

## Khảo sát thực nghiệm ảnh hưởng của cường độ chịu nén bê tông đến ứng xử uốn của dầm liên hợp thép - bê tông

Lê Văn Phước Nhân<sup>1</sup>, Bùi Đức Vinh<sup>1\*</sup>, Lê Thái Sơn<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Đại học Bách Khoa TP. HCM

<sup>2</sup> Công ty TNHH Xây Dựng Bất Động Sản MD Land, TP. HCM

### TỪ KHOÁ

Dầm liên hợp thép – bê tông  
Liên kết kháng cắt perfobond  
Cường độ chịu nén của bê tông  
Khả năng chịu lực  
Biến dạng trượt tương đối  
Ứng xử uốn

### KEYWORDS

Steel concrete composite beam  
perfobond shear connector  
Concrete compressive strength  
Load capacity  
Relative slip  
Bending behavior

### TÓM TẮT

Khảo sát thực nghiệm ảnh hưởng của cường độ chịu nén của bê tông đến ứng xử uốn của dầm liên hợp thép – bê tông được thực hiện trên hai mẫu dầm với mác bê tông C40 và C60. Liên kết kháng cắt perfobond được sử dụng cho các dầm nhằm ngăn cản sự trượt và ứng xử liên hợp giữa bản bê tông và dầm thép hình chữ T. Các đại lượng nghiên cứu bao gồm: khả năng chịu lực, độ võng, biến dạng trượt tương đối giữa bê tông và thép, dạng phá hoại của dầm. Kết quả nghiên cứu cho thấy cường độ chịu nén của bê tông ảnh hưởng đáng kể đến độ võng của dầm, biến dạng trượt tương đối giữa bản bê tông và dầm thép. Khả năng chịu lực của dầm liên hợp có mác bê tông C60 tăng không đáng kể so với khả năng chịu lực của dầm có mác bê tông C40 và dạng phá hoại của hai dầm gần như tương đồng.

### ABSTRACT

Experimental investigation of effect of concrete compressive strength on bending behavior of steel - concrete composite beams was carried out on two beam specimens with concrete grade of C40 and C60. Perfobond shear connectors were used for beams in order to resist the relative slip and create composite behavior between concrete slab and steel girder with T inverse section. The investigated parameters included load capacity, deflection, relative slip between concrete slab and steel girder, failure mode of beams. The results showed that concrete compressive strength effected significantly on the deflection, the relative slip between concrete slab and steel girder. The load capacity of composite beam with concrete grade of C60 did not increase significantly in comparison with that of beam with concrete grade of C40, and the failure mode was nearly the same.

### 1. Giới thiệu

Đến nay, liên kết kháng cắt dạng perfobond vẫn chưa được tiêu chuẩn hóa như các liên kết kháng cắt khác: liên kết chốt, liên kết kháng cắt dạng thép góc, thép U. Tuy nhiên liên kết kháng cắt dạng perfobond đã và đang được nghiên cứu do tính khả dụng của loại hình liên kết này. Phần lớn các nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện với mẫu nhỏ với thí nghiệm nén đẩy nhằm đánh giá ứng xử cơ học của liên kết kháng cắt [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Trong các nghiên cứu này, các tác giả thường đánh giá ảnh hưởng của tham số kích thước perfobond, kích thước và số lỗ liên kết, cường độ chịu nén của bê tông, số lượng thanh thép đặt trong lỗ perfobond đến ứng xử cơ học của liên kết. Các đại lượng nghiên cứu chủ yếu bao gồm: khả năng chịu lực của liên kết, biến dạng trượt giữa bê tông và thép hình, dạng phá hoại của liên kết. E. C. Oguejiofor và M. U. Hosain đưa ra công thức tính sức kháng cắt của liên kết perfobond [2]. Bên cạnh đó, các tác giả cũng đã tiến hành

thí nghiệm trên mẫu dầm lớn nhằm đánh giá ứng xử uốn của dầm liên hợp thép – bê tông sử dụng các loại liên kết kháng cắt. Brian Uy đã nghiên cứu ảnh hưởng của mức độ kháng cắt một phần trong vùng moment âm của dầm và nút khung với việc sử dụng liên kết kháng cắt dạng chốt [8]. Tác giả cho rằng ảnh hưởng của liên kết một phần làm tăng khả năng xoay mà không làm giảm đáng kể khả năng chịu lực của cấu kiện. E. C. Oguejiofor và M. U. Hosain đã nghiên cứu thực nghiệm ứng xử uốn của dầm liên hợp thép – bê tông sử dụng liên kết kháng cắt perfobond [9]. Trong nghiên cứu này nhằm đánh giá ảnh hưởng của số liên kết perfobond, thép thanh đặt qua lỗ liên kết đến khả năng chịu lực tới hạn của dầm.

Ở Việt Nam, Đ. T. H. Vinh đã khảo sát thực nghiệm ứng xử kháng cắt của liên kết kháng crespbond sử dụng cho kết cấu liên hợp thép bê tông [10]. Đây là một dạng liên kết có hình dáng với liên kết perfobond trước đây, có lỗ liên kết mở và tiết diện là một hình e lip. Các vấn đề được khảo sát bao gồm khả năng chịu lực, biến dạng trượt

\*Tác giả liên hệ: vinhbd@hcmut.edu.vn

Nhận ngày 15/04/2021, giải trình ngày 07/05/2021, chấp nhận đăng 29/07/2021

và ảnh hưởng của các tham số đến ứng xử cơ học của liên kết. Đ. D. Kiên đã nghiên cứu thực nghiệm ứng xử của dầm liên hợp sử dụng liên kết kháng cắt crestbond [11]. Nghiên cứu được thực hiện trên ba dầm liên hợp sử dụng thép hình chữ I nhằm khảo sát ứng xử uốn qua các đại lượng khả năng chịu lực, biến dạng trượt tương đối giữa bản bê tông và dầm thép, dạng phá hoại dầm. L. V. P. Nhân đã khảo sát ảnh hưởng của mức độ liên kết đến ứng xử uốn của dầm [12]. Trong đó, hai dầm có liên hợp thép – bê tông có sử dụng bê tông C60, các thông số khác về dầm thép và liên kết kháng cắt dạng perfobond ngoại trừ mức độ liên kết là khác nhau. Hai dầm có số lỗ liên kết lần lượt là 10 lỗ và 22 sẽ tạo ra sự khác nhau về mức độ liên kết. Chính điều đó đã làm ảnh hưởng đến ứng xử uốn của dầm liên hợp.

Nghiên cứu này đánh giá thực nghiệm ảnh hưởng của cường độ chịu nén của bê tông đến ứng xử uốn của dầm liên hợp thép – bê tông. Trong đó các kết quả khảo sát với dầm liên hợp sử dụng bê tông C40 sẽ được so sánh kết quả của thí nghiệm dầm liên hợp sử dụng bê tông C60 [12]. sẽ nghiên cứu ứng xử uốn của dầm liên hợp thép bê tông sử dụng liên kết kháng cắt dạng perfobond. Dầm thép có dạng chữ T, bê tông sử dụng cho các dầm là C40 và C60, liên kết perfobond trong thí nghiệm là một phần của bản bụng được cắt CNC theo hình dáng định thiết kế, khác với các nghiên cứu trước đây khi liên kết perfobond là những đoạn ngắn hàn với cánh trên dầm thép tiết diện I. Mục tiêu của nghiên cứu này là khảo sát ứng xử uốn của dầm dưới ảnh hưởng của cường độ chịu nén của bê tông. Các đại lượng được khảo sát bao gồm: khả năng chịu lực, độ võng của dầm, biến dạng tương đối giữa bản bê tông và dầm thép, dạng phá hoại của dầm.

**2. Vật liệu**

**2.1. Bê tông**

**Bảng 1.**

Thành phần cốt liệu trong bê tông.

Thành phần	Đơn vị	Khối lượng cho 1m <sup>3</sup>	
		C40	C60
Xi măng PC40			
Cát sông	kg	400	500
Đá nghiền 10 × 20	kg	690	607
Nước	lít	1077	1023
Nước	lít	160	170
Silica fume	kg	18	18
Tro bay	kg	48	70
Phụ gia tăng dẻo	kg	4	6,5

Thành phần cấp phối bê tông cho bê tông C40 và C60 được cho trong Bảng 1. Hai nhóm mẫu thử, mỗi nhóm gồm 3 mẫu hình trụ D150 × H300 được đúc và dưỡng hộ cùng với mẫu dầm. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của bê tông sẽ tiến hành cùng với thời điểm tiến hành thí nghiệm uốn các mẫu dầm thực. Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén của bê tông (GC1 và GC2) được trình bày trong Bảng 2.

**Bảng 2.**

Cường độ chịu nén của bê tông.

Nhóm mẫu	Đơn vị	Cường độ nén mẫu trụ	Giới hạn biến dạng nén
		$f_{c,cl}$	$\epsilon_{limit}$ %
GC1	MPa	46,12	1,224
GC2	MPa	63,39	2,082

**Bảng 3.**

Các thông số của thép hình và thép thanh.

Thông số	Đơn vị	Thép thanh	Thép hình
Giới hạn chảy $f_y$	MPa	330	250
Giới hạn bền $f_u$	MPa	500	390
Biến dạng dẻo $\epsilon_y$	%	1,8	1,8
Mô đun đàn hồi $E$	GPa	200	200

*Các thông số không thí nghiệm được sử dụng kết quả do nhà sản xuất cung cấp*

**2.2. Thép hình và thép thanh.**

Thép gân D12 mm được bố trí ngang qua lỗ, mỗi lỗ hai thanh, một lớp thép thanh có đường kính D = 10 mm với khoảng cách 150 mm được đặt cấu tạo gần lớp mặt trên của bản bê tông, phía trên liên kết kháng cắt. Các đặc trưng cơ học của thép hình và thép thanh được trình bày trong

Bảng 3.

**3. Thí nghiệm**

**3.1. Mẫu thí nghiệm**

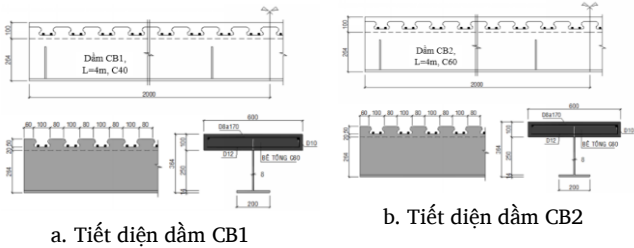
Mô hình thí nghiệm 4 điểm uốn được thực hiện đối với hai dầm liên hợp thép bê tông sử dụng liên kết kháng cắt perfobond nhằm liên kết giữa bản bê tông và dầm thép cùng nhau làm việc. Bê tông sử dụng cho các dầm lần lượt là C40 cho dầm CB1 và C60 cho dầm CB2. Hai dầm có cùng kích thước dầm thép và liên kết kháng cắt perfobond, có cùng 22 lỗ liên kết. Dầm thép có tiết diện T ngược được cắt từ thép bản, một trong hai cạnh được cắt bằng máy CNC để tạo hình dáng của

liên kết perFOBOND. Điều đó có nghĩa là phần bụng và liên kết kháng cắt perFOBOND thực chất là được làm chung từ một loại thép bản, không cần sử dụng đường hàn như cấu tạo của các dạng dầm liên hợp sử dụng thép hình chữ I. Phần cánh dưới của dầm thép được hàn với bụng dầm thép thông qua hai đường hàn góc, chạy dọc theo chiều dài dầm. Chi tiết dầm liên hợp thép bê tông và liên kết kháng cắt được minh họa trong Hình 1, thép thanh và thép đặt qua lỗ liên kết được thể hiện trong Hình 2, Hình 3 minh họa hình ảnh dầm thép chữ T ngược sau khi chế tạo.

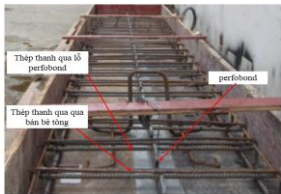
**Bảng 4.**

Các thông số của hai dầm CB1 và CB2.

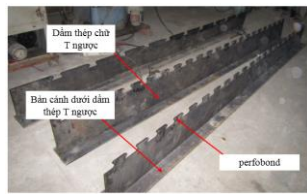
Dầm	Tiết diện	Bê tông	Chiều dày bản bê tông (mm)	Số liên kết
CB1	T264 × 200	C40	100	22
CB2	T264 × 200	C60	100	22



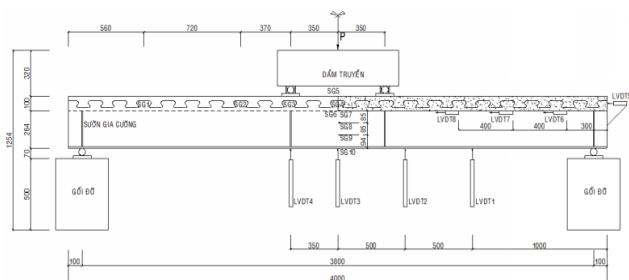
**Hình 1.** Tiết diện dầm liên hợp thép – bê tông CB1 và CB2.



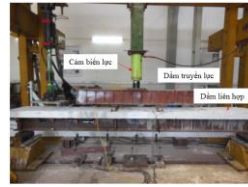
**Hình 2.** Thép thanh được đặt bố trí ngang qua lỗ liên kết.



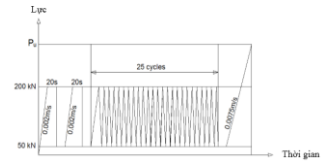
**Hình 3.** Dầm thép tiết diện T ngược và liên kết kháng cắt dạng perFOBOND.



**Hình 4.** Mô hình thí nghiệm cho dầm liên hợp.



**Hình 5.** Lắp đặt thí nghiệm trong thực tế.



**Hình 6.** Quy trình gia tải.

**3.3. Quy trình gia tải và tiến hành thí nghiệm**

Quy trình gia tải thí nghiệm dầm chịu uốn được tiến hành theo hướng dẫn của Eurocode 4 [13], quy trình này cũng tương tự với tài liệu [12], trong đó tải được chia làm ba giai đoạn, như sau:

Giai đoạn 1: tăng tải từ 0 đến 40 % Pu, với Pu là tải phá hoại dự kiến, được xác định theo các công thức tính toán của Eurocode 4 với tất cả các hệ số bằng 1, sau đó lặp lại hai lần.

Giai đoạn 2: tăng tải từ 10 % Pu đến 40 % Pu, và lặp lại 25 lần nhằm loại bỏ lực ma sát giữa bản bê tông và dầm thép cũng như các biến dạng dư trong thí nghiệm vì thế trong quá trình xử lý kết quả thí nghiệm, biến dạng trong giai đoạn 1 và giai đoạn 2 được loại bỏ.

Giai đoạn 3: tăng tải từ 10 % Pu đến Pu cho đến khi dầm bị phá hoại. Quy trình gia tải thí nghiệm được minh họa trong Hình 6.

Trong suốt quá trình thí nghiệm, tốc độ gia tải được điều khiển bằng tay với độ chính xác tương đối theo thông số đo thời gian thực trên máy tính, số liệu thí nghiệm liên tục được cập nhật và lưu lại bởi phần mềm.

**3.4. Kết quả thí nghiệm**

Bảng 5 trình bày kết quả khảo sát thực nghiệm trên hai mẫu dầm CB1 và CB2. Kết quả thí nghiệm cho thấy khả năng chịu lực của dầm CB2 với bê tông C60 lớn hơn khả năng chịu lực của dầm CB1 với bê tông C40. Chuyển vị của các dầm ứng tại thời điểm bị phá hoại của dầm CB1 và CB2 lần lượt là 52,43 mm và 92,57 mm. Biến dạng trượt tương đối giữa bản bê tông và dầm thép tại vị trí đầu dầm của hai dầm CB1 và CB2 lần lượt là 1,60 mm và 1,54 mm. Dạng phá hoại của các dầm được mô tả trong Bảng 6.

**Bảng 5.**

Kết quả thí nghiệm.

Mẫu dầm	P <sub>max</sub> (P <sub>u</sub> ) kN	Chuyển vị giữa dầm ứng với tải phá hoại mm	Biến dạng trượt tương đối giữa dầm thép và bản bê tông mm
CB1	577,3	52,43	1,60
CB2	622,2	92,57	1,54

**Bảng 6.**

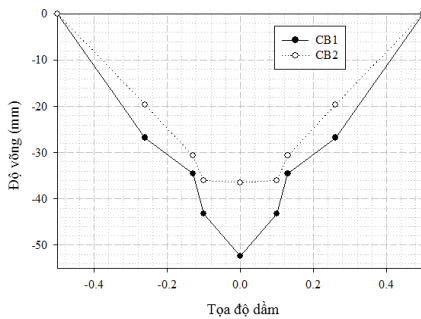
Dạng phá hoại của dầm.

Mẫu dầm	Dạng phá hoại
CB1	Phá hoại dẻo xảy ra trong dầm thép và bản bê tông
CB2	Phá hoại dẻo xảy ra trong dầm thép và bản bê tông

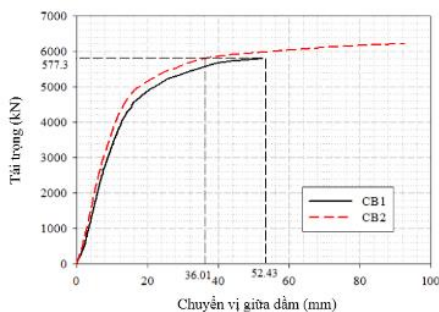
**4. Phân tích ứng xử của dầm**

**4.1. Đường cong quan hệ tải trọng - độ võng**

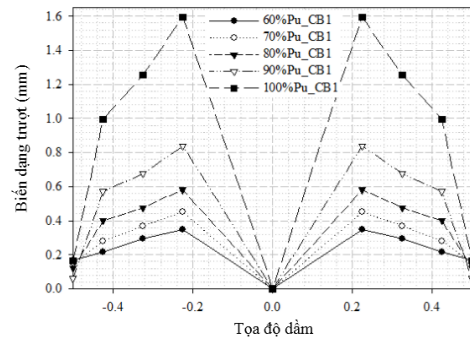
Kết quả thí nghiệm cho thấy khả năng chịu tải của dầm CB2 là 622,2 kN, trong khi khả năng chịu tải của dầm CB1 là 577,3 kN. Điều này có nghĩa là khả năng chịu lực của dầm CB2 cao hơn khả năng chịu tải của dầm CB1 khoảng 7,78 %. Hình 7 biểu diễn độ võng dọc theo trục dầm của hai dầm ứng với tải phá hoại của dầm CB1 ( $P_{u,CB1} = 577,3$  kN), mức tải này tương đương với 92,4 %  $P_{u,CB2}$  của dầm CB2. Ứng với mức tải này, độ võng giữa dầm của CB1 và CB2 lần lượt là 52,43 mm và 36,01 mm, như thể hiện trong hình trong Hình 8. Vậy ứng với tải phá hoại của dầm CB1, độ võng tại vị trí giữa dầm CB2 chỉ bằng 68,68 % so với độ võng tại vị trí giữa dầm CB1. Chứng tỏ cường độ chịu nén của bê tông đã ảnh hưởng đến độ võng của dầm. Điều này được cho là vì modun đàn hồi của bê tông C60 cao hơn modun đàn hồi bê tông C40 nên độ cứng của dầm CB2 lớn hơn độ cứng của dầm CB1.



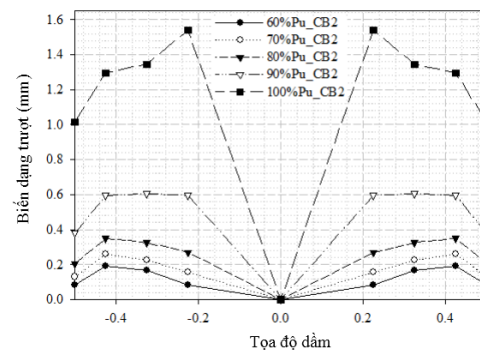
**Hình 7.** Chuyển vị của dọc dầm CB1 và CB2 ứng với tải trọng  $P_{u,CB1} = 577,3$  kN.



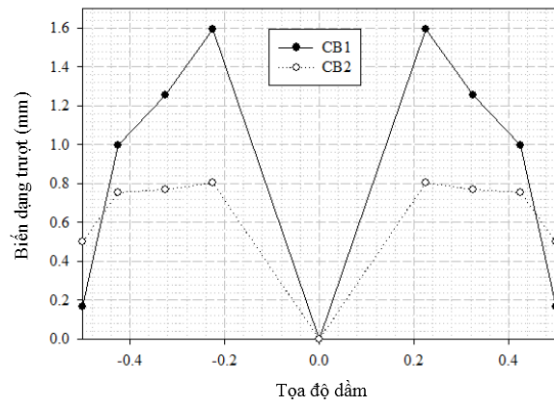
**Hình 8.** Đường cong quan hệ tải trọng và chuyển vị của dầm CB1 & CB2.



**Hình 9.** Biến dạng trượt tương đối dọc trục của dầm CB1 ứng với các cấp tải.



**Hình 10.** Biến dạng trượt tương đối dọc trục của dầm CB2 ứng với các cấp tải.



**Hình 11.** So sánh biến dạng trượt dọc trục của dầm CB1 và CB2 ứng với lực phá hoại  $P_{u,CB1} = 577,3$  kN (= 92,4 %  $P_{u,CB2}$ ).

**4.2. Biến dạng trượt tương đối giữa bản bê tông và dầm**

Dưới tác động của tải trọng, bản bê tông và dầm thép sẽ trượt tương đối lên nhau. Biến dạng trượt tương đối giữa bản bê tông và dầm thép được ghi nhận từ số liệu đo được thông qua các thiết bị đo LVDT5, LVDT6, LVDT7 và LVDT8. Hình 9 và Hình 10 mô tả biến dạng trượt tương đối giữa bản bê tông và dầm thép dọc theo chiều dài dầm

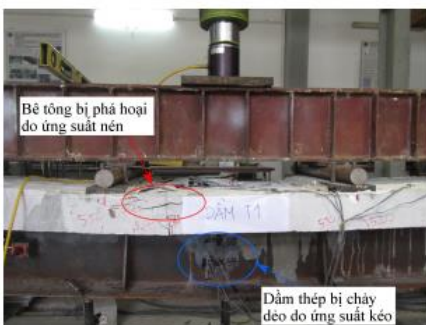
ứng với các cấp tải tương ứng của các dầm CB1 và CB2. Biến dạng trượt tăng dần theo cấp tải và sự tăng dần càng thể hiện rõ ràng từ cấp tải 90 %  $P_u$ . Biến dạng trượt có giá trị lớn nhất tại vị trí có gắn LVDT8 so với các vị trí khác. Điều này có thể giải thích là do vị trí của LVDT8 gần vị trí tải tập trung, là nơi có moment và lực cắt cùng lớn nên biến dạng sẽ lớn hơn các vị trí khác. Do đó, nếu gắn một LVDT sát với vị trí tải tập trung thì có thể sẽ nhận được giá trị biến dạng trượt tương đối lớn nhất trong dầm. Biến dạng trượt tương đối giữa bản bê tông và dầm thép tại vị trí LVDT8 ứng với tải phá hoại của dầm CB1 là 1,60 mm, trong khi đó biến dạng trượt tương đối tại vị trí LVDT8 ứng với tải phá hoại của dầm CB2 là 1,54 mm. Theo EC4, liên kết kháng cắt perfbond được xem là liên kết không dẻo [16]. Ứng với cấp tải phá hoại của dầm CB1 là  $P_{u,CB1} = 577,3$  kN (bằng 92,4 %  $P_{u,CB2}$ ), giá trị biến dạng trượt tương đối của dầm CB2 là 0,81 mm, tức là chỉ bằng 50,63 % giá trị biến dạng lớn nhất của dầm CB1. Biến dạng tương đối dầm CB2 bé hơn so biến dạng trượt của dầm CB1 là do dầm CB2 sử dụng bê tông C60 có cường độ chịu nén lớn hơn cường độ chịu nén C40 của dầm CB1. Dựa vào công thức (1) được đề xuất bởi E. C. Oguejiofor và M. U. Hosain [2], khả năng chịu cắt của liên kết kháng cắt perfbond chịu ảnh hưởng khá nhiều bởi cường độ chịu nén của bê tông. Chính khả năng kháng cắt của liên kết perfbond trong dầm CB2 lớn hơn nên kết quả biến dạng trượt tương đối giữa bản bê tông và dầm thép trong dầm CB2 bé hơn so với giá trị này trong dầm CB1.

$$q = 0,590A_{cc}\sqrt{f_c} + 1,233A_{r}f_y + 2,871nd^2\sqrt{f_c} \quad (1)$$

Trong đó:

- $A_{cc}$  diện tích bê tông trên một perfbond
- $A_r$  diện tích thép ngang
- $f_y$  giới hạn chảy của thép thanh
- $n$  số lỗ liên kết
- $d$  đường kính lỗ
- $f_c$  cường độ chịu nén của bê tông

#### 4.3. Các dạng phá hoại



Hình 12. Phá hoại của dầm CB1 & CB2 (nhìn từ mặt bên).

Quan sát thực nghiệm thấy rằng dạng phá hoại của dầm CB1 và CB2 xây tương tự nhau. Cả hai dầm CB1 và CB2 bị phá hoại do ứng suất kéo trong dầm thép và ứng suất nén trong bản bê tông. Trước tiên, bê tông bị phá hoại trước tại các vị trí của perfbond và các vị trí gần gối tựa, sau đó các vị trí giữa dầm bị phá hoại. Sau khi liên kết kháng cắt bị phá hoại, dầm thép và bản bê tông bắt đầu trượt lên nhau và dấu hiệu phá hoại xuất hiện ở vị trí giữa dầm, vết nứt dọc xảy ra trên bề mặt bản bê tông và dọc theo phía trên liên kết kháng cắt perfbond như minh họa trong Hình 12 và Hình 13. Sự phá hoại giống nhau giữa hai dầm có thể là do cả hai dầm đều đạt mức độ liên kết hoàn toàn.



Hình 13. Phá hoại của dầm CB1 & CB2 (nhìn từ mặt trên).

#### 5. Kết luận

Khảo sát thực nghiệm ứng xử uốn của hai dầm liên hợp thép bê tông sử dụng liên kết kháng cắt perfbond với cường độ chịu nén bê tông khác nhau, kết quả cho thấy:

Khả năng chịu lực của dầm liên hợp thép bê tông sử dụng bê tông C60 lớn 7,78 % so với khả năng chịu lực của dầm liên hợp thép bê tông sử dụng C40.

Cường độ chịu nén của bê tông ảnh hưởng đáng kể đến biến dạng trượt tương đối giữa bản bê tông và dầm thép. Trong thí nghiệm này, biến dạng trượt của dầm liên hợp sử dụng C60 chỉ bằng 50,63 % biến dạng của dầm liên hợp sử dụng C40 ứng với mức tải phá hoại của dầm CB1.

Dạng phá hoại của hai dầm như nhau được cho là do mức độ liên kết là hoàn toàn nên cả hai dầm có dạng phá hoại như nhau.

#### Lời cảm ơn:

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số C2020-20-16.

Các thí nghiệm được thực hiện tại Phòng thí nghiệm công trình, khoa Kỹ thuật xây dựng - ĐHBK TP. HCM. Lời cảm ơn cũng xin được gửi đến công ty Hoàng Vinh TRCC đã hỗ trợ thiết bị đo lường.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] M. R. Veldanda and M. U. Hosain, "Behaviour of perfobond rib shear connectors: push-out tests," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–10, Feb. 1992, doi: 10.1139/192-001.
- [2] E. C. Oguejiofor and M. U. Hosain, "A parametric study of perfobond rib shear connectors," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 21, no. 4, pp. 614–625, Aug. 1994, doi: 10.1139/194-063.
- [3] I. Valente and P. J. S. Cruz, "Experimental analysis of Perfobond shear connection between steel and lightweight concrete," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 60, no. 3, pp. 465–479, Mar. 2004, doi: 10.1016/S0143-974X(03)00124-X.
- [4] P. C. G. da S. Vellasco, S. A. L. de Andrade, L. T. S. Ferreira and L. R. O. de Lima, "Semi-rigid composite frames with perfobond and T-rib connectors Part 1: Full scale tests," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 63, no. 2, pp. 263–279, Feb. 2007, doi: 10.1016/j.jcsr.2006.04.011.
- [5] J. da. C. Vianna, L. F. Costa-Neves, P. C. G. da S. Vellasco and S. A. L. de Andrade, "Experimental assessment of Perfobond and T-Perfobond shear connectors' structural response," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 65, no. 2, pp. 408–421, Feb. 2009, doi: 10.1016/j.jcsr.2008.02.011.
- [6] J. da. C. Vianna, L. F. Costa-Neves, P. C. G. da S. Vellasco and S. A. L. de Andrade, "Structural behaviour of T-Perfobond shear connectors in composite girders: An experimental approach," *Eng. Struct.*, vol. 30, no. 9, pp. 2381–2391, Sep. 2008, doi: 10.1016/j.engstruct.2008.01.015.
- [7] S.-H. Kim, W.-H. Heo, K.-S. Woo, C.-Y. Jung and S.-J. Park, "End-bearing resistance of Y-type perfobond rib according to rib width–height ratio," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 103, pp. 101–116, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.jcsr.2014.08.003.
- [8] B. Uy, H. Y. Loh and M. Bradford, "The Effects of Partial Shear Connection in Hogging Moment Regions of Composite Beams and Joints," pp. 336–345, Apr. 2012, doi: 10.1061/40826(186)32.
- [9] E. C. Oguejiofor and M. U. Hosain, "Tests of full-size composite beams with perfobond rib connectors," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 22, no. 1, pp. 80–92, Feb. 1995, doi: 10.1139/195-008.
- [10] T. H. V. Chu, D. V. Bui, V. P. N. Le, I.-T. Kim, J.-H. Ahn and D. K. Dao, "Shear resistance behaviors of a newly puzzle shape of crestbond rib shear connector: An experimental study," *Steel Compos. Struct.*, vol. 21, no. 5, pp. 1157–1182, 2016, doi: 10.12989/scs.2016.21.5.1157.
- [11] V. P. N. Le, D. V. Bui, T. H. V. Chu, I.-T. Kim, J.-H. Ahn and D. K. Dao, "Behavior of steel and concrete composite beams with a newly puzzle shape of crestbond rib shear connector: an experimental study," *Struct. Eng. Mech.*, vol. 60, no. 6, pp. 1001–1019, 2016, doi: 10.12989/sem.2016.60.6.1001.
- [12] V. P. N. Le, D. V. Bui, D. D. Ho, T. S. Le and T. H. T. Luu, "Ảnh hưởng của mức độ liên kết kháng cắt đến ứng xử uốn của dầm liên hợp thép – bê tông sử dụng liên kết kháng cắt dạng Perfobond: Phương pháp thực nghiệm," *Tap Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng KHCNXD - ĐHXD*, vol. 15, pp. 37–47, Mar. 2021, doi: 10.31814/stce.nuce2021-15(1V)-04.
- [13] *Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures: General rules and rules for buildings*, EN 1994, Part 1-1, The European Standard, 2004.