

THIẾT LẬP MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM NGHIÊN CỨU HIỆN TƯỢNG XÓI NGÀM DƯỚI ĐÁY CỐNG QUA ĐÊ TRÊN NỀN CÁT CÓ XÉT ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA CỌC BÊ TÔNG CỐT THÉP

Đinh Xuân Trọng

Viện Thủy công - Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Tóm tắt: Trong thời gian qua đã xảy ra nhiều sự cố cống dưới đê trên nền cát do xói ngầm và phần lớn các sự cố đều xảy ra ở các cống có gia cố nền bằng cọc bê tông cốt thép. Để phân tích được hiện tượng thấm dưới đáy cống qua đê trên nền cát có xét đến trạng thái ứng suất khi có và không có cọc bê tông cốt thép, trong nghiên cứu này, mối quan hệ toán học giữa các yếu tố thủy lực, công trình, đất nền đã được thiết lập dựa trên phương pháp phân tích thứ nguyên. Trên cơ sở đó, một mô hình thí nghiệm đã được thiết kế để thực hiện các sê ri thí nghiệm với các điều kiện khác nhau. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm sẽ giúp thu được các dữ liệu cần thiết phục vụ công tác thiết kế, cảnh báo an toàn.

Từ khóa: Cống dưới đê, mô hình thí nghiệm, xói ngầm, nền cát, cọc bê tông cốt thép, trạng thái ứng suất

Abstract: There were many incidents of under-dike culverts on sand foundation due to internal erosion issues recently; and most of the incidents occurred at those culverts with the foundation supported by reinforced concrete piles. With the aim to analyze seepage in the foundation under the culverts in consideration of stress state in cases with or without reinforced concrete piles, in this study, a mathematical relationship among factors of the hydraulic dynamics, structures, and soil is established based on the dimensional analysis method. On this basis, a physical experiment model is designed to perform a series of tests with different conditions. The experimental results will help to obtain the necessary data for design and safety warnings.

Keywords: Under-dike culvert, experimental model, internal erosion, sand foundation, reinforced concrete piles, stress state

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cống dưới đê là một hạng mục quan trọng của hệ thống đê đồng bằng sông Hồng. Cống gồm nhiều kiểu, nhiều loại khác nhau đảm bảo các nhiệm vụ tưới, tiêu, lấy phù sa, ngăn triều, ngăn lũ. Trong thời gian qua, hàng loạt sự cố đã xảy ra đối với cống dưới đê như cống Mai Trang, Vĩnh Mộ, cống Nhân Hiền, cống A27, cống Văn Trai (Hà Nội), cống Tắc Giang (Hà Nam), v.v... và gần đây nhất, trong trận bão số 11 năm 2017, đã xảy ra 19 sự cố cống dưới đê

ở các tỉnh đồng bằng sông Hồng - Thanh Hóa.

Các kết quả điều tra [1] đã chỉ ra rằng, 25% các sự cố của cống dưới đê liên quan đến vấn đề thấm và phần lớn các sự cố đều xảy ra ở các cống có gia cố nền bằng cọc bê tông cốt thép. Điều đó cho thấy, ngoài tác dụng gia tăng sức chịu tải của nền và giữ độ lún của công trình trong phạm vi cho phép, hệ thống cọc dưới đáy cống đã có ảnh hưởng không nhỏ đến diễn biến thấm của nền cống, đặc biệt đối với nền cát nhạy cảm về thấm, thông qua sự thay đổi trạng thái ứng suất và độ rỗng của đất. Để làm sáng tỏ vấn đề này, cần thiết phải có những nghiên cứu trên mô hình vật lý với những điều kiện về thủy lực, trạng thái ứng suất, đất nền,

Ngày nhận bài: 10/5/2018

Ngày thông qua phản biện: 29/6/2018

Ngày duyệt đăng: 12/7/2018

v.v... khác nhau.

Bài viết trình bày kết quả nghiên cứu, thiết lập phương trình thực nghiệm cũng như mô hình vật lý để nghiên cứu hiện tượng thấm dưới đáy cống qua đê trên nền cát có xét đến trạng thái ứng suất σ_1 và σ_3 khi có và không có cọc bê tông cốt thép.

2. NỘI DUNG, MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU VÀ CÁCH TIẾP CẬN

2.1. Nội dung nghiên cứu

- Lập phương trình nghiên cứu thực nghiệm;
- Thiết lập các sê ri thí nghiệm;
- Thiết kế mô hình thí nghiệm.

2.2. Mục tiêu nghiên cứu

Xác định giới hạn bắt đầu xói ngầm và diễn biến quá trình xói ngầm của đất cát trong các điều kiện ứng suất, thủy lực khác nhau thông qua khối lượng đất bị xói theo thời gian.

2.3. Cách tiếp cận

Hiện nay, có ba cách tiếp cận để nhận diện thời điểm bắt đầu xói ngầm, D. Marot et al (2014) [2]: (1) Qua sự thay đổi gradient thủy lực; (2) Từ sự gia tăng của hệ số thấm; và (3) Dựa vào độ đục của dòng thấm thoát ra khỏi mẫu thí nghiệm.

Trong nghiên cứu này, cách tiếp cận thứ ba, dựa trên độ đục của dòng thấm và khối lượng đất dòng thấm mang theo khi thoát ra khỏi mẫu thí nghiệm, được lựa chọn để phân tích hiện tượng xói ngầm cho công trình cống dưới đê.

3. THIẾT LẬP PHƯƠNG TRÌNH NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Xói ngầm liên quan đến sự dịch chuyển của các hạt mịn ra khỏi kết cấu đất hạt thô dưới tác dụng của dòng thấm. Sự dịch chuyển này làm cho độ rỗng trong đất tăng lên, tạo nên sự tập trung dòng chảy và trong nhiều trường hợp, ống xói có thể hình thành gây mất an toàn cho công trình.

Đã có nhiều nghiên cứu về sự khởi đầu của quá trình xói ngầm dựa trên các thí nghiệm

thấm lên hoặc xuống một hướng. Sự khởi đầu và diễn biến của quá trình xói ngầm phụ thuộc vào nhiều yếu tố: tỷ lệ hạt mịn và hạt thô (Honjo và cộng sự, 1996; Terzaghi, 1939), sự phân bố kích thước hạt (Kézdi, 1979; Kenney và Lau, 1985; Li và Fannin, 2008; Wan và Fell, 2008; Indraratna và cộng sự, 2011; Chang và Zhang, 2013; Moraci và cộng sự, 2014), hình dạng hạt (Marot và cộng sự, 2012; Li, 2008), độ rỗng của đất (Li, 2008), ứng suất giới hạn (Bendahmane và cộng sự, 2008; Moffat và Fannin, 2011), gradient thủy lực (Skempton và Brogan, 1994; Sterpi, 2003), vận tốc dòng chảy (Perzlmair và cộng sự, 2007), góc thấm (Richards và Reddy, 2012, 2014). Trong các nghiên cứu của mình, Istomina (1957), đã chỉ ra rằng hệ số đồng nhất của đất, Cu, có thể được sử dụng như một chỉ số đặc trưng cho sự ổn định bên trong của đất. Theo Tô Xuân Vu (2002), xói ngầm chủ yếu phát triển trong đất rời, phụ thuộc vào mức độ không đều hạt và gradient thấm.

Về ảnh hưởng của trạng thái ứng suất đến xói ngầm, các nghiên cứu của Terzaghi đã chỉ ra sự thay đổi của ứng suất hiệu quả có thể gây ra sự sắp xếp lại hạt trong kết cấu đất và qua đó, ảnh hưởng đến quá trình xói ngầm. Trong khi đó, Fell và Fry (2013) cho rằng, ngoài hình dạng đường cong thành phần hạt và gradient thủy lực, trạng thái ứng suất là một điều kiện hình thành xói ngầm; Garner và Famin (2010) cũng đề xuất ba điều kiện cơ bản gây nên hiện tượng xói ngầm là tính nhậy xói của đất, gradient thủy lực và trạng thái ứng suất tới hạn [2]. Các thí nghiệm của Bendahmane và cộng sự (2008) cho thấy, tốc độ xói ngầm trong đất sét pha tăng gấp đôi khi ứng suất giới hạn giảm từ 150 đến 100 kPa. Qua nghiên cứu xói ngầm cho 04 loại đất, Moffat và Fannin (2011) đã kết luận rằng gradient thủy lực cục bộ tăng lên khi tăng ứng suất. Kết quả nghiên cứu của Luo và các cộng sự (2013) đã chứng minh rằng gradient thủy lực có mối quan hệ tuyến tính đến ứng suất giới hạn.

Các tác động chủ yếu của cọc gia cố nền (cọc bê tông cốt thép) là sự làm chặt và thay đổi ứng suất xung quanh cọc trong quá trình đóng cọc. Các tác động này phụ thuộc vào độ chặt tương đối của cát, khoảng cách giữa các cọc và hình thức, kích thước cọc [3]. Bằng kỹ thuật chụp X quang, Robinsky và Morrison (1964) đã nghiên cứu sự dịch chuyển và làm chặt cát xung quanh các cọc. Năm 2003, Kobayashi và Fukagawa đã sử dụng kỹ thuật tia X để mô tả sự di chuyển đất xung quanh cọc trong quá trình đóng và đưa ra kết luận rằng sự chuyển dịch bị ảnh hưởng bởi độ chặt ban đầu của cát. White và Bolton (2004) cho rằng sự dịch chuyển của đất xung quanh cọc chủ yếu theo phương đứng, trong khi sự dịch chuyển theo phương ngang giảm dần tới khoảng cách $5D$ (D là đường kính cọc) tính từ tim cọc.

Từ các phân tích trên, với mục đích, phạm vi nghiên cứu, các đại lượng vật lý ảnh hưởng đến xói ngầm dưới cống qua đê có gia cố nền bằng cọc bê tông cốt thép được giới hạn như trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Các đại lượng nghiên cứu

| Đại lượng | Ký hiệu | Thứ nguyên |
|--------------------------|------------|-------------------|
| Độ nhớt của nước | μ | $[ML^{-1}T^{-1}]$ |
| Gia tốc trọng trường | g | $[LT^{-2}]$ |
| Gradient thủy lực | J | |
| Lưu lượng thấm đơn vị | q | $[L^2T^{-1}]$ |
| Ứng suất thẳng đứng | σ_1 | $[ML^{-1}T^{-2}]$ |
| Áp lực hông | σ_3 | $[ML^{-1}T^{-2}]$ |
| Khối lượng riêng của đất | ρ_d | $[ML^{-3}]$ |

| | | |
|---------------------|----------|-------------------|
| Hệ số thấm của đất | k_d | $[LT^{-1}]$ |
| Độ rỗng của đất | n_d | |
| Hệ số không đều hạt | C_{ud} | |
| Tốc độ xói của đất | m_x | $[ML^{-3}T^{-1}]$ |

Trong Bảng 1, tốc độ xói là đại lượng đặc trưng cho khả năng xói của đất, được biểu thị bằng khối lượng đất bị cuốn rời khỏi vị trí ban đầu trên một đơn vị thể tích, trong một đơn vị thời gian.

– Độ chênh cột nước thượng hạ lưu ΔH [L] và chiều dài đường viền thấm L_t [L] không được xét đến vì chúng đã thể hiện qua gradient thấm i :

$$i = \frac{\Delta H}{L_t} \quad (1)$$

– Ứng suất thẳng đứng σ_1 bao gồm trọng lượng của toàn bộ công trình và trọng lượng bản thân của đất nền;

– Yếu tố cọc gia cố nền được xem xét cùng với các yếu tố ứng suất và độ rỗng của đất;

– Yếu tố kích thước hạt được xem xét thông qua hệ số không đều hạt C_{ud} [không thứ nguyên];

$$C_{ud} = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2)$$

trong đó: d_{60} là đường kính hạt, các hạt có đường kính nhỏ hơn hoặc bằng chiếm 60% khối lượng; d_{10} là đường kính hạt, các hạt có đường kính nhỏ hơn hoặc bằng chiếm 10% khối lượng.

Ứng dụng lý thuyết Buckingham [4] để thiết lập phương trình thể hiện mối liên hệ giữa các yếu tố với $n = 11$ đại lượng biến đổi như sau:

$$f(m_x, \mu, \rho_d, \sigma_1, \sigma_3, k_d, q, g, i, C_{ud}, n_d) = 0 \quad (3)$$

Chọn 03 đại lượng chứa các thứ nguyên cơ bản [M, L, T] là ρ_d [ML^{-3}], k_d [LT^{-1}], m_x [$ML^{-3}T^{-1}$]; phiếm hàm (3) được viết lại như sau:

$$f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8) = 0 \quad (4)$$

Trong đó:

$$\begin{cases} \pi_1 = \rho_d^{x_1} \cdot k_d^{y_1} \cdot m_x^{z_1} \cdot \sigma_1 \\ \pi_2 = \rho_d^{x_2} \cdot k_d^{y_2} \cdot m_x^{z_2} \cdot \sigma_3 \\ \pi_3 = \rho_d^{x_3} \cdot k_d^{y_3} \cdot m_x^{z_3} \cdot \mu \\ \pi_4 = \rho_d^{x_4} \cdot k_d^{y_4} \cdot m_x^{z_4} \cdot q \\ \pi_5 = \rho_d^{x_5} \cdot k_d^{y_5} \cdot m_x^{z_5} \cdot g \\ \pi_6 = i; \pi_7 = C_{ud}; \pi_8 = n_d \end{cases} \quad (5)$$

Cân bằng số mũ trong (5), xác định được:

$$\begin{cases} \pi_1 = \frac{\sigma_1}{\rho_d \cdot k_d^2}; \pi_2 = \frac{\sigma_3}{\rho_d \cdot k_d^2}; \\ \pi_3 = \frac{m_x \cdot \mu}{\rho_d^2 \cdot k_d^2}; \pi_4 = \frac{m_x \cdot q}{\rho_d \cdot k_d^2}; \\ \pi_5 = \frac{\rho_d \cdot g}{k_d \cdot m_x}; \pi_6 = i; \\ \pi_7 = C_{ud}; \pi_8 = n_d \end{cases} \quad (6)$$

Phiên hàm (6) được viết lại như sau:

$$f\left(\frac{\pi_2}{\pi_1}, \frac{\pi_4}{\pi_3}, \frac{1}{\pi_5}, \pi_6, \pi_7, \pi_8\right) = 0 \quad (7)$$

hay

$$f\left(\frac{\sigma_3}{\sigma_1}, Re, m_x \cdot \frac{k_d}{g \cdot \rho_d}, i, C_{ud}, n_d\right) = 0 \quad (8)$$

Bỏ qua Re (số Raynold); phương trình (8) trở thành:

$$m_x = \frac{g \cdot \rho_d}{k_d} \cdot f\left(\frac{\sigma_3}{\sigma_1}, i, C_{ud}, n_d\right) \quad (9)$$

Phương trình (9) được sử dụng để nghiên cứu tốc độ xói của đất nền trước sự biến đổi của trạng thái ứng suất, gradient thấm, tỷ lệ đồng đều của hạt và độ rỗng của đất. Phương trình này cũng được sử dụng để xác định gradient thấm tới hạn (bắt đầu xói ngầm) của đất nền trong các điều kiện khác nhau về trạng thái

ứng suất, chênh lệch cột nước thượng hạ lưu, chiều dài đường viền thấm, hệ số không đều hạt, độ rỗng của đất nền.

4. XÁC ĐỊNH KỊCH BẢN THÍ NGHIỆM

Phương trình (9) được sử dụng để xác định các chuỗi thí nghiệm và xác định các yếu tố tác động đến đại lượng nghiên cứu thực nghiệm. Với sự thiết lập phương trình này, số đại lượng nghiên cứu đã giảm xuống từ 11 đại lượng còn 04 đại lượng biến đổi. Sự liên quan giữa các đại lượng ở phương trình (9) cho thấy chỉ cần thay đổi một đại lượng sẽ dẫn đến các đại lượng khác thay đổi.

Từ phương trình (9), thiết lập các chuỗi thí nghiệm trong nghiên cứu này như sau:

- Vật liệu thí nghiệm lấy thực tế có trạng thái tự nhiên hoặc tương đương với trạng thái tự nhiên;
- Thí nghiệm xác định các chỉ tiêu cơ lý của từng mẫu đất thí nghiệm như: C_{ud} , n_d , k_d , ρ_d ;
- Tương ứng với từng mẫu đất, thí nghiệm xác định gradient tới hạn và tốc độ xói ngầm. Các kịch bản thí nghiệm cho 01 mẫu đất được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Thiết lập sê ri thí nghiệm

| σ_1 | σ_3 | m_x | | | | |
|---------------|----------------|------------|------------|------------|-----|------------|
| | | i_1 | i_2 | i_3 | ... | i_n |
| σ_{11} | σ_{311} | m_{x111} | m_{x112} | m_{x113} | ... | m_{x11n} |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | σ_{31k} | m_{x1k1} | m_{x1k2} | m_{x1k3} | ... | m_{x1kn} |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| σ_{1m} | σ_{3m1} | m_{xm11} | m_{xm12} | m_{xm13} | ... | m_{xm1n} |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | σ_{3mk} | m_{xmk1} | m_{xmk2} | m_{xmk3} | ... | m_{xmkn} |

5. THIẾT KẾ MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM

5.1. Tổng quan về các mô hình thí nghiệm xói ngầm

Trong nhiều thập kỷ qua, các nhà khoa học cả ở trong nước và nước ngoài đã tiến hành các thí nghiệm trong phòng để tìm hiểu về xói ngầm. Nhiều thiết bị và phương pháp thí

nghiệm trong phòng đã được thiết kế và sử dụng để nghiên cứu về hiện tượng xói ngầm. Dữ liệu thống kê các nghiên cứu thực nghiệm về xói ngầm cho đất không dính được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Thống kê một số mô hình thí nghiệm xói ngầm

| TT | Tác giả | Loại mô hình / chiều dòng thấm | Kích thước mẫu (cm) | Loại đất thí nghiệm | Ảnh hưởng của ứng suất |
|----|--|--------------------------------|----------------------------|---|-------------------------------|
| 1 | Bertram G.E (1940) [5] | VM / DF | DxH=51x152 | Cát | Không xét |
| 2 | Sherard và nnk (1984) [6] | VM / DF | DxH=100x100 | Cát | Không xét |
| 3 | Kenny and Lau (1985) [7] | VM / DF | DxH=245x450 DxH=580x860 | Cát pha | Không xét |
| 4 | Skempton và Brogan (1994) [8] | VM / UF | DxH=139x155 | Cát thô | Không xét |
| 5 | Wilhelm (2000) [9] | VM / UF | DxH=190x520 | Cát | Không xét |
| 6 | Tomlinson và Vaid (2000) [10] | VM / DF | DxH=100x100 | Cát pha | Ứng suất σ_1 |
| 7 | Foster và Fell (2001) [11] | VM / DF | DxH=125x100 | Sét và cát pha | Ứng suất σ_1 |
| 8 | Tô Xuân Vu (2002) [12] | VM / UF | BxHxL = 132x400x132 | Cát bụi, cát hạt nhỏ Cu=3,0÷9,6 n=43,2÷45,1 | Không xét |
| | | HM / DF | BxHxL = 132x180x632 | | |
| 9 | Sterpi (2003) [13] | VM / UF | DxH=70x140 | Cát mịn, Cu=38,4 | Không xét |
| 10 | Moffat và Fannin (2006) [14] | VM / DF | DxH=279x450 | Cát hạt thô | Ứng suất σ_1 |
| 11 | Y. Sail và nnk (2011) [15] | VM / DF | DxH=280x600 | Cát $d_{max}=9mm$ | Ứng suất σ_1 |
| 12 | R. Moffat và nnk (2011) [16] | VM / DF | D=279 H=325÷550 | Cát | Ứng suất σ_1 |
| 13 | D. Marot và nnk (2012) [17] | VM / DF | D=73 H=60÷120 | Cát pha, Cu=1,33 $d_{50}=2,07mm$ | Không xét |
| 14 | N. Benahmed, S. Bonelli (2012) [18] | HM / HF | DxH=80x250 | Cát pha Cu=1,57 | Không xét |
| 15 | Y. Wanga, X. Ni (2013) [19] | HM&VM / HF&UF | BxHxL = 300x300x800 | Cát hạt mịn, thô n=0,35÷0,38 | Không xét |
| 16 | M. Sato, R. Kuwano (2013a, b) [20, 21] | VM / DF | DxH=75x160 | Cát $\rho_s=1,76g/cm^3$ | Ứng suất σ_1 |
| 17 | L. Ke, A. Takahashi (2014) [22] | VM / DF | DxH=70x150 | Cát thô, Cu = 13÷18 | Ứng suất σ_1, σ_3 |
| 18 | D.S. Chang, L.M. Zhang (2013a) [23] | VM / DF | DxH=100x100 | Cát vừa, thô $d_{50} = 1,82mm$ Cu=16,7 | Ứng suất σ_1, σ_3 |
| 19 | S. Kimura và nnk (2014) | VM / DF | Hình trụ rỗng | Cát | Ứng suất σ_1 |

| TT | Tác giả | Loại mô hình / chiều dòng thấm | Kích thước mẫu (cm) | Loại đất thí nghiệm | Ảnh hưởng của ứng suất |
|----|--------------------------------|--------------------------------|--|--|------------------------|
| | [24] | | $D_{\text{trong}}=55$ $D_{\text{ngoài}}=75$ | $d_{50}=2,16\text{mm}$ $\rho_s=2,72\text{g/cm}^3$ | |
| 20 | Saman Azadbakht (2015) [25] | HM / HF | $D \times H=152 \times 160$ | Cát | Không xét |
| 21 | M. Sato, R. Kuwano (2015) [26] | VM / DF | $B \times H \times L = 80 \times 200 \times 300$ | Cát | Không xét |
| 22 | L. Sibille và nnk (2016) [27] | VM / DF | $D \times H=280 \times 600$ | Cát $C_u=1,4$; $d_{85}=0,19\text{mm}$ | Ứng suất σ_1 |
| 23 | S. Wang và nnk (2016) [28] | HM&VM / HF&UF | $B \times H \times L = 300 \times 280 \times 730$ | Cát $d_{\text{max}}=1\text{mm}$ | Không xét |
| 24 | Đặng Quốc Tuấn (2017) [29] | HM / HF | $B \times H \times L = 530 \times 420 \times 1130$ | Cát $d_{\text{max}}=1\text{mm}$; | Không xét |
| | | VM / UF | $D \times H = 300 \times 400$ | $\rho_s=2,65\text{g/cm}^3$ | Không xét |
| 25 | F. Ferdos và nnk (2018) [30] | VM / UF | $D \times H = 150 \times 200$ | Cát $n = 0,27 \div 0,28$ | Ứng suất σ_1 |

VM: Mô hình thấm đứng; HM: Mô hình thấm ngang; DF: Dòng thấm hướng xuống; UF: Dòng thấm hướng lên; HF: Dòng thấm hướng ngang; D: Đường kính mẫu; H: Chiều cao mẫu; B: Bề rộng mẫu; L: Chiều dài mẫu

78% mô hình thí nghiệm được bố trí theo hình thức thấm đứng; 15% thiết bị thí nghiệm bố trí theo hình thức thấm ngang và chỉ có 7% mô hình bố trí theo kiểu kết hợp thấm ngang và thấm đứng. Phần lớn các thí nghiệm đều được thực hiện trên mẫu hình trụ, đường kính mẫu từ 25mm đến 580mm, tỷ lệ chiều dài mẫu / đường kính mẫu nằm trong khoảng (0,7 ÷ 2,7) [31]; trong khi chỉ có 6 thí nghiệm được thực hiện với mẫu đất hình hộp và 01 thí nghiệm với mẫu hình trụ rỗng.

Về chiều của dòng thấm, các thí nghiệm được thực hiện theo ba cách: (1) cho dòng thấm hướng lên trên; (2) cho dòng thấm hướng xuống dưới; và (3) dòng thấm nằm ngang. Trường hợp dòng thấm hướng lên trên mô tả khá phù hợp hiện tượng xói ngầm ở cửa ra của công trình và cũng dễ dàng quan sát được sự di chuyển của các hạt ra khỏi kết cấu ban đầu của đất; tuy nhiên, trong trường hợp này sẽ rất khó khăn cho việc xác định tốc độ xói do một phần hạt bị xói sẽ bị lắng đọng trên bề mặt mẫu thí nghiệm. Đối với trường hợp dòng thấm hướng xuống (được thực hiện ở phần lớn các thí

nghiệm), việc thu được khối lượng hạt bị xói sẽ dễ dàng hơn thông qua các thiết bị đo độ đục hoặc thiết bị lắng đọng; tuy nhiên, trường hợp này không phản ánh sát bản chất của hiện tượng xói ngầm ở cửa ra và hơn thế nữa, tốc độ xói có thể lớn hơn do ảnh hưởng của lực trọng trường. Một giải pháp nhằm trung hòa các yếu điểm của hai cách trên đã được thực hiện với các thiết bị cho dòng thấm đi theo phương ngang. Với giải pháp này, việc xác định tốc độ xói khá thuận lợi và cũng dễ dàng quan sát được hiện tượng các hạt đất bị tách ra khỏi kết cấu ban đầu; hạn chế lớn nhất là sự phân bố không đều của gradient thủy lực trên bề mặt mẫu do ảnh hưởng của trọng lực, tuy nhiên, trong nghiên cứu dòng thấm có áp, ảnh hưởng này có thể bỏ qua.

Về ảnh hưởng của ứng suất: Các nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng trạng thái ứng suất trong đất ảnh hưởng không nhỏ đến quá trình xói ngầm. Theo số liệu thu thập được, có 10/27 thí nghiệm xét đến ứng suất; trong đó có 08 thí nghiệm xét đến ứng suất thẳng đứng σ_1 tác dụng lên mặt trên của mẫu, 02 thí nghiệm

xét đến cả ứng suất σ_1 và σ_3 (ứng suất ngang).

5.2. Thiết kế mô hình thí nghiệm xói ngầm

Để thực hiện các thí nghiệm phân tích sự khởi đầu và phát triển của xói ngầm, 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 Hình 1.

5.2.1. Hộp thấm

Hộp thấm có kích thước 30cm chiều rộng, 50cm cao và 100cm chiều dài; được chia thành 04 ngăn: (1) Ngăn chứa mẫu đất thí nghiệm; (2) Ngăn cấp nước; (3) Ngăn thu đất và nước thấm; và (4) Ngăn chứa thiết bị nén tạo ứng suất thẳng đứng σ_1 .

– Ngăn chứa mẫu thí nghiệm (1):

Kích thước của ngăn chứa mẫu phụ thuộc vào đường kính hạt lớn nhất của đất thí nghiệm. Kích thước hạt lớn nhất của lớp cát nền đề khu vực đồng bằng sông Hồng, theo nghiên cứu của Bùi Văn Trường [32]; có thể đạt tới $d_{max} = 5\text{mm}$.

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 60, lớn hơn giá trị (8 ÷ 12) d_{max} quy định trong ASTM [33]; 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.

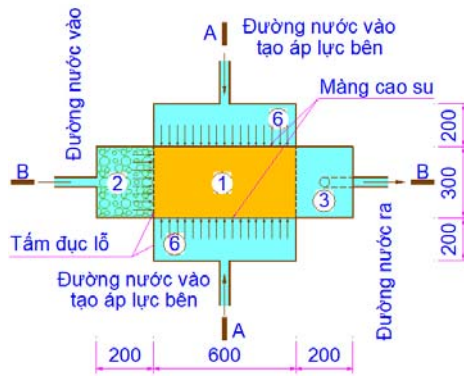
– Ngăn cấp nước (2) có kích thước BxHxL = 30x50x20cm được nối với bình điều áp (8a). Ngăn (2) chứa đầy sỏi đường kính 0,5 ÷ 1cm nhằm làm giảm thiểu hiệu ứng phun nước áp lực cao và phân phối đều lưu lượng cũng như áp lực nước lên bề mặt mẫu thí nghiệm. Giữa ngăn (1) và ngăn (2) bố trí một tấm có đục lỗ (đường kính lỗ 1mm) với mục đích khuếch tán đều dòng chảy lên mẫu và cố định kích thước mẫu.

– Ngăn (3) có kích thước BxHxL = 30x50x20cm được bố trí sau ngăn (1) và nối tiếp với bình (10), bình (9) để thu gom đất bị xói và nước thấm. Đây cũng là nơi lấy mẫu để đo độ đục. Cấu tạo đáy ngăn (3) có dạng hình phễu để dễ dàng thu gom vật liệu xói. Giữa ngăn (3) và ngăn (1) bố trí tấm đục lỗ có đường kính 0,064mm đến 2mm tùy thuộc vào kích thước hạt của mẫu thí nghiệm.

– Ngăn số (4) có kích thước BxHxL = 30x20x60cm được bố trí để chứa thiết bị nén tạo ứng suất thẳng đứng σ_1 .

5.2.2. Hệ thống cấp nước tạo áp lực thấm

Hệ thống gồm bình điều áp (8a), bình cấp nước (8b) và 01 máy bơm. Bình điều áp (8a) kết nối với ngăn (2) bởi hệ thống đường ống (cứng và mềm) và các van khóa. Bình (8a) dùng để cung cấp và duy trì áp lực nước lên mẫu trong suốt quá trình thí nghiệm; trên bình bố trí cửa xả tràn tự do để giữ cố định mực nước trong bình. Độ cao của bình (8a) có thể được điều chỉnh bằng thiết bị ròng rọc và được định vị ở các độ cao khác nhau để tạo độ chênh cột nước mong muốn. Bình cấp nước (8b) được bố trí để cung cấp nước cho bình (8a) nhằm giữ cho mực nước trong bình (8a) không thay đổi. Bố trí một máy bơm hút nước từ bể ngầm cung cấp nước cho bình (8b).

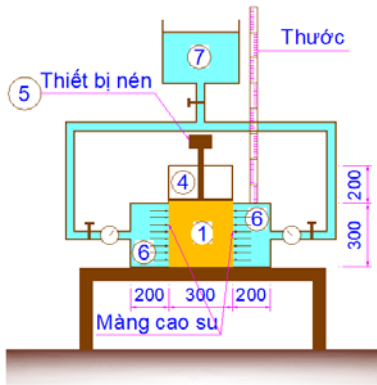


a) Mặt bằng bố trí các bộ phận

Phần thứ I

b) Mặt cắt A - A

Phần thứ II



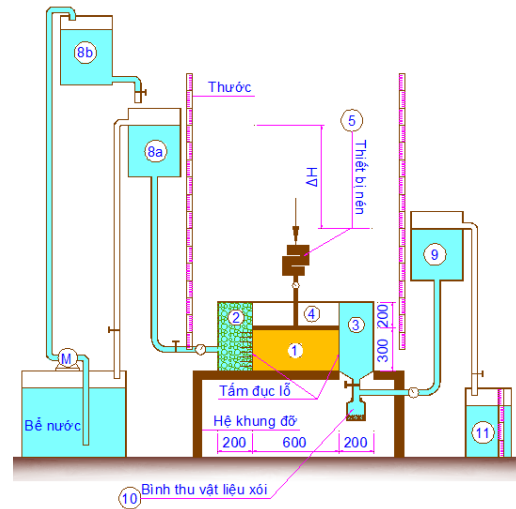
Hình 1. Cấu tạo mô hình thí nghiệm xói ngầm

5.2.3. Hệ thống tạo ứng suất đứng và ngang

Hệ thống gồm thiết bị nén tạo ứng suất thẳng đứng σ_1 (5), 02 hộp tạo áp lực hông σ_3 (6), bình tạo áp lực hông (7) và bình cân bằng áp lực (9).

– Thiết bị nén tạo ứng suất thẳng đứng σ_1 (5) gồm một hệ thống gia tải dọc trục và một piston. Hệ thống gia tải cho phép tạo ứng suất thẳng đứng lên bề mặt mẫu thông qua piston gắn trong ngăn (4). Piston có thể di chuyển trong ngăn (4) cùng với sự kín khí để tránh cho nước trào ngược làm giảm áp lực lên mẫu.

– Áp lực hông σ_3 được tạo ra nhờ áp lực nước qua bình tạo áp (7). 02 hộp tạo áp lực hông σ_3 (6) được bố trí hai bên ngăn chứa mẫu (1). Hộp (6) có thể tháo rời hoặc gắn lại với hộp thấm trong quá trình thí nghiệm. Nhằm giảm thiểu sự rò rỉ và tạo áp lực phân bố đều lên bề mặt mẫu, một màng cao su được trí ở mặt tiếp



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.

giáp giữa hộp (6) và mẫu đất thí nghiệm. Áp lực nước từ hộp (6) tác dụng lên bề mặt mẫu qua màng cao su. Để đảm bảo sự cân bằng áp lực, hai hộp (6) được nối chung vào bình (7). Bình (7) cũng có thể thay đổi độ cao (thông qua hệ thống rỗng rọc) tùy thuộc vào áp lực yêu cầu.

– Bình cân bằng áp (9) được bố trí nối tiếp với ngăn thu nước thấm (3) với mục đích tạo cột nước hạ lưu để cân bằng với các ứng suất σ_1 và σ_3 tại thời điểm bắt đầu thí nghiệm. Bình (9) có bố trí các lỗ xả tràn để duy trì mực nước hạ lưu và thu gom nước thấm về bình (11). Bình này có thể thay đổi độ cao (thông qua hệ thống rỗng rọc) tùy thuộc vào các áp lực σ_1, σ_3 yêu cầu.

5.2.4. Hệ thống thu gom đất và nước thấm

Bình thu gom đất bị xói (10) được gắn dưới đáy của ngăn chứa nước thấm. Bình có thể tháo rời để phục vụ cân đo lượng bùn cát bị xói sau mỗi quá trình thí nghiệm.

Bình (11) được bố trí sau bình điều áp (9) với mục đích đo lượng nước thấm sau mỗi thời gian thí nghiệm. Từ lượng nước thấm này có thể xác định lưu lượng thấm cũng như hệ số thấm.

5.2.5. Thiết bị phụ trợ

Thiết bị phụ trợ như đồng hồ, máy đo độ đục, đầu đo áp lực, máy tính, camera, thước, v.v... được trang bị đầy đủ theo yêu cầu thí nghiệm.

6. KẾT LUẬN

Từ các sự cố do thấm xảy ra gần đây đối với công dưới đê trên nền cát cho thấy, có sự ảnh

hưởng không nhỏ của hệ thống cọc bê tông cốt thép gia cố nền đến biến dạng thấm dưới đáy công. Điều này cần được phân tích, đánh giá kỹ để có các biện pháp phòng tránh. Dựa trên các nguyên tắc của phương pháp phân tích thứ nguyên, một phương trình nghiên cứu thực nghiệm với tốc độ xói là hàm số của gradient thấm, trạng thái ứng suất, độ rỗng của đất nền, thành phần hạt, v.v... đã được thiết lập. Từ phương trình này, các chuỗi thí nghiệm xác định sự khởi đầu và diễn biến xói ngầm cũng được đề xuất. Trên cơ sở đó, một thiết bị thí nghiệm đã được thiết kế để thực hiện các sê ri thí nghiệm nhằm xác định gradient tới hạn và tốc độ xói ngầm. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm sẽ giúp thu được các dữ liệu cần thiết phục vụ cho công tác thiết kế, cảnh báo an toàn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Quốc Dũng (2006), *Nghiên cứu giải pháp khoa học công nghệ để sửa chữa nâng cấp công dưới đê sông Hồng và sông Thái Bình*, Đề tài độc lập cấp Nhà nước, Viện Khoa học Thủy lợi, Hà Nội.
- [2] D. Marot, A. Rochim, H.H. Nguyen, F. Bendahmane, L. Sibille (2014), “Suffusion sensibility characterization of saturated soil”, *Tuyển tập các báo cáo tại Hội thảo quốc tế An toàn đê, đập đất loại vừa và nhỏ*, Hội Đập lớn và Phát triển nguồn nước, Hà Nội.
- [3] Dirk de Lange (2013), *On the possibility of simulating pile set-up in sand by means of centrifuge model testing*, M.Sc. Thesis, Delft University of Technology, Rotterdam.
- [4] Phạm Ngọc Quý (2013), *Nghiên cứu thực nghiệm thủy lực*, Bài giảng dùng cho cao học, Trường Đại học Thủy lợi, Hà Nội.
- [5] Bertram, G. E. (1940). "An Experimental Investigation of Protective Filters", *Harvard Soil Mechanics Series No. 7*, Graduate School of Engineering Harvard University, Cambridge, MA.
- [6] Sherard, J.L., Dunnigan, L.P., Talbot, J.R. (1984). “Basic properties of sand and gravel filters”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 110(6), 684-700.
- [7] Kenney, T. C., and Lau, D. (1985), “Internal stability of granular filters”, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 22(2), 215–225.
- [8] Skempton, A. W. and Brogan, J. M. (1994), “Experiments on piping in sandy gravels”, *Geotechnique*, 44(3), 449–460.
- [9] Wilhelm, Th. (2000), *Piping in Saturated Granular Media*, Ph.D. Thesis, University of Innsbruck.

- [10] Tomlinson, S. S., and Vaid, Y. P. (2000), “Seepage forces and confining pressure effects on piping erosion”, *Canadian Geotechnical Journal*, 37(1), 1–13.
- [11] Foster and Fell (2001), “Assessing Embankment Dam Filters that do not Satisfy Design Criteria”, *ASCE Journal Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.127(5).
- [12] Tô Xuân Vu (2002), *Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng đặc tính biến dạng thấm của một số trầm tích đến ổn định nền đê (lấy ví dụ một đoạn đê sông Hồng)*, Luận án Tiến sĩ Địa chất, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
- [13] Sterpi, D. (2003), “Effect of the erosion and transport of fine particles due to seepage flow”, *International Journal of Geomechanics*, 3(1), 111–122.
- [14] Fannin, R.J., Moffat, R. (2006), “Observations on internal stability of cohesionless soils.”, *Géotechnique*, 56 (7), 497–500.
- [15] Yacine Sail, Didier Marot, Luc Sibille, Alain Alexis (2011), “Suffusion tests on cohesionless granular matter”, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 15(5), 799-817.
- [16] Ricardo Moffat, R. Jonathan Fannin, and Stephen J. Garner (2011), “Spatial and temporal progression of internal erosion in cohesionless soil”, *Canadian Geotechnical Journal*, 48, 339-412.
- [17] Didier Marot, Van Duong Le, Jacques Garnier, Luc Thorel, Philippe Audrain (2012), “Study of scale effect in an internal erosion mechanism: centrifuge model and energy analysis”, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 16(1), 1–19.
- [18] Benahmed, N., and Bonelli, S. (2012), “Internal erosion of cohesive soils: laboratory parametric study”. *ICES 6-Paris*, 1041-1047.
- [19] Yuan Wang, Xiaodong Ni (2013), “Hydro-mechanical analysis of piping erosion based on similarity criterion at micro-level by PFC^{3D}”, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 17(1), 187-204.
- [20] Sato, M., Kuwano, R., (2010a), “Model tests for the evaluation of formation and expansion of a cavity in the ground: *Proceedings of Seventh International Conference on Physical Modelling in Geotechnics*, Zurich, 581–586
- [21] Sato, M., Kuwano, R., (2010b), “Fundamental study of permeability change around buried structures in sandy ground”, *Proceedings Eighth International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia*, Kobe, 607–615
- [22] L. Ke, A. Takahashi (2014), “Triaxial erosion test for evaluation of mechanical consequences of internal erosion”, *Geotechnical Testing Journal*, 37 (2), 347-364.
- [23] D.S. Chang L.M. Zhang (2013a), “Critical Hydraulic Gradients of Internal Erosion under Complex Stress States”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(9), 1454 – 1467.
- [24] Sho Kimura, Hiroaki Kaneko, Takuma Ito, Hideki Minagawa (2014), “The Effect of Effective Normal Stress on Particle Breakage, Porosity and Permeability of Sand: Evaluation of Faults around Methane Hydrate Reservoirs”, *Tectonophysics*, 630, 285-299.

- [25] Saman Azadbakht (2015), *Analytical and Experimental Modeling of Internal Erosion in Porous Media*, M.Sc. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering University of Alberta.
- [26] Sato, M., Kuwano, R. (2015), “Influence of location of subsurface structures on development of underground cavities induced by internal erosion”, *Soils Found*, 55(4), 829–840.
- [27] Luc Sibille, Didier Marot, Yacine Sail (2016), “A description of internal erosion by suffusion and induced settlements on cohesionless granular matter”, *Acta Geotechnica, Springer Verlag*, 10 (6), 735-748.
- [28] Shuang Wang, Jian-sheng Chen, Hai-qing He, Wen-zheng He (2016), “Experimental study on piping in sandy gravel foundations considering effect of overlying clay”, *Water Science and Engineering*, 9(2), 165-171.
- [29] Đặng Quốc Tuấn (2017), *Nghiên cứu đánh giá an toàn đê Hữu Hồng đoạn qua Hà Nội trong điều kiện biến đổi khí hậu*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Thủy lợi, Hà Nội.
- [30] Farzad Ferdos, Bijan Dargahi, Luca Solari (2018), “Mechanism of Suffusion Erosion Phenomenon in Porous Media”, *Journal of Geology and Geoscience*, 2(1).
- [31] D.S. Chang, L.M. Zhang (2013), “Extended internal stability criteria for soils under seepage”, *Soils and Foundations*, 53(4), 569–583.
- [32] Bùi Văn Trường (2015), “Kết quả bước đầu nghiên cứu xói ngầm, cát chảy nền đê sông bằng phương pháp thí nghiệm hiện trường”, *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, 50, tr. 133-139.
- [33] ASTM 2434-65 (reapproved 2000), *Standard test method for permeability of granular soils (constant head)*.