

MÔ HÌNH SỐ 2D ĐỂ ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG XÓI HẠT MỊN CỦA ĐẬP ĐẤT PHÚ VINH - QUẢNG BÌNH

A 2D NUMERICAL MODEL TO ASSESS THE SUFFUSION SUSCEPTIBILITY OF THE PHU VINH EARTH DAM - QUANG BINH

Lê Văn Thảo*

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng¹

*Tác giả liên hệ: lvthao@dut.udn.vn

(Nhận bài: 16/8/2021; Chấp nhận đăng: 20/9/2021)

Tóm tắt - Xói ngầm là một trong những nguyên nhân gây ra sự mất ổn định của những kết cấu đập thủy lực. Tiến trình xói ngầm có thể phân ra thành bốn loại: Xói rò rỉ, xói kéo theo, xói tiếp xúc và xói hạt mịn. Bài báo này đề cập đến vấn đề xói hạt mịn, tương ứng với tiến trình tách, vận chuyển và lọc của những thành phần hạt mịn vào trong không gian lỗ rỗng của những hạt thô. Xói hạt mịn được đánh giá thông qua chỉ số kháng xói. Nhờ vào phân tích thống kê đang tồn tại, chỉ số kháng xói được đánh giá từ một vài tham số của đất. Mục đích của bài báo là chỉ ra một phương pháp để đánh giá khả năng xói hạt mịn của đập đất dựa vào trường ngẫu nhiên. Minh họa số để đánh giá khả năng xói của đập đất Phú Vinh được trình bày ở bài báo này. Kết quả chỉ ra sự thay đổi trong không gian hai chiều của chỉ số kháng xói và xác suất xảy ra xói.

Từ khóa - Chỉ số kháng xói; xói ngầm; xói hạt mịn; trường ngẫu nhiên; mô hình số

1. Đặt vấn đề

Những kết cấu thủy lực như đập, đê... cung cấp nhiều lợi ích trong cuộc sống hàng ngày của chúng ta như cung cấp năng lượng, cung cấp nước, điều khiển lũ lụt... Sự hư hỏng của những kết cấu này có thể tạo ra những thảm họa lớn đối với con người và tài sản. Theo [1], xói ngầm là một trong những nguyên nhân chính gây nên sự mất ổn định của những công trình nền đắp như đập, đê... Hiện tượng xói hạt mịn là một kiểu của xói ngầm, xói này tương ứng với tiến trình tách và sau đó vận chuyển những hạt mịn nhất vào không gian lỗ rỗng của những hạt có đường kính lớn hơn. Tuy nhiên, một thành phần của những hạt tách có thể sắp xếp lại hoặc được lọc trong không gian những lỗ rỗng. Tiến trình này có thể gây ra một sự tắt nghẽn cục bộ. Ba tiêu chuẩn được đưa ra bởi [2] cho sự xuất hiện của xói hạt mịn: Cỡ hạt mịn phải nhỏ hơn cỡ hạt thô, thể tích của những hạt đất mịn phải ít hơn thể tích lỗ rỗng của những hạt thô, vận tốc của dòng chảy đi vào đất phải đủ cao để di chuyển những hạt mịn nhất thông qua lỗ rỗng. Hai tiêu chuẩn đầu liên quan đến kết cấu của đất, cái tùy thuộc vào đường cong cấp phối. Vì vậy để đánh giá khả năng xói hạt mịn, những nhà nghiên cứu trước đã đề xuất phương pháp đánh giá chỉ dựa vào đường cong thành phần hạt [3], [4], [5], [6]. Nhóm tác giả [7] đã phân ra 3 dạng đường cong thành phần hạt: Cấp phối tuyến tính bao gồm các loại đất với những hạt phân bố đồng đều hoặc cho những loại đất có thành phần hạt mịn phân bố đồng đều. Dạng 2 tương ứng với những loại đất có những cỡ hạt bị thiếu, và dạng 3 tương ứng với

Abstract - Internal erosion is one of the main causes of instabilities within hydraulic earth structures. Four types of internal erosion can be distinguished: Concentrated leak erosion, backward erosion, contact erosion and suffusion. This study deals with suffusion process which corresponds to the coupled processes of detachment-transport-filtration of the soil's fine fraction in the voids between the coarse fraction. The suffusion of the soil samples is evaluated by an erosion resistance index. Thanks to existing statistical analyses, the erosion resistance index is estimated from several soil parameters. The paper aims at presenting a general method to assess the suffusion susceptibility of the earth dams based on a Normal random field. An illustration of a numerical simulation to assess the suffusion susceptibility of the Phu Vinh earth dam is showed. The results show the variability spatial of erosion resistance index and probability of failure.

Key words - Erosion resistance index; internal erosion; suffusion; Normal random field; numerical simulation

những loại đất không ổn định. Tiêu chuẩn thứ 3 liên quan đến sự hoạt động của dòng chảy đòi hỏi sự tách và sau đó vận chuyển của những hạt mịn. Thành phần tách của những hạt mịn có thể sắp xếp lại hoặc lọt vào không gian lỗ rỗng [8], [9], [10], [11], [12]. Những tiến trình này thậm chí có thể gây ra sự tắt nghẽn cục bộ, cộng với sự thay đổi vận tốc dòng chảy và áp suất ban đầu. Vì vậy sự thay đổi của cả dòng thấm và gradient áp suất phải được quan tâm để đánh giá tải trọng thủy lực. Một cách để xem xét cả sự thay đổi vận tốc thấm và gradient áp suất được diễn tả bởi năng lượng tiêu hao bởi dòng thấm [13], [14].

Để đánh giá khả năng xói hạt mịn dựa vào phương pháp năng lượng, Nhóm tác giả [15] đã đề xuất những phương trình tương quan giữa chỉ số kháng xói với các đặc trưng cơ lý của đất. Mục tiêu của bài báo sẽ chỉ ra sự thay đổi không gian của chỉ số kháng xói I_a trong cơ thể đập.

2. Phương pháp xây dựng mô hình số

Nhóm tác giả [13] đã đề xuất công thức tính chỉ số kháng xói I_a (công thức 1) và dựa vào giá trị của chỉ số kháng xói

$$I_a = -\log(\text{cumulative loss dry mass}/E_{\text{flow}}) \quad (-) \quad (1)$$

Trong đó, "cumulative loss dry mass" là khối lượng khô bị mất tích lũy; E_{flow} [J] là tích phân theo thời gian của tổng năng lượng dòng chảy (P_{flow})

$$P_{\text{flow}} = \rho g \Delta z Q + Q \Delta P \quad (2)$$

¹ The University of Danang - University of Science and Technology (Le Van Thao)

Q: tốc độ dòng chảy (m^3/s); ΔP : độ hạ áp suất giữa đỉnh và đáy của mẫu; Δz : chiều cao của mẫu.

Sự phân loại xói hạt mịn từ “xói cao” cho đến “kháng xói” được đưa ra trong [15] tương ứng như sau: Nếu $I_a < 2$ xói cao; $2 \leq I_a < 3$ xói; $3 \leq I_a < 4$ xói vừa; $4 \leq I_a < 5$ kháng vừa và $I_a \geq 6$ kháng xói.

Phương trình tương quan giữa chỉ số kháng xói với những đặc trưng cơ lý của đất như sau [15]:

- Đối với tất cả các loại đất:

$$I_a = -13,57 + 0,43\gamma_d + 0,18\phi - 0,02\text{Finer KL} + 0,49V_{BS} + 189,70k_i + 3,82\min(H/F) + 0,18P + 0,28G_r + 19,51d_5 + 1,06d_{15} - 0,84d_{20} + 0,81d_{50} - 0,98d_{60} - 0,10d_{90} \quad (N=31, R^2 = 0,94) \quad (3)$$

Trong đó: k_i là hệ số thấm ban đầu; $\min(H/F)$ giá trị nhỏ nhất dựa vào đồ thị H và F; G_r là tỉ số d_{\max}/d_{\min} .

- Đối với đất có đường cong thành phần hạt thuộc “gap-graded”

$$I_a = -37,62 + 0,67\gamma_d + 0,64\phi + 0,09\text{Finer KL} - 0,03V_{BS} - 1,43P + 0,63G_r + 0,76d_5 - 0,97d_{60} + 0,61d_{90} \quad (N=21, R^2 = 0,94) \quad (4)$$

- Đối với đất thuộc “widely graded” phương trình tương quan như sau:

$$I_a = -26,34 + 0,43\gamma_d + 0,66\phi - 0,16\text{Finer KL} + 1,15V_{BS} + 0,37P + 6,82d_5 - 1,26d_{60} \quad (N=10, R^2 = 0,99) \quad (5)$$

Trong phương trình (3), (4), (5), phương trình (3) được nhóm tác giả [15] thực hiện cho tất cả các loại đất và các loại đất này được tách ra hai loại “gap-graded soil” của phương trình (4) và “widely-graded soil” của phương trình (5).

Trong đó:

γ_d : Trọng lượng riêng khô của đất;

ϕ : Góc ma sát trong của đất;

Finer KL: Hàm lượng hạt mịn dựa vào tiêu chuẩn Kenney và Lau [3];

V_{BS} : Giá trị “Blue methylene value”;

P: Phần trăm hạt mịn nhỏ hơn 0,063mm (P=24%);

$d_5, d_{15}, d_{20}, d_{50}, d_{60}, d_{90}$: Đường kính tương ứng với 5%, 15%, 20%, 50%, 60% và 90%.

Trong phần này, những thông số đặc trưng của đất được đưa vào mô hình số, sử dụng trường ngẫu nhiên Stochastics 2D. Trường ngẫu nhiên này được tác giả [16] nghiên cứu. Trong một phương pháp phân tử hữu hạn ngẫu nhiên, các biến không gian $\gamma, \phi, \text{Finer KL}, P, d_5, d_{60}$ của phương trình (3) được mô phỏng bởi một trường ngẫu nhiên với hệ số $\text{cov} = 0,05$ và được liên kết vào lưới phân tử hữu hạn. Những kết quả sự thay đổi không gian của chỉ số kháng xói và những thông số khác của đất với những bản đồ màu hai chiều (2D) khác nhau được chỉ ra.

3. Minh họa số đánh giá khả năng xói hạt mịn của đập đất Phú Vinh - Quảng Bình

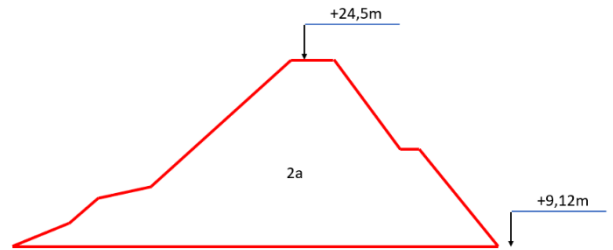
3.1. Hiện trạng của đập đất

Hồ chứa nước Phú Vinh là một trong những công trình hồ chứa nước lớn của tỉnh Quảng Bình. Từ khi công trình đưa vào sử dụng cho đến nay, đã góp phần đưa các địa

phương vùng hưởng lợi xóa được đói, giảm được nghèo, đồng thời góp phần đáng kể trong việc phát triển kinh tế, dân sinh và ổn định an ninh lương thực người dân tỉnh Quảng Bình. Đã qua 24 năm sử dụng, một số hạng mục (đập đất, tràn xả lũ, tháp cống lấy nước, đường quản lý...) đã xuống cấp. Đập đất đòng chất, mái thượng lưu đập gia cố bằng đá lát khan và chít mạch đã xuống cấp. Đỉnh đập rộng 5m bằng đất cấp phối, hiện nay bị xói lở, xuống cấp. Đặc biệt, khi mưa xuống, bề mặt đỉnh đập trở nên lầy, trơn trượt, các phương tiện quản lý, cứu hộ đi lại trên mặt đập gặp nhiều khó khăn.

3.2. Các thông số đặc trưng cơ lý của các lớp đất

Số liệu địa chất căn cứ vào mặt cắt hiện trạng Hình 1, có bốn lớp vật liệu: Lớp 2a (lớp đất đắp), lớp 2, lớp 3a và lớp 3b, lớp 1b (lớp đất nền) các lớp đất này có tính chất cơ lý thể hiện ở Bảng 1. Trọng lượng riêng các lớp đất từ 18 kN/m^3 đến 21 kN/m^3 , góc ma sát trong từ 13 đến 39 độ, các thông số khác như lực dính, hệ số thấm được được chi tiết ở Bảng 1. Đánh giá xói hạt mịn tập trung ở phần thân đập cụ thể là ở lớp 2a.



Hình 1. Mặt cắt ngang hiện trạng lớp 2a của đập Phú Vinh

Bảng 1. Chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất

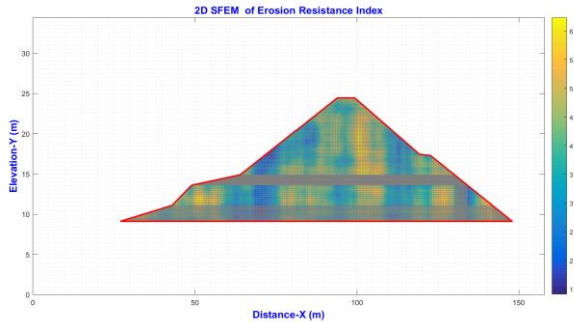
Tên lớp đất	Độ ẩm W (%)	Dung trọng Khô γ_k (T/m^3)	Lực Dính TC C^c (KG/cm^2)	Góc ma sát TC ϕ^c (độ)	Hệ số thấm k (cm/s)
2a	19,9	1,69	0,253	13°47'	$1,96 \cdot 10^{-4}$
2	16,1	1,58	0,010	38°0'	$5,00 \cdot 10^{-2}$
3a	20,6	1,66	0,243	14°47'	$8,25 \cdot 10^{-5}$
3b	18,3	1,68	0,351	15°26'	$2,18 \cdot 10^{-5}$
1b			0,152	30°0'	$3,96 \cdot 10^{-5}$

3.3. Sự thay đổi không gian 2D của chỉ số kháng xói trong đập đất

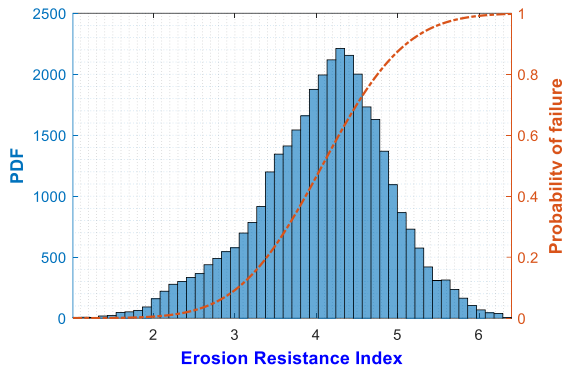
Chỉ số kháng xói được đánh giá cho đập, sự đánh giá này dựa vào phương trình thống kê (5) từ tất cả các mẫu đất có đường cong thành phần hạt “widely graded”. Bài toán này được lập trình toán dựa vào trường ngẫu nhiên. Trong số 7 thông số của phương trình (5), giá trị của Blue Methylene Value (VBS) được xem là không đổi trong đập và lấy giá trị $V_{BS}=0,5g/100g$. Những thông số khác được đưa vào mô hình số sử dụng trường ngẫu nhiên hai chiều Stochastics 2D. Kết quả của chỉ số kháng xói với bản đồ viên màu 2D được chỉ ra trong Hình 2. Một vài vị trí trong đập chỉ ra sự kháng xói thấp với xói hạt mịn (màu xanh). Một vài khu khác với màu vàng hiện diện sự kháng cao với xói hạt mịn. Những giá trị dự đoán của I_a nằm trong khoảng từ 1,5 đến hơn 6.

Kết quả trong Hình 2 đã chứng minh rằng, có sự thay

đổi không gian 2D của chỉ số kháng xói trong tiến trình xây dựng. Vì vậy sự thay đổi không gian 2D của chỉ số kháng xói cần phải được nghiên cứu trong đập đất. Xác suất thất bại của đập tương ứng với sự phân loại xói hạt mịn được chỉ ra trong Hình 3 và được liệt kê chi tiết như sau: Với xói cao ($I_a < 2$) chiếm 1%; Xói ($2 \leq I_a < 3$) chiếm 7%; Xói vừa ($3 \leq I_a < 4$) chiếm 40%; Kháng xói vừa ($4 \leq I_a < 5$) chiếm 40%; Kháng xói ($5 \leq I_a < 6$) chiếm 11%; Kháng xói cao ($I_a \geq 6$) chiếm 1%.



Hình 2. Bản đồ màu về sự thay đổi 2D của chỉ số kháng xói



Hình 3. Xác suất thất bại của đập đất

3.4. Bàn luận

Trong thân đập xuất hiện các vị trí xói cao, xói vừa, kháng xói bởi vì trong thực tế khai thác, các tính chất cơ lý của đất nền, thông số đầu vào liên quan đến thành phần hạt của đất đắp, ... thay đổi rất nhiều so với giá trị thiết kế ban đầu do ảnh hưởng của nhiều yếu tố khác nhau. Đặc biệt dưới sự ảnh hưởng của các yếu tố ngẫu nhiên như trọng lượng riêng, góc ma sát trong... theo không gian và thời gian, điều này gây ra sự khác nhau về chỉ số kháng xói I_a tại các vị trí trong đập.

4. Kết luận và kiến nghị

Nghiên cứu đã thiết lập được một chương trình mới để đánh giá khả năng xói ngầm, sử dụng trường ngẫu nhiên 2D Stochastics. Phương trình tương quan giữa chỉ số kháng xói và những thông số vật lý của những loại đất có đường cong thành phần hạt tốt được sử dụng để mô phỏng sự thay

đổi không gian của chỉ số kháng xói và những thông số vật lý khác của đất. Xây dựng một bản đồ màu 2D của chỉ số kháng xói của đập Phú Vinh-Quảng Bình. Chỉ ra được một số vị trí của mặt cắt ngang có chỉ số kháng xói cao và một vài vị trí khác chỉ số kháng xói thấp.

Đề nghị cần phải quan tâm đến sự thay đổi không gian 2D của chỉ số kháng xói I_a .

Lời cảm ơn: Bài báo được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng với đề tài có mã số T2021-02-26.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Foster, M., Fell, R., & Spanagle, M, "The statistics of embankment dam failures and accidents", *Canadian Geotechnical Journal*, (37), 2000, 1000-1024.
- [2] Fell, R., & Fry, J. J, *Erosion in geomechanics applied to dams and levees*, Bonelli S. Editor. ISTE-Wiley, 2013, pp.1-99.
- [3] Kenney, T. C., & Lau, D, "Internal stability of granular filters" *Canadian Geotechnical Journal*, 22, 1985, 215-225.
- [4] Kenney, T. C., & Lau, D, "Internal stability of granular filters: Reply", *Canadian Geotechnical Journal*, 23(4), 1986, 420-423.
- [5] Li, M., & Fannin, R. J, "Comparision of two criteria for internal stability of granular soil", *Canadian Geotechnical Journal*, 45(9), 2008, 1303-1309.
- [6] Chang, D. S., & Zhang, L. M, "Extended internal stability criteria for soils under seepage", *Soils and Foundations*, 53(4), 2013, 569-583.
- [7] Lafleur, J., Mlynarek, J., & Rollin, A. L, "Filtration of broadly graded cohesionless soils", *Journal of Geotechnical Engineering*, 115(12), 1989, 1747-1768.
- [8] Reddi, L. N., Lee, I., & Bonala, M. S, "Comparison of internal and surface erosion using flow pump test on a sandkaolinite mixture", *Geotechnical Testing Journal*, 23(1), 2000, 116-122.
- [9] Bendahmane, F., Marot, D., & Alexis, A, "Experimental parametric study of suffusion and backward erosion", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 134(1), 2008, 57-67.
- [10] Marot, D., Bendahmane, F., & Konrad, J. M, "Multichannel optical sensor to quantify particle stability under seepage flow", *Canadian Geotechnical Journal*, 48, 2011, 1772-1787.
- [11] Nguyen, H. H., Marot, D., & Bendahmane, F, "Erodibility characterisation for suffusion process in cohesive soil by two types of hydraulic loading", *La Houille Blanche, International water journal*, 2012, 54-60.
- [12] Rochim, A., Marot, D., Sibille, L., & LE, V, "Effect of hydraulic loading history on suffusion susceptibility of cohesionless soils", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE)*, 04017025, 2017, 1-10.
- [13] Marot, D., Regazzoni, P. L., & Wahl, T, "Energy based method for providing soil surface erodibility rankings", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE)*, 48, 2011, 1772-1787.
- [14] Marot, D., Rochim, A., Nguyen, H. H., Bendahmane, F., & Sibille, L, "Assessing the susceptibility of gap graded soils to internal erosion characterization: proposition of a new experimental methodology", *Natural Hazards*, 2016, 1-24.
- [15] Le V.T., Marot D., Rochim A., Bendahmane F., Nguyen H.H, "Suffusion susceptibility investigation by energy based method and statistical analysis", *Canadian Geotechnical Journal*. 55(1), 2018, 57-68.
- [16] Vanmarcke, E.H., "Probability modeling of soil profiles", *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 103(11), 1977, 1227-1246.