

NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ NGANG CỦA NGUYÊN MẪU GỐI CÁCH CHẤN ĐÀN HỒI CỐT SỢI KHÔNG LIÊN KẾT

Ngô Văn Thuyết^{a,*}

^a*Khoa Công trình, Đại học Thủy lợi, 175 Tây Sơn, quận Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 29/05/2018, Sửa xong 20/06/2018, Chấp nhận đăng 25/09/2018

Tóm tắt

Gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết là kết quả của nỗ lực đơn giản hóa kỹ thuật sử dụng gối cách chấn cho công trình chịu động đất. Gối cách chấn không liên kết được đặt trực tiếp lên trên phần đài móng và dưới phần thân công trình mà không cần bất kỳ một liên kết vật lý nào. Đây là một loại gối cách chấn đàn hồi tương đối mới, đang được phát triển trên thế giới. Nghiên cứu này phân tích sự làm việc của nguyên mẫu gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết bằng mô hình số. Hiệu quả của gối cách chấn cốt sợi không liên kết này được so sánh với gối cốt sợi liên kết thông thường.

Từ khoá: gối cách chấn; nguyên mẫu gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết; biến dạng cuộn; độ cứng ngang hiệu dụng; chuyển vị ngang vòng lặp.

STUDY ON HORIZONTAL BEHAVIOR OF PROTOTYPE UN-BONDED FIBER REINFORCED ELASTOMERIC ISOLATOR

Abstract

Un-bonded fiber reinforced elastomeric isolator (U-FREI) is a result of the effort for the ease of installation of the seismic isolation technology. U-FREI is installed directly between the substructure and superstructure without any connection at the interfaces. It is relatively new seismic isolator which have been developed in the world. In this study, horizontal behavior of a prototype U-FREI is investigated by finite element analysis. The effectiveness of horizontal behavior of the U-FREI is compared to corresponding bonded isolator.

Keywords: base isolator; prototype un-bonded fiber reinforced elastomeric isolator; rollover deformation; effective horizontal stiffness; cyclic horizontal displacement.

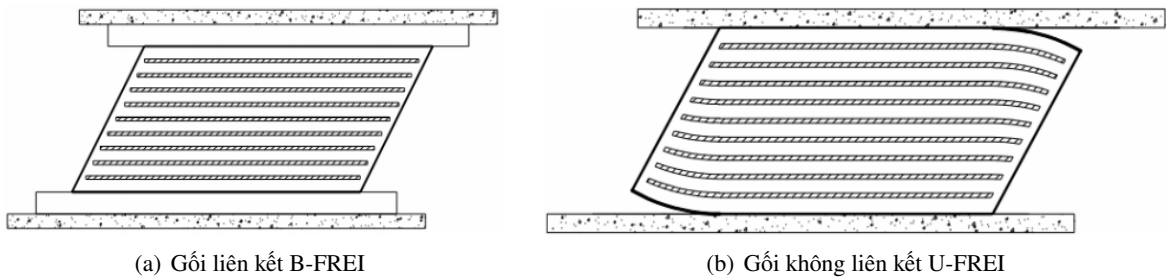
[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12\(6\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(6)-05) © 2018 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Giảm chấn thụ động là một trong bốn phương pháp giảm chấn (gồm giảm chấn chủ động, giảm chấn bán chủ động, giảm chấn thụ động và giảm chấn dạng lai) đang được sử dụng phổ biến hiện nay cho công trình chịu động đất. Trong phương pháp giảm chấn thụ động, nguồn năng lượng hoạt động của các thiết bị giảm chấn được lấy từ chính năng lượng dao động của bản thân công trình. Gối cách chấn đáy là một thiết bị phổ biến của phương pháp giảm chấn thụ động. Gối cách chấn thường nằm ở phần nối tiếp giữa phần đài móng và phần thân công trình. Khi sử dụng gối cách chấn đáy, năng lượng của động đất được tiêu tán nhờ chuyển hóa thành động năng của công trình. Có được điều này là do gối cách chấn có độ cứng theo phương ngang thấp nên chịu được chuyển vị lớn của các trận động đất, nhưng vẫn đảm bảo độ cứng theo phương đứng để chịu được trọng lượng của công trình.

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: thuyet.kcct@tlu.edu.vn (Thuyết, N. V.)

Có hai loại gối cách chấn thường dùng là gối cách chấn đàn hồi và gối cách chấn trượt, trong đó gối cách chấn đàn hồi được sử dụng phổ biến hơn. Gối cách chấn đàn hồi thông thường SREI (steel reinforced elastomeric isolator) được cấu tạo từ các lớp cao su mỏng và các lớp lá thép xen kẽ, gắn kết với nhau; và có hai đế thép dày ở phần đỉnh và phần đáy để liên kết với phần thân và phần móng công trình. Các gối SREI này thường nặng và đắt tiền nên chúng thường được sử dụng trong các tòa nhà cao tầng, đắt tiền. Gối cách chấn đàn hồi cốt sợi liên kết B-FREI (bonded fiber reinforced elastomeric isolator) là một cải tiến của gối cách chấn đàn hồi thông thường SREI, trong đó các lớp lá thép trong gối SREI đã được thay thế bằng các lớp sợi, thường là sợi carbon. Để giảm hơn nữa trọng lượng, giá thành và đơn giản trong lắp dựng, gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết U-FREI (un-bonded fiber reinforced elastomeric isolator) đã được phát triển. So với gối liên kết B-FREI, gối không liên kết U-FREI có cấu tạo tương tự nhưng hai đế thép dày ở phần đáy và phần đỉnh đã được loại bỏ. Khác với gối liên kết B-FREI, gối không liên kết U-FREI được đặt trực tiếp lên trên phần đài móng và dưới phần thân công trình mà không có bất cứ liên kết nào giữa chúng. So sánh sự làm việc của gối liên kết B-FREI và gối không liên kết U-FREI được miêu tả trong Hình 1. Từ Hình 1 có thể thấy: trong quá trình làm việc, gối liên kết B-FREI luôn giữ chặt với phần đài móng và phần thân móng do được liên kết bằng các bulông (Hình 1(a)), ngược lại, các lớp cao su ngoài cùng ở gối không liên kết U-FREI có một phần tách rời (không liên kết) với phần móng và phần thân công trình (Hình 1(b)). Hiện tượng biến dạng không liên kết này của gối U-FREI được gọi là biến dạng cuộn.



Hình 1. Biến dạng của các loại gối cách chấn khác nhau khi chịu chuyển vị ngang

Gối không liên kết U-FREI có nhiều ưu điểm hơn so với gối liên kết B-FREI thông thường. Trọng lượng và giá thành của gối không liên kết U-FREI được giảm đáng kể so với gối liên kết B-FREI do đã loại bỏ hai phần đế thép dày. Hơn nữa, gối không liên kết U-FREI đơn giản trong thi công lắp dựng hơn so với gối B-FREI. Ngoài ra, gối không liên kết U-FREI có thể sản xuất thành một tấm lớn trong nhà máy, sau đó cắt nhỏ theo yêu cầu kích thước của nhà thiết kế, trong khi đó gối liên kết B-FREI chỉ có thể sản xuất theo từng đơn vị sản phẩm. Những ưu điểm này đã được nêu ra ở [1]. Từ những ưu điểm đó, gối không liên kết U-FREI được kỳ vọng thay thế gối cách chấn đàn hồi thông thường sử dụng cho công trình trung và thấp tầng ở các nước đang phát triển như ở Việt Nam.

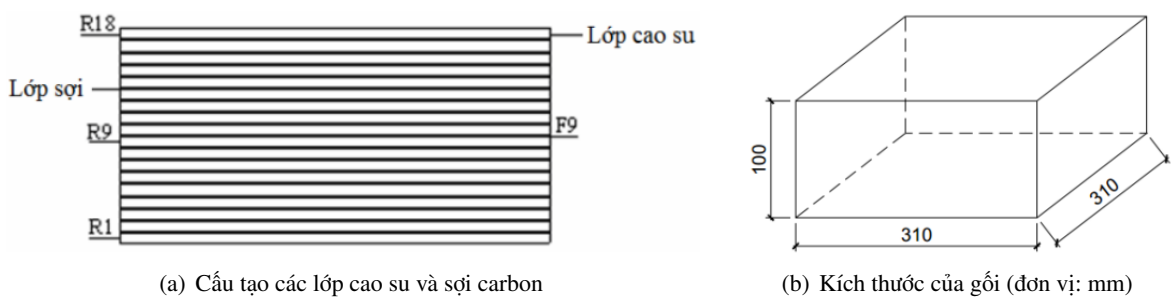
Nghiên cứu ứng xử theo phương ngang của gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết U-FREI đã được thực hiện bằng cả thí nghiệm và phân tích mô hình số. Ứng xử ngang của gối không liên kết U-FREI hình khối hộp với các mẫu có kích thước nhỏ đã được điều tra trong phòng thí nghiệm bởi [1]. Ứng xử ngang của gối không liên kết U-FREI hình khối hộp theo các phương khác nhau của chuyển vị ngang đã được nghiên cứu bằng phương pháp Phần Tử Hữu Hạn (PTHH) sử dụng phần mềm MSC.Marc bởi [2]. Ở Việt Nam, Thuyết [3] đã nghiên cứu về ứng xử ngang của nguyên mẫu gối cách chấn đàn hồi cốt sợi liên kết B-FREI. Tuy nhiên, có rất ít nghiên cứu phân tích sự làm việc của gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết U-FREI, đặc biệt là gối có kích thước nguyên hình.

Theo [4], gổ cách chấn nguyên mẫu là gổ có hệ số hình dạng (S) nằm trong khoảng từ 10 đến 20. Hệ số hình dạng (S) được định nghĩa bằng tỷ số giữa diện tích mặt cắt ngang gổ với tổng diện tích xung quanh ở mặt bên của một lớp cao su của gổ. Một vài nghiên cứu về nguyên mẫu gổ cách chấn không liên kết U-FREI như ảnh hưởng của phương chuyển vị ngang đến ứng xử của nguyên mẫu gổ U-FREI hình khối hộp và ảnh hưởng của mô-đun cắt đến sự làm việc của nguyên mẫu gổ U-FREI đã được thực hiện bởi [5, 6]. Tuy vậy, có rất ít nghiên cứu so sánh ứng xử ngang của gổ đàn hồi không liên kết U-FREI với gổ đàn hồi liên kết B-FREI có cùng kích thước, các lớp cấu tạo và vật liệu như nhau để thấy được hiệu quả cách chấn của gổ U-FREI so với gổ B-FREI.

Nghiên cứu này trình bày ứng xử ngang theo một phương của nguyên mẫu gổ cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết U-FREI hình khối hộp (có hệ số hình dạng $S = 15,5$) bằng phân tích mô hình số. Ứng xử ngang của gổ không liên kết U-FREI được so sánh với ứng xử của gổ liên kết thông thường B-FREI. Kết quả so sánh chỉ ra rằng gổ cách chấn không liên kết U-FREI có thể thay thế gổ cách chấn liên kết B-FREI để sử dụng cho các công trình trung và thấp tầng.

2. Cấu tạo chi tiết nguyên mẫu gổ cách chấn đàn hồi cốt sợi

Nguyên mẫu gổ cách chấn đàn hồi cốt sợi hình khối hộp có cạnh là 310 mm. Kích thước gổ được thiết kế để sử dụng vào công trình thực tế tại Ấn Độ. Cấu tạo gổ được đề cập trong [7] gồm có 18 lớp cao su, mỗi lớp dày 5 mm, và 17 lớp sợi carbon, mỗi lớp dày 0,55 mm. Các lớp cao su và lớp sợi carbon hai hướng vuông góc ($0^\circ/90^\circ$) nằm xen kẽ, gắn kết với nhau. Mặt cắt dọc theo phương đứng và kích thước của gổ cách chấn được miêu tả trong Hình 2. Hệ số hình dạng (S) của gổ là 15,5, lớn hơn nhiều so với hệ số hình dạng của các gổ trong các nghiên cứu trước đây. Các thông số chi tiết về kích thước và vật liệu của gổ cách chấn được cho trong Bảng 1.



Hình 2. Cấu tạo chi tiết gổ cách chấn đàn hồi cốt sợi

3. Mô hình gổ cách chấn và tải trọng

Cả hai loại gổ cách chấn đàn hồi cốt sợi liên kết B-FREI và không liên kết U-FREI với kích thước và các lớp cấu tạo như nhau (như nói ở trên) được điều tra ứng xử ngang bằng phương pháp PTHH sử dụng phần mềm kết cấu ANSYS v.14.0. Độ phù hợp của kết quả phân tích mô hình số ứng xử của gổ cách chấn đàn hồi cốt sợi bằng phần mềm ANSYS đã được kiểm chứng bằng thực nghiệm trong các nghiên cứu [8–10].

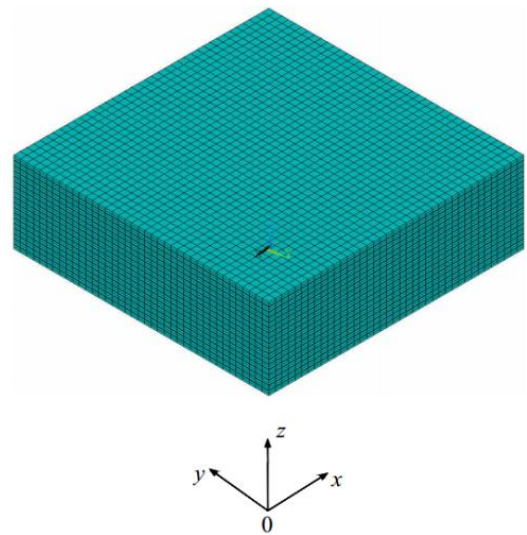
3.1. Lựa chọn loại phần tử

Bảng 1. Chi tiết các thông số kích thước và vật liệu của gối cách chấn đàn hồi cốt sợi

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Kích thước của gối	(mm)	$310 \times 310 \times 100$
Số lớp cao su, n_e		18
Chiều dày một lớp cao su, t_e	(mm)	5,0
Tổng chiều dày lớp cao su, t_r	(mm)	90
Số lớp sợi carbon, n_f		17
Chiều dày của một lớp sợi carbon, t_f	(mm)	0,55
Hệ số hình dạng, S		15,5
Mô-đun cắt của cao su theo phương ngang, G	(MPa)	0,90
Mô-đun đàn hồi của gối theo phương ngang, E	(GPa)	40
Hệ số poisson của gối, μ		0,20

Cao su trong gối cách chấn có biến dạng lớn trong quá trình làm việc. Ở đây, cao su được mô hình bằng phần tử khối SOLID185 với 8 nút. Sợi carbon hai hướng vuông góc (0° và 90°) trong một lớp được mô hình bằng phần tử khối nhiều lớp SOLID46. Hai tấm đế thép được mô hình ở đáy và đỉnh gối, để mô phỏng cho phần đài móng và phần thân công trình, cũng được mô hình bằng phần tử SOLID185.

Trong mô hình gối không liên kết U-FREI, các phần tử tiếp xúc mặt-tới-mặt được sử dụng. Phần tử tiếp xúc CONTA173 được dùng để định nghĩa cho các mặt của lớp cao su ngoài cùng và phần tử tiếp xúc TARGE170 được dùng để định nghĩa cho các mặt của hai đế thép ở vị trí tiếp xúc với gối cách chấn. Đối với gối liên kết B-FREI, mô hình tương tự như gối không liên kết U-FREI nhưng các phần tử tiếp xúc được loại bỏ. Hình ảnh gối cách chấn đã chia phần tử được thể hiện như Hình 3.



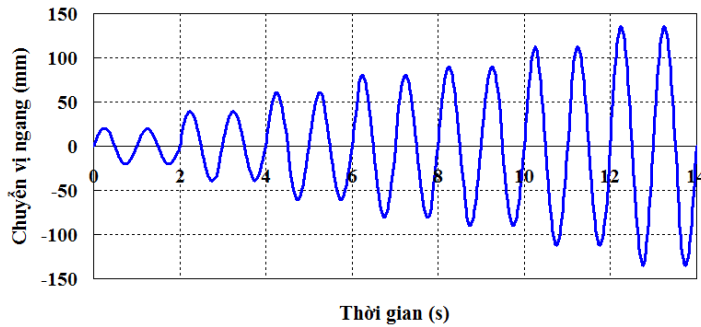
Hình 3. Mô hình gối cách chấn đàn hồi cốt sợi (đã chia phần tử)

3.2. Mô hình vật liệu

Các thông số vật liệu cho trong Bảng 1 được sử dụng để mô hình trong ANSYS. Cao su trong gối cách chấn có ứng xử phi tuyến khi chịu chuyển vị lớn. Vì thế, nó được mô hình bằng mô hình vật liệu siêu đàn hồi và mô hình vật liệu đàn nhớt. Các nghiên cứu [11, 12] cho thấy sử dụng mô hình Ogden 3-terms và mô hình ứng xử cắt đàn nhớt để mô hình cho vật liệu cao su trong gối cách chấn là tương đối phù hợp. Trong nghiên cứu này, cao su cũng được mô hình bằng mô hình Ogden 3-terms và mô hình ứng xử cắt đàn nhớt với các thông số như sau: Ogden (3-terms): $\mu_1 = 1,89 \times 106$ (N/m²); $\mu_2 = 3600$ (N/m²); $\mu_3 = -30000$ (N/m²); $\alpha_1 = 1,3$; $\alpha_2 = 5$; $\alpha_3 = -2$. Mô hình ứng xử cắt đàn nhớt: $a_1 = 0,3333$; $t_1 = 0,04$; $a_2 = 0,3333$; $t_2 = 100$;

3.3. Tải trọng

Để mô phỏng quá trình làm việc của gối cách chấn chịu động đất, các tải trọng thẳng đứng và chuyển vị ngang vòng lặp được gán đồng thời vào phần đế thép phía trên của cả gối liên kết B-FREI và gối không liên kết U-FREI. Tải trọng thẳng đứng tác dụng vào gối được lấy theo lực dọc lớn nhất tại chân cột công trình và giữ giá trị không đổi bằng 540 kN. Chuyển vị ngang theo phương X dạng hình sin có giá trị độ lớn tăng dần từ 20 mm tới 90 mm, hai vòng lặp cho mỗi giá trị độ lớn của chuyển vị. Chuyển vị ngang vòng lặp được miêu tả như Hình 4. Phần chân đế thép phía dưới được giữ cố định.

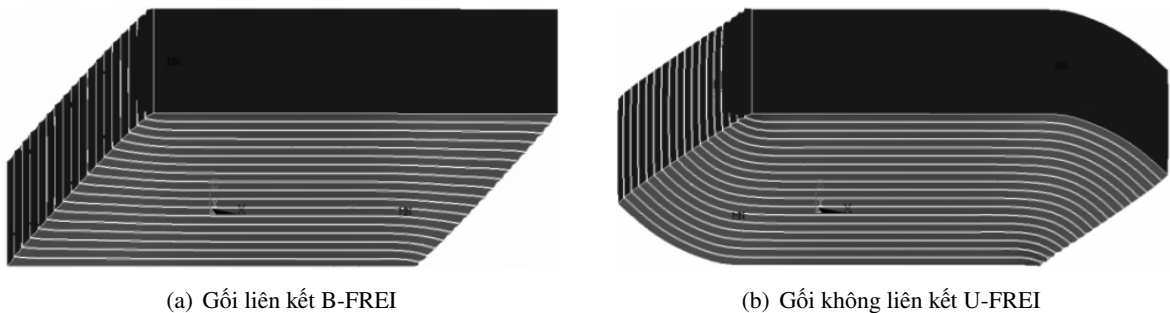


Hình 4. Chuyển vị ngang gán vào gối cách chấn

4. Phân tích kết quả và bình luận

4.1. Biến dạng của gối cách chấn

Biến dạng của các loại gối cách chấn liên kết B-FREI và không liên kết U-FREI tại độ lớn 90 mm của chuyển vị ngang được thể hiện trong Hình 5. Kết quả cho thấy: khi gối cách chấn chịu chuyển vị ngang, các mặt của lớp cao su ngoài cùng của gối liên kết B-FREI luôn giữ tiếp xúc với các mặt của đế thép, trong khi đó, các mặt của lớp cao su ngoài cùng của gối không liên kết U-FREI có một phần không tiếp xúc với các mặt của đế thép để sinh ra biến dạng cuộn.

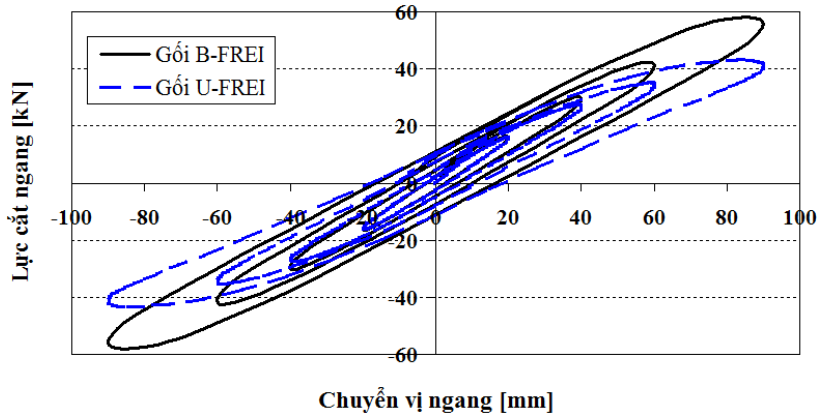


Hình 5. Biến dạng của các loại gối cách chấn tại độ lớn 90 mm của chuyển vị ngang

4.2. Vòng lặp trễ của gối cách chấn

Ứng xử ngang phi tuyến của các gối cách chấn được thể hiện qua vòng lặp trễ. Các vòng lặp trễ trình bày mối quan hệ giữa lực cắt ngang và chuyển vị ngang vòng lặp. Lực cắt ngang của gối cách

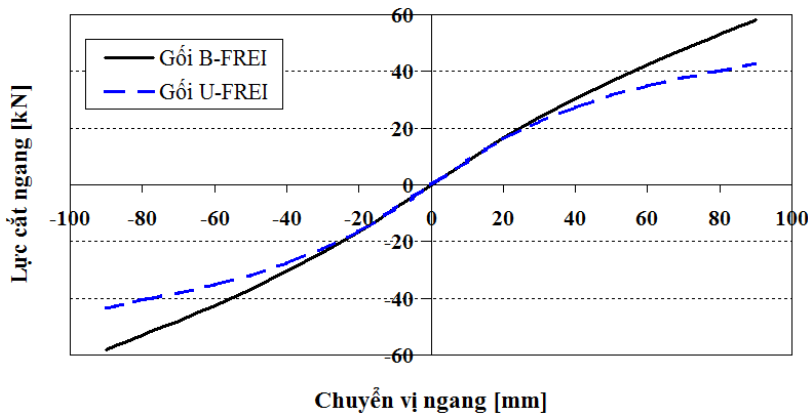
chấn được tính là tổng của tất cả các lực cắt theo phương ngang trên tất cả các nút ở phần đế thép phía trên đỉnh gối. Kết quả so sánh vòng lặp trễ của gối liên kết B-FREI và không liên kết U-FREI được thể hiện trong Hình 6.



Hình 6. So sánh vòng lặp trễ của các gối cách chấn đàn hồi cốt sợi

4.3. Quan hệ giữa lực cắt ngang và chuyển vị ngang

So sánh mối quan hệ giữa lực cắt ngang và độ lớn chuyển vị ngang của các loại gối cách chấn liên kết B-FREI và không liên kết U-FREI được thể hiện trong Hình 7. Các giá trị lực cắt trong Hình 7 lấy giá trị lớn nhất và nhỏ nhất trong vòng lặp trễ tương ứng với mỗi độ lớn của chuyển vị ngang.



Hình 7. So sánh quan hệ giữa lực cắt ngang và chuyển vị ngang của các gối cách chấn

Từ kết quả trong Hình 7 cho thấy ở các chuyển vị ngang nhỏ (≤ 20 mm), ứng xử trong các gối liên kết B-FREI và không liên kết U-FREI là tương tự nhau. Có được điều này là do gối không liên kết U-FREI có biến dạng tương tự gối liên kết B-FREI ở các giá trị nhỏ của chuyển vị ngang, tức là chưa xuất hiện biến dạng cuộn. Khi độ lớn chuyển vị ngang tăng lên (> 20 mm), ứng xử của gối liên kết B-FREI vẫn giữ tương đối tuyến tính, trong khi đó ứng xử của gối không liên kết U-FREI trở nên phi tuyến nhờ có biến dạng cuộn. Đặc biệt tại độ lớn 90 mm của chuyển vị ngang, lực cắt ngang của gối liên kết B-FREI cao hơn lực cắt ngang của gối không liên kết là 34,6%. Độ dốc của các đường quan hệ lực cắt và chuyển vị ngang trong Hình 7 chính là độ cứng cắt tuyến của gối cách chấn. Như vậy,

khi chuyển vị ngang lớn, độ cứng ngang của gối không liên kết U-FREI nhỏ hơn đáng kể so với giá trị tương ứng của gối liên kết B-FREI. Điều này sẽ làm tăng hiệu quả cách chấn cho công trình khi sử dụng gối không liên kết U-FREI.

5. Đặc trưng cơ học

Hai thông số quan trọng của một gối cách chấn là độ cứng ngang hiệu dụng và hệ số cản nhớt. Theo [13], độ cứng ngang hiệu dụng, K_{eff}^h , của một gối cách chấn ở một độ lớn của chuyển vị ngang được tính theo công thức sau:

$$K_{eff}^h = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{u_{\max} - u_{\min}} \quad (1)$$

trong đó $F_{\max}$, $F_{\min}$ là các giá trị lớn nhất, nhỏ nhất của lực cắt ngang; $u_{\max}$, $u_{\min}$ là các giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của chuyển vị ngang.

Hệ số cản nhớt, β , được tính thông qua năng lượng tiêu tán trong một chu kỳ chuyển vị, W_d . Năng lượng tiêu tán trong một chu kỳ chuyển vị được tính bằng diện tích của một vòng lặp trễ ở Hình 6. Hệ số cản nhớt được tính bằng công thức sau:

$$\beta = \frac{W_d}{2\pi K_{eff}^h \Delta_{\max}^2} \quad (2)$$

trong đó, $\Delta_{\max} = (|u_{\max}| + |u_{\min}|) / 2$.

Độ cứng ngang hiệu dụng và hệ số cản nhớt của các gối liên kết B-FREI và không liên kết U-FREI ở các độ lớn khác nhau của chuyển vị ngang được tính toán theo công thức (1) và (2) và cho kết quả trong Bảng 2. Các giá trị cho trong bảng là giá trị trung bình cho mỗi độ lớn của chuyển vị ngang.

Bảng 2. So sánh đặc trưng cơ học của gối liên kết B-FREI và gối không liên kết U-FREI

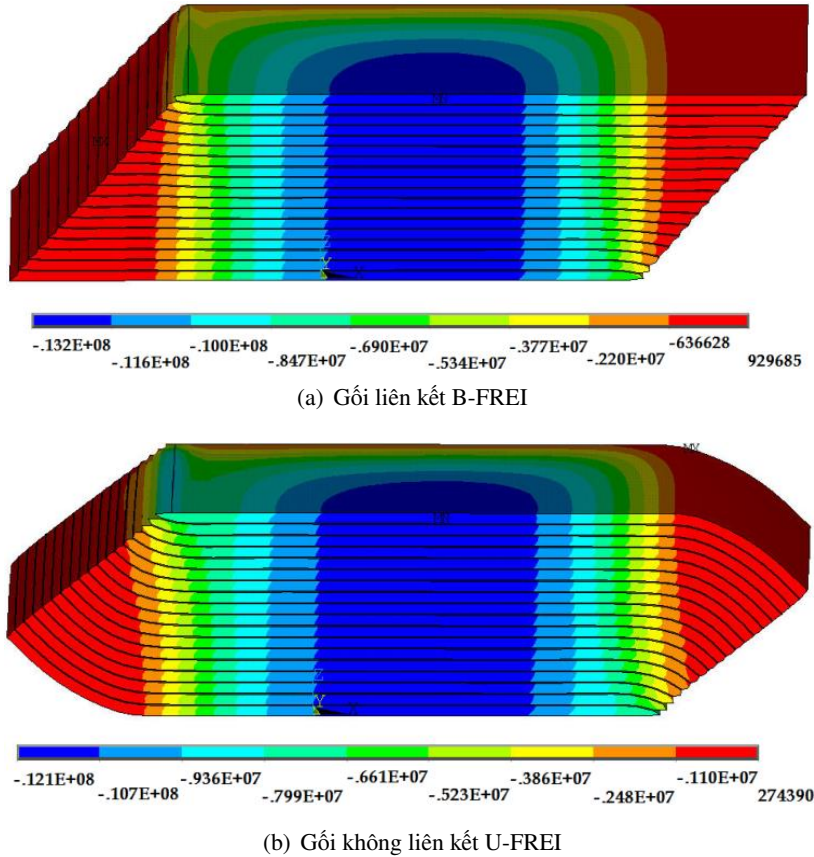
Độ lớn chuyển vị (mm)	Gối liên kết B-FREI		Gối không liên kết U-FREI	
	K_{eff}^h (kN/m)	β (%)	K_{eff}^h (kN/m)	β (%)
20,0	829,81	6,80	814,23	6,86
40,0	760,60	7,77	586,30	10,35
90,0	646,09	10,31	480,09	12,57

Kết quả trong Bảng 2 cho thấy: độ cứng ngang hiệu dụng của cả gối liên kết B-FREI và gối không liên kết U-FREI giảm khi độ lớn của chuyển vị ngang tăng lên. Trong đó, độ giảm độ cứng ngang của gối không liên kết U-FREI nhanh hơn giá trị tương ứng ở gối liên kết B-FREI. Đặc biệt, độ giảm độ cứng của gối U-FREI tính được là 41,0% và của gối B-FREI là 22,1% khi độ lớn chuyển vị tăng từ 20 mm tới 90 mm. Tại độ lớn chuyển vị ngang là 90 mm, độ cứng ngang hiệu dụng của gối liên kết B-FREI cao hơn giá trị tương ứng ở gối không liên kết U-FREI là 34,6%. Ở cùng độ lớn của chuyển vị ngang, độ cứng ngang hiệu dụng của gối không liên kết U-FREI thấp hơn giá trị tương ứng ở gối liên kết B-FREI sẽ giúp làm tăng hiệu quả cách chấn của gối không liên kết U-FREI so với gối liên kết B-FREI. Như đã biết, độ cứng ngang hiệu dụng của gối cách chấn càng thấp thì càng có hiệu quả, nhưng vẫn phải đảm bảo độ cứng theo phương đứng và độ ổn định. Ngoài ra, hệ số cản nhớt của cả hai gối đều tăng khi chuyển vị ngang tăng lên, nhưng sự tăng lên này của gối không liên kết U-FREI nhanh hơn gối liên kết B-FREI.

5.1. Ứng suất trong các lớp cao su của gối cách chấn

Gối cách chấn chịu chuyển vị ngang theo phương X . Quy ước các phương của hệ quy chiếu địa phương 1, 2, 3 song song với các phương tổng thể X, Y, Z .

Ứng suất S_{33} trong các lớp cao su ở các gối cách chấn đàn hồi liên kết B-FREI và không liên kết U-FREI tại chuyển vị ngang có độ lớn bằng 90 mm được thể hiện trong Hình 8. Để quan sát dễ dàng, kết quả của một nửa gối cách chấn được thể hiện.



Hình 8. Ứng suất S_{33} (N/m²) trong các lớp cao su ở mặt cắt đi qua gối cách chấn tại độ lớn 90 mm của chuyển vị ngang (giá trị dương thể hiện chịu kéo)

Trong trường hợp gối liên kết B-FREI, ứng suất nén trong gối nằm ở phần lõi, xuyên suốt từ đáy lên đỉnh gối, trong vùng nổi chông giữa đáy và đỉnh gối; mômen gây mất cân bằng gối được hình thành bởi ứng suất kéo nằm ngoài vùng nổi chông trên. Trong khi đó, với gối không liên kết U-FREI, ứng suất nén cũng nằm trong vùng nổi chông giữa đáy và đỉnh gối, nhưng có giá trị nhỏ hơn so với gối liên kết B-FREI. Chú ý rằng khi gối U-FREI chịu chuyển vị ngang, các lớp cao su ngoài cùng ở ngoài vùng nổi chông tách rời so với các bề mặt của đài móng và phần thân công trình (có biến dạng cuộn). Điều này làm giảm các yêu cầu phức tạp, tốn kém về liên kết giữa các lớp cao su ngoài cùng với các dầm thép như trong gối thông thường B-FREI. Các gối U-FREI có thể chịu biến dạng mà không bị hư hỏng khi chịu chuyển vị ngang của các trận động đất. Ứng suất kéo trong các lớp cao su của gối U-FREI được phát triển trong vùng có biến dạng cuộn này và cũng có giá trị nhỏ hơn trong gối B-FREI. Ở gối U-FREI, nhờ có biến dạng cuộn, các ứng suất kéo trong các lớp cao su ở vùng có biến

dạng cuộn không truyền trực tiếp vào phần đài móng và phần thân công trình như gối B-FREI. Mô men gây mất cân bằng ở gối U-FREI được chế ngự bởi cặp ngẫu lực theo phương đứng ở phần đáy và đỉnh gối. Điều này tương đối phù hợp với những nhận xét có trong nghiên cứu của [14].

6. Kết luận

Nghiên cứu này trình bày so sánh ứng xử ngang theo một phương của nguyên mẫu gối cách chấn đàn hồi không liên kết U-FREI hình khối hộp so với gối cách chấn liên kết thông thường B-FREI. Các gối cách chấn có cấu tạo và kích thước như nhau, nhưng khác nhau về điều kiện liên kết biên với các phần đài móng và phần thân công trình. Ứng xử ngang của các gối chịu đồng thời tải trọng thẳng đứng và chuyển vị ngang vòng lặp như nhau được điều tra bằng phân tích mô hình số. Các kết luận rút ra từ nghiên cứu như sau:

- Độ cứng ngang hiệu dụng của gối không liên kết U-FREI giảm và hệ số cản nhớt tăng lên khi độ lớn của chuyển vị ngang tăng lên nhờ biến dạng cuộn.
- Độ cứng ngang hiệu dụng của gối không liên kết U-FREI nhỏ hơn đáng kể so với giá trị tương ứng ở gối liên kết B-FREI tại chuyển vị ngang lớn. Do đó, hiệu quả cách chấn của gối không liên kết U-FREI tốt hơn so với gối liên kết B-FREI.
- So sánh ứng suất trong hai loại gối cách chấn cho thấy giá trị tuyệt đối của ứng suất nén và kéo trong các lớp cao su của gối không liên kết U-FREI thấp hơn giá trị tương ứng trong gối liên kết B-FREI. Ứng suất kéo trong các lớp cao su của gối U-FREI (ở vùng có biến dạng cuộn) không truyền trực tiếp vào phần đài móng và phần thân công trình như gối B-FREI.

Tài liệu tham khảo

- [1] Toopchi-Nezhad, H., Tait, M. J., Drysdale, R. G. (2008). [Lateral response evaluation of fiber-reinforced neoprene seismic isolators utilized in an unbonded application](#). *Journal of Structural Engineering*, 134 (10):1627–1637.
- [2] Osgooei, P. M., Tait, M. J., Konstantinidis, D. (2014). [Finite element analysis of unbonded square fiber-reinforced elastomeric isolators \(FREIs\) under lateral loading in different directions](#). *Composite Structures*, 113:164–173.
- [3] Thuyet, N. V. (2017). Phân tích ứng xử ngang của nguyên mẫu gối cách chấn đàn hồi FREI. *Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học Cán bộ trẻ lần thứ XIV, Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, Bộ Xây dựng*, 170–177.
- [4] Naeim, F., Kelly, J. M. (1999). *Design of seismic isolated structures: from theory to practice*. John Wiley & Sons.
- [5] Thuyet, N. V., Deb, S. K., Dutta, A. (2018). [Effect of horizontal loading direction on performance of prototype square unbonded fibre reinforced elastomeric isolator](#). *Structural Control and Health Monitoring*, 25(3):1–18.
- [6] Thuyet, N. V. (2018). [Effect of shear modulus on the performance of prototype un-bonded fiber reinforced elastomeric isolators](#). *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (NUCE)*, 12(5):10–19.
- [7] Thuyet, N. V. (2017). *Seismic performance evaluation of prototype un-bonded fiber reinforced elastomeric isolators*. PhD Thesis, Indian Institute of Technology Guwahati, Assam, India.
- [8] Thuyet, N. V., Deb, S. K., Dutta, A., Ray, N., Mitra, A. J. (2016). Performance evaluation of fiber reinforced elastomeric isolators under cyclic load. In *Proc. of the 8th World Congress on Joints, Bearing and Seismic Systems for Concrete Structures*, Atlanta, Georgia, USA, 8–51.
- [9] Thuyet, N. V., Dutta, A., Deb, S. K. (2016). Predicting stability of a prototype un-bonded fibre reinforced elastomeric isolator by finite element analysis. In *Proc. of the International Conference on Computational Methods, 7th ICCM 2016*, 1st-4th August, Berkeley, California, USA, 500–518.

- [10] Thuyet, N. V., Dutta, A., Deb, S. K. (2017). [Evaluation of horizontal stiffness of fibre-reinforced elastomeric isolators](#). *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 46(11):1747–1767.
- [11] Ogden, R. W. (1972). [Large deformation isotropic elasticity - on the correlation of theory and experiment for incompressible rubberlike solids](#). *Proc. R. Soc. Lond. A*, 326:565–584.
- [12] Holzapfel, G. A. (1996). [On large strain viscoelasticity: continuum formulation and finite element applications to elastomeric structures](#). *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 39(22): 3903–3926.
- [13] IBC-2000 (2000). *International building code*. USA.
- [14] Toopchi-Nezhad, H., Tait, M. J., Drysdale, R. G. (2011). [Bonded versus unbonded strip fiber reinforced elastomeric isolators: finite element analysis](#). *Composite Structures*, 93(2):850–859.