

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA PHƯƠNG PHÁP TRỘN KHI CẢI TẠO NỀN ĐẤT HOÀNG THỔ BẰNG BIỆN PHÁP ĐẦM CHẶT HỖN HỢP HOÀNG THỔ - XI MĂNG

IMPROVE THE LOESS SOIL BY MIXING WITH CEMENT: COMPARE THE EFFECTIVENESS OF MIXING METHODS

TS. NGUYỄN CÔNG ĐỊNH

Trường đại học Giao thông vận tải

ThS. NGUYỄN CÔNG KIẾN

Viện KHCN Xây dựng

Tác giả liên hệ, email: ncdinh@utc.edu.com

Tóm tắt: Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm nhằm đánh giá hiệu quả của các phương pháp trộn hỗn hợp đất-xi măng-nước khi cải tạo đất hoàng thổ bằng xi măng. Với cùng một loại hoàng thổ, khi trộn xi măng với tỷ lệ như nhau (6%), theo 3 phương pháp trộn tạo mẫu đầm chặt khác nhau: (1) hoàng thổ trộn nước, ủ kín giữ ẩm sau 24h mới tiến hành trộn xi măng và đầm chặt (trường hợp M1); (2) hoàng thổ trộn xi măng, trộn đều với nước, ủ kín giữ ẩm sau 24h sẽ tiến hành đầm chặt (trường hợp M2); (3) hoàng thổ trộn xi măng, trộn đều với nước, và tiến hành đầm chặt ngay (trường hợp M3). Kết quả nghiên cứu cho thấy, bằng cách trộn hỗn hợp đất-xi măng- nước như trường hợp M3 để tạo mẫu đầm chặt vừa thể hiện tính đầm chặt đạt kết quả tốt (trọng lượng thể tích khô lớn nhất có giá trị cao nhất, $\gamma_{d \max} = 17.36 \text{ kN/m}^3$), tính nén lún được cải thiện đáng kể (mô đun tổng biến dạng tăng 3,86 lần) và sức chống cắt gia tăng đáng kể (c , φ tăng tương ứng là 11 lần và 2.27 lần so với khi không có xi măng).

Từ khóa: đất lún ướt, hoàng thổ, cải tạo đất, xi măng, phương pháp trộn.

Abstract: This paper presents experimental results to evaluate the effectiveness of mixing methods while improving loess soil by mix with cement and compacted. With the same type of loess mixed with cement at the same ratio (6%), by 3 different mixing methods to create different compaction, or be call the cases: M1, M2 and M3. Case 1 - M1: dry loess mixed with water, incubated in 24 hours to distribute moisture evenly before mix with cement then do the compaction test as soon as possible (case/samples M1). Case 2 - M2: mix dry loess with cement, then well mixed with water,

incubated the mixture in 24 hours before conduct compaction test (case/samples M2). Case 3 – M3: dry loess mixed with cement, then well mixed with water and instantly do the compaction test (case/samples M3). Results shows that by mixing loess – cement – water mixture in case 3 (M3) to create compaction samples, it gained better compaction properties (maximum dry unit weight has the highest value at 17.36 kN/m³), compressibility characteristics has improved significantly (strain modulus increased 3.86 times) and shear strength increased obviously (cohesion and friction angle increased 11 times and 2.27 times, respectively, compared to samples without cement).

Key words: cement, collapsible soils, loess, mixing methods, soil improvement.

1. Giới thiệu

Đất hoàng thổ hay còn gọi là đất phong thành là một loại trầm tích do gió, từ lâu đã được biết đến là loại đất dễ bị lún ướt, lún sập cần được xử lý, cải tạo cho mục đích xây dựng. Có nhiều phương pháp xử lý đất hoàng thổ, trong đó có phương pháp trộn hoàng thổ với xi măng rồi đầm chặt để cải thiện đặc tính của nền [2;4]. Về phương pháp trộn hoàng thổ với xi măng, đã có nhiều công trình nghiên cứu xem xét nhiều khía cạnh như hàm lượng xi măng [3;5], tương tác của xi măng với đất và nước [1;5], hay độ ẩm tối ưu cho đầm chặt [8;9], thậm chí là yếu tố thời gian, điều kiện ninh kết [8;10]. Tuy nhiên, các nghiên cứu trên chưa đề cập tới cách thức chế bị mẫu trộn cũng như ảnh hưởng phương pháp trộn tới hiệu quả cải tạo loại đất đặc biệt này bằng chất kết dính xi măng. Bài báo này trình bày kết quả nghiên

cứu thực nghiệm trong phòng đánh giá hiệu quả cải tạo đất hoàng thổ bằng xi măng thông qua một số chỉ tiêu cơ bản đánh giá hiệu quả phương pháp cải tạo đất nền bằng đầm chặt như: hiệu quả đầm chặt (theo độ ẩm tốt nhất và trọng lượng thể tích khô lớn nhất); giảm tính nén lún của đất (gia tăng đặc trưng mô đun biến dạng); và tăng sức chịu tải của đất cải tạo thông qua sự gia tăng sức chống cắt của chúng (gia tăng c , φ) khi sử dụng các phương pháp trộn hỗn hợp khác nhau.

Các nghiên cứu này được tác giả tiến hành với đất hoàng thổ vùng Calarasi, Romania. Ở Romania, các tiêu chuẩn xây dựng mới nhất [6;7] không cung cấp hướng dẫn chi tiết cũng như yêu cầu cụ thể về biện pháp thi công, mà chỉ có hướng dẫn trình tự thi công một cách sơ lược khái quát, theo đó các đơn vị sản xuất chủ động thực hiện để đáp ứng sản phẩm đầu ra. Kết quả nghiên cứu này có thể góp phần bổ sung, hoàn thiện các hướng dẫn trình tự thi công cho công tác chuẩn bị và trộn vật liệu khi xử lý cải tạo đất hoàng thổ bằng xi măng, cũng như là tài liệu tham khảo hữu ích giúp các nhà thầu thi công nâng cao hiệu quả sản xuất.

Riêng ở Việt Nam, mặc dù không phổ biến đất hoàng thổ điển hình, tuy vậy vẫn tồn tại một số loại đất có tính chất tương tự (đất bụi có tính lún ướt, lún sập) [19] có thể áp dụng các kết quả từ nghiên cứu này. Ngoài ra, bài báo này tập trung chủ yếu nghiên cứu về hiệu quả của các phương pháp trộn vật liệu, nên với các loại đất khác (không phải hoàng thổ) cũng có thể tham khảo bài báo này về cơ sở lý thuyết, phương pháp luận khi nghiên cứu xử lý nền bằng biện pháp trộn xi măng hoặc các vật liệu mịn khác (như puzzoland).

2. Nghiên cứu thực nghiệm

2.1 Mẫu sử dụng nghiên cứu

Đất hoàng thổ trong nghiên cứu này là loại đất bụi pha sét với hàm lượng hạt bụi chiếm chủ yếu (tới 70 %), còn lại là sét (26 %) và cát chiếm lượng nhỏ (4%). Mẫu đất được hong khô gió, tán nhỏ với cỡ hạt lọt sàng số 4 (mắt lưới 4,75 mm) [16], sau đó trộn đều cho đồng nhất trước khi tiến hành các bước tiếp theo. Vật liệu đất hoàng thổ sử dụng cho nghiên cứu được thu thập trong quá trình khảo sát địa kỹ thuật dự án xây dựng nhà máy công nghiệp

tại hạt Calarasi, Romania.

Xi măng portland loại 1 được sử dụng để chế bị mẫu nghiên cứu có hàm lượng clinker > 95%, cường độ tiêu chuẩn từ 42,5 MPa đến 62,5 MPa, ninh kết thường, chống ăn mòn sun-fat phù hợp với CEM I 42.5 N – SR 5 và tiêu chuẩn SR EN 197-1 [13]).

Nước dùng để trộn tạo hỗn hợp thí nghiệm là nước sạch đáp ứng yêu cầu dùng trộn bê tông. Hỗn hợp đất-xi măng được trộn phù hợp tiêu chuẩn SR EN 1008:2003 [11].

2.2 Các trường hợp nghiên cứu và công tác chế bị mẫu đầm chặt

Vật liệu đất hoàng thổ nêu trên, sau khi trộn đều được chia thành 4 phần nhằm tạo mẫu nghiên cứu theo các kịch bản: 03 phần chế bị hỗn hợp đất- xi măng cùng tỉ lệ 6% xi măng tương ứng với 3 phương thức trộn khác nhau; và 1 phần đất còn lại tạo mẫu không sử dụng chất kết dính xi măng. Trong đó, mỗi trường hợp nghiên cứu gồm ít nhất 5 mẫu chế bị tương ứng 5 giá trị độ ẩm khác nhau, với mức chênh lệch 3-5 % so với độ ẩm của đất trước khi tạo hỗn hợp đầm chặt [16].

Các mẫu trộn phục vụ nghiên cứu ký hiệu tương ứng lần lượt là M0, M1, M2 và M3, cụ thể như sau:

Loại mẫu trộn M0 (sau đây các ký hiệu Mi dùng để gọi chung cho trường hợp thứ i, mẫu Mi hay phương án trộn Mi): Sử dụng đất hoàng thổ không trộn xi măng, được đầm chặt theo phương pháp Proctor tiêu chuẩn phù hợp tiêu chuẩn STAS 1913/13-83 [16]. Cụ thể, đất hoàng thổ khô gió có độ ẩm 3% được chia thành 5 mẫu. Mỗi mẫu được trộn đều với lượng nước tăng dần tương ứng chênh lệch 3-5%, sau đó bảo quản kín và giữ độ ẩm trong 24h, rồi đem các mẫu này đầm chặt bằng thiết bị Proctor tiêu chuẩn;

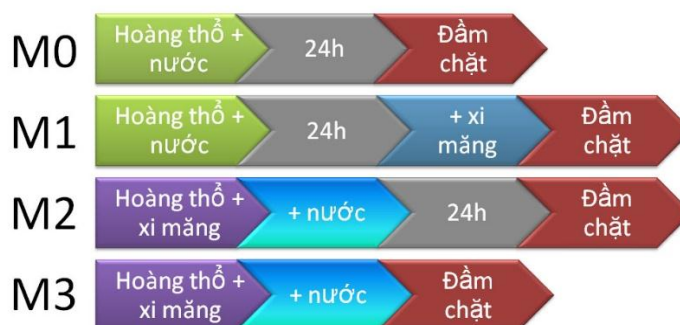
Loại mẫu trộn M1: Đất hoàng thổ được trộn với nước ở 5 mức độ ẩm để tạo 5 mẫu thí nghiệm như trường hợp M0, bảo quản ủ kín giữ ẩm. Sau 24h giữ ẩm, mẫu đất được trộn với 6% xi măng và tiến hành đầm chặt bằng thiết bị Proctor tiêu chuẩn ngay (5 mẫu hỗn hợp đất- xi măng cùng hàm lượng xi, khác độ ẩm);

Loại mẫu trộn M2: Khác trường hợp M1, ở đây mẫu đất hoàng thổ được trộn đều với 6% xi măng và nước, lượng nước thay đổi như trường hợp M0, sau đó cũng bảo quản bằng ủ kín giữ ẩm 24h rồi mới tiến hành đầm chặt. Ở trường hợp sử dụng phương pháp trộn và đầm chặt hỗn hợp đất-xi măng này, nhóm nghiên cứu tiến hành 7 mẫu nhằm đảm bảo đường cong đầm chặt bao hết khoảng độ ẩm khả dĩ trong thí nghiệm đầm chặt hiệu quả;

Loại mẫu trộn M3: Ở trường hợp này, sử dụng

phương pháp trộn và đầm khác các trường hợp M1 và M2. Đất hoàng thổ không được trộn đều với 6% xi măng, sau đó trộn đều với nước tương ứng 5 cấp độ ẩm khác nhau như trường hợp M0 và đầm chặt ngay. Tương tự trường hợp M1, trường hợp này cũng sử dụng 5 mẫu nghiên cứu với các độ ẩm khác nhau khi cùng tỷ lệ xi măng.

Tổng hợp các trường hợp nghiên cứu hay các phương pháp trộn hỗn hợp đất-nước cũng như đất-nước-xi măng và đầm chặt được thể hiện trên hình 1.



Hình 1. Sơ đồ minh họa các phương pháp trộn vật liệu

Với các trường hợp tạo mẫu nghiên cứu như mô tả, trường hợp M0 thuần túy tiến hành thí nghiệm đầm chặt vật liệu đất theo các tiêu chuẩn hiện hành.

Trường hợp M1 và trường hợp M2, mẫu hỗn hợp đất-xi măng-nước được tiến hành đầm chặt sau 24h giữ ẩm nhưng khác nhau về thứ tự trộn (hình 1). Ở trường hợp M1, sau 24h mẫu đất đảm bảo phân bố độ ẩm đều, xong việc trộn xi măng và đầm chặt ngay thì xi măng hầu như không có đủ thời gian phản ứng với nước trước khi được đầm chặt. Còn trường hợp M2, việc trộn đều tạo hỗn hợp đất-xi măng-nước sau đó ủ kín giữ ẩm 24h trước khi được đầm chặt sẽ có đủ thời gian để phản ứng xi măng với nước (quá trình ninh kết) xảy ra làm thay đổi liên kết cấu trúc của đất.

Khác với trường hợp M1 và M2, ở trường hợp M3 các mẫu thí nghiệm được thực hiện với sự thay đổi “đột phá” hơn khi không bố trí thời gian cho độ ẩm phân bố đều trong mẫu đất cũng như không cho phản ứng xi măng-nước diễn ra. Các loại vật liệu khô được trộn đều sau đó trộn với nước và đầm chặt ngay.

2.3 Nội dung và tiêu chuẩn thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, hiệu quả đầm chặt, tính

nén lún và sức chống cắt của hỗn hợp đất-xi măng được xem xét tương ứng với các trường hợp chế bị mẫu nghiên cứu như đã mô tả trên. Với cùng loại đất hoàng thổ, cùng loại và hàm lượng xi măng, cùng phương pháp đầm chặt, trong khoảng độ ẩm nhất định cho phép khảo sát được ảnh hưởng phương pháp trộn hỗn hợp đất-nước-xi măng khác nhau tới các thông số biến dạng và độ bền của hỗn hợp gia cố.

Hiệu quả đầm chặt được đánh giá thông qua các thông số độ ẩm tối ưu (w_{opt}) và trọng lượng thể tích khô lớn nhất ($\gamma_{d max}$) theo qui định đầm chặt bằng thiết bị Proctor tiêu chuẩn [16].

Các thông số mô đun biến dạng Oedometric (M_{300}) đặc trưng cho tính nén lún cũng như góc ma sát trong (ϕ) và cường độ lực dính kết (c) đặc trưng cho sức chống cắt của mẫu chế bị được tiến hành thông qua các thí nghiệm nén không nở hông ở điều kiện bão hòa bằng thiết bị Oedometer và cắt trực tiếp theo tiêu chuẩn xây dựng Châu Âu hiện hành EUROCODE 6 ([6], [7], [12], [14], [16], [17], [18]). Việc thực hiện các thí nghiệm này được tiến hành với các mẫu chế bị như mô tả mục 2.2 sau 28 ngày bảo quản bằng ủ kín giữ ẩm ở nhiệt

độ phòng thí nghiệm thông thường.

3. Phân tích kết quả nghiên cứu thực nghiệm

3.1 Hiệu quả đầm chặt

Trong thực tế xây dựng, nền công trình thường được đầm chặt để giảm thiểu độ lún cũng như cải thiện các tính chất xây dựng khác như khả năng chịu tải và sức chống cắt. Phương pháp này thường được sử dụng để xử lý nền đất chưa thích

hợp (nền đất yếu) như đất hoàng thổ, bằng cách thay thế hoàng thổ tự nhiên bằng hoàng thổ đầm chặt hoặc trộn hoàng thổ với xi măng sau đó đầm chặt [2], [4].

Kết quả thí nghiệm đầm chặt Proctor tiêu chuẩn ở 4 trường hợp nghiên cứu, độ ẩm tối ưu và trọng lượng thể tích khô lớn nhất có sự khác biệt (bảng 1).

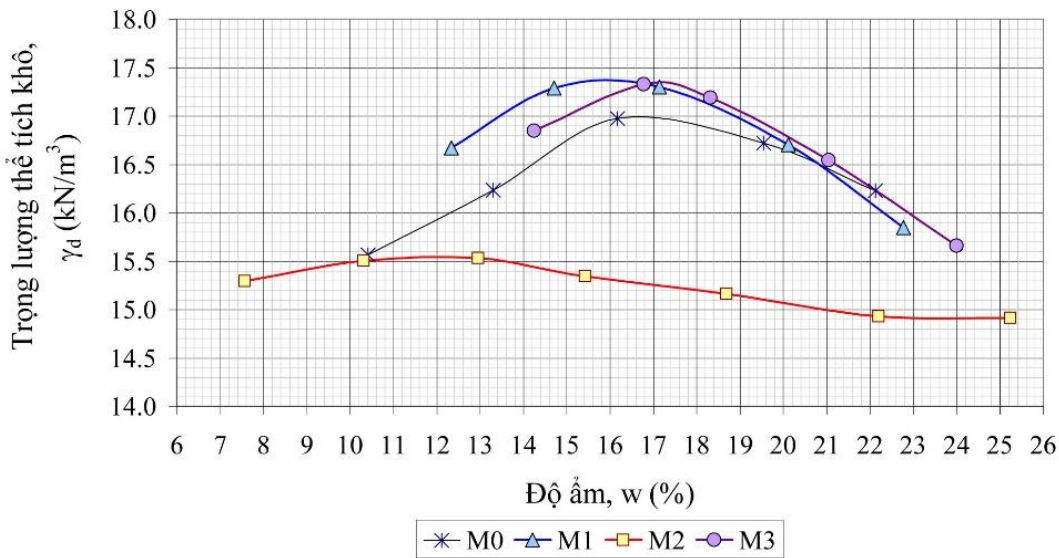
Bảng 1. Kết quả thí nghiệm đầm chặt các mẫu trộn theo các cách khác nhau

Chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị	Phương pháp trộn			
			M0	M1	M2	M3
Hàm lượng xi măng	P_{xm}	%	0	6	6	6
Độ ẩm tối ưu	w_{opt}	%	16.70	16.84	12.40	17.10
Trọng lượng thể tích khô lớn nhất	$\gamma_d \max$	kN/m^3	17.00	17.35	15.57	17.36

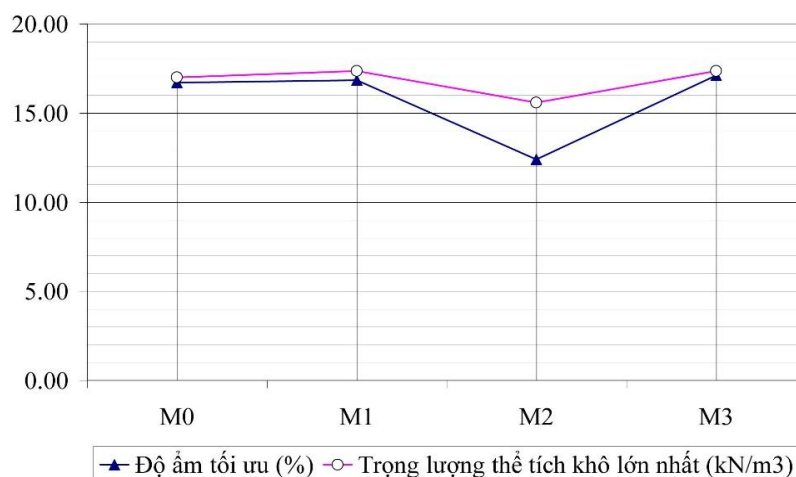
Với phương pháp trộn hỗn hợp đất-xi măng-nước và đầm chặt Proctor tiêu chuẩn sau 24h giữ ẩm (trường hợp M2) cho giá trị độ ẩm tối ưu và trọng lượng thể tích khô lớn nhất bé hơn cả, thậm chí nhỏ hơn cả mẫu đất hoàng thổ đầm chặt không có xi măng (loại mẫu M0). Điều này có thể giải thích được rằng, ở cách chế bị mẫu hỗn hợp này, các vật liệu đất, xi măng và nước được trộn đều, sau 24h, xi măng hút nước trong đất tạo phản ứng hóa học làm lượng nước tự do trong mẫu đất giảm đi (giảm độ ẩm tối ưu). Cùng với đó, bắt đầu hình thành các liên kết xi măng gắn kết mới, cấp phối hạt đất thay đổi, các liên kết và cấp phối hạt mới

này làm phát sinh và cản trở công đầm, gây khó khăn trong việc sắp xếp lại hoặc cản trở lấp nhét các hạt đất dẫn tới làm giảm hiệu quả đầm chặt (trọng lượng thể tích khô lớn nhất bị giảm).

Đồ thị đường cong đầm chặt của mẫu M2 (hình 2) có dạng dẹt hơn và nằm thấp hơn hẳn so với các đường cong còn lại là minh chứng rõ nét chứng tỏ ảnh hưởng lớn của các liên kết xi măng được tạo thành đã giảm hiệu quả đầm chặt rõ rệt. Nghĩa là, xét về khía cạnh hiệu quả đầm chặt, phương pháp trộn hỗn hợp đất-xi măng-nước như loại mẫu chế bị M2 cho hiệu quả kém nhất.



Hình 2. Đường cong đầm chặt của các mẫu theo cách trộn hỗn hợp khác nhau



Hình 3. Ảnh hưởng của các cách trộn hỗn hợp đến trọng lượng thể tích khô lớn nhất và độ ẩm tối ưu khi đầm chặt

Ngược lại, hai trường hợp trộn M1 và M3, tương ứng loại mẫu M1 và M3 cho thấy hiệu quả đầm chặt tốt hơn, thể hiện qua giá trị trọng lượng thể tích khô lớn nhất cao hơn hẳn các trường hợp khảo sát khác. Nhìn chung, khi cải tạo bằng cùng hàm lượng xi măng, theo cách chế bị mẫu trường hợp M3 cho các giá trị đại diện về tính đầm chặt vật liệu đất tốt hơn (M3 lớn hơn 0.06% về trọng lượng thể tích khô lớn nhất và hơn 1.54% về độ ẩm tối ưu so với M1; tương tự là 11,5% và 37,9% khi so sánh với M2). Khi xét về tính đầm chặt đất thì hai phương pháp trộn và chế bị mẫu M1 và M3 đều khá tương đồng, nhưng với trường hợp trộn hỗn hợp đất-xi măng-nước xong đầm chặt ngay (trường hợp M3) sẽ có lợi thế hơn về tiến độ thi công khi áp dụng trong thực tế, nghĩa là giảm bớt

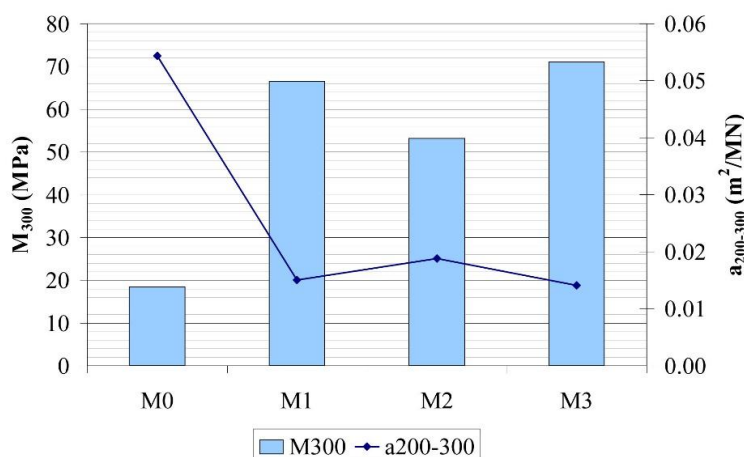
thời gian chờ sau 24h như trường hợp M1.

3.2 Tính chất nén lún mẫu chế bị

Các thông số đặc tính nén lún của đất rất cần thiết để phân tích độ lún của nền đất dưới tác dụng tải trọng khi thiết kế xây dựng nói chung. Để so sánh hiệu quả giảm tính nén lún của các mẫu nghiên cứu tương ứng các phương pháp trộn hỗn hợp khác nhau, các mẫu đầm chặt bảo quản ủ giữ ẩm 28 ngày được thực hiện thí nghiệm nén một trục không nở hông ở điều kiện bão hòa bằng thiết bị Oedometric. Mô đun biến dạng (M_{300}) và giá trị hệ số nén lún ($a_{200-300}$) ứng với cấp tải trọng 200-300 kPa được lựa chọn để so sánh. Kết quả xác định các thông số này được tổng hợp và trình bày ở bảng 2 và hình 4.

Bảng 2. Mô đun biến dạng và hệ số nén lún của các mẫu thử

Chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị	Phương pháp trộn			
			M0	M1	M2	M3
Hàm lượng xi măng	P_{xm}	%	0	6	6	6
Hệ số nén lún	$a_{200-300}$	m^2/MN	0.0543	0.0150	0.0188	0.0141
Mô đun biến dạng	M_{300}	MPa	18.40	66.47	53.18	71.00



Hình 4. Hệ số nén lún của các mẫu chế bị theo các cách trộn hỗn hợp khác nhau

Kết quả khảo sát cho thấy, cả ba cách trộn hỗn hợp hoàng thổ với xi măng và nước đã cải thiện tính chịu nén của mẫu thử khá rõ nét. Minh chứng thuyết phục bằng sự gia tăng đáng kể của mô đun biến dạng (M_{300} của các mẫu hoàng thổ trộn 6% xi măng tăng từ 2.89 đến 3.86 lần so với mẫu không có xi măng). Với cách trộn hỗn hợp và chế bị mẫu theo trường hợp M2 cho hiệu quả đầm chặt không tốt, nhưng vẫn thể hiện sự cải thiện tính nén lún một cách rõ nét. So sánh giữa các cách trộn và tạo mẫu đầm chặt ở trường hợp M3 cho thấy cách tạo mẫu M3 cho giá trị mô đun biến dạng lớn nhất, lớn hơn trường hợp M1 tới lớn hơn 6.8 %.

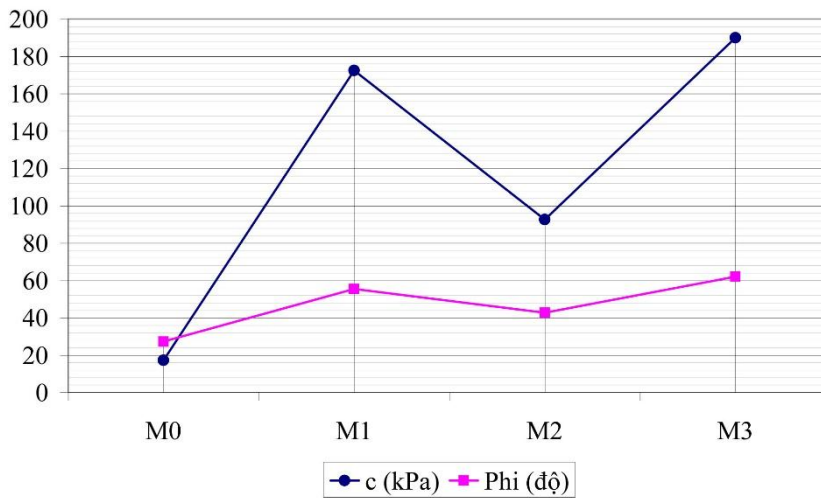
3.3 Sức chống cắt mẫu chế bị

Các thông số đặc trưng sức chống cắt gồm

góc ma sát trong (φ – phi) và cường độ lực dính kết (c) của đất là những thông số cơ bản luôn cần thiết cho công tác tính toán thiết kế công trình (dự báo ổn định, dự báo sức chịu tải nền đất...). Trong nghiên cứu này, các mẫu chế bị được đầm chặt, bảo quản ủ giữ ẩm mẫu cho kết quả về sức chống cắt khá tốt. Hỗn hợp đất hoàng thổ gia cố 6% xi măng không còn là đất yếu, nên sức chống cắt được nghiên cứu thông qua thí nghiệm cắt trực tiếp (cắt phẳng) thông thường. Mẫu cắt trực tiếp lại được chế bị từ các mẫu hỗn hợp đầm chặt, mỗi loại được lấy 3 mẫu để tiến hành thí nghiệm với 3 cấp áp lực tăng dần 100 kPa, 200 kPa, 400 kPa. Kết quả thực nghiệm được tổng hợp và trình bày trong bảng 3 và hình 5.

Bảng 3. Góc ma sát trong và cường độ lực dính của các mẫu thử

Chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị	Phương pháp trộn			
			M0	M1	M2	M3
Hàm lượng xi măng	Pxm	%	0	6	6	6
Cường độ lực dính	c	kPa	0.0543	0.0150	0.0188	0.0141
Góc ma sát trong	φ	độ	18.40	66.47	53.18	71.00



Hình 5. Ảnh hưởng của cách trộn vật liệu tới sức chống cắt của mẫu đất

Các mẫu trộn đất hoàng thổ với xi măng theo ba phương pháp trộn đều làm tăng sức chống cắt của đất các mẫu thử, thể hiện qua cả hai tham số φ và c đều tăng so với mẫu không có xi măng (M0). Phương pháp trộn ở trường hợp M2 tạo loại mẫu M2 có mức độ gia tăng φ , c khá ít (tương ứng là 5.38 lần và 1.56 lần so với mẫu đất hoàng thổ không có xi măng). Ngược lại, cách trộn tạo mẫu M3 có mức độ gia tăng sức chống cắt lớn nhất (c , φ tăng tương ứng là 11 lần và 2.27 lần). Xem xét hai tham số đặc trưng sức chống cắt thấy rằng, khi cải tạo vật liệu đất hoàng thổ bằng cách trộn thêm

xi măng thì giá trị cường độ lực dính kết tăng rất mạnh, lên tới hàng chục lần, trong khi giá trị góc ma sát trong có tăng nhưng không quá nhiều (chỉ vài lần).

4. Kết luận

Cải tạo nền đất hoàng thổ bằng cách trộn với xi măng portland và đầm chặt đã được đề cập trong nghiên cứu này, trong đó chỉ tập trung nghiên cứu về ảnh hưởng của các phương pháp trộn hỗn hợp đất-xi măng- nước khác nhau đến hiệu quả cải tạo đất hoàng thổ thông qua phân tích đánh giá các

kết quả thực nghiệm. Nghiên cứu thực nghiệm bao gồm các kết quả về tính chất cơ học của đất như tính đầm chặt, tính nén lún và sức chống cắt.

- Khi trộn một lượng nhỏ xi măng (6%) với đất hoàng thổ kết hợp với việc đầm chặt đã cải thiện các đặc tính kỹ thuật của nền đất một cách rõ rệt, ngoại trừ trường hợp M2 (loại mẫu nghiên cứu M2) thể hiện giảm hiệu quả khi đầm chặt, nhưng các tính chất nén lún, sức chống cắt vẫn được cải thiện đáng kể so với đất không có chất kết dính xi măng;

- So sánh giữa 3 phương pháp trộn trong nghiên cứu này, cách trộn hỗn hợp tạo loại mẫu M2 thể hiện hiệu quả cải tạo thấp nhất, khuyến cáo không nên áp dụng trong thực tế;

- Phương pháp trộn hỗn hợp đất-xi măng-nước trường hợp M3 (tạo loại mẫu M3) luôn thể hiện hiệu quả tốt nhất về tính đầm chặt, tính biến dạng và sức chống cắt so với các cách chế bị mẫu còn lại, là hướng ưu tiên lựa chọn áp dụng cho thực tế khi có bổ sung các nghiên cứu đánh giá hiện trường;

- Kết quả nghiên cứu này là cơ sở lý thuyết tốt dựa trên phương pháp luận đáng tin cậy, góp phần bổ sung cho các nghiên cứu về cải tạo đất loess nói riêng và là tài liệu tham khảo hữu ích cho các nghiên cứu khi cải tạo các loại đất khác nói chung (bằng phương pháp trộn xi măng), ở Romania cũng như ở Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Arrúa P., Aiassa G.; Eberhardt M. and Alercia Biga C. (2011). "Behavior of Collapsible Loessic Soil After Interparticle Cementation". *Int. J. of GEOMATE, Vol.1 No.2, 130-135.*
2. Dimcho Evstatiev (1998). "Loess improvement methods". *Engineering Geology, 25, 341-366.*
3. Doncho Karastanev, Dimitar Antonov, Boriana Tchakalova, Mila Trayanova (2016). "Selection of optimum loess-cement mixture for construction of a compacted soil-cement cushion". *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology - January.*
4. Dron Andrei (1976). "Lucrari de imbunatatiri funciare si constructii hidrotehnice pe loessuri si pamanturi loessoide". *Editura Ceres.*

5. Kumar N, Darga & Singh, Ravikant. (2016). "Oedometer Based Study on Collapse Potential of Cement Admixed Loess Soil". *International Conference on Innovative Trends in Civil Engineering for Sustainability, At Kerala, India.*
6. NP 125:2010. "Normativ privind fundarea constructiilor pe pamanturi sensibile la umezire".
7. NP 122:2010. "Normativ privind determinarea valorilor caracteristice si de calcul ale parametrilor geotehnici".
8. P. Arrua, G. Aiassa & M. Eberhardt (2012). "Loess Soil Stabilized with Cement for Civil Engineering Applications". *International Journal of Earth Sciences and Engineering, ISSN 0974-5904, Volume 05, No. 01, .10-17.*
9. Rollins, K.M., Jorgensen, S.J., Ross, T.E. (1998). "Optimum moisture content for dynamic compaction of collapsible soils". *J Geotech. Geoenviron. Eng. 124, 699-708.*
10. Roumyana Nikolova Angelova (2007). "Loess-cement long-term strength — a facilitating factor for loess improvement applications". *Geologica Balcanica, 36.3-4, Sofia, pp 21-24.*
11. SR EN 1008:2003. "Mixing water for concrete", European Standard, Romanian Version.
12. SR EN 12390-2:2009 (2009). Making and curing specimens for strength tests. *European Standard, Romanian Version.*
13. SR EN 197-1 Cement – Part 1: "Composition, specifications and conformity criteria for common cements", *European Standard, Romanian Version.*
14. STAS 1913/1-82. "Incerari teren fundare: Determinarea umiditatii".
15. STAS 1913-12-88. Incerari teren fundare Determinarea caracteristicilor fizice si mecanice ale pamanturilor cu umflari si contractii mari.
16. STAS 1913/13-83. "Incerari teren fundare: Determinarea caracteristicilor de compactare".
17. STAS 8942/1-89. "Incerari teren de fundare: Determinarea compresibilitatii pamanturilor prin incercarea in edometru".
18. STAS 8942/2-82. "incercari teren de fundare: Forfecare directa".
19. Trần Đức Lương, Nguyễn Xuân Bao & nnk (1983). "Bản đồ địa chất Việt Nam tỷ lệ 1:500.000". *Tổng cục Mô - Địa chất, Hà Nội.*

Ngày nhận bài: 28/4/2021.

Ngày nhận bài sửa: 07/6/2021.

Ngày chấp nhận đăng: 07/6/2021.

