

PHÂN TÍCH PHÁ HỦY MỐI GHÉP BU LÔNG DÀM CỘT KHUNG THÉP NHÀ XUỐNG

The failure analysis of column beam bolt joint in the factory steel frame

Nguyễn Văn Tuấn¹

¹Trường Đại học Kinh tế Công nghiệp Long An, Long An, Việt Nam
tuandapr@gmail.com

Tóm tắt — Với sự phát triển của ngành xây dựng, sự cần thiết trong thiết kế kết cấu thép ngày càng trở nên quan trọng. Ngày càng có nhiều công trình kiến trúc được xây dựng sử dụng loại kết cấu mới là điều tất yếu. Có nhiều thử nghiệm hơn đã được tiến hành về các loại mối ghép trong kết cấu thép đã được thực hiện. Cùng với đó, chi phí phải trả trong quá trình thực nghiệm là tương đối lớn. Phương pháp phần tử hữu hạn hỗ trợ giảm chi phí trong thử nghiệm một cách đáng kể. Trong bài báo này, Phương pháp phần tử hữu hạn sẽ được áp dụng thông qua phần mềm ANSYS thương mại để so sánh kết quả thực nghiệm. Kết quả tính toán sẽ mô phỏng giai đoạn biến dạng lớn để cho thấy sự hư hỏng của mối ghép.

Abstract — With the development of the construction industry, the necessity of steel structure design becomes more and more important. It is inevitable that more and more buildings are being built using a new type of structure. More tests have been carried out on the types of joints in structural steel that have been carried out. Along with that, the cost to be paid during the experiment is relatively large. The finite element method helps to reduce the cost in testing significantly. In this paper, the Finite Element Method will be applied through commercial ANSYS software to compare experimental results. The calculation results will simulate the large deformation period to show the failure of the joint.

Từ khóa — Phương pháp phần tử hữu hạn, phân tích phá hủy, finite element method, failure analysis.

1. Giới thiệu

Ngày nay khi xã hội ngày càng phát triển, nhiều công trình được xây dựng để phục vụ lợi ích cần thiết của con người. Bên cạnh đó, tuổi thọ của công trình là một trong những vấn đề quan trọng. Ngoài ra, vật liệu là yếu tố chính ảnh hưởng trực tiếp đến tuổi thọ. Thép là một trong những lựa chọn phổ biến trong xây dựng bởi những lợi ích mà nó mang lại như giá thành rẻ, dễ tạo hình, khả năng chịu lực cao. Đây là lý do mà khung thép được sử dụng phổ biến trong các công trình kiến trúc lớn và quan trọng như cầu, đường, bến cảng, nhà máy. Thông thường, nguyên nhân phá hủy một kết cấu hầu hết là do hư hỏng tích lũy do hỏng hóc. Đặc biệt, các mối nối thường là một trong những bộ phận dễ hỏng hóc đầu tiên, vì chúng bao gồm nhiều thành phần phức tạp. Mỗi ghép bu lông thường được các kỹ sư sử dụng để ghép các phần tử trong khung thép lại với nhau.

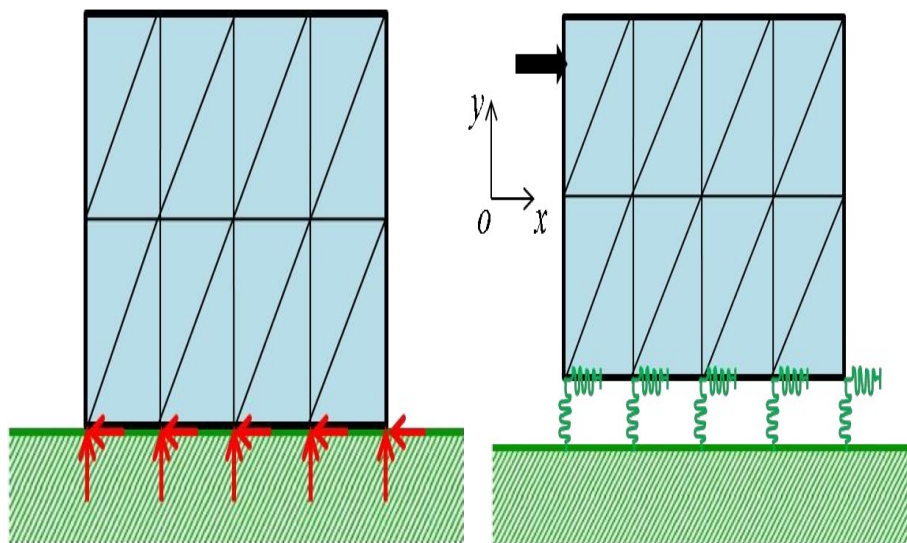
Vấn đề trên đã được thực hiện trong nhiều thí nghiệm mô phỏng với mục đích tìm ra hư hỏng của mối ghép qua nhiều dạng tải trọng khác nhau. Hầu hết các thí nghiệm đều sử dụng các mô hình thực thay vì các mô hình trong FEM. Một đầu dầm sẽ được tác động tải trọng dịch chuyển. Thí nghiệm được thực hiện với mục đích tìm ra mô men tới hạn của mô hình khi tăng dần giá trị của tải cho đến khi một trong các bu lông bị phá hủy hoàn toàn hoặc sự vênh của mặt bích xuất hiện. Bài báo này mô hình hóa mối ghép bu lông dầm cột bằng cách sử dụng ANSYS. Các kết quả thu được từ phương pháp phần tử hữu hạn được so sánh với các kết quả thí nghiệm. Từ đó đưa ra kết luận đánh giá ưu nhược điểm của mối ghép qua mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Phương pháp hàm phạt

Trong phương pháp hàm phạt, các lực tiếp xúc tỷ lệ với lượng xuyên qua bằng cách đưa vào số lượng lò xo tuyến tính ảo giữa các vật thể tiếp xúc. Giả định rằng các lực tiếp xúc được

phát triển giữa các nút tiếp xúc và bề mặt đích trong phần tử hữu hạn, minh họa trong hình 1. Ý nghĩa vật lý của phương pháp hàm phạt là áp dụng các lò xo ảo trên các nút của bề mặt tiếp xúc để mô phỏng tiếp xúc.



Hình 1. Mô hình lò xo cho điều kiện ma sát trượt

Dựa trên phương pháp này, mô hình cho các vấn đề tiếp xúc với ma sát theo Coulomb được phát triển. Giống như lý thuyết đàn hồi của Winkler với các lò xo ảo được sử dụng trên bề mặt, các bề mặt của ràng buộc được mô hình hóa bằng cách thêm nhiều lò xo tuyến tính ảo theo phương pháp tuyến và phương tiếp tuyến trong mô hình mới.

Các lò xo ảo này độc lập với nhau, được thêm vào giữa các nút tiếp xúc và bề mặt tiếp xúc.

2.2. Ứng xử đàn dẻo của vật liệu

Trong mô hình biến cứng tuyến tính đàn hồi, đường cong liên tục được xấp xỉ bởi hai đường thẳng, do đó thay thế đường cong chuyển tiếp trơn bằng một điểm đứt gãy, được xem là ứng suất giới hạn đàn hồi hoặc ứng suất chảy σ_0 .

Nhánh đường thẳng đầu tiên của sơ đồ có hệ số góc Young's modulus E . Nhánh đường thẳng thứ hai, thể hiện sự biến cứng, có hệ số góc $E_t < E$.

Quan hệ ứng suất biến dạng đối với tải đơn điệu trong có dạng:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \text{ for } \sigma \leq \sigma_0$$

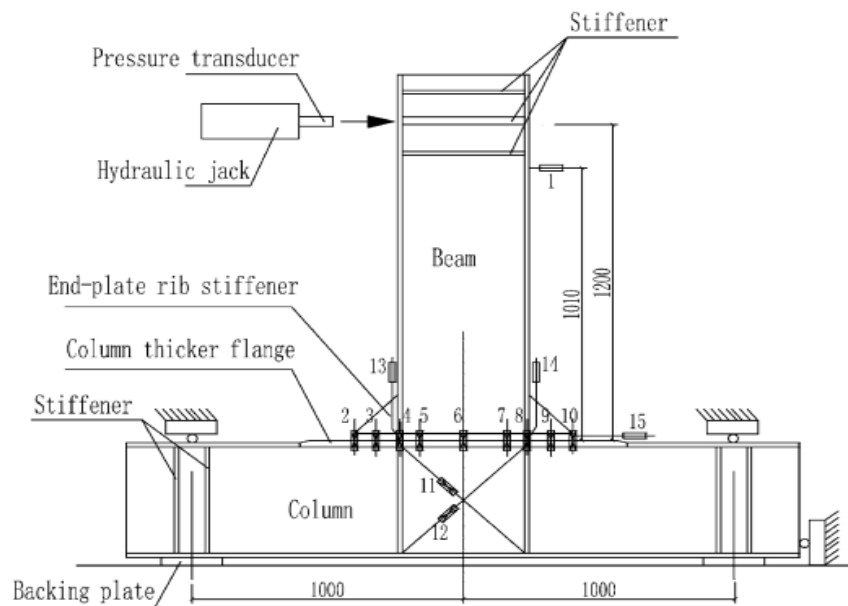
$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{E} + \frac{1}{E_t}(\sigma - \sigma_0) \text{ for } \sigma > \sigma_0$$

3. Mô hình và kết quả

Bài toán bao gồm mô hình mối ghép bu lông dầm cột dưới tác động tải trọng ngang, được hiển thị như hình 2 và đường cong mô men - góc quay ($M - \varphi$) tại vùng mối ghép sẽ được khảo sát.

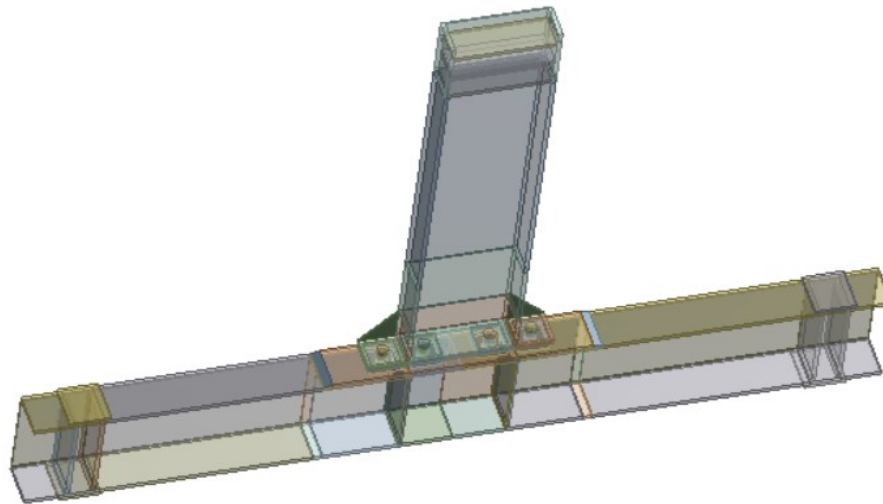
Mô hình bao gồm bốn phần như dầm, cột, bu lông, tấm ghép. Độ dày các tấm thép của cột và dầm lần lượt là 300 mm, 8 mm và 12 mm và chiều rộng mặt bích tương ứng là 250 mm và 200 mm.

Độ dày các gân tang cứng cột và dầm lần lượt là 12 mm và 10 mm. Mỗi hàn sẽ được thay thế bằng phần thân liên kết tiếp xúc dính chặt. Ngoài ra, điều kiện đối xứng được áp dụng trong bài toán này.



Hình 2. Sơ đồ thí nghiệm phá hủy bu lông dầm cột

Vật liệu trong ANSYS Workbench được thu viện trong phần mềm cung cấp sẵn. Các kết cấu thép như dầm thép, cột thép và bu lông được gán vật liệu ứng xử dẻo đàn hồi.



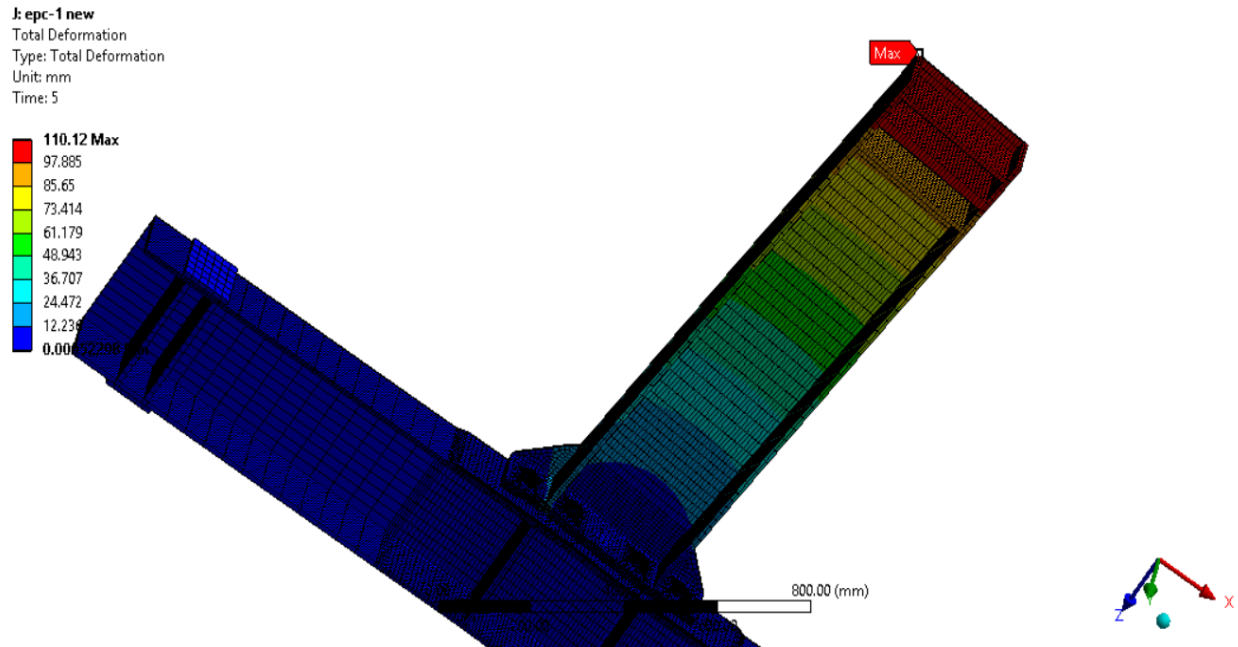
Hình 3. Mô hình mô phỏng kết cấu hoàn chỉnh

Bảng 1. Thuộc tính vật liệu

Vật liệu	Ứng suất chảy dẻo (MPa)	Giới hạn kéo (MPa)	Mô đun đàn hồi (MPa)	Lực siết trước của bu lông (KN)
Thép ($t \leq 16\text{mm}$)	391	559	190707	-
Thép ($t > 16\text{mm}$)	363	537	204228	-
Bu lông (M20)	995	1160	206000	185

Bu lông (M24)	975	1188	206000	251
---------------	-----	------	--------	-----

Các tải được áp dụng bằng cách sử dụng hai bước tải tăng lực xiết trước bu lông và tải gây uốn. Lực xiết trước bu lông tính đến ảnh hưởng của tải trọng trước trong bu lông gây ra lên kết cấu bởi sự siết chặt của chúng.

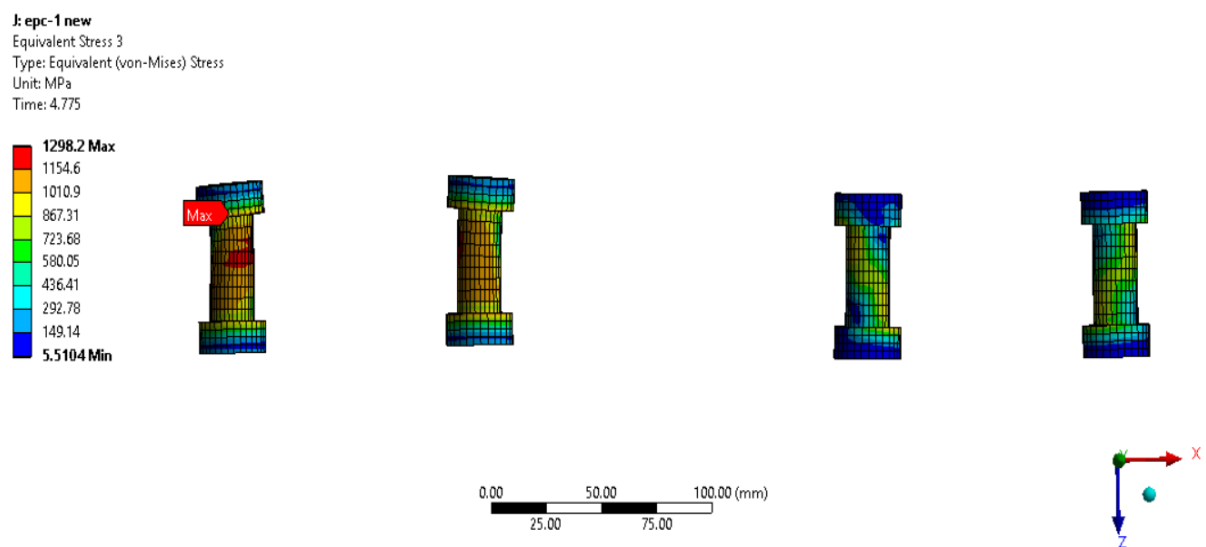


Hình 4. Biến dạng tổng tại thời điểm mô men uốn cực đại

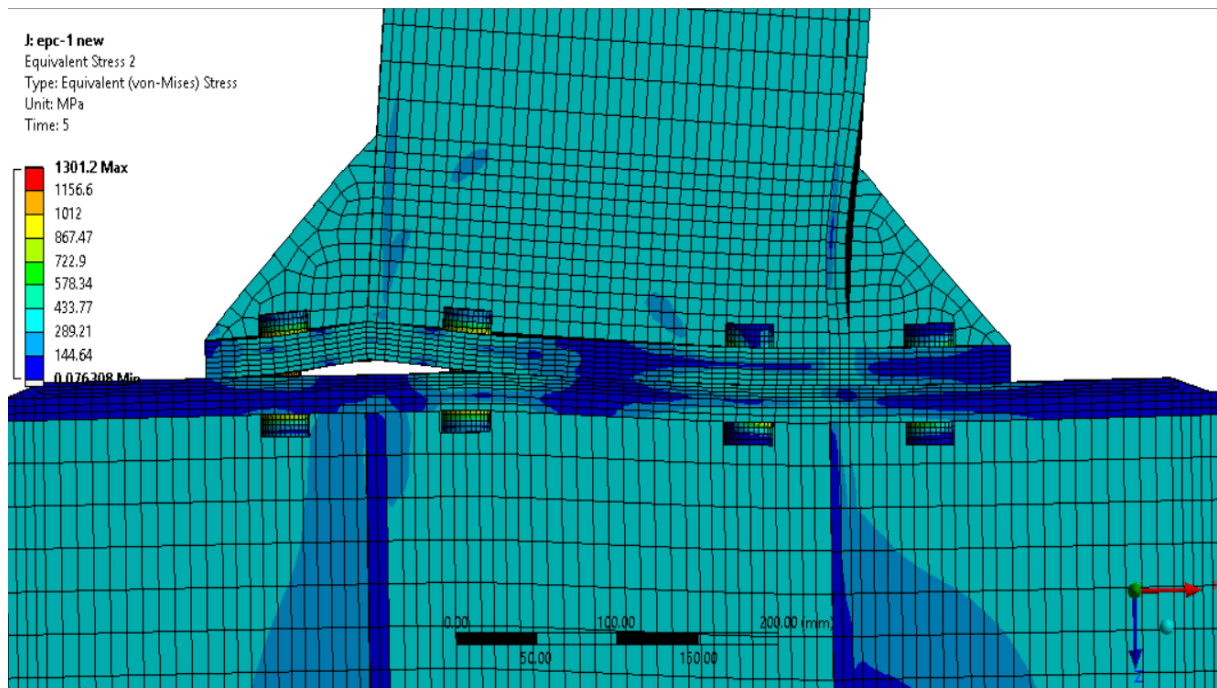
Các bu lông được gia tải trước trong bước tải đầu tiên của phân tích theo phương pháp tải trọng bu lông, lực ép trước được áp dụng theo các tiêu chuẩn quy ước quốc tế.

Sự thay đổi tải trọng bu lông được chọn để tạo ra lực xiết trước theo tiêu chuẩn là 185 kN và 251 kN tương ứng với các bu lông có đường kính 20 mm và 24 mm. Sau đó, áp đặt cường độ bức chuyển vị không đổi trong bước tải thứ hai.

Để hiểu rõ ràng về ứng xử của các liên kết dầm cột dưới tác dụng mô men uốn, các kết quả như biến dạng tổng, ứng suất biến dạng tương đương (von-Mises) và biến dạng dẻo tương đương được trình bày như phía dưới:

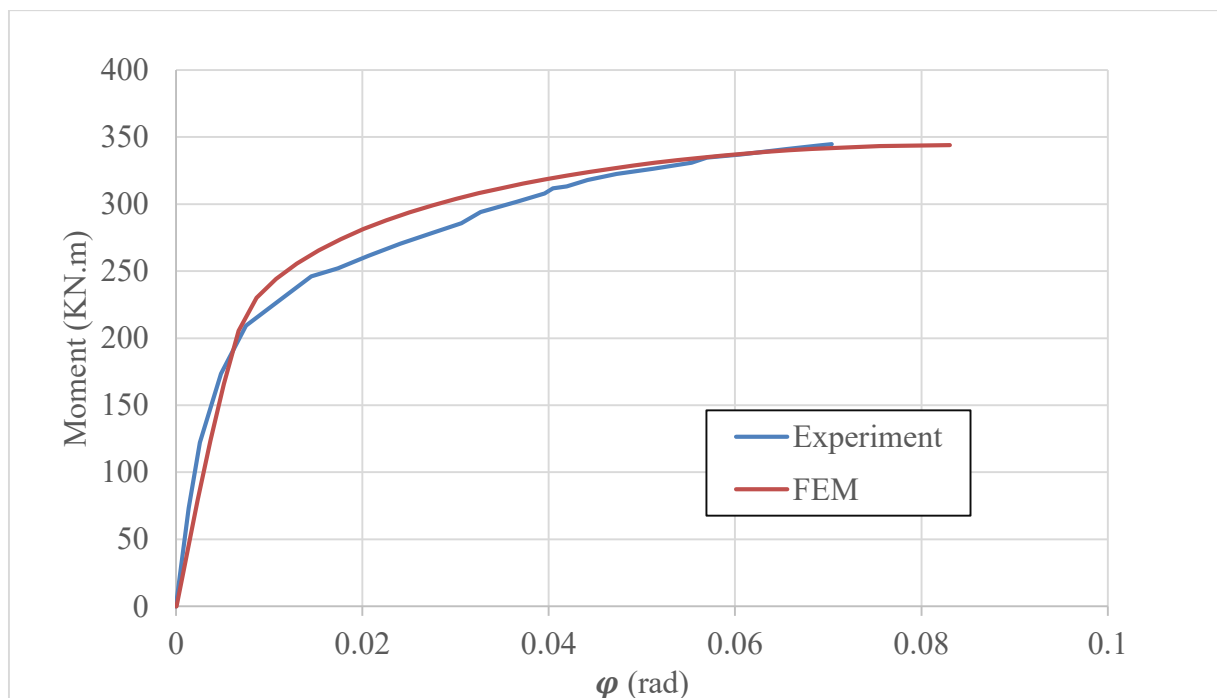


Hình 5. Ứng suất von-mises trên bu lông



Hình 6. Ứng suất von-mises tại tâm ghép

Chuyển động góc quay của mỗi ghép bu lông dầm cột được định nghĩa là chuyển động quay tương đối giữa các đường tâm của mặt bích trên cùng của dầm.



Hình 7. So sánh kết quả đường cong $M-\varphi$

4. Kết luận

Qua bài phân tích này, kết quả mô phỏng của tác giả so với thực nghiệm có sai số rất nhỏ trong giai đoạn đàn hồi. Trong quá trình biến dạng dẻo, thép được khai báo với ứng xử song tuyến tính nên kết quả mô phỏng có độ lệch rất nhỏ so với thực nghiệm. Các vị trí tiếp xúc đều được xử lý chi tiết trong mô phỏng.

Lưới của mô hình sẽ được tạo ra bằng cách sử dụng các phần tử lục giác nên tiết kiệm thời gian tính toán. Điều kiện biên đối xứng được sử dụng hiệu quả nên góp phần giảm rất nhiều thời gian mô phỏng.

Có thể sử dụng mô hình mô phỏng thích hợp để thay thế hiệu quả cho các thí nghiệm thực tế. Theo ý kiến của tác giả điều này có thể có lợi về mặt tiết kiệm chi phí. Tuy nhiên, quá trình chuẩn bị mô hình cũng như xử lý lưới phức tạp khi mô phỏng ba chiều do nhiều vị trí tiếp xúc và cần đề xuất phương án tốt hơn trong quá trình mô phỏng mỗi ghép bu lông dầm cột phức tạp hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Gang, S., Yongjiu, S. & Yuanqing, W. (2007). Behaviour of end-plate moment connections under earthquake loading. *Engineering Structures*, 29, 703-716.
- [2] Jeong, K., Joo-Cheol, Y. & Beom-Soo, K. (2007). Finite element analysis and modeling of structure with bolted joints. *Applied Mathematical Modelling*, 31, 895-911. Trang 6
- [3] Jie, Z. & Qi, W. (2013). *A Finite Element Method for Solving 2D Contact Problems with Coulomb Friction and Bilateral Constraints*. Beihang University, China.
- [4] Kuhl, D. & Meschke, G (2005). *Finite Element Method in Linear Structural Mechanics*, Institute for Structural Mechanics. University Bochum.
- [5] Yongjiu, S., Gang, S. & Yuanqing, W. (2007). Experimental and theoretical analysis of the moment-rotation behavior of stiffened extended end-plate connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 63, 1279-1293.

Ngày nhận: 29/3/2022

Ngày duyệt đăng: 12/10/2022