Đánh giá khả năng mở rộng phần đường xe chạy cầu dầm hộp bê tông cốt thép nhịp lớn ở Việt Nam

Widening method for prestressed box concrete segmental bridges in Vietnam

Hoàng Việt Hải[1,*], Phạm Đức Thọ[2]

[1]Trường Đại học Giao thông vận tải
[2]Trường Đại học Mỏ - Địa chất
[*]Tác giả liên hệ: hoangviethai@utc.edu.vn

Tóm tắt:

Bài báo đánh giá khả năng mở rộng mặt cầu của cầu dầm hộp bê tông cốt thép dự ứng lực (BTCT DUL) từ 2 làn xe chạy thành 3 hoặc 4 làn xe. Phương án được sử dụng trong nghiên cứu là phương án sử dụng các thanh chống (SBWM). Phương án này đã được nghiên cứu lần đầu tiên vào năm 2003 trong việc nghiên cứu mở rộng dầm hộp BTCT DUL từ 2 làn đến 3 hay 4 làn. Phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng trong nghiên cứu nhằm đánh giá trạng thái ứng suất và võng của bản cánh dầm chủ trong trường hợp không hoặc có sử dụng thanh chống với 03 khoảng cách khác nhau lần lượt là 2 m, 3 m và 4 m. Kết quả mô phỏng cho thấy ứng suất kéo theo phương ngang cầu giảm 2,9 lần; độ võng giảm tương ứng 2,98 lần đối với trường hợp sử dụng thanh chống với khoảng cách các thanh là 4 m. Nghiên cứu góp phần bổ sung thêm phương án mở rộng cầu dầm hộp BTCT DUL trong tương lai.

Từ khóa: Phần tử hữu hạn; Dầm hộp BTCT DUL; Phương pháp thanh chống mở rộng cầu.

Abstract:

This paper discusses how a two-lane prestressed box concrete bridge can be designed and constructed so that it can be widened easily into a three- or four-lane bridge in the future. The methods presented are the strutted box widening method (SBWM), which applies to concrete box girder bridges, and the strutted girder widening method (SGWM), which applies to precast concrete girder bridges. The finite element method (FEA) was used in this study to perform the tensile stress and deflection state of the girder in two cases non, and the use of SBWM with 03 different distances of strut: 2m, 3m, and 4m, respectively. The results showed that the SBWM with 4m of strut decreased by 2,9 times in the transverse tensile stress; the deflection is reduced by 2,98 times. This study contributes to the widening method of the reinforced concrete box girder bridge in the future.

Keywords: Finite element method (FEA); Prestressed concrete bridge; Strutted box widening method.

1. Giới thiệu

Với sự phát triển nhanh chóng của kinh tế vận tải trong những năm gần đây, cùng với mật độ giao thông và lưu lượng giao thông qua công trình cầu ngày càng tăng. Bề rộng một số công trình cầu qua nhiều năm khai thác trở nên quá hẹp với lưu lượng giao thông hiện hữu dẫn đến việc thường xuyên ùn tắc giao thông, do đó nhu cầu mở rộng thêm 1-2 làn xe nhằm tăng cường khả năng thông hành, giảm ùn tắc giao thông là hết sức cần thiết.

Đối với với các cầu có các nhịp vừa và nhỏ, đặc biệt là các kết cấu nhịp giản đơn, việc mở rộng phần đường xe chạy thêm 2-4 m là khá đơn giản. Phương án thường hay sử dụng là bổ sung thêm từ một đến hai dầm chủ kết hợp với việc mở rộng xà mũ mố, trụ. Một số phương án khác đòi hỏi khi mở rộng cầu cần phải tăng cường thêm mố trụ, bổ sung thêm hệ móng cọc (khoan nhồi, cọc đóng, cọc thép, ...) và mở rộng thêm mố, trụ mới trước khi gác dầm và liên kết với dầm cũ. Giải pháp này đã áp dụng ở một số cầu tại nước ta như cầu Chánh Hòa – Quốc lộ 1; cầu

Xém ở Thường Tín, các cầu trên Quốc lộ 49 mở rộng bề rộng cầu từ 6 m lên 7,5 m,… Đối với các cầu lớn, nhịp liên tục việc mở rộng cầu trở nên khó khăn hơn do chiều dài nhịp lớn và mặt cắt ngang thường là dầm hộp do đó việc bổ sung thêm dầm tương tự như là xây dựng thêm một đơn nguyên bên cạnh đã làm cho chi phí xây dựng lớn. Do đó, việc nghiên cứu, đánh giá các giải pháp mở rộng bề rộng dầm hộp, sau đó lựa chọn giải pháp hợp lý là hết sức cần thiết. Theo một số nghiên cứu trên thế giới việc mở rộng, tăng cường bản cánh dầm hộp sử dụng một số giải pháp như sau: (i) phương pháp sử dụng thanh chống (the strutted box widening method (SBWM)); (ii) phương pháp sử dụng tăng cường (iii) phương pháp sử dụng bê tông tính năng siêu cao (UHPC) ở lớp phủ mặt cầu [1], [2];… Phương pháp SBWM đã được nghiên cứu lần đầu tiên vào năm 2003 bởi Shushkewich [3] trong việc nghiên cứu mở rộng dầm hộp BTCT DUL từ 2 làn lên 3-4 làn. Thông qua hai trường hợp, tác giả đã đánh giá việc sử dụng phương pháp SBWM để có thể mở rộng cầu thi công phân đoạn có chiều cao mặt cắt ngang thay đổi và không đổi dọc theo chiều dài nhịp. Sau đó, Shushkewich [4] có đề xuất các giải pháp thiết kế dầm hộp BTCT DUL cho việc mở rộng cầu trong tương lai. Ngoài ra, một số nghiên cứu khác đã so sánh giải pháp sử dụng thanh chống và sử dụng sườn bê tông như là sườn tăng cường (stiffened rid) đối với dầm hộp bản cánh rộng [5]-[7]. Tuy nhiên, đối với các thiết kế sửa chữa, giải pháp sử dụng sườn tăng cường khá khó khăn do việc thi công phức tạp và quá trình hoạt động đồng thời giữa bê tông sườn tăng cường mới bổ sung và bê tông bản mặt cầu hiện hữu.

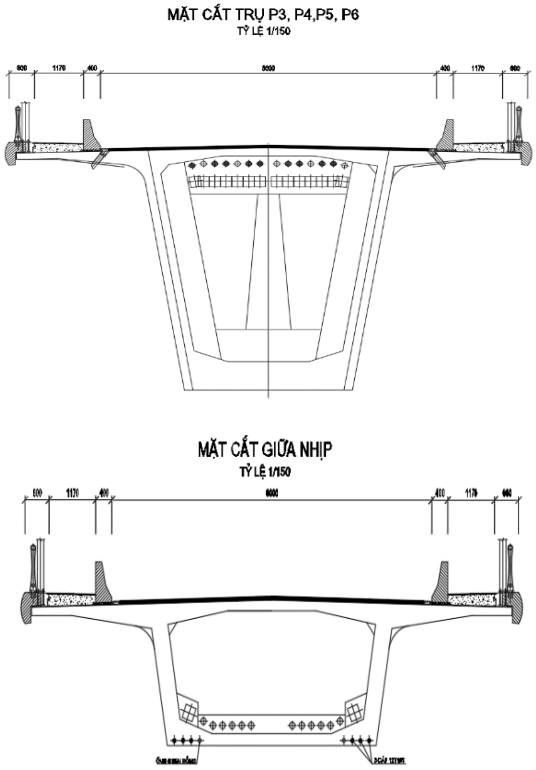
Hình 1. Thanh chống thép tăng khả năng chịu lực cho bản cánh dầm hộp trên đường Trường Chinh, tuyến Vành Đai 2, thành phố Hà Nội.

Phương pháp sử dụng thanh chống bằng thép nhằm tăng cường cho phần cánh hẫng của dầm hộp gần đây được áp dụng cho cầu ở đường Trường Chinh trên tuyến Vành Đai 2 tại Hà Nội (hình 1). Tuy nhiên, đây là công trình thiết kế mới. Ở Việt Nam, hiện nay chưa có công trình thi công mở rộng, tăng cường bản cánh dầm hộp. Vì vậy, bài báo này đề cập đến giải pháp mở rộng dầm hộp bằng phương pháp sử dụng thanh chống, nhằm đánh giá tính khả thi của giải pháp này mong muốn giúp cho kỹ sư lựa chọn phương án mở rộng cầu của Việt Nam trong tương lai.

2. Xây dựng mô hình kết cấu

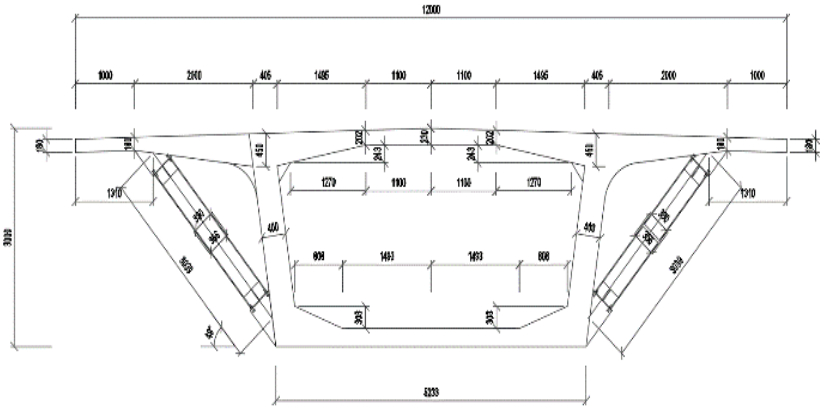
2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của bài báo là nghiên cứu, đánh giá khả năng mở rộng cầu Gianh, Km625+500, Quốc lộ 1 (QL 1), tỉnh Quảng Bình. Cầu bắc qua sông Gianh nối thị xã Ba Đồn và huyện Bố Trạch tỉnh Quảng Bình. Cầu Gianh được khởi công tháng 5/1995 và khánh thành năm 1998 với các đặc điểm kỹ thuật như sau: Sơ đồ kết cấu nhịp: L = 37,4 + 58 + 90,6 + 120 x 3 + 90,6 + 58 + 37,4 m ; khổ cầu: B = 4 x 2+ 0,4 x 2 + 1,17 x 2 + 0,43 x 2 m = 12 m ; tải trọng thiết kế H30-XB80.



Hình 2. Mặt cắt ngang trên đỉnh trụ và giữa nhịp cầu Gianh, Km 625+500, QL1, tỉnh Quảng Bình.

Giải pháp được xem xét trong phương pháp mở rộng phần đường xe chạy là phương pháp sử dụng thanh chống như được mô tả trên hình 3.



Hình 3. Phương án dự kiến tăng cường bằng thanh chống.

Phương án sử dụng là thanh thép chống bằng thép. Thanh chống bằng thép nhằm đảm bảo khả năng chịu lực và không làm tăng đáng kể tĩnh tải của dầm chủ. Phần bê tông liên kết với dầm chủ ở bản cánh và sườn dầm chủ sẽ được liên kết với dầm hiện hữu thông qua việc khoan cấy cốt thép thường và lắp dựng lưới cốt thép để chịu lực cục bộ ở hai đầu của thanh chống. Khoan cấy cốt thép được thực hiện sau khi đã đối chiếu với hồ sơ hoàn công nhằm đảm bảo việc khoan cấy không ảnh hưởng đến cốt thép dự ứng lực hiện hữu của dầm chủ. Phương án sử dụng thanh chống bằng thép đảm bảo cho việc thi công mở rộng không cần phải cấm các phương tiện qua cầu và việc thi công nhanh hơn so với phương án sử dụng thanh chống bằng bê tông.

2.2. Xây dựng mô hình tính toán

Để so sánh và khảo sát ảnh hưởng của sự phân bố nội lực tương ứng với các trường hợp khi sử dụng phương pháp SBWM. Nhằm giảm thời gian mô hình, nghiên cứu tiếp theo chỉ tập trung vào việc phân tích cục bộ một đoạn dầm của cầu Gianh nhằm đánh giá phân bố ứng xuất bản cánh của dầm hộp. Việc mô hình phần tử hữu hạn bằng phần tử hữu hạn (FEA) (hình 4a). Do việc phân tích cục bộ nên toàn bộ dầm (bản đáy dầm) sẽ được gán điều kiện biên là đặt trên nền cứng. Liên kết giữa thanh chống và sườn dầm hay bản cánh dầm cũng sử dụng liên kết cứng. Các thông số về đặc trưng hình học, đặc trưng vật liệu và tải trọng tác dụng được trình bày tại bảng 1 và bảng 2.

Các lưới phần tử được phân chia thành các lưới tam giác với kích thước cạnh là 100 mm. Dầm chủ được mô tả dưới dạng phần tử Beam; thanh chống bằng thép được mô tả dưới dạng Column; cốt thép được mô tả dưới dạng Reinforcement trong mô hình phần tử hữu hạn FEA. Các thông số vật liệu được lấy theo hồ sơ hoàn công của công trình, theo đó cường độ chịu nén của bê tông tương đương với cấp bê tông fc' = 35Mpa. Thông số các vật liệu khác trong mô hình vật liệu được lấy theo bảng 1.

Bảng 1. Thông số vật liệu trong mô hình.

Hạng mục	Vật liệu			
	fc' (f_y) (Mpa)	Tỷ Trọng (kg/m3)	Mođun đàn hồi (Mpa)	Hệ số Poisson
Bê tông dầm chủ	35	2356	30502	0,2
Bê tông dầm dọc ụ chống	35	2356	30502	0,2
Thép thanh chống	345	7709	197000	0,3
Cốt thép thường	400	7709	197000	0,3

2.3. Xây dựng mô hình tính toán

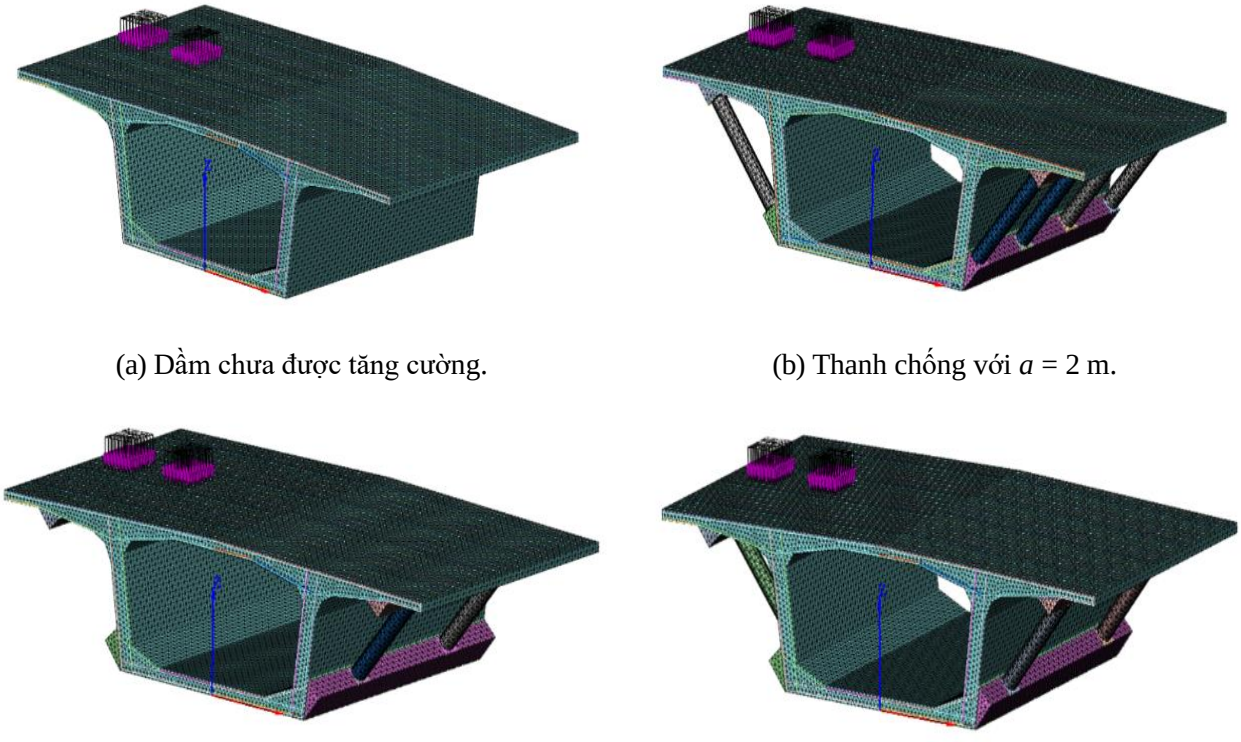
Tĩnh tải bản thân dầm chủ được xem xét trước khi lắp đặt hệ thanh chống thép, do đó, không có tác dụng lên thanh chống. Tĩnh tải phần 2 được xem xét khi làm lại lan can cầu và thảm lại lớp phủ trên mặt cầu, tải trọng này được tính toán trong bảng 2. Hoạt tải được xem xét trong tính toán là tải trọng HL93 theo TCVN11823-2017. Theo đó, áp lực bánh xe được tính toán thành một vùng ảnh hưởng có bề rộng 830 mm và chiều dài 600 mm xếp lệch tâm tối đa về một phía để gây ra nội lực lớn nhất đối với cánh hẫng, các hệ số làn xe m = 1,2 và hệ số xung kích 1+IM = 1,33 phải được xét đến. Vậy áp lực do một bánh xe là q = (72500 N x 1,2 x 1,33)/(830 mm x 600 mm) = 0,23 Mpa.

Bảng 2. Tĩnh tải phần 2 trong tính toán.

Tải trọng	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Gờ chắn, lan can và các cấu kiện bê tông khác	DC2	7,595	kN/m
Lớp phủ bê tông nhựa Asphalt	DW	17,325	kN/m

2.4. Mô hình các phương án kết cấu

Để đánh giá được hiệu quả của phương án mở rộng cầu có sử dụng thanh chống. Kết quả được tính toán trong các trường hợp sau: trường hợp không có thanh chống, trường hợp có thanh chống (Hình 4) với chiều dài 2m, 3m và 4m.



(a) Dầm chưa được tăng cường.

(b) Thanh chống với a = 2 m.

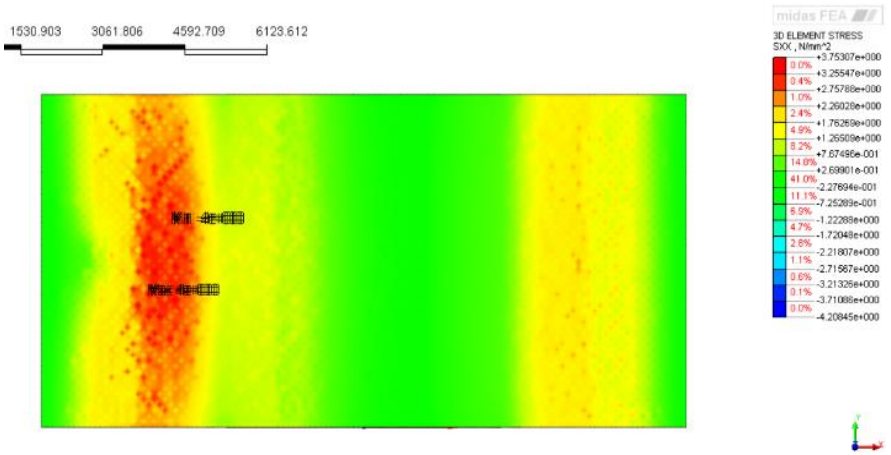
(c) Thanh chống với a = 3 m.

(d) Thanh chống với a = 3 m.

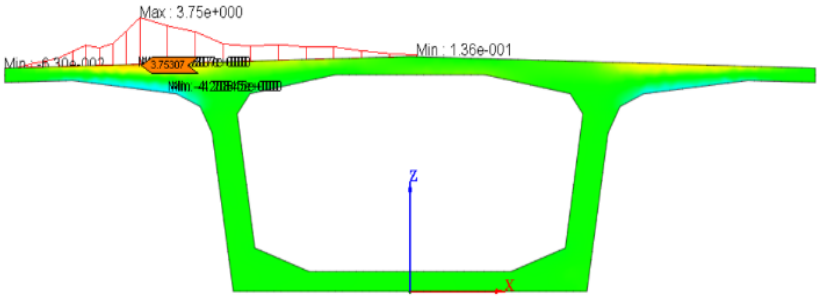
Hình 4. Mô phỏng dầm và cốt thép trong FEA.

3. Kết quả và thảo luận

Kết quả tính toán bằng phần từ hữu hạn thu được sự phân bố ứng suất kéo của bê tông theo phương ngang cầu dưới tác dụng của tĩnh tải và hoạt tải được mô tải trên hình 5.

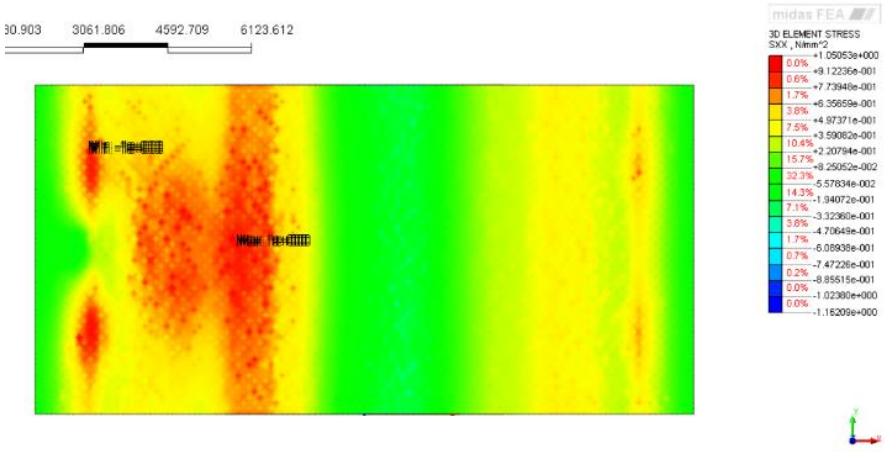


(a) Mặt bằng ứng suất trong trường hợp không có thanh chống.

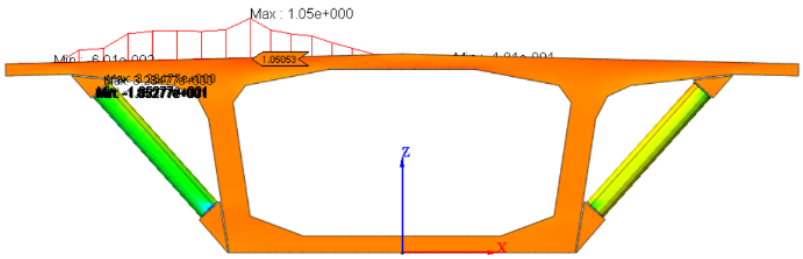


(b) Phân bố ứng suất trên mặt cắt ngang.

Hình 5. Phân bố ứng xuất theo phương ngang cầu ở bản cánh dầm hộp.

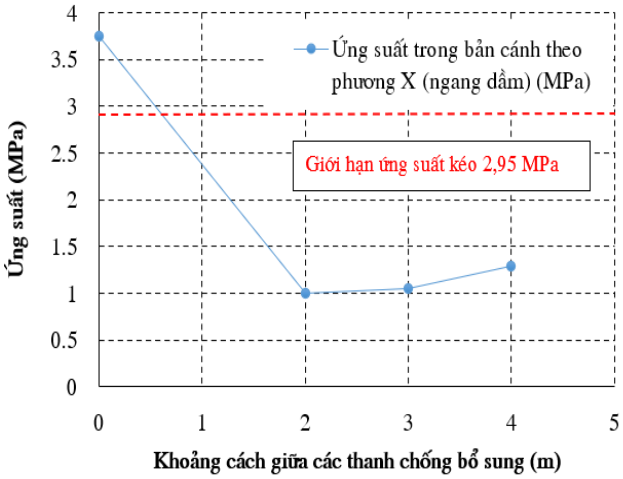


(a) Mặt bằng ứng suất trong trường hợp có thanh chống a = 3m.



b) Phân bố ứng suất trên mặt cắt ngang a =3 m.

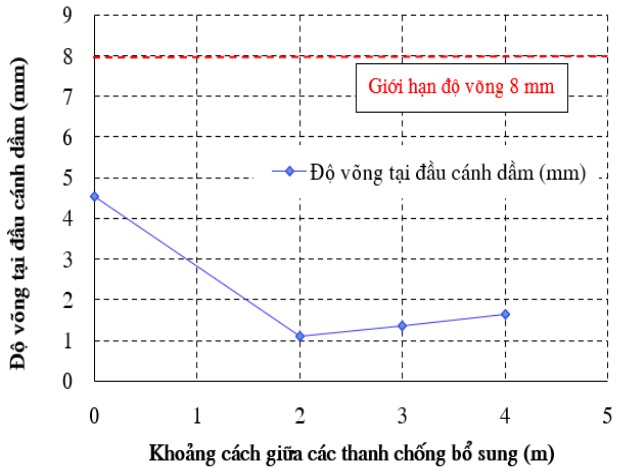
Hình 6. Phân bố ứng xuất ở bản cánh dầm hộp.



Hình 7. Ứng suất lớn nhất trong các trường hợp.

Trên mặt bằng hình 5a có thể quan sát được trong trường hợp không tăng cường bằng thanh chống, ứng suất bất lợi nhất nằm dọc theo sườn dầm chủ, phần bất lợi nhất nằm ở phía trên cùng của mặt cắt. Trong trường hợp bổ sung thanh chống (hình 6a), phần ứng suất lớn nhất giảm, các vùng có ứng suất lớn: Vị trí phía trên thanh chống; vị trí tải trọng và trị trí sườn dầm chủ. Tuy nhiên, giá trị ứng suất kéo lớn nhất giảm từ 3,75Mpa xuống 1 MPa, 1,05 MPa, 1,29 MPa tương ứng với khoảng cách giữa các thanh chống lần lượt là 2, 3 và 4 m.

Hình 7 biểu diễn giá trị ứng suất lớn nhất trong các trường hợp: Không có thanh chống với khoảng cách các thanh chống, a = 2,3 và 4 m. Như vậy, đối với phương án mở rộng phần đường xe chạy mà không bổ sung thanh chống, ứng suất kéo lớn nhất 3,75Mpa vượt quá ứng suất cho phép 2,95 Mpa. Trong trường hợp bố trí thanh chống với khoảng cách 4 m, giá trị ứng suất kéo lớn nhất giảm xuống chỉ còn 1,29 Mpa (giảm 2,9 lần). Khi giảm khoảng cách các thanh về 3 m, 2 m giá trị ứng suất giảm tương ứng là 18% và 22%. Đối với thông số độ võng đầu dầm, theo tiêu chuẩn Việt Nam thiết kế cầu trên đường bộ độ võng tại cánh hẫng được giới hạn ở mức là $L/375$, trong đó L là chiều dài nhịp (ở đây L = 3,0 m là bề rộng cánh hẫng dầm). Do đó, độ võng tối đa cho phép là $\frac{L}{375} = \frac{3000}{375} = 8(\text{mm})$.



Hình 8. Độ võng tại mép bản cánh dầm hộp.

Giá trị độ võng lớn nhất tương ứng với các trường hợp được tính toán và biểu diễn như trên hình 8. Độ võng lớn nhất trường hợp không có thanh chống là 4,55mm; khi bổ sung thanh chống độ võng giảm xuống tương ứng là 1,65 mm (giảm 2,75 lần); 1,36 mm (giảm 2,98 lần); 1,1 mm (giảm 4,13 lần) tương ứng với trường hợp khoảng cách các thanh chống là 4 m, 3 m và 2 m. Như vậy, so với việc bố trí thanh chống có a = 4 m, bố trí thanh chống a = 3 m và a = 2 m giúp giảm độ võng thêm 15% và 33%.

Vậy nên, việc bổ sung thêm các hệ thanh chống độ võng cánh dầm góp phần giảm rõ rệt độ võng của đầu cánh dầm và tăng sự làm việc an toàn cho kết cấu. Độ võng đều nhỏ hơn độ võng giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn. Tuy nhiên, giá trị độ võng này chưa tính đến độ võng tổng thể của kết cấu nhịp, việc so sánh sẽ thực hiện trong các nghiên cứu tiếp theo.

4. Kết luận

Qua kết quả nghiên cứu về phương án bổ sung thanh chống cho kết cấu nhịp trong trường hợp mở rộng phần đường xe chạy đối với một công trình cụ thể một số kết luận có thể rút ra như sau:

- Việc bổ sung thanh chống đã chứng minh hiệu quả rõ rệt trong việc giảm ứng suất lớn nhất tại bề mặt phía trên của bản mặt cầu ở vị trí liên kết với sườn dầm hộp. Kết quả này thu được thông qua việc tính toán cục bộ trên mô hình phần từ hữu hạn. Ứng suất giảm 2,9 lần và độ võng giảm 2,98 lần trong trường hợp bổ sung thanh chống với khoảng cách các thanh là 4 m.
- Khi khoảng cách các thanh chống giảm từ 4 m xuống 3 m và 2 m. Giá trị ứng suất lớn nhất giảm tiếp lần lượt là 18% và 22%, trong khi đó độ võng giảm tiếp 15% và 33%.

Như vậy, việc mở rộng phần đường xe chạy cũng như mở rộng mặt cầu bằng phương án sử dụng thanh chống là khả thi. Nghiên cứu này đã chứng minh tính hiệu quả của phương án, bổ sung vào một trong những phương án mở rộng mặt cầu trong tương lai. Tuy nhiên, nghiên cứu mới chỉ dừng lại ở đánh giá hiệu quả cục bộ của một đoạn dầm, đánh giá chủ yếu theo phương ngang cầu, chưa đánh giá được tổng thể công trình cầu. Trong các nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả cần mô phỏng đánh giá tổng thể công trình, sau đó đánh giá cục bộ. Một trong những hướng nghiên cứu trong tương lai là tăng cường bản mặt cầu dầm hộp bê tông cốt thép bằng vật liệu có khả năng chịu kéo tốt như là bê tông tính năng siêu cao (UHPC), hoặc áp dụng cả hai UHPC và thanh chống.

Tài liệu tham khảo

[1] E. Brühwiler; "UHPFRC technology to enhance the performance of existing concrete bridges". Structure and Infrastructure Engineering. 2020; 16(1):94-105. DOI:10.1080/15732479.2019.1605395.

[2] N. Bertola, P. Schiltz, E. Denarié and E. Brühwiler; "A Review of the Use of UHPFRC in Bridge Rehabilitation and New Construction in Switzerland". Front. Built Environ. 2021;7:769686. DOI:10.3389/fbuil.2021.769686.

[3] K. Shushkewich; "The Strutted Box Widening Method for Prestressed Concrete Segmental Bridges". PCI Journal. 2003; 48(6):64-81. DOI:10.15554/pcij.11012003.64.81.

[4] K. Shushkewich; "Design of Prestressed Concrete Bridges to Accommodate Future Widening". PCI Journal. 2005; 50(3):74-89. DOI:10.15554/pcij.05012005.74.89.

[5] M. Zhou et al.; "Transverse Analysis of a Prestressed Concrete Wide Box Girder with Stiffened Ribs". Journal of Bridge Engineering. 2017; 22(8). DOI: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001076

[6] H. Zhuang et al; "Numerical Study on the Mechanical Properties of the Novel Wide Box Girders Stiffened by Transverse Ribs". KSCE Journal of Civil Engineering. 2021; 25:3448-3457. DOI:10.1007/s12205-021-2049-7.

[7] B. Mone et al; "Comparative Study of Wide Deck Box Girder Bridge Superstructures". Journal For Research in Applied Science and Engineering Technology. 2022; 10(V). DOI:10.22214/ijraset.2022.43128.