

PHƯƠNG PHÁP GẦN ĐÚNG XÁC ĐỊNH ĐỘ CỨNG NGANG HIỆU DỤNG CỦA GỐI CÁCH CHẤN ĐÀN HỒI CỐT SỢI KHÔNG LIÊN KẾT

Ngô Văn Thuyết¹

Tóm tắt: Gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết là loại gối cách chấn đa lớp mới đang được nghiên cứu trong hơn hai mươi năm qua. Gối được đặt trực tiếp lên trên phần đài móng và dưới phần thân công trình mà không cần bất kỳ liên kết vật lý nào giữa chúng. Ứng xử ngang của gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết tương đối phức tạp do có một phần gối không tiếp xúc với công trình. Độ cứng ngang hiệu dụng của gối cách chấn là một thông số quan trọng trong thiết kế công trình cách chấn đáy, xác định dựa trên ứng xử ngang của gối cách chấn. Nghiên cứu này trình bày phương pháp gần đúng xác định độ cứng ngang hiệu dụng của gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết thông qua một công thức toán học và kết quả tính toán từ phương pháp này được kiểm chứng với kết quả xác định bằng phương pháp phân tích mô hình số.

Từ khóa: Gối cách chấn, gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết, ứng xử ngang, độ cứng ngang hiệu dụng.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gối cách chấn đáy là một biện pháp giảm chấn thụ động cho công trình chịu động đất. Gối cách chấn thường được đặt lên trên phần đài móng và bên dưới phần thân công trình để tiêu tán năng lượng của các trận động đất truyền vào phần thân công trình. Chu kỳ dao động riêng của hệ cách chấn đáy tăng lên do độ cứng ngang của hệ gối cách chấn thấp, từ đó sẽ làm giảm hư hỏng cho công trình.

Hầu hết các công trình cách chấn đáy thiết kế chịu động đất trên thế giới đều có tầm quan trọng cao và chi phí xây dựng đắt. Chúng thường sử dụng gối cách chấn đa lớp thông thường như gối cao su tự nhiên (NRB), gối cao su lõi chì (LRB) và gối cao su có độ cản cao (HDRB). Hơn hai chục năm trở lại đây, một loại gối cách chấn đa lớp mới đang được nghiên cứu phát triển là gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết (unbonded fiber reinforced elastomeric isolator, viết tắt là gối U-FREI). Gối U-FREI có cấu tạo gồm các lớp sợi (thay thế cho các lá thép mỏng ở gối cách chấn đa lớp thông thường) nằm xen kẽ và gắn kết với các lớp cao su. Gối U-

FREI được đặt trực tiếp lên trên đài móng và dưới phần thân công trình mà không cần bất kỳ một liên kết vật lý nào. Vì vậy, khi gối U-FREI chịu chuyển vị ngang sẽ có một phần lớp cao su ngoài cùng của gối tách rời với các phần đài móng và phần thân công trình để sinh ra biến dạng cuộn. Gối U-FREI nhẹ hơn, dễ chế tạo hơn và thi công dễ dàng hơn so với gối cách chấn đa lớp thông thường. Gối U-FREI được kỳ vọng thay thế cho gối cách chấn đa lớp thông thường sử dụng cho các công trình trung và thấp tầng thiết kế chịu động đất ở những nước đang phát triển như Việt Nam.

Nghiên cứu về ứng xử ngang của gối U-FREI để xác định các thông số về đặc tính cơ học của gối như độ cứng ngang hiệu dụng, tỷ số cản nhớt đã được thực hiện cả bằng phương pháp thí nghiệm và phương pháp mô hình số (Toopchi-Nezhad et al., 2008), (Dezfuli và Alam, 2014), (Thuyet et al., 2017), (Ngô Văn Thuyết, 2018). Phương pháp thực nghiệm cho kết quả chính xác về đặc tính cơ học của từng mẫu gối cách chấn nhưng gặp nhiều khó khăn về giá thành cao cũng như khả năng của các thiết bị thí nghiệm. Phương pháp mô hình số sử dụng phần mềm ANSYS đã được kiểm

¹Bộ môn Kết cấu công trình, Trường Đại học Thủy lợi

chứng cho kết quả độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI tương đối phù hợp với kết quả từ thí nghiệm (Thuyet et al., 2017). Tuy nhiên, phương pháp mô hình số yêu cầu cấu hình máy tính phân tích phải cao, kết quả phân tích chịu ảnh hưởng của mô hình vật liệu phi tuyến và kích thước lưới chia phần tử, mất nhiều thời gian phân tích. Một vấn đề được đặt ra là cần có một công thức toán học để có thể xác định một cách nhanh hơn và gần đúng giá trị độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI.

(Thuyet et al., 2017) đã đề xuất một công thức để xác định gần đúng giá trị độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI thông qua mô-đun cắt hiệu dụng và diện tích bề mặt tiếp xúc của gối U-FREI với công trình. (Trương Việt Hùng và Ngô Văn Thuyết, 2020) đã đưa ra phương pháp gần đúng xác định diện tích bề mặt tiếp xúc của gối U-FREI với công trình. Trong nghiên cứu này, độ cứng ngang hiệu dụng của một mẫu gối U-FREI chịu đồng thời tải trọng thẳng đứng có giá trị không đổi và chuyển vị ngang có độ lớn tăng dần được xác định dựa trên phương pháp gần đúng đã được đề xuất bởi (Thuyet et al., 2017). Kết quả độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI xác định từ phương pháp này được so sánh với kết quả từ phân tích mô hình số để kiểm chứng độ tin cậy.

2. PHƯƠNG PHÁP GẦN ĐÚNG XÁC ĐỊNH ĐỘ CỨNG NGANG HIỆU DỤNG CỦA GỐI U-FREI

Theo (Thuyet et al., 2017), độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI khi chịu chuyển vị ngang được xác định theo công thức sau:

$$K_h = \frac{G_{eff} A_{eff}}{t_r} \quad (1)$$

Trong đó, t_r là tổng chiều dày các lớp cao su trong gối cách chấn; 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. G_{eff} cho gối cách chấn có mặt cắt ngang hình vuông cạnh a được tính như sau:

Khi $0 \leq u \leq 1,0t_r$:

$$G_{eff} = G \left[1 - \frac{p_z}{p_{crit,0} \left(1 - \left(\frac{u}{a} \right)^2 \right)} \right]^2 \left(1 - \frac{u}{a} \right) \quad (2)$$

Khi $1,0t_r \leq u \leq 1,5t_r$:

$$G_{eff} = G \left[1 - \frac{p_z}{p_{crit,0} \left(1 - \left(\frac{t_r}{a} \right)^2 \right)} \right]^2 \left(1 - \frac{t_r}{a} \right) \quad (3)$$

u là độ lớn chuyển vị ngang, p_z là áp lực theo phương thẳng đứng lên gối, $p_{crit,0}$ là ứng suất giới hạn ổn định (Kelly, 2003) và được tính theo công thức:

$$p_{crit,0} = \frac{P_{crit}}{a^2} \quad (4)$$

$$\text{với } P_{crit} = \frac{\sqrt{2}\pi GASr}{t_r} \quad (5)$$

$$\text{và } r = \frac{a}{2\sqrt{3}} \quad (6)$$

r là bán kính quán tính, G là mô-đun cắt ban đầu của gối cách chấn, A là diện tích mặt cắt ngang ($A = a^2$) và S là hệ số hình dạng của gối cách chấn. Theo (Naeim và Kelly, 1999), hệ số hình dạng (S) được định nghĩa bằng tỷ lệ giữa diện tích mặt cắt ngang gối với tổng diện tích xung quanh ở mặt bên của một lớp cao su. Đối với gối cách chấn có mặt cắt ngang hình vuông cạnh a và chiều dày một lớp cao su t_e thì $S = \frac{a}{4t_e}$.

A_{eff} là diện tích bề mặt tiếp xúc của gối U-FREI với phần đài móng hoặc phần thân công trình tại một độ lớn chuyển vị ngang (u). Theo (Trương Việt Hùng và Ngô Văn Thuyết, 2020), diện tích bề mặt tiếp xúc của gối U-FREI có mặt cắt ngang hình vuông cạnh a với phần thân công trình được tính như sau:

$$A_{eff} = a(a - d) \quad (7)$$

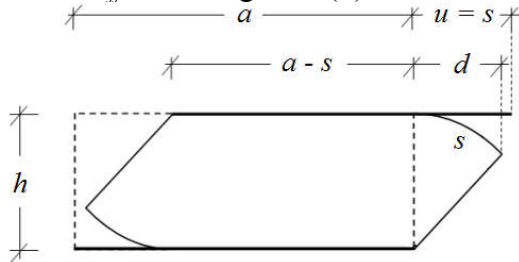
d là chiều dài theo phương ngang của đoạn biến dạng cuộn, như thể hiện trong Hình 1.

$$d = \frac{25}{16} \alpha h \quad (8)$$

h là tổng chiều cao của gói U-FREI, α là thông số hình học có liên quan đến d và chiều dài đường cong s hay chuyển vị ngang u theo công thức:

$$u = s = \frac{25}{64} h \left[2\alpha\sqrt{1+4\alpha^2} + \ln(2\alpha + \sqrt{1+4\alpha^2}) \right] \quad (9)$$

Khi đã biết h và u , α được tính theo công thức (9), d được tính theo công thức (8), từ đó tính được A_{eff} theo công thức (7).



Hình 1. Biến dạng của gói U-FREI khi chịu chuyển vị ngang

Bảng 1. Chi tiết các thông số về kích thước và vật liệu của gói U-FREI

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Kích thước của gói	$a \times a \times h$	mm	$360 \times 360 \times 133$
Số lớp cao su	n_e		24
Chiều dày một lớp cao su	t_e	mm	5,0
Tổng chiều dày các lớp cao su	t_r	mm	120
Số lớp sợi cacbon	n_f		23
Chiều dày một lớp sợi cacbon	t_f	mm	0,55
Hệ số hình dạng	S		18
Mô-đun cắt ban đầu của gói cách chấn	G	N/mm ²	0,90
Mô-đun đàn hồi của gói cách chấn	E	N/mm ²	40000
Hệ số poisson	μ		0,20

Theo tiêu chuẩn thiết kế nhà quốc tế (IBC, 2000), giới hạn độ lớn chuyển vị ngang thiết kế cho gói cách chấn đáy đa lớp là $1,50t_r$. Trong nghiên cứu này, gói U-FREI chịu đồng thời tải trọng thẳng đứng có giá trị không đổi $P_z = 610$ kN và chuyển vị ngang có độ lớn tăng dần từ 30 mm (tức là $0,25t_r$) đến 180 mm ($1,50t_r$). Như vậy, áp lực theo phương thẳng đứng lên gói là

$$p_z = \frac{P_z}{A} = \frac{610000}{360 \times 360} = 4,707 \text{ (N/mm}^2\text{)}.$$

Diện tích mặt cắt ngang gói là $A = a^2 = 360^2 = 129600 \text{ (mm}^2\text{)}.$

Bán kính quán tính là

$$r = \frac{a}{2\sqrt{3}} = \frac{360}{2\sqrt{3}} = 103,923 \text{ (mm)}.$$

Theo công thức (5): $P_{crit} = \frac{\sqrt{2}\pi GASr}{t_r} = \frac{\sqrt{2}\pi \times 0,90 \times 129600 \times 18 \times 103,923}{120} = 8078213,29 \text{ (N)}.$

Theo công thức (4): $p_{crit,0} = \frac{P_{crit}}{a^2} = \frac{8078213,29}{360^2} = 62,332 \text{ (N/mm}^2\text{)}.$

3. VÍ DỤ ÁP DỤNG

Một mẫu gói cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết được lựa chọn để tính toán độ cứng ngang hiệu dụng theo phương pháp gần đúng như đã trình bày ở trên. Mẫu gói cách chấn đàn hồi cốt sợi hình khối hộp có cạnh là $a = 360$ mm, tổng chiều cao là $h = 133$ mm. Gói U-FREI được cấu tạo từ 24 lớp cao su xen kẽ và gắn kết với 23 lớp sợi cacbon hai hướng vuông góc ($0^\circ/90^\circ$). Mỗi lớp cao su và sợi cacbon dày tương ứng là 5 và 0,55 mm. Tổng chiều dày của các lớp cao su là $t_r = 120$ mm. Hệ số hình dạng của gói cách chấn là $S = 18$. Các thông số chi tiết về kích thước và vật liệu của gói cách chấn được cho trong Bảng 1.

Mô-đun cắt hiệu dụng của gối cách chấn (G_{eff}) ứng với các độ lớn của chuyển vị ngang thay đổi từ 30 mm đến 180 mm được tính theo các công thức (2) và (3) và cho kết quả trong Bảng 2 dưới đây.

Bảng 2. Mô-đun cắt hiệu dụng của gối U-FREI

Độ lớn chuyển vị ngang u (mm)	u/t_r	u/a	G_{eff} (N/mm ²)
30,0	0,25	0,0833	0,8202
60,0	0,50	0,1667	0,7455
90,0	0,75	0,2500	0,6706
120,0	1,00	0,3333	0,5957
150,0	1,25	0,4167	0,5957
180,0	1,50	0,5000	0,5957

Diện tích bề mặt tiếp xúc của gối U-FREI với phần đài móng hoặc phần thân công trình (A_{eff}) tại các độ lớn chuyển vị ngang được tính theo công thức (7) và cho kết quả trong Bảng 3.

Bảng 3. Diện tích bề mặt tiếp xúc của gối U-FREI với công trình

u (mm)	u/t_r	α	d (mm)	A_{eff} (mm ²)
30,0	0,25	0,1425	29,61	118939,22
60,0	0,50	0,2754	57,23	108996,64
90,0	0,75	0,3951	82,11	100041,58
120,0	1,00	0,5025	104,43	92006,72
150,0	1,25	0,5995	124,58	84749,91
180,0	1,50	0,6880	142,98	78129,00

Độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI (K_h) khi chịu chuyển vị ngang có độ lớn tăng dần được tính theo công thức (1) và cho kết quả trong Bảng 4 dưới đây.

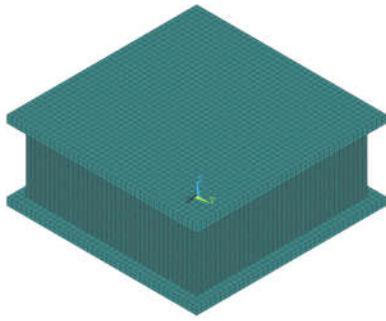
Bảng 4. Độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI từ phương pháp gần đúng

u (mm)	u/t_r	G_{eff} (N/mm ²)	A_{eff} (mm ²)	K_h (kN/m)
30,0	0,25	0,8202	118939,22	812,98
60,0	0,50	0,7455	108996,64	677,12
90,0	0,75	0,6706	100041,58	559,08
120,0	1,00	0,5957	92006,72	456,71
150,0	1,25	0,5957	84749,91	420,69
180,0	1,50	0,5957	78129,00	387,83

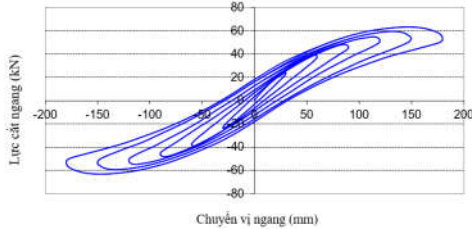
4. KIỂM CHỨNG KẾT QUẢ BẢNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH MÔ HÌNH SỐ

Kết quả khảo sát ứng xử ngang của gối U-FREI bằng phương pháp mô hình số sử dụng phần mềm ANSYS đã được kiểm chứng là tương đối phù hợp với kết quả từ thí nghiệm (Thuyet et al., 2017). Trong nghiên cứu này, kết quả độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI xác định từ phương pháp gần đúng ở trên được so sánh với kết quả xác định từ phương pháp mô hình số sử dụng phần mềm ANSYS v14.5 để kiểm chứng độ tin cậy.

Trong phương pháp mô hình số, cao su được mô hình bằng phần tử khối SOLID185, tấm sợi cacbon (gồm hai hướng đan vuông góc trong một tấm) được mô hình bằng phần tử khối SOLID46. 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 bộ đỡ), cũng được mô hình bằng phần tử khối SOLID185. Do gối U-FREI đặt trực tiếp lên trên các bộ 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 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. Mô hình gối U-FREI đã chia lưới phần tử được thể hiện trong Hình 2. Về mô hình vật liệu, cao su trong gối 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 U-FREI chịu đồng thời tải trọng thẳng đứng có giá trị không đổi bằng 610 kN và chuyển vị ngang vòng lặp dạng hàm điều hòa hình sin có giá trị độ lớn tăng dần từ 30 mm tới 180 mm, hai vòng lặp cho mỗi giá trị độ lớn của chuyển vị ngang. Kết quả vòng lặp trễ thể hiện mối quan hệ giữa lực cắt ngang và chuyển vị ngang trong gối cách chấn được cho trong Hình 3.



Hình 2. Mô hình gối U-FREI trong ANSYS (đã chia lưới phần tử)



Hình 3. Kết quả vòng lặp trễ của gối U-FREI từ phân tích mô hình số

Độ cứng ngang hiệu dụng của gối cách chấn có thể được xác định từ vòng lặp trễ (Hình 3) thông qua công thức nêu trong tiêu chuẩn thiết kế nhà quốc tế (IBC, 2000) như sau:

$$K_h = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{u_{\max} - u_{\min}} \quad (10)$$

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

Bảng 5. So sánh giá trị độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI xác định từ phân tích mô hình số và phương pháp gần đúng

u (mm)	u/t_r	K_h (kN/m)		Chênh lệch (%)
		Từ phân tích mô hình số	Từ phương pháp gần đúng	
30,0	0,25	796,67	812,98	2,05
60,0	0,50	655,08	677,12	3,36
90,0	0,75	537,28	559,08	4,06
120,0	1,00	458,15	456,71	-0,31
150,0	1,25	397,10	420,69	5,94
180,0	1,50	351,53	387,83	10,33

Độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI trong nghiên cứu này xác định từ kết quả phân tích mô hình số được tính toán theo công thức (10). So sánh

giá trị độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI xác định từ phân tích mô hình số và từ phương pháp gần đúng cho kết quả trong Bảng 5.

Từ Bảng 5 thấy rằng, độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI tính theo phương pháp gần đúng có giá trị tương đối phù hợp với kết quả xác định từ phương pháp phân tích mô hình số, độ chênh lệch giá trị lớn nhất là 10,33% tại độ lớn chuyển vị ngang là 180 mm. Ở các độ lớn chuyển vị ngang có giá trị nhỏ ($u \leq 1,0t_r$), giá trị độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI xác định theo hai phương pháp chênh nhau không đáng kể ($\leq 5\%$), nhưng ở các độ lớn chuyển vị ngang có giá trị lớn ($u > 1,0t_r$), giá trị độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI xác định theo hai phương pháp chênh lệch nhiều hơn (chênh lệch lớn nhất là 10,33%). Chênh lệch này là do độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI (K_h) phụ thuộc vào cả mô-đun cắt hiệu dụng (G_{eff}) và diện tích bề mặt tiếp xúc của gối U-FREI với công trình (A_{eff}). Các giá trị G_{eff} tính theo công thức (2) và (3), A_{eff} tính theo công thức (7) đều là các giá trị tính toán gần đúng. Đặc biệt là khi độ lớn chuyển vị ngang có giá trị lớn ($u > 1,0t_r$) thì giá trị G_{eff} tính theo công thức (3) có giá trị không đổi là chưa hoàn toàn phù hợp với kết quả thực tế. Từ lý do đó mà có sự chênh lệch kết quả độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI giữa hai phương pháp gần đúng và phân tích mô hình số. Tuy nhiên, độ chênh lệch kết quả lớn nhất giữa hai phương pháp (10,33%) là nhỏ, có thể chấp nhận được. Như vậy, hoàn toàn có thể sử dụng phương pháp gần đúng thông qua một công thức toán học trình bày trong bài báo này để xác định nhanh hơn, gần đúng giá trị độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI. Kết quả độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI xác định từ phương pháp gần đúng cho kết quả tin cậy ở các độ lớn chuyển vị ngang có giá trị nhỏ ($u \leq 1,0t_r$); ở các độ lớn chuyển vị ngang có giá trị lớn ($u > 1,0t_r$) giá trị độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI tính theo phương pháp này cho kết quả gần đúng, chênh lệch nhỏ. Muốn kết quả độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI tính theo phương pháp gần đúng ở các độ lớn chuyển vị ngang có

giá trị lớn ($u > 1,0t_r$) có độ tin cậy cao hơn thì cần cải thiện công thức gần đúng xác định mô-đun cắt hiệu dụng của gối U-FREI (G_{eff}).

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này trình bày phương pháp gần đúng xác định độ cứng ngang hiệu dụng của gối cách chấn đàn hồi cốt sợi không liên kết thông qua một công thức toán học, phụ thuộc vào mô-đun cắt hiệu dụng và diện tích bề mặt tiếp xúc của gối U-FREI với công trình. Gối U-FREI chịu đồng thời

tải trọng thẳng đứng có giá trị không đổi và chuyển vị ngang có độ lớn tăng dần. Kết quả độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI xác định từ phương pháp gần đúng được so sánh với kết quả xác định từ phân tích mô hình số để kiểm chứng độ tin cậy. Kết quả tính toán cho thấy độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI tính bằng công thức gần đúng và phân tích mô hình số là tương đối phù hợp, có thể sử dụng công thức gần đúng để tính nhanh độ cứng ngang hiệu dụng của gối U-FREI.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ngô Văn Thuyết (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, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE), 12(6), tr. 39-48.
- Trương Việt Hùng, Ngô Văn Thuyết (2020), “*Phương pháp gần đúng xác định diện tích mặt tiếp xúc của gối U-FREI hình khối hộp với các bộ đỡ*”, Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE), 14(3V), tr. 36-45.
- Dezfuli F.H., Alam M.S. (2014), “*Performance of carbon fiber-reinforced elastomeric isolators manufactured in a simplified process: experimental investigations*”, Structural Control and Health Monitoring, 21, 1347-1359.
- IBC-2000 (2000), “*International Building Code*”, USA.
- Kelly J.M. (2003), “*Tension Buckling in Multilayer Elastomeric Bearings*”, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 129(12), 1363-1368.
- Naeim F., Kelly J.M. (1999), “*Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice*”, John Wiley & Sons, INC.
- Thuyet Van Ngo, Dutta A., Deb S.K. (2017), “*Evaluation of horizontal stiffness of fibre reinforced elastomeric isolators*”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 46(11), 1747-1767.
- Toopchi-Nezhad H., Tait M.J., Drysdale R.G. (2008), “*Lateral response evaluation of fiber-reinforced neoprene seismic isolator utilized in an unbonded application*”, Journal of Structural Engineering, ASCE, 134(10), 1627-1637.

Abstract:

ANALYTICAL APPROACH FOR DETERMINING THE EFFECTIVE HORIZONTAL STIFFNESS OF UNBONDED FIBER REINFORCED ELASTOMERIC ISOLATOR

Un-bonded fiber reinforced elastomeric isolator (U-FREI) is relatively new laminated elastomeric isolator which has been studied for last twenty years. It is installed directly between the foundation and superstructure without any connection at the interfaces. Horizontal response of the U-FREI is relatively complicated because there is a part of the isolator that is not in contact with the supports. Effective horizontal stiffness of an isolator is an important parameter in the design for base-isolated building, and is determined from its horizontal response. This paper presents an analytical approach for determining the effective horizontal stiffness of the U-FREI by a math formula and the results of the effective horizontal stiffness of the isolator obtained from the analytical approach are validated with the results obtained from finite element analysis.

Keywords: Base isolator, un-bonded fiber reinforced elastomeric isolator, horizontal response, effective horizontal stiffness.

Ngày nhận bài: 15/9/2022

Ngày chấp nhận đăng: 30/9/2022