

NGHIÊN CỨU SỰ BIẾN ĐỔI THAM SỐ ĐỘNG CỦA HỖN HỢP CÁT CAO SU BẰNG THÍ NGHIỆM CỘT CỘNG HƯỞNG

Vũ Văn Tuấn¹, Bùi Quang Hùng²

¹Giảng viên, Học viện KTQS

²Học viên, Học viện KTQS

Nhận ngày 06/12/2020, chỉnh sửa ngày 03/3/2021, chấp nhận đăng 01/4/2021

Tóm tắt

Tận dụng phế thải để làm vật liệu xây dựng đang trở thành xu hướng trên thế giới vì tính kinh tế và khả năng giảm thiểu được ô nhiễm môi trường. Cao su với khả năng giảm chấn nên khi kết hợp với vật liệu đắp thông thường sẽ tạo thành hỗn hợp vật liệu vừa có khả năng chịu lực và vừa có khả năng giảm xung động. Vì lý do đó hỗn hợp cát cao su có thể nói là rất phù hợp để đắp hay làm nền cho các công trình chịu tải trọng động. Bài báo này nghiên cứu sự thay đổi tham số động (mô đun trượt, tỷ số cản) của hỗn hợp cát và cao su với các tỷ lệ khác nhau bằng thí nghiệm cột cộng hưởng trên các mẫu được chế tạo trong phòng thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm cho thấy, tỷ lệ cao su càng cao thì mô đun trượt càng nhỏ, tỷ số cản càng lớn và ngược lại khi tỷ lệ cao su càng nhỏ thì mô đun trượt càng lớn và tỷ số cản càng nhỏ.

Từ khóa: tham số động; mô đun trượt; tỷ số cản; cao su hạt; cao su phế thải; hỗn hợp; thí nghiệm cột cộng hưởng.

Abstract

Converting waste into construction material is becoming a trend in the world because of its economy and ability to reduce environmental pollution. Due to rubber's high damping behavior, waste tires mixed with soil have the ability to reduce vibration while still having a high bearing capacity. For that reason, the rubber/sand mixtures can be very suitable for embankment or foundation that is subjected to seismic load. This paper will study the variation of dynamic property (shear modulus and damping ratio) of sand and rubber mixed with different proportions by resonant column test in the laboratory. The results show that the higher the percentage of rubber is, the smaller the shear modulus and the higher the damping ratio is; otherwise the lower the percentage of rubber is, the higher the shear modulus and the smaller the damping ratio is.

Keywords: dynamic property; shear modulus; damping ratio; granulated rubber; waste tire; mixture; resonant column test.

1. Đặt vấn đề

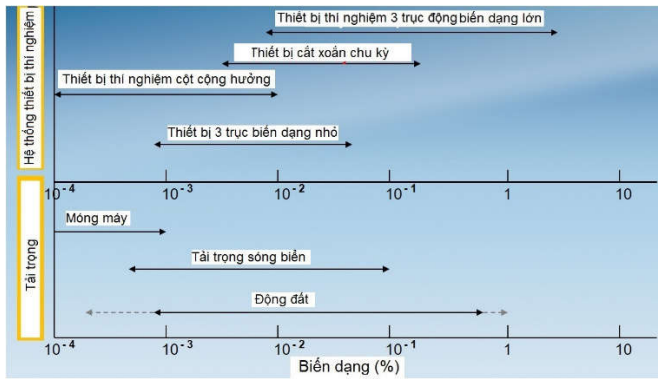
Việc tận dụng phế thải để làm vật liệu xây dựng đang trở thành xu hướng trên thế giới vì tính kinh tế và khả năng giảm thiểu được ô nhiễm môi trường. Với sự phát triển quá nhanh chóng của các phương tiện cá nhân thì việc xử lý các sẫm, lốp xe phế thải đã tạo nên áp lực rất lớn cho các quốc gia. Vì vậy, việc tận dụng lại nguồn nguyên liệu cao su từ sẫm, lốp xe phế thải cũng đã được nhiều quốc gia tiên tiến, nhiều nhà khoa học trên thế giới đề cập.

Cao su tái chế đã được định nghĩa trong tiêu chuẩn ASTM (D 6270-98) và chủ yếu phân loại dựa trên kích thước, cách thức xử lý (nghiên, cắt...). Sẫm, lốp tái chế thường được trộn với các loại vật liệu khác như đất, nhựa đường để đáp ứng được các yêu cầu cụ thể trong quá trình xây dựng. Có thể kể ra như: nghiên cứu cao su phế thải để sử dụng làm vật liệu mặt đường [2, 6, 7]; nghiên cứu cao su phế thải làm vật liệu đắp cho nền đường cao tốc, gia cố đất – tường chắn [1, 4, 5, 8]. Các nghiên cứu trên đã chứng minh được khả năng tiết kiệm chi phí và giảm thiểu các tác động tiêu cực từ việc tái sử dụng sẫm lốp xe phế thải phục vụ cho công tác xây dựng.

Hiện tại, Việt Nam mỗi năm thải ra khoảng 400.000 tấn cao su phế liệu, tương đương với 30.000 tấn/tháng (theo như thống kê của công ty Sagama Việt Nam - công ty có mô hình tái chế rác từ cao su). Trong số đó có tới 50% số lốp rác thải bị vứt trên mặt đất (số lượng này sẽ mất rất lâu để phân hủy vào đất), 40% lốp rác

thải được tiêu hủy bằng cách đốt (số này khiến môi trường bị ảnh hưởng rất nhiều) và chỉ có 10% được tái sử dụng bởi các cách phổ thông, thô sơ. Các nghiên cứu nổi bật về việc tái sử dụng cao su phế thải phục vụ cho xây dựng còn rất ít. Vì vậy, việc có thêm nhiều nghiên cứu về tận dụng nguồn phế thải này là yêu cầu cấp bách trong thời điểm hiện nay.

Với khả năng giảm chấn tốt của cao su, nên khi kết hợp với vật liệu đắp thông thường sẽ tạo thành hỗn hợp vật liệu vừa có khả năng chịu lực và vừa có khả năng giảm chấn. Vì lý do đó hỗn hợp cát cao su có thể nói là rất phù hợp để đắp hay làm nền cho các công trình chịu tải trọng động. Trên tinh thần đó, bài báo này sẽ nghiên cứu sự thay đổi tham số động (mô đun trượt, tỷ số cản) của hỗn hợp cát và cao su với tỷ lệ khác nhau bằng thí nghiệm cột cộng hưởng trong phòng thí nghiệm. Đây là thiết bị được khuyến cáo sử dụng vì có độ chính xác cao khi xác định các tham số trong điều kiện biến dạng bé (Hình 1). Các mẫu thí nghiệm sẽ được tiến hành dưới độ chặt tương đối khác nhau và áp lực nén đẳng hướng khác nhau trong điều kiện biến dạng bé (biến dạng tương đối $\gamma < 10^{-2}\%$). Số liệu của bài báo có thể tham khảo cho thiết kế, đánh giá sơ bộ các công trình dùng hỗn hợp cát – cao su làm vật liệu giảm chấn và đắp nền.



Hình 1. Phạm vi biến dạng và hệ thống thiết bị thí nghiệm (Theo tập đoàn thiết bị Controls[2]).

2. Vật liệu thí nghiệm

Các vật liệu từ sẫm cao su có tính đàn hồi lớn. Tuy nhiên, các đặc tính của cao su sẫm lớp rất khác so với vật liệu đất và vật liệu kết cấu, cụ thể: biến dạng đàn hồi rất lớn, cường độ và mô đun của các hạt lại bé hơn cốt liệu đất, không có điểm chảy trong đường cong ứng suất-biến dạng, khả năng phục hồi lớn khi dỡ tải. Sự khác biệt đáng kể giữa cao su và hạt cốt liệu rắn trong đất làm tính chất hoạt động của hỗn hợp cao su - đất trở nên phức tạp. Ngoài ra, các đặc tính của cao su cũng thay đổi theo nhiệt độ, mức độ lão hóa và các yếu tố môi trường khác. Tuy nhiên, các yếu tố đó chưa được xem xét trong nghiên cứu này, do sự hạn chế của thiết bị và điều kiện thí nghiệm.

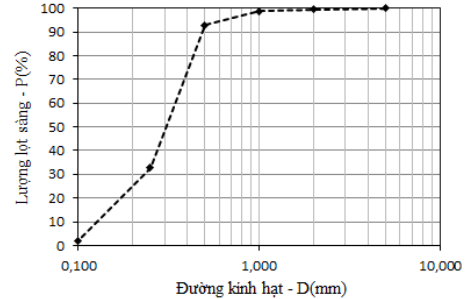
Để xác định hàm lượng tương đối của hỗn hợp cát – cao su thường có hai cách: xác định theo thể tích tương đối hoặc khối lượng tương đối. Xác định theo khối lượng thì chính xác hơn trong việc chuẩn bị hỗn hợp, vì thể tích của cao su có thể bị thay đổi khi độ ẩm, nhiệt độ ... thay đổi. Tuy nhiên, biến dạng và ứng xử giảm chấn của hỗn hợp do ứng suất gây ra lại liên quan nhiều đến thể tích của cao su. Chính vì vậy mà sử dụng tỷ lệ thể tích để chuẩn bị mẫu được các nhà khoa học trên thế giới ưu tiên lựa chọn.

Thực tế cho thấy nền đắp hầu hết đều ở trên mực nước ngầm nên các mẫu thí nghiệm ở đây được chế tạo ở trạng thái khô hoặc hơi ẩm. Hardin [3] thông qua thí nghiệm đã chỉ ra rằng khi thí nghiệm cột công hưởng thì cát khô có độ cứng cao hơn và tỷ số cản nhỏ hơn so với cát bão hòa, tuy nhiên sự khác biệt là không nhiều. Do đó mẫu thí nghiệm ở đây được chế tạo đồng đều ở độ ẩm 10%. Sự ảnh hưởng của độ ẩm tới các tham số động của mẫu sẽ được nghiên cứu trong các nghiên cứu tiếp theo.

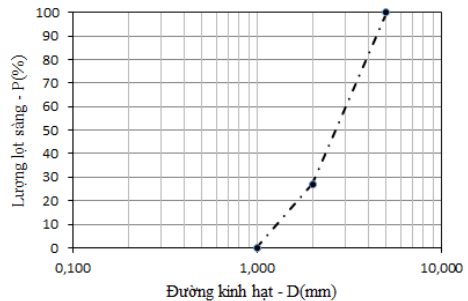
Caο su phế thải sử dụng trong nghiên cứu này được cắt từ sẫm của xe máy nên các hạt có kích thước khá đồng đều 1mm – 3mm (trong đó từ 1mm-2mm chiếm 36% khối lượng). Khối lượng thể tích cao su 1,1 g/cm³. Cát thí nghiệm sử dụng loại cát mịn thông thường (dùng làm nền) có cấp phối như (Hình 2). Hỗn hợp cát cao su sau khi trộn theo đúng tỷ lệ sẽ được cho vào ống tạo mẫu và lèn chặt theo từng lớp đến độ chặt yêu cầu.

Với mục đích là có thể cung cấp số liệu tham khảo cho các công trình sử dụng hỗn hợp cát cao su làm nền giảm chấn, thì mẫu thí nghiệm ở đây sẽ cố gắng mang tính tổng quát nhất. Do vậy mẫu thí nghiệm sẽ gồm: mẫu cát thông thường; mẫu cát – cao su với tỷ lệ 25% thể tích cao su (sau đây gọi tắt là hỗn hợp cát cao

su 25%); mẫu cát – cao su với tỷ lệ 50% thể tích cao su (sau đây gọi tắt là hỗn hợp cát cao su 50%); mẫu cát – cao su với tỷ lệ 75% thể tích cao su (sau đây gọi tắt là hỗn hợp cát cao su 75%); và mẫu cao su. Các mẫu này sẽ được đầm với độ chặt tương đối (D_r) 60%, 90%. Hình 6 thể hiện các mẫu thí nghiệm với tỷ lệ thể tích cao su khác nhau.

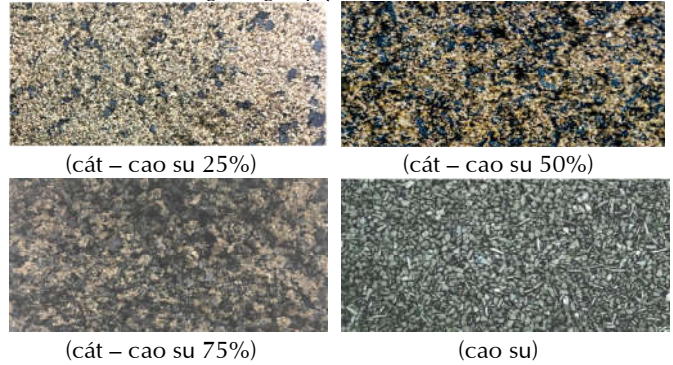


(cát)



(cao su)

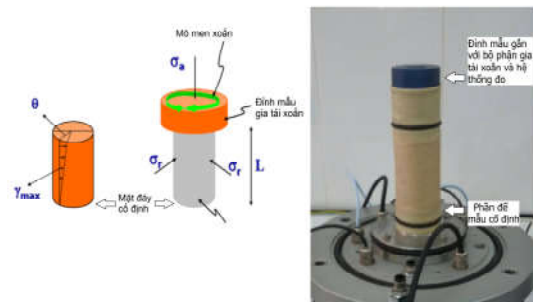
Hình 2. Đường cong cấp phối hạt của cát và cao su.



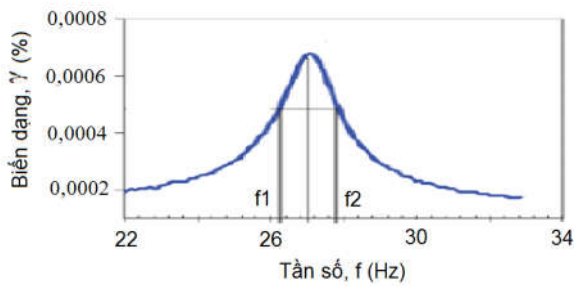
Hình 3. Mẫu thí nghiệm.

3. Sự biến đổi của các tham số động trong trường hợp biến dạng bé

3.1. Nguyên lý thí nghiệm



Hình 4 Sơ đồ nguyên lý mẫu chịu tải trọng động khi thí nghiệm cột công hưởng và hình thực tế trên thiết bị.



Hình 5. Sự thay đổi của biến dạng theo tần số.

Mẫu thí nghiệm cột cộng hưởng để xác định mô đun trượt G và hệ số cản D cho mẫu đất (đất rời, đất dính và đất hữu cơ; có dạng trụ tròn tỉ số giữa chiều cao và đường kính mẫu là 2:1 đến 2,5:1) được cố định ở chân đế và gia tải xoắn chu kỳ (Hình 1) ở đỉnh mẫu với biên độ vừa và nhỏ (có thể ngoài giai đoạn đàn hồi). Trong quá trình dao động đất bị biến dạng cắt. Với mỗi độ lớn lực kích thích (đặt trước) máy sẽ tự động thay đổi tần số từ thấp đến cao để xác định được tần số cộng hưởng (Hình 2). Mô đun trượt G và hệ số cản D sẽ được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D4015 – 07, cụ thể như sau:

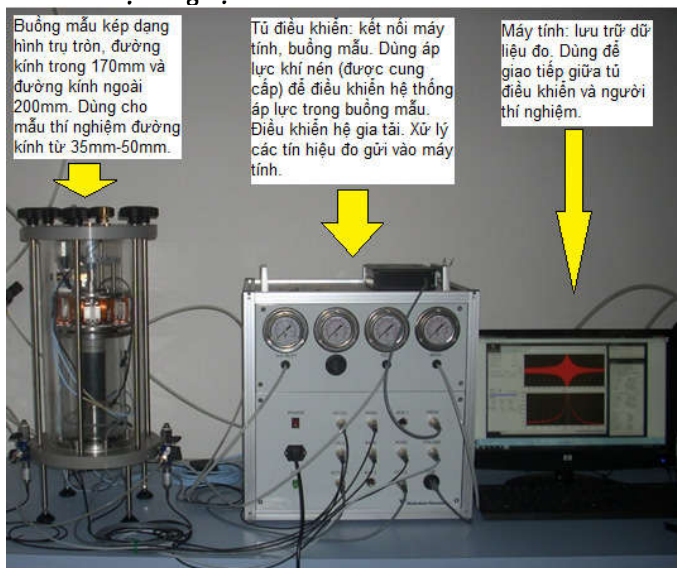
$$G = \rho \cdot V_s^2 \quad (1)$$

$$V_s = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_r \cdot L}{F} \quad (2)$$

$$D = \frac{f_2 - f_1}{2 \cdot f_r} \quad (3)$$

Trong đó: G là Mô đun cắt lớn nhất của vật liệu, kN/m^2 ; V_s là tốc độ sóng cắt m/s ; ρ là khối lượng riêng vật liệu, kN/m^3 ; f_r là tần số cộng hưởng, Hz ; f_1, f_2 là tần số ứng với biến dạng bằng 0.707 của biến dạng max, Hz ; L là chiều cao mẫu, m ; $F = I/I_0$ (I – mô men quán tính xoắn của mẫu đất, I_0 – mô men quán tính xoắn của bộ phận gia tải lắp trên mẫu).

3.2. Thiết bị thí nghiệm



Hình 6 Thiết bị thí nghiệm cột cộng hưởng – Học viện KTQS.

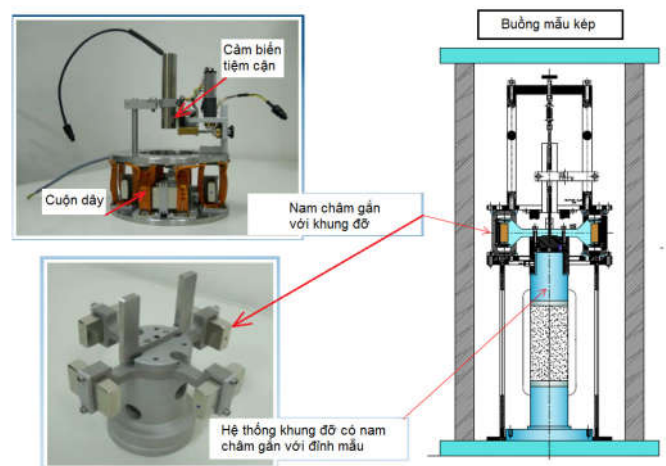
Thí nghiệm xác định các tham số động của hỗn hợp cát cao su trong trường hợp biến dạng bé được tiến hành trên thiết bị thí nghiệm cột cộng hưởng (Resonant Column – RC) tại phòng thí

nghiệm Địa kỹ thuật – Viện kỹ thuật công trình đặc biệt – Học viện KTQS (Hình 3).

Nguyên lý hoạt động của hệ thống gia tải (hệ thống điện từ + khung đỡ liên kết với nam châm và nắp trên mẫu) như sau: khi có dòng điện chạy qua cuộn dây nó sẽ làm di chuyển nam châm (Hình 4) từ đó làm quay hệ thống khung đỡ liên kết với nam châm và nắp trên mẫu, khi dòng điện đổi chiều nó sẽ lại làm cho hệ thống khung và nắp mẫu quay theo chiều ngược lại. Nếu dòng điện là xoay chiều và điều hòa dạng sin thì tái trọng xoắn đầu mẫu cũng sẽ có dạng điều hòa dạng sin.

Buồng mẫu kép (Hình 4) được cấu tạo bởi buồng mẫu phía trong và phía ngoài. Phía trong sẽ chứa nước (cao độ ngang nắp mẫu). Buồng phía ngoài là không khí. Mẫu đất sẽ được cố kết đẳng hướng với áp lực bằng với áp lực không khí ở buồng ngoài. Buồng trong chứa nước ngoài tác dụng truyền áp lực lên mẫu còn có tác dụng ngăn sự xâm nhập của không khí qua màng cao su vào mẫu.

Sau khi lắp đặt mẫu và thiết bị xong thì hầu như toàn bộ quá trình thí nghiệm được điều khiển và kiểm soát hoàn toàn trên máy tính thông qua phần mềm DYNATOR. Các tham số mô đun trượt G và hệ số cản D cũng sẽ tự động tính toán và tự động ghi lại.



Hình 7 Các bộ phận của buồng mẫu.

3.3. Sự biến đổi của mô đun trượt và tỷ số cản

Thí nghiệm được tiến hành với mẫu có độ ẩm cho trước nên sẽ không thực hiện giai đoạn bão hòa mẫu. Mẫu cát với độ chặt khác nhau sẽ được nén dưới áp lực đẳng hướng (25kPa, 50kPa, 100kPa, 150kPa) cho đến khi biến dạng không đổi thì bắt đầu tiến hành thí nghiệm cột cộng hưởng. Thời gian để đạt đến trạng thái ổn định về biến dạng khoảng từ 30 phút đến 1 giờ. Mẫu có hàm lượng cao su càng bé thì thời gian để đạt độ lún ổn định càng ngắn và ngược lại.

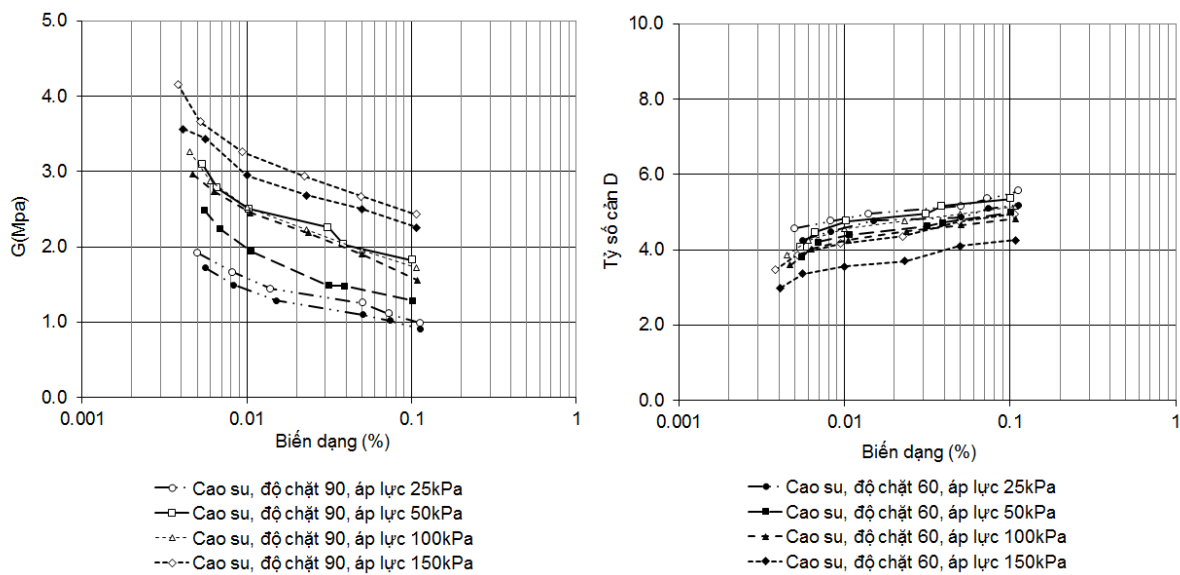
Từ Hình 1 đến Hình 5 thể hiện sự thay đổi của mô đun trượt và tỷ số cản của hỗn hợp có hàm lượng cao su khác nhau, các độ chặt khác nhau, và áp lực nén đẳng hướng khác nhau. Hình 6 và Hình 7 thể hiện sự biến đổi của mô đun trượt và tỷ số cản của hỗn hợp cát cao su có hàm lượng khác nhau ở một độ chặt và áp lực đẳng hướng 100kPa. Sự thay đổi của mô đun trượt và tỷ số cản của hỗn hợp cát cao su khi biến dạng tăng giống với cát thông thường: khi biến dạng tăng mô đun trượt giảm và tỷ số cản tăng;

áp lực đẳng hướng và độ chặt càng lớn thì mô đun trượt càng lớn và tỷ số cản thì có xu hướng ngược lại.

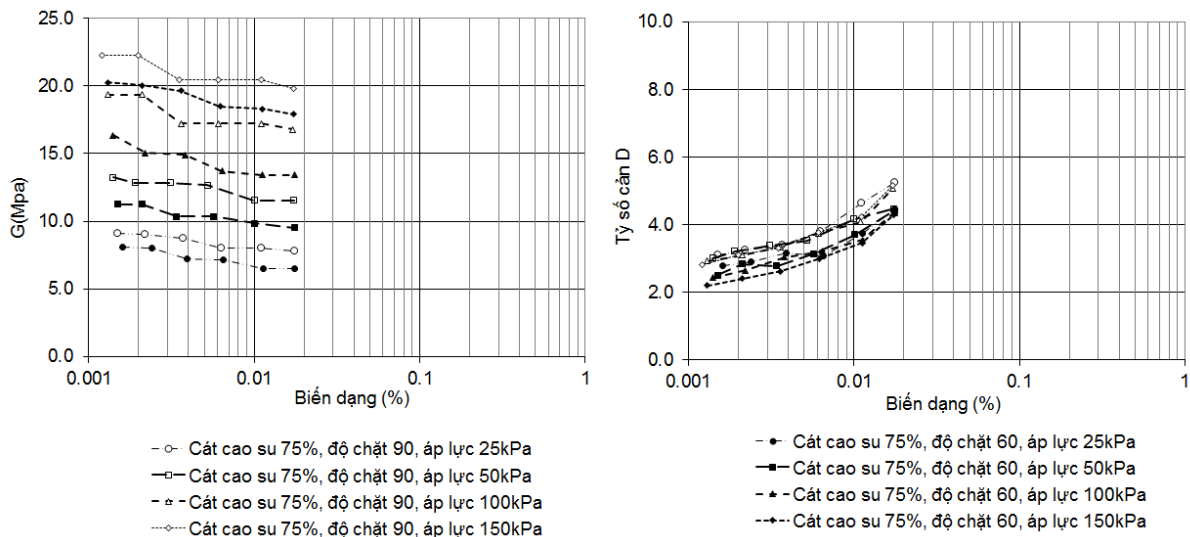
Có thể thấy rằng do cao su có tính đàn hồi cao nên môđun trượt giảm và tỷ số cản tăng khi hàm lượng cao su tăng. Ví dụ: đối với độ chặt tương đối 60%, áp lực 100kPa, biến dạng tương đối 0,0022% thì mô đun trượt giảm 44,05% khi tỷ lệ thể tích cao su là 25%, giảm 63,5% khi tỷ lệ thể tích cao su là 50%, giảm 83,8% khi tỷ lệ thể tích cao su là 75% (Hình 7); ngược lại tỷ số cản lại tăng 98,5% khi tỷ lệ thể tích cao su là 25%, 279,9% khi tỷ lệ thể tích cao su là 50%, 370,44% khi tỷ lệ thể tích cao su là 75% (Hình 7). Như vậy, nếu sử dụng hỗn hợp cát cao su làm nền giảm chấn thì cũng cần phải cân nhắc giữa ưu điểm giảm chấn (tăng tỷ số cản) và nhược điểm là hỗn hợp sẽ bị giảm mô đun trượt so với cát

đắp nền ban đầu. Và cũng do cao su có tính đàn hồi cao nên sự suy giảm mô đun trượt của hỗn hợp cát cao su (25%, 50%, 75%) khi biến dạng tăng là không đáng kể (Hình 6, Hình 7).

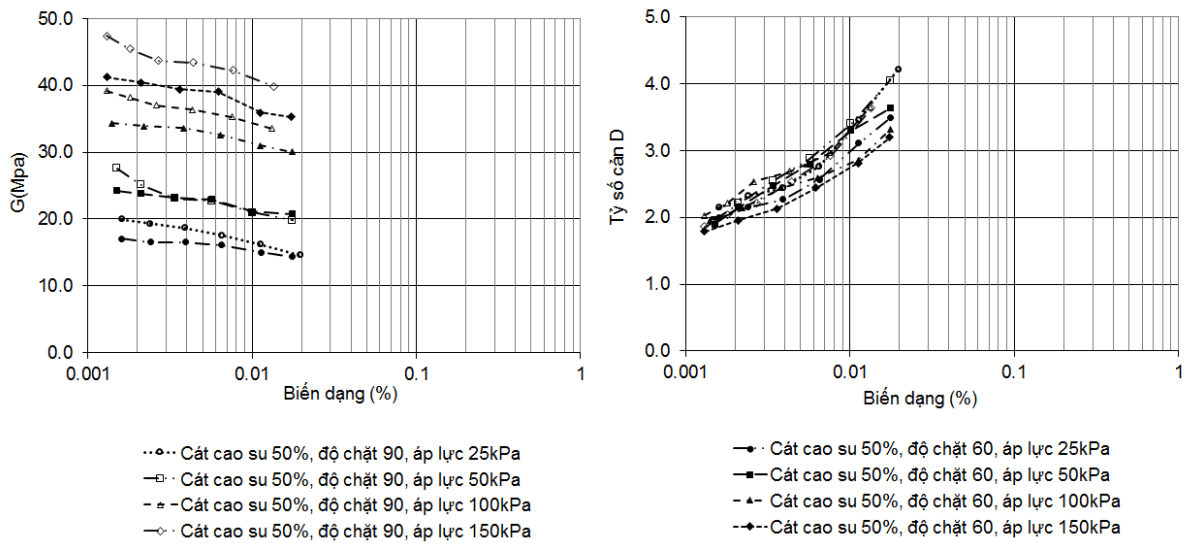
Tính chất giảm chấn của hỗn hợp cát cao su (đặc trưng bằng tỷ số cản) là do: sự ma sát của các hạt và sự biến dạng của các hạt. Các hạt cát rất cứng và do đó tiêu tán rất ít năng lượng trong quá trình truyền sóng. Ngược lại cao su tiêu tán năng lượng thông qua sự biến dạng của chính các hạt cao su. Điều này có thể thấy rõ ở sự tăng lên của tỷ số cản khi hàm lượng cao su tăng lên trong mẫu (Hình 6 và Hình 7) và đặc biệt ở mẫu 100% hàm lượng cao su (Hình 1). Đối với mẫu 100% hàm lượng cao su khi áp lực đẳng hướng tăng lên tỷ số cản lại tăng lên đôi chút. Hiện tượng này hơi ngược so với đất cát thông thường.



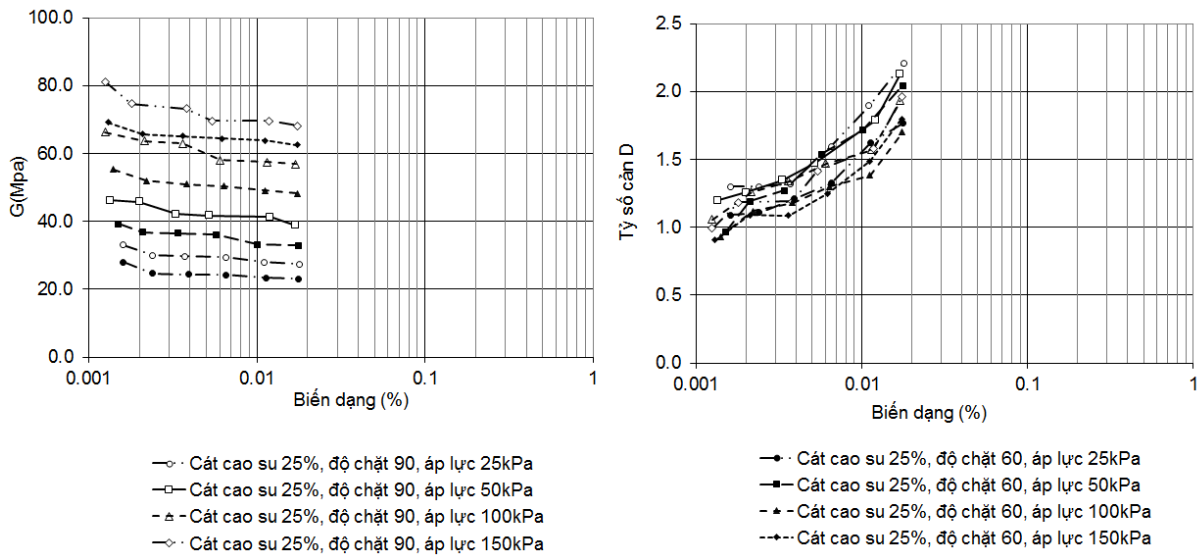
Hình 8. Sự biến đổi của Mô đun trượt G và tỷ số cản D của mẫu cao su.



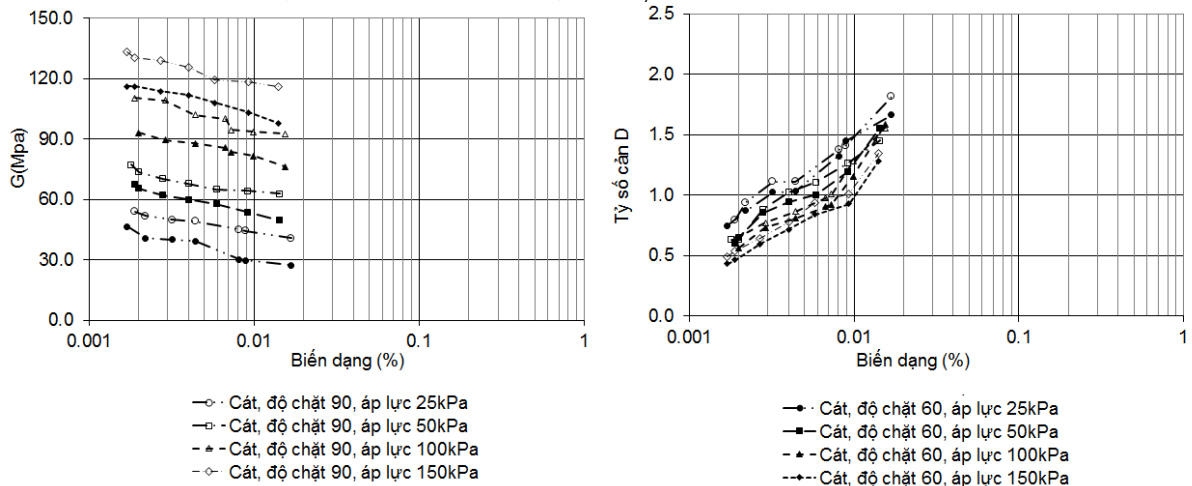
Hình 9. Sự biến đổi của Mô đun trượt G và tỷ số cản D của mẫu chứa 75% cao su.



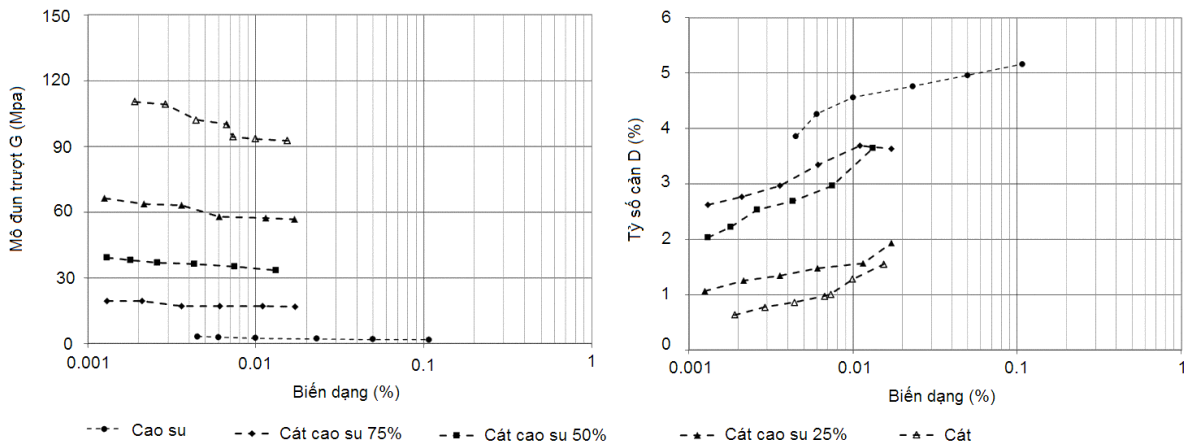
Hình 10. Sự biến đổi của Mô đun trượt G và tỷ số cản D của mẫu chứa 50% cao su.



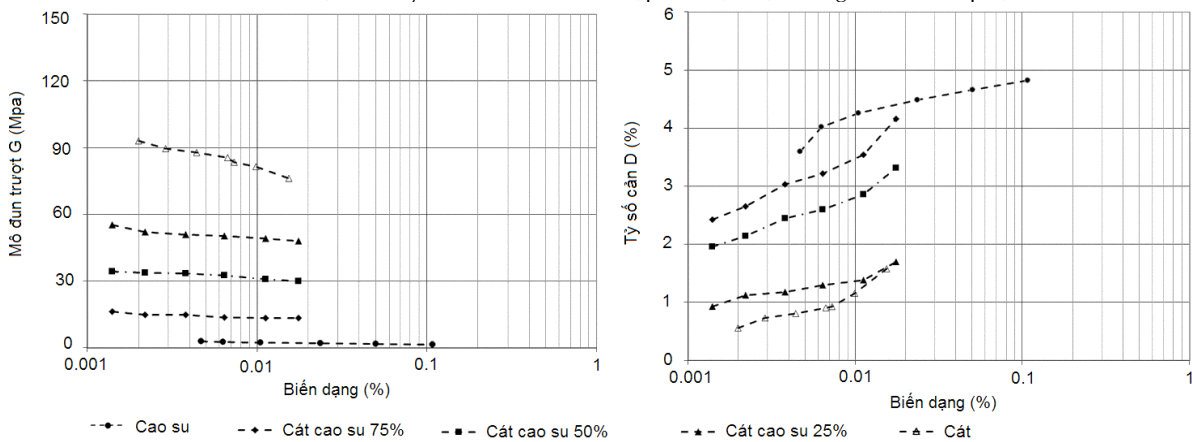
Hình 11. Sự biến đổi của Mô đun trượt G và tỷ số cản D của mẫu chứa 25% cao su.



Hình 12. Sự biến đổi của Mô đun trượt G và tỷ số cản D của mẫu cát.



Hình 13. Mô đun trượt G và tỷ số cản D của hỗn hợp khi độ chặt tương đối 90 và áp lực 100kPa.



Hình 14. Mô đun trượt G và tỷ số cản D của hỗn hợp khi độ chặt tương đối 60 và áp lực 100kPa.

4. Kết luận

Tiến hành thí nghiệm cột cộng hưởng để khảo sát các tham số động cơ bản của các mẫu cát có hàm lượng thể tích cao su khác nhau với các độ chặt và dưới áp lực nén đẳng hướng khác nhau trong điều kiện biến dạng bé, rút ra một số kết luận:

Do cao su có tính đàn hồi cao nên môđun trượt giảm và tỷ số cản tăng khi hàm lượng cao su tăng. Nếu sử dụng hỗn hợp cát cao su làm nền giảm chấn thì cần phải cân nhắc giữa ưu điểm giảm chấn (tăng tỷ số cản) và nhược điểm là hỗn hợp sẽ bị giảm mô đun trượt so với cát đắp nền ban đầu. Tỷ số cản tăng cao nhất là 391,7% (ứng với hỗn hợp cát cao su 75%, độ chặt tương đối 90%, áp lực 100kPa, biến dạng tương đối 0,0022%) và mô đun trượt giảm cao nhất là 83,83% (ứng với hỗn hợp cát cao su 75%, độ chặt tương đối 60%, áp lực 100kPa, biến dạng tương đối 0,0022%).

Cao su tiêu tán năng lượng thông qua sự biến dạng của chính các hạt cao su. Điều này có thể thấy rõ thông qua sự biến thiên của tỷ số cản của mẫu 100% hàm lượng cao su. Khi áp lực đẳng hướng tăng lên tỷ số cản lại tăng lên đôi chút. Hiện tượng này hơi ngược so với đất cát thông thường.

Sự thay đổi của mô đun trượt và tỷ số cản của hỗn hợp cát cao su khi biến dạng tăng giống với cát thông thường: khi biến dạng tăng mô đun trượt giảm và tỷ số cản tăng; áp lực đẳng hướng và độ chặt càng lớn thì mô đun trượt càng lớn và tỷ số cản thì có xu hướng ngược lại.

Tài liệu tham khảo

- [1] Ahmed Imtiaz and Lovell CW, *Rubber soils as lightweight geomaterials*. Transportation research record, 1993(1422).
- [2] Eleazer William E and Barlaz Morton A, *Technologies for Utilization of Waste Tires in Asphalt Pavement*. American Society of Civil Engineers, 2013. **158**(2): p. 193-201.
- [3] Hardin BO, *Study of elastic wave propagation and damping in granular materials*, The University of Florida. 1961, PhD Thesis, 1961.
- [4] Humphrey Dana N, et al., *Shear strength and compressibility of tire chips for use as retaining wall backfill*. Transportation Research Record, 1993(1422).
- [5] Lee JH, et al., *Shredded tires and rubber-sand as lightweight backfill*. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 1999. **125**(2): p. 132-141.
- [6] Liang Robert Y and Lee Suckhong, *Short-term and long-term aging behavior of rubber modified asphalt paving mixture*. Transportation research record, 1996. **1530**(1): p. 11-17.
- [7] Suffix:Jr. Maupin G., *Hot Mix Asphalt Rubber Applications in Virginia*. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 1996.
- [8] Upton Richard J and Machan George, *Use of shredded tires for lightweight fill*. Transportation Research Record, 1993(1422).