

Đánh giá về độ võng và xác định hệ số phân bố ngang kết cấu nhịp cầu dầm T bê tông cốt thép đổ tại chỗ chịu tải trọng xe tải nặng

■ TS. NGUYỄN ĐỨC HIẾU; TS. NGUYỄN THẠCH QUANG^(*)

Phân hiệu tại TP. Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: ^(*)quangnt_ph@utc.edu.vn

TÓM TẮT: Cầu bê tông cốt thép (BTCT) sử dụng kết cấu nhịp dầm T đổ tại chỗ nhịp ngắn đến nay vẫn đang còn được khai thác. Dựa trên các kết quả khảo sát cho thấy các vết nứt ở kết cấu nhịp, một trong những nguyên nhân này là do tải trọng xe nặng. Về đặc trưng hình học của dầm sau khi xuất hiện các vết nứt có sự thay đổi làm suy giảm độ cứng của dầm dẫn đến sự gia tăng về độ võng. Thông qua độ võng của các dầm có thể tính toán được hệ số phân bố ngang hoạt tải cho từng dầm. Từ kết cấu nhịp ban đầu chưa bị nứt tới khi vết nứt xuất hiện và lan truyền, giữa các vùng trên kết cấu nhịp có mức độ nứt khác nhau làm thay đổi tương quan về độ cứng của các bộ phận chịu lực dẫn đến sự phân bố lại nội lực trên toàn kết cấu. Bài báo sử dụng mô hình 3D để phân tích ứng xử phi tuyến của kết cấu nhịp dầm T theo phương pháp phần tử hữu hạn. Kết quả phân tích sẽ làm rõ độ võng và hệ số phân bố ngang của các dầm ứng với các cấp tải trọng xe tăng dần.

TỪ KHÓA: Dầm T, độ võng, phân bố ngang, phi tuyến, xe tải nặng.

ABSTRACT: The short-span cast-in-place T-beam reinforced concrete bridge is still in use today. Based on survey results showing cracks in the span structure, one of these causes is heavy vehicle load. Regarding the geometric characteristics of the beam, after the appearance of cracks, there is a change that reduces the stiffness of the beam, leading to an increase in deflection. Through the deflection of the beams, the distribution of live loads for each beam can be calculated. From the initially uncracked span structure, until the crack appears and propagates, there are different levels of cracking between regions on the span structure, changing the stiffness relationship of the load-bearing parts. As a result, internal forces are redistributed throughout the structure. This article uses 3D models to analyze the nonlinear behavior of T-beam span structures using the

finite element method. The analysis results will clarify the deflection and distribution of live loads corresponding to increasing vehicle load levels.

KEYWORDS: T beam, deflection, distribution of live loads, nonlinear, heavy truck.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, cầu dầm T BTCT thường đổ tại chỗ hiện nay vẫn còn đang được khai thác. Cầu thường có chiều dài nhịp ngắn, mặt cầu bố trí cho 1 hoặc 2 làn xe chạy, phần sườn dầm và bản mặt cầu được đổ liền khối. Qua thời gian khai thác cầu đã có những dấu hiệu xuống cấp như xuất hiện các vết nứt mà nguyên nhân là do tải trọng như nứt theo phương thẳng đứng ở khu vực giữa nhịp và nứt xiên ở khu vực đầu dầm. Các vết nứt quan sát được tại một công trình cầu thực tế khảo sát được trong quá trình kiểm định cầu như trong Hình 1.1 [1].



a) - Vết nứt ở khu vực giữa nhịp b) - Vết nứt ở khu vực đầu dầm

Hình 1.1: Các vết nứt ở cầu dầm T BTCT đổ tại chỗ thực tế

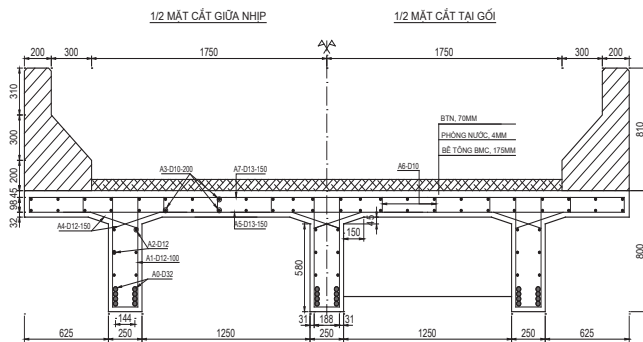
Ở Việt Nam, tình trạng xe quá tải của các phương tiện giao thông tương đối phổ biến. Nguyên nhân của sự quá tải do quá trình công nghiệp hóa diễn ra nhanh chóng mà hạ tầng giao thông chưa đáp ứng kịp, có nhiều cầu cũ chưa được sửa chữa, tăng cường, ý thức chấp hành luật lệ giao

thông chưa cao hoặc do nhu cầu vận chuyển một số loại máy móc, thiết bị đặc biệt. Hiện tượng xe quá tải biểu hiện ở cả vượt quá tải trọng trục xe và tải trọng xe. Khi khai thác với xe quá tải, tổn thương tích lũy trong kết cấu nhịp BTCT tăng lên nhiều lần so với tổn thương tích lũy do tải trọng trục quy định gây ra [2].

Các dầm T trong cùng kết cấu nhịp có kích thước giống nhau, khi các dầm chưa bị nứt, độ võng kết cấu nhịp vẫn nằm trong giới hạn cho phép do độ cứng các dầm chưa suy giảm do nứt và đồng đều nhau. Hệ số phân bố ngang của các dầm do hoạt tải được tính toán theo tiêu chuẩn thiết kế cầu hoặc qua kết quả đo độ võng các dầm khi chịu tải. Tuy nhiên, khi kết cấu nhịp đã bị nứt, đặc biệt là có các vết nứt lớn theo phương thẳng đứng do tải trọng xe nặng, độ cứng của dầm suy giảm làm độ võng tăng lên. Các vùng trên kết cấu nhịp có mức độ nứt khác nhau làm thay đổi tương quan về độ cứng của các bộ phận chịu lực dẫn đến sự phân bố lại nội lực trên toàn kết cấu. Vấn đề này sẽ được làm rõ dựa trên mô hình phân tích phi tuyến kết cấu nhịp cầu dầm T BTCT chịu tác dụng của hoạt tải xe với các cấp tải trọng đo được ở trạm cân và số liệu giả thiết để làm tăng thêm sự bất lợi. Bài báo sử dụng phần mềm MIDAS FEA là phần mềm chuyên dụng cho kết cấu cầu để phân tích.

2. CẤU TẠO CHUNG KẾT CẤU NHỊP DẦM T VÀ MÔ HÌNH 3D

Trong nghiên cứu này tiến hành phân tích 1 kết cấu nhịp cầu BTCT có 1 làn xe chạy. Chiều dài nhịp 9 m, bề rộng cầu 4,5 m, khoảng cách từ đầu dầm tới tim gối 0,2 m. Bản mặt cầu BTCT có chiều dày 175 mm kê trên 3 dầm đỡ, khoảng cách dầm 1,5 m. Bản mặt cầu được bố trí 2 lưới cốt thép, lưới trên và dưới. Sử dụng thép D13 bước cốt thép 150 mm. Cấu tạo chi tiết xem trong Hình 2.1 [3].

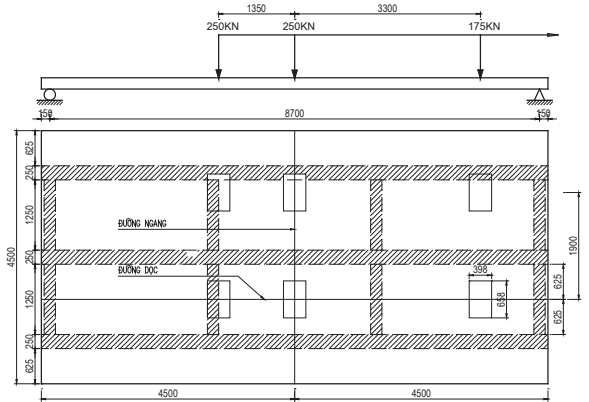


Hình 2.1: Cấu tạo chi tiết cốt thép kết cấu nhịp BTCT

3. MÔ HÌNH HÓA KẾT CẤU

3.1. Tải trọng tác dụng

Kết cấu nhịp chịu tác dụng đồng thời của tĩnh tải và hoạt tải. Tĩnh tải bao gồm trọng lượng bản thân kết cấu nhịp, lan can, lớp phủ mặt cầu. Hoạt tải là xe tải nặng 3 trục [1, 4]. Xếp xe tại vị trí bất lợi cho dầm, bản mặt cầu. Theo phương dọc cầu trục giữa của xe là trục nặng nhất tại vị trí giữa nhịp; theo phương ngang cầu có một hàng bánh xe ở chính giữa các dầm đỡ như Hình 3.1.



Hình 3.1: Sơ đồ xếp xe bất lợi trên cầu

Theo số liệu ở trạm cân Dầu Giây (năm 2013), tải trọng trục lớn nhất ghi nhận được là trên 25 tấn [4]. Trong quá trình phân tích, tải trọng trục của xe tải xem xét được xét tăng dần trong quá trình tính toán nhằm đánh giá ứng xử của kết cấu bản mặt cầu dưới tác động của xe quá tải. Trong nghiên cứu này, kết cấu nhịp được phân tích với tải trọng giả định của trục xe lên đến 50 tấn để đánh giá ứng xử phi tuyến của kết cấu nhịp khi bê tông đã bị nứt.

Áp lực bánh xe bánh hơi có dạng phân bố đều được tính bằng tải trọng bánh xe chia cho diện tích tiếp xúc giữa bánh xe với mặt cầu. Miền phân bố của tải trọng bánh xe là hình chữ nhật có kích thước (658x398)mm khi đã xét tới ảnh hưởng của lớp phủ mặt cầu dày 74 mm. Trong thực tế khai thác xe di chuyển trên cầu thì ngoài tải trọng xe còn phát sinh thêm lực xung kích. Chuyển bài toán xe di chuyển trên cầu sang bài toán xe xếp tĩnh tương đương bằng cách nhân tải trọng xe với hệ số xung kích. Trong phạm vi bài báo này, hệ số xung kích được giả định bằng với tiêu chuẩn thiết kế cầu hiện hành, $1 + IM = 1,33$ [5]. Áp lực của bánh xe ứng với tải trọng trục 25 tấn:

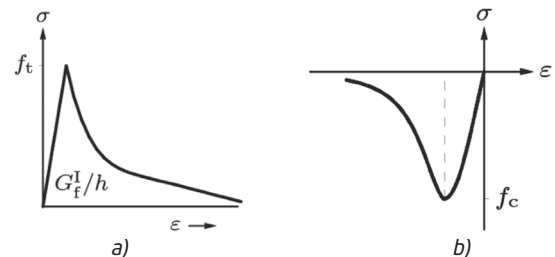
$$q_{\max} = \frac{25 \times 10 \times 1000 \times 1,33}{2 \times 658 \times 398} = 0,635 \text{ N/mm}^2$$

3.2. Các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu

Tính chất cơ lý của thép: Ứng xử của cốt thép trải qua 2 giai đoạn. Quá trình phân tích cho thấy mô hình này có độ tin cậy cao hơn khi mô tả đầy đủ các giai đoạn làm việc của thép và đảm bảo không ảnh hưởng đến tốc độ hội tụ của bài toán phân tích [6].

Cốt thép có các chỉ tiêu cơ lý: $E = 200.000 \text{ MPa}$, hệ số poisson $\nu = 0,3$, $\gamma = 0,000785 \text{ N/mm}^3$, $f_y = 420 \text{ MPa}$.

Giả thiết bê tông chịu kéo theo mô hình Hordijk [7, 8], chịu nén theo mô hình Thorenfeldt như Hình 3.2 [9, 10]. Tính chất cơ lý của các vật liệu như trong Bảng 3.1 [3, 5]:



Hình 3.2: a) - Ứng xử kéo của bê tông theo mô hình Hordijk; b) - Ứng xử kéo của bê tông theo mô hình Thorenfeldt

Bảng 3.1. Tính chất cơ lý của bê tông

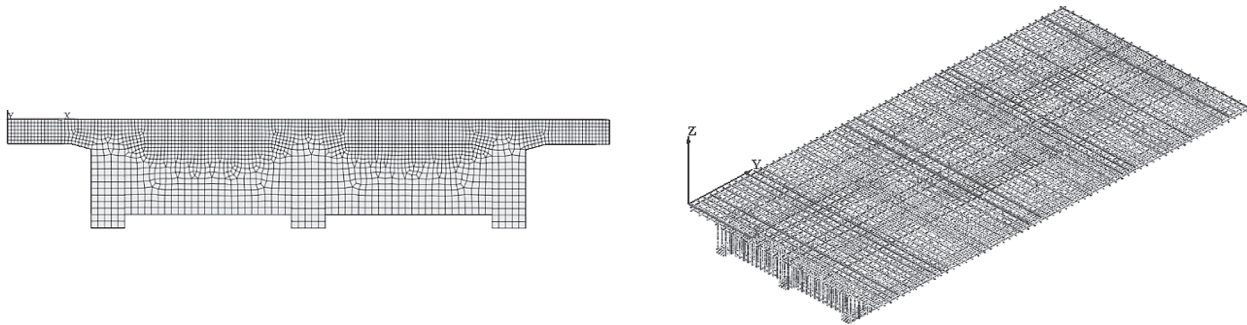
Bề rộng dải nứt, h	Năng lượng nứt ban đầu, G_f	Cường độ chịu kéo, f_t	Mô-đun đàn hồi, E	Trọng lượng thể tích, γ_c	Cường độ chịu nén, f'_c	Hệ số poát xông, v
(mm)	(J/m ²)	(N/mm ²)	(Mpa)	N/mm ³	(N/mm ²)	
60	75	2,63	28.110	0,0000232	30	0,2

3.3. Chia lưới phần tử

Mô hình 3D kết cấu nhịp với đầy đủ các bộ phận chịu lực của kết cấu nhịp dưới tác dụng của xe tải nặng 3 trục.

Phần tử bê tông: Chia khối bê tông thành các phần tử khối dùng cho các kết cấu khối chịu tải trọng 3 chiều như Hình 3.3a. Các phần tử có kích thước trung bình bằng (25x25x25)mm cho phần bản mặt cầu. Dầm dọc và dầm ngang được chia với kích thước lớn hơn để giảm số lượng phần tử, giảm khối lượng xử lý cho bài toán phân tích phi tuyến.

Phần tử cốt thép: Chia cốt thép ra thành các phần tử thanh, mỗi phần tử thanh có chiều dài 25 mm như Hình 3.3b. Ngoài ra, mô hình tính xét đến sự làm việc chung giữa cốt thép, bê tông với giả thiết cốt thép dính bám hoàn toàn với bê tông.



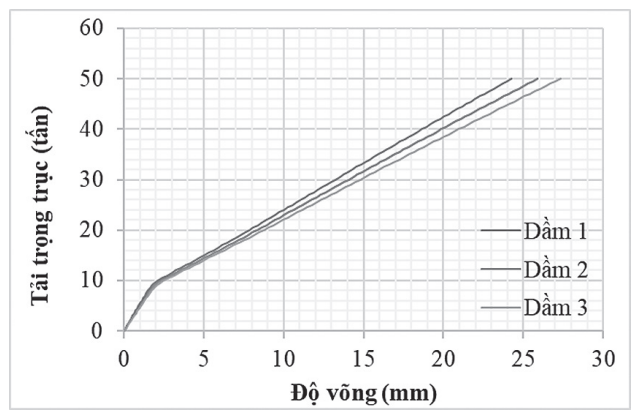
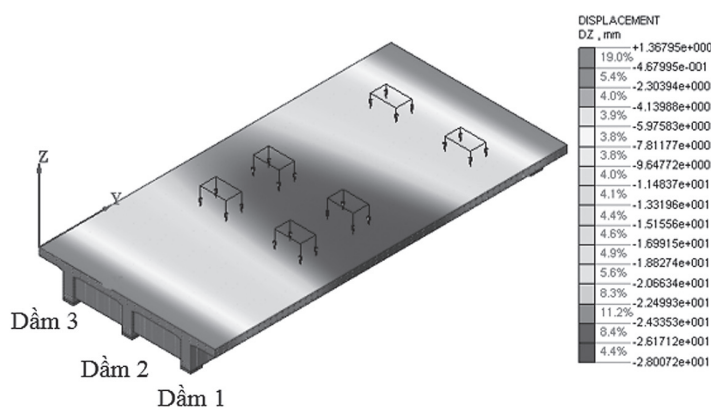
a) - Chia lưới phần tử bê tông

b) - Chia lưới phần tử cốt thép

Hình 3.3: Mô hình chia lưới theo phương pháp phần tử hữu hạn

4. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH PHI TUYẾN

Kết quả tính toán độ võng của các dầm tại vị trí giữa nhịp ứng với tải trọng trục giả định lớn nhất 50 tấn như Hình 4.1. Quan hệ giữa độ võng các dầm và tải trọng trục như Hình 4.2.



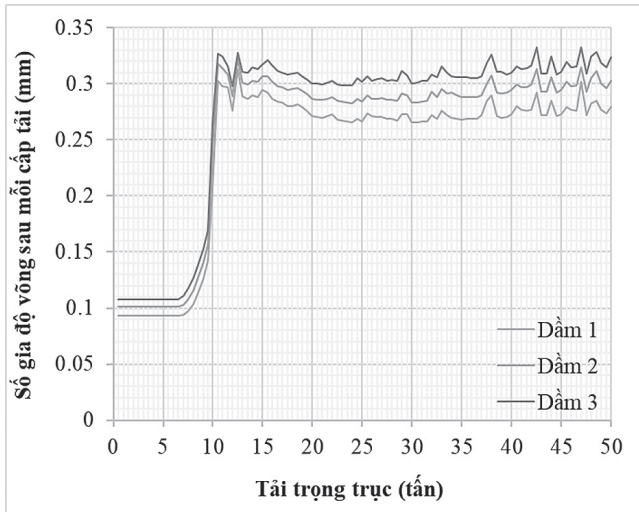
Hình 4.1: Kết quả tính độ võng kết cấu nhịp ứng với tải trọng trục 50 tấn

Hình 4.2: Độ võng kết cấu nhịp theo các cấp tải trọng trục xe

Độ võng cho phép của kết cấu nhịp theo tiêu chuẩn thiết kế cầu [5]: $[\Delta] = L_{tt}/800 = 8.700/800 = 10,88$ mm.

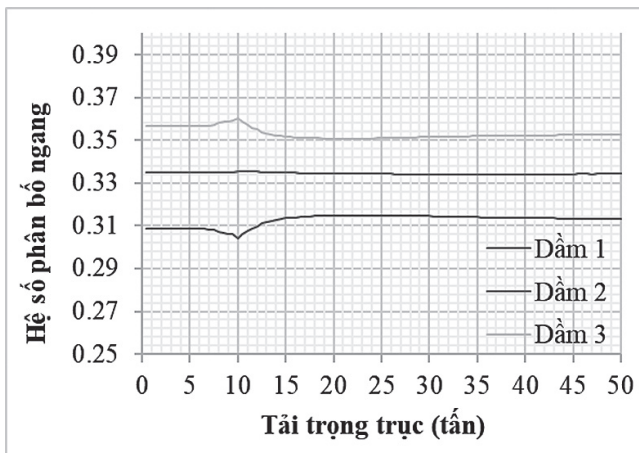
Ứng với cấp tải trọng trục 24 tấn, độ võng lớn nhất ở dầm 3 là 11,13 mm lớn hơn độ võng cho phép.

Hiệu ứng về độ võng khi tăng một cấp tải trọng trục 0,5 tấn được tính bằng độ võng ở cấp tải đang xét trừ đi độ võng của cấp tải trước đó và được gọi là số gia độ võng như Hình 4.3. Số gia độ võng là hằng số ứng với giai đoạn kết cấu làm việc đàn hồi tuyến tính, bê tông chưa bị nứt. Khi tải trọng trục >6,5 tấn, ở dầm 3 là dầm có độ võng lớn nhất, số gia độ võng bắt đầu tăng lên do bê tông dầm bắt đầu bị nứt, độ cứng kết cấu bắt đầu suy giảm. Ở các cấp tải trọng tiếp theo, số gia độ võng tăng lên rất nhanh do các vết nứt lớn hình thành làm độ cứng kết cấu suy giảm đột ngột đến khi ổn định ở cấp tải 10,5 tấn. Quá trình khảo sát với tải trọng trục từ 0 đến 50 tấn cho thấy đường cong quan hệ tải trọng và độ võng có 2 nhánh với độ dốc khác nhau như Hình 4.3. Nhánh ở đoạn đầu đường cong có độ dốc lớn ứng với tải trọng trục <6,5 tấn và nhánh còn lại có độ dốc nhỏ ứng với tải trọng >10,5 tấn. Giữa 2 nhánh có đoạn cong chuyển tiếp ứng với tải trọng trục từ 6,5 tấn đến 10,5 tấn.



Hình 4.3: Số giá độ võng kết cấu nhịp theo cấp tải trọng trục xe

Về hệ số phân bố ngang, các dầm có cùng kích thước nên hệ số phân bố ngang của một dầm bằng độ võng của dầm đó chia cho tổng độ võng của các dầm. Kết quả hệ số phân bố ngang của các dầm đối với các cấp tải như Hình 4.4:



Hình 4.4: Hệ số phân bố ngang theo cấp tải trọng trục xe

Tải trọng trục <6,5 tấn: Hệ số phân bố ngang của các dầm là hằng số, cụ thể dầm 1 là 0,3087, dầm 2 là 0,3348, dầm 3 là 0,3565.

Tải trọng trục tăng từ 6,5 đến 10 tấn: Hệ số phân bố ngang của các dầm 2, dầm 3 tăng lên, dầm 1 giảm xuống, dầm 2 tăng không đáng kể. Có sự phân phối lại hoạt tải trong các dầm, hệ số phân bố ngang trong dầm 3 và dầm 1 ngày càng chênh lệch.

Tải trọng trục tăng từ 10 đến 21 tấn: Hệ số phân bố ngang của dầm 1 và dầm 3 tiến lại gần nhau. Hoạt tải phân bố khá đồng đều trong các dầm.

Tải trọng trục tăng từ 21 đến 50 tấn: Hệ số phân bố ngang của dầm 1 giảm, dầm 3 tăng trong khi dầm 2 ổn định.

5. KẾT LUẬN

Ứng với cấp tải trọng trục 25 tấn là tải trọng trục đã được ghi nhận trong thực tế, độ võng lớn nhất trong các dầm do hoạt tải đã quá độ võng cho phép.

Hệ số phân bố ngang của các dầm phụ thuộc vào các cấp tải trọng. Khi dầm xuất hiện các vết nứt và lan truyền nứt thì có sự phân phối lại hoạt tải giữa các dầm. Khi tải trọng tác dụng lớn ứng với các vết nứt đã phát triển ở các dầm thì phân phối hoạt tải giữa các dầm ít có sự thay đổi.

Tải trọng trục <6,5 tấn, các dầm chưa bị nứt: Hệ số phân bố ngang của các dầm là hằng số.

- Tải trọng trục tăng từ 6,5 đến 10 tấn, dầm chịu tải trọng bất lợi đã bị nứt: Có sự phân phối lại hoạt tải trong các dầm, hệ số phân bố ngang lớn nhất và nhỏ nhất giữa các dầm ngày càng chênh lệch.

- Tải trọng trục tăng từ 10 đến 21 tấn, các dầm đều đã bị nứt: Hệ số phân bố ngang lớn nhất và nhỏ nhất giữa các dầm tiến lại gần nhau. Hoạt tải phân bố khá đồng đều trong các dầm.

- Tải trọng trục tăng từ 21 đến 50 tấn, các dầm đều nứt lớn: Chênh lệch hệ số phân bố ngang lớn nhất và nhỏ nhất giữa các dầm có xu hướng tăng nhẹ.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả cảm ơn Công ty Cổ phần UTC2 đã cung cấp một số hình ảnh từ công trình thực tế phục vụ cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Công ty Cổ phần UTC2 (2013 - 2023), *Báo cáo kiểm định một số công trình cầu tại khu vực TP. Hồ Chí Minh*, Việt Nam.
- [2]. Tống Trần Tùng (2014), *Xe chở quá tải, quá khổ và thiệt hại hàng tỷ đô la mỗi năm*, Tạp chí GTVT, số 6, tr.7, 8, 18.
- [3]. Nguyễn Đức Hiếu (2022), *Nghiên cứu ứng xử cơ học kết cấu mặt cầu bê tông cốt thép dạng bản trên dầm chịu tác dụng tĩnh của tải trọng xe*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học GTVT, Hà Nội.
- [4]. Nguyễn Lan (2014), *Nghiên cứu đánh giá và xác định tải trọng cho phép qua cầu trên cơ sở kết quả kiểm định cầu*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học GTVT, Hà Nội.
- [5]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2017), TCVN 11823:2017, *Thiết kế cầu đường bộ*, chủ biên, Bộ GTVT, Việt Nam.
- [6]. Vu Hong Nghiep (2011), *Shear design of straight and haunched concrete beams without stirrups*, Technische Universität Hamburg.
- [7]. Hordijk, D. A. (1992), *Tensile and tensile fatigue behaviour of concrete; experiments, modelling and analyses*, Heron, 37(1).
- [8]. Hordijk, D. A. (1993), *Local approach to fatigue of concrete*.
- [9]. Thorenfeldt, E. (1987), *Mechanical properties of high-strength concrete and applications in design*, In Symposium Proceedings, Utilization of High-Strength Concrete, Norway.
- [10]. MIDAS IT (2017), *MIDAS FEA Training Series*.

Ngày nhận bài: 22/02/2024

Ngày nhận bài sửa: 11/3/2024

Ngày chấp nhận đăng: 04/4/2024