

# Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ chịu nén của mẫu đất trộn xi măng

Study on factors impacting on the unconfined compressive strength of soil cement specimens

> TS NGUYỄN NGỌC THẮNG<sup>(1\*)</sup>, KS HUỖNH TRI THỨC<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Khoa Kỹ thuật công nghệ, Trường Đại học Tiền Giang.

Email: [nguyenngocthang@tgu.edu.vn](mailto:nguyenngocthang@tgu.edu.vn)

<sup>(2)</sup> Khoa Kỹ thuật công nghệ, Trường Đại học Kinh tế công nghiệp Long An.

## TÓM TẮT

Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến tính chất cơ học của hỗn hợp đất trộn xi măng. Trong nghiên cứu này, một loạt thí nghiệm nén một trục nở hông để xác định cường độ chịu nén của các mẫu đất trộn xi măng được thực hiện, các mẫu này được tạo trong các điều kiện khác nhau để tìm ra thông số hợp lý cho hỗn hợp đất trộn xi măng. Các ảnh hưởng quan trọng bao gồm các yếu tố về thời gian bảo dưỡng, hàm lượng xi măng, tỉ lệ nước tổng lượng nước trên xi măng và môi trường bảo dưỡng khác nhau. Kết quả nghiên cứu đã xác định được hàm lượng xi măng tối ưu từ biểu đồ cường độ chịu nén của mẫu đất trộn xi măng tại huyện Tân Phú Đông là 20%.

**Từ khóa:** Cường độ chịu nén; đất trộn xi măng; đất yếu, gia cố nền; Tân Phú Đông

## ABSTRACT

There are many factors affect to mechanical properties of soil cement mixtures. In this research, a series of unconfined compression tests have been performed in laboratory for this research on samples prepared with different conditions to find out reasonable parameters of soil cement mixtures. These effects of other important factors including curing time, dry weight ratio of cement to clay, water-clay to cement atio anh curing environment. The results provide a good reference chart to optimize the cement contents for improving the unconfined compressive strength of the soil cement specimens made of clays in Tan Phu Dong district, is 20%.

**Keywords:** Unconfined compressive strength; soil cement; soft soil; stabilized soil; Tan Phu Dong

## 1. GIỚI THIỆU

Tân Phú Đông được hình thành và phát triển trên nền đất yếu với những điều kiện hết sức phức tạp của đất nền dọc theo các dòng sông và bờ biển. Do đó, địa chất dưới nền móng của các công trình nhà ở, nhà xưởng, đường sá, đê điều, đập chắn nước và một số công trình khác ở đây thường đặt ra hàng loạt vấn đề cần phải giải quyết như sức chịu tải của nền thấp, độ lún lớn. Nền đất ở khu vực này, đa phần là đất yếu nên nền đất không có khả năng tiếp nhận tải trọng công trình nếu không có các biện pháp xử lý hoặc gia cố thích hợp.

Có nhiều phương pháp xử lý và gia cố nền đất yếu, Han-Georg Kempfert and Berhane Gebreselassie (2006) đã phân loại phương pháp xử lý và gia cố nền đất yếu theo ba nhóm chính là cố kết, thay thế đất và các phần tử dạng trụ [1]. Phương pháp gia cố nền đất yếu bằng trụ đất xi măng là một trong những phương pháp phần tử dạng trụ trong cách phân loại này. Phương pháp cơ học để thi công trụ gia cố vào đất bằng thiết bị trộn được gọi là phương pháp trộn sâu (DMM - Deep Mixing Method). DMM trở thành một thuật ngữ chung để mô tả kỹ thuật cải tạo đất yếu. Bruce, D. A. (2000) đã đề nghị các kỹ thuật này được phân loại dựa trên các đặc điểm: 1) Phương pháp đưa chất kết dính vào đất, 2) Phương pháp trộn, và 3) Vị trí của các lõi trộn [2].

Công nghệ trộn sâu có nhiều thuật ngữ và từ viết tắt. Filz et al. (2005) đã chỉ ra một số từ viết tắt và thuật ngữ dùng trong thi công và nghiên cứu [3]. Một số cụm từ khác đôi khi cũng được dùng như Mixed - in - Place piles, in situ soil mixing và soil cement columns. Trong nghiên cứu này sẽ sử dụng thuật ngữ trộn sâu và sản phẩm của quá trình thi công trộn sâu là trụ đất xi măng (CDM - Cement Deep Mixing).

Mặc dù có nhiều kỹ thuật trộn sâu khác nhau, nhưng phương pháp chung nhất là tạo ra các trụ gia cố bằng thiết bị khoan với một hoặc nhiều cần trộn để đưa chất kết dính vào đất nguyên trạng nơi gia cố (Holm, G., 2003). Chất kết dính thường được sử dụng là một hỗn hợp xi măng, vôi, nước và đôi khi có thêm các thành phần phụ gia. Kết quả của sự trộn chất kết dính và đất tạo ra một vật liệu có cường độ và độ cứng lớn hơn đất tự nhiên nhưng nhỏ hơn bê tông. Mục đích chính của phương pháp trộn sâu là: Giảm tính biến dạng, tăng cường độ của đất, tăng độ cứng động của đất và khắc phục hậu quả của mặt đất bị ô nhiễm [4].

Tính chất cơ học của đất được gia cố bởi phương pháp trộn sâu bị ảnh hưởng bởi một số yếu tố như lượng nước, sét, hàm lượng chất hữu cơ trong đất; loại, tỉ lệ chất kết dính; và hiệu quả do gia cố đất bằng trụ đất xi măng mang lại. Toshihide Shibi and Yuki Ohtsuka (2021) đã có nghiên cứu ảnh hưởng của ứng áp lực nén trong quá trình bảo dưỡng mẫu đến cường độ chịu nén một trục của đất trộn xi măng [5]. Trong khi Thanakorn Chompoorat et al. (2022) nghiên cứu để cải thiện tính chất cơ học và nút do co ngót của đất trộn xi măng [6]. Còn Nguyen Anh Tuan and Nguyen Ngoc Thang (2019) sự ảnh hưởng của khoáng vật Montmorillonite đến sức chịu tải của nền đường đất yếu gia cố bằng trụ đất xi măng [7], Nguyễn Ngọc Thắng và Thiệu Ngọc Hồ (2021) nghiên cứu gia cố nền đất yếu ở Tiền Giang bằng trụ đất xi măng cho công trình bể chứa xăng dầu [8].

Việc nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ trụ đất xi măng đóng vai trò quan trọng trong quyết định lựa chọn đặc tính kỹ thuật cũng như giá trị kinh tế của công trình. Terashi, M. (1997), tính chất cơ học của đất trộn xi măng phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố khác nhau như đặc điểm của tác nhân gia cố, đặc điểm và điều kiện của đất, điều kiện trộn, điều kiện bảo dưỡng [9]. Trong các công trình gia cố nền đất yếu bằng trụ đất xi măng, việc xác định tính chất cơ học và vật lý của vật liệu đất trộn xi măng cần phải được thực hiện.

**2. PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM**

Mục đích của việc thiết kế vật liệu đất trộn xi măng là chất lượng sản phẩm phải đạt được cường độ an toàn và các yêu cầu khác của việc thiết kế. Tính chất của trụ đất xi măng thường được xác định bằng hỗn hợp trộn, điều đó rất quan trọng cho người thiết kế hiểu rõ các yếu tố thay đổi cường độ của đất trộn xi măng để đề ra biện pháp thiết kế thi công thích hợp [10].

**2.1. Chế tạo và bảo dưỡng mẫu đất trộn xi măng**

Đất lấy về được phơi khô, nghiền nhỏ và cho qua rây 5 mm để loại bỏ tạp chất. Mẫu đất trộn xi măng được tạo với các điều kiện khác nhau về: Hàm lượng xi măng,  $a_w = 5\%, 10\%, 15\%, 20\%$  và  $25\%$ ; Tỉ lệ tổng lượng nước và xi măng,  $w_t/c = 3, 4$  và  $5$ ; Thời gian bảo dưỡng,  $t = 7, 14$  và  $28$  ngày; Môi trường bảo dưỡng mẫu trong không khí và nước. Tổng cộng có 30 trường hợp thí nghiệm, với 276 mẫu đất trộn xi măng được chế tạo. Các tính chất vật lý cơ bản của đất và nước được trình bày trong Bảng 1 và Bảng 2.

**Bảng 1.** Tính chất cơ bản của đất dùng thí nghiệm

STT	Tính chất	Đơn vị	Giá trị	
1	Độ ẩm tự nhiên, $W$	(%)	47,88	
2	Dung trọng tự nhiên, $\gamma_w$	$g/cm^3$	1,70	
3	Tỉ trọng, $\rho$	$g/cm^3$	2,65	
4	Hệ số rỗng, $e_o$		1,307	
5	Giới hạn chảy, $W_L$	(%)	42,62	
6	Giới hạn dẻo, $W_P$	(%)	27,94	
7	Chỉ số dẻo, $I_P$	(%)	14,68	
8	Độ sét, $B$	(%)	1,36	
9	Lực dính, $c_{cc}$	$kg/cm^2$	0,085	
10	Thành phần hạt	Sỏi sạn	(%)	0
		Hạt cát	(%)	33,7
		Hạt bụi	(%)	42,2
		Hạt sét	(%)	24,1

**Bảng 2.** Tính chất cơ bản của nước tại Tân Phú Đông

STT	Tính chất	Đơn vị	Giá trị
1	Độ pH	°	7,69
2	Hàm lượng $HCO_3^-$	mg/l	1.177,69
3	Hàm lượng $Cl^-$	mg/l	9.890,55
4	Hàm lượng $SO_4^{2-}$	mg/l	48,03
5	Hàm lượng $CO_3^{2-}$	mg/l	0,00
6	Tổng số khoáng	mg/l	17.641,00

Xi măng được sử dụng để thí nghiệm là xi măng Hà Tiên Portland PCB40 được sử dụng rộng rãi trên thị trường, có chỉ tiêu cơ lý và hóa học do nhà sản xuất cung cấp như Bảng 3 và Bảng 4.

**Bảng 3.** Tính chất của xi măng Hà Tiên PCB40

STT	Tính chất	Đơn vị	Giá trị	
1	Khối lượng riêng	$g/cm^3$	3,1	
2	Độ dẻo tiêu chuẩn	%	29,0	
3	Thời gian ninh kết	Bắt đầu	Phút	140
		Kết thúc	Phút	260
4	Độ mịn (phần còn lại trên sàng 80 $\mu m$ )	%	1,74	

**Bảng 4.** Thành phần hóa học của xi măng PCB 40

Ô xít	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Hàm lượng (%)	19-25%	2-9%	62-67%	1-5%	0-3%	1-3%	0,6-%	0,2%

Các mẫu đất trộn xi măng chế tạo theo A.S.T.M. D1632-96. Thành phần và khối lượng vật liệu: Đất  $W_s(g)$ , xi măng  $W_c(g)$  và tổng lượng nước  $W_t(g)$  cho một lần trộn được tính toán và lập thành bảng trước khi trộn. Sau khi trộn đều hỗn hợp đất và xi măng, cho nước vào tiếp tục trộn. Thời gian trộn là khoảng 10 phút với tốc độ quay 48 vòng/phút. Cho hỗn hợp vào khuôn nhựa tròn đường kính trong 50 mm, cao 100 mm được bịt kín ở đáy làm 3 lớp. Sau mỗi lớp, đưa mẫu vào bàn rung nhằm giảm bọt khí bên trong mẫu. Gạt bỏ hỗn hợp thừa trên mặt khuôn, tạo phẳng bề mặt và phủ lên bề mặt một lớp vải ni lông chống mất nước. Giữ mẫu trong khuôn 24 giờ. Sau đó tháo khuôn cho mẫu vào môi trường nước ngọt để bảo dưỡng [11, 12].

**2.2. Thí nghiệm nén mẫu đất trộn xi măng**

Thí nghiệm nén một trục nở hông theo tiêu chuẩn A.S.T.M. D5102-96 cho các mẫu sau khi bảo dưỡng 7 ngày, 14 ngày và 28 ngày [13]. Cường độ nén không hạn chế nở hông là tải dọc trục tối đa đạt được trên một đơn vị diện tích hoặc tải trên một đơn vị diện tích tích tại biến dạng dọc trục đạt 5%, tùy thuộc trường hợp nào xảy ra trước. Quá trình thí nghiệm bằng cách tăng dần lực nén dọc trục cho đến khi nó phá hoại hoặc biến dạng dọc theo trục đạt 5%. Tốc độ tăng áp lực nén được kiểm soát để tốc độ của biến dạng dọc trục khoảng 0,5% - 2%/ phút. Mức biến dạng cần được xác định để thời gian thực hiện thí nghiệm không vượt quá 15 phút.

Cường độ nén không hạn chế nở hông được tính theo công thức:

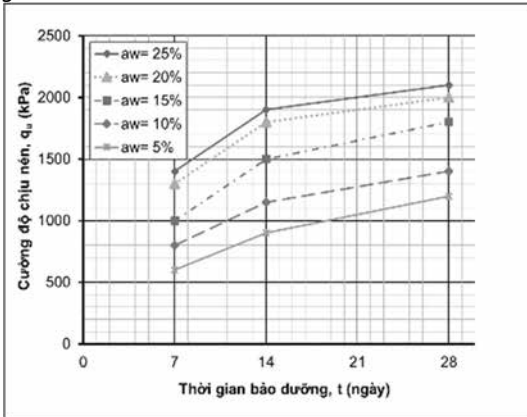
$$q_u = \frac{P}{A} \tag{1}$$

Trong đó:  $q_u$  là áp lực nén dọc trục (kPa),  $P$  là lực nén dọc trục (kN), và  $A$  là diện tích mặt cắt ngang của mẫu ( $m^2$ ).

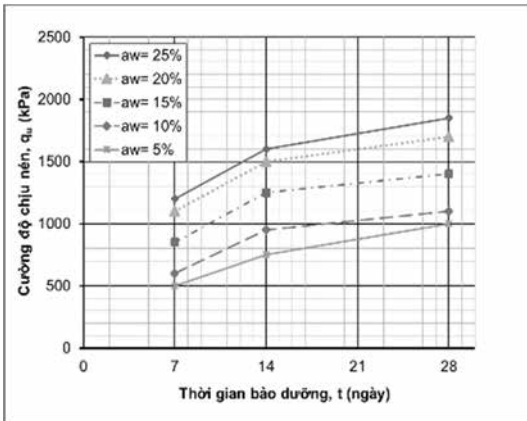
### 3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

#### 3.1. Kết quả thí nghiệm các mẫu trộn với nước tiêu chuẩn và bảo dưỡng trong môi trường không khí

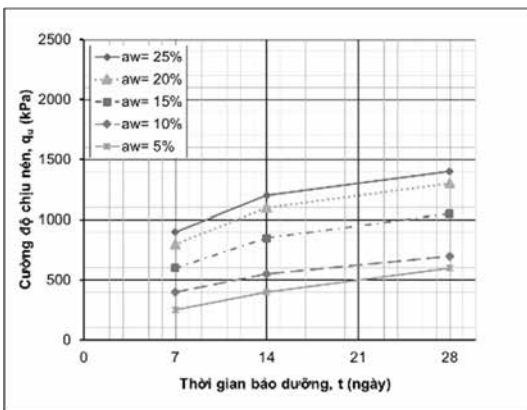
Ảnh hưởng thời gian bảo dưỡng đến cường độ mẫu đất trộn xi măng: Hình 1 cho thấy mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và thời gian bảo dưỡng khi mẫu được tạo với các tỉ số tổng lượng nước trên xi măng khác nhau.



a) Tỉ số  $w_T/c = 3$



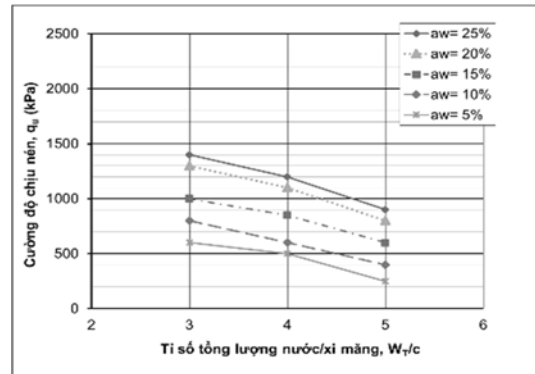
b) Tỉ số  $w_T/c = 4$



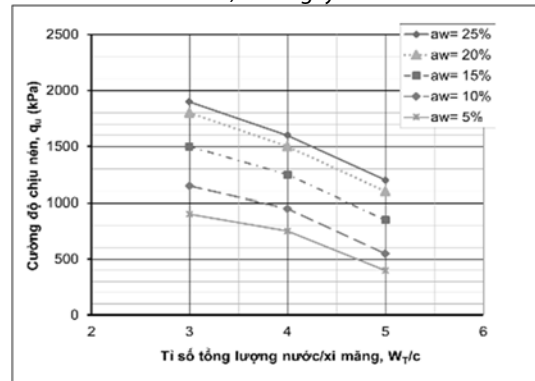
c) Tỉ số  $w_T/c = 5$

**Hình 1** - Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và thời gian bảo dưỡng khi mẫu

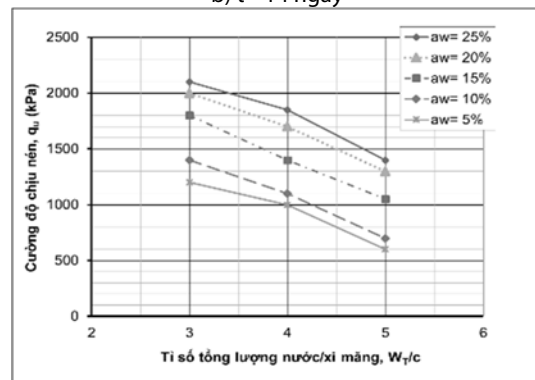
Ảnh hưởng  $w_T/c$  đến cường độ mẫu đất trộn xi măng: Hình 2 thể hiện mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và tỉ lệ tổng lượng nước /xi măng, với thời gian bảo dưỡng khác nhau.



a)  $t = 7$  ngày

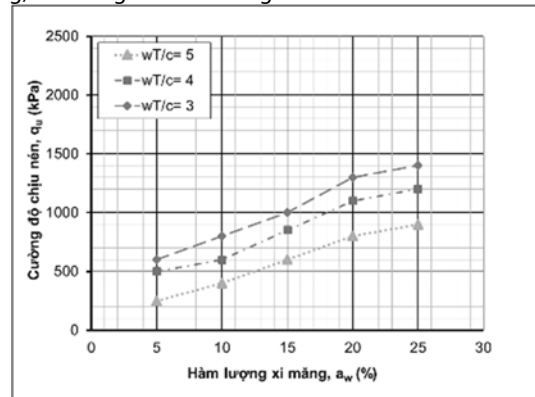


b)  $t = 14$  ngày

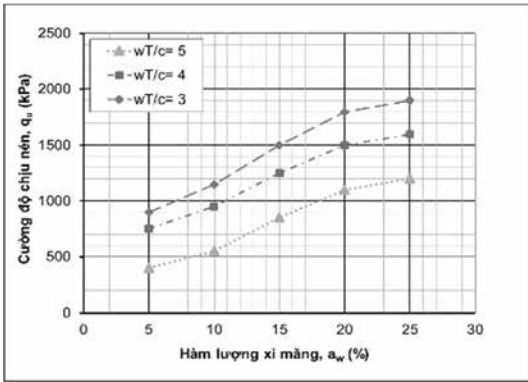


c)  $t = 28$  ngày

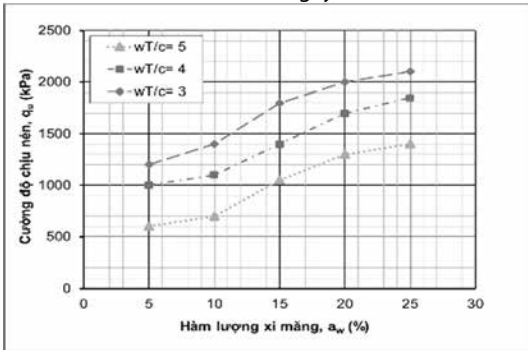
**Hình 2** - Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và tỉ lệ tổng lượng nước /xi măng  
Ảnh hưởng hàm lượng xi măng đến cường độ mẫu đất trộn xi măng: Hình 3 là mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và hàm lượng xi măng, với thời gian bảo dưỡng khác nhau.



a)  $t = 7$  ngày



b)  $t = 14$  ngày

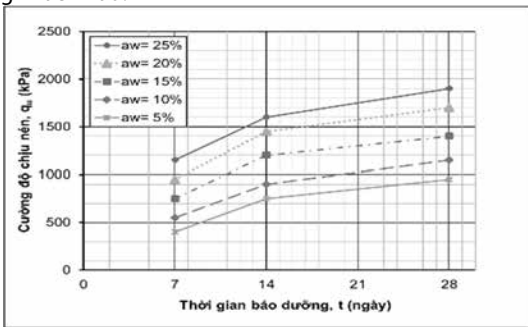


c)  $t = 28$  ngày

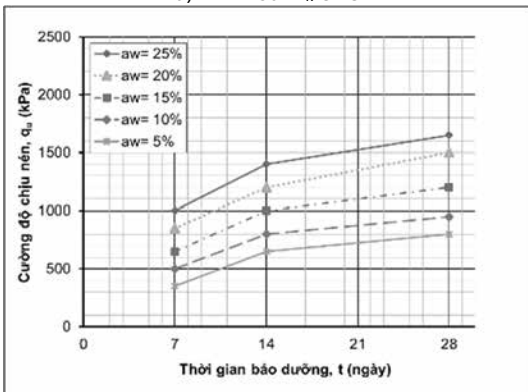
Hình 3 - Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và hàm lượng xi măng

### 3.2. Kết quả thí nghiệm các mẫu trộn với nước và bảo dưỡng trong môi trường nước tại Tân Phú Đông

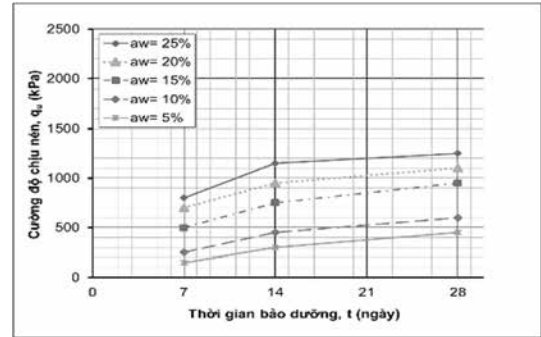
Ảnh hưởng thời gian bảo dưỡng đến cường độ mẫu đất trộn xi măng: Hình 4 cho thấy mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và thời gian bảo dưỡng khi mẫu được tạo với các tỉ số tổng lượng nước trên xi măng khác nhau.



a) Tỉ số  $wT/c = 3$

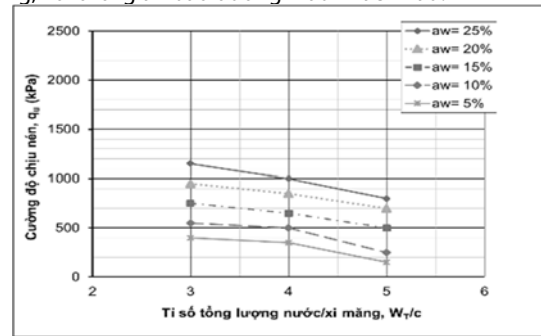


b) Tỉ số  $wT/c = 4$

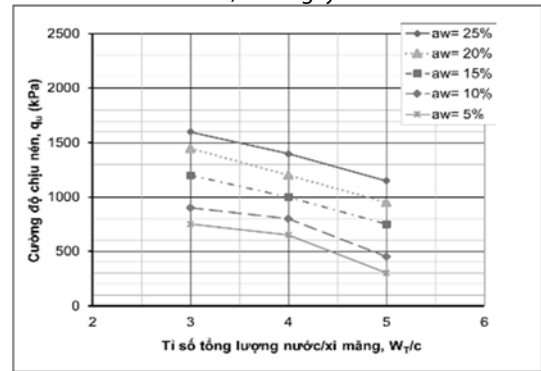


c) Tỉ số  $wT/c = 5$

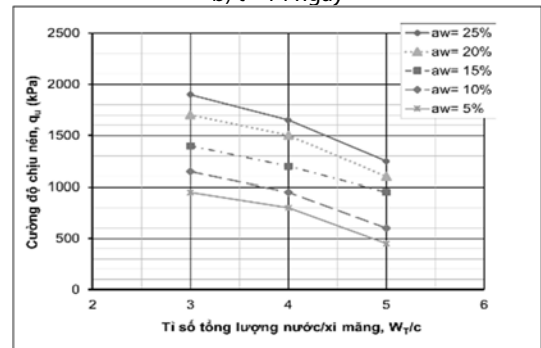
Hình 4 - Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và thời gian bảo dưỡng khi mẫu Ảnh hưởng  $wT/c$  đến cường độ mẫu đất trộn xi măng: Hình 5 thể hiện mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và tỉ lệ tổng lượng nước/xi măng, với thời gian bảo dưỡng mẫu khác nhau.



a)  $t = 7$  ngày

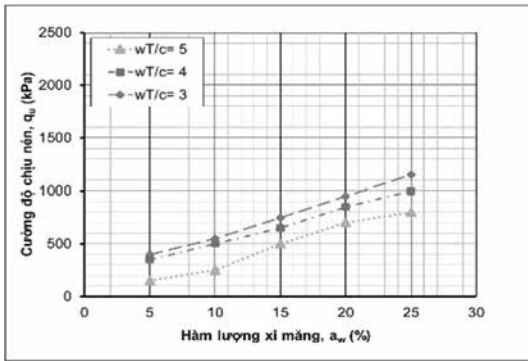


b)  $t = 14$  ngày

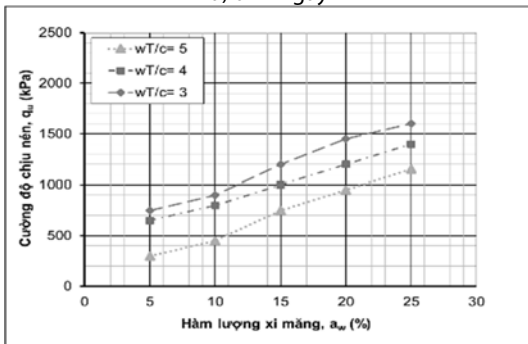


c)  $t = 28$  ngày

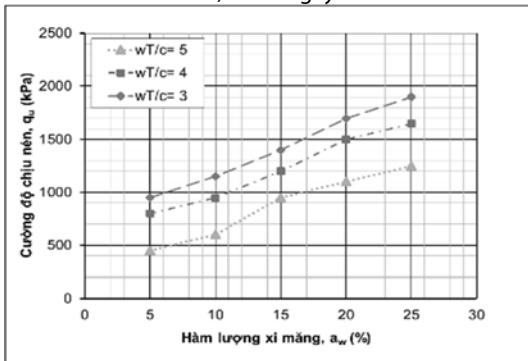
Hình 5 - Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và tỉ lệ tổng lượng nước/xi măng Ảnh hưởng hàm lượng xi măng đến cường độ mẫu đất trộn xi măng: Hình 6 là mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và hàm lượng xi măng, với thời gian bảo dưỡng khác nhau.



a) t= 7 ngày



b) t= 14 ngày



c) t= 28 ngày

Hình 6. Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và hàm lượng xi măng.

Cường độ nén nở hông  $q_u$  của mẫu đất trộn xi măng khi bảo dưỡng 7 ngày, 14 ngày và 28 ngày thay đổi khi tỷ số  $w_T/c$  thay đổi. Khi  $w_T/c$  tăng thì cường độ nén nở hông giảm. Cường độ nén nở hông giảm đến các điểm có độ ẩm của hỗn hợp khi trộn gần bằng giới hạn chảy của đất chưa xử lý và các điểm sau đó cường độ có xu hướng giảm mạnh hơn khi tăng  $w_T/c$ . Do đó khi chọn giải pháp trộn ướt cho đất trộn xi măng thì tổng hàm lượng nước của hỗn hợp nên chọn gần giới hạn chảy của đất chưa xử lý.

Chênh lệch cường độ của mẫu đất trộn xi măng giữa mẫu ở 28 ngày và 7 ngày giảm khi gia tăng tỷ số  $w_T/c$  và có xu hướng khi tăng tỷ số  $w_T/c$  đến một giới hạn nào đó thì cường độ mẫu đất trộn xi măng ở các thời gian bảo dưỡng khác nhau sẽ không còn sự khác biệt.

Cường độ của mẫu đất trộn xi măng tăng với sự tăng hàm lượng xi măng. Từ kết quả trên cho thấy khi hàm lượng xi măng tăng đến 20% thì sự phát triển cường độ của mẫu đất trộn xi măng tăng nhanh hơn ở các hàm lượng lớn hơn sau đó trong tất cả thời gian bảo dưỡng cũng như môi trường dưỡng hộ.

Cường độ nén nở hông của mẫu đất trộn xi măng có cùng thời gian bảo dưỡng và hàm lượng xi măng có cường độ cao ở môi trường không khí và thấy môi trường dưỡng nước tại Tân Phú Đông. Nguyên nhân do trong nước Tân Phú Đông có hàm lượng ion  $Cl^-$  lớn.

#### 4. KẾT LUẬN

Cường độ nén nở hông  $q_u$  của mẫu đất trộn xi măng thay đổi khi tỷ số  $w_T/c$  thay đổi. Khi  $w_T/c$  tăng thì cường độ nén nở hông giảm. Theo thời gian, mẫu đất trộn xi măng đóng rắn và cường độ tăng dần lên. Nguyên lý cơ bản của việc gia cố nền đất yếu bằng cột đất trộn xi măng là xi măng sau khi trộn với đất sẽ sinh ra một loạt các phản ứng hóa học sau đó dẫn đóng rắn lại.

Kết quả cường độ nén trong thí nghiệm nén các mẫu đất trộn xi măng cho thấy: Cường độ nén nở hông tăng nhanh ở đến  $a_w=20\%$  sau đó có xu hướng tăng chậm ở các hàm lượng xi măng cao hơn. Cường độ nén nở hông của mẫu đất trộn xi măng được bảo dưỡng trong môi trường không khí lớn hơn mẫu được bảo dưỡng trong môi trường nước Tân Phú Đông.

Khi bị nén mẫu đất trộn xi măng bị co ngắn lại theo phương nén nhưng đồng thời cũng bị nở theo phương vuông góc với phương nén gọi là hiện tượng nở ngang. Sự nở ngang quá mức gây ra sự nứt và phá vỡ mẫu. Giai đoạn bắt đầu khi mẫu đất trộn xi măng chịu lực, quan hệ ứng suất – biến dạng về cơ bản là phù hợp với định luật Hooke.

Tính chất cơ học của vật liệu đất trộn xi măng thường căn cứ kết quả thí nghiệm nén mẫu hỗn hợp đất, xi măng và nước. Điều này giúp cho người kỹ sư thiết kế biết rõ các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ của trụ đất xi măng và để xuất hàm lượng xi măng sử dụng cho gia cố nền đất yếu bằng trụ đất xi măng hợp lý.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Han-Georg Kempfert and Berhane Gebreselassie (2006). *Excavations and Foundation in Soft Soil* Krips bv, Meppel.
- [2] Bruce, D. A. (2000). *An Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as used in Geotechnical Applications*. FDWA-RD-99-138, Federal Highway Administration, McClean, VA.
- [3] Filz, G. M., Hodges, D. K., Weatherby, D. E. and Marr, W. A. (2005). Standardized Definitions and Laboratory Procedures for Soil-Cement Specimens Applicable to the Wet Method of Deep Mixing. *Int. Conf. on Deep Mixing*, Stockholm, pp. 1-13.
- [4] Holm, G. "State of Practice in Dy Mixing Methods (2003). Grouting and Ground Treatment, *Proceedings of the 3rd International Conference, ASCE Special Publication*. No. 120, New Orleans, 145-163.
- [5] Toshihide Shibi, Yuki Ohtsuka (2021). In fluenche of applying overburden stress during curing on the unconfined compressive strength of cement-stabilized clay. *Soils and Foundations*, vol. 61, pp. 1123-1131, 2021. DOI: 10.1016/j.sandf.2021.03.007.
- [6] Thanakorn Chompoorat, Thanakit Thepumong, Anupong Khamplod, Suched Likitlersuang (2022). Improving mechanical properties and shrinkage cracking characteristics of soft clay in deep soil mixing. *Construction and Building Materials*, vol. 316, 2022. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.125858.
- [7] Nguyen Anh Tuan and Nguyen Ngoc Thang (2019). Cement deep mixing method of soil stabilization effecting of montmorillonite content on the bearing capacity of ground improvement. *Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, vol. 10, Iss. 12, pp. 440-449.
- [8] Nguyễn Ngọc Thắng và Thiệu Ngọc Hồ (2021). Nghiên cứu giải pháp xử lý nền bằng trụ đất xi măng cho công trình bể chứa xăng dầu ở Tiên Giang. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng-Viện Vật liệu xây dựng*, Bộ Xây dựng, số 4/2021, trang 84-89. DOI: 10.54772/jomc.04.2021.158.
- [9] Terashi, M. (1997). Deep Mixing Methods – Brief state of the art. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Germany, pp. 2475-2478.
- [10] Nguyễn Ngọc Thắng và Võ Ngọc Hà (2019). *Gia cố nền đất yếu bằng trụ đất xi măng*, Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội.
- [11] TCVN 9403:2012. *Gia cố nền đất yếu – Phương pháp trụ đất xi măng*. Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, Vụ Khoa học Công nghệ.
- [12] A.S.T.M. D1632-96. *Standard Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Tests Specimens in the Laboratory*.
- [13] A.S.T.M. D5102-96. *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Compacted Soil-Lime Mixtures*.