

ẢNH HƯỞNG CỦA HỆ SỐ HÌNH DẠNG ĐẾN ỨNG XỬ NGANG CỦA GỐI CÁCH CHẤN ĐÀN HỒI COMPOSITE FREI VUÔNG CHỊU TẢI TRỌNG VÒNG LẶP

TS. NGÔ VĂN THUYẾT

Đại học Thủy lợi

Tóm Tắt: Gối cách chấn đàn hồi composite FREI nhẹ hơn, đơn giản trong chế tạo hơn so với gối cách chấn đàn hồi thép dạng SREI và đã được áp dụng trong xây dựng công trình kháng chấn. Ứng xử ngang của gối cách chấn FREI chịu ảnh hưởng từ kích thước của gối hay hệ số hình dạng. Tuy nhiên, chưa có tài liệu nào nghiên cứu về vấn đề này. Trong nghiên cứu này, so sánh ứng xử ngang của hai gối cách chấn FREI vuông có hệ số hình dạng khác nhau chịu cùng một tải trọng vòng lặp được thực hiện. Kết quả cho thấy độ cứng ngang hiệu dụng của gối có hệ số hình dạng cao hơn là cao hơn so với giá trị của gối có hệ số hình dạng thấp hơn.

Từ khóa: gối cách chấn, gối đàn hồi FREI, hệ số hình dạng, ứng xử ngang, độ cứng ngang hiệu dụng.

Abstract: Fiber reinforced elastomeric isolator (FREI) is lighter in weight, more simple in terms of manufacturing in comparison with conventional steel reinforced elastomeric isolator (SREI) and is applied in mitigation of seismic vulnerability of buildings. Horizontal response of FREI is affected by its geometrical dimensions or the shape factor. However, no study on this problem has been found. In this study, the comparison of the horizontal response of two types of square FREI with different shape factors under the same cyclic loading has been conducted. It shows that the effective horizontal stiffness of isolator with higher shape factor is bigger than that of isolator with lower shape factor.

1. Đặt vấn đề

Gối cách chấn là một phương pháp hữu hiệu để giảm hư hỏng cho công trình khi động đất xảy ra. Gối cách chấn thường được đặt ở phần nối tiếp giữa phần móng và phần thân công trình. Do gối cách chấn có độ cứng theo phương ngang thấp nên công trình chịu được chuyển vị lớn của các trận

động đất. Hơn nữa, hệ số cản nhớt cao của hệ thống gối cách chấn làm tiêu tán năng lượng của các trận động đất truyền lên phần thân công trình.

Có nhiều loại gối cách chấn như gối cách chấn đàn hồi, gối cách chấn trượt, trong đó gối cách chấn đàn hồi được sử dụng phổ biến hơn cả. Gối cách chấn đàn hồi đang được phát triển với nhiều dạng khác nhau. Gối cách chấn FREI là một loại gối cách chấn đàn hồi mới được kỳ vọng giảm trọng lượng, giá thành và dễ dàng chế tạo hơn so với gối cách chấn đàn hồi thông thường SREI. Gối FREI được đề xuất lần đầu tiên bởi Kelly [5], sau đó nó đã được nhiều tác giả trên thế giới nghiên cứu, phát triển. Về mặt cấu tạo, gối FREI có cấu tạo tương tự như gối cách chấn đàn hồi thông thường SREI nhưng các lớp lá thép mỏng trong gối SREI đã được thay thế bằng các lớp sợi (thường là sợi carbon) đặt xen kẽ và gắn kết với các lớp cao su. Sợi carbon nhẹ hơn thép và có quá trình gia công đơn giản hơn nên gối FREI thường nhẹ và có giá thành rẻ hơn gối SREI. Do vậy, gối FREI được kỳ vọng áp dụng cho các công trình thấp tầng ở những nước đang phát triển như Việt Nam.

Trong thời gian qua, trên thế giới đã có một số tác giả nghiên cứu về ứng xử ngang của gối cách chấn FREI bằng cả thí nghiệm và phân tích mô hình số. Tác giả Nezhad [7] đã chế tạo và điều tra ứng xử ngang của các mẫu gối FREI thu nhỏ trong phòng thí nghiệm. Osgooei [11] nghiên cứu về các gối FREI hình tròn bằng phương pháp phần tử hữu hạn (PTTT) sử dụng phần mềm MSC. Marc. Tác giả Ngo [8,9] nghiên cứu về ứng xử của nguyên mẫu gối FREI bằng cả thí nghiệm và phân tích mô hình số. Ở Việt Nam, có một vài nghiên cứu về gối cách chấn đàn hồi thông thường SREI của các tác giả Lê Xuân Huỳnh và Nguyễn Hữu Bình [1], Lê Xuân Tùng [3]. Tác giả Ngô Văn Thuyết [2] nghiên cứu về ứng xử ngang của nguyên mẫu gối FREI.

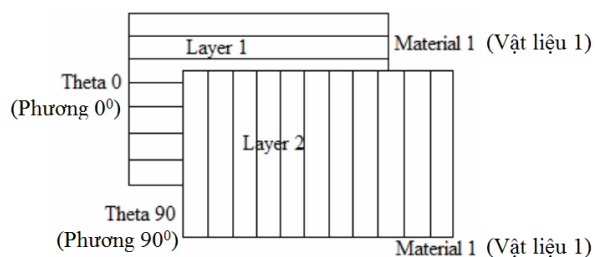
Một trong những yếu tố ảnh hưởng đến ứng xử ngang của gối cách chấn là hệ số hình dạng (shape

FREI bằng phần mềm ANSYS đã được kiểm chứng bằng thực nghiệm trong nghiên cứu của Ngo [8,9].

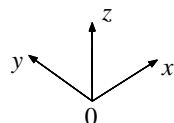
3.1 Lựa chọn loại phần tử

Cao su trong gói cách chấn FREI có biến dạng lớn trong quá trình làm việc. Do vậy, 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, như miêu tả trong hình 2, được mô hình bằng phần tử khối nhiều lớp SOLID46.

Hai tấm đế thép được mô hình ở đỉnh và đáy gói, để mô phỏng cho phần thân và phần móng công trình, cũng được mô hình bằng phần tử SOLID185. Áp lực thẳng đứng và chuyển vị ngang vòng lặp được gán vào phần đế thép phía trên. Phần đế thép phía dưới được giữ cố định. Mô hình gói cách chấn FREI loại A (đã chia phần tử) được miêu tả như hình 3.



Hình 2. Các lớp và phương của sợi carbon trong gói cách chấn đàn hồi FREI



Hình 3. Mô hình gói cách chấn FREI loại A (đã chia phần tử)

3.2 Mô hình vật liệu

Các thông số đặc trưng vật liệu cho trong bảng 1 được sử dụng trong mô hình vật liệu. Cao su

trong gói FREI có ứng xử phi tuyến khi chịu chuyển vị lớn. Vì vậy, nó được mô hình bằng mô hình vật liệu siêu đàn hồi (hyper-elastic) và vật liệu đàn nhớt (visco-elastic) cho phép ứng xử phi tuyến. Trong nghiên cứu này, cao su được mô hình bằng mô hình Ogden 3-terms [10] và mô hình ứng xử cắt đàn nhớt (Prony Viscoelastic Shear Response) với các thông số như sau:

$$\begin{aligned} \text{Ogden (3-terms): } & \mu_1 = 1.89 \times 10^6 \text{ (N/m}^2\text{)}; \mu_2 = 3600 \text{ (N/m}^2\text{)}; \mu_3 = -30000 \text{ (N/m}^2\text{)}; \\ & \alpha_1 = 1.3; \alpha_2 = 5; \alpha_3 = -2; \end{aligned}$$

$$\text{Prony Shear Response: } a_1 = 0.333; t_1 = 0.04; a_2 = 0.333; t_2 = 100.$$

3.3 Tải trọng

Để nghiên cứu ảnh hưởng của hệ số hình dạng đến sự làm việc của gói cách chấn, tải trọng gán vào hai gối A và B phải tương tự nhau. Các gói cách chấn chịu đồng thời áp lực thẳng đứng và chuyển vị theo phương ngang trong quá trình làm việc. Các tải trọng này được gán vào phần đế thép phía trên của gói. Áp lực thẳng đứng lên bề mặt các gối là như nhau với giá trị 5.6 MPa. Chuyển vị ngang theo phương X dạng hình sin được gán vào gối với giá trị độ lớn tăng dần từ 20 mm đến 90 mm, mỗi độ lớn của chuyển vị gồm có hai vòng lặp. Chuyển vị ngang vòng lặp được miêu tả như hình 4.

Hình 4. Chuyển vị ngang gán vào các gối

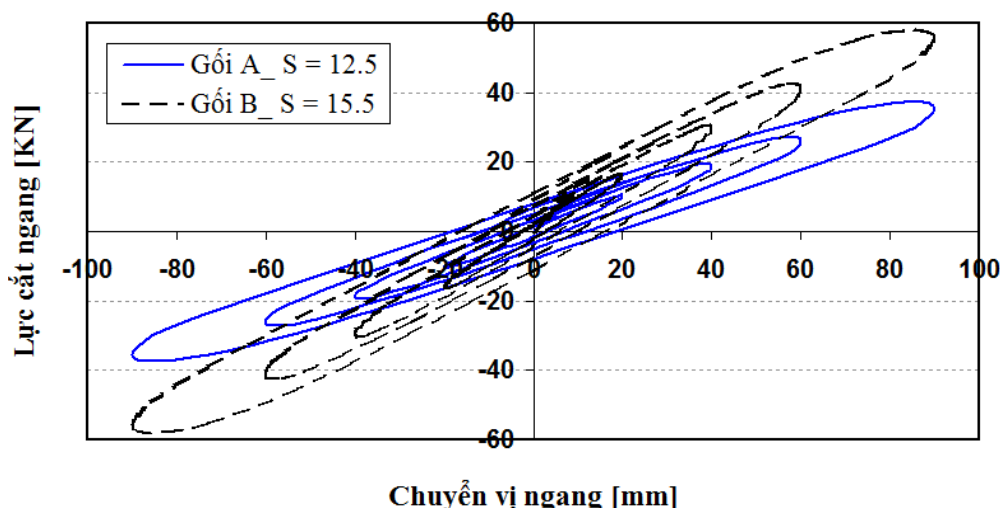
4. Kết quả phân tích và bình luận

4.1 Vòng lặp trễ quan hệ giữa lực ngang và chuyển vị ngang

Ứng xử ngang phi tuyến của gói cách chấn được thể hiện qua vòng lặp trễ trình bày quan hệ giữa lực cắt ngang và chuyển vị ngang. Lực cắt ngang của các gối FREI được tính là tổng của tất cả

các lực cắt ngang trên tất cả các nút ở phần đế thép phía trên của gối. Kết quả so sánh vòng lặp trễ của

các loại gối FREI thu được từ phân tích mô hình số được thể hiện trong hình 5.



Hình 5. So sánh vòng lặp trễ của gối A và B

Từ hình 5 cho thấy giá trị lớn nhất lực cắt ngang của gối A ($S = 12.5$) luôn nhỏ hơn giá trị tương ứng của gối B ($S = 15.5$) tại mọi độ lớn của chuyển vị ngang. Từ đó dẫn đến độ cứng ngang hiệu dụng của gối A luôn nhỏ hơn gối B ở cùng một độ lớn của chuyển vị ngang. Điều này sẽ được làm rõ hơn trong phần tiếp theo.

4.2 Độ cứng ngang hiệu dụng và hệ số cản nhớt

Theo Tiêu chuẩn IBC [4], độ cứng ngang hiệu dụng, K_{eff}^h , của 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 5. Hệ số cản nhớt được tính bằng công thức sau:

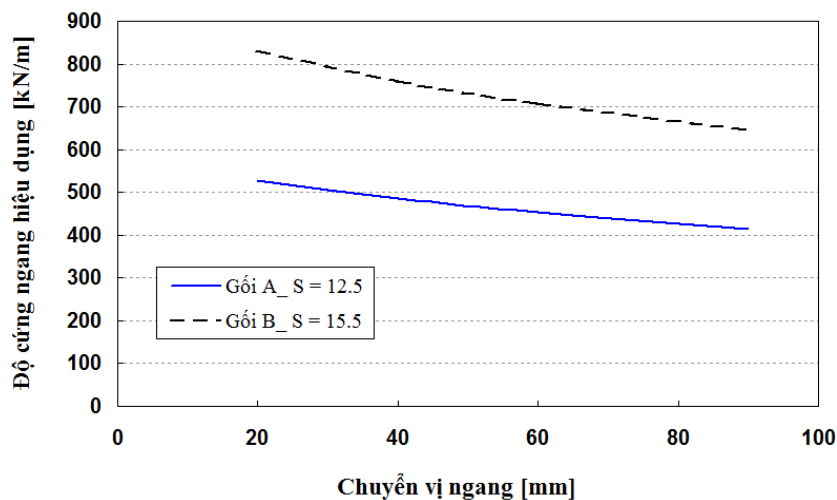
$$\beta = \frac{W_d}{2\pi K_{eff}^h \Delta_{max}^2} \quad (2)$$

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

Độ cứng ngang hiệu dụng và hệ số cản nhớt của các gối A và B ở các độ lớn khác nhau của chuyển vị ngang được tính toán theo công thức (1) và (2); 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. So sánh sự thay đổi độ cứng ngang hiệu dụng của hai gối với sự tăng dần độ lớn của chuyển vị ngang được miêu tả trong hình 6.

Bảng 2. So sánh đặc trưng cơ học của gối A và B

| Độ lớn chuyển vị (mm) | u/t_r | Gối A (S = 12.5) | | Gối B (S = 15.5) | |
|-----------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| | | K_{eff}^h | β | K_{eff}^h | β |
| | | (kN/m) | (%) | (kN/m) | (%) |
| 20.0 | 0.22 | 528.12 | 7.51 | 829.81 | 6.80 |
| 40.0 | 0.44 | 486.13 | 9.03 | 760.60 | 7.77 |
| 60.0 | 0.67 | 452.65 | 10.52 | 707.36 | 9.08 |
| 90.0 | 1.00 | 414.90 | 11.42 | 646.09 | 10.31 |



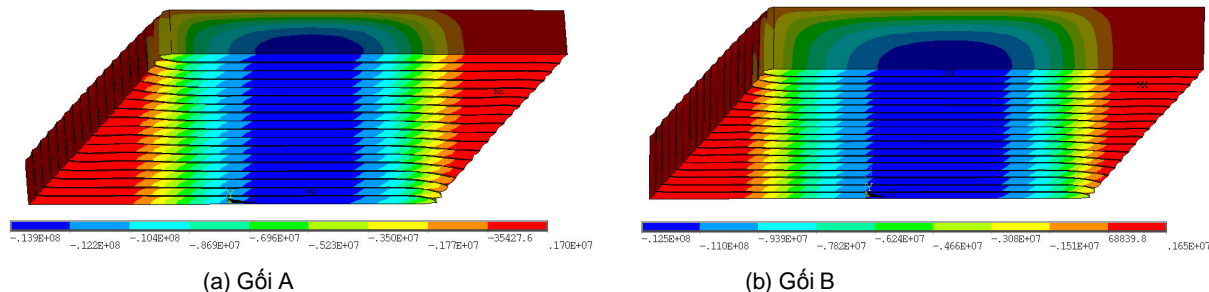
Hình 6. Quan hệ giữa độ cứng ngang hiệu dụng với độ lớn chuyển vị ngang của hai gối A và B

Kết quả trong bảng 2 và hình 6 cho thấy độ cứng ngang hiệu dụng của các gối FREI giảm và hệ số cản nhớt tăng lên khi độ lớn của chuyển vị ngang tăng lên. So sánh kết quả giữa hai gối A và B cho thấy ở cùng một độ lớn của chuyển vị ngang như nhau, gối A luôn có độ cứng ngang hiệu dụng thấp hơn giá trị tương ứng ở gối B, nhưng hệ số cản nhớt ở gối A luôn cao hơn ở gối B. Cụ thể, độ cứng ngang hiệu dụng ở gối B cao hơn ở gối A là 57.1% và 55.7% tại độ lớn của chuyển vị ngang tương ứng là 20 và 90 mm, trong khi đó, hệ số hình dạng của gối B ($S = 15.5$) cao hơn gối A ($S = 12.5$) là 24%. Từ kết quả này cho thấy hệ số hình dạng có ảnh hưởng đến ứng xử ngang của gối cách chấn FREI. Điều này có ý nghĩa trong việc thiết kế lựa chọn kích thước của gối cách chấn FREI. Theo Naeim và Kelly [6], gối cách chấn áp dụng cho công trình thực tế thường có hệ số hình dạng nằm trong khoảng từ 10 đến 20.

4.3 Biến dạng và ứng suất trong lớp cao su của gối FREI

Gối FREI 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.

Biến dạng và ứng suất S_{11} trong các lớp cao su của gối cách chấn A và B tại chuyển vị ngang có độ lớn bằng 90 mm được thể hiện trong hình 7. Để quan sát rõ ràng, kết quả của một nửa gối cách chấn được thể hiện. Phân tích ứng suất cho thấy ứng suất nén trong gối FREI nằm ở phần lõi, xuyên suốt từ đáy lên đỉnh gối trong vùng nổi chồng giữa đáy và đỉnh gối. Trong khi đó ứng suất kéo nằm ngoài vùng nổi chồng đó. So sánh kết quả ứng suất của gối A và B cho thấy ứng suất kéo và nén lớn nhất trong gối A luôn lớn hơn gối B tại cùng một độ lớn của chuyển vị ngang.



Hình 7. Biến dạng và ứng suất S_{11} (N/m^2) trong các lớp cao su của một nửa gối cách chấn FREI tại độ lớn chuyển vị ngang là 90 mm (giá trị dương thể hiện chịu kéo)

5. Kết luận

Nghiên cứu này trình bày ảnh hưởng của hệ số hình dạng đến ứng xử ngang của gối cách chấn đàn hồi FREI chịu tải trọng vòng lặp. Các gối FREI

vuông có cùng chiều cao và các lớp cấu tạo như nhau, nhưng khác nhau về kích thước mặt cắt ngang, chịu đồng thời áp lực thẳng đứng và chuyển vị ngang vòng lặp như nhau. Ứng xử ngang của các

gối FREI được phân tích bằng phương pháp PTHH sử dụng phần mềm kết cấu ANSYS. So sánh ứng xử ngang của hai loại gối được tiến hành. Các kết luận rút ra từ nghiên cứu như sau:

- Độ cứng ngang hiệu dụng của gối FREI giảm và hệ số cản nhớt tăng lên khi độ lớn của chuyển vị ngang tăng lên;

- Ở cùng một độ lớn của chuyển vị ngang, độ cứng ngang hiệu dụng của gối có hệ số hình dạng nhỏ hơn luôn thấp hơn giá trị tương ứng của gối có hệ số hình dạng lớn hơn, trong khi đó, hệ số cản nhớt của gối có hệ số hình dạng nhỏ hơn lại luôn lớn hơn giá trị tương ứng của gối có hệ số hình dạng lớn hơn tại cùng một độ lớn của chuyển vị ngang;

- Ứng suất nén trong gối FREI nằm ở phần lõi, xuyên suốt từ đáy lên đỉnh gối trong vùng nổi chông giữa đáy và đỉnh gối. Ứng suất kéo nằm ngoài vùng nổi chông đó;

- Giá trị ứng suất kéo và nén lớn nhất của gối có hệ số hình dạng nhỏ hơn luôn lớn hơn giá trị tương ứng của gối có hệ số hình dạng lớn hơn tại cùng một độ lớn của chuyển vị ngang.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Xuân Huỳnh, Nguyễn Hữu Bình (2008), "Nghiên cứu công nghệ chế ngự dao động kết cấu công trình nhà cao tầng phù hợp điều kiện xây dựng ở Hà Nội", *Báo cáo tổng kết đề tài, mã số 01C-04/09-2007-3, Viện KHCN Kinh tế Xây dựng - Việt Nam*.
- [2] Ngô Văn Thuyết (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 - 2017, *Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, Bộ Xây dựng, ISBN: 978-604-82-2300-7, tr. 170-177*.
- [3] Lê Xuân Tùng (2010), "Thiết kế gối cách chấn dạng gối đỡ đàn hồi chịu động đất với mô hình phi

tuyến của vật liệu chế tạo", *Tạp chí KHCN Xây dựng, số 4 (153), năm thứ 38, ISSN 1859-1566*.

- [4] International Building Code, USA, (2000).
- [5] Kelly J.M. (1999), "Analysis of fiber-reinforced elastomeric isolators", *Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, USA, JSEE, Vol. 2(1), pp. 19-34*.
- [6] Naeim F., Kelly J.M. (1999), "Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice", *John Wiley & Sons, INC*.
- [7] Nezhad H.T., Tait M.J., Drysdale R.G. (2008), "Testing and Modeling of Square Carbon Fiber-reinforced Elastomeric Seismic Isolators", *Journal of Structural Control and Health Monitoring, Vol. 15, pp. 876-900*.
- [8] Ngo V.T., Deb S.K., Dutta A., Ray N., Mitra A.J. (2016), "Performance evaluation of fiber reinforced elastomeric isolators under cyclic load". *Proceedings of the 8th World Congress on Joints, Bearing and Seismic Systems for Concrete Structures, Atlanta, Georgia, USA, (25-29th September), paper 8-51, website: <http://www.ijbrc.org/>*.
- [9] Ngo V.T., Dutta A., Deb S.K. (2017). "Evaluation of horizontal stiffness of fibre reinforced elastomeric isolators". *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, DOI: 10.1002/eqe.2879, Vol. 46, pp. 1747-1767*.
- [10] Ogden R.W. (1972), "Large deformation isotropic elasticity - on the correlation of theory and experiment for incompressible rubber-like solids", *Proc. R. Soc. Lond. A., Vol. 326, pp. 565-584*.
- [11] Osgoee P.M., Tait M.J., Konstantinidis D. (2014), "Three-dimensional finite element analysis of circular fiber-reinforced elastomeric bearings under compression", *Composite Structures, Vol. 108, pp. 191-204*.

Ngày nhận bài: 05/03/2018.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 05/7/2018.