

Nghiên cứu thực nghiệm khả năng chống chọc thủng của sàn phẳng bê tông cốt thép được gia cường bởi cốt sợi kim loại vô định hình

Đặng Công Thuật^{1*}, Đinh Ngọc Hiếu¹, Trương Gia Toại²

¹Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

²Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc TP Hồ Chí Minh

Ngày nhận bài 20/3/2017; ngày chuyển phản biện 7/4/2017; ngày nhận phản biện 28/5/2017; ngày chấp nhận đăng 31/5/2017

Tóm tắt:

Nghiên cứu này nhằm khảo sát bằng thực nghiệm khả năng chống chọc thủng của sàn phẳng bê tông cốt thép không dự ứng lực khi được gia cường bởi cốt sợi kim loại vô định hình. Kết quả thí nghiệm được so sánh với các giải pháp khác cũng được sử dụng để gia cường tại liên kết cột - sàn như thép đai và bulong chịu cắt. Kết quả thí nghiệm cho thấy việc sử dụng cốt sợi kim loại vô định hình trong bê tông làm tăng khả năng chống chọc thủng và ứng xử chuyển vị của sàn so với giải pháp sử dụng thép đai chịu cắt và bulong chịu cắt.

Từ khóa: Chọc thủng, cốt sợi kim loại vô định hình, sàn phẳng bê tông cốt thép, thí nghiệm sàn phẳng.

Chỉ số phân loại: 2.1

Experimental study on the punching shear capacity of flat slab reinforced with amorphous steel fibers

Cong Thuat Dang^{1*}, Ngoc Hieu Dinh¹, Gia Toai Truong²

¹Faculty of Civil Engineering, University of Science and Technology - The University of Danang

²Faculty of Civil Engineering, University of Architecture Ho Chi Minh City

Received 20 March 2017; accepted 31 May 2017

Abstract:

This experimental study has been carried out to investigate the punching shear capacity of flat concrete slabs reinforced by amorphous steel fibers (ASFs). The experimental results were compared to those of the different reinforcing solutions applied at the column-slab connection region using stirrups and stud rails. The test results have shown that the use of ASFs in concrete could improve significantly the punching shear capacity of the flat slab as well as the deflection of the slabs subjected under the testing load compared to the using of the stirrups or stud rails.

Keywords: Amorphous steel fibers, flat concrete slab, flat slab experiment, punching shear capacity.

Classification number: 2.1

Giới thiệu

Kết cấu sàn phẳng hiện đang được sử dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng bê tông cốt thép trong nước và trên thế giới. Ưu điểm của hệ sàn phẳng là bản sàn được kê trực tiếp lên đầu cột cho phép tăng tương đối chiều cao thông tầng, tạo được độ phẳng không gian trần đẹp, thi công nhanh, sử dụng không gian linh hoạt. Tuy nhiên, sự kết hợp momen uốn và lực cắt lớn tại vị trí mỗi nối giữa cột và sàn sẽ gây ra phá hoại đột ngột tại vị trí này. Hơn nữa, sự phá hoại tại các vị trí này sẽ dẫn đến sự suy giảm đáng kể khả năng chống tải trọng đứng của liên kết cột - sàn và dẫn đến sự sụp đổ của toàn hệ kết cấu (theo các nghiên cứu của Graf và Mehrain [1]; Hatcher và cộng sự [2]). Vì vậy, tại các vị trí mỗi nối cột - sàn cần được gia cường để đảm bảo khả năng chịu cắt và khả năng chuyển vị (độ dẻo).

Một số nghiên cứu thực nghiệm ở nước ngoài [3, 4] đã chỉ ra rằng, khả năng chống chọc thủng tại vị trí liên kết cột - sàn của kết cấu sàn phẳng bê tông cốt thép phụ thuộc vào nhiều yếu tố như chiều dày sàn, cường độ của cốt thép chịu uốn, cường độ bê tông, kích thước cột. Từ đó, một số nghiên cứu sau này đã phát triển các chi tiết thép để gia cường tại vị trí mũ cột để làm tăng khả năng chống chọc thủng tại vị trí này, như thép chịu cắt dạng bulong (head-studs) [5], tấm carbon (shear CFRP sheets) [6], cốt thép ngang chịu cắt [7], cốt sợi thép truyền thống (steel fibers) [8, 9]. Ở Việt Nam, nghiên cứu lý thuyết và mô phỏng số về ứng xử chọc thủng của kết cấu sàn phẳng đã được thực hiện, nhưng các số liệu thực nghiệm về vấn đề này còn rất

*Tác giả liên hệ: Email: dangcongthuat@dut.udn.vn

hạn chế [10-12].

Hiện nay, cốt sợi kim loại vô định hình (Amorphous steel fibers) là một loại cốt sợi phân tán mới được chế tạo với công nghệ hoàn toàn 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 bị hiện tượng ăn mòn kim loại. Ở nước ngoài, một số nghiên cứu đã sử dụng cốt sợi này để tăng khả năng kiểm soát vết nứt của cấu kiện bê tông cốt thép trong quá trình co ngót hay quá trình chịu tải trọng [13, 14]. Tuy nhiên, ở Việt Nam, các nghiên cứu cũng như ứng dụng loại cốt sợi này vào các kết cấu công trình xây dựng vẫn chưa được khảo sát.

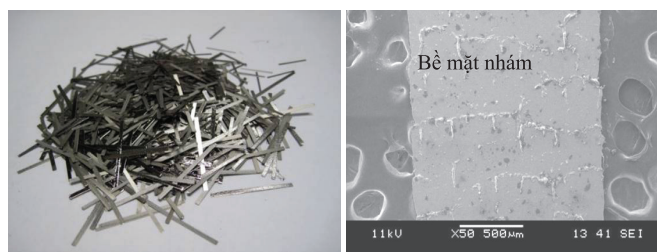
Trong nghiên cứu này, khả năng chống chọc thủng của sàn phẳng bê tông cốt sợi vô định hình không dự ứng lực được nghiên cứu bằng thực nghiệm và so sánh với các phương pháp truyền thống khác như sử dụng cốt thép đai chịu cắt và bulong chịu cắt. Trên cơ sở đó, tính hiệu quả của mẫu khi sử dụng cốt sợi vô định hình được so sánh với mẫu sử dụng các phương pháp khác dựa trên hai chỉ tiêu: Cường độ và khả năng chuyển vị tại liên kết cột - sàn.

Mô tả thí nghiệm

Vật liệu

Trong nghiên cứu này, bê tông với cường độ nén mẫu tiêu chuẩn kích thước hình trụ tròn 100x200 mm ở 28 ngày tuổi là 24 MPa, được xác định theo tiêu chuẩn ASTM C39/C39M [15]. Cốt thép có gờ với 3 loại đường kính Ø10, Ø13 và Ø24 được sử dụng làm cốt thép dọc chịu lực trong mẫu thí nghiệm. Cường độ chịu kéo ở giới hạn chảy được xác định theo tiêu chuẩn ASTM E8/E8M [16] lần lượt là 455, 430 và 465 MPa. Bulong chịu cắt dùng trong mẫu thí nghiệm có đường kính Ø10, chiều dài 85 mm, cường độ chịu kéo ở giới hạn chảy là 400 MPa.

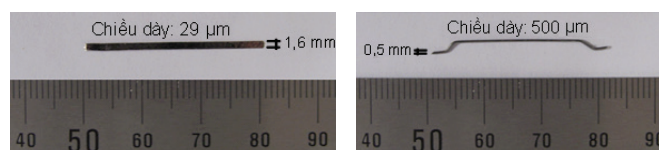
Cốt sợi thép vô định hình (ASFs) được sử dụng trong nghiên cứu là một loại cốt sợi mới, có dạng thẳng, được phát triển bởi Công ty POSCO - Hàn Quốc (<http://www.posco.com/>) (hình 1a). Ưu điểm của loại cốt sợi này là quá trình sản xuất tiết kiệm năng lượng và giảm khí thải CO₂ (ít hơn 20% so với cốt 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. Hơn nữa, bề mặt của phần từ sợi nhám, có khả năng làm tăng lực bám dính giữa bê tông và cốt sợi (hình 1b).



a. Hình dạng cốt sợi kim loại vô định hình b. Hình ảnh khi quét dưới kính hiển vi điện tử

Hình 1. Cốt sợi kim loại vô định hình sử dụng trong thí nghiệm.

ASFs có trọng lượng riêng là 7200 kg/m³, cường độ chịu kéo là 1400 MPa và modul đàn hồi là 14x10⁴ MPa. Trong khi đó, cốt sợi thép truyền thống có dạng móc ở 2 đầu, trọng lượng riêng là 7850 kg/m³, cường độ chịu kéo là 1100 MPa và modul đàn hồi là 20x10⁴ MPa. Hình 2 so sánh kích thước hình học của cốt sợi kim loại vô định hình và cốt sợi thép truyền thống.



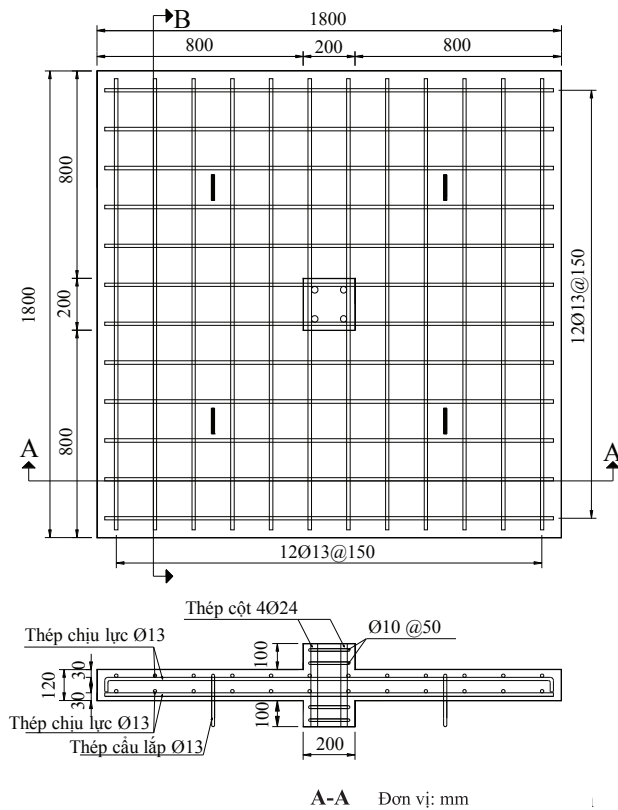
a. Cốt sợi kim loại vô định hình b. Cốt sợi thép truyền thống

Hình 2. So sánh kích thước hình học của cốt sợi kim loại vô định hình và cốt sợi thép truyền thống.

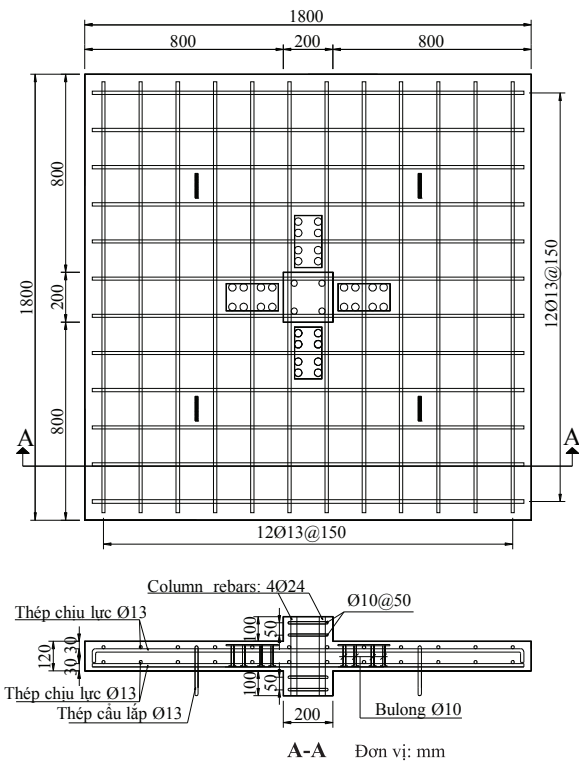
Mẫu thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, có 4 mẫu được thí nghiệm, bao gồm mẫu tiêu chuẩn (TC), mẫu được gia cường bởi bulong chịu cắt ở đầu cột (BL), mẫu được gia cường bởi thép đai chịu cắt ở đầu cột (TĐ), và mẫu sử dụng bê tông cốt sợi thép vô định hình (ASFs). Tất cả các mẫu thí nghiệm đều có kích thước 1800x1800 mm, chiều dày sàn là 120 mm. Trong sàn, cốt thép dọc chịu lực Ø13 được sử dụng. Cốt được thiết kế làm việc trong giai đoạn đàn hồi, với kích thước tiết diện là 200x200 mm và cốt thép dọc chịu lực là 4Ø24.

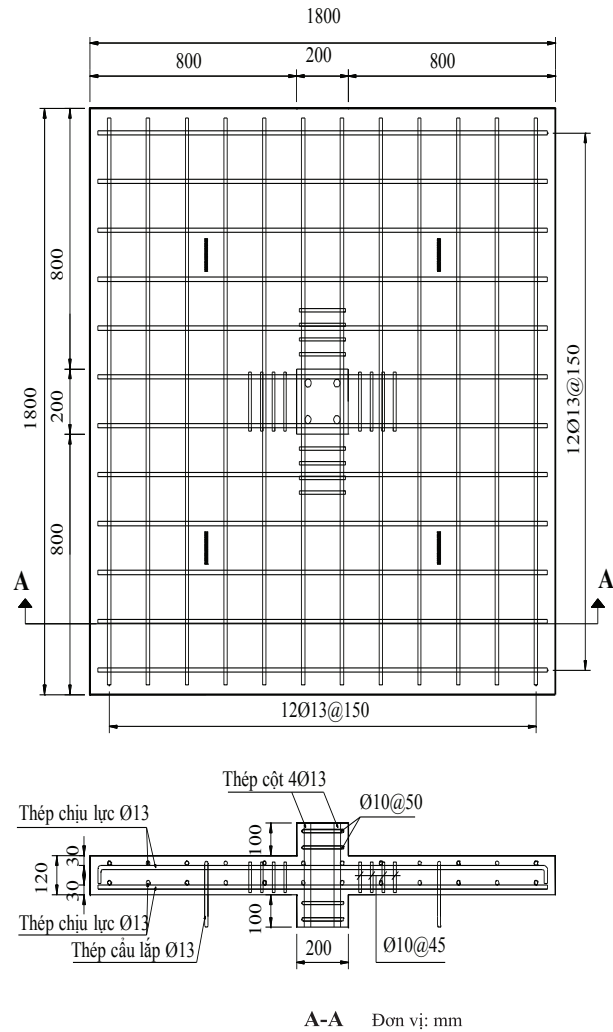
Theo khuyến cáo từ nhà sản xuất, hàm lượng ASFs hợp lý trong hỗn hợp bê tông dùng trong các kết cấu công trình từ 0,6-0,8%. Vì vậy, trong thí nghiệm này, nhóm nghiên cứu lựa chọn hàm lượng cốt sợi vô định hình được trộn trực tiếp vào hỗn hợp bê tông với hàm lượng là 0,8%. Kích thước hình học và cấu tạo cốt thép của các mẫu thí nghiệm được trình bày trong hình 3. Trong nghiên cứu này, bê tông cốt sợi kim loại vô định hình được sử dụng cho toàn bộ tấm sàn.



a. Mẫu tiêu chuẩn sử dụng bê tông thông thường, mẫu sử dụng bê tông cốt sợi kim loại vô định hình



b. Mẫu được gia cường bởi bulong chịu cắt ở đầu cột

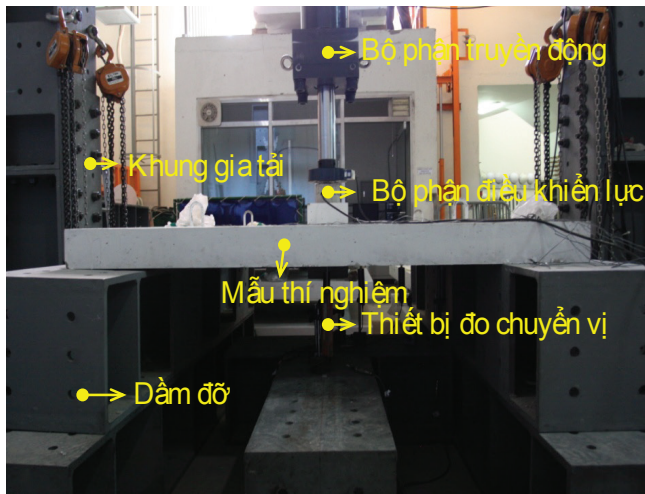


c. Mẫu được gia cường bởi thép đai chịu cắt ở đầu cột

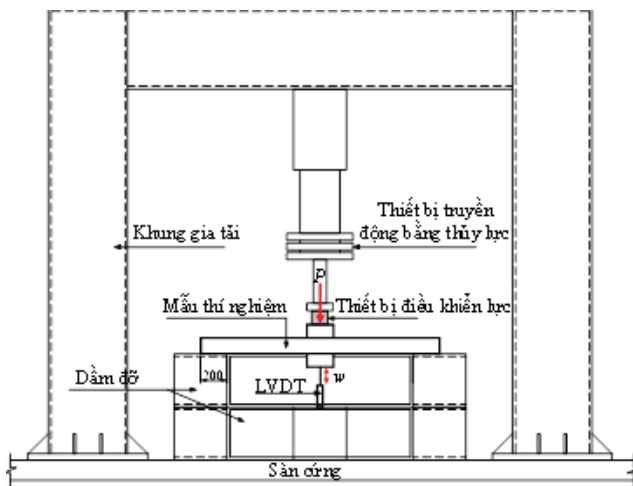
Hình 3. Kích thước và cấu tạo cốt thép của mẫu thí nghiệm.

Thiết lập thí nghiệm

Lực tập trung theo phương thẳng đứng được tác dụng tại vị trí đầu cột trên của các mẫu thí nghiệm thông qua thiết bị gia tải là kích thủy lực 500 kN. Cấu tạo và hình ảnh hệ thống thí nghiệm được trình bày ở hình 4, bao gồm bộ phận truyền động, bộ phận điều khiển lực, và thiết bị đo chuyển vị (LVDT) đặt tại vị trí đầu cột dưới. Tải trọng đứng (P) được tác dụng lên mẫu thí nghiệm với vận tốc 0,03 mm/s cho đến khi mẫu bị phá hoại. Chuyển vị (w) của mẫu và lực tác dụng lên mẫu được đo và ghi nhận tại vị trí đầu cột dưới trong suốt quá trình thí nghiệm thông qua một máy ghi dữ liệu.



a. Hình ảnh hệ thống thí nghiệm.



b. Cấu tạo hệ thống thí nghiệm.

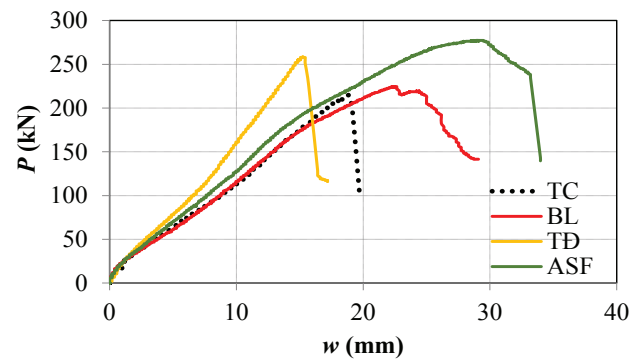
Hình 4. Hệ thống thí nghiệm.

Kết quả thí nghiệm và phân tích

Kết quả đường cong lực - chuyển vị

Kết quả đường cong lực (P) - chuyển vị (w) của các mẫu thí nghiệm được trình bày ở hình 5. Ta có thể thấy rằng, ở mẫu tiêu chuẩn (TC), sau khi đạt giá trị lực lớn nhất (214,8 kN), đường cong lực - chuyển vị sụt giảm một cách đột ngột. Mẫu được gia cường bởi thép đai (TĐ) cũng thể hiện một ứng xử tương tự mẫu TC, tuy nhiên khả năng chịu lực (258,8 kN) cao hơn so với mẫu TC là 20,5%. Mẫu được gia cường bởi bulong chịu cắt cho khả năng chịu lực cao hơn chỉ khoảng 4,6%, tuy nhiên khả năng chuyển vị cao hơn 30,9%, và sau khi đạt giá trị lực lớn nhất, đường cong lực - chuyển vị sụt giảm một cách từ từ. Đối với mẫu thí nghiệm sử dụng cốt sợi vô định hình với hàm lượng 0,8% (ASFs), giá trị lực và chuyển vị lớn nhất tương ứng đạt 277,3 kN và 29,49 mm, tức là cao hơn

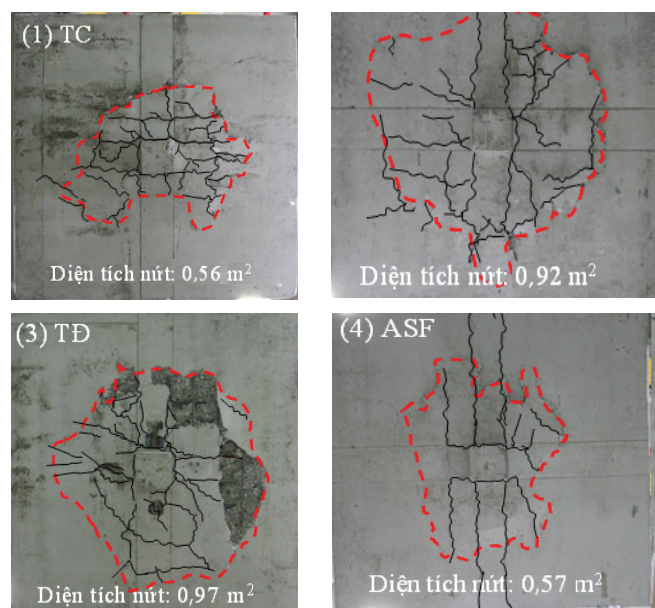
tương ứng 29 và 72% so với mẫu TC, đồng thời, đường cong lực - biến dạng sụt giảm một cách từ từ sau khi đạt giá trị lực lớn nhất. Điều này chứng tỏ cốt sợi kim loại vô định hình sử dụng trong hỗn hợp bê tông làm tăng khả năng chống chọc thủng và khả năng chuyển vị của mẫu thí nghiệm. Đồng thời, chúng có khả năng kiểm soát các vết nứt sau khi đạt đến trạng thái giới hạn chịu lực, giúp cho các kết cấu không bị phá hoại một cách đột ngột, tương tự như cốt sợi thép truyền thống [17].



Hình 5. Quan hệ lực - chuyển vị.

Đặc điểm phá hoại mẫu

Trong nghiên cứu này, các mẫu thí nghiệm được kê tự do lên các gối tựa đặt ở 4 cạnh của mẫu thí nghiệm. Vì vậy, phần diện tích sàn xung quanh cột sẽ chịu tác dụng của lực chọc thủng cũng như moment uốn lớn nhất. Trong tất cả các mẫu thí nghiệm, các vết nứt đầu tiên được hình thành trong vùng chịu kéo của tiết diện sàn gần vị trí cột, sau đó bề rộng và diện tích vùng nứt tăng dần cùng với sự tăng của tải trọng (hình 6).



Hình 6. Đặc điểm hình thái phá hoại mẫu.

Hình 6 cho thấy hình mẫu của các vết nứt được quan sát bằng mắt thường tại thời điểm sau khi các mẫu thí nghiệm bị phá hoại. Trong trường hợp các mẫu tiêu chuẩn (TC), bulong chịu cắt (BL), thép đai chịu cắt (TĐ), một số lượng lớn các vết nứt được hình thành xung quanh chu vi cột và gây ra sự phá hoại của vùng bê tông ở bề mặt bên dưới các mẫu thí nghiệm, kéo theo sự phá hoại hoàn toàn mẫu sau đó. Tuy nhiên, trong trường hợp mẫu thí nghiệm với hàm lượng 0,8% cốt sợi vô định hình trong hỗn hợp bê tông (mẫu ASFs), số lượng các vết nứt ít và diện tích cũng như bề rộng các vết nứt hẹp được quan sát sau khi mẫu bị phá hoại.

Diện tích vùng phá hoại cũng được đo và thể hiện ở hình 6. Ta có thể thấy rằng, diện tích vùng phá hoại trong trường hợp mẫu ASFs gần bằng với mẫu TC và ít hơn các mẫu còn lại. Ngoài ra, số lượng các vết nứt quan sát được trong mẫu ASFs ít hơn nhiều so với tất cả các mẫu TC, BL và TĐ. Điều này có thể được lý giải bởi sự hiện diện của cốt sợi vô định hình trong hỗn hợp bê tông đã tạo ra hiệu ứng cầu nối (bridging effect) giữa các vết nứt xuất hiện khi bị phá hoại, và làm giảm số lượng các vết nứt lớn cũng như bề rộng khe nứt [17].

Kết luận và kiến nghị

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu bằng thực nghiệm để khảo sát tính hiệu quả của cốt sợi kim loại vô định hình khi trộn vào trong bê tông đến khả năng chống chọc thủng của sàn phẳng bê tông cốt thép không dự ứng lực. Một số kết luận có thể rút ra từ kết quả thí nghiệm như sau:

- Các phương pháp kháng chọc thủng tại liên kết cột - sàn như sử dụng bulong chịu cắt, thép đai chịu cắt, cũng như sử dụng cốt sợi kim loại vô định hình trong hỗn hợp bê tông đều làm tăng khả năng kháng chọc thủng tại vị trí này.

- Mẫu thí nghiệm sử dụng cốt sợi kim loại vô định hình trong hỗn hợp bê tông có khả năng chịu tải trọng chọc thủng tại đầu cột lớn hơn 29% so với mẫu tiêu chuẩn, và lớn hơn so với các mẫu sử dụng các biện pháp gia cường khác.

- Diện tích vùng phá hoại trong trường hợp mẫu sử dụng cốt sợi kim loại vô định ít hơn các mẫu còn lại. Ngoài ra, số lượng các vết nứt cũng như bề rộng khe nứt quan sát được trong mẫu ASF ít hơn nhiều so với các mẫu tiêu chuẩn, bu lông chịu cắt, thép đai chịu cắt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] W.P. Graf, M. Mehra (1992), "Analysis and testing of a flat slab concrete building", *Proceedings of Earthquake Engineering, 10th World Conference*, Rotterdam, Netherlands, pp.3387-3392.
- [2] D.S. Hatcher, M.A. Sozen, C.P. Siess (1969), "Test of a reinforced concrete flat slab", *Journal of the Structural Division (ASCE)*, **95**(ST6), pp.1051-1072.
- [3] P.E. Regan (1981), *Behavior of Reinforced Concrete Flat Slabs*, Construction Industry Research and Information Association, London, UK, Report 89, February, pp.1-89.
- [4] S. Lips, M.F. Ruiz, A. Muttoni (2012), "Experimental investigation on punching shear strength and deformation capacity of shear-reinforced slabs", *ACI Structural Journal*, **109**(6), pp.889-900.
- [5] C.B. Tan, S.C. Lee, S. Teng (2002), "Shear studs in slab-column connections with rectangular column", *Proceedings of the 27th Conference on Our World in Concrete and Structures*, Singapore, pp.569-574.
- [6] M.R. Esfahani (2008), "Effect of cyclic loading on punching shear strength of slabs strengthened with carbon fiber polymer sheets", *International Journal of Civil Engineering*, **6**(3), pp.208-215.
- [7] M.M.G. Inácio, A.P. Ramos, D.M.V. Faria (2012), "Strengthening of flat slabs with transverse reinforcement by introduction of steel bolts using different anchorage approaches", *Engineering Structures*, **44**, pp.63-77.
- [8] S. Altoubat, A. Yazdanbakhsh, K.A. Rieder (2009), "Shear behavior of macro-synthetic fiber-reinforced concrete beams without stirrups", *ACI Material Journal*, **106**(4), pp.381-389.
- [9] M.A. Tantary, A. Upadhyay, J. Prasad (2012), "Influence of steel fibers on the shear strength of concrete", *Journal of Engineering, Computer and Applied Sciences*, **1**(1), pp.88-92.
- [10] Lê Khắc Hùng, Trương Hoài Chính (2011), "Sàn phẳng bê tông ứng lực trước căng sau thiết kế theo phương pháp khung tương đương và phương pháp phần tử hữu hạn", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, Đại học Đà Nẵng, **4**(45), tr.65-74.
- [11] Trương Hoài Chính, Võ Trang Thắng (2013), "Quá trình sử dụng kết cấu bê tông ứng lực trước tại Việt Nam và những bài học kinh nghiệm", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, Đại học Đà Nẵng, **5**(66), tr.7-14.
- [12] Trương Hoài Chính (2016), "Nghiên cứu ảnh hưởng của hình dạng - kích thước mũ cột đến sự làm việc và khả năng chịu lực của sàn phẳng bê tông ứng lực trước", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, Đại học Đà Nẵng, **1**(98), tr.15-20.
- [13] H. Kim, G. Kim, J. Nam, J. Kim, S. Han, S. Lee (2015), "Static mechanical properties and impact resistance of amorphous metallic fiber-reinforced concrete", *Composite Structures*, **134**, pp.831-844.
- [14] N.H. Dinh, K.K. Choi, H.S. Kim (2016), "Mechanical Properties and Modeling of Amorphous Metallic Fiber-Reinforced Concrete in Compression", *International Journal of Concrete Structures and Materials*, **10**(2), pp.221-236.
- [15] ASTM (2012b) C39/C39M-12a, *Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*, American Society for Testing and Materials (ASTM), WestConshohocken, PA, USA.
- [16] ASTM (2012b) E8/E8M-12a, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, American Society for Testing and Materials (ASTM), WestConshohocken, PA, USA.
- [17] P.B. Sakthivel, A. Jagannathan, R. Padmanaban (2012), "Thin cementitious slabs reinforced with stainless steel fibers", *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, **4**(2), pp.39-45.