

PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA DÒNG THẨM TRONG NỀN CÁT DƯỚI ĐÁY CỐNG QUA ĐÊ CÓ CỌC BÊ TÔNG CỐT THÉP GIA CỐ NỀN

Đinh Xuân Trọng

Viện Thủy công

Nguyễn Quốc Dũng

Hội Đập lớn và Phát triển nguồn nước Việt Nam

Phạm Ngọc Quý, Phạm Thị Hương

Trường Đại học Thủy Lợi

Tóm tắt: Trong thời gian qua đã xảy ra nhiều sự cố cống qua đê được xây dựng trên nền cát do thấm và phần lớn các sự cố đều xảy ra ở các cống có gia cố cọc bê tông cốt thép (BTCT). Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy, khi nền cát được gia cố cọc, có sự tác động đáng kể đến dòng thấm dưới đáy cống. Điều này đặt ra sự cần thiết phải xét đến ảnh hưởng của cọc BTCT đóng trong nền cát khi tính toán thấm. Bài báo giới thiệu phương pháp tính toán cột nước thấm và gradient thấm cho cống qua đê trên nền cát vùng đồng bằng sông Hồng có gia cố cọc BTCT dựa trên các hệ số điều chỉnh rút ra từ kết quả thí nghiệm mô hình.

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

Summary: There have been many incidents of under-dike culverts on sand foundation due to seepage and mostly occurs in culverts with reinforced concrete piles. Experimental results reveal that when driving reinforced concrete piles into the sand foundation, they have a significant impact on the seepage flow at the bottom of the culvert. This posed the need to consider the influence of reinforced concrete piles when driving them into the sand foundation during the calculation of permeability. This article provides a method to calculate the seepage head, seepage exit gradient for under-dike culverts built on sand foundation in the Red river delta with reinforced concrete piles based on the adjustment coefficients drawn from model test results.

Keywords: Under-dike culvert, seepage head, seepage exit gradient, sand foundation, reinforced concrete piles

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đối với các cống qua đê trên nền cát có gia cố nền bằng cọc bê tông cốt thép đúc sẵn (BTCT) ở vùng đồng bằng sông Hồng, do hạn chế về công cụ tính toán cũng như khó khăn khi xác định đặc tính lỗ rỗng của đất giữa các cọc bê tông nên hiện nay việc tính toán các đặc trưng của dòng thấm thường bỏ qua ảnh hưởng của cọc và xem như nền đồng nhất hoặc đồng nhất theo các lớp. Các kết quả nghiên cứu bằng mô hình vật lý [1] cho thấy, có sự thay đổi đáng kể cột nước áp lực thấm dưới bản đáy cống cũng như gradient thấm tại khu vực dòng thấm thoát

ra của cống qua đê trên nền cát giữa trường hợp không và có cọc bê tông gia cố nền. Sự thay đổi này có thể ảnh hưởng đến an toàn của công trình nếu không được xem xét thấu đáo trong quá trình tính toán thiết kế. Như vậy, cần có sự điều chỉnh kết quả tính toán đặc trưng của dòng thấm dưới đáy cống qua đê trên nền cát có gia cố cọc bê tông theo các phương pháp hiện nay (bỏ qua ảnh hưởng của cọc).

2. CƠ SỞ KHOA HỌC

2.1. Lý thuyết thấm

- Định luật cơ bản của dòng thấm Darcy:

Ngày nhận bài: 26/9/2022

Ngày thông qua phản biện: 14/10/2022

Ngày duyệt đăng: 30/11/2022

$$v_t = k_{th} \cdot J \quad (1)$$

trong đó v_t là vận tốc thấm, k_{th} là hệ số thấm và J là gradient thủy lực của dòng thấm.

$$J = \frac{\Delta H}{L_{th}} \quad (2)$$

với ΔH là chênh lệch cột nước thượng hạ lưu và L_{th} là chiều dài đường dẫn thấm.

- Phương trình cơ bản của dòng thấm:

Trường hợp thấm phẳng ổn định trong môi trường đồng nhất, đẳng hướng:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (3)$$

Trường hợp đất đồng nhất và dị hướng:

$$k_{thx} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_{thy} \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (4)$$

trong đó h là cột nước thấm; x và y là đường đi ngang và đứng của dòng thấm; k_{thx} và k_{thy} là hệ số thấm ngang và đứng của đất.

2.2. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm

Để nghiên cứu ảnh hưởng của cọc BTCT đến các đặc trưng thấm trong nền cát dưới cống qua đê vùng đồng bằng sông Hồng, một mối quan hệ toán học giữa các yếu tố thủy lực, công trình, đất nền và cọc đã được thiết lập dựa trên phương pháp phân tích thứ nguyên. Trên cơ sở đó, một thiết bị thí nghiệm đã được thiết kế để thực hiện các sê ri thí nghiệm với các điều kiện khác nhau. Chi tiết kết quả nghiên cứu thực nghiệm được trình bày trong bài báo của Đinh Xuân Trọng và nnk (2022). Dưới đây là một tóm tắt ngắn gọn kết quả nghiên cứu này:

a) Phương trình nghiên cứu thực nghiệm

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

$$J = f \left(\frac{h_{ch}}{T_c}, \frac{L_p}{h_{ct}}, \frac{d_p}{a_p}, \frac{h_t}{\Delta H}, D_r, C_u \right) \quad (6)$$

Trong đó: ΔH là chênh lệch mực nước thượng hạ lưu, h_t là cột nước thấm, L_{th} là chiều dài đường viền thấm, h_{ct} và h_{ch} là chiều sâu đóng cù thượng lưu và hạ lưu, a_p là kích thước mặt cắt

ngang cọc, L_p là chiều dài cọc, d_p là khoảng cách giữa các cọc, T_c là chiều dày tầng cát dưới đáy cống, D_r là độ chặt tương đối và C_u là hệ số không đều hạt của đất.

Phương trình (5), (6) được sử dụng để nghiên cứu diễn biến của cột nước thấm, gradient thủy lực trước sự biến đổi của chênh lệch cột nước thượng hạ lưu, chiều dài đường viền thấm, chiều dày tầng cát dưới đáy cống, độ sâu đóng cù thượng hạ lưu, kích thước và khoảng cách cọc gia cố nền, hệ số không đều hạt và độ chặt tương đối của đất.

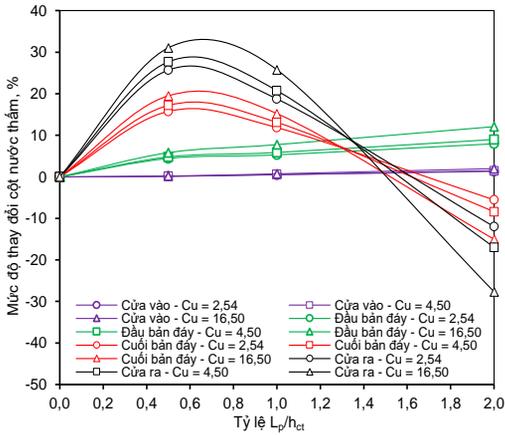
b) Kết quả nghiên cứu thực nghiệm

Ba mẫu đất với các chỉ tiêu D_r , C_u khác nhau cùng với tỷ lệ $(L_p/h_{ct}) = (0,5; 1,0; 2,0)$ đã được nghiên cứu trong các điều kiện chênh lệch cột nước $\Delta H = (100, 200, 300, 400)$ mm. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, cọc BTCT gia cố nền cát làm thay đổi cột nước thấm, gradient thấm ở khu vực cửa vào, bản đáy và cửa ra của cống qua đê so với trường hợp không có cọc gia cố. Mức độ thay đổi phụ thuộc vào độ dài cọc (L_p), chiều sâu cù thượng lưu (h_{ct}) và hệ số không đều hạt (C_u) của đất. Hình 1 và 2 thể hiện mức độ thay đổi cột nước thấm, gradient thấm tại vùng cửa vào, bản đáy (đầu và cuối bản đáy) và cửa ra của cống.

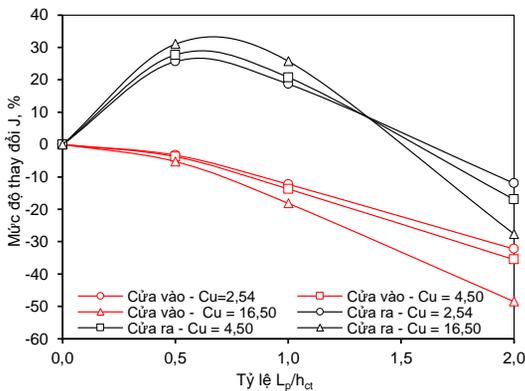
- Ở khu vực cửa vào, cột nước thấm tăng dưới 2%, gradient thấm giảm nên có thể bỏ qua.

- Tại đầu bản đáy cống, cột nước thấm tăng trong tất cả các kích bản; mức độ gia tăng từ 4,4% đến 12,05% tùy theo tỷ lệ (L_p/h_{ct}) và C_u khác nhau. Ở cuối bản đáy, cột nước thấm tăng khi (L_p/h_{ct}) nhỏ hơn 1,51 ($C_u = 2,54$); 1,61 ($C_u = 4,50$) và 1,69 ($C_u = 16,15$) và giảm trong trường hợp ngược lại; mức độ gia tăng từ 11,8% đến 19,5%; mức độ giảm từ 5,56% đến 15,0%.

- Vùng cửa ra, cột nước thấm và gradient thấm giảm khi (L_p/h_{ct}) lớn hơn 1,50 ($C_u = 2,54$); 1,56 ($C_u = 4,50$) và 1,61 ($C_u = 16,15$) và tăng ở chiều ngược lại; mức độ giảm từ 12,0% đến 27,6% và tăng từ 18,7% đến 31,06% phụ thuộc vào tỷ lệ (L_p/h_{ct}) và loại đất.



Hình 1: Mức độ thay đổi cột nước thấm do ảnh hưởng của cọc tại các vùng



Hình 2: Mức độ thay đổi gradient thấm do ảnh hưởng của cọc tại cửa vào và cửa ra

3. ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP

3.1. Nội dung phương pháp

Trên sơ đồ đường viền thấm của công trình, tính toán các đặc trưng của dòng thấm bằng các phương pháp đã được đề cập trong các qui phạm thiết kế và các tài liệu chuyên ngành với giả thiết bỏ qua ảnh hưởng của cọc gia cố nền. Từ kết quả đạt được, tiến hành tính toán các đặc trưng của dòng thấm trong trường hợp xét đến ảnh hưởng của hệ cọc bê tông gia cố nền trên cơ sở điều chỉnh kết quả của trường hợp không xét đến ảnh hưởng của hệ cọc thông qua các hệ số điều chỉnh cột nước áp lực thấm và hệ số điều chỉnh gradient thấm.

- Cột nước thấm: $h_{tc}^i = k_{ht}^i \cdot h_t^i$ (7)

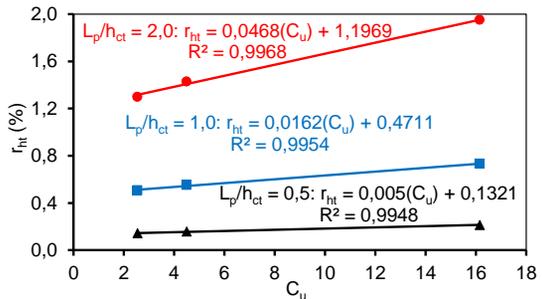
- Gradient thấm: $J_{rcmax} = k_j \cdot J_{rmax}$ (8)

Trong đó: h_{tc}^i là cột nước thấm điều chỉnh trong

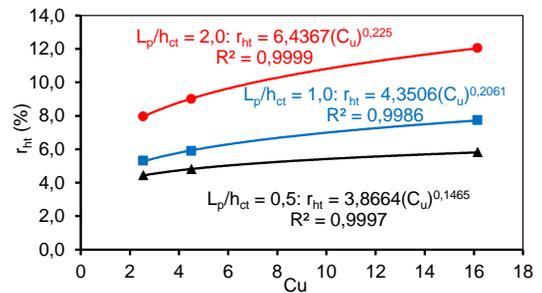
trường hợp xét đến ảnh hưởng của cọc tại các vị trí cửa vào, đầu bản đáy, cuối bản đáy, cửa ra của cống; h_t^i là cột nước thấm khi bỏ qua ảnh hưởng của cọc tại các vị trí tương ứng; J_{rcmax} là gradient thấm lớn nhất tại khu vực cửa ra khi xét ảnh hưởng của cọc; J_{rmax} là gradient thấm lớn nhất tại khu vực cửa ra khi bỏ qua ảnh hưởng của cọc; k_{ht}^i và k_j là hệ số điều chỉnh cột nước thấm và gradient thấm.

3.2. Xác định các hệ số điều chỉnh

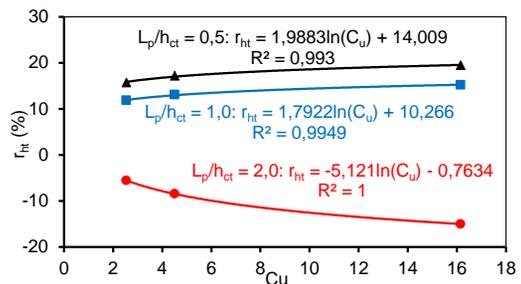
Dựa trên các số liệu thí nghiệm, thiết lập mối tương quan giữa mức độ biến đổi cột nước thấm (r_{ht}) và gradient thấm (r_j) với hệ số không đều hạt (C_u) cho các trường hợp $(L_p/h_{ct}) = (0,5; 1,0; 2,0)$ ở cửa vào, bản đáy (đầu và cuối bản đáy), cửa ra so với trường hợp bỏ qua ảnh hưởng của cọc $(L_p/h_{ct}) = 0$.



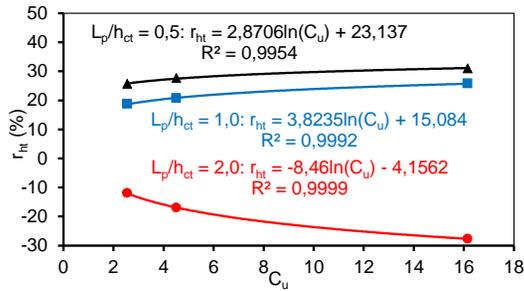
Hình 3: Tương quan $r_{ht} \sim C_u$ vùng cửa vào



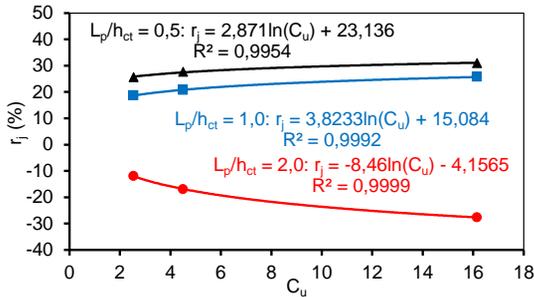
Hình 4: Tương quan $r_{ht} \sim C_u$ đầu bản đáy



Hình 5: Tương quan $r_{ht} \sim C_u$ cuối bản đáy



Hình 6: Tương quan $r_{ht} \sim C_u$ ở cửa ra



Hình 7: Tương quan $r_j \sim C_u$ ở cửa ra

Các thông số r_{ht} , r_j phản ánh mức độ thay đổi

cột nước thấm, gradient thấm tại các vị trí dưới bản đáy công khi xét đến ảnh hưởng của cọc BTCT gia cố nền. Trường hợp tổng quát, r_{ht} và r_j là hàm số của tỷ lệ (L_p/h_{ct}) và C_u :

$$r_{ht} = f\left(\frac{L_p}{h_{ct}}, C_u\right) \quad (9)$$

$$r_j = f\left(\frac{L_p}{h_{ct}}, C_u\right) \quad (10)$$

$$\text{Đặt } k_{ht} = \left(1 + \frac{r_{ht}}{100}\right) \quad (11)$$

$$\text{và } k_j = \left(1 + \frac{r_j}{100}\right) \quad (12)$$

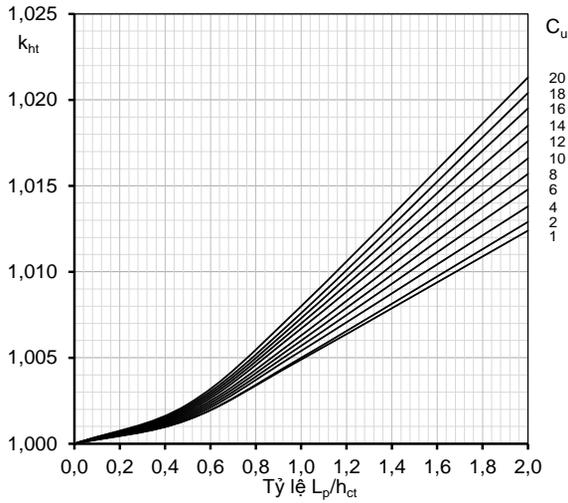
Từ các phương trình tương quan trên Hình 3 đến Hình 6, thiết lập được mối quan hệ giữa k_{ht} , k_j và C_u theo các tỷ lệ (L_p/h_{ct}) khác nhau tại vùng cửa vào, bản đáy và cửa ra như trong Bảng 1.

Bảng 1: Hàm xác định k_{ht} , k_j tại các vị trí dưới bản đáy công

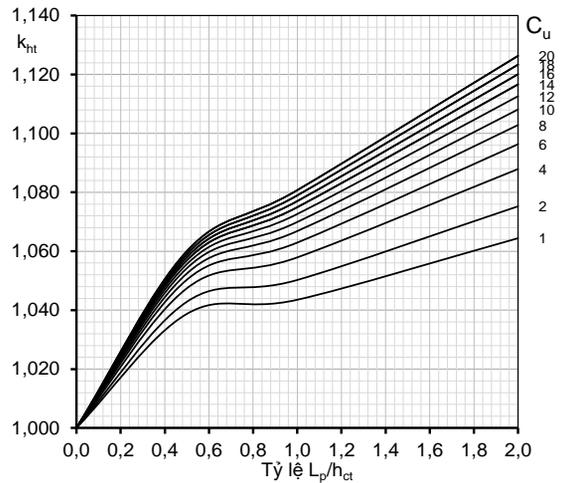
Hàm xác định k_{ht} theo các tỷ lệ (L_p/h_{ct})			
Vị trí	$L_p/h_{ct} = 0,5$	$L_p/h_{ct} = 1,0$	$L_p/h_{ct} = 2,0$
Cửa vào	$\left(1 + \frac{0,005.C_u + 0,1321}{100}\right)$	$\left(1 + \frac{0,0162.C_u + 0,4711}{100}\right)$	$\left(1 + \frac{0,0468.C_u + 1,1969}{100}\right)$
Đầu bản đáy	$\left(1 + \frac{3,8664.(C_u)^{0,1465}}{100}\right)$	$\left(1 + \frac{4,3506.(C_u)^{0,2061}}{100}\right)$	$\left(1 + \frac{6,4367.(C_u)^{0,225}}{100}\right)$
Cuối bản đáy	$\left(1 + \frac{1,9883.\ln(C_u) + 14,009}{100}\right)$	$\left(1 + \frac{1,7922.\ln(C_u) + 10,266}{100}\right)$	$\left(1 + \frac{-5,121.\ln(C_u) - 0,7634}{100}\right)$
Cửa ra	$\left(1 + \frac{2,8706.\ln(C_u) + 23,137}{100}\right)$	$\left(1 + \frac{3,8235.\ln(C_u) + 15,084}{100}\right)$	$\left(1 + \frac{-8,46.\ln(C_u) - 4,1562}{100}\right)$
Hàm xác định k_j theo các tỷ lệ (L_p/h_{ct})			
Cửa ra	$\left(1 + \frac{2,871.\ln(C_u) + 23,136}{100}\right)$	$\left(1 + \frac{3,8233.\ln(C_u) + 15,084}{100}\right)$	$\left(1 + \frac{-8,46.\ln(C_u) - 4,1565}{100}\right)$

Từ các công thức trong Bảng 1, thiết lập mối quan hệ $k_{ht} = f(L_p/h_{ct}, C_u)$ như Hình 8 và $k_j = f(L_p/h_{ct}, C_u)$ như Hình 9. Có thể sử dụng các kết quả này để xác định hệ số k_{ht} , k_j khi tính toán

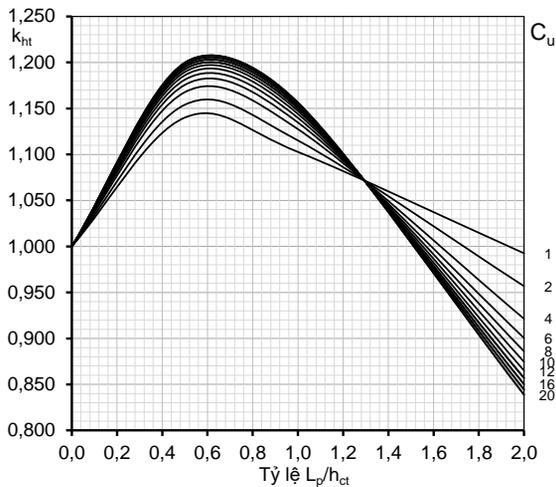
cột nước thấm ở cửa vào, dưới bản đáy cửa ra cũng như gradient thấm ở vùng dòng thấm thoát ra của công qua đê trên nền cát có cọc BTCT.



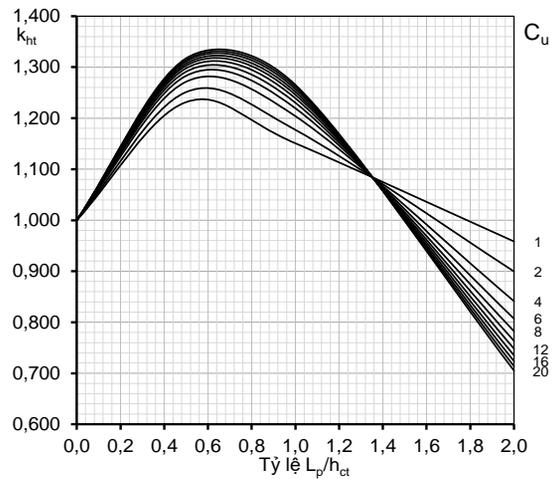
a) Vùng cửa vào



b) Đầu bản đáy

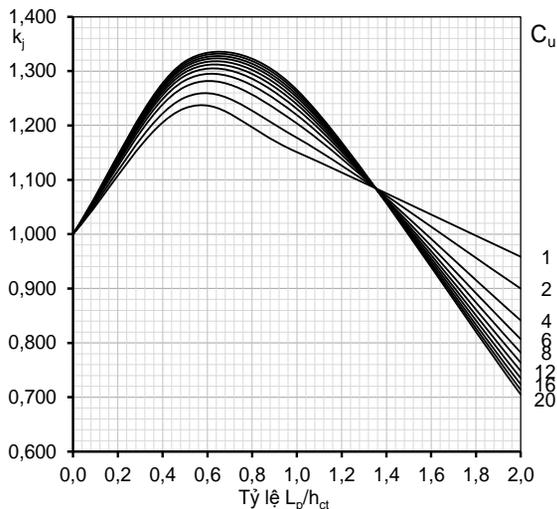


c) Cuối bản đáy



d) Vùng cửa ra

Hình 8: Đồ thị xác định k_{ht} ở các vị trí dưới bản đáy cống



Hình 9: Đồ thị xác định k_j ở cửa ra của cống

4. ÁP DỤNG TÍNH TOÁN CHO CỐNG TẮC GIANG, TỈNH HÀ NAM

4.1. Giới thiệu về công trình

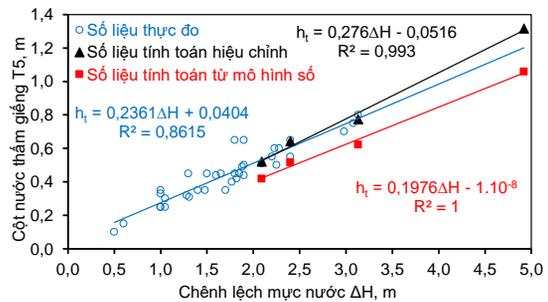
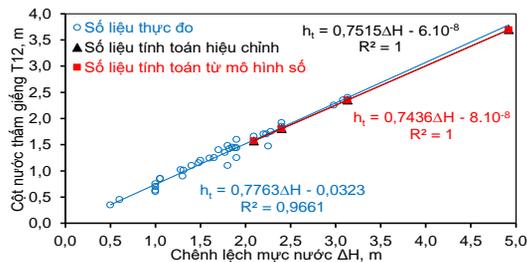
Cống Tắc Giang được xây dựng tại K129+721 đê hữu Hồng thuộc xã Chuyên Ngoại, huyện Duy Tiên, tỉnh Hà Nam. Công trình gồm có âu thuyền rộng 8m và cống lấy nước rộng 3x4,2m. Nền cống nằm trên lớp cát hạt nhỏ, mịn (lớp 4) [2]. Giải pháp chống thấm là đóng cừ sâu 10m ở thượng lưu và sâu 3m ở hạ lưu; nền cống đóng cọc BTCT đúc sẵn kích thước 30x30cm, dài 5m, bố trí thẳng hàng với khoảng cách 1,3m [2]. Tỷ lệ chiều dài cọc L_p / độ sâu cừ thượng lưu h_{ct} bằng 0,454. Sơ đồ bố trí cừ và cọc dưới bản đáy

Kịch bản	Kết quả mô hình số - bỏ qua ảnh hưởng của cọc (m)				Kết quả hiệu chỉnh – xét đến ảnh hưởng của cọc (m)				Quan trắc thực tế			
	T12	T11	T6	T5	T12	T11	T6	T5	T12	T11	T6	T5
TG1	1,569	0,960	0,647	0,419	1,571	1,000	0,743	0,521	1,60	1,01	0,76	0,51
TG2	1,801	1,102	0,742	0,516	1,804	1,148	0,853	0,642	1,85	1,20	0,90	0,65
TG3	2,349	1,438	0,968	0,622	2,352	1,497	1,113	0,774	2,40	1,54	1,15	0,80
TG4	3,693	2,260	1,522	1,058	3,697	2,353	1,749	1,317	Không có số liệu			

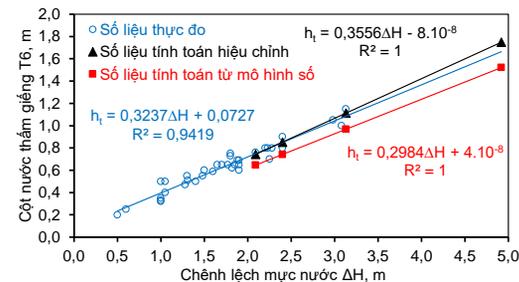
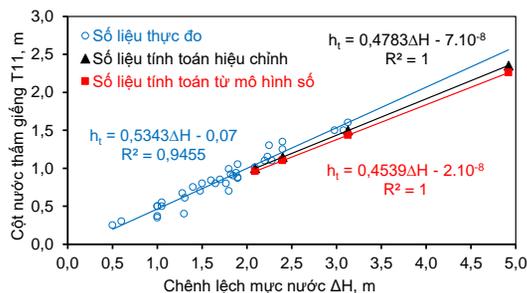
Bảng 5: Đánh giá sự thay đổi cột nước thấm do ảnh hưởng của cọc tại giếng T12, T11, T6, T5

Kịch bản	ΔH (m)	Mức độ thay đổi cột nước thấm (%) tại ống đo áp (so sánh giữa kết quả hiệu chỉnh và mô hình số)				Mức độ thay đổi cột nước thấm (%) tại ống đo áp (so sánh giữa số liệu quan trắc thực tế và mô hình số)			
		T12	T11	T6	T5	T12	T11	T6	T5
TG1	2,09	0,12	4,15	14,95	24,40	1,99	5,22	17,55	21,72
TG2	2,40	0,12	4,15	14,95	24,40	2,69	8,87	21,23	25,89
TG3	3,13	0,12	4,15	14,95	24,40	2,15	7,13	18,77	28,62
TG4	4,92	0,12	4,15	14,95	24,40	Không có số liệu so sánh			
Trung bình		0,12	4,15	14,95	24,40	2,28	7,07	19,18	25,41

Tương quan giữa cột nước thấm và chênh lệch cột nước thượng hạ lưu công tại giếng quan trắc T12, T11, T6, T5 được thể hiện trên Hình 12.



Hình 12: So sánh kết quả tính toán và quan trắc tại các giếng đo



Sai số giá trị cột nước thấm tính theo phương pháp hiệu chỉnh và số liệu quan trắc thực tế tại giếng quan trắc T12 trung bình 2,16%, T11 là 2,80%, T6 là 3,68% và T5 trung bình là 0,81% (cụ thể xem Bảng 6). Một trong những nguyên nhân dẫn đến sự sai khác này là do đơn vị quản lý sử dụng thiết bị đo thủ công để đo mực nước tại các giếng quan trắc. Xét về ý nghĩa thực tế, giá trị sai số trên là không đáng kể.

Bảng 6: So sánh kết quả tính toán bằng phương pháp hiệu chỉnh và quan trắc thực tế

Kịch bản	Sai số (%)			
	T12	T11	T6	T5
TG1	1,87	1,03	2,26	-2,16
TG2	2,57	4,53	5,46	1,20
TG3	2,03	2,86	3,33	3,39
TG4	Không có số liệu so sánh			
Trung bình	2,16	2,80	3,68	0,81

5. KẾT LUẬN

Từ trước đến nay, khi tính toán thấm cho cống qua đê thường bỏ qua sự có mặt của hệ cọc 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. Dựa trên kết quả thí nghiệm, một phương pháp tính toán các đặc trưng thấm (cột nước thấm, gradient thấm) trong nền cát dưới cống qua đê vùng đồng bằng sông Hồng có gia cố cọc BTCT đúc sẵn đã được đề xuất thông qua việc điều chỉnh kết quả tính toán thấm bằng các phương pháp thông thường bằng các hệ số. Qua kết quả áp dụng cho cống Tắc Giang, nhận thấy sự phù hợp của kết quả tính toán hiệu chỉnh với số liệu quan trắc thực tế. Vì vậy có thể khẳng định phương pháp đề xuất là hợp lý và đáng tin cậy, có thể sử dụng trong công tác nghiên cứu và thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] 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 cống qua đê bằng mô hình vật lý,” Tạp chí KHKT Thủy lợi và Môi trường, số 81, 12/2022.
- [2] HEC I, Hồ sơ thiết kế kỹ thuật – thi công cụm công trình đầu mối cống, âu thuyền Tắc Giang – Hà Nam thuộc Tiểu dự án Hệ thống thủy lợi Tắc Giang – Phủ Lý, Hà Nội, 2006.