

DOI:10.22144/ctu.jvn.2023.058

SỰ BIẾN ĐỘNG CỦA HỆ SỐ AN TOÀN BỜ SÔNG THEO CÁC CẤP TẢI TRỌNG TÁC DỤNG BÊN NGOÀI VÀ THEO SỰ THAY ĐỔI MỨC NƯỚC SÔNG VỚI ĐIỀU KIỆN ĐỊA CHẤT VEN RẠCH CÁI SÂU ĐOẠN BÊN TRONG KHU DÂN CƯ 586, THÀNH PHỐ CẦN THƠ

Đặng Trâm Anh^{1*}, Nguyễn Chí Ngôn² và Trần Văn Tuấn³

¹Khoa Kỹ thuật Công trình Giao thông, Trường Bách khoa, Trường Đại học Cần Thơ

²Khoa Tự động hóa, Trường Bách khoa, Trường Đại học Cần Thơ

³Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Bách khoa, Trường Đại học Cần Thơ

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Đặng Trâm Anh (email: dtanh@ctu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 02/11/2022

Ngày nhận bài sửa: 04/12/2022

Ngày duyệt đăng: 11/12/2022

Title:

The variation of the safety factor of riverbank according to different external loads and changes in river water level with geological conditions along Cai Sau canal inside residential area 586, Can Tho city

Từ khóa:

Hệ số an toàn, phương pháp phân tử hữu hạn, tải hình băng, thay đổi mực nước sông

Keywords:

Changes of water level in river, Finite element method (FEM), Safety factor, Trip load

ABSTRACT

The slope stability of riverbanks in the Mekong Delta region is one of the important topics for adapting to current climate change situation. This study aimed to evaluate the fluctuation of the riverbank safety factors according to several levels of external loads and changes in river water levels with geological conditions along Cai Sau canal in the 586 residential area of Can Tho city. A geological survey by drilling and simulation using Plaxis 2D software with different load levels as well as river levels was performed. Some figures of failure mechanisms and plastic points of the analysis results show that the riverbank soil mass tends to slide into the river when there is an external load. When increasing the external load or lowering the river water level, the overall safety factor of the riverbank slope decreased. Research shows that the relationship between the two above factors with the safety factor is nonlinear.

TÓM TẮT

Ổn định mái dốc của bờ sông ở khu vực Đồng bằng sông Cửu Long là một trong những chủ đề quan trọng trong việc thích ứng với tình hình biến đổi khí hậu hiện nay. Nghiên cứu này nhằm đánh giá sự biến động của hệ số an toàn bờ sông theo các cấp tải trọng tác dụng bên ngoài và theo sự thay đổi mực nước sông với điều kiện địa chất ven rạch Cái Sâu đoạn bên trong khu dân cư 586 thành phố Cần Thơ. Khoan khảo sát địa chất và mô phỏng bài toán bằng phần mềm Plaxis 2D với các cấp tải trọng cũng như các mực nước sông khác nhau đã được thực hiện. Một số hình ảnh về vùng phá hoại và điểm dẻo của kết quả phân tích bằng phần mềm cho thấy khối đất ven bờ có xu hướng trượt ra sông khi dưới tác động của tải ngoài. Khi tăng tải trọng ngoài hoặc hạ thấp mực nước sông thì hệ số an toàn tổng thể của mái dốc bờ sông giảm. Nghiên cứu cho thấy mối quan hệ giữa hai yếu tố trên với hệ số an toàn là phi tuyến.

1. GIỚI THIỆU

Tình trạng sạt lở bờ sông ở khu vực Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) nói chung và trên địa bàn thành phố Cần Thơ nói riêng đang diễn biến rất phức tạp. Theo báo cáo của các chuyên gia, hiện tượng sạt lở ở ĐBSCL có liên quan đến một số nguyên nhân cơ bản sau: (1) Biến đổi khí hậu (nước biển dâng), (2) Khai thác cát trên sông, (3) Hiện tượng sụt lún đất bề mặt, (4) Sóng biển lớn hơn, (5) Xây dựng đê bao, (6) Xây dựng đập thủy điện trên sông và (7) Phát triển đô thị (Hùng và ctv., 2019). Có nhiều nghiên cứu đã được thực hiện để tìm hiểu về nguyên nhân gây mất ổn định bờ dọc theo các sông lớn như sông Tiền, sông Hậu. Tuy nhiên do nhu cầu đô thị hóa đã thúc đẩy việc xây dựng công trình ở các khu vực ven đô dọc theo các sông rạch nhỏ đang diễn ra mạnh mẽ, hiện tượng sạt lở nơi đây cũng xảy ra rất phổ biến nhưng lại chưa có nhiều nghiên cứu cho các trường hợp này. Do đó, nhóm tác giả đã lựa chọn đoạn sông cuối Rạch Cái Sáu nối ra sông Hậu thuộc dự án Khu dân cư 586 của Thành phố Cần Thơ là địa điểm nghiên cứu. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm khảo sát ảnh hưởng của tải ngoài do xây dựng công trình và việc hạ thấp mực nước sông lên hệ số an toàn tổng thể mái dốc của bờ sông.

Một số nghiên cứu liên quan được tổng hợp như sau: quy luật diễn biến xói lở bờ, suy thoái rừng ngập mặn (Hoàng & Thanh, 2018); tình trạng xói lở bờ sông, kênh, rạch tỉnh Bạc Liêu, Cà Mau (Hoàng, 2018); đánh giá lún lệch nền đất yếu dưới nền đường đắp ven sông (Son, 2018); đánh giá ảnh hưởng của các phương án bố trí đê phá sóng xa bờ (Chương & Hoàng, 2018); đánh giá biến động mực nước và ngập lụt vùng hạ du sông Sài Gòn dưới tác động của đô thị hóa (Quỳnh và ctv., 2018); khai thác nước ngầm phục vụ cho sản xuất nông nghiệp và sinh hoạt, mực thủy triều đang gia tăng nhanh chóng cùng với việc xây đập ở thượng nguồn sông Mekong là những nguyên nhân gây sụt lún đất, sạt lở bờ ở ĐBSCL (Hùng và ctv., 2019); gia tăng tải trọng ven bờ do tập quán sinh sống của người dân miền tây nam bộ là tập trung ven sông để thuận tiện cho việc

đi lại bằng phương thức giao thông đường thủy cùng với việc phát triển đô thị ngày nay, việc xây dựng nhà cửa kiên cố và đường xá ven sông đang là xu thế trong những thập niên qua (Búa, 2010; Bằng và ctv., 2021; Phát và ctv., 2022); dữ liệu báo cáo của Ban chỉ đạo trung ương về phòng chống thiên tai trên trang Bản đồ trực tuyến quản lý sạt lở cho thấy số lượng các điểm sạt lở của ĐBSCL đang gia tăng rất nhanh trong những năm gần đây (Hoành, 2015; Hoài và ctv., 2019)... Nhìn chung, các nghiên cứu trên đã cung cấp những thông tin quan trọng trong việc đánh giá thực trạng diễn biến, xác định nguyên nhân gây xói lở bờ sông, kênh, rạch trong quy hoạch, xây dựng phát triển và thích ứng với tình hình biến đổi khí hậu.

Nghiên cứu được tiến hành thực hiện tại cuối trục đường Bùi Quang Trinh thuộc khu dân cư 586, phường Phú Thứ, quận Cái Răng, thành phố Cần Thơ; ven rạch Cái Sáu đoạn cuối nối ra sông Hậu (Hình 1). Một hố khoan địa chất được thực hiện đến độ sâu -37 m qua 5 lớp đất, lấy mẫu thí nghiệm mỗi 2 m theo độ sâu hố khoan. Công tác lấy, bao gói vận chuyển và bảo quản mẫu theo TCVN 2683-2012, thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn tại hiện trường theo TCVN 9351-2012 và các tiêu chuẩn thí nghiệm xác định các chỉ tiêu cơ lý đất trong phòng. Lớp 1 (CH) là đất loại sét màu xám xanh, trạng thái chảy, lớp 2 (CL1) là đất loại sét lẫn ít cát màu xám xanh, trạng thái chảy, lớp 3 (CL2) là đất loại sét lẫn ít cát màu xám nâu tím, trạng thái dẻo mềm, lớp 4 (OH) là đất loại sét hữu cơ màu xám đen, trạng thái dẻo mềm và lớp 5 (CL3) là đất loại sét lẫn nhiều cát màu xám nâu, trạng thái dẻo cứng chưa kết thúc trong hố khoan. Nhìn chung, các lớp đất từ 1 đến 4 có sức chịu tải yếu, biến dạng lớn; riêng lớp 5 có sức chịu tải tốt và biến dạng nhỏ. Tuy nhiên, do tải trọng khảo sát trong nghiên cứu tương đối nhỏ nên trong mô hình chỉ mô phỏng nền đất đến độ sâu -25 m tương ứng với 3 lớp đất đầu tiên của nền. Phần mềm Plaxis 2D được sử dụng để phân tích về cường độ và hệ số an toàn tổng thể của mái dốc bờ sông (Brinkgreve, 2007).



Hình 1. Vị trí nghiên cứu (a) và công tác khảo sát địa chất (b)

2. MÔ HÌNH BẰNG PHẦN TỬ HỮU HẠN

Hình 2 thể hiện đầy đủ các kích thước của mô hình bài toán được mô phỏng bằng phần mềm Plaxis 2D. Giá trị kích thước độ dài của mô hình thể hiện trong hình 2 được vẽ theo đơn vị là milimet (mm). Các thông số địa chất và độ dày các lớp đất được thể hiện trong Bảng 1. Mô hình có kích thước tổng thể là chiều dài 90 m và chiều sâu 25 m. Điều kiện biên gồm ba mặt (đáy mô hình và hai bên) được khóa cứng, biên trên có tải trọng công trình (q), có dạng hình băng phân bố đều, tác dụng trên bề mặt. Bề rộng diện truyền tải là B = 10 m và cách mép bờ sông một khoảng cố định là 2 m nhằm đảm bảo sự ổn định cục bộ cho mái dốc của bờ sông, đồng thời có khoảng không để lắp đặt các thiết bị đo đạc cần thiết. Đáy sông cách mặt đất hiện trạng ở độ sâu là -5 m và có mái dốc được chọn dựa trên thực tế là 1:1.

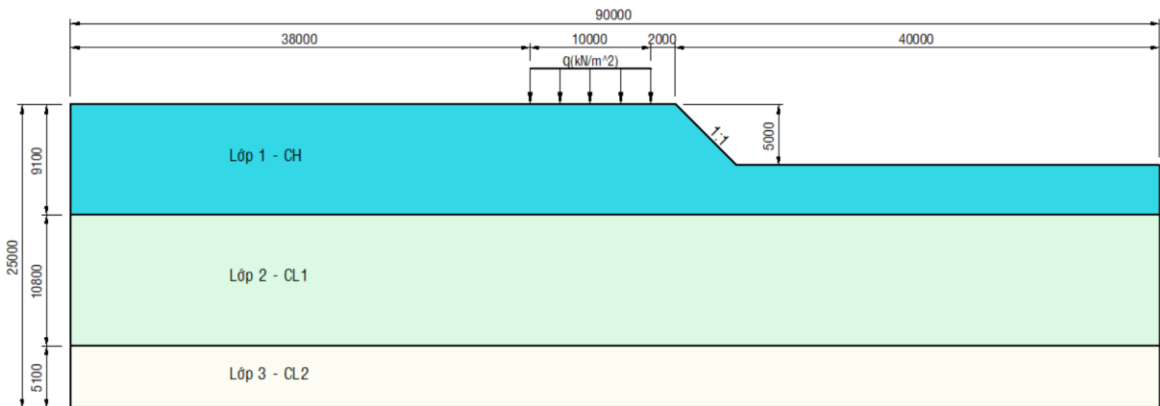
Mô hình được rời rạc hóa gồm 8.037 nút và 980 phần tử dạng tam giác. Bài toán biến dạng phẳng với 15 nút trên cạnh được sử dụng trong phân tích. Đối với mô hình vật liệu của nền đất, tiêu chuẩn bền Mohr-Coulomb (MC) được sử dụng với kiểu vật liệu không thoát nước. Tương tác giữa các lớp vật liệu được chọn là liên kết cứng. Giá trị áp lực nước lỗ rỗng ban đầu ứng với mực nước ở mặt đất tự nhiên và phương pháp Ko được áp dụng trong tính ứng suất hữu hiệu. Khi áp dụng quy trình Ko, Plaxis sẽ tạo ra ứng suất thẳng đứng cân bằng với trọng lượng bản thân của đất và giả thiết mức nước ngầm nằm ngang. Để xác định trạng thái cân bằng giới hạn, trước tiên sẽ xác định hệ số an toàn của mái dốc (factor of safety-FS) theo công thức sau:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_m} \tag{1}$$

Trong đó, $\tau_f = \sigma'_n \tan \phi'$ là cường độ chống cắt của đất nền tại điểm phá hoại (kN/m²), τ_m là cường độ chống cắt tối thiểu cần thiết để duy trì độ ổn định (kN/m²).

Bài toán được phân tích theo ứng suất tổng (total stress analysis-TSA) và được khảo sát dưới dạng nhiều pha tương ứng với các trường hợp tải ngoài cũng như các trường hợp hạ thấp mực nước sông. Khi phân tích độ bền thì phương pháp tính toán được sử dụng là dẻo và khi phân tích hệ số an toàn tổng thể của mái dốc bờ sông thì phương pháp tính toán giảm dần góc ma sát trong và lực dính của nền đất.

Hai vấn đề được phân tích dựa trên mô hình này bao gồm đánh giá sự biến động của hệ số an toàn tổng thể của mái dốc bờ sông dưới tác dụng của các tải ngoài q và dưới tác động của việc thay đổi mực nước sông theo thủy triều. Khi khảo sát ảnh hưởng của tải trọng ngoài thì mực nước sông được giữ cố định ở mặt đất tự nhiên. Các giá trị của tải trọng q được khảo sát trong nghiên cứu thay đổi từ thấp tăng dần đến sức chịu tải cực hạn của đất nền. Trong đó, những cấp tải được sử dụng để trình bày thuộc miền tải trọng làm việc theo tiêu chuẩn thiết kế công trình giao thông 22TCN211:2006 và giá cực hạn của đất nền, bao gồm: 0 kPa, 2 kPa, 5 kPa, 10 kPa, 20,5 kPa và 20,61 kPa. Khi khảo sát ảnh hưởng của mực nước sông thì giá trị của tải trọng q được giữ cố định là 2 kPa để có nhiều trường hợp khảo sát cho đến khi nền đất bị biến dạng. Mực nước sông và mực nước trong đất dưới bờ sông được giả định thay đổi đồng thời (không xét đến ảnh hưởng của lực thấm do dòng chảy từ trong bờ ra sông).



Hình 2. Mô hình tính toán trên phần mềm Plaxis 2D

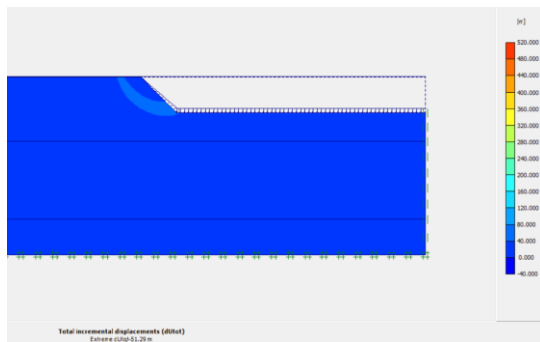
Bảng 1. Thông số địa chất được sử dụng trong nghiên cứu

Chỉ tiêu cơ lý	Lớp đất		
	LỚP 1-CH	LỚP 2-CL1	LỚP 3-CL2
Bề dày H (m)	9,1	10,8	4,6
Dung trọng tự nhiên γ (kN/m ³)	15,71	17,37	18,2
Hệ số thấm k m/ngày	$5,44 \times 10^{-5}$	3×10^{-4}	3×10^{-4}
Góc giãn nở Ψ (°)	0	0	0
Lực dính c (kN/m ²)	8,1	9,7	21,1
Góc ma sát trong φ (°)	$3^{\circ}16'$	$4^{\circ}18'$	$7^{\circ}55'$
Mô đun E_{oed} (kN/m ²)	2133,33	3600	5600
Hệ số Poisson ν	0,35	0,35	0,35

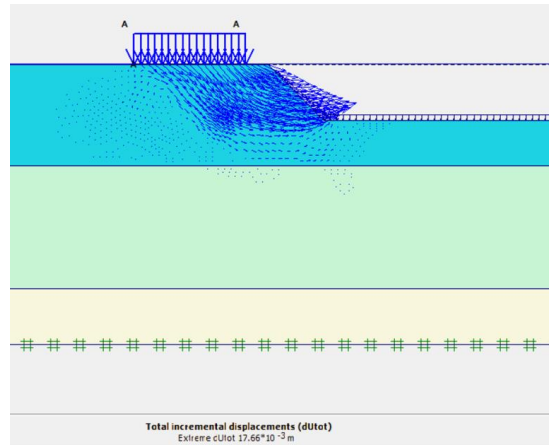
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Việc phân tích bài toán phẳng theo ứng suất tổng (TSA) bằng phần mềm Plaxis dưới tải trọng hình băng phân bố đều có bề rộng giới hạn B = 10 m trong điều kiện không thoát nước cho kết quả như sau:

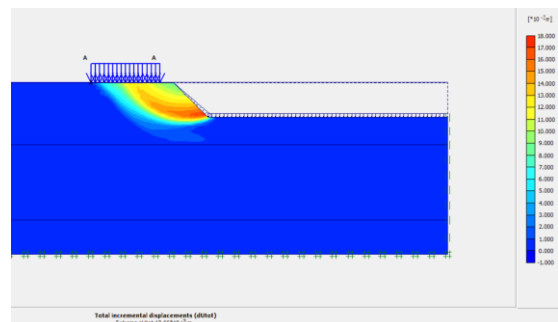
Khi chưa có tải trọng tác dụng, bờ sông đạt trạng thái cân bằng tự nhiên, hệ số an toàn đạt lớn nhất ($F_s = 1,9$), vùng phá hoại dưới nền chưa phát triển (Hình 3). Khi bắt đầu áp tải theo các cấp khảo sát, vùng phá hoại dưới nền phát triển dần từ chân dốc lên mặt đất và đạt cung trượt hoàn chỉnh khi tải trọng áp bằng với sức chịu tải cực hạn của nền ($q_{ult} = 20,61$ kPa). Vector chuyển vị, vùng phá hoại theo biên dạng và phân bố điểm dẻo trong nền đất tương ứng với tải trọng cực hạn được thể hiện ở Hình 4, Hình 5 và Hình 6.



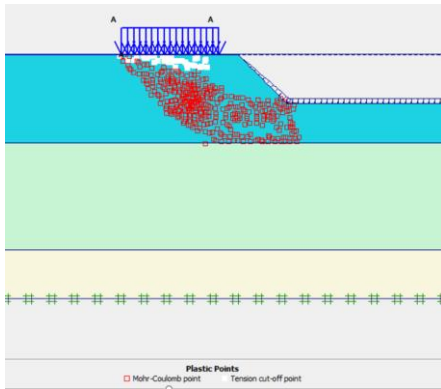
Hình 3. Vùng phá hoại của đất nền khi chưa áp tải ($q = 0$ kPa)



Hình 4. Vector chuyển vị của đất nền dưới tải trọng cực hạn ($q_{ult} = 20,61$ kPa)



Hình 5. Vùng phá hoại của đất nền dưới tải trọng cực hạn ($q_{ult} = 20,61$ kPa)



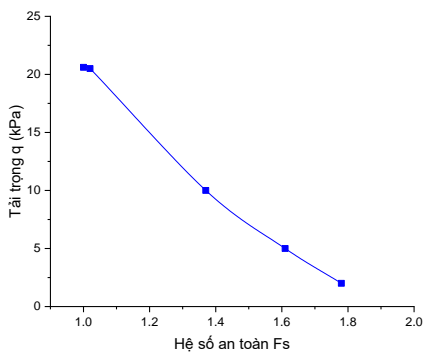
Hình 6. Phân bố điểm dẻo của đất nền dưới tải trọng cực hạn ($q_{ult} = 20,61$ kPa)

Vector chuyển vị (Hình 4) cho thấy đất phía bờ sông có xu hướng trượt ra sông dưới tải trọng ngoài được áp lên bờ. Độ sâu vùng phá hoại khoảng 9,0 m và phát triển theo phương ngang ra hướng có sông hơn 7,0 m. Phân bố điểm dẻo cho thấy có dạng giống với giả thuyết của Terzaghi và biên của mô hình được đảm bảo không ảnh hưởng lên kết quả. Khi vùng phá hoại phát triển đến vị trí mép sông (cung trượt hoàn chỉnh) thì giá trị sức chịu tải cũng đạt cực hạn $q = q_{ult} = 20,61$ kPa. Trong nghiên cứu này, khi giá trị sức chịu tải đạt cực hạn, điểm dẻo phân bố đến đáy lớp 1 (CH) của nền đất. Các lớp bên dưới chưa huy động sức chống cắt của đất. Từ kết quả phân tích cho thấy điểm nguy yếu nhất ở cuối chân mái dốc của bờ sông.

Kết quả phân tích cho một dãy các tải trọng tương ứng với hệ số an toàn tổng thể của nền được trình bày trong Bảng 2 và Hình 7.

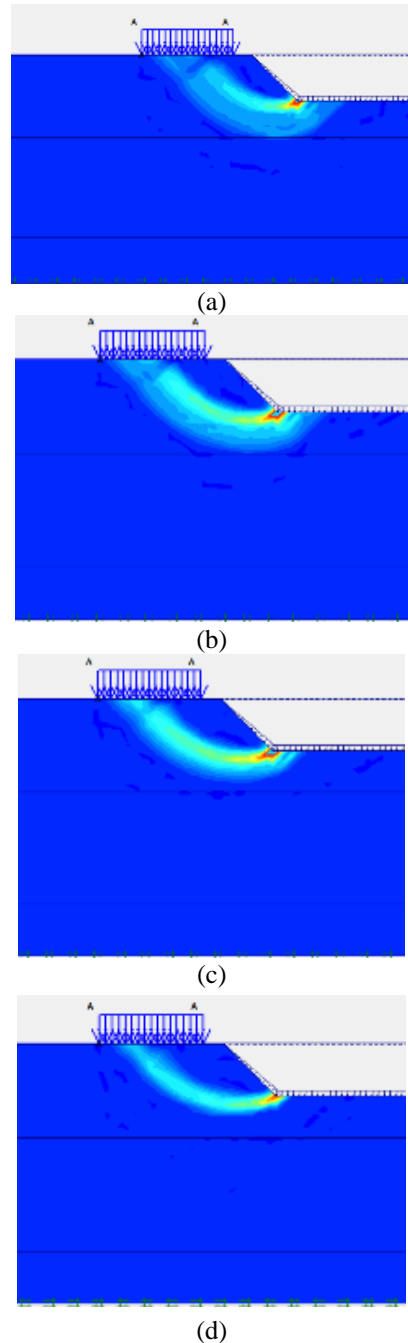
Bảng 2. Kết quả phân tích hệ số an toàn tổng thể tương ứng với các cấp tải trọng được khảo sát

q (kPa)	2	5	10	20,5	20,61
Fs	1,78	1,61	1,37	1,02	1,00



Hình 7. Quan hệ giữa tải trọng ngoài (q) và hệ số an toàn tổng thể (Fs) của nền đất

Từ kết quả nghiên cứu cho thấy, khi tăng tải trọng tác dụng lên bờ sông thì hệ số an toàn tổng thể của nền giảm mạnh (Hình 7). Cụ thể, khi tăng tải áp từ 2 kPa lên 20,61 kPa, tương đương 10,31 lần, thì hệ số an toàn giảm đi 1,75 lần.



Hình 8. Sự phát triển của vùng phá hoại dưới nền tương ứng các cấp tải trọng làm việc:

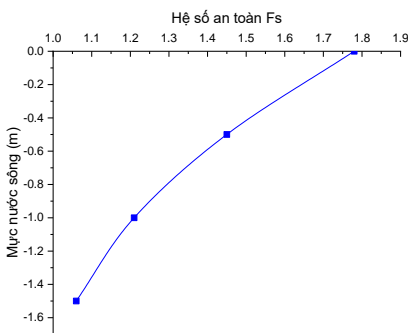
(a) $q = 2$ kPa, (b) $q = 5$ kPa, (c) $q = 10$ kPa, (d) $q = 20,5$ kPa

Sự phát triển của vùng phá hoại ứng với các cấp tải trọng làm việc được thể hiện ở Hình 8. Kết quả cho thấy vùng phá hoại dưới nền phát triển mở rộng theo chiều sâu và chiều ngang khi tải áp tăng dần. Khi tải áp còn nhỏ ($q = 2 \text{ kPa}$) so với sức chịu tải cực hạn của nền đất, vùng phá hoại bắt đầu hình thành nhưng chưa hoàn chỉnh (Hình 8a). Hệ số an toàn tổng thể lớn ($F_s = 1,78$). Khi tải trọng tăng dần ($q = 5 - 20,5 \text{ kPa}$), sức chống cắt của đất được huy động tương đối lớn, vùng phá hoại tiếp tục phát triển về hướng mặt đất (Hình 8b, 8c và 8d). Lúc này, hệ số an toàn tổng thể có giá trị giảm dần tương ứng là 1,61; 1,37 và 1,02. Khi tải ngoài đạt 20,61 kPa thì vùng phá hoại phát triển lên tới mặt đất (cung trượt hoàn chỉnh) như Hình 8d. Mái dốc đạt trạng thái cân bằng tới hạn ($F_s = 1,0$). Ở trạng thái này, nếu tải trọng chỉ tăng lên một lượng rất nhỏ hoặc có sự tác động của các yếu tố ngoại cảnh khác (sóng tàu, dòng chảy, chấn động...), phân tố đất sẽ bị mất ổn định theo cung trượt như Hình 8d. Sự phá hoại này sẽ bắt đầu từ phía chân mái dốc của bờ sông vì trạng thái biến dạng tương đối của các phân tố đất ở vị trí đó là lớn nhất.

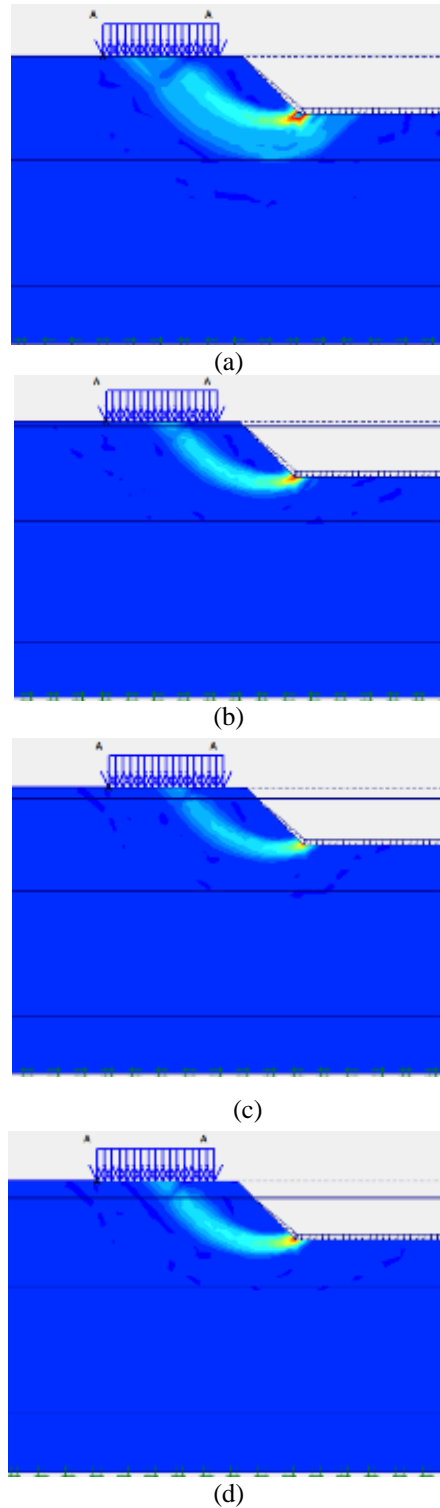
Hình 9 cho thấy ảnh hưởng của việc hạ thấp mực nước sông lên hệ số an toàn tổng thể của nền đất trong điều kiện tác dụng của tải trọng làm việc ($q = 2 \text{ kPa}$) khi mực nước sông hạ xuống tại các độ sâu như được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả phân tích hệ số an toàn tổng thể tương ứng với các mực nước sông khảo sát

Vị trí mực nước sông (m)	0	-0,5	-1,0	-1,5
F_s	1,78	1,45	1,21	1,06

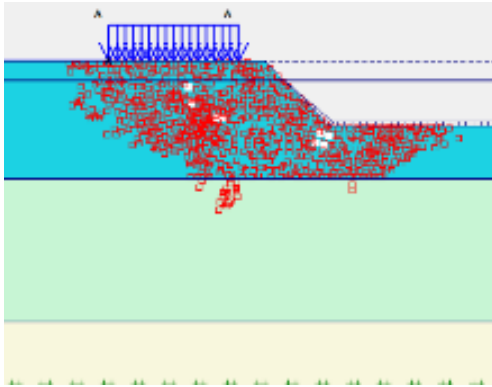


Hình 9. Quan hệ giữa mức độ hạ thấp mực nước sông và hệ số an toàn tổng thể (F_s) của nền



Hình 10. Sự phát triển của vùng phá hoại dưới nền tương ứng các độ sâu của mực nước sông với tải trọng làm việc $q = 2 \text{ kPa}$

(a) - 0,0 m; (b) - 0,5 m; (c) - 1,0 m; (d) - 1,5 m



Hình 11. Phân bố điểm dẻo của đất nền dưới tải trọng $q = 2 \text{ kPa}$ và mực nước sông tại $-1,5 \text{ m}$

Sự phát triển của vùng phá hoại ứng với các mực nước sông khác nhau khi nền chịu cùng một tải tác dụng ($q = 2 \text{ kPa}$) được thể hiện ở Hình 10. Khi mực nước ngầm ở vị trí $0,0 \text{ m}$ (ngang với mặt đất tự nhiên), hệ số an toàn đạt giá trị lớn nhất $F_s = 1,78$ và vùng phá hoại theo biến dạng tương đối chưa phát triển hoàn chỉnh, những phân tử đất gần bề mặt vẫn chưa huy động hết sức chống cắt (Hình 10a). Khi mực nước sông tiếp tục hạ thấp từ $-0,5 \text{ m}$ đến $-1,5 \text{ m}$ thì vùng phá hoại tiếp tục phát triển hướng lên mặt đất, làm giảm hệ số an toàn tương ứng từ $1,45$ xuống $1,06$ (Hình 10b, 10c và 10d). Hình 11 cho thấy sự phân bố điểm dẻo dưới nền ứng với trường hợp mực nước sông hạ thấp $-1,5 \text{ m}$. Hầu hết các phân tử đất trong nêi trượt đã huy động hết sức chống cắt. Vì vậy, mái dốc bờ sông gần đạt trạng thái cân bằng tới hạn ($F_s = 1,06$).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Bảng, L. H., Thịnh, L. V., Trí, L. H., Duy, Đ. V., & Tý, T. V. (2021). Nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố địa chất, thủy văn đến ổn định bờ sông Cái Vũng, huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 731, 16-25. doi:10.36335/VNJHM.2021(731).16-25.

Brinkgreve, R. B. J. (2007). *Plaxis user's manuals* (version 8). Balkema, Rotterdam, The Netherlands.

Búa, P. V. (2010). Tìm hiểu đặc điểm dân cư và tâm lý người dân Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 13, 11-19.

Chương, L. T., & Hoàng, T. B. (2018). Nghiên cứu đánh giá hiệu quả giám sát của các phương án bố trí không gian đề phá sóng trong mô hình bể sóng. *Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam*, 20, 267-278.

Hoài, H. C., Bầy, N. T., & Khôi, Đ. N. (2019). Phân tích nguyên nhân gây gia tăng xói lở bờ sông ở

4. KẾT LUẬN

4.1. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu về sự biến động của hệ số an toàn bờ sông theo các cấp tải trọng tác dụng bên ngoài và theo sự thay đổi mực nước sông, một số kết luận được rút ra như sau:

(1) Hệ số an toàn tổng thể của nền đất ven bờ giảm dần tương ứng với các cấp tải trọng được áp trên nền tăng lên. Khi nền đất ở trạng thái cân bằng tới hạn, những tác động dù rất nhỏ của ngoại lực đều gây cho mái dốc bờ sông mất ổn định. Nghiên cứu cho thấy mối quan hệ giữa tải trọng và hệ số an toàn của mái dốc bờ sông là bậc cao. Hệ số an toàn giảm nhanh tương ứng với sự gia tăng của tải trọng tác dụng trên bờ sông.

(2) Khi tải trọng được giữ cố định ở tải trọng làm việc, mực nước sông ở vị trí bằng với mặt đất tự nhiên là trường hợp ít ảnh hưởng lên hệ số an toàn tổng thể của mái dốc nhất. Khi mực nước sông bắt đầu giảm xuống dần thì hệ số an toàn tổng thể của mái dốc bờ sông giảm theo tương ứng. Vùng phá hoại được khảo sát cũng phát triển theo hướng mở rộng cho đến khi hoàn chỉnh tương ứng với độ giảm sâu của mực nước sông. Kết quả này cho thấy sự ảnh hưởng của áp lực nước sông lên độ ổn định tổng thể của mái dốc bờ sông khi chịu tác dụng của tải ngoài là quan trọng và đáng kể.

4.2. Đề xuất hướng phát triển

Xây dựng mô hình nghiên cứu ảnh hưởng của áp lực nước ngầm đến sự ổn định mái dốc bờ sông đồng thời dưới tác dụng của tải ngoài.

đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 703, 42-50.

Hoàng, T. B. (2018). Xói lở bờ sông, kênh, rạch tỉnh Bạc Liêu, Cà Mau. *Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam*, 20, 257-266.

Hoàng, T. B., & Thanh, L. T. P. (2018). Diễn biến xói lở bờ, suy thoái rừng ngập mặn và định hướng giải pháp phòng chống cho dải ven biển hạ du đồng bằng sông Mekong. *Viện khoa học thủy lợi miền nam*, 20, 234-246.

Hoành, T.P. (2015). Đánh giá thực trạng và nguyên nhân xói lở bờ sông Tiên đoạn chày qua tỉnh Đồng Tháp. *Tạp chí Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*, 20(12), 61-67.

Hùng, P. V., Philip, M. & Sepehr, E. A. (2019). Động thái tài nguyên nước dưới đất và xâm nhập mặn trong điều kiện sụt lún đồng bằng sông Cửu Long_ Tuyển tập kết quả nghiên cứu của dự án

Rise & Fall – UDW. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*.

Phát, L. T., Duy, Đ. V., Hiếu, C. T., An, N. T., Lavane, K., & Tỳ, T. V. (2022). Một số nhận định ban đầu về nguyên nhân gây mất ổn định bờ sông ở huyện Châu Thành tỉnh Hậu Giang. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 740, 57-73.

Quỳnh, N. P., Hải, Đ. Đ., Lam, Đ. H., & Trương, T. V. (2018). Đánh giá biên động mực nước và

ngập lụt vùng hạ du sông Sài Gòn dưới tác động của đô thị hóa, xây dựng công trình chống ngập và xả lũ các hồ chứa nước thượng lưu. *Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam*, 20, 304-317.

Son, B. T. (2018). Đánh giá lún lệch nền đất yếu dưới nền đường đắp ven sông theo thành phần ứng suất trong nền giới hạn. *Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam*, 20, 331-340.