

การทดสอบการยุบตัวของวัสดุหินถมเขื่อนหินถมตาดหน้าคอนกรีต : กรณีศึกษาเขื่อนแควน้อย Collapse testing of rockfill material for Concrete Face Rockfill Dam : Khwae Noi Dam

ศุภกร ปิณฑะบุตร^{1*} สุทธิศักดิ์ ศรีลัมภ์² และสุธาสินี อินตัย³

¹ นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมปฐพี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพมหานคร

³ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.ชลบุรี

*Corresponding author; supakorn.pint@ku.th

บทคัดย่อ

วัสดุหินถมสำหรับเขื่อนมักมีการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินและกำลังของหินตามเวลา ปัจจัยหลักมาจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอ่างเก็บน้ำ สภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง ความสมบูรณ์ของตาดคอนกรีต เป็นต้น ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของวัสดุหินถม กรณีศึกษาของเขื่อนแควน้อย จังหวัดพิษณุโลก โดยจำลองการทดสอบหาค่าการยุบตัวของหินถมโดยใช้เครื่องทดสอบ Large Oedometer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 762 มิลลิเมตร ความสูง 1240 มิลลิเมตร การทดสอบแบ่งเป็น 3 กรณี ได้แก่ สภาวะแบบแห้ง สภาวะแบบเปียก และสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยเตรียมตัวอย่างหินด้วยสัดส่วนของหินทราย 80% และหินโคลน 20% แต่ละการทดสอบจะให้แรงกระทำต่อตัวอย่างหินที่ 500 1000 และ 1500 kPa ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่าค่ายุบตัวในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 82.94 มิลลิเมตร ในขณะที่สภาวะแบบแห้ง และสภาวะเปียกมีค่าการยุบตัวเท่ากับ 27.76 และ 76.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนของหินโคลนมีผลต่อโดยตรงต่อพฤติกรรมการรับน้ำหนักของหินถม เนื่องจากหินโคลนมีคุณสมบัติการรับแรงค่อนข้างต่ำ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงสรุปได้ว่าค่าการยุบตัวของวัสดุหินมีผลสอดคล้องกับสภาวะขึ้นของวัสดุหินถมของเขื่อนแควน้อย

คำสำคัญ: เขื่อนหินถมตาดหน้าคอนกรีต, วัสดุหินถม, การบดอัด

Abstract

Rockfill for dam often undergo changes in their condition and strength over time due to the degradation of the material. The main factors contributing to these changes include variations in the water level of the reservoir, changing weather conditions, and the concrete durability at the upstream. This study focuses on investigating the behavior compaction of rockfill, using the case study of the Khwae Noi Dam is located at Phitsanulok province, Thailand. The predominant rock material of the dam consists mainly of sandstone and mudstone. The study simulates tests to determine the collapse characteristics

of the rockfill using a Large Oedometer with a diameter of 762 millimeters and a height of 1240 millimeters. The tests are conducted under three conditions: dry, wet, and saturated. In each condition, the rockfill samples are prepared with a composition of 80% sandstone and 20% mudstone. The tests apply pressures of 5, 10, and 15 bars, respectively. Results show that the maximum collapse occurs when the rockfill is saturated, reaching a value of 82.94 millimeters, while the dry and wet conditions have collapse values of 27.76 and 76.33 millimeters, respectively. It can be observed that the mudstone ratio directly affects the behavior compaction of rockfill, as mudstone has relatively low strength properties. Therefore, this study concludes that the collapse value of rockfill correlates with the wet condition of the rockfill of the Khwae Noi Dam.

Keywords: Concrete Face Rockfill Dam, Rockfill, Compaction

1. คำนำ

วัสดุหินถมเป็นวัสดุที่ถูกนำมาก่อสร้างเขื่อนโดยใช้หินถมเป็นตัวเขื่อน ซึ่งหินถมจะมีคุณสมบัติการรับน้ำหนักหรือมีพฤติกรรมการรับแรงที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะ และมีกระบวนการมุ่งทางกายภาพ ทำให้หินแตกจากก้อนขนาดใหญ่ไปเป็นก้อนขนาดเล็กลง โดยมีปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง ความสมบูรณ์ของตาดคอนกรีต ความชื้น เป็นต้น

เขื่อนแควน้อยเป็นเขื่อนหินถมตาดหน้าคอนกรีต มีความกว้างสันเขื่อน 9 เมตร มีความยาวสันเขื่อน 570 เมตร ความสูง 75 เมตร ระดับสันตัวหินถมอยู่ที่ระดับ +133.50 ม.รทก. มีกำแพงคอนกรีตกันคลื่น (Wave Wall) วางอยู่บนสันเขื่อนด้านเหนือน้ำสูง 2 เมตร ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ 1:1.4 (ตั้ง:ราบ) ลาดเขื่อนมี Berm ทุกช่วงความสูง 20 เมตร มีความกว้าง 6 เมตร ตัวเขื่อนก่อสร้างโดยการบดอัดหินถมชนิด หินทราย, หินโคลน มีหน้าที่ให้ความมั่นคงของตัวเขื่อนและสร้างเสถียรภาพของลาดชันเขื่อนด้านท้ายน้ำ

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการยุบตัวและพฤติกรรมการรับแรงของวัสดุหินถมในสถานะต่างๆ แบ่งเป็น 3 กรณี ได้แก่ สภาวะแห้ง สภาวะเปียก สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ และประเมินค่าโมดูลัสของหินถมแต่ละสภาวะ โดยศึกษากรณีของเขื่อนแควน้อยเพื่อดูความมั่นคงของตัวเขื่อนที่มีหินถมเป็นวัสดุหลัก การศึกษาครั้งนี้จะใช้เครื่องมือทดสอบ Large Oedometer 1 มิติ ในการทดสอบ

3. เครื่องมือทดสอบการยุบตัวของหินถม

สำหรับการศึกษานี้จะใช้เครื่องมือทดสอบ Large Oedometer มาทดสอบพฤติกรรมการยุบตัวของหินถม โดยมีรายละเอียดของเครื่องทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 สามารถทดสอบได้ทั้งแบบสภาวะดินอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเครื่องทดสอบ Large Oedometer

รายละเอียด	ขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลาง chamber (mm)	762
ความสูง chamber (mm)	1240
ความหนา chamber (mm)	10
น้ำหนักเครื่องโดยประมาณ (ton)	2.5
The double jack	
- Outer diameter (mm)	340
- Overall length (mm)	605
Piston diameter (mm)	300
Piston area (cm ²)	707
Max. working oil pressure (kg/cm ²)	220
Jack can apply downward force (kg)	155,540
Max. recommended working pressure (kg/cm ²)	150 (at 106,050 kg)

ติดตั้งเครื่องมือวัดเพื่อสามารถวัดค่าต่างๆ ได้ เช่น ตัววัดการขยายตัวด้านข้าง (Strain gage) ตัววัดค่าการยุบในแนวตั้ง (LVDT) ตัวกหนดน้ำหนัก (Load cell) และตัวอ่านค่าแรงดันน้ำและแรงอัดไฮดรอลิก ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 เครื่องมือทดสอบน้ำหนัก หรือ Load cell ติดตั้งด้านบนของเครื่องทดสอบ Oedometer และเชื่อมกับ Hydraulic jack เพื่อควบคุมการอัดและขยายน้ำหนักที่กระทำต่อตัวอย่างทดสอบ load cell มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 715 มิลลิเมตร ความสูง 110 มิลลิเมตร เกจอ่านค่าแรงกระทำที่มีค่าความละเอียดของเครื่องมือวัดเท่ากับ 1 บาร์

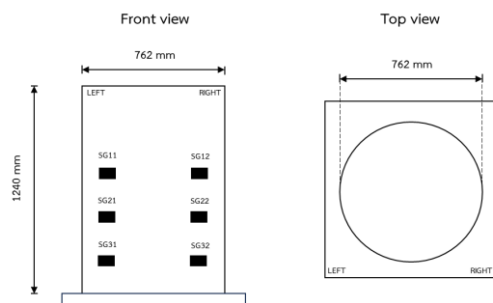
3.2 เครื่องวัดแรงดันน้ำ ติดตั้งด้านข้างของถังทดสอบทั้ง 2 ด้าน มีหน้าที่ควบคุมระดับน้ำในตัวถังทดสอบ เกจที่อ่านค่ามีค่าความละเอียดของเครื่องมือวัดเท่ากับ 0.5 บาร์

3.3 เครื่องมือวัดค่าการขยายตัวด้านข้างหรือสเตรนเกจ (Strain gages) ติดตั้งทั้งหมด 12 ตัว โดยแบ่งออกเป็น 3 แถว แถวละ 4 ตัวกระจายรอบตัวถังดังแสดงในรูปที่ 2

3.4 เครื่องมือวัดค่าการยุบตัวในแนวตั้ง หรือ Linear variable differential transformers (LVDTs) มีช่วงความยาวของการอ่านค่าได้ 100 mm มีค่าความละเอียด 0.0001 mm จะติดตั้งทั้งหมด 4 ตัว บริเวณด้านบนของถังทดสอบมุมละ 1 ตัวดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องมือทดสอบ Large Oedometer



รูปที่ 2 หน้าตัดของเครื่องทดสอบ Large Oedometer

เครื่องมือทดสอบ Oedometer ประกอบด้วยวงแหวนที่ใช้บรรจุตัวอย่างหิน กำหนดให้ตัวอย่างหินถมเขื่อนไม่มีการเคลื่อนตัวด้านข้างสามารถนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์หา Modulus of constrained ดังแสดงดังในสมการที่ (1) [3]

$$E_{Oed} = \frac{d\sigma_v}{d\varepsilon_v} \quad (1)$$

เมื่อ σ_v = Vertical stress

ε_v = Vertical strain

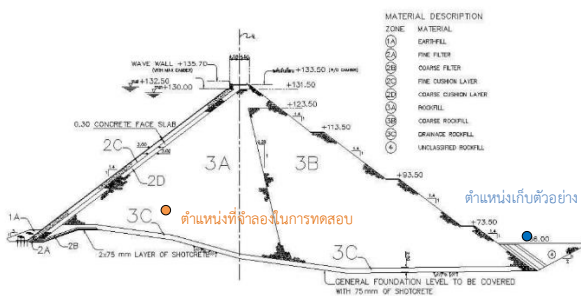
Cheng et al. (2021) [1] กล่าวว่าในการทดสอบ One-dimensional compression ของวัสดุหินถมแบบเปียก-แห้ง จะทำให้หินถมนั้นเกิดการเสื่อมสภาพทางคุณสมบัติเชิงกลมากกว่าทำให้หินเปียกเมื่อถูกบดอัดหินถมจะแตกเป็นชิ้นเล็กๆ แบ่งลักษณะการแตกหักได้ 3 ประเภท ได้แก่ 1) การแตกแบบผ่าซีก 2) การแตกหักตรงขอบหรือมุม และ 3) การแตกออกเป็นเศษเล็กๆหรือเป็นผง

Lwin (2007) [3] กล่าวว่า การทดสอบ Large compression ของวัสดุหินถมนั้น เมื่อมี หินอ่อน (weak rock) อยู่ปนกับหินทรายนั้นจะทำให้คุณสมบัติการรับแรง การเสียรูปของวัสดุ และโมดูลัสของวัสดุมีค่าน้อยมาก เนื่องจากหินอ่อนมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าหินทรายและยังมีพฤติกรรมการหลุดร่อนซึ่งส่งผลให้เกิดการแตกตัวมากขึ้นเมื่อเปียกน้ำ และในการทดสอบเมื่อมีปริมาณหินอ่อนเกิน 20% จะไม่ทำให้ค่าโมดูลัสลดลงแล้ว

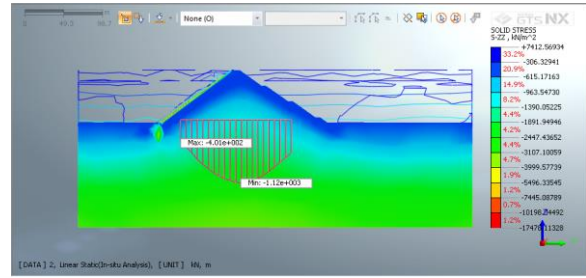
Xing et al. (2006) [7] กล่าวว่าจากการทดสอบ Oedometer จะเห็นได้ว่า หินอ่อน (weak rock) มีความสามารถมีกำลังรับแรงอัดปานกลาง ivo ต่อการเปลี่ยนแปลงตามความชื้นและมีพฤติกรรมแบบแข็งตัว (Strain hardening) หินอ่อนจะถูกบดอัดและแตกตัวได้ง่ายกว่า เมื่อหินอ่อนแตกตัวจะมีการกระจายขนาดละเอียดดีและบดอัดง่าย

4. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

หินถมที่ใช้ในการทดสอบนำมาจากเขื่อนแควน้อย จังหวัดพิษณุโลก ประกอบด้วยหินทราย และหินโคลนที่ปนกัน เพื่อจำลองสภาพการรับน้ำหนักของวัสดุ 3A ที่อยู่ในตัวเขื่อน จึงได้เก็บตัวอย่างหินถมบริเวณท้ายเขื่อนเพื่อนำมาทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยการศึกษาครั้งนี้กำหนดแรงกระทำต่อตัวอย่างหินถมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดแรงกระทำอ้างอิงจากค่าระดับความเค้นภายในของเขื่อนแควน้อยด้วยแบบจำลองของ Mohr-Coulomb ซึ่งมีระดับความเค้นอยู่ที่ประมาณ 1100 kPa ดังแสดงในรูปที่ 4

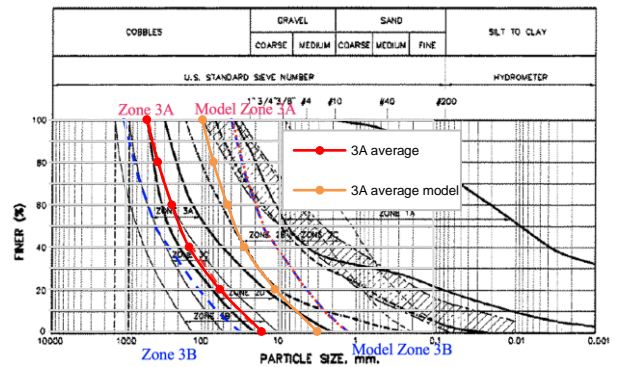


รูปที่ 3 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างและจำลองสภาพการรับน้ำหนัก [4]



รูปที่ 4 ระดับความเค้นของเขื่อนแควน้อยจากแบบจำลอง Mohr-Coulomb

การทดสอบจะนำหินถมมาย่อขนาดให้เล็กกลงด้วยวิธี Gradation curve เพื่อใช้สำหรับการทดสอบ [2] พบว่าจะต้องลดขนาดให้การกระจายตัวของวัสดุหินถมอยู่ในช่วง 5 ถึง 100 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งวัสดุหินถมมีหินทรายปนกับหินโคลน ดังนั้นจึงพิจารณาอัตราส่วนของหินทรายต่อหินโคลน 80:20 โดยปริมาณวัสดุหินถมหลังจากการลดขนาดและปรับปริมาณตามขนาดต่างๆแสดงดังตารางที่ 2 จากนั้นนำมาใส่ในถังทดสอบ (Chamber) ที่ละความหนา 20 เซนติเมตร จนครบ 5 ชั้น โดยแต่ละชั้นจะใช้ Vibrator disc เป็นเวลา 2 นาที เพื่อช่วยให้วัสดุหินถมแน่นขึ้นและเป็นไปตามความหนาแน่นที่กำหนดไว้เท่ากับ 2.1 t/m³ (สุทธิศักดิ์และคณะ, 2553) [11]



รูปที่ 5 ขนาดละเอียดของวัสดุหินถม(3A) ของเขื่อนแควน้อย

ตารางที่ 2 ปริมาณหินตัวอย่างในการทดสอบ Large Oedometer

Sieve No.	ขนาดตะแกรง (mm)*	หินทราย (kg)	หินโคลน (kg)
3"	75.00	30	7
1"	25.00	343	85
3/4"	19.00	48	12
3/8"	9.50	78	20
No.4	4.75	60	15

5. ขั้นตอนการทดสอบ

1. ในการทดสอบจะถูกแบ่งเป็น 3 สภาวะ ตั้งต้นจากสภาวะแห้ง สภาวะเปียก และสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยทดสอบต่อเนื่องกัน ตามลำดับ โดยจะอ้างอิงแต่ละสภาวะจากสภาพแวดล้อมของเขื่อนแควน้อย

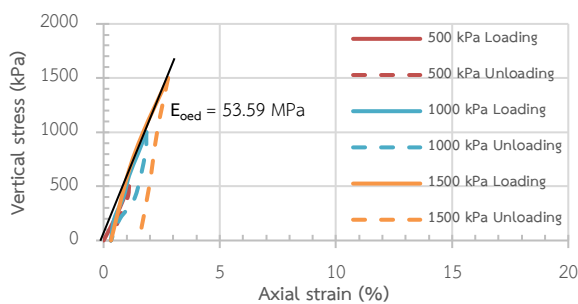
2. ให้แรงกดกระทำต่อตัวอย่างหินเป็นลำดับ จาก 0,500,1000 และ 1500 kPa และปล่อยน้ำหนักเป็นลำดับจาก 1500,1000,500 และ 0 kPa โดยจำลองแรงกระทำมากที่สุดต่อตัวอย่างหินจากการรับน้ำหนักกดของหินถมที่ภายในตัวเขื่อนแควน้อย ดังแสดงในรูปที่ 3 กำหนดให้น้ำหนักแบบ Load-Unload-Reload เพื่อประเมินค่าโมดูลัสของหินถมแต่ละสภาวะ

3. เงื่อนไขของการเปลี่ยนแรงกระทำต่อตัวอย่างคือเมื่อให้น้ำหนักหรือปล่อยน้ำหนักกระทำ จะรอให้การยุบตัวของหินถมคงที่หรือไม่มีการทรุดตัวเพิ่มแล้ว ณ เวลานั้น

6. ผลการทดสอบการยุบตัวของหินถม

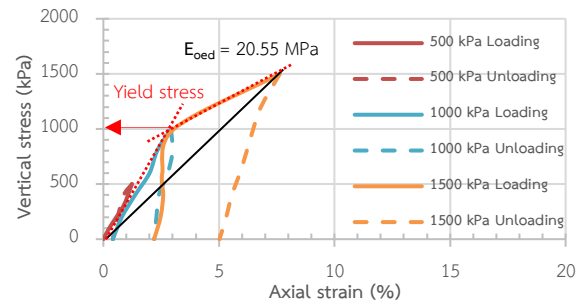
ผลการทดสอบการยุบตัวของหินถมจะอธิบายพฤติกรรมของการรับแรงและการยุบตัวของตัวอย่างวัสดุหินถม

6.1 ผลการทดสอบสภาวะแห้งพบว่า หินถมเกิดการทรุดตัวค่อนข้างน้อยซึ่งมีค่าการยุบตัวมากที่สุดเท่ากับ 27.76 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 7 การให้น้ำหนักกระทำต่อหินส่งผลให้ถึงการทดสอบมีค่าการขยายตัวด้านข้างมากที่สุดเท่ากับ 0.025 มิลลิเมตร ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของถึงทดสอบ และมีค่าโมดูลัส (Secant Modulus) เท่ากับ 53.59 MPa ดังแสดงในรูปที่ 6



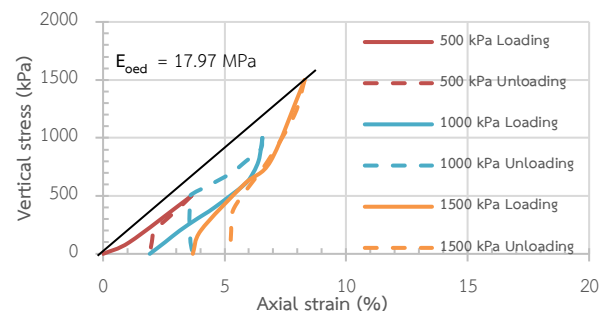
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด สภาวะแห้ง

6.2 ผลการทดสอบสภาวะเปียกพบว่า หินถมเกิดการทรุดตัวอย่างรวดเร็วหรือมีพฤติกรรมแบบอ่อนตัว (Softening behavior) ทำให้ค่าการยุบตัวของหินเพิ่มจาก 30.53 มิลลิเมตร เป็น 76.33 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 9 ในช่วงการเพิ่มน้ำหนัก 1000 kPa เป็นต้นไป การให้น้ำหนักกระทำต่อหินส่งผลให้ถึงการทดสอบมีค่าการขยายตัวด้านข้างมากที่สุดเท่ากับ 0.012 มิลลิเมตร ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของถึงทดสอบ และมีค่าโมดูลัส (Secant Modulus) เท่ากับ 20.55 MPa ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด สภาวะเปียก

6.3 ผลการทดสอบสภาวะแบบอิ่มตัวด้วยน้ำพบว่า หินถมมีการทรุดตัวอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และจะค่อยข้างลดจนค่ายุบตัวของหินเท่ากับ 82.94 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 11 เนื่องจากหินที่แตกแทรกตามช่องว่างต่างๆ ทำให้ตัวอย่างวัสดุหินถมแน่นขึ้นหรือมีพฤติกรรมแบบ (Hardening behavior) การให้น้ำหนักกระทำต่อหินส่งผลให้ถึงการทดสอบมีค่าการขยายตัวด้านข้างมากที่สุดเท่ากับ 0.025 มิลลิเมตร ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของถึงทดสอบ และมีค่าโมดูลัส (Secant Modulus) เท่ากับ 17.97 MPa ดังแสดงในรูปที่ 8



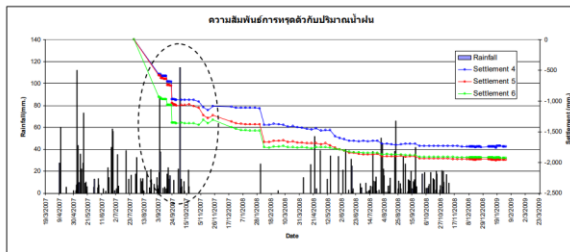
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ

ช่วงระหว่างการทดสอบในขณะที่มีการเปลี่ยนหน่วยแรงกระทำต่อวัสดุ หินถม หินถมจะมีพฤติกรรมในการรับแรงหลายรูปแบบ และค่าโมดูลัสจะลดลงเมื่อวัสดุหินถมเปียกหรือมีตัวด้วยน้ำ (มนตรีและคณะ, 2553) [10]

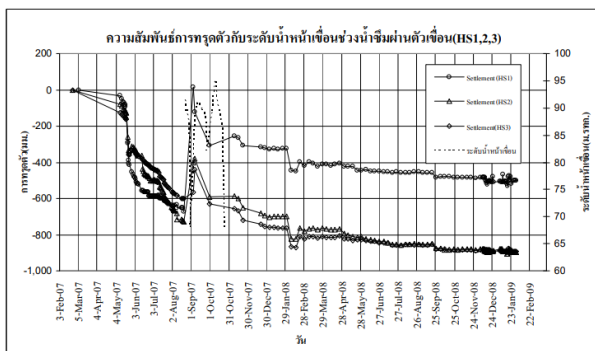
สุทธิศักดิ์และคณะ (2556) [13] ได้ทำการวิเคราะห์การทรุดตัวของหินถมภายในตัวเขื่อนจากเครื่องมือตรวจวัดนั้นแต่ละบริเวณมีการทรุดตัวที่ไม่เหมือนกันเนื่องจากตำแหน่งหรือบริเวณในการรับน้ำหนักที่แตกต่างกัน เป็นไปในลักษณะการทรุดตัวตามเวลา

Soralump et al. (2021) [5] กล่าวว่าจากการทดสอบและจากการวิเคราะห์ภาคสนามนั้นหินโคลนเป็นวัสดุที่มีความคงทนต่ำจะแตกสลายตัวเมื่อสัมผัสกับน้ำฝนแต่เมื่อผสมอยู่กับหินทรายและหินทรายแข็งจะสามารถเพิ่มความคงทนได้ซึ่งถ้าหินโคลนเกิดการแตกสลายอาจทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในทางลาดด้านท้ายน้ำของเขื่อนได้

ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อพฤติกรรมทรุดตัวของหินถม ได้แก่ ชนิดของหินถม, ปริมาณน้ำฝน, ความสูงของการบดอัด และหน่วยแรงจากน้ำหนักของตัวเขื่อน เป็นต้น เมื่อเพิ่มระยะความสูงของการบดอัดการทรุดตัวของหินถมก็จะเพิ่มขึ้นตามแต่เมื่อการทรุดตัวถึงระดับหนึ่งแล้วหินจะเริ่มเกิดการแน่นตัวกันมากขึ้น (ภูงศและสุทธิศักดิ์, 2553) [9] ถ้ามีปริมาณน้ำฝนเพิ่มมากขึ้นหรือมีปริมาณน้ำที่ไหลผ่านตัวเขื่อนจะทำให้ค่าการทรุดตัวของหินถมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (สุทธิศักดิ์และภูงศ, 2553) [12] ดังแสดงในรูปที่ 9 [9] และ 10 [12] ซึ่งจะตรงกันกับในกรณีของการทดสอบสภาวะแบบเปียกที่จะมีพฤติกรรมที่เหมือนกัน



รูปที่ 9 การทรุดตัวของหินถมสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน [9]



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวของหินถมกับระดับน้ำหน้าเขื่อน [12]

เมื่อนำค่าโมดูลัสจากการทดสอบทั้ง 3 สภาวะ ดังแสดงตารางที่ 3 มาเปรียบเทียบกับค่าโมดูลัสที่ประเมินในสนาม ดังแสดงตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบ เมื่อนำค่าโมดูลัสในสภาวะแห้งมาเทียบกับค่าโมดูลัสของวัสดุหินถมที่เป็นชั้นรองมาทดสอบจะแสดงให้เห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกันดังตารางที่ 5 [6] และเมื่อนำผลการทดสอบมาเทียบกับค่าโมดูลัสของหินถมที่เป็นหินอ่อน (weak rock) มีค่าใกล้เคียงกันกับเขื่อน Da'ao Dam ที่ใช้วัสดุเป็นหินทรายผุกร่อน (weathered sandstone) ดังแสดงตารางที่ 6 [7]

ตารางที่ 3 ค่าโมดูลัสของหินถมจากการทดสอบ

การทดสอบ	โมดูลัสการยุบตัว E_{oed} (MPa)
สภาวะแห้ง	53.59
สภาวะเปียก	20.55
สภาวะมีตัวด้วยน้ำ	17.97

ตารางที่ 4 ค่าโมดูลัสของหินถมที่ประมาณได้จากสนาม

ตำแหน่งของ Hydrostatic Settlement Gauge	โมดูลัสที่ประมาณจากการก่อสร้าง (MPa)
Berm บน	36.42
Berm กลาง	65.8
Berm ล่าง	11.82, 12.31, 20.48

ตารางที่ 5 ค่าโมดูลัสของวัสดุหินถมชั้นรองในสภาวะแบบแห้ง [6]

Stress level (ksc)	Constrained Modulus, E_{oed} (ksc)	Modulus of subgrade reaction, k_s (t/m ² /m)
Loading		
0-0.55	150-200	530-700
0.55-1.2	190-250	640-860
1.2-3.0	270-330	860-1075
3.0-4.7	270-315	800-940
4.7-9.6	470-540	1260-1430
Reloading		
0-9.7	2350-2500	7200-7400
Unloading		
9.7-0	2960-3040	7200-7800

ตารางที่ 6 ค่าโมดูลัสของหินถมที่เป็น weak rock [7]

Dam name	Material	Optimum water content (%)	Maximum dry density (kg/m ³)	Modulus of compressibility (MPa)
Da'ao Dam	Weathered sandstone	-	-	21-62
Yutiao Dam	Mudstone	6	2,280	6.5-54.8
Panshitou Dam	Shale	3	2,060	13.8-40.1
Shuibuya Dam	Shale	84	2,000	-
Shisanling Dam	Weathered basalt	-	-	18.6-52.1

หลังจากการทดสอบทั้งหมด 3 สภาวะ จะสังเกตได้ว่าหินโคลนเกิดการแตกตัวเป็นเม็ดละเอียดมากส่วนหินทรายยังคงสภาพอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 11 เมื่อหินโคลนถูกน้ำไหลผ่านจะทำให้หินโคลนเกิดการแตกตัว (สุทธิศักดิ์และภุชงค์, 2553) [12] และ Gradation curve หลังจากการทดสอบเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมตั้งแต่หินที่มีขนาด 3/8" เป็นต้นไป ดังแสดงในรูปที่ 12

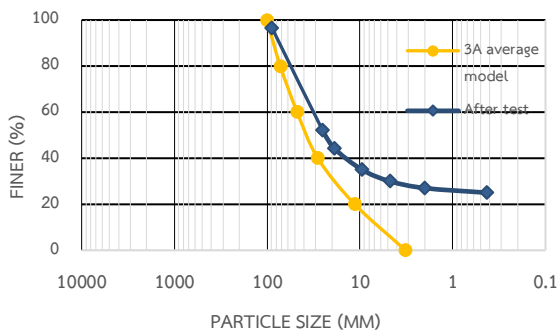


(ก)



(ข)

รูปที่ 11 การแตกของหินตัวอย่าง (ก) ลักษณะของหินก่อนการทดสอบ
(ข) ลักษณะของหินหลังการทดสอบ



รูปที่ 12 Gradation curve เปรียบเทียบระหว่างก่อนการทดสอบ
กับหลังการทดสอบ

7. สรุปผลการศึกษา

1. การยุบตัวของหินถมมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 82.94 มิลลิเมตร จะอยู่ใน การทดสอบแบบสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ ส่วนสภาวะแบบแห้งและสภาวะแบบ เปียกมีค่าการยุบตัวเท่ากับ 27.76 และ 76.33 ตามลำดับ

2. การยุบตัวของหินถมเมื่อได้รับผลจากน้ำหนักกด ถ้ามากกว่า 1000 kPa และถ้ามีความชื้นหรือน้ำจะทำให้หินถมเกิดการแตกตัวเพิ่มมากขึ้น และ ส่งผลให้ยุบตัวในทุกรอบเมื่อให้น้ำหนักและถอนน้ำหนัก

3. หินถมมีพฤติกรรมในการรับแรงหลายลักษณะ มีทั้งแบบพฤติกรรม อ่อนตัว (Softening behavior) และพฤติกรรมแบบแข็งตัว (Hardening behavior) ในสภาวะเปียกและสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ ตามลำดับ

4. การทดสอบการยุบตัวของหินถมสามารถประเมินค่าโมดูลัสของแต่ละ สภาวะได้ โดยมีค่าโมดูลัสมากที่สุดเท่ากับ 53.59 MPa ในสภาวะแบบอิ่มตัว ด้วยน้ำ ส่วนสภาวะแบบแห้งและสภาวะแบบเปียกมีค่าการยุบตัวเท่ากับ 20.55 และ 17.97 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กรมชลประทาน โครงการเขื่อนแควน้อย อันเนื่องมาจาก พระราชดำริ และขอขอบคุณบุคลากรและเครื่องมือการทดสอบของสถาบัน เทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ที่สนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cheng et al., 2021. Deterioration of Mechanical Properties of Rockfill Materials Subjected to Cyclic Wetting–Drying and Wetting. Rock Mechanics and Rock Engineering. pp.2636-2639.
- [2] Hsu, 1984. Large Oedometer Tests on Rockfill Materials. Asian Institute of Technology School of Engineering and Technology Thailand.
- [3] Lwin, 2007. Effects of Incompetent Inclusion on Properties of Rockfills for Dam Construction. Asian Institute of Technology School of Engineering and Technology Thailand. pp.35-43.
- [4] Marsal, R.J. (1967), Large Scale Testing of Rockfill Materials, Jl. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol.93, No.SM.2, pp.27-43.
- [5] Soralump et al., 2021. Use of geosynthetic clay liner as a remedial measure of claystone degradation in Lam Ta Khong hydropower plant. Geotextiles and Geomembranes 49. pp.1211-1218.

- [6] Thongthamchart and Soralump, 2010. KU PERMEA-OEDOMETER FOR INVESTIGATION ELASTIC MODULUS OF CUSION MATERIAL IN CONCRETE FACED ROCKFILL DAM, The 15th National Convention on Civil Engineering.
- [7] Xing et al., 2006. Construction of Concrete-Faced Rockfill Dams with Weak Rocks. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. pp.778-782.
- [8] กรมชลประทาน. “การคำนวณเพื่อการออกแบบและอาคารประกอบโครงการเขื่อนแควน้อย จังหวัดพิษณุโลก”. บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด, บริษัท พี แอนด์ ซี และบริษัท ครีเอทีฟ เทคโนโลยี จำกัด, 2545.
- [9] ภูขงค์ สุวรรณปากแพรง และ สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์. “พฤติกรรม การเปลี่ยนรูปของเขื่อนหินถมตาดหน้าคอนกรีตจากการวิเคราะห์เครื่องมือวัดพฤติกรรมระหว่างการก่อสร้างและเก็บน้ำครั้งแรก : กรณีศึกษาเขื่อนแควน้อย” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15, 2553
- [10] มนตรี จินากุลวิวัฒน์, สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ และ สมชาย ประยงค์พันธ์. “แบบจำลองพฤติกรรมทรุดตัวสำหรับเขื่อนหินถมตาดหน้าคอนกรีต : กรณีศึกษาเขื่อนวชิราลงกรณ” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15, 2553
- [11] สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์, ภูขงค์ สุวรรณปากแพรง และ มนตรี เจียมจุฬาลักษณ์. “การควบคุมการบดอัดวัสดุหินถมเขื่อนหินถมตาดหน้าคอนกรีต : กรณีศึกษาเขื่อนแควน้อย” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15, 2553
- [12] สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ และ ภูขงค์ สุวรรณปากแพรง. “ความปลอดภัยของเขื่อนหินถมตาดหน้าคอนกรีตเมื่อน้ำหลากผ่านตัวเขื่อนขณะก่อสร้างกรณีศึกษาเขื่อนแควน้อย” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15, 2553
- [13] สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์, ชีโนรส ทองธรรมชาติ และอภิสิทธิ์ บุญโพธิ์. “พฤติกรรมของเขื่อนแควน้อยหลังการเก็บน้ำช่วงแรก” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 18, 2556