บทที่ 3

การทดลองและการวิจัย

3.1 การรวบรวมข้อมูลการเจาะสำรวจและวิเคราะห์ดิน

โดยทำการรวบรวมข้อมูลและศึกษาการเจาะสำรวจและวิเคราะห์ดินที่ได้ทำแล้วดังรายการต่อไปนี้

- Field Investigation 1981, Songkhla Port Project ซึ่งทำขึ้นโดย Soil Testing Siam Co.,Ltd.

- Lab Test Results 1981, Songkhla Port Project ทำขึ้นโดย Soil Testing Siam Co., LTd.

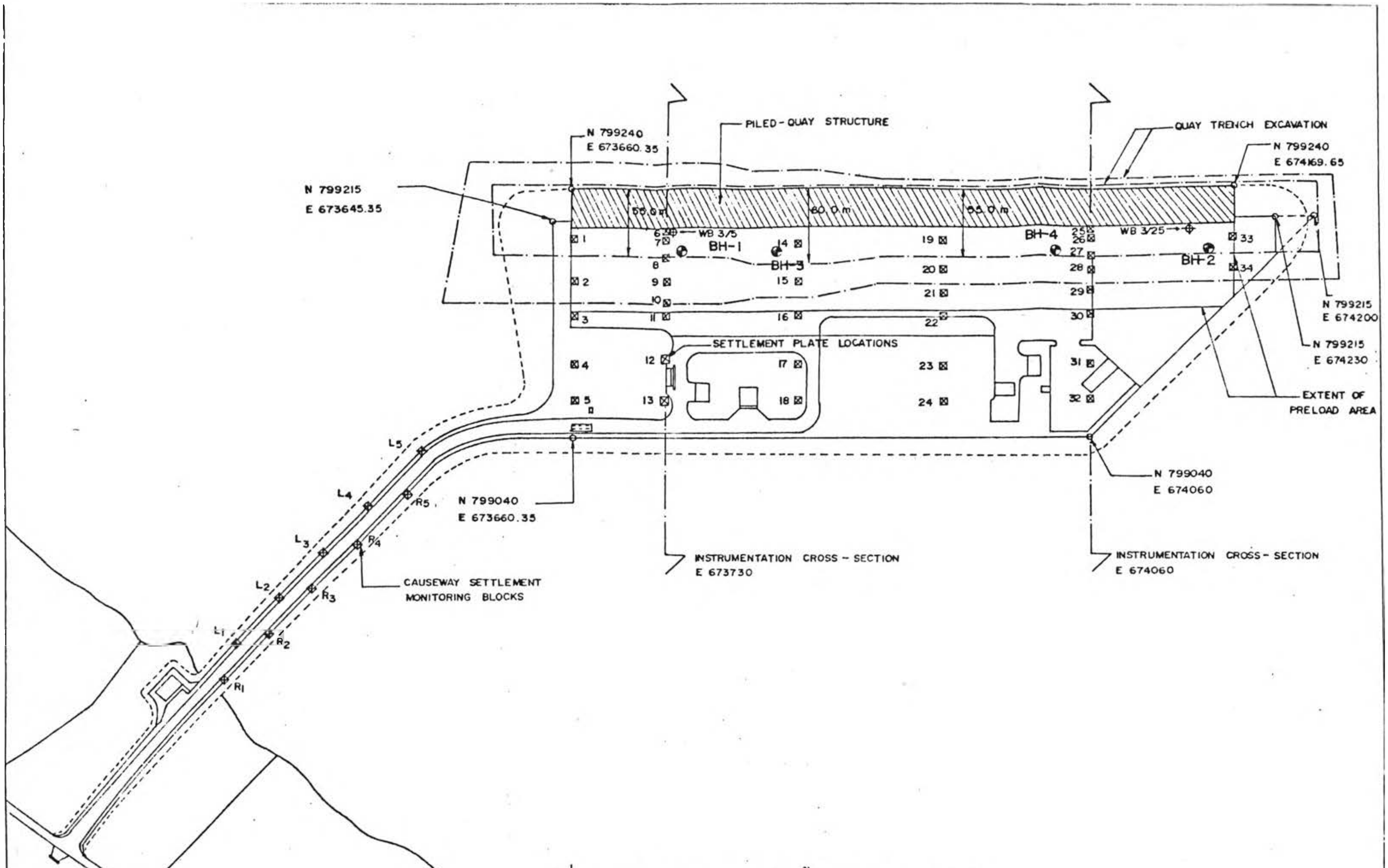
- Additional Subsurface Investigation for Reclamation Work at Songkhla Port Projec 1986 โดย STS Engineering Consultants Co.,Ltd.

3.2 การติดตั้งเครื่องมือทางธรณีเทคนิค

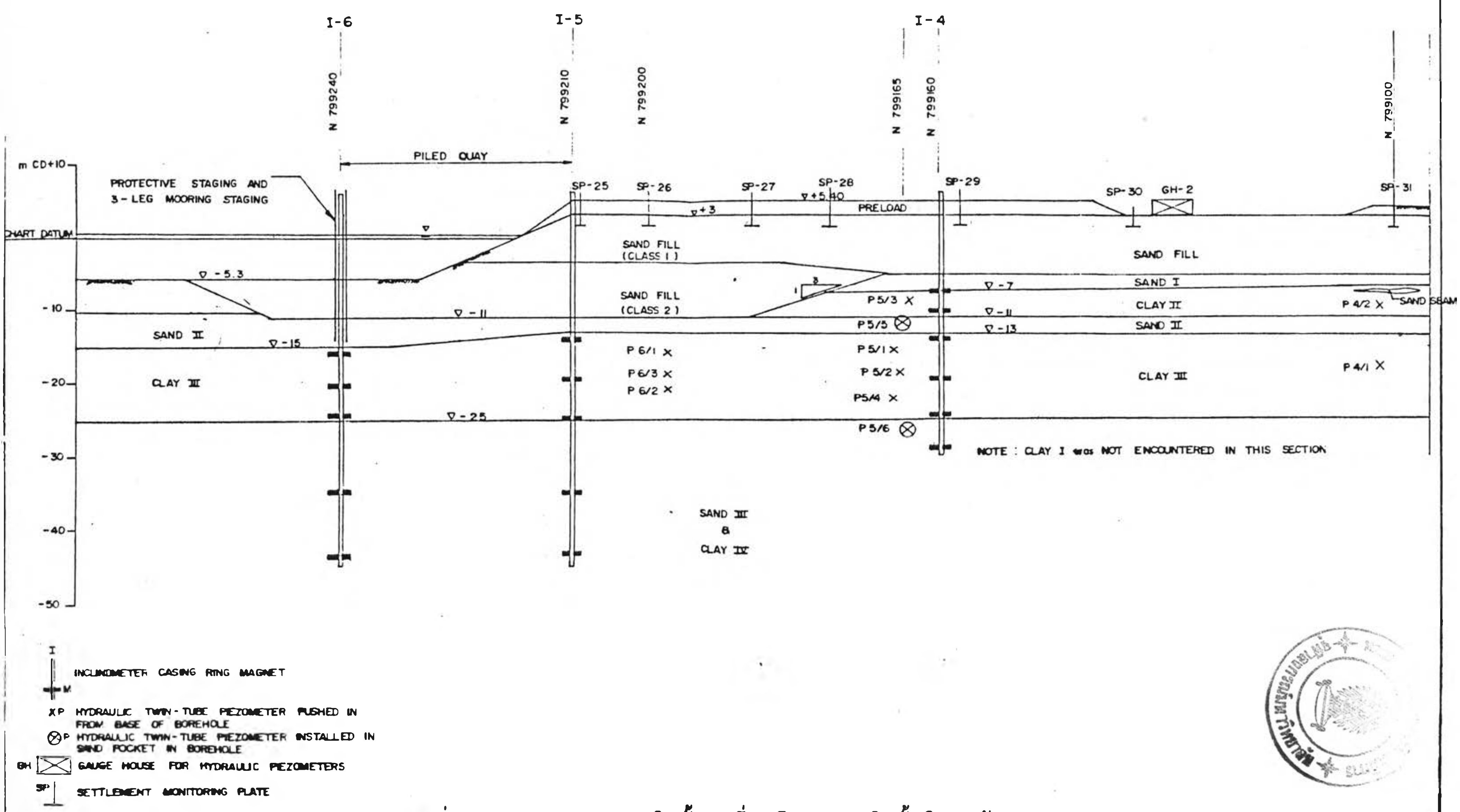
เครื่องมือทางธรณีเทคนิคที่ทำการติดตั้งในงานพื้นที่ปรับปรุงมีดังต่อไปนี้

- แผ่นวัดการทรุดตัว (Settlement Plates) ติดตั้งเพื่อวัดการทรุดตัวของพื้นผิวดินบริเวณพื้นที่ปรับปรุงจำนวน 34 จุดและบริเวณถนนทางเข้า 10 จุด ตามรูปที่ 3.1

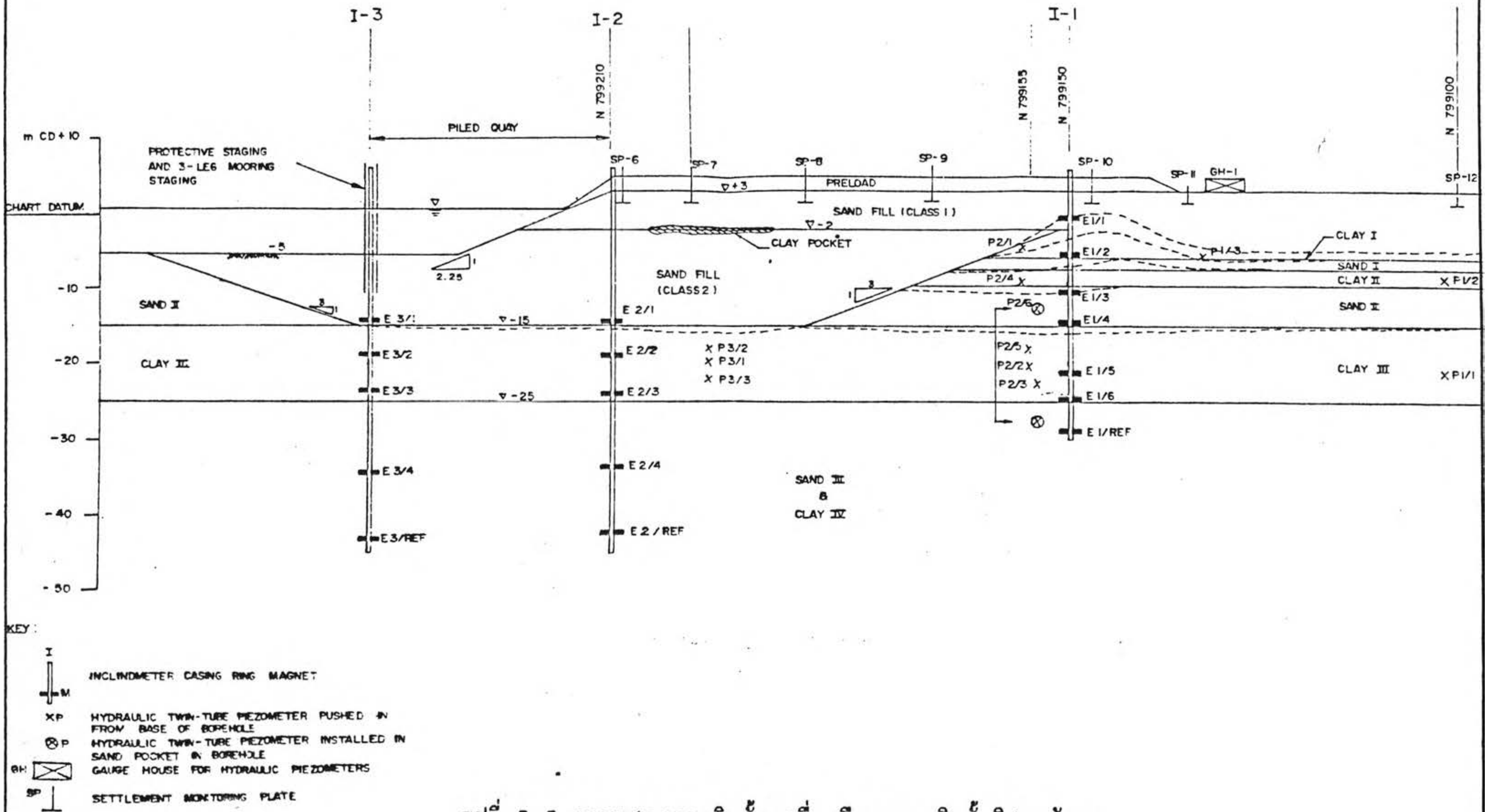
- พิโซมิเตอร์แบบไฮโดรลิกค์ (Hydraulics Piezometer) เพื่อวัดความดันน้ำในโพรงที่ระดับต่างๆ กันทั้งในดินเหนียวและดินทราย



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงการติดตั้งแผ่นวัดการทรุดตัว



รูปที่ 3.2 ภาพแสดงการติดตั้งเครื่องมือ ณ จุดติดตั้งทิศตะวันออก



รูปที่ 3.3 ภาพแสดงการติดตั้งเครื่องมือ ณ จุดติดตั้งทิศตะวันตก

ติดตั้ง ณ แนวติดตั้งเครื่องมือทางทิศตะวันออกจำนวน 11 จุด ตามรูปที่ 3.2 และแนวติดตั้งเครื่องมือทางทิศตะวันตกจำนวน 13 จุด ตามรูปที่ 3.3

- อินคลีโนมิเตอร์และเอกส์เทนโซมิเตอร์ (inclinometer and Extensometer) เพื่อวัดการเคลื่อนตัวและอัตราการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินและวัดการทรุดตัวของชั้นดินติดตั้ง ณ แนวติดตั้งเครื่องมือทางทิศตะวันออก 3 จุด ตามรูปที่ 3.2 และทางทิศตะวันตก 3 จุด ตามรูปที่ 3.3

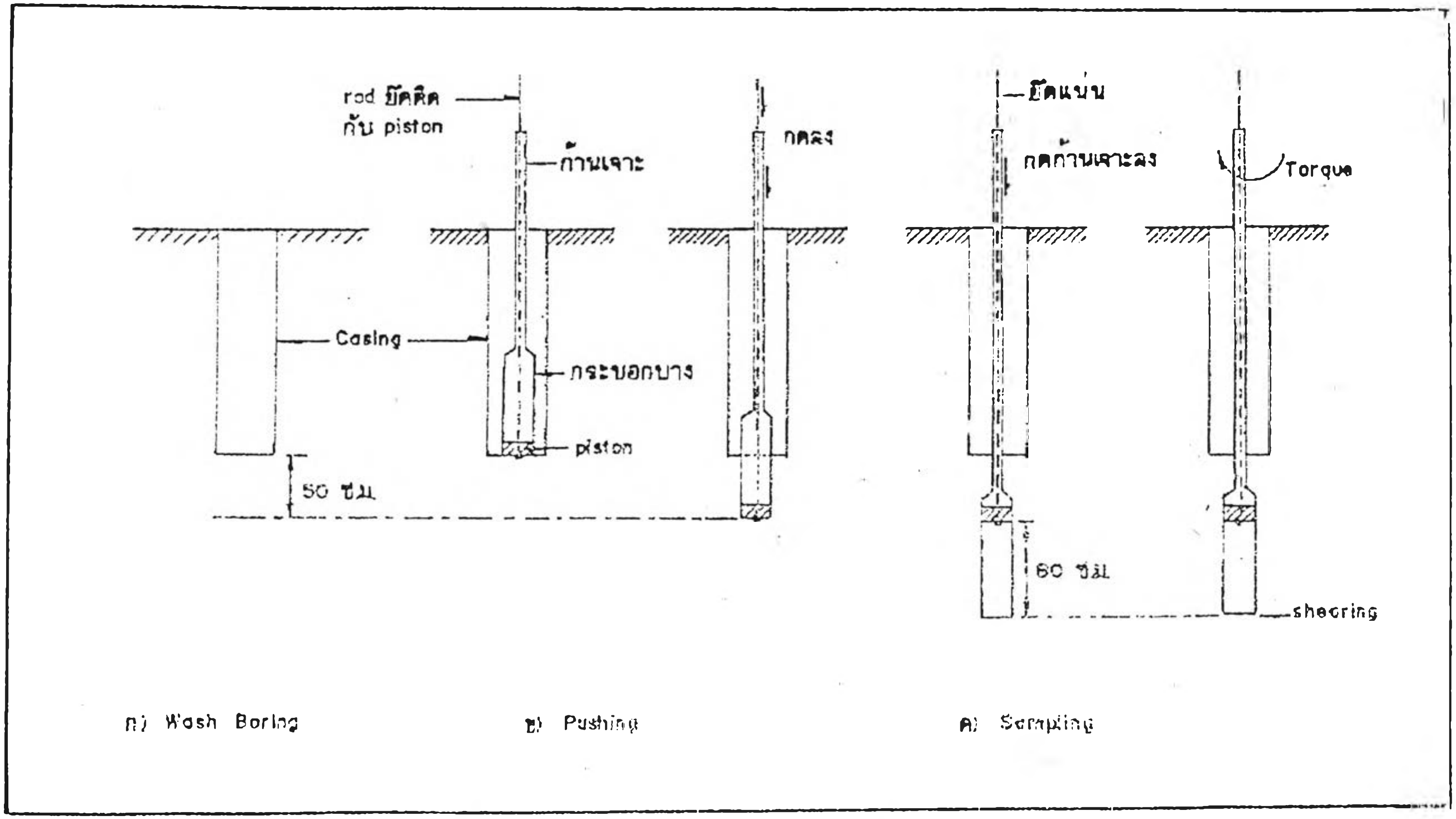
3.3 <u>การเจาะเก็บตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบด้านกำลังรับแรงเฉือน</u>

ในการเก็บตัวอย่างดินเหนียวเพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของพื้นที่ปรับปรุงจะทำการเก็บเฉพาะชั้นดินเหนียวชั้นที่ 3 (ตามรูปที่ 3.2 , 3.3) เนื่องจากดินเหนียวชั้นนี้มีความหนาเฉลี่ยประมาณ 10 เมตร และอยู่ลึกจากพื้นผิวพื้นที่ปรับปรุงประมาณ 18 เมตร ซึ่งดินเหนียวชั้นอื่นจะถูกแทนที่ด้วยทรายในช่วงที่เป็นขอบรอบ (Bund) ที่จะทำการวิเคราะห์เสถียรภาพ การเก็บตัวอย่างเลือกใช้การเก็บตัวอย่างแบบ Fixed Piston ใช้กระบอกเก็บตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลาง 3" ยาวประมาณ 1 เมตร โดยเก็บตัวอย่างทุกๆ 1.5 เมตร ของชั้นดินชั้น 3

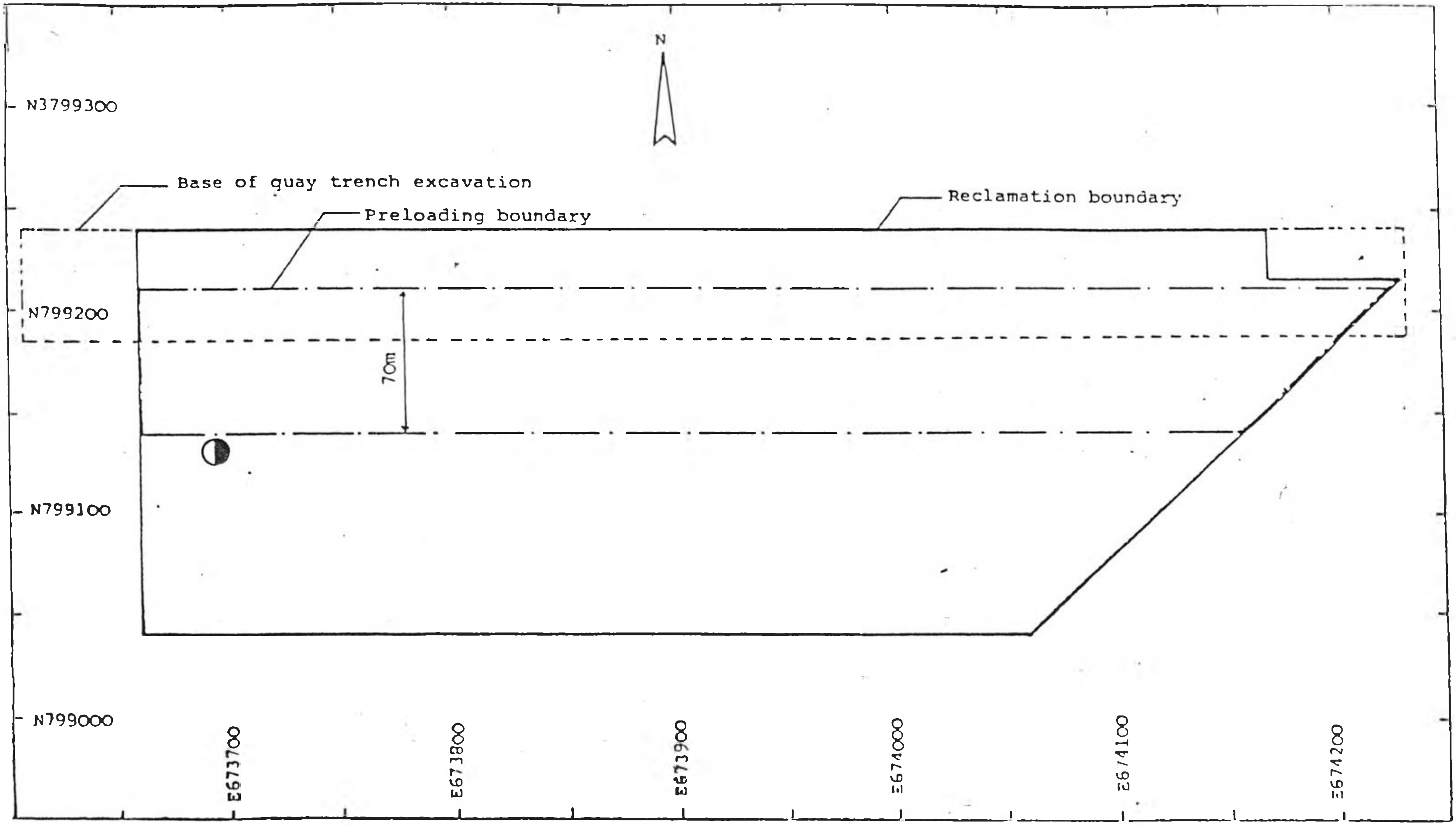
ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 3.4 และจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างดิน แสดงในภาพที่ 3.5

1. การเจาะดินทำโดยการฉีดล้าง (Wash Boring) จนถึงระดับก่อนเก็บตัวอย่างประมาณ 50 ซ.ม

2. ใช้กระบอกบาง Stainless steel เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาวประมาณ 1 เมตร ดันไล่ดินอ่อนลงไปอีก 50 ซ.ม โดยใช้ Hydraulic jack



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างแบบ Fixed Piston



รูปที่ 3.5 ภาพแสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดิน

3. เริ่มทำการเก็บตัวอย่างดินโดยการดึง Piston ให้นิ่งอยู่กับที่พร้อมกันนั้นใช้ Hydraulic jack ดันกระบอกบางโดยผ่านทางก้านเจาะลงไปในดินอีกประมาณ 80 ซม.

4. หมุนก้านเจาะเพื่อเฉือนดินที่ปลายกระบอกบางให้ขาดจากกัน จากนั้นให้กระบอกบางขึ้นมาเคลือบพาราฟินที่ข้างและท้ายกระบอกบางพร้อมทั้งเขียนรายละเอียดของตัวอย่าง

3.4 การเก็บข้อมูลในสนาม

3.4.1 ข้อมูลการทรุดตัวโดยแผ่นวัดการทรุดตัว ทำการตรวจสอบระดับด้วยกล้องระดับ โดยทำการตรวจสอบระดับสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ตลอดบริเวณพื้นที่และทางเข้าเริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2529

3.4.2 ข้อมูลความดันน้ำในโพรง ทำการอ่านค่าความดันน้ำในโพรงจากมาโนมิเตอร์ โดยทำการอ่านสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ทั้งที่แนวติดตั้งเครื่องมือทิศตะวันออกและทิศตะวันตกโดยเริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2529

3.4.3 ข้อมูลการเคลื่อนตัวด้านข้างและข้อมูลการทรุดตั้งแต่ละชั้นดิน ทำการอ่านค่าสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยเริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2529

หมายเหตุ การบันทึกข้อมูลทั้งหมด บริษัท STS Engineering Consultant เป็นผู้ทำการบันทึกข้อมูล

3.5 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

การทดลองในห้องปฏิบัติการในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

3.5.1 การทดลองหาคุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียว

- ปริมาณความชื้นในธรรมชาติ (Natural Moisture Content)

- หน่วยน้ำหนักรวม (Total Unit Weight)

3.5.2 การทดลอง Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression with Pore Pressure Measurement (CIUC Test)

จุดประสงค์ของการทดลอง $\overline{\text{CIUC}}$ เพื่อหา strength envelope ในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผลเพื่อหาพารามิเตอร์ในการทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาด

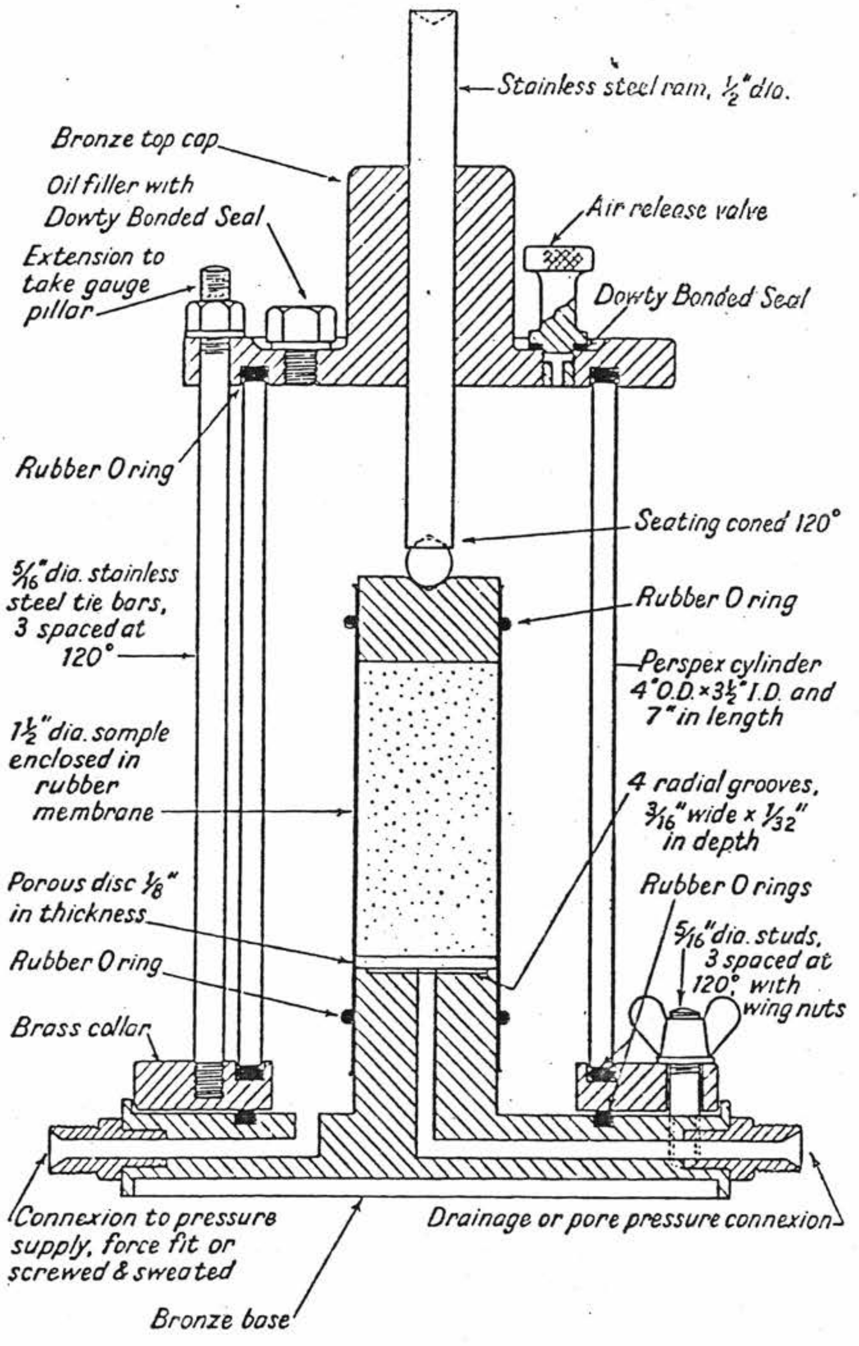
การทดลอง $\overline{\text{CIUC}}$ นี้ จะทำกับตัวอย่างที่เจาะได้จำนวน 6 ตัวอย่างที่สองระดับความลึกของดินเหนียวชั้นที่ 3 โดยเครื่องมือทำการทดลองประกอบด้วย

1. เครื่องมือ Triaxial ซึ่งจะใช้ Triaxial Cell ตามแบบมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ Compression machine

2. เครื่องวัดความดันน้ำในโพรงเพิ่ม ประกอบด้วยเครื่องแปลงกำลัง และตัวอ่าน (Transducer and Read-out Unit)

3. อุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

4. อุปกรณ์ชดเชยความดันของปรอท (Self-Compensating Mercury Columns) เพื่อให้ความดันน้ำในเซลล์ และให้ความดันน้ำในตัวอย่าง



รูปที่ 3.6 ภาพแสดง Triaxial Cell แบบมาตรฐาน

ขั้นตอนการทดลอง CIUC มีดังต่อไปนี้

1. การเตรียมตัวอย่างดินในเครื่อง Triaxial)

ในการเตรียมตัวอย่างดินที่จะทำการทดสอบ Triaxial) นั้นก่อนอื่นจะต้องมั่นใจว่าเครื่องมือมีอยู่ในสภาพที่พร้อมเสียก่อน เนื่องจากดินเหนียวเมื่อสูญเสียน้ำไปแล้วคุณสมบัติต่างๆ จะเปลี่ยนไปการตรวจสอบเพื่อทราบว่าเครื่องมืออยู่ในสภาพที่พร้อมที่จะใช้งานได้หรือไม่ ทำโดยการอัดน้ำเข้าไปในสายต่างๆ เครื่องมือต้องเตรียมให้พร้อม เช่น Transducer จะต้องอิ่มตัวด้วยน้ำ Dial Gauge และ Proving Ring อยู่ในสภาพใช้งาน เมื่อเครื่องมือทุกอย่างพร้อมแล้วทำการเตรียมตัวอย่างโดยแกะขี้ผึ้งและกระดาษอลูมิเนียมฟอล์ยออก แล้วนำมาแต่งขอบ (Trim) ในขั้นตอนนี้ ต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมากเนื่องจากสภาพดินเป็น Varved Clay คือมีชั้นทรายแป้งและทรายขาวบางๆ สลับกับดินเหนียวซึ่งตัวอย่างอาจจะหักได้ง่าย ทำการแต่งขอบตัวอย่างจนได้ขนาดที่ต้องการคือมีความสูง 75 มม. และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 28 มม.

ทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาหน่วยน้ำหนักรวมเศษดินที่เหลือจากการแต่งขอบจะถูกนำไปหาปริมาณความชื้นในธรรมชาติ

จากนั้นนำตัวอย่างดินวางลงบนแท่นวางตัวอย่างที่มีหินพรุน (Porous Stone) และกระดาษกรองวางอยู่แล้วเพื่อกันมิให้เม็ดดินเล็ดลอดเข้าไปอุดตันหินพรุน จากนั้นนำหินพรุน, Top Cap และกระดาษกรองมาวางบนตัวอย่างเพื่อให้การเกิดขบวนการยุบอัดตัวคายน้ำเกิดได้เร็วขึ้นจึงใช้กระดาษกรองตัดเป็นชิ้นตามแนวดิ่งกว้าง 1/4 นิ้ว และเว้น 1/4 นิ้ว จำนวน 8 ชิ้นพันรอบตัวอย่างดิน จุดประสงค์อีกอย่างหนึ่งของกระดาษกรองแนวดิ่งนี้คือกระจายความดันน้ำในโพรงให้เท่ากันตลอดตัวอย่างในขณะที่ทำการทดสอบ จากนั้นจึงนำเยื่อยาง (Rubber Membrane) มาหุ้มตัวอย่างและใช้ยางวงแหวนตัว O รัดบนและล่างเพื่อเวลาทำการให้ความดันโดยรอบแล้วน้ำจะไม่เข้าไปในมวลดินโดยตรง

เมื่อทำการเตรียมตัวอย่างดินเสร็จแล้วนำเอากระบอกเซลล์ยึดเข้ากับหน่วยตัวอย่างโดยที่ระวังก้านกดตัวอย่าง (Loading Ram) ไม่ให้เกิดตัวอย่างทดลองตัวอย่างจะเสียหาย เมื่อทำการประกอบเซลล์เสร็จแล้วจัดก้านกดตัวอย่างให้สัมผัสพอดีกับข้าง Top Cap แล้วทำการ Lock Clamp จากนั้นทำการใส่น้ำและน้ำมันเข้าไปในเซลล์เพื่อเริ่มทำการทดสอบ

2. ขั้นตอนการทำให้ดินเกิดการยุบอัดตัวคายน้ำแบบหน่วยแรงเท่ากันทุกแกน (Isotropically Consolidation Stage) และการตรวจสอบการอิ่มตัวด้วยน้ำ

ในขั้นตอนนี้จะทำให้ดินมีค่าหน่วยแรงประสิทธิผลเริ่มต้นตามที่ต้องการโดยขั้นแรกทำการต่ออุปกรณ์ทั้งหมดเข้าเป็นชุดคือ Transducer เครื่อง-มือวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและ Header Tank ที่มีระดับเหนือจากระดับที่วางตัวอย่างประมาณ 30 ซม. เมื่อทำการต่อและทำให้สายและเครื่องมือต่างๆ มีน้ำเต็มไม่มีฟองอากาศแล้วค่อยๆ เพิ่มความดันเซลล์ขึ้นโดยใช้ Hand Pump โดยที่เปิดวาวที่ฐานตัวอย่างไว้ได้เลยเมื่อถึงความดันที่ต้องการแล้วเปิดวาวระบบชดเชยความดันเพื่อให้ระบบทำงานทิ้งไว้ 24 ชม. บันทึกการเปลี่ยนแปลงปริมาตร และความสูงของตัวอย่าง จากนั้นทำการทดสอบว่าดินอิ่มตัวด้วยน้ำหรือไม่ด้วยการหาค่า โดยหลักการของ Skempton (1954) โดยที่ถ้าค่า B มากกว่า 0.95 จึงจะถือว่าดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ค่า

คำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\Delta u = B[\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \qquad (3.1)$$

3. ขั้นตอนการเฉือนตัวอย่าง (Shearing Stage)

หลังจากที่ตัวอย่างดินผ่านขั้นตอนการยุบอัดถึงคายน้ำแล้ว ก็จะทำการเฉือนดินโดยทำการปิดลิ้นระบายน้ำทาง Back Pressure เพื่อมิให้น้ำไหลออกจากตัวอย่างในขณะที่ทำการเฉือนตัวอย่างแล้วจึงทำการเพิ่มหน่วยแรงแนวดิ่งโดยใช้เครื่อง Compression Machine ในขณะที่ค่าความดัน

เชลล์คงที่หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นในแนวดิ่งจะได้จากการอ่านค่า Proving Ring และค่าของพื้นที่หน้าตัดที่เพิ่มขึ้น ตามสมการที่ 3.2

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{\text{Load from Proving Ring}}{A_c}(1-\varepsilon) \quad (3.2)$$

โดยที่ σ_1, σ_3 = หน่วยแรงหลักที่หนึ่งและที่ 3 (ในกรณีนี้คือหน่วยแรงตามแนวดิ่งและวางตามลำดับ)

Ac = พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น

ε = ความเครียดตามแนวแกน

ในการทดสอบนี้ใช้อัตราความเครียดแนวแกน 2.5% ต่อชั่วโมง ระหว่างการทดสอบบันทึกค่าการยุบตัวของ Proving Ring, การยุบตัวของดินและค่าความดันน้ำในโพรงเพิ่มทำการทดสอบถึงค่าความเครียดประมาณ 15% หลังจากการทดสอบบันทึกลักษณะการพิบัติ แล้วจึงนำดินตัวอย่างไปหาปริมาณความชื้นในตัวอย่างดิน

3.6 <u>การวิเคราะห์เสถียรภาพและการหาความสูงวิกฤต</u>

การวิเคราะห์เสถียรภาพและการหาความสูงวิกฤตทำโดยวิธีการ 2 วิธี คือ

3.6.1 การวิเคราะห์โดยวิธี Slip Circle โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เสนอโดย Huang (1981) ทำการวิเคราะห์โดยที่โปรแกรมนี้ใช้วิธีการของ Simplified Bishop เพื่อหาค่าของตัวประกอบปลอดภัย พารามิเตอร์ที่ใช้ได้จากการรวบรวมข้อมูล ตามหัวข้อ 3.1 และการทำการทดลองตามหัวข้อ 3.5 การวิเคราะห์ทำทั้งวิธีหน่วยแรงรวมเพื่อหาตัวประกอบปลอดภัยในระยะยาว (Long Term) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โปรแกรมนี้ชื่อ "REAME" ใช้กับเครื่อง IBM PC เป็นภาษา BASIC ดังแสดงในภาคผนวก

3.6.2 การวิเคราะห์โดยวิธี Translational Failure Analysis เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นโดย Department of Navy พารามิเตอร์ที่ใช้เหมือนกับในหัวข้อ 3.6.1