

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทำการวิเคราะห์การทรุดตัวของโครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัวที่คอสะพาน โดยใช้ Conventional Analysis Method ของ Terzaghi เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ โดยได้มีการนำค่าพารามิเตอร์บางชนิดมาพิจารณาเพิ่มเติม อันได้แก่ อัตราส่วนความปลอดภัยของเสาเข็ม กำลังรับแรงเสียดทานประลัย และกำลังรับแรงกดประลัยของเสาเข็ม โดยผลการวิเคราะห์การทรุดตัวที่คำนวณได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการทรุดตัวที่ทำการเก็บรวบรวมจากสนาม

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวได้แก่

- 1) คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน เช่น หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight), กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (S_u), ดัชนีการอัดตัว (Compression Index), ดัชนีการอัดตัวซ้ำ (Recompression Index), OCR เป็นต้น
- 2) ลักษณะการวางตัวของชั้นดิน, ระดับน้ำใต้ดิน
- 3) แบบก่อสร้าง, ระดับดินถม และประวัติการก่อสร้างทาง
- 4) ข้อมูลการทรุดตัวในสนาม

สถานที่ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลจากสะพาน 3 แห่งบนทางหลวงพิเศษ กรุงเทพฯ-ชลบุรี (สายใหม่)

ทางหลวงพิเศษ กรุงเทพฯ-ชลบุรี (สายใหม่)

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยข้อมูลการทรุดตัวของโครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัว, ข้อมูลชั้นดิน และแบบก่อสร้างของสะพาน 3 แห่ง ได้แก่

- 1) สะพาน กม. 26+900
- 2) สะพาน กม. 36+180
- 3) สะพาน กม. 38+200

ลักษณะโดยทั่วไปของทางหลวงพิเศษ กรุงเทพฯ-ชลบุรี (สายใหม่)

ดินเดิมเป็นชั้นดินอ่อนมาก (Very Soft Clay) มีความลึกประมาณ 9 ถึง 10 เมตร ถัดจากชั้นดินอ่อนมากลงไปจะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) จนถึงระดับความลึกประมาณ 15 ถึง 21 เมตร ถัดลงไปจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งถึงแข็งมากจนถึงระดับความลึกประมาณ 25 ถึง 30 เมตร ค่าความชื้นในดินมีค่าประมาณ 20 ถึง 140 เปอร์เซ็นต์ ค่าขีดจำกัดความเหลว (Liquid Limit, LL) มีค่าประมาณ 90 ถึง 140 เปอร์เซ็นต์ ดัชนีพลาสติกมีค่า 50 ถึง 80 และค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength, S_u) ของดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมากมีค่าประมาณ 0.5 ถึง 2.4 ตันต่อตารางเมตร และ 10 ตันต่อตารางเมตรสำหรับชั้นดินเหนียวแข็งที่ลึกลงไป

3.1.1 สะพาน กม. 26+900

1) ลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติ

ชั้นดินเป็นดินเหนียวอ่อนมาก มีความหนาประมาณ 11.50 เมตร มีความหนาแน่นประมาณ 1.35 ตันต่อลูกบาศก์เมตร OCR มีค่าประมาณ 1.1 กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำมีค่าโดยเฉลี่ย 1.0 ตันต่อตารางเมตร ชั้นถัดไปเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนมีความหนาประมาณ 9.5 เมตรมีความหนาแน่นประมาณ 1.60 ตันต่อลูกบาศก์เมตร OCR มีค่าประมาณ 1.6 กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำมีค่าโดยเฉลี่ย 2.0 ตันต่อตารางเมตร ถัดลงไปเป็นชั้นดินเหนียวแข็งมีความถึงแข็งมากมีความหนาแน่นประมาณ 2.0 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ค่า SPT มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 20 ลงไปจนถึงระดับความลึกประมาณ 25.50 เมตร จึงเปลี่ยนเป็นชั้นทราย

2) ลักษณะโครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัวและคันทาง

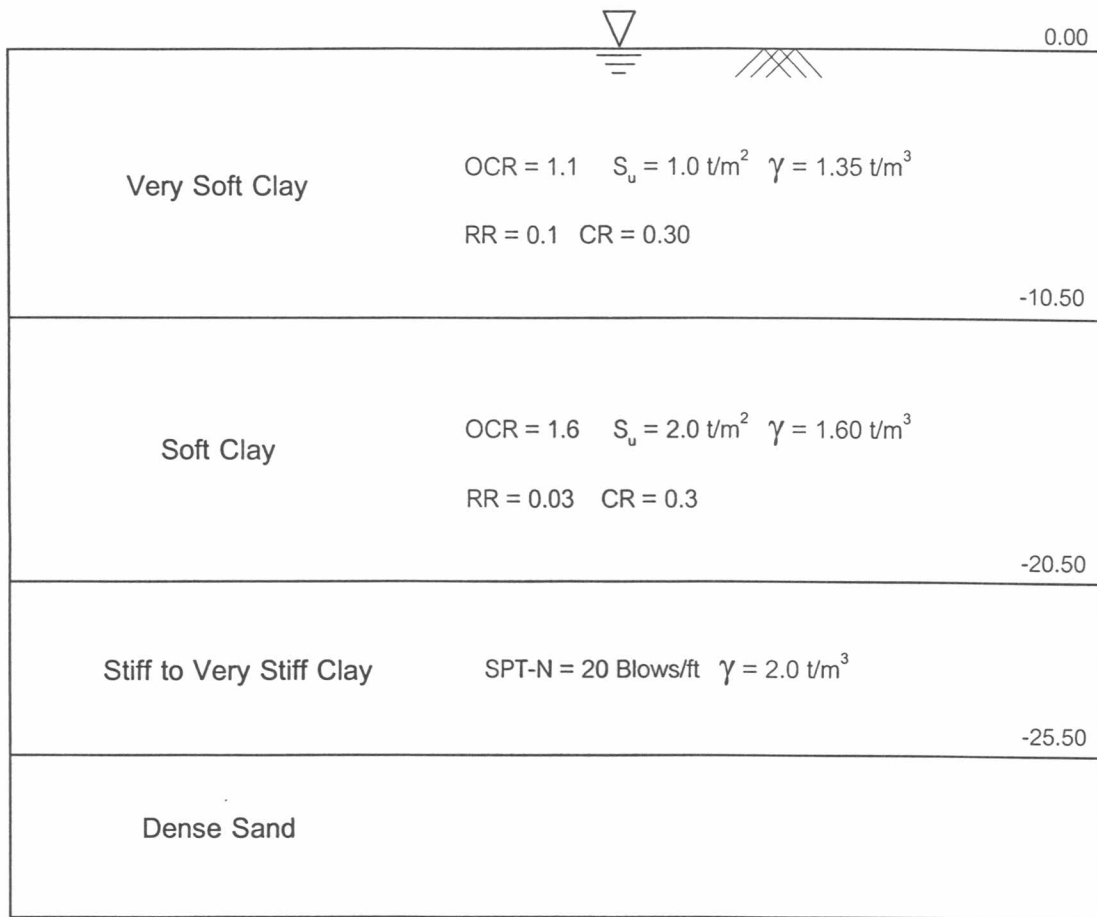
โครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัวมีความยาวประมาณ 60 เมตร ใช้เสาเข็มรูปตัวไอ ขนาด 0.22 x 0.22 เมตร โดยมีความยาวตั้งแต่ 25 เมตรที่คอสะพาน และลดความยาวลงเป็นระยะๆ โดยเสาเข็มแถวสุดท้ายมีความยาว 17 เมตร โดยมีระยะห่างระหว่างเสาเข็ม 2.00 เมตร ดินถมคันทางมีความสูงประมาณ 2.75 เมตร

ในส่วนคันทางที่วางตัวอยู่บนชั้นดินอ่อนได้มีการเร่งอัตราการทรุดตัวโดยใช้ PVD (Prefabricated Vertical Drain)

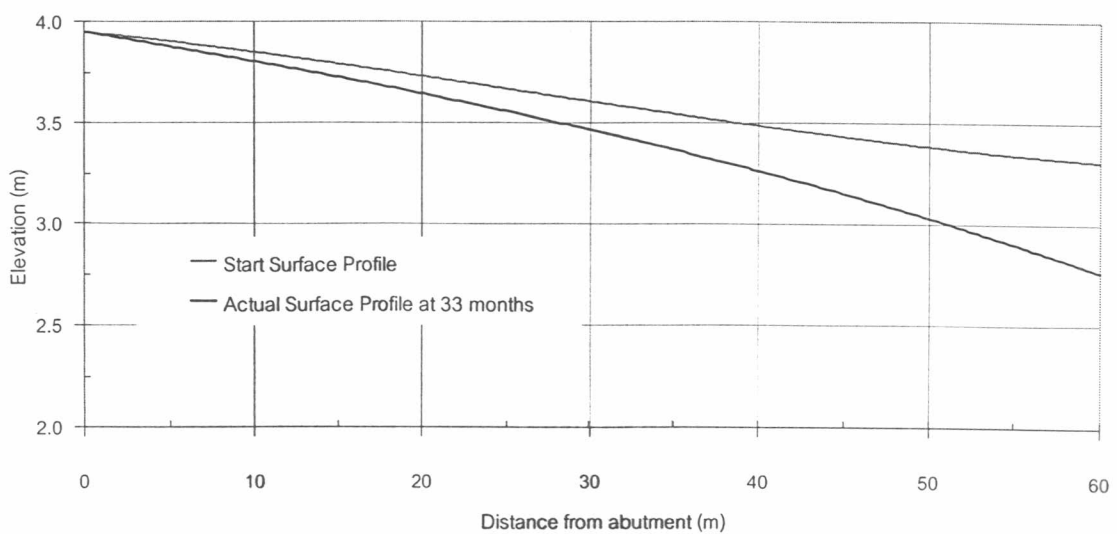
3) ข้อมูลการทรุดตัว

โครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัวสร้างเสร็จในเดือน ธันวาคม 2540 และมีการเก็บข้อมูลการทรุดตัวครั้งแรกในวันเดือนสิงหาคม 2542 และมีการเก็บข้อมูลการทรุดตัวอีกทุก 2 เดือน

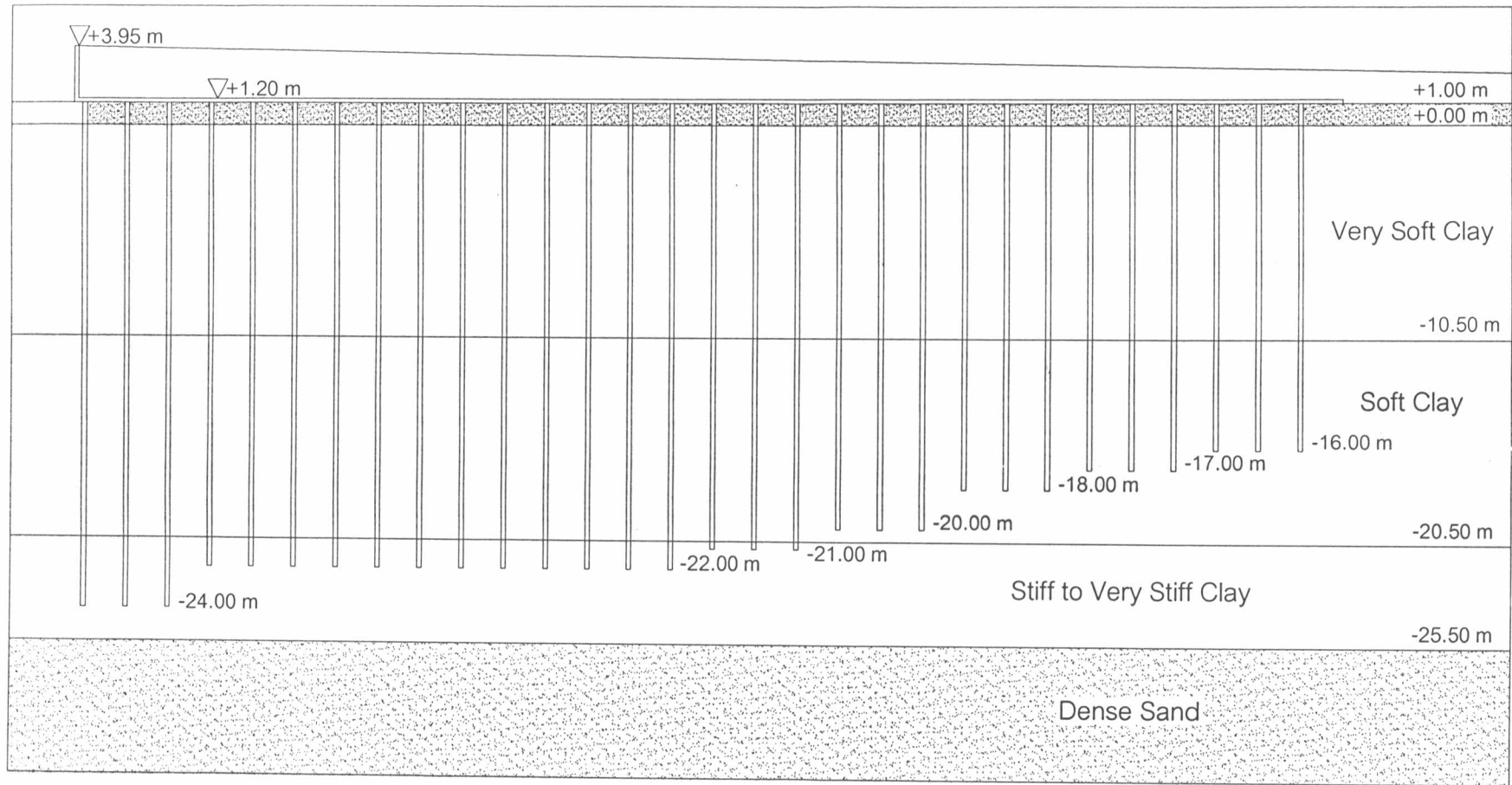
จนถึงครั้งล่าสุดได้มีการเก็บข้อมูลในเดือนกรกฎาคม 2543 เป็นเวลา 31 เดือนหลังจากก่อสร้างเสร็จจึ้น



รูป 3.1 ลักษณะชั้นดินบริเวณสะพาน กม. 26+900 ทางหลวงพิเศษ กรุงเทพฯ-ชลบุรี (สายใหม่)



รูป 3.2 ลักษณะการทรุดตัวของโครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัวของสะพาน กม. 26+900



รูป 3.3 ลักษณะของโครงสร้างปรับสภาพการหลุดตัวของสะพาน กม. 26+900 ทางหลวงพิเศษกรุงเทพฯ-ชลบุรี

3.1.1 สะพาน กม. 36+180

1) ลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติ

ชั้นดินเป็นดินเหนียวอ่อน มีทรายปนเล็กน้อย มีความหนาประมาณ 16.5 เมตร มีความหนาแน่นประมาณ 1.4 ตันต่อลูกบาศก์เมตร OCR มีค่าประมาณ 1.2 ถึง 1.5 กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำมีค่าโดยเฉลี่ย 1.2 ตันต่อตารางเมตร ถัดลงไปเป็นชั้นดินเหนียวแข็งมีความหนาแน่นประมาณ 1.4 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ค่า SPT มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 20 ลงไปจนถึงระดับความลึกประมาณ 30 เมตร จึงเปลี่ยนเป็นชั้นทราย

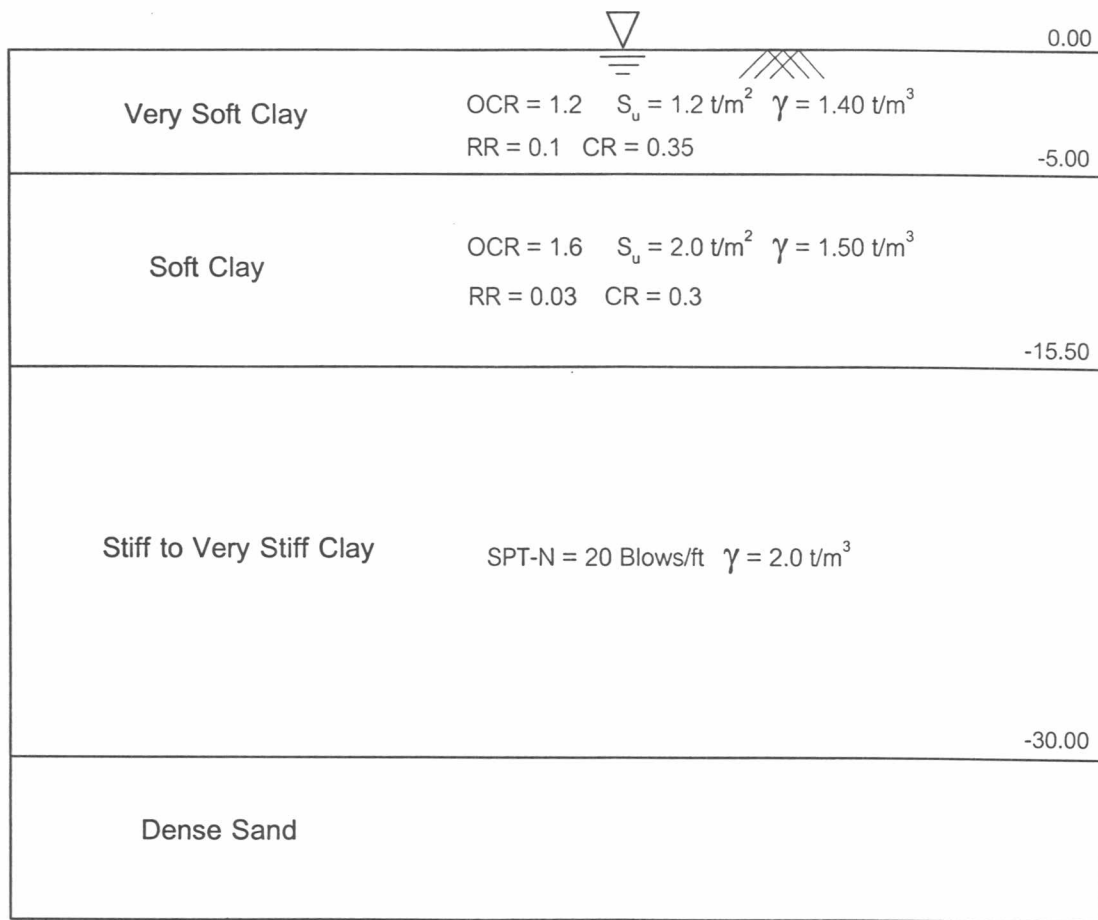
2) ลักษณะโครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัวและคันทาง

โครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัวมีความยาวประมาณ 60 เมตร ใช้เสาเข็มรูปตัวไอ ขนาด 0.22 x 0.22 เมตร โดยมีความยาวตั้งแต่ 25 เมตรที่คอสะพาน และลดความยาวลงเป็นระยะๆ โดยเสาเข็มจะลดความยาวลงทุก 6 เมตร โดยเสาเข็มแถวสุดท้ายมีความยาว 11 เมตร โดยมีระยะห่างระหว่างเสาเข็ม 2 เมตร ดินถมคันทางมีความสูง 2.7 เมตร

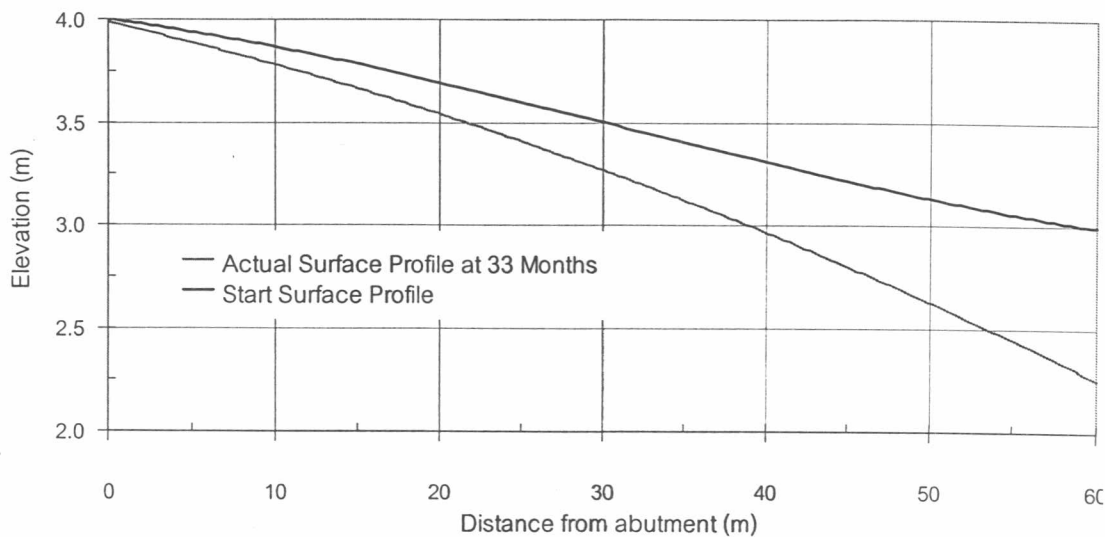
ในส่วนคันทางที่วางตัวอยู่บนชั้นดินอ่อนได้มีการเร่งอัตราการทรุดตัวโดยใช้ PVD (Prefabricated Vertical Drain)

3) ข้อมูลการทรุดตัว

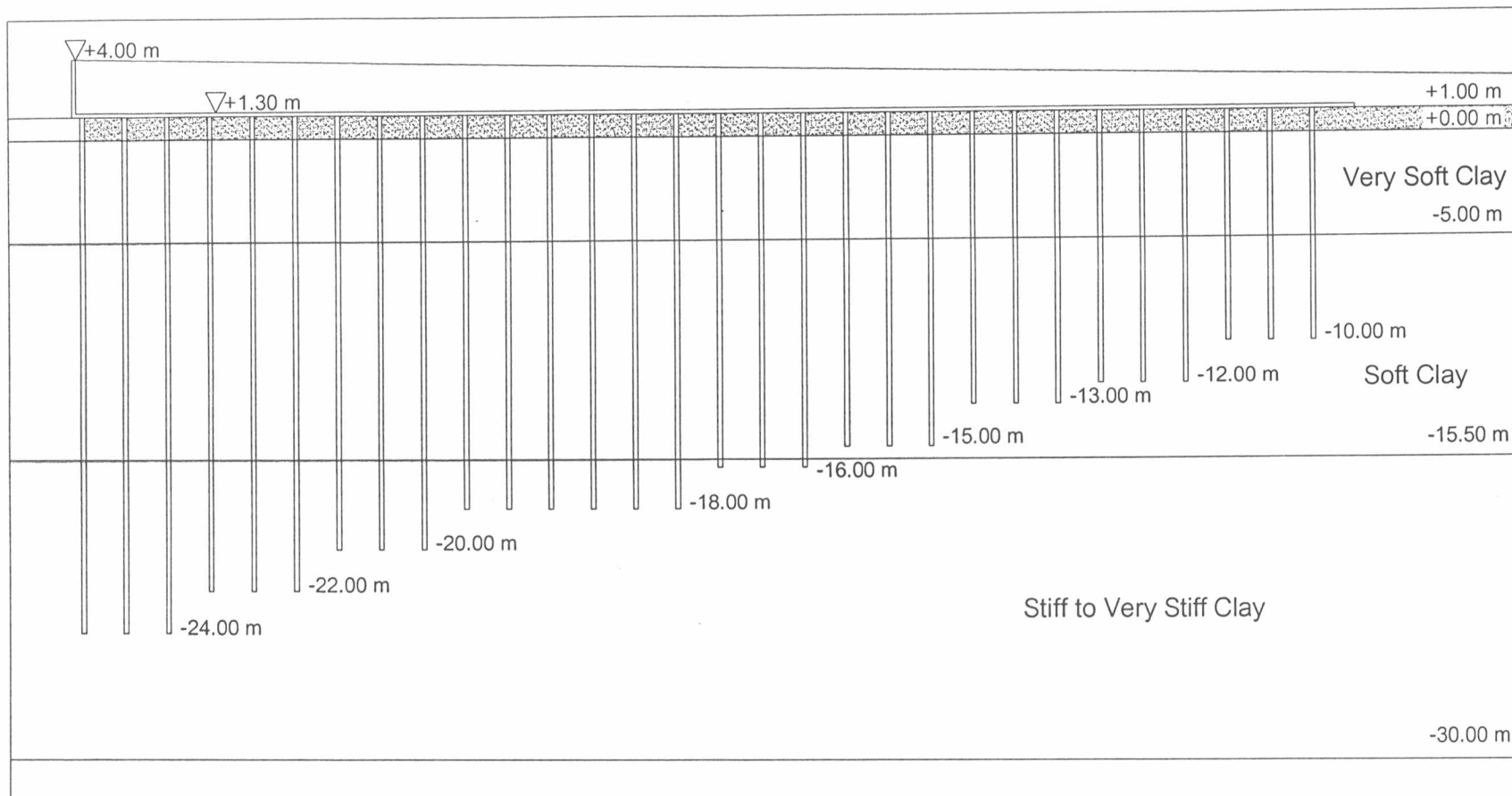
โครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัวสร้างเสร็จในเดือน ตุลาคม 2540 และมีการเก็บข้อมูลการทรุดตัวครั้งแรกในวันเดือนกันยายน 2542 และมีการเก็บข้อมูลการทรุดตัวอีกทุก 2 เดือน จนถึงครั้งล่าสุดได้มีการเก็บข้อมูลในเดือนกรกฎาคม 2543 เป็นเวลา 33 เดือนหลังจากก่อสร้างเสร็จ



รูป 3.4 ลักษณะชั้นดินบริเวณสะพาน กม. 36+180 ทางหลวงพิเศษ กรุงเทพฯ-ชลบุรี (สายใหม่)



รูป 3.5 ลักษณะการทรุดตัวของโครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัวของสะพาน กม. 36+180



รูป 3.6 ลักษณะของโครงสร้างปรับสภาพการหลุดตัวของสะพาน กม. 36+180 ทางหลวงพิเศษกรุงเทพฯ-ชลบุรี

3.1.2.2 สะพาน กม. 38+200

1) ลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติ

ชั้นดินเป็นดินเหนียวอ่อนมาก มีทรายปนเล็กน้อย มีความหนาประมาณ 9 เมตร OCR มีค่าประมาณ 1.2 หน่วยน้ำหนักมีค่า 1.4 ดันต่อตารางเมตร กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำมีค่าโดยเฉลี่ย 1.2 ดันต่อตารางเมตร ถัดลงไปเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนหนาประมาณ 2.5 เมตรซึ่งมีค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำเท่ากับ 2.0 ดันต่อตารางเมตร, OCR มีค่าประมาณ 1.2 และหน่วยน้ำหนักมีค่า 1.4 ดันต่อตารางเมตร แล้วจึงเปลี่ยนเป็นดินเหนียวปานกลางจนถึงระดับความลึก 15.50 เมตร OCR มีค่าประมาณ 1.5 หน่วยน้ำหนักมีค่า 1.5 ดันต่อตารางเมตร กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำมีค่าโดยเฉลี่ย 3 ดันต่อตารางเมตร หลังจากนั้นจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งถึงแข็งมากหน่วยน้ำหนักมีค่า 1.4 ดันต่อตารางเมตรและมีค่า N-SPT ประมาณ 20 ลงไปจนถึงระดับความลึกประมาณ 30 เมตร

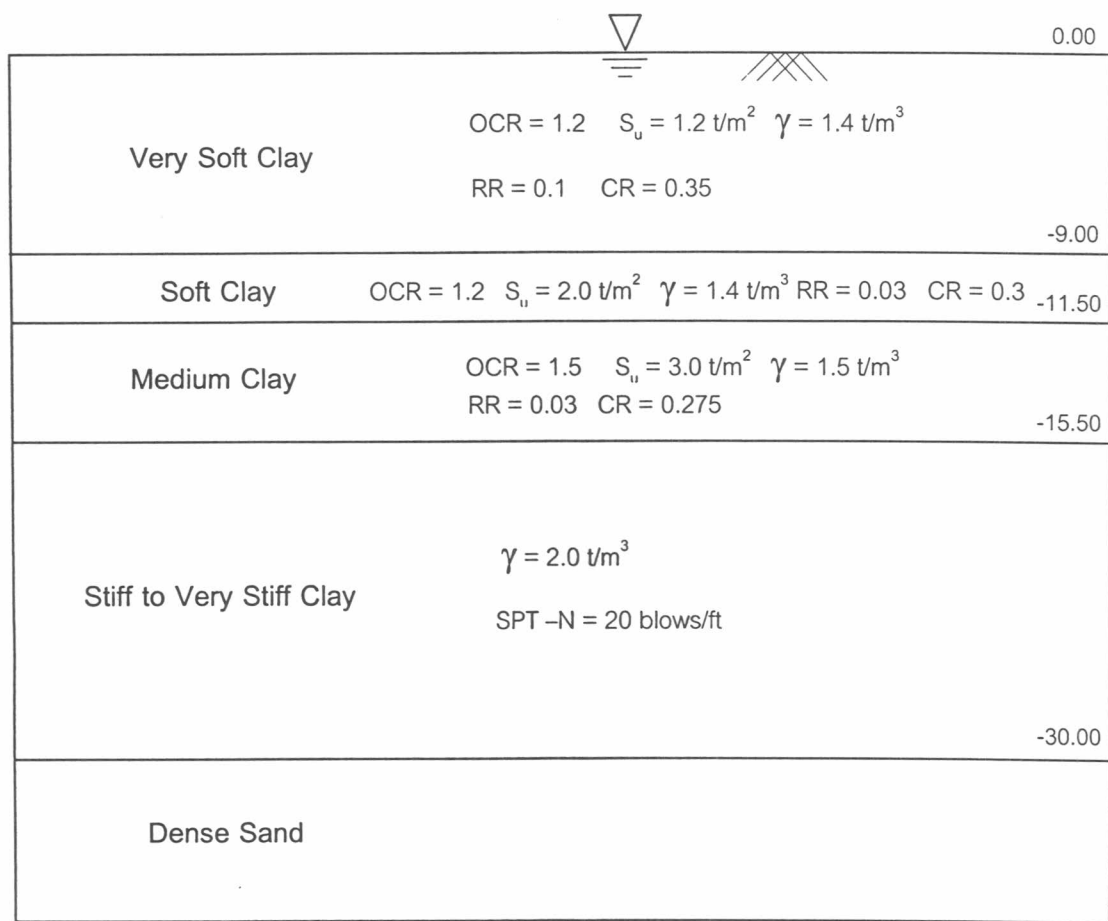
2) ลักษณะโครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัวและคันทาง

โครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัวมีความยาวประมาณ 60 เมตร ใช้เสาเข็มรูปตัวไอ ขนาด 0.22 x 0.22 เมตร โดยมีความยาวตั้งแต่ 25 เมตรที่คอสะพาน และลดความยาวเหลือ 12 เมตรที่ปลายโครงสร้าง โดยมีระยะห่างระหว่างเสาเข็ม 2 เมตร ดินถมคันทางมีความสูง 2.5 เมตร

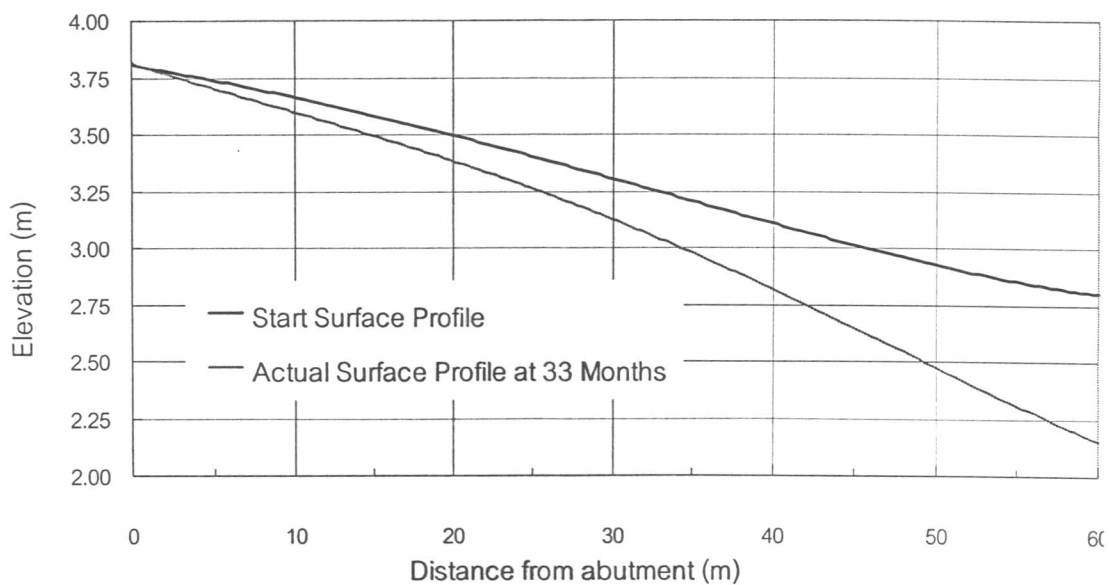
ในส่วนคันทางที่วางตัวอยู่บนชั้นดินอ่อนได้มีการเร่งอัตราการทรุดตัวโดยใช้ PVD (Prefabricated Vertical Drain)

3) ข้อมูลการทรุดตัว

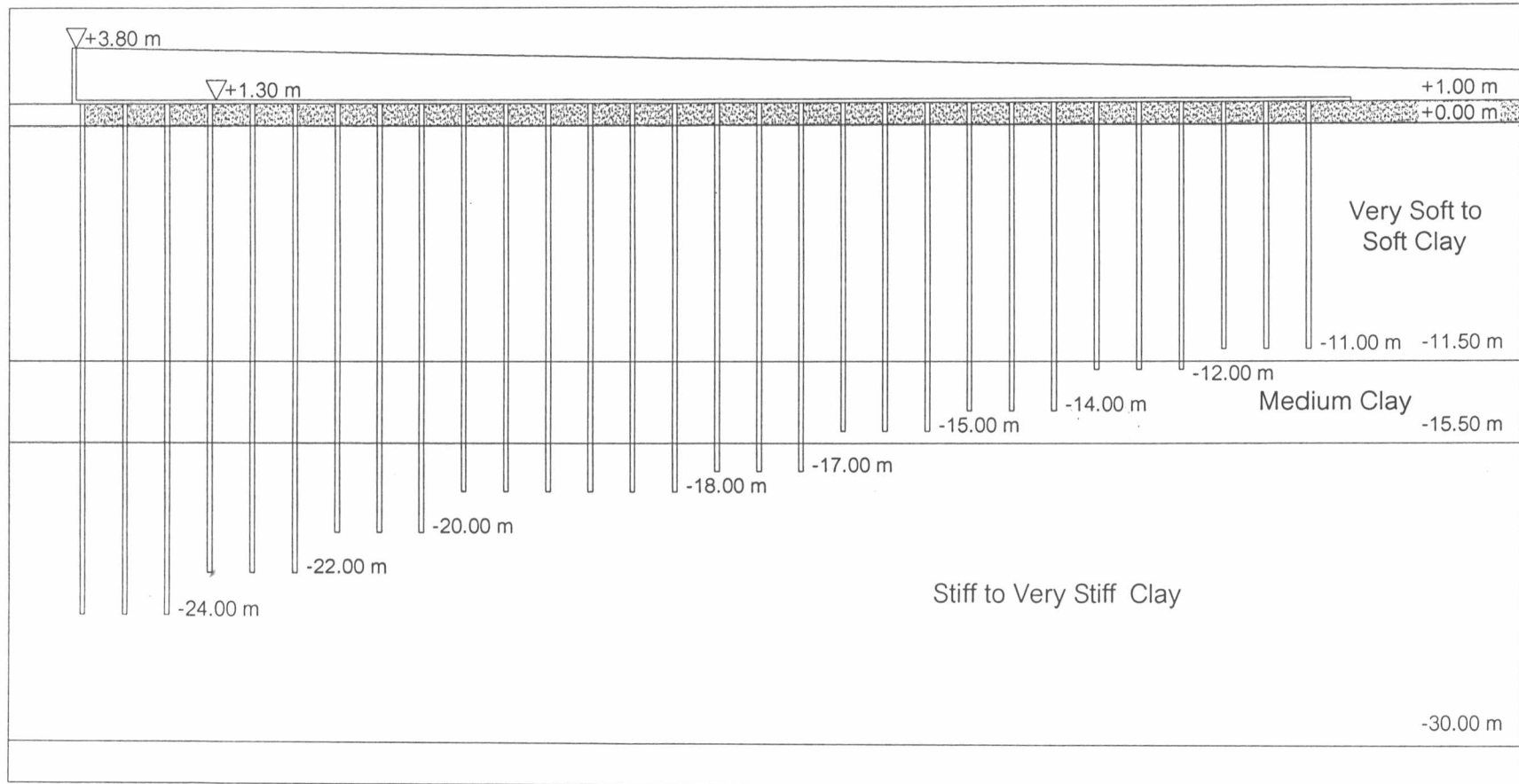
โครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัวสร้างเสร็จในเดือน ตุลาคม 2540 และมีการเก็บข้อมูลการทรุดตัวครั้งแรกในวันเดือนกันยายน 2542 และมีการเก็บข้อมูลการทรุดตัวอีกทุก 2 เดือน จนถึงครั้งล่าสุดได้มีการเก็บข้อมูลในเดือนกรกฎาคม 2543 เป็นเวลา 33 เดือนหลังจากก่อสร้างเสร็จ



รูป 3.7 ลักษณะชั้นดินบริเวณสะพาน กม. 38+200 ทางหลวงพิเศษ กรุงเทพฯ-ชลบุรี (สายใหม่)



รูป 3.8 ลักษณะการทรุดตัวของโครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัวของสะพาน กม. 38+200

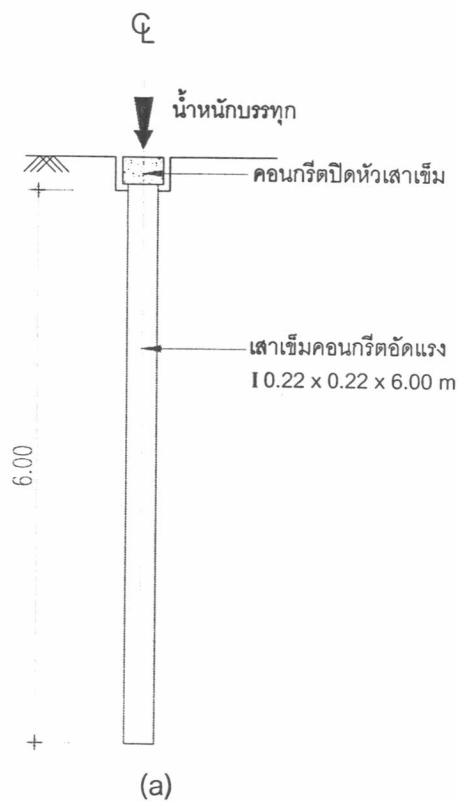


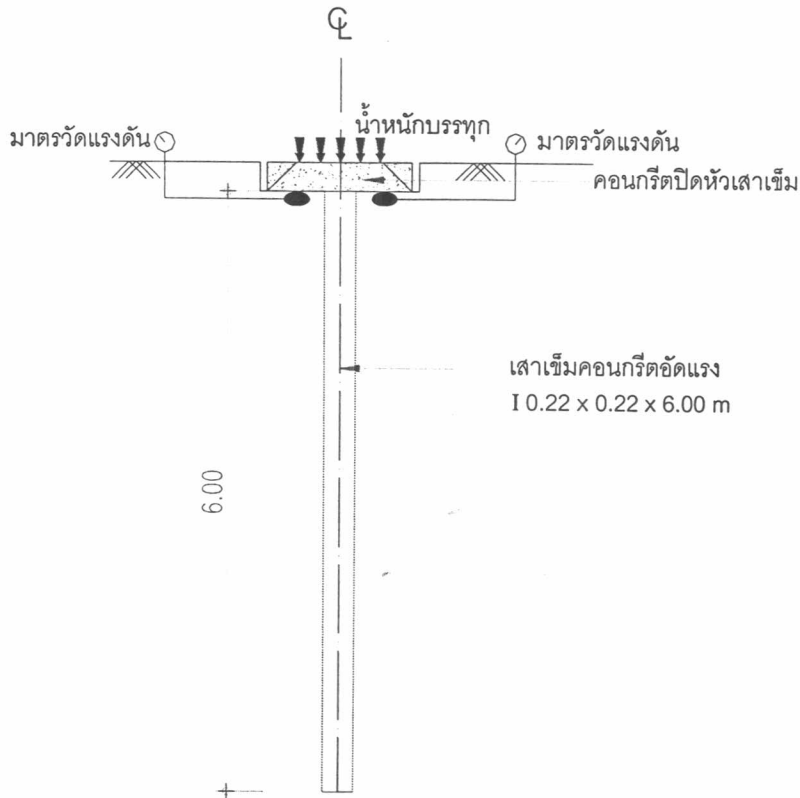
รูป 3.9 ลักษณะของโครงสร้างปรับปรุงสภาพการทรุดตัวของสะพาน กม. 38+200 ทางหลวงพิเศษกรุงเทพฯ-ชลบุรี

3.2 การทดสอบเสาเข็ม

เพื่อศึกษาพฤติกรรมกรรมการแบ่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกระหว่างเสาเข็มกับแผ่นคอนกรีตที่แท้จริงทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเสาเข็มความยาว 6 เมตร จำนวน 4 ต้นที่อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี

เสาเข็มต้นที่ 1 และ 2 ทำการทดสอบเพื่อหากำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม เสาเข็มต้นที่ 3 และ 4 เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมกรรมการแบ่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกระหว่างเสาเข็มกับแผ่นพื้นคอนกรีต โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันดิน (Pressure Meter) จำนวน 2 ตัว ต่อเสาเข็มหนึ่งต้น ที่ได้แผ่นคอนกรีตปิดหัวเสาเข็มซึ่งมีขนาด 1.00x1.00 เมตร เพื่อทำการคำนวณน้ำหนักที่แบ่งถ่ายให้แผ่นคอนกรีตรับในแต่ละขั้นตอนของการเพิ่มน้ำหนัก



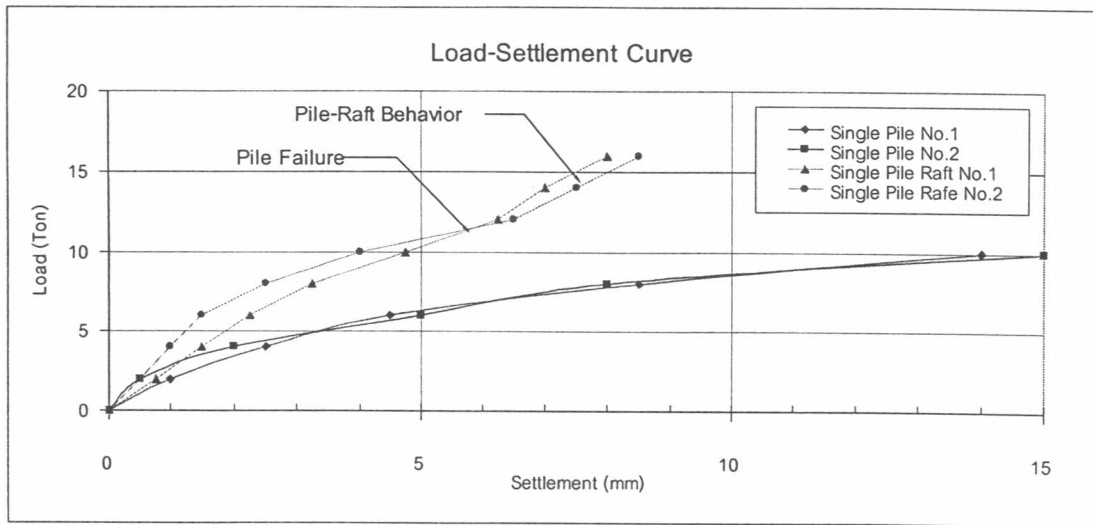


(b)

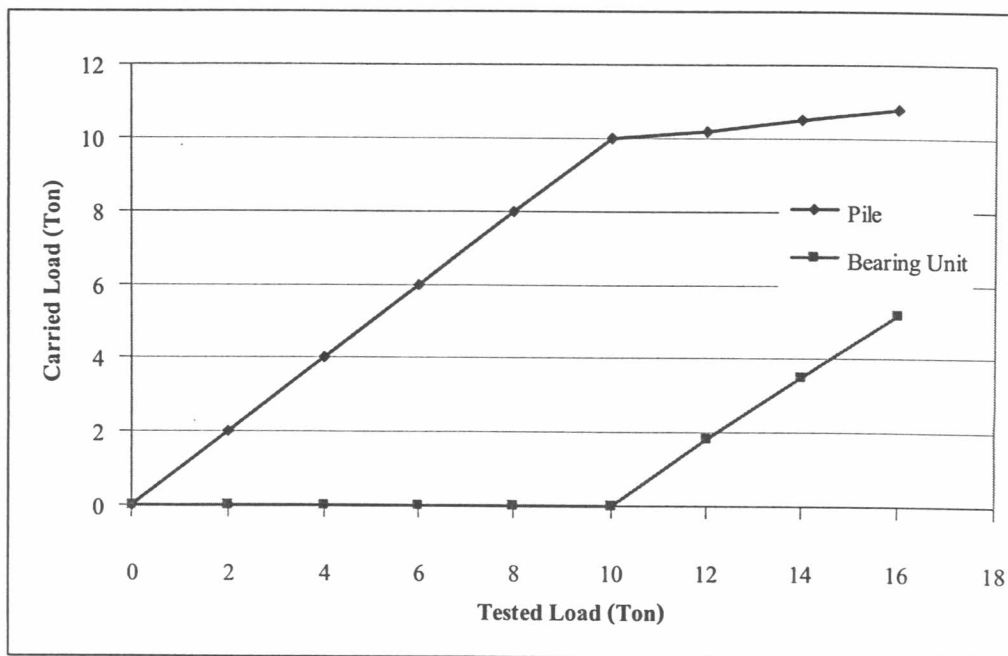
รูป 3.10 (a) การทดสอบเสาเข็มเดี่ยว , (b) การทดสอบเสาเข็มรับน้ำหนักพร้อมกับแผ่นคอนกรีต

ผลการทดสอบปรากฏว่า เสาเข็มต้นที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นเสาเข็มเดี่ยว (Single Pile) มีกำลังรับบรรทุกประลัยประมาณ 10 -12 ตัน สาเหตุที่ไม่สามารถระบุกำลังรับน้ำหนักที่ชัดเจนได้ เนื่องจากเสาเข็มทดสอบถึงจุดประลัยในระหว่างช่วงการเพิ่มน้ำหนักจาก 10 เป็น 12 ตัน ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าน้ำหนักและการทรุดตัวได้ และในการทดสอบเสาเข็มต้นที่ 3 และ 4 เมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักเกินกว่า 10 ตัน ซึ่งเป็นกำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม อุปกรณ์วัดแรงดันดิน (Pressure Meter) เริ่มอ่านค่าได้ แสดงว่าแผ่นพื้นคอนกรีตเริ่มแบ่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกหลังจากน้ำหนักบรรทุกมีมากกว่ากำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม โดยความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการทรุดตัวที่เกิดขึ้นแสดงไว้ในรูปที่ 3.11

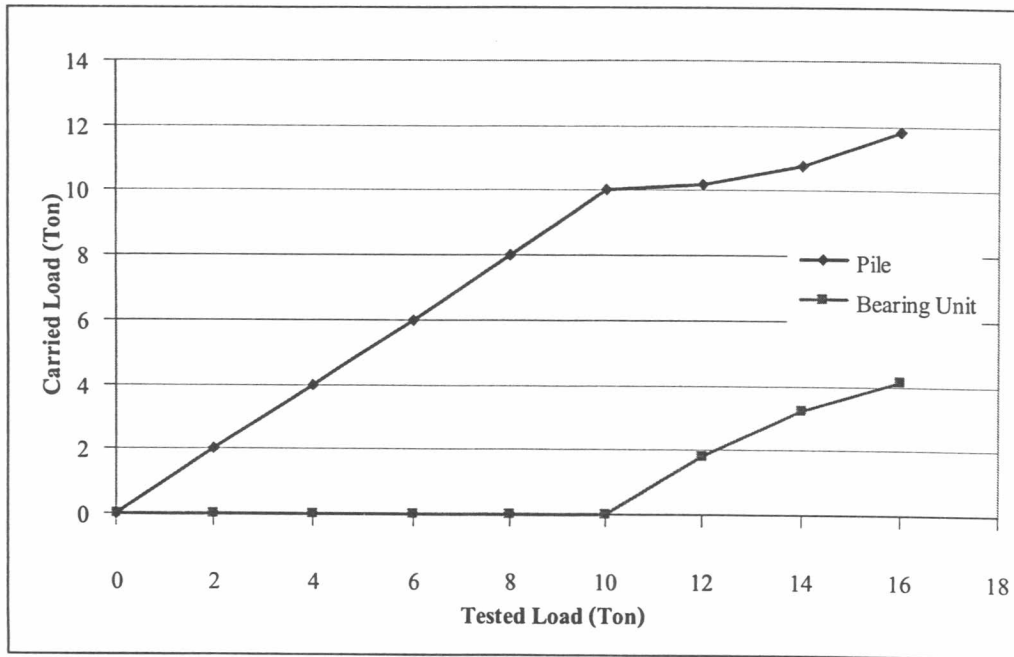
จากการคำนวณน้ำหนักบรรทุกที่แผ่นพื้นรับในการเพิ่มน้ำหนักแต่ละชั้นตอนพบว่า ณ จุดที่น้ำหนักบรรทุกมีค่าเกินกว่าน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม เสาเข็มจะรับน้ำหนักเท่ากับกำลังประลัย และน้ำหนักส่วนที่เหลือแผ่นพื้นจะรับไปทั้งหมด ซึ่งเป็นลักษณะของ "Pile Raft Foundation" คือเสาเข็มและแผ่นพื้นรับน้ำหนักร่วมกัน



รูป 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักทดสอบกับการทรุดตัวของเสาเข็ม



รูป 3.12 สัดส่วนการรับน้ำหนักระหว่างเสาเข็มกับแผ่นคอนกรีตของ Single Pile Raft No.1



รูป 3.13 สัดส่วนการรับน้ำหนักระหว่างเสาเข็มกับแผ่นคองกรีตของ Single Pile Raft No.2

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

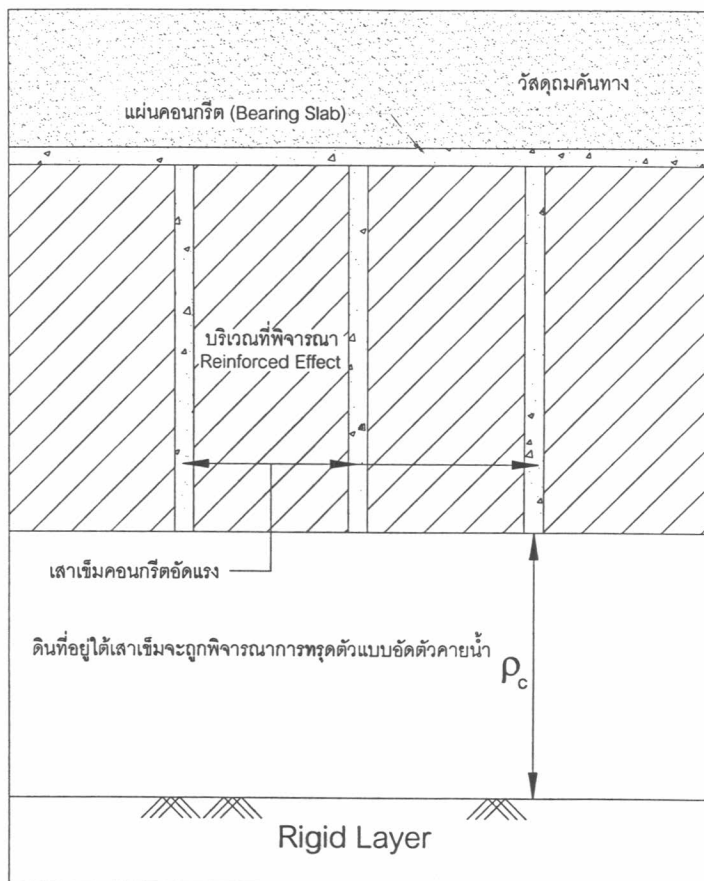
วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีการตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์ดังนี้

1. พฤติกรรมของฐานรากเป็นแบบ "Strip Footing"
2. โครงสร้างปรับสภาพการหดตัวมีลักษณะการหดตัวแบบ "Plain Strain"
3. น้ำหนักดินถมและน้ำหนักจรมีค่าคงที่
4. น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดให้เสาเข็มรับก่อน น้ำหนักส่วนที่เกินจากกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มให้แผ่นคองกรีตรับ
5. ไม่พิจารณาการหดตัวของเสาเข็มอันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุก
6. พิจารณาเฉพาะการหดตัวแบบอัดตัวคายน้ำหลัก (Primary Consolidation Settlement)

3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์

- 1) คำนวณน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนโครงสร้าง
 - น้ำหนักบรรทุกที่กระทำบนโครงสร้างแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่
 - a. น้ำหนักบรรทุกคงที่ ได้แก่ น้ำหนักวัสดุถม
 - b. น้ำหนักบรรทุกจร ได้แก่ น้ำหนักของยานพาหนะ ซึ่งใช้น้ำหนักตามมาตรฐาน AASHTO HS26-40 ซึ่งกำหนดให้ใช้เท่ากับ 1 ตันต่อตารางเมตร
- 2) คำนวณกำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม
- 3) ทำการแบ่งโครงสร้างออกเป็น "Strip Footing" ตามแนวตัดขวางของโครงสร้าง
- 4) ทำการแบ่งน้ำหนักบรรทุกโดยอาศัยวิธีการตามสมมติฐานข้อที่ 4
- 5) คำนวณอัตราส่วนความปลอดภัยของเสาเข็ม
- 6) คำนวณตำแหน่ง Neutral Plane บนเสาเข็ม
- 7) กระจายหน่วยแรงในลักษณะ Plain Strain ลงจาก Strip Footing
- 8) คำนวณการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำหลัก โดยพิจารณาการทรุดตัวตามแนวศูนย์กลางของเสาเข็ม และพิจารณาผลอันเนื่องมาจาก Reinforced Effect เนื่องจากเสาเข็มที่อยู่ในดิน

โดย Reinforced Effect ในดิน คือการพิจารณาส่วนของเสาเข็มที่อยู่ในดินเป็นโครงสร้างเสริมกำลังให้กับดินที่อยู่ในระดับเดียวกัน และทำให้ดินที่อยู่ในระดับเดียวกับเสาเข็มนั้นไม่เกิดการทรุดตัว โดยการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำจะเกิดขึ้นในส่วนของดินที่อยู่ใต้ปลายเสาเข็มลงไปเท่านั้น



รูป 3.14 การพิจารณาการเสริมกำลังของดินโดยเสาเข็ม (Reinforced Effect)

9) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำในสนาม C_v (Field)

อันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมบางอย่างในสนาม เช่นการสูบน้ำบาดาล อาจทำให้อัตราการทรุดตัวในสนามเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการทดลองในห้องปฏิบัติการมาก โดยจากการศึกษาอัตราการทรุดตัวของคันดินบริเวณถนนบางนา-ตราด โดย Udomrek (1985), นริศ (2528), สานิตย์ (2528) และ พินิจ (2528) บริเวณจังหวัดฉะเชิงเทรา โดย Natamon (1984) พบว่า การใช้ค่า C_v จากห้องทดลองจะให้ค่าการทรุดตัวที่ต่ำกว่าความเป็นจริงมาก

อัตราส่วนของ C_v ในสนามต่อค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการมีสัดส่วนที่ไม่แน่นอน โดยจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของตัวอย่างดินที่เก็บมาและวิธีการทดสอบชนิดของดิน ปริมาณทรายที่ปนอยู่ในเนื้อดิน ระดับและรูปร่างของหน่วยแรงและการไหลซึมของน้ำ ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยแสดงในตาราง 3.3

สถานที่ทำการศึกษา	PI(%)	OCR	$\frac{C_v(\text{Field})}{C_v(\text{Lab})}$	ผู้วิจัย
ฉะเชิงเทรา	40-50	3.0-6.0	70	Natamon (1984)
บางนา-ตราด (กม.2+890)	40-50	1.0-2.0	80	Udomrek (1985)
บางนา-ตราด (กม.24)	40-80	1.0-2.0	7-14	นริศ (2528)
บางนา-ตราด (กม.30)	50-80	1.0-2.0	10-20	พินิจ (2528)
บางนา-ตราด (กม.52)	40-70	1.5-2.5	8	सानิตย์ (2528)

ตาราง 3.1 สัดส่วน C_v ในสนามและในห้องปฏิบัติการ

โดยจะสังเกตได้ว่าสัดส่วนระหว่าง C_v ในสนามกับ C_v ในห้องปฏิบัติการมีค่าประมาณ 10 ถึง 80 เท่า โดยสัดส่วนดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นตามค่า OCR, ปริมาณทรายที่ปนอยู่ในดินและปริมาณการสูบน้ำบาดาล

จากข้อมูลการวิจัยดังกล่าว วิธีการที่เหมาะสมในการหาอัตราการทรุดตัวคือการหาค่า C_v จากข้อมูลการทรุดตัวในสนาม ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วิธีการดังกล่าว เพื่อให้การวิเคราะห์การทรุดตัวที่เวลาต่างๆมีความแม่นยำมากขึ้น

- 10) คำนวณปริมาณการทรุดตัว ณ เวลาที่ทำการเก็บข้อมูลการทรุดตัว โดยอาศัยค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำในสนาม $C_v(\text{Field})$ ที่ได้จากการคำนวณย้อนกลับ
- 11) เปรียบเทียบปริมาณการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในสนามกับผลที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ที่นำเสนอ
- 12) ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเดียวกันสะพานแห่งอื่นๆ
- 13) สรุปวิธีการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างปรับสภาพการทรุดตัว