



EFFECT OF TACK COAT FAILURE ON THE MODELLING OF FIVE-POINT BENDING TEST FOR ORTHOTROPIC STEEL BRIDGE DECK AND ITS ASPHALT SURFACING

Nguyen Dinh Hai^{1,3*}, Tran Anh Tuan^{2,3*}

¹Section of Materials of Construction, University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

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

³Research and Application Center for Technology in Civil Engineering (RACE), University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 8/6/2020

Revised: 11/11/2020

Accepted: 28/11/2020

Published online: 15/2/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.2.3>

* *Corresponding author*

Email: anh-tuan.tran@utc.edu.vn

Abstract. Orthotropic steel decks are widely used for long-span bridge, such as cable-stayed bridges, suspension bridges and truss bridges, because of its considerable lightweight and flexibility. In this kind of bridge deck, an asphaltic surfacing structure have been employed to protect the steel plate against corrosion and provide riding comfort. However, the increase in traffic loads and volumes, the large local deformations, the wind, the temperatures make the structure of asphalt surfacing on orthotropic steel bridge deck is destroyed. Once of the main and most important damage types is the loss of bond between the surfacing material and the steel plate. Therefore, the main purpose of this work is to investigate the influence of tack coat failure on the mechanical behavior of the steel bridge deck with asphalt surfacing system by using the five-point bending beam model. A good understanding of this problem is required in order to improve the service life of the whole bridge structure.

Keywords: tack coat failure, orthotropic steel deck, loss of bond, asphalt surfacing.



HIỆU ỨNG HƯ HỎNG DÍNH BẮM TRONG MÔ HÌNH UỐN NĂM ĐIỂM DÀNH CHO MẶT CẦU THÉP TRỰC HƯỚNG VÀ LỚP PHỦ BÊ TÔNG NHỰA

Nguyễn Đình Hải^{1,3}, Trần Anh Tuấn^{2,3*}

¹Bộ môn Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

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

³Trung tâm nghiên cứu và ứng dụng công nghệ xây dựng, 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: 8/6/2020

Ngày nhận bài sửa: 11/11/2020

Ngày chấp nhận đăng: 28/11/2020

Ngày xuất bản Online: 15/2/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.2.3>

* Tác giả liên hệ

Email: anh-tuan.tran@utc.edu.vn

Tóm tắt. Bản mặt thép trực hướng được sử dụng rộng rãi cho cầu nhịp lớn, như cầu dây văng, cầu dây võng và cầu giàn, bởi trọng lượng bản thân nhẹ và đặc tính dẻo dai của nó. Trong loại mặt cầu này, kết cấu lớp phủ bê tông át phan được dùng để bảo vệ bản thép chống lại sự ăn mòn và tạo ra bề mặt êm thuận cho xe chạy. Tuy nhiên với sự tăng lên của tải trọng cũng như lưu lượng xe, biến dạng cục bộ, tải trọng gió, tác động của nhiệt độ làm cho kết cấu lớp phủ bê tông nhựa trên bản mặt cầu thép trực hướng bị phá hoại. Một trong những hư hại chủ yếu đó là mất dính bám giữa lớp phủ và bản thép. Chính vì vậy mục đích chính của nghiên cứu này là phân tích ảnh hưởng của sự hư hỏng dính bám đến ứng xử cơ học của hệ thống mặt cầu thép có lớp phủ bằng bê tông nhựa bằng cách sử dụng mô hình dầm chịu uốn năm điểm. Sự hiểu biết rõ ràng về bài toán này là cần thiết cho việc hướng đến cải thiện tuổi thọ của toàn bộ kết cấu cầu.

Từ khóa: hư hỏng dính bám, mặt thép trực hướng, mất dính bám, lớp phủ át phan.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống kết cấu kết hợp bản mặt thép trực hướng và lớp phủ bê tông nhựa là loại kết cấu thường được dùng trong các cây cầu nhịp lớn bởi những ưu điểm mà nó mang lại như trọng lượng bản thân nhẹ, khả năng chịu uốn tốt, êm thuận khi xe chạy, có thể chế tạo sẵn và rút ngắn thời gian thi công tại công trường. Chính vì vậy mà loại kết cấu mặt cầu này được ưa dùng ở châu Âu từ những năm 60, 70 của thế kỷ trước và sau này được phổ biến nhanh chóng ở các nước châu Á trong đó có Việt Nam. Mặc dù vậy việc ứng dụng loại kết cấu này trong các công trình cầu vẫn còn tồn tại nhiều vấn đề đặc biệt là các vấn đề có liên quan đến lớp phủ mặt cầu như: hằn lún vệt bánh xe, nứt vỡ, bong tróc bề mặt, mất cường độ dính bám giữa lớp phủ và bản thép .v.v.

Xoay quanh các vấn đề hư hỏng nói trên chúng ta có thể kể ra một vài công trình đã công bố trên thế giới như nghiên cứu của Jia và các cộng sự [1], của Wolchuk [2,3], của Liu và các cộng sự [4,5]. Ở Việt Nam trong những năm gần đây khi tải trọng và lưu lượng xe có chiều hướng tăng dần kết hợp với sự ảnh hưởng của thời tiết và nhiệt độ, hư hỏng kết cấu mặt cầu cũng đã bắt đầu xuất hiện (như ở cầu Thăng Long, cầu Thuận Phước) đòi hỏi những nghiên cứu chuyên sâu để cải thiện hiện trạng này. Một trong số đó có thể kể đến nghiên cứu của Nguyễn Ngọc Long và các cộng sự [6], của Nguyễn Quang Tuấn và các cộng sự [7], của Trần Anh Tuấn và cộng sự [8]. Trên cơ sở những nhận định nêu trên, bài báo này hướng đến mục tiêu phân tích ảnh hưởng của mức độ dính bám (tỷ lệ dính bám) giữa lớp phủ bê tông nhựa và bản mặt thép đến ứng xử cục bộ của kết cấu mặt cầu thép trực hướng.

Mô hình dầm chịu uốn 5 điểm được phát triển tại viện nghiên cứu cầu đường trung ương Pháp là mô hình đại diện được sử dụng để mô phỏng kết cấu mặt cầu thép trực hướng dưới tác dụng của tải trọng cục bộ của bánh xe kép. Mô hình này đã được nói đến nhiều trong các công bố của Liu và các cộng sự [5], của Houel và các cộng sự [9], của Pouget và cộng sự [10] và của Olard và các cộng sự [11]. Trong phạm vi bài báo này, nhóm nghiên cứu cũng sẽ phân tích đặc điểm làm việc của mô hình uốn 5 điểm trong đó xem xét sự ảnh hưởng của mức độ mất mát dính bám đến ứng xử của mô hình này. Miêu tả về mô hình dầm chịu uốn 5 điểm sẽ được trình bày chi tiết ở mục tiếp theo.

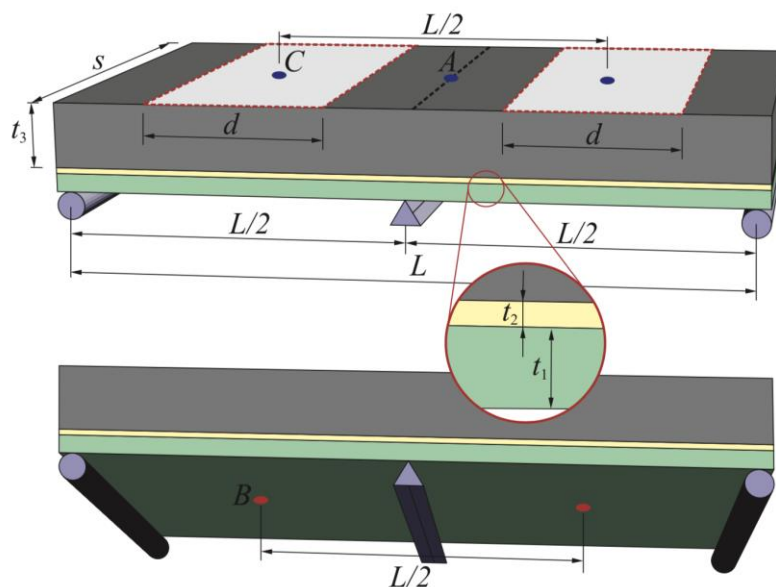
Để đạt được mục tiêu đề ra ở trên, trước tiên nhóm nghiên cứu sẽ tiến hành mô tả sự phân bố của miền mất mát dính bám một cách ngẫu nhiên trong đó không chế tỷ lệ phần trăm về mặt diện tích, sau đó tiến hành mô phỏng ứng xử của kết cấu dầm chịu uốn 5 điểm bằng phần mềm ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn, cuối cùng là đưa ra một số nhận định và phân tích từ một số kết quả thu được từ bài toán mô phỏng.

2. THIẾT LẬP BÀI TOÁN

2.1. Thông số hình học, vật liệu và tải trọng dùng trong mô hình dầm chịu uốn 5 điểm

Tính đặc trưng và hiệu quả của mô hình dầm chịu uốn 5 điểm cho việc mô phỏng sự làm việc cục bộ của kết cấu mặt cầu thép bản trực hướng có sử dụng lớp phủ bê tông nhựa được nói đến nhiều trong các công bố của Houel và các cộng sự [9], của Pouget và cộng sự [10], của Olard và các cộng sự [11] và gần đây nó cũng được vận dụng trong các công bố của Nguyễn Quang Tuấn và các cộng sự [7], của Trần Anh Tuấn và các cộng sự [8]. Vì vậy trong tiêu mục này nhóm nghiên cứu không đi sâu vào giải thích nguyên nhân của việc lựa chọn mô hình dầm chịu uốn 5 điểm (các vấn đề chi tiết của nội dung này người đọc có thể tìm hiểu trong các tài liệu [7-11] đã nói ở trên), chỉ tập trung thống kê các thông tin về kích thước hình học của kết cấu, loại vật liệu sử dụng và tải trọng tác dụng lên mô hình.

Mô hình dầm chịu uốn 5 điểm được sử dụng trong bài báo này có hình dạng, kích thước và thông số vật liệu như mô tả trong hình 1, bảng 1 và bảng 2 dưới đây. Về cơ bản kết cấu mặt cầu thép ở đây có cấu tạo dạng xếp lớp gồm bản thép được liên kết dính bám với lớp bê tông nhựa epoxy (BTNE) bằng một lớp keo epoxy. Toàn bộ kết cấu được kê trên 3 gối với gối cố định ở chính giữa.



Hình 1. Mô hình dầm chịu uốn 5 điểm.

Bảng 1. Thông số kích thước mô hình.

| Đại lượng | Ký hiệu | Giá trị | Đơn vị |
|------------------------------|---------|---------|--------|
| Chiều dài tính toán của mẫu | L | 760 | mm |
| Chiều dày bản thép | t_1 | 14 | mm |
| Chiều dày lớp dính bám Epoxy | t_2 | 2 | mm |
| Chiều dày lớp BTNE | t_3 | 70 | mm |
| Bề sâu mẫu | s | 250 | mm |
| Bề rộng dải tải trọng | d | 200 | mm |

Bảng 2. Thông số vật liệu mô hình.

| Vật liệu | Mô đun đàn hồi (Mpa) | Hệ số Poisson | Khối lượng thể tích (kg/m^3) |
|---------------------------|----------------------|---------------|---|
| Thép | 200.000 | 0,3 | 7850 |
| Keo dính bám Epoxy | 3.500 | 0,38 | 1250 |
| Bê tông nhựa Epoxy (BTNE) | 5.000 | 0,35 | 2695 |

Mô hình kết cấu chịu tác dụng của hai vật tải trọng phân bố đều trên tổng diện tích là $2d \times s$, tổng giá trị tải trọng là 130 kN.

2.2. Mô phỏng miền mất mát dính bám

Hiện tượng xảy ra hư hỏng lớp dính bám hay nói cách khác là mất dính bám giữa lớp bản thép và lớp phủ bê tông nhựa có thể do nhiều nguyên nhân phức tạp như sự thay đổi về điều kiện tải trọng, do thay đổi nhiệt độ, do độ ẩm môi trường, do công nghệ thi công .v.v. Sau khi thi công xong lớp dính bám nằm bên trong kết cấu mặt cầu nên việc xác định quy mô và vị trí của hư hỏng này mà không phá hủy kết cấu là rất khó khăn. Chính vì vậy nghiên cứu này hướng đến việc mô phỏng vị trí và phân bố của khu vực mất dính bám một cách ngẫu nhiên, từ đó xây dựng mối liên hệ giữa mức độ hư hỏng và ứng xử biểu kiến tại một số điểm đặc biệt trên kết cấu tổng thể.

Hình dạng miền hư hỏng dính bám có thể rất đa dạng, tuy nhiên ở bước đầu tiếp cận của vấn đề này, nhóm nghiên cứu giả định miền hư hỏng dính bám có dạng một tập hợp vô số hình tròn không giao nhau, được phân bố theo quy luật ngẫu nhiên. Trong bài báo này số lượng hình tròn được lựa chọn là $N = 100$, tâm của các hình tròn phân bố theo quy luật phân phối đều liên tục trên phạm vi mặt bằng của mẫu. Tức là, nếu gọi tọa độ tâm của miền tròn thứ i là x_i và y_i thì chúng sẽ nhận các giá trị ngẫu nhiên theo biểu diễn dưới đây

$$x_i \sim U\left(-\frac{L}{2} + R, \frac{L}{2} - R\right), \quad (1)$$

$$y_i \sim U\left(-\frac{s}{2} + R, \frac{s}{2} - R\right), \quad (2)$$

trong đó U là ký hiệu của phân phối đều liên tục, R là bán kính của một miền tròn được xác định bằng biểu thức sau

$$R = \sqrt{\frac{cLs}{N\pi}} \quad (3)$$

với c là tỷ lệ diện tích hư hỏng dính bám so với diện tích mặt bằng của lớp dính bám, tỷ lệ này được lựa chọn giả định.

Để tạo ra N vị trí miền tròn hư hỏng mất dính bám chúng ta thực hiện theo sơ đồ sau

- Bắt đầu

- (a) Tạo biến đếm $n = 0$

- (b) Tạo ma trận chứa tọa độ tâm có dạng 2 cột

- Bước thứ 1 (khởi tạo)

(a) Gieo ngẫu nhiên tọa độ tâm của miền tròn thứ 1

$$x_1 \sim U\left(-\frac{L}{2} + R, \frac{L}{2} - R\right), \quad y_1 \sim U\left(-\frac{s}{2} + R, \frac{s}{2} - R\right)$$

(b) Lưu tọa độ tâm vào ma trận tọa độ tâm

(c) Gán biến đếm $n = n + 1$

• Bước thứ $i+1$

(a) Gieo ngẫu nhiên tọa độ tâm của miền tròn thứ $i+1$

$$x_{i+1} \sim U\left(-\frac{L}{2} + R, \frac{L}{2} - R\right), \quad y_{i+1} \sim U\left(-\frac{s}{2} + R, \frac{s}{2} - R\right)$$

(b) Kiểm tra điều kiện giao cắt với tất cả các miền tròn trước đó

* Gán biến kiểm tra $Q = 0$

* Thực hiện vòng lặp với biến chạy j từ 1 đến n

- Xác định giá trị biến điều kiện / theo biểu thức dưới đây

$$\lambda = \text{Im}\left(\sqrt{\sqrt{(x_{i+1} - x_j)^2 + (y_{i+1} - y_j)^2} - 2R}\right)$$

trong đó Im là ký hiệu phần ảo của biểu thức

- Gán biến kiểm tra $Q = Q + /$

* Phân tích biến kiểm tra Q

- Nếu $Q = 0$

Lưu tọa độ tâm thứ $i+1$ vào ma trận tọa độ tâm

Gán biến đếm $n = n + 1$

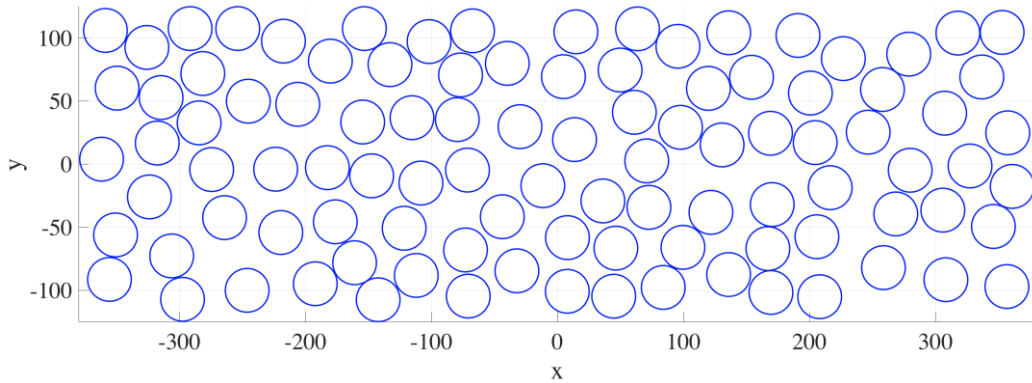
- Nếu $Q \neq 0$

Thực hiện lại việc gieo ngẫu nhiên tọa độ tâm ở bước thứ $i+1$

Bài toán lặp lại

• Phép gieo ngẫu nhiên dừng khi $n > N$

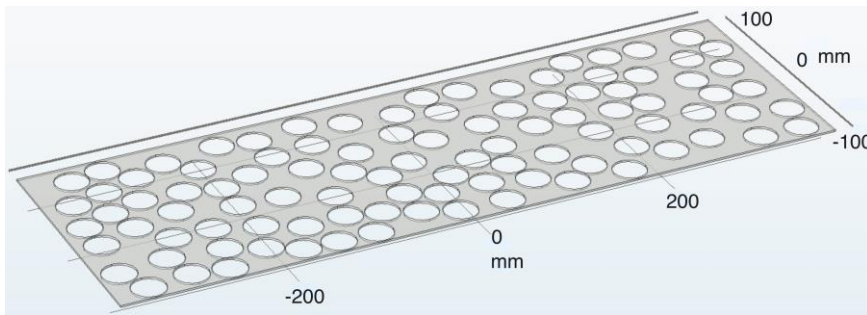
Sau khi gieo ngẫu nhiên phân bố của các miền hư hỏng dạng tròn, bố trí của một phép gieo được mô tả như hình dưới đây:



Hình 2. Phân bố ngẫu nhiên của 100 miền hư hỏng dạng tròn trên bề mặt lớp dính bám.

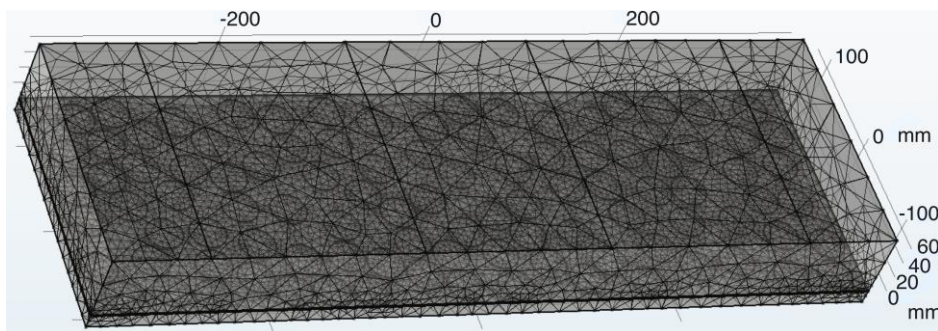
2.3. Mô phỏng kết cấu bằng phần mềm phần tử hữu hạn

Sau khi xây dựng ngẫu nhiên tọa độ tâm của miền mất dính bám, các thông tin này được đưa vào phần mềm ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn (Comsol Multiphysic), ở đây miền mất dính bám được mô phỏng bằng các miền rỗng có dạng hình trụ tròn với chiều dày chính bằng chiều dày của lớp keo epoxy t_2 , mô phỏng này được thể hiện trên hình 3.



Hình 3. Mô phỏng khu vực mất dính bám trong phạm vi lớp dính bám.

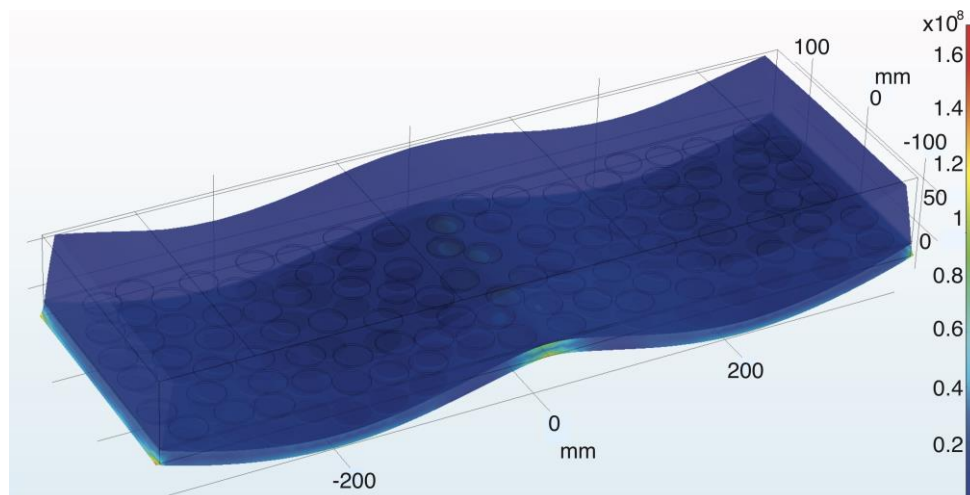
Phần không bị hư hỏng của lớp dính bám được khai báo trong mô hình là liên kết hoàn hảo với lớp bê tông nhựa phía trên và bản thép phía dưới. Toàn bộ 3 loại vật liệu gồm thép, bê tông nhựa và lớp dính bám đều được khai báo với quy luật ứng xử đàn hồi tuyến tính với các thông số vật liệu đã thống kê ở Bảng 2. Sau khi khai báo các điều kiện biên về chuyển vị và tải trọng, toàn bộ kết cấu được chia lưới tứ diện như thể hiện ở hình dưới đây, tổng số lượng phần tử trên toàn bộ kết cấu xấp xỉ 200.000 phần tử.



Hình 4. Hình ảnh rời rạc hoá kết cấu dầm chịu uốn 5 điểm bằng lưới tứ diện.

3. KẾT QUẢ SỐ VÀ PHÂN TÍCH

Trong phần này chúng ta sẽ thực hiện 10 lần gieo ngẫu nhiên trạng thái phân bố miền hư hỏng dính bám tương ứng với sự biến thiên tỷ lệ hư hỏng dính trong khoảng 0,05 - 0,5, từ đó phân tích sự ảnh hưởng của mức độ mất dính bám đến ứng xử của mô hình uốn 5 điểm. Hình 5 sau đây thể hiện ứng xử tổng quan của mô hình khi mức độ hư hỏng dính bám là 50% cho 1 phép gieo ngẫu nhiên.



Hình 5. Hình ảnh về ứng xử của kết cấu khi mức độ hư hỏng dính bám là 50%.

Trong nghiên cứu này chúng ta xuất ra ứng xử (biến dạng, ứng suất và chuyển vị) tại 3 vị trí nhạy cảm nhất trên mô hình dầm chịu uốn 5 điểm đó là điểm A (mép trên lớp bê tông nhựa tại vị trí gối giữa), điểm B (mép dưới bản thép tại vị trí giữa nhịp) và điểm C (mép trên lớp bê tông nhựa tại vị trí giữa nhịp). Giá trị trung bình của biến dạng, ứng suất và chuyển vị của 10 lần gieo ngẫu nhiên được tính toán theo công thức Monte Carlo, phương pháp này cũng đã được nói đến ở công bố của Lachhab và Sab [12,13] khi họ tính giá trị trung bình cho các phép gieo ngẫu nhiên cấu trúc vi mô của vật liệu. Theo đó giá trị trung bình được xác định theo công thức sau

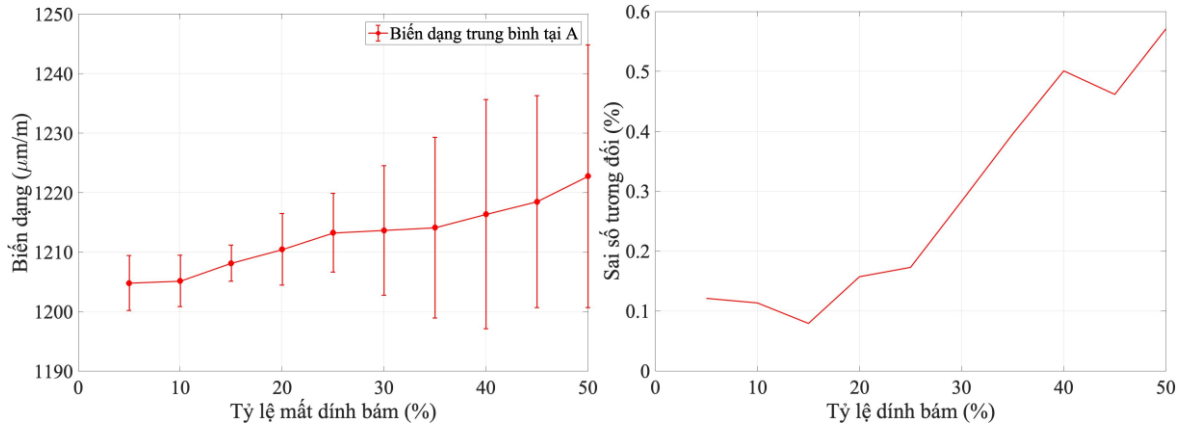
$$\bar{\bullet}_N = \frac{1}{N} (\bullet_1 + \dots + \bullet_N), \quad (4)$$

trong đó \bullet là đại lượng cần tính giá trị trung bình, ở đây có thể là biến dạng, ứng suất và chuyển vị. Phương sai của giá trị trung bình được xác định theo biểu thức như sau

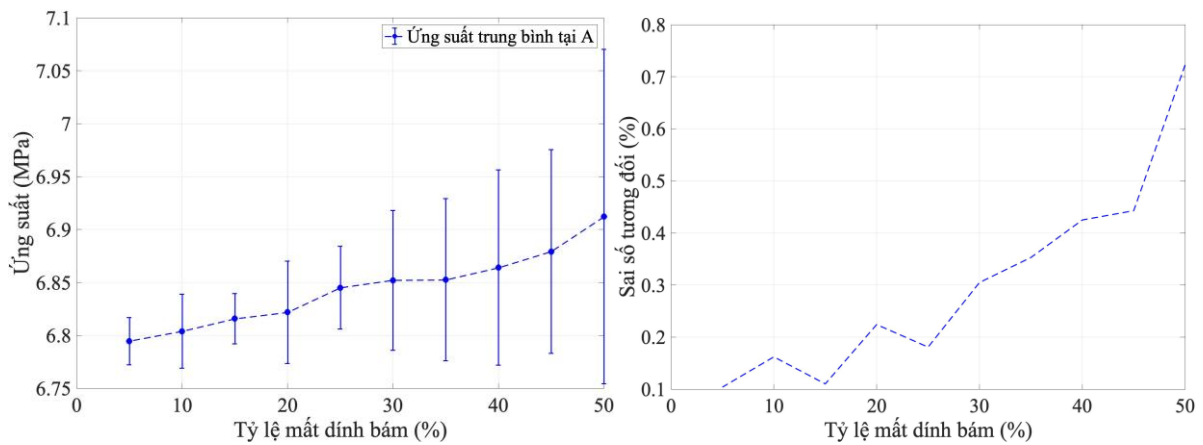
$$d_N^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bullet_i - \bar{\bullet}_N)^2. \quad (5)$$

Sai số tương đối của giá trị trung bình được xác định bởi biểu thức

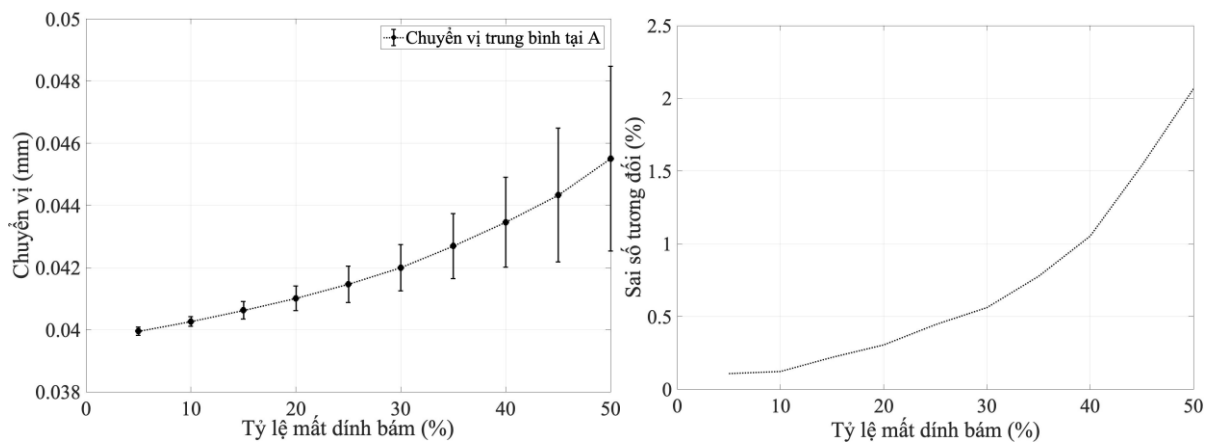
$$Z_N = 1,96 \frac{d_N}{\bar{\bullet}_N}. \quad (6)$$



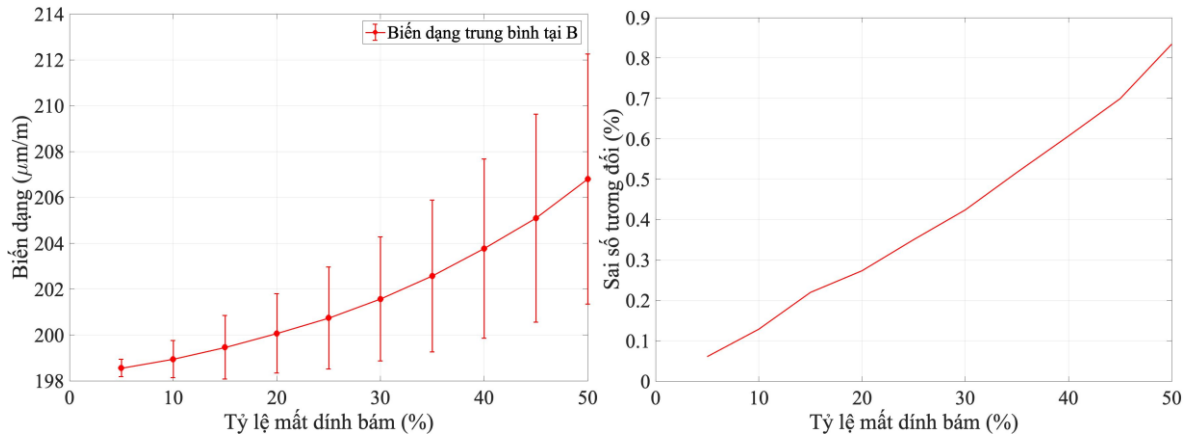
Hình 6. Mối quan hệ giữa trung bình biến dạng và tỷ lệ mất dính bảm tại điểm A.



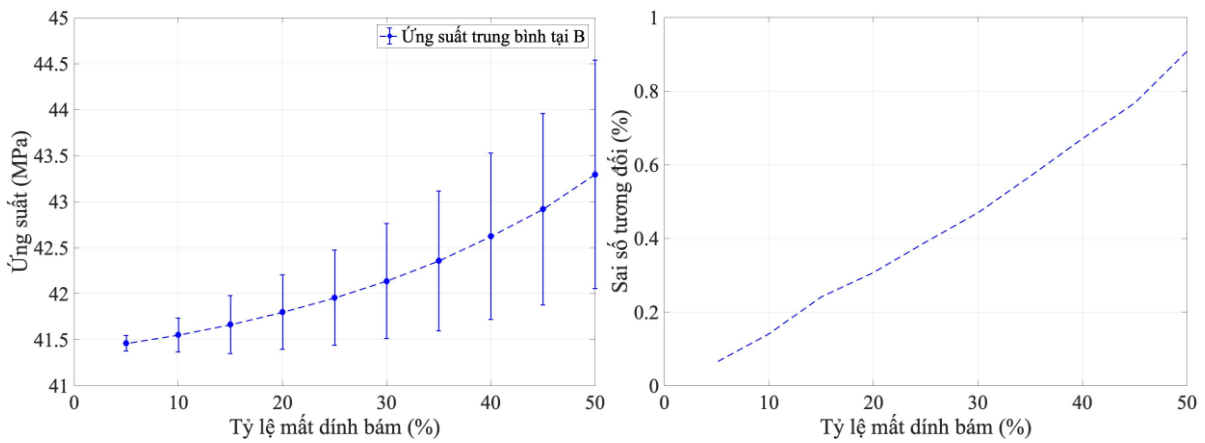
Hình 7. Mối quan hệ giữa trung bình ứng suất và tỷ lệ mất dính bảm tại điểm A.



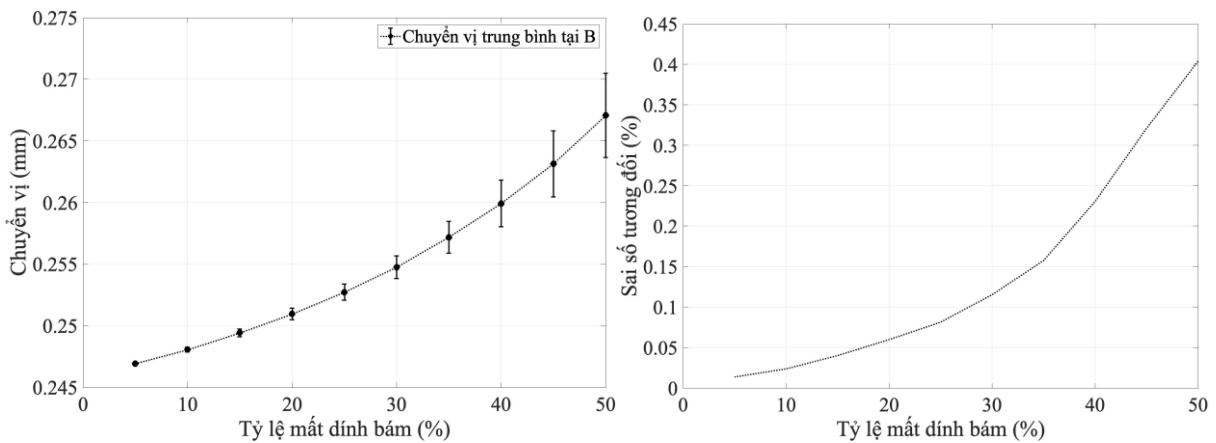
Hình 8. Mối quan hệ giữa trung bình chuyển vị và tỷ lệ mất dính bảm tại điểm A.



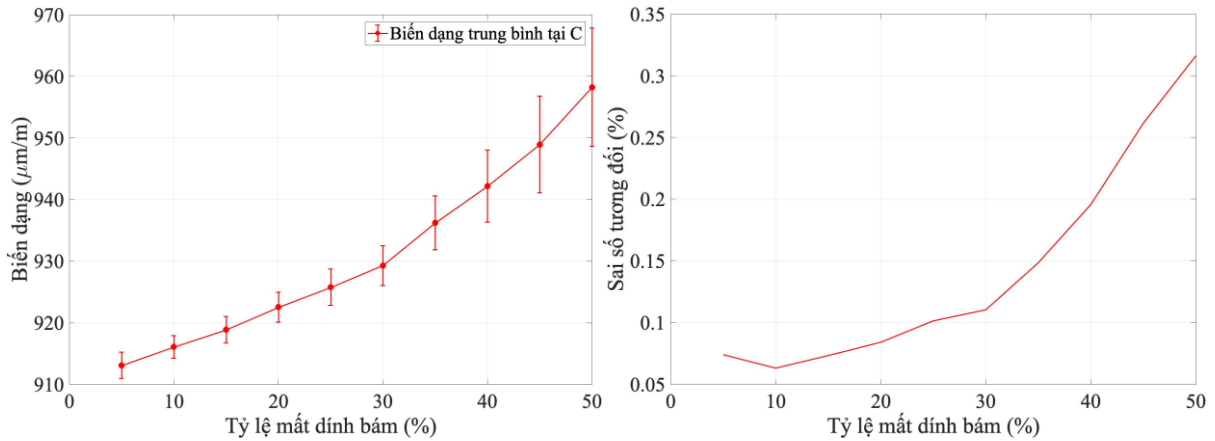
Hình 9. Mối quan hệ giữa trung bình biến dạng và tỷ lệ mất dính bám tại điểm B.



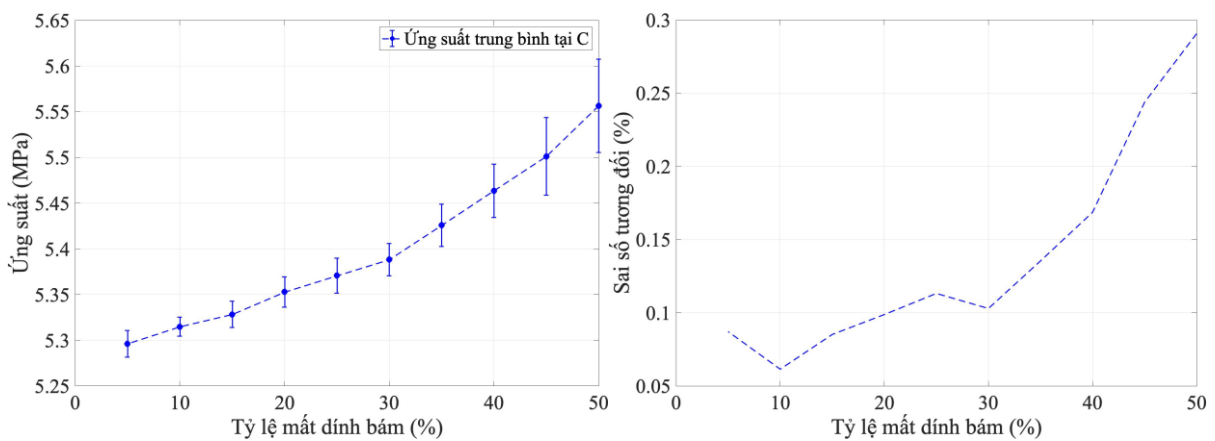
Hình 10. Mối quan hệ giữa trung bình ứng suất và tỷ lệ mất dính bám tại điểm B.



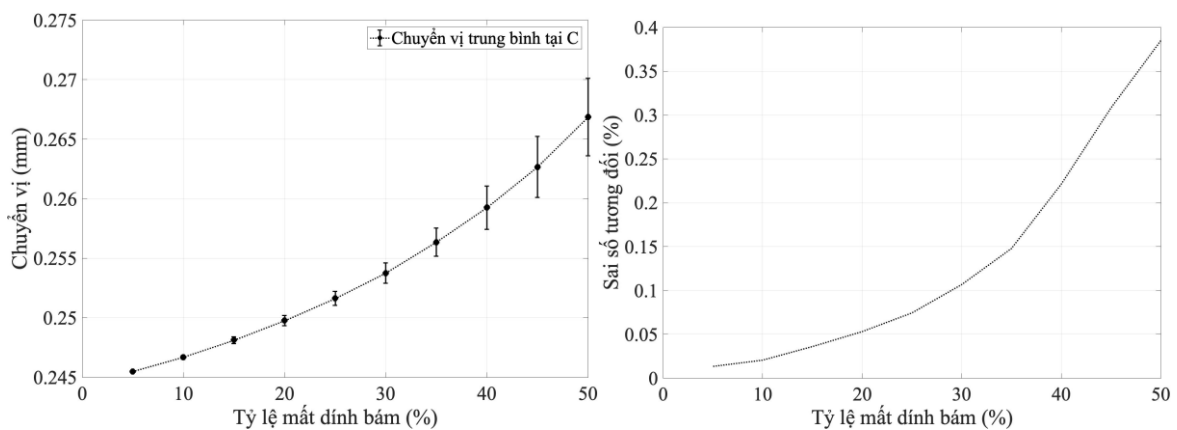
Hình 11. Mối quan hệ giữa trung bình chuyển vị và tỷ lệ mất dính bám tại điểm B.



Hình 12. Mối quan hệ giữa trung bình biến dạng và tỷ lệ mất dính bám tại điểm C.



Hình 13. Mối quan hệ giữa trung bình ứng suất và tỷ lệ mất dính bám tại điểm C.



Hình 14. Mối quan hệ giữa trung bình chuyển vị và tỷ lệ mất dính bám tại điểm C.

Các hình từ 6 đến 14 là biểu diễn ứng xử của kết cấu tại các điểm A, B, C (hình 1) theo sự thay đổi mức độ hư hỏng dính bám (về mặt tỷ lệ diện tích). Trong các hình kể trên phía bên trái lần lượt biểu diễn sự biến thiên giá trị trung bình biến dạng, ứng suất và chuyển vị nằm trong khoảng tin cậy, còn các hình bên phải là sai số tương đối tương ứng. Chúng ta nhận thấy một số đặc điểm chung của các biểu đồ này đó là: (i) Giá trị trung bình của biến dạng, ứng

suất và chuyển vị có xu hướng tăng dần khi tỷ lệ phần trăm hư hỏng dính bám tăng, điều này cho thấy khi mất dần dính bám độ cứng của kết cấu giảm đi; (ii) Khi tỷ lệ mất dính bám tăng kéo theo phương sai của các giá trị trung bình tăng lên, điều này chỉ ra rằng khi kết cấu càng mất dính bám thì biên độ biến động của ứng xử tổng thể càng lớn; (iii) Sai số tương đối của 10 lần gieo có xu hướng tăng khi tỷ lệ hư hỏng dính bám tăng, điều này khẳng định rằng khi tỷ lệ mất dính bám càng cao thì mỗi một hình thái hư hỏng ngẫu nhiên nào đó đều gây ra kết quả ứng xử khác biệt, khi tỷ lệ mất dính bám nhỏ thì các hình thái hư hỏng gây ra ứng xử kết cấu gần giống nhau (ít khác biệt). Trên đây là những phân tích về ảnh hưởng của mức độ hư hỏng dính bám đến ứng xử của mô hình dầm chịu uốn năm điểm, từ đó có thể định lượng được phần nào ứng xử cục bộ trên kết cấu mặt cầu thép trực hướng sử dụng lớp phủ bê tông nhựa.

Để so sánh thêm với trường hợp kết cấu không bị hư hỏng, chúng ta thống kê giá trị ứng suất, biến dạng và chuyển vị tại các điểm A, B, C trong bảng 3 dưới đây. Chúng ta nhận thấy rằng khi mô phỏng kết cấu ở trạng thái không bị hư hỏng dính bám thì các giá trị biến dạng, ứng suất và chuyển vị tại các vị trí A, B, C là nhỏ nhất, điều này là hoàn toàn phù hợp với ứng xử tổng thể của kết cấu.

Bảng 3. So sánh với trường hợp không hư hỏng.

| Tỷ lệ mất dính bám | Tại điểm A | | | Tại điểm B | | | Tại điểm C | | |
|--------------------|-------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| | Biến dạng ($\mu\text{m/m}$) | Ứng suất (Mpa) | Chuyển vị (mm) | Biến dạng ($\mu\text{m/m}$) | Ứng suất (Mpa) | Chuyển vị (mm) | Biến dạng ($\mu\text{m/m}$) | Ứng suất (Mpa) | Chuyển vị (mm) |
| 50% | 1222,78 | 6,91214 | 0,04551 | 206,807 | 43,2967 | 0,26708 | 958,236 | 5,55659 | 0,26686 |
| 45% | 1218,49 | 6,87919 | 0,04433 | 205,099 | 42,9192 | 0,26315 | 948,939 | 5,50113 | 0,26266 |
| 40% | 1216,39 | 6,86402 | 0,04346 | 203,773 | 42,6237 | 0,25993 | 942,183 | 5,46354 | 0,25925 |
| 35% | 1214,14 | 6,85256 | 0,04270 | 202,578 | 42,3570 | 0,25719 | 936,222 | 5,42576 | 0,25635 |
| 30% | 1213,66 | 6,85205 | 0,04110 | 201,571 | 42,1360 | 0,25476 | 929,280 | 5,38823 | 0,25375 |
| 25% | 1213,27 | 6,84501 | 0,04147 | 200,748 | 41,9568 | 0,25273 | 925,779 | 5,37078 | 0,25162 |
| 20% | 1210,47 | 6,82180 | 0,04101 | 200,069 | 41,7996 | 0,25097 | 922,529 | 5,35283 | 0,24976 |
| 15% | 1208,15 | 6,81580 | 0,04062 | 199,465 | 41,6639 | 0,24943 | 918,864 | 5,32835 | 0,24812 |
| 10% | 1205,17 | 6,80392 | 0,04026 | 198,948 | 41,5510 | 0,24807 | 916,078 | 5,31480 | 0,24669 |
| 5% | 1204,81 | 6,79462 | 0,03995 | 198,561 | 41,4601 | 0,24693 | 913,077 | 5,29629 | 0,24548 |
| 0% | 1193,20 | 6,69420 | 0,03986 | 198,310 | 41,4040 | 0,24644 | 912,262 | 5,29090 | 0,24494 |

4 KẾT LUẬN

Trong bài báo này nhóm nghiên cứu đã đề xuất mô hình gieo ngẫu nhiên các hình thái hư hỏng dính bám của mô hình dầm chịu uốn năm điểm dành cho việc phân tích ứng xử cục bộ kết cấu mặt cầu thép trực hướng có sử dụng lớp phủ bê tông nhựa. Trong đó tỷ lệ phần trăm hư hỏng dính bám được khống chế ở một số giá trị nhất định, ở đây tỷ lệ này được khống chế tối đa là 50%, trong những nghiên cứu sắp tới nhóm tác giả sẽ phát triển mô hình nhằm nâng cao tỷ lệ giới hạn mất mát dính bám cho phù hợp hơn với thực tế. Nghiên cứu đã bước đầu phân tích được những ảnh hưởng cơ bản của mức độ cũng như hình thái hư hỏng dính bám đến ứng xử kết cấu. Nghiên cứu này có thể được sử dụng một phần làm tham chiếu cho các bài toán ngược khi biết ứng xử kết cấu cần ước tính mức độ hư hỏng trong mặt cầu trực hướng, tuy nhiên để làm được việc đó cần có những nghiên cứu bổ sung về các dạng hình học của miền hư hỏng dính bám. Đây cũng là đòi hỏi đặt ra cho nhóm nghiên cứu trong thời gian tiếp theo.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2020-CT-011TD.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. X. Jia, B. Huang, B. F. Bowers, T. E. Rutherford, Investigation of Tack Coat Failure in Orthotropic Steel Bridge Deck Overlay, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2444 (2014) 28-37. <https://doi.org/10.3141/2444-04>
- [2]. R. Wolchuk, Steel orthotropic decks developments in the 1990s, Transportation Research Record, 1688 (1990) 30-37. <https://doi.org/10.3141/1688-04>
- [3]. R. Wolchuk, Structural behaviour of surfacings on steel orthotropic decks and considerations for practical design, Structural Engineering International, 12 (2002) 124-129. <https://doi.org/10.2749/101686602777965586>
- [4]. X. Liu, T. O. Medani, A. Scarpas, M. Huurman, Experimental and numerical characterization of a membrane material for orthotropic steel deck bridges: Part 2^[1] Development and implementation of a nonlinear constitutive model, Finite Elements in Analysis and Design, 44 (2008) 580-584. <https://doi.org/10.1016/j.finel.2008.01.012>
- [5]. X. Liu, J. Li, G. Tzimiris, T. Scarpas, Modelling of five-point bending beam test for asphalt surfacing system on orthotropic steel deck bridges, International Journal of Pavement Engineering, 9 (2019) 1697440. <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1697440>
- [6]. Nguyễn Ngọc Long, Ngô Văn Minh, Trần Thị Kim Đăng, Nguyễn Đắc Đức, Lê Đình Long, Các dạng hư hỏng điển hình của kết cấu áo đường mềm trên mặt cầu thép bản trực hướng, Tạp chí Giao thông vận tải, 3 (2015) 18-20.
- [7]. Nguyễn Quang Tuấn, Hoàng Việt Hải, Trần Anh Tuấn, Trần Thị Cẩm Hà, Đánh giá trạng thái biến dạng cầu kết cấu bản mặt cầu trực hướng có lớp phủ bê tông nhựa bằng thí nghiệm uốn 5 điểm, Tạp chí Giao thông vận tải, 5 (2019) 58-61.
- [8]. Trần Anh Tuấn, Lê Bá Anh, Hoàng Việt Hải, Nguyễn Quang Tuấn, Mô hình hoá ứng xử kết cấu bản mặt cầu thép – bê tông nhựa chịu uốn 5 điểm, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 70 (2019) 43-52. <https://doi.org/10.25073/tcsj.70.1.42>
- [9]. A. Houel, T. L. N'Guyen, L. Arnaud, Monitoring and designing of wearing courses for orthotropic steel decks throughout the five-point bending test, Advanced Testing and Characterisation of Bituminous Materials, 1 and 2 (2009) 433–442. <https://doi.org/10.1201/9780203092989-48>

- [10]. S. Pouget, C. Sauzeat, H. Di Benedetto, F. Orlard, Numerical simulation of the five-point bending test designed to study bituminous wearing courses on orthotropic steel bridge, *Materials and Structures*, 43 (2010) 319-330. <https://doi.org/10.1617/s11527-009-9491-1>
- [11]. F. Olard, B. Héritier, F. Loup, S. Krafft, New French Standard Test Method for the Design of Surfacing on Steel Deck Bridges, *Road Materials and Pavement Design*, 6 (2005) 515-531. <https://doi.org/10.1080/14680629.2005.9690018>
- [12]. A. Lachihab, K. Sab, Aggregate composites: a contact based modeling, *Computational Materials Science*, 33 (2005) 467-490. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2004.10.003>
- [13]. A. Lachihab, K. Sab, Does a representative volume element exist for fatigue life prediction? The case of aggregate composites, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 32 (2008) 1005-1021. <https://doi.org/10.1002/nag.655>