บทที่ 3

ข้อมูลและขั้นตอนการวิจัย

3.1 บทนำ

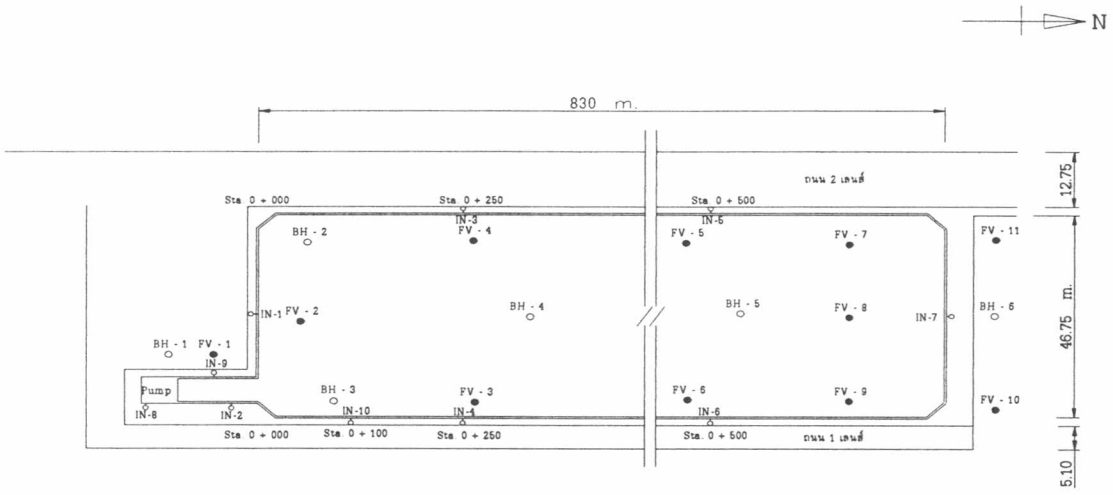
ข้อมูลสำหรับการวิจัยนี้เป็นข้อมูลที่ได้มาจากโครงการก่อสร้างบ่อเก็บน้ำสำรองของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมวังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา ซึ่งเป็นการก่อสร้างบ่อเก็บน้ำโดยมีการขุดดินและอาศัยระบบการก่อสร้างกำแพงกันดิน-ซีเมนต์มาใช้เป็นระบบป้องกันดินขณะทำการขุดดิน ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยนั้นเป็นข้อมูลที่ได้จากการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดิน-ซีเมนต์รอบๆบ่อเก็บน้ำ และในการวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็นข้อย่อยดังต่อไปนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดิน
2. ศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างบ่อเก็บน้ำ
3. เก็บข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินที่เกิดขึ้นจริงในสนาม
4. วิเคราะห์การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน

3.2 การเจาะสำรวจดิน

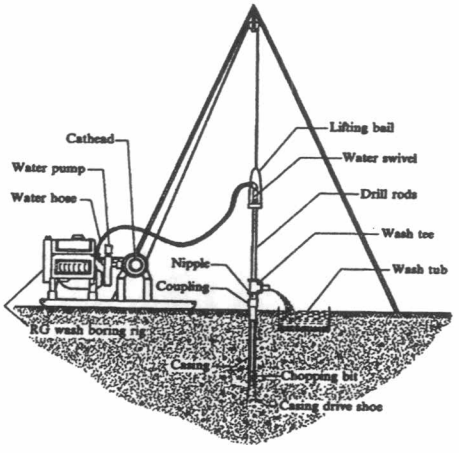
ทำการเจาะสำรวจชั้นดินจำนวน 6 หลุมทดสอบ ดังแสดงตำแหน่งหลุมเจาะในรูปที่ 3.1 และทำการทดสอบ Vane Shear Test 11 หลุม ในบริเวณที่ทำก่อสร้างบ่อเก็บน้ำ โดยมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ความลึกประมาณ 1 เมตรจากผิวดิน ในการเจาะสำรวจดินนั้นใช้วิธีการเจาะสำรวจแบบ Wash Boring ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และมีการใช้ปลอกป้องกันดินพังในชั้นดินเหนียวอ่อน

- การเก็บตัวอย่างดินในช่วงชั้นดินเหนียวอ่อนถึงปานกลาง (Very Soft to Medium Clay) จะใช้วิธีเก็บตัวอย่างดินชนิดคงสภาพ(Undisturbed Sample) โดยใช้กระบอกบางขนาด 3 นิ้วยาว 50 เซนติเมตร กดเก็บตัวอย่าง
- การเก็บตัวอย่างดินในช่วงชั้นดินแข็ง จะใช้การเก็บตัวอย่างดินที่เปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample) จากการตอกทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) และจะได้ตัวอย่างดินจากในกระบอกผ่าทดสอบพร้อมเก็บตัวอย่างดินมาตรฐาน (Standard Split Barrel Sampler)
- การทดสอบความต้านทานต่อแรงเฉือนของดิน โดยวิธี Standard Penetration Test (SPT) ตามมาตรฐาน ASTM.D.1586 จะทดสอบในช่วงชั้นดินแข็งเป็นต้นไปการทดสอบความต้านทานของแรงเฉือนของดิน โดยใช้อุปกรณ์กระบอกผ่าทดสอบพร้อมกับเก็บตัวอย่างดิน



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งหลุมเจาะและตำแหน่งการทำ Vane Shear Test

มาตรฐาน (Standard Split Barrel Sampler) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 2 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1 3/8 นิ้ว ทำการตอกลงไปในชั้นดินที่ทำการทดสอบด้วยลูกตุ้มเหล็กที่มีน้ำหนัก 140 ปอนด์ ระยะยกของตุ้มสูง 30 นิ้ว และให้ตกแบบอิสระ (Free Fall) ลงบนทั่งเหล็กซึ่งต่ออยู่บนก้านเจาะขนาด AX และกระบอกผ่าทดสอบพร้อมกับเก็บตัวอย่างดินมาตรฐานระยะการตอกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงๆ ละ 6 นิ้ว เมื่อทำการตอกจะจดค่าจำนวนครั้งที่ตอกลงไปในดินจากกระบอกผ่าทดสอบจมลงในดินทุกๆ ระยะ 6 นิ้ว สำหรับค่า blow count (N) คือการนำค่าจำนวนครั้งของการตอกจำนวน 6 นิ้วสุดท้ายสองครั้งมารวมกัน ค่า N ที่ได้นี้เมื่อทราบว่าดินที่ตอกลงไปเป็นดินชนิด Cohesive Soil หรือ Cohesionless Soil ก็สามารถนำไปประมาณค่าการรับน้ำหนักของดินได้



รูปที่ 3.2 ภาพการเก็บตัวอย่างดินแบบ Wash Boring

ในการทดสอบ Vane Shear Test เพื่อหาค่า Shear strength ของดินในสนาม ได้ทำการทดสอบทุกๆความลึก 0.50 เมตร จนกระทั่งถึงชั้นดินเหนียวแข็ง ผลที่วัดได้จากสนามให้ปรับแก้โดยกราฟของ Bjerrum (1972) ซึ่งอาศัยค่า Plasticity Index (PI) ของความลึกในชั้นดินต่างๆมาปรับแก้การทดสอบ Vane Shear Test รายละเอียดตามมาตรฐาน ASTM.D.2573

- อุปกรณ์การทดสอบ Vane Shear Test ประกอบด้วยใบ Vane ชนิด 4 ใบ มีความสูง 12.6 เซนติเมตร และความกว้าง 6.3 เซนติเมตร ใบ Vane จะติดตั้งอยู่ภายใน Housing เพื่อป้องกันใบ Vane เกิดการเสียหายขณะกดผ่านชั้นดิน และจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ให้แรงบิดที่ผิวดินด้วยเกลียวของก้านเหล็กแต่ละก้านในการให้แรงบิด (Torque) กับใบ Vane

- ขั้นตอนการทดสอบ Vane Shear Test

- ยึดแท่นกดใบ Vane ด้วยสมอบกให้ติดกับพื้นดินและติด Mechanical Jack เข้ากับแท่นกด

- กดใบ Vane ที่อยู่ใน Housing ลงไปในชั้นดินด้วย Jack จนถึงความลึกที่ต้องการทดสอบ

- ติดตั้งอุปกรณ์ให้แรงบิดแล้ววัดแรงบิดเข้ากับก้านของใบ Vane ให้แรงบิดทีละน้อยๆ โดยความเร็วในการหมุนไม่เกิน 0.1 องศาต่อวินาที จนกระทั่งได้แรงเฉือนสูงสุด (Peak Shear Strength) อ่านค่าแรงเฉือนที่ได้ จากนั้นให้หมุนใบ Vane ต่อไปอีก 10 รอบ อ่านค่าใหม่อย่างต่อเนื่องจนได้ค่าที่เป็นค่า Remold Shear Strength

- การคำนวณค่า Shear Strength (S) ของดิน

$$T = S * K \quad \text{..... (3.1)}$$

โดยที่

T = แรงบิด Kg*cm

S = Shear Strength ของดิน Kg/cm^2

K = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับขนาดของใบ Vane

$K = \pi * D^2 * [(H/2)+(D/6)]$

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของใบ Vane ซม.

H = ความสูงของใบ Vane ซม.

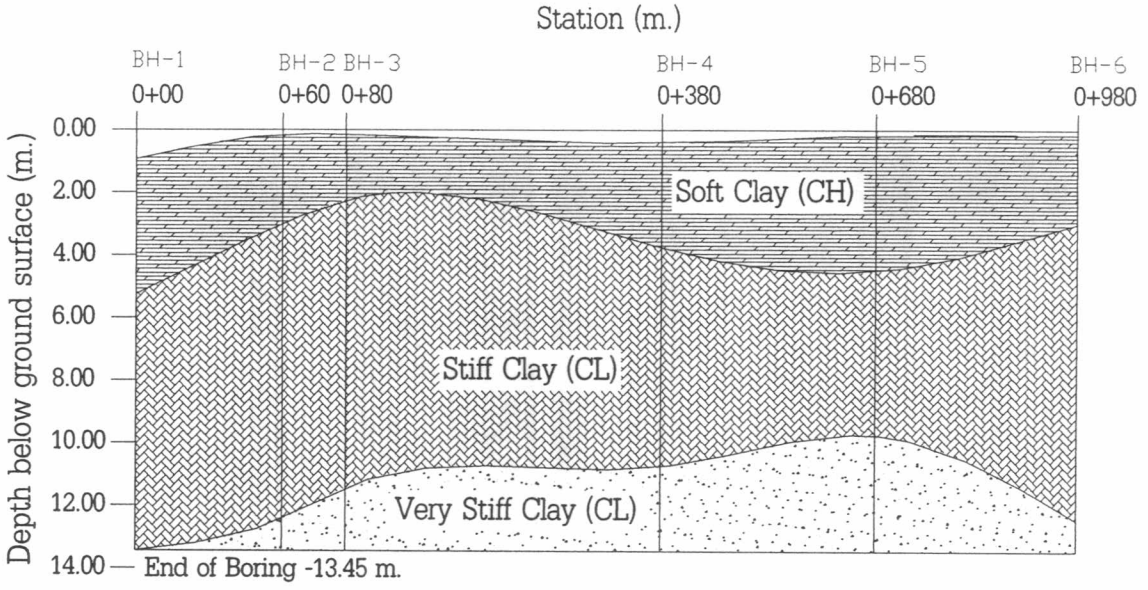
จากผลการศึกษาของ Bjerrum (1972) พบว่าแรงเฉือนของดินที่ได้จาก Vane Shear ควรมีการปรับแก้ด้วยค่า Plasticity Index จะทำให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น

ผลการศึกษาสมบัติของดินในบริเวณสถานที่ก่อสร้างนั้น มีลักษณะของชั้นดินดังนี้

- ชั้นดินเหนียวอ่อน (CH) เป็นดินเหนียวสีเทา โดยอยู่ที่ความลึกประมาณ 0 ถึง 5.00 เมตร จากระดับผิวดิน

- ชั้นดินเหนียวแข็ง (CL) เป็นดินเหนียวสีเทาและสีน้ำตาล โดยอยู่ที่ความลึกประมาณ 5.00 เมตร ถึง 13.00 เมตร จากระดับผิวดิน

ลักษณะของชั้นดินแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของชั้นดินบริเวณบ่อเก็บน้ำ

จากลักษณะของชั้นดินข้างต้นผลการศึกษาสมบัติขั้นพื้นฐานของดินในแต่ละชั้นมีผลดังต่อไปนี้

ชั้นดินเหนียวอ่อน ความลึกประมาณ 0.00 – 5.00 เมตร

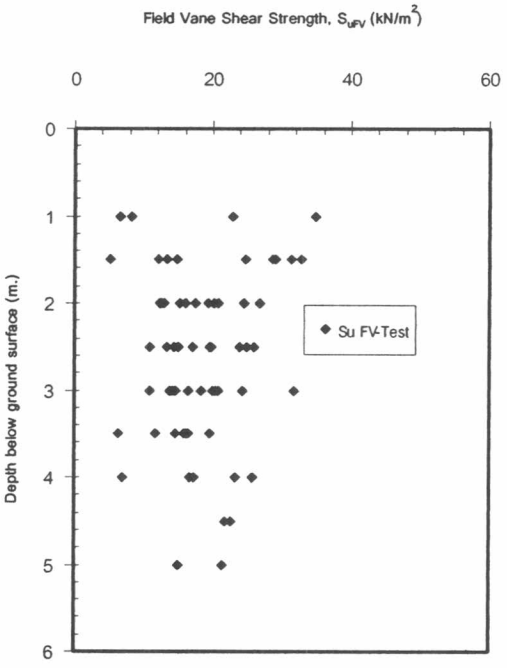
- มีค่าปริมาณความชื้น (Water content) ประมาณ 59.8 – 78.6 %
- ค่าขีดเหลว (Liquid Limit, LL) ประมาณ 61.5 –73 %
- ค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit, PL) ประมาณ 35.7 – 43.8 %
- ค่าดัชนีพลาสติกซิตี้ (Plasticity Index, PI) ประมาณ 25.8 – 29.2 %
- ค่าความหนาแน่นรวม (γ_t) ประมาณ 14.26 –16.71 kN/m^3

ชั้นดินเหนียวแข็ง ความลึกประมาณ 5.00 – 13.00 เมตร

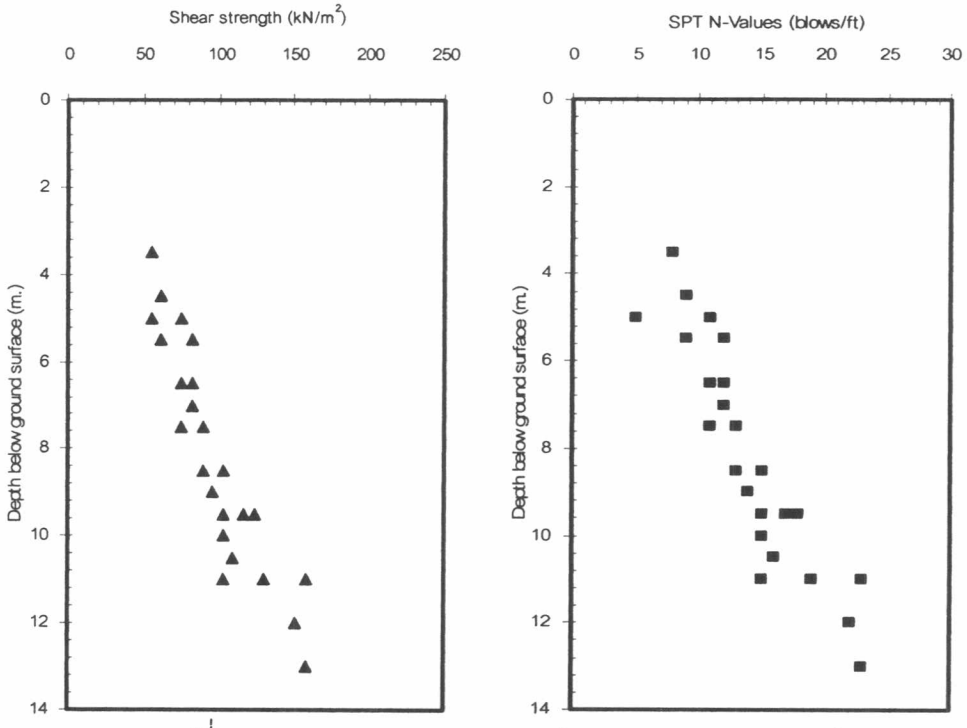
- มีค่าปริมาณความชื้น (Water content) ประมาณ 21.3 – 36.3 %
- ค่า SPT ประมาณ 11 – 16 ครั้งต่อฟุต
- ค่าขีดเหลว (Liquid Limit, LL) ประมาณ 48.9 – 72.6 %
- ค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit, PL) ประมาณ 25.3 – 35.2 %
- ค่าดัชนีพลาสติกซิตี้ (Plasticity Index, PI) ประมาณ 23.6 – 37.4 %
- ค่าความหนาแน่นรวม (γ_t) ประมาณ 18.15 – 19.66 kN/m^3

สำหรับผลสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินจะเป็นผลที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนในสนาม (Field Vane Shear Strength, S_{uFV}) ในชั้นดินเหนียวอ่อนความลึกประมาณ 0.00 – 5.00 เมตร โดยมีผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.4 สำหรับชั้นดินเหนียวแข็งความลึกประมาณ 5.00 – 13.00 เมตร จะได้จากการทดสอบ Standard Penetration Test, SPT สำหรับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวได้มาจากความสัมพันธ์ที่เสนอโดยวีระนันท์ (2526) โดยมีผลแสดงในรูปที่ 3.5

- ชั้นดินเหนียวอ่อน ความลึกประมาณ 0.00 – 5.00 เมตร มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 5.1 – 34.8 kN/m^2
- ชั้นดินเหนียวแข็ง ความลึกประมาณ 5.00 – 13.00 เมตร มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 54.8 – 157.55 kN/m^2



รูปที่ 3.4 ผลการทดสอบแรงเฉือนในสนาม (Field Vane Shear Test)



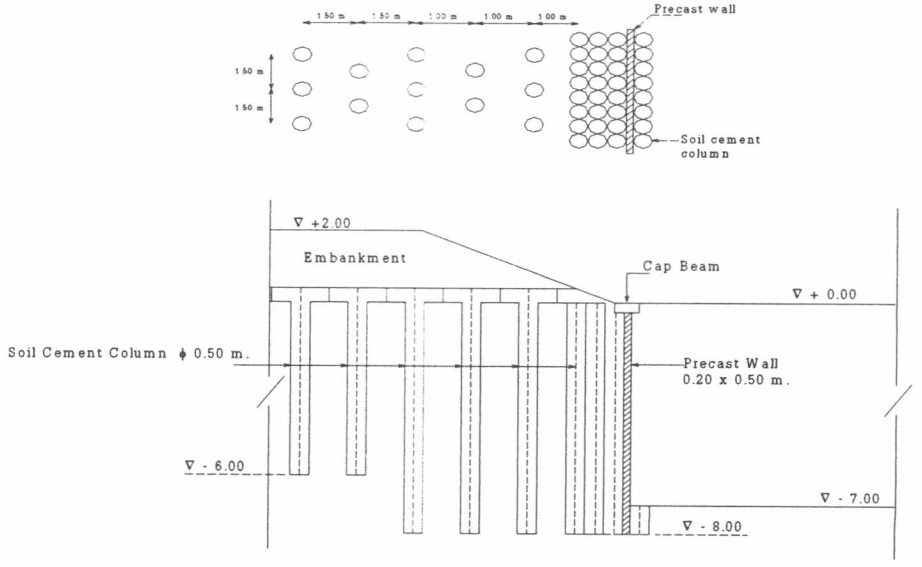
รูปที่ 3.5 ผลการทดสอบ SPT และค่า Shear Strength ของดิน

3.3 วิธีการดำเนินงานและอุปสรรคการก่อสร้าง

3.3.1 ทางเข้าบ่อเก็บน้ำ

การก่อสร้างเริ่มจากการปรับพื้นที่เพื่อนำเครื่องจักรเข้าทำงาน หลังจากนั้นทำการตอกแผ่น Pre-cast การตอกทำโดยใช้ปั้นจั่น เมื่อทำการตอกแผ่น Pre-Cast Wall เสร็จแล้วทำการ Jet grouting โดยเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ ในส่วนที่ทำหน้าเป็นกำแพงกันดิน มีลักษณะเป็นแถวเรียงติดกัน 3 แถว ส่วนที่เป็นเสาเข็มดิน-ซีเมนต์รับถนน จะมีระยะห่าง 1.50 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.6 หลังจากทำการ Jet grouting เสร็จและรอให้พัฒนากำลังมากกว่า 28 วันแล้วทำการหล่อ Cap Beam ที่หัวของ Pre-Cast Wall หลังจากที่ Cap Beam แข็งตัว จึงทำการขุดบ่อโดยขุดลงไปลึก 7 เมตร โดยจะต้องขุดในแนวดิ่ง (Cantilever excavation) โดยไม่มีค้ำยัน พบว่าเกิดรอยแตกร้าวขึ้นบริเวณด้านหลัง Precast wall และผลวัดการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม-ดินซีเมนต์จากตำแหน่งเครื่องมือวัด IN-9 พบว่าเกิดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างประมาณ 11 เซนติเมตร จึงได้ทำการแก้ไขเบื้องต้นโดยทำการเติมน้ำลงไปในบ่อขุด แล้วติดตั้งค้ำยันโดยใช้เหล็กรูปพรรณ H-Beam ขนาด 300*300*6 มม. จำนวน 5 ชุด มาค้ำไว้ที่ปากบ่อขุด โดยไม่ได้ทำการ Preload โดยปล่อยให้แผ่น Precast wall เคลื่อนตัวเข้ามาชนกำแพงเอง จากนั้นจึงได้ทำการขุดดินบริเวณด้านข้างของทางเข้าบ่อเก็บน้ำออกประมาณ 2 เมตร เพื่อเป็นการลดน้ำหนักที่กดทับบริเวณด้านบนของกำแพง หลังจากได้ทำการแก้ไขแล้วจึงทำการสูบน้ำออกจากบ่อขุด แล้วจึงเริ่มทำการขุดต่อในส่วนที่เหลือ

แต่เกิดฝนตนหนัก จึงทำให้เกิดการพังทลายของกำแพงกันดินขึ้น จากนั้นจึงทำการแก้ไขโดยทำการ Jet grouting ใหม่โดยทำการก่อสร้างเสาเข็มดิน-ซีเมนต์เต็มพื้นที่ต่อเนื่องติดกันหมดจากนั้นจึงเริ่มทำการขุดและทำถนนต่อไป ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ของทางเข้าบ่อเก็บน้ำในระหว่างที่ทำการก่อสร้าง โดยแสดงรายละเอียดและขั้นตอนการก่อสร้างแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่3.6 **แสดงภาพตัดและการวางระยะห่างเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ของทางเข้าบ่อเก็บน้ำ**

ขั้นตอนการก่อสร้างทางเข้าบ่อเก็บน้ำ

ขั้นตอนที่ 1 - **ทำการตอกแผ่น** Precast wall **ขนาด** 0.20*0.50 **เมตร ยาว** 8.0 **เมตร**
- ก่อสร้างกำแพงกันดิน-ซีเมนต์ตรงบริเวณทางเข้าบ่อเก็บน้ำ และรอบๆบ่อเก็บน้ำ
- **ทำการหล่อ** Cap beam **หนา** 0.30 **เมตร กว้าง** 0.50 **เมตร ที่บริเวณหัวของ** Precast wall

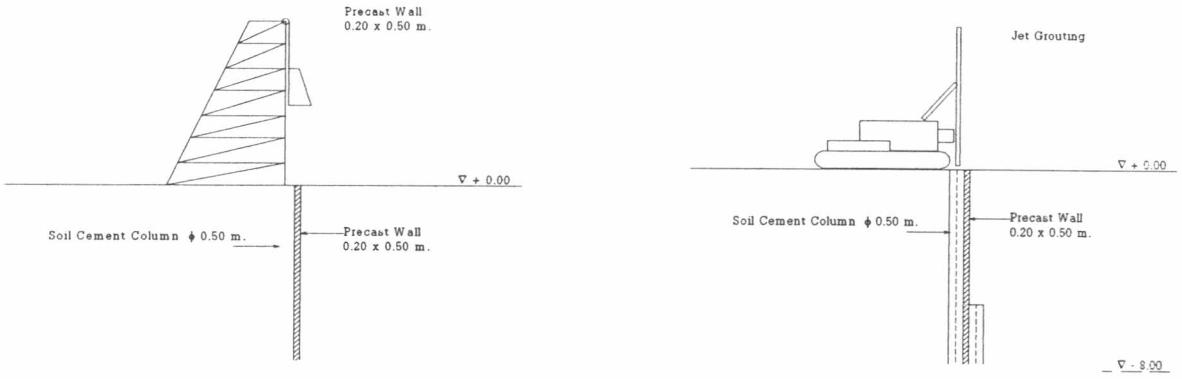
ขั้นตอนที่ 2 - **ทำการขุดดินบริเวณส่วนของทางเข้าบ่อเก็บน้ำ โดยขุดดินลึกประมาณ** 7 **เมตร**

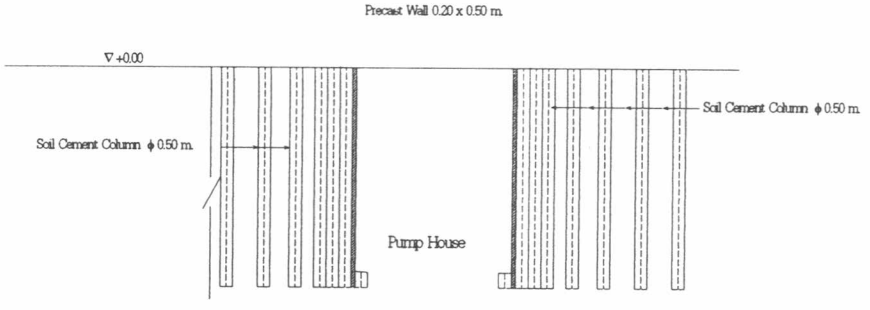
ขั้นตอนที่ 3 - **ทำการเติมน้ำลงไปในบ่อขุด**

ขั้นตอนที่ 4 - **ติดตั้งค้ำยันโดยใช้เหล็กรูปพรรณ** H-Beam **ขนาด** 300*300 **มม. จำนวน** 5 **ชุด มาค้ำไว้ที่ปากบ่อขุด โดยไม่ได้ทำการ** Preload **โดยปล่อยให้แผ่น** Precast wall **เคลื่อนตัวเข้ามาชนกำแพง**

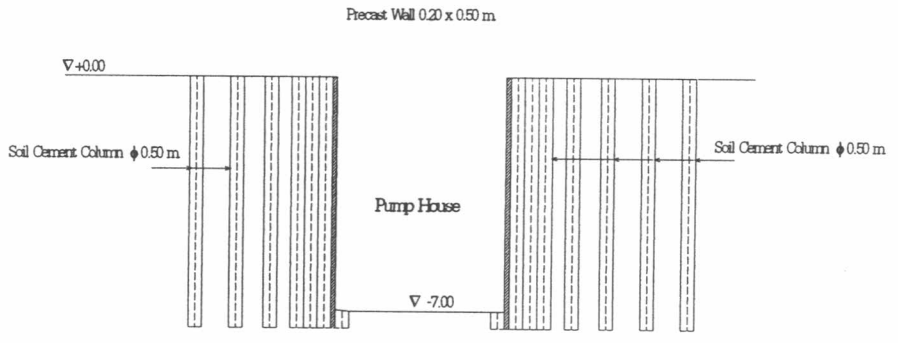
ขั้นตอนที่ 5 - **ทำการขุดดินบริเวณด้านข้างของทางเข้าบ่อเก็บน้ำออกประมาณ** 2 **เมตร**

ขั้นตอนที่ 6 - **ทำการสูบน้ำออกจากบ่อขุดแล้วทำการเริ่มขุดบ่อต่อไป**

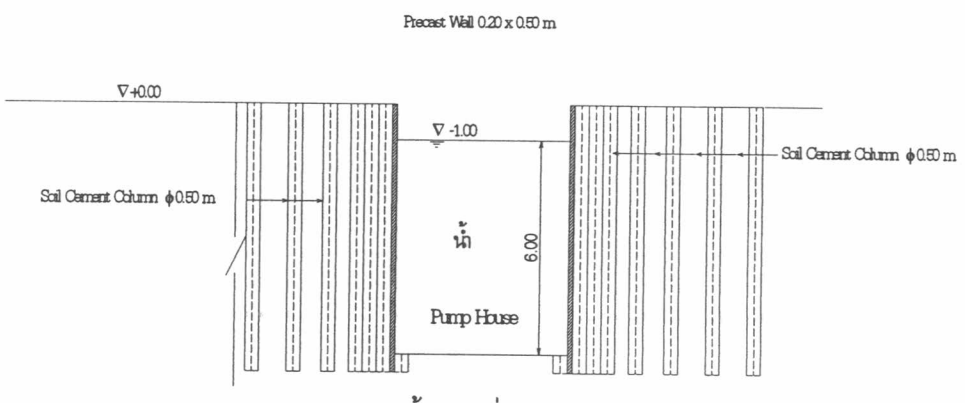




ขั้นตอนที่ 1

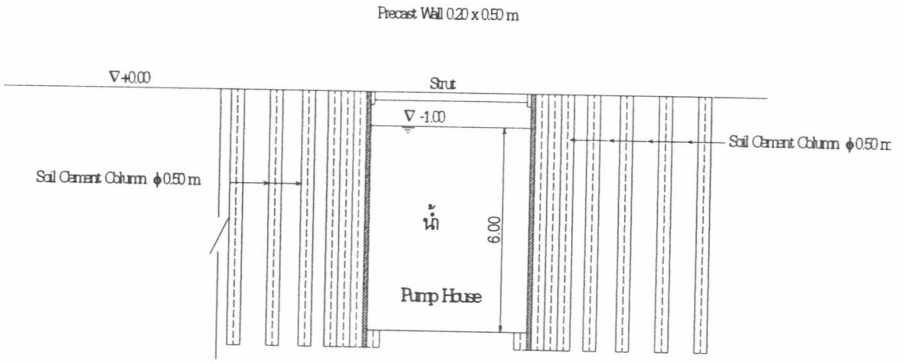


ขั้นตอนที่ 2

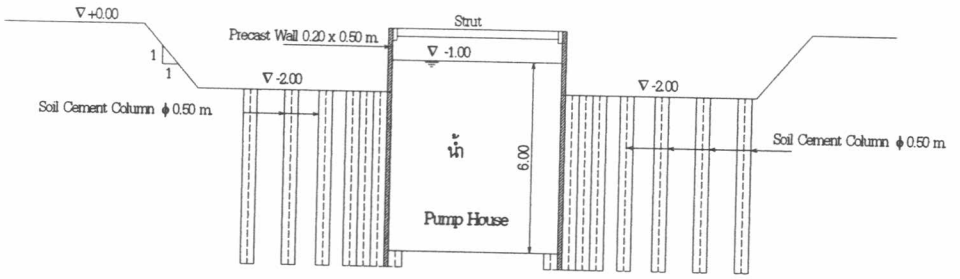


ขั้นตอนที่ 3

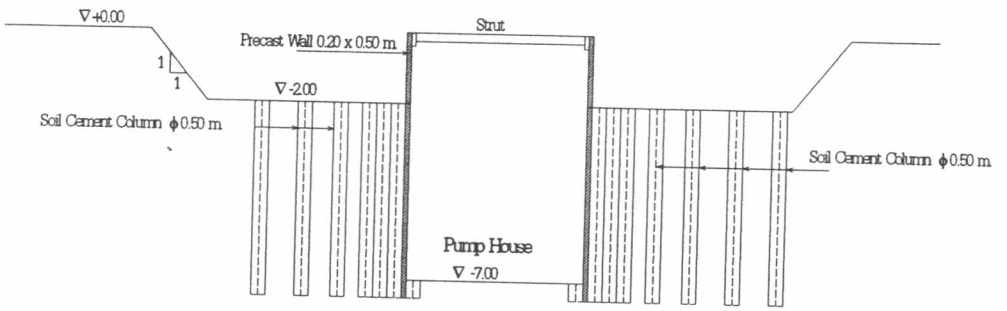
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการก่อสร้างทางเข้าบ่อเก็บน้ำ



ขั้นตอนที่ 4



ขั้นตอนที่ 5

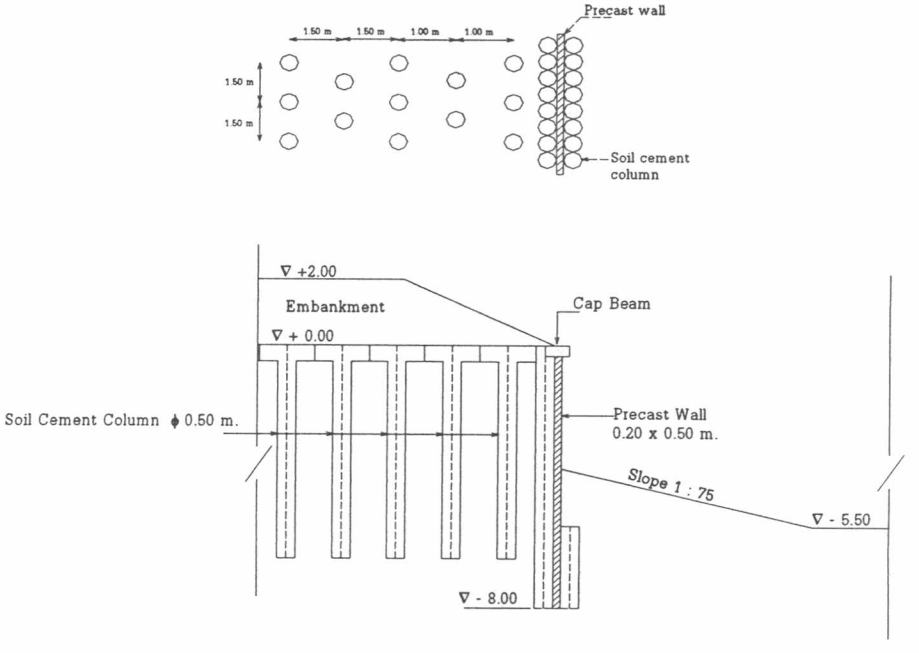


ขั้นตอนที่ 6

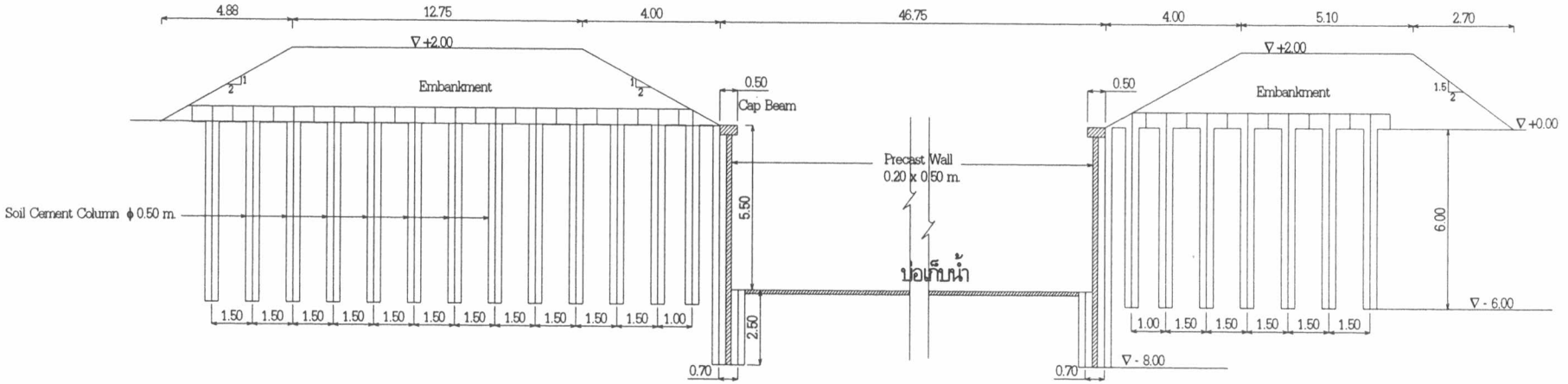
รูปที่ 3.7(ต่อ) ขั้นตอนการก่อสร้างทางเข้าบ่อเก็บน้ำ

3.3.2 บ่อเก็บน้ำ

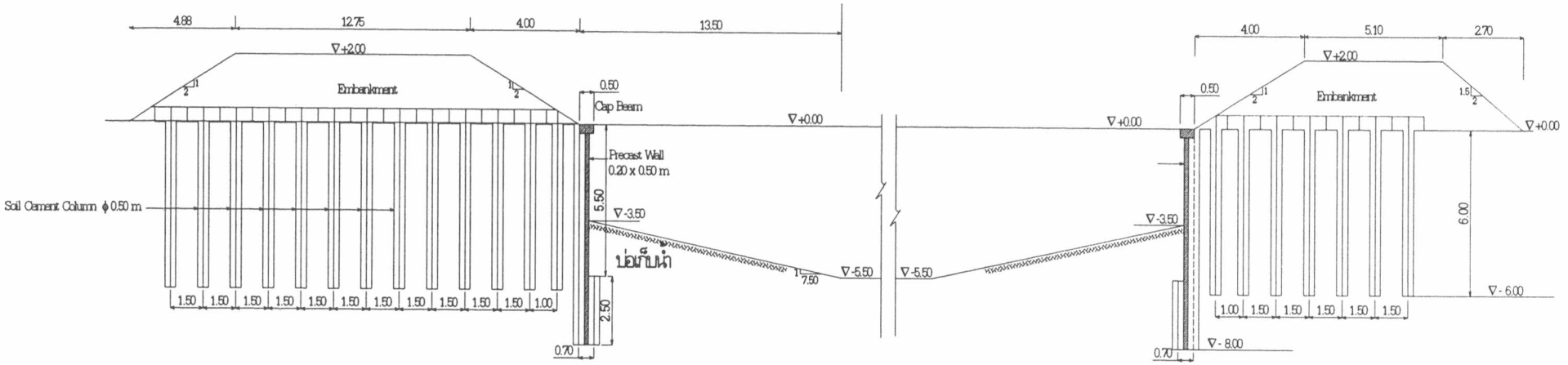
ในส่วนของการก่อสร้างบ่อเก็บน้ำนั้นเริ่มจากทำการปรับพื้นที่เพื่อนำเครื่องจักรเข้าทำงาน เช่นเดียวกับการก่อสร้างทางเข้าบ่อเก็บน้ำ หลังจากนั้นทำการตอกแผ่น Pre-cast เมื่อทำการตอกแผ่น Pre-Cast Wall เสร็จแล้วจึงทำการ Jet grouting โดยเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ ในส่วนที่ทำหน้าเป็นกำแพงกันดิน มีลักษณะเป็นแถวเรียงติดกัน 1 แถว และในส่วนที่เป็นเสาเข็มดิน-ซีเมนต์รับถนน จะมีระยะห่าง 1.00 เมตร และ 1.50 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.8 หลังจากทำการ Jet grouting เสร็จและรอให้พัฒนากำลังมากกว่า 28 วันแล้วทำการหล่อ Cap Beam ที่หัวของ Pre-Cast Wall หลังจากที่ Cap Beam แข็งตัว ทำการถมคันดินเพื่อทำถนนรอบๆบ่อเก็บน้ำ แล้วจึงทำการขุดบ่อลึก 5.5 เมตร โดยขุดในแนวดิ่ง(Cantilever excavation) ไม่มีระบบค้ำยัน ดังแสดงในรูปที่ 3.9 แต่หลังจากที่ได้ศึกษาการขุดในส่วนของทางเข้าบ่อเก็บน้ำแล้วพบว่า มีการเคลื่อนตัวที่มากประมาณ 111.11 มิลลิเมตร ที่ด้านบนสุดของกำแพงกันดิน และจากการขุดจริงในช่วงแรกของการทดลองขุดก็เกิดการพังทลายตรงบริเวณ STA +650 จึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไขแบบและวิธีการก่อสร้างทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยเปลี่ยนให้มีการขุด 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 ทำการขุดที่ระดับความลึกประมาณ 3.00 เมตร จากระดับ Cap Beam แล้วจึงทำการขุดขั้นตอนที่ 2 โดยขุดต่อจากครั้งที่ 1 อีก 0.5 เมตร แล้วขุดเป็น Slope 1:7.5 (แนวดิ่งต่อแนวราบ) โดยที่ความลึกของระดับพื้นบ่อเก็บน้ำประมาณ 5.50 เมตร เท่าเดิม รายละเอียดและขั้นตอนการก่อสร้างแสดงดังรูปที่ 3.11



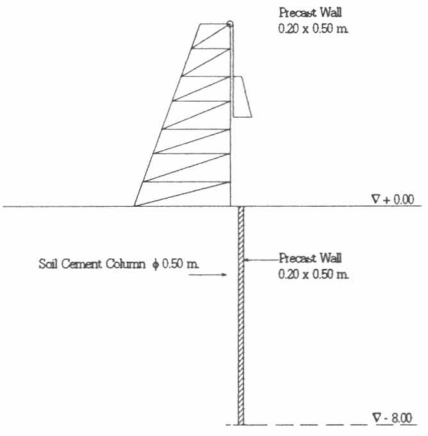
รูปที่3.8 แสดงภาพตัดและการวางระยะห่างเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ของบ่อเก็บน้ำ

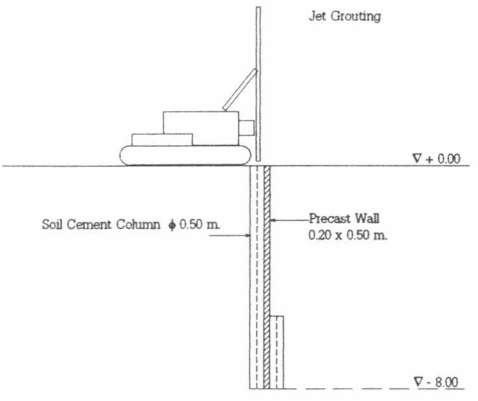


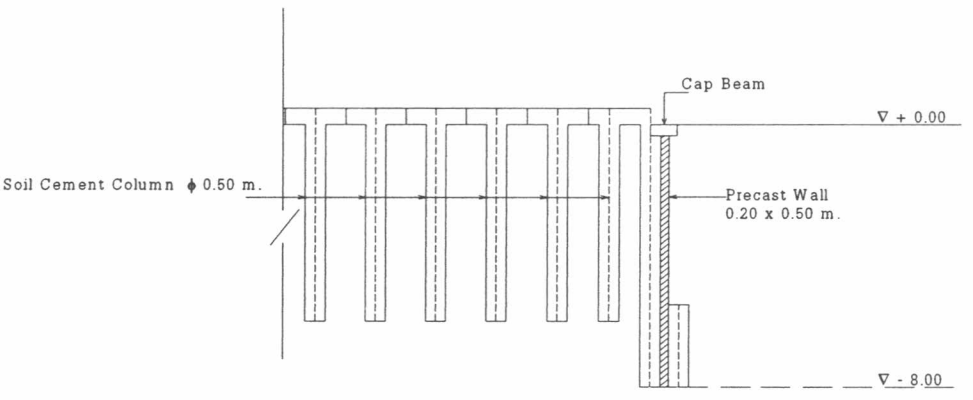
รูปที่ 3.9 แสดงแบบก่อนทำการแก้ไขของบ่อเก็บน้ำ



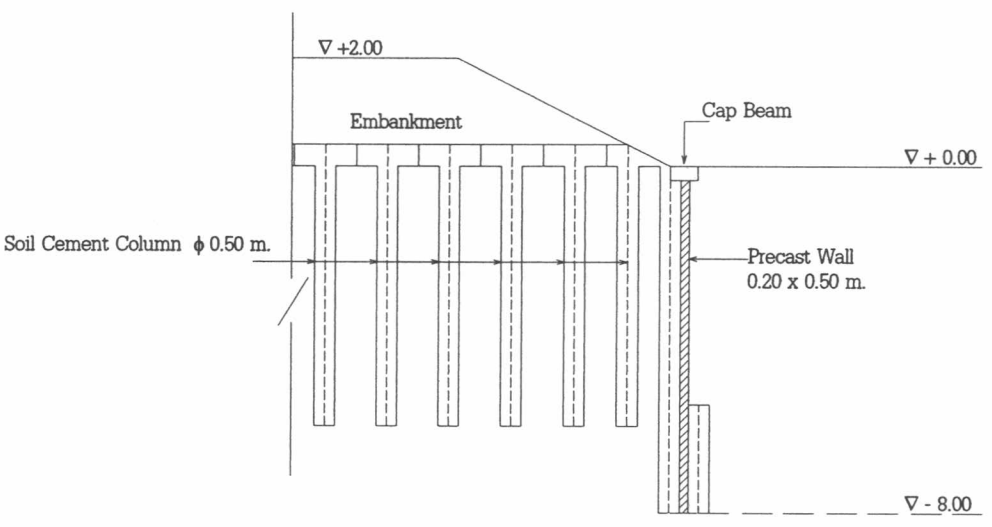
รูปที่ 3.10 แสดงแบบแก้ไขของบ่อเก็บน้ำ





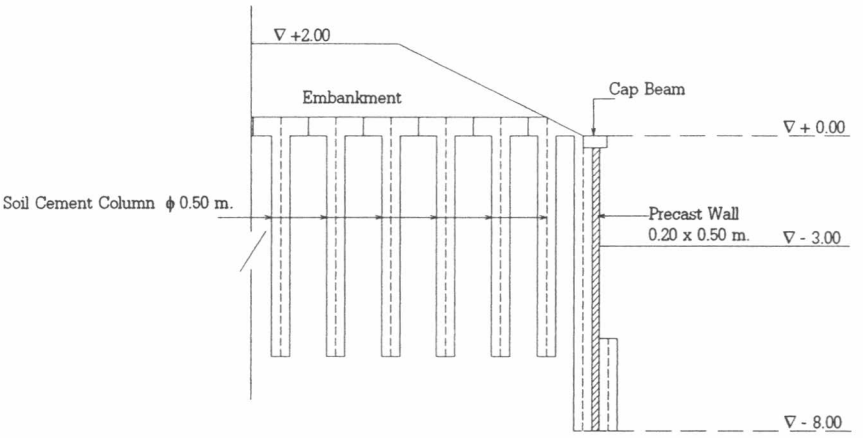


ขั้นตอนที่ 1

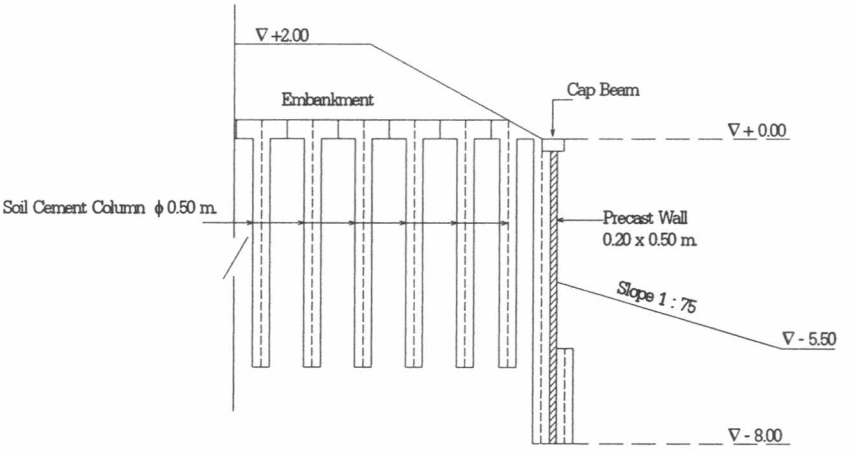


ขั้นตอนที่ 2

รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการก่อสร้างบ่อเก็บน้ำ



ขั้นตอนที่ 3

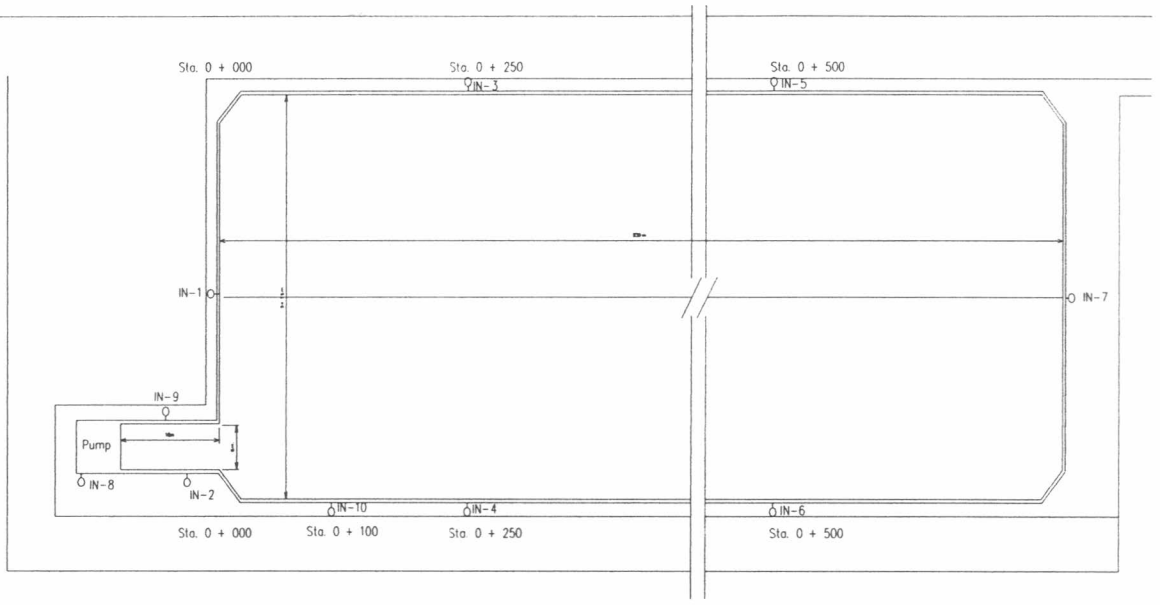


ขั้นตอนที่ 4

รูปที่ 3.11(ต่อ) ขั้นตอนการก่อสร้างบ่อเก็บน้ำ

3.4 เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดิน

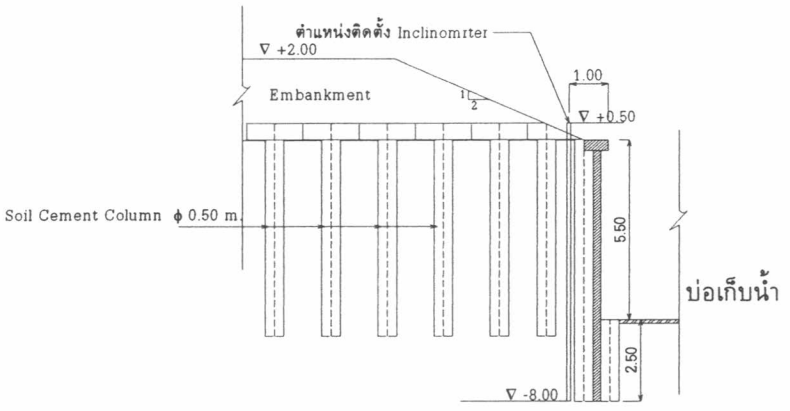
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดพฤติกรรมการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินซีเมนต์ คือ Inclinometer ซึ่งเป็นเครื่องมือสำรวจที่มีความละเอียดสูง ใช้สำหรับวัดค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดินที่เกิดการไหล เชื่อนดิน และเชิงลาด เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการติดตั้ง Inclinometer ไว้ทั้งหมด 10 ตำแหน่ง แบ่งออกเป็นบริเวณที่ก่อสร้างอาคารสูบน้ำ (Pump House) หรือส่วนของทางเข้าบ่อเก็บน้ำ 3 ตำแหน่ง คือ IN-2, IN-8, IN-9 และในส่วนที่อยู่บริเวณรอบบ่อเก็บน้ำมีอยู่ 7 ตำแหน่ง คือ IN-1, IN-3, IN-4, IN-5, IN-6, IN-7, IN-10 โดยรายละเอียดตำแหน่ง ความลึกของ Inclinometer และอุปสรรคที่เกิดขึ้นได้สรุปในตารางที่ 3.1



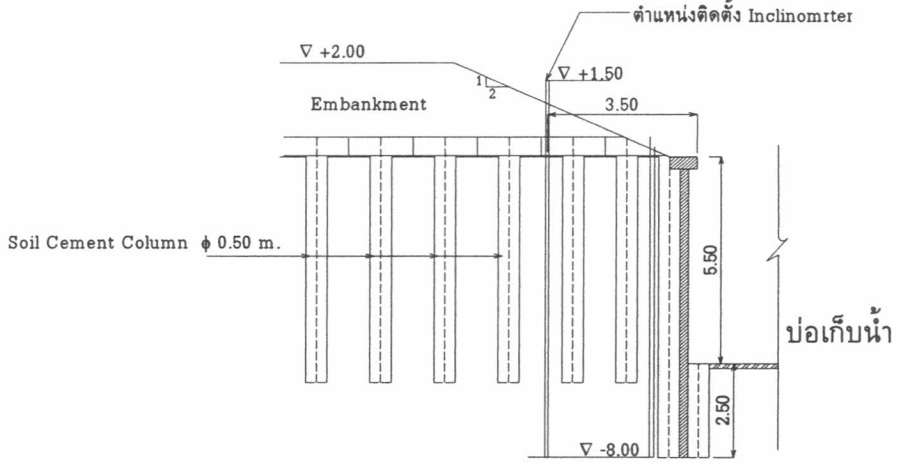
รูปที่ 3.12 แสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน

ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่งของหลุม และความลึกของ Inclinometer Casing

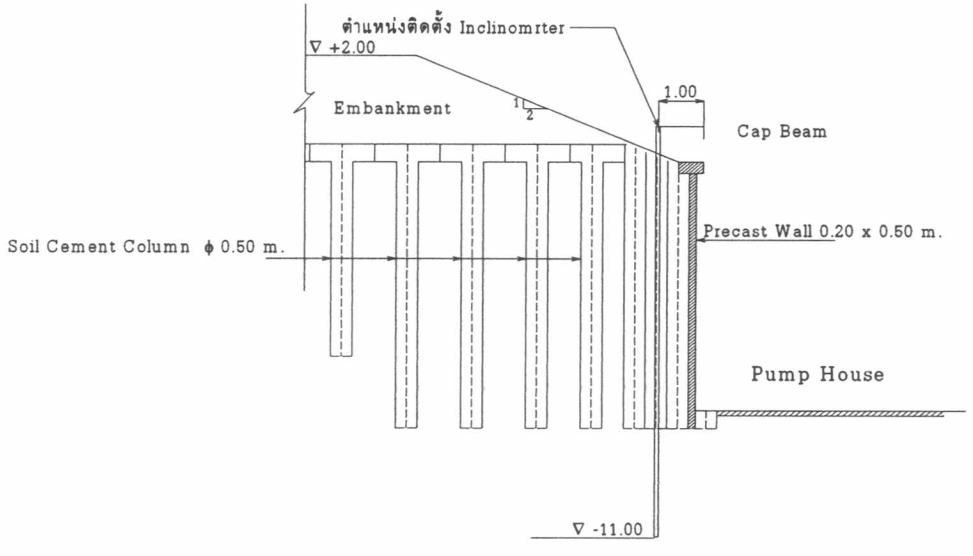
หลุมที่	STATION	DEPTH (m)	หมายเหตุ
IN-1	0+000	10.00	มีการก่อสร้างทางขึ้นลงซึ่งส่งผลต่อการวัดค่า
IN-2	Pump House	12.00	มีปัญหาการติดตั้ง
IN-3	0+250	10.00	
IN-4	0+250	8.50	
IN-5	0+500	8.50	
IN-6	0+500	10.00	มีปัญหาในการติดตั้ง
IN-7	0+830	8.50	
IN-8	Pump House	13.00	เกิดการพังทลาย, ไม่มีกำแพงคอนกรีต
IN-9	Pump House	12.00	พังทลาย
IN-10	0+100	8.50	มีการปรับปรุงดินเพิ่มเติมเพื่อก่อสร้างอาคารปลายน้ำ



รูปที่ 3.13 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัด IN-4, IN-5 และ IN-7



รูปที่ 3.14 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัด IN-1, IN-3 และ IN-6



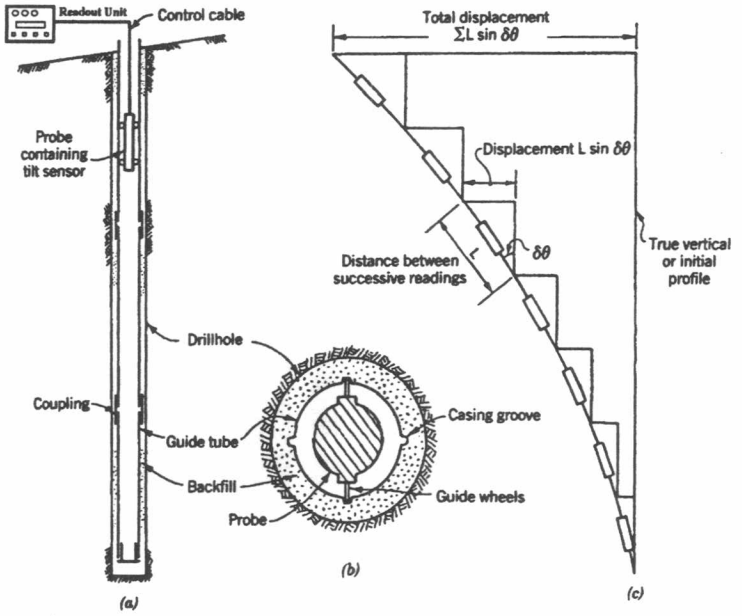
รูปที่ 3.15 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัด IN-9

3.4.1 เครื่องมือ Inclinometer

เครื่องมือ Inclinometer จะเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนตัวของดินโดยการวัดค่าเป็นมุมที่เอียงไปเพื่อนำมาคำนวณหาระยะที่เคลื่อนตัวไปของดิน ชุดของเครื่องมือ Inclinometer ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 4 ชิ้นด้วยกัน คือ เซ็นเซอร์ (Sensor), ดิจิตอลอินดิเคเตอร์ (Digital indicator), อิเลคติกเคเบิล (Electric cable) และท่อคุ้มกัน (Casing)

เซ็นเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่จะทำให้เกิดสัญญาณอิเล็คทรอนิคที่มีความสัมพันธ์กับมุมเอียงจากแนวดิ่งของตัวเซ็นเซอร์เอง เซ็นเซอร์จะถูกติดตั้งกับปลายอีกด้านหนึ่งของอิเลคติกเคเบิล และจะถูกหย่อนลงในท่อคุ้มกัน ดังรูปที่ 3.16 ซึ่งท่อคุ้มกันจะถูกติดตั้งในหลุมที่ถูกเจาะลงไปในดิน หรือติดกับโครงสร้าง เซ็นเซอร์จะถูกควบคุมการเดินทางด้วยร่องด้านในท่อคุ้มกันเรียกว่า Casing groove ซึ่งเป็นแนวให้ล้อของตัวเซ็นเซอร์วิ่ง ล้อของเซ็นเซอร์จะถูกนำโดย Casing groove 4 ช่องที่แบ่งเท่าๆกันอยู่ภายในท่อคุ้มกัน เพื่อจะควบคุมทิศทางการวางตัวของเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน-ซีเมนต์

ดิจิตอลอินดิเคเตอร์ เป็นอุปกรณ์ซึ่งประจุด้วยแบตเตอรี่ชาร์จได้ขนาด 6 โวลต์ ควบคุมด้วยอิเล็คโทรนิค และแสดงผลเป็นระบบดิจิตอล โดยจะแสดงมุมเอียงจากแนวดิ่งในเทอมของ 2.5 เท่าของค่า sin ของมุม (2.5 x sinθ) ด้วยตัวเลข 4 ตัว θ เป็นมุมเอียงของเซ็นเซอร์ตามแนวท่อคุ้มกันในทิศทางของ A และ B ความละเอียดที่อ่านได้คือ 1 ใน 20000



รูปที่3.16 แสดงการวัดการเคลื่อนตัวของดิน โดย Inclinometer

อิเลคติกเคเบิล มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10.7 มิลลิเมตร ประกอบด้วยเชือกปั่นเป็นเกลียว 6 เส้น, ตัวนำทองแดงมียางหุ้ม และมีเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6

มิลลิเมตร อยู่ระหว่างตัวนำ แกนกลาง และยางหุ้ม เพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยที่สุด สีของยางเทียมที่ถูกทำขึ้นมาจะติดกับสายเคเบิลในแต่ละช่วงๆละ 0.5 เมตร ตลอดความยาวสีแดงช่วงละ 1 เมตร สีเหลืองช่วงละ 0.5 เมตร และจะมีตัวเลขบอกระยะทุก 5 เมตร

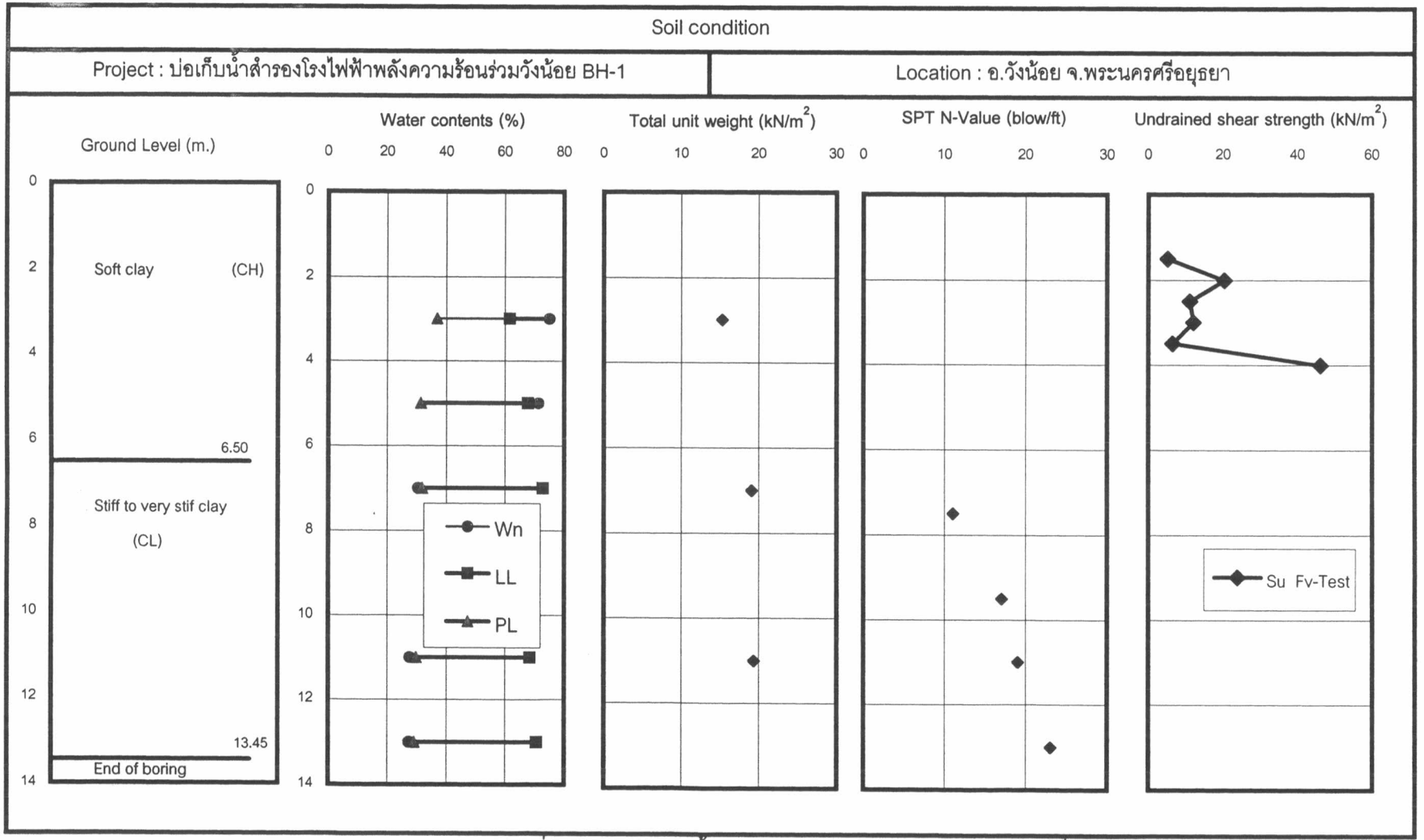
ท่อคุ้มกัน จะเป็นท่อกันดินบีบตัว และภายในมีร่องสำหรับให้เซ็นเซอร์วิ่ง ท่อคุ้มกันมีอยู่ 2 ชนิดคือ ท่อคุ้มกันที่ทำจากอลูมิเนียม และพลาสติก แล้วแต่ละชนิดก็จะมีหลายขนาดแล้วแต่จะเลือกใช้ งานวิจัยนี้ใช้ท่อคุ้มกันที่เป็นพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 70 มิลลิเมตร ภายใน 59 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่าเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ เหมาะสมกับงานวัดการเคลื่อนตัวที่ต้องการความละเอียดสูง

3.5 วิเคราะห์การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดิน-ซีเมนต์

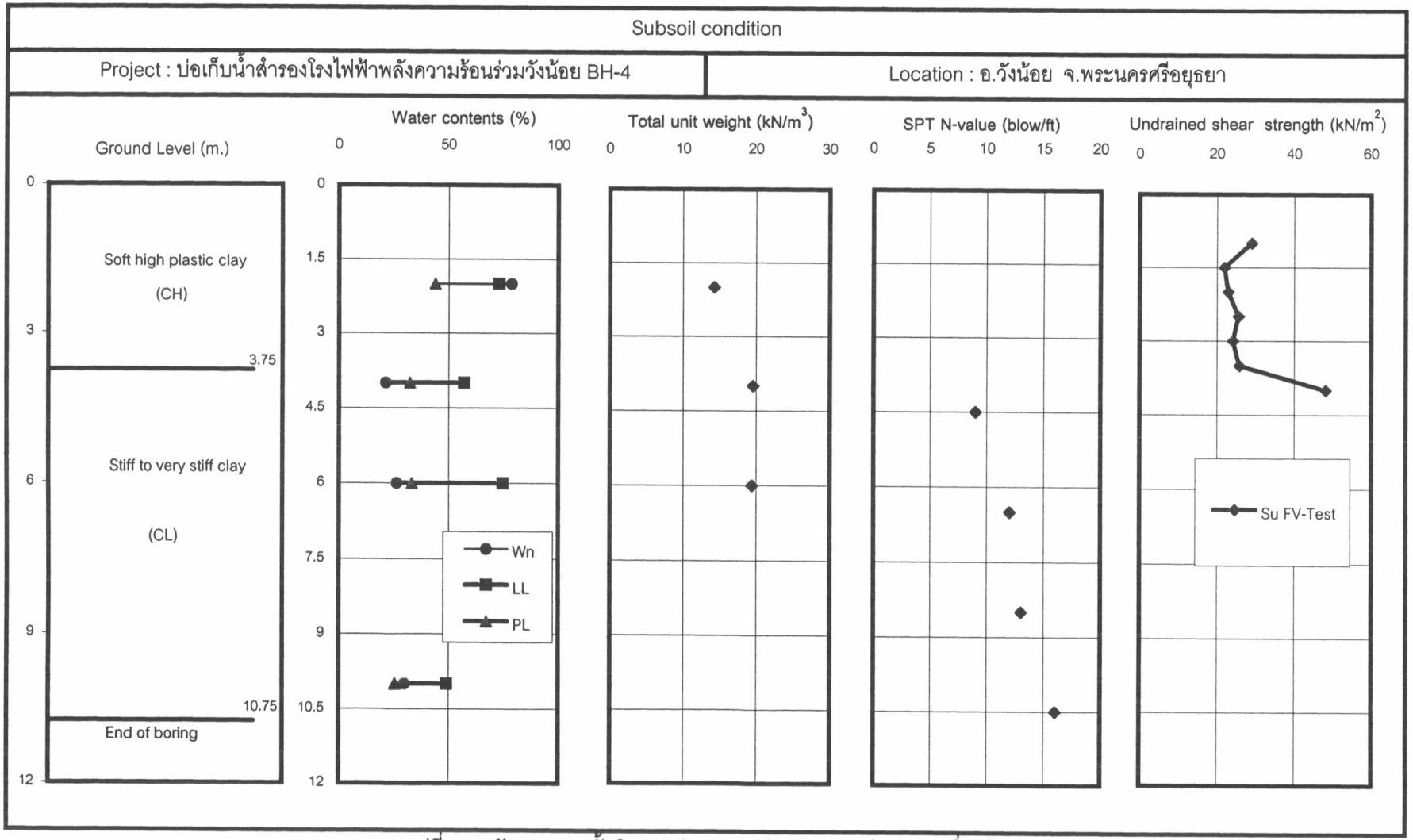
การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดินจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของทางเข้าบ่อเก็บน้ำ และส่วนของบ่อเก็บน้ำ ซึ่งในส่วนของทางเข้าบ่อเก็บน้ำจะทำการวิเคราะห์ในช่วงก่อนที่จะเกิดการพังทลายของกำแพงกันดิน-ซีเมนต์ โดยใช้ข้อมูลจากการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง ณ ตำแหน่งที่ IN-9 เพราะในสภาพความเป็นจริงแล้วบริเวณของทางเข้าบ่อเก็บน้ำนั้นเกิดการพังทลายของกำแพงและมีการปรับปรุงแก้ไขคุณภาพของดินขึ้น คุณสมบัติของดิน ณ ตำแหน่งเครื่องมือวัด IN-9 ดังรูปที่ 3.17 ส่วนบริเวณของบ่อเก็บน้ำนั้นได้เลือกเอาข้อมูลจากการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของดิน ณ ตำแหน่งที่ IN-3, IN-4 และ IN-7 มาทำการวิเคราะห์ โดยมีคุณสมบัติของดิน ณ ตำแหน่งเครื่องมือวัด IN-3, IN-4 และ IN-7 แสดงดังรูปที่ 3.18, 3.19 และ 3.20

ข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน-ซีเมนต์ ณ ตำแหน่ง IN-9 ขณะทำการขุดดินลึกประมาณ 7 เมตร, การเติมน้ำใส่บ่อเก็บน้ำ, การใส่ค้ำยัน, การนำ Surcharge ออก 2 เมตร, การสูบน้ำออกจากบ่อเก็บน้ำ และ จุดเริ่มพังทลาย ได้แสดงในรูปที่ 3.21

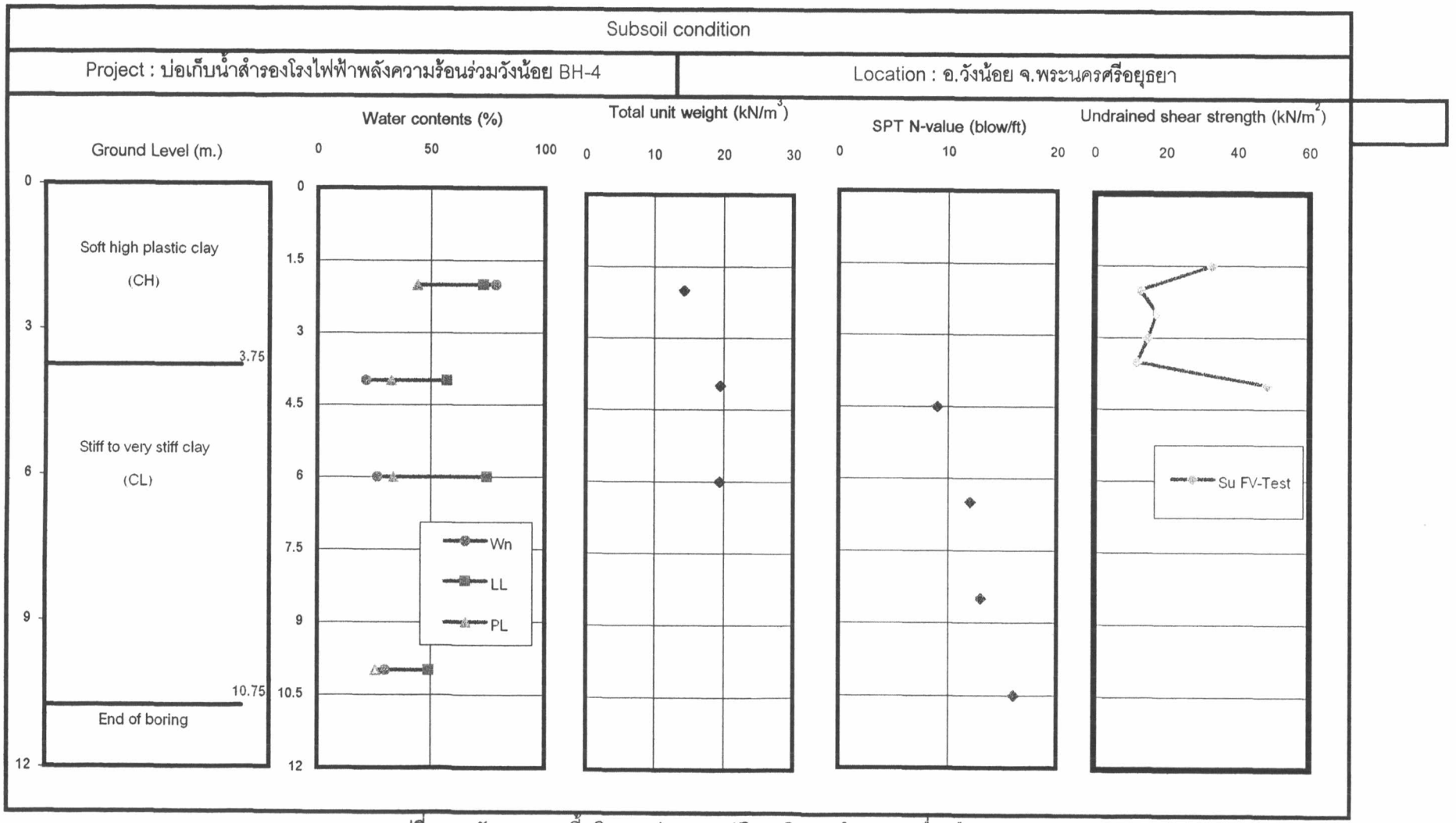
ข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน-ซีเมนต์ ณ ตำแหน่ง IN-3, IN-4 และ IN-7 ขณะทำการก่อสร้างคันดิน (Embankment), การขุดดินขั้นตอนที่ 1 ลึกประมาณ 3.00 เมตร และการขุดดินขั้นตอนที่ 2 ลึกประมาณ 2.50 เมตร ได้แสดงดังรูปที่ 3.22, 3.23 และ 3.24



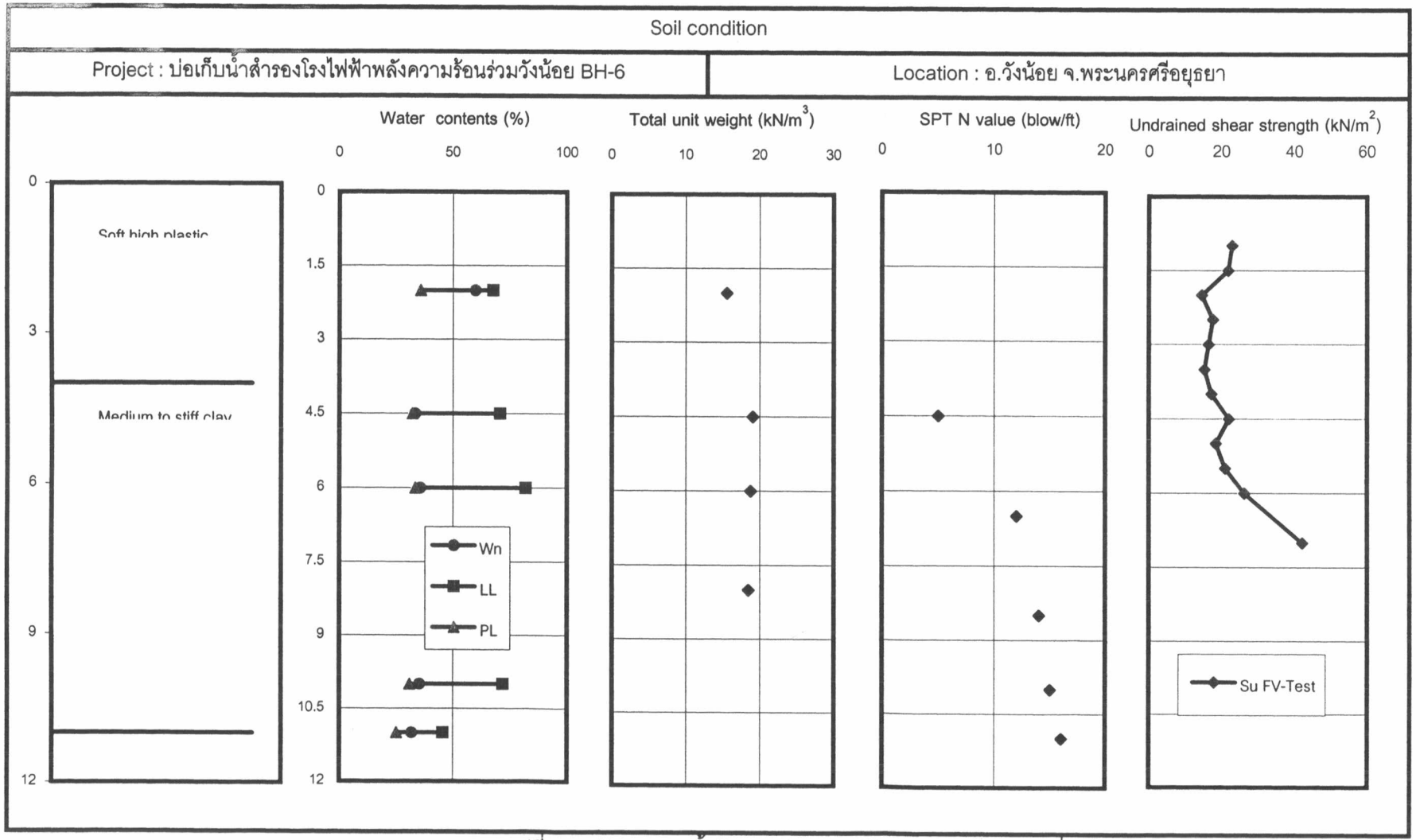
รูปที่ 3.17 ลักษณะของชั้นดินและค่าคุณสมบัติของดิน ณ ตำแหน่งเครื่องมือวัด IN-9



รูปที่ 3.18 ลักษณะของชั้นดินและค่าคุณสมบัติของดิน ณ ตำแหน่งเครื่องมือวัด IN-3



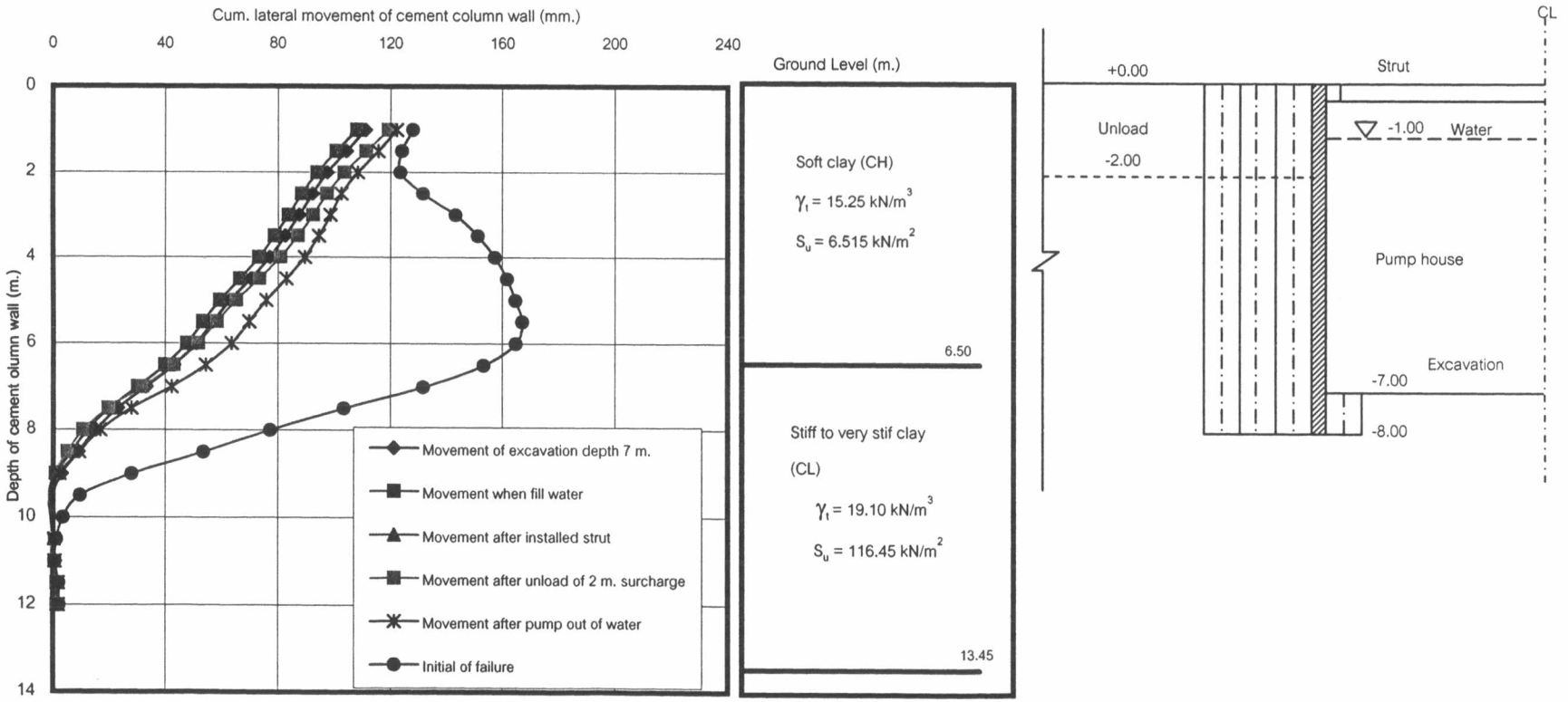
รูปที่ 3.19 ลักษณะของชั้นดินและค่าคุณสมบัติของดิน ณ ตำแหน่งเครื่องมือวัด IN-4



รูปที่ 3.20 ลักษณะของชั้นดินและค่าคุณสมบัติของดิน ณ ตำแหน่งเครื่องมือวัด IN-7

โครงการ : บ่อเก็บน้ำสำรองโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมวังน้อย

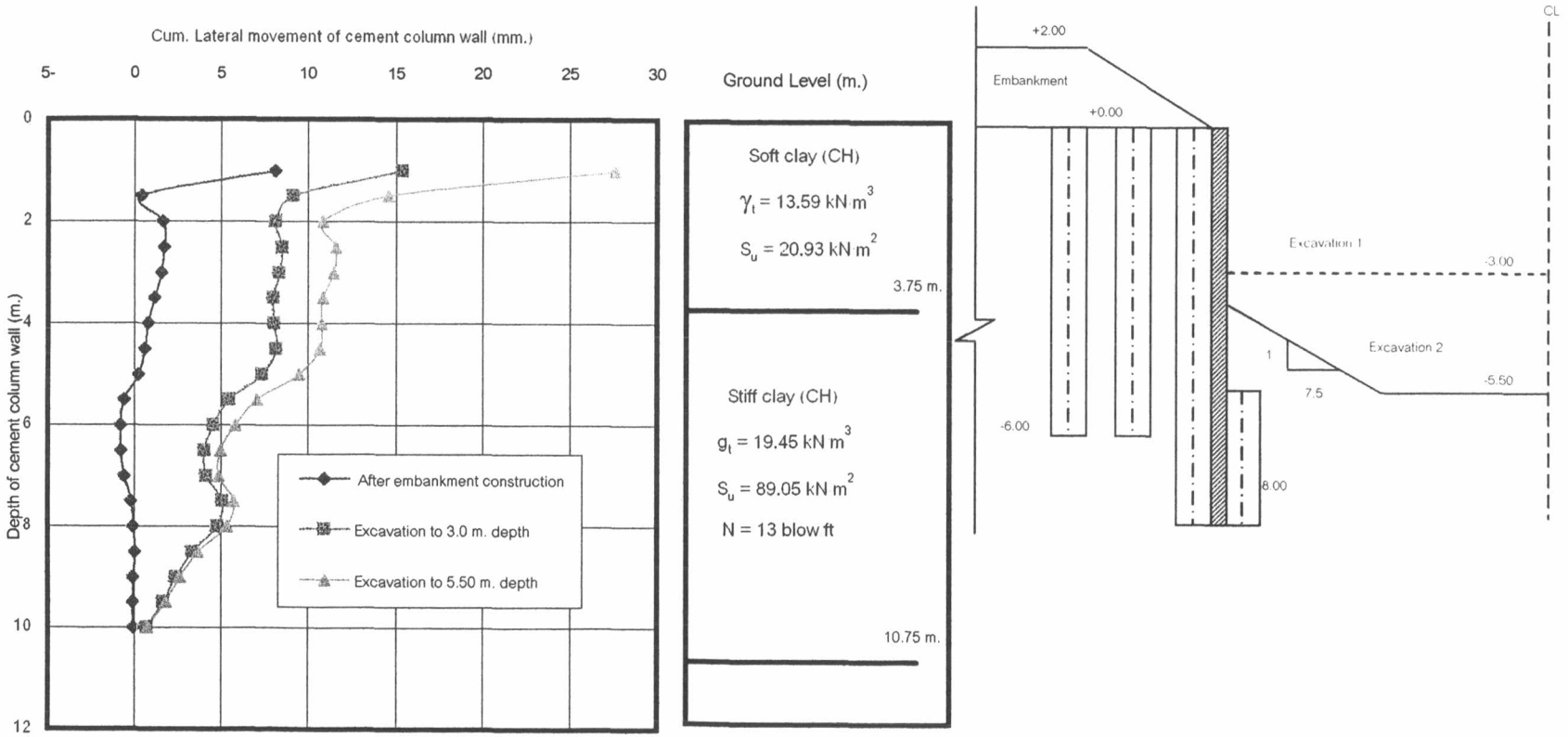
สถานที่ : อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา เครื่องมือวัด : Inclinometer No.9



รูปที่ 3.21 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดิน-ซีเมนต์ในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง ณ ตำแหน่งเครื่องมือวัด IN-9 บริเวณทางเข้าบ่อเก็บน้ำ

โครงการ : บ่อเก็บน้ำสำรองโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมวังน้อย

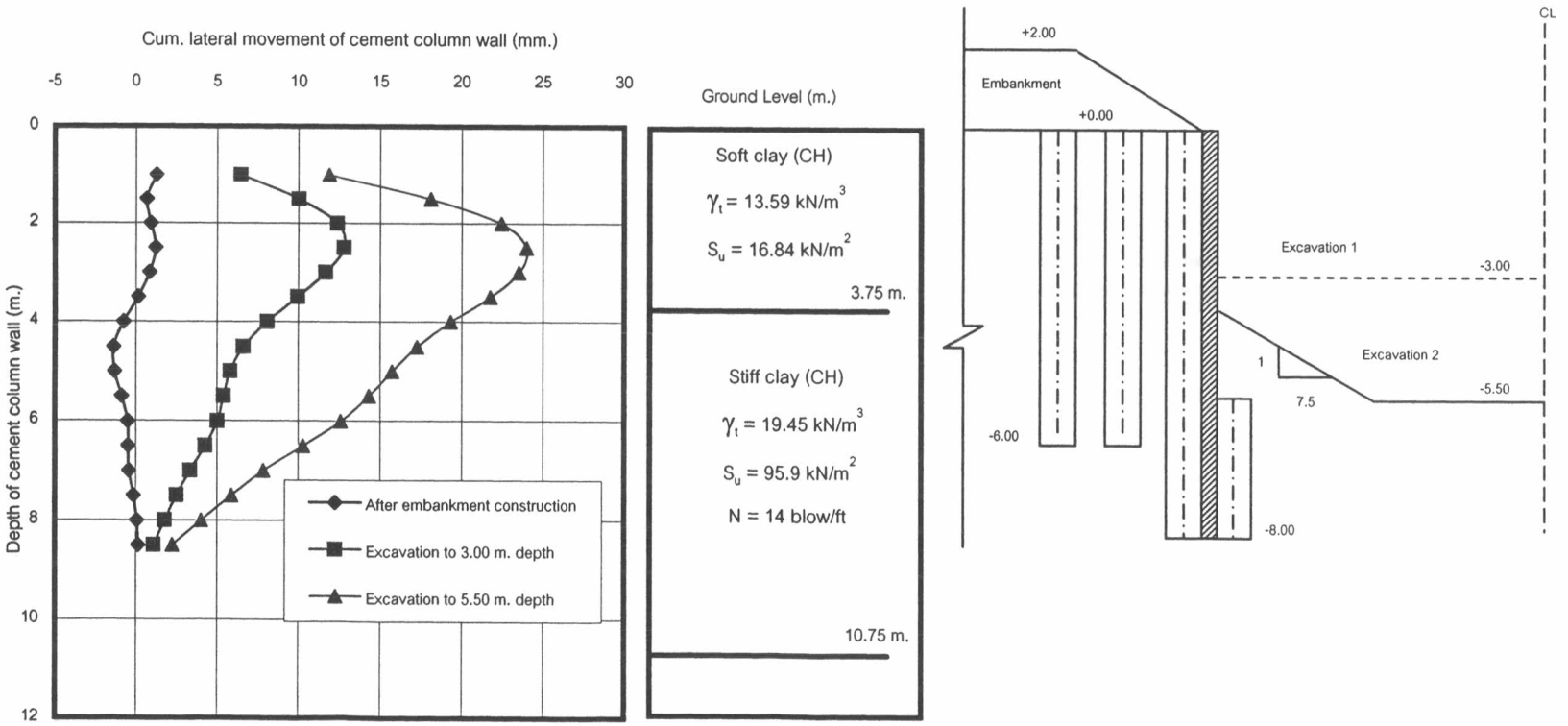
สถานที่ : อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา **เครื่องมือวัด** : Inclinometer No.3



รูปที่ 3.22 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดิน-ซีเมนต์ในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง ณ ตำแหน่งเครื่องมือวัด IN-3 บริเวณบ่อเก็บน้ำ

โครงการ : บ่อเก็บน้ำสำรองโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมวังน้อย

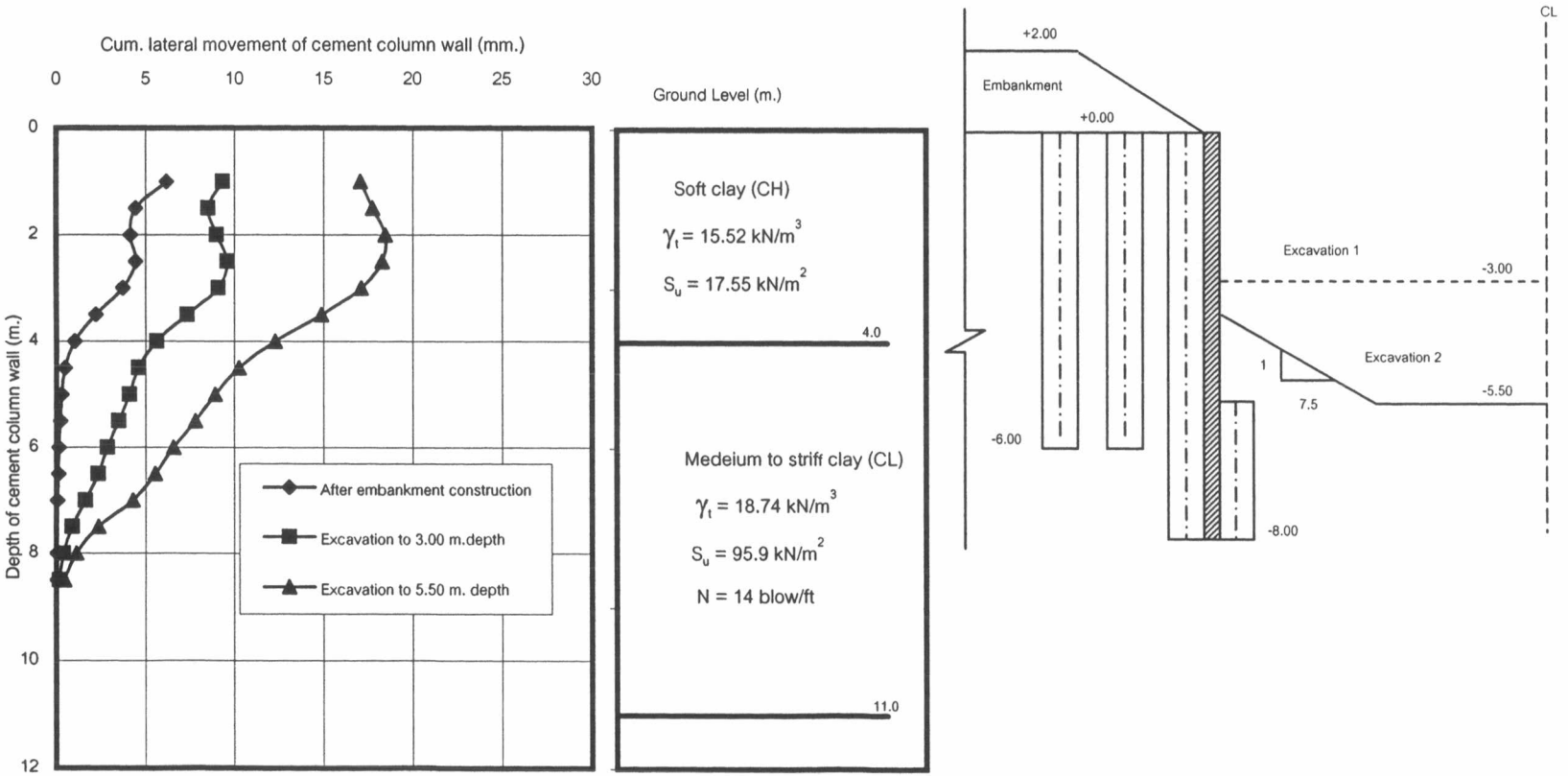
สถานที่ : อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา **เครื่องมือวัด** : Inclinometer No.4



รูปที่ 3.23 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดิน-ซีเมนต์ในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง ณ ตำแหน่งเครื่องมือวัด IN-4บริเวณบ่อเก็บน้ำ

โครงการ : บ่อเก็บน้ำสำรองโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมวังน้อย

สถานที่ : อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา **เครื่องมือวัด** : Inclinometer No.7



รูปที่ 3.24 ข้อมูลการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดิน-ซีเมนต์ในแต่ละขั้นตอนการก่อสร้าง ณ ตำแหน่งเครื่องมือวัด IN-7 บริเวณบ่อเก็บน้ำ