

Mô hình phần tử hữu hạn phân tích ảnh hưởng của sóng tàu đến ổn định bờ sông

Trần Hải Yến^{1,2,*}, Nguyễn Nhứt Nhứt^{1,2}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Sóng do tàu tạo ra tác động đáng kể đến quá trình sạt lở bờ, đặc biệt là những khu vực thường xuyên có tàu thuyền qua lại. Sóng do tàu được đặc trưng bởi năng lượng tương đối cao hơn so với sóng do gió tạo ra, và có thể gây ra mất ổn định mái dốc và xói mòn đáng kể dọc theo bờ. Trong nghiên cứu này, mô hình phần tử hữu hạn PLAXIS 2D được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của các loại sóng tàu, sóng leo lên mái và sóng rút, đến chuyển vị ngang và hệ số an toàn của mái dốc bờ sông với các độ dốc khác nhau. Kết quả cho thấy sóng rút tạo ra chuyển vị ngang lớn hơn đáng kể so với sóng leo, chủ yếu do hướng tác động của lực kéo đất ra phía ngoài sông. Khi độ dốc vượt quá 25°, chuyển vị ngang có xu hướng tăng nhanh, đạt đến mức có thể gây nứt kéo và suy giảm ổn định. Trái lại, ở các mái dốc nhỏ hơn hoặc bằng 25°, hệ số an toàn luôn duy trì trên ngưỡng yêu cầu 1.4, đảm bảo ổn định kết cấu. Từ đó, nghiên cứu chỉ ra rằng giới hạn độ dốc bờ không vượt quá 25° sẽ đảm bảo ổn định dưới tác động của sóng tàu, đồng thời kiến nghị nên áp dụng các biện pháp bảo vệ đối với các khu vực có mái dốc lớn hơn.

Từ khóa: Sóng tàu, sạt lở, ổn định mái dốc, chuyển vị, PLAXIS 2D

ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự tương tác giữa sóng tàu và sự ổn định của bờ sông được xem là một vấn đề phức tạp, có ảnh hưởng đáng kể đến hình thái sông, hệ sinh thái và chuyển tải bùn cát. Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng sóng do tàu tạo ra có thể gây ra các mức độ xói lở và áp lực khác nhau lên bờ sông, đặc biệt là những bờ có địa chất yếu, từ đó ảnh hưởng đến tính toàn vẹn và sự ổn định của chúng.

Sóng do tàu tạo ra có những đặc điểm riêng biệt, có thể tác động đến sự ổn định của bờ sông theo nhiều cách khác nhau. Một nghiên cứu của¹ nhấn mạnh tầm quan trọng của việc mô phỏng sóng tàu có chu kỳ dài để hiểu rõ tác động của chúng lên bờ sông, qua đó làm nổi bật sự tương tác phức tạp giữa năng lượng sóng và sự di chuyển của bùn cát. Hơn nữa, nghiên cứu cho thấy nồng độ bùn cát lơ lửng cực đại có mối tương quan với chiều cao hạ mực nước tối đa do tàu tạo ra, cho thấy mối quan hệ phức tạp giữa đặc điểm sóng và động lực bùn cát, đặc biệt trong bối cảnh các lực thủy động tác động lên bờ sông^{2,3} nhấn mạnh rằng giao thông đường thủy có thể làm thay đổi đáng kể hình thái bờ sông và góp phần gây ra các xói lở cả ngắn hạn lẫn dài hạn. Kích thước và giới hạn của lòng sông cũng đóng vai trò quan trọng trong phản ứng của bờ sông đối với tàu thuyền qua lại.⁴ xác định rằng hình dạng bị giới hạn của tuyến đường thủy thường làm trầm trọng thêm tác động của sóng tàu, đặc biệt

ở những khu vực có bề rộng và độ sâu hạn chế. Phát hiện này phù hợp với nghiên cứu của⁵, trong đó đề xuất một khung đánh giá tác động của sóng tàu, nhấn mạnh sự cần thiết của các đánh giá định lượng, có tính đến sự biến động theo thời gian của các sự kiện sóng và những tác động sinh thái của chúng.⁶ cũng xây dựng mô hình tính lan truyền sóng do tàu theo mô hình lan truyền Boussinesq 2D và điều kiện biên của⁷.

Hơn nữa, tác động của sóng tàu không đồng nhất trên các loại bờ sông khác nhau. Nghiên cứu của⁸ chỉ ra rằng địa chất hạt mịn đặc biệt dễ bị xói lở do sóng tàu hơn, nhấn mạnh nhu cầu về các giải pháp bảo vệ bờ sông một cách toàn diện. Sự tương tác giữa sóng tàu và sự lơ lửng của bùn cát có thể dẫn đến những thay đổi trong hình thái bờ sông, ảnh hưởng đến cả môi trường sống sinh thái và các hoạt động giải trí trên sông⁹. Như được chỉ ra trong các nghiên cứu^{10,11}, việc hiểu về xói lở bờ sông không chỉ dừng lại ở những tác động vật lý tức thời mà còn liên quan đến tính bền vững sinh thái lâu dài.

Sự ổn định của bờ sông dưới tác động của sóng tàu bị ảnh hưởng bởi sự tương tác phức tạp giữa đặc điểm sóng, địa chất và hình dạng bờ sông. Tuy nhiên, các nghiên cứu trước đây thường tách biệt hay đơn giản hóa các tác động này. Trong khi việc hiểu rõ những mối quan hệ này là điều cần thiết để xây dựng các biện pháp quản lý hiệu quả và các giải pháp kỹ thuật nhằm

¹Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Trần Hải Yến, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: haiyen.tran@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 20-04-2025
- Ngày sửa đổi: 30-05-2025
- Ngày chấp nhận: 10-07-2026
- Ngày đăng: 21-08-2026

DOI : <https://doi.org/10.32508/vnuhcmj-et.v9i3.1501>



Bản quyền

© Tạp chí ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

Trích dẫn bài báo này: Yến T H, Nhứt N N. **Mô hình phần tử hữu hạn phân tích ảnh hưởng của sóng tàu đến ổn định bờ sông.** VNUHCMJ. Eng. Technol. 2026; 9(3):3188-3197.

giảm thiểu tác động tiêu cực của giao thông đường thủy đối với sự ổn định của bờ sông. Để hiểu rõ các tương tác này, nghiên cứu áp dụng PLAXIS 2D¹², phần mềm phân tích phần tử hữu hạn địa kỹ thuật, để mô phỏng lực tác dụng do sóng tàu lên mái bờ sông Sài Gòn với thông số địa chất đặc trưng của khu vực và các độ dốc khác nhau.

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Công cụ và mô hình nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng PLAXIS 2D để mô phỏng và đánh giá ổn định của bờ sông Sài Gòn, khu vực Tân Cảng, Quận Bình Thạnh, TP. Hồ Chí Minh dưới tác động của sóng được tạo bởi tàu tải trọng 1000T, đây là tải trọng khai thác tại khu vực này. Phần mềm giúp mô phỏng, đánh giá ứng suất, biến dạng của đất trong môi trường hai chiều (2D) dưới tác động của sóng leo trên mái và sóng rút bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Thông số địa chất bờ sông được lấy từ kết quả khảo sát vào tháng 9 năm 2016 (Hình 1), gồm 4 lớp đất chính: sét pha cát (lớp 1), sét hữu cơ (lớp 2), sét pha (lớp 3), cát pha (lớp 4). Mực nước ngầm ở cao trình -1,3 m so với cao độ mặt đất tự nhiên. Chi tiết tham số mô phỏng các lớp đất^{13,14} khai báo trong phần mềm được trình bày ở Bảng PL.1, phần Phụ lục.

Trường hợp phân tích

Mái dốc bờ đóng vai trò quan trọng trong việc điều tiết và tiêu tán năng lượng sóng tàu khi chúng lan truyền đến bờ. Độ dốc của mái bờ ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình phản xạ, truyền và tiêu hao năng lượng của sóng. Do đó, mô hình PLAXIS 2D được áp dụng để nghiên cứu tác động của sóng tàu lên các trường hợp độ dốc mái bờ sông khác nhau. Độ dốc mái bờ sông được quy ước qua góc dốc α (Hình 1). Các trường hợp góc dốc được phân tích bao gồm 16° , 20° , 25° , 35° và 45° . Mực nước sông dao động với mức cao nhất cách cao độ mặt đất tự nhiên -1,3 m và mức thấp nhất -4,8 m. Hầu hết các bờ sông chịu bất lợi lớn khi mực nước thấp nhất, lúc này ứng suất theo phương ngang tác dụng lên bờ khiến bờ dễ bị mất ổn định hơn khi không có áp lực nước đối ứng từ phía ngoài sông so với trường hợp mực nước cao nhất. Vì vậy, trong nghiên cứu này, mô hình được tập trung đánh giá ảnh hưởng của sóng tàu trong điều kiện mực nước thấp nhất -4,8 m. Hình 2 thể hiện kích thước mô hình và các lớp địa chất được mô phỏng trong PLAXIS 2D. Hình 3 trình bày các bước mô phỏng.

Công thức tính lực sóng tàu tác dụng lên mái bờ được lấy theo¹⁵ với 2 trường hợp sóng leo lên mái và sóng rút tác dụng lên lớp gia cố (Hình 4). Giá trị lực khai báo trong mô hình được thể hiện ở Bảng 1. Chiều cao

sóng tàu là thông số quan trọng để tính các giá trị lực tác dụng, nó được tính theo^{16,17} dựa trên các thông số liên quan đến tàu (áp dụng tàu tải trọng 1000T) như độ mớn nước $d_s = 4$ m, chiều dài tàu $l_u = 65$ m, chiều rộng tàu $b_u = 10$ m, hệ số đẩy mớn tàu $\delta = 0.7$, hệ số đẩy mặt cắt ngang $c_m = 0.9$. Ngoài ra, việc tính toán còn sử dụng các thông số liên quan mặt cắt sông. Trong nghiên cứu sử dụng thông tin từ¹⁶ để trích xuất mặt cắt ngang bờ sông tại khu vực nghiên cứu và tính toán các thông số như diện tích mặt cắt ướt của sông $S = 3097$ m² và chiều rộng sông theo mép nước $b = 270$ m. Chiều cao sóng leo lên mái được xác định theo¹⁵ với trường hợp tính cho lớp gia cố bằng đá đổ với chiều dài 4 m. Bề dày lớp đá đổ được giả định là không đáng kể nên được lược bỏ khi khai báo địa chất trong PLAXIS 2D.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

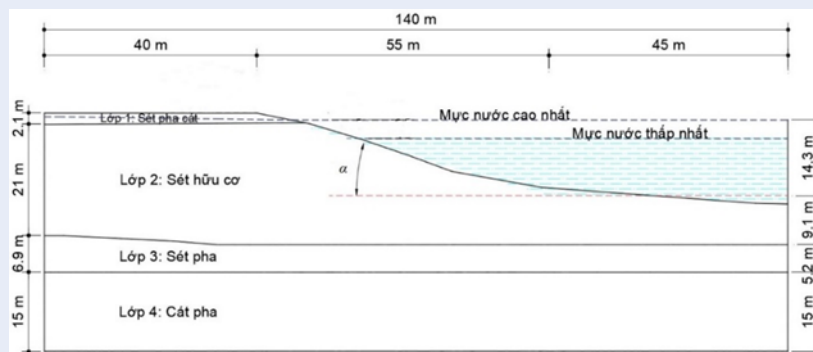
Năng lượng chứa trong sóng do tàu tạo ra thường làm trầm trọng thêm tình trạng mất ổn định và sạt lở ở những khu vực bờ sông dễ bị tổn thương. Do đó, kết quả mô phỏng tập trung vào việc xem xét các giá trị chuyển vị và hệ số an toàn mái dốc. Chuyển vị ngang lớn nhất do tác động của sóng tàu lên bề mặt mái dốc bờ sông 25° và 35° được thể hiện trên Hình 5 và Hình 6.

Kết quả phân tích cho thấy chuyển vị ngang do sóng rút gây ra luôn lớn hơn đáng kể so với chuyển vị do sóng leo lên mái bờ, mặc dù lực tác động của sóng leo có biên độ lớn hơn. Nguyên nhân là do hướng tác dụng của lực sóng leo khi nước dâng lên mái bờ chủ yếu hướng vào phía bờ, nên ít tạo ra lực gây trượt theo phương ra ngoài. Ngược lại, sóng rút ra sau đợt sóng đủ tạo lực nhỏ hơn nhưng hướng lực kéo đất ra phía sông, dễ gây trượt mái hoặc chuyển vị đất. Khi kết hợp với ứng suất ngang bên trong đất (sự không đồng đều trong áp lực đất theo phương ngang), nó tăng nguy cơ chuyển dịch đất ra ngoài, gây ra chuyển vị ngang lớn, đặc biệt ở lớp đất mặt.

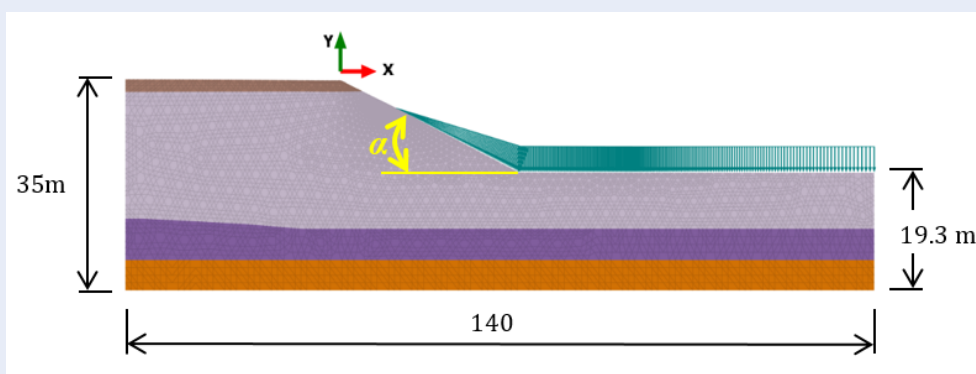
Trong trường hợp sóng rút, chuyển vị ngang của bờ sông có độ dốc 35° là 6.214 mm lớn hơn nhiều so với bờ sông có độ dốc 25° là 1.194 mm. Điều này làm nổi bật ảnh hưởng của độ dốc đến độ ổn định của bờ sông khi chịu tác động của sóng tàu. Thật vậy, độ dốc của bờ sông tăng sẽ làm tăng chuyển vị ngang như kết quả khảo sát mối quan hệ giữa chuyển vị ngang và độ dốc bờ sông trong Hình 7a. Chuyển vị ngang trong trường hợp sóng leo là không đáng kể ở mức dưới 0.5 mm. Xét trường hợp sóng rút ở các độ dốc 16° , 20° và 25° , chuyển vị ngang sắp xỉ 1 mm, nhưng giá trị này tăng liên tục ở các độ dốc 35° và 45° tương ứng với mức 6 mm và 10 mm.

Bảng 1: Giá trị biểu đồ lực tác dụng lên mái trong trường hợp sóng leo và sóng rút ứng với từng trường hợp góc dốc mái tính theo¹⁵

Góc dốc (°)	Trường hợp	Vị trí	x (m)	z (m)	P (kPa)
16°	Sóng leo lên mái	1	4.6	-1.3	0
		2	0.0	0.0	3.387
		3	-3.8	1.1	1.264
	Sóng rút	1	0	0.1	0
		2	-0.2	0.13	-0.632
		3	-4.1	1.1	-0.632
20°	Sóng leo lên mái	1	2.8	-1.0	0
		2	0.0	0.0	3.387
		3	-2.7	1.0	1.264
	Sóng rút	1	0	0.1	0
		2	-0.2	0.13	-0.632
		3	-3.9	1.4	-0.632
25°	Sóng leo lên mái	1	1.7	-0.8	0
		2	0.0	0.0	3.387
		3	-1.9	0.9	1.264
	Sóng rút	1	0	0.1	0
		2	-0.15	0.13	-0.632
		3	-3.8	1.7	-0.632
35°	Sóng leo lên mái	1	0.8	-0.5	0
		2	0.0	0.0	3.387
		3	-1.1	0.8	1.264
	Sóng rút	1	0	0.1	0
		2	-0.1	0.13	-0.632
		3	-3.4	2.3	-0.632
45°	Sóng leo lên mái	1	0.4	-0.4	0
		2	0.0	0.0	3.387
		3	-0.7	0.7	1.264
	Sóng rút	1	0	0.1	0
		2	-0.06	0.13	-0.632
		3	-2.9	2.8	-0.632



Hình 1: Mặt cắt địa chất và mực nước tại tuyến bờ khảo sát^{13,14}.



Hình 2: Kích thước mô hình thực hiện mô phỏng trong PLAXIS 2D.

Các nghiên cứu thực nghiệm và tiêu chuẩn về ổn định mái dốc, đất đắp và sạt lở công trình¹⁸⁻²¹ đề cập đến chuyển vị nguy hiểm có thể gây nứt kéo và xói lở trong đập đất. Xói lở do nứt kéo đặc biệt ở mái dốc đất yếu hoặc nền đắp, các vết nứt có thể hình thành và dẫn đến xói ngầm khi chuyển vị ngang đạt 5 - 10 mm. Trong công trình đề điều, nếu nứt kéo với độ mở từ 3 - 10 mm, nước có thể thấm vào, làm mất ổn định mái dốc và gây xói lở nhanh chóng²².

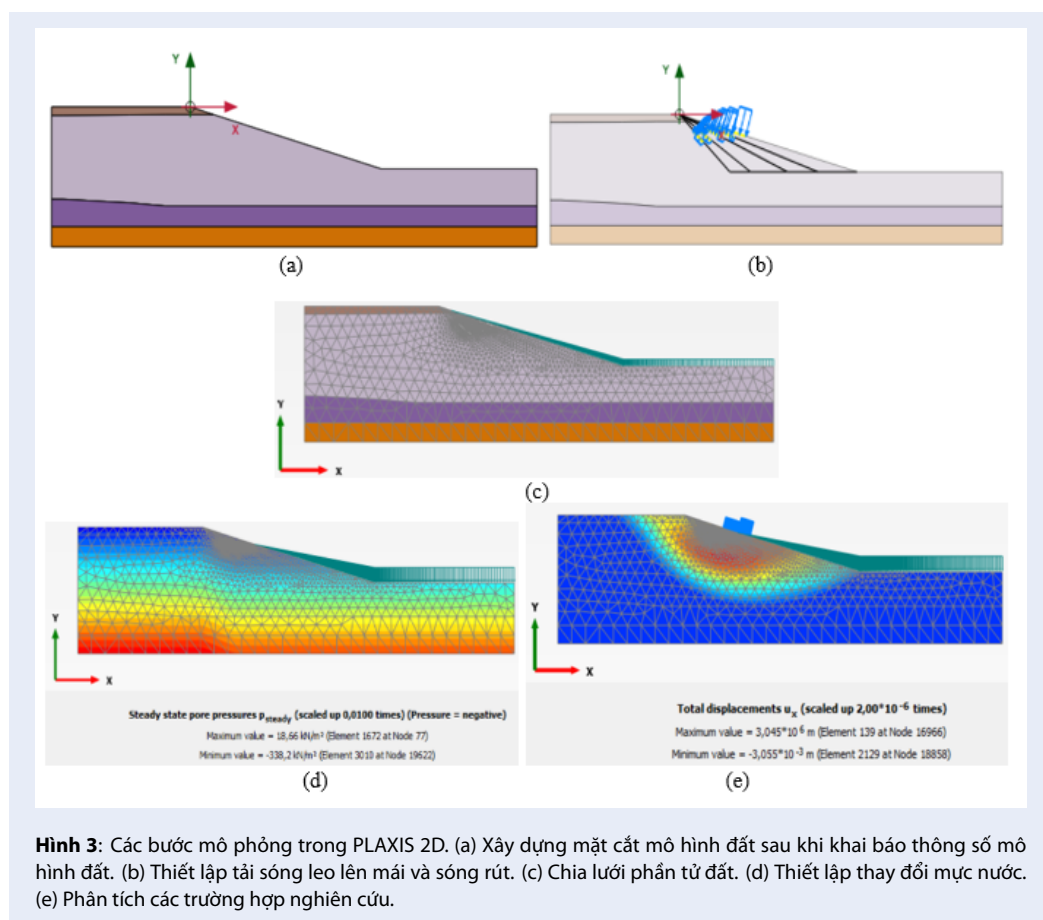
Về mặt ổn định mái dốc, Hình 7b chỉ ra rằng hệ số an toàn (k) giảm đều khi độ dốc bờ sông tăng từ 16° đến 45°, cho thấy độ dốc là yếu tố nhạy cảm ảnh hưởng trực tiếp đến độ ổn định của mái dốc. Mái càng dốc thì khả năng chống trượt càng giảm. Ngoài ra, sóng rút gây ảnh hưởng tiêu cực hơn so với sóng leo lên mái, thể hiện ở việc hệ số an toàn trong trường hợp sóng rút luôn thấp hơn, dù không đáng kể (Hình 7b). Điều này phản ánh đúng cơ chế vật lý khi sóng rút tạo ra lực kéo đất ra ngoài, dễ gây trượt và xói lở hơn so với sóng leo, vốn có hướng tác động ép vào bờ.

Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy bờ sông ổn định hơn trước tác động của sóng do tàu thuyền gây ra khi

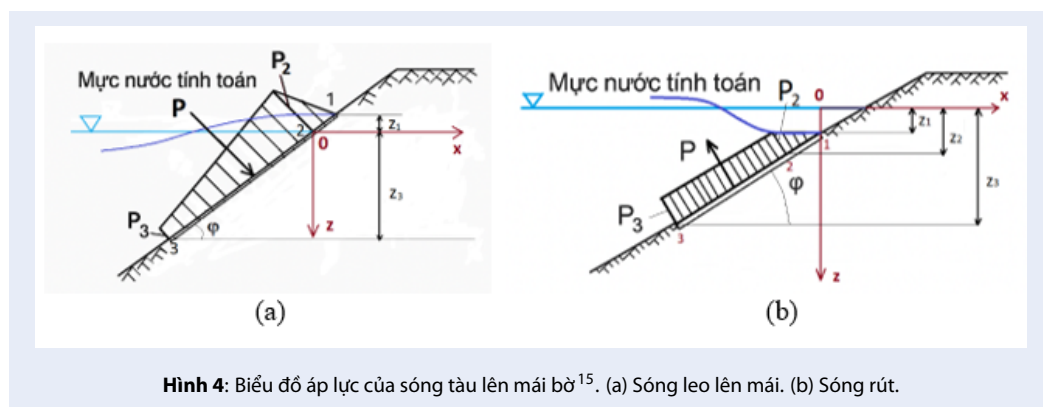
độ dốc của bờ nhỏ hơn hoặc bằng 25°, khi đó hệ số an toàn đều lớn hơn 1.5 (Hình 7b). Điều này đồng thời đáp ứng yêu cầu về hệ số ổn định mái dốc tối thiểu là 1.4 theo²³. Trường hợp bờ sông có độ dốc lớn hơn 25° thường tiềm ẩn nguy cơ chuyển vị lớn, dẫn đến hiện tượng xói lở nhanh chóng và mất ổn định. Đặc biệt, khi độ dốc đạt đến 45°, hệ số an toàn giảm về khoảng xấp xỉ 1.2, tiệm cận mức mất ổn định nghiêm trọng. Các điều này cũng được xác nhận trong nghiên cứu của^{13,14} cùng với đối chiếu phương án bảo vệ bờ tại khu vực gần cầu Bình Lợi, sông Sài Gòn của Bản đồ xói lở bờ sông¹⁶ (Hình 8). Trong đó, khu vực mái bờ có độ dốc từ 13° đến 22° chưa cần phương án kè bảo vệ, còn các khu vực có độ dốc từ 24° đến 35° đã được xây dựng các phương án kè. Do đó, kết quả mô hình hợp lý với giải pháp thực tế, kiến nghị đối với những khu vực có độ dốc bờ lớn hơn 25° là cần áp dụng các biện pháp bảo vệ như xây dựng công trình kè gia cố bờ sông nhằm tăng cường độ ổn định.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

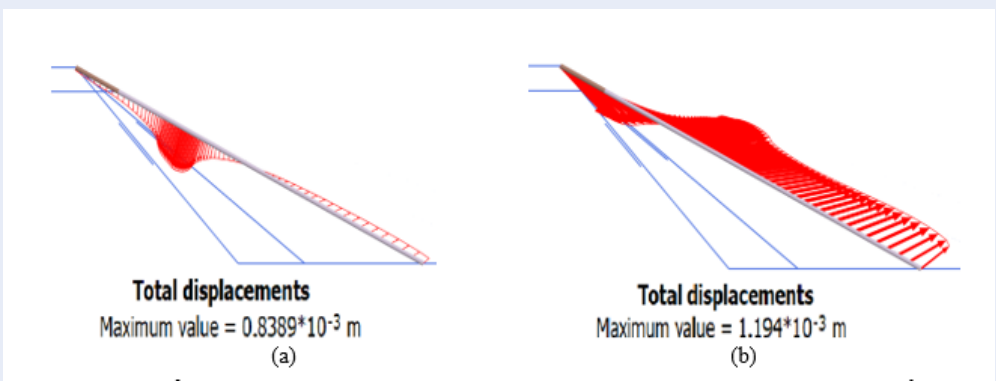
Nghiên cứu đã phân tích ảnh hưởng của sóng tàu đến sự ổn định mái bờ sông thông qua các mô phỏng



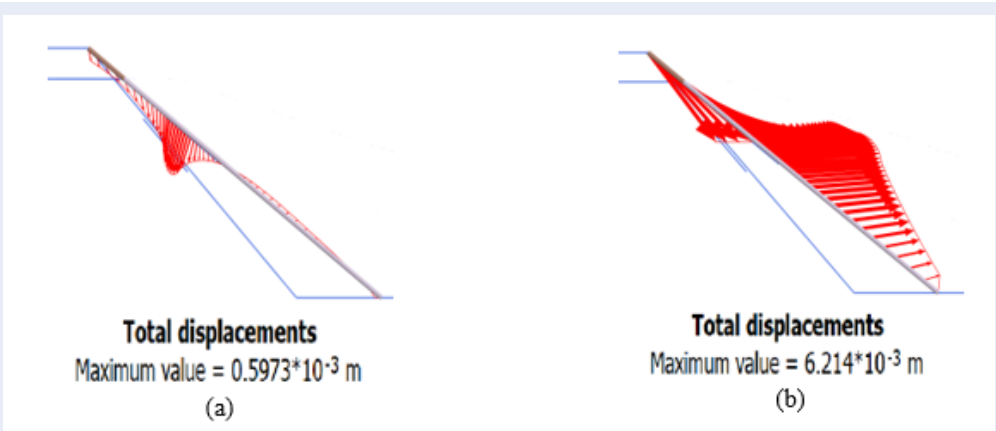
Hình 3: Các bước mô phỏng trong PLAXIS 2D. (a) Xây dựng mặt cắt mô hình đất sau khi khai báo thông số mô hình đất. (b) Thiết lập tải sóng leo lên mái và sóng rút. (c) Chia lưới phần tử đất. (d) Thiết lập thay đổi mực nước. (e) Phân tích các trường hợp nghiên cứu.



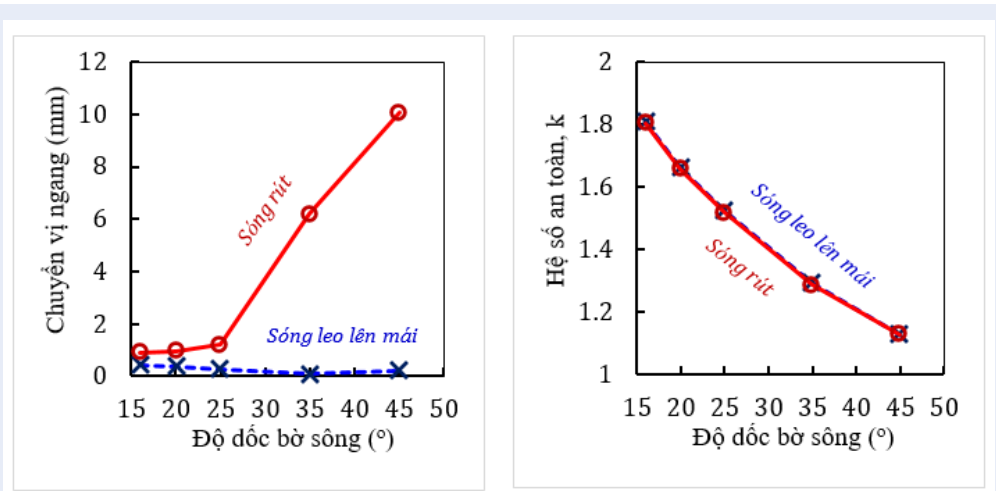
Hình 4: Biểu đồ áp lực của sóng tàu lên mái bờ¹⁵. (a) Sóng leo lên mái. (b) Sóng rút.



Hình 5: Chuyển vị của bờ sông (mô phỏng trong PLAXIS 2D) với trường hợp độ dốc $\alpha = 25^\circ$, (a) Sóng leo lên mái, (b) Sóng rút.



Hình 6: Chuyển vị của bờ sông (mô phỏng trong PLAXIS 2D) với trường hợp độ dốc $\alpha = 35^\circ$, (a) Sóng leo lên mái, (b) Sóng rút.



Hình 7: (a) Chuyển vị ngang lớn nhất của mái dốc và (b) hệ số an toàn của mái dốc theo các độ dốc của bờ sông. [Nguồn: Nhóm tác giả (tổng hợp từ mô phỏng PLAXIS 2D)].



Hình 8: Vị trí các mặt cắt ngang khảo sát trên sông Sài Gòn, bao gồm mặt cắt MC-1, MC-2 và MC-3 cùng với các phương án kè trong thực tế ứng với các độ dốc mái bờ từ năm 2022, khu vực cầu Bình Lợi, Phường 13, Quận Bình Thạnh, TP.HCM^{13,16}.

chuyển vị và hệ số an toàn trên các mái dốc có độ dốc khác nhau. Kết quả cho thấy năng lượng từ sóng tàu, đặc biệt là sóng rút, có thể gây ra chuyển vị ngang đáng kể tại bề mặt mái dốc, từ đó làm gia tăng nguy cơ mất ổn định và xói lở, đặc biệt ở các khu vực bờ sông có mái dốc lớn và địa chất yếu. Chuyển vị ngang do sóng rút vượt trội so với sóng leo, do hướng tác động kéo đất ra ngoài sông, dễ gây trượt và nứt kéo bề mặt. Ngoài ra, phân tích mô phỏng cũng cho thấy bờ sông có độ dốc lớn hơn 25° có chuyển vị đáng kể (trên 5 mm), vượt ngưỡng nguy hiểm theo các tiêu chuẩn và nghiên cứu trước. Ngược lại, với độ dốc nhỏ hơn hoặc bằng 25° , hệ số an toàn luôn lớn hơn 1.5 – đảm bảo yêu cầu ổn định theo tiêu chuẩn hiện hành. Từ các phân tích trên, có thể kết luận rằng bờ sông có độ dốc nhỏ hơn hoặc bằng 25° có mức độ ổn định cao hơn khi chịu tác động của sóng tàu. Đối với các trường hợp độ dốc lớn hơn, cần xem xét áp dụng các giải pháp bảo vệ như kè gia cố để đảm bảo ổn định công trình và hạn chế xói lở.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ

Đề tài mã số: ĐA2024-20-01. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này

PHỤ LỤC Tham số mô hình đất khai báo trong PLAXIS 2D^{13,14}.

Lớp đất	1. Sét pha cát	2. Sét hữu cơ	3. Sét pha	4. Cát pha
Mô hình	Hardening	Hardening	Hardening	Hardening
đất	Soil model	Soil model	Soil model	Soil model
Ứng xử	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Undrained A
thoát nước				
γ_{unsat} (kN/m ³)	18.94	14.25	18.02	19.65
γ_{sat} (kN/m ³)	19.16	15.03	18.24	20.27
e_{init}	0.854	2.230	1.063	0.621
E_{50}^{ref} (kN/m ²)	6376	5206	8738	15450
E_{oed}^{ref} (kN/m ²)	6376	5206	8738	15450
E_{ur}^{ref} (kN/m ²)	19130	15620	26220	46350
m	0.700	0.877	0.905	0.65
c^{ref} (kN/m ²)	17.80	17.80	33.00	5.4
ϕ' (°)	26.62	18.45	23.68	30.23
ψ	0	0	0	0.23
ν'_{ur}	0.2	0.2	0.2	0.2
P_{ref}	100	50	100	200
K_0^{nc}	0.413	0.465	0.425	0.497
$k_x = k_y$ (m/day)	3.010×10^{-3}	0.116×10^{-3}	0.027×10^{-3}	0.022×10^{-3}

Với:
 γ_{unsat} (kN/m³): dung trọng đất không bão hòa
 γ_{sat} (kN/m³): dung trọng đất bão hòa
 e_{init} : hệ số rỗng ban đầu
 E_{50}^{ref} (kN/m²): mô-đun cắt tuyến tham chiếu
 E_{oed}^{ref} (kN/m²): mô-đun nén không nở hông tham chiếu
 E_{ur}^{ref} (kN/m²): mô-đun gia tải lại tham chiếu
 m : hệ số mũ gia tăng độ cứng
 c^{ref} (kN/m²): lực dính hữu hiệu
 ϕ' (°): góc nội ma sát hữu hiệu
 ψ : góc giãn nở
 ν'_{ur} : hệ số Poisson gia tải lại
 P_{ref} : áp lực tham chiếu
 K_0^{nc} : hệ số áp lực đất tĩnh
 k_x (m/day): hệ số thấm ngang
 k_y (m/day): hệ số thấm đứng

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Carstensen C, Karl F, Melling G, Kondziella B, Tretau L. Generation of Scaled Long-Period Ship Waves in a Pump-Driven Flume. In: CoastLab 2024: Physical Modelling in Coastal Engineering and Science. TU Delft OPEN Publishing; 2024. Available from: <https://doi.org/10.59490/coastlab.2024.691>.
- Razgallah I, Kaidi S, Smaoui H, Sergeant P. Experimental Study of the Impact of Drift, Depth, and Lateral Restrictions on Inland Ship-Induced Waves under Small and Moderate Ship Speeds. Civil Engineering Research Journal. 2021;11(4):555818. Available from: <https://doi.org/10.19080/CERJ.2021.11.555818>.
- Duró G, Crosato A, Kleinhans MG, Roelvink D, Uijttewaall WSJ. Bank Erosion Processes in Regulated Navigable Rivers. Journal of Geophysical Research: Earth Surface. 2020;125(7):e2019-005441. Available from: <https://doi.org/10.1029/2019JF005441>.
- Mao L, Chen Y. Investigation of Ship-Induced Hydrodynamics and Sediment Suspension in a Heavy Shipping Traffic Waterway. Journal of Marine Science and Engineering. 2020;8(6):424. Available from: <https://doi.org/10.3390/jmse8060424>.
- Fleit G, Baranya S, Krámer T, Bihs H, Józsa J. A Practical Framework to Assess the Hydrodynamic Impact of Ship Waves on River Banks. River Research and Applications. 2019;35(9):1428-1442. Available from: <https://doi.org/10.1002/rra.3522>.
- Thủy NB, Đức Trú T, Hà BM, Đặng Minh Tuấn. Nghiên cứu quá trình phát triển và lan truyền của sóng tàu trong vùng ven bờ. Tạp chí Khí tượng Thủy văn. 2006;p. 26-33.

7. Tanimoto K, Kobayashi H, Ca VT. Ship Waves in a Shallow and Narrow Channel. In: Proceedings of the 27th International Conference on Coastal Engineering. vol. 2. American Society of Civil Engineers; 2000. p. 1141–1154. Available from: [https://doi.org/10.1061/40549\(276\)88](https://doi.org/10.1061/40549(276)88)
8. De Roo S, Troch P. Evaluation of the Effectiveness of a Living Shoreline in a Confined, Non-Tidal Waterway Subject to Heavy Shipping Traffic. River Research and Applications. 2015;31(8):1028–1039. Available from: <https://doi.org/10.1002/rra.2790>.
9. Chakraborty M, Sriram V, Murali K. Impact of the Ship Waves and Tidal Forces on the Sediment Resuspension in Inland Waterways. Coastal Engineering Proceedings. 2022;(37):52. Available from: <https://doi.org/10.9753/icce.v37.papers.52>.
10. Nanson GC, von Krusenstierna A, Bryant EA, Renilson MR. Experimental Measurements of River-Bank Erosion Caused by Boat-Generated Waves on the Gordon River, Tasmania. Regulated Rivers: Research & Management. 1994;9(1):1–14. Available from: <https://doi.org/10.1002/rrr.3450090102>
11. Duró G, Crosato A, Kleinhans MG, Winkels TG, Woolderink HAG, Uijttewaal WSJ. Distinct Patterns of Bank Erosion in a Navigable Regulated River. Earth Surface Processes and Landforms. 2020;45(2):361–374. Available from: <https://doi.org/10.1002/esp.4736>
12. Brinkgreve RBJ, Swolfs WM, Engin E, editors. PLAXIS 2D 2010. Delft, The Netherlands; 2010.
13. Yến TH. Ảnh hưởng của mái dốc và mực nước triều đến công trình ven bờ. Tạp chí Tài nguyên Nước. 2025;(1):34–42.
14. Tran YH, Nguyen NN. The Impact of Periodic Tidal Variations on the Stability of Riverbanks. Cham: Springer Nature Switzerland; 2026. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-032-04645-1_53
15. Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 8421:2010 Công trình thủy lợi - Tải trọng và lực tác dụng lên công trình do sóng và tàu; 2010.
16. Bộ Khoa học và Công nghệ. Bản đồ sạt lở bờ sông, xói lở bờ biển; 2023.
17. Maynard ST. Wave Height from Planing and Semi-Planing Small Boats. River Research and Applications. 2005;21(1):1–17. Available from: <https://doi.org/10.1002/rra.803>
18. Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 9901:2023 Công trình đê biển - Yêu cầu thiết kế; 2023.
19. Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 9362:2012 Tiêu chuẩn thiết kế nền nhà và công trình; 2012.
20. Driscoll R, Simpson B. EN1997 Eurocode 7: Geotechnical Design. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering. 2001;144(6):49–54. Available from: <https://doi.org/10.1680/cien.2001.144.6.49>
21. U.S. Army Corps of Engineers. Engineering and Design: Slope Stability. Washington, DC; 2003.
22. U.S. Army Corps of Engineers. Engineering and Design: Sedimentation Investigations of Rivers and Reservoirs. Washington, DC; 1995.
23. Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 11823-2:2017 Thiết kế cầu đường bộ - Phần 2: Tổng thể và đặc điểm vị trí; 2017.

Finite element analysis of the impact of ship-generated waves on riverbank stability

Yen Hai Tran^{1,2,*}, Nhut Nhut Nguyen^{1,2}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

Ship-generated waves have a significant impact on bank erosion, especially in areas with frequent ship traffic. These waves typically carry more energy than wind-generated waves and can cause considerable slope instability and erosion along riverbanks. In this study, the PLAXIS 2D finite element model was used to evaluate the effects of ship waves, specifically upwash and backwash waves, on the horizontal displacement and safety factor of riverbank slopes with varying inclinations. The results indicate that backwash waves cause significantly greater horizontal displacement than upwash waves, primarily due to the outward-directed soil pulling force. When the slope exceeds 25°, horizontal displacement increases rapidly, reaching levels that may lead to tensile cracking and reduced stability. In contrast, for slopes of 25° or less, the safety factor consistently remains above the critical threshold of 1.4, ensuring structural stability. The study observes that riverbank slopes of 25° or less generally maintain stability under the influence of ship-generated waves. In contrast, steeper slopes exhibit higher susceptibility to instability, indicating that protective measures may be necessary in those areas.

Key words: Ship-generated waves, erosion, slope stability, displacement, PLAXIS 2D

¹Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Ho Chi Minh City, Vietnam

²Vietnam National University Ho Chi Minh City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Correspondence

Yen Hai Tran, Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Ho Chi Minh City, Vietnam

Vietnam National University Ho Chi Minh City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: haiyen.tran@hcmut.edu.vn

History

- Received: 20-04-2025
- Revised: 30-05-2025
- Accepted: 10-07-2026
- Published Online: 21-08-2026

DOI : <https://doi.org/10.32508/vnuhcmj-et.v9i3.1501>



Check for updates

Copyright

© VNUHCM Journal. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

Cite this article : Tran Y H, Nguyen N N. Finite element analysis of the impact of ship-generated waves on riverbank stability. VNUHCMJ. Eng. Technol. 2026; 9(3):3188-3197.