



Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>



Study on the impact of the tide on the sea dyke stability in Quang Ninh province



Thang Anh Bui *, Phuc Dinh Hoang, Tho Duc Pham, Huy Quang Dang

Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26th Oct. 2020

Revised 14th Nov. 2020

Accepted 31st Dec. 2020

Keywords:

Seepage,
Slope stability,
Tide,
Unstable seepage.

ABSTRACT

The different reasons causing the instability of slope, one of the causes affecting the stability of slope of the dyke body is the impact of the water level in front of them and the unstable seepage. Especially in the current climate change, the change of water level on the flow system (rivers, streams, ...) and sea is greatly affected, which is reason causing the instability of slope of the dyke body. Therefore, this paper will analyze the impact of the tide on the dyke stability, which contributes to supplementing and completing the design and audit method of the dyke slope stability. The results are applied analysis and calculation on some typical sea dyke in Quang Ninh province.

Copyright © 2020 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

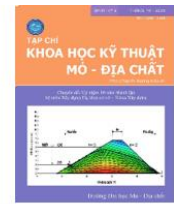
E - mail: buianhthang@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.10



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Nghiên cứu ảnh hưởng của thủy triều tới ổn định đê biển tỉnh Quảng Ninh

Bùi Anh Thắng *, Hoàng Đình Phúc, Phạm Đức Thọ, Đặng Quang Huy

Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 26/10/2020

Sửa xong 14/11/2020

Chấp nhận đăng 31/12/2020

Từ khóa:

Dòng thấm không ổn định,

Dòng thấm,

Ổn định mái dốc,

Thủy triều.

TÓM TẮT

Như chúng ta đã biết, sự mất ổn định của công trình chắn nước nói chung và đê biển nói riêng do tác động của nhiều nguyên nhân khác nhau, một trong những nguyên nhân gây ảnh hưởng đó là tác động mực nước trước thân đê và sự hình thành dòng thấm không ổn định trong thân đê. Đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu như hiện nay, sự biến đổi mực nước trên hệ thống dòng chảy (sông, suối, ...) và ngoài biển chịu tác động rất lớn tiềm ẩn các nguy cơ gây mất ổn định hệ thống công trình chắn nước. Bài báo sẽ tiến hành phân tích tác động của thủy triều đến sự ổn định đê biển; bên cạnh đó hoàn thiện và bổ sung thêm phương pháp luận trong bài toán thiết kế và kiểm toán ổn định thân đê biển. Kết quả nghiên cứu áp dụng phân tích, tính toán trên một số đoạn đê biển điển hình tại tỉnh Quảng Ninh.

© 2020 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu.

Việt Nam là quốc gia có vùng biển rộng đường bờ biển rất dài, khoảng 3260 km. Hiện nay, dọc ven biển Việt Nam đã có hệ thống đê biển với các quy mô khác nhau được hình thành qua nhiều thế hệ, bảo vệ cho sản xuất, dân sinh kinh tế của các vùng trũng ven biển. Đây là một nguồn tài sản lớn của đất nước, nếu được tu bổ, nâng cấp phù hợp thì hệ thống đê biển sẽ là cơ sở vững chắc tạo đà phát triển kinh tế, phục vụ sự nghiệp công nghiệp hoá, hiện đại hoá đất nước. Hệ thống đê sông, đê biển hiện nay chỉ mới có thể đảm bảo an toàn ở mức độ nhất định tùy theo tầm quan trọng về dân

sinh, kinh tế từng khu vực được bảo vệ, một số tuyến đê đã được đầu tư khôi phục, nâng cấp nhưng chưa được tập trung đồng bộ, kiên cố, lại chịu tác động thường xuyên của mưa bão nên hệ thống đê biển vẫn tiếp tục bị xuống cấp. Việc quy hoạch tuyến đê và tiêu chuẩn an toàn đê biển chưa được đề cập đầy đủ.

Tỉnh Quảng Ninh với đặc điểm địa hình là một vùng miền núi, trung du và ven biển. Chiều dài bờ biển tỉnh Quảng Ninh biển xấp xỉ 200km, là vùng có những dải đồi thấp bị phong hóa và xâm thực tạo nên những cánh đồng từ các chân núi thấp dần xuống các triền sông và bờ biển như: Đông Triều, Uông Bí, bắc Yên Hưng, nam Tiên Yên, Đầm Hà, Hải Hà và một phần Móng Cái. Để đảm bảo các hoạt động sản xuất và phát triển kinh tế trong vùng cần hệ thống bao chắn dọc bờ biển, yêu cầu xây dựng mật độ đê biển khá lớn.

Thực tế hàng năm, hệ thống đê biển ở Quảng

*Tác giả liên hệ

E - mail: buianhthang@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.10

Ninh vào mùa mưa bão tại các vị trí đê xuống cấp có hiện tượng bị lở đê, sạt trượt xảy ra nghiêm trọng gây ra nhiều thiệt hại về người và của cho dân cư. Nguyên nhân hiện tượng này chủ yếu do tác động của sóng biển, nước tràn, xói mòn tự nhiên bờ biển; trượt mái thân đê; hư hỏng kết cấu bảo vệ mái. Phạm vi dao động của mực nước thủy triều cũng là phạm vi chủ yếu của đê bị xói lở và sạt trượt. Dưới tác dụng của dòng thấm ngược ra khi triều rút, với các trường hợp không gia cố mái, vài địa kỹ thuật và tầng lọc ngược, quá trình thi công không đảm bảo kỹ thuật sẽ tiềm ẩn nguy cơ mất ổn định thân đê. Do đó, trong bài báo này nhóm tác giả tiến phân tích và chỉ ra tác động mực nước thủy đến ổn định thân đê biển, áp dụng tính toán trên một số đoạn đê biển điển hình tại tỉnh Quảng Ninh.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu.

Tác động của dòng triều với chế độ bán nhật triều không đều không những tạo nên sự thay đổi mực nước biển theo thời gian mà còn tạo ra dòng thấm không ổn định trong thân đê. Điều này sẽ làm thay đổi tính chất cơ lý của đất, giảm sức kháng cắt của đất gây mất ổn định mái đê biển. Do vậy cơ sở lý thuyết tính toán chính là dòng thấm không ổn định và sức kháng cắt trong đất không bão hòa.

2.1. Phương trình thấm tổng quát

Phương trình vi phân tổng quát trong trường hợp thấm hai chiều (theo “Cơ học đất cho đất không bão hòa” bản dịch của Nguyễn Công Mẫn, Nguyễn Trường Tiến, Trịnh Minh Thụ, Nguyễn Uyên, 2000) có thể mô tả như sau:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (1)$$

Trong đó: H - tổng cột nước; k_x, k_y - hệ số thấm thủy lực theo phương x và y ; Q - lưu lượng biên tác dụng; θ - hàm lượng nước thể tích; t - thời gian.

Phương trình (1) cho thấy tổng tỷ lệ thay đổi của dòng chảy theo phương x và y cộng với dòng chảy từ bên ngoài vào sẽ cân bằng với tỷ lệ thay đổi của hàm lượng nước thể tích trữ trong khối đất trong thời gian tương ứng. Sự thay đổi hàm lượng nước thể tích phụ thuộc vào sự thay đổi trạng thái ứng suất và tính chất của đất. Trạng thái

của đất bão hòa và không bão hòa được mô tả bằng 2 biến trạng thái (Fredlund và nnk., 1994), ứng suất pháp thực ($\sigma - u_a$) và lực hút dính ($u_a - u_w$), với σ là tổng ứng suất, u_a là áp suất không khí, u_w là áp lực nước lỗ rỗng.

Với giả thiết áp lực nước lỗ rỗng không đổi khi ở áp suất khí quyển trong quá trình thấm, có nghĩa là ($\sigma - u_a$) không đổi và không ảnh hưởng đến hàm lượng nước thể tích. Do đó hàm lượng nước thể tích chỉ phụ thuộc vào sự biến đổi của trạng thái ứng suất ($u_a - u_w$) và với u_a không đổi thì sự biến đổi này chỉ phụ thuộc vào sự biến đổi của áp lực nước lỗ rỗng, sự biến đổi có thể biểu diễn như sau:

$$\partial \theta = m_w \partial u_w \quad (2)$$

Trong đó: m_w - là độ dốc của đường cong trữ nước.

Tổng cột nước thủy lực H được định nghĩa:

$$H = \frac{u_w}{\gamma_w} + y \quad (3)$$

Trong đó: u_w - áp lực nước lỗ rỗng; γ_w - dung trọng riêng của nước; y - cao độ. Khi đó phương trình vi phân dòng thấm được biến đổi thành:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = m_w \gamma_w \frac{\partial H}{\partial t} \quad (4)$$

Để giải phương trình trên sử dụng hàm thấm thủy lực và hàm đặc trưng đất-nước trong đất không bão hòa (Fredlund, D.G., & Morgenstern, N.R, 1977 và Fredlund và nnk., 1994).

Hàm đặc trưng đất - nước là đường cong liên hệ giữa độ chứa nước thể tích u_w và lực hút dính ($u_a - u_w$), đường cong đặc trưng đất-nước có thể được xác định qua 2 phương pháp: thí nghiệm trực tiếp hoặc từ đường cong thành phần hạt và hệ số rỗng ban đầu (phương pháp Grain size của Aubertin và nnk., 2003).

Hàm thấm thủy lực của đất không bão hòa là hàm số về khả năng thấm nước của đất liên quan đến độ ẩm thể tích của đất, nó chính là một hàm phi tuyến của độ ẩm thể tích. Hàm thấm thủy lực được xác định qua 2 phương pháp: thí nghiệm trực tiếp hoặc dựa trên đặc trưng cơ lý của đất và đường cong đặc trưng đất-nước.

2.2. Sức kháng cắt của đất không bão hòa

Theo (Fredlund và nnk., 1994) đã chứng minh rằng sức kháng cắt của đất không bão hòa

được mô tả thông qua 2 biến ứng suất: (1) ứng suất pháp thực ($\sigma - u_a$) và (2) lực hút dính ($u_a - u_w$). Dựa trên lý thuyết bền của Mohr-Coulomb, Nhóm tác giả đã xây dựng sức kháng cắt của đất không bão hòa như sau:

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi_b \quad (6)$$

Trong đó: c' -lực dính đơn vị hữu hiệu; $(\sigma - u_a)$: ứng suất pháp thực; ϕ' -góc ma sát trong hữu hiệu; $(u_a - u_w)$: lực hút dính trên mặt phá hoại; ϕ_b -(góc biểu thị tốc độ tăng của sức kháng cắt theo lực hút dính).

2.3. Sơ đồ tính toán ổn định đê biển

Để tính toán ổn định đê biển dưới tác động của thủy triều ta có thể theo sơ đồ tính toán thể hiện trên Hình 1

Sức kháng cắt của đất không bão hòa có thể được xác định qua thí nghiệm trực tiếp hoặc qua những mô hình dự báo. Tuy nhiên, việc thí nghiệm trong phòng thí nghiệm đòi hỏi thời gian và chi phí rất lớn. Những mô hình cho hàm sức kháng cắt của đất không bão hòa cũng yêu cầu nhiều số liệu thực nghiệm hoặc mang tính kinh nghiệm thông qua phân tích những loại đất tương tự (Phạm Quang Hưng, 2012). Do vậy, khi tính toán ổn định mái dốc ta nên lựa chọn cách xác định sức kháng cắt của đất như sau:

+ (1) Xét đến ảnh hưởng của lực hút dính đối với sức kháng cắt của đất không bão hòa nếu có kết quả thí nghiệm về sức kháng cắt;

+ (2) Bỏ qua ảnh hưởng của lực hút dính (áp lực lỗ rỗng âm) nếu không có kết quả thí nghiệm. Theo lý thuyết, phương pháp này cho hệ số an toàn nhỏ hơn.

Trong báo cáo này tác giả xác định sức kháng cắt của đất theo cách thứ (2).

Để phân tích sự ổn định mái dốc thân đê biển dưới tác động của thủy triều có xét đến dòng thấm không ổn định tiến hành mô phỏng tính toán dựa trên phần mềm Geo-Studio 2007 (Berilgen M., 2007; Lê Đình Hồng, 2002)

3. Kết quả và thảo luận

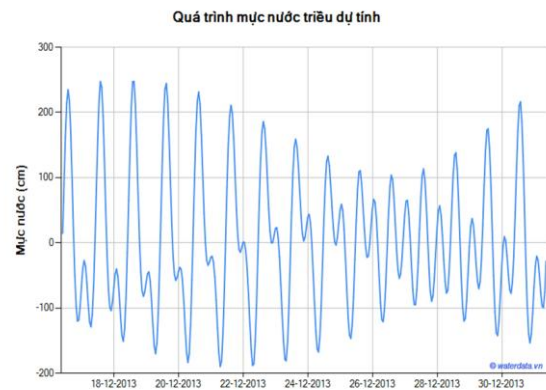
Để đánh giá tác động thủy triều đến ổn định đê biển nhóm tác giả áp dụng phân tích, tính toán trên tuyến đê biển thuộc dự án Cụm dịch vụ Hậu cần và chế biến hải sản Cửa Ông, tỉnh Quảng Ninh. Số liệu được lấy theo Báo cáo khảo sát địa chất

(Công ty Cổ phần Xây dựng và Đầu tư Hạ tầng, 2005; Công ty Tư vấn triển khai Công nghệ và Xây dựng Giao thông, 2009). Thông số thủy văn: chế độ thủy triều vùng biển Quảng Ninh chu kỳ triều diễn ra từ 23÷25 tiếng và biên độ thủy triều lớn từ 3,5÷4m thể hiện trên Hình 2 (Theo website: waterdata.vn - Cơ sở dữ liệu thủy lợi).

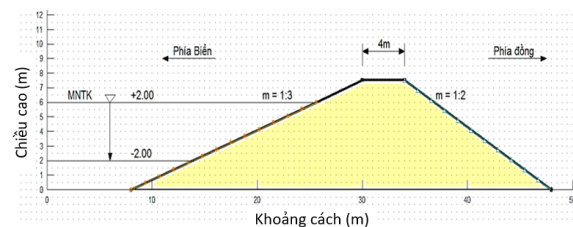
Thông số mặt cắt ngang hình học đê được thể hiện Hình 3. Chiều cao thân đê đặc trưng $H = 7,5\text{m}$; độ dốc mái phía biển $m = 1:3$; độ dốc mái phía đồng $m = 1:2$.



Hình 1. Sơ đồ tính toán ổn định mái dốc trong cơ học đất không bão hòa.



Hình 2. Quá trình thay đổi mực nước triều vùng biển Quảng Ninh.



Hình 3. Mặt cắt ngang điển hình tuyến đê thiết kế.

Thông số địa chất đất đắp đề sử dụng loại đất tại địa phương tỉnh Quảng Ninh có chỉ tiêu cơ lý như sau: dung trọng tự nhiên $\gamma=21\text{kN/m}^3$; độ ẩm tự nhiên $W=19\%$; hệ số rỗng $e=0,5$; $G=91\%$; $B=-0,4$; lực dính đơn vị $c=18\text{kPa}$; góc ma sát trong $\varphi=15^\circ$; mô đun đàn hồi $E=8500\text{kPa}$. Hệ số thấm khảo sát tính toán đổi từ 10^{-4}cm/s đến 10^{-8}cm/s . Các tổ hợp tính toán theo Bảng 1.

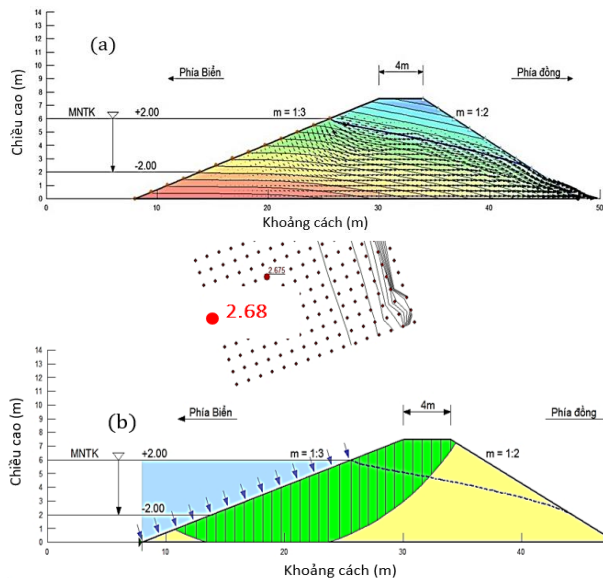
Kết quả mô hình tính toán ổn định mái đề phía biển trường hợp hệ số thấm $K=10^{-4}\text{cm/s}$ trong một chu kỳ thủy triều được thể hiện trên Hình 4 a,b và Hình 5 a,b.

Tương tự với các trường hợp khác khi hệ số thấm $K=10^{-5}$; 10^{-6} ; 10^{-7} ; 10^{-8}cm/s kết quả tính toán ổn định mái đề phía biển trong một chu kỳ thủy triều được tổng hợp trong bảng kết quả trong Bảng 2 và Hình 6.

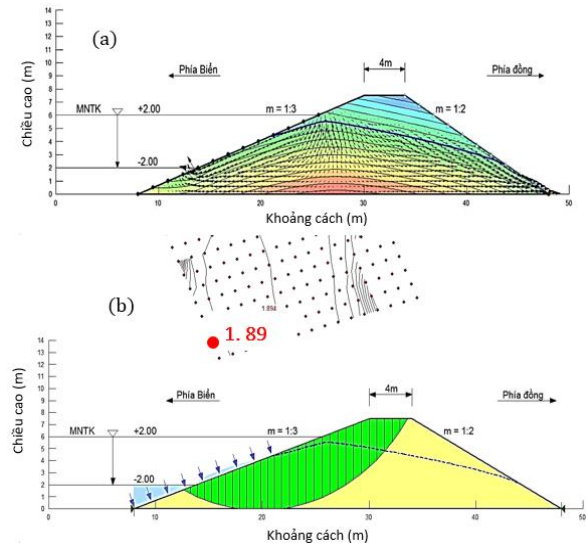
Kết quả trên cho thấy nếu xét trong một chu kỳ thủy triều, với đất đắp có hệ số thấm khác nhau thì hệ số ổn định trượt F_s mái phía biển biến đổi

Bảng 1. Các tổ hợp tính toán khảo sát

	Chiều cao đê H(m)	Độ dốc mái	Hệ số thấm K(cm/s)	Chế độ thủy triều
Mái phía biển	$H_2 = 7,5$	$m = 1:3$	10^{-4} ; 10^{-5} ; 10^{-6} ; 10^{-7} ; 10^{-8}	Thủy triều rút (12 tiếng) Thủy triều lên (12 tiếng)
Mái phía đồng	$H_2 = 7,5$	$m = 1:2$	10^{-4} ; 10^{-5} ; 10^{-6} ; 10^{-7} ; 10^{-8}	Thủy triều rút (12 tiếng) Thủy triều lên (12 tiếng)



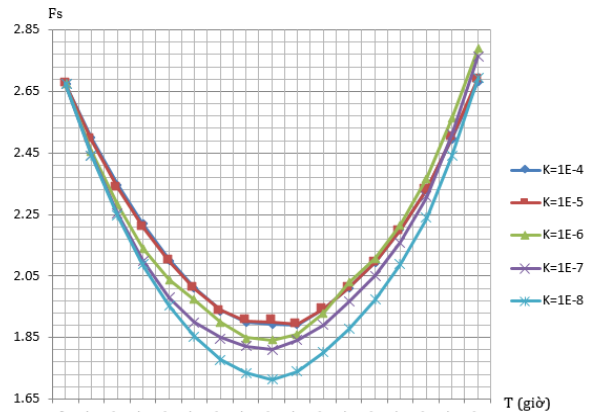
Hình 4. Kết quả tính toán thấm và ổn định đê tại thời điểm mực nước cao nhất +2,00m.



Hình 5. Kết quả tính toán thấm và ổn định đê tại thời điểm mực nước cao nhất -2,00 m.

Bảng 2. Kết quả tính toán hệ số ổn định mái đề phía biển.

Trạng thái biển	Thời điểm (giờ)	Cao độ mực nước biển (m)	Hệ số thấm K của đất đắp				
			$1.E^{-04}$	$1.E^{-05}$	$1.E^{-06}$	$1.E^{-07}$	$1.E^{-08}$
Thủy triều rút	0	+2.00	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
	1.5	+1.50	2.50	2.49	2.46	2.45	2.44
	3.0	+1.00	2.35	2.34	2.28	2.25	2.24
	4.5	+0.50	2.22	2.21	2.14	2.10	2.09
	6.0	+0.00	2.10	2.10	2.04	1.98	1.95
	7.5	-0.50	2.01	2.01	1.97	1.90	1.86
	9.0	-1.00	1.94	1.94	1.90	1.85	1.78
	10.5	-1.50	1.90	1.90	1.85	1.82	1.74
Thủy triều lên	12.0	-2.00	1.89	1.90	1.84	1.81	1.71
	13.5	-1.50	1.89	1.89	1.86	1.84	1.74
	15.0	-1.00	1.94	1.94	1.93	1.89	1.80
	16.5	-0.50	2.01	2.01	2.03	1.97	1.88
	18.0	+0.00	2.10	2.09	2.11	2.05	1.97
	19.5	+0.50	2.20	2.20	2.22	2.16	2.09
	21.0	+1.00	2.33	2.33	2.37	2.31	2.24
	22.5	+1.50	2.49	2.50	2.56	2.51	2.44
	24.0	+2.00	2.68	2.69	2.79	2.77	2.69



Hình 6. Đồ thị quan hệ giữa hệ số ổn định của mái đê phía biển theo thời gian.

theo một đường cong hình dạng giống parabol (nhưng là hàm phi tuyến). Nguyên nhân dẫn đến sự thay đổi giá trị F_s trong 1 chu kỳ là do khi mực nước biển rút, áp lực nước tác dụng lên mái đất phía biển giảm, dẫn đến hệ số ổn định trượt giảm.

Khi hệ số thấm K của đất đắp đê thay đổi, hệ số ổn định trượt F_s thay đổi khá nhiều. Hệ số ổn định trượt nhỏ nhất khi đất có hệ số thấm nhỏ ($K=10^{-8}$ cm/s) và lớn nhất khi hệ số thấm lớn ($K=10^{-4}$ cm/s). Nguyên nhân dẫn đến tương quan đó là vì:

+ Đối với đất có hệ số thấm lớn (từ 10^{-6} đến 10^{-4} cm/s) khi thủy triều rút, lượng nước trong thân đê phía biển thoát ra một phần, đường mặt thoáng hạ thấp theo mực nước rút, trọng lượng đất giảm do nước thoát ra.

+ Tương tự, đối với đất đắp đê có hệ số thấm nhỏ (từ 10^{-6} đến 10^{-8} cm/s) khi thủy triều rút, trong vòng 6 giờ chưa đủ thời gian để nước trong thân đê thoát ra, đường bão hòa nước gần như không thay đổi, trọng lượng đất trong thân đê không giảm dẫn đến hệ số ổn định trượt mái phía biển trường hợp này nhỏ hơn trường hợp đất có hệ số thấm lớn.

Kết quả tính toán ổn định mái đê phía trong đồng với các trường hợp hệ số thấm $K=10^{-4}$; 10^{-5} ; 10^{-6} ; 10^{-7} ; 10^{-8} cm/s trong một chu kỳ thủy triều kết quả tính toán được tổng hợp trong bảng kết quả trong Bảng 3 và Hình 7.

Đối với mái đê phía đồng: trong một chu kỳ thủy triều, hệ số F_s không có sự chênh lệch đáng kể đối với các loại đất có hệ số thấm khác nhau. Nguyên nhân dòng thấm trong thân đê dưới tác động thủy triều ít ảnh hưởng đến mái đê phía đồng. Đường bão hòa nước trong thân đê chỉ có sự thay đổi đối với mái phía biển, không có sự thay đổi bên mái đê phía đồng.

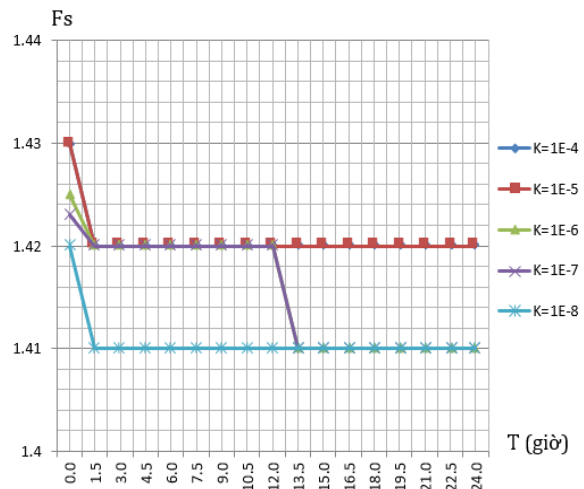
4. Kết luận.

Bài báo đã phân tích ảnh hưởng mực nước triều đến ổn định thân đê biển trong đó có kể đến dòng thấm không ổn định trong thân đê và hệ số thấm đất đắp thân đê. Áp dụng tính toán tại một số đoạn đê điển hình tại vùng biển Quảng Ninh. Từ kết quả tính toán đưa ra một số kết luận như sau:

Xét trong một chu kỳ thủy triều hệ số ổn định trượt mái đê phía biển thay đổi theo một hàm phi tuyến theo thời gian. Hệ số ổn định trượt nhỏ nhất

Bảng 3. Kết quả tính toán hệ số ổn định mái đê phía trong đồng.

Trạng thái biển	Thời điểm (giờ)	Cao độ mực nước biển (m)	Hệ số thấm K của đất đắp				
			1.E-04	1.E-05	1.E-06	1.E-07	1.E-08
Thủy triều rút	0	+2,00	1,43	1,43	1,425	1,423	1,42
	1,5	+1,50	1,42	1,42	1,42	1,42	1,41
	3,0	+1,00	1,42	1,42	1,42	1,42	1,41
	4,5	+0,50	1,42	1,42	1,42	1,42	1,41
	6,0	+0,00	1,42	1,42	1,42	1,42	1,41
	7,5	-0,50	1,42	1,42	1,42	1,42	1,41
	9,0	-1,00	1,42	1,42	1,42	1,42	1,41
	10,5	-1,50	1,42	1,42	1,42	1,42	1,41
	12,0	-2,00	1,42	1,42	1,42	1,42	1,41
Thủy triều lên	13,5	-1,50	1,42	1,42	1,41	1,41	1,41
	15,0	-1,00	1,42	1,42	1,41	1,41	1,41
	16,5	-0,50	1,42	1,42	1,41	1,41	1,41
	18,0	+0,00	1,42	1,42	1,41	1,41	1,41
	19,5	+0,50	1,42	1,42	1,41	1,41	1,41
	21,0	+1,00	1,42	1,42	1,41	1,41	1,41
	22,5	+1,50	1,42	1,42	1,41	1,41	1,41
	24,0	+2,00	1,42	1,42	1,41	1,41	1,41



Hình 7. Đồ thị quan hệ giữa hệ số ổn định trượt của mái đê phía đồng và hệ số thấm.

tại thời điểm mực nước rút xuống vị trí thấp nhất.

Hệ số thấm của đất ảnh hưởng lớn đến hệ số ổn định trượt mái đê phía biển, khi hệ số thấm của đê nhỏ ($k = 10^{-8}$ cm/s) hệ số ổn định trượt là nhỏ nhất và khi hệ số thấm của đê lớn ($k = 10^{-4}$ cm/s) hệ số ổn định trượt là lớn nhất. Do đó cần chú ý khi lựa chọn loại vật liệu đắp kết cấu thân đê.

Hệ số ổn định mái đê phía đồng hoàn toàn không thay đổi trong quá trình mực nước biển hạ

thấp, và có sự chênh lệch không đáng kể với các loại đất có hệ số thấm khác nhau.

Nghiên cứu cũng là cơ sở cho công tác lựa chọn giải pháp kết cấu, vật liệu đắp thân đê biển trong bài toán tính toán thiết kế đê biển.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin chân thành cảm ơn Công ty Cổ phần Xây dựng và Đầu tư Hạ tầng và Công ty Tư vấn triển khai Công nghệ và Xây dựng Giao thông đã cung cấp số liệu khảo sát để nhóm tác giả làm căn cứ mô phỏng tính toán trong bài báo này.

Những đóng góp của các tác giả

Khái niệm hóa: Bùi Anh Thắng; Phương pháp luận: Đặng Quang Huy; Kiểm chứng: Hoàng Đình Phúc; Phân tích dữ liệu: Đặng Quang Huy; Chạy mô hình: Bùi Anh Thắng; Viết bản thảo bài báo: Phạm Đức Thọ; Đánh giá và chỉnh sửa: Hoàng Đình Phúc.

Tài liệu tham khảo

- Berilgen M., (2007), Investigation of stability of slopes under drawdown conditions, *Computers and Geotechnics* 34: 81-91
- Công ty Cổ phần Xây dựng và Đầu tư Hạ tầng (2005), Báo cáo khảo sát địa chất công trình Tuyến kè bờ thuộc dự án Cụm dịch vụ Hậu cần

và chế biến hải sản Cửa Ông.

Công ty Tư vấn triển khai Công nghệ và Xây dựng Giao thông (2009), Báo cáo khảo sát địa chất công trình dự án Xây dựng tuyến đường bao biển Lán Bè đầu nối với tuyến đường bao biển núi Bài Thơ - (giai đoạn I), tại địa điểm Phường Bạch Đằng, thành phố Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh.

Fredlund, D. G., & Morgenstern, N. R., (1977), Stress state variable for unsaturated soils, *ASCE*, Vol.103, pp. 447-464.

Fredlund, D.G., Xing, A., & Huang, S., (1994), Predicting the permeability function for unsaturated soils using the soil - water characteristics curve, *Canadian Geotechnical Journal*, 31(3): 521-532.

Lê Đình Hồng, (2002), Hướng dẫn sử dụng chương trình Slope/w - tính ổn định mái dốc, *Nhà xuất bản Xây dựng*.

Nguyễn Công Mẫn, Nguyễn Trường Tiến, Trịnh Minh Thụ, Nguyễn Uyên, (2000), Cơ học đất cho đất không bão hòa, *Nhà xuất bản Giáo dục*, (Bản dịch).

Phạm Quang Hưng, (2012), "Tính toán ổn định mái dốc có xét đến yếu tố không bão hòa của đất trong điều kiện Việt Nam", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng* 11, tr. 61-71.