

Phân tích ảnh hưởng của hư hỏng dính bám đến ứng xử cơ học kết cấu mặt cầu thép - lớp phủ bê tông nhựa bằng mô hình uốn 5 điểm

■ TS. TRẦN ANH TUẤN; TS. NGUYỄN QUANG TUẤN; TS. NGUYỄN ĐÌNH HẢI

Trường Đại học Giao thông vận tải

■ KS. LƯƠNG QUANG ANH

Công ty Cổ phần Tân Phát

TÓM TẮT: Mục tiêu của bài báo là phân tích ảnh hưởng của hư hỏng lớp dính bám đến ứng xử của kết cấu bản mặt cầu thép có sử dụng lớp phủ bằng bê tông nhựa. Mô hình uốn năm điểm được sử dụng trong nghiên cứu này để mô phỏng tương tác cục bộ giữa bản thép và lớp phủ asphalt. Mô hình kết cấu bao gồm bản thép dày 14mm, lớp dính bám epoxy dày 02mm và lớp phủ bê tông nhựa dày 7cm. Kết quả mô hình cho phép dự đoán sự phân bố ứng suất và biến dạng trong kết cấu bản mặt cầu.

TỪ KHÓA: Bản mặt cầu thép, bê tông nhựa, hư hỏng dính bám, uốn năm điểm.

ABSTRACT: The objective of this paper is to analyze the influence of interfacial failure on the behavior of the steel bridge deck plate with the bituminous wearing course. The five-point bending model was used in this study to simulate the local interaction between a steel deck plate and its asphalt surface. The model structure is composed of a 14-mm-thick steel plate, an epoxy bonding layer of 02-mm-thick and a 70-mm-thick asphalt mixture. The modeling results allow predicting the stress and strain distribution in the bridge deck structure.

KEYWORDS: Steel bridge deck, asphalt mixture, interfacial failure, five-point bending.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bản mặt cầu thép có các sườn tăng cường dọc theo hướng xe chạy (còn được gọi là bản mặt cầu trục hướng) là dạng kết cấu khá phổ biến dùng cho các cây cầu trên các đường cao tốc. Dạng mặt cầu này được áp dụng cho nhiều loại kết cấu nhịp như dầm, giàn, vòm, dầm và đặc biệt khi kết cấu nhịp cần vượt khẩu độ lớn thì kết cấu bản mặt cầu trục hướng là một lựa chọn phù hợp vì chúng giảm đáng kể tĩnh tải của công trình cầu. Kết cấu mặt cầu trục hướng có thể chia làm hai loại phổ biến: (i) loại sườn hở là loại mà mặt cầu thép được liên kết hàn

với các sườn tăng cường dọc dạng mặt cắt chữ, loại này thi công đơn giản nhưng độ cứng chống xoắn kém. (ii) Loại có sườn tăng cường kín tuy chế tạo phức tạp nhưng lại phân phối được tải trong ngang, độ cứng chống xoắn tốt nên được sử dụng phổ biến trong những cầu thi công mới nhưng nằm gần đây.

Kết cấu mặt cầu thép trục hướng đem lại lợi thế về chiều cao và trọng lượng thấp, tuy nhiên nó cũng đưa đến một số vấn đề phức tạp như nứt dọc trên bề mặt lớp phủ, hư hỏng tiếp xúc giữa bản thép và lớp phủ, đặc biệt là lớp phủ dạng bê tông nhựa, đây cũng chính là chủ đề hướng đến của nghiên cứu này.

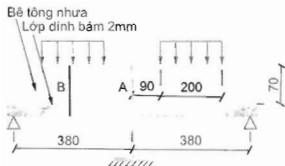
Ở Việt Nam, các dạng hư hỏng này cũng đã xuất hiện trên các công trình cầu lớn như Thăng Long (Hà Nội), Thuận Phước (Đà Nẵng)... Vì vậy, mặc dù ra đời từ rất sớm (những năm 1930) nhưng các chủ đề nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm xoay quanh bản mặt cầu thép trục hướng đến nay vẫn còn nóng hổi trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Chúng ta có thể liệt kê một vài nghiên cứu tiêu biểu như: Cullimore và đồng nghiệp năm 1983 [1], Bild năm 1987 [2], Battista và Pfeil năm 1999 [3], Nakanishi và Okochi năm 2000 [4], Kim và công sự năm 2014 [5] và Nguyễn Ngọc Long và công sự năm 2016 [6].

Trên cơ sở các nghiên cứu đã công bố trên thế giới, bài báo đề xuất sử dụng mô hình uốn năm điểm để phân tích ứng xử cục bộ của kết cấu bản thép - lớp phủ bê tông nhựa liên kết nhờ lớp dính bám keo epoxy. Từ đó, mô phỏng sự làm việc của kết cấu này bằng phương pháp phần tử hữu hạn có kể đến mức độ hư hỏng của lớp dính bám. Bài báo được kết cấu theo các nội dung chính như sau: Phần 2 dành để mô tả mô hình kết cấu, phần 3 dùng để phân tích các kết quả thu được từ việc mô phỏng ứng xử bằng phương pháp phần tử hữu hạn, phần cuối cùng là một số kết luận và kiến nghị.

2. MÔ HÌNH KẾT CẤU UỐN 5 ĐIỂM

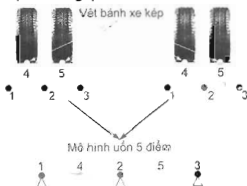
Việc phân tích ứng xử cục bộ của kết cấu mặt cầu thép sử dụng lớp phủ bê tông nhựa không cần thiết phải mô phỏng toàn bộ kết cấu mặt cầu mà chỉ cần mô phỏng kết cấu đó trong phạm vi ảnh hưởng của tải trọng bánh xe. Trên thế giới, khi nghiên cứu về chủ đề này, các nhà khoa học đã đề xuất nhiều mô hình kết cấu đại diện, tuy nhiên

trong nghiên cứu này chúng ta chỉ sử dụng mô hình uốn năm điểm là mô hình xuất hiện trong những công bố gần đây của Kim, Li và Pouget [5,7,8] để giải quyết bài toán mà nhóm nghiên cứu đặt ra. Mô hình uốn năm điểm sử dụng trong nghiên cứu này được mô tả cụ thể về mặt hình dạng và kích thước (Đơn vị mm) thông qua Hình 2.1 dưới đây.



Hình 2.1: Mô hình kết cấu chịu uốn 5 điểm dùng trong mô phỏng

Theo mô tả trong Hình 2.1, chúng ta nhận thấy rằng mô hình kết cấu này phù hợp với cả hai dạng mặt cấu sử dụng sườn tăng cường kín và hở. Trường hợp sườn tăng cường kín tương ứng với vị trí một bánh xe ở chính giữa một sườn, bánh còn lại ở giữa hai sườn liên tiếp. Trường hợp sườn tăng cường hở tương ứng với vị trí bánh xe ở chính giữa ba sườn liên tiếp. Nhân định này có thể được miêu tả trực quan thông qua Hình 2.2.



Hình 2.2: Mô hình kết cấu chịu uốn 5 điểm dùng trong mô phỏng

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tiến hành mô phỏng kết cấu ở trạng thái chịu tác động tĩnh của tải trọng bánh xe kép, tương ứng với hai dải tải trọng phân bố dài 200mm, để sinh ra tải trọng phân bố này tải trọng trục lấy giá trị là 60kN tác dụng lên toàn bộ kết cấu. Vật liệu sử dụng trong mô hình coi như đàn hồi tuyến tính, thông số cụ thể của chúng được thể hiện trong các bảng sau đây:

Bảng 2.1. Thông số vật liệu thép

STT	Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Mô-đun đàn hồi	E	200.000	Mpa
2	Khối lượng thể tích	γ	7850	Kg/m ³
3	Hệ số Poisson	ν	0,3	-

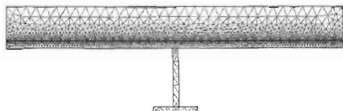
Bảng 2.2. Thông số vật liệu bê tông nhựa

STT	Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Mô-đun đàn hồi	E	4500	Mpa
2	Khối lượng thể tích	γ	2400	Kg/m ³
3	Hệ số Poisson	ν	0,35	-

Bảng 2.3. Thông số vật liệu dính bám

STT	Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Mô-đun đàn hồi	E	3500	Mpa
2	Khối lượng thể tích	γ	1540	Kg/m ³
3	Hệ số Poisson	ν	0,33	-

Nhằm mục đích mô phỏng mức độ hư hỏng của lớp dính bám, nhóm nghiên cứu tiến hành rời rạc hóa lớp dính bám thành các đoạn liên tiếp, mỗi đoạn có kích thước theo chiều dài là 20mm. Khi lớp dính bám bị hư hỏng tương ứng với việc gắn đặc trưng vật liệu tương ứng một giá trị vô cùng nhỏ (coi như bằng không). Nghiên cứu này tiến hành phân tích ứng xử của kết cấu tương ứng với các mức độ hư hỏng của lớp dính bám khác nhau, cụ thể mức độ hư hỏng biến đổi theo dải [94,7; 89,47; 81,58; 71,05; 60,53; 50; 39,47; 31,58; 21,05; 10,53; 0]%. Hình ảnh về công tác chia lưới kết cấu bản thép, lớp phủ bê tông nhựa và lớp dính bám trong phương pháp phần tử hữu hạn được thể hiện trên Hình 2.2.

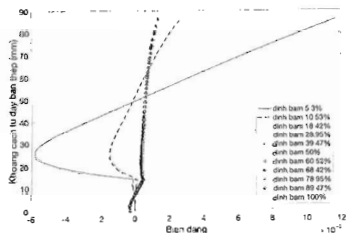


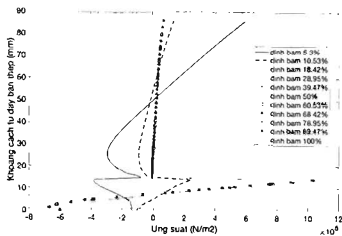
Hình 2.3: Chia lưới kết cấu bản mặt thép - lớp phủ bê tông nhựa

Khu vực lớp dính bám được chia lưới khá mịn do đặc tính của lớp này là rất mỏng và được rời rạc hóa thành các đoạn liên tiếp.

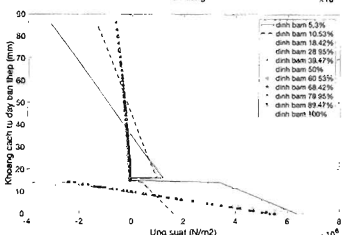
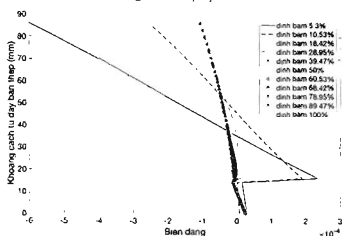
3. KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

Dưới tác dụng của tải trọng trục 60kN sinh ra tải trọng phân bố trên hai dải 200mm (Hình 2.1), giá trị biến thiên của biến dạng và ứng suất tại hai vị trí A (vị trí chính giữa sườn tăng cường), vị trí B (vị trí giữa hai sườn tăng cường) tương ứng với các mức độ dính bám (còn lại sau hư hỏng) khác nhau được thể hiện trên Hình 3.1, 3.2. Biến dạng và ứng suất kéo thể hiện bằng giá trị dương, còn biến dạng và ứng suất nén thể hiện thông qua giá trị âm.





Hình 3.1: Sự phân bố biến dạng và ứng suất trong kết cấu tại vị trí A



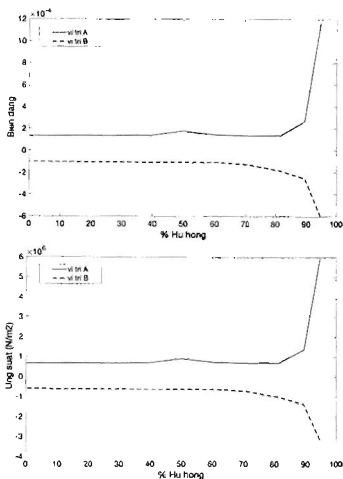
Hình 3.2: Sự phân bố biến dạng và ứng suất trong kết cấu tại vị trí B

Có thể nhận thấy rằng, khi mức độ dinh bám nhỏ (tức là hư hỏng lớp dinh bám càng nhiều) thì độ lớn của biến dạng và ứng suất tại đỉnh lớp bê tông nhựa là rất lớn, hiện tượng này xuất hiện cả ở vị trí A và B, khi mức độ dinh bám tăng lên (tức là hư hỏng giảm đi) thì độ lớn của biến dạng và ứng suất trên đỉnh lớp bê tông nhựa giảm dần, đến khi mức độ dinh bám trên 40% (tức là mức độ hư hỏng nhỏ hơn 60%) thì sự thay đổi biến dạng và ứng suất trên đỉnh lớp bê tông nhựa không còn rõ rệt. Điều này có thể phần nào khẳng định được rằng, khi hư hỏng lớp dinh bám càng lớn thì sẽ dễ dẫn đến hư hỏng nứt dọc trên lớp bê tông nhựa tại vị trí sườn tăng cường do nó phát sinh nội lực và biến

dạng lớn hơn nhiều lần khi lớp dinh bám hư hỏng ít hoặc chưa bị hư hỏng.

Quan sát phân biểu đồ biến dạng và ứng suất của phần bản thép chúng ta nhận thấy rằng, ở cả hai vị trí A và B, khi mức độ hư hỏng nhỏ hơn 60%, ứng suất phát sinh trong bản thép là rất lớn, điều này chứng tỏ khi lớp dinh bám có chất lượng tốt, mức độ hư hỏng nhỏ thì ngoại lực tác dụng lên kết cấu bản mặt cầu thép - bê tông nhựa phần lớn là do phần bản thép chịu.

Hình 3.3 dưới đây biểu diễn sự biến thiên biến dạng và ứng suất tại đỉnh lớp bê tông nhựa ở cả hai vị trí A và B theo mức độ hư hỏng của lớp dinh bám. Chúng ta quan sát thấy rằng, với mức độ hư hỏng dưới 40%, ứng suất và biến dạng trên đỉnh lớp bê tông nhựa gần như không thay đổi, mức độ hư hỏng từ 40% đến 60% ứng suất và biến dạng có sự thay đổi nhẹ, không rõ rệt. Khi mức độ hư hỏng trên 60%, ứng suất và biến dạng có xu hướng tăng mạnh, dự đoán nguyên nhân dẫn đến nứt trên mặt lớp bê tông nhựa.



Hình 3.3: Sự phân bố biến dạng và ứng suất trên đỉnh lớp bê tông nhựa tại hai vị trí A và B

Trên đây là những nhận xét của kết quả mô hình ứng xử cục bộ kết cấu mặt cầu thép sử dụng lớp phủ bê tông nhựa dưới tác động của tải trọng tĩnh có kể đến mức độ hư hỏng của lớp dinh bám. Trên thực tế kết cấu mặt cầu chịu tác động của tải trọng động nên việc phá hủy kết cấu nói chung và lớp dinh bám nói riêng có thể sinh ra do mỏi, điều này mở ra một chủ đề nghiên cứu tiếp theo sau nghiên cứu này.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả mô hình đánh giá trạng thái biến dạng và ứng suất cục bộ của kết cấu mặt cầu thép trục hướng sử dụng lớp phủ bê tông nhựa thông qua mô hình kết cấu chịu uốn nằm điểm, trong đó có kể đến ảnh hưởng của mức độ hư hỏng lớp dính bám. Nghiên cứu đã chỉ ra ảnh hưởng của việc mất mát dính bám có thể gây ra hư hỏng trên lớp phủ bê tông nhựa trên mặt cầu như thế nào. Chúng ta có thể sử dụng trình tự mô phỏng này kết hợp với công tác đo đạc thực nghiệm tại hiện trường để phỏng đoán mức độ hư hỏng lớp dính bám trên các công trình cầu đang sử dụng, từ đó xây dựng kế hoạch cho việc duy tu bảo dưỡng hoặc sửa chữa thay thế.

Nghiên cứu này mới chỉ giải quyết được bài toán tác động của tải trọng tĩnh trong không gian hai chiều. Để kết quả sát với thực tế hơn nữa cần giải quyết bài toán động và xem xét trong không gian ba chiều, mức độ hư hỏng và vị trí hư hỏng của lớp dính bám cần phải thực hiện bằng một phép gieo ngẫu nhiên nhiều lần, sau đó tính giá trị trung bình của mỗi lần phân tích ứng xử. Đây cũng chính là những hạn chế mà nghiên cứu này chưa thực hiện được, mở ra chủ đề tiếp theo cho nhóm nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Cullimore M.S.G., Flett I.D., Smith J.W. (1983), *Flexure of Steel Bridge Deck Plate with Asphalt Surfacing*, IABSE Periodical, University of Bristol, 58-83.
- [2]. Bild S. (1987), *Durability design criteria for bituminous pavements on orthotropic steel bridge decks*, Can. J. Civ. Eng. 14: 41-48.
- [3]. Battista R. C. and Pfeil M. S. (1999), *Fatigue cracks induced by traffic loading on steel bridges's slender orthotropic decks*, Transactions on Modelling and Simulation 21: 38-46.
- [4]. Nakanishi, N. and Okochi, T., *The Structural Evaluation for an Asphalt Pavement on a Steel Plate Deck*, Proceedings of the First International Conference, World of Asphalt Pavement (AAPA), Sydney, Australia 112-123, 2000.
- [5]. Kim T. W., Baek J., Lee H. J. and Lee S. Y. (2014), *Effect of pavement design parameters on the behaviour of orthotropic steel bridge deck pavements under traffic loading*, International Journal of Pavement Engineering 15(5): 471-482.
- [6]. Nguyễn Ngọc Long, Ngô Văn Minh, Trần Thị Kim Đăng, Nguyễn Đắc Đức, Lê Đình Long (2015), *Các dạng hư hỏng điển hình của kết cấu áo đường mềm trên mặt cầu thép bản trục hướng*, Tạp chí GTVT, số tháng 03, tr.18-20.
- [7]. Li X. and Chen Y. (2009), *New composite pavement system for orthotropic steel bridge decks*, Proceedings of GeoHuman international conference, Huan, China, 75-84.
- [8]. Pouget S., Sauzéat C., Di Benedetto H. and Orland F. (2010), *Numerical simulation of the five-point bending test designed to study bituminous wearing*

courses on orthotropic steel bridge, Materials and Structures 43: 319-330.

Ngày nhận bài: 10/02/2020

Ngày chấp nhận đăng: 19/3/2020

Người phản biện: TS. Trần Danh Học

TS. Nguyễn Hữu Thuận