

Thí nghiệm đặc tính cường độ vật liệu đất yếu trộn xi măng và tro bay áp dụng xử lý nền đất yếu theo phương pháp gia cố toàn khối

■ TS. ĐỖ HỮU ĐẠO

Trường Đại học Bách khoa (Đại học Đà Nẵng)

■ KS. NGUYỄN THÁI NGUYỄN

Ban Quản lý dự án Đầu tư Xây dựng huyện Cầu Ngang, tỉnh Trà Vinh

TÓM TẮT: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm về đặc tính cường độ vật liệu đất trộn xi măng và tro bay được ứng dụng để xử lý nền đất yếu khu vực đồng bằng sông Cửu Long theo phương pháp gia cố toàn khối. Có hai tổ hợp mẫu được quy hoạch thực nghiệm: Tổ hợp 1 thực hiện cho cấp phối đất sét trộn xi măng với các hàm lượng xi măng (C): 10-15-20-25-30% theo khối lượng để đúc mẫu; tổ hợp 2 quy hoạch thực nghiệm cho các hàm lượng xi măng (C) 10-20-30% trộn cho các tỷ lệ tương ứng của 10-20-30% tro bay (F). Có tổng cộng 5 cấp phối cho cọc đất xi măng (CDM) và 9 cấp phối cho hỗn hợp vật liệu cọc đất gia cố xi măng và tro bay (CFDM) với tổng số lượng 168 mẫu. Mẫu được dưỡng hộ trong điều kiện tiêu chuẩn và nén nở hông (UCS) ở các mốc thời gian 7-14-21-28 ngày. Kết quả được phân tích ảnh hưởng các hàm lượng vật liệu xi măng, tro bay đến cường độ UCS. Đồng thời, ứng dụng phương pháp PCA (Principle Component Analysis) phân tích dữ liệu và hồi quy tuyến tính để xây dựng phương trình xác định cường độ UCS, hàm lượng xi măng, hàm lượng tro bay của vật liệu đất được gia cố.

TỪ KHÓA: Đất sét trộn xi măng, tro bay, gia cố toàn khối, cường độ nén nở hông, Principle Component Analysis.

ABSTRACT: This research studies on the strength of cement-fly ash stabilized soil which was effectively applied to deal with the soft ground in the Mekong Delta, Vietnam. The first group of mixtures used 10 - 30% of cement by mass with an interval of 5%. The second group of mixtures used 10 - 30% of cement coupled with 10 - 30% of fly ash by mass with an interval of 5%. As a result, there were 5 proportions for cement-soil mixture and 9 proportions for cement-fly ash-soil mixtures with a total of 168 testing samples. The samples were molded and cured in a curing chamber with 95% of humidity at 25°C. Finally, they were subjected to the unconfined compressive strength (UCS) tests at the age of 7, 14, 21 and 28

days. The testing results showed the effects of cement and fly ash contents on UCS value of the stabilized mixtures. Besides, the Principle Component Analysis (PCA) method was employed to build the relationship between the amount of cement and fly ash and the UCS strength of the stabilized soil.

KEYWORDS: Cement stabilized clay, fly ash, mass stabilized, unconfined compressive strength (UCS), Principle Component Analysis (PCA).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

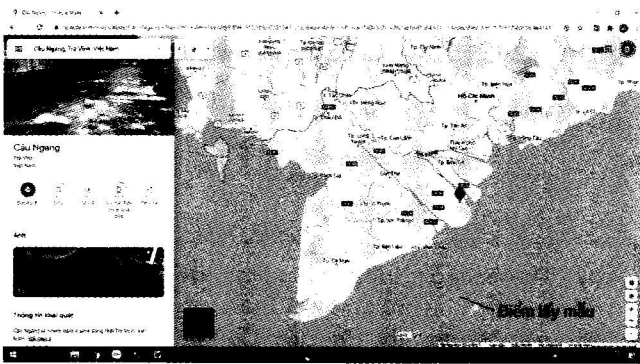
Hiện nay, đất nước ta trên con đường công nghiệp hóa, hiện đại hóa với quy mô toàn diện và ngày càng nhanh chóng. Theo đó, việc xây dựng các công trình hạ tầng giao thông ngày càng nhiều như các tuyến đường ô tô, đường cao tốc. Việc xử lý nền đất yếu là mục tiêu hàng đầu để đảm bảo cho công trình an toàn, ổn định theo thời gian. Công nghệ sử dụng cọc đất xi măng (cọc CDM) và cọc đất xi măng - tro bay (cọc CFDM) với nhiều ưu điểm là giải pháp mang lại hiệu quả về mặt kỹ thuật, rút ngắn thời gian thi công và không làm ảnh hưởng công trình lân cận. Một ưu điểm nữa về kỹ thuật đó là xử lý tồn đọng phế phẩm tro bay từ các nhà máy nhiệt điện, tái sử dụng vật liệu phế thải, góp phần giảm ô nhiễm môi trường.

Các vấn đề thiết kế, thi công, nghiệm thu cho cọc đất gia cố xi măng theo các phương pháp trộn sâu, jet grouting đã được tiêu chuẩn hóa trong [5]. Trên cơ sở đó cũng có nhiều nghiên cứu thực nghiệm trong phòng về tính chất cơ học vật liệu đất trộn xi măng cho nhiều loại đất khác nhau, trong đó nghiên cứu cho đất yếu vùng ven biển đồng bằng sông Cửu Long [4]. Gần đây có một số kết quả nghiên cứu trong nước và ngoài nước về đặc tính kỹ thuật của tro bay và tính chất vật liệu đất yếu gia cố xi măng - tro bay [2,3,6,7].

Bài báo tập trung nghiên cứu thực nghiệm xác định cường độ của vật liệu đất yếu gia cố xi măng và tro bay. Thí nghiệm nén mẫu và sử dụng phương pháp Principle Component Analysis [8] để phân tích kết quả và xây dựng các phương trình hồi quy cho các biến về cường độ UCS, hàm lượng xi măng, hàm lượng tro bay.

2. ĐẶC ĐIỂM TÍNH CHẤT VẬT LIỆU

Trong nghiên cứu này, đất sét yếu sẽ được lấy tại khu vực huyện Cầu Ngang, tỉnh Trà Vinh có vị trí xác định như Hình 2.1. Các chỉ tiêu cơ lý của mẫu đất được thể hiện trong Bảng 2.1. Xi măng phục vụ thí nghiệm là xi măng Hà Tiên PCB40. Tro bay lấy từ nguồn của Nhà máy Nhiệt điện Duyên Hải, tỉnh Trà Vinh có độ nghiêng mịn 2,25%, khối lượng riêng 2,44 g/cm³, khối lượng thể tích 965 kg/cm³.



Hình 2.1: Địa điểm lấy mẫu đất thí nghiệm

Bảng 2.1. Chỉ tiêu cơ lý đất sét yếu thí nghiệm

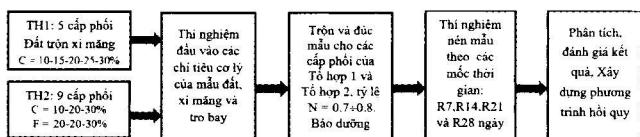
Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị
- Độ ẩm tự nhiên (W)	%	38,26
- Dung trọng ướt (g _w)	g/cm ³	1,92
- Dung trọng khô (g _k)	g/cm ³	1,39
- Tỷ trọng (Δ)		2,68
- Hệ số lỗ rỗng (e ₀)		1,75
- Giới hạn chảy (W _L)	%	38,28
- Giới hạn dẻo (W _p)	%	28,25
- Chỉ số dẻo (IP)	%	10,3
- Độ sệt (B)		0,94

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

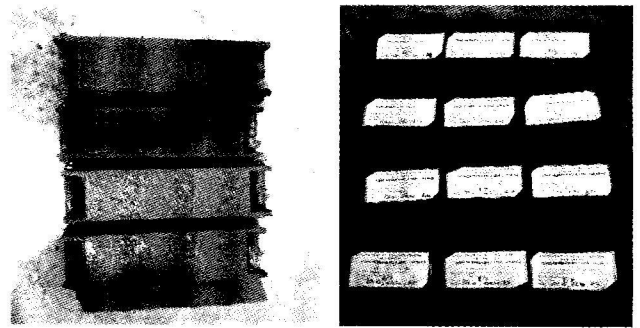
3.1. Phương pháp thí nghiệm

Việc thí nghiệm dựa vào TCVN 9403: 2012 [5]. Sơ đồ quy hoạch thực nghiệm cho tổ hợp 1 (TH1): cấp phối đất sét trộn xi măng với hàm lượng 10-15-20-25-30% khối lượng; tổ hợp 2 (TH2): đất sét trộn xi măng - tro bay hàm lượng xi măng 10-20-30% trộn tương ứng của 10-20-30% tro bay, tỷ lệ nước/xi măng (ký hiệu N) cho hai tổ hợp thí nghiệm từ 0,7 đến 0,8. Hình 3.1 thể hiện sơ đồ quy hoạch thực nghiệm của hai tổ hợp mẫu. Hình 3.2 thể hiện các bước lấy mẫu, đúc và nén mẫu của tổ hợp 1 và tổ hợp 2. Cường độ kháng nén nở hông UCS (MPa) của mẫu đúc được tính theo công thức: UCS = P/A

Trong đó: P - Tải trọng phá hoại (N); A - Diện tích chịu nén của mẫu (mm²). Một tổ mẫu thí nghiệm gồm 3 mẫu lấy và kết quả trung bình.



Hình 3.1: Sơ đồ quy hoạch thực hiện thí nghiệm



a) - Đúc mẫu

b) - Mẫu đúc xong



c) - Máy nén mẫu



d) - Nén mẫu

Hình 3.2: Đúc các mẫu và thí nghiệm nén nở hông UCS

3.2. Kết quả nghiên cứu nén mẫu

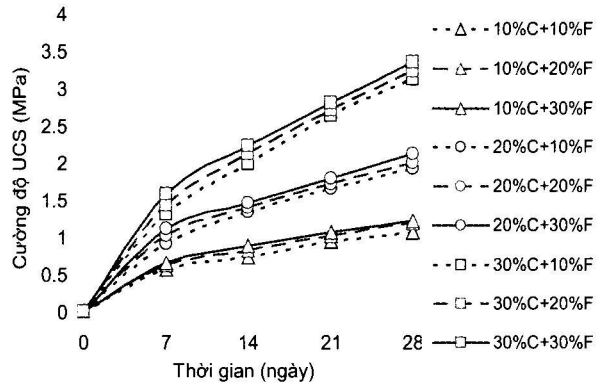
Kết quả thí nghiệm nén mẫu nở hông (UCS) của các mẫu nén cho tổ hợp 1: đất sét gia cố xi măng có hàm lượng từ 10% đến 30% trong Bảng 3.1; tổ hợp 2: đất sét - xi măng - tro bay được tổng hợp trong Bảng 3.2. Hình 3.3 biểu diễn sự tăng trưởng của cường độ nén nở hông UCS của tổ hợp mẫu đất gia cố xi măng (C) với các hàm lượng C = (10-15-20-25-30)%, không có tro bay với biểu đồ tăng theo phi tuyến. Hình 3.4 biểu diễn quan hệ giữa hàm lượng xi măng C và cường độ UCS theo các mốc thời gian t = (7, 14, 21 và 28) ngày, biểu đồ cho thấy cường độ UCS có xu hướng tăng gần tuyến tính với hàm lượng xi măng. Hình 3.5 biểu diễn sự tăng trưởng cường độ của vật liệu đất gia cố xi măng và tro bay với các hàm lượng khác nhau.

Bảng 3.1. Kết quả nén mẫu của tổ hợp 1 không tro bay

STT	Cấp phối	Cường độ chịu nén nở hông (MPa)			
		7 ngày	14 ngày	21 ngày	28 ngày
1	10% xi măng N = 0,8	0,24	0,44	0,68	0,80
		0,26	0,48	0,69	0,79
		0,20	0,46	0,63	0,84
2	15% xi măng N = 0,76	0,47	0,82	1,14	1,30
		0,47	0,89	1,13	1,31
		0,51	0,78	1,18	1,33
3	20% xi măng N = 0,74	0,67	1,13	1,57	1,85
		0,65	1,16	1,56	1,82
		0,68	1,12	1,48	1,79
4	25% xi măng N = 0,72	0,83	1,39	1,85	2,33
		0,88	1,37	1,84	2,38
		0,8	1,46	1,96	2,31
5	30% xi măng N = 0,70	1,08	1,83	2,31	2,87
		1,12	1,77	2,33	2,82
		1,09	1,87	2,41	2,79

Bảng 3.2. Kết quả nén mẫu của tổ hợp 2 có tro bay

STT	Cấp phối		Cường độ chịu nén nở hông (MPa)			
			7 ngày	14 ngày	21 ngày	28 ngày
1	10% xi măng	10% tro bay N = 0,75	0,58	0,72	0,92	1,05
			0,51	0,70	0,96	1,06
			0,59	0,78	0,94	1,07
		20% tro bay N = 0,78	0,60	0,77	0,98	1,20
			0,63	0,79	1,03	1,18
			0,62	0,89	1,02	1,17
		30% tro bay N = 0,8	0,60	0,88	1,06	1,21
			0,69	0,88	1,07	1,21
			0,66	0,88	1,05	1,23
2	20% xi măng	10% tro bay N = 0,74	0,94	1,33	1,62	1,92
			0,87	1,34	1,64	1,94
			0,93	1,35	1,71	1,93
		20% tro bay N = 0,77	1,03	1,40	1,71	1,96
			1,02	1,41	1,72	2,00
			0,99	1,37	1,73	2,05
		30% tro bay N = 0,8	1,13	1,45	1,77	2,09
			1,11	1,44	1,78	2,15
			1,10	1,46	1,79	2,12
3	30% xi măng	10% tro bay N = 0,72	1,28	2,00	2,63	3,17
			1,30	1,97	2,64	3,16
			1,32	1,99	2,64	3,05
		20% tro bay N = 0,76	1,41	2,27	2,70	3,21
			1,44	2,04	2,73	3,24
			1,43	2,07	2,71	3,22
		30% tro bay N = 0,8	1,57	2,15	2,90	3,33
			1,58	2,26	2,79	3,35
			1,56	2,26	2,72	3,36



Hình 3.5: Biểu đồ tăng trưởng cường độ UCS của vật liệu đất xi măng (C) - tro bay (F)

Nhận xét: Từ kết quả thí nghiệm cho thấy, sự có mặt của tro bay có góp phần làm tăng cường độ UCS của mẫu. Đối với khi hàm lượng xi măng thấp ở mức 10% thì hiệu quả tăng cường độ kho có tro bay là khá cao với mức tăng UCS đến 30%. Khi hàm lượng xi măng tăng lên ở mức 20% và 30% thì sự thể hiện ảnh hưởng của tro bay ít hơn với UCS tăng trong mức (15 - 23%). Đồng thời, kết quả thể hiện được rằng, khi hàm lượng tro bay tăng lên thì mức độ tăng cường độ giảm xuống. Do vậy, việc sử dụng tro bay cần cân nhắc hàm lượng hợp lý để tránh sự giảm cường độ và gây nứt mẫu.

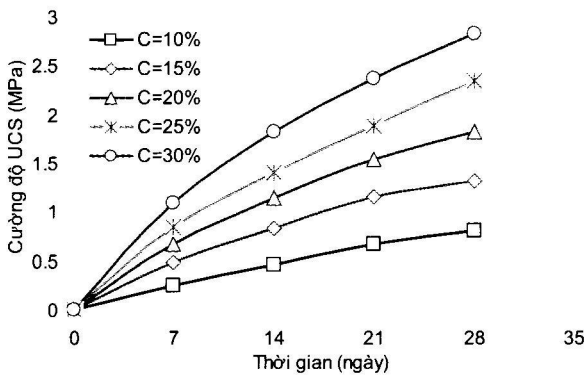
3.3. Phân tích PCA và hồi quy tuyến tính

3.3.1. Cơ sở phân tích tương quan tuyến tính

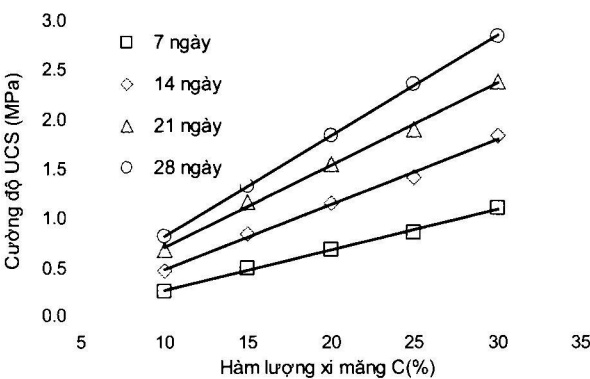
Chọn biến số: Đối với tổ hợp 1, các biến phân tích sẽ là: cường độ nở hông UCS (MPa), hàm lượng xi măng C (%), thời gian dưỡng hộ để nén mẫu t (ngày). Đối với tổ hợp thí nghiệm 2, các biến phân tích sẽ là: cường độ nở hông UCS (MPa), hàm lượng xi măng C (%), hàm lượng tro bay F (%), tỷ lệ Nước/Xi măng (N) và thời gian dưỡng hộ để nén mẫu t (ngày).

3.3.2. Kết quả phân tích PCA

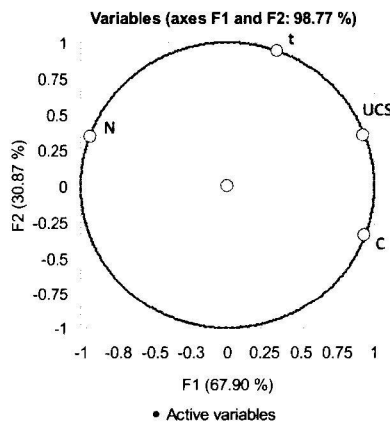
Sử dụng phần mềm XLSTAT phân tích biểu đồ phân bố các dữ liệu cho các biến của tổ hợp thí nghiệm 1 như Hình 3.6, biểu đồ cho thấy cường độ UCS có mối tương quan tốt với biến hàm lượng xi măng C và thời gian t. Biểu đồ phân tích PCA cho tổ hợp thí nghiệm 2 như Hình 3.7, biểu đồ cho thấy cường độ UCS cũng có mối tương quan tốt với các biến C, t, đối với biến F cũng có mức tương quan thấp, nghĩa là mức ảnh hưởng của tro bay đến cường độ UCS nhỏ hơn nhiều so với hai biến độc lập C và t.



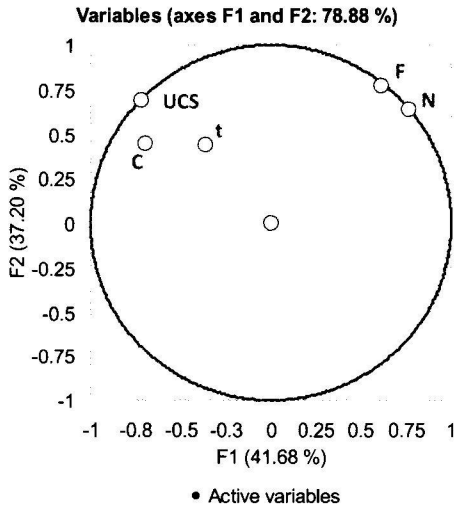
Hình 3.3: Biểu đồ tăng trưởng UCS theo thời gian t



Hình 3.4: Biểu đồ quan hệ UCS - C - t



Hình 3.6: Phân tích PCA cho 3 biến UCS, t, N, C



Hình 3.7: Phân tích PCA cho 4 biến UCS, t, C, N, F

3.3.3. Các phương trình hồi quy đa biến

Phân tích hồi quy tuyến tính cho các biến của 2 tổ hợp mẫu thí nghiệm không có tro bay (tổ hợp 1) và có tro bay (tổ hợp 2) tương ứng thu được các phương trình hồi quy được tập hợp trong Bảng 3.3 và Bảng 3.4.

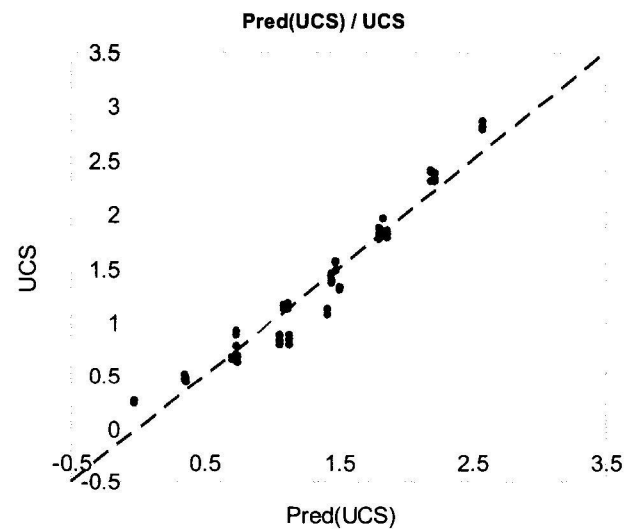
Bảng 3.3. Các phương trình hồi quy đa biến cho tổ hợp 1

STT	Hàm tương quan	Phương trình	Hệ số R ²	Ký hiệu
1	UCS = f(C,t,N)	$UCS = 0,066 \cdot C + 0,055 \cdot t - 1,338 \cdot N$	R ² = 0,987	(1)
2	C = f(UCS,t,N)	$C = 140,84 + 2,67 \cdot UCS - 0,147 \cdot t - 163,57 \cdot N$	R ² = 0,987	(2)

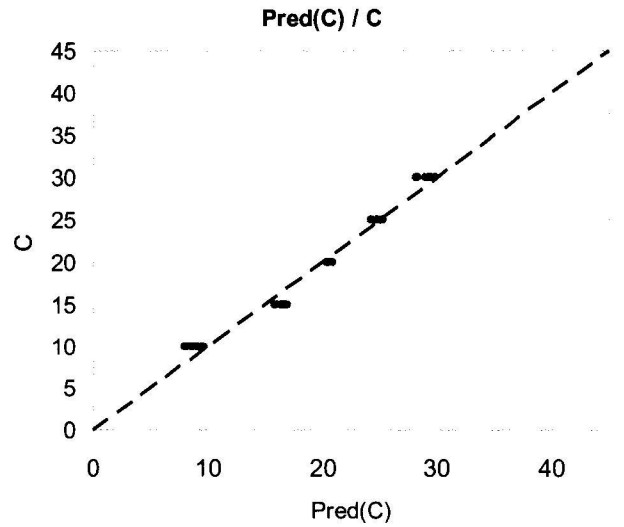
Bảng 3.4. Các phương trình hồi quy đa biến cho tổ hợp 2

STT	Hàm tương quan	Phương trình	Hệ số R ²	Ký hiệu
1	UCS = f(C,F,t,N)	$UCS = 0,073 \cdot C + 0,013 \cdot F + 0,053 \cdot t - 1,153N$	R ² = 0,987	(3)
2	C = f(UCS,F,t,N)	$C = 12,336 \cdot UCS - 0,163 \cdot F - 0,653 \cdot t + 19,428 \cdot N$	R ² = 0,985	(4)
3	F = f(UCS,C,t,N)	$F = 13,912 \cdot UCS - 1,503 \cdot C - 0,797 \cdot t + 42,821 \cdot N$	R ² = 0,902	(5)

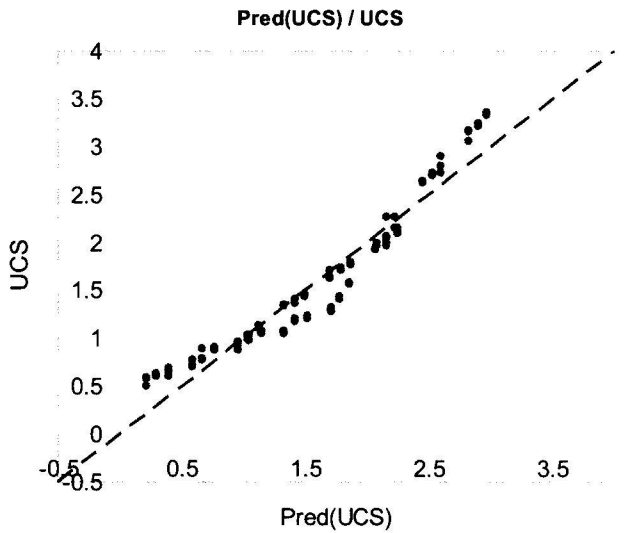
Thông số cho các phương trình hồi quy phân tích từ phần mềm XLSTAT bao gồm hệ số của phương trình với với biến độc lập và hệ số Pr đều đạt và nhỏ hơn 0,001 so với mức yêu cầu là 0,05. Các phương trình với mức độ tin cậy 95% so với giá trị tính toán từ thí nghiệm cho phương trình (1), (2), (3), (4), (5) thể hiện tương ứng trên các biểu đồ Hình 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12.



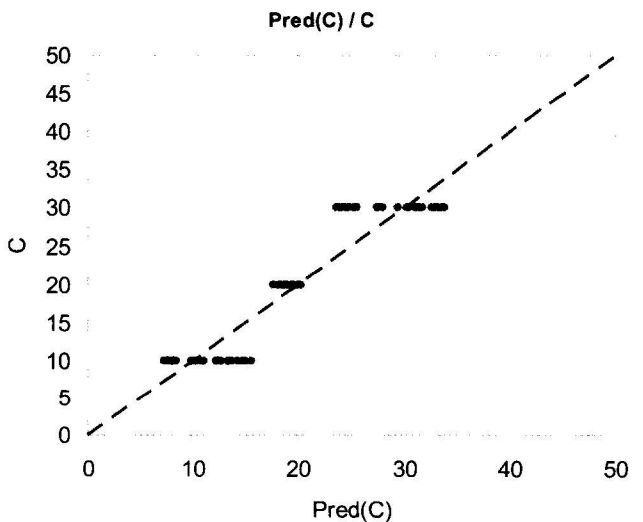
Hình 3.8: Biểu diễn kiểm thử phương trình (1)



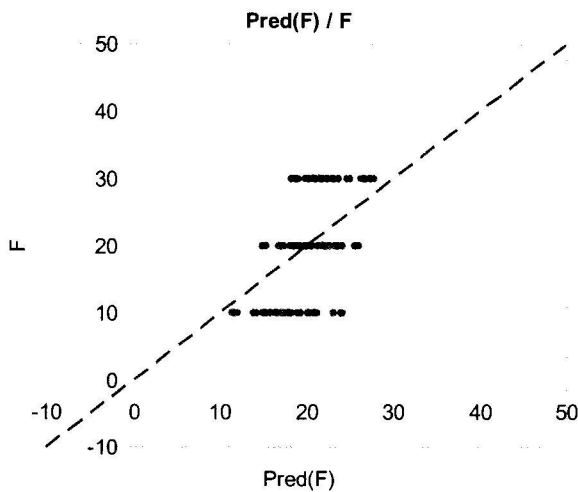
Hình 3.9: Biểu diễn kiểm thử phương trình (2)



Hình 3.10: Biểu diễn kiểm thử phương trình (3)



Hình 3.11: Biểu diễn kiểm thử phương trình (4)



Hình 3.12: Biểu diễn kiểm thử phương trình (5)

3.3.4. Nhận xét

Các hệ số trong các phương trình (1) (2), (3), (4), (5) cho giá trị $Pr \leq 0,05$ cho thấy, các biến trong các phương trình hồi quy đều có ý nghĩa thống kê [9]. Đồng thời, hệ số xác định R^2 cao, nằm trong khoảng [0.902 - 987] cho thấy mức độ tương quan rất tốt giữa các biến. Các hệ số của phương trình hồi quy có nghĩa thống kê để xác định cường độ nén UCS, hàm lượng xi măng C, lượng nước/xi măng (N) theo phương trình (1) và (2) trường hợp không sử dụng tro bay; đồng thời xác định cường độ nén UCS, hàm lượng xi măng C, hàm lượng tro bay F và (N) theo các phương trình (3), (4) và phương trình (5) trong trường hợp có gia cố tro bay.

4. KẾT LUẬN

- Việc sử dụng vật liệu phế thải tro bay kết hợp với xi măng làm vật liệu cho cọc gia cố cho cọc CDM và CFDM trong gia cố toàn khối nền đường trên đất yếu là cần thiết, nhằm tái sử dụng vật liệu phế thải, góp phần giảm được lượng tro bay đang tồn đọng của các nhà máy nhiệt điện, góp phần giảm ô nhiễm môi trường.

- Thực hiện thí nghiệm đúc và nén mẫu nở hông cho hai tổ hợp mẫu không có tro bay và có tro bay với các mốc thời gian 7, 14, 21 và 28 ngày. Kết quả cho thấy, với hàm lượng xi măng còn thấp mức 10% thì ảnh hưởng của tro bay rất rõ rệt và tăng cường độ UCS đến 30%, tuy nhiên ở mức xi măng 20% và 30% thì sự có mặt của tro bay làm tăng cường độ UCS ít hơn với mức tăng cường độ từ 18% đến 23%.

- Sử dụng phần mềm XLSTAT phân tích các biến từ hai tổ hợp thí nghiệm, trên cơ sở đó xây dựng các phương trình hồi quy xác định các biến phụ thuộc dựa vào các biến độc lập từ 672 số liệu thí nghiệm nén mẫu nở hông UCS và các biến liên quan (C), (F) (t), (N) với hệ số xác định R^2 ở mức cao và hệ số Pr đạt nhỏ hơn 0,05 cho thấy các hệ số đều có ý nghĩa thống kê tốt.

- Xây dựng được hai phương trình hồi quy cho tổ hợp mẫu không có tro bay xác định cường độ UCS = $f(C,t,N)$ và hàm lượng xi măng $C = f(UCS,t,N)$ tương ứng theo phương trình (1) và (2) với hệ số $R^2 = 0,987$.

- Trường hợp có gia cố xi măng có kết hợp tro bay được biểu diễn qua phương trình hồi quy: $UCS = f(C,F,t,N)$
 - phương trình (3) với $R^2 = 0,987$; hàm lượng xi măng $C = f(UCS,F,t,N)$ - phương trình (4) với $R^2 = 0,985$; hàm lượng tro bay: $F = f(UCS,C)$ - phương trình (5) với $R^2 = 0,902$.

Tài liệu tham khảo

[1]. Bộ Xây dựng (2019), Quyết định số 218/QĐ-BXD, Quyết định ban hành chỉ dẫn kỹ thuật "Gia cố nền đất yếu - phương pháp gia cố nông toàn khối có sử dụng tro bay, Hà Nội.

[2]. Châu Trường Linh, Phạm Thanh Tùng, Nguyễn Thành Đạt (2018), Nghiên cứu sử dụng tro bay từ Nhà máy Nhiệt điện Duyên hải làm cọc đất - tro bay gia cố nền đất yếu hạ tầng khu đô thị mới phía Đông đường Mậu Thân, TP. Trà Vinh.

[3]. Đinh Quốc Dân, Đoàn Thế Tường, Đỗ Ngọc Sơn, Nguyễn Thị Thanh Thủy (2018), Đặc tính kỹ thuật của tro xỉ nhiệt điện khi làm vật liệu san lấp thay thế vật liệu truyền thống, Hội nghị quốc tế 55 năm thành lập IBST, tr.321-327.

[4]. Thái Hồng Sơn, Trịnh Minh Thụy, Trinh Công Vãn (2014), Lựa chọn hàm lượng xi măng và tỷ lệ nước - xi măng hợp lý cho gia cố đất yếu vùng ven biển đồng bằng sông Cửu Long, Tạp chí Khoa học - Thủy lợi - Môi trường, số 44 (3/2014), tr.58-62.

[5]. TCVN 9403:2012, Gia cố đất nền yếu - phương pháp trụ đất xi măng.

[6]. Ana Paula Furlan, Andry Razakamanantsoa, Harifidy Ranaivomanana, Daniel Levacher, Takeshi Katsumi, Shear strength performance of marine sediments stabilized using cement, lime and fly ash, Construction and Building Materials, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.231>.

[7]. Adil Binala, Bertan Basa, Orkun Rustu Karamut (2016), Improvement of the Strength of Ankara Clay with Self-Cementing High Alkaline Fly Ash, Procedia Engineering 161, 374-379.

[8]. I.T. Jolliffe (Aug 2003), Principal Component Analysis, Second Edition, Springer, ISBN 0-387-95442-2. I.T. Technometrics; Alexandria vol.45, Iss.3.

[9]. Shervin Motamedi, Ki-Il Song, Roslan Hashim (2015), Prediction of unconfined compressive strength of pulverized fuel ash-cement-sand mixture, Materials and Structures, 48:1061-1073. doi .org/ 10.1617/s11527-013-0215-1.

Ngày nhận bài: 01/3/2021

Ngày chấp nhận đăng: 02/4/2021

Người phản biện: PGS. TS. Hoàng Phương Hoa
 TS. Trần Đình Quảng