บทที่ 3

วิธีการวิจัยและการทดสอบ

3.1 ลักษณะทั่วไปและชั้นของดินกรุงเทพฯ

ในการวิจัยจากการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของแรงดันน้ำและกำลังรับน้ำหนักของดินอ่อนและโมลดุลลัสแบบไม่ระบายน้ำ เมื่อปรับปรุงคุณภาพด้วยการเพิ่มปริมาณสารผสม (ทราย) โดยดินอ่อนในที่นี้ใช้ดินอ่อนกรุงเทพ (Bangkok Clay) ซึ่งโดยทั่วไปลักษณะของชั้นดินใน Bangkok sub soils พบว่าสามารถแบ่งเป็นชั้นต่างๆ เป็น 4 ชั้นคือ

1 Weathered Crust เป็นดินชั้นบนสุดมีความหนาประมาณ 1-3 เมตร ส่วนใหญ่เป็นพวก dark gray clay ซึ่งมักพบรอยแตก (crack) อยู่ในเนื้อดินเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาของขบวนการ wetting และ drying ในชั้นดินนี้ ผิวดินอยู่ประมาณ 1.5 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล (MSL)

2 Very Soft to Medium Dark Gray Clay ดินในชั้นนี้เป็นดินเหนียวอ่อนที่เรียกกันว่า ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (soft Bangkok Clay) อยู่ถัดจากชั้น weathered crust ลงมา โดยทั่วไปพบอยู่จนถึงระดับ (10-14) เมตร เหนือระดับน้ำทะเล (MSL).

3 Stiff to Hard Light Gray and Yellow-Brown Clay เป็นชั้นดินแข็ง ซึ่งพบอยู่ถัดลงมาจากชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ความหนาชั้นนี้ไม่แน่น

3 Dense Sand Gravel Layer ลึกลงจากดินแข็งที่เป็นดินทราย ซึ่งมักพบว่าเป็นดินเหนียวหรือทรายแป้ง (silt) ปนอยู่เสมอ และความหนาน้อยสุดประมาณ 1.5 เมตร

3.2 สถานที่และการเก็บตัวอย่างทดสอบ

3.2.1 ดินเหนียว

ตัวอย่างดินเหนียวที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ถูกเก็บขึ้นมาจากชั้นดินเหนียวอ่อนที่ระดับความลึกประมาณ 5-7 เมตร จากผิวดินเดิมที่บริเวณก่อสร้างโครงการ อาคารสำนักงานใหญ่บริษัทยาคูล ถนนพหลโยธิน ซอย พหลโยธิน 5. เยื้องสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบกซ่อง 5 ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 โดยการเก็บตัวอย่างทดสอบแบบ disturbed sample เนื่องจากงานวิจัยนี้จะนำดินที่จะใช้ทดสอบ ต้องใช้ทำการทดสอบแบบ remold ดังนั้นจึงไม่ต้องเก็บตัวอย่างทดสอบแบบ undisturbed sample.

3.2.2 ทราย

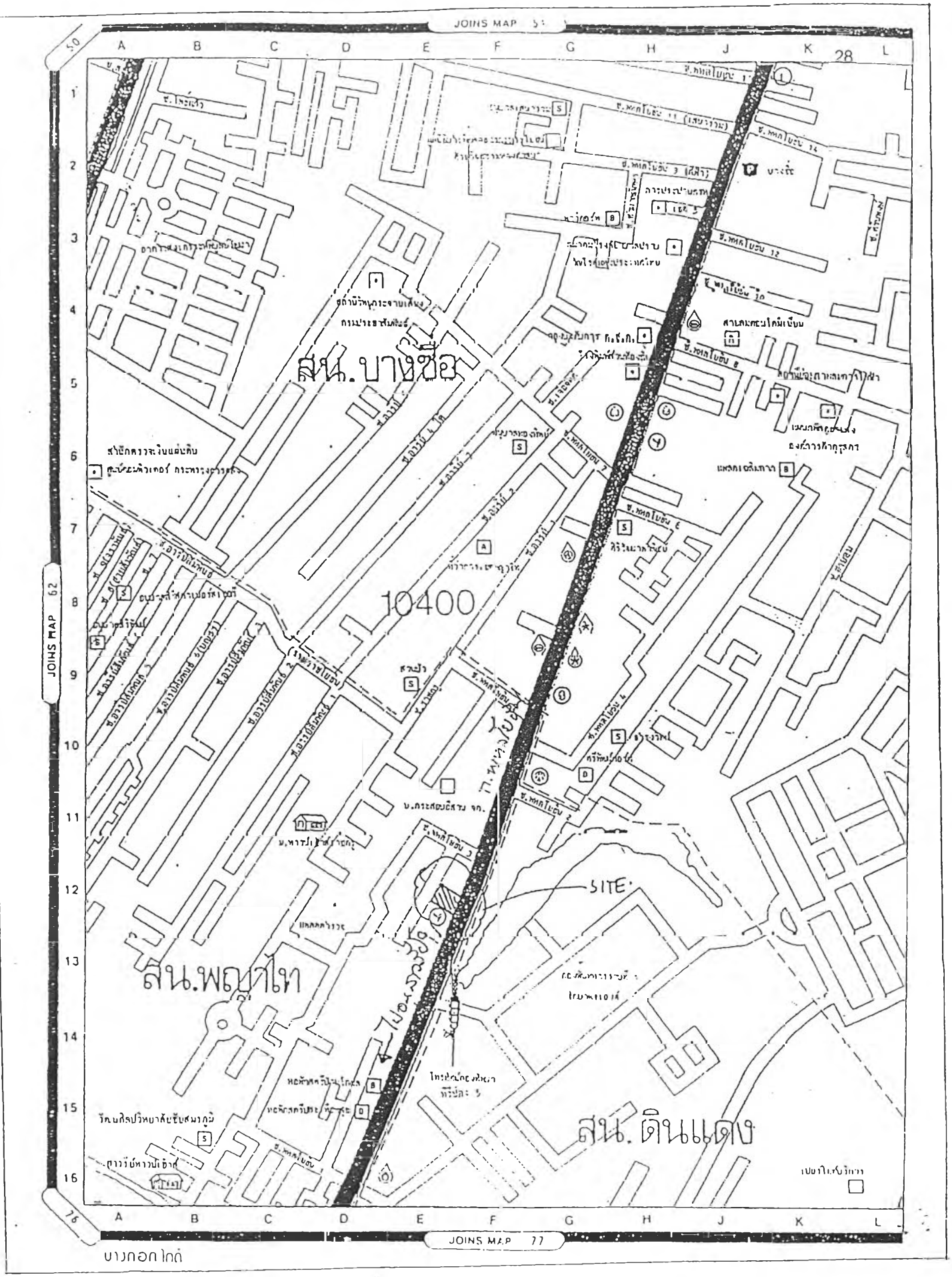
สารผสมเพิ่มใช้เป็นทราย จากท่าทรายแหล่งกำแพงแสน

3.3 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการบดอัด

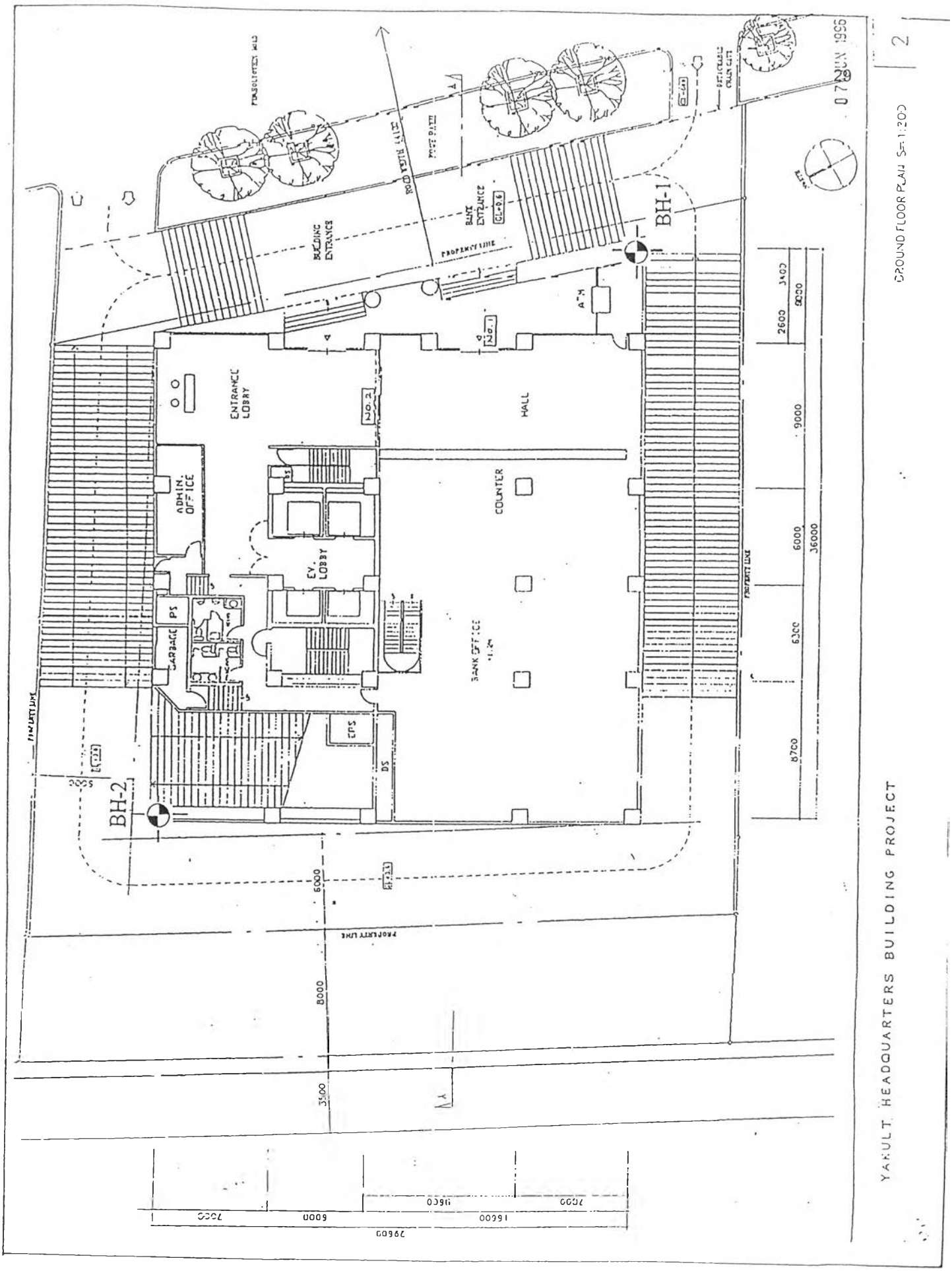
การเตรียมตัวอย่างดินเหนียวทำโดยการตาก ดินเหนียวที่ได้มาเป็นก้อนมาตากให้แห้งแล้วทุบเป็นชิ้นเล็กๆแล้วทำการป่น โดยขนาดของดินเหนียวแห้งที่ป่นแล้วจะมีขนาดที่เล็กกว่า 0.42 มม. (โดยผ่าน sieve No. 40) ตัวอย่างนี้จะนำมาใส่ mold เส้นผ่าศูนย์กลาง 3.50 ซม. และมีความยาว 7.00 ซม. เพื่อทำการบดอัดชนิด static compaction โดยที่ control stress ด้วย proving ring

การบดอัดมีจุดประสงค์ที่จะได้ค่า γ_D และปริมาณความชื้น ที่ได้จากการทดสอบการบดอัดชนิด dynamic โดยใช้ Energy ของ Standard Proctor (ASTM Test for Moisture-Density Relations of Soil Using 5.5 lb Rammer and 12-inch Drop D698-70, A; also AASHO T-99)



SITE LOCATION

รูปที่ 3.1 รูปแสดงสถานที่เก็บตัวอย่างดินทดสอบ ที่บริเวณถนนพหลโยธิน



รูปที่ 3.2 รูปแสดงบริเวณภายในสนาม ที่เก็บตัวอย่างดินทดสอบ

ก่อนการบดอัดแบบ static ได้เอาทรายเข้ามาผสมและเติมน้ำลงไปคลุกตัวอย่างให้ดี เพื่อให้มีปริมาณความชื้นเท่ากัน การบดอัดแบ่งออกเป็นสามชั้น แล้วทำการ trial & error จนได้ γ_D และปริมาณความชื้นที่ต้องการโดยอ่านปริมาณ stress ที่บดอัดจาก proving ring ปริมาณทรายที่นำมาผสมที่ 0%, 20%, 40% และ 60% โดยน้ำหนัก

จากการทดสอบพบว่า ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบก่อนทำการทดสอบต้องมีการควบคุมที่สำคัญคือ

1. ความชื้นเริ่มต้น (initial water content)
2. ความหนาแน่น (density)
3. พลังงานในการบดอัด (energy compaction)

ซึ่งตัวอย่างทดสอบในแต่ละชุดตัวอย่างทดสอบจะต้องบดอัดให้ได้ตาม γ_{dmax} (maximum dry density) และ w at OMC (optimum moisture content) ตามที่ได้จากกราฟการบดอัดและจะต้องเท่ากันในแต่ละชุด (ที่%สารผสมเพิ่มเดียวกัน) หากว่า ตัวอย่างทดสอบที่ควบคุมไม่ได้ทั้งหมด ต้องทำการเตรียมตัวอย่างใหม่

3.4 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย

1. การหาคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของทรายได้แก่ Sieve Analysis Test แล้วหาค่า Cu, Cv และทำการ classified ดินโดยระบบ Unified Soil Classification

2. การบดอัดดินโดยใช้ Standard Proctor Test ที่%ทรายต่างๆกันคือ 0, 20, 40 และ 60% โดยน้ำหนัก

3. การเตรียมตัวอย่างที่บดอัดด้วย static compaction (ดูข้อ 3.3)

4. การทดสอบ CIUC Test กับตัวอย่างที่ถูกบดอัดด้วย static method โดยทำตัวอย่างใช้ saturated ก่อน โดยใช้ suction แรงดูดประมาณหนึ่งบรรยากาศและด้วยหน่วยแรงประสิทธิผลเท่ากับ 8 psi. และ back pressure 15 psi. จนตัว

อย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วจึงนำมาทดสอบ Isotropically Consolidated Undrained Triaxial Compression Test ด้วย rate 0.7% ต่อชั่ว-โมง

3.5 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบสำหรับตัวอย่างที่ทำการทดสอบ CIUC

1 นำตัวอย่างดินทดสอบ (ดินเหนียวและทราย) มาตากแห้ง (Air- dried) จนสภาพดินตัวอย่างทดสอบแห้ง

2 นำตัวอย่างดินทดสอบที่ได้จากการตากแห้ง นำมาอบแห้ง (Oven-dried) ที่มีอุณหภูมิ 100 C° เพื่อให้ความชื้นในดินหมดไป อบประมาณ 24 ชั่วโมง

3 หลังจากดินตัวอย่างทดสอบผ่านการอบแห้งนำมาร่อนผ่านตระแกรงเบอร์ 40 (ทั้งดินเหนียวและทราย) เพื่อเตรียมดินในการทำการบดอัด

4 หลังจากได้ดินที่ผ่านตระแกรงเบอร์ 40 แล้ว นำดินตัวอย่างมาทำการบดจัดโดยวิธีมาตราฐาน (standard proctor) โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่มคือ
(1) ดินเหนียว (Clay) 100 %.
(2) ดินเหนียว (Clay) 80 %+ ทราย (Sand) 20 %
(3) ดินเหนียว (Clay) 60 %+ ทราย (Sand) 40 %
(4) ดินเหนียว (Clay) 40 %+ ทราย (Sand) 60 %

5 หลังจากบดอัด จะได้ค่าความหนาแน่นแห้ง (γ_{dry}max) ที่สูงสุดและความชื้นที่จุดหนาแน่นสุด (w at OMC) ได้แต่ละกลุ่ม ค่า γ_{dry}max และปริมาณความชื้นได้จากการทดสอบ Standard Proctor Test

6 เมื่อทราบค่า ความหนาแน่นแห้งสูงสุด และความชื้นที่จุดหนาแน่นสุด แล้วนำมาบดอัดตัวอย่างทดสอบขนาดความสูง 7.00 CM. และเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.30 CM. โดยวิธีบดอัดแบบ static compaction โดยก่อนบดอัดตัวอย่างทดสอบต้องมีการตรวจสอบความชื้นเริ่มต้น (initial water content) ด้วยการพ่นกระจาย (sprey) น้ำให้ทั่วตัวอย่างดินที่จะนำเอามาบดอัดแบบ static compaction โดย

ดินผสมในการบดอัดเป็นสามชั้น (three layer) โดยที่กำหนดความชื้นเริ่มต้นมีค่า ± 1% (จากกราฟที่ได้จากการบดอัดแบบ Stadard Porctor Test) ถ้าต้องเตรียมดินทดสอบใหม่ และเตรียมจนกว่าจะได้และอัดตัวอย่างให้มีความหนาแน่นเปียก. (γwet) ± 0.05 g/cm^3 (จากกราฟที่ได้จากการบดอัดแบบ Stadard Porctor Test) หากเกินกำหนดนี้ต้องจัดตัวอย่างใหม่เช่นกัน

7 นำตัวอย่างทดสอบเข้าเครื่องทดสอบอัดสามแกน (Triaxial Test) โดยเครื่อง Triaxial Test เป็นของบริษัท. Hogentogler. เลขที่ SN930112

8 การจัดตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบอัดสามแกน (Triaxial) ก่อนจัดตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบอัดสามแกน Triaxial. ต้องตรวจสอบดูว่าฐานของเซลล์ และสายต่อจากฐานทุกๆว่ามีการรั่วหรือไม่ (Leak) และไล่ฟองอากาศออกให้หมด น้ำระบบเป็นน้ำที่ไล่ฟองอากาศ (de-aired) ออกแล้ว หินพรุน (porous stone) ก่อนการทดสอบ ต้องทำการต้มเพื่อไล่ฟองอากาศ แล้วปิดกระดาษกรองหัวและท้ายตัวอย่างทดสอบก่อนจะวางบนหินพรุน ทั้งบนและล่าง หลังจากนั้นวาง Top Cap บนหินพรุน พันรอบตัวอย่าง ด้วยกระดาษกรองที่ตัดเป็นริ้วตามยาว (ขนาดเดียวกับกระดาษของ whatman 's No. 54) การใช้กระดาษกรองพันรอบตัวอย่างทดสอบเพื่อช่วยในการเร่งอัตราการอัดตัวคายน้ำ (consolidated) ,การระบายน้ำ (drainage) ,ในการทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated) และทำให้กระจายของแรงดันน้ำในตัวอย่างสม่ำเสมอโดยเร็ว

หลังจากนั้นใช้ถุงยางป้องกันน้ำ (rubber membrane) สวม 2-3 ชั้น หากใช้ความดันในการ consolidated สูงต้องสวม 3 ชั้น เพื่อป้องกันการรั่วของถุงยาง (Leak) ใช้ยางกลม (O-ring) 2 เส้นรัดเหนือและใต้ตัวอย่างทดสอบ แล้ววางกระบอกทดสอบเข้าที่ เติมน้ำเข้าไปใน cell ทดสอบจนเต็ม แล้วตรวจสอบฟองอากาศในท่อและในกระบอกทดสอบ (cell) อีกครั้ง ถ้ามีฟองอากาศ ต้องทำการไล่ฟองอากาศออกจนหมด

9 การทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated. Sample) เนื่องจากตัวอย่างทดสอบนี้เป็นตัวอย่างทดสอบที่ได้จากการบดอัดตัวอย่างที่มีความหนาแน่นสูงสุดและมี

degree of saturation ต่ำ ทำให้ยากที่จะทำให้ตัวอย่างทดสอบอิ่มตัวด้วยน้ำเช่น ตัวอย่างทดสอบทั่วไปที่ได้จากดินธรรมชาติโดยตรง

ดังนั้นจึงใช้วิธีการดูดอากาศ (suction) เข้ามาช่วยในการทำให้ตัวอย่างทดสอบอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยทำให้ภายในตัวอย่างทดสอบเป็นสุญญากาศด้วยเครื่องดูดอากาศที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น แล้วค่อยปล่อยน้ำเข้าไปในตัวอย่างทดสอบที่สุญญากาศ โดยระหว่างทำการดูดอากาศ (suction) จะควบคุมในการดันเซลล์มากกว่าความดันที่ตัวอย่างทดสอบประมาณ 0.6 กก./ซม^2 (8 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เพื่อไม่ให้ตัวอย่างทดสอบถูกรบกวนมากเกินไป โดยในการดูดอากาศ (suction) นี้ต้องใช้เวลาประมาณ 4-6 ชั่วโมงต่อ 1 ตัวอย่างทดสอบ หลังจากทำการดูดอากาศในตัวอย่างทดสอบตามเวลาดังกล่าวแล้ว จะลดความดันในการดูดอากาศจนเป็นปกติ แล้วใส่ back pressure ให้กับตัวอย่างประมาณ 1 กก./ซม^2 (15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ทั้ง top cap และ Lower cap และใส่ cell pressure ประมาณ 1.1 กก./ซม^2 (17ปอนด์ต่อตารานิ้ว) เพื่อประคองตัวอย่างและไม่ให้ตัวอย่างพองตัว (มาตราฐาน ASTM ความดันเซลล์มากกว่า back pressure ประมาณ 0.05-0.15 กก./ซม^2)หลังจากให้ pressure ทั้งสองแล้วให้ระดับระหว่าง Top Cap และ Lower cap ต่างกันเพื่อให้เกิดความต่างศักย์ (head) เพื่อให้เกิดการไหล (drain) ในตัวอย่างทดสอบ ปล่อยให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างทดสอบ ด้วยความต่างศักย์ เป็นเวลาอย่างน้อยที่สุดประมาณ 12-16 ชั่วโมง

10 การตรวจสอบค่า B-parameter ปิดวาล์ว Top Cap และ Lower Cap อยู่ในลักษณะ undrained. แล้วเพิ่ม Cell pressure ประมาณ 0.7 กก./ซม^2 (10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) การตอบสนองของ pore pressure จะต้องเพิ่ม อย่างน้อย 0.665 กก./ซม^2 (9.5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) นั้นคืออย่างน้อยค่า B จะตัด 95% ขึ้นไป ถ้าน้อยกว่า 95 % ต้องทิ้งเวลาน้ำไหลผ่านตัวอย่างทดสอบเพิ่มอีก 4-12 ชั่วโมง แล้วทำการทดสอบค่า B อีกครั้ง แต่ถ้าค่า B ยังไม่ถึง 95 %ต้องทำการ suction (ในข้อ 9) ซ้ำอีกครั้ง

11 การทำอัดตัวคายน้ำ (consolidated) หลังจากที่ทำการตรวจสอบค่า B ในข้อ 10 และค่า B มีค่าไม่น้อยกว่า 95% จึงนำตัวอย่างทดสอบ ที่ได้มาทำขั้นตอนอัดตัวคายน้ำ ด้วยการเพิ่ม σ_c' (isotropic state of stress) โดยการเพิ่ม

ความดันเซลล์ ตามความดันที่กำหนดและเปิดวาล์วน้ำไหล (drain) ให้น้ำไหลออกจากตัวอย่างและวัดปริมาณ น้ำที่ออกจากตัวอย่างหลังจากทำการอัดตัวคายน้ำได้สิ้นสุด การสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำสามารถทราบได้จากค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน (excess pore pressure) ซึ่งค่าค่าแรงดันน้ำส่วนเกินที่วัดได้จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเปิดวาล์วให้น้ำไหลออกจากตัวอย่างทดสอบ จนกระทั่งค่า ค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน เป็นศูนย์หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ volume ซึ่งดูได้จากเครื่อง volume change ถือว่าเป็นการสิ้นสุด การอัดตัวคายน้ำ ซึ่งใช้เวลามากน้อย แล้วแต่ชนิดส่วนผสมของดิน โดยการวิจัยนี้ใช้เวลาในการอัดตัวคายน้ำประมาณ 24 ชั่วโมง . ในทุกระดับของ σ_c' บันทึกระดับน้ำที่ได้จากตัวอย่างทดสอบเพื่อหาปริมาตรน้ำที่ได้จากการทำอัดตัวคายน้ำ

12 การเพิ่มแรงเฉือนกระทำต่อตัวอย่างทดสอบ (Shearing process) หลังจากที่เสร็จสิ้นการอัดตัวคายน้ำ แล้วนำตัวอย่างทดสอบเข้าสู่เครื่องเพิ่มแรงเฉือน (shearing) เป็นเครื่องอัดแรงสามแกน Hogentogler หมายเลข SN930112 จัดอย่างทดสอบเข้าเครื่องทดสอบ ปิดวาล์วdrainน้ำที่Top cap และ Lower cap ซึ่งเป็นการทดสอบแบบไม่ให้น้ำไหล เลื่อนแกนกดตัวอย่าง (piston) สัมผัสกับตัวอย่างโดยสังเกตได้จากเข็มของมาตรวัดแรง (Proving Ring) จะมีการขยับและค่าแรงดันน้ำ ที่วัดได้ (เครื่องวัดแรงดันน้ำในเครื่องทดสอบนี้ใช้ tranducer วัดแบบ digital) จะมีค่าเพิ่มขึ้น หลังจากที่แกนกดตัวอย่างสัมผัสกับตัวอย่างทดสอบ ทำการตั้งเข็มมาตรวัดแรงและมาตรวัดการเคลื่อนที่ให้เป็นศูนย์ ในช่วงเวลาระหว่างการอัดตัวคายน้ำได้ตรวจเช็คการรั่ว (Leaking) ของถุงยางป้องกันน้ำ (membrane) ซึ่งในเครื่องทดสอบนี้สามารถดูได้จากวัดท่อระดับน้ำที่ burett ทั้งใน top cap และ Lower cap ระดับน้ำในท่อทั้งสองจะต้องคงที่ ถ้าระดับน้ำในท่อวัดระดับน้ำมีการเพิ่มอย่างต่อเนื่อง แสดงว่าถุง membrane. มีการรั่วซึมต้องทำการเตรียมตัวอย่างทดสอบใหม่ เมื่อตรวจสอบแล้วไม่มีการรั่วซึม เปิดเครื่องทดสอบเพื่อทำการทดสอบการรับแรงเฉือน ซึ่งเครื่องทดสอบนี้ใช้ระบบไฟฟ้าควบคุมอัตราการเคลื่อนที่ (strain rate) โดยในการทดสอบใช้อัตราประมาณ 0.7 เปอร์เซนต์ความเครียดต่อชั่วโมง (0.7%strain per hour) จะต้องใช้เวลา 25-28 ชั่วโมงต่อหนึ่งตัวอย่างการทดสอบ ทำการบันทึก strain , Proving Ring, Pore จนจบการทดสอบ (เสร็จการทดสอบที่ความเครียด 20% ตามาตรฐาน

ASTM) และหลังจากทำการทดสอบการรับแรงเฉือนสิ้นสุด นำตัวอย่างดินไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาความชื้นสุดท้ายและใช้เพื่อประกอบข้อมูลอื่นๆ ต่อไป

อัตราการเฉือน (rate of shear) มีผลต่อการทดสอบ ถ้าใช้อัตราการเฉือนที่แตกต่างกันจะให้ผลการทดสอบที่แตกต่างกัน เช่น หากใช้อัตราการเฉือนที่สูงกว่าจะทำให้จุดสูงสุด (peak point) ของกราฟสูงกว่าการใช้อัตราเฉือนที่ต่ำกว่า ซึ่งสำคัญมากเนื่องจากในการทดสอบนี้ต้องทำการวัดค่าแรงดันน้ำ (pore pressure) ระหว่างการทดสอบและอัตราการเฉือนมีผลต่อการ dissipate ของ excess pore pressure ที่เกิดขึ้นระหว่างการเฉือน หากว่าใช้อัตราการเฉือนที่สูงเกินไป จะทำให้การเกิดขึ้นและการ dissipate ที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์เนื่องจากอัตราการเฉือนที่สูงเกินไป ดังที่รูปที่ ก1 ถึง ก3 ในภาคผนวก ก

จากกราฟพบว่าอัตราที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบสำหรับเครื่องทดสอบ Hogentoglor No. SN930112 คือที่อัตรา 0.7%ความเครียดต่อชั่วโมง (0.7%strain per hour)

I18560353