บทที่ 3
การรวบรวมข้อมูลและผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดิน

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการวัดการเคลื่อนตัวของดินที่เกิดขึ้นเนื่องจากการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำภายในเขตกรุงเทพมหานครจำนวน 5 บ่อ ซึ่งใช้เทคนิควิธีในการก่อสร้างต่างๆ กันคือระบบจมบ่อคอนกรีตเสริมเหล็ก (Sinking Reinforced Concrete Caisson) โดยใช้วิธีการก่อสร้างแบบ Open Caisson จำนวน 3 บ่อ, ระบบ Diaphragm Wall จำนวน 1 บ่อ และระบบ Secant Pile Wall จำนวน 1 บ่อ (ดูแผนที่ประกอบในรูปที่ 1.2 และ 1.3) ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลทั่วไป, ผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวที่ทำการตรวจวัดได้ในระหว่างการก่อสร้างและวิธีการก่อสร้างของแต่ละบ่อที่รวบรวมได้มีดังต่อไปนี้

3.1 รายละเอียดข้อมูลของการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบจมบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนประชาชื่น (Caisson No.1)

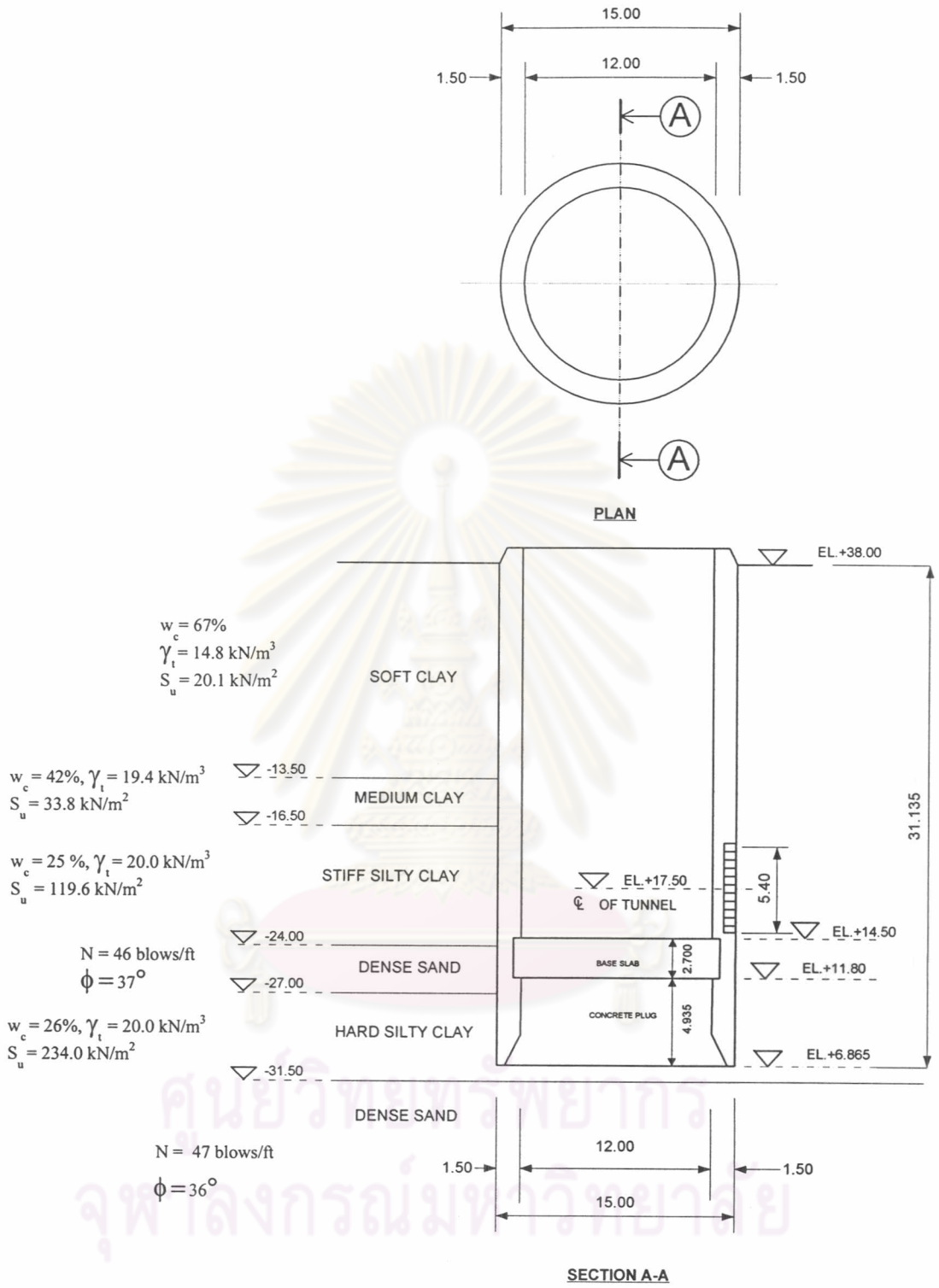
3.1.1 ข้อมูลทั่วไป

เป็นบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาซึ่งนำวิธีการก่อสร้างโดยระบบจมบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กหรือ Sinking Reinforced Concrete Caisson ชนิด Open Caisson มาใช้ โดยพื้นที่ทำการก่อสร้างอยู่บริเวณถนนประชาชื่น เขตบางเขน ลักษณะของบ่อคอนกรีตฯ มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 12.00 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 15.00 เมตร ความลึกของบ่อจากระดับพื้นดินถึงปลาย Cutting Shoe เท่ากับ 31.135 เมตร และความหนาของผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 1.50 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.1.2 ลักษณะของชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน

สภาพชั้นดินภายในบริเวณก่อสร้างประกอบด้วยชั้นดินที่มีความลึกและคุณสมบัติดังนี้

1) ชั้นดินเหนียวอ่อน หรือ Soft Clay หนาประมาณ 13.50 เมตร มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 20.1 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
2) ชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง หรือ Medium Clay ที่ความลึกประมาณ 13.50-16.50 เมตรจากระดับผิวดิน มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 33.8 กิโลนิวตัน/ตร.ม.



รูปที่ 3.1 บ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาบริเวณถนนประชาชื่น

(Caisson No. 1)

3) ชั้นดินเหนียวแข็ง หรือ Stiff Silty Clay ที่ความลึกประมาณ 16.50-24.00 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 23 ครั้ง/ ฟุต หรือมีกำลังรับแรงเฉือนประมาณ 119.6 กิโลนิวตัน/ตร.ม.

4) ชั้นทรายแน่นชั้นที่ 1 หรือ Dense Sand ที่ความลึกประมาณ 24.00-27.00 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Valueเฉลี่ยประมาณ 46 ครั้ง/ ฟุต

5) ชั้นดินเหนียวแข็งมาก หรือ Hard Silty Clay ที่ความลึกประมาณ 27.00-31.50 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 45 ครั้ง/ ฟุต หรือมีกำลังรับแรงเฉือนประมาณ 234.0 กิโลนิวตัน/ตร.ม.

6) ชั้นทรายแน่นชั้นที่ 2 หรือ Dense Sand พบถัดจากชั้นดินเหนียวแข็งมากจนถึงก้นหลุมเจาะที่ความลึกจากพื้นดิน 37.95 เมตร มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 47 ครั้ง/ ฟุต

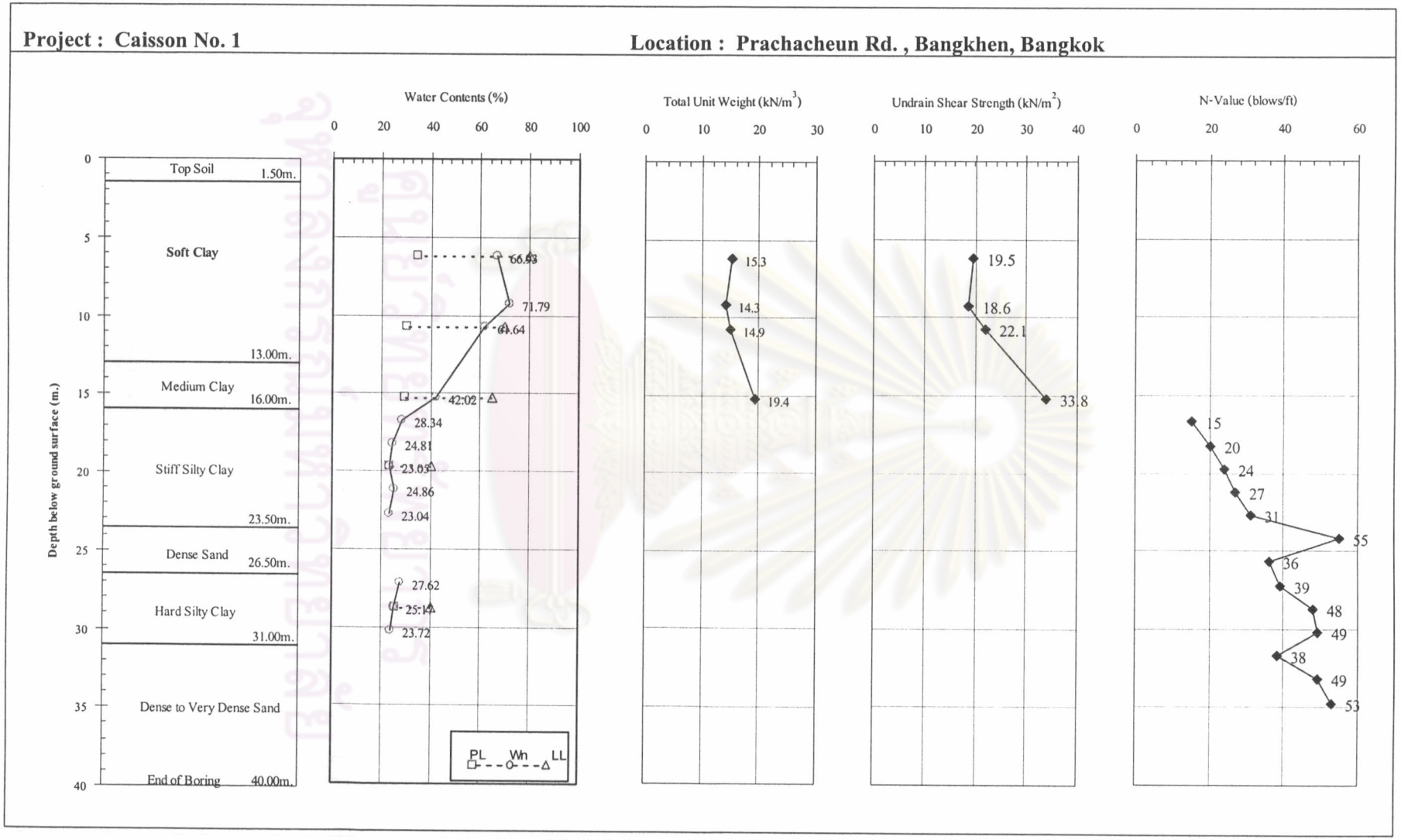
โดยลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติของดินแสดงในรูปที่ 3.2

3.1.3 วิธีการก่อสร้าง

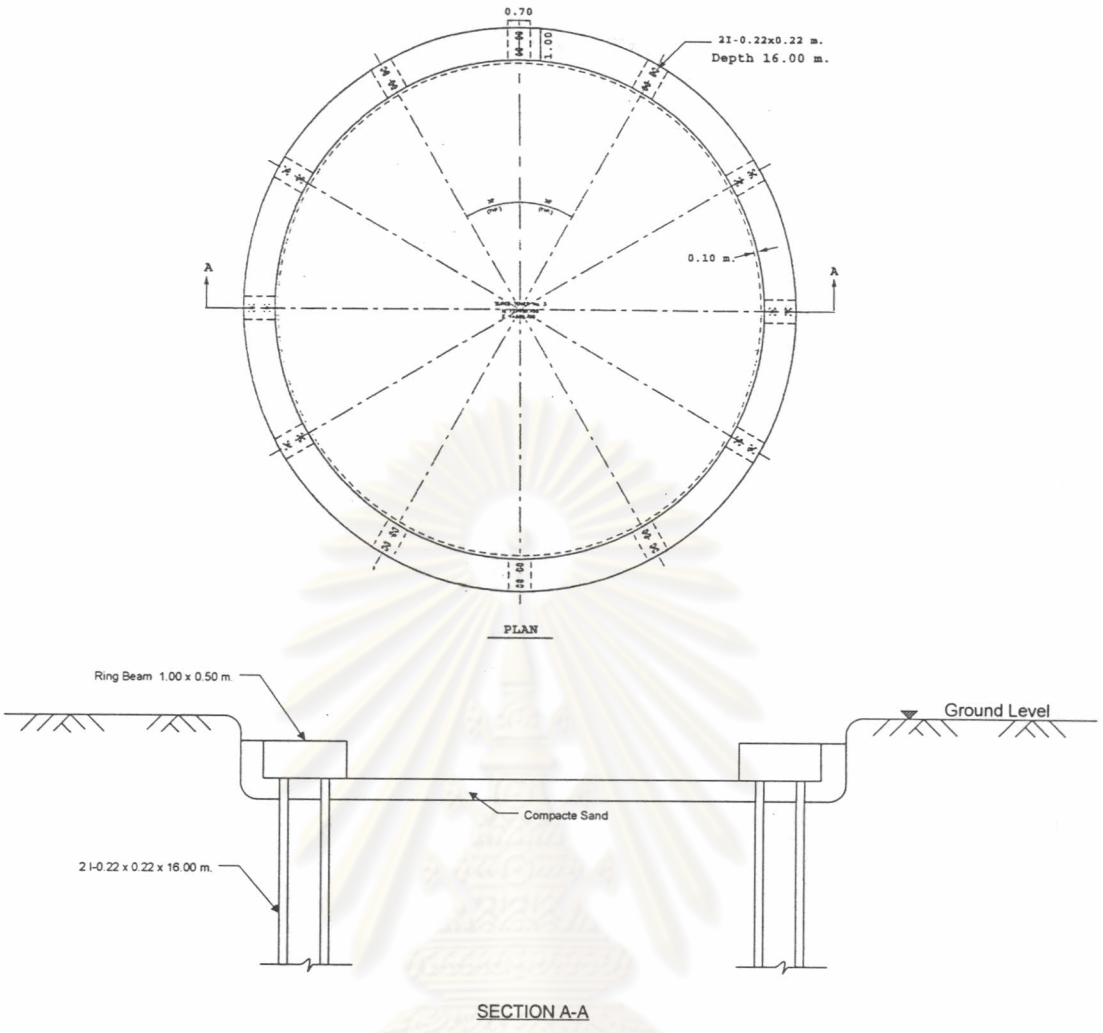
การก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาบ่อนี้ ใช้เทคนิควิธีก่อสร้างด้วยระบบ Sinking Reinforced Concrete Caisson ชนิดปลายทั้ง 2 ด้านเปิด (Open Caisson) โดยก่อนทำการก่อสร้างต้องออกแบบและวางแผนการทำงานอย่างรัดกุม เช่น การออกแบบความหนาของดินถมในช่วงเริ่มต้นของการจม, การวางแผนงานขุด และการแบ่งช่วงของผนังบ่อ เป็นต้น สำหรับขั้นตอนการก่อสร้างมีรายละเอียดดังนี้

1) ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อสร้าง

- ลอกวัชชพืชภายในบริเวณที่จะทำการก่อสร้างบ่อออก แล้วจึงถมพื้นที่ด้วยดินลูกรังหรือทรายจนถึงระดับที่ออกแบบ
- วางตำแหน่งศูนย์กลางของบ่อ แล้ววางแนวเพื่อทำการก่อสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กหรือ Ring Beam รอบบ่อ โดยขอบในของ Ring Beam มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 15.20 เมตร ส่วนขอบนอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 17.20 เมตร (ขนาดของบ่อมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 15.00 เมตร) ซึ่ง Ring Beam นี้ทำหน้าที่รับน้ำหนักของบ่อในการก่อสร้างช่วงแรก นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมตำแหน่งของบ่อในระหว่างที่ทำการจมบ่อจนกระทั่งเสร็จสิ้นการก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ
- ตอกเสาเข็ม I-0.22x0.22 เมตร ความยาว 16.00 เมตร จำนวน 24 ต้น (12 ตำแหน่ง) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เพื่อรองรับน้ำหนักที่ถ่ายจาก Ring Beam รอบบ่อคอนกรีตฯ
- ก่อสร้าง Ring Beam กว้าง 1.00 เมตร ลึก 0.50 เมตร



รูปที่ 3.2 ลักษณะของชั้นดินและคุณสมบัติของดินในพื้นที่ก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ โดยระบบจมบ่อคอนกรีตฯ (ถนนประชาชื่น)



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อสร้างและการก่อสร้าง Ring Beam

- ขุดดินภายในพื้นที่ Ring Beam ให้ต่ำกว่าหลังคาน 0.70 เมตร แล้วถมด้วยทรายบดอัดหนา 0.10 เมตร หลังจากนั้นจึงเท Lean Concrete หนา 0.05 เมตร

2) ขั้นตอนการติดตั้ง Cutting Shoe

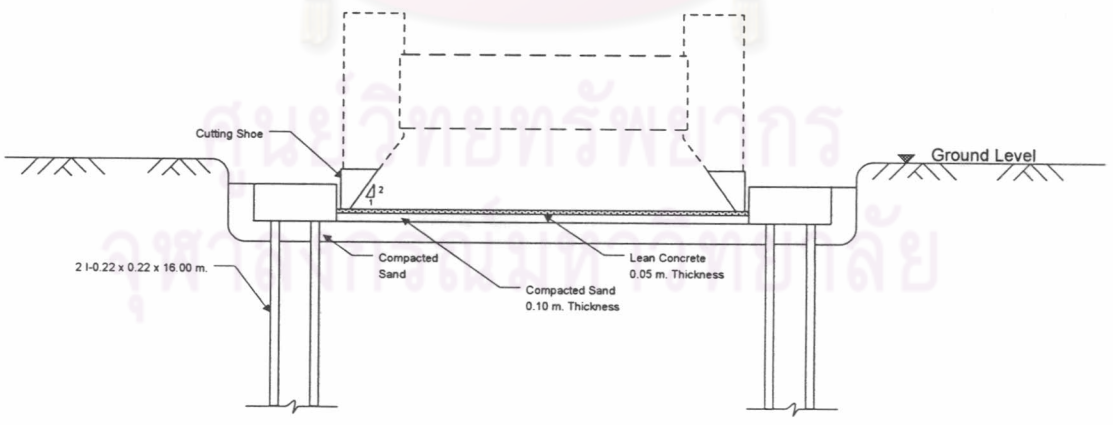
- ติดตั้งส่วนปลาย Cutting Shoe ซึ่งประกอบสำเร็จจากโรงงานบนพื้นที่ที่ทำการก่อสร้าง หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งและระดับของ Cutting Shoe ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยทั่วไปนั้น Cutting Shoe จะมีลักษณะขอบด้านในเอียงด้วยอัตราส่วนของแนวดิ่งต่อแนวตั้งเท่ากับ 2:1 เพื่อลดแรงต้านที่เกิดขึ้นกับปลายล่างของบ่อในระหว่างที่จมลงไปในดิน
- ติดตั้งคานเหล็ก (Hanger Beam) จำนวน 12 ตำแหน่ง โดยให้ปลายด้านหนึ่งยึดติดกับ Cutting Shoe ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งวางอยู่บน Hydraulic Jack และฐานรองรับ (Support) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.5(a) โดย Hydraulic Jack ทำหน้าที่รับน้ำหนักของบ่อในขณะที่ทำการลดระดับของฐานรองรับลงตามที่กำหนด เพื่อช่วยควบคุมระยะ

การจมของบ่อในช่วงเริ่มต้นให้เกิดขึ้นเท่ากันตลอดแนวของบ่อคอนกรีตฯ ซึ่ง Ring Beam จะทำหน้าที่รับน้ำหนักของบ่อที่ถ่ายมาจากฐานรองรับและ Hydraulic Jack

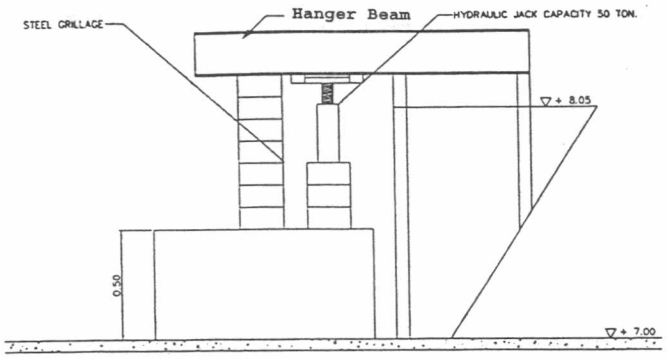
- ติดตั้งเหล็กเสริมและเทคอนกรีต Cutting Shoe สูง 1.05 เมตร

4) ขั้นตอนการจมบ่อคอนกรีตเสริมเหล็ก

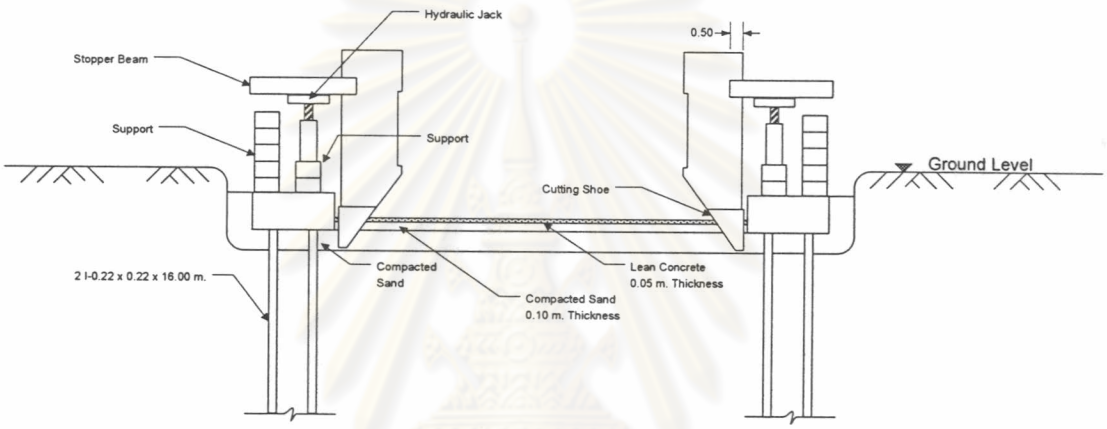
- ติดตั้งเหล็กเสริม, แบบหล่อคอนกรีต (Formwork) และท่อ PVC สำหรับสารละลาย Bentonite หรือน้ำ หลังจากนั้นเทคอนกรีตผนังบ่อสูง 0.85 เมตร โดยแบ่งการเทคอนกรีตเป็นชั้นๆ ชั้นละ 0.30 เมตร
- เริ่มการจมบ่อคอนกรีตฯ โดยยก Hydraulic Jack ขึ้นเล็กน้อย เพื่อทำการลดระดับของ Support ลง หลังจากนั้นลดความดันใน Hydraulic Jack ลง ซึ่งจะทำให้บ่อค่อยๆ จมลงด้วย ในขณะนี้ปลาย Cutting Shoe จะค่อยๆ เริ่มลดต่ำลง
- ติดตั้งเหล็กเสริม, แบบหล่อคอนกรีตและท่อ PVC สำหรับสารละลาย Bentonite หรือน้ำ เทคอนกรีตผนังบ่อสูง 2.00 เมตร
- ติดตั้ง Stopper Beam จำนวน 12 ตำแหน่ง ฝังที่ผนังด้านนอกของบ่อ เพื่อใช้ควบคุมอัตราการจมของบ่อคอนกรีตฯ ดังแสดงในรูปที่ 3.5(b) แล้วตัด Hanger Beam ออก
- ติดตั้งเหล็กเสริม, แบบหล่อคอนกรีตและท่อ PVC สำหรับสารละลาย Bentonite หรือน้ำ เทคอนกรีตผนังบ่อชั้นต่อไปโดยแต่ละชั้นมีความสูงประมาณ 2.00 เมตร อีกเป็นจำนวน 13 ชั้น จนกระทั่งปลาย Cutting Shoe จมถึงระดับที่ต้องการ โดย Stopper Beam นั้นจะใช้ควบคุมอัตราการจมจนกระทั่งไม่เกิด Oversinking จึงจะยกเลิกการใช้ Stopper Beam



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการก่อสร้าง Cutting Shoe



(a)



(b)

รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเริ่มจมบ่อคอนกรีตฯ

(b) แสดงตำแหน่ง Hanger Beam

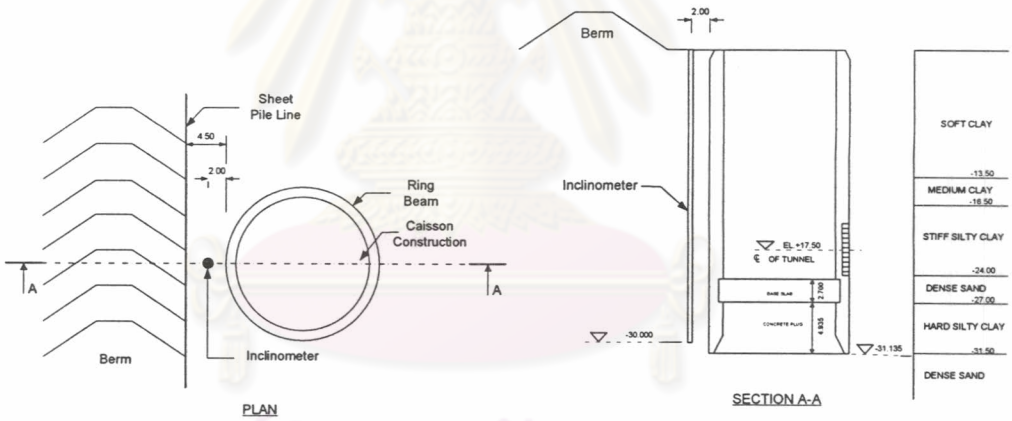
(c) แสดงตำแหน่ง Stopper Beam

- การขุดดินภายในบ่อคอนกรีตฯ เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างดินกับผนังบ่อด้านในนั้น จะเริ่มหลังจากปลาย Cutting Shoe จมผ่านชั้นดินเหนียวอ่อนเท่านั้น เพื่อป้องกันดินไหลเข้าในพื้นที่ขุด โดยระหว่างทำการขุดต้องตรวจสอบระดับของดินก่อนและหลังทำการขุดกับปริมาตรของดินที่ได้จากการขุดออกไป
- ในกรณีที่บ่อคอนกรีตฯ ไม่สามารถจมลงด้วยน้ำหนักของบ่อเองและการขุดดินภายในบ่อ อาจพิจารณาใช้น้ำหรือ สารละลาย Bentonite ช่วยในการลดแรงเสียดทานระหว่างดินและผนังภายนอกของบ่อช่วยเพิ่มอัตราการจมด้วย
- ในระหว่างการจมบ่อคอนกรีตฯ ต้องทำการตรวจสอบความเอียงของบ่อ (Tilting) ตลอดเวลา โดยการวัดระดับที่บริเวณปลายบนของผนังบ่อโดยรอบ

- ในขณะที่ทำการก่อสร้างผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นสุดท้าย จะติดตั้ง H-Beam กับผนังด้านนอกของบ่อ จำนวน 12 ตำแหน่ง เพื่อหยุดการจมของบ่อเมื่อปลาย Cutting Shoe จมจนถึงระดับที่ต้องการ โดยน้ำหนักจาก H-Beam จะถ่ายลงสู่ Ring Beam
- หลังจากปลาย Cutting Shoe จมจนถึงระดับที่ต้องการแล้ว เท Concrete Plug (f_c'= 320 ksc.) หนาประมาณ 2 เมตร ที่ปลายล่างภายในบ่อคอนกรีตฯ โดยใช้ท่อ Tremie
- หลังจากเท Concrete Plug แล้ว ตรวจสอบจนมั่นใจว่าไม่มีรอยรั่วเกิดขึ้น ทำการสูบน้ำออกจากภายในบ่อจนแห้ง แล้วจึงทำการวางเหล็กเสริมและเทคอนกรีต Base Slab (f_c'= 320 ksc.) หนา 2.70 เมตร

3.1.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินและตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด

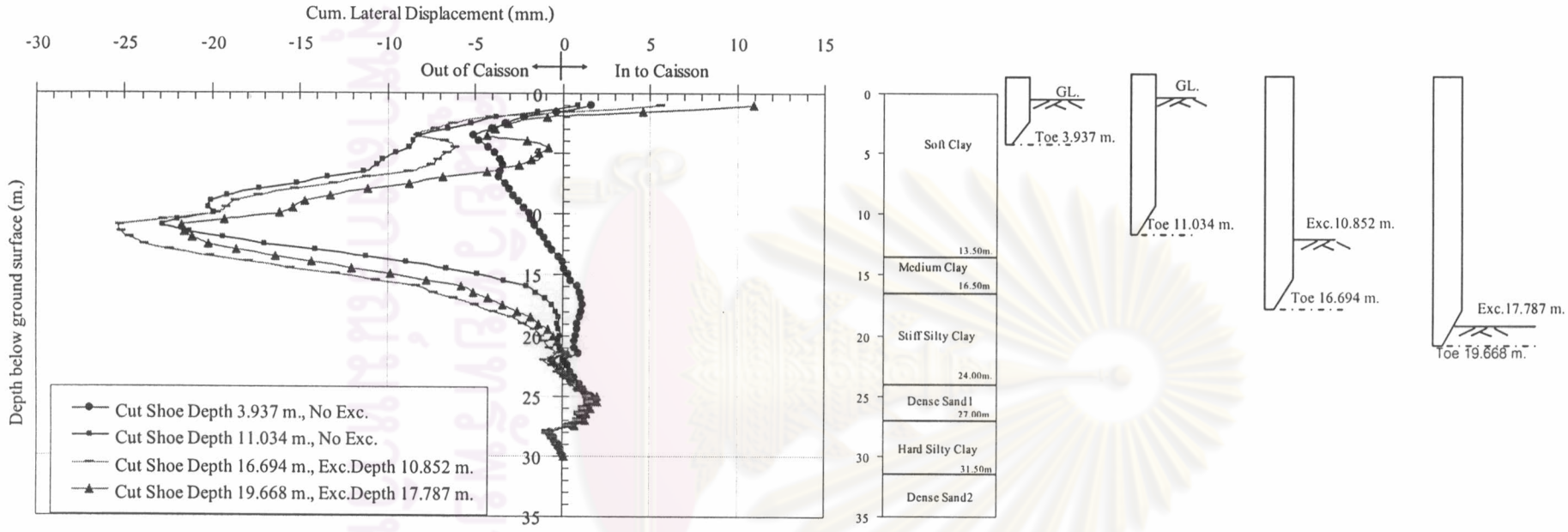
ในการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์นี้ (Caisson No.1) ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Inclinometer) ของดิน 1 จุด ที่ระยะห่างจากขอบของบ่อ 2.00 ม. ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งการติดตั้ง Inclinometer ของบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนประชาชื่น (Caisson No.1)

การเคลื่อนตัวของดินรอบๆ บ่อที่เกิดขึ้นในระหว่างทำการจมบ่อแสดงในรูปที่ 3.7 โดยที่ความลึกของปลาย Cutting Shoe และระดับดินขุดภายในบ่อซึ่งวัดจากระดับพื้นดินเป็นดังนี้

1) ความลึกของปลาย Cutting Shoe 3.937 ม. (ในดิน Soft Clay), ยังไม่มีการขุดดิน
2) ความลึกของปลาย Cutting Shoe 11.034 ม. (ในดิน Soft Clay), ยังไม่มีการขุดดิน
3) ความลึกของปลาย Cutting Shoe 16.694 ม. (ในดิน Stiff Silty Clay), ความลึกของระดับดินขุด 10.852 ม. (ในดิน Soft Clay)
4) ความลึกของปลาย Cutting Shoe 19.668 ม. (ในดิน Stiff Silty Clay), ความลึกของระดับดินขุด 17.787 ม.(ในดิน Stiff Silty Clay)



รูปที่ 3.7 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินจากการก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนประชาชื่น (Caisson No.1)

3.2 รายละเอียดข้อมูลของการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบจมบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนวิภาวดีฯ (Caisson No.2)

3.2.1 ข้อมูลทั่วไป

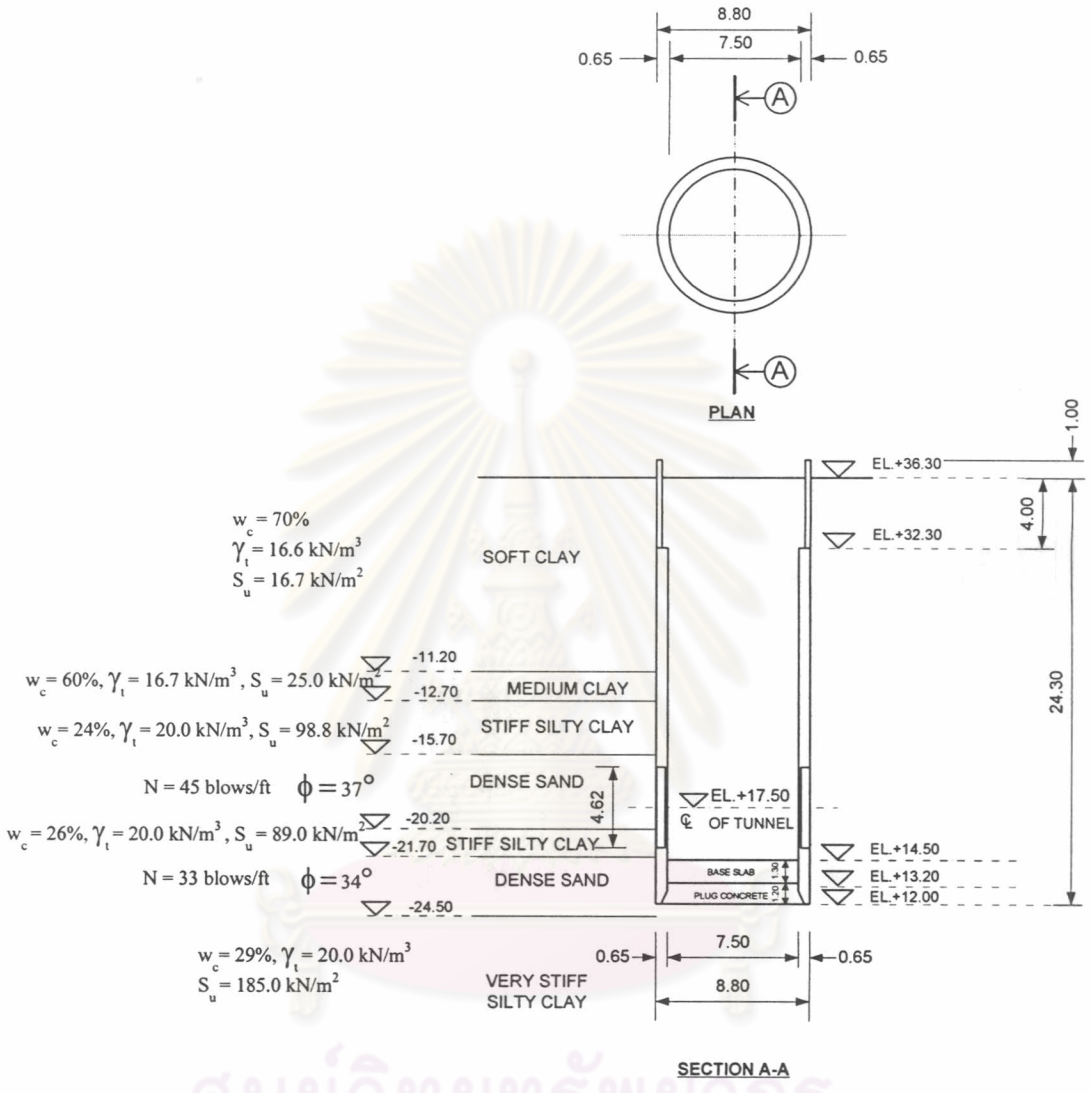
เป็นบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาซึ่งก่อสร้างโดยระบบจมบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กชนิด Open Caisson พื้นที่ทำการก่อสร้างอยู่บริเวณริมถนนวิภาวดีรังสิต เขตบางเขน (ตรงข้ามมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) ลักษณะของบ่อคอนกรีตฯ มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7.50 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 8.80 เมตร ความลึกของบ่อจากระดับพื้นดินถึงปลาย Cutting Shoe เท่ากับ 24.30 เมตร ความหนาของผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 0.65 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.8

3.2.2 ลักษณะของชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน

สภาพชั้นดินภายในบริเวณก่อสร้างประกอบด้วยชั้นดินที่มีความลึกและคุณสมบัติดังนี้

1) ชั้นดินเหนียวอ่อน หรือ Soft Clay หนาประมาณ 11.20 เมตร มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 16.7 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
2) ชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง หรือ Medium Clay ที่ความลึกประมาณ 11.20-12.70 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 25.0 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
3) ชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่ 1 หรือ Stiff Silty Clay ที่ความลึกประมาณ 12.70-15.70 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 19 ครั้ง/ ฟุต หรือมีกำลังรับแรงเฉือนประมาณ 98.8 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
4) ชั้นทรายแน่นชั้นที่ 1 หรือ Dense Sand ที่ความลึกประมาณ 15.70-20.20 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 45 ครั้ง/ ฟุต
5) ชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่ 2 หรือ Stiff Silty Clay ที่ความลึกประมาณ 20.20-21.70 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 13 ครั้ง/ ฟุต หรือมีกำลังรับแรงเฉือนประมาณ 89.0 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
6) ชั้นทรายแน่นชั้นที่ 2 หรือ Dense Sand ที่ความลึกประมาณ 21.70-24.70 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 33 ครั้ง/ ฟุต
7) ชั้นดินเหนียวแข็งมาก หรือ Very Stiff Silty Clay พบถัดจากชั้นทรายแน่นชั้นที่ 2 จนถึงก้นหลุมเจาะที่ความลึกจากพื้นดิน 36.45 เมตร มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 27 ครั้ง/ ฟุต หรือมีกำลังรับแรงเฉือนประมาณ 185.0 กิโลนิวตัน/ตร.ม.

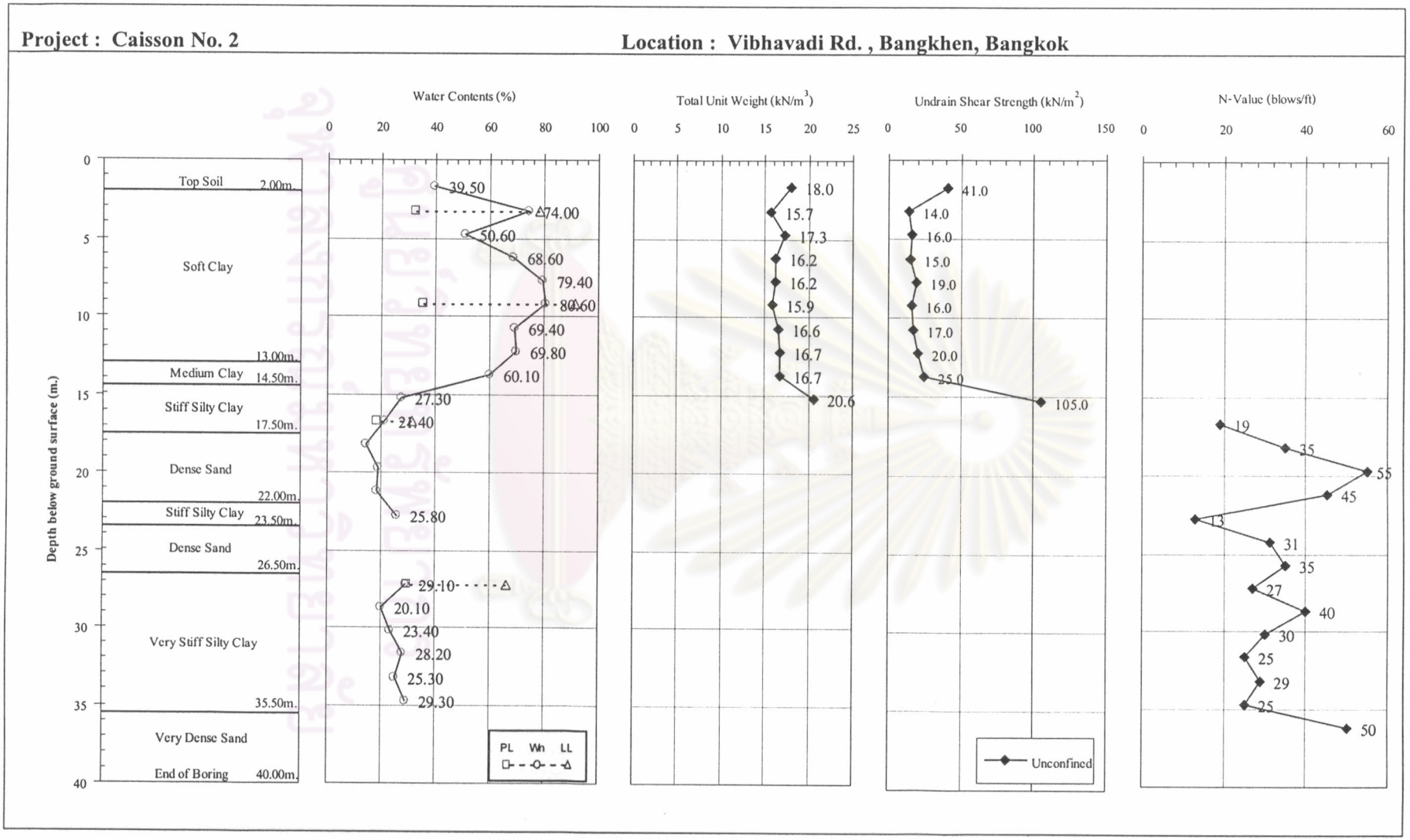
โดยผลการทดสอบคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการและจากในสนามแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 บ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาบริเวณถนนวิภาวดีฯ (Caisson No. 2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21174933

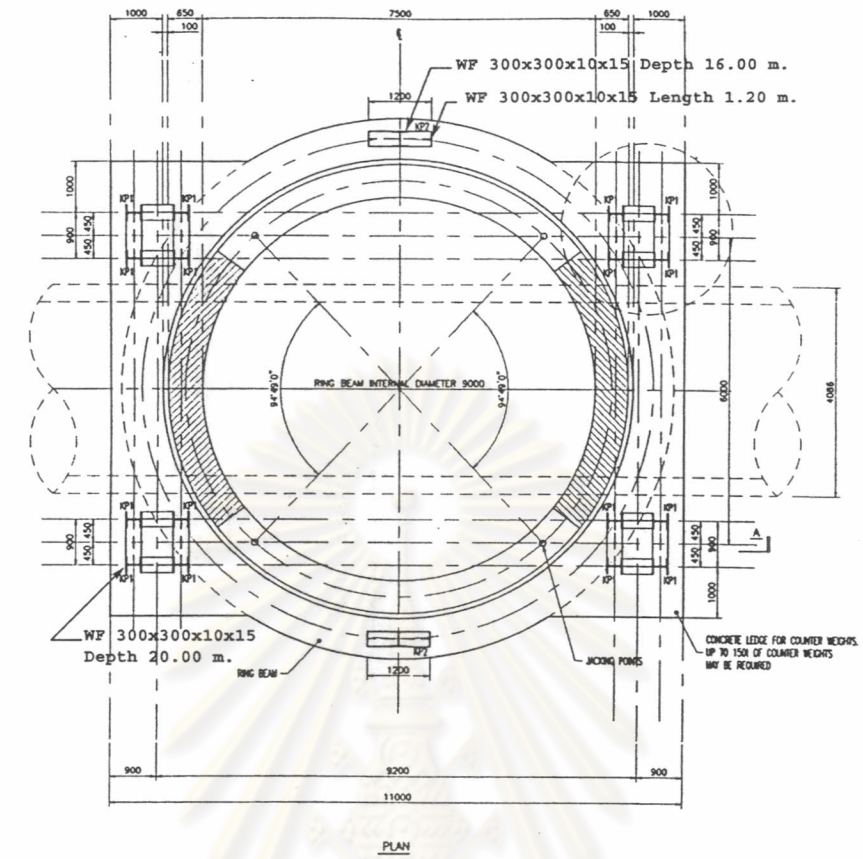


รูปที่ 3. 9 ลักษณะของชั้นดินและคุณสมบัติของดินในพื้นที่ก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ โดยระบบจมบ่อคอนกรีตฯ (ถนนวิภาวดีฯ)

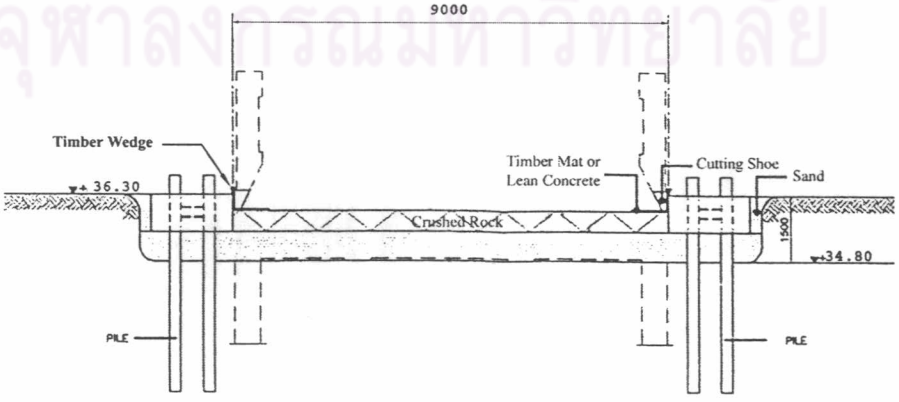
3.2.3 วิธีการก่อสร้าง

การก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาบ่อนี้ ใช้เทคนิควิธีก่อสร้างด้วยระบบ Sinking Reinforced Concrete Caisson ชนิดปลายทั้ง 2 ด้านเปิด (Open Caisson) โดยขั้นตอนการก่อสร้างมีรายละเอียดดังนี้

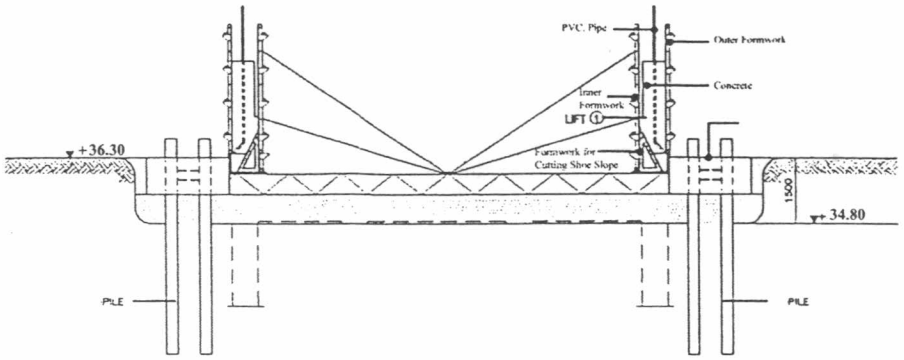
1) ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อสร้างและการก่อสร้าง Ring Beam
   - ขุดดินบริเวณพื้นที่ก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ ออกจนถึงระดับ +34..80 หลังจากนั้นทำการตรวจสอบใต้พื้นดินขุดว่ามีสิ่งใดกีดขวางการจมของบ่อหรือไม่
   - ถมพื้นที่ด้วยทรายบดอัดหนา 0.50 เมตร
   - วางตำแหน่งศูนย์กลางของบ่อ แล้ววางแนวเพื่อทำการก่อสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กหรือ Ring Beam รอบบ่อ
   - ตอกเสาเข็ม WF-300x300x10x15 มิลลิเมตร ความยาว 16.00 เมตร จำนวน 2 ต้น และ WF-300x300x10x15 มิลลิเมตร ความยาว 20.00 เมตร จำนวน 16 ต้น เพื่อรองรับน้ำหนักที่ถ่ายจาก Ring Beam รอบบ่อคอนกรีตฯ และ Jacking Frame
   - ก่อสร้าง Ring Beam กว้าง 0.80 เมตร ลึก 1.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.10
2) ขั้นตอนการติดตั้ง Cutting Shoe
   - ถมพื้นที่ภายใน Ring Beam ด้วยหินคลุกบดอัด (Crushed Rock)
   - วางแผ่นไม้ (Timber Mat) หนา 0.05 เมตร ที่ตำแหน่งที่จะวาง Cutting Shoe
   - ติดตั้งส่วนปลาย Cutting Shoe ซึ่งประกอบสำเร็จจากโรงงานบนพื้นที่ที่ทำการก่อสร้าง หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งและระดับของ Cutting Shoe ดังแสดงในรูปที่ 3.11
   - ตอกลิ่มไม้ (Timber Wedge) ลงไปที่ช่องว่างระหว่าง Ring Beam และ Cutting Shoe เพื่อควบคุมแนวดิ่งของ Cutting Shoe
3) ขั้นตอนการจมบ่อคอนกรีตเสริมเหล็ก
   - ติดตั้งเหล็กเสริม, แบบหล่อคอนกรีต (Formwork) และท่อ PVC สำหรับสารละลาย Bentonite เทคอนกรีตผนังบ่อชั้นแรกสูง 2.00 เมตร โดยแบ่งการเทคอนกรีตเป็นชั้นๆ ชั้นละ 0.50 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.12
   - ติดตั้งเหล็กเสริม, แบบหล่อคอนกรีตและท่อ PVC สำหรับสารละลาย Bentonite เทคอนกรีตผนังบ่อชั้นที่ 2 สูง 3.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.13
   - ติดตั้ง Jacking Frame



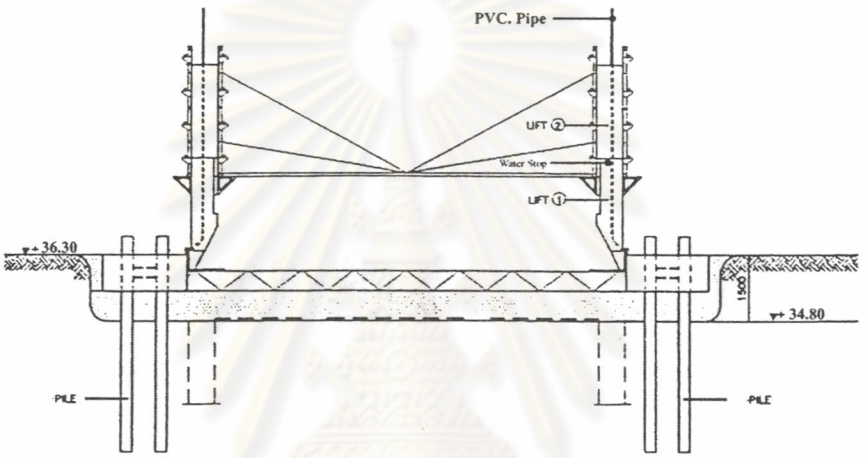
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่และการก่อสร้าง Ring Beam



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการก่อสร้าง Cutting Shoe

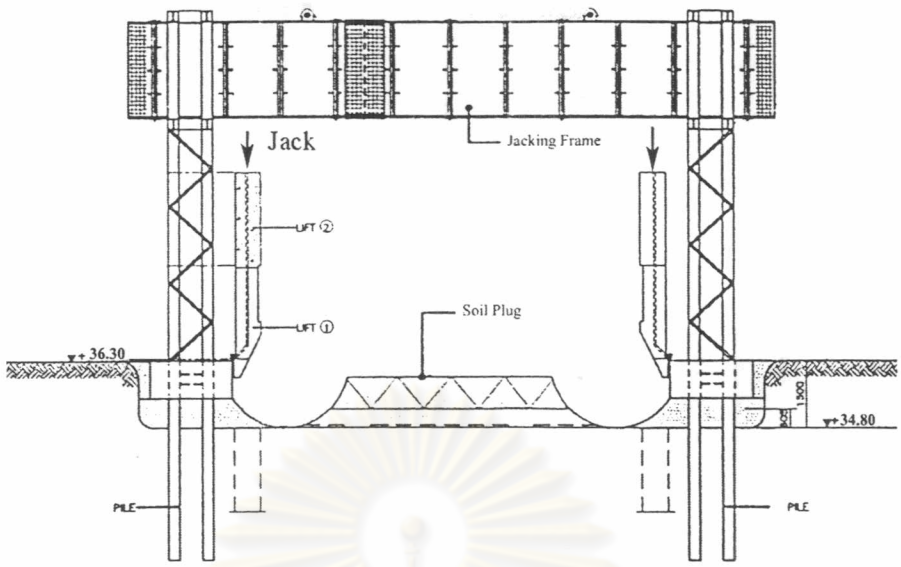


รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการก่อสร้างผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 1



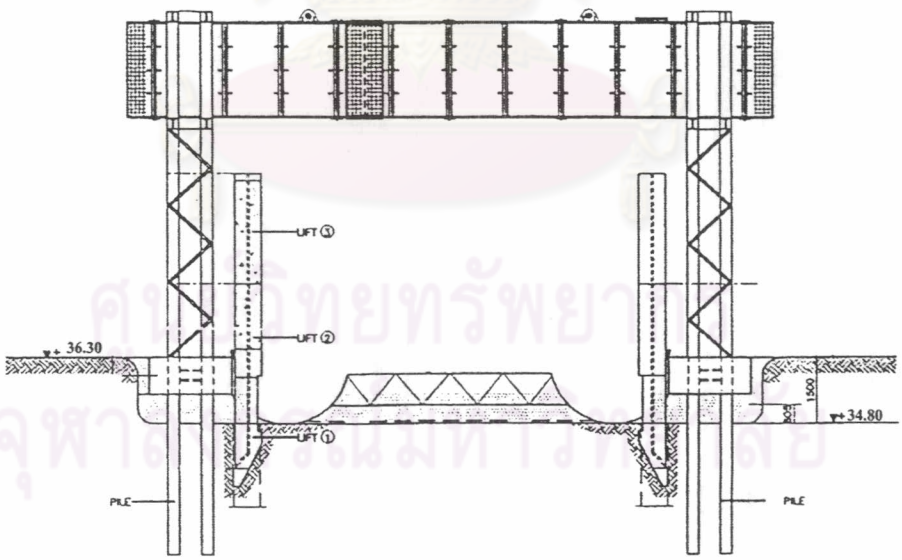
รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการก่อสร้างผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 2

- ขุดดินด้วยมือบริเวณรอบๆ ปลาย Cutting Shoe ดังแสดงในรูปที่ 3.14 หลังจากนั้นนำแผ่นไม้ที่รองไว้ใต้ Cutting Shoe ออก เพื่อลดแรงเสียดทานที่ปลาย Cutting Shoe ในระหว่างการจมบ่อคอนกรีตฯ
- เริ่มทำการจมบ่อคอนกรีตฯ โดยนำ Timber Wedge ที่ด้านข้างบ่อคอนกรีตฯ ออก หลังจากนั้นทำการ Jack ที่ปลายด้านบนของบ่อคอนกรีตฯ ซึ่งในระหว่างการจมบ่อคอนกรีตฯ จะต้องทำการตรวจสอบความเอียงของบ่อ (Tilting) ตลอดเวลา โดยการวัดระดับที่บริเวณปลายบนของผนังบ่อโดยรอบ
- เติมสารละลาย Bentonite เพื่อช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างดินและผนังบ่อคอนกรีตฯ
- ตอกลิ่มไม้ (Timber Wedge) ลงไปที่ช่องว่างระหว่าง Ring Beam และ Cutting Shoe เพื่อหยุดการจมของบ่อคอนกรีตฯ

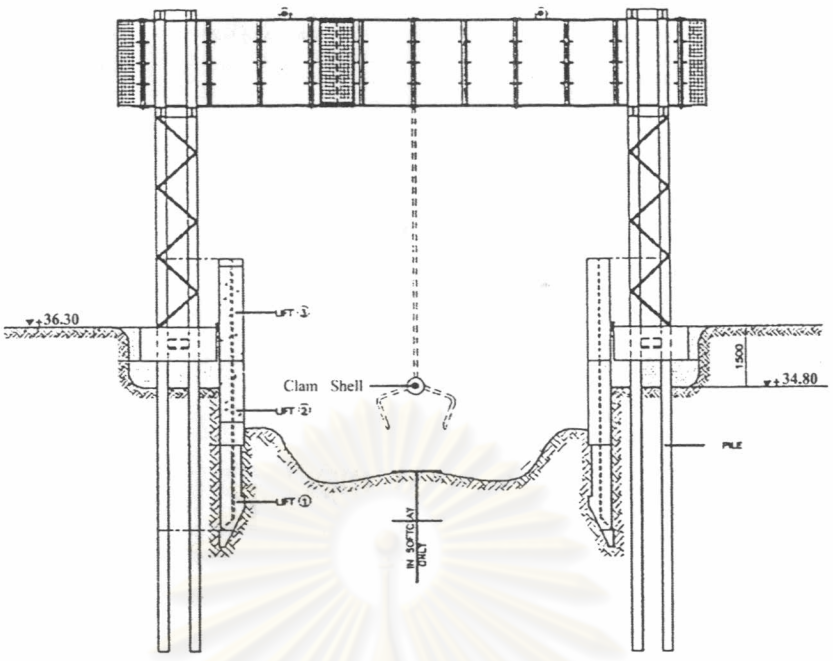


รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการขุดดินบริเวณรอบปลาย Cutting Shoe

- ติดตั้งเหล็กเสริม, แบบหล่อคอนกรีตและท่อ PVC สำหรับสารละลาย Bentonite เทคอนกรีตผนังบ่อชั้นที่ 3 สูง 3.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.15
- ทำการจมบ่อคอนกรีตฯ โดยใช้การ Jack , การขุดดินภายในบ่อโดย Clam Shell ดังแสดงในรูปที่ 3.16

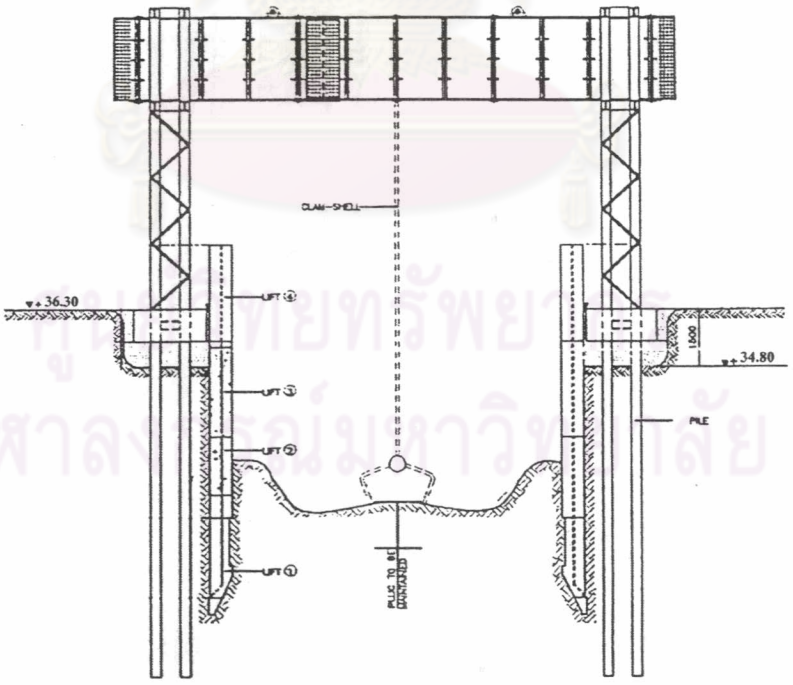


รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการก่อสร้างผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 3



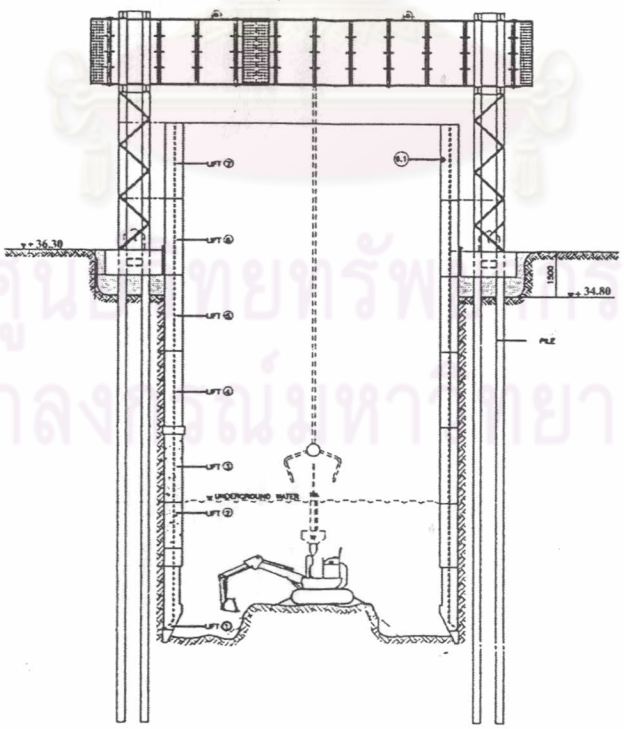
รูปที่ 3.16 ขั้นตอนการจมผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 3

- ทำการก่อสร้างผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 4, 5 และ 6 โดยแต่ละชั้นมีความสูงของผนังบ่อ 3.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.17 แล้วทำการจมบ่อคอนกรีตด้วยวิธีเดียวกันกับการจมบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 3

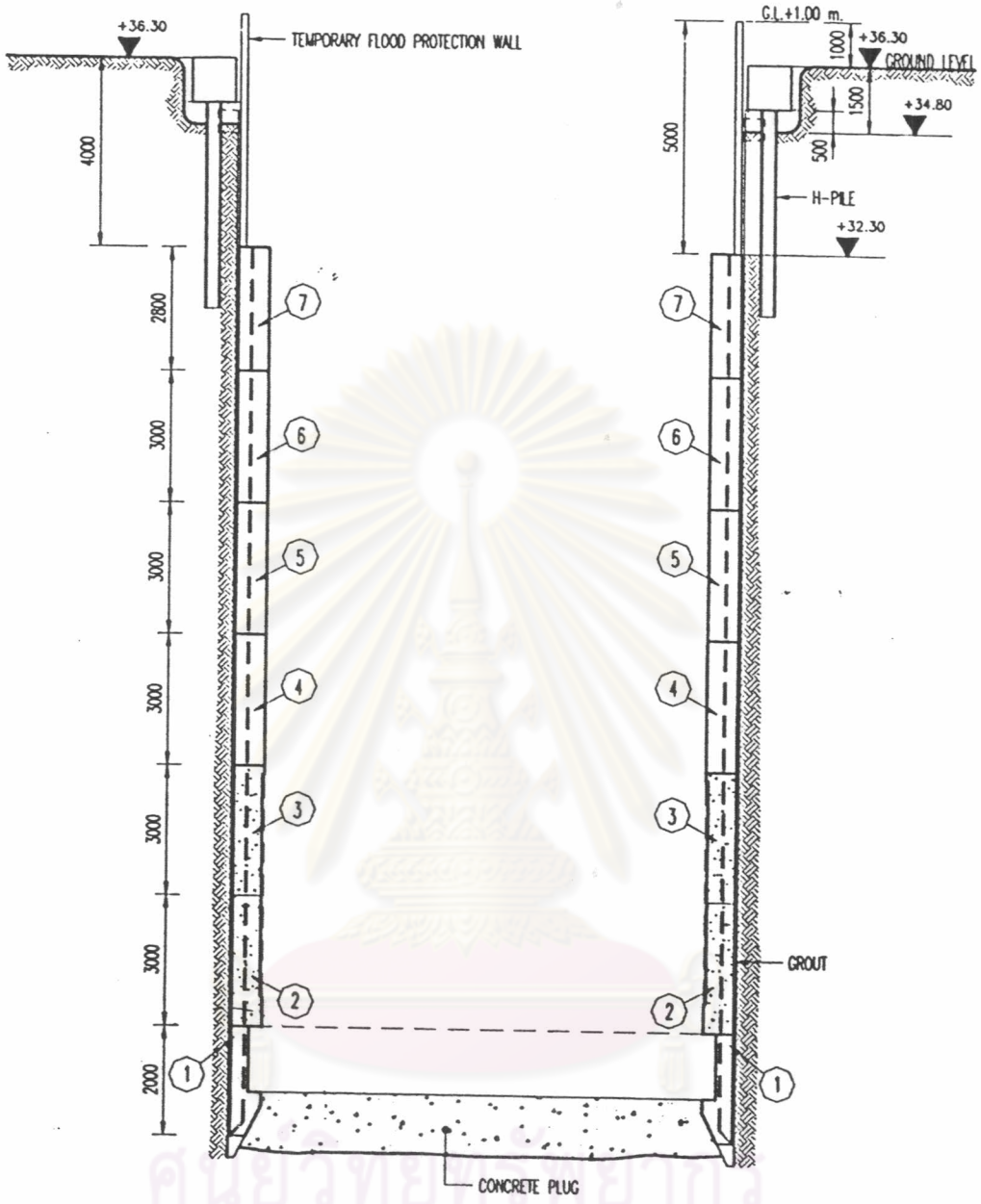


รูปที่ 3.17 ขั้นตอนการก่อสร้างและการจมผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 4

- เมื่อปลาย Cutting Shoe จมถึงดินชั้น Stiff Silty Clay และ Dense Sand การจมบ่อคอนกรีตฯ ทำโดยการขุดดินด้วย Mini-Excavator ที่บริเวณรอบปลาย Cutting Shoe, ใช้สารละลาย Bentonite และ Jacking Frame ในกรณีที่ต้องขุดดินใต้น้ำให้ใช้ Clam Shell แทน Mini-Excavator
- ติดตั้งเหล็กเสริม, แบบหล่อคอนกรีตและท่อ PVC สำหรับสารละลาย Bentonite เทคอนกรีตผนังบ่อชั้นที่ 7 สูง 2.80 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.18
- ในขณะที่ทำการก่อสร้างผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 7 ซึ่งเป็นชั้นสุดท้าย ให้ทำการติดตั้ง Stopper Beam (WF-400x400x13x21 มิลลิเมตร ความยาว 10.00 เมตร) เพื่อหยุดการจมของบ่อเมื่อปลาย Cutting Shoe จมจนถึงระดับที่ต้องการ
- หลังจากปลาย Cutting Shoe จมจนถึงระดับที่ต้องการแล้ว เท Concrete Plug (f_c'= 280 ksc.) หนา 1.20 เมตร ที่ปลายล่างภายในบ่อคอนกรีตฯ โดยใช้ Tremie Pipe
- หลังจากเท Concrete Plug แล้ว ตรวจสอบจนมั่นใจว่าไม่มีรอยรั่วเกิดขึ้น ทำการสูบน้ำออกจากภายในบ่อจนแห้ง แล้วจึงทำการวางเหล็กเสริมและเทคอนกรีต Base Slab (f_c'= 280 ksc.) หนา 1.30 เมตร
- ทำการ Grout บริเวณรอบบ่อด้านนอกเพื่อเพิ่มแรงเสียดทานระหว่างดินและผนังบ่อคอนกรีตฯ
- ก่อสร้างผนังกั้นน้ำชั่วคราวที่ปลายบนของบ่อคอนกรีตฯ ดังแสดงในรูปที่ 3.19



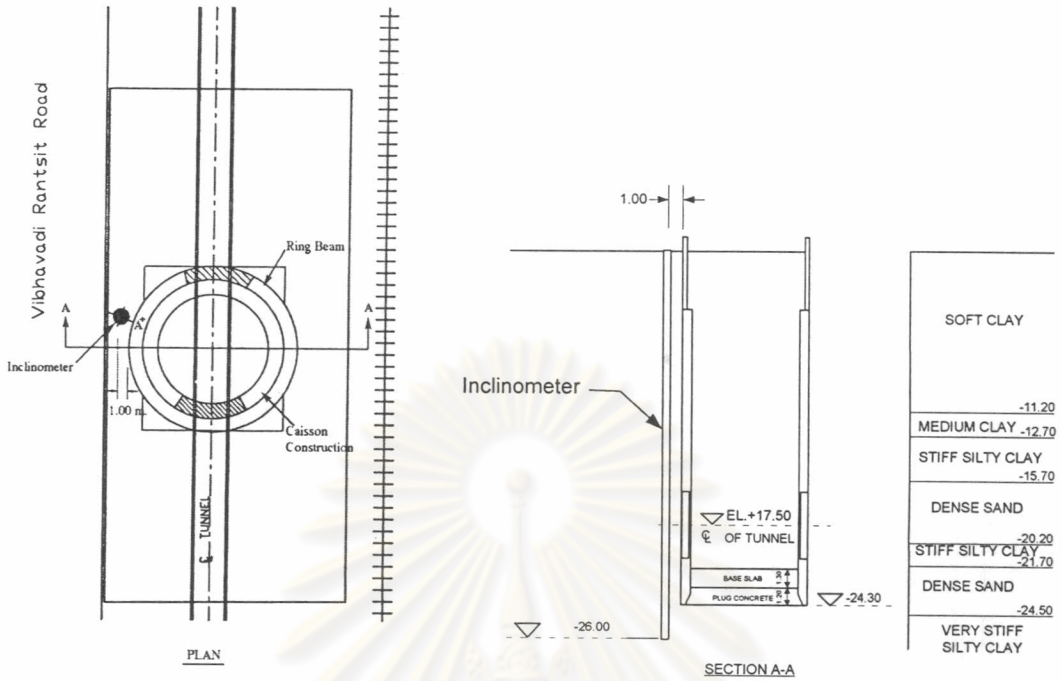
รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการก่อสร้างและการจมผนังบ่อคอนกรีตฯ ชั้นที่ 7



รูปที่ 3.19 การก่อสร้างผนังกั้นน้ำชั่วคราวภายหลังเสร็จสิ้นการจมบ่อคอนกรีตฯ

3.2.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินและตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด

ในการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์นี้ ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Inclinometer) ของดิน 1 จุด ที่ระยะห่างจากขอบของบ่อคอนกรีตฯ 1.00 เมตร ซึ่งห่างจากถนนวิภาวดีฯ ประมาณ 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.20

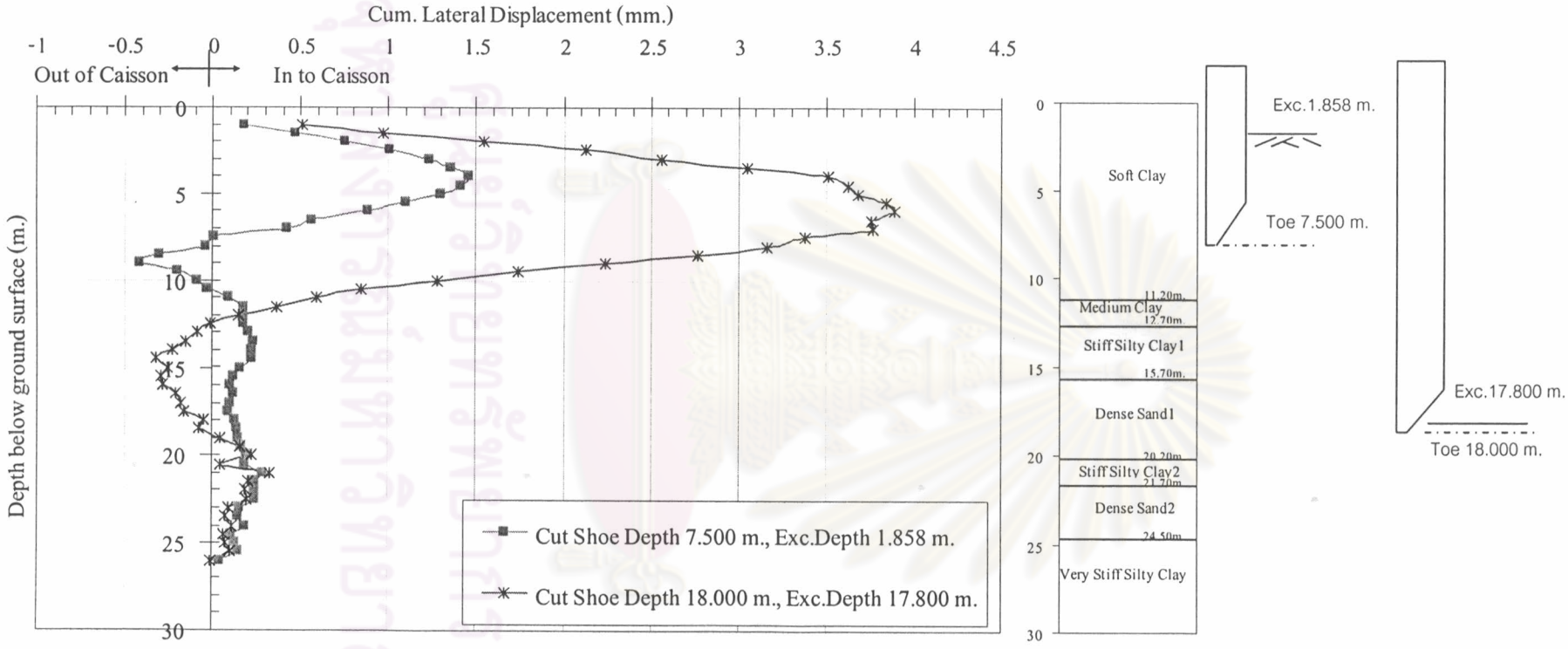


รูปที่ 3.20 ตำแหน่งการติดตั้ง Inclinometer ของบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนวิภาวดีฯ (Caisson No.2)

ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินที่นำเสนอในรูปที่ 3.21 นั้น แสดงการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นในระหว่างทำการจมบ่อ โดยที่ความลึกของปลาย Cutting Shoe และระดับดินขุดภายในบ่อ ซึ่งวัดจากระดับพื้นดินเป็นดังนี้

1) ความลึกของปลาย Cutting Shoe 7.500 ม. (ในดิน Soft Clay), ความลึกของระดับดินขุด 1.858 ม. (ในดิน Soft Clay)
2) ความลึกของปลาย Cutting Shoe 18.000 ม. (ในดิน Dense Sand), ความลึกของระดับดินขุด 17.800 ม. (ในดิน Dense Sand)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

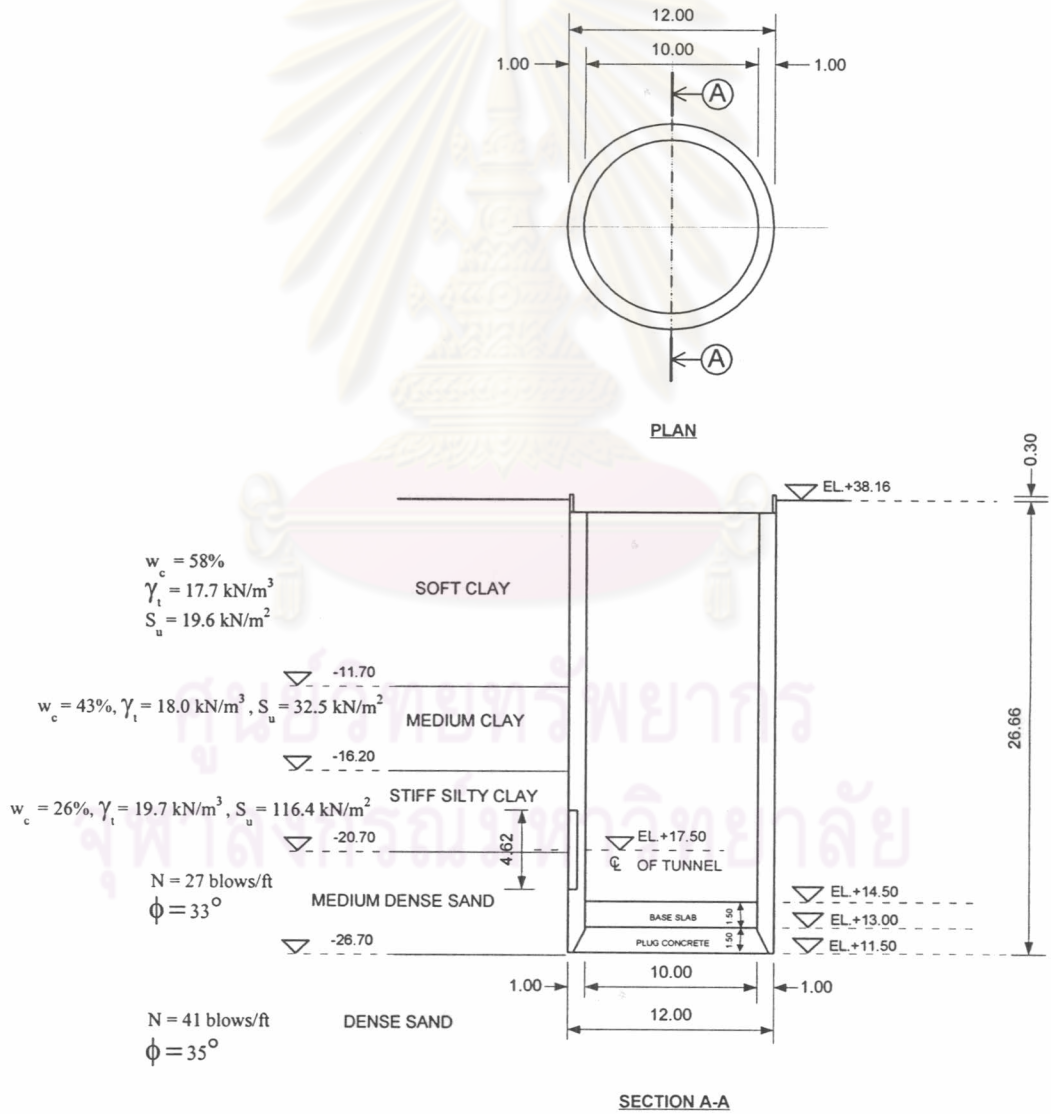


รูปที่ 3.21 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินจากการก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนวิภาวดีฯ (Caisson No.2)

3.3 รายละเอียดข้อมูลของการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบจมบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนงามวงศ์วาน (Caisson No.3)

3.3.1 ข้อมูลทั่วไป

เป็นบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาซึ่งก่อสร้างโดยระบบจมบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กชนิด Open Caisson โดยพื้นที่ทำการก่อสร้างอยู่บริเวณริมถนนงามวงศ์วาน เขตบางเขน (หน้ากรมยุทธฯ) ลักษณะของบ่อคอนกรีตฯ มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10.00 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 12.00 เมตร ความลึกของบ่อจากระดับพื้นดินถึงปลาย Cutting Shoe เท่ากับ 26.66 เมตร ความหนาของผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 1.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 บ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาบริเวณถนนงามวงศ์วาน (Caisson No. 3)

3.3.2 ลักษณะของชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน

สภาพชั้นดินภายในบริเวณก่อสร้างประกอบด้วยชั้นดินที่มีความลึกและคุณสมบัติดังนี้

1) ชั้นดินเหนียวอ่อน หรือ Soft Clay หนาประมาณ 11.70 เมตร มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 19.6 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
2) ชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง หรือ Medium Clay ที่ความลึกประมาณ 11.70-16.20 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 32.5 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
3) ชั้นดินเหนียวแข็ง หรือ Stiff Silty Clay ที่ความลึกประมาณ 16.20-20.70 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 17 ครั้ง/ ฟุต หรือมีกำลังรับแรงเฉือนประมาณ 116.4 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
4) ชั้นทรายแน่นปานกลาง หรือ Medium Dense Sand ที่ความลึกประมาณ 20.70-26.70 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Valueเฉลี่ยประมาณ 27 ครั้ง/ ฟุต
5) ชั้นทรายแน่น หรือ Dense Sand พบถัดจากชั้นทรายแน่นปานกลางจนถึงก้นหลุมเจาะที่ความลึกจากพื้นดิน 36.45 เมตร มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 41 ครั้ง/ ฟุต

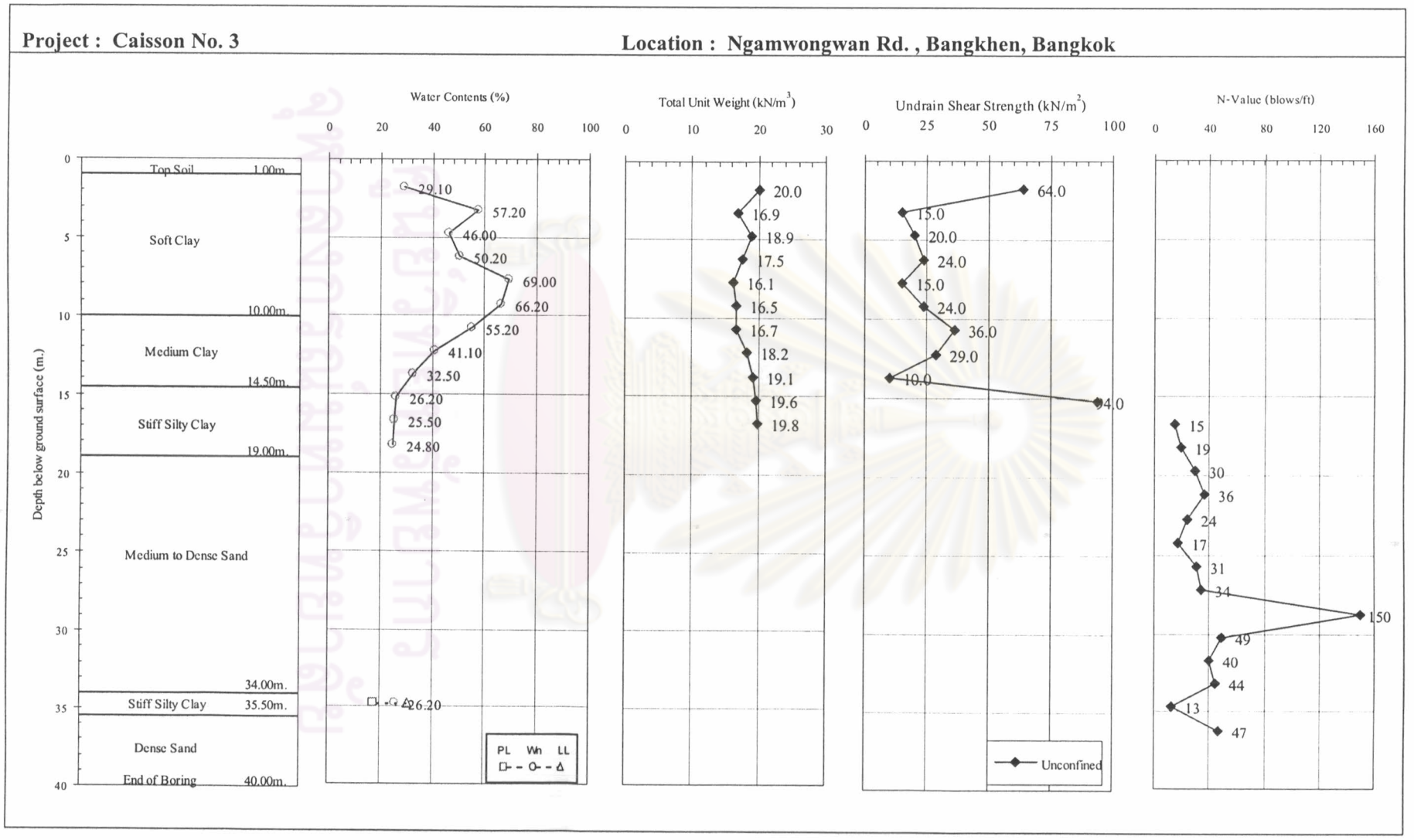
โดยผลการทดสอบคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการและจากในสนามแสดงในรูปที่ 3.23

3.3.3 วิธีการก่อสร้าง

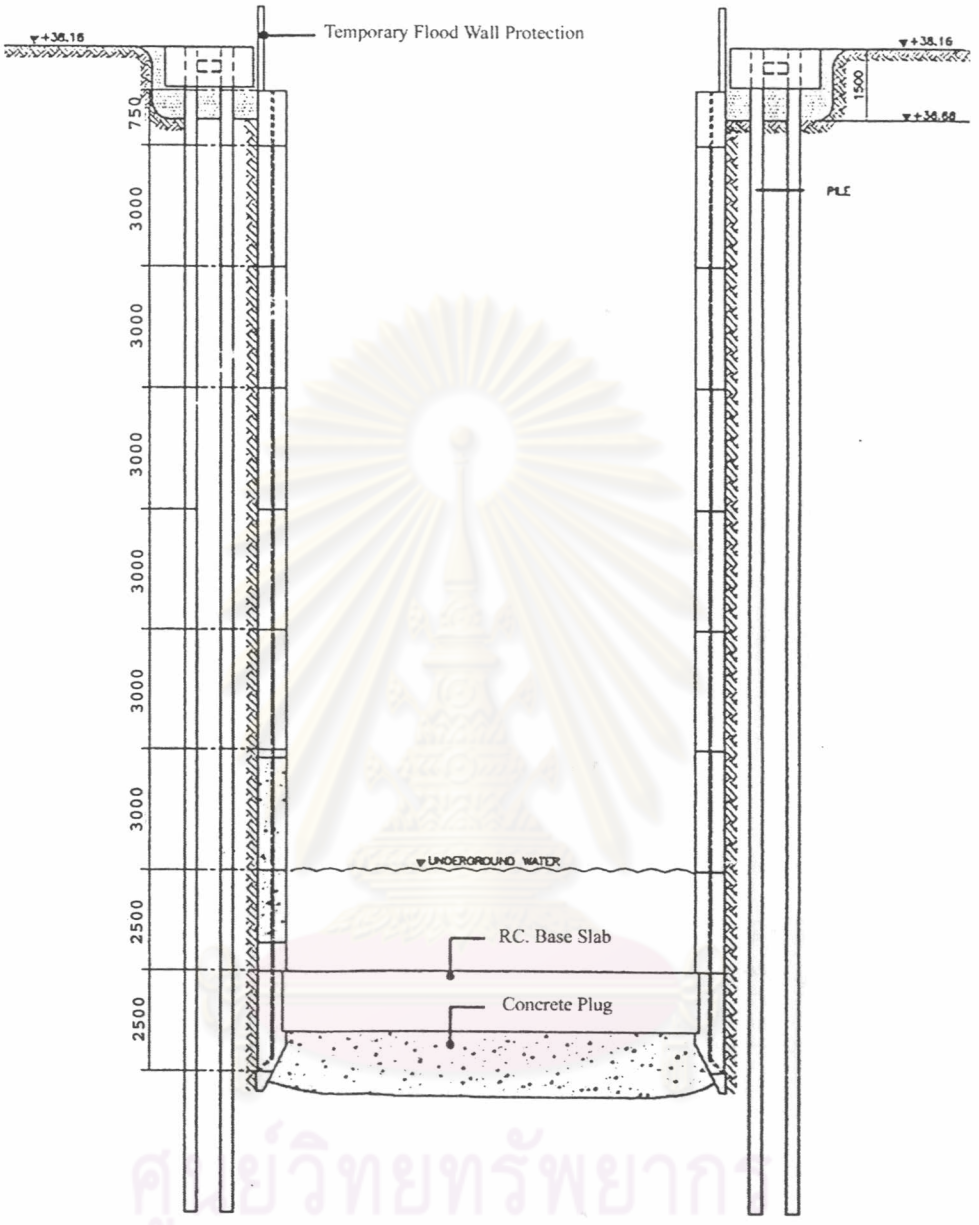
การก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาบ่อนี้ ใช้เทคนิควิธีก่อสร้างด้วยระบบ Sinking Reinforced Concrete Caisson ชนิดปลายทั้ง 2 ด้านเปิด (Open Caisson) โดยใช้วิธีการก่อสร้างเดียวกับการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ บริเวณถนนวิภาวดีฯ (Caisson No. 2) แต่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยทางด้านของโครงสร้าง เนื่องจากตัวบ่อมีขนาดใหญ่กว่า

ในส่วนของโครงสร้างที่มีความแตกต่างกันมีรายละเอียดดังนี้

1) จำนวนของเสาเข็มที่ใช้รับ Ring Beam และ Jacking Frame คือ WF-300x300x10x15 มิลลิเมตร ความยาว 16.00 เมตร จำนวน 8 ต้น และ WF-300x300x10x15 มิลลิเมตร ความยาว 20.00 เมตร จำนวน 16 ต้น
2) จำนวนชั้นและการแบ่งความสูงของผนังคอนกรีตฯ แต่ละชั้น โดยแบ่งเป็น 9 ชั้น ชั้นแรกและชั้นที่ 2 มีความสูง 2.50 เมตร ชั้นที่ 3 จนถึงชั้นสุดท้ายมีความสูง 3.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.24
3) ความหนาของ Base Slab เท่ากับ 1.50 เมตร



รูปที่ 3. 23 ลักษณะของชั้นดินและคุณสมบัติของดินในพื้นที่ก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ โดยระบบจมบ่อคอนกรีตฯ (ถนนงามวงศ์วาน)



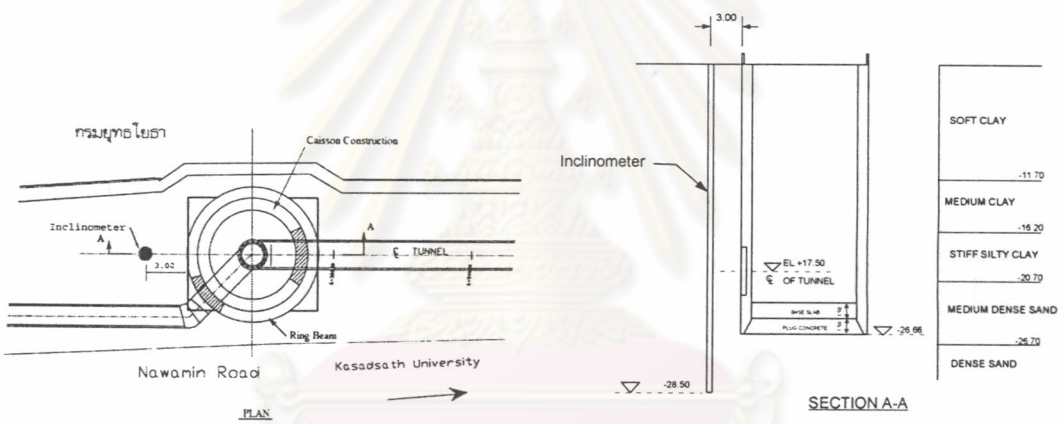
รูปที่ 3.24 การแบ่งความสูงของผนังบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์บริเวณถนนงามวงศ์วาน

3.3.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินและตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด

ในการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์นี้ ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Inclinometer) ของดิน 1 จุด ที่ระยะห่างจากขอบของบ่อ 3.00 ม. ดังแสดงในรูปที่ 3.25

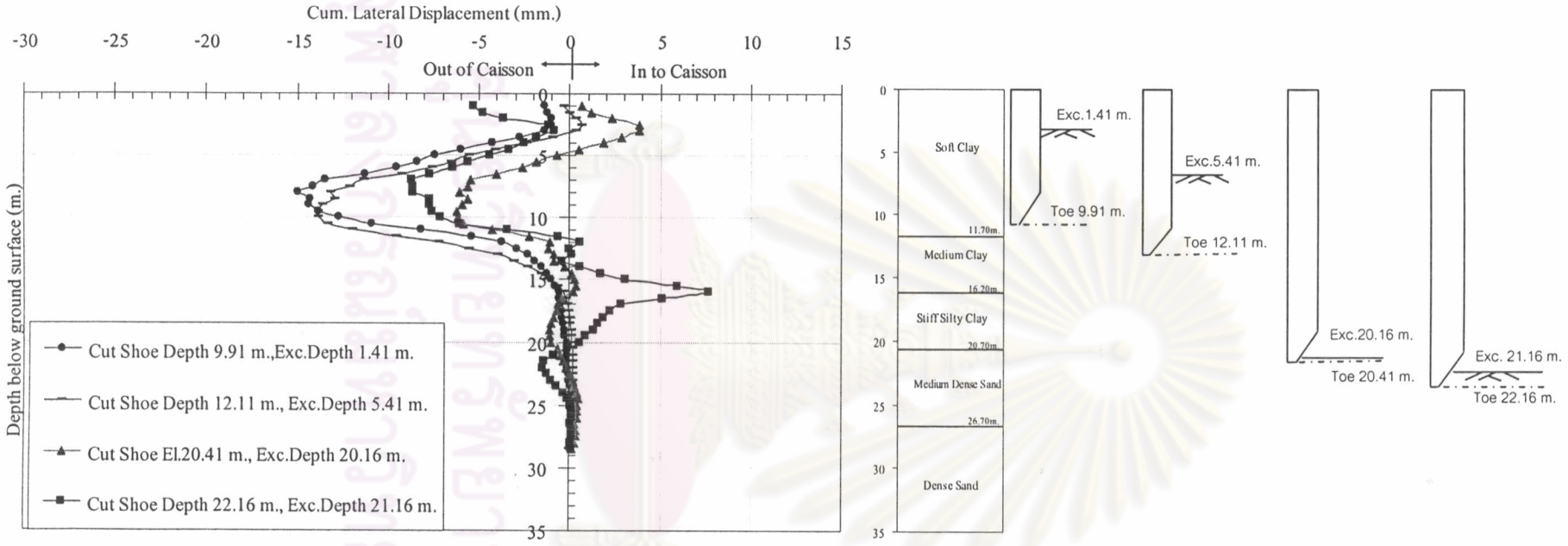
ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินที่นำเสนอในรูปที่ 3.26 นั้น แสดงการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นในระหว่างทำการจมบ่อ โดยที่ความลึกของปลาย Cutting Shoe และระดับดินขุดภายในบ่อ ซึ่งวัดจากระดับพื้นดินเป็นดังนี้

1) ความลึกของปลาย Cutting Shoe 9.91 ม. (ในดิน Soft Clay), ความลึกของระดับดินขุด 1.41 ม. (ในดิน Soft Clay)
2) ความลึกของปลาย Cutting Shoe 12.11 ม. (ในดิน Dense Sand), ความลึกของระดับดินขุด 5.41 ม. (ในดิน Dense Sand)
3) ความลึกของปลาย Cutting Shoe 20.41 ม. (ในดิน Dense Sand), ความลึกของระดับดินขุด 20.16 ม. (ในดิน Dense Sand)
4) ความลึกของปลาย Cutting Shoe 22.16 ม. (ในดิน Dense Sand), ความลึกของระดับดินขุด 21.16 ม. (ในดิน Dense Sand)



รูปที่ 3.25 ตำแหน่งการติดตั้ง Inclinometer ของบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนงามวงศ์วาน (Caisson No.3)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.26 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินจากการก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ บริเวณถนนงามวงศ์วาน (Caisson No.3)

3.4 รายละเอียดข้อมูลของการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบ Diaphragm Wall บริเวณถนนประชาชื่น

3.4.1 ข้อมูลทั่วไป

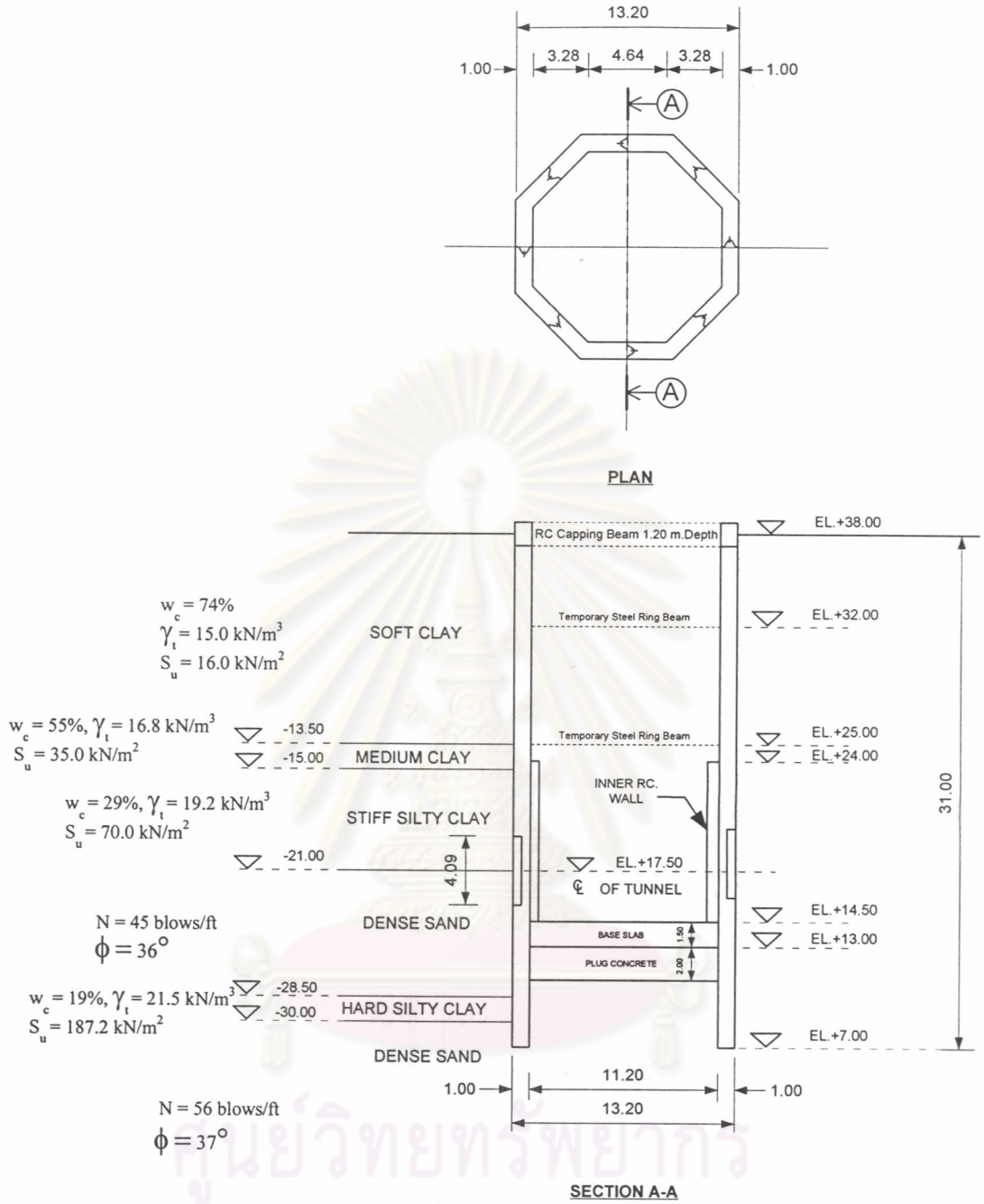
เป็นบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาซึ่งก่อสร้างโดยระบบ Diaphragm Wall ซึ่งมีพื้นที่ทำการก่อสร้างอยู่ใกล้เคียงกับ Caisson No.1 คือตั้งอยู่บริเวณถนนประชาชื่น เขตบางเขน ห่างจาก Caisson No.1 เป็นระยะทาง 40 เมตร ลักษณะของบ่อประกอบด้วย Diaphragm Wall จำนวน 8 แผง เรียงต่อกันเป็นหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม เส้นผ่าศูนย์กลางภายในประมาณ 11.20 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 13.20 เมตร ความลึกของบ่อ (ความยาวของ Diaphragm Wall) จากระดับพื้นดินถึงปลายล่างสุดของกำแพงเท่ากับ 31.00 เมตร ความหนาของผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 1.00 เมตร และความลึกของงานขุดอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดิน 25.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.27

3.4.2 ลักษณะของชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน

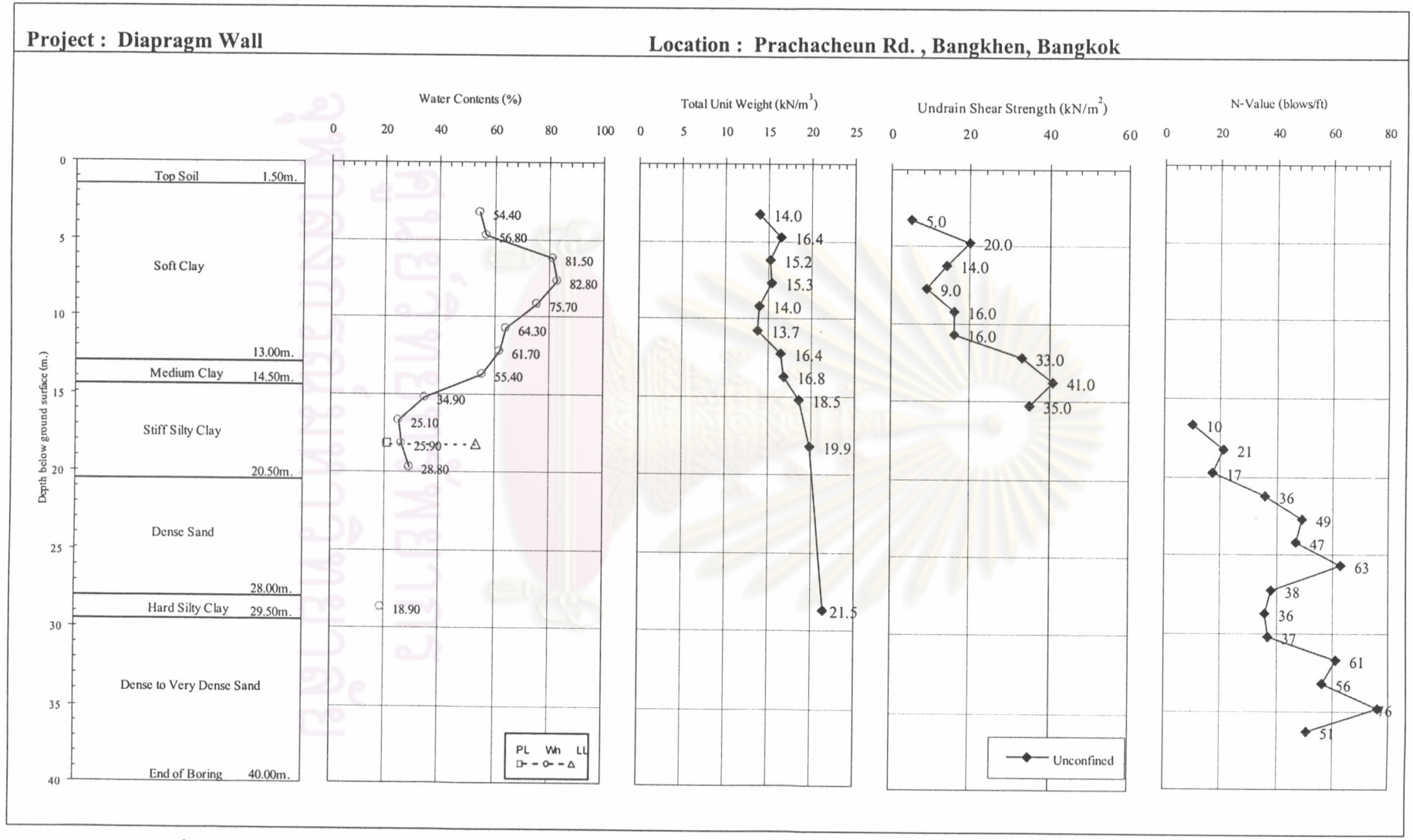
สภาพชั้นดินภายในบริเวณก่อสร้างประกอบด้วยชั้นดินที่มีความลึกและคุณสมบัติดังนี้

1) ชั้นดินเหนียวอ่อน หรือ Soft Clay หนาประมาณ 13.50 เมตร มีค่ากำลังรับแรงเฉือน (Undrained Shear Strength) ประมาณ 16.0 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
2) ชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง หรือ Medium Clay ที่ความลึกประมาณ 13.50-15.00 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 35.0 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
3) ชั้นดินเหนียวแข็ง หรือ Stiff Silty Clay ที่ความลึกประมาณ 15.00-21.00 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 16 ครั้ง/ ฟุต หรือมีกำลังรับแรงเฉือนประมาณ 70.0 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
4) ชั้นทรายแน่น หรือ Dense Sand ที่ความลึกประมาณ 21.00-28.50 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Valueเฉลี่ยประมาณ 45 ครั้ง/ ฟุต
5) ชั้นดินเหนียวแข็งมาก หรือ Hard Silty Clay ที่ความลึกประมาณ 28.50-30.00 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 36 ครั้ง/ ฟุต หรือมีกำลังรับแรงเฉือนประมาณ 187.2 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
6) ชั้นทรายแน่น หรือ Dense Sand พบถัดจากชั้นดินเหนียวแข็งมากจนถึงก้นหลุมเจาะที่ความลึกจากพื้นดิน 36.45 เมตร มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 56 ครั้ง/ ฟุต

โดยผลการทดสอบคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการและจากในสนามแสดงในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.27 บ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาโดยระบบ Diaphragm Wall บริเวณถนนประชาชื่น



รูปที่ 3.28 ลักษณะของชั้นดินและคุณสมบัติของดินในพื้นที่ก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ โดยระบบ Diaphragm Wall (ถนนประชาชื่น)

3.4.3 วิธีการก่อสร้าง

การก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำบ่อนี้ ใช้เทคนิควิธีก่อสร้างด้วยระบบ Diaphragm Wall โดยการก่อสร้างเริ่มจากการทำผนังบ่อซึ่งมีวิธีการทำคล้ายกับการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ (Bored Pile) หลังจากเสร็จสิ้นการก่อสร้างโครงสร้างของผนังบ่อแล้วจึงทำการขุดดินภายในบ่อออก สำหรับขั้นตอนการก่อสร้างแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือขั้นตอนการทำโครงสร้างผนังบ่อ และขั้นตอนการขุดดินภายในบ่อรวมทั้งการก่อสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กใต้บ่อ ซึ่งจะนำเสนอรายละเอียดการก่อสร้างทีละขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการทำโครงสร้างผนังบ่อมีรายละเอียดดังนี้

1) การก่อสร้าง Guide Wall

ก่อนทำการก่อสร้างควรสำรวจพื้นที่เพื่อให้วางแนวก่อสร้าง Guide Wall โดย Guide Wall นี้เป็นโครงสร้างชั่วคราวที่มีลักษณะของโครงสร้างเป็นคานคู่ที่มีช่องว่างระหว่างคานทั้งสองเท่ากับความหนาของ Diaphragm Wall คือ 1.00 เมตร

2) การขุดเจาะดิน (Drilling) เพื่อทำ Diaphragm Wall

การขุดเจาะดินจะเริ่มทำเมื่อคอนกรีต Guide Wall ได้กำลังตามที่ต้องการแล้ว การขุดเจาะดินจะแบ่งเป็น 8 แผง ตามลักษณะของผนังบ่อดังแสดงไว้ในรูปตัด (Plan) ของรูปที่ 3.27 โดยวิธีการขุดจะทำการขุดแบบแผงเว้นแผงคือ Primary Panel เป็นแผงที่ต้องทำการก่อสร้างก่อน และ Secondary Panel เป็นแผงที่ต้องทำการก่อสร้างทีหลัง

เครื่องมือที่ใช้ในการขุดโดยทั่วไปจะใช้ Mechanical Grab ทำการขุดดิน โดยมีการเติมสารละลาย Bentonite ให้เต็มหลุมขุดตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้หลุมพัง ดังแสดงในรูปที่ 3.29

3) การทำโครงสร้างผนังบ่อ

เมื่อขุดได้ขนาดและความลึกที่ต้องการแล้วให้ทำการถ่ายสารละลาย Bentonite ใหม่เข้าไปแทนที่สารละลาย Bentonite เก่าซึ่งมีเศษดินผสมอยู่ เสร็จแล้วจึงติดตั้ง Stop-End ที่ด้านข้างของแผงทั้ง 2 ด้าน ตามความยาวของแผง หน้าที่ของ Stop-End คือนอกจากจะเป็นแบบสำหรับเทคอนกรีตเพื่อให้เกิดเป็น Joint สำหรับรอยต่อของแผง แล้วยังใช้ในการติดตั้ง Water Stop ด้วย เนื่องจากตัว Stop-End ได้รับการออกแบบให้สามารถติดตั้งตัว Water Stop ได้ ส่วน Water Stop มีหน้าที่ป้องกันน้ำรั่วซึมระหว่าง Joint ภายหลังจากที่ทำการก่อสร้างผนังบ่อเสร็จสิ้นแล้ว

ทำการติดตั้งเหล็กเสริมที่เตรียมไว้ โดยหย่อนลงไปในหลุมที่ขุดดังแสดงในรูปที่ 3.30 หลังจากนั้นจึงเทคอนกรีตผนังโดย Triemie Pipe Method จากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนดังแสดงในรูปที่ 3.31 หลังจากบ่มคอนกรีตจนคอนกรีตมีอายุไม่ต่ำกว่า 12 ชั่วโมง แล้วจึงทำการถอด Stop-End ออกดังแสดงในรูปที่ 3.32

4) การก่อสร้าง Capping Beam

ภายหลังจากที่ก่อสร้างโครงสร้างของผนังบ่อเสร็จสิ้นแล้ว ทำการก่อสร้าง Capping Beam ขนาดความกว้าง 1.00 เมตร และยาว 1.20 เมตร เพื่อเป็นการเสริมความแข็งแรงของผนัง Diaphragm Wall

ขั้นตอนการขุดดินภายในบ่อรวมทั้งการก่อสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กใต้บ่อมีรายละเอียดการก่อสร้างดังต่อไปนี้

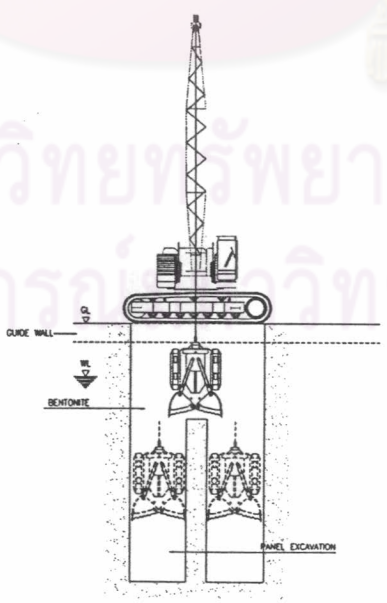
1) การขุดดินภายในบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์

หลังจากทำการก่อสร้าง Capping Beam ทำการขุดดินภายในบ่อออกโดยรถ Back Hole โดยแบ่งขั้นตอนการขุดดินได้ดังนี้

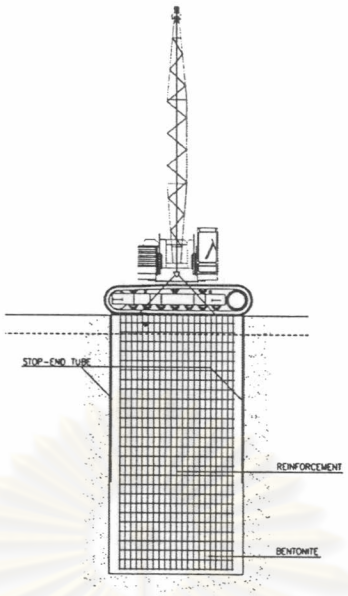
- ทำการขุดดินจนกระทั่งลึกลงไปจากผิวดิน 7.00 เมตร ทำการก่อสร้าง Temporary Steel Bracing ชั้นที่ 1
- ทำการขุดดินจนกระทั่งลึกลงไปจากผิวดิน 14.00 เมตร ทำการก่อสร้าง Temporary Steel Bracing ชั้นที่ 2

2) การก่อสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Base Slab)

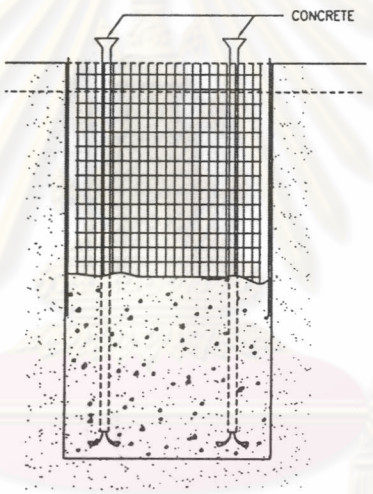
- หลังจากเสร็จสิ้นการขุดดินแล้วทำการเท Concrete Plug ที่พื้นบ่อโดย Triemie Pipe Method เพื่อป้องกันปัญหาการเกิด Uplift ขึ้น
- ก่อสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Base Slab) โดยใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงสุดที่กำหนด (f_c') 280 ksc. หนา 1.50 เมตร ที่ก้นบ่อโดย Trimie Pipe Method



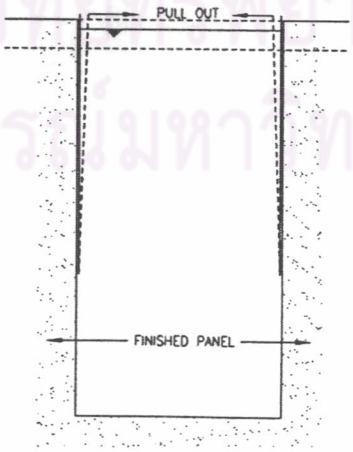
รูปที่ 3.29 การขุดดินเพื่อทำแผง Diaphragm Wall โดยใช้ Mechanical Grab



รูปที่ 3.30 การติดตั้งเหล็กเสริมสำหรับแผง Diaphragm Wall ในหลุมขุด



รูปที่ 3.31 การคอนกรีตโดย Trimie Pipe Method



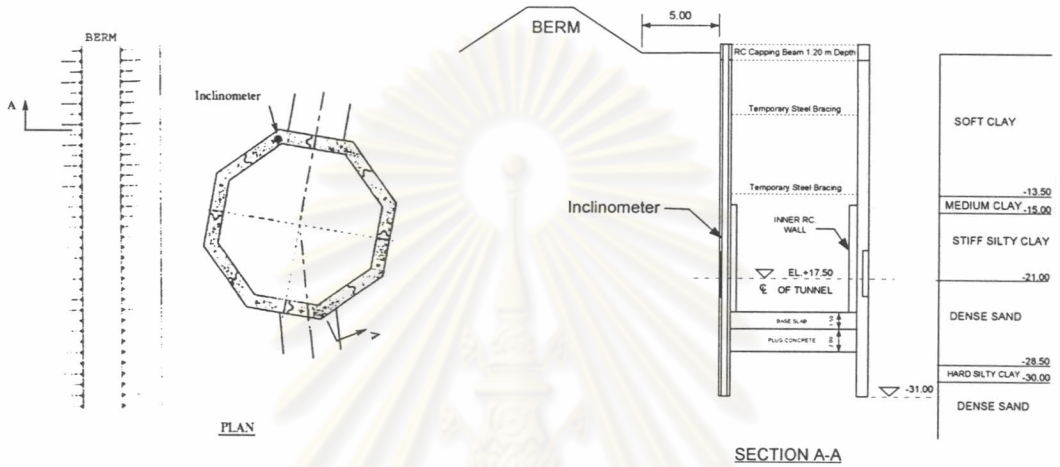
รูปที่ 3.32 การถอด Stop-End ออกภายหลังการบ่มคอนกรีต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

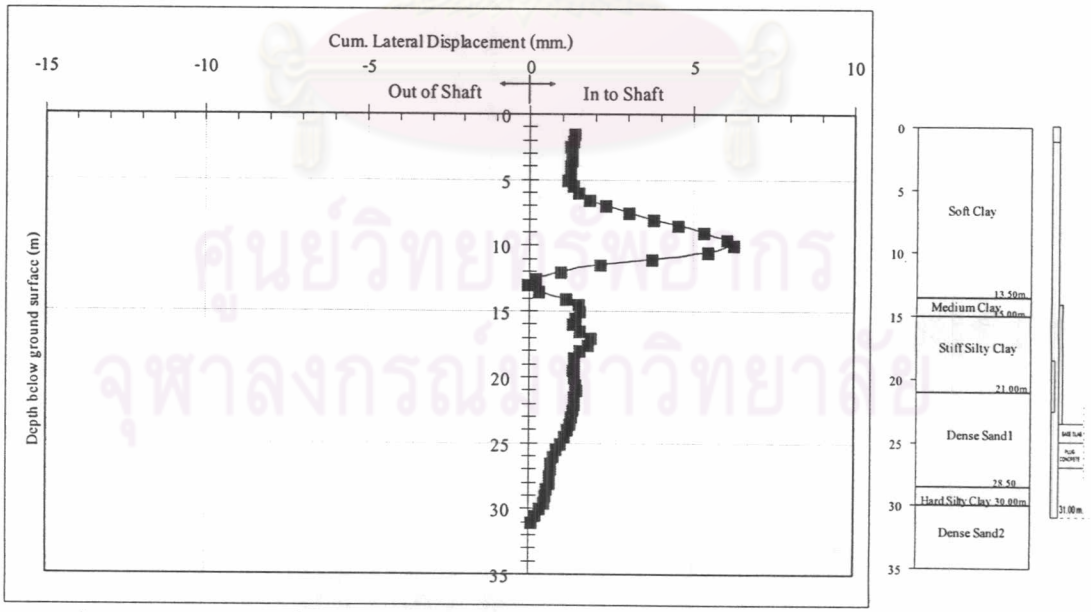
3.4.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของผนังบ่อและตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด

ในการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบ Diaphragm Wall นี้ ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Inclinometer) ของผนังบ่อที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขุดดินไว้ในตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 3.33

ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของผนังบ่อที่นำเสนอในรูปที่ 3.34 นั้น แสดงการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มทำการขุดดินภายในบ่อ จนกระทั่งเสร็จสิ้นการก่อสร้าง Base Slab



รูปที่ 3.33 ตำแหน่งการติดตั้ง Inclinometer ของบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาโดยระบบ Diaphragm Wall บริเวณถนนประชาชื่น



รูปที่ 3.34 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของผนังบ่อจากการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาโดยระบบ Diaphragm Wall บริเวณถนนประชาชื่น

3.5 รายละเอียดข้อมูลของการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบ Secant Pile Wall บริเวณถนนประชาราษฎร์สาย 2

3.5.1 ข้อมูลทั่วไป

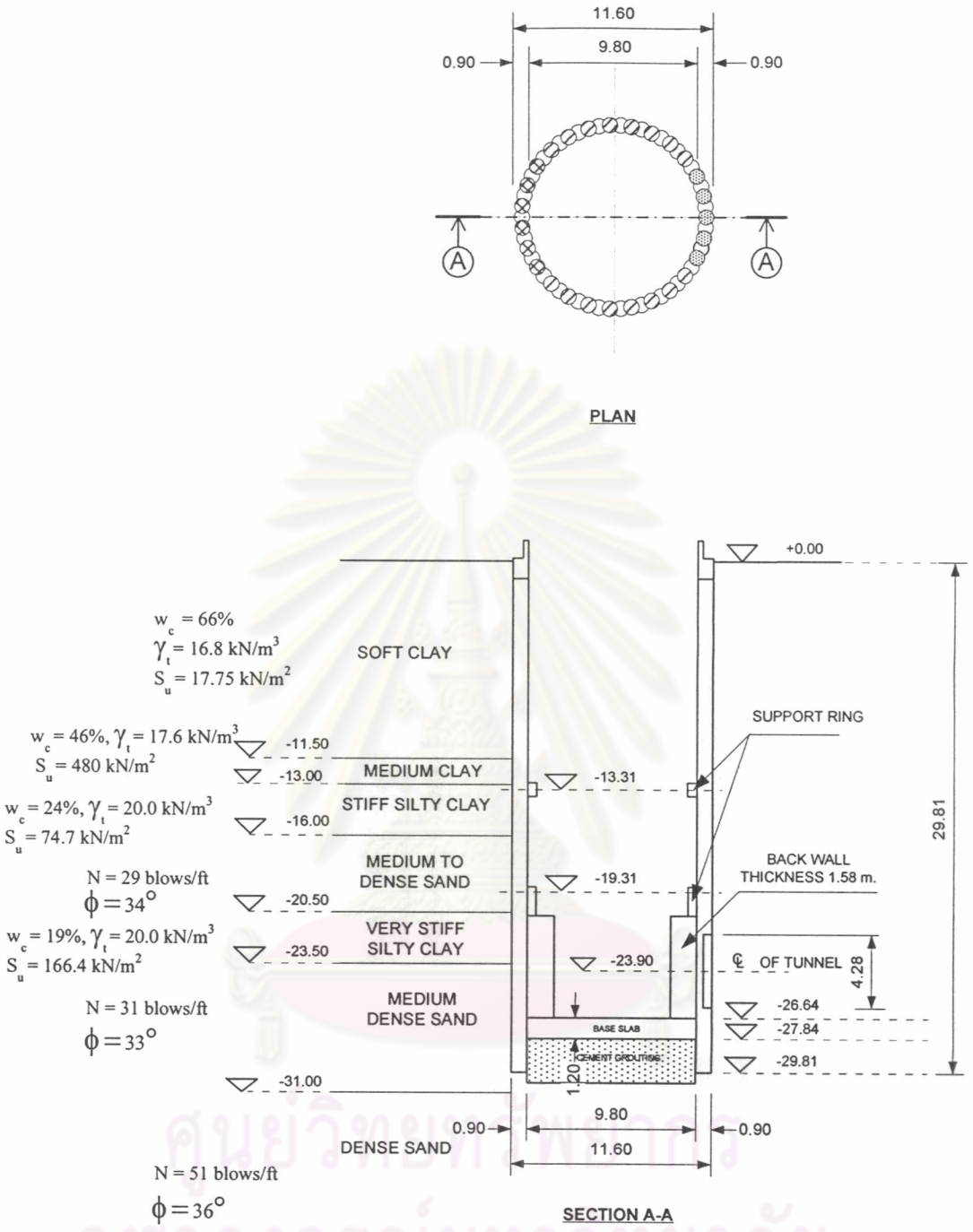
เป็นบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำจากคลองเปรมประชาลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งก่อสร้างโดยระบบเสาเข็มต่อเนื่องหรือ Secant Pile ที่มีเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.90 เมตร จำนวน 50 ต้น เรียงขบกันประมาณ 0.23 เมตร (ระยะ Interlock) เป็นรูปวงกลมปิดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในประมาณ 9.80 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 11.60 เมตร โดยมี Pile Tip อยู่ที่ความลึกจากระดับพื้นดิน 29.81 เมตร และความลึกของงานขุดอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดิน 27.84 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.35 โดยพื้นที่ทำการก่อสร้างอยู่ใกล้แม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณถนนประชาราษฎร์สาย 2 เขตบางโพ

3.5.2 ลักษณะของชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน

สภาพชั้นดินภายในบริเวณก่อสร้างประกอบด้วยชั้นดินที่มีความลึกและคุณสมบัติดังนี้

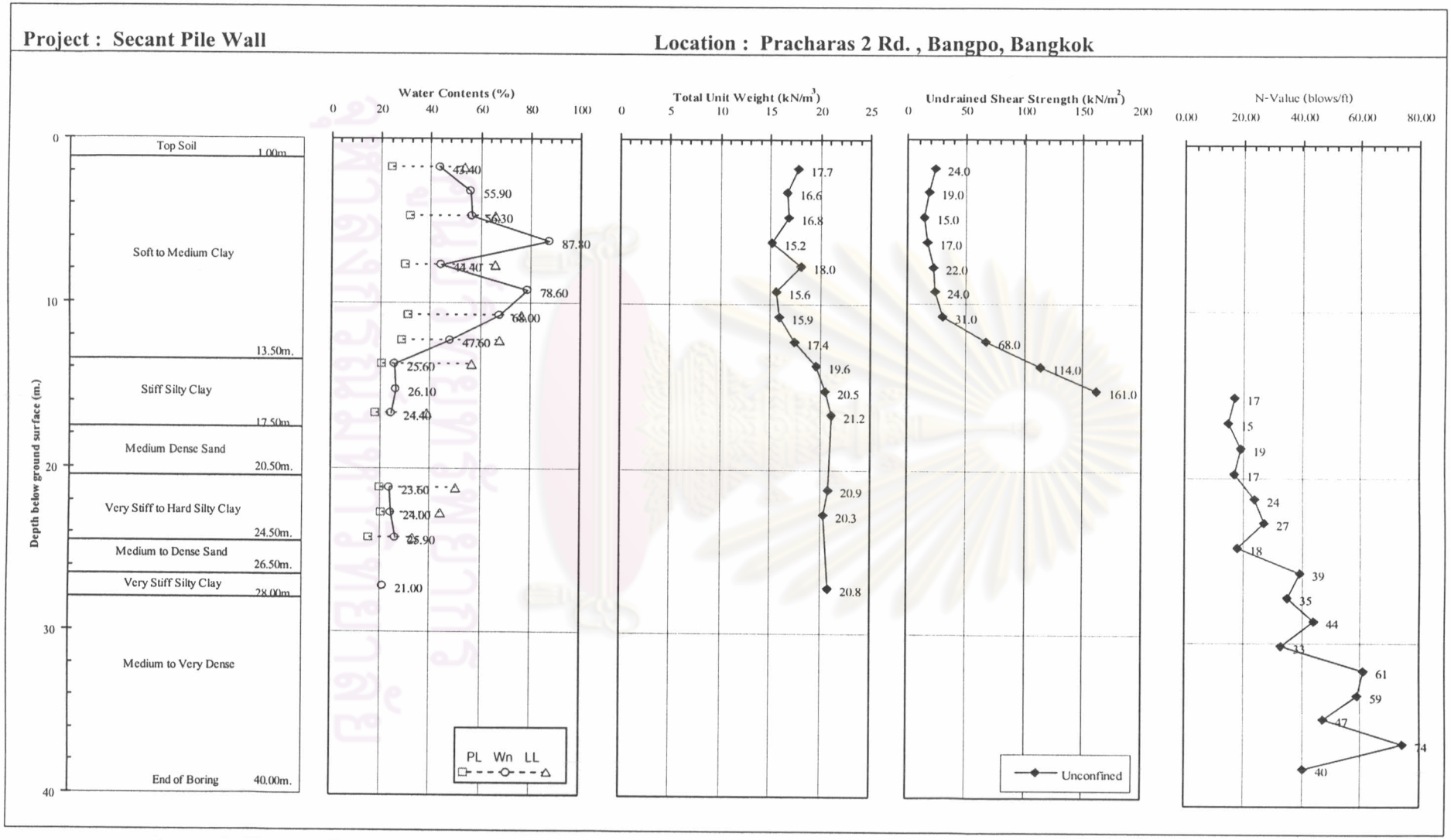
1) ชั้นดินเหนียวอ่อน หรือ Soft Clay หนาประมาณ 11.50 เมตร มีค่ากำลังรับแรงเฉือน (Undrained Shear Strength) ประมาณ 17.8 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
2) ชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง หรือ Medium Clay ที่ความลึกประมาณ 11.50-13.00 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 48.0 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
3) ชั้นดินเหนียวแข็ง หรือ Stiff Silty Clay ที่ความลึกประมาณ 13.00-16.00 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 15 ครั้ง/ ฟุต หรือมีกำลังรับแรงเฉือนประมาณ 74.7 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
4) ชั้นทรายแน่นปานกลางถึงทรายแน่นหรือ Medium to Dense Sand ที่ความลึกประมาณ 16.00-20.50 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Valueเฉลี่ยประมาณ 29 ครั้ง/ ฟุต
5) ชั้นดินเหนียวแข็งมาก หรือ Very Stiff Silty Clay ที่ความลึกประมาณ 20.50-23.50 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 32 ครั้ง/ ฟุต หรือมีกำลังรับแรงเฉือนประมาณ 166.4 กิโลนิวตัน/ตร.ม.
6) ชั้นทรายแน่นปานกลาง หรือ Medium Dense Sand ที่ความลึกประมาณ 23.50-31.00 เมตร จากระดับผิวดิน มีค่า SPT N-Valueเฉลี่ยประมาณ 31 ครั้ง/ ฟุต
7) ชั้นทรายแน่น หรือ Dense Sand พบถัดจากชั้นดินเหนียวแข็งมากจนถึงก้นหลุมเจาะที่ความลึกจากพื้นดิน 50.00 เมตร มีค่า SPT N-Value เฉลี่ยประมาณ 51 ครั้ง/ ฟุต

โดยผลการทดสอบคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการและจากในสนามแสดงในรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.35 บ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาโดยระบบ Secant Pile Wall บริเวณถนนประชาราษฎร์สาย 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3. 36 ลักษณะของชั้นดินและคุณสมบัติของดินในพื้นที่ก่อสร้างบ่อคอนกรีตฯ โดยระบบ Secant Pile Wall (ถนนประชารายฎร์สาย 2)

3.5.3 วิธีการก่อสร้าง

การก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำบ่อนี้ ใช้เทคนิควิธีก่อสร้างด้วยระบบ Secant Pile Wall โดยการก่อสร้างเริ่มจากการหล่อเสาเข็มเจาะ (Bored Pile) ขึ้นเป็นผนังบ่อ โดยจะทำการหล่อเสาเข็ม Primary ขึ้นก่อน แล้วจึงทำการหล่อเสาเข็ม Secondary หลังจากเสร็จสิ้นการก่อสร้างโครงสร้างของผนังบ่อแล้วจึงทำการขุดดินภายในบ่อออก สำหรับขั้นตอนการก่อสร้างแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือขั้นตอนการทำโครงสร้างผนังบ่อและขั้นตอนการขุดดินภายในบ่อ รวมทั้งการก่อสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กใต้บ่อ ซึ่งจะนำเสนอรายละเอียดการก่อสร้างทีละขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการทำโครงสร้างผนังบ่อมีรายละเอียดดังนี้

1) การก่อสร้าง Guide Wall

ก่อนทำการก่อสร้างควรสำรวจพื้นที่เพื่อให้วางแนวก่อสร้าง Guide Wall ได้อย่างถูกต้อง เนื่องจาก Guide Wall มีความสำคัญมากต่อการกำหนดตำแหน่งในการเจาะดินเพื่อทำการก่อสร้างเสาเข็มซึ่งทำหน้าที่เป็นผนังของบ่อ โดย Guide Wall นี้เป็นโครงสร้างชั่วคราวที่มีลักษณะของโครงสร้างเป็นคานคู่ที่มีช่องว่างระหว่างคานทั้งสองเป็นรูปวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับเสาเข็ม คือ 0.90 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.37

2) การขุดเจาะดิน (Drilling) เพื่อทำเสาเข็ม

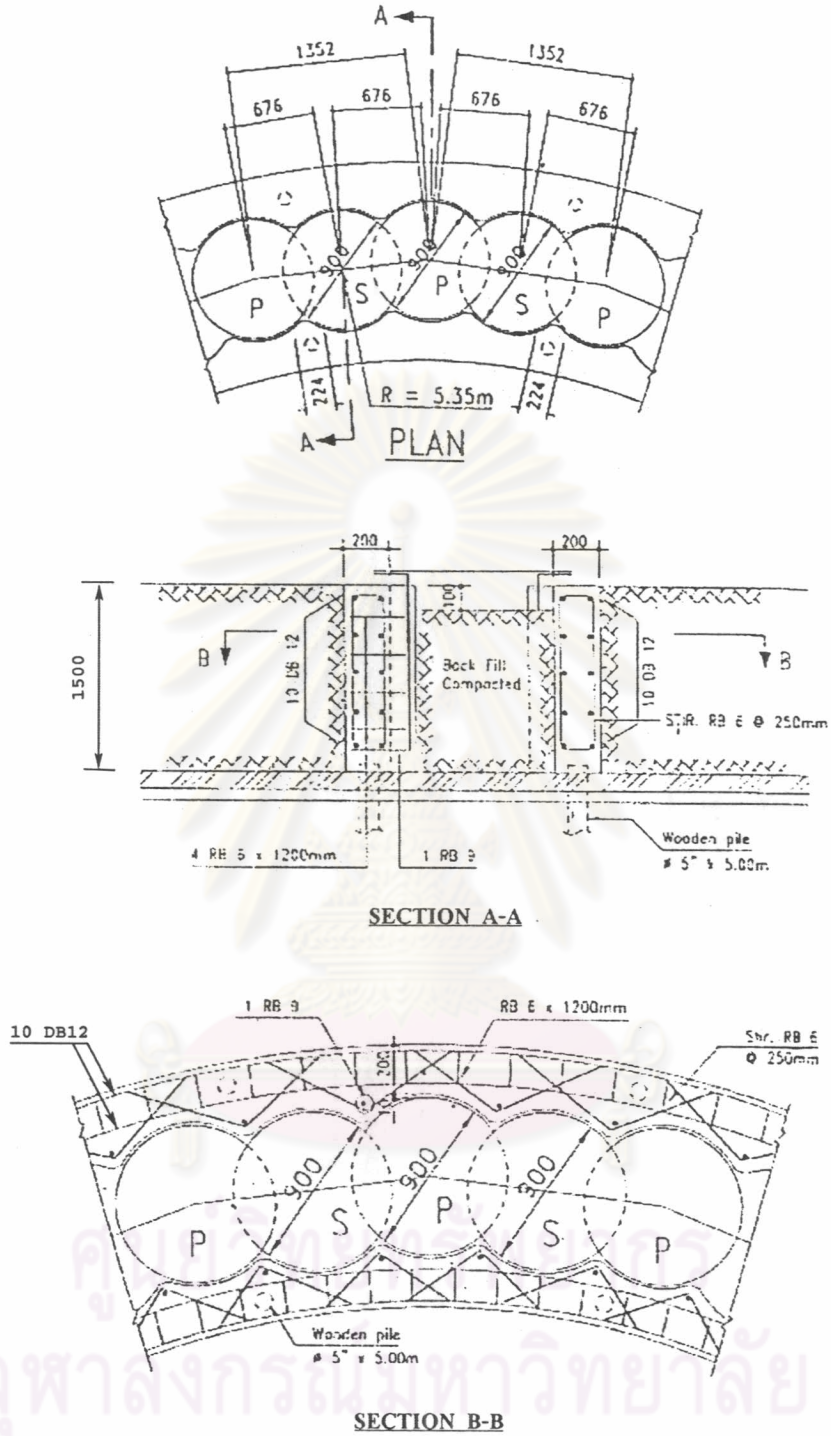
การขุดเจาะดินจะเริ่มทำเมื่อคอนกรีต Guide Wall ได้กำลังตามที่ต้องการแล้ว โดยการขุดเจาะดินแบ่งได้ตามชนิดของเสาเข็มดังนี้

- Primary Piles

ทำการขุดเจาะดินโดยติดตั้งปลอกเหล็กชั่วคราว (Temporary Casing) ลงไปก่อนเพื่อป้องกันดินพัง แล้วจึงทำการขุดดินด้วยเครื่องขุดระบบ Hydraulic

- Secondary Piles

ในการขุดดินจะใช้เครื่องมือชนิดเดียวกับใน Primary Piles ก่อนทำการขุดต้องติดตั้ง Double Wall Casing ที่มี Tungsten Carbide Teeth ลงไปก่อน โดยในระหว่างที่ทำการหมุน Casing คอนกรีตในส่วนของ Primary Pile ทั้ง 2 ต้น ซึ่งอยู่ทางด้านข้างของ Secondary Pile จะถูกกัดออกเป็นส่วน Interlock กันระหว่างเสาเข็มทั้ง 2 ชนิด ดังนั้น Primary Pile จึงเป็นโครงสร้างคอนกรีตล้วนที่ไม่มีการเสริมเหล็กและมักใช้คอนกรีตที่มีกำลังต่ำในการก่อสร้าง ในการขุดเจาะดินเพื่อก่อสร้าง Secondary Pile นั้น จะทำหลังจากที่คอนกรีต Primary Pile มีอายุระหว่าง 18 ชั่วโมง ถึง 5 วัน เท่านั้น เนื่องจากกำลังของคอนกรีตจะยังไม่สูงมากจนทำให้ยากต่อการกัดเนื้อคอนกรีตเพื่อทำการขุดเจาะดิน



รูปที่ 3.37 แบบก่อสร้าง Guide Wall สำหรับบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาโดยระบบ Secant Pile Wall (มนตรี, ยรรยง และ วีรชาติ, 2542)

การตรวจสอบแนวดิ่งของหลุมเจาะทำได้โดยใช้หลอดลูกน้ำวัดที่ด้านข้างของ Casing โดยค่าผิดพลาดที่ยอมให้ในแนวดิ่งจะต้องไม่เกิน 1% ของความลึกของผนังบ่อหรือความยาวของเสาเข็มนั่นเอง

3) การทำความสะอาดก้นหลุมเจาะ

ในระหว่างที่ทำการขุดเจาะดินนั้นอาจจะมีดินด้านข้างหลุมบางส่วนตกลงไปที่ก้นหลุม ซึ่งทำความสะอาดโดยใช้ Bucket ตักออก

4) การติดตั้งเหล็กเสริมใน Secondary Pile

เมื่อทำการขุดและทำความสะอาดหลุมเจาะเรียบร้อย นำกรงเหล็กเสริม (Steel Cage) ที่ได้ทำการเตรียมไว้ หย่อนลงไปในหลุมเจาะให้ได้ตามความลึกที่ออกแบบไว้ โดยกรงเหล็กเสริมจะต้องจัดให้มีระยะหุ้มของคอนกรีตเพียงพอภายหลังจากที่ทำการหย่อนลงไปในหลุมเจาะแล้ว

5) การเทคอนกรีตเสาเข็ม

- ก่อนการเทคอนกรีตควรตรวจสอบคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น กำลังรับแรงอัดสูงสุดที่กำหนด (f_c') ของคอนกรีต Primary Pile = 150 ksc. และใน Secondary Pile = 240 ksc. , ความข้นเหลว (Consistency), ความสามารถในการเทได้ (Workability) และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ (Water/Cement Ratio)
- ตรวจสอบก้นหลุมเจาะอีกครั้งก่อนเทคอนกรีต เมื่อมั่นใจว่าก้นหลุมสะอาดแล้วให้หย่อน Trimie Pipe ลงไปจนเกือบถึงก้นหลุมเจาะโดยให้ห่างจากก้นหลุมเจาะไม่เกิน 10 เซนติเมตร เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนที่ยังเหลืออยู่ในก้นหลุมผสมกับคอนกรีตที่จะทำการเทลงไป ในระหว่างการเทคอนกรีตจะต้องให้ปลาย Trimie Pipe จมอยู่ในคอนกรีตตลอดเวลาอย่างน้อย 2 เมตร (อรุณ, 2524) เพื่อป้องกันคอนกรีตผสมตะกอนที่ลอยอยู่ผิวบนถูกดันกลับลงไปอยู่ที่ก้นหลุมเจาะอีก

6) การก่อสร้าง Capping Beam และ Flood Wall

ภายหลังจากที่ก่อสร้างโครงสร้างของผนังบ่อเสร็จสิ้นแล้ว ทำการสกัดปลายบนของผนังบ่อที่ทำจากเสาเข็มออกจนถึงระดับที่ต้องการ โดยให้มีเหล็กเสริมยื่นออกมาเพื่อใช้รับน้ำหนักบรรทุกจาก Capping Beam แล้วจึงทำการก่อสร้าง Capping Beam ขนาดความกว้าง 1.00 เมตร ยาว 1.20 เมตร เพื่อใช้ในการปิดปลายเสาเข็มและรองรับ Flood Wall ที่มีความสูง 1.00 เมตร หนา 0.30 เมตร โดย Flood Wall จะทำหน้าที่ป้องกันน้ำจากภายนอกท่วมเข้าไปในบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์

ขั้นตอนการขุดดินภายในบ่อรวมทั้งการก่อสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กใต้บ่อมีรายละเอียดการก่อสร้างดังต่อไปนี้

1) การขุดดินภายในบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์

หลังจากทำการก่อสร้าง Capping Beam และ Flood Wall เสร็จแล้ว ทำการขุดดินภายในบ่อออกโดยรถ Back Hole โดยแบ่งขั้นตอนการขุดดินได้ดังนี้

- ทำการขุดดินจนกระทั่งลึกลงไปจากผิวดินประมาณ 13.30 เมตร ทำการก่อสร้าง Supporting Ring Beam ชั้นที่ 1 ขนาดความกว้าง 0.50 เมตร ความสูง 1.00 เมตร ซึ่งยึดติดกับผนังบ่อโดยการ Grout เหล็ก Dowel Bar จำนวน 2 แถว บนและล่างเข้าไปในผนังรอบๆ บ่อ ทำการบ่มคอนกรีต Ring Beam เป็นเวลา 1 วัน
- ขุดดินต่อจนถึงความลึกประมาณ 19.30 เมตร จากผิวดิน ทำการก่อสร้าง Supporting Ring Beam ชั้นที่ 2 ขนาดเท่า Supporting Ring Beam ชั้นที่ 1
- ขุดดินต่อจนถึงความลึกประมาณ 21.80 เมตร จากผิวดิน ทำการก่อสร้าง Supporting Ring Beam ชั้นที่ 3 ขนาดความกว้าง 0.40 เมตร ความสูง 1.00 เมตร
- ทำ Grout Plug ที่บริเวณใต้ Base Slab โดยวิธี Jet Grouting เพื่อป้องกัน Uplift หรือปัญหาน้ำและดินไหลเข้ามาในบริเวณขุดระหว่างที่ทำการขุดในชั้นทราย
- ขุดดินต่อจนสุดความลึกประมาณ 26.60 เมตร จากผิวดิน ทำการก่อสร้าง Supporting Ring Beam ชั้นที่ 4 ขนาดความกว้าง 0.40 เมตร ความสูง 0.60 เมตร

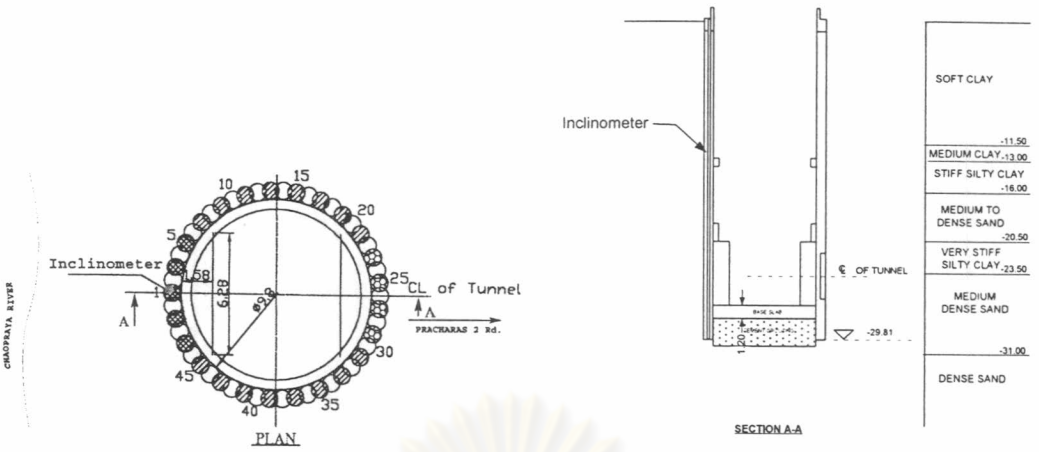
2) การก่อสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Base Slab)

หลังจากทำการขุดดินภายในบ่อจนถึงระดับที่ต้องการแล้ว ทำการผูกเหล็กและติดตั้งแบบแล้วจึงเทคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงสุดที่กำหนด (f_c') เท่ากับ 240 ksc. เพื่อก่อสร้าง Base Slab หนา 1.20 เมตร ซึ่งจะต้องทำการก่อสร้างให้รวดเร็วที่สุดเพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดจากการ Uplift ที่ใต้ระดับดินขุด

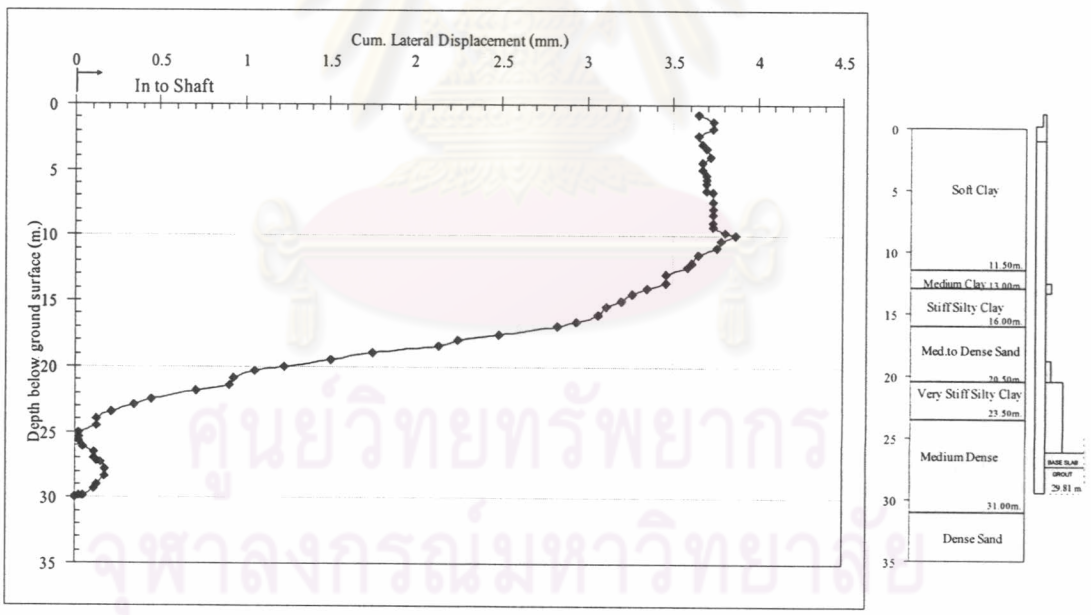
3.5.4 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของผนังบ่อและตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด

ในการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์โดยระบบ Secant Pile Wall นี้ ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Inclinometer) ของผนังบ่อที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขุดดินไว้ในตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 3.38

ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของผนังบ่อที่นำเสนอในรูปที่ 3.39 นั้น แสดงการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มทำการขุดดินภายในบ่อจนกระทั่งเสร็จสิ้นงานขุดและทำการก่อสร้าง Base Slab แล้ว



รูปที่ 3.38 ตำแหน่งการติดตั้ง Inclinometer ของบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาโดยระบบ Secant Pile Wall บริเวณถนนประชาราษฎร์สาย 2



รูปที่ 3.39 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของผนังบ่อจากการก่อสร้างบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ส่งน้ำประปาโดยระบบ Secant Pile Wall บริเวณถนนประชาราษฎร์สาย 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย