บทที่ 3

วิธีการศึกษาและการทดสอบ

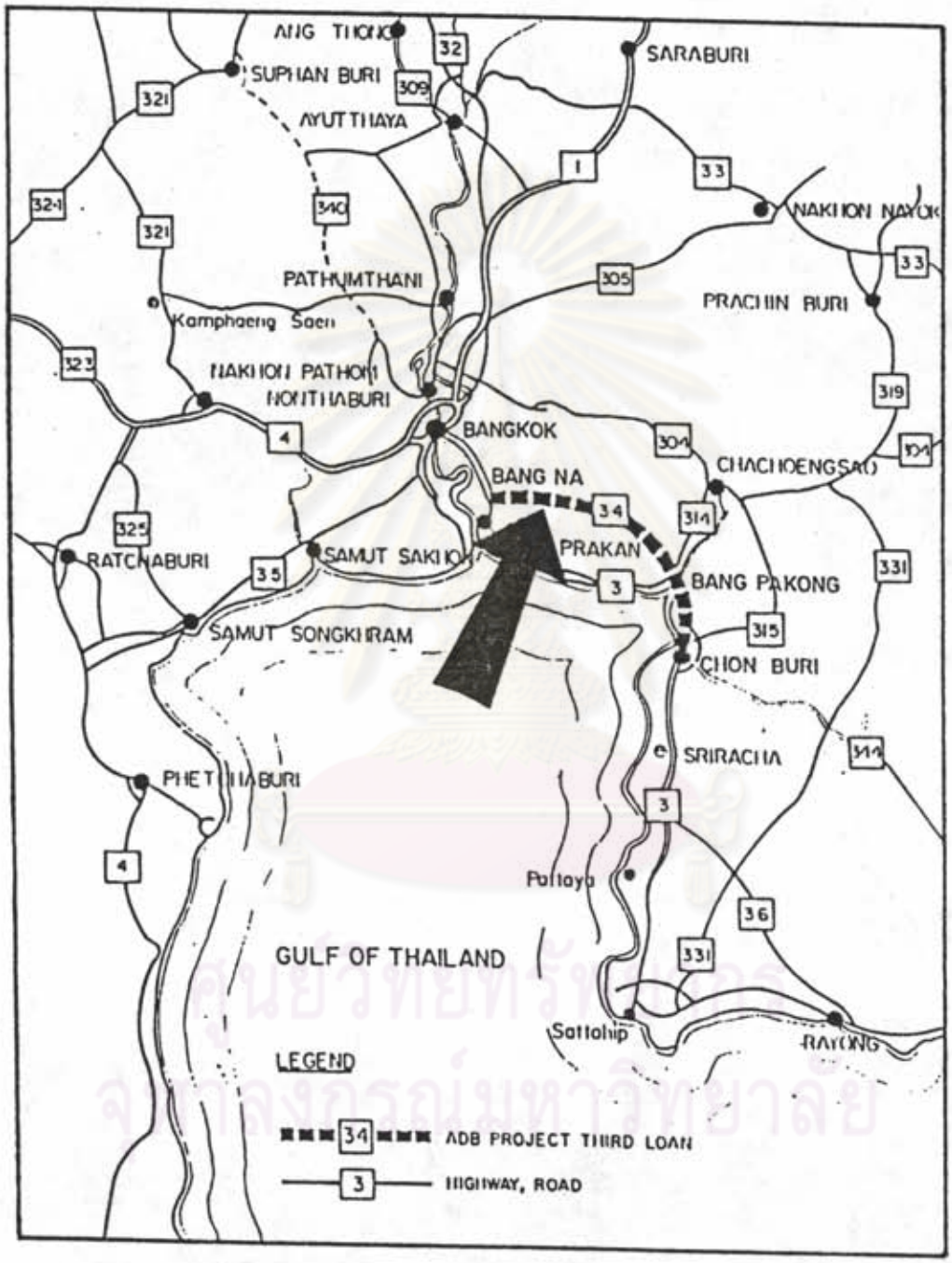
3.1 สถานที่ที่ทำการศึกษา

ทางหลวงหมายเลข 34 สายบางนา-บางปะกง เป็นถนนคู่ขนาน ประกอบด้วยถนนเส้นเข้าสู่กรุงเทพฯ ทำการก่อสร้างในปี พ.ศ.2522 และถนนเส้นไปชลบุรี ทำการก่อสร้างในปี พ.ศ.2512 ถนนเส้นไปชลบุรีนี้ได้หรุดตัวลงไปมาก จนกระทั่งบางช่วงของถนนมีระดับต่ำกว่าระดับน้ำในช่วงฤดูการทำนา ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงยกระดับของถนนเส้นนี้ขึ้นอีกประมาณ 1.50 - 2.00 เมตร ซึ่งขณะนี้การก่อสร้างได้เสร็จสิ้นแล้ว

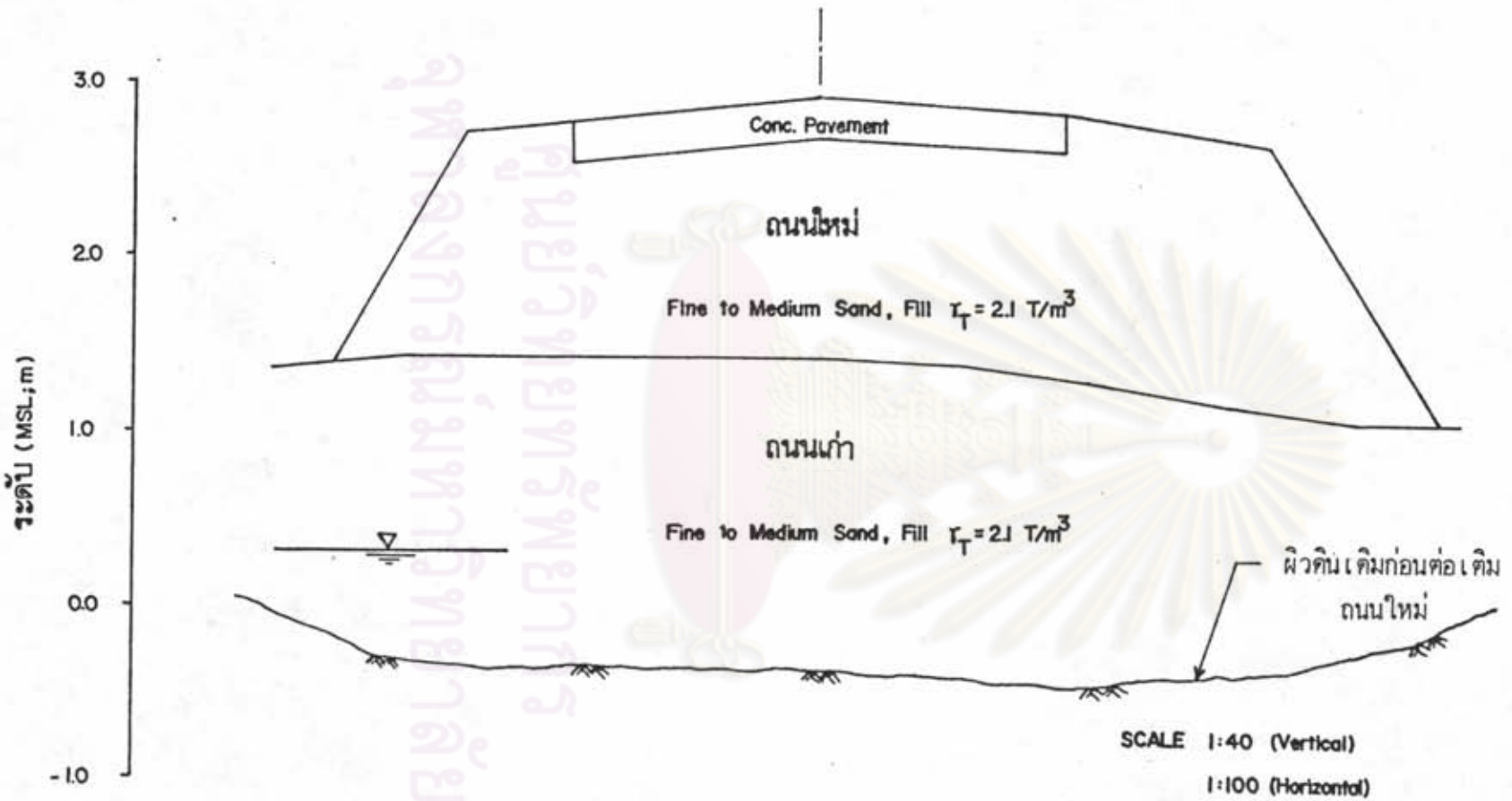
สำหรับที่จะทำการศึกษา อยู่บนทางหลวงหมายเลข 34 นี้ ที่ประมาณ กม.24 (รูปที่ 3.1) โดยจะทำการศึกษาการหรุดตัวของคันทางถนนเส้นไปชลบุรี และรูปที่ 3.2 เป็นรูปหน้าตัดของคันทางเดิม และคันทางใหม่ที่ยกระดับขึ้นประมาณ 1.50 เมตร สำหรับคันทางใหม่นี้ผิวการจราจรเป็นผิวคอนกรีตหนา 0.23 เมตร และใช้ทรายเป็นวัสดุถมคันทาง มีความหนาแน่นประมาณ 2.1 ตัน/เมตร^3

3.2 การติดตั้งเครื่องมือทางเทคนิคธรณี (Geotechnical Instruments)

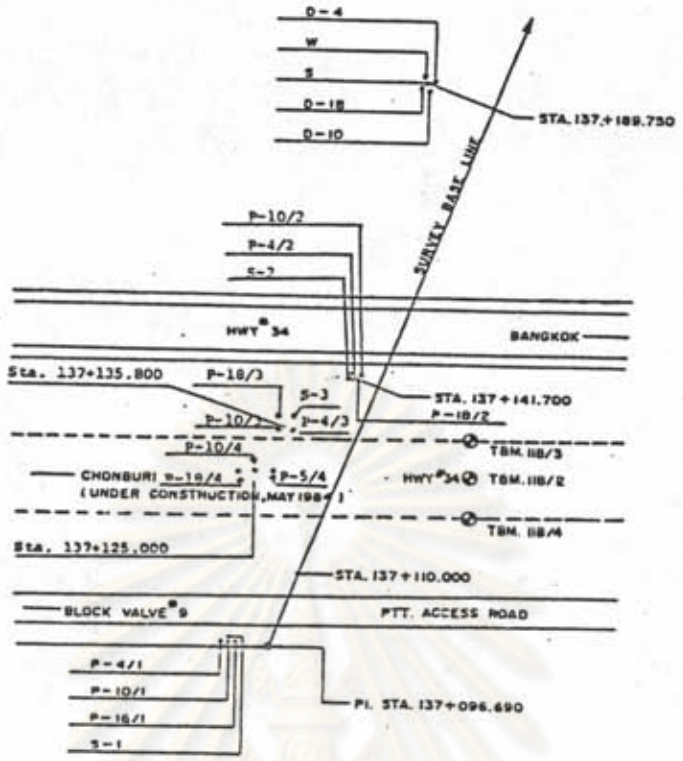
เครื่องมือทางเทคนิคธรณีอันประกอบด้วย Piezometer Dummy Piezometer และ Settlement Plate ได้ถูกติดตั้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 Dummy Piezometer ได้ถูกติดตั้งที่ตำแหน่งซึ่งความเค้นภายนอกกระทำไม่ถึง ความดันน้ำในโพรงที่อ่านได้จะเป็นความดันน้ำในโพรงตามธรรมชาติของพื้นที่นั้น ๆ ผลต่างระหว่างความดันน้ำในโพรงที่วัดได้จาก Piezometer และ Dummy Piezometer ที่ระดับเดียวกัน คือค่าความดันน้ำในโพรงเพิ่มที่ระดับนั้น ๆ และจะเปรียบเทียบค่าที่วัดได้นี้กับค่าความดันน้ำในโพรงเพิ่มที่คำนวณจากวิธีการต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3 สำหรับจุด BM 118/2 ที่กึ่งกลางของถนนนั้นจะใช้สำรวจระดับเพื่อให้ทราบถึงปริมาณการหรุดตัวกับเวลา

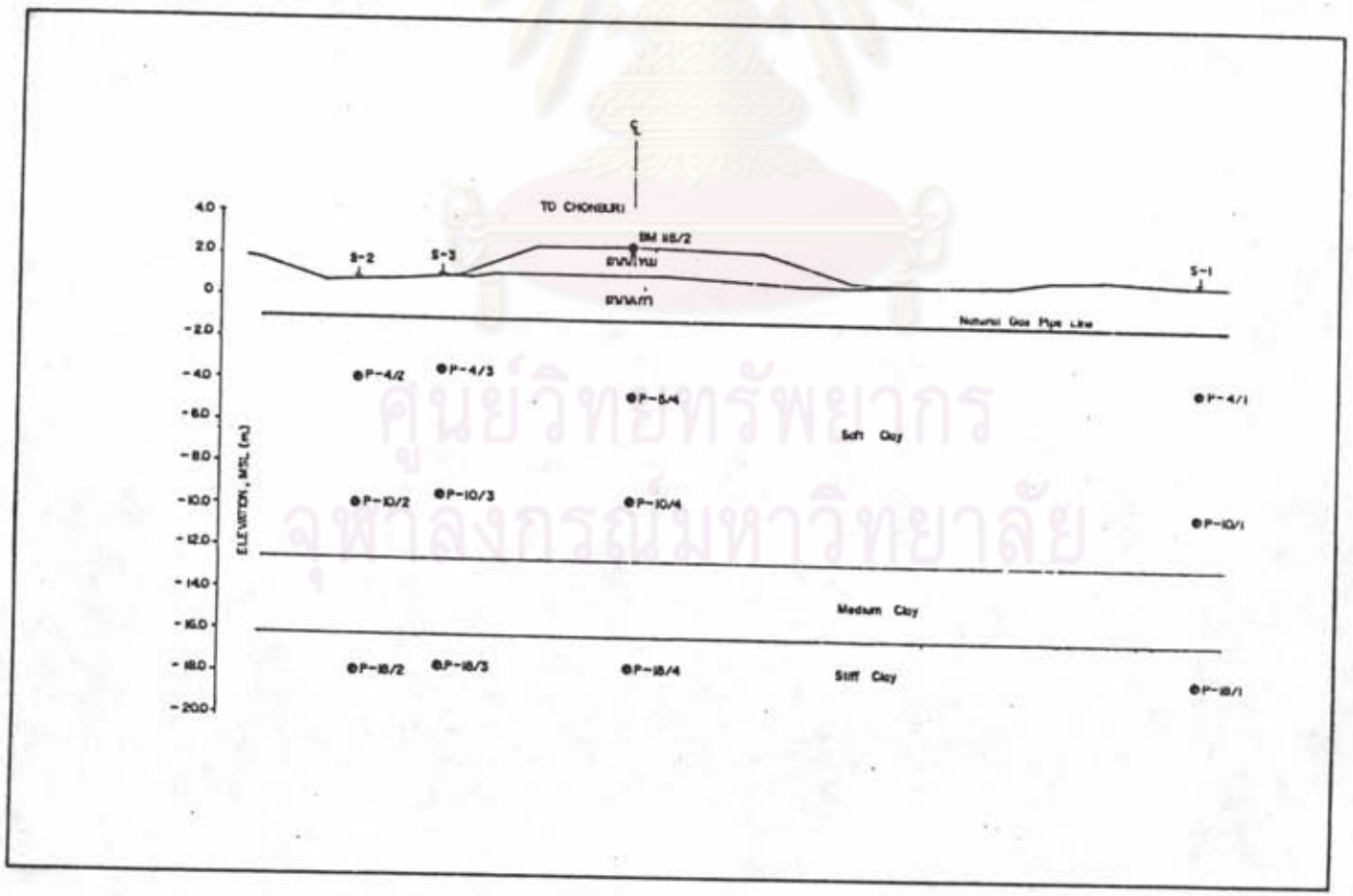


รูปที่ 3.1 สถานที่ทำการศึกษา



รูปที่ 3.2 รูปตัดของคันทางถนน





รูปที่ 3.3 ตำแหน่งของเครื่องมือทางเทคนิคธรณี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การเก็บตัวอย่างและการทดสอบ Field Vane

เมื่อทำการเจาะหลุมและกดท่อคุ้มกันหลุม (Casing) ลงไปอยู่เหนือความลึกที่ต้องการเก็บตัวอย่างประมาณ 1 เมตรแล้ว ตัวอย่างดินคงสภาพ(Undisturbed Sample) จะถูกเก็บขึ้นมาด้วยการใช้ Piston Sampler ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของกระบอก 3 นิ้ว และทำการเก็บตัวอย่างครั้งละยาวประมาณ 80 ซม. การเก็บตัวอย่างจะกระทำทุกช่วง 1.50 เมตร และเริ่มต้นที่ความลึกประมาณ 1-2 เมตร จากระดับดินเดิม จนกระทั่งถึงความลึกของชั้นดินเหนียวแข็งสีเหลืองหรือสีน้ำตาล เมื่อนำกระบอกเก็บตัวอย่างขึ้นมาจากหลุมเจาะแล้ว จะทำการผนึกหัวท้ายของกระบอกเพื่อกันความชื้นด้วยขี้ผึ้ง (Parafin Wax) เขียนหมายเลขตัวอย่าง หมายเลขหลุมเจาะ และความลึกกำกับไว้ที่กระบอก แล้วนำกระบอกเก็บตัวอย่างมาไว้ที่ห้องบ่มชื้น ภายในภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบ Field Vane ได้กระทำเป็นแบบกดลงไปโดยตรง (Vane Borer) ใบมีดที่ใช้มีขนาด 55 x 110 มม. และทำการทดสอบทุกช่วง 1 เมตร จนกระทั่งถึงชั้นดินเหนียวแข็ง

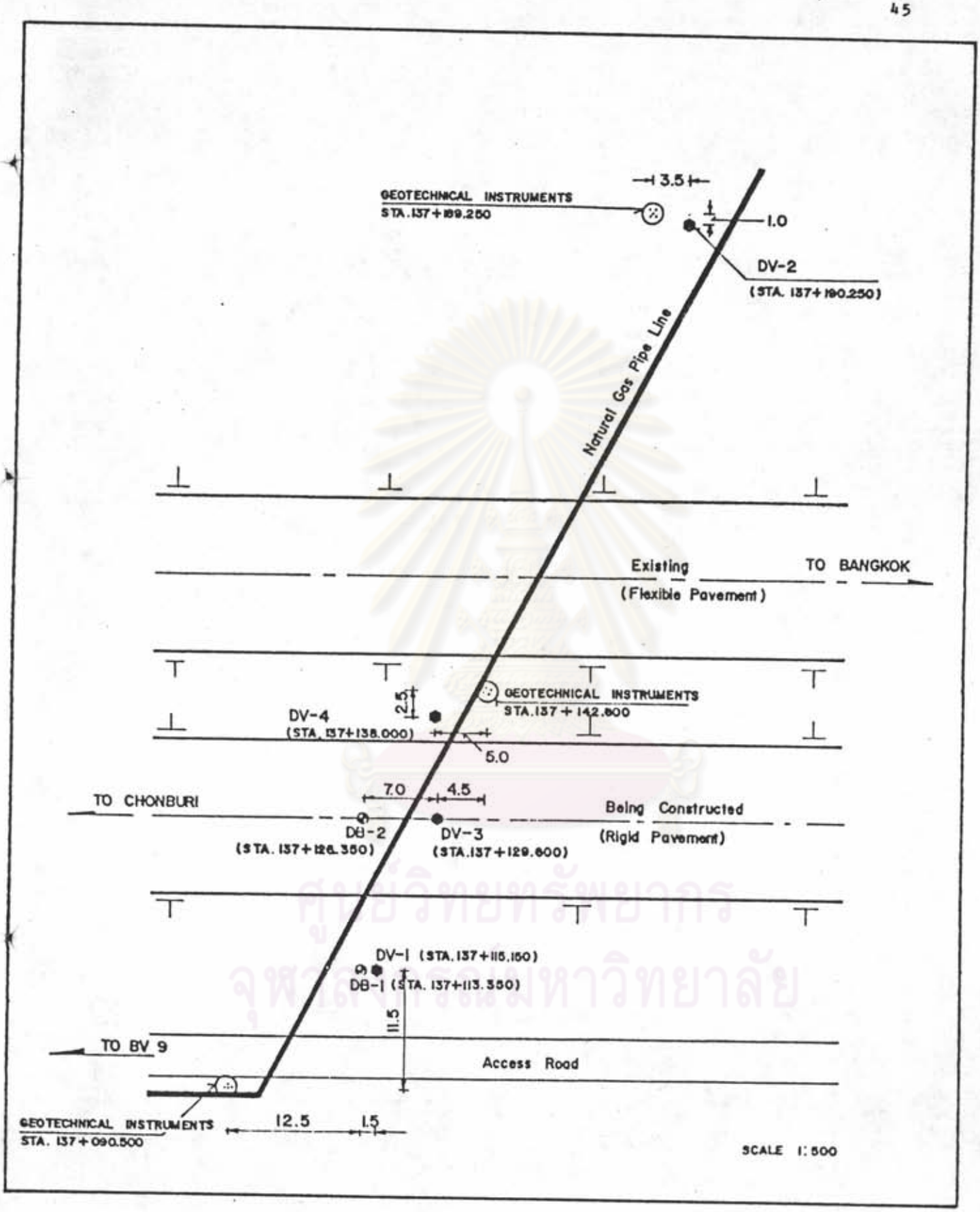
ตำแหน่งของหลุมเจาะและตำแหน่งที่ทำการทดสอบ Field Vane ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4 โดยได้ทำหลุมเจาะเพื่อเก็บตัวอย่างจำนวน 2 หลุม คือที่กึ่งกลางของถนน (DB-2) และที่ระยะประมาณ 15 เมตร จากกึ่งกลางของถนน (DB-1)

3.4 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย การทดสอบ Atterberg Limits การทดสอบ Consolidation การทดสอบ UU และการทดสอบ Stress Path ดังที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.1

3.4.1 สมบัติพื้นฐาน (Basic Properties)

สมบัติพื้นฐานที่ทำการทดสอบ ได้แก่ ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (Natural Water Content) พิกัดเหลว (Liquid Limit) พิกัดพลาสติก (Plastic Limit) และความหนาแน่นรวม (Total Density) โดยวิธีการทดสอบเป็นไปตาม Lambe (1951)



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งการเจาะสำรวจดิน และการทดสอบ Field Vane

ตารางที่ 3.1 สรุปการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ชนิดของการทดสอบ	จำนวน		จุดประสงค์ เพื่อหาสมบัติดินดังนี้
	BH-1	BH-2	
Atterberg Limits	9	-	LL, PL
Consolidation Test (end of Primary)	7	4	$\bar{\sigma}_{vm}$, m_v, C_v
Consolidation Test (Standard Test)	-	5	C_α
UU-Test	-	9	E_u, S_u
Stress Path Test	5	-	ε_e, ε_u, ε, E_u, E'

3.4.2 การทดสอบ Consolidation

การทดสอบ Consolidation กระทำโดยใช้เครื่อง Oedometer ชนิดแขนระดับ (Lever arm) ตัวอย่างดินจะถูกแต่งขอบ และใส่ในวงแหวนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6.35 ซม. หนาประมาณ 2.54 ซม. และทำการทดสอบแยกเป็น 2 แบบ คือ

ก. การทดสอบโดยให้เวลาของการใส่น้ำหนัก (Time after Loading) เท่ากับ t_{100} ที่ได้จากวิธี $\sqrt{t}$ ของ Taylor นั่นคือจะทำการเพิ่มน้ำหนักขั้นต่อไปเมื่อระดับของการอัดตัวคายน้ำของตัวอย่างดินเท่ากับ 100 % และสัดส่วนของการเพิ่มน้ำหนัก (Load Increment Ratio) จะไม่ถูกกำหนดอย่างแน่นอน โดยทำการแบ่งน้ำหนักละเอียดขึ้น เมื่อความเค้นมีค่าใกล้เคียงกับความเค้นสูงสุดในอดีต ($\bar{\sigma}_{vm}$) (ประมาณ $\bar{\sigma}_{vm}$ ขึ้นก่อนโดยสมการ empirical) เมื่อได้ความสัมพันธ์ ε- log $\bar{\sigma}_v$ แล้ว ทำการประมาณค่า $\bar{\sigma}_{vm}$ โดยวิธีของ Casagrande และคำนวณค่า m_v จากความสัมพันธ์ ε- $\bar{\sigma}_v$ วิธีการทดสอบนี้จะทำให้ได้ค่า $\bar{\sigma}_{vm}$ ที่ดีที่สุด

ข. การทดสอบโดยวิธีมาตรฐาน โดยใช้เวลาของการใส่น้ำหนักเท่ากับ 24 ชม. และสัดส่วนของการเพิ่มน้ำหนักเท่ากับ 1 วิธีการนี้กระทำเพื่อศึกษาอัตราการยุบตัวอัดตัวขั้นที่สอง

3.4.3 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำมาก่อนในสภาพไม่ระบายน้ำ (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test:UU-Test)

การทดสอบนี้กระทำขึ้นเพื่อให้ได้ค่าของโมดูลัสแบบไม่ระบายน้ำ(Undrained - Modulus) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การทรุดตัวทันที สำหรับรายละเอียดของเครื่องมือ และวิธีการทดสอบนั้นเหมือนกับที่กล่าวในวิทยานิพนธ์ของดำรงค์(2526) ชูชาติ(2527) โดยเพิ่มแรง-อัดด้วยอัตราความเครียดประมาณ 10% ต่อชั่วโมง

3.4.4 การทดสอบ Stress Path

การทดสอบนี้กระทำขึ้นเพื่อให้ได้ปริมาณการทรุดตัว และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ เช่น E_u, E' และ ν' ชั้นดินได้ถูกแบ่งเป็น 5 ชั้นย่อยโดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการ-ทดสอบ Consolidation รวมทั้งสมบัติพื้นฐาน และทำการทดสอบ Stress Path ให้เป็นไปตาม TSP ที่กึ่งกลางของแต่ละชั้นย่อย สำหรับตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบนี้ควรใช้จากหลุมเจาะที่ตำแหน่งกึ่งกลางของถนน (DB-2) แต่เนื่องจากตัวอย่างดินได้ถูกเก็บขึ้นภายหลังที่ได้ก่อสร้างคันทางเพิ่มเติมเสร็จสิ้นแล้ว ซึ่งอาจทำให้ $\bar{\sigma}_{vm}$ ของดินเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงได้ใช้ตัวอย่างดินจากหลุมเจาะที่ DB-1 แทน โดยได้เลือกตัวอย่างดินที่มีตำแหน่งใกล้เคียงกับกึ่งกลางของแต่ละชั้นย่อยมากที่สุด

3.4.4.1 ลำดับขั้นตอนของการทดสอบ

การวิเคราะห์หาความเค้นเนื่องจากน้ำหนักกระทำต่อมวลดิน($\Delta\sigma_v$ และ $\Delta\sigma_h$) ได้กระทำขึ้นโดยใช้วิธีของ Poulos (1969) ด้วยการใช้ค่า $\nu = 0.5$ โดยถือว่าชั้นดินเหนียวแข็งเป็น Rigid Base และได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.2 การทดสอบStress Path มีลำดับขั้นตอน 3 ขั้นตอน (รูปที่ 3.5) ดังนี้

ก. ขั้นตอนที่ 1 K_o-Condition เป็นสภาพตามธรรมชาติของดินก่อนมีน้ำหนักกระทำ ค่าความเค้นประสิทธิผลในแนวดิ่งตามธรรมชาติ ($\bar{\sigma}_{vo}$) คำนวณโดยการใช้ความเค้นรวมในแนวดิ่งตามธรรมชาติ ($\bar{\sigma}_{vo}$) ลบด้วยค่าความดันน้ำในโพรงจาก Dummy Piezometer

ข. ขั้นตอนที่ 2 ถนนเก่า ขั้นตอนนี้จะพิจารณาว่ามีน้ำหนักจากถนนเก่ามากระทำ และปล่อยให้เกิดการทรุดตัวจนถึง 100% ก่อนทำการทดสอบในขั้นตอนที่ 3

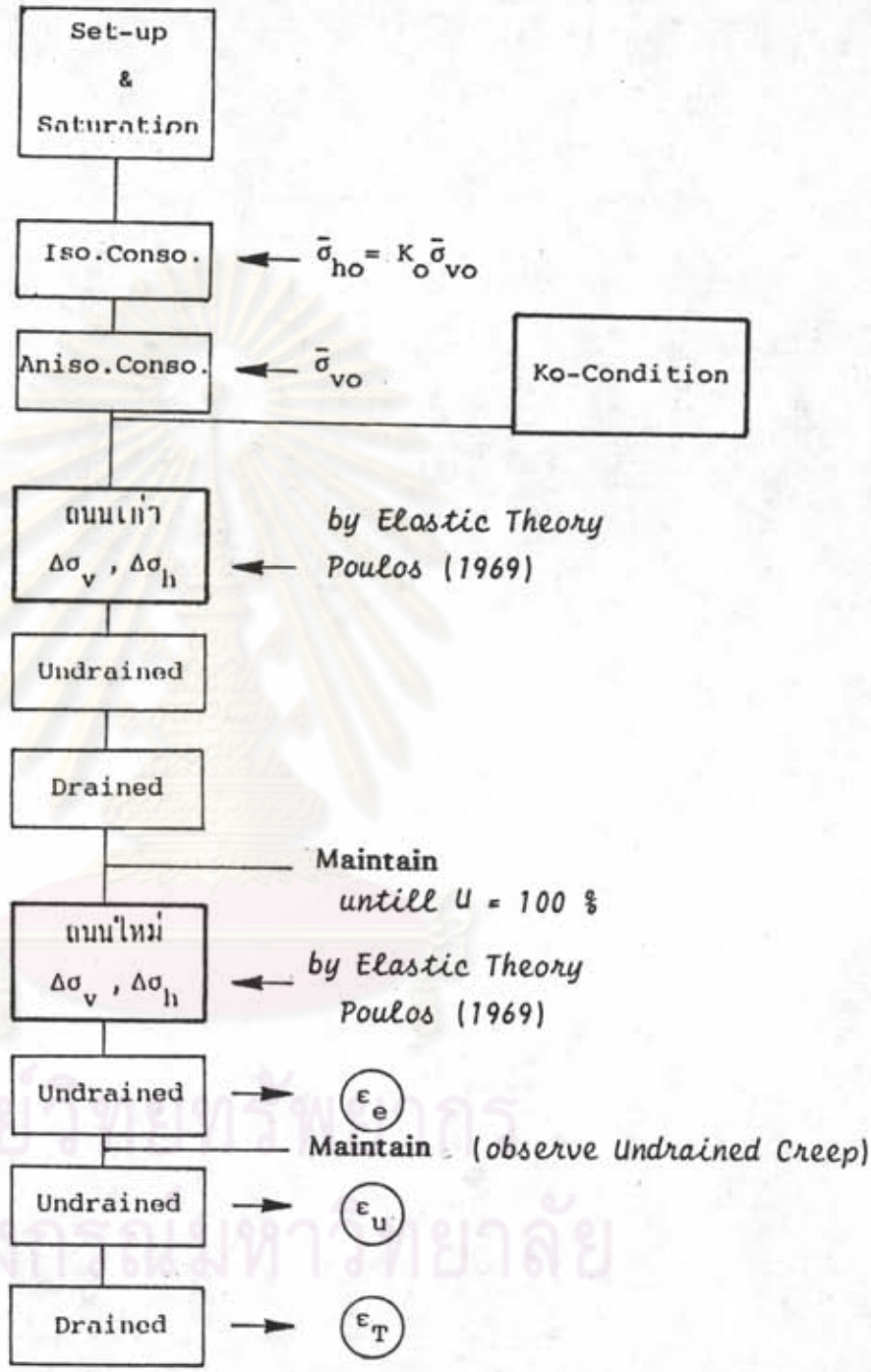
ตารางที่ 3.2 ความเค้นที่แต่ละขั้นตอนของการทดสอบ Stress Path

Layer	Elevation MSL (m)		K_o - Condition		ถนนเก่า				ถนนใหม่			
	From	to	$\bar{\sigma}_{vo}$	$\bar{\sigma}_{ho}$	$\Delta\bar{\sigma}_v$	$\Delta\bar{\sigma}_h$	$\bar{\sigma}_v$	$\bar{\sigma}_h$	$\Delta\bar{\sigma}_v$	$\Delta\bar{\sigma}_h$	$\bar{\sigma}_v$	$\bar{\sigma}_h$
1	-0.6	-3.5	1.09	1.01	2.88	1.21	3.97	2.22	3.01	1.27	6.98	3.49
2	-3.5	-6.0	2.47	1.88	2.81	1.18	5.28	3.06	2.88	1.04	8.16	4.10
3	-6.0	-9.0	4.13	2.77	2.69	1.08	6.82	3.85	2.72	0.88	9.54	4.73
4	-9.0	-12.5	6.55	4.00	2.55	1.08	9.10	5.08	2.55	0.90	11.65	5.98
5	-12.5	-16.0	10.74	6.34	2.39	1.34	13.13	7.68	2.33	1.23	15.14	8.91

Stress in T/m^2

Ncte : K_o ได้จากสมการ empirical

$\Delta\sigma_v$ และ $\Delta\sigma_h$ หาได้จากรูปที่ 2.2 ใช้ $\nu = 0.5$



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนของการทดสอบ Stress Path

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นั่นคือ ถือว่าถนนเก่าได้หรุดตัวไปหมดแล้ว (U = 100%) ก่อนที่จะทำการปรับปรุงยกระดับถนน

ค. ขั้นตอนที่ 3 ถนนใหม่ ขั้นตอนนี้จะพิจารณาน้ำหนักกระทำจากถนนใหม่ที่ได้รับการปรับปรุงยกระดับขึ้น โดยทำการแบ่งย่อยน้ำหนักของถนนใหม่ออกให้เหมือนกับลำดับของการก่อสร้างในสนาม และในขั้นตอนนี้จะศึกษาผลของอันเดรนครีพ (Undrained Creep) ด้วย อนึ่งการหาค่าความเค้นนั้นไม่ได้พิจารณาถึงผลของน้ำหนักการจราจร

3.4.4.2 วิธีการทดสอบ

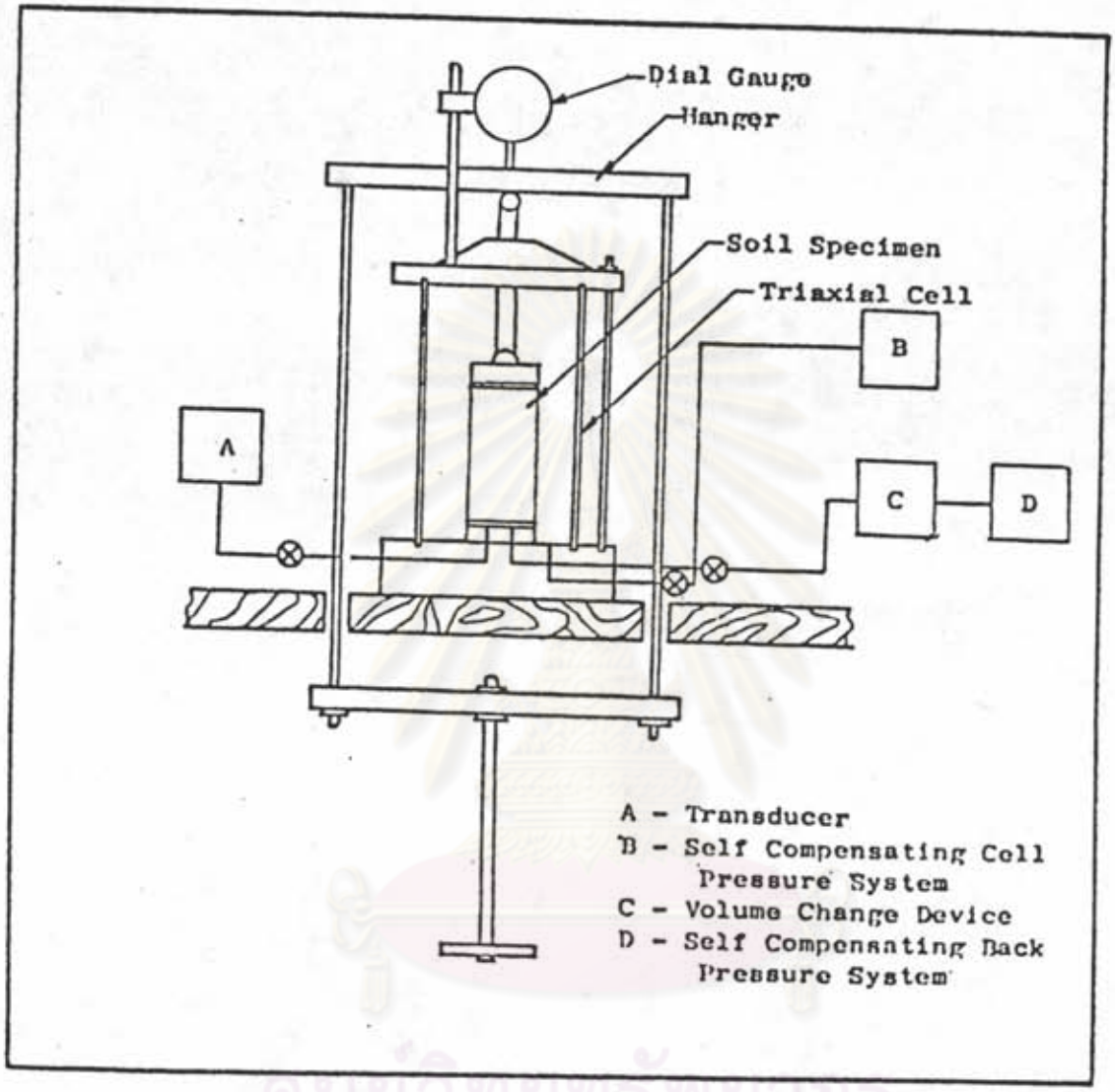
เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ Stress Path เป็นเครื่อง Tri-axial Cell ประกอบเข้ากับโครงแขวนเหล็ก (Steel Frame Hanger) เพื่อใช้สำหรับแขวนน้ำหนักคงที่ (Dead Load) และอุปกรณ์อย่างอื่นอีก ดังแสดงในรูปที่ 3.6 สำหรับรายละเอียดของเครื่องมือนั้นเป็นแบบเดียวกับที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ของ สมบัติ(2525) ดำรงค์(2526) และ ชูชาติ(2526) การเตรียมตัวอย่างดิน การจัดตัวอย่างเข้าที่ทดสอบ (Set-up of Specimen) การทำตัวอย่างให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation of Specimen)ได้กระทำตามวิธีที่กล่าวไว้ในวิทยานิพนธ์ของ ชูชาติ(2526) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะในลำดับขั้นของการทดสอบ Stress Path เท่านั้น

ก. การอัดตัวคายน้ำภายใต้ K_o-Condition

ขั้นตอนนี้จะกระทำภายหลังที่ตัวอย่างได้ถูกทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว (รู้ได้ด้วยการตรวจสอบค่า B พารามิเตอร์ของ Skempton โดยจะถือว่าตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อ B > 0.95) ในขั้นแรกตัวอย่างดินจะถูกอัดตัวคายน้ำแบบไอโซทรอปปิค(Isotropic Consolidation) ก่อนด้วยความดันน้ำในเซล (Cell Pressure, σ_c) มีค่าเท่ากับผลรวมของความเค้นประสิทธิผลในแนวนอนตามธรรมชาติ ($\bar{\sigma}_{ho}$) กับ Back Pressure (σ_b = 2.0 ksc.) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการอัดตัวคายน้ำตัวอย่างดินแบบ-แอนไอโซทรอปปิค (Anisotropic Consolidation) ด้วยการแขวนน้ำหนักที่โครงแขวนเหล็ก โดย

น้ำหนักที่ใส่บนโครงแขวนเหล็ก = น้ำหนักที่ใส่บนที่แขวนเพื่อต้านทานความดัน-น้ำในเซล + $(\sigma_1 - \sigma_3)A$

เมื่อ σ_1 = ความเค้นรวมในแนวดิ่ง



รูปที่ 3.6 เครื่องมือสำหรับการทดสอบ Stress Path

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

σ_3 = ความเค้นรวมในแนวนอน

A = Corrected Area

อนึ่งก่อนทำการทดสอบจะต้องทำการ Calibrate ของ triaxial Cell ก่อน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำในเซลกับน้ำหนักที่ใส่เข้าไปเพื่อต้านทานความดันน้ำในเซล

เมื่อได้ทำการแขวนน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว ตัวอย่างดินจะถูกปล่อยทิ้งไว้จนกว่าความดันน้ำในโพรงเพิ่มกระจายหมดไป ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยปิดลิ้นระบายน้ำทิ้งไว้แล้วอ่านค่าความดันน้ำในโพรงจาก Tranducer ตามปกติแล้วจะใช้เวลาไม่เกิน 24 ชั่วโมง ทำการจดบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volume Change) และ Dial Gauge เพื่อใช้ปรับแก้พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน และคำนวณหาน้ำหนักที่จะใช้ในขั้นตอนต่อไป

ในการคำนวณหาค่า $\bar{\sigma}_{ho}$ เพื่อใช้ในการทดสอบนั้น จำเป็นต้องทราบค่า K_o ก่อน วิธีการและสมการที่จะให้ได้มาซึ่งค่า K_o มีอยู่หลายวิธีและหลายสมการ แต่จากการตรวจสอบค่า K_o ของดินเหนียวหนองงูเห่า ซึ่งอยู่ใกล้เคียงกับบริเวณที่ทำการศึกษา พบว่าค่า K_o ที่ได้จากการใช้สมการของ Alpan (1967) และ Schmidt (1966) ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการมากที่สุด ดังนั้นในการทดสอบ Stress Path นี้จึงได้เลือกใช้สมการดังกล่าว โดย

$$K_o(NC) = 0.19 + 0.233 \log PI$$

และ $$K_o(OC) = K_o(NC) \times OCR^m$$

เมื่อ $K_o(NC)$ = ค่า K_o สำหรับดินเหนียวอัดแน่นปกติ (Normally Consolidated Clay)

$K_o(OC)$ = ค่า K_o สำหรับดินเหนียวอัดแน่นเกินตัว (Over Consolidated Clay)

OCR = Over Consolidation Ratio

m = ค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งให้ความสัมพันธ์ระหว่าง K_o กับ OCR (รูปที่ 3.7)

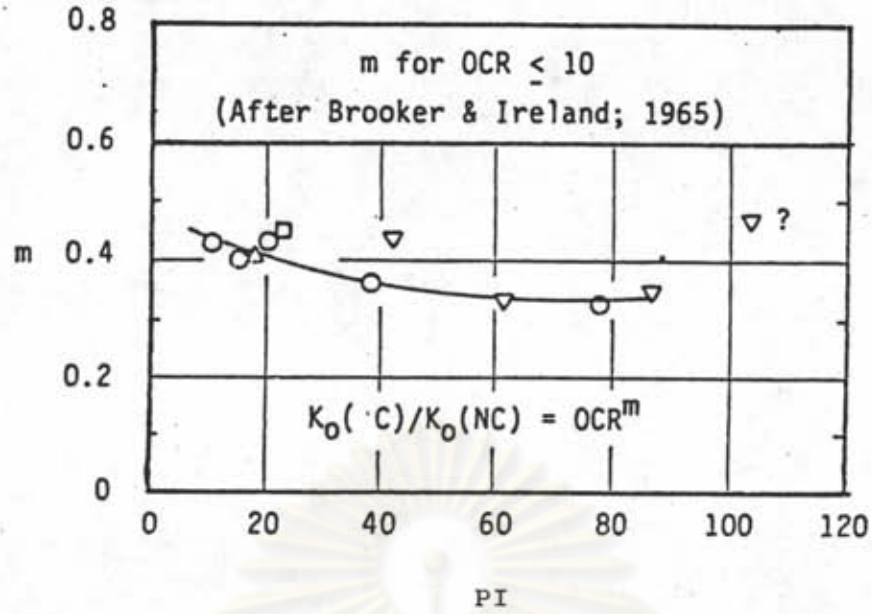
ข. Undrained Loading

ก่อนอื่นจะต้องทำการปิดลิ้นระบายน้ำก่อนเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลออกจากตัวอย่างดิน แล้วทำการเพิ่มความเค้นทั้งแนวนอนและแนวดิ่งแก่ตัวอย่างดินด้วยการเพิ่มความดันน้ำในเซล และเพิ่มน้ำหนักแขวน ทำการจดบันทึกค่า Δu และ Dial Gauge กับเวลา ในขั้นตอนที่ 2 จะให้น้ำหนักกระทำทั้งหมดต่อตัวอย่างดินทันที และเมื่อค่า Δu มีค่าค่อนข้างคงที่แล้วจะทำการระบายน้ำออกจากตัวอย่างดิน ส่วนในขั้นตอนที่ 3 นั้น น้ำหนักกระทำจะถูกแบ่งเป็น 3 ลำดับย่อยตามการก่อสร้างจริง จะทำการเพิ่มน้ำหนักในแต่ละลำดับย่อยเมื่อ Δu มีค่าค่อนข้างคงที่ และเมื่อใส่น้ำหนักลำดับสุดท้ายแล้วจะปล่อยน้ำหนักทิ้งไว้เพื่อศึกษาผลของ Undrained Creep เป็นเวลา 3 วัน เพื่อป้องกันการวิบัติของตัวอย่างดินเนื่องจาก Undrained Creep ในระหว่างการปล่อยน้ำหนักทิ้งไว้นั้น จึงได้ทำการพล็อตระหว่าง log ของการยุบอัดตัว กับ log ของเวลา (รูปที่ 3.8) ในกรณีที่แสดงให้เห็นว่าเกิดการวิบัติขึ้น จะทำการระบายน้ำในทันที

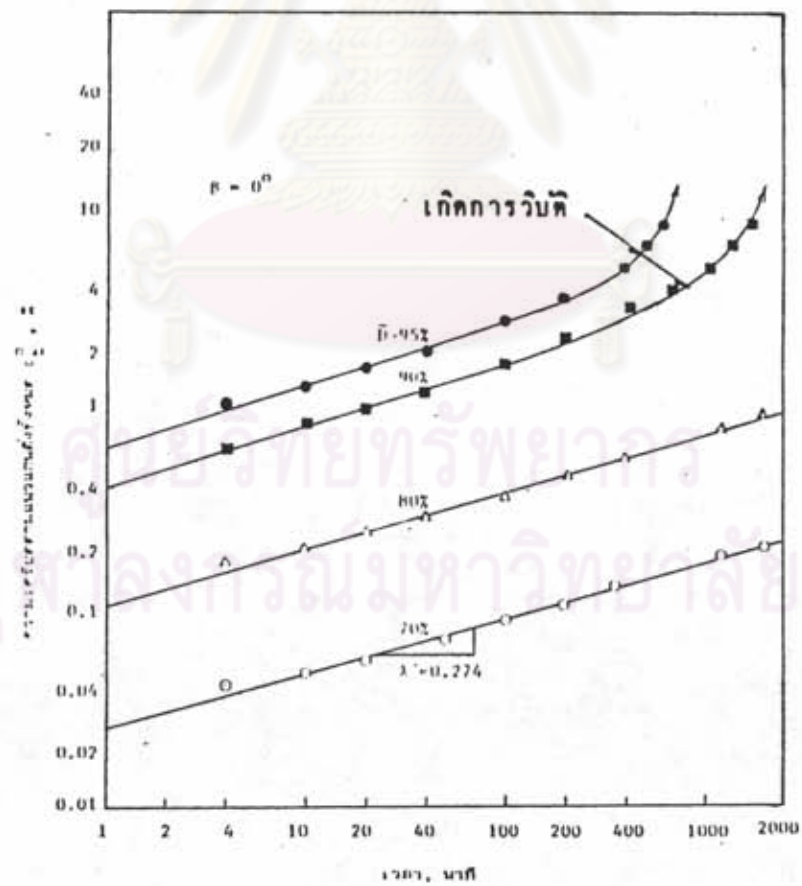
ค. การทดสอบในสภาพระบายน้ำ (Drained Loading)

ภายหลังการทดสอบในสภาพไม่ระบายน้ำแล้ว ลิ้นระบายน้ำจะถูกเปิดออก เพื่อให้ตัวอย่างดินเกิดการอัดตัวคายน้ำ บันทึกค่า Dial Gauge และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volume Change) กับเวลา ปล่อยตัวอย่างดินทิ้งไว้จนกว่าขบวนการอัดตัวคายน้ำเสร็จสิ้นซึ่งตรวจสอบได้โดยการพล็อตระหว่าง การยุบอัดตัว กับ log ของเวลา (วิธี log t ของ Casagrande)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง m กับ PI



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการพล็อตระหว่าง log ของความเครียด กับ log ของเวลา