

# Nghiên cứu khả năng đầm chặt và kháng cắt của đất gia cường bằng sợi PP

## Investigation of compaction and shear resistance of soil reinforced with PP fibers

> NGUYỄN SỸ HÙNG<sup>1</sup>, TRẦN THỊ PHƯƠNG HUYỀN<sup>2</sup>, NGUYỄN NHƯ ÁNH DƯƠNG<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật TP.HCM

Email: sihung.nguyen@hcmute.edu.vn

<sup>2</sup>Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng

Email: ttphuyen@ute.udn.vn

<sup>3</sup>Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật TP.HCM

### TÓM TẮT

Bài báo tập trung vào ứng xử của đất cát pha sét gia cường bằng sợi PP (Polypropylene). Đất thí nghiệm được tạo từ hỗn hợp 70% cát và 30% bụi và sét, sau đó được phối trộn với sợi PP có ba chiều dài khác nhau (10, 15 và 20mm) ở các tỷ lệ khối lượng khác nhau (0.5, 1, và 1.5%). Trước hết, với từng tổ hợp chiều dài sợi - tỷ lệ sợi, đất gia cường được thí nghiệm đầm chặt để xác định độ ẩm tối ưu và dung trọng khô lớn nhất. Sau đó tiến hành các thí nghiệm cắt trực tiếp và thí nghiệm nén ba trục CU trên các mẫu được đầm chặt tối đa theo kết quả thí nghiệm đầm chặt. Việc chuẩn bị vật liệu và mẫu thí nghiệm theo một quy trình chặt chẽ để tạo ra các mẫu với sợi được phân bố đều theo thể tích, hướng của sợi phân tán đều theo các phương. Kết quả thí nghiệm cho thấy việc trộn sợi PP vào đất cát pha sét có thể cải thiện đáng kể các thông số của đất bao gồm dung trọng khô lớn nhất, lực dính và góc ma sát trong thí nghiệm cắt đất trực tiếp, ứng suất lệch tối đa và biến dạng tương ứng trong thí nghiệm nén ba trục CU. Các thông số trên đạt giá trị lớn nhất khi hàm lượng sợi là 1% và chiều dài sợi là 15mm đến 20mm. Tuy nhiên, các thông số trên sẽ cho giá trị nhỏ nhất nếu hàm lượng sợi cao (1.5%) và chiều dài sợi lớn nhất 20mm.

**Từ khóa:** Gia cường sợi; polypropylene; thí nghiệm ba trục; thí nghiệm đầm chặt; thí nghiệm cắt trực tiếp.

### ABSTRACT

This study examines the impact of Polypropylene (PP) fibers on clayey sand soil reinforcement. The experimental soil consisted of a mixture of 70% sand and 30% silt and clay, with PP fibers of 10, 15, and 20mm in length. The fibers were mixed into the soil in three weight ratios of 0.5%, 1%, and 1.5%. Initially, the reinforced soil was tested for compaction to determine the optimal moisture content and maximum dry density for each combination of fiber length and ratio. Next, direct shear tests and CU triaxial compression tests were conducted on maximally compacted samples based on the compaction test results. The preparation of materials and experimental samples followed a meticulous and strict process to create samples with fibers evenly distributed in volume and direction. The results showed a significant increase in soil parameters such as maximum dry density, cohesion, and friction angle in the direct soil shear test when PP fibers were mixed with clayed sand. The maximum deviatoric stress and corresponding strain in the CU triaxial compression test also increased. These parameters reached their highest value when the fiber content was 1% and the fiber length was 15mm to 20mm. However, if the fiber content was high (1.5%) and the maximum fiber length was 20mm, the above parameters would give the smallest value.

**Keywords:** Fibre-reinforced; triaxial test; compaction test; polypropylene fiber; direct shear test.

### 1. MỞ ĐẦU

#### Gia cường đất bằng sợi

Hiện nay, việc gia cường nền đất yếu một mặt vẫn áp dụng các biện pháp truyền thống như gia tải trước, cọc xi măng đất, đầm chặt đất, hay biện pháp kết cấu như cọc bê tông cốt thép thì nhiều biện pháp mới thân thiện với môi trường hơn đang được nghiên cứu và đưa vào ứng dụng thực tế. Một trong những phương pháp đó là gia cường bằng sợi. Sợi có thể là sợi tự nhiên hoặc sợi tái chế.

Sợi tự nhiên đã được sử dụng từ lâu ở nhiều nước phát triển trong hỗn hợp xi măng - đất vì tính khả dụng và chi phí thấp [1-3]. Rowell

M. và cộng sự [4] đã đề cập đến một số yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả của sợi tự nhiên trong đất gia cố như: sợi thuộc bộ phận nào của cây, tuổi của cây cối, và cách chế biến sợi. Sợi dừa thường được nghiên cứu và sử dụng do hàm lượng lignin cao dẫn tới sự phân hủy xơ dừa diễn ra chậm hơn so với các loại sợi tự nhiên khác. Babu S, Vasudevan K. [5] cho thấy xơ dừa vẫn giữ được phần lớn độ bền kéo khi bị ướt. Nó có độ bền thấp nhưng độ giãn dài cao. Subaida A và cộng sự [6] chỉ ra rằng sự phá hủy xơ dừa phụ thuộc vào môi trường xung quanh. Nếu điều kiện khí hậu thích hợp, xơ dừa có thể giữ được 80% độ bền kéo sau 06 tháng vùi trong đất sét. Theo Chauhan S và

cộng sự [7], sợi xơ dừa ứng xử đàn hồi tốt hơn so với sợi tổng hợp và hệ số ma sát cao hơn.

Ngoài sợi xơ dừa người ta còn có thể sử dụng sợi cọ [8]. Ahmad F. và cộng sự [9] đã chỉ ra rằng hỗn hợp sợi cọ với đất cát pha bùn làm gia tăng cường độ chịu cắt. Ngoài các sợi kể trên, còn một số sợi tự nhiên khác, chẳng hạn như dăm gỗ, sợi tre, cỏ, sợi chuối, thân cây ngô, yến mạch và ống hút lạnh, sợi đay, ... trong đó, lông của người và động vật cũng được xem là sợi tự nhiên. Lưới tre và chiếu cũng được sử dụng để gia cố đất. Sợi tự nhiên có giá cả phải chăng, có khả năng chịu lực khá tốt, đặc biệt thân thiện với môi trường.

Tuy nhiên, sợi tự nhiên có một số nhược điểm về khả năng tái sản xuất và dễ bị phân hủy sinh học. Ngoài ra, hình dạng sợi không đồng nhất, kích thước khác nhau đáng kể, do đó đòi hỏi một sự chọn lọc đặc biệt. Ngoại trừ xơ dừa, hầu hết các loại sợi tự nhiên đều kém đề kháng với môi trường kiềm. Sợi tự nhiên mất dần khả năng chịu lực và các đặc điểm khác khi nằm trong đất. Tỷ lệ giảm khả năng chịu lực và các đặc tính tùy thuộc vào từng loại sợi khác nhau.

Về sợi nhân tạo, sợi tổng hợp Polypropylene (PP) có tính bền cơ học cao (bền xé và bền kéo đứt), không mềm dẻo như PE, ít bị kéo giãn dài. Sợi PP không màu không mùi, không vị, không độc. Ngoài ra sợi PP có thể được sản xuất theo thông số kỹ thuật mong muốn, hình dạng của sợi có thể được kiểm soát và điều kiện bề mặt có thể được thay đổi để tăng cường tính chất ma sát. Do các ưu điểm trên, sợi PP là loại được sử dụng rộng rãi nhất trong thử nghiệm cũng như thực tế [10 - 12]. Sợi PP được sử dụng để nâng cao độ bền của đất, giảm tính co ngót, khắc phục được sự xuống cấp hóa học và sinh học thường xảy ra với sợi tự nhiên [13-15].

Từ các thí nghiệm trên đất cát gia cường bằng sợi PP, Santoni và Webster [16], kết luận rằng kỹ thuật này có tiềm năng to lớn đối với sân bay quân sự và đường. Các thí nghiệm hiện trường cũng chỉ ra rằng cần phải cố định bề mặt bằng cách sử dụng chất kết dính như tương để ngăn chặn sự kéo sợi khi xe cộ lưu thông.

Consoli C. và cộng sự [17] đã nghiên cứu quan hệ tải trọng - độ lún trên một lớp đất cát dày đồng nhất gia cố bằng sợi PP. Kết quả cho thấy đất được gia cố giảm 20% độ lún so với đất không gia cố. Điều này chứng tỏ ứng dụng tiềm năng của sợi trong gia cố nền móng nông, kê trên đất mềm, và các công tác đào đắp khác. Cát gia cường PP đã được thử nghiệm bằng thí nghiệm nén và kéo dãn ba trục [18], sự tăng cường độ của đất phụ thuộc vào hướng sợi đối với biến dạng kéo.

Tang C, Shi B, Zhao L [19] đã khảo sát ứng xử đất gia cường sợi PP. Khả năng chống cắt của sợi/đất phụ thuộc chủ yếu vào sự ma sát và sắp xếp lại của các hạt đất, bề mặt tiếp xúc, độ nhám của bề mặt sợi và thành phần đất.

Với Sợi polyester (PET), Consoli C. và cộng sự [20] chỉ ra rằng sợi PET trong cát mịn cải thiện cả ứng suất đỉnh và ứng suất phá hoại, phụ thuộc vào hàm lượng sợi.

Ngoài sợi PP, sợi thủy tinh cũng được sử dụng để gia cường đất. Consoli C. và cộng sự [21] chỉ ra rằng sử dụng sợi thủy tinh trong bùn cát cải thiện cường độ chịu kéo. Bên cạnh đó còn có một số loại sợi khác, chẳng hạn như sợi nylon/polyamide (PA), sợi carbon, sợi thép/kim loại, ... cũng được thử nghiệm để gia cường đất. Nhìn chung, các loại sợi có thể bị ảnh hưởng bởi tia UV ở phía trên mặt đất. Dưới mặt đất, các yếu tố chính ảnh hưởng đến độ bền của sợi là kích thước hạt đất, độ axit / độ kiềm, sự hiện diện của oxy, hàm lượng nước, hàm lượng hữu cơ và nhiệt độ. Việc sử dụng cốt sợi định hướng ngẫu nhiên linh hoạt hơn gia cố bằng tấm, lưới hoặc hệ thanh.

Ranjan và cộng sự [22] đã đề xuất một mô hình dựa trên phân tích thống kê/hồi quy của dữ liệu thu được từ hơn 500 thí nghiệm nén ba trục trên đất gia cường sợi phân tán ngẫu nhiên. Mô hình này định lượng ảnh hưởng của tính chất sợi, đặc tính đất và áp lực ngang đến cường độ của đất gia cường. Biểu thức toán học của mô hình như sau:

$$\sigma_{1f} = f(p_f, a_r, f^*, f, \sigma_3) \quad (1)$$

Trong đó  $\sigma_{1f}$  là ứng suất lớn nhất tại thời điểm phá hoại của đất gia cường,  $p_f$  là hàm lượng sợi,  $a_r$  là tỷ số sợi (chiều dài sợi/ bán kính tiết diện sợi),  $f^*$  là hệ số ma sát bề mặt,  $f$  là hệ số ma sát, và  $\sigma_3$  là áp lực ngang.  $f$  và  $f^*$  được tính như sau:

$$f = \frac{c}{\sigma} + \tan\varphi \quad (2)$$

$$f^* = \frac{c_a}{\sigma} + \tan\varphi_i \quad (3)$$

Trong đó  $\sigma$  là ứng suất pháp tác dụng lên mặt phẳng cắt;  $c$  và  $\varphi$  là lực dính và góc ma sát của đất chưa gia cường;  $c_a$  là lực dính; và  $\varphi_i$  là góc ma sát bề mặt trong thí nghiệm kéo trượt của sợi.

Trong nghiên cứu này, đối tượng thực nghiệm là cát pha có hàm lượng cát lớn, hàm lượng sét chỉ chiếm 20%. Do hàm lượng sét tương đối ít, vì thế tính chất đất cũng có thể được xem gần giống với đất cát.

## 2. VẬT LIỆU THÍ NGHIỆM VÀ CHUẨN BỊ MẪU

### 2.1. Vật liệu thí nghiệm

Trong phạm vi nghiên cứu này, thí nghiệm được thực hiện dựa trên mẫu đất cát pha bao gồm 70% cát và 30% còn lại là bụi và sét (Hình 1). Thành phần đất tương đối giống như các loại đất tự nhiên tại Học Môn và Củ Chi - TP.HCM như Bảng 1.

Bảng 1: Mô tả mẫu đất

Thông số	Giá trị trung bình
Dung trọng ẩm $\gamma_w$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,07
Độ ẩm (%)	18,08
Dung trọng khô $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,75
Cát (%)	70
Đất sét (%)	20
Limon (%)	10

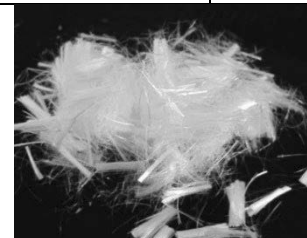
Sợi PP sử dụng trong nghiên cứu (Hình 2) có các thông số như Bảng 2. Sợi PP có 3 loại chiều dài bao gồm 10, 15, và 20mm. Các mẫu thử được chuẩn bị riêng lẻ, cân để xác định độ ẩm mục tiêu và một lượng nhỏ bổ sung so với trọng lượng yêu cầu chính xác để giảm độ ẩm dư kiến. Các mẫu thử phải được đặt trong các túi kín riêng lẻ.



Hình 1: Đất cát pha dùng thí nghiệm

Bảng 2: Mô tả tính chất sợi PP

Thông Số	Giá trị trung bình
Chiều dài (mm)	10; 15; 20
Đường kính (mm)	0,022
Độ giãn (%)	63,0
Cường độ kéo (cN/Tex)	42,00
Độ ẩm (%)	1,50



Hình 2: Sợi PP dùng để trộn mẫu

## 2.2. Chuẩn bị mẫu thí nghiệm

### Mẫu nén ba trục

Các mẫu thí nghiệm nén ba trục được nén chặt theo kích thước tiêu chuẩn bằng khuôn thép có đường kính 73 mm x 147 mm. Dùng thanh thép để nén mẫu, thanh làm cho các sợi được định hướng ngẫu nhiên. Ngay sau khi nén chặt, mẫu thử phải được ép đùn cẩn thận từ khuôn. Tính toán vẹn về kích thước của mỗi mẫu vật cần được kiểm tra bằng thước cặp. Trọng lượng của mỗi mẫu phải được đo chính xác là dung trọng khô tối đa như được xác định trong thí nghiệm đầm chặt Proctor (ASTM D 698) cũng như độ ẩm của mẫu. Sự thay đổi so với trọng lượng mục tiêu trong các mẫu được nén chặt nên được giảm thiểu càng nhiều càng tốt.

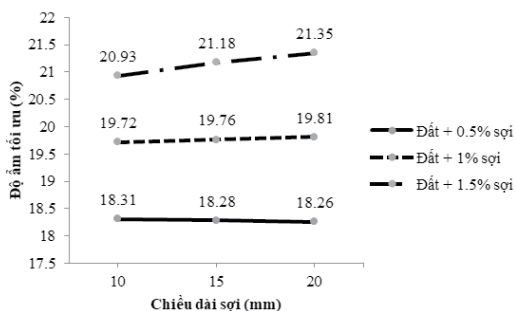
### Mẫu cắt trực tiếp

Các mẫu đất cho các thử nghiệm cắt trực tiếp được chuẩn bị giống như cách thức được mô tả cho các mẫu nén ba trục. Khuôn tạo ra kích thước mẫu cuối cùng có đường kính 64 mm x chiều cao 57 mm. Việc cho vật liệu vào khuôn và nén chặt các mẫu thử giống hệt như mẫu nén ba trục.

## 3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

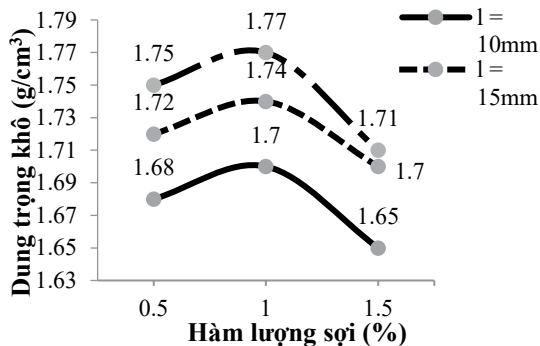
### 3.1. Thí nghiệm đầm chặt

Khảo sát sự thay đổi độ ẩm tối ưu và dung trọng khô của các mẫu gia cường sợi khi thay đổi chiều dài sợi (10 mm, 15 mm, 20 mm) và hàm lượng sợi (0,5%, 1%, 1,5%) được thể hiện trong các Hình 3, 4 và 5.



Hình 3. Quan hệ độ ẩm tối ưu - chiều dài sợi, khi hàm lượng sợi thay đổi

Khi chiều dài sợi cố định, độ ẩm tối ưu tăng lên khi hàm lượng sợi tăng. Tuy nhiên, với hàm lượng sợi 0,5%, độ ẩm tối ưu thay đổi không đáng kể khi tăng chiều dài sợi, Hình 3.

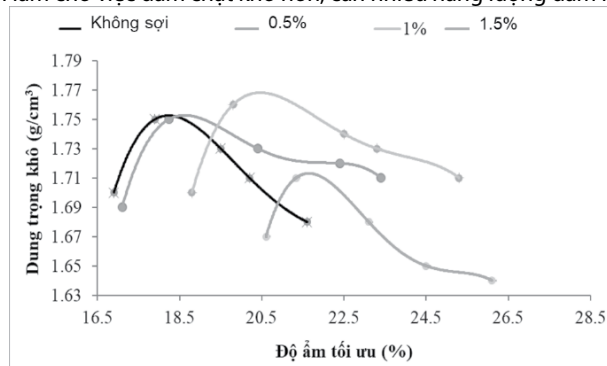


Hình 4. Quan hệ dung trọng khô - hàm lượng sợi, chiều dài sợi thay đổi

Với hàm lượng sợi cố định, dung trọng khô tăng khi tăng chiều dài sợi. Với tất cả các chiều dài sợi, khi tăng hàm lượng sợi từ 0,5 - 1% thì dung trọng khô tăng. Tiếp tục tăng hàm lượng sợi lên đến 1,5% thì dung trọng giảm, Hình 4.

Các đường cong đầm chặt của đất gia cường sợi dài 20mm và đất không gia cường được thể hiện trên Hình 5. Ta nhận thấy khi tăng hàm lượng sợi, có một sự dịch chuyển sang phải của các đường cong, tức độ ẩm tối ưu tăng lên. Có thể giải thích rằng do bề mặt tiếp xúc

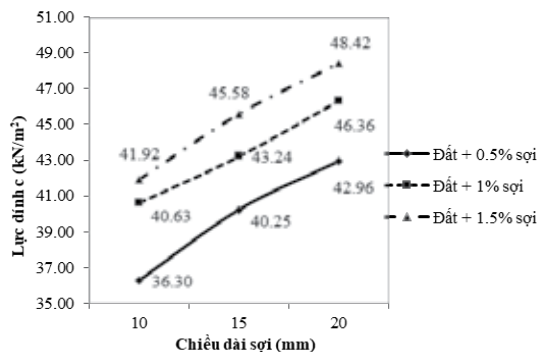
của sợi lớn, sợi có tính chất hút ẩm, do vậy độ ẩm tối ưu sẽ tăng lên khi hàm lượng sợi và chiều dài sợi tăng. Hình dạng đường cong đầm chặt của đất gia cường cũng bị thay đổi khi phần bên phải của độ ẩm tối ưu bị kéo dài ra so với đất không gia cường. Tuy nhiên khi hàm lượng sợi cao, dung trọng khô lớn nhất lại nhỏ hơn với đất chưa gia cường. Điều này do sự tính phồng lên sợi, xu hướng duỗi thẳng của sợi làm cho việc đầm chặt khó hơn, cần nhiều năng lượng đầm hơn.



Hình 5. Các đường cong đầm chặt của sợi dài 20mm với hàm lượng sợi thay đổi

### 3.2. Thí nghiệm cắt trực tiếp

Các mẫu trong thí nghiệm cắt trực tiếp được chuẩn bị như đã nêu trong mục II với dung trọng khô tối đa và độ ẩm tối ưu đã đạt được trong thí nghiệm đầm chặt. Khảo sát sự thay đổi lực dính và góc ma sát của các mẫu thí nghiệm gia cường sợi khi thay đổi chiều dài sợi (10mm, 15mm, 20mm) và hàm lượng sợi (0,5%, 1%, 1,5%) thể hiện ở Hình 6 và Hình 7.



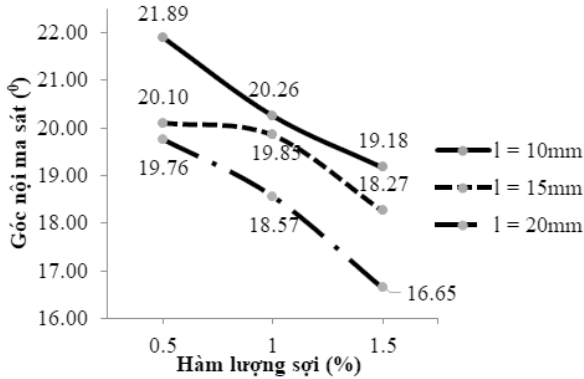
Hình 6. Quan hệ lực dính - chiều dài sợi với hàm lượng sợi thay đổi

Với hàm lượng sợi cố định, lực dính c của đất gia cường tăng lên một cách tuyến tính theo chiều dài sợi. Với cùng chiều dài sợi, lực dính c tăng khi hàm lượng sợi tăng lên. Lực dính c lớn nhất là 48,42 kN/m² khi chiều dài sợi 20mm và hàm lượng sợi 1,5%, lớn hơn gấp 9,3 lần so với đất không gia cố sợi (5,18 kN/m²). Như vậy việc có mặt của sợi gia tăng sự liên kết giữa các hạt đất, từ đó tăng cường đáng kể lực dính biểu kiến (Hình 6).

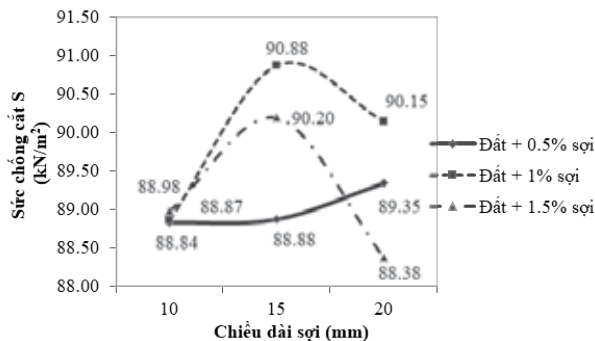
Sự thay đổi về góc ma sát trong phụ thuộc vào hàm lượng sợi và chiều dài sợi được thể hiện ở Hình 7. Ngược lại với xu hướng của lực dính, góc ma sát giảm khi hàm lượng sợi tăng lên. Lý do là khi tăng hàm lượng sợi sẽ làm giảm sự tiếp xúc trực tiếp giữa các hạt đất, trong khi ma sát giữa sợi và hạt đất nhỏ hơn ma sát giữa các hạt đất với nhau. Cùng hàm lượng sợi như nhau, góc ma sát lớn nhất khi chiều dài sợi là 10mm và nhỏ nhất khi chiều dài sợi là 20mm. Trong mọi trường hợp góc ma sát của đất gia cường vẫn lớn hơn so với đất chưa gia cường (15,5°).

Với hàm lượng sợi 0,5%, khi tăng chiều dài sợi sức chống cắt S tăng nhẹ. Tuy nhiên với hàm lượng sợi 1% và 1,5%, khi tăng chiều dài sợi từ 10mm đến 15mm, sức chống cắt S tăng; tiếp tục tăng chiều dài sợi từ 15mm lên 20mm, sức chống cắt S giảm. Khi chiều dài sợi là

10mm, sức chống cắt hầu như không phụ thuộc vào hàm lượng sợi. Hàm lượng sợi 1% và chiều dài sợi 15mm cho sức chống cắt lớn nhất 90,88 kN/m<sup>2</sup>, lớn gấp 2,1 sức chống cắt S của đất không gia cố (42,38 kN/m<sup>2</sup>). Sức chống cắt S nhỏ nhất là 88,38 kN/m<sup>2</sup> khi gia cố sợi với chiều dài 20mm, hàm lượng sợi 1,5%, Hình 8, Hình 9.

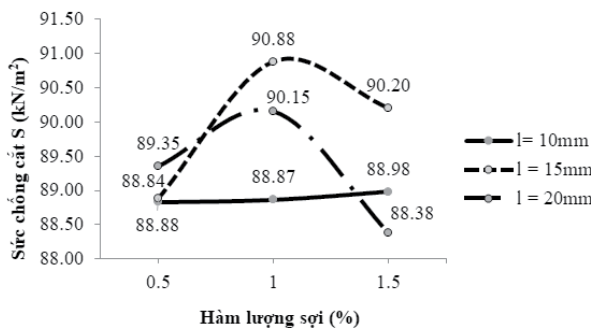


Hình 7. Quan hệ góc ma sát - hàm lượng sợi, chiều dài sợi thay đổi



Hình 8. Quan hệ sức chống cắt - chiều dài sợi, hàm lượng sợi thay đổi

Như vậy có sự lệch pha nhau giữa lực dính, góc ma sát trong và sức chống cắt của đất, ba thông số trên đạt giá trị lớn nhất tại 3 cặp giá trị (chiều dài sợi, hàm lượng sợi) khác nhau.

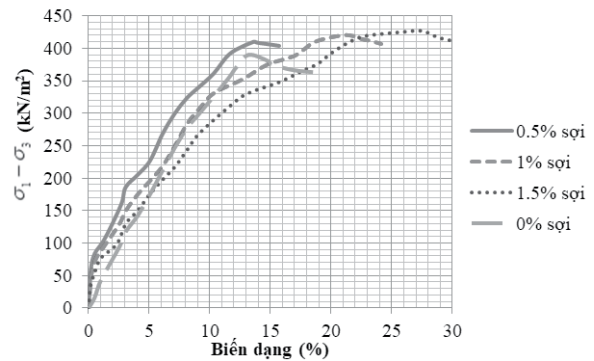


Hình 9. Sự thay đổi của sức chống cắt S dựa trên các cấp phối khác nhau của hàm lượng sợi (%)

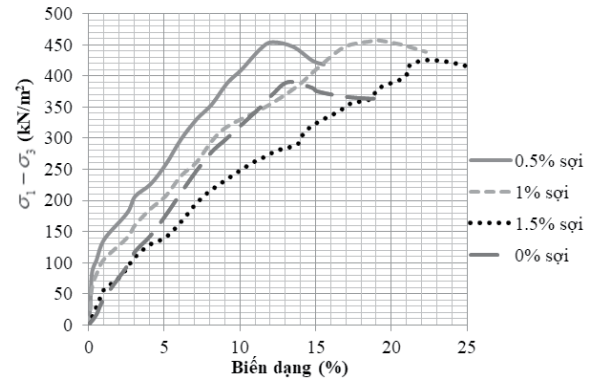
### 3.3. Thí nghiệm nén 3 trục không thoát nước (CU)

Tương tự như thí nghiệm cắt đất trực tiếp, các mẫu trong thí nghiệm nén ba trục được chuẩn bị như đã nêu trong mục II với dung trong khô tối đa và độ ẩm tối ưu đã đạt được trong thí nghiệm đầm chặt. Khảo sát sự thay đổi ứng suất lệch và biến dạng của các mẫu thí nghiệm gia cường sợi với chiều dài sợi (10 mm, 15 mm, 20 mm) và hàm lượng sợi (0,5%, 1%, 1,5%) thể hiện trong các Hình 10 đến Hình 15.

Với chiều dài sợi là 10mm khi tăng hàm lượng sợi từ 0,5% lên đến 1,5% thì ứng suất lệch tối đa tăng không đáng kể, từ 410,5 kN/m<sup>2</sup> lên 427,3 kN/m<sup>2</sup> (ứng suất lệch của đất chưa gia cường là 390 kN/m<sup>2</sup>) nhưng độ biến dạng tại đỉnh ứng suất lại tăng mạnh từ 13,63% lên 27,15% gần gấp 2 lần, Hình 10.



Hình 10. Ứng suất - biến dạng khi chiều dài sợi 10 (mm)



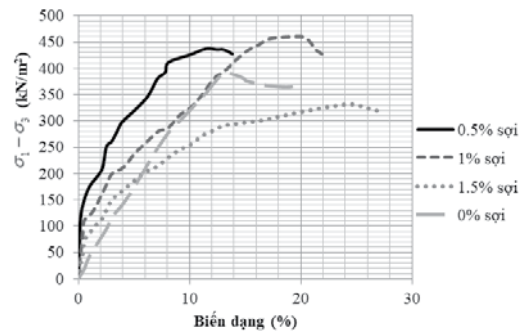
Hình 11. Ứng suất - biến dạng khi chiều dài sợi 15 (mm)

Với chiều dài sợi là 15mm, ứng suất lệch tối đa của mẫu tăng khá mạnh so với đất chưa gia cường. Nhưng khi tiếp tục tăng hàm lượng sợi trong mẫu lên 1,5% thì ứng suất lệch lại giảm so với trường hợp hàm lượng sợi là 0,5% và 1%. Khi tăng hàm lượng sợi từ 0,5% lên đến 1,5% thì độ biến dạng tại ứng suất đỉnh tăng lên gần 1,8 lần (từ 13,21% lên đến 22,1%), Hình 11.

Với chiều dài sợi 20mm, ứng suất lệch lớn nhất khi hàm lượng sợi 1% có giá trị là 460,5 kN/m<sup>2</sup>, tương ứng với biến dạng 20,1%. Với hàm lượng 1,5% ứng suất lệch giảm mạnh, thấp hơn cả mẫu chưa gia cường, Hình 12.

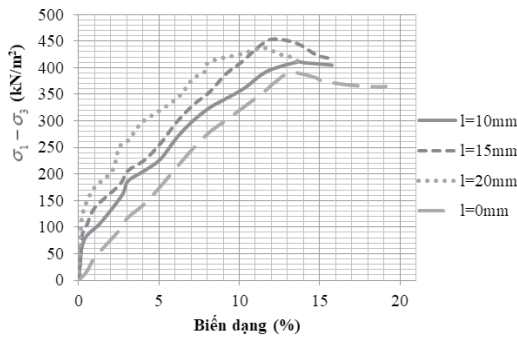
Với cùng hàm lượng sợi 0,5%, ứng suất lệch lớn nhất khi chiều dài sợi là 15mm và thấp nhất với chiều dài sợi là 10mm, Hình 13.

Với hàm lượng sợi 1%, không có sự khác biệt đáng kể của đường cong ứng suất biến dạng giữa chiều dài sợi 15mm và 20mm. Chiều dài sợi 10mm cho ứng suất lệch tối đa là nhỏ nhất, Hình 14.

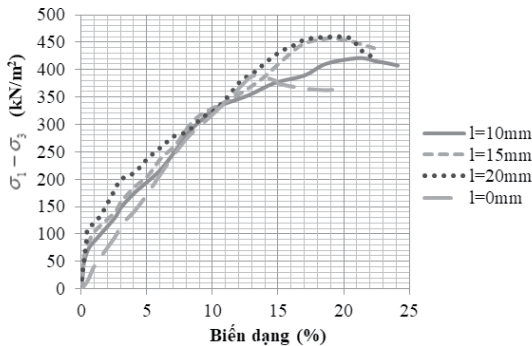


Hình 12. Ứng suất - biến dạng khi chiều dài sợi 20 (mm)

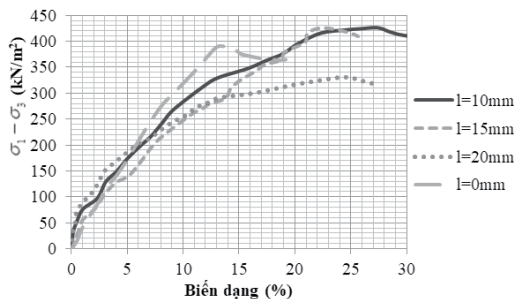
Với hàm lượng sợi 1,5%, ứng suất lệch tối đa giảm khi chiều dài sợi tăng lên, Hình 15. Trong tất cả các thí nghiệm, thí nghiệm, với hàm lượng sợi 1% và chiều dài sợi 20mm cho ứng suất lệch tối đa là lớn nhất. Ngược lại hàm lượng sợi 1,5% và chiều dài sợi 20mm cho ứng suất lệch tối đa nhỏ nhất, Hình 15.



Hình 13. Ứng suất - biến dạng khi hàm lượng sợi là 0,5%



Hình 14. Ứng suất - biến dạng khi hàm lượng sợi là 1%



Hình 15. Ứng suất - biến dạng khi hàm lượng sợi là 1,5%

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã trình bày chương trình thí nghiệm liên quan đến đất cát pha sét gia cường bằng sợi PP với chiều dài và hàm lượng sợi khác nhau. Để các thí nghiệm cho các kết quả chính xác, phản ánh đúng bản chất vật liệu là đất gia cường bằng sợi PP phân tán, cần đảm bảo sợi được phân bố một cách ngẫu nhiên theo mọi hướng của mẫu. Việc có mặt của sợi làm cho sự chuẩn bị mẫu phức tạp hơn, do vậy nghiên cứu đã đề ra quy trình chế bị mẫu một cách tỉ mỉ, từ đó đảm bảo được mục tiêu thí nghiệm.

Về tính đầm chặt, dung trọng khô lớn nhất đạt được khi sợi dài nhất 20mm với tỷ lệ sợi 1%. Dung trọng khô lớn nhất sẽ giảm khi hàm lượng sợi lớn. Khi hàm lượng sợi cao, sự co giãn của sợi cũng như ma sát bề mặt sợi - đất kém sẽ gây trở ngại cho quá trình liên kết giữa các hạt đất, từ đó làm giảm dung trọng khô lớn nhất. Ngược lại với hàm lượng sợi tối ưu (1%), sợi lại giúp tăng cường sự dính kết và cố định kết cấu đất trong quá trình đầm chặt, và đạt giá trị dung trọng khô lớn nhất.

Về thí nghiệm cắt đất trực tiếp, lực dính tăng khi chiều dài sợi và hàm lượng sợi tăng lên do sự cải thiện liên kết chịu kéo của đất bởi sự có mặt của sợi. Ngược lại, góc ma sát lại giảm khi chiều dài và hàm lượng sợi tăng. Điều này có thể giải thích là do hệ số ma sát giữa sợi và đất bé hơn giữa đất và đất. Sức chống cắt (S) lớn nhất đạt được khi

hàm lượng sợi 1% và chiều dài sợi 15mm, tức với các giá trị trung gian. Trong mọi trường hợp, sức chống cắt của đất gia cố được cải thiện đáng kể so với đất không gia cố.

Về thí nghiệm nén ba trục CU, việc gia cường sợi cải thiện cả về ứng suất lệch tối đa cũng như biến dạng ương ứng. Điều kiện để đạt ứng suất lệch tối đa và biến dạng tương ứng lớn nhất là hàm lượng sợi 1%, chiều dài sợi từ 15mm đến 20mm. Tuy nhiên, trong trường hợp sợi dài 20mm và hàm lượng sợi cao 1,5%, ứng suất lệch tối đa lại giảm đi, nhỏ hơn cả đất chưa gia cường.

Tóm lại, đất gia cường sợi PP với một tỷ lệ sợi và chiều dài sợi nhất định sẽ cải thiện dung trọng khô khi đầm chặt, sức chống cắt trong thí nghiệm cắt đất trực tiếp, và ứng suất lệch trong thí nghiệm nén ba trục. Ngược lại khi sử dụng sợi dài, hàm lượng sợi cao, sẽ dẫn đến việc giảm các thông số này, thậm chí thấp hơn so với đất chưa gia cường.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này thuộc đề tài mã số T2023-138TĐ được tài trợ bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM năm 2023.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ghavami K, Filho R, Barbosa P. Behaviour of composite soil reinforced with natural fibers. *Cement Concrete Compos*, 1999; 21:39–48.
- [2] Savastano H, Warden G, Coutts P. Brazilian waste fibers as reinforcement for cement-based composites. *Cement Concrete Compos*, 2000, 22: 379–384.
- [3] Nilsson H. Reinforcement of concrete with sisal and other vegetable fibers, Swed Council for Build Res, Document DIY, Stockholm, Sweden; 1975
- [4] Rowell M, Han S, Rowell S. Characterization and factors affecting fiber properties. *Nat Polym Agr Compos*, 2000, pp 115–134.
- [5] Babu S, Vasudevan K. Strength and stiffness response of coir fiber-reinforced tropical soil. *J Mater Civil Eng ASCE*, 2008; 20:571–577.
- [6] Subaida A, Chandrakaran E, Sankar N. Laboratory performance of unpaved roads reinforced with woven coir. *Geotext Geomembr*, 2009; 27:204–210.
- [7] Chauhan S, Mittal S, Mohanty B. Performance evaluation of silty sand subgrade reinforced with fly ash and fiber. *Geotext Geomembr*, 2008; 26:429–435
- [8] Swamy N. *New reinforced concretes*. Surry University Press; 1984
- [9] Ahmad F, Bateni F, Azmi M. Performance evaluation of silty sand reinforced with fibers. *Geotext Geomembr*, 2010; 28:93–99.
- [10] Khattak J, Alrashidi M. Durability and mechanistic characteristics of fiber reinforced soil–cement mixtures. *Int J Pav Eng*, 2006; 7:53–62.
- [11] Viswanadham S, Phanikumar R, Mukherjee V. Swelling behavior of a geofiber-reinforced expansive soil. *Geotext Geomembr*, 2009; 27:73–76.
- [12] Yetimoglu T, Salbas O. A study on shear strength of sands reinforced with randomly distributed discrete fibers. *Geotext Geomembr*, 2003; 21:103–110.
- [13] Vasudev D. Performance studies on rigid pavement sections built on stabilized sulfate soils. Msc thesis, University of Texas at Arlington; 2007.
- [14] Musenda C. Effects of fiber reinforcement on strength and volume change behavior of expansive soils. MS thesis, The University of Texas at Arlington, Arlington, Texas; 1999.
- [15] Puppala J, Musenda C. Effects of fiber reinforcement on strength and volume change behavior of expansive soils, *trans res boa*. In: 79th Annual meeting, Washington, USA; 2000.
- [16] Santoni L, Webster L. Airfields and road construction using fiber stabilization of sands. *J Trans Eng ASCE*, 2001; 127:96–104.
- [17] Consoli C, Casagrande T, Prietto M, Thome A. Plate load test on fiber reinforced soil. *J Geotech Geoenviron Eng ASCE*, 2003; 129:951–955.
- [18] Diambra A, Ibraim E, Wood M, Russell A. Fiber reinforced sands: experiments and modeling. *Geotext Geomembr*, 2010; 28:238–250.
- [19] Tang C, Shi B, Zhao L. Interfacial shear strength of fiber reinforced soil. *Geotext Geomembr*, 2010; 28:54–62.
- [20] Consoli C, Prietto M, Pasa S. Engineering behavior of a sand reinforced with plastic waste. *J Geotech Geoenviron Eng ASCE*, 2002; 128:462–472.
- [21] Consoli C, Prietto M, Ulbrich A. Influence of fiber and cement addition on behavior of sandy soil. *J Geotech Eng ASCE*, 1989; 124:1211–1214.
- [22] Ranjan G, Vasan RM, Charan HD. Probabilistic analysis of randomly distributed fiber reinforced soil. *J Geotech Eng ASCE*, 1996, 122(6):419–426