

## NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ NGUYÊN NHÂN SỰ CỐ XÓI NGẦM Ở CỐNG CẨM ĐÌNH - HÀ NỘI

Phạm Thị Hương

Trường Đại học Thủy lợi

Lê Quý Kiên, Đinh Xuân Trọng

Viện Thủy công

**Tóm tắt:** Cống qua đê là một trong những hạng mục công trình quan trọng và chủ yếu phục vụ cho sự làm việc hiệu quả của toàn bộ hệ thống đê. Thời gian qua đã xảy ra nhiều sự cố cống qua đê, phần lớn do hiện tượng xói ngầm gây ra, trong đó điển hình như cống Cẩm Đình thuộc đê phân lũ Vân Cốc, Hà Nội. Cho đến nay, các nguyên nhân dẫn đến sự cố của công trình vẫn chưa có kết luận chính xác. Bài báo trình bày phương pháp kết hợp giữa nghiên cứu thực nghiệm và mô hình toán để giải thích nguyên nhân sự cố xói ngầm của cống Cẩm Đình.

**Từ khóa:** Cống qua đê, nền cát, xói ngầm, gradient giới hạn

**Summary:** The under-dike culvert is one of the most important and mainly items for the effective working of the dike system. Recently, there have been many incidents of under-dike culvert, mostly caused by underground erosion, in which, for example, Cam Dinh culvert in Van Coc flood dike, Hanoi. Until now, the causes leading to the failure of the project have not been conclusively determined. This paper presents a combination method experimental research and mathematical model to explain the causes of internal erosion of Cam Dinh culvert.

**Keywords:** Under-dike culvert, sandy foundation, internal erosion, critical gradient

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cống Cẩm Đình nằm trên đê phân lũ Vân Cốc, thuộc địa phận xã Cẩm Đình, huyện Phúc Thọ, thành phố Hà Nội. Cống được đưa vào sử dụng năm 2004 trên nền cát hạt nhỏ, chống thấm bằng cừ thép ở thượng và hạ lưu, gia cố nền bằng cọc BTCT. Trong khoảng thời gian từ tháng 7 – 9/2017, cống xuất hiện sự cố đùn sủi trên kênh hạ lưu ngay sau cống. Thời điểm xảy ra sự cố, chênh lệch mực nước thượng, hạ lưu cống là 5,75m (mực nước thượng lưu +10,85m, hạ lưu ở cao trình +5,10m). Sơ bộ đánh giá nguyên nhân sự cố là do: (1) Nền cát bị biến dạng, xáo trộn trong quá trình thi công; (2) Địa chất nền cống phức tạp, xen kẽ lớp

bùn bồi tích theo dạng mạch lươn không được phát hiện trong quá trình khảo sát; (3) Đất đắp không đạt được độ chặt theo yêu cầu; (4) Hư hỏng khớp nối giữa bản đáy và sân trước, sân tiêu năng; (5) Cừ chống thấm không kín khí; (6) Tầng lọc ngược bị hư hỏng.

Cho đến nay, các nguyên nhân dẫn đến sự cố xói ngầm xảy ra ở nền cống Cẩm Đình vẫn chưa có kết luận chính xác. Thực tế cho thấy, mặc dù việc tính toán đã đảm bảo an toàn thấm theo các qui định hiện hành nhưng cống vẫn bị sự cố thấm khi chênh lệch mực nước thượng hạ lưu chưa đạt tới giá trị thiết kế. Điều này đặt ra câu hỏi tại sao công trình lại mất ổn định thấm và cọc bê tông cốt thép (BTCT) gia cố nền ảnh hưởng như thế nào đến gradient thấm?

Từ các lập luận trên, bài báo tập trung phân tích, đánh giá, xác định nguyên nhân xảy ra

Ngày nhận bài: 19/6/2023

Ngày thông qua phản biện: 12/7/2023

Ngày duyệt đăng: 02/8/2023



$$G = \gamma_n \cdot h_1 \cdot F + \gamma_{bh} \cdot \Delta L \cdot F \quad (6)$$

Ở trạng thái cân bằng,  $F_S = G$  và khi đó:

$$(\Delta h + h_1 + \Delta L) \cdot \gamma_n \cdot F = \gamma_n \cdot h_1 \cdot F + \gamma_{bh} \cdot \Delta L \cdot F \quad (7)$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta L} = \frac{\gamma_{bh} - \gamma_n}{\gamma_n} \quad (8)$$

Thay (3) và  $\gamma' = \gamma_{bh} - \gamma_n$  sẽ có biểu thức xác định gradient thấm tới hạn để xảy ra biến hình thấm trong nền cát dưới công qua đê:

$$J_{gh} = \frac{\gamma'}{\gamma_n} \quad (9)$$

trong các công thức từ (5) đến (9),  $h_1$  là độ sâu hạ lưu,  $F$  là diện tích mặt cắt ngang tại đáy khối đất,  $\gamma_n$  là trọng lượng đơn vị thể tích của nước,  $\gamma_{bh}$  và  $\gamma'$  là trọng lượng đơn vị thể tích đất bão hòa và đất nổi,  $J_{gh}$  là gradient thấm giới hạn.

Khi gradient thấm vượt quá giá trị giới hạn, công trình sẽ xảy ra biến hình thấm như xói ngầm, xói tiếp xúc, đẩy trôi đất,...

### 3.3. Lý thuyết nghiên cứu thực nghiệm

#### 3.3.1. Lý thuyết tương tự

Khi nghiên cứu thấm dưới đáy công trình, thí nghiệm trong phòng trên mô hình vật lý thường được lựa chọn vì nó có thể xét được khá đầy đủ các yếu tố phức tạp trong thực tế. Để đạt được điều đó, mô hình thí nghiệm thấm được xây dựng trên cơ sở các điều kiện tương tự để đảm bảo tính đồng nhất của các phương trình chuyển động và tính liên tục của dòng chảy hoặc chứng minh trong những quá trình tương tự, tất cả các tổ hợp không thứ nguyên đối với các đặc trưng của chúng phải như nhau, nghĩa là mô hình phải thỏa mãn tiêu chuẩn sau:

$$\lambda_Q = \lambda_k \cdot \lambda_l^2 \quad (10)$$

trong đó,  $\lambda_Q$  là tỷ lệ về lưu lượng thấm,  $\lambda_k$  là tỷ lệ về hệ số thấm và  $\lambda_l$  là tỷ lệ hình học.

Để đảm bảo sự tương tự về chuyển động của dòng thấm ở ngoài thực tế và trong mô hình,

vật liệu thấm sử dụng trong mô hình phải được lấy tại hiện trường hoặc được chế bị tương đương với trạng thái tự nhiên, khi đó có thể coi tỷ lệ hệ số thấm  $\lambda_k = 1$ .

#### 3.3.2. Phương trình nghiên cứu thực nghiệm

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến gradient thấm trong nền công qua đê. Với mục đích nghiên cứu hiện tượng xói ngầm cho một mẫu đất để từ đó xác định gradient giới hạn của nó, có thể kể đến một số nhân tố ảnh hưởng sau:

(1) Nhóm yếu tố thủy lực: khối lượng riêng ( $\rho_n$ ) và độ nhớt ( $\mu_n$ ) của nước, gia tốc trọng trường ( $g$ ), chênh lệch mực nước thượng hạ lưu ( $\Delta H$ );

(2) Nhóm yếu tố đất nền: khối lượng đơn vị thể tích ( $\rho_d$ ), hệ số thấm ( $k_{th}$ ), hệ số không đều hạt ( $C_u$ ), độ rỗng của đất ( $n$ ), chiều dài mẫu – chiều dài dòng thấm ( $L$ ).

Hàm tổng quát đại diện cho hiện tượng được xem xét có thể viết như sau:

$$f(\mu_n, \rho_n, g, \Delta H, \rho_d, k_{th}, C_u, n, L) = 0 \quad (11)$$

Ứng dụng lý thuyết Buckingham để thiết lập mối quan hệ không thứ nguyên sau đây:

$$f\left(\frac{\rho_n L k_{th}}{\mu_n}, \frac{k_{th}^2}{gL}, \frac{\Delta H}{L}, C_u, n\right) = 0 \quad (12)$$

Thay  $Fr = \frac{k_{th}^2}{gL}$ ;  $J = \frac{\Delta H}{L}$  có:

$$f\left(\frac{\rho_n L k_{th}}{\mu_n}, Fr, J, C_u, n\right) = 0 \quad (13)$$

Với mục tiêu nghiên cứu gradient thấm trong phạm vi định luật Darcy, có thể bỏ qua ảnh hưởng của số Froud ( $Fr$ ) vì đây là một chỉ số của dòng chảy mặt, phương trình (13) trở thành:

$$f\left(J, \frac{\rho_n L k_{th}}{\mu_n}, C_u, n\right) = 0 \quad (14)$$

$$\text{hay } k_{th} = \frac{\mu_n}{\rho_n L} f(J, C_u, n) = 0 \quad (15)$$

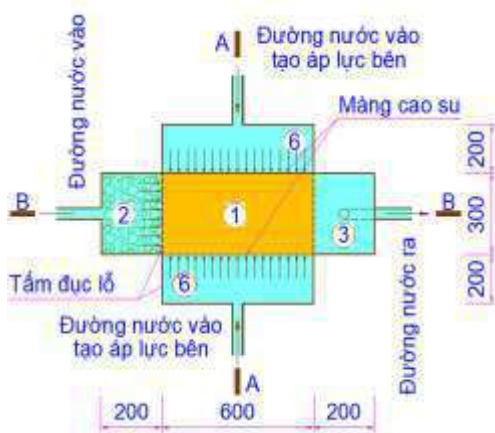
Phương trình (15) được sử dụng để nghiên cứu sự thay đổi của hệ số thấm trước sự thay đổi của gradient thấm (với một loại đất, kích thước mẫu và chất lỏng thí nghiệm thì các đại lượng  $C_u$ ,  $n$ ,  $\mu_n$ ,  $\rho_n$  và  $L$  không thay đổi).

#### 4. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH GRADIENT GIỚI HẠN NỀN CÔNG CẨM ĐÌNH

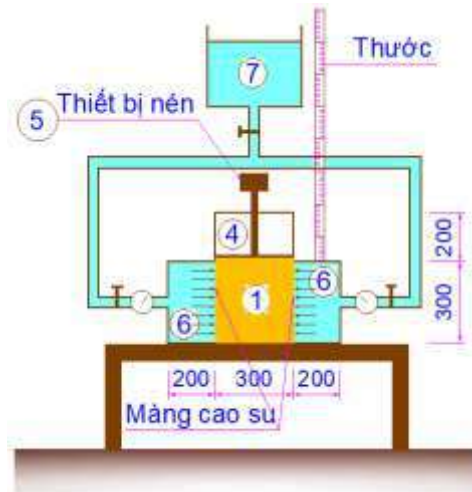
##### 4.1. Mô hình thí nghiệm

Để thực hiện các thí nghiệm xác định gradient giới hạn của nền cát dưới đáy công Cẩm Đình,

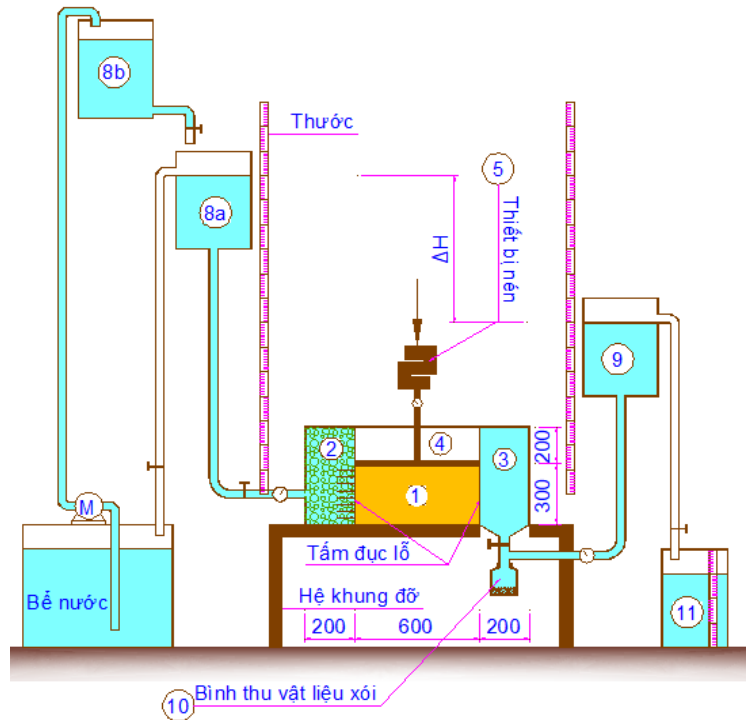
một mô hình thí nghiệm thấm ngang đã được nghiên cứu thiết lập. Mô hình này cho phép kiểm soát độc lập trạng thái ứng suất và gradient thủy lực, đồng thời định lượng được khối lượng đất bị xói mòn cũng như lưu lượng thấm. Cấu tạo của mô hình gồm 04 phần chính: (i) Hộp thấm; (ii) Hệ thống cấp nước tạo áp lực thấm; (iii) Hệ thống tạo ứng suất đứng và ngang; (iv) Hệ thống thu gom đất và nước thấm; (v) Thiết bị phụ trợ. Chi tiết mô hình thí nghiệm được trình bày trong bài báo của Đinh Xuân Trọng (2018) [1] và Hình 2.



a) Mặt bằng bố trí các bộ phận



b) Mặt cắt A - A



c) Mặt cắt B - B

1 – Mẫu đất; 2 – Ngăn cấp nước; 3 – Ngăn thu đất và nước thấm; 4 – Ngăn chứa thiết bị nén; 5 – Thiết bị nén tạo ứng suất thẳng đứng; 6 – Hộp chứa nước tạo áp lực hông; 7 – Bình chứa nước tạo áp lực hông; 8a – Bình điều áp; 8b – Bình cấp nước; 9 – Bình cân bằng áp lực; 10 – Bình thu gom đất bị xói; 11 – Bình đo lượng nước thấm.

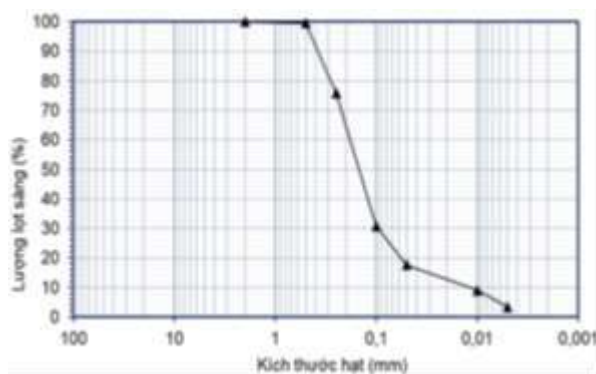
Hình 2: Cấu tạo mô hình thí nghiệm xác định gradient giới hạn



Hình 3: Hình ảnh thực tế của mô hình

#### 4.2. Đất thí nghiệm

Mẫu đất thí nghiệm được chế bị từ cát tự nhiên với thành phần hạt tương tự như đất lớp 2 (cát hạt nhỏ) nằm ngay dưới đáy cống Cẩm Đình [2]. Thành phần hạt của đất thể hiện trên Hình 4.



Hình 4: Đường cong cấp phối hạt của đất

Đất có hệ số không đều hạt  $C_u = 20$ ; các chỉ tiêu cơ lý khác được chế bị tương đương với đất ngoài thực tế.

#### 4.3. Kịch bản thí nghiệm

Tiến hành thí nghiệm với 03 mẫu đất giống nhau lần lượt là M1, M2, M3. Kích thước của mẫu thí nghiệm phụ thuộc vào đường kính hạt lớn nhất của đất thí nghiệm. Kích thước hạt lớn nhất của lớp cát nền cống Cẩm Đình  $d_{max} = 2\text{mm}$ . Trong nghiên cứu này, lựa chọn mẫu thí

nghiệm hình hộp có kích thước (rộng x cao x dài) = (300x300x600) mm. Tỷ số của kích thước mẫu và đường kính hạt lớn nhất là 150, lớn hơn giá trị tối thiểu ( $8 \div 12$ )  $d_{max}$  quy định trong ASTM [3]; ngoài ra, kích thước của mẫu cũng đáp ứng được yêu cầu ASTM (đường kính tối thiểu bằng 76mm) đối với kích thước hạt của các loại đất thí nghiệm.

Theo Istomina [4], với mẫu đất thí nghiệm có hệ số không đều hạt  $C_u = 20$  thì  $J_{gh} = 0,3$ . Từ đó giới hạn được phạm vi thí nghiệm:

- Với mẫu M1, thay đổi mực nước thượng lưu tạo các cấp chênh lệch cột nước  $\Delta H = 60, 120, 180\text{mm}$ . Theo dõi ở cấp gradient có sự thay đổi đột biến của lượng nước thấm thoát ra hay mẫu đất thí nghiệm xuất hiện xói ngầm và phá hoại.

- Với mẫu M2 thực hiện với các cấp chênh lệch cột nước nhỏ hơn và xoay quanh giá trị chênh lệch cột nước gây đột biến ở mẫu M1.

- Mẫu M3 thực hiện tương tự mẫu M2.

#### 4.4. Kết quả thí nghiệm

Trong mỗi thí nghiệm, gradient thủy lực (J) không thay đổi, lượng nước thấm (V) được đo sau mỗi 15 phút bằng bình đo với độ chính xác đến mililiter. Lưu lượng thấm (q) sau mỗi khoảng thời gian (t) xác định theo công thức:

$$q = \frac{V}{t} \tag{16}$$

Hệ số thấm ( $k_{th}$ ) xác định từ công thức (1):

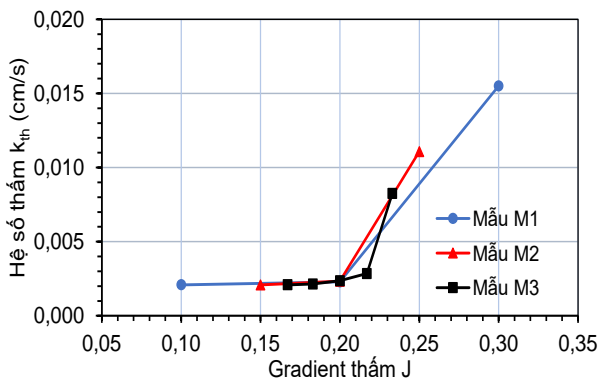
$$k_{th} = \frac{q}{J \cdot \omega_m} \tag{17}$$

với  $\omega_m = 30 \times 30 = 900 \text{ cm}^2$  là diện tích mặt cắt ngang mẫu đất thí nghiệm.

Kết quả thí nghiệm, tính toán cho mẫu M1, M2, M3 với các cấp gradient thủy lực ( $J$ ) được trình bày trong các Bảng 1 và Hình 5 dưới đây.

**Bảng 1: Kết quả thí nghiệm**

Mẫu	Gradient (J)	Hệ số thấm trung bình $k_{th}$ (cm/s)
M1.1	0,1	0,00209
M1.2	0,2	0,00228
M1.3	0,3	0,01550
M2.1	0,15	0,00208
M2.2	0,20	0,00233
M2.3	0,25	0,01107
M3.1	0,167	0,00209
M3.2	0,183	0,00214
M3.3	0,200	0,00236
M3.4	0,217	0,00285
M3.5	0,233	0,00825



Hình 5: Quan hệ giữa  $J$  và  $k_{th}$

Kết quả thí nghiệm cho thấy:

+ Với mẫu M1: Khi  $J < 0,2$ , hệ số thấm của đất gần như không đổi; khi  $J > 0,2$ , hệ số thấm tăng đột biến. Như vậy, xói ngầm đã xảy ra đối với mẫu M1 khi  $J > J_{gh} = 0,2$ . Để xác định chính xác giá trị  $J_{gh}$ , tiến hành thí nghiệm cho mẫu M2 với các giá trị  $J$  ở lân cận 0,2 ( $\Delta J = 0,05$ ).

+ Mẫu M2: Sự gia tăng đột ngột của hệ số thấm cũng xảy ra khi  $J > 0,2$ . Điều này cho thấy mẫu M2 cũng bị xói ngầm khi  $J > J_{gh} = 0,2$ . Tiếp tục thí nghiệm cho mẫu M3 với các giá trị  $J$  ở lân cận 0,2 theo các cấp  $\Delta J$  nhỏ hơn.

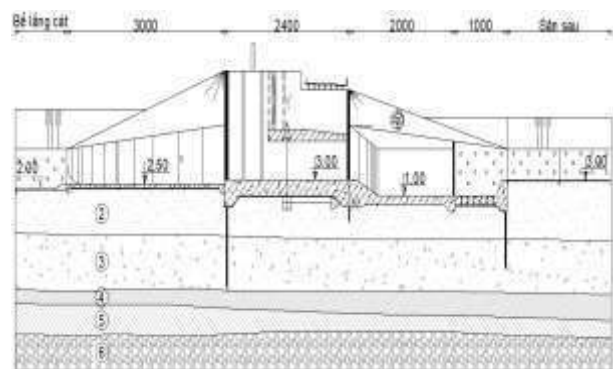
+ Ở mẫu M3, khi  $J > 0,217$  thì hệ số thấm tăng đột biến. Điều này chỉ xảy ra khi dòng thấm cuốn đi các hạt đất làm lỗ rỗng của đất tăng lên và xói ngầm đã xuất hiện tại thời điểm này.

Từ kết quả thí nghiệm, có thể kết luận rằng gradient giới hạn của đất cát hạt nhỏ ở nền cống qua đê Cẩm Đình là  $J_{gh} = 0,217$ .

## 5. ĐÁNH GIÁ NGUYÊN NHÂN XÓI NGẦM CỐNG CẨM ĐÌNH

### 5.1. Tính toán thấm dưới nền cống bằng mô hình toán (SEEP/W)

#### 5.1.1. Sơ đồ tính toán



Hình 6: Sơ đồ tính toán thấm

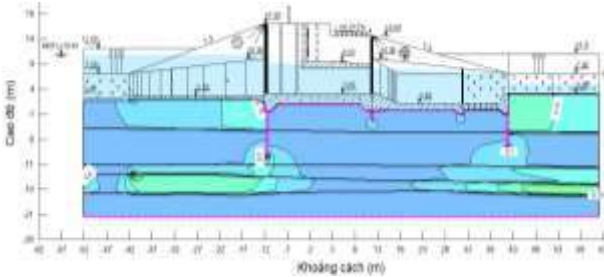
#### 5.1.2. Trường hợp tính toán

Tính toán cho sự cố đùn sủi ở hạ lưu cống:

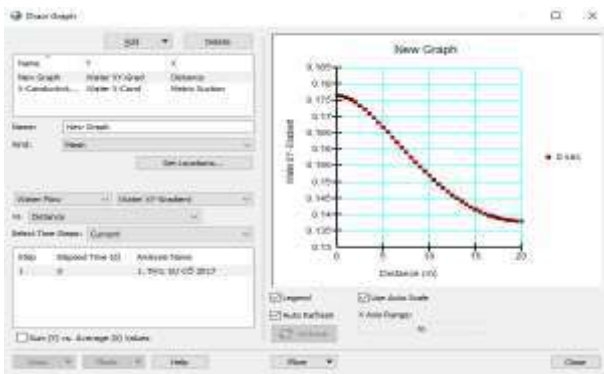
- Mực nước thượng lưu +10,85m;
- Mực nước hạ lưu +5,10m;
- Chênh lệch cột nước  $\Delta H = 5,75\text{m}$ ;

- Khớp nối giữa sân trước, sân tiêu năng và bản đáy cống bị hỏng.

5.1.3. Kết quả tính toán



Hình 7: Phân bố gradient thấm nền cống



Hình 8: Biểu đồ gradient thấm cửa ra

**Kết quả tính toán gradient thấm lớn nhất tại cửa ra  $J_{rmax} = 0,176$ .**

5.2. Đánh giá nguyên nhân xói ngầm

Kết quả tính toán kiểm tra cho công Cầm Đình cho thấy, gradient thấm lớn nhất tại cửa ra của dòng thấm nhỏ hơn giá trị cho phép theo TCVN 4253-2012 ( $J_{rmax} = 0,176 < [J] = 0,18$ ). Như vậy, theo các hướng dẫn, qui định hiện hành, công Cầm Đình đảm bảo an toàn thấm. Tuy nhiên, thực tế công đã bị sự cố xói ngầm mặc dù chưa làm việc đến cột nước thiết kế. Các kết quả tính toán thấm đã bỏ qua ảnh hưởng của hệ cọc BTCT đóng dưới đáy cống. Theo nghiên cứu của Đinh Xuân Trọng và cộng sự [5], khi nền cống được gia cố cọc BTCT sẽ có sự thay đổi cột nước thấm và gradient thấm so với trường hợp nền không cọc, đặc biệt ở khu vực cửa ra của dòng thấm. Sự thay đổi này phụ thuộc vào độ dài cọc BTCT ( $L_p$ ), chiều sâu cừ thượng lưu ( $h_{ct}$ ) và hệ

số không đều hạt ( $C_u$ ) của đất. Đinh Xuân Trọng và cộng sự [6] đã đề xuất phương pháp tính toán gradient thấm lớn nhất ở cửa ra khi xét đến ảnh hưởng của hệ cọc BTCT như sau:

$$J_{rc\max} = k_j \cdot J_{r\max} \tag{18}$$

trong đó:  $J_{rc\max}$ ,  $J_{r\max}$  là gradient thấm lớn nhất tại khu vực cửa ra khi có xét và không xét đến ảnh hưởng của cọc BTCT,  $k_j$  là hệ số điều chỉnh gradient thấm phụ thuộc vào hệ số  $C_u$  và tỷ lệ ( $L_p/h_{ct}$ ). Ở đây,  $L_p$  là chiều dài cọc và  $h_{ct}$  là chiều sâu cừ thượng lưu.

Cống Cầm Đình đặt trên lớp cát hạt nhỏ  $C_u = 20$ ,  $h_{ct} = 12m$ ,  $L_p = 12m$ , tỷ lệ ( $L_p/h_{ct}$ ) = 1, hệ số  $k_j$  xác định theo công thức:

$$k_j = 1 + \frac{3,8233 \cdot \ln(C_u) + 15,084}{100} \tag{19}$$

Kết quả tính toán gradient lớn nhất tại cửa ra của dòng thấm cho công Cầm Đình khi xét đến ảnh hưởng của hệ cọc BTCT gia cố nền:  $k_j = 1,27$ ;  $J_{rc\max} = 0,224$ . So sánh với gradient giới hạn đã xác định bằng mô hình vật lý cho thấy  $J_{rc\max} = 0,224 > J_{gh} = 0,217$ . Như vậy, sự gia tăng gradient thấm ở cửa ra do ảnh hưởng của cọc BTCT là nguyên nhân chính dẫn đến sự cố xói ngầm ở công Cầm Đình.

6. KẾT LUẬN

Dựa trên các nguyên tắc của phương pháp phân tích thứ nguyên, một phương trình nghiên cứu thực nghiệm với hệ số thấm là hàm số của gradient thủy lực, độ lỗ rỗng của đất, hệ số không đều hạt đã được thiết lập. Trên cơ sở đó đó, một thiết bị thí nghiệm đã được thiết lập để xác định gradient giới hạn xói ngầm. Kết quả thí nghiệm đã xác định được gradient thấm giới hạn của đất nền cát hạt nhỏ (lớp 2) dưới công Cầm Đình là  $J_{gh} = 0,217$ .

Từ trước đến nay, khi tính toán thấm cho công qua đê thường bỏ qua sự có mặt của hệ cọc BTCT gia cố và xem như nền đồng nhất dẫn đến kết quả tính toán có sự sai khác với thực tế làm việc, đôi khi không an toàn. Kết quả tính

toán kiểm tra an toàn thấm cho công Cầm Đình cho thấy:

- Khi bỏ qua ảnh hưởng của cọc BTCT,  $J_{rmax} = 0,176 < J_{gh} = 0,217$ , công đảm bảo an toàn thấm theo quy định ( $[J] = 0,18$ );

- Khi xét đến ảnh hưởng của cọc,  $J_{rcmax} = 0,224 > J_{gh} = 0,217$ , công có thể bị xói ngầm.

Như vậy, cùng với các nguyên nhân khác như các vấn đề liên quan đến khảo sát, thi công, ...; ảnh hưởng của cọc BTCT gia cố nền làm gradient thấm ở cửa ra vượt quá giá trị giới hạn là một trong những nguyên nhân chủ yếu dẫn đến sự cố xói ngầm ở công Cầm Đình.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đinh Xuân Trọng, “Thiết lập mô hình thí nghiệm nghiên cứu hiện tượng xói ngầm dưới đáy công qua đê trên nền cát có xét đến ảnh hưởng của cọc bê tông cốt thép,” *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, số 45, tr. 80-89, 2018.
- [2] Ban Quản lý công trình phân lũ sông Đáy, “Báo cáo số 189/BC-PL ngày 29/7/2016 về Hiện tượng mạch sủi thượng lưu công Cầm Đình.”, 2016.
- [3] ASTM 2434-65, *Standard test method for permeability of granular soils*, 2000.
- [4] V. S. Istomina, “Filtration stability of soils,” in *Gostroizdat*, Moscow, Leningrad, 1957.
- [5] Đinh Xuân Trọng, Nguyễn Quốc Dũng, Phạm Ngọc Quý, Phạm Thị Hương, “Nghiên cứu ảnh hưởng của cọc bê tông gia cố nền đến các đặc trưng thấm trong nền cát dưới đáy công qua đê bằng mô hình vật lý,” *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, số 81, tr. 114-122, 12/2022.
- [6] Đinh Xuân Trọng, Nguyễn Quốc Dũng, Phạm Ngọc Quý, Phạm Thị Hương, “Phương pháp xác định các đặc trưng của dòng thấm trong nền cát dưới đáy công qua đê có cọc bê tông cốt thép gia cố nền,” *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, số 75, tr. 58-65, 12/2022.