

# Ảnh hưởng góc chéo đến ứng xử kết cấu cầu dầm thép liên hợp giản đơn

■ TS. NGÔ CHÂU PHƯƠNG; ThS. NGUYỄN DANH HUY

Trường Đại học Giao thông vận tải - Phân hiệu tại TP. Hồ Chí Minh

**TÓM TẮT:** Đối với tính toán các kết cấu cầu chéo, góc xiên là tham số quan trọng, sự thay đổi góc xiên sẽ ảnh hưởng đến ứng xử kết cấu. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu lý thuyết theo mô hình phần tử hữu hạn (PTHH) ảnh hưởng của góc xiên cầu chéo đến ứng xử của dầm thép liên hợp bản bê tông cốt thép nhịp giản đơn. Các nhận xét, kết luận về quy luật thay đổi nội lực, độ võng, sự phân bố ngang (PBN) tải trọng trong cầu chéo khi góc xiên thay đổi được đưa ra dựa trên các kết quả tính toán và các biểu đồ so sánh với cầu thẳng cùng khẩu độ.

**TỪ KHÓA:** Phần tử hữu hạn, cầu chéo, dầm thép liên hợp, hệ số phân bố ngang

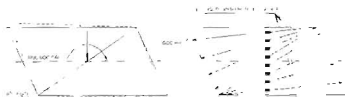
**ABSTRACT:** In design of skewed bridges, skew angle is an important parameter, changing of the skew angle will effect on behaviour of structures. In this paper, the effect of the skew angle on composite steel bridges is presented using finite element models (FEM). Basing on comparison of forces, deflection, load distribution factors, which are calculated form skewed bridges and the reference nonskewed bridges, the conclusions are given.

**KEYWORDS:** FEM, skewed bridges, composite steel girders, distribution factors

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đối với cầu thẳng, đường tim cầu vuông góc với đường thẳng nối liền các gối, tải trọng tác dụng trên bản mặt cầu truyền đến các dầm chủ và đi xuống gối cầu theo hướng các dầm chủ. Trong khi với các cầu chéo, đường truyền tải trọng đến các gối cầu có sự khác biệt, các tải tác dụng lên bản mặt cầu có xu hướng cắt ngắn đến các góc tù của bản mặt cầu. Sự thay đổi hướng truyền tải trọng như vậy ảnh hưởng lớn đến ứng xử kết cấu, sự phân phối nội lực trong dầm, bản và phản lực gối. Các cầu có góc chéo càng lớn thì ảnh hưởng này càng rõ rệt, một số đặc tính làm việc cơ bản của cầu chéo:

- Tại các góc tù có sự tập trung của phản lực, lực cắt tại gối tăng lên;
- Tại các góc nhọn phản lực giảm xuống;
- Mô-men uốn dọc dầm và độ võng giảm;
- Mặt cắt có độ võng lớn nhất các dầm giản đơn có xu thế tiến gần về phía góc tù khi góc chéo tăng lên.



Hình 1.1: Đường truyền tải trọng trong cầu chéo

Nội dung bài báo trình bày kết quả nghiên cứu lý thuyết ảnh hưởng của tham số góc xiên đối với cầu dầm thép liên hợp giản đơn. Phương pháp PTHH ứng dụng trong phần mềm Midas/Civil sẽ được sử dụng để xây dựng mô hình phân tích kết cấu. Kết quả tính toán với góc chéo khác nhau được so sánh với cầu thẳng (góc xiên bằng 0°) để phân tích kết quả.

## 2. CÁC TRƯỜNG HỢP KHẢO SÁT

Nghiên cứu khảo sát ứng xử dầm giản đơn chữ I liên hợp bản bê tông cốt thép, có tổng bề rộng mặt cắt ngang 8.2m, phân xe chạy 7.5m, không có lề bộ hành, bao gồm hai làn xe cơ giới, tiết diện ngang gồm 4 dầm chủ, hoạt tải HL93, các dầm ngang bố trí hai đầu nhịp, khung ngang ở giữa dầm. Mô hình kết cấu được xây dựng cho khẩu độ nhịp 20m, 25m, 30m với góc xiên 0°, 15°, 30° và 45°.

Bảng 2.1. Các trường hợp khảo sát

| STT | Chiều dài nhịp (m) | Góc xiên (độ) |
|-----|--------------------|---------------|
| 1   | 30                 | 0             |
| 2   | 30                 | 15            |
| 3   | 30                 | 30            |
| 4   | 30                 | 45            |
| 5   | 25                 | 0             |
| 6   | 25                 | 15            |
| 7   | 25                 | 30            |
| 8   | 25                 | 45            |
| 9   | 20                 | 0             |
| 10  | 20                 | 15            |
| 11  | 20                 | 30            |
| 12  | 20                 | 45            |

Thông số vật liệu sử dụng trong mô hình: Bê tông bản mặt cầu: C6000 - ASTM,  $E_c = 3.077E+07$  kN/m<sup>2</sup>, dầm thép: A36 - ASTM.

Đặc trưng hình học dầm, bản mặt cầu thỏa mãn các yêu cầu cấu tạo, tính toán theo Tiêu chuẩn Thiết kế cầu đường bộ TCVN 11823:2017.

Bảng 2.2. Thông số đầm khảo sát

| STT | Khẩu độ nhịp | Kích thước đầm (mm) |       |       |       | Kích thước bản (mm) |       |       |       |
|-----|--------------|---------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|-------|
|     |              | $R_a$               | $T_a$ | $R_b$ | $T_b$ | $M_a$               | $T_a$ | $M_b$ | $T_b$ |
| 1   | 30m          | 395                 | 20    | 495   | 30    | 1605                | 14    | 90    | 227,5 |
| 2   | 25m          | 395                 | 20    | 495   | 30    | 1280                | 14    | 90    | 217,5 |
| 3   | 20m          | 395                 | 20    | 495   | 30    | 915                 | 14    | 90    | 227,5 |

3. MÔ HÌNH PHÂN TÍCH KẾT CẤU

3.1. Xây dựng mô hình

Tiêu chuẩn AASHTO LRFD [1] quy định hệ số PBN tải trong cầu chéo được tính bằng cách sử dụng hệ số điều chỉnh nhân với hệ số PBN tải trọng cầu thẳng cùng khẩu độ. Phương pháp sử dụng hệ số PBN được cho là thiên về an toàn, việc tính toán nội lực mới chỉ xét đến độ cứng đầm, bản; độ lệch tâm giữa đầm và bản, khoảng cách tìm đầm và chiều dài nhịp và góc xiên.

Để xây dựng mô hình tính toán theo phương pháp PTHH, đầm I liên hợp được xem xét là kết cấu kết hợp của hai loại vật liệu bê tông và thép, việc xây dựng mô hình được tiến hành theo trình tự sau: Đưa ra mô hình phù hợp cho phân tích bản mặt cầu và đầm riêng biệt và đề xuất mô hình hiệu ứng liên hợp đảm bảo sự làm việc chung bằng liên kết của bản và đầm.

Trong lý thuyết phân tích PTHH, bản mặt cầu thường được mô hình bằng phần tử Shell hoặc Solid. Phần tử Shell được sử dụng phổ biến do ứng xử bản mặt cầu chủ yếu là chịu uốn. Phần tử Solid cho kết quả tính toán chính xác nhưng khối lượng tính toán lớn. Ngoài ra, các nghiên cứu trước đây chỉ ra lý thuyết tính xét đến biến dạng cắt trượt Mindlin-Reissner Plate có độ chính xác cao hơn Kirchhoff Plate [2,3]. Trong chương trình Midas/Civil, cả hai lý thuyết trên đều được xây dựng và áp dụng cho phân tích tấm, bản.

Khi phân tích đầm, thường sử dụng phần tử Beam, Shell và Solid, phần tử Solid phù hợp cho các mô hình phân tích cục bộ. Trong tính toán đầm theo chương trình Midas/Civil đã đưa vào lý thuyết Timoshenko xét đến biến dạng của mặt cắt để tính toán độ cứng của kết cấu. Với các dạng đầm thép thường tiết diện mảnh, có biến dạng lớn thì việc tính toán theo lý thuyết trên đảm bảo được độ chính xác cao hơn so với tính toán bằng lý thuyết đầm có điển Euler-Bernoulli thông thường với giả thiết mặt cắt ngang vuông góc với trục đầm [2,3,4]. Với mục tiêu so sánh các nội lực trong đầm, phần tử Beam được lựa chọn để mô hình đầm thép.

Mô hình liên kết đầm và bản mặt cầu: Hiệu ứng liên hợp toàn phần giữa bản bê tông và đầm thép bằng các neo liên kết (chống cắt) thường được mô hình bằng liên kết cứng (Rigid Links) hoặc có thể sử dụng chung nút [2,3]. Với phương pháp chung nút có hai dạng sai số khi phân tích: Thứ nhất do hai loại phần tử mô hình đầm bản là khác nhau nên có thể gây nhiều loạn liên quan đến biến dạng và ứng suất do sai khác về bậc tự do tại vị trí tiếp xúc, ngoài ra còn sai số liên quan đến tính toán đặc trưng hình học do vùng chống lấn của bản và đầm.

Đối với các phiên bản của chương trình Midas/Civil trước V.6.7.1 tấm/bản không có bậc tự do quay quanh trục Z ngoài mặt phẳng, do đó liên kết cứng (Rigid Link)

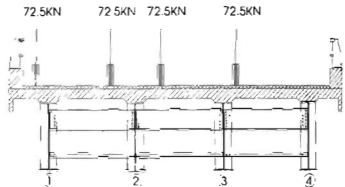
giữa các cấu kiện đầm và bản sẽ dẫn đến sai số, nhiều loạn tại vùng tính toán. Với các phiên bản sau phiên bản V.6.7.1 thì bậc tự do của tấm/bản đã được bổ sung, mỗi nút sẽ có 6 bậc tự do, liên kết cứng đảm bảo mô phỏng sự làm việc chung của loại phần tử cho mô hình đầm và bản [2].



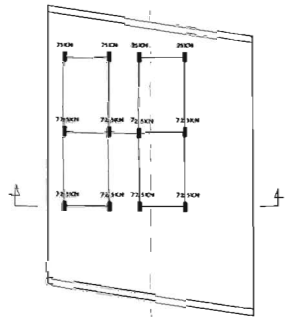
Hình 3.1: Mô hình kết cấu và mô hình liên kết đầm bản

3.2. Xếp tải trên mặt cắt ngang cầu

Khi xếp tải theo phương ngang cầu tiêu chuẩn AASHTO LRFD quy định có hai trường hợp: Một là xếp tải đúng tâm, hai là xếp tải lệch tâm [1,5]. Trong nội dung nghiên cứu nhằm tạo ra hiệu ứng bất lợi nhất, phương án xếp tải lệch tâm được lựa chọn.



Hình 3.2a: Mặt cắt ngang cầu



Hình 3.2b: Mặt bằng cầu

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

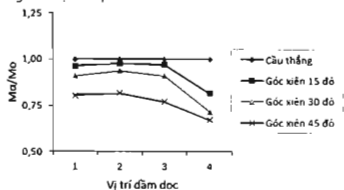
Kết quả từ mô hình PTHH được phân tích bằng cách xem xét giá trị cực đại của mô-men, lực cắt, phản lực gối và đồ võng dưới tác dụng hoạt tải. Ký hiệu  $M_a/M_o$ ,  $R_a/R_o$ ,  $D_a/D_o$  và  $S_a/S_o$  lần lượt là tỉ số giữa giá trị cực đại Mô-men/

Phân lực/Độ võng và Lực cắt của cấu chéo so với cấu thẳng. Kết quả tính toán và so sánh cụ thể cho từng thành phần thể hiện trong mục 4.1 đến 4.4.

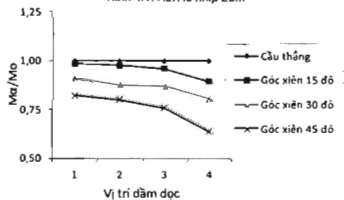
Ngoài ra, nghiên cứu về PBN tải trọng được tiến hành bằng cách so sánh hệ số PBN tính theo tiêu chuẩn TCVN 11823:2017 [6] và theo mô hình PTHH.

**4.1. Ảnh hưởng của góc chéo đến mô-men**

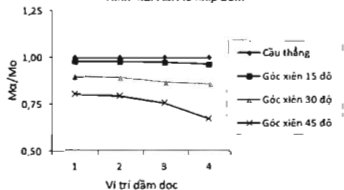
Trên biểu đồ Hình 4.1, Hình 4.2 và Hình 4.3, mô-men lớn nhất trong dầm của cấu chéo giảm so với với cấu thẳng, khi góc xiên càng lớn mô-men càng giảm mạnh. Quy luật giảm mô-men của 3 khẩu độ nhịp là tương tự nhau. Tỉ số  $M_x/M_0$  thay đổi trong khoảng từ 0.64 đến 0.98, với góc chéo 45°, giá trị mô-men trong dầm 1 giảm xấp xỉ 20% so với cấu thẳng thông thường, trong khi dầm 4 giảm mạnh xấp xỉ 35%.



Hình 4.1:  $M_x/M_0$  nhịp 20m



Hình 4.2:  $M_x/M_0$  nhịp 25m



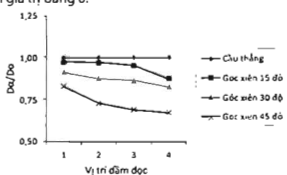
Hình 4.3:  $M_x/M_0$  nhịp 30m

**4.2. Ảnh hưởng của góc chéo đến độ võng**

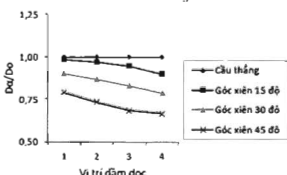
Tương tự mô-men, độ võng lớn nhất giảm khi góc xiên tăng, xu thế thay đổi độ võng trong các dầm tương tự. Cấu chéo với góc xiên 45° có tỉ số  $Da/Do$  lớn nhất từ 0.67 đến 0.79, như vậy khi góc chéo càng tăng lên, sự phân phối tải trọng theo phương ngang càng phức tạp.

Độ võng lớn nhất xuất hiện gần vị trí góc tù khi góc

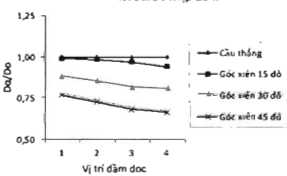
xiên tăng. Kết quả tính toán chuyển vị cũng chỉ ra tại góc nhọn khi góc xiên càng lớn độ võng càng nhỏ dần tiệm cận giá trị bằng 0.



Hình 4.4:  $Da/Do$  nhịp 20m



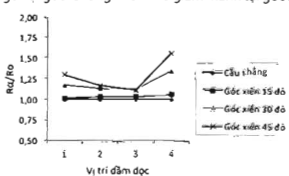
Hình 4.5:  $Da/Do$  nhịp 25m



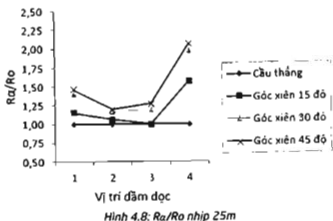
Hình 4.6:  $Da/Do$  nhịp 30m

**4.3. Ảnh hưởng của góc chéo đến phân lực gối**

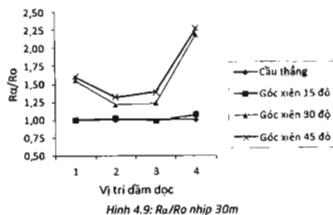
Khác với mô-men và độ võng, phân lực gối của cấu chéo lớn hơn cấu thẳng. Hình 4.7 đến Hình 4.9 cho thấy giá trị phân lực thay đổi trong phạm vi lớn, sự chênh lệch càng lớn khi góc xiên tăng. Dầm 1 và 4 thay đổi lớn nhất, khi góc xiên 45° phân lực tăng xấp xỉ 50% tại dầm 1 và 125% tại dầm 4. Các dầm 2, 3 (dầm giữa) chênh lệch không đáng kể. Hình 4.9 thể hiện xu thế tăng giảm phân lực gối tại các góc tù và góc nhọn, với góc xiên 15° thay đổi phân lực không đáng kể. Khi góc xiên tăng lên, phân lực gối tại góc tù tăng nhanh và giảm mạnh tại góc nhọn.



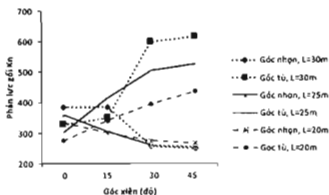
Hình 4.7:  $R_a/R_0$  nhịp 20m



Hình 4.8: Ra/Ro nhịp 25m



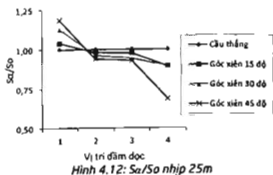
Hình 4.9: Ra/Ro nhịp 30m



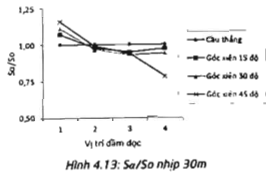
Hình 4.10: Phân lực gối

4.4. Ảnh hưởng của góc chéo đến lực cắt

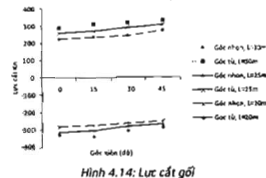
Hình 4.14 thể hiện quy luật thay đổi của lực cắt gối đầm dọc, khi góc xiên tăng, lực cắt gối tăng tại các góc tù và giảm xuống tại các góc nhọn. Cầu chéo với góc xiên 45° có lực cắt gối tại góc tù tăng khoảng 30% và tại góc nhọn giảm xấp xỉ 25%. Ngoài ra, Hình 4.11 đến Hình 4.13 cho thấy lực cắt thay đổi lớn trên mặt cắt ngang cầu, các đầm giữa 2, 3 thay đổi không đáng kể so với với cầu thẳng.



Hình 4.12: Sa/So nhịp 25m



Hình 4.13: Sa/So nhịp 30m



Hình 4.14: Lực cắt gối

4.5. Ảnh hưởng của góc chéo đến hệ số PBN tải trọng

Hệ số PBN,  $g$  theo TCVN 11823:2017 được tính toán theo mục 6.2.2, công thức tính hệ số PBN theo mô hình PTHH:

$$F_c = g \cdot F_j \tag{1}$$

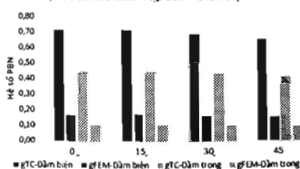
Trong đó:

-  $F_j$  - Mô-men, lực cắt lớn nhất trong dầm theo mô hình PTHH.

-  $F_j$  - Mô-men, lực cắt lớn nhất trong dầm khi xếp 1 làn hoạt tải trên dầm đơn theo phương pháp đường ảnh hưởng. Ký hiệu  $g_{TC}$ ,  $g_{FEM}$  lần lượt là hệ số PBN (mô-men, lực cắt) tính theo tiêu chuẩn và mô hình PTHH.

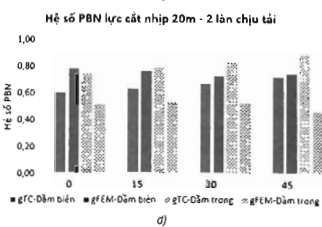
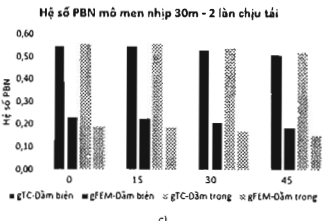
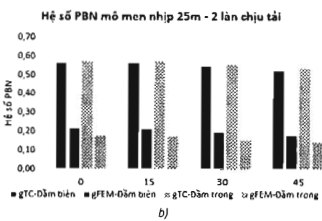
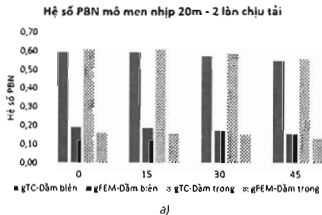
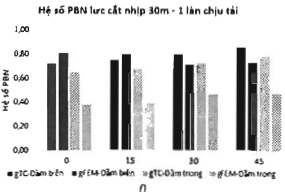
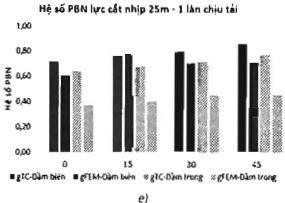
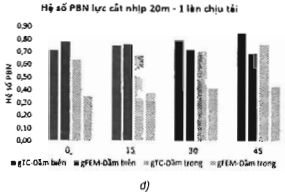
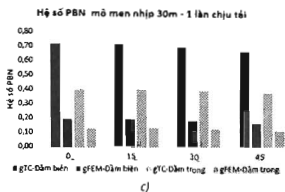
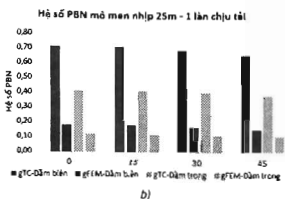
Kết quả tính hệ số PBN mô-men và lực cắt cho trường hợp 1 và 2 làn chất tải theo tiêu chuẩn và mô hình PTHH thể hiện trên các biểu đồ dưới đây.

Hệ số PBN mô men nhịp 20m - 1 làn chịu tải

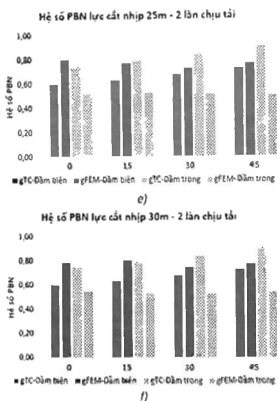


a)

Theo biểu đồ Hình 4.15 (a-c) và biểu đồ Hình 4.16 (a-c): Quy luật thay đổi hệ số PBN mô-men theo tiêu chuẩn và theo phương pháp PTHH tương tự cho cả 3 khẩu độ nhịp và hai trường hợp xếp tải, hệ số PBN theo tiêu chuẩn và theo mô hình PTHH giảm khi góc xiên tăng. Giá trị tính toán theo tiêu chuẩn lớn hơn (50 - 70%) so với theo mô hình PTHH.



Hình 4.15 (a-f): So sánh hệ số PBN mô-men, lực cắt trường hợp một lần xếp tải



Hình 1.16 (a-f): So sánh hệ số PBN mô-men, lực cắt trường hợp hai lần xếp tải

Theo biểu đồ Hình 1.15 (d-f) và biểu đồ Hình 1.16 (d-f): Quy luật thay đổi hệ số PBN lực cắt theo tiêu chuẩn và mô hình PTHH có khác biệt. Theo tiêu chuẩn hệ số PBN tăng khi góc xiên tăng, theo mô hình PTHH thay đổi không đáng kể, biến thiên trong phạm vi nhỏ. Phần lớn hệ số PBN lực cắt dầm biên theo tiêu chuẩn nhỏ hơn theo mô hình, ở hướng ngược lại hệ số PBN lực cắt dầm trong theo mô hình lớn hơn giá trị tính theo tiêu chuẩn. Ngoài ra, dựa trên kết quả tính toán theo mô hình PTHH thì hệ số PBN cầu thẳng khi chiều dài nhịp thay đổi không phải là hằng số như giá trị tính theo tiêu chuẩn.

### 5. KẾT LUẬN

Ứng xử của dầm thép liên hợp bản bê tông với khẩu độ nhịp 20m, 25m và 30m được khảo sát với thay đổi của góc xiên, kết quả tính toán được so sánh với cấu thẳng cùng khẩu độ và được thể hiện trên biểu đồ kết quả nghiên cứu chỉ ra:

- Biến dạng trong dầm và bản có sự thay đổi đáng kể so với cầu thẳng thông thường. Biến dạng không đối xứng xuất hiện trong dầm và bản. Khi góc xiên tăng lên, độ võng lớn nhất dịch gần vị trí góc tù, trong khi ở phía góc nhọn độ võng này giảm xuống. Sự phân phối tải trong theo phương ngang sẽ phức tạp khi góc chéo tăng lên.
- Mô-men lớn nhất trong các dầm cầu chéo giảm so với với cầu thẳng, khi góc xiên càng lớn mô-men càng giảm mạnh. Đối với lực cắt, góc xiên tăng lên dẫn đến tăng lực cắt gối trong góc tù và giảm lực cắt gối trong góc nhọn, sự thay đổi này đáng kể đối với các cầu chéo hơn 15°.
- Phản lực gối tại các góc tù, góc nhọn có sự thay đổi trong phạm vi lớn, sự chênh lệch càng lớn khi góc xiên càng tăng.

- Nghiên cứu về hệ số PBN cho thấy quy luật biến đổi hệ số PBN theo tiêu chuẩn và mô hình PTHH khác nhau. Hệ số PBN mô-men theo tiêu chuẩn thiên về an toàn, trong khi đối với lực cắt nhiều trường hợp tính toán theo mô hình PTHH lớn hơn theo tiêu chuẩn. Nguyên nhân chính là do việc tính toán theo tiêu chuẩn mới chỉ xét đến một số yếu tố (độ cứng dầm, bản; độ lệch tâm giữa dầm và bản; khoảng cách tìm dầm, chiều dài nhịp và góc xiên) mà chưa xét đến hệ liên kết ngang cầu và các yếu tố khác ảnh hưởng đến độ cứng kết cấu.

Với kết quả khảo sát bằng mô hình PTHH có thể khẳng định góc xiên có ảnh hưởng đáng kể đến biến nội lực cầu dầm I thép liên hợp giản đơn. Việc nghiên cứu tính toán bằng phương pháp PTHH đưa ra được các góc nhìn đầy đủ về ứng xử kết cấu, do đó khi thiết kế cầu chéo phương pháp PTHH nên được xem xét để đưa ra thiết kế hợp lý.

### Tài liệu tham khảo

- [1]. AASHTO (2014), *LRFD Bridge Design Specifications (US), 7th Edition*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [2]. MIDAS Information Technology, *Midas/Civil Manual - Analysis for Civil structure*.
- [3]. Nguyễn Danh Huy, Nguyễn Thị Tuyết Trinh (2016), *Nghiên cứu lựa chọn mô hình PTHH cho thiết kế dầm I thép liên hợp*, Tạp chí Cầu đường Việt Nam, số 1+2, Hà Nội.
- [4]. Timoshenko SP, Woinowsky-Krieger S (1959), *Theory of plates and Shells. 2nd ed*, McGraw-Hill.
- [5]. Nguyễn Việt Trung, Nguyễn Thị Tuyết Trinh (2009), *Ví dụ tính toán cầu dầm liên hợp*, NXB. Xây dựng, Hà Nội.
- [6] Bộ Khoa học và Công nghệ (2017), *Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ TCVN 11823:2017*.

Ngày nhận bài: 5/3/2019

Ngày chấp nhận đăng: 28/3/2019

Người phản biện: TS. Vũ Văn Toàn

TS. Nguyễn Quang Dũng