



EFFICIENCY OF APPLICATION OF CONCRETE – STEEL DECK STRUCTURES IN BRIDGE CONSTRUCTION

Tran Thanh Liem¹, Nguyen Duy Tien^{2,*}

¹Planning and Investment Department, Ministry of Transport, No 80 Tran Hung Dao, Hanoi, Vietnam

²Section of Bridge and Tunnel Engineering, University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 20/2/2020

Revised: 22/4/2020

Accepted: 26/6/2020

Published online: 28/6/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.71.5.14>

* *Corresponding author*

Email: ngduytien@utc.edu.vn; Tel: 0912840678

Abstract. In this paper, based on the design and calculation results of some different concrete-steel deck structures, the volume of main materials and the combined unit cost of the deck structure, the economic - technical criteria of structure alternatives are analyzed and compared to show the advantages and disadvantages of the structure alternatives. The research based on the design of a specific bridge construction aims to give recommendations as a basis for the application and development of this type of bridge structure in Vietnam.

Keywords: concrete - steel deck structure, bridge construction, design, comparison, economic - technical efficiency, application, bridge cross-section comparison, strut-type bridge, corrugated-web bridge



HIỆU QUẢ CỦA VIỆC ỨNG DỤNG GIẢI PHÁP KẾT CẤU NHỊP DẦM BÊ TÔNG - THÉP TRONG CÔNG TRÌNH CẦU

Trần Thanh Liêm¹, Nguyễn Duy Tiến^{2,*}

¹Vụ Kế hoạch - Đầu tư, Bộ Giao thông vận tải, 80 Trần Hưng Đạo, Hà Nội, Việt Nam

²Bộ môn Cầu hầm, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 20/2/2020

Ngày nhận bài sửa: 22/4/2020

Ngày chấp nhận đăng: 26/6/2020

Ngày xuất bản Online: 28/6/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.71.5.14>

* Tác giả liên hệ

Email: ngduytien@utc.edu.vn; Tel: 0912840678

Tóm tắt. Trong bài báo này, trên cơ sở kết quả tính toán thiết kế một số phương án kết cấu nhịp dầm bê tông - thép khác nhau, khối lượng vật liệu chủ yếu và đơn giá tổng hợp của kết cấu nhịp, các chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật của các phương án kết cấu nhịp sẽ được phân tích so sánh qua đó làm nổi bật ưu nhược điểm của các phương án lựa chọn. Việc nghiên cứu trên cơ sở thiết kế một công trình cầu cụ thể nhằm đưa ra những khuyến nghị làm cơ sở để có thể áp dụng và phát triển loại kết cấu nhịp cầu này ở Việt Nam.

Từ khóa: kết cấu nhịp bê tông - thép, công trình cầu, thiết kế, so sánh, hiệu quả kinh tế - kỹ thuật, ứng dụng, lựa chọn mặt cắt ngang cầu, cầu có thanh chống, cầu có sườn thép lượn sóng

© 2020 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. MỞ ĐẦU

Tổ hợp kết cấu bê tông cốt thép và kết cấu thép hay còn gọi là kết cấu bê tông-thép đã được phát triển và ứng dụng nhiều trên thế giới nhằm thay thế dần các kết cấu cổ điển truyền thống trong các dự án xây dựng cầu nhờ các ưu điểm của công nghệ mới, vật liệu mới và tính kinh tế xuyên suốt quá trình thiết kế, xây dựng và khai thác công trình. Ở Việt Nam tuy cũng có một số công trình ứng dụng kết cấu này vào thực tế thông qua các dự án xây dựng hợp tác với đối tác nước ngoài, nhưng số lượng sử dụng kết cấu bê tông-thép tổ hợp còn rất hạn chế.

Đối với giải pháp hỗn hợp, dạng cầu bê tông-thép được hình thành trên cơ sở sử dụng

đồng thời kết cấu thép và kết cấu bê tông cốt thép hay kết hợp nhiều dạng kết cấu trong cùng một kết cấu tổng thể nhằm sử dụng một số ưu điểm của mỗi dạng kết cấu nói chung. Chiều dài nhịp của cầu bê tông-thép có thể đạt tới 200m đối với cầu sử dụng hệ dầm cứng, và từ 200m trở lên đối với cầu sử dụng hệ dầm treo [1].

Trên cơ sở các đặc tính của từng loại kết cấu và các chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật so với các dạng kết cấu truyền thống, người kỹ sư có thể tự do lựa chọn dạng kết cấu phù hợp với điều kiện thực tế tại vị trí xây dựng công trình có xét đến yêu cầu đảm bảo yêu cầu cảnh quan xung quanh và mỹ thuật cầu nhằm tạo ra một công trình có độ bền và tuổi thọ cao đáp ứng sự đòi hỏi ngày càng cao của xã hội.

2. CÁC GIẢI PHÁP KẾT CẤU NHỊP CẦU DẦM BÊ TÔNG - THÉP

2.1. Cầu bê tông - thép có sườn thép lượn sóng

Ý tưởng tổ hợp kết cấu thép và kết cấu bê tông cốt thép vào xây dựng công trình cầu đã được các chuyên gia Pháp, Đức bắt đầu đề xuất trong những năm 1980.



Hình 1. Cầu dầm hộp bê tông dự ứng lực có sườn thép lượn sóng [2].

Dạng cầu bê tông - thép có sườn thép lượn sóng đầu tiên trên thế giới là cầu Cognac ở Cộng hòa Pháp. Năm 1993, lần đầu tiên Nhật Bản nghiên cứu ứng dụng thành công kết cấu nhịp sườn thép lượn sóng trong cầu Shinkai. Sau khi nước Đức thống nhất, một số lượng lớn công trình cầu được xây dựng mới. Một trong các dạng kết cấu mới là dạng kết cấu bê tông-thép, trong đó kết cấu bê tông dự ứng lực có sườn thép lượn sóng được sử dụng đầu tiên ở Đức tại dự án xây dựng cầu Altwipfergrund.

Dạng kết cấu dầm bê tông dự ứng lực có sườn thép lượn sóng vừa đảm bảo giảm tĩnh tải của kết cấu nhịp, vừa tạo ra kết cấu trụ cầu có độ mạnh và hình dáng đẹp.

Kết cấu nhịp sử dụng dầm hộp có sườn thép lượn sóng có phạm vi áp dụng rộng rãi hơn so với kết cấu nhịp sử dụng dầm hộp có thanh chống xiên, trong phương án này phần sườn hộp bằng bê tông sẽ được thay thế bằng các bản thép được bố trí dạng lượn sóng, với cấu tạo này bản thép làm sườn hộp sẽ không chịu ứng suất kéo, nén mà chỉ cần thiết bố trí đủ chiều dày để chịu cắt. Toàn bộ mô men, lực dọc trục tác động đến kết cấu sẽ do bản nắp và bản đáy

chịu, qua đó phát huy được tối đa khả năng chịu nén của kết cấu bê tông cốt thép, các vùng chịu kéo sẽ được bố trí cốt thép dự ứng lực chịu lực cho phù hợp [2].

Kết cấu dạng này sẽ có trọng lượng nhỏ hơn so với kết cấu thông thường, giảm tác động của tĩnh tải qua đó tăng khả năng vượt nhịp với khẩu độ lớn hơn, tác động của lực động đất, đồng thời giảm kích thước cũng như số lượng cọc bố trí trong kết cấu phần dưới.

Các phương pháp ngăn chặn sự ăn mòn của lưới thép lượn sóng bao gồm sơn, sử dụng các thép chịu được thời tiết, phun kim loại và mạ kẽm. Đối với phương pháp sơn thông thường thì cần phải sơn lại sau mỗi 20 năm. Trong đó phương pháp sử dụng thép chịu thời tiết, phun kim loại, thép mạ kẽm có tuổi thọ dài hơn so với sơn do đó sẽ giảm được chi phí cho quá trình khai thác cầu sau này.

2.2. Cầu bê tông - thép có sườn dàn ống thép

Ngoài dạng kết cấu dầm bê tông dự ứng lực có sườn thép lượn sóng, các chuyên Pháp nghiên cứu triển khai ứng dụng một dạng kết cấu bê tông-thép mới vào các dự án xây dựng cầu. Đó là dạng kết cấu dầm bê tông dự ứng lực có sườn dàn ống thép. Dạng kết cấu này được áp dụng vào xây dựng cầu Echingen nằm trên tuyến đường cao tốc Autoroute A16 ở Cộng hòa Pháp. Thi công kết cầu nhịp bằng phương pháp lắp hẫng cân bằng. Tạo ứng suất trước cho kết cấu nhịp sử dụng cả hai loại cáp dự ứng lực trong và cáp dự ứng lực ngoài. Các đốt dầm được chế tạo trong nhà máy đảm bảo độ chính xác lắp đặt, sau đó vận chuyển ra ngoài công trường và cầu lắp lên kết cấu nhịp. Tuy nhiên, việc chế tạo các đốt dầm đòi hỏi công tác lắp đặt các ống thép cho sườn dầm chính xác theo đúng vị trí thiết kế. Do vậy, yêu cầu phải có bộ khung đỡ bằng thép rất lớn để đỡ các ống thép vào đúng vị trí trước khi tiến hành đổ bê tông đốt dầm [2].



Hình 2. Cầu dầm hộp bê tông dự ứng lực có sườn dàn ống thép [2].

2.3. Cầu bê tông - thép hỗn hợp:

Đã có khá nhiều công trình nghiên cứu về tổ hợp kết cấu thép và kết cấu bê tông, trong đó kết cấu BTCT kết hợp với kết cấu thép tạo thành một dạng kết cấu bê tông - thép hỗn hợp. Các kỹ sư Nhật Bản đã ứng dụng thành công dạng kết cấu bê tông-thép hỗn hợp cho cầu Kisogawa và Ibigawa ở thành phố Nagoya là dạng cầu extradosed có sử dụng hỗn hợp kết cấu bê tông cốt thép và kết cấu thép, trong đó bao gồm: (i) Phần kết cấu bê tông cốt thép được sử

dùng ở khu vực gần trụ - Nơi được tăng cường thêm hệ thống cáp văng liên kết giữa cột tháp với hệ thống dầm chủ và (ii) Phần kết cấu thép được sử dụng ở khu vực giữa nhịp nhằm giảm trọng lượng tĩnh tải của hệ thống dầm chủ.



Hình 3. Cầu Kisogawa và Ibigawa [2].

2.4. Cầu dầm hộp bê tông dự ứng lực có thanh chống thép xiên

Kết cấu dầm hộp có mặt cầu mở rộng, được chống bởi các thanh chống xiên, về mặt chịu lực không tham gia vào chịu lực theo phương dọc cầu, tuy nhiên theo phương ngang cầu sẽ đỡ bản mặt cầu BTCT. Ưu điểm của cầu dầm hộp BTCT DUL có thanh chống xiên:

- Thu nhỏ bề rộng đáy hộp, giảm được tiết diện cánh trên. Do đó giảm được trọng lượng kết cấu phần trên
- Giảm đáng kể trọng lượng trụ, số lượng cọc, bệ móng.
- Do khối lượng giảm nhiều nên giảm nội lực do động đất.
- Kinh phí xây dựng cầu giảm tương đối lớn.
- Đặc biệt có hiệu quả khi xây dựng cầu trong vùng động đất hoặc nền đất móng yếu.
- Tiến độ thi công nhanh hơn do giảm nhiều khối lượng xây dựng.

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu và kinh nghiệm của các chuyên gia Pháp, ý tưởng cải tiến dạng kết cấu mới kết hợp với công nghệ dự ứng lực ngoài tiếp tục ứng dụng vào dự án xây dựng cầu Meaux. Cùng thời gian này, các chuyên gia Đức đã đưa ra ý tưởng thay thế bản thép trực hướng trong kết cấu dầm hộp thép bằng bản bê tông cốt thép nhằm cải thiện vấn đề dính bám giữa lớp bê tông Asphalt mặt cầu và bản mặt cầu bằng thép. Các ý tưởng của các chuyên gia Đức đã được ứng dụng vào một số dự án xây dựng công trình cầu, chẳng hạn như cầu Talbrucle Reichenbach, cầu Sesslestal, cầu Wilde Gera nằm trên tuyến đường nối giữa Đông Đức và Tây Đức sau khi thống nhất đất nước. Các kỹ sư Nhật Bản đã áp dụng loại kết cấu dầm hộp BTCT có thanh chống xiên tại cầu Shibakawa nằm trên đường cao tốc New Tomei [2].

3. SO SÁNH HIỆU QUẢ KINH TẾ - KỸ THUẬT MỘT SỐ PHƯƠNG ÁN KẾT CẤU NHỊP CẦU DẦM HỖN HỢP

Được phát triển từ công nghệ thi công dầm hộp bê tông cốt thép dự ứng lực liên tục thi công theo phương pháp đúc hẫng cân bằng, các giải pháp sử dụng dầm hộp bê tông cốt thép dự ứng lực liên tục có sườn bằng thép lượn sóng, dầm hộp bê tông cốt thép dự ứng lực liên tục có thanh chống xiên đều là những giải pháp nhằm giảm trọng lượng của kết cấu phần trên, giảm tác động của lực động đất, giảm chi phí đầu tư xây dựng kết cấu phần dưới... qua đó giảm giá thành xây dựng công trình. Việc so sánh các phương án thiết kế được thực hiện trên cơ sở nghiên cứu cho một công trình cụ thể là Cầu Tuần trên tuyến đường cao tốc Bắc - Nam phía Đông bắc qua sông Hương thuộc địa phận Xã Hương Thọ, huyện Hương Trà (bờ Bắc) và xã Thủy Bằng, huyện Hương Thủy (bờ Nam), tỉnh Thừa Thiên Huế. Với kết cấu thi công theo công nghệ đúc hẫng cân bằng, việc thiết kế kết cấu nhịp được thực hiện đáp ứng các yêu cầu của tiêu chuẩn thiết kế cầu TCVN 11823: 2017 [3], đồng thời tham khảo quy định của các tiêu chuẩn 22TCN 272-05 [4], giải thích tiêu chuẩn 22TCN 272-05 [5], AASHTO LRFD 2007 [6], EN 1994-1-1 (2004) [7] và các tài liệu về Cầu Thép Bê tông cốt thép liên hợp [8], Thiết kế kết cấu thép [9], Bridge Engineering Handbook [10], LRFD Manual of steel construction [11]. Một số thông tin chính về các phương án thiết kế như sau:

3.1. Các số liệu thiết kế

- Về phương án sơ đồ nhịp: Cầu xây mới theo sơ đồ nhịp (45+63+2x90+63+45)m; Chiều dài cầu tính đến đuôi móng $L = 411,30\text{m}$. Kết cấu công trình cầu áp dụng là dầm liên tục thi công theo phương pháp đúc hẫng cân bằng trên các trụ P2, P3, P4; tại các trụ này dầm chủ được liên kết ngàm với thân trụ để tạo thành kết cấu có dạng khung chịu lực. Đối với đoạn dầm hộp có chiều cao không đổi tại nhịp 1, trên trụ P1, P5 và nhịp 6 được kê trên các gối di động.

- Các tải trọng thiết kế cơ bản:

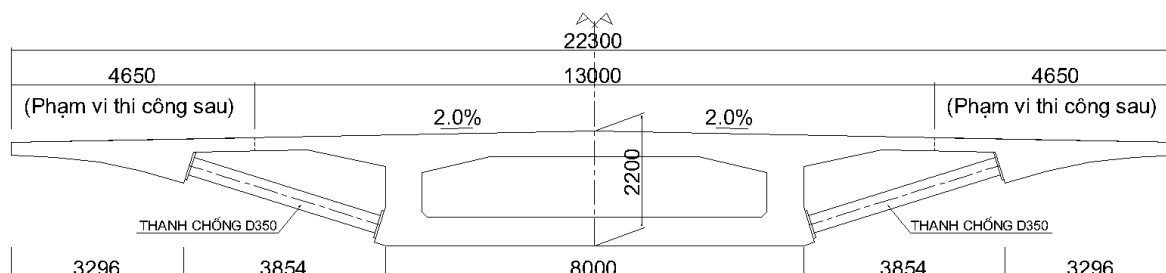
+ Tải trọng thiết kế: hoạt tải HL - 93.

+ Cấp động đất: cấp 6 thang MSK- 64, theo TCVN 9386:2012; Hệ số gia tốc nền $A=0,0539$;

+ Vận tốc gió cơ bản: $V_B = 45\text{m/s}$ (vùng II.B, TCVN 2737:2006);

+ Quy mô mặt cắt ngang: xây dựng hoàn chỉnh theo tiêu chuẩn đường cao tốc, vận tốc thiết kế $V_{tk} = 80 - 100\text{ km/h}$ theo TCVN 5729:2012, tổng mặt cắt ngang cầu rộng 22,5m bao

gồm 04 làn xe mỗi làn rộng 3,75m, dải phân cách giữa 0,5 m, dải an toàn giữa 2 x 0,5m, dải dừng xe khẩn cấp 2 x 2,5 m, lan can 2 x 0,5m.

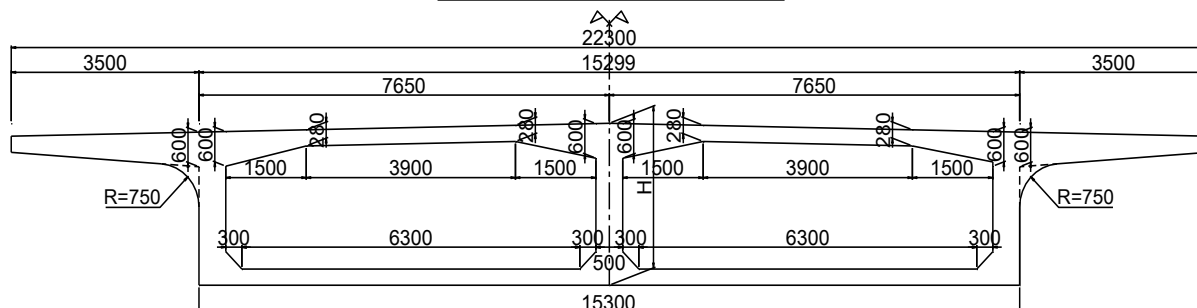


Hình 4. Quy mô mặt cắt ngang cầu.

- Bình diện: Cầu thiết kế nằm trên đoạn tuyến thẳng;
- Trắc dọc: Trắc dọc cầu thiết kế nằm trên đường cong đứng lồi $R = 3000\text{m}$, dốc dọc hai đầu cầu $i = 4\%$;
- Phương án sơ đồ nhịp so sánh là $(45+63+2 \times 90+63+45)$ m.

3.2. Các phương án kết cấu nhịp

3.2.1. Phương án cầu dầm hộp bê tông dự ứng lực

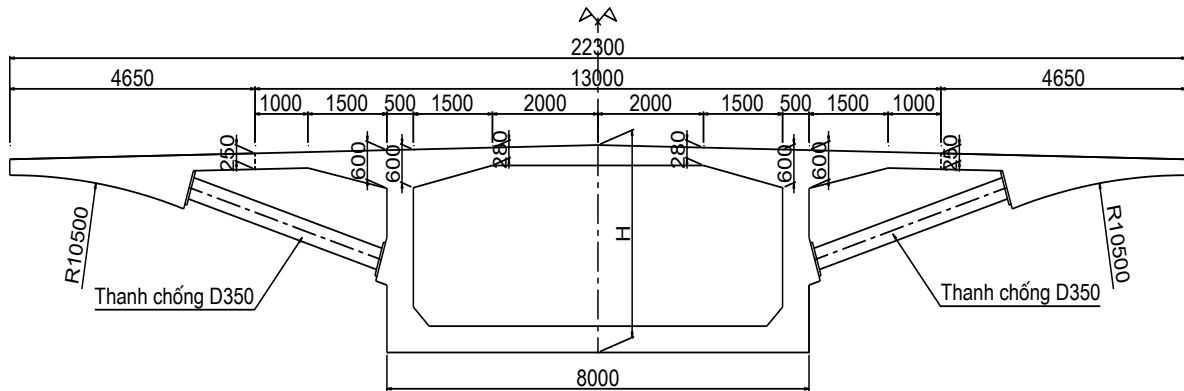


Hình 5. Mặt cắt ngang điển hình dầm hộp đúc hẫng cân bằng.

- Tổng bề rộng mặt cầu thiết kế là $B = 22,3\text{m}$, bố trí mặt cắt ngang dầm chủ gồm 02 hộp, thành hộp thẳng đứng với bề rộng bản đáy là $15,3\text{m}$ và cánh hẫng mỗi bên là $3,5\text{m}$.
- Mỗi trụ chính P2, P3, P4 bố trí một mũi thi công với phân đoạn dầm chủ gồm: đoạn dầm thi công đổ tại chỗ trên đà giáo mở rộng trụ dài $12,0\text{m}$; 12 cặp khối đúc hẫng đối xứng hai bên trụ, mỗi khối đúc hẫng có chiều dài $3,0\text{m}$; cặp khối đúc hẫng cuối cùng và khối hợp long có chiều dài mỗi khối là $2,0\text{m}$.
- Cáp dự ứng lực được bố trí gồm 02 nhóm: Nhóm cáp dự ứng lực bố trí ở bản trên hộp để phục vụ thi công các khối đúc hẫng cân bằng và chịu mô men âm do các tải trọng tác động, mỗi khối đúc hẫng sẽ căng kéo 03 bó cáp tại 03 sườn hộp tương ứng; Nhóm cáp dự ứng lực liên kết các cánh hẫng được bố trí tại bản đáy hộp, các bó cáp này được căng kéo khi thi công các khối hợp long.

3.2.2. Phương án cầu dầm hộp có thanh chống xiên

Cầu dầm hộp bằng bê tông dự ứng lực thi công theo phương pháp đúc hẫng cân bằng có mặt cầu mở rộng, được chống bởi các thanh chống xiên, về mặt chịu lực không tham gia vào chịu lực theo phương dọc cầu, tuy nhiên theo phương ngang cầu sẽ đỡ bản mặt cầu BTCT; giảm thiểu trọng lượng kết cấu nhịp và qua đó tiết kiệm chi phí xây dựng kết cấu phần dưới.



Hình 6. Mặt cắt ngang điển hình dầm hộp có sử dụng thanh chống xiên.

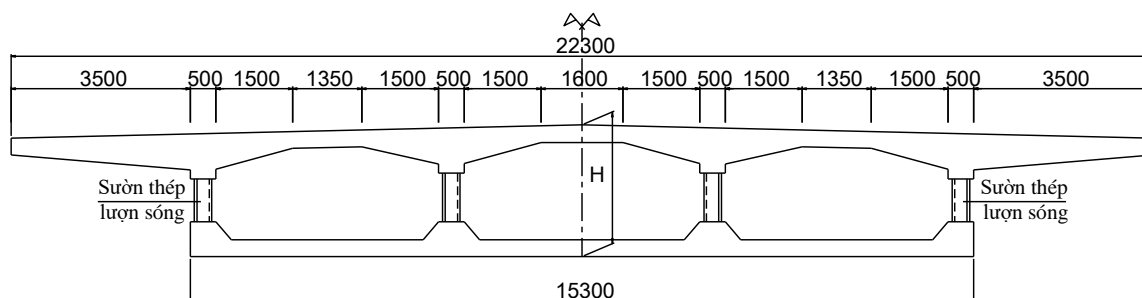
- Tổng bề rộng mặt cắt ngang dầm chủ thiết kế là $B = 22,3\text{m}$, bố trí mặt cắt ngang dầm chủ gồm 01 hộp, thành hộp thẳng đứng với bề rộng bản đáy là $8,0\text{m}$, cánh hẫng mỗi bên là $7,15\text{m}$ được chống đỡ bằng thanh chống thép D350, khoảng cách giữa các thanh chống là $3,0\text{m}$.

- Trên mặt cắt ngang dầm chủ được chia làm hai giai đoạn thi công, phần dầm hộp và bản cánh rộng $13,0\text{m}$ ở giữa được thi công trước theo công nghệ thi công đúc hẫng cân bằng; Sau khi đã hợp long toàn bộ phần dầm liên tục thi công đúc hẫng cân bằng sẽ thi công phần lắp đặt thanh chống và bản cánh mở rộng bằng hệ thống đà giáo đặc biệt. Đối với phần bản cánh mở rộng và thanh chống: toàn bộ chiều dài dầm chủ được dự kiến chia làm 15 phân đoạn có chiều dài khoảng 20 đến 30m; về trình tự thi công mở rộng bản cánh sẽ ưu tiên đổ trước các phân đoạn ở phía giữa nhịp, các phân đoạn trên đỉnh trụ sẽ được đổ bê tông sau để giảm thiểu ứng suất kéo sinh ra do mô men âm tại khu vực đỉnh trụ.

- Cáp dự ứng lực phân đúc hẫng được bố trí gồm 02 nhóm: Nhóm cáp dự ứng lực bố trí ở bản trên hộp để phục vụ thi công các khối đúc hẫng cân bằng và chịu mô men âm do các tải trọng tác động, mỗi khối đúc hẫng sẽ căng kéo 02 bó cáp tại 02 sườn hộp tương ứng; Nhóm cáp dự ứng lực liên kết các cánh hẫng được bố trí tại bản đáy hộp, các bó cáp này được căng kéo khi thi công các khối hợp long.

- Cáp dự ứng lực cũng được bố trí theo hướng ngang bản mặt cầu để chịu ứng suất kéo tập trung tại vị trí thanh chống và căng kéo tạo ứng suất nén dọc theo dầm dọc phụ ở mép bản cánh đầu thanh chống.

3.2.3. Phương án cầu dầm hộp có sườn thép lượn sóng



Hình 7. Mặt cắt ngang điển hình dầm hộp có sườn thép lượn sóng.

- Tổng bề rộng mặt cắt ngang dầm chủ thiết kế là $B = 22,3\text{m}$, bố trí mặt cắt ngang dầm chủ gồm 03 hộp, thành hộp thẳng đứng với bề rộng bản đáy là $15,3\text{m}$, cánh hẫng mỗi bên là $3,5\text{m}$, sườn hộp được cấu tạo bằng các bản thép có dạng lượn sóng.

- Bản thép lượn sóng làm sườn hộp được bố trí tại các khu vực hộp rỗng, trong khu vực dầm ngang trên đỉnh trụ sẽ sử dụng kết cấu bê tông cốt thép.

- Cáp dự ứng lực được bố trí gồm 02 nhóm: Nhóm cáp dự ứng lực bố trí ở bản trên hộp để phục vụ thi công các khối đúc hẫng cân bằng và chịu mô men âm do các tải trọng tác động, mỗi khối đúc hẫng sẽ căng kéo 04 bó cáp tại 04 sườn hộp tương ứng; Nhóm cáp dự ứng lực liên kết các cánh hẫng được bố trí tại bản đáy hộp, các bó cáp này được căng kéo khi thi công các khối hộp long.

3.2.4. Kết quả tính toán thiết kế

Các phương án kết cấu nhịp nêu trên được tính toán, điều chỉnh kích thước, số lượng cáp dự ứng lực, số lượng cọc khoan nhồi để đảm bảo có hệ số an toàn thiết kế là gần tương đương nhau và việc thống kê các chỉ tiêu về kỹ thuật, kinh tế phục vụ so sánh, phân tích ưu nhược điểm giữa các phương án là có thể thực hiện được.

Quá trình tính toán thiết kế các phương án được thực hiện bằng phần mềm chuyên dụng, tính toán đầy đủ các tải trọng theo quy định của tiêu chuẩn thiết kế cầu TCVN 11823-2017, phân tích kết cấu theo mô hình 3D và mô tả đúng trình tự thi công của từng phương án thiết kế. Kết quả tính toán hệ số an toàn các phương án thiết kế kết cấu nhịp được tổng hợp trong bảng dưới đây:

Bảng 1. Tổng hợp hệ số an toàn dầm chủ các phương án.

Nội dung	Vị trí	Phương án dầm hộp bê tông dự ứng lực	Phương án có thanh chống xiên	Phương án có sườn thép lượn sóng
Tải trọng cường độ M_u (KNm)	Đỉnh trụ	-773 277	-587 350	-737 881
	Giữa nhịp	156 794	118 195	160 990
Mô men kháng M_r (KNm)	Đỉnh trụ	-1 239 384	-902 036	-1 313 738
	Giữa nhịp	332 665	198 234	321 658
Hệ số an toàn M_r/M_u	Đỉnh trụ	1,6	1,5	1,8
	Giữa nhịp	2,1	1,7	2,0

Ghi chú: Do không chế theo điều kiện kiểm toán về ứng suất pháp, cắt và xoắn đồng

thời [13], phân tích chống nứt cho bản mặt cầu [14] và giả thiết sử dụng chung hệ thống neo, cáp, vật tư dự ứng lực... nên giá trị hệ số an toàn về mô men tác dụng của từng phương án có sự chênh lệch nhỏ, trong các nghiên cứu thiết kế chi tiết hơn sẽ hiệu chỉnh khác biệt về hệ thống dự ứng lực để có hệ số an toàn về cường độ đồng đều hơn nữa.

Qua số liệu phân tích về hệ số an toàn thiết kế các phương án cho thấy phương án thiết kế dầm hộp có sử dụng thanh chống xiên được bố trí các chi tiết cấu tạo hợp lý, số lượng sườn hộp ít hơn nên số lượng cáp dự ứng lực sử dụng trong kết cấu ít hơn và hệ số an toàn thiết kế sát với yêu cầu hơn so với hai phương án còn lại khoảng 20%.

Kết quả tính toán hệ số an toàn các phương án thiết kế kết cấu phần dưới được tổng hợp trong bảng dưới đây:

Bảng 2. Tổng hợp nội lực cọc khoan nhồi các phương án.

Vị trí	Số lượng/Nội lực đầu cọc	Phương án dầm hộp bê tông dự ứng lực	Phương án có thanh chống xiên	Phương án có sườn thép lượn sóng
Trụ P1, P5	Số lượng (cọc)	8	8	8
	Nội lực (KN)	-8 517	-9 672	-8 395
Trụ P2, P4	Số lượng (cọc)	18	14	16
	Nội lực (KN)	-10 523	-11 208	-10 678
Trụ P3	Số lượng (cọc)	18	14	16
	Nội lực (KN)	-10 500	-10 293	-11 532

Do trọng lượng kết cấu phần trên của các phương án thiết kế có sự thay đổi, phương án dầm hộp bê tông dự ứng lực có trọng lượng lớn nhất nên số lượng cọc cần thiết phải bố trí là nhiều nhất; phương án dầm hộp có sườn bằng thép lượn sóng có trọng lượng kết cấu nhịp trung bình nên số lượng cọc cần thiết bố trí ở mức trung bình; phương án dầm hộp sử dụng thanh chống xiên có trọng lượng kết cấu nhịp thấp nhất nên số lượng cọc cần thiết phải bố trí là thấp nhất [2].

3.3. Phân tích so sánh theo các chỉ tiêu kỹ thuật

Để so sánh các phương án thiết kế, chỉ tiêu kỹ thuật đầu tiên được phân tích là khối lượng các vật liệu được sử dụng trong kết cấu công trình qua đó sẽ đánh giá được các chỉ tiêu đặc trưng của kết cấu dầm hộp bê tông cốt thép dự ứng lực như [2]:

- Tỷ số khối lượng bê tông kết cấu nhịp trung bình cho mỗi m² mặt cầu, đây là chỉ tiêu cho thấy tính hợp lý của mặt cắt ngang được chọn, tỷ lệ này cũng phản ánh giá trị tĩnh tải kết cấu nhịp lớn hay nhỏ.

- Tỷ số trọng lượng cáp dự ứng lực trung bình cho mỗi m³ bê tông kết cấu nhịp, đây là chỉ tiêu cho thấy khối lượng thép chịu lực chính được sử dụng tương ứng với thể tích bê tông bố trí trong kết cấu, kết cấu càng được thiết kế thanh mảnh, càng tối ưu hóa thì tỷ số này càng cao.

- Tỷ số giữa trọng lượng cốt thép thường trung bình cho mỗi m³ bê tông kết cấu nhịp, đây là chỉ tiêu cho thấy khối lượng thép chống ứng suất cục bộ, ứng suất bề mặt được sử dụng tương ứng với thể tích bê tông bố trí trong kết cấu, kết cấu càng được thiết kế hợp lý, càng tối ưu hóa thì tỷ số này càng nhỏ.

Bảng 3. Tổng hợp khối lượng vật liệu chủ yếu kết cấu nhịp.

STT	Hạng mục	Đơn vị	Phương án dầm hộp bê tông dự ứng lực	Phương án có thanh chống xiên	Phương án có sườn thép lượn sóng
1	Bê tông dầm	m ³	8 575,2	6 007,3	6 606,0
2	Cáp dự ứng lực	T	464,1	357,0	392,7
3	Cốt thép thường	T	1 543,5	1 081,3	1 189,1
4	Thanh chống xiên	T	-	106,5	-
5	Sườn thép lượn sóng	T	-	-	730,0
6	Bê tông dầm	(m ³ /m ² mặt cầu)	0,97	0,68	0,75
	Tỷ lệ	%	100	70	77
7	Cáp dự ứng lực	(T/m ³ bê tông)	0,0541	0,0594	0,0594
	Tỷ lệ	%	100	110	110

Qua bảng tổng hợp khối lượng chủ yếu của kết cấu nhịp nêu trên, với diện tích mặt cầu là 8830,8 m² có thể thấy tỷ số khối lượng bê tông kết cấu nhịp trung bình cho mỗi m² mặt cầu của phương án sử dụng dầm hộp bằng bê tông cốt thép dự ứng lực có thanh chống xiên 0,68 m³ bê tông/1m² mặt cầu là thấp nhất, do đó trọng lượng kết cấu nhịp của phương án này cũng là thấp nhất. Đi kèm với nó là yêu cầu bố trí gối cầu chịu lực nhỏ nhất, số lượng cọc cần thiết của kết cấu phần dưới ít nhất.

Tỷ số trọng lượng cáp dự ứng lực trung bình (T) cho mỗi m³ bê tông kết cấu nhịp của phương án dầm hộp bê tông dự ứng lực là 0,0541 và các phương án sử dụng dầm hộp bằng bê tông cốt thép dự ứng lực có thanh chống xiên, dầm hộp có sườn thép lượn sóng tương đương nhau là 0,0594. Tỷ số này cho thấy kết cấu thép - bê tông đã làm cho kết cấu nhịp trở lên thanh mảnh hơn, phát huy tối đa khả năng chịu lực của vật liệu chế tạo kết cấu.

Tỷ số trọng lượng cốt thép thường trung bình cho mỗi m³ bê tông kết cấu nhịp đều là 180 kg/m³ bê tông cho thấy việc bố trí cốt thép chịu lực cục bộ, chịu ứng suất bề mặt của kết cấu là tương đương nhau.

Ngoài các chỉ tiêu chính nêu trên, trọng lượng thép kết cấu sử dụng trong kết cấu công trình, thép là vật liệu có giá thành đắt nên việc sử dụng càng nhiều vật liệu này sẽ làm cho tính kinh tế của kết cấu nhịp giảm đi, tuy nhiên việc đánh giá chỉ tiêu này mang tính tương đối do việc sử dụng thép kết cấu một cách hợp lý sẽ góp phần làm giảm các cấu thành khác, giảm chi phí xây dựng kết cấu phần dưới. Trong bảng thống kê khối lượng chủ yếu, phương án sử dụng dầm hộp bằng bê tông cốt thép dự ứng lực có thanh chống xiên có khối lượng thép thấp hơn nhiều so với phương án sử dụng dầm hộp có sườn bằng thép lượn sóng nhưng nhờ bố trí hợp lý nên đã làm giảm tối đa trọng lượng của kết cấu phần trên.

Qua đây cho thấy việc ứng dụng giải pháp dầm hộp có thanh chống xiên giảm được khoảng 30% khối lượng bê tông dầm so với phương án sử dụng kết cấu dầm hộp bê tông dự ứng lực và khối lượng thép dự ứng lực sử dụng trong kết cấu tăng khoảng 10%.

Nhìn chung các phương án thi công tương ứng với giải pháp kết cấu được lựa chọn đều

có những ưu, nhược điểm riêng, trong xu thế phát triển mạnh của kết cấu mới, các đơn vị thi công đã từng bước làm quen với công nghệ chế tạo, việc lựa chọn phương án dầm hộp liên tục có thanh chống xiên chắc chắn sẽ được nhiều công trình áp dụng do nó là phương án vừa tận dụng được lợi thế của công nghệ đã được làm chủ và phát triển thêm trên kinh nghiệm đã tích lũy trong các công trình mới được ứng dụng tại Việt Nam.

Về yêu cầu duy tu, bảo dưỡng kết cấu công trình, phương án sử dụng kết cấu dầm hộp có thanh chống xiên cũng có nhiều ưu điểm do kết cấu thanh chống rất dễ tiếp cận để thực hiện công tác duy tu, bảo dưỡng.

3.4. Phân tích so sánh các phương án theo các chỉ tiêu kinh tế

3.4.1. Ước tính chi phí xây dựng của các phương án

Trên cơ sở giải pháp thiết kế được lựa chọn, khối lượng vật liệu sử dụng trong kết cấu, giải pháp thi công xây dựng, chi phí xây dựng được ước tính phù hợp với hướng dẫn của Bộ Xây dựng tại Thông tư số 06/2016/TT-BXD ngày 10/3/2016 với các giả định về giá nhân công, ca máy và định mức áp dụng cho địa bàn tỉnh Thừa Thiên Huế. Kết quả so sánh chi phí xây dựng kết cấu phần trên các phương án như trong bảng dưới.

Bảng 4. So sánh chi phí xây dựng kết cấu phần trên các phương án.

Hạng mục		Đơn vị	Khối lượng	Đơn giá (VND)	Thành tiền (VND)
I – Phương án dầm hộp bê tông dự ứng lực					308 860 500 000
1	Bê tông dầm	m ³	8575,2	25 000 000	214 380 000 000
2	Cáp dự ứng lực	T	464,1	50 000 000	23 205 000 000
3	Phụ trợ thi công		30%		71 275 500 000
II – Phương án dầm hộp bê tông dự ứng lực có thanh chống xiên					231 157 125 000
1a	Bê tông dầm	m ³	4493,2	25 000 000	112 330 000 000
1b	Bê tông cánh dầm	m ³	1514,1	25 000 000	37 852 500 000
2	Cáp dự ứng lực	T	357	50 000 000	17 850 000 000
3	Thanh chống xiên D350	T	106,5	30 000 000	3 195 000 000
4	Phụ trợ thi công		35%		59 929 625 000
III – Phương án dầm bê tông dự ứng lực có sườn thép lượn sóng					309 806 000 000
1	Bê tông dầm	m ³	6 606,2	25 000 000	165 155 000 000
2	Cáp dự ứng lực	T	392,7	50 000 000	19 635 000 000
3	Sườn dầm thép	T	730	50 000 000	36 500 000 000
4	Phụ trợ thi công		40%		88 516 000 000

3.4.2. So sánh kinh phí của các phương án

Qua ước tính chi phí của các phương án, có thể nhận thấy về tổng chi phí xây dựng cầu thì phương án dầm có thanh chống xiên là thấp nhất, có thể thấy:

- Chi phí chế tạo kết cấu nhịp cầu theo phương án dầm hộp bê tông dự ứng lực khoảng 308,9 tỷ đồng là khá cao, các chi phí này tập trung vào chi phí cho phần bê tông và cốt thép thường và phụ trợ thi công do phải sản xuất xe đúc, ván khuôn hoàn toàn mới cho dầm hộp có bề rộng 22,3m.

- Chi phí chế tạo kết cấu nhịp cầu theo phương án dầm có sườn thép lượn sóng khoảng 309,8 tỷ đồng là cao nhất, chi phí cho phần bê tông cốt thép đã giảm mạnh nhưng phải bổ sung chi phí cho phần bản thép lượn sóng và chưa giảm được chi phí phụ trợ thi công do phải sản xuất xe đúc, ván khuôn hoàn toàn mới.

- Chi phí chế tạo kết cấu nhịp cầu theo phương án dầm có thanh chống xiên khoảng 231,2 tỷ đồng là thấp nhất do đã tận dụng được xe đúc hiện có nên chi phí phụ trợ thi công giảm và chi phí cho phần bê tông cốt thép đã giảm mạnh kết hợp với khối lượng thép cho thanh chống xiên nhỏ hơn nhiều so với sườn bằng thép lượn sóng.

Như vậy, khi so sánh chỉ tiêu kinh tế đã cho thấy phương án dầm có thanh chống xiên có ưu điểm vượt trội, chi phí xây dựng thấp nhất trong các phương án được nghiên cứu, giúp tăng hiệu quả đầu tư xây dựng công trình.

4. KẾT LUẬN

Kết cấu nhịp cầu dầm hộp liên tục có thanh chống xiên tuy đã được ứng dụng nhiều và đang có xu hướng ưu tiên lựa chọn ở các quốc gia phát triển trên thế giới nhưng vẫn còn khá mới lạ ở Việt Nam. Dạng kết cấu này giúp giảm thiểu trọng lượng kết cấu nhịp, qua đó giúp kết cấu có thể vượt được khẩu độ lớn hơn, giảm tác động của lực động đất, giảm khối lượng và chi phí xây dựng kết cấu phần dưới...; khai thác tối đa khả năng làm chủ công nghệ thi công kết cấu dầm theo phương pháp đúc hẫng cân bằng đã quen thuộc và bổ sung, mở rộng thêm bản mặt cầu.

Bài báo đã nghiên cứu so sánh chi tiết các chỉ tiêu kỹ thuật, kinh tế giữa các phương án thiết kế và cho thấy việc sử dụng dầm hộp có thanh chống xiên là phương án có nhiều ưu điểm về kỹ thuật, giảm giá thành xây dựng công trình, giúp tăng hiệu quả đầu tư xây dựng công trình so với phương án dầm hộp bê tông dự ứng lực và phương án dầm hộp có sườn thép lượn sóng do đã tận dụng được xe đúc hiện có nên chi phí phụ trợ thi công giảm và chi phí cho phần bê tông cốt thép đã giảm mạnh kết hợp với khối lượng thép cho thanh chống xiên nhỏ hơn nhiều so với sườn bằng thép lượn sóng.

Để giảm thiểu tác động của mô men âm sinh ra ứng suất kéo trong bản mặt cầu cần nghiên cứu kỹ lưỡng về trình tự thi công phân đoạn đổ bê tông phần mở rộng bản mặt cầu cùng với công tác lắp đặt các thanh chống xiên.

Các nội dung về xây dựng phương án thiết kế tổng thể, thiết kế chi tiết kết cấu công trình cầu dầm hộp có thanh chống xiên còn cần được tiếp tục nghiên cứu, hiệu chỉnh thêm để có hệ số an toàn đồng đều hơn nhằm có đánh giá toàn diện hơn về các chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật. Trước mắt có thể xem xét kết cấu nhịp cầu dầm hộp liên tục có thanh chống xiên như là một phương án so sánh, tiến tới tổng kết và đúc rút kinh nghiệm để kết cấu này ngày càng được ứng dụng phổ biến hơn nữa trong các công trình cầu tại Việt Nam.

Với giá thành xây dựng và tính mỹ quan cầu hợp lý kết hợp với khả năng chịu lực tốt của kết cấu bê tông - thép, cầu bê tông - thép đang được nhiều kỹ sư cầu và các nhà quản lý quan tâm, chắc chắn sẽ ngày càng phát triển và ứng dụng nhiều trong ngành xây dựng cầu trên phạm vi toàn thế giới nói chung và ở Việt Nam trong tương lai nói riêng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Đức Nhiệm, Kết cấu và công nghệ hiện đại trong xây dựng cầu thép, Bài giảng Cao học, Trường đại học Giao thông vận tải, 2010.
- [2]. Bộ Giao thông vận tải, Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, mã số DT114060 “Nghiên cứu thiết kế mẫu loại dầm hỗn hợp thép- bê tông cốt thép”, 2013.
- [3]. Bộ Giao thông vận tải, Tiêu chuẩn thiết kế cầu TCVN 11823: 2017.
- [4]. Bộ Giao thông vận tải, Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN 272-05, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội, 2005.
- [5]. Bộ Giao thông vận tải, Giải thích Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN 272-05, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội, 2005.
- [6]. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, SI Units (4th Edition): American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2007.
- [7]. EN 1994-1-1 (English): Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, 2004.
- [8]. Nguyễn Như Khải, Nguyễn Bình Hà, Phạm Duy Hòa, Cầu Thép Bê tông cốt thép liên hợp, NXB Xây dựng, Hà Nội, 2012.
- [9]. Đoàn Định Kiến, Thiết kế kết cấu thép (theo quy phạm Hoa Kỳ AISC/ASD), NXB Xây dựng, Hà Nội, 2015.
- [10]. Chen W.F., Duan L., Bridge Engineering Handbook, CRC Press, 2014.
- [11]. Construction American Institute of Steel, Load & resistance factor design: Manual of steel construction, American Institute of Steel Construction, 1998.
- [12]. Thiết kế kỹ thuật cầu Tuần Km81+62,84 thuộc Dự án thành phần đầu tư xây dựng đoạn Cam Lộ - La Sơn, tháng 6/2019.
- [13]. Ngô Văn Minh, Phân tích nguyên nhân gây ra nứt xiên vách dầm hộp bê tông dự ứng lực căng sau của cầu đúc hẫng cân bằng, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 70 (2019) 21-31. <https://doi.org/10.25073/tcsj.70.1.40>
- [14]. Bùi Ngọc Tình, Nguyễn Ngọc Long, Nguyễn Viết Trung, Ngô Văn, Minh, Ứng dụng mô hình “nứt theo tông biến dạng” phân tích ứng xử phi tuyến của bản bê tông cốt thép chịu lực nén xiên, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 71 (2020) 56-69. <https://doi.org/10.25073/tcsj.71.2.1>