

Phân tích khả năng áp dụng dầm thép liên hợp sử dụng thép I cán nóng với giải pháp liên tục hóa vào kết cấu cầu có nhịp vừa và nhỏ tại Việt Nam

Analysis of the applicability of composite steel beams using hot rolled I steel with Simple - Made - Continuous solution to bridge structures with small and medium spans in Vietnam

Lê Bá Anh

Trường Đại học Giao thông vận tải
Email liên hệ: baanh.le@utc.edu.vn

Tóm tắt:

Bài báo đã đề xuất dạng kết cấu nhịp và mặt cắt ngang điển hình cho kết cấu nhịp dầm liên hợp sử dụng thép I cán nóng với giải pháp liên tục hóa cho các kết cấu nhịp có chiều dài dưới 36 m phù hợp với điều kiện Việt Nam. Bài báo phân tích khả năng làm việc của kết cấu nhịp theo lý thuyết dầm và lý thuyết phi tuyến bằng mô hình phân tử hữu hạn, từ đó xác định khả năng làm việc của dầm và hệ số với tính toán dầm theo lý thuyết dầm tuyến tính. Đồng thời, mô phỏng phân tích mỗi nối dầm bằng phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng mô hình phần tử phi tuyến cho vật liệu bê tông và thép. Cuối cùng, kết cấu nhịp dầm liên hợp sử dụng thép I cán nóng với giải pháp liên tục hóa cũng được so sánh về mặt kinh tế với một dạng kết cấu nhịp phổ biến khác cùng chiều dài nhịp là dầm thép liên hợp giản đơn.

Từ khóa: Dầm I cán nóng; phân tích phi tuyến; hệ số kết cấu; liên tục hóa kết cấu nhịp.

Abstract:

The article has proposed a typical structural form and cross-section for a composite beam span structure using hot rolled I steel with Simple-Made-Continuous solution for span structures with a length of less than 36m suitable to Vietnamese conditions. It also analyzed the span structure according to beam theory and nonlinear theory by finite element method, thereby determining the working capacity and the structural coefficients of beams according to linear beam theory. At the same time, it analyzed beam joints by finite element method using nonlinear element model for concrete and steel materials. Finally, the composite girder span structure using hot rolled I steel with Simple-Made-Continuous solution is also economically compared with another common span structure with the same span length, the simple steel beam.

Keywords: Hot rolled I-beams; nonlinear analysis; structural coefficients; Simple-Made-Continuous solution.

1. Giới thiệu

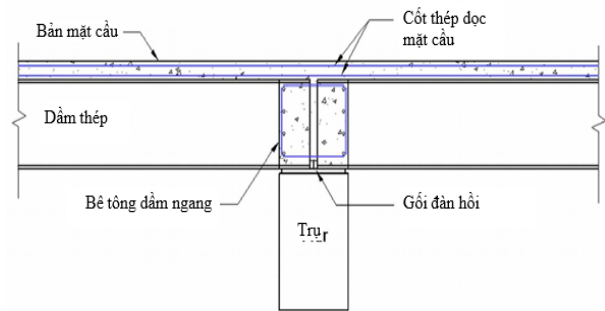
Cùng với sự phát triển của kinh tế kỹ thuật, sự gia tăng về dân số các thành phố lớn, các khu đô thị và sự phát triển của các phương tiện tham gia giao thông kéo theo nhu cầu bức thiết về giao thông đô thị. Hạ tầng các đô thị Việt Nam những năm gần đây có nhiều sự thay đổi tích cực, hàng loạt các công

trình cầu vượt, các nút giao được hoàn thành, những tuyến đường lớn được thông xe, điều này đã phần nào giảm ùn tắc giao thông trong nội đô. Cầu vượt nhẹ được xem là giải pháp hiệu quả để giải bài toán ùn tắc tại các nút giao đô thị với các tiêu chí: Cầu thi công nhanh, gọn nhẹ, đảm bảo giao thông và có thể thay đổi linh hoạt.

Các cây cầu vượt nhẹ, giảm ùn tắc trong đô thị có những đặc thù riêng: Kết cấu gọn nhẹ, thanh mảnh, thẩm mỹ. Thi công nhanh, đảm bảo giao thông trong thời gian xây lắp. Tải trọng khai thác nhỏ và vừa. Dựa trên những đặc thù của giao thông đô thị, kết cấu chịu lực được lựa chọn là kết cấu liên hợp dầm thép và bản bê tông cốt thép. Kết cấu liên hợp được sử dụng rộng rãi nhờ bố trí tối ưu hóa khả năng chịu lực của từng loại vật liệu thành phần. Bê tông làm việc hiệu quả khi chịu nén và ngược lại thép làm việc hiệu quả khi chịu kéo. Vì sự bố trí tối ưu khả năng chịu lực, kết cấu liên hợp thường cho chiều cao kiến trúc nhỏ, kết cấu thanh mảnh vẫn đảm bảo chịu lực tốt. Ngoài ra, việc sử dụng kết cấu liên hợp thuận tiện cho thi công, lắp dựng kết cấu thép và đổ bê tông bản trực tiếp ngoài công trường. Tuy vậy, với các cầu trong đô thị yêu cầu điều kiện thi công chật hẹp, thời gian thi công nhanh và đảm bảo an toàn cho giao thông dưới cầu, kết cấu hiện tại vẫn có nhiều hạn chế như cần thiết kế các trụ tạm trong quá trình thi công gây ảnh hưởng đến giao thông. Để giải quyết các vấn đề còn tồn tại, nhóm nghiên cứu đề xuất sử dụng kết cấu cầu liên hợp thép-bê tông cốt thép có giải pháp liên tục hóa sử dụng thép I cán nóng.

Đây là phương pháp được phát triển và áp dụng nhiều tại Mỹ, Nhật Bản, Canada...[1][2][3]. Theo phương pháp này, các dầm thép I được thi công lắp theo từng nhịp như xây dựng cầu nhiều nhịp giản đơn. Sau đó các dầm ngang đổ tại chỗ, bao bọc lấy các đầu dầm tại mỗi trụ [4]. Mỗi nối biến dạng chỉ được bố trí tại hai chỗ. Chiều cao xây dựng tương tự như kết cấu nhịp gối giản đơn. Các dầm thép I được xếp vào hai hàng gối tạm thời hoặc vĩnh cửu trên

đỉnh trụ, sau đó đổ dầm ngang liền khối bao bọc lấy đầu dầm với chiều sâu ngàm khoảng 0.9 m, khoảng cách giữa hai đầu dầm tối thiểu là 15 cm. Khi sử dụng hai hàng gối tạm thời, một hàng gối vĩnh cửu sẽ được đặt vào vị trí tim trụ sẽ được đưa vào sử dụng sau khi dỡ bỏ hai hàng gối tạm thời kia khi bê tông dầm ngang đủ cường độ. Nhiều công trình đã sử dụng một bản gối cao su rộng để làm gối cho cả hai dầm.



Hình 1. Chi tiết cấu tạo mối nối theo phương pháp dầm ngang liền khối.

2. Một số thiết kế định hình

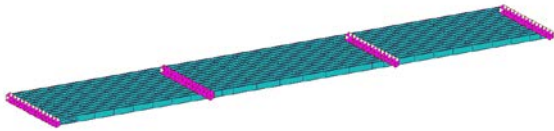
Việc thiết kế các kết cấu nhịp liên hợp liên tục sử dụng thép I cán nóng điển hình được thực hiện thông qua quy trình: Xác định các kích thước dầm thép phù hợp với chiều dài nhịp và khoảng cách dầm chủ; xác định đặc trưng hình học mặt cắt dầm chủ theo các giai đoạn; xác định nội lực tại các mặt cắt dầm dưới tác dụng của các tải trọng qua các giai đoạn; kiểm toán dầm theo tiêu chuẩn TCVN 11823:2017 [5] để khẳng định khả năng chịu lực của dầm. Các thiết kế dầm điển hình của kết cấu nhịp được thể hiện ở bảng 1. Mặt cắt ngang điển hình của kết cấu nhịp có chiều dài nhịp chính bằng 24 m và 36 m được thể hiện tại hình 2 và hình 3.

Bảng 1. Đề xuất dạng kết cấu nhịp điển hình.

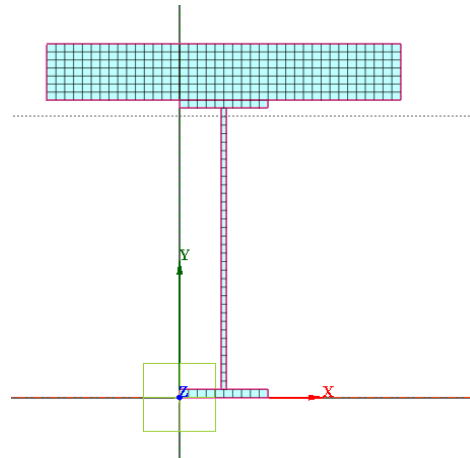
Sơ đồ cầu (m)	Loại dầm lựa chọn	Chiều cao dầm	Khoảng cách dầm
8+n*12+8	I500x200x10x16	0.5 m	1.2 m
12+n*18+12	I600x200x11x17	0.6 m	1.2 m
18+n*24+18	I700x300x13x24	0.7 m	1.2 m
24+n*30+24	I900x300x16x28	0.8 m	1.2 m
30+n*36+30	I1000x300x16x28	0.9 m	1.2 m

kết cấu. Phần tử được sử dụng ở đây là phần tử tứ diện, có kích thước trung bình là 5 mm như hình 4 và hình 5. Bê tông bản sử dụng trong thiết kế và thi công dầm là loại bê tông có cấp phối tiêu chuẩn với đường kính cốt liệu lớn nhất $D_{max} = 20$ mm.

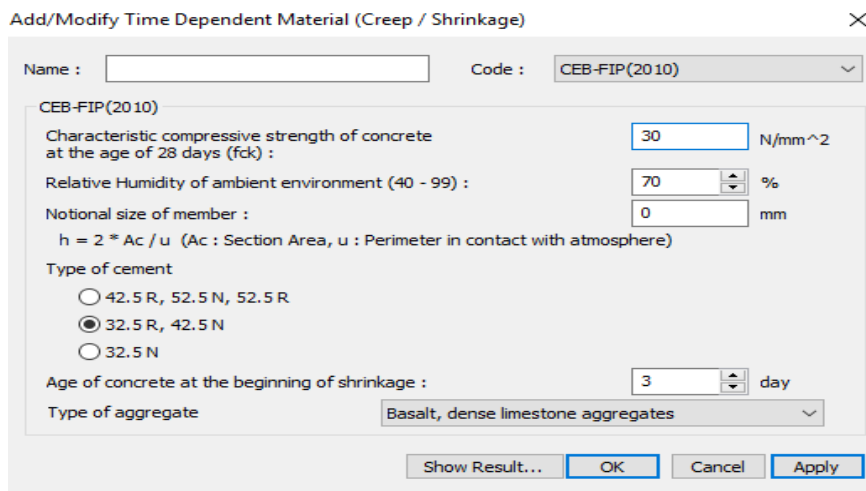
Cường độ của bê tông ở tuổi 28 ngày $f^c = 30$ MPa, mô đun đàn hồi của bê tông 30083 MPa. Các thông số về từ biến, co ngót được lấy theo CEB-FIB 2010 và được miêu tả trong hình 6 và hình 7.



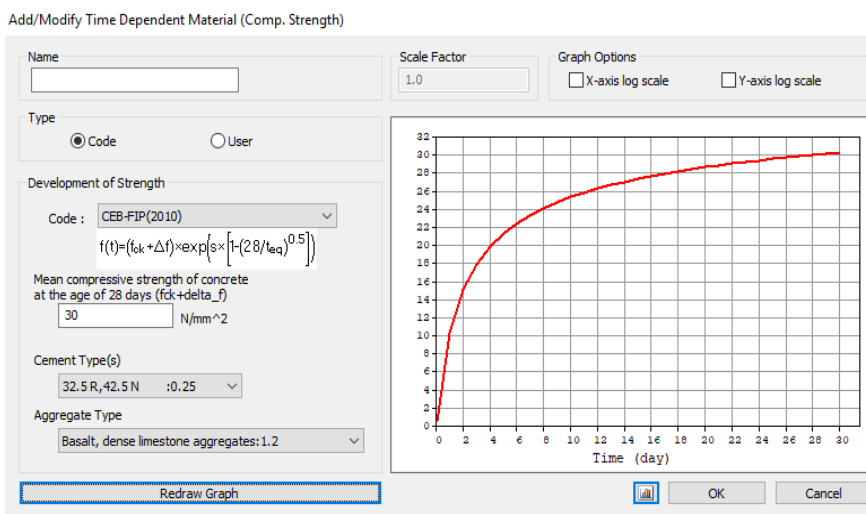
Hình 4. Mô hình dầm thép liên hợp liên tục 30+36+30 m.



Hình 5. Mặt cắt ngang dầm thép I liên hợp.

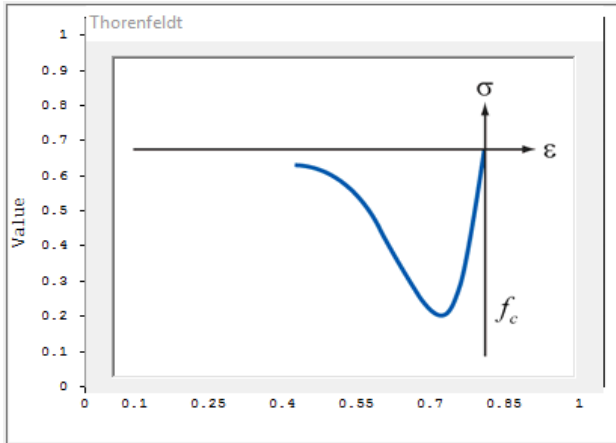


Hình 6. Mô tả ảnh hưởng của từ biến-co ngót.



Hình 7. Hàm thông số cường độ theo thời gian.

Đường cong vật liệu của bê tông được xây dựng trên mô hình Total strain crack với các thông số đầu vào thông qua các mô hình phân tích phi tuyến sau.



Hình 8. Mô hình bê tông chịu nén của Thorenfeldt với $f'_c = 30$ Mpa.

Mô hình bê tông chịu nén của Thorenfeldt [6] với $f'_c = 30$ MPa.

$$\sigma = -f'_c \frac{\epsilon_i}{\epsilon_p} \left(\frac{n}{n-1 + \left(\frac{\epsilon_i}{\epsilon_p}\right)^{nk}} \right) \quad (1)$$

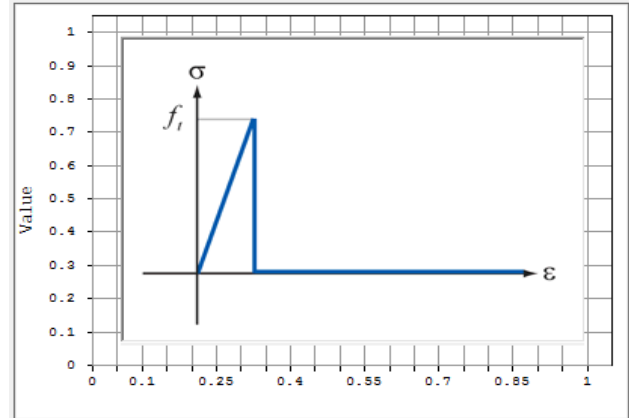
Trong đó ϵ_p là giới hạn biến dạng chịu nén của vật liệu, $n = 0.8 + f'_c/17$, $k = 1$ nếu $0 > \epsilon > \epsilon_p$ và $k = 0.67 + f'_c/62$ nếu $\epsilon < \epsilon_p$.

Mô hình bê tông chịu kéo theo mô hình vật liệu Brittle [7], với ứng suất kéo đứt là $f_t = 3,45$ MPa. Với việc sử dụng mô hình này thì khi ứng suất kéo đạt đến cường độ chịu kéo thiết kế f_t của bê tông, lúc đó ứng suất sẽ ngay lập tức biến mất dù cho biến dạng vẫn tăng. Mô hình chịu cắt sử dụng mô hình Constant với hệ số beta bằng 1.

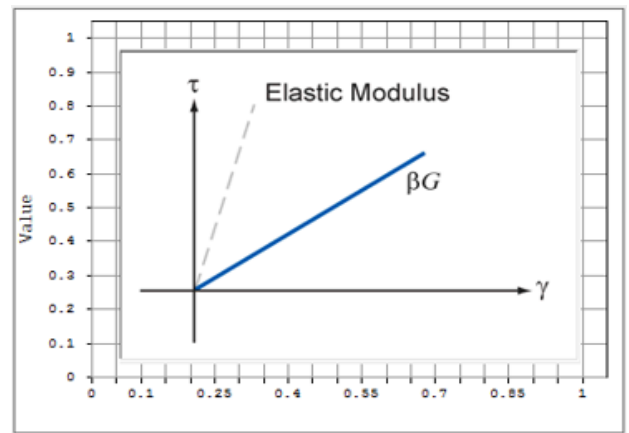
Kết quả phân tích nội lực của kết cấu nhịp được trình bày trong bảng 2. Kết quả cho thấy các giá trị

tính toán theo mô hình phân tích tuyến tính sử dụng phần tử dầm đều cho kết quả lớn hơn đáng kể so với việc phân tích sử dụng mô hình phi tuyến.

Như vậy việc sử dụng mô hình phân tích dầm là thiên về an toàn. Hệ số tỉ lệ của mô hình phân tích dầm và mô hình phân tích phi tuyến nằm trong khoảng 1.15 đến 1.6. Kết quả cũng cho thấy ở trạng thái tải trọng khai thác, dầm chưa bị phá hoại, đảm bảo yêu cầu về ứng suất và độ cứng dưới tác dụng của tải trọng khai thác.



Hình 9. Mô hình bê tông chịu kéo theo Brittle, ứng suất kéo đứt $f_t = 3.45$ Mpa.

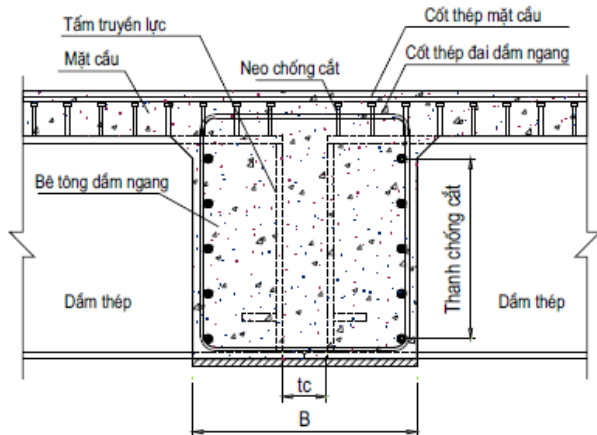


Hình 10. Mô hình chịu cắt Constant với β bằng 1.

Bảng 2. So sánh khả năng làm việc của dầm theo các lý thuyết phân tích.

	Phân tích phi tuyến sử dụng phần tử hình khối (a)	Phân tích tuyến tính trên mô hình dầm (b)	Tỷ lệ b/a
Độ võng thẳng đứng do hoạt tải (mm)	8.15	9.383	1.15
Ứng suất cánh trên dầm (MPa)	-85.54	-123.888	1.44
Ứng suất cánh dưới dầm (MPa)	80.40	126.99	1.58
Ứng suất nén trong bản (MPa)	-15.6	-19.3	1.24
Ứng suất kéo trong bản (MPa)	1.8	2.2	1.22

2.2. Mô phỏng sự làm việc của mối nối dầm ngang



MẶT CẮT A-A

Hình 11.: Mặt cắt chi tiết mối nối dầm ngang.

Chức năng của dầm ngang đầu dầm thuộc kết cấu nhịp giản đơn là phân phối mô men giữa các dầm chủ bảo đảm cho kết cấu nhịp làm việc như một thể thống nhất và là dầm kích khi muốn thay đổi. Đối với giải pháp liên tục hóa kết cấu nhịp, dầm ngang đầu dầm của nhịp liên tục hóa còn có chức năng là mối nối đảm bảo để kết cấu trở thành liên tục khi chịu hoạt tải và tĩnh tải giai đoạn 2. Khi đó, dầm ngang trở thành một bộ phận kết cấu không thể tách rời của kết cấu nhịp. Cấu tạo của một dầm ngang điển hình được trình bày trong hình 11. Mô hình ứng xử phi tuyến của vật liệu được sử dụng như đã trình bày ở trên.

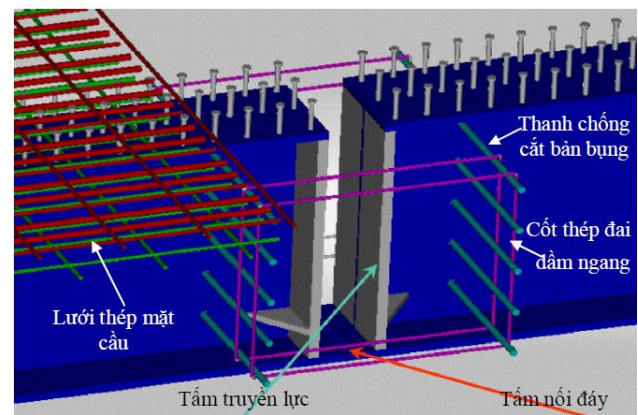
Các tải trọng đưa vào tính toán được chia thành 03 giai đoạn tương ứng với các giai đoạn thi công ngoài thực tế:

- Giai đoạn 1: Thi công dầm thép và bản bê tông mặt cầu. Các tải trọng tác dụng trong giai đoạn này sẽ bao gồm tải trọng bản thân dầm thép cùng với bản bê tông mặt cầu;

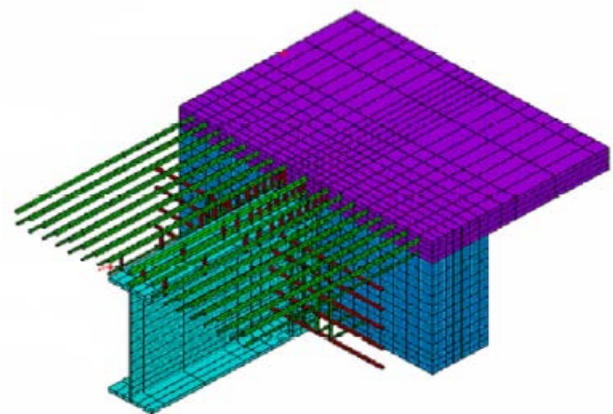
- Giai đoạn 2: Thi công mối nối. Các tải trọng tác dụng trong giai đoạn này bao gồm tải trọng bản thân dầm thép, bản bê tông đổ trước, bản bê tông đổ sau và mối nối;

- Giai đoạn khai thác: Thi công lớp phủ, các công trình phụ trợ và đưa vào khai thác. Các tải trọng tác dụng trong giai đoạn này gồm có tải trọng bản thân dầm thép, bản bê tông mặt cầu, tĩnh tải 2 và hoạt tải.

Kết quả phân tích mối nối đầu dầm được thống kê trong bảng 2, thể hiện qua hình 14 và 15. Có thể thấy rằng mối nối đầu dầm hoàn toàn đảm bảo khả năng làm việc dưới tác dụng của tải trọng.



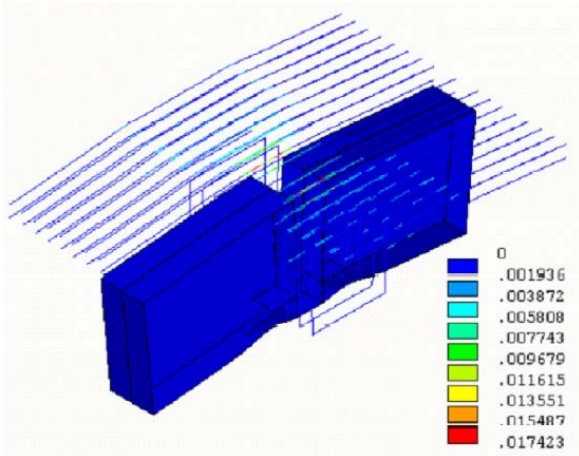
Hình 12. Cấu tạo mối nối.



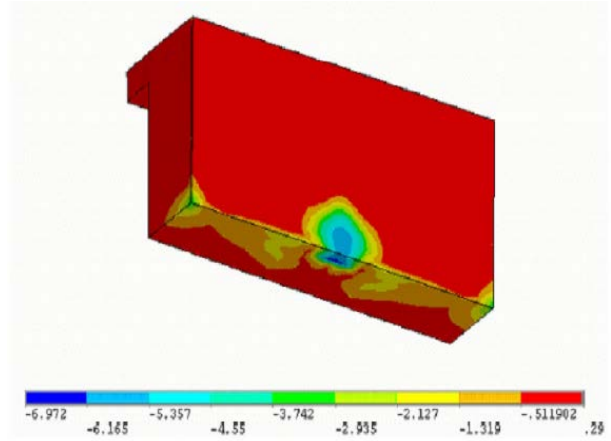
Hình 13. Mô hình phân tích mối nối bằng phần tử hữu hạn.

Bảng 2. Đề xuất dạng kết cấu nhịp điển hình.

	Kết quả tính toán	Giới hạn	Kết luận
Ứng suất trong cốt thép dọc (MPa)	170	400	Đạt
Ứng suất nén lớn nhất trong bê tông (MPa)	6.972	30	Đạt
Ứng suất kéo lớn nhất trong bê tông (MPa)	0.29	3.4	Đạt



Hình 14. Phân bố ứng suất trong cốt thép dọc.

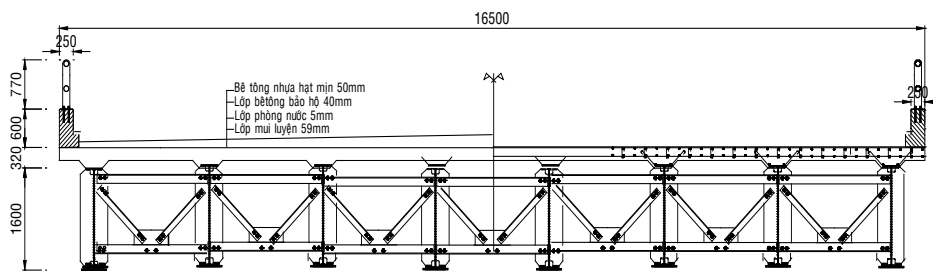


Hình 15. Phân bố ứng suất theo trục x của dầm ngang bê tông.

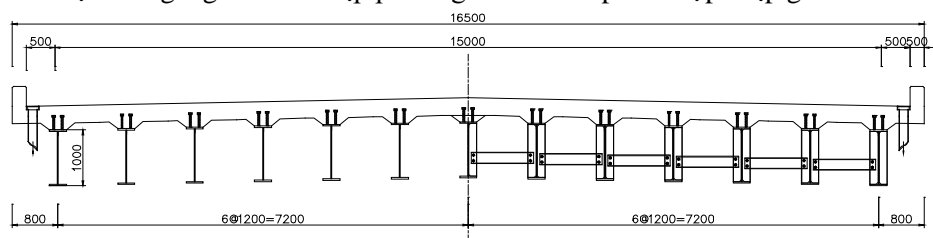
3. Phân tích hiệu quả kinh tế kỹ thuật

Trong phần này, tác giả so sánh và đánh giá hiệu quả kinh tế, kỹ thuật của phương án dầm liên hợp thép-bê tông cốt thép liên tục hóa sử dụng dầm thép I cán nóng với các phương án cầu phổ biến tại Việt Nam trên cơ sở áp dụng cùng hệ thống định mức, đơn giá, giá vật tư, giá ca máy, giá nhân công được tính cùng một thời điểm. Các phương án được so sánh gồm: Dầm thép liên hợp nhịp giản đơn 36m và dầm thép liên hợp liên tục hóa sử dụng thép I cán nóng (hình 16 và 17). Bề rộng cầu rộng 16.5 m với 04 làn xe. Qua tổng hợp khối lượng và so sánh (bảng 3) cho thấy phương án liên tục hóa sử dụng dầm I cán nóng có khối lượng của kết cấu phần trên tương đương so với phương pháp sử dụng dầm thép liên hợp nhịp giản đơn.

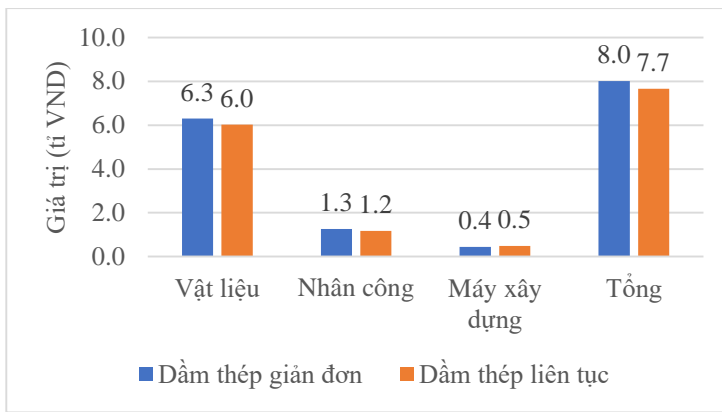
Kết quả phân tích chi phí xây dựng, vật liệu, nhân công của hai phương án đưa ra được thể hiện ở hình 16. Có thể thấy rằng chi phí xây dựng của cả hai phương án chênh lệch không nhiều, phương án dầm thép liên hợp sử dụng thép I cán nóng có mức chi phí thấp hơn khoảng 3%. Sự chênh lệch này là không đáng kể khi xét đến chiều cao kiến trúc của kết cấu nhịp thép liên hợp thấp hơn khá nhiều so với kết cấu nhịp dầm thép giản đơn (1200 mm và 1800 mm). Cùng với các kết quả kiểm toán về khả năng chịu lực, độ ổn định của dầm trong quá trình thi công và khai thác, đồng thời xét đến kết quả phân tích dầm theo lý thuyết phi tuyến của vật liệu, có thể kết luận dầm liên hợp liên tục sử dụng thép I cán nóng là phương án có hiệu quả về kinh tế - kỹ thuật trong xây dựng các cầu vừa và nhỏ ở Việt Nam.



Hình 16. Mặt cắt ngang kết cấu nhịp phương án dầm thép liên hợp nhịp giản đơn $L = 36$ m.



Hình 17. Mặt cắt ngang kết cấu nhịp phương án dầm thép liên hợp liên tục $L = 36$ m.



Hình 18. So sánh chi phí hạng mục công việc để thi công kết cấu nhịp các phương án cầu vượt nhịp 36m.

Bảng 3. So sánh khối lượng vật liệu cho 2 phương án vượt nhịp 36 m.

Loại dầm	Bê tông (m ³)	Thép hình (kg)	Thép thường (kg)	Tổng (kg)
Tổng hợp cho 1 dầm				
Dầm thép gián đơn	14.56	14864	1993.02	50345
Dầm thép liên tục hóa	9.12	9614	1232.63	32734
Dầm thép gián đơn (8 dầm)	116.48	118912	15944.42	402760
Dầm thép liên tục hóa (13 dầm)	118.56	115368	14791.56	392815

4. Kết luận

Sau khi tiến hành so sánh, phân tích các phương án kết cấu nhịp, tác giả được một số kết luận sau. Kết cấu dầm thép liên hợp với giải pháp liên tục hóa sử dụng thép I cán nóng là phương án thiết kế có hiệu quả về kinh tế, kỹ thuật trong các công trình cầu có chiều dài nhịp vừa và nhỏ tại Việt Nam. Phương án này đã được sử dụng rộng rãi tại nhiều nước trên thế giới đặc biệt là Mỹ, Nhật Bản và Canada. Vì vậy, việc nghiên cứu áp dụng tại Việt Nam không quá khó khăn. Các kết quả tính toán phân tích theo lý thuyết dầm và lý thuyết phi tuyến cho thấy kết cấu nhịp đảm bảo các yêu cầu về chịu lực. Tùy theo các phương án sử dụng, chiều cao dầm giảm được từ 20-30% khối lượng kết cấu nhịp và chi phí xây dựng xấp xỉ hoặc hơn không đáng kể so với các phương án phổ biến hiện nay. Việc ứng dụng hoàn toàn khả thi và có hiệu quả về kinh tế.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giao thông vận tải trong đề tài mã số “DT214004”.

Tài liệu tham khảo

- [1] A. Stone, J. W. van de Lindt, S. Chen; “Design and Costs for Simple- Made-Continuous Rolled Steel Girder Bridges: Literature Survey”; Practice

Periodical on Structural Design and Construction. 2010; 15(3):231-235.

- [2] D. N. White; “Steel Bridge Design Handbook-Structural Behavior of Steel”. US: Federal Highway Administration, Office of Bridges and Structures; No. FHWA-IF-12-052; Vol.4A; 2012.
- [3] S. Robuschi; “Anchorage of naturally corroded, plain bars in Reinforced Concrete structures”. M.S. Thesis; Department of Architecture and Civil Engineering; Chalmers University of Technology; Göteborg, Sweden. 2019.
- [4] J. Cairns, L. Feldman; “Strength of laps and anchorages of plain surface bars”. Structural Concrete Journal of the fib. 2018; 19(1):1782–1791. DOI:10.1002/suco.201700242.
- [5] Bộ khoa học và công nghệ; Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ TCVN 11823-2017, 2017.
- [6] E. Thorenfeldt, A. Tomaszewicz, J. J. Jensen; “Mechanical properties of high-strength concrete and applications in designed”, in Proc. Conference on Utilization of High-Strength Concrete; June 1988; Trondheim, Norway. 1988; pp.1129-1143.
- [7] A. Hillerborg, M. Modeer, P. E. Petersson; “Analysis of Crack Formation and Crack Growth in Concrete by Means of Fracture Mechanics and Finite Elements”; Cement and Concrete Research. 1976; 6:773–782.

Ngày nhận bài: 03/02/2022

Ngày chuyển phản biện: 07/02/2022

Ngày hoàn thành sửa bài: 28/02/2022

Ngày chấp nhận đăng: 07/03/2022