

Nghiên cứu cường độ chịu nén của trụ đất xi măng kết hợp tro bay khi gia cố nền đất yếu

Study on the compressive strength of cement-stabilized soil columns combined with fly ash when reinforcing the weak foundation of Vinh Long city

Phù Nhật Truyền¹, Võ Đại Nhật^{1*}, Phạm Quang Vĩnh² và Nguyễn Cao Quý²

¹Khoa Kỹ thuật Địa chất và Dầu khí - Trường Đại học Bách khoa – Đại học Quốc Gia TP.HCM;

²Khoa Xây dựng - Trường Đại học Xây dựng Miền Tây;

*Tác giả liên hệ: nhatvodai@hcmut.edu.vn

■Nhận bài: 10/02/2025 ■Sửa bài: 05/03/2025 ■Duyệt đăng: 04/05/2025

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm về cường độ chịu nén của trụ đất xi măng kết hợp với tro bay khi được sử dụng gia cố nền đất yếu cho địa chất ở thành phố Vĩnh Long. Sử dụng tro bay để thay thế một phần hàm lượng xi măng cho trụ đất xi măng nhằm giảm chi phí đồng thời giảm ô nhiễm môi trường do quá trình sản xuất xi măng. Nội dung của đề tài xác định khả năng chịu nén của mẫu trụ đất xi măng có tro bay với 4 hàm lượng khác nhau (10%, 20%, 30%, 40%) trong phòng thí nghiệm cho khu vực địa chất thành phố Vĩnh Long. Sức kháng nén 1 trục của mẫu trụ đất tro bay xi măng tăng theo thời gian bảo dưỡng từ 7 đến 28 ngày, dao động từ 7,2% đến 13%. Sức kháng nén 1 trục giảm sẽ khi tăng hàm lượng % tro bay, ở hàm lượng 10% tro bay đạt giá trị cao nhất ($q_u=1519,789\text{kPa}$), ở hàm lượng 40% tro bay đạt giá trị thấp nhất ($q_u=1001,811\text{kPa}$).

Từ khóa: Cường độ chịu nén, đất yếu, thời gian bảo dưỡng, tro bay, trụ đất xi măng.

ABSTRACT

This paper presents experimental research results on the compressive strength of cement-soil columns combined with fly ash when used to reinforce weak soil in the geological conditions of Vinh Long City. Fly ash is used to partially replace cement content in cement-soil columns to reduce costs and minimize environmental pollution caused by cement production. The study determines the compressive strength of cement-soil columns with fly ash at four different content levels (10%, 20%, 30%, 40%) through laboratory experiments for the geological conditions of Vinh Long City. The unconfined compressive strength of fly ash cement-soil columns increases over curing time from 7 to 28 days, ranging from 7.2% to 13%. The unconfined compressive strength decreases as the fly ash content increases. At 10% fly ash content, the highest strength value is achieved ($q_u = 1519.789 \text{ kPa}$), while at 40% fly ash content, the lowest value is recorded ($q_u = 1001.811 \text{ kPa}$).

Keywords: Compressive strength, weak soil, curing time, fly ash, cement-soil column.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay có nhiều công nghệ xử lý nền đất yếu rất hiệu quả như: Trụ đất xi măng, bác thấm, bơm hút chân không, gia tải trước,... Mỗi phương pháp có những ưu và nhược điểm khác nhau. Phương pháp trụ đất xi măng đã được đề xuất với những ưu điểm thời gian thi công nhanh, công nghệ không quá phức tạp và xử lý khá triệt để vấn đề lún của công trình có

chiều sâu xử lý đất yếu lên đến khoảng 50m [1]. Phương pháp này được ứng dụng khá nhiều trên các lĩnh vực xây dựng như: gia cố nền đường, tường vây khi thi công tầng hầm, gia cố bờ kè....

Tro bay là phế phẩm công nghiệp, có dạng hạt mịn thu được từ quá trình đốt cháy than đá trong các lò hơi của nhà máy nhiệt điện, trong lò quay của nhà máy xi măng, trong lò cao

của nhà máy luyện kim... Thành phần của tro bay thường chứa các SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , MgO và SO_2 , ngoài ra có thể chứa một lượng than chưa cháy. Cũng giống như các phụ gia khoáng hoạt tính cho bê tông khác, tro bay là một loại pozzolan nhân tạo nên bản thân nó đã rất mịn, có cỡ hạt từ 1-10 μm , trung bình 9-15 μm .



Hình 1. Hình ảnh tro bay loại F

Trong xây dựng, tro bay giúp tăng khả năng kháng sulfat, giảm tính thấm và đồng thời giảm phản ứng kiềm silica. Hiện nay, tại Việt Nam đã có một số đơn vị đã thử nghiệm sử dụng tro bay để sản xuất xi măng với tỉ lệ lần lượt là 14% và 18%, giúp giảm đáng kể lượng dùng xi măng mà vẫn đảm bảo các yêu cầu của bê tông nhờ độ mịn cao [2].

Việc sản xuất xi măng phải sử dụng nhiều nguyên liệu, tài nguyên hóa thạch không tái tạo. Việc nung luyện clinker, nghiền xi măng đã tạo ra bụi và các khí thải CO_2 , CO , NO_x , SO_x tác động không tốt đến môi trường. Ngành công nghiệp xi măng thế giới đã thải ra môi trường 7% tổng lượng carbon phát thải toàn cầu. Bởi vậy rất nhiều người luôn có định kiến sự phát triển của ngành xi măng sẽ đe dọa môi trường.

Bảng 1: Chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất tại thành phố Vĩnh Long [3].

Chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị	LỚP ĐẤT						
			1	2	3	4	5	6	7
Dung trọng ướt	γ	(g/cm^3)	1,771	1,567	1,663	1,923	1,848	1,754	1,988
Góc ma sát	φ	(độ)	7°15'	4°50'	6°04'	29°08'	8°51'	18°59'	32°25'
Lực dính	C	(kg/cm^2)	0,313	0,110	0,16	0,044	0,038	0,394	0,051
Độ ẩm	W	(%)	37,90	55,80	42,40	26,82	32,80	36,10	17,70
Sức chịu nén đơn	q_u	(kg/cm^2)	-	0,242	0,398	-	0,596	2,179	-

Từ những ưu điểm của tro bay có thể làm tăng cường độ bê tông nhóm tác có ý tưởng sẽ thay thế một phần hàm lượng xi măng bằng tro bay để sử dụng chế tạo trụ đất xi măng khi gia cố nền đất yếu, mà vẫn đủ khả năng chịu lực nhưng giá thành lại giảm đồng thời giảm ô nhiễm môi trường.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1 Vật liệu nghiên cứu

2.1.1 Đất

Đất được khoan tại độ sâu 20m thuộc lớp đất số 2 tại khu vực phường 3 (tại khu B trường Đại học Xây dựng Miền Tây).



Hình 2. Lấy mẫu đất khoan tại khu B trường đại học xây dựng Miền Tây.

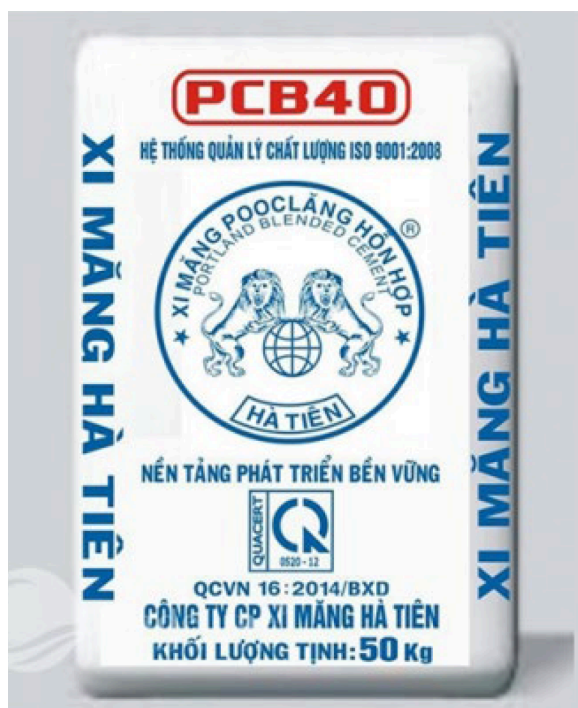
Mẫu được đánh số thứ tự theo chiều sâu hố khoan. Sau khi lấy mẫu tới độ sâu dự kiến, vận chuyển mẫu về phòng thí nghiệm Trường Đại học Xây dựng Miền Tây để tiến hành chế bị mẫu thí nghiệm.

Trước khi tiến hành trộn đất với xi măng, ta tiến hành thí nghiệm xác định các chỉ tiêu của đất tại khu vực cần thí nghiệm.

Chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị	LỚP ĐẤT						
			1	2	3	4	5	6	7
Giới hạn chảy	W_L	(%)	41,7	53,0	46,1	NP	41,6	42,1	NP
Giới hạn dẻo	W_p	(%)	21,3	28,1	25,3	NP	21,8	23,2	NP
Tỷ trọng hạt	G_s	(g/cm ³)	2,686	2,617	2,625	2,665	2,689	2,646	2,662
Hệ số rỗng	e	-	1,094	1,62	1,25	0,674	0,933	1,076	0,576
Hệ số nén lún	a_{1-2}	(cm ² /kG)	0,111	0,207	0,128	0,022	0,045	0,027	0,016
Chỉ số dẻo	I_p	(%)	20,3	24,8	20,8	NP	19,9	18,9	NP
Độ sệt	I_L	-	0,81	1,12	0,82	NP	0,6	0,63	NP
Hạt sét		(%)	42,7	36,3	33,8	2,6	40,5	22,6	2,8
Hạt bụi		(%)	40,7	38,5	35,2	7,3	40,5	36,1	9,0
Hạt cát		(%)	16,6	25,2	31,0	80,1	19,0	41,3	88,2
Hạt sỏi		(%)	0	0	0	0	0	0	0

2.1.2 Xi măng

Trong thí nghiệm này ta dùng xi măng Hà Tiên PCB 40



Hình 3. Xi măng Hà Tiên PCB 40

Khi sử dụng phải đảm bảo:

Cường độ phát triển tối thiểu: 16 MPa (3 ngày) và 40 MPa (28 ngày)

Thời gian bắt đầu đông kết (≥ 45 phút)

Thời gian kết thúc đông kết (≤ 600 phút)

Không sử dụng xi măng vón cục, xi măng đã lưu kho trên 3 tháng

Tính chất của xi măng là: xi măng có khả năng kết nối các vật liệu khác nhau khi trộn với nước, tạo thành một khối vững chắc.

2.1.3. Tro bay

Tro bay loại F được lấy từ nhà máy nhiệt điện Duyên Hải 3, tỉnh Trà Vinh

Một số chỉ tiêu chất lượng tro bay được qui định theo tiêu chuẩn TCVN 10302:2014 và TCVN 141:2008



Hình 4. Lấy tro bay tại nhà máy nhiệt điện

1. Tên mẫu : TRO BAY NHIỆT ĐIỆN DUYỄN HẢI 3	
2. Số lượng mẫu : 01 (10 kg)	
3. Ngày nhận mẫu : 01/07/2019	
4. Nơi gửi mẫu : CÔNG TY TNHH MTV AN THẠNH	
Customer : Số 09, KV3, Lư Hữu Phước, P. Châu Văn Liêm, Q. Ô Môn, TP. Cần Thơ	
5. Thời gian thử nghiệm : 02/07/2019 - 10/07/2019	
6. Phương pháp thử/ Test method : TCVN 10302 : 2014; TCVN 141 : 2008	
7. Kết quả thử nghiệm/ Test results :	
Tên chỉ tiêu Characteristics	Kết quả thử nghiệm Test result
7.1. Hàm lượng anhydrit sunfuric (SO ₃), Sulfur trioxide content	% 1,2
7.2. Hàm lượng mất khi nung, Loss on ignition	% 0,8
7.3. Hàm lượng oxyt nhôm (Al ₂ O ₃), Aluminium oxide content	% 20,4
7.4. Hàm lượng oxyt sắt (Fe ₂ O ₃), Ferric oxide content	% 11,2
7.5. Hàm lượng oxyt silic (SiO ₂), Silicon dioxide content	% 46,8
7.6. Hàm lượng clorua (Cl ⁻) Chloride content.	% < 0,01
7.7. Hàm lượng CaO tự do (CaO _{free}) ⁽¹⁾ , Free calcium oxide content	% 0,3
Ghi chú/Notes: ⁽¹⁾ Phương pháp thử/ Test method: Tham khảo/ Refer to TCVN 141 : 2008	
PHỤ TRÁCH PTN XÂY DỰNG HEAD OF CIVIL ENGINEERING TESTING LAB. Trần Huỳnh Chương	
PHÓ GIÁM ĐỐC DEPUTY DIRECTOR Trương Thanh Sơn	

Hình 5. Kết quả thí nghiệm thành phần hóa học tro bay

2.2 Phương pháp nghiên cứu

Nhóm tác giả thu thập tài liệu tham khảo trên các bài báo cũng như các tài liệu hướng dẫn để tìm ra hàm lượng hay tỷ lệ % tro bay thích hợp để thay thế một phần hàm lượng xi măng khi thí nghiệm chế tạo mẫu trụ đất xi măng mà cường độ nén đơn không thay đổi hoặc có thể tăng lên so với mẫu đất trộn xi măng mà cùng hàm lượng.

2.2.1 Quy trình thí nghiệm

Bước 1. Xác định số lượng mẫu và tỷ lệ % tro bay thay thế

Hàm lượng xi măng trên đất (X/Đ) nhóm tác giả tham khảo đề tài nghiên cứu khoa học trước đó, thì hàm lượng X/Đ là 200kg/m³ [3], [4], là phù hợp với địa chất Vĩnh Long .

Bảng 2: Ký hiệu và số lượng mẫu thí nghiệm

Ký hiệu mẫu	Hàm lượng X/Đ	Tỷ lệ tro bay %	7 ngày	14 ngày	28 ngày
N1	200kg/m ³	10%	3 mẫu	3 mẫu	3 mẫu
N2		20%	3 mẫu	3 mẫu	3 mẫu
N3		30%	3 mẫu	3 mẫu	3 mẫu
N4		40%	3 mẫu	3 mẫu	3 mẫu
Tổng			36 mẫu		

Bước 2. Trộn đất với xi măng, tro bay

Trộn đất với xi măng và tro bay bằng máy trộn có dung tích 5 lít, tốc độ có mức thấp và cao, tương ứng với tốc độ 60 vòng / phút ± 5 và 125 vòng / phút ± 10.



Hình 6. Máy trộn đất với xi măng

Bước 3. Tạo mẫu thí nghiệm

Dụng cụ tạo mẫu là các ống kim loại có Kích thước 50x100mm [5] và được chế đôi.



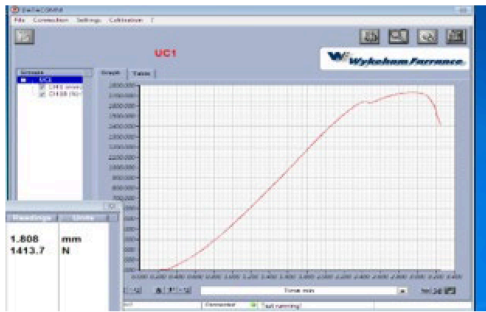
Hình 7. Khuôn tạo mẫu thí nghiệm



Hình 8. Chế bị mẫu thí nghiệm

Bước 4. Thí nghiệm mẫu theo TCVN 9403-2012

Thí nghiệm nén 1 trục được thực hiện trên máy CONTROLS của Italia, Kết quả thí nghiệm được ghi nhận tự động bằng phần mềm DATACOMM



Hình 9. Máy nén một trục mẫu thí nghiệm

Cường độ kháng nén của mẫu đất gia cố được tính theo công thức [6]

$$\Delta\sigma_1 = \frac{P}{A}$$

Trong đó: $\Delta\sigma_1$ (kN/m²) - Cường độ kháng nén của mẫu đất gia cố xi măng.

P (kN) - Tải trọng phá hoại.

A (m²) - Diện tích chịu nén của mẫu

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

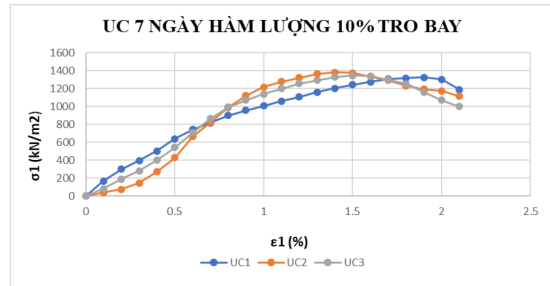
Mẫu sau khi tháo khuôn được bảo dưỡng sau thời gian 7, 14 và 28 ngày thí nghiệm tiến hành nén mẫu và được kết quả như sau:



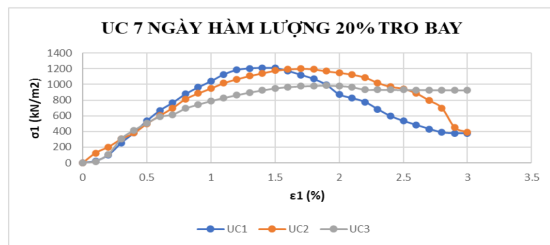
Hình 10. Hình ảnh nén mẫu thí nghiệm

Bảng 3: Cường độ nén đơn 7 ngày

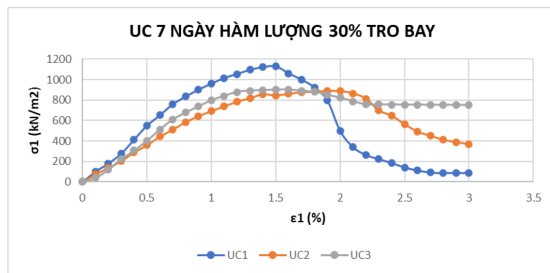
		Ứng suất nén $\Delta\sigma_1$ (kPa)			
		UC1	UC2	UC3	Trung bình
Hàm lượng tro bay	10%	1325,440	1383,326	1345,543	1351,436
	20%	1211,776	1200,68	986,698	1133,051
	30%	1128,777	888,914	900,706	972,799
	40%	987,302	848,950	841,192	892,481



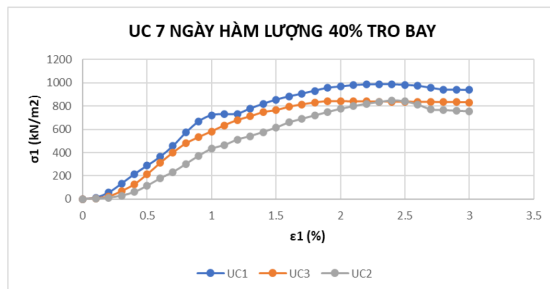
Hình 11. Biểu đồ thí nghiệm nén 1 trục HL 10% mẫu bảo dưỡng 7 ngày



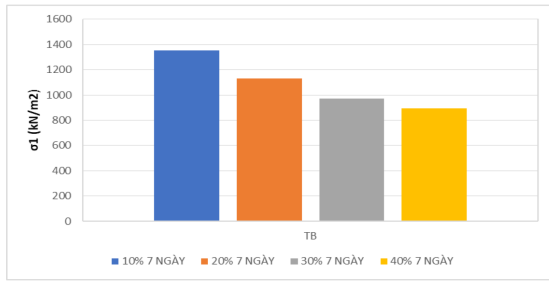
Hình 12. Biểu đồ thí nghiệm nén 1 trục HL 20% mẫu bảo dưỡng 7 ngày



Hình 13. Biểu đồ thí nghiệm nén 1 trục HL 30% mẫu bảo dưỡng 7 ngày



Hình 14. Biểu đồ thí nghiệm nén 1 trục HL 40% mẫu bảo dưỡng 7 ngày

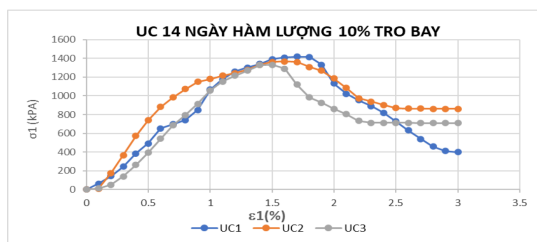


Hình 15. Biểu đồ so sánh cường độ nén đơn các hàm lượng mẫu 7 ngày

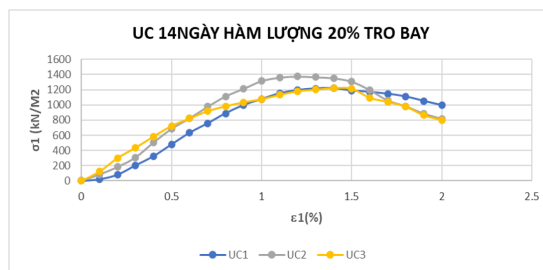
Nhận xét: Trong khoảng thời gian bảo dưỡng 7 ngày của các mẫu trụ thí nghiệm ở tỉ lệ phối trộn 10% tro bay đạt cường độ nén đơn cao nhất 1351,436 kN/m², cường độ nén đơn giảm dần khi tăng hàm lượng tro bay khi phối trộn, ở tỉ lệ 20% tro bay đạt cường độ nén đơn là 1133,051 kN/m², kết tiếp là tỉ lệ 30% tro bay đạt cường độ nén đơn là 972,7995 kN/m² và thấp nhất tỉ lệ 40% có cường độ nén đơn là 892,4816 kN/m².

Bảng 4: Cường độ nén trực mẫu 14 ngày

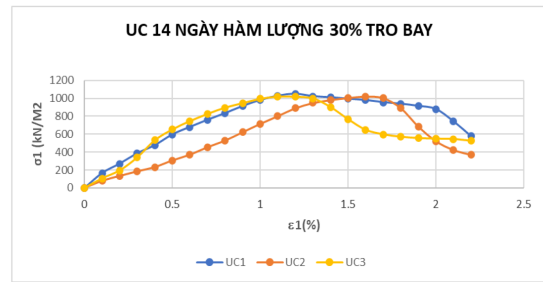
		Ứng suất nén Δσ ₁ (kPa)			
		UC1	UC2	UC3	Trung bình
Hàm lượng tro bay	10%	1418,107	1366,628	1331,416	1372,050
	20%	1217,651	1373,995	1220,664	1270,770
	30%	1049,055	1022,641	1018,821	1030,172
	40%	1087,549	753,746	986,526	975,940



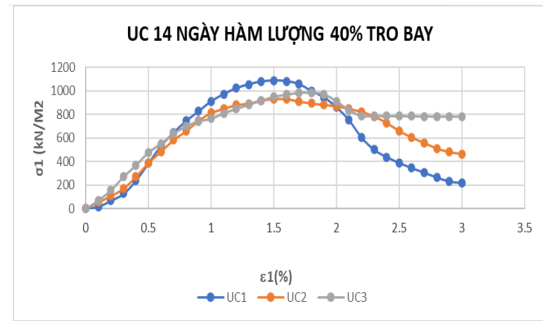
Hình 16. Biểu đồ thí nghiệm nén 1 trục HL 10% mẫu bảo dưỡng 14 ngày



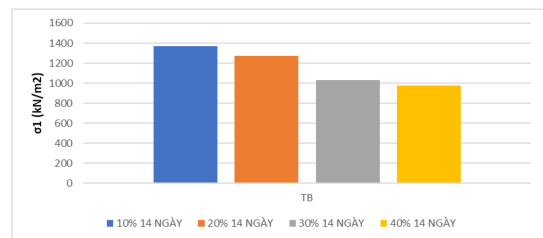
Hình 17. Biểu đồ thí nghiệm nén 1 trục HL 20% mẫu bảo dưỡng 14 ngày



Hình 18. Biểu đồ thí nghiệm nén 1 trục HL 30% mẫu bảo dưỡng 14 ngày



Hình 19. Biểu đồ thí nghiệm nén 1 trục HL 40% mẫu bảo dưỡng 14 ngày

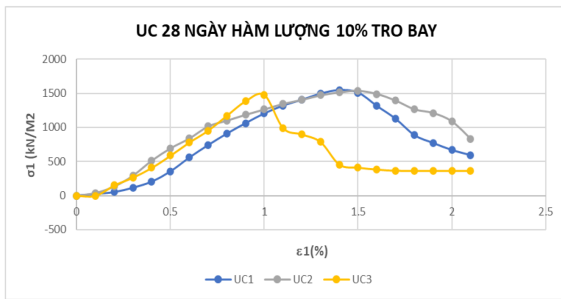


Hình 20. Biểu đồ so sánh cường độ nén đơn các hàm lượng mẫu 14 ngày

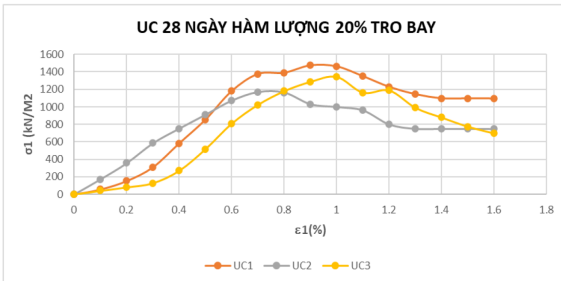
Nhận xét: Trong khoảng thời gian bảo dưỡng 14 ngày của các mẫu trụ thí nghiệm ở tỉ lệ phối trộn 10% tro bay đạt cường độ nén đơn cao nhất 1372,05 kN/m², cường độ nén đơn giảm dần khi tăng hàm lượng tro bay khi phối trộn, ở tỉ lệ 20% tro bay đạt cường độ nén đơn là 1270,77 kN/m², kết tiếp là tỉ lệ 30% tro bay đạt cường độ nén đơn là 1030,172 kN/m² và thấp nhất tỉ lệ 40% có cường độ nén đơn là 975,94kN/m².

Bảng 5: Cường độ nén trực mẫu 28 ngày

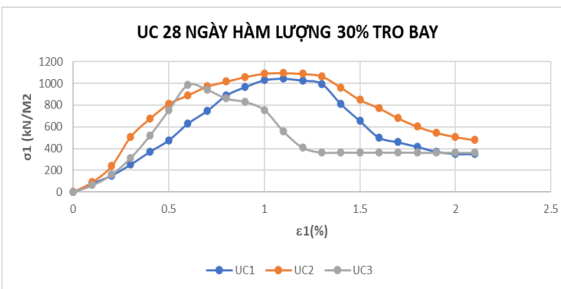
		Ứng suất nén Δσ ₁ (kPa)			
		UC1	UC2	UC3	Trung bình
Hàm lượng tro bay	10%	1546,620	1537,500	1475,247	1519,789
	20%	1473,659	1168,997	1343,438	1328,698
	30%	1044,056	1084,553	988,484	1042,646
	40%	1001,121	1022,974	1001,601	1008,565



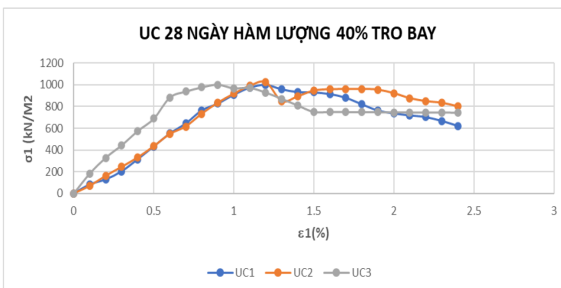
Hình 21. Biểu đồ thí nghiệm nén 1 trục HL 10% mẫu bảo dưỡng 28 ngày



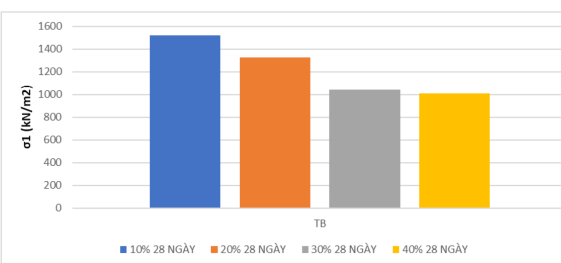
Hình 22. Biểu đồ thí nghiệm nén 1 trục HL 20% mẫu bảo dưỡng 28 ngày



Hình 23. Biểu đồ thí nghiệm nén 1 trục HL 30% mẫu bảo dưỡng 28 ngày

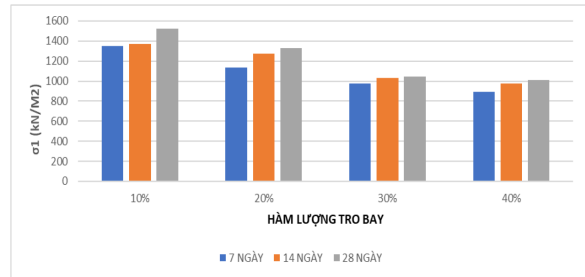


Hình 24. Biểu đồ thí nghiệm nén 1 trục HL 40% mẫu bảo dưỡng 28 ngày



Hình 25. Biểu đồ so sánh cường độ nén đơn các hàm lượng mẫu 28 ngày

Nhận xét: Trong khoảng thời gian bảo dưỡng 28 ngày của các mẫu trụ thí nghiệm ở tỉ lệ phối trộn 10% tro bay đạt cường độ nén đơn cao nhất 1519,789 kN/m², cường độ nén đơn giảm dần khi tăng hàm lượng tro bay khi phối trộn, ở tỉ lệ 20% tro bay đạt cường độ nén đơn là 1328,698 kN/m², kế tiếp là tỉ lệ 30% tro bay đạt cường độ nén đơn là 1042,646 kN/m² và thấp nhất tỉ lệ 40% có cường độ nén đơn là 1008,565 kN/m².



Hình 26. Biểu đồ tổng hợp so sánh thí nghiệm nén 1 trục UC 7, 14 và 28 ngày hàm lượng % tro bay

Nhận xét: Trong khoảng thời gian bảo dưỡng từ 7 ngày đến 28 ngày cùng hàm lượng tro bay là 10%, cường độ nén đơn tăng 12,5%.

Trong khoảng thời gian bảo dưỡng từ 7 ngày đến 28 ngày cùng hàm lượng tro bay là 20%, cường độ nén đơn tăng 17,3%.

Trong khoảng thời gian bảo dưỡng từ 7 ngày đến 28 ngày cùng hàm lượng tro bay là 30%, cường độ nén đơn tăng 7,2%.

Trong khoảng thời gian bảo dưỡng từ 7 ngày đến 28 ngày cùng hàm lượng tro bay là 40%, cường độ nén đơn tăng 13%.

Phân tích: Việc thêm tro bay vào cọc xi măng đất có thể làm tăng hoặc giảm cường độ nén một trục tùy thuộc vào nhiều yếu tố như tỷ lệ tro bay, thời gian bảo dưỡng, tính chất của đất nền, và phản ứng hóa học giữa các thành phần. Dưới đây là những lý do chính:

Phản ứng pozzolan: Tro bay chứa SiO₂ và Al₂O₃, có thể phản ứng với Ca(OH)₂ từ quá trình thủy hóa xi măng để tạo C-S-H (Calcium-Silicate-Hydrate) giúp tăng cường độ [6].

Nếu tỷ lệ tro bay quá cao, lượng xi măng bị thay thế nhiều, dẫn đến thiếu Ca(OH)₂, làm giảm quá trình tạo C-S-H, dẫn đến cường độ thấp.

4. KẾT LUẬN

Nội dung của đề tài xác định khả năng chịu nén của mẫu trụ đất xi măng có tro bay với 4 lượng khác nhau (10%, 20%, 30%, 40%) trong phòng thí nghiệm cho khu vực địa chất thành phố Vĩnh Long. Từ kết quả thí nghiệm đưa ra một số kết quả như sau:

- Sức kháng nén 1 trục của mẫu trụ đất tro bay xi măng tăng theo thời gian bảo dưỡng từ 7 đến 28 ngày, dao động từ 7,2% đến 13%. Sức kháng nén 1 trục giảm sẽ khi tăng hàm lượng % tro bay, ở hàm lượng 10% tro bay đạt giá trị cao nhất ($q_u=1519,789\text{kPa}$), ở hàm lượng 40% tro bay đạt giá trị thấp nhất ($q_u=1001,811\text{kPa}$)

- Qua thí nghiệm cho được giá trị sức chịu nén 1 trục ở hàm lượng 10% tro bay là cao nhất, nhưng kết quả này vẫn chưa khẳng định được ở tỷ lệ 10% tro bay đạt cường độ cao nhất. Nếu những nhóm nghiên cứu sau có nghiên cứu về đề tài này thì hướng thực hiện có thể thu hẹp lại ở phạm vi từ 0 đến 20% tro bay để phân tích ở hàm lượng nào là hợp lý nhất.

LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] L.B. Vinh, “Ứng dụng giải pháp cột đất vôi – xi măng để gia cố nền đất yếu”, Hội nghị khoa học công nghệ lần thứ 9, ĐH Bách khoa TP HCM, 2005.

[2] P.T. Tùng, ”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 dự án khu đô thị mới phía đông đường Mậu Thân, thành phố Trà Vinh”. Luận văn thạc sỹ, Trường Đại Học Đà Nẵng, 2016.

[3] P.Q. Vĩnh “Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng đến cường độ trụ đất xi măng khi gia cố nền đất yếu trên địa bàn tp. Vĩnh Long” đề tài khoa học công nghệ cấp trường đại học xây dựng Miền tây, 2021.

[4] Pham, Q.V., Phu, N.T., Le, B.V., Vo, D.U. (2020). Experimental Studies on the Improvement of Soft Soils by Cement in Vinh Long City. In: Reddy, J., Wang, C., Luong, V., Le, A. (eds) ICSCEA 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 80. Springer, Singapore

[5] Bộ Xây dựng, Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9403 – 2012, Gia cố nền đất yếu – phương pháp trụ đất xi măng, 2012.

[6] N.V. Trung và V.M. Tuấn, Cọc đất xi măng – phương pháp gia cố nền đất yếu, Nhà Xuất Bản Xây Dựng, 2011.

[7] P.Q. Vĩnh, ”Phân tích ứng xử của cọc xi măng đất khi gia cố nền đất yếu dưới đường ở khu đô thị mới Thủ Thiêm, quận 2”. Luận văn thạc sỹ, Trường Đại Học Bách Khoa – Đại Học Quốc Gia TP HCM, 2015.

[8] Đ.H. Đạo, “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”, Tạp chí khoa học công nghệ, Số 05, 2021.