



**TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC**

# **KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG**

**Hà Nội, 11 - 11 - 2022**

**ERSD 2022**



**NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI**

Nghiên cứu độ ổn định khối đất đá – trạm quạt mức + 30 khi khai thác tận thu vỉa H10 Công Ty Cổ Phần Than Mông Dương – Vinacomin <b>Đào Việt Đoàn Vũ Trung Tiến, Đỗ Anh Sơn</b> .....	771
Ảnh hưởng của công nghệ kỹ thuật bơm vữa đến một số ứng xử cơ học của cọc đường kính nhỏ micropile: Nghiên cứu tổng quan <b>Bùi Văn Đức , Nguyễn Văn Mạnh</b> .....	782
Nghiên cứu ổn định nền móng và công trình ngầm có xét đến tính từ biến của đá <b>Nguyễn Huy Hiệp, Nguyễn Duyên Phong</b> .....	789
Nghiên cứu một số mô hình vật liệu nâng cao trong mô phỏng ứng xử của đất rời chịu tác dụng của tải trọng chu kỳ theo phương thẳng đứng <b>Phạm Văn Hùng</b> .....	795
Nghiên cứu những ứng xử cơ học của đất rời dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ theo phương thẳng đứng <b>Phạm Văn Hùng, Vũ Minh Ngạn, Phạm Thị Nhân</b> .....	801
Nghiên cứu ảnh hưởng của cường độ bê tông gốc đến cường độ của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế <b>Đặng Quang Huy, Phạm Đức Thọ, Vũ Minh Ngạn</b> .....	808
Ảnh hưởng của nhiệt độ dung dịch khoan đến sự phân bố ứng suất của đá khô-nóng xung quanh giếng khoan ở tầng địa chất sâu <b>Trần Nam Hưng, Nguyễn Thị Thu Nga, Phạm Đức Thọ, Triệu Hùng Trường</b> .....	815
Nghiên cứu đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu quả chống lò bằng vì neo trong các mỏ than hầm lò của TKV giai đoạn 2020-2025 <b>Đặng Văn Kiên, Trần Duy Học, Mai Xuân Thanh Tuấn, Võ Trọng Hùng, Nông Việt Trung</b> .....	822
Nghiên cứu ảnh hưởng của tương quan vị trí đường lò phía dưới bãi thải mặt mỏ đến ứng xử cơ học của kết cấu chống giữ đường lò tại vùng than Quảng Ninh <b>Đặng Văn Kiên, Đỗ Ngọc Anh, Lê Chí Kiên, Ngô Đức Quyền, Mai Xuân Thanh Tuấn, Nguyễn Hữu Sà</b> .....	830
Nghiên cứu chế tạo gạch không nung sử dụng chất kết dính geopolymer <b>Tăng Văn Lâm, Nguyễn Trung Hiếu, Võ Đình Trọng, Vũ Trọng Khang, Nguyễn Quốc Chuẩn</b> ...	840
Một số công nghệ tiên tiến trong thăm dò, nâng cấp và thay thế đường ống hạ tầng kỹ thuật tại các khu đô thị Việt Nam <b>Vũ Minh Ngạn , Đặng Quang Huy, Trần Hồng Hạnh, Phạm Văn Hùng, Lê Anh Quân</b> .....	846
Numerical simulation of a case of bored piles combined with ground anchor reinforcement for deep excavation <b>Pham Thi Nhan</b> .....	852
Nghiên cứu ảnh hưởng của đứt gãy đến sự biến đổi cơ học trong khối đá xung quanh công trình ngầm khi chịu động đất <b>Nguyễn Quang Phích, Nguyễn Ngọc Huệ, Nguyễn Quang Minh, Nguyễn Văn Mạnh, Trần Tuấn Minh</b> .....	858
Nghiên cứu ứng xử của đường hầm và kết cấu ngầm công trình lân cận trong điều kiện xây dựng đô thị <b>Đỗ Ngọc Thái, Nguyễn Huy Hiệp, Nguyễn Văn Quang</b> .....	864

## Ảnh hưởng của công nghệ kỹ thuật bơm vữa đến một số ứng xử cơ học của cọc đường kính nhỏ micropile: Nghiên cứu tổng quan

Bùi Văn Đức\*, Nguyễn Văn Mạnh  
Trường Đại học Mở - Địa chất

### TÓM TẮT

Công nghệ cọc đường kính nhỏ micropile đã và đang được sử dụng khá rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau, đặc biệt trong hoạt động sửa chữa, gia cường nền móng các công trình xây dựng. Kết quả nghiên cứu và thực tiễn áp dụng cho thấy, hiệu quả gia cường và ứng xử cơ học của cọc đường kính nhỏ micropile phụ thuộc vào khá nhiều các yếu tố, trong đó công nghệ bơm vữa tạo cọc đóng vai trò lớn chính. Bài báo tổng hợp và phân tích một số kết quả nghiên cứu sử dụng các công nghệ và kỹ thuật bơm vữa khác nhau để làm sáng tỏ hơn sự ảnh hưởng của công tác bơm vữa đến một số ứng xử cơ học của cọc, như quan hệ tải trọng-độ lún khi cọc chịu nén và chịu kéo, độ cứng và module biến dạng của cọc.

*Từ khóa: cọc đường kính nhỏ, gia cường nền móng, phương pháp bơm vữa cọc, độ lún-tải trọng*

### 1. Đặt vấn đề

Công nghệ thi công cọc đường kính nhỏ, với đường kính cọc nhỏ hơn 300mm, được nghiên cứu lần đầu tiên tại Italy vào đầu những năm 1950 để sửa chữa, gia cường nền móng và phục hồi các công trình bị hư hỏng do chiến tranh thế giới lần thứ 2 (Bruce và nnk., 1997). Cho đến nay, công nghệ thi công cọc đường kính nhỏ đã và đang được áp dụng trong nhiều lĩnh vực với các vai trò khác nhau, như: gia cường móng công trình cũ, làm kết cấu móng cho công trình mới, ổn định mái dốc và hố đào sâu, gia cường cải thiện sức chịu tải của nền. Thành phần cơ bản của cọc đường kính nhỏ thông thường gồm vữa cọc, thép cọc, và ống vách. Một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy sức chịu tải của cọc và hiệu quả cải thiện sức chịu tải của nền gia cường bằng cọc đường kính nhỏ phụ thuộc trực tiếp vào mức độ mở rộng đường kính cọc, khả năng xâm nhập của vữa cọc vào đất nền xung quanh thân cọc, và chất lượng tạo cọc (Bayesteh và Sabermahani, 2018; Chalmovský và Miča, 2013; Esmaceli và nnk., 2013; Heo và nnk., 2021). Tuy nhiên, các nghiên cứu tổng hợp, phân tích tổng thể về ảnh hưởng của công nghệ kỹ thuật bơm vữa cọc đến một số ứng xử cơ học của cọc đường kính nhỏ còn khá hạn chế. Bài báo nghiên cứu tổng hợp và phân tích một số nghiên cứu trước đây nhằm làm sáng tỏ hơn các công nghệ kỹ thuật thi công vữa cọc cũng như sự ảnh hưởng của công nghệ kỹ thuật bơm vữa cọc đến một số thông số cơ học cơ bản khi cọc chịu nén và chịu kéo (nhỏ).

### 2. Sức chịu tải cọc và cơ chế cải thiện tính chất cơ lý của hệ nền-cọc micropile

#### 2.1. Sức chịu tải của cọc

Sức chịu tải của đường kính nhỏ phụ thuộc vào hai yếu tố chính, bao gồm: cường độ vật liệu chế tạo cọc và điều kiện địa chất. Cụ thể sức chịu tải của cọc đường kính nhỏ được xác định như sau:

♦ Theo cường độ vật liệu chế tạo cọc: gồm hai thành phần cơ bản: một từ cường độ của vữa cọc, và hai là từ cốt thép cọc, ngoài ra trong một số trường hợp thi công trong nền địa chất phức tạp còn có ống vách thép (casing). Tổng hợp phương pháp xác định sức chịu tải của cọc theo cường độ vật liệu thể hiện tại bảng 1.

*Bảng 1. Phương pháp xác định sức chịu tải của cọc theo cường độ vật liệu chế tạo cọc*

TT	Phương pháp	Sức chịu tải của cọc		Ghi chú
		Cọc chịu nén	Cọc chịu kéo	
1	AASHTO, 2014	$P_{sc} = 0,54P_{vữa} + 0,637P_{thép}$ (1a)	$P_{st} = 0,8P_{thép}$ (1b)	LRFD
2	FHWA, 2005	$P_{sc} = 0,4P_{vữa} + 0,47P_{thép}$ (2a)	$P_{st} = 0,55P_{thép}$ (2b)	ASD
3	BS, 8110	$P_{sc} = 0,4P_{vữa} + 0,75P_{thép}$ (3a)	$P_{st} = 0,58P_{thép}$ (3b)	ASD
4	IBC, 2006	$P_{sc} = 0,33P_{vữa} + 0,4P_{thép}$ (4a)	$P_{st} = 0,6P_{thép}$ (4b)	ASD

\* Tác giả liên hệ

Email: buivanduc@humg.edu.vn

trong đó:

LRFD - phương pháp thiết kế theo hệ số tải trọng và hệ số sức kháng; ASD - phương pháp thiết kế theo ứng suất cho phép;  $P_{sc}$  - sức chịu tải chịu nén của cọc;  $P_{st}$  - sức chịu tải chịu kéo (nhỏ) của cọc;

$$P_{vữa} = f'_c A_{vữa} \quad (5)$$

$$P_{thép} = f_{y-thép} A_{thép} + f_{y-casing} A_{casing} \quad (6)$$

$f'_c, A_{vữa}$  - cường độ chịu nén một trục nở hông và diện tích mặt cắt ngang danh nghĩa của vữa cọc;

$f_{y-thép} A_{thép}$  - giới hạn chảy và diện tích mặt cắt ngang danh định của cốt thép cọc;

$f_{y-casing} A_{casing}$  - giới hạn chảy và diện tích mặt cắt ngang danh định của ống vách thép.

♦ Theo điều kiện địa chất: trong giai đoạn thiết kế sơ bộ, sức chịu tải của cọc đường kính nhỏ theo điều kiện địa chất thường được đánh giá thông qua phương pháp  $\beta$  (đối với đất cát), và phương pháp  $\alpha$  (đối với đất sét); cụ thể như sau:

Bảng 2. Phương pháp xác định sức chịu tải của cọc theo điều kiện địa chất

Loại đất	Phương pháp thi công vữa cọc	
	Bơm vữa trọng lực (loại A)	Bơm vữa áp lực nhờ ống vách thép (loại B)
Cát	$P_{dc} = \beta \sigma_{vo} A_s$ , với $\beta = 0,7 \tan \varphi$ (7a)	$P_{dc} = \beta \sigma_{vo} A_s$ , với $\beta = K_1 K_2 \tan \varphi$ (7b) $K_1 = 1,4 - 1,7$ $K_2 = 1,2 - 1,5$ cát chặt $K_2 = 1,5 - 2,0$ cát chặt vừa
Sét	$P_{dc} = \alpha S_u A_s$ , với $\alpha = 0,6 - 0,8$ (8)	

Trong đó:

$\sigma_{vo}$  - ứng suất thẳng đứng có hiệu;  $A_s$  - diện tích thân cọc;  $\varphi$  - góc ma sát trong của đất;  $S_u$  - sức kháng cắt không thoát nước của đất;  $P_{dc}$  - sức chịu tải của cọc theo điều kiện địa chất.

Ngoài ra, sức chịu tải của cọc có thể được xác định thông qua sức bám dính giữa giao diện vữa/đất dọc thân cọc như sau:

$$P_{dc} = \frac{\alpha_{bond}}{FS} \pi D_b L_b \quad (9)$$

Trong đó:  $D_b, L_b$  - đường kính và chiều dài bám dính giữa cọc và đất nền;  $\alpha_{bond}$  cường độ bám dính giữa giao diện vữa/đất;  $FS$  - hệ số an toàn

Như vậy, từ kết quả tổng hợp và phân tích các phương pháp xác định sức chịu tải cho thấy, cường độ vữa cọc ( $f'_c$ ) và cường độ bám dính giữa giao diện vữa/đất ( $\alpha_{bond}$ ) đóng vai trò quan trọng đến sức chịu tải của cọc; nói một cách khác công tác thi công (công nghệ kỹ thuật thi công) vữa cọc ảnh hưởng trực tiếp đến sức chịu tải của cọc nói riêng và hệ nền-cọc nói chung; do đó, ảnh hưởng của yếu tố này cần được nghiên cứu tổng hợp để làm sáng tỏ hơn.

## 2.2. Cơ chế cải thiện tính chất cơ lý của hệ nền-cọc micropile

Ngoài khả năng tạo cọc có sức chịu tải tương đối cao để chịu tải trọng trực tiếp của công trình, một số nghiên cứu thực nghiệm cho thấy công nghệ thi công cọc đường kính nhỏ micropile còn có khả năng cải thiện đáng kể tính chất của hệ nền-cọc thông qua một số cơ chế và hiệu ứng, điển hình như: hiệu ứng nén chặt khối đất trong phạm vi các phần tử cọc, cơ chế xâm nhập gắn kết hạt/khối đất của vữa cọc (Bhattacharjee và nnk., 2011; Esmaili và nnk., 2013).

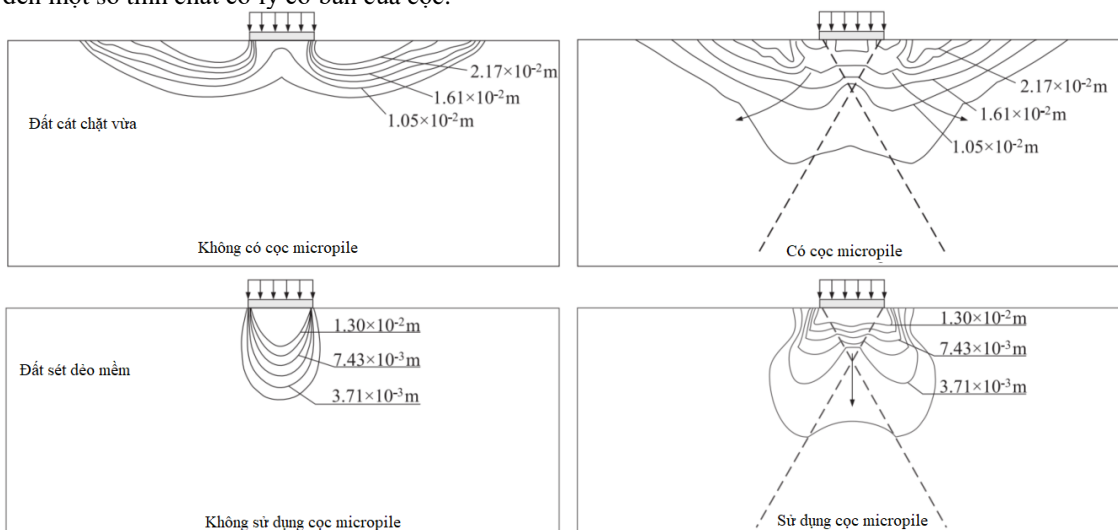
♦ **Hiệu ứng nén chặt:** Hiệu ứng nén chặt được làm rõ trong các nghiên cứu sử dụng cọc micropile gia cường móng nông của (Hwang và nnk., 2017; Lee và nnk., 2018; Tsukada và nnk., 2006). Theo đó, khi nền dưới móng nông tiếp nhận tải trọng từ móng truyền xuống thì khối đất dưới móng một phần sẽ có xu hướng bị nén lún theo phương thẳng đứng, còn một phần dịch chuyển theo phương ngang; tuy nhiên, do sự có mặt của các phần tử cọc nên sự dịch chuyển của đất theo phương ngang bị ngăn cản và làm cho khối đất trong phạm vi cọc bị nén chặt lại, kết quả của quá trình này làm tăng sức chịu tải của nền. Hình 1 thể hiện ảnh hưởng của hiệu ứng nén chặt đến biến dạng của nền dưới hệ móng cho hai loại đất khác nhau: đất cát và đất sét dẻo mềm. Cụ thể, với đất cát khi chưa sử dụng cọc thì chuyển vị có dạng phá hủy cắt tổng thể, còn trong trường hợp sử dụng cọc micropile thì vùng phá hoại được mở rộng, đặc biệt theo phương ngang; kết quả mở rộng vùng phá hoại phản ánh sự ảnh hưởng của hiệu ứng nén chặt trong đất cát (Hwang và nnk., 2017). Phân tích của Hwang và nnk., 2017 đối với biến dạng của đất sét dẻo mềm cho thấy khi chịu tải thì nền dưới móng xuất hiện dạng phá hoại cắt thủng, tuy nhiên khi sử dụng cọc thì vùng biến dạng được mở rộng đáng kể theo phương đứng.

♦ **Hiệu ứng xâm nhập gắn kết:** Trong công nghệ thi công cọc micropile, quá trình bơm vữa tạo cọc thường được thực hiện dưới áp lực bơm nhất định với giá trị của áp lực phụ thuộc vào từng điều kiện cụ thể. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm của (Esmaili và nnk., 2013) cho thấy ngay cả với phương pháp bơm

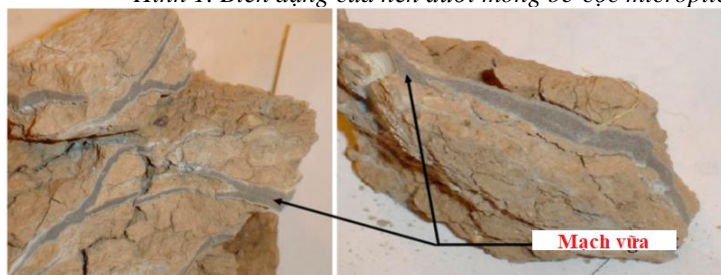


vừa trọng lực thì vừa vẫn có khả năng xâm nhập, lấp đầy lỗ rỗng và gắn kết các hạt/khối đất xung quanh vị trí cọc micropile lại với nhau như thể hiện tại hình 2.

Do đó, để tăng hiệu quả cải thiện sức chịu tải của cọc nói riêng hệ nền-cọc đường kính nhỏ nói chung thì cần làm sáng tỏ hơn nữa các công nghệ kỹ thuật bơm vữa tạo cọc cũng như ảnh hưởng cụ thể của nó đến một số tính chất cơ lý cơ bản của cọc.



Hình 1. Biến dạng của nền dưới móng bè-cọc micropile (Hwang và nnk., 2017)



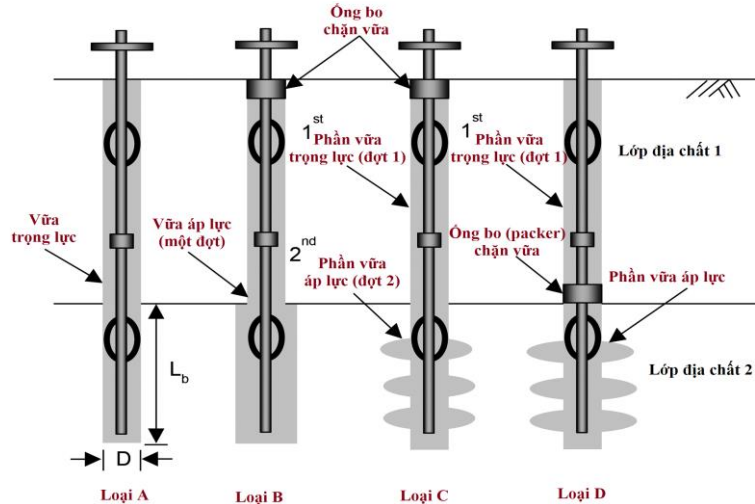
Hình 2. Sự hình thành các mạch vữa trong khối đất xung quanh thân cọc micropile (Esmaeili và nnk., 2013)

### 3. Ảnh hưởng của công nghệ kỹ thuật bơm vữa cọc

#### 3.1 Tổng quan về công nghệ kỹ thuật bơm vữa cọc

Cho đến nay đã có khá nhiều các công nghệ kỹ thuật thi công vữa cọc được nghiên cứu áp dụng; trong đó, việc lựa chọn công nghệ kỹ thuật phụ thuộc vào một số yếu tố cơ bản sau: thành phần cấp phối của vữa, điều kiện địa chất, và yêu cầu cụ thể của mỗi bài toán. Trong phạm vi của bài báo, các công nghệ kỹ thuật thi công vữa được tổng hợp phân tích với trường hợp vữa cọc gồm hai thành phần cơ bản là nước (N) và xi măng (X), với tỷ lệ N/X nằm trong khoảng từ (0,35÷0,5). Bên cạnh đó, một số nghiên cứu đối với sức chịu tải của cọc micropile cho thấy ngay cả khi sử dụng vữa cọc có cường độ chịu nén cao (lớn hơn 45 MPa) cũng không ảnh hưởng lớn đến sức chịu tải thiết kế của cọc. Do đó, trong một số tiêu chuẩn thiết kế và thi công cọc giá trị cường độ chịu nén của vữa cọc thường được kiến nghị nằm trong khoảng (21÷45)MPa (FHWA, 2005; Juran và nnk., 1999). Hình 3 trình bày các loại cọc theo công nghệ kỹ thuật bơm vữa khi thi công cọc đường kính nhỏ, cụ thể gồm các loại A, B, C, và D (FHWA, 2005; Kyung và nnk., 2017).

- *Loại A*: bơm vữa trọng lực
- *Loại B*: bơm vữa áp lực một đợt, với áp lực bơm vữa từ 1,0 ÷ 2,0MPa
- *Loại C*: bơm vữa hai giai đoạn, giai đoạn 1 bơm vữa trọng lực giống loại A, giai đoạn 2 bơm vữa áp lực sau khi bơm vữa đợt 1 khoảng 15 ÷ 20 phút; áp lực bơm vữa từ 1,0 ÷ 4,0 MPa.
- *Loại D*: bơm vữa hai giai đoạn, tuy nhiên, việc bơm vữa áp lực đợt 2 được thực hiện sau khi vữa đợt 1 đã đông cứng, áp lực bơm vữa đợt 2 từ 2,0 ÷ 8,0 MPa.



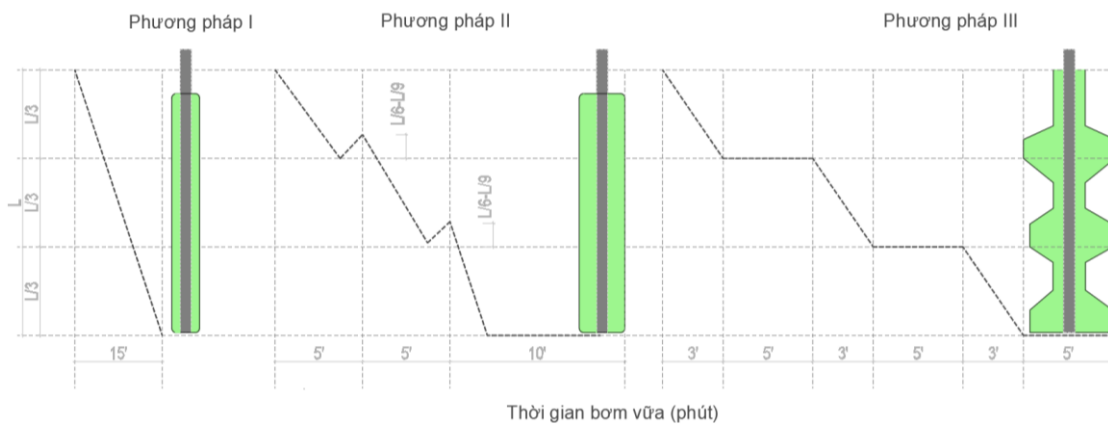
Hình 3. Phương pháp bơm vữa cọc (FHWA, 2005; Juran và nnk., 1999).

Kết quả tổng hợp các công nghệ kỹ thuật bơm vữa trong quá trình thi công cọc đường kính nhỏ cho thấy, việc sử dụng công nghệ kỹ thuật bơm vữa loại C, D cho phép vữa cọc dễ dàng xâm nhập vào khối đất xung quanh thân cọc, và tạo được đường kính cọc lớn hơn. Để có góc nhìn cụ thể hơn sự ảnh hưởng của công nghệ kỹ thuật đến hiệu quả cải thiện sức chịu tải của cọc và hệ nền-cọc, trong phần tiếp theo bài báo thực hiện nghiên cứu tổng hợp phân tích một số ảnh hưởng của công nghệ kỹ thuật bơm vữa cọc đến: độ cứng, sức chịu tải của cọc khi chịu nén và chịu kéo.

### 3.2 Mô tả công nghệ kỹ thuật thi công vữa cọc

Công nghệ kỹ thuật thi công vữa cọc được lựa chọn để phân tích ảnh hưởng có đặc điểm như sau:

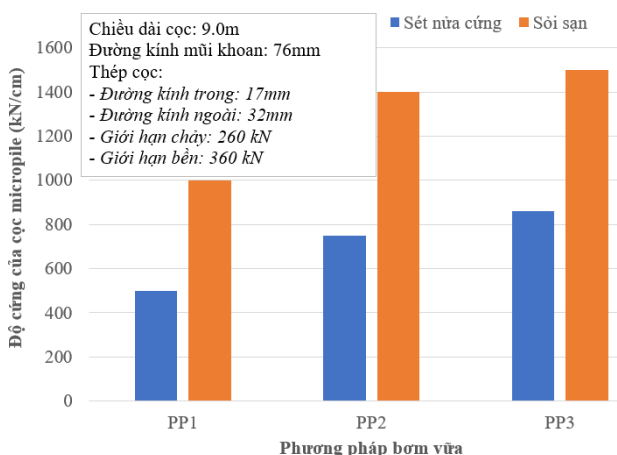
- Phương pháp 1 Bơm vữa một đợt, quá trình bơm vữa được thực hiện đồng thời trong quá trình khoan tạo cọc đến chiều sâu thiết kế; sau khi khoan và bơm vữa hết chiều sâu thiết kế tiếp tục duy trì bơm vữa trong khoảng thời gian 15 phút (hình 4).
- Phương pháp 2 Bơm vữa nhiều giai đoạn; cụ thể toàn bộ chiều dài cọc sẽ được chia thành 3 đoạn có chiều dài bằng nhau. Giai đoạn 1 tiến hành khoan kết hợp bơm vữa cho 1/3 đoạn cọc đầu tiên trong khoảng thời gian 5 phút. Giai đoạn 2 tiếp tục khoan và bơm vữa cọc trong phạm vi 1/3 cọc tiếp theo. Giai đoạn 3 thực hiện khoan và bơm vữa cho toàn bộ phần chiều dài còn lại của cọc trong khoảng thời gian 10 phút.
- Phương pháp 3 Quy trình công nghệ của phương pháp 3 về cơ bản tương tự như phương pháp 2; tuy nhiên, kết thúc mỗi đoạn chiều dài 1/3 của cọc thì công tác khoan sẽ dừng lại và chỉ thực hiện kéo dài thời gian công tác bơm vữa cọc trong khoảng thời gian 5 phút; do đó, tổng thời gian hoàn thành của phương pháp 3 là 25 phút, lớn hơn phương pháp 2.



Hình 4. Chi tiết quá trình bơm vữa cọc của các phương pháp (Bayesteh và Sabermahani, 2018)

### 3.3 Ảnh hưởng của công nghệ kỹ thuật bơm vữa cọc đến độ cứng của cọc

Độ cứng của cọc là một trong những yếu tố chính ảnh hưởng đến sự làm việc của cọc đường kính nhỏ. Hình 5 thể hiện sự ảnh hưởng của phương pháp bơm vữa và loại đất nền đến độ cứng của cọc. Cụ thể, độ cứng của cọc có chiều dài 9,0m, đường kính lỗ khoan 76mm, cọc sử dụng thép rỗng có đường kính ngoài 32mm, đường kính trong 17mm trong nền địa chất sỏi sạn có độ cứng lớn hơn trong nền sét nửa cứng. Độ cứng của cọc khi sử dụng phương pháp 2 và phương pháp 3 lớn hơn trung bình khoảng 1,3÷1,5 lần so với việc sử dụng phương pháp 1; ví dụ độ cứng của cọc trong nền sỏi sạn của phương pháp 1, 2, 3 lần lượt là: 1000, 1400, và 1500 kN/cm.



Hình 5. Ảnh hưởng của công nghệ kỹ thuật bơm vữa cọc đến độ cứng của cọc (Bayesteh, 2018; Chalmovský, 2013)

Kết quả này phản ánh rõ ảnh hưởng của công nghệ bơm vữa: khi tăng thời gian bơm vữa và số lượng các đợt bơm vữa dọc lỗ khoan tạo cọc thì đường kính của cọc tăng, mức độ bám dính giữa vữa và khối đất dọc thân cọc được cải thiện (Bayesteh và Sabermahani, 2018; Chalmovský và Miča, 2013).

### 3.4 Ảnh hưởng của công nghệ kỹ thuật bơm vữa cọc đến sức chịu tải của cọc

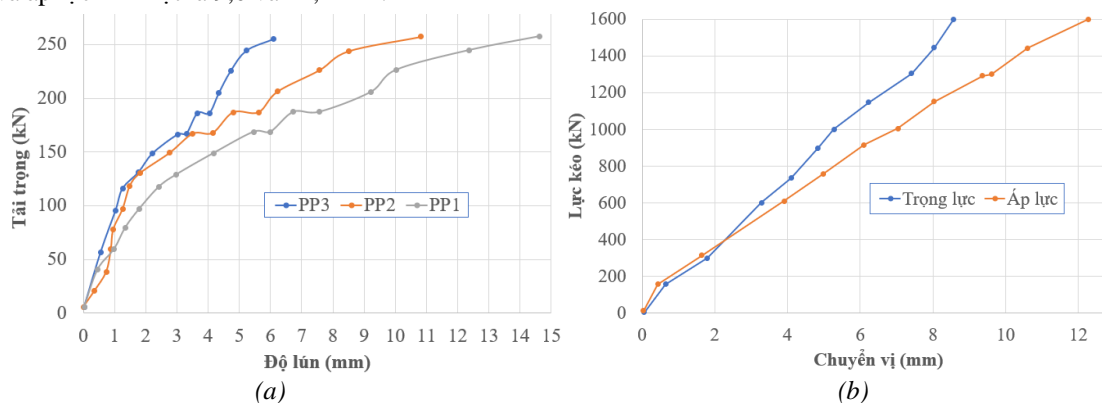
Hình 6a thể hiện kết quả nghiên cứu thực nghiệm của nhóm tác giả (Bayesteh và Sabermahani, 2018) về sự ảnh hưởng của phương pháp bơm vữa cọc đến mối quan hệ tải trọng – độ lún; cụ thể, xét tại giá trị tải trọng 250 kN thì độ lún của cọc sử dụng phương pháp 1, 2, và 3 lần lượt là 13,5; 9,5; và 5,8mm. Kết quả này phản ánh việc kéo dài thời gian bơm vữa cũng như thực hiện bơm vữa thành nhiều đợt (phương pháp 2, 3) có khả năng tăng đường kính của cọc, tăng lượng vữa xâm nhập vào tầng địa chất dọc thân cọc.

Nghiên cứu của Heo và nnk., 2021 về ứng xử kháng nhổ của cọc đường kính nhỏ khi sử dụng phương pháp bơm vữa trọng lực và bơm vữa áp lực cho thấy module biến dạng đàn hồi của cọc ở trạng thái chịu tải ( $E_{loading}$ ) và dỡ tải ( $E_{unloading}$ ) khi sử dụng phương pháp bơm vữa áp lực đều lớn hơn so với phương pháp bơm vữa trọng lực; giá trị cụ thể của  $E_{loading}$  và  $E_{unloading}$  thể hiện tại bảng 3.

Bảng 3. Thông số từ thí nghiệm kiểm tra sức kháng nhổ của cọc đường kính nhỏ Heo và nnk., 2021.

Thông số	Phương pháp bơm vữa	
	Trọng lực	Áp lực
$E_{loading}$ (GPa)	67.9	87.7
$E_{unloading}$ (GPa)	76.9	105.3

Hình 6b thể hiện kết quả thí nghiệm kiểm tra sức kháng nhổ của cọc khi sử dụng phương pháp bơm vữa trọng lực và bơm vữa áp lực của Heo và nnk., 2021. Kết quả thí nghiệm cho thấy sức kháng nhổ của cọc khi thi công bằng công nghệ bơm vữa áp lực cao hơn so với phương pháp bơm vữa trọng lực truyền thống, cụ thể tại lực kéo nhổ 1600 kN thì chuyển vị của cọc ghi nhận được theo phương pháp bơm vữa trọng lực và áp lực lần lượt là 9,0 và 12,2 mm.



Hình 6. (a) Ảnh hưởng của phương pháp bơm vữa đến sức chịu tải Bayesteh, 2018, và (b) sức kháng nhổ của cọc Heo và nnk., 2021

#### 4. Kết luận

Công nghệ thi công cọc đường kính nhỏ micropile có nhiều ưu điểm vượt trội so với một số công nghệ thi công cọc truyền thống, trong đó có thể kể đến như không yêu cầu về mặt bằng thi công, có thể thi công trong hầu hết các điều kiện địa chất; ngoài khả năng tạo cọc có sức chịu tải tương đối cao, công nghệ thi công cọc đường kính nhỏ còn cho phép cải thiện đáng kể sức chịu tải của nền trong khu vực thi công cọc nhờ vào khả năng xâm nhập của vữa cọc. Các kết quả nghiên cứu gần đây với các bài toán cọc chịu nén và cọc chịu kéo (nhỏ) đều cho thấy việc sử dụng công nghệ kỹ thuật thi công vữa cọc có ảnh hưởng đáng kể tới tính chất cơ học của cọc micropiles, cụ thể:

- Độ cứng của cọc cao hơn khi áp dụng công nghệ bơm vữa cọc nhiều đợt (phương pháp 2, phương pháp 3);
- Tăng thời gian bơm vữa cọc với áp lực bơm cao hoàn toàn có khả năng cải thiện đường kính của cọc cũng như liên kết giữa vữa cọc và khối đất dọc thân cọc;
- Khi áp dụng phương pháp 2, phương pháp 3 thì hiệu quả cải thiện sức chịu tải và độ cứng của cọc đáng kể hơn nếu địa tầng gồm các lớp sỏi sạn;
- Trong giới hạn của bài báo chưa xem xét ảnh hưởng cụ thể của công nghệ kỹ thuật bơm vữa đến ứng xử cơ học của hệ-nền cọc đường kính nhỏ.

#### Lời cảm ơn

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn các ý kiến đóng góp của các thành viên trong Nhóm nghiên cứu mạnh Địa kỹ thuật, vật liệu, và phát triển bền vững thuộc trường Đại học Mở Địa chất trong quá trình thu thập và tổng hợp số liệu.

#### Tài liệu tham khảo

- Bayesteh, H., & Sabermahani, M. (2018). Full-scale field study on effect of grouting methods on bond strength of hollow-bar micropiles. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 144(12), 04018091.
- Bhattacharjee, A., Mittal, S., & Krishna, A. (2011). Bearing capacity improvement of square footing by micropiles. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 5(1), 113–118.
- Bruce, D. A., Dimillio, A. F., & Juran, I. (1997). Micropiles: The state of practice part 1: Characteristics, definitions and classifications. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 1(1), 25–35.
- Chalmovský, J., & Miča, L. (2013). Influence of pressure grouting on the anchors carrying capacity in fine grained soil. *Procedia Engineering*, 57, 222–231.
- Esmaili, M., Nik, M. G., & Khayyer, F. (2013). Experimental and numerical study of micropiles to reinforce high railway embankments. *International Journal of Geomechanics*, 13(6), 729–744.
- FHWA, N. (2005). Micropile design and construction—Reference manual. FHWA NHI-05-039, US Dept. of Transportation, McLean, VA, 436.
- Heo, O., Yoon, Y., & Do, J. (2021). Comparative Study of the Field Performances of Pressure-Grouted Micropiles Using Gravity and Packers. *Applied Sciences*, 11(15), 6736.
- Hwang, T.-H., Kim, K.-H., & Shin, J.-H. (2017). Effective installation of micropiles to enhance bearing capacity of micropiled raft. *Soils and Foundations*, 57(1), 36–49.
- Juran, I., Bruce, D. A., Dimillio, A., & Benslimane, A. (1999). Micropiles: The state of practice. Part II: design of single micropiles and groups and networks of micropiles. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 3(3), 89–110.
- Kyung, D., Kim, D., Kim, G., & Lee, J. (2017). Vertical load-carrying behavior and design models for micropiles considering foundation configuration conditions. *Canadian Geotechnical Journal*, 54(2), 234–247.
- Lee, T.-H., Im, J.-C., Kim, C., & Seo, M. (2018). An Experimental Study for Reinforcing the Ground underneath a Footing Using Micropiles. *Geotechnical Testing Journal*, 41(4), 648–663.
- Sabatini, P. J., Armour, T., Groneck, P., Keeley, J. W., & Tanyu, B. (2005). Micropile design and construction (reference manual for NHI Course 132078). United States. Department of Transportation. Federal Highway Administration.
- Tsukada, Y., Miura, K., Tsubokawa, Y., Otani, Y., & You, G.-L. (2006). Mechanism of bearing capacity of spread footings reinforced with micropiles. *Soils and Foundations*, 46(3), 367–376.



## ABSTRACT

### Effects of grouting methods on mechanical behavior of micropiles: A classical review

Bui Van Duc\*, Nguyen Van Manh  
*Hanoi University of Mining and Geology*

Micropile technology has been widely used in many different fields, especially in repairing and reinforcing foundations of construction works. Outcomes of recent research and practical application indicate that the performance and mechanical behavior of micropile depend on many factors, including grouting method. This paper summarizes and analyzes a number of research results using different grouting technologies to better elucidate the influence of grouting work on some mechanical behavior and performances of micropile such as load-deformation subjected to compression and tension load, stiffness and deformation modulus of micropiles.

*Keywords:* micropile, ground improvement, grouting methods, load-deformation