■Ngày nhận bài: 26/4/2021 ■Ngày sửa bài: 12/5/2021 ■Ngày chấp nhận đăng: 07/6/2021

Nghiên cứu ứng dụng xỉ thép trong gia cường đất nạo vét lòng sông để đắp đê nông thôn ở đồng bằng sông Cửu Long

Research on the application of weak soil reinforced steel slag for embankments in delta Mekong

> TS TRẦN VĂN TIẾNG[1], TRƯƠNG NGỌC LỢI[2]
[1] Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM
[2] Ban dân vận, Huyện ủy huyện Châu Thành, An Giang
Email: tiengtv@hcmute.edu.vn

TÓM TẮT

Ở đồng bằng sông Cửu Long, các công trình đê nông thôn thường được đắp bằng đất bùn yếu nạo vét trực tiếp từ lòng sông. Tuy nhiên, loại đất này ở trạng thái bão hòa nước và khả năng chịu lực rất kém. Vì vậy, các công trình đê này rất dễ bị sự cố khi sử dụng. Bên cạnh đó, chi phí duy tu, bảo dưỡng hàng năm khá lớn. Từ thực trạng trên, bài báo nghiên cứu sử dụng hỗn hợp gia trộn giữa xỉ thép và đất bùn nạo vét từ lòng sông để đắp đê bao. Đất bùn nạo vét sẽ được gia trộn với xỉ thép theo các tỷ lệ pha trộn khác nhau để tạo ra hỗn hợp vật liệu mới có các chỉ tiêu cơ lý đảm bảo ổn định cho công trình đê bao. Các chỉ tiêu cơ lý của hỗn hợp vật liệu gia trộn sẽ là thông số đầu vào cho các mô hình mô phỏng phân tích ổn định của đê. Kết quả mô phỏng được phân tích dựa trên tính ổn định của đê để tìm ra tỷ lệ gia trộn hỗn hợp đất bùn - xỉ thép tối ưu. Kết quả mô phỏng cũng chỉ ra khả năng sử dụng hỗn hợp đất – xỉ thép để đắp đê nông thôn.

Từ khóa: Đất yếu, xỉ thép, Hỗn hợp đất yếu – xỉ thép, Chỉ tiêu cơ lý, Tỷ lệ trộn, Đê nông thôn.

ABSTRACT

In the Delta Mekong, the construction of embankments often uses weak soil directly dredged from the canals. However, this soil is saturated and very weak, so, the embankments are easy damaged when used. Besides, the annual maintenance costs are quite large. From this situation, this paper focuses on the utilization of mixture weak soil –steel slag to construct the embankments. The weak soil will be mixed with steel slag in different mixing ratios to create a new mixture of materials with physical – mechanical properties to ensure stability for the embankments. The physical – mechanical properties of mixture weak soil – steel slag at different mixing ratios will be the input data for the numerical models of the embankments. The simulating results will be analyzed based on the stability of the embankments in order to find out the optimum mixing ratio. The simulation also shows the ability to use of mixture weak soil - steel slag to construct the embankments.

Keywords: Weak soil, Steel slag, Mixture weak soil – steel slag, Physical – mechanical properties, Mixing ratios, Embankments.

1. Giới thiệu

Trong những năm qua, ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đã trở thành một mối quan tâm lớn của tất cả các quốc gia trên thế giới, đặc biệt các quốc gia có địa hình tiếp xúc với đại dương. Riêng đồng bằng sông Cửu Long là nơi ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và nước biển dâng đang diễn ra rõ rệt nhất, dẫn đến hiện tượng lũ lụt khó dự báo và kiểm soát.

Các công trình đê nông thôn ở đồng bằng sông Cửu Long trong những năm qua đã góp phần ngăn lũ, đảm bảo phát triển sản xuất nông nghiệp. Tuy nhiên, những giải pháp đã thực hiện không bền vững, chưa đảm bảo an toàn khi hiện tượng biến đổi khí hậu đang diễn biến ngày càng phức tạp. Hàng năm, các công trình đê này phải gia cố, duy tu, bảo trì, gây tốn kém nhiều kinh phí, ảnh hưởng trực tiếp đến lợi ích của nhân dân. Mặt khác, kết cấu thân đê, mặt đê chưa đáp ứng vai trò vừa là đê bao phục vụ sản xuất nông nghiệp vừa kết hợp làm đường giao thông nông thôn để phát huy tối đa hiệu quả vốn đầu tư.

Tổ chức Golder Associates Ltd và Associated Engineering Ltd [1] đã nghiên cứu, biên soạn một quy trình chặt chẽ nhằm hướng dẫn thực

hiện từ giai đoạn khảo sát, điều tra thu thập dữ liệu, thiết kế, thi công và bão trì đê phù hợp với đặc điểm của từng địa phương. Qua đó giúp cho các cơ quan quản lý kiểm soát sự rò rỉ công trình đê, giới hạn phạm vi nạo vét lòng sông để không làm suy yếu hoặc đe dọa sự bền vững của công trình đê, đề xuất được các phương pháp nâng cao tính ổn định đê, phòng chống sạt lở đê.

J. Chu và cộng sự [2] đã đề xuất những phương pháp cải tiến trong xây dựng công trình đê, trong đó có phương pháp Geomat. Phương pháp này dùng các túi vải địa kỹ thuật được gia công theo kích thước như thiết kế ban đầu sau đó bơm vật liệu tại chỗ như bùn hoặc cát đen vào bên trong túi vải. Mỗi lớp túi vải có chiều cao trung bình 50 cm và chiều rộng bằng chiều rộng thiết kế của đê, được xếp chồng lên nhau đến khi đạt cao trình chống lũ, đây là phương pháp có thể áp dụng để làm công trình đê bao chống lũ trên địa bàn các tỉnh đồng bằng sông Cửu Long, vì có sẵn vật liệu tại chỗ như bùn hữu cơ khi nạo vét kênh rạch.

George Arnold Escher và Johannis de Rijke đã thiết kế đập vươn ra xa bờ để tạo điều kiện cho phù sa bồi lắng tạo thành bệ phản áp ở chân công trình, bảo vệ bờ sông khỏi bị sạt lở [3]. Giải pháp thiết kế trên có thể nghiên cứu áp dụng để phòng chống sạt lở bờ sông.

Nguyễn Quốc Đạt [4] đã nghiên cứu hiện tượng thấm qua nền đê và cho rằng hiện tượng này là hết sức nguy hiểm, ảnh hưởng trực tiếp đến sự an toàn của công trình đê. Bên cạnh đó, tác giả đã đề xuất các giải pháp nâng cao ổn định và xử lý chống thấm nền đê sông.

Để cải tạo đất sét yếu phân bố tại đồng bằng sông Cửu Long, Vũ Ngọc Bình và cộng sự [5] đã nghiên cứu trong phòng về cải tạo đất loại sét yếu bằng xi măng địa phương. Nghiên cứu đã chỉ ra rằng đất loại sét yếu phân bố tại các tỉnh An Giang, Tiền Giang, Hậu Giang, Kiên Giang, Bạc Liêu và Cà Mau bị nhiễm muối dễ hòa tan, có chứa hữu cơ, tồn tại chủ yếu trong môi trường có độ pH thấp, thường <7. Đất tại An Giang, Tiền Giang ít chua, không mặn và nhiễm muối Sunfat – Clorua; đất tại Hậu Giang ít chua, mặn ít và nhiễm muối Clorua - sunfat; đất tại Bạc Liêu và Cà Mau thuộc đất mặn nhiều và nhiễm muối Clorua; đất tại Kiên Giang là chua mạnh, không mặn, nhiễm muối dạng Sunfat – Clorua. Nghiên cứu cũng chỉ ra hiệu quả thí nghiệm cải tạo đất bằng xi măng tại địa phương với hàm lượng từ 250 – 400 kg/m^3, ở 91 ngày tuổi cho thấy đất sét pha ở An Giang có cường độ kháng nén một trục (q_u) là lớn nhất, tăng từ 16,9 – 43%. Với kết quả trên cho thấy có thể sử dụng vật liệu đất xử lý bằng xi măng để thiết kế các công trình đê, kè trên địa bàn các tỉnh đồng bằng sông Cửu Long.

Việc sử dụng xỉ thép để cải tạo đất yếu ở đồng bằng sông Cửu Long chưa được các nhà khoa học trong nước nghiên cứu, trong khi trữ lượng xỉ thép ở Việt Nam rất lớn, và có thể ứng dụng trong gia cường đất yếu và làm vật liệu xây dựng. Ở Việt Nam, lượng xỉ thép thải ra của các nhà máy sản xuất thép đang là vấn nạn cho môi trường. Hằng năm, lượng xỉ thải của các nhà máy luyện thép trong cả nước từ 1 triệu đến 1.5 triệu tấn, riêng năm 2018 hơn 4 triệu tấn và dự kiến đến năm 2020 là hơn 7 triệu tấn [6]. Lượng xỉ thép này đã được nghiên cứu ứng dụng để làm cốt liệu chế tạo bê tông [7,8], ứng dụng sản xuất gạch không nung, làm vật liệu đắp đường,… điều này giúp giảm thiểu chi phí, tiết kiệm được nguồn vật liệu tự nhiên và bảo vệ môi trường giúp đất nước phát triển bền vững hơn.

Xuất phát từ nhu cầu thực tiễn, cùng với những tồn tại, hạn chế trong công tác khảo sát, thiết kế, thi công đê nông thôn ở đồng bằng sông Cửu Long, bài báo nghiên cứu tạo ra hỗn hợp vật liệu đất bùn nạo vét – xỉ thép để đắp đê, kết hợp với việc đề xuất giải pháp kết cấu mặt cắt ngang hợp lý. Các mẫu vật liệu hỗn hợp được pha trộn giữa xỉ thép và đất theo các tỷ lệ khác nhau gồm: hỗn hợp (1) 25% xỉ thép + 75% đất, hỗn hợp (2) 40% xỉ thép + 60% đất, hỗn hợp (3) 50% xỉ thép + 50% đất, hỗn hợp (4) 60% xỉ thép + 40% đất. Các mẫu hỗn hợp được đem thí nghiệm để xác định các chỉ tiêu cơ lý làm số liệu đầu vào để thực hiện các bước tính toán, kiểm tra. Phương án được lựa chọn dựa trên cơ sở khoa học, cơ sở biện pháp thi công và hiệu quả kinh tế, đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật về ổn định trượt, an toàn về lưu lượng thấm, kết cấu thân đê đáp ứng được nhu cầu sử dụng làm đường giao thông nông thôn.

2. Phương pháp mô phỏng

SLOPE/W [9] là một trong những chương trình của công ty GEO-SLOPE, CANADA, chuyên về tính ổn định của mái dốc. Chương trình cho phép tính toán mái dốc trong mọi điều kiện có thể xảy ra trong thực tế. Các đặc điểm chính của Slope/W gồm :

Slope/W là phần mềm ứng dụng lý thuyết cân bằng giới hạn để xác định hệ số an toàn của mái đất, đá. Trong Slope/W bao gồm nhiều phương pháp tính khác nhau để tính hệ số an toàn như : phương pháp Bishop đơn giản hóa, phương pháp Janbu đơn gian hóa, phương pháp Spencer, phương pháp Morgen-Price, phương pháp cân bằng tổng quát GLE và phương pháp ứng suất phần tử hữu hạn. Đặc điểm khác biệt cơ bản giữa các phương pháp khác nhau là giả thiết liên quan đến lực tiếp tuyến và pháp tuyến giữa các dải.

Lựa chọn phương pháp tính: Phương pháp Bishop đơn giản hóa do theo điều kiện cân bằng mômen ít gây xoắn vặn các thỏi đất nên ít ảnh hưởng tới lực cắt giữa các thỏi. Do vậy, hiện nay phương pháp đơn giản hóa thường được dùng trong tính toán ổn định nền đường. Theo quy chuẩn 22 TCN 262 : 2000, khi áp dụng phương pháp kinh nghiệm kiểm toán ổn định theo các cách phân mảnh cổ điển với mặt trượt tròn, hệ số ổn định nhỏ nhất K_{min}= 1.2. Khi áp dụng phương pháp Bishop để nghiệm toán ổn định lấy theo phương pháp này là K_{min}= 1.4. Mô hình ứng xử của đất nền trong phần mềm Geoslope xác định theo mô hình Mohr-Coulomb.

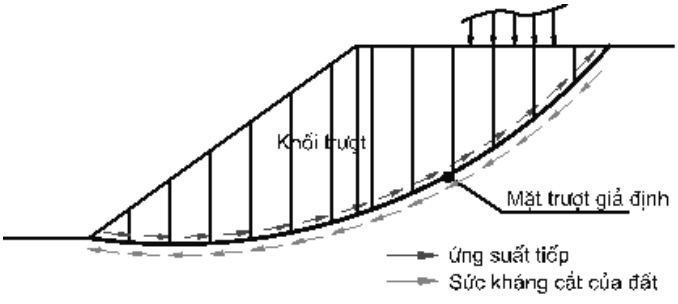
Khi tính toán ổn định các công trình đắp trên nền đất yếu, các phương pháp thường tính theo mặt trượt giả định là cung tròn và xét trạng thái cân bằng của khối trượt. Để tính toán đơn giản áp dụng phương pháp phân mảnh của Bishop (trạng thái cân bằng giới hạn) với giả thuyết là tổng các lực tương tác bằng không trên trục nằm ngang, trình tự thực hiện theo các bước sau:

(1) Giả thuyết trước một tâm trượt, với tâm trượt đó giả thuyết các mặt trượt trụ tròn. Xác định hệ số ổn định của khối đất trượt theo từng mặt trượt. Tìm hệ số ổn định nhỏ nhất Kmin cho tâm trượt này.

(2) Giả thuyết các tâm trượt khác và xác định K_{min} cho từng tâm trượt.

(3) So sánh các giá trị K_{min} để tìm ra K_{min} nhỏ nhất. Mặt trượt ứng với K_{min} nhỏ nhất là mặt trượt nguy hiểm nhất. So sánh giá trị K_{min} này với hệ số ổn định cho phép của công trình theo quy phạm để có kết luận về mặt cắt thiết kế.

Tính toán ổn định mái dốc theo phương pháp phân mảnh (Hình 1), khối trượt có hình dạng bất kỳ được chia thành các mảnh như hình vẽ.



Hình 1. Phương pháp phân mảnh cho khối trượt trụ tròn

3. Thí nghiệm xác định thông số vật liệu hỗn hợp

Đất bùn sét hữu cơ được nạo vét từ đáy kênh rạch nội đồng trên địa bàn tỉnh An Giang có các chỉ tiêu cơ lý thuộc loại đất yếu như:

+ Dung trọng tự nhiên: $\gamma \le 1,7(T/m^3)$

+ Hệ số rỗng: $e \ge 1$

+ Độ bảo hòa: $G \ge 0,8$

+ Độ ẩm: $W \ge 40\%$

+ Mô đun biến dạng: $E_0 \le 50(kg/cm^2)$

+ Hệ số nén: $a \ge 0,01(cm^2/kg)$

+ Góc ma sát trong: $\varphi \le 10^o$

+ Lực dính: $C \le 0,1(kg/cm^2)$

Xỉ thép được lấy từ nhà máy thép ở khu Công nghiệp Bình Hòa, huyện Châu Thành, tỉnh An Giang.

Xỉ thép sẽ được gia trộn với đất yếu để tạo thành hỗn hợp vật liệu đất – xỉ thép với các tỷ lệ gia trộn theo khối lượng: hỗn hợp (1) gồm 25% xỉ thép + 75% đất, hỗn hợp (2) gồm 40% xỉ thép + 60% đất, hỗn hợp (3) gồm 50% xỉ thép + 50% đất và hỗn hợp (4) gồm 60% xỉ thép + 40% đất.

Hỗn hợp xỉ thép + đất theo các tỷ lệ nêu trên được trộn đều đem thí nghiệm cắt trực tiếp, thí nghiệm nén cố kết để tìm các chỉ tiêu cơ lý, các thông số của các hỗn hợp được trình bày trong Bảng 1

Bảng 1. Tổng hợp các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu

Loại hỗn hợp	γ	w	c	φ	E
	(kN/m³)	(%)	(kN/m²)	(°)	(daN/cm²)
Đất	15,3	72,6	2,73	2°05	6,5
25% xỉ + 75% đất	19,6	41,4	3,01	3°43	31,4
40% xỉ + 60% đất	22,8	27,8	3,21	6°21	51,6
50% xỉ + 50% đất	25	18,6	3,19	8°19	70,1
60% xỉ + 40% đất	25,2	10,8	3,62	16°49	113,4
Xỉ	25,5	3,9	5	38°06	-

4. Đề xuất giải pháp kết cấu và mô phỏng ổn định thân đê

4.1. Giải pháp kết cấu

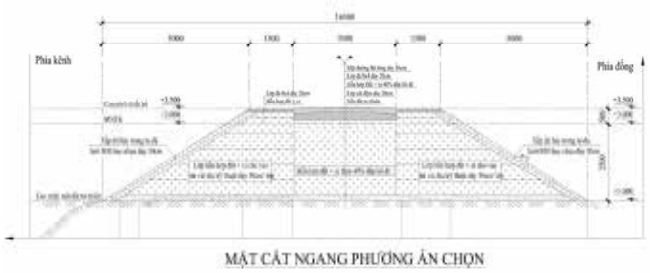
Kích thước thân đê được cho trong Bảng 2. Các giải pháp kết cấu khác nhau đã được xem xét và dựa trên kết quả phân tích đánh giá, bài báo này lựa chọn giải pháp kết cấu tối ưu để phân tích ảnh hưởng của tỷ lệ trộn giữa đất và xỉ thép đến ổn định kết cấu thân đê. Kết cấu mặt cắt ngang thân đê được thể hiện trong Hình 2, trong đó thân đê được cấu tạo gồm hỗn hợp vật liệu xỉ thép + đất đắp lõi đê và hỗn hợp vật liệu xỉ thép + đất cho vào túi vải địa kỹ thuật đắp mái đê.

Bảng 2. Thông số kích thước đê

	Kích thước (m)
Mặt đê (lòng đê)	6,5
Ta luy	5,0
Chiều cao đê	3,0

4.2. Kết quả mô phỏng

Với giải pháp kết cấu được nêu trên, bốn phương án sẽ được phân tích với các tỷ lệ trộn của xỉ thép và đất khác nhau, phương án 1 sử dụng hỗn hợp 25% xỉ + 75% đất, phương án 2 sử dụng hỗn hợp 40% xỉ + 60%, phương án 3 sử dụng hỗn hợp 50% xỉ + 50% đất và phương án 4 sử dụng hỗn hợp 60% xỉ + 40% đất. Để đánh giá kiểm chứng hiệu quả của các phương án gia cường, bài toán kết cấu thân đê đắp hoàn toàn bằng đất bùn nạo vét cũng được phân tích. Kết quả mô phỏng được phân tích dựa trên hệ số ổn định của mái ta luy hai bên thân đê, phía bên dòng kênh và phía đồng ruộng. Các bài toán sẽ được phân tích ở 3 trường hợp mực nước kênh khác nhau, trường hợp 1: mực nước ở cao trình 2,0m so với chân đê, trường hợp 2: mực nước ở cao trình 2,5m so với chân đê, trường hợp 3: mực nước ở cao trình 1,0m so với chân đê. Kết quả hệ số ổn định mái dốc của đê được tổng hợp trong Bảng 3, 4 và 5.



Hình 2. Mặt cắt ngang kết cấu thân đê

Bảng 3. Hệ số ổn định mái taluy trong trường hợp tải 1 cho các phương án vật liệu đắp

Loại hỗn hợp	Hệ số ổn định	
	Phía sông	Phía đồng
Đất	1,15	0,755
25% xỉ + 75% đất	2,089	1,561
40% xỉ + 60% đất	2,045	1,425
50% xỉ + 50% đất	1,919	1,369
60% xỉ + 40% đất	1,98	1,425

Bảng 4. Hệ số ổn định mái taluy trong trường hợp tải 2 cho các phương án vật liệu đắp

Loại hỗn hợp	Hệ số ổn định	
	Phía sông	Phía đồng
Đất	1,74	0,753
25% xỉ + 75% đất	2,499	1,561
40% xỉ + 60% đất	2,324	1,4
50% xỉ + 50% đất	2,138	1,378
60% xỉ + 40% đất	2,194	1,416

Bảng 5. Hệ số ổn định mái taluy trong trường hợp tải 3 cho các phương án vật liệu đắp

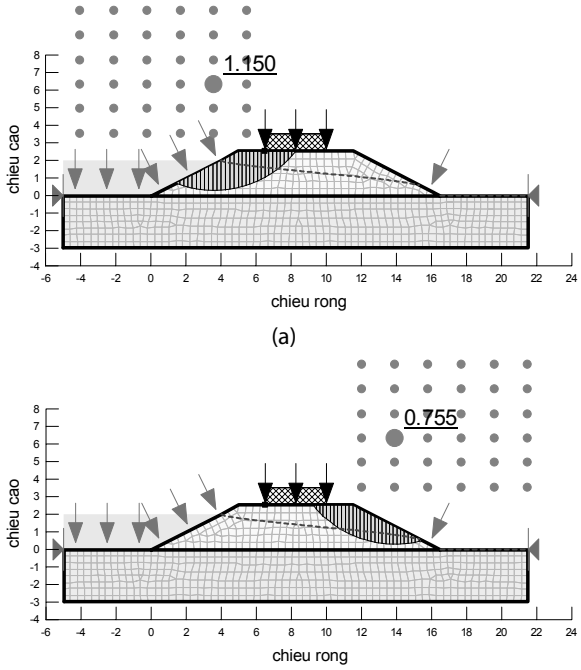
Loại hỗn hợp	Hệ số ổn định	
	Phía sông	Phía đồng
Đất	0,828	0,783
25% xỉ + 75% đất	1,625	1,636
40% xỉ + 60% đất	1,682	1,479
50% xỉ + 50% đất	1,615	1,438
60% xỉ + 40% đất	1,678	1,469

Kết quả mô phỏng cho một trường hợp tải tiêu biểu (trường hợp 1, mực nước ở cao trình 2m so với chân đê) được thể hiện trong Hình 3 cho trường hợp đê được đắp hoàn toàn bằng đất nạo vét và Hình 4 cho trường hợp thân đê đắp bằng hỗn hợp với tỷ lệ trộn 40% xỉ + 60% đất.

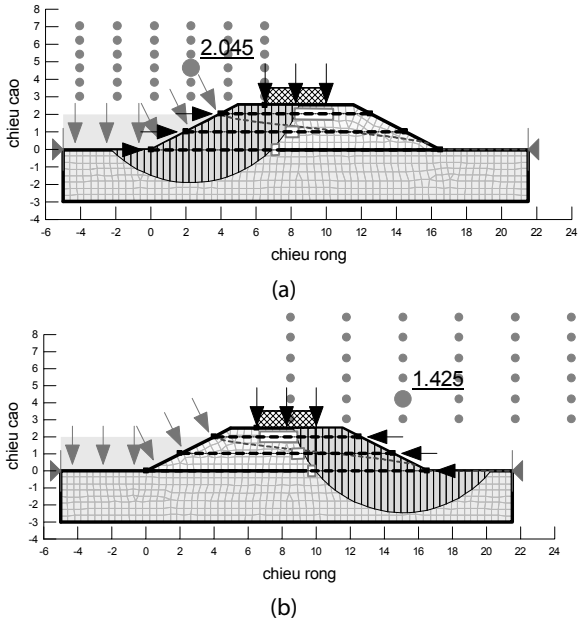
4.3. Thảo luận

Kết quả mô phỏng bằng phần mềm Geoslope cho thấy trường hợp thân đê đắp bằng đất bùn hữu cơ tự nhiên nạo vét từ lòng kênh rạch có hệ số ổn định bờ trái k=1.15, hệ số ổn định bờ phải k= 0.755, không đạt hệ số ổn định theo tiêu chuẩn quy định (k=1.4). Trong khi đó, khi thân đê đắp bằng hỗn hợp đất gia cường xỉ thép

với các tỷ lệ trộn về khối xỉ so với hỗn lượng hỗn hợp từ 25%, 40% và 60% xỉ đều cho hệ số ổn định cả hai phía taluy đều thỏa mãn yêu cầu. Riêng trường hợp tỷ lệ trộn 50% xỉ thép trong bài trường hợp mực nước sông ở cao trình 2,0m và 2,5m so với chân đề thì hệ số ổn định taluy phía đồng ruộng nhỏ hơn 1,4. Hệ số ổn định của các phương án đắp đê sử dụng hỗn hợp với tỷ lệ trộn lớn (50% và 60% xỉ) thấp hơn so với trường hợp sử dụng hỗn hợp với tỷ lệ trộn 25% và 40% xỉ. Điều này có thể do ảnh hưởng của trọng lượng hỗn hợp trộn, với tỷ lệ xỉ lớn thì trọng lượng hỗn hợp lớn dẫn đến trọng lượng thân đê lớn làm tăng tải trọng tác dụng lên nền đê bên dưới dẫn đến làm giảm hệ số ổn định.



Hình 3. Hệ số ổn định và cung trượt taluy cho trường hợp thân đê đắp bằng đất bùn: (a) phía sông và (b) phía đồng



Hình 4. Hệ số ổn định và cung trượt taluy cho trường hợp thân đê đắp bằng hỗn hợp 40% xỉ + 60% đất: (a) phía sông và (b) phía đồng

5. Kết luận

Nghiên cứu đã đề xuất giải pháp gia cường đất bùn yếu nạo vét từ lòng sông ở đồng bằng sông Cửu Long bằng xỉ thép nhằm ứng dụng cho việc đắp đê nông thôn ngăn lũ bảo vệ mùa màng. Nghiên cứu đã xác định các chỉ tiêu cơ lý của hỗn hợp đất gia cường theo các tỷ lệ về khối lượng khác nhau 25%, 40%, 50%, 60% xỉ thép.

Các chỉ tiêu cơ lý này đã được ứng dụng làm thông số đầu vào cho các mô hình phân tích ổn định kết cấu thân đê đắp bằng hỗn hợp đất yếu – xỉ thép. Kết quả phân tích cho thấy với thân đê đắp bằng hỗn hợp gia trộn cho hệ số ổn định thân đê lớn hơn hệ số ổn định cho phép, trong đó với tỷ lệ trộn 25% và 40% xỉ cho hệ số ổn định tốt nhất.

Việc sử dụng xỉ thép gia cường đất yếu đắp đê nông thôn cần được phân tích thêm về các yếu tố như tính thấm của thân đê, ảnh hưởng đến môi trường và tính khả thi khi áp dụng cho công trình thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Golder Associates Ltd, and Associated Engineering Ltd,. *Dike design and construction guide - Best Mangement Practices For British Columbia*. National Library Of Canada Cataloguing In Publication Data, ISBN 0-7726-4996-0, July 2003.

[2] J.Chu, S.W.Yan, W.Li. *Innovative methods for dike construction – An overview*. Geotextiles and Geomembranes, vol 30, pp 32-45, 2012.

[3] Yoshiyuki Kamibayashi. *Two Dutch Engineers and Improvements of Public Works in Japan*. Proceedings of the Third International Congress on Construction History, Cottbus, May 2009, pp. 2 – 8, 2009.

[4] Nguyễn Quốc Đạt. *Kinh nghiệm nâng cao ổn định và xử lý chống thấm nền đê sông*. Tạp chí khoa học công nghệ và thủy lợi, số 11, 2012.

[5] Vũ Ngọc Bình, Nguyễn Quốc Dũng, Đỗ Minh Toàn, Vũ Ngọc Hải. *Nghiên cứu trong phòng cải tạo đất loại sét yếu phân bố tại đồng bằng sông Cửu Long bằng xi măng địa phương*. Tạp chí khoa học công nghệ và thủy lợi, số 25, trang 1-10, 2015.

[6] Hội thảo thực trạng công tác chế biến và sử dụng xỉ gang thép ở Việt Nam: http://kientrucvietnam.org.vn/hoi-thao-thuc-trang-cong-tac-che-bien-va-su-dung-xi-gang-thep-o-viet-nam/

[7] Nguyễn, T. T. H., Phan, Đ. H., Mai, H. H. *Determine The Mechanical Properties of Concrete Using Steel Slag As Coarse Aggregate*. Tạp chí Xây Dựng (2), 31- 35, 2016.

[8] Hang N.T.T., Khanh N.X., Van Tieng T. *Discrete Element Modeling of Steel Slag Concrete*. In: Fujita H., Nguyen D., Vu N., Banh T., Puta H. (eds) Advances in Engineering Research and Application. ICERA 2018. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 63, pp 284-290. Springer, Cham, 2019.

[9] Geoslope software: https://www.geoslope.com/.