

PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH THẨM TRONG ĐẬP ĐẤT CÓ XỬ LÝ TƯỜNG CHỐNG THẨM

TS. Trần Xuân Thọ, TS. Đỗ Thanh Hải

Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Trường Đại học Bách khoa Tp. HCM

Tóm tắt Bài báo tập trung nghiên cứu tính thẩm trong một đập đất trên nền đá có tính thẩm lớn được xử lý bằng phun xít xi măng tạo thành tường chống thấm. Những đặc trưng của dòng thấm được phân tích 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. Những thông số nghiên cứu về hệ số thẩm của tường chống thấm được phân tích và cũng là nhân tố quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến dòng thấm và ổn định thẩm của đập.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phá hoại của đập đất có thể xảy ra do quá trình thẩm gây nên. Dòng thấm qua thân đập và nền có khả năng gây nên xói ngầm 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. Cần phải được kiểm tra mực nước bão hòa 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.

Một trong những biện pháp hữu hiệu để làm giảm dòng thấm qua đập là tạo một màn chắn trong nền bằng phun vữa xi măng mác cao với áp lực lớn. Hiệu quả của màn chắn phụ thuộc chủ yếu vào hệ số thẩm và độ sâu của vùng phun xít xi măng.

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 thẩm lớn đã không đạt được theo yêu cầu thiết kế. Do vậy giải pháp phun xít xi măng đã phải tiến hành lần 2 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. Các thông số nghiên cứu ảnh hưởng của tường chống thấm (màn chắn) đến dòng thấm sẽ được phân tích thông qua hệ số thẩm của vùng phun xi măng.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT THÍ NGHIỆM

Ổn định thẩm của đập được đánh giá bởi sự xói ngầm: Xói ngầm các phân tử hạt mịn, xói ngầm bởi các mặt tiếp xúc giữa các lớp đất và sự phá hủy các phân tử hạt mịn. Trong đó xói ngầm các phân tử hạt mịn đóng vai trò quan

trọng quyết định đến tính ổn định thẩm của đập. Ổn định thẩm cần được đánh giá qua vận tốc thẩm của dòng chảy khi vượt qua giá trị tới hạn.

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.

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

$$q_v = v_v A = v_v \frac{\pi(d^2 - d_s^2)}{4} = \frac{l_v}{t_d} \frac{\pi(d^2 - d_s^2)}{4} \quad (1)$$

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

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

$$v_f = \frac{\Delta q_v}{\bar{\alpha} d \Delta h} \quad (2)$$

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 thẩm ngang trong một hố khoan được xác định

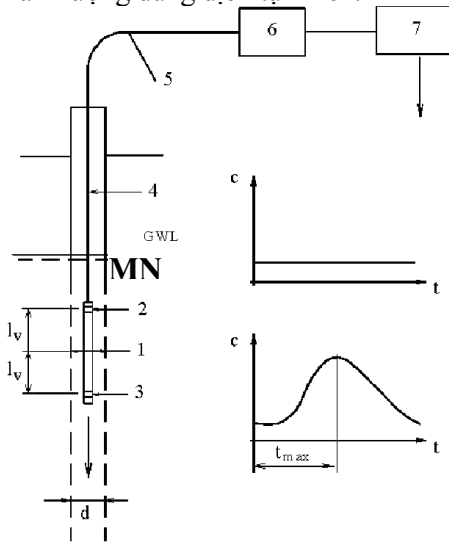
$$\bar{v}_f = \frac{\sum v_f \Delta h}{\sum \Delta h} \quad (3)$$

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

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

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.



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: cáp nối, 5: bộ điều khiển, 6: bộ chuyển số liệu vào máy tính, 7: máy tính và chương trình xử lý.

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.

Hulla và Trần Xuân Thọ đã xây dựng giá trị vận tốc thấm tới hạn lớn nhất ($v_{crit,max}$) và nhỏ nhất ($v_{crit,min}$):

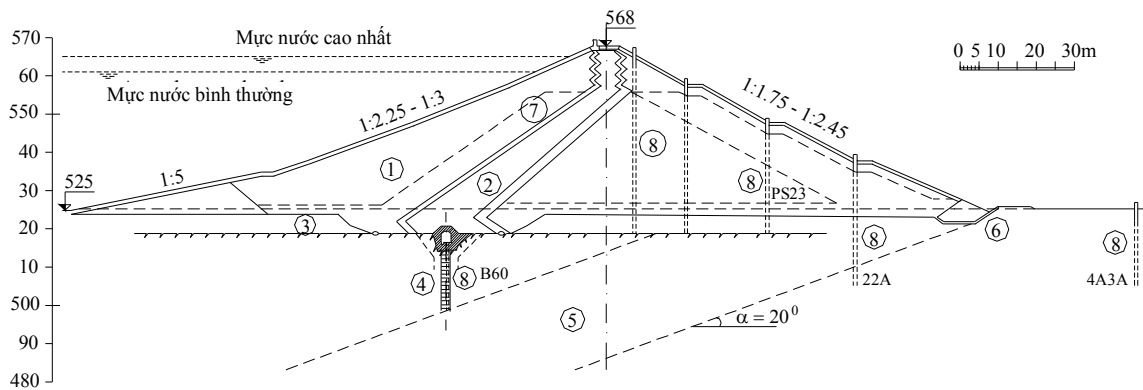
$$v_{crit,min} = 0,032 k^{0,5} \quad (5)$$

$$v_{crit,max} = 0,4 k^{0,45} \quad (6)$$

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 ngầm các phân tử hạt mịn và làm mất ổn định thấm.

3. MÔ TẢ CÔNG TRÌNH VÀ MÔ PHỎNG TÍNH TOÁN

Đập Liptovská Mara là đập đất không đồng 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 mô tả ở Hình 2.



Hình 2: Mặt cắt ngang của đập Liptovská Mara

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

Đập được mô phỏng như bài toán biến dạng 2 chiều. Tường chống thấm bằng vữa xi măng được mô phỏng bằng phân 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 tường 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 $k = 3 \times 10^{-6} \div 5 \times 10^{-7}$ m/s, của chân thoát nước $k = 1 \times 10^{-2}$ 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.

Hệ số thấm của tường chống thấm được mô phỏng tương ứng với những giá trị khác nhau 5×10^{-8} m/s, 1×10^{-7} m/s, 5×10^{-7} m/s, và 1×10^{-6} m/s. Mục đích là nghiên cứu ảnh hưởng của hệ số thấm của tường chống thấm đến dòng chảy trong thân đập và nền.

Phương pháp phân tử hữu hạn (FEM) thông

qua phần mềm Plaxis được sử dụng để mô phỏng và phân tích bài toán theo những điều kiện làm việc thực của công trình.

4. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ PHÂN TÍCH

4.1 Áp lực nước lỗ rỗng

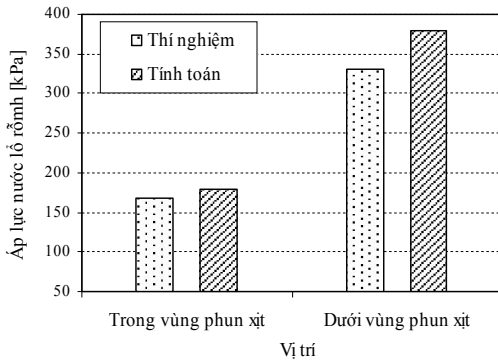
Áp lực nước lỗ rỗng ở trong lõi đất sét rất nhỏ nên không thể gây nên phá hoại trong lõi đập cũng như thân đập. Lõi đập đóng vai trò quan trọng làm giảm áp lực nước lỗ rỗng và làm hạ đường bão hòa phía sau lưng đập. Giá trị trung bình tính toán của áp lực nước lỗ rỗng là 180 kPa ở trong vùng phun xịt xi măng và 380 kPa ở phía dưới vùng phun xịt 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 xịt xi măng và 330 kPa ở dưới

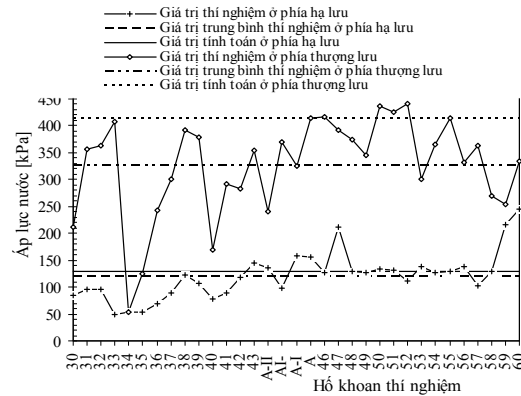
vùng phun xịt xi măng. Kết quả trung bình cuối cùng được so sánh ở Hình 3.

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 kPa đến 60 kPa. 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.

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 bịt 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.



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

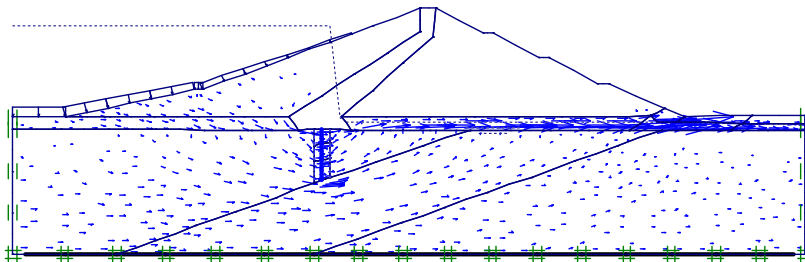


Hình 4: Kết quả thí nghiệm và tính toán áp lực nước trong các hố khoan ở thân đập - nền

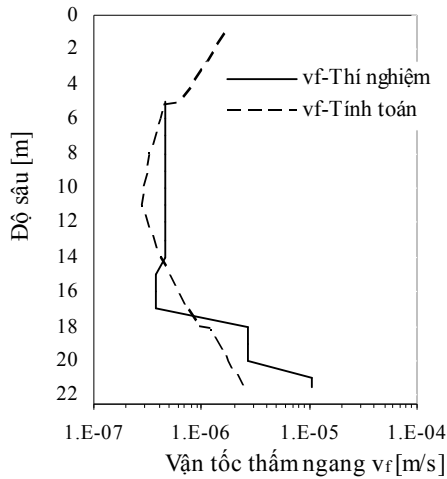
4.2 Dòng thấm

Dòng thấm qua đập và nền được trình bày ở Hình 5. Có thể nhận thấy rằng dòng thấm đi qua phía dưới tường 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 thấm là nguyên

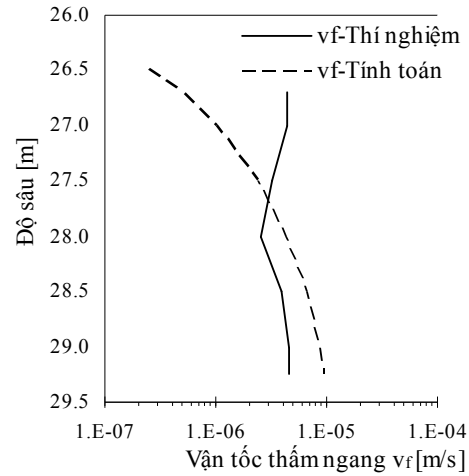
nhân gây nên vận tốc thấm ngang lớn cũng như lưu lượng xuyên qua đập. Dòng thấm với vận tốc đủ lớn có thể làm các phân tử bụi hay cát bị cuốn trôi tạo thành những kênh trong lớp đất mặt. Các kênh này sẽ xuất phát từ chân đập phát triển ngược lên phía trước của đập. Hiện tượng xói ngầm trong lớp đất này sẽ gây nên mất ổn định thấm trong đập.



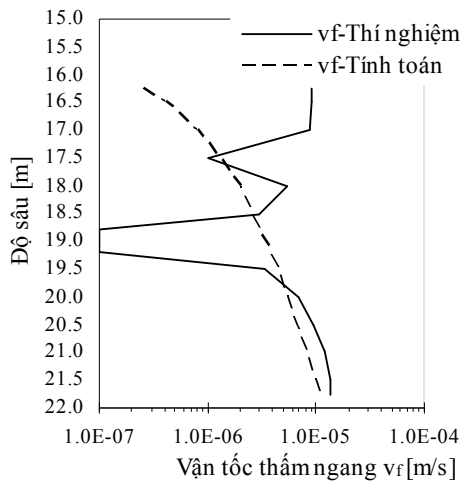
Hình 5: Dòng thấm trong đập và nền



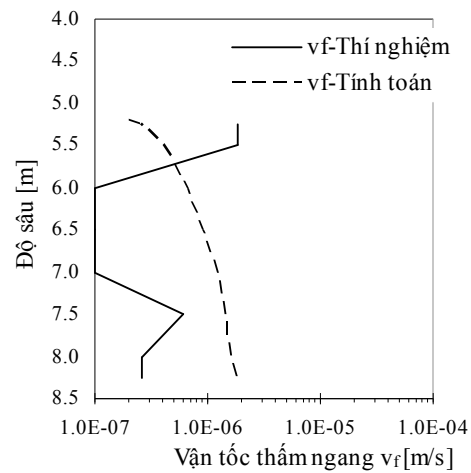
Hình 6: Kết quả thí nghiệm và tính toán của vận tốc thấm ngang trong hố khoan B60K



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

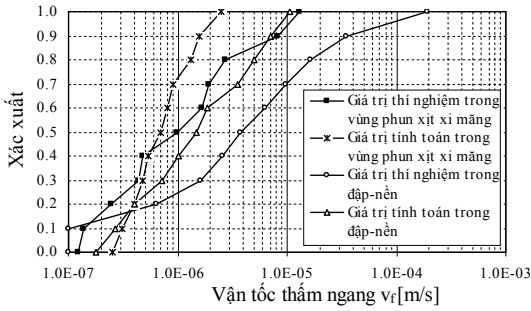
Hình 6, 7, 8 và 9 cho thấy kết quả thí nghiệm và tính toán của vận tốc thấm ngang trong các hố khoan điển hình B60K, PS23, 22A và 4A3A. Giá trị tính toán nhỏ hơn giá trị thí nghiệm ở một vài hố khoan. Điều này chứng tỏ tường chống thấm có một vài nơi bị rỉ, tức hệ số thấm của vùng phun xi măng chưa đạt đúng chất lượng thiết kế. Mặt khác dòng thấm xuyên qua phía dưới tường 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.

4.3. Ổn định thấm

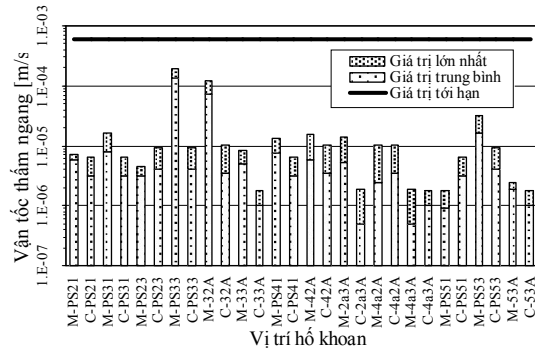
Kết quả xác suất của vận tốc thấm ngang được thiết lập bằng cách thống kê từ số liệu tính

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 suất 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.

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



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

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.

4.4. Ảnh hưởng của hệ số thấm của tường chống thấm đến dòng thấm

Hình 12 cho thấy dòng thấm ở dạng vector của 4 trường hợp phân tích ứng với hệ số thấm khác nhau của vùng phun xịt xi măng. Có thể thấy rằng với hệ số thấm của tường chống thấm nhỏ thì dòng thấm qua đập yếu, ngược lại với hệ số thấm lớn thì dòng thấm qua đập rất mạnh.

Khi hệ số thấm của vùng phun xịt xi măng lớn hơn 1×10^{-7} m/s, dòng thấm qua đập khá mạnh.

Từ kết quả tính toán ứng với hệ số thấm của tường chống thấm là $k = 5 \times 10^{-7}$ m/s thì hệ số thấm ngang lớn nhất đạt được là $4,1 \times 10^{-6}$ m/s, trong khi kết quả đo được là $1,3 \times 10^{-5}$ m/s. Tương tự giá trị vận tốc thấm ngang trung bình tính toán là $2,25 \times 10^{-6}$ m/s và thí nghiệm là $2,44 \times 10^{-6}$ m/s. Giá trị vận tốc thấm ngang tính toán trung bình nhỏ hơn kết quả thí nghiệm trong các hố khoan. Giá trị vận tốc thấm ngang lớn nhất tính toán được $1,7 \times 10^{-5}$ m/s, trong khi thí nghiệm được $1,94 \times 10^{-4}$ m/s. Giá trị vận tốc thấm ngang trung bình tính toán và thí nghiệm là $5,04 \times 10^{-6}$ m/s và $1,17 \times 10^{-5}$ m/s. Kết quả vận tốc thấm ngang tính toán và thí nghiệm được tóm tắt ở Bảng 1.

Bảng 1: Giá trị vận tốc thấm ngang tính toán v_f tương ứng với những hệ số thấm khác nhau của tường chống thấm

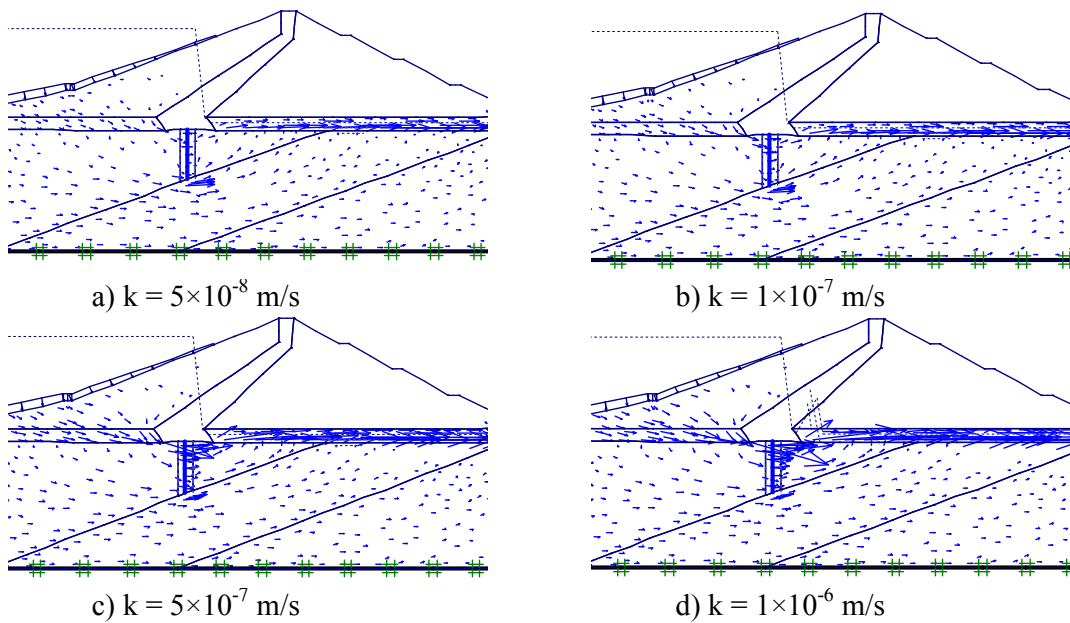
Hệ số thấm của tường (m/s)	Vận tốc thấm lớn nhất v_f (m/s)	Vận tốc thấm trung bình v_f (m/s)
5.0 E-8	8.70 E-6	1.48 E-6
1.0 E-7	1.05 E-5	2.11 E-6
5.0 E-7	1.70 E-5	4.11E-6
1.0 E-6	1.95 E-5	5.29 E-6

Khi hệ số thấm của tường chống thấm $k = 5 \times 10^{-7}$ m/s, giá trị vận tốc thấm ngang lớn nhất tính toán ở một số hố khoan vẫn nhỏ hơn giá trị thí nghiệm. Điều này chứng tỏ rằng ở đó đất không đồng nhất và có những phần tử hạt lớn nằm xung quanh làm cho dòng thấm mạnh hơn.

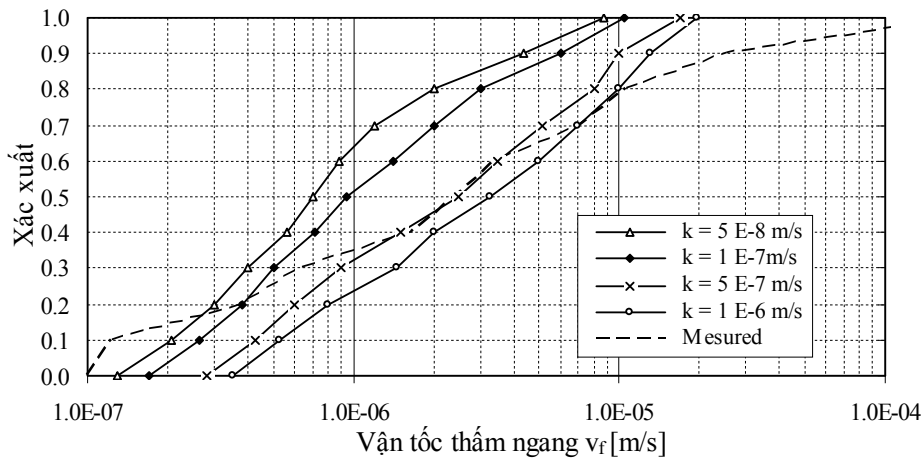
Hình 13 cho thấy kết quả thống kê dưới dạng hàm lũy tích của vận tốc thấm ngang của 4 trường hợp khác nhau của hệ số thấm của tường chống thấm. Hàm lũy tích của vận tốc thấm

ngang thí nghiệm nằm gần với vị trí của hàm lũy tích ứng với hệ số thấm của tường chống thấm $k = 5 \times 10^{-7}$ m/s ngoại trừ những giá trị thí nghiệm quá lớn và quá bé.

So sánh những kết quả vận tốc thấm ngang tính toán và thí nghiệm có thể nhận xét rằng hệ số thấm thực của vùng phun xịt xi măng là 5×10^{-7} m/s. Mặt khác hệ số thấm của các lớp đá phải lớn hơn 3×10^{-6} m/s và lớp đất mặt phải lớn hơn $3,5 \times 10^{-3}$ m/s.



Hình 12: Dòng thấm trong đập và nền tương ứng với những hệ số thấm k khác nhau của tường chống thấm



Hình 13: Hàm lũy tích của giá trị tính toán của vận tốc thấm ngang tương ứng với những hệ số thấm khác nhau của tường chống thấm

5. 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.

Hệ số thấm của vùng phun xi măng trong đập Liptovská Mara không nhỏ hơn 5×10^{-7} m/s trong khi yêu cầu thiết kế là 1×10^{-7} m/s. Điều này chứng tỏ rằng quá trình thi công phun xi măng đã không đảm bảo chất lượng.

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] 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.
- [3] 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.
- [4] Hulla J., 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.

Abstract

ANALYSIS OF SEEPAGE STABILITY OF AN EARTHFILL DAM TREATED BY GROUT CURTAINS

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 evaluate the filtration stability of the dam. Parametric studies on the permeability of the grout curtain are investigated and it is also the most important factor that mainly effects on the seepage control and the dam's filtration stability.