บทที่ 3

วิธีการศึกษาและการทดลอง

3.1 สถานที่ที่ทำการศึกษา

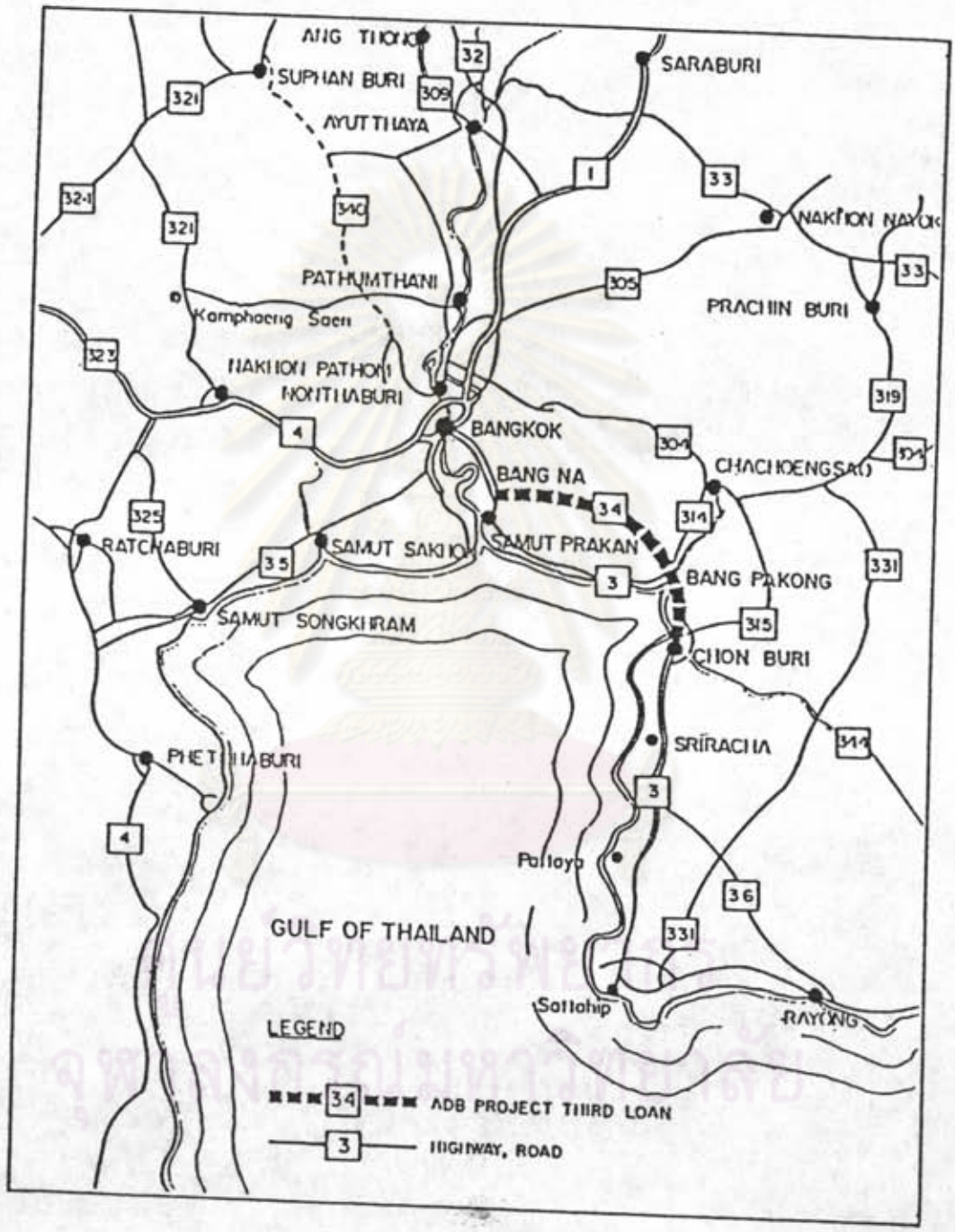
สถานที่ที่ทำการศึกษาในการวิจัยนี้ คือ ที่ กม. 47 และ กม. 52 ของถนนสาย บางนา-บางปะกง ดังแสดงในรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดตำแหน่งที่ตั้ง และรูปหน้าตัดของ สถานที่ที่ทำการศึกษา พร้อมทั้งตำแหน่งของเครื่องมือทางเทคนิคธรณีที่ กม. 47

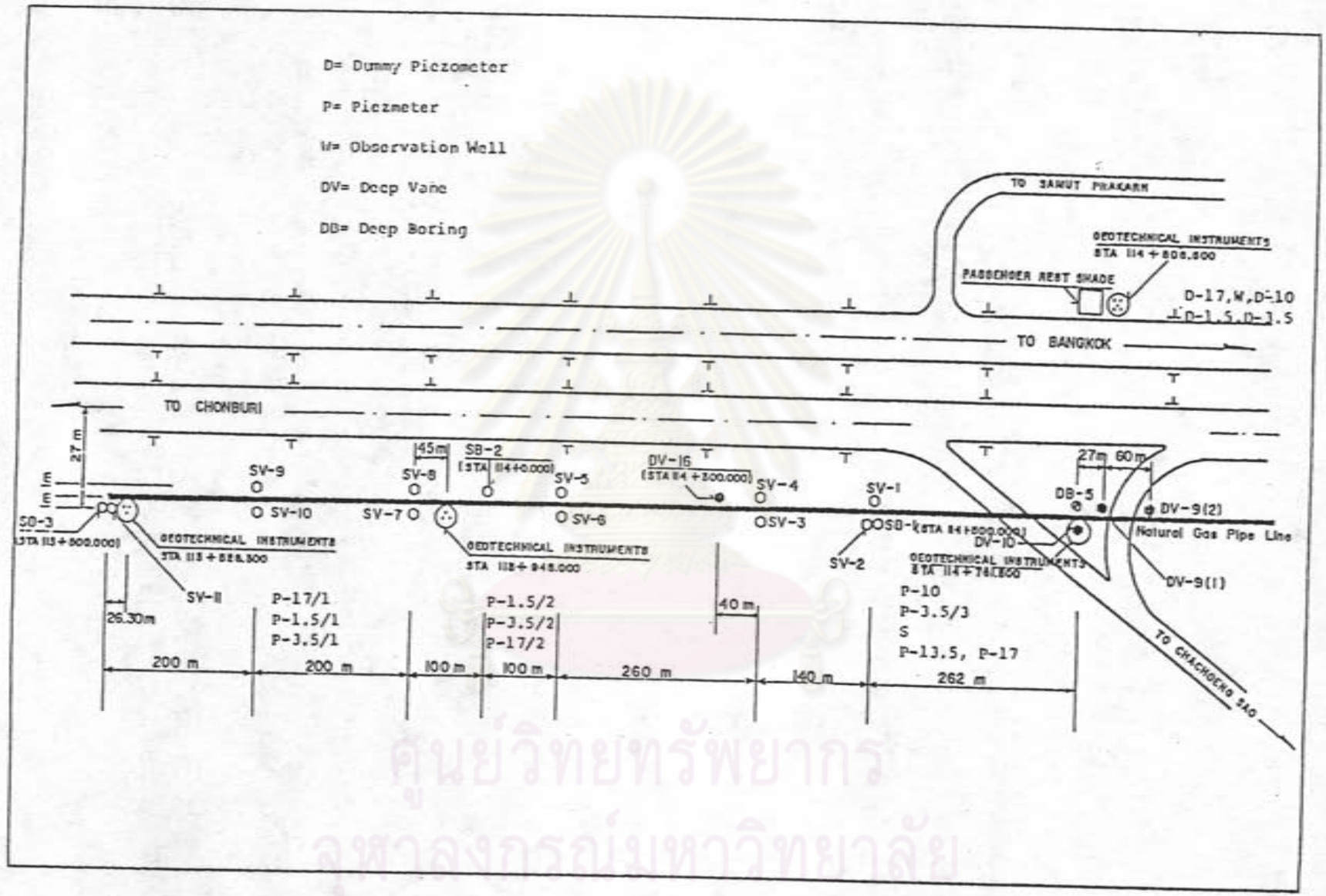
รูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 แสดงรายละเอียดตำแหน่งที่ตั้ง และรูปหน้าตัดของ สถานที่ที่ทำการศึกษาพร้อมทั้งตำแหน่งของเครื่องมือทางเทคนิคธรณีที่ กม. 52

โดยการศึกษาที่ กม. 47 ประกอบด้วย การวิเคราะห์การทรุดตัวของถนนเก่า (ด้านไปชลบุรี) การวิเคราะห์การทรุดตัวและอัตราการระบายความดันน้ำของเกาะกลางถนน ส่วนการศึกษาที่ กม. 52 จะประกอบด้วย การวิเคราะห์การทรุดตัวของถนนเก่า (ด้านไปชลบุรี) การวิเคราะห์การทรุดตัวและอัตราการระบายความดันน้ำของ BV # 6 ในการวิเคราะห์การทรุดตัวของถนนเก่า (ด้านไปชลบุรี) จะได้ศึกษาหาข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวของเกาะกลางถนนที่ กม. 47 และของ BV # 6 ที่ กม. 52 ซึ่งทั้งสองแห่งได้มีการติดตั้งเครื่องมือทางเทคนิคธรณี ทำการเจาะสำรวจและทดลองดินทั้งในสนาม และในห้องปฏิบัติการ (ดูรายละเอียดหัวข้อ 3.2-3.4) ส่วนข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวของถนนเก่าจะได้จากข้อมูลการทรุดตัวของถนนเก่า (ดู N.D.Lea & TEC, 1981) และใช้ค่าพารามิเตอร์ดินจากที่ Section เดียวกันมาวิเคราะห์

การศึกษาหาข้อมูล มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

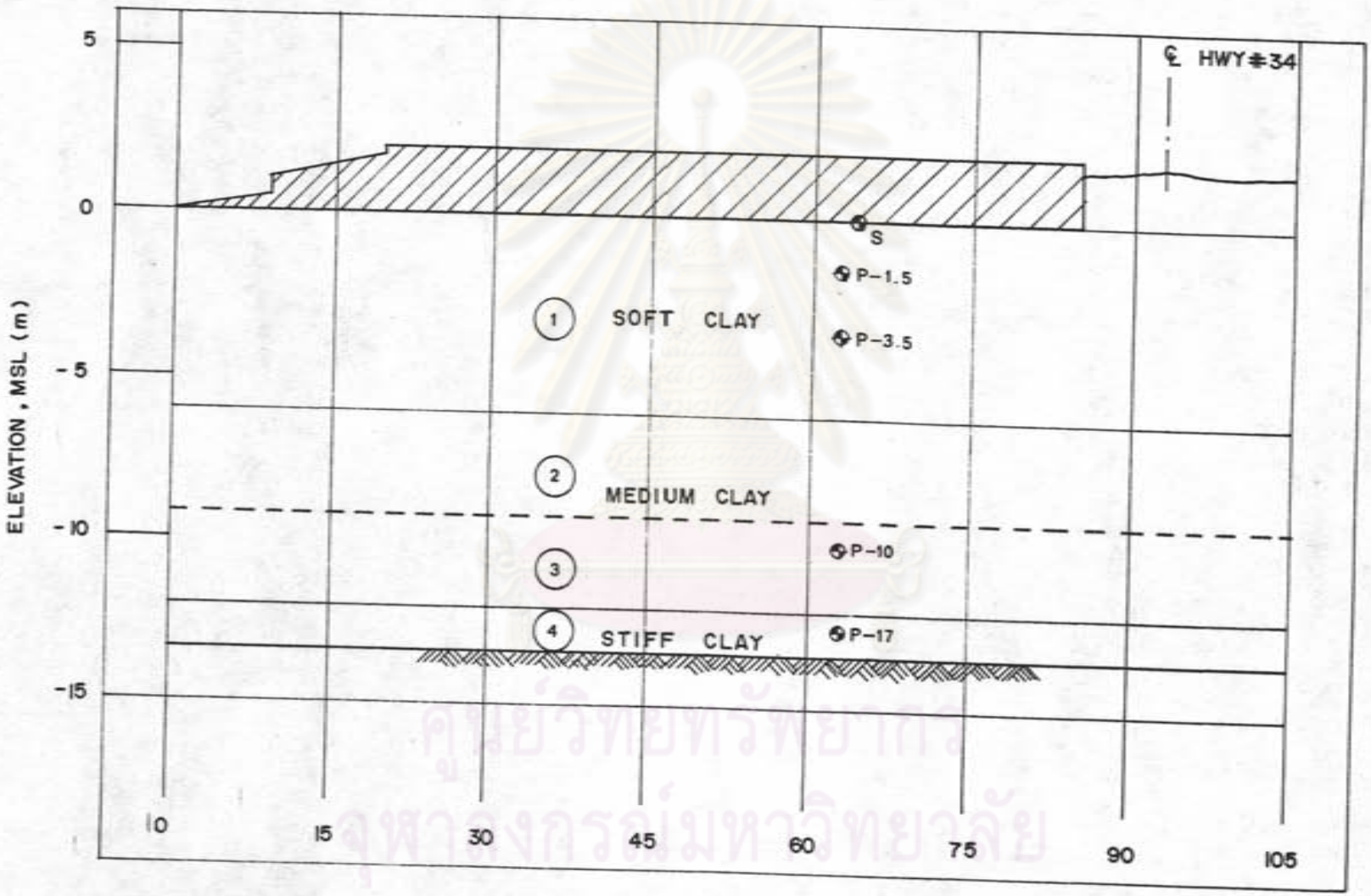


รูปที่ 3.1 สถานที่ที่ทำการศึกษา



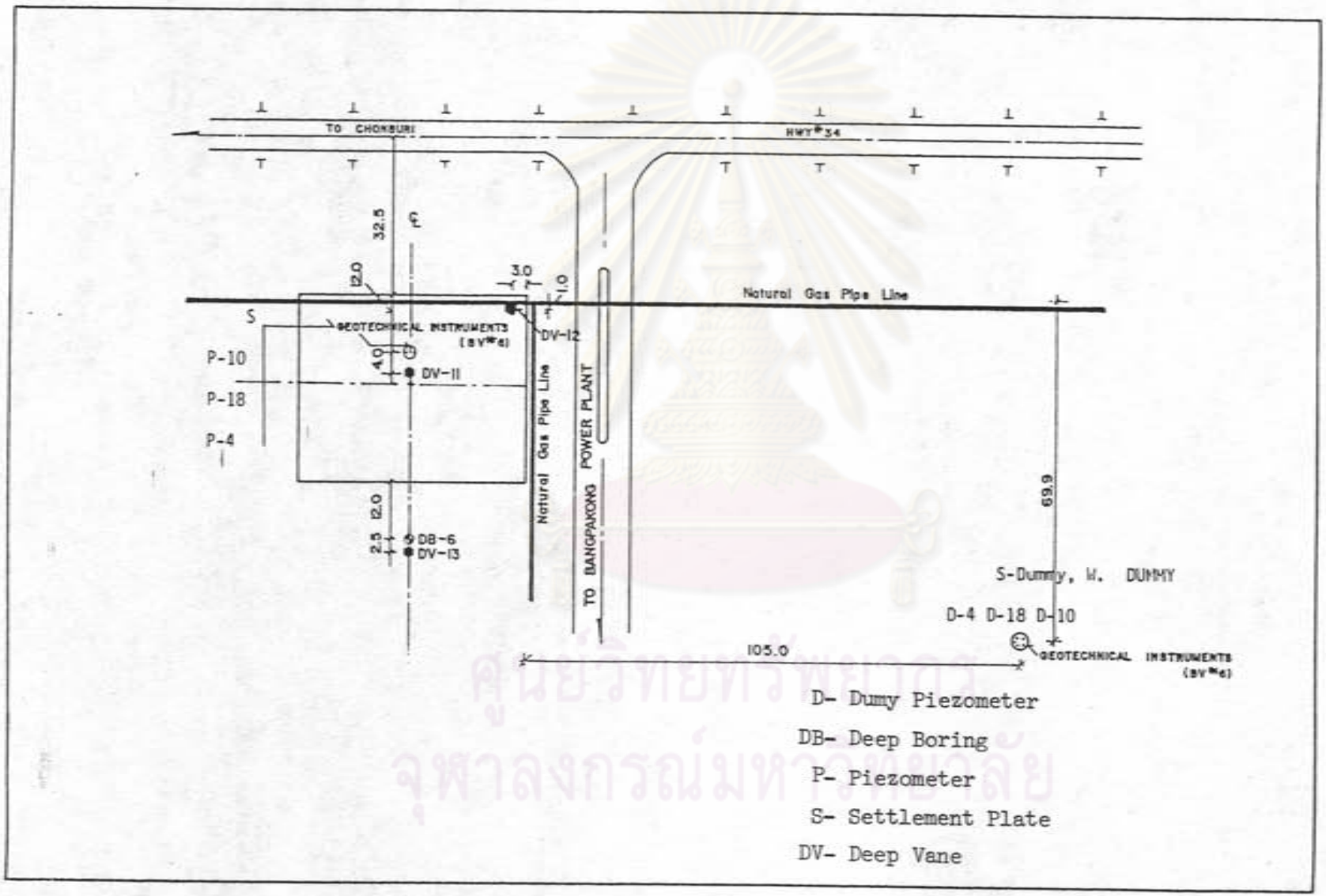
รูปที่ 3.2 รายละเอียดตำแหน่งที่ตั้ง ตำแหน่งการเจาะสำรวจและการติดตั้งเครื่องมือทางเทคนิคธรณีที่ กม.47 (STA 114 + 781.800)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 แสดงรูปหน้าตัด และตำแหน่งที่ติดตั้ง Piezometer ที่ กม.47

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 รายละเอียดตำแหน่งที่ตั้ง ตำแหน่งการเจาะสำรวจและการติดตั้งเครื่องมือทางเทคนิคธรณีที่ กม.52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.5 แสดงรูปหน้าตัดและตำแหน่งที่ติดตั้ง Piezometer ที่ กม.52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การติดตั้งเครื่องมือทางเทคนิคธรณี (Geotechnical Instruments)

เครื่องมือทางเทคนิคธรณีที่ทำการติดตั้งในการวิจัยนี้ คือ Piezometer, Dummy Piezometer, Well, Active Settlement Plate และ Dummy Settlement Plate ในการวิจัยนี้การติดตั้ง Dummy Settlement Plate ก็เพื่อที่จะวัดผลของ Subsidence ไม่ได้ใช้เป็น datum ในการหาค่าการทรุดตัว แต่ datum จะได้จาก Bench Mark ที่เป็นเล่าเย็มซึ่งปลายเย็มอยู่ในชั้นดินแข็ง ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเครื่องมือทางเทคนิคธรณีแสดงไว้ในรูปที่ 3.2-3.5 รายละเอียดการติดตั้งแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และ 3.2 จุดประสงค์ในการติดเครื่องมือทางเทคนิคธรณี แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 ข้อมูลความดันน้ำใต้ดินจาก Piezometer และ Well จะถูกสำรวจทุก ๆ 2 สัปดาห์ เป็นระยะเวลาประมาณ 7 เดือน ส่วนข้อมูลที่เกี่ยวกับการทรุดตัวจาก Settlement Plate จะถูกสำรวจทุก ๆ 1 เดือน เป็นระยะเวลาประมาณ 5 เดือน

3.3 การเจาะสำรวจและการทดสอบ Field Vane Shear

การเจาะสำรวจชั้นดินในงานวิจัยนี้กระทำโดยวิธี Wash Boring ประกอบกับการใช้ปลอกเหล็ก (Casing) ขนาด Ø 4" เพื่อป้องกันมิให้หลุมเจาะเกิดการพังทลาย ปลายของ Casing ควรจะอยู่เหนือระดับชั้นดินที่ต้องการเก็บตัวอย่างไม่น้อยกว่า .50 เมตร ในขณะที่ทำการเจาะสำรวจได้ป้องกันการบวมตัวของดินก้นหลุม โดยการรักษาระดับน้ำในหลุมเจาะให้เต็มอยู่เสมอ ตำแหน่งที่ทำการเจาะสำรวจ แสดงอยู่ในรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.4

การเก็บตัวอย่างจะเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) ในชั้นดินอ่อนรวมกระทั่งชั้นดินแข็งที่สามารถเก็บได้ โดยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบ piston ด้วยกระบอกบางที่ทำด้วยสเตนเลส มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาว 1.00 เมตร ทุกระยะ 1.50 เมตร และระยะที่กดเก็บตัวอย่างประมาณ .80 เมตร ส่วนในชั้นดินแข็ง ซึ่งไม่สามารถเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ จะได้จากการทำ Standard Penetration Test เมื่อทำการเก็บตัวอย่างดินได้แล้ว ในกรณีของ Undisturbed Sample จะนำมาหุ้มด้วยยี้ผึ้งทันทีทั้งสองด้าน และหุ้มด้วยถุงพลาสติกให้มิดชิดอีกชั้นหนึ่ง ทำการบันทึกสถานที่เจาะ, เบอร์หลุมเจาะ, เบอร์ตัวอย่างที่เก็บ และระดับความลึกของตัวอย่างดิน ส่วนในกรณีของ Disturbed Sample จะถูกตัดแบ่ง

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือทางเทคนิคธรณี ที่ กม.47

เครื่องมือ	ระดับปลาย Piezometer เมตร (รทก.)	ความลึกจากผิวดิน (เมตร)
Active Piezometer	- 0.968	1.5
	- 2.968	3.5
	- 9.468	10
	- 16.468	17
Dummy Piezometer	- 0.526	1.5
	- 2.526	3.5
	- 9.026	10.6
	- 16.026	17.0
Observation Well	- 0.026	1.0
Settlement Plate	ดูรูปที่ 3.2	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือทางเทคนิคธรณี ที่ กม.52

เครื่องมือ	ระดับปลาย PIEZOMETER เมตร (รทก.)	ความลึกจากผิวดิน (เมตร)
Active Piezometer	- 3.527	4
	- 9.527	10
	- 17.527	18
Dummy Piezometer	- 3.206	4
	- 9.206	10
	- 17.006	18
Observation Well	- 0.206	1
Active Settlement Plate	ติดตั้งที่บริเวณ ℄ ของ BV # 6	
Dummy Settlement Plate	ติดตั้งที่ 105 ม. จาก BV # 6	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 วัตถุประสงค์ในการติดตั้งเครื่องมือทางเทคนิคธรณี

เครื่องมือ	วัตถุประสงค์
Active Piezometer	วัดค่าความดันน้ำโพรงเพิ่ม เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวเนื่องจาก CONSOLIDATION
Dummy Piezometer	เพื่อหาความดันน้ำใต้ดินในธรรมชาติ และใช้เป็น DUMMY
Well	ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน
Active Settlement Plate	เพื่อวัดการทรุดตัวของชั้นดิน เนื่องจากน้ำหนักของดินถม
Dummy Settlement Plate	เพื่อวัดการทรุดตัวของแผ่นดิน เนื่องจากการสูบน้ำบาดาล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เป็น 3 ส่วน ๆ ละ 0.15 เมตร (หัว, กลาง, ท้าย) แยกบรรจุใส่ยวด ปิดผนึกให้แน่นหนา ทำการบันทึกเช่นเดียวกับ Undisturbed Sample ตัวอย่างดินทั้งหมดจะถูกขนส่ง และนำไปเก็บไว้ในห้องควบคุมความชื้น ที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบ Field Vane Shear โดยใช้เครื่องมือที่คล้าย Geonor Vane Borer ขนาดของใบ Vane มีค่า 55 x 110 มม. ทำการทดสอบทุกระยะ 0.50 เมตร ทั้งสภาวะ Undisturbed และ Remolded จนกระทั่งถึงชั้นดินแข็ง ซึ่งวิธีการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2573-72 โดยตำแหน่งที่ทำการทดสอบ Field Vane แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.4

3.4 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

การทดลองในห้องปฏิบัติการในการวิจัยนี้ประกอบด้วย

1. การทดลองเพื่อหา Basic Properties
2. การทดลอง Consolidation
3. การทดลอง Unconsolidated Undrained Triaxial Compression (UU-Test)
4. การทดลอง K_o-Consolidated Undrained Triaxial Compression with Pore Pressure Measurement ($\overline{CK_oUC}$ Test) ที่ BV # 6
5. การทดสอบ Stress Path ที่ BV # 6

ชนิดการทดสอบ ระดับความลึกและจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบของดินตัวอย่างจาก กม. 47 และ กม. 52 ได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.4 และตารางที่ 3.5

3.4.1 การทดลองเพื่อหา Basic Properties

Basic properties ที่ต้องการทราบ ได้แก่

1. ปริมาณความชื้นในธรรมชาติ (Natural Moisture Content)
2. Atterberg Limits
3. หน่วยน้ำหนักรวม (Total Unit Weight)

ตารางที่ 3.4 ชนิดการทดลอบ ระดับความลึก และจำนวนตัวอย่างที่ทดลอบที่ กม.47

ชนิดการทดลอบ	ระดับความลึกของตัวอย่าง เมตร (รทก.)	จำนวนที่ทดลอบ
Atterberg Limits	-1.85 , -3.40 , -6.60, -9.50 -12.60	7
UU Test	-1.70, -3.40, -6.30, -7.90 -9.40 , -12.50	6
Consolidation (เพิ่ม นน. ที่ t_{100})	-1.85 , -3.40 , -6.60, -9.50 -12.60	5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 ชนิดการทดลอบ ระดับความลึก และจำนวนตัวอย่างที่ทดลอบที่ กม.52

ชนิดการทดลอบ	ระดับความลึกของดินตัวอย่าง เมตร (รทก.)	จำนวนที่ทดลอบ
Atterberg Limit	0.20, -1.50, -3.00 -4.50, -7.30, -9.00 -10.40, -11.80, -13.60 -16.10	10
Consolidation (เพิ่มน้ำหนักที่ t_{100})	-0.10, -1.60, -4.60 -7.30, -9.10, -10.70 -11.90, -13.60, -16.10	9
$\overline{CK_oUC}$ Test	-7.60, -10.40, -10.55 -13.40, -13.60	5
Stress Path	-0.20, -4.70, -7.40 -12.10, -12.30, -17.70	6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าปริมาณความชื้นในธรรมชาติ และหน่วยน้ำหนักรวมของดินจะได้จากการทดลอง Consolidation การทดลอง UU และการทดลอง $\overline{CK_oUC}$ ส่วน Atterberg Limits จะได้จากการนำดินตัวอย่างไปทดลองตามมาตรฐาน ASTM-D423 และ ASTM-D424

3.4.2 การทดลอง Consolidation

จุดประสงค์ของการทดลองนี้ เพื่อหา maximum past pressure ($\bar{\sigma}_{vm}$) และหา Compressibility Charactertics ของดิน เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบ Lever Arm วงแหวนสำหรับบรรจุตัวอย่างมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว และสูง 1 นิ้ว การใส่น้ำหนักในแต่ละขั้นจะกระทำเมื่อถึง End of Primary (t_{100}) ซึ่งได้จากวิธี Root of time fitting method (วิธีของ Taylor, 1948)

3.4.3 การทดลอง Unconsolidated Undrained Triaxial Compression (UU Test)

การทดลอง UU จะกระทำกับตัวอย่างดินที่ได้จากหลุมเจาะ DB-5 (กม. 47) จุดประสงค์ในการทดลองนี้ เพื่อหา Undrained Shear Strength และ Undrained Modulus (E_u) เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวทันที โดยในการทดลองจะใช้ความดันเซลล์เท่ากับหน่วยแรงรวมในแนวดิ่งตามธรรมชาติ (Total Overburden Pressure, σ_{vo}) และอัตราความเครียดในการทดสอบประมาณ 15% ต่อชั่วโมง

3.4.4 การทดลอง K_o-Consolidated Undrained Triaxial Compression with Pore Pressure Measurement ($\overline{CK_oUC}$ Test)

จุดประสงค์ในการทดลอง $\overline{CK_oUC}$ เพื่อหาค่า Undrained Shear Strength เพื่อไปตรวจสอบกับ Field Vane Strength, S_u (Vane) และหา Normalized Effective Stress Envelope เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมการพิมพ์ของดินตัวอย่างในการทดสอบ Stress path รวมกระทั่งหาค่า $\frac{E_u}{S_u}$(Vane) และพารามิเตอร์ A เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ

การทดลอง $\overline{CK_oUC}$ จะกระทำกับตัวอย่างดินที่ได้จากหลุมเจาะ DB-6 (กม. 52) โปรแกรมการทดลอง $\overline{CK_oUC}$ แสดงอยู่ในตารางที่ 3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

ตารางที่ 3.6 โปรแกรมการทดสอบ $\overline{CK_oUC}$

Test No.	$\bar{\sigma}_{vm}$, $\bar{\sigma}_{cm}$ (T/m^2)	OCR	K_o	$\bar{\sigma}_{vc}$ (T/m^2)	$\bar{\sigma}_{hc}$ (T/m^2)
1	7.0	1	0.62	7.00	4.34
2	8.8	2	0.76	4.40	3.31
3	12.8	3	0.88	4.27	3.76
4	12.8	4.3	1.00	2.98	2.98
5	8.8	8.0	1.00	1.10	1.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

2. เครื่องวัดความดันน้ำโพรงเพิ่ม ซึ่งค่าความดันน้ำโพรงเพิ่มจะอ่านได้จากเครื่องแปลงกำลัง (Transducer)

3. อุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ซึ่งใช้ Double Tube Volume Change Device

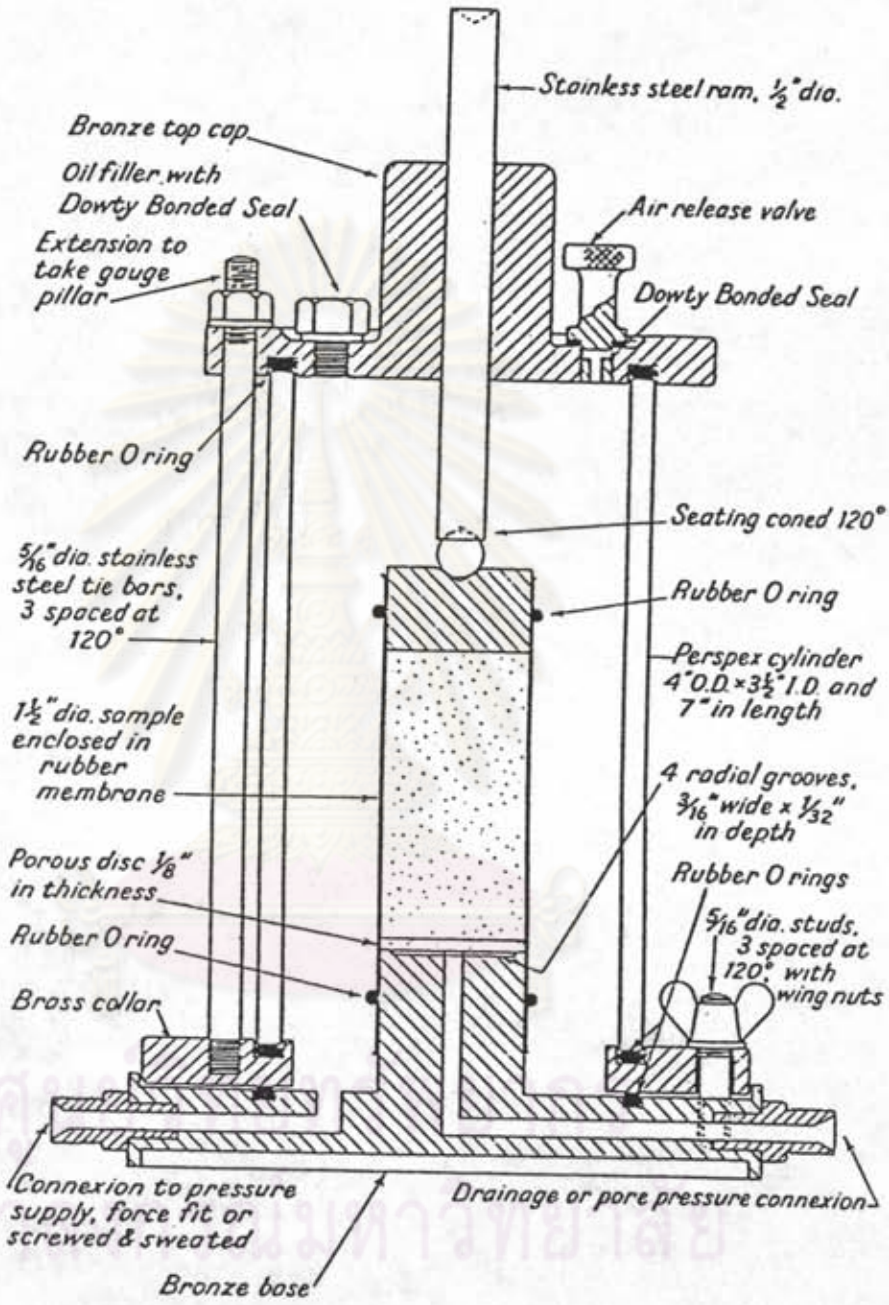
4. Loading System ความดันน้ำในเซลล์ และความดันน้ำในตัวอย่างตอนแรก จะถูกควบคุมโดยใช้อุปกรณ์ชดเชยความดันของแท่งปรอท (Self-Compensating Mercury Columns) (Bishop and Henkel, 1962) เมื่อต้องการให้เกิดหน่วยแรงเฉือนเบน (Deviator Stresses) ก็จะใส่น้ำหนักบนโครงแขวนเหล็ก (Steel Frame Hanger) แล้วนำไปวางบน Loading Ram

ขั้นตอนการทดลอง $\overline{CK_oUC}$ มีดังต่อไปนี้

ก. การเตรียมตัวอย่างดินในเครื่อง Triaxial

ก่อนที่จะเตรียมตัวอย่างดินจะต้องทำการตรวจสอบเครื่อง Triaxial ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานได้ก่อน กล่าวคือ ตรวจสอบว่ามีการรั่วที่ลิ้น (Valve) หรือตำแหน่งใด ๆ ของเซลล์หรือไม่ โดยสายความดันทุกเส้นต้องเต็มไปด้วยน้ำที่ปราศจากฟอง-อากาศ (De-aired Water) แล้วอัดความดันเข้าไปในสายความดันทุกเส้นทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วสังเกตดูว่ามีการรั่วหรือไม่ หินพรุน (Porous Stone) ที่ใช้ต้องอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยการนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 10 นาที ก่อนที่จะนำมาวางที่ฐาน (Pedestal) ของเครื่อง Triaxial เครื่อง Transducer จะต้องอิ่มตัวด้วยน้ำ และถูก Calibrate ให้ถูกต้องเสียก่อน นอกจากนี้ยังต้องตรวจสอบ Dial Reading และ Proving Ring ให้พร้อมที่จะใช้งานด้วย

เมื่อจะทำการทดสอบ ก็จะนำตัวอย่างดินที่ได้ตัดแบ่งไว้ออกจากห้องควบคุมความชื้น นำมาแกะยี่ผึ้งและกระดาษอลูมิเนียมฟอล์ยออก แล้วนำมาแต่งขอบ (Trim) โดยใช้โครงแต่งขอบ (Trimming Frame) และ Wire Saw จนกระทั่งได้ตัวอย่างดินทดสอบรูปทรงกระบอก วัดความยาวเส้นรอบวงด้วยกระดาษกราฟ ซึ่งจะได้ความยาวประมาณ 11.00 เซ็นติเมตร แล้วนำมาตัดหัวท้ายในแบบ (Mold) ซึ่งมีความสูง 7.00 เซ็นติเมตร ชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3.6 รายละเอียดเครื่องทดลอบ Triaxial

ของตัวอย่างดินก่อนทำการทดลอบ เพื่อหาหน่วยน้ำหนักรวม (Total Unit Weight) ส่วนดินที่เหลือจากการแต่งยอบจะถูกนำไปหา Natural Water Content 3 ค่า

หลังจากที่ได้แต่งยอบตัวอย่างดินเรียบร้อยแล้ว นำ Porous Stone ที่ได้เตรียมเอาไว้มาวางที่ฐานของ Triaxial Cell ต่อมาจึงนำตัวอย่างดินมาวางลงบนด้านบน Porous Stone และวาง Porous Stone อีกอันหนึ่งกับ Top Cap ลงบนด้านบนของตัวอย่าง โดยระหว่าง Porous Stone ทั้งข้างบนและล่างกับตัวอย่างดินจะมี Filter Paper วางคั่นอยู่ ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะป้องกันมิให้ดินที่ละลายน้ำไหลเข้าไปใน Porous Stone และเพื่อให้เกิด Consolidation เร็วขึ้น จึงใช้ Filter Paper ซึ่งตัดเป็นริ้วยาวตามแนวตั้ง 8 ชิ้น กว้างชิ้นละ $\frac{1}{4}$ นิ้ว เว้น $\frac{1}{4}$ นิ้ว และมีหน้ากว้าง $3\frac{1}{4}$ นิ้ว พันรอบตัวอย่างดิน โดย Filter Paper ด้านข้างนี้จะช่วยเพิ่มอัตราการไหลของน้ำออกจากตัวอย่างในระหว่างการ Consolidation และยังช่วยกระจายความดันน้ำในโพรงดินให้เท่ากันตลอดความสูงของตัวอย่างในระหว่างการทดลอบ ต่อจากนั้นจึงนำ Rubber Membrane มาหุ้มตัวอย่างดินไว้ 3 ชั้น รัดส่วนบน (Top Cap) และส่วนล่าง (Base) ด้วย Rubber "O" Ring 6 เส้น (บน 3 เส้น ล่าง 3 เส้น) เพื่อที่จะแยกระบบน้ำในมวลดินกับในเซลล์ออกจากกัน

นำกระบอกเซลล์มาวางให้เข้าที่ และยึดติดกับฐานด้วยสกรูรัดแบบยาว จัดก้านส่งถ่ายน้ำหนัก (Loading Ram) ให้สัมผัสพอดีกับลูกบอลล์บนหัว Top Cap และ Lock Clamp วาง Proving Ring ให้สัมผัสพอดีกับก้านส่งน้ำหนัก ใส่น้ำเข้าไปในเซลล์ทาง Cell Pressure Line ด้วยความดันบรรยากาศจนกระทั่งเหลือช่องว่างด้านบนในเซลล์ประมาณ 1.5 เซนติเมตร แล้วจึงใส่น้ำมันเครื่องเข้าไปทาง Oil Valve จนเต็มเซลล์ เพื่อเป็นชั้นด้านบนป้องกันการรั่วซึมของน้ำออกจากเซลล์ทางก้านส่งถ่ายน้ำหนัก และยังช่วยลดแรงเสียดทานของก้านถ่ายน้ำหนักอีกด้วย ต่อจากนั้นจึงปิด Air Valve และ Oil Valve

ง. การทำให้ดินตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation of Specimen)

ในการทำให้ดินตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำในงานวิจัยนี้ จะใช้ Back Pressure เท่ากับ 2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ Cell Pressure เท่ากับ 2.1 กิโลกรัมต่อเซนติเมตร โดยทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ซึ่งในการเพิ่มความดันเข้าไปยังค่าที่ต้องการทำโดยค่อย ๆ เพิ่ม Back Pressure และ Cell Pressure สลับกันไปอย่างช้า ๆ ด้วยอัตราประมาณ 0.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที โดยใช้ Hand Pump และต้องเพิ่ม

Cell Pressure ก่อนเสมอ เมื่อเพิ่ม Cell และ Back Pressure ถึง 2.1 และ 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตรแล้ว จึงต่อเข้ากับอุปกรณ์ยึดเหยี่ยวความดัน หลังจากทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง บันทึกการเปลี่ยนแปลงความสูง และปริมาตรของดินตัวอย่าง ทำการตรวจสอบว่าดินตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำหรือไม่ โดยปิดสันระบายน้ำของตัวอย่างดิน แล้วพิจารณาค่า Excess Pore Pressure กับค่า Cell Pressure ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของค่าพารามิเตอร์ B โดยถ้า B มากกว่า 0.95 เมื่อเพิ่ม Cell Pressure เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร ภายใน 5 นาที จะถือว่าดินทดสอบนั้นอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ ค่า B หาได้จากหลักการของ Skempton (1954)

$$\Delta u = B\,|\Delta\sigma_3 + A\,(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)| \qquad .....3.1$$

เมื่อเพิ่ม Cell Pressure จะได้

$$\Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_3 = \Delta\sigma_c \qquad .....3.2$$

ดังนั้น $$B = \frac{\Delta u}{\Delta\sigma_c}$$

เมื่อ Δu = Excess Pore Pressure

$\Delta\sigma_c$ = Cell Pressure ที่เพิ่มขึ้น

ค. การอัดตัวคายน้ำ (Consolidation)

ในงานวิจัยนี้ดินทดสอบจะถูก Isotropically Consolidated โดยใช้ Cell Pressure เพื่อให้ Effective Horizontal Stress เท่าตามที่ต้องการ นั่นคือ

Cell Pressure = $\bar{\sigma}_{hc}$ ที่ต้องการ + u_o 3.3

เมื่อ u_o = Back Pressure

= 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร

การเพิ่ม Cell Pressure จะใช้ Hand Pump ค่อย ๆ เพิ่มความดันจนถึงค่าที่ต้องการแล้วจึงต่อเข้ากับอุปกรณ์ยึดเหยี่ยวความดัน แล้วจึงปล่อยให้มีการ Consolidation ด้วยการเปิดสันระบายน้ำทาง Back Pressure Line ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง วัดการเปลี่ยนแปลงความสูง และปริมาตรของตัวอย่าง แล้วทำการตรวจสอบว่าดินเกิดการ

Consolidation สมบูรณ์หรือไม่ โดยตรวจสอบค่า Excess Pore Pressure มีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อปิดลิ้นระบายน้ำทาง Back Pressure Line

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัด, ความสูง, และปริมาตรของดินทดสอบภายหลังขบวนการ Isotropically Consolidation (A_{ic}, H_{ic}, V_{ic}) ได้ดังนี้

$$V_{ic} = V_o - \Delta V \qquad .....3.4$$

$$h_{ic} = h_o - \Delta h \qquad .....3.5$$

$$A_{ic} = V_{ic}/h_{ic} \qquad .....3.6$$

เมื่อ V_o = ปริมาตรของดินทดสอบหลังจากการแต่งยอบ

A_o = พื้นที่หน้าตัดของดินทดสอบหลังจากการแต่งยอบ

h_o = ความสูงของดินทดสอบหลังจากการแต่งยอบ

ΔV = การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินทดสอบ

= ปริมาตรน้ำที่ไหลออกมาระหว่างขบวนการทำให้ดินอิ่มตัวถึงขบวนการ Isotropically Consolidation

Δh = การเปลี่ยนแปลงความสูงระหว่างขบวนการทำให้ดินอิ่มตัวถึงขบวนการ Isotropically Consolidation

V_{ic} = ปริมาตรของดินทดสอบ ภายหลังขบวนการ Isotropically Consolidation

h_{ic} = ความสูงของดินทดสอบภายหลังขบวนการ Isotropically Consolidation

A_{ic} = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของดินทดสอบภายหลังขบวนการ Isotropically Consolidation

หลังจากดินทดสอบเกิดขบวนการ Isotropically Consolidation สมบูรณ์แล้ว ขั้นตอนต่อไป ดินทดสอบจะถูก Consolidated ไปยัง K_o-Condition การที่จะเพิ่มความเค้นประสิทธิผลในแนวดิ่งไปยังค่าที่ต้องการ ($\bar{\sigma}_{vc}$) นั้นจะได้จากการใส่น้ำหนักคงที่บนโครงแขวนเหล็ก แล้วนำไปแขวนไว้บนก้านล่งน้ำหนัก น้ำหนักคงที่ที่นำมาใส่ลำมารถคำนวณได้ดังนี้

$$L = L_1 + L_2 \qquad .....3.7$$

เมื่อ L = น้ำหนักถ่วงที่ทั้งหมดที่ใส่บนโครงแขวนเหล็ก

L_1 = น้ำหนักถ่วงที่ที่ใส่เพื่อที่จะสมดุลย์กับ Bouyant Force และ Friction Force ที่ Cell Pressure ที่ใช้ซึ่งจะได้จาก Calibration Curve ดังแสดงในรูปที่ 3.7

L_2 = น้ำหนักถ่วงที่ที่กดลงบนดินทดลอบ

$$= (1 - K_o)\,\bar{\sigma}_{vc}\,A_{ic} \qquad .....3.8$$

ซึ่งในงานวิจัยนี้ ค่า Coefficient of Earth Pressure at Rest (K_o) ที่ใช้ในการทดลอบจะได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง K_o กับ OCR และ PI ซึ่งเสนอโดย Schmidt (1966) ดังนี้

เมื่อ $$\frac{K_o(OC)}{K_o(NC)} = OCR^m \qquad .....3.9$$

$K_o(OC)$ = K_o สำหรับ Overconsolidated Clay

$K_o(NC)$ = K_o สำหรับ Normally Consolidated Clay

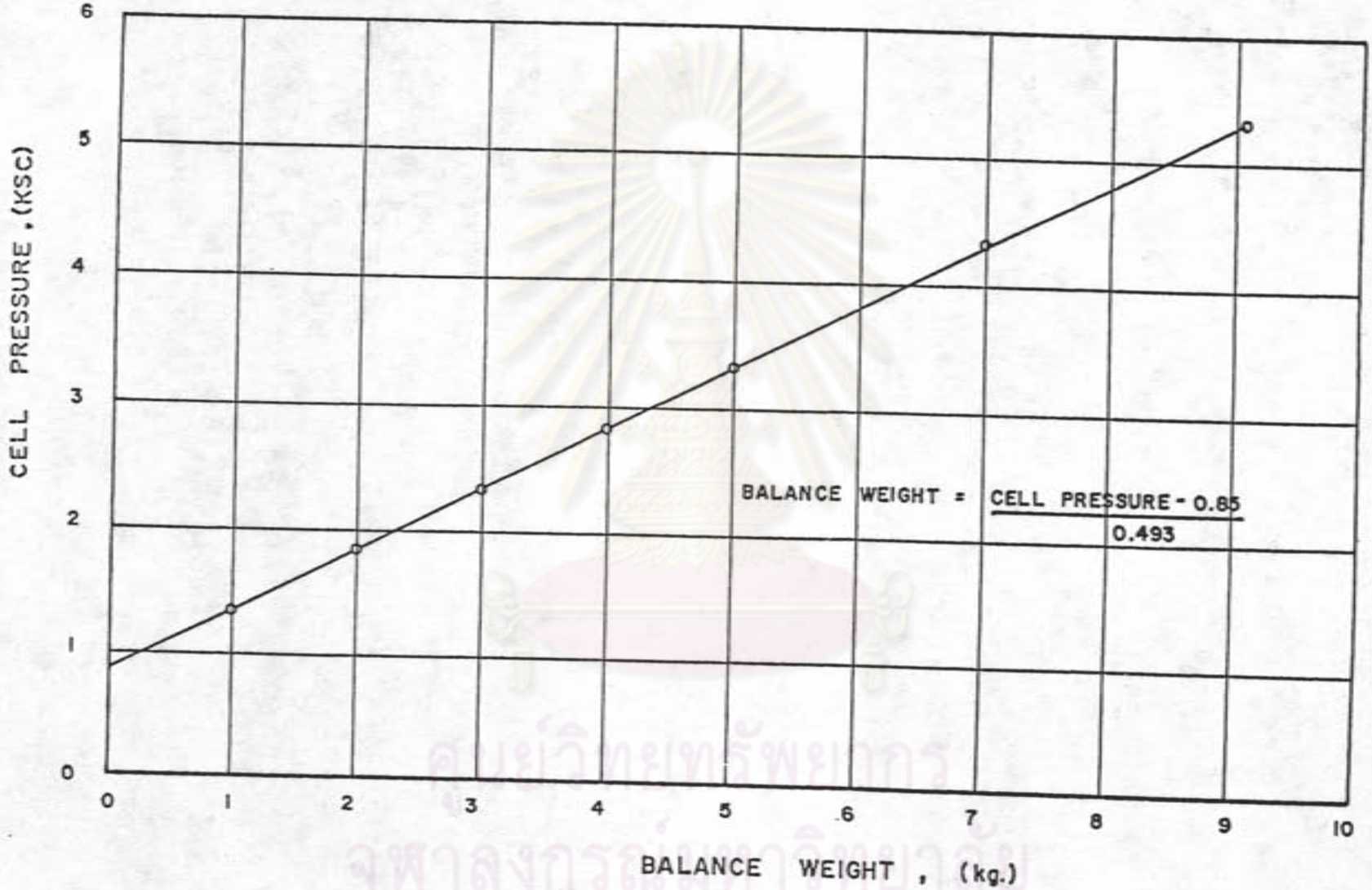
$$= 0.19 + .233 \log PI(\%) \qquad .....3.10$$

m = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ขึ้นอยู่กับค่า Plasticity Index ของดิน ดู Ladd (1977)

OCR = Overconsolidation Ratio ที่ต้องการ

$$= \frac{\bar{\sigma}_{vm}}{\bar{\sigma}_{vc}}, \quad \bar{\sigma}_{vm} \text{ จาก Consolidation Test}$$

เมื่อแขวนโครงแขวนเหล็กบนก้านส่งถ่ายน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว จึงปล่อยให้ดินถูก Consolidated ด้วยการเปิดสันระบายน้ำ ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วจึงตรวจสอบว่าดินทดลอบเกิด Consolidation สมบูรณ์หรือไม่ โดยการปิดสันระบายน้ำแล้ว ค่า Excess Pore Pressure เท่ากับศูนย์ บันทึกการเปลี่ยนแปลงความสูง และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร เพื่อนำไปใช้คำนวณหาขนาดของดินทดลอบ หลังเกิดขบวนการ Consolidation สมบูรณ์แล้ว ได้ดังนี้



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเซลล์กับน้ำหนักแขวน

$$V_{ac} = V_{ic} - \Delta V_a \qquad .....3.11$$

$$h_{ac} = h_{ic} - \Delta h_a \qquad .....3.12$$

$$A_{ac} = \frac{V_{ac}}{h_{ac}} \qquad .....3.13$$

เมื่อ V_{ac} = ปริมาตรของดินทดลอบหลังขบวนการ K_o-Consolidation

h_{ac} = ความสูงของดินทดลอบหลังขบวนการ K_o-Consolidation

A_{ac} = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของดินทดลอบหลังขบวนการ K_o-Consolidation

ΔV_a = ปริมาตรน้ำที่ไหลออกมาจากดินทดลอบระหว่างขบวนการ K_o-Consolidation

Δh_a = การเปลี่ยนแปลงความสูงของดินทดลอบระหว่างขบวนการ K_o-Consolidation

จากการทดลอบว่าการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดน้อยมาก ($\simeq$ 0.05%) ซึ่งแสดงว่าค่า K ที่ใช้ในการทดลอบนี้ (จากสมการที่ 3.9) ใกล้เคียงกับค่า K_o ของดินทดลอบ

ง. การเฉือนดินตัวอย่าง (Shearing of Specimen)

หลังจากดินตัวอย่างถูก Consolidated สมบูรณ์แล้ว จะทำการเฉือนดินตัวอย่าง ด้วยการปิดลิ้นระบายน้ำทาง Back Pressure Line เพื่อมิให้น้ำไหลออกจากตัวอย่าง แล้วจึงเพิ่มหน่วยแรงเบี่ยงเบน โดยเพิ่มเฉพาะหน่วยแรงในแนวดิ่ง ซึ่งได้จากการใช้เครื่องกดอัด (Compression Machine) ในขณะที่ Cell Pressure คงที่ แรงที่เพิ่มขึ้นในแนวดิ่งจะได้จากระยะการยุบตัวที่อ่านได้ของ Proving Ring ที่ Calibrate แล้วระหว่างแรงกับระยะการยุบตัวที่อ่านได้ ในการทดลอบนี้ใช้อัตราความเครียดตามแนวแกนเท่ากับ 1% ต่อชั่วโมง ระหว่างการทดลอบบันทึกค่าการยุบกับของ Proving Ring, ตัวอย่างดิน (จาก Dial Reading) และค่า Excess Pore Pressure การทดลอบจะกระทำจนได้ค่า Maximum Deviator Stress, $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ และ Maximum Obliguity, $(\frac{\bar{\sigma}_1}{\bar{\sigma}_3})_{max}$ จนถึงความเครียดประมาณ 15% หลังจากทดลอบเสร็จบันทึกลักษณะการพิบัติ แล้วจึงนำดินตัวอย่างไปหา Water Content หลังการทดลอบ ระยะเวลาทั้งหมดในการทดลอบประมาณ 4 วัน ต่อ 1 ตัวอย่าง

3.4.5 การทดลอบ Stress Path

การทดลอบ Stress Path ในการวิจัยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะหาค่าการทรุดตัว และค่าพารามิเตอร์ของดิน (เช่น E_u, $\bar{E}$, $\bar{\nu}$, A, μ) ที่ BV # 6 เมื่อพิจารณาผลของ Undrained Creep เปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์ผลของ Undrained Creepได้ ในการทดลอบ Stress path นี้ได้แบ่งชั้นดินเป็น 6 ชั้นย่อย ๆ และทำการทดลอบให้เป็นไปตาม Field Total Stress Path ที่เกิดขึ้นจริงในสนาม โปรแกรมการทดลอบ Stress path แสดงไว้ในตารางที่ 3.7 โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอบ Stress path แสดงในรูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทดลอบตั้งแต่การเตรียมตัวอย่างจนกระทั่งถึงขบวนการ K_o-Consolidation จะเหมือนกับในการทดลอง $\overline{CK_oUC}$ ดังกล่าวในหัวข้อที่ 3.4.4

หลังจากที่ดินตัวอย่างถูก Consolidated ให้อยู่ในสภาวะธรรมชาติ (In situ Condition) เรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการเพิ่มความเค้นรวมในแนวดิ่งและในแนวนอน (ซึ่งค่าความเค้นนี้จะได้มาจาก Elastic Theory with Underlain by Rigid Base โดยใช้ตารางของ Milovic & Tournier, 1971) ให้แก่ดินตัวอย่าง ซึ่งจะได้จากการเพิ่ม Cell Pressure และน้ำหนักที่แขวนบนโครงแขวนเหล็กเข้าไปอีก ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\sigma_h = \sigma_{hc} + \Delta\sigma_h \qquad .....3.14$$

$$L_s = (\sigma_v - \sigma_h) A_{ac} + (L)_{\sigma_h} \qquad .....3.15$$

σ_h = Cell Pressure

$\Delta\sigma_h$ = ความเค้นในแนวนอนที่เพิ่มขึ้น

L_s = น้ำหนักคงที่ทั้งหมดที่แขวนบนโครงแขวนเหล็ก

σ_v = ความเค้นรวมที่ในแนวดิ่งที่กระทำต่อดินตัวอย่าง

$= \bar{\sigma}_{vo} + u_o + \Delta\sigma_v$

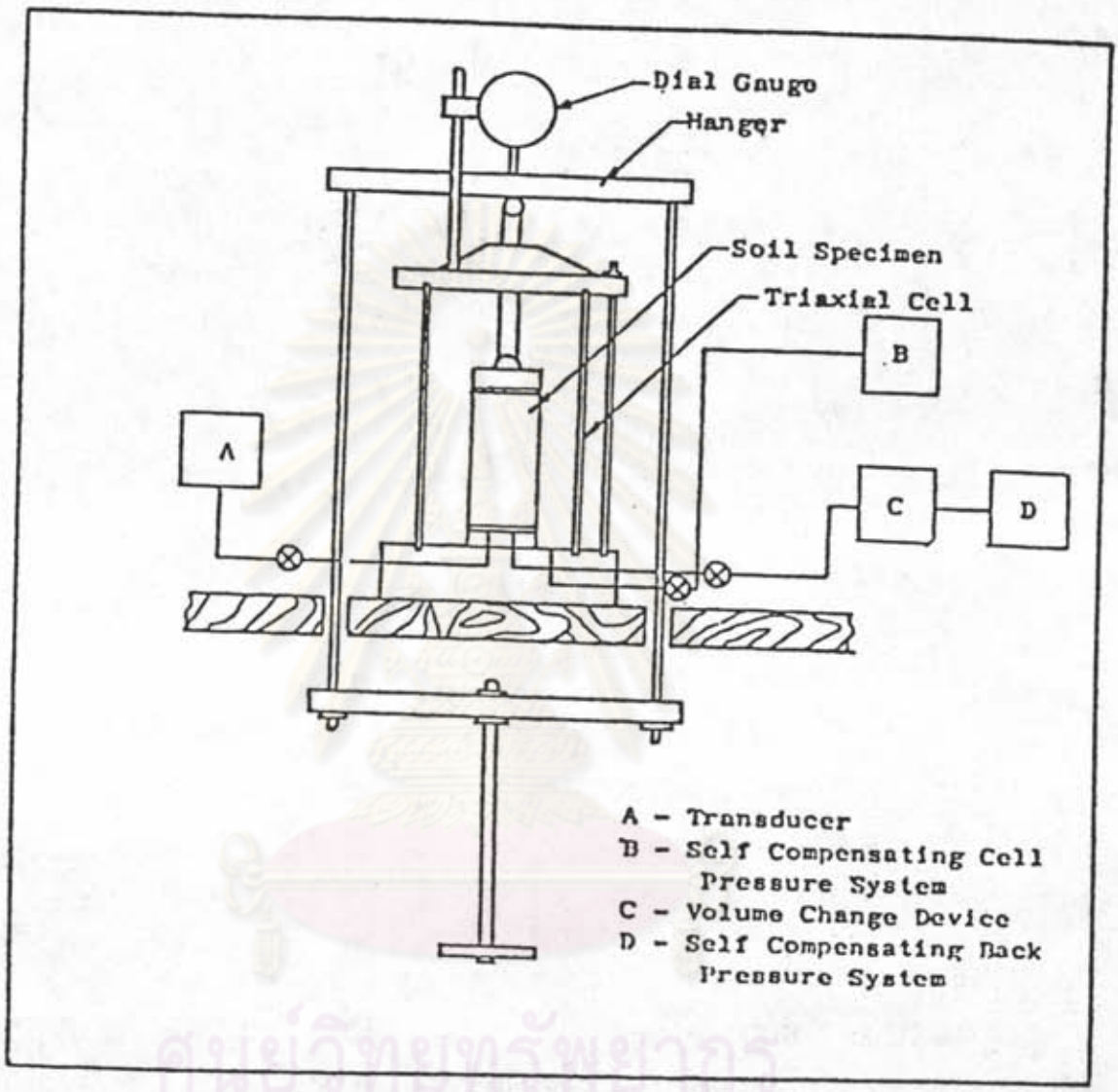
$\Delta\sigma_v$ = ความเค้นในแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้น

$(L)_{\sigma_h}$ = น้ำหนักที่แขวนบนโครงเพื่อสมดุลย์กับ Bouyant Force และ Friction Force เมื่อ Cell Pressure เท่ากับ σ_h ซึ่งหาได้จากรูปที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 โปรแกรมการทดสอบ Stress Path

Layer	Depth (m.)	OCR	K_o	Initial Stress (T/m^2)		Increment Stress (T/m^2)		Final Stress (T/m^2)	
				$\bar{\sigma}_{vo}$	$\bar{\sigma}_{ho}$	$\Delta\sigma_v$	$\Delta\sigma_h$	σ_{vf}	σ_{hf}
1	1.50	4.5	1.0	0.77	0.77	3.8	1.95	4.57	2.72
2	4.50	2.3	0.86	1.73	1.48	3.8	1.80	5.53	3.28
3	7.50	1.9	0.79	2.72	2.15	3.8	1.70	6.52	3.85
4	11.00	2.0	0.78	4.17	3.25	3.8	1.72	7.97	4.97
5	15.00	2.0	0.75	6.09	4.57	3.65	2.05	9.74	6.62
6	19.00	2.1	0.72	8.25	5.94	3.3	2.73	11.55	8.67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 เครื่องมือสำหรับการทดสอบ Stress Path

$\Delta L = L_s - L$

= น้ำหนักที่แขวนเพิ่มขึ้นบนโครงแขวนเหล็ก เนื่องจากการทดลอบ Stress path

ในการทดลอบ Stress path ในการวิจัยนี้ จะพิจารณาว่าการสร้าง BV # 6 เป็นไปอย่างรวดเร็ว น้ำไม่สามารถระบายได้ทัน ดังนั้นการทดลอบ Stress path ในช่วงแรกจึงเป็นการทดลอบ Undrained Stress Path ก่อนแล้วจึงตามด้วย Drained Stress Path ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ก. ช่วง Undrained Stress Path

โดยจะปิดลิ้นระบายน้ำก่อน แล้วจึงทำการเพิ่ม $\Delta\sigma_v$ และ $\Delta\sigma_h$ แก่ตัวอย่างดินด้วย Cell pressure และน้ำหนักที่แขวนบนโครง ซึ่งกล่าวมาแล้ว โดยการเพิ่มความเค้นให้แก่ตัวอย่างดินจะกระทำเพียงครั้งเดียว (One step loading) ยกเว้นแต่ในกรณีที่ความเค้นที่เพิ่มขึ้นทำให้ shear stress สูงกว่า $S_u(\overline{CK_oUC})$ ก็จะให้ความเค้นแก่ตัวอย่างดินเพียงเพื่อให้ shear stress เท่ากับ $S_u(\overline{CK_oUC})$ ก่อน และถ้าไม่เกิดการพิปัติก็จะให้ความเค้นที่เหลือแก่ตัวอย่างดิน แต่ถ้าเกิดการพิปัติก็จะเพิ่ม Cell pressure ให้เท่ากับความเค้นในแนวดิ่งที่เหลืออยู่ และระหว่างที่เพิ่ม Cell pressure ก็ต้องเพิ่มน้ำหนักที่โครงแขวนให้สมดุลย์กัน ระหว่างการทำ Undrained Stress Path ก็จะบันทึกการยุบตัวและ Excess Pore Pressure ของดินตัวอย่าง รวมทั้งทำการตรวจสอบการพิปัติโดยใช้ K_f-line จากการทดลอง $\overline{CK_oUC}$ หรือจากการพล็อต ε_v กับ log t ดังในรูปที่ 2.5 การทำ Undrained Stress Path จะทิ้งให้ดินเกิด Undrained Creep 3 วัน ในกรณีที่ดินไม่เกิดการพิปัติ แล้วจึงปล่อยให้เกิดการ Consolidation ส่วนในกรณีที่ดินตัวอย่างเกิดการพิปัติจะปล่อยให้เกิดการ Consolidation ทันทีที่เริ่มจะพิปัติ

ข. ช่วง Drained Stress Path

Drained Stress Path จะเริ่มเมื่อเปิดลิ้นระบายน้ำเพื่อให้ดินตัวอย่างเกิดการ Consolidation ในระหว่างการทำ Drained Stress Path จะบันทึกการยุบตัวและปริมาตรที่น้ำไหลออกจากดินตัวอย่าง การทดลอบจะทำจนกระทั่งได้ End of Primary

(t_{100}) ซึ่งหาจากวิธี Logarithm of Time Fitting Method (วิธีของ Casagrande, 1939) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Volumetric strain กับ log time ระยะเวลาในการทดสอบ Stress path จะประมาณ 10 วันต่อ 1 ตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย