

การประยุกต์การใช้ทฤษฎีวิเคราะห์การไหลของน้ำ ในหินฐานรากเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ความมั่นคงของทำนบดิน

นายศุภกิจ วงศ์แก้ว

วิศวกรโยธา 7

ฝ่ายสำรวจศิลปวิศวกรรม

กองวิทยาการธรณี กรมชลประทาน

สวนสน ดุสิต กรุงเทพฯ 10300

บทคัดย่อ

การไหลของน้ำลอดผ่านชั้นหินฐานรากที่รองรับทำนบดิน โครงการอ่างเก็บน้ำหนองไหล ตำบลโนนสมบูรณ์ อำเภอเขาสวนกวาง จังหวัดขอนแก่น และไหลซึมออกสู่พื้นที่ราบด้านท้ายทำนบ มีสภาพชั้นผิวดินเป็นดินตะกอนทรายสภาพไม่แน่น (ML = fine sandy silt, ค่า SPT. N น้อยกว่า 10) จนเกิดปัญหาน้ำเจิ่งนอง ดังนั้นในการปรับปรุงแก้ไขจึงต้องทำการขุดเปิดชั้นผิวดินออกจนหมด ถึงหน้าหิน ทำการควบคุมการไหลซึมของน้ำออกจากชั้นหินโดยการปิดผิวหน้าหินด้วยทรายกรองน้ำ และกรวด จัดวางเป็นชั้นตามลำดับเป็นความหนา 15 เซนติเมตร มีทิศทางไปยังลำห้วย และเปิดอัด กลับด้วยดินลูกรัง

Application of Seepage Analysis to Increase Stability of the Dam

Abstract

Seepage through slightly weathered sandstone, fine grained, which the earth dam resting on it causing the hydraulic uplift head about 0.40 meter at the surface of weathered rock adjacent to dam site, Nong Lai reservoir project, Khon Kaen province, north eastern, Thailand. Top soil layer, thickness about 1.20 meters from surface of weathered rock was fine sandy silt, loose, blow count less than 10, was disturbed by uplift force and turned to swamped area. So, we must to stripping the disturbed saturated soil out, controlling of outflow water through fractures and small joints by sand and gravel filter blanket 0.15 meter thick and after that recompacted by selected material such as clayey gravel.

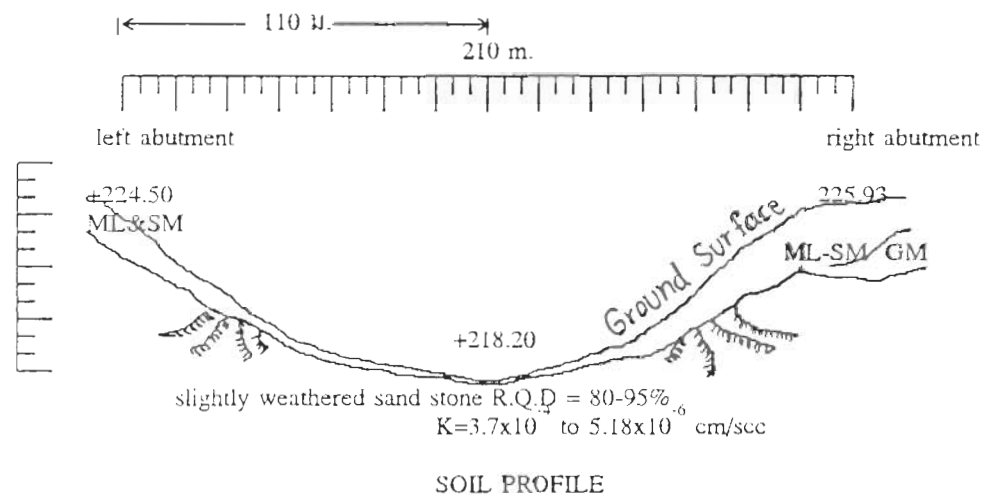
คำนำ

โครงการอ่างเก็บน้ำหนองไหล ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่บ้านโนนสมบูรณ์ ต.โนนสมบูรณ์ อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น มีห้วงงานโครงการเป็นทำนบกั้น ความสูง 10.5 เมตร ความยาว 210 เมตร ปิดกั้นลำห้วยหนองไหล ความจุของอ่างเก็บน้ำประมาณ 100,000 ลบ.เมตร ภายหลังจากการดำเนินงานก่อสร้างเสร็จ และเก็บกักน้ำจนถึงระดับเก็บกักปรากฏว่า มีน้ำซึมขึ้นบริเวณที่ราบด้านท้ายทำนบกั้นห่างจากฐานทำนบกั้นด้านท้ายน้ำที่ส่วนเริ่มต้นของทางระบายน้ำ (toe drain) ออกไปเป็นระยะทาง 7 เมตร ในช่วงความยาวตามแนวร่องระบายน้ำ 20 เมตร เป็นพื้นที่เจิ่งนองด้วยน้ำ 140 ตร.เมตร

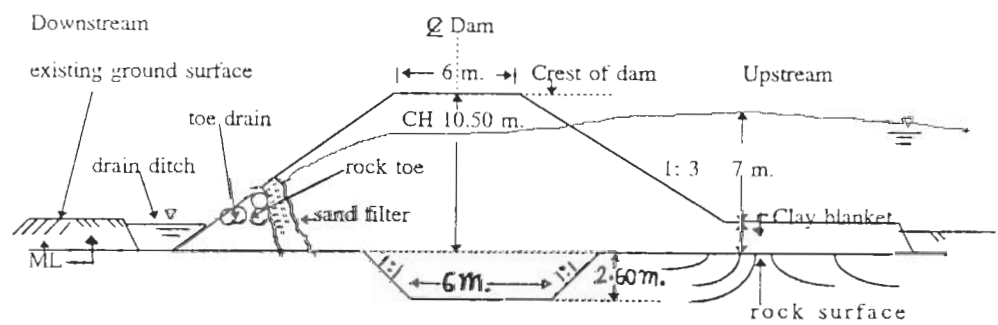
อุปกรณ์และวิธีการ

จากข้อมูลผลการดำเนินการเจาะสำรวจจุลทรรศน์ธรณีวิทยาฐานรากทำนบกั้น พบว่าลักษณะชั้นดินฐานรากในบริเวณตั้งแต่ฐานยันฝั่งซ้าย (left abutment) และฐานยันฝั่งขวา (right abutment) ส่วนใหญ่เป็นดินตะกอนทรายและทรายปนตะกอน (ML and SM : Sandy silt and silty sand) สภาพไม่แน่น (loose, N น้อยกว่า 10) และมีความหนาชั้นดินเพียง 2-3 เมตร สำหรับบริเวณลำห้วยพบว่าเป็นหินใหญ่กระจายระเจจ าลึกลงไปจากชั้นดินเป็นชั้นหินทรายแข็ง (slightly weathered sandstone) มีค่า R.Q.D 80-95 % มีอัตราการรั่วซึมของน้ำอยู่ระหว่าง 3.7×10^{-4} ถึง 5.18×10^{-6} ซม./วินาที ดังแสดงในรูปที่ 1

จากข้อมูลรูปแบบตัวทำนบกั้นสรุปได้ว่า เป็นทำนบกั้นที่เป็นเนื้อเดียวกันบดอัดด้วยดินกลุ่ม CH, ที่มีดินเหนียวพลาสติกสูง (high plastic clay) มีลาดเขื่อนด้านในอ่างเก็บน้ำเป็น 1:3 ที่เขื่อนด้านท้ายน้ำเป็น 1:2.5 มีทรายกรองน้ำและหิน เป็นส่วนเริ่มต้นของทางระบายน้ำ และเป็นบริเวณที่รวบรวมน้ำซึ่งไหลผ่านตัวเขื่อนลงสู่ร่องระบายน้ำที่ท้ายทำนบกั้นบริเวณส่วนที่ลึกที่สุดของทำนบกั้นการขุดเปิดหินใหญ่หึ่งเป็นความลึก 2.60 เมตร กว้าง 6 เมตร ยาว 8 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 จากการทดสอบดินบดอัดแน่นตัวทำนบกั้นมีค่าการรั่วซึมอยู่ระหว่าง 1.87×10^{-6} ถึง 3.21×10^{-7} ซม./วินาที



รูปที่ 1 แสดงลักษณะชั้นดิน-หินฐานรากทำนบดิน



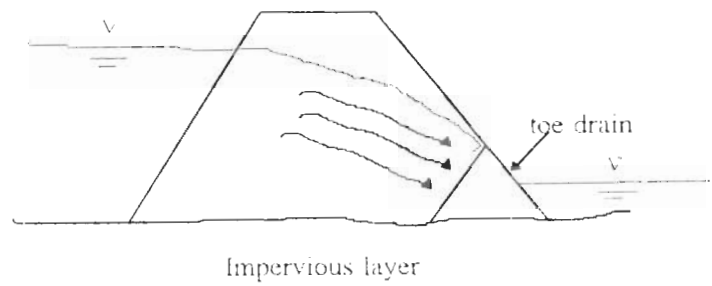
Symbols :

ML = fine sandy silt, loose.

CH = high plastic clay, stiff

รูปที่ 2 แสดงรูปแบบตัวทำนบดิน

ตามหลักการวิเคราะห์การไหลซึมและการไหลทั้งหมดผ่านตัวกันดิน (Holtz และ Kovacs, 1981) รูปแบบการไหลของน้ำผ่านตัวกันดินที่ชั้นดินฐานรากมีความตื้นน้ำ แนวการไหลในตัวกันดินจะไปบรรจบรวมกันที่ส่วนเริ่มต้นของทางระบายน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 flow line ในตัวกันดิน



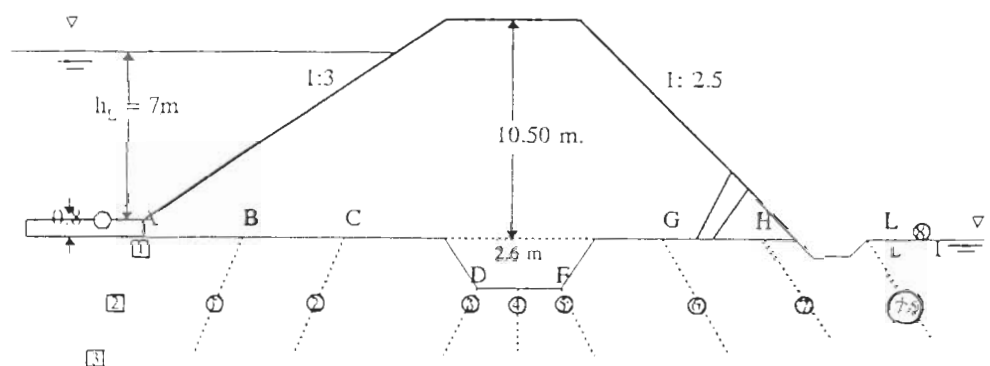
รูปที่ 4 แสดงบริเวณที่ราบด้านท้ายตัวกันดินมีน้ำเจิ่งนอง

แต่จากการขุดเปิดส่วนเริ่มต้นของทางระบายน้ำบริเวณที่เป็นหินลงไปที่มีความลึก 0.80 เมตร จนถึงหน้าหินไม่ปรากฏว่ามีน้ำผ่านเข้ามาในช่องที่ขุดไว้ แต่ปรากฏว่ามีน้ำซึมขึ้นมาบริเวณกันบ่ออย่างช้าๆ และนอกจากนี้ยังพบว่า บริเวณพื้นรางคอนกรีตของร่องระบายน้ำที่ตรงรอยต่อ พบว่ามีน้ำซึมขึ้นมาในลักษณะฟุด (boiling) วัดระดับหัวน้ำได้ 1 ซม. และในบริเวณที่ราบเมื่อได้ดำเนินการขุดเปิดเช่นเดียวกันกับวิธีตรวจสอบที่ส่วนเริ่มต้นของทางระบายน้ำก็ปรากฏว่า มีน้ำซึมขึ้นมาวัดความลึกของน้ำจากกันบ่อ (บริเวณหน้าหิน) ได้ 0.40 เมตร ในบริเวณที่ราบนี้มีปัญหาดินอ่อนตัวเป็นความกว้าง 7 ม. เป็นความยาวตามแนวร่องระบายน้ำได้ 20 เมตร

การวิเคราะห์การรั่วซึมผ่านชั้นหินฐานราก

วิธีการวิเคราะห์

จากหลักการของ Holtz และ Kovacs ภายใต้สมมติฐานที่ดินจะต้องมีคุณสมบัติเท่ากันในทุกทิศทาง



$$\text{head drop, } \Delta h = \frac{h_L}{N_D} = \frac{7}{8} = 0.875 \text{ เมตร}$$

$$\begin{aligned} \text{pressure head at A, } h_A &= h_L - \Delta h \cdot N_{D,A} - 0.8 \\ &= 7 - (0.875)(0) - 0.8 = 6.2 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{pressure head at B, } h_B &= h_L - \Delta h \cdot N_{D,B} \\ &= 7 - (0.875)(1) = 6.125 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

pressure head at C, $h_C = h_L - \Delta h \cdot N_{D,C}$

$$= 7 - (0.875)(2) = 5.25 \text{ เมตร}$$

pressure head at D, $h_D = h_L - \Delta h \cdot N_{D,D} + \text{cut-off trench depth}$

$$= 7 - (0.875)(3) + 2.6 = 6.975 \text{ เมตร}$$

pressure head at E, $h_E = h_L - \Delta h \cdot N_{D,E} + \text{cut-off trench depth}$

$$= 7 - (0.875)(4) + 2.6 = 6.10 \text{ เมตร}$$

pressure head at F, $h_F = h_L - \Delta h \cdot N_{D,F} + \text{cut-off trench depth}$

$$= 7 - (0.875)(5) + 2.6 = 5.225 \text{ เมตร}$$

pressure head at G, $h_G = h_L - \Delta h \cdot N_{D,G}$

$$= 7 - (0.875)(6) = 1.75 \text{ เมตร}$$

pressure head at H, $h_H = h_L - \Delta h \cdot N_{D,H}$

$$= 7 - (0.875)(7) = 0.875 \text{ เมตร} \quad (1)$$

pressure head at I, $h_I = h_L - \Delta h \cdot N_{D,I}$

$$= 7 - (0.875)(8) = 0 \text{ เมตร}$$

Seepage loss under the dam, $q = k \frac{L}{N_D} N_f (\text{dam length})$

$$= (3.7 \times 10^{-5}) \left(\frac{7}{8} \right) (3) (210 \times 10^{-2})$$

$$= 2.04 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$= 17.60 \text{ m}^3/\text{day} \quad (2)$$

Determine factor of safety against piping (Das, 1985)

$$i_{\text{exit}} = \frac{h_L}{L} = \frac{0.4}{0.5} = 0.8$$

เมื่อ

$$L = \text{ความหนาของ sandy silt ที่พื้นราบ}$$

ดังนั้นหน่วยน้ำหนักประสิทธิภาพ (effective unit weight), $r' = 1.6 \text{ ton/m}^3$ (ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ)

$$i_{critical} = \frac{r'}{r_w} = \frac{1.6}{1} = 1.6$$

$$Factor\ of\ Safety = \frac{i_{critical}}{i_{exit}} = \frac{1.6}{0.8} = 2.0 \quad (3)$$

สรุปผลการวิเคราะห์ และวิจารณ์

1. จากการวิเคราะห์คำนวณหัวความดัน (pressure head) ที่จุด H ซึ่งเป็นบริเวณจุดเริ่มต้นของทางระบายน้ำพบว่าต้องมีระดับหัวน้ำถึง 0.875 เมตร แต่จากการขุดเปิดบริเวณส่วนเริ่มต้นของทางระบายน้ำพบว่า ในระดับใต้พื้นจะมีชั้นดินถมบดอัดแน่นเป็นความหนา 0.80 ม. จึงพบหน้าหินและปรากฏว่าน้ำซึมขึ้นอย่างช้าๆ ตรวจวัดระดับน้ำพบว่า มีระดับอยู่ที่พื้นส่วนเริ่มต้นของทางระบายน้ำ ดังนั้น ประเด็นนี้จึงทำให้เห็นได้ว่าส่วนเริ่มต้นของทางระบายน้ำ อยู่ในระดับที่สูงเกินกว่าที่หัวความดันของน้ำจะเข้าสู่ส่วนเริ่มต้นของทางระบายน้ำได้ ซึ่งถ้าหากส่วนเริ่มต้นของทางระบายน้ำกำหนดไว้ที่ระดับหน้าหินแล้ว น้ำที่ไหลผ่านชั้นหินฐานรากจะผลัดตัวเข้าสู่ส่วนเริ่มต้นของทางระบายน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ และการตรวจสอบในสภาพสนาม
2. จากการวิเคราะห์คำนวณหัวความดันที่จุด L ซึ่งเป็นบริเวณที่ราบข้างเคียงร่องน้ำพบว่าต้องมีระดับหัวน้ำถึง 0.4375 เมตร จากการขุดเปิดเป็นบ่อตรวจสอบลักษณะชั้นดินพบว่า ในบริเวณที่ราบนี้มีสภาพเป็นดินตะกอนทราย (ML) สภาพไม่แน่นและอิ่มตัวด้วยน้ำ เมื่อขุดลึกลงไปจนพบหน้าหินที่กั้นบ่อพบว่ามีความลึกของน้ำได้ 0.40 เมตร จะเห็นได้จากการตรวจสอบสภาพจริงได้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์คำนวณ
3. ในบริเวณพื้นที่ราบมีน้ำเจิ่งนองไม่ปรากฏการผุดของน้ำ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าความลาดเอียงที่ทางออก (exit gradient) ที่เกิดขึ้นมีขนาดเป็น 0.80 ในขณะที่การผุดของน้ำในบริเวณนี้จะเกิดขึ้นได้ต้องมีค่าความลาดเอียงจนถึงจุดวิกฤต หรือมีค่าความลาดเอียงวิกฤตเป็น 1.60 ดังนั้นในสภาพดินตะกอนทรายที่มีสภาพไม่แน่นนี้ หรือมีค่าหน่วยน้ำหนักประสิทธิผลเท่ากับ 1.6 ตัน/ลบ.เมตร จากการคำนวณค่าตัวประกอบความปลอดภัยพบว่ามีความเท่ากับ 2 (ดังแสดงในสมการที่ (3)) ดังนั้นความปลอดภัยจึงยังคงอยู่ในระดับหนึ่งเท่านั้น
4. จากการวิเคราะห์คำนวณการรั่วซึมผ่านชั้นหินฐานราก พบว่ามีปริมาณ 17.60 ลบ.เมตร/วัน (ดังแสดงในสมการที่ (2)) หรือในหนึ่งเดือนจะมีปริมาณน้ำไหลซึมผ่านหินฐานรากถึง 528 ลบ.เมตร เมื่อตรวจสอบเปรียบเทียบกับสถิติข้อมูลความจุของอ่างเก็บน้ำ

ในระดับเก็บกักที่เท่ากัน พบว่าสอดคล้องกับปริมาณน้ำที่ลดลงไปซึ่งตรวจวัดระดับจากมาตรวัดระดับน้ำ

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การไหลซึมผ่านชั้นหินฐานรากตลอดใต้ทำนบดินและไปออกสู่พื้นที่ราบด้านท้ายทำนบดินมีหลักการสนับสนุนเพิ่มเติมโดย Lambe และ Whitman (1979) ได้กล่าวไว้ว่าการไหลของน้ำผ่านชั้นดิน-หินฐานราก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่น้ำไหลออกมีค่าความลาดเอียงที่ทางออก ณ ตำแหน่งใดก็ได้และมีปริมาณเท่าใดก็ได้ ขนาดโครงสร้างทำนบดินต้องมีน้ำหนัก และครอบคลุมค่าความลาดเอียงที่ทางออกที่เกิดขึ้น สำหรับในบริเวณพื้นราบที่มีดินชั้นบนเป็นตะกอนทรายมีหน่วยน้ำหนักอยู่ในระดับหนึ่ง การปรับเปลี่ยนให้ชั้นดินบริเวณนี้เป็นโครงสร้างทำนบดินเพิ่มเติมเพื่อยืนยันค่าความลาดเอียงที่ทางออกที่เกิดขึ้น ก็ย่อมสร้างความมั่นคงให้แก่ตัวทำนบดิน และยังเป็นการช่วยเพิ่ม creep length ของการเดินของน้ำให้ยาวออกไปด้วย (Das, 1985)

แนวทางแก้ไข

การรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นหินฐานราก เป็นพฤติกรรมโดยปกติของการไหลโดยชั้นหินฐานรากปราศจากการปรับปรุงด้วยวิธีการใดๆ การรั่วซึมที่เกิดขึ้นเป็นไปแบบราบเรียบ การกัดพาดดินบดอัดบริเวณฐานทำนบดิน ก็ย่อมเป็นผลตามมา ในขณะที่ทำการตรวจสอบไม่ปรากฏว่าความผิดปกติของตัวทำนบ การดำเนินงานแก้ไข จึงอาศัยหลักการป้องกัน การกัดเซาะในลักษณะ back scouring บริเวณผิวสัมผัสระหว่างหน้าหินกับดินตะกอนทราย และดินถมบดอัดแน่นตัวทำนบ อันจะก่อให้เกิดรูโพรง (pipe) ในภายหลัง ด้วยการขุดลอกดินตะกอนทรายในบริเวณที่ราบออกจนถึงหน้าหิน ทำการควบคุมการไหลซึมของน้ำจากหินด้วย กรวดและทรายกรองน้ำจัดวางเป็นชั้นมีความหนา 0.15 เมตร มีทิศทางไปยังลำห้วย จากนั้นทำการบดอัดกลับด้วยดินลูกรัง

บรรณานุกรม

1. Das, B.M. **"Advanced Soil Mechanics"**. 1st printing. McGraw-Hill Book Company. New York. USA. 511p., 1985.
2. Holtz, R.D. and W.D. Kovacs. **"An Introduction to Geotechnical Engineering"**. Prentice-Hall. Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. USA. 733 p., 1981.
3. Lambe, T.W. and R.V. Whitman. **"Soil Mechanics"**, SI Version. John Wiley & Sons, Singapore. 553 p., 1979.