

การเคลื่อนตัวด้านข้างของบอลลีกสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ในดินกรุงเทพฯ



นางสาวสตีมา ศรีสถิตวัตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3818-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21174933

LATERAL MOVEMENT OF DEEP WORKED SHAFT FOR TUNNELLING IN BANGKOK SUBSOILS



Miss Sitima Srisathitwat

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-3818-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเคลื่อนตัวด้านข้างของบ่อลึกสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ในดิน
กรุงเทพฯ

โดย

นางสาวลลิติมา ศรีสถิตวัตร


สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

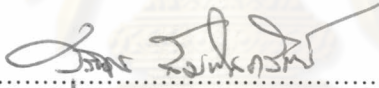
อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.วินชัย เทพรักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตศึกษานี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์ราษฎร์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วินชัย เทพรักษ์)


..... กรรมการ
(อ.ดร.ฐิรวัตร บุญญะฐิติ)

ศูนย์วิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สติมา ศรีสติวัตร : การเคลื่อนตัวด้านข้างของบ่อลึกสำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ในดินกรุงเทพฯ.
(LATERAL MOVEMENT OF DEEP WORKED SHAFT FOR TUNNELLING IN BANGKOK
SUBSOILS) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย เทพรักษ์, 124 หน้า. ISBN 974-17-3818-8.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินขณะทำการก่อสร้างบ่อ
อำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ (Worked Shaft) ซึ่งก่อสร้างโดยระบบจมบ่อคอนกรีตเสริมเหล็ก (Sinking Reinforced
Concrete Caisson), ระบบไคอะแฟรมวอลล์และระบบ Secant Pile Wall เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เทคนิคการ
ก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ในดินกรุงเทพฯ (Bangkok Subsoils) ที่เหมาะสม

การวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์จำนวน 5 บ่อ โดย 3 บ่อ ก่อสร้างโดย
ระบบจมบ่อคอนกรีตฯ มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกอยู่ระหว่าง 8.80–15.00 ม. และความลึกระหว่าง 24.30–31.00 ม.
ในขณะที่อีก 2 บ่อ ก่อสร้างด้วยระบบไคอะแฟรมวอลล์และ Secant Pile Wall โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ
13.20 และ 11.60 ม., ความลึกของงานขุดเท่ากับ 25.00 และ 27.84 ม.

จากข้อมูลการวัดการเคลื่อนตัวของดินขณะทำการจมบ่อคอนกรีตฯ พบว่าเมื่อผนังบ่อมีความหนามากกว่า
1.00 ม. การก่อสร้างโดยการกดบ่อให้จมหรือการขุดดินพร้อมกับการจมบ่อ ผลของ Compression Stress ที่กดบ่อจะ
ก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินออกจากบ่อ แต่กรณีที่มีผนังบ่อบางประมาณ 0.65 ม. การจมบ่อโดยการขุดดินพร้อมการ
จมบ่อจะก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินเข้าสู่บ่อ ซึ่งอาจจะเกิดจากอิทธิพลของการไหลของดินใต้ระดับขุด (Heave) ใน
ส่วนของระบบไคอะแฟรมวอลล์และ Secant Pile Wall พบว่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่เกิดขึ้นมีทิศทางเข้าหาบ่อและ
มีปริมาณน้อยมาก โดยการเคลื่อนตัวเกิดจากการหดตัว (Compression) ของผนังบ่อคอนกรีตเอง

การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินโดยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ของการก่อสร้างบ่ออำนวยการ
ก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบไคอะแฟรมวอลล์และระบบ Secant Pile Wall จะให้ผลการวิเคราะห์ที่แน่นอนกว่าระบบจม
บ่อคอนกรีตฯ เนื่องจากบ่อที่ก่อสร้างด้วยระบบไคอะแฟรมวอลล์และระบบ Secant Pile Wall ก่อสร้างโดยเริ่มจากการ
ก่อสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินก่อนแล้วจึงทำการขุดดินภายในบ่อ ในขณะที่การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวทางด้านข้าง
ของดินโดยระบบจมบ่อคอนกรีตฯ ได้ผลที่ไม่แน่นอนและไม่สอดคล้องกับการเคลื่อนตัวของดินรอบๆ บ่อ ทั้งนี้
เนื่องจากระบบจมบ่อคอนกรีตฯ เป็นระบบที่ไม่หยุดนิ่ง เพราะตัวโครงสร้างบ่อจะจมลงไปดินพร้อมๆ กับการขุดดิน
ภายในบ่อ รวมทั้งขั้นตอนการก่อสร้างและวิธีการขุดดินภายในบ่อต้องมีการปรับเปลี่ยนตลอดเวลาในระหว่างการจม
บ่อคอนกรีตฯ เพื่อควบคุมความคืบของบ่อ

การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการประเมินการเคลื่อนตัวของดินได้ทำการวิเคราะห์กลับด้วยวิธี
ไฟไนท์อีลิเมนต์เปรียบเทียบกับข้อมูลการวัดการเคลื่อนตัวของบ่อและดินในสนาม โดยพิจารณาลักษณะของปัญหา
เป็นแบบ Axisymmetry และใช้แบบจำลองดินชนิด Mohr-Coulomb ผลการวิเคราะห์พบว่าค่า E_u/S_u ของชั้นดินที่
เหมาะสมมีค่าประมาณ 500, 750, 1000 และ 2000 สำหรับชั้นดินเหนียวอ่อน, ดินเหนียวแข็งปานกลาง, ดินเหนียวแข็ง
และดินเหนียวแข็งมากตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนิสิต..... สติมา ศรีสติวัตร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... อ.วันชัย เทพรักษ์

4470596721 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: WORKED SHAFT/TUNNELLING/LATERAL MOVEMENT

SITIMA SRISATHITWAT: LATERAL MOVEMENT OF DEEP WORKED SHAFT FOR TUNNELLING IN BANGKOK SUBSOILS THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR WANCHAI TEPARAKSA, D.Eng., 124 pp. ISBN 974-17-3818-8

This research aims to study the behavior of soil movement during the construction of deep worked shafts constructed by means of Sinking Reinforced Concrete Caisson, Diaphragm Wall and Secant Pile Wall techniques in Bangkok Subsoils in order to select the appropriate construction techniques.

This research has gathered five deep worked shafts, which three of them were constructed by means of Sinking RC. Caisson with outside diameter between 8.80 -15.00 m. and the depth between 24.30-31.00 m. while the other two worked shaft were constructed by means of Diaphragm Wall and Secant Pile Wall techniques with outside diameter equivalent to 13.20 and 11.60 m. and the depth of soil excavation equivalent to 25.00 and 27.84 m. .

Based on the measuring of soil movement during Sinking RC. Caisson, it was found that if the wall was thicker than 1.00 m., the construction technique either by means of pushing caisson or excavating together with pushing caisson, the soil was moved outward to the shaft. In case that the wall thickness was 0.65 m., the soil was moved inside to the shaft which may due to heaving effect. For Diaphragm Wall and Secant Pile Wall technique, it was found that the lateral displacement was very low due to the compressibility of its shaft.

The results of lateral displacement analysis based on the Finite Element Method (FEM) for worked shaft constructed by means of Diaphragm Wall and Secant Pile Wall techniques showed more precise results than the Sinking RC. Caisson. This is because the construction sequence of Diaphragm Wall and Secant Pile Wall that the excavation was performed inside the stable shaft. However, the results of lateral displacement analysis based on Sinking RC. Caisson technique was uncertain and inconsistent to the displacement of soil surrounding worked shaft. This is because the Sinking RC. Caissons is moving during soil excavation sinking.

The back analysis by means of FEM to verify the appropriate parameters was carried out based on Axisymmetry analytical technique using Mohr-Coulomb soil modeling. The appropriate E_v/S_u - values are in the order of 500, 750, 1000 and 2000 for soft clay, medium clay, stiff silty clay and very stiff clay to hard silty clay, respectively.

Department Civil Engineering

Field of study Civil Engineering

Academic year 2003

Student's signature..... *Sitima S.*

Advisor's signature..... *Wanchai Teeparaksa*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากหลายบุคคล ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย เทพรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนจนถึงการตรวจสอบแก้ไขรายละเอียดต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรฉัตร สัมพันธ์รักษ์ และ อ.ดร.จิรวัด บุญญะฐิติ ที่ได้ร่วมเป็นคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ชิโน-ไทย เอ็นจิเนียริง แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน), คุณนพพร รัตนฉายาบรรณ และวิศวกร บริษัท นิซิมัตสูก่อสร้าง จำกัด, คุณชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์ และวิศวกร บริษัท ซีพีโก้ จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณชนภักดิ์ ประสพสุข โสภคมนตรีและคุณชลธิชา บุญส่ง ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ มารดาและพี่ รวมทั้งคุณจักรวุฒิ ปิ่นโรจน์ หัวหน้ากองวิศวกรรมโยธาทั่วไป การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ความเข้าใจและสนับสนุนจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

สติมา ศรีสติวัต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
สัญลักษณ์.....	ด
บทที่	
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขั้นตอนการวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนผลงานในอดีต.....	6
2.1 ระบบกำแพงกันดินสำหรับงานขุด.....	6
2.1.1 ระบบกำแพงกันดินแบบยืดหยุ่น (Flexible Wall).....	6
2.1.2 ระบบกำแพงกันดินแบบแข็ง (Rigid Wall).....	6
2.2 การคำนวณแรงดันดินด้านข้าง (Lateral Earth Pressure).....	7
2.2.1 การวิเคราะห์หน่วยแรงดันดินด้านข้างแบบสถิต (At Rest Pressure).....	8
2.2.2 การวิเคราะห์หน่วยแรงดันดินด้านข้างโดยหลักการของ Rankine.....	10
2.2.2.1 Rankine Active Earth Pressure.....	11
2.2.2.2 Rankine Passive Earth Pressure.....	13
2.3 พฤติกรรมการเคลื่อนตัวของดินในงานขุด.....	18
2.3.1 การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินเนื่องจากงานขุด.....	18
2.3.2 การทรุดตัวของดินหลังกำแพงกันดินเนื่องจากงานขุด.....	18
2.4 ระบบการจมบ่อคอนกรีตเสริมเหล็ก (Sinking Reinforced Concrete Caisson).....	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 ระบบจมบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดปลายด้านล่างปิด (Box Caisson).....	22
2.4.2 ระบบจมบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดปลายทั้ง 2 ด้านเปิด (Open Caisson)	22
2.4.3 ระบบจมบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดอัดลม (Pneumatic Caisson).....	23
บทที่ 3 การรวบรวมข้อมูลและผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดิน.....	25
3.1 รายละเอียดข้อมูลของการก่อสร้างบ่ออำนาจการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบจมบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนประชาชื่น (Caisson No.1).....	25
3.1.1 ข้อมูลทั่วไป.....	25
3.1.2 ลักษณะของชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน.....	25
3.1.3 วิธีการก่อสร้าง.....	27
3.1.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินและตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด.....	32
3.2 รายละเอียดข้อมูลของการก่อสร้างบ่ออำนาจการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบจมบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนวิภาวดีฯ (Caisson No.2).....	34
3.2.1 ข้อมูลทั่วไป.....	34
3.2.2 ลักษณะของชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน.....	34
3.2.3 วิธีการก่อสร้าง.....	37
3.2.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินและตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด.....	43
3.3 รายละเอียดข้อมูลของการก่อสร้างบ่ออำนาจการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบจมบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนงามวงศ์วาน (Caisson No.3).....	46
3.3.1 ข้อมูลทั่วไป.....	46
3.3.2 ลักษณะของชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน.....	47
3.3.3 วิธีการก่อสร้าง.....	47
3.3.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินและตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด.....	49
3.4 รายละเอียดข้อมูลของการก่อสร้างบ่ออำนาจการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบ Diaphragm Wall บริเวณถนนประชาชื่น.....	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.1 ข้อมูลทั่วไป.....	52
3.4.2 ลักษณะของชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน.....	52
3.4.3 วิธีการก่อสร้าง.....	55
3.4.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของผนังบ่อและตำแหน่งที่ติดตั้ง เครื่องมือตรวจวัด.....	58
3.5 รายละเอียดข้อมูลของการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบ Secant Pile Wall บริเวณถนนประชาราษฎร์สาย 2.....	59
3.5.1 ข้อมูลทั่วไป.....	59
3.5.2 ลักษณะของชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน.....	59
3.5.3 วิธีการก่อสร้าง.....	62
3.5.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของผนังบ่อและตำแหน่งที่ติดตั้ง เครื่องมือตรวจวัด.....	65
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินโดยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์.....	67
4.1 กำลังรับแรงเฉือนของดิน.....	67
4.1.1 กำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียว.....	67
4.1.1.1 กำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบ Field Vane Shear Test	67
4.1.1.2 กำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบค่าทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT- N Value).....	68
4.1.1.3 กำลังรับแรงเฉือนจากการทดสอบการอัดตัวแบบบิสระ.....	68
4.1.2 กำลังรับแรงเฉือนของดินเม็ดหยาบ.....	69
4.2 สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต.....	70
4.3 โมดูลัสของดิน (Soil Modulus).....	71
4.4 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินในการก่อสร้างบ่ออำนวยการ ก่อสร้างอุโมงค์.....	73
4.4.1 ข้อมูลเกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่างๆ ของดินสำหรับการวิเคราะห์.....	74
4.4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์.....	77

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.2.1 ผลการวิเคราะห์ของบ่ออำนวยความสะดวกก่อสร้างอุโมงค์ด้วยระบบจม บ่อคอนกรีตบริเวณถนนประชาชื่น (Caisson No.1).....	77
4.4.2.2 ผลการวิเคราะห์ของบ่ออำนวยความสะดวกก่อสร้างอุโมงค์ด้วยระบบจม บ่อคอนกรีตบริเวณถนนวิภาวดีฯ (Caisson No.2).....	81
4.4.2.3 ผลการวิเคราะห์ของบ่ออำนวยความสะดวกก่อสร้างอุโมงค์ด้วยระบบจม บ่อคอนกรีตบริเวณถนนงามวงศ์วาน (Caisson No.3).....	83
4.4.2.4 ผลการวิเคราะห์ของบ่ออำนวยความสะดวกก่อสร้างอุโมงค์ด้วยระบบ Diaphragm Wall บริเวณถนนประชาชื่น.....	87
4.4.2.5 ผลการวิเคราะห์ของบ่ออำนวยความสะดวกก่อสร้างอุโมงค์ด้วยระบบ Secant Pile Wall บริเวณถนนประชาราษฎร์สาย 2.....	88
4.4.3 พฤติกรรมของดินระหว่างการก่อสร้างบ่ออำนวยความสะดวกก่อสร้างอุโมงค์.....	89
4.4.3.1 การเคลื่อนตัวของดินจากการก่อสร้างบ่ออำนวยความสะดวกก่อสร้าง อุโมงค์.....	89
4.4.3.2 พฤติกรรมของดินบริเวณ Cutting Shoe ระหว่างการจมบ่อ คอนกรีตเสริมเหล็ก.....	92
4.4.3.3 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินจากการก่อสร้างบ่ออำนวยความสะดวก ก่อสร้างอุโมงค์.....	93
4.4.3.4 พฤติกรรมของดินเนื่องจากการขุดดินภายในบ่อคอนกรีต.....	93
4.4.4 แนวทางการเลือกใช้เทคนิควิธีการก่อสร้างบ่ออำนวยความสะดวกก่อสร้างอุโมงค์	94
4.4.4.1 ลักษณะของชั้นดินและระดับน้ำใต้ดินของพื้นที่ก่อสร้าง.....	94
4.4.4.2 ลักษณะพื้นที่ก่อสร้าง.....	94
4.4.4.3 การวางแผนงานและการควบคุมคุณภาพงานก่อสร้าง.....	95
บทที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ.....	96
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์.....	96
5.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม.....	97
รายการอ้างอิง.....	98
ภาคผนวก ก.....	101
ภาคผนวก ข.....	112

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก.....	115
ภาคผนวก ง.....	120
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	124



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ค่า Tilt ของกำแพงที่ทำให้เกิดสภาพวิบัติในสภาวะ Active และ Passive (DM7.2,1982).....	7
4.1 คุณสมบัติของผนังบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ทั้ง 5 บ่อ.....	73
4.2 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยระบบจมบ่อคอนกรีตบริเวณถนนประชาชื่น (Caisson No.1).....	74
4.3 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยระบบจมบ่อคอนกรีตบริเวณถนนวิภาวดีฯ (Caisson No.2).....	75
4.4 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยระบบจมบ่อคอนกรีตบริเวณถนนงามวงศ์วาน (Caisson No.3).....	75
4.5 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยระบบ Diaphragm Wall บริเวณถนนประชาชื่น.....	76
4.6 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ด้วยระบบSecant Pile Wall บริเวณถนนประชาราษฎร์สาย 2.....	76
4.7 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าการเคลื่อนตัวที่วัดได้จากในสนามและจากผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม PLAXIS ของบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์บริเวณถนนประชาชื่น (Caisson No.1)..	77
4.8 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าการเคลื่อนตัวที่วัดได้จากในสนามและจากผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม PLAXIS ของบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์บริเวณถนนวิภาวดี (Caisson No.2).....	81
4.9 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าการเคลื่อนตัวที่วัดได้จากในสนามและจากผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม PLAXIS ของบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์บริเวณถนนงามวงศ์วาน (Caisson No.3).....	84
4.10 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินจากเครื่องมือวัดที่ติดตั้งในของบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบจมบ่อคอนกรีต.....	90

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 ลักษณะของบ่ออำนาจการก่อสร้างอุโมงค์.....	2
1.2 ตำแหน่งที่ทำการก่อสร้างบ่ออำนาจการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบบ่อคอนกรีตเสริมเหล็ก และระบบ Diaphragm Wall.....	3
1.3 ตำแหน่งที่ทำการก่อสร้างบ่ออำนาจการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบ Secant Pile Wall.....	3
2.1 ลักษณะของหน่วยแรงดันดินด้านข้างในสภาวะ Active เมื่อกำแพงเคลื่อนที่ออกจากดินหลัง กำแพง (DM7.2, 1982).....	8
2.2 ลักษณะของแรงดันดินด้านข้างในสภาวะ Passive เมื่อกำแพงเคลื่อนที่เข้าหาดินหลังกำแพง (DM7.2, 1982).....	8
2.3 ลักษณะของหน่วยแรงดันดินด้านข้างในสภาวะ At Rest (Das, 1998).....	9
2.4 ค่า K_0 เป็นฟังก์ชันของดัชนีพลาสติกซิตี (PI) และ OCR (After Brooker&Ireland, 1965)...	10
2.5 Rankine Active Earth Pressure (Das, 1999).....	12
2.6 Rankine Passive Earth Pressure (Das, 1999).....	14
2.7 การคาดคะเนค่า $\Delta\sigma_h$ เนื่องจากผลของ Line Load และ Concentrated Load กระทำที่ผิวดิน ด้านหลังกำแพง โดยทฤษฎี Elasticity (DM 7.2, 1982).....	16
2.8 การคาดคะเนค่า $\Delta\sigma_h$ เนื่องจากผลของ Uniform Load กระทำที่ผิวดินด้านหลังกำแพง โดย ทฤษฎี Elasticity (DM 7.2, 1982).....	17
2.9 การคาดคะเนค่า $\Delta\sigma_h$ เนื่องจากผลของของแรงบดอัดกระทำที่ผิวดินด้านหลังกำแพง (DM 7.2, 1982).....	17
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินต่อความถี่ของการขูดกับ System Stiffness และ Factor of Safety Against Basal Heave (Clough, Smith and Sweeney, 1989).....	19
2.11 การทรุดตัวที่ผิวดินที่ระยะห่างจากกำแพงกันดินต่างๆ โดย Peck (1969).....	20
2.12 การทรุดตัวที่ผิวดินที่ระยะห่างจากกำแพงกันดินต่างๆ แบ่งตามชนิดของดิน โดย Clough and O'Rourke (1990).....	20
2.13 รูปแบบของระบบการจมบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กทั้ง 3 ชนิด (Lee, 1961).....	21
2.14 ลักษณะของบ่อคอนกรีตฯ ที่ก่อสร้างโดยระบบ Pneumatic Caisson (ชัย, 2540).....	24
3.1 บ่ออำนาจการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาบริเวณถนนประชาชื่น (Caisson No. 1).....	26
3.2 ลักษณะของชั้นดินและคุณสมบัติของดินในพื้นที่ก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ โดยระบบจมบ่อ คอนกรีตฯ (ถนนประชาชื่น).....	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.3 ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อสร้างและการก่อสร้าง Ring Beam.....	29
3.4 ขั้นตอนการก่อสร้าง Cutting Shoe.....	30
3.5 ขั้นตอนการเริ่มจมน้ำคอนกรีต.....	31
3.6 ตำแหน่งการติดตั้ง Inclinomter ของบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนประชาชื่น (Caisson No.1)..	32
3.7 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินจากการก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนประชา ชื่น (Caisson No.1).....	33
3.8 บ่ออำนวยความสะดวกส่งน้ำประปาบริเวณถนนวิภาวดีฯ (Caisson No. 2).....	35
3.9 ลักษณะของชั้นดินและคุณสมบัติของดินในพื้นที่ก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ โดยระบบจมน้ำ คอนกรีตฯ (ถนนวิภาวดีฯ).....	36
3.10 ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่และการก่อสร้าง Ring Beam.....	38
3.11 ขั้นตอนการก่อสร้าง Cutting Shoe.....	38
3.12 ขั้นตอนการก่อสร้างผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 1.....	39
3.13 ขั้นตอนการก่อสร้างผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 2.....	39
3.14 ขั้นตอนการขุดดินบริเวณรอบปลาย Cutting Shoe.....	40
3.15 ขั้นตอนการก่อสร้างผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 3.....	40
3.16 ขั้นตอนการจมน้ำผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 3.....	41
3.17 ขั้นตอนการก่อสร้างและการจมน้ำผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 4.....	41
3.18 ขั้นตอนการก่อสร้างและการจมน้ำผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 7.....	42
3.19 การก่อสร้างผนังกันน้ำชั่วคราวภายหลังเสร็จสิ้นการจมน้ำบ่อคอนกรีตฯ.....	43
3.20 ตำแหน่งการติดตั้ง Inclinomter ของบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนวิภาวดีฯ (Caisson No.2)....	44
3.21 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินจากการก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนน วิภาวดีฯ (Caisson No.2).....	45
3.22 บ่ออำนวยความสะดวกส่งน้ำประปาบริเวณถนนงามวงศ์วาน (Caisson No. 3).....	46
3.23 ลักษณะของชั้นดินและคุณสมบัติของดินในพื้นที่ก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ โดยระบบจมน้ำ คอนกรีตฯ (ถนนงามวงศ์วาน).....	48
3.24 การแบ่งความสูงของผนังบ่ออำนวยความสะดวกส่งน้ำบริเวณถนนงามวงศ์วาน.....	49
3.25 ตำแหน่งการติดตั้ง Inclinomter ของบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนงามวงศ์วาน (Caisson No.3).....	50
3.26 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินจากการก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนงามวงศ์ วาน (Caisson No.3).....	51

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.27 บ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาโดยระบบ Diaphragm Wall บริเวณถนนประชา ชื่น.....	53
3.28 ลักษณะของชั้นดินและคุณสมบัติของดินในพื้นที่ก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ โดยระบบ Diaphragm Wall (ถนนประชาชื่น).....	54
3.29 การขุดดินเพื่อทำแวง Diaphragm Wall โดยใช้ Mechanical Grab.....	56
3.30 การติดตั้งเหล็กเสริมสำหรับแวง Diaphragm Wall ในหลุมขุด.....	57
3.31 การคอนกรีตโดย Trimie Pipe Method.....	57
3.32 การถอด Stop-End ออกจากหลังการบ่มคอนกรีต.....	57
3.33 ตำแหน่งการติดตั้ง Inclinomater ของบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาโดยระบบ Diaphragm Wall บริเวณถนนประชาชื่น.....	58
3.34 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินจากการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่ง น้ำประปาโดยระบบ Diaphragm Wall บริเวณถนนประชาชื่น.....	58
3.35 บ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาโดยระบบ Secant Pile Wall บริเวณถนน ประชาราษฎร์สาย 2.....	60
3.36 ลักษณะของชั้นดินและคุณสมบัติของดินในพื้นที่ก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ โดยระบบ Secant Pile Wall (ถนนประชาราษฎร์สาย 2).....	61
3.37 แบบก่อสร้าง Guide Wall สำหรับบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาโดยระบบ Secant Pile Wall (มนตรี, ยรรยง และ วีรชาติ, 2542).....	63
3.38 ตำแหน่งการติดตั้ง Inclinomater ของบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาโดยระบบ Secant Pile Wall บริเวณถนนประชาราษฎร์สาย 2.....	66
3.39 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินจากการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่ง น้ำประปาโดยระบบ Secant Pile Wall บริเวณถนนประชาราษฎร์สาย 2.....	66
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมต้านทานแรงเฉือนของดินทรายในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล (ϕ') และ ค่า (Corrected) N ที่ได้จากการทดสอบ SPT ในสนาม (After Peck, Hanson, and Thornburn, 1974).....	69
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปรับแก้ C_N กับ σ'_{vo} เพื่อใช้ปรับแก้ค่า N ที่ได้จากการทดสอบ SPT ในสนาม (DM7.3, 1982).....	70
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสของดินแบบไม่ระบายน้ำกับกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ที่ขึ้นกับค่าดัชนีความเหลวและ OCR (Duncan and Buchigani, 1976).....	72
4.4 ค่า Stiffness ของดินกับการเสีรูป (Mair, 1993).....	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.5 ผลการทดสอบ Pressuremeter Test ในชั้นดินกรุงเทพฯ (Teparaksa, 1999).....	73
4.6 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าการเคลื่อนตัวของตัววัดได้จากในสนามและจากผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม PLAXIS ของบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์บริเวณถ.ประชาชื่น (Caisson No.1).	79
4.7 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าการเคลื่อนตัวของตัววัดได้จากในสนามและจากผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม PLAXIS ของบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์บริเวณถ.วิภาวดี (Caisson No.2).....	82
4.8 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าการเคลื่อนตัวของตัววัดได้จากในสนามและจากผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม PLAXIS ของบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์บริเวณถ.งามวงศ์วาน (Caisson No.3).....	85
4.9 การเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่ได้จากโปรแกรม PLAXIS กับค่าจากการวัดจริงในสนามของบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบ Diaphragm Wall บริเวณถนนประชาชื่น.....	87
4.10 การเคลื่อนตัวทางด้านข้างจากโปรแกรม PLAXIS กับค่าจากการวัดจริงในสนามของบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบ Secant Pile Wall บริเวณถนนประชาราษฎร์ 2.....	88
4.11 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินจากเครื่องมือวัดที่ติดตั้งในสนามของการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบบ่อคอนกรีต.....	89
4.12 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินจากเครื่องมือวัดที่ติดตั้งในสนามของการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบ Diaphragm Wall และระบบ Secant Pile Wall.....	92

สัญลักษณ์

c'	=	ความเชื่อมั่นที่ปรากฏในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล
C_N	=	ค่าปรับแก้ค่า N ที่ได้จากการทดสอบ Standard Penetration Test ในสนาม
E'	=	Drained Young's Modulus
E_u	=	Undrained Young's Modulus
EA	=	Normal Stiffness
EI	=	Flexural Rigidity
G	=	ค่าโมดูลัสแรงเฉือนมีความสัมพันธ์กับ Shear Strain (ϵ_s)
K_o	=	Coefficient of Earth Pressure at Rest
$K_{o(NC)}$	=	สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิตของดินอัดแน่นปกติ
$K_{o(OC)}$	=	สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิตของดินอัดแน่นเกินตัว
$K_{o(Total)}$	=	Coefficient of Earth Pressure at Rest (Total Stress)
K_A	=	Coefficient of Active Earth Pressure
K_P	=	Coefficient of Passive Earth Pressure
N	=	ค่าจากการทดสอบ Standard Penetration Test (ครั้ง/ฟุต)
OCR	=	Overconsolidated Ratio
PI	=	Plasticity Index ของดิน
q_u	=	Unconfined Compressive Strength
S_u	=	Undrained Shear Strength
$S_{u(Field)}$	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบอันเดรนในสนาม
$S_{u(FV)}$	=	ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนที่วัดได้จากการทดสอบแบบเวนในสนาม
u	=	Pore Water Pressure
σ_h	=	หน่วยแรงดันดินด้านข้างรวม
σ'_h	=	หน่วยแรงดันดินด้านข้างในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล
σ_{ho}	=	หน่วยแรงดันดินด้านข้างรวมแบบสถิต
σ'_{ho}	=	หน่วยแรงดันดินด้านข้างในรูปหน่วยแรงประสิทธิผลแบบสถิต
σ_{hA}	=	Active Earth Pressure
σ_v	=	หน่วยแรงดันดินในแนวตั้งรวม
σ'_v	=	หน่วยแรงดันดินด้านในแนวตั้งในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล

สัญลักษณ์ (ต่อ)

σ_{vo}	= หน่วยแรงรวมในแนวตั้ง
σ'_{vo}	= หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้งตามธรรมชาติ
σ_{hp}	= Passive Earth Pressure
γ_t	= หน่วยน้ำหนักรวมของดิน
γ_w	= หน่วยน้ำหนักของน้ำ
μ	= ค่าปรับแก้ของ Bjerrum
τ_f	= หน่วยแรงเฉือนสูงสุดของดินขณะเกิดการวิบัติ (Shearing Strength)
ρ, ρ_w	= หน่วยน้ำหนักของดินและน้ำตามลำดับ
v	= อัตราส่วนปัวซองของดินในสภาพไม่ระบายน้ำ
ϕ'	= ค่ามุมต้านแรงเฉือนในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย