

# Đánh giá khả năng chịu lực của bản liên tục nhiệt bê tông cốt sợi thép ở giới hạn cường độ

■ TS. MAI LỰU - Trường Đại học Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh

**TÓM TẮT:** Bản liên tục nhiệt là một trong những thành phần kết cấu trong công trình cầu yêu cầu khả năng chịu kéo lớn và dễ gây nứt sau một thời gian sử dụng. Vì vậy, việc sử dụng bê tông cốt sợi thép là một giải pháp phù hợp để tăng cường khả năng chịu kéo của bê tông trong bản liên tục nhiệt. Trong nghiên cứu này sẽ sử dụng cốt sợi thép có chiều dài 35mm và đường kính 5,5mm với móc hai đầu để tăng khả năng chịu kéo khi uốn và hạn chế việc mở rộng vết nứt. Để đánh giá khả năng chịu uốn của bản liên tục nhiệt bằng bê tông cốt sợi thép, trong bài báo này sẽ sử dụng các phương pháp: phương pháp thực nghiệm và các phương pháp thiết diện phẳng.

**TỪ KHÓA:** Bản liên tục nhiệt, bê tông cốt sợi thép, mô-men kháng uốn, phương pháp thực nghiệm

**ABSTRACT:** Link slab is one of component parts of bridge superstructure that needs strengthening in tension to meet the structural requirement and so to improve the performance of plain concrete in link slab, steel fibers are added to the concrete, called steel fiber-reinforced concrete (SFRC), to gain required strength. The steel fibers are generally used as a solution of cracking resistance and strengthen of concrete, in this paper hooked end steel fibers of length 35mm with thickness of 0,55mm diameter is used. Design calculation, regarding moment resistance in ultimate limit state was carried out in experimental and traditional approaches with the assumption of sections perpendicular to the axis of bending that are plane before bending remain plane after bending, for evaluation of ultimate moment resistance of steel fiber-reinforced concrete link slabs in this research.

**KEYWORDS:** Link slab, steel fiber-reinforced concrete, ultimate moment resistance, experimental method, plane section in bending

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc dùng cốt sợi để tăng cường khả năng chịu lực cho bê tông xi măng là một ý tưởng được đề ra từ rất lâu. Bê tông cốt sợi đã được bắt đầu nghiên cứu từ đầu

những năm 1960 và phổ biến nhất là tại Mỹ và Nhật Bản. Sử dụng cốt thép sợi sẽ làm cải thiện đáng kể các đặc tính chịu lực của bê tông. Trong những trường hợp có yêu cầu riêng về độ ổn định, về hạn chế sử dụng cốt thép hoặc những công trình cần phải gia cường (ví dụ bê tông phun làm vò hãm, vò tầu thủy), bê tông cốt sợi thép có thể là một giải pháp hợp lý [1].

Những ưu điểm khác của bê tông cốt sợi thép như giảm biến dạng do từ biến và biến dạng do co ngót, tăng khả năng chống cắt, cải thiện vấn đề nứt. Ngoài ra, bê tông cốt sợi thép sẽ là sự chọn lựa rất hợp lý khi ứng dụng cho các cấu kiện chịu lực tập trung lớn và bản liên tục nhiệt là một trường hợp điển hình.

Từ tính toán lý thuyết đến thực tế sử dụng cho thấy, bản liên tục nhiệt chịu lực kéo uốn rất lớn do nhiều tác nhân gây ra như xoay đầu dầm do hoạt tải trên kết cấu nhịp, thay đổi nhiệt độ, các ảnh hưởng thứ cấp do co ngót, từ biến... tạo nên một hệ kết cấu làm việc khá phức tạp và khó kiểm soát. Vì vậy, rất nhiều công trình sau khi đưa vào sử dụng thì vẫn xuất hiện nhiều vết nứt tại bản liên tục nhiệt mặc dù đã sử dụng một lượng cốt thép gia cường gần như gấp đôi so với cốt thép thông thường của bản mặt cầu như Hình 1.1. Do đó, việc nghiên cứu ứng dụng bê tông cốt sợi trong bản liên tục nhiệt là một giải pháp rất tiềm năng để tăng tính dẻo dai của bản liên tục, làm chậm quá trình phát triển vết nứt tại bản nối và giảm quá trình co ngót ảnh hưởng đến sự hình thành vết nứt trong bản liên tục nhiệt. Những ưu điểm này đã được khẳng định trong nhiều nghiên cứu cả trong và ngoài nước.

Hơn nữa, việc đánh giá khả năng chịu kéo khi uốn của bản liên tục nhiệt sử dụng vật liệu bê tông cốt sợi thép kết hợp với cốt thép thanh là bài toán cơ bản trong việc thiết kế cấu kiện chịu uốn ở các trạng thái giới hạn. Tuy nhiên, tại Việt Nam còn hạn chế các nghiên cứu về vấn đề này.



Hình 1.1: Cốt thép bản liên tục nhiệt

Đối với vật liệu bê tông cốt sợi thép thì ứng xử khi chịu uốn cũng khác với bê tông thông thường do xuất hiện một cách ngẫu nhiên các sợi thép nên làm cho phần bê tông bị nứt vỡ góp phần tăng khả năng chịu kéo uốn của dầm. Đây là điểm quan trọng trong thiết kế các cấu kiện dầm bằng bê tông cốt sợi. Vì vậy, nghiên cứu này sẽ trình bày một mô hình thí nghiệm để đánh giá khả năng chịu uốn của bản liên tục nhiệt làm bằng bê tông cốt sợi thép. Sau đó, các phương pháp đánh giá khả năng chịu uốn của dầm bằng vật liệu bê tông cốt sợi dưới dạng giải tích theo mô hình thiết kế phẳng của ACI [2], Iman [3] và RILEM [4] sẽ được phân tích.

## 2. MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CHỊU UỐN CỦA BẢN LIÊN TỤC NHIỆT BẰNG VẬT LIỆU BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP

### 2.1. Cấp phối vật liệu

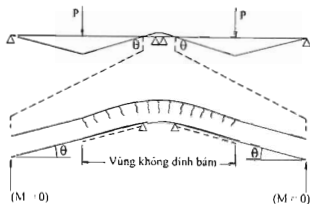
Bê tông cốt sợi thép sử dụng trong nghiên cứu này có cốt liệu lớn là đá dăm  $D_{max} = 12,5\text{mm}$ , cốt sợi thép là sợi thép Dramix của hãng BEKAERT có chiều dài sợi 35mm và đường kính sợi 0,55mm. Cường độ mong muốn của bê tông khi không có cốt sợi khoảng 42MPa theo mẫu lăng trụ (15x30cm) với độ tin cậy 0,95 và của bê tông SFRC khoảng 52MPa khi sử dụng hàm lượng 2,5% cốt sợi thép theo khối lượng. Cấp phối đề nghị được trình bày trong Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Cấp phối bê tông có cốt sợi và không có cốt sợi cho kết cấu bản liên tục nhiệt

N/X	XM	N	Cát	Đá	Siêu dẻo	Sợi thép
	kg	lít	kg	kg	lít/100kg XM	kg
0,35	523	183,0	650	1102	0,43	0,0
0,34	523	177,4	650	1102	0,66	62,5

### 2.2. Mô hình thí nghiệm bản liên tục nhiệt

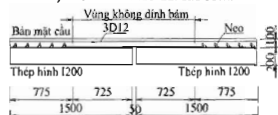
Hiện nay, nhiều nghiên cứu công bố sử dụng các mô hình thực nghiệm đánh giá khả năng chịu uốn của bản liên tục nhiệt tương đối khác nhau. Như mô hình của Caner và Zia [5], nhóm nghiên cứu đã sử dụng mô hình Hình 2.1 dầm giản đơn có kích thước 6,25m cho mỗi dầm và bản liên tục nhiệt dày 102mm để đánh giá khả năng chịu uốn của bản liên tục nhiệt. Tuy nhiên, mô hình này không phù hợp ở nhiều phòng thí nghiệm ở Việt Nam hiện nay. Một mô hình khác được GS. Victor C. Li tại Phòng Thí nghiệm của Đại học Michigan [6] đề nghị. Đây là mô hình dầm lật ngược để mô hình gần đúng bản liên tục nhiệt làm việc trong thực tế. Ý tưởng mô hình dựa trên phân tích như sau: biến dạng uốn trong bản liên tục nhiệt chủ yếu là do 3 yếu tố chính: tương tác tiếp xúc phần đầu dầm không dính bám với bản liên tục nhiệt (debonded area), chuyển vị tương đối theo phương đứng và chuyển vị xoay cưỡng bức từ kết cấu dầm truyền vào bản liên tục nhiệt. Do đó, để đơn giản hơn trong thí nghiệm nhưng vẫn đảm bảo 3 yếu tố tương tác ở trên, phạm vi dầm làm thí nghiệm sẽ được rút ngắn lại như Hình 2.1 và đây còn gọi là mô hình dầm lật ngược.



Hình 2.1: Mô hình bản liên tục nhiệt liên kết 2 dầm [6]

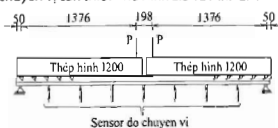
Trong nghiên cứu này sẽ sử dụng ý tưởng mô hình dầm lật ngược đã phân tích khả năng chịu uốn bản liên tục nhiệt và mô hình nghiên cứu được thể hiện ở Hình 2.2.

Các thông số cơ bản của mô hình bao gồm: Hai dầm thép hình loại I200-Posco dài 1.500mm và được đặt với khoảng cách hai đầu dầm là 50mm; phía trên là tấm bê tông cốt thép thường có  $f_c = 42\text{MPa}$ , chiều dày 100mm và bề rộng 300mm, chiều dài 775mm được liên kết với dầm qua hệ neo; chiều dài bản liên tục nhiệt là  $725 + 50 + 725 = 1.500\text{mm}$  đặt trên vùng không dính bám với đầu dầm và bằng vật liệu SFRC có cường độ  $f_c = 52\text{MPa}$ . Bố trí 3 thanh thép đường kính D12 cách mặt trên bản mặt cấu 35mm và chạy suốt trên chiều dài các dầm.

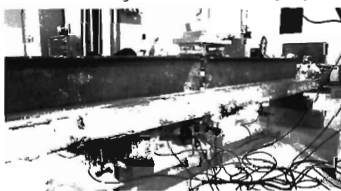


Hình 2.2: Cấu tạo kết cấu dầm thí nghiệm (đơn vị mm)

Sau khi đúc dầm và bảo dưỡng đạt cường độ, tiến hành lật ngược dầm và lắp đặt các thiết bị để gia tải và đo các chuyển vị cần thiết như Hình 2.3 và Hình 2.4.



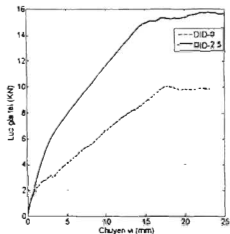
Hình 2.3: Sơ đồ gia tải và bố trí sensor đo chuyển vị



Hình 2.4: Mô hình thực hiện trong phòng thí nghiệm

Tiền hành gia tải và dùng các sensor để độ lớn của tải trọng và chuyển vị theo thời gian gia tải. Kết quả thí nghiệm khi so sánh khả năng chịu tải của dầm khi có cốt sợi và không có cốt sợi được thể hiện ở Hình 2.1.

Kết quả so sánh từ hình vẽ cho thấy rằng, khả năng chịu tải của dầm trường hợp không có cốt sợi khoảng 10KN và có cốt sợi gia cường trong bản liên tục nhiệt là 15,9KN, tức là tăng lên khoảng 37,5%. Điều này khẳng định về hiệu quả tương đối tốt của bê tông cốt sợi dùng trong bản liên tục nhiệt. Kết quả này dùng để đánh giá kiểm chứng với các mô hình lý thuyết khác.

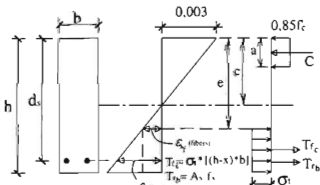


Hình 2.5: Biểu đồ lực và chuyển vị

### 3. MÔ HÌNH THIẾT DIỆN PHẪNG ĐỂ ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CHỊU UỐN CỦA DẦM ỚTGG CƯỜNG ĐỘ

Trong phần này sẽ tập trung nghiên cứu mô hình thiết diện phẳng để đánh giá khả năng chịu uốn của bản liên tục nhiệt bằng vật liệu bê tông cốt sợi. Phương pháp này dựa trên một giả thiết quan trọng đó là thiết diện dầm luôn phẳng và vuông góc với trục dầm trong suốt quá trình biến dạng. Đây là một giả thiết rất quan trọng để đơn giản quá trình tính toán phức tạp trong nhiều hướng dẫn, tiêu chuẩn và tiến đến xây dựng những bài toán dự báo khả năng chịu tải của dầm khi chịu uốn. Sau đây là một số mô hình thiết diện phẳng được sử dụng khá phổ biến.

Theo hướng dẫn của ACI 544.4R-11 [2], các ứng suất biến dạng của một thiết diện dầm được biểu diễn như Hình 3.1.



Hình 3.1: Sơ đồ ứng suất biến dạng (ACI544)

Ứng suất kéo của bê tông cốt sợi:

$$\sigma_s = 0,0072 \frac{f_c}{d_f} \rho_f F_{tk} \quad (1)$$

Trong đó:

- Chiều dài cốt sợi:  $l_f = 35\text{mm}$ ;
- Đường kính cốt sợi:  $d_f = 0,58\text{mm}$ ;
- Hàm lượng thép sợi theo thể tích:  $\rho_f = 0,765\%$ ;
- $F_{tk} = 1 + 1,2$  xét hiệu quả dính bám cốt sợi vào bê tông; cốt sợi có hai đầu móc thì 1,2.

Biến dạng trung bình của cốt sợi thép:

$$\varepsilon_{s,f} = \frac{\sigma_f}{E_s} \quad (2)$$

Trong đó:  $E_s$  - Mô-đun đàn hồi của cốt sợi thép.

Vị trí cần xét khả năng chịu kéo của bê tông cốt sợi thép được xác định như sau:

$$e = (\varepsilon_{sp} + 0,003) \frac{c}{0,003} \quad (3)$$

Trong đó:  $c$  - Chiều cao vùng nén.

Dựa trên các biểu đồ ứng suất và biến dạng, chiều cao vùng nén  $a$  được xác định như sau:

$$\begin{aligned} 0,85 f_c a b &= A_s f_s + \sigma_s (h - e) b \\ \Rightarrow a &= \frac{A_s f_s + \sigma_s h b}{b(0,85 f_c + \frac{\sigma_s}{\beta_1})} \quad (4) \end{aligned}$$

Bằng cách cân bằng mô-men tại trong tâm vùng nén, sức kháng uốn danh định của thiết diện dầm được xác định như sau:

$$M_n = A_s f_s (d_s - \frac{\sigma_s}{f_s}) + \sigma_s b (h - c) (\frac{h}{2} + \frac{e}{2} - \frac{a}{2}) \quad (5)$$

Theo hướng dẫn của Iman [3] thì các biểu đồ ứng suất và biến dạng giống như Hình 3.1, trường hợp hướng dẫn của ACI 544. Tuy nhiên, nếu cường độ bê tông hơn 40MPa thì cần hiệu chỉnh hệ số trong công thức (1) tính ứng suất kéo của bê tông từ 0,0072 thành 0,0138.

Theo hướng dẫn của RILEM [4], các ứng suất biến dạng được biểu diễn như Hình 3.2.

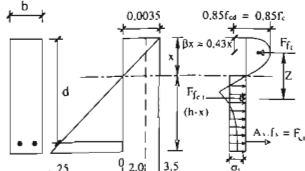
Tiền hành cân bằng lực sẽ tìm được sức kháng của dầm bê tông cốt thép sợi như sau:

$$\begin{aligned} M_n &= A_s f_s (d - \beta x) + \\ &+ \sigma_s (h - x) b [\beta x + x_{ax} (h - x)] \quad (6) \end{aligned}$$

Trong đó:

Chiều cao vùng nén được xác định như sau:

$$\begin{aligned} \sum X = 0 &\Leftrightarrow \frac{2}{3} b x (0,85 f_c) = \\ A_s f_s + \sigma_s b (h - x) \\ \Rightarrow x &= \frac{A_s f_s + \sigma_s b h}{\frac{2}{3} 0,85 b f_c + \sigma_s b} \quad (7) \end{aligned}$$



Hình 3.2: Sơ đồ ứng suất biến dạng (RILEM) [4]

Trong biểu đồ hình trên giá trị  $\sigma_m$  là ứng suất kéo trung bình của bê tông cốt sợi. Giá trị ứng suất này được xác định theo thí nghiệm mẫu được quy định trong RILEM TC 162-TDF.

\* Đánh giá kết quả:

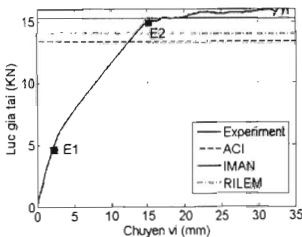
Tiến hành gia tải kết cấu dầm liên hợp với bản mặt cầu theo mô hình dầm lật ngược. Sử dụng loadcell và các sensor để thu thập tải trọng và chuyển vị một cách tương ứng. Đối với mô hình thiết diện phẳng, các mô-men uốn tới hạn được xác định theo các phương pháp khác nhau và quy đổi thành lực gia tải tới hạn  $P_n = M_n/L$ , trong đó L là khoảng cách từ tim gối đến tải trọng tác dụng, kết quả được trình bày trong Bảng 3.1.

Bảng 3.1. Lực tới hạn theo ACI, Iman và RILEM

PP tính	ACI	IMAN	RILEM
$P_n$ (KN)	13,328	15,230	14,030

Biểu đồ lực gia tải - chuyển vị tại điểm giữa bản liên tục nhiệt và các giá trị mô-men tới hạn theo ACI, Iman và RILEM được biểu diễn như Hình 3.3.

Kết quả từ Hình 3.3 cho thấy rằng, các biểu đồ thí nghiệm thực tế thể hiện rõ 3 giai đoạn làm việc: giai đoạn thiết diện hình thành vết nứt ở bê tông vùng kéo (OE1) và giai đoạn phá hủy (E2E3). Tải trọng giới hạn trong giai đoạn đàn hồi từ mô hình thí nghiệm (E1) là 4,95KN ứng với chuyển vị là 2,202mm. Kết cấu bắt đầu phá hủy đối với thí nghiệm tại điểm E2 có tải trọng là 14,37KN và chuyển vị là 14,79mm; đối với các mô hình thiết diện phẳng của ACI, Iman và RILEM lần lượt là: 13,328KN, 15,230KN và 14,030KN. Đối với tải trọng gia tải khi kết cấu đạt giới hạn cực hạn thì mô hình thực nghiệm và mô hình thiết diện phẳng của Iman khá gần nhau.



Hình 3.3: Biểu đồ lực và chuyển vị theo thí nghiệm (Experiment) và các mô hình thiết diện phẳng

Các kết quả này rất có ý nghĩa trong việc đánh giá kết cấu công trình thực tế khi cần phải dự báo khả năng chịu lực ở trạng thái giới hạn cường độ trong thiết kế loại kết cấu phức tạp này.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã trình bày về việc đánh giá khả năng chịu uốn của bản liên tục nhiệt bằng bê tông có cốt sợi

thép và không có cốt sợi thép theo mô hình thí nghiệm. Kết quả cho thấy khả năng chịu uốn của dầm được làm từ bê tông cốt sợi thép ứng với cấp phối trong Bảng 2.1 tăng khoảng 37,5% so với trường hợp không dùng cốt sợi thép. Đây là một kết quả rất tích cực để có thể phát triển loại bê tông này để ứng dụng thiết kế bản liên tục nhiệt trong thực tế.

Nghiên cứu cũng đã so sánh kết quả thí nghiệm và các mô hình thiết diện phẳng theo hướng dẫn của ACI544, Iman và RILEM. Kết quả cho thấy, theo mô hình của RILEM là khá phù hợp với mô hình thực nghiệm. Đây là một tiến đề rất quan trọng để hỗ trợ việc xây dựng phương pháp thiết kế bản liên tục nhiệt bằng bê tông cốt sợi thép trong kết cấu thực tế.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Viết Trung, Nguyễn Ngọc Long, Phạm Duy Anh (2010), *Bê tông cốt sợi thép*, NXB. Xây dựng.
- [2]. ACI 544.4R-88, *Design considerations for steel fiber reinforced concrete*.
- [3]. M. Iman, L. Vandewalle, F. Mortelmans, *Shear - moment analysis of reinforced high strength concrete beams containing steel fibres*.
- [4]. RILEM TC 162-TDF: *Test and design methods for steel fibre reinforced concrete*.
- [5]. P. Z. Alp Caner (1998), *Behavior and Design of Link Slabs for Jointless Bridge Decks*, PCI Journal, vol.43, no.3, pp.68-80.
- [6]. M. D. Lepech (2009), *Application of ECC for bridge deck link slabs*, Journal of Materials nad Structures, 42:1185-1195.

Ngày nhận bài: 07/3/2020

Ngày chấp nhận đăng: 25/3/2020

Người phản biện: PGS. TS. Vũ Hồng Nghiệp

TS. Nguyễn Đình Hùng