

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG XI MĂNG VÀ PHỤ GIA KHOÁNG ĐỂ CỨNG HÓA ĐẤT Bùn NẠO VẾT TẠI TỈNH CÀ MAU

Ngô Anh Quân

Viện Thủy công

Nguyễn Quang Phú

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Sử dụng hỗn hợp xi măng kết hợp với các phụ gia khoáng (tro bay và xỉ lò cao) để cứng hóa đất bùn nạo vét làm vật liệu thay thế cát là rất cần thiết tại những vùng xây dựng khan hiếm về nguồn cát tự nhiên. Trong nghiên cứu sử dụng các hỗn hợp gồm (xi măng + tro bay), (xi măng + xỉ lò cao) và (xi măng + xỉ lò cao + tro bay) để cứng hóa đất bùn ở các vùng nước khác nhau gồm nước lợ, nước ngọt và nước mặn tại tỉnh Cà Mau. Đất bùn cứng hóa đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật để thay thế cát trong san lấp mặt bằng. Kết quả thí nghiệm cho thấy sử dụng phương pháp cứng hóa đất bùn bằng hỗn hợp (xi măng + xỉ lò cao + tro bay) cho hệ số thấm của đất bùn cứng hóa rất thấp, $K_f = 4.1 \times 10^{-8}$ đến 5.5×10^{-8} m/s, cường độ của đất bùn cứng hóa tăng từ 12.2% đến 15.4% so với mẫu đất bùn cứng hóa bằng xi măng.

Từ khóa: Xi măng; xỉ lò cao hoạt tính; tro bay; đất bùn cứng hóa.

Summary: Using the mixture of cement combined with mineral additives (fly ash and granulated blast furnace slag) to harden the dredged mud as a substitute for sand is essential in construction areas where natural sand is scarce. In the study, the mixtures of (cement + fly ash), (cement + granulated blast furnace slag) and (cement + granulated blast furnace slag + fly ash) were used to harden mud in the different water bodies including brackish, fresh and salt water in Ca Mau province. The stabilized dredging soil meets the technical requirements to replace the sand in ground filling. Experimental results show that using the method of hardening mud with a mixture (cement + granulated blast furnace slag + fly ash) to get very low permeability coefficient of hardened mud, $K_f = 4.1 \times 10^{-8}$ to 5.5×10^{-8} m/s, the strength of the dredging soil after hardening increased from 12.2% to 15.4% compared with that of the cement solidified sample.

Keywords: Cement; Ground Blast Furnance Slag; Fly ash; Stabilized dredging soil.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công tác nạo vét khơi thông kênh mương, nạo vét hồ chứa nước để đảm bảo cho việc cấp nước, tiêu nước và an toàn giao thông là công việc hết sức quan trọng trong các công trình thủy lợi và giao thông thủy. Đất bùn được nạo vét từ các công trình thủy đó là một nguồn tài nguyên có giá trị, việc tái sử dụng vật liệu đất bùn nạo vét có đóng góp lớn vào phát triển bền vững, làm tăng nguồn vật liệu đắp và san lấp nền tại chỗ, đảm bảo nguồn

cung ứng vật liệu cho các công trình xây dựng, từ đó có thể giảm giá thành xây dựng và góp phần bảo vệ môi trường. Cứng hóa đất bùn nạo vét là một giải pháp nhằm nâng cao các chỉ tiêu kỹ thuật của đất bùn để đảm bảo một số điều kiện xây dựng công trình như sử dụng trong việc thi công san lấp nền đường, đắp bờ bao quanh các khu nuôi trồng thủy sản, các khu vực thiếu cát mịn để san lấp mặt bằng.... Việc sử dụng các chất phụ gia trộn với đất bùn để cải thiện lực dính, cường độ

Ngày nhận bài: 15/4/2022

Ngày thông qua phản biện: 26/5/2022

Ngày duyệt đăng: 10/6/2022

và tăng khả năng chống thấm nhằm thay thế vật liệu trong san lấp nền và đắp bờ bao là rất cần thiết.

Trong thực tế có nhiều giải pháp để xử lý đất bùn nạo vét cho mục đích xây dựng, như đóng rắn đất bùn bằng phương pháp nhiệt [2, 4]; cứng hóa đất bùn bằng các chất kết dính vô cơ như các phụ gia khoáng gồm puzolan thiên nhiên, tro bay, xi lò cao, xi măng.....[10, 17]; sử dụng các chất kết dính hữu cơ hay polyme cũng đã được áp dụng nhiều nơi trên thế giới cho việc gia cố đất [13, 14].

Bên cạnh đó có một số giải pháp công nghệ kỹ thuật để cứng hóa đất bùn nạo vét như sử dụng thiết bị thoát nước và hút chân không, giải pháp thoát nước tự nhiên, giải pháp trộn chất kết dính vào bùn bằng hệ thống bơm khí nén, sử dụng hệ thống trạm trộn đất bùn nạo vét với vật liệu kết dính [8]. Tất cả các giải pháp trên đều nhằm mục đích là làm tăng các chỉ tiêu kỹ thuật của đất bùn, đảm bảo một số chỉ tiêu kỹ thuật của đất bùn sau xử lý thỏa mãn các yêu cầu xây dựng đã đề ra.

Trong đề tài nghiên cứu sử dụng các chất kết dính gồm xi măng, kết hợp với phụ gia khoáng hoạt tính (tro bay và xi lò cao) để cứng hóa đất bùn nạo vét tại tỉnh Cà Mau. Trong nghiên cứu đã thí nghiệm với 03 loại đất bùn khác nhau (đất bùn thuộc vùng nước lợ, nước ngọt và nước mặn) với các tỷ lệ trộn tro bay và xi lò cao khác nhau, thông qua thí nghiệm xác định một số chỉ tiêu kỹ thuật của đất bùn cứng hóa, từ đó đánh giá để lựa chọn giải pháp phù hợp cứng hóa đất bùn nạo vét thay thế cát trong san lấp nền.

2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG TRONG NGHIÊN CỨU

Bảng 2: Thành phần hoá học của xi lò cao hoạt tính

Thành phần	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MKN
% theo khối lượng	35.18	16.26	0.25	0.15	39.95	5.95	0.31	0.18	0.01

2.2.2. Tro bay

Phụ gia khoáng tro bay của nhà máy nhiệt

2.1. Xi măng: Đề tài sử dụng xi măng PCB40 Hà Tiên để thiết kế, kết quả thí nghiệm một số tính chất của xi măng như trong bảng 1. Xi măng đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 6260:2009.

Bảng 1: Tính chất của xi măng

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	3.10
2	Độ mịn (lượng sót trên sàng 0,09 mm)	%	3.65
3	Lượng nước tiêu chuẩn	%	27.5
4	Thời gian bắt đầu đông kết	phút	119
	Thời gian kết thúc đông kết	phút	185
5	Độ ổn định thể tích	mm	3.0
6	Giới hạn bền nén tuổi 3 ngày	N/mm ²	23
	Giới hạn bền nén tuổi 28 ngày	N/mm ²	44

2.2. Phụ gia khoáng hoạt tính

2.2.1. Xi lò cao hoạt tính

Trong đề tài sử dụng xi lò cao hoạt tính nghiên cứu của Hòa Phát, khối lượng riêng 2,90 g/cm³; tỷ diện tích bề mặt (độ mịn) 5020 cm²/g; chỉ số hoạt tính cường độ ở tuổi 28 ngày đạt 96%; thành phần hóa học cơ bản thể hiện ở bảng 2 dưới đây. Xi lò cao hoạt tính có các chỉ tiêu cơ lý thỏa mãn TCVN 11586:2016 và BS EN 15167-1:2006.

điện Duyên Hải 1 được sử dụng trong nghiên cứu. Kết quả thí nghiệm một số tính chất của tro bay đạt yêu cầu theo TCVN1032:2014.

Bảng 3: Tính chất của tro bay Duyên Hải 1

STT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Độ ẩm	%	0.28
2	Khối lượng thể tích xếp	kg/m ³	944
3	Tỷ trọng	g/cm ³	2.24
4	Hàm lượng mất khi nung	%	6.48
5	Hàm lượng SiO ₂	%	56.02
6	Hàm lượng Fe ₂ O ₃	%	6.61
7	Hàm lượng Al ₂ O ₃	%	22.47
8	Hàm lượng SO ₃	%	0.22

2.3. Đất bùn

Bảng 4: Chỉ tiêu cơ lý của 3 mẫu bùn thí nghiệm

Ký hiệu mẫu	Độ ẩm tự nhiên	Khối lượng thể tích tự nhiên	Khối lượng riêng	Giới hạn Atterberg			Chỉ tiêu lực học		Ký hiệu
				Giới hạn chảy	Giới hạn dẻo	Độ sệt	Góc ma sát trong	Lực dính	
				W_l	W_p	I_s	J_u	C_u	
	W	g_w	D	%	%		độ	kPa	
Bùn nước lợ	82.2	1.47	2.53	72.0	41.8	1.38	2 ⁰ 39'	14.0	BL
Bùn nước ngọt	90.8	1.58	2.60	69.0	38.0	2.06	2 ⁰ 22'	13.2	BN
Bùn nước mặn	87.5	1.49	2.52	69.7	39.0	1.46	3 ⁰ 28'	14.9	BM

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thiết kế cấp phối thí nghiệm

Hàm lượng xi măng được lựa chọn để tiến hành các thí nghiệm với tro bay và xi lò cao là 6% khối lượng bùn tự nhiên. Để đảm bảo một số yêu cầu về chỉ tiêu kinh tế và kỹ thuật, hàm lượng tối đa tro bay và xi lò cao được phối trộn là 6% khối lượng bùn tươi theo nghiên cứu của

Wang và nnk [15] và Yadu và nnk [18]. Số lượng cấp phối được tóm tắt trong bảng 5 bao gồm: 09 cấp phối: 3 loại bùn x 3 hàm lượng tro bay (2%, 4% và 6%); 09 cấp phối: 3 loại bùn x 3 hàm lượng xi lò cao (2%, 4% và 6%); 09 cấp phối: 3 loại bùn x 3 hàm lượng (tro bay + xi lò cao): (2% và 6%), (4% và 4%) và (2% và 6%). Cấp phối các loại vật liệu thí nghiệm với 3 loại bùn được trình bày trong bảng 5.

Bảng 5: Cấp phối các loại vật liệu thí nghiệm

Loại bùn	Ký hiệu mẫu	XM (%)	Xi (%)	Tro bay (%)	Ký hiệu mẫu	XM (%)	Xi (%)	Tro bay (%)	Ký hiệu mẫu	XM (%)	Xi (%)	Tro bay (%)
Nước lợ	XTB1	6	0	2	XXLC1	6	2	0	XTBXLC1	6	2	6
	XTB2	6	0	4	XXLC2	6	4	0	XTBXLC2	6	4	4
	XTB3	6	0	6	XXLC3	6	6	0	XTBXLC3	6	6	2
Nước	XTB4	6	0	2	XXLC4	6	2	0	XTBXLC4	6	2	6

Loại bùn	Ký hiệu mẫu	XM (%)	Xi (%)	Tro bay (%)	Ký hiệu mẫu	XM (%)	Xi (%)	Tro bay (%)	Ký hiệu mẫu	XM (%)	Xi (%)	Tro bay (%)
ngọt	XTB5	6	0	4	XXLC5	6	4	0	XTBXLC5	6	4	4
	XTB6	6	0	6	XXLC6	6	6	0	XTBXLC6	6	6	2
Nước mặn	XTB7	6	0	2	XXLC7	6	2	0	XTBXLC7	6	2	6
	XTB8	6	0	4	XXLC8	6	4	0	XTBXLC8	6	4	4
	XTB9	6	0	6	XXLC9	6	6	0	XTBXLC9	6	6	2

Tiến hành phối trộn các mẫu thí nghiệm theo tiêu chuẩn 9403:2012 gia cố nền đất yếu, ống mẫu ống $\Phi=91$ hoặc 100, cao 15 cm (phần thừa sau thí nghiệm dùng để lưu mẫu) « Đúc cao 15cm là để đúc 1 lần có thể lấy được 3 dao vòng ». Sau khi đúc bịt kín 1 đầu của ống, còn 1 đầu ngâm bão hòa... xác định các chỉ tiêu kỹ thuật của đất bùn sau khi xử lý cứng hóa bằng tro bay, xỉ lò cao và kết hợp tro bay với xỉ lò cao như: độ ẩm tự nhiên, góc ma sát trong, lực dính, cường độ..... Trong thí nghiệm sử dụng mẫu đối chứng (xử lý cứng hóa đất bùn bằng 6% xỉ măng): ký hiệu là X2 tương ứng với bùn nước lợ, X5 tương

ứng với bùn nước ngọt và X8 tương ứng với bùn nước mặn để so sánh.

3.2. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu kỹ thuật của đất bùn cứng hóa

Kết quả thí nghiệm một số chỉ tiêu kỹ thuật của 09 cấp phối bùn, xỉ măng và tro bay được tổng hợp trong bảng 6. Kết quả thí nghiệm của 09 cấp phối bùn, xỉ măng và xỉ lò cao hoạt tính được tổng hợp trong bảng 7. Kết quả thí nghiệm của 09 cấp phối bùn, xỉ măng và kết hợp tro bay với xỉ lò cao hoạt tính được tổng hợp trong bảng 8 dưới đây.

Bảng 6: Kết quả thí nghiệm các tính chất của bùn cứng hóa sử dụng XM và tro bay

Loại bùn	Ký hiệu mẫu	Xi măng	Tro bay	Độ ẩm tự nhiên	Giới hạn chảy	Giới hạn dẻo	Độ sệt	Góc ma sát trong	Lực dính	Cường độ
				W	W _L	W _p		φ		
				%	%	%		°		
Nước lợ	X2	6	0	86.9	98.9	68.6	0.6	10.3	25.3	293.0
	XTB1	6	2	85.8	100.0	69.2	0.5	11.3	25.1	276.4
	XTB2	6	4	83.9	95.9	72.3	0.5	13.8	24.3	267.5
	XTB3	6	6	83.9	96.7	74.3	0.4	15.2	23.3	257.6
Nước ngọt	X5	6	0	84.9	92.3	67.5	0.7	11.0	26.4	280.0
	XTB3	6	2	82.9	90.7	70.2	0.6	12.3	25.4	273.6
	XTB4	6	4	85.9	98.3	71.3	0.5	14.5	24.7	264.5
	XTB5	6	6	85.8	101.1	72.3	0.5	16.2	23.5	254.6

Loại bùn	Ký hiệu mẫu	Xi măng	Tro bay	Độ ấm tự nhiên	Giới hạn chảy	Giới hạn dẻo	Độ sệt	Góc ma sát trong	Lực dính	Cườn g độ		
				W	W _L	W _P		φ			C	Q _u
				%	%	%		°			kPa	kPa
Nước mặn	X8	6	0	83.8	100.5	68.2	0.5	10.7	27.1	286.0		
	XTB7	6	2	85.9	108.9	69.2	0.4	11.9	26.4	278.6		
	XTB8	6	4	85.8	112.2	70.3	0.4	14.1	25.7	270.3		
	XTB9	6	6	86.9	117.1	72.5	0.3	16.1	24.5	257.6		

Bảng 7: Kết quả thí nghiệm các tính chất của bùn cứng hóa sử dụng XM và xỉ lò cao

Loại bùn	Ký hiệu mẫu	Xi măng	Xi lò cao	Độ ấ m tự nhiên	Giới hạn chảy	Giới hạn dẻo	Độ sệt	Góc ma sát trong	Lực dính	Cườn g độ		
				W	W _L	W _P		φ			C	Q _u
				%	%	%		°			kPa	kPa
Lợ	X2	6	0	86.9	98.9	68.6	0.6	10.3	25.3	293.0		
	XXLC1	6	2	82.2	93.6	67.1	0.6	11.3	29.5	305.6		
	XXLC2	6	4	82.2	101.3	68.1	0.4	15.4	30.9	321.3		
	XXLC3	6	6	82.2	102.8	70.1	0.4	19.3	33.2	370.5		
Ngọt	X5	6	0	84.9	92.3	67.5	0.7	11.0	26.4	280.0		
	XXLC3	6	2	90.8	105.2	69.1	0.6	12.5	30.6	297.3		
	XXLC4	6	4	90.8	114.4	70.3	0.5	17.5	32.7	314.2		
	XXLC5	6	6	90.8	116.6	71.3	0.4	22.1	34.8	354.5		
Mặn	X8	6	0	83.8	100.5	68.2	0.5	10.7	27.1	286.0		
	XXLC7	6	2	87.5	103.0	76.3	0.4	12.3	31.3	321.3		
	XXLC8	6	4	87.5	103.6	76.8	0.4	16.8	33.6	341.3		
	XXLC9	6	6	87.5	105.1	78.0	0.4	20.5	35.9	375.5		

Bảng 8: Kết quả thí nghiệm các tính chất của bùn cứng hóa sử dụng XM, tro bay và xỉ lò cao

Loại bùn	Ký hiệu mẫu	Xi măng	Xi lò cao	Tro bay	Độ ấm tự nhiên	Giới hạn cháy	Giới hạn đẻo	Độ sệt	Góc ma sát trong	Lực dính	Cường độ
					W	W _L	W _P	I _s	φ	C	Q _u
		%	%	%	%	%	%		độ	kPa	kPa
Lợ	X2	6	0	0	86.9	98.9	68.6	0.6	10.3	25.3	293.0
	XTBXLC1	6	2	6	82.2	93.7	70.7	0.5	13.3	26.4	281.6
	XTBXLC2	6	4	4	82.2	96.4	70.2	0.5	13.4	28.0	298.9
	XTBXLC3	6	6	2	82.2	97.2	69.7	0.5	15.3	31.3	338.1
Ngọt	X5	6	0	0	84.9	92.3	67.5	0.7	11.0	26.4	280.0
	XTBXLC3	6	2	6	90.8	108.3	70.7	0.5	14.4	27.0	276.0
	XTBXLC4	6	4	4	90.8	110.6	70.8	0.5	16.0	28.7	289.4
	XTBXLC5	6	6	2	90.8	109.0	70.7	0.5	17.2	30.1	314.1
Mặn	X8	6	0	0	83.8	100.5	68.2	0.5	10.7	27.1	286.0
	XTBXLC7	6	2	6	87.5	109.8	74.4	0.4	14.2	27.9	289.5
	XTBXLC8	6	4	4	87.5	109.8	73.6	0.4	15.5	29.7	305.8
	XTBXLC9	6	6	2	87.5	109.7	73.6	0.4	16.2	31.2	327.1

Từ kết quả thí nghiệm các tính chất của đất bùn cứng hóa bằng xi măng và phụ gia khoáng ở trong bảng 6, 7 và 8, tiến hành lựa chọn được 03 cấp phối: XTB3, XTB6 và XTB9 có cường độ chịu nén cao nhất trong các cấp phối xi măng và tro bay, tương tự với các cấp phối xi măng và xi lò cao là: XXLC3, XXLC6 và XXLC9; cấp phối xi măng, tro bay và xi lò cao là: XTBXLC3, XTBXLC6, XTBXLC9 để tiến hành thí nghiệm hệ số thấm và khối lượng thể tích, kết quả thí nghiệm được trình bày trong bảng 9.

Bảng 9: Kết quả thí nghiệm hệ số thấm và khối lượng thể tích của các cấp phối lựa chọn

Ký hiệu mẫu	Hệ số thấm, Kt, ×10 ⁻⁸ m/s	Khối lượng thể tích, g/cm ³
XTB3	7.30	1.45
XTB6	6.70	1.47
XTB9	6.60	1.45
XXLC3	6.30	1.46
XXLC6	5.70	1.47
XXLC9	6.10	1.45
XTBXLC3	5.50	1.47
XTBXLC6	4.30	1.48
XTBXLC9	4.10	1.48

Từ các kết quả thí nghiệm ở bảng 6, 7, 8 và 9 nhận thấy:

+ Đất bùn ở các vùng nước khác nhau gồm nước lợ, nước ngọt và nước mặn không ảnh hưởng quá lớn đến việc cứng hóa bùn bằng (xi măng + tro bay), (xi măng + xi lò cao) và (xi măng + xi lò cao + tro bay).

+ Sử dụng phương pháp cứng hóa bùn bằng (xi

măng + tro bay): Làm giảm cường độ, lực dính so với khi chỉ sử dụng riêng 6% hàm lượng xi măng, điều này là do tro bay không tự thủy phân thủy hóa được trong bùn, các phản ứng pozzolanic khó diễn ra nếu chưa có sự thủy phân thủy hóa của xi măng để tạo ra $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Độ sệt có được cải thiện tuy nhiên kể cả với 6% tro bay thì độ sệt cải thiện không lớn đối với cả ba loại bùn khi mà bùn nước ngọt và lợ có độ sệt đáp ứng sát yêu cầu tối thiểu 0.5 của đề tài đặt ra. Góc ma sát trong được cải thiện với tất cả các hàm lượng tro bay sử dụng, đạt khoảng 16° . Cường độ của đất bùn cứng hóa bằng 6% xi măng kết hợp với 2%, 4% và 6% tro bay sẽ giảm so với mẫu đối chứng (không sử dụng tro bay, chỉ sử dụng 6% xi măng: mẫu X2) lần lượt là 5.75, 8.7 và 12.08 với đất bùn nước lợ; 2.29, 5.54 và 9.07 với đất bùn nước ngọt (so với mẫu X5); 2.59, 5.49 và 9.93 với đất bùn nước mặn (so với mẫu X8).

+ Sử dụng phương pháp cứng hóa bùn bằng (xi măng + xỉ lò cao): Sử dụng 6% xi măng với các hàm lượng xỉ lò cao giúp cải thiện các chỉ tiêu cơ lý của bùn cứng hóa. Cụ thể là làm giảm độ sệt, đáp ứng được yêu cầu độ sệt cho phép nhỏ hơn 0.5 khi sử dụng 6% xỉ lò cao, góc ma sát vượt yêu cầu đề ra (đạt từ 11° đến 18°), lực dính đạt được lớn hơn 32 kPa, cường độ chịu nén đạt 354 đến 375 kPa. Cường độ của đất bùn cứng hóa bằng 6% xi măng kết hợp với 2%, 4% và 6% xỉ lò cao sẽ làm tăng cường độ so với mẫu đối chứng (không sử dụng xỉ lò cao, chỉ sử dụng 6% xi măng: mẫu X2) lần lượt là 4.3, 9.66 và 26.45 với đất bùn nước lợ; 6.18, 12.21 và 26.61 với đất bùn nước ngọt (so với mẫu X5); 12.34, 19.34 và 31.29 với đất bùn nước mặn (so với mẫu X8).

+ Sử dụng phương pháp cứng hóa đất bùn bằng hỗn hợp (xi măng + xỉ lò cao + tro bay): Việc sử dụng tro bay vào hỗn hợp có tác dụng cải thiện độ sệt rõ rệt so với khi chỉ sử dụng xi măng và xỉ lò cao, tuy nhiên tro bay cản trở quá trình thủy hóa của xỉ lò cao và xi măng do đó cường độ chịu

nén và lực dính khi sử dụng 6% tro bay không đạt được như việc sử dụng hỗn hợp chỉ có (xi măng + xỉ lò cao). Cường độ của đất bùn cứng hóa bằng hỗn hợp (xi măng + xỉ lò cao + tro bay) chỉ tăng so với mẫu đối chứng khi hàm lượng tro bay nhỏ hơn 6%.

+ Do đó cần phải cải thiện quá trình thủy hóa của tro bay bằng môi trường kiềm mạnh hơn, bằng việc bổ sung các dung dịch có tính kiềm như Hydroxit Natri (NaOH) hoặc nước thủy tinh (Na_2SiO_3). Các dung dịch này có thể được dùng để khảo sát đầy mạnh khả năng thủy hóa của xỉ lò cao trong đất bùn tương tự như trong chế tạo bê tông geopolimer [5]. Ngoài ra Yi và nnk [19] đã đề xuất sử dụng khoảng 5% Magie oxit (MgO) có thể cải thiện cường độ của đất yếu khi sử dụng xỉ lò cao. MgO cũng có thể kết hợp với tro bay trong quá trình gia cố đất làm cải thiện các tính chất cơ học của đất yếu [16]. Yun và nnk [19] đã nghiên cứu sử dụng hỗn hợp: xỉ lò cao, tro bay và thạch cao ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) thay thế cho xi măng. Việc đầy mạnh khả năng thủy hóa của tro bay và xỉ lò cao nhằm tận dụng tối đa các thành phần silic vô định hình và vô tự do trong các phụ gia khoáng này, tận dụng tối đa khả năng cải thiện tính chất của tro bay đối với quá trình cứng hóa đất bùn, từ đó giảm các chi phí thí nghiệm.

+ Từ kết quả thí nghiệm hệ số thấm ở bảng 9 cho thấy việc sử dụng phương pháp cứng hóa đất bùn bằng hỗn hợp (xi măng + xỉ lò cao + tro bay) cho hệ số thấm của đất bùn được cứng hóa là thấp nhất, $K_t = 4.1 \times 10^{-8}$ đến 5.5×10^{-8} m/s. Như vậy, đất bùn sau khi được cứng hóa bằng hỗn hợp (xi măng + xỉ lò cao + tro bay) thỏa mãn các điều kiện làm đất đắp san lấp nền hay đắp bờ bao thay thế cát.

4. KẾT LUẬN

Cứng hóa đất bùn bằng hỗn hợp (xi măng + tro bay) làm giảm cường độ, lực dính so với mẫu chỉ sử dụng xi măng. Khi sử dụng hỗn hợp (xi măng + xỉ lò cao + tro bay) với hàm lượng xỉ lò cao bằng hoặc nhiều hơn hàm lượng tro bay, thì

cường độ của đất bùn cứng hóa tăng lên. Đặc biệt là hệ số thấm của đất bùn cứng hóa giảm khá nhiều so với đất bùn cứng hóa chỉ sử dụng phụ gia khoáng là tro bay.

Cần thiết phải khảo sát và thí nghiệm sự kết hợp với các phụ gia hóa học như MgO hoặc $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ cùng hỗn hợp (xi măng + tro bay), (xi măng + xỉ lò cao) và (xi măng + xỉ lò cao + tro bay) để cải thiện các tính chất cơ lý của đất bùn cứng hóa, nhằm đạt được các yêu cầu kỹ thuật thiết kế, đáp ứng các chỉ tiêu kỹ thuật của đất bùn cứng hóa phục vụ cho mục đích xây dựng.

Việc áp dụng các kết quả thí nghiệm trong

phòng với đất bùn ngoài thực tế, cần thiết phải thí nghiệm và điều chỉnh một số chỉ tiêu của đất bùn như hàm lượng nước, điều chỉnh tỷ lệ trộn với các phụ gia khoáng sao cho hợp lý, cũng như cần có một số thí nghiệm hiện trường để đánh giá các kết quả nghiên cứu một cách hợp lý nhất.

LỜI CẢM ƠN!

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của đề tài Khoa học và công nghệ: “Nghiên cứu công nghệ cứng hóa đất bùn nạo vét để sử dụng trong san lấp mặt bằng thay thế cát”, Mã số DTĐL.CN-33/19.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. N. Little and N. Syam, “Introduction to Soil Stabilization, Understanding the Basics of Soil Stabilization/: An Overview of Materials and Techniques,” *Caterpillar*, vol. 7, no. January, pp. 1-16, 2006.
- [2] D. Wang, N. E. Abriak, and R. Zentar, “Strength and deformation properties of Dunkirk marine sediments solidified with cement, lime and fly ash,” *Eng. Geol.*, vol. 166, pp. 90-99, 2013.
- [3] F. Al-Ajmi, H. Abdalla, M. Abdelghaffar, and J. Almatawah, “Strength Behavior of Mud Brick in Building Construction,” *Open J. Civ. Eng.*, vol. 6, no. 3, p. 482, 2016.
- [4] F. Al-Ajmi, H. Abdalla, M. Abdelghaffar, and J. Almatawah, “Strength Behavior of Mud Brick in Building Construction,” *Open J. Civ. Eng.*, vol. 6, no. 3, p. 482, 2016.
- [5] Hadi M.N.S., Farhan N.A., và Sheikh M.N. (2017). Design of geopolymer concrete with GGBFS at ambient curing condition using Taguchi method. *Construction and Building Materials*, 140, 424-431.
- [6] Huang Y. và Lin Z.S. (2010). Investigation on phosphogypsum-steel slag-granulated blast-furnace slag-limestone cement. *Construction and Building Materials*, 24, 1296-1301.
- [7] K. T. Rukenya, K. J. Wambua, K. Charles, and T. George, “Soil Stabilization Using Rice Husk Ash and Natural Lime as an Alternative to Cutting and Filling in Road Construction,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 143, no. 5, p. 4016127, May 2017.
- [8] L. Yu and M. Djunaidy, “A Vacuum Consolidation Method Application Case for Improving Dredging Slurry”.
- [9] Lê Huy Cừ và nnk, “Nghiên cứu gia cố đất bằng các phụ gia vô cơ để xây dựng công trình,” *Báo cáo tổng kết khoa học và công nghệ đề tài, Liên hiệp các hội khoa học và kỹ thuật Việt Nam, Tổng hội Địa chất Việt Nam*, 2007.
- [10] M. D. Liu and S. Pemberton, “A study of the strength of lime treated soft clays,” *Int. Symp. Exhib. Geotech. Geosynth. Eng. Challenges Oppor. Clim. Chang.*, no. December, pp. 245-251, 2010.

- [11] S. A. KALIANNAN, "Light solidification of Kuala Perlis dredged marine soil via admixtures of GGBS - cement and sand: 1-D compressibility study.," no. August, 2016.
- [12] S. Alsafi, N. Farzadnia, A. Asadi, and B. K. Huat, "Collapsibility potential of gypseous soil stabilized with fly ash geopolymer; characterization and assessment," *Constr. Build. Mater.*, vol. 137, pp. 390-409, 2017.
- [13] S. Rezaeimalek, A. Nasouri, J. Huang, S. Bin-Shafique, and S. T. Gilazghi, "Comparison of short-term and long-term performances for polymer-stabilized sand and clay," *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 4, no. 2, pp. 145-155, 2017.
- [14] S. Soleimani, S. Rajaei, P. Jiao, A. Sabz, and S. Soheilinia, "New prediction models for unconfined compressive strength of geopolymer stabilized soil using multi-gen genetic programming," *Measurement*, vol. 113, pp. 99-107, 2018.
- [15] Wang D., Abriak N.E., và Zentar R. (2013). Strength and deformation properties of Dunkirk marine sediments solidified with cement, lime and fly ash. *Engineering Geology*, 166, 90-99.
- [16] Wang D., Zhu J., và He F. (2019). CO₂ carbonation-induced improvement in strength and microstructure of reactive MgO-CaO-fly ash-solidified soils. *Construction and Building Materials*.
- [17] Y. Yi, C. Li, S. Liu, and M. Asce, "Alkali-Activated Ground-Granulated Blast Furnace Slag for Stabilization of Marine Soft Clay," *J. Materail Civ. Eng.*, vol. 11, no. 4, pp. 246-250, 2010.
- [18] Yadu L. và Tripathi R.K. (2013). Effects of Granulated Blast Furnace Slag in the Engineering Behaviour of Stabilized Soft Soil. *Procedia Engineering*, 51, 125-131.
- [19] Yi Y., Liska M., và Al-Tabbaa A. (2014). Properties of Two Model Soils Stabilized with Different Blends and Contents of GGBS, MgO, Lime, and PC. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(2), 267-274.