E_u = 200-500s_u$ , Bergado (1990) ได้นำเสนอว่า  $E_u = 180-350s_u$  สำหรับดินเหนียวอ่อน และ  $E_u = 1200-1600s_u$  สำหรับดินเหนียวแข็งซึ่งค่าตัวแปรที่แนะนำให้ใช้ในการอธิบายความแข็งของดิน (soil stiffness) แสดงไว้ในตารางที่ 3.2-3.5

ตารางที่ 3.2 MC soil model parameters

Soil layer	Wea. Crust	Soft Clay	Med. Clay	Stiff Clay	Sand
$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	17	16	18	18	20
$\nu'$ [-]	0.32	0.33	0.33	0.33	0.3
$\phi'$ [°]	22	22	22	22	36
$c$ [kPa]	8	5	10	18	0
$E'$ [kPa]	6000	5000	20000	60000	80000
$R_{inter}$	1	1	1	1	0.7

ตารางที่ 3.3 MCC soil model parameters

Soil layer	Wea. Crust	Soft Clay	Med. Clay	Stiff Clay	Sand
$\lambda$ [-]	0.182	0.358	0.111	0.111	-
$K$ [-]	0.053	0.09	0.026	0.026	-
$e_{int}$ [-]	3.24	3.6	1.17	1.02	-
$M$ [-]	1.05	0.93	0.88	0.88	-

ตารางที่ 3.4 HS and HSsmall soil model parameters

Soil layer	Wea. Crust	Soft Clay	Med. Clay	Stiff Clay	Sand
$E_{oed}^{ref}$ [kPa]	-	5000	20000	60000	-
$E_{50}^{ref}$ [kPa]	-	5000	20000	60000	-
$E_{ur}^{ref}$ [kPa]	-	15000	100000	180000	-
$G_0^{ref}$ [kPa]	-	14200	42000	80000	-
$\gamma_{0.7}$ [-]	-	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	-
$m$ [-]	-	1	1	1	-
$p_{ref}$ [kPa]	-	100	65	95	-

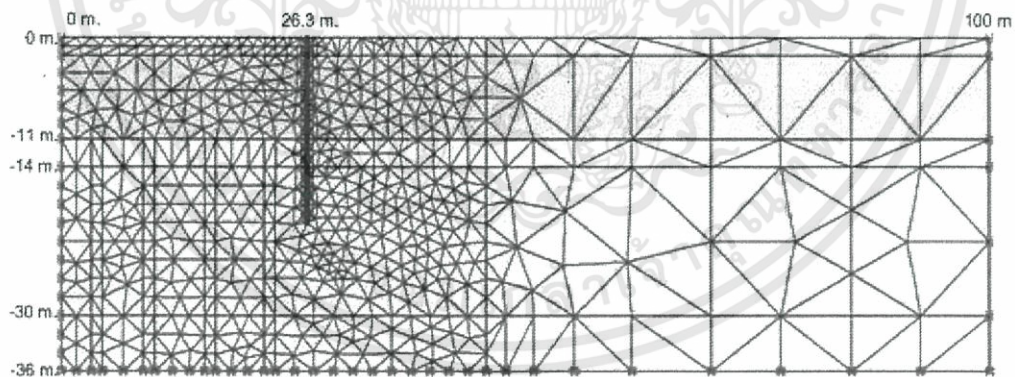
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 3.5 Structural parameters

Soil layer	D-wall	Basement floor	Skeleton Beam
$EA$ [kN/m]	$1.68 \times 10^7$	$6.3 \times 10^6$	$1.68 \times 10^6$
$EI$ [kNm <sup>2</sup> /m]	$8.96 \times 10^5$	$4.73 \times 10^4$	-
$\nu$ [-]	0.15	0.15	0.15

#### 3.3.3 วิเคราะห์รายละเอียด

ในการวิเคราะห์หระนาบความเครียด 2 แกน (plans strain) ด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม PLAXIS 2D เพื่อสร้างแบบจำลองโครงการขุดดิน ดังรูปที่ 3.4 แบบจำลองประกอบด้วย 15 จุดต่อชั้นทรายถูกจำลองด้วยแบบจำลองแบบ Mohr-Coulomb และสร้างแบบจำลองเพียงครึ่งหนึ่งของการขุดเท่านั้น ส่วนกำแพงกันดิน(diaphragm wall) และพื้นค้ำยัน (basement slab) จำลองด้วย plate element จำนวน 8 จุดต่อ ข้อต่อระหว่างพื้นค้ำยันกับกำแพงกันดินจำลองเป็น ข้อต่อแบบกึ่งแข็ง(semi-rigid)ชั้นดินใต้การขุดชั้นสุดท้าย ลึก 13.0-36.0 เมตร ประกอบด้วยเสาเข็มเจาะ ที่จำลองด้วยแบบจำลองอิลาสติกและค่าอิลาสติกโมดูลัสของเสาเข็มเจาะได้ถูกเปลี่ยนเป็นการวิเคราะห์แบบหระนาบความเครียดตามวิธี Schroeder (2003) ดังแสดงในสมการที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.4 Finite element mesh ของกรณีศึกษา BMAH

### 3.4 การสร้างสมการอย่างง่าย สำหรับการทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในระบบ 2 มิติ

ในส่วนนี้เป็นการสร้างสมการอย่างง่าย สำหรับการทำนายค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดด้านข้างของกำแพงกันดิน ซึ่งเป็นการขุดแบบมีค้ำยันโดยพัฒนาขึ้น เพื่อที่จะให้บรรลุผลตามจุดประสงค์ โดยทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การตรวจสอบของปัจจัยที่มีอิทธิพลในการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงกันดิน โดยการศึกษาจากข้อมูลและจากการวิเคราะห์

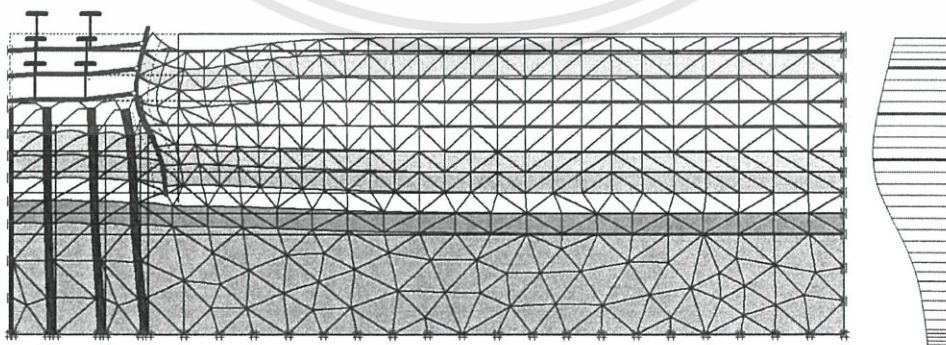
2) การใช้แบบจำลองดินทางไฟไนต์อีลิเมนต์ โดยวิเคราะห์เลือกแบบจำลองดินที่เหมาะสมและตัวแปรที่ได้จากการศึกษาก่อนหน้านี้เพื่อที่จะสร้างข้อมูลเทียบหลายๆกรณี

3) การสร้างสมการอย่างง่ายจากการวิเคราะห์เชิงถดถอย โดยพิจารณาจากปัจจัยที่มีอิทธิพลจากขั้นตอนที่ 1 และค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของข้อมูลเทียบซึ่งถูกสร้างขึ้นมาจากขั้นตอนที่ 2 ข้อมูลและรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนถูกรายบายตามนี้

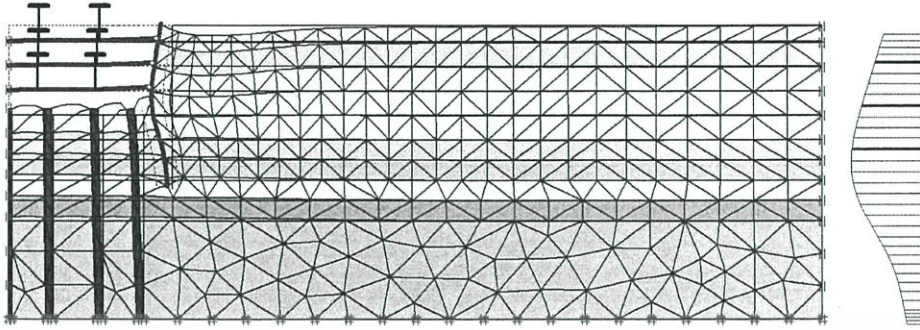
#### 3.4.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลของการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงกันดิน

ปัจจัยที่อาจจะมามีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดินในการขุดแบบมีค้ำยัน ได้เคยมีการศึกษาและรายงานในงานวิจัยก่อนหน้านี้ โดยจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ ปัจจัยทั้ง 5 ตัว ได้แก่ ความกว้างของการขุด ความลึก แรงเฉือนของดิน ความแข็ง และความหนาของกำแพงกันดิน ได้ถูกพิจารณาว่าเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพล จากการเลือกแบบจำลองดินในส่วนก่อนหน้านี้แล้ว พบว่าความแข็งของดินในช่วง Small-strain มีความสำคัญมาก ในการศึกษาค่า Shear modulus ของดินเหนียวอ่อน และดินเหนียวแข็ง ซึ่งถูกพิจารณาว่าเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพล จากกรณีศึกษาการวิเคราะห์การขุดแบบมีค้ำยันเพื่อการก่อสร้างของ โครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน (MRT)(Prust et al., 2005) ซึ่งเป็นการทำให้รู้ถึงพฤติกรรมของกำแพงกันดินว่าการก่อสร้างหรือการขุดดินลึกในชั้นดินทรายนั้นค่าความแข็งและการรับกำลังจะไม่มีผลกระทบ

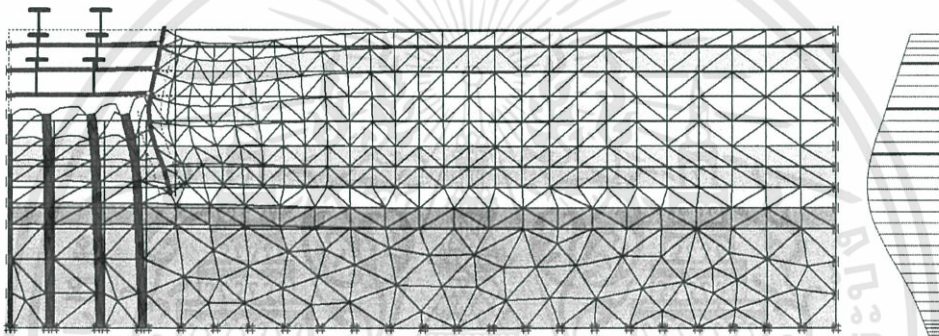
นอกจากนี้ในการศึกษานี้พบยั้งว่า การความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนก็มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินเช่นกัน โดยทราบได้จากการสร้างแบบจำลองดินในโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์แล้วควบคุมตัวแปรต่างๆให้คงที่ เปลี่ยนแปลงเฉพาะความหนาชั้นดินเหนียวอ่อนเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 3.5-3.7 เป็นกรณีที่ควบคุมตัวแปรต่างๆให้เท่ากัน แล้วเปลี่ยนแปลงความหนาชั้นดินเหนียวอ่อน



รูปที่ 3.5 ชั้นดินเหนียวอ่อนหนา 11 เมตรค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดินเท่ากับ 10.01 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.6 ชั้นดินเหนียวอ่อนหนา 14 เมตรค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดินเท่ากับ 12.96 มิลลิเมตร



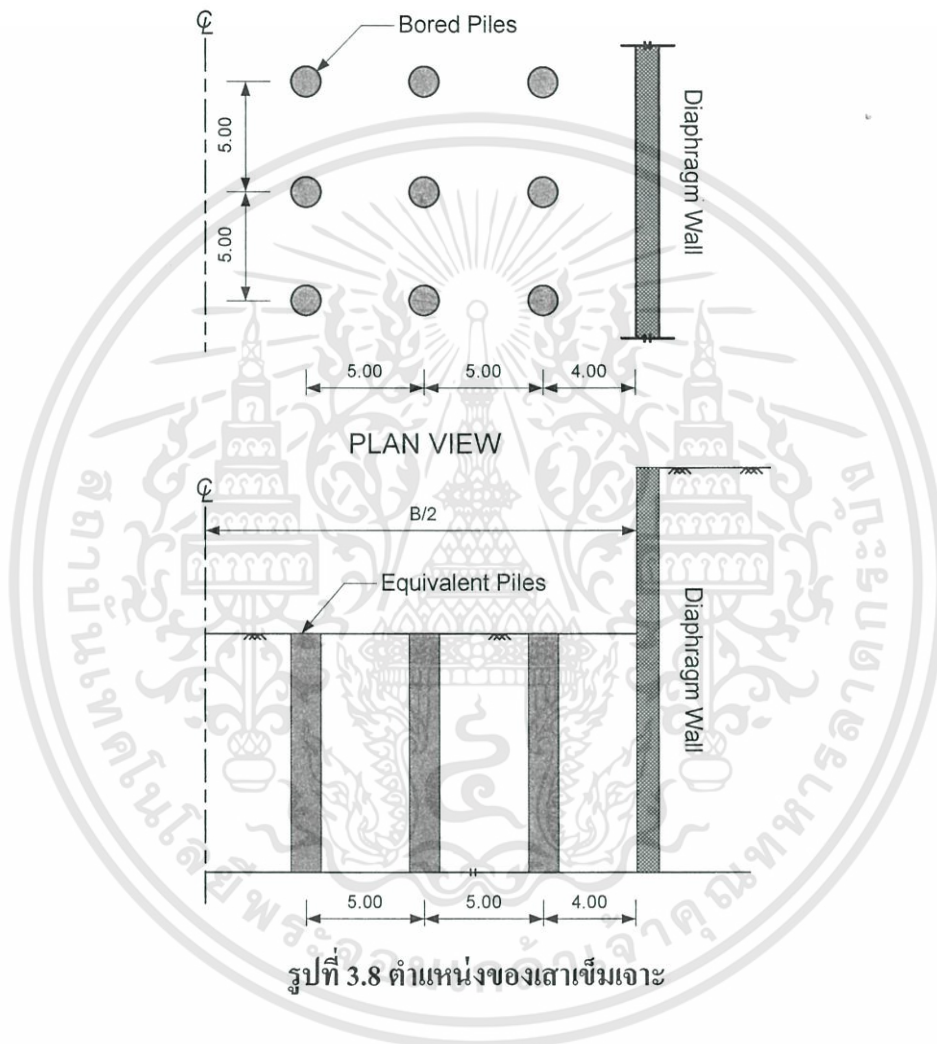
รูปที่ 3.7 ชั้นดินเหนียวอ่อนหนา 16.5 เมตรค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดินเท่ากับ 16.10 มิลลิเมตร

#### 3.4.2 การสร้างข้อมูลเทียมในการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน

ปัจจัยที่เชื่อว่ามีอิทธิพลต่อค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดินในการขุดแบบมีค้ำยันในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงชั้นเหนียวแข็งปานกลาง โดยได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้แล้ว โดยรวมถึงการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองดินทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการสร้างข้อมูลเทียมเพื่อที่จะพัฒนาสมการอย่างง่าย โดยข้อมูลสำหรับการพัฒนานั้นถูกสร้างบนพื้นฐานของการขุด ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 3.4 สำหรับการวิเคราะห์ของการสมมติกรณีต่างๆ ค้ำยันถูกสมมติให้ติดตั้งไว้สูง 0.3 เมตร เหนือการขุดในแต่ละระดับ เข็มเจาะแรกถูกสมมติให้ถูกติดตั้งที่ 4 เมตร จากกำแพงกันดิน และเข็มเจาะต่อไปถูกสมมติให้ถูกติดตั้งที่ระยะ 5 เมตร จากเข็มเจาะอันแรกซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.8 ตามการศึกษาของ Schroeder (2003) ค่า axial stiffness (EA) และค่า flexural stiffness (EI) จะสมมติให้มีค่าเทียบเท่ากับผนังกำแพงในระบบแบบ 3 มิติ ค่ายังโมดูลัสของของกำแพงกันดิน (E wall) ในระบบ 2 มิติ สามารถถูกคำนวณโดยใช้อธิบายด้วยสมการ 3.1 และ 3.2 ในการวิเคราะห์นี้ไม่คำนึงถึงการระบายน้ำออกในการก่อสร้าง สำหรับการสมมติกรณีในการขุดถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงดังรูป 3.9 (a-c) โดยสมมติการขุดเป็นจำนวน 3 , 4 และ 5 ชั้น ตามลำดับ ในขณะที่ความยาวของกำแพงกันดินถูกทำให้ต่างกันเพื่อรักษาอัตราส่วนโดยประมาณของความลึกในการขุดเจาะชั้นสุดท้าย เพื่อที่จะรักษาระดับความปลอดภัยขั้นแรกของการขุด ตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลองดินทางไฟไนต์อีลิเมนต์สำหรับการวิเคราะห์เชิงตัวเลขถูกสรุปไว้ในตาราง 3.6

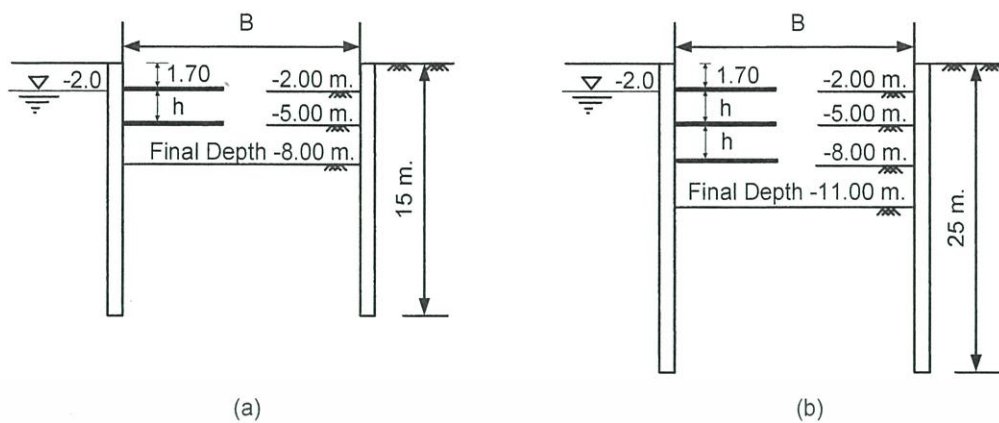


$$E_{pile} \left( \frac{\pi D_{pile}^2}{4S} \right) = E_{wall} t_{wall} \quad (3.1)$$

$$E_{pile} \left( \frac{\pi D_{pile}^4}{64S} \right) = E_{wall} \left( \frac{1}{12} t_{wall}^3 \right) \quad (3.2)$$

เมื่อ S คือจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลางช่องว่างของเข็มเจาะตลอดแถว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ลักษณะทางกายภาพของการขุดดินกรณีต่างๆ

ตารางที่ 3.6 ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า และ ใช้ในการวิเคราะห์แบบ 2-D FEM

Variable	Ranges of parameters
Excavation depth, $H_e$	2, 5, 8, 11, and 14 m.
Excavation width, $B$	20, 40, 60, 80, and 100 m.
Wall thickness, $t$	0.6, 0.8, 1.0, and 1.2 m.
Normalize shear strength (soft clay), $S_{u,so} / \sigma'_v$	0.25, 0.29, 0.32, 0.36, and 0.4
Normalize shear strength (stiff clay), $S_{u,st} / \sigma'_v$	0.45, 0.60, 0.75, 0.90, 1.05
Normalize initial shear modulus (soft clay), $G_{0,so} / \sigma'_v$	300, 450, 600, 750, 900
Normalize initial shear modulus (stiff clay), $G_{0,st} / \sigma'_v$	300, 600, 900, 1200, 1500
Thickness of soft clay, $d$	11, 14 and 16.5 m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 สมการอย่างง่ายเพื่อประเมินค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดิน

การสมมติกรณีตามหัวข้อที่ 3.4.2 ถูกใช้เพื่อ 1) ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละตัวแปรทั้ง 8 และค่าการเคลื่อนตัวมากที่สุดของกำแพงกันดินที่ตำแหน่งต่างๆของการขุด 2) การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการใช้ในการวิเคราะห์สมการเชิงถดถอย ซึ่งก่อนการวิเคราะห์เชิงถดถอยในตัวแปรต้นทั้ง 8 ตัวนี้ ค่าตัวแปรแต่ละตัวจะมีความสัมพันธ์กับค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดเป็นแบบพาราโบลา จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงให้อยู่ในรูปแบบเชิงเส้น โดยจุดประสงค์ของสมการ empirical คือเพื่อที่จะทำนายการเคลื่อนตัวโดยการวิเคราะห์เชิงถดถอยของข้อมูลก่อนหน้านี้

ตัวแปรในการทำนายค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดินจากการขุดแบบมีค้ำยันถูกสร้างด้วยพื้นฐานของสมการเชิงถดถอยซึ่งสร้างขึ้นมาจากการใส่ค่าตัวแปร 8 ตัว ได้แก่  $H_v$ ,  $B$ ,  $t$ ,  $s_{u,so} / \sigma'_v$ ,  $s_{u,st} / \sigma'_v$ ,  $G_{o,so} / \sigma'_v$ ,  $G_{o,st} / \sigma'_v$  และ  $d$

### 3.5 การตรวจสอบความแม่นยำของสมการ

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการอย่างง่าย จึงมีการเปรียบเทียบระหว่างค่าจากการทำนายด้วยสมการ กับค่าที่ตรวจวัดการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน ดังตารางที่ 3.7-3.8 ซึ่งเป็นกรณีศึกษาของโครงการในกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 3.7 กรณีศึกษาที่มีการก่อสร้างแบบ Top-Down

Cases No.	Title
1-TD	International Trade Center-I35
2-TD	Winsor Hotel
3-TD	Bang Su MRT Station
4-TD	Sam Yan MRT Station

ตารางที่ 3.8 กรณีศึกษาที่มีการก่อสร้างแบบ Bottom-Up

Cases No.	Title
1-BU	Bangkok United Insurance Building-*I7
2-BU	Oriflame Building-I2
3-BU	Oriflame Building-I4
4-BU	China Tower-I2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# อภิปรายและสรุปผล

บทนี้กล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างสมการอย่างง่าย เพื่อทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในงานขุดดินลึกของชั้นดินกรุงเทพฯ ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน

ส่วนแรกแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง กับค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดิน และสร้างสมการจากตัวแปรข้างต้น เพื่อใช้ในการทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินส่วนที่สองเป็นการนำเสนอสมการที่ได้ มาทำนายการเคลื่อนตัวในกรณีศึกษา เพื่อเปรียบเทียบกับผลตรวจวัดจริง

### 4.1 การสร้างสมการอย่างง่าย เพื่อทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน

การสร้างสมการอย่างง่าย จะใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงถดถอย ตามที่เคยกล่าวไว้ในบทก่อนหน้า โดยในสมการจะประกอบด้วยตัวแปรต่างๆ ก่อนที่จะนำตัวแปรเหล่านั้นมาสร้างสมการ จำเป็นจะต้องให้ตัวแปรมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงกับค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด

รูปที่ 4.1-4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดิน กับแต่ละตัวแปร โดยเป็นความสัมพันธ์ที่ได้จากแบบจำลองโดยตรง จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัว กับแต่ละตัวแปรนั้นเป็นแบบพาราโบลา ยกเว้นตัวแปรความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อน (d) ที่เป็นเส้นตรงอยู่แล้ว หลังจากนำมาทำการปรับปรุงเพื่อให้เป็นเส้นตรงแล้ว จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.8-4.12 สมการของฟังก์ชันพาราโบลา แสดงในสมการที่ 4.1 ซึ่งเมื่อนำไปทำการปรับปรุงแล้ว จะได้ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง

$$X = t(x) = ax^2 + bx + c \quad (4.1)$$

การเลือกใช้ค่าปรับแก้สมการพาราโบลา จะพิจารณาเลือกจากเส้นกราฟที่มี  $R^2$  สูงสุด แล้วนำค่านั้น ไปใช้กับกราฟเส้นอื่นๆในตัวแปรเดียวกัน ซึ่งจากการเลือกใช้ ค่า  $R^2$  มีค่าตั้งแต่ 0.97-0.99 ตารางที่ 4.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณของสมการพาราโบลาของแต่ละตัวแปร ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวกับ  $Su/\sigma'_v$  ไม่ได้ถูกกล่าวถึง เนื่องจากจากการวิเคราะห์เชิงถดถอยพบว่าตัวแปรดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวน้อยมาก จึงได้ตัดไปในบทนี้ ส่วนตัวแปรความหนาชั้นดินเหนียวมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงอยู่แล้ว จึงไม่ต้องนำมาปรับปรุง

ตารางที่ 4.1 สัมประสิทธิ์ตัวคูณของสมการพาราโบลาของแต่ละตัวแปร

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ตัวคูณในสมการที่ 4.1		
	A	b	c
$B/2$ [m]	-0.00218	0.32878	7.454
$\ln(EI/\gamma_w h^4_{avg})$	0.41457	-8.48958	51.37786
$s_{u,so}/\sigma'_v$	14.28571	-14.68	13.28057
$G_{o,so}/\sigma'_v$	3.33E-04	-0.20617	38.93549
$G_{o,st}/\sigma'_v$	1.16E-06	-0.00257	11.09
$H_e$ [m]	-0.02286	1.12971	9.32657

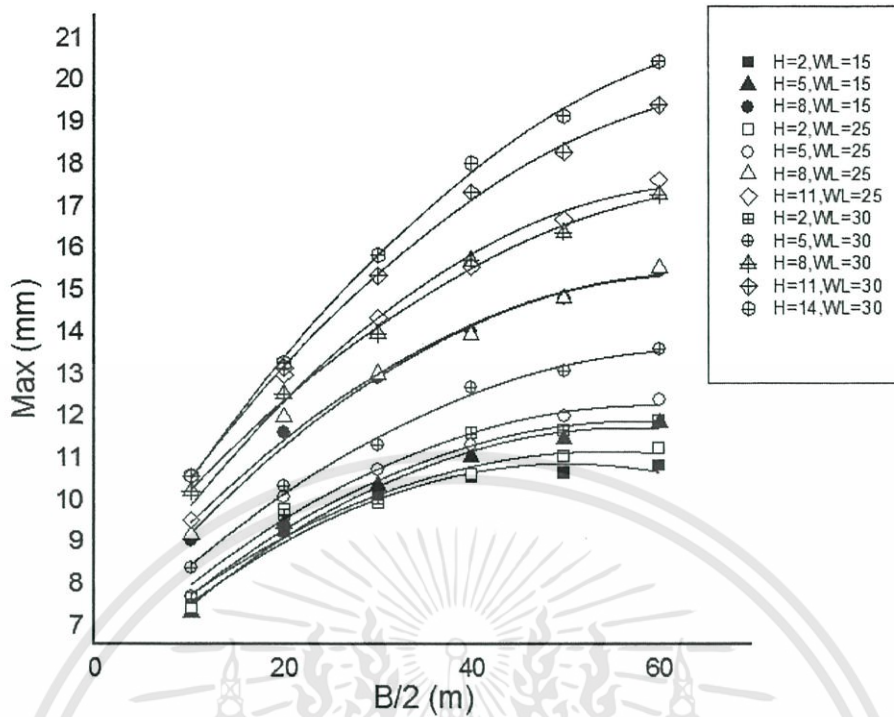
จากขั้นตอนข้างต้นจะได้ตัวแปรที่ทำการปรับปรุงแล้ว มาเข้ากระบวนการวิเคราะห์เชิงถดถอย โดยมีกรณีตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งสิ้น 667 กรณี จากการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์อิลิเมนต์ ก็จะได้สมการอย่างง่าย เพื่อนำมาทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในงานขุดดินลึกแบบมีค้ำยัน ดังนี้

$$1/\delta m = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 + \alpha_5 X_5 + \alpha_6 X_6 + \alpha_7 X_7 \quad (4.2)$$

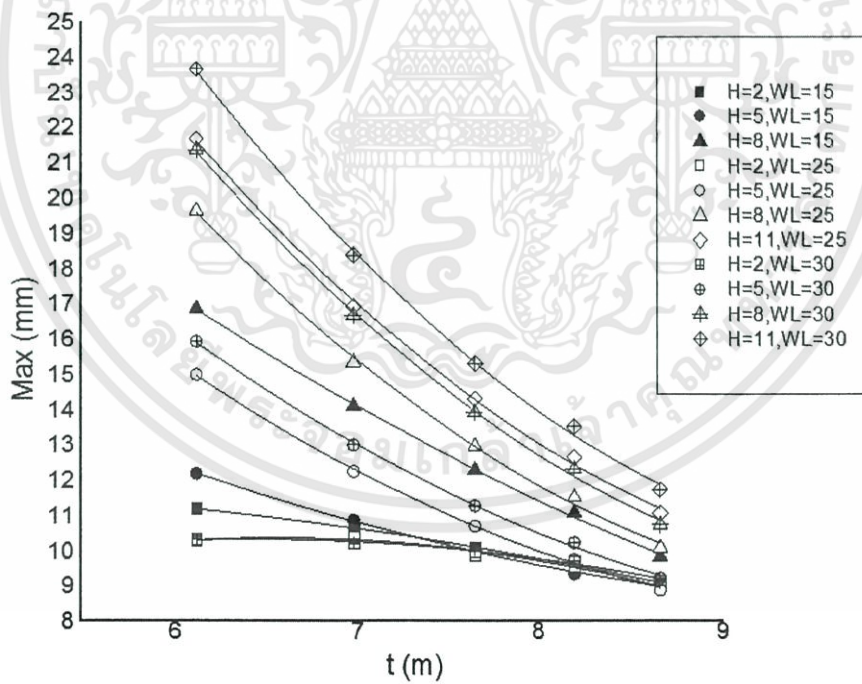
เมื่อ ;

$\alpha_0$	=	0.520615	$X_1$	=	$t(B/2)$ [m]
$\alpha_1$	=	-0.00531	$X_2$	=	$t[\ln(EI/\gamma_w h^4)]$
$\alpha_2$	=	-0.00461	$X_3$	=	$t(s_{u,so}/\sigma'_v)$
$\alpha_3$	=	-0.0069	$X_4$	=	$t(G_{o,so}/\sigma'_v)$
$\alpha_4$	=	-0.00514	$X_5$	=	$t(G_{o,st}/\sigma'_v)$
$\alpha_5$	=	-0.00191	$X_6$	=	$t(H_e)$ [m]
$\alpha_6$	=	-0.00617	$X_7$	=	$d$
$\alpha_7$	=	-0.00441			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

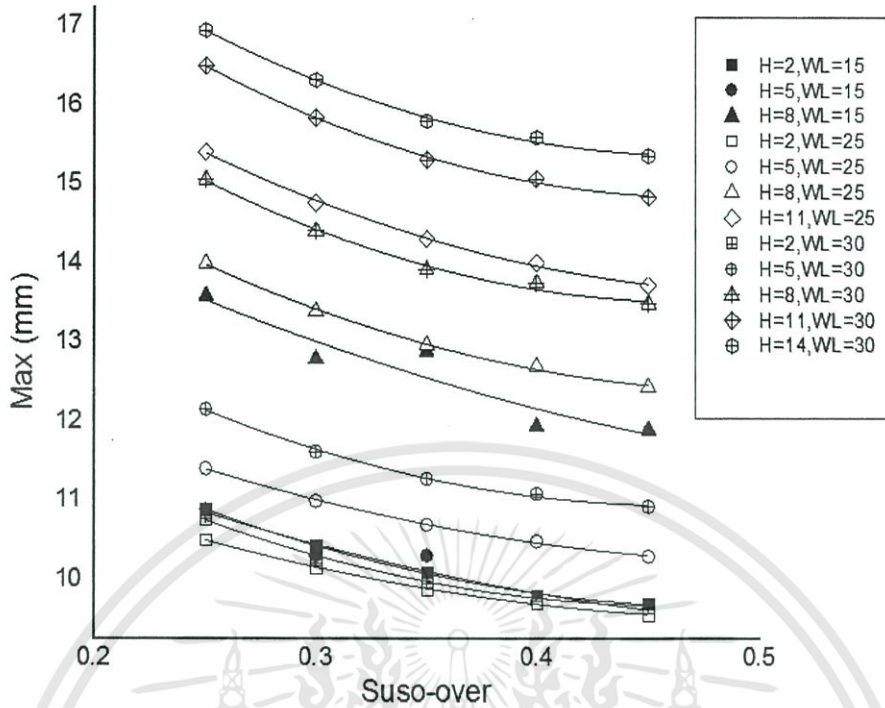


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า B/2

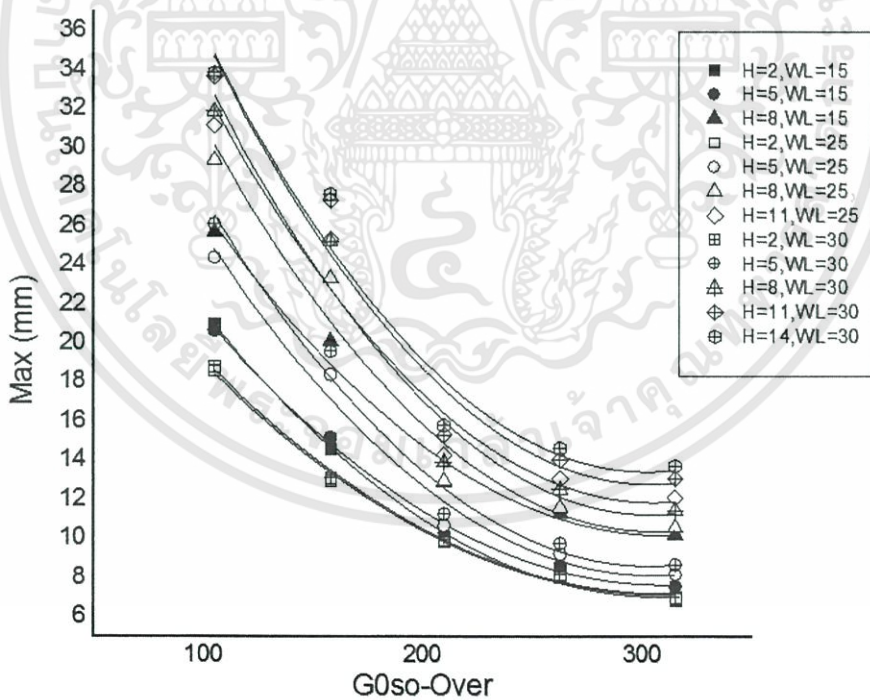


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า t

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

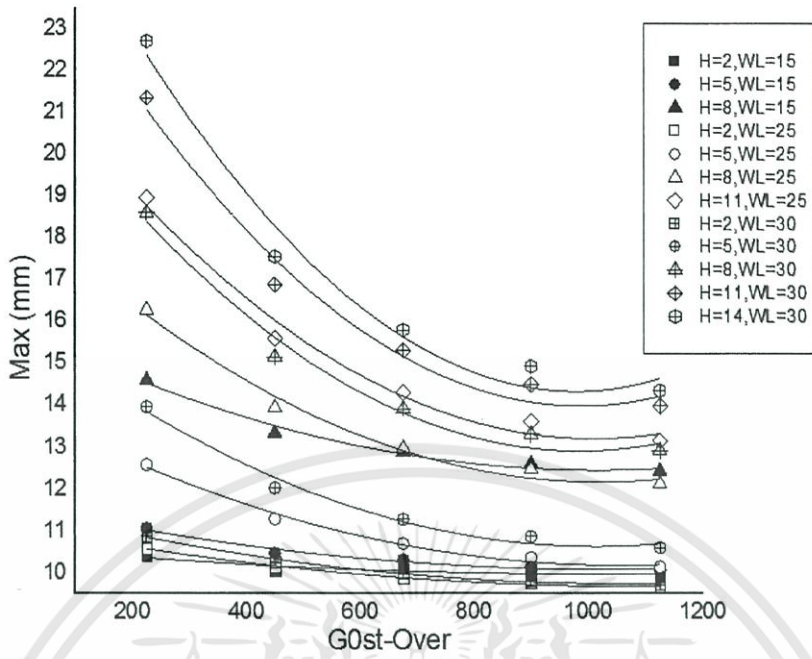


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า Suso-over

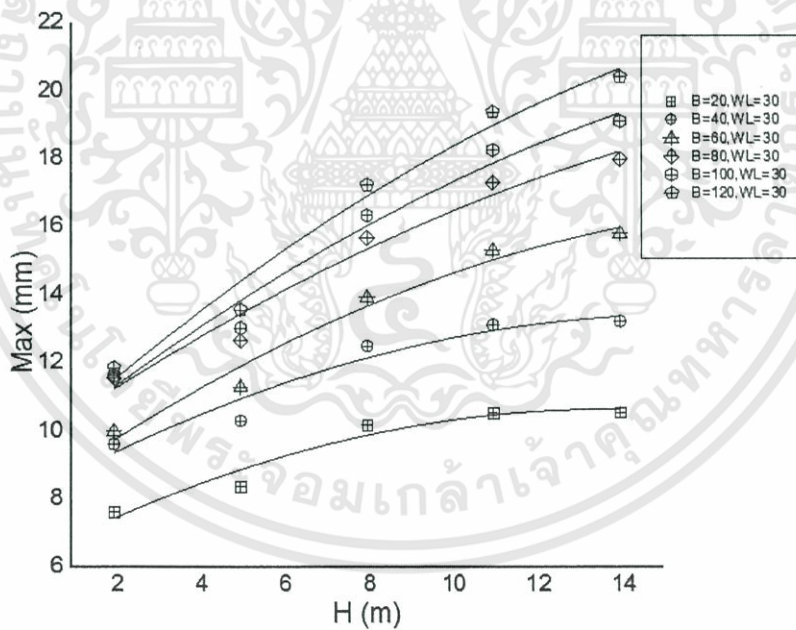


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า G0so-Over

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

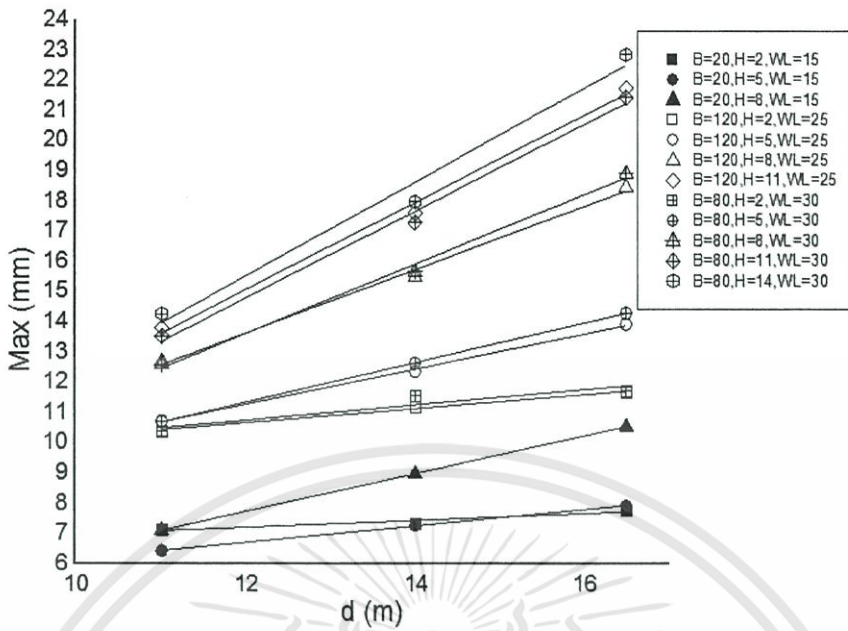


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า G0st-Over

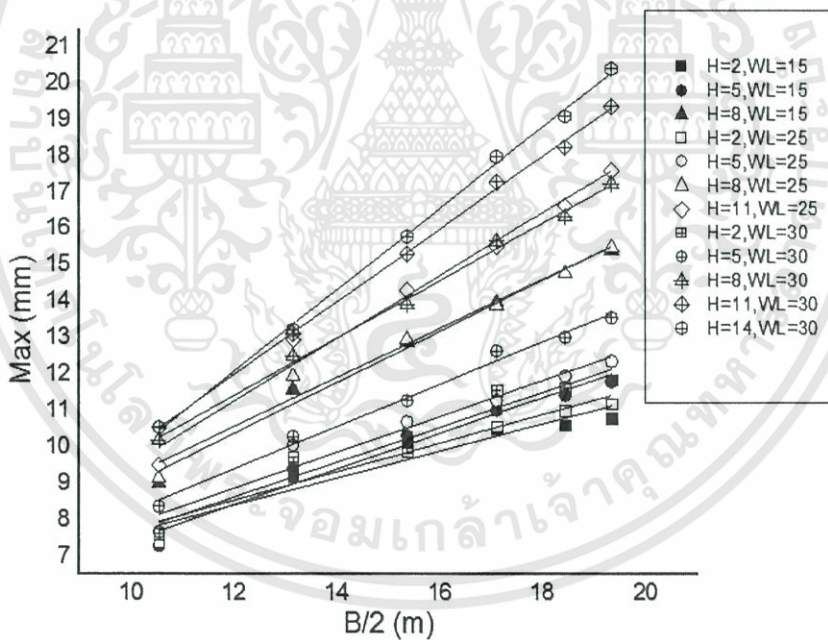


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

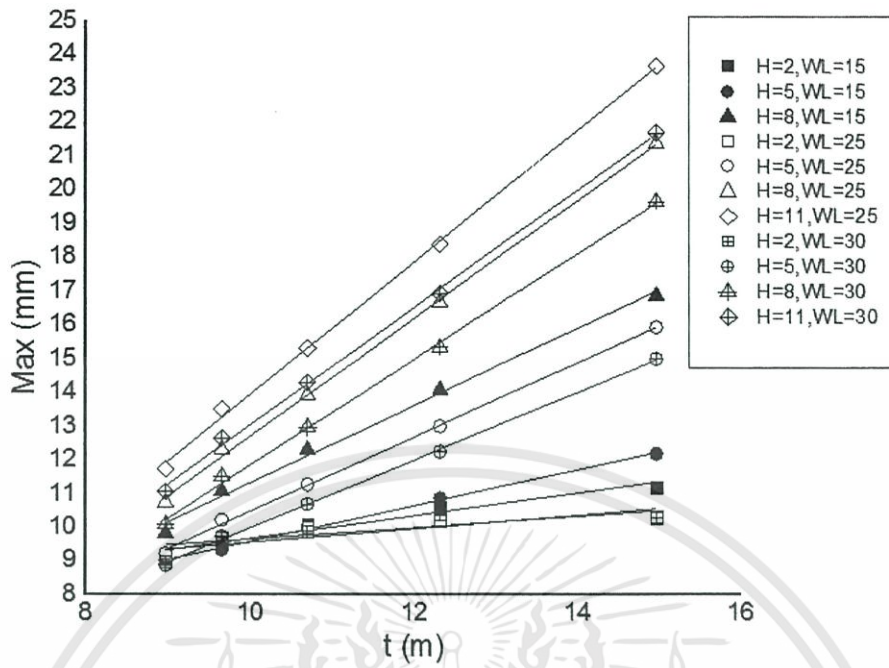


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า d (m)

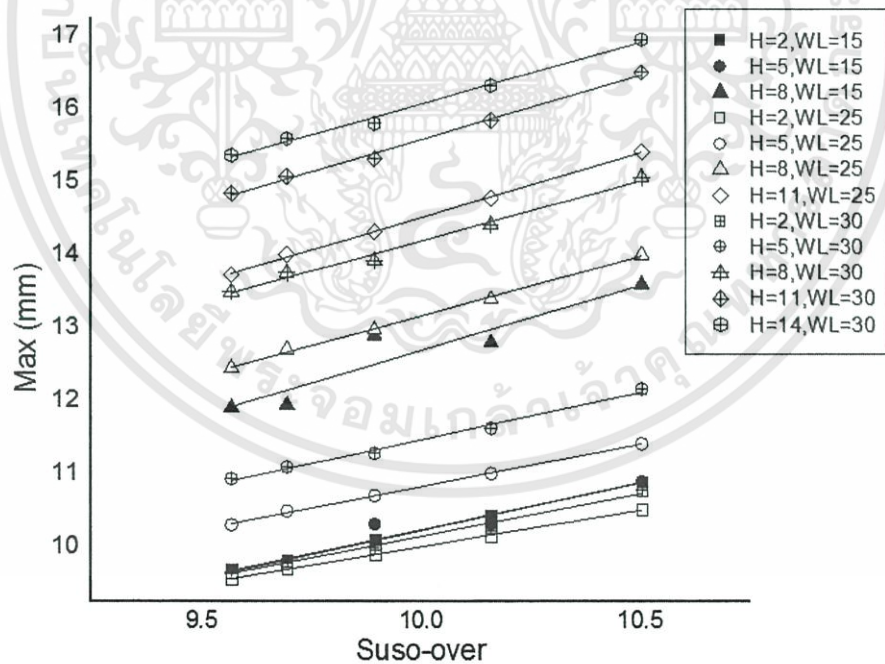


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า B/2  
เมื่อทำการปรับแก้ให้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

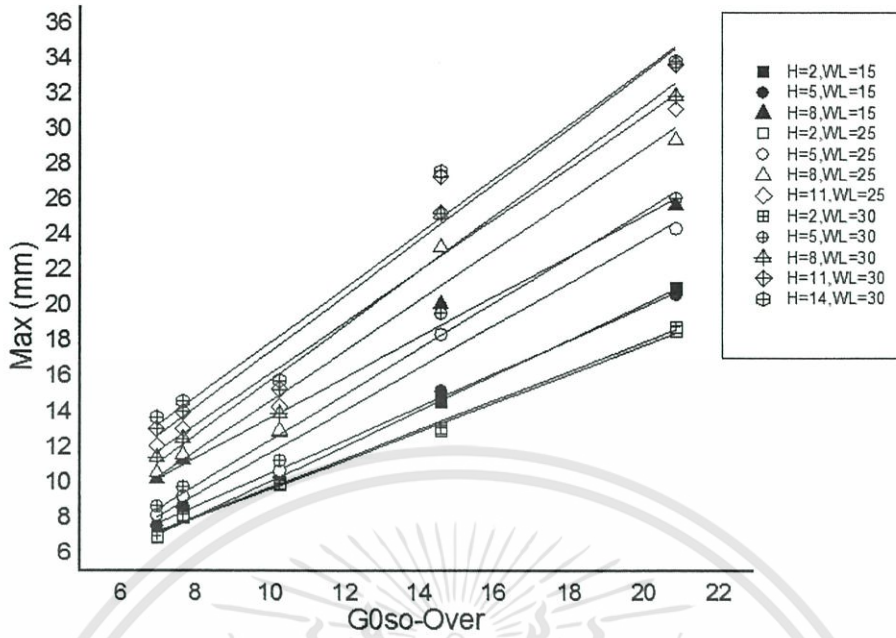


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า t เมื่อทำการปรับแก้ให้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง

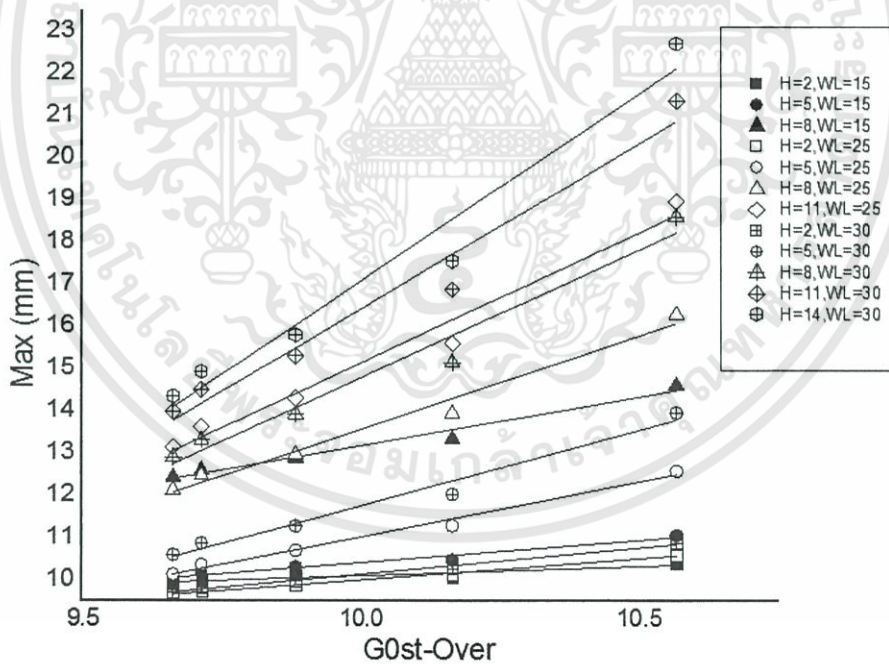


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า Suso-Over เมื่อทำการปรับแก้ให้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

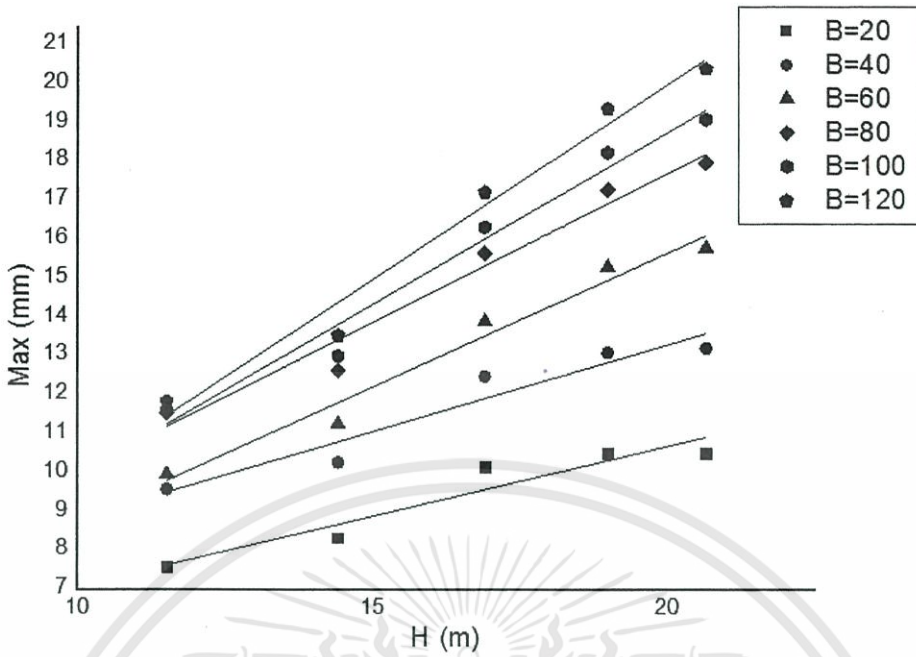


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า G0so-Over เมื่อทำการปรับแก้ให้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง

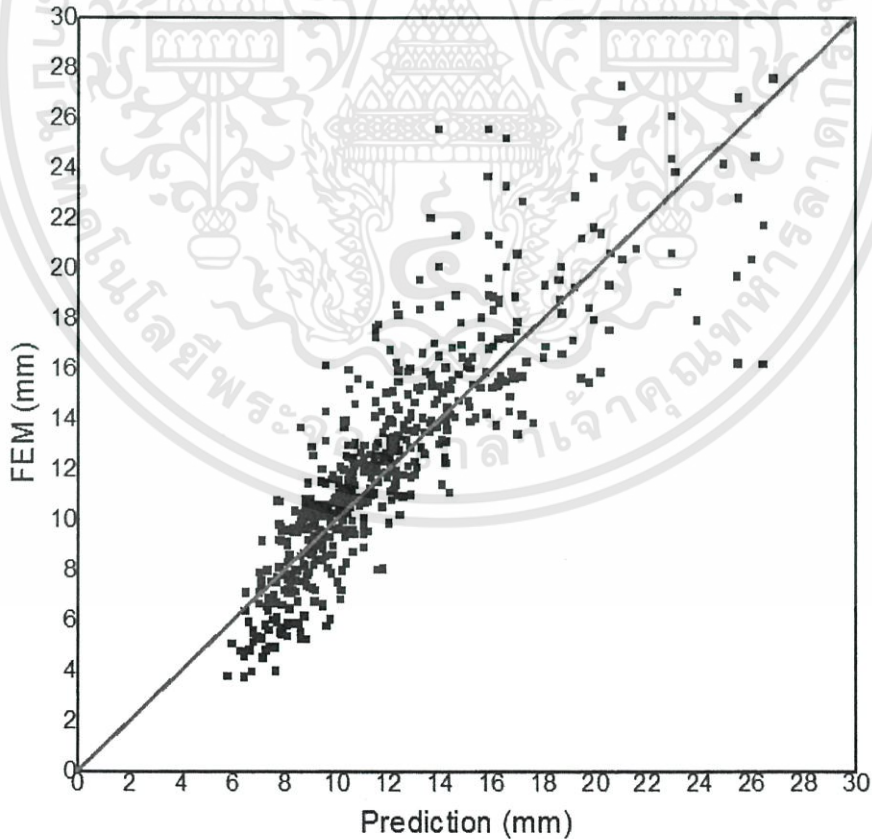


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า G0st-Over เมื่อทำการปรับแก้ให้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุด Max กับค่า H เมื่อทำการปรับแก้ให้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง



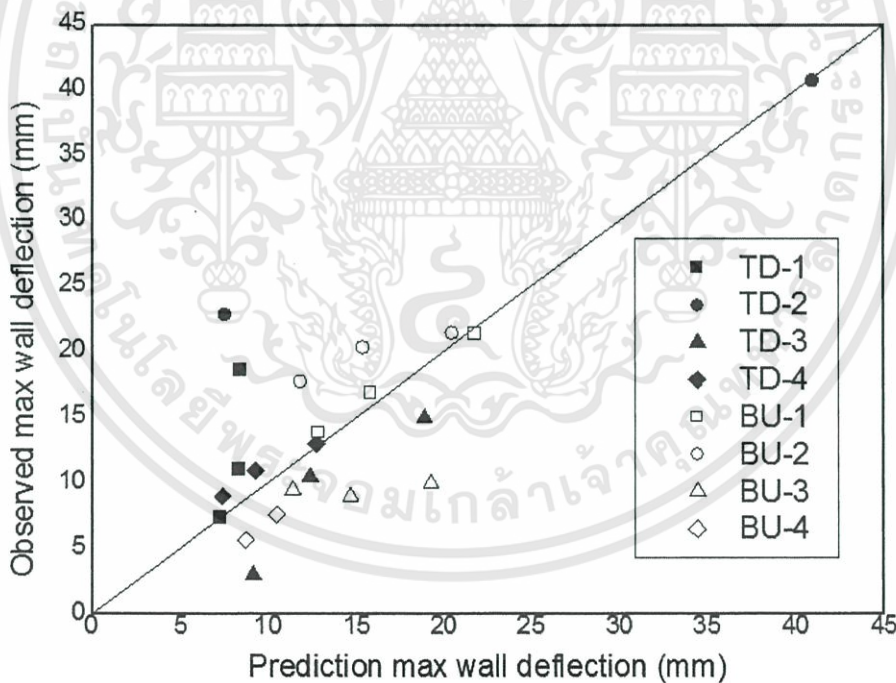
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างจากค่าที่ได้กับสมการกับค่าแบบจำลองดินทางไฟไนต์อิลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 แสดงค่าความสัมพันธ์ของการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดินจากการทำนายด้วยสมการที่ 4.2 เปรียบเทียบกับค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดินที่ได้จากแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ 667 กรณี ซึ่งค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการที่ 4.2 ถือว่ามีความใกล้เคียงกับค่าจากแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

## 4.2 ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสมการอย่างง่าย

ในที่นี้ทำการตรวจสอบการทำนายของสมการที่ 4.2 โดยใช้ค่าตรวจวัดจริงของกรณีศึกษาตามตารางที่ 3.7-3.8 ได้แก่ International Trade Center-I35, Winsor Hotel, Bang SuMRT station, Sam Yan MRT Station, Bangkok United Insurance Building, Oriflame Building และ China Tower โดยจากการศึกษาพัฒนาสมการอย่างง่ายนี้ให้ผลบรรลุวัตถุประสงค์ จากรูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ทำนายโดยสมการที่ 4.2 กับค่าตรวจวัดจริงจากตารางที่ 3.7-3.8 จะเห็นได้ว่ายังมีค่าการทำนายที่ดีจะยิ่งเข้าใกล้เส้น 45 องศา



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ทำนายโดยสมการกับค่าตรวจวัดจริง

## บทที่ 5

### สรุปผล

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการวิจัย ซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 หัวข้อ ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย ได้แก่ การวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในงานขุดดินลึก โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 2 มิติ และการสร้างสมการเพื่อใช้ในการทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในงานขุดดินลึก

การเลือกใช้ข้อมูลที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน มาจำลองโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบ 2 มิติ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมในปัจจุบันเนื่องจากการจำลองไม่ซับซ้อน โดยผลการวิเคราะห์แบบ 2 มิติ เบื้องต้นในกรณีนี้มีข้อมูลที่เหมาะสมและเพียงพอ จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้ค่าการเคลื่อนตัวที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าการเคลื่อนตัวจากการตรวจวัดจริง และเมื่อนำตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวสูงสุดของกำแพงกันดิน มาหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการ empirical ด้วยการวิเคราะห์เชิงถดถอย พบว่าค่าการเคลื่อนตัวที่ได้จากสมการ empirical เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าการเคลื่อนตัวจากการตรวจวัดจริงทั้ง 8 โครงการ ดังรูปที่ 4.14 แนวโน้มที่ได้ คือ ชุดข้อมูลอยู่ใกล้เส้น 45 องศา เป็นบางกรณีเท่านั้น ซึ่งทั้งนี้เป็นเพราะชุดข้อมูลที่มีการตรวจวัดในปัจจุบันมีจำนวนที่น้อยอยู่มาก และอีกสาเหตุคือการก่อสร้างจริง มีปัจจัยอื่นๆนอกเหนือจากที่นำมาคำนวณในสมการ เช่น ขั้นตอนการก่อสร้างที่ไม่สามารถจำกัดระยะเวลาหรืออุปสรรคอื่นๆในหน้างาน เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ผลกระทบต่อเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินแน่นอน ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้สมการมีความสมบูรณ์มากขึ้นในภายภาคหน้าได้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเล่มนี้สามารถนำไปศึกษาข้อมูล ปรับปรุงและพัฒนาได้ในหลายๆด้านดังนี้

- 1) งานวิจัยเล่มนี้ได้ทำการศึกษาคาดการณ์ในลักษณะการขุดที่เป็นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาให้ใช้ได้กับลักษณะการขุดดินที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น
- 2) ควรศึกษาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างกำแพงกันดิน ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน
- 3) ขอบเขตการศึกษางานวิจัยเล่มนี้ พิจารณาเฉพาะชั้นดินในเขตกรุงเทพมหานครควรมีการปรับปรุงสมการให้สามารถใช้ทำนายการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินในภูมิภาคอื่น

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์

ตารางที่ ก.1 ตัวแปรนำเข้าและผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์อิลิเมนต์แบบ 2 มิติ

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
1	10	1	0.35	600	0.75	900	2	14	7.36
2	20	1	0.35	600	0.75	900	2	14	9.21
3	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	10.1
4	40	1	0.35	600	0.75	900	2	14	10.51
5	50	1	0.35	600	0.75	900	2	14	10.61
6	60	1	0.35	600	0.75	900	2	14	10.8
7	10	1	0.35	600	0.75	900	5	14	7.29
8	20	1	0.35	600	0.75	900	5	14	9.4
9	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	10.31
10	40	1	0.35	600	0.75	900	5	14	11.02
11	50	1	0.35	600	0.75	900	5	14	11.43
12	60	1	0.35	600	0.75	900	5	14	11.81
13	10	1	0.35	600	0.75	900	8	14	9
14	20	1	0.35	600	0.75	900	8	14	11.59
15	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	12.89
16	40	1	0.35	600	0.75	900	8	14	13.98
17	50	1	0.35	600	0.75	900	8	14	14.78
18	60	1	0.35	600	0.75	900	8	14	15.41
19	10	1	0.35	600	0.75	900	2	14	7.41
20	20	1	0.35	600	0.75	900	2	14	9.75
21	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	9.89
22	40	1	0.35	600	0.75	900	2	14	10.58
23	50	1	0.35	600	0.75	900	2	14	11.02
24	60	1	0.35	600	0.75	900	2	14	11.2
25	10	1	0.35	600	0.75	900	5	14	7.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
26	20	1	0.35	600	0.75	900	5	14	10.06
27	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	10.7
28	40	1	0.35	600	0.75	900	5	14	11.29
29	50	1	0.35	600	0.75	900	5	14	11.96
30	60	1	0.35	600	0.75	900	5	14	12.37
31	10	1	0.35	600	0.75	900	8	14	9.14
32	20	1	0.35	600	0.75	900	8	14	11.95
33	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	12.97
34	40	1	0.35	600	0.75	900	8	14	13.89
35	50	1	0.35	600	0.75	900	8	14	14.78
36	60	1	0.35	600	0.75	900	8	14	15.5
37	10	1	0.35	600	0.75	900	11	14	9.5
38	20	1	0.35	600	0.75	900	11	14	12.96
39	30	1	0.35	600	0.75	900	11	14	14.31
40	40	1	0.35	600	0.75	900	11	14	15.53
41	50	1	0.35	600	0.75	900	11	14	16.64
42	60	1	0.35	600	0.75	900	11	14	17.6
43	10	1	0.35	600	0.75	900	2	14	7.62
44	20	1	0.35	600	0.75	900	2	14	9.61
45	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	9.99
46	40	1	0.35	600	0.75	900	2	14	11.56
47	50	1	0.35	600	0.75	900	2	14	11.63
48	60	1	0.35	600	0.75	900	2	14	11.86
49	10	1	0.35	600	0.75	900	5	14	8.37
50	20	1	0.35	600	0.75	900	5	14	10.3
51	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	11.28
52	40	1	0.35	600	0.75	900	5	14	12.65
53	50	1	0.35	600	0.75	900	5	14	13.03
54	60	1	0.35	600	0.75	900	5	14	13.56
55	10	1	0.35	600	0.75	900	8	14	10.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
56	20	1	0.35	600	0.75	900	8	14	12.5
57	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	13.92
58	40	1	0.35	600	0.75	900	8	14	15.67
59	50	1	0.35	600	0.75	900	8	14	16.34
60	60	1	0.35	600	0.75	900	8	14	17.24
61	10	1	0.35	600	0.75	900	11	14	10.54
62	20	1	0.35	600	0.75	900	11	14	13.12
63	30	1	0.35	600	0.75	900	11	14	15.31
64	40	1	0.35	600	0.75	900	11	14	17.3
65	50	1	0.35	600	0.75	900	11	14	18.26
66	60	1	0.35	600	0.75	900	11	14	19.38
67	10	1	0.35	600	0.75	900	14	14	10.55
68	20	1	0.35	600	0.75	900	14	14	13.23
69	30	1	0.35	600	0.75	900	14	14	15.8
70	40	1	0.35	600	0.75	900	14	14	17.99
71	50	1	0.35	600	0.75	900	14	14	19.11
72	60	1	0.35	600	0.75	900	14	14	20.41
73	30	0.6	0.35	600	0.75	900	2	14	11.2
74	30	0.8	0.35	600	0.75	900	2	14	10.61
75	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	10.1
76	30	1.2	0.35	600	0.75	900	2	14	9.65
77	30	1.4	0.35	600	0.75	900	2	14	9.06
78	30	0.6	0.35	600	0.75	900	5	14	12.19
79	30	0.8	0.35	600	0.75	900	5	14	10.87
80	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	10
81	30	1.2	0.35	600	0.75	900	5	14	9.34
82	30	1.4	0.35	600	0.75	900	5	14	9.04
83	30	0.6	0.35	600	0.75	900	8	14	16.87
84	30	0.8	0.35	600	0.75	900	8	14	14.09
85	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	12.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
86	30	1.2	0.35	600	0.75	900	8	14	11.08
87	30	1.4	0.35	600	0.75	900	8	14	9.83
88	30	0.6	0.35	600	0.75	900	2	14	10.28
89	30	0.8	0.35	600	0.75	900	2	14	10.41
90	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	9.89
91	30	1.2	0.35	600	0.75	900	2	14	9.56
92	30	1.4	0.35	600	0.75	900	2	14	9
93	30	0.6	0.35	600	0.75	900	5	14	14.99
94	30	0.8	0.35	600	0.75	900	5	14	12.25
95	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	10.7
96	30	1.2	0.35	600	0.75	900	5	14	9.75
97	30	1.4	0.35	600	0.75	900	5	14	8.89
98	30	0.6	0.35	600	0.75	900	8	14	19.65
99	30	0.8	0.35	600	0.75	900	8	14	15.34
100	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	12.97
101	30	1.2	0.35	600	0.75	900	8	14	11.52
102	30	1.4	0.35	600	0.75	900	8	14	10.09
103	30	0.6	0.35	600	0.75	900	11	14	21.69
104	30	0.8	0.35	600	0.75	900	11	14	16.93
105	30	1	0.35	600	0.75	900	11	14	14.31
106	30	1.2	0.35	600	0.75	900	11	14	12.66
107	30	1.4	0.35	600	0.75	900	11	14	11.07
108	30	0.6	0.35	600	0.75	900	2	14	10.33
109	30	0.8	0.35	600	0.75	900	2	14	10.21
110	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	10
111	30	1.2	0.35	600	0.75	900	2	14	9.7
112	30	1.4	0.35	600	0.75	900	2	14	9.17
113	30	0.8	0.35	600	0.75	900	5	14	13
114	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	11.28
115	30	1.2	0.35	600	0.75	900	5	14	10.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
116	30	1.4	0.35	600	0.75	900	5	14	9.23
117	30	0.6	0.35	600	0.75	900	5	14	15.93
118	30	0.8	0.35	600	0.75	900	8	14	16.67
119	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	13.92
120	30	1.2	0.35	600	0.75	900	8	14	12.32
121	30	1.4	0.35	600	0.75	900	8	14	10.74
122	30	0.6	0.35	600	0.75	900	8	14	21.37
123	30	0.8	0.35	600	0.75	900	11	14	18.38
124	30	1	0.35	600	0.75	900	11	14	15.31
125	30	1.2	0.35	600	0.75	900	11	14	13.52
126	30	1.4	0.35	600	0.75	900	11	14	11.74
127	30	0.6	0.35	600	0.75	900	11	14	23.67
128	30	1	0.25	600	0.75	900	2	14	10.89
129	30	1	0.3	600	0.75	900	2	14	10.43
130	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	10.1
131	30	1	0.4	600	0.75	900	2	14	9.81
132	30	1	0.45	600	0.75	900	2	14	9.7
133	30	1	0.25	600	0.75	900	5	14	10.89
134	30	1	0.3	600	0.75	900	5	14	10.31
135	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	10.31
136	30	1	0.4	600	0.75	900	5	14	9.71
137	30	1	0.45	600	0.75	900	5	14	9.65
138	30	1	0.25	600	0.75	900	8	14	13.59
139	30	1	0.3	600	0.75	900	8	14	12.79
140	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	12.89
141	30	1	0.4	600	0.75	900	8	14	11.94
142	30	1	0.45	600	0.75	900	8	14	11.9
143	30	1	0.25	600	0.75	900	2	14	10.51
144	30	1	0.3	600	0.75	900	2	14	10.15
145	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	9.89

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
146	30	1	0.4	600	0.75	900	2	14	9.71
147	30	1	0.45	600	0.75	900	2	14	9.56
148	30	1	0.25	600	0.75	900	5	14	11.41
149	30	1	0.3	600	0.75	900	5	14	11
150	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	10.7
151	30	1	0.4	600	0.75	900	5	14	10.49
152	30	1	0.45	600	0.75	900	5	14	10.3
153	30	1	0.25	600	0.75	900	8	14	14
154	30	1	0.3	600	0.75	900	8	14	13.39
155	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	12.97
156	30	1	0.4	600	0.75	900	8	14	12.7
157	30	1	0.45	600	0.75	900	8	14	12.44
158	30	1	0.25	600	0.75	900	11	14	15.41
159	30	1	0.3	600	0.75	900	11	14	14.77
160	30	1	0.35	600	0.75	900	11	14	14.31
161	30	1	0.4	600	0.75	900	11	14	14
162	30	1	0.45	600	0.75	900	11	14	13.72
163	30	1	0.25	600	0.75	900	2	14	10.78
164	30	1	0.3	600	0.75	900	2	14	10.26
165	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	9.99
166	30	1	0.4	600	0.75	900	2	14	9.81
167	30	1	0.45	600	0.75	900	2	14	9.66
168	30	1	0.25	600	0.75	900	5	14	12.16
169	30	1	0.3	600	0.75	900	5	14	11.62
170	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	11.28
171	30	1	0.4	600	0.75	900	5	14	11.09
172	30	1	0.45	600	0.75	900	5	14	10.93
173	30	1	0.25	600	0.75	900	8	14	15.06
174	30	1	0.3	600	0.75	900	8	14	14.41
175	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	13.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้พิมพ์ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
176	30	1	0.4	600	0.75	900	8	14	13.75
177	30	1	0.45	600	0.75	900	8	14	13.49
178	30	1	0.25	600	0.75	900	11	14	16.5
179	30	1	0.3	600	0.75	900	11	14	15.84
180	30	1	0.35	600	0.75	900	11	14	15.31
181	30	1	0.4	600	0.75	900	11	14	15.07
182	30	1	0.45	600	0.75	900	11	14	14.84
183	30	1	0.25	600	0.75	900	14	14	16.95
184	30	1	0.3	600	0.75	900	14	14	16.32
185	30	1	0.35	600	0.75	900	14	14	15.8
186	30	1	0.4	600	0.75	900	14	14	15.59
187	30	1	0.45	600	0.75	900	14	14	15.36
188	30	1	0.35	300	0.75	900	2	14	21.02
189	30	1	0.35	450	0.75	900	2	14	14.63
190	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	10.1
191	30	1	0.35	750	0.75	900	2	14	8.1
192	30	1	0.35	900	0.75	900	2	14	6.9
193	30	1	0.35	300	0.75	900	5	14	20.66
194	30	1	0.35	450	0.75	900	5	14	15.2
195	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	10.31
196	30	1	0.35	750	0.75	900	5	14	8.65
197	30	1	0.35	900	0.75	900	5	14	7.58
198	30	1	0.35	300	0.75	900	8	14	25.69
199	30	1	0.35	450	0.75	900	8	14	20.12
200	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	12.89
201	30	1	0.35	750	0.75	900	8	14	11.32
202	30	1	0.35	900	0.75	900	8	14	10.22
203	30	1	0.35	300	0.75	900	2	14	18.63
204	30	1	0.35	450	0.75	900	2	14	13.01
205	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	9.89

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
206	30	1	0.35	750	0.75	900	2	14	8.12
207	30	1	0.35	900	0.75	900	2	14	6.96
208	30	1	0.35	300	0.75	900	5	14	24.4
209	30	1	0.35	450	0.75	900	5	14	18.4
210	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	10.7
211	30	1	0.35	750	0.75	900	5	14	9.25
212	30	1	0.35	900	0.75	900	5	14	8.2
213	30	1	0.35	300	0.75	900	8	14	29.39
214	30	1	0.35	450	0.75	900	8	14	23.33
215	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	12.97
216	30	1	0.35	750	0.75	900	8	14	11.6
217	30	1	0.35	900	0.75	900	8	14	10.58
218	30	1	0.35	300	0.75	900	11	14	31.16
219	30	1	0.35	450	0.75	900	11	14	25.31
220	30	1	0.35	600	0.75	900	11	14	14.31
221	30	1	0.35	750	0.75	900	11	14	13.06
222	30	1	0.35	900	0.75	900	11	14	12.1
223	30	1	0.35	300	0.75	900	2	14	18.84
224	30	1	0.35	450	0.75	900	2	14	13.13
225	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	9.99
226	30	1	0.35	750	0.75	900	2	14	8.19
227	30	1	0.35	900	0.75	900	2	14	7.02
228	30	1	0.35	300	0.75	900	5	14	26.12
229	30	1	0.35	450	0.75	900	5	14	19.6
230	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	11.28
231	30	1	0.35	750	0.75	900	5	14	9.78
232	30	1	0.35	900	0.75	900	5	14	8.69
233	30	1	0.35	300	0.75	900	8	14	31.89
234	30	1	0.35	450	0.75	900	8	14	25.23
235	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	13.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
236	30	1	0.35	750	0.75	900	8	14	12.52
237	30	1	0.35	900	0.75	900	8	14	11.46
238	30	1	0.35	300	0.75	900	11	14	33.69
239	30	1	0.35	450	0.75	900	11	14	27.34
240	30	1	0.35	600	0.75	900	11	14	15.31
241	30	1	0.35	750	0.75	900	11	14	14.04
242	30	1	0.35	900	0.75	900	11	14	13.07
243	30	1	0.35	300	0.75	900	14	14	33.85
244	30	1	0.35	450	0.75	900	14	14	27.63
245	30	1	0.35	600	0.75	900	14	14	15.8
246	30	1	0.35	750	0.75	900	14	14	14.63
247	30	1	0.35	900	0.75	900	14	14	13.72
248	30	1	0.35	600	0.6	900	2	14	10.1
249	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	10.1
250	30	1	0.35	600	0.9	900	2	14	10.1
251	30	1	0.35	600	1.05	900	2	14	10.09
252	30	1	0.35	600	0.6	900	5	14	10.32
253	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	10.31
254	30	1	0.35	600	0.9	900	5	14	10.3
255	30	1	0.35	600	1.05	900	5	14	10.29
256	30	1	0.35	600	0.6	900	8	14	12.92
257	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	12.89
258	30	1	0.35	600	0.9	900	8	14	12.85
259	30	1	0.35	600	1.05	900	8	14	12.83
260	30	1	0.35	600	0.6	900	2	14	9.89
261	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	9.89
262	30	1	0.35	600	0.9	900	2	14	9.89
263	30	1	0.35	600	1.05	900	2	14	9.89
264	30	1	0.35	600	0.6	900	5	14	10.7
265	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	10.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
266	30	1	0.35	600	0.9	900	5	14	10.7
267	30	1	0.35	600	1.05	900	5	14	10.7
268	30	1	0.35	600	0.6	900	8	14	12.98
269	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	12.97
270	30	1	0.35	600	0.9	900	8	14	12.97
271	30	1	0.35	600	1.05	900	8	14	12.94
272	30	1	0.35	600	0.6	900	11	14	14.35
273	30	1	0.35	600	0.75	900	11	14	14.31
274	30	1	0.35	600	0.9	900	11	14	14.28
275	30	1	0.35	600	1.05	900	11	14	14.24
276	30	1	0.35	600	0.6	900	2	14	10
277	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	9.99
278	30	1	0.35	600	0.9	900	2	14	9.99
279	30	1	0.35	600	1.05	900	2	14	9.99
280	30	1	0.35	600	0.6	900	5	14	11.28
281	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	11.28
282	30	1	0.35	600	0.9	900	5	14	11.28
283	30	1	0.35	600	1.05	900	5	14	11.28
284	30	1	0.35	600	0.6	900	8	14	13.97
285	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	13.92
286	30	1	0.35	600	0.9	900	8	14	13.9
287	30	1	0.35	600	1.05	900	8	14	13.89
288	30	1	0.35	600	0.6	900	11	14	15.39
289	30	1	0.35	600	0.75	900	11	14	15.31
290	30	1	0.35	600	0.9	900	11	14	15.27
291	30	1	0.35	600	1.05	900	11	14	15.23
292	30	1	0.35	600	0.6	900	14	14	15.93
293	30	1	0.35	600	0.75	900	14	14	15.8
294	30	1	0.35	600	0.9	900	14	14	15.73
295	30	1	0.35	600	1.05	900	14	14	15.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
296	30	1	0.35	600	0.75	300	2	14	10.4
297	30	1	0.35	600	0.75	600	2	14	10.06
298	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	10.1
299	30	1	0.35	600	0.75	1200	2	14	10.01
300	30	1	0.35	600	0.75	1500	2	14	9.95
301	30	1	0.35	600	0.75	300	5	14	11.06
302	30	1	0.35	600	0.75	600	5	14	10.47
303	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	10.31
304	30	1	0.35	600	0.75	1200	5	14	10.15
305	30	1	0.35	600	0.75	1500	5	14	10.06
306	30	1	0.35	600	0.75	300	8	14	14.6
307	30	1	0.35	600	0.75	600	8	14	13.34
308	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	12.89
309	30	1	0.35	600	0.75	1200	8	14	12.6
310	30	1	0.35	600	0.75	1500	8	14	12.43
311	30	1	0.35	600	0.75	300	2	14	10.59
312	30	1	0.35	600	0.75	600	2	14	10.13
313	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	9.89
314	30	1	0.35	600	0.75	1200	2	14	9.75
315	30	1	0.35	600	0.75	1500	2	14	9.65
316	30	1	0.35	600	0.75	300	5	14	12.58
317	30	1	0.35	600	0.75	600	5	14	11.29
318	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	10.7
319	30	1	0.35	600	0.75	1200	5	14	10.36
320	30	1	0.35	600	0.75	1500	5	14	10.14
321	30	1	0.35	600	0.75	300	8	14	16.28
322	30	1	0.35	600	0.75	600	8	14	13.94
323	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	12.97
324	30	1	0.35	600	0.75	1200	8	14	12.47
325	30	1	0.35	600	0.75	1500	8	14	12.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
326	30	1	0.35	600	0.75	300	11	14	18.96
327	30	1	0.35	600	0.75	600	11	14	15.6
328	30	1	0.35	600	0.75	900	11	14	14.31
329	30	1	0.35	600	0.75	1200	11	14	13.62
330	30	1	0.35	600	0.75	1500	11	14	13.15
331	30	1	0.35	600	0.75	300	2	14	10.88
332	30	1	0.35	600	0.75	600	2	14	10.27
333	30	1	0.35	600	0.75	900	2	14	9.99
334	30	1	0.35	600	0.75	1200	2	14	9.83
335	30	1	0.35	600	0.75	1500	2	14	9.72
336	30	1	0.35	600	0.75	300	5	14	13.96
337	30	1	0.35	600	0.75	600	5	14	12.03
338	30	1	0.35	600	0.75	900	5	14	11.28
339	30	1	0.35	600	0.75	1200	5	14	10.87
340	30	1	0.35	600	0.75	1500	5	14	10.6
341	30	1	0.35	600	0.75	300	8	14	18.6
342	30	1	0.35	600	0.75	600	8	14	15.15
343	30	1	0.35	600	0.75	900	8	14	13.92
344	30	1	0.35	600	0.75	1200	8	14	13.31
345	30	1	0.35	600	0.75	1500	8	14	12.91
346	30	1	0.35	600	0.75	300	11	14	21.35
347	30	1	0.35	600	0.75	600	11	14	16.88
348	30	1	0.35	600	0.75	900	11	14	15.31
349	30	1	0.35	600	0.75	1200	11	14	14.5
350	30	1	0.35	600	0.75	1500	11	14	13.98
351	30	1	0.35	600	0.75	300	14	14	22.71
352	30	1	0.35	600	0.75	600	14	14	17.55
353	30	1	0.35	600	0.75	900	14	14	15.8
354	30	1	0.35	600	0.75	1200	14	14	14.93
355	30	1	0.35	600	0.75	1500	14	14	14.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
356	10	1	0.3	450	0.75	900	2	11	10.79
357	10	1	0.3	450	0.75	900	5	11	9.22
358	10	1	0.3	450	0.75	900	8	11	9.39
359	60	1	0.3	450	0.75	900	2	11	15.08
360	60	1	0.3	450	0.75	900	5	11	14.52
361	60	1	0.3	450	0.75	900	8	11	15.5
362	60	1	0.3	450	0.75	900	11	11	16.25
363	30	1.4	0.3	450	0.75	900	2	11	11.51
364	30	1.4	0.3	450	0.75	900	5	11	11.51
365	30	1.4	0.3	450	0.75	900	8	11	10.97
366	30	0.6	0.3	450	0.75	900	2	11	14.36
367	30	0.6	0.3	450	0.75	900	5	11	17.02
368	30	0.6	0.3	450	0.75	900	8	11	19.29
369	30	0.6	0.3	450	0.75	900	11	11	19.73
370	40	1	0.3	450	0.75	900	2	11	15.22
371	40	1	0.3	450	0.75	900	5	11	14.11
372	40	1	0.3	450	0.75	900	8	11	15.28
373	40	1	0.3	450	0.75	900	11	11	15.91
374	40	1	0.3	450	0.75	900	14	11	16.27
375	30	1	0.3	450	0.75	900	2	11	13.18
376	30	1	0.3	450	0.75	900	5	11	12.21
377	30	1	0.3	450	0.75	900	8	11	13.07
378	30	1	0.3	450	0.75	900	11	11	13.43
379	30	1	0.3	450	0.75	900	2	11	16.19
380	30	1	0.3	450	0.75	900	5	11	14.74
381	30	1	0.3	450	0.75	900	8	11	16.56
382	20	1	0.3	450	0.75	900	2	11	13.7
383	20	1	0.3	450	0.75	900	5	11	12.15
384	20	1	0.3	450	0.75	900	8	11	12.41
385	20	1	0.3	450	0.75	900	11	11	12.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
386	30	1	0.3	450	0.75	900	2	11	14.36
387	30	1	0.3	450	0.75	900	5	11	17.33
388	30	1	0.3	450	0.75	900	8	11	20.1
389	30	1	0.3	450	0.75	900	11	11	20.62
390	30	1	0.3	450	0.75	900	14	11	20.66
391	30	0.8	0.3	450	0.75	900	2	11	13.99
392	30	0.8	0.3	450	0.75	900	5	11	13.84
393	30	0.8	0.3	450	0.75	900	8	11	15.28
394	30	0.8	0.3	450	0.75	900	11	11	15.68
395	10	1	0.35	600	0.75	900	2	11	7.15
396	10	1	0.35	600	0.75	900	5	11	6.44
397	10	1	0.35	600	0.75	900	8	11	7.12
398	60	1	0.35	600	0.75	900	2	11	10.42
399	60	1	0.35	600	0.75	900	5	11	10.74
400	60	1	0.35	600	0.75	900	8	11	12.7
401	60	1	0.35	600	0.75	900	11	11	13.8
402	30	1.4	0.35	600	0.75	900	2	11	8.02
403	30	1.4	0.35	600	0.75	900	5	11	8.07
404	30	1.4	0.35	600	0.75	900	8	11	8.13
405	30	0.6	0.35	600	0.75	900	2	11	9.82
406	30	0.6	0.35	600	0.75	900	5	11	12.71
407	30	0.6	0.35	600	0.75	900	8	11	15.28
408	30	0.6	0.35	600	0.75	900	11	11	15.91
409	40	1	0.35	600	0.75	900	2	11	10.38
410	40	1	0.35	600	0.75	900	5	11	10.71
411	40	1	0.35	600	0.75	900	8	11	12.59
412	40	1	0.35	600	0.75	900	11	11	13.53
413	40	1	0.35	600	0.75	900	14	11	14.27
414	30	1	0.35	600	0.75	900	2	11	9.23
415	30	1	0.35	600	0.75	900	5	11	9.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
416	30	1	0.35	600	0.75	900	8	11	10.56
417	30	1	0.35	600	0.75	900	11	11	11.18
418	30	1	0.35	600	0.75	900	2	11	10.77
419	30	1	0.35	600	0.75	900	5	11	10.62
420	30	1	0.35	600	0.75	900	8	11	12.99
421	20	1	0.35	600	0.75	900	2	11	9.21
422	20	1	0.35	600	0.75	900	5	11	8.66
423	20	1	0.35	600	0.75	900	8	11	9.64
424	20	1	0.35	600	0.75	900	11	11	10.01
425	30	1	0.35	600	0.75	900	2	11	9.85
426	30	1	0.35	600	0.75	900	5	11	12.93
427	30	1	0.35	600	0.75	900	8	11	15.99
428	30	1	0.35	600	0.75	900	11	11	16.8
429	30	1	0.35	600	0.75	900	14	11	17.05
430	30	0.8	0.35	600	0.75	900	2	11	9.62
431	30	0.8	0.35	600	0.75	900	5	11	10.43
432	30	0.8	0.35	600	0.75	900	8	11	12.25
433	30	0.8	0.35	600	0.75	900	11	11	12.91
434	10	1	0.4	750	0.75	900	2	11	5.11
435	10	1	0.4	750	0.75	900	5	11	4.85
436	10	1	0.4	750	0.75	900	8	11	5.64
437	60	1	0.4	750	0.75	900	2	11	7.44
438	60	1	0.4	750	0.75	900	5	11	8.59
439	60	1	0.4	750	0.75	900	8	11	10.75
440	60	1	0.4	750	0.75	900	11	11	12.13
441	30	1.4	0.4	750	0.75	900	2	11	5.96
442	30	1.4	0.4	750	0.75	900	5	11	6.06
443	30	1.4	0.4	750	0.75	900	8	11	6.79
444	30	0.6	0.4	750	0.75	900	2	11	7.12
445	30	0.6	0.4	750	0.75	900	5	11	9.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
446	30	0.6	0.4	750	0.75	900	8	11	11.98
447	30	0.6	0.4	750	0.75	900	11	11	12.88
448	40	1	0.4	750	0.75	900	2	11	7.56
449	40	1	0.4	750	0.75	900	5	11	8.6
450	40	1	0.4	750	0.75	900	8	11	10.87
451	40	1	0.4	750	0.75	900	11	11	11.98
452	40	1	0.4	750	0.75	900	14	11	12.92
453	30	1	0.4	750	0.75	900	2	11	6.7
454	30	1	0.4	750	0.75	900	5	11	7.22
455	30	1	0.4	750	0.75	900	8	11	8.81
456	30	1	0.4	750	0.75	900	11	11	9.66
457	30	1	0.4	750	0.75	900	2	11	7.93
458	30	1	0.4	750	0.75	900	5	11	7.85
459	30	1	0.4	750	0.75	900	8	11	10.24
460	20	1	0.4	750	0.75	900	2	11	6.42
461	20	1	0.4	750	0.75	900	5	11	6.59
462	20	1	0.4	750	0.75	900	8	11	7.85
463	20	1	0.4	750	0.75	900	11	11	8.45
464	30	1	0.4	750	0.75	900	2	11	7.14
465	30	1	0.4	750	0.75	900	5	11	9.61
466	30	1	0.4	750	0.75	900	8	11	12.57
467	30	1	0.4	750	0.75	900	11	11	13.7
468	30	1	0.4	750	0.75	900	14	11	14.14
469	30	0.8	0.4	750	0.75	900	2	11	6.92
470	30	0.8	0.4	750	0.75	900	5	11	8.02
471	30	0.8	0.4	750	0.75	900	8	11	10.03
472	30	0.8	0.4	750	0.75	900	11	11	10.9
473	10	1	0.45	900	0.75	900	2	11	3.83
474	10	1	0.45	900	0.75	900	5	11	3.8
475	10	1	0.45	900	0.75	900	8	11	4.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
476	60	1	0.45	900	0.75	900	2	11	5.77
477	60	1	0.45	900	0.75	900	5	11	7.25
478	60	1	0.45	900	0.75	900	8	11	9.48
479	60	1	0.45	900	0.75	900	11	11	11
480	30	1.4	0.45	900	0.75	900	2	11	4.61
481	30	1.4	0.45	900	0.75	900	5	11	4.84
482	30	1.4	0.45	900	0.75	900	8	11	5.91
483	30	0.6	0.45	900	0.75	900	2	11	5.55
484	30	0.6	0.45	900	0.75	900	5	11	7.33
485	30	0.6	0.45	900	0.75	900	8	11	9.65
486	30	0.6	0.45	900	0.75	900	11	11	10.82
487	40	1	0.45	900	0.75	900	2	11	5.85
488	40	1	0.45	900	0.75	900	5	11	7.23
489	40	1	0.45	900	0.75	900	8	11	9.59
490	40	1	0.45	900	0.75	900	11	11	10.92
491	40	1	0.45	900	0.75	900	14	11	11.99
492	30	1	0.45	900	0.75	900	2	11	5.16
493	30	1	0.45	900	0.75	900	5	11	5.93
494	30	1	0.45	900	0.75	900	8	11	7.57
495	30	1	0.45	900	0.75	900	11	11	8.63
496	30	1	0.45	900	0.75	900	2	11	5.64
497	30	1	0.45	900	0.75	900	5	11	6.17
498	30	1	0.45	900	0.75	900	8	11	8.29
499	20	1	0.45	900	0.75	900	2	11	4.81
500	20	1	0.45	900	0.75	900	5	11	5.3
501	20	1	0.45	900	0.75	900	8	11	6.65
502	20	1	0.45	900	0.75	900	11	11	7.44
503	30	1	0.45	900	0.75	900	2	11	5.55
504	30	1	0.45	900	0.75	900	5	11	7.52
505	30	1	0.45	900	0.75	900	8	11	10.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนวสทหรบการใชงานเพือการศึกษาเทานั้น ไมออนุญาตหนานาไปใชประยชนดานการค้า  
ไมวารณใดทงห้สน อิกทงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกคร้งที่มีกรนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
506	30	1	0.45	900	0.75	900	11	11	11.65
507	30	1	0.45	900	0.75	900	14	11	12.28
508	30	0.8	0.45	900	0.75	900	2	11	5.33
509	30	0.8	0.45	900	0.75	900	5	11	6.49
510	30	0.8	0.45	900	0.75	900	8	11	8.4
511	30	0.8	0.45	900	0.75	900	11	11	9.52
512	10	1	0.3	450	0.75	900	2	16.5	12.07
513	10	1	0.3	450	0.75	900	5	16.5	11.69
514	10	1	0.3	450	0.75	900	8	16.5	15.38
515	60	1	0.3	450	0.75	900	2	16.5	17.26
516	60	1	0.3	450	0.75	900	5	16.5	17.97
517	60	1	0.3	450	0.75	900	8	16.5	21.92
518	60	1	0.3	450	0.75	900	11	16.5	24.67
519	30	1.4	0.3	450	0.75	900	2	16.5	15.4
520	30	1.4	0.3	450	0.75	900	5	16.5	15.08
521	30	1.4	0.3	450	0.75	900	8	16.5	16.5
522	30	0.6	0.3	450	0.75	900	2	16.5	15.76
523	30	0.6	0.3	450	0.75	900	5	16.5	23.89
524	30	0.6	0.3	450	0.75	900	8	16.5	31.24
525	30	0.6	0.3	450	0.75	900	11	16.5	35.45
526	40	1	0.3	450	0.75	900	2	16.5	18.55
527	40	1	0.3	450	0.75	900	5	16.5	20.1
528	40	1	0.3	450	0.75	900	8	16.5	24.5
529	40	1	0.3	450	0.75	900	11	16.5	26.79
530	40	1	0.3	450	0.75	900	14	16.5	27.88
531	30	1	0.3	450	0.75	900	2	16.5	15.54
532	30	1	0.3	450	0.75	900	5	16.5	16.84
533	30	1	0.3	450	0.75	900	8	16.5	20.4
534	30	1	0.3	450	0.75	900	11	16.5	22.84
535	30	1	0.3	450	0.75	900	2	16.5	18.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
536	30	1	0.3	450	0.75	900	5	16.5	18.97
537	30	1	0.3	450	0.75	900	8	16.5	25.61
538	20	1	0.3	450	0.75	900	2	16.5	15.63
539	20	1	0.3	450	0.75	900	5	16.5	15.96
540	20	1	0.3	450	0.75	900	8	16.5	18.92
541	20	1	0.3	450	0.75	900	11	16.5	20.83
542	30	1	0.3	450	0.75	900	2	16.5	15.97
543	30	1	0.3	450	0.75	900	5	16.5	25.58
544	30	1	0.3	450	0.75	900	8	16.5	34.63
545	30	1	0.3	450	0.75	900	11	16.5	39.54
546	30	1	0.3	450	0.75	900	14	16.5	40.64
547	30	0.8	0.3	450	0.75	900	2	16.5	15.82
548	30	0.8	0.3	450	0.75	900	5	16.5	19.38
549	30	0.8	0.3	450	0.75	900	8	16.5	24.22
550	30	0.8	0.3	450	0.75	900	11	16.5	27.35
551	10	1	0.35	600	0.75	900	2	16.5	7.78
552	10	1	0.35	600	0.75	900	5	16.5	7.93
553	10	1	0.35	600	0.75	900	8	16.5	10.55
554	60	1	0.35	600	0.75	900	2	16.5	11.69
555	60	1	0.35	600	0.75	900	5	16.5	13.93
556	60	1	0.35	600	0.75	900	8	16.5	18.47
557	60	1	0.35	600	0.75	900	11	16.5	21.75
558	30	1.4	0.35	600	0.75	900	2	16.5	9.68
559	30	1.4	0.35	600	0.75	900	5	16.5	9.57
560	30	1.4	0.35	600	0.75	900	8	16.5	11.82
561	30	0.6	0.35	600	0.75	900	2	16.5	10.57
562	30	0.6	0.35	600	0.75	900	5	16.5	16.51
563	30	0.6	0.35	600	0.75	900	8	16.5	22.91
564	30	0.6	0.35	600	0.75	900	11	16.5	26.86
565	40	1	0.35	600	0.75	900	2	16.5	11.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนวสทหรบการเขางานเพอการศึกษาเทานัน ไมออนุญาตหนาไปไซบระยชนดานการค้

ไมวารณใดทงห้สน อิกทงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และดอองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกคร้งที่มีกรนนำไปไซ้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
566	40	1	0.35	600	0.75	900	5	16.5	14.3
567	40	1	0.35	600	0.75	900	8	16.5	18.92
568	40	1	0.35	600	0.75	900	11	16.5	21.45
569	40	1	0.35	600	0.75	900	14	16.5	22.86
570	30	1	0.35	600	0.75	900	2	16.5	10.16
571	30	1	0.35	600	0.75	900	5	16.5	11.93
572	30	1	0.35	600	0.75	900	8	16.5	15.37
573	30	1	0.35	600	0.75	900	11	16.5	17.92
574	30	1	0.35	600	0.75	900	2	16.5	11.5
575	30	1	0.35	600	0.75	900	5	16.5	12.94
576	30	1	0.35	600	0.75	900	8	16.5	18.55
577	20	1	0.35	600	0.75	900	2	16.5	9.95
578	20	1	0.35	600	0.75	900	5	16.5	11.04
579	20	1	0.35	600	0.75	900	8	16.5	14.01
580	20	1	0.35	600	0.75	900	11	16.5	16.1
581	30	1	0.35	600	0.75	900	2	16.5	10.66
582	30	1	0.35	600	0.75	900	5	16.5	17.67
583	30	1	0.35	600	0.75	900	8	16.5	25.58
584	30	1	0.35	600	0.75	900	11	16.5	30.2
585	30	1	0.35	600	0.75	900	14	16.5	31.59
586	30	0.8	0.35	600	0.75	900	2	16.5	10.44
587	30	0.8	0.35	600	0.75	900	5	16.5	13.67
588	30	0.8	0.35	600	0.75	900	8	16.5	18.1
589	30	0.8	0.35	600	0.75	900	11	16.5	21.23
590	10	1	0.4	750	0.75	900	2	16.5	5.42
591	10	1	0.4	750	0.75	900	5	16.5	5.46
592	10	1	0.4	750	0.75	900	8	16.5	7.34
593	60	1	0.4	750	0.75	900	2	16.5	8.03
594	60	1	0.4	750	0.75	900	5	16.5	10.25
595	60	1	0.4	750	0.75	900	8	16.5	14.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนวสทหการเขางานเพอการศึกษาแทนน ไมออนุญาตหนาไปเซบระยชนดานการค้

ไมวการณใดทงห้สน อิกทงห้ทมิให้ดตแปลงเนือหา และดองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกคร้งที่มีกรนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
596	60	1	0.4	750	0.75	900	11	16.5	17.19
597	30	1.4	0.4	750	0.75	900	2	16.5	6.66
598	30	1.4	0.4	750	0.75	900	5	16.5	6.8
599	30	1.4	0.4	750	0.75	900	8	16.5	8.77
600	30	0.6	0.4	750	0.75	900	2	16.5	7.55
601	30	0.6	0.4	750	0.75	900	5	16.5	11.23
602	30	0.6	0.4	750	0.75	900	8	16.5	16.11
603	30	0.6	0.4	750	0.75	900	11	16.5	19.58
604	40	1	0.4	750	0.75	900	2	16.5	8.23
605	40	1	0.4	750	0.75	900	5	16.5	10.62
606	40	1	0.4	750	0.75	900	8	16.5	14.71
607	40	1	0.4	750	0.75	900	11	16.5	17.33
608	40	1	0.4	750	0.75	900	14	16.5	18.8
609	30	1	0.4	750	0.75	900	2	16.5	7.18
610	30	1	0.4	750	0.75	900	5	16.5	8.65
611	30	1	0.4	750	0.75	900	8	16.5	11.54
612	30	1	0.4	750	0.75	900	11	16.5	13.9
613	30	1	0.4	750	0.75	900	2	16.5	8.05
614	30	1	0.4	750	0.75	900	5	16.5	8.99
615	30	1	0.4	750	0.75	900	8	16.5	13.09
616	20	1	0.4	750	0.75	900	2	16.5	6.74
617	20	1	0.4	750	0.75	900	5	16.5	7.83
618	20	1	0.4	750	0.75	900	8	16.5	10.37
619	20	1	0.4	750	0.75	900	11	16.5	12.34
620	30	1	0.4	750	0.75	900	2	16.5	7.62
621	30	1	0.4	750	0.75	900	5	16.5	11.81
622	30	1	0.4	750	0.75	900	8	16.5	17.84
623	30	1	0.4	750	0.75	900	11	16.5	22.06
624	30	1	0.4	750	0.75	900	14	16.5	23.72
625	30	0.8	0.4	750	0.75	900	2	16.5	7.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
626	30	0.8	0.4	750	0.75	900	5	16.5	9.66
627	30	0.8	0.4	750	0.75	900	8	16.5	13.25
628	30	0.8	0.4	750	0.75	900	11	16.5	16.07
629	10	1	0.45	900	0.75	900	2	16.5	4
630	10	1	0.45	900	0.75	900	5	16.5	4.03
631	10	1	0.45	900	0.75	900	8	16.5	5.3
632	60	1	0.45	900	0.75	900	2	16.5	6.08
633	60	1	0.45	900	0.75	900	5	16.5	8.09
634	60	1	0.45	900	0.75	900	8	16.5	11.12
635	60	1	0.45	900	0.75	900	11	16.5	13.87
636	30	1.4	0.45	900	0.75	900	2	16.5	4.96
637	30	1.4	0.45	900	0.75	900	5	16.5	5.31
638	30	1.4	0.45	900	0.75	900	8	16.5	6.89
639	30	0.6	0.45	900	0.75	900	2	16.5	5.81
640	30	0.6	0.45	900	0.75	900	5	16.5	8.07
641	30	0.6	0.45	900	0.75	900	8	16.5	11.43
642	30	0.6	0.45	900	0.75	900	11	16.5	14.2
643	40	1	0.45	900	0.75	900	2	16.5	6.21
644	40	1	0.45	900	0.75	900	5	16.5	8.32
645	40	1	0.45	900	0.75	900	8	16.5	11.66
646	40	1	0.45	900	0.75	900	11	16.5	14.11
647	40	1	0.45	900	0.75	900	14	16.5	15.73
648	30	1	0.45	900	0.75	900	2	16.5	5.42
649	30	1	0.45	900	0.75	900	5	16.5	6.67
650	30	1	0.45	900	0.75	900	8	16.5	8.95
651	30	1	0.45	900	0.75	900	11	16.5	11
652	30	1	0.45	900	0.75	900	2	16.5	5.94
653	30	1	0.45	900	0.75	900	5	16.5	6.61
654	30	1	0.45	900	0.75	900	8	16.5	9.49
655	20	1	0.45	900	0.75	900	2	16.5	4.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No	B/2	t	Suso-Over	Goso-Su	Sust-Over	Gost-Su	He	d	Max
656	20	1	0.45	900	0.75	900	5	16.5	5.92
657	20	1	0.45	900	0.75	900	8	16.5	7.9
658	20	1	0.45	900	0.75	900	11	16.5	9.6
659	30	1	0.45	900	0.75	900	2	16.5	5.83
660	30	1	0.45	900	0.75	900	5	16.5	8.44
661	30	1	0.45	900	0.75	900	8	16.5	12.53
662	30	1	0.45	900	0.75	900	11	16.5	16.04
663	30	1	0.45	900	0.75	900	14	16.5	17.9
664	30	0.8	0.45	900	0.75	900	2	16.5	5.59
665	30	0.8	0.45	900	0.75	900	5	16.5	7.23
666	30	0.8	0.45	900	0.75	900	8	16.5	9.91
667	30	0.8	0.45	900	0.75	900	11	16.5	12.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

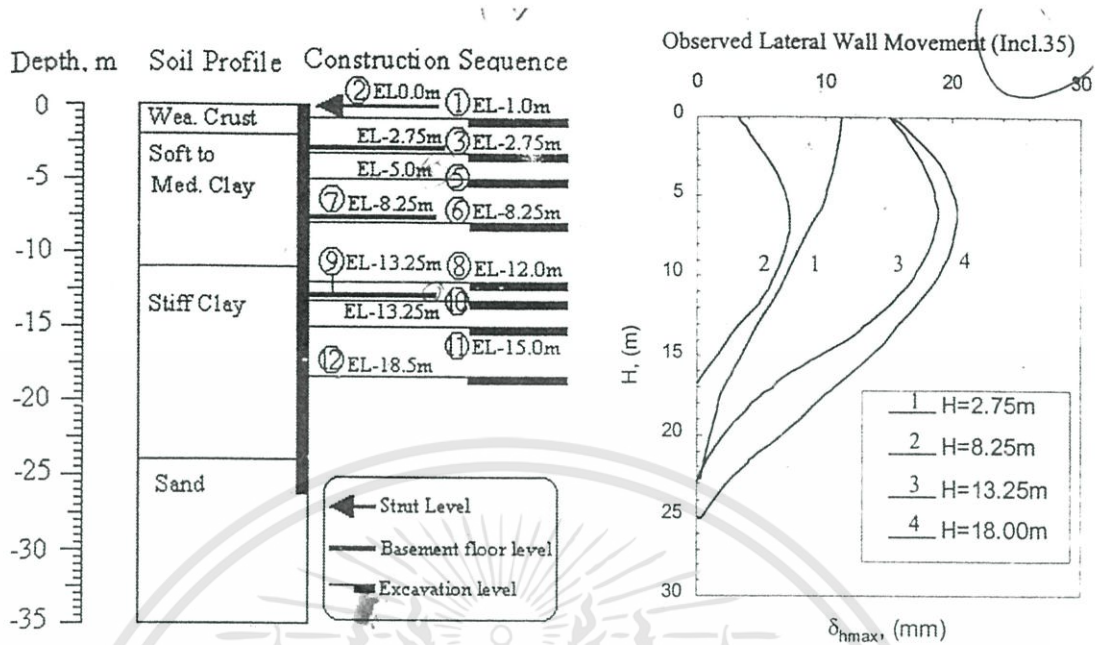
กรณีศึกษาที่ใช้ในการตรวจสอบความแม่นยำของสมการ

ตาราง ข.1 ข้อมูลทั่วไป

Cases No.	Title	$h_{avg}$ [m]	$\frac{S_{u,so}}{\sigma'_v}$	$\frac{G_{o,so}}{\sigma'_v}$	$\frac{G_{o,st}}{\sigma'_v}$	$H_e$ [m]	d [m]
1-TD	ITC-I35	3.5	0.34	213.3	695	2.75, 8.25, 13.25	35
2-TD	GT-I1	5	0.4	155	663	2.3, 7.3, 10	21
3-TD	Winsor	5.15	0.2	180	854	2.0, 9.5	25
4-TD	Bang Su	5	0.65	243	733	2.8, 8, 15.7	10
5-TD	Sam Yan	4.8	0.65	358	754	2.2, 7.1, 14.45	20
1-BU	BUI-I7	2.8	0.34	136	560	4.3, 7, 11	25
2-BU	TPI-I2	2.75	0.32	138.3	288	4.8, 10.5	30
3-BU	Ori-I2	3	0.4	136	615	5.5, 9.5, 14	25
4-BU	Ori-I4	3	0.4	136	615	5.5, 9.5, 14	10
5-BU	ChinaT. -I2	2	0.4	136	615	1.5, 4.6	10

ตาราง ข.1 (ต่อ) ข้อมูลทั่วไป

Cases No.	Title	Type	Wall Length [m]	t [m]	L [m]	B [m]	Strut level [m]
1-TD	ITC-35	TD	26	0.8	80	35	-2.75, -8.25, -13.25
2-TD	GT-1	TD	18	0.8	50.4	50.4	-2.0, -7.0
3-TD	Winsor	TD	20	0.8	50	33	+1, -2.0, -9.5
4-TD	Bang Su	TD	19	1	80	22	-2.8, -8, -15.7
5-TD	Sam Yan	TD	39	1	80	22	-2.2, -7.1, -14.45
1-BU	BUI-7	BU	22	1	58.83	41.5	-0.5, -3.2, -6.1
2-BU	TPI-2	BU	27	1	90	42	-1.5, -4.3, -7.0, -9.8
3-BU	Ori-2	BU	20	1	53.2	34.45	-1.5, -4.0, -8.0, -10.5
4-BU	Ori-4	BU	20	1	46.7	30	-1.5, -4.0, -8.0, -10.6
5-BU	ChinaT. -2	BU	14	0.6	24.6	44.05	-1.0



Soil Properties of International Trade Center Project site

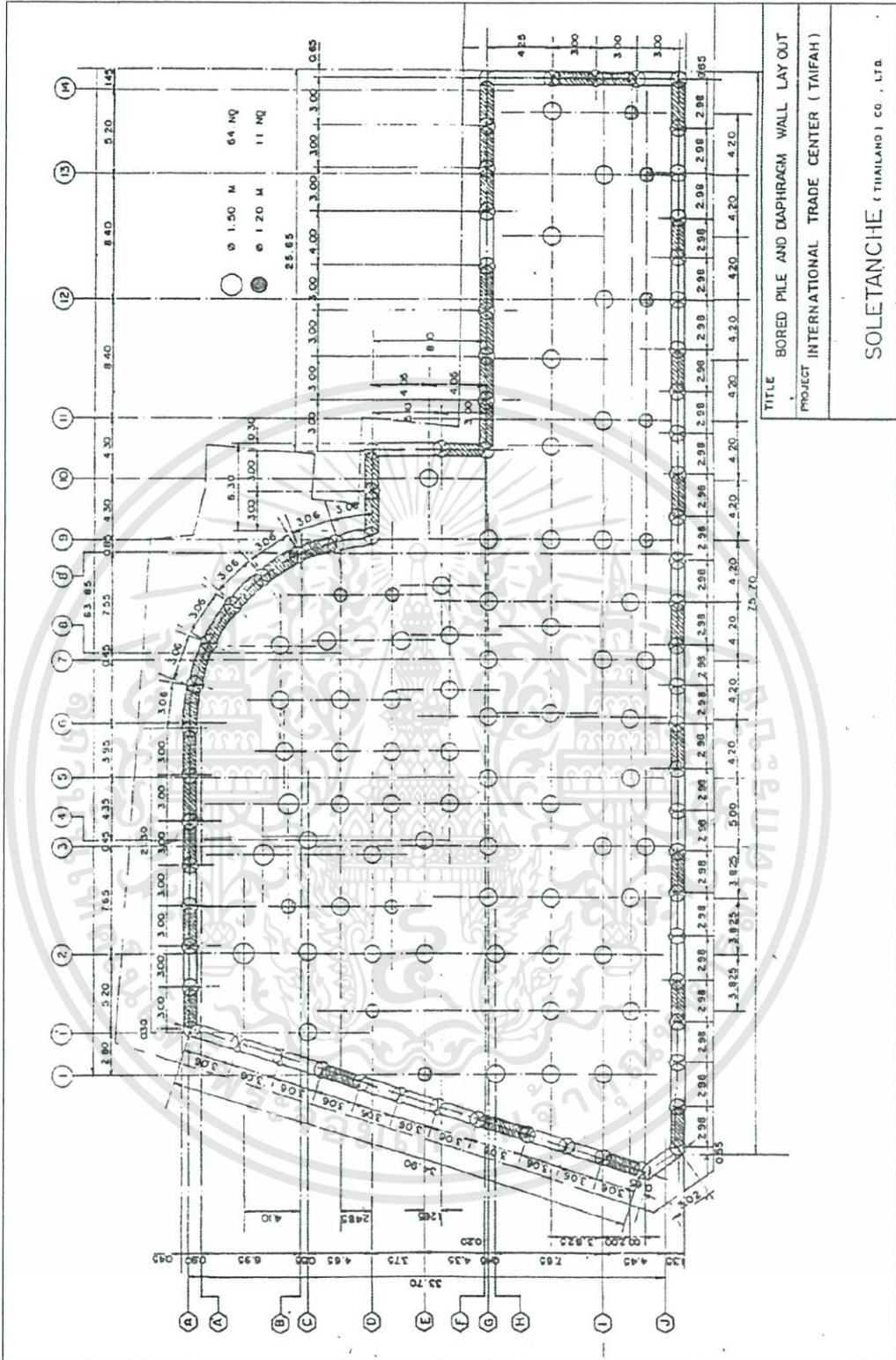
Soil type	Depth, m	$W_p$ , %	$W_n$ , %	$W_L$ , %	SPT 'N'	$S_u$ (FV) kN/m <sup>2</sup>
Wea. clay	0~2	21.8	43.8	70.8		16.7
Soft clay	2~11	25	60~79.2	59.4		9.4~32.4
Stiff clay	11~24	14.6	20~60	42.7~63.5	21~22	60~104.6
sand	24~39		12.5~25		23~80	
clay	39~44	14.2~20	18.8~27.1	33.3~56.2	7~40	
sand	44~53		16.7~25		53~77	
clay	53~55		12.5		40	
sand	55~80		14.6~24		60~100	

Properties for Structural Element

Element	Depth(m)	$E'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu'$	$G$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	$K_w$ (kN/m <sup>2</sup> )
D-wall	0-26	$2.1 \times 10^7$	0.2	$1.3 \times 10^7$	24	0
Eq-F-Pile	0-39	$1.67 \times 10^6$	0.3	$1.19 \times 10^6$	21	69500
Concret S.		$9.6 \times 10^4$	0.1	$6.86 \times 10^4$	0.01	0

รูป ข.1 Case No.1-TD-International Trade Center Project

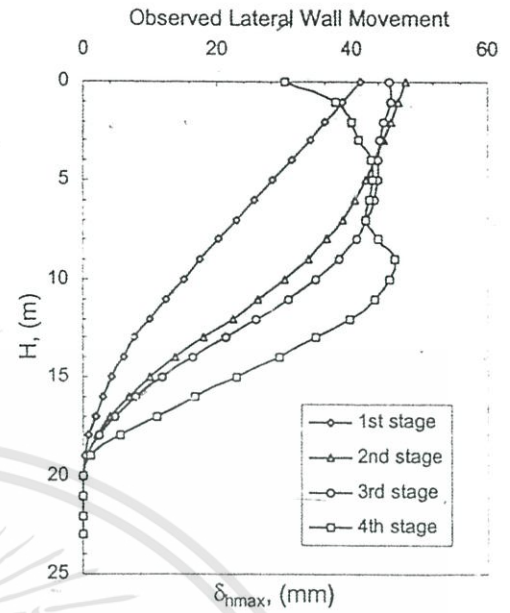
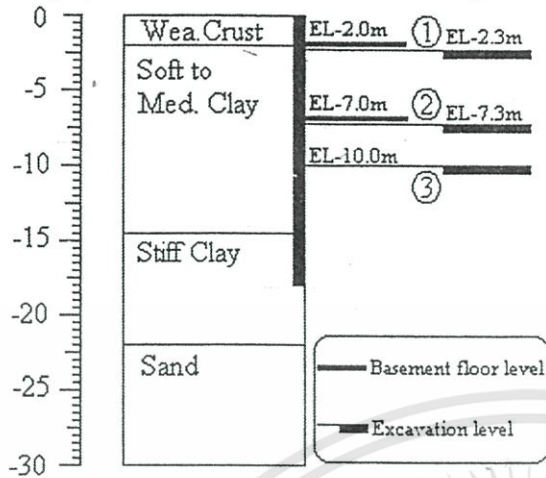
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.2 Layout of Case No.1-TD -Layout of International Trade Center Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Depth, m Soil Profile Construction Sequence



Soil properties of Green Tower Project Site

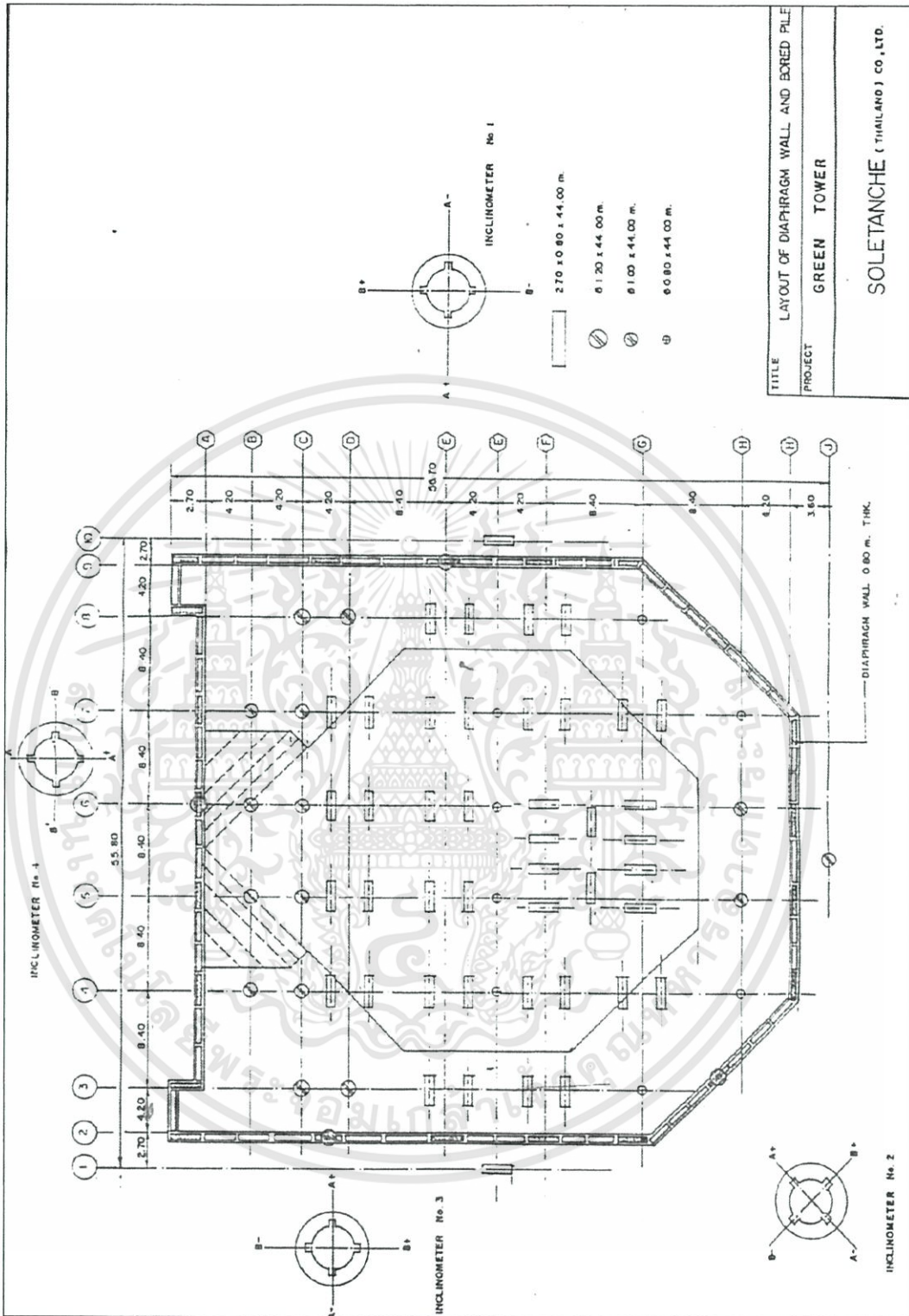
Soil type	Depth, m	W <sub>p</sub> , %	W <sub>n</sub> %	W <sub>L</sub> , %	SPT 'N'	S <sub>u</sub> (FV) kN/m <sup>2</sup>
Soft clay	0~14.5	48.8	60~75.8	76.2		16.5~47.4
Stiff clay	14.5~22	20	22.1~35.8	62.1	16~20	
sand	22~36		20~28.4		22~56	
clay	36~46		20~27.4		25~75	

Maximum Lateral Wall Movement

Stage	Exc.H (m)	Strut EL. (m)	$\delta_{max}$ , mm				$\delta_{max}/H_i$ , %			
			1	2	3	4	1	2	3	4
1	2		41.5	40.4	32	42	2.08	2.02	1.6	2.1
2	7.2	2	44	45.8	31.7	45	0.61	0.64	0.44	0.63
3	9.8	7	46	46	40	48	0.47	0.47	0.41	0.49

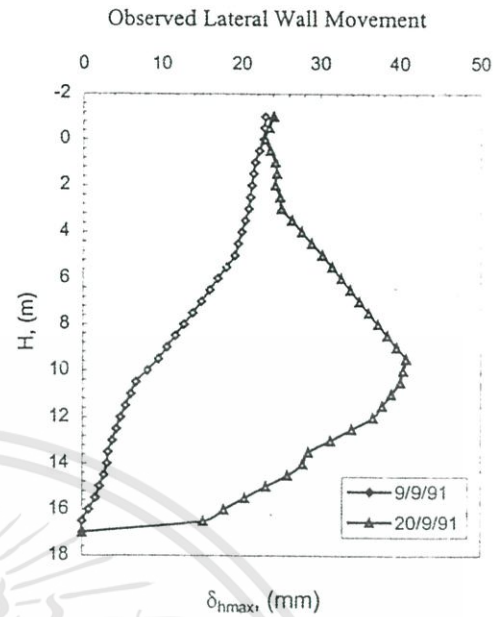
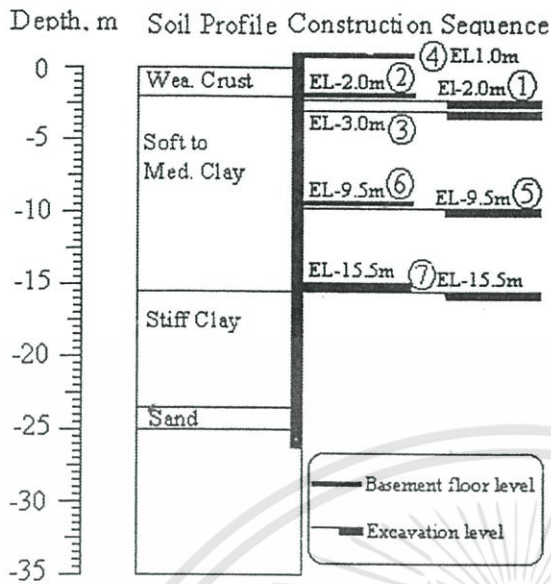
รูป ข.3 Case No.2-TD-Green Tower Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.4 Layout of Case No.2-TD -Green Tower Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soil Properties of Winsor Hotel Project site

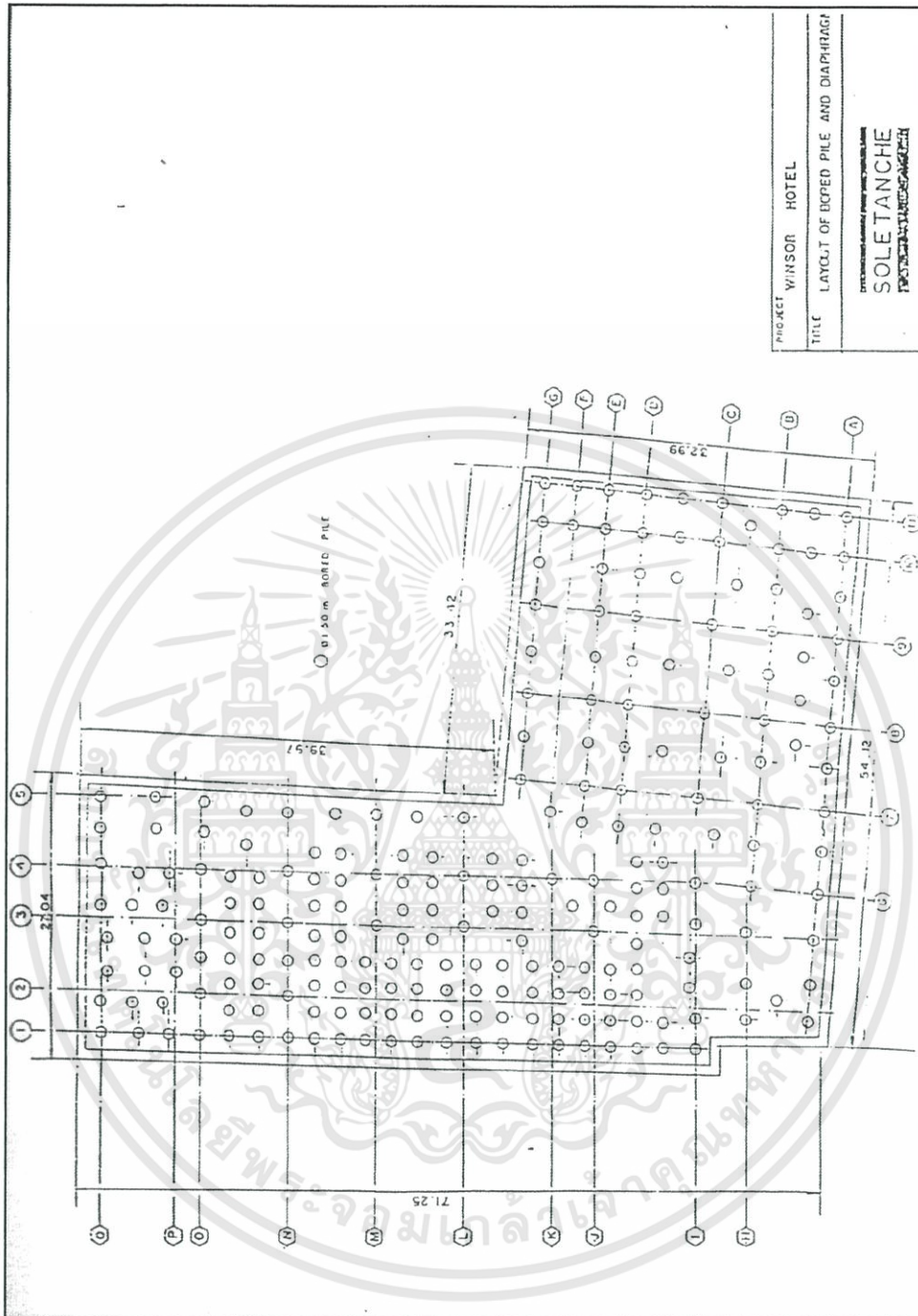
Soil type	Depth, m	$W_p$ , %	$W_u$ , %	$W_L$ , %	SPT 'N'	$S_u$ (FV) $\text{kN/m}^2$
Wea. clay	0~2	13.7~20.7	25.9~58.1	31.1~33.2		11.2~15.3
Soft clay	2~15.5	13.5~27.4	57~83	25.9~43.6		(12.2~14.3)
Stiff clay	15.5~23.5	21.8~32.1	20.7~38.4	56~57.8	20~22	17.3~20
sand	23.5~25		23.2		36	
Stiff clay	25~50	15.6~24.3	16.6~31.1	27~57.7	20~92	

Mohr-Coulomb Parameters for Sand Strata

Depth(m)	$E$ ( $\text{kN/m}^2$ )	$C$ ( $\text{kN/m}^2$ )	$\phi'$	$G$ ( $\text{kN/m}^2$ )	$\nu'$	$\gamma_t$ ( $\text{kN/m}^3$ )	$K_w$ ( $\text{kN/m}^2$ )
24-28	27500	0	35	19700	0.25	19	97000

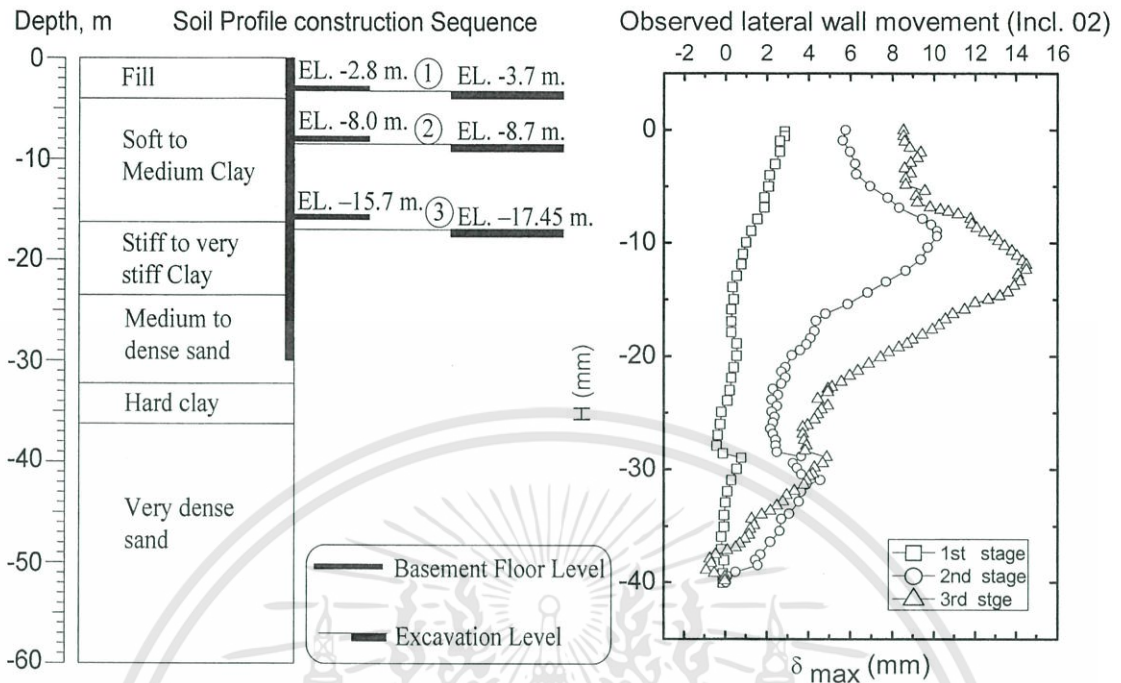
รูป ข.5 Case No.3-TD-Winsor Hotel Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.6 Layout of Case No.3-TD-Winsor Hotel Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

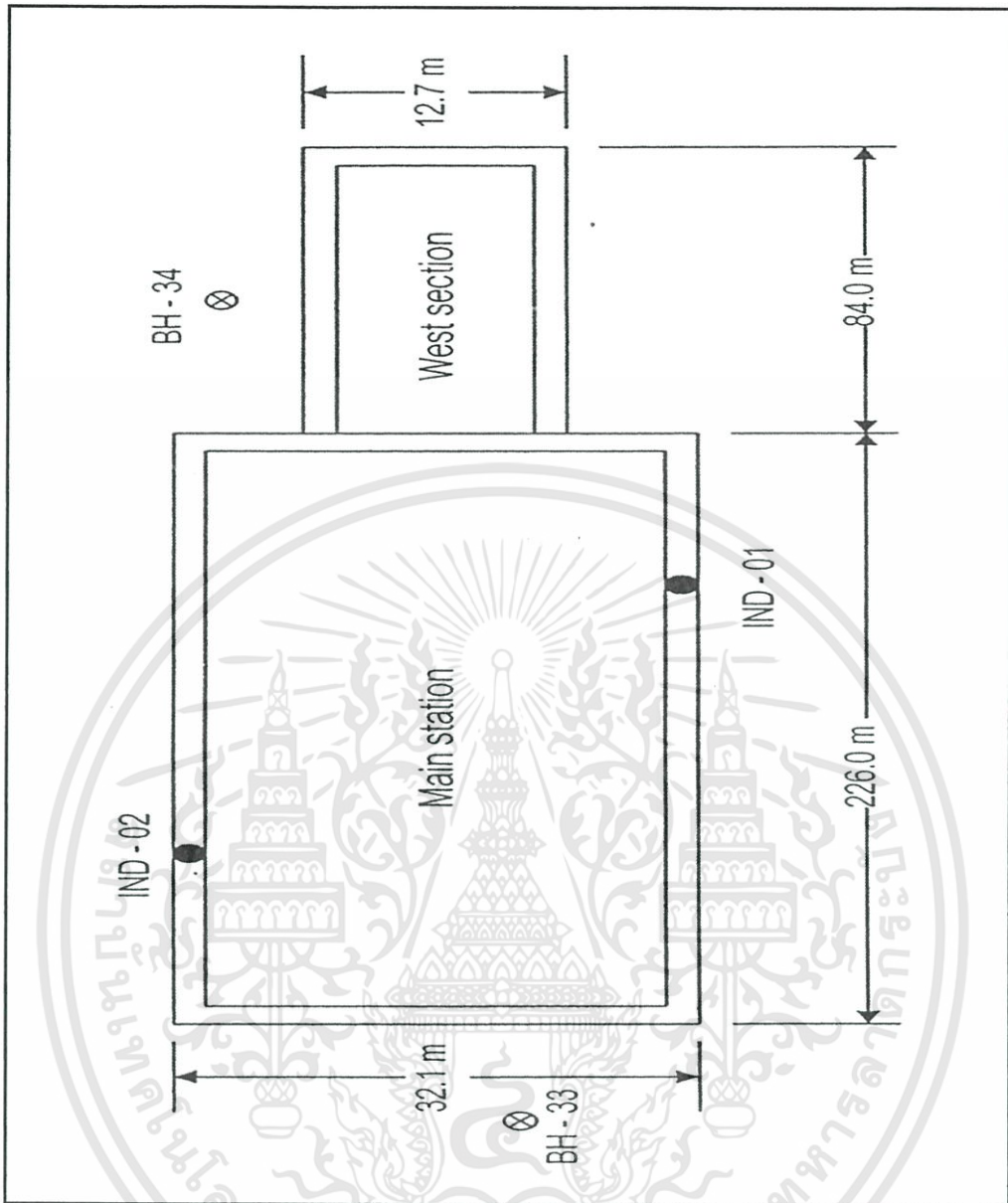


Soil properties of Bang Su MRTA Station Project Site

Soil type	Depth,m	$\gamma, t/m^3$	$W_p, \%$	$W_n, \%$	$W_L, \%$	SPT, N	$Su(FV), t/m^2$
Fill	0-4	1.8	26	40	58	8	4.8
Soft clay	4-16	1.8	16-36	28-64	28-88		3.2-6.8
Stiff clay	16-23.6		24	28	60	16-34	
Med. to dense sand	23.6-32	2				20-40	
Very stiff to hard clay	32-36		20	20	40	24-48	
Very dense sand	36-60					52-80	

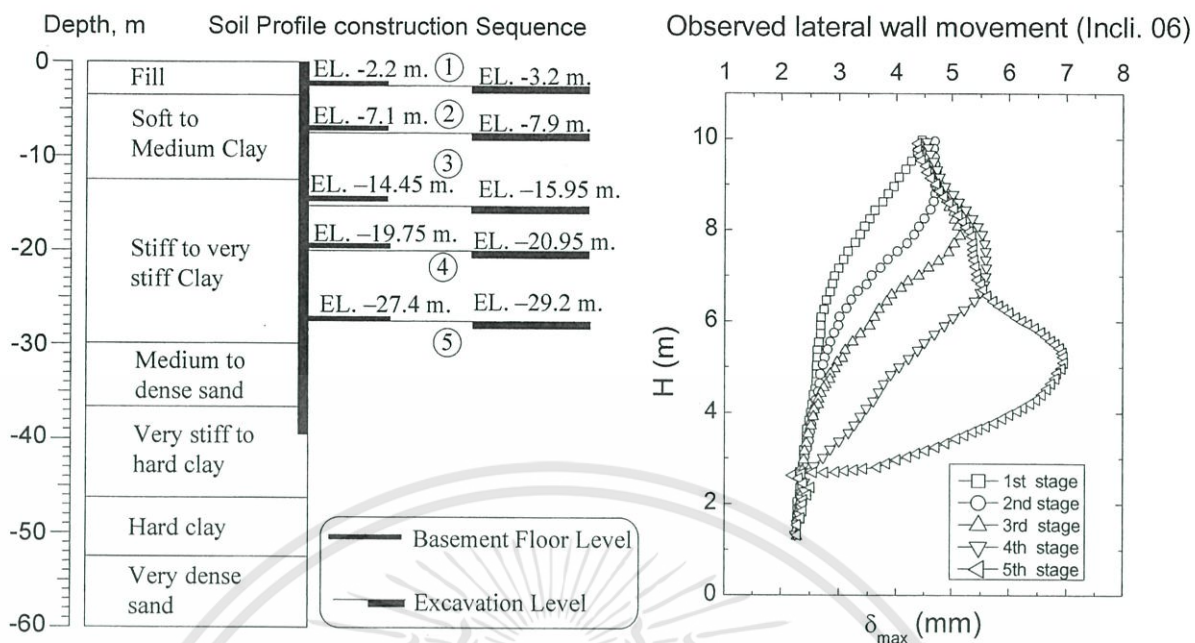
รูป ข.7 Case No.4-TD-Bang Su MRTA Station Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.8 Layout of Case No.4-TD-Bang Su MRTA Station Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

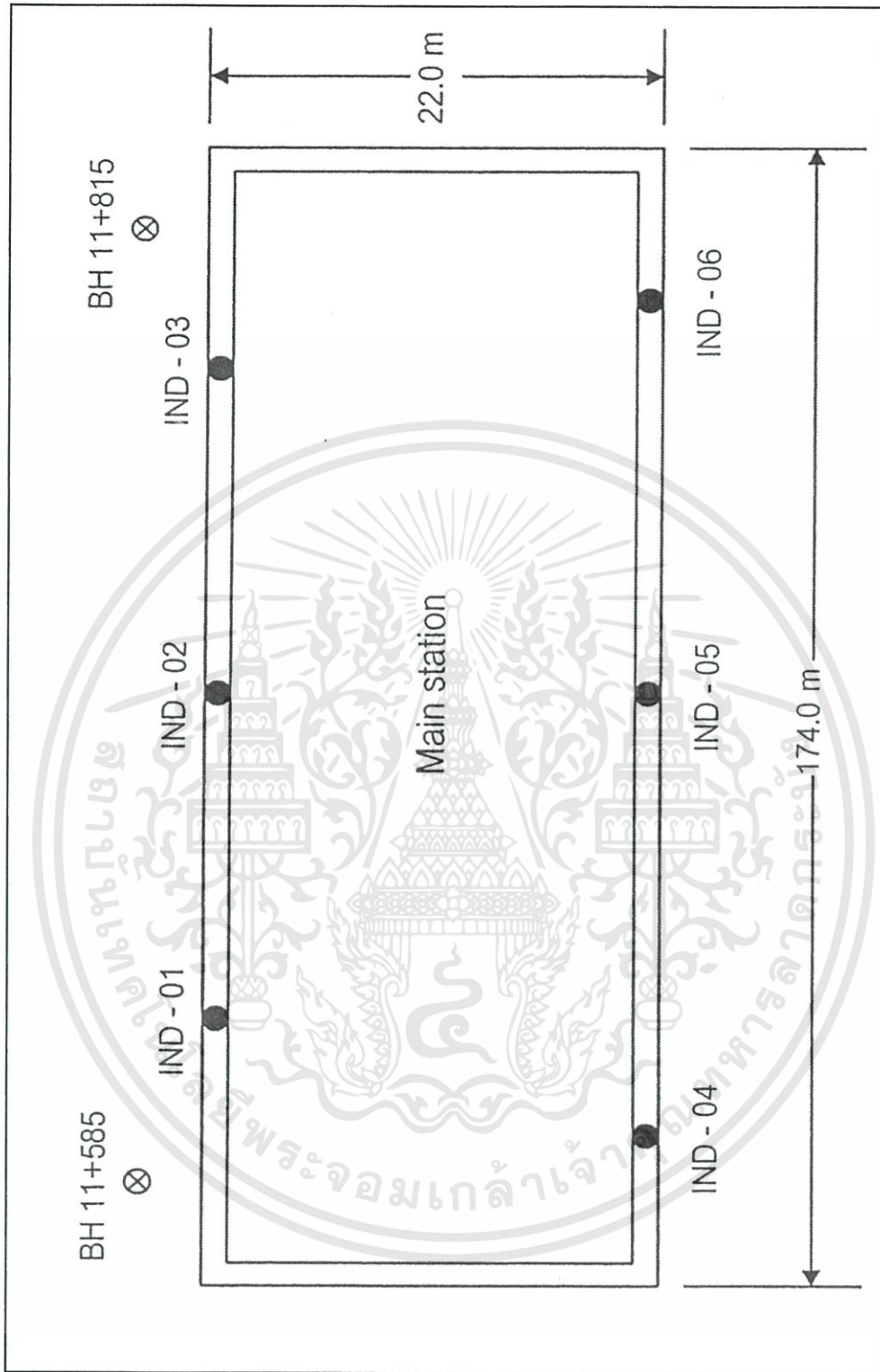


Soil properties of Sam Yan MRTA Station Project Site

Soil type	Depth, m	$\gamma, t/m^3$	$W_p, \%$	$W_n, \%$	$W_L, \%$	SPT, N	Su(FV), $t/m^2$
Fill	0-3.5	1.6					8
Soft to medium clay	3.5-12.4	1.6	24	44	62		2-7
Stiff to very stiff clay	12.4-29.5	1.9	18	22	72	12-28	
Med. to dense sand	29.5-36.8	2.0				20-52	
Very stiff to hard clay	36.8-46.7		22	24	56	20-80	
Hard clay	46.7-59.5					44-80	
Very dense sand	59.5-70.5					44-80	

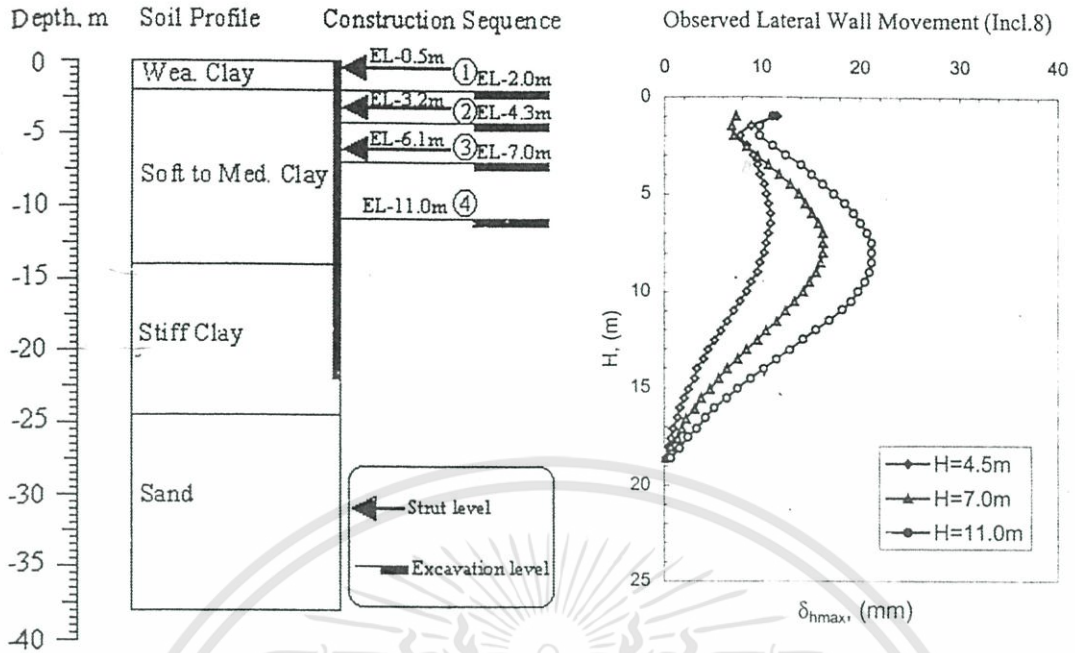
รูป ข.9 Case No.5-TD- Sam Yan MRTA Station Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.10 Layout of Case No.5-TD- Sam Yan MRTA Station Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soil Properties of Bangkok United Insurance Building Project Site

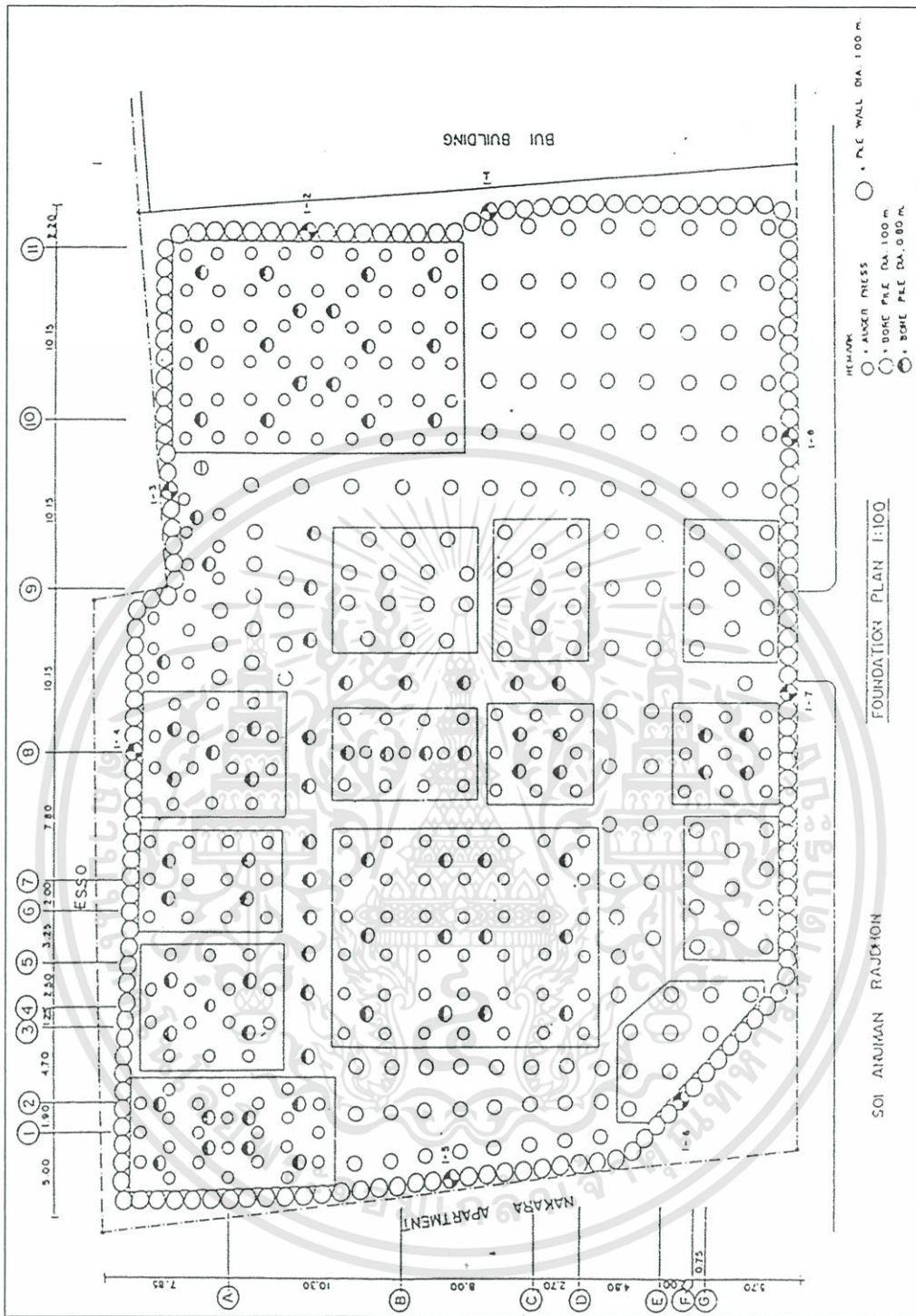
Soil type	Depth, m	W <sub>p</sub> %	W <sub>n</sub> %	W <sub>L</sub> %	γ <sub>t</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	SPT 'N'	S <sub>u</sub> (uc) kpa	S <sub>u</sub> (FV) kN/m <sup>2</sup>
Wea. clay	0~2		20.4~38.8		17.4~18.1		19.5	21
Soft clay	2~14		24.5~77.5		14.4~16.8		8.2~57.1	10~55
Stiff clay	14~24.5	16.3	16.3~55.1	55.1	15.4~21.3	16~35	114.3~163	
l sand	24.5~38		10.2~26.5			22~59		
clay	38~45	24.5	16.3~24.5	49~65.3	18.7~20.8	26~49	138.8	
sand	45~51		10.2~26.5			43~85		
clay	51~54		12.2~22.4		19.1~21.9	65		
sand	54~67		14.3~24.5			49~82		
clay	67~76	19.2	12.2~30.6	44.9	19.7~21.8	43~73		
sand	76~80		18.4					

Observed Maximum lateral Wall Movement

Stage	Exc. H (m)	Strut EL. (m)	δ <sub>max</sub> , mm								δ <sub>max</sub> /H, %							
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2																	
2	4.3	1.18	19.2	12.4	16.9	17.9	18	8.6	18.2	10.7	0.45	0.29	0.39	0.42	0.42	0.2	0.42	0.25
3	7	3.38	21.7	16.2	21.1	20	20.7	18.6	16.9	16.1	0.31	0.23	0.30	0.29	0.30	0.27	0.24	0.23
4	11	6.3	33.7	21.5	21.7	21.2	21.6	18.8	21.5	21.2	0.31	0.20	0.20	0.19	0.20	0.17	0.20	0.19

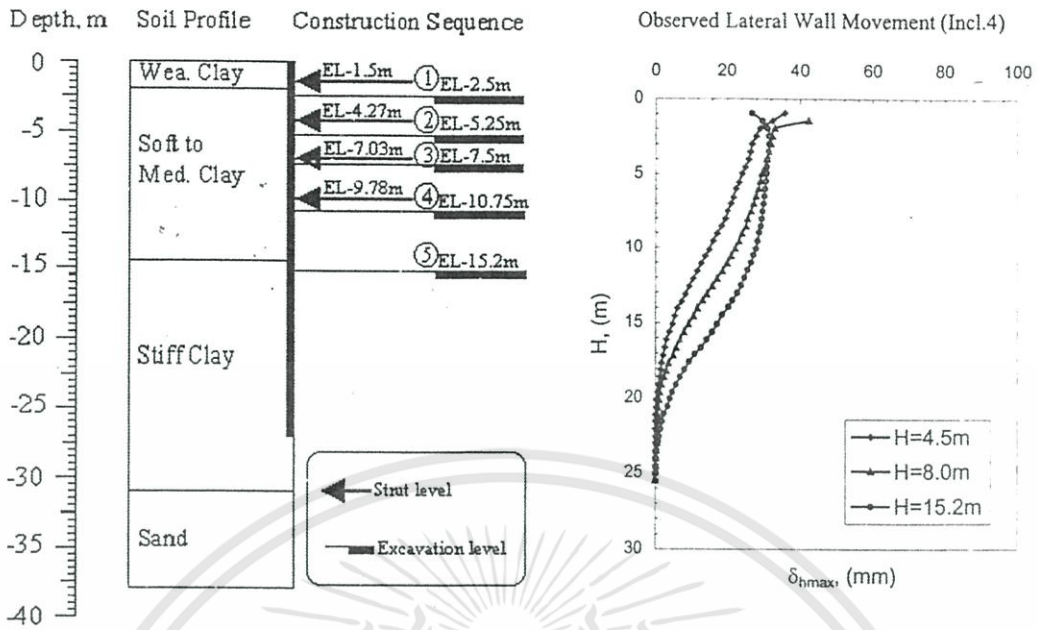
รูป ข.11 Case No.1-BU-Bangkok United Insurance Building Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.12 Layout of Case No.1-BU-Bangkok United Insurance Building Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soil Properties of TPI Building Project Site

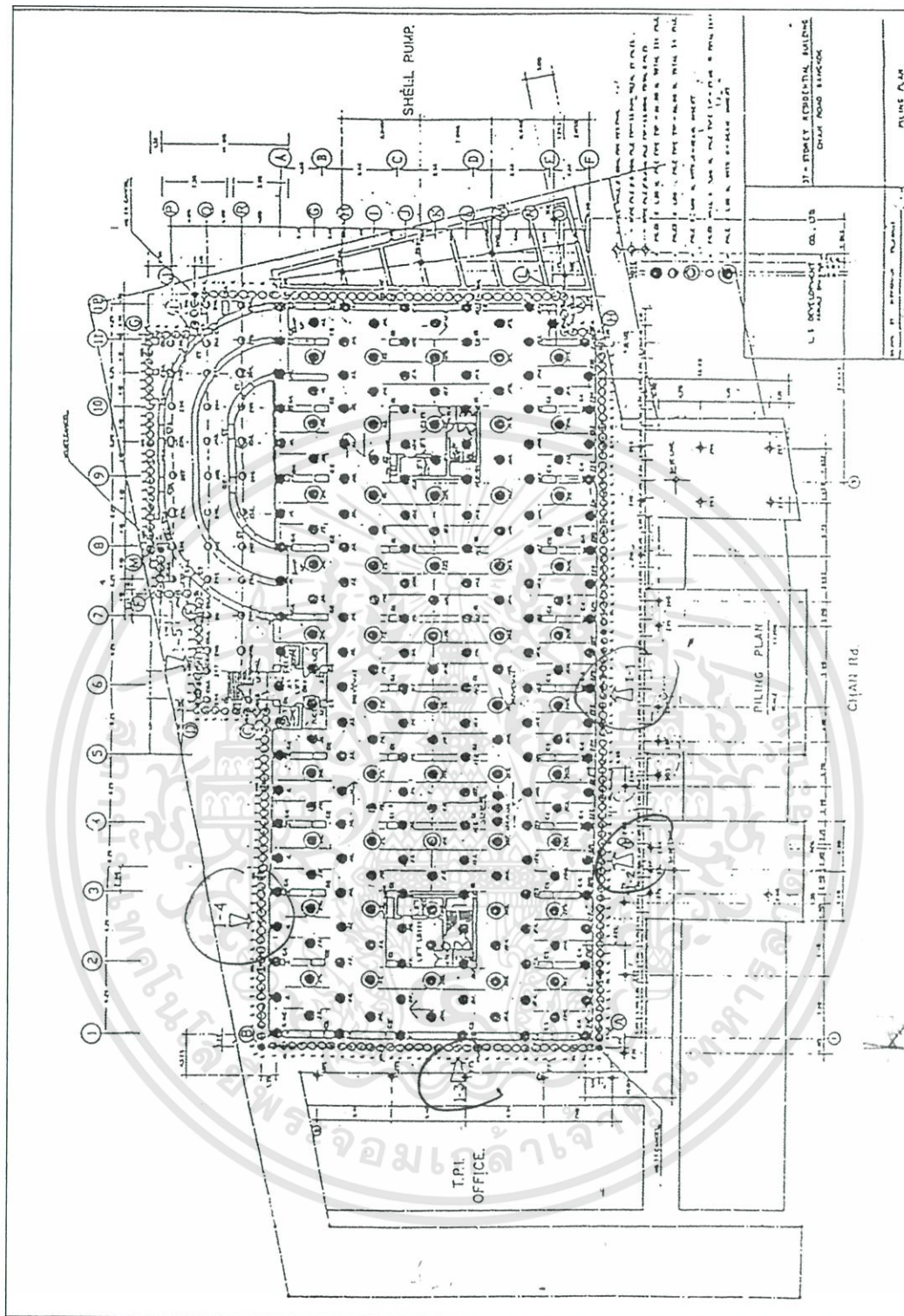
Soil type	Depth, m	W <sub>n</sub> %	γ <sub>t</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	SPT 'N'	S <sub>u</sub> (uc) kpa	S <sub>u</sub> FV, kN/m <sup>2</sup>
Wea. clay	0~2.5	53.1	15.3		25.9	27.5
Soft clay	2.5~10	68.2~91	15~15.3		8.2~19.6	10~22.5
Med. Clay	10~13	55.1~63.2	16.2~16.6		24.5~35.9	25~37.5
Stiff clay	13~19.5	26.5~38.4	17.5~20.5	20~37	44~73	
sand	19.5~21	18.8	19.7~20.9	29	220(?)	
Stiff clay	21~28.5	18.8~26.5		37		
sand	28.5~36	22.4		43~60		
Stif clay	36~40.5	20.4		20~27		
sand	40.5~46	16.3~20.4		27~45		
Stiff clay	46~50	22.4~26.5		35~43		

Observed Maximum Lateral Wall Movement

Stage	Exc.H (m)	Strut EL. (m)	δ <sub>max</sub> , mm					δ <sub>max</sub> /H, %				
			Incl.1	Incl.2	Incl.3	Incl.4	Incl.5	Incl.1	Incl.2	Incl.3	Incl.4	Incl.5
1	2.5		18.6					0.93				
2	5.25	1.5	86.8	32.6	34.8	35.5	32.9	0.87	0.68	0.77	0.79	0.66
3	7.5	4.27				60.7					0.76	
4	10.75	7.03		29.9	62.3		60.4		0.28	0.62		0.67
5	15.2	9.78		27.4		31.5	50		0.18		0.21	0.33

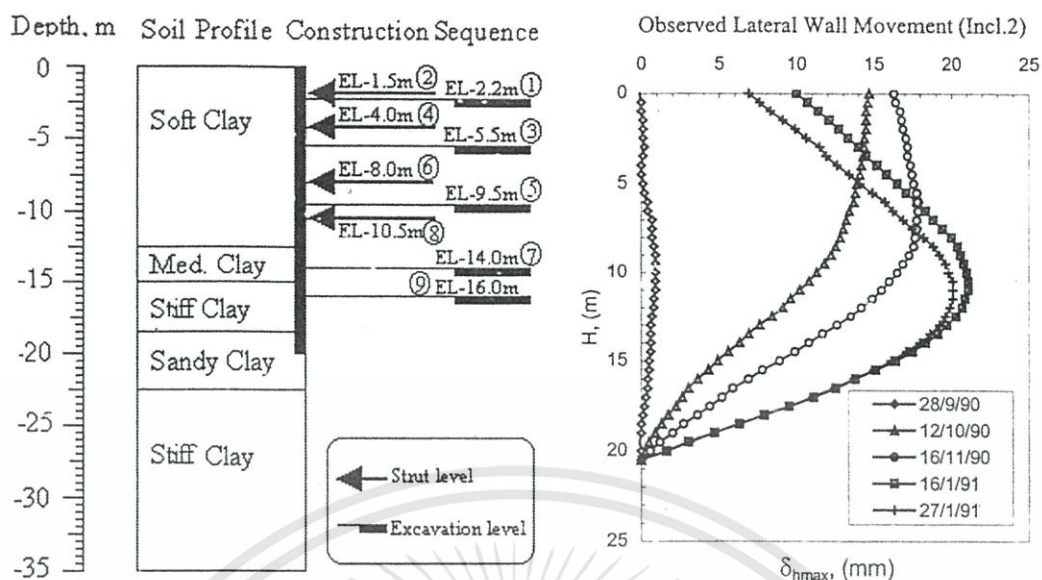
รูป ข.13 Case No.2-BU-Bangkok TPI Building Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.14 Layout of Case No. 2-BU-Bangkok TPI Building Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Soil Properties of Oriflame Building Project Site

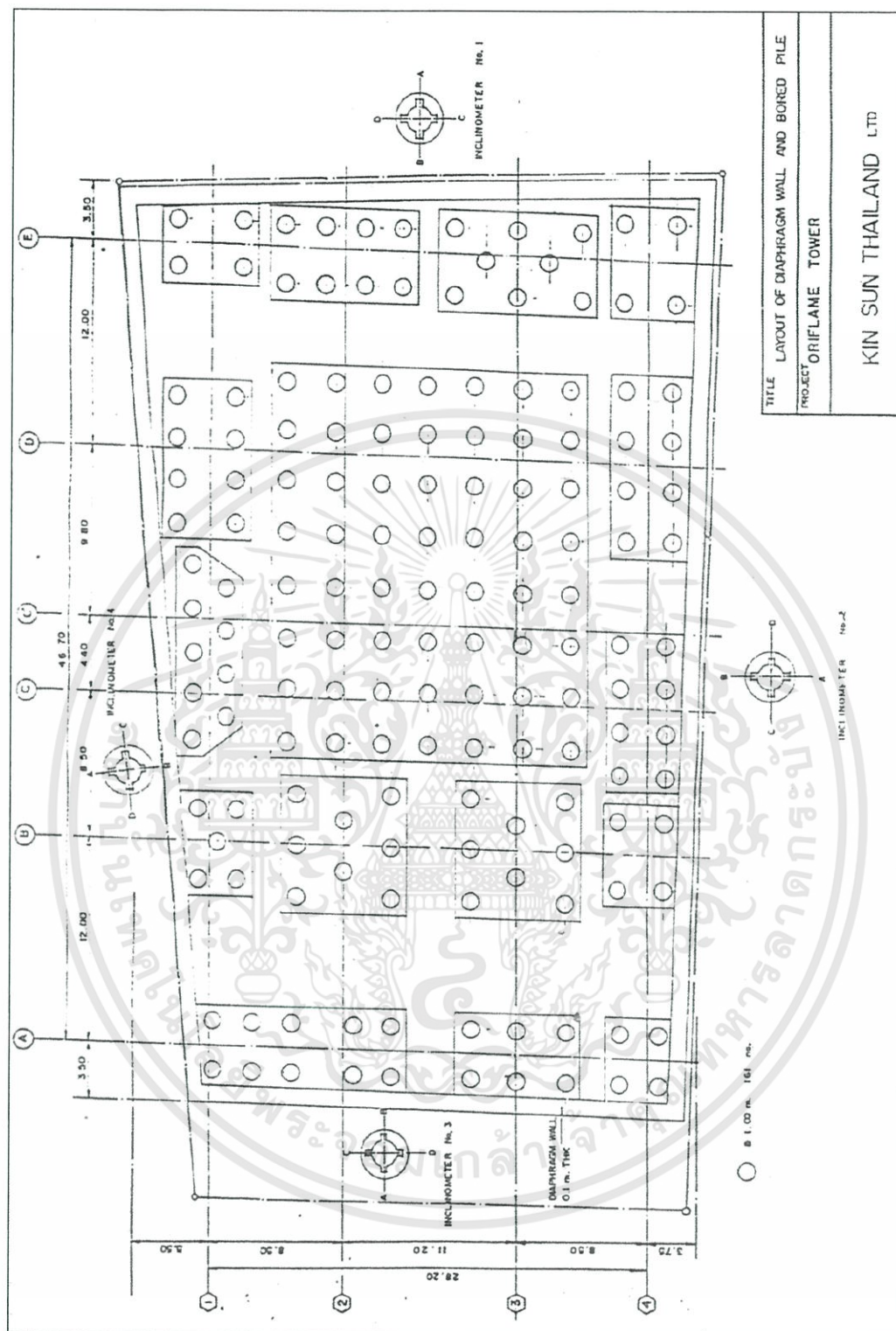
Soil type	Depth, m	W <sub>p</sub> , %	W <sub>n</sub> , %	W <sub>L</sub> , %	SPT 'N'	S <sub>u</sub> (FV) kN/m <sup>2</sup>
Soft clay	0~12.5	29.5~32.6	45.3~78.9	72.6		26~32.3
Med. clay	12.5~15		29.5			46.9~64.6
Stiff clay	15~18.5		30.5	72.6		
sand	18.5~22.5		23.1		44~25	
Stiff clay	22.5~36		21~48.4		44~57	

Observed maximum lateral Wall Movement

Stage	Exc.H (m)	Strut EL. (m)	$\delta_{max}$ , mm				$\delta_{max}/H$ , mm			
			Incl.1	Incl.2	Incl.3	Incl.4	Incl.1	Incl.2	Incl.3	Incl.4
1	5.5	1.5	10.85	17.8	8	9.5	0.2	0.32	0.15	0.17
2	9.5	4	12	20.4	8.75	9	0.13	0.21	0.09	0.09
3	14	8	13.5	21.5	9	10	0.1	0.15	0.06	0.07

รูป ข.15 Case No. 3,4-BU- Oriflame Building Project

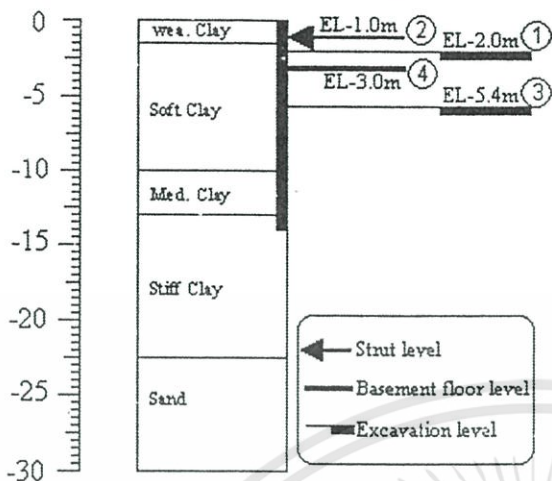
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



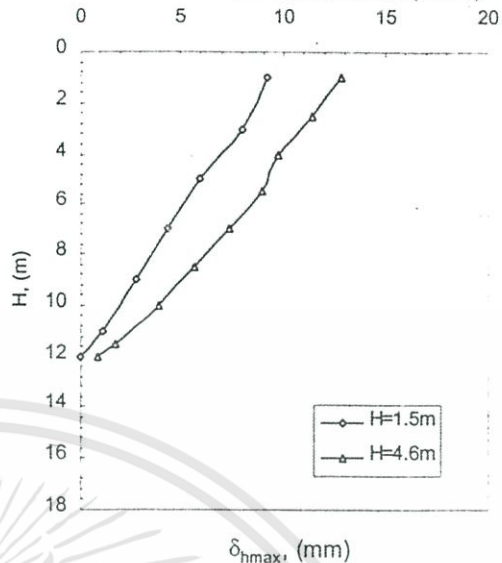
รูป ข.16 Layout of Case No.3,4-BU- Oriflame Building Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Depth, m Soil Profile Construction Sequence



Observed Lateral Wall Movement (Incl.1)



Soil Properties of Project Site

Soil type	Depth, m	S <sub>u</sub> , kpa	SPT 'N'
Wea. clay	0~1.5	-	-
Soft clay	1.5~10	(20.1~28.5) 24.3	-
Med. clay	10~13	(42.7~52.8) 47.8	6
Stiff clay	13~22.5	(93.5~176.9) 135.2	10~20
sand	22.5~30	-	20~40

Maximum Lateral Wall Movement (delta\_max/H, %)

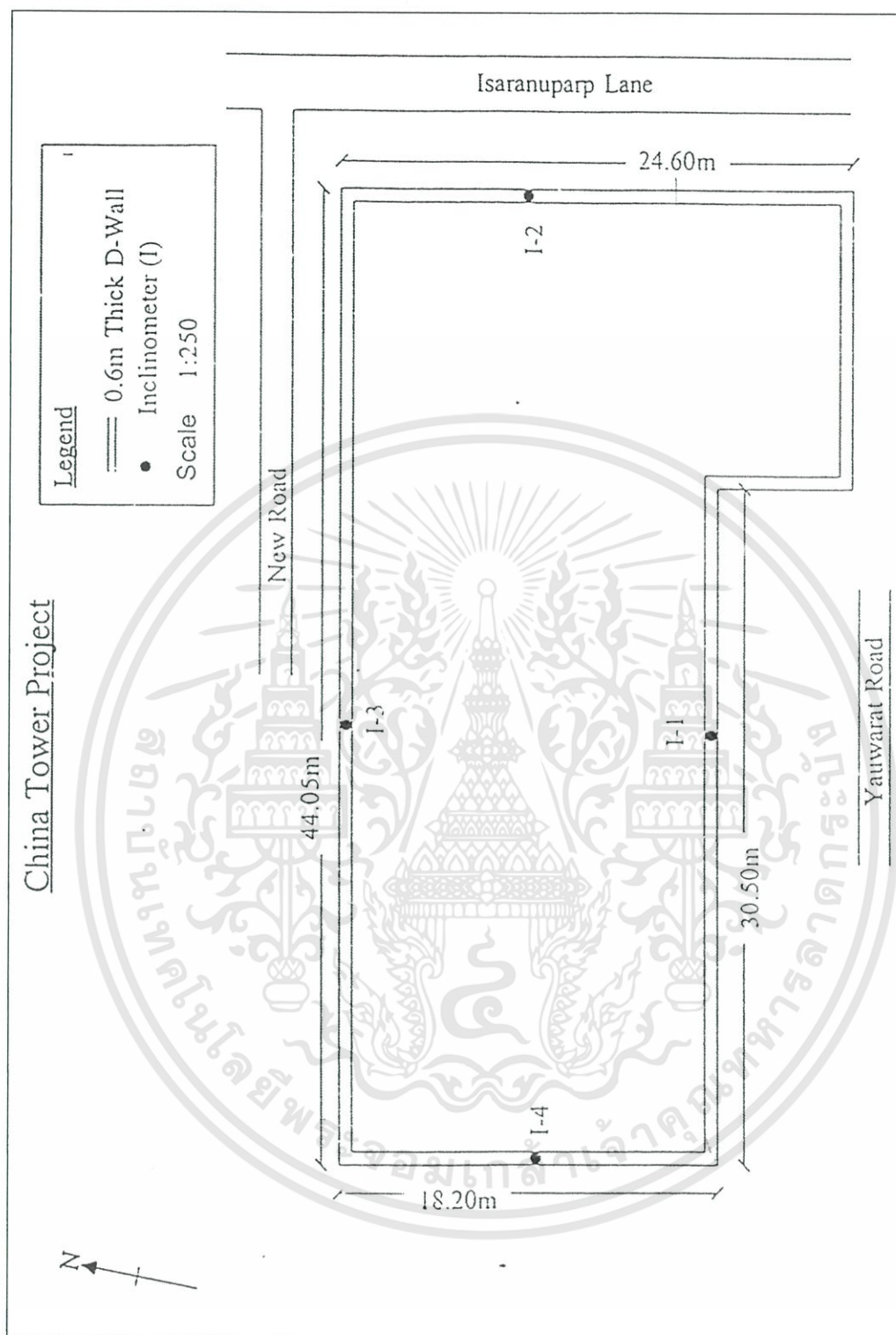
Stage	Exc. H(m)	Incl.1	Incl.2	Incl.3	Incl.4
1	2	0.5	0.25	-	0.205
2	4	-	-	0.225	-
3	4.6	0.283	0.196	-	0.133

Input Parameters for Soil Layers (by Gan Choon Hock)

Profile	Depth(m)	gamma (kN/m <sup>3</sup> )	phi	C <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	E <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
Wea. clay	0~2	17.5~18.0	0	80+1z	350Cu
Soft clay	2~10.5	15.5~16.0	0	24+3.0z	300Cu
Med. clay	10.5~12.5	17.0~17.5	0	80+3.0z	450Cu
Stiff clay	12.5~18	18.0~18.5	0	140+3.5z	700Cu
Silty sand	18~19.5	19.5~20.0	30	1	65000
stiff clay	19.5~22.5	19.5~20.0	0	180+3.5z	800Cu
1st sand	22.5~30	19.5~20.0	30	1	85000

รูป ข.17 Case No. 5-BU- China Tower Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข.18 Layout of Case No. 5-BU- China Tower Project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- Caspe, M. 1966. "Surface settlement adjacent to brace open cuts, Journal of the soils mechanic and foundation division." **Proceeding of American society of civil engineering and Foundation Division**.92 : 51-59.
- Hashash, Y.M.A. and Whittle, A.J. 1996. "Ground movement prediction for deep excavation in soft clay." **Proceeding of American society of civil engineering and Foundation Division**.122(6) : 474-486.
- Hsieh, P.G. and Ou, C.Y. 1998. "Shape of ground settlement profiles caused by excavation." **Canadian Geotechnical Journal**.35 : 1004-1017.
- Hsieh, P.G. and Ou, C.Y. 1997. "Use of the modified hyperbolic model in excavation analysis under undrained conditions." **Geotechnical Engineering Journal (SEAGS)**.28(2) :123-150.
- Imai, T. and Tonouchi, K. 1982. "Correlation of N-value with S-wave velocity and shear modulus." **Proceedings of the 2<sup>nd</sup> European Symposium of Penetration Testing**.57-72.
- Kung, T.C. and Ou, C.Y. 2005. "Prediction of Surface Settlement Caused by Excavation." **Proceeding of Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground**.853-858.
- Kung, G.T.C. Juang, C.H. Hsiao, E.C.L. and Hashash, Y.M.A. 2007. "Simplified model for wall deflection and ground-surface settlement cause by braced excavation in clays." **J. of Geotech. Geotech. Geoenviron. Eng., ASCE**. 133(6) : 731-747.
- Mitew, M. 2005. "Numerical analysis of displacements of a diaphragm wall." **Proceeding of Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground**.615-620.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ou, C.Y. Shiau, B.Y. and Wang, I.W. 2000. "Three-dimensional deformation behavior of the Taipei National Enterprise Center (TNEC) excavation case history." **Canadian Geotechnical Journal**.37 :438-448.
- Ou, C.Y. Wu, T.S. and Hsieh, P.G. 1996. "Analysis of deep excavation with column type of ground improvement in soft caly." **Journal of Geotechnical Engineering Division**. 122(9) : 709-716.
- Prust, R.E. Davies, J. and Hu, S. 2005. "Pressuremeter investigate for mass rapid transit in Bangkok, Thailand." **Journal of the transportation research board, Trannsporation research of the national academies**.207-217.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M. 1970. "Soil moduli and damping factor for dynamic response analysis." **Report EEC 70-10**.Berkeley : CA.
- Shibuya, S. Hanh, L.T. Wilailak, K. Lohani, T.N. and Tanaka, H. 1997. "Characterizing stiffness and strength of soft Bangkok clay from in-situ and laboratory tests." **First Int. Conf. on Site characteristics**.
- Sutabutr, T. 1992. "Deformation analysis of deep excavation in Bangkok subsoils." M. Eng, AIT.
- Suwanawat, S. 2002. "Earth pressure balance (EPB) shield tunneling in Bangkok ground response and prediction of surface settlements using artificial neural networks." Ph.D. Thesis of Massachusetts Institute of technology, Cambridge, USA.
- Teachavorasinkun, S. Thongchim, P. and Lukkunapresit, P. 2001. "Shear modulus and damping ratio of a clay during undrained cyclic loading." **Geotechnique**.51(5) : 467-470.
- Theramast, N. 1998. "Characteristic of pseudo-elastic shear modulus and shear strength of Bangkok clay." M. Eng, AIT.
- Trinidad, I.A. 2002. "Ground deformation with deep Excavation in soft clay." M. Eng, AIT.