

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG NỀN CÁT - CAO SU PHẾ THẢI ĐỂ GIẢM CHẤN ĐỘNG CHO CÔNG TRÌNH KHI CÓ ĐỘNG ĐẤT

Vũ Văn Tuấn^{a,*}, Hồ Đình Nguyên^a

^aViện kỹ thuật công trình Đặc biệt, Học viện kỹ thuật Quân sự,
236 đường Hoàng Quốc Việt, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 08/11/2021, Sửa xong 05/05/2022, Chấp nhận đăng 11/7/2022

Tóm tắt

Trong những năm trở lại đây việc nghiên cứu tái sử dụng phế thải để làm vật liệu xây dựng đang ngày càng phổ biến vì tính kinh tế và khả năng giảm ô nhiễm môi trường. Cao su với khả năng giảm chấn động nên khi kết hợp với vật liệu đắp thông thường sẽ tạo thành hỗn hợp lý tưởng để làm nền giảm chấn động cho công trình khi có động đất. Bài báo này sẽ xây dựng mô hình số phần tử hữu hạn (PTHH) để khảo sát cho công trình nhà BTCT 4 tầng (cao 12 m) và 1 tầng hầm sâu 2 m với bốn trường hợp: nền cát thông thường và nền cát có 25%, 50%, 75% thể tích là cao su. Khả năng giảm chấn động cho công trình khi có động đất sẽ được đưa ra sau khi so sánh nội lực, chuyển vị, gia tốc của một số điểm trên kết cấu và trong nền của mô hình khảo sát. Kết quả cho thấy hàm lượng cao su trong nền càng cao thì khả năng giảm chấn càng lớn. Sự suy giảm về vận tốc, gia tốc trên kết cấu là rõ rệt; còn sự suy giảm về vận tốc, gia tốc tại nền đất thì chưa thực sự rõ ràng. Đối với nội lực của cầu kiện thì suy giảm của lực cắt sẽ lớn hơn suy giảm của mô men.

Từ khoá: giảm chấn; động đất; cao su hạt; cao su phế thải; cát cao su.

RESEARCH ON THE APPLICATIONS OF SAND RUBBER MIXTURES IN SEISMIC SHOCK ABSORBERS OF FOR BUILDINGS DURING EARTHQUAKES

Abstract

In recent years, converting waste into construction material is becoming popular because of its economy and ability to reduce environmental pollution. Rubber has the ability to reduce vibrations, thus the rubber/sand mixtures are very suitable to make backfill materials for buildings that are subjected to seismic load. This paper will create a finite element model for a building consisting of 4 floors and a basement with many cases of backfill materials: ordinary sand and sand with 25%, 50%, 75% volume of rubber. The vibration reduction ability of sand-rubber mixtures of backfill materials for buildings during an earthquake will be evaluated after comparing internal forces, displacements, and accelerations of some points on the structure and in the ground of these models. The results show that the higher the rubber content, the greater the damping ability. The reduction in velocity and acceleration on the structure is obvious; but the reduction in velocity and acceleration at the ground is not really clear. For the internal forces, the reduction of the shear force will be larger than the reduction of the moment.

Keywords: damped; earthquake; granulated rubber; waste tire; sand-rubber mixtures.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(5V\)-14](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(5V)-14) © 2022 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Giới thiệu

Sự gia tăng nhanh chóng số lượng lốp xe phế liệu mỗi năm trên toàn thế giới đang là một vấn đề lớn được quan tâm của nhiều quốc gia. Hiện nay, hàng triệu lốp xe phế liệu được đưa đến bãi tập kết,

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: vantuanvu@lqdtu.edu.vn (Tuấn, V. V.)

bãi chôn lấp, vớt ngoài môi trường hoặc tiêu hủy bằng cách đốt. Những hành động này làm dấy lên một mối quan tâm lớn về an toàn đối với môi trường sống và sức khỏe con người. Mặc dù đã có những nghiên cứu, giải pháp tái chế lớp xe phế liệu được thực hiện, nhưng dường như là không đủ để giảm lượng chất thải này. Do đó, việc nghiên cứu tái sử dụng lớp xe phế liệu đã trở thành một mục tiêu cấp thiết quan trọng để giảm tác động của chúng đến môi trường, cũng như sức khỏe cộng đồng.

Theo khảo sát của nhà máy Sagama Việt Nam, mỗi năm nước ta thải ra khoảng 400.000 tấn cao su phế liệu (tương đương với 30.000 tấn/tháng). Trong đó khoảng 10% lớp phế thải được tái chế hoặc tái sử dụng bởi các cách phổ thông thô sơ, 40% đốt bỏ để lấy năng lượng trong các hoạt động tiểu thủ công nghiệp (hoạt động này không được kiểm soát và xử lý khí thải, công nhân vận hành trong điều kiện ô nhiễm), khoảng 50% còn lại được thải bỏ ra môi trường hoặc vào bãi chôn lấp (số lượng này sẽ mất rất lâu để phân hủy vào đất). Vì thế yêu cầu cấp bách hiện nay là cần phải có thêm nhiều nghiên cứu về tận dụng nguồn phế thải này. Và ý tưởng sử dụng lớp xe phế liệu tái chế làm vật liệu san nền, vật liệu đắp trong xây dựng là một giải pháp mang tính kinh tế cao và góp phần làm xanh môi trường sống (theo nghĩa thu gom, không để vớt bừa bãi và không phải đốt ảnh hưởng tới môi trường không khí).

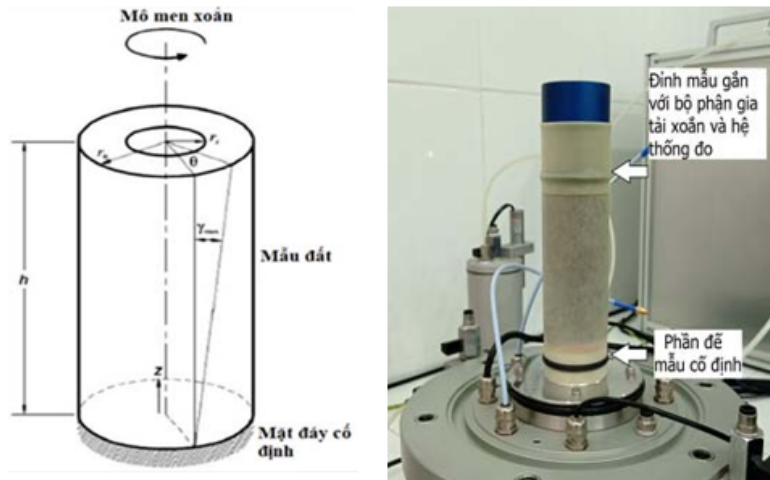
Để sử dụng lớp xe phế liệu trong các ứng dụng công trình xây dựng, người ta có thể để nguyên chiếc hoặc cắt chúng thành nhiều kích thước khác nhau tùy thuộc vào mục đích sử dụng. Theo ASTM (D6270 - 98), các kích thước hạt được phân loại thành bảy loại: cao su bột, cao su xay, cao su hạt, dăm lớp, vụn lớp, cốt liệu có nguồn gốc từ lớp (TDA) và vụn thô. Tái sử dụng lớp xe phế liệu trong các ứng dụng công trình xây dựng làm vật liệu đã bắt đầu được chú trọng nghiên cứu do phạm vi sử dụng linh hoạt của nó. Một số nghiên cứu nổi bật như: nghiên cứu cao su phế thải để sử dụng làm vật liệu mặt đường [1–3]; nghiên cứu cao su phế thải làm vật liệu đắp cho nền đường cao tốc, gia cố đất – tường chắn [4–7]. Các nghiên cứu trên cho thấy việc tái sử dụng sẫm lớp xe phế thải phục vụ cho công tác xây dựng là phương pháp thân thiện với môi trường, có thể sử dụng đại trà và khả năng tiết kiệm chi phí cao.

Cao su với khả năng giảm chấn động nên khi kết hợp với vật liệu đắp thông thường sẽ tạo thành hỗn hợp lý tưởng để làm nền giảm chấn động cho công trình khi có động đất. Vì vậy hỗn hợp cát - cao su có thể nói là rất phù hợp để đắp hay làm nền giảm chấn cho các công trình chịu tải trọng động đất. Trên cơ sở giá trị hệ số cản của vật liệu cát, cát - cao su thu được từ thí nghiệm cột cộng hưởng của tác giả [8], bài báo này sẽ xây dựng mô hình số phần tử hữu hạn (PTHH) để khảo sát cho công trình nhà BTCT 4 tầng (cao 12 m) và 1 tầng hầm sâu 2 m với bốn trường hợp: nền cát thông thường và nền cát có 25%, 50%, 75% thể tích là cao su. Khả năng giảm chấn động cho công trình khi có động đất sẽ được đưa ra sau khi so sánh nội lực, chuyển vị, gia tốc của một số điểm trên kết cấu và trong nền của mô hình khảo sát. Kết quả cho thấy hàm lượng cao su trong nền càng cao thì khả năng giảm chấn càng lớn. Sự suy giảm về vận tốc, gia tốc trên kết cấu là rõ rệt; còn sự suy giảm về vận tốc, gia tốc tại nền đất thì chưa thực sự rõ ràng. Đối với nội lực của cấu kiện thì suy giảm của lực cắt sẽ lớn hơn suy giảm của mô men.

2. Thí nghiệm cột cộng hưởng xác định các đặc trưng động của hỗn hợp cát – cao su [8]

Mô đun trượt G và hệ số cản D sẽ được xác định bằng gia tải xoắn chu kỳ ở đỉnh mẫu với biên độ vừa và nhỏ trên thiết bị thí nghiệm cột cộng hưởng (Hình 1). Máy sẽ tự động thay đổi tần số từ thấp đến cao để xác định được tần số cộng hưởng ứng với mỗi độ lớn lực kích thích được đặt trước (Hình 2). Theo tiêu chuẩn ASTM D4015 – 07, mô đun trượt G và hệ số cản D sẽ được xác định theo công thức sau:

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

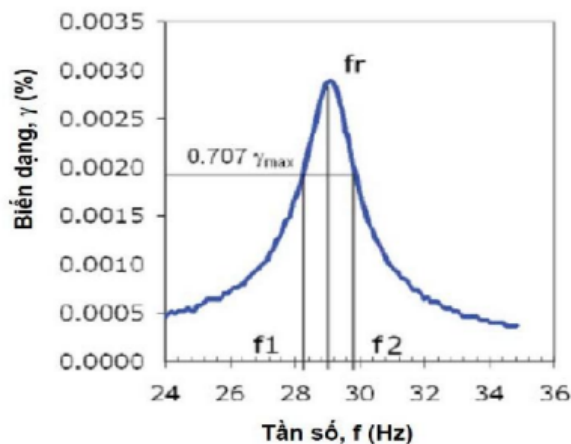


Hình 1. Sơ đồ nguyên lý mẫu chịu tải trọng động khi thí nghiệm cột cộng hưởng và hình thực tế trên thiết bị

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

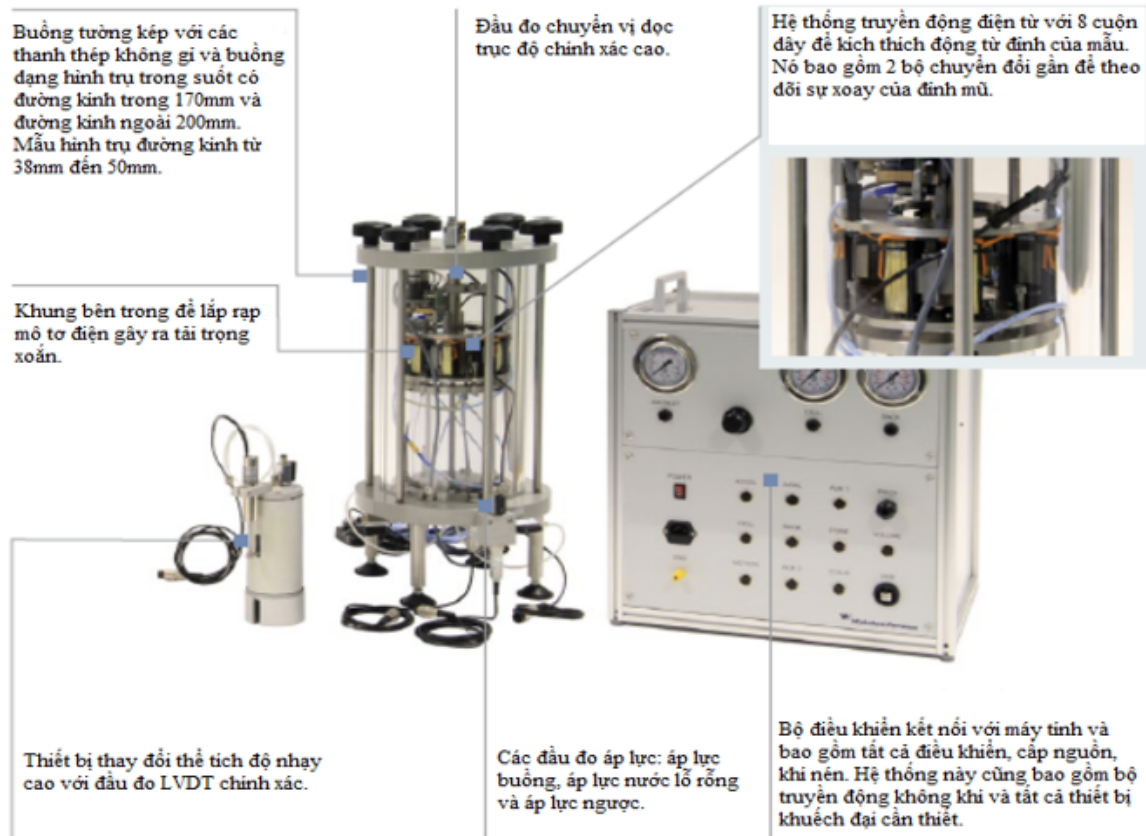
$$D = \frac{f_2 - f_1}{2f_r} \quad (3)$$

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 là mô men quán tính của mẫu đất; I_0 là mô men quán tính của bộ phận gia tải lắp trên mẫu).



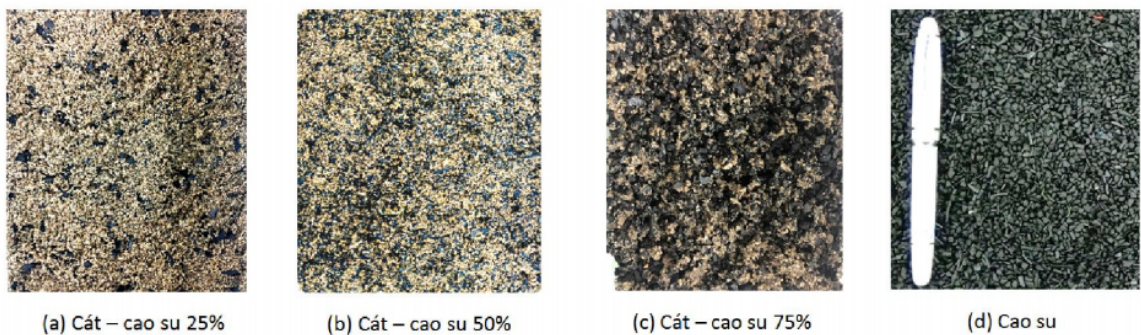
Hình 2. Sự thay đổi của biến dạng theo tần số

Các thí nghiệm xác định các tham số động của hỗn hợp cát cao su trong trường hợp biến dạng bé sẽ 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).

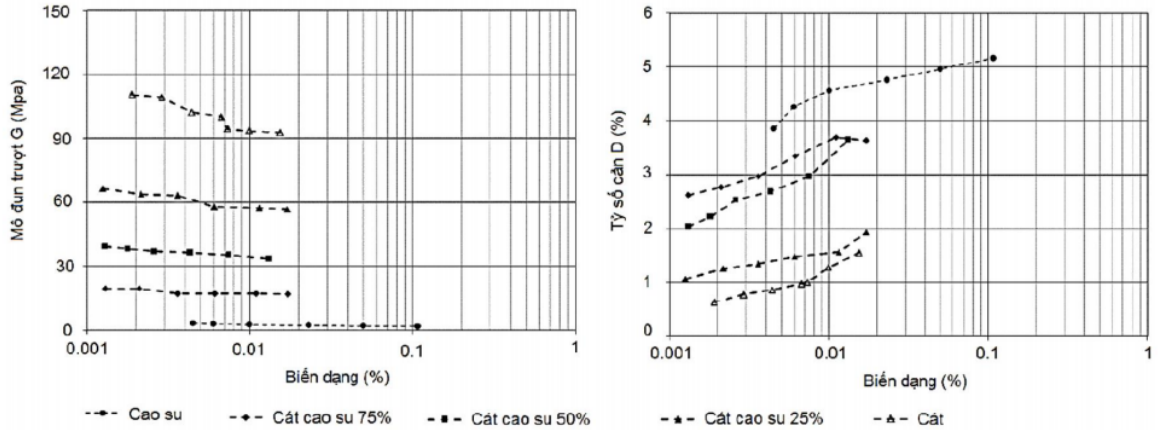


Hình 3. Thiết bị thí nghiệm cột cộng hưởng

Hạt cao su thí nghiệm được cắt từ sẫm của xe máy nên các hạt có kích thước khá đồng đều 1 mm – 3 mm (trong đó từ 1 mm – 2 mm chiếm 36% khối lượng). Mẫu thí nghiệm sẽ gồm: mẫu cát thông thường; mẫu cát – cao su với tỷ lệ 25% thể tích cao su; mẫu cát – cao su với tỷ lệ 50% thể tích cao su; mẫu cát – cao su với tỷ lệ 75% thể tích cao su và mẫu cao su (Hình 4). Kết quả thí nghiệm về Mô đun trượt G và tỷ số cản D của hỗn hợp khi độ chặt tương đối 90 và áp lực 100 kPa thể hiện trên Hình 5.



Hình 4. Mẫu thí nghiệm

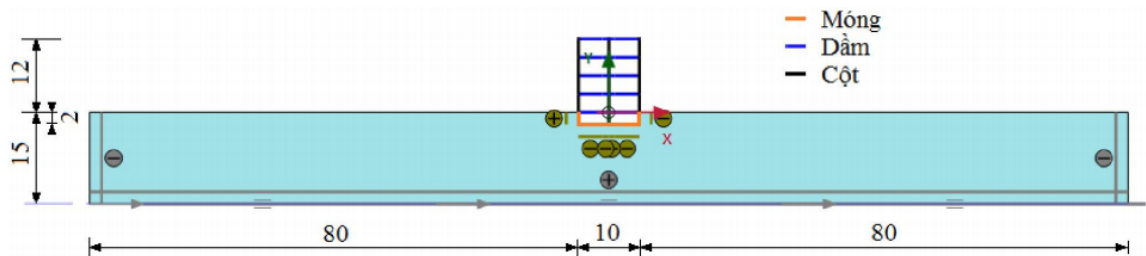


Hình 5. Mô đun trượt G và tỷ số cản D của hỗn hợp khi độ chặt tương đối 90 và áp lực 100 kPa

3. Mô hình số bài toán

3.1. Đặt bài toán

Công trình khảo sát dưới dạng BTCT 4 tầng và 1 tầng hầm. Chiều cao của nhà tính từ mặt đất là 12 m (4×3 m), chiều sâu tầng hầm 2 m (Hình 6). Hoạt tải trên các sàn là 4 kN/m^2 . Các tham số vật liệu của kết cấu công trình được tham khảo và sửa đổi từ tài liệu [9], cụ thể trình bày trong Bảng 1.



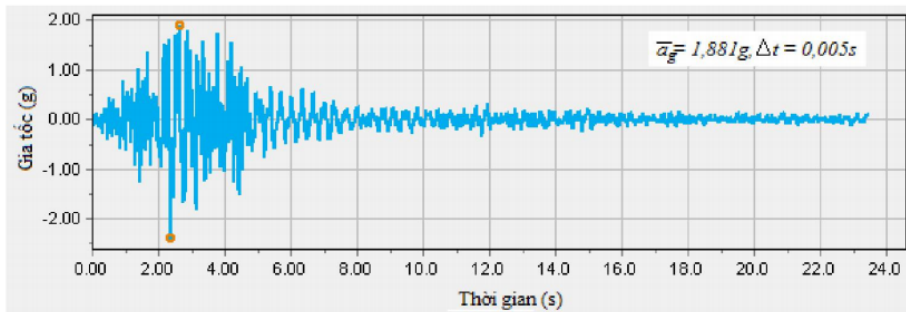
Hình 6. Sơ đồ mô hình hóa công trình trên nền đất

Bảng 1. Tham số vật liệu của kết cấu và móng

Tham số	Ký hiệu	Cột	Dầm	Móng	Đơn vị
Độ cứng dọc trục	EA	5×10^6	9×10^6	12×10^6	kN/m
Độ cứng chống uốn	EI	5000	$67,5 \times 10^3$	160×10^3	kNm^2/m
Khối lượng	w	5	10	20	kN/m/m
Hệ số cản Rayleigh α	α	0,2320	0,2320	0,2320	
Hệ số cản Rayleigh β	β	8×10^{-3}	8×10^{-3}	8×10^{-3}	

Công trình được xây dựng trên nền đất gồm 2 lớp: lớp dưới là cát chặt nguyên thổ, lớp trên là lớp đất tôn nền. Tuy nhiên, để rút ngắn thời gian tính toán và tránh sự ảnh hưởng của ranh giới giữa các lớp, tải động đất sẽ được gán trên bề mặt của lớp đất nguyên thổ (đáy của lớp tôn nền). Biên độ

chuyển vị ban đầu $u_{x,start,ref} = 0,5$ m, tải động đất sẽ được mô tả là sự biến đổi của gia tốc nền theo phương x ở biên phía dưới mô hình (Hình 7).



Hình 7. Bảng gia tốc nền nhân tạo

Bốn trường hợp cho lớp tôn nền sẽ được lựa chọn khảo sát để đánh giá khả năng giảm chấn động của nền cát – cao su như sau:

- Trường hợp 1: Móng đặt trên nền cát thông thường.
- Trường hợp 2: Móng đặt trên một phần nền là hỗn hợp cát chứa 25% cao su (theo thể tích).
- Trường hợp 3: Móng đặt trên một phần nền là hỗn hợp cát chứa 50% cao su (theo thể tích).
- Trường hợp 4: Móng đặt trên một phần nền là hỗn hợp cát chứa 75% cao su (theo thể tích).

Để đơn giản trong tính toán mô hình nền ở đây lựa chọn là mô hình đàn hồi. Các tham số thông thường được lấy theo một số tài liệu của các tác giả trước. Riêng tham số cản D và mô đun trượt G của nền được lấy theo thí nghiệm cột cộng hưởng của tác giả [8]. Tỷ số cản lấy giá trị nhỏ nhất trong kết quả thí nghiệm và được nhập vào phần mềm theo phương pháp cản Rayleigh. Cách thức khai báo tương tự tài liệu [10]. Tỷ số cản sẽ được đặt tương ứng với tần số $f_1 = 1$ Hz, $f_2 = 10$ Hz từ đó chương trình sẽ tự động tính các giá trị α và β . Chi tiết các tham số của nền được trình bày trong Bảng 2. Các tham số còn lại E_{ode} (Mô đun đàn hồi không nở hông); E' (Mô đun đàn hồi); V_s (vận tốc sóng ngang); V_p (vận tốc sóng dọc) sẽ được chương trình tự động tính toán.

Bảng 2. Các tham số của nền

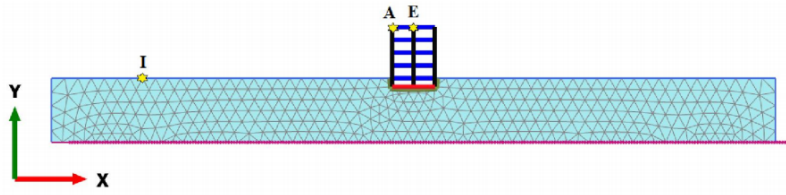
Tham số	Ký hiệu	Cát	Cao su 25% thể tích	Cao su 50% thể tích	Cao su 75% thể tích	Đơn vị
Khối lượng thể tích	Γ	18	16,6	15,6	14,7	kN/m ³
Hệ số poisson	ν'	0,33	0,33	0,33	0,33	
Mô đun trượt	G	90	59	31	18	Mpa
Tỷ số cản	D	0,6	1,0	2,0	2,6	%

3.2. Xây dựng mô hình số

Dùng phần mềm Plaxis 2020 để mô hình số bài toán. Mô hình số bài toán được thể hiện như trên Hình 8. Dầm, cột và móng được mô tả là phần tử tấm. Vùng khảo sát có chiều dày 10 m, chiều rộng là 170 m. Điều kiện biên của bài toán như sau: biên trái và biên phải của mô hình hạn chế chuyển vị theo phương X; biên dưới của mô hình hạn chế theo phương ngang X và phương đứng Y; biên trên là tự do. Trong phân tích động đất, biên trái và phải của mô hình sẽ chọn loại biên Free-field (biên có

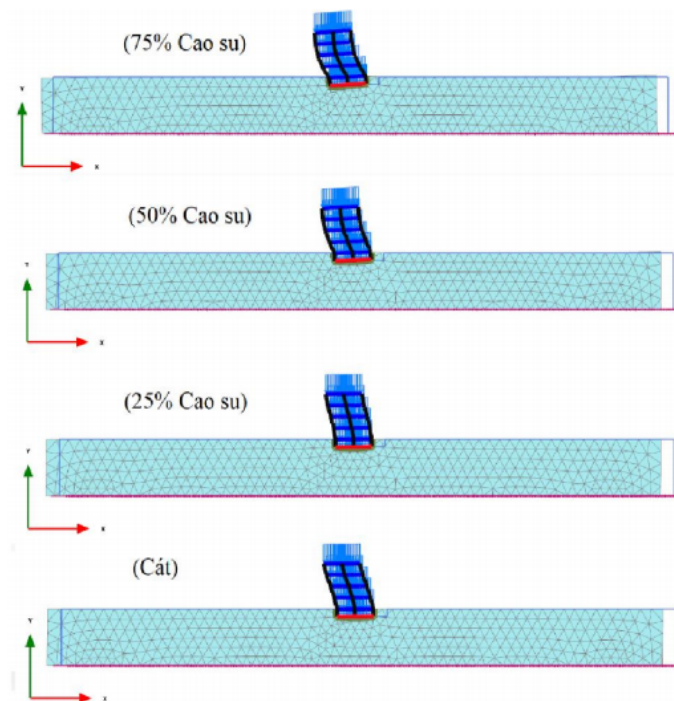
khả năng hấp thụ sóng phản xạ bề mặt), biên dưới sẽ chọn loại Compliant base (là loại biên chuyên dùng để gán tải động đất trong Plaxis – vừa truyền tải lên biên, vừa hấp thụ sóng phản xạ).

Để dễ dàng trong việc so sánh hiệu quả giảm tác động của động đất sau khi sử dụng đất đắp hỗn hợp cát cao su, sẽ dùng số liệu tại các điểm A, E, I của các trường hợp để đánh giá. Lưới phân tử của mô hình sau khi chia được thể hiện trên Hình 8.



Hình 8. Sơ đồ lưới phần tử

4. Đánh giá khả năng giảm chấn động của công trình khi có động đất



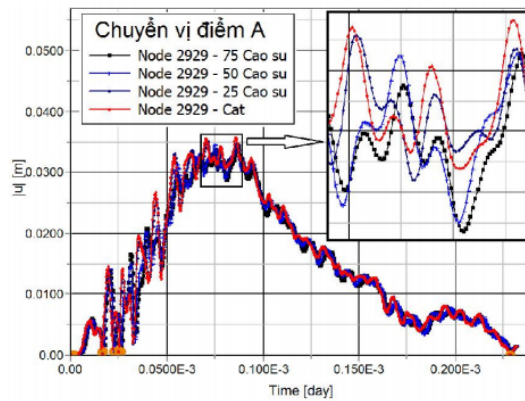
Hình 9. Chuyển vị của công trình (thời điểm 20 s)

Công thức xác định phần trăm suy giảm, như sau:

$$D_i = \left[\frac{X_{\text{Cát}} - X_i}{X_{\text{Cát}}} \right] \cdot 100\% \quad (4)$$

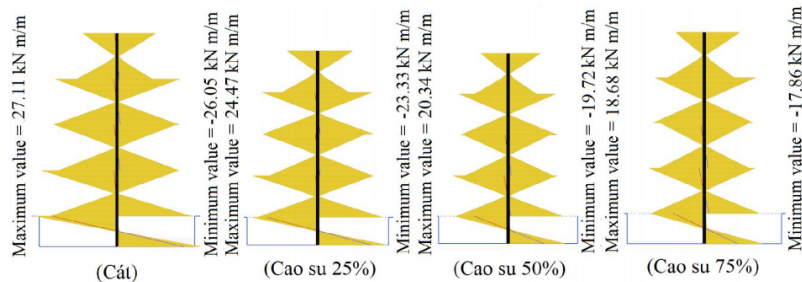
trong đó D_i là phần trăm suy giảm (%); i là tỷ lệ cao su trong hỗn hợp; $X_{\text{Cát}}$ là giá trị tính toán đối với nền cát; X_i là giá trị tính toán đối với nền hỗn hợp có tỷ lệ cao su i .

Hình 9 thể hiện chuyển vị của công trình tại thời điểm 20 s của các trường hợp nền. Các loại nền khác nhau sẽ ảnh hưởng tới chu kỳ dao động và ảnh hưởng tới biến dạng của công trình (ở thời điểm 20 s công trình trên nền cát biến dạng khác hướng với các dạng nền còn lại). Tương tự như vậy chuyển vị của công trình mà nền có hàm lượng cát cao su càng lớn thì càng mềm mại hơn (Hình 10). Biên độ dao động chuyển vị của công trình với các dạng nền khác nhau cũng khác nhau. Biên độ dao động lớn nhất là nền cát thông thường, tiếp theo là nền cát cao su hàm lượng 25% và biên độ dao động nhỏ nhất là nền cát cao su hàm lượng 75% (Hình 10).

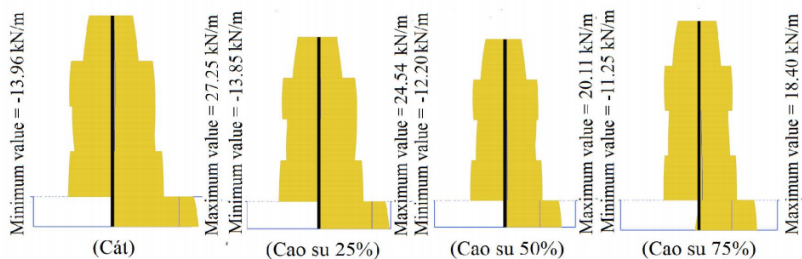


Hình 10. Chuyển vị của điểm A

Hình 11-16 biểu diễn biểu đồ bao mô men, lực cắt tại các cột giữa, cột biên trái và cột biên phải. Với các loại nền khác nhau quy luật đường bao cũng khác nhau (điều này giống với quy luật biến

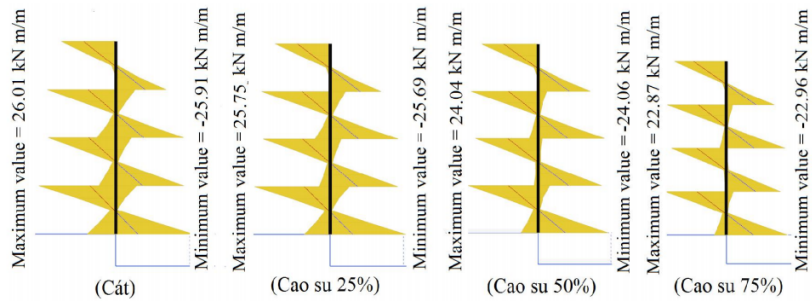


Hình 11. Biểu đồ bao mô men cột giữa

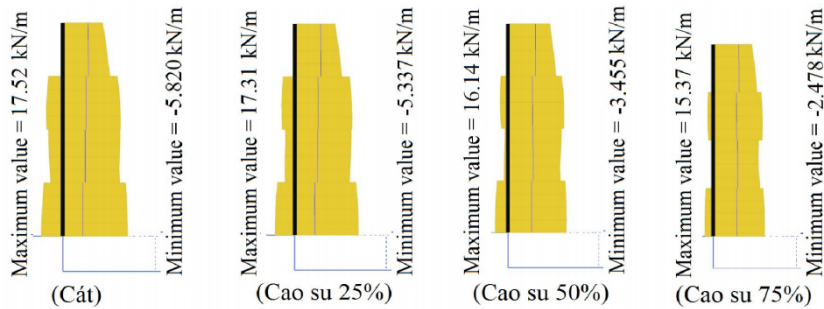


Hình 12. Biểu đồ bao lực cắt cột giữa

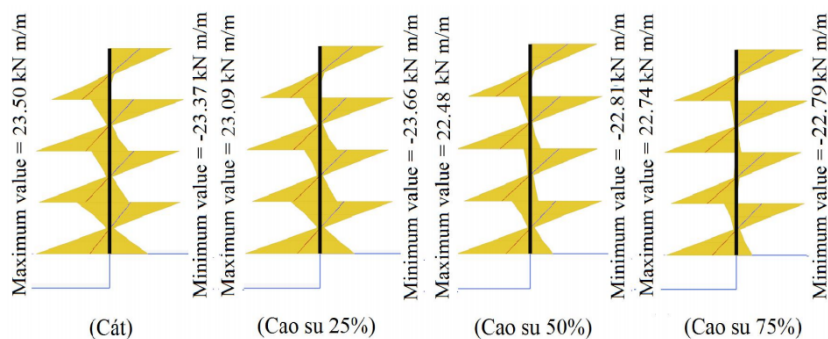
dạng của công trình đã nêu trên). Tuy nhiên khi xét về giá trị tuyệt đối của biểu đồ bao mô men và biểu đồ bao lực cắt thì giá trị tuyệt đối của mô men và lực cắt trong các cấu kiện lớn nhất vẫn trong trường hợp nền cát (chỉ có 1 giá trị Mô men tại cột biên phải ứng với nền cát cao su hàm lượng 25% là lớn hơn nền cát), giá trị đó sẽ giảm dần khi hàm lượng cao su trong nền tăng lên, giảm lớn nhất vẫn là trường hợp nền hỗn hợp cát cao su 75%.



Hình 13. Biểu đồ bao mô men cột biên trái

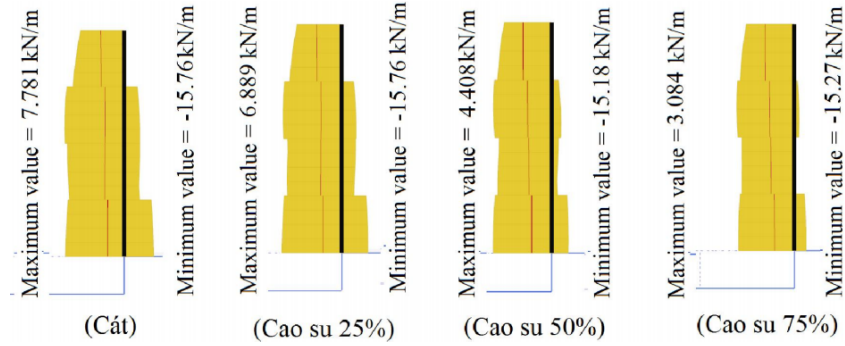


Hình 14. Biểu đồ bao lực cắt cột biên trái



Hình 15. Biểu đồ bao mô men cột biên phải

Bảng 3 thể hiện phần trăm suy giảm giá trị tuyệt đối của mô men và lực cắt tại các cột và theo các loại nền khác nhau. Đối với nền hỗn hợp cao su suy giảm của mô men và lực cắt lớn nhất tại cột giữa. Suy giảm nhỏ nhất tại vị trí cột biên phải. Khi so sánh sự suy giảm giá trị trung bình của các cấu kiện thì suy giảm của lực cắt sẽ lớn hơn suy giảm của mô men. Nhưng nói chung vẫn theo quy luật: hàm lượng cao su trong nền càng cao thì sự suy giảm càng lớn.

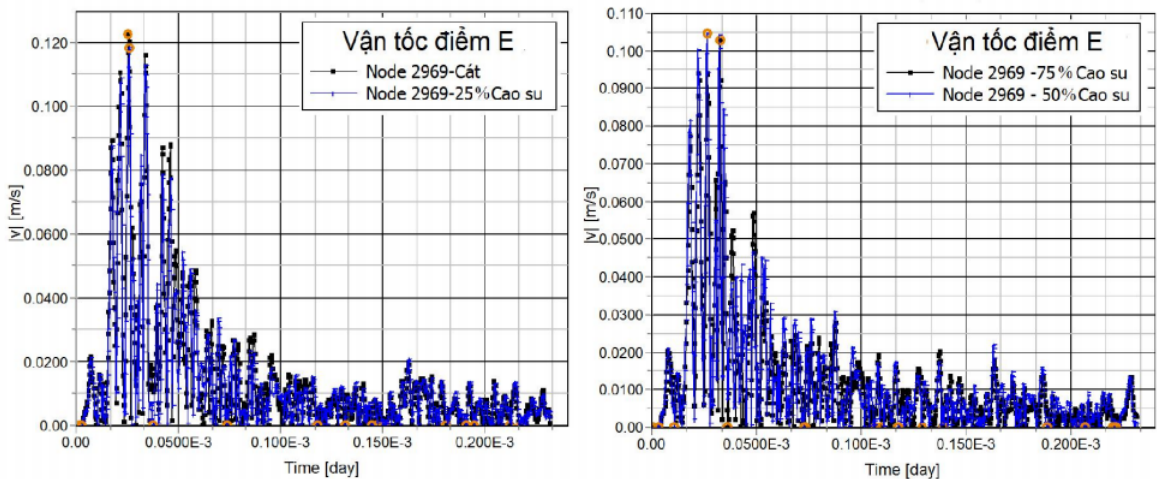


Hình 16. Biểu đồ bao lực cắt cột biên phải

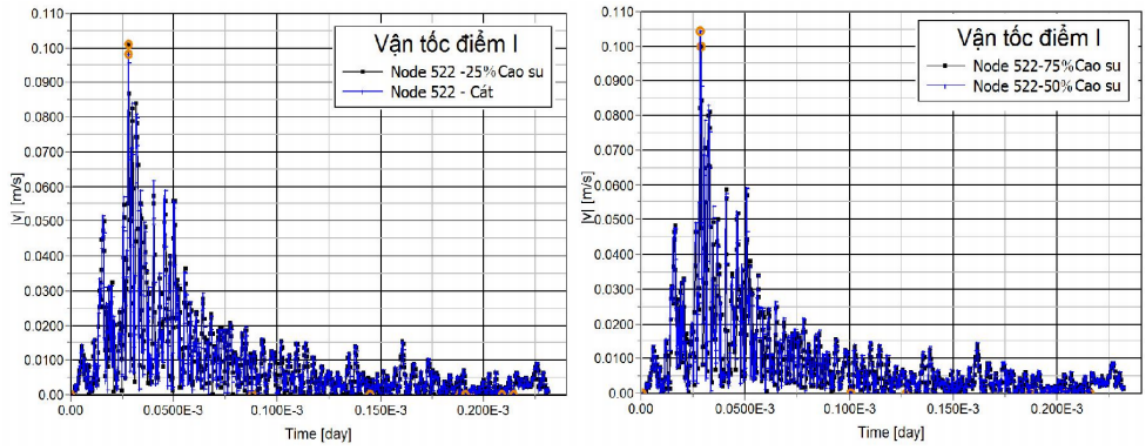
Bảng 3. Phần trăm suy giảm giá trị mô men và lực cắt lớn nhất

Vị trí cấu kiện	Suy giảm mô men % (Giá trị tuyệt đối)			Suy giảm lực cắt % (Giá trị tuyệt đối)		
	Cao su 75%	Cao su 50%	Cao su 25%	Cao su 75%	Cao su 50%	Cao su 25%
Cột giữa	31,10	24,97	9,74	32,48	26,20	9,94
Cột biên trái	11,73	7,50	1,00	12,27	7,88	1,20
Cột biên phải	3,02	2,94	-0,68	3,11	3,68	0,00
Trung bình	15,28	11,80	3,35	15,95	12,59	3,71

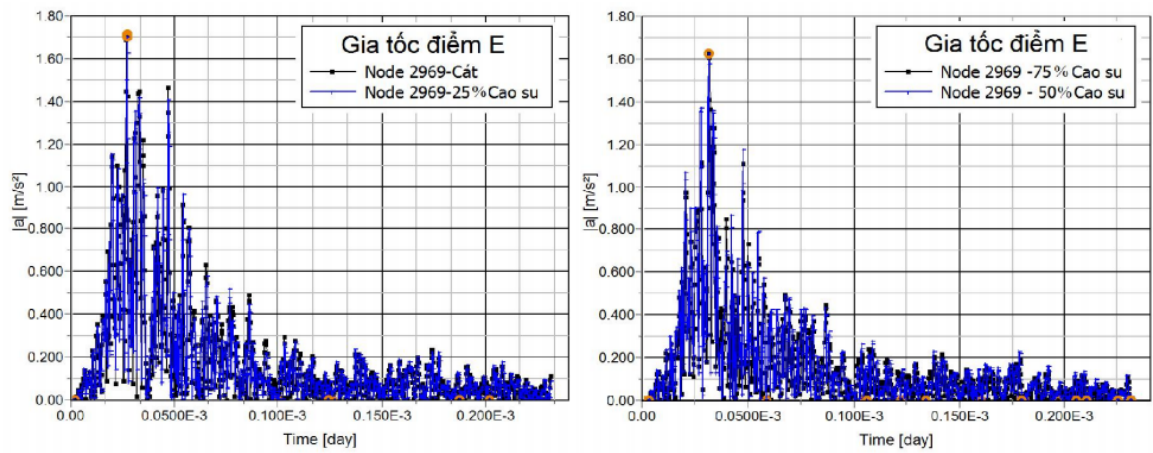
Hình 17–20 thể hiện vận tốc và gia tốc của các điểm E, I trong tất cả các trường hợp. Từ hình vẽ cho thấy vận tốc và gia tốc của điểm E khi nền có cao su đều bé hơn so với nền cát. Hàm lượng cao su càng lớn thì khả năng giảm vận tốc và gia tốc càng lớn. Sự suy giảm về vận tốc, gia tốc tại điểm E trên kết cấu là rõ rệt; tuy nhiên, sự suy giảm về vận tốc, gia tốc tại điểm I trên nền đất thì không rõ ràng và cần phải có thêm nhiều nghiên cứu hơn để làm sáng tỏ vấn đề này.



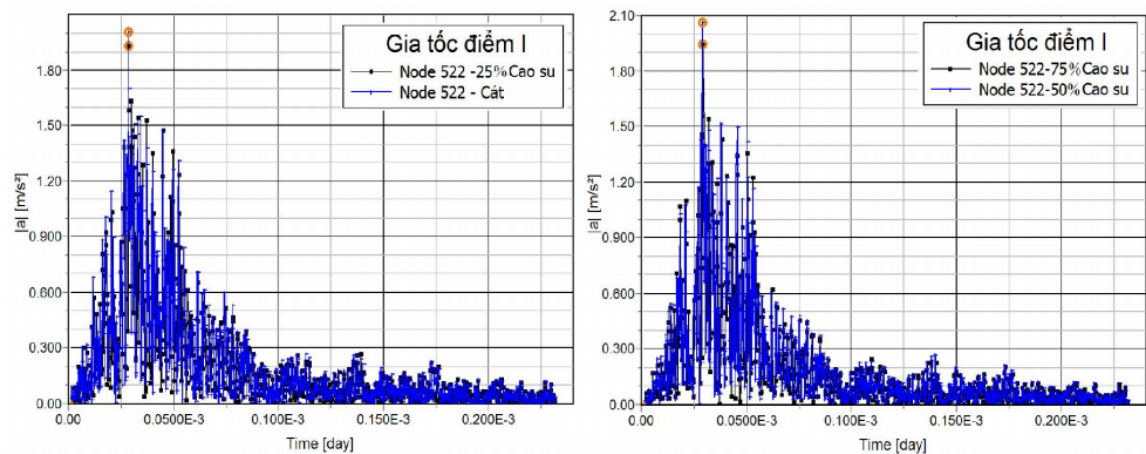
Hình 17. Vận tốc điểm E



Hình 18. Vận tốc điểm I



Hình 19. Gia tốc điểm E



Hình 20. Gia tốc điểm I

Bảng 4 thể hiện vận tốc, gia tốc tuyệt đối lớn nhất và phần trăm suy giảm. Có thể thấy, trong trường hợp hỗn hợp nền cao su 75%, vận tốc tại điểm E suy giảm lớn nhất là 16,42%, gia tốc suy giảm lớn nhất là 5,43%. Đây là giá trị suy giảm lớn nhất trong tất cả các trường hợp khảo sát. Trong trường hợp nền là hỗn hợp cát cao su 25%, thì sự suy giảm về vận tốc là 3,66% và suy giảm về gia tốc là 0,82%. Đây cũng là giá trị không hề nhỏ và cũng có ý nghĩa nhất định trong việc giảm chấn động cho công trình khi có động đất.

Bảng 4. Vận tốc, gia tốc tuyệt đối lớn nhất và phần trăm suy giảm

Loại nền	Điểm E				Điểm I			
	Vận tốc tuyệt đối lớn nhất (m/s)	Suy giảm vận tốc %	Gia tốc tuyệt đối lớn nhất (m/s ²)	Suy giảm gia tốc %	Vận tốc tuyệt đối lớn nhất (m/s)	Suy giảm vận tốc %	Gia tốc tuyệt đối lớn nhất (m/s ²)	Suy giảm gia tốc %
Cát	0,123	0	1,714	0	0,0983	0	2,015	0
Cao su 25%	0,1185	3,66	1,7	0,82	0,101	-2,75	1,93	4,22
Cao su 50%	0,1048	14,80	1,622	5,37	0,1043	-6,10	2,06	-2,23
Cao su 75%	0,1028	16,42	1,621	5,43	0,101	-2,24	1,943	3,57

5. Kết luận

Trên cơ sở tham khảo giá trị hệ số cản của vật liệu cát, cát - cao su từ tài liệu của tác giả [8] để xây dựng mô hình số PTHH khảo sát cho công trình nhà khung 4 tầng (cao 12 m) gồm 1 tầng hầm (sâu 2 m) với nhiều trường hợp: nền cát thông thường và nền cát có 25%, 50%, 75% thể tích là cao su, rút ra một số kết luận như sau:

- Các loại nền khác nhau sẽ ảnh hưởng tới chu kỳ dao động và ảnh hưởng tới biến dạng của công trình. Biên độ dao động chuyển vị của công trình với các dạng nền khác nhau cũng khác nhau. Biên độ dao động lớn nhất là nền cát thông thường, tiếp theo là nền cát cao su hàm lượng 25% và biên độ dao động nhỏ nhất là nền cát cao su hàm lượng 75%.

- Đối với nền hỗn hợp cao su suy giảm của mô men và lực cắt lớn nhất tại cột giữa. Suy giảm nhỏ nhất tại vị trí cột biên phải. Khi so sánh sự suy giảm giá trị trung bình của các cấu kiện thì suy giảm của lực cắt sẽ lớn hơn suy giảm của mô men. Nhưng quy luật chung là: hàm lượng cao su trong nền càng cao thì sự suy giảm càng lớn.

- Hàm lượng cao su càng lớn thì khả năng giảm vận tốc và gia tốc của các điểm trên công trình càng lớn. Sự suy giảm về vận tốc, gia tốc tại điểm E trên kết cấu là rõ rệt; còn sự suy giảm về vận tốc, gia tốc tại điểm I trên nền đất thì chưa thực sự rõ ràng. Trường hợp hỗn hợp nền cao su 50%, vận tốc tại điểm E trên kết cấu suy giảm lớn nhất là 14,80%, gia tốc suy giảm lớn nhất là 5,37%. Điều này chứng tỏ rằng hỗn hợp nền cát cao su có ý nghĩa quan trọng trong việc giảm chấn động cho công trình khi có động đất.

Tài liệu tham khảo

- [1] Liang, R. Y., Lee, S. (1996). [Short-Term and Long-Term Aging Behavior of Rubber Modified Asphalt Paving Mixture](#). *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1530 (1):11-17.

- [2] Maupin, G. W. (1996). [Hot Mix Asphalt Rubber Applications in Virginia](#). *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1530(1):18–24.
- [3] Eleazer, W. E., Barlaz, M. A. (1992). Technologies for utilization of waste tires in asphalt pavement. *Utilization of Waste Materials in Civil Engineering Construction*, ASCE, 193–201.
- [4] Humphrey, D. N., Sandford, T. C., Cribbs, M. M., Manion, W. P. (1993). Shear strength and compressibility of tire chips for use as retaining wall backfill. *Transportation research record*, (1422).
- [5] Upton, R. J., Machan, G. (1993). Use of shredded tires for lightweight fill. *Transportation Research Record*, (1422).
- [6] Ahmed, I., Lovell, C. W. (1993). Rubber soils as lightweight geomaterials. *Transportation Research Record*, (1422).
- [7] Lee, J. H., Salgado, R., Bernal, A., Lovell, C. W. (1999). [Shredded Tires and Rubber-Sand as Lightweight Backfill](#). *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125(2):132–141.
- [8] Tuấn, V. V., Hùng, B. Q. (2021). Nghiên cứu sự biến đổi tham số động của hỗn hợp cát cao su bằng thí nghiệm cột cộng hưởng. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng-Viện Vật liệu xây dựng*, (2):11–17.
- [9] van der, S. M. (2019). [PLAXIS 2D Tutorial 16: Free vibration and earthquake analysis of a building](#).
- [10] van der, S. M. (2019). [PLAXIS 2D Tutorial 14: Dynamic analysis of a generator on an elastic foundation](#).