

Đánh giá ảnh hưởng của việc nâng cấp hạ tầng kỹ thuật đến ổn định công trình kè Trà Cú tỉnh Trà Vinh

Evaluation of the impact of technical infrastructure upgrading on the stability of the Tra Cu dyke in Tra Vinh province

> NGUYỄN HIẾU BÌNH¹, PHẠM HỮU HÀ GIANG²

¹HVCH Ngành KTCT Thủy, Trường Bách khoa, Trường Đại học Cần Thơ
Email: binhm4222002@gstudent.ctu.edu.vn

²GV Khoa KTCT Giao thông, Trường Bách khoa, Trường Đại học Cần Thơ
Email: phhgiang@ctu.edu.vn

TÓM TẮT

Công trình kè Trà Cú đóng vai trò quan trọng trong bảo vệ bờ sông và hạn chế sạt lở. Việc nâng cấp và mở rộng tuyến đường ven kè làm thay đổi tải trọng và ứng suất nền đất, ảnh hưởng đến sự ổn định công trình. Nghiên cứu này đánh giá tác động của quá trình nâng cấp qua bốn giai đoạn: khai thác hiện hữu, thi công mở rộng, vận hành sau nâng cấp và khi chịu tác động mưa lớn. Kết quả mô phỏng cho thấy giai đoạn thi công có biến dạng và mô men nội lực lớn nhất do tải trọng từ thiết bị và vật liệu xây dựng. Sau khai thác, công trình ổn định hơn nhưng hệ số an toàn giảm. Khi có mưa lớn, áp lực nước lỗ rỗng khiến hệ số an toàn giảm xuống 1,31. Nghiên cứu nhấn mạnh sự cần thiết của kiểm soát tải trọng thi công, cải thiện thoát nước và giám sát công trình để đảm bảo ổn định lâu dài.

Từ khóa: Ổn định kè; nâng cấp hạ tầng kỹ thuật; hệ số an toàn (FS).

ABSTRACT

The Tra Cu embankment plays a crucial role in protecting riverbanks and preventing erosion. The upgrading and expansion of the road along the embankment alter the load conditions and soil stress, which affect the stability of the structure. This study evaluates the impact of infrastructure upgrades through four stages: existing operation, construction expansion, post-upgrade operation, and extreme rainfall conditions. Simulation results indicate that the construction phase experiences the highest deformation and internal moment due to the load from equipment and construction materials. After being put into operation, the structure becomes more stable, but the safety factor decreases. Under heavy rainfall, pore water pressure causes the safety factor to drop to 1.31. The study emphasizes the necessity of controlling construction loads, improving drainage systems, and monitoring the structure to ensure long-term stability and sustainability.

Keywords: Dike stability; technical infrastructure upgrading; safety factor (FS).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, vấn đề sạt lở ở ĐBSCL diễn ra hết sức phức tạp, ảnh hưởng nghiêm trọng đến đời sống người dân, hoạt động sản xuất và phát triển kinh tế - xã hội. Kết quả khảo sát và giải đoán ảnh vệ tinh cho thấy phần lớn diện tích vùng Tây Nam sông Hậu đều xảy ra hiện tượng sạt lở bờ sông, kênh, rạch với các mức độ khác nhau. Cụ thể, vùng có các điểm sạt lở đặc biệt nguy hiểm có diện tích 529.798 ha, chiếm 27%; vùng có các điểm sạt lở nguy hiểm có diện tích 632.866 ha, chiếm 32%; và vùng có sạt lở bình thường là 816.247 ha, chiếm 41% [1]. Trước thực trạng này (Hình 1), chính quyền các cấp tại tỉnh Trà Vinh đã không ngừng đẩy mạnh đầu tư vào các công trình kè nhằm bảo vệ bờ sông Trà Cú trước nguy cơ sạt lở nghiêm trọng [2]. Các công trình này không chỉ góp phần hạn chế sự mất đất do xói lở mà còn tạo điều kiện thuận lợi cho phát

triển hạ tầng giao thông, cải thiện chất lượng môi trường sống. Song song với quá trình phát triển kinh tế - xã hội, việc mở rộng cơ sở hạ tầng và xây dựng các tuyến đường dọc hai bên bờ sông không chỉ giúp gia cố sự ổn định cho khu vực ven sông mà còn nâng cao hiệu quả thoát nước, đồng thời góp phần cải thiện cảnh quan đô thị.

Tuy nhiên, thực tế cho thấy việc nâng cấp hạ tầng kỹ thuật khu vực ven sông đặt biệt là quá trình mở rộng đường ven sông có thể làm gia tăng tải trọng tác động lên kè, ảnh hưởng đến sự ổn định tổng thể của công trình, đặc biệt trong điều kiện nền đất yếu đặc trưng của khu vực ĐBSCL. Nếu không có giải pháp kỹ thuật phù hợp, áp lực từ các phương tiện giao thông và biến động thủy văn có thể làm suy giảm khả năng bảo vệ của kè, thậm chí gây mất an toàn cho cả tuyến đường và khu vực lân cận. Vì vậy, đánh giá mức độ ảnh

hưởng của việc nâng cấp, mở rộng tuyến đường dọc theo tuyến kè là cần thiết để xác định các tác động tiềm ẩn và mức độ ảnh hưởng đến ổn định của công trình. Nghiên cứu này tập trung vào việc phân tích, đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến sự ổn định của kè do quá trình mở rộng đường ven sông, từ đó cung cấp góc nhìn toàn diện về mối quan hệ giữa hạ tầng kỹ thuật và sự ổn định bờ kè trên địa bàn tỉnh Trà Vinh.

2. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

2.1. Tổng quan về kè và ảnh hưởng của kè bởi nâng cấp hạ tầng kỹ thuật

Công trình kè là một loại kết cấu kỹ thuật được thiết kế nhằm bảo vệ bờ sông, bờ biển hoặc các khu vực ven nước khỏi xói lở, tác động của dòng chảy và sóng biển. Kè đóng vai trò quan trọng trong việc ổn định bờ, bảo vệ đất đai, cơ sở hạ tầng và nâng cao chất lượng phát triển đô thị ven sông. Ngoài ra, hệ thống kè còn hỗ trợ hệ thống giao thông, giảm thiểu tác động của biến đổi khí hậu và góp phần phát triển du lịch ven sông.

Nhiều nghiên cứu đã được thực hiện nhằm xác định các nguyên nhân gây mất ổn định bờ kè. Các yếu tố chính gây sạt lở kè được chia thành hai nhóm. Tác động nội sinh: Bao gồm đặc điểm địa chất, địa mạo của khu vực. Tác động ngoại sinh: Chủ yếu do dòng chảy, mưa lũ, thủy triều tác động lên bờ kè, làm suy yếu nền đất và gây ra sạt lở [3].



Hình 1. Minh họa tình trạng sạt lở tuyến đường ven sông tại huyện Trà Cú, tỉnh Trà Vinh, một trong những khu vực chịu ảnh hưởng nghiêm trọng của hiện tượng này (nguồn: Công Mao-TTXVN, 2019).

Kết quả của nghiên cứu [4] cho rằng sự kết hợp của nhiều yếu tố, bao gồm tải trọng từ phương tiện giao thông, hoạt động nạo vét và biến động mực nước, có thể là nguyên nhân tiềm ẩn gây mất ổn định bờ kè. Thêm vào đó, các nghiên cứu cũng chỉ ra những nguyên nhân chính gây vỡ bờ kè, có thể xuất phát từ sự giảm đột ngột của mực nước trong kênh rạch, dẫn đến mất cân bằng áp suất và làm mất ổn định kết cấu kè [3-6].

Nâng cấp hạ tầng kỹ thuật là quá trình mở rộng, cải tạo hoặc thay thế các công trình kỹ thuật nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động, đáp ứng nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội và đảm bảo tính bền vững. Quá trình này có thể bao gồm nâng cấp hệ thống giao thông, thoát nước, điện - viễn thông và các công trình phụ trợ. Việc nâng cấp hạ tầng kỹ thuật, đặc biệt là mở rộng tuyến đường ven sông, có thể ảnh hưởng đáng kể đến sự ổn định của kè do làm thay đổi tải trọng tác động lên công trình [7]. Nghiên cứu của Huỳnh Công Hoài và cộng sự (2019) [5] về nguyên nhân xói lở bờ sông tại ĐBSCL đã chỉ ra rằng việc xây dựng hạ tầng trên nền đất yếu là một trong những nguyên nhân chính gây mất ổn định bờ sông. Tải trọng gia tăng trên bề mặt làm thay đổi trạng thái cân bằng của đất, dẫn đến sạt lở. Ngoài ra, Huỳnh Văn Hiệp (2022) [6] cũng chỉ ra rằng việc đắp nền đường hoặc phát triển hạ tầng ven sông có thể làm tăng tải trọng, gây trượt mái bờ và khiến tình trạng sạt lở trở nên nghiêm trọng hơn và là nguyên nhân chính sạt lở bờ sông tại tỉnh Trà Vinh.

Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện nhằm đánh giá tác động của tải trọng giao thông đối với sự ổn định của kè kênh. Khi đánh giá sự mất ổn định của kè do tải trọng, các nhà nghiên cứu thường áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM), phương pháp cân bằng giới hạn (LEM) và phương pháp xác suất để phân tích sự thay đổi trong hành vi ứng suất-biến dạng của đất. Chao năm 2024 [7] đã sử dụng phương pháp LEM để kiểm tra ảnh hưởng của tải trọng và sự chênh lệch mực nước, chỉ ra rằng chênh lệch này có thể làm giảm đáng kể hệ số an toàn của công trình. Kết quả cho thấy nếu tải trọng lặp lại không vượt quá cường độ của đất, một trạng thái cân bằng có thể được thiết lập mà không gây ra phá hủy. Tuy nhiên, khi đất chịu ứng suất tuần hoàn kéo dài, sự cố cuối cùng vẫn có thể xảy ra do áp suất nước lỗ rỗng dư thừa tăng lên.

Những nghiên cứu trên cho thấy rằng việc nâng cấp hạ tầng kỹ thuật, đặc biệt là mở rộng tuyến đường ven sông, có ảnh hưởng trực tiếp đến sự ổn định của kè. Sự gia tăng tải trọng từ giao thông, kết hợp với các yếu tố địa chất và thủy văn, có thể làm suy yếu công trình, đòi hỏi có những đánh giá chi tiết để hiểu rõ hơn về mức độ tác động và các nguy cơ tiềm ẩn đối với hệ thống kè tại khu vực nghiên cứu.

2.2. Tổng quan về phương pháp phần tử hữu hạn và phần mềm Plaxis 2D

Phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Method - FEM) là một phương pháp số được sử dụng rộng rãi để giải quyết các bài toán kỹ thuật và khoa học, trong đó các miền liên tục phức tạp được rời rạc hóa thành các phần tử nhỏ hơn. Mỗi phần tử được kết nối tại các điểm nút và thông qua các hàm xấp xỉ, bài toán ban đầu được giải một cách gần đúng theo điều kiện biên xác định. FEM cho phép mô phỏng chính xác ứng suất - biến dạng của đất nền và công trình kè, góp phần nâng cao độ chính xác trong phân tích ổn định công trình. Các nghiên cứu quan trọng như của Zienkiewicz năm 1967 về ứng dụng FEM trong địa kỹ thuật [8], Duncan & Chang năm 1970 với mô hình ứng suất - biến dạng phi tuyến của đất [9], hay Griffiths & Lane năm 1999 [10] trong phân tích ổn định mái dốc đã giúp FEM trở thành phương pháp ưu việt trong điều kiện địa chất - thủy văn phức tạp [11].

Hệ số an toàn (Factor of Safety - FS) trong phương pháp phần tử hữu hạn FEM khi phân tích ổn định mái dốc hoặc kết cấu địa kỹ thuật thường được tính bằng phương pháp giảm dần các thông số cường độ của đất (bao gồm lực dính c và góc ma sát ϕ) cho đến khi công trình đạt trạng thái mất ổn định. Đây là cách tiếp cận hiệu quả để đánh giá độ bền của nền đất và mức độ ổn định của công trình kè.

$$FS = \frac{c}{c_{crit}} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_{crit}}$$

Trong đó:

- c, ϕ là lực dính và góc ma sát ban đầu của đất.

- c_{crit}, ϕ_{crit} là giá trị tới hạn của lực dính và góc ma sát khi mô hình đạt trạng thái giới hạn (mất ổn định).

Plaxis 2D là một phần mềm chuyên dụng dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn, được thiết kế để phân tích các bài toán địa kỹ thuật như ổn định mái dốc, chuyển vị của đất nền, ứng suất-biến dạng của nền móng, dòng thấm trong đất và tác động của tải trọng động. Phần mềm này cung cấp một công cụ mạnh mẽ giúp mô phỏng và đánh giá sự ổn định của các công trình kỹ thuật, đặc biệt là hệ thống kè bảo vệ bờ sông, công trình ngầm và móng cọc. Trong nghiên cứu này, Plaxis 2D được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của việc nâng cấp hạ tầng kỹ thuật đến sự ổn định của công trình kè Trà Cú, tỉnh Trà Vinh. Phần mềm này giúp mô phỏng sự thay đổi của nền đất khi chịu tác động từ tải trọng của các công trình trên bờ kè, cũng như ảnh hưởng của hệ thống thoát nước đến áp lực nước lỗ rỗng và biến dạng đất nền.

Hai mô hình đất nền phổ biến trong Plaxis 2D được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm. Mô hình Mohr-Coulomb (MC): Đây là mô hình đàn hồi - dẻo tuyến tính cơ bản, phù hợp với nhiều bài toán địa kỹ thuật đơn giản. Mô hình Hardening Soil (HS): Đây là mô hình phi tuyến, có khả năng phản ánh chính xác hơn ứng xử của đất dưới điều kiện tải trọng phức tạp. Trong điều kiện nghiên cứu tại Việt Nam, mô hình Mohr-Coulomb được lựa chọn do có khả năng mô phỏng chính xác biến đổi ứng suất - biến dạng của đất nền, đồng thời các thông số đầu vào để xác định thông qua thí nghiệm thực địa [12].

Nhờ vào khả năng mô phỏng chi tiết các hiện tượng địa kỹ thuật, Plaxis 2D là công cụ quan trọng giúp xác định hệ số ổn định (FS) của kè Trà Cú, từ đó hỗ trợ đánh giá mức độ ảnh hưởng của việc nâng cấp hạ tầng kỹ thuật đến sự an toàn của công trình. Việc ứng dụng mô phỏng số không chỉ giúp định lượng được các tác động tiềm ẩn mà còn tạo cơ sở khoa học để phân tích và đưa ra các hướng tiếp cận hợp lý trong việc bảo vệ và phát triển hạ tầng ven sông bền vững.

3. MÔ HÌNH VÀ CÁC SỐ LIỆU PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU

3.1 Vị trí nghiên cứu

Công trình thuộc thị trấn Trà Cú, huyện Trà Cú, tỉnh Trà Vinh. Đối với tuyến kè thì điểm đầu cách cầu Xa Xi nối vào đường 30/4 khoảng 83m và điểm cuối cách cầu bê tông hiện trạng nối vào đường Mậu Thân khoảng 36m, với tổng chiều dài tuyến kè là 754m.



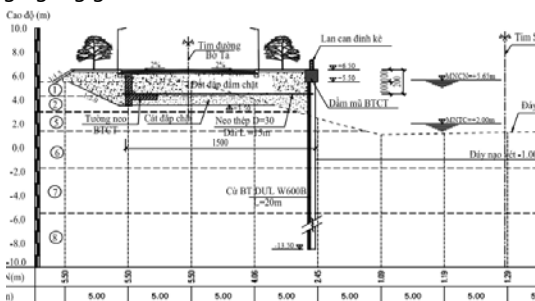
Hình 2. Vị trí tuyến kè

3.2 Mặt cắt nghiên cứu và mô hình tính toán

Căn cứ vào kích thước mặt cắt ngang kè, dựa trên phương pháp xác định kích thước mô hình của Briaud và Lim năm 1997 [18], chiều rộng mô hình là:

$$Be + We. \text{ Với } Be = 3(He + D)$$

Với He là chiều cao tự do (He = 7m) và D là chiều dài của tường chôn trong lớp đất không thấm nước (D=15m). Vậy bề rộng của mô hình là $3 \times (7,0m + 15,0m) + 20m = 86m$. Chiều cao mô hình là 34m. Chiều dài theo phương dọc lớn nên sử dụng mô hình ứng suất phẳng. Hồ đào được chống đỡ bằng tường neo cọc ván Bê tông cốt thép dự ứng lực. Neo bên trên ở cao độ +1,68m. Khoảng cách theo phương ngang giữa các neo là 3,0m.



Hình 3. Mặt cắt ngang đại diện cho công trình

Công trình được tính toán, kiểm tra với ba mặt cắt tính toán điển hình tương ứng với ba vị trí công trình. Tuy nhiên trong điều kiện bài báo, tác giả chỉ chọn một mặt cắt điển hình để tính toán và mô

phỏng trong các kịch bản khác nhau để đánh giá sự thay đổi về ổn định trước, trong và sau khi thi công nâng cấp hạ tầng kỹ thuật. Với 4 giai đoạn tính toán:

Giai đoạn 1: Tính toán với trạng thái ban đầu, giai đoạn khai thác đường hiện hữu 3.5m (HT-Khai thác);

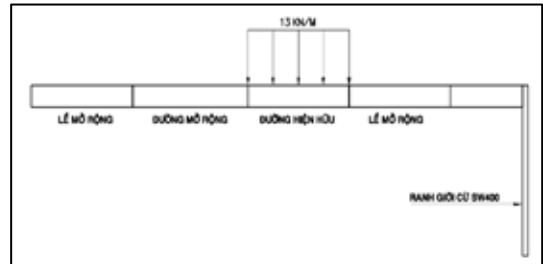
Giai đoạn 2: Tính toán giai đoạn thi công kết cấu đường mở rộng (MR-Thi công);

Giai đoạn 3: Tính toán giai đoạn khai thác đường mở rộng (MR-Khai thác);

Giai đoạn 4: Kiểm tra trong trường hợp mưa lớn dòng thấm (MR-Mưa lớn).

a) Điều kiện ban đầu trước khi nâng cấp

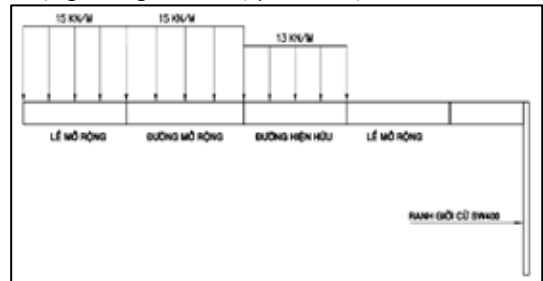
Tải trọng từ công trình hiện hữu: Trọng lượng của các công trình hiện có, bao gồm đường xá, cây xanh, và các kết cấu xây dựng, tạo ra áp lực ổn định lên nền đất và kè.



Hình 4: TH đường hiện hữu chưa mở rộng ở giai đoạn khai thác

b) Thi công nâng cấp hạ tầng kỹ thuật

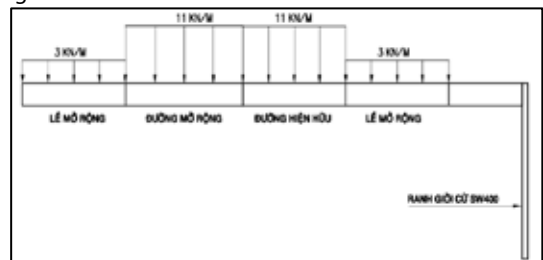
Tải trọng tạm thời từ thi công: Tải trọng từ thiết bị thi công: trọng lượng của máy móc, xe tải nặng, và các thiết bị thi công khác tạo ra ứng suất tạm thời trong quá trình thi công. Điều này bao gồm các lực tác động từ máy xúc, máy đầm, và các loại xe hạng nặng. Tải trọng từ đất di chuyển: Đất được đào bới, di chuyển hoặc đắp thêm gây ra sự thay đổi tải trọng trong quá trình thi công. Điều này bao gồm tải trọng không đều do sự phân bố lại đất.



Hình 5: TH thi công mở rộng đường song song với đường hiện hữu được khai thác

c) Nâng cấp và mở rộng tuyến đường (sau thi công)

Tải trọng từ lớp mở rộng: Trọng lượng của các lớp đất và vật liệu xây dựng mới từ tuyến đường mở rộng gây ra tải trọng ổn định lên nền đất và kè. Điều này bao gồm trọng lượng từ kết cấu áo đường. Tải trọng từ hạ tầng kỹ thuật: Các hạng mục như hệ thống thoát nước, vỉa hè, cây xanh và các công trình kỹ thuật phụ trợ tạo ra thêm tải trọng tĩnh lên kè và nền đất.



Hình 6: Trường hợp khai thác đường sau khi đã mở rộng

3.3 Các số liệu phục vụ tính toán

Bảng 1: Thông số nhập vào mô hình của các lớp đất

Tham số	Đơn vị	KC đường	Lớp cát đắp	Lớp 1	Lớp 2
Tham số chung					
1. Mô hình vật liệu		MC	MC	MC	HS
2. Dung trọng tự nhiên	KN/m ³	20.00	18.00	19.20	17.2
3. Dung trọng bão hòa	KN/m ³	21.00	19.00	20.20	18.2
4. Hệ số rỗng ban đầu (e _{init})		0.50	0.50	0.72	1,176
5. Drain type		Drain	Drain	Drain	Undrain A
Tham số độ cứng và cường độ					
1. Mô đun biến dạng (Eref)	KN/m ²	250000	25000	6630	-
2. Mô đun tiếp tuyến (Eoed-ref)	KN/m ²			-	1190
3. Mô đun cắt tuyến (E50-ref)	KN/m ²			-	1700
4. Mô đun dờ tải (Euf-ref)	KN/m ²			-	5100
5. Hệ số mũ				-	0.5
6. Lực dính đơn vị	KN/m ²	5	5	4.9	14.8
7. Góc ma sát trong	Độ	40.00	35.00	22.81	18.87
9. Góc nở thể tích	Độ	10	5		
9. Hệ số poisson (v)		0.35	0.35	0.35	
Phân tử tiếp xúc					
1. Hệ số tiếp xúc Rinter		1	1	0.9	0.85
Tham số	Đơn vị	Lớp 3	Thấu Kính 1	Thấu Kính 2	Lớp 4
Tham số chung					
1. Mô hình vật liệu		HS	MC	MC	MC
2. Dung trọng tự nhiên	KN/m ³	18.4	19.90	19.20	19.80
3. Dung trọng bão hòa	KN/m ³	19.20	20.90	20.20	20.80
4. Hệ số rỗng ban đầu (e _{init})		0.985	0.640	0.819	0.676
5. Drain type		Undrain A	Drain	Undrain	Undrain
Tham số độ cứng và cường độ					
1. Mô đun biến dạng (Eref)	KN/m ²	-	18990	11470	25510
2. Mô đun tiếp tuyến (Eoed-ref)	KN/m ²	2420	-	-	-
3. Mô đun cắt tuyến (E50-ref)	KN/m ²	3000	-	-	-
4. Mô đun dờ tải (Euf-ref)	KN/m ²	9000	-	-	-
5. Hệ số mũ		0.5	-	-	-
6. Lực dính đơn vị	KN/m ²	23.4	4.5	16.1	25.3
7. Góc ma sát trong	Độ	16.50	21.9	15.2	22.93
9. Góc nở thể tích	Độ				
9. Hệ số poisson (v)			0.35	0.35	0.35
Phân tử tiếp xúc					
1. Hệ số tiếp xúc Rinter		0.9	1	1	1

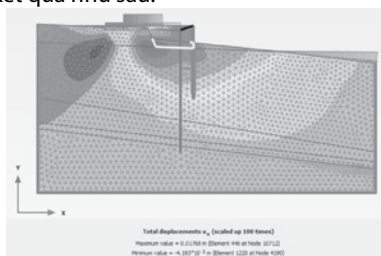
Bảng 2: Thông số nhập vào mô hình của cử

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Tường sàn L dày 40 cm	Cử SW400
Loại Phân tử			Plates	Plates
Mô Đun đàn hồi	E	kN/m ²	2,88E+07	3,95E+07
Diện tích mặt cắt ngang	A	m ² /m	0,4	0,1543
Mô men quán tính	I	m ⁴ /m	5,33E-03	2,40E-03
Độ cứng dọc trục	EA	kN/m	1,15E+07	6,09E+06
Độ cứng dọc trục	EI	kNm ² /m	1,53E+05	9,50E+04
Trọng lượng trên 1m rỗng	w	kN/m/m	2,80E+00	4,19
Hệ số Poisson	v (nu)		0,2	0,2

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.2 Kết quả mô phỏng bằng Plaxis

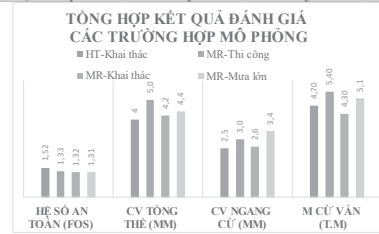
Thông số đất nền và cử trong mô phỏng bằng phần mềm Plaxis 2D sử dụng được trình bày ở bảng 1 và bảng 2. Tại vị trí mặt cắt mô phỏng, ta có kết quả như sau:



Hình 7: Chuyển vị ngang tăng thêm trong giai đoạn khai thác sau mở rộng

Bảng 3: Kết quả phân tích các trường hợp mô phỏng

Thông số đánh giá	Trường hợp mô phỏng			
	HT-Khai thác	MR-Thi công	MR-Khai thác	MR-Mưa lớn
Hệ số an toàn (FoS)	1,52	1,33	1,32	1,31
CV Tổng thể (mm)	4	5,0	4,2	4,4
CV ngang cử (mm)	2,5	3,0	2,6	3,4
M cử vắn (T.m)	4,70	5,40	4,30	5,1



Hình 8. Biểu đồ tổng hợp kết quả đánh giá các trường hợp mô phỏng của quá trình nâng cấp hạ tầng kỹ thuật

4.2 Thảo luận kết quả mô phỏng bằng Plaxis

4.2.1 Hệ số an toàn tổng thể (FS)

KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ HỆ SỐ AN TOÀN TỔNG THỂ (FS)

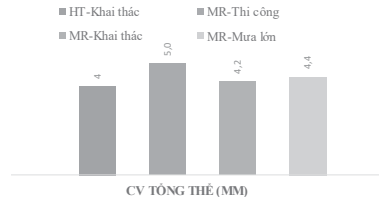


Hình 9. Biểu đồ kết quả đánh giá hệ số an toàn tổng thể

Ở trạng thái HT-Khai thác, hệ số an toàn (FS) đạt 1,52, cao nhất trong các giai đoạn, cho thấy công trình ổn định khi chưa có tác động từ thi công hoặc điều kiện thời tiết cực đoan. Trong giai đoạn thi công (MR-Thi công), FS giảm xuống còn 1,33, phản ánh mức độ ảnh hưởng đáng kể của tải trọng thi công đến sự ổn định của công trình. Khi công trình đưa vào khai thác (MR-Khai thác), FS tiếp tục giảm nhẹ còn 1,32, chứng tỏ tải trọng sử dụng có tác động đến sự ổn định nhưng không lớn hơn so với giai đoạn thi công. Dưới tác động của mưa lớn (MR-Mưa lớn), FS giảm xuống còn 1,31, mức thấp nhất trong các giai đoạn, cho thấy ảnh hưởng của nước mưa và áp lực nước lỗ rỗng đến độ ổn định của công trình. Mặc dù FS vẫn duy trì trên mức an toàn tối thiểu (1,3), nhưng xu hướng giảm dần qua các giai đoạn chỉ ra rủi ro tiềm ẩn, đặc biệt khi có điều kiện thời tiết bất lợi. Do đó, hệ thống thoát nước cần được đảm bảo hoạt động hiệu quả, đặc biệt trong mùa mưa, nhằm hạn chế sự suy giảm ổn định và nguy cơ sạt lở công trình.

4.2.2. Chuyển vị tổng thể (CV Tổng thể)

TỔNG HỢP KẾT QUẢ CHUYỂN VỊ TỔNG THỂ CỦA KÈ



Hình 10. Biểu đồ tổng hợp kết quả đánh giá hệ số an toàn kè

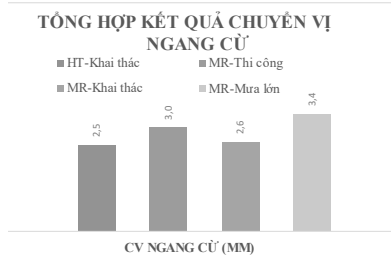
Trong giai đoạn khai thác (HT-Khai thác), chuyển vị tổng thể đạt 4,0mm, mức thấp nhất, cho thấy công trình ổn định khi chưa có tác động lớn từ tải trọng thi công hay điều kiện thời tiết cực đoan. Khi thi công (MR-Thi công), chuyển vị tăng lên 5,0mm, cao nhất trong các giai đoạn, phản ánh ảnh hưởng đáng kể của tải trọng xây dựng lên kết cấu công trình. Sau khi công trình đưa vào khai thác (MR-Khai thác), chuyển vị giảm nhẹ xuống 4,2mm, cho thấy hệ thống có xu hướng ổn định trở

lại khi tải trọng tác động dần ổn định hơn. Dưới tác động của mưa lớn (MR-Mưa lớn), chuyển vị tổng thể tăng lên 4,4mm, cao hơn so với giai đoạn khai thác nhưng vẫn thấp hơn giai đoạn thi công, cho thấy tác động của nước mưa và áp lực nước lỗ rỗng đến biến dạng công trình.

Giai đoạn thi công có mức biến dạng lớn nhất, tuy nhiên sau khi công trình đi vào khai thác, chuyển vị có xu hướng giảm dần, phản ánh sự ổn định của nền đất và kết cấu. Mưa lớn vẫn gây ra một mức tăng nhẹ trong chuyển vị, điều này nhấn mạnh sự cần thiết của hệ thống thoát nước hiệu quả để tránh tích tụ áp lực nước, giảm nguy cơ sụt lún hoặc mất ổn định cục bộ của công trình.

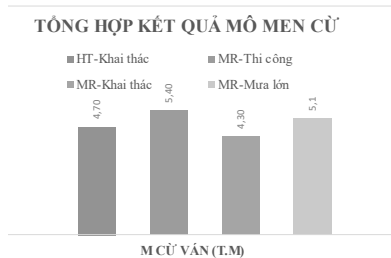
4.2.3. Chuyển vị ngang của cừ (CV ngang)

Ở trạng thái HT-Khai thác, chuyển vị ngang của cừ ván là 2,5mm, nhỏ nhất, thể hiện công trình ổn định. Khi thi công, chuyển vị ngang tăng lên 3,0mm, phản ánh tác động từ quá trình thi công và tải trọng xây dựng. Trong giai đoạn khai thác sau thi công, chuyển vị ngang giảm xuống 2,6mm, gần với trạng thái ban đầu, cho thấy hệ thống có xu hướng ổn định trở lại. Khi xảy ra mưa lớn, chuyển vị ngang tăng lên 3,4mm, mức cao nhất, thể hiện tác động mạnh từ áp lực nước gia tăng và điều kiện thời tiết bất lợi. So sánh các giá trị chuyển vị cho thấy mưa lớn có ảnh hưởng đáng kể đến chuyển vị ngang, có thể làm tăng nguy cơ mất ổn định công trình. Do đó, cần có biện pháp gia cố kết cấu chống trượt, đặc biệt tại các vị trí chịu tác động lớn nhằm hạn chế rủi ro trong điều kiện thời tiết cực đoan.



Hình 11. Biểu đồ tổng hợp kết quả đánh giá chuyển vị ngang của cừ

4.2.4. Mô men cừ ván (M cừ ván)



Hình 12. Biểu đồ tổng hợp kết quả mô men cừ

Ở trạng thái khai thác, mô men cừ ván SW400 là 4,70 T.m, phản ánh mức nội lực trong điều kiện bình thường. Khi thi công, mô men tăng lên 5,40 T.m, mức cao nhất, do tải trọng xây dựng tác động lên cừ ván. Trong giai đoạn khai thác sau thi công, mô men giảm xuống 4,30 T.m, mức thấp nhất, do tải trọng tĩnh ổn định hơn so với khi thi công. Khi xảy ra mưa lớn, mô men tăng lên 5,10 T.m, gần bằng mức trong giai đoạn thi công, do áp lực nước gia tăng. So sánh với mô men tới hạn (Mcr) của cừ SW400 là 10 T.m, có thể thấy các giá trị mô men thực tế trong mọi điều kiện đều nhỏ hơn đáng kể so với mô men giới hạn, đảm bảo an toàn cho kết cấu. Tuy nhiên, giai đoạn thi công và mưa lớn tạo ra mô men nội lực lớn nhất lên cừ ván, tiệm cận giới hạn thiết kế, do đó cần có biện pháp kiểm soát tải trọng thi công và hệ thống thoát nước để tránh làm quá tải kết cấu, đặc biệt trong điều kiện thời tiết bất lợi.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết quả phân tích từ phần mềm Plaxis 2D cho thấy sự ổn định của công trình kè Trà Cú chịu ảnh hưởng đáng kể từ quá trình nâng cấp hạ

tầng kỹ thuật. Các yếu tố như tải trọng thi công, hoạt động khai thác và điều kiện thời tiết cực đoan (mưa lớn) đều góp phần làm thay đổi hệ số an toàn (FS), chuyển vị tổng thể, chuyển vị ngang và mô men trong cừ ván. Giai đoạn thi công tạo ra sự thay đổi lớn nhất về biến dạng và mô men cừ ván, dẫn đến FS giảm xuống 1,33, phản ánh mức độ rủi ro cao hơn so với trạng thái khai thác. Giai đoạn khai thác có xu hướng ổn định hơn, với FS giảm nhẹ, nhưng vẫn cần kiểm soát tải trọng để tránh ảnh hưởng đến tuổi thọ công trình. Điều kiện mưa lớn làm tăng mô men cừ ván lên 5,1 T.m và chuyển vị ngang lên 3,4mm, cho thấy áp lực nước lỗ rỗng có thể làm suy giảm đáng kể sự ổn định của hệ thống kè nếu không có biện pháp xử lý thoát nước hiệu quả. Mặc dù FS vẫn duy trì trên mức tối thiểu cho phép ($\geq 1,3$), xu hướng giảm dần trong các giai đoạn cho thấy cần có giải pháp kỹ thuật nhằm đảm bảo sự bền vững lâu dài của công trình.

Để tăng cường sự ổn định của kè Trà Cú khi đối mặt với tác động của việc nâng cấp hạ tầng kỹ thuật và các yếu tố môi trường, cần thực hiện các giải pháp sau: Kiểm soát tải trọng thi công bằng cách hạn chế tải trọng nặng tác động trực tiếp lên kè trong giai đoạn thi công để giảm biến dạng nền đất, đồng thời bố trí kế hoạch thi công hợp lý, sử dụng phương pháp thi công nhẹ nhàng để tránh gây áp lực lớn lên kết cấu kè. Cải thiện hệ thống thoát nước bằng cách thiết kế hệ thống tiêu thoát nước hiệu quả để giảm áp lực nước lỗ rỗng, đặc biệt trong mùa mưa lớn, đồng thời kiểm tra và duy trì hệ thống cống thoát nước định kỳ nhằm tránh tình trạng tích tụ nước gây mất ổn định nền đất. Giám sát và bảo trì định kỳ bằng cách lắp đặt các thiết bị quan trắc để theo dõi sự thay đổi của hệ số an toàn và mức độ biến dạng của kè, thực hiện kiểm tra định kỳ để kịp thời phát hiện và xử lý các dấu hiệu mất ổn định trước khi sự cố xảy ra. Nghiên cứu bổ sung và cải tiến thiết kế bằng cách thực hiện các nghiên cứu chuyên sâu về ảnh hưởng của tải trọng động lên hệ số an toàn của công trình, xem xét mô phỏng bằng Plaxis 3D để có đánh giá toàn diện hơn về sự ổn định của hệ thống kè.

Tóm lại, việc nâng cấp hạ tầng kỹ thuật có tác động đáng kể đến sự ổn định của kè Trà Cú, đòi hỏi sự kiểm soát chặt chẽ về tải trọng, hệ thống thoát nước và các biện pháp gia cố. Những giải pháp đề xuất sẽ giúp tăng cường độ bền của công trình, giảm nguy cơ sạt lở và đảm bảo sự an toàn lâu dài trong quá trình khai thác

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hoàng Đức Cường (2023). "Nghiên cứu định hướng giải pháp bảo vệ bờ sông cầu ngang đoạn qua thị trấn Cầu Ngang, tỉnh Trà Vinh." *Tạp chí khoa học và công nghệ Thủy lợi*, số 78, 2023.
- [2] Nguyễn Thị Phương Thảo (2022). "Giải pháp phát triển bền vững bờ biển vùng cửa sông Cửu Long: nghiên cứu điển hình cho bờ biển Trà Vinh." *Tạp chí khoa học và công nghệ Thủy lợi*, số 74, 2022.
- [3] Zou, D.H.S., Dissanayake, D.M.D.O.K., Nanthanathan, N., & Phien-Wej, N. (2005). "A Case Study of Road Failure along an Irrigation Canal in Bangkok Plain."
- [4] Taha, N.A., Shariff, M.S.M., & Ladin, M.A. (2022). "Case Study on Analyses of Slope Riverbank Failure." *Modelling and Simulation in Engineering*, Volume 2022, Article ID 1965224, 9 pages. <https://doi.org/10.1155/2022/1965224>.
- [5] Huỳnh Công Hoài và cộng sự (2019). "Phân tích nguyên nhân gây gia tăng xói lở bờ sông ở Đồng bằng sông Cửu Long." *Tạp chí khí tượng Thủy văn*, số tháng 07 - 2019.
- [6] Huỳnh Văn Hiệp và cộng sự (2022). "Nghiên cứu nguyên nhân sạt lở bờ sông: trường hợp nghiên cứu tỉnh Trà Vinh." *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 2022, 741, 19-28. doi:10.36335/VNJHM.2022(741).19-28.
- [7] Chao, K.C., Kongsung, T., & Saowiang, K. (2024). "Effect of Vehicle Cyclic Loading on the Failure of Canal Embankment on Soft Clay Deposit." *Geosciences*, 14(6), 163.
- [8] Spencer, A. (1967). "A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces." *Geotechnique*, Vol. 17(1), pp. 11-26.
- [9] Duncan, J.M., & Chang, C.Y. (1970). "Nonlinear analysis of stress and strain in soils." *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 96(5), 1629-1653.
- [10] Griffiths, D.V., & Lane, P.A. (1999). "Slope stability analysis by finite elements." *Geotechnique*, Vol. 49(3), pp. 387-403.
- [11] Nguyễn Thành Đạt (2016). "Nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng chiều dày lớp đất lấp tới chiều dài cọc ván bê tông cốt thép dự ứng lực cho công trình đường và kè ven sông qua việc tính toán bằng phần mềm phần tử hữu hạn Plaxis 8.2." *Tạp chí KHCN Xây dựng*, số 1.
- [12] Briaud, J.L., & Lim, Y. (1997). "Soil-nailed wall under piled bridge abutment: simulation and guidelines." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(11), 1043-1050.