

Tóm tắt: Sức kháng bên là một tham số quan trọng trong thiết kế móng cọc công trình cầu, đặc biệt là những công trình đi qua khu vực đất yếu. Một trong những biện pháp để làm gia tăng sức kháng bên của cọc là cải thiện vùng đất yếu xung quanh móng cọc. Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của việc gia cố vùng đất yếu xung quanh đài và đỉnh cọc đến sự gia tăng sức kháng bên của móng cọc. Bài báo phân tích tương tác móng cọc và đất bằng phương pháp phân tử hữu hạn (PTHH), từ đó xây dựng mối tương quan giữa kích thước và hình dạng của vùng gia cố với sự gia tăng sức kháng bên của móng trụ cầu áp dụng cho đoạn cầu cạn của tuyến đường sắt đô thị số 1 thành phố Hồ Chí Minh.

Từ khóa: Sức kháng bên, cải tạo đất, trụ cầu, đài cọc.

Abstract: Lateral resistance is an important parameter in the design of bridge pile foundations, especially constructions in the soft soil area. One of the methods to increase the lateral resistance of pile is improvement of soft soil surrounding the pile. This paper studies the effect of reinforcing soft soil surrounding the pile cap, the top-pile and the increase of the pile lateral resistance. The article analyzes soil-pile interaction by finite element method (FEM), from which to build the relationship between the size and shape of the reinforced area with the increase of the bridge pier foundations lateral resistance for passage of the viaduct bridge Ho Chi Minh city urban railway (line 1).

Keywords: Lateral resistance, soil improvement, Pier, Pile cap.

1. GIỚI THIỆU

Một trong những yêu cầu khi thiết kế móng là phải đảm bảo chuyển vị ngang của móng nằm trong phạm vi cho phép, nhất là những công trình nằm trong khu vực đất yếu.

Chuyển vị ngang của móng có thể là một thông số đại diện cho kháng bên của nền móng. Khi sức kháng bên của nền móng không đủ, một cách giải quyết thường dùng là gia tăng số lượng cọc hoặc tăng đường kính cọc và từ đó làm tăng giá thành và kéo dài thời gian xây dựng.

Một vài nghiên cứu trước đây cho thấy việc cải thiện

NGHIÊN CỨU NÂNG CAO SỨC KHÁNG BÊN CHO MÓNG TRỤ CẦU

TS. LÊ BÀ KHÁNH

Giảng viên Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng
Trường Đại Học Bách Khoa
Đại Học Quốc Gia TP. HCM

KS. NGUYỄN THANH SƠN

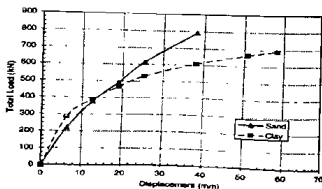
Học viên cao học Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng
Trường Đại Học Bách Khoa
Đại Học Quốc Gia TP. HCM

cường độ đất yếu có thể làm gia tăng đáng kể sức kháng bên của cọc. Những phương pháp cải thiện cường độ đất thông thường bao gồm việc đào bỏ và thay thế bằng vật liệu khác, đầm nén hiện trường, bơm phụt vữa hay trộn hỗn hợp đất rời với vữa xi măng. Việc gia cố đất theo một phạm vi được giới hạn xung quanh cọc và dưới đài cọc có thể là một phương pháp mang lại hiệu quả về mặt chi phí cũng như đáp ứng được các yêu cầu về thiết kế nền móng [1].

Nội dung bài báo này tập trung nghiên cứu về ảnh hưởng của kích thước và hình dạng khối đất gia cố (soilcrete) đến sức kháng bên cho móng trụ cầu cạn.

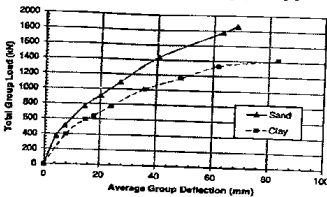
2. TỔNG QUAN MỘT SỐ NGHIÊN CỨU VỀ NÂNG CAO SỨC KHÁNG BÊN CHO MÓNG TRỤ CẦU

Brown et al. (1988) đã đưa ra Biểu đồ đường cong tải trọng - chuyển vị của một nhóm 9 cọc (Hình 1) khi so sánh khả năng chịu tải ngang của nhóm cọc trước và sau khi tiến hành cải tạo đất xung quanh cọc [2]. Theo kết quả tính toán, trong phạm vi chuyển vị bé hơn 20mm thì sức kháng bên của cọc trong đất sét và cát là tương đương nhau, đối với phạm vi chuyển vị lớn hơn thì sức kháng bên của nhóm cọc trong cát cao hơn trong đất sét 28%.



Hình 1. Đường cong tải trọng - chuyển vị của nhóm 9 cọc trong sét cứng và cát chặt [2]

Năm 2010, Rollins et al. đưa ra biểu đồ đường cong tải trọng - chuyển vị của nhóm 15 cọc (Hình 2) khi so sánh khả năng chịu tải ngang của nhóm cọc trước và sau khi tiến hành cải tạo đất xung quanh [3]



Hình 2. Đường cong tải trọng - chuyển vị của nhóm 15 cọc trong sét chặt và cát chặt theo nghiên cứu của Rollins, Snyder (2010)

Matthew E. Adsero (2008) đã đưa ra một số kết luận khi nghiên cứu ảnh hưởng biện pháp jet-grouting đối với sự gia tăng cường độ theo phương ngang của đất xung quanh móng cọc đóng [4]:

- Một khối soilcrete gia cố xung quanh nhóm 9 cọc và bên dưới đài cọc làm tăng sức kháng bên tới 250% so với sức kháng bên ban đầu.

- Sức kháng bên tăng 1% đối với 0,2 m³ đất được gia cố trong phạm vi xung quanh đài cọc và 0,29 m³ đất được gia cố trong phạm vi dưới đáy đài cọc. Vì vậy, gia cố bằng jet-grouting trong phạm vi xung quanh đài cọc sẽ có tác dụng lớn hơn trong phạm vi dưới đài cọc.

- Phương án gia cố bằng kỹ thuật jet-grouting thay thế cho phương án bổ sung số lượng cọc và mở rộng đài cọc có thể đem lại hiệu quả cao hơn về mặt kinh tế, đặc biệt là trong những dự án có quy mô lớn.

Nethan A. Lemme (2010) đưa ra một số kết luận khi nghiên cứu ảnh hưởng của khối đắp đầm nén và cốt cốt liệu thô đắp đối với sự gia tăng sức kháng ngang móng cọc [5]:

- Đào bỏ lớp sét mềm tới độ sâu 76 cm (2,35 lần đường kính cọc) và thay thế nó bằng cát chặt ở xung quanh nhóm 9 cọc đem lại sự gia tăng tương đối nhỏ đối với sức kháng ngang. Đạt khoảng 11% khi cát chặt thay thế nằm trong phạm vi mép của đài cọc và 16% khi cát chặt được mở rộng thêm 152cm từ mép đài cọc.

- Đào bỏ lớp sét bên cạnh đài cọc (sâu 76cm) và thay thế bằng cát chặt có kích thước 152cm làm giảm thiểu lực thụ động từ 240kN xuống 133kN.

- Khi thiết đặt một nhóm gồm 13 cọc cốt liệu sỏi đầm xung quanh một đài cọc có sẵn cũng mang lại sự gia tăng sức kháng ngang tương đối nhỏ. Sức kháng ngang chỉ gia tăng 10% so với đất sét nguyên

trạng ở một khoảng chuyển vị 3,8cm. Về cơ bản sự gia tăng này đến từ sự gia tăng kháng thụ động, một phần nhỏ tới từ tương tác cọc - đất.

- Sự gia tăng kháng ngang bằng thay thế bằng khối đắp đầm nén hoặc cốt cốt liệu thô cũng làm gia tăng độ cứng chống uốn của đài cọc và giảm chuyển vị xoay. Độ cứng chống uốn tăng làm giảm mô men uốn phát triển trong cọc. Ảnh hưởng này rõ hơn đối với mô men âm lớn nhất ở bề mặt đài cọc hơn momen dương lớn nhất ở các độ sâu bên dưới.

- Có thể mang lại hiệu quả kinh tế cao hơn so với cách bổ sung cọc.

Một số thành viên của đại học Ain Shams (Ai Cập) [6] đã sử dụng mô hình số để phân tích chuyển vị ngang và bất ổn định của cọc trong môi trường đất hóa lỏng. Thông qua phân tích mô hình 3D, cọc được mô phỏng như một phần tử đầm với các lớp đất xung quanh (phần tử solid). Mô hình được hỗ trợ bởi phần tử Line-Solid 3+3 nút đặc biệt để mô phỏng 3D giữa mặt phân lớp của cọc và đất xung quanh. Báo cáo đã đưa ra một số kết luận:

- Nhìn chung, chuyển vị ngang của cọc gây ra do địa chấn khá lớn bởi sức kháng ngang thấp của lớp cát hóa lỏng phía trên. Chuyển vị ngang lớn nhất của đầu cọc trong đất ẩm ướt lớn hơn trong đất khô. Lý do là sức kháng cắt của cát hóa lỏng hơn dẫn đến sức kháng thụ động của cọc suy giảm.

- Đường kính cọc có ảnh hưởng đáng kể đến việc giảm thiểu chuyển vị ngang, đặc biệt đối với những cọc có đường kính nhỏ và trung bình (đến 1m), đối với những cọc có đường kính lớn hơn 1m, ảnh hưởng của đường kính cọc bị giới hạn, 1m được xem như là kích thước tối ưu để nghiên cứu các trường hợp như vậy.

- Biểu đồ moment uốn tương tự như tường chắn. Giá trị lớn nhất đạt được tại độ sâu trung bình của lớp cát, nơi có sức kháng thụ động của đất được tạo ra.

- Momen uốn có liên quan nhiều và tỷ lệ thuận với đường kính cọc. Điều này có thể được thể hiện khi tăng đường kính cọc sẽ có 2 ảnh hưởng đối với moment uốn. Thứ nhất là độ cứng chịu uốn của cọc để chống lại biến dạng ngang của đất hóa lỏng, thứ hai là gia tăng diện tích tiếp xúc giữa cọc và đất từ đó gia tăng sức kháng thụ động của cọc theo chiều sâu.

Gangyuo Liu và Bilong Wang (11/2012) [7] nghiên cứu ảnh hưởng của biện pháp jet-grouting trong gia cố nền đất yếu đối với đường sắt cao tốc nhằm gia tăng cường độ nền móng hiện có, đảm bảo sự ổn định, kiểm soát độ lún và vận hành an toàn. Bài viết đưa ra những kết luận sau:

- Phân bố chuyển vị nền và đất đắp có dạng chữ "U", đạt được lớn nhất ở chính giữa nền đắp, độ lún cọc ít hơn đất xung quanh. Sau khi gia cố, độ lún nền

đắp giảm không đáng kể, và biện pháp gia cố có hiệu quả không rõ ràng,

- Cọc jet-grouting ở chân mái taluy gia tăng cường độ của đất, gia tăng lực liên kết ngang giữa các cọc, chuyển vị ngang lớn nhất nhỏ hơn chuyển vị của thiết kế ban đầu với khoảng 9,0%.

- Cọc jet-grouting gia tăng độ ổn định mái taluy và nền đường một cách đáng kể (trung bình khoảng 18%).

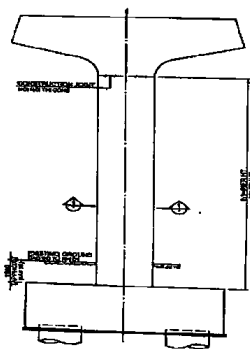
Nguyễn Minh Tâm và Hoàng Bá Linh (2013) [8] kết luận việc sử dụng giải pháp jet-grouting đã giảm đáng kể chuyển vị của tường vây vị trí gần đáy hố đào và ảnh hưởng lún đến công trình lân cận cũng giảm. Đồng thời, cách thức bố trí cọc Jet-grouting cũng có ảnh hưởng đến kết quả chuyển vị tường vây, những cọc ở phía gần tường vây hút động được cường độ lớn hơn so với những cọc gần tâm hố đào.

Nguyễn Tăng Thanh Bình và Trần Nguyễn Hoàng Hùng [9] đã kết luận việc sử dụng hiệu quả công nghệ Jet grouting trong gia cố nền đường hầm phụ thuộc vào 2 yếu tố chính là cường độ vừa phun được sử dụng và bề dày kết cấu vừa phun. Theo đó, bề dày của kết cấu vừa phun ảnh hưởng mạnh đến độ lún bề mặt khi modul đàn hồi E của vừa nằm trong khoảng [100, 1000] MPa và độ lún ít ảnh hưởng hơn khi $E > 1000$ MPa

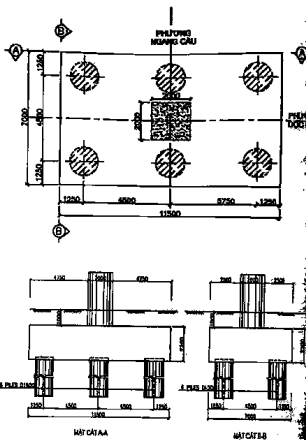
3. MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

3.1 Mô hình nghiên cứu

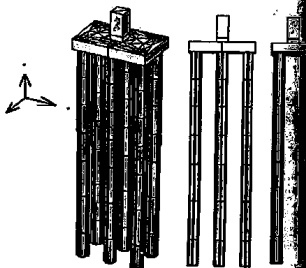
Khảo sát trạng thái chuyển vị ngang của móng trụ cầu cạn như Hình 1. Mô hình khảo sát được thể hiện như (Hình 2).



Hình 3. Cấu tạo trụ cầu trên móng cọc khoan nhồi được chọn ngẫu nhiên để phân tích



Hình 4. Mặt bằng và mặt cắt dài cọc [10]



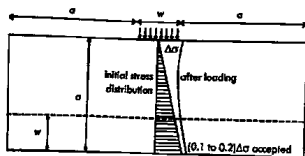
Hình 5. Mô hình trụ cầu trong PLAXIS 3D FOUNDATION

3.2 Tải trọng

Tải trọng ngang được sử dụng trong phần mô hình lấy trực tiếp từ hồ sơ thiết kế tính toán theo tiêu chuẩn Thiết kế cầu 272-05 và Sổ thiết kế cầu cạn. Tổ hợp tải trọng được lấy có trị như sau:

$V = 13185 \text{ kN}$, $H_x = 2150 \text{ kN}$, $M_y = 26075 \text{ kN.m}$;

3.3. Thông số của mô hình nghiên cứu



Suggestions: Stability analysis $a \geq 2w$
 Drained deformation $a \geq 3w$
 Undrained deformation $a \geq 4w$

Hình 6. Yếu cấu về kích thước của mô hình [11]

- Vật liệu đài cọc và cọc

Bảng 1

Cấu kiện	f_c (MPa)	γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν	Mô hình
Trụ và Đài	35	25	$2,95E+07$	0.2	Linear Elastic
Cọc	30	25	$2,8E+07$	0.2	Linear Elastic

- Thông số đất nền:

Bảng 2

Tên lớp	Độ sâu cuối (m)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (độ)	E (kN/m ²)	ν
Bùn sét chảy	15.5	8.73	15.07	6.24	24.4	2576	0.35
Cát xốp	25	18.6	19.9	5.93	32	19000	0.3
Cát chặt vừa	28.5	16.52	19.87	4.81	31.6	52000	0.3
Sét nửa cứng	36.8	16.12	19.76	26.3	26.6	21000	0.35
Cát chặt vừa	49.5	16.52	19.87	4.81	31.6	52000	0.3
Cát chặt	63.5	16.7	20	1	35	86000	0.3
Cát rất chặt	70	17	20	0	40	110000	0.3

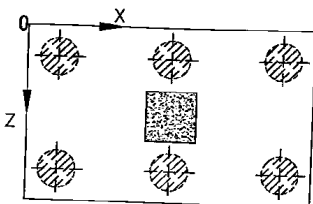
- Thông số khối soilcrete với gia cố bằng jet grouting

Bảng 3 [12]

	Đơn vị	Giá trị
Trọng lượng riêng chưa bão hòa γ_{sat}	kN/m ³	20
Trọng lượng riêng bão hòa γ_{sat}	kN/m ³	22
Hệ số poisson ν		0.2
Lực dính c	kN/m ²	500
Góc ma sát ϕ	độ	0
Modun đàn hồi E	kN/m ²	200000
Kích thước khối soilcrete		Thay đổi

3.4. Các trường hợp phân tích

Cọc khoan nhồi có chiều dài 48.2 tính từ đáy đài cọc được mô phỏng bằng phần tử pile với đường kính 1,5 m (Hình 5).



Hình 7. Quy ước về hệ trục tọa độ trong PLAXIS Ox // phương dọc cầu; Oz // phương ngang cầu

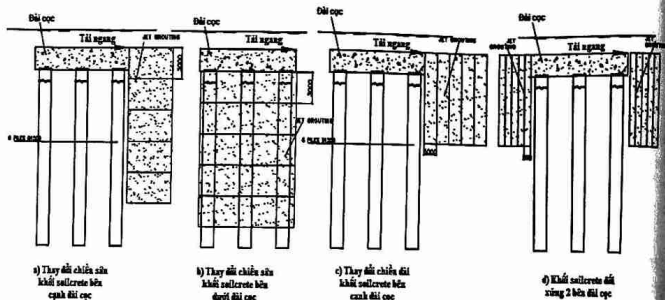
Phương tải trọng ngang được xét là phương Ox. Các giá trị được thay đổi là kích thước khối soilcrete nằm ở bên dưới và bên cạnh đài cọc để hạn chế chuyển vị ngang theo phương dọc cầu. (Hình 8)

Đối tượng phân tích là chuyển vị ngang của móng cọc, khi thay đổi về chiều sâu và chiều dài (theo phương Ox) của khối soilcrete, chiều rộng của khối soilcrete không đổi và được lấy bằng với chiều rộng của đài cọc (bảng 7m theo phương Oz). Các thông số còn lại để mô hình tính toán được giữ nguyên như mục 3.3.

So sánh sự gia tăng sức kháng bên cho mỗi trường hợp nghiên cứu, với khối lượng và phạm vi khối soilcrete trong mỗi trường hợp là bằng nhau

Bảng 4

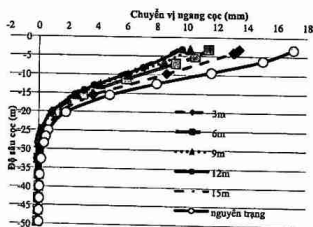
STT	Trường hợp nghiên cứu	Chiều sâu khối soilcrete (m)	Chiều dài khối soilcrete (m)	Chiều rộng khối soilcrete (m)
a	Khối soilcrete gia cố bên cạnh đài cọc	3	11,5	
		6		
		9		
		12		
		15		
b	Khối soilcrete gia cố bên dưới đài cọc	3	11,5	
		6		
		9		
		12		
		15		
c	Khối soilcrete gia cố bên cạnh đài cọc	3	11,5	7
		6		
		9		
		12		
		15		
d	Khối soilcrete gia cố đối xứng 2 bên cạnh đài cọc	1,5	11,5	
		3		
		4,5		
		6		
		7,5		



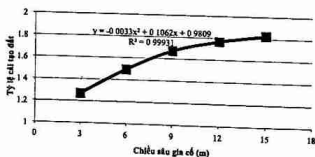
Hình 8. Các trường hợp nghiên cứu phạm vi gia cố của khối soilcrete xung quanh móng cọc

3.5. Kết quả phân tích

3.5.1 Ảnh hưởng chiều sâu jet grout (bên cạnh đài cọc) đối với sức kháng ngang

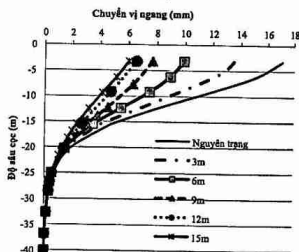


Hình 9. Quan hệ chuyển vị ngang - độ sâu cọc

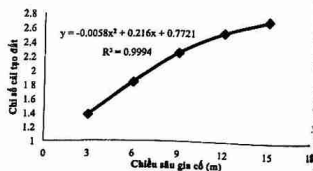


Hình 10. Tỷ lệ cải tạo đất theo chiều sâu gia cố

3.5.2. Ảnh hưởng chiều sâu jet grout (bên dưới đài cọc) đối với sức kháng ngang

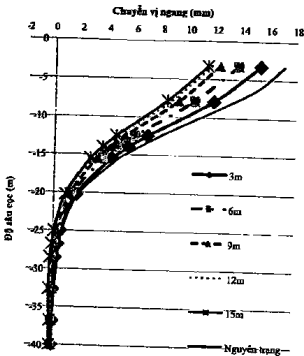


Hình 11. Quan hệ chuyển vị ngang - độ sâu cọc

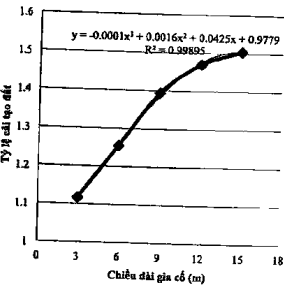


Hình 12. Tỷ lệ cải tạo đất theo chiều sâu gia cố

3.5.3. Ảnh hưởng chiều dài jet grout (bên cạnh đài cọc) đối với sức kháng ngang

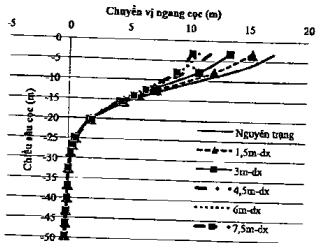


Hình 13. Quan hệ chuyển vị ngang - độ sâu cọc



Hình 14. Tỷ lệ cải tạo đất theo chiều sâu gia cố

3.5.4. Ảnh hưởng chiều dài jet grout (bên cạnh đài cọc) đối với sức kháng ngang



Hình 15. Quan hệ chuyển vị ngang - độ sâu cọc

3.5.5. Tổng hợp kết quả các trường hợp phân tích

Kết quả phân tích được trình bày trong hình 9 - 15. Theo đó, các hình 9, 11, 13, 15 thể hiện quan hệ chuyển vị ngang - độ sâu cọc trong các trường hợp gia cố và đất nguyên trạng, các hình 10, 12, 14 thể hiện tỷ lệ cải tạo đất (là tỷ số chuyển vị ngang cọc trong đất nguyên trạng so với chuyển vị ngang cọc trong đất sau gia cố tại một độ sâu nhất định) trong các trường hợp gia cố khi so với đất nguyên trạng.

Kết quả được tổng hợp như Bảng 5

Bảng 5. Tỷ lệ gia tăng sức kháng bên trong các trường hợp gia cố đất

Phạm vi gia cố (m)	Ảnh hưởng của chiều sâu khối soilcrete bên cạnh đài cọc	Ảnh hưởng của chiều sâu khối soilcrete bên dưới đài cọc	Ảnh hưởng của Chiều dài khối soilcrete bên cạnh đài cọc	Ảnh hưởng khối gia cố đối xứng 2 bên đài cọc
3	21,22%	27,35%	10,46%	10,84%
6	33,15%	45,58%	17,37%	21,82%
9	40,29%	55,81%	28,245%	31,33%
12	43,42%	60,52%	31,97%	36,97%
15	45,27%	62,88%	33,52%	40,28%

4. KẾT LUẬN

Qua những phân tích trong bài báo, một số kết luận được đưa ra như sau.

Việc gia cố đất sét yếu xung quanh đài cọc bằng khối soilcrete tạo bởi jet grouting làm gia tăng đáng kể sức kháng bên của móng cọc, sự gia tăng sức kháng bên sau gia cố có thể đạt đến 163% so với đất nguyên trạng với chiều sâu cái tạo bằng khoảng 10 lần đường kính cọc.

Vị trí khối soilcrete gia cố đất đạt hiệu quả cao nhất khi nó bao quanh toàn bộ nhóm cọc dưới bê cọc. Phạm vi cái tạo đất để mang lại hiệu quả kháng bên lớn nhất được xác định là từ 2-8D bên dưới bề cọc và từ 2-6D bên cạnh bề cọc.

Đối với cùng một khối lượng gia cố, việc gia cố đối xứng 2 bên cạnh đài cọc sẽ có lợi hơn với việc chỉ gia cố theo 1 bên. Sự chênh lệch gia tăng là không lớn (~ 5%) ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Kyle Rollins, Dan Brown, "Design Guidelines for Increasing the Lateral Resistance of Highway-Bridge Pile Foundations by Improving Weak Soils," 2011.
- Brown, D. A., Reese, L. C., and O'Neill, M. W., "Behavior of a Large Scale Pile Group Subjected to Cyclic Lateral Loading," *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, vol. 113(11), pp. 1326-1343, 1987.
- Brown, D. A., Morrison, C., and Reese, L. C., "Lateral Load Behavior of a Pile Group in Sand," *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 114(11), pp. 1261-1276, 1988.
- Matthew E. Adsero, "Impact of Jet Grouting on the Lateral Strength of Soil Surrounding Driven Pile Foundations," *All Theses*, vol. 1378, Apr. 2008.
- Nathan A. Lemme, "Effectiveness of Compacted Fill and Rammed Aggregate Piers for Increasing Lateral Resistance of Pile Foundations," *Brigham Young University, Thesis All Theses and Dissertations*, Paper 2393, 2010.
- Abdel-Salam Ahmed Mokhtar, Mohamed Ahmed Abdel-Motael, Mohamed Mustafa Wahidy, "Lateral displacement and pile instability due to soil liquefaction using numerical model," *Ain Shams Engineering Journal*, May 2014.
- Gangyu Liu, Binglong Wang, "Study on the effect of jet grouting pile reinforcing soil on subgrade," *Advanced Materials Research*, vol. 594-597, pp. 1420-1428, 2012.
- TS. Nguyễn Minh Tâm, ThS. Hoàng Linh, "NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG PHÁP JET GROUTING," *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, vol. 3+4, 2011.
- Nguyễn Tăng Thanh Bình, Trần Nguyễn Hoàng Hùng, "Sử dụng công nghệ phiến vữa cao áp để gia cố hầm metro số 1 tại TP.HCM," in *13th Conference on Science and Technology - Geotechnical & Infrastructure Session*, TPHCM, 2013.
- MAUR, Quyết định phê duyệt thiết kế kỹ thuật hạng mục cọc khoan nhồi, tuyến metro số 1, Mar. 19, 2014.
- Scientific Manual, Plaxis.
- Bzowka, "Computational model for Jet Grouting pile-soil interaction," *Studia Geotechnica et Mechanica*, Polan, XXVI, 2004.