



## EXPERIMENTAL STUDY ON SHEAR BEHAVIOR OF HYBRID JOINT SUBMITTED STATIC LOADING

Le Dang Dung\*, Nguyen Thanh Tam, Dang Viet Tuan

*University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam.*

### ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 4/11/2019

Revised: 10/12/2019

Accepted: 24/12/2019

Published online: 16/1/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.70.5.6>

\* *Corresponding author*

Email: ledangdung@utc.edu.vn; Tel: 0986354689

**Abstract.** This paper deals with experimental investigation of the static behavior of a novel RCS beam-column exterior joint. The studied joint detail is a through-column type in which an H steel profile totally embedded inside RC column is directly welded to the steel beam. The H steel profile was covered by two supplementary plates in the joint area in order to avoid the stirrups resisting shear in the joint area. Two full-scale through-column-type RCS joints were tested under static loading. The objectives of the tests were to examine the connection performance and to highlight the contribution of two supplementary plates on the shear resistance of the joint.

**Keywords:** composite-frame structures, beam-column connection, RCS joint.

© 2019 University of Transport and Communications



## NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ỨNG XỬ CHỊU CẮT CỦA NÚT KHUNG LIÊN HỢP CHỊU TẢI TRỌNG TĨNH

Lê Đăng Dũng\*, Nguyễn Thành Tâm, Đặng Việt Tuấn

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội.

### THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 4/11/2019

Ngày nhận bài sửa: 10/12/2019

Ngày chấp nhận đăng: 24/12/2019

Ngày xuất bản Online: 16/1/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.70.5.6>

\* Tác giả liên hệ

Email: ledangdung@utc.edu.vn; Tel: 0986354689

**Tóm tắt.** Bài báo phân tích ứng xử chịu cắt của nút khung liên hợp giữa dầm thép với cột bê tông cốt thép (BTCT) chịu đồng thời lực nén dọc trục cột và tải trọng tĩnh tác dụng ở dầm. Dầm thép được liên kết với cột BTCT bằng thanh thép hình đặt trong cột. Các tấm thép được sử dụng ở vùng nút để tăng cường khả năng chịu cắt cho nút. Kết quả thí nghiệm so sánh trên các mẫu có sử dụng và không sử dụng thép tấm. Hình dạng cốt đai vòng kín và cốt đai hở chịu cắt ở vùng nút cũng được xem xét đến trong nghiên cứu.

**Từ khóa:** Khung liên hợp, nút khung, nút RCS.

© 2019 Trường Đại học Giao thông vận tải

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết cấu khung liên hợp có cột bê tông cốt thép và dầm thép (Khung RCS - Reinforced Concrete colum- Steel beam) bắt đầu được sử dụng ở Mỹ từ đầu thập kỷ 80 như một biến thể của kết cấu khung thép truyền thống trong các công trình từ trung bình đến cao tầng. Ở giai đoạn đầu của việc áp dụng, nút khung RCS có cấu tạo tương tự với khung thép thông thường trừ kết cấu cột thép được thay bằng cột bê tông cường độ cao nhằm giảm chi phí vật liệu [1]. Ở Nhật Bản, kết cấu khung RCS được sử dụng như một giải pháp thay thế cho kết cấu bê tông cốt thép thông thường của các công trình nhà ở, nhà văn phòng tại các vùng có động đất thấp [3]. Dầm thép được sử dụng để tăng cường khả năng vượt nhịp, giảm khối lượng nhân công mà vẫn đảm bảo tiết kiệm chi phí vật liệu bằng việc sử dụng cột bê tông cốt thép. Nhiều giải pháp liên kết giữa dầm thép với cột BTCT đã được giới thiệu trong các hướng dẫn thiết kế của Hội kỹ sư Mỹ và Viện kiến trúc Nhật Bản [2, 3]. Một số nghiên cứu những năm gần đây về kết

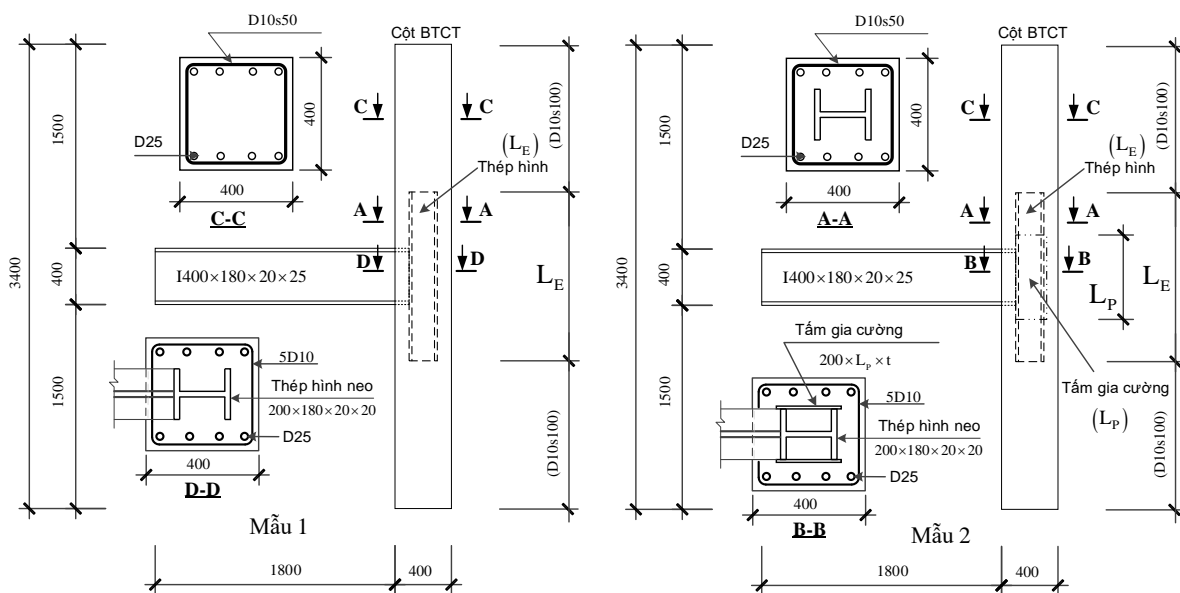
cấu khung RCS mang tính kiểm chứng và cải tiến các đề xuất trong các hướng dẫn thiết kế của Mỹ và Nhật bản [4, 5, 6].

Năm 2013, dự án SmartCoCo đã đề xuất một giải pháp liên kết giữa dầm thép với cột BTCT bằng cách sử dụng thép hình đặt trong cột BTCT, dầm thép được liên kết trực tiếp với thanh thép hình thông qua liên kết hàn [7]. Kết quả nghiên cứu trên cả mô hình lý thuyết, thực nghiệm và mô phỏng số đều cho thấy đây là một dạng cấu tạo có nhiều ưu điểm về sức kháng, độ dẻo và cách thức truyền lực [8, 9, 11]. Tuy nhiên, việc sử dụng các cốt đai vòng kín chịu lực ở vùng nút gây nhiều khó khăn trong quá trình thi công chế tạo. Từ giải pháp được đề xuất bởi SmartCoCo, bài báo này đề xuất cải tiến dạng nút của SmartCoCo bằng cách bổ sung tấm thép chịu cắt ở vùng nút. Thêm vào đó, cốt đai vòng kín được thay thế bằng cốt đai hở. Kết quả thí nghiệm trên cả mẫu thiết kế theo đề xuất của SmartCoCo và mẫu cải tiến được trình bày, so sánh để làm rõ ứng xử và ưu điểm của nút cải tiến so với dạng nút được đề xuất trước đây.

## 2. THÍ NGHIỆM

### 2.1. Mẫu thí nghiệm

Các mẫu nghiên cứu là nút biên của khung liên hợp dầm thép-cột BTCT. Các mẫu được thiết kế theo Tiêu chuẩn Eurocode 2, 3 và 4 và các đề xuất tính toán theo [7, 10]. Cả hai mẫu có chung về kích thước tổng thể, trong đó: cột BTCT dài 3,4m; kích thước mặt cắt ngang cột  $400 \times 400\text{mm}$ . Cốt thép dọc và cốt thép đai được sử dụng cho cột có đường kính lần lượt là  $\phi 25$  nhóm CB300 và  $\phi 10$  nhóm CB400. Phần thép kết cấu là thép tổ hợp hàn loại SS400 gồm: dầm thép dài 2m với tiết diện ngang có kích thước là  $1400 \times 180 \times 20 \times 25$ ; phần thép hình trong cột có tiết diện  $H200 \times 180 \times 20 \times 20$ . Sự khác nhau giữa cấu tạo của mẫu 1 và mẫu 2 là việc sử dụng thêm hai tấm thép hàn vào cánh của thép hình. Cốt đai ở vùng trung tâm nút của hai mẫu cũng khác nhau. Mẫu 1 có cốt đai thuộc dạng đai liền. Mẫu 2 có cốt đai là đai hở. Chi tiết về cấu tạo mẫu và kích thước của mẫu được thể hiện trên Hình 1.



Hình 1. Cấu tạo chi tiết các mẫu thí nghiệm.

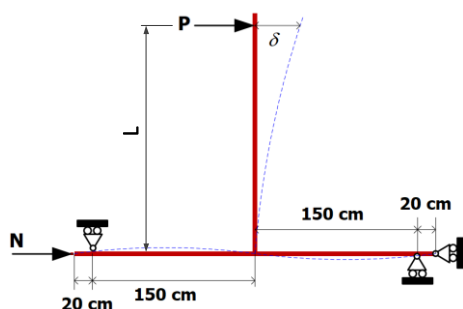
Bê tông sử dụng cho các mẫu thí nghiệm là bê tông thường, có cường độ chịu nén theo mẫu trụ ở 28 ngày là 45,6 MPa. Bảng 1 thể hiện thông số vật liệu của thép kết cấu và cốt thép sử dụng trong các mẫu thí nghiệm. Giá trị ở bảng 1 thu được bằng cách thí nghiệm kéo mẫu ở phòng thí nghiệm.

**Bảng 1.** Thông số vật liệu thép sử dụng trong các mẫu thí nghiệm.

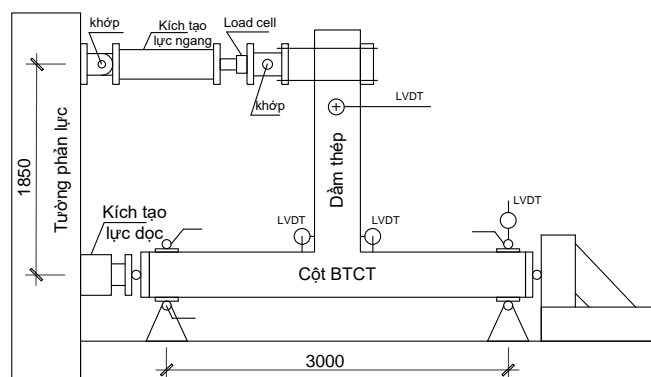
	Thép dầm	Thép hình	Thép tấm	Cốt thép dọc	Cốt thép đai
Mô đun đàn hồi $E_s$ (GPa)	210	210	210	200	200
Cường độ kéo chảy $f_y$ (MPa)	305	305	305	435	520
Cường độ kéo đứt $f_u$ (MPa)	435	435	435	590	630

## 2.2. Sơ đồ thí nghiệm

Hình 2 thể hiện sơ bố trí thí nghiệm. Sơ đồ bố trí thí nghiệm được dựa trên sơ đồ biến dạng của kết cấu khung dưới tác dụng của tải trọng đứng và tải trọng ngang. Vị trí cục bộ của nút khung được tách ra và gán điều kiện biên phù hợp với sự làm việc thực tế của kết cấu. Hình 3 thể hiện sơ đồ bố trí thí nghiệm dựa trên các điều kiện biên ở sơ đồ tính. Các vị trí chân cột được đỡ bằng gối cố định và gối di động. Lực nén dọc trục của cột được tạo bằng kích thủy lực đặt ở đỉnh cột. Giá trị lực nén dọc trục trong thí nghiệm được giữ không thay đổi trong quá trình thí nghiệm. Giá trị lực nén dọc trục cột sử dụng trong thí nghiệm là 10% khả năng chịu nén của cột (800kN). Tải trọng ngang được mô phỏng bằng chuyển vị cưỡng bức đặt ở đầu dầm. Tốc độ gia tải được kiểm soát theo chuyển vị có giá trị 0,015 mm/s.



**Hình 2.** Sơ đồ kết cấu và sơ đồ bố trí thí nghiệm thực tế của mẫu thí nghiệm.

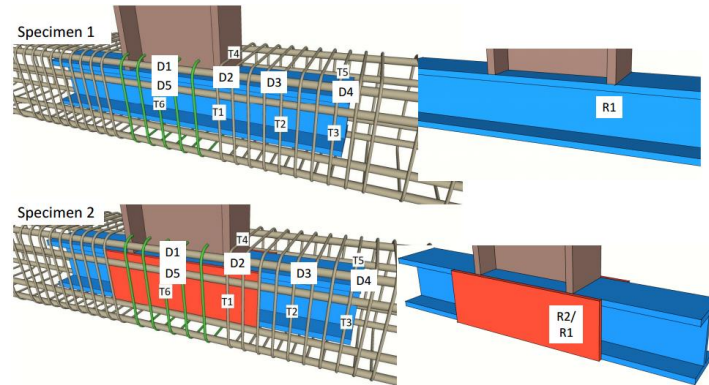


**Hình 3.** Sơ đồ bố trí thí nghiệm.

### 2.3. Các thiết bị đo

Lực tác dụng được đo bằng loadcell. Chuyển vị được đo bằng các đầu đo chuyển vị (LVDT). Các vị trí đo chuyển vị gồm: vị trí tác dụng tải đầu công xôn của dầm, chân cột, đỉnh cột và bụng dầm. Vị trí của loadcell và các LVDT được thể hiện trên Hình 3.

Biến dạng của cốt thép được đo bằng các cảm biến điện trở gắn trực tiếp trên cốt thép dọc, cốt thép đai và thép hình tại các vị trí được dự đoán có biến dạng lớn. Vết nứt xuất hiện trên mẫu thí nghiệm được quan sát bằng mắt thường và đánh dấu bằng bút trong quá trình gia tải. Vị trí của các cảm biến điện trở đo biến dạng được thể hiện trên Hình 4.

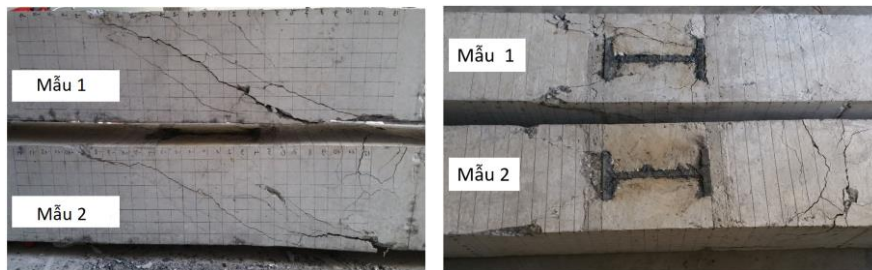


Hình 4. Vị trí gắn cảm biến đo biến dạng của thép.

## 3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

### 3.1. Quan sát thí nghiệm

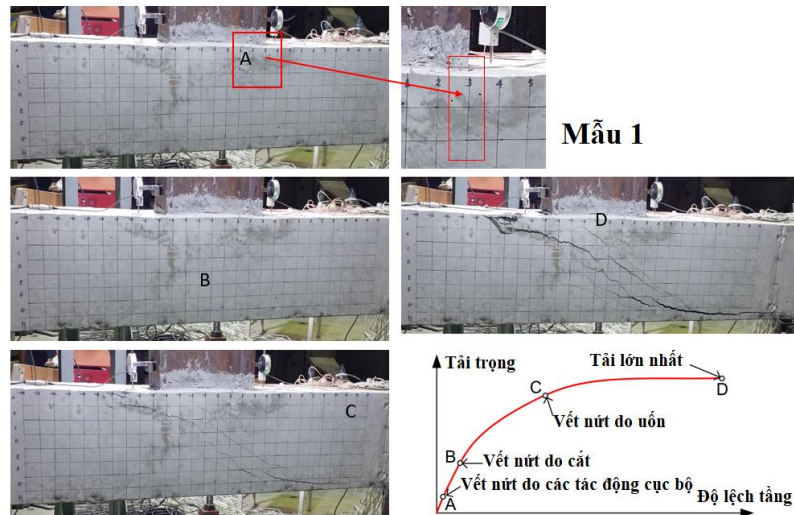
Về tổng thể, các vết nứt xuất hiện trên hai mẫu thí nghiệm được chia thành 3 nhóm: các vết nứt xiên do cắt ở vùng nút; các vết nứt ngang thân cột do uốn hoặc do tác động cục bộ; các vết nứt dọc theo thân cột. Hình 5 thể hiện vết nứt trên hai mẫu sau khi kết thúc thí nghiệm. Thứ tự hình thành vết nứt, số lượng và độ mở rộng vết nứt trên hai mẫu thí nghiệm có sự khác nhau. Hình 6 và Hình 7 thể hiện thứ tự các vết nứt xuất hiện trên các mẫu thí nghiệm.



Hình 5. Vết nứt trên mặt bên và mặt trước của các mẫu sau thí nghiệm.

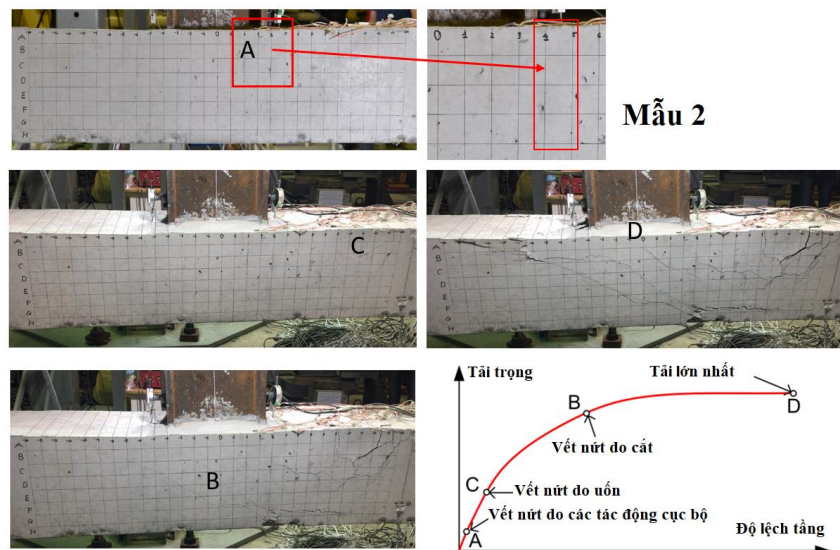
Với mẫu 1, vết nứt đầu tiên xuất hiện ở ngang mặt cánh dầm, vuông góc với trục cột. Vết nứt tiếp theo là vết nứt xiên ở vùng trung tâm nút, hai vết nứt này xuất hiện ở độ lệch tầng 0,75% (độ lệch tầng được xác định bằng tỷ số giữa chuyển vị tại điểm đặt lực với khoảng cách từ điểm đặt lực đến trục cột,  $\delta/L$ , xem hình 2). Vết nứt ngang thân cột tại vị trí cảm biến D4 xuất hiện ở khoảng độ lệch tầng 1,3%. Các vết nứt xuất hiện ở độ lệch tầng dưới 2% có tốc độ mở rộng chậm. Ở độ lệch tầng lớn hơn 2%, các vết nứt xiên mở rộng nhanh và xuất hiện thêm nhiều vết nứt xiên khác trong vùng trung tâm nút. Các vết nứt ngang trên thân cột

do uốn cũng mở rộng hơn. Sự ép mặt của cánh dầm lên bê tông cột cũng tạo ra một số vết nứt dọc và xiên ở mặt trước của cột (xem Hình 5). Khi các vết nứt xiên trong vùng nứt mở rộng thì tương ứng trên đường quan hệ Lực – độ lệch tầng của mẫu 1 cũng cho thấy độ cứng suy giảm nhanh.



**Hình 6.** Vết nứt xuất hiện trên Mẫu 1.

Với mẫu 2, vết nứt đầu tiên xuất hiện ở ngang mặt cánh dầm. Vết nứt tiếp theo xuất hiện ở vị trí cảm biến D4 và D3. Vết nứt xiên trong vùng trung tâm nứt ở mẫu 2 xuất hiện ở khoảng độ lệch tầng 1,5%. Quá trình tăng tải thì các vết nứt ở các vị trí cảm biến D2, D3 và D4 mở rộng, đồng thời xuất hiện một số vết nứt dọc thân cột. Vết nứt xiên mở rộng rất chậm cho tới độ lệch tầng khoảng 2,5% thì bắt đầu phát triển nối tiếp với các vết nứt do ép mặt của cánh dầm thép ở mặt trước của cột.



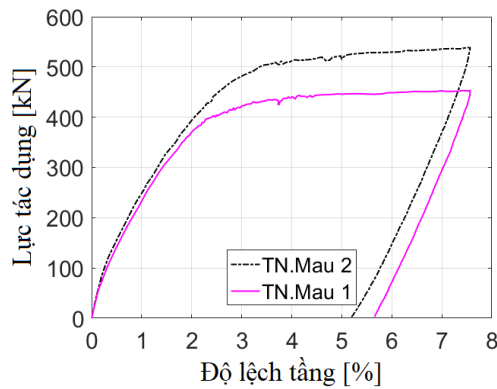
**Hình 7.** Vết nứt xuất hiện trên Mẫu 2.

Quan sát quá trình thí nghiệm nhận thấy trên mẫu 1 các vết nứt xiên trong vùng nứt xuất hiện sớm và nhiều hơn. Quá trình tăng tải các vết nứt xiên trên mẫu 1 cũng mở rộng sớm và nhanh hơn so với mẫu 2. Ngược lại với mẫu 1, số lượng vết nứt và độ mở rộng vết nứt xiên ở

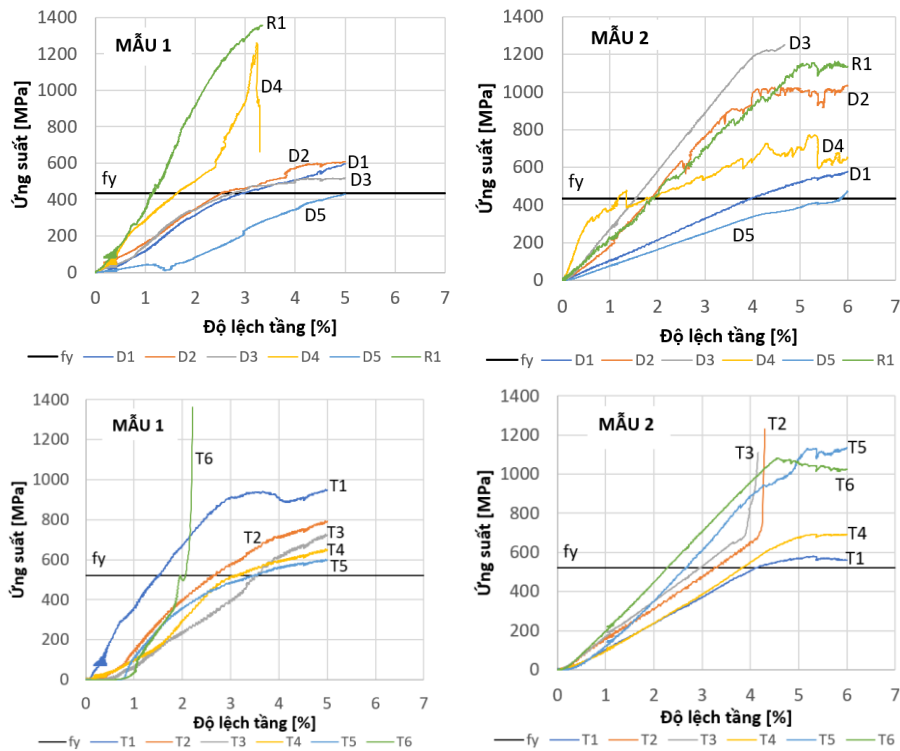
trung tâm nút của mẫu 2 ít hơn nhưng số lượng và độ mở rộng các vết nứt ngang thân cột trên mẫu 2 lại nhiều hơn so với mẫu 1. Ở mặt trước của cột, số lượng vết nứt và sự phá hoại do ép mặt của cánh dầm thép lên bê tông trên mẫu 1 cũng xảy ra nặng hơn mẫu 2. Như vậy, việc sử dụng thép tấm chịu cắt ở vùng nút đã làm tăng độ cứng của vùng nút giảm các phá hoại ở vùng nút và phân bố ra vùng cột.

### 3.2. Kết quả đo

Hình 8 thể hiện biểu đồ quan hệ giữa lực tác dụng với độ lệch tầng của các mẫu thí nghiệm. Trong đó, lực là giá trị thu được tại loadcell ở vị trí kích tạo lực ngang. Ở các độ lệch tầng nhỏ hơn 2%, cả 2 nút có ứng xử tuyến tính và không khác nhau nhiều về độ cứng và sức kháng. Từ độ lệch tầng 2% đến kết thúc thí nghiệm, cả 2 mẫu có xu hướng “biến dạng dẻo”, chỉ tăng về biến dạng và chưa bị suy giảm về sức kháng. Giá trị sức kháng ở giai đoạn phá hoại của mẫu 2 lớn hơn mẫu 1 khoảng 15%.



Hình 8. Biểu đồ quan giữa lực tác dụng với độ lệch tầng của các mẫu thí nghiệm.



Hình 9. Biểu đồ quan giữa ứng suất trong cốt thép với độ lệch tầng của các mẫu thí nghiệm.

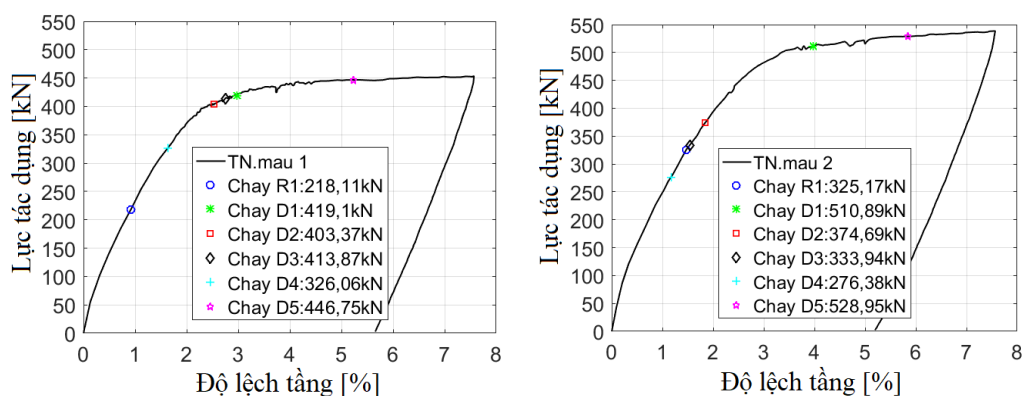
Hình 9 thể hiện biểu đồ quan hệ giữa ứng suất trong cốt thép tại các vị trí gắn cảm biến với độ lệch tầng. Thời điểm chảy dẻo tại các vị trí gắn cảm biến được tổng hợp ở Bảng 2 và Bảng 3. Hình 10 thể hiện thời điểm bắt đầu chảy dẻo của thép kết cấu và cốt thép dọc cột. Vị trí (R1) ở hai mẫu thí nghiệm bị chảy tại độ lệch tầng 0,92% và 1,465%, tương ứng với giá trị lực tại kích là 218,11 kN và 325,17 kN. Do tác dụng hai tấm thép gia cường trong nút nên thời điểm bán bụng của thép hình đặt trong cột chảy dẻo tăng 59% đối với chuyển vị và tăng 49% đối với lực tác dụng. Điều này có thể dự đoán được do khi có tấm gia cường, diện tích thép kết cấu tham gia chịu tác động kéo từ cánh thép dầm lên bản bụng của thép hình tăng lên, do đó cùng một giá trị lực thì ứng suất trong thép hình ở mẫu 2 sẽ có giá trị nhỏ hơn. Qua đây có thể thấy được hiệu quả của tấm thép gia cường là rất rõ rệt.

Trên cốt thép dọc tại vị trí D1 và D5 (xem Hình 4) sự chảy dẻo ở mẫu 2 xảy ra muộn hơn mẫu 1. Nguyên nhân là sự có mặt của tấm gia cường đã làm tăng độ cứng cho vị trí nút, từ đó các thành phần biến dạng cắt, biến dạng xoay ở nút của mẫu 2 nhỏ hơn mẫu 1, vì vậy vai trò của cốt thép dọc tại vùng nút mẫu 2 cũng ít hơn. Ngược lại, các vị trí D2, D3 và D4 trên cốt thép dọc vùng chân cột trên mẫu 2 bị chảy dẻo sớm hơn so với mẫu 1. Nguyên nhân được giải thích là do thép tấm gia cường đã góp phần làm cứng vùng nút, lực tác dụng từ dầm thép truyền vào cột BTCT không còn tập trung cục bộ ở nút mà phân bố ra các vùng cột xung quanh nút.

Thứ tự xuất hiện sự chảy dẻo ở các vị trí D2, D3 và D4 trên cả hai mẫu thí nghiệm là giống nhau. Vị trí D4 bị chảy dẻo trước, tiếp theo vị trí D3 và cuối cùng là D2. Như vậy, phần thép hình đặt trong cột BTCT đã tham cùng mặt cắt cột chịu uốn, giúp giảm ứng suất trong cốt thép ở chân cột (vị trí D2).

**Bảng 2.** Thời điểm chảy của thép kết cấu và cốt thép dọc tại các vị trí gắn cảm biến.

Vị trí cảm biến	R1	D1	D2	D3	D4	D5	
<b>Mẫu 1</b>	Độ lệch tầng [%]	0,92	2,98	2,53	2,75	1,63	5,23
	Lực tác dụng [kN]	218,11	419,1	403,37	413,87	326,06	446,75
<b>Mẫu 2</b>	Độ lệch tầng [%]	1,47	3,98	1,85	1,54	1,17	5,85
	Lực tác dụng [kN]	325,17	510,89	374,69	333,94	276,38	528,95

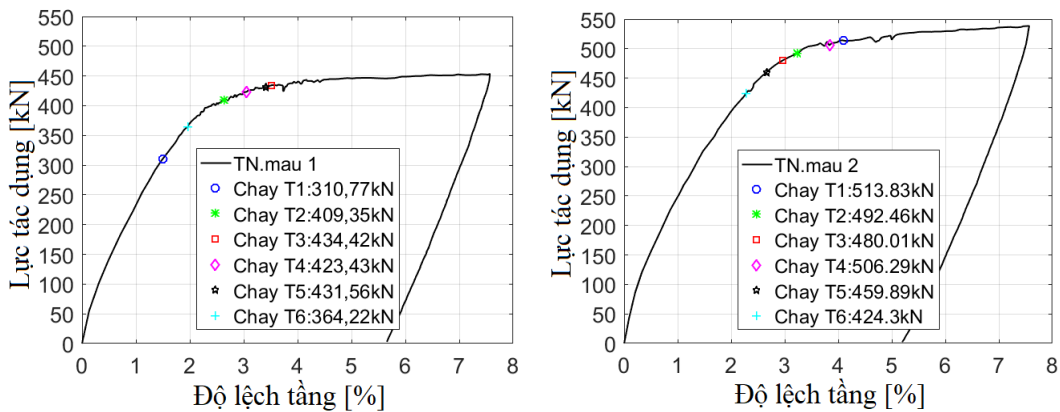


**Hình 10.** Điểm chảy của thép hình và cốt thép dọc của các mẫu thí nghiệm tại các vị trí gắn cảm biến.



**Bảng 3.** Thời điểm chảy của cốt thép đai tại các vị trí gắn cảm biến.

Vị trí cảm biến	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
<b>Mẫu 1</b>	Độ lệch tầng [%]	1,5	2,64	3,52	3,05	3,41	1,96
	Lực tác dụng [kN]	310,77	409,35	434,42	423,43	431,56	364,22
<b>Mẫu 2</b>	Độ lệch tầng [%]	4,1	3,24	2,96	3,84	2,66	2,28
	Lực tác dụng [kN]	513,83	492,46	480,01	506,29	459,89	424,3



**Hình 11.** Điểm chảy của cốt thép đai của các mẫu thí nghiệm tại các vị trí cảm biến.

Bảng 3 và Hình 11 thể hiện thời điểm bắt đầu chảy dẻo của cốt thép đai. Trên mẫu 1, các vị trí cốt đai bị chảy dẻo đầu tiên là T1 nằm ở vị trí chịu kéo của cánh dầm thép, tiếp theo là T6 nằm ở trung tâm nút. Nhận thấy khi T6 bị chảy dẻo thì trên biểu đồ quan hệ lực-độ lệch tầng của mẫu 1 cũng bắt đầu suy giảm về độ cứng. Các vị trí cốt đai khác bị chảy trong khoảng độ lệch tầng từ 2-4%, đây cũng là giai đoạn chuyển tiếp từ ứng xử tuyến tính sang ứng xử dẻo của mẫu 1.

Trên mẫu 2, các cốt đai cũng bị chảy trong khoảng độ lệch tầng từ 2-4%. Tuy nhiên thứ tự xuất hiện chảy dẻo trên các vị trí khác với mẫu 1, vị trí bị chảy dẻo đầu tiên xuất hiện ở T6. Đối với vị trí T1 trên mẫu 2 chảy dẻo ở độ lệch tầng 4,1%. Thấy rằng, vị trí T1 trên mẫu 2 chảy muộn hơn trên mẫu 1 do ảnh hưởng của thép tấm chịu cắt ở vùng nút làm giảm biến dạng do kéo ở vị trí cánh dầm thép lên bản bụng của thép hình đặt trong cột.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã thực hiện nghiên cứu thực nghiệm trên kết cấu nút khung liên hợp liên kết giữa dầm thép với cột BTCT. Các kết quả thu được cho thấy hiệu quả của việc sử dụng thép tấm ở vùng nút đến khả năng chịu cắt của nút. Cụ thể, việc thay thế cốt thép đai kín trong vùng nút bằng cốt đai hở và thép tấm không làm ảnh hưởng đến sức kháng của nút trong giới hạn sử dụng. Thêm vào đó, ở giai đoạn phá hoại, sức kháng của mẫu thí nghiệm sử dụng cốt đai hở và thép tấm chịu cắt tăng lên được khoảng 15% so với nút sử dụng cốt đai kín.

Kết quả thu được về hình dạng vết nứt trên bê tông cột, tương quan lực-độ lệch tầng và thời điểm một số vị trí thép bị chảy cũng cho thấy hiệu quả của thép tấm chịu cắt đến tăng độ

cứng cho nút, giảm các biến dạng cục bộ ở nút. Qua đó giảm các phá hoại cục bộ của bê tông vùng nút. Hơn nữa, việc sử dụng thép tấm chịu cắt làm giảm ứng suất trong cốt thép đai vùng nút, do đó có thể giảm hàm lượng cốt thép đai nút hoặc thay thế dạng cốt đai vòng kín bằng cốt đai hở mà vẫn đảm bảo được sức kháng cắt của nút.

## LỜI CẢM ƠN

Cảm ơn các thí nghiệm viên trung tâm Khoa học Công nghệ đã hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu thí nghiệm. Cảm ơn Trường Đại học Giao thông Vận tải đã tài trợ cho nghiên cứu này trong khuôn khổ đề tài mã số T2019-XD-008.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. L.G. Griffis, Some design considerations for composite-frame structures, *Engineering Journal*, 23 (1986) 59-64.
- [2]. R. Kanno, D.D. Deierlein, Design Model of Joints for RCS Frames. *Proceeding of Composite Construction in Steel and Concrete IV*, Alberta, Canada, 2002, 947-958.
- [3]. I. Nishiyama, H. Kuramoto, H. Noguchi, Guidelines: Seismic Design of Composite Reinforced Concrete and Steel Buildings, *Journal of Constructional Steel Research*, 1/2004, 336-342. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2004\)130:2\(336\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:2(336))
- [4]. S. Mirghaderi, N. Eghbali, M. Ahmadi, Moment connection between continuous steel beams and reinforced concrete column under cyclic loading, *Journal of Constructional Steel Research.*, 118 (2016) 105–119. DOI:[10.1016/j.jcsr.2015.11.002](https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.11.002)
- [5]. H. Zibasokhan, F. Behnamfar, K. Behfarnia, The new proposed details for moment resisting connections of steel beam to continuous concrete column, *Advances in Structural Engineering*, 19 (2016) 156–169. <https://doi.org/10.1177/1369433215618293>
- [6]. X. Zhang, Z.Jiawei, G.Xuejian, Z.Shaohua, Seismic performance of prefabricated high-strength concrete tube column-steel beam joints, *Advances in Structural Engineering*, 21 (2018) 658-674. <https://doi.org/10.1177/1369433217726895>
- [7]. H. Somja et al., The SMARTCOCO design guide for hybrid concrete-steel structures. *Proceedings of the 12th International Conference on Advances in Steel-Concrete Composite Structures*, Valencia, Spain, 2018.
- [8]. X.H. Nguyen, Q-H. Nguyen, D.D. Le, O. Mirza, Experimental Study on Seismic Performance of New RCS Connection, *Structures*, 9 (2018) 53-62.
- [9]. D.D. Le, X.H. Nguyen, Q-H. Nguyen, Numerical study on a new through column type joint for RCS frame, *International Conference on Advances in Computational Mechanics*, 2017, 261-272. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7149-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7149-2_18).
- [10]. Lê Đăng Dũng, Nguyễn Xuân Huy, Phân tích ứng xử của nút khung liên hợp thép- bê tông cốt thép, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, Số đặc biệt, tháng 11 (2015) 88-93.
- [11]. Lê Đăng Dũng, Nguyễn Xuân Huy, Nguyễn Thành Tâm, Nghiên cứu thực nghiệm nút khung liên hợp thép- bê tông cốt thép chịu tải trọng lặp, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, 59 (2017) 24-29.