

**NGHIÊN CỨU CƠ CHẾ VỠ CỦA ĐẤT ĐẬP ĐẬP
KHI NƯỚC TRÀN ĐỈNH**

Phạm Thị Hương¹, Nguyễn Cảnh Thái¹

Tóm tắt: Cơ chế vỡ của đập đất khi nước tràn đỉnh phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố, trong đó hai nhân tố quan trọng chủ yếu là tính chất của đất đắp và cột nước tràn. Bài báo trình bày nội dung thí nghiệm xác định cơ chế vỡ của đập được đắp bằng các loại đất có lực dính thay đổi khi bị nước tràn đỉnh, tính toán tốc độ xói của mỗi loại đất và khẳng định sự phù hợp của kết quả thí nghiệm với các nghiên cứu lý luận trước đây.

Từ khoá: Tốc độ xói, nước tràn đỉnh đập, cơ chế vỡ đập.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Theo số liệu thống kê của Tổng cục Thủy lợi (Tổng cục Thủy lợi. 2015), Việt Nam hiện có 6.886 hồ chứa thủy lợi – thủy điện. Trong số đó thì số lượng hồ chứa thủy điện là 238 hồ (chiếm 3,5%), số lượng hồ chứa thủy lợi là 6.648 hồ (chiếm 96,5%, kể cả hồ chứa thủy lợi có công trình thủy điện), hơn 90% số đập tạo hồ thủy lợi ở nước ta hiện nay là đập đất.

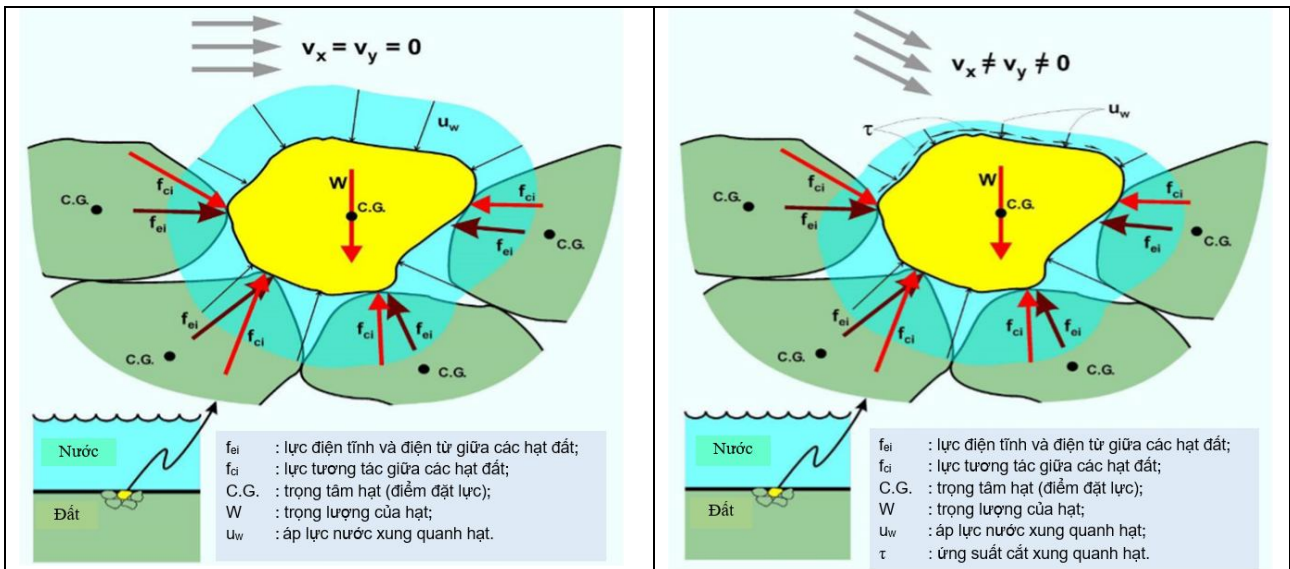
Bên cạnh các lợi ích tích cực, hồ chứa luôn tiềm ẩn nguy cơ và sự cố gây thiệt hại về người và của. Sự cố, hư hỏng có thể diễn ra ở tổng thể cụm đầu mối, có thể ở một công trình hoặc một bộ phận công trình, hoặc do hư hỏng, sự cố công trình vùng lân cận. Các nguyên nhân chính dẫn đến sự cố mất an toàn đập đất là nước tràn đỉnh đập, thấm, trượt mái, chất lượng thi công,... Một nguyên nhân quan trọng gây nên mất an toàn đập đất (chiếm đến 35%) cần phải kể đến đó là nước tràn qua đỉnh đập do lũ vượt tần suất thiết kế, chọn mô hình lũ không đúng, tính toán sai khả năng tháo của tràn, cửa van bị kẹt, cửa vào tràn bị lấp. Phần lớn các đập ở nước ta được thiết kế, thi công trong khoảng 30 đến 40 năm trước đây nên yêu cầu

về thiết kế thấp (lũ nhỏ). Ngày nay, do ảnh hưởng của nhiều yếu tố (biến đổi khí hậu, thay đổi thảm phủ...) làm cho thời tiết cực đoan, mưa lớn, lũ lớn dẫn đến dễ gây ra nước tràn đỉnh đập. Hầu hết các đập nhỏ không đáp ứng được tiêu chuẩn lũ hiện nay, khả năng nước tràn qua đỉnh đập khi có lũ là rất lớn. Trong những năm gần đây, các sự cố do nước tràn đỉnh đập xảy ra liên tục, điển hình như sự cố vỡ đập Phân Lân - Vĩnh Phúc ngày 03/8/2013, đập Đồng Đăng, Thung Cối - Thanh Hóa ngày 01/10/2013 và gần đây nhất là sự cố vỡ đập Đàm Hà Động ngày 31/10/2014 gây ra những thiệt hại lớn về người và của đã đặt ra yêu cầu cấp bách là nghiên cứu các giải pháp công nghệ để ứng phó với các sự cố có thể xảy ra, trong đó có vấn đề ứng phó với sự cố tràn đỉnh đập.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Theo các nghiên cứu trước đây (J.L.Briaud, H.C.Chen, A.V.Govindasamy and R. Storesund. 2007), đối với đất có tính dính cao, lực tác dụng lên một hạt đất bao gồm trọng lượng của hạt, lực điện từ và lực điện tĩnh, lực tương tác giữa các hạt đất, và áp lực nước xung quanh hạt, trong trường hợp nước chảy với vận tốc nào đó sẽ có thêm ứng suất cắt xung quanh hạt đất (Hình 1).

¹ Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi.



a. Nước tĩnh

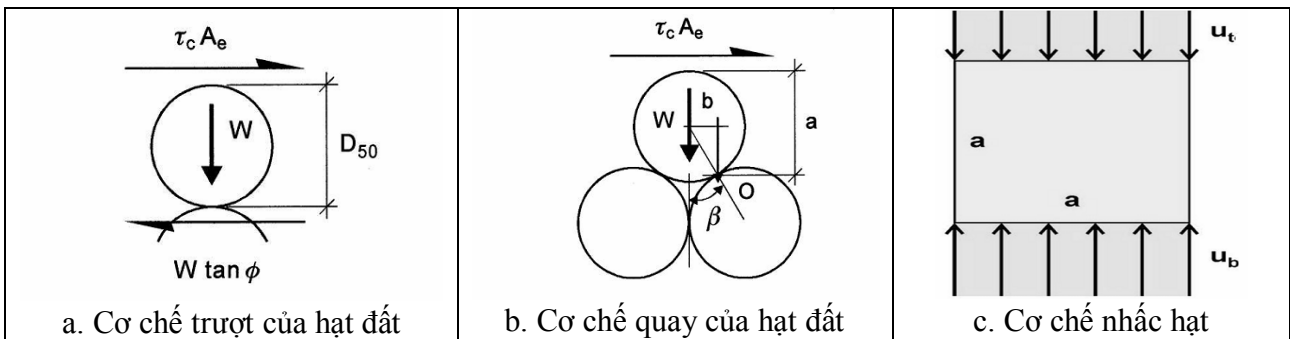
b. Nước chảy

Hình 1. Lực và áp lực tác động lên hạt

Lực điện tĩnh bị đẩy bởi vì các hạt sét mang điện tích âm, lực điện từ tương đối yếu thu hút các phân tử với nhau, mặc dù trung hòa về điện, các phân tử tạo thành lưỡng cực thu hút nhau như nam châm. Các lực điện từ là lực giữ các phân tử H₂O với nhau trong nước. Chính vì vậy mà vận tốc gây xói của

đất dính thường phải lớn do lực hút giữa các hạt đất.

Đối với đất ít dính và đất rời, các hạt đất bị xói đi do bị dịch chuyển, được giải thích bởi ba cơ chế xói chủ yếu là trượt, quay và nhấc lên (J.L.Briaud, H.C.Chen, A.V.Govindasamy and R. Storesund. 2007).



Hình 2. Cơ chế xói của đất hạt rời

Cơ chế trượt đơn giản giả thiết rằng các hạt đất hình cầu, lực tác dụng bởi nước lên hạt đất là lực cắt song song với mặt chịu xói, và các hạt đất xung quanh không tác dụng lực lên hạt đất đang xét bởi vì chúng di chuyển cùng tốc độ. Bỏ qua lực điện từ và điện tĩnh giữa các hạt bởi vì đây là đất hạt rời. Khi tăng vận tốc, ứng suất sinh ra do dòng chảy τ_c trở nên đủ lớn, lực sinh ra do ứng suất vượt qua lực ma sát giữa hai hạt đất $\tau_c A_e > W \tan \phi$, đất bị trượt (Hình 2a).

Cơ chế quay đơn giản giả thiết rằng các hạt đất hình cầu, lực tác dụng của nước lên các hạt đất theo phương song song với mặt chịu xói, bỏ qua tác động của các hạt đất bên cạnh và sự quay diễn ra xung quanh điểm tương tác với hạt đất bên dưới. Bỏ qua lực điện tĩnh và điện từ giữa các hạt. Tại thời điểm chuyển động ban đầu, cân bằng moment quanh điểm O ta có: $\tau_c A_e a = Wb$ (với τ_c là ứng suất cắt do dòng chảy sinh ra trên bề mặt tiếp xúc với hạt đất, A_e là diện tích mặt tiếp xúc, a là cánh tay đòn của lực

đến điểm O, W là trọng lượng của hạt đất và b là cánh tay đòn của W đến điểm O) ; khi $\tau_c A_{ca} > Wb$ tức là hạt đất bắt đầu bị xói (Hình 2b).

Cơ chế nhấc hạt đơn giản là giả thiết hạt đất hình khối, áp suất nước trên đỉnh của khối là u_t và áp suất dưới đáy là u_b . Chênh lệch áp suất $u_b - u_t$ là tổng của chênh lệch áp suất thủy tĩnh $(u_b - u_t)_0$ và chênh lệch áp suất tạo ra bởi dòng chảy Δu : $u_b - u_t = (u_b - u_t)_0 + \Delta u$; khi về trái lớn hơn không, hạt đất bắt đầu bị xói (Hình 2c).

3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

3.1. Mục đích nghiên cứu

Cơ sở lý luận để thí nghiệm mô hình vật lý là dựa vào lý thuyết tương tự mô hình. Mô hình thu nhỏ được xây dựng để mô phỏng các quá trình vật lý và hiện tượng một cách tương tự

$$(U / \sqrt{gL})_p = (U / \sqrt{gL})_m \quad \text{hay}$$

$$\frac{q_m}{q_p} = \left(\frac{L_m}{L_p} \right)^{3/2}$$

trong đó U là lưu tốc ; L là chiều dài và q là lưu lượng đơn vị.

Thí nghiệm của Hanson và các cộng sự (Hanson, G. J., Cook, K. R. & Hunt, S. L. 2005) được thực hiện cho hai đập đất với lưu lượng đơn

$$\left(\frac{L_m}{L_p} \right)^{3/2} = \left(\frac{0,5}{2,3} \right)^{3/2} = 0,101 \quad \text{với } q_p = 0,22 \div 0,36 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} \text{ thì } q_m = 0,0222 \div 0,0364 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

Thí nghiệm được thực hiện theo nguyên tắc không chế cột nước tràn thay đổi từ $H = 7 \div 23\text{cm}$, tính toán lưu lượng tràn theo Chen và các cộng sự (Y.H. Chen, Bradley A. Anderson. 1987) được $q = 0,020 \div 0,040 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. Giá trị này gần đúng với q_m yêu cầu.

Đất được sử dụng để đắp đập là 2 loại đất đã được thí nghiệm xác định hàm vận tốc xói

như trong điều kiện thực tế. Mục đích của thí nghiệm này là để:

- Quan sát hiện tượng, cơ chế vỡ của đập khi đắp đập bằng các loại đất khác nhau (đất dính và đất ít dính).

- Đo đạc thời gian xói và diễn biến mặt cắt đập, tính toán tốc độ xói của đất.

3.2. Trường hợp thí nghiệm

Mô hình đập đất đồng chất có chiều cao đập $h = 0,5\text{m}$; chiều dài đỉnh đập $L = 0,5\text{m}$; chiều rộng đỉnh đập $B = 0,4\text{m}$; mái thượng lưu $m_1 = 1$; mái hạ lưu $m_2 = 2$.

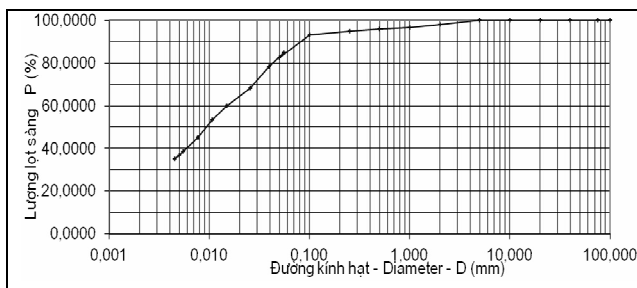
Tỷ lệ mô hình được lựa chọn theo điều kiện phải thỏa mãn được số Froude, chỉ ra bởi Coleman và các cộng sự (Coleman, E. S., Andrews, D. P. & Webby, M. G. 2002).

vị là $q = 0,22 \div 0,36 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ cho con đập cao 2,3m và $q = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ cho đập cao 1,5m. Các thí nghiệm này đã được kiểm chứng thỏa mãn điều kiện về số Froude. Ở đây, tác giả thực hiện thí nghiệm cho đập đất cao 0,5m, ta có tỷ lệ:

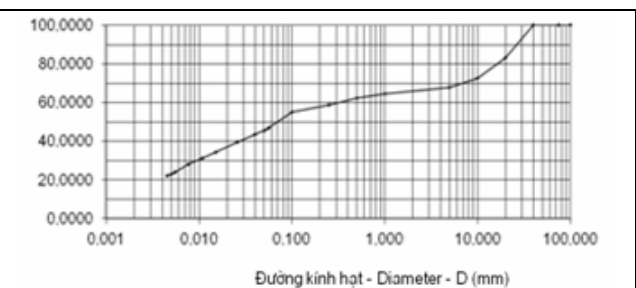
(Phạm Thị Hương, 2016).

- Loại I: Đất dính cao có hàm lượng sét lớn màu xám nâu, xám vàng được lấy tại quả đồi xã Đồng Trúc, huyện Thạch Thất, Hà Nội.

- Loại II: Đất ít dính có hàm lượng sét trung bình, màu xám nâu - lấy tại mỏ đất dùng để đắp đập phụ số 2 – hồ chứa Đầm Hà Động, huyện Đầm Hà, tỉnh Quảng Ninh.



Hình 3. Đường cong cấp phối hạt của đất loại I



Hình 4. Đường cong cấp phối hạt của đất loại II

Bảng 1. Một số chỉ tiêu chính của đất

Chỉ tiêu thí nghiệm	Đất loại I (đất dính)	Đất loại II (đất ít dính)
Độ đầm chặt K	0,9	0,9
Dung trọng (T/m^3)	1,64	1,52
Độ ẩm tối ưu (%)	32,13	32,85
Góc ma sát trong (độ)	$15^{\circ}28'$	$16^{\circ}36'$
Lực dính đơn vị (kG/cm^2)	0,259	0,201
Hàm vận tốc xói (cm/s)	$E = 0,0019 (\tau - 5,37)$	$E = 0,0023 (\tau - 5,0)$

3.3. Qui trình đắp đập và tiến hành thí nghiệm

- Sàng đất qua sàng có đường kính mắt lưới 5mm để loại bỏ hạt cốt liệu lớn;
- Xác định độ ẩm hiện tại của đất, xác định lượng nước cần trộn thêm, sau đó tiến hành trộn thêm nước để đưa đất về độ ẩm tối ưu;
- Đắp đất theo từng lớp có chiều dày 10cm, đầm nện với số lần đầm tương đối đều nhau cho mỗi lớp, dung trọng mỗi lớp xác định bằng phương pháp dao vòng;
- Cắt gọt mái thượng lưu và hạ lưu bằng phương pháp thủ công.
- Để đo mực nước tràn trên đỉnh đập, tiến hành kẻ các đường kẻ ngang từ cao trình đỉnh

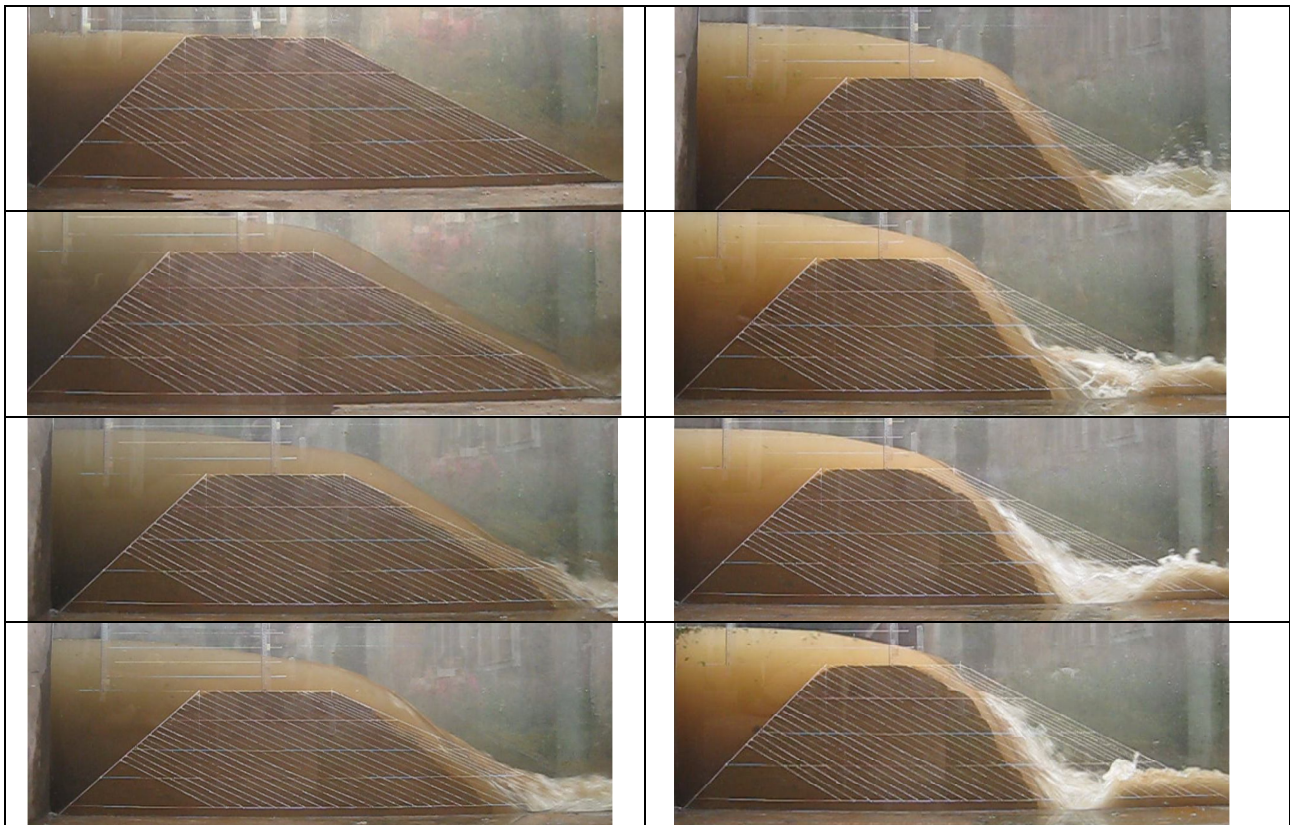
đập trở lên, khoảng cách giữa các đường là 5cm
 - Để thuận tiện cho việc theo dõi diễn biến xói của mái hạ lưu và đỉnh đập khi nước tràn, tiến hành vẽ một lưới các đường kẻ song song với bề mặt mái hạ lưu đập.

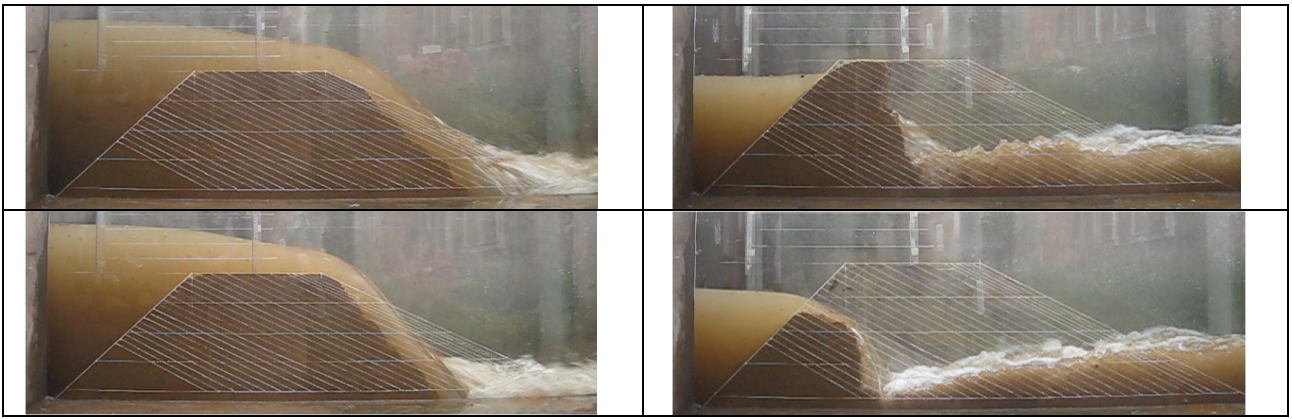
- Các camera quan sát được đặt tại phía vai phải của đập và chính diện hạ lưu để ghi lại toàn bộ diễn biến quá trình xói và vỡ đập kể từ khi nước tràn cho đến khi đập bị vỡ hoàn toàn.

Tiến hành xả nước với các cấp lưu lượng đã định sẵn để đạt được cột nước tràn cần thiết.

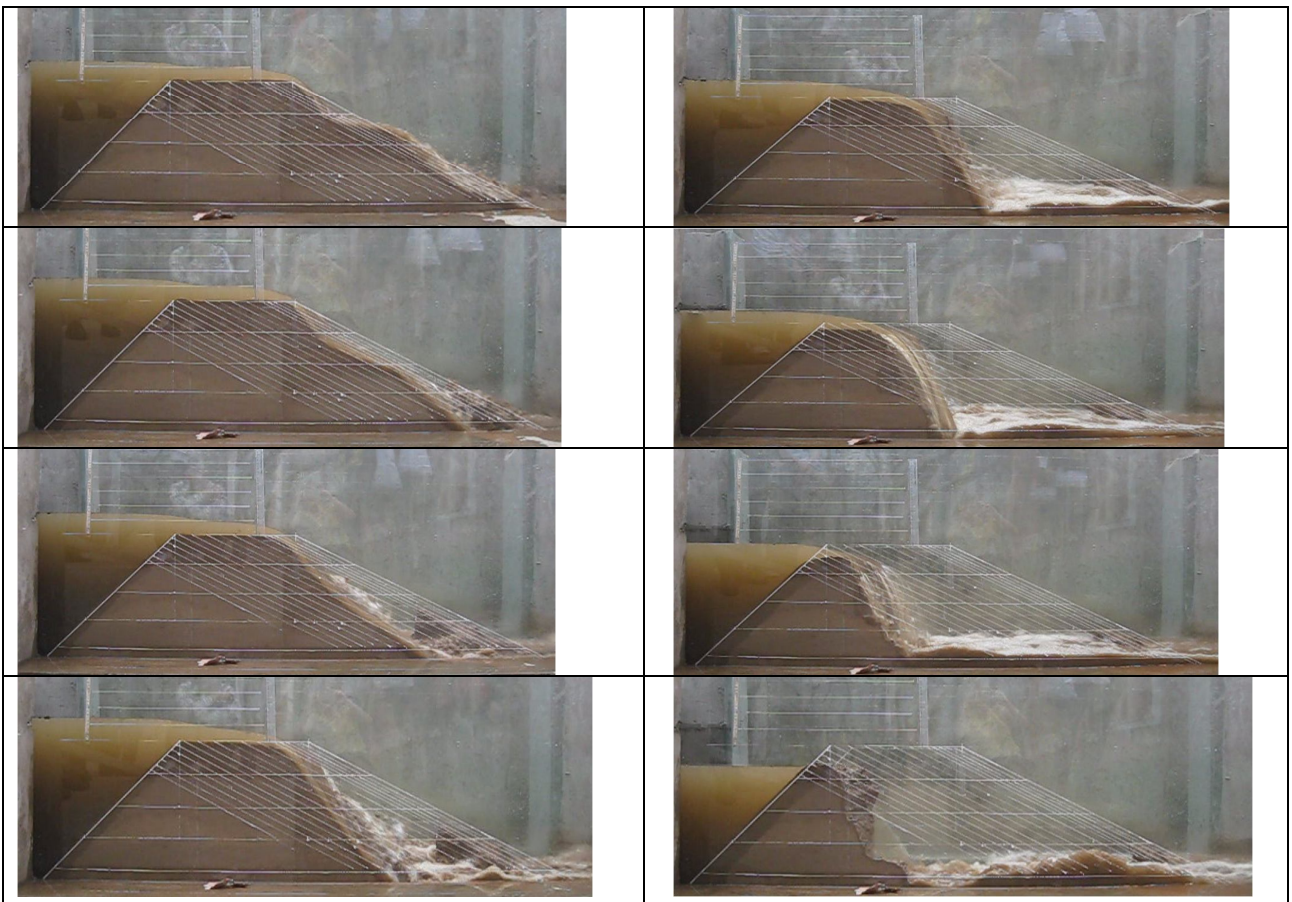
3.4. Kết quả thí nghiệm và nhận xét

Hình ảnh thí nghiệm thu được từ các camera quan sát hai bên vai đập và chính diện hạ lưu. Cắt ảnh từ các video theo bước thời gian 3 phút.



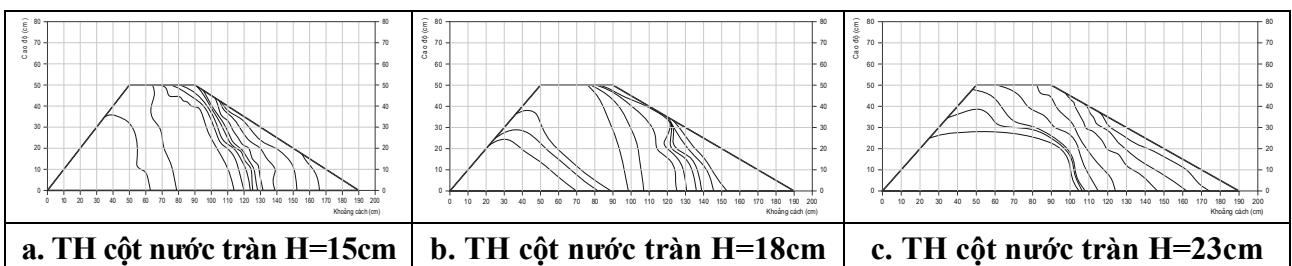


Hình 5. Đất loại I – cột nước tràn 15cm (bước thời gian 3 phút)

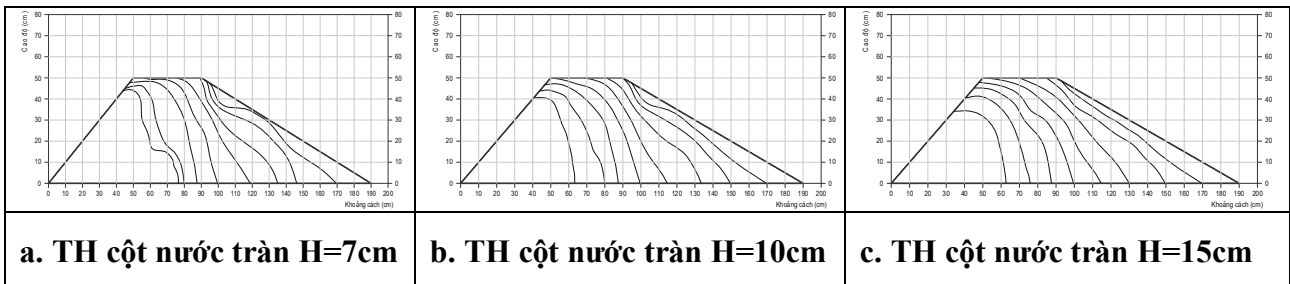


Hình 6. Đất loại II – cột nước tràn 7cm (bước thời gian 3 phút)

Từ hình ảnh thu được tiến hành vẽ các đường diễn biến mặt cắt đập trong quá trình xói



Hình 7. Hình ảnh diễn biến mặt cắt đập theo quá trình xói – đất loại I.

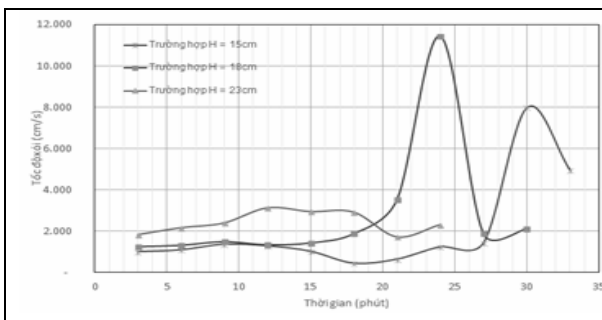


Hình 8. Hình ảnh diễn biến mặt cắt đập trong quá trình xói – đất loại II

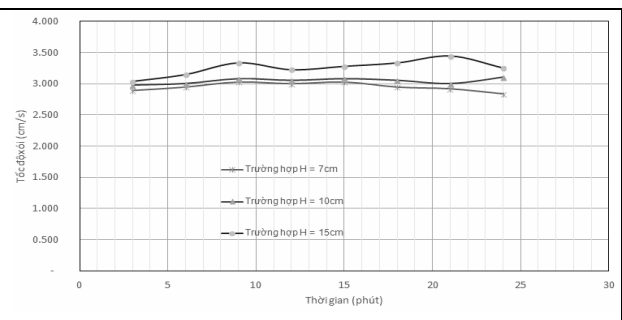
Bảng 2. Thông kê thời gian xói của đập

Cột nước tràn H (cm)	Đất loại I		Đất loại II	
	Thời gian xói đến mép hạ lưu đỉnh đập t_1 (phút)	Thời gian xói đến mép thượng lưu đỉnh đập t_2 (phút)	Thời gian xói đến mép hạ lưu đỉnh đập t_1 (phút)	Thời gian xói đến mép thượng lưu đỉnh đập t_2 (phút)
7			8	17
10			6	16
15	18	32	4	14
18	15	26		
23	12	17		

Tính toán khối lượng đất bị xói theo các bước thời gian (ΔW), từ đó tính được tốc độ xói của từng loại đất theo công thức: $E = \Delta W / \Delta t$



Hình 9. Biểu đồ đường quá trình tốc độ xói của đất loại I



Hình 10. Biểu đồ đường quá trình tốc độ xói của đất loại II

Từ hai biểu đồ trên cho thấy đối với đất loại I, tốc độ xói thay đổi và có những bước nhảy đột ngột (trường hợp cột nước tràn là 15cm và 18cm - Hình 9), do sự mất ổn định và sạt trượt cả khối đất. Với trường hợp cột nước cao ($H = 23\text{cm}$) tốc độ xói tương đối đều trong suốt thời gian thí nghiệm là do khi vận tốc dòng chảy lớn, khả năng xói của đất sẽ ít chịu ảnh hưởng bởi tính chất đất. Đối với đất loại II, tốc độ xói của đất rất đều đặn, không có sự thay đổi đột biến cho cả ba trường hợp thí nghiệm (Hình 10).

Tốc độ xói trung bình của đất loại II lớn hơn so với tốc độ xói trung bình của đất loại I, vì

vậy thời gian vỡ đập đất ít dính nhanh hơn (so sánh trường hợp cùng một cột nước tràn là $H = 15\text{cm}$: tốc độ xói trung bình của đất loại I là $E = 2,04 \text{ cm}^3/\text{s}$ và của đất loại II là $E = 3,255 \text{ cm}^3/\text{s}$; thời gian vỡ của đập đất loại II là 14 phút và thời gian vỡ của đập đất loại I là 32 phút).

Từ kết quả thí nghiệm nhận thấy đối với những đập đắp bằng đất dính cao, khi nước tràn qua đập có xu hướng bị xói dưới chân trước, sau đó phát triển dần lên đến đỉnh. Trong quá trình xói, có trường hợp hình thành hàm ếch trên mái hạ lưu, sau một khoảng thời gian do mất ổn định hàm ếch này sập xuống (trường hợp cột nước

tràn 18cm). Khoảng cách giữa các đường cong không đều nhau, có những lúc các đường cong rất sát nhau nhưng có lúc lại rất xa nhau. Tại những vị trí các đường cong nằm cách xa nhau, quan sát trên video là do hiện tượng mất ổn định và trượt cả một khối đất trên thân đập.

Đối với các đập đắp bằng đất ít dính, diễn biến mặt cắt đập theo thời gian là các đường cong tương đối đều phát triển từ đỉnh đến chân đập. Khoảng cách giữa các đường cũng tương đối đều đặn, không có sự thay đổi đột ngột chứng tỏ quá trình xói là quá trình bào mòn dần trên bề mặt mái hạ lưu và đỉnh đập.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu thực nghiệm là một giải pháp

quan trọng trong tính toán thiết kế công trình bên cạnh các phương pháp nghiên cứu khác. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm góp phần làm sáng tỏ cơ sở lý thuyết hoặc thiết lập được các công thức thực nghiệm mà phương pháp lý thuyết chưa tìm ra được.

Bài báo thể hiện kết quả thí nghiệm mô hình vật lý xác định cơ chế xói của đập đắp bằng hai loại đất có tính dính khác nhau. Thí nghiệm đã xác định được cơ chế xói và tính toán tốc độ xói của mỗi loại đất, khẳng định sự phù hợp giữa lý thuyết về cơ chế xói của đất dính và đất ít dính với thực tế thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm cũng thể hiện rõ sự ảnh hưởng của cột nước tràn và tính chất của đất đến tốc độ xói bề mặt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tổng cục Thủy lợi, 2015. Báo cáo chương trình an toàn hồ chứa.

Phạm Thị Hương, 2016. Thí nghiệm xác định tốc độ xói của đất đắp dưới tác dụng của dòng chảy trên bề mặt, Tạp chí Thủy Lợi và Môi trường số 53, 6/2016.

J.L.Briaud, H.C.Chen, A.V.Govindasamy and R. Storesund. 2007. Erosion Tests on Samples from the New Orleans Levees. American Society of Civil Engineers.

Coleman, E. S., Andrews, D. P. & Webby, M. G, 2002. Overtopping breaching of noncohesive homogeneous embankments. J. Hydraulic Engng128, No. 9, 829–838.

Hanson, G. J., Cook, K. R. & Hunt, S. L, 2005. Physical modeling of overtopping erosion and breach formation of cohesive embankments. Trans. ASAE48, No. 5, 1783–1794.

Y.H. Chen, Bradley A. Anderson. 1987. Development of a methodology for estimating embankment damage due to flood overtopping. US. Department of transportation.

Abstract:

RESEARCH OF BREAKING MECHANISM OF OVERTOP EARTH DAMS

The breaking mechanism of embankment dams due to overflow depends on many factors, of which two major factors are the filling material properties and the water head on top of dam. This paper presents the content of an experiment to determine breaking mechanism of highly-cohesive soil dam and low-cohesive soil dam in case of overtopping, culculating the erosion rate and confirming the relevance of experimental results to previous theoretical researches.

Keywords: Soil erosion rate, dam overtopping, dam-breaking mechanism.

Ngày nhận bài: 18/9/2017

Ngày chấp nhận đăng: 12/10/2017