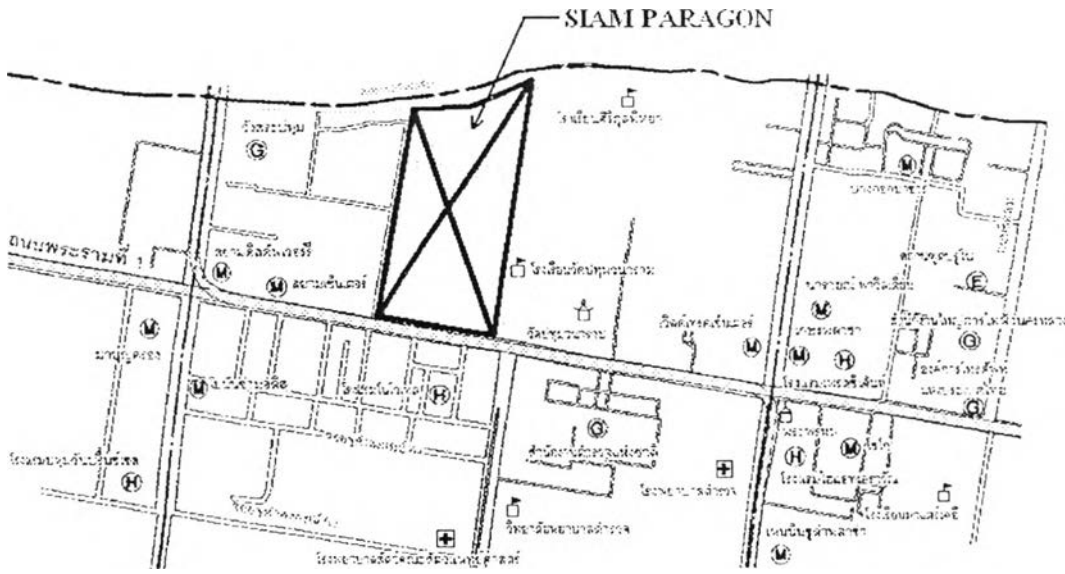
สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การเก็บและข้อมูลการวิจัย

3.1 ข้อมูลทั่วไป

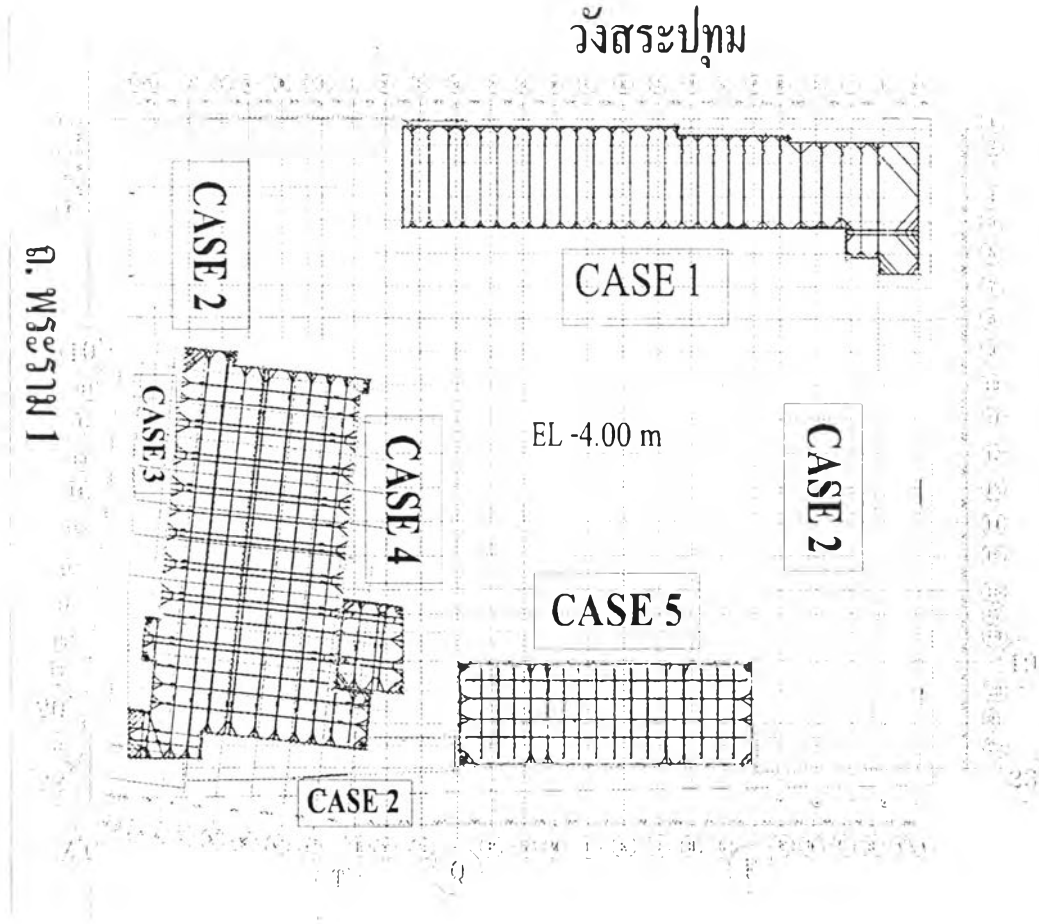
โครงการสยามพารากอน เป็นโครงการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 9 ชั้น ตั้งอยู่บนถนนพระราม 1 ใกล้สถานีรถไฟฟ้าสยาม ของ BTS กรุงเทพมหานคร แผนผังที่ตั้งโครงการแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังที่ตั้งของโครงการ

โครงการนี้ทำการก่อสร้างชั้นใต้ดินแบ่งเป็น 5 Case คือ Case ที่หนึ่งมีการขุดดินลึก 2 ระดับ คือประมาณ 4.00 เมตร และ 5.15 เมตร Case ที่สองมีการขุดดินลึกประมาณ 4.00 เมตร Case ที่สามและ Case ที่สี่ เป็นงานขุดเพื่อก่อสร้าง Aquarium มีการขุดดินลึกประมาณ 2.00 เมตร และ 10.55 เมตร ตามลำดับ และ Case ที่ห้าเป็นงานขุดเพื่อก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย มีการขุดดินลึกประมาณ 12.15 เมตร แผนผังโซนของการขุดดิน แสดงในรูปที่ 3.2

Aquarium เป็นระบบกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด ขุดดินลึก 10.55 เมตร และบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นระบบกำแพงกันดินชนิดไดอะแฟรม ทำการขุดดินระดับลึก 12.15 เมตร ซึ่งทั้ง Aquarium และบ่อบำบัดน้ำเสียนั้นมีระดับการขุดดินลึกใกล้เคียงกัน แต่มี Rigidity แตกต่างกัน



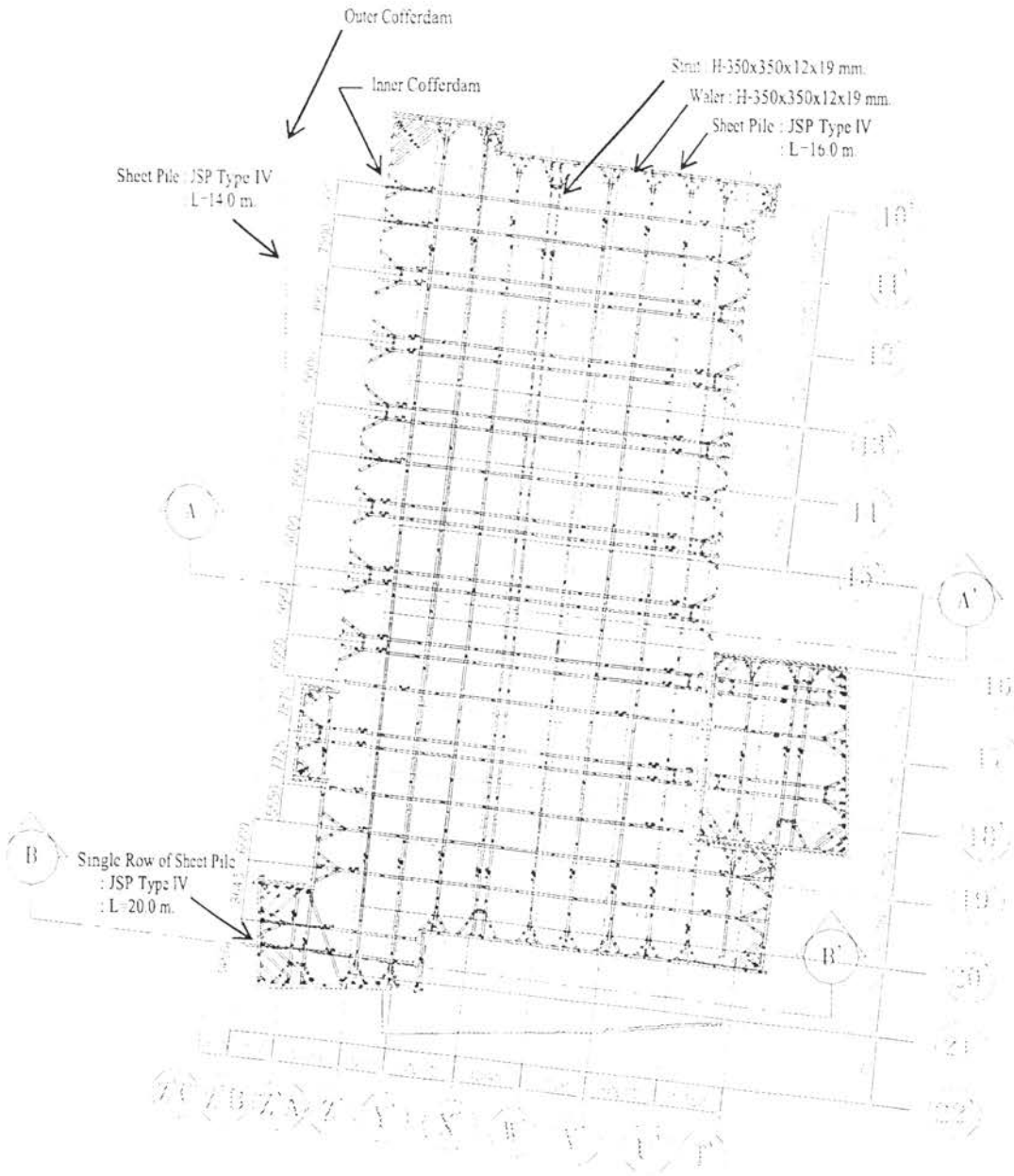
รูปที่ 3.2 แสดงแผนผังโซนของการขุดดิน

สำหรับข้อมูลที่ใช้เพื่อการวิจัยนี้ ได้มาจากงานขุดเพื่อการก่อสร้าง Aquarium มีพิกัด Grid Line ตามแนวนอนตั้งแต่ 10` ถึง 22` และมีพิกัด Grid Line ตามแนวตั้ง ตั้งแต่ Z`C ถึง T` เป็นระบบกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด ทำการขุดดินระดับลึกประมาณ 10.55 เมตร ซึ่งตำแหน่งงานขุดเพื่อการก่อสร้าง Aquarium นี้อยู่ใกล้กับเสาของรถไฟฟ้า BTS มาก นอกจากนี้ ยังได้ข้อมูลวิจัยมาจากงานขุดเพื่อการก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีพิกัด Grid Line ตามแนวนอนตั้งแต่ 19 ถึง 23 และมีพิกัด Grid Line ตามแนวตั้ง ตั้งแต่ Q ถึง F เป็นระบบกำแพงกันดินชนิดไดอะแฟรม ทำการขุดดินระดับลึกประมาณ 12.15 เมตร

3.2 รายละเอียดข้อมูลสำรวจ Aquarium

ระบบกำแพงกันดินเพื่อการก่อสร้าง Aquarium นั้น เป็นระบบกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด ซึ่งมีทั้งแบบ Cofferdam และ Single Row ระบบเข็มพืดแบบ Cofferdam นั้นมีพิกัด Grid Line ตามแนวนอนตั้งแต่ 10` ถึง 20` ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ใกล้กับเสาของรถไฟฟ้า BTS มาก ซึ่งส่วนของ Outer

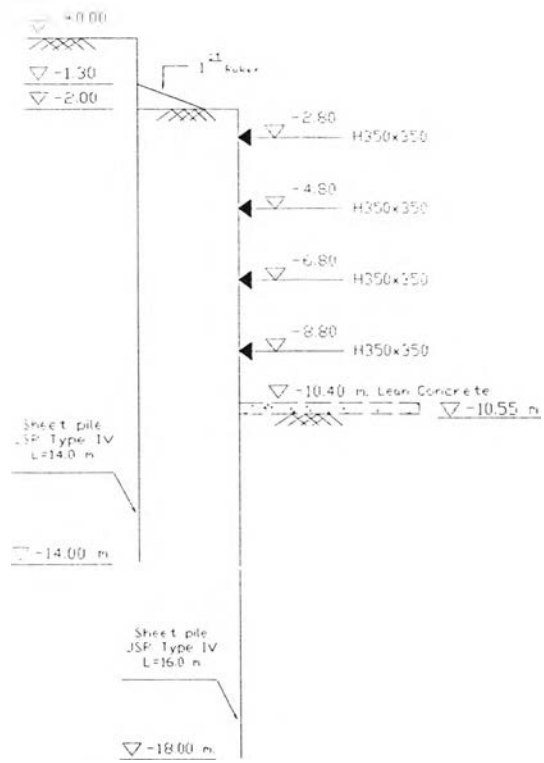
Cofferdam ที่อยู่ใกล้ขอบ Footing รถไฟฟ้า BTS มากที่สุด ห่างจากขอบ Footing ของเสารถไฟฟ้า BTS แค่เพียง 5.0 เมตร เท่านั้น ส่วนระบบเข็มพืดแบบ Single Row มีพิกัด Grid Line ตามแนวนอน ตั้งแต่ 20` ถึง 22` แผนผังแสดงการติดตั้งกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด และระบบค้ำยันของการก่อสร้าง Aquarium แสดงในรูปที่ 3.3



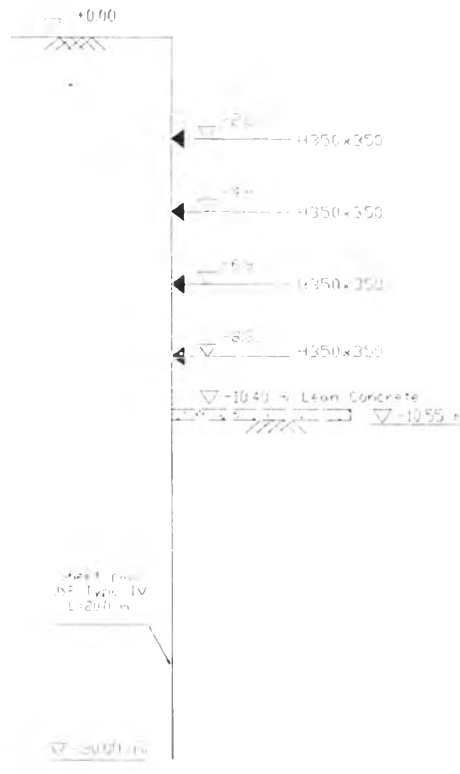
รูปที่3.3 แผนผังแสดงการติดตั้งกำแพงกันดินชนิดเข็มพืดและระบบค้ำยันของการก่อสร้าง Aqarium

3.2.1 รายละเอียดการก่อสร้างในส่วนงานขุดดินระดับลึก

การก่อสร้างชั้นใต้ดินของโครงการสยามพารากอนในส่วนของ Aquarium นั้น ใช้ระบบค้ำยันเข็มพืด (Sheet Pile Bracing System) จำนวน 4 ชั้น ขุดดินลึก 10.55 เมตร ในส่วนของการก่อสร้างระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Cofferdam นั้นใช้ชนิด JSP Type IV มี 2 ความยาวคือ (1) ยาว 16.0 เมตร ใช้เป็นเข็มพืดชั้นใน (Inner Cofferdam) ปลายบนอยู่ที่ระดับ - 2.00 เมตร และปลายล่างอยู่ที่ระดับ - 18.0 เมตร และ (2) ยาว 14.0 เมตร ใช้เป็นเข็มพืดชั้นนอก (Outer Cofferdam) ปลายบนอยู่ที่ระดับ + 0.00 เมตร และปลายล่างอยู่ที่ระดับ -14.0 เมตร รูปตัดด้านข้างในแนว A-A` ของระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Cofferdam แสดงไว้ในรูปที่ 3.4 ส่วนการก่อสร้างระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Single Row นั้นใช้ชนิด JSP Type IV ยาว 20.0 เมตร ปลายบนอยู่ที่ระดับ + 0.00 เมตร และปลายล่างอยู่ที่ระดับ -20.0 เมตร รูปตัดด้านข้างในแนว B-B` ของระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Single Row แสดงไว้ในรูปที่ 3.5 ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Cofferdam แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Single Row แสดงไว้ในรูปที่ 3.7 รายละเอียดของระบบโครงสร้างค้ำยัน มีดังนี้



รูปที่ 3.4 แสดงรูปตัดด้านข้างแนว A-A` ในรูปที่ 3.3 ของระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Cofferdam ในการก่อสร้าง Aquarium



รูปที่ 3.5 แสดงรูปตัดด้านข้างแนว B-B' ในรูปที่ 3.3 ของระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Single Row ในการก่อสร้าง Aquarium

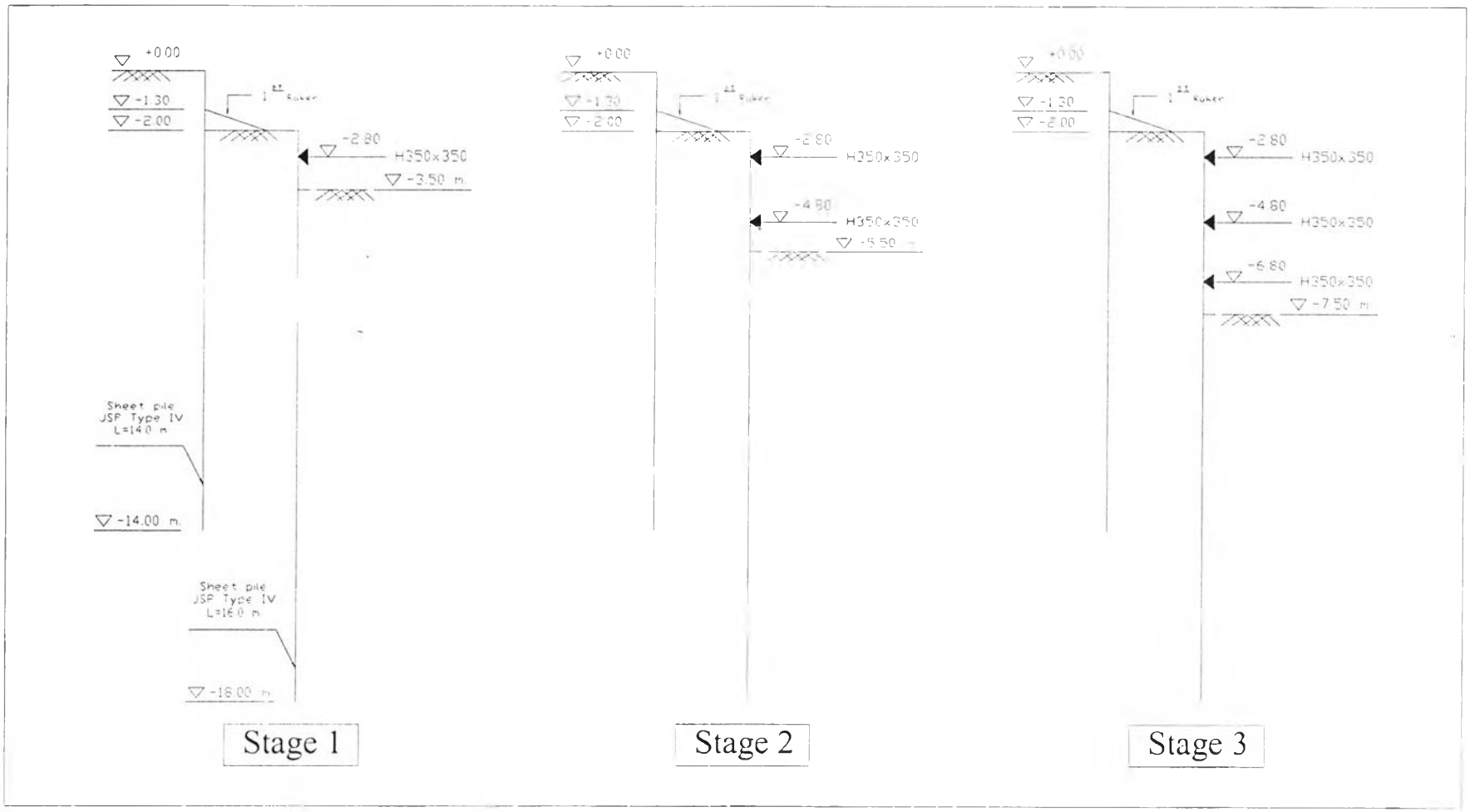
1. Horizontal Strut และWale ใช้เหล็ก H-Beam ขนาด H-350x350x12x19 มิลลิเมตร ใช้ค้ำยันจำนวน 4 ชั้น ที่ระดับความลึกเท่ากับ –2.8 เมตร , -4.8 เมตร, -6.8 เมตร และ -8.8 เมตร ตามลำดับ

2. Raking Strut และWale ใช้เหล็ก H-Beam ขนาด H-350x350x12x19 ใช้ค้ำยันจำนวน 1 ชั้น ที่ระดับความลึกจากดินเดิมเท่ากับ –1.3 เมตร

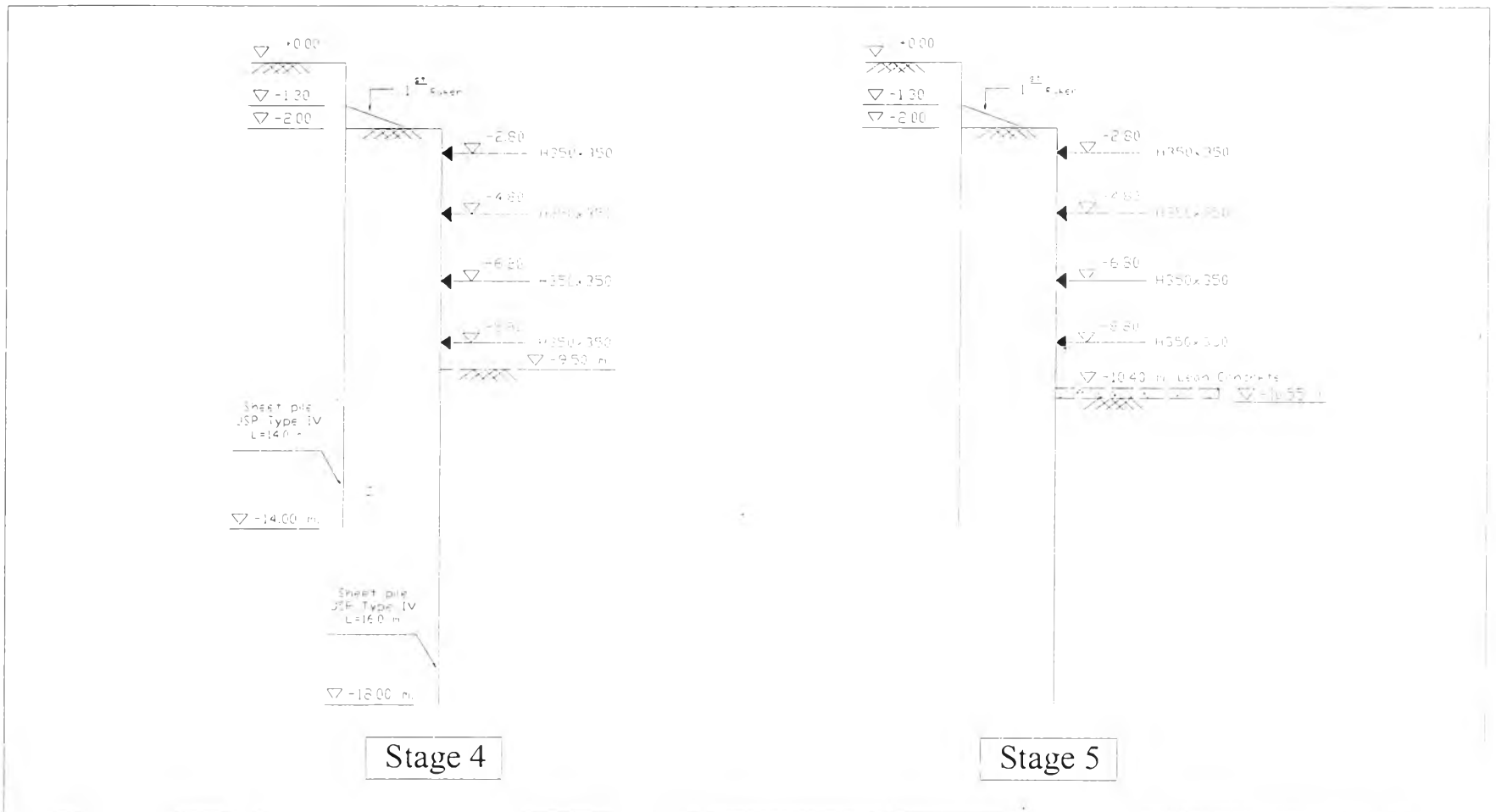
3.2.2 สภาพชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน

โครงการสยามพารากอน ได้มีการเจาะสำรวจดิน จำนวน 3 หลุม โดยในการทำการวิจัยงานขุดเพื่อการก่อสร้าง Aquarium นี้ ได้เลือกใช้ข้อมูลดินของหลุมเจาะที่อยู่ใกล้กับบ่อขุดมากที่สุด คุณสมบัติของดินเมื่อเรียงลำดับจากส่วนบนลงล่าง แสดงดังตารางที่ 3.1

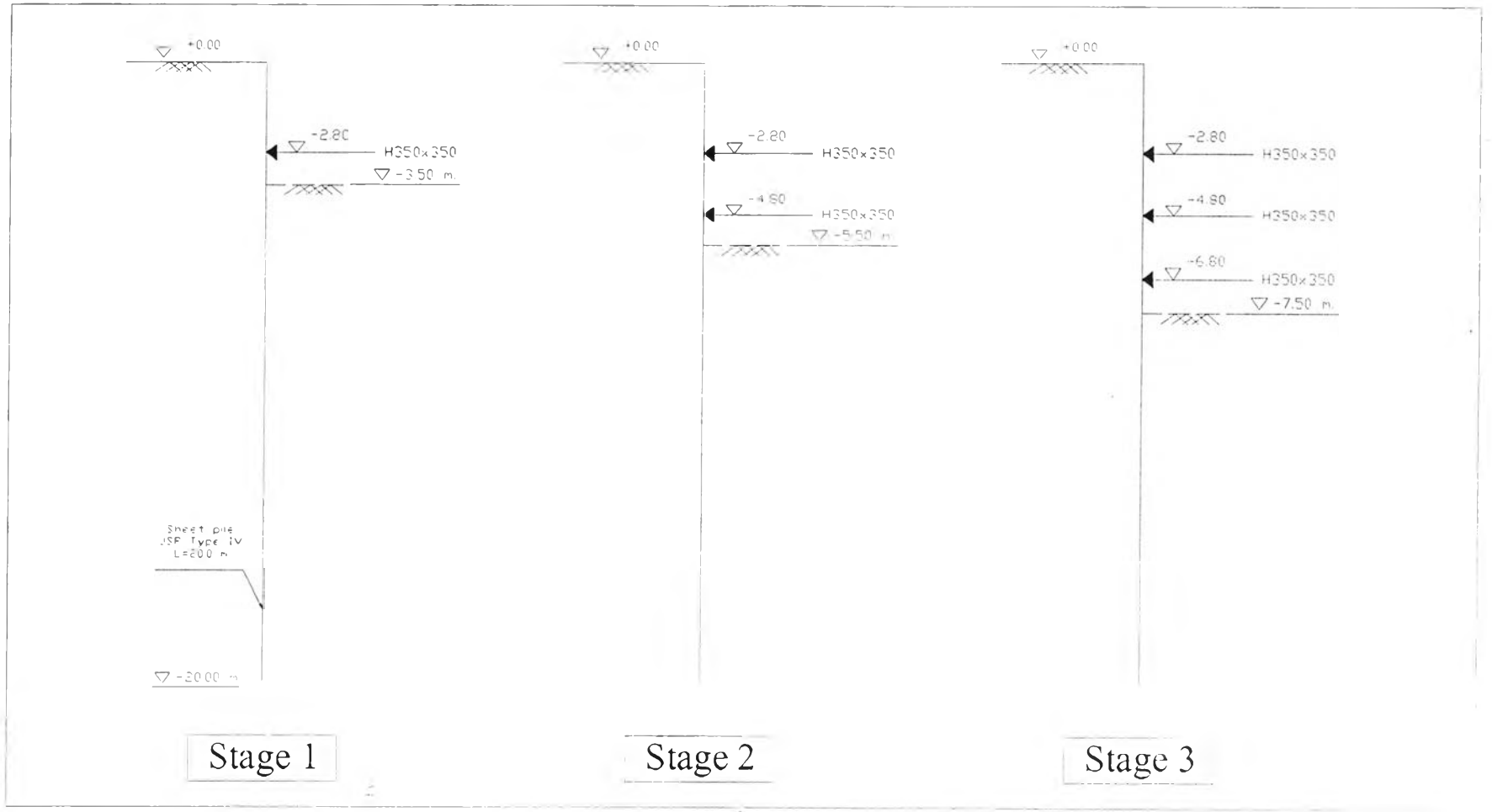
กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ของชั้นดิน Soft Clay และ Medium Clay นั้น ได้มาจากการทดสอบแบบเวนในสนาม ส่วนกำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่



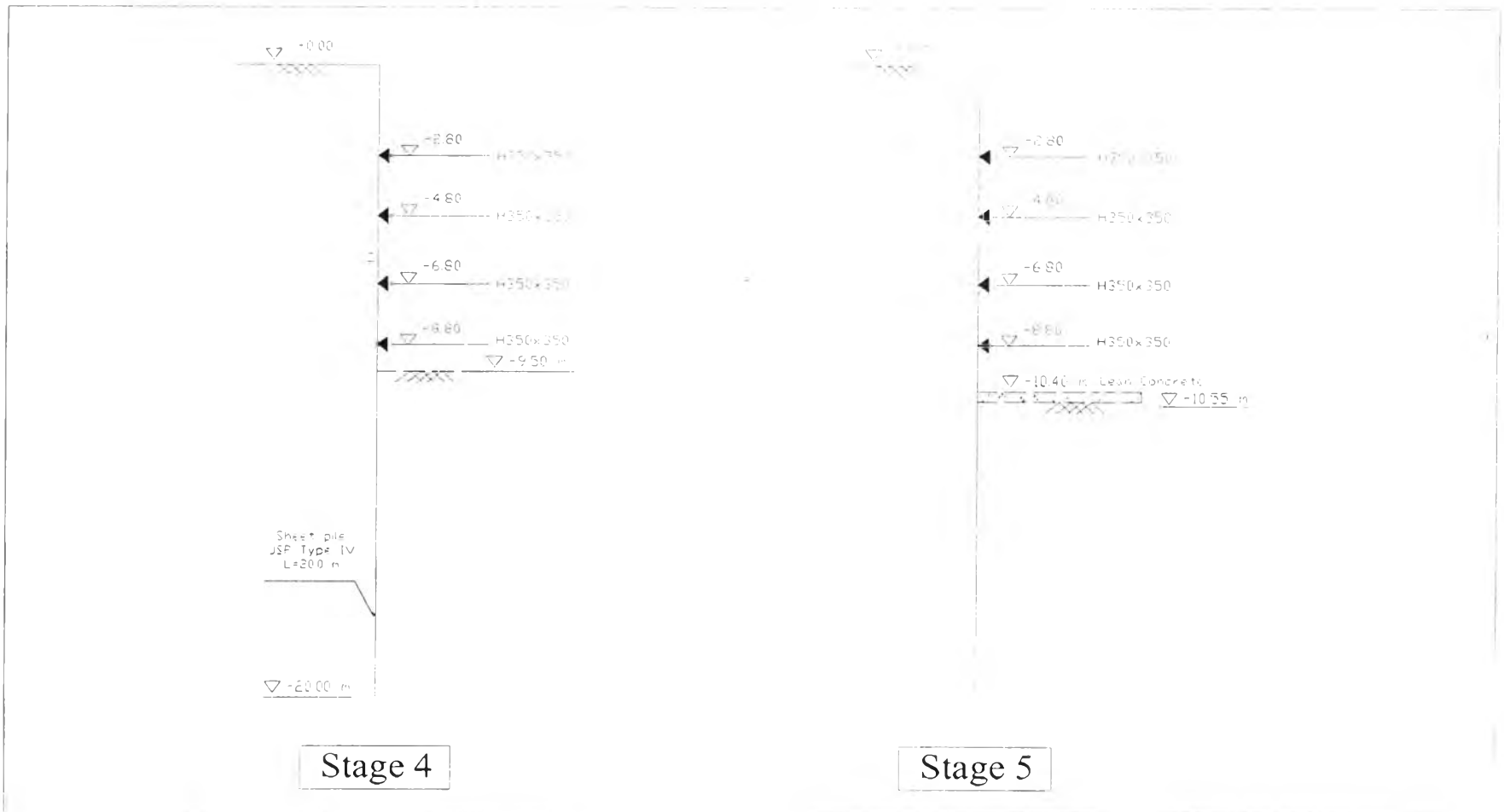
รูปที่ 3.6 แสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Cofferdam (รูปตัดด้านข้างแนว A-A` ในรูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.6 (ต่อ) แสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Cofferdam (รูปตัดด้านข้างแนว A-A` ในรูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.7 แสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Single Row (รูปตัดด้านข้างแนว B-B' ในรูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.7 (ต่อ) แสดงลำดับขั้นตอนการก่อสร้างระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Single Row (รูปตัดด้านข้างแนว B-B' ในรูปที่ 3.3)

ระบายน้ำ (S_u) ของชั้นดิน Stiff Clay และ Hard Clay นั้น ได้มาจากการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิจัยงานขุดเพื่อการก่อสร้าง Aquarium

Depth (m)	Soil Type	Unit Weight (kN/m^2)	Undrained Shear Strength (kN/m^3)	Natural Water Content (%)
0 – 9.5	Soft Clay	16	17	60 – 80
9.5 – 13.0	Medium Clay	17	39	60
13.0 – 22.0	Stiff Clay	20	130	25
22.0 – 30.0	Hard Clay	22	185	20

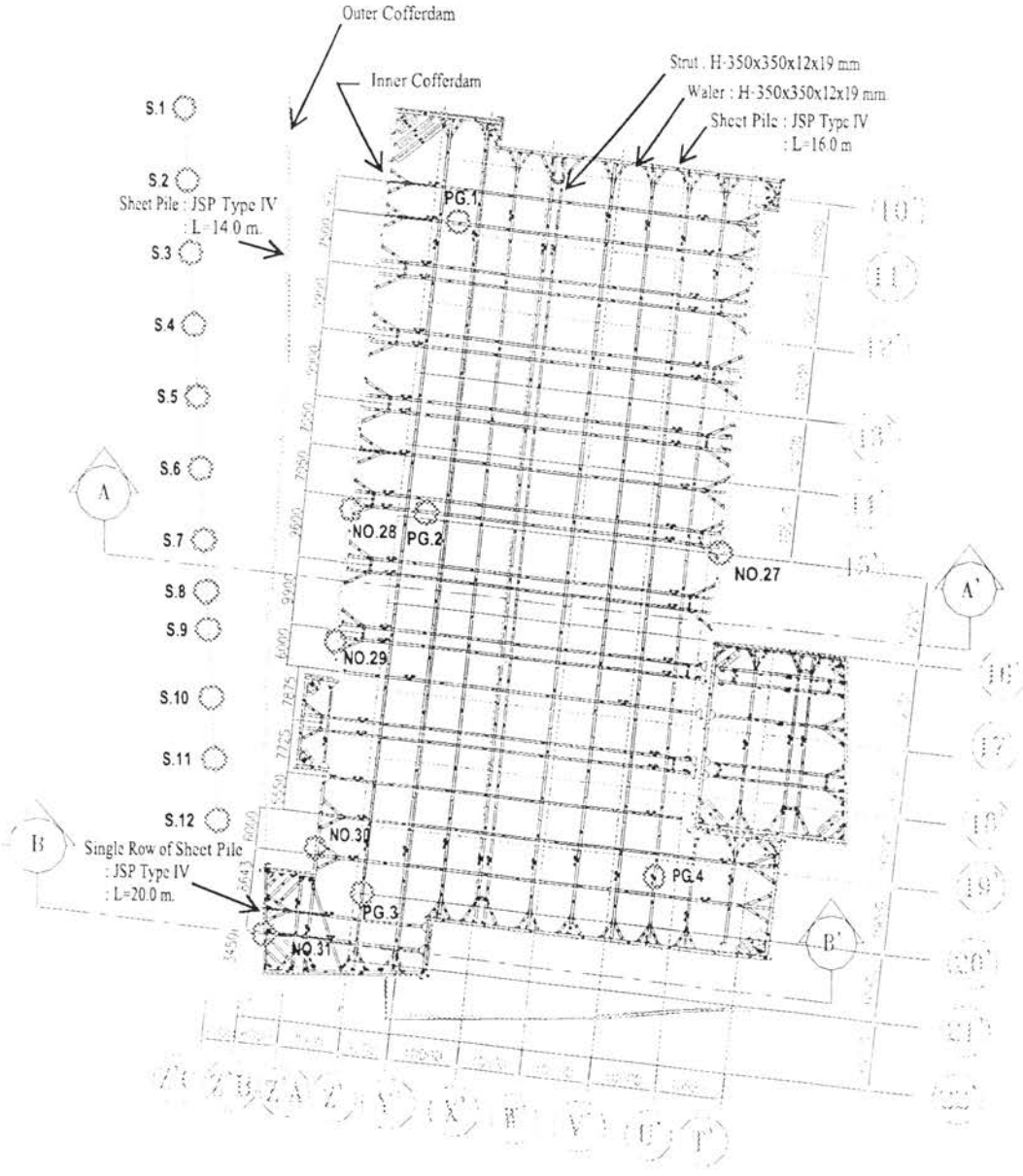
3.2.3 ข้อมูลการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงกันดินจากเครื่องมือ Inclinometer

งานขุดเพื่อการก่อสร้าง Aquarium นี้ ได้ติดตั้งเครื่องมือ Inclinometer รอบบ่อขุด จำนวน 5 ตัว ได้แก่ No.27 , NO.28 , NO.29 , NO.30 และ NO.31 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Inclinometer แสดงในรูปที่ 3.8 ข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินที่นำมาใช้เพื่อการวิจัยคือ ข้อมูลของครื่องมือที่ตำแหน่ง No.29 ซึ่งอยู่ใกล้กับจุดตัดของ Grid Line 16` – Z`A จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบเข็มพืดแบบ Cofferdam ข้อมูลการเคลื่อนตัวของระบบเข็มพืดแบบ Cofferdam แสดงไว้ในรูปที่ 3.9 ส่วนข้อมูลของเครื่องมือที่ตำแหน่ง No.31 ซึ่งอยู่ใกล้กับจุดตัดของ Grid Line 21` – Z`B จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบเข็มพืดแบบ Single Row ข้อมูลการเคลื่อนตัวของระบบเข็มพืดแบบ Single Row แสดงไว้ในรูปที่ 3.10

จากรูปที่ 3.9 ซึ่งเป็นข้อมูลการเคลื่อนตัวด้านข้างของระบบเข็มพืด แบบ Cofferdam พบว่าในแต่ละขั้นตอนของการขุดนั้น การเคลื่อนตัวด้านข้างไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากในแต่ละขั้นตอนของการขุดนั้น สามารถทำการขุดและทำการติดตั้งค้ำยันได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งพบว่าค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างที่มากที่สุดเท่ากับ 24 มิลลิเมตร ที่ระดับ 5.6 เมตร จากผิวดิน

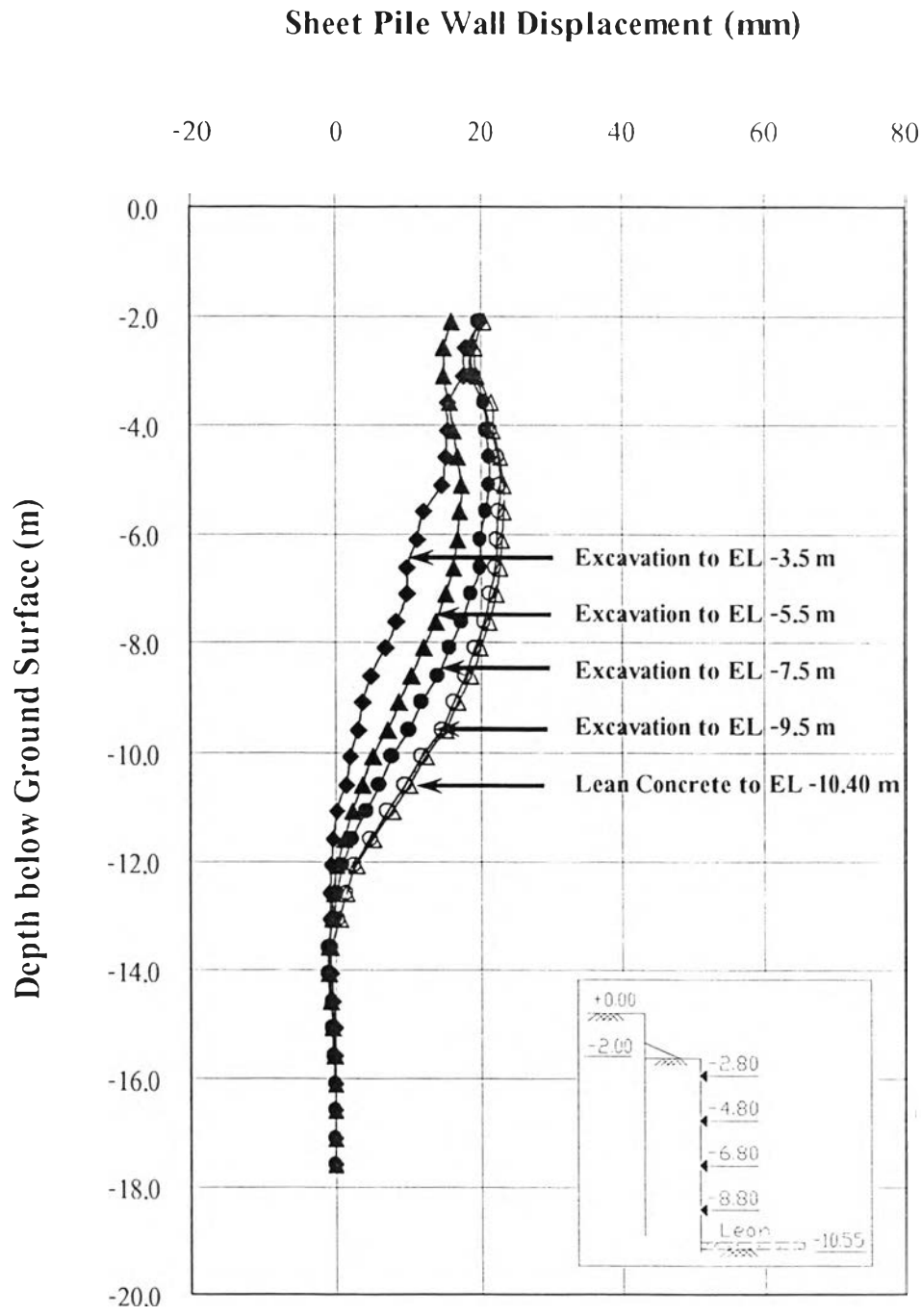
จากรูปที่ 3.10 ซึ่งเป็นข้อมูลการเคลื่อนตัวด้านข้างของระบบเข็มพืดแบบ Single Row พบว่าในแต่ละขั้นตอนของการขุดนั้นการเคลื่อนตัวด้านข้างไม่แตกต่างกันมากนักเช่นเดียวกันกับการเคลื่อนตัวของระบบเข็มพืดแบบ Cofferdam ยกเว้นในขั้นตอนการขุดเพื่อวางค้ำยันชั้นที่ 4

ซึ่งเกิดการเคลื่อนตัวด้านข้างอย่างมาก ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการการขุดดินช้ามากเกินไปและขุดแล้วไม่รีบวางค้ำยันชั้นที่ 4



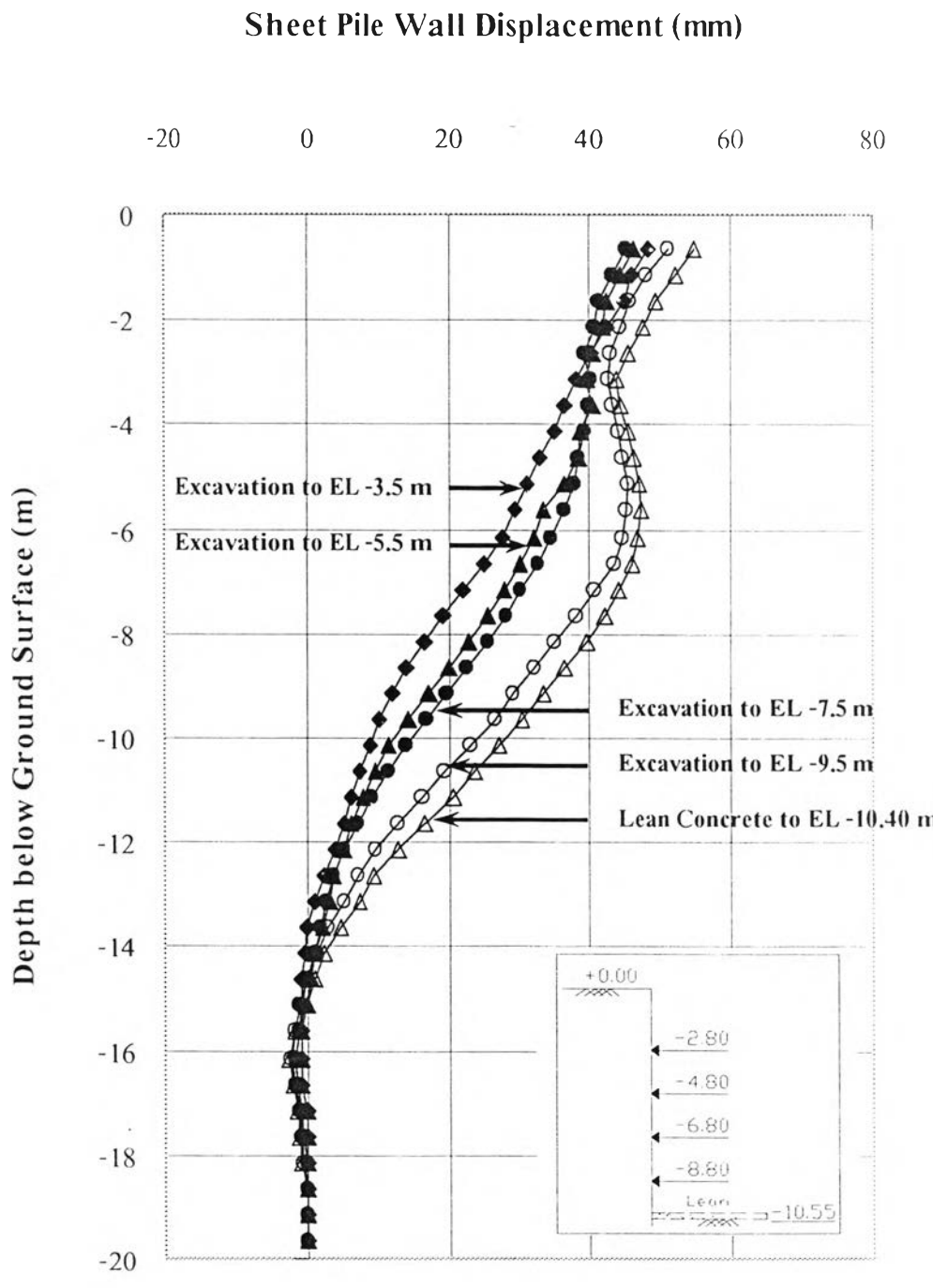
รูปที่ 3.8 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดการทรุดตัวที่ผิวดิน , Inclinometer และ Pressure Gauge ของการก่อสร้าง Aquarium

Inclinometer หมายเลข No.29 ระดับปลายล่างของ Inclinometer อยู่ที่ระดับ –18.0 เมตร ข้อมูลที่ได้จากการวัดแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงผลการวัดปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืดแบบ Cofferdam โดยอุปกรณ์ Inclinometer หมายเลข NO.29

Inclinometer หมายเลข No.31 ระดับปลายล่างของ Inclinometer อยู่ที่ระดับ -20.0 เมตร ข้อมูลที่ได้จากการวัดแสดงในรูปที่ 3.10



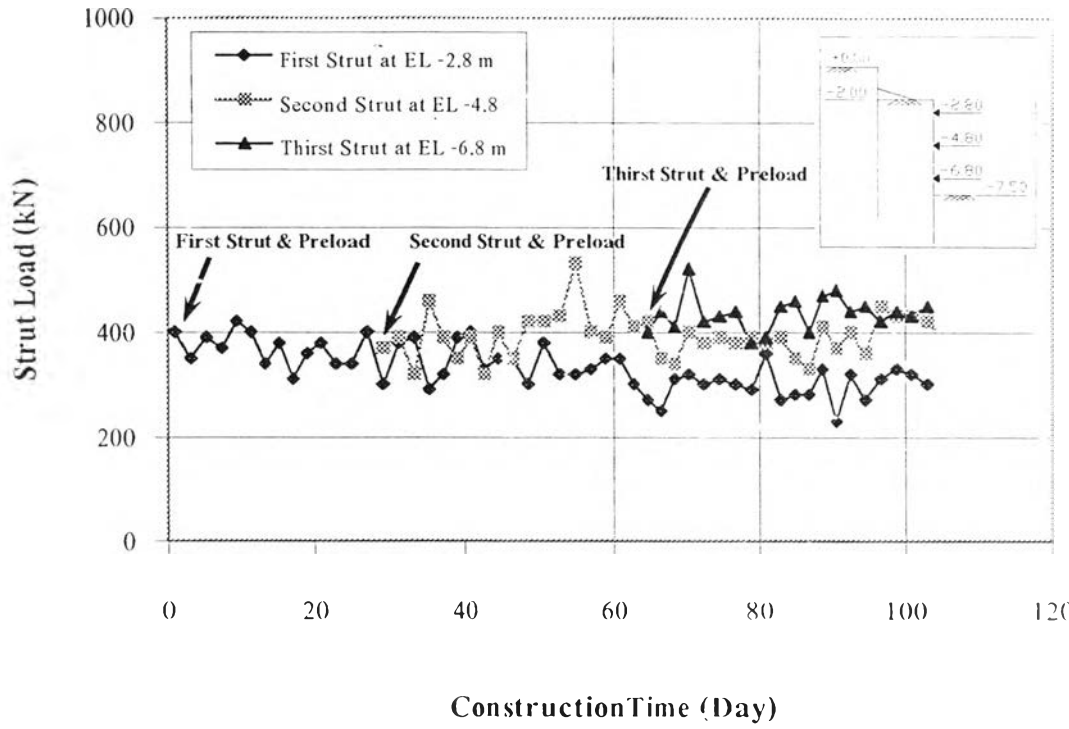
รูปที่ 3.10 แสดงผลการวัดปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดเข็มพืดแบบ Single Row โดยอุปกรณ์ Inclinometer หมายเลข NO.31

3.2.4 ข้อมูลการวัดแรงในระบบค้ำยันด้วยเครื่องมือ Pressure Gauge

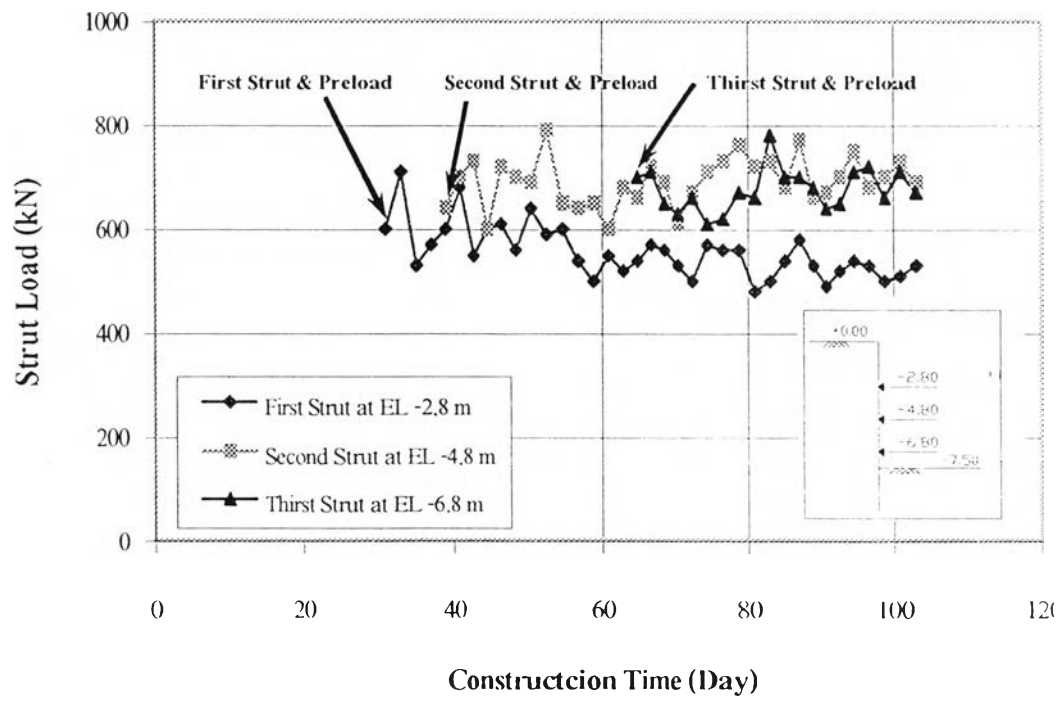
เครื่องมือ Pressure Gauge มีทั้งหมด 4 ตัวต่อค้ำยัน 1 ชั้น ได้แก่ PG.1 , PG.2 , PG.3 และ PG.4 โดยติดตั้งที่ Strut ทั้งหมด 3 ชั้น คือ ชั้นที่ 1, 2 และ 3 ยกเว้น Strut ชั้นที่ 4 ที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องมือ Pressure Gauge ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Pressure Gauge แสดงในรูปที่ 3.8 ข้อมูลการวัดแรงที่นำมาใช้เพื่อการวิจัยคือ ข้อมูลของเครื่องมือที่ตำแหน่ง PG.2 ซึ่งอยู่ใกล้กับจุดตัดของ Grid Line 15` – Z` จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าแรงในระบบเข็มพืดแบบ Cofferdam ข้อมูลการวัดค่าแรงในระบบค้ำยันระบบเข็มพืดแบบ Cofferdam แสดงไว้ในรูปที่ 3.11 ส่วนข้อมูลของเครื่องมือที่ตำแหน่ง PG.3 ซึ่งอยู่ใกล้กับจุดตัดของ Grid Line 20` – Z` จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าแรงในระบบเข็มพืดแบบ Single Row ข้อมูลการวัดค่าแรงในระบบค้ำยันระบบเข็มพืดแบบ Single Row รูปที่ 3.12

จากรูปที่ 3.11 ซึ่งเป็นข้อมูลการวัดค่าแรงในระบบค้ำยันระบบเข็มพืดแบบ Cofferdam พบว่าเมื่อติดตั้งและอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 1 แล้ว ค่าแรงในค้ำยันมีแนวโน้มคงที่ แต่เมื่อติดตั้งและอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 2 เสร็จ ค่าแรงในค้ำยันชั้นที่ 1 มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าแรงในค้ำยันชั้นที่ 2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งก็มีสาเหตุมาจากแรงในค้ำยันชั้นที่ 1 บางส่วนถ่ายไปยังค้ำยันชั้นที่ 2 หลังจากนั้นจึงทำการติดตั้งและอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 3 ซึ่งพบว่าค่าแรงในค้ำยันชั้นที่ 1 และ 2 มีแนวโน้มคงที่ ส่วนค่าแรงในค้ำยันชั้นที่ 3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นก็ไม่ได้มีการเก็บข้อมูลค่าแรงในค้ำยันต่อ เนื่องจากเป็นโครงการที่ก่อสร้างแล้วไม่พบปัญหาใดๆเลย อีกประการหนึ่งคือโครงการเร่งรีบมากจึงทำให้เป็นการยากที่จะเข้าไปอ่านค่าแรงดันในระบบค้ำยัน

จากรูปที่ 3.12 ซึ่งเป็นข้อมูลการวัดค่าแรงในระบบค้ำยันระบบเข็มพืดแบบ Single Row พบว่าติดตั้งและอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 1 แล้ว ค่าแรงในค้ำยันมีแนวโน้มคงที่ แต่เมื่อได้ติดตั้งและอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 2 ค่าแรงในค้ำยันชั้นที่ 1 มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าแรงในค้ำยันชั้นที่ 2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงแรก เพราะแรงในค้ำยันชั้นที่ 1 บางส่วนถ่ายไปยังค้ำยันชั้นที่ 2 แต่ค่าแรงในค้ำยันชั้นที่ 2 มีแนวโน้มลดลงก่อนที่จะทำการติดตั้งและอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 3 ซึ่งก็มีสาเหตุมาจากค้ำยันชั้นที่ 2 นั้นเป็นเสมือนจุดหมุน หลังจากนั้นจึงติดตั้งและอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 3 ซึ่งพบว่าค่าแรงในค้ำยันชั้นที่ 2 มีแนวโน้มคงที่ ค่าแรงในค้ำยันชั้นที่ 3 มีแนวโน้มลดลงในช่วงแรก ซึ่งก็มีสาเหตุมาจากการขุดดินช้ามากเกินไปและขุดแล้วไม่รีบวางค้ำยันชั้นที่ 4 หลังจากติดตั้งและอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 4 เสร็จ ก็ไม่ได้มีการเก็บข้อมูลค่าแรงในค้ำยันต่อเช่นเดียวกันกับระบบเข็มพืดแบบ Cofferdam เนื่องจากเป็นโครงการที่ก่อสร้างแล้วไม่พบปัญหาใดๆเลย และโครงการเร่งรีบมากจึงทำให้เป็นการยากที่จะเข้าไปอ่านค่าแรงดันในระบบค้ำยัน



รูปที่ 3.11 แสดงข้อมูลการวัดค่าแรงในระบบค้ำยันระบบเข็มพืดแบบ Cofferdam โดยอุปกรณ์ Pressure Gauge หมายเลข PG.2



รูปที่ 3.12 แสดงข้อมูลการวัดค่าแรงในระบบค้ำยันระบบเข็มพืดแบบ Single Row โดยอุปกรณ์ Pressure Gauge หมายเลข PG.3

3.2.5 ข้อมูลการวัดการทรุดตัวที่ผิวดิน

การติดตั้งหมุดวัดการทรุดตัวที่ผิวดินได้ทำการติดตั้งไว้รอบเข็มพืดฝั่งสถานีรถไฟฟ้าสยาม เนื่องจากบริเวณรอบสถานที่ก่อสร้างมีพื้นที่ค่อนข้างจำกัด

การวัดการทรุดตัวที่ผิวดินได้ทำการวัดประจำทุกสัปดาห์ ๆ ละ 1 ครั้ง โดยการใช้กล้องระดับทุกครั้งที่ทำการวัด

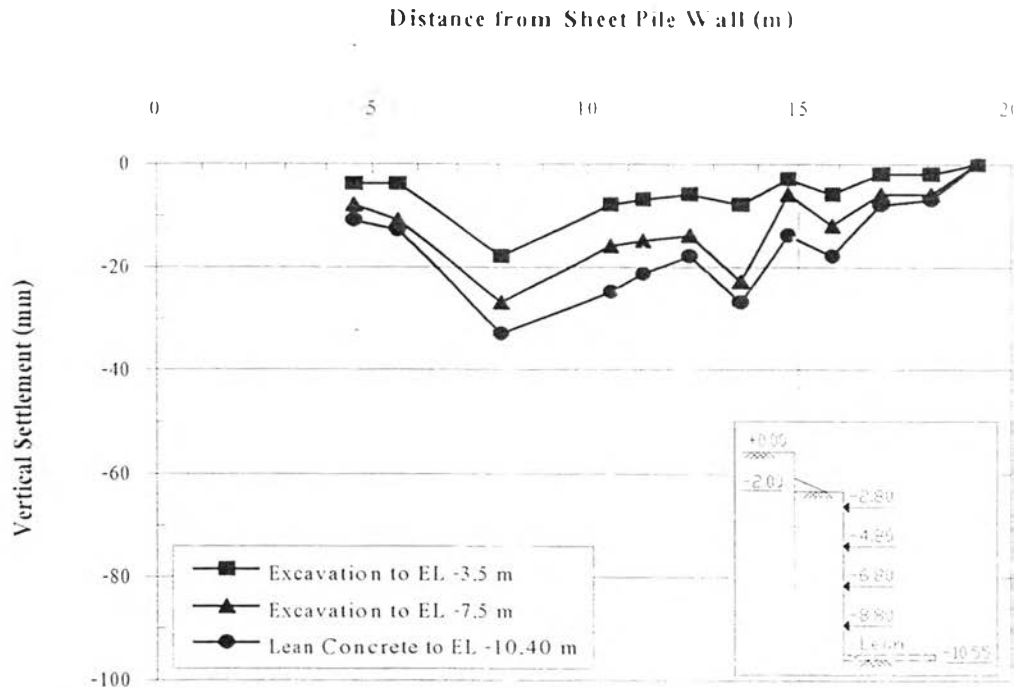
จุดประสงค์ของการติดตั้งหมุดวัดการทรุดตัวที่ผิวดินนี้ เพื่อใช้ตรวจสอบปริมาณการทรุดตัวที่ผิวดิน ซึ่งสามารถดำเนินการได้โดยง่ายและไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

ในการวิจัยนี้ได้ติดตั้งหมุดวัดการทรุดตัวที่ผิวดินตามความยาวของแนวเข็มพืดฝั่งสถานีรถไฟฟ้าสยาม ซึ่งมีระยะห่างแต่ละหมุดประมาณ 10.5 เมตร โดยแนวของการติดตั้งหมุดวัดการทรุดตัวที่ผิวดินนี้ห่างจากหลังเข็มพืด 4.6 – 19.2 เมตร

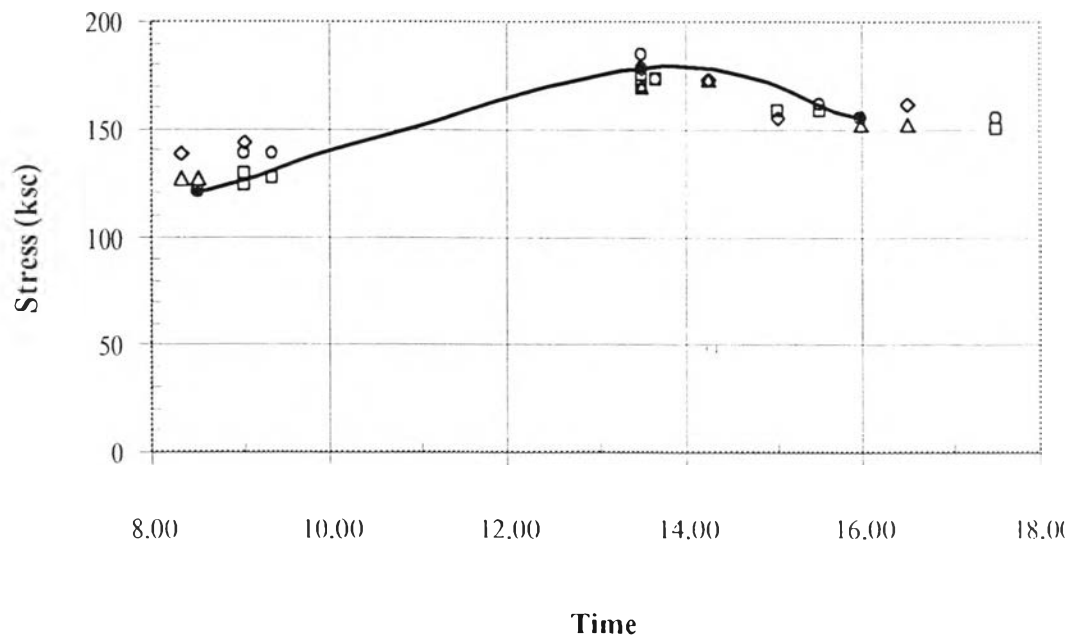
ข้อมูลการวัดการทรุดตัวที่ผิวดินที่นำมาใช้เพื่อการวิจัยคือ ข้อมูลของเครื่องมือที่ตำแหน่ง S.1, S.2, S.3, S.4, S.5, S.6, S.7, S.8, S.9, S.10, S.11 และ S.12 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือแสดงในรูปที่ 3.8 ข้อมูลที่ได้จากการวัดแสดงในรูปที่ 3.13

3.2.6 Stress ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ในระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Cofferdam

ข้อมูลที่ใช้ในการหาค่า Stress ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงนั้น นำมาจากข้อมูลการวัดค่าแรงในระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Cofferdam ของค้ำยันชั้นที่ 1 จาก Pressure Gauge หมายเลข PG.2 ซึ่งทำการวัดค่าแรงในระบบค้ำยัน 3 ครั้งต่อวัน ณ เวลาที่แตกต่างกัน แล้วนำค่าแรงในระบบค้ำยันที่ได้มาเปลี่ยนเป็น Stress ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.14



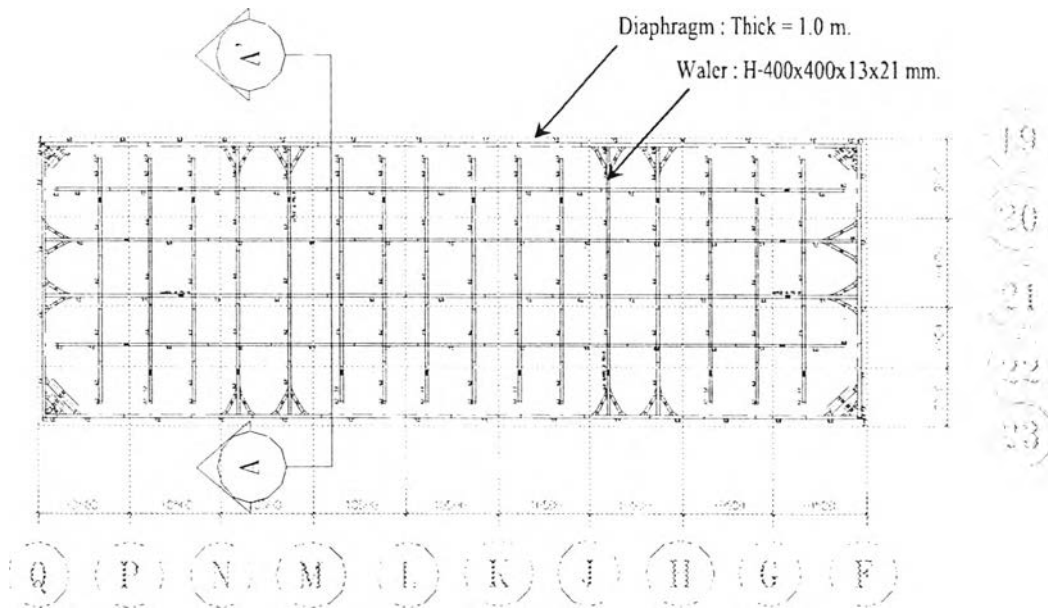
รูปที่ 3.13 แสดงผลของการวัดการทรุดตัวที่ผิวดิน



รูปที่ 3.14 แสดง Stress ที่เกิดขึ้นในระบบค้ำยันเข็มพืดแบบ Cofferdam ณ เวลาที่แตกต่างกัน

3.3 รายละเอียดข้อมูลสำรวจบ่อบำบัดน้ำเสีย

ระบบกำแพงกันดินสำหรับการก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียนั้น เป็นระบบกำแพงกันดินชนิดไดอะแฟรม มีพิกัด Grid Line ตามแนวนอนตั้งแต่ 19 ถึง 23 และมีพิกัด Grid Line ตามแนวตั้งตั้งแต่ F ถึง Q แผนผังแสดงการติดตั้งกำแพงกันดินชนิดไดอะแฟรม และระบบค้ำยันของการก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย แสดงในรูปที่ 3.15

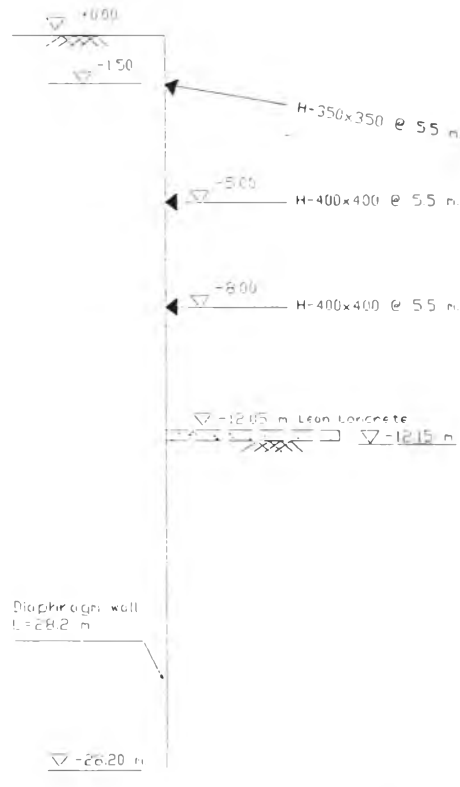


รูปที่ 3.15 แสดงแผนผังแสดงการติดตั้งกำแพงกันดินชนิดไดอะแฟรม และระบบค้ำยันของการก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย

3.3.1 รายละเอียดการก่อสร้างในส่วนงานขุดดินระดับลึก

การก่อสร้างชั้นใต้ดินของโครงการสยามพารากอน ในส่วนของบ่อบำบัดน้ำเสียนั้น ใช้ระบบค้ำยันไดอะแฟรม (Diaphragm Bracing System) จำนวน 3 ชั้น ค่ากำลังประลัยที่ใช้ในการก่อสร้างกำแพง (f'_c) เท่ากับ 280 ksc ขุดดินลึก 12.15 เมตร ความหนาของกำแพงเท่ากับ 1.00 เมตร มี 2 ส่วน คือ (1) ไดอะแฟรมส่วนที่อยู่ติดกับตัวอาคารของโครงการ มีระดับปลายบนและปลายล่างของกำแพงอยู่ที่ระดับ -2.7 เมตร และ -28.2 เมตร ตามลำดับ และ(2) ไดอะแฟรมส่วนที่อยู่ใกล้กับวัดปทุมวนารามมีระดับปลายบนและปลายล่างของกำแพงอยู่ที่ระดับ +0.00 เมตร และ -28.2 เมตร ตามลำดับ รูปตัดด้านข้างในแนว A-A' ของระบบค้ำยันไดอะแฟรม แสดงไว้ในรูปที่ 3.16

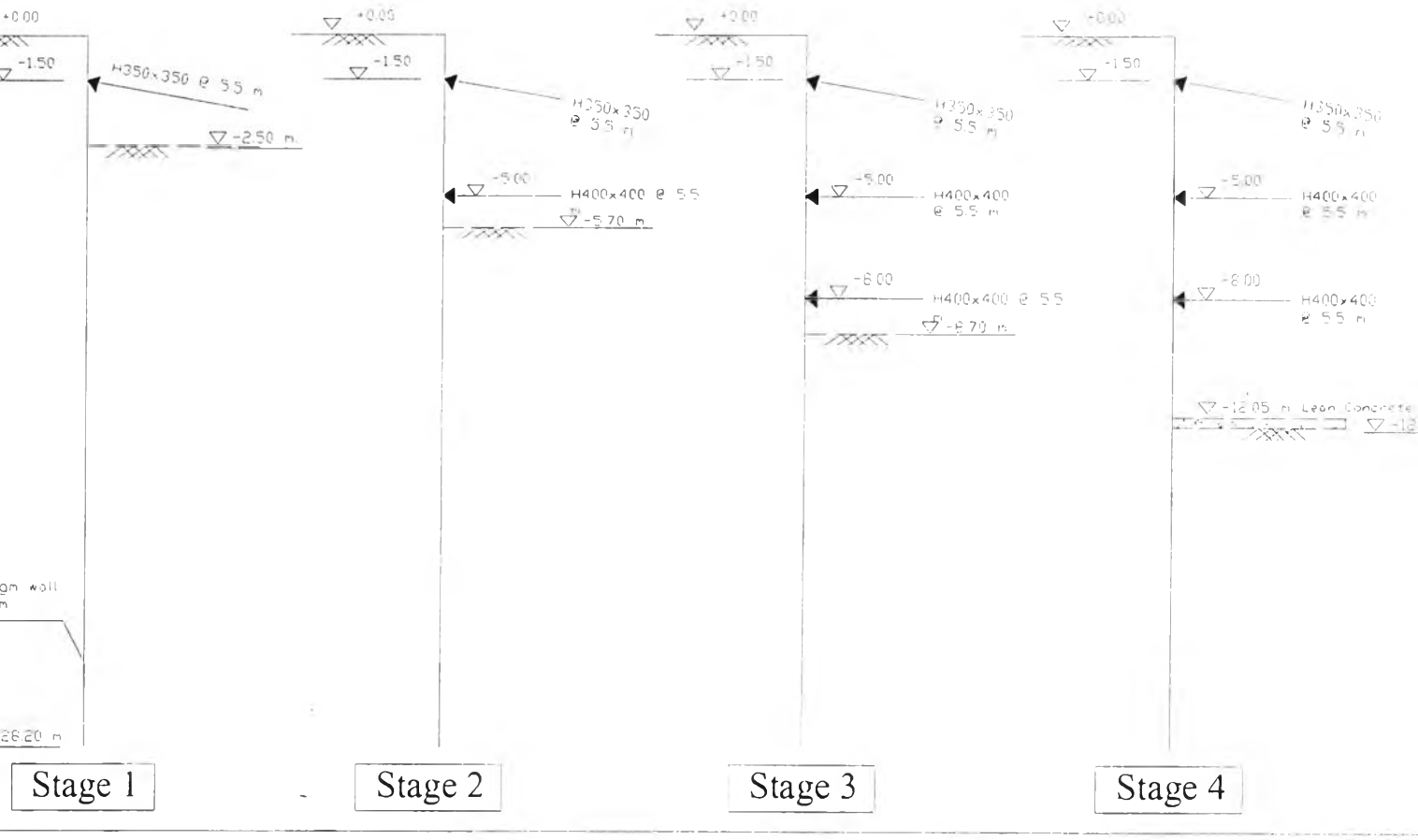
ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างระบบค้ำยันไดอะแฟรมแสดงไว้ในรูปที่ 3.17 รายละเอียดของระบบโครงสร้างค้ำยัน มีดังนี้



รูปที่ 3.16 แสดงรูปตัดด้านข้างแนว A-A' ในรูปที่ 3.15 ของระบบค้ำยันไดอะแฟรมในการก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย

1. Wale ใช้เหล็ก H-Beam ขนาด H-400x400x13x21 มิลลิเมตร

2. Strut ชั้นที่ 1 (Raking Strut) ใช้เหล็ก H-Beam ขนาด H-350x350x12x19 มิลลิเมตร มีระดับปลายบนและปลายล่างอยู่ที่ระดับ – 1.5 เมตร และ – 2.7 เมตร ตามลำดับ ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ใช้เหล็ก H-Beam ขนาด H-400x400x13x21 ที่ระดับความลึกจากดินเดิมเท่ากับ – 5.0 เมตร และ – 8.0 เมตร ตามลำดับ



ลำดับขั้นตอนการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดไดอะแฟรม (รูปตัดด้านข้างในแนว A-A' ในรูปที่ 3.15)

3.3.2 สภาพชั้นดินและข้อมูลการเจาะสำรวจดิน

โครงการสยามพารากอน ได้มีการเจาะสำรวจดิน จำนวน 3 หลุม โดยในการทำการวิจัยงานขุดเพื่อการก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสียนี้ ได้เลือกใช้ข้อมูลดินของหลุมเจาะที่อยู่ใกล้กับบ่อขุดมากที่สุดเช่นเดียวกันกับการก่อสร้าง Aquarium คุณสมบัติของดินเมื่อเรียงลำดับจากส่วนบนลงล่างแสดงดังตารางที่ 3.2

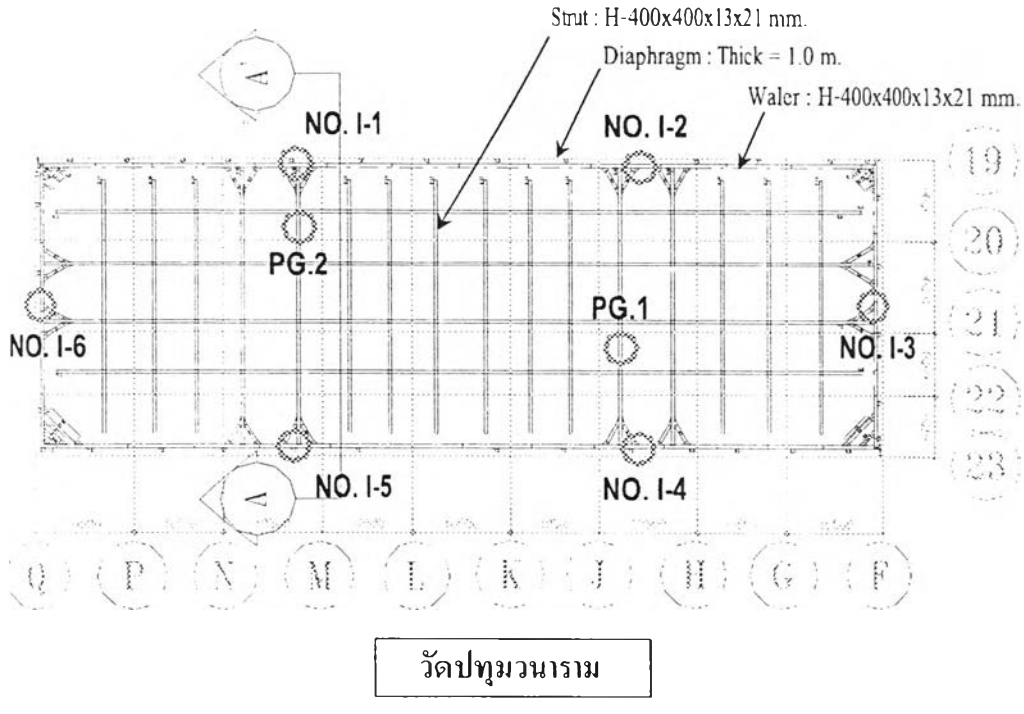
ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิจัยงานขุดเพื่อการก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย

Depth (m)	Soil Type	Unit Weight (kN/m^3)	Undrained Shear Strength (kN/m^3)	Natural Water Content (%)
0 – 10.5	Soft Clay	17	17	60 – 80
10.5 – 13.5	Medium Clay	17	37	60
13.0 – 22.0	Stiff Clay	20	123	25
22.0 – 30.0	Hard Clay	20	192	20

กำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ของชั้นดิน Soft Clay และ Medium Clay นั้น ได้มาจากการทดสอบแบบเวนในสนาม ส่วนกำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ของชั้นดิน Stiff Clay และ Hard Clay นั้น ได้มาจากการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน

3.3.3 ข้อมูลการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงกันดินจากเครื่องมือ Inclinometer

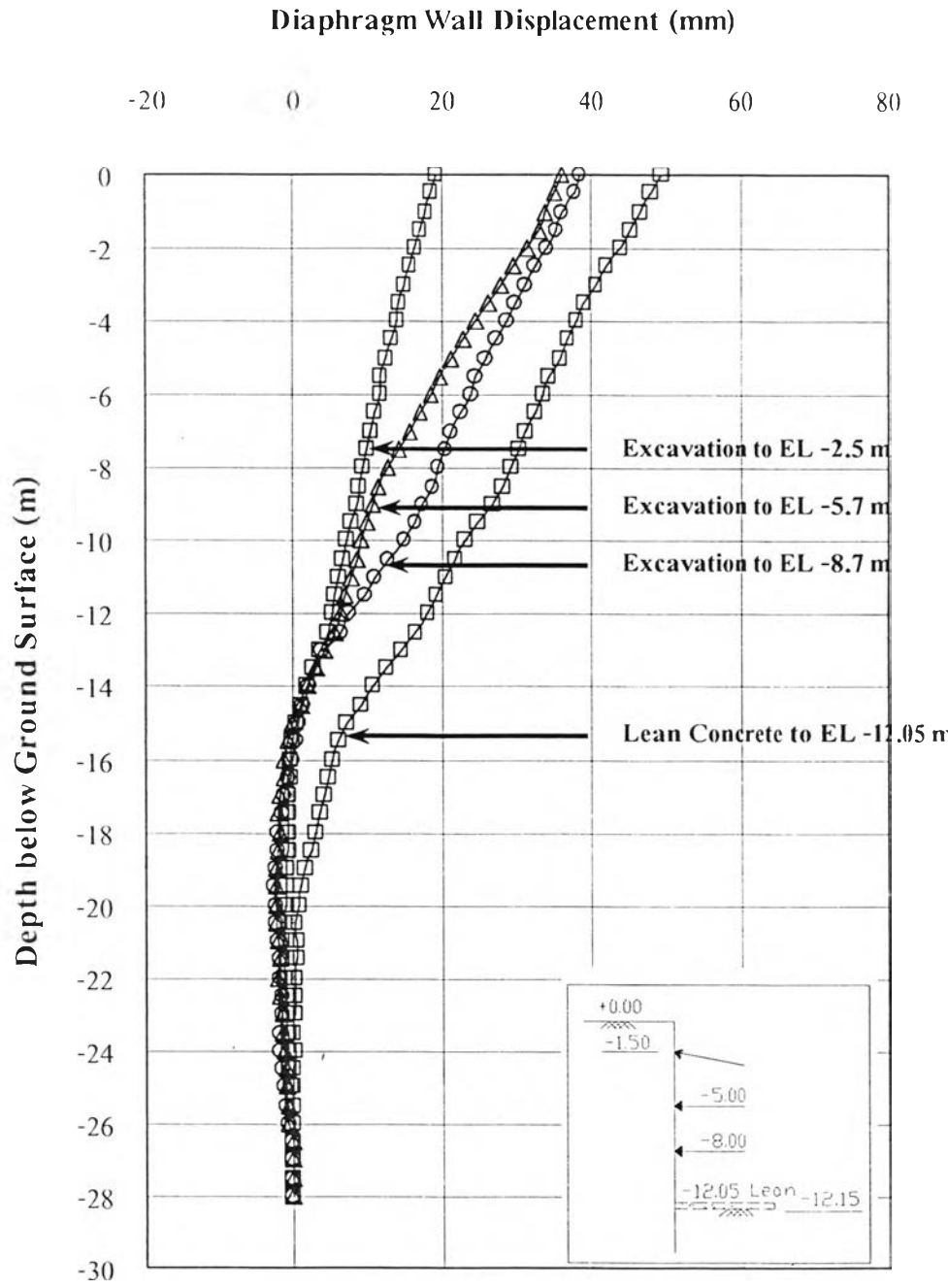
งานขุดเพื่อการก่อสร้าง Aqarium นี้ ได้ติดตั้งเครื่องมือ Inclinometer รอบบ่อขุด จำนวน 6 ตัว ได้แก่ I-1 , I-2 , I-3 , I-4 , I-5 และ I-6 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Inclinometer แสดงในรูปที่ 3.18 ข้อมูลการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินที่นำมาใช้เพื่อการวิจัยคือ ข้อมูลของเครื่องมือที่ตำแหน่ง I-5 ซึ่งอยู่ใกล้กับจุดตัดของ Grid Line M – 23 ข้อมูลการเคลื่อนตัวของระบบไดอะแฟรม แสดงไว้ในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Inclinometer และ Pressure Gauge ของการก่อสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย

จากรูปที่ 3.19 ซึ่งเป็นข้อมูลการเคลื่อนตัวด้านข้างของระบบกำแพงกันดินชนิดไดอะแฟรม พบว่าพฤติกรรมการเคลื่อนตัวด้านข้างของไดอะแฟรมในทุกขั้นตอนของการขุดนั้นเป็นแบบ Cantilever เมื่อทำการขุดดินเพื่อติดตั้งและอัดแรงค้ำยันชั้นที่ 2 พบว่าการเคลื่อนตัวของกำแพงไดอะแฟรมยังคงมีค่ามาก ทั้งๆ ที่ทำการติดตั้งและอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 1 ไปแล้ว สาเหตุดังกล่าวเกิดจาก Temporary Support ของค้ำยันชั้นที่ 1 เกิดการเคลื่อนตัว นั่นจึงเป็นสาเหตุว่าทำไมเมื่อติดตั้งและอัดแรงค้ำยันชั้นที่ 1 แล้วกำแพงไดอะแฟรมยังคงมีการเคลื่อนตัว ดังนั้นจึงแก้ปัญหาโดยการติดตั้งและอัดแรงค้ำยันชั้นที่ 2 ช่วยพร้อมกับทำการอัดแรงซ้ำในระบบค้ำยันชั้นที่ 1 (Re-Preload) สำหรับระบบกำแพงกันดินแบบไดอะแฟรมซึ่งเป็นระบบกำแพงแบบ Rigid Wall นั้น Stiffness ของระบบโครงสร้างค้ำยันมีผลอย่างมากต่อการเคลื่อนตัวด้านข้าง หลังจากนั้นจึงทำการขุดดินเพื่อติดตั้งและอัดแรงค้ำยันชั้นที่ 3 ต่อมาจึงทำการขุดดินขั้นตอนสุดท้ายแล้วเทคอนกรีตหยาบในขั้นตอนนี้กำแพงกันดินชนิดไดอะแฟรมมีการเคลื่อนตัวค่อนข้างมาก ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่ขุดดินช้าเกินไป

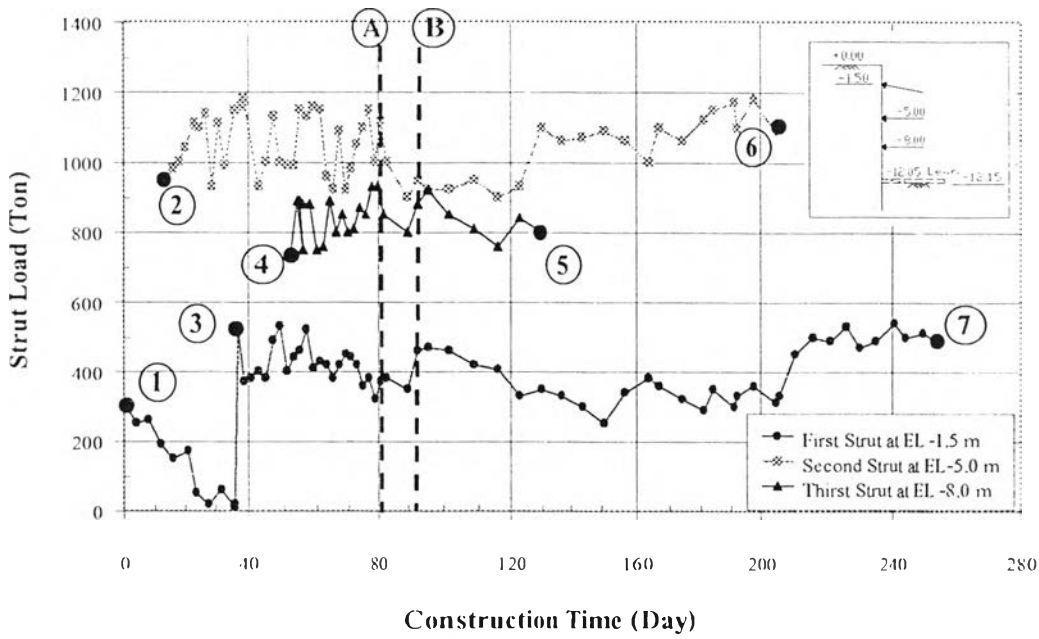
Inclinometer หมายเลข No.I-5 ระดับปลายล่างของ Inclinometer อยู่ที่ระดับ –28.0 เมตร ข้อมูลที่ได้จากการวัดแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แสดงผลการวัดปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินชนิดไดอะแฟรม โดยอุปกรณ์ Inclinometer หมายเลข NO.I-5

3.3.4 ข้อมูลการวัดแรงในระบบค้ำยันด้วยเครื่องมือ Pressure Gauge

เครื่องมือ Pressure Gauge มีทั้งหมด 2 ตัวต่อค้ำยัน 1 ชั้น ได้แก่ PG.1 และ PG.2 โดยติดตั้งที่ Strut ทั้งหมด 3 ชั้น คือ ชั้นที่ 1, 2 และ 3 ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือ Pressure Gauge แสดงในรูปที่ 3.18 ข้อมูลการวัดแรงที่นำมาใช้เพื่อการวิจัยคือ ข้อมูลของครื่องมือที่ตำแหน่ง PG.2 ซึ่งอยู่ใกล้กับจุดตัดของ Grid Line M – 20 ข้อมูลการวัดค่าแรงในระบบค้ำยันแบบไดอะแฟรม แสดงไว้ในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงผลการวัดค่าแรงในระบบค้ำยันแบบไดอะแฟรมโดยอุปกรณ์ Pressure Gauge หมายเลข PG.2

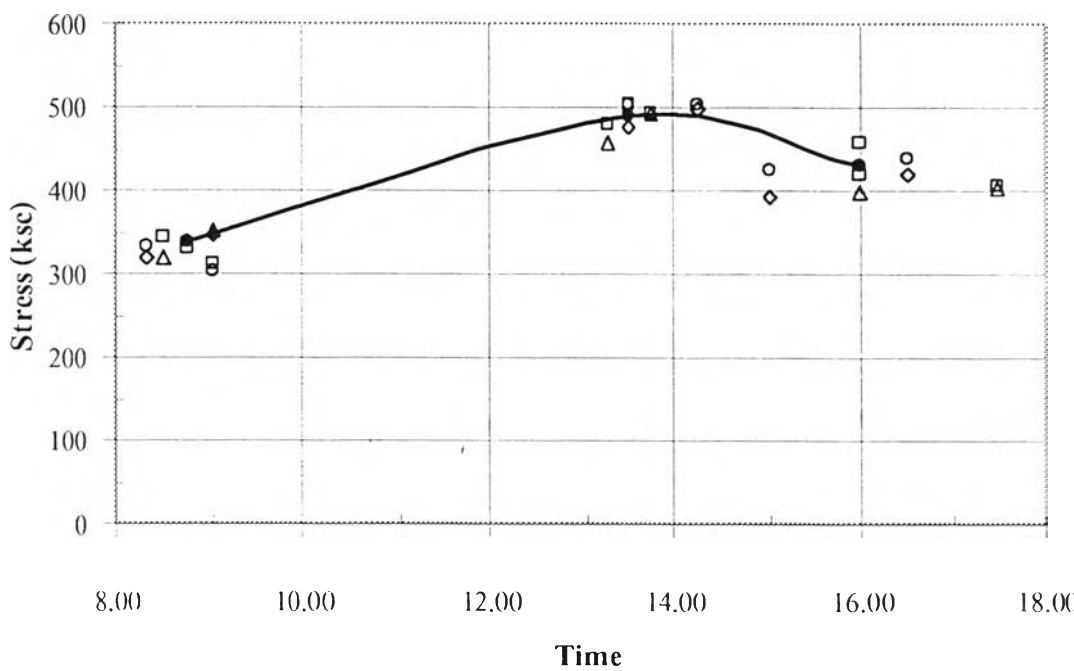
จากรูปที่ 3.20 ซึ่งเป็นข้อมูลการวัดค่าแรงในระบบค้ำยันแบบไดอะแฟรม พบว่า เมื่อติดตั้งและอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 1 คือจุดที่ 1 ค่าแรงในระบบค้ำยันมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจาก Temporary Support ของค้ำยันชั้นที่ 1 เกิดการเคลื่อนตัว ซึ่งแก้ไขโดยติดตั้งและอัดแรงในระบบค้ำยันชั้นที่ 2 คือจุดที่ 2 ช่วยพร้อมกับอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 1 ซ้ำ คือจุดที่ 3

เมื่อได้ติดตั้งและอัดแรงในค้ำยันชั้นที่ 3 คือจุดที่ 4 ค่าแรงในค้ำยันชั้นที่ 3 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงในค้ำยันชั้นที่ 2 บางส่วนถ่ายไปยังค้ำยันชั้นที่ 3 ช่วงเวลาของการเทคอนกรีตหยาบคือเส้นประ A ถึงเส้นประ B พบว่าแรงในค้ำยันชั้นที่ 3 มีแนวโน้มลดลง เนื่องจาก

แรงในค้ำยันชั้นที่ 3 บางส่วนถ่ายไปยังคอนกรีตหยาบ ส่วนช่วงระยะเวลาของการทำพื้น คือ เส้นประ B ถึงจุดที่ 5 พบว่าค่าแรงในค้ำยันชั้นที่ 3 มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากแรงในค้ำยันชั้นที่ 3 ได้ถ่ายไปยังพื้นมากขึ้น พอถอดค้ำยันชั้นที่ 3 เสร็จคือจุดที่ 5 แรงจากค้ำยันชั้นที่ 3 ได้ถ่ายไปสู่ค้ำยันชั้นที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค้ำยันชั้นที่ 2 มีแรงในค้ำยันเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน หลังจากนั้นก็ถอดค้ำยันชั้นที่ 2 คือจุดที่ 6 แรงจากค้ำยันชั้นที่ 2 ได้ถ่ายไปสู่ค้ำยันชั้นที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค้ำยันชั้นที่ 1 มีแรงในค้ำยันเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และหลังจากนั้นก็ทำการถอดค้ำยันชั้นที่ 1 คือจุดที่ 7

3.3.5 Stress ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ในระบบค้ำยันไดอะแฟรม

ข้อมูลที่ใช้ในการหาค่า Stress ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงนั้น นำมาจากข้อมูลการวัดค่าแรงในระบบค้ำยันไดอะแฟรม ของค้ำยันชั้นที่ 2 จาก Pressure Gauge หมายเลข PG.2 ซึ่งทำการวัดค่าแรงในระบบค้ำยัน 3 ครั้งต่อวัน ณ เวลาที่แตกต่างกัน แล้วนำค่าแรงในระบบค้ำยันที่ได้มาเปลี่ยนเป็น Stress ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดง Stress ที่เกิดขึ้นในระบบค้ำยันไดอะแฟรม ณ เวลาที่แตกต่างกัน