

Gia cố ổn định bờ kè bằng ống địa kỹ thuật Geotubes

Lê Nho Thiện ^{1*}, Trần Thanh Hà ¹

¹ Viện Công nghệ GTVT, trường Đại học Công nghệ GTVT

TỪ KHOẢ

Geotube
Plaxis
Kè
Ổn định tổng thể
Xói lở

TÓM TẮT

Geotubes đã được sử dụng phổ biến ở Hàn Quốc do các hoạt động mở rộng đất đai liên tục bằng cách cải tạo. Khi được thiết kế và xây dựng phù hợp, Geotubes mang lại giải pháp thay thế kinh tế hơn so với việc sử dụng đá hoặc khối bê tông đúc sẵn thông thường để bảo vệ bờ biển của đê và kè biển. Tuy nhiên, các phần tử Geotube này thường xuyên phải chịu các lực tĩnh và động khác nhau như tải trọng sóng bên cạnh áp lực ngang và áp lực lớp phủ mà nó chống đỡ từ trọng lượng của khối đắp và tải trọng bề mặt chồng lên nhau. Sự kết hợp của các lực tác dụng này và tải trọng có thể góp phần gây ra các vấn đề tiềm ẩn như xói lở có thể làm giảm độ ổn định tổng thể của kết cấu. Trong nghiên cứu này, phân tích phần tử hữu hạn được thực hiện bằng Plaxis để hiểu đầy đủ những hậu quả có thể phát sinh từ những vấn đề tiềm ẩn này. Các phương pháp xây dựng thay thế khác nhau sau đó đang được nghiên cứu bao gồm các kỹ thuật sửa đổi mặt đất như lớp sỏi và xây dựng nền móng lõm, được chứng minh là giúp cải thiện độ ổn định toàn bộ và tổng thể của Geotubes.

KEYWORDS

Geotube
Plaxis
Embankment
Global stability
Scouring

ABSTRACT

Geotubes have been gaining popular use in South Korea due to the continuing land expansion activities by reclamation. When properly designed and constructed, Geotubes offer a more economical alternative compared to the conventional use of rock or precast concrete block units for shoreline protection of marine embankments and dikes. However, these Geotube elements are constantly subjected to various static and dynamic forces such as wave load in addition to the lateral and overburden pressures that it supports from weight of embankment fill and superimposed surface loads. A combination of these applied forces and loading may contribute to potential problems such as scouring that may reduce the global stability of the structure. In this study, finite element analysis is performed using Plaxis in order to fully understand the consequences that may arise from these potential problems. Various alternative construction methods are then being studied that includes ground modification techniques such as gravel bedding and recessed base construction, which are shown to help improve the overall and global stability of Geotubes.

1. Giới thiệu

Hiện nay, các khối đá hoặc bê tông đúc sẵn được sử dụng trong xây dựng bảo vệ bờ biển cho kè và đê biển ngày càng trở nên đắt đỏ để xây dựng. Việc sử dụng công nghệ ống vải địa kỹ thuật mang lại giải pháp thay thế tốt nhất để xây dựng các kết cấu này (Shin và cộng sự, 2002; Shin và Oh, 2007; Weerakoon và cộng sự, 2007). Những ống vải địa kỹ thuật này có khả năng chịu lực tương đương với các kết cấu bê tông thông thường nhưng tiết kiệm chi phí và thời gian hơn. Tuy nhiên, giống như các kết cấu bê tông truyền thống, các kết cấu ống vải địa kỹ thuật cũng phải chịu sự chịu đựng liên tục của các lực tĩnh và động như tải trọng sóng bên cạnh các áp lực ngang và áp lực lớp phủ trên mà nó chống đỡ từ trọng lượng của khối đắp và tải trọng bề mặt chồng lên nhau. Những sự kết hợp giữa lực tác dụng và tải trọng này có thể góp phần gây ra các vấn đề tiềm ẩn như xói lở có thể làm giảm độ ổn định tổng thể của kết cấu. Việc phân tích độ ổn định của ống vải địa kỹ thuật có phần phức tạp do tính chất hình dạng của nó. Bằng cách sử dụng

chương trình Plaxis, phân tích phần tử hữu hạn (FE) đã được thực hiện để hiểu đầy đủ các hậu quả có thể phát sinh từ những vấn đề tiềm ẩn này và đánh giá hiệu quả của các phương pháp thiết kế và xây dựng thay thế để giảm thiểu và ngăn ngừa chúng.

2. Nghiên cứu tài liệu

2.1. Ống vải địa kỹ thuật

Ống địa kỹ thuật được làm bằng vật liệu vải địa kỹ thuật thấm và kín đất. Chúng được lấp đầy bằng thủy lực bằng đất hoặc cát biển được nạo vét. Về cơ bản, ống địa kỹ thuật là một khối đơn vị xây dựng duy nhất chứa đất. Nó hiện đang được sử dụng trong các dự án kỹ thuật ven biển như bảo vệ bờ biển và đê chắn sóng. Những ống vải địa kỹ thuật này cũng giúp lưu trữ và cách ly các vật liệu bị ô nhiễm thu được từ việc nạo vét (Shin và cộng sự, 2002). Quá trình hydrat hóa và xi măng hóa thể tích sau khi đổ đầy giúp các ống này đạt được sự ổn định và chống lại tải trọng bên ngoài như một kết cấu chắn giữ trong và

*Liên hệ tác giả: thienln@utt.edu.vn

Nhận ngày 16/04/2024, sửa xong ngày 29/05/2024, chấp nhận đăng ngày 14/06/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2024.709>

ngoài khối nước (Cho, cùng cộng sự, 2008). Vỏ ống được làm bằng vải dệt hoặc vải địa kỹ thuật không dệt giúp gia cố cấu trúc (Cantre, 2002).

2.2. Nguyên nhân và ảnh hưởng của xói lở

Sự xói lở là một vấn đề quan trọng đối với cấu trúc ống địa kỹ thuật. Sự xói lở đáng kể diễn ra ở các cạnh của ống vải địa kỹ thuật hướng vào bờ. Điều này là do sóng vỡ, dòng chảy đối lưu đáy và sóng tràn do lưu lượng dòng chảy lớn (Weerakoon, 2003). Các chế độ trạng thái giới hạn bên ngoài điển hình của hệ thống ống địa kỹ thuật được thể hiện trong Hình 1(a) và một ví dụ về phá hoại ổn định bên ngoài được thể hiện trong Hình 1(b).

2.3. Plaxis

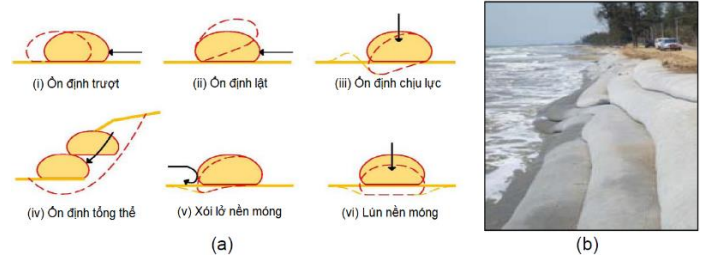
Plaxis là một phần mềm địa kỹ thuật được phát triển đặc biệt để phân tích biến dạng và ổn định trong các dự án địa kỹ thuật. Phần mềm này dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) và được thiết kế để phân tích địa kỹ thuật 2 chiều (2D) và 3 chiều (3D) về biến dạng và độ ổn định của cấu trúc đất, cũng như nước ngầm và dòng nhiệt, trong địa kỹ thuật các ứng dụng như hố đào, móng, kè và đường hầm. Trong nghiên cứu này, Plaxis FEM được sử dụng để mô phỏng và tìm hiểu các phá hoại tiềm ẩn bên ngoài của hệ thống ống địa kỹ thuật và đánh giá hiệu quả của các phương pháp thiết kế và xây dựng thay thế.

3. Nghiên cứu mô phỏng

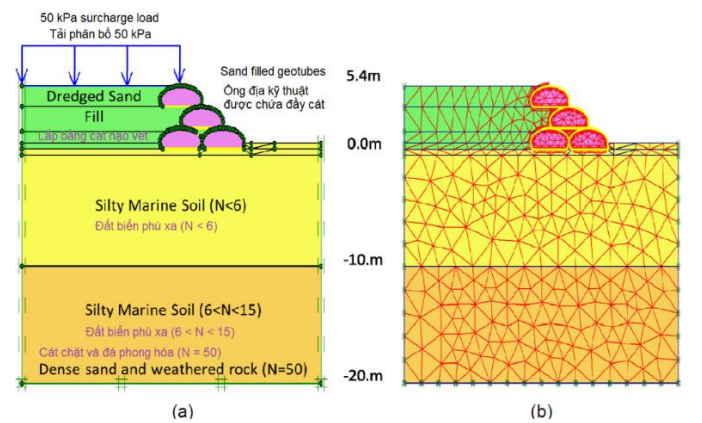
3.1. Mặt cắt kè

Trong nghiên cứu này, kết cấu kè như trong Hình 2(a) đã được sử dụng trong phân tích. Nền đắp cao 5,4 m, được đỡ bởi 3 lớp ống vải địa kỹ thuật xếp chồng lên nhau. Tất cả các ống có đường kính lý thuyết là 3,0 m. Mặt cắt đất được nghiên cứu bên dưới kè cải tạo là một ví dụ về mặt cắt đất dưới bề mặt biển điển hình tại Incheon, Hàn Quốc (Cho và cộng sự, 2008). Mực nước cao nhất ước tính là 3,0 m. Lưới phần tử hữu hạn điển hình trong Plaxis được hiển thị trong Hình 2 (b). Tải phân

bổ 50 kPa được áp dụng để mô phỏng tải trọng chồng lên do giao thông đồng đúc trên bề mặt mặt đường cứng.



Hình 1. (a) Các chế độ trạng thái giới hạn bên ngoài của hệ thống ống địa kỹ thuật (Zengerink, 2007) và (b) Ví dụ về phá hoại bên ngoài của hệ thống ống địa kỹ thuật (DIRD GROUP, 2013).



Hình 2. (a) Mặt cắt ngang kè, (b) Lưới phần tử hữu hạn Plaxis.

3.2. Thuộc tính vật liệu

Các đặc tính vật liệu được ấn định cho từng lớp đất được thể hiện trong Bảng 1. Độ dày của vải địa kỹ thuật là 3 mm (Cho và cộng sự, 2008) và có mô đun đàn hồi (E) là $7,0346 \times 10^9$ Pa (Seay, 1998).

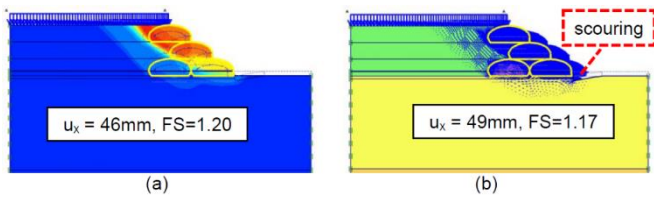
Bảng 1. Tính chất của đất.

Tính chất	Ký hiệu	Lớp bồng cát nạo vét (Kè)	Ống địa kỹ thuật được chứa đầy cát	Đất biển phù sa (N < 6)	Đất biển phù sa (N > 6)	Đơn vị
Trọng lượng đơn vị bão hòa	γ_{sat}	18	18	18	20	kN/m ³
Trọng lượng đơn vị không bão hòa	γ_{unsat}	16	17	16	18	kN/m ³
Mô đun đất	E	1×10^4	$1,5 \times 10^4$	1×10^4	1×10^4	kN/m ²
Hệ số poát-xông	ν	0,3	0,3	0,35	0,33	-
Lực dính	c	1	2	5	4	kN/m ²
Góc ma sát	ϕ	30	30	25	25	°

3.3. Nghiên cứu, phân tích và kết quả mô phỏng trường hợp FEM bằng Plaxis

Có 4 trường hợp phân tích FE được xem xét trong nghiên cứu này. Trường hợp 2 đến 4 trình bày phương pháp cải tạo nền đất để cải thiện độ ổn định của kết cấu ống địa kỹ thuật. Trong mỗi trường hợp, chuyển vị ngang cực đại và hệ số an toàn tổng thể của mặt cắt nền đắp có xói và không bị xói được trình bày. Chuyển vị ngang cực trị (u_x) thu được từ kết quả phân tích dẻo và hệ số an toàn ổn định tổng thể (FS) thu được từ kết quả phân tích giảm phi-c.

- a) Độ ổn định tổng thể của mặt cắt kè geotube được nghiên cứu có và không có xói (không áp dụng các phương pháp cải tạo nền đất)
- **Trường hợp 1:** Quá trình xói được mô hình hóa bằng cách loại bỏ vật lý một số cụm đất trong hình học Plaxis ở đáy và chân của kè địa kỹ thuật như được chỉ ra trong Hình 3(b).

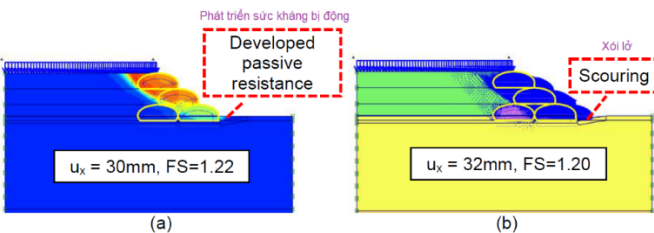


Hình 3. Trường hợp 1: Chuyển vị ngang cực đại (u_x), hệ số an toàn (FS) và chuyển vị gia tăng tổng: (a) không xói (tô bóng), (b) có xói (mũi tên).

- b) Phân tích độ ổn định tổng thể và kết quả với các phương pháp cải tạo nền đất được áp dụng
 - **Trường hợp 2:** Phương pháp thi công móng lõm
- Khái niệm cơ bản là cung cấp sự cho phép trong tương lai đối với các tác động của xói trong khi sức kháng bị động bổ sung sẽ được cung cấp ở chân khi hiện tượng xói không tồn tại như trong Hình 4.



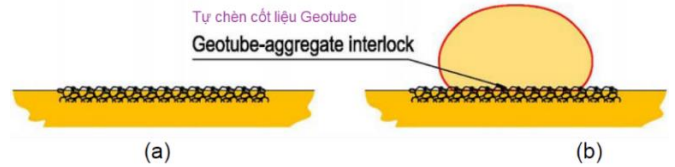
Hình 4. Thi công nền móng chìm: (a) nạo vét nhỏ trước khi đào (độ sâu 0,3 ~ 0,5m) và (b) đặt và lắp đầy ống địa kỹ thuật.



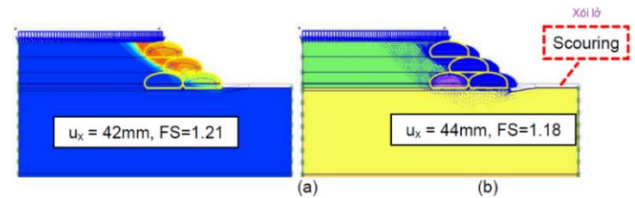
Hình 5. Trường hợp 2: Chuyển vị ngang cực đại (u_x), hệ số an toàn (FS) và chuyển vị gia tăng tổng: (a) không xói (tô bóng), (b) có xói (mũi tên).

- **Trường hợp 3:** Sử dụng phương pháp cải tạo nền đất bằng sỏi

Khái niệm cơ bản là tạo ra một đế vững chắc hơn với khả năng chống ma sát trượt cao hơn nhờ cơ chế tự chèn cốt liệu ở phía dưới. Nền cải tạo được mô hình hóa trong Plaxis bằng cách tăng góc ma sát và tăng hệ số giảm tương tác bề mặt đất ($R_{inter} = 0,9 \sim 1,0$) của tổ hợp đất-sỏi như Hình 6.



Hình 6. Cải tạo nền đất bằng lớp sỏi: (a) lớp sỏi (đầy 0,10 ~ 0,20m) và (b) đặt và lắp đầy ống địa kỹ thuật.

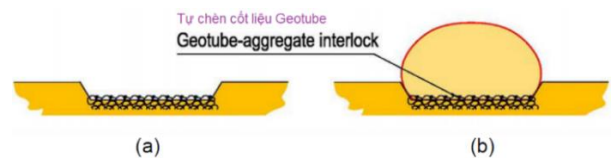


Hình 7. Trường hợp 3: Chuyển vị ngang cực đại (u_x), hệ số an toàn (FS) và chuyển vị gia tăng tổng: (a) không xói (tô bóng), (b) có xói (mũi tên).

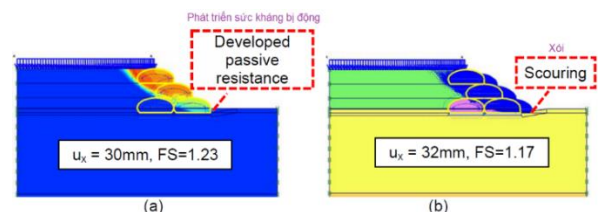
So sánh kết quả ở Hình 7 và Hình 3, có thể thấy rằng phương pháp cải tạo nền bằng sỏi làm giảm chuyển vị ngang cực đại của hệ thống ống địa kỹ thuật trong khi chỉ cải thiện được một chút về độ ổn định tổng thể và hệ số an toàn.

- **Trường hợp 4:** Phương pháp thi công nền móng kết hợp với cải tạo nền bằng sỏi

Sự kết hợp của các phương pháp được mô tả trong Trường hợp 2 và 3, như trong Hình 8.



Hình 8. Thi công nền móng với việc cải tạo mặt đất bằng lớp sỏi: (a) đào nạo vét trước (độ sâu 0,3~0,5m) và lớp nền sỏi (đầy 0,10~0,20m) và (b) đặt và lắp ống địa kỹ thuật.



Hình 9. Trường hợp 4: Chuyển vị ngang cực đại (u_x), hệ số an toàn (FS) và chuyển vị gia tăng tổng: (a) không xói (tô bóng), (b) có xói (mũi tên).

3.4. Tóm tắt kết quả phân tích

Bảng 2. So sánh chuyển vị ngang cực đại và hệ số an toàn tổng thể: Hệ thống kê ống địa kỹ thuật không xói.

	Trường hợp 1: Không cải tạo nền đất	Với các phương pháp cải tạo nền đất		
		Trường hợp 2: Thi công nền móng chìm	Trường hợp 3: Cải tạo nền bằng sỏi	Trường hợp 4: Kết hợp nền chìm với lớp lót sỏi
Chuyển vị ngang cực trị, u_x (mm)	46	30	42	30
Hệ số an toàn tổng thể cho sự ổn định, FS	1,20	1,22	1,21	1,23

Bảng 3. So sánh chuyển vị ngang cực đại và hệ số an toàn tổng thể: Hệ thống kê ống địa kỹ thuật có xói.

	Trường hợp 1: Không cải tạo nền đất	Với các phương pháp cải tạo nền đất		
		Trường hợp 2: Thi công nền móng chìm	Trường hợp 3: Cải tạo nền bằng sỏi	Trường hợp 4: Kết hợp nền chìm với lớp lót sỏi
Chuyển vị ngang cực trị, u_x (mm)	49	32	44	32
Hệ số an toàn tổng thể cho sự ổn định, FS	1,17	1,20	1,18	1,18

Bảng 4. Tỷ lệ phần trăm biến thiên của chuyển vị ngang cực trị và hệ số an toàn tổng thể so với Trường hợp 1 mà không cải tạo nền đất: Hệ thống kê Geotube không xói.

	Trường hợp 1: Không cải tạo nền đất	Với các phương pháp cải tạo nền đất		
		Trường hợp 2: Thi công nền móng chìm	Trường hợp 3: Cải tạo nền bằng sỏi	Trường hợp 4: Kết hợp nền chìm với lớp lót sỏi
% giảm chuyển vị ngang cực trị, u_x (mm)	0,0 %	34,8 %	8,7 %	34,8 %
% tăng hệ số an toàn tổng thể cho độ ổn định, FS	0,0 %	1,7 %	0,8 %	2,5 %

Bảng 5. Tỷ lệ phần trăm biến thiên của chuyển vị ngang cực trị và hệ số an toàn tổng thể so với Trường hợp 1 mà không cải tạo nền đất: Hệ thống Kè Geotube có xói.

	Trường hợp 1: Không cải tạo nền đất	Với các phương pháp cải tạo nền đất		
		Trường hợp 2: Thi công nền móng chìm	Trường hợp 3: Cải tạo nền bằng sỏi	Trường hợp 4: Kết hợp nền chìm với lớp lót sỏi
% giảm chuyển vị ngang cực trị, u_x (mm)	0,0 %	37,7 %	10,2 %	34,7 %
% tăng hệ số an toàn tổng thể cho độ ổn định, FS	0,0 %	2,6 %	0,8 %	0,9 %

4. Kết luận

Nghiên cứu này thực hiện phân tích phần tử hữu hạn bằng cách sử dụng Plaxis để mô phỏng và hiểu các phá hoại tiềm ẩn bên ngoài của hệ thống ống địa kỹ thuật và đánh giá hiệu quả của các biện pháp giảm thiểu và phòng ngừa khác nhau như các phương pháp thiết kế và lựa chọn xây dựng. Các phương pháp cải tạo nền đất được áp dụng như xây dựng nền móng chìm và lớp sỏi của nền móng được chứng minh là cải thiện hiệu quả tổng thể và độ ổn định của nền đắp được chống đỡ

bằng ống địa kỹ thuật chứa đầy cát ở một mức độ nhẹ. Với các kỹ thuật cải tạo nền đất được áp dụng, chuyển vị ngang cực trị thường nhỏ hơn, trong khi có sự cải thiện không đáng kể về hệ số an toàn tổng thể so với phương pháp xây dựng và thiết kế ống địa kỹ thuật thông thường. Ngoài ra, các phương pháp kết hợp được chứng minh là không góp phần hoàn toàn vào việc cải thiện hiệu quả tổng thể của hệ thống ống địa kỹ thuật, trong khi chỉ làm tăng chi phí và tiến độ, trong đó việc xây dựng nền móng được chứng minh là mang lại sự cải thiện tổng thể tốt hơn về mặt giảm chuyển vị ngang cực trị và tăng hệ số an toàn tổng

thể. Tóm lại, khi quyết định có nên áp dụng các kỹ thuật cải tạo nền hay không, các vấn đề liên quan đến chi phí bổ sung và tiến độ xây dựng kéo dài thường sẽ chi phối, so với mức tăng hiệu quả đạt được của hệ thống kè ống địa kỹ thuật.

Tài liệu tham khảo

- [1]. DIRD GROUP (2013), viewed May 25 2013, <http://dirdgroup.org/3.Technical-Services.php>
- [2]. Cantre, S. (2002), "Geotextile tubes – analytical design aspects", *Geotextiles and Geomembranes* 20, 305-319.
- [3]. Cho, S.M., Jeon, B.S., Park, S.I. and Yoon, H.C. (2008), "Geotextile tube application as the cofferdam at the foreshore with large tidal range for Incheon Bridge project." *Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics, Shanghai, China*, 591-596.
- [4]. PLAXIS (2008), Plaxis BV, (www.plaxis.nl).
- [5]. Seay, P.A. (1998), "Finite element analysis of geotextile tubes", Thesis, Blacksburg, Virginia.
- [6]. Shin, E.C., Oh, Y.I. (2007), "Coastal erosion prevention by geotextile tube technology", *Geotextiles and Geomembranes* 25, 264-277.
- [7]. Shin, E.C., Ahn, K.S., Oh, Y.I. and Das, B.M. (2002), "Construction and monitoring of Geotubes." *Proceedings of the Twelfth (2002) International Offshore and Polar Engineering Conference, Kitakyushu, Japan*, 469-473.
- [8]. Waterman, D. (2006), "Structural elements in Plaxis." Plaxis BV.
- [9]. Weerakoon, S., Mocke, G.P., Smit, F. and Al Zahed, K. (2003), "Cost effective coastal protection works using sand filled geotextile containers." *COPEDEC VI, Colombo, Sri Lanka*.
- [10]. Zengerink, E. (2007), "TENCATE-materials that make a difference", *International Geosynthetics Society (UK Chapter)*, 12 December 2007.