

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HỆ CỌC BÊ TÔNG CỐT THÉP ĐẾN GRADIENT THẨM TẠI CỬA RA CỦA CỐNG QUÁ ĐÊ XÂY DỰNG TRÊN NỀN CÁT

**Đinh Xuân Trọng**

*Viện Thủy công*

**Phạm Thị Hương**

*Trường Đại học Thủy lợi*

**Tóm tắt:** Nhiều cống qua đê vùng đồng bằng sông Hồng (ĐBSH) được xây dựng trên nền cát nhạy cảm thấm với giải pháp xử lý thấm bằng cừ thép và đóng cọc bê tông cốt thép (BTCT) đúc sẵn để tăng khả năng chịu tải của nền. Mặc dù đã thiết kế đảm bảo an toàn thấm theo các qui định, nhưng trong thực tế, phần lớn các sự cố thấm vẫn xảy ra ở các cống có gia cố cọc BTCT. Điều này đặt ra sự cần thiết phải đánh giá tác động của cọc BTCT đóng trong nền cát đến các đặc trưng thấm, đặc biệt là gradient thấm ở khu vực dòng thấm thoát ra. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của cọc BTCT đến gradient thấm ở khu vực cửa ra bằng mô hình số và mô hình vật lý. Trên cơ sở đó, đề xuất phương pháp tính toán gradient thấm cho cống qua đê trên nền cát vùng đồng bằng sông Hồng có gia cố cọc BTCT.

**Từ khóa:** Cống qua đê, gradient thấm, nền cát, cọc bê tông cốt thép

**Summary:** Many under-dike culverts in the Red River Delta have been built on seepage sensitivity sandy foundations. In these culverts, the steel sheet piles are used below bottom slab to reduce seepage gradient at the outlet and used reinforced concrete (RC) piles to increase bearing capacity of sandy foundations. Although they have been designed to ensure seepage safety according to the regulations, but in reality, the majority of seepage problems still occurred in culverts with RC piles. This raises the need to evaluate the impact of RC piles on the permeability characteristics in the sandy foundations, especially the seepage gradient at the outlet. This article presents research results on the influence of RC piles on the seepage gradient in the outlet area by numerical and physical models. On that basis, propose a method to calculate the seepage gradient for under-dike culverts on the sandy foundations with RC piles in the Red River Delta.

**Keywords:** Under-dike culvert, seepage exit gradient, sandy foundation, reinforced concrete piles

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cống qua đê là một hạng mục quan trọng và cũng là điểm yếu của hệ thống đê. Phần lớn sự cố đê đều xảy ra ở vị trí cống qua đê và

khoảng 25% sự cố liên quan đến thấm. Những sự cố đã xảy ra trong thời gian qua ở các cống qua đê có gia cố cọc BTCT đã đặt ra vấn đề là cọc có thể làm thay đổi các đặc trưng dòng thấm, từ đó làm gia tăng biến hình thấm và dẫn đến mất ổn định công trình. Các hướng dẫn thiết kế trước đây đều không xét đến ảnh hưởng của cọc đến đặc trưng thấm, vì vậy kết

---

Ngày nhận bài: 30/6/2023

Ngày thông qua phản biện: 17/7/2023

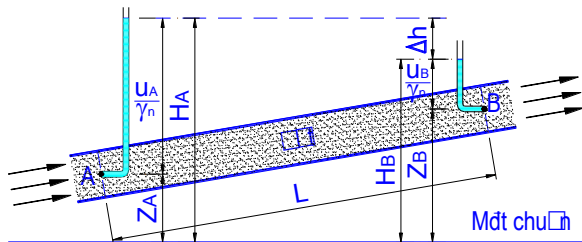
Ngày duyệt đăng: 02/8/2023

quả tính toán vẫn đảm bảo độ bền thấm nhưng thực tế khi làm việc công lại bị mất ổn định do biến hình thấm. Ảnh hưởng của cọc BTCT đến gradient thấm trong nền cát dưới đáy công trình thủy lợi nói chung và công qua đê nói riêng hầu như chưa được đề cập đến trong các nghiên cứu trước đây ở Việt Nam và trên thế giới. Do đó, cần thiết phải có những nghiên cứu để đưa ra những nhận định định lượng về sự thay đổi của gradient thấm tại cửa ra khi nền công được xử lý bằng phương pháp đóng cọc BTCT, từ đó đưa ra các khuyến nghị cần thiết cho công tác thiết kế nhằm đảm bảo an toàn thấm cho công trình trong quá trình vận hành.

## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 2.1. Lý thuyết thấm

- Phương trình Bernoulli cho dòng thấm trong lỗ rỗng của đất:



Hình 1: Năng lượng của dòng thấm trong đất

$$Z_A + \frac{u_A}{\gamma_n} = Z_B + \frac{u_B}{\gamma_n} + \Delta h \quad (1)$$

$$\Delta h = H_A - H_B \quad (2)$$

trong đó  $Z$  là cột nước cao độ tính từ mặt chuẩn,  $u$  là áp lực nước lỗ rỗng,  $\gamma_n$  là khối lượng thể tích đơn vị của nước,  $H$  là cột nước tổng và  $\Delta h$  là cột nước tổn thất.

- Định luật cơ bản của dòng thấm Darcy:

$$v_t = k_{th} \cdot J \quad (3)$$

với  $v_t$  là vận tốc thấm,  $k_{th}$  là hệ số thấm,  $J$  là gradient thấm.

### 2.2. Ảnh hưởng của cọc BTCT đến tính thấm của nền cát dưới công qua đê

Tính thấm tương ứng với khả năng cho phép nước đi qua các lỗ rỗng của đất. Khi hệ số rỗng tăng thì hệ số thấm của đất tăng và ngược lại.

Ở trạng thái tự nhiên, đất có hệ số rỗng là  $e_0$ . Khi đóng hoặc ép cọc BTCT vào đất, hệ số rỗng giảm, đất sẽ chặt lên trong khu vực có bán kính  $(3 \div 5,5)a_p$  (với  $a_p$  là đường kính cọc) [1]. Sự thay đổi độ chặt của cát trong vùng ảnh hưởng là do sự giảm thể tích lỗ rỗng cân bằng với thể tích cọc, do sự dịch chuyển của đất ra khỏi không gian chiếm chỗ của cọc và do sự rung động trong quá trình hạ cọc.

Theo tiêu chuẩn thiết kế cọc của Hà Lan (CUR - Publication 2001-4 [2]), mức độ tăng độ chặt tương đối ( $\Delta D_r$ ) của đất cát trong vùng ảnh hưởng, xác định theo công thức:

$$\Delta D_r = \frac{\sum_1^{n_p} \left( \frac{1+e_0}{72} \right)}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (4)$$

với  $n_p$  là số cọc trong vùng ảnh hưởng,  $e_{\max}$  và  $e_{\min}$  là hệ số rỗng của đất cát ở trạng thái xốp nhất và chặt nhất.

Như vậy, việc hạ cọc vào trong đất làm giảm độ rỗng và gia tăng độ chặt tương đối của đất nền, qua đó làm giảm hệ số thấm của đất.

## 3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

### 3.1. Phương trình nghiên cứu thực nghiệm

Các yếu tố ảnh hưởng đến gradient thấm ở cửa ra của dòng thấm trong nền cát dưới công qua đê có gia cố cọc BTCT đúc sẵn gồm:

- Nhóm yếu tố thủy lực: khối lượng đơn vị ( $\rho_n$ ) và độ nhớt ( $\mu_n$ ) của nước, gia tốc trọng trường ( $g$ ), chênh lệch mực nước thượng hạ lưu ( $\Delta H$ ), cột nước thấm ( $h_t$ ).

- Nhóm yếu tố đất nền: khối lượng đơn vị thể tích ( $\rho_d$ ), hệ số thấm ( $k_{th}$ ), hệ số không đều hạt ( $C_u$ ), chiều dày tầng cát dưới đáy công ( $T_c$ ).

- Nhóm yếu tố công trình gồm chiều dài đường viền thấm ( $L_{th}$ ), chiều sâu cừ thượng lưu ( $h_{ct}$ ) và hạ lưu ( $h_{ch}$ ), kích thước mặt cắt ngang cọc ( $a_p$ ), chiều dài cọc ( $L_p$ ) và khoảng cách cọc ( $d_p$ ).

Ứng dụng lý thuyết Buckingham để thiết lập mối quan hệ giữa 15 đại lượng và rút ra được phương trình nghiên cứu thực nghiệm như sau:

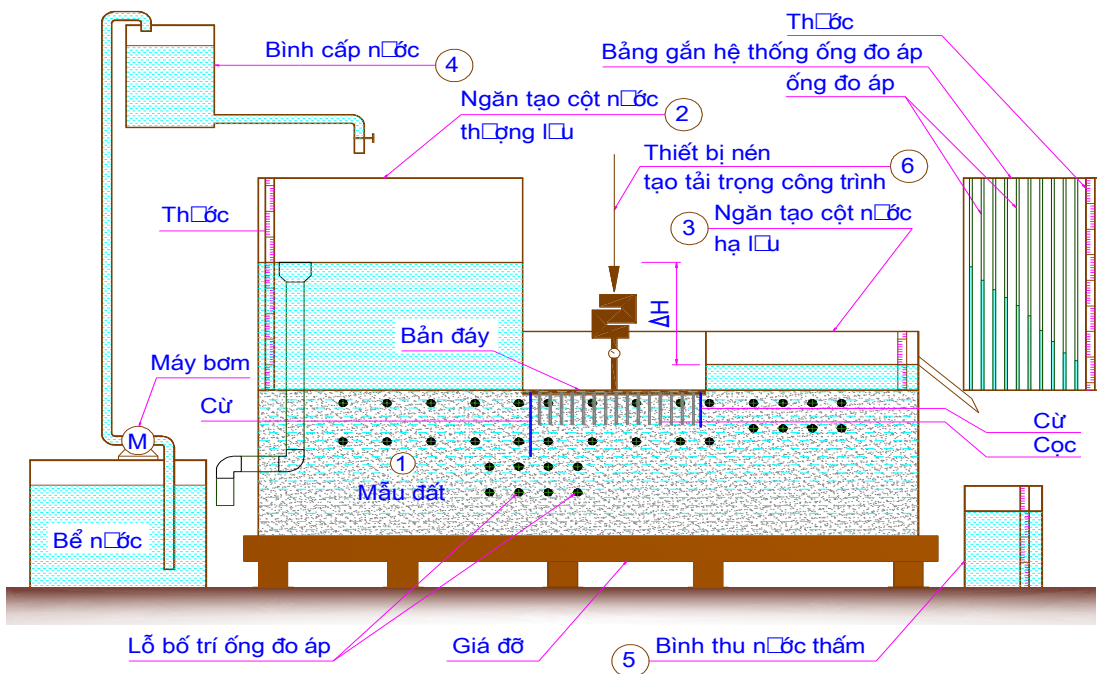
$$\frac{h_t}{\Delta H} = f\left(\frac{L_p}{L_{th}}, \frac{L_p}{h_{ct}}, \frac{L_p}{h_{ch}}, \frac{d_p}{a_p}, C_u\right) \quad (5)$$

Vì gradient thấm ( $J$ ) phụ thuộc vào cột nước thấm ( $h_t$ ) nên phương trình (5) được sử dụng để nghiên cứu diễn biến của cột nước thấm, gradient thấm trước sự biến đổi của chênh lệch cột nước thượng hạ lưu ( $\Delta H$ ), chiều dài đường viền thấm ( $L_{th}$ ), độ sâu đóng cừ thượng lưu ( $h_{ct}$ ) và hạ lưu ( $h_{ch}$ ), kích thước cọc BTCT ( $a_p$ )

và khoảng cách cọc ( $d_p$ ), hệ số không đều hạt của đất ( $C_u$ ) trong nền cát đồng nhất.

### 3.2. Mô hình thí nghiệm

Để thực hiện các thí nghiệm phân tích diễn biến của cột nước thấm, một thiết bị thí nghiệm thấm ngang kết hợp thấm đứng đã được nghiên cứu thiết lập. Cấu tạo của mô hình được minh họa trong Hình 1, gồm các phần chính: (1) Ngăn chứa mẫu đất thí nghiệm và bố trí các hạng mục công trình có kích thước (rộng x cao x dài) = (46x56x240) cm; (2) Ngăn tạo cột nước thượng lưu có kích thước (46x64x89) cm; (3) Ngăn tạo cột nước hạ lưu kích thước (46x34x90) cm (4) Bình cấp nước; (5) Bình thu nước thấm; (6) Hệ thống gia tải mô phỏng tải trọng công trình; và (7) Thiết bị phụ trợ gồm ống đo áp, máy tính, camera, thước, v.v.



Hình 2: Cấu tạo mô hình thí nghiệm

### 3.3. Đất thí nghiệm

- Cơ sở lựa chọn:  
+ Theo mức độ không đều hạt ( $C_u$ ): Khi  $C_u \leq 3$

- đất đều hạt,  $C_u > 3$  - đất không đều hạt [3];  
+ Theo khả năng xói ngầm đánh giá qua chỉ số cường độ xói  $I_\alpha$  [4], [5].

**Bảng 1: Phân loại khả năng xói ngầm**

TT	$I_\alpha$	Khả năng xói ngầm
1	$I_\alpha < 1$	Đất có tính xói cao
2	$1 \leq I_\alpha < 2$	Đất có tính xói vừa
3	$2 \leq I_\alpha < 3$	Đất có tính xói nhẹ
4	$3 \leq I_\alpha < 4$	Đất có tính kháng xói nhẹ
5	$4 \leq I_\alpha < 5$	Đất có tính kháng xói
6	$I_\alpha \geq 5$	Đất có tính kháng xói cao

- Lựa chọn mẫu đất:

+ Nhóm I:  $C_u \leq 3,0$ ;  $I_\alpha \geq 4,0$  – Đất đều hạt, có tính kháng xói đến kháng xói cao (Mẫu M1,  $C_u = 2,54$  – cống Tắc Giang đê H. Hồng, Hà Nam);

+ Nhóm II:  $3,0 < C_u \leq 10$ ;  $4,0 > I_\alpha \geq 1,81$  – Đất không đều hạt, có tính xói vừa đến kháng xói nhẹ (Mẫu M2,  $C_u = 4,18$  - cống Yên Nghĩa thuộc đê tả sông Đáy, Hà Nội);

+ Nhóm III:  $C_u > 10$ ;  $I_\alpha < 1,81$  – Đất không đều hạt, có tính xói cao đến vừa (Mẫu M3,  $C_u = 16,15$  - cống Liên Khê đê tả Hồng, Hưng Yên).

Mẫu đất thí nghiệm được chế bị từ cát tự nhiên với thành phần hạt và các chỉ tiêu cơ lý tương tự như đất ngoài thực tế.

### 3.4. Kịch bản nghiên cứu

**Bảng 2: Kịch bản nghiên cứu**

TT	Kịch bản	Mẫu đất	$C_u$	$\frac{L_p}{L_{th}}$	$\frac{L_p}{h_{ct}}$	$\frac{L_p}{h_{ch}}$	$\frac{d_p}{a_p}$	TT	Kịch bản	Mẫu đất	$C_u$	$\frac{L_p}{L_{th}}$	$\frac{L_p}{h_{ct}}$	$\frac{L_p}{h_{ch}}$	$\frac{d_p}{a_p}$
1	KB1.0	M1	2,54	0,00	0,00	0,000	0,0	7	KB2.2	M2	4,50	0,12	1,00	1,666	4,5
2	KB1.1	M1	2,54	0,06	0,50	0,833	4,5	8	KB2.3	M2	4,50	0,24	2,00	3,332	4,5
3	KB1.2	M1	2,54	0,12	1,00	1,666	4,5	9	KB3.0	M2	16,15	0,00	0,00	0,000	0,0
4	KB1.3	M1	2,54	0,24	2,00	3,332	4,5	10	KB3.1	M3	16,15	0,06	0,50	0,833	4,5
5	KB2.0	M2	4,50	0,00	0,00	0,000	0,0	11	KB3.2	M3	16,15	0,12	1,00	1,666	4,5
	KB2.1	M2	4,50	0,06	0,50	0,833	4,5	12	KB3.3	M3	16,15	0,24	2,00	3,332	4,5

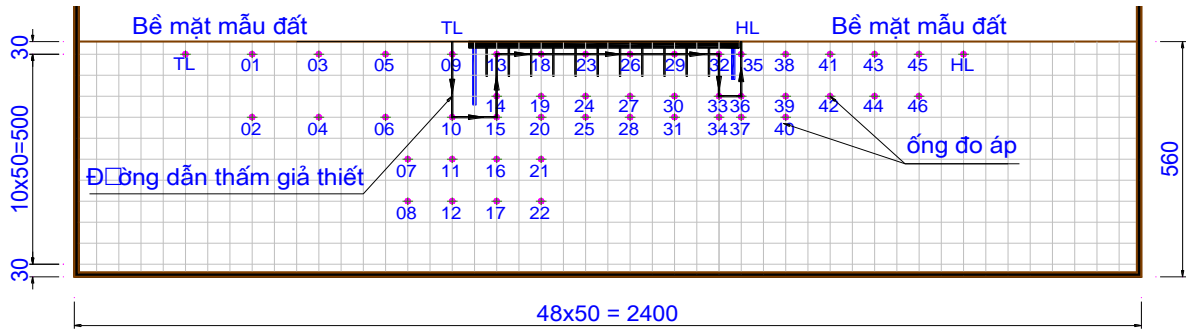
### 3.5. Kết quả nghiên cứu

Quá trình tính toán, thí nghiệm cho 03 mẫu đất với các trường hợp có cừ - không cọc (tính toán bằng mô hình số SEEP/W), có cừ - có cọc (sử dụng mô hình vật lý) trong các điều kiện

chênh lệch cột nước khác nhau đã được tiến hành. Để xem xét ảnh hưởng của cọc BTCT đến đặc trưng thấm dưới đáy cống, giả thiết rằng dòng thấm dưới bản đáy cống đi theo sơ đồ TL – 09 – 10 – 15 – 14 – 13 – 18 – 23 – 26 – 29 – 32 – 33 – 36 – 35 – HL như Hình 3.

Diễn biến gradient thấm tại cửa ra được phân tích qua cột nước tại ống đo áp số 35 và HL

với khoảng cách 30mm trên đường dẫn thấm giả thiết.



Hình 3: Sơ đồ bố trí ống đo áp và đường dẫn thấm giả thiết

Cột nước thấm tại tại ống 35 ứng với các kích bản và chênh lệch mực nước khác nhau trình bày trong Bảng 3. Cột nước thấm tại ống HL bằng 0 mm (ống nằm trên mặt hạ lưu cống).

**Bảng 3: Cột nước thấm tại ống đo số 35**

Kích bản	$h_t$ (mm) ứng với chênh lệch cột nước $\Delta H$			
	100 mm	200 mm	300 mm	400 mm
KB1.0	7,0	14,5	21,5	29,0
KB1.1	9,0	18,0	27,0	36,5
KB1.2	8,5	17,0	25,5	34,5
KB1.3	6,0	13,0	19,0	25,5
KB2.0	7,0	14,5	21,5	29,0
KB2.1	9,0	18,5	27,5	37,0
KB2.2	8,5	17,5	26,0	35,0
KB2.3	6,0	12,0	18,0	24,0
KB3.0	7,0	14,5	21,5	29,0
KB3.1	9,0	19,0	28,0	38,0
KB3.2	9,0	18,5	27,0	36,5
KB3.3	5,0	10,5	15,5	21,0

Giá trị gradient thấm trung bình ( $J_{tb}$ ) giữa hai ống đo áp 35 - HL xác định theo công thức:

$$J_{tb(35-HL)} = \frac{h_{t(35)} - h_{t(HL)}}{\Delta l_{(35-HL)}} \quad (6)$$

Mức độ thay đổi gradient thấm tại cửa ra giữa trường hợp không không cọc ( $J_r^{0c}$ ) và có cọc ( $J_r^c$ ) được thể hiện qua chỉ số  $r_J$  (%):

$$r_J (\%) = \left( \frac{J_r^c}{J_r^{0c}} - 1 \right) \quad (7)$$

Khi  $r_J > 0$ , gradient thấm của các kích bản có cọc tăng so với gradient thấm của kích bản không cọc và ngược lại, khi  $r_J < 0$ , gradient thấm giảm. Kết quả tính toán  $J_{tb}$  trên đoạn 35 - HL và  $r_J$  ghi trong Bảng 4.

**Bảng 4: Gradient thấm trên đoạn 35 - HL**

Kích bản	$J_{tb}$ ứng với chênh lệch cột nước $\Delta H$				$r_J$ (%)
	100 mm	200 mm	300 mm	400 mm	
KB1.0	0,233	0,483	0,717	0,967	0,00
KB1.1	0,300	0,600	0,900	1,217	25,67
KB1.2	0,283	0,567	0,850	1,150	18,73
KB1.3	0,200	0,433	0,633	0,850	-11,98
KB2.0	0,233	0,483	0,717	0,967	0,00
KB2.1	0,300	0,617	0,917	1,233	27,66
KB2.2	0,283	0,583	0,867	1,167	20,72

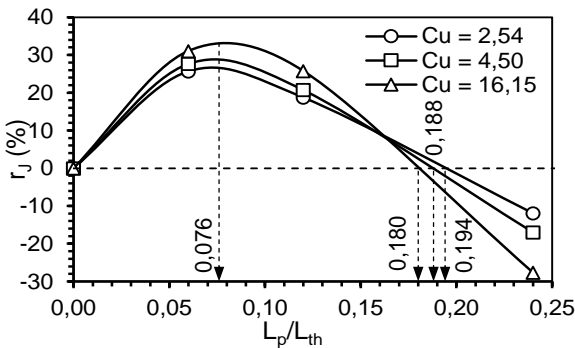
KB2.3	0,200	0,400	0,600	0,800	-16,98
KB3.0	0,233	0,483	0,717	0,967	0,00
KB3.1	0,300	0,633	0,933	1,267	31,06
KB3.2	0,300	0,617	0,900	1,217	25,75
KB3.3	0,167	0,350	0,517	0,700	-27,66

Kết quả ở Bảng 4 cho thấy, gradient thấm ở cửa ra ( $J_r$ ) có sự thay đổi lớn do ảnh hưởng của cọc BTCT. Các kích bản (KB1.3, KB2.3, KB3.3),  $J_r$  giảm so với kích bản không cọc; ở các kích bản còn lại,  $J_r$  lại có xu hướng tăng. Mẫu đất M3 ( $C_u = 16,15$ ) có sự biến đổi gradient lớn nhất; tăng 31,06% (KB3.1) và giảm 27,66% (KB3.3); mẫu đất M1 có biên độ biến thiên gradient nhỏ nhất; kích bản KB1.1 tăng 25,67% và giảm 11,98% ở kích bản KB1.3. Hình 4 thể hiện sự thay đổi  $r_j$  theo các tỷ lệ ( $L_p/h_{ct}$ ,  $L_p/h_{ch}$ ,  $L_p/L_{th}$ ) tương ứng với đất có hệ số  $C_u$  khác nhau.

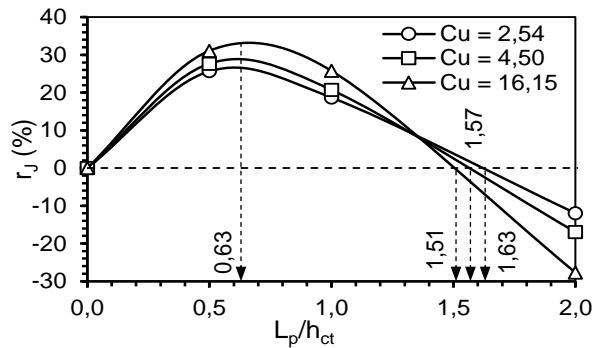
Có thể thấy rằng, so với trường hợp không có cọc BTCT, gradient thấm tăng ( $r_j > 0$ ) khi ( $C_u = 2,54$ ;  $L_p/h_{ct} < 1,63$ ;  $L_p/h_{ch} < 2,70$ ;  $L_p/L_{th} < 0,194$ ), ( $C_u = 4,50$ ;  $L_p/h_{ct} < 1,57$ ;  $L_p/h_{ch} < 2,62$ ;  $L_p/L_{th} < 0,188$ ) và ( $C_u = 16,15$ ;  $L_p/h_{ct} < 1,51$ ;  $L_p/h_{ch} < 2,51$ ;  $L_p/L_{th} < 0,180$ ) và giảm ( $r_j < 0$ ) trong các trường hợp ngược lại. Quá trình tăng – giảm gradient thấm được phân chia bởi các giá trị giới hạn  $[L_p/L_{th}]_{gh}$ ,  $[L_p/h_{ct}]_{gh}$ ,  $[L_p/h_{ch}]_{gh}$ . Các giá trị này phụ thuộc vào hệ số  $C_u$  của đất:

- +  $C_u = 2,54$  (mẫu M1):  $[L_p/L_{th}]_{gh} = 0,194$ ;  $[L_p/h_{ct}]_{gh} = 1,63$ ;  $[L_p/h_{ch}]_{gh} = 2,70$ ;
- +  $C_u = 4,50$  (mẫu M2):  $[L_p/L_{th}]_{gh} = 0,188$ ;  $[L_p/h_{ct}]_{gh} = 1,57$ ;  $[L_p/h_{ch}]_{gh} = 2,62$ ;
- +  $C_u = 16,15$  (mẫu M3):  $[L_p/L_{th}]_{gh} = 0,180$ ;  $[L_p/h_{ct}]_{gh} = 1,51$ ;  $[L_p/h_{ch}]_{gh} = 2,51$ .

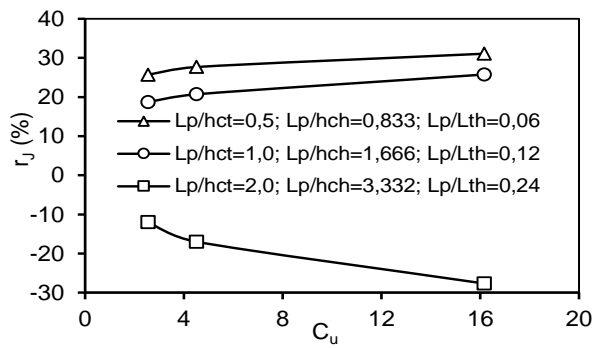
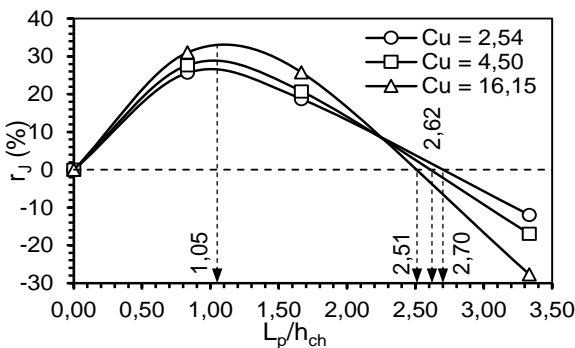
Tương quan giữa  $C_u$  và  $[L_p/L_{th}]_{gh}$ ,  $[L_p/h_{ct}]_{gh}$ ,  $[L_p/h_{ch}]_{gh}$  được thể hiện ở Hình 5.



a) Ảnh hưởng của tỷ lệ ( $L_p/L_{th}$ )



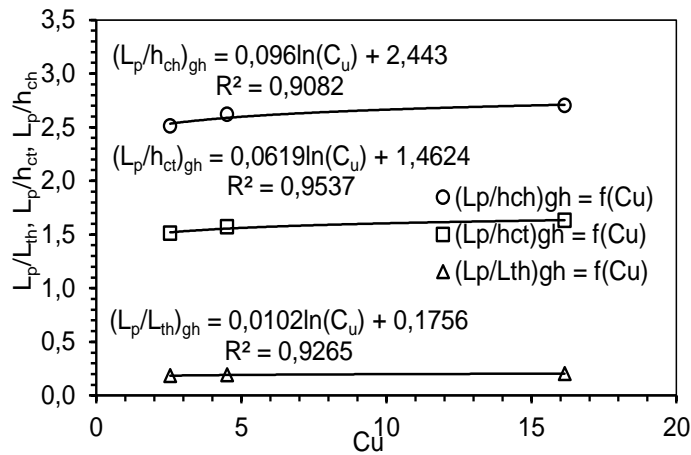
b) Ảnh hưởng của tỷ lệ ( $L_p/h_{ct}$ )



c) Ảnh hưởng của tỷ lệ ( $L_p/h_{ch}$ )

d) Ảnh hưởng của hệ số không đều hạt  $C_u$

Hình 4: Ảnh hưởng của cọc BTCT đến gradient thấm tại khu vực cửa ra



Hình 5: Tương quan giữa  $[L_p/L_{th}]_{gh}$ ,  $[L_p/h_{ct}]_{gh}$ ,  $[L_p/h_{ch}]_{gh}$  và  $C_u$

Ảnh hưởng của các thông số ( $L_{th}$ ,  $L_p$ ,  $h_{ct}$ ,  $h_{ch}$ ,  $C_u$ ) đến sự thay đổi của gradient thấm:

- Ảnh hưởng của  $L_p$  (Hình 4): Với  $C_u$ ,  $L_{th}$ ,  $h_{ct}$ ,  $h_{ch}$  không đổi, khi ( $L_p/L_{th} < 0,076$ ;  $L_p/h_{ct} < 0,63$ ;  $L_p/h_{ch} < 1,05$ ),  $r_J > 0$  và tăng tỷ lệ thuận với  $L_p$ ;  $r_J$  đạt giá trị lớn nhất khi ( $L_p/L_{th} = 0,076$ ;  $L_p/h_{ct} = 0,63$ ;  $L_p/h_{ch} = 1,05$ ); khi ( $0,076 < L_p/L_{th} < [L_p/L_{th}]_{gh}$ ;  $0,63 < L_p/h_{ct} < [L_p/h_{ct}]_{gh}$ ;  $1,05 < L_p/h_{ch} < [L_p/h_{ch}]_{gh}$ ),  $r_J > 0$ ,  $r_J$  tăng tỷ lệ nghịch với  $L_p$ ; khi ( $L_p/L_{th}$ ),  $L_p/h_{ct}$ ,  $L_p/h_{ch}$  lớn hơn giá trị giới hạn,  $r_J < 0$ ,  $L_p$  càng dài thì  $r_J$  càng giảm.

- Ảnh hưởng của  $L_{th}$  (Hình 3a): Với  $C_u$ ,  $L_p$  không đổi, khi  $L_p/L_{th} \leq 0,076$ ,  $r_J > 0$ ,  $r_J$  tỷ lệ nghịch với  $L_{th}$  và đạt giá trị lớn nhất tại  $L_p/L_{th} = 0,076$ ; khi  $0,076 < L_p/L_{th} < [L_p/L_{th}]_{gh}$ ,  $r_J > 0$  và giảm dần về 0 khi  $L_{th}$  giảm; khi ( $L_p/L_{th}$ )  $> [L_p/L_{th}]_{gh}$ ,  $r_{ht} < 0$ ,  $L_{th}$  càng ngắn thì  $r_J$  càng giảm.

- Ảnh hưởng của  $h_{ct}$  (Hình 3b): Với  $C_u$ ,  $L_p$  không đổi, khi  $L_p/h_{ct} < 0,63$ ,  $r_J > 0$ ,  $h_{ct}$  giảm thì  $r_J$  tăng;  $L_p/h_{ct} = 0,63$ ,  $r_J$  đạt giá trị lớn nhất;

$0,63 < L_p/h_{ct} < [L_p/h_{ct}]_{gh}$ ,  $r_J > 0$ ,  $h_{ct}$  càng ngắn thì  $r_J$  sẽ tiến dần về 0;  $L_p/h_{ct} > [L_p/h_{ct}]_{gh}$ ,  $r_J < 0$ ,  $h_{ct}$  càng lớn thì  $r_J$  càng nhỏ.

- Ảnh hưởng của  $h_{ch}$  (Hình 3c): Với  $C_u$ ,  $L_p$  không đổi,  $L_p/h_{ch} < 1,05$ ,  $r_J > 0$  và tỷ lệ nghịch với  $h_{ch}$ ;  $r_J$  đạt giá trị lớn nhất khi  $L_p/h_{ch} = 1,05$ ;  $1,05 < L_p/h_{ch} < [L_p/h_{ch}]_{gh}$ ,  $r_J > 0$ ,  $r_J$  tiến dần về 0 khi  $h_{ch}$  càng ngắn;  $L_p/h_{ch} > [L_p/h_{ch}]_{gh}$ ,  $r_J < 0$ ,  $h_{ch}$  càng lớn  $r_J$  càng nhỏ.

- Ảnh hưởng của hệ số  $C_u$  (Hình 3d): Khi ( $L_p$ ,  $L_{th}$ ,  $h_{ct}$ ,  $h_{ch}$ ) không đổi và ( $L_p/L_{th}$ ), ( $L_p/h_{ct}$ ), ( $L_p/h_{ch}$ ) nhỏ hơn các giá trị giới hạn, đất càng không đều hạt thì  $r_J$  càng tăng và ngược lại.

Như vậy, cọc BTCT làm thay đổi gradient thấm ở khu vực dòng thấm thoát ra. Tùy thuộc vào giá trị ( $L_p$ ,  $L_{th}$ ,  $h_{ct}$ ,  $h_{ch}$ ,  $C_u$ ), mức độ thay đổi của gradient thấm có thể tăng hoặc giảm so với trường hợp nền không có cọc BTCT. Điều này cần lưu ý khi thiết kế công trình để đảm bảo an toàn thấm.

#### 4. XÁC ĐỊNH GRADIENT THẤM LỚN NHẤT TẠI CỬA RA CỦA CỐNG

#### 4.1. Phương pháp xác định

- Giả thiết nền không có cọc BTCT, tính toán gradient thấm lớn nhất tại vùng dòng thấm thoát ra ( $J_{r\max}$ ) bằng các phương pháp thông thường;

- Tính toán gradient thấm lớn nhất ( $J_{r\max}^c$ ) tại cửa ra có xét đến ảnh hưởng của cọc BTCT:

$$J_{r\max}^c = k_J \cdot J_{r\max} \quad (8)$$

với  $k_J$  là hệ số điều chỉnh gradient thấm.

- Kiểm tra khả năng xảy ra biến hình thấm trên cơ sở gradient thấm lớn nhất tại khu vực dòng thấm thoát ra  $J_{r\max}^c$  và gradient thấm cho phép [J] theo qui định hiện hành.

#### 4.2. Thiết lập công thức thực nghiệm xác

$$k_J = \beta_{J0} + \beta_{J1} \left( \frac{L_p}{L_{th}} \frac{L_p}{h_{ch}} \right)^3 + \beta_{J2} \left( \frac{L_p}{h_{ct}} C_u \right)^3 + \beta_{J3} \left( \frac{L_p}{L_{th}} \frac{L_p}{h_{ct}} \frac{L_p}{h_{ch}} C_u \right) + \beta_{J4} \left( \frac{L_p}{h_{ch}} \frac{1}{C_u} \right)^{0,5} \quad (10)$$

Sử dụng các phép biến đổi và giải hệ phương trình, xác định được giá trị của các hệ số  $\beta_{J0} = 1,37$ ;  $\beta_{J1} = -0,22$ ;  $\beta_{J2} = 1,51 \cdot 10^{-5}$ ;  $\beta_{J3} = -0,04$ ;  $\beta_{J4} = -0,20$ . Thay các hệ số này vào phương trình (10) và biến đổi, nhận được công thức thực nghiệm xác định  $k_J$ :

$$k_J = 1,37 - 0,22 \left( \frac{L_p}{L_{th}} \right)^3 \left( \frac{L_p}{h_{ch}} \right)^3 + 1,51 \cdot 10^{-5} \left( \frac{L_p}{h_{ct}} \right)^3 C_u^3 - 0,04 \left( \frac{L_p}{L_{th}} \right) \left( \frac{L_p}{h_{ct}} \right) \left( \frac{L_p}{h_{ch}} \right) C_u - 0,20 \left( \frac{L_p}{h_{ch}} \right)^{0,5} \left( \frac{1}{C_u} \right)^{0,5} \quad (11)$$

Hệ số tương quan của phương trình được thiết lập  $R^2 = 0,9995$ , như vậy độ tương quan giữa các biến rất chặt chẽ.

Điều kiện áp dụng của công thức (11):

- Dòng thấm có áp trong nền cát đồng nhất;
- Cống có cừ chống thấm ở cả phía sông và phía đồng;
- Cọc BTCT đúc sẵn; hình vuông, kích thước cạnh  $a_p = 30$  cm; bố trí theo lưới ô vuông với  $d_p = 4,5a_p$ ; chiều dài cọc  $L_p = (0 \div 2)h_{ct}$ .

#### 5. KẾT LUẬN

#### định hệ số điều chỉnh $k_J$

Hệ số điều chỉnh gradient thấm ( $k_J$ ) phản ánh mức độ thay đổi gradient thấm ( $r_J$ ) giữa trường hợp có và không có cọc BTCT qua công thức:

$$k_J = 1 + \frac{r_J}{100} \quad (9)$$

Từ kết quả thí nghiệm trên mô hình vật lý, sử dụng phương pháp tổng bình phương nhỏ nhất với mô hình tuyến tính để tìm ra được quy luật ảnh hưởng của các yếu tố thủy lực, đất nền và công trình đến mức độ thay đổi gradient thấm do ảnh hưởng của cọc BTCT.

Hàm toán học biểu thị sự tương quan giữa  $k_J$  với các đại lượng không thứ nguyên ( $L_p/L_{th}$ ,  $L_p/h_{ct}$ ,  $L_p/h_{ch}$ ,  $C_u$ ) như sau:

Kết quả thí nghiệm cho thấy, cọc BTCT làm thay đổi đáng kể gradient thấm ở cửa ra trong trường hợp có cọc và không cọc. Mức độ thay đổi phụ thuộc vào các thông số ( $L_p$ ,  $h_{ct}$ ,  $h_{ch}$ ,  $L_{th}$ ,  $C_u$ ). Khi ( $L_p/h_{ct}$ ,  $L_p/h_{ch}$ ,  $L_p/L_{th}$ ) nhỏ hơn các giá trị giới hạn; gradient thấm tăng so với trường hợp không cọc; mức độ gia tăng lớn nhất xảy ra khi chiều dài cọc  $L_p = 0,076L_{th}$ ,  $L_p = 0,63h_{ct}$ ,  $L_p = 1,05h_{ch}$ . Ngược lại, khi các tỷ lệ ( $L_p/h_{ct}$ ,  $L_p/h_{ch}$ ,  $L_p/L_{th}$ ) lớn hơn các giá trị này, gradient thấm lại giảm theo mức độ tăng của chiều dài cọc và hệ số không đều của đất.



Để đảm bảo an toàn thấm cho các cống qua đê xây dựng trên nền cát ở vùng ĐBSH có gia cố cọc BTCT, khi kiểm tra độ bền thấm của nền, cần điều chỉnh kết quả tính toán gradient thấm lớn nhất tại cửa ra trong trường hợp bỏ qua ảnh hưởng của cọc BTCT bằng hệ số  $k_f$ .

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Broms, B. B., “Methods of calculating the ultimate bearing capacity of piles - A summary,” *Sols – Soils*, vol 5 (18-19), pp. 21-31, 1966.
- [2] Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, *Ontwerpregels voor trekpalen*, CUR-publication 2001-4, Gouda, 2001.
- [3] Cao Văn Chí, Trịnh Văn Cường, *Cơ học đất*, Hà Nội: NXB Xây dựng, 2003.
- [4] Marot, D., Regazzoni, P.L., Wahl, T., “Energy based method for providing soil surface erodibility rankings,” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE)*, vol. 137(12), pp. 1290-1294, 2011.
- [5] Đinh Xuân Trọng, “Nghiên cứu ảnh hưởng của hệ số không đều hạt đến độ nhạy xói ngầm của nền cát dưới cống qua đê vùng đồng bằng sông Hồng”, *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, số 23, tr. 101-107, 12/2022.