

# Đánh giá cường độ chịu nén của cọc xi măng đất được chế tạo trong phòng thí nghiệm và hiện trường

Phạm Hữu Hà Giang<sup>1\*</sup>, Lê Hải Trí<sup>1</sup>, Trần Trang Nhật<sup>1</sup>, Hoàng Vĩ Minh<sup>1</sup>, Phạm Anh Du<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khoa Công nghệ, Đại học Cần Thơ, Khu II, đường 3/2, Quận Ninh Kiều, Thành phố Cần Thơ, Việt Nam

**TỪ KHOÁ**

Cọc xi măng đất  
Cường độ chịu nén  
Đất yếu

**TÓM TẮT**

Cọc xi măng đất (CXMD) ngày càng phổ biến và được sử dụng rộng rãi trong việc gia cố nền đất yếu, đặc biệt tại khu vực đồng bằng sông Cửu Long. Phương pháp nén đơn trục trong phòng được sử dụng trong nghiên cứu này nhằm đánh giá cường độ chịu nén của cọc xi măng đất. Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng XM/Đ ít nhất từ 300 kg/m<sup>3</sup> trở lên được xem là phù hợp với địa chất yếu tại khu vực nghiên cứu. Ngoài ra, tỷ lệ cường độ chịu nén của cọc xi măng đất ngoài hiện trường so với trong phòng thí nghiệm tại các khu vực nghiên cứu nằm trong khoảng (0,32 ÷ 0,96). Điều này cho thấy phương pháp thi công CXMD (jet-grouting) đảm bảo chất lượng với hệ số tương quan cao hơn so với hệ số được đề nghị trong tiêu chuẩn hiện hành.

**KEYWORDS**

Soil-cement column  
Compression strength  
Soft soil

**ABSTRACT**

Soil-cement column (SCC) becomes more popular and widely used for ground treatment, especially in the Mekong Delta. The uniaxial compression tests in the laboratory are used to evaluate the compression strength of soil-cement columns in this study. The results show that the amount of cement/soil mixture at least 300 kg/m<sup>3</sup> is considered consistently with the soft soils in the studied area. In addition, the ratio of the uniaxial compression strength of soil-cement columns made between in the field and the laboratory is in the range (0.32 ÷ 0.96). This proves that the SCC method (Jet-grouting) gives a higher compression strength compared to the recommendation in the current Vietnamese national standards.

**1. Giới thiệu**

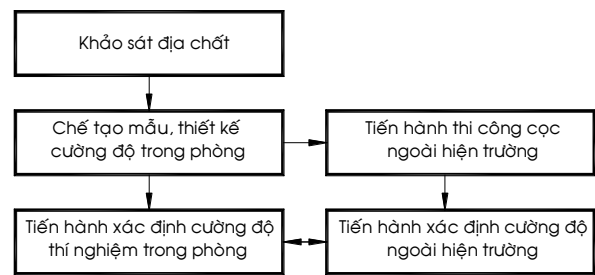
Ngày nay, cọc xi măng đất (CXMD) đã và đang được sử dụng ngày càng phổ biến trong gia cố nền đất yếu, đặc biệt tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long. Chất lượng CXMD không chỉ phụ thuộc vào tỷ lệ và hàm lượng xi măng trộn với đất [1], [2], mà còn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác như điều kiện tự nhiên của đất (trọng lượng riêng; lực dính; độ ẩm; góc ma sát; chỉ số dẻo của đất), các loại khoáng chất, nồng độ pH của đất và phương pháp thi công cọc [2], [3].

Trong các tiêu chuẩn thiết kế tính toán hiện nay, hầu như cường độ CXMD thường được tính toán theo các công thức kinh nghiệm (các thí nghiệm từ hiện trường và trong phòng thí nghiệm có thể thực hiện ở tuổi 14 hoặc 28 ngày để dự đoán cường độ CXMD tính toán ở 90 ngày tuổi) và tham khảo số liệu thực tế của một số công trình đã được thi công trước đó [4], [5]. Vì vậy, việc đánh giá cường độ chịu nén trong phòng và ngoài hiện trường là hết sức cần thiết. Nghiên cứu này tập trung đánh giá khả năng chịu nén của CXMD trong phòng và hiện trường nơi có địa chất yếu đặc trưng cho vùng Đồng bằng sông Cửu Long.

**2. Phương pháp nghiên cứu**

**2.1. Sơ đồ nghiên cứu**

Hình 1 thể hiện sơ đồ nghiên cứu về đánh giá cường độ của cọc xi măng đất trong phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường.



Hình 1. Sơ đồ nghiên cứu.

**2.2. Địa chất**

Số liệu địa chất được thu thập tại hai khu vực Huyện Châu Thành và huyện Tháp Mười, tỉnh Đồng Tháp. Các lớp đất được miêu tả như sau:

**Xã Mỹ Hòa – huyện Tháp Mười.**

- Lớp 1: Lớp Sét màu xám xanh, trạng thái dẻo cứng.
- Lớp 2: Lớp Sét pha ít cát, màu xám xanh, trạng thái chảy.
- Lớp 3: Lớp Sét dẻo, màu xám trắng, trạng thái dẻo chảy.
- Lớp 4: Lớp Sét pha, màu nâu đỏ, trạng thái nửa cứng.

\*Liên hệ tác giả: phhgiang@ctu.edu.vn

Nhận ngày 24/01/2022, sửa xong ngày 14/03/2022, chấp nhận đăng 26/05/2022

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2022.361>

Khu vực này có địa tầng khá phức tạp, gồm các đơn nguyên địa chất sau: Lớp mặt từ mặt đất tự nhiên đến độ sâu -3,0 m là lớp sét (lớp 1) ở trạng thái dẻo cứng.

Kế tiếp là 2 lớp gồm lớp 2 và lớp 3 đến độ sâu 7,5 m (có chiều dày 4,5 m) là lớp đất yếu ở trạng thái chảy chuyển dần qua dẻo chảy thuộc các lớp đất yếu có khả năng chịu lực kém và tính cho lún lớn, các công trình có tải trọng lớn không nên tựa lên lớp này.

Từ độ sâu -7,5 m để hết chiều sâu khảo sát -16,0 m vẫn chưa kết thúc là lớp sét pha (lớp 4), ở trạng thái nửa cứng, đây là lớp đất tốt, có khả năng chịu tải tốt, các giải pháp nền móng nên tựa vào lớp đất này.

**Xã Dốc Bình Kiều – huyện Tháp Mười.**

- Lớp 1: Lớp Sét dẻo lẫn ít hữu cơ, màu xám xanh, xám nâu trạng thái từ nhão đến dẻo chảy.

Suốt chiều sâu khảo sát đến -15,0 m là Lớp đất là các lớp bùn sét dẻo lẫn ít hữu cơ (lớp đất ở trạng chảy, thuộc các lớp đất yếu có khả năng chịu lực kém và tính cho lún lớn, các công trình có tải trọng lớn không nên tựa lên lớp này.

**Xã Tân Nhuận Đông – huyện Châu Thành.**

- Lớp 1: Lớp Sét lẫn hữu cơ, màu xám nâu, xám đen, trạng thái từ dẻo cứng chuyển sang dẻo chảy.

- Lớp 2: Lớp Sét pha cát, màu xám xanh, trạng thái chảy chuyển sang dẻo mềm.

- Lớp 3: Lớp Cát pha ít sét, màu xám xanh, trạng thái xốp rời.

- Lớp 4: Lớp Sét pha cát, màu xám xanh, trạng thái chảy.

Trên cùng là lớp 1 bùn sét lẫn hữu cơ, có chiều dày khoảng 2,5 m, trạng thái chuyển từ dẻo cứng sang dẻo chảy.

Kế tiếp là lớp cát pha (lớp 2) có chiều dày từ 0,8 đến 1,0 m, trạng thái xốp rời. Lớp 3 có chiều dày từ 3,0 m đến 4,0 m, lớp cát pha là lớp đất yếu ở trạng thái chảy.

Từ độ sâu -6,5 m đến -16,0 m là lớp sét pha (lớp 4), trạng thái chảy, thuộc lớp đất yếu có khả năng chịu lực kém và tính lún lớn.

**Bảng 1. Số liệu địa chất tại khu vực nghiên cứu.**

Xã Mỹ Hòa				
Lớp đất	Độ sâu (m)	Trọng lượng riêng (kN/m <sup>3</sup> )	E môđun đàn hồi (kN/m <sup>2</sup> )	Lực dính C (kN/m <sup>2</sup> )
Lớp 1	0,0 ÷ -3,0	19,90	7,80	15,16
Lớp 2	-3,0 ÷ -5,5	16,61	5,40	2,45
Lớp 3	-5,5 ÷ -7,5	16,12	4,90	4,43
Lớp 4	-7,5 ÷ -16,0	19,90	23,80	33,63
Xã Dốc Bình Kiều				
Lớp 1	0,0 ÷ <-15,0	15,32	4,10	1,25
Xã Tân Thuận Đông				
Lớp 1	0,0 ÷ -2,5	15,45	7,3	10,87
Lớp 2	-2,5 ÷ -4,7	17,71	8,3	12,89
Lớp 3	-4,7 ÷ -6,0	17,62	2,1	22,50
Lớp 4	-6,0 ÷ -16,0	16,79	6	10,68

**2.3. Phương pháp thí nghiệm**

**2.3.1. Chế mẫu và thí nghiệm trong phòng**

Quy trình thí nghiệm xi măng – đất được thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 9403:2012.

Mẫu sau khi lấy được đưa về phòng thí nghiệm, dùng cân và tủ sấy để xác định các chỉ tiêu về dung trọng tự nhiên và độ ẩm tự nhiên của mẫu khoan. Sau đó đem mẫu trộn đều với xi măng theo hàm lượng lần lượt là 130 kg/m<sup>3</sup>, 150 kg/m<sup>3</sup>, 200 kg/m<sup>3</sup>, 300 kg/m<sup>3</sup> và 400 kg/m<sup>3</sup>. Tiến hành gia công mẫu với tỷ lệ chiều cao/đường kính = 1,0 ÷ 2,5 lần.

Sau đó tiến hành bảo dưỡng mẫu trong tủ bảo dưỡng (điều kiện bảo dưỡng t = 25°C, độ ẩm đạt 90-95%). Sau 7; 14; 28 và 56 ngày tuổi tiến hành thí nghiệm trên máy nén để xác định các thông số q<sub>umax</sub>; E<sub>50</sub>; ε<sub>50</sub>, ... Thực hiện nén mẫu trong phòng để chọn ra cấp phối phù hợp với yêu cầu cường độ đề ra. Đây là cơ sở quyết định hàm lượng nước: xi măng trong thi công cọc thử hiện trường.

Thí nghiệm các chỉ tiêu cường độ kháng nén: q<sub>umax</sub>; ε<sub>50</sub>; E<sub>50</sub>; mô đun biến dạng được thực hiện theo ASTM D 2166. Tốc độ nén được chọn 0,5 % đến 1,0 % biến dạng mẫu.

Công thức xác định q<sub>u</sub>:

$$q_u = \frac{P}{A}; A = \frac{A_0}{(1 - \epsilon)}; \epsilon = \frac{\Delta H}{H}$$

Trong đó: P: Lực nén lớn nhất (kN); A: tiết diện của mẫu tại thời điểm lực P (cm<sup>2</sup>); H: chiều cao ban đầu của mẫu trước khi nén (cm); ΔH: giá trị chiều cao của mẫu bị giảm dưới tác dụng của lực nén (cm); q<sub>u</sub>: Sức chịu nén đơn trục (kPa); E<sub>tt</sub>: Mô đun tối đa E<sub>tt</sub> =  $\frac{q_u}{\epsilon_e}$  (kPa); E<sub>tt</sub>: Mô đun tối thiểu E<sub>tt</sub> =  $\frac{q_u}{\epsilon_{0,5q_u}}$  (kPa); E<sub>0,5q\_u</sub>: Mô đun 0,5qu 0,5qu =  $\frac{0,5q_u}{\epsilon_{0,5q_u}}$  (kPa).

**2.3.2. Tiến hành thí nghiệm cọc ngoài hiện trường**

Sau khi thi công cọc thử tại hiện trường được 28 ngày, ta sẽ tiến hành khoan lõi cọc xi măng đất và thí nghiệm cường độ trong phòng. Kết quả này sẽ là cơ sở quan trọng nhất quyết định cấp phối được chọn để thi công cọc đại trà.

**3. Kết quả**

**3.1. Kết quả thí nghiệm trong phòng**

Kết quả thí nghiệm trong phòng các mẫu đất tại các vị trí nghiên cứu được trình bày trong các Bảng 2, Bảng 3, Bảng 4.

Dựa vào các Bảng 2, 3 và 4, kết quả được thể hiện ở Hình 2, 3 và 4. Các kết quả này cho thấy cường độ kháng nén của CXMD tăng khi hàm lượng xi măng trộn với đất tăng. Hàm lượng tăng từ 6 đến 17 lần đối với hàm lượng từ 130 kg/m<sup>3</sup> cho đến 400 kg/m<sup>3</sup>. Tuy nhiên khi hàm lượng xi măng tăng từ 300 kg/m<sup>3</sup> đến 400 kg/m<sup>3</sup> thì cường độ tăng không nhiều (khoảng 1,1 đến 1,5 lần) trong khi cường độ tăng từ 200 kg/m<sup>3</sup> đến 300 kg/m<sup>3</sup> chênh lệch rất lớn (khoảng 2 đến 3 lần). Vì vậy việc lựa chọn thiết kế với hàm lượng xi măng ở 300 kg/m<sup>3</sup> là phù hợp về cường độ và tiết kiệm xi măng, tại các khu vực nghiên cứu.

**Bảng 2.** Cường độ kháng nén tại khu vực Mỹ Hòa.

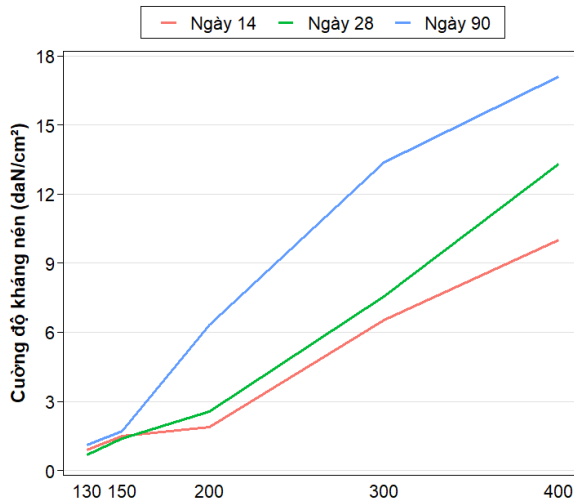
STT	Mẫu	Hàm lượng & xi măng kg/m <sup>3</sup> /đất	q <sub>u</sub> (daN/cm <sup>2</sup> )		
			14	28	90
1	M1	130	2,797	2,872	9,089
2	M2	150	5,339	7,920	14,351
3	M3	200	6,083	9,524	15,529
4	M4	300	7,022	10,990	14,197
5	M5	400	9,151	11,680	15,847

**Bảng 3.** Cường độ kháng nén tại khu vực Đốc Bình Kiều.

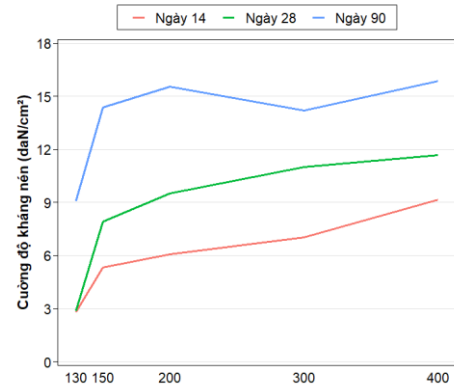
STT	Mẫu	Hàm lượng & Xi măng kg/m <sup>3</sup> /đất	q <sub>u</sub> (daN/cm <sup>2</sup> )		
			14	28	90
1	M1	130	0,895	0,671	1,101
2	M2	150	1,483	1,406	1,719
3	M3	200	1,869	2,564	6,308
4	M4	300	6,548	7,561	13,376
5	M5	400	10,003	13,301	17,105

**Bảng 4.** Cường độ kháng nén tại khu vực Tân Thuận Đông

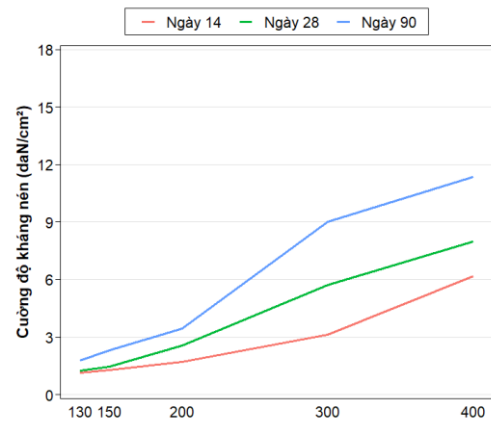
STT	Mẫu	Hàm lượng & Xi măng kg/m <sup>3</sup> /đất	q <sub>u</sub> (daN/cm <sup>2</sup> )		
			14	28	90
1	M1	130	1,159	1,245	1,784
2	M2	150	1,281	1,455	2,299
3	M3	200	1,706	2,563	3,431
4	M4	300	3,121	5,714	9,017
5	M5	400	6,192	7,993	11,366



**Hình 2.** Cường độ kháng nén tại khu vực Mỹ Hòa



**Hình 3.** Cường độ kháng nén tại khu vực Đốc Bình Kiều.



**Hình 4.** Cường độ kháng nén tại khu vực Tân Thuận Đông.

**3.2. Kết quả hiện trường**

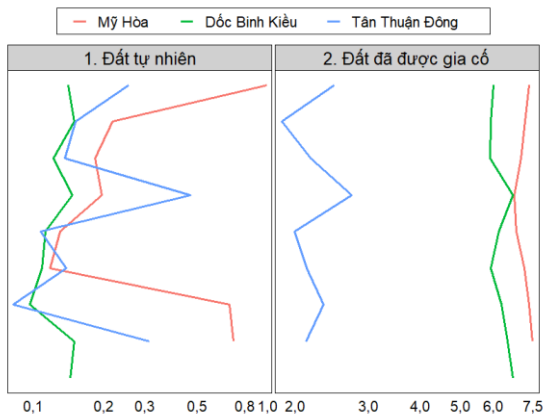
Bảng 5 thể hiện kết quả thí nghiệm ngoài hiện trường khả năng chịu nén đơn của đất tự nhiên tại từng khu vực nghiên cứu, Bảng 6 trình bày kết quả (thí nghiệm bằng phương pháp khoan lấy lõi cọc) khả năng chịu nén đơn của đất gia cố xi măng theo chiều sâu ở 28 ngày tuổi.

**Bảng 5.** Sức chịu nén đơn của đất tự nhiên theo chiều sâu.

Mẫu	Độ sâu,m	q <sub>u</sub>	Mẫu	Độ sâu,m	q <sub>u</sub>	Mẫu	Độ sâu,m	q <sub>u</sub>
		daN/cm <sup>2</sup>			daN/cm <sup>2</sup>			daN/cm <sup>2</sup>
Mỹ Hòa			Đốc Bình Kiều			Tân Thuận Đông		
M1	2	0,994	M1	2	0,141	M1	2	0,255
M2	3	0,218	M2	3	0,150	M2	3	0,152
M3	4	0,184	M3	4	0,122	M3	4	0,137
M4	5	0,197	M4	5	0,147	M4	5	0,469
M5	6	0,131	M5	6	0,113	M5	6	0,108
M6	7	0,118	M6	7	0,109	M6	7	0,139
M7	8	0,686	M7	8	0,097	M7	8	0,082
M8	8	0,714	M8	8	0,150	M8	9	0,315
			M9	10	0,144			

**Bảng 6.** Sức chịu nén đơn của đất gia cố xi măng theo chiều sâu.

Mẫu	Độ sâu, m	q <sub>u</sub>	Mẫu	Độ sâu, m	q <sub>u</sub>	Mẫu	Độ sâu, m	q <sub>u</sub>
		daN/cm <sup>2</sup>			daN/cm <sup>2</sup>			daN/cm <sup>2</sup>
Mỹ Hòa			Đốc Bình Kiều			Tân Thuận Đông		
M1	2	7,325	M1	2	6,018	M1	2	2,482
M2	3	7,171	M2	3	5,912	M2	3	1,852
M3	4	7,003	M3	4	5,899	M3	4	2,176
M4	5	6,752	M4	5	6,705	M4	5	2,732
M5	6	6,822	M5	6	6,195	M5	6	1,993
M6	7	7,141	M6	7	5,915	M6	7	2,126
M7	8	7,321	M7	8	6,290	M7	8	2,332
M8	9	7,325	M8	8	6,506	M8	9	2,122
			M9	10	6,695			



**Hình 5.** Khả năng chịu nén của đất tự nhiên và đất gia cố xi măng.

Theo Hình 5, trước khi gia cố cường độ chịu nén đất tự nhiên rất nhỏ trong khoảng từ 0,08 daN/cm<sup>2</sup> đến 1,00 daN/cm<sup>2</sup>, đến khi đất được gia cố phối trộn với xi măng cường độ chịu nén của đất được tăng lên rõ rệt từ 1,85 daN/cm<sup>2</sup> đến 7,83 daN/cm<sup>2</sup>.

Hệ số sai lệch của cường độ chịu nén giữa thí nghiệm trong phòng và khoang lấy mẫu ngoài hiện trường trình bày trong Bảng 7, Bảng 8, Bảng 9.

**Bảng 7.** Hệ số sai lệch giữa cường độ kháng nén trong phòng và hiện trường tại khu vực Mỹ Hòa.

Độ sâu, m	Hàm lượng Xi măng kg/m <sup>3</sup> /đất	j độ	c daN/cm <sup>2</sup>	q <sub>u</sub> daN/cm <sup>2</sup>	Hệ số sai lệch mẫu trong phòng và mẫu hiện trường
2	300	35,00	1,91	7,33	0,969
3	300	40,00	1,67	7,17	0,948
4	300	37,00	1,75	7,00	0,926
5	300	34,00	1,80	6,75	0,893
6	300	34,00	1,81	6,82	0,902
7	300	30,00	2,06	7,14	0,944
8	300	50,00	1,33	7,32	0,968

**Bảng 8.** Hệ số sai lệch giữa cường độ kháng nén trong phòng và hiện trường tại khu vực Đốc Bình Kiều

Độ sâu, m	Hàm lượng Xi măng kg/m <sup>3</sup> /đất	j độ	c daN/cm <sup>2</sup>	q <sub>u</sub> daN/cm <sup>2</sup>	Hệ số sai lệch mẫu trong phòng và mẫu hiện trường
2	300	29,60	1,75	6,018	0,548
3	300	33,00	1,61	5,912	0,538
4	300	29,60	1,72	5,899	0,537
5	300	31,00	1,90	6,705	0,610
6	300	29,60	1,80	6,195	0,564
7	300	30,00	1,71	5,915	0,538
8	300	33,00	1,71	6,290	0,572
9	300	34,00	1,73	6,506	0,592
10	300	34,00	1,78	6,695	0,609

**Bảng 9.** Hệ số sai lệch giữa cường độ kháng nén trong phòng và hiện trường tại khu vực Tân Thuận Đông.

Độ sâu, m	Hàm lượng Xi măng kg/m <sup>3</sup> /đất	j độ	c daN/cm <sup>2</sup>	q <sub>u</sub> daN/cm <sup>2</sup>	Hệ số sai lệch mẫu trong phòng và mẫu hiện trường
2	300	27,00	0,76	2,482	0,434
3	300	50,00	0,34	1,852	0,324
4	300	27,00	0,67	2,176	0,381
5	300	30,00	0,79	2,732	0,478
6	300	31,00	0,56	1,993	0,349
7	300	30,00	0,61	2,126	0,372
8	300	32,00	0,65	2,332	0,408
9	300	33,00	0,58	2,122	0,371

Cường độ chịu nén của CXMD ít chịu ảnh hưởng theo độ sâu (Bảng 7, 8, 9). Hệ số sai lệch cường độ chịu nén hiện trường so với trong phòng dao động từ 0,32 đến 0,96 phù hợp với TCVN 9906:2014 (0,20 ÷ 0,50). Điều này cho thấy với việc thi công cọc bằng phương pháp Jet-grouting đảm bảo chất lượng gần với thí nghiệm trong phòng thí nghiệm.

**4. Kết luận**

Nghiên cứu được thực hiện dựa trên số liệu thực tế, kết quả nghiên cứu tại địa bàn tỉnh Đồng Tháp.

- (1) Hàm lượng xi măng trộn với đất ít nhất từ 300 kg/m<sup>3</sup> trở lên là phù hợp với địa chất yếu tại khu vực nghiên cứu.
- (2) Từ kết quả thí nghiệm, cường độ đất gia cố bằng xi măng tăng lên rất nhiều từ 1,85 daN/cm<sup>2</sup> đến 7,83 daN/cm<sup>2</sup>.
- (3) Hệ số tương quan cao hơn so với hệ số được đề nghị trong tiêu chuẩn hiện hành. Tuy nhiên kết này đạt được dựa trên kết quả của 03 dự án tại Đồng Tháp. Vì vậy cần có tổng hợp nhiều số liệu trên các địa

bàn có đất yếu tương tự để làm cơ sở dữ liệu cho việc tính toán và áp dụng cọc xi măng đất tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long.

## 5. Cảm ơn

Nhóm nghiên cứu xin gửi lời cảm ơn đến Công ty TNHH Kiểm định – Tư vấn Đầu tư XD Nam Mekong đã hỗ trợ khảo sát và thí nghiệm cho nghiên cứu này.

## Tài liệu tham khảo

- [1]. Thân Văn Văn, 2009. Lựa chọn tỷ lệ xi măng đất khi chế tạo cọc xử lý nền đất yếu. Tạp chí khoa học kỹ thuật Thủy lợi & Môi trường số 26 (2009).
- [2]. Đậu Văn Ngo, 2009. Các nhân tố ảnh hưởng đến cường độ xi măng đất. Science & Technology Development, Vol 12, No.05 - 2009.
- [3]. Nguyễn Viết Thanh, Lê Minh Long, 2016. Ảnh hưởng của tính chất đất yếu đến chất lượng cọc xi măng đất. Tạp chí Giao thông vận tải số tháng 6/2016.
- [4]. TCVN 9403: 2012. Gia cố đất nền yếu – phương pháp trụ đất xi măng.
- [5]. TCVN 9906: 2014. Công trình thủy lợi – cọc xi măng đất thi công theo phương pháp Jet-Grouting – yêu cầu thiết kế thi công và nghiệm thu cho xử lý nền đất yếu.