

PHÂN TÍCH TIẾN TRÌNH THẨM VÀ XÓI THEO THỜI GIAN VỚI DÒNG THẨM NGANG VÀ ĐỨNG

Lê Văn Thảo

Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Đà Nẵng

Tóm tắt: Những kết cấu thủy lực đóng một vai trò quan trọng trong cuộc sống hằng ngày của chúng ta như cung cấp năng lượng, cung cấp nước, điều khiển lũ lụt... Xói ngầm là một trong những nguyên nhân chính gây nên hiện tượng mất ổn định trong các công trình như đập, đê hay các hồ chứa nước bằng đất. Foster et al. (2000)[1] đã thực hiện thống kê trên 11192 đập đất lớn, trong số 128 đập đất bị vỡ được biết, có khoản 46.1% là do xói bên trong, 48.4% là do nước tràn qua đập và 5.5% là do trượt lở. Tiến trình xói ngầm có thể phân ra thành bốn loại: xói rò rỉ, xói kéo theo, xói tiếp xúc và xói hạt mịn. Tiến trình xói hạt mịn có thể gây ra những thay đổi quan trọng về đặc trưng thủy lực và cơ học của đất. Trong thực tế yêu cầu mô hình nghiên cứu cần phải phù hợp với kết cấu và dòng chảy trong thân đập. Vì vậy mục tiêu của bài báo sẽ phân tích tiến trình thẩm và xói theo thời gian của mẫu nhiều lớp với dòng chảy ngang và dòng chảy đứng, để đảm bảo sự đánh giá an toàn của những kết cấu thủy lực và để phù hợp với kết cấu đập, để thực tế.

Từ khóa: Xói ngầm, dòng thấm ngang, dòng thấm đứng, Đập đất.

Summary: Hydraulic structures play an important role in our daily life such as energy supply, water supply, flood control... Underground erosion is one of the main causes of instability in structures such as dams, dikes or earthen reservoirs. Foster et al. (2000) [1] performed statistics on 11192 large earth dams, out of 128 known earth dams, 46.1% were due to internal erosion, 48.4% were due to overflowing of the dam and 5.5% were due to slippage. The process of underground erosion can be divided into four types: seepage erosion, traction erosion, contact erosion and fine-grained erosion. The process of fine-grained erosion can cause important changes in the hydraulic and mechanical properties of the soil. In fact, the research model needs to be suitable for the structure and flow in the dam body. Therefore, the objective of the study will be to analyze the seepage and internal erosion process with time of many layers specimens to ensure the safety assessment of hydraulic structures and to match the actual dam and dike structure.

Keywords: Internal Erosion, horizontal seepage flow, vertical seepage flow, Earth dam.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xói ngầm là một trong những nguyên nhân chính gây nên hiện tượng mất ổn định trong các công trình như đập, đê hay các hồ chứa nước bằng đất. Ngày nay, xói ngầm có thể gây

ra nhiều hư hỏng đến những kết cấu thủy lực của nhiều đất nước trên thế giới. Xói đất được gây ra bởi dòng thấm thông những đập đất, đê hoặc những công trình nền đắp... Foster et al. (2000) [1] đã thực hiện thống kê trên 11192 đập đất lớn, trong số 128 đập đất bị vỡ được biết, có khoản 46.1% là do xói ngầm, 48.4% là do nước tràn qua đập và 5.5% là do trượt lở. Tiến trình xói ngầm có thể phân ra thành bốn

Ngày nhận bài: 18/7/2023

Ngày thông qua phản biện: 11/9/2023

Ngày duyệt đăng: 09/10/2023

loại: xói rò rỉ, xói kéo theo, xói tiếp xúc và xói hạt mịn.

Xói rò rỉ (concentrated leak erosion) có thể xuất hiện trong vết nứt hoặc trong ống của đập đất hoặc xuất hiện trong phần nền móng của chúng. Xói này được gây ra bởi sự sụt lún, làm khô, đông cứng, rã đông và bề gãy những kết cấu thủy lực hoặc nó có thể xuất hiện trong những khu vực bị thấm liên tục nơi mà chứa nhiều hạt thô hoặc những vật liệu không được đầm chặt, tạo ra một hệ thống những lỗ rỗng bên trong. Xói kéo theo (backward erosion) bao gồm sự tách của những hạt đất khi từ phía dưới sau đó phát triển dần lên phía trên. Xói tiếp xúc (contact erosion) cũng được mô tả như xói bên ngoài hoặc xói bề mặt, một dạng của xói ngầm cái bao gồm xói của hạt mịn từ sự tiếp xúc với hạt thô. Trong phạm vi của bài báo nghiên cứu xói hạt mịn, xói này có thể gây ra sự thay đổi về thành phần cỡ hạt, độ rỗng, và độ dẫn thủy lực của đất. Xói hạt mịn được định nghĩa là những hạt mịn tách và vận chuyển vào không gian những hạt thô. Thành phần tách của những hạt mịn có thể sắp xếp lại hoặc lọc vào không gian lỗ rỗng (Reddi et al. 2000 [2]; Bendahmane et al. 2008 [3]; Marot et al, 2011a [4]). Những tiến trình này thậm chí có thể gây ra sự tắt ngấm 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 (Marot et al. 2011b [5], Marot et al. 2016 [6]). Fell và Fry, (2007) [7] đã đề xuất ba tiêu chuẩn cho xói hạt mịn xuất hiện: Tiêu chuẩn hình học chỉ ra cỡ hạt mịn phải nhỏ hơn cỡ lỗ rỗng của những hạt thô. Theo tiêu chuẩn ứng suất những hạt mịn không được lấp đầy vào không gian của những hạt thô và không nên mang theo một số lượng lớn bởi ứng suất hữu hiệu. Đối với tiêu chuẩn thứ

ba liên quan đến tải trọng thủy lực, giả thuyết rằng vận tốc dòng thấm đi vào phải đủ lớn để đẩy những hạt mịn ra bên ngoài. Đối với hai tiêu chuẩn đầu, sự phân bố cỡ hạt hiện diện như là thông số chính. Tiêu chuẩn thứ ba liên quan đến dòng chảy để tách và vận chuyển các hạt mịn. Để đảm bảo đánh giá độ an toàn của những kết cấu đập thủy lực, những mô hình thí nghiệm cần phù hợp với kết cấu đập thực tế với dòng chảy ngang. Một thiết bị được sử dụng cho phép thí nghiệm với dòng thấm thẳng đứng theo hướng lên hoặc xuống. Tuy nhiên tiến trình xói hạt mịn được gây ra bởi dòng thấm và độ dẫn thủy lực của những loại đất đầm chặt tùy thuộc vào kết cấu đất (Smith và Konrad, 2011 [8]) và hướng dòng chảy. Một dãy của những thí nghiệm được thực hiện theo hướng dòng chảy đứng và ngang trên các loại đất “gap-graded” and “widely-graded”. Những mẫu tạo ra được sử dụng một kỹ thuật đầm tĩnh để tránh hiện tượng “soil anisotropy”. Vì vậy bài báo sẽ tập trung phân tích tiến trình thấm và xói theo thời gian của dòng thấm ngang và đứng Marot et al. (2011b) [5] đã đề xuất công thức tính chỉ số kháng xói I_α (công thức 1) và dựa vào giá trị của chỉ số kháng xói

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

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 với tổng năng lượng dòng chảy tính theo công thức (2)

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

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

Marot et al. (2016) [6] đã đưa ra sự phân loại xói hạt mịn từ “xói cao” cho đến “kháng xói” tương ứng như sau:

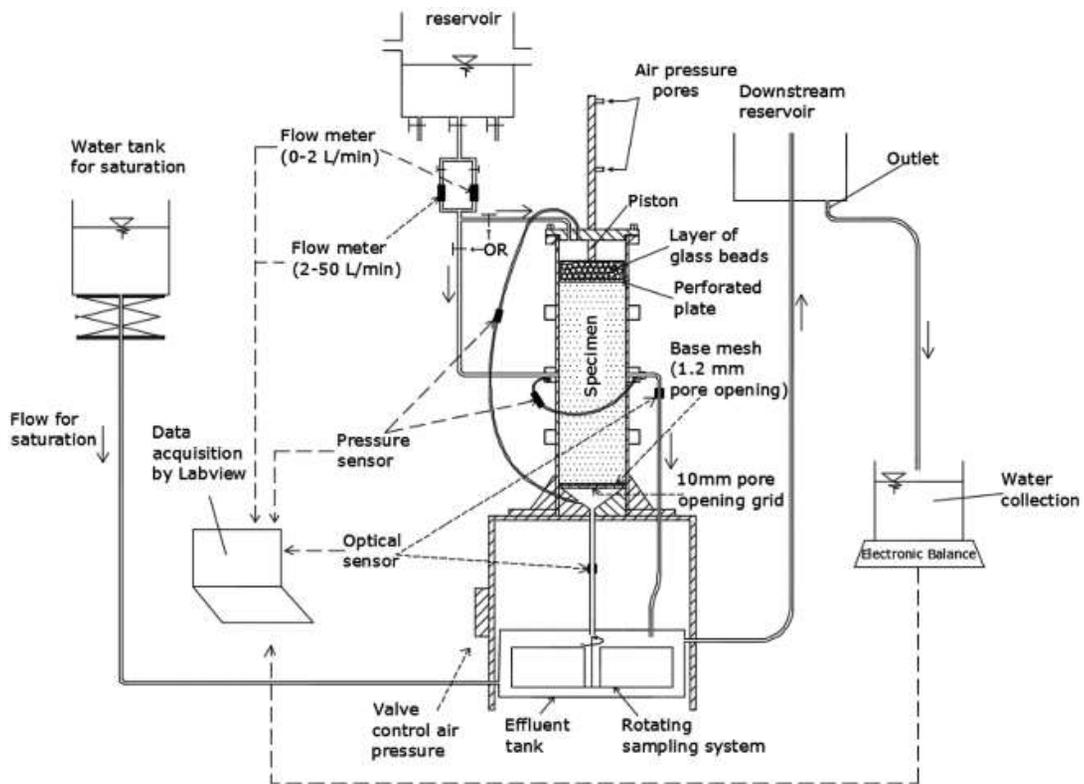
Nếu $I_\alpha < 2$ xói cao; $2 \leq I_\alpha < 3$ xói; $3 \leq I_\alpha < 4$ xói vừa; $4 \leq I_\alpha < 5$ kháng vừa và $I_\alpha \geq 6$ kháng xói.

2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

2.1. Mô tả thí nghiệm

Một thiết bị xói được đề xuất bởi Marot và những cộng sự. (2020) [9] được sử dụng để đặc trưng độ nhạy xói của đất. Thiết bị bao gồm những phần chính: Một buồng xói, một hệ thống cung cấp nước, một hệ thống thu thập đất, một hệ thống thu thập nước. Thiết bị thí nghiệm bao gồm một buồng xói đã sửa đổi để bão hòa mẫu theo hướng đi lên và để tạo lực dòng thấm đi vào mẫu theo hướng đi xuống trong suốt tiến trình xói. Một bể nước

phía thượng lưu cung cấp nước (nước được loại bỏ khoáng) ở đầu vào của mẫu đất trong suốt tiến trình xói. Hệ thống thoát nước hình dạng phễu được kết nối với bể chứa nước chảy ra từ mẫu bởi một ống thủy tinh. Bể này được trang bị với ống nước chảy ra để điều khiển cột nước thủy lực ở phía hạ lưu và một hệ thống quay chứa đựng 8 thiết bị đựng để thu thập những hạt đất xói. Nước chảy ra được cân liên tục trên một bàn cân khối để xác định tốc độ dòng chảy được phun vào.



Hình 1: Sơ đồ thí nghiệm của thiết bị xói đa chiều (Marot và những cộng sự, 2020 [9])

Các mẫu thí nghiệm được thực hiện theo 3 bước: tạo mẫu, bão hòa mẫu và thí nghiệm thấm đi xuống hoặc đi ngang

2.2. Quá trình chuẩn bị mẫu

Các mẫu được chuẩn bị bằng cách đầm ẩm với mỗi lớp là 50mm theo chiều cao để ngăn ngừa sự phân tầng và đầm cho đạt chiều cao 350mm. Những mẫu được tạo ra bằng cách sử

dụng kỹ thuật đầm tĩnh để giới hạn tính đẳng hướng của đất và đầm cho đến khi đạt trọng lượng riêng thiết kế. Tất cả mẫu được đặt với ứng suất trục là 60 kPa thông qua một piston.

Bước bão hòa bắt đầu với sự phun khí CO₂ từ dưới đáy để cải tiến sự hòa tan của khí vào nước, và sau đó mẫu được bão hòa sử dụng nước (đã loại bỏ khoáng) bằng cách nâng dần

dần bề nước bão hòa. Thời gian cho bão hòa mẫu xấp xỉ 24h. Trong bước thí nghiệm xói hạt mịn, mẫu đất được đặt với dòng thấm theo hướng đi xuống hoặc đi ngang với gradient thủy lực nhiều cấp, nó được tạo ra bằng cách nâng dần dần bề nước phía thượng lưu ứng với mỗi thời gian 30 phút. Hệ thống thu thập xói được quay tròn khi gradient thủy lực được nâng lên để thu thập những hạt xói. Khối lượng khô xói đạt được bằng cách làm khô những cốc chứa nước và những hạt xói trong một lò sấy trong khoảng thời gian là 24h. Trong suốt quá trình xói, một cảm biến áp suất được kết nối ở đỉnh và đáy của mẫu để đo độ chênh

áp suất của mẫu. Một cảm biến đa chiều được sử dụng để dò tìm những hạt mịn nhất (hạt sét, hạt bùn). Mẫu được đặt trên một lưới lọc dưới với lỗ lưới là 10mm và một lưới khác đặt ở trên với lỗ lưới là 1.2mm để cho phép sự xói của những hạt mịn. Lưu lượng nước được đo bằng những “Flow meter”. Toàn bộ dữ liệu được thu thập nhờ hệ thống thu thập dữ liệu.

Những mẫu đặt với dòng thấm theo hướng ngang dưới gradient nhiều cấp. Đặc tính của những mẫu thí nghiệm được thể hiện trong bảng 1. Trong đó ký hiệu H là dòng chảy theo phương nằm ngang.

Bảng 1: Đặc tính của những mẫu thí nghiệm

Mẫu	Trọng lượng khô ban đầu	Gradient thủy lực	Chiều dài mẫu
4-V	16.1	0.1-2	8.1 cm
4-H	16.1	0.09-0.58	35cm

2.3. Mô hình số đối với mẫu chuẩn bị 3 lớp

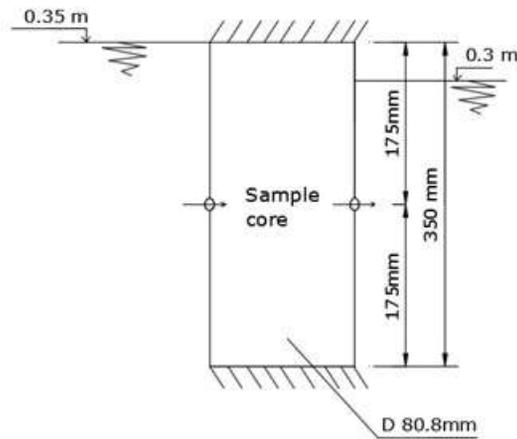
Với mục tiêu để xác định diện tích bề mặt của dòng chảy ngang, một mô hình số với phần mềm Plaxis được thực hiện. Mô hình tỷ lệ nhỏ cho mẫu có chiều cao 350mm và đường kính 80.8 mm. Chi tiết của các thông số đầu vào được thể hiện trong bảng 2. Mục nước thượng lưu và hạ lưu được định nghĩa trong hình 2. Giá trị độ dẫn thủy lực theo

phương ngang và phương đứng được giả thiết bằng nhau. Kết quả mô phỏng trường vận tốc và xác định mặt cắt hình chữ nhật được thể hiện trong hình 2 và 3. Mẫu được tạo ra bởi 3 lớp: lớp đáy, lớp giữa và lớp trên với trọng lượng khô lần lượt là 18 kN/m^3 , 16 kN/m^3 và 18 kN/m^3 và được chi tiết trong bảng 2. Kết quả mô phỏng được thể hiện trong hình 3.

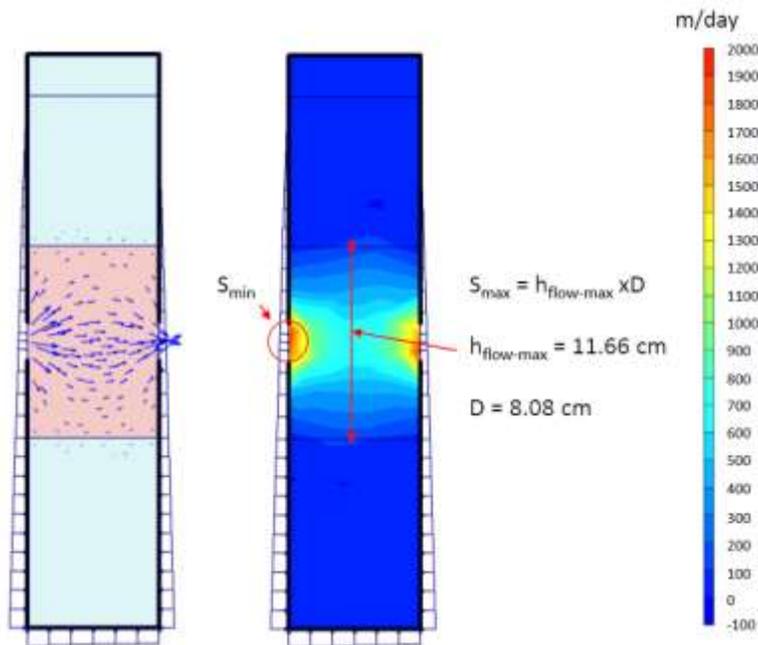
Bảng 2: Đầu vào của những loại đất

Thông số	Tên	Giá trị	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Mô hình	Mohr-Coulomb	-
Kiểu của trạng thái vật liệu	Kiểu	Drained	-
Lớp đáy và trên			
Trọng lượng riêng của đất chưa bão hòa	γ_{unsat}	18	kN/m^3
Trọng lượng riêng của đất bão hòa	γ_{sat}	19.08	kN/m^3
Hệ số thấm theo phương ngang	k_x	$2 \cdot 10^{-3}$	m/s
Hệ số thấm theo phương đứng	k_y	$2 \cdot 10^{-3}$	m/s
Hệ số Poisson	ν	0.3	-

Thông số	Tên	Giá trị	Đơn vị
Lực dính	C_{ref}	0	kN/m^2
Lớp giữa			
Trọng lượng riêng của đất chưa bão hòa	γ_{unsat}	16	kN/m^3
Trọng lượng riêng của đất bão hòa	γ_{sat}	16.96	kN/m^3
Hệ số thấm theo phương ngang	k_x	$2 \cdot 10^{-2}$	m/s
Hệ số thấm theo phương đứng	k_y	$2 \cdot 10^{-2}$	m/s
Hệ số Poisson	ν	0.3	-
Lực dính	C_{ref}	0	kN/m^2
Góc ma sát trong	ϕ	44	($^\circ$)



Hình 2: Sơ đồ mô phỏng



Hình 3: Mô phỏng trường dòng chảy

2.4. Tính toán hệ số thấm

Độ dẫn thủy lực được tính toán dựa vào công thức Darcy (3)

$$k = Q/iS \quad (3)$$

Trong đó: Q: tốc độ dòng chảy thể tích

i là gradient thủy lực

S: diện tích mặt cắt ngang dòng chảy

Trong trường hợp dòng chảy đứng hoặc dòng chảy ngang dọc theo chiều dài mẫu, diện tích mặt cắt của dòng chảy tương ứng với mặt cắt ngang của mẫu. Đối với trường hợp dòng chảy ngang dọc theo đường kính mẫu, diện tích mặt cắt ngang của mẫu giả thuyết được tính gần đúng:

$$S = (S_{\min} + S_{\max})/2 \quad (4)$$

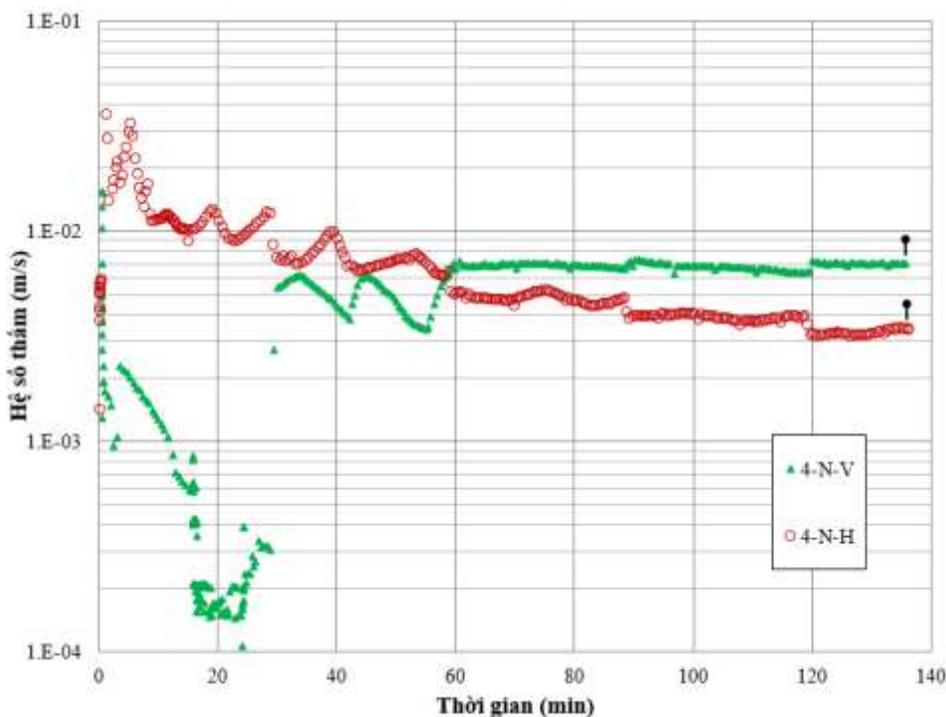
Trong đó:

S_{\min} : diện tích mặt cắt ngang ở vị trí chỗ vào và chỗ ra của ống có đường kính 10mm

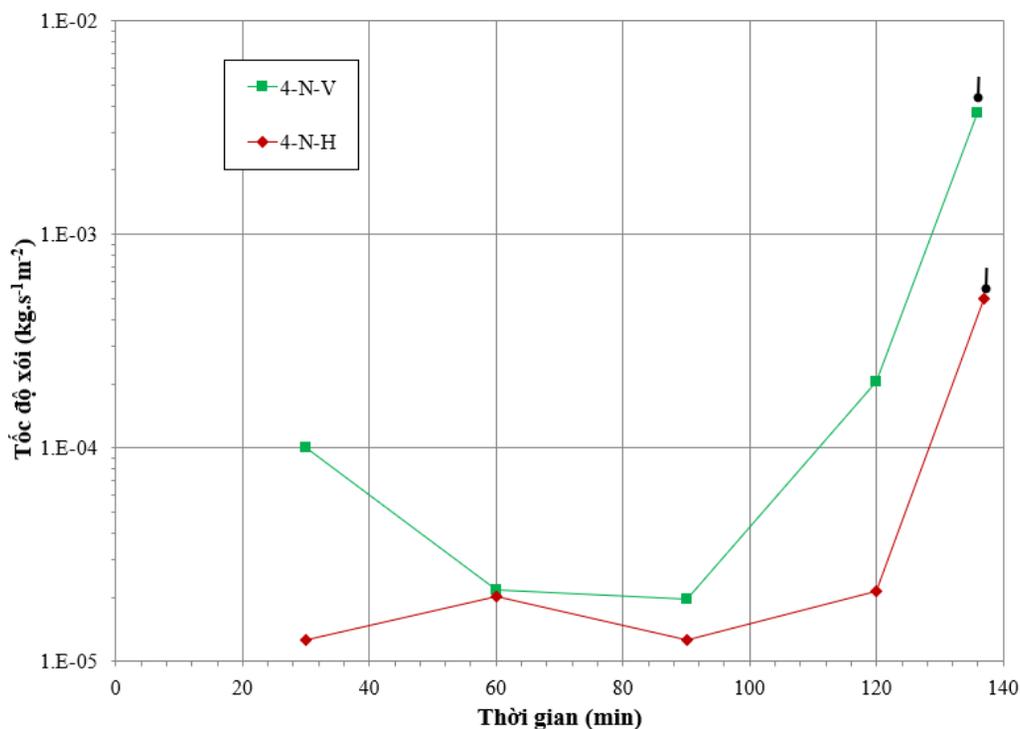
S_{\max} : diện tích dòng chảy hình chữ nhật lớn nhất: $S_{\max} = D \cdot h_{\text{flow-max}}$ với $h_{\text{flow-max}}$ là chiều cao của dòng chảy, được tính toán nhờ vào mô phỏng Plaxis $h_{\text{flow-max}} = 11.66\text{cm}$ (Hình 3)

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hai thí nghiệm được thực hiện với loại đất số 4, một thí nghiệm theo dòng chảy đứng (thí nghiệm 4-N-V) và thí nghiệm kia theo dòng chảy ngang (4-N-H). Độ thấm và tốc độ xói theo thời gian được chỉ ra trong hình 4 và hình 5. Hình 4 chỉ ra rằng độ thấm của loại đất số 4 dưới dòng chảy ngang lớn hơn độ dẫn thủy lực của những mẫu dưới dòng chảy đứng ở thời gian từ 0 đến 60 phút. Ở nửa thời gian sau độ thấm với giá trị lần lượt là $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ và $7,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$. Dưới cả hai hướng dòng chảy, độ thấm này liên tục giảm trong suốt tiến trình xói. Tốc độ xói dao động trong suốt tiến trình thí nghiệm nhưng luôn nhỏ hơn 10^{-4} kg/s/m^2 . Tiến trình này được xem là tiến trình lọc của các hạt mịn. Tương ứng với tiến trình thấm, tốc độ xói theo thời gian của hai mẫu được hiện diện trong hình 5. Giá trị tốc độ xói ở trạng thái ổn định lần lượt xấp xỉ là $4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s/m}^2$ và $4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s/m}^2$



Hình 4: Kết quả tiến trình thấm theo thời gian



Hình 5: Kết quả tốc độ xói theo thời gian

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Các mẫu thí nghiệm xói hạt mịn được thực hiện với dòng chảy đứng và dòng chảy ngang trên những mẫu được tạo bởi nhiều lớp. Kết quả chỉ ra rằng dưới dòng chảy ngang, dòng thấm nhiều hơn nhưng kháng xói hơn. Độ dẫn thủy lực theo hai hướng là khác nhau do sự

xuất hiện dòng ưu tiên làm cản trở tiến trình xói hạt mịn. Điều này đã chứng tỏ ảnh hưởng đáng kể của hướng dòng chảy đến khả năng xói ngầm.

Tác giả đã mô phỏng dòng chảy bằng phần mềm Plaxis đối với mẫu chuẩn bị 3 lớp, và tính toán được diện tích theo dòng chảy ngang

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Foster, M., Fell, R., & Spanagle, M. (2000). The statistics of embankment dam failures and accidents. *Canadian Geotechnical Journal*, (37): 1000-1024.
- [2] Reddi, L. N., Lee, I., & Bonala, M. S. (2000). Comparison of internal and surface erosion using flow pump test on a sandkaolinite mixture. *Geotechnical Testing Journal*, 23(1): 116-122.
- [3] Bendahmane, F., Marot, D., & Alexis, A. (2008). Experimental parametric study of suffusion and backward erosion. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 134(1):57-67.
- [4] Marot, D., Bendahmane, F., & Konrad, J. M. (2011a). Multichannel optical sensor to quantify particle stability under seepage flow. *Canadian Geotechnical Journal*, 48: 1772-1787.

- [5] Marot, D., Regazzoni, P. L., & Wahl, T. (2011b). Energy based method for providing soil surface erodibility rankings. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE)*, 48:1772-1787.
- [6] Marot, D., Rochim, A., Nguyen, H. H., Bendahmane, F., & Sibille, L. (2016). Assessing the susceptibility of gap graded soils to internal erosion characterization: proposition of a new experimental methodology. *Nat Hazards*, 1-24.
- [7] Fell, R., & Fry, J. J. (2007). Internal Erosion of dams and their foundations. *Taylor and Francis*, London, pp 245
- [8] Smith M, Konrad J-M (2011) Assessing hydraulic conductivities of a compacted dam core using geostatistical analysis of construction control data. *Can Geotech J* 48(9):1314–1327
- [9] D. Marot, D. Tran, F. Bendahmane, and V. Le (2020). Multidirectional Flow Apparatus for Assessing Soil Internal Erosion Susceptibility. *Geotechnical Testing Journal*; Số: 43 (6): 20190254