บทที่ 3

การทดลองการวิจัย

3.1 ลักษณะสภาพทั่วไปของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

ว.ส.ท. (2520) ดินตะกอนลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง เป็นอาณาบริเวณของดินตะกอนที่กว้าง และลึกมาก บริเวณนี้สันนิษฐานว่าเป็นแอ่งรูปกรวยคว่ำลึก ชั้นดินบริเวณนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการตกตะกอนของดิน หรือเศษหิน ซึ่งถูกพัดพามาตามน้ำ (terrestrial deposit) และการตกตะกอนในน้ำทะเล (Marine deposit) ดินชั้นบนเป็นดินเหนียวอ่อนเกิดขึ้นเนื่องจากการตกตะกอนในทะเล เรียกว่า Soft marine clay ส่วนชั้นดินที่ต่ำลงไปจะเป็นชั้นดินที่อัดแน่นประกอบด้วยชั้นทราย กรวด และอาจมีชั้นดินเหนียวสลับอยู่บ้าง จนถึงความลึก 430-580 เมตร จึงจะพบชั้นหินดาน ซึ่งจะอยู่ลึกย่วงใกล้ปากอ่าว และตื้นเขินขึ้นเมื่อห่างจากปากอ่าวจนกระทั่งถึงจังหวัดชัยนาท ความลึกลดลงเหลือประมาณ 70 เมตร ชั้นดินที่มักจะสร้างปัญหาให้กับวิศวกร คือ ชั้นดินเหนียวอ่อน ซึ่งแสดงรายละเอียดของชั้นดิน ดังรูปที่ 3.1

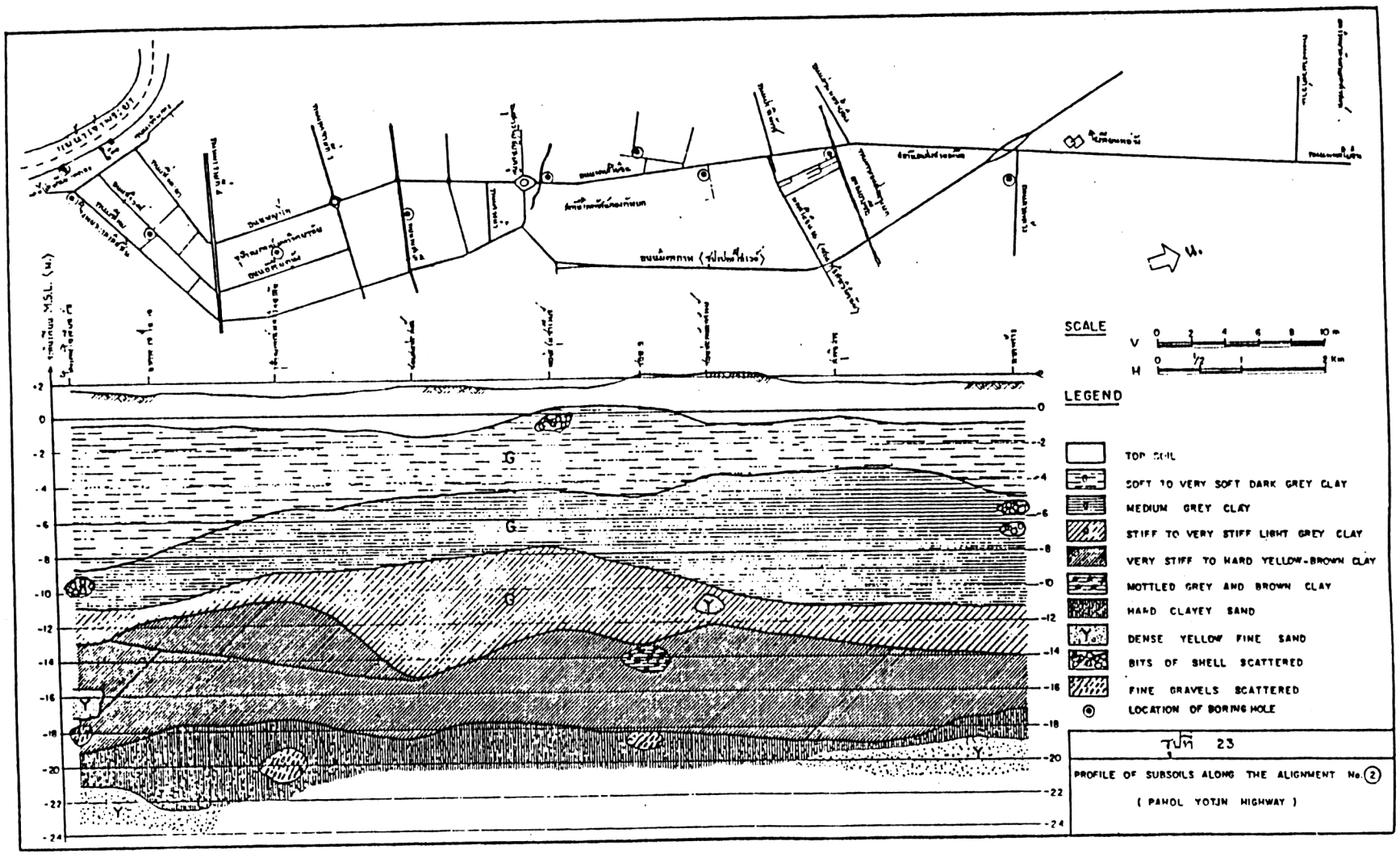
MUKTABHANT et al (1966) ได้ทำการสำรวจชั้นดินบริเวณกรุงเทพฯ สรุปว่า ชั้นดินบริเวณกรุงเทพฯ นี้เกิดจาก แม่น้ำ ลำธาร พัดพา เศษหินหรือดินมาตกตะกอนเป็นดินเหนียวทับถมอยู่บนชั้นทรายและกรวด บริเวณสามเหลี่ยมปากน้ำ ซึ่งเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ที่-ราบแห่งนี้ยาวประมาณ 300 กม. ตั้งแต่อ่าวไทยทางใต้จนถึงด้านตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศ และกว้างประมาณ 100 กม. ตั้งแต่ภูเขาตะนาวศรี ถึงที่ราบสูงโคราช

MOH et al (1969) ได้ศึกษาชั้นดินเหนียวที่รังสิต ซึ่งอยู่ห่างจากกรุงเทพ ไปทางเหนือ 42 กม. ตามถนนสายกรุงเทพ - สระบุรี พบว่า ชั้นดินเหนียวกรุงเทพ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

ก. ชั้นหน้าดิน (Weathered clay) มีสีดำปนเทา (drak grey clay) ประกอบด้วยเปลือกแข็ง (hard crust) ลึกประมาณ 4.5 เมตร

ข. ดินเหนียวอ่อน (Soft clay) เป็นดินที่มีความสามารถในการยุบตัวสูงมาก มีสีดำปนเทา (Dark grey clay) อยู่ที่ความลึกประมาณ 4.5 - 10.0 เมตร

ค. ดินเหนียวแข็ง (Stiff clay) มีสีน้ำตาลปนเทา (light grey and brown) อยู่ที่ความลึกประมาณ 10-15 เมตร



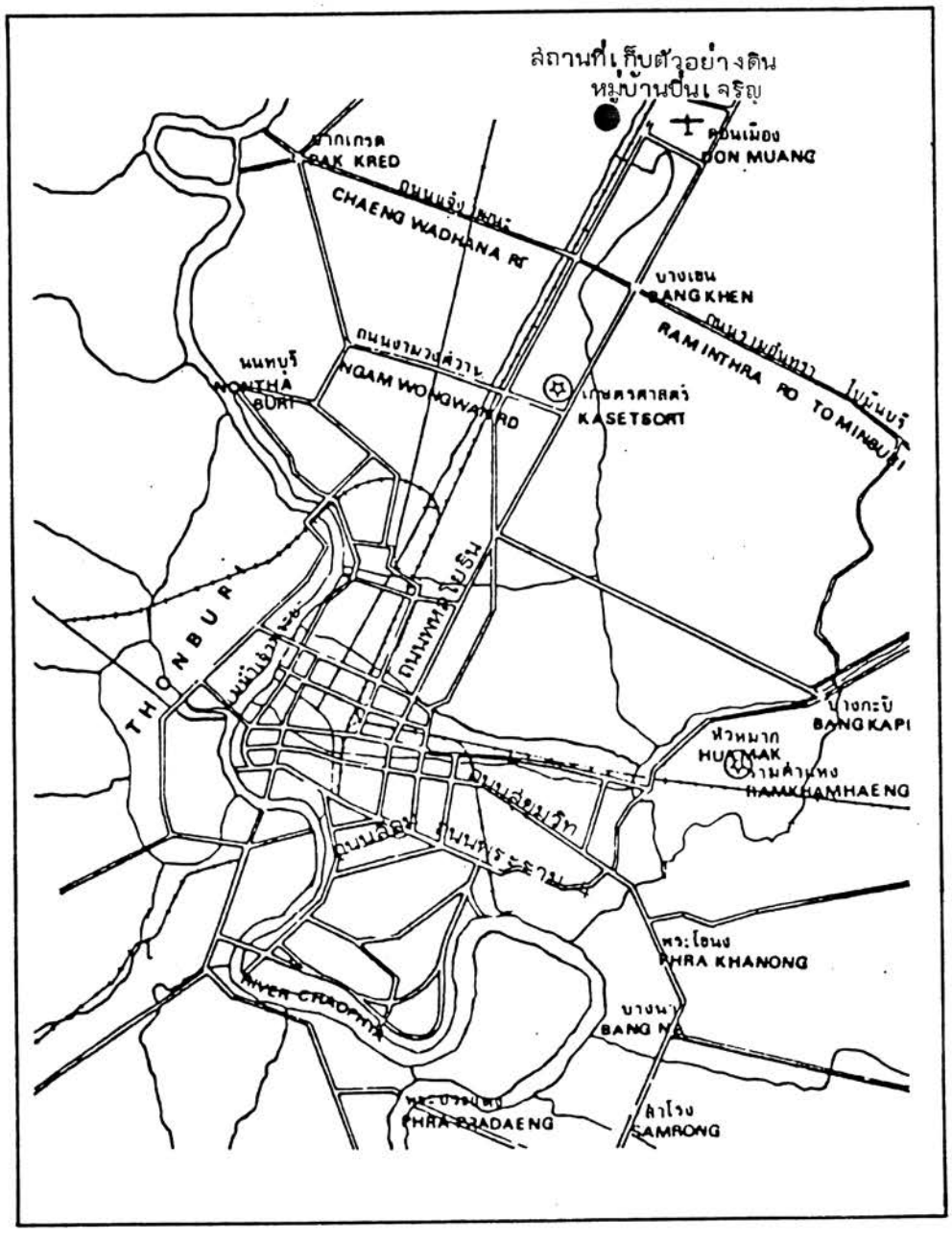
รูปที่ 3.1 ลักษณะของชั้นดินกรุงเทพฯ (จาก ว.ส.ท. ,2520)

ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เกิดขึ้นจากการตกตะกอนที่เป็นเนื้อเดียวกัน ยกเว้นที่ดินเหนียว-แข็ง มีชั้นทรายปนอยู่ด้วย Atterberge limit ของดินเหนียวอยู่บน A-line ใน plastic chart ของ CASAGRANDE ความชื้นของน้ำในดินสูง และเท่ากับ liquid limits Sensitivity เปลี่ยนแปลงจาก 1.5 - 7.0 ดินเหนียวอ่อน และ weathered clay จะเป็น normally consolidated clay ตาม geology classification แต่ weathered clay และดินเหนียวจะเป็น apparent overconsolidated clay เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินลดต่ำลง (desiccation) และขบวนการอื่น ๆ (MOH, et al, 1969) ดินเหนียวแข็งรับแรงได้สูงและการยุบตัวต่ำ ส่วนดินเหนียวอ่อนรับแรงได้น้อย และการยุบตัวสูง ซึ่งทำให้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมมากสำหรับดินชั้นนี้

3.2 <u>การเก็บดินตัวอย่าง</u>

3.2.1 <u>สถานที่เก็บดินตัวอย่าง</u> ดินตัวอย่างที่นำมาทำการวิจัยนี้เป็นดินเหนียวอ่อน เก็บที่หมู่บ้านปิ่นเจริญ ดอนเมือง ห่างจากสนามบินดอนเมืองไปทางตะวันตก ประมาณ 2 กม. อยู่ห่างจากกรุงเทพฯ ไปทางเหนือประมาณ 30 กม. ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.2.2 <u>วิธีการเก็บดินตัวอย่าง</u> ดินตัวอย่างที่นำมาทำการวิจัยเป็นดินเหนียวอ่อนเก็บที่ระดับความลึก 5.40 - 5.70 เมตร ตัวอย่างที่เก็บเป็นแบบกล่อง (Block sample) เพื่อให้ได้ดินตัวอย่างแบบที่ถูกรบกวนให้น้อยที่สุด (Undisturbed sample) และได้ตัวอย่างที่มีความลึกใกล้เคียงกัน การเก็บใช้กล่องเก็บดินมีขนาด 32x32x32 ซม. จำนวน 2 กล่อง ก่อนที่จะลงมือเก็บดินได้ใช้รถ Back Hoe เปิดหน้าดินถึงระดับความลึก 4.50 เมตร หลังจากนั้นใช้แรงคนขุดต่ออย่างระมัดระวัง โดยให้ดินได้รับแรงสะเทือนน้อยที่สุด เมื่อขุดถึงระดับที่ต้องการแล้วตัดดินตัวอย่างเป็นรูปกล่อง มีขนาดเล็กกว่ากล่องเล็กน้อย นำกล่องที่ประกอบด้านข้างไว้เรียบร้อยไปใส่ดินตัวอย่าง และเคลือบดินตัวอย่างด้วยขี้ผึ้ง (wax) รอบด้านข้างและด้านบน ปิดฝาด้านบนแล้วตัดดินตัวอย่างด้านล่างด้วยลวด พลิกดินตัวอย่างกลับเพื่อเคลือบขี้ผึ้งด้านล่าง และปิดฝาด้านล่าง จากนั้นได้นำดินตัวอย่างมาแบ่งเป็นก้อนเล็ก ๆ ขนาด 10x10x10 ซม. และ 15x15x6 ซม เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป เมื่อแบ่งเป็นก้อนเล็กเสร็จแล้วจะรีบห่อด้วย Aluminium foil และเคลือบขี้ผึ้งทันที เพื่อป้องกันน้ำในดินระเหยออกไป จากนั้นนำไปเก็บไว้ในห้องบ่มความชื้น จนกว่าจะนำไปใช้ในขั้นต่อไป



รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงบริเวณเก็บตัวอย่างดิน

3.3 คุณสมบัติพื้นฐานของดินตัวอย่าง (Index properties)

การหาคุณสมบัติพื้นฐานของดินตัวอย่าง ทำโดยนำเศษดินที่ trim ออกจากดินตัวอย่าง นำมาหาค่าปริมาณความชื้น ยืดเหลว (Liquid limit) ยืดพลาสติก (Plastic limit) วิเคราะห์ขนาดของดิน ความถ่วงจำเพาะ สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งมีชั้นดิน (Profile of subsoils) ดอนเมือง แสดงในรูปที่ 3.3

3.4 โปรแกรมการทดสอบ

จุดประสงค์ของการวิจัยนี้ คือ เปรียบเทียบพฤติกรรมของดินเหนียวอ่อน ดอนเมือง ระหว่างวิธีการทดสอบแบบไตรแอกเซียล และคอนโซลิเดชัน นอกจากนั้นยังศึกษาผลกระทบของอัตราการเพิ่มน้ำหนักและระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนักที่มีต่อพฤติกรรมของดิน และยังศึกษาข้อแตกต่างระหว่างการทดสอบแบบ Isotropic และ Ko-consolidation ดังนั้นการทดสอบจึงแบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกัน คือ แบบไตรแอกเซียล และคอนโซลิเดชัน แต่ละแบบของการทดสอบแบ่งออกเป็น 4 ชุด โดยมีอัตราการเพิ่มน้ำหนักต่าง ๆ กัน คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 และมีระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนักต่าง ๆ กัน คือ t_{100}, 90 นาที, 24 ชม. และ 48 ชม. ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และ 3.3

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ มี 2 ชนิด ดังนี้

3.5.1 เครื่องมือทดสอบแบบ Lever Arm (Lever Arm Type Consolidometer) ผลิตโดย Engineering Laboratory Equipment Ltd., U.K. เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการทำการทดสอบแบบ Consolidation มาก ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ Rigid machined casting จะทำให้ระบบสมดุลย์ ปลายข้างหนึ่งของคานจะใส่น้ำหนักคงที่ (dead weight) ส่วนอีกข้างหนึ่งจะไปกดบนดินตัวอย่าง ซึ่งอยู่ภายใน container ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ระบบสมดุลย์ของคานนี้จะถ่ายน้ำหนักจากปลายข้างหนึ่งไปอีกปลายข้างหนึ่ง ซึ่งกดลงบนดินตัวอย่างเป็นจำนวน 10 เท่า และ 40 เท่าจากตำแหน่ง ก และ ย ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.4 ตัว container มีขนาดต่าง ๆ กัน คือ Ø 6", Ø 2.5" และ Ø 1.82" แต่การทดสอบนี้เลือกใช้ Ø 2.5" ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป นอกจากนั้นตัว container ยังแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แบบยึดแน่น (Fixed-ring container) และแบบลอยตัว (Floating-ring container) ตัว container ที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นแบบยึดแน่น ด้านบนและด้านล่างของดินตัวอย่างจะมี

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนดอนเมือง

คุณสมบัติ	ความลึก 5.40-5.70 ม.	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณความชื้น , W_n %	89.50	± 3.29
ขีดเหลว, W_l (Liquid limit) %	86.82	± 2.85
ขีดพลาสติก, W_p (Plastic limit) %	38.76	± 1.49
P.I. (Plasticity index) %	48.06	± 2.59
L.I. (Liquidity index)	1.07	± 0.09
ปริมาณดินเหนียว (Clay fraction) < 0.002 มม.%	59.30	-
ปริมาณทรายแป้ง (Silt fraction) < 0.06 มม.%	36.90	-
ปริมาณทราย (Sand fraction) > 0.06 มม. %	3.80	-
ความถ่วงจำเพาะ G (Specific gravity)	2.68	± 0.02
อัตราส่วนช่องว่างเริ่มแรก e_o (In. void ratio)	2.464	± 0.130
Sensitivity	7	-
Unconfined compressive strength, ตัน/ม^2	3.80	-
หน่วยแรงสูงสุดในอดีต, $\bar{\sigma}_{vm}$ กก./ซม^2	0.85	± 0.09
OCR. (Over consolidation ratio)	1.92	± 0.20
หน่วยน้ำหนักแห้ง, γ_d ตัน/ม.^{3}	0.78	± 0.17
ประเภทของดิน (Unified soil classification)	OH-CH	

ตารางที่ 3.2 โปรแกรมการทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน

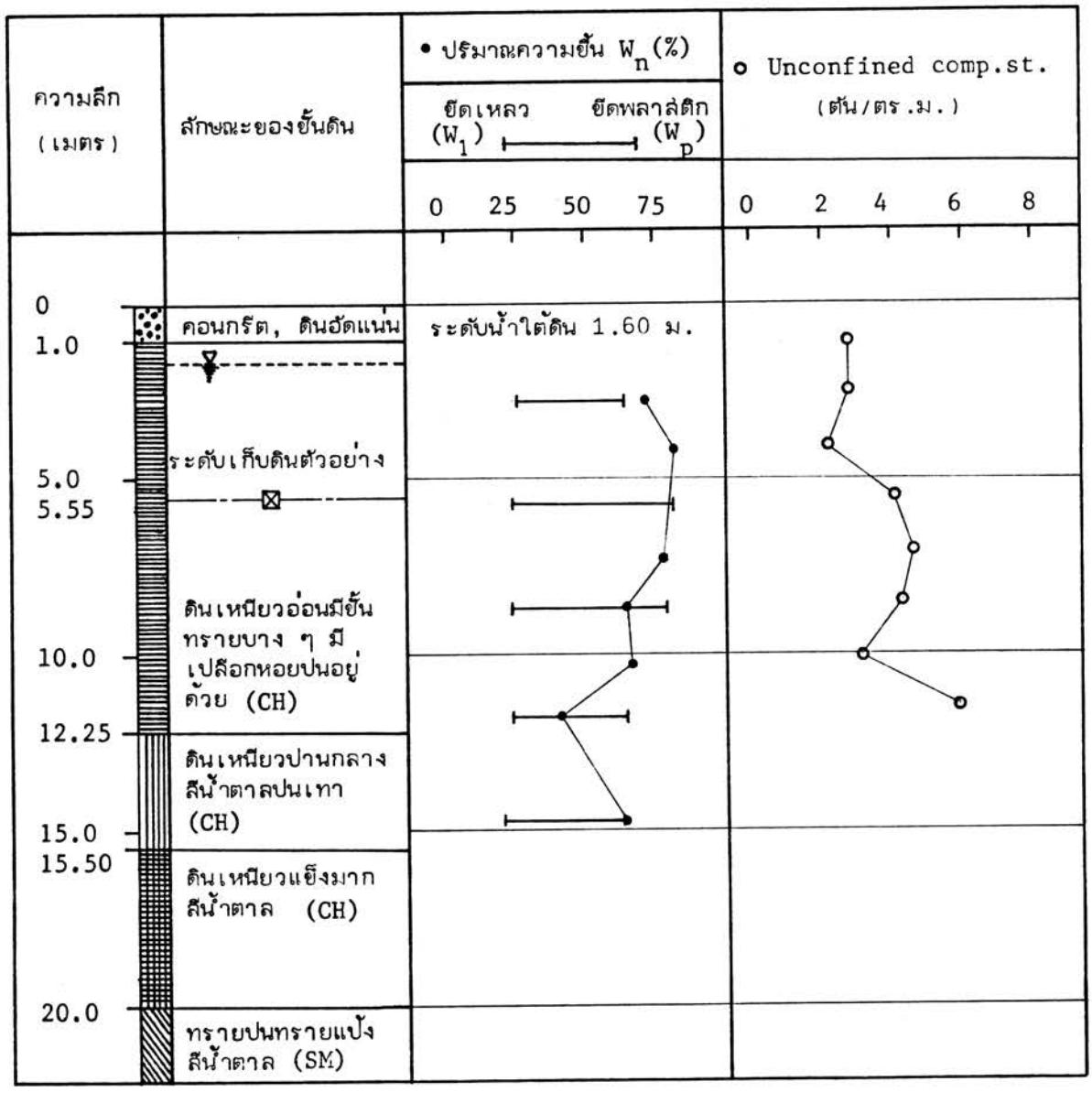
ชุดที่	การทดสอบเบอร์	อัตราการเพิ่มน้ำหนัก (LIR)	ระยะเวลา-การเพิ่มน้ำหนัก (LID)	แรงดันที่กระทำ (กก./ตร.ซม.)
I	$I\text{-}C\text{-}1_1$	0.50	t_{100}*	0.125,0.188,0.282,0.423
	$I\text{-}C\text{-}1_2$	0.50	90 นาที	0.635,0.952,1.428,2.142
	I-C-2	0.50	24 ชม.	3.213,4.820,7.229,2.000
	I-C-3	0.50	48 ชม.	0.100
II	$II\text{-}C\text{-}1_1$	1.00	t_{100}*	0.125,0.25,0.50
	$II\text{-}C\text{-}1_2$	1.00	90 นาที	1.00, 2.00,4.00
	II-C-2	1.00	24 ชม.	8.00, 2.00,0.10
	II-C-3	1.00	48 ชม.	
III	$III\text{-}C\text{-}1_1$	1.50	t_{100}*	0.125,0.313,0.783
	$III\text{-}C\text{-}1_2$	1.50	90 นาที	1.958,4.895,12.238
	III-C-2	1.50	24 ชม.	2.000,0.100
	III-C-3	1.50	48 ชม.	
IV	IV-C-1	2.00	t_{100}*	0.125,0.375,1.125
	IV-C-2	2.00	24 ชม.	3.375,10.125,2.000
	IV-C-3	2.00	48 ชม.	0.100

หมายเหตุ *t_{100} หาโดยวิธีกรณีที่ลองยองเวลา ($\sqrt{t}$)

ตารางที่ 3.3 โปรแกรมการทดสอบแบบไตรแอกเซียล

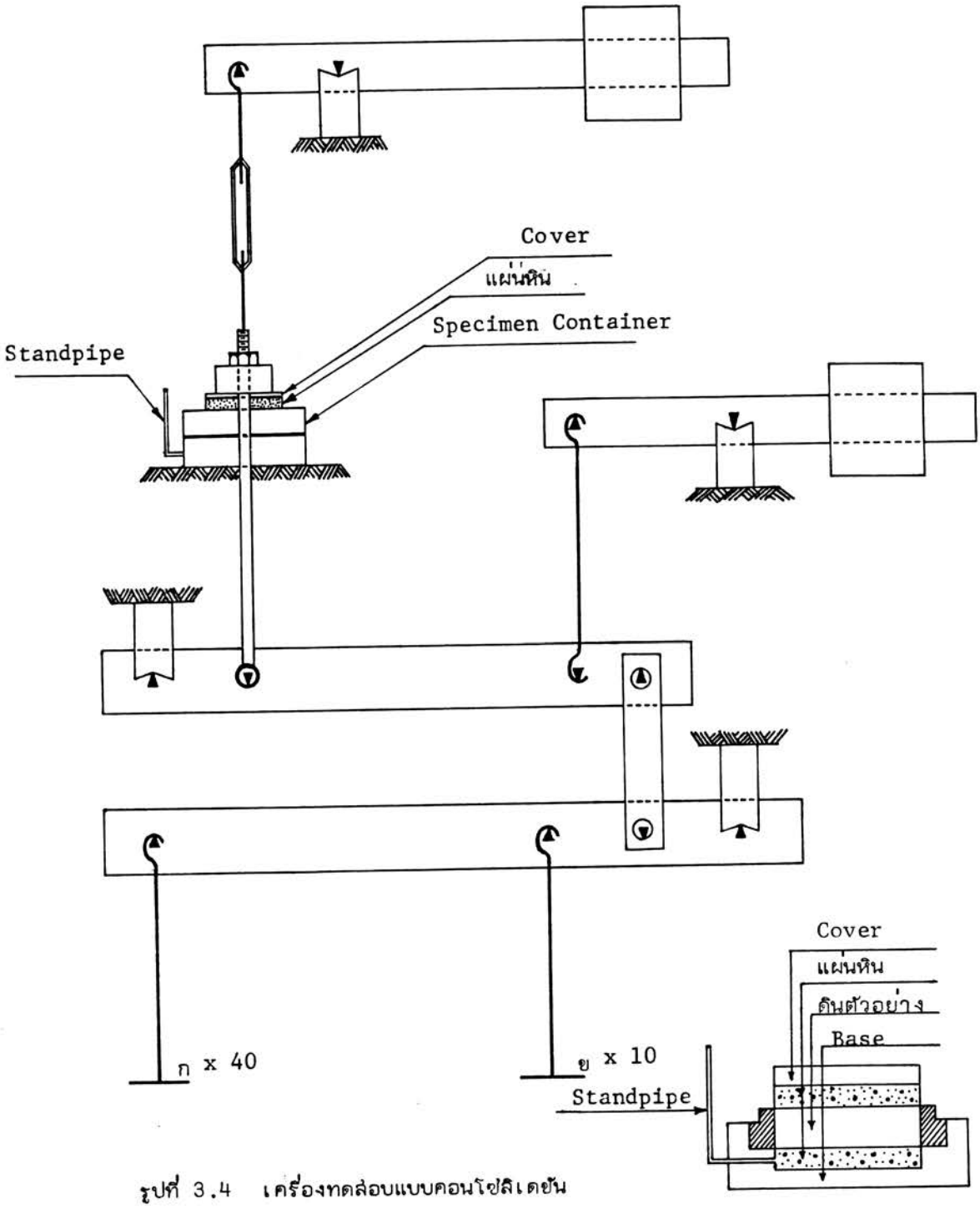
ชุดที่	การทดสอบเบอร์	อัตราการเพิ่มน้ำหนัก (LIR)	ระยะเวลาการเพิ่มน้ำหนัก (LID)	$\bar{\sigma}_v$ (กก./ตร.ซม.)	Coeff. of consolidation (K)	$\bar{\sigma}_h$ (กก./ตร.ซม.)
I	I-T-1	0.50	t_{100}	0.125	1.00	0.125
				0.313	0.40	0.125
				0.470	0.40	0.190
				0.704	0.40	0.280
	I-T-2	0.50	24 ชม.	1.056	0.50-0.46	0.53-0.485
				1.585	0.58-0.55	0.92-0.872
				2.377	0.63-0.60	1.50-1.426
	I-T-3	0.50	48 ชม.	3.565	0.66-0.64	2.355-2.282
				5.348	0.695-0.66	3.715-3.530
				3.000	0.75	2.250
				1.500	1.00	1.500
II	II-T-1	1.00	t_{100}	0.125	1.00	0.125
				0.313	0.40	0.125
				0.626	0.38	0.240
	II-T-2	1.00	24 ชม.	1.252	0.48-0.51	0.60-0.639
				2.504	0.65-0.66	1.63-1.653
				5.008	0.72	3.605
	II-T-3	1.00	48 ชม.	3.000	0.87	2.610
				1.900	1.00	1.900
III	III-T-1	1.50	t_{100}	0.125	1.00	0.125
				0.313	0.40	0.125
				0.783	0.40	0.315
	III-T-2	1.50	24 ชม.	1.958	0.63-0.64	1.234-1.253
				4.895	0.79-0.71	3.865-3.475
	III-T-3	1.50	48 ชม.	3.000	0.851	2.555
				1.940	1.00	1.940
IV	IV-T-1	2.00	t_{100}	0.125	1.00	0.125
				0.200	0.625	0.125
				0.600	0.42	0.250
	IV-T-2	2.00	24 ชม.	1.800	0.63-0.61	1.135-1.098
				5.400	0.79-0.77	4.265-4.158
	IV-T-3	2.00	48 ชม.	3.000	0.932	2.795
				2.480	1.00	2.480
II	II-T-4	1.00	24 ชม.	$\bar{\sigma}_h = \bar{\sigma}_v$ = 0.155,0.315,0.625,1.250 2.505,5.010,3.000,0.100 K = 1.0		

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย $\bar{\sigma}_{vm}$ ของดินตัวอย่าง = 8.3 ตัน/ม^2



จาก K.E.C. หลุมเจาะ No. 2 บริเวณสนามบินดอนเมือง กรุงเทพฯ โครงการสร้างโรงจอดเครื่องบิน Boeing 747 วันที่ 18 พฤศจิกายน 2521

รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของชั้นดินที่เก็บดินตัวอย่างดอนเมือง



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน

รูปยยาย Specimen container

ข่นิด Fixed container

แผ่นหิน (porous stone) รองรับอยู่ เพื่อให้น้ำไหลออกได้ทั้ง 2 ด้าน เครื่องมือนี้ไม่มีการวัดความดันน้ำในโพรงดิน (pore water pressure)

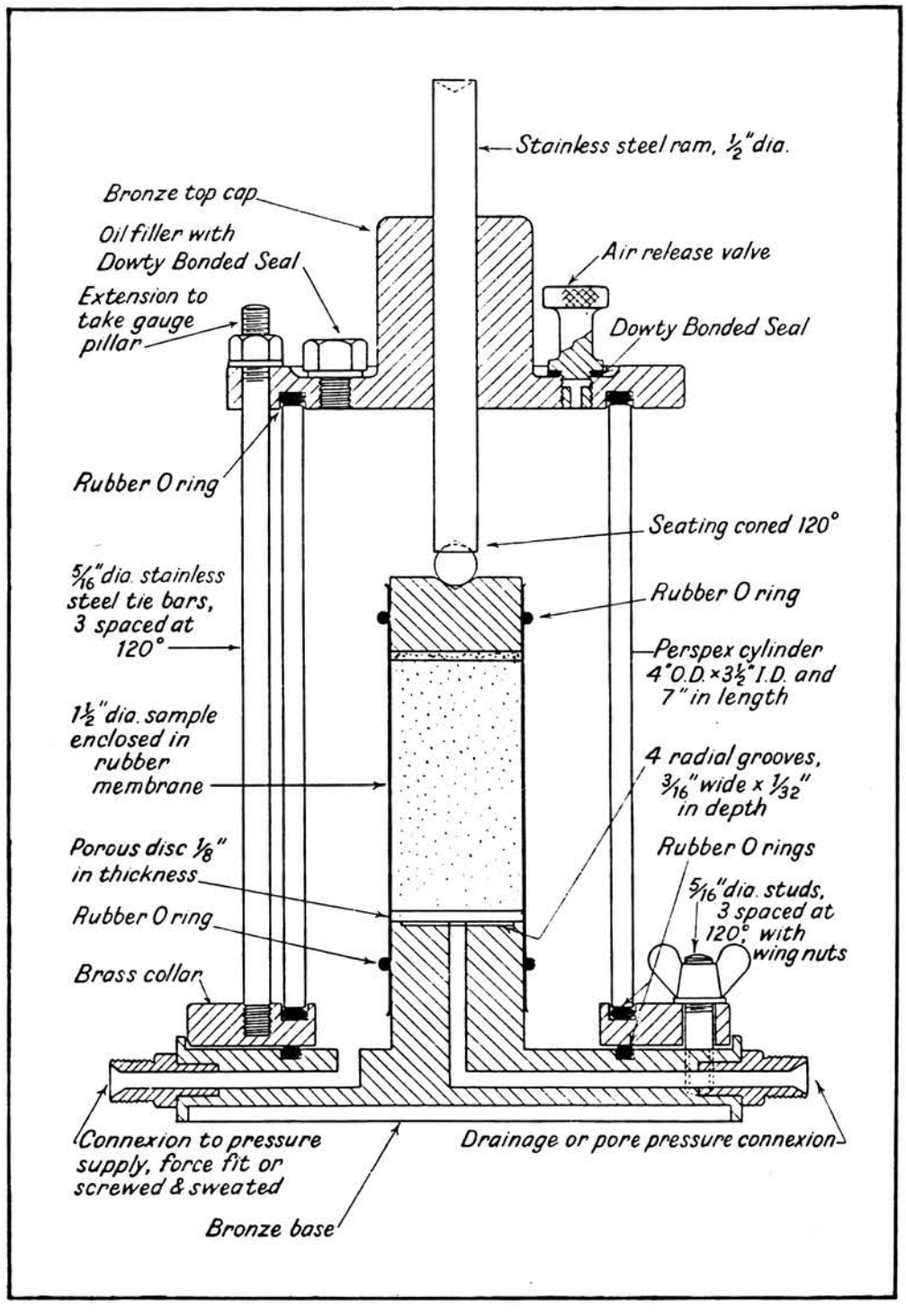
3.5.2 เครื่องมือทดลอบแบบไตรแอกเซียล (Bishop Type Triaxial Cell) ผลิตโดย WYKEHAM FARRANCE ENGINEERING Ltd. SLOUGH, ENGLAND เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการทำวิจัยมาก เพราะสามารถควบคุมแรงดันได้หลายทาง เครื่องมือนี้ประกอบด้วย ส่วนสำคัญคือ Triaxial cell ซึ่งจะต่อเข้ากับแผงวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volume change measurement) ความดันกลับในตัวอย่างดิน (Back pressure) และความดันในเซลล์ (Cell pressure) ความดันที่ต่อเข้ากับ Cell นี้ จะมีระบบควบคุมความดันให้คงที่โดยใช้ระบบสมดุลย์ของแท่งปรอท (Self compensating mercury column system) เครื่องแปลงกำลัง (Transducer) และเครื่องอ่านความดันเป็นตัวเลข (Digital transducer) ซึ่งใช้ในการวัดความดันน้ำในโพรงดิน (Pore water pressure) นอกจากนั้นยังมีโครง-เหล็กแขวน (Steel Frame Hanger) ใช้สำหรับวางน้ำหนักคงที่ (Dead weight) และเกจ (dial gauge) ใช้วัดการยุบตัวของดินตัวอย่าง

Triaxial cell ประกอบด้วย ฐาน (base) รูปทรงกระบอกและส่วนบน (The removable cylinder and top cap) ก้านกดดินตัวอย่าง (loading ram) loading cap หรือ top cap และปลอกยาง (Rubber membrane) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ดินตัวอย่างที่ใช้กับเครื่องมือนี้มี 2 ขนาด คือ Ø 4" และ Ø 1.4" ในการทดลอบนี้ใช้ Ø 1.4" สูง 2.75" อัตราความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2

3.6 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.6.1 การเตรียมเครื่องมือทดลอบ

เครื่องมือแบบ Lever Arm ที่ใช้ในการทดลอบ consolidation ตรวจดูระบบสมดุลย์ของคานให้จุดหมุนต่างๆ อยู่ในตำแหน่ง และปรับระบบสมดุลย์ให้ปลายข้างหนึ่งของคานสัมผัส top cap พอดีนำ proving ring ที่ปรับแก้ถูกต้องแล้วไป calibrate น้ำหนักที่จะกดบนดินตัวอย่าง เพื่อปรับแก้ให้ถูกต้อง นำแผ่นหิน (porous stone) ไปต้มประมาณ 10 นาที เพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด แล้วนำไปแช่ไว้ในน้ำกลั่นให้อิ่มตัวตลอดเวลาก่อนนำไปใช้ในขั้นต่อไป



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบแบบไตรแอกเซียล

เครื่องมือแบบไตรแอกเซียล เครื่องไตรแอกเซียลมีวาว (valve) และสายความดัน (Pressure line) ต่อระหว่างส่วนต่าง ๆ ของเครื่องมือมากพอสมควร ดังนั้นก่อนอื่นผู้ทดสอบจำเป็นต้องไล่ฟองอากาศด้วย de-aired water ภายในท่อและสายความดันต่าง ๆ ออกให้หมดเสียก่อน และตรวจสอบข่วงต่อทุกจุดว่ามีรอยรั่วหรือไม่ โดยอัดความดันเข้าไปในระบบให้สูงเท่ากับความดันที่ต้องการใช้ calibrate เครื่องแปลงกำลังและเครื่องอ่านตัวเลขกับเกจวัดความดัน (Pressure gauge) ถ้าค่าที่อ่านได้และเกจวัดความดันไม่เท่ากัน ก็ปรับแก้ (correct) เครื่องอ่านจนอ่านค่าได้เท่ากัน นำแผ่นหินไปต้มประมาณ 10 นาที เพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด แล้วนำไปแช่ในน้ำให้อิ่มตัวตลอดเวลา

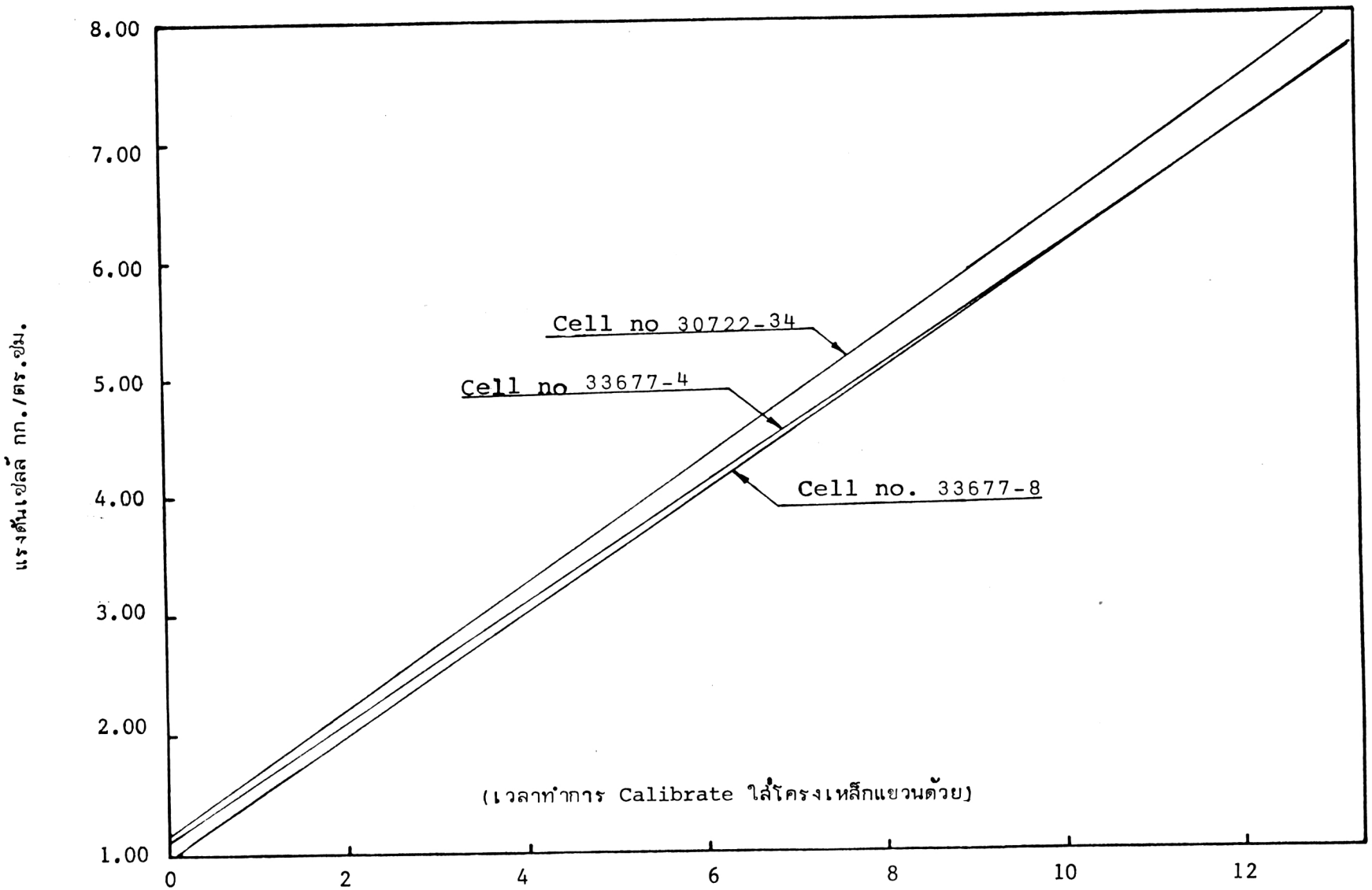
3.6.2 <u>น้ำหนักที่ใช้สมดุลย์กับแรงดันเซลล์</u> (Require weight to balance cell pressure)

การทดสอบแบบไตรแอกเซียล การทำการทดสอบ Anisotropic consolidation ผู้ทดสอบจำเป็นที่จะต้องทราบขนาดของน้ำหนักที่ใช้สมดุลย์ กับแรงดันเซลล์ (Cell pressure) ที่มาดันดันกับแกนรับน้ำหนัก (piston) เสียก่อน เพื่อจะนำมาหาปริมาณน้ำหนักทั้งหมดที่ต้องการใช้มากระทำในแนวดิ่งได้ การหาน้ำหนักที่สมดุลย์ กับแรงดันเซลล์ทำได้โดยเตรียมการทดสอบแบบไตรแอกเซียล เหมือนทำการทดลองจริงแต่ไม่ใส่ดินตัวอย่าง ใส่ steel ball บน loading ram แล้วใส่โครงเหล็กแยวนบน steel ball หลังจากนั้นวาง Proving ring ไว้บนโครงเหล็กแยวน และยึดส่วนบนไว้กับโครงเหล็ก เพิ่มความดันเข้าไปในเซลล์โดยใช้ปั๊มมือ (hand pump) อ่านค่าความดันเซลล์ และ dial gauge ของ Proving ring ขณะที่แกนน้ำหนักถูกดันให้เคลื่อนตัว จนถึงค่าความดันสูงสุดที่เราต้องการใช้ หลังจากนั้นนั้นจึงนำค่า dial gauge ที่อ่านได้จาก Proving ring ไปเปลี่ยนเป็นแรงจากกราฟที่ calibrate หาแรงจาก proving ring มาถูกต้องแล้ว ค่าแรงที่ได้จากกราฟ ซึ่งสมนัยกับค่า dial gauge จะสมดุลย์กับแรงดันเซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

3.6.3 <u>การเตรียมดินตัวอย่าง และจัดดินตัวอย่างในเครื่องมือ</u>

นำดินตัวอย่างที่เก็บไว้ในห้องบ่มความชื้น มาแกะยี่ผึ้ง และ foil ออกโดยให้ดินตัวอย่างวางอยู่ในทิศทางเหมือนในธรรมชาติ

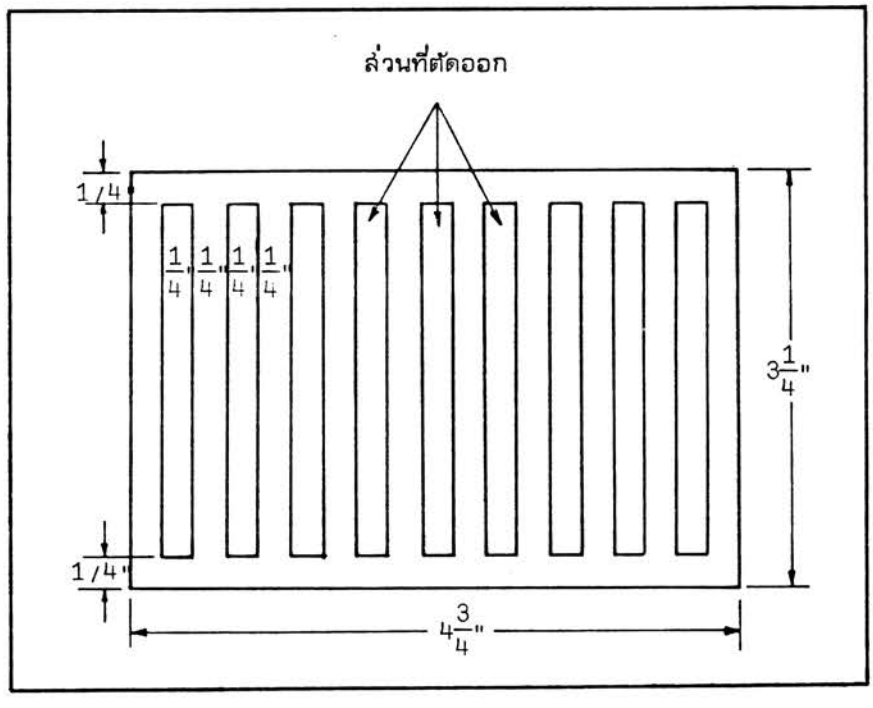
<u>การทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน</u> ตัดดินให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 10 ซม. หนาประมาณ 4.50 ซม. ตัดผิวด้านล่างให้เรียบ นำดินตัวอย่างไปตัดแต่ง (trim)



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับน้ำหนักที่ลมดุลย์กัน

โดยใช้เครื่อง trimmer ให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 6.35 ซม. เล็กน้อย เศษดินที่ได้จากการ trim นำไปหาปริมาณความชื้น 3 ส่วน (บน, กลาง และล่าง) และหาคุณสมบัติพื้นฐานของดิน (Index properties) วัดความสูง และเส้นผ่าศูนย์กลางของ container ซึ่งจะใช้เป็นความสูง และเส้นผ่าศูนย์กลางของดินตัวอย่าง หลังจากนั้นนำ container ไปทาด้วยยี่ผึ้งซิลิกอน (Silicon grease) เพื่อลดแรงเสียดทานของดินกับ container นำ container ไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกไว้ นำดินตัวอย่างไปวางบน container แล้วกดดินตัวอย่างไปใน container อย่างระมัดระวัง หลังจากนั้นใช้ลวดขนาดเล็ก (wire saw) หรือมีดแต่งดินให้เรียบ ทั้งผิวบนและผิวล่าง นำ container และดินตัวอย่างไปชั่ง และบันทึกไว้ นำกระดาษกรอง (filter paper) เบอร์ 54 ที่อิ่มด้วยน้ำไปรองผิวบน และผิวล่างของดิน นำ container และดินไปวางบนแผ่นหินที่อิ่มตัวซึ่งวางอยู่บนฐานของเครื่อง หลังจากนั้นนำยางและวงแหวน (ring) วางบนฐาน แล้วยึดด้วยสลักเกลียวให้แน่น นำแผ่นหินที่อิ่มน้ำ และ top cap วางบนดินตัวอย่างตามลำดับ หลังจากนั้นใส่น้ำให้เต็ม (อยู่ระดับสูงกว่าแผ่นหิน) ทั้งด้านบนและล่าง นำดินตัวอย่างในฐานนี้ไปวางในตำแหน่งที่ปลายคานข้างหนึ่งของระบบสมดุลย์ ซึ่งจะสัมผัส top cap พอดี

<u>การทดสอบแบบไตรแอกเซียล</u> หลังจากที่แกะดินออกจากยี่ผึ้งและ foil แล้ว นำดินมาตัดแต่งให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 ซม. สูง 10 ซม. และตัด หัว-ท้ายของดินตัวอย่างให้เรียบ หลังจากนั้นนำดินไปตัดแต่ง (trim) ให้เป็นรูปทรงกระบอก โดยใช้เครื่อง trimmer ให้มีขนาดประมาณ 3.50 ซม. แล้วนำไปตัดปลายทั้ง 2 ข้างอีกครั้งหนึ่ง ยาวประมาณ 7.00 ซม. เพื่อให้ได้สัดส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 2:1 เศษดินที่ได้จากการตกแต่ง ได้นำไปหาปริมาณความชื้น และคุณสมบัติพื้นฐานของดิน หลังจากนั้นนำดินไปวัดขนาดความสูง และเส้นผ่าศูนย์กลาง ทั้งส่วนบน, กลาง และล่าง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดดิน โดยวัดละเอียดถึง 0.002 ซม. นำดินไปชั่งหาน้ำหนัก โดยใช้ตาชั่งอ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม หลังจากนั้นนำดินไปวางไว้บนฐานเครื่องไตรแอกเซียล ซึ่งมีแผ่นหินพรุนที่อิ่มน้ำวางอยู่ก่อนแล้ว ระหว่างแผ่นหินพรุน และดินตัวอย่างจะมีกระดาษกรองคั่นอยู่เพื่อป้องกันไม่ให้ดินไหลเข้าไปในแผ่นหินพรุน ด้านบนของดินตัวอย่างจะใส่กระดาษกรองแผ่นหินพรุนที่อิ่มน้ำ และ top cap เรียงตามลำดับ เนื่องจากการทดสอบนี้ยอมให้น้ำไหลออกจากดินทางด้านข้างได้ จึงใส่กระดาษกรอง (Whatman' No.54) ด้านข้างขนาด $3\frac{1}{4}$" x $4\frac{3}{4}$" ตามมาตรฐานของ BISHOP & HENKEL ซึ่งตัดเป็นร่องในแนวดิ่งขนาด $\frac{1}{4}$" สลับกัน โดยปลายบนและล่างเว้นที่ไว้ $\frac{1}{4}$" ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ลักษณะของกระดาษกรองที่ใช้ในการระบายน้ำด้านข้าง (BISHOP & HENKEL, 1962)

กระดาษกรองนี้ก่อนที่จะพันรอบดิน ต้องจุ่มน้ำให้อิ่มตัวก่อน และปลายด้านบนและล่างของกระดาษกรองจะพันรอบแผ่นหิน หลังจากนั้นใช้ rubber membrane หุ้มดินตัวอย่าง 2 ชั้น และรัด rubber membrane ด้วย o-ring จำนวน 6 เส้น ที่ด้านล่าง (pedestal) 3 เส้น และ top cap 3 เส้น เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำในเซลล์ และน้ำในดินผสมกัน หลังจากนั้น ยก The removable cylinder มาไว้บนฐาน (The base) ยึดล็กรูให้แน่นเปิดวาล์วให้น้ำไหลเข้าไปในเซลล์จนเกือบเต็ม เหลือช่องว่างไว้ประมาณ 1 ซม. เพื่อใส่น้ำมันเครื่อง (greasy oil) ป้องกันน้ำไหลออกจากเซลล์ทาง loading ram ใส่น้ำมันเครื่องทาง oil valve จนเต็ม และไหลออกมาทาง air valve ทำการปิด air valve และ oil valve ให้เรียบร้อย

3.6.4 <u>วิธีการทำให้ดินอิ่มน้ำ</u>

การทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน การทำให้ดินอิ่มน้ำเพื่อให้ดินมี degree of saturation 100% ให้ได้เป็นไปตามสมมติฐานของ TERZAGHI ดินจะอิ่มน้ำได้โดยใส่น้ำให้เต็มทั้งด้านบนและด้านล่างของดินตัวอย่าง (ให้น้ำอยู่สูงกว่า porous stone) ทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชม. การอิ่มตัวของดินจะทราบแน่นอน หลังจากที่เอาตัวอย่างออกจากเครื่องทำการทดสอบ

การทดสอบแบบไตรแอกเซียล การทำให้ดินอิ่มน้ำ โดยการใช้ back pressure เท่ากับ 2.0 กก./ตร.ซม. ซึ่ง BISHOP & HENKEL (1962) กล่าวว่า เพียงพอสำหรับ dissolve อากาศในดินตัวอย่าง และใช้แรงดันเซลล์ (Cell pressure) เท่ากับ 2.10 กก./ตร.ซม. เพื่อป้องกันไม่ให้ดินบวมตัว (swelling) ทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชม. การเพิ่มแรงดันเซลล์ และ back pressure เพื่อป้องกันไม่ให้ดินถูกรบกวนมากทำได้โดยค่อยๆ เพิ่มแรงดันที่ละ 0.1 กก./ตร.ซม./นาที สลับกันโดยเริ่มที่แรงดันเซลล์ก่อน การเพิ่มแรงดันนี้ทำโดยใช้ปั๊มมือ (hand pump) เมื่อแรงดันเซลล์เท่ากับ 2.10 กก./ตร.ซม. และ back pressure เท่ากับ 2.00 กก./ตร.ซม. แล้วต่อแรงดันเข้ากับระบบสมดุลย์ของแท่งปรอท ซึ่ง set ความดันไว้ก่อนแล้ว การทำให้ดินอิ่มน้ำนี้ทำให้เกิด consolidation บ้าง ทั้งนี้ เพื่อป้องกันการบวมตัวของดิน ซึ่งได้บันทึกการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินด้วย ทิ้งไว้ให้อิ่มน้ำอย่างน้อย 24 ชม.

3.6.5 <u>การตรวจสอบการอิ่มน้ำ</u>

การทดสอบแบบไตรแอกเซียล หลังจากทิ้งไว้ 24 ชม. ก่อนทำการ consolidation ต้องตรวจสอบดูการอิ่มน้ำของดินก่อน โดยปิดวาวล์ระบายน้ำที่ฐานของเครื่อง-

มือ แล้วเพิ่มแรงดันเซลล์ สังเกตว่าถ้าแรงดันน้ำในโพรงดินเพิ่มขึ้นเท่ากับแรงดันเซลล์ที่เพิ่มขึ้น นั่นคือ เมื่อ B = 1.0 ซึ่งได้จากสมการ 2.2 แสดงว่าดินนั้นอิ่มน้ำ 100% ถ้า B < 1.0 ปล่อยทิ้งเวลาให้นานขึ้นจนดินอิ่มตัว และ B = 1.0

3.6.6 การทำ Consolidation

การทดสอบแบบคอนโซลิเดชัน หลังจากที่ปล่อยให้ดินอิ่มน้ำ 100% นำ dial gauge พร้อมขายึดติดกับฐาน และปรับ dial gauge ให้อ่านค่าศูนย์ แล้วบันทึกไว้ การเพิ่มน้ำหนักใช้น้ำหนักคงที่ (dead weight) วางบนปลายคานข้างหนึ่ง น้ำหนักที่ใช้นี้แปลงมาจากความดันที่กดลงบนดินตัวอย่างมาเป็นน้ำหนัก ความดันที่กระทำของดินตัวอย่าง ดูได้จากตารางที่ 3.2 ช่วงเวลาการเพิ่มน้ำหนักเปลี่ยนแปลงตามสภาวะการทดสอบ คือ t_{100}, 90 นาที, 24 ชม. และ 48 ชม.

$$\text{น้ำหนักที่ใช้แขวน} = \frac{\text{(แรงดันบนดินตัวอย่างจากตารางที่ 3.2) x พื้นที่หน้าตัดดิน}}{\text{จำนวนเท่าของระบบสมดุลย์ (10 หรือ 40)}}$$

การทดสอบแบบไตรแอกเซียล หลังจากที่ดินอิ่มน้ำ 100% แล้ว ทำการทดสอบอัดตัวคายน้ำ แบบ Isotropic stress ก่อน ใช้เวลา 24 ชม. เนื่องจากว่าดินที่มีหน่วยแรงประสิทธิผลต่ำ จะรับแรงเฉือนได้น้อย เพื่อป้องกันการวิบัติของดินตัวอย่าง แล้วยั้นต่อไปจึงทำการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ แบบ K_o-consolidation โดยเพิ่มแรงดันในแนวดิ่งและด้านข้างเป็นไปตามตารางที่ 3.3 ช่วงเวลาการเพิ่มน้ำหนักเปลี่ยนแปลงตามสภาวะการทดสอบ คือ t_{100} (หาได้จากวิธี $\sqrt{t}$) 24 ชม. และ 48 ชม. ก่อนทำ K_o-consolidation หาพื้นที่หน้าตัดของดินที่ถูกต้อง A_c (corrected area) เสียก่อน โดยใช้สมการที่ 3.1

$$A_c = \frac{V_o - \Delta V}{H_o - \Delta H} \qquad \text{..... 3.1}$$

เมื่อ A_c = พื้นที่หน้าตัดที่ถูกต้องหลังจากทำ Isotropic consolidation

V_o = ปริมาตรของดินเริ่มแรก

ΔV = ปริมาตรของน้ำที่ไหลออกจากดิน (Volume change)

H_o = ความสูงของดินเริ่มแรก

ΔH = ระยะที่ดินยุบตัวในแนวดิ่ง (Vertical deformation)

การทำ K_o-consolidation ขั้นแรกจะปิดวาวล์ของการระบายน้ำ แล้วจึงเพิ่มแรงดันเซลล์ (Cell pressure) ด้วยปั๊มมือจนถึงความดันที่ต้องการ จากนั้นต่อแรงดันเซลล์เข้ากับระบบสมดุลย์ของแท่งปรอท ซึ่ง set ไว้ก่อนแล้ว จากนั้นวางโครงเหล็กบน loading ram นำน้ำหนักคงที่ (dead load) มาวางไว้บนโครงเหล็กแขวนก่อนเปิดวาวล์ให้น้ำไหลออกไปจากดิน ทำการปันทึก dial gauge, Volume changeและเตรียมจับเวลา จึงเปิดวาวล์ให้น้ำไหลออกไป

น้ำหนักคงที่ (dead weight) = $(\bar{\sigma}_1-\bar{\sigma}_3) \times A_c + W_{bc}$ 3.2

เมื่อ $\bar{\sigma}_1$ = หน่วยแรงประสิทธิผลในแกนหลัก

$\bar{\sigma}_3$ = หน่วยแรงประสิทธิผลในแกนรอง

A_c = พื้นที่หน้าตัดที่ปรับแก้ถูกต้องแล้ว

W_{bc} = น้ำหนักที่สมดุลย์กับแรงดันเซลล์ ได้จากรูปที่ 3.6

การทำ K_o-consolidation ซึ่งไม่มีการยืด-หดตัวทางด้านข้าง (no lateral strain) ขณะที่เกิด consolidation อยู่นั้น จะทำการตรวจสอบ ปริมาตรน้ำที่ไหลออกจากดิน และการยุบตัวในแนวดิ่ง x พื้นที่หน้าตัดดินที่ปรับแก้ถูกต้องแล้ว จะต้องมีค่าเท่ากัน ถ้าไม่เท่ากันจะปรับแก้ให้เท่ากันโดยเพิ่มหรือลดน้ำหนักคงที่ และแรงดันเซลล์ เพื่อรักษาไม่ให้มีการยืด-หดตัวทางด้านข้าง

การ rebound จะเอาน้ำหนักคงที่ออกก่อนแล้วจึงลดแรงดันเซลล์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการวิบัติ เนื่องจากแรงกดมากเกินไป แรงดันที่ใช้แสดงในตารางที่ 3.3 อัตราส่วนของ $\bar{\sigma}_h/\bar{\sigma}_v$ ซึ่งเท่ากับ K เป็นไปตามสมการ 2.35 ของ SCHMIDT (1966)

ค่า K_o ที่ใช้ในการทดสอบแบบไตรแอกเซียลได้ทำการทดลองหาค่ามาก่อนแล้วโดยใช้วิธี ADSTM (Allowable Deviator Stress Testing Method) ของ CHANG et al (1977) ซึ่งแสดงวิธีการหาไว้ในภาคผนวก Ko(NC) ที่หาได้มีค่าเท่ากับ 0.62

ในการ reload ในช่วง OC. ค่า K_o จะมีค่าต่ำมาก $\simeq$ 0.40 จึงจะทำให้น้ำที่ไหลออกจากดินตัวอย่าง และการยุบตัวในแนวดิ่ง x พื้นที่หน้าตัดที่ปรับแก้แล้ว มีค่าเท่ากัน แต่พอเข้าช่วง NC. ค่า K_o จะมีค่า $\simeq$ 0.62 ในบางตัวอย่างอาจจะมีค่าสูงกว่านี้ เนื่องจากว่าน้ำที่ไหลออกจากดินตัวอย่าง และการยุบตัวในแนวดิ่ง X A_c จะเป็นตัวควบคุมเพื่อรักษาพื้นที่หน้าตัดให้คงที่

ในการ rebound ค่า $K_o(OC)$ จะหาค่าจากสมการ 2.35 ของ SCHMIDT

$$\frac{K_o(OC)}{K_o(NC)} = (OCR)^m$$

เมื่อ m = 0.37 สำหรับดินที่มี P.I. = 48.06% (ได้จากรูปที่ 2.6)

$\therefore K_o(OC) = K_o(NC) \times (OCR)^{0.37}$ สำหรับการ rebound เท่านั้น

หมายเหตุ การทดลอบแบบไอโซทรอปิค และแอนไอโซทรอปิคของเครื่องไตรแอกเซียล จะเตรียมดินตัวอย่าง และจัดดินตัวอย่างเหมือนกัน จะต่างกันก็ตอนทำการทดลอบอัดตัวคายน้ำ คือ แบบไอโซทรอปิค จะไม่ใช้โครงเหล็กแยวนเหมือนแอนไอโซทรอปิค แรงดันที่ใช้กระทำเป็นแรงดันเซลล์ (Cell pressure) ทั้งหมด การจดปันทึกจะทำเหมือนแอนไอโซทรอปิค สำหรับการ rebound ก็ลดแรงดันเซลล์ตามโปรแกรมในตารางที่ 3.3