

PHƯƠNG PHÁP GẦN ĐÚNG XÁC ĐỊNH DIỆN TÍCH MẶT TIẾP XÚC CỦA GỐI CÁCH CHẤN ĐÀN HỒI CỐT SỢI KHÔNG LIÊN KẾT HÌNH KHỐI HỘP VỚI CÁC BỆ ĐỖ

Trương Việt Hùng^a, Ngô Văn Thuyết^{a,*}

^aKhoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi, số 175 Tây Sơn, quận Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 07/03/2020, Sửa xong 14/04/2020, Chấp nhận đăng 15/04/2020

Tóm tắt

Gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết (gối U-FREI) là một loại gối cách chấn đàn hồi tương đối mới. Gối có cấu tạo gồm các lớp cao su xen kẽ và gắn kết với các lớp sợi mỏng. Gối U-FREI được đặt trực tiếp lên trên nền phần đài móng và dưới phần thân công trình mà không cần bất kỳ một liên kết nào giữa chúng. Biến dạng cuộn là một đặc trưng cơ bản của gối U-FREI khi chịu chuyển vị ngang. Nó thể hiện sự không liên kết giữa lớp cao su ngoài cùng của gối U-FREI với các mặt bê đỡ (phần móng và phần thân công trình). Diện tích mặt tiếp xúc giữa các mặt của lớp cao su ngoài cùng của gối U-FREI với các bê đỡ có ảnh hưởng lớn đến ứng xử ngang của gối U-FREI. Trong nghiên cứu này, diện tích mặt tiếp xúc của gối U-FREI hình khối hộp với các bê đỡ được xác định bằng phương pháp tính toán gần đúng.

Từ khóa: gối cách chấn; gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết; biến dạng cuộn; diện tích ngang hiệu dụng; mặt tiếp xúc.

AN APPROXIMATE ANALYTICAL APPROACH TO DETERMINE THE EFFECTIVE PLAN AREA IN CONTACT WITH SUPPORT SURFACES OF SQUARE U-FREI

Abstract

Un-bonded fiber reinforced elastomeric isolator (U-FREI) is relatively new elastomeric isolator. The isolator consists of rubber layers interleaved and bonded with thin fiber fabric as reinforcement sheets. It is installed directly between the foundation and superstructure without any connection at the interfaces. Rollover deformation is a characteristic feature of the U-FREI subjected to horizontal displacement. Rollover portrays a unique behavior of the U-FREI, having no bonding between the contact surfaces and the supports at top and bottom. Plan area in contact with the support surfaces of the U-FREI is significantly affected to the horizontal response of the U-FREI. In this study, the effective plan area in contact with supports of square U-FREI is determined by an approximate analytical approach.

Keywords: base isolator; un-bonded fiber reinforced elastomeric isolator; rollover deformation; effective plan area; contact area.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(3V\)-04](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(3V)-04) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

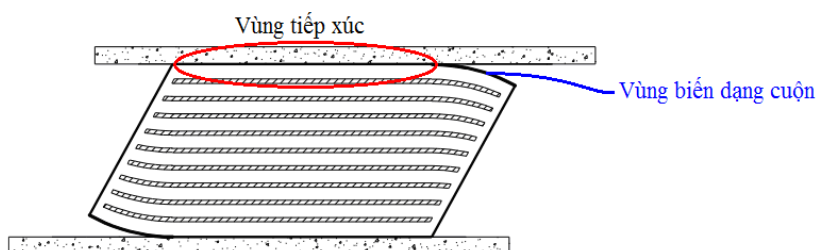
1. Giới thiệu

Gối cách chấn đàn hồi cốt sợi liên kết (bonded fiber reinforced elastomeric isolator – gối B-FREI) là một loại gối cách chấn mới, nhẹ hơn và rẻ hơn gối cách chấn đàn hồi đa lớp thông thường (steel reinforced elastomeric isolator – gối SREI). Gối B-FREI có cấu tạo tương tự như gối SREI nhưng các lớp lá thép mỏng trong gối SREI đã được thay thế bởi các lớp sợi (thường là sợi cacbon) nằm xen kẽ,

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

gắn kết với các lớp cao su và hai tấm đế thép dày ở đáy và đỉnh gối [1]. Trong nỗ lực cải tiến gối B-FREI để đơn giản trong thi công lắp đặt, gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết (un-bonded fiber reinforced elastomeric isolator – gối U-FREI) được đề xuất, nghiên cứu và phát triển. Gối U-FREI có cấu tạo tương tự như gối B-FREI nhưng đã loại bỏ hoàn toàn hai tấm đế thép dày ở đáy và đỉnh gối. Gối U-FREI được đặt trực tiếp lên trên phần móng và dưới phần thân công trình mà không cần bất kỳ một liên kết vật lý nào. Do vậy, gối U-FREI nhẹ hơn và đơn giản trong thi công lắp dựng hơn so với gối đàn hồi đa lớp thông thường. Gối U-FREI được kỳ vọng sử dụng cho các công trình dân dụng trung và thấp tầng chịu động đất với chi phí rẻ ở những nước đang phát triển.

Một đặc trưng cơ bản của gối U-FREI là có biến dạng cuộn khi chịu chuyển vị ngang, tức là các lớp cao su ngoài cùng của gối U-FREI có một phần tách rời với các bộ đỡ (phần móng và phần thân công trình) trong quá trình làm việc. Phần diện tích tiếp xúc với các bộ đỡ của gối U-FREI, gọi tắt là diện tích mặt tiếp xúc như miêu tả trong Hình 1, có ảnh hưởng lớn đến ứng xử ngang của gối U-FREI. Với mỗi giá trị độ lớn của chuyển vị ngang khác nhau, diện tích mặt tiếp xúc này cũng thay đổi. Việc xác định giá trị diện tích mặt tiếp xúc bằng một công thức gần đúng rất có ý nghĩa trong việc tính toán độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI để phân tích, thiết kế kết cấu công trình cách chấn đáy sử dụng gối U-FREI chịu động đất [2]. Hơn nữa, diện tích mặt tiếp xúc thay đổi không những sẽ ảnh hưởng đến lực cắt ngang hay độ cứng ngang của gối U-FREI mà còn ảnh hưởng đến lực tới hạn ổn định của gối cách chấn [3]. Do đó, việc xác định diện tích mặt tiếp xúc của gối U-FREI với các bộ đỡ khi chịu chuyển vị ngang là một nhiệm vụ cần thiết.



Hình 1. Vị trí mặt tiếp xúc của gối U-FREI khi chịu chuyển vị ngang

Ứng xử ngang của gối U-FREI đã được nghiên cứu bằng cả thí nghiệm và phân tích mô hình số trong hơn chục năm qua. Toopchi-Nezhad và cs. [4, 5] đã khảo sát ứng xử ngang của các gối B-FREI và U-FREI bằng cả thí nghiệm và phân tích mô hình số. [6, 7] đã tiến hành thí nghiệm khảo sát các đặc tính cơ học trong ứng xử ngang của các gối U-FREI. Toopchi-Nezhad [8] đánh giá độ cứng ngang hiệu dụng của gối không liên kết U-FREI hình khối chữ nhật bằng phương pháp tính toán gần đúng. Ngo và cs. [9, 10] đã nghiên cứu thực nghiệm để đánh giá độ cứng ngang hiệu dụng và ảnh hưởng của phương chuyển vị ngang đến ứng xử ngang của nguyên mẫu gối U-FREI hình khối hộp. Ở Việt Nam, một vài nghiên cứu mô hình số về nguyên mẫu gối U-FREI đã được thực hiện bởi [11–13]. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào xác định diện tích bề mặt tiếp xúc của gối U-FREI với các bộ đỡ như đã nói ở trên.

Nghiên cứu này trình bày một phương pháp gần đúng xác định diện tích mặt tiếp xúc của gối U-FREI hình khối hộp với các bộ đỡ. Kết quả giá trị diện tích mặt tiếp xúc của gối U-FREI với các bộ đỡ xác định bằng phương pháp gần đúng được so sánh với kết quả từ phân tích mô hình số để kiểm chứng kết quả.

2. Độ cứng ngang hiệu dụng của gối cách chấn đàn hồi cốt sợi

Theo [14], độ cứng ngang của gối cách chấn đàn hồi đa lớp thông thường được tính theo công thức sau:

$$K_h = \frac{GA}{t_r} \quad (1)$$

trong đó A là diện tích mặt cắt ngang; t_r là tổng chiều dày lớp cao su và G là mô-đun cắt ban đầu của gối cách chấn.

Theo [9, 15], độ cứng ngang của gối B-FREI giảm dần khi độ lớn của chuyển vị ngang tăng lên. Sự giảm dần này là do mô-đun cắt giảm khi chuyển vị tăng lên. Độ cứng của gối B-FREI được tính theo công thức:

$$K_h = \frac{G_{eff}A}{t_r} \quad (2)$$

trong đó G_{eff} là mô-đun cắt hiệu dụng của gối cách chấn. G_{eff} chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố như độ lớn chuyển vị ngang, tải trọng thẳng đứng tác dụng vào gối, v.v.

Ở gối cách chấn đàn hồi đa lớp liên kết thông thường, các lớp cao su ngoài cùng của gối luôn tiếp xúc và liên kết với các đế thép ở đáy và đỉnh gối. Do vậy, diện tích A ở các công thức (1) và (2) ở trên cũng chính là diện tích mặt cắt ngang của gối cách chấn. Tuy nhiên, đối với gối U-FREI, diện tích phần tiếp xúc này thay đổi phụ thuộc vào độ lớn của chuyển vị ngang. Do đó, diện tích A được thay thế bằng diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng, A_{eff} . Độ cứng ngang của gối U-FREI khi chịu chuyển vị ngang được tính theo công thức sau:

$$K_h = \frac{G_{eff}A_{eff}}{t_r} \quad (3)$$

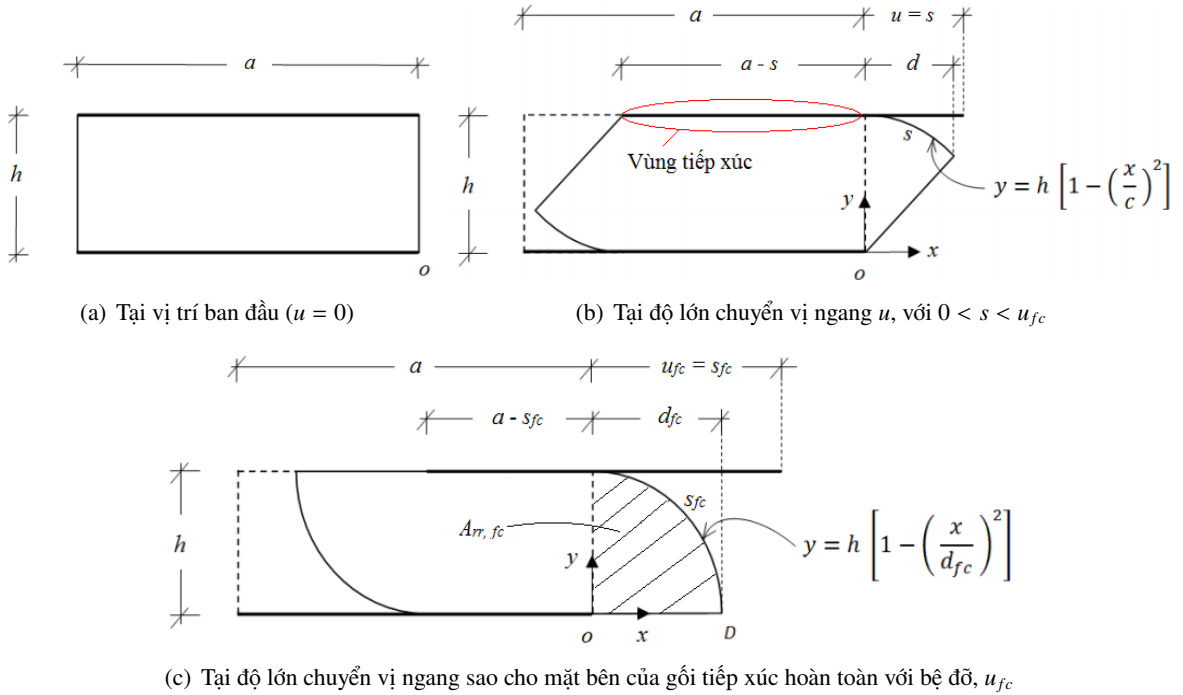
trong đó A_{eff} là diện tích mặt tiếp xúc của gối U-FREI với các bộ đỡ (Hình 1) tại một độ lớn của chuyển vị ngang. Mục đích của nghiên cứu này là xác định giá trị của A_{eff} ở một độ lớn của chuyển vị ngang bằng một công thức toán học gần đúng.

3. Phương pháp gần đúng xác định diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng A_{eff}

Hình 2 trình bày biến dạng của gối U-FREI hình khối hộp ở các độ lớn khác nhau của chuyển vị ngang. Gối U-FREI có tổng chiều cao là h , mặt cắt ngang hình vuông cạnh là a . Như đã biết ở các nghiên cứu [4–7], khi độ lớn của chuyển vị ngang tăng lên ($u = s > 0$), các mặt của lớp cao su ngoài cùng của gối U-FREI bắt đầu tách rời (không liên kết) với các bộ đỡ để tạo ra biến dạng cuộn (Hình 2(b)). Độ lớn chuyển vị ngang càng tăng thì vùng biến dạng cuộn càng tăng lên. Đến một giá trị độ lớn nhất định của chuyển vị ngang, các mặt bên (hông) của gối U-FREI bắt đầu tiếp xúc với các mặt của các bộ đỡ. Khi độ lớn chuyển vị ngang tiếp tục tăng thì vùng tiếp xúc của mặt bên của gối U-FREI với các mặt của các bộ đỡ càng nhiều, cho đến khi toàn bộ mặt bên của gối U-FREI tiếp xúc hoàn toàn với các mặt của các bộ đỡ như miêu tả trong Hình 2(c).

Theo [8], diện tích hiệu dụng của mặt tiếp xúc giữa các lớp cao su ngoài cùng của gối U-FREI với các bộ đỡ, A_{eff} , được tính bằng phần diện tích thực tiếp xúc $a(a - s)$ và một phần diện tích của gối cách chấn nằm về phía vùng biến dạng cuộn nhưng vẫn giữ tiếp xúc với các bộ đỡ (Hình 2(b)) có giá trị gần đúng bằng $a(s - d)$, trong đó, $(s - d)$ là chiều dài theo phương chuyển vị ngang của phần tiếp xúc về phía vùng biến dạng cuộn giữa gối cách chấn và các bộ đỡ, d là chiều dài hình chiếu trên phương chuyển vị ngang của vùng biến dạng cuộn của gối U-FREI. Diện tích tiếp xúc hiệu dụng được tính theo công thức sau:

$$A_{eff} \approx a(a - s) + a(s - d) = a(a - d) \quad (4)$$



Hình 2. Biến dạng của gối U-FREI ở các độ lớn khác nhau của chuyển vị ngang

Mục tiêu của nghiên cứu này là xác định giá trị gần đúng của A_{eff} ứng với mỗi độ lớn của chuyển vị ngang. Để làm được điều này, một hàm số biểu diễn gần đúng đường cong của mặt vùng biến dạng cuộn của gối cách chấn cần được đề xuất và xác định. Các hằng số của hàm đường cong này được xác định thông qua các ràng buộc về điều kiện biên và giả thiết về việc không thay đổi thể tích của gối cách chấn trong quá trình làm việc. Ràng buộc về điều kiện biên ở đây chính là tại vị trí các mặt bên hông của gối cách chấn U-FREI tiếp xúc hoàn toàn với các mặt bề đỡ. Với các phương trình về ràng buộc điều kiện biên và giả thiết thể tích gối cách chấn không thay đổi trong quá trình làm việc, để dễ dàng xác định được các hằng số của hàm biểu diễn đường cong mặt vùng biến dạng cuộn, một hàm bậc hai nên được lựa chọn. Đối với các hàm đường cong bậc cao hơn, đường mô tả mặt vùng biến dạng cuộn cũng không hoàn toàn biểu diễn chính xác với mặt vùng biến dạng cuộn thực tế của gối U-FREI khi làm việc do biến dạng cuộn thực tế của gối U-FREI phụ thuộc vào nhiều yếu tố như gối U-FREI có thể bị trượt khi chịu tải trọng thẳng đứng có giá trị nhỏ và chuyển vị ngang lớn, ma sát giữa mặt ngoài cùng của gối U-FREI với các bề đỡ, v.v. Hơn nữa, số lượng các phương trình ràng buộc về điều kiện biên không đủ để xác định các hằng số của các đường cong bậc cao này. Do vậy, với mục tiêu là tìm một hàm số miêu tả gần đúng đường cong của mặt vùng biến dạng cuộn của gối U-FREI với các bề đỡ, để đơn giản hóa trong tính toán, đường cong hàm bậc hai được lựa chọn.

Như phân tích ở trên, đường biểu diễn mặt của vùng biến dạng cuộn có dạng gần đúng như một hàm bậc hai của hệ tọa độ Oxy như trên Hình 2(b). Giả thiết hàm số của đường biểu diễn mặt của vùng biến dạng cuộn có dạng gần đúng như sau:

$$y = h \left[1 - \left(\frac{x}{c} \right)^2 \right] \quad (5)$$

trong đó c là hằng số cần tính toán. Chú ý rằng h là tổng chiều cao của gối U-FREI, $h = t_r + (n_e - 1)t_f$

với t_r là tổng chiều dày của các lớp cao su, n_e là số lớp cao su và t_f là chiều dày của một lớp sợi trong gổ U-FREI. Hệ trục tọa độ Oxy với giả thiết gốc tọa độ O được giữ không đổi khi gổ U-FREI chịu chuyển vị ngang, tức là gổ U-FREI không bị trượt.

Chiều dài đoạn đường cong của vùng biến dạng cuộn, s , tại bất kì độ lớn của chuyển vị ngang nào được tính theo công thức sau:

$$s = \int_0^d \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \quad (6)$$

Tại vị trí chuyển vị ngang sao cho toàn bộ mặt bên của gổ U-FREI tiếp xúc hoàn toàn với các bộ đỡ (Hình 2(c)), tức là $c = d_{fc}$, lấy đạo hàm hàm số y ở công thức (5) thu được kết quả:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-2hx}{d_{fc}^2} \quad (7)$$

Khi đó, chiều dài đoạn đường cong của vùng biến dạng cuộn ở vị trí mặt bên của gổ U-FREI tiếp xúc hoàn toàn với các bộ đỡ là:

$$s_{fc} = \int_0^{d_{fc}} \sqrt{1 + \left(\frac{-2hx}{d_{fc}^2}\right)^2} dx \quad (8)$$

Kết quả của việc thực hiện tích phân này là:

$$s_{fc} = \frac{h}{2} \left[\sqrt{4 + \alpha_{fc}^2} + \frac{\alpha_{fc}^2}{2} \ln \left(\frac{2 + \sqrt{4 + \alpha_{fc}^2}}{\alpha_{fc}} \right) \right] \quad (9)$$

trong đó:

$$\alpha_{fc} = \frac{d_{fc}}{h} \quad (10)$$

Diện tích vùng biến dạng cuộn của gổ U-FREI khi mặt bên tiếp xúc hoàn toàn với các bộ đỡ (vùng gạch chéo trong Hình 2(c)) được tính theo công thức sau:

$$A_{rr,fc} = \int_0^{d_{fc}} y dx = \int_0^{d_{fc}} h \left[1 - \left(\frac{x}{d_{fc}} \right)^2 \right] dx \quad (11)$$

Kết quả cuối cùng của tích phân này là:

$$A_{rr,fc} = \frac{2}{3} \alpha_{fc} h^2 \quad (12)$$

Giả thiết rằng thể tích của gổ cách chần U-FREI không đổi trong quá trình làm việc. Khi đó, thể tích của gổ cách chần lúc ban đầu và sau khi biến dạng là bằng nhau, tức là:

$$ha^2 = (a - s_{fc})ha + 2aA_{rr,fc} \quad (13)$$

Từ các công thức (9), (12) và (13), tính được $\alpha_{fc} = 1,25$. Từ công thức (10):

$$c = d_{fc} = 1,25h \quad (14)$$

Thay $\alpha_{fc} = 1,25$ vào công thức (9) và chú ý rằng $s_{fc} = u_{fc}$, độ lớn chuyển vị ngang tại vị trí mặt bên của gối U-FREI tiếp xúc hoàn toàn với các bộ đỡ là:

$$u_{fc} \approx 1,67h \quad (15)$$

Thay kết quả ở công thức (15) vào công thức (14) ta được $d_{fc} = 0,748u_{fc}$. Từ công thức (4), diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng ở vị trí toàn bộ mặt bên của gối U-FREI tiếp xúc hoàn toàn với các bộ đỡ là:

$$A_{eff,fc} = a(a - 0,748u_{fc}) \quad (16)$$

Ở các độ lớn của chuyển vị ngang nhỏ hơn $u < u_{fc}$, chiều dài đoạn đường cong của vùng biến dạng cuộn, s , được tính theo công thức sau:

$$s = \int_0^d \sqrt{1 + \left(\frac{-2hx}{d_{fc}^2} \right)^2} dx \quad (17)$$

Kết quả của tích phân trong công thức (17) là:

$$s = \frac{25}{64}h \left[2\gamma \sqrt{1 + 4\gamma^2} + \ln \left(2\gamma + \sqrt{1 + 4\gamma^2} \right) \right] \quad (18)$$

trong đó:

$$\gamma = \frac{16}{25} \left(\frac{d}{h} \right) \quad (19)$$

Từ các kết quả trên, các bước tính toán diện tích ngang hiệu dụng của mặt tiếp xúc của gối U-FREI với các bộ đỡ tại một độ lớn của chuyển vị ngang được tiến hành như sau:

Bước 1: Lấy giá trị độ lớn chuyển vị ngang $u = s$;

Bước 2: Tính toán giá trị γ từ công thức (18);

Bước 3: Tính được giá trị d từ công thức (19): $d = (25/16)\gamma h$;

Bước 4: Tính diện tích vùng tiếp xúc hiệu dụng từ công thức (4): $A_{eff} = a(a - d)$. Giới hạn áp dụng công thức:

- Điều kiện để áp dụng công thức tính A_{eff} ở trên là chỉ dùng cho gối U-FREI hình khối hộp chịu chuyển vị ngang theo một phương, không xét cho phương chuyển vị ngang xiên góc.

- Như phần giả thiết tính toán đã nêu ở trên, trong quá trình gối U-FREI làm việc, không xét đến biến dạng trượt của gối và giả thiết rằng thể tích của gối cách chấn là không đổi.

- Độ lớn chuyển vị ngang không được vượt quá giá trị mà tại đó các mặt bên hông của gối cách chấn U-FREI tiếp xúc hoàn toàn với các mặt bộ đỡ, tức là $u = s \leq u_{fc} = 1,67h$.

- Trong quá trình gối U-FREI làm việc, ít nhất vẫn phải tồn tại một phần các lớp cao su ngoài cùng ở đáy và đỉnh gối tiếp xúc với các mặt của bộ đỡ. Từ điều kiện này, kích thước gối cần thỏa mãn (Hình 2(c)): $a - s_{fc} > 0 \rightarrow a > s_{fc} = u_{fc} = 1,67h$.

4. Ví dụ áp dụng

4.1. Tính toán cho gối cách chấn đàn hồi cốt sợi trong nghiên cứu của Thuyết [12]

Để kiểm chứng tính chính xác của công thức tính A_{eff} vừa thiết lập ở trên, diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI với các bộ đỡ xác định từ phương pháp gần đúng được so sánh với kết quả

tương ứng xác định từ phương pháp phân tích mô hình số. Kết quả về ứng xử ngang của gối cách chấn đàn hồi cốt sợi bằng phân tích mô hình số sử dụng phần mềm ANSYS trong nghiên cứu của Thuyết [12] được sử dụng trong tính toán kiểm chứng ở mục này.

Theo [12], gối cách chấn đàn hồi cốt sợi hình khối hộp có tổng chiều cao là $h = 100$ mm, mặt cắt ngang hình vuông cạnh là $a = 310$ mm (gối A). Gối có cấu tạo gồm $n_e = 18$ lớp cao su, mỗi lớp cao su dày $t_e = 5$ mm và $n_f = 17$ lớp sợi cacbon, mỗi lớp sợi dày $t_f = 0,55$ mm. Tổng chiều dày các lớp cao su là $t_r = 90$ mm. Các lớp cao su và lớp sợi cacbon hai hướng vuông góc ($0^\circ/90^\circ$) nằm xen kẽ và gắn kết với nhau. Mô-đun cắt ban đầu của cao su trong gối cách chấn là $0,90$ N/mm². Gối chịu đồng thời tải trọng thẳng đứng với giá trị không đổi là 540 kN và chuyển vị ngang vòng lặp dạng hàm điều hòa hình sin với độ lớn tăng dần từ 20 mm đến 90 mm.

Trong [12], ứng xử ngang của cả gối B-FREI và gối U-FREI có cùng kích thước, các lớp cấu tạo, thông số vật liệu và chịu tải trọng như nhau được khảo sát bằng phân tích mô hình số sử dụng phần mềm ANSYS. Cao su trong gối cách chấn có biến dạng lớn trong quá trình làm việc nên được mô hình bằng phần tử khối SOLID185. Sợi cacbon gia cường được mô hình bằng phần tử khối SOLID46 có khả năng mô hình nhiều lớp mỏng trong một tấm. Hai tấm đế thép dày (coi như rất cứng) được mô hình ở đáy và đỉnh gối, để mô phỏng cho phần đài móng và phần thân công trình (các bệ đỡ), cũng được mô hình bằng phần tử khối SOLID185. Do gối U-FREI đặt trực tiếp lên trên các bệ đỡ mà không có bất kì liên kết vật lý nào nên khi mô hình gối U-FREI trong phần mềm ANSYS 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 (mặt mà cao su tiếp xúc với các bệ đỡ) 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. Mô hình ma sát Coulomb được sử dụng để truyền lực cắt từ các mặt tiếp xúc đến các mặt mục tiêu với hệ số ma sát bằng 0,85. Đối với gối B-FREI, mô hình tương tự như gối U-FREI nhưng các phần tử tiếp xúc được loại bỏ. Về mô hình vật liệu, cao su trong các gối B-FREI và U-FREI có ứng xử phi tuyến khi chịu chuyển vị lớn nên được mô hình bằng mô hình vật liệu siêu đàn hồi và mô hình vật liệu đàn nhớt. Về tải trọng, các gối B-FREI và U-FREI chịu đồng thời tải trọng thẳng đứng có giá trị không đổi bằng 540 kN và chuyển vị ngang vòng lặp dạng hàm điều hòa 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 ngang. Kết quả độ cứng ngang hiệu dụng của các gối cách chấn B-FREI và U-FREI ứng với mỗi độ lớn của chuyển vị ngang xác định từ phân tích mô hình số thông qua phần mềm ANSYS cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Độ cứng ngang hiệu dụng của các gối cách chấn (gối A) từ ANSYS

Độ lớn chuyển vị (mm)	K_h (kN/m)	
	Gối B-FREI	Gối U-FREI
20,0	829,81	814,23
40,0	760,60	688,00
60,0	707,36	586,30
90,0	646,09	480,09

Bảng 2. Diện tích mặt tiếp xúc của gối U-FREI với các bệ đỡ xác định từ kết quả ANSYS

Độ lớn chuyển vị, u (mm)	G_{eff} (N/mm ²)	A_{eff} (mm ²)
0,0	0,9000	96100,00
20,0	0,7771	94295,98
40,0	0,7123	86927,48
60,0	0,6625	79653,23
90,0	0,6051	71409,67

Khi biết độ cứng ngang hiệu dụng của gối B-FREI, mô-đun cắt hiệu dụng G_{eff} của gối cách chấn đàn hồi cốt sợi liên kết B-FREI được tính từ công thức (2) như sau: $G_{eff} = (K_h^{B-FREI} t_r) / A$. Do gối B-FREI và gối U-FREI có cùng kích thước, các lớp cấu tạo, thông số vật liệu và chịu tải trọng như nhau nên mô-đun cắt hiệu dụng G_{eff} ứng với một độ lớn của chuyển vị ngang của hai loại gối cách chấn này là như nhau. Từ công thức (3), giá trị A_{eff} của gối U-FREI ứng với mỗi độ lớn của chuyển

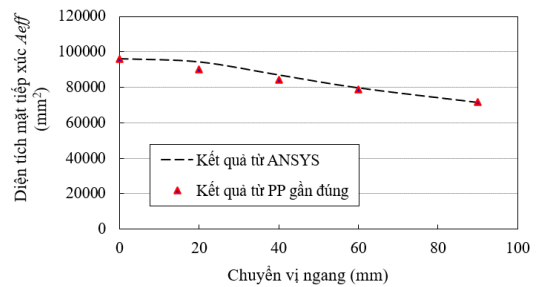
vị ngang được tính theo công thức: $A_{eff} = (K_h^{U-FREI} t_r) / G_{eff}$. Diện tích mặt tiếp xúc của gối U-FREI với các bộ đỡ A_{eff} xác định từ kết quả ANSYS được cho trong Bảng 2.

Xác định diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI với các bộ đỡ A_{eff} tính theo phương pháp gần đúng: Với độ lớn của chuyển vị ngang (u) đã biết, giá trị A_{eff} xác định theo phương pháp gần đúng được thực hiện theo các bước đã nêu trong mục 3 và cho kết quả trong Bảng 3.

Bảng 3. Diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI với các bộ đỡ tính theo phương pháp gần đúng

Độ lớn chuyển vị, u (mm)	γ	d (mm)	A_{eff} (mm ²)
0,0	0,0000	0,00	96100,00
20,0	0,1267	19,80	89962,97
40,0	0,2464	38,50	84165,00
60,0	0,3559	55,61	78861,09
90,0	0,5015	78,36	71808,59

So sánh giá trị diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI với các bộ đỡ xác định từ kết quả ANSYS với giá trị tính theo phương pháp gần đúng được cho trong Bảng 4 và được thể hiện trong Hình 3. Kết quả trong Bảng 4 và Hình 3 cho thấy diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI với các bộ đỡ tính theo phương pháp gần đúng cho kết quả tương đối phù hợp với kết quả từ phân tích mô hình số. Độ lệch lớn nhất của giá trị diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI với các bộ đỡ tính theo hai phương pháp này là 4,60% (tương đối nhỏ) tại độ lớn chuyển vị ngang $u = 20$ mm. Như vậy, việc tính toán diện tích bề mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI với các bộ đỡ theo phương pháp gần đúng là tương đối chính xác.



Hình 3. So sánh diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI loại A với các bộ đỡ xác định từ phân tích mô hình số và phương pháp gần đúng

Bảng 4. So sánh diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI với các bộ đỡ xác định từ phân tích mô hình số và từ phương pháp gần đúng

Độ lớn chuyển vị, u (mm)	A_{eff} từ ANSYS (mm ²)	A_{eff} từ công thức gần đúng (mm ²)	Chênh lệch (%)
0,0	96100,00	96100,00	0,00
20,0	94295,98	89962,97	-4,60
40,0	86927,48	84165,00	-3,18
60,0	79653,23	78861,09	-0,99
90,0	71409,67	71808,59	+0,56

4.2. Tính toán cho gối cách chấn đàn hồi cốt sợi với kích thước khác (gối B)

Để kiểm chứng tính chính xác của công thức gần đúng tính A_{eff} so với kết quả từ phân tích mô hình số cho các gối U-FREI với kích thước và thông số vật liệu khác, gối cách chấn đàn hồi cốt sợi hình khối hộp (gọi là gối B) được khảo sát. Gối B có kích thước $250 \times 250 \times 100$ mm. Tương tự gối A, gối B có cấu tạo gồm có $n_e = 18$ lớp cao su, mỗi lớp cao su dày $t_e = 5$ mm và $n_f = 17$ lớp sợi cacbon,

mỗi lớp sợi dày $t_f = 0,55$ mm. Tổng chiều dày các lớp cao su là $t_r = 90$ mm. Khác với gối A, gối B có mô-đun cắt ban đầu là $0,78$ N/mm². Gối chịu đồng thời tải trọng thẳng đứng với giá trị không đổi là 350 kN và chuyển vị ngang vòng lặp dạng hàm điều hòa hình sin với độ lớn tăng dần từ 20 mm đến 90 mm. Như vậy, áp lực thẳng đứng tác dụng vào hai gối A và B là xấp xỉ nhau ($5,6$ N/mm²).

Phân tích ứng xử ngang của gối U-FREI loại B bằng phương pháp mô hình số sử dụng phần mềm ANSYS tương tự như trong nghiên cứu [12], kết quả độ cứng ngang hiệu dụng và diện tích mặt tiếp xúc của gối U-FREI với các bộ đỡ ứng với mỗi độ lớn của chuyển vị ngang xác định từ phân tích mô hình số cho trong Bảng 5.

Kết quả diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI loại B với các bộ đỡ ứng với mỗi độ lớn của chuyển vị ngang xác định theo phương pháp gần đúng cho trong Bảng 6. So sánh kết quả giá trị A_{eff} cho gối U-FREI loại B xác định từ phương pháp phân tích mô hình số và phương pháp gần đúng cho trong Bảng 7.

Bảng 5. Độ cứng ngang hiệu dụng và diện tích mặt tiếp xúc của gối U-FREI loại B với các bộ đỡ xác định từ kết quả ANSYS

Độ lớn chuyển vị, u (mm)	K_h (kN/m)	A_{eff} (mm ²)
0,0		62500,00
20,0	457,72	61101,34
40,0	385,10	56226,53
60,0	321,99	50661,37
90,0	251,09	43279,80

Bảng 6. Diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI loại B với các bộ đỡ tính theo phương pháp gần đúng

Độ lớn chuyển vị, u (mm)	γ	d (mm)	A_{eff} (mm ²)
0,0	0,0000	0,00	62500,00
20,0	0,1267	19,80	57550,78
40,0	0,2464	38,50	52875,00
60,0	0,3559	55,61	48597,66
90,0	0,5015	78,36	42910,16

Bảng 7. So sánh diện tích mặt tiếp xúc của gối U-FREI loại B với các bộ đỡ xác định từ phân tích mô hình số và từ phương pháp gần đúng

Độ lớn chuyển vị, u (mm)	A_{eff} từ ANSYS (mm ²)	A_{eff} từ công thức gần đúng (mm ²)	Chênh lệch (%)
0,0	62500,00	62500,00	0,00
20,0	61101,34	57550,78	-5,81
40,0	56226,53	52875,00	-5,96
60,0	50661,37	48597,66	-4,07
90,0	43279,80	42910,16	-0,85

Thông qua hai ví dụ tính toán ở trên thấy rằng phương pháp tính toán gần đúng giá trị diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI hình khối hộp với các bộ đỡ đề xuất trong nghiên cứu này là tương đối phù hợp với kết quả từ phân tích mô hình số. Giá trị A_{eff} này có thể được dùng để tính toán độ cứng ngang hiệu dụng K_h của các gối U-FREI trong thiết kế sơ bộ công trình cách chấn đáy sử dụng các gối U-FREI chịu động đất.

5. Kết luận

Nghiên cứu này trình bày phương pháp tính toán gần đúng xác định diện tích mặt tiếp xúc của lớp cao su ngoài cùng của gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết với các phần đáy và phần thân công trình khi chịu chuyển vị ngang. Các bước tính toán diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI với các bộ đỡ tại một độ lớn của chuyển vị ngang được trình bày. Giới hạn việc sử dụng công thức gần đúng cũng được nêu ra trong nghiên cứu này. Các ví dụ với số liệu cụ thể để so sánh giá trị diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI với các bộ đỡ tính bằng phương pháp gần đúng với giá trị diện tích bề mặt tiếp xúc của gối U-FREI với các bộ đỡ thu được từ phân tích mô hình số. Kết quả so sánh giá trị diện tích mặt tiếp xúc hiệu dụng của gối U-FREI với các bộ đỡ từ hai phương pháp này là tương đối phù hợp.

Tài liệu tham khảo

- [1] Kelly, J. M. (1999). Analysis of fiber-reinforced elastomeric isolators. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 2(1):19–34.
- [2] Kelly, J. M., Calabrese, A. (2012). *Mechanics of fiber reinforced bearings*. Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, USA.
- [3] de Raaf, M. G. P., Tait, M. J., Toopchi-Nezhad, H. (2011). [Stability of fiber-reinforced elastomeric bearings in an unbonded application](#). *Journal of Composite Materials*, 45(18):1873–1884.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Hedayati Dezfouli, F., Alam, M. S. (2014). [Performance of carbon fiber-reinforced elastomeric isolators manufactured in a simplified process: experimental investigations](#). *Structural Control and Health Monitoring*, 21(11):1347–1359.
- [7] Das, A., Dutta, A., Deb, S. K. (2015). [Performance of fiber-reinforced elastomeric base isolators under cyclic excitation](#). *Structural Control and Health Monitoring*, 22(2):197–220.
- [8] Toopchi-Nezhad, H. (2014). [Horizontal stiffness solutions for unbonded fiber reinforced elastomeric bearings](#). *Structural Engineering and Mechanics*, 49(3):395–410.
- [9] Ngo, V. T., Dutta, A., Deb, S. K. (2017). [Evaluation of horizontal stiffness of fibre-reinforced elastomeric isolators](#). *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 46(11):1747–1767.
- [10] Ngo, V. T., 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):e2112.
- [11] Ngo, V. T. (2018). [Effect of shear modulus on the performance of prototype un-bonded fiber reinforced elastomeric isolators](#). *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE) - NUCE*, 12(5): 10–19.
- [12] Thuyết, N. V. (2018). [Nghiên cứu ứng xử ngang của nguyên mẫu gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD*, 12(6):39–48.
- [13] Việt, V. Q., Thuyết, N. V. (2020). [Ứng xử ngang của gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết hình khối hộp chịu chuyển vị lớn](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD*, 14(1V):81–92.
- [14] Naeim, F., Kelly, J. M. (1999). *Design of seismic isolated structures: from theory to practice*. John Wiley & Sons.
- [15] Strauss, A., Apostolidi, E., Zimmermann, T., Gerhaher, U., Dritsos, S. (2014). [Experimental investigations of fiber and steel reinforced elastomeric bearings: Shear modulus and damping coefficient](#). *Engineering Structures*, 75:402–413.