

PHÂN TÍCH DÒNG THẨM VÀ ỔN ĐỊNH THẨM TRONG ĐẬP ĐẤT ANALYSIS OF SEEPAGE AND FILTRATION STABILITY OF AN EARTHFILL DAM

Trần Xuân Thọ

Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

BẢN TÓM TẮT

Bài báo tập trung nghiên cứu thẩm trong một đập đất trên nền đá có tính thấm lớn được xử lý chống thấm bằng phun xít xi măng. Những đặc trưng của dòng thấm được phân tích tính toán bằng phương pháp phân tử hữu hạn và thí nghiệm hiện trường thể hiện bởi phương pháp pha loãng dung dịch muối trong một hố khoan. Vận tốc ngang của dòng thấm sẽ được kiểm tra để đánh giá về ổn định thẩm của đập.

ABSTRACT

This paper is dedicated to study the seepage through an earthfill dam on the pervious rock foundation treated by grout curtains. Seepage characteristics and groundwater flow are investigated, using numerical method and in-situ measurement performed by one-borehole tracer methods. Filtration velocities of groundwater flow are verified to assess the filtration stability of the dam.

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Phá hoại của đập đất thường xảy ra do quá trình thẩm gây nên. Dòng thấm qua thân đập và nền có khả năng gây nên xói mòn tạo thành những kênh nhỏ trong đất. Những kênh này từ phía chân đập sẽ phát triển ngược về phía mặt trước của đập và sẽ gây sụp đổ đập.

Thẩm trong đập cần phải được kiểm tra mực nước trong thân đập, vận tốc của dòng chảy và lưu lượng thấm qua đập để đánh giá ổn định của đập. Do vậy, những vấn đề thẩm và ổn định thẩm của đập cần phải được phân tích kỹ khi xây dựng đập.

Sự ổn định thẩm của đập Liptovská Mara ở Slovakia đã được đề cập khi các tiêu chuẩn của vùng phun xít xi măng dưới nền đá có tính thấm lớn đã không đạt được theo yêu cầu thiết kế. Do vậy phun xít xi măng lần hai đã phải tiến hành để đảm bảo điều kiện ổn định thẩm của đập.

Bài báo tập trung phân tích những đặc tính của dòng thấm trong đập và nền bằng phương pháp phân tử hữu hạn và thí nghiệm hiện trường, từ đó đánh giá ổn định thẩm của đập.

2 CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Ổn định thẩm của đập được đánh giá bởi sự xói mòn: xói mòn các phân tử hạt mịn, xói mòn bởi các mặt tiếp xúc giữa các lớp đất và sự phá hủy các phân tử hạt mịn. Trong đó xói mòn các phân tử hạt mịn đóng vai trò quan trọng quyết định đến tính ổn định thẩm của đập. Ổn định thẩm được đánh giá qua vận tốc thẩm của dòng chảy khi vượt qua giá trị tới hạn của nó.

Vận tốc thẩm tới hạn ($v_{ip,crit}$) gây xói mòn các phân tử hạt mịn được xác định:

- Theo Patrashev:

$$v_{ip,crit} = 0,6 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right) [0,82 - 1,8n + 0,0062(C_u - 5)] \sin \left(30^\circ + \frac{\theta}{8} \right) d_p \sqrt{\frac{n g k}{\nu}} \quad (1)$$

Trong đó: γ_s và γ_w là trọng lượng riêng của đất và nước; n là độ rỗng; θ là góc giữa vector dòng thấm và lực trọng trường; ν là độ nhớt kinematic; g là gia tốc trọng trường; k là hệ số thấm.

- Theo phương pháp VODGEO:

$$v_{ip,crit} = 0,0125 n \sqrt[3]{d_{25}} \quad (2)$$

Trong đó d_{25} là đường kính cỡ hạt mà những hạt có đường kính nhỏ hơn hoặc bằng nó chiếm 25%.

- Theo Sichardt:

$$v_{ip.crit} = \frac{\sqrt{k}}{15} \quad (3)$$

- Theo Tavoda:

$$v_{ip.crit} = 0,041 \sqrt[3]{k} \quad (4)$$

- Theo Busch và Luckner:

$$v_{ip.crit} = 0,6 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right) [0,82 - 1,8n + 0,0062(C_u - 5)] \sin \left(30^\circ + \frac{\theta}{8} \right) \sqrt{\frac{n g d_s^2 k}{v}} \quad (5)$$

trong đó d_s là đường kính hạt cát xác định

$$d_s = 0,243 \sqrt[6]{d_{60} d_{10} d_{17}} \quad (6)$$

- Theo Cistin:

$$v_{ip.crit} = \frac{n^3 (\gamma_s - \gamma_w) d_{17}}{162 (1 - n)} \quad (7)$$

- Theo Minc và Subert:

$$v_{ip.crit} = \frac{0,169}{\eta^{0,54}} \left[\frac{(2C_u - 2) d_{10}}{\ln \frac{1,8C_u - 0,8}{1,2 - 0,2C_u}} \right]^{1,31} \quad (8)$$

Trong đó η là độ nhớt động học của nước và C_u là hệ số đồng nhất.

- Hulla và T. X. Thọ đã xây dựng giá trị vận tốc thấm tới hạn lớn nhất và nhỏ nhất:

$$v_{crit,min} = 0,032 k^{0,5} \quad (9)$$

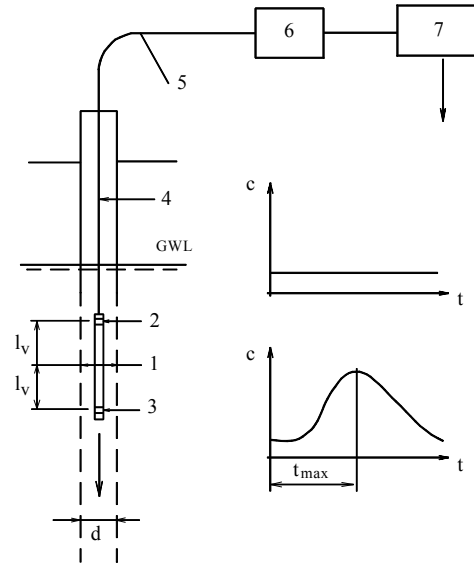
$$v_{crit,max} = 0,4 k^{0,45} \quad (10)$$

Khi vận tốc thấm nhỏ hơn $v_{crit,min}$ thì sẽ không làm di chuyển những phân tử hạt mịn; nằm trong giới hạn $v_{crit,min}$ và $v_{crit,max}$ thì sẽ làm di chuyển những phân tử hạt mịn; lớn hơn $v_{crit,max}$ thì sẽ gây xói mòn các phân tử hạt mịn và làm mất ổn định thấm.

3 PHƯƠNG PHÁP GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

Phần mềm Plaxis được thiết lập dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) được sử dụng để giải quyết vấn đề. Mục đích chính là phân tích và tính toán những đặc trưng của dòng thấm để đánh giá về ổn định thấm của đập.

Thí nghiệm hiện trường dựa trên phương pháp pha loãng dung dịch muối trong một hố khoan. Sơ đồ thí nghiệm được miêu tả ở Hình 1.



Hình 1: Sơ đồ thí nghiệm thấm trong một hố khoan

d : đường kính trong của ống hố khoan, l_v : chiều dài ống dò, c : hàm lượng dung dịch, t : thời gian, 1-3: ống dò, 4: nắp nối, 5: bộ điều khiển, 6: bộ chuyển số liệu vào máy tính, 7: máy tính và chương trình xử lý.

Lưu lượng theo phương đứng trong một hố khoan được xác định:

$$q_v = v_v A = v_v \frac{\pi(d^2 - d_s^2)}{4} = \frac{l_v}{t_d} \frac{\pi(d^2 - d_s^2)}{4} \quad (11)$$

Trong đó $v_v = l_v/t_d$ là vận tốc thấm theo phương đứng; l_v là chiều dài của ống dò (dài 0,5m); $t_d = 0,266 t_{max}^{1,474}$ là thời gian thấm thiết kế; t_{max} là thời gian thấm lớn nhất; A là mặt cắt ngang của ống thấm; d là đường kính trong của ống hố khoan; d_s là đường kính ngoài của ống dò.

Vận tốc thấm ngang trong vùng hố khoan được xác định:

$$v_f = \frac{\Delta q_v}{\bar{\alpha} d \Delta h} \quad (12)$$

Trong đó Δq_v là gia tăng hay giảm thiểu của lưu lượng theo phương đứng trong một phần hố khoan với chiều cao Δh ; $\bar{\alpha}$ là hệ số thoát nước hố khoan cho dòng thẳng đứng ($\bar{\alpha} \cong 20$).

Giá trị vận tốc thấm ngang trong một hố khoan được xác định:

$$\bar{v}_f = \frac{\sum v_f \Delta h}{\sum \Delta h} \quad (13)$$

Cho những hố khoan với mực nước sâu, lưu lượng theo phương đứng trước tiên sẽ được ghi nhận và vận tốc thấm ngang sẽ được tính toán.

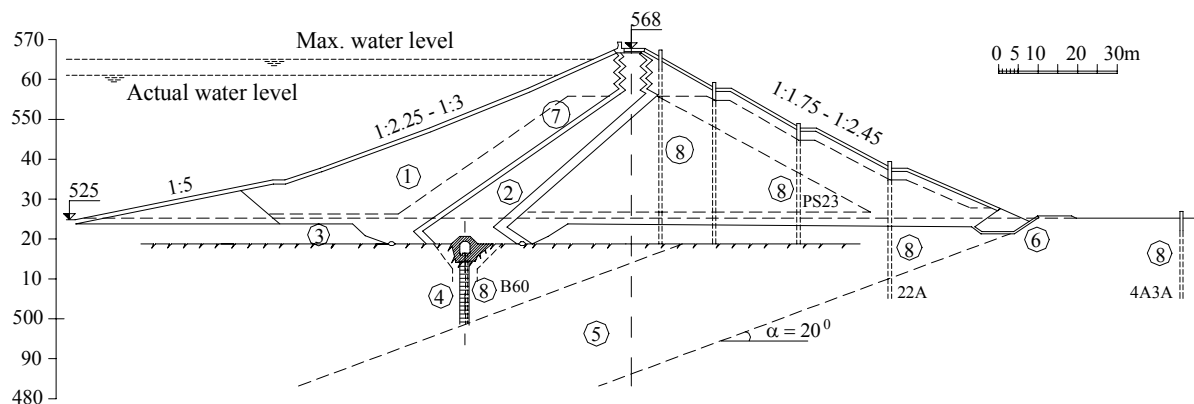
Cho những hố khoan với mực nước cạn, dung dịch muối NaCl được sử dụng và vận tốc thấm ngang được xác định trực tiếp:

$$v_f = \frac{\pi d}{4 \alpha t} \ln \frac{c_0 - c_n}{c - c_n} \quad (14)$$

Trong đó α là hệ số ảnh hưởng của thoát nước trong hố khoan ($\alpha \cong 2$); c_0 là hàm lượng dung dịch ban đầu; c là hàm lượng dung dịch tại thời điểm t , c_n là hàm lượng dung dịch tự nhiên.

4 MÔ PHỎNG BÀI TOÁN

Đập Liptovská Mara là đập đất không đồng



Hình 2: Mặt cắt ngang của đập Liptovská Mara

(1) thân đập, (2) lõi đất sét, (3) mặt đất nền, (4) màng chống thấm bằng vữa xi măng, (5) các lớp đá với góc nghiêng 20° , (6) chân thoát nước, (7) vùng lọc, (8) các hố khoan thí nghiệm

nhất, cao 52m, đỉnh đập dài 1225m. Nền đập là những lớp đá với góc nghiêng 20° có tính thấm lớn được xử lý bằng phun vữa xi măng tới độ sâu 20m. Tất cả những thông số của đập được miêu tả ở Hình 2.

Đập được mô phỏng như bài toán biến dạng 2 chiều. Màn chắn bằng vữa xi măng được mô phỏng bằng phần tử đất và dầm kết hợp.

Các thông số hệ số thấm của thân đập $k_1 = 5 \times 10^{-3}$ m/s, của lõi sét $k_2 = 1 \times 10^{-8}$ m/s, của lớp đất mặt $k_3 = 3.5 \times 10^{-3}$ m/s, của màn chống thấm bằng phun vữa xi măng $k_4 = 8 \times 10^{-8}$ m/s (từ mặt đất đến độ sâu 10m) và 3×10^{-7} m/s (tại độ sâu từ 10m đến 20m), của nền đá $k_5 = 3 \times 10^{-6} \div 5 \times 10^{-7}$ m/s, của chân thoát nước $k_6 = 1 \times 10^{-2}$ m/s. Toàn bộ điều kiện thực của đập được đưa vào để phân tích để đánh giá và so sánh với kết quả thí nghiệm hiện trường.

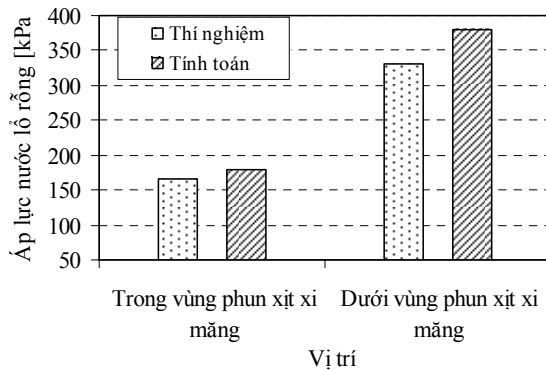
5 KẾT QUẢ PHÂN TÍCH

5.1 Áp lực nước lỗ rỗng

Áp lực nước lỗ rỗng ở trong lõi đất sét rất nhỏ nên không thể gây nên phá hoại trong lõi đập cũng như thân đập. Lõi đập đóng vai trò quan trọng làm giảm áp lực nước lỗ rỗng và làm hạ mực nước ngầm phía sau lưng đập. Giá trị trung bình tính toán của áp lực nước lỗ rỗng là 180 kPa ở trong vùng phun vữa xi măng và 380 kPa ở phía dưới vùng phun vữa xi măng.

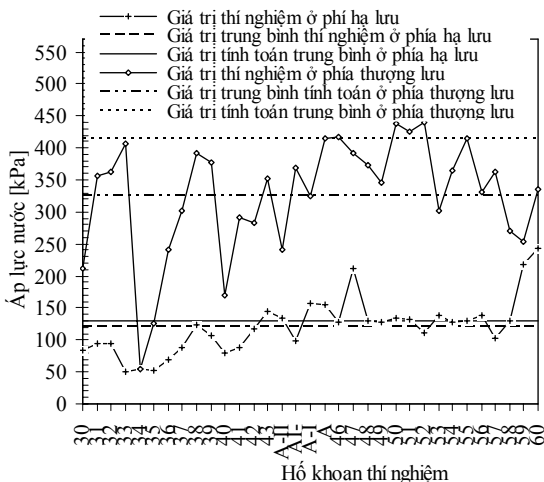
Thí nghiệm đo áp lực nước trong nền được tiến hành trong điều kiện vẫn còn đóng các đầu của hố khoan. Tuy nhiên các điều kiện đóng kín cũng không đảm bảo hoàn toàn. Giá trị áp lực nước lỗ rỗng trung bình đo được là 167 kPa trong vùng phun xít xi măng và 330 kPa ở dưới vùng phun xít xi măng.

Kết quả trung bình cuối cùng được so sánh ở Hình 3.



Hình 3: Kết quả tính toán và đo áp lực nước lỗ rỗng trong và dưới vùng phun xít xi măng

Giá trị áp lực nước lỗ rỗng ngay tại dưới mặt nền của hầm thăm dò tính toán được 130kPa ở phía hạ lưu đập và 415 kPa ở phía thượng lưu đập. Áp lực nước được đo từ các vị trí 30 đến 60. Giá trị đo được lấy trung bình là 121 kPa ở phía hạ lưu đập và 325,4 kPa ở phía thượng lưu đập. Kết quả so sánh được trình bày ở Hình 4.



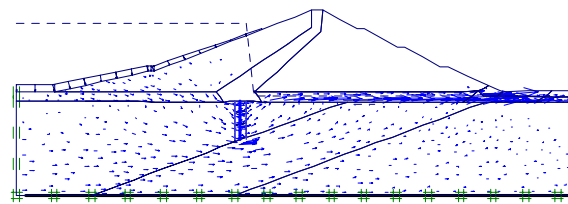
Hình 4: Kết quả thí nghiệm và tính toán áp lực nước trong các hố khoan ở thân đập - nền

Một số piezometer cho kết quả áp lực nước lỗ

rỗng rất thấp có nghĩa là tại những vị trí hố khoan này có những liên kết rỗng tới nền hay đầu bít của hố khoan không được chặt làm giảm áp lực nước trong khi đo. Mặt khác lời giải từ phương pháp số cho kết quả lí tưởng trong khi thực tế thì áp lực nước có thể bị thất thoát. Tuy nhiên giá trị tính toán vẫn có thể chấp nhận được vì nó thiên về mặt an toàn cho công trình.

5.2 Dòng thấm

Dòng thấm qua đập và nền được trình bày ở Hình 5. Có thể nhận thấy rằng dòng thấm đi qua phía dưới màn chắn và di chuyển dọc theo các lớp đá nghiêng để ngược lên lớp đất mặt. Lớp đất mặt là sỏi có hệ số thấm lớn nên dòng chảy tập trung ở vùng này với vận tốc thấm ngang lớn. Dòng thấm qua chân màn chắn là nguyên nhân gây nên vận tốc thấm ngang lớn cũng như lưu lượng xuyên qua đập. Dòng thấm với vận tốc đủ lớn có thể làm các phân tử bụi hay cát bị cuốn trôi tạo thành những kênh trong lớp đất mặt. Các kênh này sẽ xuất phát từ chân đập phát triển ngược lên phía trước của đập. Hiện tượng xói mòn trong lớp đất này sẽ gây nên mất ổn định thấm trong đập.



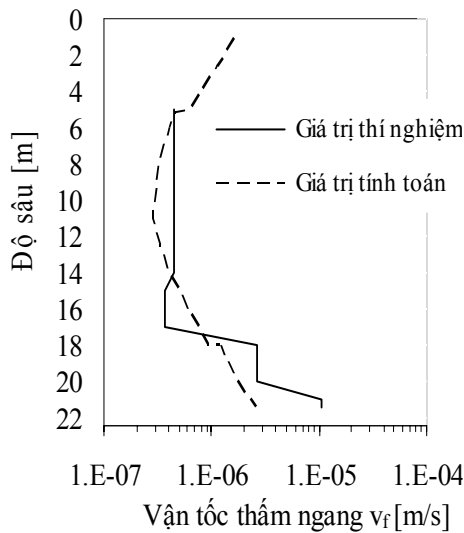
Hình 5: Dòng thấm trong đập và nền

Hình 6, 7, 8 và 9 cho thấy kết quả thí nghiệm và tính toán của vận tốc thấm ngang trong các hố khoan điển hình B60K, PS23, 22A và 4A3A. Giá trị tính toán nhỏ hơn giá trị thí nghiệm ở một vài hố khoan. Điều này chứng tỏ màng chống thấm có một vài nơi bị rỉ, tức hệ số thấm của vùng phun xít xi măng chưa đạt đúng chất lượng thiết kế. Mặt khác dòng thấm xuyên qua phía dưới màn chắn nhiều nên gây nên giá trị vận tốc thấm lớn trong vùng lớp đất mặt. Các lớp đá nghiêng cũng làm tăng vận tốc dòng thấm trong nền.

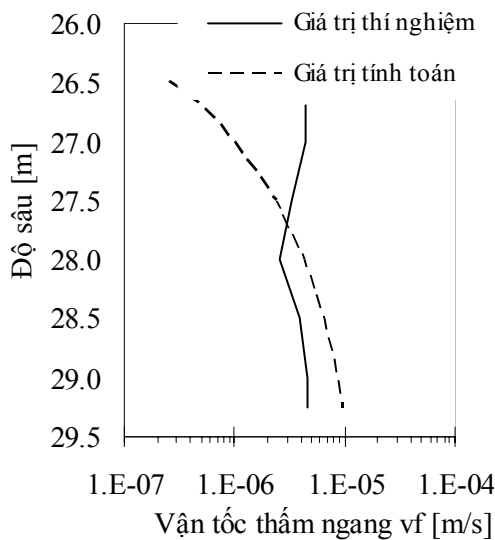
Toàn bộ lưu lượng xuyên qua đập đo được 18.47 l/s, trong khi đó giá trị tính toán là 29.07l/s. Tổng lưu lượng xuyên qua đập được ghi lại vào năm 1978 là 55 l/s. Với mực nước trong hồ chứa ở vị trí cao nhất thì lưu lượng tính được là 32.41 l/s.

Kết quả xác xuất của vận tốc thấm ngang được thiết lập bằng cách thống kê từ số liệu tính toán và thí nghiệm hiện trường trong các hố khoan. Hàm lũy tích của kết quả thí nghiệm và tính toán vận tốc thấm ngang được trình bày ở Hình 10.

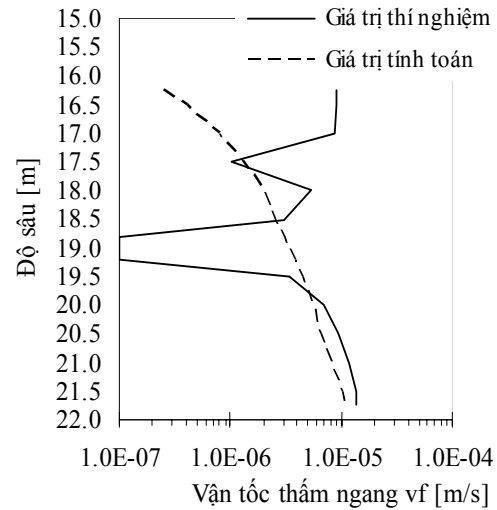
Xác xuất của kết quả thí nghiệm vào khoảng 20÷24% và 26÷28% cho kết quả tính toán. Từ hàm lũy tích, tỉ lệ của giá trị vận tốc thấm ngang và quá trình phát triển của vận tốc thấm ngang cũng sẽ được xác định.



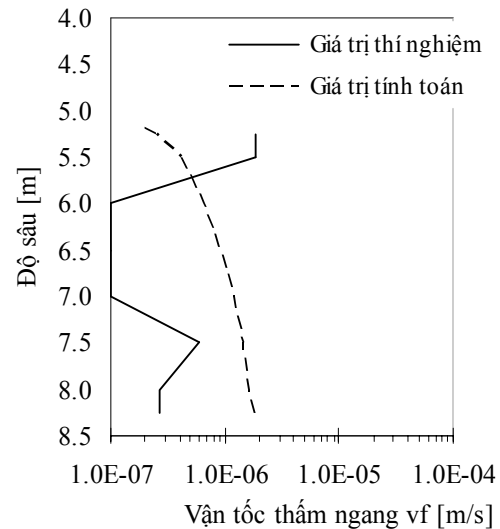
Hình 6: Kết quả thí nghiệm và tính toán của vận tốc thấm ngang trong hố khoan B60K



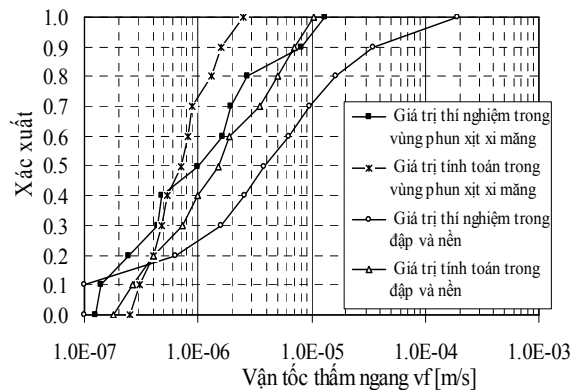
Hình 7: Kết quả thí nghiệm và tính toán của vận tốc thấm ngang trong hố khoan PS23



Hình 8: Kết quả thí nghiệm và tính toán của vận tốc thấm ngang trong hố khoan 22A



Hình 9: Kết quả thí nghiệm và tính toán của vận tốc thấm ngang trong hố khoan 4A3A

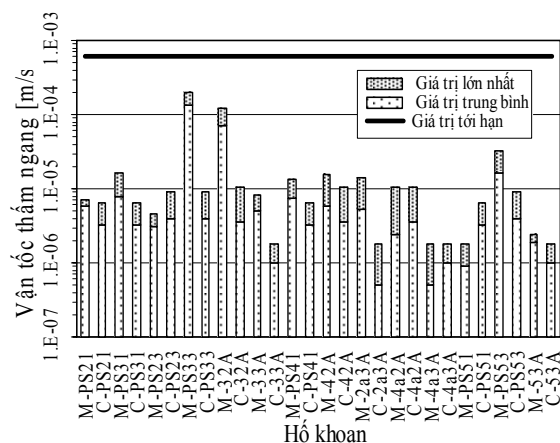


Hình 10: Hàm lũy tích của vận tốc thấm ngang trong vùng phun xịt xi măng và trong đập – nền

5.3 Ổn định thấm

Trong trường hợp cụ thể của đập Liptovská Mara, mất ổn định thấm chủ yếu là do hiện tượng xói mòn trong lớp đất mặt gây ra. Xói mòn có thể đánh giá bằng vận tốc thấm ngang tới hạn. Vận tốc thấm ngang tới hạn có thể làm di chuyển những phân tử hạt cát gây xói mòn là $6,0 \times 10^{-4}$ m/s.

Hình 11 cho thấy giá trị vận tốc thấm ngang tới hạn, trung bình và lớn nhất từ kết quả tính toán và thí nghiệm trong những hố khoan. Kết quả tính toán và thí nghiệm chênh lệch không đáng kể. Giá trị vận tốc thấm ngang lớn nhất nhỏ hơn vận tốc thấm ngang tới hạn $6,0 \times 10^{-4}$ m/s, do đó hiện tượng xói mòn sẽ khó xảy ra trong lớp đất mặt. Ổn định thấm của đập và nền cũng được đảm bảo.



Hình 11: Giá trị thí nghiệm và tính toán (tới hạn, trung bình và lớn nhất) của vận tốc thấm ngang để đánh giá ổn định thấm
M – Thí nghiệm, C – Tính toán

6 KẾT LUẬN

Thấm qua đập Liptovská Mara đã được phân tích bằng phương pháp phân tử hữu hạn và thí nghiệm hiện trường. Ổn định thấm trong các hố khoan thí nghiệm đã thỏa mãn yêu cầu do đó không làm mất ổn định của đập và nền.

Từ kết quả so sánh giữa giá trị tính toán và thí nghiệm cho thấy những đặc trưng thấm và ổn định thấm trong đập có thể tính toán bằng

phương pháp phân tử hữu hạn cho những vị trí không lắp đặt những hố khoan để thí nghiệm. Điều này sẽ tiết kiệm được chi phí cho việc thí nghiệm kiểm tra ổn định thấm trong đập.

Từ những phân tích dòng thấm trong đập và nền cho thấy rằng màn chống thấm bằng phun xi măng đóng vai trò rất quan trọng trong việc ngăn cản và làm giảm dòng thấm qua đập và nền. Hệ số thấm của vùng phun xi măng là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến dòng thấm cũng như ổn định thấm trong đập.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bednárová E., Grambličková D. 2001. *Monitoring grout curtains in the subsoil of Slovak dams*, Slovak Journal of Civil Engineering, Bratislava, Vol. IX/3, pp 40-47.
2. Goldin A. L. & Rasskazov L. N. 1992. *Design of Earth Dams*. A.A.BALKEMA/ ROTTERDAM/ BROOKFIELD. 328 p.
3. Hulla J., Bednárová E. et al. 1998. *Tracer methods for groundwater flow and pollution transport characterization*. Proc. of the 1st Int. Conf. on Geotechnical Site Characterization. ISC'98-Atlanta-Georgia-USA, pp 693-698.
4. Hulla J., Bednárová E. & Sulovská M. 1999. *Groundwater flow in the subsoil of selected Slovakian dams*. Slovak Geol. Mag.. Bratislava, Vol.1-2, pp 141-151.
5. Hulla J., Tran X. Tho, et al. 2002. *Analysis of seepage through the dam and its foundation of the Liptovská Mara dam*. Project report, Department of Geotechnics, STU Bratislava, 169 p.
6. Kutzner C. 1997. *Earth and Rockfill Dams – Principles of design and construction*. A.A.BALKEMA/ ROTTERDAM/ BROOKFIELD. 333p.
7. Tran X. Tho. 2001-2004. *Stability problems of earthfill dams*. Doctoral Dissertation, Slovak University of Technology, Bratislava, Slovak Republic, 160 p.
8. Tran X. Tho (2004): *Seepage analysis of an earthfill dam*. Proc. of the 15th Southeast Asian Geotechnical Conference – SEAGC 15, Bangkok, Thailand, pp 361-366.