

ỨNG XỬ SOILCRETE TẠO TỪ Bùn SÉT Củ CHI PHỤC VỤ CÔNG TÁC GIA CỐ LÚN ĐƯỜNG ĐẦU CẦU TÂN THẠNH ĐÔNG BẰNG JET GROUTING

ĐỖ THỊ MỸ CHINH*, TRẦN NGUYỄN HOÀNG HÙNG**
QUÁCH HỒNG CHƯƠNG***, NGUYỄN DUY PHONG****
HUỲNH NGUYỄN HIỆP****, ĐẶNG CHÍ CÔNG****
NGUYỄN QUỐC ANH*****

Mechanical behaviors of soilcrete specimens by Jet Grouting technology from Cu Chi soft clay to treat differential settlement of Tan Thanh Dong bridge

Abstract: Bridge abutment differential settlement has often occurred in the South and particularly in Ho Chi Minh City. The current techniques treat the settlement to be still less effective. Jet grouting is a technology improving mechanical characteristics of soils using a high pressure grout jet to cut and mix in-situ soil with cement slurry. Jet Grouting has high potential to mitigate differential settlement of bridge abutments. However, the Jet Grouting still has limit applications to treat bridge abutment differential settlement in HCMC. This paper investigated the mechanical behaviors of soilcrete specimen made from the soil samples taken at Tan Thanh Dong bridge simulating field Jet Grouting. About 50 soilcrete specimens mixed with 50% slag cement and PCB40 cement. The cement contents of 400, 500, 600, 700, and 800 kg/m³ were utilized to mix the soft clay samples at a w:c of 1.5:1. The results show that: (1) Unconfined compressive strength (UCS) of slag cement were higher 3.5 to 4 times than those of PCB40; (2) UCS of soilcrete at a cement content of 500 kg/m³ cured at 3 days were higher 3 to 8 times than that of the soft clay; (3) Secant modulus of elasticity varying from 100 – 357 times to UCS; (4) Strain at failure varying from 0.5 to 1.2 %; (5) A w:c ratio of 1.5 providing suitable soilcrete strength and the viscosity of cement slurry.

Key words: Soilcrete, Jet Grouting, settlement, ground improvement, bridge approaching embankment.

1. GIỚI THIỆU

Lún đường đầu cầu trong quá trình khai thác gây bức xúc trong ngành giao thông hiện nay. Hiện tượng lún đường đầu cầu xảy ra ở hầu hết

các tỉnh thành Đồng Bằng Sông Cửu Long nói chung và TP HCM nói riêng [1, 2]. Sự chênh lệch cao độ tại vị trí tiếp giáp giữa móng cầu và đường đầu cầu gây ra hiện tượng xóc cho phương tiện giao thông. Xe phải giảm tốc độ khi qua cầu nhằm giảm xóc [3]. Hiện tượng lún lệch đường đầu cầu do lún cố kết của nền đất yếu bên dưới của đường đầu cầu [4, 5]. Các giải pháp khắc phục hiện tại là bù lún thường xuyên

* Thạc sĩ, Giảng viên, khoa KTXD-MTUD, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành;

** PGS.TS, Giảng viên, Trường Đại học Bách Khoa - ĐHQG TP HCM (ĐHBK-HCM);

*** Thạc sĩ, khoa KTXD, ĐHBK-HCM;

**** Học viên cao học, khoa KTXD, ĐHBK-HCM;

***** Sinh viên đại học, khoa KTXD, ĐHBK-HCM

bằng các lớp bê tông nhựa, bơm vữa, và xây dựng mới [6]. Bù lún thường xuyên không giải quyết triệt để tình trạng lún. Jet Grouting là giải pháp khả thi trong ba phương pháp trên. Jet Grouting có thiết bị thi công nhỏ gọn và thi công được trong khu vực có mặt bằng chật hẹp [7]. Với đường đầu cầu đang khai thác, thiết bị Jet Grouting có thể thi công mà không cần ngăn lưu thông của xe cộ và thời gian thi công nhanh. Jet Grouting đã được thử nghiệm hiện trường thành công cho công trình xử lý lún đường đầu cầu ở Đồng Tháp [8]. Tuy nhiên, Jet Grouting chưa được ứng dụng cho các công trình lún đường đầu cầu đang khai thác tại TP HCM. Vì vậy, nghiên cứu ứng dụng Jet Grouting xử lý lún cho các công trình đường đầu cầu ở TP HCM làm cơ sở khoa học và pháp lý cho các ứng dụng đại trà toàn địa bàn TP HCM.

Theo hiện trạng thiết kế của cầu Tân Thạnh Đông thuộc huyện Củ Chi, đường đầu cầu được đắp cao (khoảng hơn 2.5 m) bằng lớp cấp phối đá dăm và bản quá độ dài 4.5 m được đặt trong lớp cấp phối đá dăm. Lớp cấp phối và bản quá độ đặt ngay trên nền đường cũ. Lớp đất yếu bên dưới chưa được gia cố [9]. Với cấu tạo tương tự đường đầu cầu tại Đồng Tháp, tải trọng đất đắp là nguyên nhân gây lún cố kết của lớp đất yếu bên dưới. Jet Grouting có thể xử lý gia cố lớp đất yếu bên dưới không phá hủy các lớp mặt bên trên. Cần khoan có thể khoan xuyên qua các lớp cấp phối đá dăm và bản quá độ để xuống lớp đất yếu bên dưới. Tại lớp đất yếu cần gia cố, Jet Grouting kích hoạt tia vữa để cắt xói đất và trộn với xi măng. Vì vậy, Jet Grouting là giải pháp tối ưu để giải quyết triệt để được hiện tượng lún đường đầu cầu ở Củ Chi.

Việc nghiên cứu ứng xử của đất tại cầu Tân Thạnh Đông huyện Củ Chi TP HCM theo công nghệ Jet Grouting nhằm đưa ra thông số phù hợp về chất lượng của cọc soilcrete. Các mối quan hệ về cường độ nén nở hông tự do theo thời gian bảo dưỡng, loại xi măng, mô đun đàn hồi cát tuyển, và tỷ lệ nước:xi măng được nghiên cứu trong phòng thí nghiệm. Kết quả của nghiên cứu sẽ làm định hướng ban đầu cho việc ứng dụng thiết kế và thi công tại hiện trường.

2. PHƯƠNG PHÁP LUẬN NGHIÊN CỨU

Phương pháp thí nghiệm trong phòng theo các tiêu chuẩn ASTM D2166, ASTM D1633, và TCVN 9403:2012 được thực hiện cho các mẫu đất lấy tại hiện trường và xi măng. Thí nghiệm nén nở hông tự do (UCS) thực hiện cho các mẫu soilcrete.

2.1. Vật liệu thí nghiệm

Đất nguyên thổ

Công tác khoan lấy mẫu đất tại hiện trường cầu Tân Thạnh Đông phía cầu Xáng thuộc xã Tân Thạnh Đông huyện Củ Chi thành phố Hồ Chí Minh (Hình 1). Hồ khoan được khoan tới độ sâu 30 m. Chỉ tiêu cơ lý của đất dùng thí nghiệm thể hiện trên Bảng 1.



Hình 1. Vị trí nghiên cứu (Google maps)

Bảng 1. Chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất [10]

Các chỉ tiêu	Sét chảy (1A)	Sét chảy (1B)	Cát bụi	Sét dẻo	Sét ít dẻo	Cát
Chiều dày (m)	7,5	11,4	2,1	8,5	5,4	3,5
Giới hạn chảy LL (%)	85,3	78,7	-	48,4	38,4	-
Chỉ số dẻo PI (%)	41,2	38,5	-	23,5	18,7	-

Các chỉ tiêu	Sét chảy (1A)	Sét chảy (1B)	Cát bụi	Sét dẻo	Sét ít dẻo	Cát
Hàm lượng bụi sét (%)	91,7	87,9	11,5	86	73,3	10,3
Độ ẩm W (%)	90,82	79,71	25,11	43,44	35,54	20,26
Dung trọng tự nhiên γ_w (kN/m ³)	14,4	15	18,4	17,3	18	19,8
Hệ số rỗng e	2,60	2,25	0,81	1,25	1,04	0,62
Độ pH (%)	8,1	8	-	-	-	-
Hàm lượng hữu cơ (%)	5,15	4,86	-	-	-	-
Cường độ nén q_u (kN/m ²)	22,9	36,2	-	-	-	-

Xi măng

Xi măng PCB40 và xi măng 50% xi được dùng cho nghiên cứu này. Hai loại xi măng được sản xuất trong nước và có sẵn tại TP

HCM. Xi măng PCB40 theo TCVN 6260:2009

và xi măng 50% xi theo TCVN 4316:2007 như Bảng 2. Xi măng có hạn sử dụng tối đa 1 tháng kể từ ngày sản xuất.

Bảng 2. Các chỉ tiêu cơ lý của xi măng [11, 12]

Loại xi măng	Cường độ nén (MPa)		Thời gian đông kết (phút)		Độ mịn * (cm ² /g)	Độ ổn định thể tích (mm)	Hàm lượng SO ₃ (%)
	3 ngày	28 ngày	Bắt đầu	Kết thúc			
Xi măng PCB40	≥ 18	≥ 40	≥ 45	≤ 420	2800	≤ 10	≤ 3,5
Xi măng xi	≥ 18	≥ 40	≤ 45	≥ 600	3300	≤ 10	≤ 3,5

*Xác định theo phần còn lại trên sàng kích thước lỗ 0.09 mm.

Nước

Độ pH trong nước dùng để thí nghiệm ảnh hưởng tới chất lượng của đất trộn xi măng. Độ pH của nước thấp (pH < 7) thể hiện tính axit cao, cường độ của soilcrete giảm. Ngược lại, độ pH cao thể hiện tính bazơ (pH > 7), cường độ của cọc soilcrete cao hơn [13]. Theo Bảng 1, độ pH của

nước trong đất tại hiện trường có giá trị là 8. Nước uống sinh hoạt dùng thí nghiệm cũng có độ pH dao động từ 6 – 8.5 [14]. Ngoài ra, các thông số về chất lượng nước sinh hoạt đều phù hợp với tiêu chuẩn TCVN4506:2012 về nước dùng để trộn vữa xi măng như Bảng 3. Vì vậy, nước sinh hoạt có thể sử dụng để thí nghiệm thay cho nước tại hiện trường.

Bảng 3. Hàm lượng tối đa cho phép (mg/L) của các thành phần trong nước trộn vữa [15]

Muối hòa tan	Ion sunfat (SO ₄ ²⁻)	Ion clo (Cl)	Cặn không tan
10000	2700	3500	300

2.2. Chế tạo mẫu

Hàm lượng xi măng và tỷ lệ nước:xi ($w:c$)

Hàm lượng xi măng và tỷ lệ nước:xi măng sẽ ảnh hưởng đến cường độ của cọc soilcrete [16,

17]. Hàm lượng xi măng càng cao thì cường độ đất – xi măng càng cao. Trong đất có chứa hàm lượng hữu cơ, lượng xi măng dùng để gia cố cần phải lớn hơn trong đất không chứa hữu cơ hoặc

hàm lượng hữu cơ nhỏ. Lượng xi măng nhiều đủ để tạo ra khung chịu lực xung quanh các chất hữu cơ có trong đất [13, 18]. Theo [19], hàm lượng xi măng tối thiểu cho đất có hàm lượng hữu cơ khoảng 2-5% nên từ 300 – 350 kg/m³ cho công nghệ trộn bằng cánh trộn. Với phương pháp thi công bằng Jet Grouting, hàm lượng xi măng tại hiện trường bị giảm hơn so với trong phòng vì ảnh hưởng của dòng bùn trào ngược [20]. Vì vậy hàm lượng xi măng trong phòng cần phải lớn hơn 350 kg/m³ để đảm bảo cường độ thiết kế. Các loại hàm lượng xi măng 400, 500, 600, 700, và 800 kg/m³ tương ứng với hai loại xi măng xi và PCB40 được dùng để nghiên cứu. Các hàm lượng xi măng phù hợp với nghiên cứu của [21] để tính toán lượng vữa trộn. Từ các kết quả trong phòng, hàm lượng xi măng thích hợp sẽ được chọn để gia cố.



Hình 2. Vữa trong thau trộn máy

Tỷ lệ nước:xi măng vừa ảnh hưởng tới cường độ nén nở hông tự do của soilcrete và lưu lượng bùn thải trào ngược trong quá trình thi công [16, 17]. Tỷ lệ $w:c$ càng nhỏ thì cường độ càng cao nhưng độ nhớt của vữa lớn gây tắc nghẽn vòi phun. Ngược lại, $w:c$ lớn làm cường độ của soilcrete nhỏ và độ nhớt của vữa nhỏ. Tuy cường độ của soilcrete giảm nhưng dòng bùn trào ngược dễ hơn và tránh tắc nghẽn vòi phun khi $w:c$ lớn. Vì vậy, tùy thuộc vào mục đích của

công trình, tỷ lệ $w:c$ cần được thí nghiệm trước khi thi công [17]. Theo [21], tỷ lệ $w:c$ cho hệ thống Jet Grouting dao động từ 0,8-2. Với các cọc thử đã thi công tại TP HCM, tỷ lệ $w:c$ bằng 1:0,6 đã khắc phục được tình trạng nghẹt dòng bùn trào ngược [22]. Vì vậy, vữa dùng để thí nghiệm có tỷ lệ nước: xi măng bằng 1,5:1. Sự cố nghẹt vòi trong quá trình thi công cọc Jet grouting sẽ được hạn chế. Nước và xi măng được trộn đều bằng máy trong thời gian 5 phút trước khi trộn với đất như Hình 2.

Đúc mẫu

Cường độ của cọc soilcrete bị ảnh hưởng bởi loại đất. Với cùng một hàm lượng xi măng, ngày bảo dưỡng, năng lượng trộn, cường độ của đất cát cao hơn trong đất sét và đất sét dẻo cứng cao hơn đất sét dẻo chảy [13, 23]. Đất của lớp sét chảy (1A và 1B) là lớp đất yếu nhất (Bảng 1). Vì vậy, đất của hai lớp này được chọn để gia cố.

Đất được lấy từ độ sâu -0,5 m đến -18 m trộn với vữa xi măng PCB40 và xi măng xi. Đất tự nhiên được xác định độ ẩm trước khi thí nghiệm. Nếu độ ẩm của đất trong phòng nhỏ hơn độ ẩm hiện trường, một lượng nước được thêm vào để đảm bảo độ ẩm của đất không thay đổi.

Khuôn chứa mẫu đất trộn xi măng được làm từ ống nhựa PVC đường kính 55 ± 2 mm, cao 120 ± 2 mm. Khuôn được cắt hở theo phương dọc và bôi một lớp mỡ mỏng bên trong giúp quá trình tháo mẫu dễ dàng.



Hình 3. Mẫu sau khi đúc xong
Bảo dưỡng mẫu soilcrete

Hỗn hợp đất trộn xi măng được chia thành 3 lớp, mỗi lớp được đầm bằng que gỗ đường kính 10 mm và dài 400 mm. Mẫu được cố định chặt trước khi bảo dưỡng bằng cách ngâm trong nước như Hình 3 [13, 18].

Mẫu được kí hiệu và dán mác trước khi bảo dưỡng. Các mẫu đất nằm bên dưới mực nước ngầm. Vì vậy, mẫu soilcrete được ngâm trong nước để ứng xử tương ứng với thực tế. Hình 4 thể hiện quá trình bảo dưỡng của mẫu.



Hình 4. Quá trình mẫu được bảo dưỡng

2.3. Nén mẫu

Mẫu soilcrete được tiến hành nén nở hông tự do (UCS) bằng máy nén mẫu như Hình 5 theo tiêu chuẩn ASTM D1633 [24] và TCVN 9403:2012 [25]. Mục đích của thí nghiệm UCS là để xác định cường độ nén nở hông tự do (q_u), biến dạng lúc phá hoại (ϵ_f), và mô đun đàn hồi cát tuyến (E_{50}) của mẫu. Trình tự nén mẫu như sau:

(1) Mẫu được làm phẳng hai đầu, đo đường kính và chiều cao mẫu tại 3 vị trí để tính giá trị trung bình, và cân mẫu để xác định khối lượng.

(2) Đặt tâm mẫu trùng với tâm máy nén cả phía trên và dưới.

(3) Lắp đặt đồng hồ đo chuyển vị số 1 và số 2 đối xứng nhau. Điều chỉnh hai đồng hồ đo về giá trị “0” (Hình 5a).

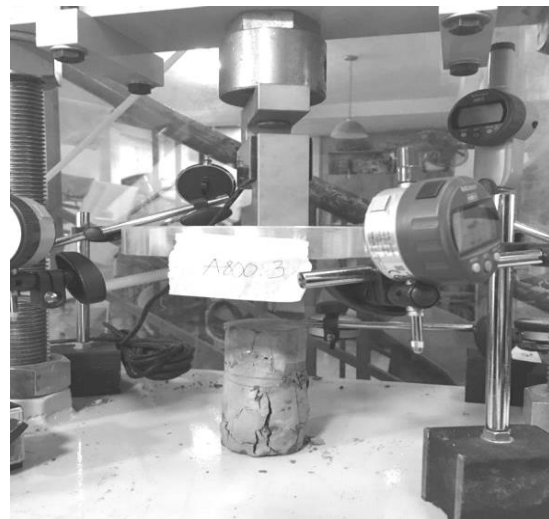
(4) Gia tải với tốc độ nén không đổi và nhỏ hơn 1 mm/phút.

(5) Ghi lại giá trị lực của đồng hồ lực và giá trị chuyển vị của đồng hồ chuyển vị số 2 khi đồng hồ chuyển vị số 1 tương ứng với 10 vạch.

(6) Mẫu nén đến khi bị phá hoại (Hình 5b) [18, 19].



(a) Bắt đầu nén



(b) Mẫu phá hoại

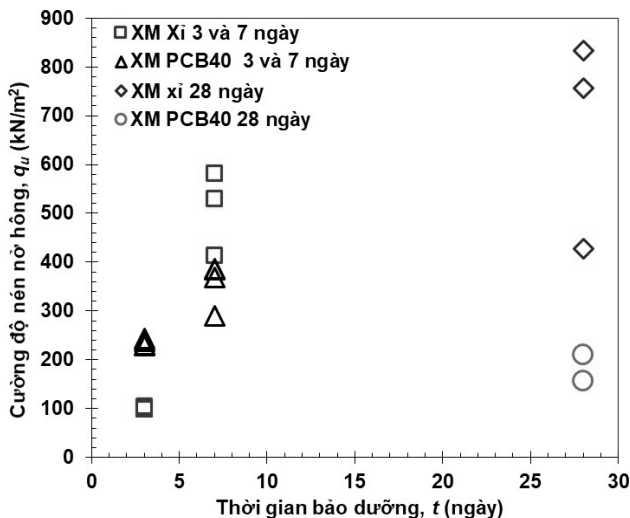
Hình 5. Thí nghiệm nén nở hông tự do mẫu soilcrete

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của thời gian bảo dưỡng tới cường độ nén nở hông tự do

Hình 6 thể hiện mối quan hệ giữa cường độ nén q_u tại thời điểm 3, 7, và 28 ngày tuổi với hàm lượng xi măng $A_c = 500 \text{ kg/m}^3$. Cường độ

tăng khi thời gian bảo dưỡng tăng. Kết quả phù hợp với các tác giả như [1, 19]. Đối với xi măng xỉ, cường độ q_u thể hiện rõ mức độ tăng theo thời gian. Xi măng PCB40, giá trị q_u tăng trong khoảng từ 3 đến 7 ngày tuổi. Giá trị q_u tại 28 ngày giảm có thể do mẫu bị khuyết tật. Cường độ nén của mẫu soilcrete tạo bởi cả hai loại xi măng cao hơn từ 3,4 - 8 lần ở 3 ngày và 12 - 17 lần ở 7 ngày tuổi so với cường độ nén nở hông của đất tự nhiên (Bảng 1). Vì vậy, các phương tiện giao thông có thể lưu thông sau 3 ngày thi công. Đối với các công trình đang khai thác, việc sửa chữa ảnh hưởng tới quá trình lưu thông. Đặc biệt, lưu lượng xe lưu thông tại TP HCM, việc giải phóng mặt bằng cần phải thực hiện nhanh.



Hình 6. Mối quan hệ giữa thời gian bảo dưỡng và cường độ nén nở hông ở $A_c = 500 \text{ kg/m}^3$

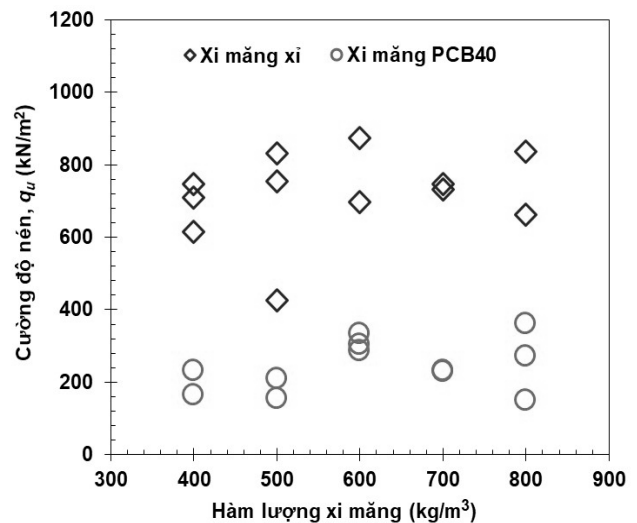
3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng và loại xi măng đến cường độ nén nở hông tự do

3.2.1. Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng

Hình 7 thể hiện mối quan hệ giữa cường độ nén nở hông tự do và hàm lượng xi măng/loại xi măng của các mẫu soilcrete ở 28 ngày tuổi. Cường độ của mẫu soilcrete tăng theo hàm lượng xi măng trong khoảng từ 400 - 600 kg/m^3 . Hàm lượng xi măng càng cao thì cường độ nén nở hông càng cao. Các hạt xi măng càng nhiều

sẽ bao bọc các hạt đất và liên kết các hạt đất lại với nhau bằng chất gel C-S-H làm cường độ của soilcrete tăng [13, 18]. Cường độ của soilcrete chỉ tăng tuyến tính khi hàm lượng xi măng tăng trong một khoảng nhất định. Các mẫu soilcrete ở hàm lượng 700 và 800 kg/m^3 có xu hướng giảm. Ở hàm lượng xi măng lớn, lượng nước để tạo vữa xi măng nhiều. Trong quá trình hình thành cường độ, độ ẩm của soilcrete cao. Lượng nước dư sau khi phản ứng thủy hóa xảy ra là nguyên nhân làm cường độ của soilcrete giảm hoặc tăng không đáng kể [13]. Ngoài ra, trong quá trình chế tạo mẫu ở hàm lượng xi măng cao, công đầm tác dụng lên mẫu bị giảm do độ sệt của mẫu lớn. Lực đầm nén tác dụng lên mẫu sẽ không đẩy hết được bọt khí còn sót lại trong mẫu. Cường độ của soilcrete giảm hoặc tăng không đáng kể [20]. Vì vậy, hàm lượng xi măng nên chọn trong khoảng từ 400 – 600 kg/m^3

3.2.2 Ảnh hưởng của loại xi măng



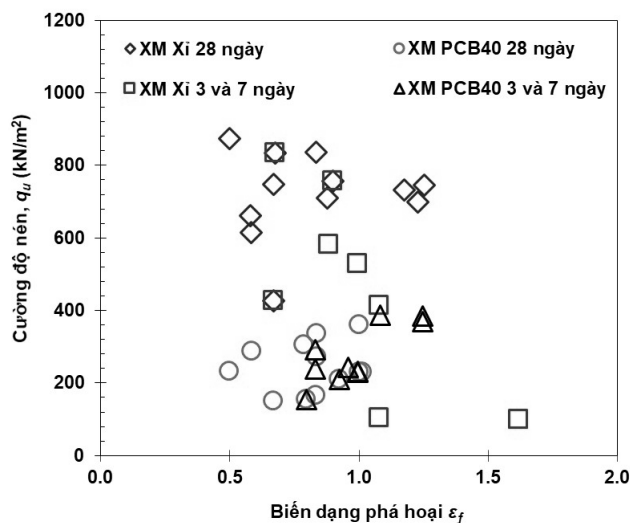
Hình 7. Quan hệ giữa hàm lượng xi măng/loại xi măng và cường độ nén nở hông tự do ở 28 ngày

Cùng một loại đất, hàm lượng xi măng, ngày tuổi, cường độ nén nở hông q_u của mẫu soilcrete tạo từ xi măng xỉ cao hơn từ 3,5 - 4 lần xi măng PCB40. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của [1]. 50% hàm lượng xỉ có trong xi măng xỉ đóng vai trò làm tăng cường

độ của soilcrete. Các khoáng vật có trong xi sẽ phản ứng thủy hóa và trao đổi ion trong môi trường kiềm tạo ra chất gel C-S-H, C-A-S-H, và C-A-H đóng vai trò chính cho cường độ của soilcrete. Đối với xi măng PCB40, phản ứng thủy hóa chỉ tạo ra chất gel C-S-H [13]. Vì vậy, cường độ của soilcrete tạo ra từ xi măng xi sẽ cao hơn. Xi măng xi nên được chọn làm vật liệu gia cố.

3.3. Quan hệ giữa biến dạng phá hoại ϵ_f và cường độ nén nở hông q_u

Biến dạng lúc phá hoại của tất cả các mẫu soilcrete đều nằm trong khoảng từ 0,5 – 1,2 (Hình 8) nhỏ hơn so với nghiên cứu của [13] và gần tương đồng với [19]. Biến dạng lúc phá hoại của các mẫu soilcrete tạo ra từ xi măng xi đối với tất cả các ngày tuổi đều giảm khi cường độ tăng tương đồng với kết quả của [13, 23]. Với mẫu soilcrete của xi măng PCB40, biến dạng phá hoại tăng khi cường độ giảm. Kết quả này giống nghiên cứu của [1, 19], nguyên nhân có thể do ảnh hưởng của loại xi măng hoặc do sự tiếp xúc giữa bề mặt mẫu với máy nén.

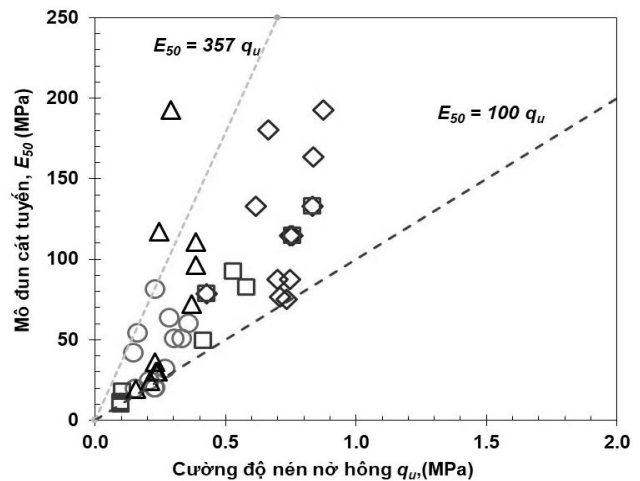


Hình 8. Quan hệ giữa biến dạng phá hoại và cường độ nén nở hông tự do

3.4. Quan hệ mô đun đàn hồi cát tuyến E_{50} với cường độ nén nở hông q_u

Tỷ lệ E_{50}/q_u của tất cả các mẫu xi măng đất

đạt khoảng 100 - 375 như Hình 9. Giá trị này lớn hơn so với các kết quả của [26] và nằm trong khoảng giá trị của [27]. Mô đun đàn hồi cát tuyến E_{50} là một thông số xác định độ cứng của mẫu xi măng đất phục vụ cho thiết kế. Tại giá trị 50% cường độ phá hoại, E_{50} của soilcrete càng lớn thì biến dạng nhỏ. Biến dạng của soilcrete nhỏ phù hợp với ứng dụng chống lún cho công trình.



Hình 9. Quan hệ giữa cường độ nén nở hông q_u và mô đun đàn hồi cát tuyến E_{50}

4. KẾT LUẬN

Khoảng gần 50 mẫu soilcrete đã được chế tạo trong phòng với hai loại xi măng PCB40 và xi măng xi. Hàm lượng xi măng 400, 500, 600, 700, và 800 kg/m³ tương ứng với tỉ lệ $w:c = 1,5:1$ được trộn với đất lấy từ hiện trường. Tất cả các mẫu soilcrete được bảo dưỡng ở độ tuổi 28 ngày, riêng mẫu đất trộn xi măng với hàm lượng 500 kg/m³ được bảo dưỡng thêm ở độ tuổi 3 và 7 ngày. Các mẫu đều được bảo dưỡng trong nước để nghiên cứu ứng xử và đánh giá khả năng ứng dụng công nghệ Jet Grouting để gia cố lún đường đầu cầu đang khai thác. Kết quả nén nở hông tự do của tất cả các mẫu soilcrete cho thấy:

- (1) Cường độ nén nở hông tự do trung bình ở 28 ngày tuổi của xi măng xi trong khoảng 0,7 – 0,8 MPa cao hơn từ 3,5 đến 4 lần so với xi

măng PCB40 (0.2 – 0.3 MPa). Xi măng xi lò cao nên được chọn để gia cố.

(2) Cường độ nén nở hông tự do tăng khi hàm lượng xi măng trong khoảng từ 400 – 600 kg/m³. Hàm lượng xi măng nên chọn trong khoảng 400 - 600 kg/m³ để gia cố.

(3) Cường độ nén nở hông tự do tăng theo thời gian bảo dưỡng. Đối với xi măng xi hàm lượng 500 kg/m³, q_u tại 3 ngày tuổi gấp từ 3 lần so với đất tự nhiên và bằng 15% so với q_u 28 ngày. Đối với xi măng PCB40, q_u tại 3 ngày lớn hơn 8 lần so với đất tự nhiên và bằng khoảng 60% so với q_u 7 ngày với hàm lượng 500 kg/m³. Vì vậy, xe có khả năng lưu thông sau 3 ngày thi công.

(4) Tỷ lệ $w:c = 1,5:1$ cho cường độ soilcrete và độ nhớt của vữa xi măng phù hợp với thông số thiết kế.

(5) Mô đun đàn hồi cát tuyến E_{50} trong khoảng 100 - 357 lần cường độ nén nở hông tự do tại 28 ngày tuổi.

(6) Biến dạng lúc phá hoại của soilcrete trong khoảng từ 0,5 đến 1,2 %.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Quách Hồng Chương, Trần Nguyễn Hoàng Hùng, Hà Hoan Hỷ, và Phạm Quốc Thiện. "Ứng xử soilcrete trong phòng tạo ra từ đất ở cầu Tám Bang và Vàm Đính mô phỏng công nghệ Jet grouting". *Tạp chí Địa kỹ thuật*, số 2, trang 42-51, 2016.

[2] Phan Quốc Bảo. "Nghiên cứu một số giải pháp cải thiện độ êm thuận đoạn đường dẫn vào cầu khu vực đồng bằng Sông Cửu Long". Luận Văn Tiến sĩ, Viện Khoa Học và Công Nghệ Giao Thông Vận Tải, 2015.

[3] Trần Nguyễn Hoàng Hùng. "Nghiên cứu gia cố lún đường đầu cầu trong quá trình khai thác bằng công nghệ Jet Grouting ở Đồng Tháp". HĐ số: 108/2015/ĐT-KHCN, Sở khoa học và công nghệ tỉnh Đồng Tháp, 2017.

[4] G. A. Miller, K. Hatami, A. B. Cerato, and C. Osborne. "Applied approach slab settlement research, design/construction". University of Oklahoma. School of Civil Engineering and Environmental Science, 2013.

[5] Đỗ Thị Mỹ Chinh và Trần Nguyễn Hoàng Hùng. "Nghiên cứu bản chất hiện tượng lún đường đầu cầu trong quá trình khai thác trên toàn tỉnh Đồng Tháp". *Tạp chí xây dựng*, số 9, trang 24-29, 2016.

[6] Bộ giao thông vận tải. "Quy định tạm thời về các giải pháp kỹ thuật công nghệ đối với đoạn chuyển tiếp giữa đường và cầu (cống) trên đường ô tô". Số 3095/QĐ-BGTVT, Hà Nội, 16 trang, 2013.

[7] R. Essler and H. Yoshida. "Jet grouting", in *Ground Improvement*, M.P.Moseley and K.Kirsch, Eds. Lon Don and New York: Spon Press, 2004, pp. 161-196.

[8] Nguyễn Thiết Hoài and Trần Nguyễn Hoàng Hùng, "Quan trắc lún đường đầu cầu Vàm Đính sau gia cố bằng công nghệ Jet Grouting," *Tạp chí Địa kỹ thuật*, số 1, trang 54-69, 2020.

[9] Công ty xây dựng Thịnh An. "Bản vẽ hoàn công cầu Tân Thạnh Đông". Hồ Chí Minh, 2009.

[10] LAS- XD1465. "Thuyết minh địa chất công trình cầu Tân Thạnh Đông huyện Củ Chi, Thành phố Hồ Chí Minh". Hồ Chí Minh, 10 trang, 2020.

[11] Tiêu chuẩn quốc gia. "Xi măng Pooc lăng hỗn hợp - Yêu cầu kỹ thuật". TCVN 6260 : 2009, Hà Nội, 2009.

[12] Tiêu chuẩn quốc gia. "Xi măng Pooc lăng xi lò cao". TCVN 4316: 2007, Hà Nội, 2007.

[13] M. Kitazume and M. Terashi, *The Deep Mixing Method*. Taylor & Francis Group, London, UK: CRC Press/Balkema, 2013, 434 Pages.

[14] Quy chuẩn Việt Nam. "Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước sạch sử dụng

cho mục đích sinh hoạt". QCVN 01-1:2018/BYT, Hà Nội, 2018.

[15] Tiêu chuẩn quốc gia. "Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật". TCVN 4506 : 2012, Hà Nội, 2012.

[16] E. H. Chu. "Turbulent Fluid Jet Excavation In Cohesive Soil with Particular Application To Jet Grouting". Doctor, Science in Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Massachusetts Insrite of Technology, Massachuset, 271 pp, 2005.

[17] Trần Nguyễn Hoàng Hùng. *Công nghệ xói trộn vữa cao áp (Jet Grouting)*. Hồ Chí Minh: Nhà xuất bản Đại Học Quốc Gia, 2016, 368 trang.

[18] Trần Nguyễn Hoàng Hùng. *Công nghệ đất trộn xi măng (SCM) gia cố nền đất yếu*. TP. Hồ Chí Minh: Nhà xuất bản Đại Học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh, 2019, 546 trang.

[19] Lê Khắc Bảo, Lê Phi Long, Đỗ Thị Mỹ Chinh, và Trần Nguyễn Hoàng Hùng. "Nghiên cứu ứng xử đất Đồng Tháp trộn xi măng - trộn ướt ứng dụng gia cố đê bao chống lũ ở Đồng Tháp". *Tạp chí xây dựng*, số 6, trang 77-83, 2014.

[20] Lý Duyên Hồng Nhung và Trần Nguyễn Hoàng Hùng. "Nghiên cứu đề xuất phương pháp xác định hàm lượng xi măng soicrete hiện trường tạo bởi Jet Grouting". *Tạp chí Địa kỹ thuật*, số 2, jrang 46 - 54, 2020.

[21] P. P. Xanthakos, L. W. Abramson, and D. A. Bruce. "Jet Grouting," in *Ground control*

and improvement United States of America: John Wiley & Son, Inc, 1994, pp. 580-683.

[22] Lê Thọ Thanh, Lý Hữu Thắng, và Trần Nguyễn Hoàng Hùng. "Nghiên cứu thử nghiệm hiện trường Jet grouting lần 4 ở TP. Hồ Chí Minh". *Tạp chí Địa kỹ thuật*, số 2, trang 30-39, 2013.

[23] A. H. M. Kamruzzaman. "Physico Chemical And Engineering Behavior Of Cement Treated Singapore Marine Clay". Doctor, Philosophy Department of Civil Engineering, National University of Singapore, Singapore, 204 pp, 2002.

[24] American Society for Testing and Materials. "Standard Test Method for Compressive Strength of Molded soil – cement cylinders". ASTM D 1633-96, 3 Pages, 1996.

[25] Bộ Xây Dựng. "Gia cố đất nền yếu – Phương pháp trụ đất xi măng". TCVN 9403:2012, 42 trang, 2012.

[26] Lê Thọ Thanh và Trần Nguyễn Hoàng Hùng. "Phân tích đánh giá chất lượng cọc soilcrete tạo ra bằng công nghệ Jet grouting ở TP. HCM". presented at the Conference on Science and Technology HCMUT Vietnam-Faculty of Civil Engineering, 2013.

[27] Lý Duyên Hồng Nhung và Trần Nguyễn Hoàng Hùng. "Đánh giá chất lượng Soilcrete hiện trường tạo bởi công nghệ Jet grouting ở Đồng Tháp". *Tạp chí Địa kỹ thuật*, số 1+2, trang 27-38, 2019.