

CỌC ĐẤT XI MĂNG – GIẢI PHÁP NỀN MÓNG THÂN THIỆN MÔI TRƯỜNG CHO CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG

THE SOIL CEMENT PILE – AN ENVIRONMENT- FRIENDLY FOUNDATION ALTERNATIVE FOR CONSTRUCTION WORKS

Đỗ Hữu Đạo¹, Phan Cao Thọ²

¹Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; huudaod1203@gmail.com

²Trường Cao đẳng Công nghệ, Đại học Đà Nẵng; pctho@dut.udn.vn

Tóm tắt - Cọc đất xi măng (viết tắt là cọc SCP) với nhiều ưu điểm trong xử lý nền móng như: giảm lún, cải tạo nền đất yếu, tăng khả năng chịu tải cho nền công trình, sử dụng vật liệu đất tại chỗ v.v. Đối với các khu vực có nền đất cát của thành phố Đà Nẵng và vùng lân cận có điều kiện địa chất tương tự, cường độ vật liệu cọc đất xi măng cao hơn 10 đến 20 lần so với trong đất sét với cùng hàm lượng xi măng thêm vào. Sức chịu tải từ thí nghiệm nén tĩnh của cọc đơn đạt từ 800kN đến 1500kN. Cọc có thể ứng dụng trong chịu lực cho móng công trình xây dựng dân dụng thay cho các loại cọc truyền thống như cọc ép, cọc ống, cọc khoan nhồi trong những điều kiện phù hợp về địa chất và tải trọng công trình. Với ứng dụng này cọc đất xi măng sẽ không sử dụng vật liệu cát, đá xay, thép cho việc chế tạo cọc, do vậy sẽ giảm lượng đất thải, giảm sử dụng năng lượng trong sản xuất vật liệu xây dựng, do vậy góp phần làm giảm ô nhiễm môi trường. Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm về cường độ vật liệu cọc đất xi măng và hiệu quả ứng dụng cho một số công trình thực tế trên địa bàn thành phố Đà Nẵng và Quảng Nam.

Từ khóa - cọc đất xi măng; đất cát; địa chất; cường độ; sức chịu tải; giảm năng lượng; môi trường.

1. Đặt vấn đề

Cọc đất xi măng là sản phẩm của công nghệ khoan trộn xi măng dạng khô hoặc vữa vào trong đất, sau thời gian ninh kết tạo ra cọc [3], [5], [8]. Đối với nền đất tốt như cát, á cát, sản phẩm của phương pháp trộn sâu ướt cho được cọc đất xi măng có cường độ cao, có thể sử dụng làm cọc chịu lực cho công trình xây dựng [2]. Với nhiều ưu điểm như sử dụng vật liệu tại chỗ, không sử dụng vật liệu cát, đá xay, thép nên sử dụng cọc đất xi măng giảm thiểu sử dụng năng lượng, giảm ô nhiễm môi trường. Phần lớn các nghiên cứu trên thế giới và trong nước tập trung cho ứng dụng cọc đất xi măng để cải tạo xử lý nền đất yếu cho nền đường, khối đắp cao, nền đường sắt, đường băng sân bay.v.v. [5], [8]. Ứng dụng cọc đất xi măng trong chịu lực cho móng công trình xây dựng còn rất hạn chế. Đối với nền đất cát vùng Đà Nẵng và các tỉnh miền trung có điều kiện địa chất tương tự, cọc đất xi măng cho cường độ chịu nén UCS cao đến trên 10Mpa [5], cọc được sử dụng làm cọc chịu lực cho móng công trình đặc biệt là công trình nhà cao tầng đến cấp II (dưới 17 tầng) [2]. Như vậy giải pháp cọc đất xi măng sẽ được xem là một giải pháp cọc hợp lý, giá thành thấp hơn các loại cọc khác đồng thời góp phần giảm ô nhiễm môi trường. Các kết quả tập hợp trong bài báo này sẽ làm cơ sở khoa học cho mục đích ứng dụng cọc đất xi măng làm việc như cọc.

Abstract - The soil cement pile (CSP) has many advantages in soil treatment such as reduction of foundation settlement, improvement of soft soil, increase in load capacity for ground works, use of local soil, etc. For sandy soil areas in Danang city and the neighbouring ones with similar geological conditions, the unconfined compressive strength (UCS) of the soil cement pile is from 10 to 20 times higher than that of clay with the same amount cement added. The load bearing capacity from static compression tests of single piles ranges from 800kN to 1500kN. This type of piles can be used to bear the foundations of construction works as a substitute for the traditional type of piles like concrete piles, pre-stressed pipe piles, bored piles under suitable conditions of geology and workload. The employment of soil cement piles does not entail sand, crushed rock, steel, bentonite, thereby reducing the amount of waste soil and energy used in the manufacture of materials, thus helping to lessen environmental pollution. This paper presents the results of an experimental study on the strength of soil cement pile materials and the efficiency of their application in some practical works in Danang and Quangnam.

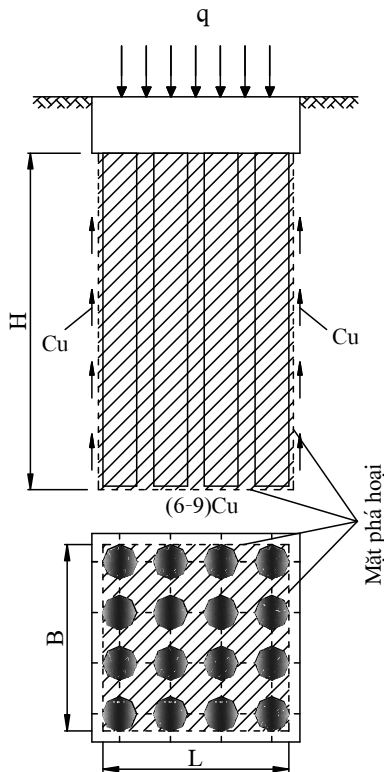
Key words - soil cement pile; sandy soil; geological; UCS; load bearing capacity; reducing energy; environmental.

2. Giải pháp tính toán - thiết kế - thi công

Đối với cọc đất xi măng chịu lực, các thiết kế thông thường, cọc đất xi măng được thiết kế liền sát nhau. Sức chịu tải của cọc được xác định như cọc đơn và kiểm tra thông qua thí nghiệm thử tải tĩnh. Đối với nhóm cọc thì tính sức chịu tải theo khối theo quan điểm móng cọc làm việc theo “Bock” của Bergado (Hình 1) [1]. Tuy nhiên với cọc đất xi măng trong nền cát, cọc có chất lượng tốt, cường độ cao, cho sức chịu tải cao, các cọc được dịch ra để huy động sức kháng bên, nâng cao hơn sức chịu tải của cọc trong nhóm cọc. Khoảng cách giữa tim của các cọc đề nghị $d/D=(1,5\div 2,0)$ để đảm bảo yêu cầu kỹ thuật và kinh tế. Sức chịu tải của nhóm cọc đề nghị tính theo phương pháp làm việc nhóm của Terzaghi và Peck (Hình 2) [4].

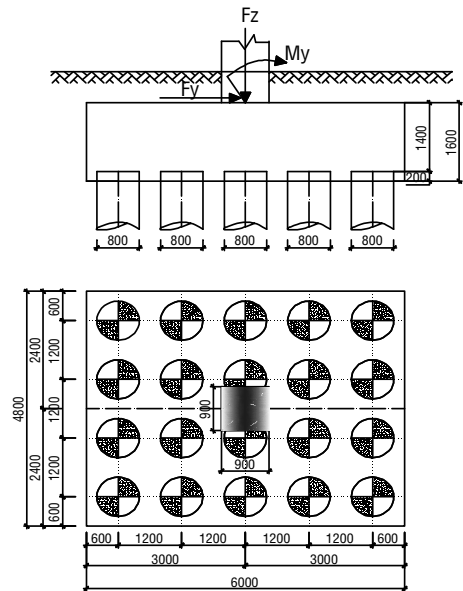
Giải pháp cấu tạo: Đối với cọc đất xi măng chịu lực cho công trình dân dụng, đòi hỏi cọc phải có khả năng tiếp thu tải trọng ngang và momen, do vậy giải pháp cấu tạo phần đầu cọc được ngâm vào đài 20cm. Hình 3 thể hiện cấu tạo của một móng cọc đất xi măng, cọc có đường kính D800, chiều dài 10m, $d/D=1,5$ chịu tải trọng thẳng đứng thiết kế trên 1000 tấn.

Giải pháp thi công: Đối với nền đất cát và á cát, độ ẩm tự nhiên thường nhỏ hơn 40%, phương pháp trộn ướt được xem là hợp lý hơn so với phương pháp trộn khô. Mũi khoan được cấu tạo cánh tĩnh để chống hình thành trụ vữa xoay khi thi công.

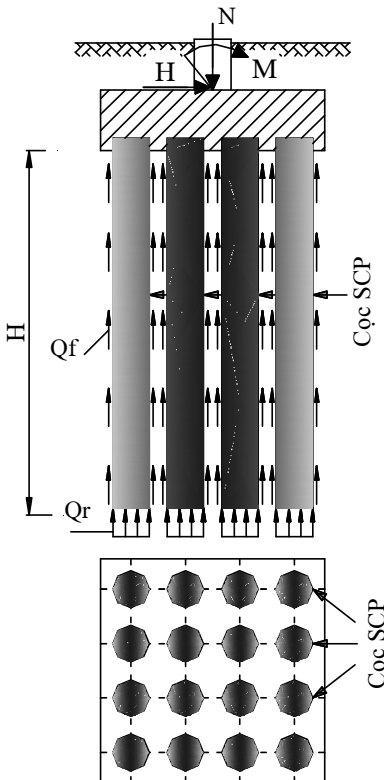


Hình 1. Sơ đồ tính theo khối "Block" của Bergado, 1994 [1]

$$Q_{ug} = \eta m_1 n_2 Q_u$$



Hình 3. Sơ đồ cấu tạo móng cọc đất xi măng



Hình 2. Sơ đồ tính nhóm "Group" theo Terzaghi&Peck được đề nghị [4]

Công thức tính sức chịu tải của nhóm cọc theo Bergado [1]:

$$Q_{ug} = 2C_u L_p [B + L] + (6 \div 9) C_u BL$$

Công thức tính sức chịu tải của nhóm cọc theo Terzaghi&Peck [4]:



Hình 4. Phối cảnh tòa nhà FPT Complex

3. Nghiên cứu ứng dụng tại công trình FPT Complex

3.1. Thông số kỹ thuật

Công trình Khu phức hợp văn phòng FPT xây dựng tại phường Hòa Hải, quận Ngũ Hành Sơn – thành phố Đà Nẵng. Công trình được thiết kế hình vành khuyên bao bọc trồng đồng, ý tưởng thiết kế tòa nhà xanh, thông minh, giảm sử dụng năng lượng. Công trình có kết cấu 07 tầng, xây dựng với công năng làm tòa nhà văn phòng trung tâm của công viên phần mềm FPT với sức chứa 10.000 người. Công trình có kết cấu nhịp lớn, dầm sàn và dầm bê tông cốt thép dự ứng lực, một số nhịp dầm lớn trên 20m, tải trọng truyền xuống chân cột một số vị trí trên 10.000kN.

3.2. Đặc điểm địa chất

Đặc điểm địa chất và các tính chất cơ lý của đất được tổng hợp trong Bảng 1.

3.3. Giải pháp thiết kế

Sử dụng cọc SCP đường kính $D=800\text{mm}$, chiều dài 10m, khoảng cách giữa hai tim cọc gần nhau là $1,5D=1,2\text{m}$. Hàm lượng xi măng thiết kế 350kg/m^3 đất, tỷ lệ $N/X=0,8$, vật liệu cọc có cường độ vừa thiết kế 3600kN/m^2 , hệ số điều kiện làm việc dài hạn: $FS_{\text{đh}}=3,0$, ngắn hạn $FS_{\text{nh}}=1,5$.

3.4. Thông số kỹ thuật thi công

Các bước triển khai thi công cọc đất xi măng và thông số kỹ thuật như sau:

-Bước 01: Định vị tim cọc, kiểm tra cao độ mặt đất so với cao độ thiết kế bằng máy toàn đạc điện tử.

-Bước 02: Di chuyển máy tới vị trí khoan cọc, định vị máy, cân bằng máy để sẵn sàng khoan.

-Bước 03: Tiến hành chạy máy không tải trước rồi từ từ hạ mũi khoan xuống đến cao trình mặt đất hiện trạng.

-Bước 04: Cần khoan tiếp tục đi xuống đồng thời bơm vữa xi măng. Tốc độ mũi khoan đi xuống trung bình $0,5\text{m/phút}$, tùy theo điều kiện địa chất mà tốc độ mũi khoan có thể thay đổi từ $0,2\text{m/phút}$ đến $0,5\text{m/phút}$ ứng với lưu lượng vữa phun tương ứng; số vòng quay cánh trộn $(30\div 35)\text{vòng/phút}$.

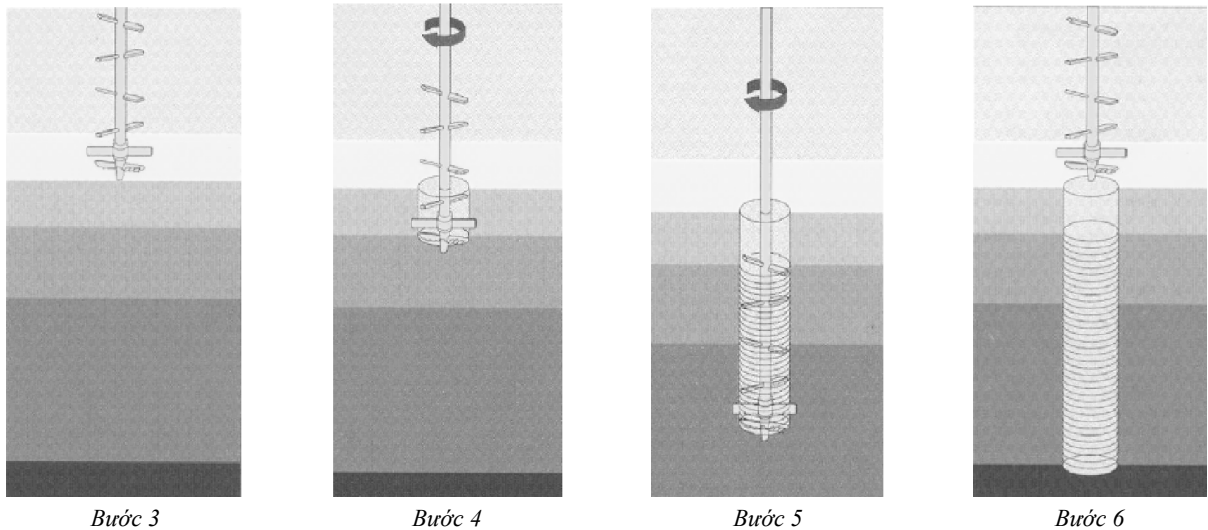
-Bước 05: Khi mũi khoan đến độ sâu thiết kế, ngắt dòng vữa và nhồi đoạn đáy cọc bằng chiều cao mũi khoan, tiếp tục cho quay ngược và rút cần khoan lên từ từ tốc độ trung bình $(0,5\div 0,7)\text{m/phút}$. Tại đầu cọc đất cát có độ chặt lớn, tốc độ xuyên lên và xuống tại 2m đầu cọc được đề nghị là $0,1\text{m/phút}$.

-Bước 06: Kết thúc quy trình cọc và di chuyển máy khoan đến vị trí cọc khác và tiến hành như trên.

Hình ảnh minh họa cho các bước thi công từ bước 3 đến bước 6 như Hình 5.

Bảng 1. Tổng hợp số liệu các lớp địa chất

Lớp đất	Mô tả	Chiều dày(m)	N_{30}	W(%)	γ (kN/m ³)	e	G	E_0 (kPa)	C (kPa)	φ (độ)
Lớp đất 1	Cát mịn, trạng thái rời xốp	4,4	8	29,1	18,3	0,87	0,88	4725	-	25
Lớp đất 2	Cát mịn, trạng thái chặt vừa	6	17	23,9	19,1	0,73	0,86	10600	-	28
Lớp đất 3	Cát mịn, trạng thái chặt đến rất chặt	6	58	18,6	19,8	0,59	0,84	27560	-	42
Lớp đất 4	Á sét dẻo mềm	2,1	5	36,4	18,2	1,02	0,98	5000	12,9	10,2
Lớp đất 5	Cát bụi trạng thái chặt vừa đến chặt	1,7	41	22,6	19,2	0,69	0,87	20400	-	37
Lớp đất 6	Á sét trạng thái dẻo cứng đến cứng	4,8	19	28,3	18,9	0,85	0,92	8240	17,8	18,7
Lớp đất 7	Cát mịn trạng thái chặt đến rất chặt	5	46	21,7	19,7	0,63	0,91	22200	-	38



Hình 5. Trình tự các bước triển khai khoan tạo cọc đất xi măng

3.5. Kết quả thí nghiệm cho cọc

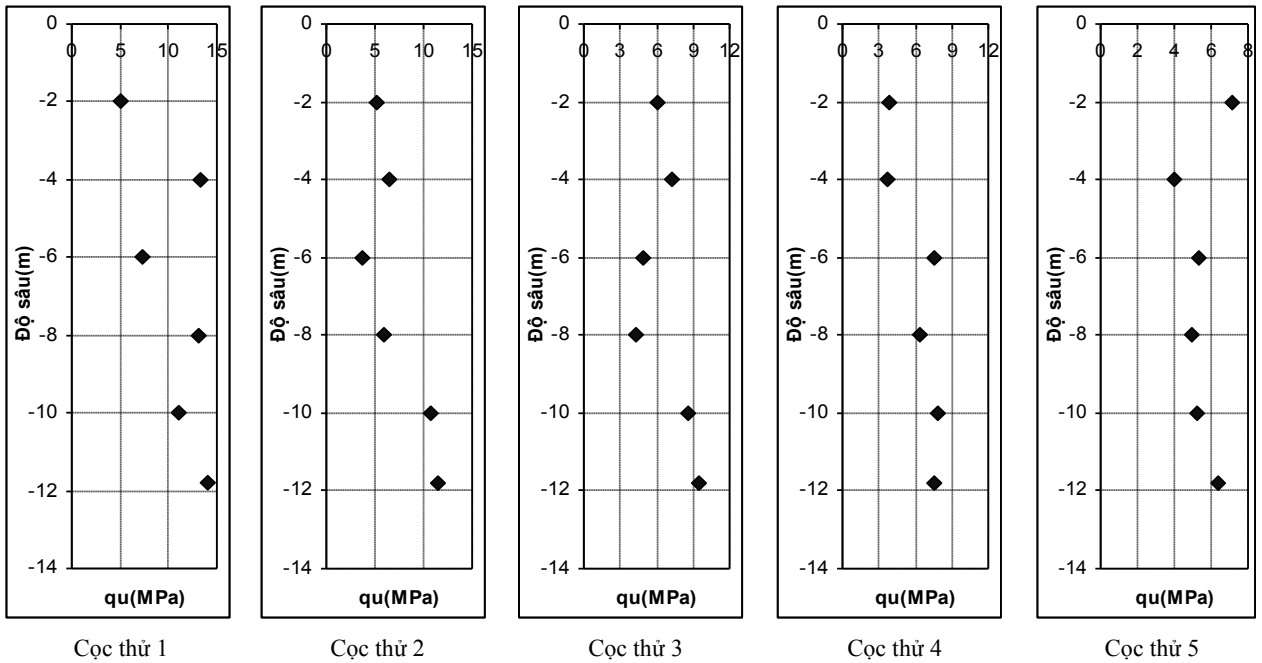
3.5.1. Thí nghiệm vật liệu

Triển khai thi công 12 cọc thử $D800$, chiều dài 12m tính đến cao trình mặt đất, khoan lõi xuyên tâm cho 05 cọc đường kính 72mm và gia công mẫu $H=2D$, thí nghiệm nén lõi. Cường độ q_u của mẫu đạt từ $(3,63\div 14,09)$ MPa [6], kết quả nén mẫu theo độ sâu của các 05 cọc thử thể hiện trên Hình 6. Kết quả cho thấy rằng càng xuống sâu theo địa tầng đất cát có độ chặt lớn, chỉ số $SPT N_{30}=(50\div 70)$ thì cường độ q_u tăng dần với cùng hàm lượng xi măng là 350kg/m^3 .

3.5.2. Thí nghiệm nén tĩnh

Cọc có tải trọng thiết kế $P_{\text{tk}}=650\text{kN/cọc}$ đơn, tiến hành thí nghiệm nén tĩnh theo tiêu chuẩn 9393:2012 [6] cho cọc đơn và nhóm cọc đến tải trọng thí nghiệm $P_m=200\%$ $P_{\text{tk}}=1300\text{kN/cọc}$ đơn và nén tĩnh cho một nhóm 02 cọc. Hình ảnh và kết quả thí nghiệm trong Hình 7, 8, 9.

Nhận xét: Kết quả nén tĩnh cho thấy cọc đạt được sức chịu tải cao đến 1300kN [6], tuy nhiên chuyển vị đo được tại đầu cọc còn rất nhỏ, tổng chuyển vị đầu cọc chỉ đạt đến 8mm, cọc chưa phát huy hết khả năng chịu lực. Sức chịu tải theo đất nền sẽ đạt cao hơn nếu điều kiện thí nghiệm cho phép.



Hình 6. Biểu đồ cường độ q_u (MPa) theo độ sâu của 05 cọc thử

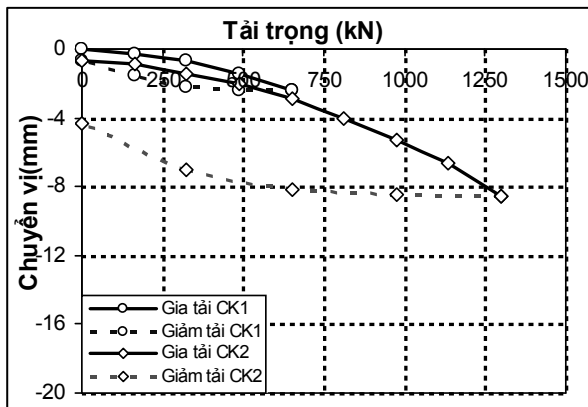


Cọc thí công xong

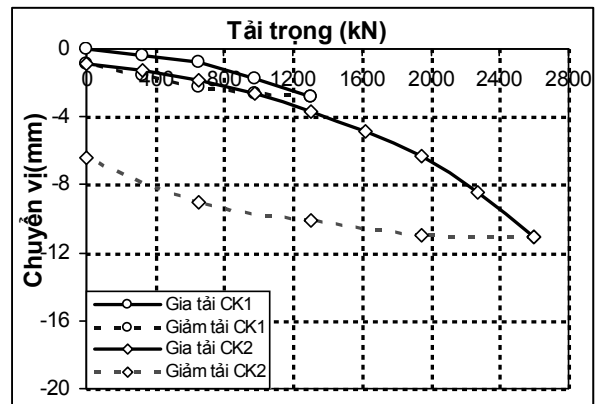
Thí nghiệm nén tĩnh cọc đơn

Thí nghiệm nén tĩnh nhóm cọc

Hình 7. Thí nghiệm nén tĩnh cọc đơn và nhóm cọc đất xi măng



Hình 8. Kết quả nén tĩnh cọc đơn



Hình 9. Kết quả nén tĩnh nhóm 02 cọc

4. Đánh giá hiệu quả kinh tế kỹ thuật

Kết quả ứng dụng tại 6 dự án công trình dân dụng tại Đà Nẵng và Quảng Nam, kết hợp so sánh giá thành với các giải pháp cọc khác được tập hợp trong Bảng 2.

Đánh giá chỉ tiêu kinh tế: Theo Hình 10 cho thấy tỷ lệ

giá thành của cọc đất xi măng thấp nhất và có tỷ lệ từ (42,1÷56,2)% so với cọc khoan nhồi, và tỷ lệ từ (58÷75)% so với giá thành của cọc bê tông cốt thép đúc sẵn và cọc ống dự ứng lực.

Về yếu tố kỹ thuật: Giải pháp cọc đất xi măng đáp ứng

các yêu cầu kỹ thuật như đối với các giải pháp cọc khác. Tuy nhiên, điểm mạnh của giải pháp cọc này là tiến độ thi công nhanh và đặc biệt hiệu quả trong những dự án có số lượng cọc nhiều.

Bảng 2. So sánh chỉ tiêu kinh tế của cọc đất xi măng so với các loại cọc khác

Công trình	Thông số	Cọc nhồi	Cọc ống DUL	Cọc ép BTCT	Cọc SCP
Loại cọc	D/B(mm)	800	500	350*350	800
	L(m)	300	37	21	12
Showroom KIA Trường Hải (TH1)	P _{gh} (kN)	8.000	3.500	1.400	1.050
	Khoan dẫn (m)	0	8	8	0
	Giá thành(đồng/kN)	14.250	11.257	10.714	8.000
	L(m)	30	28	28	14
Bệnh viện Đa khoa Điện Bàn (TH2)	P _{gh} (kN)	6.000	2.600	1.300	600
	Khoan dẫn (m)	0	4	4	0
	Giá thành(đồng/kN)	17.500	15.653	15.153	14.000
	L(m)	38	35	20	12
Chung cư thu nhập thấp An Trung 2 (TH3)	P _{gh} (kN)	8.000	3.200	1.400	1.200
	Khoan dẫn (m)	0	12	12	0
	Giá thành(đồng/kN)	17.500	16.625	11.142	7.000
	L(m)	42	34	26	15
Khách sạn Sanouva (TH4)	P _{gh} (kN)	8.000	3.400	1.400	1.300
	Giá thành(đồng/kN)	16.800	12.000	10.771	8.077
	L(m)	38	34	18	14
Vĩnh Trung Plaza (TH5)	P _{gh} (kN)	8.000	3.500	1.400	1.400
	Giá thành(đồng/kN)	15.200	10.686	7.714	7.000
	L(m)	28	23	14	12
Khu phức hợp FPT Complex (TH6)	P _{gh} (kN)	8.000	3.200	1.400	1.300
	Khoan dẫn (m)	0	10	10	0
	Giá thành(đồng/kN)	12.250	8.844	8.143	6.462



Hình 10. Biểu đồ so sánh theo % giá thành của các loại cọc của 6 dự án

5. Đánh giá lượng giảm vật liệu và tác động môi trường

Thống kê khái toán sử dụng vật liệu phục vụ cho thi công cọc tại 5 dự án về sử dụng và lượng giảm vật liệu xây dựng so với phương án gốc là cọc ép bê tông cốt thép, chi phí và thời gian thi công sơ bộ được tổng hợp trong Bảng 3.

Bảng tổng hợp đã cho thấy lượng giảm rất lớn về thép, vật liệu cát, đá xay và giảm chi phí xây dựng móng công

trình, đồng thời tăng tiến độ thi công so với các giải pháp cọc khác.

Về tác động môi trường: Khi thi công cọc đất xi măng không sử dụng các loại vật liệu thép, cát, đá xay như trong Bảng 4 nên giảm thiểu sử dụng năng lượng trong sản xuất các loại vật liệu này, góp phần giảm ô nhiễm môi trường. Đây được xem là giải pháp cọc thân thiện môi trường.

Bảng 3. Tổng hợp lượng giảm vật liệu, chi phí và thời gian thi công cho 5 công trình

Công trình	Bệnh viện Điện Bàn	FPT Complex	Chung cư Đại Địa Bảo	Vĩnh Trung Plaza	Khách sạn Sanouva
Số tầng	5	7	9	17	17
Số cọc	1300	1050	1200	1350	700
Giảm thép (T)	138	150	132	270	120
Giảm cát (m ³)	720	800	680	1500	700
Giảm đá xay (m ³)	1100	1120	1030	2220	1000
Giảm chi phí (%)	35	36	34	38	36

6. Kết luận

- Giải pháp cọc đất xi măng được áp dụng chịu lực cho

móng công trình xây dựng và được xem như cọc chịu lực trong nền đất cát là hướng đi mới trong áp dụng công nghệ

cọc này, đồng thời phương pháp tính cho cọc làm việc theo nhóm “Group” theo Terzaghi & Peck là phù hợp.

- Việc ứng dụng cọc đất xi măng vào một số công trình thực tiễn đã cho được chất lượng cọc cao về cường độ $q_u=(3,5\div 14)$ MPa và sức chịu tải của cọc trên 1300kN.

- Giải pháp cọc đất xi măng cho hiệu quả cao về kinh tế và kỹ thuật so với các giải pháp cọc thông thường khác như cọc ép bê tông, cọc ống, cọc khoan nhồi trong cùng điều kiện.

- Cọc đất xi măng không sử dụng vật liệu cát, đá xay, thép, không sinh ra lượng đất thải, do vậy làm giảm sử dụng năng lượng trong xây dựng, góp phần giảm ô nhiễm môi trường, nên có thể được xem là giải pháp nền móng thân thiện môi trường.

- Trong các trường hợp công trình nhà cao tầng đến cấp 2 trên nền đất cát, việc sử dụng cọc đất xi măng đem lại hiệu quả kinh tế, kỹ thuật, cần phát triển ứng dụng trong các khu vực có điều kiện phù hợp về địa chất công trình và tải trọng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bergado D.T., Chai J.C., Alfaro M.C., Balasubramanian A.S (1994), *Những biện pháp kỹ thuật mới cải tạo đất yếu trong xây dựng*, NXB Giáo dục, Hà Nội.
- [2] Đỗ Hữu Đạo (2015), *Nghiên cứu sự làm việc của cọc đơn và nhóm cọc đất xi măng cho công trình nhà cao tầng*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng.
- [3] JISA (2009), *Tiêu chuẩn cọc vữa Nhật Bản*, Hiệp hội đường ô tô Nhật Bản.
- [4] Joseph E.Bowles,RE.,S.E (1997), *Foundation analysis and design*, TheMcGraw-HillCompanies,Inc.
- [5] Kitazume, Terashi (2013), *The Deep Mixing Method*, ISBN 978-1-138-00005-6 CRC PressBalkema P.O. Box 11320, 2301 EH, Leiden,The Netherlands..
- [6] Trung tâm nghiên cứu ứng dụng và tư vấn kỹ thuật nền móng công trình, *Kết quả thí nghiệm cọc đất xi măng các công trình trên địa bàn Đà Nẵng – Quảng Nam*, Đà Nẵng 2007-2015.
- [7] TCVN 9393_2012 (2012), *Cọc - Phương pháp thử nghiệm hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [8] TCVN9403 (2012), *Gia cố đất yếu - phương pháp trụ đất xi măng*, NXB Xây dựng, Hà Nội.

(BBT nhận bài: 30/07/2015, phản biện xong: 09/09/2015)