XÂY DỰNG
TẠP CHÍ ĐIỆN TỬ CỦA BỘ XÂY DỰNG
JOURNAL OF CONSTRUCTION

TẠP CHÍ XÂY DỰNG - eISSN 3030-4482

Nghiên cứu đánh giá sức chịu tải của cọc micropile bằng lý thuyết và thực nghiệm

A theoretical and experimental study to evaluate the load-bearing capacity of micropile

➢ **PGS.TS Nguyễn Văn Mạnh[1,2,*], PGS.TS Bùi Văn Đức[1,2]**
[1]Trường Đại học Mỏ - Địa chất
[2]Nhóm nghiên cứu mạnh GECS, Trường Đại học Mỏ - Địa chất
[*]Email: nguyenvanmanh@humg.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO
Chuyên mục: Khoa học công nghệ
Ngày nhận bài: 20/6/2026
Ngày sửa bài: 24/6/2026
Ngày chấp nhận đăng: 06/7/2026
Ngày xuất bản Online: 10/7/2026
Tác giả liên hệ:
Email: nguyenvanmanh@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá sức chịu tải của cọc micropile bằng phương pháp tính toán lý thuyết kết hợp với thí nghiệm nén tĩnh tại hiện trường. Kết quả thí nghiệm cho thấy cọc micropile làm việc ổn định trong toàn bộ quá trình gia tải. Tại tải trọng thiết kế theo lý thuyết là 500 kN, biến dạng đầu cọc đo được 8,48 mm; tại tải trọng cực đại 1.000 kN, biến dạng đầu cọc đo được 27,94 mm và không xuất hiện dấu hiệu phá hoại. Sau khi dỡ tải, cọc phục hồi khoảng 71% biến dạng cực đại. Biến dạng đầu cọc đo được hoàn toàn thỏa mãn các yêu cầu của tiêu chuẩn FHWA NHI-05-039 và TCVN 9393:2012. Kết quả nghiên cứu khẳng định độ tin cậy của phương pháp tính toán lý thuyết, đồng thời cho thấy cọc micropile có khả năng chịu tải tốt, độ cứng cao và là giải pháp nền móng hiệu quả trong điều kiện địa chất Việt Nam.

Từ khóa: Cọc micropile; sức chịu tải; móng cọc; nén tĩnh; thực nghiệm.

ABSTRACT

This paper presents the results of a study evaluating the load-bearing capacity of micropiles through theoretical calculations combined with static load testing conducted in the field. The test results indicated that the micropile performed satisfactorily throughout the loading process. At the design load of 500 kN, the measured pile

deformation was only 8.48 mm. Under the maximum applied load of 1,000 kN, the deformation reached 27.94 mm without any signs of failure or instability. After unloading, approximately 71% of the maximum deformation was recovered, indicating that most of the pile deformation was elastic. The measured pile head deformation satisfied the requirements of both FHWA NHI-05-039 and TCVN 9393:2012 standards. The study confirms the reliability of the theoretical design approach and demonstrates that micropiles possess high stiffness, significant load-bearing capacity, and considerable reserve strength, making them an effective foundation solution for geotechnical conditions commonly encountered in Vietnam.

Keywords: Micropile; bearing capacity; pile foundation; static load test; experimental study.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Theo định nghĩa của Tiêu chuẩn FHWA-NHI-05-039 [1], cọc micropile thường có đường kính ≤ 300 mm, là một dạng cọc khoan phụt vữa có cốt thép, được sử dụng rộng rãi trong gia cố nền móng, cải tạo công trình cũ, chống lún và xử lý nền trong điều kiện không gian thi công hạn chế.

Được phát triển lần đầu tại Ý vào những năm 1950 bởi Fernando Lizzi [2] để gia cường các công trình lịch sử bị hư hại, công nghệ cọc micropile đã được cải tiến từ những thanh cốt thép đơn giản thành các hệ thống cọc có cấu tạo phức tạp, sử dụng ống thép chịu lực kết hợp với vữa xi măng áp lực cao. Tại Việt Nam, cọc micropile đang dần trở thành lựa chọn ưu tiên nhờ khả năng thi công linh hoạt trong không gian hẹp mà các thiết bị đóng cọc hay khoan nhồi lớn không thể tiếp cận.

Cọc micropile có những ưu điểm vượt trội về biện pháp thi công để giải quyết các bài toán khó trong xây dựng hiện đại như:

- Cải tạo và gia cường công trình: Đây là ứng dụng "gốc" của cọc micropile. Khi một công trình cũ bị lún nứt hoặc cần tăng thêm số tầng, việc đưa máy móc lớn vào tầng hầm hoặc bên trong nhà là bất khả thi. Cọc micropile có thể thi công bằng thiết bị nhỏ gọn giúp gia tăng sức chịu tải cho nền móng hiện hữu mà không gây chấn động hay ảnh hưởng đến kết cấu cũ.
- Xử lý nền đất yếu: Nhờ công nghệ bơm vữa áp lực (grouting), vữa xi măng được ép vào các khe rỗng trong đất xung quanh thân cọc, tạo ra sự liên kết chặt chẽ và cải thiện đáng kể đặc tính cơ lý của vùng đất lân cận. Điều này đặc biệt hiệu quả trong các khu vực có địa tầng phức tạp, bùn sét hoặc đất rời.
- Xây dựng trong môi trường đô thị chật hẹp: Trong các khu đô thị có mật độ xây dựng dày đặc, việc thi công móng đòi hỏi phải kiểm soát nghiêm ngặt tiếng ồn và độ rung để bảo vệ các công trình lân cận. Cọc micropile đáp ứng tốt các yêu cầu này nhờ quy trình khoan tạo lỗ và ít gây xáo trộn đất nền.

Mặc dù có nhiều ưu điểm như trên nhưng việc xác định chính xác sức chịu tải của cọc micropile vẫn là một thách thức lớn đối với các kỹ sư địa kỹ thuật do các yếu tố sau:

- Cơ chế truyền tải phức tạp: Khác với cọc thông thường dựa nhiều vào sức kháng mũi, sức chịu tải của cọc micropile chủ yếu đến từ ma sát thân giữa lớp vữa và đất nền. Tuy nhiên, giá trị này phụ thuộc vào áp lực bơm vữa cọc và phương pháp thi công, đây là những tham số rất khó định lượng chính xác trong tính toán lý thuyết.
- Hiệu ứng nhóm cọc và sự tương tác với nền đất: Trong nhiều trường hợp gia cố, các cọc micropile được bố trí dày đặc hoặc nghiêng một góc. Việc đánh giá sự tương tác giữa các cọc trong nhóm và ảnh hưởng của chúng đến nền đất xung quanh là một bài toán phi tuyến phức tạp.
- Sai số trong thi công: Sức chịu tải thực tế của cọc micropile chịu ảnh hưởng bởi tay nghề công nhân và chất lượng thiết bị (áp lực bơm vữa không đều, độ sạch của lỗ

khoan...). Do đó, kết quả thí nghiệm nén tĩnh tại hiện trường thường có sự sai lệch đáng kể so với tính toán lý thuyết.

Ở nước ta hiện nay chưa có tiêu chuẩn riêng cho thiết kế cọc micropile, mà chỉ được tích hợp trong Tiêu chuẩn TCVN 11823:2017: Thiết kế cầu đường bộ, phần 10: Nền móng [3] được biên dịch từ tiêu chuẩn AASHTO LRFD [4] của Mỹ.

Trên thế giới, các nghiên cứu thực nghiệm của Juran [5] xác định sức chịu tải của nhóm cọc micropile đã chỉ ra rằng hiệu ứng nhóm cọc micropile đã làm sức chịu tải của nền đất tăng lên rõ rệt, đồng thời khả năng chịu tải trọng ngang khi sử dụng cọc micropile xiên tăng lên 2 đến 3 lần so với cọc đứng.

Juran và cộng sự [6] đã thực hiện nhiều thí nghiệm hiện trường và trong phòng để xác định sức chịu tải của cọc micropile trong nhiều loại địa chất khác nhau từ sét mềm đến cát chặt. Kết quả thực nghiệm cho thấy nếu áp lực bơm vữa lớn hơn áp lực giới hạn của đất, đường kính thân cọc thực tế sẽ mở rộng ra đáng kể so với đường kính lỗ khoan. Đồng thời, kết quả thực nghiệm cũng chỉ ra rằng ứng suất dọc thân cọc micropile phân bố không đều, đoạn 3 đến 5 m từ đỉnh cọc thường chịu tới 70 đến 80% tải trọng trước khi truyền xuống các đoạn cọc phía dưới mũi cọc.

Nghiên cứu của nhóm tác giả Gomez [7] cho thấy hơn 90% trường hợp thực nghiệm sức chịu tải thực tế cao hơn giá trị tính toán theo lý thuyết của FHWA từ 1,5 đến 2,5 lần. Sức chịu tải thực tế của cọc micropile trong đất dính gần sát với tính toán lý thuyết hơn so với đất rời. Trong đất rời, hiệu ứng bơm vữa tạo ra sự gia cường nền đất tốt hơn mà các công thức lý thuyết chưa kể đến hết được.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về cọc micropile đã được công bố còn hạn chế. Tác giả Đỗ Xuân Quang [8] đã nghiên cứu sử dụng cọc micropile để sửa chữa, gia cố mố trụ cầu. Nhóm tác giả Bùi Văn Đức và cộng sự [9] đã sử dụng phương pháp số để nghiên cứu đánh giá sự cải thiện sức chịu tải của móng nông được gia cường bằng cọc micropile. Kết quả chỉ ra rằng, sức chịu tải của móng nông được cải thiện đáng kể và phụ thuộc vào các tham số của cọc micropile như chiều dài cọc, góc nghiêng của cọc, khoảng cách của cọc đến mép móng.

Qua những phân tích ở trên cho thấy, ở nước ta hiện nay, các nghiên cứu về xác định sức chịu tải của cọc micropile theo lý thuyết cũng như thực nghiệm còn rất hạn chế. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu xác định sức chịu tải của cọc micropile bằng lý thuyết và thực nghiệm trong điều kiện đất nền Việt Nam.

2. LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN SỨC CHỊU TẢI NÉN CỦA CỌC MICROPILE

Theo [1], sức chịu tải nén cơ bản của cọc micropile được xác định theo 2 điều kiện:

- Điều kiện cường độ vật liệu thành phần của cọc: Vữa cọc, cốt thép cọc, ống vách thép (nếu có);
- Điều kiện địa chất, tính chất cơ lý của đất dọc theo chiều dài của cọc.

2.1. Sức chịu tải nén theo vật liệu cọc chế tạo cọc

Theo tiêu chuẩn thiết kế cọc micropile [1], sức chịu nén cho phép, Q_{mat} của cọc micropile xác định theo cường độ vật liệu chế tạo cọc (không sử dụng ống vách) được xác định như sau:

$$Q_{mat} = 0{,}4 f_c A_{grout} + 0{,}47 f_y A_{bar} \quad (1)$$

Trong đó:

f_c là cường độ chịu nén của vữa cọc micropile;

A_{grout} là diện tích mặt cắt ngang của vữa cọc micropile;

f_y là giới hạn chảy của cốt thép cọc micropile;

A_{bar} là diện tích mặt cắt ngang của cốt thép cọc micropile.

2.2. Sức chịu tải nén theo điều kiện địa chất

Theo tiêu chuẩn thiết kế cọc micropile [1], sức chịu nén cho phép, Q_{geo} của cọc micropile theo điều kiện địa chất được xác định như sau:

$$Q_{geo} = \pi L_b D_b \frac{\alpha_{bond}}{FS} \quad (2)$$

Trong đó:

L_b là chiều dài cọc micropile;

D_b là đường kính lỗ khoan cọc micropile;

α_{bond} là cường độ bám dính giữa đất và vữa cọc (bảng 5-3 [1]);

FS là hệ số an toàn, FS = 2 - 3.

2.3. Sức chịu tải nén của cọc micropile

Sức chịu nén của cọc micropile được xác định như sau:

$$Q_{tk} = min\{Q_{mat};\ Q_{geo}\} \quad (3)$$

3. TÍNH TOÁN SỨC CHỊU TẢI NÉN CỦA CỌC MICROPILE THEO LÝ THUYẾT

3.1. Điều kiện địa chất khu vực thí nghiệm

Điều kiện địa chất khu vực thi công cọc micropile gồm các lớp đất được mô tả trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Chiều dày các lớp địa chất khu vực thi công cọc micropile

Lớp	Tên lớp	Đơn vị	Giá trị
1	Đất san lấp không đồng nhất	m	1,6
2	Sét pha, trạng thái cứng đến rất cứng	m	9,4
3	Cát pha sét, trạng thái cứng	m	2.5
4	Cát thô trạng thái chặt vừa	m	5,8
5	Cát pha sét trạng thái cứng	m	2,2
6	Đá phiến sét phong hóa mạnh	m	3,5
7	Đá phiến sét phong hóa trung bình	m	10

3.2. Tính toán sức chịu nén của cọc micropile theo điều kiện vật liệu

Dữ liệu tính toán:

- Cọc micropile loại: A
- Đường kính lỗ khoan: $D_b = 165{,}2\ mm$
- Cường độ chịu nén của vữa cọc: $f_c = 40\ MPa$
- Giới hạn chảy của cốt thép cọc: $f_y = 650\ MPa$
- Đường kính ngoài thanh cốt thép: $d_s = 65\ mm$
- Số lượng thanh cốt thép: $n = 1$
- Chiều dài cọc micropile: $L_b = 29{,}5\ m$
- Hệ số an toàn: $FS = 2{,}5$
- Không sử dụng ống vách.

Sức chịu nén của cọc micropile theo vật liệu chế tạo cọc được tính theo biểu thức (1) như sau:

$$Q_{mat} = 0{,}4 f_c \pi \frac{D_b^2}{4} + 0{,}47 f_y \pi . n \frac{d_s^2}{4} = 1.300\ kN$$

3.3. Tính toán sức chịu nén của cọc micropile theo điều kiện địa chất nền

Sức chịu nén của cọc micropile theo điều kiện địa chất nền được tính toán theo biểu thức (2) và được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Tính toán sức chịu nén của cọc micropile theo điều kiện địa chất nền

Lớp	Tên lớp	Chiều dày (m)	α_{bond} (kPa)	Q_{geo} (kN)
1	Đất san lấp không đồng nhất	1,6	0	0
2	Sét pha, trạng thái cứng đến rất cứng	9,4	70	136,5
3	Cát pha sét, trạng thái cứng	2,5	70	36,3
4	Cát thô trạng thái chặt vừa	5,8	85	102,3
5	Cát pha sét trạng thái cứng	2,2	90	41,1
6	Đá phiến sét phong hóa mạnh	3,5	100	72,6
7	Đá phiến sét phong hóa trung bình	4,5	120	112,0

Tổng	**29,5**	**-**	**500**

3.4. Kết luận về sức chịu nén của cọc micropile

Dựa trên kết quả tính toán sức chịu nén của cọc micropile theo điều kiện vật liệu chế tạo cọc và theo điều kiện địa chất nền, có thể kết luận rằng sức chịu nén của cọc micropile theo tính toán lý thuyết là:

$$Q_{tk} = min\{Q_{mat};\ Q_{geo}\} = 500\ kN$$

4. THÍ NGHIỆM NÉN TĨNH CỌC MICROPILE

Thiết bị thí nghiệm nén tĩnh cọc micropile:

- Hệ kích thủy lực: 1.500 kN, đồng hồ áp lực Enerpac của Mỹ;
- Đầu đo lực điện tử kết nối máy đọc dữ liệu TDS 530 của Nhật Bản;
- Bộ đo chuyển vị điện tử kết nối máy đọc dữ liệu CDP50 của Nhật Bản;
- Tấm nén được sử dụng để phân bố đều lực nén lên đầu cọc;
- Gia tải cho cọc thí nghiệm bằng hệ kích thủy lực như trên Hình 1 với tốc độ gia tải từ 0,25 kN/giây đến 0,5 kN/giây.

Quy trình thí nghiệm kiểm tra được thực hiện theo hướng dẫn của DFI [10] với các cấp tải trọng được trình bày trong Bảng 3. Các cọc micropile thí nghiệm phải chịu được tải trọng và làm việc ổn định theo quy trình thí nghiệm với gia số tải trọng làm việc và tải trọng được giữ trong thời gian quy định.

Hình 1. Hình ảnh thí nghiệm nén tĩnh cọc micropile

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc micropile

Gia tải	Số thứ tự	Cấp gia tải	Tải trọng tương đương (kN)	Thời gian giữ tải (phút)	Chuyển vị đứng trung bình (mm)	Ghi chú
Chu kỳ gia tải	1	AL	50	2,5	0,00	Đạt
	2	0,25DL	125	2,5	1,75	Đạt
	3	0,50DL	250	2,5	3,94	Đạt
	4	0,75DL	375	2,5	5,88	Đạt
	5	1,00DL	500	2,5	8,48	Đạt
	6	1,30DL	650	10	11,24	Đạt
	7	1,60DL	800	2,5	14,97	Đạt
	8	2,00DL	1.000	10	27,94	Đạt
Chu kỳ dỡ tải	9	1,60DL	800	2,5	27,00	Đạt
	10	1,30DL	650	2,5	24,64	Đạt
	11	1,00DL	500	2,5	21,48	Đạt
	12	0,75DL	375	2,5	18,67	Đạt
	13	0,50DL	250	2,5	15,37	Đạt
	14	0,25DL	125	2,5	11,25	Đạt
	15	AL	50	2,5	8,11	Đạt

Ghi chú: AL là lực căn chỉnh thiết bị thí nghiệm; DL là sức chịu tải nén thiết kế.

5. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

5.1. Đánh giá khả năng chịu nén của cọc micropile

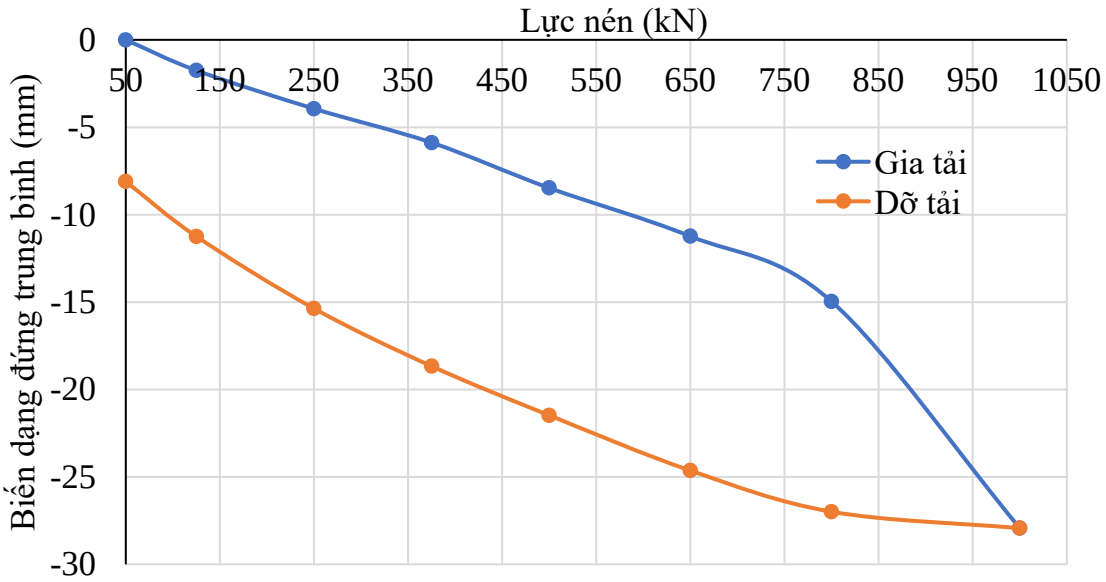
Kết quả thiết kế theo lý thuyết xác định được sức chịu tải nén của cọc micropile là 500 kN. Để kiểm chứng khả năng làm việc thực tế của cọc, thí nghiệm nén tĩnh được tiến hành theo hướng dẫn của DFI [10], với tải trọng thí nghiệm nén lớn nhất đạt 1.000 kN, tương đương 200% tải trọng thiết kế (2,0DL).

Trong quá trình gia tải, biến dạng đầu cọc tăng dần theo quy luật tương đối tuyến tính ở các cấp tải thấp và trung bình (Hình 2). Cụ thể, khi tải trọng tăng từ 125 kN đến 500 kN (0,25DL đến 1,0DL), biến dạng tăng từ 1,75 mm lên 8,48 mm. Tại tải trọng thiết kế 500 kN, giá trị biến dạng đo được chỉ là 8,48 mm, cho thấy cọc làm việc trong miền đàn hồi và chưa xuất hiện dấu hiệu mất ổn định hoặc phá hoại.

Khi tải trọng tiếp tục tăng lên các cấp 650 kN và 800 kN, biến dạng tương ứng đạt 11,24 mm và 14,97 mm. Sự gia tăng biến dạng vẫn diễn ra tương đối ổn định, chưa xuất hiện hiện tượng tăng biến dạng đột ngột. Điều này cho thấy khả năng chịu tải của cọc còn dự trữ đáng kể so với tải trọng thiết kế. Đặc biệt, tại tải trọng cực đại 1.000 kN (gấp 2 lần tải trọng thiết kế), biến dạng đo được là 27,94 mm. Mặc dù biến dạng tăng nhanh hơn so với các cấp tải trước nhưng đường cong tải trọng - biến dạng (Hình 2) vẫn chưa biểu hiện điểm gãy hoặc xu hướng phá hoại rõ rệt. Điều này chứng tỏ sức chịu tải giới hạn thực tế của cọc có khả năng còn lớn hơn 1.000 kN.

Một tiêu chí quan trọng để đánh giá chất lượng thí nghiệm là khả năng phục hồi biến dạng sau khi dỡ tải. Kết quả cho thấy khi tải trọng được giảm dần từ 1.000 kN xuống mức tải căn chỉnh 50 kN, biến dạng dư cuối cùng còn lại là 8,11 mm. Như vậy, lượng phục hồi đàn hồi của cọc đạt: 27,94 - 8,11=19,83 mm, tương đương khoảng 71% tổng biến dạng cực đại. Tỷ lệ phục hồi lớn chứng tỏ phần lớn biến dạng của cọc micropile là biến dạng đàn hồi, trong khi biến dạng dư tương đối nhỏ. Đây là dấu hiệu cho thấy cọc làm việc ổn định, không xảy ra phá hoại đất nền xung quanh hoặc trượt mất liên kết giữa thân cọc và nền đất.

Xét theo yêu cầu thiết kế, tải trọng làm việc của cọc là 500 kN. Tại mức tải này, biến dạng chỉ đạt 8,48 mm và hoàn toàn nằm trong phạm vi cho phép. Hơn nữa, cọc vẫn duy trì trạng thái làm việc ổn định khi chịu tải trọng gấp đôi tải trọng thiết kế mà không xuất hiện dấu hiệu mất khả năng chịu lực. Điều này chứng minh rằng kết quả thiết kế lý thuyết là an toàn và có độ tin cậy cao. Hệ số an toàn thực tế của cọc trong thí nghiệm còn lớn hơn dự kiến do tải trọng thử đạt đến 1.000 kN nhưng cọc chưa bị phá hoại.



Hình 2. Quan hệ giữa tải trọng nén và biến dạng của cọc micropile

Từ các kết quả trên có thể kết luận rằng, cọc micropile được thi công đạt yêu cầu kỹ thuật, sức chịu tải thực tế của cọc lớn hơn giá trị thiết kế lý thuyết. Kết quả thí nghiệm nén tĩnh cũng đồng thời xác nhận phương án thiết kế là phù hợp và cho thấy cọc có khả năng làm việc ổn định và có dự trữ chịu lực đáng kể.

5.2. Đánh giá biến dạng đầu cọc micropile

Giá trị biến dạng đầu cọc theo Tiêu chuẩn FHWA-NHI-05-039 (mục 7.4.3) [1] là:

$$\varepsilon_y \leq 0{,}15\ mm/kN \text{ tại tải trọng 2DL} \quad (4)$$

Giá trị biến dạng đầu cọc theo Tiêu chuẩn TCVN 9393:2012 (mục 4.4.6) [11] là:

$$\varepsilon_y \leq 0{,}1\ mm/kN \text{ với cọc ma sát} \quad (5)$$

Kết quả tính toán lý thuyết xác định sức chịu tải thiết kế của cọc micropile là 500 kN, đồng thời thí nghiệm nén tĩnh được thực hiện với tải trọng lớn nhất đạt 1.000 kN (2DL). Theo số liệu thí nghiệm, tại tải trọng cực đại 1.000 kN, biến dạng đứng trung bình của đầu cọc đạt 27,94 mm.

Để đánh giá khả năng làm việc của cọc theo các tiêu chuẩn hiện hành, có thể sử dụng chỉ tiêu biến dạng đầu cọc trên một đơn vị tải trọng:

$$\varepsilon_y = \frac{s}{P} \quad (6)$$

Trong đó: s là biến dạng đầu cọc (mm); P là tải trọng nén tác dụng (kN).

Giá trị biến dạng lớn nhất giữa 2 cấp tăng tải là:

$$\varepsilon_y = \frac{27{,}94 - 14{,}97}{1000 - 800} = 0{,}065\ mm/kN$$

Kết quả cho thấy biến dạng đầu cọc thỏa mãn cả 2 tiêu chuẩn của Mỹ [1] và Việt Nam [11]. Đồng thời, kết quả thí nghiệm cũng chỉ ra rằng biến dạng đầu cọc chỉ bằng khoảng 43,3% giá trị giới hạn cho phép, nhỏ hơn khoảng 2,3 lần so với giới hạn của [1]. Điều này chứng tỏ cọc micropile có độ cứng lớn và khả năng khống chế biến dạng rất tốt dưới tác dụng của tải trọng nén.

Còn theo tiêu chuẩn Việt Nam [11], biến dạng đầu cọc chỉ bằng khoảng 65% giá trị cho phép, nhỏ hơn gần 1,5 lần so với giới hạn của tiêu chuẩn Việt Nam. Kết quả này khẳng định cọc đáp ứng đầy đủ yêu cầu về độ lún và biến dạng trong quá trình làm việc.

Ngoài ra, đường cong quan hệ tải trọng - biến dạng cho thấy biến dạng đầu cọc tăng tương đối đều theo tải trọng, không xuất hiện điểm gãy hoặc sự gia tăng đột ngột của biến dạng. Sau khi dỡ tải, biến dạng dư còn lại là 8,11 mm, tương ứng khả năng phục hồi đàn hồi khoảng 71% tổng biến dạng cực đại. Điều này chứng tỏ hệ cọc - đất nền vẫn làm việc trong trạng thái ổn định, chưa xuất hiện hiện tượng phá hoại đất nền hoặc mất liên kết giữa thân cọc và đất xung quanh.

Từ các phân tích trên có thể kết luận rằng, biến dạng đầu cọc micropile đo được trong thí nghiệm hiện trường hoàn toàn thỏa mãn cả Tiêu chuẩn FHWA-NHI-05-039 [1] và TCVN 9393:2012 [11], đồng thời cho thấy cọc có độ cứng cao, khả năng chịu tải tốt và còn dự trữ chịu lực đáng kể so với tải trọng thiết kế 500 kN.

6. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày cách xác định sức chịu tải nén của cọc micropile bằng phương pháp tính toán lý thuyết theo Tiêu chuẩn FHWA NHI-05-039 và kiểm chứng thông qua thí nghiệm nén tĩnh hiện trường. Kết quả tính toán cho thấy sức chịu tải thiết kế của cọc micropile đạt 500 kN, trong đó điều kiện địa chất nền là yếu tố khống chế sức chịu tải của cọc, thấp hơn đáng kể so với khả năng chịu lực của vật liệu cọc (1.300 kN).

Kết quả thí nghiệm nén tĩnh cho thấy cọc micropile làm việc ổn định trong toàn bộ quá trình gia tải đến mức tải trọng cực đại 1.000 kN, tương đương 200% tải trọng thiết kế. Tại tải trọng thiết kế 500 kN, biến dạng đầu cọc đạt 8,48 mm và không xuất hiện dấu hiệu mất ổn định hoặc phá hoại. Khi gia tải đến 1.000 kN, độ lún cực đại đo được là 27,94 mm, tuy nhiên đường cong quan hệ tải trọng - chuyển vị vẫn liên tục, không xuất hiện điểm gãy hoặc xu hướng phá hoại rõ rệt. Sau khi dỡ tải, cọc phục hồi khoảng 71% biến dạng cực

đại, chứng tỏ phần lớn biến dạng là đàn hồi và khả năng làm việc của hệ cọc - đất nền vẫn được duy trì tốt.

Sự phù hợp giữa kết quả tính toán lý thuyết và kết quả thí nghiệm hiện trường cho thấy phương pháp xác định sức chịu tải theo FHWA NHI-05-039 có thể áp dụng hiệu quả cho điều kiện địa chất nghiên cứu. Đồng thời, kết quả thử tải cho thấy sức chịu tải thực tế của cọc micropile có thể lớn hơn đáng kể giá trị thiết kế, điều này phản ánh ảnh hưởng tích cực của quá trình khoan phụt vữa đến sự gia cường đất nền và khả năng phát huy ma sát thân cọc.

Nghiên cứu khẳng định cọc micropile là giải pháp nền móng hiệu quả đối với các công trình xây dựng trên nền đất yếu, công trình cải tạo, nâng cấp hoặc các khu vực có điều kiện thi công hạn chế. Để nâng cao độ tin cậy trong thiết kế, cần tiếp tục thực hiện các nghiên cứu thực nghiệm trên nhiều điều kiện địa chất khác nhau, xây dựng cơ sở dữ liệu thử tải cọc micropile tại Việt Nam và từng bước hoàn thiện các hướng dẫn, tiêu chuẩn thiết kế chuyên biệt phù hợp với điều kiện địa chất và công nghệ thi công trong nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Sabatini P.J., Tanyu B., Armour T., Groneck P. and Keeley J. Micropile Design and Construction - Reference Manual (FHWA NHI-05-039). Federal Highway Administration, 2005.

[2] Lizzi, F. The Static Restoration of Monuments. Sagep, Genoa, Italy, 1982.

[3] Bộ Khoa học và Công nghệ. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 11823:2017 - Thiết kế cầu đường bộ. NXB. Xây dựng, 2017.

[4] American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO. LRFD Bridge Design Specifacations, 4th Edition, SI Units, 2007.

[5] Juran, I., Bruce, D. A., DiMillio, A., & Benslimane, A. Micropiles: The State of Practice. Part II: Design of Single Micropiles and Groups and Networks of Micropiles. Ground Improvement, vol. 3, pp.89-110, 1999.

[6] Juran I., Weinstein G., Sourisseau L. Synthesis of the Results and Recommendations of the French National Project on Micropiles (FOREVER). France: FHWA-ADSC, pp.45-51, 2008.

[7] Gomez, J. P., et al. Statistical Analysis of Micropile Bond Strength. Proceedings of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2003.

[8] Đỗ Xuân Quang. Nghiên cứu, ứng dụng cọc micropile để tăng cường sự ổn định của mố, trụ cầu. Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng, 2014.

[9] Bùi Văn Đức và nnk. Nghiên cứu đánh giá sự cải thiện sức chịu tải của móng nông sử dụng cọc đường kính nhỏ. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, tập 63, kỳ 4, tr. 106-117, 2022.

[10] Deep Foundation Institute (DFI). Guide to Drafting a Specification for Micropiles, Deep Foundation Institute. The International Association of Foundation Drilling, New Jersey, USA, 2004.

[11] Bộ Khoa học và Công nghệ. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 9393:2012: Cọc - Phương pháp thử nghiệm hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục. NXB. Xây dựng, 2012.