

Ứng dụng thảm địa kỹ thuật lõi rỗng hai lớp cường độ cao làm đầy bằng vữa bê tông trong gia cố kênh mương dẫn nước ở xã Tân Thanh, tỉnh Ninh Bình

Nguyễn Đức Hạnh^{1,2}, Trịnh Công Tý^{1,2*}

¹ Khoa Công trình thủy, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE)

² Viện Khoa học và Công nghệ Công trình thủy

TỪ KHOÁ

Thảm địa kỹ thuật
Kênh dẫn nước
Gia cố kênh mương
Vữa bê tông
Ổn định mái kênh
Thủy lực kênh hở

TÓM TẮT

Gia cố mái kênh mương bằng các kết cấu bê tông truyền thống như bê tông đổ tại chỗ hoặc tấm bê tông lắp ghép tuy được sử dụng phổ biến, nhưng vẫn tồn tại một số hạn chế như khả năng thích ứng kém với biến dạng của nền đất, khối lượng vật liệu lớn và chi phí thi công tương đối cao. Trong những năm gần đây, các giải pháp kết hợp vật liệu địa kỹ thuật với bê tông được quan tâm nghiên cứu như một hướng tiếp cận mới nhằm nâng cao độ bền kết cấu và hiệu quả bảo vệ mái kênh. Bài báo này nghiên cứu ứng dụng thảm địa kỹ thuật lõi rỗng hai lớp cường độ cao làm đầy bằng vữa bê tông trong gia cố kênh mương dẫn nước thông qua trường hợp thực nghiệm tại xã Tân Thanh, tỉnh Ninh Bình. Kết quả phân tích cho thấy giải pháp thảm địa bê tông giúp cải thiện đáng kể độ ổn định của mái kênh, với hệ số ổn định đạt $F_s = 1,47$ và $2,05$, cao hơn so với giá trị yêu cầu theo tiêu chuẩn thiết kế ($F_s = 1,09$ và $1,25$), đồng thời vẫn đảm bảo yêu cầu tiêu thoát nước của tuyến kênh hiện trạng. Bên cạnh đó, kết quả thi công thực nghiệm cho thấy kết cấu thảm địa bê tông có khả năng thi công thuận lợi, thích ứng tốt với biến dạng nền và hiệu quả chống xói cao. Các kết quả nghiên cứu bước đầu khẳng định tiềm năng ứng dụng của thảm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông như một giải pháp vật liệu – công nghệ hiệu quả trong gia cố và nâng cấp hệ thống kênh mương thủy lợi ở Việt Nam.

KEYWORDS

Geotextiles
Open channel
Reinforce canals
Concrete mortar
Stabilizing reinforced-channel slopes
Open channel hydraulics

ABSTRACT

Reinforcement of canal banks using traditional concrete structures such as cast-in-place concrete or precast concrete slabs has been widely applied; however, these solutions still present several limitations, including limited adaptability to foundation deformation, large material consumption, and relatively high construction costs. In recent years, solutions combining geotechnical materials and concrete have attracted increasing attention as a new approach to improve structural durability and the effectiveness of canal bank protection. This paper investigates the application of a high-strength double-layer hollow geotechnical mattress filled with cement mortar for irrigation canal reinforcement through a field case study conducted at Tan Thanh commune, Ninh Binh province, Vietnam. The results show that the proposed geotechnical mattress solution significantly improves the stability of canal slopes, with the factor of safety reaching $F_s = 1.47$ and 2.05 , compared with the required design values of $F_s = 1.09$ and 1.25 , while still ensuring the drainage capacity of the existing canal system. In addition, field construction results demonstrate that the concrete-filled geotechnical mattress system provides convenient construction, good adaptability to foundation deformation, and high erosion resistance. The findings highlight the potential application of cement mortar-filled geotechnical mattresses as an effective material-technology solution for the reinforcement and upgrading of irrigation canal systems in Vietnam.

1. Đặt vấn đề

Hệ thống kênh mương thủy lợi giữ vai trò quan trọng trong việc cấp nước tưới, tiêu thoát nước và điều tiết dòng chảy phục vụ sản xuất nông nghiệp tại nhiều vùng của Việt Nam, đặc biệt ở khu vực đồng bằng Bắc Bộ nơi có mật độ canh tác cao và nhu cầu sử dụng nước lớn. Tuy nhiên, trong quá trình khai thác lâu dài, nhiều tuyến kênh mương

hiện nay đang xuất hiện các vấn đề như xói lở mái kênh, sạt trượt mái kênh, rò rỉ nước và suy giảm khả năng dẫn nước, làm giảm hiệu quả khai thác và gia tăng chi phí duy tu, bảo dưỡng công trình. Nguyên nhân chủ yếu xuất phát từ việc nhiều tuyến kênh vẫn sử dụng kết cấu kênh đất hoặc các dạng gia cố truyền thống chưa đáp ứng tốt yêu cầu ổn định lâu dài trong điều kiện biến đổi của nền đất và chế độ dòng chảy [1].

*Liên hệ tác giả: tytc@huce.edu.vn

Nhận ngày 06/04/2026, sửa xong ngày 17/04/2026, chấp nhận đăng ngày 20/04/2026

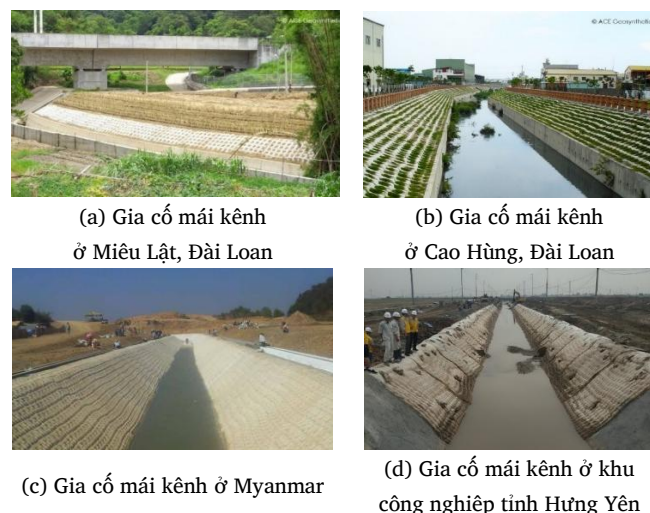
Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2026.1313>



Hình 1. Một số giải pháp gia cố mái kênh mương phổ biến ở Việt Nam [2, 3].

Trong thực tiễn xây dựng và quản lý công trình thủy lợi ở Việt Nam, các giải pháp gia cố mái kênh phổ biến hiện nay bao gồm: bê tông đổ tại chỗ, lát tấm bê tông đúc sẵn hoặc đá xây,... (Hình 1). Mặc dù các giải pháp này có khả năng chống xói tương đối tốt, nhưng vẫn tồn tại một số hạn chế như khả năng thích ứng kém với biến dạng nền, trọng lượng kết cấu lớn, thi công phức tạp và chi phí xây dựng cao, đặc biệt đối với các tuyến kênh nội đồng có nền đất yếu hoặc thường xuyên chịu tác động của dòng chảy biến đổi, nên dễ xảy ra mất ổn định mái kênh (Hình 1(e), (f)) [2]. Do đó, việc nghiên cứu các giải pháp vật liệu và kết cấu mới có tính linh hoạt, bền vững và hiệu quả kinh tế cao trong gia cố kênh mương đang là một hướng tiếp cận được quan tâm trong lĩnh vực vật liệu xây dựng và công trình thủy lợi.

Trong những năm gần đây, thảm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông (Concrete-filled geosynthetic mattress) đã được nghiên cứu và ứng dụng trong các công trình bảo vệ mái dốc, bờ sông và kênh dẫn tại nhiều quốc gia (xem Hình 2). Kết cấu này bao gồm hai lớp vật liệu địa kỹ thuật cường độ cao liên kết tạo thành hệ khoang rỗng, sau đó được bơm hoặc rót vữa bê tông để hình thành lớp gia cố có khả năng chống xói, phân tán năng lượng dòng chảy và thích ứng với biến dạng của nền đất [4]. So với các kết cấu bê tông truyền thống, thảm địa bê tông có nhiều ưu điểm như giảm khối lượng vật liệu bê tông, tăng khả năng thi công nhanh, cải thiện độ ổn định mái dốc và nâng cao khả năng bảo vệ bề mặt công trình trước tác động của dòng chảy. Ngoài ra, trong một số cấu hình kết cấu, lớp thảm còn cho phép phát triển thảm thực vật, góp phần cải thiện tính bền vững sinh thái của công trình như Hình 2(b) thể hiện.



Hình 2. Giải pháp gia cố kênh mương bằng thảm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông [4].

Mặc dù công nghệ thảm địa bê tông đã được nghiên cứu trong một số lĩnh vực bảo vệ mái dốc và bờ sông, việc ứng dụng thảm địa kỹ thuật lõi rỗng hai lớp cường độ cao làm đầy bằng vữa bê tông trong gia cố kênh mương thủy lợi tại Việt Nam vẫn còn hạn chế, đặc biệt là trong việc đánh giá tổng hợp hiệu quả ổn định mái kênh và ảnh hưởng của lớp gia cố đến chế độ thủy lực của dòng chảy trong kênh dẫn. Bên cạnh đó, các nghiên cứu thực nghiệm về quy trình thi công và khả năng ứng dụng trong điều kiện thực tế của hệ thống kênh mương nội đồng vẫn chưa được công bố đầy đủ.

Tỉnh Hà Nam (nay là tỉnh Ninh Bình) là tỉnh thuộc đồng bằng Bắc Bộ, có hệ thống kênh mương dày đặc, giúp cung cấp, tiêu thoát nước cho hệ thống nông nghiệp và công nghiệp của tỉnh. Toàn tỉnh có hơn 4000 km chiều dài kênh mương, phân bố rộng khắp các huyện (xem chi tiết Bảng 1). Tổng chiều dài hệ thống kênh mương toàn tỉnh đã được kiên cố hóa là 1032 km, chiếm 25 % tổng chiều dài kênh mương toàn tỉnh. Tỷ lệ kiên cố hóa kênh mương hiện nay còn khá thấp, cần được cải thiện. Mặt khác, hiện tượng bồi lắng, sạt lở, hư hỏng hệ thống kênh mương là tương đối phổ biến, ở hầu khắp các loại kênh và các địa phương trong tỉnh. Tỉnh Hà Nam đã quyết tâm cải thiện tỷ lệ kiên cố hóa kênh mương qua việc ban hành quyết định số 1818/QĐ-UBND về việc phê duyệt Dự án rà soát, điều chỉnh bổ sung quy hoạch thủy lợi tỉnh Hà Nam đến năm 2020 và tầm nhìn đến năm 2030. Trong đó có mục nâng cao tỷ lệ kiên cố hóa kênh mương tươi lên 70 % vào năm 2030 và nạo vét kênh tiêu chính trong tỉnh [3].

Xuất phát từ yêu cầu thực tiễn gia cố kênh mương tỉnh Hà Nam và khoảng trống nghiên cứu về khả năng ứng dụng hiệu quả giải pháp gia cố mới (thảm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông) cho kênh mương nêu trên, bài báo này tập trung nghiên cứu ứng dụng thảm địa kỹ thuật lõi rỗng hai lớp cường độ cao làm đầy bằng vữa bê tông trong gia cố kênh mương dẫn nước, với trường hợp nghiên cứu điển hình tại khu vực xã Tân Thanh, tỉnh Ninh Bình (xã Thanh Phong, huyện Thanh Liêm, tỉnh Hà Nam cũ). Nội dung nghiên cứu bao gồm: (i) phân tích ổn

định mái kênh sau khi áp dụng giải pháp gia cố phù hợp với điều kiện kênh mương của địa phương, (ii) tính toán thủy lực dòng chảy đảm bảo khả năng dẫn nước của kênh và (iii) đánh giá khả năng thi công thực nghiệm tại hiện trường của giải pháp thảm địa bê tông.

Kết quả nghiên cứu không chỉ góp phần làm rõ hiệu quả kỹ thuật của thảm địa kỹ thuật làm đầy vữa bê tông trong gia cố kênh

mương, mà còn cung cấp cơ sở khoa học cho việc lựa chọn vật liệu và giải pháp kết cấu mới trong xây dựng và nâng cấp hệ thống kênh mương thủy lợi ở Việt Nam, phù hợp với định hướng phát triển các công trình thủy lợi bền vững và thích ứng với điều kiện khai thác thực tế.

Bảng 1. Tổng hợp hệ thống kênh, mương các huyện của tỉnh Hà Nam (cũ) năm 2024 [3].

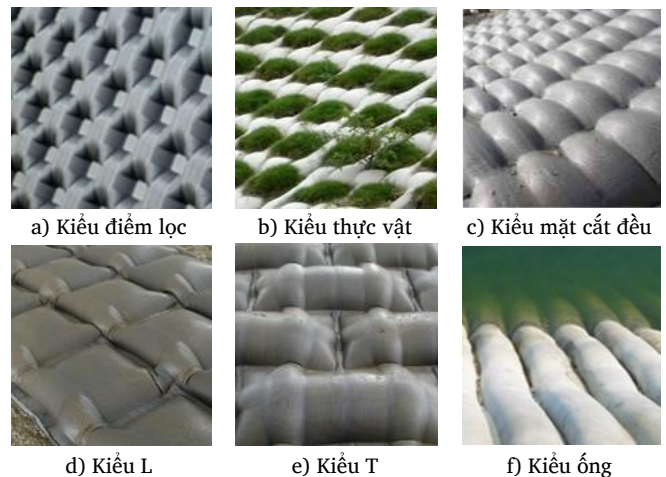
Địa điểm	Kênh, mương lớn			Kênh, mương vừa			Kênh, mương nhỏ		
	Tổng chiều dài (km)	Chiều dài đã kiên cố (km)	Tỷ lệ %	Tổng chiều dài (km)	Chiều dài đã kiên cố (km)	Tỷ lệ %	Tổng chiều dài (km)	Chiều dài đã kiên cố (km)	Tỷ lệ %
H. Thanh Liêm	50	17	34	392	124	32	227	41	18
H. Lý Nhân	96	14	14	364	86	24	373	77	21
H. Bình Lục	0	0	0	207	25	12	884	249	28
H. Kim Bảng	13	9	66	77	39	51	592	125	21
TX. Duy Tiên	56	18	32	136	40	29	520	78	15
TP. Phủ Lý	25	25	100	26	20	79	108	41	38
Toàn tỉnh	239	82	34	1,202	334	28	2,703	616	23

2. Nội dung và kết quả nghiên cứu

2.1. Thảm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông

Thảm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông (Concrete-filled geosynthetic mattress) là một dạng kết cấu bảo vệ bề mặt được hình thành từ hai lớp vải địa kỹ thuật cường độ cao liên kết với nhau tạo thành các khoang rỗng, trong đó vữa xi măng hoặc bê tông cốt liệu mịn được bơm vào để tạo thành lớp bê tông định hình theo cấu trúc của lớp vải. Sau khi đông cứng, lớp bê tông này tạo thành một lớp áo bảo vệ bán cứng có khả năng chống xói và ổn định mái dốc dưới tác động của dòng chảy. Ngoài chức năng tạo khuôn cho lớp bê tông, vải địa kỹ thuật còn đóng vai trò như lớp lọc và thoát nước, cho phép nước thấm qua nhưng giữ lại các hạt đất mịn, từ đó giảm áp lực nước lỗ rỗng phía sau lớp gia cố và tăng độ ổn định tổng thể của mái kênh [5].

Trên cơ sở đặc điểm cấu trúc và cơ chế thoát nước, các hệ thảm địa bê tông hiện nay có thể được phân thành một số dạng cơ bản như: kiểu điểm lọc (Filter point type), kiểu dải lọc (Filter band type), kiểu mặt cắt đồng nhất (Uniform section type), kiểu thảm khối khớp nối (Articulating block type) và kiểu thảm thực vật (Vegetation type), ... như Hình 3. Các kiểu thảm có điểm lọc hoặc dải lọc cho phép nước thoát từ nền đất ra ngoài thông qua các lỗ thấm bố trí cục bộ, nhờ đó giảm áp lực nâng và hạn chế nguy cơ phá hoại do thấm. Dạng mặt cắt đồng nhất tạo lớp bê tông liên tục có khả năng chống thấm cao và thường được sử dụng trong các tuyến kênh yêu cầu hạn chế thất thoát nước. Trong khi đó, dạng thảm khối khớp nối có khả năng thích nghi tốt với biến dạng nền nhờ cấu trúc các khối bê tông liên kết linh hoạt, thích hợp cho các khu vực có nền đất yếu hoặc chịu tải trọng thủy lực lớn.



Hình 3. Một số kiểu/loại thảm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông [5].

Trong số các dạng thảm trên, thảm địa kiểu thực vật (Vegetation type) được đánh giá là phù hợp với điều kiện hệ thống kênh mương vừa và nhỏ ở tỉnh Hà Nam [5]. Loại thảm này có cấu tạo gồm các khoang bê tông xen kẽ với các vùng mở bằng vải địa kỹ thuật thấm nước có diện tích tương đối lớn, cho phép bổ sung đất và trồng cỏ hoặc các loại thực vật sau khi thi công. Hệ thống rễ cây phát triển trong các khoang này tạo nên sự liên kết cơ học giữa lớp thảm và nền đất, đồng thời làm tăng độ nhám thủy lực của bề mặt mái kênh. Sự gia tăng độ nhám này góp phần làm giảm vận tốc dòng chảy sát mái và phân tán ứng suất tiếp của dòng chảy lên bề mặt đất, từ đó hạn chế hiện tượng xói mòn mái kênh.

Đối với điều kiện thủy lực của hệ thống kênh nội đồng tại tỉnh Hà Nam, lưu tốc dòng chảy thường không quá lớn nhưng chịu ảnh hưởng của quá trình xói mòn bề mặt do dòng chảy và nước mưa [3].

Việc sử dụng thảm địa kiểu thực vật có thể đáp ứng đồng thời các yêu cầu về ổn định mái dốc, chống xói, thoát nước nền và cải thiện cảnh quan sinh thái. Ngoài ra, khả năng kết hợp giữa lớp bê tông bảo vệ và lớp phủ thực vật còn giúp nâng cao độ bền lâu dài của công trình cũng như giảm chi phí bảo trì so với các kết cấu bê tông cứng truyền thống. Vì vậy, thảm địa kỹ thuật lõi rỗng kiểu thực vật được xem là giải pháp có tiềm năng ứng dụng cao trong việc kiên cố hóa và bảo vệ hệ thống kênh mương phục vụ sản xuất nông nghiệp tại tỉnh Hà Nam.

2.2. Cấp phối vữa bê tông áp dụng cho thảm địa kỹ thuật trong gia cố kênh mương

Trong giải pháp gia cố mái kênh bằng thảm địa kỹ thuật lõi rỗng làm đầy bằng vữa bê tông, vật liệu điền đầy có vai trò tạo thành khung kết cấu bê tông ổn định bên trong hệ thảm, góp phần tăng cường khả năng chống xói, chống trượt mái kênh và nâng cao độ bền của công trình. Khi được bơm vào các khoang rỗng của thảm địa, hỗn hợp vữa bê tông sẽ phân bố đều trong cấu trúc ô rỗng và sau khi đông cứng sẽ hình thành hệ khung bê tông liên kết với lớp vải địa kỹ thuật, tạo nên lớp bảo vệ bề mặt mái kênh có khả năng chịu tác động của dòng chảy và các yếu tố môi trường.

Do đặc điểm cấu tạo của thảm địa kỹ thuật có chiều dày lớp bê tông nhỏ và các khoang rỗng liên thông, hỗn hợp vữa bê tông sử dụng cần đảm bảo độ lưu động cao, khả năng điền đầy tốt và không bị phân tầng. Đồng thời, vật liệu sau khi đông cứng phải đạt cường độ chịu nén phù hợp nhằm đảm bảo ổn định kết cấu mái kênh trong điều kiện chịu tác động của dòng chảy. Trên cơ sở phân tích điều kiện vật liệu địa phương tại tỉnh Hà Nam và yêu cầu kỹ thuật của hệ thảm địa kỹ thuật, cấp phối vữa bê tông được đề xuất như trong Bảng 2.

Kết quả nghiên cứu đã tìm ra được hai cấp phối phù hợp với điều kiện địa phương của tỉnh Hà Nam (cấp phối IA, IB). Tỷ lệ nước/xi măng

(w/c) được lựa chọn khoảng 0,4 đến 0,5 nhằm đảm bảo khả năng thi công và cường độ của bê tông sau khi đông cứng. Việc sử dụng phụ gia siêu dẻo giúp tăng độ lưu động của hỗn hợp vữa bê tông, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình bơm vào các khoang rỗng của thảm địa kỹ thuật. Với cấp phối vật liệu như trên, hỗn hợp bê tông đạt độ xòe và khả năng thi công phù hợp cho công nghệ bơm điền đầy thảm địa. Sau khi đông cứng, bê tông hình thành hệ khung kết cấu có cường độ và độ bền đáp ứng yêu cầu gia cố mái kênh trong hệ thống thủy lợi. Các chỉ tiêu cơ lý chủ yếu của bê tông sau khi đông cứng được thể hiện trong Bảng 3. Do yêu cầu của mác bê tông đối với gia cố mái kênh không cao, chỉ cần mác M200 là đủ, vì thế với cấp phối IB nghiên cứu đã thí nghiệm giảm lượng xi măng và bổ sung thêm thành phần xỉ lò cao S95 (vật liệu sẵn có ở tỉnh lân cận) để phù hợp với điều kiện gia cố của kênh.

Kết quả đánh giá cho thấy bê tông với cấp phối đề xuất đạt cường độ thiết kế từ M200 trở lên, đáp ứng yêu cầu chịu lực của lớp gia cố mái kênh trong điều kiện dòng chảy có vận tốc trung bình. Đồng thời, độ xòe của hỗn hợp bê tông nằm trong khoảng phù hợp để đảm bảo khả năng bơm và điền đầy các khoang rỗng của thảm địa kỹ thuật mà không gây hiện tượng tắc nghẽn hoặc phân tầng vật liệu.

Đối với loại thảm địa thực vật (Vegetation type) được lựa chọn trong nghiên cứu, bê tông sau khi điền đầy không tạo thành lớp phủ kín hoàn toàn bề mặt mái kênh mà chỉ hình thành hệ khung kết cấu dạng ô. Các khoảng trống giữa các ô thảm cho phép đất và thảm thực vật phát triển, qua đó góp phần tăng khả năng ổn định mái kênh, giảm vận tốc dòng chảy sát bề mặt và cải thiện điều kiện sinh thái của hệ thống kênh mương. Trong điều kiện đó, việc lựa chọn bê tông cường độ trung bình với cấp phối nêu trên được xem là phù hợp, vừa đảm bảo ổn định kết cấu, vừa tối ưu chi phí xây dựng và thuận lợi cho thi công tại địa phương.

Bảng 2. Cấp phối vữa bê tông sử dụng cho thảm địa kỹ thuật [6].

Cấp phối	Thành phần vật liệu	Xuất xứ Vật liệu	Thông số kỹ thuật	Cấp phối đề xuất cho 1m ³ vữa bê tông
IA	Xi măng (kg)	Xuân Thành, Hà Nam	PCB30	478
	Cát đen (kg)	Hà Nam		408
	Cát vàng (kg)	Hà Nam		408
	Đá dăm (kg)	Hà Nam	D _{max} = 5 mm	1000
	Phụ gia Sikamen (lít)			6
	Nước (lít)	Hà Nam	Nước sinh hoạt	190
IB	Xi măng (kg)	Xuân Thành, Hà Nam	PCB30	382
	Cát đen (kg)	Hà Nam		408
	Cát vàng (kg)	Hà Nam		408
	Đá dăm (kg)	Hà Nam	D _{max} = 5 mm	1000
	Phụ gia Sikamen (lít)			6
	Xi lo cao S95 (kg)			96
	Nước (lít)	Hà Nam	Nước sinh hoạt	190

Bảng 3. Các chỉ tiêu cơ lý của vữa bê tông sử dụng cho thăm địa kỹ thuật [6].

TT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Phương pháp thí nghiệm	
		Cấp phối IA (M250)	Cấp phối IB (M200)
1	Độ xòe hỗn hợp bê tông	51 cm	55 cm
2	Khối lượng thể tích bê tông	2280 kg/m ³	2210 kg/m ³
3	Cường độ nén 28 ngày	25,7 MPa	19,3 MPa
4	Mô đun đàn hồi	2,8x10 ⁴ MPa	2,65x10 ⁴ MPa

2.3. Thiết kế gia cố kênh dẫn nước thí điểm tại xã Tân Thanh, tỉnh Ninh Bình

Giải pháp gia cố kênh mương dẫn nước bằng thăm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông được đề xuất ứng dụng thí điểm tại tuyến kênh dẫn nước nội đồng ở xã Tân Thanh, tỉnh Ninh Bình (Hình 4). Hiện trạng tuyến kênh dài 1,7 km, đoạn kênh dự kiến thi công thí điểm gia cố mái có chiều dài khoảng 50 m. Kênh có nhiệm vụ chủ yếu là tưới, tiêu cho khoảng 60 ha lúa của xã Tân Thanh, đoạn kênh bị bồi lắng trong quá trình sử dụng nhiều năm chưa được đầu tư cải tạo, dẫn tới hiệu quả tiêu thoát nước bị giảm không đáp ứng được theo yêu cầu. Kênh hiện tại là kênh đất, lòng kênh bị thu hẹp ảnh hưởng lớn đến việc tưới, tiêu.

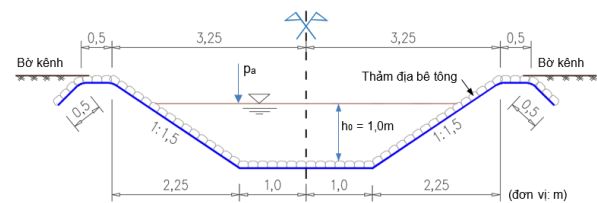


Hình 4. Hình ảnh khảo sát thực địa hiện trường đoạn kênh mương trước khi gia cố mái (2024) [7].

Tuyến kênh cần nạo vét và gia cố mái kênh thí điểm có chiều dài 50 m, chiều rộng lòng kênh trung bình khoảng 5 m, chiều cao mái kênh khoảng 1,3 m. Do vậy, đây là công trình cấp IV, tần suất thiết kế $P = 2\%$, lưu lượng tính toán qua kênh $Q_{tk} = 1,52 \text{ m}^3/\text{s}$. Căn cứ vào điều kiện địa hình, địa chất và yêu cầu dẫn nước của kênh mương hiện trạng, nghiên cứu đề xuất áp dụng mặt cắt ngang kênh hình thang với các đặc điểm như sau: độ dốc đáy kênh $i = 0,005\%$, cao độ đầu tuyến kênh là $+0,25 \text{ m}$, bề rộng đáy kênh $b = 2,0 \text{ m}$, hệ số mái dốc hai bên bờ là $m = 1,5$ (lựa chọn trên cơ sở mái kênh hiện trạng), hai bên mái kênh và đáy kênh được gia cố bằng thăm địa kỹ thuật lõi rỗng hai lớp cường độ cao làm đầy bằng vữa bê tông, chiều cao đỉnh bờ kênh sau khi gia cố là 1,3 m, chi tiết xem Hình 5.

Đây là công trình đặc thù phục vụ công tác nghiên cứu khoa học công nghệ theo yêu cầu của tỉnh Ninh Bình (Hà Nam cũ). Do đó, để tiết kiệm chi phí đầu tư xây dựng công trình, việc tính toán thiết kế phù hợp để có thể áp dụng biện pháp thi công hợp lý là rất cần thiết. Vì vậy, ở nội

dung tiếp theo nghiên cứu thực hiện tính toán kiểm tra về điều kiện ổn định tổng thể của mái kênh gia cố và khả năng dẫn nước của kênh.



Hình 5. Mặt cắt thiết kế tuyến kênh thí điểm gia cố bằng thăm địa bê tông [8].

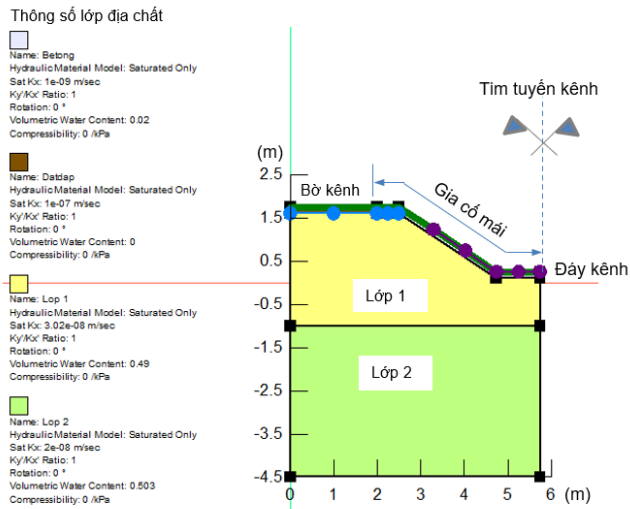
2.3.1. Kiểm tra ổn định tổng thể mái kênh gia cố thăm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông

Trong phân tích ổn định mái dốc đất, các phương pháp tính toán được phân thành ba nhóm chính: (i) phương pháp cân bằng giới hạn (Limit Equilibrium Methods – LEM), (ii) phương pháp phần tử hữu hạn với kỹ thuật giảm cường độ kháng cắt (Shear Strength Reduction – SSR), và (iii) các phương pháp số tiên tiến như phần tử rời rạc, ... LEM vẫn là phương pháp chủ đạo trong thiết kế thực hành do dựa trực tiếp trên điều kiện phá hoại Mohr–Coulomb và nguyên lý cân bằng tĩnh học của khối trượt [9]. Các lời giải lát cắt điển hình gồm phương pháp Fellenius (1927) [10], phương pháp Spencer (1967) [11] và Morgenstern–Price (1965) [12], khác nhau chủ yếu ở mức độ thỏa mãn điều kiện cân bằng lực và mô men. Trong số đó, phương pháp Bishop cải tiến do Alan Wilfred Bishop đề xuất (1955) [13] được xem là lời giải bán chặt chẽ (semi-rigorous) cho mặt trượt tròn. Phương pháp này thỏa mãn cân bằng mô men tổng thể và cân bằng lực theo phương đứng của từng lát cắt, đồng thời giả thiết lực tương tác ngang giữa các lát cắt không ảnh hưởng đến cân bằng mô men. Nghiên cứu so sánh cho thấy hệ số an toàn (F_s) theo Bishop thường sai khác dưới 2–5 % so với các lời giải đầy đủ như Spencer hoặc Morgenstern – Price trong điều kiện đất đồng nhất và mặt trượt tròn [14, 15]. Chính vì vậy, Bishop đạt được sự cân bằng tối ưu giữa tính chính xác cơ học và hiệu quả tính toán.

Trong thực hành hiện đại, phương pháp này được tích hợp trong các phần mềm chuyên dụng như GeoStudio (mô-đun SLOPE/W) [16], cho phép xét đến áp lực nước lỗ rỗng, tải trọng động, và điều kiện mực nước thay đổi. Do tính ổn định số cao, khả năng hội tụ tốt và được kiểm chứng rộng rãi trong nước và quốc tế, Bishop được xem là phương pháp chuẩn cho các bài toán ổn định mái dốc kênh, đê và đập đất, ...

trong điều kiện mặt trượt tròn. Việc tính toán kiểm tra ổn định mái kênh gia cố được thực hiện theo các bước như sau:

Sơ đồ tính toán: mô hình hóa mặt cắt kênh thì công thực tế với các lớp địa chất khảo sát cũng như điều kiện làm việc thực tế của tuyến kênh, chi tiết được thể hiện trên Hình 6.



Hình 6. Sơ đồ tính toán ổn định mặt cắt kênh mương sau khi gia cố thảm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông.

Số liệu tính toán, Hệ số ổn định theo quy chuẩn áp dụng trong kiểm tra ổn định thể hiện tại Bảng 4.

Hệ số ổn định theo quy chuẩn QC04-05:2012 [17]:

Mái kênh được kiểm tra ổn định trong hai trường hợp:

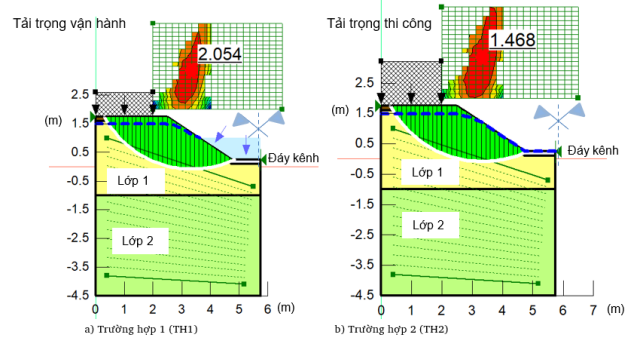
- Trường hợp 1 (TH1): Trường hợp kênh khai thác vận hành bình thường, trong kênh có nước ($h_0 = 1,0$ m) và tải trọng xe nhỏ trên bờ kênh quy đổi 15 kN/m^2 . Hệ số ổn định cho phép $[F_s] = 1,25$.

- Trường hợp 2 (TH2): Trường hợp thi công, trong kênh chưa có nước và tải trọng máy móc thi công trên bờ kênh quy đổi 25 kN/m^2 . Hệ số ổn định cho phép $[F_s] = 1,09$.

Với các số liệu đầu vào và các trường hợp kiểm tra, nghiên cứu sử dụng phần mềm GeoStudio (mô-đun SLOPE/W) để chạy phân tích ổn định mái kênh, kết quả phân tích được thể hiện trên Hình 7 với các trường hợp tính toán.

Kết quả phân tích ổn định mái kênh bằng phần mềm GeoStudio (mô-đun SLOPE/W) cho hai kịch bản làm việc cho thấy hệ số ổn định

của mái kênh đều lớn hơn giá trị yêu cầu thiết kế. Cụ thể, trong trường hợp vận hành bình thường (TH1) khi kênh có nước và tải trọng xe trên bờ kênh quy đổi 15 kN/m^2 , hệ số ổn định tính toán đạt $F_s = 2,054$, cao hơn đáng kể so với hệ số ổn định cho phép $[F_s] = 1,25$. Điều này cho thấy mái kênh đạt trạng thái ổn định với hệ số dự trữ an toàn lớn, đồng thời áp lực nước trong kênh góp phần tạo hiệu ứng gia tải ổn định cho chân mái, làm tăng khả năng chống trượt của khối đất.



Hình 7. Kết quả tính toán ổn định mái kênh mương gia cố thảm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông.

Trong trường hợp thi công (TH2) khi kênh chưa có nước và chịu tải trọng máy móc thi công trên bờ kênh quy đổi 25 kN/m^2 , hệ số ổn định thu được $F_s = 1,468$, vẫn lớn hơn hệ số ổn định cho phép $[F_s] = 1,09$. Mặc dù giá trị F_s giảm so với trường hợp vận hành do mất tác dụng ổn định của áp lực nước trong kênh và tải trọng thi công lớn hơn, kết quả tính toán vẫn chứng minh mái kênh đảm bảo ổn định trong giai đoạn thi công, với mặt trượt tiềm năng phát triển chủ yếu trong lớp đất yếu phía trên nhưng chưa hình thành trạng thái mất ổn định.

Ngoài ra, kết quả phân tích cho thấy mặt trượt nguy hiểm chủ yếu phát triển ở lớp đất nền Lớp 1, trong khi lớp gia cố thảm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông đóng vai trò như một lớp bảo vệ mái và phân bố lại ứng suất trên bề mặt mái kênh. Sự hiện diện của lớp gia cố này góp phần hạn chế biến dạng bề mặt và tăng cường khả năng làm việc tổng thể của hệ mái kênh. Tổng hợp các kết quả trên cho thấy mặt cắt kênh được gia cố bằng thảm địa kỹ thuật làm đầy vữa bê tông đảm bảo điều kiện ổn định trong cả giai đoạn thi công và khai thác, với hệ số an toàn đều vượt yêu cầu tiêu chuẩn. Điều này khẳng định giải pháp kết cấu đề xuất là phù hợp về mặt địa kỹ thuật và có khả năng áp dụng trong thực tế đối với các tuyến kênh mương có điều kiện nền đất tương tự.

Bảng 4. Bảng chỉ tiêu cơ lý các lớp địa chất [8].

TT	Tên lớp địa chất	Dung trọng tự nhiên	Lực dính của đất	Góc nội ma sát trong
		(kN/m^3)	(kN/m^2)	(độ)
1	Đất đắp K95	17,0	10,0	16,0
2	Lớp 1 (Sét pha màu xám nâu, vàng)	18,1	11,6	7,9
3	Lớp 2 (Sét pha màu xám nâu, đen, đôi chỗ lẫn ô cát mỏng)	17,6	7,4	7,3

2.3.2. Kiểm tra khả năng dẫn nước của mặt cắt kênh gia cố

Kích thước tiết diện kênh dẫn được xác định từ điều kiện tải được lưu lượng tính toán ở chế độ dòng ổn định đều. Cơ sở để tính toán dòng ổn định đều là sử dụng công thức Chézy [18-21].

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad (1)$$

trong đó: ω , R , i tương ứng là diện tích mặt cắt ướt (m^2), bán kính thủy lực (m) và độ dốc của đáy kênh dẫn. Hệ số Chézy C có thể xác định theo công thức của Paplopsi [19]:

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (2)$$

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1)$$

Bảng 5. Tính chiều sâu dòng đều h_0 và tính đúng đắn [8].

Q_{ik}	n	i	b	h_0	ω	χ	R	C	Q_{tt}	Sai số
(m^3/s)	(-)	(-)	(m)	(m)	(m^2)	(m)	(m)	(m)	(m^3/s)	(%)
1,52	0,035	0,0005	2,0	1,0	3,5	5,74	0,610	24,791	1,51	- 0,3 %
1,52	0,035	0,0005	2,0	1,1	3,65	5,82	0,627	25,001	1,62	6,3 %
1,52	0,035	0,0005	2,0	1,005	3,51	5,74	0,610	24,802	1,52	0,0 %

(Q_{tt} là lưu lượng tính toán, m^3/s)

2.4. Thi công thực nghiệm thảm địa kỹ thuật làm đầy vữa bê tông



a) Chuẩn bị công trường



b) Chuẩn bị mặt bằng



c) Hoàn thiện mặt bằng thi công gia cố mái kênh

Hình 8. Công tác chuẩn bị mặt bằng thi công gia cố mái kênh [22].

Để đánh giá tính khả thi và hiệu quả ứng dụng của công nghệ thảm địa kỹ thuật làm đầy vữa bê tông trong gia cố kênh mương thủy lợi, một đoạn kênh thực nghiệm đã được lựa chọn để triển khai thi công thực tế ngoài hiện trường. Việc thi công thực nghiệm nhằm kiểm chứng các giả thiết thiết kế, đồng thời đánh giá các yếu tố công nghệ ảnh hưởng đến

trong đó n là hệ số nhám của dòng dẫn phụ thuộc vào đặc tính lòng dẫn được lấy theo tài liệu [19]. Với lòng kênh gia cố bằng vải địa kỹ thuật hai lớp làm đầy bằng vữa bê tông, n có thể lấy từ 0,03 hoặc lớn hơn.

Trong thiết kế coi dòng chảy trong kênh trong điều kiện vận hành bình thường là dòng chảy đều, xác định chiều sâu dòng chảy đều trong kênh được tính toán thử dần với kết quả thể hiện trong Bảng 4. Với chiều sâu dòng chảy đều thiết kế $h_0 = 1,0$ m và độ cao an toàn thiết kế cho đỉnh bờ kênh 0,3 m, chiều cao kênh thiết kế là 1,3 m là phù hợp.

chất lượng lớp gia cố như điều kiện nền, phương pháp lắp đặt thảm, quá trình bơm vữa và sự ổn định của kết cấu sau khi đông cứng.

Thảm địa kỹ thuật sử dụng trong nghiên cứu là loại thảm địa hai lớp cường độ cao, được chế tạo từ vải địa kỹ thuật tổng hợp có khả năng chịu kéo lớn, khả năng kháng thủng và độ bền môi trường cao. Khi được bơm đầy vữa bê tông, hệ thảm địa tạo thành một kết cấu composite gồm lớp vải địa kỹ thuật và khung bê tông dạng ô, có khả năng phân tán ứng suất và tăng cường ổn định cho mái kênh. Cơ chế làm việc của hệ kết cấu này dựa trên sự tương tác giữa lớp bê tông điền đầy, lớp vải địa kỹ thuật bao bọc và nền đất bên dưới, tạo nên hệ thống gia cố có khả năng chống xói, chống trượt và hạn chế biến dạng bề mặt mái kênh dưới tác động của dòng chảy.

Trước khi triển khai thi công, công tác chuẩn bị được thực hiện đồng bộ bao gồm khảo sát điều kiện hiện trường, kiểm tra chất lượng vật liệu, bố trí thiết bị thi công và tổ chức nhân lực. Các vật liệu chính như thảm địa kỹ thuật, xi măng, cát và phụ gia được kiểm tra theo các tiêu chuẩn kỹ thuật tương ứng nhằm đảm bảo đáp ứng yêu cầu thiết kế. Đồng thời, các thiết bị phục vụ thi công như máy trộn vữa, máy bơm vữa áp lực thấp – lưu lượng cao, thiết bị trải thảm và các dụng cụ đo đạc hình học được chuẩn bị và kiểm tra trước khi đưa vào sử dụng (Hình 8).

Trong quá trình thi công thực nghiệm (Hình 9), thảm địa kỹ thuật được trải theo hướng dòng chảy hoặc theo chiều từ đỉnh mái xuống chân mái nhằm đảm bảo thảm bám sát nền và hạn chế hiện tượng nhăn gập. Sau khi được cố định bằng hệ thống neo hoặc cọc định vị như Hình 9b, vữa bê tông có độ lưu động cao được bơm vào các khoang rỗng của thảm thông qua hệ thống ống dẫn chuyên dụng. Quá trình bơm vữa được thực hiện theo nguyên tắc bơm tuần tự từ vị trí thấp lên cao, đảm

bảo vữa bê tông phân bố đều trong các khoang thấm và hạn chế sự hình thành các khoang rỗng hoặc bọt khí bên trong kết cấu (Hình 9d).



a) Thi công trải vải địa



b) Thi công trải thảm địa kỹ thuật hai lớp



c) Mẫu bê tông thí nghiệm



d) Thi công bơm bê tông vào thảm địa

Hình 9. Trải thảm và thi công bơm bê tông gia cố mái kênh [22].

Sau khi vữa bê tông đông cứng, lớp thảm địa bê tông tạo thành một hệ kết cấu bảo vệ mái kênh có độ bền, ổn định và khả năng chống xói cao. Kết quả thi công thực nghiệm cho thấy giải pháp này có nhiều ưu điểm so với các phương pháp gia cố truyền thống như lát đá hoặc bê tông tấm, bao gồm khả năng thích nghi tốt với biến dạng nền, giảm khối lượng thi công và rút ngắn thời gian xây dựng. Ngoài ra, hệ thảm địa còn cho phép tích hợp các khoang trống sinh thái để phát triển thảm thực vật, góp phần nâng cao tính bền vững môi trường của công trình thủy lợi (Hình 10).



Hình 10. Thảm địa kỹ thuật làm đầy vữa bê tông hoàn thành thực nghiệm (khai thác và sử dụng).

2.5. Quy trình thi công thảm địa kỹ thuật làm đầy vữa bê tông

Trên cơ sở phân tích các yêu cầu kỹ thuật của hệ thảm địa và kết quả thi công thực nghiệm ngoài hiện trường, quy trình thi công thảm địa kỹ thuật làm đầy vữa bê tông được xây dựng theo các bước chính sau đây [23].

Bước 1: Chuẩn bị nền và mặt bằng thi công:

Nền kênh và mái kênh được vệ sinh, san gạt và tạo hình theo đúng hình học thiết kế. Bề mặt nền cần được làm phẳng, loại bỏ các vật cản như đá lớn, rễ cây hoặc các dị vật có thể gây hư hỏng lớp thảm địa. Sai số cao độ của nền phải được kiểm soát trong phạm vi cho phép, thông thường không vượt quá ± 2 cm trên chiều dài 10 m. Sau khi tạo hình, nền được đầm chặt đạt hệ số đầm chặt tối thiểu $K \geq 0,95$, nhằm đảm bảo nền đủ ổn định trong quá trình thi công và vận hành công trình. Trong trường hợp nền đất yếu hoặc có nguy cơ xói ngầm, cần bố trí thêm lớp vải địa kỹ thuật lọc hoặc lớp cát đệm nhằm tăng cường khả năng ổn định và thoát nước cho nền.

Bước 2: Trải và cố định thảm địa kỹ thuật:

Thảm địa kỹ thuật được trải trên bề mặt mái và đáy kênh theo hướng dòng chảy hoặc theo chiều từ đỉnh mái xuống chân mái. Trong quá trình trải thảm cần đảm bảo thảm được căng phẳng, tiếp xúc sát với bề mặt nền và không bị nhăn hoặc gấp khúc. Các tấm thảm được nối với nhau bằng phương pháp may nối hoặc bằng nối chuyên dụng nhằm đảm bảo tính liên tục của hệ kết cấu. Sau khi trải thảm, hệ thống neo hoặc cọc cố định được bố trí theo khoảng cách thiết kế (thường từ 1,0 – 1,5 m) nhằm giữ ổn định thảm trong suốt quá trình bơm vữa và ngăn ngừa hiện tượng trượt hoặc dịch chuyển thảm trên mái kênh.

Bước 3: Chuẩn bị và trộn vữa bê tông:

Vữa bê tông được trộn theo cấp phối thiết kế nhằm đảm bảo mác vữa và độ lưu động phù hợp với yêu cầu thi công. Thông thường mác vữa được lựa chọn trong khoảng M150–M300, tùy thuộc vào điều kiện thủy lực của kênh và yêu cầu chịu lực của lớp gia cố. Trước khi bơm vào thảm địa, hỗn hợp vữa cần được kiểm tra các chỉ tiêu như độ xòe, thời gian đông kết và khả năng phân tầng nhằm đảm bảo khả năng bơm và điền đầy các khoang rỗng của thảm địa.

Bước 4: Bơm vữa bê tông vào thảm địa:

Quá trình bơm vữa bê tông được thực hiện thông qua hệ thống máy bơm áp lực thấp kết hợp với các ống dẫn chuyên dụng. Vữa được bơm tuần tự vào từng khoang của thảm địa theo nguyên tắc từ thấp lên cao nhằm đảm bảo phân bố đồng đều trong toàn bộ kết cấu. Trong quá trình bơm cần kiểm soát chặt chẽ áp lực bơm và lưu lượng vữa nhằm tránh hiện tượng phồng thảm, rách thảm hoặc phân bố vữa không đều. Việc quan sát trực tiếp hình dạng thảm trong quá trình bơm là rất quan trọng để xác định mức độ điền đầy vữa trong từng khoang. Khi thảm đạt độ căng và chiều dày thiết kế, quá trình bơm sẽ được dừng lại để tránh hiện tượng quá tải vật liệu.

Bước 5: Bảo dưỡng và kiểm soát chất lượng sau thi công:

Sau khi hoàn thành quá trình bơm vữa, lớp thảm địa bê tông được để đông cứng trong điều kiện tự nhiên. Trong giai đoạn đầu của quá trình đông kết, cần hạn chế các tác động cơ học lên bề mặt thảm và duy trì điều kiện môi trường thích hợp nhằm đảm bảo quá trình thủy hóa của xi măng diễn ra ổn định. Công tác kiểm soát chất lượng bao gồm kiểm tra độ phẳng bề mặt, mức độ điền đầy vữa, độ kín của các mối nối và sự ổn định của hệ thảm địa sau khi đông cứng. Ngoài ra, việc ghi chép nhật ký thi công, theo dõi áp lực bơm và lượng vữa sử dụng trong từng giai đoạn cũng là cơ sở quan trọng để đánh giá hiệu quả của công nghệ thi công và phục vụ cho việc hoàn thiện quy trình kỹ thuật trong các dự án tiếp theo.

Các vấn đề kỹ thuật cần lưu ý trong thi công thảm địa bê tông:

Kết quả thi công thực nghiệm cho thấy một số yếu tố kỹ thuật có ảnh hưởng quan trọng đến chất lượng và độ bền của hệ thảm địa bê tông:

- Chất lượng và độ phẳng của nền kênh là yếu tố quyết định đến khả năng làm việc của hệ thảm địa.
- Độ lưu động của vữa bê tông cần được kiểm soát chặt chẽ để đảm bảo khả năng điền đầy khoang thảm mà không gây phân tầng vật liệu.
- Áp lực bơm vữa phải được điều chỉnh phù hợp nhằm tránh làm biến dạng cấu trúc thảm địa.
- Quá trình thi công cần được thực hiện trong điều kiện thời tiết thuận lợi, tránh mưa lớn hoặc sự thay đổi đột ngột của mực nước trong kênh.

Việc tuân thủ nghiêm ngặt các yêu cầu kỹ thuật nêu trên sẽ góp phần đảm bảo chất lượng thi công, nâng cao độ bền lâu của lớp gia cố và tạo tiền đề cho việc nhân rộng công nghệ thảm địa kỹ thuật làm đầy vữa bê tông trong các công trình thủy lợi tại Việt Nam.

3. Thảo luận về ý nghĩa thực tiễn

Nghiên cứu này đóng góp một số kết quả khoa học quan trọng trong lĩnh vực gia cố mái kênh và ứng dụng vật liệu địa kỹ thuật trong công trình thủy lợi, có thể tóm tắt thành ba điểm chính sau:

(i) Đề xuất và làm rõ cơ chế làm việc của hệ kết cấu thảm địa kỹ thuật làm đầy vữa bê tông trong gia cố kênh mương.

Nghiên cứu đã phân tích cơ chế tương tác giữa lớp vải địa kỹ thuật cường độ cao và lớp bê tông điền đầy trong cấu trúc thảm địa, từ đó hình thành một hệ kết cấu composite bán cứng có khả năng phân tán ứng suất, chống xói và tăng cường ổn định mái kênh. Khác với các giải pháp gia cố truyền thống như bê tông tấm hoặc lát đá, hệ thảm địa cho phép thích nghi tốt với biến dạng nền và duy trì khả năng thoát nước phía sau lớp gia cố, qua đó nâng cao độ bền lâu của kết cấu bảo vệ mái kênh.

(ii) Thiết lập cơ sở lựa chọn vật liệu và cấp phối vữa bê tông phù hợp cho hệ thảm địa kỹ thuật trong điều kiện vật liệu địa phương.

Nghiên cứu đã đề xuất cấp phối vữa bê tông với cường độ và độ lưu động phù hợp nhằm đảm bảo khả năng điền đầy các khoang rỗng của thảm địa, đồng thời tạo khung bê tông ổn định sau khi đông cứng. Việc sử dụng các vật liệu địa phương như đá mi và đá dăm kích thước nhỏ

không chỉ đáp ứng yêu cầu kỹ thuật mà còn góp phần tối ưu hóa chi phí xây dựng và nâng cao tính khả thi khi triển khai ở quy mô thực tế.

(iii) Đánh giá định lượng hiệu quả gia cố mái kênh thông qua phân tích ổn định địa kỹ thuật.

Thông qua mô phỏng ổn định mái kênh bằng phần mềm GeoStudio, nghiên cứu đã chứng minh rằng sau khi gia cố bằng thảm địa kỹ thuật làm đầy vữa bê tông, hệ số ổn định của mái kênh đều lớn hơn đáng kể so với giá trị yêu cầu thiết kế trong cả điều kiện thi công và vận hành. Kết quả này cung cấp cơ sở khoa học quan trọng để đánh giá hiệu quả và độ an toàn của giải pháp gia cố trong các công trình kênh dẫn nước.

Mặt khác, kết quả nghiên cứu không chỉ có ý nghĩa về mặt khoa học mà còn mang lại nhiều hàm ý quan trọng đối với công tác quản lý, cải tạo và kiên cố hóa hệ thống kênh mương thủy lợi tại Việt Nam.

Thứ nhất, giải pháp thảm địa kỹ thuật làm đầy vữa bê tông có khả năng thay thế hoặc bổ sung cho các phương pháp gia cố truyền thống như bê tông tấm hoặc lát đá, đặc biệt trong các tuyến kênh nội đồng có quy mô nhỏ và phân bố rộng. Công nghệ này giúp giảm khối lượng thi công, rút ngắn thời gian xây dựng và thích nghi tốt với điều kiện nền đất yếu thường gặp trong các hệ thống kênh mương đồng bằng.

Thứ hai, việc sử dụng thảm địa kiểu thực vật (Vegetation type) cho phép kết hợp giữa giải pháp kỹ thuật và giải pháp sinh thái trong gia cố kênh mương. Cấu trúc khung bê tông dạng ô tạo điều kiện cho thảm thực vật phát triển trên bề mặt mái kênh, góp phần tăng độ nhám thủy lực bề mặt, giảm vận tốc dòng chảy sát mái và cải thiện cảnh quan môi trường của hệ thống thủy lợi.

Thứ ba, nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học và kinh nghiệm thực tiễn cho việc áp dụng công nghệ thảm địa bê tông trong các chương trình kiên cố hóa kênh mương tại Việt Nam, đặc biệt ở các địa phương có hệ thống kênh dẫn nước dày đặc như khu vực đồng bằng Bắc Bộ. Việc nhân rộng giải pháp này có thể góp phần nâng cao hiệu quả khai thác công trình thủy lợi, giảm chi phí bảo trì và tăng tính bền vững của hệ thống dẫn nước phục vụ sản xuất nông nghiệp.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã đề xuất và kiểm chứng giải pháp gia cố kênh mương bằng thảm địa kỹ thuật lõi rỗng hai lớp cường độ cao làm đầy bằng vữa bê tông, tạo thành hệ kết cấu composite giữa vải địa kỹ thuật và khung bê tông có khả năng phân tán ứng suất, chống xói và tăng cường ổn định mái kênh. Kết quả nghiên cứu đã xác lập cấp phối vữa bê tông phù hợp cho công nghệ bơm điền đầy thảm địa, với tỷ lệ W/C từ 0,4 đến 0,5, độ xòe trong khoảng từ 51 cm đến 55 cm và cường độ nén 28 ngày đạt từ 20 đến 25 MPa, đảm bảo khả năng thi công, điền đầy khoang thảm và hình thành lớp gia cố có độ bền cơ học ổn định.

Phân tích ổn định mái kênh bằng phương pháp Bishop trong phần mềm GeoStudio (SLOPE/W) cho thấy hệ số ổn định của mái kênh sau khi gia cố đạt $F_s = 2,054$ trong điều kiện vận hành và $F_s = 1,468$ trong điều kiện thi công, đều lớn hơn đáng kể so với giá trị yêu cầu theo quy chuẩn (1,25 và 1,09). Kết quả này chứng minh lớp thảm địa bê tông

không chỉ đóng vai trò bảo vệ chống xói mà còn góp phần tăng hệ số an toàn ổn định mái kênh từ khoảng 17 % đến trên 60 % so với yêu cầu thiết kế.

Kết quả tính toán thủy lực cho thấy với lưu lượng thiết kế $Q_{tk} = 1,52 \text{ m}^3/\text{s}$, mặt cắt kênh đề xuất với bề rộng đáy $b = 2,0 \text{ m}$ và chiều sâu dòng chảy $h_0 \approx 1,0 \text{ m}$ đảm bảo khả năng dẫn nước ổn định, với lưu lượng tính toán $Q_{tt} \approx 1,52 \text{ m}^3/\text{s}$ và sai số 0 %, đáp ứng yêu cầu dẫn nước của tuyến kênh.

Thi công thực nghiệm trên đoạn kênh dài 50 m cho thấy công nghệ thảm địa kỹ thuật làm đầy vữa bê tông có tính khả thi cao, thi công thuận lợi và tạo lớp bảo vệ mái kênh ổn định, đồng thời cho phép tích hợp thảm thực vật nhằm tăng độ nhám thủy lực và cải thiện điều kiện sinh thái. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc ứng dụng giải pháp thảm địa bê tông trong kiên cố hóa hệ thống kênh mương thủy lợi, đặc biệt đối với các tuyến kênh nội đồng có nền đất yếu ở khu vực tỉnh Hà Nam (cũ).

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi nhiệm vụ khoa học công nghệ cấp tỉnh Hà Nam số 02/2023/HĐ-NCKH&PTCN với nhiệm vụ “*Nghiên cứu biện pháp gia cố, kiên cố hóa hệ thống kênh mương dẫn nước ở Hà Nam sử dụng thảm địa kỹ thuật lõi rỗng hai lớp cường độ cao làm đầy bằng vữa bê tông*”, được thực hiện bởi Viện Khoa học và Công nghệ Công trình thủy - Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Thượng Bằng và nnk, Thiết kế hệ thống tưới tiêu, Nhà xuất bản Xây dựng, 2013.
- [2]. Viện Khoa học và Công nghệ Công trình thủy, "Nghiên cứu tổng quan về các giải pháp gia cố kênh mương tại nước ta hiện nay," 2024.
- [3]. Viện Khoa học và Công nghệ Công trình thủy, "Nghiên cứu, khảo sát, đánh giá hiện trạng hệ thống kênh mương tại Hà Nam," 2024.
- [4]. Viện Khoa học và Công nghệ Công trình thủy, "Nghiên cứu tổng quan các giải pháp gia cố kênh mương trên thế giới," 2024.
- [5]. Viện Khoa học và Công nghệ Công trình thủy, "Nghiên cứu vật liệu chế tạo của các loại thảm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông," 2025.
- [6]. Viện Khoa học và Công nghệ Công trình thủy, "Nghiên cứu cấp phối vữa xi măng sử dụng vật liệu sẵn có tại Hà Nam để làm đầy thảm địa kỹ thuật," 2025.
- [7]. Viện Khoa học và Công nghệ Công trình thủy, "Khảo sát lựa chọn đoạn kênh, mái dốc có đặc điểm kỹ thuật phù hợp cho ứng dụng xây dựng bằng thảm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông," 2025.
- [8]. Viện Khoa học và Công nghệ Công trình thủy, "Thiết kế phương án xây dựng cho đoạn kênh được lựa chọn," 2025.
- [9]. L. W. Abramson, T. S. Lee, S. Sharma, and G. M. Boyce, Slope stability and stabilization methods. John Wiley & Sons, 2001.
- [10]. W. K. A. Fellenius, Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion (Adhäsion) und unter Annahme kreiszylindrischer Gleitflächen. W. Ernst & Sohn, 1927.
- [11]. E. Spencer, "A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces," Geotechnique, vol. 17, no. 1, pp. 11-26, 1967.

- [12]. N. R. Morgenstern and V. E. Price, "The analysis of the stability of general slip surfaces," Geotechnique, vol. 15, no. 1, pp. 79-93, 1965.
- [13]. A. W. Bishop, "The use of the slip circle in the stability analysis of slopes," Geotechnique, vol. 5, no. 1, pp. 7-17, 1955.
- [14]. D. Griffiths, P. Lane, "Slope stability analysis by finite elements," Geotechnique, vol. 49, no. 3, pp. 387-403, 1999.
- [15]. J. M. Duncan, S. G. Wright, and T. L. Brandon, Soil strength and slope stability. John Wiley & Sons, 2014.
- [16]. Phần mềm GeoStudio (2024.1), GeoSlope, 2024.
- [17]. QCVN 04-05, "Công trình thủy lợi - Các quy định chủ yếu về thiết kế," 2012.
- [18]. V. T. Chow, Open channel hydraulics. McGraw-Hill, New York, 1959.
- [19]. P. G. KIXÉLEP và nnk, Sổ tay tính toán thủy lực. Moscow, 1984.
- [20]. A. O. Akan, Open Channel Hydraulics. Elsevier Ltd, 2006.
- [21]. Nguyễn Cảnh Cầm, Vũ Văn Tảo, Thủy lực tập I. Nhà xuất bản Xây dựng, 2019.
- [22]. Viện Khoa học và Công nghệ Công trình thủy, "Thi công đoạn kênh bằng thảm địa kỹ thuật làm đầy bằng vữa bê tông," 2025.
- [23]. Viện Khoa học và Công nghệ Công trình thủy, "Xây dựng bộ tài liệu kỹ thuật, quy trình thi công, tổng hợp phân tích các sự cố thường gặp và biện pháp khắc phục," 2026.