

## ẢNH HƯỞNG CỦA CỐT LIỆU CAO SU ĐẾN TÍNH CHẤT CƠ LÝ CỦA CẤP PHỐI ĐÁ DẦM-CAO SU GIA CỐ XI MĂNG

Phạm Ngọc Phương<sup>a,\*</sup>, Lê Minh Trung<sup>a</sup>, Huỳnh Huy Hoàng<sup>a</sup>, Trần Thị Thu Thảo<sup>a</sup>,  
Nguyễn Thanh Cường<sup>a</sup>, Lê Đức Châu<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Khoa Xây dựng Cầu đường, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng,  
54 đường Nguyễn Lương Bằng, phường Liên Chiểu, Đà Nẵng, Việt Nam

Nhận ngày 13/9/2021, Sửa xong 11/10/2021, Chấp nhận đăng 28/10/2021

### Tóm tắt

Vật liệu xi măng có sử dụng cốt liệu cao su nghiền từ lốp xe phế thải đã được chứng minh có khả năng ứng dụng trong xây dựng đường. Bài báo trình bày các thí nghiệm xác định các tính chất cơ lý của cấp phối đá dầm-cao su ( $D_{max} = 25$ ) gia cố xi măng (4%) trong đó cốt liệu cao su được sử dụng để thay thế 0%, 10%, 25% và 50% lượng cốt liệu có thành phần hạt từ 0,425 mm đến 9,5 mm. Mô hình thí nghiệm mô đun đàn hồi đề xuất (có hiệu chỉnh so với TCVN 9843:2013) cho kết quả phù hợp với các mô hình ước lượng mô đun đàn hồi của cấp phối đá dầm gia cố xi măng đối chứng. Kết quả thí nghiệm cho thấy có sự suy giảm cường độ chịu nén, ép chẻ và mô đun đàn hồi của cấp phối đá dầm-cao su gia cố xi măng. Do đó, để đảm bảo yêu cầu cường độ và khả năng đầm nén, kiến nghị không nên thay thế hơn 25% cốt liệu cao su đối với cấp phối đá dầm gia cố xi măng nói trên. Tuy nhiên, khả năng hạn chế co ngót của cấp phối đá dầm-cao su gia cố xi măng được cải thiện, góp phần tăng độ bền và khả năng kháng nứt do co ngót của cấp phối đá dầm gia cố xi măng.

*Từ khoá:* vật liệu xi măng cao su; cấp phối đá dầm; cấp phối đá dầm-cao su gia cố xi măng; mô đun đàn hồi; co ngót; nứt do co ngót.

### EFFECT OF RUBBER AGGREGATES ON ENGINEERING PROPERTIES OF RUBBERIZED CEMENT-TREATED BASE MATERIALS

#### Abstract

Rubberized cement-based composites exhibited potential pavement materials for pavement constructions. This paper presents experiments to determine engineering properties of cement-treated base aggregates (type  $D_{max}25$ , 4% in cement content), in which rubber aggregates were used to replace 0%, 10%, 25% and 50% of granular composition from 0.425 mm to 9.5 mm. The modulus of elasticity test with few adjustments compared to TCVN 9843: 2013 gives a consistent results with the ones from the models for elastic modulus estimation of the control cement-treated aggregates. The experimental results showed a decrease in compressive and splitting tensile strengths, and modulus of elasticity when rubber aggregates were used. Therefore, as for required strengths and compaction capacity, it is recommended that rubber aggregates content should be not exceeded 25% in the cement-treated base materials. However, low dry shrinkage of rubberized cement-treated base aggregates was observed, contributing to improved durability and shrinkage cracking resistance of cement-stabilized bases.

*Keywords:* rubberized cement-based materials; graded aggregates; rubberized cement-treated base aggregates; modulus of elasticity; dry shrinkage; shrinkage cracking.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2021-15\(7V\)-07](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(7V)-07) © 2021 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [pnphuong@dut.udn.vn](mailto:pnphuong@dut.udn.vn) (Phương, P. N.)

## 1. Đặt vấn đề

Lớp móng cấp phối đá dăm (CPDD) gia cố xi măng phù hợp với đường có lưu lượng tải trọng xe lớn và kết cấu áo đường làm việc trong điều kiện chế độ thủy nhiệt bất lợi. Tuy nhiên, do khả năng kháng nứt hạn chế của vật liệu CPDD gia cố xi măng, lớp móng này thường xuất hiện nứt do co ngót sau khi thi công. Sau đó, các vết nứt này có thể phát triển và lan dần lên các lớp mặt ở phía trên, gây ra hiện tượng nứt phản ánh ở mặt đường [1]. Vấn đề này đã xảy ra ở móng đường cao tốc Đà Nẵng – Quảng Ngãi hoặc một số đường cải tạo trong khu vực nội thành Đà Nẵng.

Việc thay thế một phần cốt liệu trong vật liệu xi măng bằng cốt liệu cao su nghiền từ lốp xe phế thải được cho là tăng khả năng kháng nứt cho vật liệu xi măng [1, 2]. Cốt liệu cao su nghiền từ lốp xe cũ đã được nghiên cứu sử dụng làm lớp móng đường đá dăm gia cố xi măng [3–6] hoặc đất gia cố xi măng [7]. Đối với đá dăm gia cố xi măng, việc sử dụng cốt liệu cao su phế thải có tính đàn hồi cao được nhận định là sẽ tăng cường khả năng chống nứt do co ngót [6, 8, 9] và hạn chế hiện tượng nứt phản ánh từ lớp móng gia cố xi măng lên tầng mặt của kết cấu áo đường. Tuy nhiên, hiện có rất ít các nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của cốt liệu cao su đến các tính chất cơ lý của CPDD gia cố xi măng [4]. Farhan và cs. [4, 5] chỉ ra rằng, việc sử dụng cốt liệu cao su trong CPDD gia cố xi măng sẽ hiệu quả hơn so với việc sử dụng cốt liệu này trong vật liệu bê tông nhựa do chiều dày của các lớp vật liệu có nhựa thường nhỏ và chỉ chi xây dựng lớp mặt đường nhựa thường cao hơn nhiều so với lớp móng gia cố xi măng. Hơn nữa, sử dụng cốt liệu cao su trong bê tông nhựa có thể dẫn đến ô nhiễm môi trường do cao su nóng chảy khi đun nóng hỗn hợp ở nhiệt độ cao khi sản xuất bê tông nhựa. Các tính chất cơ lý của CPDD gia cố xi măng đối sánh (không sử dụng cốt liệu cao su) và các hỗn hợp vật liệu tương tự khác trong đó thành phần hạt 6 mm được thay thế bằng cốt liệu cao su với cùng kích thước với các hàm lượng khác nhau theo thể tích 15%, 30% và 45% đã được Farhan và cs. [4, 5] khảo sát. Các hỗn hợp gia cố được thí nghiệm có hàm lượng xi măng và nước được cố định lần lượt là 5% và 4,6%. Kết quả thí nghiệm cho thấy sự suy giảm về cường độ chịu uốn và cường độ chịu kéo trực tiếp của CPDD gia cố xi măng có sử dụng cao su [4, 5]. Tuy nhiên, khả năng chịu biến dạng của vật liệu đá dăm-cao su gia cố xi măng cao hơn nhiều so với cấp phối đối sánh. Do ảnh hưởng của hàm lượng cao su đến khả năng đầm nén, Farhan và cs. [4] kiến nghị không nên sử dụng nhiều cốt liệu cao su để đảm bảo cường độ của CPDD-cao su gia cố xi măng.

Nghiên cứu này tập trung khảo sát thực nghiệm các tính chất cơ lý cơ bản của vật liệu CPDD-cao su gia cố xi măng, đánh giá kiểm tra sự phù hợp của vật liệu này làm lớp móng trong kết cấu mặt đường. Đặc biệt bước đầu khảo sát tính co ngót khô của loại vật liệu này và so sánh với cấp phối không sử dụng cao su. Đây là tiền đề cho các nghiên cứu xa hơn như độ bền, khả năng kháng nứt của vật liệu CPDD-cao su gia cố xi măng trong tương lai. Đề tài cũng góp phần thúc đẩy sử dụng cốt liệu cao su trong xây dựng đường, góp phần giảm thiểu tác động môi trường do lốp xe cao su phế thải gây ra.

## 2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

### 2.1. Vật liệu

CPDD loại 1  $D_{max} = 25$  mm lấy tại mỏ Phú Mỹ Hòa, Đà Nẵng, có thành phần hạt thể hiện ở Hình 1, có khối lượng riêng  $\gamma_d = 2,7 \text{ g/cm}^3$  và các tính chất khác đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật của cốt liệu sử dụng cho CPDD gia cố xi măng theo TCVN 8858:2011 [10]. Xi măng PCB40 Sông Gianh sử dụng có cường độ chịu nén ở 28 ngày  $\geq 44 \text{ MPa}$ , thời gian bắt đầu ninh kết  $\geq 100$  phút, thời gian kết thúc ninh kết  $\leq 360$  phút, khối lượng riêng  $3,02 \text{ g/cm}^3$ , lượng nước tiêu chuẩn 31% phù hợp với các quy định tại TCVN 6260:2009 [11]. Cốt liệu cao su được nghiền từ lốp xe phế thải, do công

ty Long Long Ruber Recycling cung cấp, có kích cỡ hạt 3-6 mm (Hình 1), có khối lượng riêng  $\gamma_{cs} = 1,2 \text{ g/cm}^3$  và độ hút nước không đáng kể [12-14].

## 2.2. Thiết kế CPĐĐ-cao su gia cố xi măng

Hàm lượng xi măng trong CPĐĐ gia cố xi măng khoảng từ 4-6% (theo khối lượng cốt liệu khô). Trong nghiên cứu này, sử dụng 4% xi măng để gia cố CPĐĐ. Các CPĐĐ gia cố xi măng trong đó cốt liệu từ cỡ sàng từ 0,425 mm đến 9,5 mm được thay thế bằng cốt liệu cao su theo phần trăm thể tích (0%, 10%, 25% và 50%). Trình tự tính khối lượng thành phần CPĐĐ gia cố xi măng như sau:

- Tính khối lượng cốt liệu cao su ( $m_{cs}$ ):

$$\frac{v_{cs}}{v_d} = \frac{m_{cs} \gamma_d}{\gamma_{cs} m_d} = p_{cs} \quad (1)$$

$$m_{cs} = p_{cs} \frac{\gamma_{cs}}{\gamma_d} m_d \quad (2)$$

trong đó  $p_{cs}$  là phần trăm cao su thay thế theo thể tích (0%, 10%, 25% và 50%);  $v_{cs}, m_{cs}, \gamma_{cs}$  lần lượt là thể tích, khối lượng và dung trọng của cao su;  $v_d, m_d, \gamma_d$  lần lượt là thể tích, khối lượng và dung trọng đá nằm trong phạm vi sàng 0,425-9,5 mm trong CPĐĐ ban đầu (chứa có cốt liệu cao su).

- Tính khối lượng đá ( $m$ ) ở phạm vi sàng 0,425-9,5 mm trong CPĐĐ-cao su gia cố xi măng:

$$m = (1 - p_{cs}) m_d \quad (3)$$

Từ đó, thiết kế được 4 loại CPĐĐ gia cố xi măng để khảo sát như Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần của các loại cấp phối khảo sát ( $\text{kg/m}^3$ )

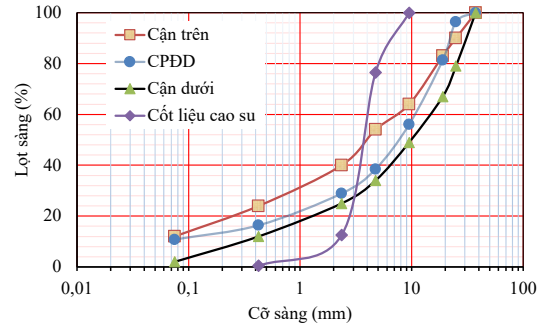
Tên CP	$p_{cs}$ (%)	Xi măng (%)	$m_{cs}$	$m$ (0,425-9,5 mm)	$m$ (cỡ sàng khác)
0CS	0	4	0	828,6	1012,7
10CS	10	4	36,8	745,7	1012,7
25CS	25	4	92,1	621,4	1012,7
50CS	50	4	184,1	414,3	1012,7

Ghi chú: 0, 10, 25, 50: Phần trăm (%) cốt liệu trong phạm vi cỡ sàng từ 0,425 đến 9,5 mm được thay thế bằng cốt liệu cao su (CS).

## 2.3. Các phương pháp thí nghiệm

### a. Thí nghiệm đầm nén tiêu chuẩn

Thực hiện theo tiêu chuẩn 22TCN 333:2006: Quy trình đầm nén đất, đá đầm trong phòng thí nghiệm, sử dụng phương pháp đầm nén cải tiến – Phương pháp II-D [15]. Sau khi đầm nén tiêu chuẩn, tiến hành hiệu chỉnh để tìm được dung trọng khô lớn nhất và độ ẩm tốt nhất trong phòng thí nghiệm.



Hình 1. Thành phần hạt của CPĐĐ và cốt liệu cao su

b. Chế bị mẫu cho các thí nghiệm

Các chỉ tiêu cơ lý như cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ, mô đun đàn hồi và tính chất co ngót của mẫu sẽ được khảo sát. Mẫu sử dụng là mẫu trụ có các kích thước 15 cm × 17,25 cm cho thí nghiệm nén và mô đun đàn hồi (tỉ lệ chiều cao/đường kính mẫu: 1,15), mẫu 15 cm × 10 cm cho thí nghiệm ép chẻ và mẫu 15 cm × 30 cm cho thí nghiệm co ngót khô. Do đó sẽ dùng khuôn hình trụ có kích thước 15 cm × 30 cm để chế bị. Mẫu thí nghiệm nén, ép chẻ và mô đun đàn hồi sẽ được cắt ra từ các mẫu trụ.

Chuẩn bị và đúc mẫu để thí nghiệm: Sau khi tính toán và cân khối lượng các loại cốt liệu theo thiết kế ở trên, tiến hành cho vật liệu vào máy trộn 50 lít để trộn cho đến khi hỗn hợp đồng đều. Chuẩn bị khuôn hình trụ kích thước 15 cm × 30 cm và bôi dầu khuôn. Từ dung trọng tốt nhất, tính được khối lượng cần thiết cho mỗi lớp đầm ở các mẫu (0%, 10%, 25% và 50%). Sau đó cho khối lượng vật liệu cho từng lớp vào khuôn và tiến hành đầm nén sử dụng chày đầm A6 (mỗi lớp đầm 56 chày). Xong mỗi lớp đầm, lưu ý xới nhẹ bề mặt để đảm bảo độ dính kết ở các lớp và tiếp tục cho khối lượng mẫu để đầm các lớp tiếp theo cho đến khi hoàn thành chế bị mẫu (15 cm x 30 cm).

Bảo dưỡng mẫu: Mẫu được bảo dưỡng ẩm 7 ngày và tiếp theo ngâm nước 7 ngày. Riêng mẫu co ngót chỉ bảo dưỡng ẩm 24h, sau đó tháo khuôn và tiến hành đo co ngót.

Cắt và hoàn thiện mẫu: Mẫu dưỡng hộ đủ 14 ngày tuổi sẽ được cắt để có kích thước phù hợp (15 cm × 17,25 cm) cho thí nghiệm cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi. Phần còn lại cắt mẫu (15 cm × 10 cm) để thí nghiệm cường độ ép chẻ. Đối với mẫu có cao su thì cần cắt với tốc độ chậm do cốt liệu cao su có tính đàn hồi và tạo ma sát lớn dẫn đến khó cắt. Đối với mẫu thí nghiệm cường độ nén và mô đun đàn hồi cần được capping bề mặt được cắt để đảm bảo lực nén phân bố đồng đều trên toàn bộ mặt cắt ngang của mẫu khi thí nghiệm cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi.

c. Thí nghiệm cường độ chịu nén và cường độ ép chẻ

Thí nghiệm xác định cường độ nén ( $f_c$ ) trên các mẫu trụ có kích thước trụ 15 cm × 17,25 cm và thực hiện theo ASTM D1633-17 [2] (Hình 2(a)) và cường độ ép chẻ ( $f_t$ ) thực hiện theo ASTM C496/C496M-17 [16] (Hình 2(b)). Máy nén sử dụng có khả năng nén lớn nhất 50 tấn. Tốc độ gia tải khi nén và ép chẻ mẫu lần lượt là 1 mm/phút và 0,7 MPa/phút. Mẫu được nén cho đến khi phá hoại hoàn toàn. Mỗi cấp phối tiến hành thí nghiệm trên 3 mẫu và lấy giá trị cường độ trung bình.



(a) Nén



(b) Ép chẻ



(c) Mô đun đàn hồi

Hình 2. Thí nghiệm cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ và mô đun đàn hồi

d. Thí nghiệm mô đun đàn hồi

Thí nghiệm mô đun đàn hồi thực hiện có sự điều chỉnh nhỏ so với các hướng dẫn trong TCVN 9843:2013 [17] cũng như phương pháp thực hiện của Hằng và cs. trên vật liệu xi thép-cát mịn gia cố xi măng làm lớp móng đường ô tô [18]. Thí nghiệm được thực hiện trên 2 mẫu có kích thước tương tự như mẫu thí nghiệm cường độ chịu nén. Đầu tiên, đặt mẫu vào dụng cụ đo mô đun đàn hồi, cân chỉnh mẫu và lắp đặt đồng hồ vào vị trí trên bộ gá được dán đối xứng ở mặt bên của mẫu. Cách thực hiện này khác với TCVN 9843:2013 [17] khi tiêu chuẩn này hướng dẫn đặt 2 đồng hồ đo chuyển vị trên tấm đệm truyền tải. Đưa mẫu lên máy và điều chỉnh máy sao cho mẫu được tiếp xúc đều với tấm đệm truyền tải trọng (Hình 2(c)), không có liên kết nào giữa mẫu thí nghiệm và tấm truyền tải trọng. Sau đó, gia tải cho mẫu đến  $30\%f_c$  khoảng 5-6 lần để mẫu ổn định các chuyển vị và khử được các biến dạng dư. Tiến hành gia tải cho mẫu đến khoảng  $10\%f_c$ , dừng lại đợi giá trị trên 2 đồng hồ ổn định và đọc số liệu  $L_1^I, L_1^{II}$ . Tiếp tục gia tải mẫu đến khoảng  $30\%f_c$ , đợi ổn định và đọc số liệu trên 2 đồng hồ được  $L_2^I, L_2^{II}$ . Trị số biến dạng phục hồi của mẫu ở đồng hồ 1 là:  $L^I = L_2^I - L_1^I$  và ở đồng hồ 2 là:  $L^{II} = L_2^{II} - L_1^{II}$ . Trị số biến dạng phục hồi trung bình của mẫu vật liệu là  $L = (L^I + L^{II})/2$ .

So với TCVN 9843:2013 [17], phương pháp thí nghiệm này đo biến dạng trực tiếp ngay trên thân của mẫu do đó tránh được các sai số trong quá trình thí nghiệm. Sử dụng máy nén có khả năng nén 50 tấn để ép mẫu và gia tải cho mẫu được thiết đặt một cách tự động 1mm/phút. Ngoài ra, chuyển vị ở đồng hồ đo được đọc tại thời điểm khi áp lực nén tăng dần tại  $10\%f_c$  và tại  $30\%f_c$ . Do đó hạn chế được sai số so với trường hợp gia tải và đọc số liệu ở  $30\%f_n$  rồi dỡ tải hoàn toàn và tiếp tục đọc số liệu như ở TCVN 9843:2013 [17].

Mô đun đàn hồi  $E_{dh}$  (MPa) được xác định theo công thức (4) (CT. 4).

$$E_{dh} = \frac{pH}{L} = \frac{4\Delta PH}{\pi D^2 L} \quad (4)$$

trong đó  $p$  là áp lực nén lên mặt mẫu (MPa);  $\Delta P$  là tải trọng nén mẫu từ  $10\%f_c$  đến  $30\%f_c$  (N);  $H$  là chiều cao mẫu tính từ đáy mẫu đến vị trí đặt đồng hồ đo chuyển vị (mm);  $D$  là đường kính mẫu (mm) và  $L$  là biến dạng phục hồi (đàn hồi) của mẫu (mm).

e. Thí nghiệm co ngót khô



(a)



(b)

Hình 3. Thí nghiệm xác định co ngót khô

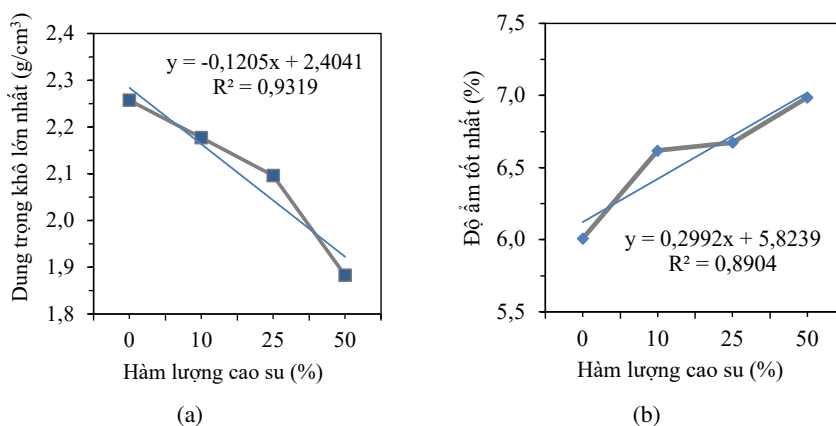
Thí nghiệm co ngót khô mới chỉ được thực hiện trên cấp phối gia cố không có cốt liệu cao su (0CS) và loại có sử dụng 25% cốt liệu cao su (25CS). Mẫu thí nghiệm co ngót khô (15 cm × 30 cm)

được chế bị phương pháp nén mẫu. Trên cơ sở có dung trọng khô lớn nhất, thể tích của khuôn, tính toán khối lượng cấp phối phù hợp để đúc mẫu. Mẫu được nén 2 lớp, sau khi nén xong lớp thứ nhất (dày 15 cm), xới bề mặt và cho vật liệu vào tiếp tục nén đến khi đạt chiều cao của mẫu. Sau đó, thực hiện bảo dưỡng ẩm mẫu trong vòng 24h. Tiếp theo, tiến hành tháo khuôn, cho mẫu vào dụng cụ thí nghiệm đo co ngót; phủ bề mặt trên của mẫu bằng 1 lớp silicon để chỉ cho nước bay hơi theo bề mặt bên của mẫu. Đặt mẫu vào trong buồng khí hậu (Hình 3) và thiết bị được thiết đặt ở nhiệt độ 25 °C và độ ẩm  $\geq 95\%$ . Sự thay đổi chiều dài mẫu được ghi lại cho đến 21 ngày tuổi.

### 3. Kết quả thí nghiệm và bàn luận

#### 3.1. Tương quan dung trọng-độ ẩm

Hình 4 thể hiện ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu cao su đến dung trọng khô lớn nhất và độ ẩm tốt nhất của CPĐD-cao su gia cố xi măng. Việc thay thế một phần CPĐD trong phạm vi cỡ sàng 0,425-9,5 mm bằng cốt liệu cao su theo phần trăm thể tích ảnh hưởng lớn đến thành phần của cấp phối. Có thể thấy rằng, khi hàm lượng cao su càng tăng thì dung trọng càng giảm, tương quan giữa độ tăng hàm lượng cốt liệu cao su và độ giảm dung trọng gần như tuyến tính (Hình 4(a)). Điều này có thể giải thích do khối lượng riêng của cốt liệu cao su nhỏ hơn so với đá dăm. Ngoài ra, tính đàn hồi của cao su cũng phần nào đến khả năng đầm nén của cấp phối, đặc biệt khi hàm lượng cốt liệu cao su thay thế tăng từ 25% đến 50%. Bên cạnh đó, khả năng dính bám của hồ xi măng với cao su không tốt, làm cho cấp phối có xu hướng rỗng hơn khi tăng hàm lượng cốt liệu cao su.



Hình 4. Ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu cao su đến dung trọng khô lớn nhất (a) và độ ẩm tốt nhất (b) của CPĐD-cao su gia cố xi măng

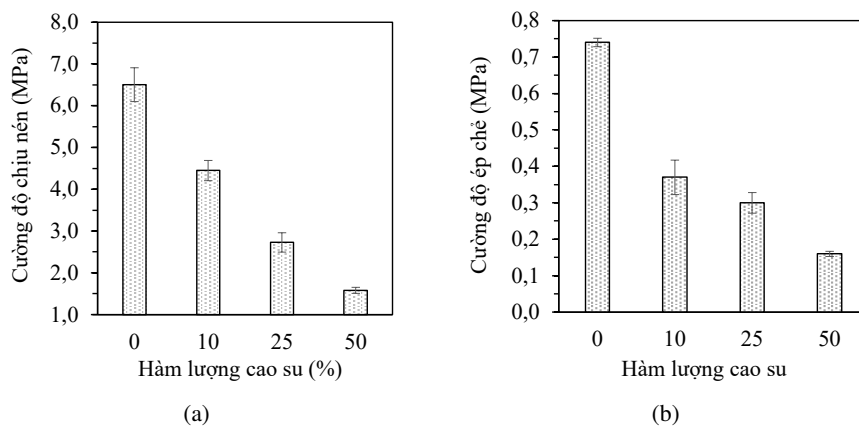
Trong khi dung trọng khô lớn nhất giảm thì độ ẩm tốt nhất của CPĐD-cao su gia cố xi măng tăng lên khi hàm lượng cốt liệu cao su tăng (Hình 4(b)). Độ ẩm tốt nhất tăng từ 6% đối với cấp phối đối chứng (không có cao su) đến 6,62% (10CS), 6,67% (25CS) và 7% (50CS). Cốt liệu cao su là vật liệu ít thấm nước [1], có hiệu ứng hút khí lên bề mặt cốt liệu cao su khi tiếp xúc với nước [12]. Do vậy, khi có cốt liệu cao su trong cấp phối thì cần lượng nước nhiều hơn để đảm bảo xung quanh bề mặt cao su đủ ẩm, làm giảm ma sát của cốt liệu cao su với các thành phần khác, giúp hỗn hợp dễ được lèn chặt. Mặt khác, cốt liệu cao su có tính đàn hồi (độ cứng thấp) [19], dẫn đến CPĐD-cao su gia cố khó được đầm nén chặt, đặc biệt khi hàm lượng cốt liệu cao su tăng. Hơn nữa, lực dính giữa cốt liệu cao su và



hồ xi măng kém [13]. Do đó, CPDD gia cố xi măng sử dụng cốt liệu cao su với hàm lượng lớn sẽ có nhiều lỗ rỗng trong cấp phối và nước sẽ nằm trong các khe hở này, dẫn đến độ ẩm tốt nhất tăng.

### 3.2. Cường độ chịu nén và cường độ ép chẻ

Hình 5(a) thể hiện sự suy giảm cường độ chịu nén khi sử dụng cốt liệu cao su thay thế một phần đá dăm trong CPDD gia cố xi măng. Cường độ chịu nén lớn nhất giảm từ 6,51 MPa đối với cấp phối đối chứng (0CS) đến 4,45 MPa (10CS), 2,73 MPa (25CS) và 1,58 MPa (50CS). Sự suy giảm cường độ chịu nén có thể giải thích như sau: (i) độ cứng của cốt liệu cao su thấp hơn nhiều so với CPDD; (ii) lực dính kém giữa cốt liệu cao su với vùng hồ xi măng gia cố khác xung quanh; (iii) ảnh hưởng công tác đầm nén đặc biệt khi hàm lượng cốt liệu cao su cao, cấp phối bị đàn hồi dẫn đến hỗn hợp khó đạt được độ chặt như cấp phối gia cố không có cốt liệu cao su.



Hình 5. Ảnh hưởng của hàm lượng cốt liệu cao su đến cường độ chịu nén (a) và cường độ ép chẻ (b) của CPDD-cao su gia cố xi măng

Tương tự cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ (Hình 5(b)) cũng giảm nhanh khi tăng hàm lượng cốt liệu cao su, giảm từ 0,74 MPa (0CS) đến 0,16 MPa (50CS). Các nguyên nhân suy giảm cường độ chịu kéo có thể được giải thích tương tự như cường độ chịu nén, trong đó có thể lực dính kém giữa cốt liệu cao su và vùng hỗn hợp gia cố là yếu tố ảnh hưởng nhiều nhất đến cường độ ép chẻ của CPDD-cao su gia cố xi măng.

Khi thiết kế kết cấu áo đường theo 22TCN 211:2006 [20], đối chiếu với TCVN 8859:2011 [10], cường độ nén ở 14 ngày tuổi của 0CS và 10CS lớn hơn 4 MPa thỏa mãn cường độ yêu cầu cho lớp móng trên của tầng mặt bê tông nhựa và bê tông xi măng của đường cao tốc, đường cấp I, II và móng trên trong các trường hợp khác (chỉ yêu cầu cường độ chịu nén  $\geq 3$  MPa). Các cấp phối nhiều cốt liệu cao su hơn (25CS và 50CS) có cường độ lớn hơn 1,5 MPa phù hợp với móng dưới trong mọi trường hợp. Đối với cường độ ép chẻ ở 14 ngày tuổi, cấp phối 10CS có cường độ lớn hơn 0,35 MPa, đạt yêu cầu cho lớp móng trên của mặt đường cấp cao A1, A2. Tuy nhiên, tiêu chuẩn 22TCN 274:2001 [21] không đề cập đến cường độ ép chẻ yêu cầu của CPDD gia cố xi măng, chỉ yêu cầu về cường độ chịu nén (giá trị cường độ chịu nén gần giống như 22TCN211:2006 [20]). Do vậy, nếu chỉ yêu cầu về cường độ chịu nén thì cấp phối 0CS, 10CS thỏa mãn yêu cầu làm lớp móng trên cho mọi loại tầng mặt cho tất cả các cấp đường và cấp phối 25CS và 50CS thỏa mãn yêu cầu làm lớp móng dưới.

### 3.3. Mô đun đàn hồi

Kết quả của thí nghiệm mô đun đàn hồi thể hiện ở Hình 6 cho thấy hàm lượng cốt liệu cao su trong CPĐĐ gia cố xi măng càng tăng thì mô đun đàn hồi càng giảm. Đặc biệt, khi sử dụng 25% và 50% cốt liệu cao su thì mô đun giảm đến 993 MPa và 381 MPa, giảm khoảng 88,5% và 95,6% so với cấp phối đối chứng (không sử dụng cốt liệu cao su). Cốt liệu cao su là vật liệu đàn hồi, do vậy khi sử dụng trong CPĐĐ gia cố xi măng sẽ làm mềm hóa cấp phối gia cố và CPĐĐ-cao su gia cố xi măng sẽ trở nên đàn hồi hơn. Đây là tính chất phần nào thể hiện được khả năng chịu được biến dạng cao và khả năng chống nứt của CPĐĐ gia cố xi măng có sử dụng cốt liệu cao su.

Để đánh giá sự phù hợp, cần so sánh kết quả thí nghiệm với một số mô hình ước tính mô đun đã có. Hiện có 4 mô hình ước lượng mô đun đàn hồi phù hợp cho vật liệu CPĐĐ gia cố xi măng: Mô hình Lim [22] (công thức (5)), mô hình Balo [23] (công thức (6)), mô hình Molenaar [24] (công thức (7)) và mô hình từ phương pháp thiết kế mặt đường theo hướng cơ học thực nghiệm (MEPDG) (công thức (8)). Chi tiết các mô hình như sau:

- Mô hình Lim [22]:

$$E = 4,38\gamma^{1,5}f_c^{0,75} \quad (5)$$

- Mô hình Balo [18]:

$$E = -5133 + 2549f_c - 61f_c^2 \quad (6)$$

- Mô hình Molenaar [19]:

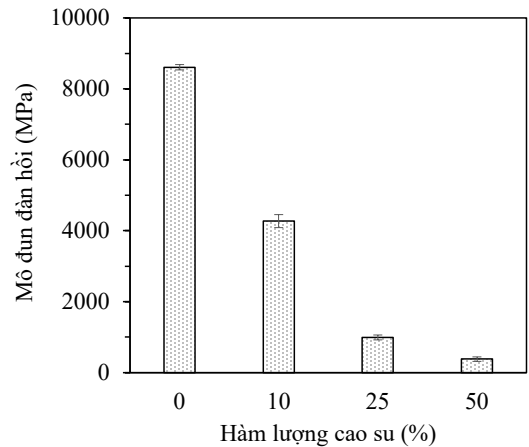
$$E = 1284f_c \quad (7)$$

- Mô hình từ phương pháp MEPDG [25]:

$$E = 57000f_c^{0,5} \quad (8)$$

trong đó  $E$  và  $f_c$  lần lượt là mô đun đàn hồi và cường độ chịu nén (đơn vị MPa trong mô hình Balo và mô hình Molenaar; đơn vị psi trong mô hình Lim và mô hình từ phương pháp MEPDG) và  $\gamma$  là dung trọng khô (pcf).

Từ kết quả tính toán ở Bảng 2 cho thấy, đối với cấp phối đối chứng (không sử dụng cao su – 0CS), thí nghiệm cho kết quả khá tiệm cận với kết quả từ 3 mô hình Balo, mô hình Lim và mô hình Molenaar. Kết quả từ mô hình của MEPDG khá thấp so với kết quả thí nghiệm và các mô hình còn lại. Với cấp phối 10CS, kết quả thí nghiệm hơi thấp hơn so với kết quả tính toán từ mô hình Balo, mô hình Lim và mô hình Molenaar. Tuy nhiên, điều đáng lưu ý là khi hàm lượng cao su tăng lên, thí nghiệm cho kết quả mô đun đàn hồi rất thấp so với các mô hình dự báo, đặc biệt là mô hình Lim và mô hình Molenaar. Cốt liệu cao su là vật liệu có độ cứng thấp và có tính đàn hồi, dẫn đến CPĐĐ-cao su gia cố xi măng sẽ có khả năng chịu biến dạng cao hơn so với cấp phối gia cố thông thường. Các mô hình dự báo đã có (chủ yếu áp dụng cho vật liệu có độ cứng lớn) không phù hợp với CPĐĐ gia cố sử dụng nhiều cốt liệu cao su. Do vậy, phương pháp thí nghiệm mô đun đàn hồi đề xuất (có hiệu chỉnh so với TCVN 9843:2013 [17]) khá phù hợp.



Hình 6. Ảnh hưởng của hàm lượng cao su đến mô đun đàn hồi CPĐĐ-cao su gia cố xi măng



Bảng 2. Đối sánh kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi với một số mô hình ước lượng

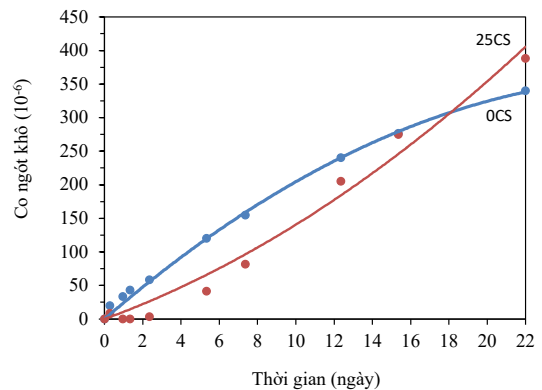
Cấp phối	$f_c$ (MPa)	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	Mô đun đàn hồi $E$ (MPa) từ các mô hình				
			Theo thí nghiệm	Balo [23]	Lim [22]	Molenaar [24]	MEPDG [25]
0CS	6,51	2,257	8610	8867	8597	8118	1002
10CS	4,45	2,177	4272	5002	6126	5554	829
25CS	2,73	2,096	993	1379	4015	3411	650
50CS	1,58	1,882	381	-	2268	1976	495

Ghi chú:  $f_c$  (50CS) < 2,12 MPa nên không thể áp dụng mô hình Balo.

Tuy nhiên, kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi cũng như giá trị từ các mô hình dự báo lớn rất nhiều so với trị số mô đun đàn hồi trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu nền áo đường mềm theo tiêu chuẩn hiện hành 22TCN211:2006 [20]. Theo hướng dẫn cho lớp móng gia cố xi măng của Hiệp hội xi măng Portland (PCA-Portland Cement Association) [26], giá trị mô đun đàn hồi của vật liệu gia cố xi măng cũng rất cao (4100-6900 MPa). Trong khi đó, mô đun đàn hồi của CPĐĐ gia cố xi măng theo 22TCN211:2006 [20] nằm ở phạm vi 600-800 MPa. Giá trị tham khảo này cũng khá tương đồng theo kết quả từ mô hình của MEPDG. Trong thực tế khai thác, CPĐĐ gia cố xi măng thường phát sinh các đường nứt nên làm giảm khả năng phân bố tải trọng. Vì vậy khi thiết kế kết cấu áo đường thường chọn giá trị mô đun đàn hồi thấp của CPĐĐ gia cố xi măng. Mặc dù vậy, cũng cần có các nghiên cứu sâu hơn để xem xét ảnh hưởng của nứt đến sự suy giảm mô đun đàn hồi trong thực tế khai thác để có sự lựa chọn giá trị thiết kế cho phù hợp.

### 3.4. Co ngót khô

Hình 7 thể hiện sự khác nhau ở mức độ co ngót khô của CPĐĐ gia cố xi măng đối chứng (loại không có cốt liệu cao su) và cấp phối 25CS sử dụng 25% cốt liệu cao su trong thời gian 21 ngày bảo dưỡng. Ở giai đoạn 18 ngày đầu tiên thì mức độ co ngót của cấp phối 25CS ít hơn so cấp phối 0CS. Thời gian còn lại của thí nghiệm, cấp phối 25CS có độ co ngót lớn hơn. Theo như kết quả thí nghiệm đầm nén tiêu chuẩn, lượng nước trong cấp phối sử dụng cốt liệu cao su cao hơn so với cấp phối đối chứng (0CS). Do đó, thời gian nước bay hơi của 25CS sẽ lâu hơn so với 0CS, làm giảm mức độ co ngót khô của 25CS. Ngoài ra, cốt liệu cao su không thấm nước nên có thể ngăn cản sự thoát ẩm ra bên ngoài, giúp giảm đáng kể đến sự co ngót do mất nước của cấp phối gia cố có sử dụng cao su. Tuy nhiên, cấp phối gia cố sử dụng cao su có độ rỗng lớn hơn do lực dính kém giữa cốt liệu cao su và phần vữa gia cố, do khả năng đầm nén khó và kém chặt. Do vậy, sau thời gian bảo dưỡng 18 ngày, lúc đó nước trong các lỗ rỗng nhỏ hoặc lỗ rỗng trong các tinh thể gia cố xi măng sẽ bay hơi dẫn đến sự đến co ngót của cấp phối cao su tăng mạnh. Ngoài ra, độ co ngót của cấp phối gia cố đối chứng có xu hướng giảm dần sau 14 ngày. Do vậy, kiến nghị khi thi công lớp mặt thì phải bảo dưỡng lớp mặt đường CPĐĐ gia cố xi măng ít nhất 14 ngày đầu để



Hình 7. So sánh mức độ co ngót khô của CPĐĐ gia cố xi măng không sử dụng cốt liệu cao su (0CS) và loại sử dụng 25% cao su (25CS)

hạn chế co ngót khô, dẫn đến nứt do co ngót trong CPĐD gia cố xi măng. Sự giảm co ngót khô của CPĐD-cai gia cố xi măng giúp hạn chế khả năng nứt do co ngót. Do vậy, cần có các nghiên cứu sâu hơn để chứng minh tính kháng nứt của CPĐD gia cố xi măng có sử dụng cốt liệu cao su.

#### 4. Kết luận

Bài báo trình bày kết quả thí nghiệm bước đầu khảo sát một số tính chất cơ lý cơ bản của CPĐD loại 1,  $D_{max} = 25$  gia cố xi măng (4%), trong đó có một phần cốt liệu trong phạm vi cỡ sàng từ 0,425 mm đến 9,5 mm được thay thế bằng cốt liệu cao su kích thước 3-6 mm theo phần trăm thể tích. Trên cơ sở thí nghiệm đầm nén tiêu chuẩn, cường độ chịu nén, cường độ ép chế, mô đun đàn hồi, thí nghiệm co ngót, một số kết luận chính có thể được tổng hợp như sau:

- Cốt liệu cao su làm giảm dung trọng khô lớn nhất đồng thời tăng độ ẩm tốt nhất của CPĐD gia cố xi măng. Các tính chất này có quan hệ tuyến tính với hàm lượng cốt liệu cao su trong CPĐD gia cố xi măng.

- Cường độ chịu nén và ép chế của CPĐD gia cố xi măng giảm khi sử dụng cốt liệu cao su. Tuy nhiên, cấp phối gia cố với 10% cốt liệu cao su thỏa mãn yêu cầu cường độ để làm lớp móng trên của tất cả các loại mặt đường.

- Phương pháp thí nghiệm mô đun đàn hồi đề xuất (có điều chỉnh so với tiêu chuẩn TCVN 9843:2013 [17]) cho kết quả phù hợp với các mô hình dự đoán mô đun đàn hồi của CPĐD gia cố xi măng đối chứng (trừ mô hình từ phương pháp thiết kế kết cấu mặt đường theo hướng cơ học thực nghiệm MEPDG). Đối với CPĐD gia cố xi măng thông thường, giá trị mô đun đàn hồi cao hơn rất nhiều so với các giá trị tham khảo khi thiết kế kết cấu mặt đường trong tiêu chuẩn 22TCN211-06 [20] và giá trị từ MEPDG. Do đó, kiến nghị cần thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi CPĐD gia cố xi măng trong điều kiện thực tế (ảnh hưởng của nứt do co ngót, nhiệt độ, tải trọng lặp, ẩm, ...) để có số liệu mô đun đàn hồi hợp lý và tin cậy khi thiết kế kết cấu nền áo đường.

- Mức độ co ngót khô của CPĐD-cai gia cố xi măng nhỏ hơn cấp phối đối chứng trong thời gian đầu bảo dưỡng (14 ngày). Điều này cho thấy khả năng hạn chế co ngót của CPĐD gia cố xi măng có sử dụng cốt liệu cao su, góp phần hạn chế nứt do co ngót ở móng đường CPĐD gia cố xi măng.

#### Lời cảm ơn

Bài báo này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng với đề tài có mã số: T2021-02-13.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Pham, P. N., Zhuge, Y., Turatsinze, A., Toumi, A., Siddique, R. (2019). [Application of rubberized cement-based composites in pavements: Suitability and considerations](#). *Construction and Building Materials*, 223: 1182–1195.
- [2] ASTM D1633-17 (2017). [Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders](#). ASTM Int. West Conshohocken, PA. 84:1-6.
- [3] Khatib, Z. K., Bayomy, F. M. (1999). [Rubberized Portland Cement Concrete](#). *Journal of Materials in Civil Engineering*, 11(3):206–213.
- [4] Farhan, A. H., Dawson, A. R., Thom, N. H. (2016). [Characterization of rubberized cement bound aggregate mixtures using indirect tensile testing and fractal analysis](#). *Construction and Building Materials*, 105:94–102.

- [5] Farhan, A. H., Dawson, A. R., Thom, N. H., Adam, S., Smith, M. J. (2015). [Flexural characteristics of rubberized cement-stabilized crushed aggregate for pavement structure](#). *Materials & Design*, 88:897–905.
- [6] Guo, H. M., Zhu, H., Zhou, Y. (2012). [The Applied Research of Waste Crumb Rubber in Road Base](#). *Applied Mechanics and Materials*, 253-255:317–321.
- [7] Yadav, J. S., Tiwari, S. K. (2017). [A study on the potential utilization of crumb rubber in cement treated soft clay](#). *Journal of Building Engineering*, 9:177–191.
- [8] Sun, X., Wu, S., Yang, J., Yang, R. (2020). [Mechanical properties and crack resistance of crumb rubber modified cement-stabilized macadam](#). *Construction and Building Materials*, 259:119708.
- [9] Zheng, Y., Zhang, P., Cai, Y., Jin, Z., Moshtagh, E. (2019). [Cracking resistance and mechanical properties of basalt fibers reinforced cement-stabilized macadam](#). *Composites Part B: Engineering*, 165:312–334.
- [10] TCVN 8858:2011. *Móng cấp phối đá dăm và cấp phối thiên nhiên gia cố xi măng trong kết cấu áo đường ô tô - thi công và nghiệm thu*.
- [11] TCVN 6260:2009. *Xi măng hỗn hợp - yêu cầu kỹ thuật*.
- [12] Pham, N.-P., Toumi, A., Turatsinze, A. (2019). [Effect of an enhanced rubber-cement matrix interface on freeze-thaw resistance of the cement-based composite](#). *Construction and Building Materials*, 207: 528–534.
- [13] Pham, N.-P., Toumi, A., Turatsinze, A. (2018). [Rubber aggregate-cement matrix bond enhancement: Microstructural analysis, effect on transfer properties and on mechanical behaviours of the composite](#). *Cement and Concrete Composites*, 94:1–12.
- [14] Pham, N.-P., Toumi, A., Turatsinze, A. (2019). [Evaluating damage of rubberized cement-based composites under aggressive environments](#). *Construction and Building Materials*, 217:234–241.
- [15] 22TCN 333:2006. *Quy trình đầm nén đất, đá dăm trong phòng thí nghiệm*.
- [16] ASTM C496/C496M-17. *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM Int. West Conshohocken, PA. i:5.
- [17] TCVN 9843:2013. *Xác định mô đun đàn hồi của vật liệu đá gia cố chất kết dính vô cơ trong phòng thí nghiệm*.
- [18] Hằng, N. T. T., Hà, M. H., Tiếng, T. V. (2019). [Nghiên cứu sử dụng xỉ thép-cát mịn gia cố xi măng làm lớp móng đường ô tô](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - HUCE*, 13(5V):93–101.
- [19] Pham, N. P., Toumi, A., Turatsinze, A. (2017). [Effect of Styrene-Butadiene Copolymer Coating on Properties of Rubberized Cement-Based Composites](#). *International Conference on Strain-Hardening Cement-Based Composites*, Springer Netherlands, 342–350.
- [20] 22TCN 211:2006. *Áo đường mềm - Các yêu cầu thiết kế*.
- [21] 22TCN 274:2001. *Tiêu chuẩn kỹ thuật thiết kế mặt đường mềm*.
- [22] Lim, S., Zollinger, D. G. (2003). [Estimation of the Compressive Strength and Modulus of Elasticity of Cement-Treated Aggregate Base Materials](#). *Transportation Research Record*, 1837(1):30–38.
- [23] Xuan, D. X., Houben, L. J. M., Molenaar, A. A. A., Shui, Z. H. (2012). [Mechanical properties of cement-treated aggregate material – A review](#). *Materials & Design*, 33:496–502.
- [24] Molenaar, A. A. A. (2005). *Road materials-part I: cohesive and non-cohesive soils and unbound granular material for bases and sub-bases in roads (lecture CT4850)*. Delft University of Technology, The Netherlands.
- [25] AASHTO (2020). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide - A Manual of Practice*.
- [26] Halsted, G. E., Luhr, D. R., Adaska, W. S. (2006). *Guide to cement-treated base (CTB)*. Portland Cement Association (PCA) - Report No. EB236.