

# Mô hình hóa hư hỏng dính bám trong kết cấu mặt cầu thép sử dụng lớp phủ bê tông nhựa

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

*Trường Đại học Giao thông vận tải*

■ KS. TRƯƠNG QUỐC TIẾN

*Công ty TNHH Xây dựng và Dịch vụ thương mại Phú Thành An*

**TÓM TẮT:** Mục tiêu cơ bản của bài báo là dự đoán ảnh hưởng của sự hư hỏng lớp dính bám đến ứng xử cục bộ của kết cấu bản mặt cầu thép có sử dụng lớp phủ bằng bê tông nhựa. Ở đây, mô hình dầm chịu uốn năm điểm được sử dụng để đại diện cho kết cấu mặt cầu thép. Mô hình dầm này bao gồm lớp bản thép dày 14 mm, lớp dính bám bằng keo epoxy dày 2 mm và lớp phủ bê tông nhựa dày 7 cm. Trong đó, miền hư hỏng dính bám có dạng hình elip trụ rời rạc phân bố ngẫu nhiên trong lớp epoxy. Kết quả bài toán thu được bằng phương pháp phần tử hữu hạn thông qua phần mềm Comsol Multiphysics.

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

**ABSTRACT:** The general purpose of this work is to predict the influence of the interfacial failure on the local behavior of the steel bridge deck with asphalt surfacing system. Here, the five-point bending beam model have been employed to represent the steel bridge deck structure. This beam model is composed of a 14-mm-thick steel plate, an epoxy bonding layer of 2-mm-thick and a 70-mm-thick asphalt mixture, in which the tack coat failure in the form of separated elliptical cylinder particles are randomly distributed and oriented in the epoxy layer. The problem results are obtained by finite element method (FEM) with Comsol Multiphysics.

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

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong kết cấu mặt cầu thép đa lớp, lớp phủ bê tông nhựa 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 gia tăng của tải trọng cũng như lưu lượng xe, ngày nay, lớp phủ bê tông nhựa trên bản mặt cầu thép trực hướng có xu hướng bị phá hoại kiểu nứt vỡ, bong tróc. Để hạn chế hiện tượng này, việc tăng cường dính bám giữa lớp bê tông nhựa và lớp thép là việc làm hết sức cần thiết. Chính vì vậy, mục tiêu chính của nghiên cứu này là phân tích ảnh hưởng

của sự hư hỏng dính bám đến ứng xử cục bộ của hệ thống mặt cầu thép có lớp phủ bằng bê tông nhựa thông qua mô hình dầm chịu uốn năm điểm, từ đó có được những định hướng thiết kế hoặc sửa chữa đối với loại kết cấu này.

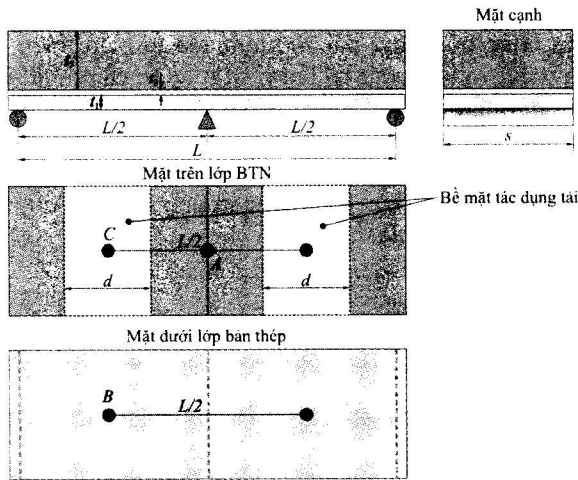
Liên quan đến các vấn đề về hư hỏng kết cấu mặt cầu, chúng ta có thể liệt kê sau đây một vài công trình đã công bố trên thế giới như nghiên cứu của Jia và các cộng sự [1], của Wolchuk [2,3], của Liu và các cộng sự [4,5]. Những năm gần đây, ở nước ta đã xuất hiện nhiều hiện tượng hư hỏng kết cấu mặt cầu như ở cầu Thăng Long, cầu Thuận Phước, do đó đòi hỏi có những nghiên cứu chuyên sâu để dự báo và cải thiện thực trạng này là một tất yếu. 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 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.

Trên cơ sở mô hình nghiên cứu đã công bố của Pouget và cộng sự [9], trong bài báo này, nhóm nghiên cứu đề xuất sử dụng mô hình dầm đa lớp chịu uốn năm điểm để đại diện cho kết cấu mặt cầu bản thép - lớp phủ bê tông nhựa trong đó liên kết giữa hai lớp này là lớp dính bám bằng keo epoxy. Sự làm việc của mô hình dầm chịu uốn năm điểm đủ để đặc trưng cho ứng xử cục bộ của mặt cầu dưới tác dụng của tải trọng bánh xe. Thông qua việc phân tích kết quả mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn, chúng ta sẽ dự đoán được ảnh hưởng của mức độ hư hỏng dính bám đến sự làm việc của kết cấu mặt cầu. Bài báo này được kết cấu theo các nội dung chính như sau: Phần 2 dùng để thống kê các thông tin của việc thiết lập bài toán, phần 3 dùng để phân tích và nhận xét các kết quả thu được từ việc tính toán mô phỏng, cuối cùng là một số kết luận và kiến nghị.

## 2. THIẾT LẬP BÀI TOÁN

### 2.1. Các dữ liệu đầu vào dùng trong mô hình

Tiến hành xây dựng mô hình dầm chịu uốn 5 điểm sử dụng trong chương này có hình dạng, kích thước và thông số vật liệu như mô tả trong Hình 2.1, Bảng 2.1 và Bảng 2.2 dưới đây. Nhìn chung, kết cấu xem xét có cấu tạo dạng xếp lớp gồm bản thép được liên kết dính bám với lớp bê tông nhựa epoxy (BTNE) thông qua một lớp keo epoxy. Kết cấu dầm 3 lớp này được kê trên 3 gối với gối cố định ở chính giữa.



Hình 2.1: Mô hình kết cấu chịu uốn 5 điểm dùng trong mô phỏng  
Bảng 2.1. Thông số kích thước mô hình

ST	Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Chiều dài tính toán của mẫu	L	760	mm
2	Chiều dày bản thép	t	14	mm
3	Chiều dày lớp dính bảm Epoxy	t <sub>1</sub>	2	mm
4	Chiều dày lớp BTNE	t <sub>2</sub>	70	mm
5	Bề sâu mẫu	S	250	mm
6	Bề rộng dải tải trọng	d	200	mm

Bảng 2.2. Thông số vật liệu dùng trong mô phỏng

STT	Vật liệu	Mô-đun đàn hồi (Mpa)	Hệ số Poisson	Khối lượng thể tích (kg/m <sup>3</sup> )
1	Thép	200.000	0,3	7850
2	Keo dính bảm Epoxy	3.500	0,38	1250
3	Bê tông nhựa Epoxy (BTNE)	5.000	0,35	2695

Mô hình kết cấu dầm đa lớp sẽ chịu tác dụng của hai vệt tải trọng phân bố đều trên tổng diện tích là  $2d \times s$  (miền tác dụng tải trọng này được thể hiện trên Hình 2.1, trong phạm vi hai hình chữ nhật nét đứt), tổng giá trị tải trọng là 130 kN.

**2.2. Mô phỏng miền mất mát dính bảm**

Hư hỏng lớp dính bảm hay nói cách khác là mất mát dính bảm giữa lớp bản thép và lớp phủ bê tông nhựa do nhiều nguyên nhân tác động phức tạp, ví dụ như sự thay đổi về điều kiện tải trọng, sự thay đổi nhiệt độ, sự thay đổi độ ẩm môi trường, sự hạn chế về công nghệ thi công... Hình dạng và quy mô của hiện tượng hư hỏng là khó xác định. Chính vì vậy, ở chương này, chúng ta hướng đến mục tiêu mô phỏng vị trí, hình dạng và phân bố của khu vực hư hỏng dính bảm một cách ngẫu nhiên, sau đó tiến hành phân tích mối liên hệ giữa mức độ mất mát dính bảm và các ứng xử biểu kiến tại một số điểm đặc trưng trên kết cấu xem xét.

Hình dạng miền hư hỏng dính bảm có thể rất đa dạng, trong nghiên cứu này, miền hư hỏng dính bảm được giả định có dạng tập hợp các hình elip không lồng nhau, được phân bố theo quy luật ngẫu nhiên. Trong chương này, số lượng hình elip được lựa chọn là  $N = 100$ , tâm của các hình elip phân bố theo quy luật phân phối đều liên tục trên phạm vi mặt bằng của mẫu. Nếu gọi bán trục lớn của elip là a và bán trục bé là b thì trong phạm vi bài báo này, chúng ta chỉ xem xét đại diện trường hợp miền hư hỏng có dạng elip với tỷ số  $w = a/b = 2$ .

Để tạo ra N vị trí miền tròn hư hỏng mất dính bảm 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 elip thứ 1
- (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 elip thứ  $i + 1$
- (b) Kiểm tra điều kiện giao cắt với tất cả các miền elip trước đó.

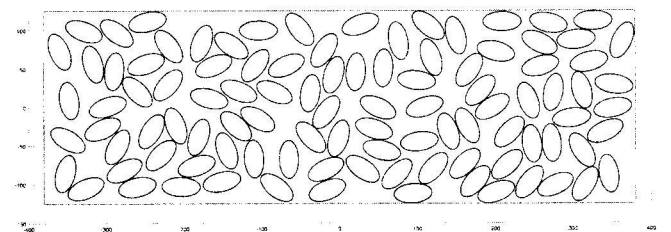
\* Nếu miền elip mới tạo ra không giao cắt với bất kì miền elip nào trước đó thì tiến hành gán biến đếm  $n = n + 1$ .

\* Nếu miền elip vừa tạo giao cắt với các miền elip trước đó thì thực hiện phép lặp cho việc gieo ngẫu nhiên tọa độ tâm miền elip.

Bài toán lặp lại để tăng số lượng miền elip đến con số mong muốn.

- Phép gieo ngẫu nhiên dừng khi  $n > N$ .

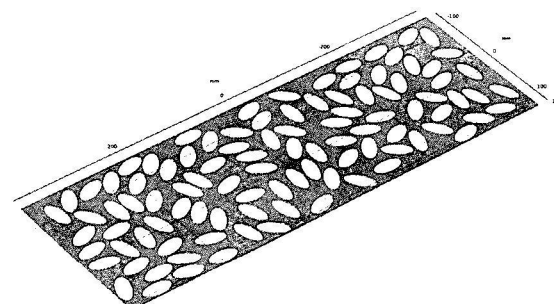
Sau khi thực hiện thành công việc gieo ngẫu nhiên, minh họa cho miền hư hỏng dạng elip xuất hiện ở lớp dính bảm giữa thép và bê tông nhựa được thể hiện trên hình dưới đây:



Hình 2.2: Phân bố ngẫu nhiên của 100 miền hư hỏng dạng elip trên bề mặt lớp dính bảm

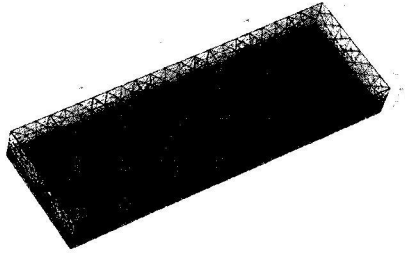
**2.3. Mô phỏng ứng xử kết cấu mặt cầu thép - bê tông nhựa có lớp dính bảm xuất hiện các hư hỏng phân bố ngẫu nhiên dạng elip**

Trong quá trình mô phỏng bằng phần mềm ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn (Comsol Multiphysic), miền mất mát dính bảm được giả định là các miền rỗng có dạng trụ mặt cắt ngang hình elip với chiều dày chính bằng chiều dày của lớp keo epoxy  $t_2$ . Điều này đồng nghĩa với việc chúng ta quy ước miền mất mát dính bảm chính là miền mà phần keo dính bảm epoxy không tham gia làm việc, vì vậy trong mô phỏng chúng được coi là miền rỗng. Thực tế của trạng thái mô phỏng này được thể hiện trên Hình 2.3 dưới đây:



Hình 2.3: Mô phỏng vùng mất dính bảm bằng mô hình phần tử hữu hạn

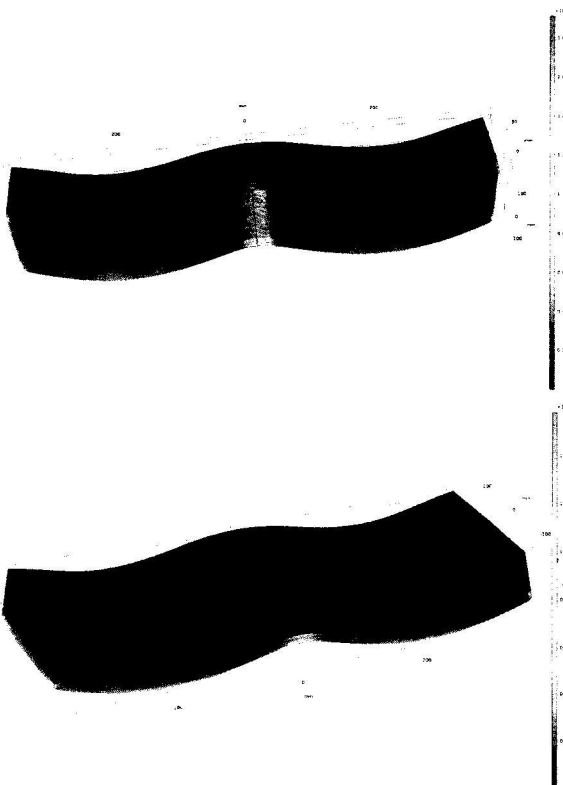
Phần không hư hỏng tức là miền ngoài của các hình elip thuộc lớp dính bám được khai báo là dạng liên kết hoàn hảo với lớp bê tông nhựa phía trên và bản thép phía dưới. Toàn bộ kết cấu gồm 3 loại vật liệu thép, bê tông nhựa và lớp dính bám đều được xem xét theo quy luật ứng xử đàn hồi tuyến tính. Sau khi tiến hành khai báo các điều kiện biên về chuyển vị và tải trọng cho mô hình ở trên, toàn bộ kết cấu được rời rạc hóa bằng lưới tứ diện như thể hiện ở Hình 2.4 dưới đây, với tổng số phần tử vào khoảng xấp xỉ 200.000.



Hình 2.4: Hình ảnh rời rạc hóa kết cấu dầm chịu uốn 5 điểm bằng lưới tứ diện

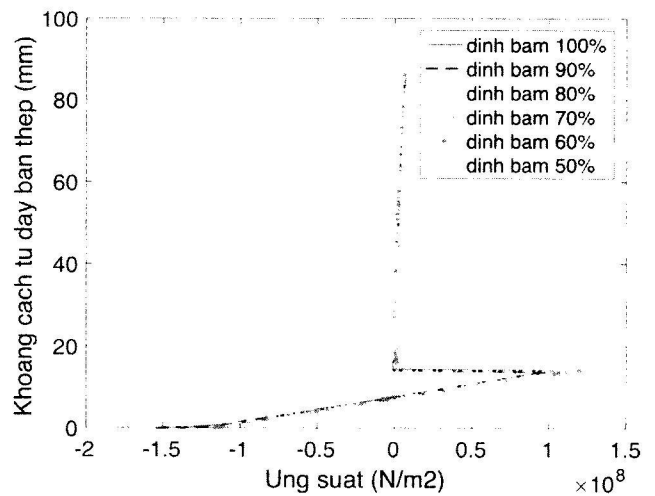
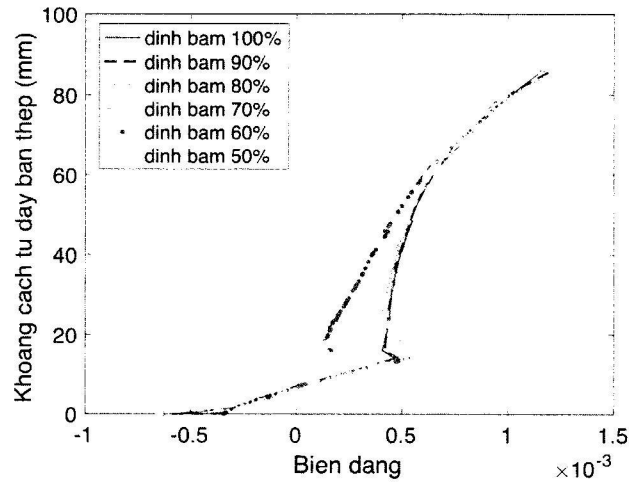
### 3. MỘT SỐ KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

Trong bài báo này, chúng ta sẽ thực hiện gieo ngẫu nhiên trạng thái phân bố miền hư hỏng dính bám tương ứng với sự biến thiên mức độ hư hỏng dính trong khoảng 10 - 50%, từ đó phân tích sự ảnh hưởng của mức độ mất mát dính bám đến ứng xử cục bộ của kết cấu mặt cầu thép-bê tông nhựa trong mô hình dầm chịu uốn 5 điểm. Hình 3.1 minh họa ứng xử tổng thể của kết cấu đại diện mặt cầu thép sử dụng lớp phủ bê tông nhựa khi mức độ hư hỏng dính bám là 50% (trái) và không bị hư hỏng (phải).

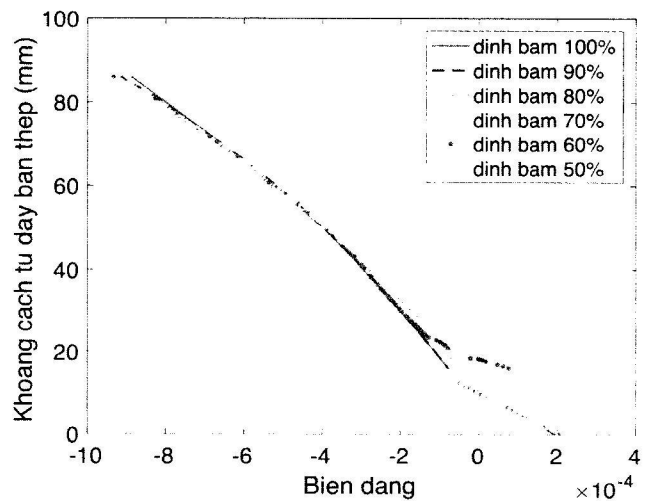


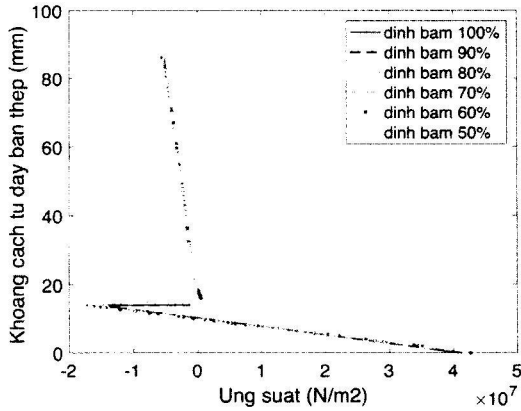
Hình 3.1: Ứng xử kết cấu khi hư hỏng dính bám là 50% (trái) và không hư hỏng (phải)

Dưới tác dụng của tải trọng trục 130 kN sinh ra tải trọng phân bố trên 2 dải 200 mm, giá trị biến thiên của biến dạng và ứng suất tại hai vị trí A (vị trí chính tại sườn tăng cường), vị trí C (vị trí giữa hai sườn tăng cường) tương ứng với các mức độ dính bám khác nhau được thể hiện trên Hình 3.2, 3.3. Biến dạng và ứng suất kéo quy ước biểu diễn bằng giá trị dương, còn biến dạng và ứng suất nén quy ước thể hiện bằng các giá trị âm.



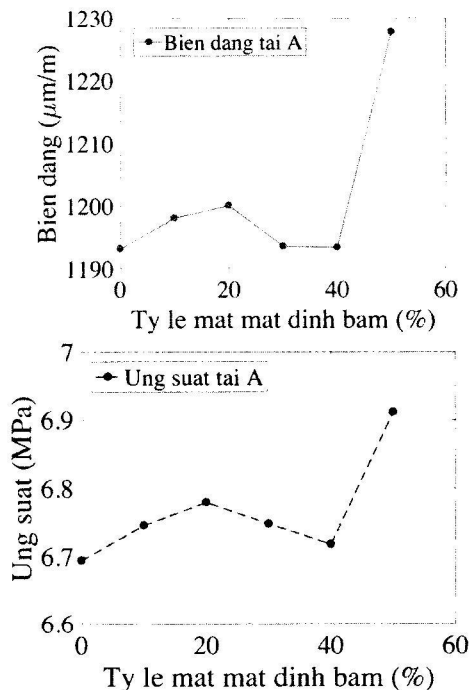
Hình 3.2: Sự phân bố biến dạng và ứng suất trong kết cấu tại vị trí A



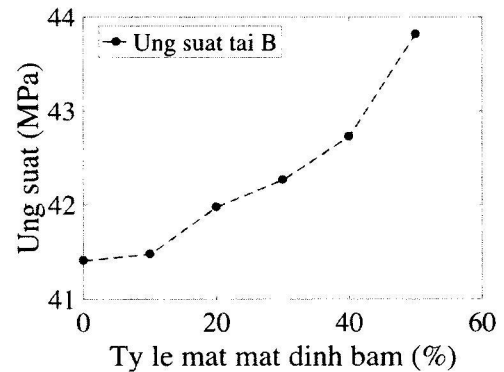
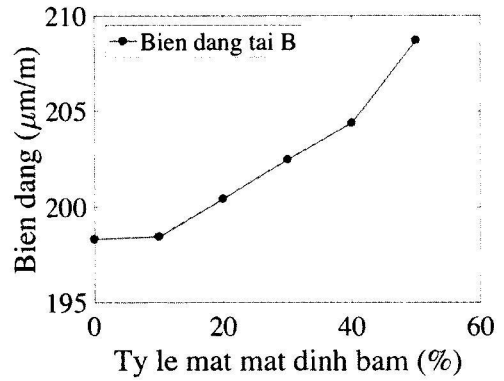


Hình 3.3: Sự phân bố biến dạng và ứng suất trong kết cấu tại vị trí C

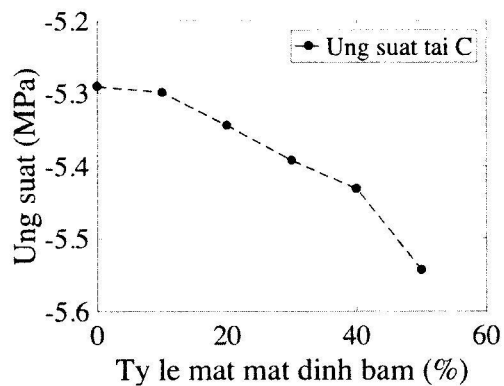
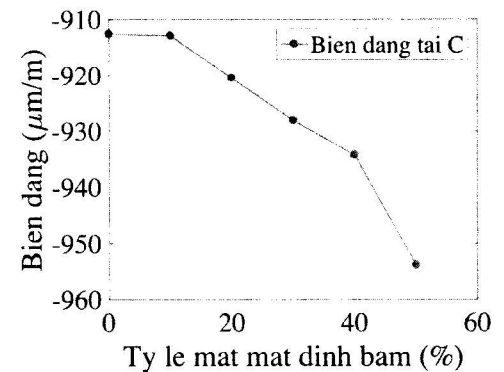
Về cơ bản, chúng ta thấy rằng, khi kết cấu có mức độ dính bám nhỏ (tương ứng với hiện tượng hư hỏng dính bám càng lớn) thì độ lớn về mặt giá trị của biến dạng và ứng suất tại đỉnh lớp bê tông nhựa là lớn hơn, hiện tượng này xảy ra cả ở vị trí A và C, ngược lại khi kết cấu còn sở hữu mức độ dính bám cao hơn (tương ứng với hư hỏng dính bám ít hơn) thì độ lớn của giá trị biến dạng và ứng suất trên đỉnh lớp bê tông nhựa giảm dần. Quan sát này có thể suy ra được rằng khi hư hỏng lớp dính bám càng lớn thì sẽ dễ dẫn đến hư hỏng kéo nứt trên lớp bê tông nhựa tại vị trí gối giữa trong mô hình (hay trong thực tế kết cấu mặt cầu là vị trí sườn tăng cường), việc này xảy ra do nó phát sinh nội lực và biến dạng lớn hơn nhiều lần khi lớp dính bám hư hỏng ít hoặc chưa bị hư hỏng. Quan sát trên biểu đồ ứng suất tương ứng với khu vực của bản thép chúng ta nhận thấy rằng ở cả hai vị trí A và C ứng suất là rất lớn so với trong lớp bê tông nhựa, điều này khẳng định trong kết cấu mặt cầu thép-lớp phủ bê tông nhựa thì tác động chủ yếu là do phần bản thép chịu.



Hình 3.4: Mối quan hệ giữa tỷ lệ mất dính bám tại điểm A với biến dạng (trái) và ứng suất (phải)



Hình 3.5: Mối quan hệ giữa tỷ lệ mất dính bám tại điểm B với biến dạng (trái) và ứng suất (phải)



Hình 3.6: Mối quan hệ giữa tỷ lệ mất dính bám tại điểm C với biến dạng (trái) và ứng suất (phải)

Hình 3.4, 3.5, 3.6 phía trên đây là biểu diễn ứng xử của kết cấu tại các điểm A, B, C (chỉ ra trong Hình 2.1) theo sự thay đổi mức độ hư hỏng dính bám (về mặt tỷ lệ diện tích). Chúng ta có thể rút ra một số đặc điểm chung của các biểu

đồ này đó là biến dạng và ứng suất có xu hướng tăng dần khi tỷ lệ phần trăm hư hỏng dính bám tăng lên, hiện tượng này đồng nghĩa với việc khi mất dần dính bám độ cứng của kết cấu giảm đi.

Trên đây là những nhận định cơ bản về kết quả mô hình ứng xử cục bộ kết cấu mặt cầu thép trên bề mặt có sử dụng lớp phủ bê tông nhựa dưới tác động của tải trọng tĩnh, trong đó xuất hiện hư hỏng của lớp dính bám. Trong nghiên cứu này, miền hư hỏng mới chỉ được mô phỏng ở dạng các hình elip có cùng kích thước, do vậy chưa đặc trưng cho hiện tượng hư hỏng thực tế có thể có nhiều hình dạng và kích thước khác nhau, điều này cũng mở ra một mục tiêu nghiên cứu tiếp theo cho hướng nghiên cứu ứng xử kết cấu mặt cầu đa lớp.

#### 4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã mô hình hóa và đánh giá trạng thái biến dạng và ứng suất cục bộ của kết cấu mặt cầu thép trực hướng sử dụng lớp phủ bê tông nhựa bằng mô hình dầm đa lớp chịu uốn 5 điểm, điểm quan trọng đó là có kể đến sự ảnh hưởng của tỷ lệ hư hỏng lớp dính bám đến ứng xử của kết cấu. Dựa trên kết quả nghiên cứu này, chúng ta có thể kết hợp với công tác đo đạc thực nghiệm tại hiện trường để phỏng đoán ngược mức độ hư hỏng của kết cấu thực tế một cách gần đúng, từ đó có cơ sở cho việc duy tu bảo dưỡng, sửa chữa thay thế hoặc nghiên cứu cải thiện lớp dính bám cho các công trình cầu tiếp sau.

Trong phạm vi bài báo, nhóm tác giả mới chỉ giải quyết được bài toán mà ở đó tải trọng tác động là tĩnh, để kết quả có tính thực tế hơn chúng ta cần giải quyết bài toán khi tải trọng tác dụng là động. Hơn nữa, hình thái của miền hư hỏng mới dừng ở một dạng elip, trên thực tế hình thái của miền hư hỏng là đa dạng và với nhiều kích thước khác nhau. Đây cũng chính là những hạn chế mà nghiên cứu này chưa thực hiện được, điều đó mở ra chủ đề tiếp theo cho các nghiên cứu trong thời gian sắp tới.

#### Tài liệu tham khảo

[1]. X. Jia, B. Huang, B. F. Bowers, T. E. Rutherford (2014), *Investigation of Tack Coat Failure in Orthotropic Steel Bridge Deck Overlay*, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2444, 28-37.

[2]. R. Wolchuk (1990), *Steel orthotropic decks developments in the 1990s*, Transportation Research Record, 1688, 30-37.

[3]. R. Wolchuk (2002), *Structural behaviour of surfacings on steel orthotropic decks and considerations for practical design*, Struct. Eng. Int., 12, 124-129.

[4]. X. Liu, T. O. Medani, A. Scarpas, M. Huurman (2008), *Experimental and numerical characterization of a membrane material for orthotropic steel deck bridges: Part 2: Development and implementation of a nonlinear constitutive model*, Finite Elem. Anal. Des. 44, 580-584.

[5]. X. Liu, J. Li, G. Tzimiris, T. Scarpas (2019), *Modelling of five-point bending beam test for asphalt surfacing system on orthotropic steel deck bridges*, Int. J. Pavement Eng., 9, 1697440.

[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 trực hướng*, Tạp chí GTVT, 3, 18-20.

[7]. Nguyễn Quang Tuấn, Hoàng Việt Hải, Trần Anh Tuấn, Trần Thị Cẩm Hà (2019), *Đánh giá trạng thái biến dạng của kết cấu bản mặt cầu trực hướng có lớp phủ bê tông nhựa bằng thí nghiệm uốn 5 điểm*, Tạp chí GTVT, 5, 58-61.

[8]. Trần Anh Tuấn, Lê Bá Anh, Hoàng Việt Hải, Nguyễn Quang Tuấn (2019), *Mô hình hóa ứng xử kết cấu bản mặt cầu thép - bê tông nhựa chịu uốn 5 điểm*, Tạp chí Khoa học GTVT, 70.1, 43-52.

[9]. S. Pouget, C. Sauzeat, H. Di Benedetto, F. Orlard (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: 18/01/2021**

**Ngày chấp nhận đăng: 25/02/2021**

**Người phản biện: TS. Ngô Văn Minh**

**TS. Nguyễn Văn Hậu**