

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM GIA CƯỜNG KHÁNG CHẤN CHO CỘT BÊ TÔNG CỐT THÉP SỬ DỤNG CỐT SỢI THÉP VÔ ĐỊNH HÌNH

ThS. ĐINH NGỌC HIẾU, TS. ĐẶNG CÔNG THUẬT

Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Đà Nẵng

Tóm tắt: Bài báo này trình bày phương pháp gia cường cột bê tông cốt thép trong các công trình cũ không có các chi tiết kháng chấn sử dụng bê tông cốt sợi thép vô định hình. Mẫu tiêu chuẩn được thiết kế để phá hoại theo dạng cắt-uốn khi chịu tác dụng của tải trọng lặp mô phỏng tác dụng của tải trọng động đất. Sau đó, tác giả đề xuất phương pháp gia cố cột sử dụng bê tông cốt sợi thép vô định hình và kiểm chứng bằng thực nghiệm. Kết quả thí nghiệm đã chỉ ra rằng phương pháp gia cường làm tăng khả năng chịu tải trọng ngang, khả năng tiêu tán năng lượng, và giảm hệ số cản so với mẫu tiêu chuẩn.

Abstract: This paper presents retrofitting method of RC columns in old buildings by using amorphous steel fiber-reinforced concrete. Control specimen was designed to fail in shear-flexure when subjected to cyclic load simulating earthquake. Then, concrete jacketing retrofitting method by using amorphous steel fibers was proposed and experimentally verified. The test results show that the retrofitting method enhanced the lateral load-carrying capacity, energy dissipation capacity and reduced the damping ratio compared to the control specimen.

Keywords: Seismic retrofit, RC columns, amorphous steel fibers.

1. Giới thiệu

Cột là bộ phận kết cấu đặc biệt quan trọng trong các công trình xây dựng hiện nay khi chịu tác dụng của tải trọng ngang, đặc biệt là tải trọng động đất. Một số các khảo sát đã chỉ ra rằng sự sụp đổ của toàn công trình chủ yếu đến từ sự phá hoại của phần tử cột trong công trình đó [1,2,3]. Tuy nhiên, ở các nước đang phát triển nói chung và ở Việt Nam nói riêng, cột của các công trình bê tông cốt thép được thiết kế theo tiêu chuẩn cũ thường chỉ chịu tải trọng gió và tải trọng bản thân. Trong các cột này, cốt đai thường có khoảng cách lớn và được uốn với góc 90°, bê tông có cường độ chịu nén thấp và không thỏa mãn các yêu cầu về cấu tạo cũng như

khả năng chịu chuyển vị ngang khi chịu tải trọng động đất được đề ra trong các tiêu chuẩn thiết kế kháng chấn hiện đại [4,5]. Vì vậy, khi chịu tải trọng ngang lớn, đặc biệt là tải trọng động đất, cột thường không có đủ khả năng chuyển vị ngang cần thiết và dễ bị sụp đổ.

Một số nghiên cứu trên thế giới đã được thực hiện nhằm phát triển các phương pháp gia cường cho cột để chống lại tải trọng ngang như sử dụng các tấm thép gia cố trong vùng khớp dẻo tiềm năng [6], sử dụng tấm FRPs để quấn quanh thân cột làm giảm sự biến dạng theo phương ngang [7], hay sử dụng bê tông cường độ cao [8].

Hiện nay, cốt sợi thép vô định hình (Amorphous steel fibers) là một loại cốt sợi phân tán mới được chế tạo với công nghệ hoàn tác khác so với cốt sợi thép truyền thống. Loại cốt sợi này có cường độ chịu kéo và khả năng chống ăn mòn cao hơn cốt sợi thép, mềm, dễ uốn, khả năng phân tán cao trong bê tông và đặc biệt là không có hiện tượng ăn mòn kim loại nên có thể ứng dụng để tăng khả năng kiểm soát vết nứt của cấu kiện bê tông cốt thép trong quá trình co ngót hay trong quá trình chịu tải trọng [9, 10].

Trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất phương pháp sử dụng bê tông cốt sợi thép vô định hình cường độ cao để gia cố cho cột BTCT ở các công trình cũ. Mẫu tiêu chuẩn với tỉ lệ 1/2 được thiết kế để phá hoại theo dạng cắt-uốn khi chịu tác dụng của tải trọng lặp mô phỏng tác dụng của tải trọng động đất. Sau đó, tác giả đề xuất phương pháp gia cố cột sử dụng bê tông cốt sợi thép vô định hình. Trên cơ sở đó, tính hiệu quả của mẫu được gia cường được so sánh với mẫu tiêu chuẩn dựa trên các tiêu chí sau: khả năng chịu tải trọng và chuyển vị ngang, hình thái phá hoại mẫu, khả năng tiêu tán năng lượng và hệ số cản nhớt.

2. Mô tả thí nghiệm

2.1 Vật liệu

Mẫu thí nghiệm tiêu chuẩn được thiết kế với bê tông có cường độ thấp với cường độ thiết kế 15 MPa. Cường độ chịu nén trung bình của 3 mẫu hình

trụ 100 mm x 200 mm tại thời điểm thí nghiệm (40 ngày) là 15.7 MPa. Cốt thép dọc chịu lực có cường độ chịu kéo danh định là 300 MPa được sử dụng.

Cốt sợi thép vô định hình (ASFs) được sử dụng trong nghiên cứu này là một loại cốt sợi mới, có dạng thẳng, được phát triển bởi công ty POSCO-Hàn Quốc (<http://www.posco.com/>) (hình 1). Ưu

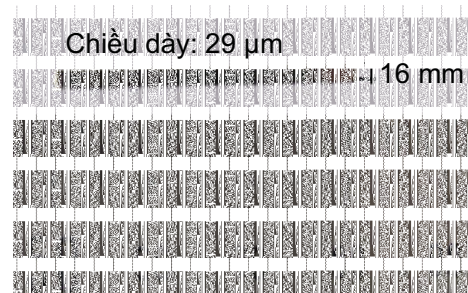
điểm của loại cốt sợi này là quá trình sản xuất tiết kiệm năng lượng và khí thải CO₂ (ít hơn 20% so với cốt sợi thép truyền thống), mỏng, dễ uốn, trọng lượng riêng nhẹ, cường độ chịu kéo cao hơn so với cốt sợi thép truyền thống và đặc biệt là không có hiện tượng ăn mòn kim loại [9]. Đặc tính của loại cốt sợi này được tóm tắt ở bảng 1.

Bảng 1. Đặc tính của cốt sợi vô định hình sử dụng trong thí nghiệm

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Chiều dày sợi	μm	29
Chiều dài sợi	mm	30
Chiều rộng sợi	mm	1.6
Cường độ chịu kéo	MPa	1,700
Module đàn hồi	MPa	140,000
Khối lượng riêng	kg/m ³	7,200



(a) Cốt sợi thép vô định hình



(b) Hình dạng và kích thước của ASFs

Hình 1. Cốt sợi thép vô định hình (ASFs) sử dụng trong thí nghiệm

2.2 Mẫu thí nghiệm

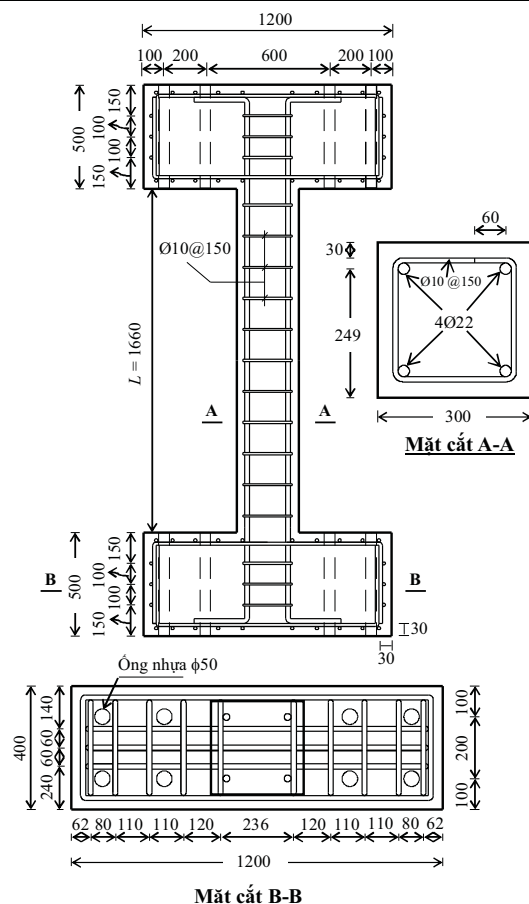
2.2.1 Mẫu tiêu chuẩn

Hình 2 mô tả chi tiết kích thước hình học và cấu tạo cốt thép của mẫu tiêu chuẩn. Trong nghiên cứu này, mẫu tiêu chuẩn được thiết kế theo tiêu chuẩn ACI 318-14 [11] để phá hoại theo trạng thái nguy hiểm là uốn-cắt (flexure-shear failure) khi chịu tải trọng động đất, được tương ứng với điều kiện (ii) ở tiêu chuẩn ASCE 41-13 [12]. Theo ASCE 41-13, điều kiện phá hoại theo cắt-uốn tương ứng với $0.6 \leq V_p/V_n \leq 1.0$ đối với kết cấu cột bê tông cốt thép, trong đó V_p là lực cắt ứng với trạng thái phá hoại dẻo (khi cường độ cốt thép dọc chịu lực trong cột

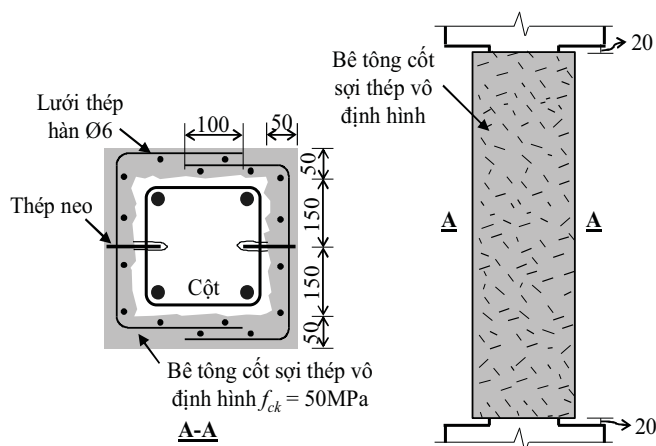
đạt giới hạn chảy tại vị trí khớp dẻo hình thành), V_n là sức kháng cắt cực hạn của cột. Tỷ số này theo thiết kế là 0.78.

2.2.2 Mẫu gia cường

Hình 3 mô tả phương pháp gia cường cho mẫu tiêu chuẩn sử dụng bê tông cốt sợi thép vô định hình cường độ cao. Mẫu tiêu chuẩn được đánh sờn bề mặt, sau đó được cấy các thép neo vào trong sử dụng keo HILTI 500. Lưới thép hàn Ø6 sau đó được bao phủ quanh cột thông qua các thanh thép neo này. Bê tông cường độ cao có cường độ thiết kế 50 MPa được trộn cốt sợi ASFs có hàm lượng 0.75% được bao phủ quanh thân cột với bề dày 50mm.



Hình 2. Kích thước và cấu tạo cốt thép của mẫu thí nghiệm



Hình 3. Phương pháp gia cường cho mẫu tiêu chuẩn

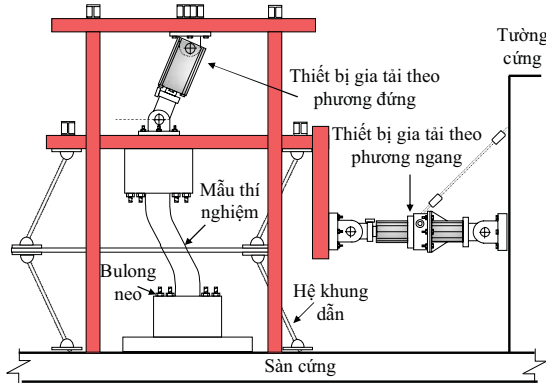
2.3 Quy trình thí nghiệm

Cấu tạo hệ thống thí nghiệm được trình bày ở hình 4. Lực tập trung theo phương thẳng đứng được tác dụng tại vị trí đầu cột của các mẫu thí nghiệm thông qua thiết bị gia tải là kích thủy lực 1000 kN được gắn theo phương thẳng đứng vào

khung thép cứng. Tải trọng lập mô phỏng tác dụng của tải trọng động đất được tác dụng lên phần trên của cột thông qua kích thủy lực 1000 kN đặt theo phương nằm ngang và được gắn vào tường cứng. Thiết bị đo chuyển vị (LVDTs) được gắn tại đầu cột để đo chuyển vị theo phương ngang.

Tải trọng lặp trong nghiên cứu này được thiết kế theo tiêu chuẩn ACI 374.2R-13 [13] với phương pháp điều khiển theo chuyển vị (displacement-controlled method). Hình 5 trình bày lịch sử gia tải. Các chuyển vị vòng lặp được lặp lại 2 lần với mỗi mức cường độ (Δ/Δ_y) là 0.5, 1, 2, 3, 4,... cho đến khi mẫu bị phá hoại. Trong

đó Δ_i là chuyển vị của mẫu ở vòng lặp thứ i ; Δ_y là chuyển vị tại vị trí cốt thép bắt đầu đạt giới hạn chảy, được tính toán dựa trên độ cứng hiệu quả của cột [14]. Tải trọng đứng trong nghiên cứu này được tác dụng với giá trị không đổi là $0.3A_gf'_c$ với A_g là tiết diện chịu tải của cột, f'_c là cường độ bê tông cột.

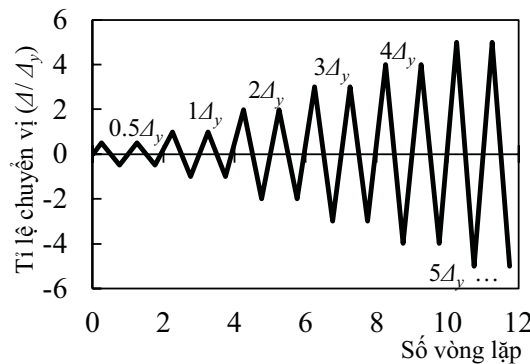


(a) Cấu tạo hệ thống thí nghiệm



(b) Hình ảnh hệ thống thí nghiệm

Hình 4. Hệ thống thí nghiệm



Hình 5. Lịch sử gia tải

3. Kết quả thí nghiệm và phân tích

3.1 Quan hệ lực-chuyển vị

Hình 6 trình bày đường cong trễ biểu thị mối quan hệ giữa tải trọng ngang và độ lệch tầng (story drift) của mẫu tiêu chuẩn và mẫu được gia cường. Trong nghiên cứu này, độ lệch tầng (θ) được lấy bằng Δ/H , trong đó Δ là chuyển vị ngang của mẫu, H là chiều cao của cột. Các giá trị tải trọng ngang lớn nhất (P_{max}) và chuyển vị góc xoay lớn nhất tại thời điểm mẫu bị phá hoại (θ_u) được ghi nhận và thể hiện trên hình 6.

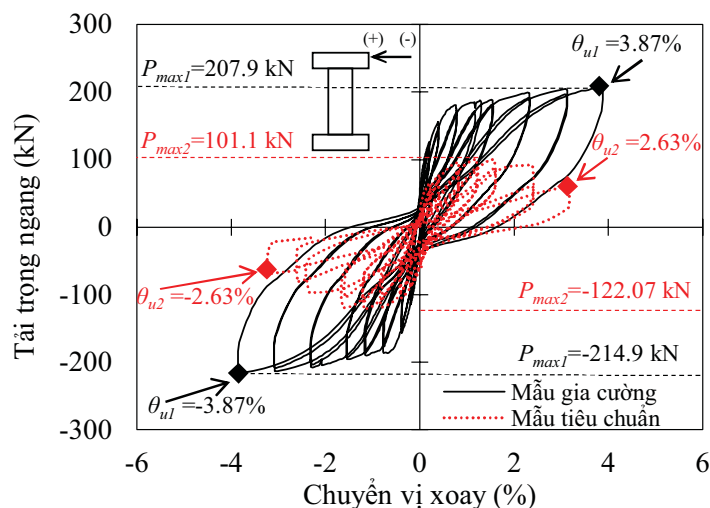
Từ hình 6 ta có thể thấy rằng, giá trị tải trọng ngang lớn nhất của mẫu được gia cường theo chiều

(+) và chiều (-) của tải trọng lần lượt là -207.9 và -214.9 kN. Các giá trị này lớn hơn lần lượt là 2.05 lần và 1.76 lần so với mẫu tiêu chuẩn tương ứng theo chiều (+) và chiều (-) của tải trọng. Tương tự, độ lệch tầng theo chiều (+) và chiều (-) tải trọng của mẫu gia cường cũng tăng đáng kể so với mẫu tiêu chuẩn (3.87% so với 2.63%).

Bên cạnh đó, sự suy giảm cường độ của mẫu tiêu chuẩn là rất đáng kể sau khi đạt tải trọng ngang lớn nhất, do các vết nứt xuất hiện nhiều và mở rộng dần sau mỗi vòng lặp chất- dỡ tải. Trong khi đó đối với mẫu được gia cường, khả năng chịu tải trọng ngang có xu hướng **ứng càng** tăng với các cấp chuyển vị

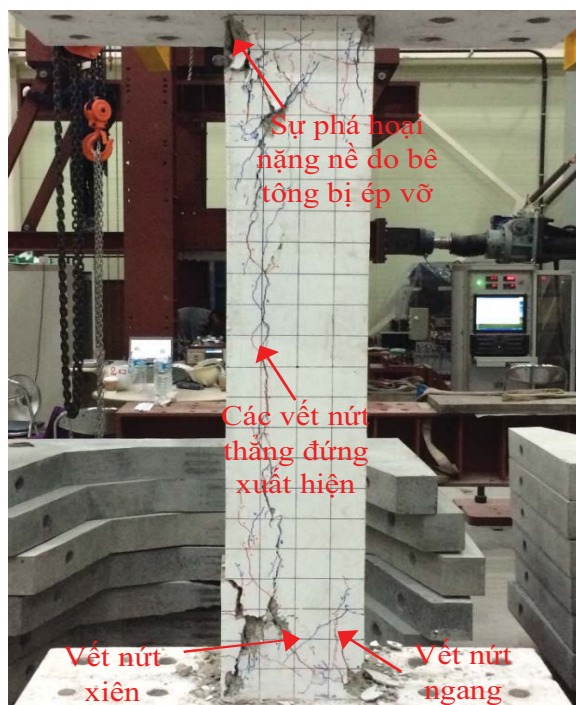
ngang tăng dần cho đến thời điểm dừng gia tải (tại độ lệch tầng đạt 3.87%). Điều này cho thấy được hiệu

quả của cốt sợi vô định hình trong việc tăng độ dẻo của kết cấu khi chịu tải trọng ngang.



Hình 6. Đường cong trễ biểu diễn quan hệ lực-chuyển vị của mẫu thí nghiệm

3.2 Đặc điểm phá hoại mẫu



Hình 7. Đặc điểm hình thái phá hoại của mẫu tiêu chuẩn

Hình 7 cho thấy hình mẫu của các vết nứt của mẫu tiêu chuẩn được quan sát bằng mắt thường tại thời điểm kết thúc thí nghiệm.

Ban đầu, các vết nứt ngang do phá hoại uốn xuất hiện, sau đó các vết nứt xiên do phá hoại cắt xuất

hiện và tập trung chủ yếu tại vị trí hai đầu cột. Khi tải trọng ngang đạt giá trị lớn nhất, bê tông tại vị trí hai đầu cột bắt đầu bị phá vỡ. Sau đó, từ vùng phá hoại này, các vết nứt thẳng đứng bắt đầu xuất hiện với bề rộng của các vết nứt mở rộng dần cho đến trạng thái cực hạn. Nhìn chung, sự phá hoại của mẫu chủ

yếu tập trung ở hai đầu cột- vị trí hình thành khớp dèo đầu tiên khi cột chịu tải trọng ngang.

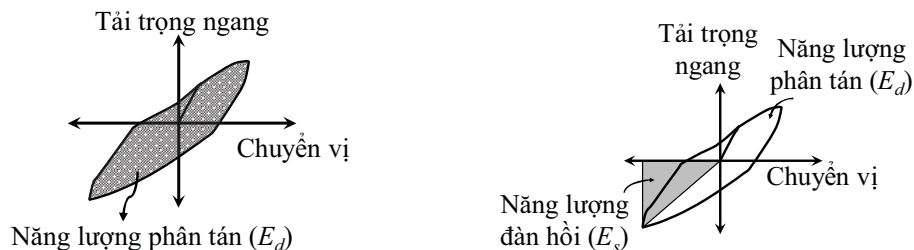


Hình 8. Đặc điểm hình thái phá hoại của mẫu được gia cường

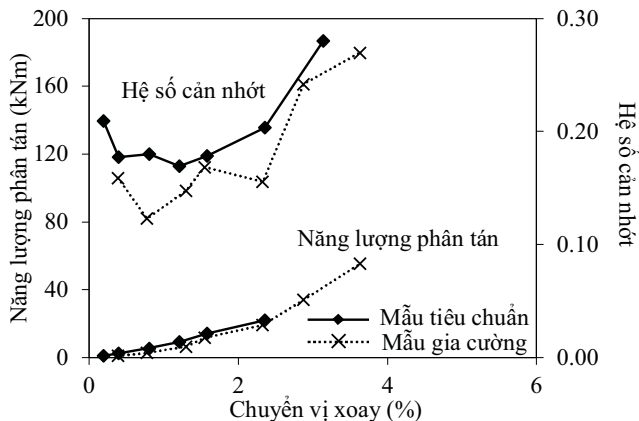
Hình 8 cho thấy hình mẫu của các vết nứt của mẫu gia cường được quan sát bằng mắt thường tại thời điểm kết thúc thí nghiệm. Số lượng và bề rộng các vết nứt tại vị trí hai đầu cột được giảm một cách đáng kể so với mẫu tiêu chuẩn. Đặc biệt, tại thời điểm ngừng gia tải, ứng với độ lệch tầng đạt 3.87%, không có hiện tượng ép vỡ bê tông tại vị trí khớp dèo. Điều này có thể thấy được cốt sợi thép vô định hình có khả năng kiểm soát vết nứt xuất hiện rất tốt nên có thể hạn chế được bề rộng vết nứt. Đồng thời, khi chịu tải trọng ngang chúng có thể chuyển một lượng lớn ứng suất kéo trong cấu kiện thông qua các vết nứt này, nên khả năng chịu lực của mẫu gia cường được tăng lên một cách đáng kể [13].

3.3 Khả năng phân tán năng lượng và hệ số cản

Khả năng phân tán năng lượng và hệ số cản là hai thông số quan trọng đánh giá khả năng làm việc ngoài giai đoạn đàn hồi của kết cấu khi chịu tác dụng của tải trọng động đất. Trong nghiên cứu này, khả năng tiêu tán năng lượng ứng với mỗi vòng lặp của tải trọng được xác định bằng diện tích giới hạn bởi đường cong trễ biểu diễn quan hệ tải trọng-chuyển vị ngang ứng với mỗi vòng lặp của tải trọng đó (hình 9(a)). Bên cạnh đó, hệ số cản được tính toán theo tiêu chuẩn ACI 374.2R-13 [13]: $\xi = E_d / 4\pi E_s$. Trong đó E_d là năng lượng phân tán trong mỗi vòng lặp của tải trọng. E_s là năng lượng do biến dạng đàn hồi trong mỗi vòng lặp, $E_s = F_i \Delta_i$, trong đó F_i là tải trọng ngang và Δ_i là chuyển vị ngang ở vòng lặp thứ i (hình 9(b)).



Hình 9. Định nghĩa năng lượng phân tán và hệ số cản nhót [14]



Hình 10. Khả năng phân tán năng lượng và hệ số cản nhót của các mẫu thí nghiệm

Hình 10 trình bày mối tương quan giữa năng lượng phân tán- hệ số cản và chuyển vị góc xoay của hai mẫu thí nghiệm. Nhìn chung, khả năng phân tán năng lượng của cả hai mẫu thí nghiệm là như nhau trong giai đoạn đầu gia tải, ứng với độ lệch tầng trong khoảng 0~2%. Tuy nhiên sau đó, khả năng phân tán của mẫu được gia cường tiếp tục tăng và đạt giá trị 56.32 kNm tại chuyển vị góc xoay là 3.87%. Bên cạnh đó, khi độ lệch tầng càng tăng, hệ số cản của cả hai mẫu thí nghiệm đều tăng. Hệ số cản của mẫu gia cường luôn đạt giá trị thấp hơn so với mẫu tiêu chuẩn ứng với từng cấp tăng của chuyển vị ngang.

4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu bằng thực nghiệm về việc gia cường kháng chấn cho cột bê tông cốt thép trong các công trình cũ sử dụng cốt sợi thép vô định hình. Các kết luận có thể rút ra từ kết quả thí nghiệm như sau:

- Mẫu được gia cường làm tăng khả năng chịu tải trọng ngang cũng như khả năng chuyển vị ngang ngoài giai đoạn đàn hồi so với mẫu tiêu chuẩn.

Đồng thời, không có sự suy giảm về cường độ của mẫu được gia cường trong giai đoạn làm việc dẻo;

- Ở trạng thái cực hạn, sự phá hoại ở mẫu tiêu chuẩn tập trung chủ yếu ở hai đầu cột (vị trí hình thành khớp dẻo), các vết nứt xuất hiện nhiều và bề rộng các vết nứt mở rộng kèm theo bê tông bị ép vỡ một cách nặng nề. Trong khi đó, ở mẫu gia cường, số lượng và bề rộng các vết nứt tại vị trí hai đầu cột được giảm một cách đáng kể so với mẫu tiêu chuẩn. Đặc biệt, tại thời điểm ngừng gia tải, ứng với độ lệch tầng đạt 3.87%, không có hiện tượng ép vỡ bê tông tại vị trí khớp dẻo;

- Khả năng phân tán năng lượng của mẫu gia cường cao hơn so với mẫu tiêu chuẩn trong giai đoạn làm việc dẻo của kết cấu. Đồng thời, hệ số cản của mẫu gia cường cũng nhỏ hơn so với mẫu tiêu chuẩn ứng với từng cấp tăng của chuyển vị ngang.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Despeyroux J (1960). "The Agadir earthquake of February 29th 1960 – behavior of modern building during the earthquake". *Civil Engineer, Escole*

- Nationale des Ponts Chaussées of Paris, Divisional Delegate of the Bureau Securitas for North Africa*, 1(5):521–41.
- [2] Ward P.L., Gibbs J., Harlow D., Arturo A.Q. (1974). "Aftershocks of the Managua, Nicaragua, earthquake and the tectonic significance of the Tiscapa fault". *Bull Seismol Soc Am*, 64(4):1017–29.
- [3] Nienhuys S. (2010). "Reinforced concrete construction failures exposed by earthquake: examples of design mistakes in reinforced concrete constructions". *Reinforced Concr Constr Fail*, 1–17.
- [4] Kang T. H. K., Ha S. S., Choi D. U. (2010). "Bar pullout tests and seismic tests of smallheaded bars in beam column joints". *ACI Struct J*, 107(1):32–42.
- [5] Foraboschi P. (2012). "Shear strength computation of reinforced concrete beams strengthened with composite materials". *Compos: Mech Comput Appl*, 3(3):227–52.
- [6] Aboutaha R.S., Jirsa J.O. (1996). "Steel jackets for seismic strengthening of concrete columns". *11th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 518. Acapulco, Mexico; June*.
- [7] Yamamoto T. (1992). "FRP strengthening of RC columns for seismic retrofitting". *10th World Conference on Earthquake Engineering. Balkerna, Rotterdam, Netherland*, p. 5205–10.
- [8] Cho C. G., Kim Y. Y., Feo L., Hui D. (2012). "Cyclic responses of reinforced concrete composites columns strengthened in the plastic hinge region by HPFRC mortar". *Compos Struct*, 94:2246–53.
- [9] Kim H., Kim G., Nam J., Kim J., Han S., Lee S. (2015). "Static mechanical properties and impact resistance of amorphous metallic fiber-reinforced concrete". *Composite Structures*, 134, pp. 831-44.
- [10] Dinh N. H., Choi K. K., Kim H. S. (2016), "Mechanical Properties and Modeling of Amorphous Metallic Fiber-Reinforced Concrete in Compression". *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 10(2), pp. 221-36.
- [11] ACI 318-14 (2014). "Building code requirements for structure concrete". *American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, UAS*.
- [12] ASCE/SEI 41–13 (2013). "Seismic evaluation and retrofit of existing buildings". *American Society of Civil Engineering*.
- [13] ACI 374.2R-13 (2013). "Guide for Testing Reinforced Concrete Structural Elements Under Slowly Applied Simulated Seismic Loads". *ACI Committee 374*.
- [14] Park R. (1994). "Simulated seismic load tests on reinforced concrete elements and structures". *10th World Conference on Earthquake Engineering, Balkerna, Rotterdam, Netherlands*.
- Ngày nhận bài: 06/3/2017.**
- Ngày nhận bài sửa lần cuối: 10/3/2017.**