

SỨC KHÁNG TRƯỢT DỌC CỦA CHỐT BÊ TÔNG TRONG DẦM LIÊN HỢP RỒNG CHIỀU CAO NHỎ QUA THÍ NGHIỆM ĐẨY

Hàn Ngọc Đức^{a,*}, Vũ Anh Tuấn^a, Trần Mạnh Dũng^a

^a*Khoa Xây dựng dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng, số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 30/08/2019, Sửa xong 13/09/2019, Chấp nhận đăng 13/09/2019

Tóm tắt

Cơ chế truyền lực trượt dọc của dầm liên hợp có tiết diện dầm thép rỗng và chiều cao nhỏ với các hình dạng khác nhau của chốt bê tông chịu cắt nằm chìm trong bản sàn bê tông là khác biệt so với chốt thép có mũ chịu cắt. Trong bài báo này, sức kháng trượt dọc của chốt bê tông trong dầm liên hợp rỗng có chiều cao thấp sẽ được xem xét. Sức kháng trượt dọc theo lý thuyết cho chốt bê tông chịu cắt được xác định dựa theo tiêu chuẩn EN 1992-1-1 và EN 1994-1-1. Thí nghiệm đẩy của bốn mẫu với chốt bê tông có hình dạng tròn và hình thang sẽ được thực hiện và kết quả thí nghiệm sẽ được so sánh với giá trị kháng trượt dọc theo công thức lý thuyết. Tất cả bốn mẫu thử được nhúng dầu để đảm bảo không có lực dính kết giữa phần bê tông và thép kết cấu. Sự phá hoại của mẫu thử và kết quả thí nghiệm cho thấy rằng sức kháng trượt dọc của chốt bê tông trong dầm liên hợp rỗng có chiều cao nhỏ không chỉ phụ thuộc vào sức kháng cắt của chốt bê tông.

Từ khoá: dầm liên hợp có chiều cao nhỏ; chốt bê tông tròn chịu cắt; chốt bê tông hình thang chịu cắt; sức kháng trượt dọc; hệ kết cấu dầm sàn có chiều cao nhỏ.

LONGITUDINAL SHEAR RESISTANCE OF CONCRETE DOWELS IN SHALLOW-HOLLOW COMPOSITE BEAM BY PUSH-OUT TEST

Abstract

The shear transferring mechanisms of steel-concrete shallow-hollow composite beams with various-shaped concrete dowels embedded in concrete slab are different from steel headed-shear studs. In this article, the longitudinal shear resistance of concrete dowel connectors in shallow-hollow composite beams are investigated. The longitudinal shear resistance in theory for concrete dowel connectors applied in this study was based on EN 1992-1-1 and EN 1994-1-1. Push-out tests of four specimens with circle and trapezoidal shaped dowels were conducted, and the test results were compared with shear resistance by theory formula. All of four steel beams were applied with greased to prevent the bond between concrete and steel part. The failure of specimens and the push-out test results were proved that the behavior of concrete dowel in shallow-hollow composite beams was not under pure shear stress.

Keywords: shallow-hollow composite beam; circle concrete dowel connectors; trapezoidal concrete dowel connectors; longitudinal shear resistance; shallow floor structure.

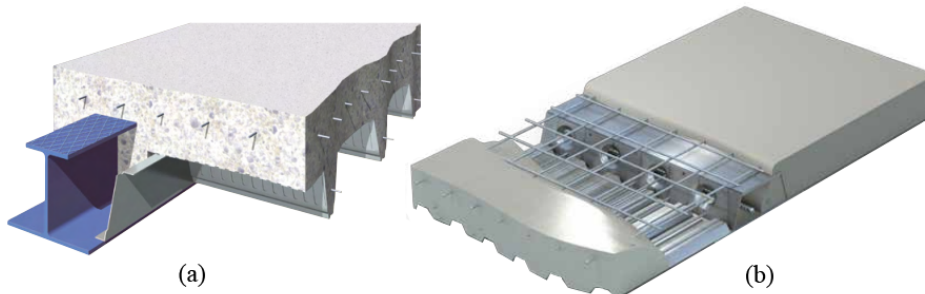
[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(5V\)-01](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(5V)-01) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Kết cấu liên hợp thép-bê tông (LHT-BT) được áp dụng lần đầu vào công trình cầu vào năm 1894. Cho đến tận năm 1954, dạng kết cấu này mới bắt đầu được áp dụng rộng rãi trong các công trình

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: duchn@nuce.edu.vn (Đức, H. N.)

nhà khi người ta nhận thấy cốt có mũ chịu cắt đóng vai trò rất quan trọng trong việc tăng khả năng liên kết giữa bê tông và thép. Hai loại vật liệu này khi kết hợp để làm việc đồng thời chúng có ưu điểm như: giảm được tác động ăn mòn của môi trường, tăng khả năng chống cháy và khả năng chịu lực của cầu kiện, độ cứng lớn, rút ngắn được thời gian thi công [1]... Tuy nhiên, khi áp dụng cầu kiện dầm LHT-BT vẫn còn nhược điểm như: mức độ chịu lửa kém, chiều cao hệ kết cấu dầm sàn lớn, tăng chi phí do sử dụng cốt có mũ chịu cắt. Do vậy một số giải pháp dầm sàn có chiều cao nhỏ đã được đề xuất như Slimflor, Slimdek Asymmetric Slimflor [2], DeltaBeam [3], Ultra Shallow Floor [4]. Phần lớn loại dầm liên hợp mới này đều có phần thép kết cấu nằm chìm một phần hoặc hoàn toàn trong bản sàn bê tông với mục đích tăng khả năng chịu lửa, giảm chiều cao hệ kết cấu dầm sàn và tận dụng ma sát giữa thép kết cấu và bê tông hoặc phần bê tông đi qua các lỗ mở ở bản bụng như là các chốt chịu trượt dọc (Hình 1).



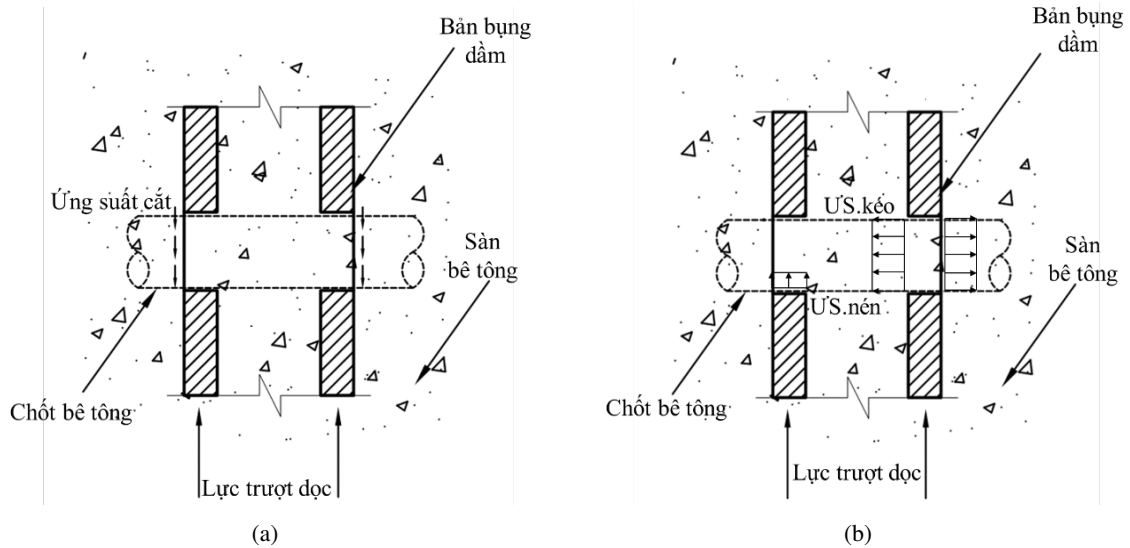
Hình 1. Giải pháp dầm có chiều cao nhỏ: (a) Asymmetric Slimflor Beam và (b) DeltaBeam

Một trong những đặc điểm quan trọng của dầm LHT-BT là xác định mức độ liên kết chịu trượt. Peltonen và Leskelä đã chỉ ra mức độ chịu trượt của các chốt bê tông trụ tròn trong dầm có chiều cao nhỏ (DeltaBeam) với bản sàn bê tông đúc sẵn [5]. Ahn và cs. đã thí nghiệm có kể đến ảnh hưởng của việc bố trí sườn, chốt và cấp bền bê tông để xác định sức kháng trượt dọc của chốt bê tông trong dầm cầu LHT-BT [6]. Huo và D'Mello đã thực hiện hàng loạt các thí nghiệm đẩy với các mẫu thí nghiệm có loại bê tông, đường kính và đặc điểm của chốt bê tông khác nhau qua đó công bố công thức để xác định sức kháng trượt dọc trong dầm có chiều cao nhỏ [7]. Cơ chế làm việc, sức kháng trượt dọc và sự phá hoại của chốt bê tông có hoặc không có gia cường bằng cốt thép cũng đã được nghiên cứu bằng phương pháp mô phỏng số [8, 9]. Ở Việt Nam, gần đây đã có nghiên cứu về dầm LHT-BT có chiều cao nhỏ như dầm liên hợp có tiết diện dầm thép hộp rỗng [10], tuy nhiên nghiên cứu mới chỉ xác định sức kháng trượt dọc theo lý thuyết đề cập trong EN 1992-1-1. Trong dầm LHT-BT có chiều cao nhỏ với dầm thép có tiết diện rỗng, sức kháng trượt dọc của chốt bê tông trụ tròn không có cốt thép gia cường đã được xác định thông qua thí nghiệm [11].

Bài báo trình bày thí nghiệm xác định sức kháng trượt dọc của chốt bê tông qua lỗ mở hình thang ở bụng dầm LHT-BT có chiều cao nhỏ với dầm thép có tiết diện rỗng. Việc bố trí cốt thép gia cường và ma sát giữa bê tông với dầm thép chưa đề cập đến trong bài báo này.

2. Sức kháng trượt dọc của chốt bê tông theo EN 1992-1-1

Mức độ liên kết trong dầm LHT-BT phụ thuộc vào sức kháng trượt dọc của chốt bê tông đi qua lỗ mở nằm chìm trong bản sàn bê tông. Dưới tác dụng của lực trượt dọc các chốt bê tông này có thể xảy ra xu hướng phá hoại: (a) chịu cắt với lực cắt do thành lỗ của bản bụng tác dụng lên thân chốt; (b) chịu nén tại vị trí tiết diện thành lỗ ép của bản bụng lên chốt bê tông và chịu kéo trên toàn bộ tiết diện lỗ mở (Hình 2).



Hình 2. Xu hướng chịu lực của chốt bê tông dưới tác dụng lực trượt dọc

2.1. Sức kháng trượt dọc do lực cắt ngang thân chốt

Sức kháng cắt của cấu kiện bê tông không bố trí cốt thép được đề cập tại mục 6.2.2 Tiêu chuẩn EN 1992-1-1 [12], thiên về an toàn có thể xác định theo công thức:

$$V_{Rd,c}^S = (\nu_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot (b_w \cdot d) \quad (\text{N}) \quad (1)$$

trong đó b_w là bề rộng nhỏ nhất của tiết diện trong vùng chịu kéo (mm); d là chiều cao tiết diện chịu cắt (mm); f_{ck} là cường độ chịu nén tiêu chuẩn của bê tông mẫu trụ (MPa)

$$\begin{aligned} \sigma_{cp} &< 0,2 \cdot f_{cd} \quad (\text{MPa}) \\ \nu_{\min} &= 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot \sqrt{f_{ck}} \\ k &= \min(1 + \sqrt{200/d}; 2,0) \end{aligned} \quad (2)$$

Theo lý thuyết tính toán dầm LHT-BT, toàn bộ vùng bê tông chịu nén nằm trong bề rộng hiệu quả sẽ đạt đến sức kháng nén có giá trị $0,85f_{cd}$. Do vậy, trong công thức (2), giá trị σ_{cp} được lấy là $0,2f_{cd}$. Qua công thức trên nhận thấy sức kháng trượt dọc của chốt bê tông khi chịu lực cắt ngang tỷ lệ thuận với cấp độ bền của bê tông và kích thước lỗ mở ở bản bụng dầm thép.

Khảo sát trường hợp lỗ mở ở bản bụng dầm LHT-BT có chiều cao nhỏ với hình dạng lỗ tròn $D = 70 \text{ mm}$ và hình thang có kích thước là $90 \times 50 \times 70 \text{ mm}$, cấp bền bê tông C25/30, sức kháng trượt dọc của một chốt do ứng suất cắt được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Sức kháng trượt dọc của một chốt do ứng suất cắt

Loại lỗ	Diện tích lỗ A_h (mm ²)	Cấp bền bê tông	k	$\nu_{\min}$ (MPa)	$V_{Rd,c}^S$ (MPa)
Tròn $D = 70 \text{ mm}$	3848,5	C25/30	2,0	0,49	3,83
Hình thang $90 \times 50 \times 70 \text{ mm}$	4900,0		2,0	0,49	4,88

2.2. Sức kháng trượt dọc do lực nén và kéo dọc trục thân cốt

Sức kháng trượt dọc của cốt bê tông không bố trí cốt thép sẽ xác định bằng tổng thành phần do sức kháng nén $V_{Rd,c}^C$ và sức kháng kéo $V_{Rd,c}^T$ của cốt bê tông.

$$V_{Rd,c}^{CT} = V_{Rd,c}^C + V_{Rd,c}^T$$

$$V_{Rd,c}^C = A_c \cdot f_{cu}; A_c^{Ci} = t_w \cdot \pi \cdot R \cdot (120/180); A_c^{Tr} = t_w \cdot \sqrt{(h^{Tr})^2 + (b_1/2 - b_2/2)^2} \quad (3)$$

$$V_{Rd,c}^T = A_h \cdot f_{ctm}; A_h^{Ci} = \pi \cdot R^2; A_h^{Tr} = (b_1/2 + b_2/2) \cdot h^{Tr}$$

trong đó A_c là diện tích phần cốt bê tông chịu nén (mm^2); A_h là diện tích phần cốt bê tông chịu kéo (mm^2); t_w là chiều dày bản bụng dầm thép (mm); R là bán kính lỗ tròn (mm); b_1, b_2 và h^{Tr} lần lượt là đáy lớn, đáy nhỏ và chiều cao của lỗ mở hình thang (mm); f_{cu} là cường độ chịu nén tiêu chuẩn của bê tông mẫu lập phương (MPa); f_{ctm} là cường độ chịu kéo trung bình (MPa).

Qua công thức (3) nhận thấy sức kháng trượt dọc của cốt bê tông tỷ lệ thuận diện tích tiếp xúc giữa bản bụng thép với cốt bê tông, diện tích lỗ mở của bản bụng dầm thép và với cấp độ bền của bê tông. Khảo sát tương tự với chiều dày của bản bụng $t_w = 4$ mm, ta có sức kháng trượt dọc của một cốt do ứng suất nén và ứng suất kéo trong cốt được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Sức kháng trượt dọc của một cốt do ứng suất nén và kéo

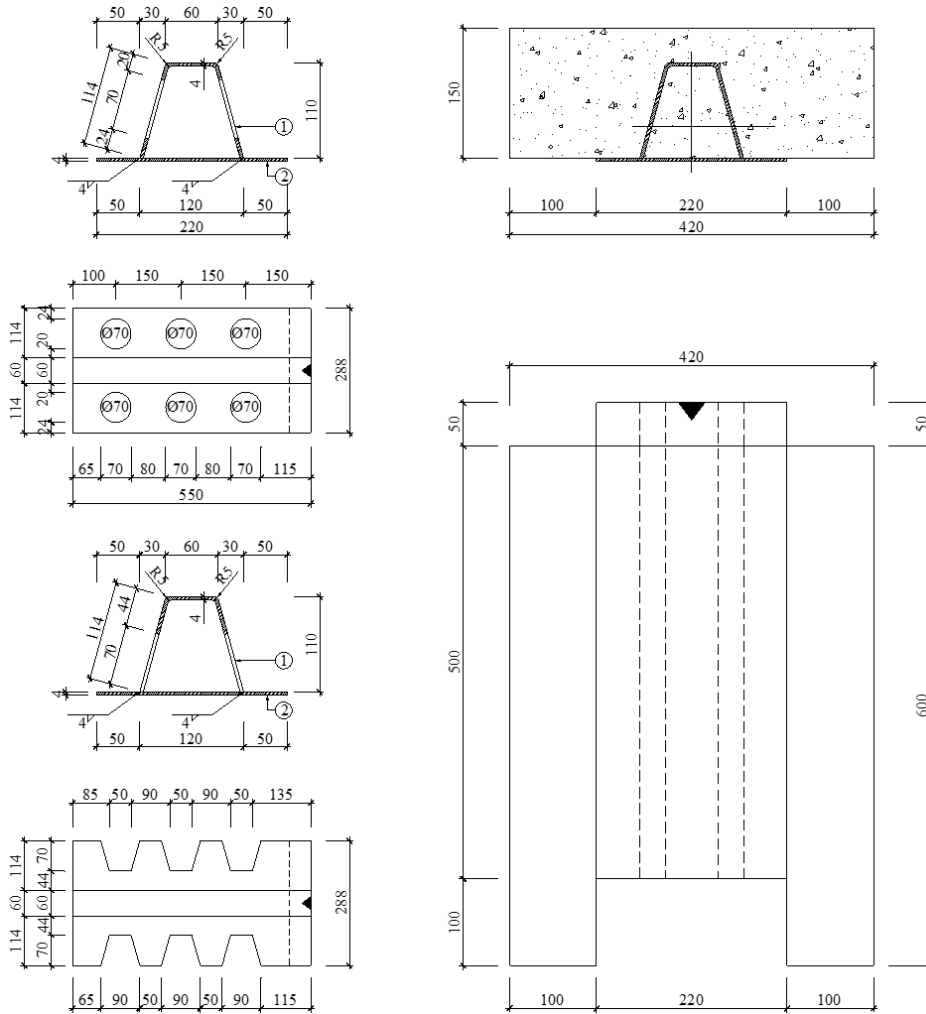
Loại lỗ	A_t (mm^2)	A_c (mm^2)	Cấp bền bê tông	$V_{Rd,c}^C$ (MPa)	$V_{Rd,c}^T$ (MPa)
Tròn $D = 70$ mm	3848,5	293,2	C25/30	8,80	10,01
Hình thang $90 \times 50 \times 70$ mm	4900,0	291,2		8,74	12,74

3. Sức kháng trượt dọc của cốt theo thí nghiệm đẩy

3.1. Mẫu thí nghiệm

Mục đích của thí nghiệm đẩy là xác định sức kháng cắt của cốt bê tông, do vậy mẫu thí nghiệm gồm dầm thép rỗng có lỗ mở ở bản bụng và sàn bê tông. Có 3 lỗ mở với hình dạng tròn và hình thang được bố trí ở hai bên bụng dầm thép để nhồi bê tông vào phía trong dầm thép, khi bê tông đông cứng sẽ tạo thành các cốt bê tông. Để loại bỏ hoàn toàn thành phần ma sát dầm thép được nhúng dầu trước khi đổ bê tông. Hình dạng cũng như kích thước của dầm thép và mẫu thí nghiệm được thể hiện ở Hình 3.

Thép kết cấu sử dụng chế tạo mẫu thí nghiệm là loại SS400 theo EN 1993-1-1 [13], đặc trưng cơ học $f_y = 245$ MPa; $f_u = 400$ MPa. Bê tông có cấp bền C25/30 theo quy định EN 1992-1-1 [12]. Thí nghiệm nén kiểm tra cường độ bê tông được thực hiện trên mẫu thí nghiệm lập phương, được đúc trong quá trình đổ bê tông các mẫu thí nghiệm. Cường độ chịu nén trung bình của 3 mẫu bê tông ở tuổi 28 ngày $f_{cu} = 33,4$ MPa. Tất cả 4 mẫu được đổ bê tông, bảo dưỡng và tiến hành thí nghiệm tại LAS-125, Đại học Xây dựng. Mẫu với lỗ mở tròn và hình thang lần lượt được ký hiệu là WCO1, WCO2 và WTO1, WTO2.



Hình 3. Hình dạng và kích thước chế tạo của mẫu thử

3.2. Sơ đồ bố trí thí nghiệm và bố trí dụng cụ đo

Mẫu được cố định trong hệ giá đỡ; kích thủy lực 50T được sử dụng để gia tải. Giá trị của tải trọng P được kiểm soát bằng dụng cụ đo lực điện tử (loadcell). Để đo dịch chuyển giữa thép kết cấu và bê tông, 4 đầu đo chuyển vị điện tử (Linear Variable Differential Transformer) lần lượt ký hiệu là L1, L2, L3 và L4 đã được bố trí. Dụng cụ đo lực điện tử và 4 đầu đo được kết nối với thiết bị thu nhận và xử lý dữ liệu cho phép ghi nhận tự động đồng thời các giá trị đo với khoảng thời gian là 1 giây (Hình 4).

3.3. Kết quả thí nghiệm

Sau khi thực hiện thí nghiệm 4 mẫu, một số hình ảnh mẫu có lỗ tròn và lỗ hình thang bị phá hoại được minh họa ở Hình 5. Giá trị lực nén tới hạn và độ trượt của các mẫu thí nghiệm đẩy được trình bày trong Bảng 3.

Đường cong lực nén tới hạn và trượt dọc được vẽ dựa trên kết quả của thiết bị thu nhận và xử lý dữ liệu. Đường cong minh họa ứng xử của các chốt bê tông dưới tác dụng của lực trượt dọc trong bản sàn được thể hiện ở Hình 6.



Hình 4. Hình ảnh quá trình thí nghiệm đẩy



(a) WCO-1



(b) WCO-2



(c) WTO-1

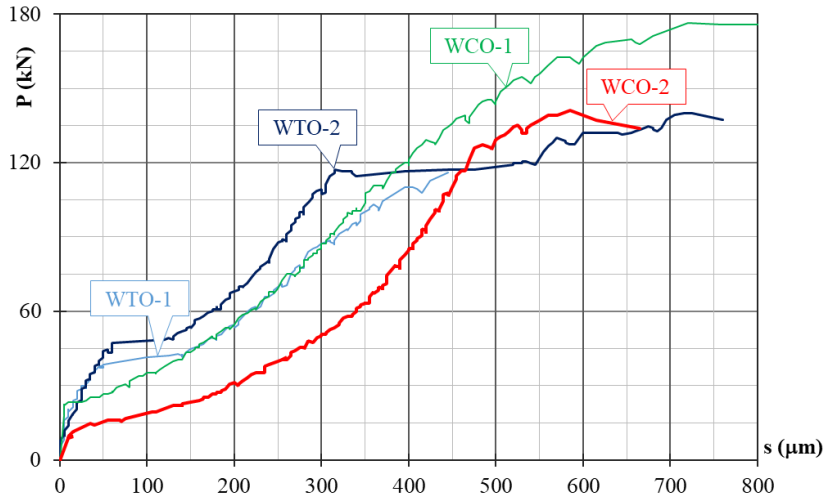


(d) WTO-2

Hình 5. Hình ảnh mẫu bị phá hoại

Bảng 3. Giá trị lực nén tối hạn và độ trượt của các mẫu

Ký hiệu mẫu	Lực nén tối hạn P (kN)	Trượt dọc tối đa s (μm)	Độ cứng K (kN/mm)
WCO-1	176,6	805	219,4
WCO-2	141,3	665	212,5
WTO-1	115,9	445	260,5
WTO-2	139,9	725	193,0



Hình 6. Đường cong tải trọng và trượt dọc của các mẫu

3.4. Phân tích kết quả thí nghiệm

Mẫu thí nghiệm WTO-1 có giá trị lực tới hạn và giá trị trượt dọc nhỏ nhất so với các mẫu thí nghiệm khác; hàng cốt bê tông thứ 3 và của mẫu bị phá hoại khác với hai hàng cốt 1 và 2 (Hình 5); giá trị trượt dọc tại các cặp đầu đo L1-L2 và L3-L4 của mẫu thí nghiệm này cho giá trị không đối xứng do vậy có thể kết luận là nguyên nhân gây ra là do tải trọng đặt không đúng tâm.

Bảng 4 trình bày so sánh giá trị sức kháng trượt dọc trên lý thuyết theo công thức (1) và (3) với tổng số 6 mặt cắt qua cốt và theo thí nghiệm với cường độ nén thực tế của bê tông $f_{cu} = 33,4$ MPa. Sức kháng trượt dọc của cốt theo sức kháng cắt theo lý thuyết của cốt bê tông qua lỗ tròn là 24,91 kN và qua lỗ hình thang là 31,72 kN nhỏ so với kết quả của thí nghiệm đẩy. Sức kháng trượt dọc của cốt tính toán theo sức kháng nén và kéo cho kết quả khá gần với giá trị lực tới hạn theo thí nghiệm. Qua kết quả so sánh và hình ảnh phá hoại của cốt, nhận thấy sự làm việc của cốt là phần bê tông tiếp xúc với thành bụng sẽ chịu nén theo hướng trượt dọc, và phần còn lại của cốt sẽ chịu kéo theo phương vuông góc.

Bảng 4. So sánh giá trị sức kháng trượt dọc theo lý thuyết và thí nghiệm

Ký hiệu mẫu	$V_{Rd,c}^S$ (kN)	$V_{Rd,c}^{CT}$ (kN)	P_m (kN)
WCO-1	24,91 (15,7%)	118,8 (74,7%)	159,0 (100%)
WCO-2			
WTO-1	31,72 (24,8%)	134,8 (105,4%)	127,9 (100%)
WTO-2			

Phá hoại của các mẫu đều là phá hoại đột ngột với giá trị trượt dọc khá nhỏ ($< 0,8$ mm). Sự phá hoại của các cốt chịu cắt là phá hoại dòn với giá trị trượt dọc nhỏ hơn rất nhiều giá trị yêu cầu là 6 mm [14] để coi là cốt có sự làm việc dẻo.

4. Kết luận

Sự làm việc của cốt bê tông chịu trượt dọc trong dầm LHT-BT có tiết diện dầm thép rỗng chiều cao nhỏ khác hoàn toàn với sự làm việc của cốt chịu cắt truyền thống. Kết quả thí nghiệm đầy cho thấy cốt bê tông có sự phá hoại dòn dưới sự tác dụng của lực trượt dọc. Cốt có xu hướng chịu nén tại vùng tiếp xúc với bản bụng dầm và chịu kéo tại mặt cắt ngang của tiết diện cốt. Sức kháng chịu trượt dọc của cốt phụ thuộc vào hình dạng lỗ mở, cấp bền bê tông, chiều dày bản bụng dầm thép. Trong thực tế, khi cốt làm việc trong hệ dầm sàn liên hợp chịu uốn, sức kháng trượt dọc của cốt sẽ còn bị ảnh hưởng do vị trí của trục trung hòa dẹt. Từ kết quả này, các thí nghiệm tiếp theo cần được chuẩn bị đúng phương pháp để đưa ra được công thức xác định sức kháng trượt dọc của cốt bê tông của dầm LHT-BT có dầm thép nằm chìm một phần trong bản sàn.

Tài liệu tham khảo

- [1] Tuan, V. A. (2017). *Steel-concrete composite structure: slabs, beams and columns for buildings*. Construction Published House, Vietnam.
- [2] Tata Steel Europe Limited (2012). *Slimdek Manual*.
- [3] Peikko Group (2007). *DELTAbeam Composite beam*.
- [4] Rackham, J. W., Hick, S., Newman, G. M. (2006). *SCI-P342: Design of asymmetric slimflor beams with precast concrete slabs*. Steel Construction Institute.
- [5] Peltonen, S., Leskelä, M. V. (2006). [Connection behaviour of a concrete dowel in a circular web hole of a steel beam](#). *Composite Construction in Steel and Concrete V*, 544–552.
- [6] Ahn, J.-H., Lee, C.-G., Won, J.-H., Kim, S.-H. (2010). [Shear resistance of the perfobond-rib shear connector depending on concrete strength and rib arrangement](#). *Journal of Constructional Steel Research*, 66 (10):1295–1307.
- [7] Huo, B. Y., D'Mello, C. A. (2013). [Push-out tests and analytical study of shear transfer mechanisms in composite shallow cellular floor beams](#). *Journal of Constructional Steel Research*, 88:191–205.
- [8] Limazie, T., Chen, S. (2017). [Effective shear connection for shallow cellular composite floor beams](#). *Journal of Constructional Steel Research*, 128:772–788.
- [9] Hosseinpour, E., Baharom, S., Badaruzzaman, W. H. W., Al Zand, A. W. (2018). [Push-out test on the web opening shear connector for a slim-floor steel beam: Experimental and analytical study](#). *Engineering Structures*, 163:137–152.
- [10] Hoa, N. D., Tuan, V. A. (2016). Design of steel and concrete composite beam using rectangular hollow steel section. *International conference on Sustainable Development in Civil Engineering (SDCE), Hanoi, Vietnam*, 170–176.
- [11] Duc, H. N., Tuan, V. A., Dat, N. T. (2018). Behaviour and push-out test of concrete dowel connectors for longitudinal shear in shallow-hollow composite beams. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE)-NUCE*, 12(5):1–9.
- [12] EN 1992-1-1:2004. *Eurocode 2: Design of concrete structures, part 1.1: General rules and rules for building*.
- [13] EN 1993-1-1:2005. *Eurocode 3: Design of steel structures, part 1.1: General rules and rules for building*.
- [14] EN 1994-1-1:2004. *Eurocode 4: Design of steel and concrete composite structures, part 1.1: General rules and rules for building*.