

การศึกษาการเคลื่อนตัวของดินเมื่อมีการขุดดินลึก  
ด้วยระบบ Diaphragm Wall ในดินเหนียวกรุงเทพฯ  
DEFORMATION STUDY OF DIAPHRAGM WALL  
FOR DEEP EXCAVATION IN BANGKOK CLAY



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
พ.ศ. 2536  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033241

DEFORMATION STUDY OF DIAPHRAGM WALL  
FOR DEEP EXCAVATION IN BANGKOK CLAY



MR JAKGRIT NAKAVIROAT  
MR JUMLONG SRITO

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE  
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEER  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 1993 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการเคลื่อนตัวของดินเมื่อมีการขุดดินลึกด้วยระบบ D-Wall  
ในดินเหนียวกรุงเทพฯ

DEFORMATION STUDY OF D-WALL FOR DEEP EXCAVATION  
IN BANGKOK CLAY

นักศึกษา นายจักรกริช นาควิโรจน์ รหัสประจำตัว 33100049

นายจำลอง สีโท รหัสประจำตัว 33100053

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อำนวยการ พานิชกุลพงศ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ	.....
2. คร.ศรีกริช หิรัญมาศ	<i>ศรีกริช หิรัญมาศ</i>
3. อาจารย์สฤต ห่อวโนทยาน	.....
4. อาจารย์อำนวยการ พานิชกุลพงศ์	<i>พานิชกุลพงศ์</i>

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

*สุรัตน์ หวังเจริญ*  
.....  
(นายสุรัตน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 29 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการเคลื่อนตัวของดินเมื่อมีการขุดดินลึกด้วยระบบ D-Wall  
ในดินเหนียวกรุงเทพฯ

โดย นายจักรกริช นาควิโรจน์  
นายจำลอง สีโท

อาจารย์ที่ปรึกษา นายอำนาจ พานิชกุลพงศ์

บทคัดย่อ

การขุดดินในบริเวณกรุงเทพฯ เพื่อก่อสร้างชั้นใต้ดินนั้น ค่าการเคลื่อนตัวรวมรอบๆบริเวณ  
ที่ขุดจะเป็นเกณฑ์ที่สำคัญในการออกแบบระบบค้ำยันในการขุดดิน ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันมิให้  
เกิดความเสียหายอันยากต่อการแก้ไข จึงได้มีการติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความโก่งตัวของผนังและการ  
เคลื่อนตัวของดิน(INCLINOMETER) พร้อมทั้งทำการวัดตรวจสอบค่าเป็นระยะๆ ในขั้นตอนของ  
การขุดดิน ในกรณีศึกษานี้ได้นำข้อมูลจากการวัดตรวจสอบนำไปวิเคราะห์ผลเพื่อดูพฤติกรรมการ  
เคลื่อนตัวของระบบค้ำยันที่ต่างๆกัน โดยมี D-Wall เป็นโครงสร้างรับแรงดันดินด้านข้าง และนำ  
ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณการเคลื่อนตัวก่อนที่จะทำการก่อสร้างจริง ซึ่งใช้โครงการ  
ทั้งหมด 5 โครงการที่มีการขุดดินลึกเพื่อก่อสร้างชั้นใต้ดินโดยมีระบบค้ำยันที่ต่างกัน และมีความ  
แข็งแรงต่างกัน สำหรับนำไปเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวกับค่าความแข็ง  
แรงของผนัง และความลึกของระยะฝัง(EMBEDMENT) เพื่อเป็นคำแนะนำและแสดงไว้เป็นแนว  
ทางในการขุดดินลึกและก่อสร้างชั้นใต้ดินให้มีความมั่นคงและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEFORMATION STUDY OF DIAPHRAGM WALL  
FOR DEEP EXCAVATION IN BANGKOK CLAY

BY MR JAKGRIT NAKAVIROAT  
MR JUMLONG SRITO

ADVISOR MR AMNUAY PANICHAKULPONG

ABSTRACT

The important criterion in the design of the support system of the excavation for basement construction in Bangkok area is the magnitude of the deformations around an excavations. To prevent a damage that may occur from this operation, the deformation instruments (Inclinometer) must be installed in soil and on the retaining wall, including periodical monitoring of the deformation in excavation stage. As for the case study, an analysis and inspection of data during construction may gain knowledge in the deformation behavior of excavation with different support systems that retained by diaphragm wall and compared the predicted deformation for each stage of excavation with field observations. A total of five excavations in Bangkok were difference in stiffness, for comparable lateral movement with effect of flexible stiffness and the embedment length of wall are also presented to establish and safety guideline for deep excavation and construction basement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาและค้นคว้าโครงการพิเศษในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์ และช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆ ท่าน หน่วยงานหลายหน่วยงาน ผู้จัดทำใคร่จะขอนำนามของท่านเหล่านั้นมาปรากฏไว้ ณ ที่นี้ เพื่อเป็นการขอบพระคุณและระลึกถึง

1. อาจารย์อำนวยการ พานิชกุลพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ  
: ให้คำปรึกษาแนะนำโครงการพร้อมคำชี้แนะในการค้นคว้าเป็นอย่างดี
2. ดร.วิชัย วิทย์สุภากร บริษัทอรุณชัยเสรีแอนด์คอนซัลแทนต์  
: กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและให้ข้อมูลในการศึกษาค้นคว้า
3. คุณพีรเดช การคำริห์ วิศวกรโครงการ บริษัทโซเลตองซ์(ประเทศไทย) จำกัด  
: กรุณาอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำโครงการพิเศษ และให้ข้อมูลโครงการต่าง ๆ ดังนี้
  - โครงการ PRESIDENT TOWER
  - โครงการ D.S.P.A PROJECT
  - โครงการ EXTEL PLAZA
  - โครงการ SCB Phase II&III
  - โครงการ ROJANA TOWER
4. คุณอานันท์ ออประยูร Asst. Manager, Geotechnical Engineering  
บริษัท STS ENGINEERING & CONSULTANT  
: กรุณาให้รายละเอียดข้อมูลดิน(Log of Boring)  
ตลอดทั้งอาจารย์ เจ้าหน้าที่และเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรม-  
ศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน และ  
ที่ขาดเสียมิได้คือ ผู้ให้กำเนิดและญาติพี่น้องที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ทางด้านการเงินและกำลังใจด้วยดีตลอดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้	XI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ	2
1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินการโครงการพิเศษ	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 การเคลื่อนตัวด้านข้างของดิน	
2.1 ชนิดของระบบ Support ที่ใช้ในการขุดดิน	4
2.1.1 ระบบ Sheet-pile Wall	4
2.1.2 ระบบ Jet-Grout Wall	4
2.1.3 ระบบ Diaphragm Wall	5
2.2 ความรู้เบื้องต้นด้านกลศาสตร์ของดิน(Soil Mechanics)	5
2.2.1 ทัวไป	5
2.2.2 Effective Stress	6
2.2.3 Shear Strength of Soils	7
2.2.4 Undrained Strength	9
2.2.5 ทฤษฎี Elasticity	11
2.2.6 Pore Water Pressure Due to Undrained Loading	18
2.2.7 Lateral Earth Pressure	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง 2.2.8 Stability of Slurry Trench Cuts in Saturated Clay ไปใช้ประโยชน์ด้านวิศวกรรม  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 2.2.9 การวิเคราะห์ Heave ในระบบ D-Wall เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ 28

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวด้านข้างของดิน	
2.3.1 ความสัมพันธ์จากการเคลื่อนตัวด้านข้างและการทรุดตัวในแนวตั้ง	36
2.3.2 การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน(Lateral Deformation in Soil)	44
2.3.3 ผลกระทบของ Wall Stiffness ต่อการเคลื่อนตัวด้านข้างในดินเหนียว	46
<b>บทที่ 3 Diaphragm Wall</b>	
3.1 เทคนิคการก่อสร้าง D-Wall	47
3.2 การประยุกต์ใช้ D-Wall ในการก่อสร้างระบบต่างๆ	49
3.3.1 D-Wall with Top-Down Method	49
3.3.2 D-Wall with Up-Down Method	49
3.3.3 D-Wall with Internal Bracing	57
3.3.4 Self-Stable(Free Standing) D-Wall	57
<b>บทที่ 4 การวัดการเคลื่อนตัวด้านข้าง</b>	
4.1 การติดตั้งระบบ Inclinator	
4.1.1 วัตถุประสงค์	58
4.1.2 ขั้นตอนการทำงาน	58
4.1.3 วัสดุและอุปกรณ์	58
4.1.4 วิธีการติดตั้ง	59
4.2 การตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัว	
4.2.1 การตรวจวัดค่าความลาดเอียงเบื้องต้น	62
4.2.2 การตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวในแต่ละช่วงของการขุดดิน	62
4.2.3 การคำนวณและรายงานผลการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัว	65
<b>บทที่ 5 รายละเอียดโครงการและขั้นตอนการก่อสร้าง</b>	
5.1 โครงการ PRESIDENT TOWER	73
5.2 โครงการ D.S.P.A PROJECT	73
5.3 โครงการ EXTEL PLAZA	73
5.4 โครงการ Siam Commercial Bank(SCB) Phase II&III	74
5.5 โครงการ ROJANA TOWER	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 6 ผลการทดลองและศึกษาการเคลื่อนตัวด้านข้าง</b>	
6.1 ผลของโครงการ PRESIDENT TOWER	94
6.2 ผลของโครงการ D.S.P.A PROJECT	98
6.3 ผลของโครงการ EXTEL PLAZA	101
6.4 ผลของโครงการ Siam Commercial Bank(SCB) Phase II&III	104
6.5 ผลของโครงการ ROJANA TOWER	110
<b>บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ</b>	
7.1 บทสรุป	117
7.2 ข้อเสนอแนะ	120
<b>เอกสารอ้างอิง (REFERENCE)</b>	121
<b>ภาคผนวก ตารางผลการวัด Inclinator</b>	122

- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางการคำนวณ Factor Safety ของโครงการ Vibulthani Tower	32
ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของ D-Wall ที่วัดได้จริงกับการคำนวณ	115
ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบค่า Maximum Deflection กับ Minimum Settlement	116
ภาคผนวก ตารางผลการวัด Inclinator ของแต่ละโครงการ	122



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดง Failure envelope for soil, general Mohr-Coulomb failure criterion	8
รูปที่ 2.2 แสดง Strength envelopes for clay (based on effective stress)	10
รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบระหว่าง Strength ของ Drained และ Undrained	12
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงชนิดของ Modulus	13
รูปที่ 2.5 แสดง Undrained Modulus for five Normally Consolidated Clay (From Ladd, 1964)	15
รูปที่ 2.6 แสดงผลกระทบของ Overconsolidation on Modulus (From Ladd, 1964)	16
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของ Stress-Strain ในระหว่างการทดลอง Oedometer	17
รูปที่ 2.8 แสดง Element ของดินภายใต้ Isotropic Stress Application	19
รูปที่ 2.9 รูปแสดงค่า $C_c$	19
รูปที่ 2.10 กราฟระหว่าง $K_0$ กับ OCR ของดินที่เปลี่ยนแปลงตามค่า Plasticity จาก Ladd (1968)	21
รูปที่ 2.11 การกระจาย Earth Pressure ของสภาวะ Active และ Arching Active	22
รูปที่ 2.12 การกระจาย Earth Pressure สำหรับดิน Cohesive ( $\phi=0$ )	24
รูปที่ 2.13 ลักษณะการเคลื่อนตัวของ Internally Braced Cofferdam (จาก Bjerrum, et al, 1972)	25
รูปที่ 2.14 แสดง Apparent Pressure Diagram [Terzaghi, Peck (1968)]	27
รูปที่ 2.15 แสดงสัมประสิทธิ์ของ Earth Pressure สำหรับ Rectangular Cuts ในดินเหนียว	29
รูปที่ 2.16 แสดง Stability Factors สำหรับ Rectangular Cuts ในดินเหนียว	30
รูปที่ 2.17 รูปผลกระทบของ Surcharge Load ของโครงการ Vibulthani Tower	31
รูปที่ 2.18 แสดง Rough theoretical model for inelastic movement and base instability for cuts in soft clays	33
รูปที่ 2.19 แสดง Plan และ Section สำหรับการวิเคราะห์ผลของ Stability ต่อ Bottom Heave	35
รูปที่ 2.20 แสดงค่าของ Stability Number, $N_c$ สำหรับการวิเคราะห์ Heave	33
รูปที่ 2.21 แสดง Normalized lateral movement from finite element analysis for normally consolidated clay from [BURLAND and ST. JOHN (1974)]	37
รูปที่ 2.22 แสดง Normalized lateral movement for excavation in heavily OCR clay from [SHANNON and STRAZER (1970)]	38
รูปที่ 2.23 แสดง Movement Adjacent to Braced Excavation (after PECK, 1969)	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.24 แสดง Strain Field(after,MILLIGAN,1983)	40
รูปที่ 2.25 แสดงความสัมพันธ์ของ "Movement Ratio" และ Coefficient of Deformation (after O'ROUKE,1981)	41
รูปที่ 2.26 รูปการเคลื่อนตัวด้านข้างที่ให้มาโดย Caspe(1966)	43
รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างลำดับการก่อสร้าง Top-Down สำหรับการขุดชั้นใต้ดิน 7 ชั้น	50
รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการก่อสร้างระบบ Up-Down	51
รูปที่ 4.1 แสดงการติดตั้งท่อปลอกชั่วคราวเข้ากับโครงเหล็ก	60
รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งการติดตั้งท่อ Access Tube	61
รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างตารางการคำนวณ Initial Reading	63
รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่าง Profile ของท่อ Inclinator	64
รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างการคำนวณการเคลื่อนตัว	66
รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างกราฟการเคลื่อนตัว	70
รูปที่ 4.7 แสดงหลักการทำงานของเครื่องวัดการเคลื่อนตัว(Inclinometer)	71
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะของท่อ Inclinator เมื่อติดตั้งอยู่ใน D-Wall	72
รูปที่ 5.1 แสดง Lay Out ของโครงการ PRESIDENT TOWER	75
รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะของชั้นดินของโครงการ PRESIDENT TOWER	76
รูปที่ 5.3 แสดงขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการ PRESIDENT TOWER	77
รูปที่ 5.4 แสดง Lay Out ของโครงการ D.S.P.A PROJECT	79
รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะของชั้นดินของโครงการ D.S.P.A PROJECT	80
รูปที่ 5.6 แสดงขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการ D.S.P.A PROJECT	81
รูปที่ 5.7 แสดง Lay Out ของโครงการ EXTEL PLAZA	82
รูปที่ 5.8 แสดงลักษณะของชั้นดินของโครงการ EXTEL PLAZA	83
รูปที่ 5.9 แสดงขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการ EXTEL PLAZA	84
รูปที่ 5.10 แสดง Lay Out ของโครงการ SIAM COMMERCIAL BANK(SCB) Phase II	85
รูปที่ 5.11 แสดง Lay Out ของโครงการ SIAM COMMERCIAL BANK(SCB) Phase III	86
รูปที่ 5.12 แสดงลักษณะของชั้นดินของโครงการ SIAM COMMERCIAL BANK(SCB)	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.13 แสดงลักษณะการขุดดินและ D-Wall แบบ T-Shape ของโครงการ SCB	88
รูปที่ 5.14 แสดง Lay Out ของโครงการ ROJANA TOWER	90
รูปที่ 5.15 แสดงลักษณะของชั้นดินของโครงการ ROJANA TOWER	91
รูปที่ 5.16 แสดงขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการ ROJANA TOWER	92
รูปที่ 7.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Deflection กับ Flexible Stiffness	118



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

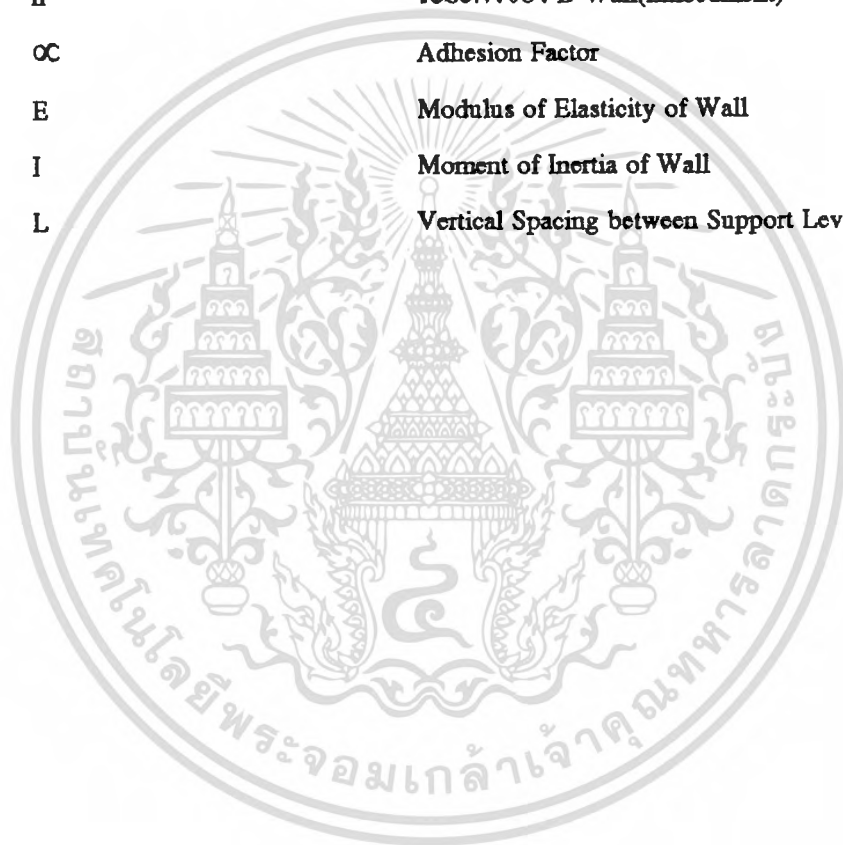
## คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้

สัญลักษณ์	ความหมาย
$\sigma'$	ความเค้นประสิทธิผล(Effective Stress)
$\sigma$	ความเค้นรวม(Total Stress)
U	Pore Water Pressure
$K_0$	Coefficient At Rest
$\gamma_m$	หน่วยน้ำหนักของดิน(Unit Weight of Soil)
$\tau$	หน่วยแรงเฉือน(Shear Stress)
C	แรงยึดเหนี่ยวที่ปรากฏ(Apparent Cohesive)
$\phi$	มุมเสียดทานภายใน(Angle of Internal Friction)
$q_u$	Unconfined Compressive Strength
$\sigma_h$	Horizontal Effective Stress
$\sigma_v$	Vertical Effective Stress
$S_u, C_u$	Undrained Shear Strength
$\epsilon$	ความเครียด(Strain)
E	Young's Modulus of Elasticity
$\mu$	Poisson's Ratio
G	Shear Modulus
n	ความพรุน(Porosity)
$C_p$	Compressibility of Pore Pressure
V	ปริมาตรของ Soil Element
$C_c$	Compressibility of Soil Skeleton
B	Pore Pressure Parameter
OCR	Overconsolidated Ratio
$K_a$	Coefficient of Active Pressure
$\delta$	Deflection
N	Stability Number
$K_p$	Coefficient of Passive Pressure
D	ความลึกของ D-Wall จากผิวดิน
B	ความกว้างของ Panel ที่ขุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
S,q	Surcharge
N	Stability Factor
F	Factor of Safety
H	ความลึกของการขุด(Depth of Excavation)
h	ระยะฝังของ D-Wall(Embedment)
OC	Adhesion Factor
E	Modulus of Elasticity of Wall
I	Moment of Inertia of Wall
L	Vertical Spacing between Support Level



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ราคาที่ดินของกรุงเทพมหานครได้มีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น และประกอบกับความต้องการที่ดินเพื่อนำมาใช้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยและประโยชน์อย่างอื่นก็มีมากขึ้น แต่ที่ดินในกรุงเทพมหานครนั้นมีอยู่จำกัด โดยหากจะทำการก่อสร้างอาคารที่มีความสูงมาก ๆ ก็ไม่ได้ เพราะว่าข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานครได้กำหนดความสูงของอาคารไว้ อีกทั้งยังมีปัญหาต่าง ๆ อีกมากมายที่เป็นข้อจำกัดของความสูงของอาคาร ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาและเพื่อให้สามารถนำที่ดินที่มีอยู่จำกัดมาใช้ให้เกิดประโยชน์ใช้สอยได้สูงสุด จึงได้นำวิธีการก่อสร้างชั้นใต้ดิน(Basement) มาช่วยแก้ปัญหา ซึ่งในปัจจุบันนี้ก็มีหลายโครงการที่ได้ทำเป็นชั้นใต้ดินหรือทำเป็นที่จอดรถซึ่งก็ใช้ได้ผลดีมาก

สำหรับการก่อสร้างชั้นใต้ดินหรืองานที่เป็น Underground สิ่งสำคัญที่สุดที่จะต้องพิจารณา ก็คือการทำ Retaining Structure ทำหน้าที่ในการรับ Lateral Pressure เมื่อมีการขุดดิน โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครซึ่งดินส่วนใหญ่จัดว่าเป็นดินอ่อน ซึ่งทำให้เกิดปัญหาของการเคลื่อนตัวของ Retaining Structure และการทรุดตัวของดินมีสูงมาก ถ้าหากไม่มีการเตรียมการ ออกแบบป้องกันและแก้ไขที่ถูกต้องไว้ล่วงหน้าแล้วก็จะทำให้เกิดความเสียหายอย่างมหาศาลได้ ดังนั้นในการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้จะได้ศึกษาถึงการเคลื่อนตัวของดินในกรุงเทพมหานคร เมื่อใช้ระบบ Diaphragm Wall (D-Wall) เป็น Retaining Structure และ Deflection ของ D-Wall ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีค่า Stiffness(EI) สูง

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงระบบการขุดดินโดยใช้ D-Wall เป็น Retaining Wall
2. เพื่อศึกษาถึงพารามิเตอร์ที่เป็นตัวควบคุมในการออกแบบ D-Wall
3. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การเคลื่อนตัว(Deformation)ของดินและการโก่งตัว(Deflection) ของ Retaining Wall เมื่อมีการขุดดินในแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้าง
4. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเคลื่อนตัวของระบบ D-Wall
5. เพื่อศึกษาถึงการประยุกต์ใช้ D-Wall ในการก่อสร้างระบบต่างๆ และสามารถนำไปเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกวิธีการก่อสร้าง และขั้นตอนในการขุดดินได้
6. วิเคราะห์การทรุดตัวของดินรอบบริเวณก่อสร้าง ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนตัวด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

1. ใช้ทฤษฎีและการวิเคราะห์แรงดันด้านข้างของ D-Wall เมื่อมีการขุดดินในแต่ละชั้น
2. เมื่อมีการขุดดินในชั้นดินอ่อนสิ่งที่เกิดขึ้นก็คือการเคลื่อนตัวของดิน และต้องมีโครงสร้างเพื่อมาต้านการเคลื่อนตัวของดินนี้
3. โครงสร้างที่นำมาสร้างเป็น Retaining Wall นั้นต้องมีความแข็งแรงคือมีค่า Stiffness (EI) สูงมากพอที่จะทำให้เกิด Deformation และ Deflection น้อยที่สุด

### 1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

การศึกษาและวิเคราะห์ในโครงการพิเศษนี้จะเป็นการศึกษาถึงลักษณะที่เกิดขึ้นกับ D-Wall เมื่อมีการขุดดินในแต่ละชั้น โดยเฉพาะในเรื่องของ Deformation และ Deflection ซึ่งจะอาศัยการวิเคราะห์จากทฤษฎีและจากข้อมูลจริงจากโครงการต่างๆในกรุงเทพฯที่เคยทำมาก่อน หรือกำลังทำอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งจะอาศัยข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ (Predicted) และจากการวัดความเอียงของกำแพงโดยใช้ Inclinomometer มาเปรียบเทียบ ซึ่งถือว่าเรื่องนี้เป็นสิ่งสำคัญมากในการออกแบบ เพราะสิ่งเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อสิ่งก่อสร้างที่อยู่ในบริเวณนั้น อีกทั้งศึกษาถึงการประยุกต์ใช้ D-Wall กับระบบการก่อสร้างชั้นใต้ดินแบบต่างๆด้วย โดยโครงการพิเศษนี้จะทำการศึกษาในโครงการต่างๆดังต่อไปนี้

1. โครงการ PRESIDENT TOWER
2. โครงการ D.S.P.A PROJECT
3. โครงการ EXTEL PLAZA
4. โครงการ SIAM COMMERCIAL BANK PHASE II&III
5. โครงการ ROJANA TOWER

### 1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินการโครงการพิเศษ

1. ศึกษาลักษณะชั้นดินของดินบริเวณโครงการต่างๆ จากข้อมูลดินของบริษัทที่ทำการเจาะสำรวจ
2. ศึกษาถึงลักษณะของผนัง D-Wall และขั้นตอนในการก่อสร้างของโครงการต่างๆ
3. ดำเนินการทดลองและวัดผลของการเคลื่อนตัวด้านข้างของผนัง D-Wall จริง ๆ ในสถานที่ก่อสร้างเมื่อมีการขุดดิน(ในกรณีของโครงการที่กำลังก่อสร้าง) และนำข้อมูลการเคลื่อนตัวด้านข้างและการโค้งตัวของผนัง D-Wall ในกรณีของโครงการที่ได้ทำการก่อสร้างไปแล้วจากบริษัทที่ก่อสร้าง D-Wall มาทำการศึกษาและวิเคราะห์
4. ศึกษาถึงทฤษฎีและพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อการเคลื่อนตัวด้านข้างของ D-Wall
5. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์และหาความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ ในรูปกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สรุปลักษณะพารามิเตอร์ที่มีผลทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดิน เมื่อมีการขุดดินตามลำดับความสำคัญจากมากไปหาน้อย และหาวิธีป้องกัน
7. เปรียบเทียบการประยุกต์ใช้ D-Wall ในระบบการก่อสร้างแบบต่างๆ กับระบบอื่นๆ เช่น ระบบ Sheet Pile

## 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงลักษณะการเคลื่อนตัว การโก่งตัวและการทรุดตัวของการก่อสร้าง Basement ในระบบต่างๆ โดยใช้ D-Wall เป็น Retaining Wall
2. ทำให้ทราบถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงและการทรุดตัวของดินรอบบริเวณก่อสร้างเพื่อนำไป
  - เลือกวิธีการขุดดินและระบบ Retaining ที่เหมาะสมโดยมี Stability ของโครงสร้างและการทำงานได้สูงสุด
  - ทราบขั้นตอนและวิธีการขุดดิน เพื่อทำการควบคุมการขุดดินได้ถูกต้องและเหมาะสม โดยไม่มีผลกระทบต่ออาคารข้างเคียงซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมาก
3. สามารถประยุกต์ใช้ระบบ D-Wall ให้เหมาะสมกับสภาพของบริเวณที่จะก่อสร้างได้
  - เช่น 3.1 D-Wall with Top - Down Construction
  - 3.2 D-Wall with Up - Down Construction
  - 3.3 D-Wall with Internal Bracing
  - 3.4 D-Wall non-bracing for Excavation ( Self Stable Free Standing System )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### การเคลื่อนตัวด้านข้างของดิน

#### 2.1 ชนิดของระบบ Support ที่ใช้ในการขุดดิน

ในการขุดดินจุดประสงค์ก็เพื่อการก่อสร้างรันได้ดินและงานฐานราก ซึ่งก็มีทั้งการใช้ Support และไม่ใช่ Support

ในกรณีที่ขุดดินแล้วไม่มีการ Support ก็คือเป็นการขุดโดยใช้ Slope Stability เป็นสิ่งที่ช่วยไม่ให้ดินเคลื่อนตัว เพราะการใช้วิธีนี้จะไม่เป็นการขัดขวางการทำงาน เพราะไม่ต้องมีโครงสร้างใด ๆ เป็นตัวค้ำยัน และราคาก็ถูกในการก่อสร้างด้วย แต่วิธีนี้ก็มีความจำกัดอยู่มาก เช่น พื้นที่ที่ขุด ความลึกของดินที่ขุด ชนิดของดินที่ขุด และสภาพของอาคารข้างเคียงบริเวณขุด โดยเฉพาะถ้าเป็นการขุดดินในกรุงเทพฯ จะใช้วิธีนี้ไม่ได้ เพราะเป็นดินอ่อนและอาคารข้างเคียงมีมาก โอกาสที่จะมีผลกระทบทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องมีระบบโครงสร้าง Retaining Support เข้ามาช่วยให้การขุดดินได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งแต่ละระบบจะมีลักษณะดังนี้

##### 2.1.1 ระบบ Sheet-pile Wall

Sheet-pile เป็นระบบที่ใช้เป็นโครงสร้างรับแรงคั้นด้านข้างที่มีใช้งานมากในงานทั่วไปที่มีการขุดดินลึกไม่เกิน 10 เมตร ซึ่งชนิดของวัสดุที่ใช้ก็มีหลายชนิด เช่น ไม้ คอนกรีต และเหล็ก ซึ่งเป็นชนิดที่นิยมมาก อีกทั้งมีการประยุกต์ให้มีระบบ Bracing ด้วย ในระบบ Sheet-pile การก่อสร้างต้องมีการ interlock ระหว่างรันซึ่งมีความหนาประมาณ 10 มม. ซึ่งจะใช้การตอกลงไป ในดินให้ต่อเนื่องกัน แต่การใช้ Sheet-pile ก็มีข้อควรคำนึงถึงคือ การโค้งตัวหรือการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้าง เนื่องจาก Sheet-pile เป็นโครงสร้างที่เกิดการโค้งตัวได้ง่าย เพราะมีความแข็งแรงแรง (EI) น้อย

##### 2.1.2 ระบบ Jet-Grouted Wall

Jet Grouting เป็นการก่อสร้างที่ใช้เทคนิคของการเพิ่มเสถียรภาพให้กับดินอ่อน ทำได้โดยการฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูงเพื่อลงไปปรับปรุงความแข็งแรงของดินอ่อนให้สูงขึ้น ซึ่งเมื่อ Grout Cement ลงไปผสมกับดินอ่อนก็จะมีลักษณะเป็นเสาซีเมนต์ที่แข็งแรงต่อเนื่องและหนาซึ่งจะทำให้ดินมีน้ำหนักมากขึ้น ในกรณีนี้เองที่ทำให้สามารถให้ระบบนี้เป็น Support ในการขุดดินได้ ซึ่งถ้าการ Jet-Grouted หนามากก็จะทำให้สามารถป้องกันดินในการขุดดินลึกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 ระบบ Diaphragm Wall

ระบบนี้ถือว่าเป็นระบบที่ทันสมัย และกำลังเป็นที่นิยมมากในประเทศไทย ซึ่งเหมาะสำหรับงานของการขุดดินลึกเพื่อทำ Basement หรือทำ Station ต่างๆ โดยสามารถทำได้ในทุกสภาวะ

D-Wall โดยทั่วไปแล้วจะออกแบบเพื่อเป็นโครงสร้างรับแรงด้านข้าง ซึ่งเกิดจากแรงดันดิน, แรงดันน้ำ, และแรงจาก Surchage ต่างๆ โดยเป็นโครงสร้างที่มี Stiffness(EI) สูงกว่า Sheet-pile มาก ซึ่งมีผลดีในการป้องกันการโก่งตัวและการเคลื่อนตัว และสามารถรับโมเมนต์คัตได้มาก

นอกจาก D-Wall จะเป็นโครงสร้างที่รับแรงด้านข้างแล้วยังสามารถรับน้ำหนักในแนวตั้งได้ด้วย เปรียบเสมือนเป็นเสาที่มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือเรียกว่า Barrette pile หรือเรียกง่าย ๆ ว่า Legs D-Wall ซึ่ง D-Wall เป็นได้ทั้งโครงสร้างชั่วคราวและโครงสร้างถาวร

สำหรับการออกแบบและก่อสร้าง D-Wall ในกรุงเทพฯ ได้มีการประยุกต์ระบบต่างๆ ที่ใช้ในการขุดดินได้ หลายวิธี ได้แก่

1. D-Wall with "Top-Down" Method
2. D-Wall with "Up-Down" Method
3. D-Wall with Internal Steel Strut and Preloading
4. Free Standing D-wall

## 2.2 ความรู้เบื้องต้นด้านกลศาสตร์ของดิน (Soil Mechanics)

### 2.2.1 ทั่วไป

ในบทนี้จะกล่าวสรุปถึงคุณสมบัติและพฤติกรรมของ Stress ในดินแต่ละชนิด โดยจะกล่าวถึงการควบคุมพฤติกรรมของดินซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติ Strength

ดินจะแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ Cohesive Soil และ Cohesionless Soil ดินประเภท Cohesive ได้แก่ ดินเหนียว(clay) ซึ่งจะมีความสามารถในการซึมได้ต่ำ (low permeability) นั่นคือระบายน้ำออกได้ช้า ส่วนดินประเภท Cohesionless ได้แก่ ทรายและกรวด(sand and gravel) ดินอีกประเภทคือ Silt และ Cohesive Sand จะมีคุณสมบัติอยู่ตรงกลางคือสามารถควบคุมอัตราการระบายน้ำออก

เอกสารนี้เป็นได้เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 Effective Stress

Effective Stress เป็นสิ่งที่สำคัญที่ควบคุมพฤติกรรมของดิน โดยที่ Effective Stress มีนิยามดังนี้

$$\sigma' = \sigma - U$$

เมื่อ  $\sigma'$  = Effective Stress

$\sigma$  = Total Stress

$U$  = Pore Water Pressure

โดย Vertical Effective Stress ( $\sigma_v'$ ) และ Horizontal Effective Stress ( $\sigma_h'$ ) ทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กันโดย At-Rest Coefficient of Stress( $K_0$ ) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของ Initial Horizontal Effective Stress กับ Initial Vertical Effective Stress

$$K_0 = \sigma_{ho}' / \sigma_{vo}'$$

ในการวิเคราะห์ทางคานาวิศวกรรมนั้น ค่า Soil Strength จะหาได้มาจาก Effective Stress ซึ่งจะต้องคำนวณมาจากค่า Pore Pressure

ใน Cohesive Soil ค่า Pore Water Pressure จะลดลงได้ช้า อาจจะเป็นเดือนหรือเป็นปี ยิ่งกว่านั้นเราไม่สามารถหาการเปลี่ยนแปลงของ Pore Water Pressure ที่เกิดจาก Shear Strain ได้ เพราะเราไม่สามารถคำนวณ Effective Stress ใน Cohesive Soil ก่อนจะทำการก่อสร้างได้ ดังนั้นจึงทำการวัด Pore Water Pressure ในระหว่างการก่อสร้างเพื่อนำไปคำนวณค่า Effective Stress

ค่า Effective Stress จะขึ้นอยู่กับสิ่งต่างๆดังต่อไปนี้ คือ

1. Unit Weight of Soil ( $\gamma_m$ )
2. Stress ที่เกิดจากน้ำหนัก(Surcharge)
3. การเปลี่ยนแปลง Pore Pressure ในมวลดิน(ซึ่งปกติจะถูกควบคุมโดยระดับน้ำใต้ดิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 Shear Strength of Soils

ถูกลมปีได้ค้นพบเกี่ยวกับการพิบัติของดินเนื่องจากแรงเฉือนโดยพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนกับหน่วยแรงกดตั้งฉากบนดิน ซึ่งสมมติให้เป็นสมการเส้นตรง ดังรูปที่ 2.1 หรือเขียนได้ดังสูตร

$$\tau = C + \sigma \tan \phi$$

เมื่อ  $\tau$  = หน่วยแรงเฉือน (Shear Stress)

$C$  = แรงยึดเหนี่ยวที่ปรากฏ (Apparent Cohesion)

$\sigma$  = หน่วยแรงกดอัด (Total Compressive Stress)

$\phi$  = มุมเสียดทานภายใน (Angle of Internal Friction)

ค่า  $C$ ,  $\phi$  ที่ได้จากการทดลองจะเป็นค่าคงที่สำหรับดินแต่ละชนิดที่อยู่ภายใต้สถานะหนึ่งเท่านั้น สำหรับในการทดลองของการก่อสร้างในดินเหนียวอ่อนนี้ เราจะใช้การทดลองโดยวิธี

Unconfined Compressive Strength

ซึ่งจากสมการของ Normal Stress

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan (45 + \phi/2) + 2C \tan (45 + \phi/2)$$

และในการทดลองแบบ Unconfined Compressive Test นี้จะไม่มี Confine Pressure คือ

$\sigma_3 = 0$  ดังนั้นจะได้

$$\sigma_1 = 2C \tan (45 + \phi/2)$$

เนื่องจากการทดลองแบบนี้จะกระทำกับดินเหนียวอ่อนตัว จึงสมมติให้  $\phi = 0$  ก็จะได้

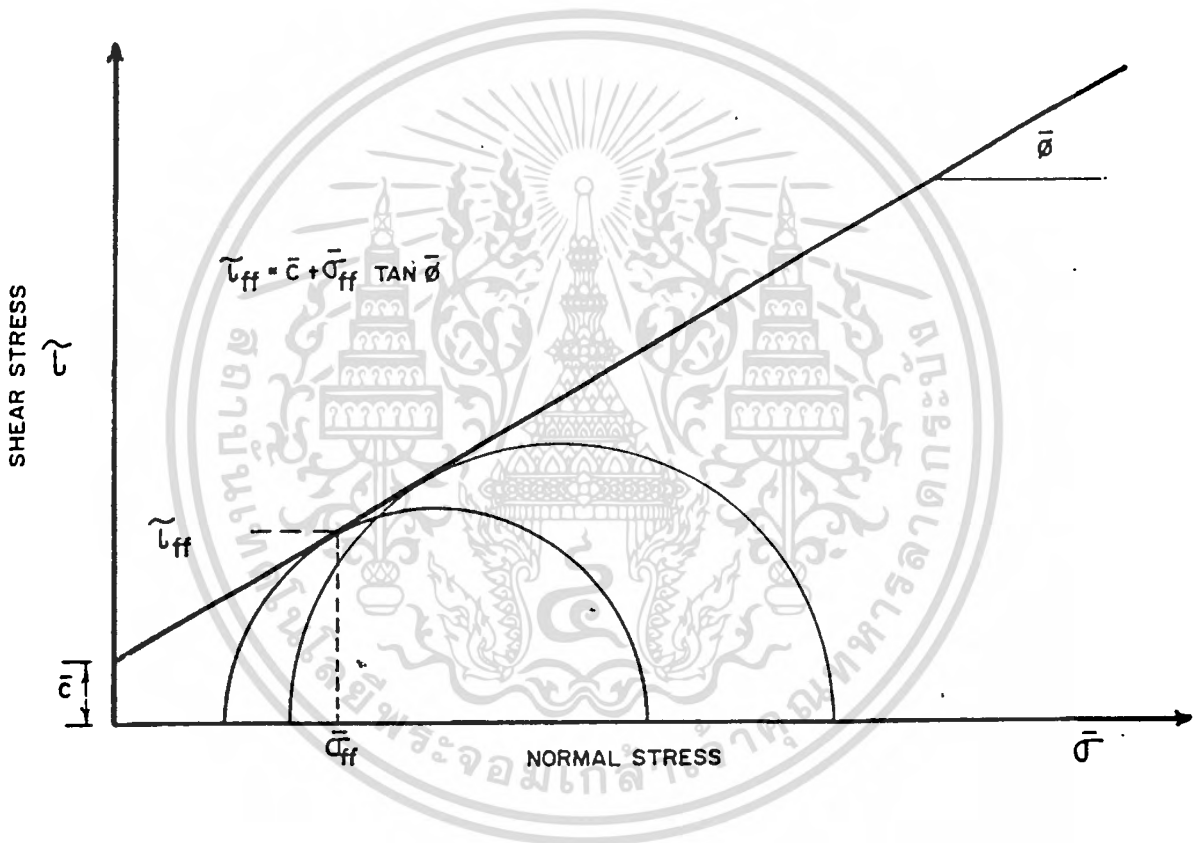
Unconfined Compressive Strength :  $q_u = 2C$  หรือ  $C = q_u/2$

เมื่อนำค่า  $C$  นี้ไปแทนในสมการของหน่วยแรงเฉือน ( $\tau$ ) จะได้

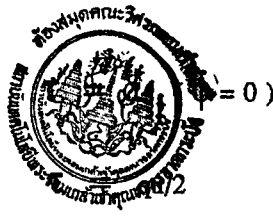
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปที่ 2.1

รูป Failure envelope for soil, general Mohr-Coulomb failure criterion.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สำหรับดินที่เป็น Cohesive Soil จะมีค่า Strength ที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของ Pore Pressure ซึ่งจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีแรงเฉือนเกิดขึ้น โดยสมการของ Soil Strength ( $\tau = c + \sigma \tan \phi$ ) ก็ยังสามารถใช้ได้ แต่ค่า  $\sigma$  จะต้องเท่ากับ  $\sigma - u$  ซึ่งเราจะต้องรู้ค่าของ  $\Delta u$  โดยได้มาจากการวัดจริง ๆ

รูปที่ 2.2 เป็นการแสดงความแตกต่างของ Strength Envelope ของดินที่เป็น Normally Consolidated และ Over Consolidated Clay ซึ่งจะเห็นความแตกต่างในค่า  $C$

ส่วนดิน Heavily Overconsolidated Clay นั้นอาจจะเป็นไปได้ที่ค่า  $\sigma_h > \sigma_v$  ซึ่งจะทำให้เกิด Passive Failure ในดินเนื่องจากมีการขุดเอาดินออก ซึ่งเป็นการลด Vertical Soil Pressure โดย Passive Failure จะสามารถสังเกตได้จากการเกิด Base Heave ในการขุดดินชนิดนี้ และจะต้องมีการวิเคราะห์ Effective Stress ที่ลดลงเมื่อมีการขุดดิน

#### 2.2.4 Undrained Strength

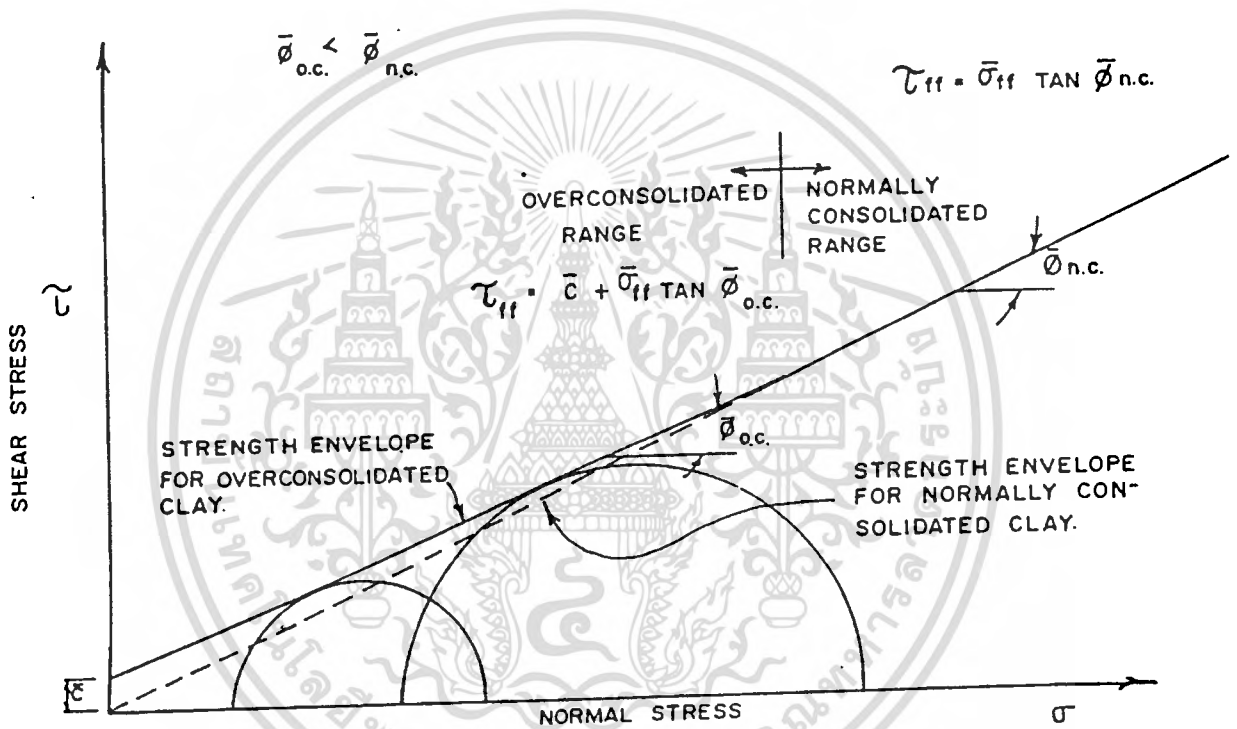
ในดิน Cohesive Soil เมื่อมีแรงเฉือนเกิดขึ้น น้ำจะไม่สามารถระบายออกได้เพียงพอ และ Excess Pore Pressure ที่เกิดขึ้นจะไม่สามารถระบายออกอย่างรวดเร็วได้ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการขุดดิน ค่า Shear Strength ก็จะต้องสมมติให้อยู่ในสภาพ Undrained Strength ที่ความชื้นของดินตามธรรมชาติ และในดินที่เป็น Normally Consolidated Soil จะมีค่า Pore Pressure เพิ่มขึ้นมากกว่าดินชนิด Overconsolidated Clay

เมื่อ Pore Pressure ( $\Delta u$ ) เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ค่า Effective Stress ในดินก็จะลดลง ทำให้ค่า Shear Strength น้อยลง แต่เมื่อเวลาผ่านไป Pore Pressure ก็จะกระจายไปเนื่องจากน้ำมีการไหลออก จะทำให้ Effective Stress เพิ่มขึ้น และค่า Shear Strength ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2

รูป Strength envelopes for clay (based on effective stress).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ของ Strength 2 เส้น คือ Drain และ Undrain ในทอม

ของ Effective Stress

ในสภาวะปกติของ Cohesive Soil จะถือว่ามีค่า  $S_u$  คงที่ตลอด ไม่ว่าจะ เป็น Undrained Loading หรือ Unloading โดยไม่คำนึงถึงข้อจำกัดของแรงดันทั้งหมด และค่า  $S_u$  นี้จะมีค่าเท่ากับ ประมาณครึ่งหนึ่งของแรงกด ( $qu/2$ ) ซึ่งได้จากการทดลอง Compression Test

พิจารณาเมื่อมีการขุดดินในดินเหนียวอ่อน ค่า  $S_u$  เริ่มต้นก็จะให้มีค่าเท่ากับที่ได้จากการทดลอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพของแรงกระทำทันทีทันใดเนื่องจากการขุดดิน ทำให้ Pore Pressure ลดลง แต่ค่า  $\sigma$  และ  $S_u$  ก็ยังถือว่าคงที่อยู่นี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงน้อย แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจาก Excess Pore Pressure จะกระจาย ซึ่งค่า  $S_u$  ของดินก็จะลดลงจนกว่าดินจะคืนสู่สภาพ Drain Condition แล้ว  $S_u$  จะเพิ่มขึ้น

### 2.2.5 ทฤษฎี Elasticity

เมื่อมี Stress ในแนวแกนแกนเดียว ( $\sigma_z$ ) กดลงไป ในแนวตั้งดังรูปที่ 2.4 เราสามารถเขียน ความสัมพันธ์ของการขยายตัวในทางด้านข้างได้ดังนี้

$$\epsilon_z = \sigma_z/E$$

$$\epsilon_x = \epsilon_y = -\mu\epsilon_z$$

เมื่อ  $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z =$  Strain

$E =$  Young's Modulus of Elasticity

$\mu =$  Poisson's Ratio

ถ้าหากค่าความเค้นเฉือน (Shear Stress) อยู่ในช่วง Elastic Curve ก็จะได้แรงเฉือนที่เปลี่ยนแปลงไป

$$\gamma_{zx} = \tau_{zx}/G$$

เมื่อ  $G =$  Shear Modulus

ซึ่งค่า  $G$  หาได้จากสมการ

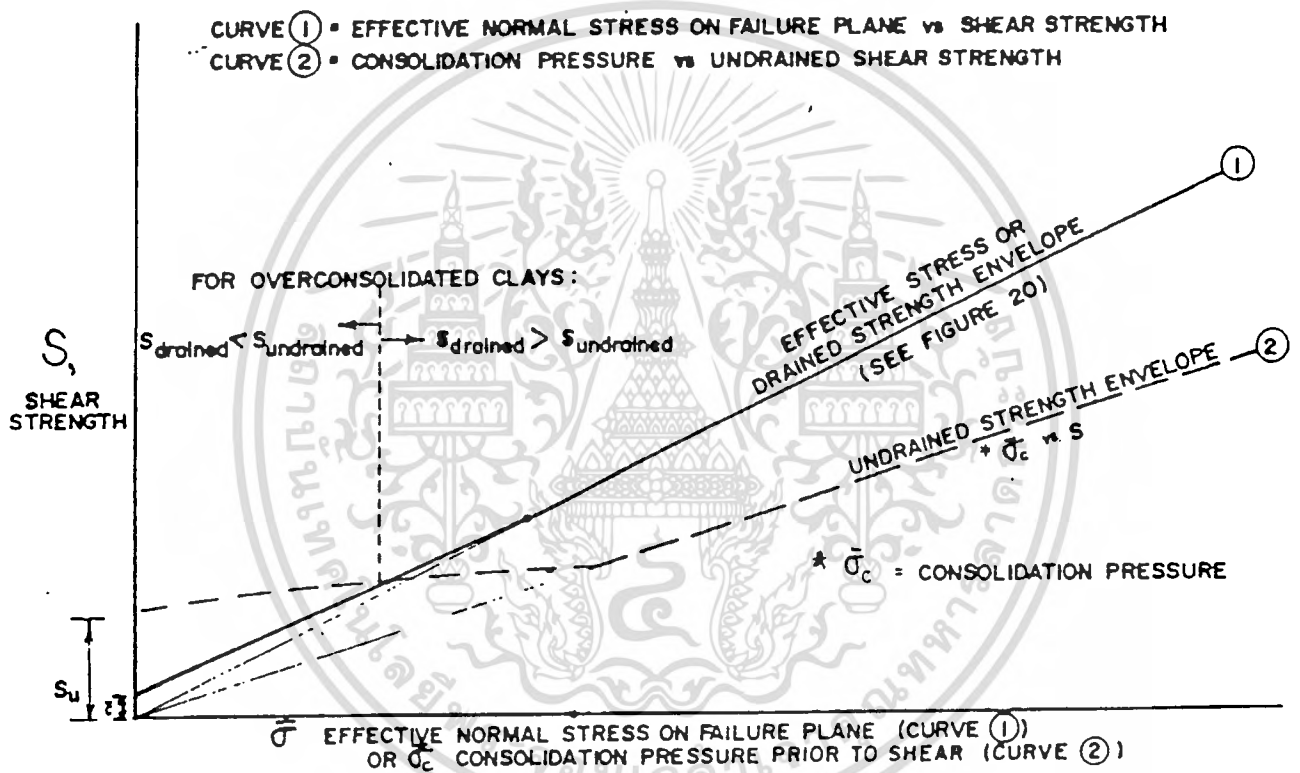
$$G = E/2(1+\mu)$$

สำหรับวัสดุที่เป็น Elastic จะมืองค์ประกอบของความเค้น ซึ่งเราสามารถนำหลักการของ Superposition ได้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

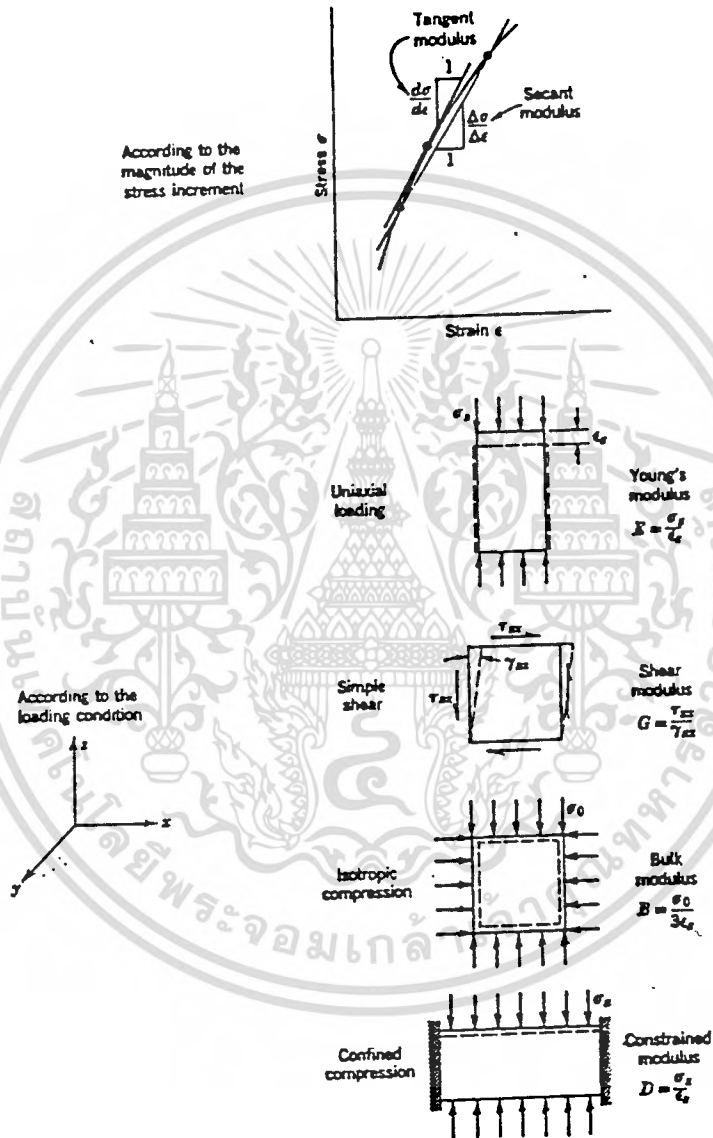
## รูปที่ 2.3

รูปเปรียบเทียบระหว่าง Strength ของ Drained และ Undrained



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4  
รูปการเปลี่ยนแปลงชนิดของ Modulus



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\epsilon_z = 1/E * [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)]$$

$$\epsilon_y = 1/E * [\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)]$$

$$\epsilon_x = 1/E * [\sigma_z - \mu(\sigma_z + \sigma_y)]$$

$$\gamma_{xy} = \tau_{xy}/G$$

$$\gamma_{yz} = \tau_{yz}/G$$

$$\gamma_{zx} = \tau_{zx}/G$$

ซึ่งจะได้ปริมาณความเครียดทั้งหมด คือ

$$\Delta v/v = \epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z$$

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง Stress - Strain ในเงื่อนไขแบบ Undrain นั้นก็เป็นการยากมากที่จะหาค่า Modulus ออกมาได้ตรงเพราะว่า Stress นั้นจะเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับหลายอย่าง เช่น เมื่อดินเกิดการทรุดตัว ดินก็จะแน่นขึ้น ซึ่งจะทำให้ดินมีความแข็งแรงขึ้น ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6 จะแสดงค่าอัตราส่วนของ  $E/\sigma_c$  ของดินเหนียว 4 ชนิด ซึ่งเราจะเห็นว่าค่าของ Modulus นั้นจะเพิ่มขึ้นตามค่าของ OCR(Overconsolidation) สูง ๆ และแฟกเตอร์ด้านเวลาที่จะทำให้ค่า Modulus เปลี่ยนไปด้วย คือเมื่อเวลาผ่านไปค่า Modulus หรือ Strength ก็อาจจะเพิ่มขึ้นเพราะดินจะเกิดการทรุดตัวไปเรื่อย ๆ

สำหรับในการทดลองในสถานะนี้จะป็นลักษณะการเพิ่มน้ำหนักที่ละมาก ๆ ( $\sigma_v$ ) และรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้  $\sigma_h$  เพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อน้ำมีการไหลออก Pore Pressure ก็จะลดลงมีผลทำให้  $\sigma_v$  เพิ่มขึ้น และ  $\sigma_h$  ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยตามความสัมพันธ์

$$\sigma_h = K_o \sigma_v$$

จากรูปที่ 2.7 เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง  $\sigma_v$  และ Vertical Strain ซึ่งทำให้เราสรุปได้ว่า Strain จะเกิดขึ้นก็เฉพาะเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลง Effective Stress

ในกรณีเดียวกัน เมื่อมีการขุดดินในดินเหนียวอ่อน น้ำหนักดินบริเวณรอบๆบริเวณที่ขุดก็จะกระทำในลักษณะที่เป็น Surchage และ Develop เป็นแรงดันดินด้านข้างของชั้นดิน ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแปลง Stress ในทุกๆ State โดยการเปลี่ยนแปลง Stress นี้จะทำให้เกิดการ Deformation ขึ้นรอบ ๆ บริเวณที่ขุด ซึ่งการเคลื่อนตัวนี้จะหลีกเลี่ยงไม่ได้ นอกจากอาจจะทำค้ำยัน (Bracing) ป้องกันไว้เท่านั้น

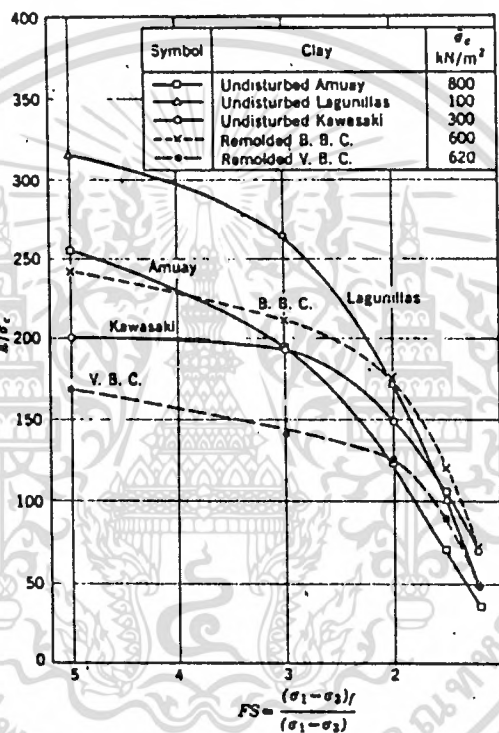
Strain ที่เกิดขึ้นในช่วงที่เป็น Undrained Loading เราจะสังเกตได้จากการทดลองจะได้อัตราส่วนระหว่าง  $\sigma_v$  และ  $\epsilon_v$  ซึ่งจะแปรผันไปตามค่า E ,และ Effective Stress และ Strain จะแปรผันตาม E ดังนี้

$$\text{Total Stress} \quad \epsilon_v = \sigma_v/E$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน Effective Stress งาน  $\epsilon_v = 1/E * (\sigma_v - 2\mu\sigma_h)$  ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5

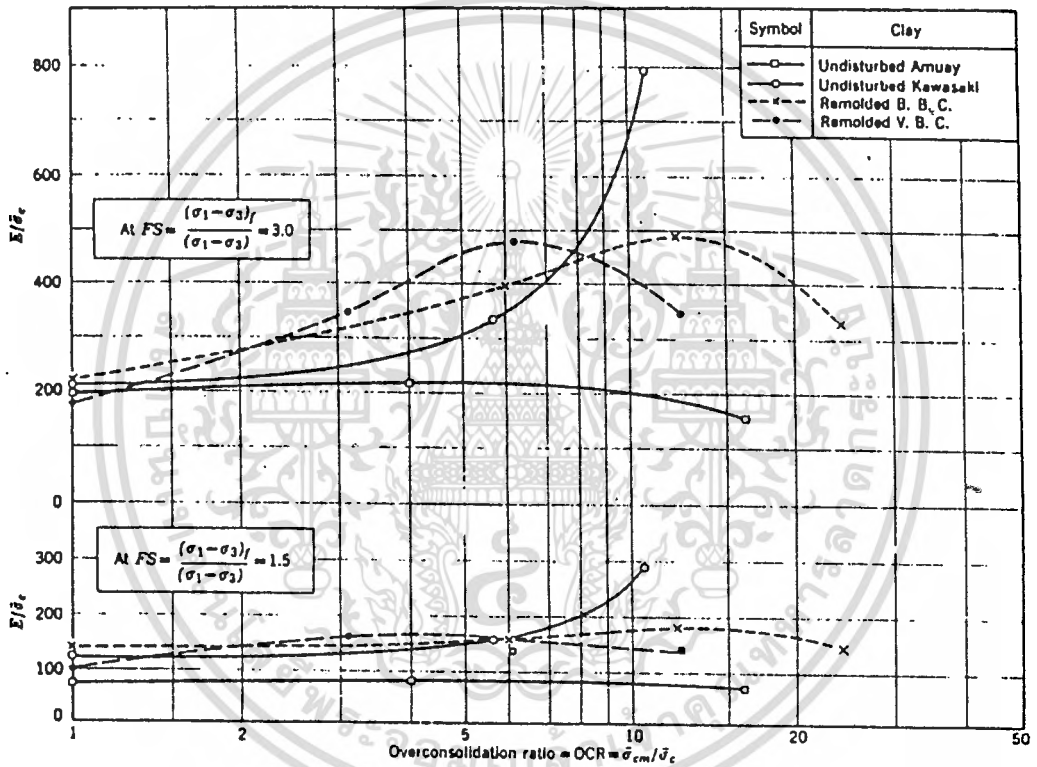
รูป Undrained Modulus for Five Normally Consolidated Clay (From Ladd, 1964)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปที่ 2.6

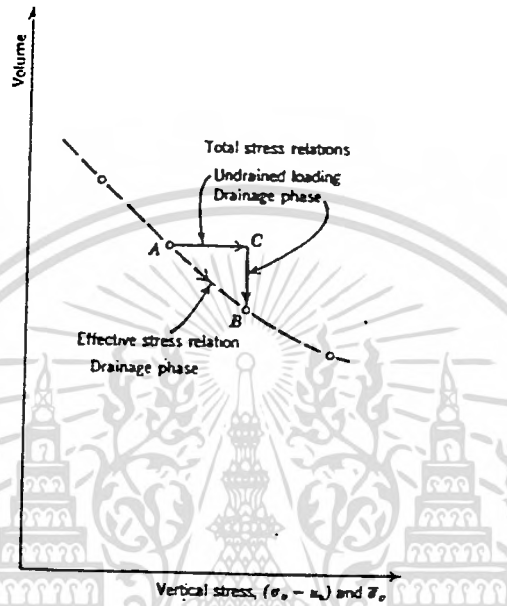
รูปแสดงผลกระทบของ Overconsolidation on Modulus (From Ladd, 1964)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปที่ 2.7

รูปความสัมพันธ์ของ Stress-strain ในระหว่างการทดลอง oedometer



The "drained" stress-strain relation is usually obtained from a series of increment AB.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.6 Pore Water Pressure Due to Undrained Loading

จากความรู้ที่ว่า การเพิ่มขึ้นของ Pore Water Pressure ในดิน เนื่องจากสภาวะการเปลี่ยนแปลง Loading โดยไม่มีการระบายน้ำออก (drainage) เป็นสิ่งสำคัญทั้งทางด้านทฤษฎีและการประยุกต์ทางด้าน Soil Mechanics ถ้า Load ที่กระทำเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ คือมีเวลาเพียงพอที่จะให้น้ำไหลออก ก็จะไม่ทำให้ค่า Pore Water Pressure เพิ่มขึ้นได้ แต่ถ้าดินถูก Load กระทำอย่างรวดเร็ว และดินมีค่าสัมประสิทธิ์ของความซึมได้น้อย (เช่นในกรณีของดินเหนียว) คือมีเวลาไม่เพียงพอที่จะให้น้ำไหลออก ก็จะทำให้ค่า Pore Water Pressure เพิ่มขึ้น

### Pore Water Pressure Developed Due to Isotropic Stress Application

รูปที่ 2.8 แสดง Element ของดินอิ่มตัว (Isotropic Saturated Soil) ซึ่งถูก Isotropic Stress กระทำเพิ่มขึ้นขนาด  $\Delta\sigma$  ถ้าไม่สามารถระบายน้ำออกได้ จะทำให้ Pore Water Pressure เพิ่มขึ้นเท่ากับ  $\Delta U$

ค่า Pore Water Pressure ที่เพิ่มขึ้นจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของช่องว่าง (Pore Fluid) จำนวน  $\Delta V_p$  ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Delta V_p = n V_o C_p \Delta U \quad (1)$$

เมื่อ  $n$  = ความพรุน (Porosity)

$C_p$  = Compressibility of Pore Water

$V_o$  = ปริมาตรของ Soil Element ในตอนแรก

ค่า Effective Stress ที่เพิ่มขึ้นในทุกทิศทางของ Element คือ  $\Delta\sigma' = \Delta\sigma - \Delta U$  การเปลี่ยนแปลงปริมาตรโครงสร้างดิน (Soil Skeleton) เนื่องจาก Effective Stress ที่เพิ่มขึ้นสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Delta V = 3 C_c V_o \Delta\sigma' = 3 C_c V_o (\Delta\sigma - \Delta U) \quad (2)$$

ในสมการนี้  $C_c$  เป็นค่า Compressibility of Soil Skeleton ซึ่งได้จากการทดลองภายใต้ Uniaxial Loading ที่มี Excess Pore Pressure เท่ากับศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 จะสังเกตว่า Compression ที่ทำให้ปริมาตรลดลงจะมีค่าเป็นบวก (Positive)

เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของ Pore Fluid,  $\Delta V_p$ , จะเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของ Soil Skeleton,  $\Delta V$ , จากสมการที่ 1 และ 2 เราจะได้

$$n V_o C_p \Delta U = 3 C_c V_o (\Delta\sigma - \Delta U)$$

$$\text{และ } \Delta U / \Delta\sigma = B = 1 / [1 + n(C_p / 3C_c)]$$

เมื่อ  $B$  คือ Pore Pressure Parameter (Skempton, 1954)

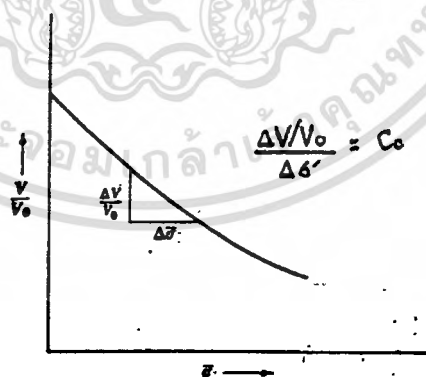
ค่า Compressibility ของ Pore Water,  $C_p$ , จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ  $C_c$  ทำให้ค่า  $B$  จะประมาณเท่ากับ 1.0 ดังนั้นในดินอิ่มตัว (Saturated Soil) ค่า Pore Water Pressure ที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าเท่ากับ Isotropic Stress ที่เพิ่มขึ้นคือ  $\Delta U = \Delta\sigma$

รูปที่ 2.8

รูป Element ของดินภายใต้ Isotropic Stress Application.



รูปที่ 2.9

รูปแสดงค่า  $C_c$ 

ค่า  $C_c$ : ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจาก uniaxial stress ที่มี excess pore water pressure = 0

สังเกตว่า :  $V$  คือ ปริมาตรของ soil element ที่ทุกๆค่าของ  $\sigma'$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.7 Lateral Earth Pressure

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาถึงขนาดและการกระจายของแรงดันดินด้านข้าง ซึ่งมีอิทธิพลมาจากความลึกในการขุดดิน

### 1. Earth Pressure at Rest

อัตราส่วนของ Horizontal Stress กับ Vertical Stress ของดินโดยทั่วไปมีนิยามว่า

$$K_0 = \sigma_h / \sigma_v$$

เมื่อ  $K_0$  = Coefficient of Earth Pressure at Rest

$\sigma_h$  = Horizontal Effective Stress

$\sigma_v$  = Vertical Effective Stress

โดยปกติแล้วค่า  $K_0$  สามารถหาได้จากสมการ

$$K_0 = 1 - \sin \phi$$

เมื่อ  $\phi$  = มุมเสียดทานภายในของดิน

สำหรับดิน Cohesive Soil ค่า  $K_0$  จะขึ้นอยู่กับอัตราการทรุดตัว (Overconsolidated Ratio, OCR) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ในดินแบบ Normally Consolidated Clay ค่า  $K_0$  จะอยู่ระหว่าง 0.5 - 0.6 , ในดิน Lightly Overconsolidated Clay ( $OCR \leq 4$ ) ค่า  $K_0$  จะสูงขึ้นจนถึง 1.0 และในดิน Heavily Overconsolidated Clay ( $OCR \sim 16$ ) ค่า  $K_0$  จะยิ่งสูงขึ้นไปถึง 2.0

### 2. Active Earth Pressure

การเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพง (ดังแสดงในรูป 2.11) เกิดมาจากการเปลี่ยนแปลง Stress ในดินจากสภาพ at Rest ไปเป็นสภาพ Active

จากรายงานของ Madrid, 1972 กล่าวว่า การเคลื่อนตัวด้านข้างจะเกิดขึ้นจนเพียงพอที่จะรับ Active Earth Pressure โดยการเคลื่อนตัวด้านข้างจะมีค่าประมาณ 0.1% ของความสูงของกำแพงในดินทราย ในขณะที่ในดินเหนียวอ่อนจะมีค่าประมาณ 0.1 - 0.2% ของความสูงของกำแพง

#### การกระจายของ Active Earth Pressure

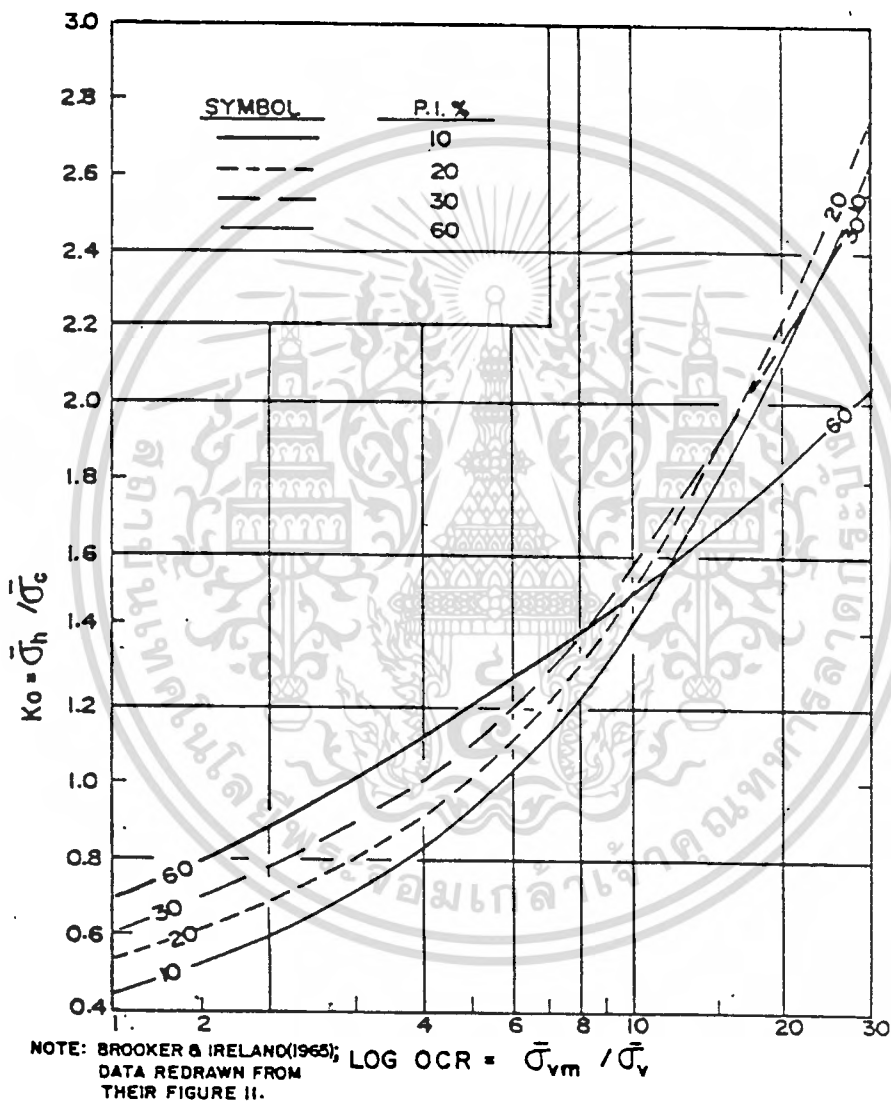
รูปที่ 2.11 แสดงการกระจาย Active Earth Pressure ตามลักษณะการเคลื่อนตัว ในสภาพ Fully Active การเคลื่อนตัวจะเปรียบเสมือนการหมุนรอบฐานหรืออาจจะเคลื่อนไปทั้งหมด การกระจาย Earth Pressure จะเป็นรูปสามเหลี่ยมและแรงลัพธ์จะกระทำที่ความสูง 1/3 ของความสูงของกำแพง

สำหรับใน Rigid Retaining Wall จะเป็นกรณี Arching Active ซึ่งจะมีการหมุนรอบจุดบน (Taylor, 1948) การกระจาย Earth Pressure จะเป็นรูป Parabolic โดยจะมีค่ามากกว่า Active ในช่วงบน แต่จะน้อยกว่า Active ในช่วงล่างของกำแพง ในกำแพงที่มีความอ่อนตัว (Flexible) การกระจาย Pressure จะมีค่ามากขึ้นอยู่กับลำดับการขุดดิน และการค้ำยันหรือการแปรเปลี่ยน

เอกสารนี้เพื่อความแน่นอนหน้าของค้ำยัน รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10

กราฟระหว่าง  $K_0$  กับ OCR ของดินที่เปลี่ยนแปลงตามค่า Plasticity จาก Ladd(1968)

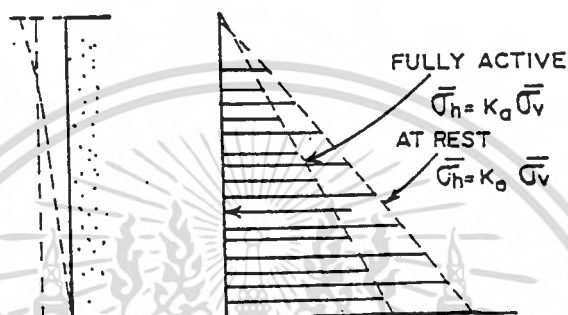


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

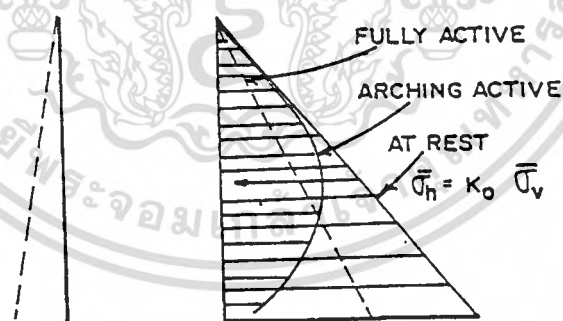
## รูปที่ 2.11

## รูป การกระจาย Earth Pressure ของสถานะ Active และ Arching Active

(a) FULLY ACTIVE



(b) ARCHING ACTIVE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สัมประสิทธิ์ (Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์ Active Earth Pressure ของ Rankine,  $K_a$ , เป็นอัตราส่วนของค่า Effective

Stress

$$K_a = \sigma_h / \sigma_v = \sigma_a / \sigma_v$$

$$\text{สำหรับในดินทราย } K_a = \tan^2(45 - \phi/2) = 1 - \sin\phi / 1 + \sin\phi$$

สำหรับดิน Cohesive Soil

$$\text{กรณีทั่วไป } (\phi, c) : K_a = \tan^2(45 - \phi/2) - 2c \tan(45 - \phi/2) / H$$

$$\text{กรณี } (\phi=0, c=S_u) : K_a = 1 - (2S_u/H)$$

โดย  $K_a$  = Coefficient of Active Pressure

$\phi, c$  = Friction Angle and Cohesive Intercept

$\sigma_a$  = Active Earth Pressure (Horizontal)

$S_u$  = Undrained Shear Strength (กรณี  $\phi=0$ )

จากค่ากลางของ Rankine การกระจาย Pressure ในดิน Cohesive Soil ตามทฤษฎีจะมีแรงดึง (Tension) ด้านบนของกำแพง ดังแสดงในรูปที่ 2.12a ซึ่งด้านบนจะเป็นแรงดันแบบ Negative และที่ด้านล่างจะเป็นแรงดันแบบ Positive สมมติว่าแรงสุทธิเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงกับความลึกของกำแพง จะสามารถเขียน Net Pressure Diagram เป็นรูปการกระจายแบบสามเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 2.12b จะได้อัตราแรงดันที่ฐานกำแพงเท่ากับ

$$\sigma_a = \gamma H - 4S_u = \gamma H - 2C$$

โดยวิธีนี้เป็นวิธีของ Terzaghi และ Peck (1968) ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบแรงดันข้างที่วัดได้กับแรงที่คำนวณบน Bracing Cofferdam Wall วิธีนี้เป็นการคิดแบบ Short Term ซึ่งสมมติว่า Undrained Strength จะยังคงอยู่เป็นเวลานาน

### Braced Cofferdams

การติดตั้ง Bracing ในเบื้องต้นจะกระทำที่ด้านบนของกำแพงเพื่อป้องกัน Displacement ซึ่งการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจากการขุดดินในกรณีที่มี Bracing จะมีลักษณะเป็นดังในรูปที่ 2.13 (จาก Bjerrum, et al, 1972)

ลักษณะที่สำคัญคือ การเคลื่อนตัวจะเป็นการหมุนรอบจุดบน (top) การโค้งตัวและการเคลื่อนตัวจะขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ต่างๆ ต่อไปนี้

1. ระยะของ Bracing
2. ความแข็งแรง (Stiffness) ของกำแพง
3. ความแข็งแรง (Stiffness) ของดินที่ด้านล่าง (base) ของกำแพง

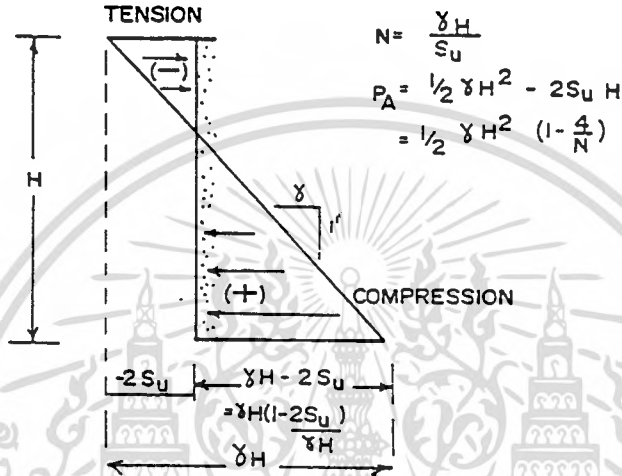
โดยปกติลักษณะการเคลื่อนตัวจะมีลักษณะเหมือน Arching Active Condition ดังนั้นการกระจายแรงดันที่มีลักษณะใกล้เคียงกับแรงที่กระทำต่อกำแพงจริงๆ จะเป็นแบบ Parabolic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดได้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

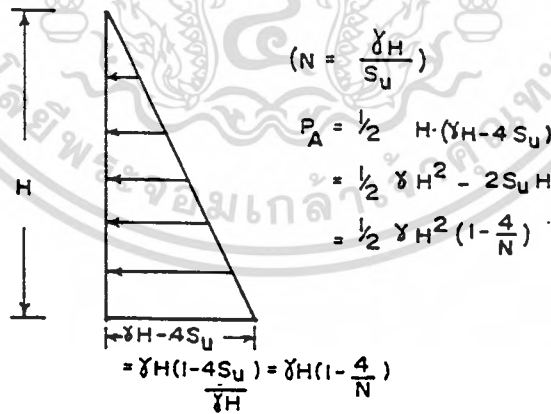
รูปที่ 2.12

รูปการกระจาย Earth Pressure สำหรับดิน Cohesive ( $\phi = 0$ )

(a) RANKINE ACTIVE PRESSURE DISTRIBUTION IN COHESIVE SOILS

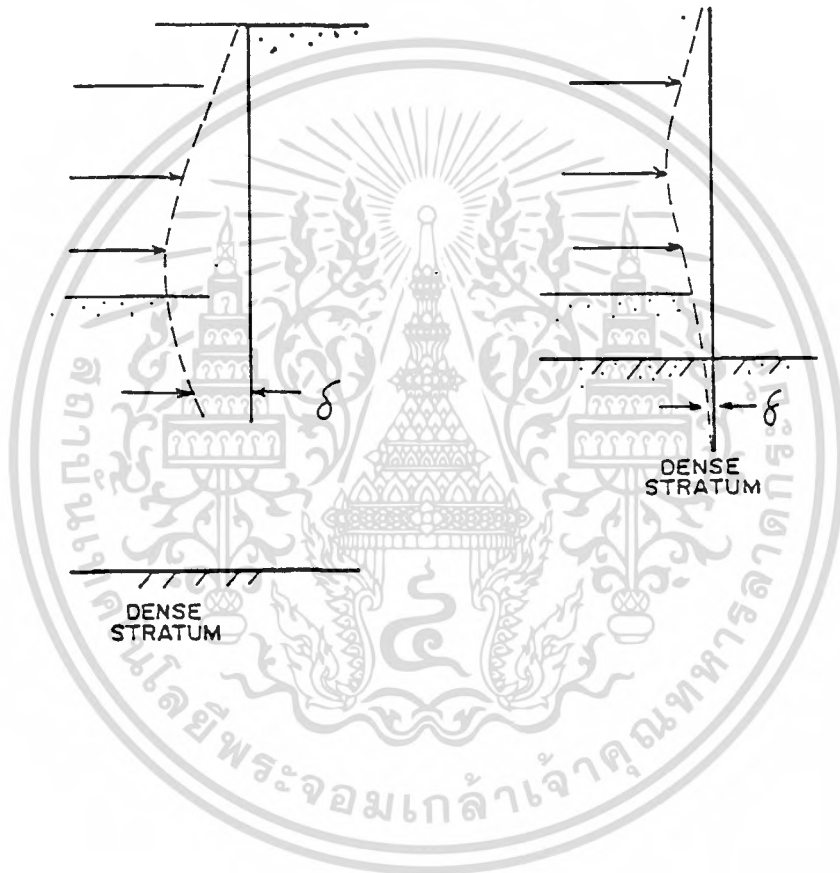


(b) TRIANGULAR PRESSURE DISTRIBUTION EQUIVALENT TO NET RANKINE FORCE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13  
 รูปลักษณะการเคลื่อนตัวของ Internally Braced Cofferdam  
 (จาก Bjerrum, et al, 1972)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ปัจจัยที่ก่อให้เกิด Load กระทำต่อ Strut ได้แก่

1. ความแข็งแรงทนทานและความมั่นคงของการเชื่อมต่อระหว่าง Strut, Wale, และ Wall
2. มีการ Preload ต่อ Strut ก่อนหรือไม่
3. อุณหภูมิของ Bracing ในระหว่างและหลังจากการติดตั้ง (Bracing Load จะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยเฉพาะในการขุดดินที่ไม่ได้มีการป้องกันร่มเงา)
4. ระยะห่างของการ Bracing
5. ความแข็งหรืออ่อนของดินใต้ระดับดินที่ขุด
6. น้ำหนัก (Surcharge) ในการก่อสร้าง
7. การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินบ่อยๆ

### การ Design Earth Pressure Diagram

Terzaghi และ Peck (1968) ได้แนะนำให้ใช้ Earth Pressure Diagram สำหรับการออกแบบ Braced Wall ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่ง Strut จะถูกออกแบบให้รับ Load ภายในพื้นที่ระหว่างจุด 2 กลางของ Bracing ด้านบนและด้านล่าง

ในกรณีของ Soft to Medium Clay ไตอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบขึ้นอยู่กับ Stability Number,  $(N = \gamma H / S_u)$  การคำนวณ Earth Pressure ของดิน Clay จะขึ้นอยู่กับ Total Weight of Soil ซึ่งสมมติให้ดินเหนียวมีสภาพเป็น Undrained ดังนั้น Earth Pressure จะขึ้นอยู่กับ Total Unit Weight และ Initial Shear Strength ( $S_u$ ) ของดิน

เมื่อ Stability Number (N) มีค่า 5 - 6 จะสังเกตว่า ไตอะแกรมจะเท่ากับ Rankine Pressure ที่แสดงไว้เปรียบเทียบ ซึ่ง Peck (1969) กล่าวว่าค่า 'm' จะเท่ากับ 0.4 ในดินชนิด Sensitive Clay และจะเท่ากับ 1.0 ในดินชนิด Insensitive Clay

### 3. Passive Earth Pressure

แรงดันทางข้างของดินในสภาวะ Passive เป็นแรงที่ต้านทานการเคลื่อนที่ของกำแพงออกจากดินถม ซึ่งสัมประสิทธิ์ของแรงดันทางข้างของดินในสภาวะ Passive สามารถหาได้ดังนี้

$$K_p = P_p / P_v = 1 / K_a$$

สำหรับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่นและ  $c = 0$  จะได้

$$\begin{aligned} K_p &= \tan^2 (45 + \phi/2) \\ &= (1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi) \end{aligned}$$

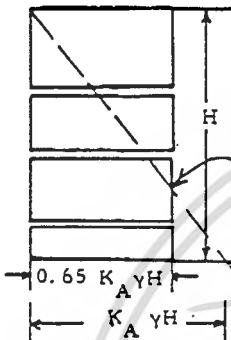
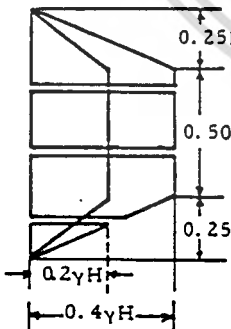
สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่นและ  $\phi = 0$  จะได้

$$K_p = 1 + (2c / \gamma h) = 1 + (qu / \gamma h)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.14

รูปการออกแบบ Earth Pressure Diagram สำหรับ Intrenally Braced Flexible Wall (sands, soft to medium clays, stiff fissured clays) จาก Terzaghi และ Peck (1968)

PRESSURE DISTRIBUTION	TOTAL FORCE
<p>a) Sands</p> $K_A = \tan^2(45 - \phi/2)$  <p>Rankine Active</p> <p>b) Soft to Medium Clays (<math>N &gt; 6</math>)</p> <p>For clays, base the selection on <math>N = \frac{\gamma H}{S_u}</math></p> <p>Equivalent Rankine Active</p> $K_A = 1 - m \frac{4S_u}{\gamma H} = 1 - \frac{4}{N}$ <p><math>m = 1.0</math> except where cut is underlain by deep soft normally consolidated clay</p> <p>c) Stiff-Clays</p> <p>For <math>N &lt; 4</math></p> <p>For <math>4 &lt; N &lt; 6</math>, use the larger of diagrams (b) and (c).</p> 	<p><math>P_t = \text{Trapezoid}</math></p> <p><math>P_A = \text{Rankine}</math></p> <p><math>P_t = .65 K_A \gamma H^2</math></p> <p><math>P_A = .50 K_A \gamma H^2</math></p> <p><math>\frac{P_t}{P_A} = 1.30</math></p> <p><math>m = 1.0</math></p> <p><math>P_t = .875 \gamma H^2 (1 - \frac{4}{N})</math></p> <p><math>P_A = .50 \gamma H^2 (1 - \frac{4}{N})</math></p> <p><math>\frac{P_t}{P_A} = 1.75</math></p> <p><math>P_t = .15 \gamma H^2</math> to <math>.30 \gamma H^2</math></p> <p><math>\frac{P_A}{N} = 4, P_A = 0</math></p> <p><math>N &lt; 4, P_A &lt; 0</math></p> <p>NOTE: Equivalent Rankine Active = 0</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.8 Stability of Slurry Trench Cut in Saturated Clay

ในการก่อสร้าง D-Wall ชั้นเริ่มต้นจะต้องขุดดินให้ได้ตามขนาดของ Panel ที่ต้องการ ซึ่งในการขุดดินในกรุงเทพฯ ส่วนมากจะเป็นดินเหนียวอ่อนที่เกือบจะเป็น Homogeneous ซึ่งอาจจะมีผลกระทบจากการกระทำต่างๆ ในขณะเริ่มต้นขุด เช่น แรงดันดินด้านข้าง และ Surcharge ของฐานราก อาคารข้างเคียง, เครื่องจักรอุปกรณ์ในการก่อสร้างหรือน้ำหนักจากรถที่วิ่งบนถนนรอบๆ บริเวณที่ขุด ซึ่งในกรณีเช่นนี้จะต้องมีการทำให้หลุมขุดมีเสถียรภาพโดยไม่ใช้ Bracing ซึ่งจะใช้สารละลายเบนโทไนท์ใส่ลงไป ในหลุมที่ขุดอยู่ตลอดเวลา และสามารถคำนวณเสถียรภาพในกรณีเช่นนี้โดยอาศัยสูตรของ Professor G.G. Meyerhof, F. ASCE. ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$\text{Factor of Safety} = \frac{N * C_u}{[P_o - P_L - (K * C_u) + S]}$$

เมื่อ D = ความลึกของ D-Wall จากผิวดิน

B = ความกว้างของ Panel ที่ขุด

K = สัมประสิทธิ์ของ MEYERHOF ดังในรูปที่ 2.15

$P_o = D * \text{ความหนาแน่นของดิน}$

$P_L = D * \text{ความหนาแน่นของสารละลายเบนโทไนท์}$

$C_u = \text{Undrained Shear Strength}$

S = Surcharge ข้างหลังหลุมที่ขุด

N = Stability Factor หาได้จาก MEYERHOF ดังในรูปที่ 2.16

ต่อไปจะเป็นตัวอย่างในการคำนวณหา Factor of Safety ในขณะที่กำลังขุด D-Wall ซึ่งมีขนาด 3.3\*0.8 เมตร ความลึกของ Panel เท่ากับ 20 เมตร ของโครงการ Vibulthani Tower ซึ่งเป็นผลกระทบจาก Surcharge Load โดยตรง ดังรูปที่ 2.17 และตารางที่ 2.1

และจากการคำนวณแล้วจะได้ว่า F.S. จะแปรผันตามความลึกตามตารางที่คำนวณ และค่าที่ได้นี้โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าสูงและมีความ Stable มากในหลุมขุดที่เติมสารละลายเบนโทไนท์ โดยเฉพาะความลึกที่ประมาณ 12 เมตร จะมีค่าสูงมากและมีเสถียรภาพมากจนการขุดถึงชั้นดินเหนียวแข็ง

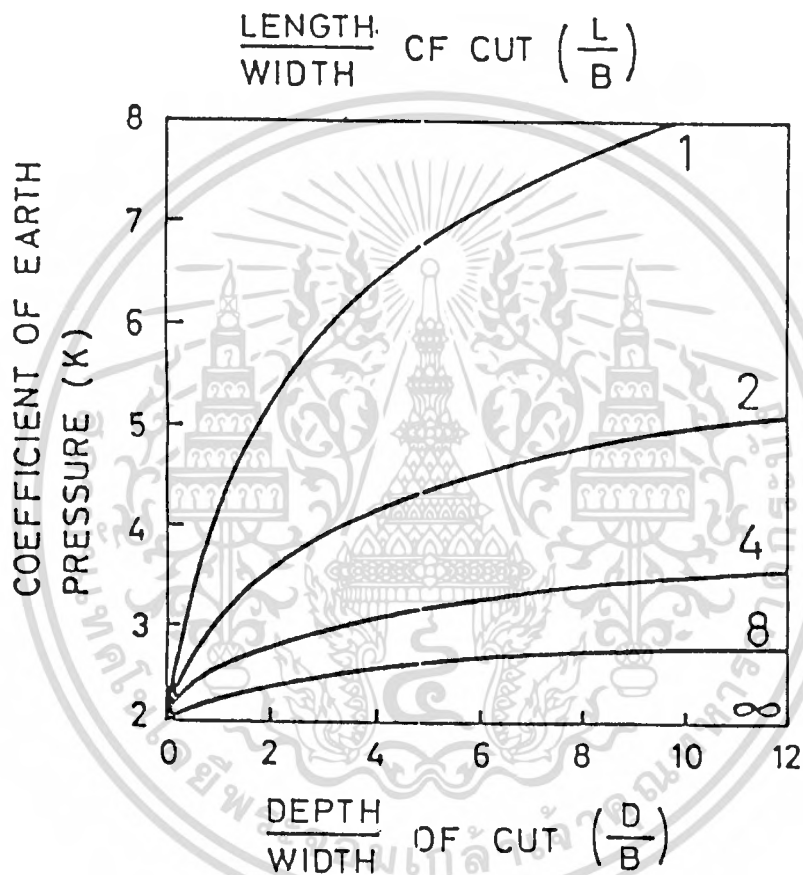
### 2.2.9 การวิเคราะห์ Heave ในระบบ D-Wall

เป็นที่รู้กันอยู่แล้วว่าเมื่อมีการขุดดินออกแล้วจะทำให้แรงในแนวคิ่งลดลง ซึ่งก็จะทำให้แรงดัน Passive น้อยลง และจะก่อให้เกิดปัญหา Bottom Heave ขึ้นได้ในดินอ่อนที่มีค่า  $S_u$  ของดินเกือบขงที่ตลอดความลึกที่ต่ำกว่าพื้นขุด แล้วจะทำให้แรงดันเนื่องจากชั้นดินด้านนอกผ่านลงมาอุดขึ้นที่บริเวณพื้นขุด แต่ถ้าบริเวณพื้นขุดมีค่า  $S_u$  สูงก็จะมีแรงต้านเพียงพอกับแรงดันที่เกิดขึ้นนี้ ช่วยไม่ให้เกิดการอุดของพื้นขุดได้ โดยแรงดัน Passive ในดินนี้ก็จะขึ้นอยู่กับค่า  $S_u$

เอกสารนี้ (Undrained Shear Strength) ซึ่งสามารถพิจารณาในชั้นส่วนที่พื้นต่างขุดได้ดังในรูปที่ 2.18 ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15

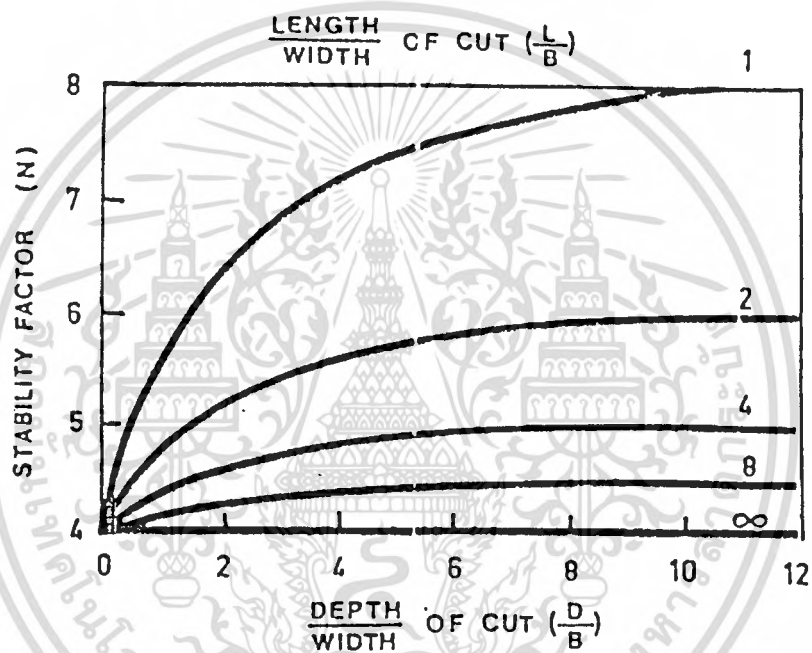
รูปสัมประสิทธิ์ของ Earth Pressure สำหรับ Rectangular Cuts ในดินเหนียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.16

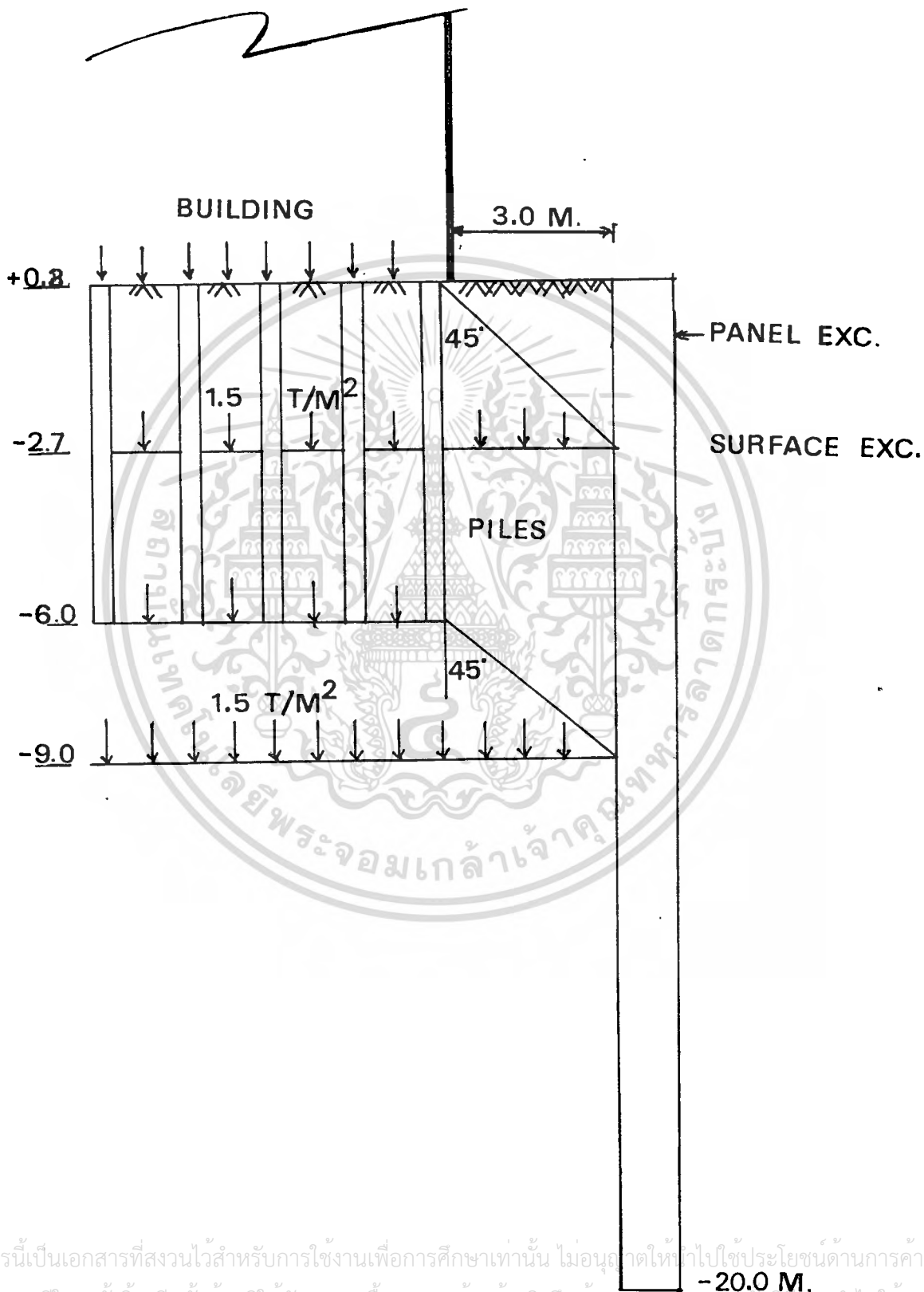
รูป Stability Factors สำหรับ Rectangular Cuts ในดินเหนียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.17

รูปผลกระทบบของ Surcharge Load ของโครงการ Vibulthani Tower



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

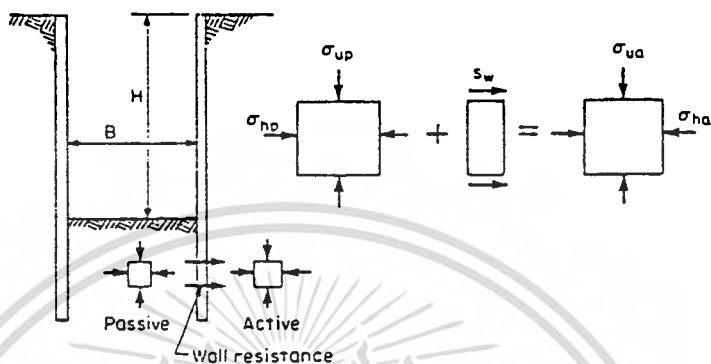
ตารางที่ 2.1

ตารางคำนวณหา Factor of Safety ของโครงการ Vibulthani Tower

DEPTH (M)	D/B (=DEPTH/0.8)	K	[Po-PL-(KxCu)+S] (T/M)2	NxCu (T/M)2	FACTOR OF SAFETY = NxCu
					[Po-PL-(KxCu)+S]
2.5	3.13	2.8	$[(2.5 \times 1.6) - (2.5 \times 1.05) - (2.8 \times 1.2) + 1.5] = 0.5$	$4.6 \times 1.2 = 5.52$	<b>VERY HIGH</b>
5.0	6.25	3.2	$[(5.0 \times 1.6) - (5.0 \times 1.05) - (3.2 \times 1.1) + 1.5] = 0.73$	$4.8 \times 1.1 = 5.28$	<b>7.2</b>
7.5	9.38	3.4	$[(7.5 \times 1.6) - (7.5 \times 1.05) - (3.4 \times 1.2) + 1.5] = 1.55$	$4.9 \times 1.2 = 5.88$	<b>3.8</b>
10.0	12.5	3.5	$[(10.0 \times 1.6) - (10.0 \times 1.05) - (3.5 \times 1.3) + 1.5] = 2.45$	$4.9 \times 1.3 = 6.37$	<b>2.6</b>
12.5	15.63	3.6	$[(12.5 \times 1.6) - (12.5 \times 1.05) - (3.6 \times 3.0) + 1.5] = -2.4$	$4.9 \times 3.0 = 14.7$	<b>VERY HIGH</b>
14.5	18.13	3.65	$[(14.5 \times 1.6) - (14.5 \times 1.05) - (3.65 \times 5.0) + 1.5] = -8.8$	$4.95 \times 5.0 = 24.8$	<b>VERY HIGH</b>
16.5	20.63	3.7	$[(16.5 \times 1.6) - (16.5 \times 1.05) - (3.7 \times 7.0) + 1.5] = -15.3$	$4.95 \times 7.0 = 34.7$	<b>VERY HIGH</b>
18.0	22.5	3.7	$[(18.0 \times 1.6) - (18.0 \times 1.05) - (3.7 \times 8.0) + 1.5] = -18.2$	$5.0 \times 8.0 = 40.0$	<b>VERY HIGH</b>

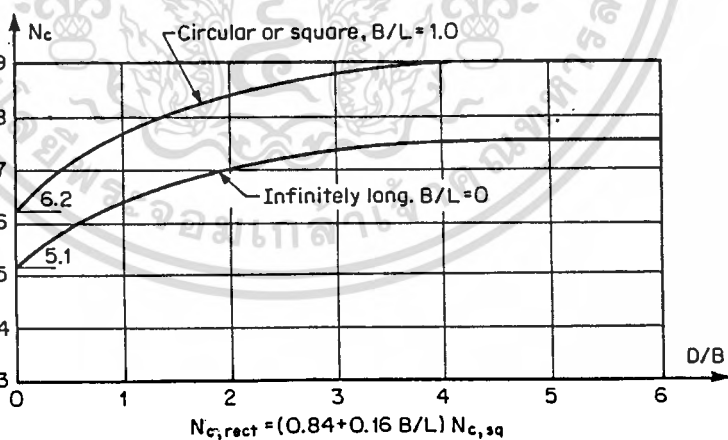
รูปที่ 2.18

รูป Rough theoretical model for inelastic movement and base instability  
for cuts in soft clays



รูปที่ 2.20

รูปแสดงค่าของ Stability Number,  $N_c$  สำหรับการวิเคราะห์ Heave  
ของ Braced Excavation



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในกรณีเช่นนี้อาจจะไม่ต้องคิดแรงดันน้ำก็ได้ เพราะว่าแรงดัน Pore Pressure เราถือว่ารวมอยู่ในค่าของ  $S_u$  อยู่แล้ว (ถือว่ามีสถานะเป็น Undrain)

สำหรับในการขุดดินออกและก่อสร้าง D-Wall จะต้องให้มี Embedment มากเพียงพอที่จะทำให้เกิดแรงดัน Passive เพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิด Bottom Heave ได้ และจะต้องมีการตรวจสอบ Factor of Safety สำหรับ D-Wall ด้วยคือ

$$F = \frac{N_c S_u + [2(B+L)h/BL]\alpha S_u}{\gamma H + q}$$

ซึ่งค่า  $D, H, h, B$ , และ  $L$  ดังแสดงในรูปที่ 2.19 และ  $N_c$  ได้จากรูปที่ 2.20 โดยการพิจารณาอัตราส่วน  $D/B$

เมื่อ  $F =$  อัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety)

$H =$  ความลึกของการขุด (Depth of Excavation)

$\gamma =$  ความหนาแน่นของดิน (Soil Density)

$S_u =$  ค่า Undrained Shear Strength ของดินด้านล่างและบริเวณ

ก่อสร้าง

$q =$  น้ำหนัก (Surcharge Load) ที่ผิวดิน

$N_c =$  Stability Number ซึ่งหาได้จากรูปที่ 2.20 เมื่อ  $D = H+h$

$h =$  ระยะฝังของกำแพงใต้ระดับดินขุด (Wall Embedment Below Excavation Level)

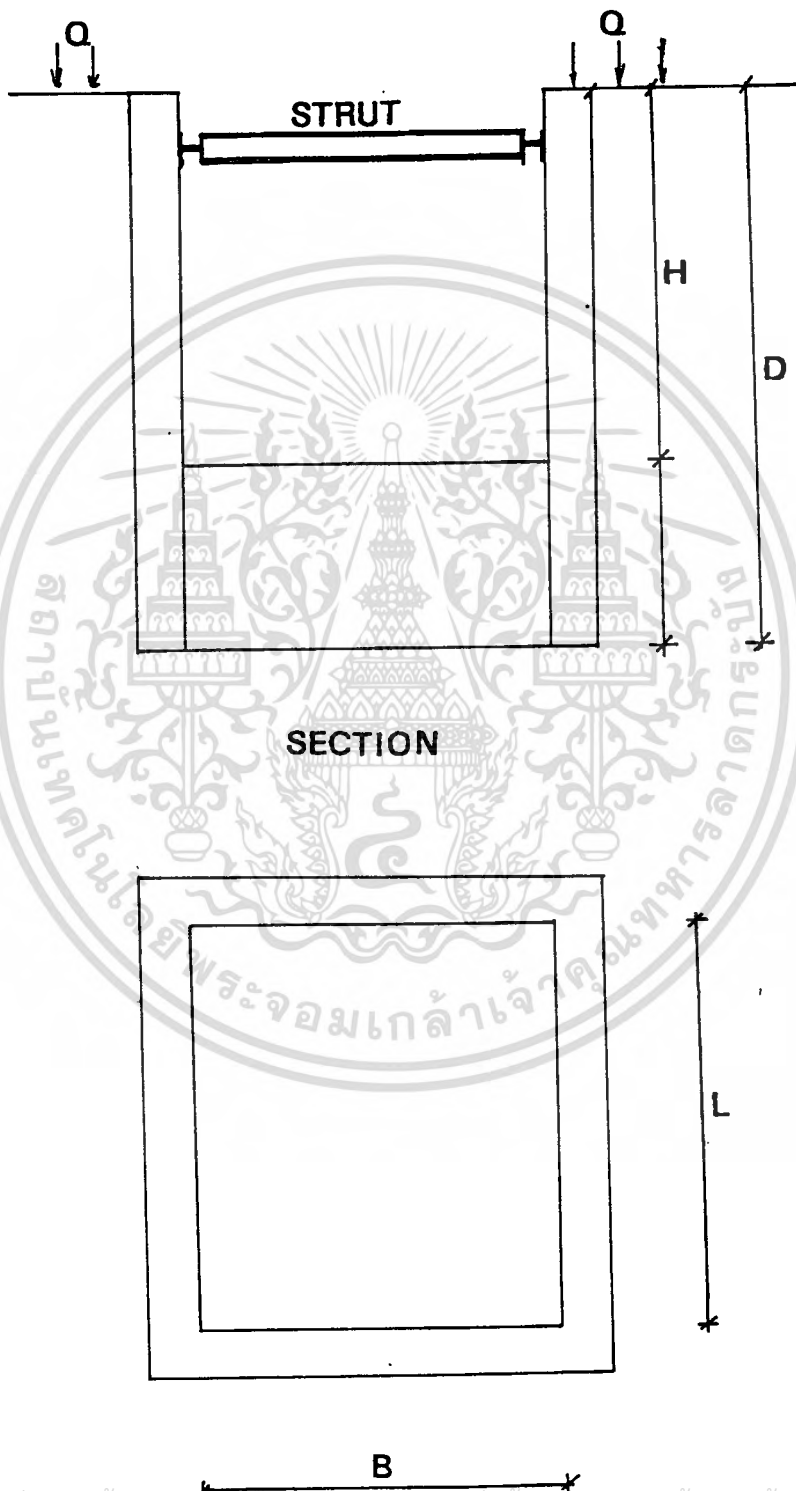
$\alpha =$  Adhesion Factor สำหรับดินเหนียวอ่อน = 1

$B =$  ความกว้างของการขุด (Width of Excavation)

ในการวิเคราะห์นี้อัตราส่วน  $D/B$  เป็นอัตราส่วนที่นำไปใช้ในการหาค่า  $N_c$  ถ้า  $L$  น้อยกว่า  $B$  ก็ให้ใช้ค่า  $D/L$  ไปหาค่า  $N_c$  และถ้าเกิดว่า D-Wall ฝังลงไปลึกถึงชั้นดินแข็งหรือมี  $S_u$  มากก็แสดงว่าค่า  $F$  จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลกระทบในด้าน Bottom Heave อาจจะไม่ต้องศึกษาก็ได้ถือว่าปลอดภัย

รูปที่ 2.19

รูป Plan และ Section สำหรับการวิเคราะห์ผลของ Stability ต่อ Bottom Heave



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PLAN**

## 2.3 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวด้านข้างของดิน

### 2.3.1 ความสัมพันธ์จากการเคลื่อนตัวด้านข้างและการทรุดตัวในแนวตั้ง

เป็นที่รู้กันอยู่แล้วว่าในการเคลื่อนตัวด้านข้างเนื่องจากการขุดดินจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการทรุดตัวของดินในแนวตั้ง ซึ่งในกรณีนี้จะต่างจากการทรุดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน (Consolidation Settlement) จากประสบการณ์ที่ได้เคยมีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ โดยอาศัยวิธี Finite Element สำหรับดินชนิด Soft to Medium Clay จะได้รูปแสดงค่าการทรุดตัวในแนวตั้งเฉลี่ย ปกติแล้วจะมีค่าน้อยกว่าการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้าง และจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้าง (ไม่รวมการ Consolidated) และจากการศึกษาที่ผ่านมาการทรุดตัวในแนวตั้งส่วนมากจะอยู่ระหว่าง  $1/2 - 3/2$  เท่าของการเคลื่อนตัวในแนวราบ และมากที่สุดจะอยู่ระหว่าง  $2/3 - 4/3$  เท่าของการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้าง ถ้าหากว่าเรารู้ถึงโซนที่มีผลกระทบต่อ การเคลื่อนตัวหลังผนังใกล้ๆกับบริเวณที่ขุดดิน โดยการคาดการณ์ล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำแล้ว ก็จะทำให้การขุดดินเป็นไปอย่างปลอดภัย เพราะได้เตรียมการออกแบบไว้ล่วงหน้า

PECK(1969) ได้อธิบายถึงบริเวณที่มีผลกระทบต่อ การทรุดตัวบริเวณที่มีการขุดดิน ซึ่ง ก่ออาศัยจากการวัดและการสังเกตในสภาพงานจริง และได้แสดงให้เห็นว่าผลกระทบจากการทรุดตัวในแนวตั้งที่เกิดขึ้นใน Cohesive Soil ประมาณได้เป็น 2 เท่าของความลึกที่ขุดลงไปจากผิวดิน ส่วนดินที่เป็น Cohesionless Soil เช่น พุกทราย ระยะที่มีการทรุดตัวอาจจะไม่ถึง 2 เท่าของความ ลึกที่ขุด โดยบริเวณที่มีการอัดตัวมากจะอยู่ที่ระดับต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งก็เป็นลักษณะคล้ายๆ กับการ Consolidation และจะเห็นได้ว่าการทรุดตัวของดินข้างหลัง Wall นั้นจะแปรผันไปตาม คุณสมบัติของดินหรือ Shear Strength

รูปที่ 2.21 และ 2.22 แสดงถึงเส้น Contour ของผลกระทบของดินข้างหลัง Wall เมื่อมีการขุดดินและมีการเคลื่อนตัว และแสดงลักษณะการทรุดตัวบริเวณผิวดิน (Surface Settlement) เนื่องจากการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง ซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์โดยวิธี Finite Element สำหรับดิน Normally Consolidated Clay

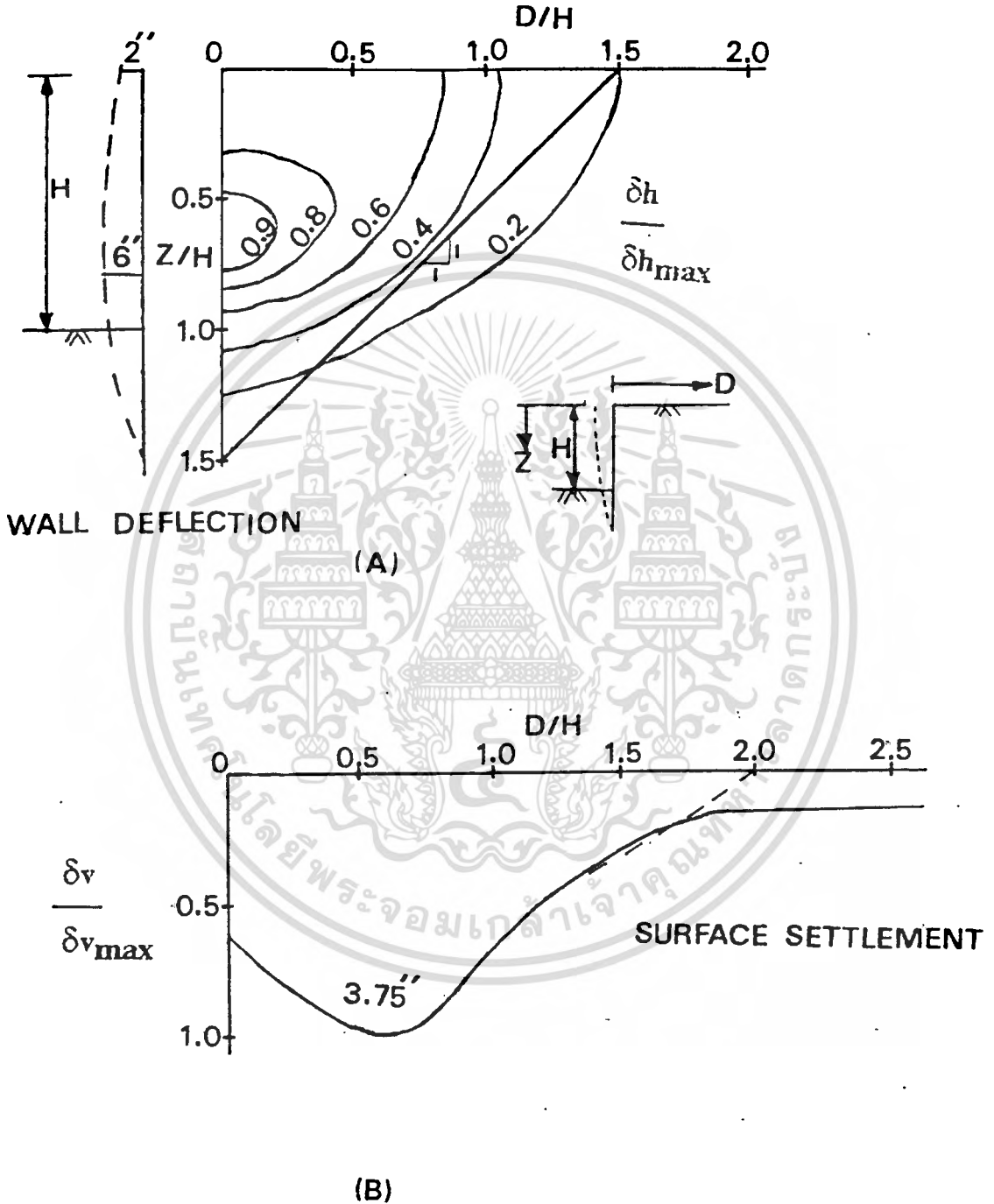
ส่วนรูปที่ 2.23 แสดงลักษณะเส้นโค้งของการทำนายการทรุดตัวของ Peck(1969)

รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะการเกิด Strain ขึ้นในสนามเมื่อมีการขุดดิน

รูปที่ 2.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเคลื่อนตัวกับสัมประสิทธิ์ การเคลื่อนตัว

รูปที่ 2.21

รูป Normalized lateral movement from finite element analysis for normally consolidated clay from [BURLAND(1974) and ST.JOHN(1974)]

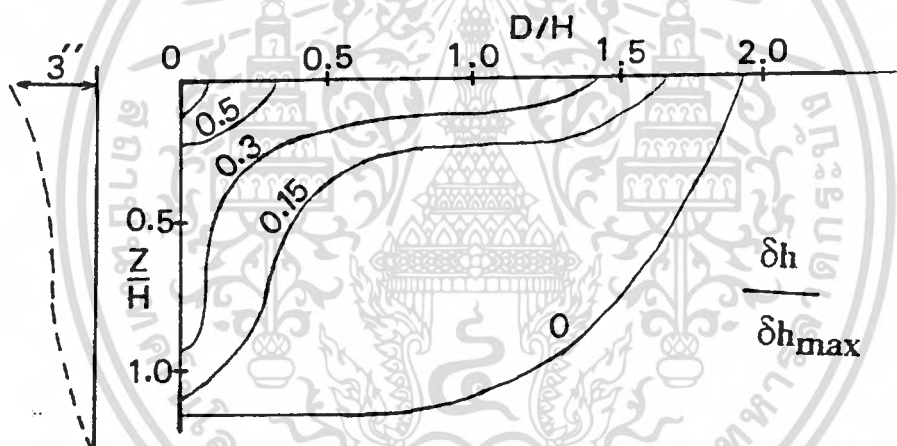
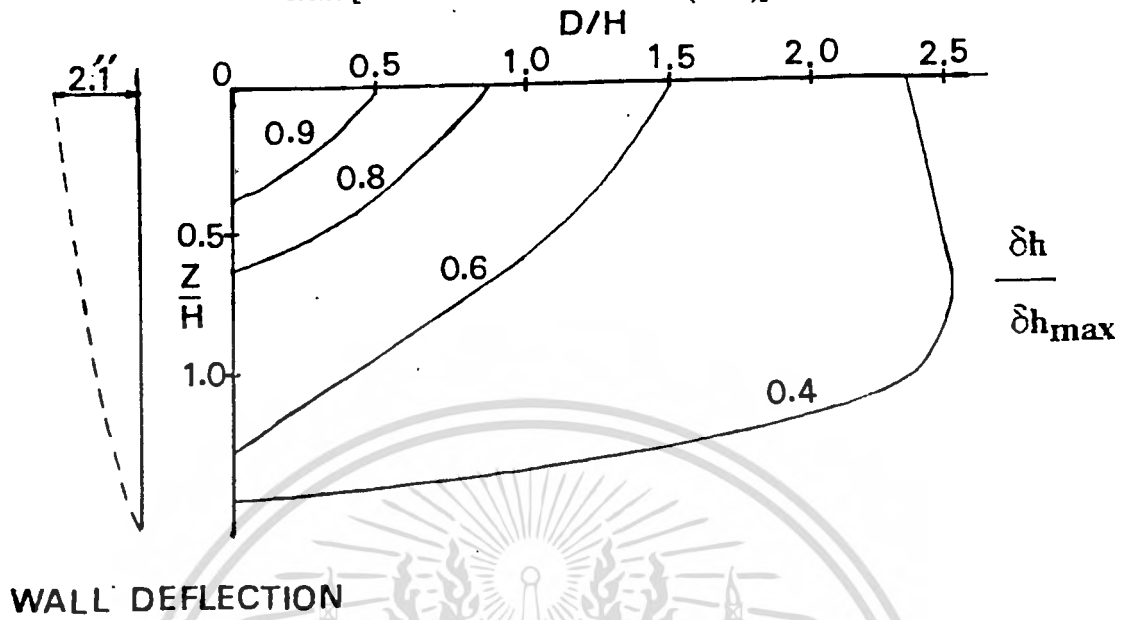


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

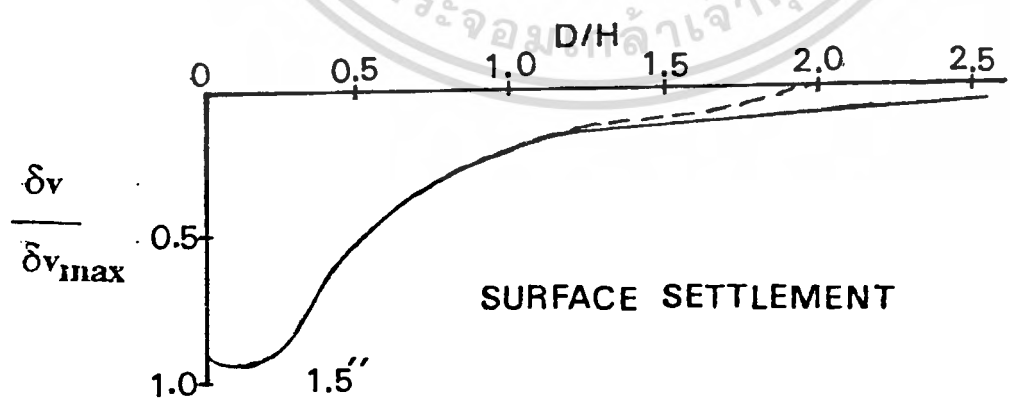
รูปที่ 2.22

รูป Normalized lateral movement for excavation in heavily OCR clay

from [SHANNON and STRAZER(1970)]



(C)

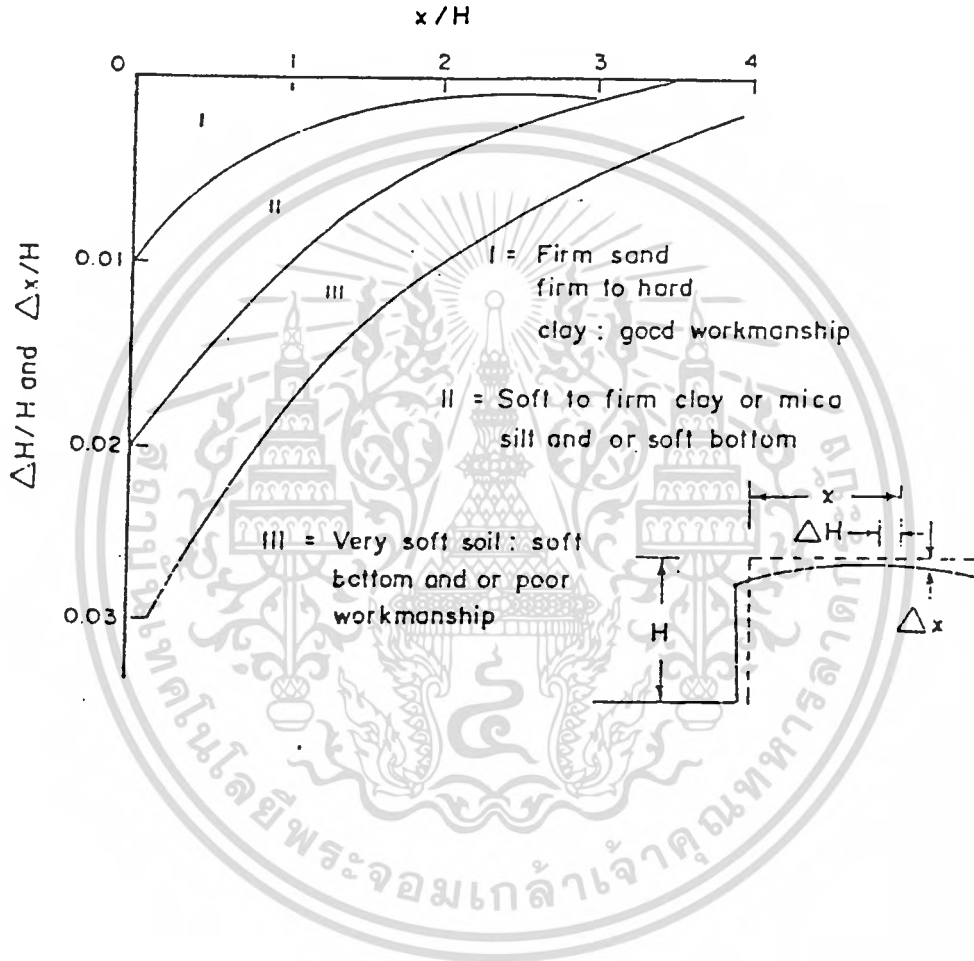


(D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

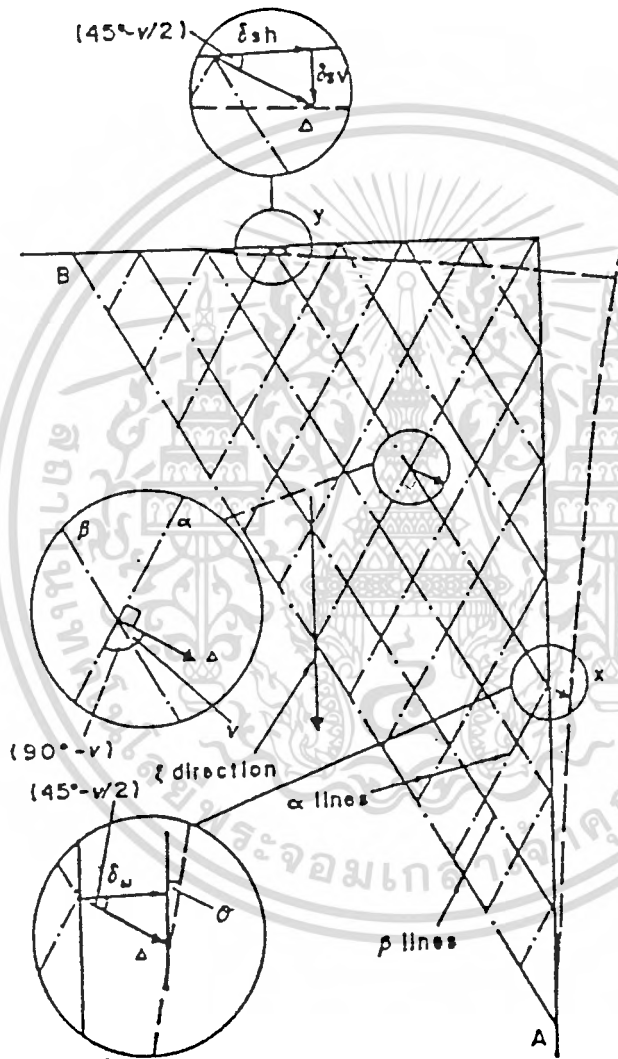
รูปที่ 2.23

รูป Movement Adjacent to Braced Excavation(after PECK,1969)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

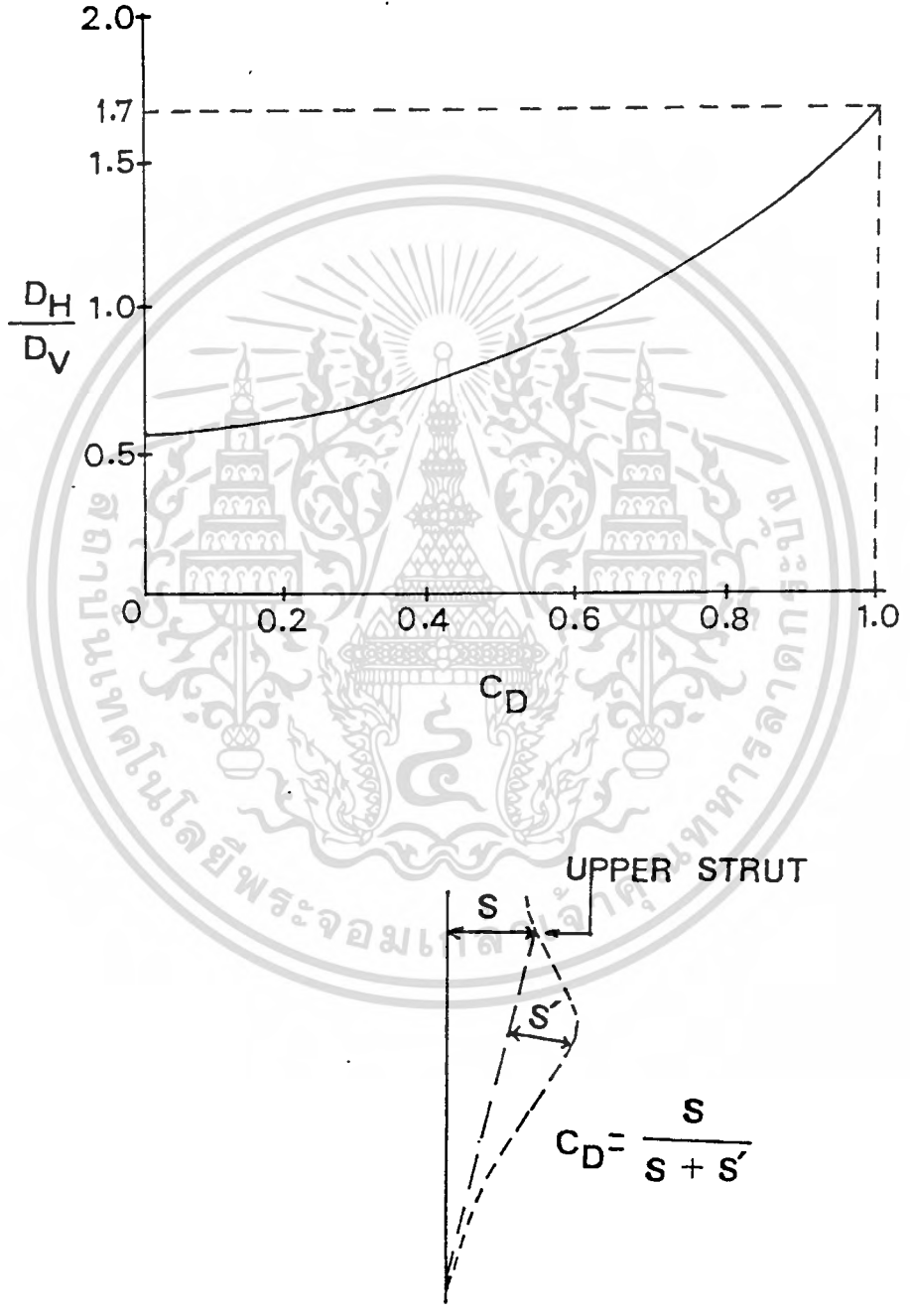
รูปที่ 2.24  
รูป Strain Field (after MILLIGAN, 1983)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.25

รูปแสดงความสัมพันธ์ของ "Movement Ratio" และ Coefficient of Deformation  
(after O'ROUKE, 1981)



$$C_D = \frac{S}{S + S'}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Estimate of Ground Loss Around Excavation

Caspe (1966) ได้ศึกษาและเสนอวิธีการประมาณการทรุดตัวของดินหลังผนัง ซึ่งการวิเคราะห์นี้จะอาศัยการโก่งตัวทางด้านข้างของผนังมาคิด และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีการของ Peck(1943) ซึ่งได้ผลออกมาใกล้เคียงกัน โดยมีวิธีการประมาณการทรุดตัวดังนี้

1. วัดการโก่งตัวทางด้านข้างของ D-Wall
2. คำนวณปริมาตรที่โก่งตัวออกไป ( $V_s$ ) โดยใช้ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ซึ่งก็จะได้เป็นปริมาตรของดินที่เคลื่อนตัวออกไป
3. คำนวณระยะทางด้านหลังผนังที่มีผลกระทบของการทรุดตัวนี้ วิธีการหาก็เสนอโดย Caspe และต้องเป็นดินประเภท Clay-Base Soil ด้วย

3.1 หาความสูงของ Wall ( $H_w$ )

3.2 คำนวณหาระยะต่ำกว่าระดับขุดดิน (Dredge Line) ( $H_p$ ) โดยจะได้  $H_p = B$  ในดินที่มี  $\phi = 0$  ส่วนดินที่มี  $\phi > 0$  ก็ใช้  $H_p = 0.5B \tan(45 + \phi/2)$

เมื่อ  $B =$  ความกว้างของการขุดดิน

$$\text{จะได้ } H_t = H_w + H_p$$

3.3 คำนวณหาระยะที่มีผลกระทบกับการทรุดตัวเป็นระยะ  $D$

$$D = H_t \tan(45 - \phi/2)$$

4. คำนวณหาผิวการทรุดตัวที่บริเวณ Wall

$$S_w = 4V_s/D$$

5. คำนวณหาระยะการทรุดตัว ระยะห่าง  $S_i$  จากผนังโดยเริ่มมาจากระยะ  $D$  ไปหาค่าแพงและสมมติให้การแปรผันเป็นแบบ Parabolic

$$S_i = S_w(X/D)^2$$

เมื่อ  $X = D - i$

ตัวอย่างการคำนวณการทรุดตัว(Settlement)จากกราฟการเคลื่อนตัวด้านข้าง(Deflection) สมมติว่าการเคลื่อนตัวมีดังในรูปที่ 2.26 เมื่อ Excavation เท่ากับ 52 ฟุต และมี  $\phi=0$  ที่ระยะ -14 ฟุตลงไป

### Solution

ขั้นที่ 1 อินทิเกรตค่า Wall Deflection ช่วงละ 1 ฟุต ที่ระยะ -1 ถึง -35 ฟุต และคำนวณค่า  $V_s$

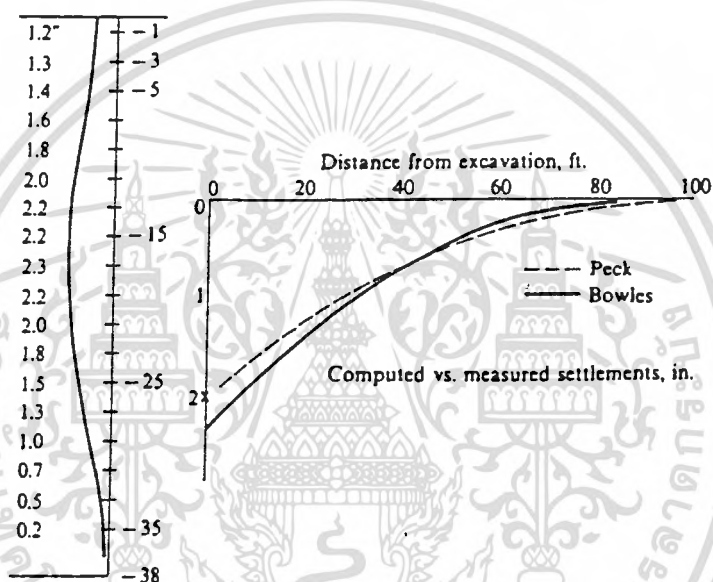
$$V_s = 2/12 * \{[(1.2+0.2)/2]+1.3+1.4+\dots+0.5\} = 4.4 \text{ ฟุต}^3$$

ระยะการทรุดตัว (Settlement-Influence Distance) จะเท่ากับ 90 ฟุต คำนวณได้ดังนี้

$$H_t = 38 + 52 = 90 \text{ ฟุต} \quad D = 90 \tan 45 = 90 \text{ ฟุต} \quad (\phi=0)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.26  
รูปการเคลื่อนตัวค้ำข้างที่นำมาโดย Caspe(1966)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ขั้นที่ 2** คำนวณค่า Ground Settlement ( $S_w$ )

$$S_w = 4.4(4)/90 = 0.196 \text{ ฟุต} = 2.35 \text{ นิ้ว} \quad (\text{วิธีของ Peck จะ ได้ } 2.04)$$

**ขั้นที่ 3** คำนวณค่า Settlement ที่ระยะ 20,40 และ 60 ฟุตจากกำแพง

$$S_{20} = 2.35(70/90)^2 = 1.42 \text{ นิ้ว} \quad (\text{Peck ประมาณ } 1.3)$$

$$S_{40} = (50/90)^2 = 0.72 \text{ นิ้ว} \quad (\text{Peck ประมาณ } 0.7)$$

$$S_{60} = 2.35(30/90)^2 = 0.26 \text{ นิ้ว} \quad (\text{Peck ประมาณ } 0.3)$$

### 2.3.2 การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน(Lateral Deformation in Soil)

ตามปกติแล้วการทรุดตัวของดินในแนวดิ่งจะเป็นตัวที่มีผลกระทบต่อความเสียหายของโครงสร้าง และค่าการทรุดตัวก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางการเคลื่อนตัวในแนวระนาบ ซึ่งค่าที่เกิดขึ้นจริง ๆ นั้นอาจจะมากกว่าค่าที่ได้ประมาณไว้ก็ได้

การศึกษานี้จะแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินนั้นก็ก็เป็นสาเหตุของความเสียหายได้เหมือนกัน เพราะการทรุดตัวก็เกิดจากการเคลื่อนตัวด้วยเหมือนกันดังนั้นค่าทั้งสองอย่างนี้ก็จะมีความสัมพันธ์กัน แต่ก็ไม่สามารถบอกได้ว่าการทรุดตัว หรือการเคลื่อนตัวจะทำให้เกิดความเสียหายมากกว่ากัน เพราะว่าในแง่ของความรู้สึกของวิศวกรแล้วคำว่าความเสียหายนี้ ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ก็ตามถือว่ามีครบถ้วน ซึ่งส่วนมากแล้วงานใต้ดินจะมีการตรวจสอบการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้างเป็นส่วนมาก เพราะจะวัดได้ง่ายและแน่นอนกว่าการวัดการทรุดตัวในแนวดิ่ง โดยเฉพาะในดินประเภท Heavily Overconsolidated Clay ซึ่งจะมีการเคลื่อนตัวด้านข้างเป็นส่วนใหญ่ เพราะว่าดินประเภทนี้จะมี Horizontal Stress หลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะเกิดขึ้นเนื่องจากการขุดดินนั่นเอง ซึ่งตามปกติแล้วการเคลื่อนตัวด้านข้างจะมีค่ามากที่สุดที่บริเวณผิวของผนัง และจะน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อห่างจากผนังออกไป ดังนั้นรูปร่างการโก่งตัวของผนังจะเกิดจากการกระจายการเคลื่อนตัวด้านข้างในมวลดิน

จากข้อมูลที่วัดในสนาม จะมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. ลักษณะการเคลื่อนตัวด้านข้างจะเป็นไปตามลักษณะการโก่งตัวของผนัง
2. การเคลื่อนตัวจะเพิ่มขึ้นตามความลึกของดินที่ขุด

#### ปริมาณของการเคลื่อนตัวของดิน

การเคลื่อนตัวด้านข้างของดินใกล้กับบริเวณที่ขุดดิน ซึ่งมีสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัว แต่จริงๆ แล้วมีความซับซ้อนมากพอสมควรที่จะทำการวิเคราะห์และแบ่งตัวแปรแต่ละอย่างเป็นข้อมูลพื้นฐานทั่วไป อย่างไรก็ตามก็จะได้อธิบายถึงตัวแปรต่างๆ ที่คิดว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้างและแนวดิ่งของดินด้านนอกบริเวณที่มีการขุด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เกิดจากการ Displacement ของผนังที่ใช้ ในที่นี้จะรวมไปถึงระบบ Bracing ด้วย ก็คือ ถ้าโครงสร้างที่มีความแข็งแรง เช่น Diaphragm wall ก็จะทำให้สามารถลดการเคลื่อนตัวของดินลงได้มาก และอีกอย่างหนึ่งคือ การติดตั้งระบบ Bracing จะต้องคิดระยะห่างของ Bracing แต่ละชั้นก็ต้องไม่ห่างกันเกินไป เพราะการเคลื่อนตัวด้านข้างจะมีความแปรผันโดยตรงกับระยะห่าง (Spacing) ของค้ำยัน(Bracing) และถ้าได้มีการเพิ่ม Stress เข้าไปกับ Bracing โดยการทำให้ Preload ด้วยแล้วจะสามารถช่วยลดการเคลื่อนตัวด้านข้างได้เป็นอย่างดี และอีกตัวแปรหนึ่งที่น่าจะมีผลกับประเทศไทยคือ อุณหภูมิที่ร้อนมากจะทำให้เกิด Strain ใน Bracing ได้ง่ายขึ้นเมื่อรับแรงดันในแนวด้านข้างมาก ๆ

2. การเคลื่อนตัวจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า Shear Strength ( $S_u$ ) ของดิน เพราะค่า  $S_u$  นี้จะเป็นความสามารถในการต้านทานแรงเฉือนของดินแต่ละชนิด ถ้าดินมีค่า  $S_u$  มากก็แสดงว่าจะมีเสถียรภาพมากขึ้นด้วย ซึ่งจะไม่ทำให้เกิด Lateral Strain มากเกินไปเมื่อมีการขุดเอาดินออกและจะไม่ทำให้เกิดการรูด หรือ Heave ขึ้นที่พื้นล่างของการขุดด้วย เพราะว่าดินที่พื้นล่างมีกำลังต้านทานแรงเฉือนได้เพียงพอ และจะทำให้แรงดัน  $O_h$  ทางด้าน Passive Pressure ลดลงด้วย เพราะว่าเมื่อขุดดินออกก็แสดงว่าเป็นการลด Vertical Stress ( $\sigma_v$ ) ซึ่ง  $O_h$  ก็จะลดลงด้วยตาม  $K_o$  ( $K_o = \sigma_v / O_h$ ) ซึ่งในการก่อสร้างเราจะแก้ปัญหาในกรณีนี้ได้โดยการขุดตรงกลางของพื้นที่ขุดออกก่อน แล้วทำฐานรากตรงกลางก่อน ซึ่งน้ำหนักของฐานรากจะช่วยเพิ่ม Vertical Stress ได้

3. ขึ้นอยู่กับ Stiffness (EI) ของโครงสร้างที่นำมาเป็น Retaining Wall เพราะถ้าเกิดนำโครงสร้างที่เป็น Flexible Structure เช่น Sheet-pile มาใช้ ก็จะเกิดการโก่งตัวได้ง่ายกว่าโครงสร้างที่ Rigid กว่า เช่น Diaphragm wall (D-wall) และมีผลให้ดินบริเวณรอบๆ ที่ขุดเคลื่อนตัวตามไปด้วย แต่โครงสร้างที่เป็น Flexible ก็สามารถทำให้ Rigid ได้โดยการเพิ่ม Bracing เข้าไปในระบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งอาจจะสามารถที่จะลดการเคลื่อนตัวได้มากกว่า D-wall ก็ได้

4. ผลกระทบด้าน Surchage ซึ่งจะทำให้แรงดันด้านข้างเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินได้มากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณขุดที่อยู่ใกล้ถนนหรือมีรถวิ่งอยู่รอบๆ บริเวณขุดจะต้องออกแบบ Retaining Wall เพื่อให้รับแรงดันที่เกิดจาก Surchage ด้วย

5. เทคนิคและขั้นตอนการก่อสร้าง ซึ่งมีความสำคัญต่อพฤติกรรมของดิน และในการทำงานต้องทำตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ และการติดตั้งระบบ Support ต่างๆ ต้องให้แน่นหนา เช่น Strut , Raker และ Wale และทำการ Preload ตามเปอร์เซ็นต์ของแรงดันด้านข้างเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของผนังได้อีกส่วนหนึ่ง และก่อนที่จะทำการติดตั้ง Strut นั้นก็ควรจะทำ Earth Berm ไว้เป็น Temporary Support ก่อนซึ่งจะช่วยป้องกันการเคลื่อนตัวได้เล็กน้อยเท่านั้น อีกทั้งต้องติดตั้ง Bracing อย่างรวดเร็วไม่ปล่อยให้เวลาผ่านไปนานๆ เพราะการเคลื่อนตัวก็จะเกิดขึ้นเรื่อยๆ ตามเวลา

### 2.3.3 ผลกระทบของ Wall Stiffness ต่อการเคลื่อนตัวด้านข้างในดินเหนียว

Wall Stiffness ในที่นี้ไม่ได้หมายถึงเฉพาะตัวโครงสร้างกำแพงเท่านั้น แต่จะรวมถึงระบบค้ำยันต่างๆ และระยะห่างระหว่าง Wall ในแนวตั้งด้วย การวัดความแข็งแรงของผนังจะอยู่ในรูปของ Rowe's Flexibility Number สำหรับผนัง คือ  $EI / L^4$

เมื่อ  $E =$  Modulus of Elasticity of Wall

$I =$  Moment of Inertia of Wall

$L =$  Vertical Spacing between Support Level

โดยปกติแล้ว D-Wall จะมีค่าความแข็งแรง(EI) มากกว่า Sheet-pile และถ้ามีการเปรียบเทียบระยะห่างของ Wall ด้วยแล้วก็จะยิ่งมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถ้าหาก Sheet-pile มี Bracing ที่มากพอก็จะมีค่าความแข็งแรงกว่า D-Wall ก็ได้

แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาจะเห็นว่า D-Wall จะลดค่าการเคลื่อนตัวในดินอ่อนถึงดินเหนียวแข็งได้มากกว่าการใช้ Sheet-pile ที่เดียว ความพยายามที่จะศึกษาถึงผลกระทบของความแข็งแรงของผนังกับการเคลื่อนตัวของดินนี้ เราจะได้เขียนกราฟออกมาในรูปของ Stability Number ( $N = \gamma H / S_u$ ) [ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง Overburden Stress ( $\gamma H$ ) กับค่า Undrained Shear Strength ( $S_u$ )] และ Stiffness Factor ( $EI / L^4$ ) ซึ่งจะเป็นการหาความสัมพันธ์ของกำลังหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดิน

จากการวัดหาความสัมพันธ์ของกำลังหรือการเคลื่อนตัวของดินจะได้ว่า

1. การเคลื่อนตัวทางด้านข้างจะมีค่ามากกว่าการทรุดตัวในแนวตั้ง ถ้าหากว่ายังไม่มีการ Consolidated Settlement
2. ค่า  $N$  ที่คำนวณได้มากที่สุดจะแปรผันตาม  $S_u$  โดย  $H$  เป็นความลึกที่จุดต่ำสุดระหว่างชั้นดินเหนียวที่กระทำกับ Wall
3. ความแข็งแรงของ Wall จะมีพื้นฐานมาจากระยะ Spacing ระหว่าง Wall ถ้า  $N$  ที่เกิดขึ้นมีค่ามากที่สุดในช่วงการขุดดิน ค่า  $L$  ก็จะคำนวณมาจากค่าระยะห่างระหว่าง Wall และบวกเพิ่มไปอีก 2 ฟุต (for overcut) แต่ถ้า  $N$  มากที่สุดที่ระดับการขุดดิน (Base Excavation) ค่า  $L$  จะคำนวณจากระยะระหว่าง Strut ชั้นล่างสุดกับระดับการขุดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### Diaphragm Wall

#### 3.1 เทคนิคการก่อสร้าง D-Wall

1. Survey เพื่อหาแนวโดยกำหนดค่าพิกัด x,y ของแนวกำแพงจากแนวอ้างอิง

2. ทำ Guide Wall เพื่อกำหนดแนวของกำแพง และควบคุมให้การขุดกำแพงเป็นไปในแนวตั้ง จุดประสงค์ของ Guide Wall ก็เพื่อที่จะรักษาปากหลุมขุด(Trench) ตรงบริเวณที่ถูกดินจากแรงเนื่องจากน้ำหนักของอุปกรณ์ เป็นการรักษาปากหลุมให้คงที่ ไม่เปิดกว้างจากผลของ Grab ที่อาจจะไม่ตรงตำแหน่งในตอนเริ่มขุด และไม่เปิดกว้างจากการบีบ Bentonite ใหม่ลงไป ในหลุม นอกจากนี้ยังใช้กับ Grab ให้ขุดได้ตรงตำแหน่งตามเส้นทางและให้ได้ค้ำด้วย

3. เริ่มขุดดินโดยใช้ Grab ในการขุดจะมี Bentonite Slurry อยู่ในหลุมตลอดเวลาตั้งแต่เริ่มขุดเพื่อป้องกันการพังของหลุมขุด วิธีการขุดคล้ายการทำเสาเข็มเจาะจะต่างกันที่การใส่เหล็กเสริมของกำแพงกันดินจะใส่เหล็กตลอดความยาวของกำแพง สำหรับลำดับการขุดจะขุด Primary panel ก่อนแล้วทำงานเสร็จกระบวนการจึงจะเริ่มทำ Secondary panel ที่อยู่ระหว่าง Primary panel หลังจากขุดดินเสร็จแล้วจะใส่ท่อ Tremie pipe ลงก้นหลุม แล้วใช้ปั๊มต่อกับท่อ Tremie pipe เพื่อทำ Air lift ดูทรายจากก้นหลุมพร้อมกับ Bentonite จากนั้นจึงนำไปเข้าเครื่อง Desander ทำการแยกทรายออกจาก Bentonite โดยระหว่างการทำ Air lift จะมีการเติม Bentonite Slurry ที่ผ่านการ Desand แล้วกลับลงไป ในหลุมขุดตลอดเวลา

ในที่ที่มีโอกาสจะขุดแนวง่าย เช่น ดินที่นิ่มมากหรือแข็งมากอาจทำการเจาะนำที่ปลาย panel ในการขุดทั่วไปจะมีการขุดค้ำริมของ panel แรกก่อนและเอาส่วนกลางออกทีหลัง ความเร็วในการขุดจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ ความลึก(ควบคุมเวลาในการขึ้นลงของ Grab) ความแข็งของชั้นดิน การเสียหายของอุปกรณ์ ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ ฯลฯ โดยทั่วไปการขุดโดย Grab จะขุดได้ถึงชั้น Stiff Clay แต่ความสามารถในการขุดจะลดลงเมื่อความลึกมากขึ้น สำหรับดินที่แข็งขึ้นต้องใช้ Special cable - suspended Grab และใช้ Chisel ช่วยเจาะ ถ้าเป็นพื้นที่ที่แข็งมากจะใช้ Rotary - percussive drilling machine หรือ Hydrofraise

#### อัตราการขุด ในชั้นดินทราย

Cable Controlled Grab	สามารถขุดได้	1.3	ม <sup>2</sup> /ชม.
Reverse Circulatory Bit Drill	"	1.7	ม <sup>2</sup> /ชม.

#### ในชั้นดินเหนียว

Kelly Bar Controlled Grab	"	2.5	ม <sup>2</sup> /ชม.
Cable Controlled Grab	"	1.8	ม <sup>2</sup> /ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขนาดของ panel

ขนาดของ panel ถูกจำกัดด้วยปัจจัยหลายตัว ความกว้างของหลุมจะขึ้นอยู่กับขนาดของอุปกรณ์ขุด ความกว้างอย่างน้อย 50 ซม. เพื่อให้ใส่ท่อ Tremie ได้

ปริมาตรของ panel ถูกกำหนดไว้ที่ 130 ม<sup>3</sup> ในเมืองสำหรับท่อ Tremie เคียวเพื่อที่จะสามารถเทคอนกรีตได้ภายใน 4 ชม. ก่อนที่คอนกรีตจะเริ่มแข็งตัว แต่ในปัจจุบันนี้นิยมใช้ท่อ Tremie 2-3 ท่อ จึงต้องมีการวางแผนการส่งคอนกรีตให้ต่อเนื่อง และทำให้เกิดความสูงของคอนกรีตรอบๆแต่ละท่อใกล้เคียงกัน

ความสูงของ panel ขึ้นอยู่กับ Soil Stability อย่างไรก็ตามหากมี joint มากก็มีโอกาสที่จะเกิดการ Seepage ได้สูง

4. หลังจากทำความสะอาดกันหลุมเสร็จแล้วก็จะใส่ Stop End Element ลงทั้งสองข้างของหลุมเจาะ เพื่อเป็นแบบทางด้านข้างและเป็นที่ยึด Water Stop จากนั้นจึงทำการลงเหล็กเสริมเนื่องจากเหล็กเสริมมักจะมีควมขวมมาก จึงต้องแบ่งออกเป็นช่วง หย่อนลงทีละช่วงแล้วเชื่อมติดกัน และใน panel ที่ต้องติดตั้งท่อ Inclinator เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนตัวของดิน ก็จะมีการติดตั้งไว้ติดกับเหล็กเสริมด้วย โดย Inclinator จะทำการอ่านค่าระยะที่กำแพงกันดินเคลื่อนตัวทางด้านข้างเนื่องจากแรงดันดินที่ระดับความลึกต่างๆ

5. ต่อจากนั้นก็ใส่ท่อ Tremie ลงไปเพื่อเทคอนกรีต โดยความต่อเนื่องของคอนกรีตเป็นสิ่งสำคัญมาก การเทควรจะทำให้เสร็จใน 4-6 ชั่วโมง การขาดความต่อเนื่องจะเป็นโอกาสให้เกิดชั้นของ Slurry Cement ขึ้น ซึ่งเวลาที่ขอมให้สูงสุดประมาณ 30-40 นาที ถ้ามากกว่านี้อาจจะเกิดการเซตตัวของคอนกรีตก่อนที่จะเทเสร็จ

คอนกรีตจะต้องมี Workability และ Fluidity สูง เพื่อให้สามารถไหลลงได้อย่างดีและท่อ Tremie จะต้องฝังอยู่ในเนื้อคอนกรีตอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

ปริมาณคอนกรีตอย่างน้อยต้องมีปูนซีเมนต์ 400 กก./ม<sup>3</sup> (British Codes)

Minimum Slump 15 ซม.

กำลังคอนกรีต 320 กก./ม<sup>3</sup>

6. เมื่อทำกำแพงกันดินจนครบแล้วจึงทำ Capping Beam เพื่อรัดกำแพงกันดินแต่ละ panel เข้าด้วยกัน และทำให้ Settlement เกิดขึ้นเท่ากัน สำหรับการออกแบบ Capping Beam จะเป็นเสมือนคานที่มี Secondary panel เป็น load กระทำ แล้วจึงถ่ายน้ำหนักไปสู่ Primary panel ซึ่งเป็นเหมือนที่รองรับอยู่ทั้งสองข้าง

## 3.2 การประยุกต์ใช้ D-Wall ในการก่อสร้างระบบต่างๆ

### 3.2.1 D-Wall with Top-Down Method

ในการก่อสร้างโดยทั่วไปจะต้องการขุดดินให้ถึงความลึกที่กำหนดให้เร็วที่สุด เพื่อจะสร้างฐานรากและเริ่มทำ Lift Core และพื้นให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การก่อสร้างระบบ Top-Down Method ทำได้โดยการออกแบบ Top-Down D-Wall โดยสร้างพื้นชั้นใต้ดิน (Basement Floor) จำนวนเล็กน้อยเพื่อเป็นค้ำยันระหว่างการขุด เช่น ดังในรูปที่ 3.1 จะแสดงการสร้างพื้นชั้นใต้ดินเพียง 3 ชั้นระหว่างการทำ Top-Down ฐานรากจากจำนวนทั้งหมด 6 ชั้น และชั้นที่เหลือจะสร้างจากข้างล่างขึ้นมา (Bottom-Up)

นอกจากเพื่อเป็นการลดงานในระหว่างการทำ Top-Down แล้ว วิธีนี้ยังทำให้เกิดพื้นที่ขนาดใหญ่ทำให้สะดวกในการขุดดิน ในตัวอย่างจะเห็นว่ามีความสูงของชั้นถึง 5 เมตร ซึ่งทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือพิเศษอะไรในการก่อสร้าง

ปัญหาอย่างหนึ่งของระบบ Top-Down คือการก่อสร้าง Lift Core ดังนั้นโดยทั่วไปจึงทำเป็นช่องเปิดของพื้นรอบ Lift Core ระหว่างการทำ Top-Down ช่องเปิดของ Lift Core จะทำให้มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยตัวที่จะจำกัดขนาดของช่องเปิดคือ Compressive Stress ที่บริเวณวิกฤตของพื้นรอบๆช่องเปิด

ปัจจุบันการก่อสร้างชั้นใต้ดินลึกๆในกรุงเทพฯจะต้องระมัดระวังไม่ให้เกิด Deflection มากจนทำให้เกิดความเสียหายแก่อาคารข้างเคียง ซึ่ง Sheet Pile ไม่สามารถจะควบคุม Deflection ให้อยู่ภายในที่กำหนดได้ แต่ D-Wall จะสามารถทำได้ซึ่งเป็นผลมาจาก 2 ประการ คือ

1. D-Wall นั้นแข็งแรงมาก โดย D-Wall ที่หนา 0.8 เมตร จะมี Flexural Rigidity (EI) ประมาณ 5 เท่าของ Sheet Pile ที่แข็งแรงที่สุด (หนา 1.0 เมตร จะแข็งแรงเป็น 10 เท่า)

2. การใช้พื้นคอนกรีตเป็นค้ำยันในระบบ Top-Down จะช่วยลดการเคลื่อนตัวลงได้มาก เช่นพื้นหนา 0.3 เมตรจะแข็งแรงเป็น 10 เท่าของ Steel Bracing ที่ออกแบบให้รับแรง 50 t/m

ตัวอย่างระบบนี้ได้แก่ โครงการ Green Tower, โครงการ D.S.P.A Project

### 3.2.2 D-Wall with Up-Down Method

วิธีนี้เป็นวิธีที่ได้ประยุกต์ต่อมาจากการทำ Top-Down วัตถุประสงค์เพื่อจัดลำดับการก่อสร้างของส่วนของโครงสร้างที่ต่าง ๆ กัน เพื่อให้อาคารทั้งอาคารสร้างเสร็จเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งทำได้โดยการก่อสร้างทั้งบนดิน (Superstructure) และใต้ดิน (Substructure) ไปพร้อม ๆ กัน

ข้อดีของการก่อสร้างระบบนี้คือ สามารถสร้างส่วนที่อยู่บนพื้นดินให้แล้วเสร็จได้เร็ว

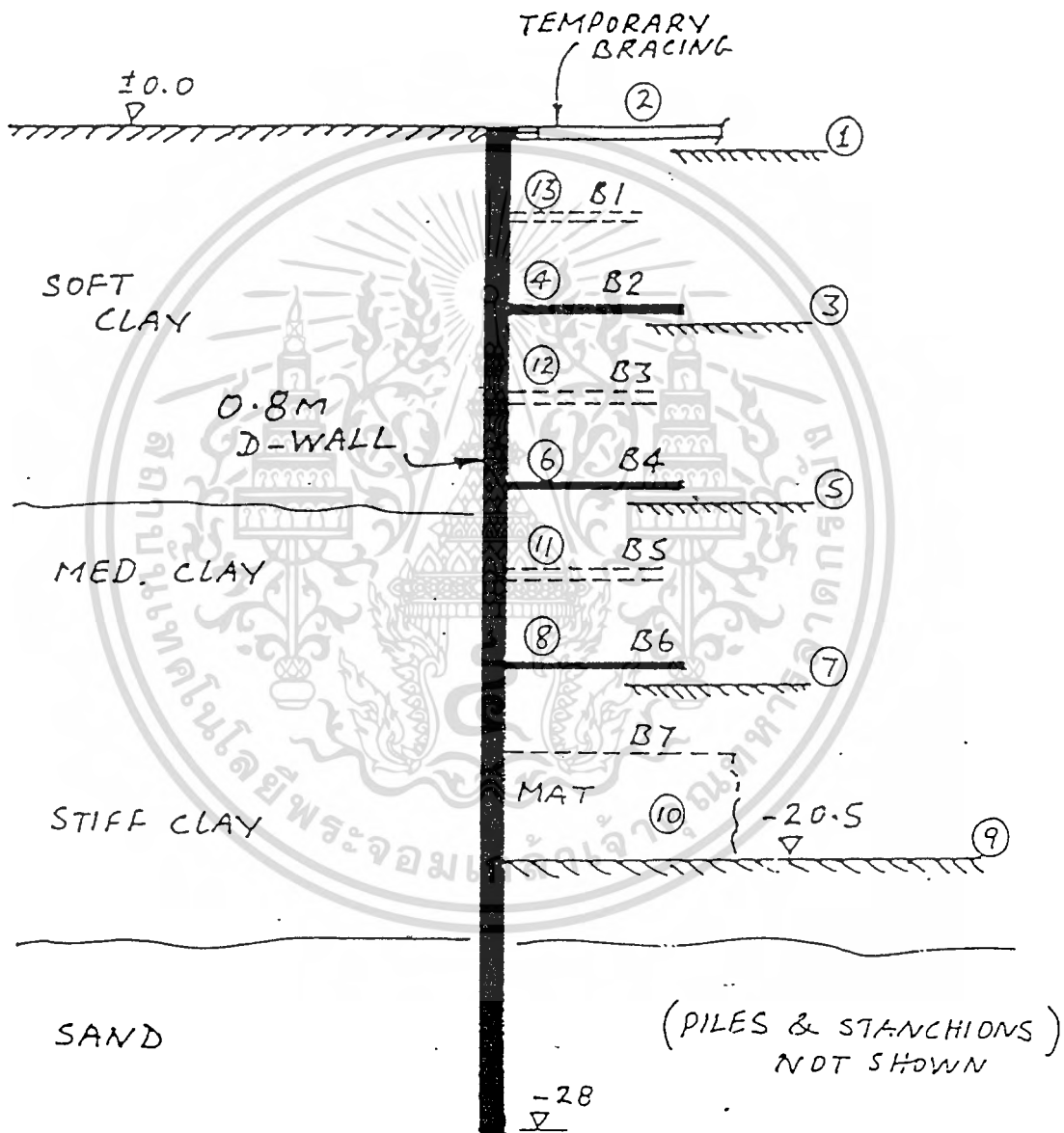
กว่าการสร้างจากล่างขึ้นมา (Bottom-Up) เพราะส่วนบนสามารถเริ่มทำได้ก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.2 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานระบบ Up-Down

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1

แสดงตัวอย่างลำดับการก่อสร้าง Top-Down สำหรับการขุดชั้นใต้ดิน 7 ชั้น

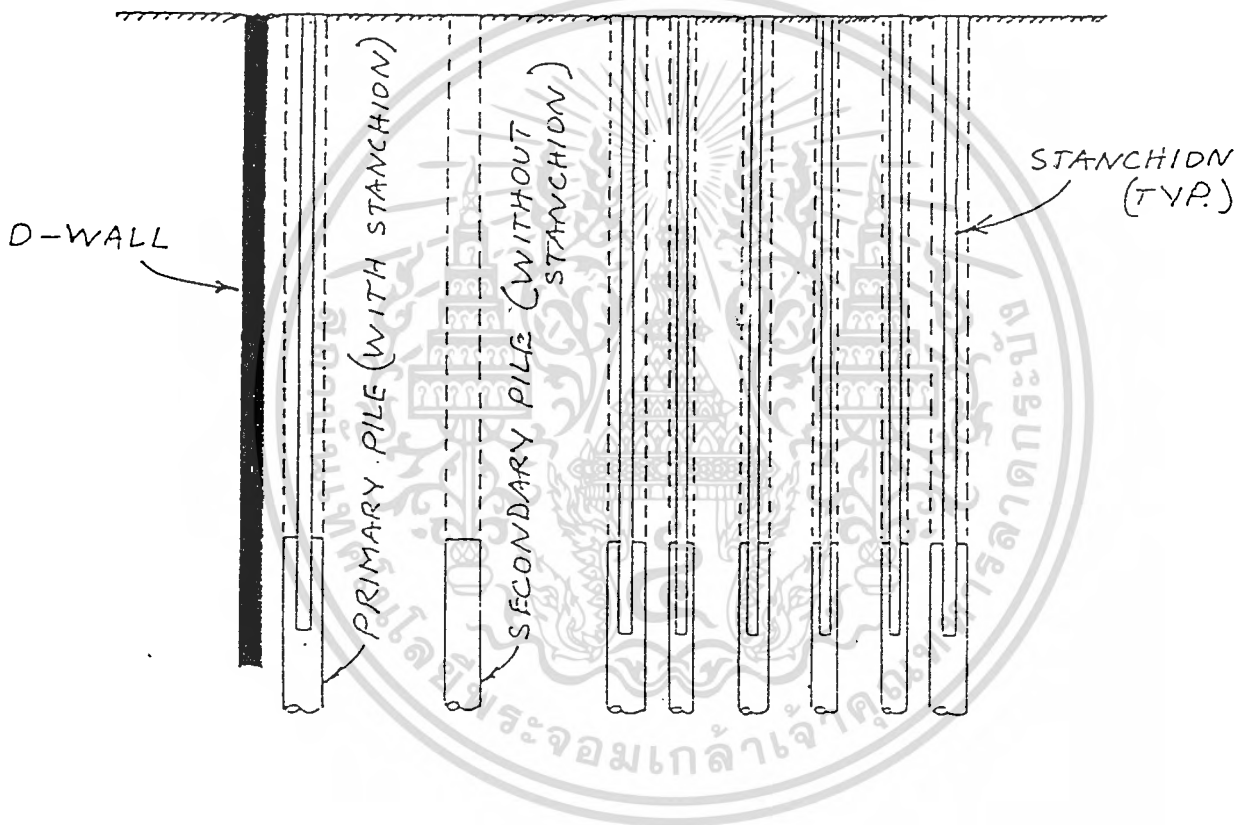


1 - 9 = TOP-DOWN SEQUENCE

10 - 13 = BOTTOM-UP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2  
แสดงขั้นตอนการก่อสร้างระบบ Up-Down

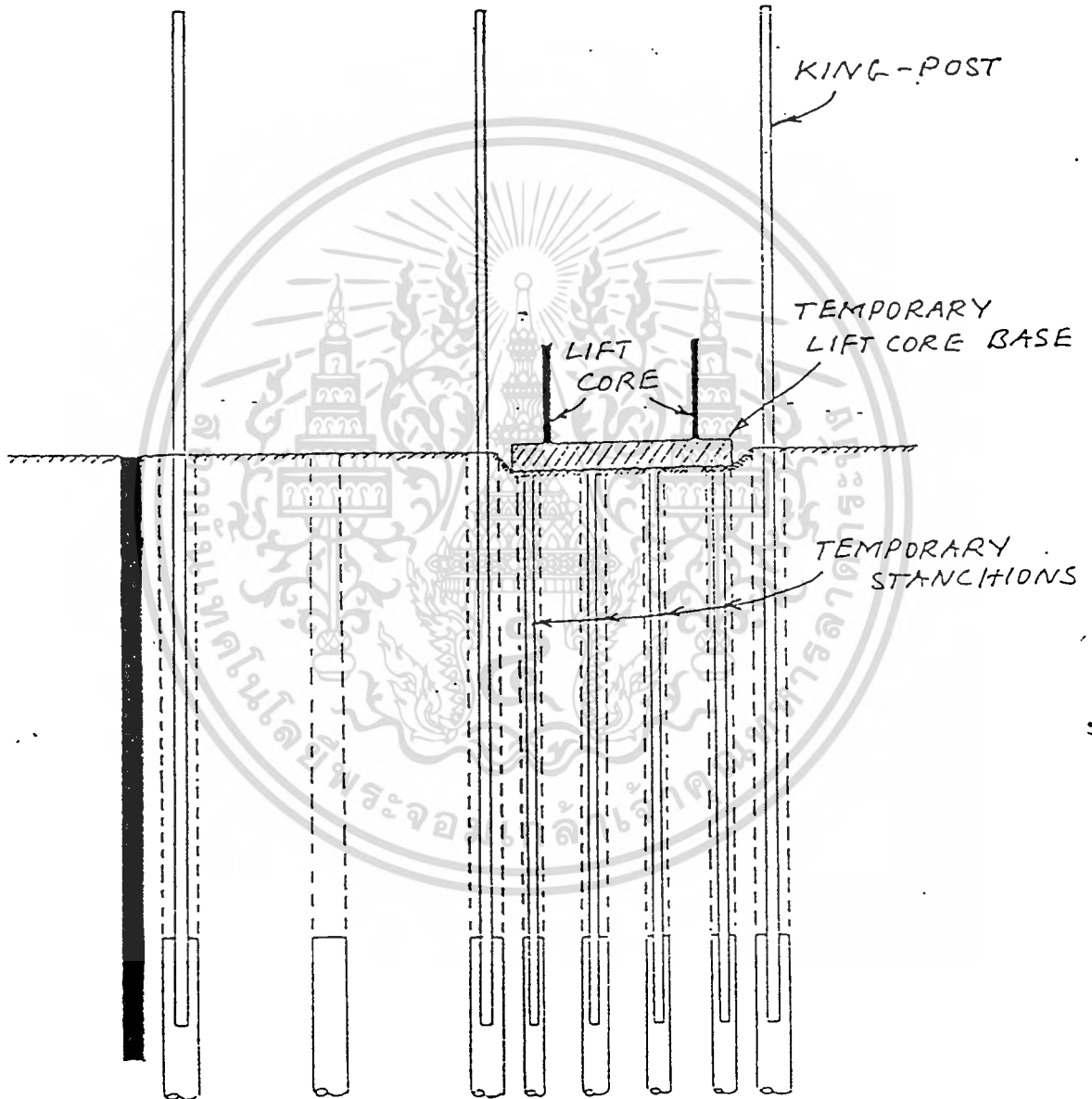


- สร้าง D-Wall

- สร้าง Bored pile และ Stanchion

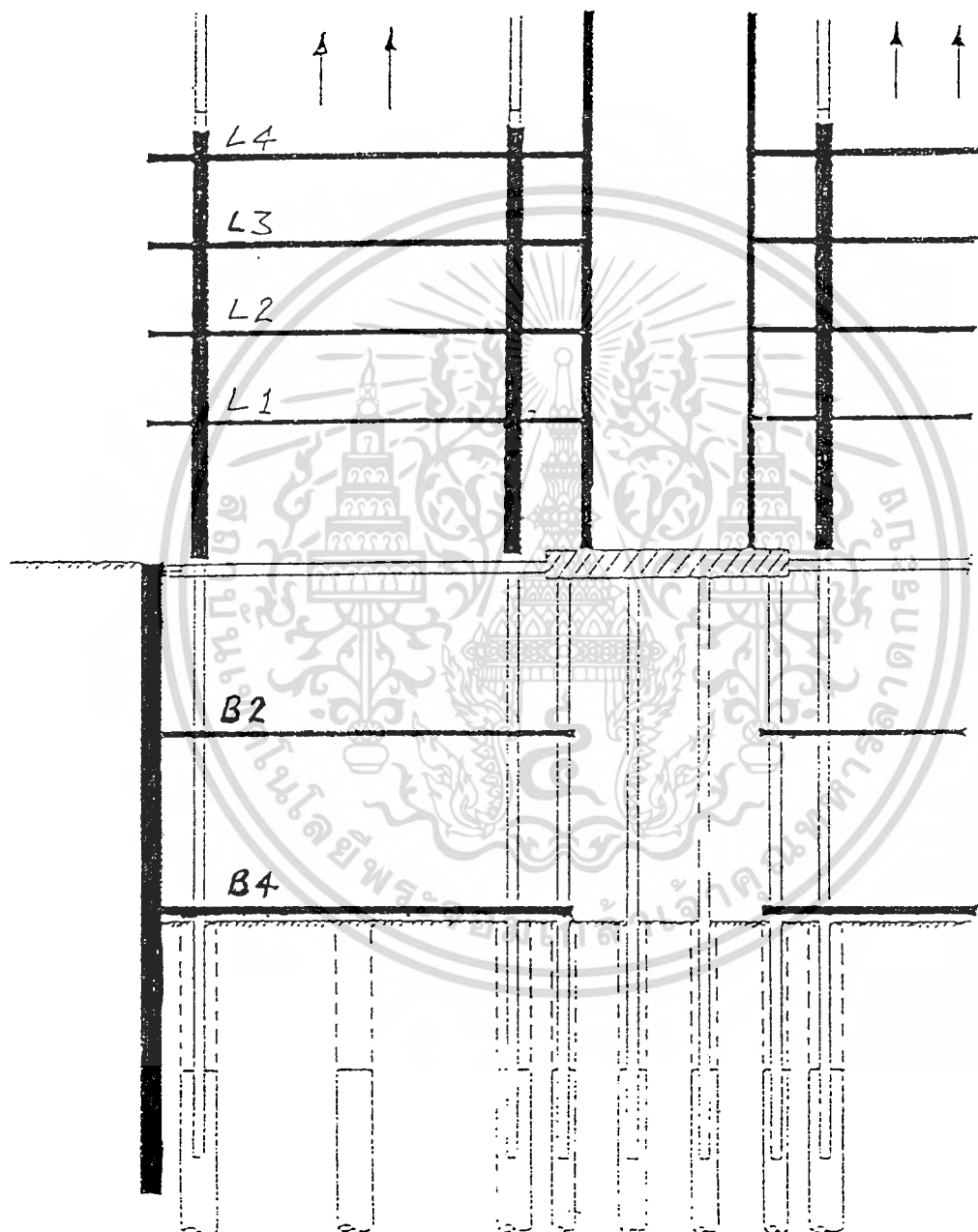
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2(ต่อ)  
แสดงขั้นตอนการก่อสร้างระบบ Up-Down



- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
- สร้างฐาน lift core ชั่วคราว
  - เริ่มสร้าง lift core ขึ้นข้างบน
  - ติดตั้งเสาเหล็ก King post เหนือ stanchion

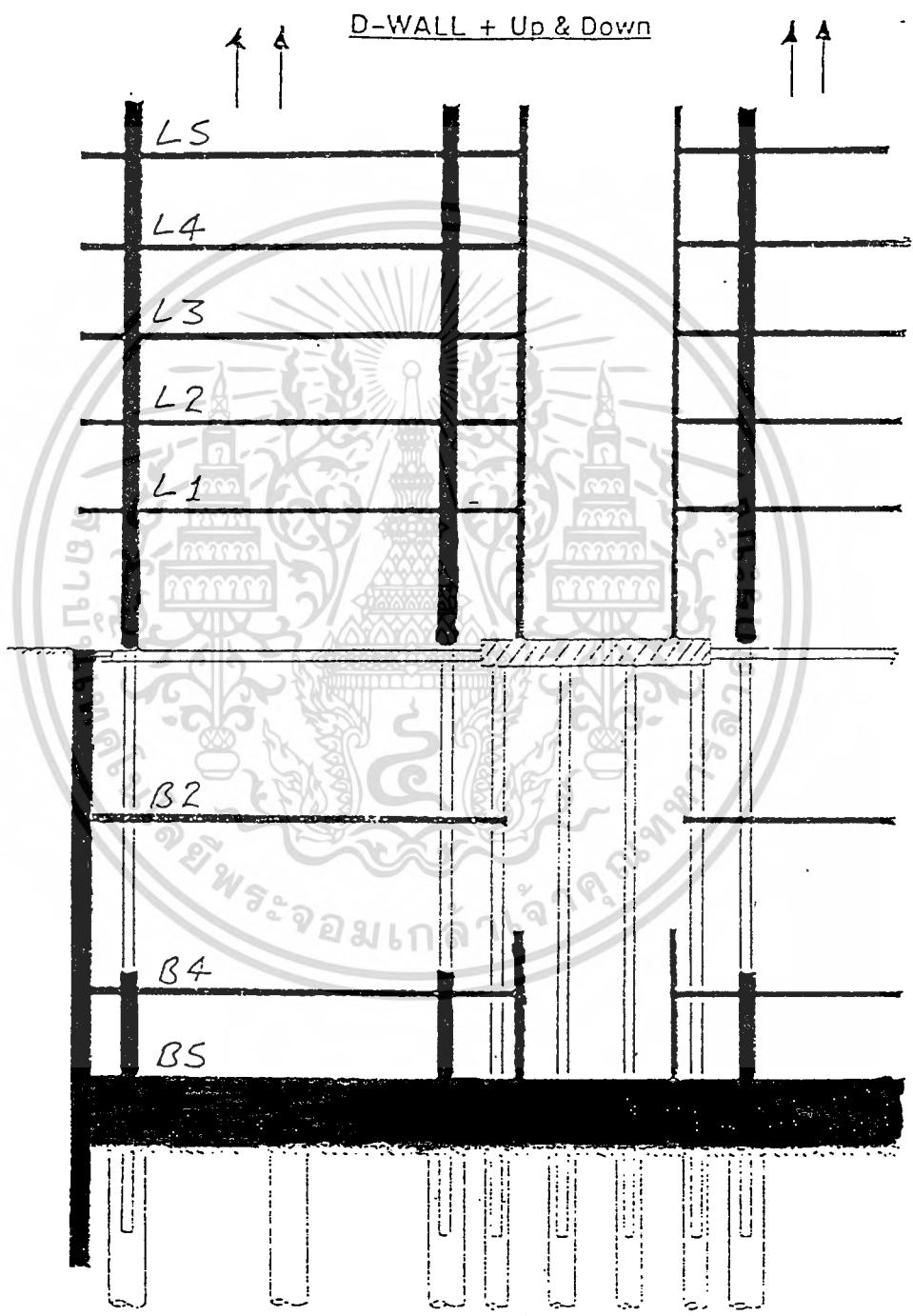
รูปที่ 3.2(ต่อ)  
แสดงขั้นตอนการก่อสร้างระบบ Up-Down



- สร้างส่วนเหนือพื้นดินขึ้นไปเรื่อย ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **ชุดดินและหล่อพื้น B4** นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

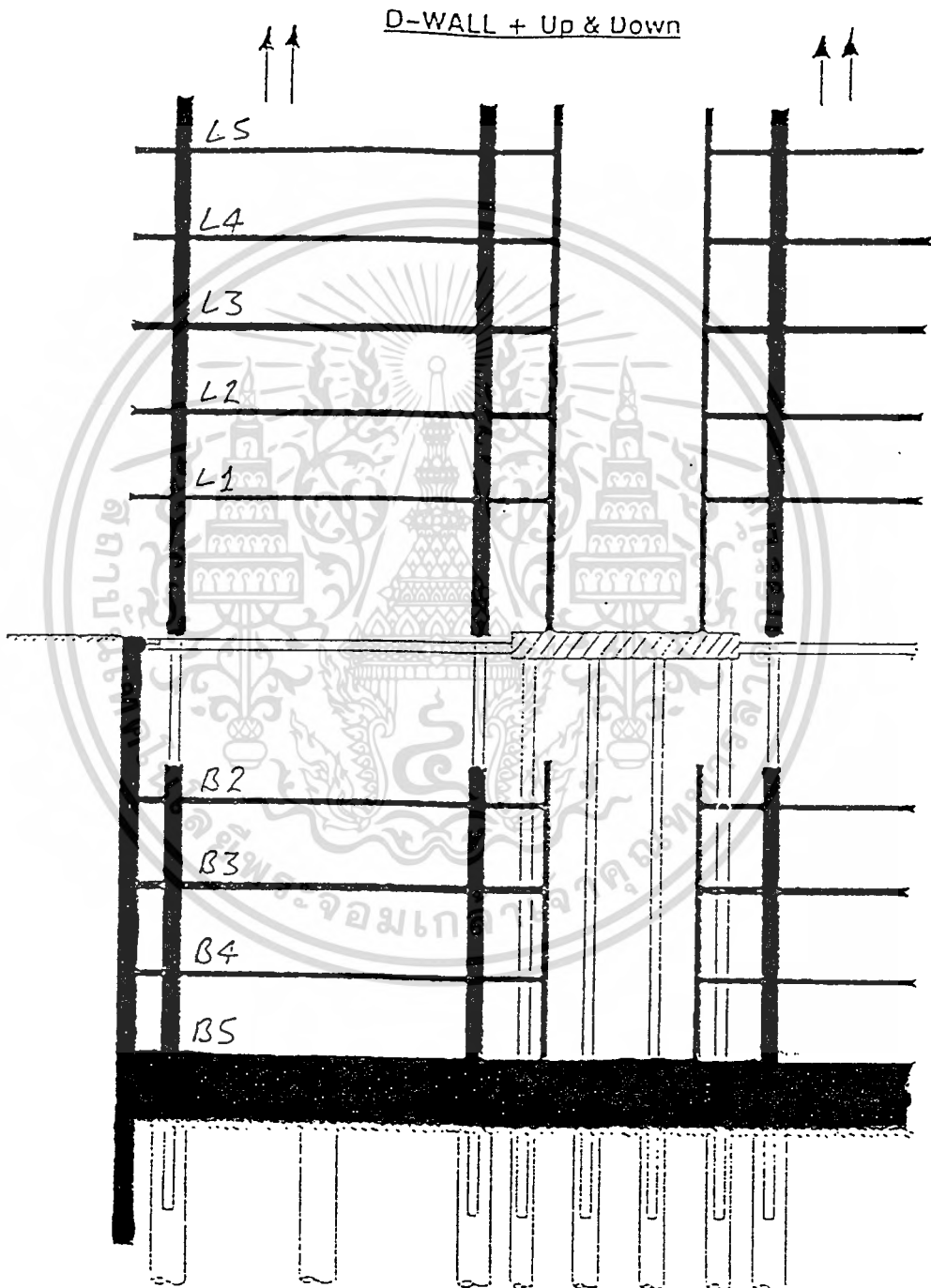
รูปที่ 3.2(ต่อ)  
แสดงขั้นตอนการก่อสร้างระบบ Up-Down



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ - สร้างส่วนเหนือพื้นดิน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง - บุคคลจนถึงฐานรากและหล่อฐานรากอาคารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 - เริ่มก่อสร้างส่วนเหนือฐานราก, lift core, เสาคอนกรีต  
 รอบ stanchion

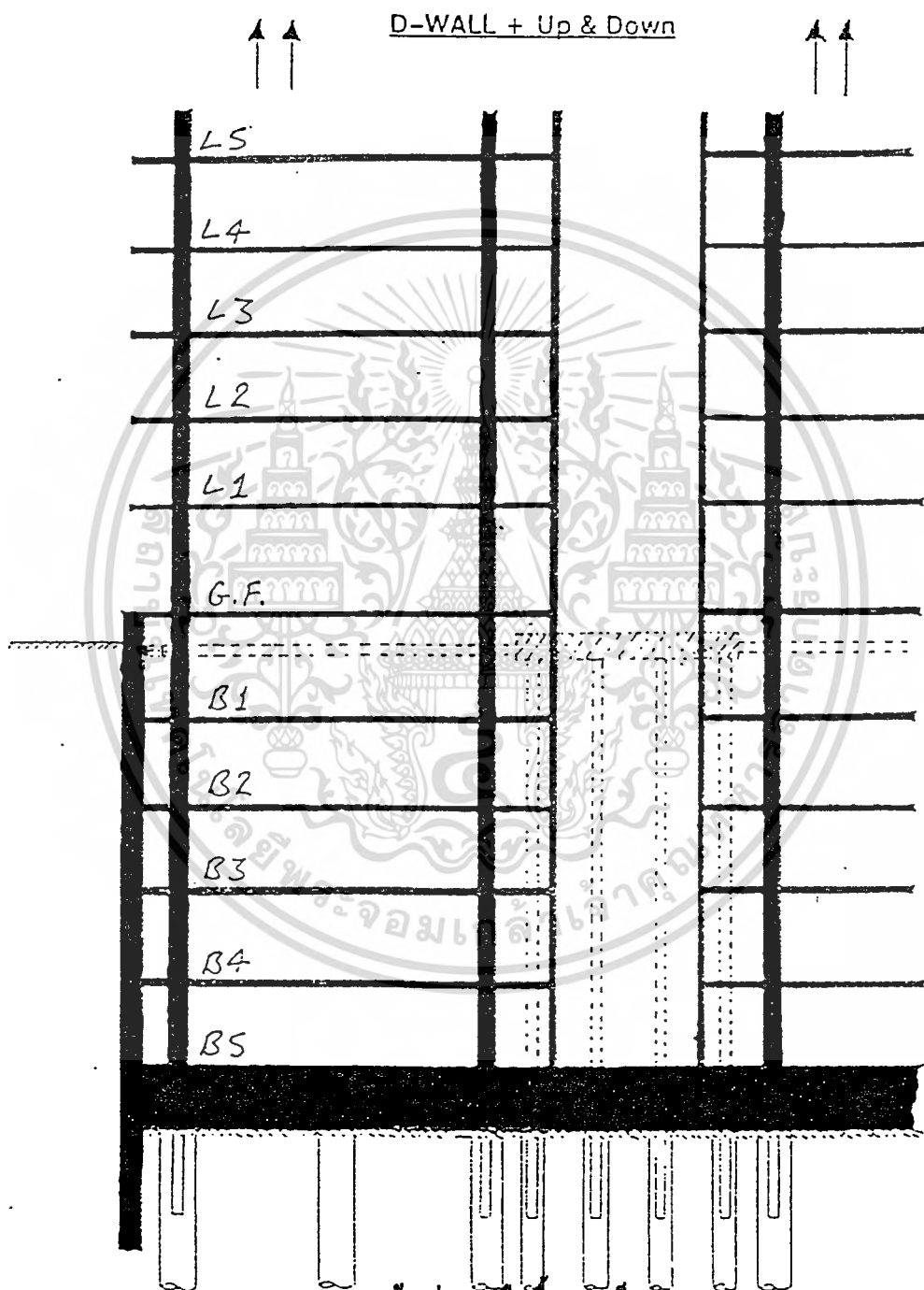
รูปที่ 3.2(ต่อ)

แสดงขั้นตอนการก่อสร้างระบบ Up-Down



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ - สร้างส่วนเหนือพื้นดินต่อไป  
 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาใดๆ โดยไม่ขออนุญาต  
 - สร้างส่วนใต้พื้นดินขึ้นมา, lift core , เสา , พื้นชั้น B3

รูปที่ 3.2(ต่อ)  
แสดงขั้นตอนการก่อสร้างระบบ Up-Down



- สร้างส่วนเหนือพื้นจนเสร็จ

- หล่อพื้นชั้น B1

- เชื่อมส่วนบนและส่วนล่างของ lift core

- ขยายฐาน lift cor, stanchion, bracing ออก

- หล่อพื้นชั้นหนึ่ง(Ground floor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) **Primary and Secondary Piles** ส่วนมากน้ำหนักบริเวณ Tower ของอาคารจะต้องใช้เข็มหลายต้นรับน้ำหนักจากเสาแต่ละต้น เข็มเหล่านี้จะเป็น Primary Pile และจะมี Stanchion เสียบอยู่บน Primary Pile ระหว่างการก่อสร้างเข็ม แต่ Secondary Pile จะไม่มี Stanchion

ระหว่างการขุดใต้ดินน้ำหนักของโครงสร้างด้านบนจะถ่ายผ่าน Stanchions ลงสู่ Primary Pile ขณะที่ Secondary Pile ไม่รับแรงใด ๆ แต่เมื่อก่อสร้างฐานรากเสร็จ Secondary จึงจะเริ่มรับแรง แต่ในทางปฏิบัติจำนวนชั้นที่จะสร้างขึ้นก่อนที่จะเทฐานรากจะถูกจำกัดโดยความสามารถในการรับน้ำหนักของ Primary Pile

2) **Temporary Lift Core Stanchion** ที่ฐานชั่วคราวของ Lift Core จะต้องใช้ Stanchion จำนวนหนึ่งรองรับ Stanchion เหล่านี้จะยื่นอยู่บนเข็มที่ไม่ได้อยู่ในแนวของ Lift Core ดังนั้นการก่อสร้าง Lift Core ส่วนที่อยู่ใต้ดินจึงสามารถทำได้จากล่างขึ้นบน ขณะที่ Stanchion จะทำหน้าที่รับน้ำหนักของ Lift Core ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน เมื่อสร้าง Lift Core จนเชื่อมติดกันแล้วจึงตัด Stanchion ออกได้ และ Primary Pile ก็จะได้รับน้ำหนักจากฐานรากเป็นส่วนของฐานรากต่อไป

ตัวอย่างของระบบนี้ได้แก่ โครงการ Silom Precious Tower

### 3.2.3 D-Wall with Internal Bracing

ระบบนี้จะทำการ Bracing ภายในบริเวณที่ขุดดินเหมือนกับในระบบของ Sheet Pile ซึ่งจะทำให้ D-Wall มีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น วิธีการก่อสร้างจะทำการขุดดินถึงระดับที่ออกแบบไว้แล้วทำการติดตั้ง Bracing(B1) หลังจากนั้นจึงขุดดินต่อไปเมื่อถึงระดับที่ออกแบบไว้ก็จะทำการติดตั้ง Bracing(B2) อีกทำเช่นนี้จนถึงระดับฐานรากจึงทำการหล่อฐานราก แล้วจึงก่อสร้างพื้นเป็น Bracing แทนก่อนที่จะทำการถอด Bracing ออกต่อไป โดยระบบนี้จะสามารถช่วยลดการเคลื่อนตัวด้านข้างได้ด้วยการทำการ Preload แก่ Bracing(Strut) หลังจากติดตั้งเสร็จก่อนที่จะเริ่มรับแรง แต่ระบบนี้ก็อาจทำให้การทำงานเกิดความไม่สะดวกเพราะมี Strut กีดขวางในการทำงานอยู่มาก ตัวอย่างของระบบนี้ได้แก่ โครงการ EXTEL PLAZA, โครงการ PRESIDENT TOWER, โครงการ ROJANA TOWER

### 3.2.4 Self-Stable(Free Standing) D-Wall

ระบบนี้จะทำการขุดดินจนถึงระดับที่ต้องการทำฐานรากโดยที่ไม่ต้องมีการค้ำยันใดๆ ซึ่งจะทำให้มีความสะดวกและรวดเร็วในการทำงาน แต่ระบบนี้จะต้องมีการออกแบบ D-Wall ให้สามารถรับแรงได้อย่างปลอดภัย เช่นในโครงการ Siam Commercial Bank Phase II&III ได้ออกแบบให้ D-Wall เป็นรูป T Shape ซึ่งส่วนปีก(Flange) มีความลึก 18 เมตร ในขณะที่ส่วน Stem มีความลึกถึง 30 เมตร เพื่อที่จะให้สามารถขุดดินได้ลึก 10.0 เมตรโดยไม่ต้องมีค้ำยัน

## บทที่ 4

### การวัดการเคลื่อนตัวด้านข้าง

#### 4.1 การติดตั้งระบบ Inclinometer

##### 4.1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทำการวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพงในทิศทางตั้งฉากกับแนวกำแพง ขณะที่ทำการขุดดินด้านภายในกำแพงลงไปในแต่ละช่วงของชั้นดิน (ตามระดับที่ได้กำหนดไว้ในตอนออกแบบ) ซึ่งค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบของแต่ละช่วงของการขุดดินในแต่ละชั้นนั้นจะถูกส่งให้วิศวกรผู้ออกแบบกำแพง D-Wall นำไปเปรียบเทียบกับค่าการเคลื่อนตัวทางทฤษฎีที่ได้คำนวณไว้และนำผลในการเปรียบเทียบมาใช้เพื่อควบคุมในการขุดดินต่อไป

##### 4.1.2 ขั้นตอนการทำงาน

- ขั้นที่ 1 การติดตั้งท่อปลอกชั่วคราวในกำแพง D-Wall ก่อนทำการเทคอนกรีต
- ขั้นที่ 2 การประกอบติดตั้ง Access Tube ลงในท่อปลอกชั่วคราวภายหลังจากการเทคอนกรีตแล้ว
- ขั้นที่ 3 การตรวจวัดความลาดเอียงเบื้องต้น (Initial Reading Record)
- ขั้นที่ 4 การตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวในแต่ละช่วงของการขุดดิน (Monitoring)
- ขั้นที่ 5 การรายงานผลการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวของแต่ละช่วง

##### 4.1.3 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการติดตั้งและตรวจวัดประกอบด้วย

1. ท่อปลอกชั่วคราว PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว พร้อมข้อต่อ, ครอบปิด PVC, กาวต่อ PVC และเทปพันรอยต่อชนิดกันน้ำ
2. ท่อ Access Tube PVC ชนิดร่องน้ำ 4 ร่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว พร้อมข้อต่อ, ปลั๊กอุดข้าง, หมุดย้ำและเทปกันน้ำ
3. ปูนซีเมนต์และเบนโทไนท์สำหรับ Grout ปิดระหว่างท่อ Access Tube กับท่อปลอกชั่วคราว
4. ชุดเครื่องมือวัดความลาดเอียง (Inclinometer Instrument) ซึ่งประกอบด้วย
  - 4.1 ตัววัดความลาดเอียง (Torpedo)
  - 4.2 สายไฟนำสัญญาณพร้อมระยะความลึก (Sensor Wire)
  - 4.3 เครื่องอ่านค่าความเอียง (Reading Unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 วิธีการติดตั้ง

##### การติดตั้งท่อปลอกชั่วคราวในกำแพง D-Wall

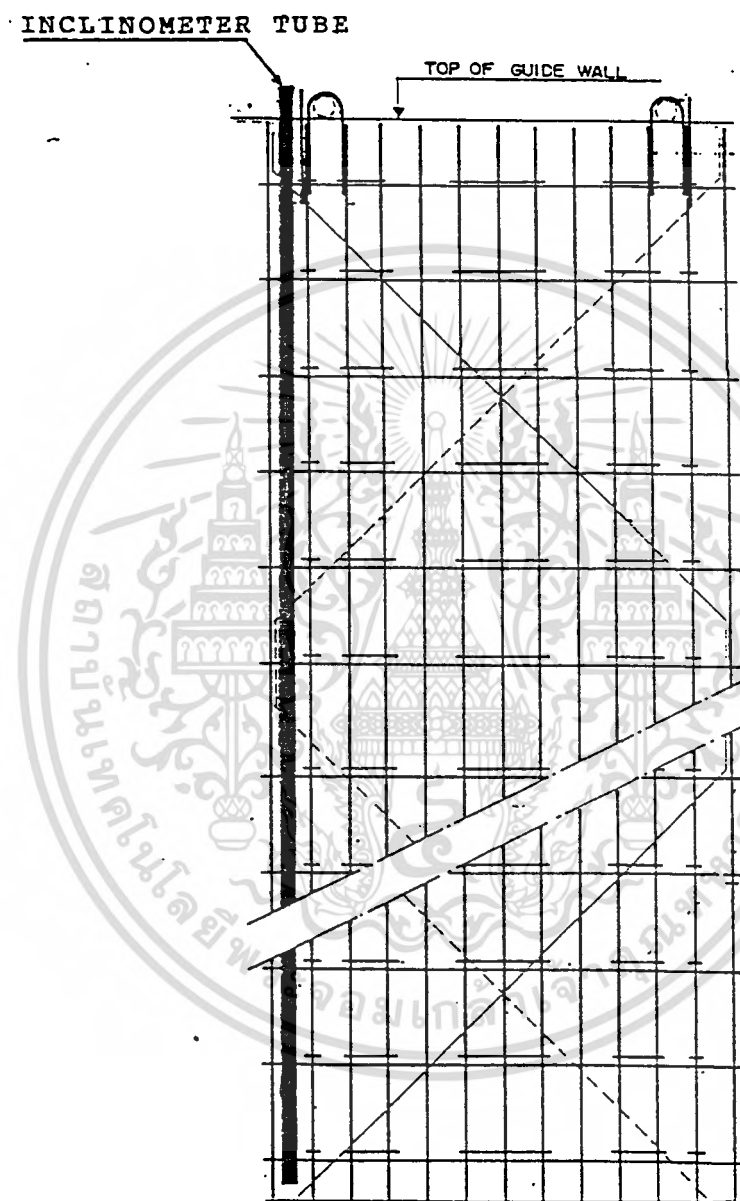
1. นำท่อปลอกชั่วคราว PVC ขนาด 4 นิ้วผูกติดเข้ากับโครงเหล็กของ D-Wall แต่ละท่อนโครง โดยต่อความยาวให้ได้เท่ากับความยาวของแต่ละท่อนโครงเหล็ก การต่อให้ใช้ข้อต่อ PVC ต่อด้วยกาวต่อ PVC พร้อมทั้งใช้เทปกั้นน้ำพันปิดทับรอยต่อให้สนิท (ตำแหน่งการติดเข้ากับโครงเหล็กดังรูปที่ 4.1)
2. ปลายท่อปลอกชั่วคราวด้านต่ำสุดของโครงเหล็กท่อนล่างสุด ให้ติดตั้งสูงจากปลายโครงเหล็กขึ้นมาประมาณ 30 ซม. และทำการอุดปิดปลายโดยใช้ครอบปิด PVC ต่อด้วยกาวต่อ PVC พร้อมพันเทปกั้นน้ำให้สนิท
3. ขณะต่อโครงเหล็กของกำแพง D-Wall เข้าด้วยกันนั้น ให้ทำการต่อท่อปลอกชั่วคราวเข้าด้วยกันโดยใช้ข้อต่อ PVC กับกาวต่อท่อ และเทปกั้นน้ำพันรอยต่อให้สนิท ทั้งนี้เมื่อลงโครงเหล็กแต่ละท่อนลงในหลุมขุดแล้ว ให้เติมน้ำเปล่าเข้าไปในท่อปลอกชั่วคราวให้เต็มก่อนต่อท่อนต่อไปด้วย
4. เมื่อต่อท่อนโครงเหล็กสุดท้ายเสร็จให้ตัดปลายท่อปลอกชั่วคราวพ้นจาก Cut-Off Wall ประมาณ 0.50 ม. จากนั้นเติมน้ำให้เต็มท่อ แล้วใช้ครอบปิด PVC ปิดอุดไว้ โดยไม่ต้องใช้กาวต่อ PVC แต่ยังคงพันเทปกั้นน้ำให้สนิท
5. ภายหลังจากเทคอนกรีต D-Wall เสร็จแล้ว 12-24 ชม. ให้ตรวจสอบความลึกภายในท่อปลอกชั่วคราว โดยใช้สายวัดระดับว่าระดับอยู่ใกล้เคียงระดับปลายกำแพงตามทฤษฎีหรือไม่ และให้ใช้สายน้ำความดันสูงหย่อนลงไปในท่อปลอกชั่วคราวเพื่อล้างทำความสะอาดท่อภายในให้สะอาด

##### การประกอบติดตั้ง Access Tube

1. การประกอบติดตั้ง Access Tube สามารถกระทำในทันทีที่ตรวจสอบความลึกภายในท่อปลอกชั่วคราวได้ หรือจะรอทำพร้อมกันทั้งหมดทุกจุดเมื่อติดตั้งท่อปลอกชั่วคราวครบทุกตำแหน่งแล้วก็ได้
2. นำท่อ Access Tube ซึ่งมีความยาวมาตรฐาน 3.0 เมตร มาต่อเข้าด้วยกันไว้เป็นท่อน 6.0 เมตร พร้อมทั้งต่อข้อต่อที่ปลายบนไว้เพื่อเชื่อมต่อกับท่อนถัดไป
3. การต่อท่อ Access Tube เข้าด้วยกันให้ใช้ข้อต่อของ Access Tube เป็นตัวต่อ โดยยึดติดกันด้วยการใช้สว่านเจาะรูทะลุถึงกัน และใช้หมุดย้ำ (Rivet) ยึดเข้าด้วยกัน จากนั้นพันปิดด้วยเทปกั้นน้ำทุกจุด
4. หย่อนท่อ Access Tube ท่อนแรกลงในท่อปลอกชั่วคราว โดยก่อนหย่อนให้

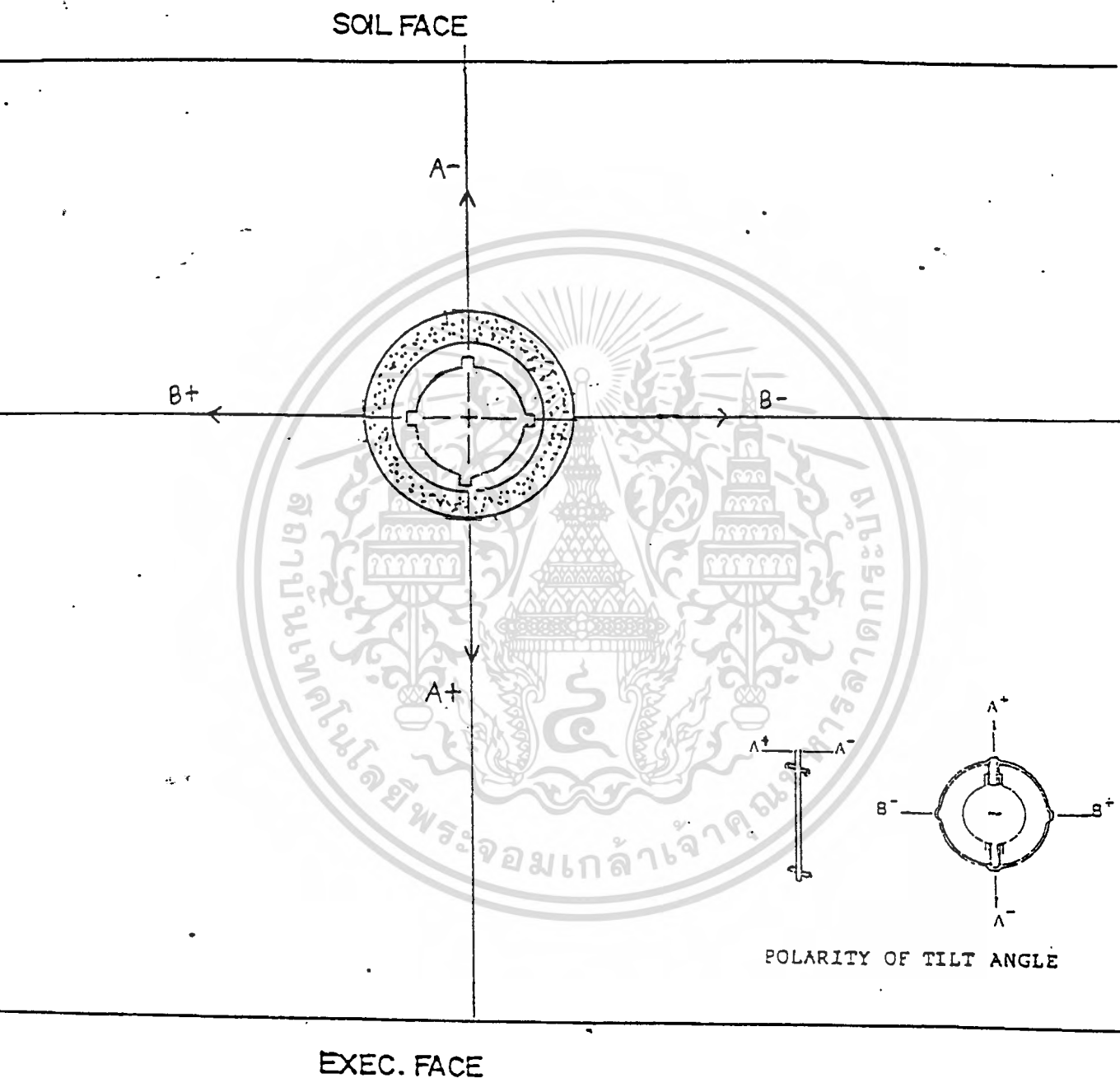
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการคัดค้านั้นจะถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการคัดค้านั้นจะถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการคัดค้านั้นจะถือว่าผิดกฎหมาย

รูปที่ 4.1  
แสดงการติดตั้งท่อปลอกชั่วคราวเข้ากับโครงเหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2  
แสดงตำแหน่งการติดตั้งท่อ ACCESS TUBE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ต่อท่อทุกก่อนจนได้ความยาวถึงปลายท่อปลอกชั่วคราวด้านล่าง (เติมน้ำลงในท่อทุกครั้งที่ต้อง)
6. ต่อท่อให้ปลายบนของ Access Tube สูงจากขอบ Guide Wall ประมาณ 0.7 - 1.0 เมตร แล้วเติมน้ำให้เต็มท่อ Access Tube จากนั้นใช้ปลั๊กยางอุดอุดปลายท่อไว้
7. ผสมปูนซีเมนต์และเบนโทไนท์เข้าด้วยกันในถังผสม(อัตราส่วนประมาณ 5:1 โดยน้ำหนัก)ผสมน้ำให้ได้สัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการ Flow จากนั้นเทกรอกปิดช่องว่างระหว่าง Access Tube กับท่อปลอกชั่วคราวจนเต็มช่องว่างทั้งหมด
8. ต่อท่อปลอกชั่วคราวขึ้นมาจนสูงปิดท่อ Access Tube (ไม่ต้องใช้กาวต่อ PVC) แล้วใช้กรอบปิด PVC ปิดไว้
9. ตรวจสอบระดับปลายบนของท่อ Access Tube ว่าเป็นข้อมูลว่าปลายบนของท่ออยู่ที่ระดับใด
10. จัดทำคอกกันล้อมท่อไว้เพื่อป้องกันความเสียหาย

## 4.2 การตรวจวัดค่าความเคื่อนตัว

### 4.2.1 การตรวจวัดค่าความลาดเอียงเบื้องต้น

1. ทำการตรวจวัดค่าความลาดเอียงเบื้องต้นของท่อ Access Tube แต่ละตำแหน่งภายหลังจากติดตั้งครบทุกตำแหน่งแล้วประมาณ 1 สัปดาห์
2. วิธีการตรวจวัดให้กระทำเช่นเดียวกับการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวในแต่ละช่วง ซึ่งจะอธิบายต่อไป
3. นำค่าที่อ่านได้แต่ละตำแหน่งไปทำการคำนวณตามตัวอย่างรูปที่ 4.3 และทำการ Plot Profile ของท่อตั้งตัวอย่างรูปที่ 4.4

### 4.2.2 การตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวในแต่ละช่วงของการขุดดิน

1. กำหนดช่วงระยะเวลาการตรวจวัดตามที่ได้คำนวณออกมา โดยปกติจะทำการตรวจวัดตามขั้นตอนดังนี้ (ในกรณีมี Bracing 3 ชั้น)

ครั้งที่ 1 เมื่อทำการขุดดินลงระดับได้ Bracing B1

ครั้งที่ 2 หลังติดตั้ง B1 เสร็จ ก่อนที่จะเริ่มขุดดินลงจาก B1

ครั้งที่ 3 เมื่อทำการขุดดินลงระดับได้ Bracing B3

ครั้งที่ 4 หลังติดตั้ง B3 เสร็จ ก่อนที่จะเริ่มขุดดินลงจาก B3

ครั้งที่ 5 เมื่อทำการขุดดินลงระดับได้ Bracing B5

ครั้งที่ 6 หลังติดตั้ง B5 เสร็จ ก่อนที่จะเริ่มขุดดินลงจาก B5

ครั้งที่ 7 เมื่อทำการขุดดินลงระดับได้ Mat Footing

ครั้งที่ 8 หลังจากเท Mat Footing แล้วเสร็จประมาณ 1-2 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปที่ 4.3

แสดงตารางการคำนวณ INITIAL READING

## EXTEL PLAZA

INCLINOMETER MONITORING RESULTS

TUBE NO. : 1-1 (PANEL NO. P-8)

AVERAGE INITIAL READING

READING DATE : 2 OCTOBER 1992

EXC. DEPTH = 0.00 m.

READING ELEVATION	READING				PROFILE		
	# 1	# 2	# 3	MEAN	CURRENT	BASE	CHANGE
-16.95	9.40	9.40	9.35	9.38		9.38	
-16.45	6.95	6.95	7.00	6.97		16.35	
-15.95	4.15	4.20	4.25	4.20		20.55	
-15.45	1.85	1.90	1.95	1.90		22.45	
-14.95	1.30	1.25	1.25	1.27		23.72	
-14.45	2.75	2.80	2.50	2.68		26.40	
-13.95	5.45	5.35	5.45	5.42		31.82	
-13.45	8.95	8.90	8.90	8.92		40.73	
-12.95	11.65	11.65	11.60	11.63		52.37	
-12.45	13.65	13.70	13.65	13.67		66.03	
-11.95	13.40	13.20	13.15	13.25		79.28	
-11.45	11.15	11.10	11.15	11.13		90.42	
-10.95	10.05	9.95	10.05	10.02		100.43	
-10.45	8.15	8.20	8.25	8.20		108.63	
-9.95	6.35	6.20	6.25	6.27		114.90	
-9.45	4.45	4.45	4.40	4.43		119.33	
-8.95	4.15	4.10	4.10	4.12		123.45	
-8.45	4.40	4.40	4.35	4.38		127.83	
-7.95	4.60	4.50	4.60	4.57		132.40	
-7.45	3.85	3.95	3.90	3.90		136.30	
-6.95	2.45	2.50	2.50	2.48		138.78	
-6.45	2.45	2.60	2.65	2.57		141.35	
-5.95	4.15	4.15	4.35	4.22		145.57	
-5.45	4.00	4.00	4.00	4.00		149.57	
-4.95	4.50	4.45	4.45	4.47		154.03	
-4.45	5.40	5.40	5.40	5.40		159.43	
-3.95	4.70	4.80	4.85	4.78		164.22	
-3.45	3.45	3.40	3.35	3.40		167.62	
-2.95	1.55	1.85	1.55	1.65		169.27	
-2.45	1.80	1.75	1.75	1.77		171.03	
-1.95	0.85	0.85	0.85	0.85		171.88	
-1.45	-0.65	-0.65	-0.70	-0.67		171.22	
-0.95	-2.20	-2.15	-2.25	-2.20		169.02	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4

แสดงตัวอย่าง PROFILE ท่อ  
**E X T E L P L A Z A**  
 Inclinator Monitoring Results  
 Inclinator No. I-1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาติให้สงวนไปใช้ในเชิงพาณิชย์  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำข้อมูลจากเอกสารนี้ไปเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ขั้นตอนการวัดการเคลื่อนตัว

- (1) ต่อสายไฟนำสัญญาณเข้ากับหัววัดความเอียง(Torpedo) และเครื่องอ่านค่าความเอียง(Reading Out)
- (2) หย่อน Torpedo ลงในท่อ Access Tube ในทิศทางตั้งฉากกับแนวกำแพง (Profile A+) หย่อนสายไฟลงไปในปลาย Torpedo ถึงก้นท่อ บันทึกค่าความลึกของก้นท่อที่อ่านได้จากกระยะบนสายไฟ อ่านค่าความลาดเอียงจากเครื่อง Reading Out บันทึกไว้ ค้างหัว Torpedo ขึ้นมาทุกกระยะ 0.50 เมตร ทำการบันทึกค่าความลึกและค่าความลาดเอียงไว้โดยตลอดจนหัว Torpedo ขึ้นมาถึงปากท่อ Access Tube ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูล "PROFILE A+ SET 1"
- (3) หย่อน Torpedo ลงในท่อ Access Tube ใหม่ แต่หมุนวงล้อของ Torpedo ไป 180 องศา ก่อนหย่อนลงในร่องน้ำ (Profile A-) ดำเนินการเช่นเดียวกับใน (2) ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูล "PROFILE A- SET 1"
- (4) ดำเนินการตาม (2) และ (3) ใหม่อีกอย่างละ 1 ชุด เพื่อให้ได้ข้อมูล Set 2 ของทั้ง 2 PROFILE
- (5) ดำเนินการตาม (2),(3) และ (4) สำหรับตำแหน่งท่อตำแหน่งอื่นๆจนครบ

### 4.2.3 การคำนวณและรายงานผลการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัว

(ดูตัวอย่างข้อมูลและการคำนวณจากรูปที่ 4.5)

1. นำข้อมูลระดับปลายท่อ Access Tube มาหักลบกับข้อมูลความลึกของการอ่านเพื่อหาค่า Depth ของการอ่านแต่ละจุด
2. นำข้อมูลการตรวจวัดค่าความลาดเอียงเบื้องต้นมาบันทึกในช่อง DIFF(INIT) (ใช้ค่าเฉลี่ยของ 2 SET มาใส่)
3. นำข้อมูล PROFILE A+ และ A- ของ SET 1 มาใส่ในช่อง A+ และ A-
4. หาค่า DIFF (CURR.) โดยนำค่าจาก (A+) - (A-)
5. หาค่า CHANGE โดยนำค่าจาก DIFF (CURR.) - DIFF (INIT) ซึ่งค่า CHANGE นี้จะเป็นค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพง ณ ระดับที่วัดนั้นเทียบกับระดับก่อนหน้า
6. หาค่า SUM CHANGE โดยทำการบวกสะสมค่า CHANGE จากความลึกต่ำสุดขึ้นมาทุกกระยะที่อ่านไว้จนถึงปลายบน ค่า SUM CHANGE ที่ได้จะเป็นค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบ(เป็นมิลลิเมตร)ของกำแพง ณ ระดับความลึกต่างๆ เทียบกับตำแหน่งเดิมของกำแพงก่อนทำการขุดดิน
7. นำค่าความลึกของระยะที่อ่านมา PLOT กับค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**ที่ 4.6 เพื่อผลการเคลื่อนตัวรวม**  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปที่ 4.5

แสดงตัวอย่างการคำนวณการเคลื่อนตัว

## EXTEL PLAZA

INCLINOMETER MONITORING RESULTS

TUBE NO. : 1 - 1

(PANEL NO. P-8)

FOURTEENTH READING # 1

READING DATE :

24 FEBRUARY 1994

EXC.DEPTH = -12.40 m.

READING ELEVATION	READING			CURRENT	PROFILE	
	A+	A-	MEAN		BASE	CHANGE
-16.95	15.5	-14.1	14.80	14.80	9.38	5.42
-16.45	13.3	-11.6	12.45	27.25	16.35	10.90
-15.95	10.8	-9.2	10.00	37.25	20.55	16.70
-15.45	7.9	-6.4	7.15	44.40	22.45	21.95
-14.95	6.1	-4.5	5.30	49.70	23.72	25.98
-14.45	6.7	-5.5	6.10	55.80	26.40	29.40
-13.95	8.5	-7.0	7.75	63.55	31.82	31.73
-13.45	11.8	-10.2	11.00	74.55	40.73	33.82
-12.95	15.1	-13.4	14.25	88.80	52.37	36.43
-12.45	17.1	-15.7	16.40	105.20	66.03	39.17
-11.95	18.5	-16.9	17.70	122.90	79.28	43.62
-11.45	15.2	-13.7	14.45	137.35	90.42	46.93
-10.95	14.1	-12.4	13.25	150.60	100.43	50.17
-10.45	11.8	-10.5	11.15	161.75	108.63	53.12
-9.95	10.0	-8.4	9.20	170.95	114.90	56.05
-9.45	7.8	-6.1	6.95	177.90	119.33	58.57
-8.95	6.5	-5.1	5.80	183.70	123.45	60.25
-8.45	7.0	-5.4	6.20	189.90	127.83	62.07
-7.95	7.0	-5.5	6.25	196.15	132.40	63.75
-7.45	6.4	-4.8	5.60	201.75	136.30	65.45
-6.95	4.9	-3.3	4.10	205.85	138.78	67.07
-6.45	5.0	-3.3	4.15	210.00	141.35	68.65
-5.95	6.4	-4.9	5.65	215.65	145.57	70.08
-5.45	6.4	-4.7	5.55	221.20	149.57	71.63
-4.95	6.8	-5.4	6.10	227.30	154.03	73.27
-4.45	7.2	-5.5	6.35	233.65	159.43	74.22
-3.95	7.1	-5.4	6.25	239.90	164.22	75.68
-3.45	5.1	-3.7	4.40	244.30	167.62	76.68
-2.95	4.2	-2.5	3.35	247.65	169.27	78.38
-2.45	4.0	-2.6	3.30	250.95	171.03	79.92
-1.95	2.9	-1.5	2.20	253.15	171.88	81.27
-1.45	0.7	1.2	-0.25	252.90	171.22	81.68
-0.95	-0.4	0.4	-0.40	252.50	169.02	83.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปที่ 4.5 (ต่อ)

แสดงตัวอย่างการคำนวณการเคลื่อนตัว  
**EXTEL PLAZA**  
 INCLINOMETER MONITORING RESULTS

TUBE NO. : I - 1 (PANEL NO. P-8)

FOURTEENTH READING # 2

READING DATE : 24 FEBRUARY 1994

EXC.DEPTH = -12.40 m.

READING ELEVATION	READING			CURRENT	PROFILE	
	A+	A-	MEAN		BASE	CHANGE
-16.95	15.5	-14.0	14.75	14.75	9.38	5.37
-16.45	13.3	-11.6	12.45	27.20	16.35	10.85
-15.95	10.8	-9.2	10.00	37.20	20.55	16.65
-15.45	7.9	-6.4	7.15	44.35	22.45	21.90
-14.95	6.0	-4.5	5.25	49.60	23.72	25.88
-14.45	6.7	-5.5	6.10	55.70	26.40	29.30
-13.95	8.4	-6.9	7.65	63.35	31.82	31.53
-13.45	11.7	-10.2	10.95	74.30	40.73	33.57
-12.95	15.1	-13.4	14.25	88.55	52.37	36.18
-12.45	17.1	-15.7	16.40	104.95	66.03	38.92
-11.95	18.5	-16.9	17.70	122.65	79.28	43.37
-11.45	15.3	-13.7	14.50	137.15	90.42	46.73
-10.95	14.1	-12.4	13.25	150.40	100.43	49.97
-10.45	11.8	-10.5	11.15	161.55	108.63	52.92
-9.95	10.1	-8.4	9.25	170.80	114.90	55.90
-9.45	7.8	-6.1	6.95	177.75	119.33	58.42
-8.95	6.5	-5.1	5.80	183.55	123.45	60.10
-8.45	7.0	-5.4	6.20	189.75	127.83	61.92
-7.95	7.1	-5.4	6.25	196.00	132.40	63.60
-7.45	6.4	-4.8	5.60	201.60	136.30	65.30
-6.95	4.9	-3.2	4.05	205.65	138.78	66.87
-6.45	5.0	-3.3	4.15	209.80	141.35	68.45
-5.95	6.4	-4.9	5.65	215.45	145.57	69.88
-5.45	6.4	-4.7	5.55	221.00	149.57	71.43
-4.95	6.9	-5.4	6.15	227.15	154.03	73.12
-4.45	7.2	-5.6	6.40	233.55	159.43	74.12
-3.95	7.1	-5.5	6.30	239.85	164.22	75.63
-3.45	5.1	-3.7	4.40	244.25	167.62	76.63
-2.95	4.2	-2.5	3.35	247.60	169.27	78.33
-2.45	4.0	-2.5	3.25	250.85	171.03	79.82
-1.95	2.9	-1.5	2.20	253.05	171.88	81.17
-1.45	0.7	1.2	-0.25	252.80	171.22	81.58
-0.95	-0.4	0.4	-0.40	252.40	169.02	83.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปที่ 4.5 (ต่อ)

แสดงตัวอย่างการคำนวณการเคลื่อนตัว  
**EXTEL PLAZA**  
 INCLINOMETER MONITORING RESULTS

TUBE NO. : I - 1

(PANEL NO. P-8)

FOURTEENTH READING # 3

READING DATE :

24 FEBRUARY 1994

EXC.DEPTH = -12.40 m.

READING ELEVATION	READING			CURRENT	PROFILE	
	A+	A-	MEAN		BASE	CHANGE
-16.95	15.3	-14.4	14.85	14.85	9.38	5.47
-16.45	13.3	-11.6	12.45	27.30	16.35	10.95
-15.95	10.8	-9.2	10.00	37.30	20.55	16.75
-15.45	7.9	-6.4	7.15	44.45	22.45	22.00
-14.95	6.1	-4.5	5.30	49.75	23.72	26.03
-14.45	6.7	-5.5	6.10	55.85	26.40	29.45
-13.95	8.5	-7.0	7.75	63.60	31.82	31.78
-13.45	11.8	-10.2	11.00	74.60	40.73	33.87
-12.95	15.1	-13.4	14.25	88.85	52.37	36.48
-12.45	17.1	-15.7	16.40	105.25	66.03	39.22
-11.95	18.5	-16.9	17.70	122.95	79.28	43.67
-11.45	15.2	-13.7	14.45	137.40	90.42	46.98
-10.95	14.1	-12.4	13.25	150.65	100.43	50.22
-10.45	11.8	-10.5	11.15	161.80	108.63	53.17
-9.95	10.0	-8.4	9.20	171.00	114.90	56.10
-9.45	7.8	-6.1	6.95	177.95	119.33	58.62
-8.95	6.5	-5.1	5.80	183.75	123.45	60.30
-8.45	7.0	-5.4	6.20	189.95	127.83	62.12
-7.95	7.0	-5.5	6.25	196.20	132.40	63.80
-7.45	6.4	-4.8	5.60	201.80	136.30	65.50
-6.95	4.9	-3.3	4.10	205.90	138.78	67.12
-6.45	5.0	-3.3	4.15	210.05	141.35	68.70
-5.95	6.4	-4.9	5.65	215.70	145.57	70.13
-5.45	6.4	-4.7	5.55	221.25	149.57	71.68
-4.95	6.8	-5.4	6.10	227.35	154.03	73.32
-4.45	7.2	-5.5	6.35	233.70	159.43	74.27
-3.95	7.1	-5.4	6.25	239.95	164.22	75.73
-3.45	5.1	-3.7	4.40	244.35	167.62	76.73
-2.95	4.2	-2.5	3.35	247.70	169.27	78.43
-2.45	4.0	-2.6	3.30	251.00	171.03	79.97
-1.95	2.9	-1.5	2.20	253.20	171.88	81.32
-1.45	0.7	1.2	-0.25	252.95	171.22	81.73
-0.95	-0.4	0.4	-0.40	252.55	169.02	83.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปที่ 4.5 (ต่อ)

แสดงตัวอย่างการคำนวณการเคลื่อนตัว

# EXTEL PLAZA

## INCLINOMETER MONITORING RESULTS

TUBE NO. : 1 - 1 (PANEL NO. P-8)

AVERAGE FOURTEENTH READING

READING DATE : 24 FEBRUARY 1994

EXC.DEPTH = -12.40 m.

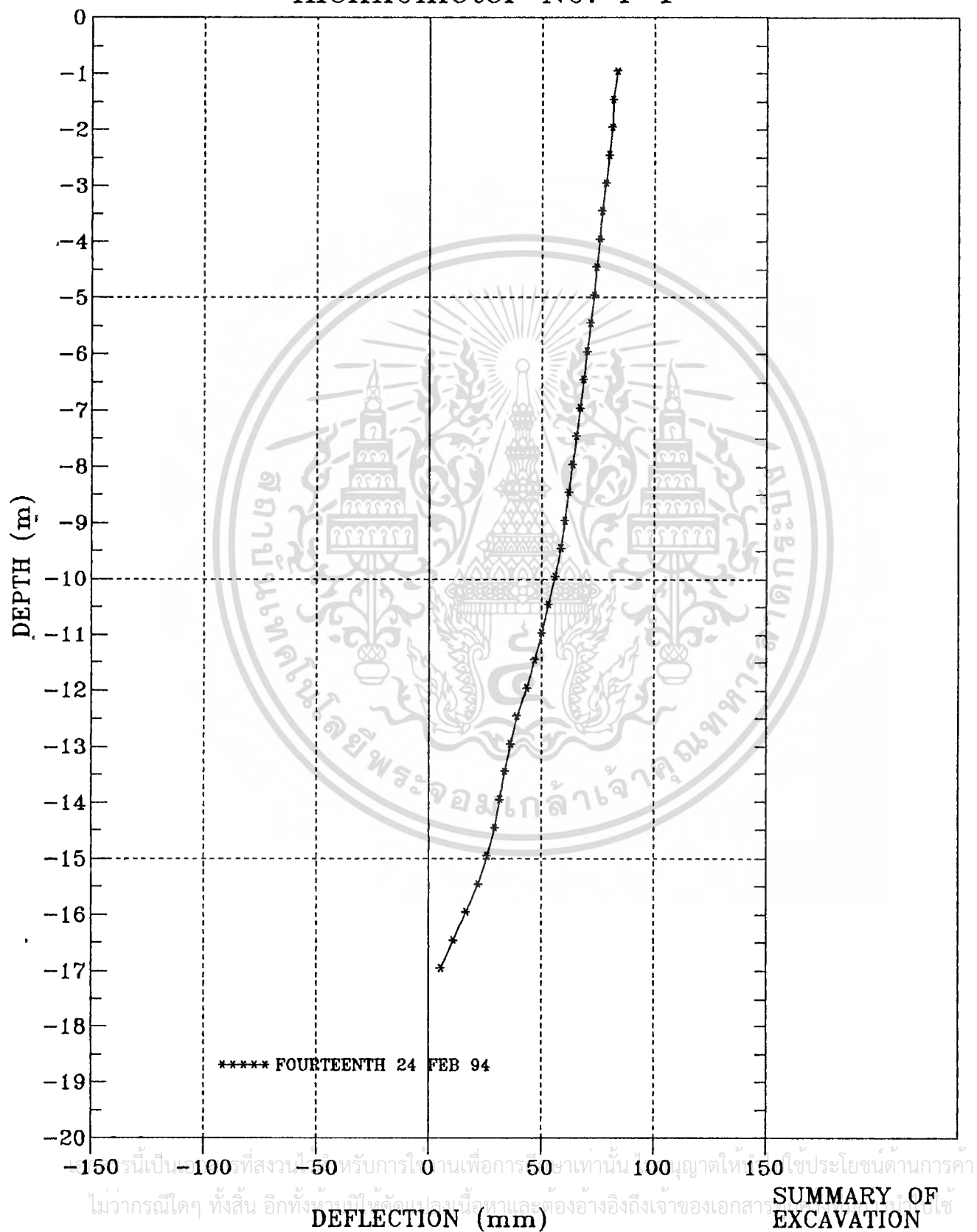
READING ELEVATION	READING				CURRENT	PROFILE	
	# 1	# 2	# 3	MEAN		BASE	CHANGE
-16.95	14.80	14.75	14.85	14.80	14.80	9.38	5.42
-16.45	12.45	12.45	12.45	12.45	27.25	16.35	10.90
-15.95	10.00	10.00	10.00	10.00	37.25	20.55	16.70
-15.45	7.15	7.15	7.15	7.15	44.40	22.45	21.95
-14.95	5.30	5.25	5.30	5.28	49.68	23.72	25.97
-14.45	6.10	6.10	6.10	6.10	55.78	26.40	29.38
-13.95	7.75	7.65	7.75	7.72	63.50	31.82	31.68
-13.45	11.00	10.95	11.00	10.98	74.48	40.73	33.75
-12.95	14.25	14.25	14.25	14.25	88.73	52.37	36.37
-12.45	16.40	16.40	16.40	16.40	105.13	66.03	39.10
-11.95	17.70	17.70	17.70	17.70	122.83	79.28	43.55
-11.45	14.45	14.50	14.45	14.47	137.30	90.42	46.88
-10.95	13.25	13.25	13.25	13.25	150.55	100.43	50.12
-10.45	11.15	11.15	11.15	11.15	161.70	108.63	53.07
-9.95	9.20	9.25	9.20	9.22	170.92	114.90	56.02
-9.45	6.95	6.95	6.95	6.95	177.87	119.33	58.53
-8.95	5.80	5.80	5.80	5.80	183.67	123.45	60.22
-8.45	6.20	6.20	6.20	6.20	189.87	127.83	62.03
-7.95	6.25	6.25	6.25	6.25	196.12	132.40	63.72
-7.45	5.60	5.60	5.60	5.60	201.72	136.30	65.42
-6.95	4.10	4.05	4.10	4.08	205.80	138.78	67.02
-6.45	4.15	4.15	4.15	4.15	209.95	141.35	68.60
-5.95	5.65	5.65	5.65	5.65	215.60	145.57	70.03
-5.45	5.55	5.55	5.55	5.55	221.15	149.57	71.58
-4.95	6.10	6.15	6.10	6.12	227.27	154.03	73.23
-4.45	6.35	6.40	6.35	6.37	233.63	159.43	74.20
-3.95	6.25	6.30	6.25	6.27	239.90	164.22	75.68
-3.45	4.40	4.40	4.40	4.40	244.30	167.62	76.68
-2.95	3.35	3.35	3.35	3.35	247.65	169.27	78.38
-2.45	3.30	3.25	3.30	3.28	250.93	171.03	79.90
-1.95	2.20	2.20	2.20	2.20	253.13	171.88	81.25
-1.45	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	252.88	171.22	81.67
-0.95	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	252.48	169.02	83.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

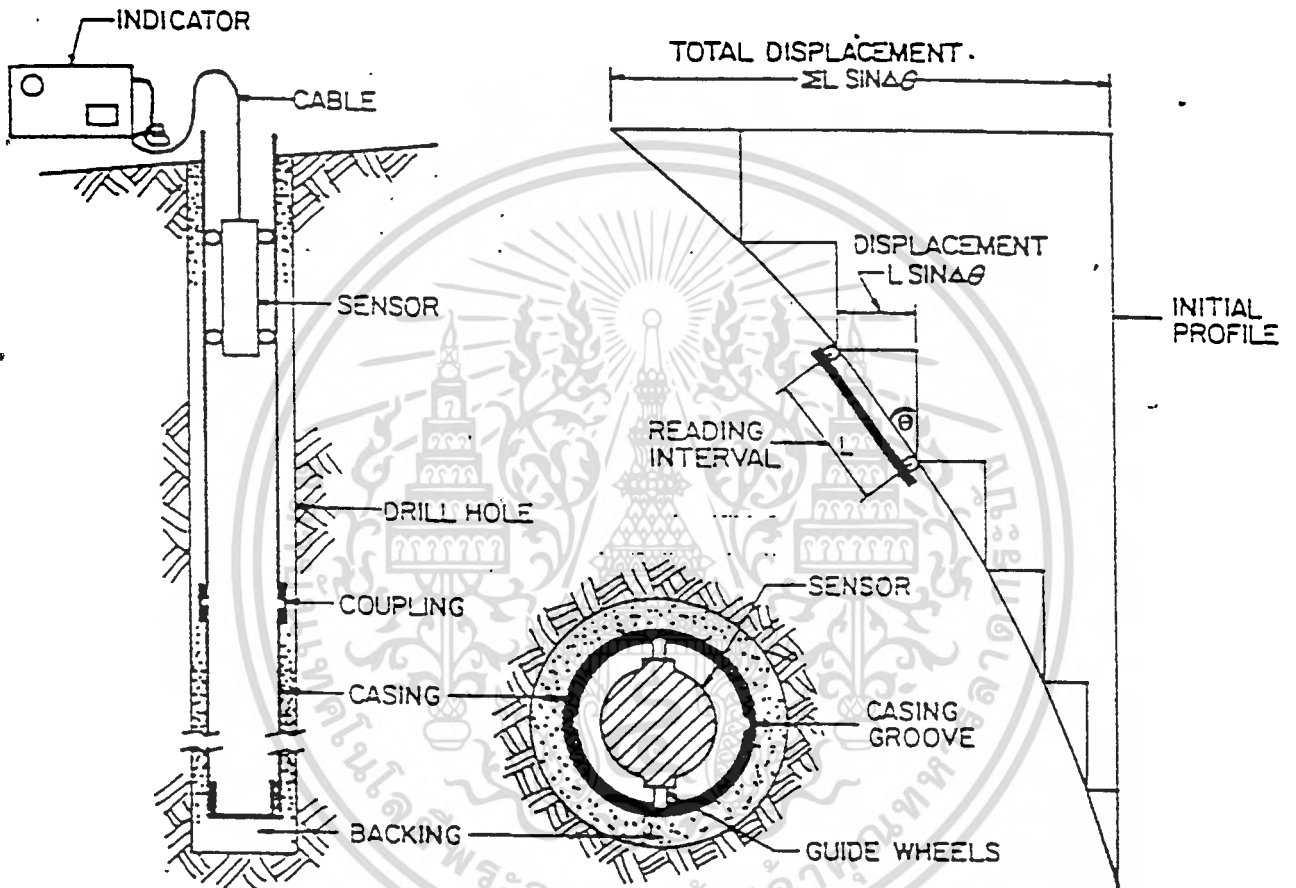
รูปที่ 4.6

แสดงตัวอย่างกราฟการเคลื่อนตัว

E X T E L P L A Z A  
Inclinometer Monitoring Results  
Inclinometer No. I-1



รูปที่ 4.7  
แสดงหลักการทำงานของเครื่องวัดการเคลื่อนตัว(Inclinometer)

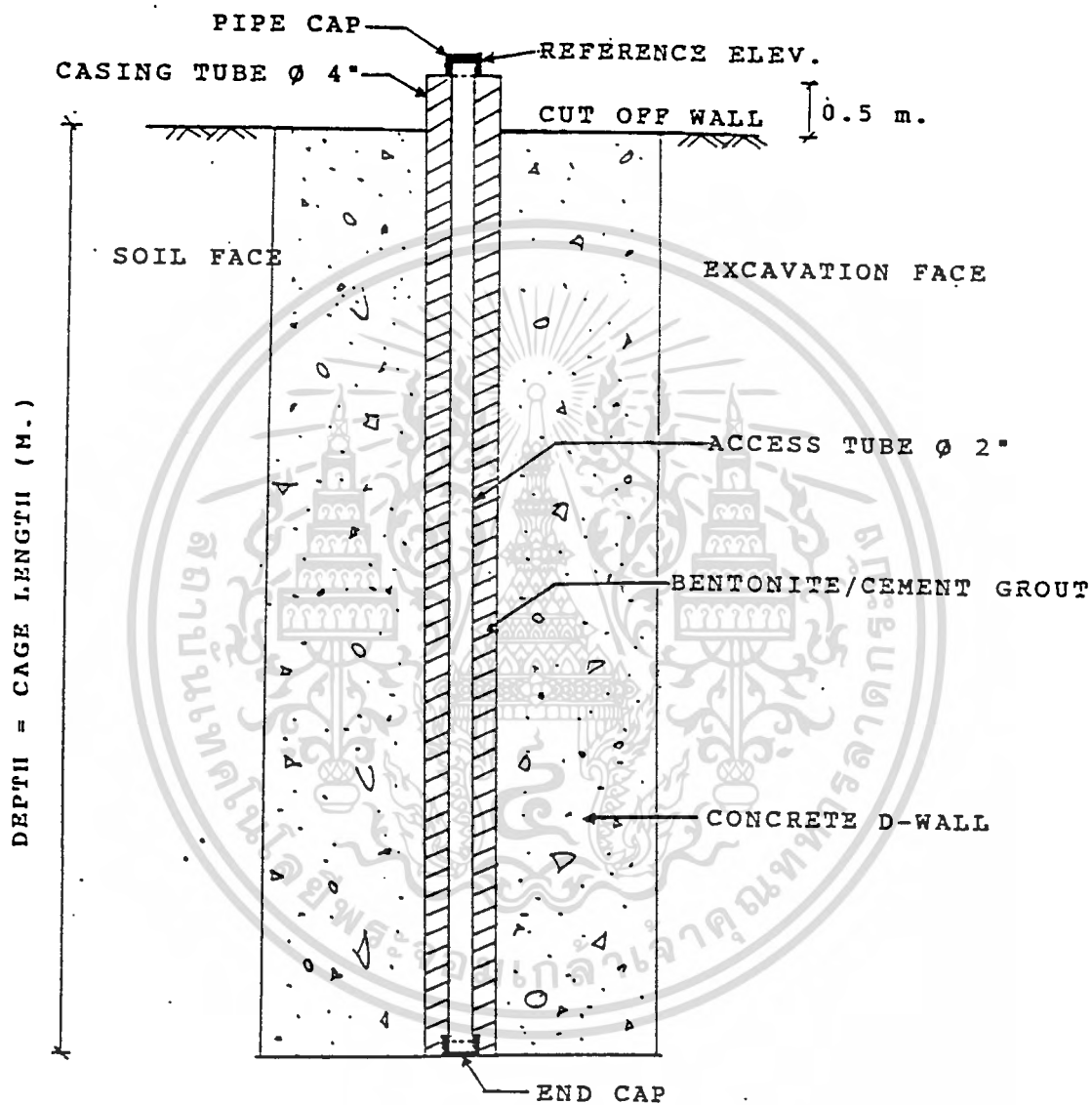


### INCLINOMETER PRINCIPLE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปที่ 4.8

แสดงลักษณะของท่อ Inclinator เมื่อติดตั้งอยู่ใน D-Wall



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### รายละเอียดโครงการและขั้นตอนการก่อสร้าง

#### 5.1 โครงการ PRESIDENT TOWER

โครงการ PRESIDENT TOWER ตั้งอยู่ที่บริเวณสี่แยกราชประสงค์ โครงการมีลักษณะคล้ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังแผนผัง Lay Out ในรูปที่ 5.1 และมีลักษณะของชั้นดินดังในรูปที่ 5.2 ผัง D-Wall มี 2 ขนาด คือความกว้าง 0.8 เมตร (บริเวณจุดดินลึก 5.6 เมตร) และ 1.0 เมตร (บริเวณจุดดินลึก 9.65-10.3 เมตร) โดยมีการติดตั้งท่อ Inclinator จำนวน 4 ท่อไว้ที่บริเวณตรงกลางของแต่ละด้าน การก่อสร้างใช้ระบบ Internal Bracing ซึ่งมี Bracing อยู่ที่ระดับ -1.0 เมตร ทั้ง 4 ด้าน สำหรับขั้นตอนการก่อสร้าง(Construction Sequence) ที่บริเวณติดตั้งท่อ Inclinator และระดับความลึกของ D-Wall ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.3

#### 5.2 โครงการ D.S.P.A PROJECT

โครงการ D.S.P.A PROJECT ตั้งอยู่ที่ถนนพระราม 4 โครงการที่ดำเนินการก่อสร้างเป็นเฟส 1 มีลักษณะแผนผังคล้ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังแผนผัง Lay Out ในรูปที่ 5.4 และมีลักษณะของชั้นดินดังแสดงในรูปที่ 5.5 ผัง D-Wall มีขนาด 0.8 เมตรเท่ากันตลอดทั้งโครงการ โดยมีการติดตั้งท่อ Inclinator จำนวน 4 ท่อไว้ที่บริเวณตรงกลางของแต่ละด้าน ขั้นตอนการก่อสร้างจะใช้ Slab(B1) เป็น Bracing ที่ระดับ -2.0 เมตร มีการเว้นช่องว่างไว้สำหรับลงไปทำการขุดดิน จากนั้นจะขุดดินจนถึงระดับฐานราก แล้วจึงทำการหล่อฐานรากและก่อสร้างพื้นชั้น B2,B3 เป็นลำดับต่อไป ดังแสดง Construction Sequence ไว้ในรูปที่ 5.6

#### 5.3 โครงการ EXTEL PLAZA

โครงการ EXTEL PLAZA ตั้งอยู่ที่ถนนสุขุมวิท ซอย 3 โครงการมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังแผนผัง Lay Out ในรูปที่ 5.7 และมีลักษณะของชั้นดินดังแสดงในรูปที่ 5.8 ผัง D-Wall มีขนาด 0.8 เมตร ลึก 18.0 เมตรเท่ากันตลอดทั้งโครงการ มีท่อ Inclinator จำนวน 4 ท่อติดตั้งไว้ที่บริเวณตรงกลางของแต่ละด้าน การก่อสร้างใช้ระบบ Internal Bracing โดยมี Strut ติดตั้งไว้ที่ 4 ระดับ ได้แก่ -1.2,-3.7,-6.2 และ -8.7 เมตร ระดับจุดดินลึกที่สุด -12.4 เมตร ดังแสดง Construction Sequence ไว้ในรูปที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 โครงการ Siam Commercial Bank(SCB) Phase II&III

โครงการ SCB Phase II&III ตั้งอยู่บริเวณสี่แยกรัชโยธิน มีลักษณะแผนผัง Lay Out ดังแสดงในรูปที่ 5.10 และ 5.11 ลักษณะของชั้นดินดังแสดงในรูปที่ 5.12 โดยในแต่ละเฟสมีการติดตั้งท่อ Inclinator ไว้ใน D-Wall จำนวน 6 ท่อ ลักษณะของ D-Wall มี 2 แบบคือแบบที่เหลี่ยมผืนผ้าธรรมดา และแบบ T-Shape โดยแบบที่เหลี่ยมผืนผ้าจะใช้ในบริเวณที่มี Bracing ที่ระดับ -3.0 เมตร ส่วน T-Shape จะใช้บริเวณที่เป็นการก่อสร้างแบบ Free Standing ดัง Construction Sequence แสดงในรูปที่ 5.13

## 5.5 โครงการ ROJANA TOWER

โครงการ ROJANA TOWER ตั้งอยู่ที่ถนนอโศก มีลักษณะแผนผัง Lay Out ดังแสดงในรูปที่ 5.14 ลักษณะของชั้นดินดังแสดงในรูปที่ 5.15 มีท่อ Inclinator ติดตั้งอยู่เพียงท่อเดียวที่ด้านติดกับอาคารสูงข้างเคียง ขนาดของ D-Wall เป็นแบบกว้าง 0.8 เมตร ระบบในการก่อสร้างเป็นระบบ Internal Bracing โดยมีขั้นตอนการก่อสร้างและติดตั้ง Bracing ดังแสดงในรูปที่ 5.16



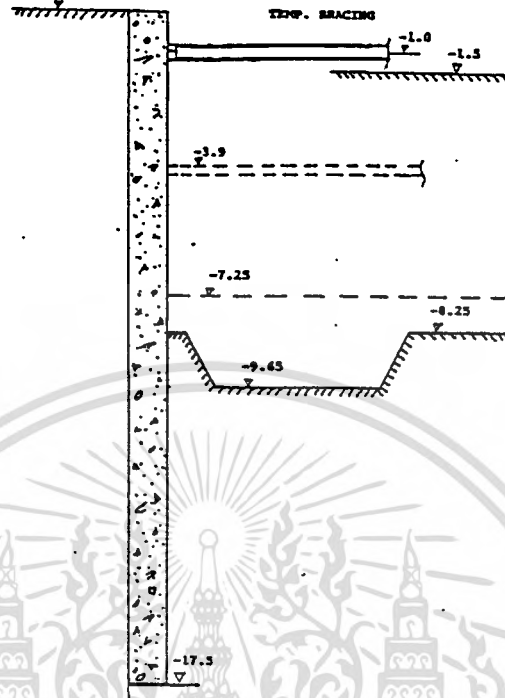
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



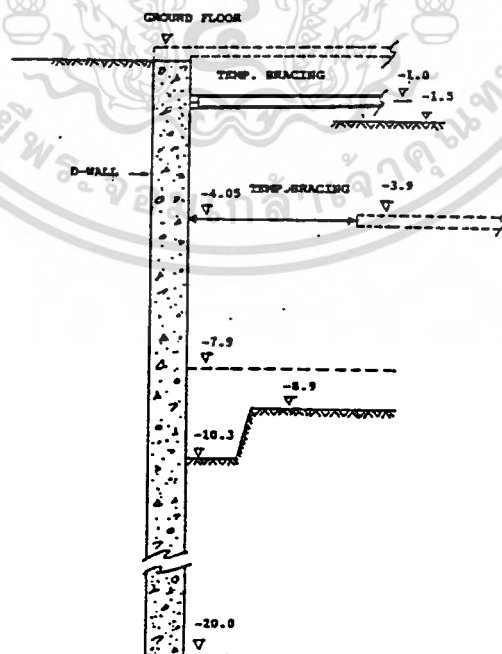


รูปที่ 5.3

แสดงขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการ PRESIDENT TOWER



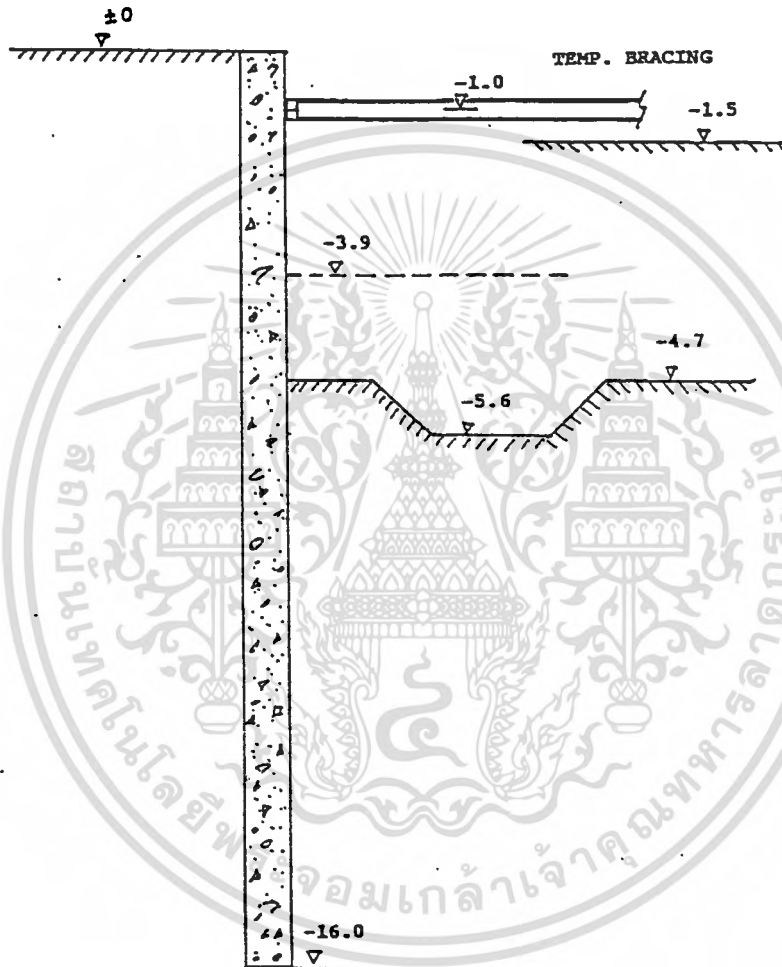
ขั้นตอนการก่อสร้างบริเวณท่อน I-1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

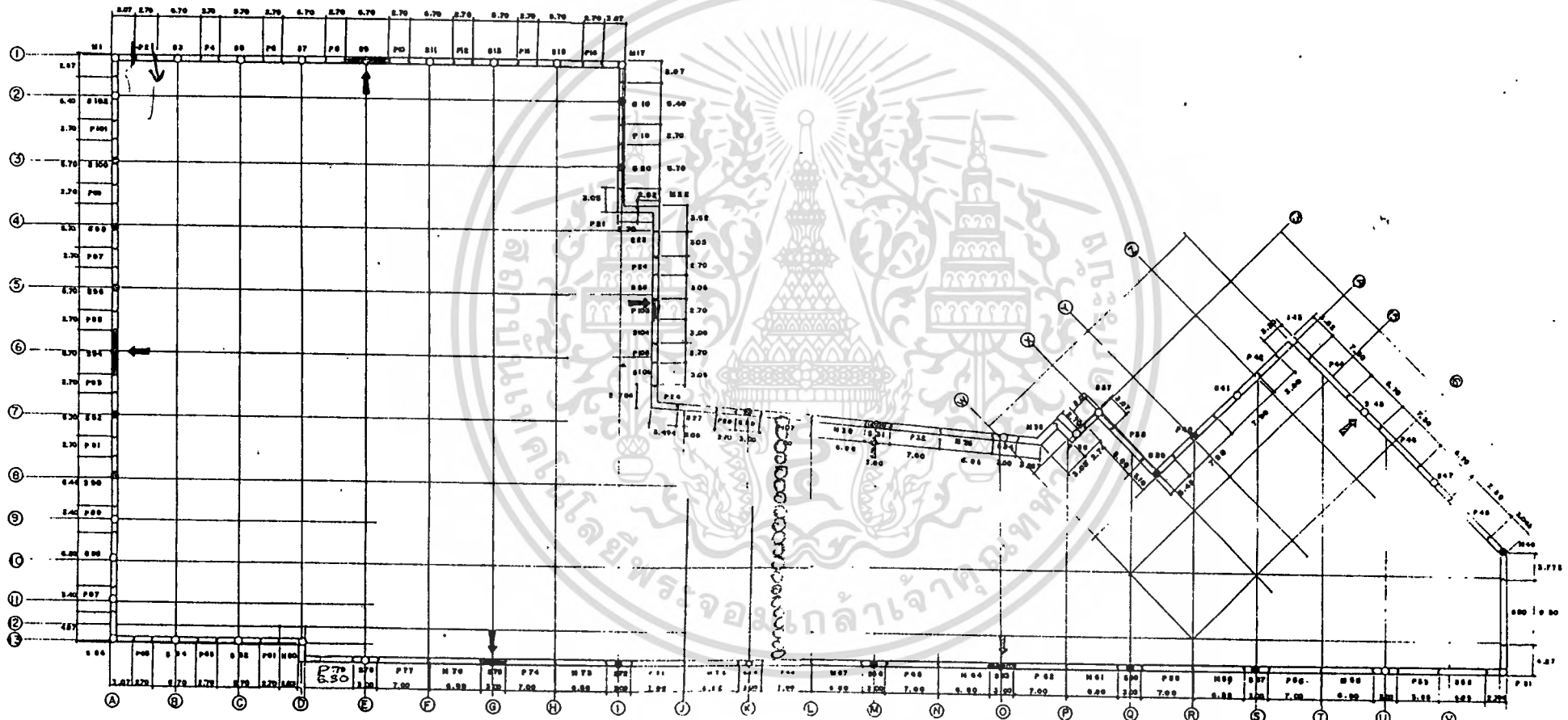
ขั้นตอนการก่อสร้างบริเวณท่อน I-3

รูปที่ 5.3 (ต่อ)  
แสดงขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการ PRESIDENT TOWER



ขั้นตอนการก่อสร้างบริเวณท่อน I-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

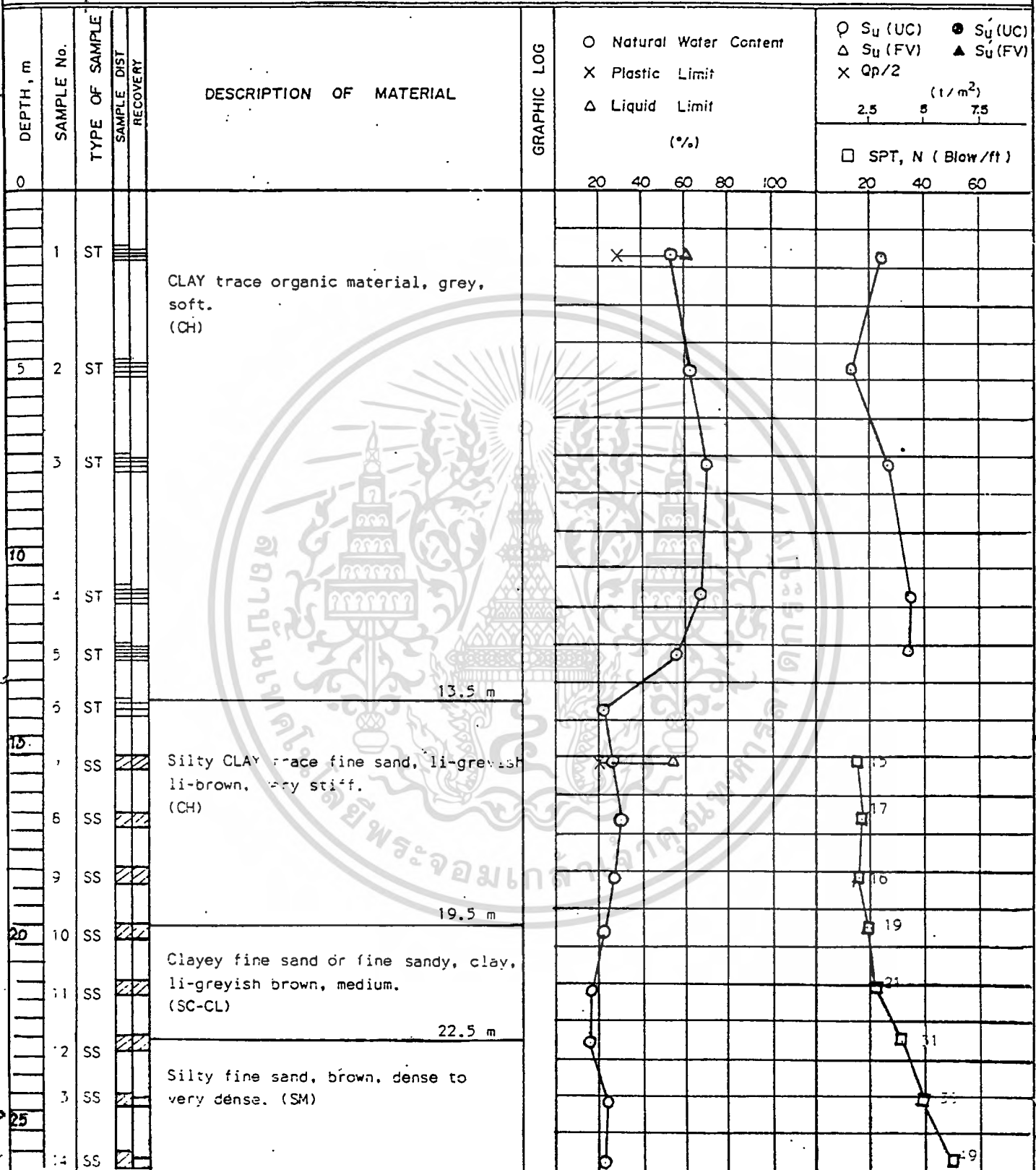


รูปที่ 54 DIAPHRAGM WALL -- PANEL LAYOUT

แสดง Lay Out ของโครงการ D.S.P.A PROJECT

# LOG OF BORING

PROJECT NAME. 30 STOREY BUILDING (D.S. LAND CO., LTD.)	LOCATION. RAMA IV ROAD
OWNER	



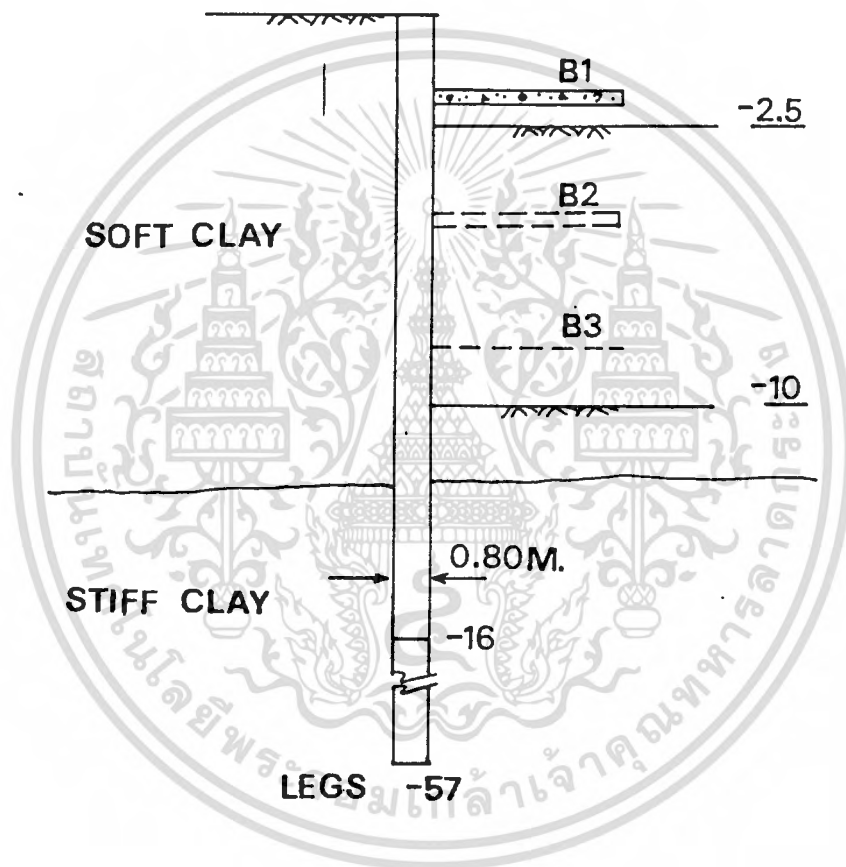
**STS ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD**

BORING STARTED 23/5/89	RIG JOY	W.L. -1.5 M 24 HRS. AFTER BORING.
BORING FINISHED 28/5/89	FOREMAN: ST	JCS No 2137

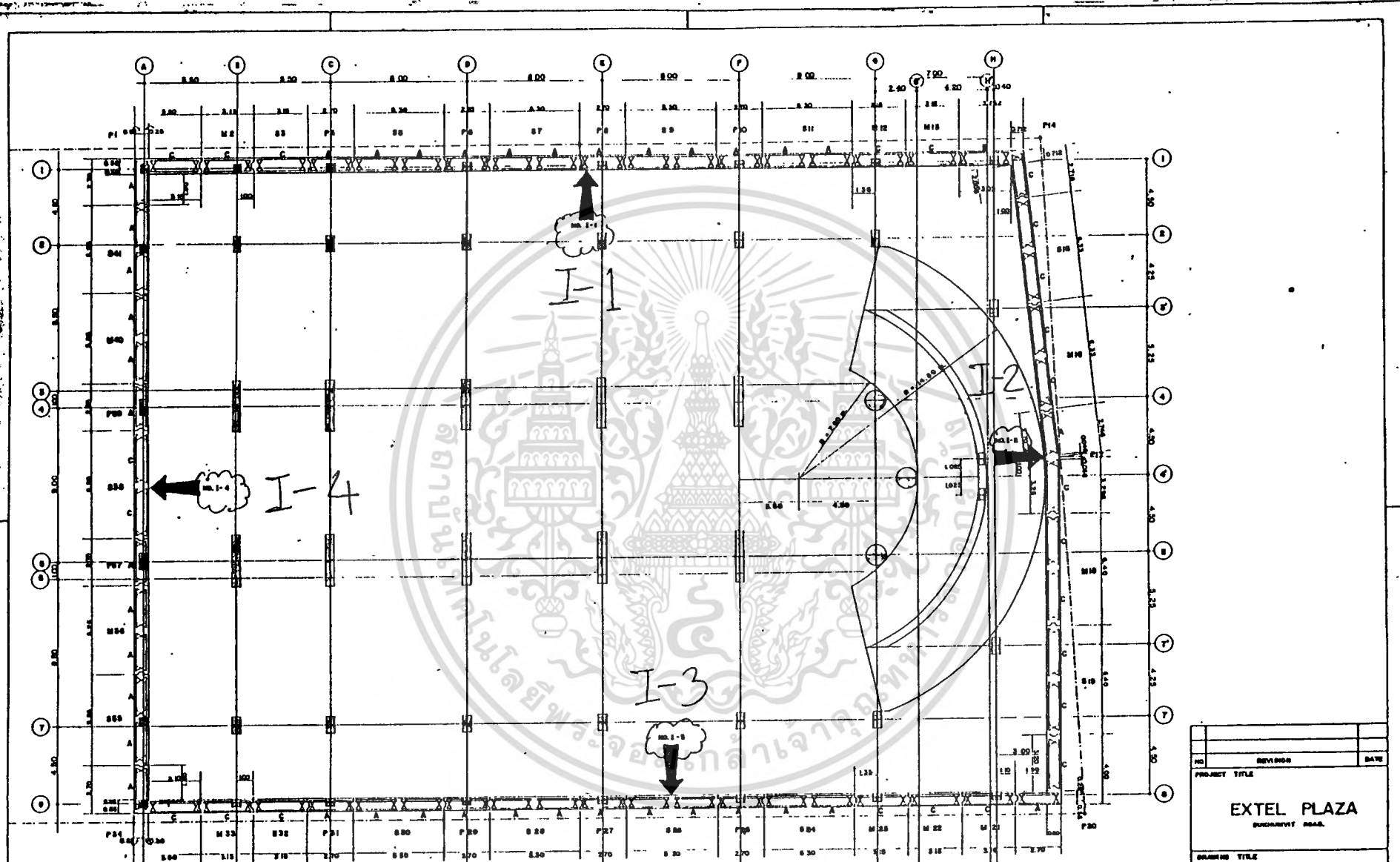
รูปที่ 5.5

แสดงลักษณะของชั้นดินของโครงการ D.S.P.A PROJECT

รูปที่ 5.6  
แสดงขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการ D.S.P.A PROJECT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7  
 Lay Out ของโครงการ EXTEL PLAZA

P... - PRIMARY PANEL  
 B... - BEARD PANEL  
 S... - SECONDARY PANEL  
 A,B,C - REINFORCE CASE TYPE  
 [Hatched Arrow] - INCLINOMETER TUBE LOCATION

NO.	REVISION	DATE
PROJECT TITLE		
<b>EXTEL PLAZA</b> BUNDHUVAT ROAD.		
DRAWING TITLE		
D - WALL <b>PANEL LAYOUT</b>		
SCALE	DATE	DESIGNED BY
1:100	VS.	VS.
<b>SOLTANCHE</b> (The Land) Co., Ltd.		

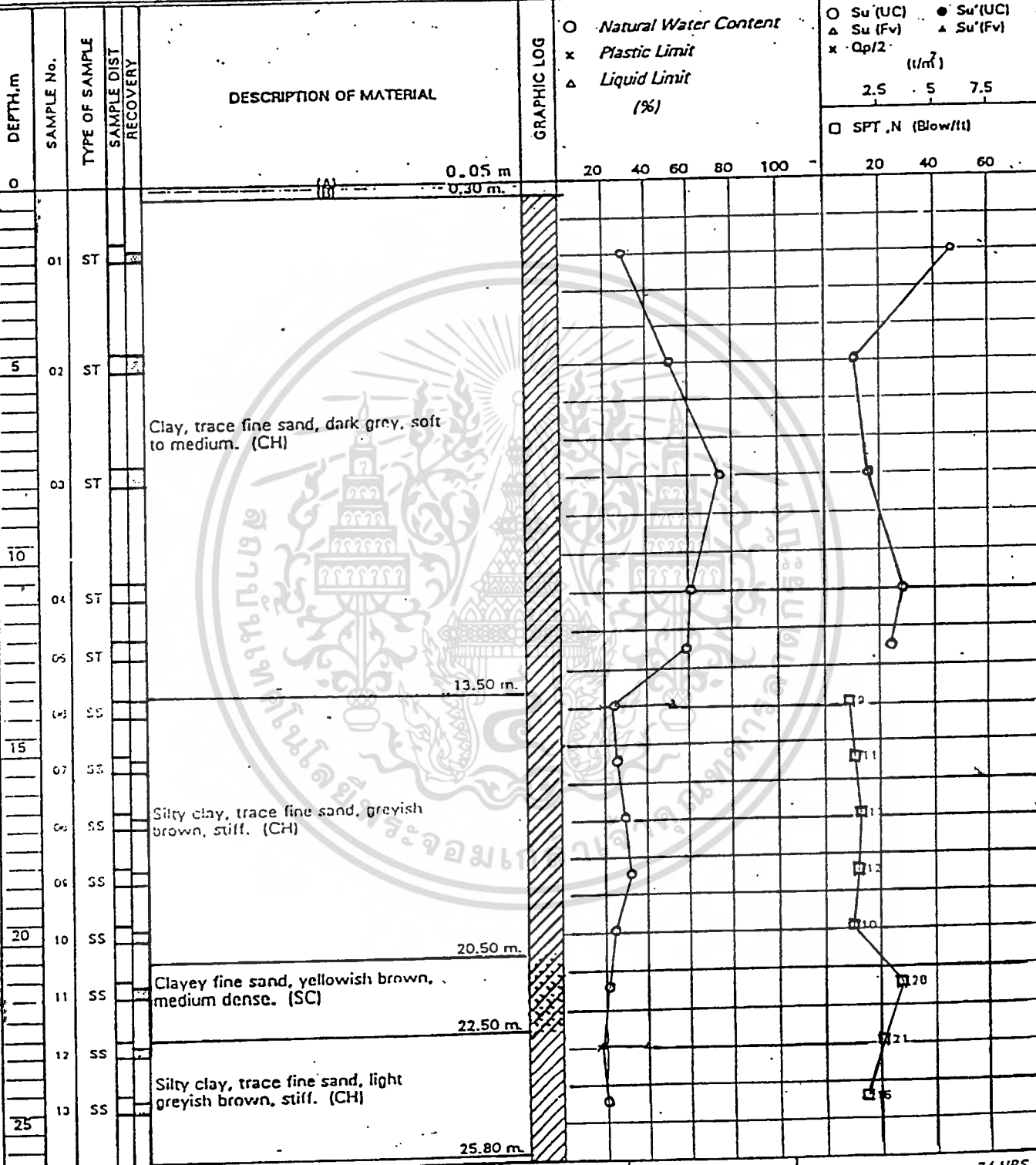
รูปที่ 5.8

แสดงลักษณะของชั้นดินของโครงการ EXTEL PLAZA

LOG OF BORING

PROJECT : เอกซ์เทล พลาซ่า LOCATION : ถนนสุขุมวิทซอย 3 กทม.

OWNER :



STS ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

BORING STARTED. 6/11/90

RIG. BIG ACKER

W.L. -0.90 m AFTER BORING. 24 HRS.

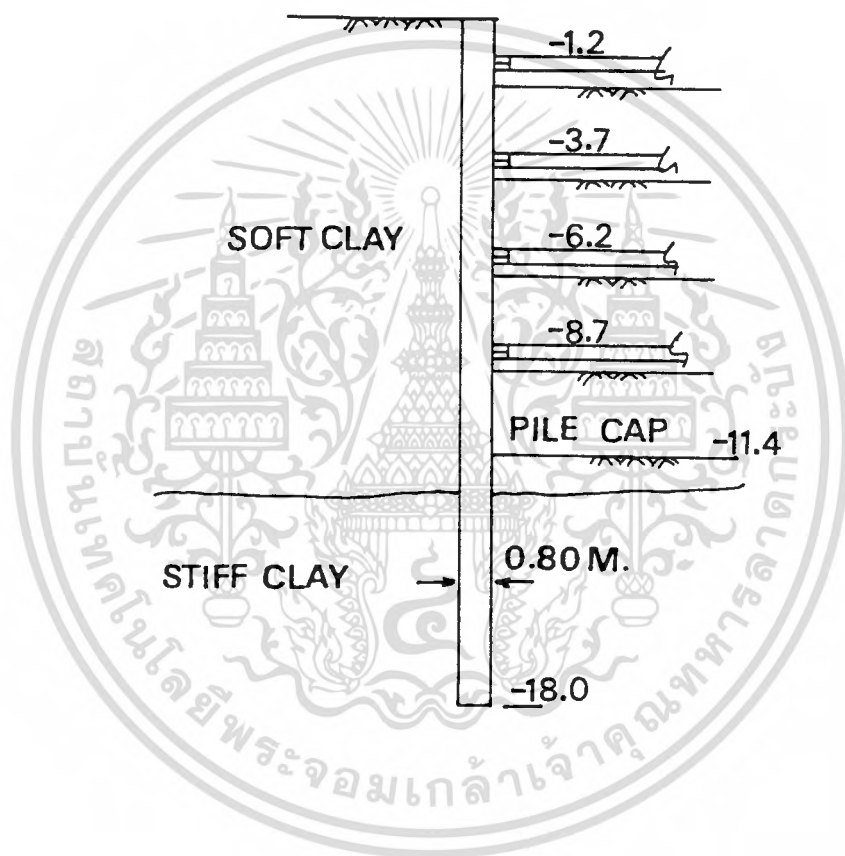
BORING FINISHED. 9/11/90

FOREMAN PK

JOB No. 3353

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.9  
แสดงขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการ EXTEL PLAZA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FORM 254 - 1/2002

SYMBOL	QUANTITY	PLATE NO.	DESCRIPTION
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1
10	1	1	1
11	1	1	1
12	1	1	1
13	1	1	1
14	1	1	1
15	1	1	1
16	1	1	1
17	1	1	1
18	1	1	1
19	1	1	1
20	1	1	1
21	1	1	1
22	1	1	1
23	1	1	1
24	1	1	1
25	1	1	1
26	1	1	1
27	1	1	1
28	1	1	1
29	1	1	1
30	1	1	1
31	1	1	1
32	1	1	1
33	1	1	1
34	1	1	1
35	1	1	1
36	1	1	1
37	1	1	1
38	1	1	1
39	1	1	1
40	1	1	1
41	1	1	1
42	1	1	1
43	1	1	1
44	1	1	1
45	1	1	1
46	1	1	1
47	1	1	1
48	1	1	1
49	1	1	1
50	1	1	1
51	1	1	1
52	1	1	1
53	1	1	1
54	1	1	1
55	1	1	1
56	1	1	1
57	1	1	1
58	1	1	1
59	1	1	1
60	1	1	1
61	1	1	1
62	1	1	1
63	1	1	1
64	1	1	1
65	1	1	1
66	1	1	1
67	1	1	1
68	1	1	1
69	1	1	1
70	1	1	1
71	1	1	1
72	1	1	1
73	1	1	1
74	1	1	1
75	1	1	1
76	1	1	1
77	1	1	1
78	1	1	1
79	1	1	1
80	1	1	1
81	1	1	1
82	1	1	1
83	1	1	1
84	1	1	1
85	1	1	1
86	1	1	1
87	1	1	1
88	1	1	1
89	1	1	1
90	1	1	1
91	1	1	1
92	1	1	1
93	1	1	1
94	1	1	1
95	1	1	1
96	1	1	1
97	1	1	1
98	1	1	1
99	1	1	1
100	1	1	1

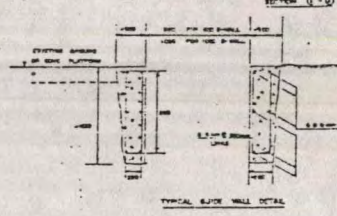
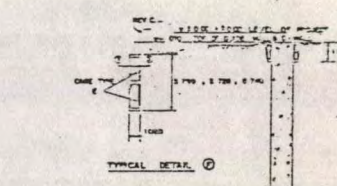
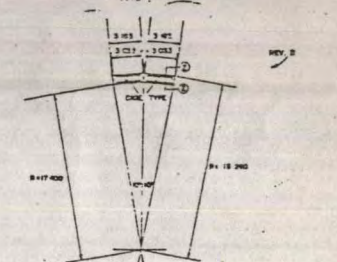
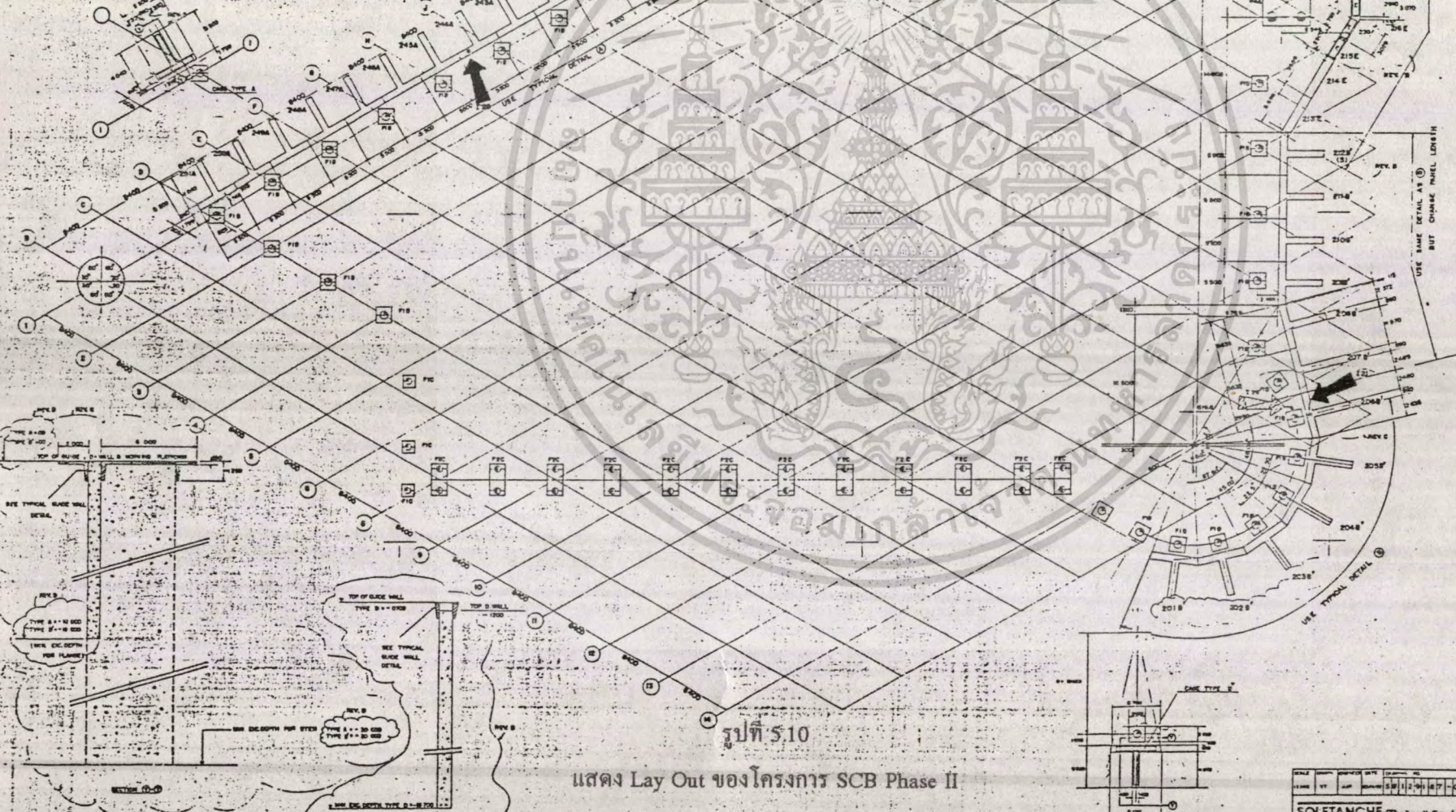
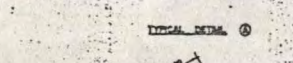
DIAPHRAGM WALL ORDERING NUMBER (FOR PANEL)

2 = PHASE II  
 35 = PANEL NO. 35  
 A = DIAPHRAGM WALL TYPE A  
 (B) = SECONDARY EXC. PANEL  
 P = PRIMARY EXC.  
 M = MIXED EXC.

DIAPHRAGM WALL TYPE DETAILS

TYPE	SHAPE	THEORETICAL WIDTH	WALL THICKNESS	MINIMUM SPACING	BAR TYPE
A	T-SHAPE	800	800	100	A
B	T-SHAPE	800	800	100	B
C	T-SHAPE	800	800	100	C
D	T-SHAPE	800	800	100	D
E	FLAT WALL	1000	800	100	E

INCLINOMETER TUBE LOCATION & NO.



รูปที่ 5.10

แสดง Lay Out ของโครงการ SCB Phase II

REV	DATE	DESCRIPTION	CHKD	APPD	DATE

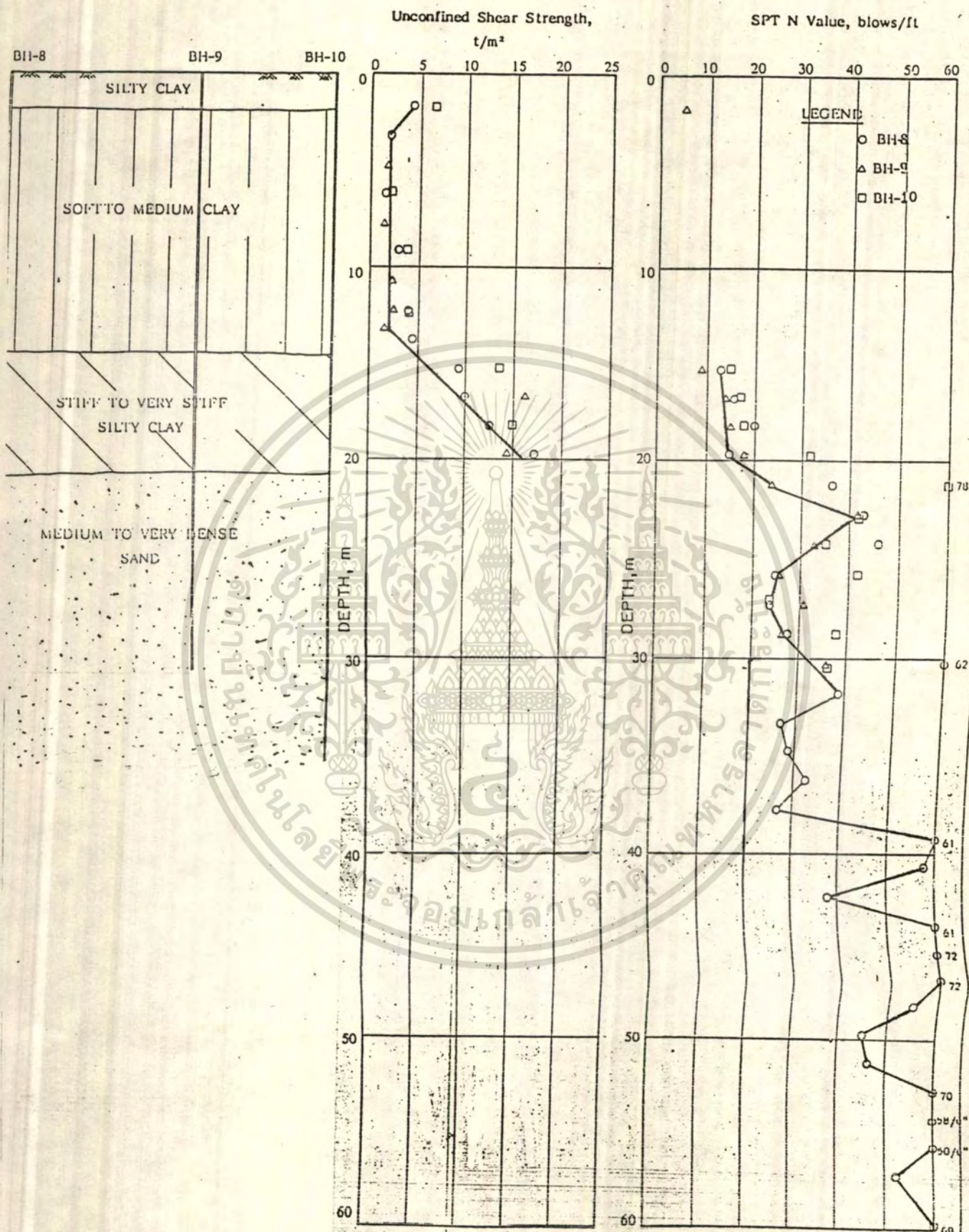
SOLENTANCHE (Thailand) Co., Ltd.

PHASE 2  
 DIAPHRAGM WALL PANEL LAY-OUT

SCALE: 1:200

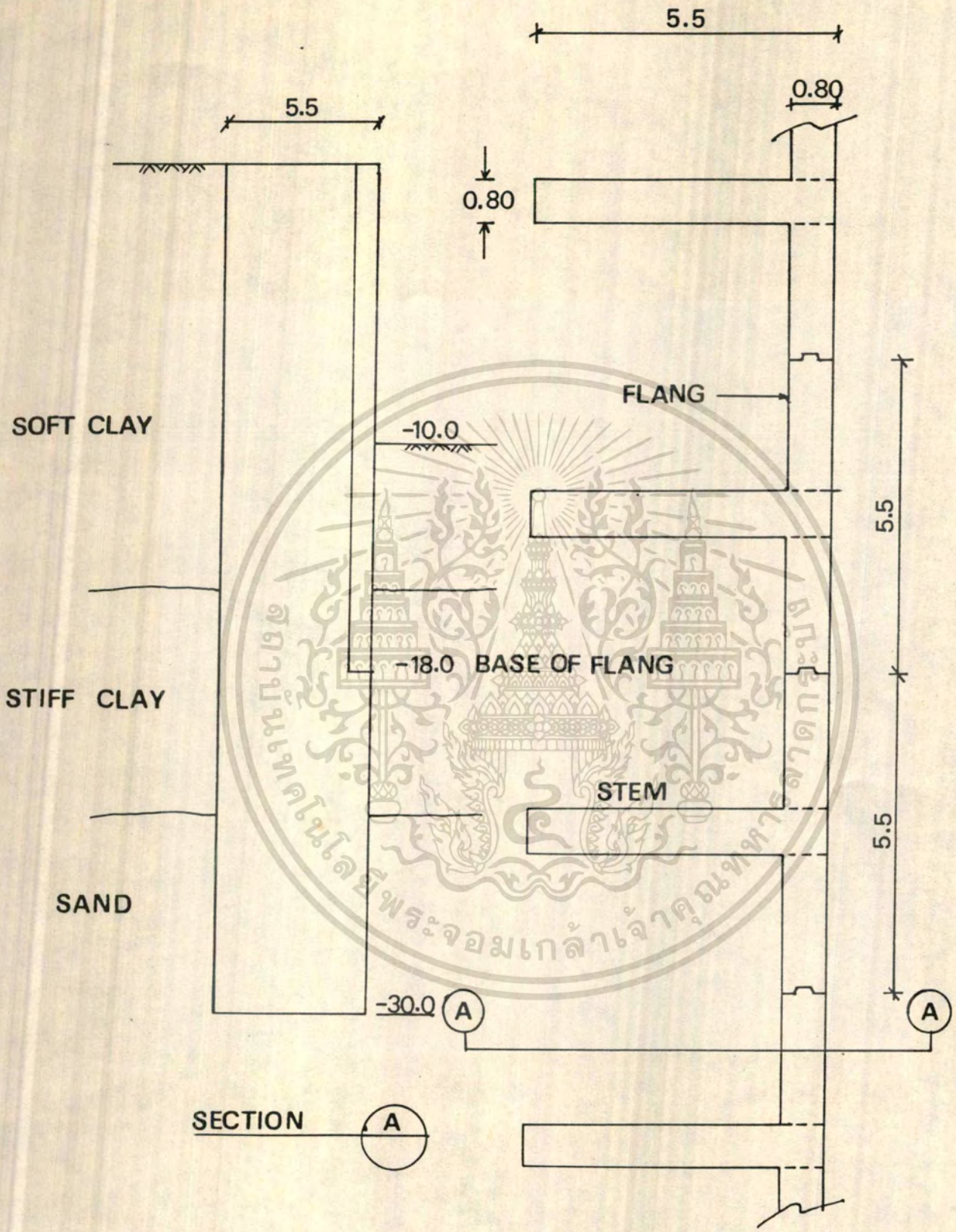


แสดงลักษณะของชั้นดินของโครงการ SCB Phase II&III



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

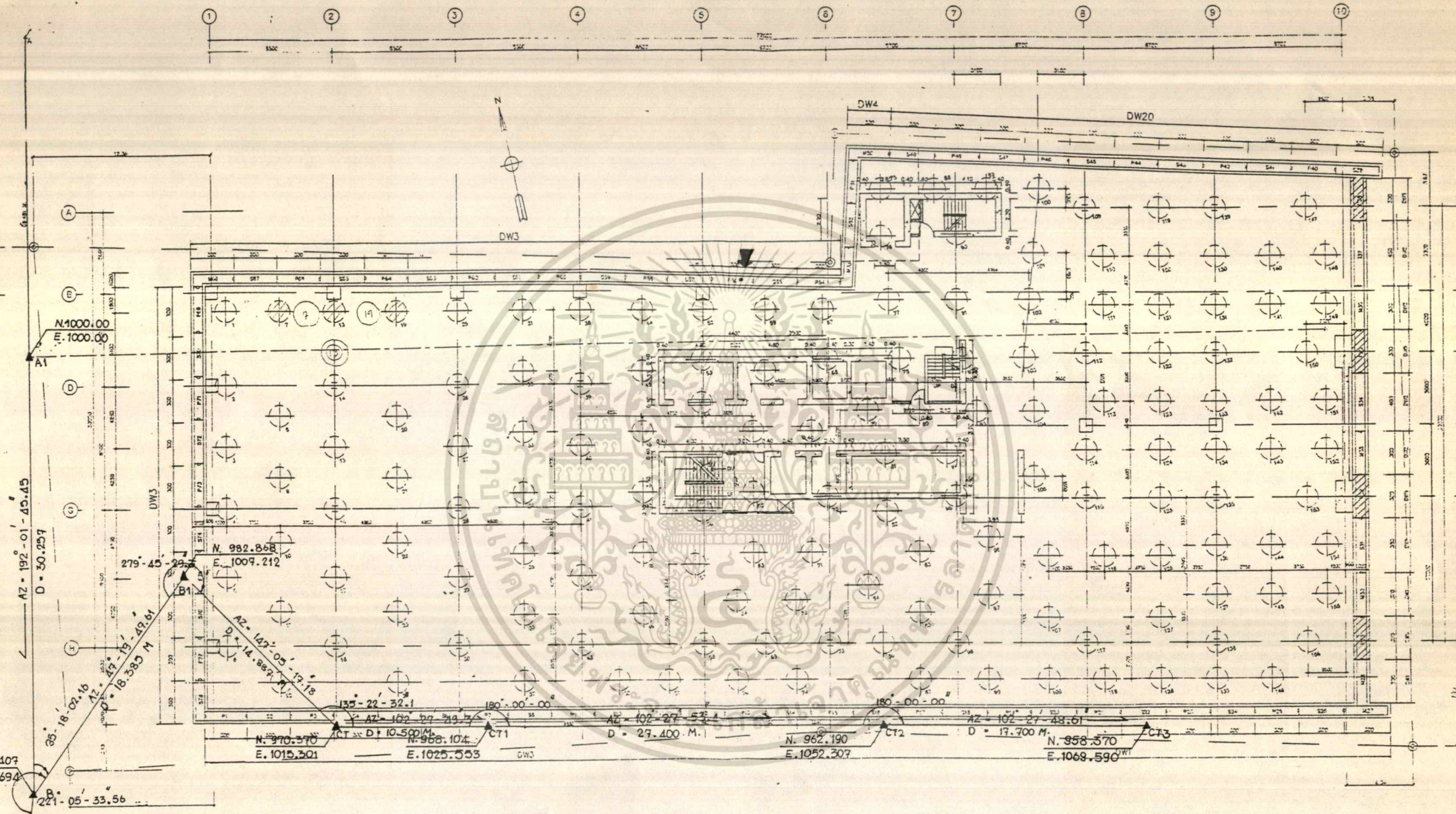
แสดงลักษณะการขุดดินและ D-Wall แบบ T-Shape ของโครงการ SCB Phase II&III



PLAN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





PILING PLAN

รูปที่ 5.14 SCALE 1 : 250

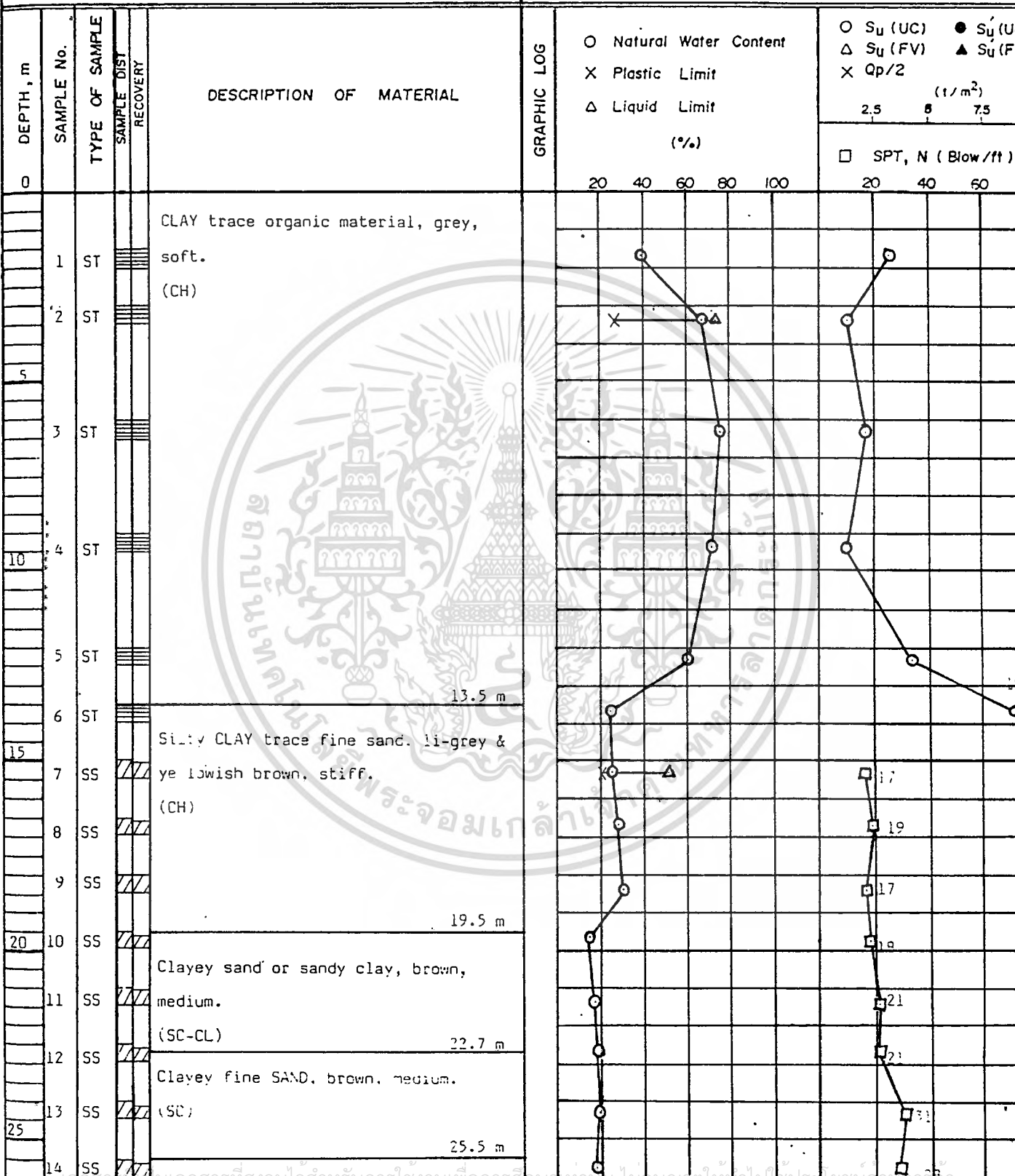
แสดง Lay Out ของโครงการ ROJANA TOWER

LOG OF BORING

PROJECT NAME. โรจนะ ทาวเวอร์

LOCATION. ถนนโศภน ภูมิ.

OWNER

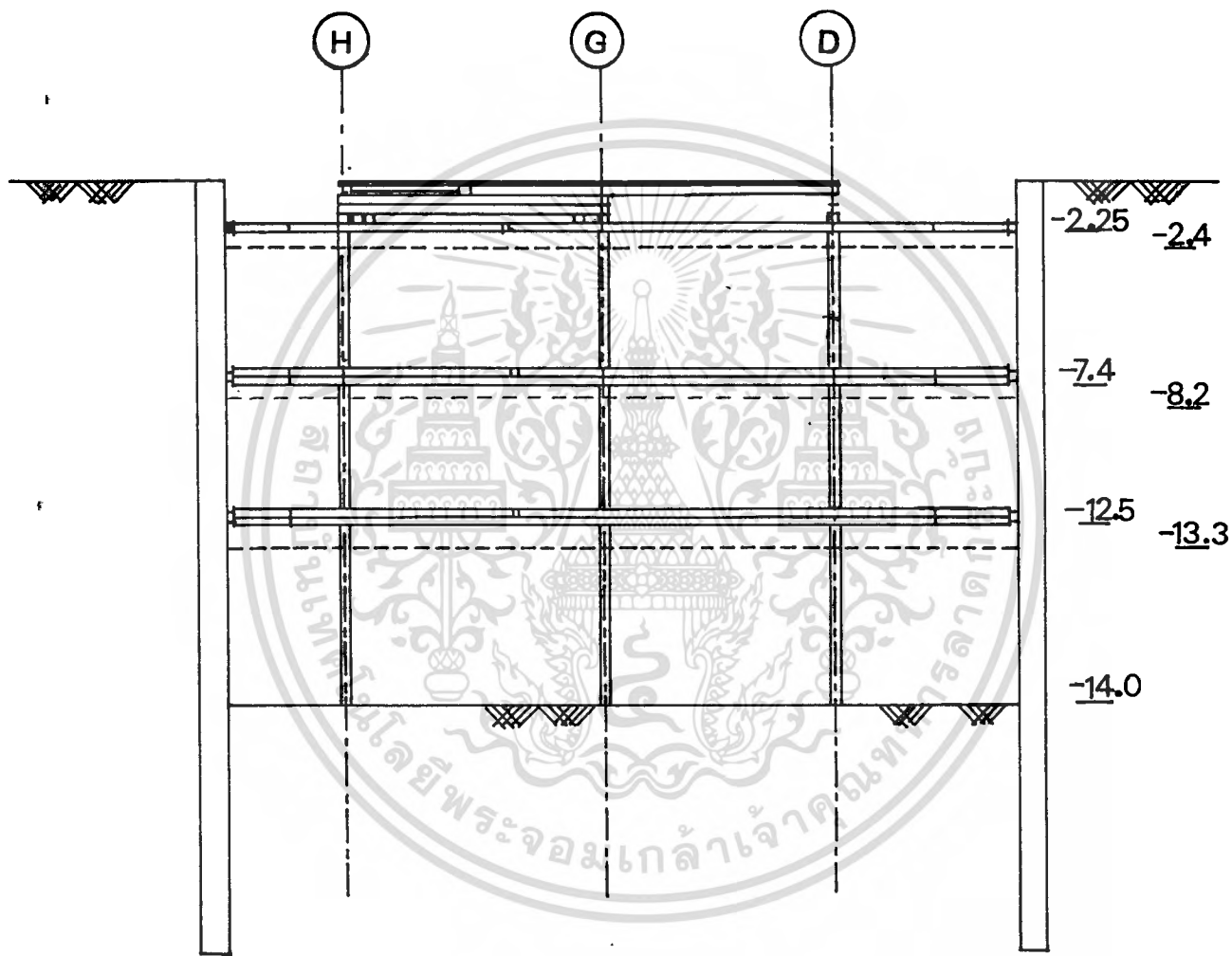


STS ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD

BORING STARTED. 11/6/32 RIGACKER No. 23 WL - 17 M. 24 -FS.  
 BORING FINISHED. 17/6/32 FOREMAN. TH AFTER BORING.  
 JOB No 2137

รูปที่ 5.16

แสดงขั้นตอนการก่อสร้างของโครงการ ROJANA TOWER

**SECTION 1:200**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.1 ผลของโครงการ PRESIDENT TOWER

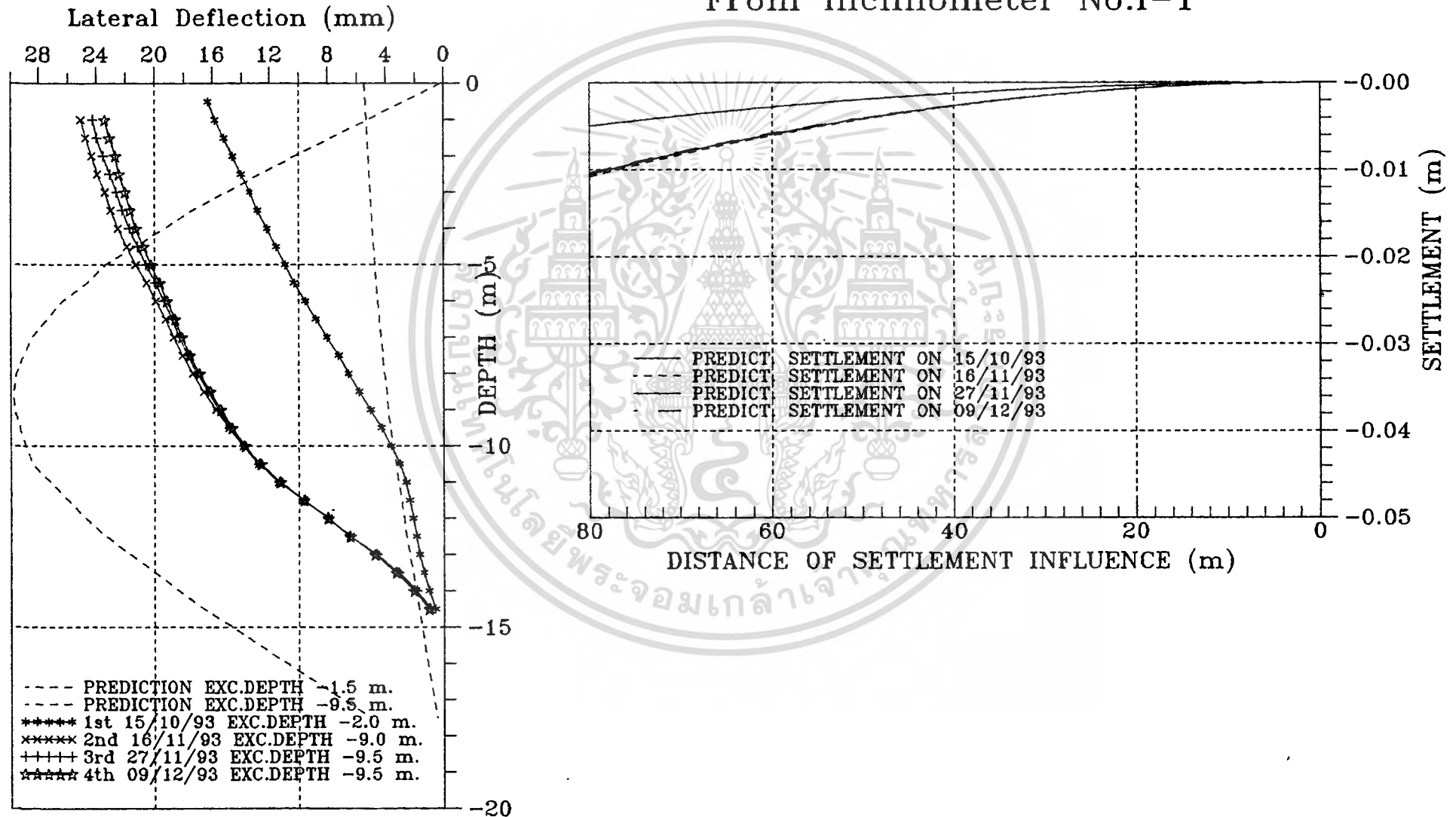


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# P R E S I D E N T T O W E R

## Inclinometer Readings Inclinometer No.I-1

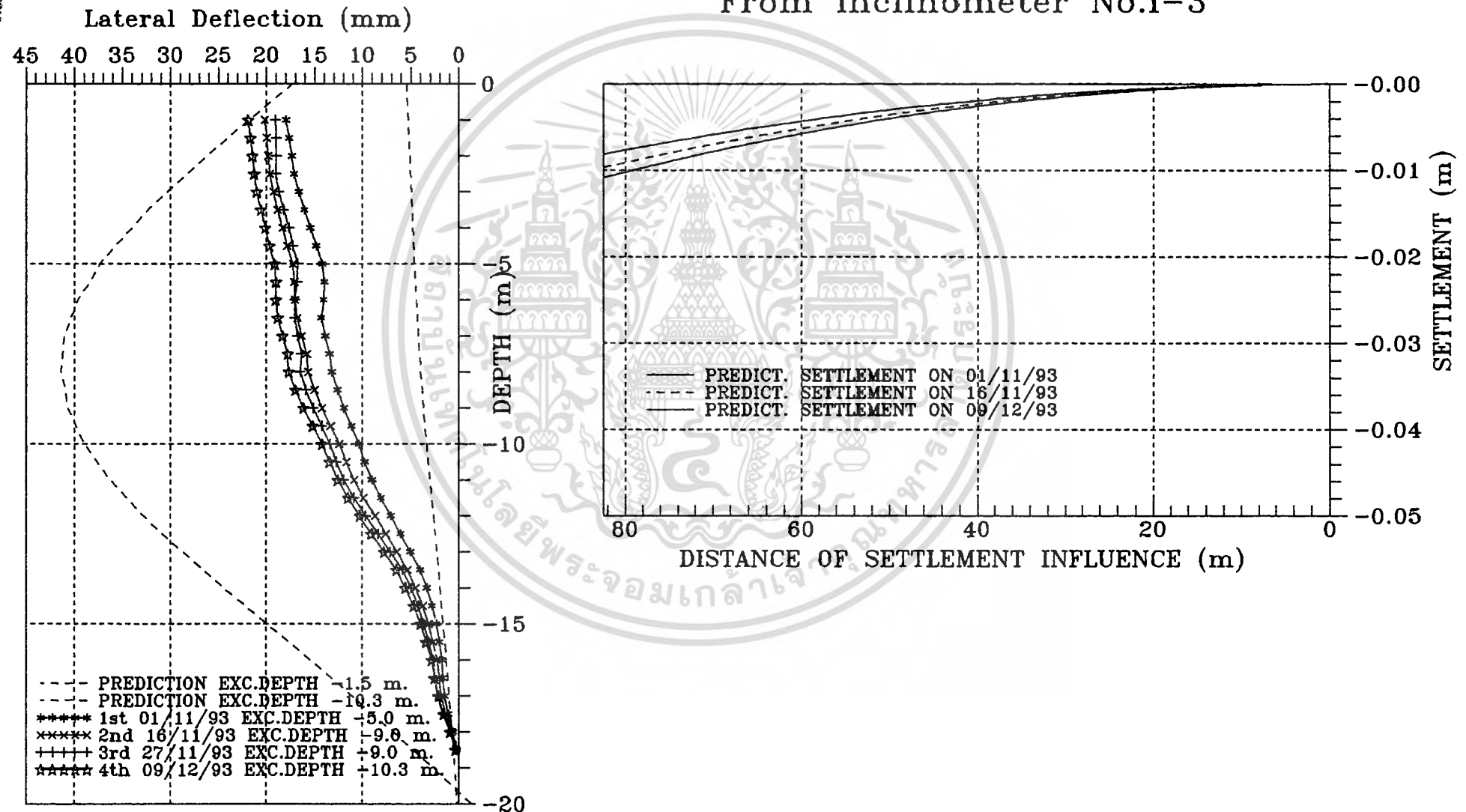
## Prediction of Ground Settlement From Inclinometer No.I-1



# P R E S I D E N T T O W E R

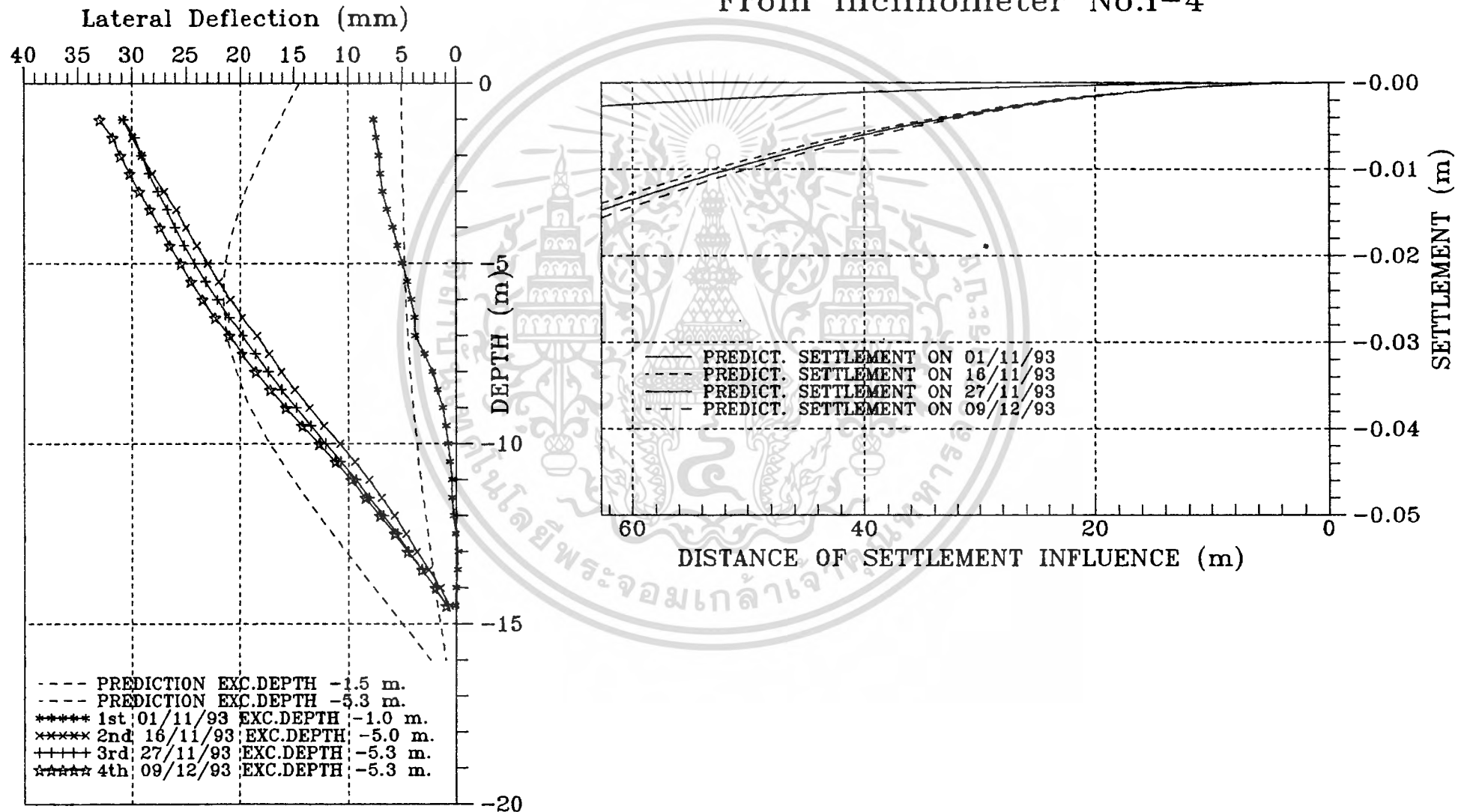
## Inclinometer Readings Inclinometer No.I-3

## Predictioned of Ground Settlement From Inclinometer No.I-3



Inclinometer Readings  
Inclinometer No.I-4

Prediction of Ground Settlement  
From Inclinometer No.I-4



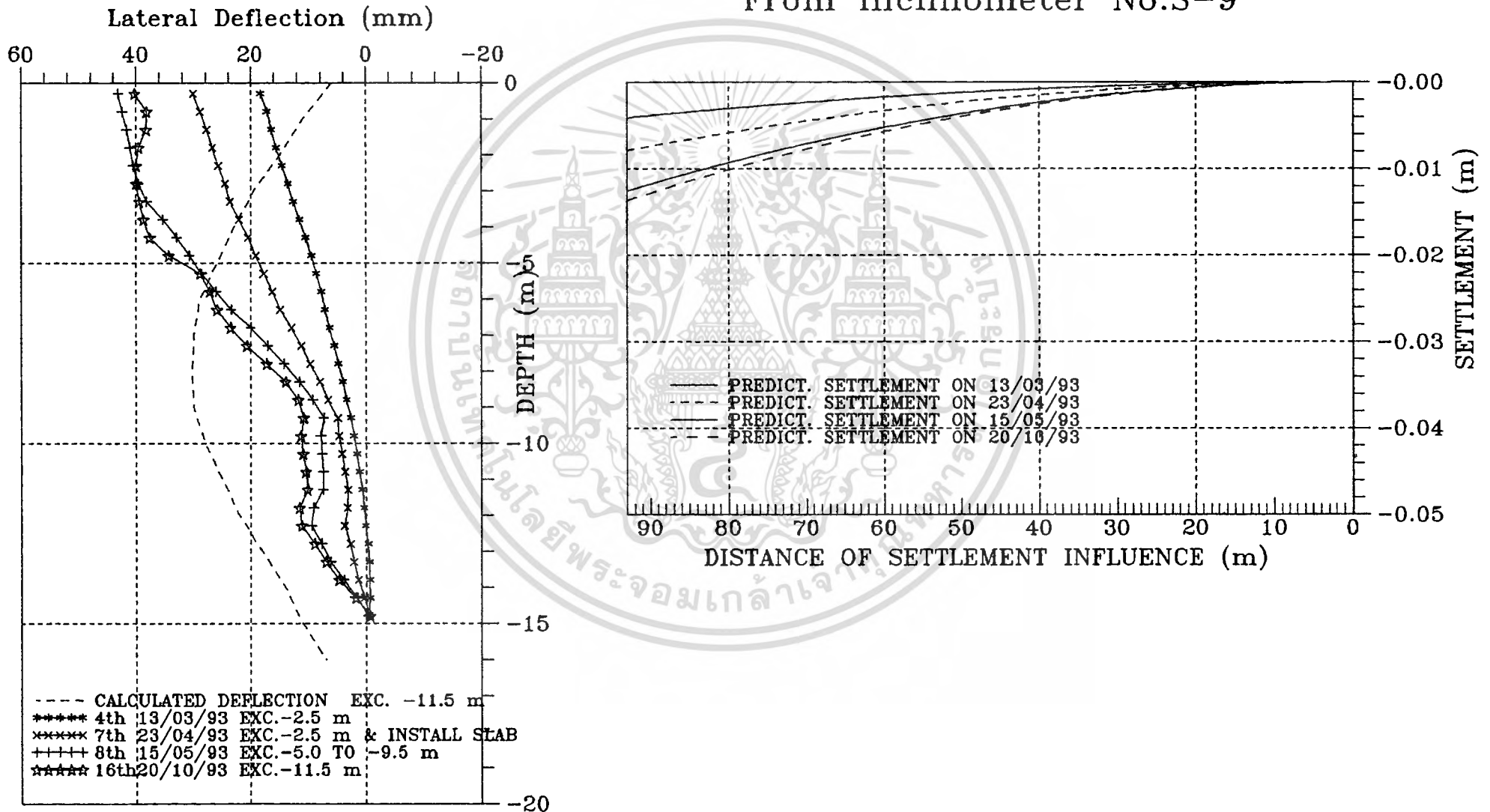
## 6.2 ผลของโครงการ D.S.P.A PROJECT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

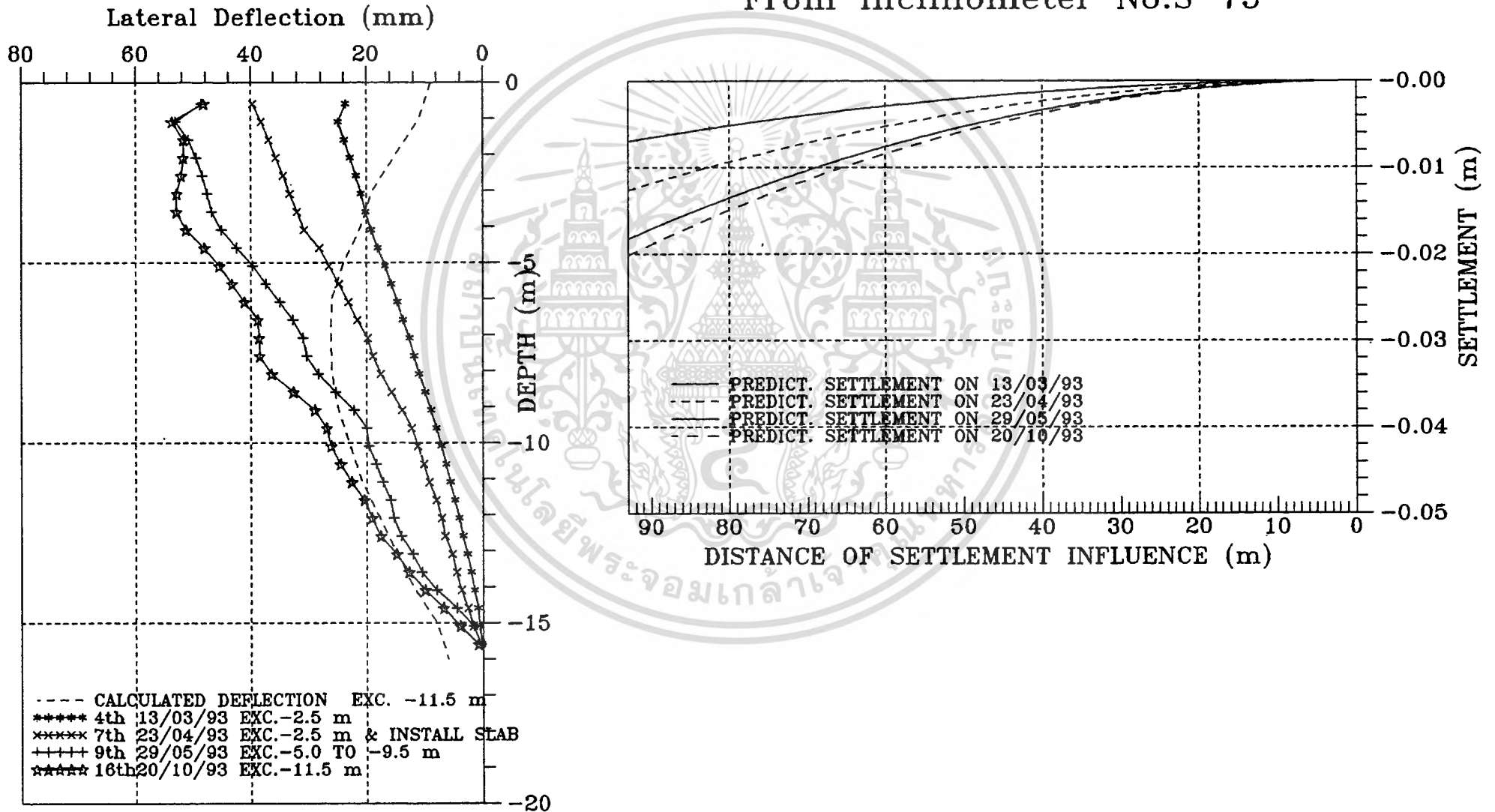
Inclinometer Readings  
Inclinometer No.S-9

Prediction of Ground Settlement  
From Inclinometer No.S-9



Inclinometer Readings  
Inclinometer No.S-75

Predictioned of Ground Settlement  
From Inclinometer No.S-75



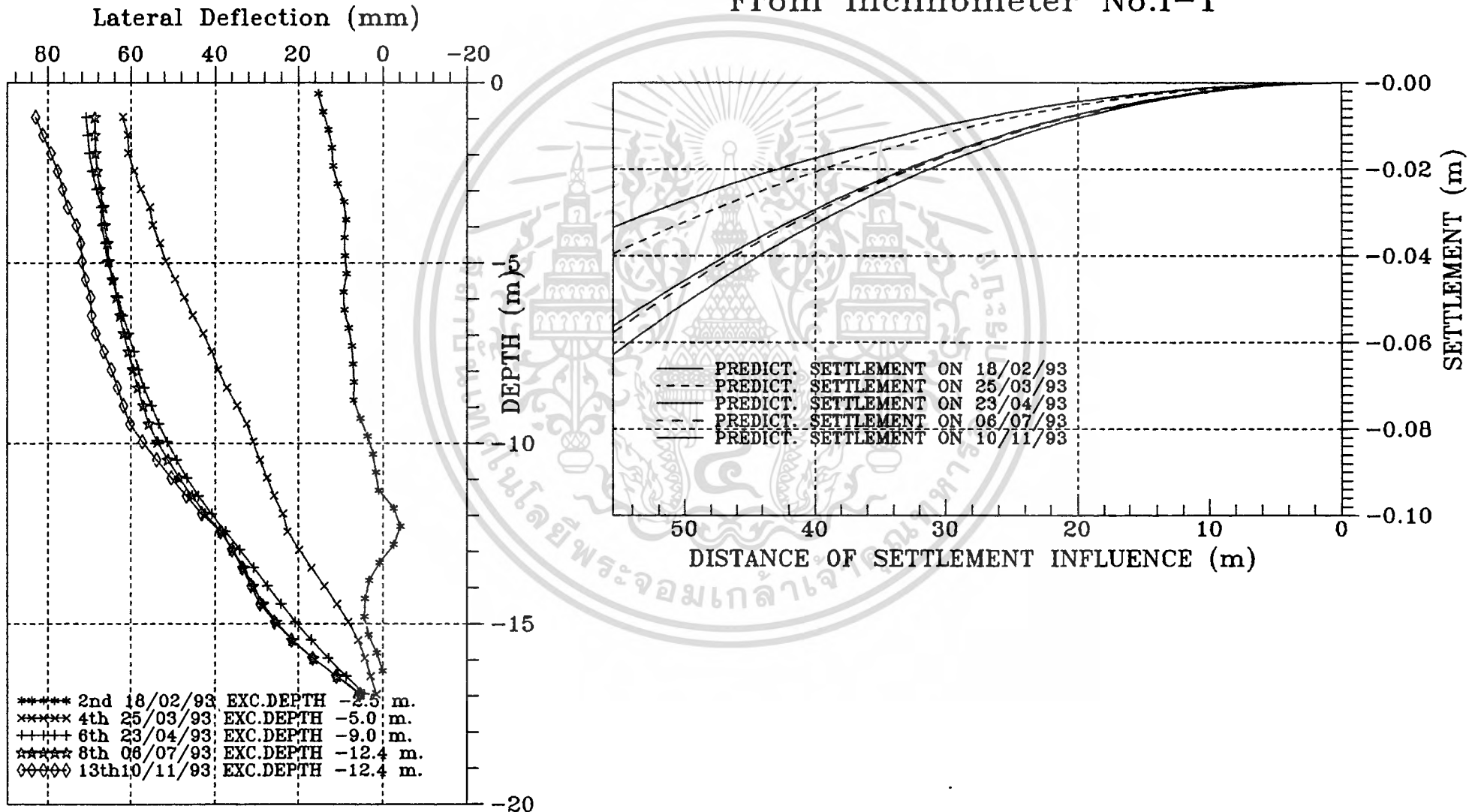


### 6.3 ผลของโครงการ EXTEL PLAZA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

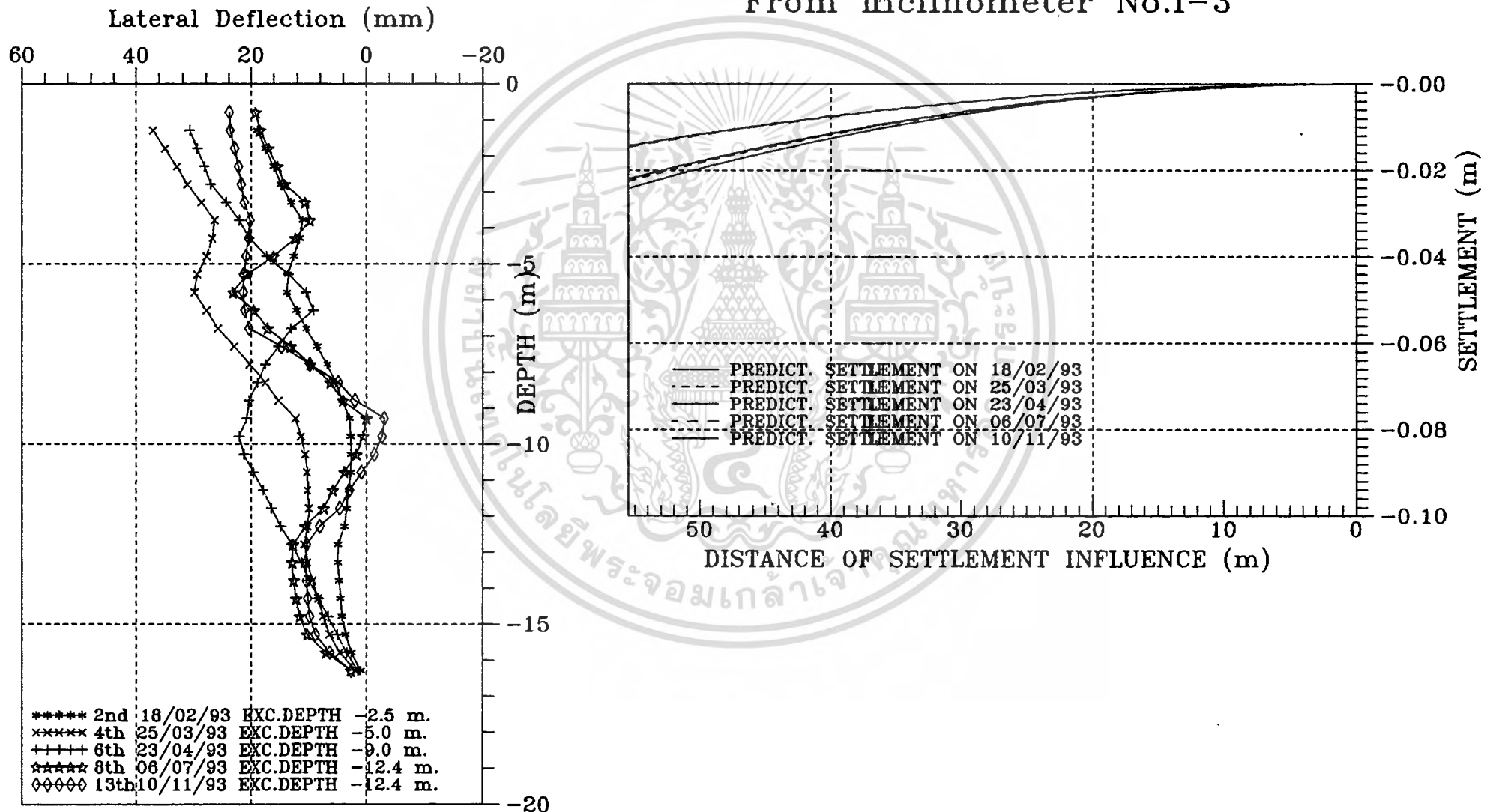
Inclinometer Readings  
Inclinometer No.I-1

Predictioned of Ground Settlement  
From Inclinometer No.I-1



Inclinometer Readings  
Inclinometer No.I-3

Predictioned of Ground Settlement  
From Inclinometer No.I-3



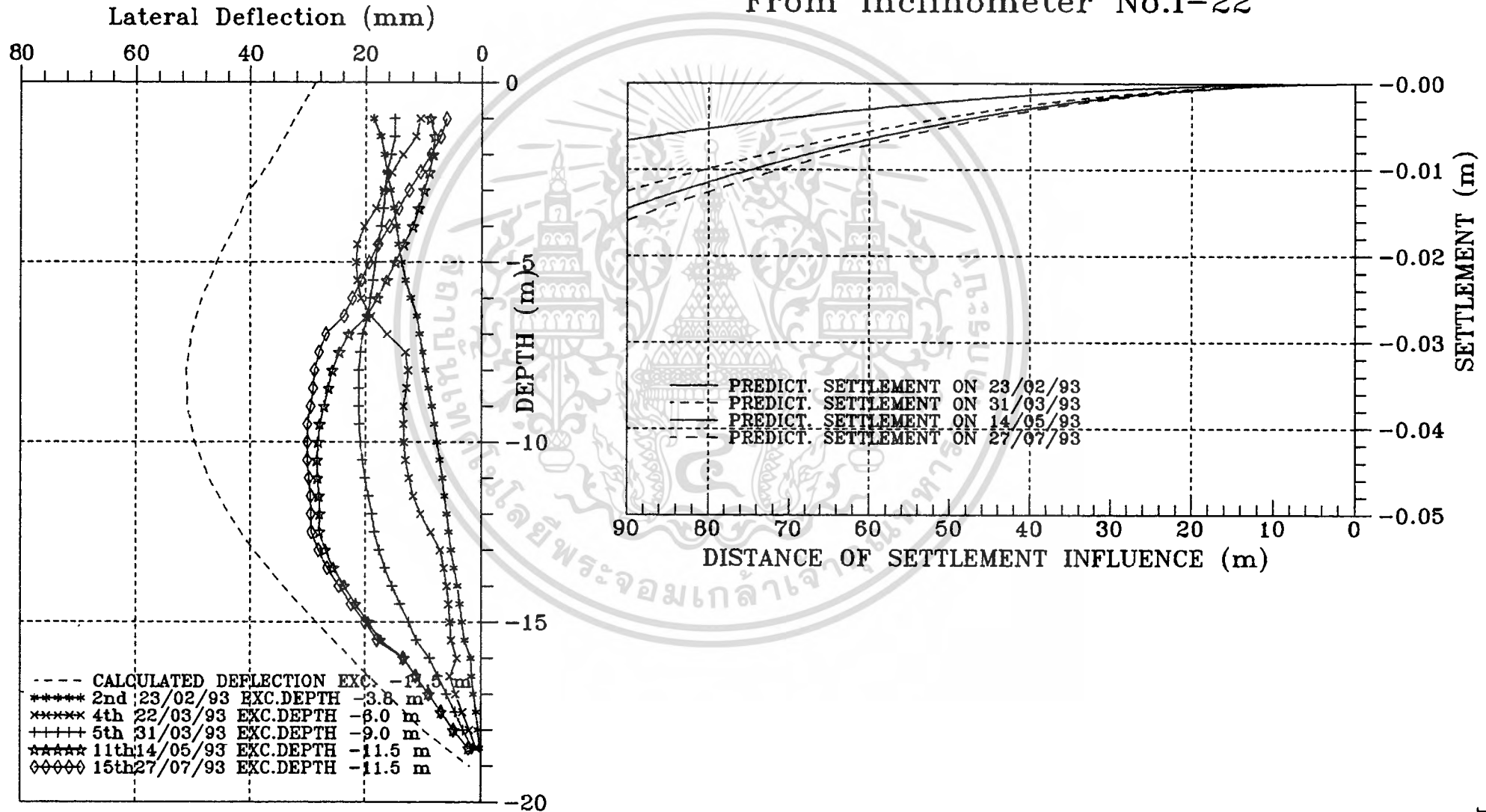
## 6.4 ผลของโครงการ Siam Commercial Bank(SCB)

### Phase II&III

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

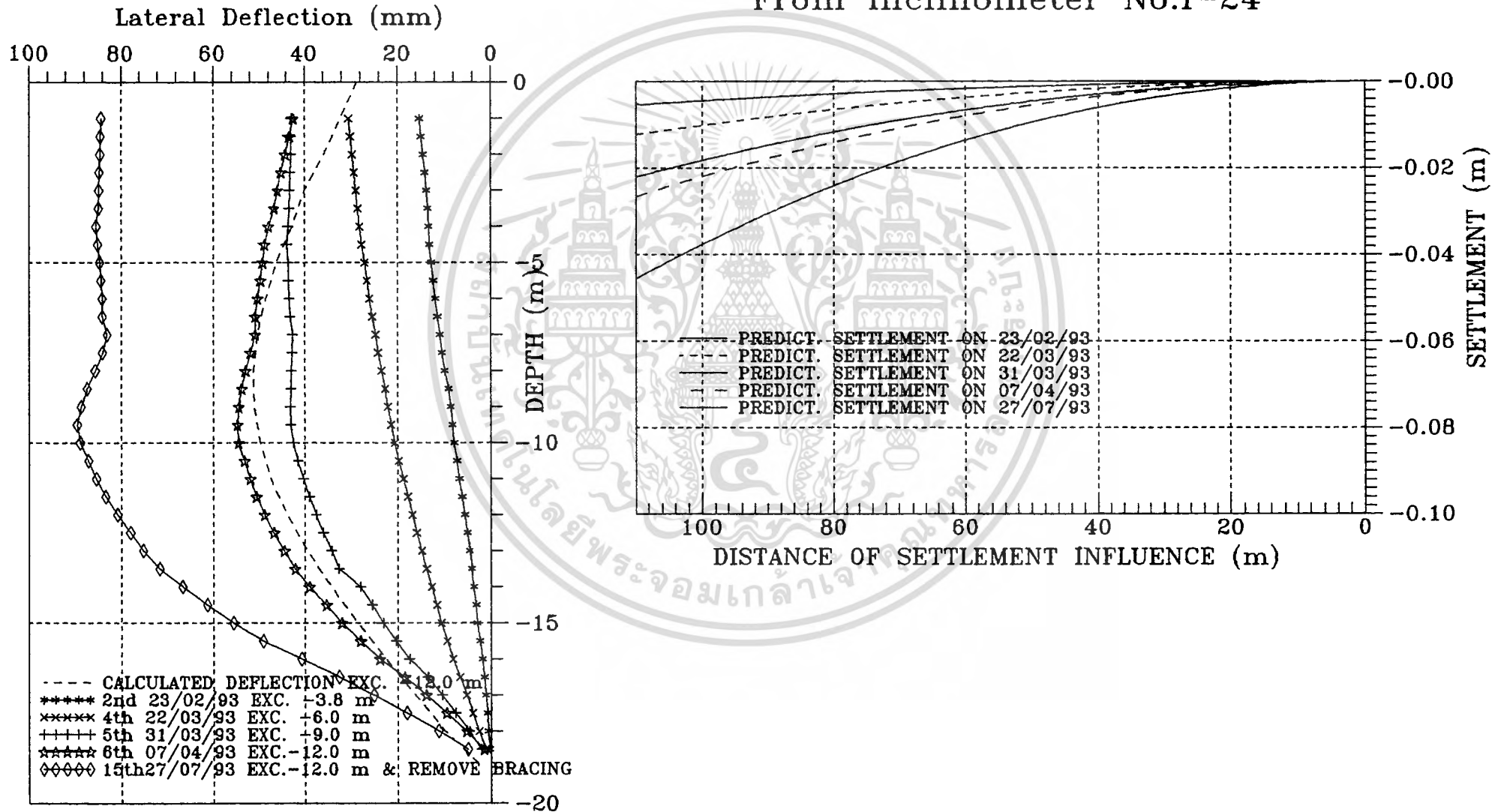
Inclinometer Readings  
Inclinometer No.I-22

Predictioned of Ground Settlement  
From Inclinometer No.I-22



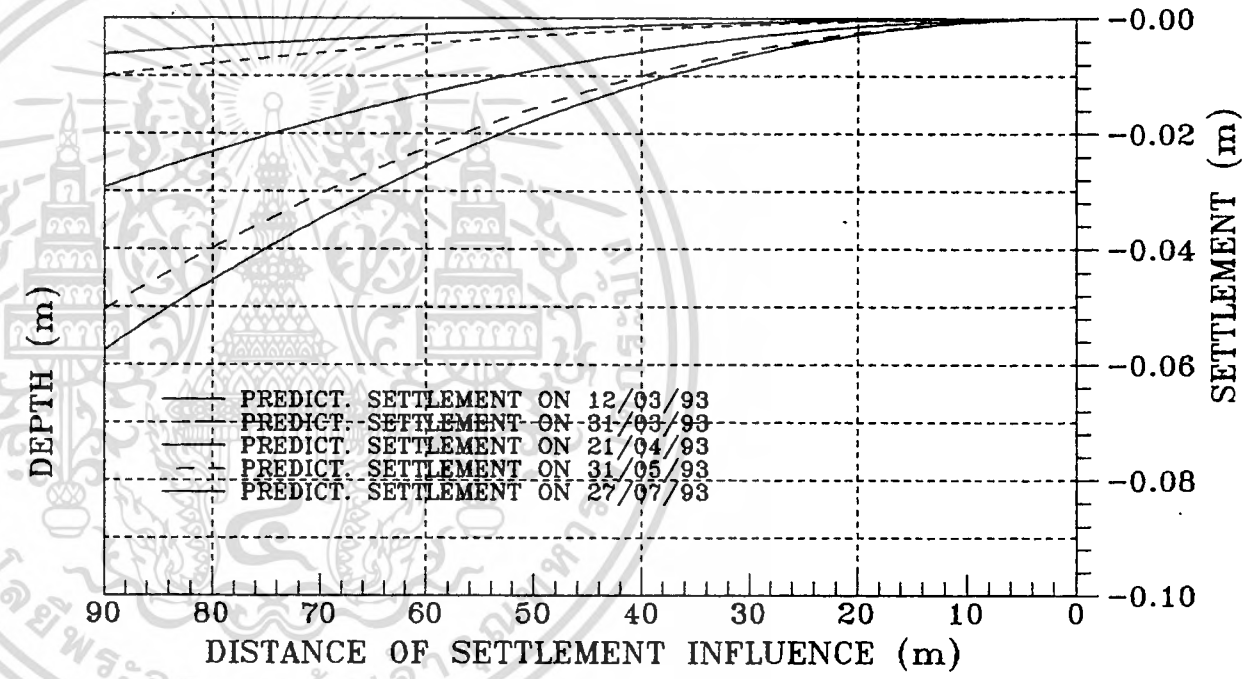
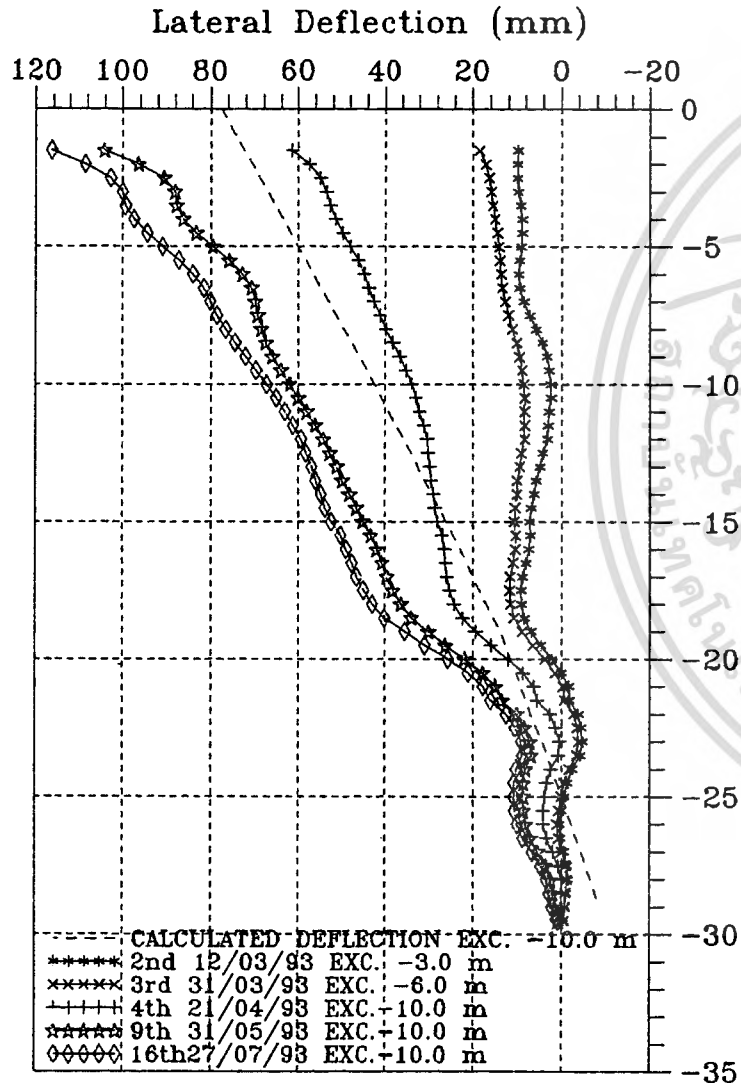
Inclinometer Readings  
Inclinometer No.I-24

Predictioned of Ground Settlement  
From Inclinometer No.I-24



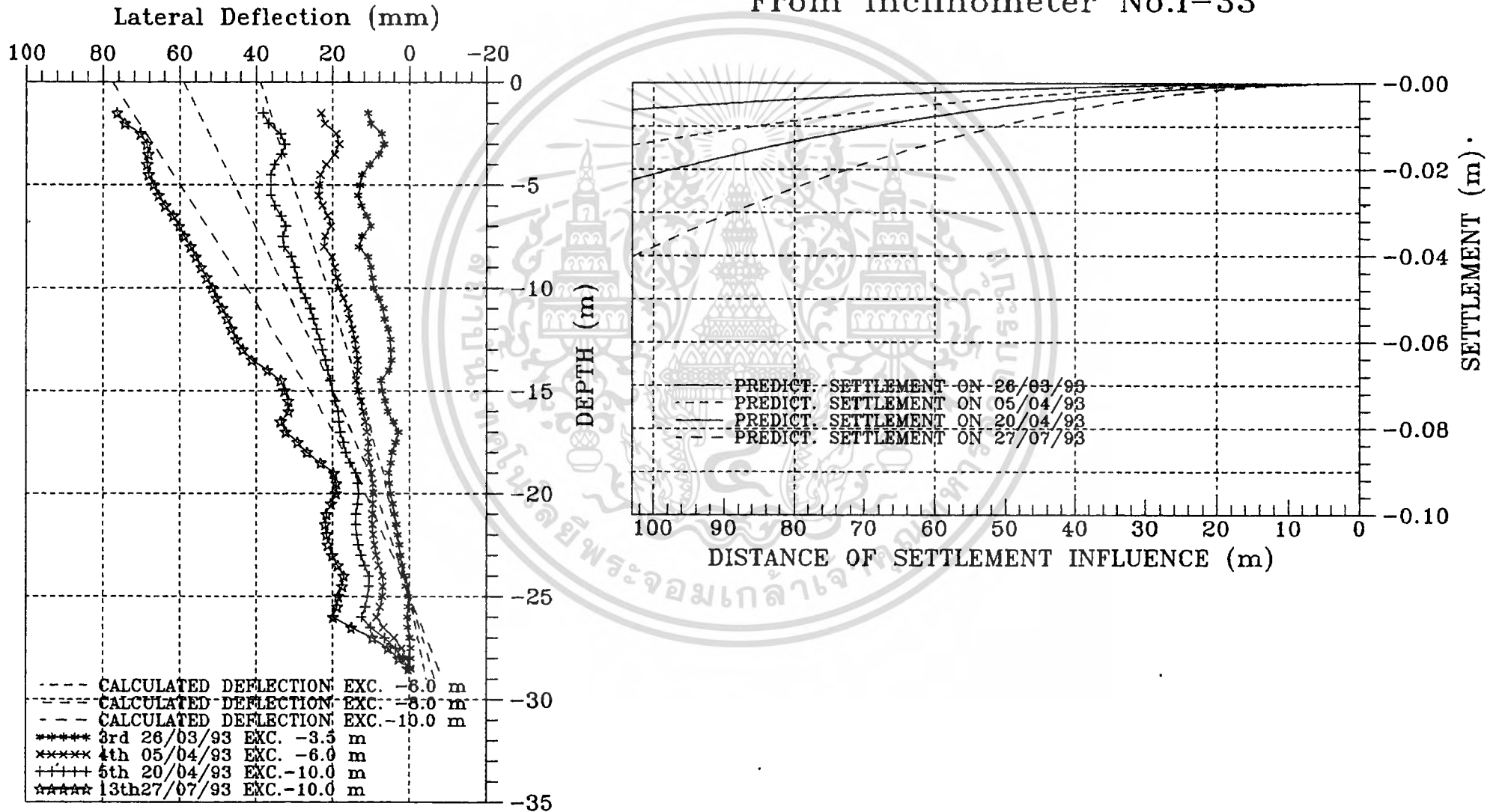
Inclinometer Readings  
Inclinometer No.I-25

Prediction of Ground Settlement  
From Inclinometer No.I-25



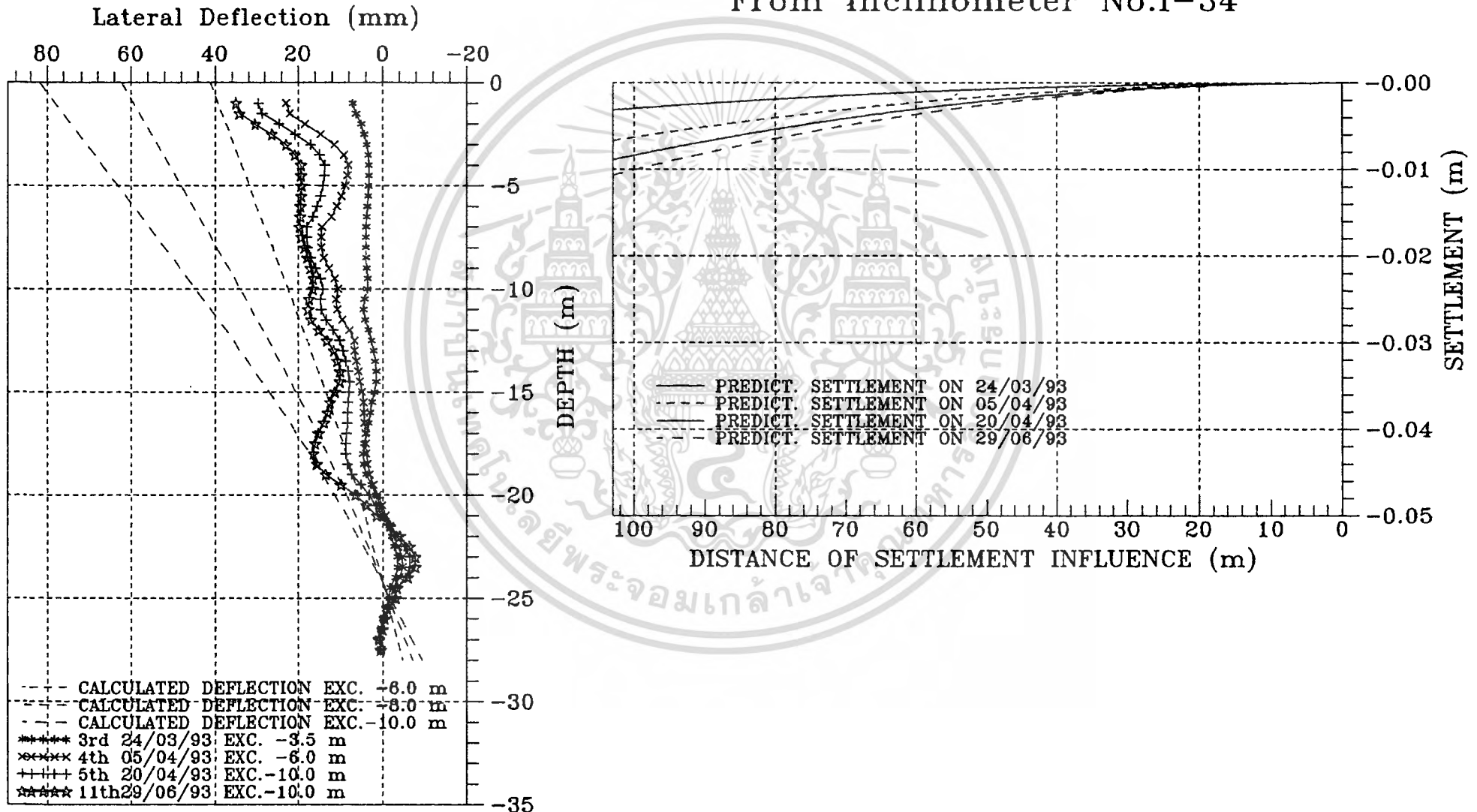
Inclinometer Readings  
Inclinometer No.I-33

Predictioned of Ground Settlement  
From Inclinometer No.I-33



Inclinometer Readings  
Inclinometer No.I-34

Predictioned of Ground Settlement  
From Inclinometer No.I-34



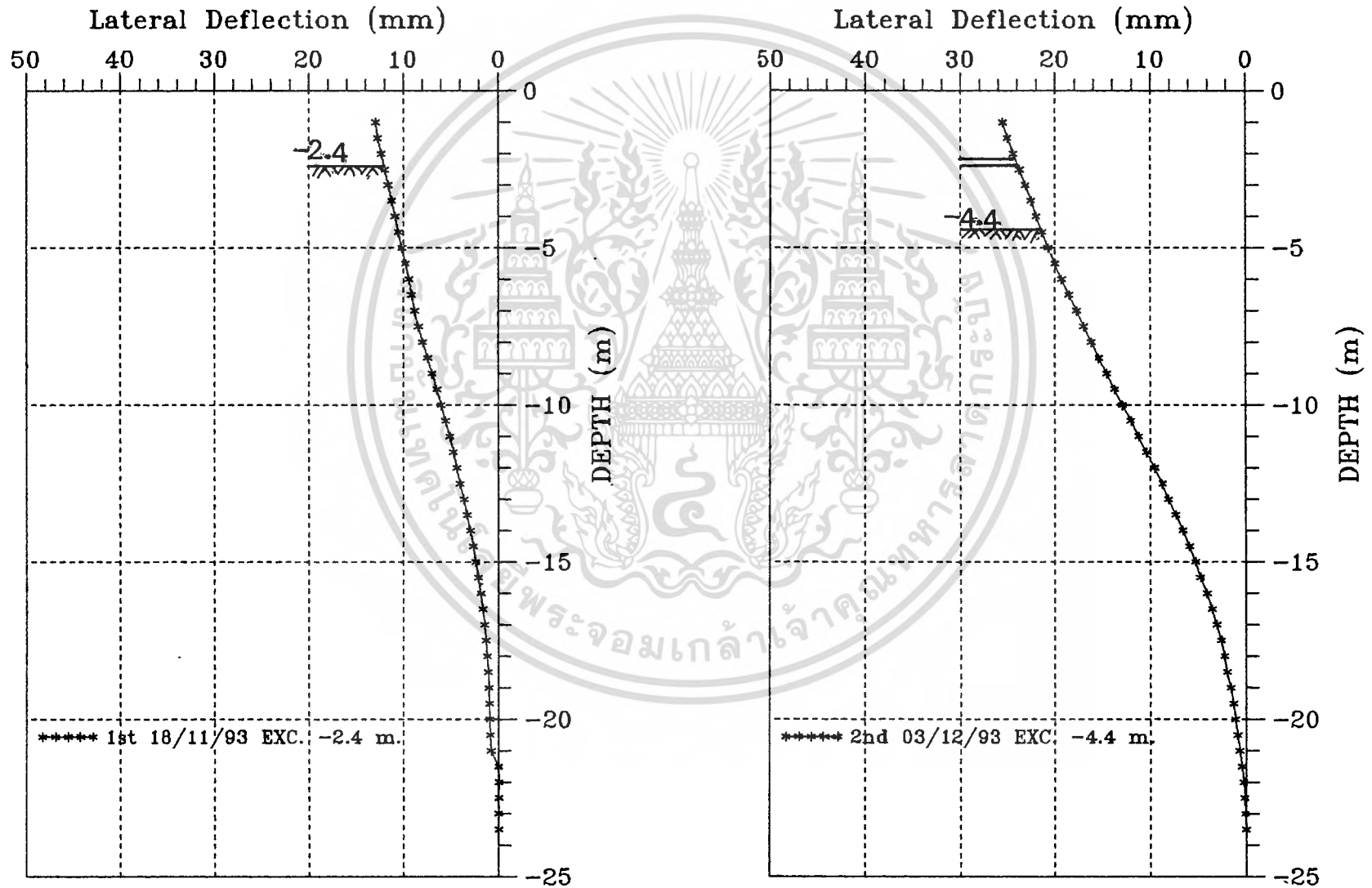
## 6.5 ผลของโครงการ ROJANA TOWER



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

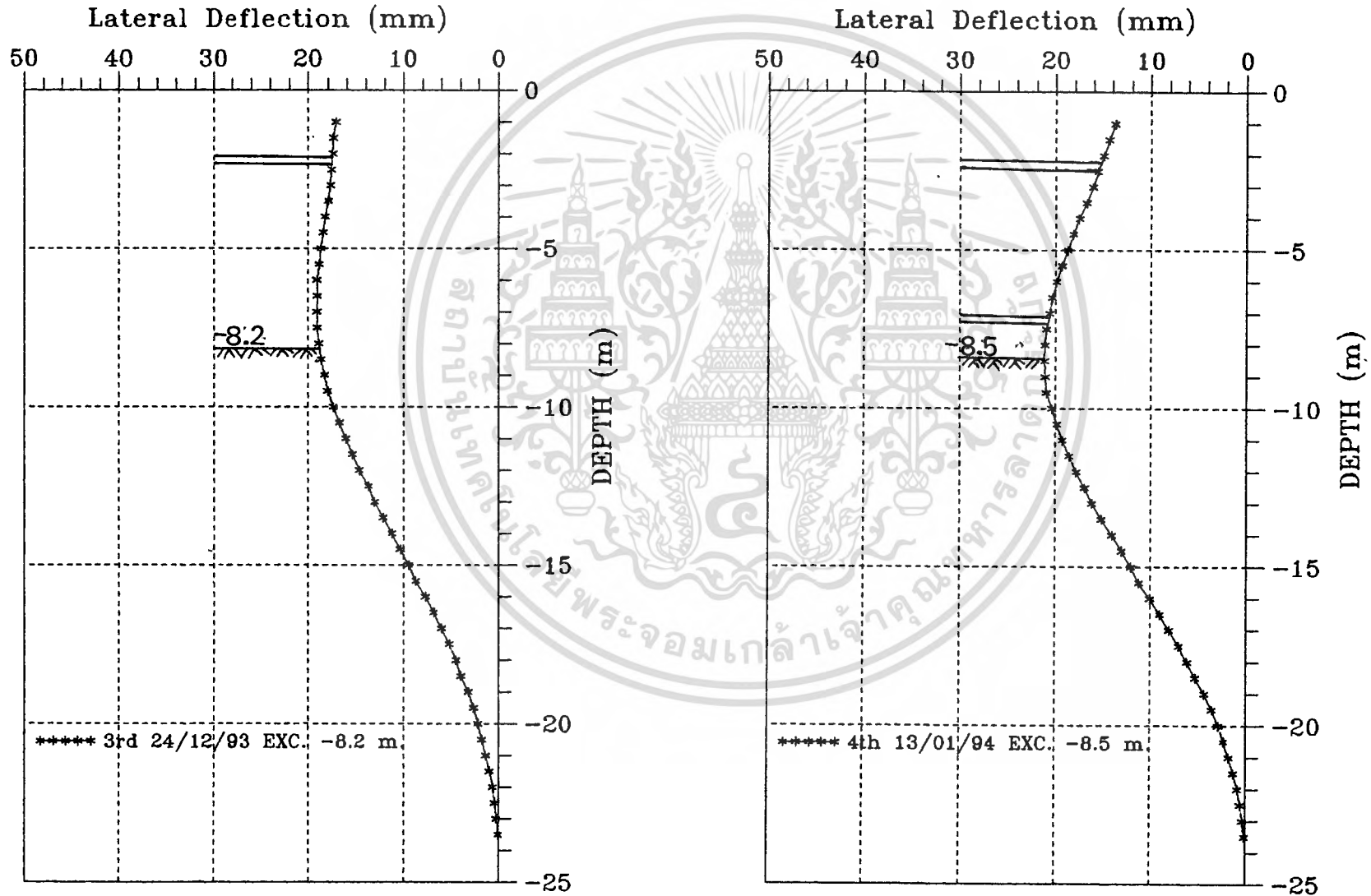
# ROJANA TOWER

## Inclinometer Readings Inclinometer No.I-1



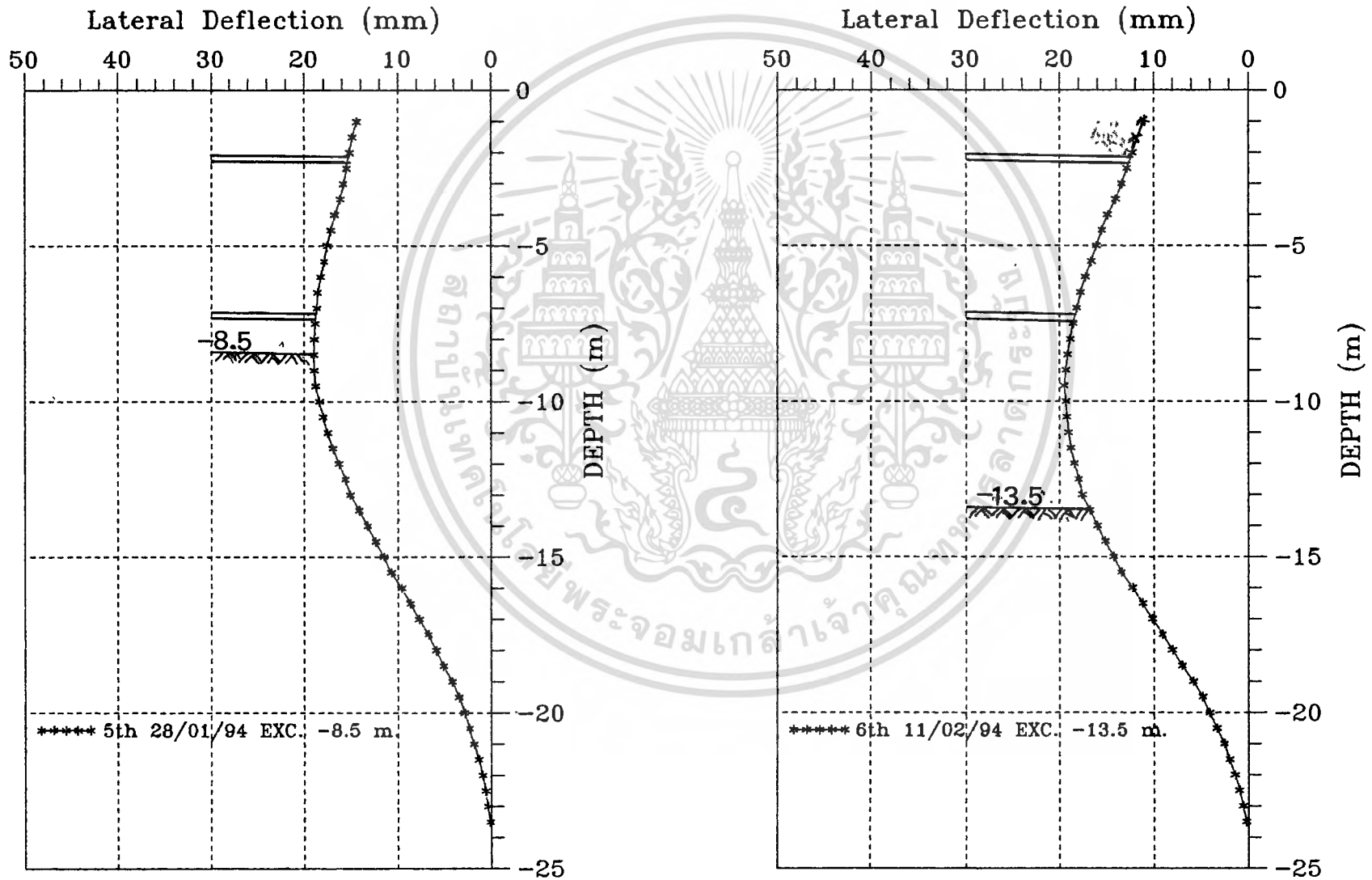
# R O J A N A T O W E R

## Inclinometer Readings Inclinometer No.I-1



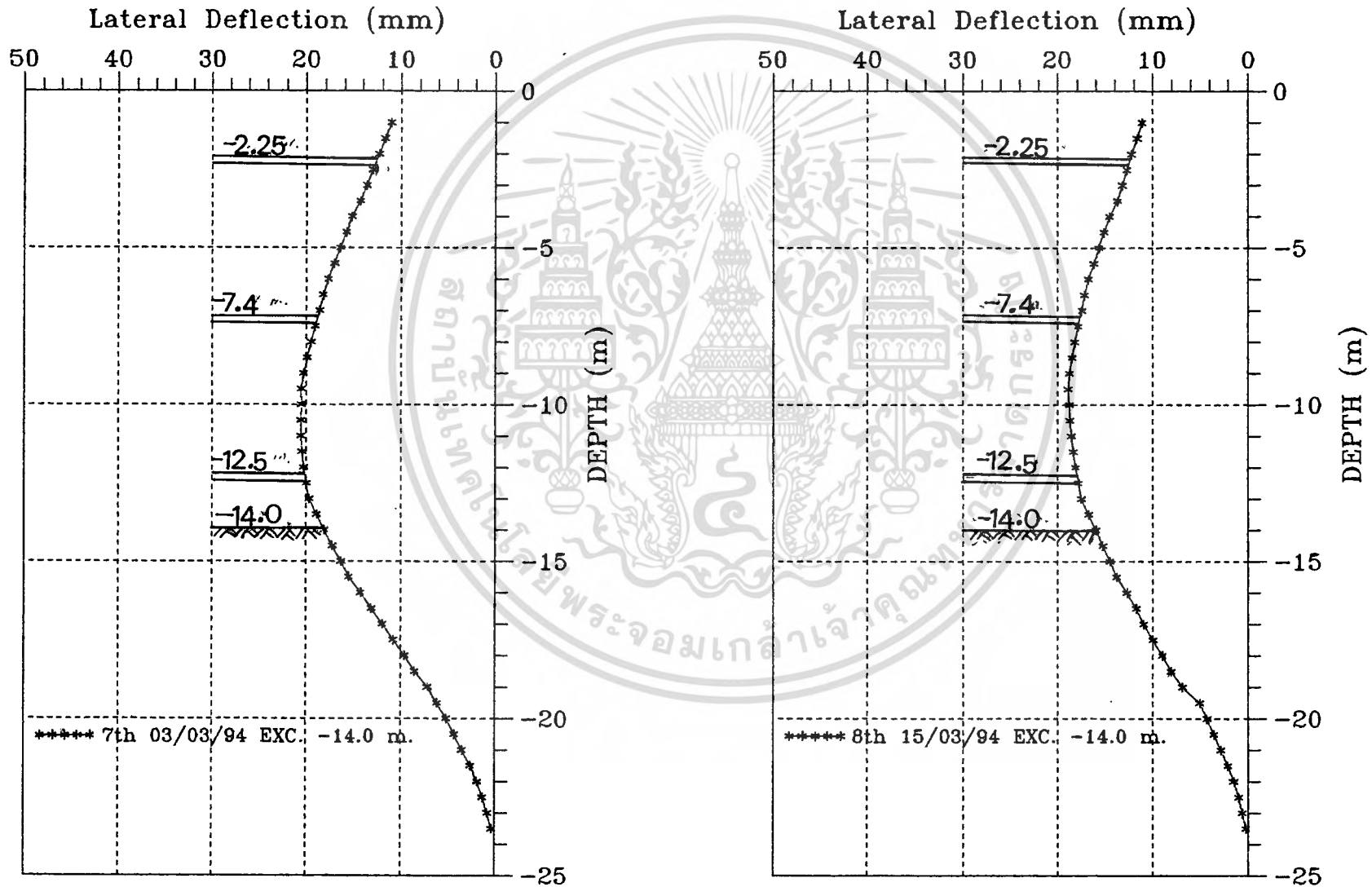
# R O J A N A T O W E R

## Inclinometer Readings Inclinometer No.I-1



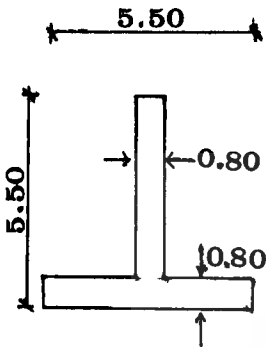
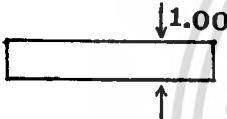

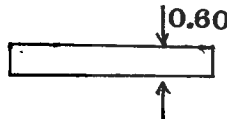
# R O J A N A T O W E R

## Inclinometer Readings Inclinometer No.I-1



ตารางที่ 6.1

ตารางเปรียบเทียบค่าการเคลื่อนตัวของ D-Wall ที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

SHAPE	EI ( $t/m^2/m$ )	MAX. BENDING MOMENT ( $t-m/m$ )	CRITICAL CANTILIVER HEIGHT (m)	CALCULATED DEFLECTION (mm.)	ACTUAL DEFLECTION (mm.)
	5,000,000	650.0	10.0	80.0	50-110
	170,000	190.0	4.0	50.0	25-60
	85,000	125.0	2.5	40.0	35-50
	36,000	90.0	2.0	30.0	25-45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 6.2

ตารางเปรียบเทียบค่า Maximum Deflection ที่วัดได้กับค่า Minimum Settlement ที่คำนวณได้

PROJECT	INCLINOMETER No.	MAXIMUM DEFLECTION	MINIMUM SETTLEMENT
PRESIDENT TOWER	I-1	25.08	10.52
	I-3	20.19	10.71
	I-4	31.02	14.72
D.S.P.A PROJECT	S-9	42.90	13.67
	S-75	53.74	20.16
EXTEL PLAZA	I-1	68.82	57.65
	I-3	37.10	24.10
SCB	I-22	28.52	12.49
	I-24	54.73	26.56
	I-25	61.37	29.29
	I-33	38.29	22.40
	I-34	29.43	8.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 7.1 บทสรุป

จากการทดลองและศึกษาการเคลื่อนตัวของคานเมื่อมีการขุดดินลึก ของคานเหนียวอ่อนในกรุงเทพฯ ซึ่งใช้ระบบ Diaphragm Wall เป็นโครงสร้างรับแรงดันด้านข้างโดยการวัดค่าการเคลื่อนตัวและโก่งตัวของผนัง Diaphragm Wall ของโครงการทั้งหมด 5 โครงการ แล้วนำผลที่ได้มาทำการศึกษาดังปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัว และทำนายการทรุดตัวของคานบริเวณหลัง D-Wall เนื่องจากการเคลื่อนตัวของผนัง D-Wall สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อทำการขุดดินพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพง คือ
  - 1.1 สภาพของดินและกำลังต้านทานการรับแรงเฉือนของดิน โดยเฉพาะค่าโมดูลัส (E) ของดินจะมีผลมากคือ ถ้าดินที่มีค่า E สูง จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวได้น้อยกว่าดินที่มีค่า E ต่ำ สังเกตได้จากในหัวข้อที่ 2.2.5 และค่า  $S_u$  ของดินก็จะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับค่า E
  - 1.2 ความแข็งแรงของผนัง (Wall Stiffness) ความแข็งแรงในที่นี้จะอยู่ในเทอมของ  $EI/L^4$  โดย L เป็นระยะห่าง (Spacing) ของ Strut ในแนวตั้ง จะสังเกตว่าถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงค่า L เพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ค่า Stiffness ของผนังเปลี่ยนแปลงไปได้มากทีเดียว (เพราะ L ยกกำลัง 4) และจากการศึกษาจะให้ความสัมพันธ์ระหว่าง Stiffness ของผนังกับการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้างดังกราฟรูปที่ 7.1 ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่า ถ้าระบบ Support มี Stiffness เพิ่มมากขึ้นก็จะลดการเคลื่อนตัวของผนังได้มากขึ้นเช่นกัน
  - 1.3 ระยะฝังของ D-Wall (Embedment) คือเมื่อ D-Wall มีระยะฝังมากขึ้นก็จะทำให้การเคลื่อนตัวด้านข้างเกิดขึ้นน้อยลงเพราะจะมีแรง Passive มาช่วยต้านทานแรง Active มากยิ่งขึ้น
  - 1.4 ระยะเวลา (Time) คือเมื่อเวลาผ่านไป D-Wall ก็จะเคลื่อนตัวไปได้เรื่อยๆ คั้งนั้นจึงควรทำการก่อสร้างงานใต้ดินให้แล้วเสร็จโดยเร็วที่สุด

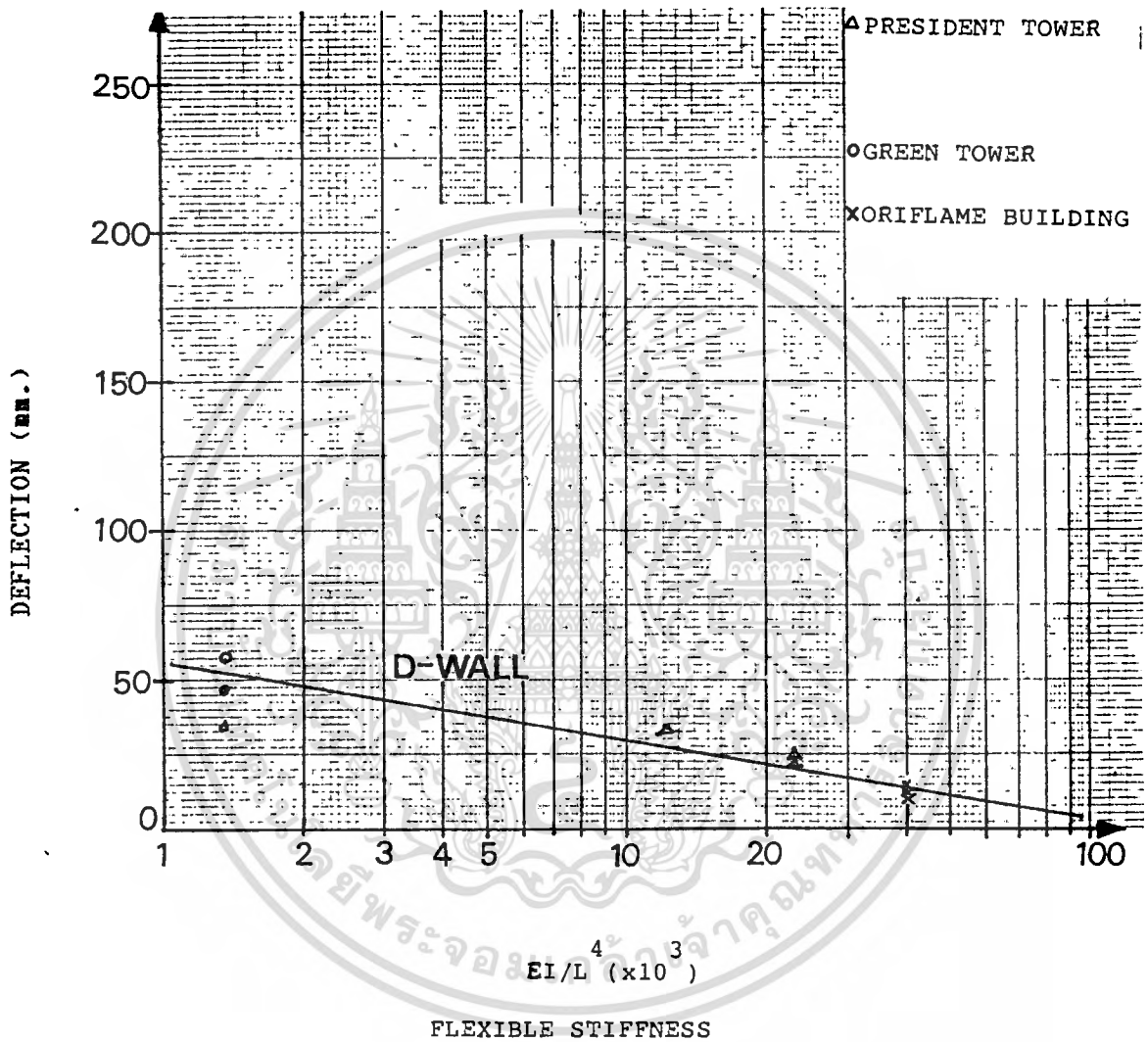
2. ค่าการเคลื่อนตัวของระบบ D-Wall Support สามารถสรุปได้ดังนี้

- |                              |                                    |
|------------------------------|------------------------------------|
| - D-Wall with Top-Down       | การเคลื่อนตัวไม่เกิน 60 มิลลิเมตร  |
| - D-Wall with Internal Strut | การเคลื่อนตัวไม่เกิน 80 มิลลิเมตร  |
| - Freestanding D-Wall        | การเคลื่อนตัวไม่เกิน 100 มิลลิเมตร |

จะเห็นได้ว่าระบบที่มีประสิทธิภาพที่สามารถลดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของ D-Wall ได้ดีที่สุด ที่มีการก่อสร้างในกรุงเทพฯ คือระบบ "Diaphragm Wall with Top-Down Method"

รูปที่ 7.1

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Deflection กับ Flexible Stiffness



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากการนำค่าการเคลื่อนตัวที่ได้จริง ๆ ไปคำนวณหาการทรุดตัวบริเวณหลังกำแพงโดยใช้สูตรของ Caspe(1966) เราพอจะสรุปได้ว่าการทรุดตัวในแนวตั้ง ( $\delta V_{min}$ ) ที่เกิดขึ้นอย่างน้อยที่สุดจะไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของการเคลื่อนตัวในแนวราบที่มากที่สุด ( $\delta H_{max}$ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการก่อสร้างชั้นใต้ดิน(Basement) วิธีการและขั้นตอนควรจะทำให้ถูกต้องตามที่ได้ ออกแบบมา โดยเฉพาะช่วงเวลาเริ่มแรกในการติดตั้ง Strut ควรจะรีบทำการติดตั้งให้เร็วที่สุด อย่างปลอดภัยไว้นานเพราะผนังจะเริ่มเคลื่อนตัวไปเรื่อย ๆ
2. การทำ Earth Berm ในการขุดดินลักษณะนี้ จะไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะลดการเคลื่อน ตัวทางด้านข้างโดยตรงได้ แต่อาจจะช่วยได้บ้างในชั้นตอนที่ยังติดตั้ง Strut ไม่เรียบร้อย
3. การเพิ่ม Stress ให้กับ Strut โดยการทำให้ Preload จะเป็นวิธีที่สามารถช่วยลดความเฉื่อย ในการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของ D-Wall ได้เป็นอย่างดี
4. ในการก่อสร้างควรเอาใจใส่ในตัว Strut เป็นอย่างมาก โดยรอบรทุกควรระวังบน Platform และ Platform ต้องออกแบบไม่ให้ทรุดตัวลงมาเป็น Load ต่อ Strut เพราะอาจทำให้ Strut เกิดความเสียหายได้ และอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่น่าจะนำมาคิดคืออุณหภูมิที่ร้อนมากของประ-เทศไทย อาจทำให้ Strut เกิด Strain ขึ้นได้ง่ายเมื่อรับแรง
5. ในการเขียนกราฟระหว่าง  $O_b/H$  และระยะฝัง (EMBEDMENT) เพื่อจะนำไปใช้งาน ควรจะมีการเก็บข้อมูลของโครงการต่างๆให้มากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. ดร.อุดมฤกษ์ ปานพลอยและคณะ,การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2534,การวิเคราะห์งานก่อสร้างใต้ดินสำหรับดินเหนียวอ่อน
2. Twarath Sutabutr,M.A.(1992),Deformation Analysis of Deep Excavation in Bangkok Subsoils,Thesis,AIT,Bangkok.
3. Gilbert J. Salvi,Foundation and Construction Underground,Diaphragm Wall Techniques New Developments and Application,1991
4. ดร.นพดล เพ็ชรเวช,งานฐานรากและงานก่อสร้างใต้ดิน,การออกแบบและข้อจำกัดของระบบกำแพงกันดินค้ำยันต่างๆ
5. Texas University's Conference,Theory and design of Retaining Structure.
6. วินิต ช่อวิเชียร,Soil Mechanics,Lateral Earth Pressure
7. Petros P. Xanthakos,Slurry Walls,Heave Analysis with Diaphragm wall and Crosswall,Single opening,p.493.
8. Joseph E. Bowles,Foundation Analysis and Design(Fourth Edition),Estimate of ground loss around excavation.
9. Jonathan Parkinson,Design and Performance monitoring of Diaphragm Wall for Excavation in Bangkok.
10. Jonathan Parkinson,Calculation note of Panel Stability During D-Wall Excavation.
11. G.G. Meyerhof,Stability of slurry trench cut in saturated clay.
12. Lambe Whitman,Soil Mechanics,Stress-Strain Relation for Undrain Conditions,Drain and Undrained Stress-Strain Behavior.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

ตารางผลการวัด INCLINOMETER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Inclinometer Measurement From PRESIDENT TOWER</b>							
<b>Inclinometer No. I-1</b>							
<b>Project: PRESIDENT TOWER</b>				<b>Location: Rachaprasong Intersection, Bangkok.</b>			
<b>Vertical Depth</b>	<b>Calculated Deflection</b>	<b>Calculated Deflection</b>	<b>1st</b>	<b>2nd</b>	<b>3rd</b>	<b>4th</b>	<b>5th</b>
<b>(m.)</b>	<b>Exc. - 1.5 m</b>	<b>Exc. - 9.5 m</b>	<b>Exc. - 2.0 m</b>	<b>Exc. - 9.0 m</b>	<b>Exc. - 9.5 m</b>	<b>Exc. - 9.5 m</b>	<b>Exc. - 9.5 m</b>
<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>
1.00	5.34	5.27	15.84	25.08	24.28	23.42	19.98
1.50	5.27	7.80	15.24	24.75	23.97	23.11	20.12
2.00	5.19	10.31	14.63	24.35	23.53	22.69	20.20
2.50			14.05	23.92	23.08	22.44	20.23
3.00			13.42	23.39	22.60	22.03	20.26
3.50	4.97	17.41	12.85	23.01	22.23	21.70	20.35
4.00	4.90	19.35	12.21	22.50	21.74	21.30	20.39
4.50			11.54	21.90	21.15	20.80	20.23
5.00	4.73	23.35	10.95	21.30	20.60	20.27	20.09
5.50	4.66	24.66	10.30	20.56	19.94	19.66	19.84
6.00	4.55	26.37	9.57	19.92	19.39	19.17	19.59
6.50			8.83	19.27	18.79	18.60	19.19
7.00	4.34	28.49	8.07	18.71	18.29	18.13	18.69
7.50			7.27	18.09	17.72	17.56	18.08
8.00	4.09	29.63	6.55	17.36	17.05	16.90	17.35
8.50			5.84	16.62	16.34	16.18	16.55
9.00	3.81	29.75	5.04	15.76	15.58	15.43	15.69
9.50			4.30	14.89	14.83	14.65	14.65
10.00	3.49	28.91	3.61	13.90	13.86	13.76	13.58
10.50			3.05	12.77	12.75	12.63	12.34
11.00	3.13	27.20	2.60	11.38	11.32	11.28	10.97
11.50			2.36	9.70	9.63	9.65	9.55
12.00	2.75	24.75	2.14	7.97	7.98	7.98	8.11
12.50	2.56	23.31	1.92	6.45	6.49	6.46	6.68
13.00			1.70	4.69	4.64	4.74	5.19
13.50			1.39	3.23	3.12	3.29	3.72
14.00	1.95	18.30	1.03	1.99	1.92	2.09	2.42
14.50			0.60	0.98	0.94	1.03	1.15
15.00	1.53	14.61					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Inclinometer Measurement From PRESIDENT TOWER</b>							
<b>Inclinometer No. I-3</b>							
Project: PRESIDENT TOWER				Location: Rachaprasong Intersection, Bangkok.			
Vertical Depth (m.)	Calculated Deflection Exc. - 1.5 m (mm.)	Calculated Deflection Exc. - 10.3m (mm.)	1st 01/11/93 Exc. - 5.0 m (mm.)	2nd 16/11/93 Exc. - 9.0 m (mm.)	3rd 27/11/93 Exc. - 9.0 m (mm.)	4th 09/12/93 Exc. - 10.3m (mm.)	5th 15/02/94 Exc. - 10.3m (mm.)
1.00	5.29	21.78	17.97	20.19	19.08	21.90	23.18
1.50	5.21	24.02	17.67	19.97	19.00	21.67	23.42
2.00	5.13	26.22	17.40	19.80	18.97	21.46	23.65
2.50			17.18	19.65	19.03	21.29	23.84
3.00			16.68	19.28	18.74	21.02	23.80
3.50	4.89	32.39	16.08	18.86	18.25	20.59	23.65
4.00	4.82	34.03	15.46	18.34	17.67	20.13	23.41
4.50			14.86	17.87	17.30	19.69	23.20
5.00	4.64	37.35	14.22	17.26	16.78	19.14	22.82
5.50	4.56	38.38	14.03	17.11	16.85	19.02	22.80
6.00	4.45	39.67	14.09	17.05	17.09	19.03	22.90
6.50			14.33	16.81	17.08	18.82	22.74
7.00	4.23	41.06	13.90	16.35	16.77	18.35	22.28
7.50			13.45	15.83	16.40	17.81	21.76
8.00	3.98	41.41	13.23	15.66	16.47	17.69	21.54
8.50			12.66	15.03	15.89	17.00	20.82
9.00	3.70	40.70	11.97	14.24	15.15	16.18	19.93
9.50			11.19	13.37	14.26	15.21	18.85
10.00	3.38	38.96	10.39	12.47	13.41	14.25	17.82
10.50			9.78	11.73	12.76	13.46	16.90
11.00	3.05	36.30	9.03	10.89	11.98	12.61	15.82
11.50			8.15	9.88	10.91	11.55	14.54
12.00	2.69	32.86	7.08	8.70	9.64	10.30	13.07
12.50	2.51	30.92	6.10	7.59	8.41	9.09	11.64
13.00			5.07	6.46	7.16	7.79	10.15
13.50			4.06	5.35	5.85	6.51	8.69
14.00	1.98	24.48	3.38	4.51	4.98	5.57	7.53
14.50			2.83	3.78	4.26	4.73	6.48
15.00	1.64	19.95	2.37	3.20	3.66	4.02	5.56
15.50	1.47	17.68	2.04	2.72	3.15	3.42	4.73
16.00	1.31	15.44	1.75	2.28	2.69	2.87	3.98
16.50			1.67	2.08	2.56	2.56	3.47
17.00	1.01	11.06	1.49	1.82	2.23	2.15	2.84
17.50			1.11	1.36	1.65	1.57	2.10
18.00	0.74	6.83	0.61	0.75	0.89	0.92	1.22
18.50			0.21	0.27	0.35	0.39	0.53
19.00	0.47	2.71					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Inclinometer Measurement From PRESIDENT TOWER							
Inclinometer No. I-4							
Project: PRESIDENT TOWER				Location: Rachaprasong Intersection, Bangkok.			
Vertical Depth (m.)	Calculated Deflection Exc. - 1.5 m (mm.)	Calculated Deflection Exc. - 5.3 m (mm.)	1st 15/10/93 Exc. - 1.0 m (mm.)	2nd 16/11/93 Exc. - 5.0 m (mm.)	3rd 27/11/93 Exc. - 5.3 m (mm.)	4th 09/12/93 Exc. - 5.3 m (mm.)	5th 15/02/94 Exc. - 5.3 m (mm.)
1.00	5.03	16.22	8.55	31.10	31.02	32.99	33.62
1.50	5.00	17.09	7.40	29.96	29.72	31.78	32.49
2.00	4.97	17.93	7.15	29.13	29.15	31.09	32.02
2.50			7.00	28.14	28.44	30.23	31.34
3.00			6.80	27.07	27.67	29.35	30.56
3.50	4.89	20.12	6.41	25.90	26.76	28.35	29.70
4.00	4.86	20.62	5.89	25.03	26.02	27.45	29.11
4.50			5.45	24.01	25.18	26.52	28.29
5.00	4.78	21.40	4.98	23.00	24.22	25.53	27.42
5.50	4.74	21.55	4.56	22.01	23.20	24.54	26.37
6.00	4.67	21.60	4.20	20.92	22.14	23.49	25.28
6.50			3.89	19.74	21.04	22.35	24.11
7.00	4.50	21.25	3.81	18.39	19.70	21.04	22.47
7.50			2.94	17.27	18.56	19.78	21.47
8.00	4.28	20.36	2.21	16.14	17.35	18.50	20.41
8.50			1.69	14.92	16.13	15.17	19.19
9.00	4.01	18.99	1.21	13.60	14.81	15.73	17.90
9.50			0.93	12.26	13.47	14.28	16.59
10.00	3.67	17.20	0.76	10.79	12.11	12.72	14.99
10.50			0.58	9.43	10.73	11.24	13.36
11.00	3.28	15.08	0.41	8.09	9.33	9.76	11.71
11.50			0.41	6.92	8.07	8.43	10.19
12.00	2.85	12.73	0.27	5.77	6.76	7.09	8.67
12.50	2.63	11.49	0.07	4.66	5.50	5.72	7.15
13.00			-0.16	3.66	4.43	4.53	5.82
13.50			-0.09	2.54	3.16	3.19	4.17
14.00	1.93	7.62	0.04	1.47	1.95	1.94	2.61
14.50			0.10	0.65	0.84	0.93	1.17
15.00	1.44	4.99					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Inclinometer Measurement From DSPA PROJECT</b>					
<b>Inclinometer No. S-9</b>					
<b>Project: DSPA PROJECT</b>			<b>Location: RAMA 4 ROAD</b>		
<b>Vertical Depth</b>	<b>Calculated Deflection</b>	<b>4th</b>	<b>7th</b>	<b>8th</b>	<b>16th</b>
<b>(m.)</b>	<b>Exc.-9.5 m</b>	<b>Exc.-2.5 m</b>	<b>Exc.-5.0 m</b>	<b>Exc.-9.5 m</b>	<b>Exc.-9.5 m</b>
	<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>
-0.29	11.00	18.27	30.09	42.90	40.31
-0.79		17.15	28.89	42.19	38.21
-1.29	15.00	16.40	27.82	41.42	38.52
-1.79		15.59	26.77	40.85	39.58
-2.29	19.50	14.62	25.72	40.33	39.98
-2.79		13.58	24.62	39.35	39.99
-3.29	23.00	12.60	23.72	37.95	39.46
-3.79		11.58	22.07	35.12	38.73
-4.29	26.00	10.52	20.57	32.70	37.67
-4.79		9.50	19.07	30.54	34.42
-5.29	29.00	8.68	17.70	28.41	28.92
-5.79		7.82	16.24	25.90	27.28
-6.29	30.00	7.21	14.93	23.28	25.96
-6.79		6.35	12.95	19.81	23.63
-7.29	30.36	5.55	11.24	16.82	20.78
-7.79		4.84	9.74	14.05	17.26
-8.29	30.00	4.10	8.05	11.31	14.00
-8.79		3.43	6.63	9.02	11.78
-9.29	28.00	2.65	4.94	7.14	10.88
-9.79		2.15	4.75	7.65	11.33
-10.29	25.00	1.65	4.22	7.47	10.97
-10.79		1.22	3.73	7.27	10.50
-11.29	22.00	0.75	3.17	7.29	10.23
-11.79		0.42	3.27	8.87	11.59
-12.29	18.00	0.12	3.80	9.27	11.22
-12.79		-0.32	2.72	7.53	8.96
-13.29	14.00	-0.53	2.15	5.92	7.02
-13.79		-0.58	1.42	3.70	4.77
-14.29	11.00	-0.62	0.33	1.28	1.85
-14.79		-0.47	-0.49	-0.49	-0.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Inclinometer Measurement From DSPA PROJECT

Inclinometer No. S-75

Project: DSPA PROJECT			Location: RAMA 4 ROAD		
Vertical Depth (m.)	Calculated Deflection Exc. - 8.5 m. (mm.)	4th 13/03/93 Exc. - 2.5 m. (mm.)	7th 23/04/93 Exc. - 2.5 m. (mm.)	9th 29/05/93 Exc. - 5.0 m. (mm.)	16th 20/10/93 Exc. - 8.5 m. (mm.)
-0.59	11.00	23.60	39.74	48.59	48.24
-1.09		24.89	38.20	53.04	53.74
-1.59	15.00	23.86	36.80	50.80	51.71
-2.09		22.86	35.56	49.48	51.76
-2.59	19.00	21.85	34.31	48.43	52.10
-3.09		20.97	33.17	47.62	52.87
-3.59	21.00	20.17	31.95	46.87	52.90
-4.09		19.19	30.75	45.22	51.26
-4.59	24.00	18.07	28.17	42.49	48.10
-5.09		16.79	26.44	39.70	45.50
-5.59	26.00	15.75	24.77	37.34	43.29
-6.09		14.70	23.15	34.92	41.16
-6.59	26.12	13.78	21.62	32.67	38.82
-7.09		12.68	19.83	30.97	38.61
-7.59	26.00	11.90	18.92	30.29	38.47
-8.09		11.02	17.57	28.40	36.29
-8.59	25.00	9.97	15.72	25.32	32.58
-9.09		8.97	13.89	22.19	28.92
-9.59	23.00	8.07	12.29	20.00	26.91
-10.09		7.19	11.24	19.59	26.12
-10.59	21.00	6.42	10.22	18.40	24.51
-11.09		5.67	9.27	17.25	22.59
-11.59	18.00	4.88	8.05	15.85	20.44
-12.09		4.17	7.18	15.35	19.10
-12.59	15.00	3.50	6.57	14.05	17.59
-13.09		2.75	5.32	12.12	14.84
-13.59	12.00	2.09	4.60	10.62	12.77
-14.09		1.55	3.78	8.03	9.97
-14.59	8.00	0.96	2.66	4.58	6.88
-15.09		0.71	1.73	1.73	3.97
-15.59	6.00	0.28	0.48	0.48	0.90

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Inclinometer Measurement From EXTEL PLAZA</b>					
<b>Inclinometer No. I-1</b>					
<b>Project: EXTEL PLAZA</b>			<b>Location: Sukhumvit soi 3, Bangkok.</b>		
<b>Vertical Depth (m.)</b>	<b>2nd 18/02/93 Exc. -2.5 m. (mm.)</b>	<b>4th 25/03/93 Exc. -5.0 m. (mm.)</b>	<b>6th 23/04/93 Exc. -9.0 m. (mm.)</b>	<b>8th 06/07/93 Exc. -12.4 m. (mm.)</b>	<b>13th 10/11/93 Exc. -12.4 m. (mm.)</b>
-0.95	15.22	62.00	70.75	68.80	82.95
-1.45	14.12	60.78	70.40	68.82	81.18
-1.95	12.88	60.68	69.98	68.63	79.27
-2.45	11.97	59.32	69.33	68.23	77.67
-2.95	11.75	57.68	68.45	67.53	76.45
-3.45	10.70	55.48	67.22	66.68	75.21
-3.95	9.20	54.80	67.12	66.43	73.21
-4.45	8.67	53.13	66.20	65.67	72.12
-4.95	9.08	51.70	65.70	65.42	71.81
-5.45	8.92	49.55	64.43	64.43	71.00
-5.95	8.55	47.32	63.18	63.53	69.73
-6.45	9.27	45.32	61.95	62.65	69.52
-6.95	9.07	42.83	60.53	61.72	68.55
-7.45	8.10	40.85	59.35	60.65	66.56
-7.95	7.35	39.20	58.25	59.55	64.75
-8.45	7.03	37.17	56.88	58.42	63.28
-8.95	6.85	34.70	55.10	57.05	61.78
-9.45	6.90	32.40	53.37	55.77	60.25
-9.95	5.32	30.70	51.42	53.70	57.29
-10.45	3.65	29.12	49.13	51.22	53.87
-10.95	2.35	27.43	46.70	48.52	50.45
-11.45	1.73	25.73	43.93	45.48	46.83
-11.95	1.05	23.67	40.80	42.42	43.17
-12.45	-2.65	22.60	37.43	38.42	38.57
-12.95	-4.22	19.75	34.02	35.75	35.95
-13.45	-2.62	16.93	30.60	33.08	33.43
-13.95	0.78	13.85	27.32	30.70	31.25
-14.45	3.27	10.80	24.15	28.42	29.03
-14.95	4.27	8.20	20.62	25.27	25.63
-15.45	4.37	5.82	16.95	21.43	21.64
-15.95	3.43	4.22	12.92	16.45	16.54
-16.45	1.45	2.88	8.70	10.82	10.93
-16.95	0.07	1.52	4.43	5.30	5.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Inclinometer Measurement From EXTEL PLAZA</b>					
<b>Inclinometer No. I-3</b>					
<b>Project: EXTEL PLAZA</b>			<b>Location: Sukhumvit soi 3, Bangkok.</b>		
<b>Vertical Depth  (m.)</b>	<b>2nd 18/02/93 Exc. - 2.5 m. (mm.)</b>	<b>4th 25/03/93 Exc. - 5.0 m. (mm.)</b>	<b>6th 23/04/93 Exc. - 9.0 m. (mm.)</b>	<b>8th 06/07/93 Exc. - 12.4 m. (mm.)</b>	<b>13th 10/11/93 Exc. - 12.4 m. (mm.)</b>
-1.29	18.97	37.10	30.82	18.53	23.72
-1.79	17.59	35.02	29.47	16.98	22.93
-2.29	16.05	33.02	28.23	15.43	22.28
-2.79	14.80	31.22	27.15	14.15	21.81
-3.29	13.10	28.75	24.40	10.68	21.28
-3.79	11.14	26.47	22.13	9.82	20.25
-4.29	11.65	26.87	20.42	12.33	20.55
-4.79	12.59	27.87	17.35	16.12	20.94
-5.29	13.64	29.45	13.53	20.77	21.36
-5.79	13.75	29.98	10.47	23.23	21.43
-6.29	12.15	27.88	9.18	19.58	21.17
-6.79	10.45	25.85	13.03	17.15	20.43
-7.29	8.52	23.00	15.20	13.12	14.69
-7.79	6.82	20.27	17.53	9.73	9.77
-8.29	5.25	17.53	18.93	6.25	4.87
-8.79	4.20	15.22	20.48	4.05	2.03
-9.29	2.92	12.32	20.82	0.05	-3.04
-9.79	2.69	11.38	22.13	0.57	-2.65
-10.29	2.64	10.63	21.27	1.78	-1.34
-10.79	2.69	10.28	19.65	3.83	0.90
-11.29	3.07	10.20	17.93	5.82	2.98
-11.79	3.42	9.97	16.37	7.40	4.60
-12.29	3.79	10.17	14.83	10.62	8.07
-12.79	4.92	10.78	12.92	12.73	10.34
-13.29	4.94	10.22	11.33	12.87	10.54
-13.79	4.72	9.30	9.85	12.60	10.38
-14.29	4.50	8.38	8.32	12.17	10.16
-14.79	4.23	7.50	6.60	11.58	9.79
-15.29	3.62	6.37	5.02	10.25	8.79
-15.79	2.63	4.57	3.42	7.00	6.32
-16.29	1.08	1.93	1.47	2.70	2.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Inclinometer Measurement From SIAM COMMERCIAL BANK Phase II</b>						
<b>Inclinometer No. I-22</b>						
<b>Project: SIAM COMMERCIAL BANK</b>				<b>Location: Ratchayothin Intersection, Bangkok.</b>		
<b>Vertical Depth</b>	<b>Calculated Deflection</b>	<b>2nd</b>	<b>4th</b>	<b>5th</b>	<b>11th</b>	<b>15th</b>
<b>(m.)</b>	<b>Exc. - 11.5 m.</b>	<b>23/02/93</b>	<b>22/03/93</b>	<b>31/03/93</b>	<b>14/05/93</b>	<b>27/07/93</b>
	<b>(mm.)</b>	<b>Exc. - 3.8 m.</b>	<b>Exc. - 6.0 m.</b>	<b>Exc. - 9.0 m.</b>	<b>Exc. - 11.5 m.</b>	<b>Exc. - 11.5 m.</b>
		<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>	<b>(mm.)</b>
-1.00	32.29	18.64	10.67	14.95	8.90	6.09
-1.50		17.42	11.37	14.99	8.15	7.09
-2.00	35.84	16.80	13.59	15.57	8.44	8.80
-2.50		16.33	15.48	16.33	9.10	10.70
-3.00	40.11	15.71	16.96	16.70	10.00	12.60
-3.50		15.13	18.21	16.96	10.96	14.38
-4.00	42.88	14.71	20.28	17.33	11.96	15.91
-4.50		14.38	21.53	17.92	13.50	17.85
-5.00	46.03	13.87	21.75	18.34	14.90	19.42
-5.50		13.19	21.47	18.75	16.44	20.82
-6.00	48.60	12.30	20.85	19.20	18.03	22.38
-6.50		11.25	19.04	19.54	19.79	23.77
-7.00	50.41	10.80	16.29	20.57	23.00	27.00
-7.50		10.23	13.17	20.95	24.62	28.18
-8.00	51.27	9.75	12.74	21.22	25.82	28.94
-8.50		9.20	12.98	21.22	26.50	29.17
-9.00	51.07	8.66	13.58	21.25	27.33	29.60
-9.50		8.20	13.56	21.16	28.05	30.16
-10.00	49.75	7.75	13.42	20.98	28.32	30.15
-10.50		7.27	13.17	20.62	28.52	30.15
-11.00	47.32	6.78	12.58	20.10	28.41	29.88
-11.50		6.37	11.83	19.50	28.20	29.55
-12.00	43.84	5.97	10.55	18.85	28.04	29.52
-12.50		5.62	8.77	18.48	28.07	29.43
-13.00	39.45	5.22	7.12	17.68	27.02	28.23
-13.50		4.70	6.45	16.68	25.60	26.68
-14.00	34.30	4.12	5.93	15.42	23.70	24.65
-14.50		3.70	5.63	14.05	21.75	22.50
-15.00	28.58	3.29	5.40	12.57	19.47	20.07
-15.50		2.87	5.14	11.19	17.42	17.99
-16.00	22.51	1.80	4.20	8.95	13.39	13.49
-16.50		1.68	5.35	7.50	11.32	11.30
-17.00	16.27	1.32	4.40	5.95	9.07	9.08
-17.50		0.86	3.23	4.48	6.93	6.96
-18.00	9.99	0.55	2.00	3.07	4.73	4.77
-18.50		0.27	0.85	1.44	2.17	2.17
-19.00	1.99					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Inclinometer Measurement From SIAM COMMERCIAL BANK Phase II</b>						
<b>Inclinometer No. I-24</b>						
Project: SIAM COMMERCIAL BANK				Location: Ratchayothin Intersection, Bangkok.		
Vertical Depth (m.)	Calculated Deflection Exc. - 11.5 m. (mm.)	2nd 23/02/93 Exc. - 3.8 m. (mm.)	4th 22/03/93 Exc. - 6.0 m. (mm.)	5th 31/03/93 Exc. - 9.0 m. (mm.)	6th 07/04/93 Exc. - 11.5 m. (mm.)	16th 27/07/93 Exc. - 11.5 m. (mm.)
-1.00	32.29	15.37	30.53	42.92	42.58	84.40
-1.50		14.99	30.20	43.02	43.37	84.52
-2.00	35.84	14.64	29.75	43.07	44.17	84.60
-2.50		14.23	29.36	43.23	45.03	84.78
-3.00	40.11	13.93	28.95	43.28	45.83	84.85
-3.50		13.63	28.52	43.42	46.70	84.97
-4.00	42.88	13.46	28.16	43.65	47.95	85.46
-4.50		13.31	27.70	43.88	48.78	85.16
-5.00	46.03	12.88	27.10	43.67	49.22	84.73
-5.50		12.47	26.55	43.53	49.72	84.45
-6.00	48.60	12.01	26.06	43.43	50.35	84.18
-6.50		11.58	25.47	43.22	50.87	84.17
-7.00	50.41	11.10	24.75	42.77	50.88	83.07
-7.50		10.65	24.22	42.87	51.90	84.14
-8.00	51.27	10.07	23.54	43.07	52.94	85.70
-8.50		9.22	22.79	43.10	53.77	87.45
-9.00	51.07	8.77	22.15	43.20	54.45	88.78
-9.50		8.30	21.45	43.08	54.73	89.58
-10.00	49.75	7.95	20.61	42.55	54.46	89.00
-10.50		7.35	19.77	41.43	53.17	87.17
-11.00	47.32	6.86	18.80	40.26	51.95	85.46
-11.50		6.32	17.88	39.05	50.58	83.45
-12.00	43.84	5.75	16.95	37.55	48.77	80.84
-12.50		5.24	16.02	35.97	46.67	77.97
-13.00	39.45	4.68	14.98	34.28	44.47	75.23
-13.50		4.22	13.99	32.64	42.17	71.69
-14.00	34.30	3.77	12.89	28.02	39.02	66.70
-14.50		3.25	11.75	25.46	35.38	61.25
-15.00	28.58	3.04	10.82	23.19	32.02	55.59
-15.50		2.42	9.52	20.35	28.00	49.05
-16.00	22.51	1.92	8.25	17.63	23.88	40.68
-16.50		1.49	6.74	13.70	18.55	32.60
-17.00	16.27	1.22	5.37	10.62	14.05	25.19
-17.50		0.89	3.99	7.65	9.65	18.12
-18.00	9.99	0.72	2.62	4.75	5.40	11.37
-18.50		0.35	1.23	2.13	1.57	5.13
-19.00	1.99					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Inclinometer Measurement From SIAM COMMERCIAL BANK Phase II						
Inclinometer No. I-25						
Project: SIAM COMMERCIAL BANK				Location: Ratchayothin Intersection, Bangkok.		
Vertical Depth (m.)	Calculated Deflection Exc. -10.0 m. (mm.)	2nd 12/03/93 Exc. -3.0 m. (mm.)	3rd 31/03/93 Exc. -6.0 m. (mm.)	4th 21/04/93 Exc. -10.0 m. (mm.)	9th 31/05/93 Exc. -10.0 m. (mm.)	16th 27/07/93 Exc. -10.0 m. (mm.)
-1.00	74.08	-	-	-	-	-
-1.50		9.84	18.40	61.37	104.18	116.37
-2.00	70.56	9.95	17.15	57.52	96.49	108.55
-2.50		9.98	16.33	54.81	90.57	102.66
-3.00	67.04	9.75	15.90	53.49	88.08	100.04
-3.50		9.23	15.50	52.69	87.73	99.40
-4.00	63.53	8.86	15.00	51.45	86.16	97.53
-4.50		8.81	14.49	49.77	83.23	94.45
-5.00	60.01	9.06	14.02	48.00	79.55	90.90
-5.50		9.49	13.88	46.38	75.87	87.18
-6.00	56.50	9.69	13.61	45.01	72.81	83.93
-6.50		9.49	13.33	43.86	70.74	81.56
-7.00	52.99	8.51	12.70	42.70	69.93	80.12
-7.50		7.11	11.95	41.27	69.42	78.55
-8.00	49.50	5.69	11.16	39.88	68.58	76.66
-8.50		4.26	10.20	38.12	67.54	74.49
-9.00	46.02	3.25	9.47	36.64	66.07	72.12
-9.50		2.71	8.97	35.29	64.07	69.74
-10.00	42.56	2.31	8.52	34.00	62.13	67.33
-10.50		2.32	8.30	32.93	60.06	65.16
-11.00	39.14	2.69	8.37	32.05	58.13	63.18
-11.50		2.91	8.35	31.12	56.19	61.29
-12.00	35.76	3.15	8.35	30.25	54.29	59.40
-12.50		4.20	9.12	30.20	52.84	58.34
-13.00	32.44	4.85	9.49	29.79	51.29	57.02
-13.50		5.74	10.08	29.58	49.97	56.10
-14.00	29.38	6.16	10.20	28.95	48.30	54.85
-14.50		6.83	10.57	28.68	46.80	53.87
-15.00	26.00	7.22	10.78	28.08	45.38	52.48
-15.50		7.03	10.37	26.93	43.43	50.37
-16.00	22.81	7.36	10.55	26.35	42.09	49.09
-16.50		8.02	11.06	26.15	40.76	47.75
-17.00	19.93	8.79	11.60	25.92	39.57	46.70
-17.50		9.14	11.76	25.28	38.25	45.16
-18.00	17.06	9.02	11.48	24.21	36.36	43.06
-18.50		8.36	10.74	22.44	34.00	40.12
-19.00	13.71	6.81	8.90	19.31	30.06	35.50
-19.50		4.67	6.50	15.95	26.23	30.86
-20.00	11.66	2.08	3.68	12.10	21.92	25.67
-20.50		0.00	1.45	8.70	17.89	21.09
-21.00	9.13	-1.59	-0.30	6.30	14.94	17.74
-21.50		-1.81	-0.62	5.45	13.52	16.07
-22.00	6.95	-3.82	-2.76	2.64	10.19	12.49
-22.50		-4.37	-3.47	1.35	8.43	10.52
-23.00	4.39	-4.64	-3.83	0.50	7.15	9.14
-23.50		-4.12	-3.31	0.79	6.85	8.87
-24.00	2.14	-2.47	-1.61	2.45	8.15	10.35
-24.50		-1.25	-0.48	3.39	8.62	10.82
-25.00	-0.04	-0.57	0.10	3.75	8.63	10.80
-25.50		0.06	0.65	4.15	8.58	10.65
-26.00	-2.19	0.43	0.98	4.13	8.18	10.05
-26.50		0.24	0.70	3.45	7.08	8.75
-27.00	-4.30	-0.47	-0.05	1.99	5.32	6.57
-27.50		-1.21	-0.88	0.72	3.60	4.60
-28.00	-6.40	-1.49	-1.24	0.03	2.40	3.36
-28.50		-1.01	-0.88	0.05	1.92	2.75
-29.00	-8.50	-0.75	-0.73	0.00	1.34	2.07
-29.50		-0.32	-0.34	0.06	0.73	0.78

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของกรมการขนส่งทางบก เพื่อการดำเนินงานเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า  
 ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในการอื่น ๆ ได้ หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อกรมการขนส่งทางบก โทร. 02-253-1000

Inclinometer Measurement From SIAM COMMERCIAL BANK Phase III							
Inclinometer No. I-33							
Project: SIAM COMMERCIAL BANK				Location: Ratchayothin Intersection, Bangkok.			
Vertical Depth (m.)	Calculated Deflection Exc. -6.0 m. (mm.)	Calculated Deflection Exc. -8.0 m. (mm.)	Calculated Deflection Exc. -10.0 m. (mm.)	3rd 26/03/93 Exc. -3.5 m. (mm.)	4th 05/04/93 Exc. -6.0 m. (mm.)	5th 20/04/93 Exc. -10.0 m. (mm.)	13th 27/07/93 Exc. -10.0 m. (mm.)
-1.00	37.24	56.33	74.08	-	-	-	-
-1.50				10.99	23.09	38.29	76.42
-2.00	35.47	53.65	70.56	10.21	22.14	36.99	74.32
-2.50				7.32	19.08	33.53	70.29
-3.00	33.70	50.98	67.04	6.74	18.38	32.48	68.59
-3.50				8.05	19.52	33.30	68.26
-4.00	31.93	48.31	63.53	10.52	21.73	35.19	68.52
-4.50				12.48	23.29	36.37	68.16
-5.00	30.16	45.63	60.01	12.98	23.52	36.25	66.93
-5.50				13.45	23.69	36.20	65.61
-6.00	28.40	42.96	56.50	12.59	22.75	34.98	63.92
-6.50				11.24	21.36	33.37	61.85
-7.00	26.64	40.29	52.99	10.28	20.51	32.27	60.25
-7.50				12.42	22.02	33.04	58.87
-8.00	24.88	37.64	49.50	13.24	22.34	32.83	57.27
-8.50				10.99	20.28	30.84	55.92
-9.00	23.13	34.99	46.02	10.26	19.53	29.86	54.47
-9.50				9.72	18.94	29.14	53.03
-10.00	21.39	32.36	42.56	9.37	18.46	28.39	51.60
-10.50				8.08	17.29	27.07	50.48
-11.00	19.67	29.76	39.14	6.92	16.21	25.86	48.95
-11.50				6.64	15.74	25.12	47.63
-12.00	17.97	27.19	35.76	5.65	14.88	24.10	46.58
-12.50				4.99	14.29	23.37	45.20
-13.00	16.31	24.67	32.44	4.84	13.94	22.68	43.55
-13.50				4.68	13.51	21.92	41.25
-14.00	14.77	22.34	29.38	5.44	13.49	21.31	37.08
-14.50				7.56	13.92	20.71	33.48
-15.00	13.07	19.77	26.00	7.17	13.37	19.96	32.58
-15.50				6.48	12.79	19.29	31.64
-16.00	11.47	17.34	22.81	5.78	12.24	18.65	31.55
-16.50				4.22	11.59	18.36	33.51
-17.00	10.02	15.15	19.93	2.95	11.24	18.09	32.27
-17.50				3.65	10.86	17.30	29.14
-18.00	8.58	12.97	17.06	4.54	10.97	16.70	26.73
-18.50				4.89	10.54	15.55	23.16
-19.00	6.89	10.43	13.71	5.49	9.92	14.06	19.81
-19.50				5.40	9.58	13.50	19.10
-20.00	5.86	8.87	11.66	4.92	9.52	13.28	19.15
-20.50				4.37	9.60	13.63	20.46
-21.00	4.59	6.94	9.13	3.88	9.79	14.05	21.70
-21.50				3.52	9.74	14.06	22.00
-22.00	3.49	5.28	6.95	3.14	9.53	13.80	21.60
-22.50				2.77	9.17	13.38	21.25
-23.00	2.21	3.34	4.39	2.41	8.65	12.68	20.18
-23.50				1.96	8.03	11.89	18.70
-24.00	1.08	1.63	2.14	1.41	7.09	10.72	17.20
-24.50				1.07	6.99	10.73	17.58
-25.00	-0.02	-0.03	-0.04	0.34	7.11	11.08	18.57
-25.50				0.50	7.71	11.60	18.87
-26.00	-1.10	-1.67	-2.19	0.58	8.54	12.59	19.95
-26.50				0.51	6.85	10.28	15.23
-27.00	-2.16	-3.27	-4.30	0.06	3.99	6.50	9.70
-27.50				-0.26	1.96	3.65	5.65
-28.00	-3.22	-4.87	-6.40	-0.25	0.73	1.82	2.80
-28.50				-0.22	-0.22	0.22	0.37
-29.00	-4.27	-6.46	-8.50				

Inclinometer Measurement From SIAM COMMERCIAL BANK Phase III							
Inclinometer No. I-34							
Project: SIAM COMMERCIAL BANK				Location: Ratchayothin Intersection, Bangkok.			
Vertical Depth (m.)	Calculated Deflection Exc. - 6.0 m. (mm.)	Calculated Deflection Exc. - 8.0 m. (mm.)	Calculated Deflection Exc. - 10.0 m. (mm.)	3rd 24/03/93 Exc. - 3.5 m. (mm.)	4th 05/04/93 Exc. - 6.0 m. (mm.)	5th 20/04/93 Exc. - 10.0 m. (mm.)	11th 29/06/93 Exc. - 10.0 m. (mm.)
-1.00	39.26	59.40	78.10	7.15	22.88	29.43	34.99
-1.50				6.31	22.04	28.59	34.13
-2.00	37.38	56.56	74.36	5.16	18.42	24.55	30.26
-2.50				4.46	14.72	20.62	26.34
-3.00	35.50	53.71	70.62	3.84	11.45	17.13	22.92
-3.50				3.48	9.22	15.02	20.76
-4.00	33.62	50.88	66.89	3.34	8.15	13.78	19.37
-4.50				3.34	8.42	13.87	19.34
-5.00	31.74	48.03	63.15	3.37	8.90	14.12	19.21
-5.50				3.51	9.80	14.70	19.28
-6.00	29.87	45.19	59.42	3.69	10.91	15.55	19.44
-6.50				3.90	12.18	16.55	19.50
-7.00	28.00	42.37	55.70	4.00	14.45	18.01	19.65
-7.50				4.07	14.63	18.03	19.21
-8.00	26.13	39.54	51.98	4.06	14.58	17.75	18.57
-8.50				4.00	14.03	16.98	17.90
-9.00	24.27	36.72	48.28	3.89	12.75	15.85	17.12
-9.50				3.60	11.40	14.73	16.47
-10.00	22.42	33.93	44.61	3.77	10.61	14.20	16.50
-10.50				4.42	11.05	14.77	17.46
-11.00	20.59	31.16	40.97	4.67	10.80	14.66	17.72
-11.50				4.25	9.58	13.43	16.99
-12.00	18.78	28.42	37.37	3.43	7.95	11.66	15.12
-12.50				2.65	6.77	10.20	13.24
-13.00	17.05	25.80	33.92	2.13	6.74	9.50	11.66
-13.50				1.76	6.30	8.83	10.74
-14.00	15.25	23.08	30.34	1.52	5.85	8.27	10.16
-14.50				1.55	5.49	7.95	10.22
-15.00	13.54	20.48	26.93	1.96	5.02	8.05	11.38
-15.50				2.58	4.66	8.30	12.50
-16.00	11.87	17.96	23.61	3.01	4.60	8.40	13.13
-16.50				3.43	4.43	8.43	13.95
-17.00	10.24	15.50	20.38	3.95	4.20	8.64	15.19
-17.50				4.43	4.06	8.81	16.00
-18.00	8.68	13.13	17.28	4.73	3.97	8.84	16.44
-18.50				4.59	3.68	8.40	15.61
-19.00	7.22	10.93	14.37	4.01	3.11	7.36	13.56
-19.50				2.71	2.18	5.23	9.93
-20.00	5.70	8.63	11.35	1.56	1.22	3.27	6.55
-20.50				0.58	0.20	1.62	3.94
-21.00	4.29	6.50	8.54	-0.20	-0.60	0.22	1.42
-21.50				-1.37	-1.80	-1.87	-1.62
-22.00	3.06	4.63	6.09	-2.12	-2.67	-3.34	-4.00
-22.50				-2.83	-3.63	-5.08	-6.33
-23.00	1.60	2.43	3.19	-3.52	-4.58	-6.36	-7.66
-23.50				-3.55	-4.66	-6.41	-7.65
-24.00	0.31	0.47	0.62	-3.06	-3.94	-5.29	-5.89
-24.50				-1.75	-2.41	-3.33	-3.40
-25.00	-0.96	-1.45	-1.91	-1.52	-2.22	-3.10	-3.08
-25.50				-0.57	-0.98	-1.42	-1.08
-26.00	-2.22	-3.35	-4.41	0.07	-0.20	-0.48	-0.43
-26.50				0.47	0.32	0.05	0.10
-27.00	-3.47	-5.25	-6.90	0.90	0.89	0.89	0.92
-27.50				0.50	0.48	0.50	0.52
-28.00	-4.71	-7.13	-9.38				

## Inclinometer Measurement From ROJANA TOWER

Inclinometer No. I-1

Project: ROJANA TOWER

Location: Asoke Road, Bangkok.

Vertical Dept (m.)	1st 18/11/93 Exc. - 2.4 m. (mm.)	2nd 03/12/93 Exc. - 4.4 m. (mm.)	3rd 24/12/93 Exc. - 8.2 m. (mm.)	4th 13/01/94 Exc. - 6.5 m. (mm.)	5th 28/01/94 Exc. - 6.5 m. (mm.)	6th 11/02/94 Exc. - 13.5 m. (mm.)	7th 03/03/94 Exc. - 14.0 m. (mm.)	8th 15/03/94 Exc. - 14.0 m. (mm.)
-1.00	12.88	25.58	17.12	13.75	14.42	14.90	11.01	11.13
-1.50	12.69	25.10	17.39	14.35	14.88	15.46	11.72	11.65
-2.00	12.32	24.44	17.46	14.92	15.17	12.29	12.31	12.21
-2.50	11.97	23.79	17.60	15.50	15.49	12.84	12.95	12.69
-3.00	11.61	23.16	17.70	16.08	15.83	13.41	13.59	13.19
-3.50	11.22	22.59	17.94	16.72	16.19	14.05	14.28	13.73
-4.00	10.89	22.00	18.29	17.47	16.75	14.86	15.15	14.53
-4.50	10.54	21.37	18.50	18.12	17.15	15.48	15.81	15.12
-5.00	10.16	20.74	18.71	18.74	17.53	16.08	16.45	15.68
-5.50	9.76	20.01	18.89	19.33	17.88	16.64	17.07	16.20
-6.00	9.42	19.34	19.12	19.91	18.28	17.25	17.69	16.78
-6.50	9.12	18.57	19.09	20.39	18.61	17.73	18.23	17.19
-7.00	8.79	17.71	19.12	20.65	18.68	18.15	18.63	17.48
-7.50	8.40	16.98	19.10	20.96	18.87	18.55	19.10	17.89
-8.00	7.96	16.20	18.94	21.13	18.97	18.87	19.52	18.23
-8.50	7.48	15.38	18.69	21.18	19.00	19.13	19.92	18.54
-9.00	7.00	14.54	18.35	21.10	18.96	19.34	20.28	18.80
-9.50	6.47	13.71	18.01	20.97	18.82	19.49	20.53	18.94
-10.00	6.02	12.86	17.42	20.44	18.42	19.33	20.51	18.82
-10.50	5.57	11.99	16.79	19.89	18.02	19.21	20.56	18.75
-11.00	5.13	11.17	16.13	19.27	17.52	19.04	20.55	18.62
-11.50	4.76	10.35	15.42	18.56	16.97	18.78	20.45	18.42
-12.00	4.38	9.56	14.68	17.75	16.34	18.43	20.26	18.17
-12.50	4.02	8.71	13.74	16.89	15.65	17.96	19.96	17.81
-13.00	3.64	8.08	13.03	16.15	15.09	17.58	19.70	17.54
-13.50	3.30	7.32	12.14	15.09	14.16	16.77	18.93	16.79
-14.00	2.99	6.57	11.22	14.04	13.27	15.98	18.11	16.01
-14.50	2.68	5.90	10.31	13.02	12.38	15.12	17.23	15.26
-15.00	2.41	5.29	9.48	12.02	11.52	14.25	16.37	14.54
-15.50	2.11	4.75	8.71	11.17	10.69	13.47	15.50	13.83
-16.00	1.86	4.05	7.72	10.04	9.82	12.26	14.21	12.74
-16.50	1.66	3.53	6.85	9.00	8.65	11.19	13.07	11.78
-17.00	1.49	3.06	6.03	8.00	7.72	10.15	11.95	10.96
-17.50	1.34	2.60	5.23	7.01	6.80	9.07	10.78	9.99
-18.00	1.21	2.21	4.50	6.09	5.93	8.02	9.62	9.01
-18.50	1.10	1.96	3.95	5.28	5.15	7.01	8.51	8.05
-19.00	1.05	1.57	3.19	4.31	4.21	5.83	7.18	6.91
-19.50	0.99	1.31	2.65	3.56	3.52	4.89	6.14	5.13
-20.00	0.94	1.10	2.17	2.90	2.91	4.10	5.18	4.34
-20.50	0.90	0.90	1.75	2.35	2.39	3.36	4.30	3.60
-21.00	0.82	0.68	1.35	1.79	1.87	2.62	3.46	2.89
-21.50	0.00	0.48	0.97	1.30	1.34	2.00	2.58	2.14
-22.00	-0.05	0.28	0.65	0.87	0.94	1.41	1.86	1.53
-22.50	-0.04	0.19	0.46	0.59	0.63	0.96	1.29	1.04
-23.00	0.01	0.13	0.29	0.36	0.39	0.59	0.80	0.66
-23.50	-0.01	0.04	0.11	0.15	0.15	0.25	0.34	0.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้