

3. วัตถุประสงค์

1. พัฒนาแบบจำลองการทดสอบ(model test)การอัดตัวคายน้ำโดยใช้แผ่นระบายน้ำทางดิ่งในห้องปฏิบัติการให้สามารถทดสอบภายใต้ความเค้นแบบน้ำหนักรรทุก (Surcharge pressure) และความเค้นแบบสุญญากาศ (Vacuum pressure)
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมของการปรับปรุงคุณภาพของดินเหนียวอ่อนด้วยแผ่นระบายน้ำทางดิ่ง (PVD) โดยใช้ ความเค้นแบบน้ำหนักรรทุกและความเค้นแบบสุญญากาศร่วมกับความเค้นแบบน้ำหนักรรทุกกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ
3. เพื่อศึกษาพฤติกรรมด้านกำลังและการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนหลังการปรับปรุงคุณภาพดิน

4. วิธีการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้ได้กล่าวถึงวิธีการทดสอบหาพฤติกรรมของการอัดตัวคายน้ำจากการใช้แผ่นระบายน้ำทางดิ่ง(PVD strip) โดยทดสอบโดยให้ความเค้น 2 เงื่อนไขที่มีความเทียบเท่ากัน (Equivalent pressure) คือ การให้ความเค้นแบบน้ำหนักรรทุก (Surcharge pressure) และ การให้ความเค้นแบบสุญญากาศ(Vacuum pressure) และยังได้แสดงถึงวิธีทดสอบพฤติกรรมด้านความต้านทานการรับแรงเฉือนตลอดจนวิธีทดสอบด้านการทรุดตัวโดยได้เสนอวิธีการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองการทรุดตัวแบบหนึ่งมิติ ซึ่งเกิดจากหลังการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีทั้งสอง

4.2 วัสดุและผลการทดสอบวัสดุพื้นฐาน

4.2.1 ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay)

การศึกษานี้ได้ใช้ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (Soft Bangkok clay) เก็บจากตำบลท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร ที่ความลึก 4-5 เมตร ซึ่งมีคุณสมบัติพื้นฐานดังตารางที่ 3.1 ดินที่นำมาทำการวิจัยนี้เป็นดินที่ถูกรบกวน (Disturbed soil) ทำเป็นดินเหนียวปั้นใหม่(Remolded clay)โดยผสมน้ำให้มีปริมาณความชื้นที่ ระหว่าง1.25LL-1.5LL (Burland, 1990) ในงานศึกษานี้ได้ควบคุมปริมาณความชื้นที่ประมาณ 1.3LL หากปริมาณน้ำที่ต้องการในการทำดินเหนียวปั้นใหม่มากกว่าค่าปริมาณน้ำตามธรรมชาติ ดังนั้นปริมาณน้ำที่จะเติมลงไปคือผลต่างระหว่างปริมาณน้ำตามธรรมชาติและปริมาณน้ำที่ต้องการในการทำดินเหนียวปั้นใหม่ (Lorenzo, 2005) ซึ่งสามารถได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Delta W_w = \frac{W_l}{1 + w_n} \times (w^* - w_n) \quad (3.1)$$

W_l = น้ำหนักรวมกันระหว่างปริมาณน้ำตามธรรมชาติกับเม็ดดินแห้งของมวลดินทั้งหมด

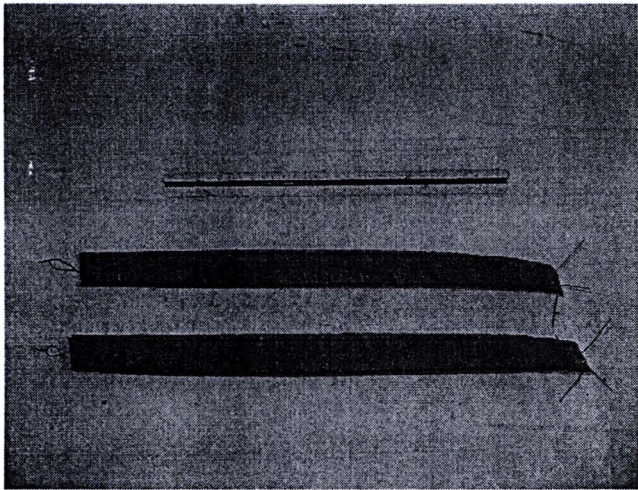
- w_n = ปริมาณน้ำตามธรรมชาติของดินเหนียวอ่อน
- w^* = ปริมาณน้ำที่ต้องการในการทำดินเหนียวปั้นใหม่
- ΔW_w = ปริมาณน้ำที่ต้องเติมเพิ่ม

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (Soft Bangkok clay)

Properties	Characteristics values
Liquid limit, LL (ASTM D4318)	100 %
Plastic limit, PL (ASTM D4318)	40 %
Plasticity Index, PI (ASTM D4318)	60 %
Water content, w (ASTM D4643)	84 %
Specific gravity, G_s (ASTM D854)	2.70

4.2.2 แผ่นระบายน้ำทางดิ่ง (PVD Strip)

แผ่นระบายน้ำทางดิ่งที่ใช้ในการศึกษานี้มีส่วนประกอบสองส่วนที่สำคัญคือแกนพลาสติกเป็นช่องการไหลทำมาจาก Polypropylene ห่อหุ้มโดยรอบด้วยแผ่นกรอง โดยที่แผ่นระบายน้ำนี้ถูกจำลองขนาดมาจากอัตราส่วนระหว่างของ เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าดินทรงกระบอก (Diameter of the equivalent soil cylinder, D_e) กับ เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของช่องระบายน้ำ (Equivalent diameter of drain, d_w) จากการใช้จริงในสนาม เทียบอัตราส่วนกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าดินทรงกระบอกที่ทดสอบใน คุณสมบัติต่างๆของแผ่นระบายน้ำทางดิ่งนี้มีคุณสมบัติพื้นฐานดังแสดงในตารางที่ 3.2

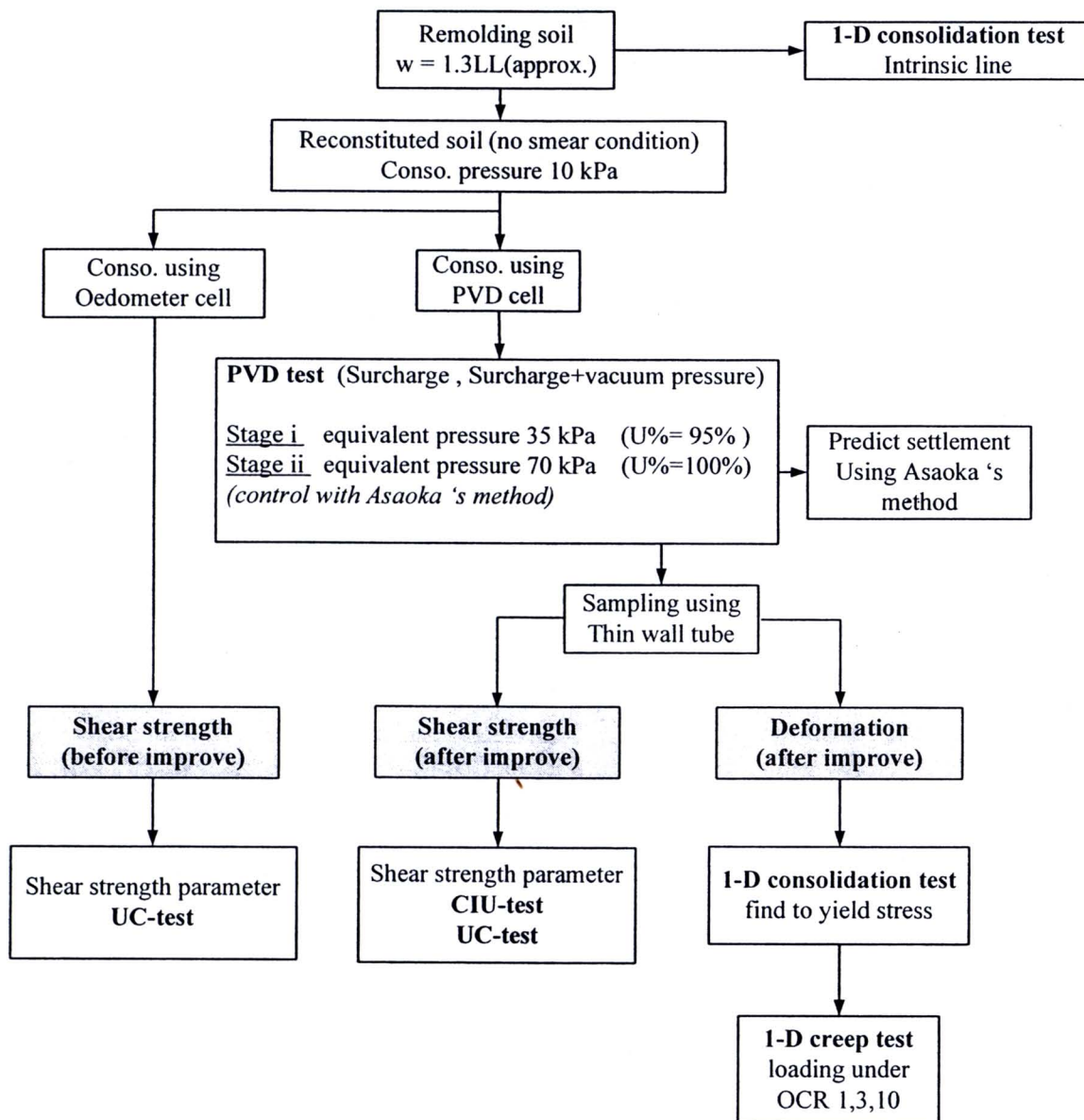


รูปที่ 4.1 ภาพแบบจำลองของแผ่นระบายน้ำทางดิ่ง (PVD strip) Mebra(MD7007)

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติเบื้องต้นของแบบจำลองแผ่นระบายน้ำทางดิ่ง (PVD strip) (Cofra, 2008)

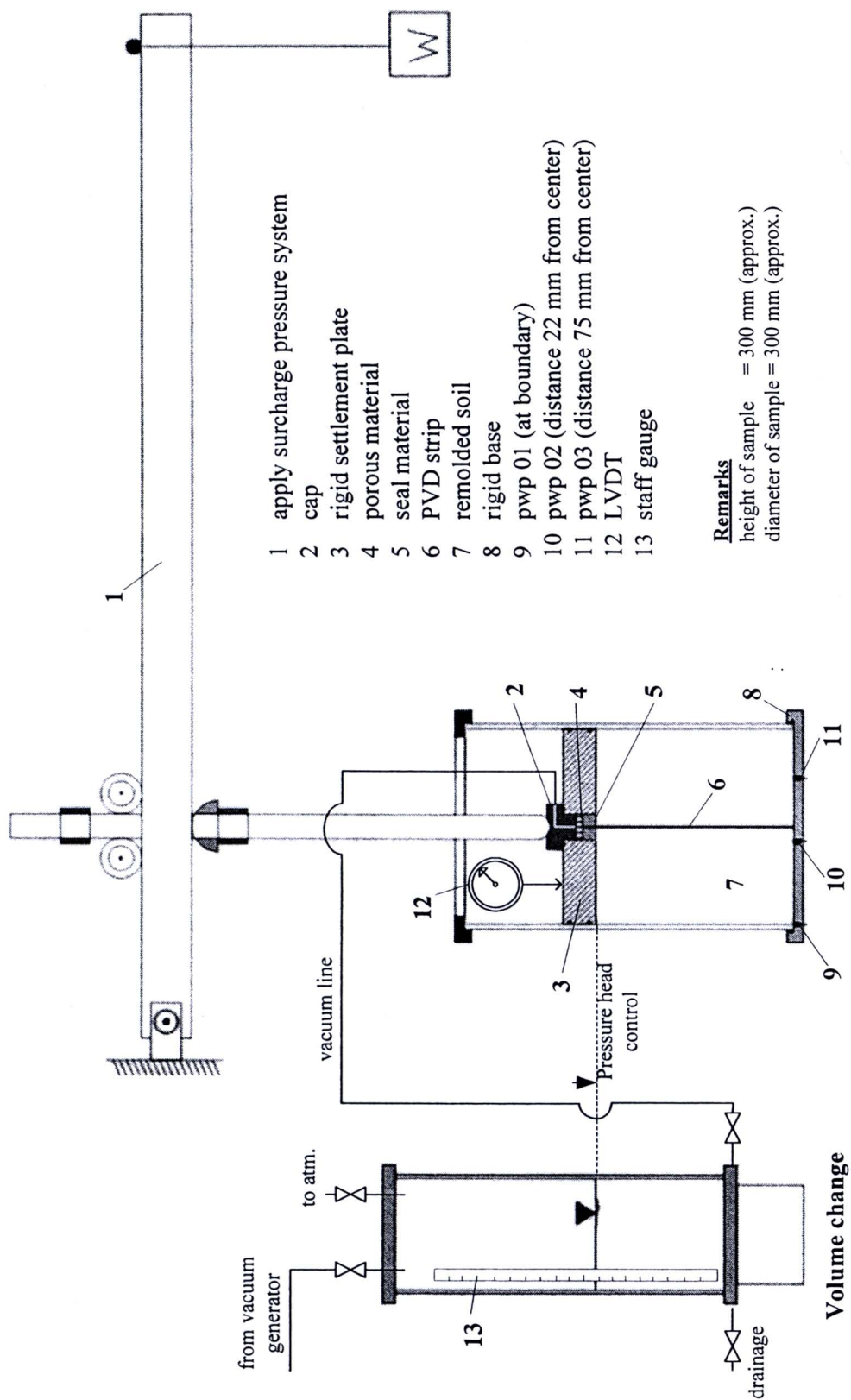
Properties	Symbol test	unit	Value
<u>Physical properties</u>			
PVD type	-	-	Mebra(MD7007)
Material of core	-	-	Polypropylene
Material of filter	-	-	Polypropylene
Width	-	mm	25.0
Thickness	-	mm	3.0
Equivalent diameter(Rixner)	-	mm	17.8
<u>Filter jacket</u>			
Grab tensile strength filter	ASTM4632	kN	0.7
Elongation	ASTM4632	%	50.0
Tear strength filter	ASTM4533	kN	0.14
Bursting strength filter	ASTM3786	kPa	1100
Pore size opening O_{95}	ASTM4751	mm	≤ 0.075
Permeability filter	ASTM4491	mm/sec	10.5×10^{-2}
Permittivity	ASTM4491	sec ⁻¹	0.30
<u>Assembled drain</u>			
Grab tensile strength filter&core	ASTM4632	kN	2.0
Elongation at break	ASTM4632	%	45.0

4.3 โปรแกรมการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

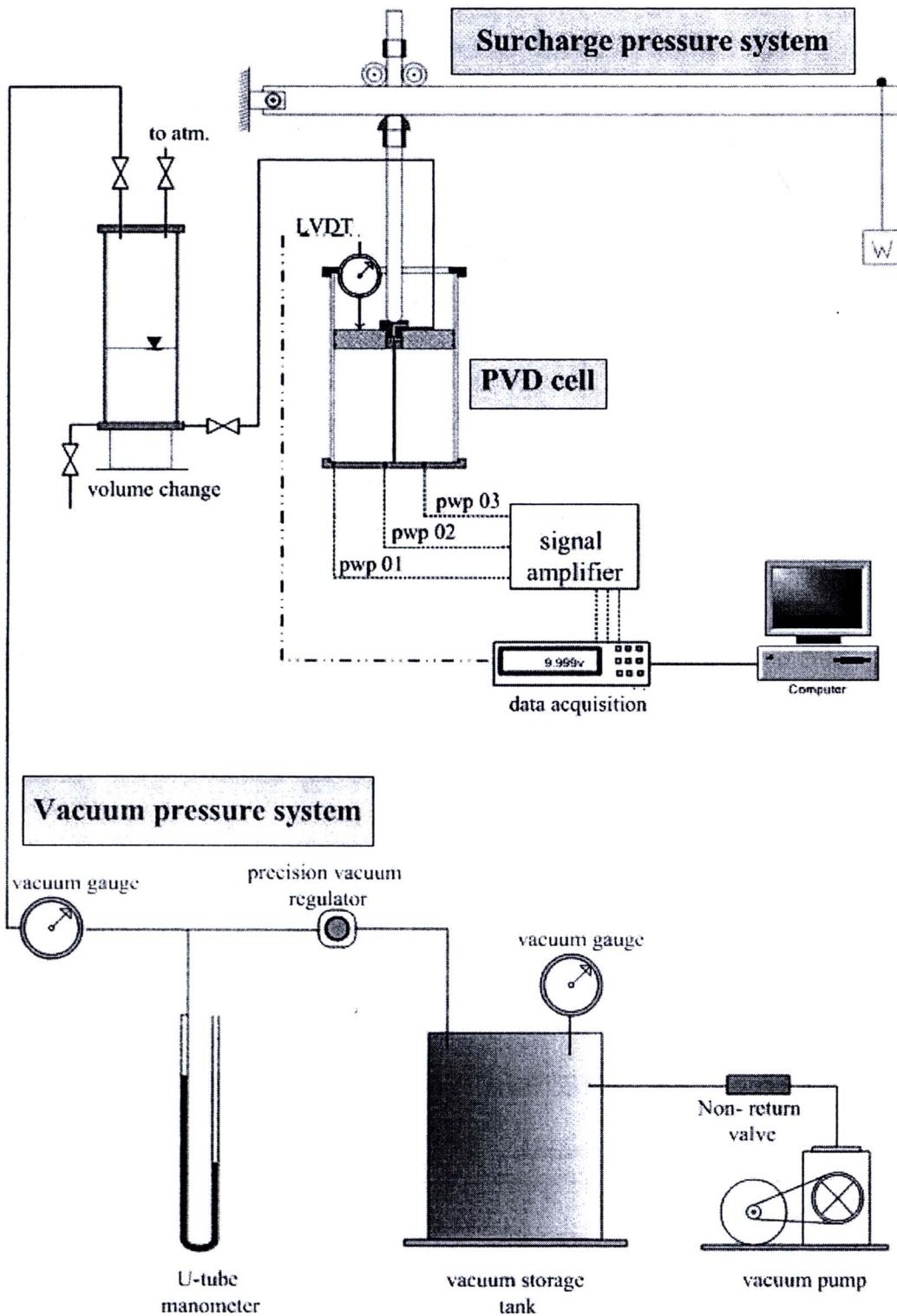


รูปที่ 3.2 แสดงแผนผังโปรแกรมการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

แผนภาพแสดงถึงภาพรวมและขั้นตอนในการศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมด้านกำลังก่อนการปรับปรุงคุณภาพดินและผ่านการปรับปรุงร่วมใช้แผนระบายนํ้าทางดิ่งโดยวิธีการอัดแบบสามแกนและแรงอัดทิศทางเดียวตลอดจนนำตัวอย่างดินที่ได้หลังการปรับปรุงคุณภาพแล้วมาศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวที่ OCR 1,3,10



รูปที่ 4.3 แสดงส่วนประกอบของชุดทดสอบการอัดตัวคาน้ำโดยใช้แผ่นระบายน้ำทางดึง (PVD)



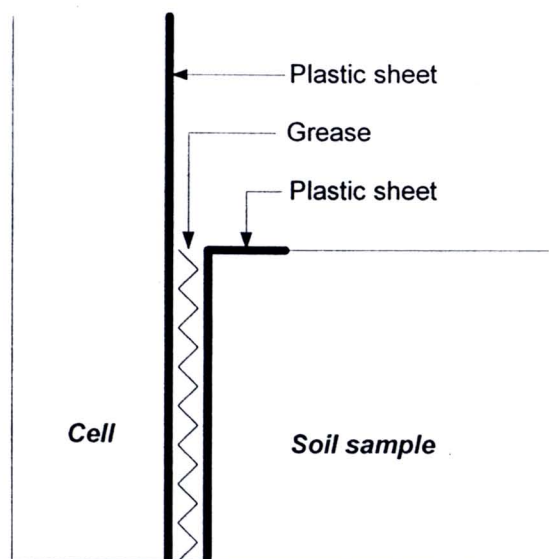
รูปที่ 4.4 แสดงแผนผังระบบของชุดทดสอบการดูดตัวคายน้ำโดยใช้แผ่นระบายน้ำทางตั้ง

4.4 การทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยใช้แผ่นระบายน้ำทางตั้ง

4.4.1 ส่วนประกอบและอุปกรณ์การทดสอบ

ชุดเครื่องมือทดสอบดังรูปที่ 4.3 เป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 mm สูง 500 mm ถูกพัฒนาให้สามารถทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยใช้แผ่นระบายน้ำทางตั้งโดยสามารถรับความเค้นได้สองเงื่อนไขพร้อมๆกัน คือ การให้ความเค้นแบบน้ำหนักบรรทุก (Surcharge pressure) และ การให้ความเค้นแบบสุญญากาศ (Vacuum pressure) โดยระบบการให้ความเค้นแบบน้ำหนักบรรทุกใช้ระบบการได้เปรียบเชิงกลของคานโดยการใส่แผ่นน้ำหนัก ในขณะที่การให้ความเค้นแบบสุญญากาศมีการสร้างความเค้นจากปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) ซึ่งควบคุมการการให้ความดันสุญญากาศด้วยตัวควบคุมความละเอียด (Vacuum regulator) ดังรูปที่ 4.4

ด้านการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรของตัวอย่างมีการวัดด้วยอุปกรณ์วัดปริมาตรน้ำ (Volume change) โดยอ่านปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงจากบรรทัดวัดระดับน้ำ (Staff gauge) ซึ่งต่อจากแผ่นระบายน้ำทางตั้งการวัดความดันน้ำส่วนเกิน (Excess pore water pressure) เพื่อดูลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการไหล ปริมาณความดันน้ำส่วนเกิน และเวลาขณะที่เกิดการกระจายหายไปของความดันน้ำส่วนเกิน (Isochrones) โดยทำการกำหนดจุดวัด 3 จุดดังรูปที่ 4.3 โดยจุดแรกใกล้กับแผ่นระบายน้ำ จุดที่สองกึ่งกลางของระยะทางการไหล จุดที่สามขอบนอกสุดของระยะทางการไหล จุดประสงค์เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงลักษณะความดันน้ำส่วนเกินซึ่งมีสมมุติฐานเป็นเส้นโค้งดังนั้นจึงต้องเก็บค่าอย่างน้อย 3 จุด ด้านการลดแรงเสียดทานระหว่างตัวอย่างดินกับผนังทำโดยใช้แผ่นพลาสติก (Plastic sheet) และ วัสดุหล่อลื่น (Grease) (Fang et. Al, 2004) ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงการลดแรงเสียดทานระหว่างตัวอย่างดินกับผนัง Cell

ตารางที่ 4.3 แสดงโปรแกรมการทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยใช้แผ่นระบายน้ำทางดิ่ง (PVD)

Test condition	Surcharge pressure		Surcharge + Vacuum pressure		Degree of consolidation
	Surcharge (kPa)	Vacuum (kPa)	Surcharge (kPa)	Vacuum (kPa)	(Asaoka 's method)
Stage i (equi. pressure 35kPa)	35	-	17.5	17.5	95%
Stage ii (equi. pressure 70kPa)	70	-	35	35	100%

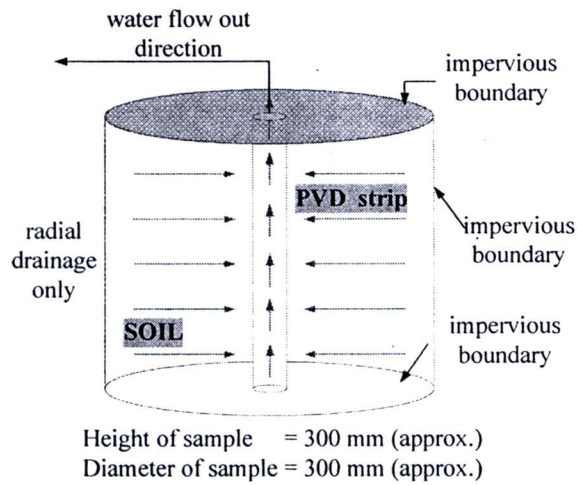
4.4.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

เริ่มจากติดตั้งแผ่นระบายน้ำทางดิ่ง หลังจากนั้นนำดินเหนียวผสมน้ำที่ความชื้น 1.3LL (Burland, 1990) เทบรรจุลงในชุดทดสอบ (PVD cell) โดยการควบคุมหน่วยน้ำหนักและทำการลดเงื่อนไขการเกิดการรบกวนโดยรอบของแผ่นระบายน้ำทางดิ่งขณะติดตั้ง (Smear effect) ซึ่งดินจะเคลื่อนตัวด้านข้างโดยรอบทำให้เกิดสภาวะการอัดตัวคายน้ำซ้ำเกิดขึ้น (Reconsolidation) (Sharma และ Xiao, 2000) สามารถทำโดยการตั้งรั้งที่ปลายด้านบนของแผ่นระบายทางดิ่งไม่ให้บิดงอระหว่างให้ความเค้นเริ่มต้นเพื่อสร้างโครงสร้างของดินใหม่ (Reconstituted soil) โดยให้ความเค้นเริ่มต้น (Pre-consolidation pressure) 10 kPa เพื่อให้มากกว่าจุดคราก (Yield point) ในขณะนั้นแต่มีค่าน้อยกว่าความเค้นเริ่มต้นที่จะทำการทดสอบ โดยให้ความเค้นนี้จนกระทั่งมีดีกรีการอัดตัวคายน้ำ (Degree of consolidation) เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์โดยการใช้วิธีของอะซากะ (Asaoka 's method) (Asaoka, 1978) และมีขนาดความสูงของตัวอย่างดินประมาณ 300 mm เงื่อนไขขอบเขตการไหลในการทดสอบจำกัดพิจารณาเป็นลักษณะการไหลเป็นแนวราบเท่านั้น ดังรูปที่ 4.6 โดยจะไหลเข้าสู่แผ่นระบายน้ำทางดิ่งแล้วระบายปลายด้านบนไปสู่อุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร

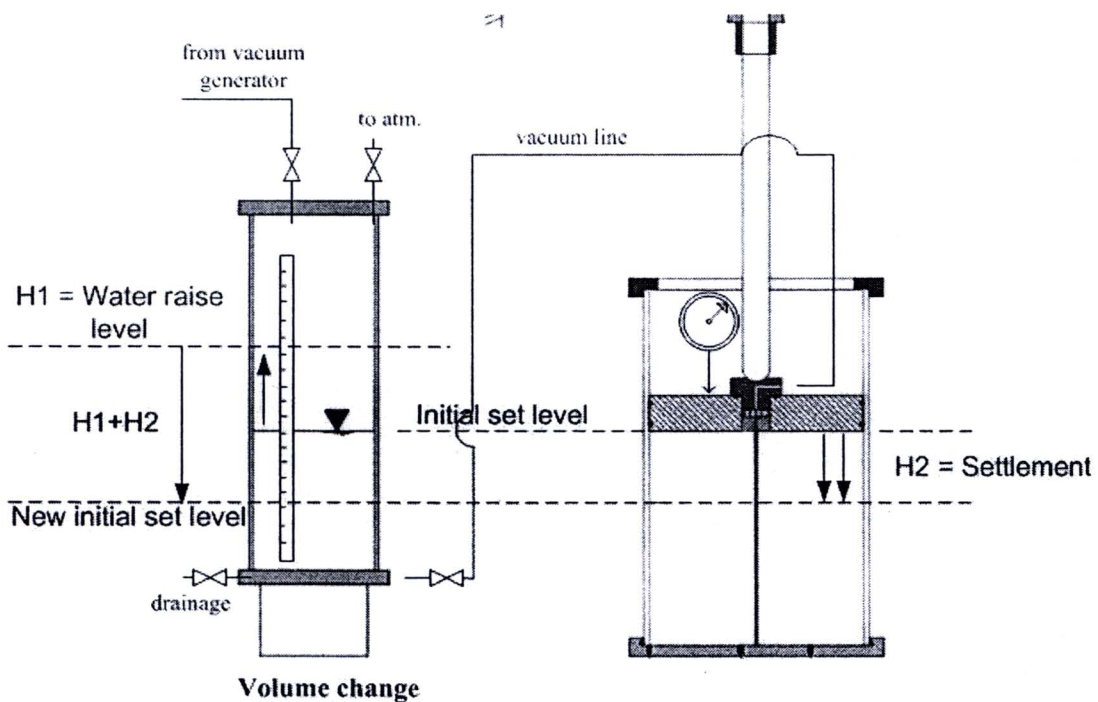
หลังจากนั้นจึงทดสอบตามโปรแกรมการทดสอบ ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งโปรแกรมการทดสอบจะทดสอบโดยใช้ปริมาณของความเค้นที่เทียบเท่ากัน (Equivalent pressure) แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนของการให้ความเค้นโดยควบคุมดีกรีการอัดตัวคายน้ำที่ 95 เปอร์เซ็นต์ที่ขั้นที่ 1 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ขั้นที่ 2 ตามลำดับ ด้วยวิธีของอะซากะ (Asaoka, 1978) ในระหว่างการทดสอบได้จดบันทึกการทรุดตัวในแนวดิ่ง (Vertical displacement) และความดันน้ำส่วนเกิน โดยเก็บข้อมูลด้วยระบบอัตโนมัติ (Data acquisition) ตลอดระยะเวลาของการทดสอบ ด้านการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรได้ทำการเก็บด้วยอุปกรณ์วัดเชิงปริมาตรโดยต้องควบคุมระดับความสูงของน้ำในกระบอกที่ออกมาจากตัวอย่างดินต้องไม่สูงเกินกว่าความสูงของ

ตัวอย่างดินในระหว่างการเกิดกระบวนการอัดตัวคายน้ำโดยไม่ทำให้เกิดความต่างไม่เกิน
เปอร์เซ็นต์ ของความเค้นที่ใช้ในการทดสอบ ดังรูปที่ 4.7 การควบคุมระดับน้ำ

1



รูปที่ 4.6 แสดงขอบเขตและเงื่อนไขการไหลของน้ำในลักษณะ 1 หน่วย



รูปที่ 4.7 แสดงการควบคุมระดับน้ำในอุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

ในระบอบการวัดปริมาตรคำนวณโดยการวัดปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นโดยอ่านจากไม้บรรทัดวัดระดับบวกกับระยะของดินที่ทรุดตัวลงไป จะเป็นระดับที่ต้องระบายน้ำออกจากวาล์วด้านล่างของกระบอกจนถึงระดับนี้เพื่อเป็นระดับเริ่มต้นของการวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรค่าใหม่ ดังรูปที่ 4.7



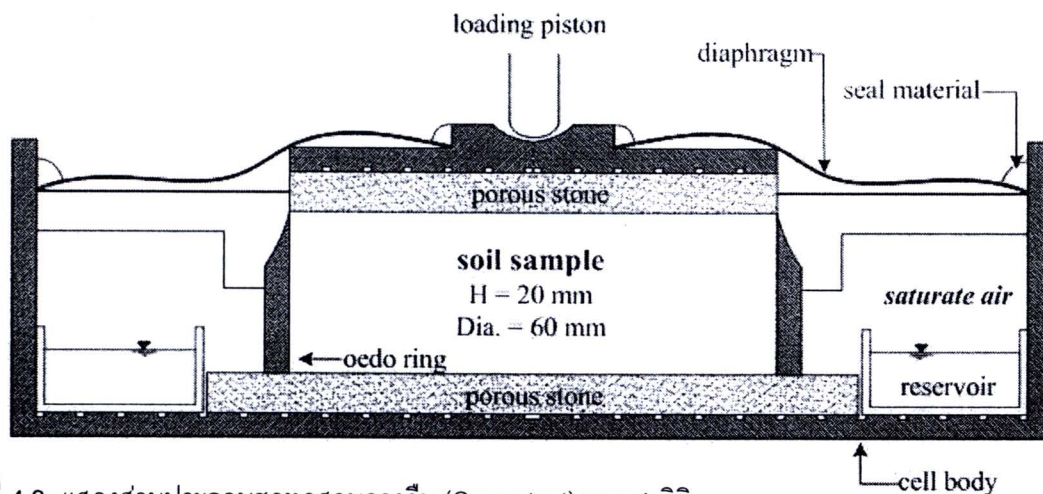
4.5 การทดสอบการคืบแบบหนึ่งมิติ (1-D Creep Test)

4.5.1 ส่วนประกอบและอุปกรณ์การทดสอบ

ชุดเครื่องมือทดสอบดังรูปที่ 4.8 สามารถบรรจุตัวอย่างดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 mm สูง 20 mm เป็นการทดสอบโดยให้มีการระบายน้ำได้สองทาง ชุดทดสอบถูกพัฒนาให้สามารถรักษาความชื้นของมวลดิน โดยใช้หลักการการทำให้อากาศในอุปกรณ์ทดสอบอิมมิดด้วยน้ำตลอดเวลาจะทำให้ไม่เกิดการระเหยของน้ำจากมวลดินออกสู่อากาศ โดยการเก็บน้ำในอุปกรณ์เก็บในชุดทดสอบ และทำเป็นระบบปิดไม่ให้ความชื้นเข้าและออกสู่ภายนอกได้ เหมาะกับการทดสอบที่ต้องใช้ระยะเวลานาน และยังเหมาะสมกับการทดสอบมีเงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราส่วนความเค้นในปัจจุบันกับความเค้นในอดีต (Overconsolidation ratio, OCR) มีค่าสูงมาก

4.5.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

จากขั้นตอนดังรูปที่ 4.2 เมื่อการทดสอบการอัดตัวคายน้ำโดยใช้แผ่นระบายน้ำทางดิ่งเสร็จสิ้นลง จะเก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวนด้วยกระบอกบาง (Thin wall tube) ตัดแต่งตัวอย่างแล้วประกอบลงชุดทดสอบโดยทำการลดแรงเสียดทานโดยวัสดุหล่อลื่น ในการทดสอบต้องทำการทดสอบหาความเค้นที่สูงสุดในอดีตใช้โดยวิธีของ (Casagrande, 1936) และ (Sridharan และคณะ, 1991) เพื่อเทียบหาความเค้นที่ใช้ในการทดสอบการคืบ โดยทดสอบตามอัตราส่วนความเค้นในปัจจุบันกับความเค้นในอดีต ดังนี้คือ $OCR = 1, 3$ และ 10 ตามลำดับ ขณะทดสอบได้จดบันทึกค่าการทรุดตัวในแนวตั้งตลอดการทดสอบ



รูปที่ 4.8 แสดงส่วนประกอบชุดทดสอบการคืบ (Creep test) แบบ 1 มิติ

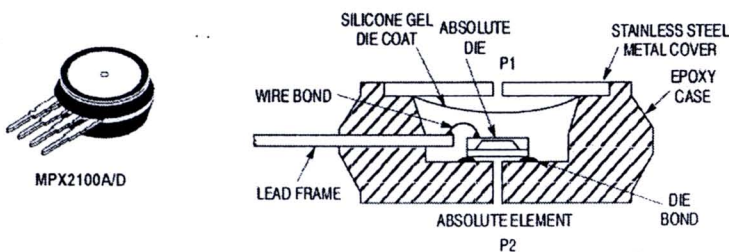
4.5.3 อุปกรณ์วัดความดันน้ำส่วนเกินในมวลดิน (Excess Pore Pressure Sensor)

จากแผนผังระบบดังรูปที่ 4.4 อุปกรณ์วัดความดันน้ำส่วนเกินได้ถูกต่อเข้ากับชุดทดสอบ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวได้ถูกออกแบบและพัฒนาวงจรให้สามารถวัดความดันน้ำส่วนเกินที่เป็นสัญญาณและเป็นความดันอัดได้ โดยช่วงสัญญาณให้สัญญาณทางไฟฟ้าค่าเป็นลบ(-) ในช่วงความดันอัดสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีค่าเป็นบวก (+) ซึ่งวงจรที่ออกแบบมานี้มีส่วนประกอบในการวัดสัญญาณ 3 ส่วนหลักคือ ส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้วัด (Sensor) ส่วนของวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) และส่วนของวงจรตัดสัญญาณรบกวน (Filter) ซึ่งสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องมือวัดดันน้ำส่วนเกิน

อุปกรณ์ ที่ใช้ในการออกแบบเครื่องมือวัดนี้ได้ใช้ Sensor ของ Motorola รุ่น MPX2100A ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งเป็น Sensor ที่มีคุณสมบัติสามารถวัดความดันได้ในลักษณะเป็นค่าสัมบูรณ์ (Absolute) คือ ตั้งแต่ -100 ถึง + 100 kPa สามารถให้แรงดันไฟฟ้าออกมา 40 mV Full scale span ใช้ไฟเลี้ยง 12 V



รูปที่ 4.10 แสดงอุปกรณ์วัดปริมาณความดันน้ำส่วนเกินในมวลดิน (Pore pressure sensor)
(Motorola Japan Ltd., 2002)