

NGHIÊN CỨU CƯỜNG ĐỘ CỦA ĐẤT CÁT TRỘN XI MĂNG GIA CƯỜNG SỢI TÁI CHẾ TỪ RÁC THẢI LƯỚI ĐÁNH CÁ

Lương Thị Bích^{a,*}, Nguyễn Sĩ Vinh^a, Nguyễn Quốc Huy^a,
Phan Trần Thanh Trúc^a, Cao Thanh Chương^a

^aKhoa Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Miền Trung, số 195 Hà Huy Tập, phường Bình Kiến, tỉnh Đắk Lắk, Việt Nam

Nhận ngày 26/02/2025, Sửa xong 07/01/2026, Chấp nhận đăng 04/02/2026

Tóm tắt

Xi măng là một trong những chất kết dính vô cơ được sử dụng phổ biến trong địa kỹ thuật, cải thiện hiệu quả cường độ của đất nền. Tuy nhiên, xi măng cũng có thể làm đất được xử lý trở nên ứng xử giòn. Bài báo này nghiên cứu sự ảnh hưởng của sợi lưới tái chế từ rác thải lưới đánh cá (WFN) lên cường độ kháng nén (UCS) và biến dạng dọc trục của đất cát gia cố xi măng để khắc phục hạn chế về tính giòn của vật liệu. Các mẫu thí nghiệm hình trụ có kích thước $H \times D = (100 \times 90)$ mm được chế tạo bằng cách sử dụng cát mịn trộn 10% xi măng PCB, và sợi lưới đánh cá thải với các hàm lượng lần lượt 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, và 6% theo khối lượng đất khô. Thí nghiệm cường độ kháng nén các mẫu tại 7, 14, và 28 ngày tuổi được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM D2166. Kết quả cho thấy việc bổ sung sợi lưới vào đất-xi măng đã làm tăng cả cường độ kháng nén và biến dạng dọc trục khi phá hoại, đồng thời chuyển đổi ứng xử của đất được xử lý từ giòn sang dẻo hơn. Hàm lượng sợi lưới tối ưu được xác định là 4%, với cường độ kháng nén sau 28 ngày đạt 1,49 MPa, cao gấp đôi so với mẫu đất-xi măng không gia cường lưới.

Từ khóa: cường độ kháng nén; đất trộn xi măng; đất gia cố sợi; lưới đánh cá.

STUDY ON THE STRENGTH OF CEMENT-STABILIZED SAND REINFORCED WITH RECYCLED WASTE FISHING NET FIBERS

Abstract

Cement is one of the most widely used inorganic binders in geotechnical engineering for improving the strength of subbase soils. However, cement can also result in the treated soils with brittle behavior. This paper investigates the effect of waste fishing net (WFN) fibers on the unconfined compressive strength (UCS) and axial strain of cement-stabilized sandy soil to mitigate the brittleness. Several cylindrical specimens with dimensions $H \times D = (100 \times 90)$ mm were created using fine sand mixed with 10% PCB cement and WFN fibers at contents of 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, and 6% by dry soil mass. Unconfined compressive strength tests were conducted at curing times of 7, 14, and 28 days in accordance with the ASTM D2166 standard. The results indicate that the addition of WFN fibers in cement-stabilized sandy soil increased both the UCS and axial strain at failure, while transforming the behavior of cement-treated sand from brittle to more ductile. The optimum WFN fiber content was identified as 4%, at which the 28-day UCS reached 1.49 MPa, approximately twice that of the unreinforced cemented sand.

Keywords: compressive strength; soilcrete; fiber reinforced soil; waste fishing net.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce2026-20\(1V\)-09](https://doi.org/10.31814/stce.huce2026-20(1V)-09) © 2026 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Giới thiệu

Công nghệ đất trộn xi măng (Soil cement mixing-SCM) hiện nay đã được áp dụng phổ biến ở nhiều nước trên thế giới cho nhiều mục đích khác nhau như gia cố đất yếu, ổn định mái dốc, làm móng mặt đường, v.v. Ưu điểm của đất trộn xi măng là tạo ra vật liệu mới có các đặc trưng cơ-hóa-lý tốt hơn đất tự nhiên như cường độ cao hơn, mô đun biến dạng lớn hơn, và hệ số thấm thấp hơn [1–4]. Tuy nhiên, xi măng cũng có thể làm tăng độ cứng và làm vật liệu ứng xử giòn [5]. Trong những năm gần đây, đất trộn xi măng gia cường thêm sợi polypropylene (PP) đã được quan tâm nghiên cứu. Khác với các vật liệu địa kỹ thuật gia cố thông thường như vải địa kỹ thuật, lưới địa kỹ thuật, v.v, sợi PP được cắt nhỏ và trộn ngẫu nhiên vào đất làm việc như cốt liệu. Thành phần sợi PP làm tăng cường độ, tăng khả năng chống cắt của hỗn hợp đất -xi măng, làm thay đổi ứng xử của đất-xi măng từ giòn trở nên dẻo hơn [6, 7]. Miller & Rifai [6] chỉ ra rằng việc gia cường sợi PP làm giảm đáng kể sự phát

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: luongthibich@muce.edu.vn (Bích, L. T.)

triển vết nứt của đất sét đầm chặt, với mức độ giảm nứt lên đến khoảng 90% so với mẫu không gia cường. Tuy nhiên, khi hàm lượng sợi tăng cao, hệ số thấm của đất có xu hướng tăng. Tang và cs. [7] đã nghiên cứu ứng xử cơ học của đất sét trộn xi măng có gia cường thêm sợi PP, kết quả cho thấy việc đưa cốt sợi PP vào đất - xi măng đã làm tăng cường độ kháng nén nở hông (UCS), cường độ kháng cắt, và biến dạng dọc trục khi phá hoại, làm giảm độ cứng, đồng thời thay đổi tính chất giòn của đất - xi măng thành tính chất dẻo hơn. Sukkarak và cs. [8] đã thêm sợi PP vào đất xốp - xi măng, kết quả cho thấy sợi PP đã làm gia tăng cường độ kháng uốn của mẫu đất. Cường độ kháng cắt của mẫu đất xốp - xi măng được gia cường thêm sợi PP cũng được nghiên cứu bởi Jiangbo và cs. [9], kết quả cho thấy cường độ kháng cắt và lực kết dính tăng, sau đó giảm khi tỷ lệ sợi tăng, đạt giá trị cực đại ở tỷ lệ gia cố 0,75%.

Rác thải biển là một trong những vấn nạn lớn trong môi trường biển. Trong số các rác thải thu thập trên bờ biển cũng như trong lòng đại dương thì rác thải lưới đánh cá đang là một mối đe dọa lớn đến hệ sinh thái biển. Lưới đánh cá chủ yếu được làm bằng nylon hoặc sợi tổng hợp không phân hủy sinh học và khi là rác thì lưới thường ở trạng thái rối hoàn toàn rất khó tách rời. Lưới bị vứt bỏ trong lòng đại dương và có thể tồn tại trong nhiều thập kỷ. Lưới làm tổn thương và giết chết nhiều sinh vật biển (Hình 1). Theo một báo cáo của tổ chức Hoà bình xanh, mỗi năm có hơn 640000 tấn lưới đánh cá hỏng bị vứt bỏ trên biển [10]. Trước vấn nạn này, toàn cầu đã có những lời kêu gọi mạnh mẽ về việc tái chế rác thải lưới đánh cá.



Hình 1. Bẫy lưới trong lòng đại dương [10]

Vùng duyên hải miền Trung Việt Nam có bờ biển dài 1400 km, trải dài từ Quảng Trị đến Bình Thuận. Đánh bắt thủy hải sản và nuôi tôm hùm là ngành kinh tế mũi nhọn, đóng góp vào nguồn thu đáng kể cho khu vực. Bên cạnh với lợi ích kinh tế thì vấn đề vứt bỏ rác thải lưới đánh cá ảnh hưởng đến môi trường biển cũng đáng kể (Hình 2). Những tấm lưới đánh cá sau một vài năm khai thác thì chúng không còn khả năng sử dụng, người dân sẽ phải tìm cách xử lý chúng và thay thế bằng loại ngư cụ khác. Một biện pháp khá nhanh gọn là vứt những tấm lưới cũ xuống biển, nhiều người dân không biết việc làm của mình đã để lại hậu quả nặng nề cho đại dương. Hiện nay, chưa có dữ liệu thống kê chính xác về lượng lưới thải ở vùng Duyên hải Miền Trung. Tuy nhiên, theo thống kê cấp quốc gia của Công ty Cổ phần Siam Brothers Việt Nam (sản xuất khoảng 40% lưới tại Việt Nam), năm 2020 tổng trọng lượng lưới làm từ nhựa polyetylen (PE) là 12629 tấn. Hàng năm, trọng lượng lưới PE được thay thế trong khai thác thủy sản là khoảng 2870 tấn [11]. Điều này cho thấy lượng lưới bị bỏ ra là đáng kể ở các vùng biển có hoạt động nghề đánh bắt thủy hải sản.

Đáp ứng với lời kêu gọi toàn cầu về việc tăng cường sử dụng vật liệu tái chế, giảm thiểu chất thải nhựa gây ô nhiễm môi trường, đặc biệt là môi trường biển. Nhiều đơn vị, cá nhân đã hướng đến việc tái chế rác thải lưới đánh cá nhưng chủ yếu chế tạo thành các sản phẩm đơn giản phục vụ đời sống

hàng ngày như túi đựng hàng hoá, vỏ bọc ghế ngồi v.v. Nhu cầu sử dụng các loại hàng hoá này không theo kịp lượng lưới bị thải ra trên biển. Vì vậy, rác thải lưới đánh cá cần được quan tâm thu gom và tái sử dụng nhiều hơn nữa. Trên cơ sở tiềm năng kỹ thuật của việc gia cố sợi vào đất-xi măng, các nghiên cứu gần đây đã tập trung khảo sát việc sử dụng các loại sợi tái chế, đặc biệt là sợi từ rác thải lưới đánh cá nhằm mang lại hiệu quả kép về mặt kỹ thuật và môi trường. Kim và cs. (2008) [5] đã nghiên cứu các tính chất cơ học của đất sét trộn xi măng gia cố sợi sử dụng từ rác thải lưới đánh cá, cho thấy mẫu đất gia cố xi măng kết hợp 0,25% sợi lưới đánh cá có cường độ kháng nén cao hơn từ 2 đến 2,5 lần so với đất chưa qua xử lý. Jinung và cs. (2023) [12] đã báo cáo rằng sự hiện diện của sợi từ lưới đánh cá trong mẫu đất xốp nhẹ trộn xi măng làm cải thiện cường độ kháng nén ở biến dạng lớn. Gần đây nhất, Nguyen và cs. (2025) [13] đã nghiên cứu đặc tính cơ học của vật liệu composite được tạo từ đất sét, tro bay, và sợi lưới đánh cá thải, kết quả cho thấy việc bổ sung sợi lưới đánh cá đã làm tăng cường độ kháng cắt và hệ số cố kết của vật liệu. Các nghiên cứu trên đã khẳng định hiệu quả của việc sử dụng sợi lưới đánh cá trong gia cường vật liệu đất – xi măng. Tuy nhiên, các nghiên cứu chủ yếu tập trung trên nền đất sét, các nghiên cứu về ảnh hưởng của lưới lên đặc trưng cơ học của đất cát trộn xi măng còn hạn chế. Vật liệu đất-xi măng gia cường sợi lưới đánh cá cần phải được mở rộng nghiên cứu thêm để có sự hiểu biết toàn diện và giúp cộng đồng mạnh dạn ứng dụng vào thực tế cho nhiều dạng công trình khác nhau. Bài báo này nỗ lực nghiên cứu đặc tính cường độ và ứng xử ứng suất-biến dạng của hỗn hợp đất cát mịn trộn xi măng có gia cường thêm sợi từ lưới đánh cá để ứng dụng làm lớp móng đường ô tô. Cường độ chịu nén của mẫu đất-xi măng gia cố sợi lưới ở các hàm lượng khác nhau được xác định và so sánh với các yêu cầu về cường độ lớp móng dưới trong kết cấu áo đường ô tô theo tiêu chuẩn TCVN 10186:2014 [14]. Nghiên cứu thành công sẽ giải quyết được bài toán vừa tái chế lưới đánh cá vừa tận dụng được nguồn đất tại chỗ ở địa phương ứng dụng trong lĩnh vực kỹ thuật xây dựng hạ tầng giao thông.



Hình 2. Rác thải lưới đánh cá tại Vịnh Vũng Rô – Đắk Lắk

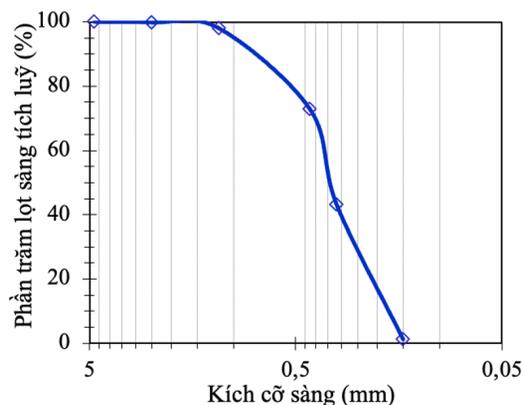
2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu thí nghiệm

Đất được sử dụng trong nghiên cứu này là đất cát san lấp được lấy tại công trình Nút giao Hùng Vương-Quốc lộ 1, thuộc phía đông tỉnh Đắk Lắk. Thành phần cấp phối hạt được xác định và thể hiện ở Hình 3. Cát có mô đun độ lớn là 1,89 được phân loại cát hạt mịn (TCVN 7570:2006 [15]).

Xi măng được sử dụng trong nghiên cứu này là xi măng Portland hỗn hợp PCB40 tuân thủ tiêu chuẩn TCVN 6260:2009 [16]. Nước dùng chế tạo mẫu đất trộn xi măng là nước sinh hoạt phù hợp tiêu chuẩn TCVN 4506:2012 [17].

Lưới đánh cá được thu thập tại cảng cá Phú Lạc, Hoà Hiệp, tỉnh Đắk Lắk (Hình 4). Lưới sau khi thu thập về phòng thí nghiệm được rửa sạch để loại bỏ các tạp chất và nước biển. Một vài thông số kỹ thuật của lưới được xác định và thể hiện ở Bảng 1. Hình 5 trình bày đường cong quan hệ giữa lực kéo và biến dạng dọc trục của các mẫu lưới khô (MK1, MK2, MK3) và lưới ướt (MU1, MU2, MU3). Lưới sau khi rửa sạch được cắt nhỏ thành mảnh để chuẩn bị cho chế tạo mẫu. Theo Ang & Loehr (2003) [18], để hạn chế ảnh hưởng của điều kiện biên, đối với mẫu có đường kính 10 cm, chiều dài sợi lưới được khuyến nghị nên nhỏ hơn 4 cm. Trong nghiên cứu này, chiều dài lưới được thử nghiệm từ 2 cm đến 2,5 cm cho mẫu có đường kính 9 cm.



Hình 3. Đường cong cấp phối hạt của cát



(a) Tấm lưới



(b) Sợi lưới được cắt dài 2-2,5 cm

Hình 4. Lưới đánh cá

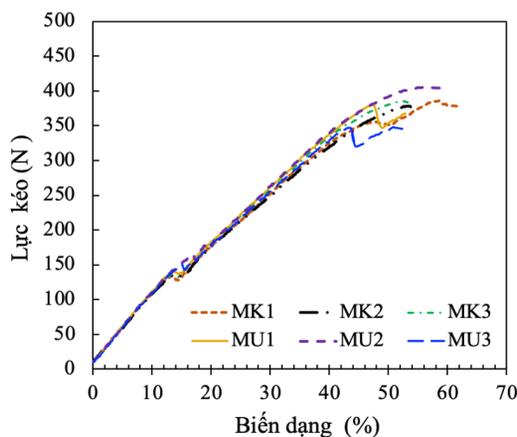
Bảng 1. Thông số của lưới đánh cá

Loại vật liệu	Số lượng sợi đơn	Đường kính sợi lưới (mm)	Cường độ chịu kéo (MPa)	Độ giãn dài (%)
HDPE	24	1,5	220	53

2.2. Chuẩn bị mẫu

Theo tiêu chuẩn TCVN 10186:2014 [14], hàm lượng xi măng sử dụng thông thường trong hỗn hợp cát gia cố xi măng cho móng mặt đường ô tô dao động từ 6-12% tùy thuộc vào loại cát. Trong nghiên cứu này, với đất cát mịn được gia cố bằng 10% xi măng và bổ sung thêm sợi lưới có chiều dài từ 2 cm đến 2,5 cm ở các hàm lượng lần lượt 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, và 6% để chế tạo mẫu thí

nghiệm. Hàm lượng xi măng, hàm lượng lưới được định nghĩa là tỷ lệ phần trăm khối lượng xi măng hoặc khối lượng lưới trên khối lượng đất khô. Các mẫu được chế tạo bằng khuôn nhựa PVC dạng hình trụ tròn có kích thước $H \times D = (100 \times 90)$ mm (Hình 6) theo phương pháp Proctor cải tiến tuân thủ theo tiêu chuẩn TCVN 10186:2014 [14]. Độ ẩm tốt nhất của hỗn hợp đất-xi măng (10%) được xác định bằng thí nghiệm đầm nén tiêu chuẩn đạt 13,7% tương ứng tỷ lệ nước/xi măng (w/c) = 1/1,5. Các thông số vật liệu chế tạo mẫu đất-xi măng-lưới được trình bày ở Bảng 2. Quy trình chế tạo mẫu được thực hiện ở Hình 7 với trình tự như sau: (1) Mẫu đất cát thu thập về phòng thí nghiệm được phơi khô dưới nắng tự nhiên; (2) cát khô trộn với xi măng khô và lưới theo khối lượng đã xác định trong 5 phút; (3) nước với khối lượng tính toán theo tỉ lệ $w/c = 1/1,5$ được thêm vào hỗn hợp trên tiếp tục trộn đều trong 5 phút để đạt hỗn hợp ở độ ẩm tốt nhất đảm bảo cho quá trình đúc mẫu đạt hiệu quả đầm nén cao nhất; (4) hỗn hợp đất-xi măng-lưới lần lượt được cho vào khuôn thành 5 lớp, mỗi lớp được đầm 25 lần bằng chày Proctor cải tiến; (5) các mẫu sau đó được bịt kín bằng nilông, dán nhãn, và bảo dưỡng trong điều kiện nhiệt độ phòng đến các ngày tuổi thí nghiệm là 7, 14, và 28 ngày.



Hình 5. Đường cong quan hệ giữa lực kéo và biến dạng của lưới

Bảng 2. Khối lượng vật liệu chế tạo mẫu

Tên mẫu	Hàm lượng xi măng (%)	Hàm lượng lưới (%)	Khối lượng đất khô (g)	Khối lượng xi măng (g)	Khối lượng lưới (g)	Khối lượng nước (g)	Số lượng mẫu	Ngày bảo dưỡng (ngày)
L0.7	10%	-	3000	300	-	452.1	3	7
L0.14	10%	-	3000	300	-	452.1	3	14
L0.28	10%	-	3000	300	-	452.1	3	28
L1.7	10%	1%	3000	300	30	452.1	3	7
L1.14	10%	1%	3000	300	30	452.1	3	14
L1.28	10%	1%	3000	300	30	452.1	3	28
L2.7	10%	2%	3000	300	60	452.1	3	7
L2.14	10%	2%	3000	300	60	452.1	3	14
L2.28	10%	2%	3000	300	60	452.1	3	28
L3.7	10%	3%	3000	300	90	452.1	3	7
L3.14	10%	3%	3000	300	90	452.1	3	14
L3.28	10%	3%	3000	300	90	452.1	3	28
L4.7	10%	4%	3000	300	120	452.1	3	7
L4.14	10%	4%	3000	300	120	452.1	3	14
L4.28	10%	4%	3000	300	120	452.1	3	28
L5.7	10%	5%	3000	300	150	452.1	3	7
L5.14	10%	5%	3000	300	150	452.1	3	14
L5.28	10%	5%	3000	300	150	452.1	3	28

Tên mẫu	Hàm lượng xi măng (%)	Hàm lượng lưới (%)	Khối lượng đất khô (g)	Khối lượng xi măng (g)	Khối lượng lưới (g)	Khối lượng nước (g)	Số lượng mẫu	Ngày bảo dưỡng (ngày)
L6.7	10%	6%	3000	300	180	452.1	3	7
L6.14	10%	6%	3000	300	180	452.1	3	14
L6.28	10%	6%	3000	300	180	452.1	3	28



Hình 6. Khuôn chế tạo mẫu



(a) Cát khô



(b) Xi măng



(c) Lưới được cắt nhỏ



(d) Trộn hỗn hợp đất-xi măng-lưới



(e) Đúc mẫu



(f) Bảo dưỡng mẫu

Hình 7. Quy trình chế tạo mẫu đất-xi măng-lưới

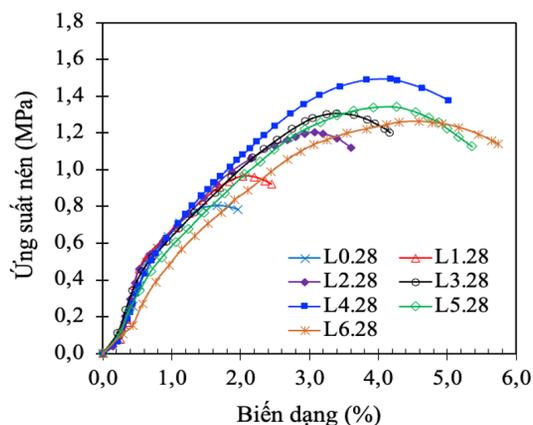
2.3. Thiết bị thí nghiệm

Cường độ kháng nén một trục nở hông tự do của các mẫu xi măng-đất-lưới được xác định bằng thiết bị nén một trục Humboldt HM-3000 (Hình 8) tuân theo tiêu chuẩn ASTM D2166 [19]. Tốc độ

nén nhỏ hơn 1 mm/phút. Cường độ các mẫu được xác định tại 7, 14, và 28 ngày tuổi. Giá trị cường độ được xác định trung bình từ 3 mẫu thí nghiệm.



Hình 8. Thiết bị nén Humboldt HM-3000



Hình 9. Đường cong ứng suất - biến dạng dọc trục của các mẫu đất-xi măng-lưới với các hàm lượng khác nhau tại 28 ngày tuổi

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Quan hệ ứng suất - biến dạng dọc trục

Đường cong quan hệ giữa ứng suất nén và biến dạng dọc trục của các mẫu đất cát - xi măng trộn với sợi lưới đánh cá cắt nhỏ ở các hàm lượng khác nhau tại 28 ngày tuổi được trình bày ở Hình 9. Kết quả cho thấy ứng suất nén của tất cả các mẫu tăng dần khi biến dạng dọc trục tăng đến một giá trị đỉnh nhất định. Sau khi đạt giá trị ứng suất đỉnh, ứng suất nén giảm với biến dạng tiếp tục tăng và mẫu bị phá hoại. Đối với mẫu không có lưới (L0.28), đường cong ứng suất - biến dạng thể hiện xu hướng của vật liệu giòn, ứng suất đạt giá trị đỉnh ở biến dạng nhỏ 1,66%. Đối với mẫu được gia cường sợi lưới với hàm lượng từ 1% đến 4% (L1.28, L2.28, L3.28, L4.28), độ dốc ban đầu của các đường cong ứng suất - biến dạng của các mẫu tương đối tương đồng (Hình 9), cho thấy độ cứng ban đầu của vật liệu không bị ảnh hưởng đáng kể bởi hàm lượng sợi. Tuy nhiên, khi hàm lượng sợi tăng, cả ứng suất đỉnh và biến dạng dọc trục tại đỉnh đều có xu hướng tăng. Biến dạng dọc trục tại cường độ đỉnh của các mẫu cát trộn xi măng gia cường sợi lưới từ 1%, 2%, 3%, và 4% lần lượt là 2,03%, 2,93%, 3,35%, và 4,15%. Kết quả cho thấy, các mẫu đất xi măng có gia cường thêm sợi lưới chịu được biến dạng lớn hơn trước khi phá hoại hoàn toàn so với mẫu không gia cường. Khi hàm lượng lưới vượt quá 4% (L5.28, L6.28), đường cong ứng suất - biến dạng trở nên thoải hơn, thể hiện sự giảm nhẹ về độ cứng ban đầu. Ứng suất đỉnh giảm nhưng biến dạng dọc trục tại đỉnh tiếp tục tăng lên, với mẫu có 5% và 6% sợi lưới lần lượt đạt biến dạng 4,26% và 4,6%. Những kết quả này chỉ ra rằng đất cát trộn xi măng gia cố thêm sợi lưới đánh cá có xu hướng dẻo hơn so với mẫu đất chỉ trộn xi măng. Kết quả tương đồng với công bố một số tác giả như Jinung Do và cs. [12], Omine và cs. [20].

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng lưới lên cường độ kháng nén đất-xi măng

Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của các kết quả thí nghiệm về cường độ kháng nén của các mẫu đất cát trộn 10% xi măng gia cường sợi lưới với các hàm lượng sợi khác nhau và thời gian bảo dưỡng khác nhau được trình bày ở Bảng 3. Kết quả thí nghiệm này cũng được biểu diễn ở Hình 10. Kết quả cho thấy xu hướng thay đổi cường độ kháng nén theo hàm lượng sợi tương đối nhất quán ở các ngày tuổi. Đáng chú ý, cường độ tất cả các mẫu có gia cường sợi lưới tại các ngày tuổi như 7 ngày (0,62 đến 1,12 MPa), 14 ngày (0,72 đến 1,27 MPa), và 28 ngày (0,85 đến 1,49 MPa) đều lớn hơn

cường độ của mẫu không gia cường sợi lưới theo các ngày tuổi tương ứng (0,47; 0,54 và 0,74 MPa). Tuy nhiên, mức độ gia tăng cường độ kháng nén không tỷ lệ thuận với hàm lượng sợi. Khi hàm lượng sợi lưới trong mẫu nhỏ hơn 4%, cường độ kháng nén của mẫu tăng theo hàm lượng sợi. Trong nghiên cứu này, sự cải thiện tốt nhất đạt được ở mẫu chứa 4% sợi lưới, với cường độ kháng nén ở 28 ngày đạt 1,49 MPa cao gấp hai lần so với mẫu không có lưới. Khi hàm lượng sợi tiếp tục tăng lên 5% và 6%, cường độ kháng nén có xu hướng giảm nhẹ, lần lượt còn 1,37 MPa và 1,28 MPa. Kết quả này cho thấy việc bổ sung sợi lưới ở hàm lượng hợp lý giúp tối ưu hóa khả năng chịu lực của vật liệu. Lưới là vật liệu có khả năng chịu kéo được phân bố ngẫu nhiên đồng đều trong hỗn hợp đất-xi măng, lực liên kết và ma sát giữa sợi lưới với hỗn hợp đất-xi măng đã làm tăng cường độ của hỗn hợp. Ngoài ra, các sản phẩm thủy hoá xi măng dính kết bao bọc quanh sợi lưới làm hạn chế sự di chuyển của sợi dẫn đến tăng hiệu quả gia cố. Tang và cs. (2007) [7], Ouyang và cs. (2022) [21], và Mahyar & Hamed (2020) [22] đã có kết quả nghiên cứu tương tự. Đất cát hạt lớn trộn xi măng có cường độ lớn hơn 1 MPa đã được chấp nhận làm lớp móng trong kết cấu áo đường ô tô [14]. Tuy nhiên, cát mịn nếu chỉ trộn xi măng hàm lượng 10% thì cường độ kháng nén tại 28 ngày tuổi là 0,74 MPa, không đáp ứng được yêu cầu vật liệu làm lớp móng đường ô tô. Kết quả nghiên cứu này cho thấy việc bổ sung cốt sợi tái chế từ rác thải lưới đánh cá đã làm tăng cường độ mẫu đất-xi măng và có thể ứng dụng làm lớp móng đường ô tô.

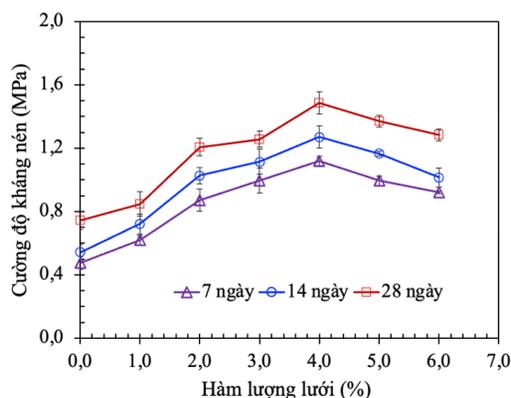
Bảng 3. Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn kết quả thí nghiệm cường độ kháng nén của các mẫu đất-xi măng-lưới tại các ngày tuổi khác nhau

Tên mẫu	Hàm lượng lưới (%)	Cường độ kháng nén (MPa)					
		7 ngày		14 ngày		28 ngày	
L0	0	0,47	(0,06)	0,54	(0,06)	0,74	(0,07)
L1	1	0,62	(0,08)	0,72	(0,08)	0,85	(0,09)
L2	2	0,87	(0,08)	1,03	(0,06)	1,21	(0,07)
L3	3	0,99	(0,10)	1,11	(0,09)	1,26	(0,06)
L4	4	1,12	(0,12)	1,27	(0,09)	1,49	(0,10)
L5	5	0,99	(0,10)	1,17	(0,02)	1,37	(0,04)
L6	6	0,92	(0,11)	1,01	(0,07)	1,28	(0,04)

Ghi chú: L0 đến L6 lần lượt biểu thị các mẫu chứa hàm lượng sợi lưới WFN từ 0% đến 6%; các giá trị trong ngoặc đơn là độ lệch chuẩn.

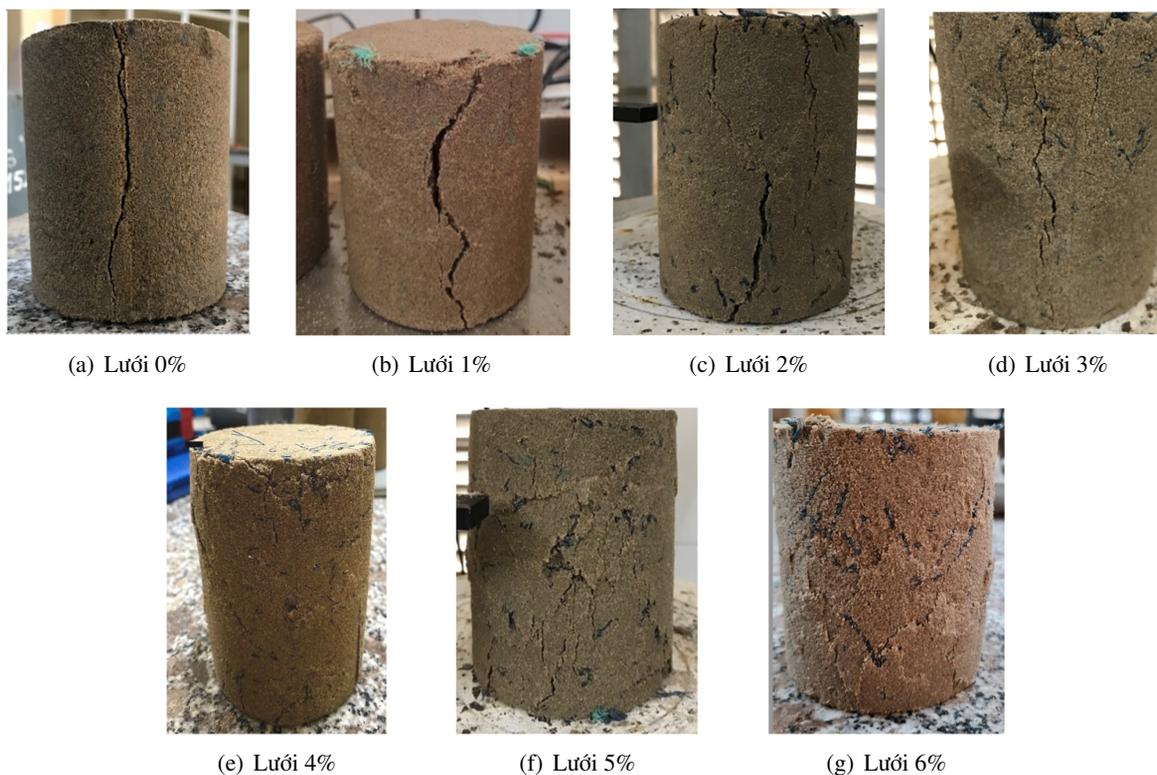
3.3. Ảnh hưởng của hàm lượng lưới lên đặc điểm phá hoại của mẫu đất-xi măng

Hình ảnh mẫu tại thời điểm phá hoại khi thực hiện thí nghiệm nén của các mẫu đất-xi măng-lưới được chụp lại ở Hình 11. Đất cát trộn xi măng thể hiện ứng xử giòn với vết nứt rộng và kéo dài từ đầu đến cuối mẫu vật (Hình 11(a)). Khi hàm lượng lưới gia cố là 1% thì hiệu quả gia cố không đáng kể (Hình 11(b)). Trong khi đó, Hình 11(c), (d), (e), (f), (g) cho thấy các vết nứt hẹp và ngắn dần khi hàm lượng lưới tăng lên. Các sợi lưới đóng vai trò như “cầu nối” liên kết các thớ đất với nhau, làm cản trở



Hình 10. Cường độ kháng nén của các mẫu đất-xi măng-lưới theo các hàm lượng lưới khác nhau

sự mở rộng vết nứt trong mẫu. Kết quả này cho thấy việc bổ sung sợi lưới vào hỗn hợp đất xi măng làm cho hỗn hợp làm việc dẻo hơn và mức độ dẻo tăng theo hàm lượng lưới. Các đặc điểm phá hoại này phù hợp ứng xử ứng suất-biến dạng dọc trục của các mẫu được thể hiện ở Hình 9.



Hình 11. Đặc điểm phá hoại của các mẫu đất-xi măng-lưới theo các hàm lượng lưới khác nhau

4. Kết luận

Khoảng 50 mẫu đất-xi măng-lưới được chế tạo trong phòng thí nghiệm từ đất cát mịn trộn với xi măng PCB40 hàm lượng 10% và sợi lưới đánh cá dài từ 2 cm đến 2,5 cm tại các hàm lượng lần lượt 0, 1, 2, 3, 4, 5, và 6%. Ảnh hưởng của sợi lưới lên cường độ, mối quan hệ ứng suất-biến dạng dọc trục, và đặc điểm vết nứt khi bị phá hoại của các mẫu đất gia cố xi măng được nghiên cứu thông qua thí nghiệm xác định cường độ kháng nén một trục nở hông tự do. Một vài kết luận được rút ra từ các thí nghiệm. Cốt sợi từ rác thải lưới đánh cá đã làm tăng cường độ kháng nén nở hông và biến dạng dọc trục khi phá hoại của đất trộn xi măng. Mức độ gia tăng cường độ kháng nén không tỷ lệ thuận với hàm lượng sợi. Hàm lượng cốt sợi càng tăng thì cường độ mẫu tăng đến một giá trị nhất định sau đó giảm nếu tiếp tục tăng hàm lượng sợi. Hàm lượng sợi tối ưu là 4% khi gia cường cho đất cát trộn 10% xi măng. Cốt sợi phân bố ngẫu nhiên trong hỗn hợp đất xi măng làm ngăn cản sự phát triển vết nứt khi chịu lực và làm suy giảm ứng xử giòn của đất-xi măng. Sự kết hợp giữa xi măng và sợi rời rác có thể được xem là phương pháp hiệu quả để cải tạo đất trong ứng dụng làm móng đường ô tô.

Kết quả nghiên cứu cho thấy sợi tái chế từ rác thải lưới đánh cá là vật liệu gia cường tiềm năng và thân thiện với môi trường cho đất gia cố xi măng. Trong nghiên cứu này mới chỉ khảo sát về cường độ kháng nén cho một loại đất cát mịn trộn với một hàm lượng xi măng cố định. Các nghiên cứu tiếp theo nên xem xét ảnh hưởng của hàm lượng xi măng, chiều dài sợi, và cơ chế liên kết vi mô trong vật liệu đến khả năng làm việc lâu dài của vật liệu đất-xi măng-lưới.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính và thiết bị thí nghiệm của trường Đại học Xây dựng Miền Trung.

Tài liệu tham khảo

- [1] Kitazume, M., Terashi, M. (2013). *The Deep Mixing Method*. CRC Press, Balkema, Netherlands.
- [2] Luong, T. B., Tran-Nguyen, H.-H. (2023). *Strength, permeability, and microstructure of cement treated dredging sand*. *Geotechnical and Geological Engineering*, 42:991–1007.
- [3] Hùng, N. S., Thạch, V. H. (2019). *Gia cường nông đất yếu có cát san lấp bằng cọc xi măng - đất*. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXD*, 13(4V):159–168.
- [4] Bích, L. T., Hoàng-Hùng, T. N. (2022). *Nghiên cứu vi cấu trúc lý giải sự giảm hệ số thấm của đất cát san lấp trộn xi măng*. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXD*, 16(3V):116–127.
- [5] Kim, Y. T., Kim, H. L., Lee, G. H. (2008). *Mechanical behavior of light soil reinforced with waste fishing net*. *Geotextiles and Geomembranes*, 26:512–518.
- [6] Miller, C. J., Rifai, S. (2004). *Fiber Reinforcement for Waste Containment Soil Liners*. *Journal of Environmental Engineering*, 130(8):891–896.
- [7] Tang, C., Shi, B., Gao, W., Chen, F., Cai, Y. (2007). *Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil*. *Geotextiles and Geomembranes*, 25(3):194–202.
- [8] Sukkarak, R., Jongpradist, P., Jamsawang, P., Sukontasukkul, P., Chindaprasirt, P. (2019). *Effect of Polypropylene Fiber on the Flexural Strength Properties of Lightweight Foam Mixed Soil*. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1–12.
- [9] Jiangbo, X., Yongzhen, L., Yuanzhi, W., Changgen, Y., Liujun, Z., Lihua, Y., Xiaohua, Y., Youqiang, Q., Hengxing, L. (2021). *Triaxial Axis Shear Mechanical Properties of Fiber-Reinforced Foamed Lightweight Soil*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(4):04021047.
- [10] Thủy sản Việt Nam (2024). *Lưới ma - "sát thủ" của hệ sinh thái biển*. Truy cập ngày 31/12/2024.
- [11] Sơn, N. N., Lập, Đ. X. (2023). *Rác thải nhựa trong khai thác thủy sản tại Việt Nam: Thực trạng và giải pháp*. *Tạp chí Môi trường*, (12/2023).
- [12] Do, J., Kim, S.-B., Han, T.-H., Yoon, G.-L. (2023). *Behavior of lightweight-foamed soil reinforced by waste fishing net and its design guideline*. *Marine Georesources & Geotechnology*, 41(11):1299–1308.
- [13] Nguyen, T. P. L., Nguyen, V. N., Tran, T. D., Nguyen, B. P. (2025). *Investigation of Compressibility and Shear Strength Behavior of Soft Soil Stabilized by Bottom Ash and Waste Fishing Net*. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 12(39).
- [14] TCVN 10186:2014. *Móng cát gia cố xi măng trong kết cấu áo đường ô tô - Thi công và nghiệm thu*. Bộ khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [15] TCVN 7570:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [16] TCVN 6260:2009. *Xi măng Poóc lăng hỗn hợp - yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [17] TCVN 4506:2012. *Nước cho bê tông và vữa - yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [18] Ang, E. C., Loehr, J. E. (2003). *Specimen Size Effects for Fiber-Reinforced Silty Clay in Unconfined Compression*. *Geotechnical Testing Journal*, 26(2):191–200.
- [19] ASTM D2166:2013. *Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil*. American Society for Testing and Materials.
- [20] Omine, K., Ochiai, H., Yasufuku, N., Kobayashi, T., Takayama, E. (2006). *Strength properties of air-formed lightweight soils with various types of short fibers*. *Geosynthetics, J. Kuwano & J. Koseki (eds)*, Rotterdam, 1659–1662.
- [21] Ouyang, W., Wang, N., Yang, M., Yu, Z., Zhang, F., Meng, L., Yang, Y., Lv, X. (2022). *Experimental Investigation on Microhydration and Micromechanical Properties of Cement-Sandy Soil Mixtures Reinforced with Cotton/linen-blended Fiber*. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1–11.
- [22] Arabani, M., Hassanikhah, H. (2020). *The Effect of Polymeric Fibers on the Mechanical Properties of Cement-Stabilized Clay Soils in Northern Iran*. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 14(5):557–568.