

Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến cường độ nén của đất gia cố xi măng trộn sâu trong phòng thí nghiệm

Study on the influence of selected factors on the compressive strength of cement deep mixing soil by laboratory experiments

> TS NGÔ THỊ THANH HƯƠNG

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

Email: huongntt@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm trong phòng thí nghiệm nhằm đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ nước/xi măng (N/X), loại xi măng (Fico PCB40 - loại II và Insee PCB40 - loại II) và hàm lượng xi măng (200, 220, 250 kg/m³) đến cường độ nén của đất xi măng trộn sâu (Cement Deep Mixing - CDM). Các mẫu đất được thí nghiệm gồm 3 loại đất á cát, bùn sét và sét. Thí nghiệm nén nở hông được tiến hành ở tuổi 14 ngày và 28 ngày. Kết quả cho thấy, cường độ nén có xu hướng tăng khi hàm lượng xi măng tăng và phát triển nhanh trong giai đoạn đầu. Ở tuổi 14 ngày, cường độ nén đạt trung bình 75 - 85% so với tuổi 28 ngày. Kết quả của thí nghiệm là cơ sở để lựa chọn các loại thông số hợp lý tối ưu trong thi công công nghệ trộn sâu xi măng tại dự án, đảm bảo chất lượng và hiệu quả gia cố nền đất.

Từ khóa: Đất, xi măng, loại, tỷ lệ, cường độ nén.

ABSTRACT

This paper presents the results of laboratory experimental research to evaluate the effects of the water/cement ratio (W/C of 1.0 and 2.0), cement type (Fico PCB40 - Type II and Insee PCB40 - Type II) and cement content (200, 220, 250 kg/m³) on the compressive strength of cement deep mixing (CDM) soil. The tested soil samples belong to three types: Silty sand, clayey silt and clay. The experiments were conducted at 14-day and 28-day curing ages. The results indicate that compressive strength tends to increase with higher cement content and develops rapidly in the early stages. At 14 days, the compressive strength reached approximately 75 - 85% of the 28-day strength. These findings serve as a basis for selecting optimal mix parameters for deep cement mixing construction in the project, ensuring foundation stabilization quality and efficiency.

Keywords: Soil, cement, type, ratio, compressive strength.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công nghệ đất xi măng trộn sâu (Cement Deep Mixing - CDM) được ứng dụng rộng rãi trong quá trình xử lý nền móng và nền đất yếu của các công trình giao thông, thủy lợi, sân bay, cảng biển... [1]. Công nghệ đất xi măng trộn sâu (CDM) được thi công bằng phương pháp khoan sâu. Sử dụng máy khoan và các thiết bị chuyên dụng (cần khoan, mũi khoan...) khoan vào đất theo đường kính và chiều sâu lỗ khoan thiết kế. Trong quá trình khoan đất không được đưa ra khỏi đất khoan mà tiến hành phá cấu trúc đứt gãy, xới tơi bằng cánh trộn, đồng thời trộn với chất kết dính (xi măng hoặc vôi, vôi bay...). Phương pháp này có nhiều ưu điểm: Phạm vi áp dụng rộng, thích hợp mọi loại đất từ bùn sét đến sỏi cuội; có thể xử lý lớp đất yếu một cách cục bộ, không ảnh hưởng đến lớp đất tốt; thi công được trong nước; mặt bằng thi công nhỏ, ít chấn động, ít tiếng ồn, hạn chế tối đa ảnh hưởng đến các công trình lân cận; rất sạch sẽ và giảm thiểu vấn đề ô nhiễm môi trường; thiết bị nhỏ gọn, có thể thi công trong

không gian có chiều cao hạn chế; đặc biệt là thi công nhanh, thời gian đất đạt yêu cầu kỹ thuật xử lý ngắn, đẩy nhanh được tiến độ cải tạo đất nền [2]. Hiện nay, phổ biến ở Việt Nam, hai công nghệ thi công đất xi măng là công nghệ trộn khô và trộn ướt. Do các đặc điểm về khí hậu (nóng ẩm quanh năm), địa chất, nguồn nước và kinh nghiệm thực tiễn cho thấy tại miền Nam Việt Nam, công nghệ thi công bằng phương pháp trộn ướt rất phổ biến [3].

Mặt khác, cường độ nén của đất xi măng trộn sâu chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, trong đó tỷ lệ nước/xi măng (N/X), loại xi măng và hàm lượng xi măng hay loại đất là các yếu tố quan trọng quyết định chất lượng của CDM [4-5]. Việc nghiên cứu và đánh giá sự ảnh hưởng của các yếu tố này là cần thiết để tối ưu hóa thông số thiết kế và đảm bảo hiệu quả thi công. Bài báo trình bày về kết quả của phương pháp trộn ướt trong phòng thí nghiệm. Mục tiêu của thí nghiệm trộn ướt trong phòng thí nghiệm là xác định loại xi măng

được sử dụng, tỷ lệ nước/xi măng và hàm lượng sử dụng, cho từng loại đất cụ thể trong khu vực xây dựng sau khi cải tạo nền đất để đạt được cường độ thiết kế.

2. QUÁ TRÌNH THÍ NGHIỆM TRONG PHÒNG

2.1. Vật liệu

2.1.1 Mẫu đất

Tổng cộng có 3 loại mẫu đất thuộc các loại đất á cát, bùn sét và sét được lấy tại các vị trí lỗ khoan trong khu vực thi công bằng phương pháp trộn sâu xi măng CDM). Sử dụng máy khoan với phương pháp khoan, không đưa đất ra bên ngoài. Lỗ khoan có đường kính 110 mm. Mẫu đất được lấy từ các độ sâu sau lỗ khoan BH01: PD1: 2,0 - 2,5 m, PD2: 7,5 - 8,0 m và PD3: 11,5 - 12,0 m. Mô tả sơ đồ các mẫu đất như sau:

Bảng 1. Tính chất cơ lý của đất

Đặc tính của đất	Ký hiệu	Đơn vị	PD1	PD2	PD3
			Á cát	Bùn sét	Sét
Độ ẩm	W	%	33,6	69,6	50,3
Dung trọng ướt	γ_w	kN/m ³	1,9	15,5	1,71
Hệ số rỗng	e_o		0,866	1,938	1,34
Tỷ trọng hạt	Δ		2,65	2,69	2,67
Độ ẩm giới hạn chảy	W_{nh}	%	28,7	74	58,5
Độ ẩm giới hạn dẻo	W_d	%	22,2	27	27,2
Giới hạn dẻo	PL	%	6,5	47	31,3
Chỉ số sệt	LI		1,25	0,093	0,42
Thí nghiệm nén ba trục (UU)	C	kN/m ²	0,05	15	0,134
	ϕ	Độ	2°14	2	1°31
Độ bền cắt không thoát nước	C_u	kN/m ²	0,95	-	0,299
Sức kháng mũi xuyên	q_c	kN/m ²	9°05	-	10°54
Áp lực tiến cổ kết	u	kG/cm ²	0,66	-	0,85
Hệ số thấm	k	cm/s	1,87	4,58x10 ⁻⁵	0,06

2.1.2. Xi măng

Sử dụng xi măng Portland PCB40 - loại II phù hợp với QCVN 16:2019/BXD và ISO 4316:2007 cho công nghệ CDM. Xi măng đã được thí nghiệm và thỏa mãn các yêu cầu trong TCVN 6016:2011. Tính chất của hai loại xi măng, Fico PCB40 và Insee PCB40 được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Các yêu cầu kỹ thuật của xi măng

Thông số	Đơn vị	Tiêu chuẩn thí nghiệm	Giá trị yêu cầu	Fico PCB40 - Loại II	Insee PCB40 - Loại II
1. Cường độ nén					
- 3 ngày	MPa	TCVN6016:2011	≥16	23	24
- 28 ngày	MPa		≥40	42	44
2. Độ cứng của xi măng, xác định bằng phương pháp bẻ mặt riêng	cm ² /g	TCVN4030:2003	≥3.300	3.500	3.700
3. Thời gian đông kết của xi măng					
- Bắt đầu	Phút	TCVN6017:2015	≥45	120	130
- Kết thúc	Giờ		≤10	4	4

4. Độ ổn định có thể được phân tích, xác định bằng phương pháp Le Chatelier	mm	TCVN6017:2015	≤10	1,4	1,4
5. Hàm lượng oxyt (MgO)	%	TCVN141:2008	≤6	3	3
6. Hàm lượng sunfua trioxit (SO ₃)	%	TCVN141:2008	≤3,5	2,0	2,2
7. Lượng mất khi nung (MKN)	%	TCVN141:2008	≤3	1,5	1,6

2.1.3. Nước

Sử dụng nước ngọt, không chứa chất độc hại gây ảnh hưởng xấu đến chất của CDM. Nước sử dụng cho CDM phải đáp ứng các yêu cầu của TCVN 4506:2012 như sau: Nước không có chứa dầu mỡ. Độ pH không nhỏ hơn 4 và không lớn hơn 12,5 (TCVN 6492:2011). Hàm lượng muối hòa tan không lớn hơn 5 g/lít (TCVN 4560:1988), hàm lượng SO₄²⁻ không nhỏ hơn 3 g/lít (TCVN 6200:1996).

2.2. Thực hiện thí nghiệm

2.2.1. Chuẩn bị đất

Đất được lấy tại hiện trường sau đó đem về phòng thí nghiệm hong khô. Nếu đất có các loại tạp chất như vỏ sò lớn, dăm gỗ, sỏi đá có kích thước lớn cần phải sử dụng sàng 4,75 mm để loại bỏ chúng.

2.2.2. Chuẩn bị mẫu đất - xi măng

Tỷ lệ xi măng được sử dụng để gia cố cho một mét khối đất là 200, 220, 250 kg/m³ và tỷ lệ Nước/Xi măng được sử dụng trong thí nghiệm là 1 và 1,2. Trộn đất và xi măng thật đều trước khi thêm nước để đảm bảo xi măng phân bố đồng đều trong toàn bộ mẫu. Chia mẫu đất đã trộn xi măng ra thành 5 khay và phun vào các lượng nước khác nhau. Sau đó, bọc kín nylon ủ mẫu khoảng 1 - 2 giờ để xi măng có thể phản ứng với nước và đất.

2.2.3. Đúc mẫu và bảo dưỡng



Hình 1. Bảo dưỡng mẫu thí nghiệm

Hỗn hợp đất - xi măng sau khi trộn đều sẽ được đổ vào khuôn trụ tiêu chuẩn (D50 x H100 mm). Quét nhẹ một lớp dầu chống dính vào mặt trong của khuôn. Tiến hành đầm chặt hỗn hợp theo từng lớp. Các mẫu sau khi đúc (vẫn còn trong khuôn) sẽ được bảo dưỡng trong tủ ổn định nhiệt độ và độ ẩm, nhiệt độ yêu cầu là 23 ± 3°C và độ ẩm không nhỏ hơn 95%. Sau đó, mẫu được bọc lại bằng nylon và tiếp tục được bảo dưỡng trong thùng bảo dưỡng trong suốt thời gian quy định [6, 7]. Tổng số mẫu đúc là 216 mẫu, bao gồm 108 mẫu nén ở tuổi 14 ngày và 108 mẫu nén ở tuổi 28 ngày.

2.2.4. Thí nghiệm nén nở hông

Thí nghiệm được tiến hành ngay sau khi lấy mẫu ra khỏi tủ bảo dưỡng để tránh thay đổi độ ẩm và nhiệt độ. Các mẫu sẽ được thực hiện thí nghiệm nén ở tuổi 14 ngày và 28 ngày [8].

Cường độ nén của mẫu đất xi măng được tính theo công thức:

$$q_u = P / A$$

Trong đó:

qu - Cường độ nén nở hông của mẫu đất xi măng ở tuổi thí nghiệm, (kPa);

P - Lực nén (N);

A - Diện tích mặt cắt ngang của mẫu (m²).

Một tổ mẫu thí nghiệm nhóm bao gồm 3 mẫu. Khi tính toán kết quả của một mẫu vượt quá ±15% giá trị trung bình của nhóm,

chỉ lấy giá trị của 2 mẫu còn lại để tính toán. Nếu không đủ 2 mẫu, phải tiến hành thí nghiệm lại. Cường độ nén yêu cầu theo thiết kế cần lớn hơn 650 kPa.

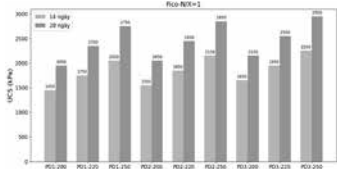
3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Kết quả thí nghiệm được thể hiện trên các Hình 2, Hình 3, Hình 4, Hình 5, Hình 6, Hình 7, từ đó có thể rút ra một số nhận xét sau:

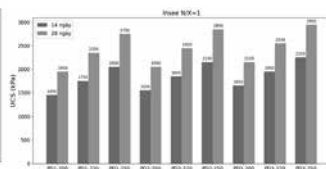
3.1. Ảnh hưởng của loại xi măng

- Tại tỷ lệ N/X = 1,0:

Nhìn chung, không có sự khác biệt quá lớn về cường độ nén giữa hai loại xi măng ở cùng hàm lượng và tuổi thí nghiệm.



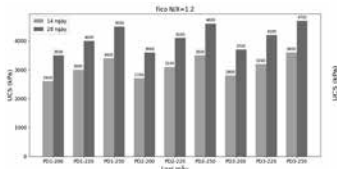
Hình 2. Kết quả thí nghiệm nén với hàm lượng xi măng Fico (N/X=1,0)



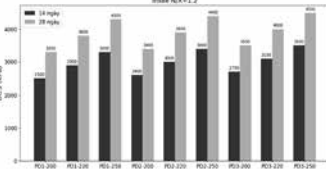
Hình 3. Kết quả thí nghiệm nén với hàm lượng xi măng Insee (N/X=1,0)

- Tại tỷ lệ N/X = 1,2:

Sự khác biệt giữa hai loại xi măng trở nên rõ ràng hơn, đặc biệt ở tuổi 28 ngày. Đối với cả ba loại đất (PD1, PD2, PD3), xi măng Insee thường cho cường độ nén cao hơn đáng kể so với xi măng Fico ở cùng hàm lượng và tuổi thí nghiệm. Sự khác biệt này đặc biệt lớn ở hàm lượng 250 kg/m³.



Hình 4. Kết quả thí nghiệm nén với hàm lượng xi măng Fico (N/X=1,2)



Hình 5. Kết quả thí nghiệm nén với hàm lượng xi măng Insee (N/X=1,2)

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng

Đối với cả hai loại xi măng (Fico và Insee) và cả hai tỷ lệ N/X (1,0 và 1,2), cường độ nén nở hông (qu) đều có xu hướng tăng rõ rệt khi hàm lượng xi măng tăng từ 200 kg/m³ lên 220 kg/m³ và sau đó lên 250 kg/m³. Điều này là phù hợp với lý thuyết, vì xi măng đóng vai trò là chất kết dính, hàm lượng xi măng càng cao thì khả năng liên kết giữa các hạt đất càng mạnh, dẫn đến cường độ nén cao hơn.

3.3. Ảnh hưởng của tỷ lệ nước/xi măng (N/X)

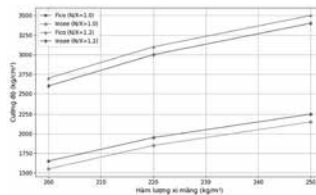
Khi so sánh kết quả giữa tỷ lệ N/X = 1,0 và N/X = 1,2 cho cùng một loại xi măng và cùng một hàm lượng xi măng, có thể thấy rằng tỷ lệ N/X thấp hơn (1,0) thường cho cường độ nén cao hơn so với tỷ lệ N/X cao hơn (1,2). Điều này có thể là do khi tỷ lệ N/X thấp hơn, lượng nước tự do trong hỗn hợp ít hơn, dẫn đến cấu trúc vữa xi măng đặc chắc hơn sau khi đóng rắn, từ đó tăng cường độ. Tuy nhiên, sự khác biệt này có thể không quá lớn trong một số trường hợp cụ thể.

3.4. Ảnh hưởng của loại đất

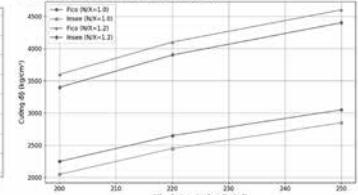
Tại tỷ lệ N/X = 1,0: Nhìn chung, đất cát (PD1) và sét pha cát (PD3) có xu hướng đạt cường độ nén cao hơn so với bùn sét (PD2) ở cùng hàm lượng xi măng và tuổi thí nghiệm. Điều này có thể do thành phần hạt và khả năng phản ứng của các loại đất khác nhau với xi măng.

Tại tỷ lệ N/X = 1,2: Xu hướng tương tự vẫn được quan sát, với bùn sét (PD2) thường cho cường độ nén thấp nhất trong ba loại đất.

Hình 6 và 7 thể hiện kết quả thí nghiệm nén theo 14 ngày tuổi và 28 ngày tuổi.



Hình 6. Kết quả thí nghiệm nén (kPa) ở 14 ngày tuổi



Hình 7. Kết quả thí nghiệm nén (kPa) ở 28 ngày tuổi

Từ Hình 6 và Hình 7 cho thấy, đối với tất cả các trường hợp, cường độ nén ở tuổi 28 ngày đều cao hơn đáng kể so với cường độ nén ở tuổi 14 ngày, cho thấy quá trình thủy hóa và đóng rắn của xi măng vẫn tiếp tục diễn ra sau 14 ngày. Cường độ nén phát triển nhanh chóng trong giai đoạn đầu, ở tuổi 14 ngày đạt trung bình từ 75% đến 85% so với cường độ nén ở tuổi 28 ngày. Tỷ lệ tăng cường độ từ 14 ngày đến 28 ngày có thể khác nhau tùy thuộc vào loại đất, loại xi măng và tỷ lệ N/X. Cường độ nén tăng đáng kể từ 14 ngày đến 28 ngày cho thấy tầm quan trọng của công việc bảo dưỡng đủ thời gian để xi măng phát huy khả năng hình thành cường độ. Các kết quả thí nghiệm cũng cho thấy các loại hợp lý được nghiên cứu đều đạt và vượt qua yêu cầu cường độ thiết kế sau 28 ngày.

Xi măng Insee có xu hướng cho cường độ cao hơn trong nhiều trường hợp. Việc lựa chọn hỗn hợp đất-xi măng với tỉ lệ và hàm lượng cụ thể sẽ cần cân nhắc bổ sung các yếu tố về kinh tế và điều kiện thi công.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu, một số kết luận sau được rút ra:

- Nhìn chung, cường độ nén tăng khi hàm lượng xi măng tăng. Cường độ nén phát triển nhanh chóng trong giai đoạn đầu, ở tuổi 14 ngày đạt trung bình từ 75% đến 85% so với cường độ nén ở tuổi 28 ngày.

- Với hàm lượng xi măng 200, 220 và 250 kg/m³ sử dụng hai loại xi măng Fico và Insee với tỷ lệ N/X lần lượt là 1,0 và 1,2, kết quả thí nghiệm cường độ nén ở tuổi 28 ngày đều đạt yêu cầu thiết kế (≥ 650 kPa), giá trị cao nhất đạt được là 3.195 kPa (với xi măng Insee, hàm lượng 250 kg/m³, tỷ lệ N/X 1,2).

- Với hàm lượng xi măng 200, 220, 250 kg/m³ đều làm tăng cường độ nén của nền đất sau gia cố và đạt yêu cầu kỹ thuật của dự án. Tuy nhiên, việc lựa chọn hàm lượng và loại xi măng cho giai đoạn thi công sẽ cần được quyết định dựa trên yếu tố kinh tế, thiết bị và khả năng kiểm soát chất lượng thi công tại hiện trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phi, H. T., Doan, C. B., Pham, M. N., & Trinh, N. A. (2018), Cement Deep Mixing For Soft Soil Improvement In Vietnam, Булатовские чтения, 6, 23-30.
- [2]. Taki, O. (2003), Strength properties of soil cement produced by deep mixing, In Grouting and Ground Treatment, pp. 646-657.
- [3]. Báo cáo kỹ thuật của dự án Nhà máy điện Nhơn Trạch 3 và Nhơn Trạch 4.
- [4]. P. H. H. Giang, T. T. Nhật, H. V. Minh, & P. A Du (2022), Đánh giá cường độ chịu nén của cọc xi măng đất được chế tạo trong phòng thí nghiệm và hiện trường, Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, Bộ Xây dựng, 12(04), 5 tr.
- [5]. Phạm Kiên (2017), Thiết kế tỉ lệ xi măng hợp lý để gia cố đất sét pha làm kết cấu áo đường giao thông nông thôn tại tỉnh Kon Tum, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng, tr.122-127.
- [6]. ASTM D1632-07, Standard Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory.
- [7]. TCVN 9403:2012 về Gia cố nền đất yếu - Phương pháp trụ đất xi măng.
- [8]. ASTM D2166, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.