หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การทดลอง

ในบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ตั้งแต่อยุธยา ปทุมธานี นนทบุรี กรุงเทพ-มหานคร และสมุทรปราการ มีดินเหนียวซึ่งเกิดขึ้นจากการตกตะกอนปกคลุมเป็นบริเวณกว้าง ดินชั้นบนเป็นดินอ่อนมีความหนาประมาณ 14-20 เมตร ซึ่งมักนิยมเรียกกันว่า "ดินเหนียวกรุงเทพฯ" (Bangkok Clay) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า "ดินกรุงเทพฯ"

3.1 การเก็บตัวอย่างดิน

ดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวอย่างสำหรับงานวิจัยนี้ เก็บมาจากท้องที่อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งอยู่ทางทิศใต้ของกรุงเทพ ฯ โดยขุดลงไปเป็นหลุมลึกประมาณ 2 เมตร ได้ดินเหนียวสีเทาอ่อน ปนสีน้ำตาล มีลักษณะที่ค่อนข้างสม่ำเสมอและไม่มีทรายหรือหินปน

3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.2.1 การหาคุณสมบัติพื้นฐานของดิน

ตัวอย่างดินที่ได้นำมาเข้าห้องปฏิบัติการ เพื่อทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ดังนี้

(1) ปริมาณความชื้นในธรรมชาติ

(2) Atterberg limits

(3) ความถ่วงจำเพาะ

(4) การวิเคราะห์ขนาดของเม็ดดิน (Grain size analysis)

วิธีการใช้หาคุณสมบัติเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้ตามหนังสือ Soil Testing for Engineers (LAMBE, 1951)

3.2.2 การบดอัด

(1) การเตรียมตัวอย่าง

ดินที่เก็บมาจะอยู่ในลักษณะที่เปียก ต้องทำให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ผึ่งไว้จนแห้ง แล้วนำไปบดจนละเอียดโดยใช้เครื่องบดดิน เอาดินที่บดแล้วนี้มาประมาณ 3 กิโลกรัม ใส่ในถาด ฉีดน้ำกลั่นให้เป็นฝอยลงไปยังดินในถาด ขณะเดียวกันก็พยายามคลุกเคล้าดินให้มีความชื้นทั่วถึงกัน ฉีดน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนได้ความชื้นใกล้เคียงกับที่ต้องการ

(2) วิธีการทดลอง

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินที่บดอัด ได้ใช้ตามวิธีของ Modified AASHTO (T-180) คือใช้ตุ้มหนัก 10 ปอนด์ ยกสูง 18 นิ้ว บดอัดดินเป็น 5 ชั้น แต่ละชั้นกระแทก 25 ครั้ง ภายในแบบมาตรฐานซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 4.584 นิ้ว (ปริมาตร 1/30 ลูกบาศก์ฟุต) หลังจากบดอัดเรียบร้อยดินส่วนที่เกินก็เฉือนออก แล้วนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักของดินในแบบ จากนั้นก็เก็บตัวอย่างดินส่วนบนและส่วนล่างไปหาปริมาณความชื้น ก็จะสามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้งได้ 1 จุด

ในทำนองเดียวกันก็จะสามารถหาปริมาณความชื้นและความหนาแน่นของจุดอื่น ๆ ได้ โดยให้ปริมาณความชื้นแต่ละค่าต่างกันประมาณ 2 เปอร์เซนต์ แล้วนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้ง

นอกจากนี้ยังแปรเปลี่ยนค่าพลังงานที่ใช้ในการบดอัดโดยเปลี่ยนจำนวนครั้งของการกระแทกอีก 3 ชุด รวมเป็น 4 ชุด ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การบดอัดตัวอย่างดิน (ใช้แบบมาตรฐาน ซึ่งมีปริมาตร 1/30 ลูกบาศก์ฟุต ตุ้มหนัก 10 ปอนด์ ยกสูง 18 นิ้ว)

การทดลองชุดที่	จำนวนครั้งของการกระแทกต่อชั้น	จำนวนชั้น	พลังงานที่ใช้ในการบดอัด, % Modified AASHTO
1	35	5	140
2	25	5	100
3	15	5	60
4	5	5	20

3.2.3 การทดสอบ CBR

การทดสอบหา CBR ในงานวิจัยนี้ บดอัดเฉพาะที่ความชื้น optimum ของการทดลองชุดที่ 2 ซึ่งเป็นชุดของ Modified AASHTO

ใช้ดินที่บดจนละเอียดแล้วประมาณ 5 กิโลกรัม มาผสมน้ำให้ได้ความชื้นเท่ากับปริมาณความชื้น optimum ของการบดอัดแบบ Modified AASHTO (ตามหัวข้อ 3.2.2) เก็บตัวอย่างดินนี้ไว้ในถุงพลาสติกประมาณ 24 ชั่งโมง เพื่อให้แน่ใจว่าความชื้นกระจายอย่างสม่ำเสมอ นำมาทดลองหาปริมาณความชื้น ถ้ายังไม่ได้ตามที่ต้องการ ก็นำมาผสมใหม่จนได้ปริมาณความชื้นอยู่ในช่อง $\pm$ 0.5 เปอร์เซนต์ของปริมาณความชื้น optimum บดอัดดินนี้ในแบบซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 7 นิ้ว มีเหล็กรองภายในสูง 2.416 นิ้ว คงเหลือความสูงสุทธิ 4.584 นิ้ว (ปริมาตร 0.075 ลูกบาศก์ฟุต) ใช้ตุ้มหนัก 10 ปอนด์ ยกสูง 18 นิ้ว บดอัดเป็น 5 ชั้น แต่ละชั้นกระแทก 56 ครั้ง แล้วจึงนำไปหา CBR ทั้งแช่น้ำ (soaked) และไม่แช่น้ำ (unsoaked)

3.2.4 การทดสอบความดันพองตัว (Swelling Pressure Tests)

(1) การเตรียมตัวอย่าง

ใช้ดินที่บดจนเป็นผงละเอียดประมาณ 2 กิโลกรัม มาแผ่กระจายบนถาด ใช้เครื่องฉีดน้ำให้เป็นฝอยลงบนดินนี้ เอาช้อนคลุกดินให้มีความชื้นทั่วกัน ค่อย ๆ ฉีดเพิ่มปริมาณน้ำและคลุกดินไปเรื่อย ๆ จนได้ความชื้นใกล้เคียงกับที่ต้องการ เก็บดินนี้ไว้ในถุงพลาสติก และบรรจุไว้ในกล่องพลาสติกอีกชั้นหนึ่ง โดยพรมน้ำรอบ ๆ ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นแผ่กระจายเข้าไปในเม็ดดินอย่างทั่วถึงกัน จากนั้นเก็บตัวอย่างดินประมาณ 50 กรัม มาอบที่อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซสเซียส ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณความชื้น ถ้าปริมาณความชื้นยังไม่ได้ตามที่ต้องการก็เอามาผสมน้ำอีก ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนได้ความชื้นภายใน $\pm$ 0.5 เปอร์เซนต์ ของปริมาณความชื้นที่ต้องการ ก็นำดินนี้ไปใช้ในการทดลองวัดค่าความดันพองตัวได้

ในการทดสอบให้ใส่ตัวอย่างดินลงใน consolidation ring ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว สูง 1.0 นิ้ว และมีปลอกทองเหลืองสูง 1.0 นิ้ว ใช้ตุ้มหนัก 5.5 ปอนด์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.3 นิ้ว ยกสูง 12 นิ้ว บดอัดโดยใช้พลังงานที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การบดอัดตัวอย่างดินสำหรับทดสอบความดันพองตัว (ใช้ consolidation ring เป็นแบบ และตุ้มหนัก 5.5 ปอนด์ ยกสูง 12 นิ้ว)

การทดลองชุดที่	จำนวนครั้งของการกระแทกต่อชั้น	จำนวนชั้น	พลังงานที่ใช้ในการบดอัดโดยประมาณ, % Modified AASHTO
1	21	2	140
2	15	2	100
3	9	2	60
4	3	2	20

ก่อนตำต้องใส่แผ่นเหล็กกลมซึ่งหนา 0.5 นิ้ว ลงไปแทนที่หินพรุน (porous stone) แผ่นล่างก่อนแล้วจึงตำเพื่อกันหินพรุนแตก เมื่อตำเสร็จก็เอาแผ่นเหล็กออก แล้วใส่หินพรุนเข้าไปดังเดิม ขูดดินส่วนที่เกินออกแล้วนำไปชั่งเพื่อหาความหนาแน่น

(2) วิธีการทดลอง

นำ consolidation ring ซึ่งมีตัวอย่างที่จะหาความดันพองตัวไปประกอบเข้ากับ consolidometer โดยมีหินพรุนที่แห้งอยู่ทั้งข้างบนและข้างล่าง มีกระดาษกรองคั่นระหว่างดินและหินพรุน ดังนั้นน้ำจึงสามารถเข้าได้ทั้งข้างบนและข้างล่าง ประกอบเครื่องเหมือนกับการทำ consolidation test แขวนกระป๋องสำหรับใส่ทรายที่ที่แขวนข้างหลังเครื่องมือ ชั่งทรายและภาชนะบรรจุก่อนการทดลอง เมื่อเครื่องมือทุกอย่างพร้อมจึงเริ่มทำการทดลองโดยเติมน้ำลงไปข้างบนและในท่อข้าง ๆ ของ consolidometer พร้อมกับการเริ่มจับเวลา ดินก็จะเริ่มพองตัวขึ้น เข็มที่หน้าปัดจะกระดิก ให้เอาทรายจากภาชนะมาใส่ในกระป๋องเพื่อกดไม่ให้ดินพองตัวขึ้นมา ดังรูปที่ 3.1 จดน้ำหนักทรายในภาชนะที่เหลือในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ แล้วนำไปคำนวณหาความดันพองตัว จะต้องคอยเติมทรายลงกระป๋องเรื่อย ๆ โดยควบคุมให้ปริมาตรคงที่ จนกระทั่งดินหยุดการพองตัว ความดันสูงสุดที่ได้นี้เรียกว่า ความดันพองตัว (swelling pressure)

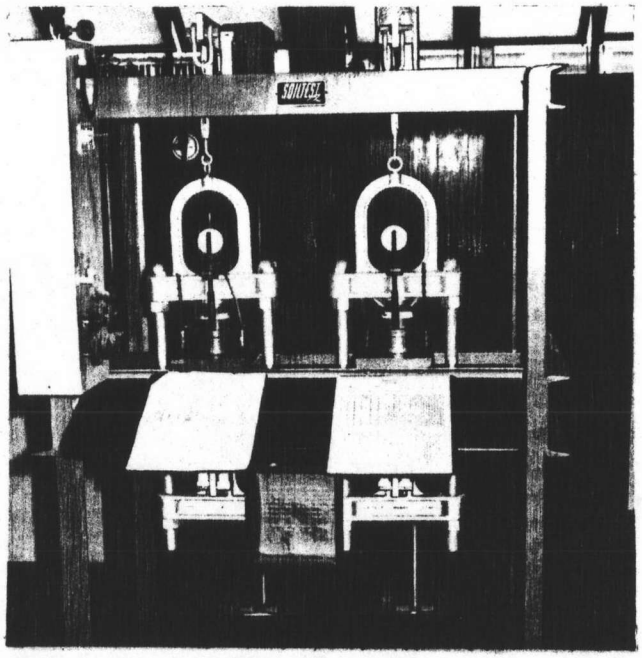
ในการทดลองนี้นอกจากจะเปลี่ยนค่าพลังงานที่ใช้ในการบดอัดแล้วยังต้องเปลี่ยนค่าปริมาณความชื้นอีกด้วย โดยเริ่มจาก 16.9 เปอร์เซนต์ จนถึง 32.0 เปอร์เซนต์ เพื่อหาความสัมพันธ์ของความดันพองตัวกับปริมาณความชื้นและพลังงานที่ใช้ในการบดอัด ดังตารางที่ 3.3

3.2.5 การทดสอบการพองตัว (Swelling Tests)

(1) การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างดินทำเช่นเดียวกับการทดสอบความดันพองตัว คือเตรียมใน consolidation ring ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว สูง 1.0 นิ้ว พลังงานที่ใช้ในการบดอัดใช้ตามตารางที่ 3.2

รูปที่ 3.1 แสดงการทดสอบความต้านพองตัว



รูปที่ 3.2 แสดงการทดสอบการพองตัวและ Cyclic Loading Test

(2) วิธีการทดลอง

นำ consolidation ring ซึ่งมีตัวอย่างดินที่จะหาการพองตัวไปประกอบเข้ากับ consolidometer โดยมีหินพรุนที่แห้งอยู่ทั้งข้างบนและข้างล่างแขวนน้ำหนักที่ที่แขวนข้างหลังเครื่องมือ เพื่อทำให้เกิดความดันที่กดตัวอย่างดิน 0.6 ตันต่อตารางเมตร เพื่อแทนน้ำหนักของพื้นหรือถนน จากนั้นจึงเติมน้ำลงไปทั้งข้างบนและในท่อข้าง ๆ พร้อมกับการเริ่มจับเวลา จดค่าการพองตัวของดินในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ จากหน้าปัด จนกระทั่งการพองตัวสิ้นสุดลง

นอกจากจะเปลี่ยนค่าพลังงานที่ใช้ในการบดอัดแล้ว ยังได้เปลี่ยนค่าปริมาณความชื้นอีกด้วย โดยใช้ความชื้นตั้งแต่ 16.2 เปอร์เซนต์ ถึง 34.0 เปอร์เซนต์ ดังตารางที่ 3.4

3.2.6 การทดสอบบรรทุกน้ำหนักเป็นรอบ ๆ (Cyclic Loading Tests)

(1) การเตรียมตัวอย่าง

ใช้ตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบการพองตัว หลังจากการพองตัวสิ้นสุดลงแล้ว ต้องทิ้งไว้อีก 48 ชั่วโมง เพื่อให้ดินอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ

(2) วิธีการทดลอง

เพิ่มน้ำหนักบรรทุกจาก 0.6 ตันต่อตารางเมตร เป็น 1.25 ตันต่อตารางเมตร วัดค่าการทรุดตัวไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งสิ้นสุดการยุบอัดตัวขั้นต้น (primary consolidation) หรือการยุบอัดตัวขั้นต้นถึง 100 เปอร์เซนต์ ซึ่งจะหาได้จากการเขียนกราฟระหว่างการทรุดตัวและรากที่สองของเวลาตลอดเวลาที่ทดลองและคำนวณหา t_{90} ตามวิธีของ TAYLOR แล้วคำนวณหาค่า t_{100} เมื่อการยุบอัดตัวถึง 100 เปอร์เซนต์ จึงเพิ่มน้ำหนักเป็น 2.5, 5 และ 10 ตันต่อตารางเมตรตามลำดับ หลังจากนั้นจึงลดน้ำหนักลงเหลือ 5 และ 2.5 ตันต่อตารางเมตร แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักขึ้นไปใหม่ ทำเช่นนี้ 2 หรือ 3 รอบ เพื่อสังเกตความแตกต่างของการทรุดตัวในการบรรทุกน้ำหนักแต่ละรอบ แล้วจึงเอาน้ำหนักบรรทุกออกจนเหลือ 0.6 ตันต่อตารางเมตรตามเดิม การทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2

ในการทดลองนี้ ใช้ดินที่เตรียมจากการบดอัดโดยใช้พลังงานและปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันดังตารางที่ 3.5

นอกจากนี้ยังทดสอบที่ความดันสูง ๆ อีกด้วย โดยหลังจากบรรทุกน้ำหนักจนถึง 10 ตันต่อตารางเมตรแล้ว ก็ลดลงมาเหลือ 5 และ 2.5 ตันต่อตารางเมตรตามลำดับ แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักอีกครั้งเป็น 5, 10, 20 และ 40 ตันต่อตารางเมตร แล้วจึงลดลงเหลือ 20, 10, 2.5 และ 0.6 ตันต่อตารางเมตรตามลำดับ การทดลองนี้กระทำเฉพาะที่ปริมาณความชื้น 18.3 และ 26.7 เปอร์เซนต์ พลังงานที่ใช้ในการบดอัดดินเท่ากับ 100 และ 20 เปอร์เซนต์ ของ Modified AASHTO เท่านั้น

<u>หมายเหตุ</u> ผลการทดลองของบทที่ 3 ซึ่งจะแสดงในบทที่ 4จะใช้สัญญลักษณ์เหมือนกับตารางที่ 3.3, 3.4 และ 3.5 คือ

SP = การทดสอบความดันพองตัว (Swelling Pressure Test)

S = การทดสอบการพองตัว (Swelling Test)

C = การทดสอบบรรทุกน้ำหนักเป็นรอบ ๆ (Cyclic Loading Test)

w_i = ปริมาณความชื้นเริ่มแรก (Initial water content)

ตัวเลขตัวแรก แสดงชุดที่ของการทดลอง

ตัวเลขตัวหลัง แสดงเลขที่ชุดของปริมาณความชื้น

ตารางที่ 3.3 การทดสอบความดันพองตัว

การทดลองชุดที่	พลังงานที่ใช้บดอัด, % Modified AASHTO	(1) w_i=16.9%	(2) w_i=17.7%	(3) w_i=20.0%	(4) w_i=22.3%	(5) w_i=24.0%	(6) w_i=26.5%	(7) w_i=29.3%	(8) w_i=32.0%
1	140	SP-11	SP-12	SP-13	SP-14	SP-15	SP-16	SP-17	SP-18
2	100	SP-21	SP-22	SP-23	SP-24	SP-25	SP-26	SP-27	SP-28
3	60	SP-31	SP-32	SP-33	SP-34	SP-35	SP-36	SP-37	SP-38
4	20	SP-41	SP-42	SP-43	SP-44	SP-45	SP-46	SP-47	SP-48

ตารางที่ 3.4 การทดสอบการพองตัว

การทดลองชุดที่	พลังงานที่ใช้บดอัด, % Modified AASHTO	(1) w_i=16.2%	(2) w_i=18.3%	(3) w_i=21.2%	(4) w_i=23.5%	(5) w_i=27.0%	(6) w_i=34.0%
1	140	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16
2	100	S-21	S-22	S-23	S-24	S-25	S-26
3	60	S-31	S-32	S-33	S-34	S-35	S-36
4	20	S-41	S-42	S-43	S-44	S-45	S-46

ตารางที่ 3.5 การทดสอบบรรทุกน้ำหนักเป็นรอบ ๆ

การทดลองชุดที่	พลังงานที่ใช้บดอัด, % Modified AASHTO	(1) w_i=16.2%	(2) w_i=18.3%	(3) w_i=21.2%	(4) w_i=23.5%	(5) w_i=27.0%	(6) w_i=34.0%
1	140	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16
2	100	C-21	-	C-23	C-24	C-25	C-26
3	60	C-31	C-32	C-33	C-34	C-35	C-36
4	20	C-41	C-42	C-43	C-44	C-45	C-46