

PHÂN TÍCH SỰ LÀM VIỆC CỦA HỆ GIẪNG BẢN CÁNH TRÊN TRONG CẦU DẦM HỘP THÉP LIÊN HỢP BẢN BTCT

KS. NGUYỄN NGỌC KHÁNH

Khoa Công Trình Trường Đại Học Công Nghệ giao thông vận tải

TÓM TẮT:

Giai đoạn thiết kế quan trọng đối với dầm thép xảy ra trong quá trình đúc bản mặt cầu bê tông, khi mặt cốt thép không liên hợp phải đỡ bê tông ướt và toàn bộ tải trọng của công trình. Mặc dù dầm hộp liên hợp có độ cứng xoắn cao trong cầu đã hoàn thiện, nhưng trong quá trình thi công, mặt cốt hờ tương đối yếu về khả năng chịu xoắn. Hệ giàn ngang thường được lắp đặt ở bản cánh trên để tăng độ cứng xoắn và tạo thành mặt cốt gàn như khép kín. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu phần tử hữu hạn về hệ thống giằng trên trong dầm hộp thép trong quá trình xây dựng. Kết quả cho thấy lực lớn có thể phát triển trong hệ giàn ngang do dầm hộp bị uốn dọc. Đối với hệ thống giằng có một đường chéo, lực trong các thanh chéo thay đổi lớn hơn đối với trường hợp dùng hệ thống giằng dạng chữ X.

Từ khóa: mặt cầu, không liên hợp, mặt cốt hờ, giằng bản cánh trên, hệ giằng chữ X

ABSTRACT:

A critical design stage for steel girders occurs during casting of the concrete bridge deck, when the noncomposite steel section must support the wet concrete and the entire construction load. Although a composite box girder has a high torsional stiffness in the completed bridge, during construction the open section is relatively flexible in torsion. A horizontal truss system is usually installed at the top flange level to increase the torsional stiffness and form a quasi-closed section. This paper presents results from a finite-element study on the bending behavior of the top flange bracing in steel box girder systems during construction. The results show that large forces can develop in the horizontal truss system due to vertical bending of the box girder. For truss systems with a single diagonal, force in diagonal bars varies larger than when using X-type truss system.

Keywords: bridge deck, noncomposite, open section, top flange bracing, X-type truss system

1. GIỚI THIỆU

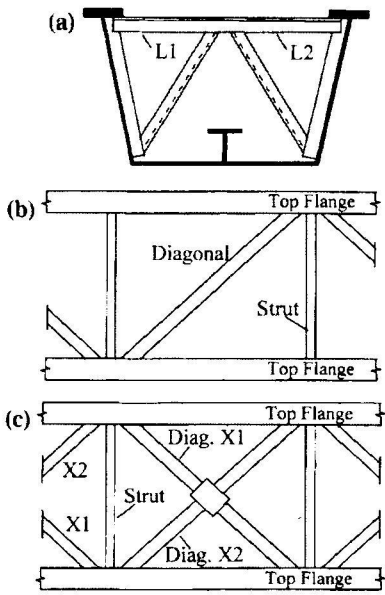
Các lý thuyết tính toán thanh cong và dầm cong ngày càng hoàn thiện nhưng vẫn chưa thể miêu tả hết được những sự làm việc phức tạp bên trong kết cấu, như phương pháp M/R vẫn đang được sử dụng rộng rãi hiện nay [1]. Bên cạnh đó, sự phát triển của phương pháp Phần tử hữu hạn (PTHH) đã góp

phần không nhỏ cho việc hoàn thiện công việc tính toán dạng kết cấu phức tạp này. Trong hướng dẫn cho các phương pháp phân tích cầu thép cong và chéo của Mỹ (báo cáo 725) [2] cũng đã đề cập sự cần thiết của việc sử dụng phương pháp PTHH để tính toán. Bên cạnh đó nhiều các nghiên cứu trên thế giới cũng sử dụng phương

pháp PTHH để nghiên cứu cầu dầm thép cong [3].

Cầu dầm hộp liên hợp thường bao gồm các dầm thép tiết diện hình thang với hai bản cánh trên và một bản bê tông. Mặt cốt hình hộp kín trong cây cầu đã hoàn thiện có độ cứng xoắn có thể gấp 100 đến hơn 1000 lần độ cứng của mặt cốt dầm chữ I tương đương. Độ cứng xoắn lớn làm cho dầm hộp trở nên hấp dẫn để ứng dụng trong các cầu cong theo phương ngang, trong đó hình dạng cầu có thể dẫn đến mômen xoắn lớn trên dầm. Ngoài ra, còn có một số ưu điểm về kết cấu, bảo dưỡng và thẩm mỹ khác giúp dầm hộp hấp dẫn sử dụng cho cả cầu cong và cầu thẳng.

Mặc dù độ cứng xoắn của dầm hộp liên hợp trong cầu đã hoàn thiện là lớn, nhưng trong quá trình vận chuyển, lắp dựng và thi công, dầm gồm mặt cốt hờ có độ cứng xoắn tương đối thấp. Điều này đặt ra vấn đề lớn trong giai đoạn đầu xây dựng cầu khi mặt cốt thép có thể phải chịu lực mômen lớn. Hình 1 cho thấy một số hệ thống giằng điển hình được sử dụng trong dầm hộp để tăng độ cứng xoắn của mặt cốt thép. Khung chữ thập bên trong [Hình. 1 (a)] hoặc các dầm ngang được sử dụng để kiểm soát sự biến dạng oằn của tiết diện từ lực xoắn được áp dụng. Mặc dù các dầm ngang bên ngoài giữa các dầm liên kề có thể được sử dụng để tăng độ cứng xoắn của cầu, nhưng chúng chủ yếu chỉ được sử dụng ở các gối đỡ do lo ngại về thẩm mỹ và môi. Một giàn ngang được gắn chặt vào hộp gàn các bản cánh trên thường được sử dụng để tăng độ cứng xoắn của mặt cốt thép. Dầm có giàn ngang như hình 1 (b) hoặc hình 1 (c) thường được gọi là dầm hộp bán kín.



Hình 1. Hệ giằng cho dầm hộp thép: (a) Khung ngang ngoài; (b) Hệ giằng ngang loại thanh chéo đơn; (c) Hệ giằng ngang loại chữ X [4]



Hình 2. Ảnh cầu dầm thép trước và sau khi xảy ra sự cố [nguồn vietnamnet.vn 2018]

Một sự cố công trình đã xảy ra đối với việc xây dựng cầu dầm thép liên hợp như hình 2, khi dầm chữ I chưa liên kết cứng với bản mặt cầu bằng bê tông cốt thép đồng thời cầu cũng chưa được lắp các hệ liên kết ngang và liên kết dọc.

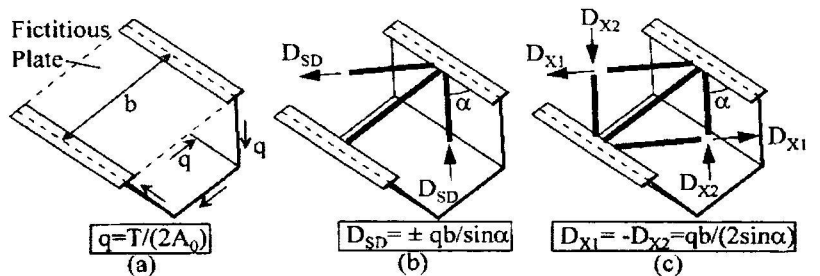
Mặc dù việc phân tích thiết kế cầu dầm thép không phải là bài toán mới nhưng việc phân tích chi tiết sự làm việc của hệ giằng bản cánh trên trong cầu dầm hộp thép là bài toán cần thiết, qua việc phân tích thấy rõ hơn sự làm việc theo phương ngang cầu đồng thời thấy rõ sự cần thiết của các hệ giằng theo phương ngang cầu.

Bài báo này tập trung vào công việc phân tích sự làm việc của hệ giằng bản cánh trên của cầu dầm hộp cong (bán kính cong $R=1500m$) dưới tác dụng của tải trọng bản thân và các trường hợp tải trọng cục bộ. Việc tính toán sẽ được thực hiện trên mô hình phần tử hữu hạn 3D.

2. CƠ SỞ LÝ LUẬN

Sự phân bố mômen xoắn trong dầm hộp cong có thể thu được bằng cách sử dụng chương trình máy tính cho dầm cong, hoặc bằng các phương pháp gần đúng như phương pháp M/R đã được Tung và Fountain (1970) thảo luận. Mặc dù phân tích phần tử hữu hạn ba chiều có thể được thực hiện trên dầm hộp, nhưng hầu hết các chương trình hiện tại cho dầm cong đều dựa trên phân tích mạng dầm sử dụng các phần tử đường để lập mô hình dầm. Một chương trình dựa trên phân tích mạng dầm thường yêu cầu

các thuộc tính mặt cắt ngang như mômen quán tính và hằng số xoắn làm đầu vào cho chương trình. Một giai đoạn khó để mô hình hóa trong các chương trình này là hoạt động của dầm thép trong quá trình xây dựng khi giằng bản cánh trên tạo thành một dầm hộp kín. Phân tích lực xoắn của một dầm hộp bán kín thường được thực hiện bằng phương pháp tấm tương đương (EPM) do Kollbrunner và Basler (1969) phát triển. Hai loại hệ thống giằng thường được xem là bao gồm một hệ thống đường chéo đơn (loại SD) như trong Hình 1 (b) hoặc hệ thống X (loại X) như trong Hình 1 (c). Đối với mục đích thảo luận trong bài báo này, các đường chéo trong panel của giằng kiểu X sẽ được gọi là đường chéo X_1 hoặc đường chéo X_2 , như trong Hình 1 (c). Theo EPM, hệ thống giằng ngang trên được coi như một tấm hư cấu để các đặc tính xoắn của hộp có thể được tính gần đúng trong quá trình phân tích kết cấu. Khi biết sự phân bố của lực xoắn, phân bố cắt, q , có thể được xác định bằng lý thuyết xoắn truyền thống đối với dầm hộp. Hình 3 (a) cho thấy q là một hàm của lực xoắn tác dụng, T và diện tích kín của hình hộp, A_0 . Dòng ứng suất cắt tác động lên tấm hư cấu sau đó được biến đổi thành các lực thành phần chéo trong giằng ngang, như được minh họa trong Hình. 3 (b) và 3 (c). Các đường chéo được thiết kế để mang các lực thành phần dọc trực thu được từ phân tích lực xoắn. Nhiều hướng dẫn thiết kế (Heins 1975; Highway 1982; Guide 1993) đề xuất EPM cho việc

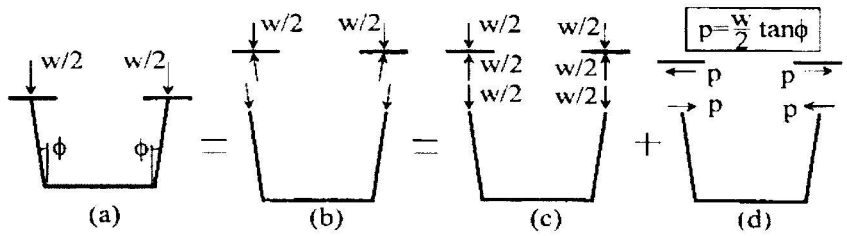


Hình 3. Lực trong thanh chéo từ phương pháp tấm tương đương (EPM) [4]

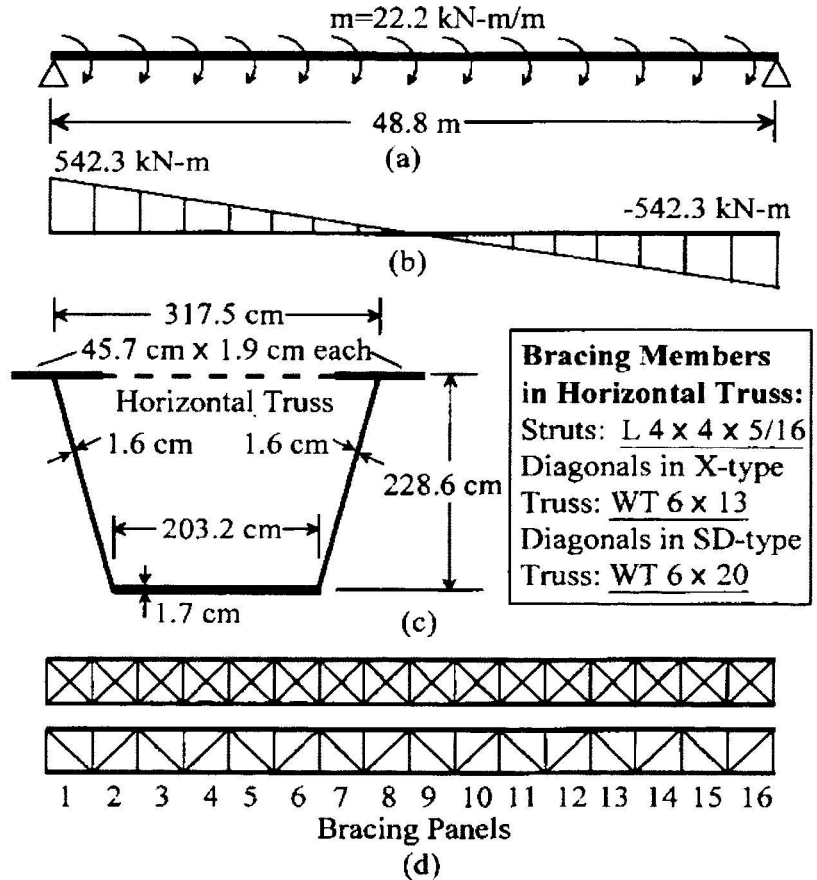
thiết kế các đường chéo của giàn ngang.

Các thanh chống cho giàn bản cánh trên thường được thiết kế để mang thành phần nằm ngang của tải trọng tác dụng là kết quả của sườn nghiêng của dầm hộp hình thang. Hình 4 thể hiện sự biến đổi của tải trọng thẳng đứng thành lực cắt sườn và thành phần nằm ngang, p . Hướng dẫn thiết kế (Highway 1982; "Chapter" 1997) đưa ra các khuyến nghị về thiết kế thanh chống cho thành phần tải trọng ngang và tính đến độ uốn ngang của các bản cánh giữa các thanh chống. Một trong những giả định trong các khuyến nghị này để đánh giá các lực cần thiết trong thanh chống và ứng suất uốn ngang trong bản cánh trên là các bản cánh trên và dưới cùng chống lại một nửa các thành phần sườn ngang của tải trọng tác dụng ($p/2$). Một nửa tác động lên bản cánh dưới không tạo ra bất kỳ ứng suất hoặc lực uốn nào đối với bản cánh trên trong thanh chống. Đối với chiều dài đoạn dầm là s , do đó lực kéo thiết kế được đề xuất cho các thanh chống bằng $p*s/2$.

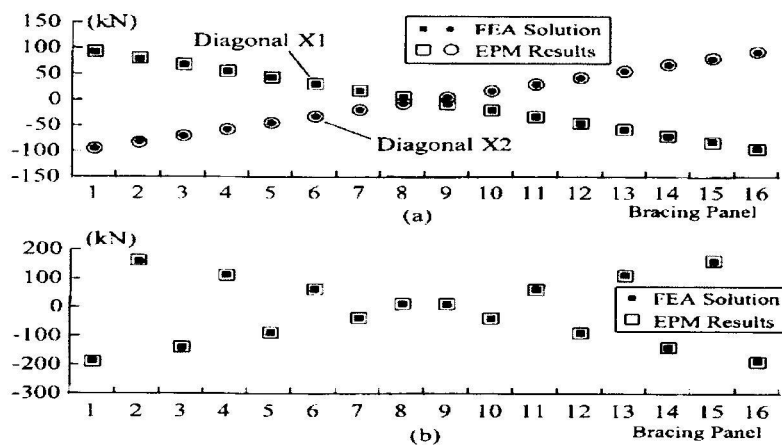
Để chứng minh độ chính xác của EPM, dầm thẳng thể hiện trong Hình 5 đã được phân tích với mô hình phần tử hữu hạn ba chiều. Sự xoắn của dầm đã được ngăn chặn ở các đầu và một mô-men xoắn phân bố đều 22,2 kN.m/m được áp dụng. Lực trong các phần tử giàn được xác định bằng EPM dựa trên giá trị của mô-men xoắn ở giữa đoạn dầm tương ứng. Một giàn kiểu SD và một giàn kiểu X đã được xem xét. Hình 6 cho thấy EPM có tương đồng tuyệt vời với FEA. Các điểm dữ liệu từ EPM và FEA gần như trùng khớp. Giá trị âm của lực giàn cho biết lực nén. Tải trọng xoắn làm cho các đường chéo trong đoạn dầm kiểu X có độ lớn lực bằng nhau; tuy nhiên, một đường chéo bị nén trong khi đường chéo kia bị kéo. Đường



Hình 4. Thành phần ngang của lực tác dụng lên bản cánh trên [4]



Hình 5. Xoắn thuần túy trong cầu dầm hộp thép thẳng

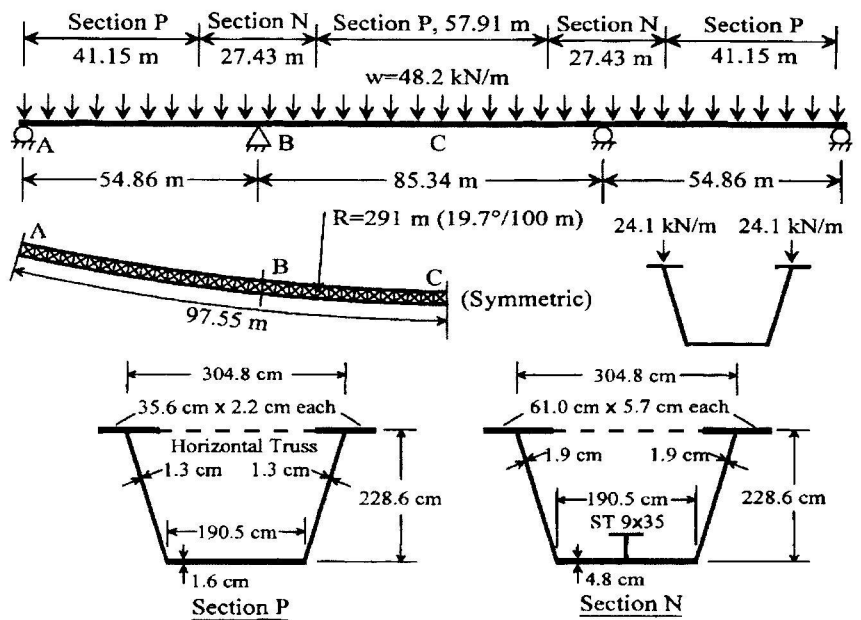


Hình 6. Lực dọc trong thanh chéo do mô-men xoắn: (a) Giàn loại X; (b) Loại đơn thanh chéo [4]

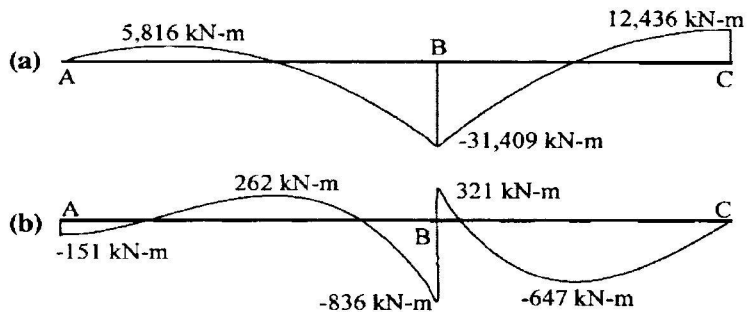
chéo của các đoạn liền kề trong giàn kiểu SD thường xen kẽ giữa lực nén và lực kéo.

Dầm thẳng trong hình 5 chỉ chịu mômen xoắn do mômen phân bố đều. Tuy nhiên, tải trọng xoắn đối với hầu hết các ứng dụng là do tải trọng bản thân lên các dầm cong. EPM cũng đã được thử nghiệm trên dầm cong được thể hiện trong Hình 7. Bán kính cong của dầm là 291m, dẫn đến một góc phụ 19,77° cho mỗi 100m chiều dài dầm. Dầm với hai dạng mặt cắt ngang - mặt cắt P và N - được sử dụng trong các vùng mô men dương và âm tương ứng như được thể hiện trong Hình 7. Tải trọng phân bố 24,1 kN/m trên mỗi bản cánh trên mô phỏng tải trọng bản thân của bê tông ướt cũng như các tải trọng xây dựng khác. Giằng trên cùng nằm ngang là một hệ thống kiểu chữ X với 64 tấm dọc theo chiều dài của cầu và kích thước tấm khoảng 3,05m. Mômen xoắn trên dầm do hiện tượng cong ngang gây ra. Biểu đồ mômen do uốn và xoắn được thể hiện trong Hình 8. Vì dầm đối xứng về điểm C nên biểu đồ chỉ cho một nửa chiều dài dầm được thể hiện. Giằng bản cánh trên bao gồm các mặt cắt WT6 3 13 cho các đường chéo và L4 3 4 3 5/16 thành phần cho các thanh chống. Các thành phần này được chọn bằng cách sử dụng EPM dựa trên mô-men xoắn cực đại 836 kN.m xuất hiện ở bên trái của gối đỡ tại điểm B.

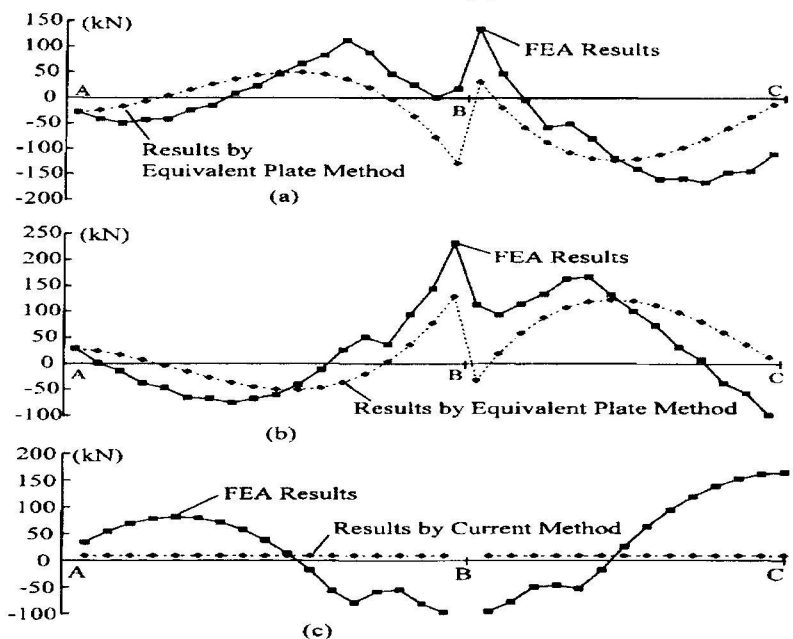
Dầm hộp bán kín đã được phân tích với mô hình phần tử hữu hạn ba chiều. Hình 9 cho thấy đồ thị của các lực cầu kiện dọc theo chiều dài dầm do EPM dự đoán và các giá trị thu được từ kết quả FEA. Giá trị âm của các lực thể hiện lực nén. Đồ thị của lực thanh chéo cho thấy kết quả dự đoán bằng EPM không phù hợp với kết quả FEA. EPM đánh giá thấp đáng kể lực thành phần tại một số địa điểm dọc theo chiều dài. Có một số vị trí trong đó EPM dự đoán sự kéo của các



Hình 6. Dầm hộp thép cong liên tục [4]

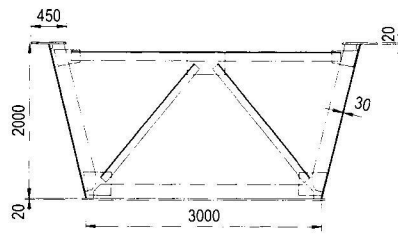


Hình 7. Biểu đồ mô men uốn và mô men xoắn: (a) Mô men uốn; (b) Mô men xoắn [4]



Hình 9. Các lực trong hệ giằng đối với dầm cong ba nhịp: (a) Lực dọc trong thanh chéo X1; (b) Lực dọc trong thanh chéo X2; (c) Lực dọc trong thanh chống [4]

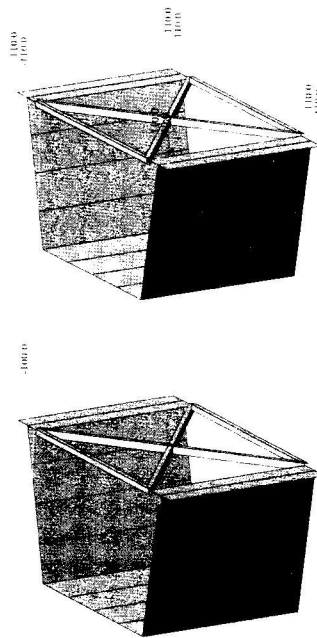
thành phần nhưng thực sự bị nén từ kết quả FEA, do đó có thể dẫn đến các vấn đề tiềm ẩn về mất ổn định của giằng. Biểu đồ trong Hình 9 (c) cho thấy rằng các lực trong thanh chống từ các kết quả FEA lớn hơn đáng kể so với các giá trị được dự đoán bằng phương pháp thiết kế hiện tại. Nguồn gốc chính cho sự khác biệt giữa kết quả FEA và phương pháp thiết kế hiện tại cho đường chéo và thanh chống là do ứng suất uốn dọc trong dầm hộp. Ngoài ra, một phần sai số đối với lực thanh chống là do giả thiết sai lầm rằng bản cánh dưới cùng chịu một nửa thành phần tải trọng ngang, p . Ngoại trừ trọng lượng bản thân của dầm, toàn bộ thành phần ngang do tải trọng tác dụng phải được tác dụng lên bản cánh trên. Các kết quả bổ sung chứng minh ảnh hưởng của việc uốn dầm cũng như phương pháp xác định thành phần chịu uốn sẽ được trình bày ở phần sau của bài báo.



Hình 10. Mặt cắt ngang dầm sử dụng trong phân tích

Bài báo đi phân tích lực dọc trong thanh chống, thanh chéo và thanh xiên trong hệ giằng đơn và giằng chữ X ứng với trường hợp $R=1500m$.

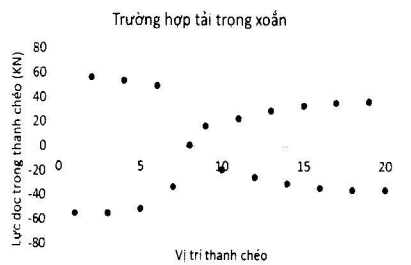
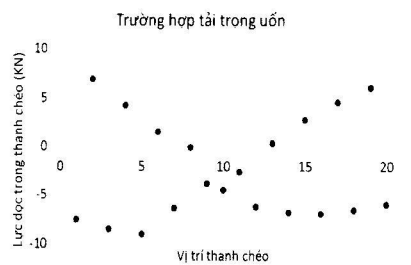
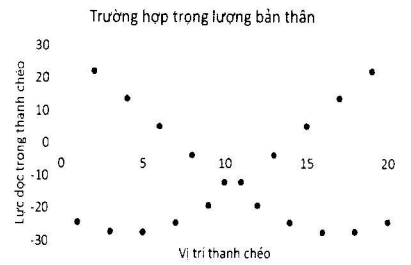
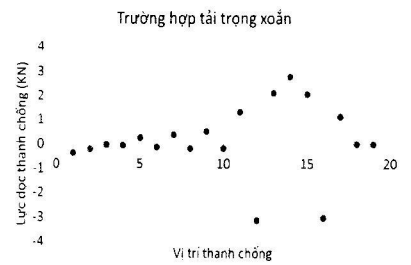
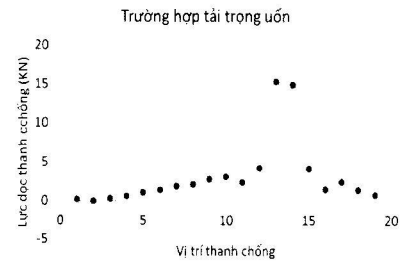
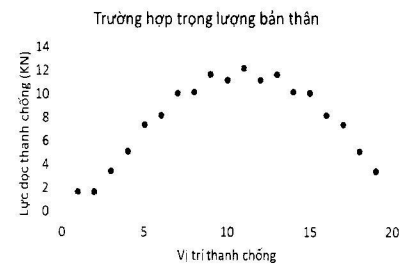
Tải trọng tác dụng gồm trọng lượng bản thân, tải trọng gây uốn, và tải trọng gây xoắn như hình 11



Hình 11. Các trường hợp tải trọng nghiên cứu

3.2. Kết quả tính toán

Sử dụng phương pháp PTHH (phần mềm Midas Civil) phân tích với các số liệu ở trên, thu được kết quả như sau.



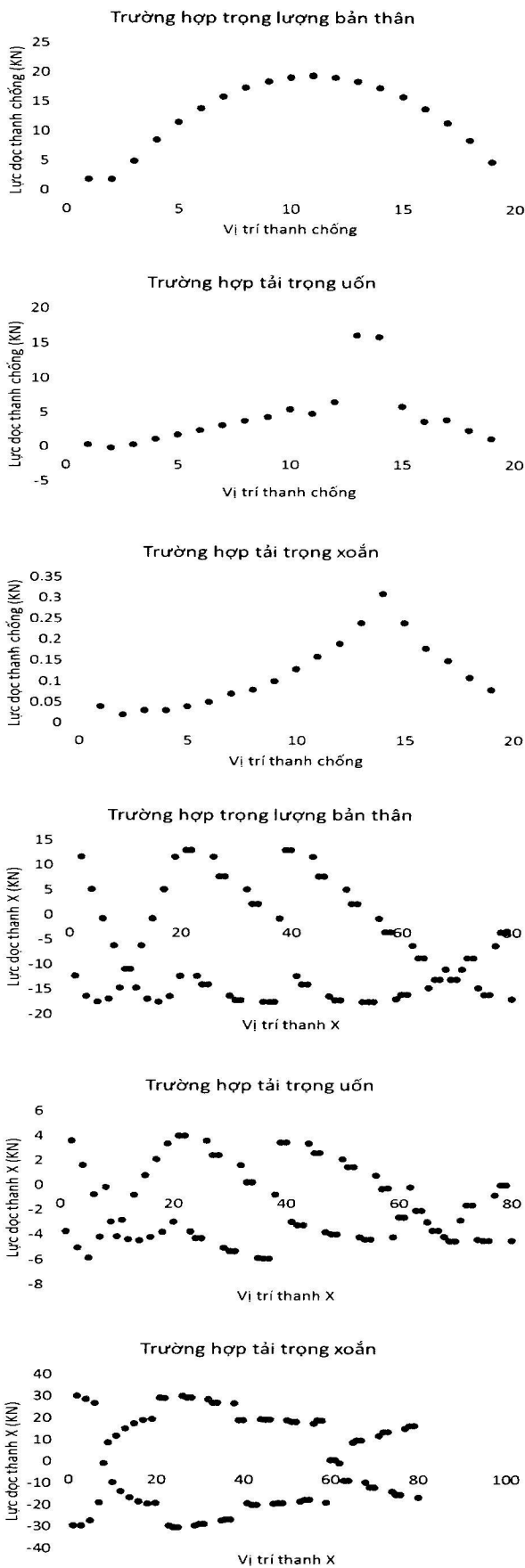
Hình 12. Lực dọc trong thanh chống và thanh chéo của hệ giằng đơn

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN SỐ

3.1. Các thông số tính toán

Trên cơ sở sự làm việc của dầm hộp cong đã được trình bày ở trên, nếu sử dụng các phần tử thanh thông thường (6 bậc tự do mỗi nút) thì khi phân tích sẽ không thể hiện được rõ sự làm việc của hệ giằng bản cánh trên trong cầu dầm hộp thép. Do đó, bài báo sẽ đi phân tích chi tiết một số ví dụ cụ thể thông qua sử dụng phần tử tấm bằng phương pháp phần tử hữu hạn để tính toán.

Các số liệu cơ bản của cầu: Chiều dài nhịp không đổi 52m; mặt cắt dầm hộp thép như sau: dầm cao 2m; đáy rộng 3m; đỉnh hộp dạng hờ rộng 4m; bản cánh trên bố trí rộng 0.4m; bản thép sườn dày 0.03m; bản thép đáy dầm và bản cánh trên dày 0.02m; thép loại A36, như hình 10:



Hình 13. Lực dọc trong thanh chống và thanh chữ X của hệ giằng chữ X

Kết quả trên cho thấy lực dọc trong thanh chống là đáng kể, lực dọc thanh chống có xu hướng tăng dần vào giữa nhịp và các vị trí có chịu mô men uốn và xoắn cục bộ. Kết quả trên cũng cho thấy lực dọc trong thanh chữ X giảm bằng khoảng $\frac{1}{2}$ lực dọc trong thanh chéo đơn.

4. KẾT LUẬN

Như phân tích ở trên cho thấy sự cần thiết hệ giằng ngang trong quá trình thi công cho dạng mặt cắt hở nói chung và dạng mặt cắt dầm hộp hở (trường hợp khảo sát). Kết quả cũng cho thấy được ưu nhược điểm của các dạng giằng liên kết bản cánh trên trong trường hợp dạng mặt cắt dầm hộp hở. Phân tích trên cũng chỉ ra sự thay đổi nội lực theo các vị trí của hệ giằng liên kết qua đó giúp các kỹ sư thiết kế có các phương án tối ưu cho bài toán của mình. ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Todd Helwig, Joseph Yura, Reagan Herman, Eric Williamson, Dawei Li. Design Guidelines for Steel Trapezoidal Box Girder Systems. Texas Department of Transportation (2007).
- [2] Donald W. White et al. Guidelines for Analysis Methods and Construction Engineering of Curved and Skewed Steel Girder Bridges. Transportation Research Board, WASHINGTON, D.C. (2012).
- [3] Zakia Begum. Analysis and Behavior Investigations of Box Girder Bridges. Master thesis, University of Maryland (2010).
- [4] Zhanfei Fan, Todd A. Helwig. BEHAVIOR OF STEEL BOX GIRDERS WITH TOP FLANGE BRACING. Journal of Structural Engineering, Vol. 125, No. 8 (1999).