

Ảnh hưởng của tải trọng xe quá tải đến phân bố các vùng nứt trên kết cấu nhịp cầu bằng bê tông cốt thép

■ **ThS. NGUYỄN ĐỨC HIẾU**

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

■ **PGS. TS. TRẦN THẾ TRUYỀN**

Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Bài báo thực hiện các tính toán mô phỏng ứng xử cơ học của kết cấu nhịp cầu bằng bê tông cốt thép (BTCT) dưới tác dụng của xe quá tải. Mô hình phân tích xét tới sự làm việc chung giữa bản mặt cầu và các dầm đỡ dưới tác động của xe tải 3 trục điển hình sử dụng trong thực tế. Vị trí của trục xe quá tải sẽ được xem xét nhằm đánh giá ứng xử của kết cấu mặt cầu và các dầm đỡ. Kết quả nghiên cứu cung cấp các số liệu về đặc điểm phân bố các vùng nứt trên kết cấu nhịp cầu bằng BTCT khi tải trọng trên cầu tăng dần.

TỪ KHÓA: Phân tích phi tuyến, bê tông cốt thép, cầu, quá tải, nứt.

ABSTRACT: This paper performs computational analysis on the mechanics behavior of reinforced concrete bridge deck under overload vehicle. Calculation model considered the monolithic system in which slab and supported girders working together to carry typical three - axles truck used in reality. Position of overload axle was considered to evaluate the behavior of reinforced concrete slab and girders. Results of this study provide information on the distribution of crack zones on reinforced concrete bridge deck under overload vehicle.

KEYWORDS: Analysis nonlinear, reinforced concrete, bridge, overloading, crack

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong kết cấu nhịp có sườn, bản mặt cầu được kê trên các dầm dọc, dầm ngang hoặc sườn dầm. Sự làm việc chung giữa bản mặt cầu, dầm dọc và dầm ngang về bản chất là kết cấu nói siêu tĩnh bậc cao. Việc phân tích kết cấu theo mô hình không gian thường rất phức tạp. Để đơn giản hóa, việc phân tích tính toán kết cấu nhịp thường đơn giản hóa từ sơ đồ không gian về sơ đồ phẳng. Dầm dọc được tính với sơ đồ dầm giản đơn mà

ở đó hoạt tải tác dụng lên từng dầm cụ thể được tính thông qua hệ số phân bố ngang.

Có nhiều phương pháp tính hệ số phân bố ngang song thường tính thiên về an toàn, chưa tiết kiệm vật liệu. Bên cạnh đó, bản mặt cầu được tính theo sơ đồ bản kê trên 02 cạnh hoặc bản kê trên 4 cạnh, sơ đồ dải dầm liên tục kê trên các gối cứng. Đối với sơ đồ bản kê trên 02 cạnh chưa có sự nhất quán về một số vấn đề như khẩu độ bản, điều kiện biên. Về khẩu độ bản thường được tính bằng khoảng cách tim giữa các sườn dầm. Tuy nhiên, theo quan điểm khác thì khẩu độ bản có thể lấy bằng khoảng cách giữa các mặt trong của sườn dầm. Về điều kiện biên thường được coi là biên ngàm, quan điểm này hợp lý khi độ cứng chống xoắn của dầm đỡ lớn và liên kết cứng giữa bản mặt cầu và dầm đỡ. Mặt khác, sơ đồ bản kê với tải trọng tác dụng là trục xe đơn là hợp lý khi khoảng cách giữa các trục lớn như đối với xe tải thiết kế [1].

Trong thực tế khai thác, khoảng cách giữa trục giữa và trục sau thường nhỏ nên đặt ra phải xét tới hiệu ứng tải do các trục xe tác dụng đồng thời. Bài báo phân tích ứng xử nứt của các vùng trên kết cấu nhịp cầu bằng BTCT theo mô hình không gian, xét đến sự làm việc đồng thời của cả bản mặt cầu và các dầm đỡ để khắc phục một số tồn tại trên. Mô hình không gian kết cấu nhịp BTCT được tính toán theo phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích phi tuyến nứt có khối lượng tính toán rất lớn đặc biệt là khi xét tới sự làm việc chung giữa cốt thép và bê tông. Trong bài báo sử dụng phần mềm chuyên dụng Midas FEA có độ tin cậy cao để phân tích kết cấu.

2. MÔ TẢ BÀI TOÁN

Đối tượng xem xét trong nghiên cứu này là một kết cấu nhịp cầu BTCT có 01 làn xe chạy. Chiều dài nhịp 9m, bề rộng cầu 4,5m, khoảng cách từ đầu dầm tới tim gối 0,2m. Bản mặt cầu BTCT có chiều dày 175mm kê trên 3 dầm đỡ, khoảng cách dầm 1,5m. Bản mặt cầu được bố trí 02 lưới cốt thép, lưới trên và dưới. Sử dụng thép D13 bước cốt thép 150mm. Cấu tạo chi tiết xem trong Hình 2.1 dưới đây:



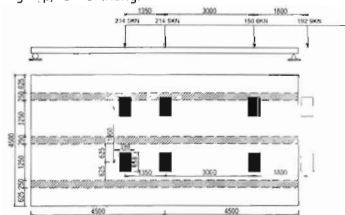
Hình 2.1: Cấu tạo chi tiết cốt thép kết cấu nhịp BTCT

Tải trọng trên cầu xem xét là dạng xe tải được sử dụng phổ biến trong thực tế. Cụ thể xem xét ở đây là xe HOWO 4 trục (3). Khoảng cách giữa các trục và tải trọng tối đa của các trục xe được ghi rõ trên Hình 2.2.

Xếp xe tải 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 2.2.

Tải trọng trục của xe tải xem xét được 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.

Kết cấu nhịp chịu tác động 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 quá tải trong thực tế khai thác. Có nhiều nguyên nhân xe quá tải như chờ vật liệu xây dựng nặng, máy móc thiết bị công nghiệp, coi nói thùng.



Hình 2.2: Sơ đồ xếp xe quá tải ở giữa nhịp xe HOWO 4 trục trên cầu

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 658x398mm khi đã xét tới ảnh hưởng của lớp phủ mặt cầu dày 74mm. 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, $1 + IM = 1,33$ [1].

$$q_{max} = \frac{21,45 \times 10 \times 1000 \times 1,33}{2 \times 658 \times 398} = 0,545 \text{ N/mm}^2$$

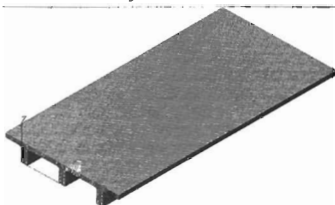
Phần mềm được sử dụng trong các tính toán số là Midas -FEA được phát triển bởi Công ty Công nghệ

thông tin Midas (MIDAS Information Technology Co., Ltd) của Hàn Quốc [8].

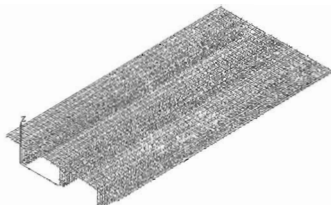
3. DẠNG PHẦN TỬ VÀ MÔ HÌNH VẬT LIỆU

Phần tử bê tông: Chia khối bê tông thành các phần tử khối hình hộp, dùng cho các kết cấu khối chịu tải trong 3 chiều, các phần tử có kích thước trung bình bằng 50x50x50mm như Hình 3.1.

Phần tử cốt thép: Chia cốt thép ra thành các phần tử thanh. Mỗi phần tử thanh có chiều dài 50mm như Hình 3.2. 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.

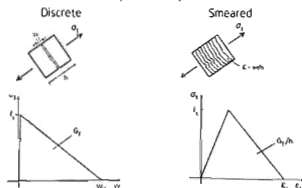


Hình 3.1: Mô hình phần tử bê tông



Hình 3.2: Mô hình phần tử thép

Đặc điểm phá hoại nứt trong bê tông được mô tả theo mô hình vết nứt phân tán (smeared crack model), trong đó ảnh hưởng của nứt được phản ánh qua việc làm giảm độ cứng của của bê tông theo phương vuông góc với vết nứt [7]. Mô hình vết nứt được minh họa như trên Hình 3.3.

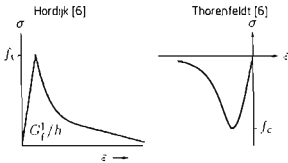


Hình 3.3: Mô hình vết nứt [6]

Vật liệu làm cầu gồm có bê tông và cốt thép. Mô hình vật liệu trong các tính toán số được lấy như sau:

Mô hình của thép: Ứng xử của cốt thép trải qua 3 giai đoạn đàn hồi - dẻo - hóa cứng. 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 [5]. Cốt thép CB400-V có các chỉ tiêu cơ lý: $E = 200.000\text{MPa}$, $\nu = 0,3$, $\gamma = 0,000785\text{ N/mm}^3$, $f_y = 400\text{MPa}$ [1,2].

Mô hình của bê tông: Giả thiết bê tông chịu kéo theo mô hình Hordijk và chịu nén theo mô hình Thorenfeldt như trên Hình 3.4.



Hình 3.4: Mô hình của bê tông

Tính chất cơ lý của bê tông sử dụng trong mô hình phân tích như trong Bảng 3.1.

Bảng 3.1. Các thông số của vật liệu bê tông [1,8]

F_c	h	G_c	E	γ	f_c	ν	α
(N/mm ²)	(mm)	(N/mm)	(MPa)	(N/mm ³)	(N/mm ²)		(1/°C)
2	25	0,009735	28000	0,0000232	28	0,2	0,000108

Ghi chú: F_c - Cường độ kéo dọc trục; h - Khoảng cách giữa các vết nứt; G_c - Năng lượng nứt; E - Mô-đun đàn hồi; γ - Trọng lượng riêng; f_c - Cường độ chịu nén; ν - Hệ số Poisson; α - Hệ số giãn nở nhiệt.

4. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

4.1. Đánh giá độ võng lớn của kết cấu nhịp và ứng suất lớn nhất trong cốt thép

Vị trí xếp xe tại giữa nhịp sinh ra độ võng và ứng suất bất lợi nhất. Kết quả tính như trong Bảng 4.1.

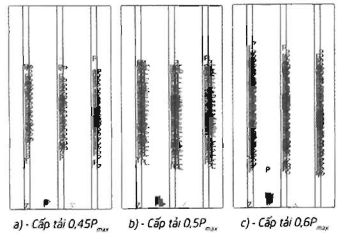
Bảng 4.1. Kết quả phân tích phi tuyến tĩnh khi xe quá tải đặt giữa nhịp

Phân tích	Kết quả phân tích từ phần mềm MIDAS FEA	Nhận xét
Độ võng		Độ võng lớn nhất 9,04mm Độ võng cho phép $L/800 = (9000-2 \times 200)/800 = 10,75\text{mm}$ Độ võng nhỏ hơn giới hạn cho phép
Ứng suất cốt thép		Ứng suất lớn nhất trong cốt thép 136,78MPa Giới hạn ứng suất kéo $0,6f_y = 0,6 \times 400 = 240\text{MPa}$ Ứng suất nhỏ hơn giới hạn cho phép

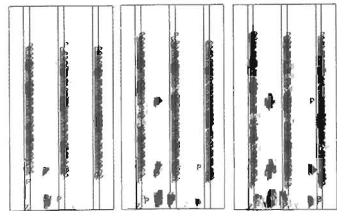
4.2. Kết quả phân tích nứt khi trục xe quá tải đặt đầu nhịp

Kết quả khảo sát với các cấp tải trong trục tăng dần từ 0 tới $P_{max} = 21,45\text{ tấn}$:

Sườn dầm bị nứt ở cấp tải trọng nhỏ hơn so với bản mặt cầu. Bản mặt cầu bị nứt khi tải trọng trục bằng $0,45P_{max}$, các vết nứt đầu nhịp xuất hiện trước các vết nứt ở khu vực phía trong. Khi tăng tải vùng nứt mở rộng, các vết nứt phân tán tập trung thành các đường nứt lớn (dạng O và O!) khi tải trọng trục bằng $0,65P_{max}$. Nếu tiếp tục tăng tải, các đường nứt lớn phát triển theo phương dọc cầu như trên Hình 4.1. Ở khu vực đầu dầm có nhiều đường nứt lớn nằm ở giữa bản và cả khu vực tiếp giáp với sườn dầm. Tuy nhiên, không xuất hiện các vết nứt dọc dài giữa các vị trí đặt bánh xe như trường hợp đặt xe ở giữa nhịp như trên Hình 4.2.

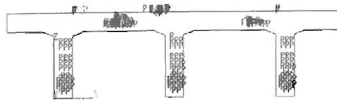


a) - Cấp tải $0,45P_{max}$ b) - Cấp tải $0,5P_{max}$ c) - Cấp tải $0,6P_{max}$



d) - Cấp tải $0,65P_{max}$ e) - Cấp tải $0,8P_{max}$ f) - Cấp tải $0,95P_{max}$

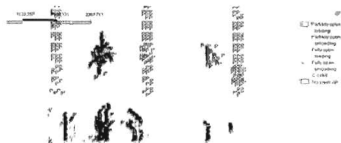
Hình 4.1: Sơ phát triển của nứt khi tăng tải - Xe đặt đầu nhịp



a) - Phân bố vết nứt theo phương ngang cầu - Xe đặt đầu nhịp



b) - Phân bố vết nứt theo phương ngang cầu - Xe đặt đầu nhịp



c) - Mặt bằng phân bố vết nứt ở đáy kết cấu nhịp - Xe đặt đầu nhịp
Hình 4.2: Phân bố các vết nứt ở cấp tải trọng trục P_{max}
- Xe đặt đầu nhịp

4.3. Kết quả phân tích nứt khi trục xe quá tải đặt giữa nhịp

Kết quả khảo sát với các cấp tải trong trục tăng dần từ 0 tới $P_{max} = 21,45$ tấn:

Sườn dầm bị nứt ở cấp tải trọng nhỏ hơn so với bản mặt cầu. Bản mặt cầu bị nứt khi tải trọng trục bằng $0,5P_{max}$.

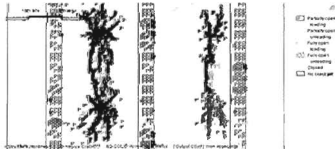
Vùng bê tông có các vết nứt nhỏ, phân tán (P - Partially open) phân bố trên diện rộng ở cả phần sườn dầm, bản mặt cầu. Ở bản mặt cầu các vết nứt lớn (O - Fully open loading, OI - Fully open unloading) xuất hiện ở vị trí đặt tải bánh xe, giữa các bánh xe theo phương dọc cầu. Vết nứt xuất hiện theo nhiều phương trong đó phương dọc cầu là phương nứt chính. Các vết nứt lớn kéo dài giữa các trục xe nặng. Hàng bánh xe đặt chính giữa các sườn dầm gây nứt nghiêm trọng hơn hàng bánh xe đặt lệch như trên Hình 4.3.



a) - Phân bố vết nứt theo phương ngang cầu - Xe đặt giữa nhịp



b) - Phân bố vết nứt theo phương dọc cầu - Xe đặt giữa nhịp



c) - Mặt bằng phân bố vết nứt ở đáy kết cấu nhịp - Xe đặt giữa nhịp
Hình 4.3: Phân bố các vết nứt ở cấp tải trọng trục P_{max}
- Xe đặt giữa nhịp

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Dưới tác dụng của xe quá tải thì độ võng và ứng suất trong cốt thép của kết cấu nhịp vẫn nằm trong giới hạn cho phép trong khi bê tông đã bị nứt.

Kết quả phân tích nứt phi tuyến kết cấu nhịp BTCT cho thấy, sườn dầm nứt ở cấp tải trọng nhỏ hơn so với bản mặt cầu. Tuy nhiên, trong các công trình cấu trúc tế nếu sườn dầm hoặc dầm đỡ BTCT được thay thế bằng cấu kiện BTCT dự ứng lực thì vấn đề còn lại là nứt bản mặt cầu.

Bản mặt cầu ở các khu vực khác nhau có tải trọng gây

nứt, phân bố nứt, sự phát triển nứt không giống nhau. Ở khu vực giữa nhịp, các vết nứt nhỏ xuất hiện khi tải trọng xe lớn hơn so với khu vực đầu nhịp ($0,5P_{max} > 0,45P_{max}$). Bản mặt cầu ở khu vực đầu nhịp có các đường nứt dọc ở giữa các sườn dầm và tại sườn dầm do hiệu ứng ngàm của sườn dầm. Trong khi đó, bản mặt cầu khu vực giữa nhịp có các đường nứt dọc ở giữa các sườn dầm do sườn dầm đã bị xoắn làm hiệu ứng ngàm của sườn dầm. Mặt khác, khi tải trọng xe quá tải lớn xuất hiện các đường nứt dọc kéo dài giữa các bánh xe gần nhau ở khu vực giữa nhịp mà không xuất hiện ở khu vực đầu nhịp. Vì vậy, khi phân tích nứt bản mặt cầu nếu sử dụng mô hình được đơn giản hóa là dầm bản liên tục hay mô hình bản kê thì đối với phần bản ở khu vực đầu nhịp chỉ cần xét tới tác dụng của trục xe nặng nhất, phần bản ở khu vực giữa nhịp phải xét tới tác dụng đồng thời của các trục xe gần nhau.

Phân tích nứt bản mặt cầu làm việc chung cùng sườn dầm cho kết quả tin cậy dựa trên mô hình 3D kết cấu nhịp bám sát với thực tế song khối lượng tính toán là rất lớn bằng phần mềm chuyên dụng. Rất cần có những nghiên cứu bổ sung để đơn giản hóa việc tính nứt bản mặt cầu, sườn dầm.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Bộ GTVT (2017), *Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 11823:2017*.
- [2]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2018), *Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 1651-2:2018*.
- [3]. Trần Đức Thuận (2016), *Nghiên cứu ảnh hưởng số lượng và tải trọng trục xe của xe tải thực tế trên cầu đến ứng xử của dầm cầu BTCT dự ứng lực nhịp giản đơn*, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học GTVT.
- [4]. Bažant, Z. P. (2002), *Concrete fracture models: testing and practice*, Engineering fracture mechanics, 69(2), 165-205.
- [5]. Nghiep, V. H. (2011), *Shear design of straight and haunched concrete beams without stirrups*, Technische Universität Hamburg
- [6]. Cignitti, F., Sorge, R., Meda, A., Nerilli, F., & Rinaldi, Z. (2012, September), *Numerical analysis of precast tunnel segmental lining supported by full-scale experimental tests*, In Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground-Proceedings of the 7th International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground (pp.481-487).
- [7]. Ngekke, B. E., Ode, T., & Eluozo, S. N (2016), *Application of total-strain crack model in finite element analysis for punching shear at edge connection*, International Journal of Research in Engineering and Social Sciences, 6(12), 1-9.
- [8]. Midas, F. E. A. (2020), *Analysis and Algorithm Manual*, MIDAS Family Program.

Ngày nhận bài: 01/3/2020

Ngày chấp nhận đăng: 26/3/2020

Người phản biện: PGS. TS. Hồ Xuân Nam

PGS. TS. Nguyễn Hữu Thuận