

## บทที่ 3

### วิธีการและรายละเอียดของงานวิจัย

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบกำแพงกันดิน ตลอดจนศึกษาถึงวิธีการก่อสร้างกำแพงกันดินระบบ Secant pile wall
2. ศึกษาและรวบรวมรายละเอียดลำดับขั้นตอนการขุดดินในการก่อสร้าง พร้อมทั้งจัดบันทึกข้อมูล ( Detail of Excavation Sequence ) รวมถึงการติดตั้งและอัดแรงในค้ำยัน ( Preload Strut ) ของโครงการก่อสร้างที่ดำเนินการวิจัยโดยละเอียด
3. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการเจาะสำรวจดิน ( Soil Investigation ) รวมถึงวิธีการทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆ ของลักษณะชั้นดิน ( Soil Properties ) ของโครงการก่อสร้างที่ดำเนินการวิจัย
4. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดในสนาม พร้อมทั้งจัดบันทึกผลอย่างสม่ำเสมอตลอดลำดับขั้นตอนของโครงการก่อสร้างที่ดำเนินการวิจัย ได้แก่
  - เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง ( Inclinometer )
  - จุดวัดการทรุดตัวของผิวดินบริเวณก่อสร้าง ( Surface Settlement Point )
  - เครื่องมือวัดแรงในค้ำยัน ( Pressure Gauge )
5. ทำการวิเคราะห์เพื่อคาดคะเนพฤติกรรมต่างๆ ของกำแพงกันดินระบบ Secant pile wall ด้วยวิธี Finite Element Method โดยใช้โปรแกรม Plaxis ซึ่งใช้ข้อมูลของโครงการก่อสร้างที่ดำเนินการวิจัย
6. นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดในสนาม
7. สรุปผลและนำเสนอข้อมูล
8. จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

### 3.2 รายละเอียดของโครงการที่ดำเนินการศึกษาวิจัย

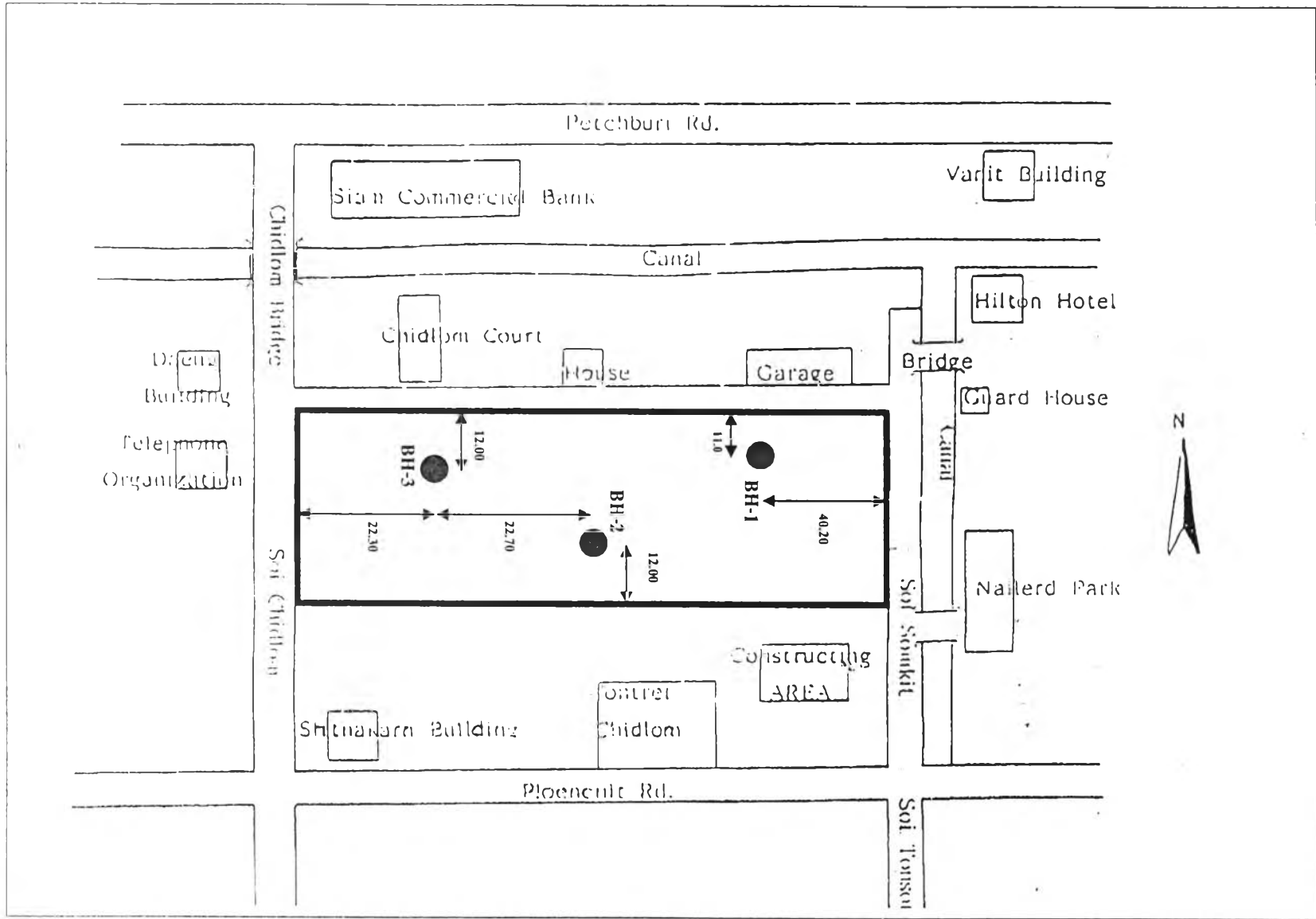
โครงการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย THE PARK CHIDLOM เป็นโครงการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กแปด โดยที่มีอาคารแรก สูง 125.30 เมตร มีจำนวน 28 ชั้น และ อาคารที่สอง สูง 148.30 เมตร มีจำนวน 35 ชั้น ตั้งอยู่บนถนนชิดลม ในเขตกรุงเทพมหานคร ( ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ) โดยพื้นที่ของโครงการก่อสร้างชั้นใต้ดินที่ทำการวิจัยนี้ ถูกล้อมรอบด้วยสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ดังนี้

- (1) ทิศเหนือ (N) : ติดกับซอยสมคิด และ อาคาร Somkid place 10 ชั้น
- (2) ทิศใต้ (S) : ติดกับบ้านพักอาศัย และ อาคารพาณิชย์ 5 ชั้น
- (3) ทิศตะวันออก (E) : ติดกับซอยสมคิด และ คลองส่งน้ำ
- (4) ทิศตะวันตก (W) : ติดกับถนนชิดลม

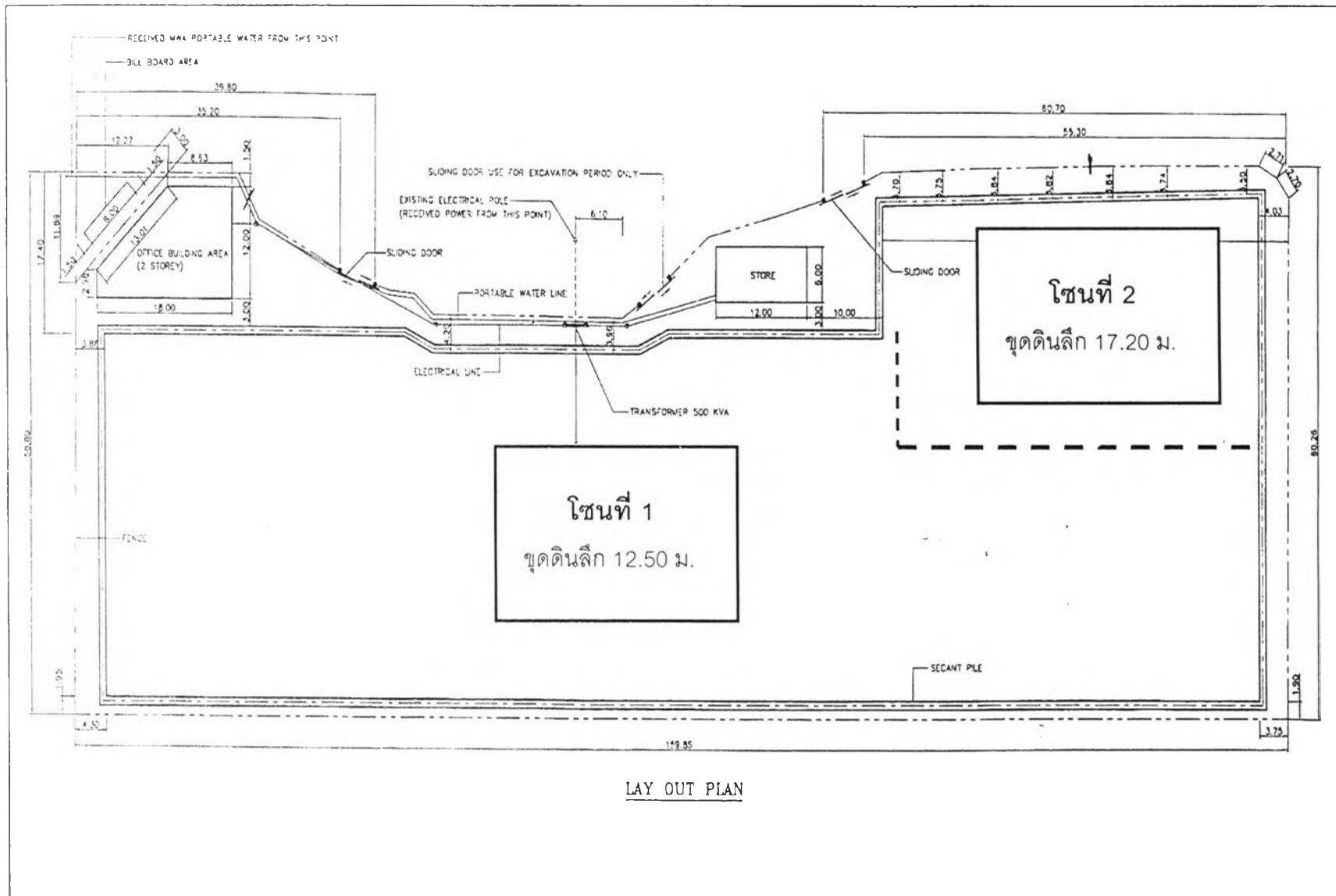


รูปที่ 3.1 โครงการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย  
THE PARK CHIDLOM

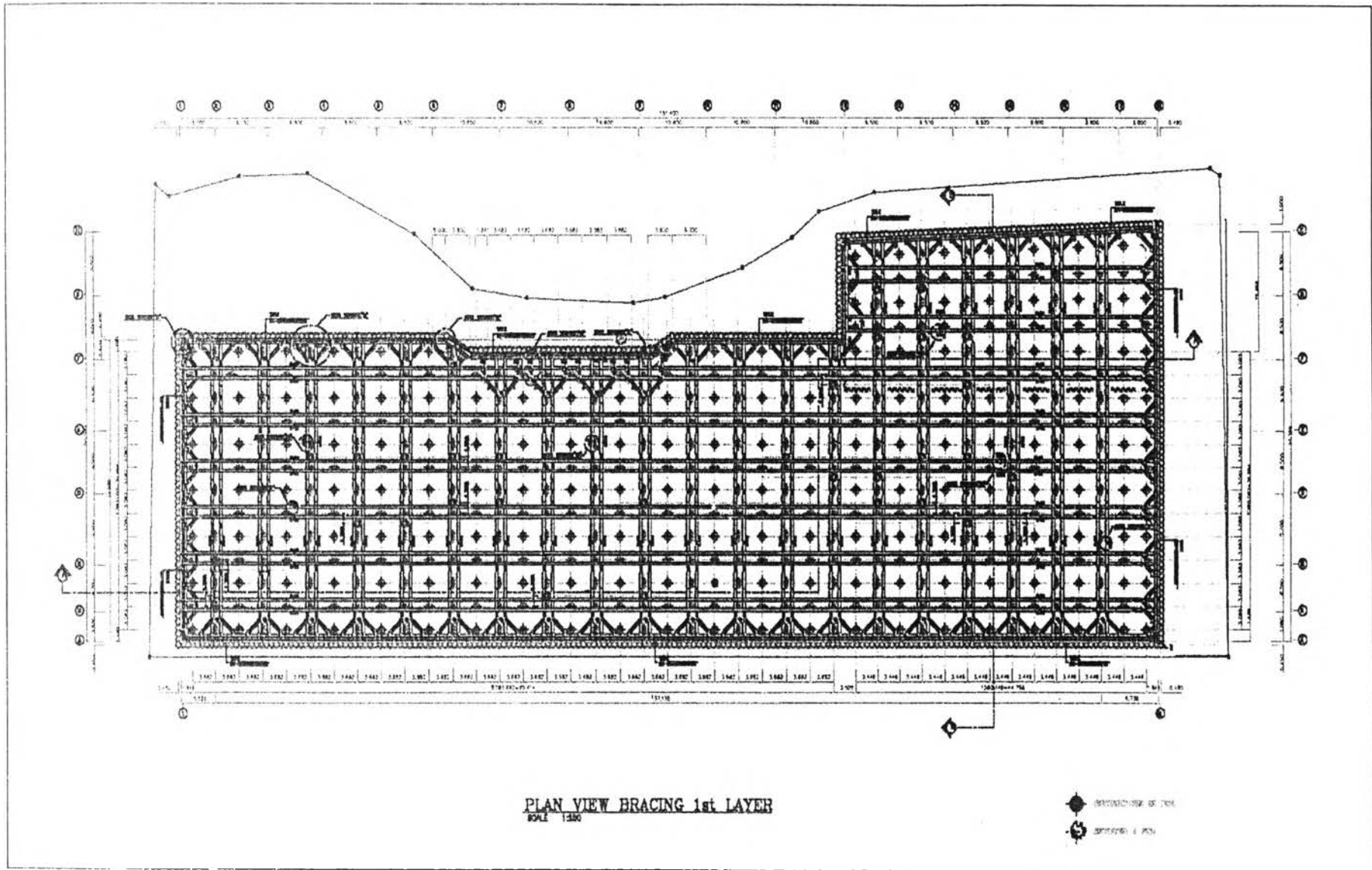
โครงการ THE PARK CHIDLOM นี้ มีขนาดพื้นที่โครงการประมาณ  $160 \times 60$  เมตร แผนที่ตั้งโครงการและผังบริเวณที่ดำเนินการวิจัย ( ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ) ซึ่งได้มีการก่อสร้างชั้นใต้ดินโดยแบ่งเป็นสองโซน คือ โซนแรกมีการขุดดินลึกประมาณ 12.50 เมตร จากระดับดินเดิม มีฐานรากเป็นแบบแผ่ ( Mat foundation ) หนา 2.50 เมตร และโซนที่สองมีการขุดดินลึกประมาณ 17.20 เมตร ฐานรากเป็นแบบแผ่เช่นกัน หนา 2.50 เมตร ( ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ) ทั้งสองโซนมีฐานรากเสาเข็มเจาะขนาดเดียวกัน คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 เมตร มีระยะห่างของเสาเข็มศูนย์กลางถึงศูนย์กลาง เท่ากับ 3.682 เมตร ( ประมาณ 3 เท่าของขนาดเสาเข็ม ) แบบแปลนแสดงการติดตั้งระบบค้ำยันของโครงการ ( ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ถึง 3.7 )



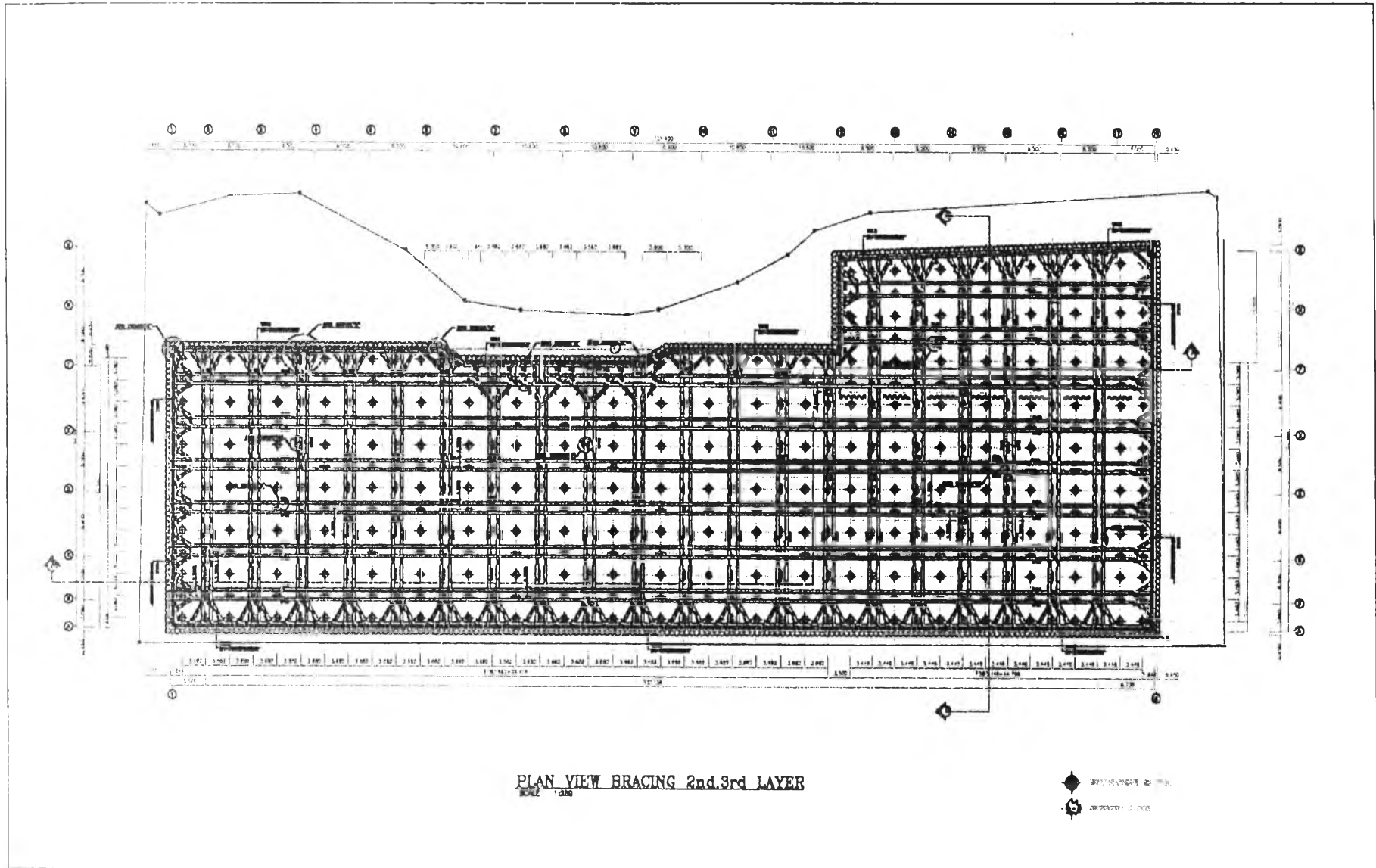
รูปที่ 3.2 แสดงแผนที่ตั้งโครงการ THE PARK CHIDLOM



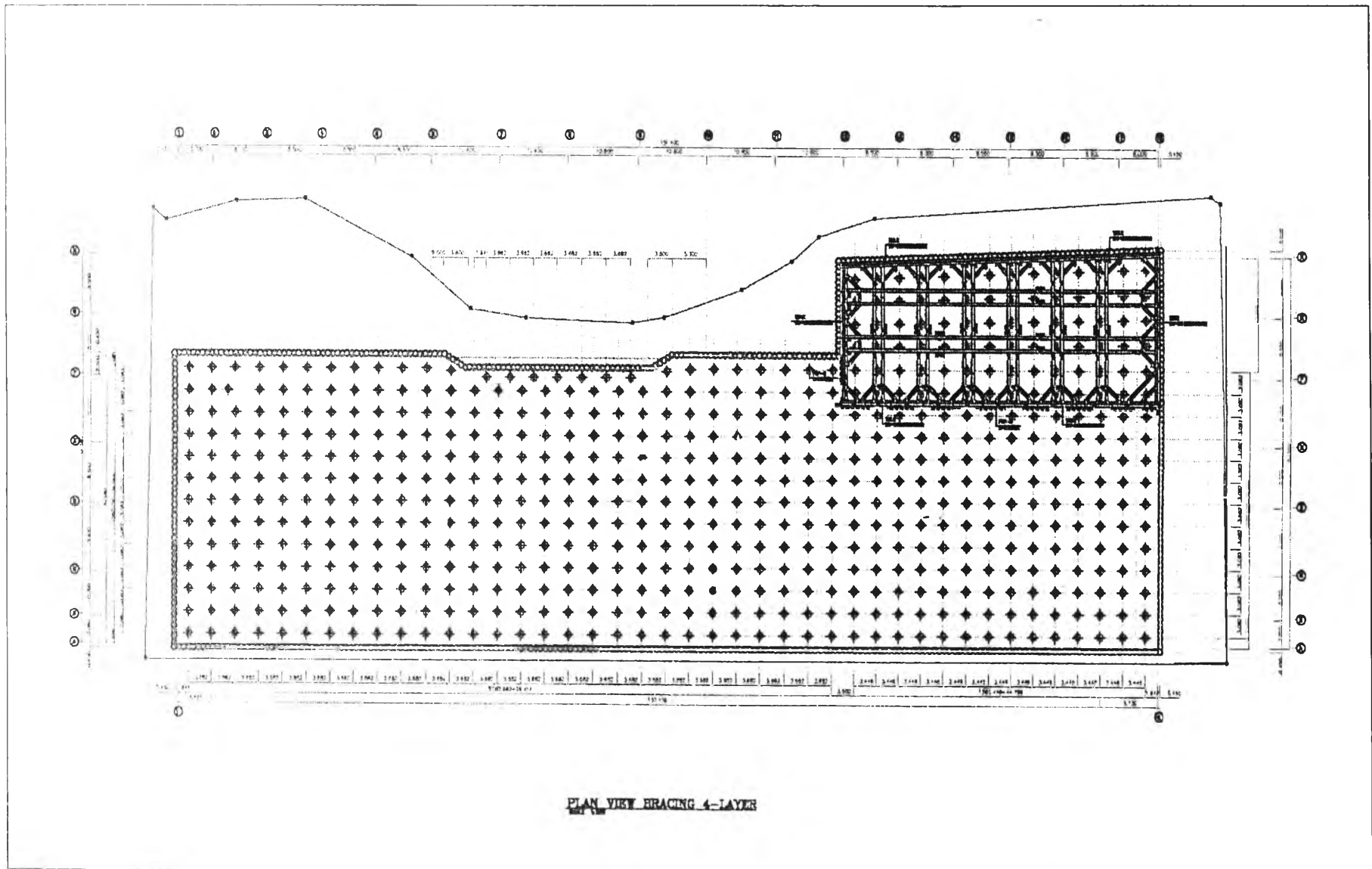
รูปที่ 3.3 แสดงผังบริเวณโครงการ THE PARK CHIDLOM



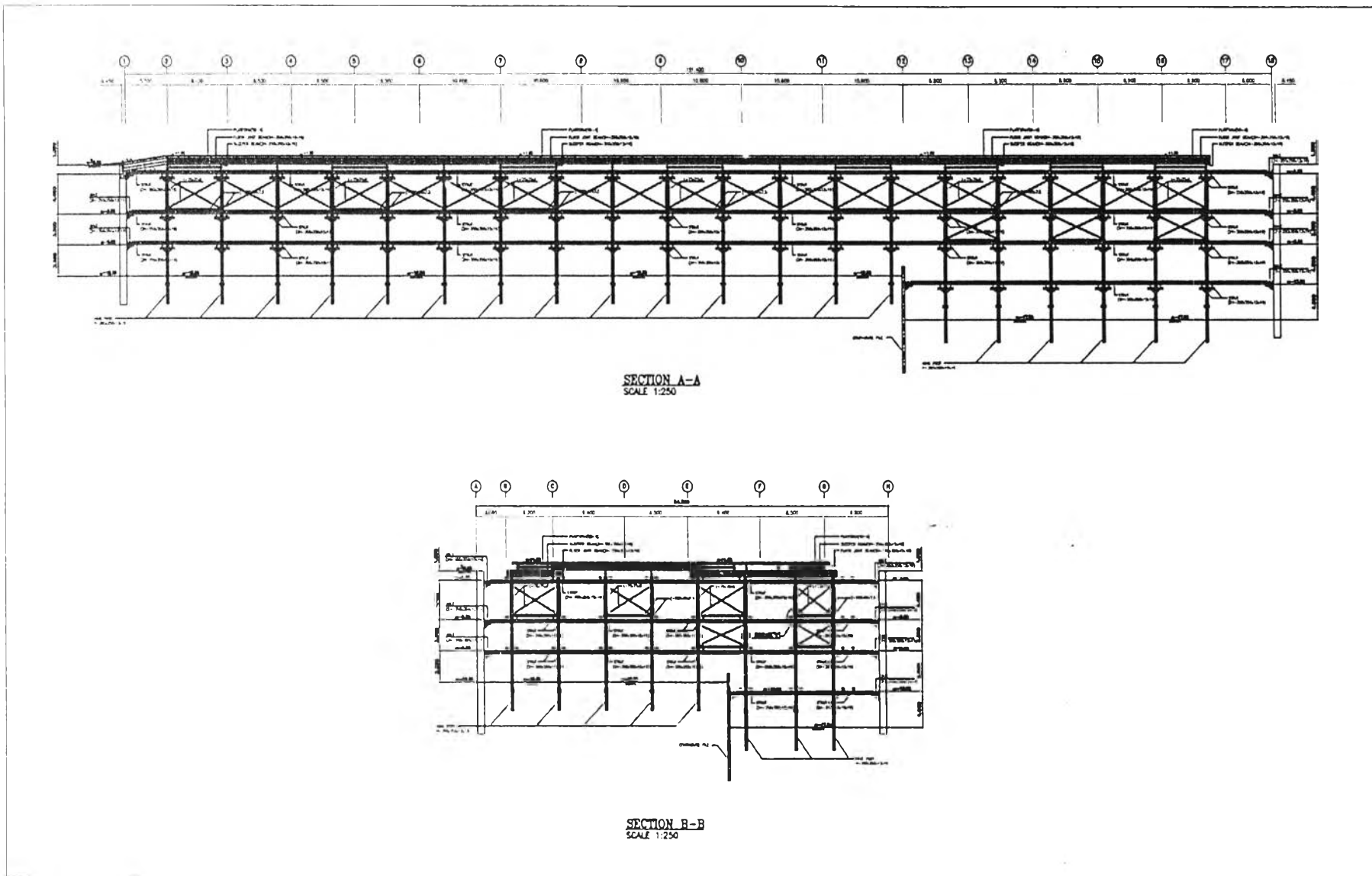
รูปที่ 3.4 แสดงแปลนการติดตั้งค้ำยันชั้นที่ 1



รูปที่ 3.5 แสดงแผนการติดตั้งค้ำยันชั้นที่ 2-3



รูปที่ 3.6 แสดงแผนการติดตั้งค้ำยันชั้นที่ 4

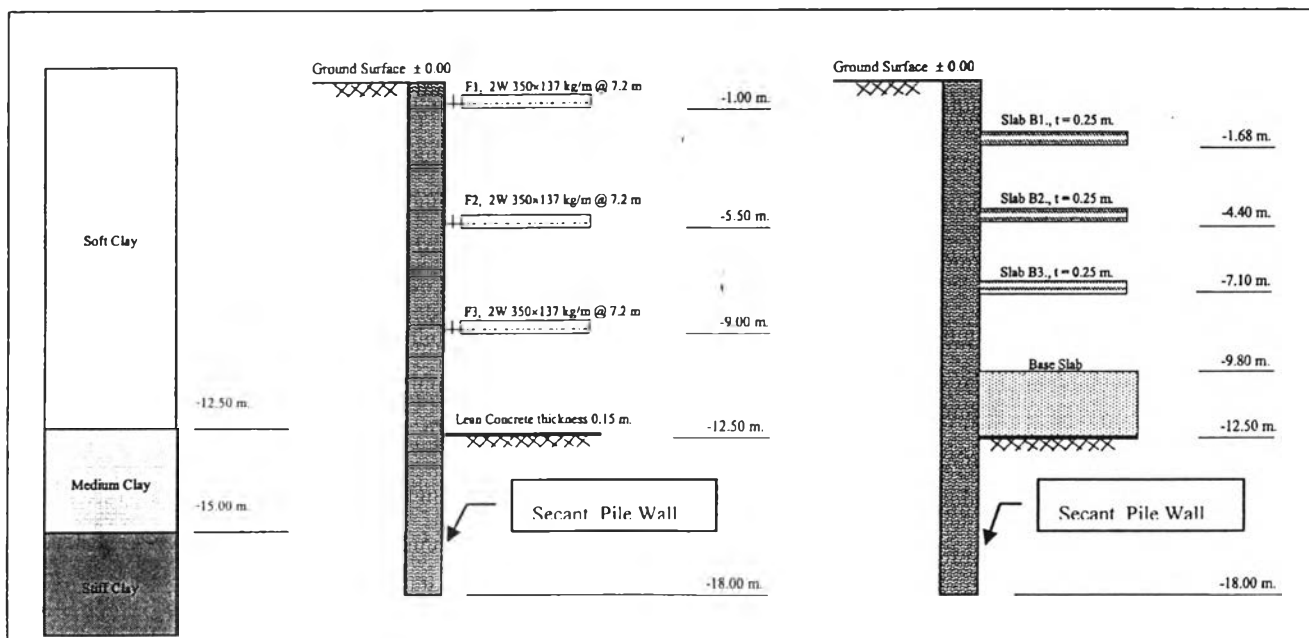


รูปที่ 3.7 แสดงรูปตัดการติดตั้งค้ำยัน

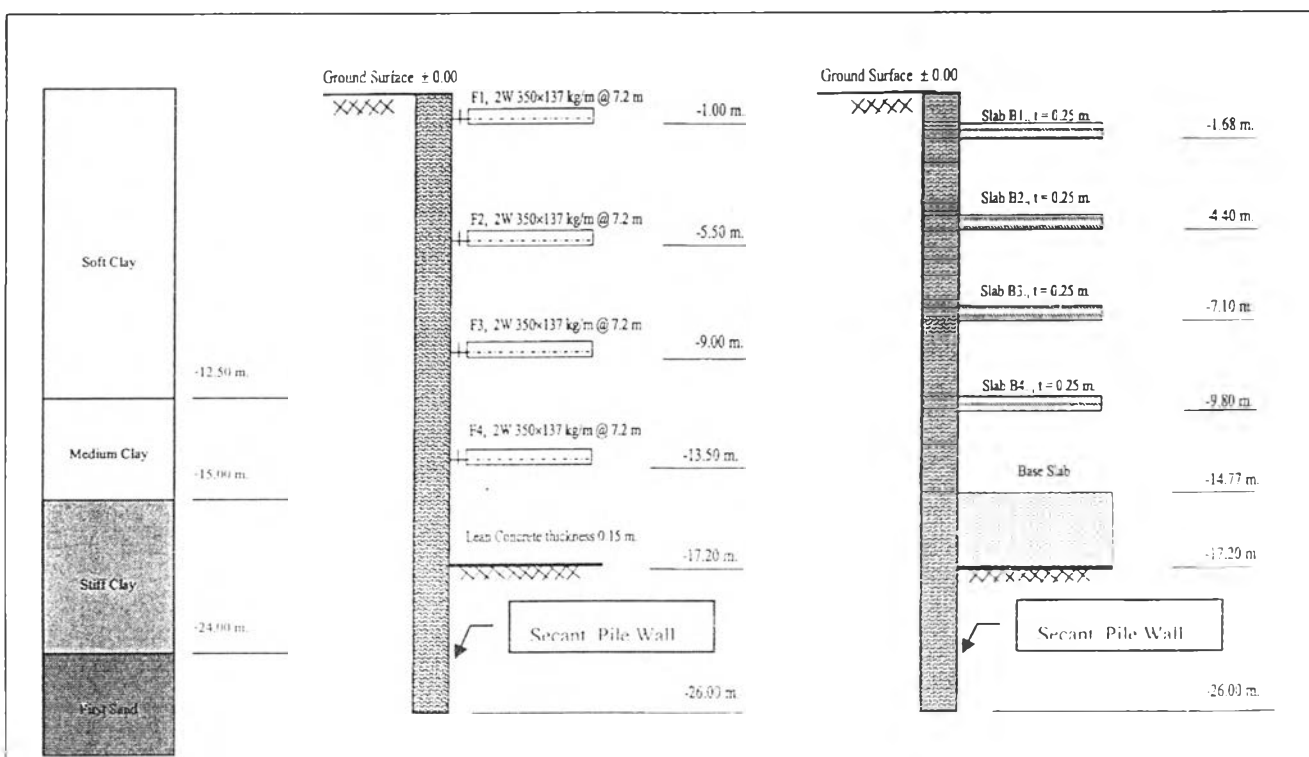


### 3.3 รายละเอียดการก่อสร้างของงานขุดดินลึก

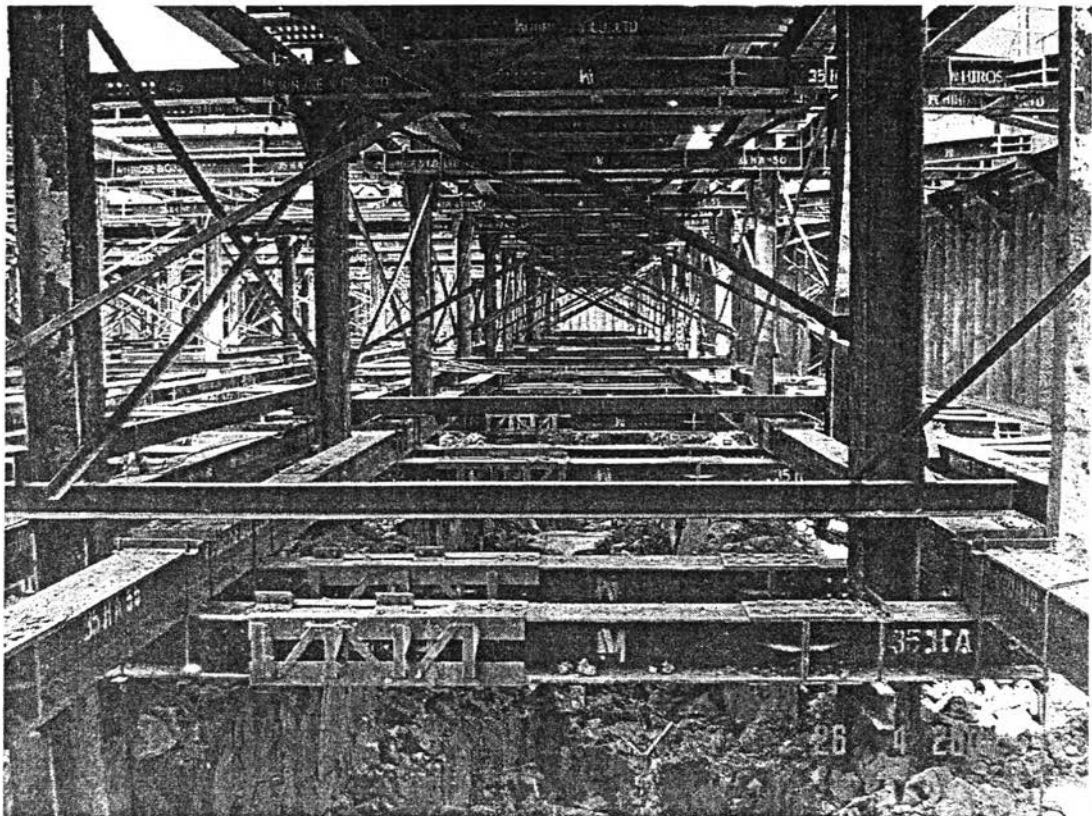
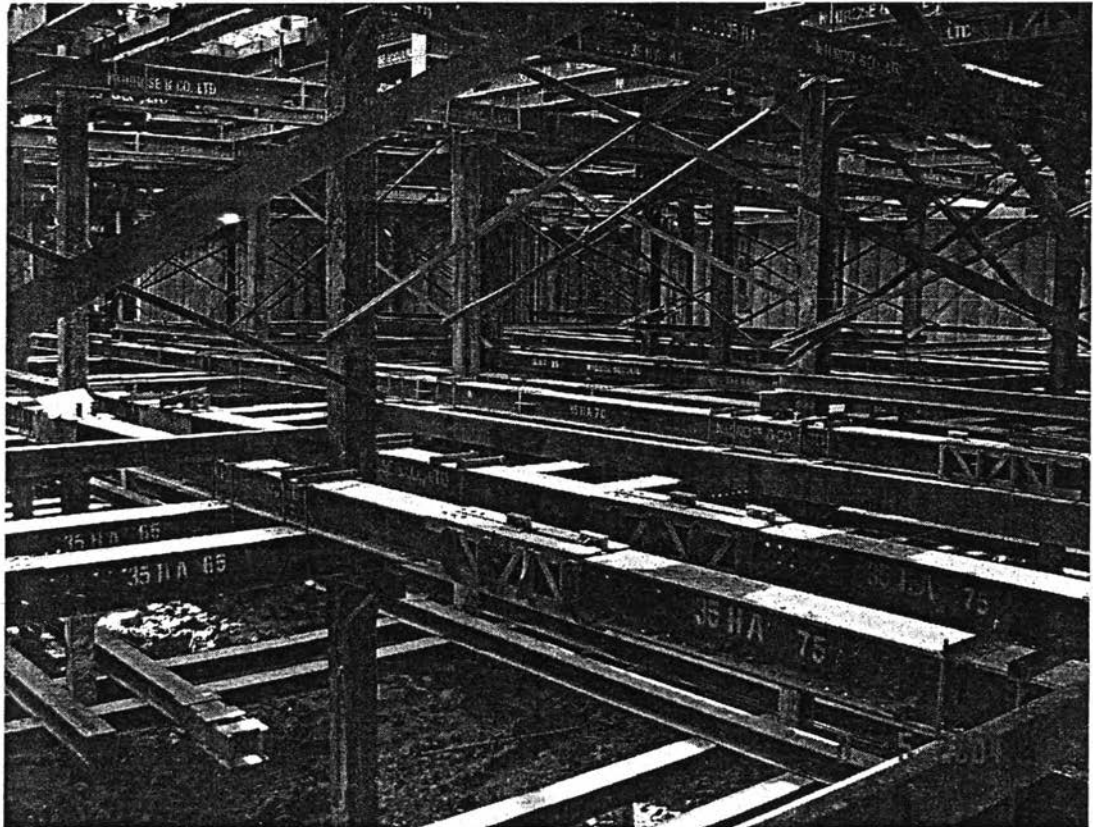
ระบบกำแพงกันดินของงานขุดดินลึกในโครงการนี้ใช้ระบบกำแพงกันดินชนิด Secant pile wall โดยมีความยาว ซึ่งแบ่งเป็น 2 โชนคือในโชนแรกมีความยาว 18 เมตร มีการค้ำยันจำนวน 3 ชั้น และโชนที่สองมีความยาว 26 เมตร มีการค้ำยันจำนวน 4 ชั้น ตำแหน่งที่ระดับ -1.00 เมตร,ระดับ -5.50 เมตร, ระดับ -9.00 เมตร และระดับ -13.50 เมตร ตามลำดับ ( ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และ 3.9 )



รูปที่ 3.8 แสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างในโชนที่ 1



รูปที่ 3.9 แสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างในโชนที่ 2



รูปที่ 3.10 แสดงระบบค้ำยันของงานชุดทั้ง 2 โชน

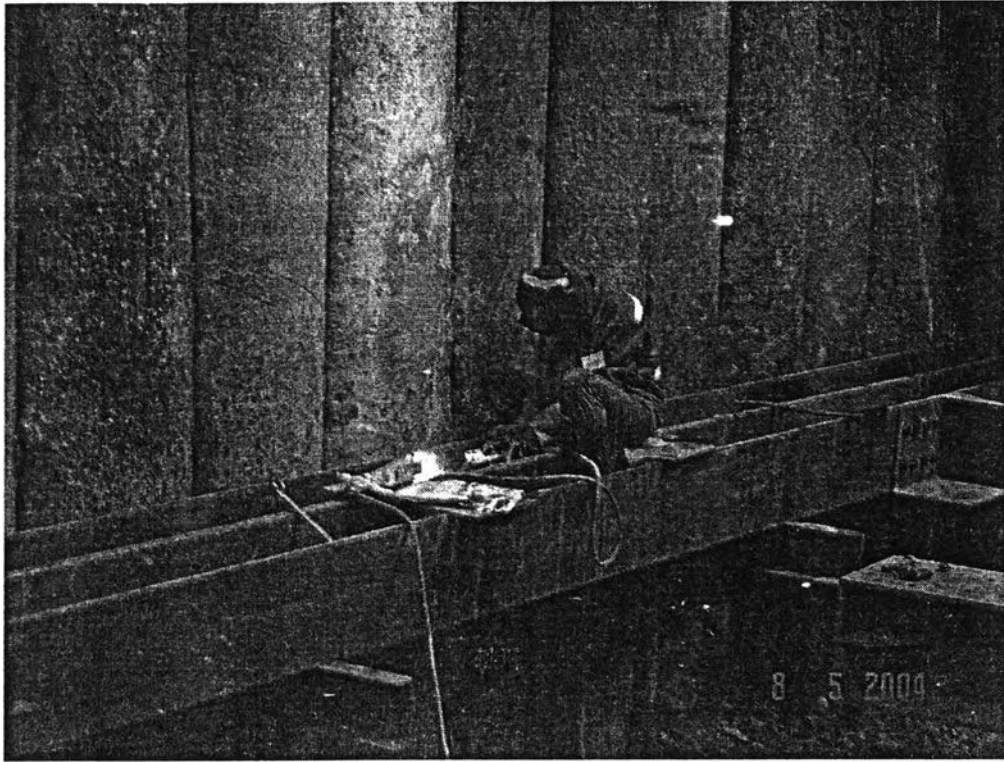
### 3.4 ขั้นตอนการก่อสร้างขุดดินค้ำยัน (Sequence of construction)

เนื่องจากโครงการก่อสร้างที่ทำการวิจัยได้มีการเจาะทำ Secant pile Wall และเสาเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 เมตร ทุกระยะห่างเท่ากับ 3 เท่าของขนาดเสาเข็มทั้งสองโซนทิ้งไว้เดิมประมาณ 8-9 ปีที่ผ่านมาแล้วในอดีต ปัจจุบันจึงได้เริ่มดำเนินการก่อสร้างห้องใต้ดินโดยมีขั้นตอนรายละเอียดการก่อสร้างโดยสังเขปมีดังนี้

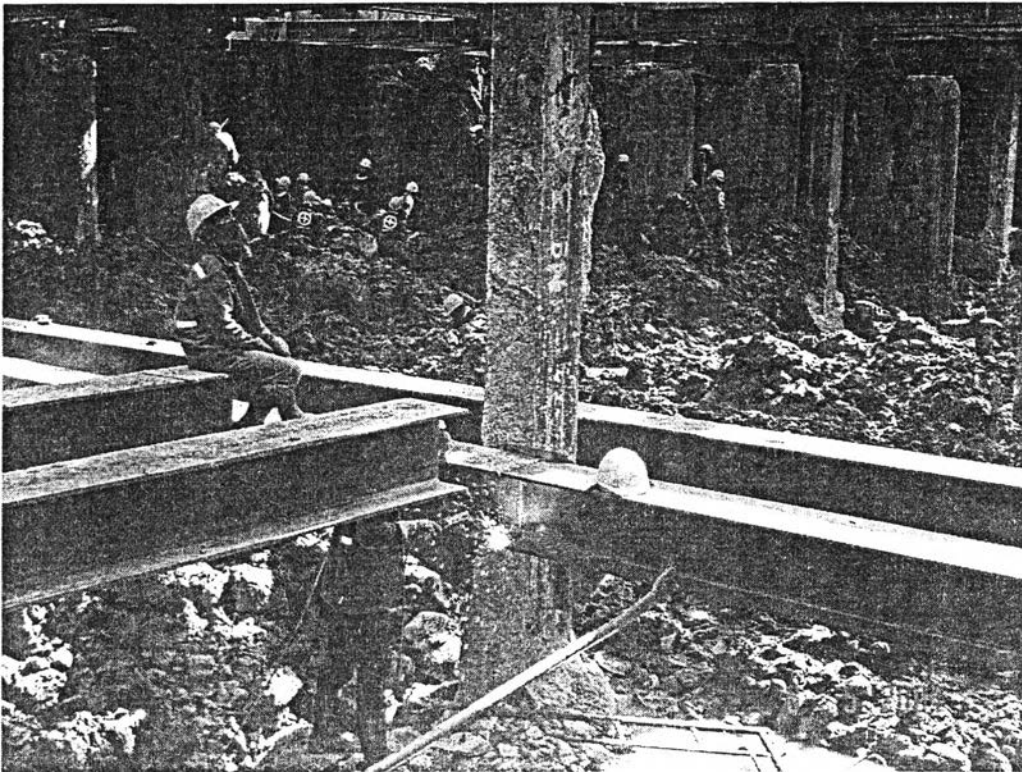
1. การขุดดิน มีขั้นตอนการขุดดินดังนี้ (1) ในช่วงแรกได้ทำการขุดลอกหน้าดินเดิมก่อนซึ่งเป็นพวกทรายถมมีความหนาอยู่ที่ประมาณ 1 เมตร จากนั้นเริ่มขุดในบริเวณตรงกลางที่ระดับ - 2.0 เมตร โดยเว้นระยะคันดิน (Berm width) ไว้โดยรอบพร้อมกับติดตั้งค้ำยันในบริเวณตรงกลาง จากนั้นขยายการขุดดินออกไปโดยรอบจนชิดแนวกำแพงกันดิน แล้วเริ่มติดตั้งเวลและค้ำยันที่เหลือให้แล้วเสร็จแล้วทำการอัดแรงในค้ำยันทันที (2) ทำการขุดดินชั้นที่ 2 ในบริเวณตรงกลางที่ระดับ - 6.0 เมตร โดยเว้นระยะคันดินไว้โดยรอบ การขุดดินในชั้นนี้จะเริ่มติดขัดเนื่องจากเริ่มพบหัวเสาเข็มเจาะ ดังนั้น ต้องทำการตัดทอนเสาเข็มให้เสร็จแล้วจึงติดตั้งค้ำยันในบริเวณตรงกลาง จากนั้นขยายการขุดดินออกไปโดยรอบจนชิดแนวกำแพงกันดิน พร้อมกับตัดทอนเสาเข็มส่วนที่เหลือรีบติดตั้งเวลและค้ำยันที่เหลือให้แล้วเสร็จแล้วจึงทำการอัดแรงในค้ำยันทันที (3) ทำการขุดสำหรับในชั้นตอนที่เหลือตามลำดับของทั้งสองโซน ( ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.8 และ 3.9 ) อนึ่งการเว้นระยะคันดินโดยทั่วไปเกือบจะอยู่ในแนวตั้งของเสาเข็มเจาะที่ยังไม่ได้ตัดทอน

2. การอัดแรงในค้ำยัน (preloading of strut) ในขั้นตอนการติดตั้งระบบค้ำยันแต่ละชั้นเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จได้ดำเนินการอัดแรงในค้ำยันทันทีโดยใช้ Hydraulic jack 2 ตัว ทำการอัดแรงทั้งสองปลายของค้ำยันพร้อมกัน โดยทำรอยต่อตัดขาดที่ติดตั้ง Kirin Jack เมื่ออัดแรงแล้วเสร็จทำการดอก Kirin Jack ที่รอยต่อตัดขาดให้แน่น ในระหว่างการอัดแรงได้บันทึกค่าแรงดันและปริมาณการเคลื่อนตัวของปลายค้ำยันทั้งสองข้าง เพื่อตรวจสอบว่าการอัดแรงนั้นได้ผลหรือไม่ การอ่านค่าแรงดันในระหว่างการอัดแรงจะอ่านจาก Pressure gauge ส่วนปริมาณการเคลื่อนตัวของปลายค้ำยันทั้งสองข้าง จะทำการอ่านจากไม้บรรทัด ( มีความละเอียดเพียงมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ) ซึ่งได้จากการวัดระยะจากแนวถอยร่น ( off-set ) โดยการชั่งเชือกเอ็น ปริมาณของการอัดแรงในค้ำยันแต่ละตัว ( % of preloading ) ได้จากการคำนวณตาม Apparent pressure diagrams ที่เสนอโดย Terzaght & Peck (1957) ในปริมาณ 30% โดยคติน้ำหนักบรรทุกบนผิวดินเท่ากับ 2 ตัน/ตร.ม.

3. การเทคอนกรีตหยาบ เมื่อการขุดดินชั้นสุดท้ายแล้วเสร็จ โดยที่คอนกรีตหยาบหนา 15 ซม. และเสริมเหล็กตะแกรง 0.12 มม. ระยะ 20 ซม. จำนวนสองชั้นด้วยเหตุผลสองข้อ คือ (1) ช่วยป้องกันปัญหาการอูดขึ้น ( Up heave ) ของพื้นป่อขุด (2) ช่วยเป็นตัวค้ำยันให้กำแพงกันดิน และ (3) ช่วยให้การทำงานในการตัดทอนเสาเข็มมีสะดวกขึ้น

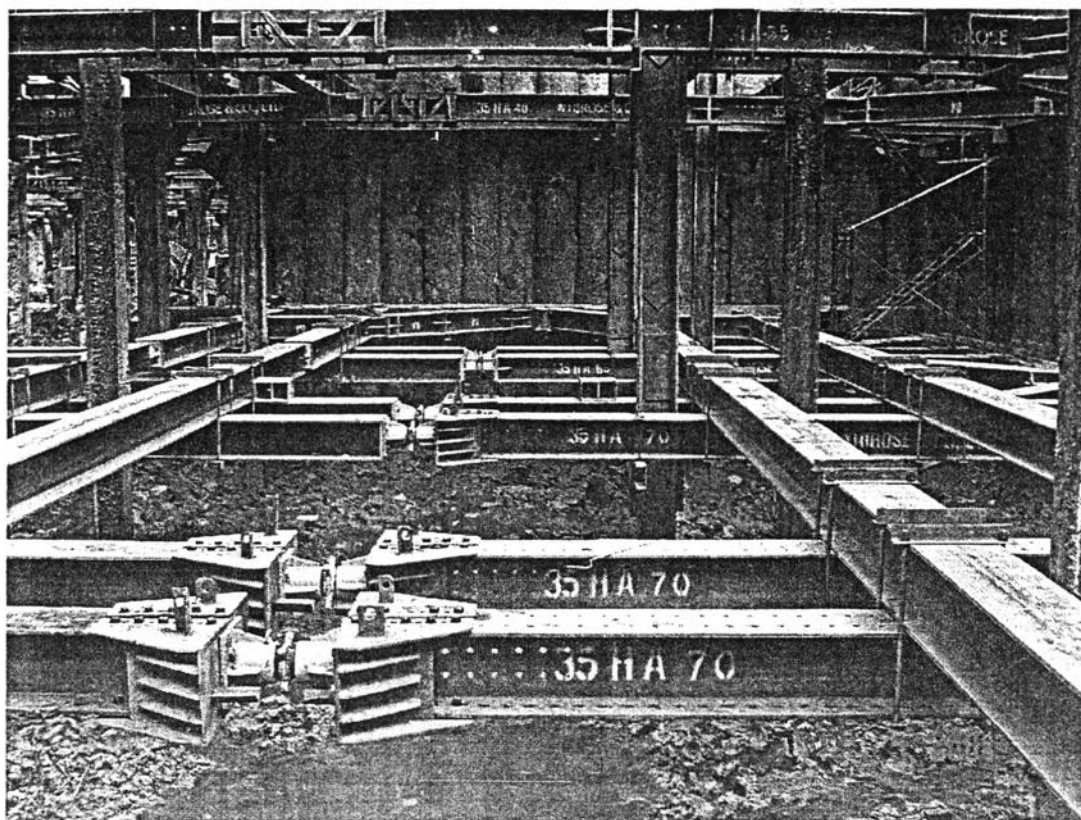
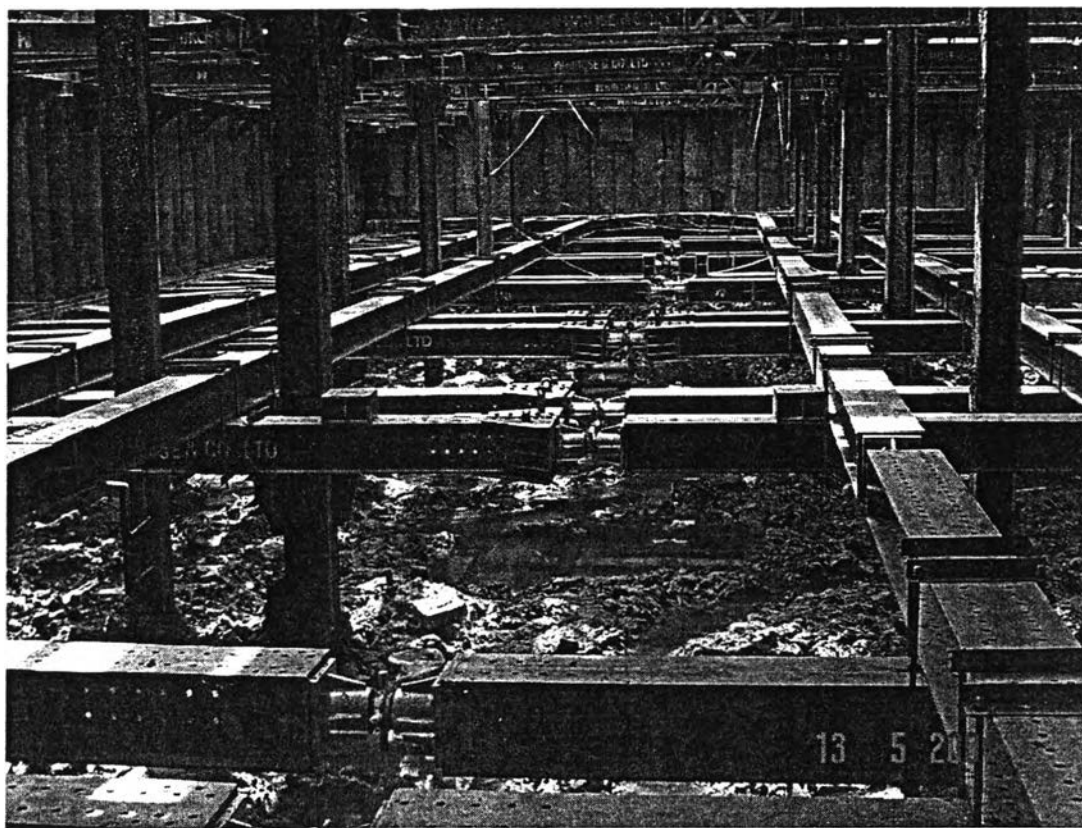


รูปที่ 3.11 แสดงการติดตั้ง Wale ของระบบค้ำยัน

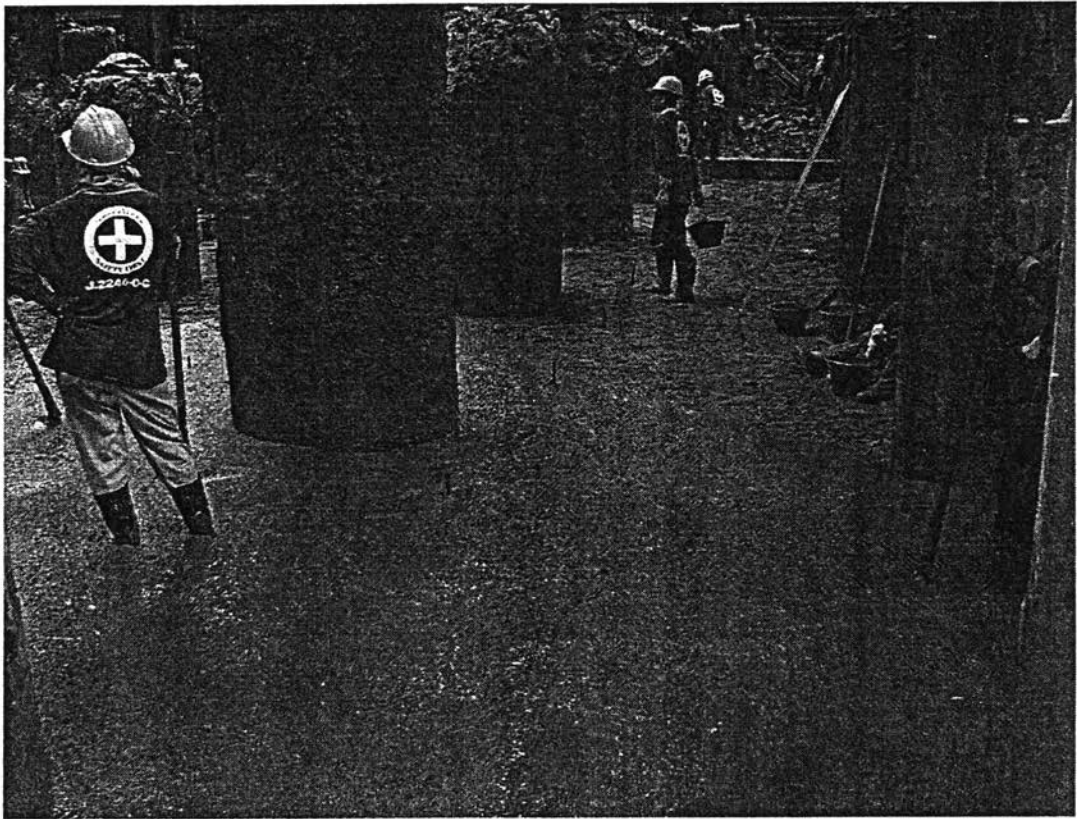


รูปที่ 3.12 แสดงการติดตั้ง Strut ของระบบค้ำยัน





รูปที่ 3.13 แสดงการอัดแรงใน Strut ของระบบค้ำยัน



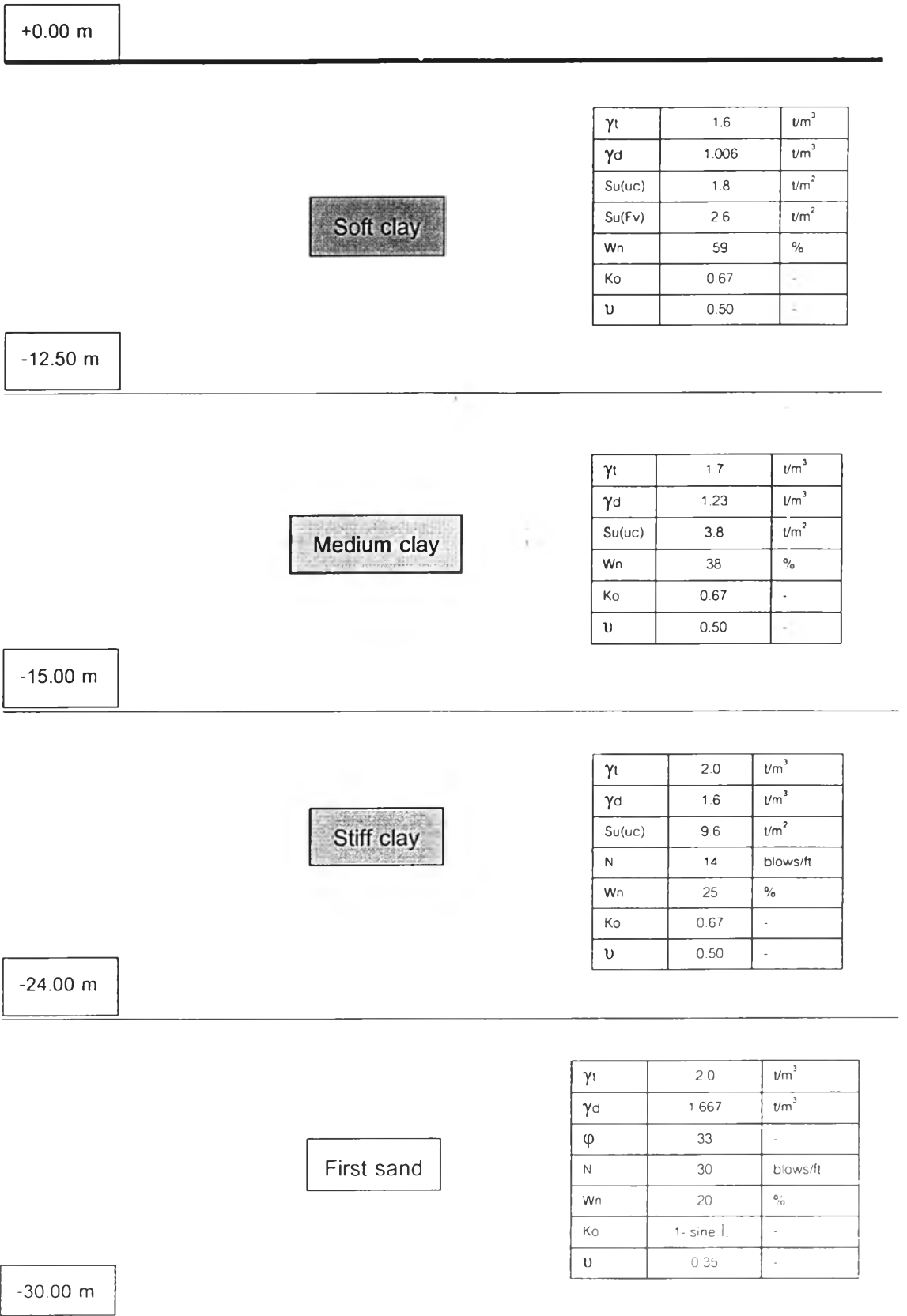
รูปที่ 3.14 แสดงการเทคอนกรีตหยาบ (Lean Concrete)

### 3.5 ลักษณะชั้นดินของโครงการที่ดำเนินการวิจัย

โครงการก่อสร้าง THE PARK CHIDLUM นี้ มีลักษณะของชั้นดินในบริเวณสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งได้จากการเจาะสำรวจดินจำนวน 3 หลุมคือ BH-1 BH-2 และ BH-3 ตามตำแหน่งที่ระดับความลึก การขุดเจาะประมาณ 50 – 60 เมตร จากระดับผิวดิน ( ดังแสดงรูปที่ 3.2 ) พบว่าสภาพชั้นดิน ประกอบด้วย ดังนี้

- (1) ชั้นดินเหนียวอ่อนสีเทา ( Soft grey clay ) มีความลึกประมาณ 12-15 เมตร จากระดับของผิวดิน โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ( Water content , Wn ) อยู่ระหว่าง 45-75 % และมีค่ากำลังเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( Undrained Shear Strength . Su ) อยู่ระหว่าง  $0.50 - 3.0 \text{ t/m}^2$
- (2) ชั้นดินเหนียวอ่อนปานกลางถึงแข็ง ( Medium to stiff silty clay ) มีความลึกประมาณ 22.50 – 24 เมตร จากระดับผิวดิน โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ( Water content, Wn ) ระหว่าง 18-25 % ค่ากำลังเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( Undrained Shear Strength, Su ) มีค่าอยู่ระหว่าง  $3.50 - 15.0 \text{ t/m}^2$  และมีค่าจากการทดสอบ SPT N-value อยู่ที่ค่าประมาณ 8 - 25 blows/ft
- (3) ชั้นทรายชั้นแรก ( First silty sand ) มีความหนาของชั้นอยู่ที่ความลึกประมาณ 28-34 เมตร จากระดับของผิวดิน โดยมีค่าจากการทดสอบ SPT N-value ที่ประมาณระหว่างค่า 23 - 30 blows/ft
- (4) ชั้นดินเหนียวแข็งมาก ( Stiff to hard silty clay ) อยู่ที่ความลึกประมาณ 49.50 เมตร จากระดับผิวดิน โดยมีค่าจากการทดสอบ SPT N-value ที่ค่าประมาณ 11 - 45 blows/ft
- (5) ชั้นทรายชั้นที่สอง ( Second silty sand layer ) มีความลึกลงถัดลงไปจนถึงระดับสิ้นสุดของการเจาะสำรวจที่ความลึก 60 เมตร จากระดับของผิวดิน โดยมีค่าจากการทดสอบ SPT N-value ที่ค่าประมาณ 48 blows/ft

จากการเจาะสำรวจดินโครงการก่อสร้าง THE PARK CHIDLUM รายละเอียดของชั้นดินและคุณสมบัติของชั้นดิน ( ดังแสดงรูปที่ 3.15 )



รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะและคุณสมบัติชั้นดินของโครงการ THE PARK CHIDLUM



### 3.6 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบในสนาม

โครงการ THE PARK CHIDLOM ที่ทำการวิจัยในครั้งนี้ได้มีการดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงกันดินระบบ Secant pile wall , วัดปริมาณการทรุดตัวที่ผิวดินและวัดแรงในค้ำยัน โดยที่ตำแหน่งและรายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์มีดังนี้

#### 3.6.1 การติดตั้งอุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัวด้านข้าง ( Inclinator )

การติดตั้ง Inclinator ของโครงการวิจัยในครั้งนี้ จากการตรวจสอบโครงการพบว่ามี การติดตั้งไว้ใน Secant pile wall จำนวน 3 ตำแหน่ง คือ I-6, I-7, I-8 และได้ทำการติดตั้งเพิ่มอีก จำนวน 5 ตำแหน่ง คือ I-1, I-2, I-3, I-4 และ I-5 โดยติดตั้งไว้บริเวณโดยรอบด้านหลังของกำแพง Secant pile wall ซึ่งมีความยาวเท่ากับ ความยาวของ Secant pile wall โดยแยกเป็นการติดตั้งใน โชนแรกจำนวน 5 จุด คือ I-3, I-4, I-5, I-6 และ I-7 และโชนสองจำนวน 3 จุด คือ I-1, I-2 และ I-8 ( ดังแสดงในรูปที่ 3.16 ) ซึ่งในการวัดปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงกันดินได้ทำการ จดบันทึกทุกๆลำดับขั้นตอนของการก่อสร้าง

##### 3.6.1.1 ชนิดของอุปกรณ์

Inclinator ที่ติดตั้งในการวิจัยนี้เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Sinco ของ USA. ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน ( ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ) คือ

- (1) หัวส่งหรือ Sensor เป็นรุ่น Model 50325 สามารถป้องกันน้ำได้ขณะที่ทำการวัดค่า การเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงกันดิน
- (2) จอแสดงผลหรือ Digital indicator อ่านค่าได้ละเอียดถึง  $\pm 0.02$  มม. ต่อช่วงความ ลึก 500 มม.
- (3) สายเคเบิลและอุปกรณ์ช่วย (Cable and accessories) จะมีการทำเครื่องหมาย บอกระยะไว้ทุกๆ 2 ฟุต
- (4) ท่อวัดความเอียงและฝาปิด ( Casing of inclinometer tube and end cap ) เป็น ท่อ PVC มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ 59 และ 70 มม. แต่ละท่อ ยาว 6 เมตร ภายในท่อนี้จะถูกทำเป็นร่องจำนวน 4 ร่อง ในทิศทางตั้ง ฉากกัน ร่องนี้มีไว้สำหรับหย่อน Sensor ลงไป เพื่อทำการวัดปริมาณการเคลื่อน ตัวทางด้านข้างของกำแพงกันดิน

### 3.6.1.2 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์

การติดตั้ง Inclinometer ในการวิจัยนี้ ได้ติดตั้งไว้ด้านในและด้านหลังของ Secant pile wall โดยได้นำท่อเหล็กป้องกันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว ยาว 6 เมตร จำนวน 3 ท่อน ( รวมความยาว 18 เมตร ) จากนั้นทำการกดท่อเหล็กป้องกันนี้ลงไปจนถึงระดับลึกจากดินเดิมประมาณ 17-17.5 เมตร ด้วย Vibro hammer ขนาด 7 ตัน

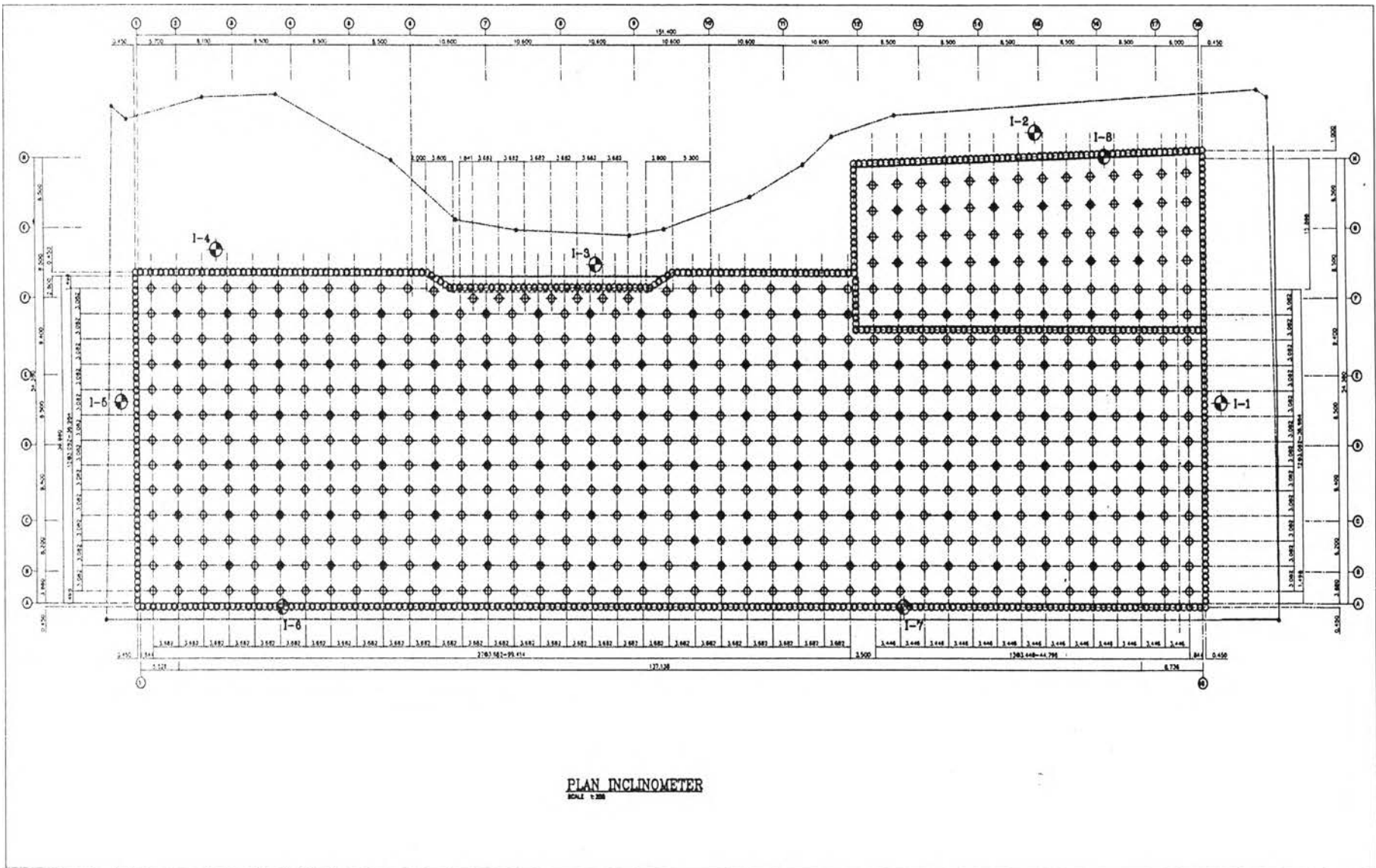
เมื่อจะติดตั้งท่อวัดความเอียง (Casing of Inclinometer) ทำโดยนำเบนโทไนท์สเลอรี่ ( ที่ใช้ในงานเสาเข็มเจาะทั่วไป ) อัตราส่วนผสมนี้ใช้ตามข้อเสนอแนะของชนะ (2534) จากนั้นรอกส่วนผสมของเบนโทไนท์สเลอรี่กับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ลงในท่อเหล็กป้องกัน นำท่อวัดความเอียงท่อนแรก ( ยาว 6 เมตร ) ซึ่งปลายล่างปิดปลายด้วยฝาปิดแล้ว ( โดยใช้กาว Solvent Cement, ยึดด้วย Revet และใช้เทปกาวพันรอบนอก ) ค่อยๆหย่อนลงไปในท่อเหล็กป้องกันระวังอย่าให้ท่อวัดความเอียงหลุดลงไป จากนั้นนำท่อวัดความเอียงท่อนที่ 2 มาต่อกับท่อนแรกด้วยปลอกของท่อวัดความเอียงโดยวิธีการเดียวกัน กดลงในส่วนผสมนำท่อวัดความเอียงท่อนที่ 3 มาต่อกับท่อนที่ 2 โดยวิธีการเดียวกัน กดลงไปจนกระแทกกับก้นของท่อเหล็กป้องกัน แล้วยึดปลายบนของท่อวัดความเอียงให้แน่น จากนั้นทิ้งไว้ราว 1 สัปดาห์ จะสามารถเริ่มวัดปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงกันดินได้

### 3.6.2 การติดตั้งหมุดวัดการทรุดตัวที่ผิวดิน ( Surface Settlement Points )

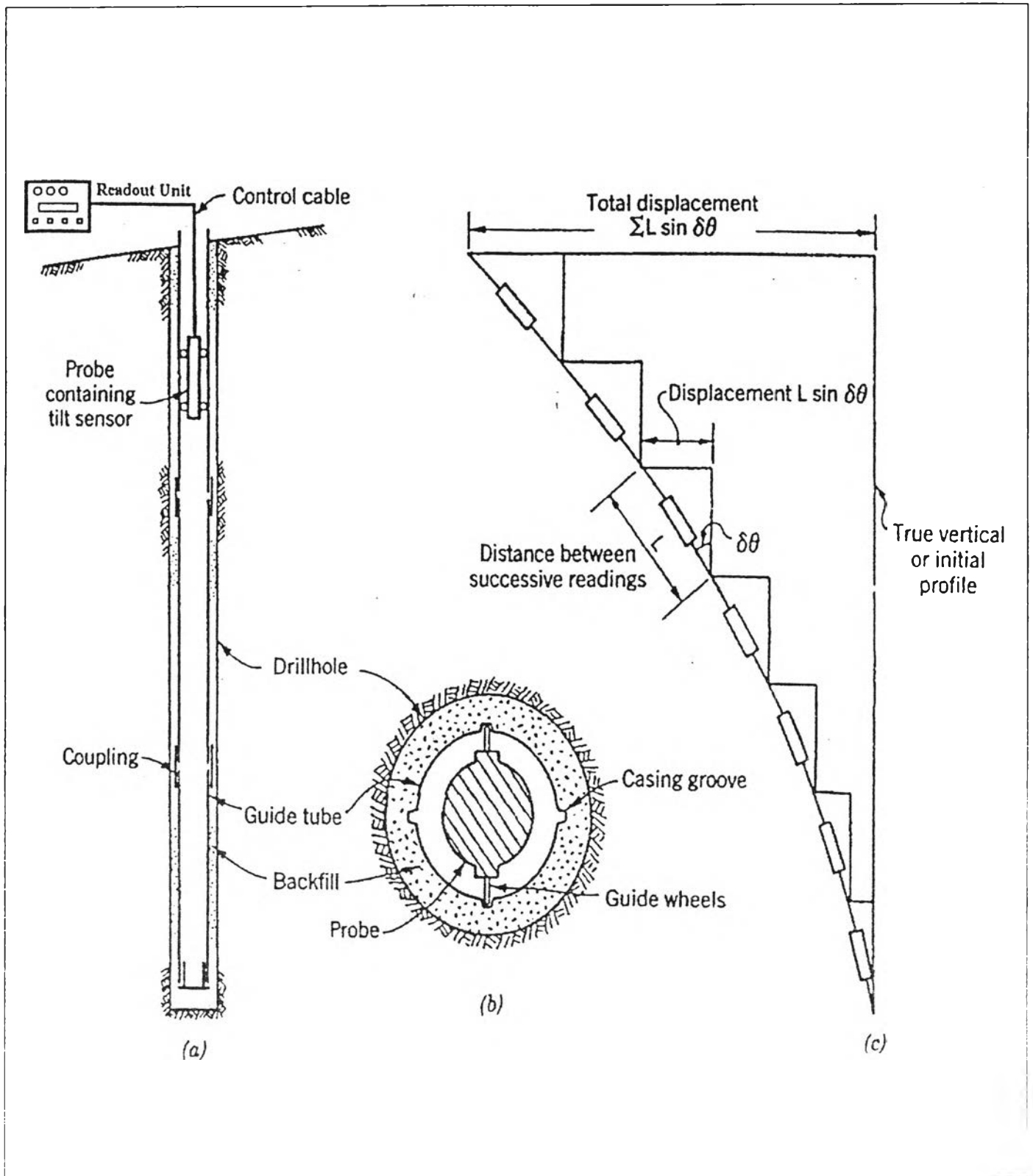
การติดตั้งหมุดวัดการทรุดตัวที่ผิวดินของโครงการวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการติดตั้งโดยรอบสถานที่ก่อสร้างตามความเหมาะสมของสภาพพื้นที่ เนื่องจากบริเวณรอบสถานที่ก่อสร้างมีพื้นที่ค่อนข้างจำกัด กล่าวคือ มีถนนและอาคารข้างเคียงโดยรอบทั้งสี่ด้านดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น โดยตำแหน่งในการติดตั้งหมุดวัดการทรุดตัวที่ผิวดินจะทำตามแนวถนน ( ดังแสดงในรูปที่ 3.18 )

### 3.6.3 การติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันในค้ำยัน ( Pressure Gauge )

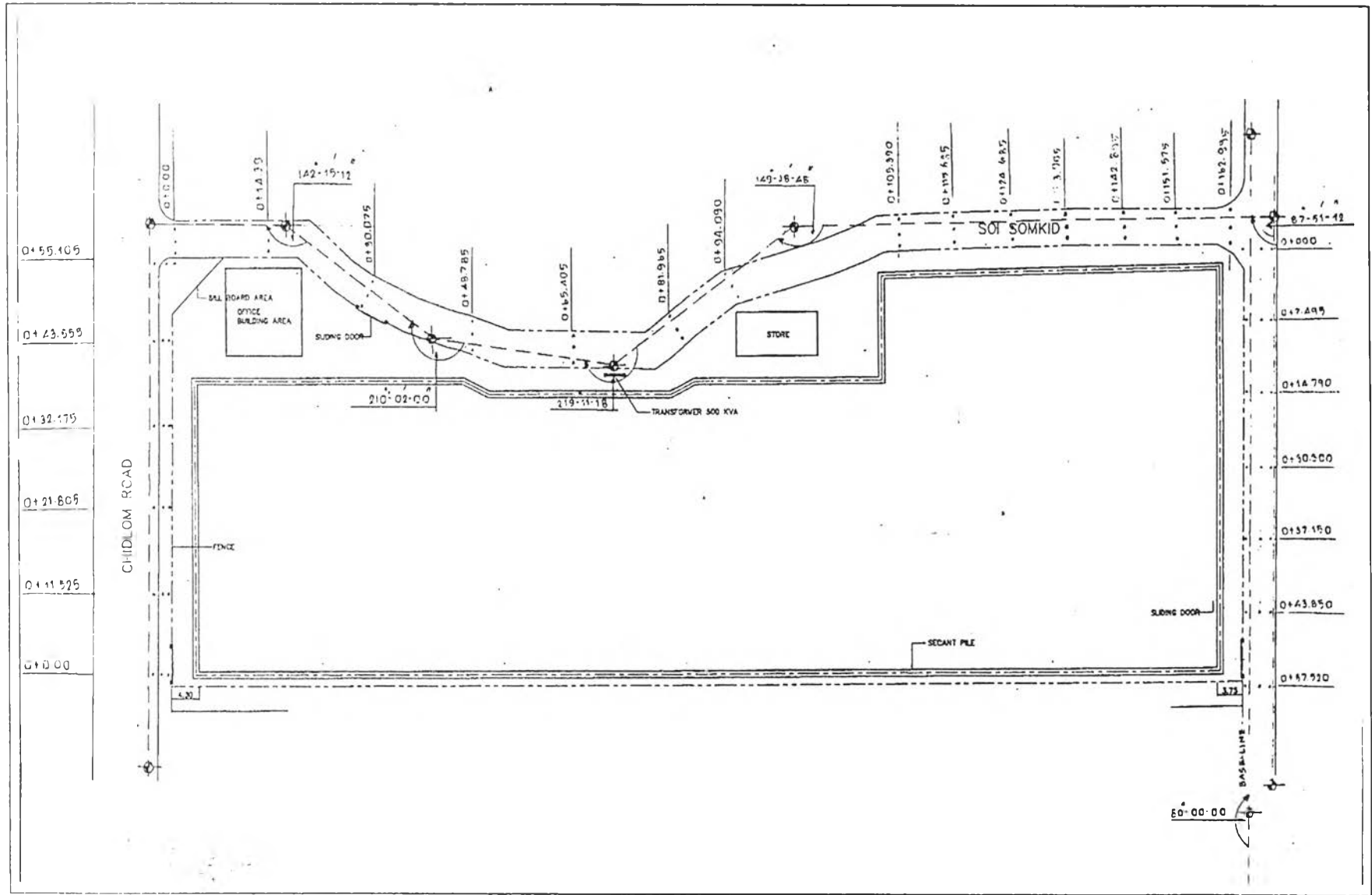
การติดตั้ง Pressure Gauge วัดแรงดันดินของโครงการวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการติดตั้งไว้กับค้ำยัน ( Strut ) โดยทำการติดตั้งจำนวน 3 ชั้น แต่ละชั้น 3 ตัว ซึ่งติดตั้งทั้งในแนวตามขวาง ( Transverse Strut ) และในแนวตามยาว ( Longitudinal Strut ) และจะทำการติดตั้งไว้บริเวณที่ใกล้กับกำแพงกันดินให้มากที่สุด ( ดังแสดงในรูปที่ 3.19 ) โดยในการจัดบันทึกข้อมูลกระทำการอ่านค่าทุกวันตลอดลำดับขั้นตอนของการก่อสร้าง



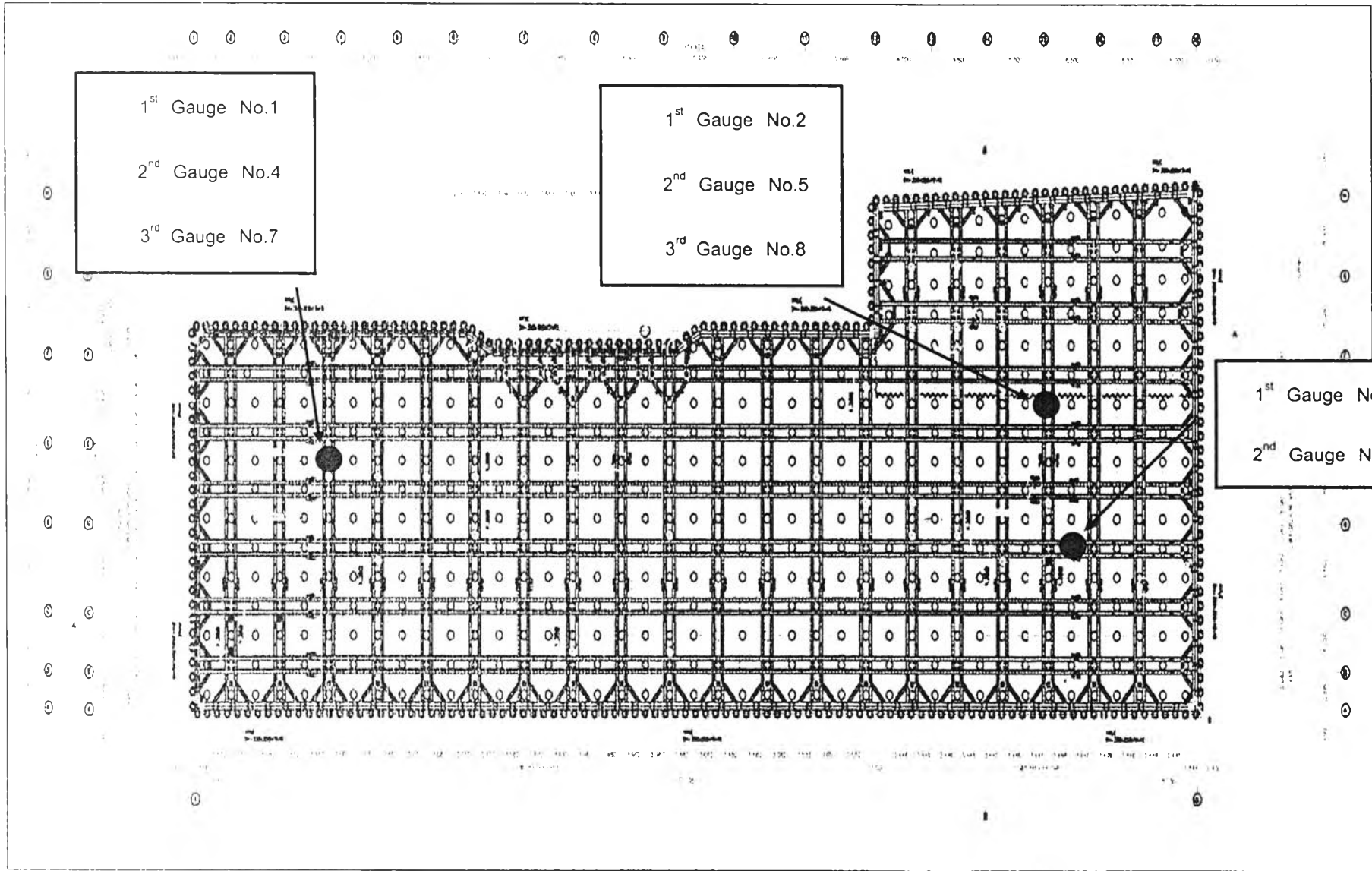
รูปที่ 3.16 แสดงตำแหน่งติดตั้ง Inclinometer ที่ดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3.17 แสดงส่วนประกอบของ Inclinometer ที่ดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3.18 แสดงตำแหน่งติดตั้ง Surface Settlement ที่ดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3.19 แสดงตำแหน่งติดตั้ง Pressure Gauge ที่ดำเนินการวิจัย