

Phân tích hệ số động lực cầu dầm bê tông cốt thép tiết diện chữ I được liên tục hóa dưới tác dụng của tải trọng di động

Trần Văn Khánh¹⁾, Nguyễn Xuân Toàn²⁾, Trần Văn Đức³⁾

¹⁾Trường Đại học Trà Vinh; tranvankhanh@tvu.edu.vn

²⁾Trường Đại học Bách KKHoa – Đại học Đà Nẵng; toan_nguyenxuan@dut.udn.vn

³⁾Khoa Đào tạo Quốc tế, Trường Đại học Duy Tân; tranvanduc1@dtu.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu một số kết quả phân tích hệ số động lực của chuyển vị, mômen uốn và lực cắt trong kết cấu cầu Bồng Sơn tỉnh Bình Định do tải trọng di động gây ra bằng phương pháp số. Phần mềm KC05 được ứng dụng để mô hình hóa và phân tích dao động của cầu Bồng Sơn tỉnh Bình Định dưới tác dụng của tải trọng di động. Kết cấu nhịp cầu Bồng Sơn gồm 9 nhịp dầm bê tông cốt thép tiết diện chữ I được liên tục hóa. Hoạt tải xe loại KAMAZ-55111 có 3 trục di chuyển trên cầu với các tốc độ khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy tốc độ xe chạy có ảnh hưởng rất lớn đến dao động của cầu.

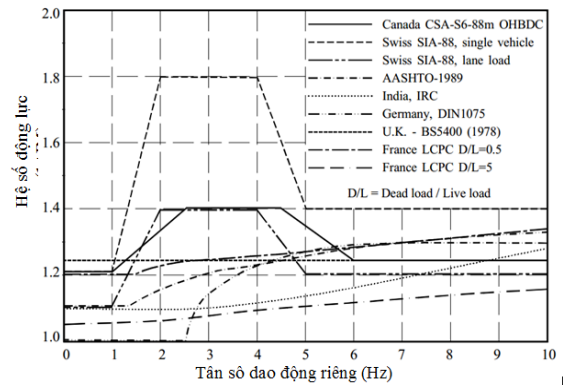
Từ khóa - Hệ số động lực, chuyển vị, mômen uốn, lực cắt, cầu Bồng Sơn, cầu dầm chữ I, tải trọng di động, phương pháp số.

1. Mở đầu

Trong quá trình khai thác các công trình cầu ngoài chịu các tải trọng thường xuyên kết cấu nhịp còn chịu tác động của tải trọng di động và gây ra dao động khá mạnh. Khi dao động, trong các bộ phận của kết cấu phát sinh hiệu ứng quán tính dẫn tới việc gia tăng trị số nội lực và biến dạng, gây khó khăn cho việc khai thác bình thường, có khi là nguyên nhân dẫn đến sự cố công trình. Chính vì những lý do đó mà lĩnh vực nghiên cứu động lực học cầu nói chung và cầu bê tông cốt thép nói riêng đã thu hút được sự chú ý của các nhà chuyên môn, các nhà khoa học trên thế giới và trong nước từ nhiều năm qua. Đặc biệt trong những năm gần đây, với sự trợ giúp của máy tính điện tử và các thiết bị thí nghiệm hiện đại, ngày càng nhiều công trình nghiên cứu có quy mô lớn, mô hình nghiên cứu gần với thực tế hơn, kết quả phân tích chính xác hơn, độ tin cậy cao hơn đã được thực hiện và công bố [4] ÷ [12].

Theo tiêu chuẩn AASHTO và 22TCN272-05, hệ số động lực là 1.3 và 1.25 [2], [3]. Trên hình 1 là các biểu đồ dùng để xác định hệ số động lực dựa vào tần số dao động riêng của kết cấu trong các tiêu chuẩn thiết kế cầu của một số quốc gia Canada, Pháp, Anh (1978), Đức, Mỹ (1989), Thụy Sĩ [13]. Nhìn chung, hệ số động theo các tiêu chuẩn có sự khác nhau. Theo [13] giá trị hệ số động lực phụ thuộc vào tần số dao động riêng của kết cấu cũng như loại tải trọng. Hệ số động lực lớn nhất xác định được theo tiêu chuẩn của Thụy Sĩ là 1.80 ứng với trường hợp xe tải đơn và tần số dao động riêng của kết cấu từ 2Hz đến 4Hz. Ngoài ra, nghiên cứu cho rằng khi xác định hệ số động lực theo tần số dao động riêng

của kết cấu cầu sẽ cho kết quả hợp lý hơn vì đã xem xét được cả chiều dài, độ cứng, cũng như điều kiện liên kết của kết cấu.



Hình 1: Biểu đồ xác định hệ số động lực theo tần số dao động riêng

Như vậy, khi sử dụng hệ số động lực theo tiêu chuẩn thiết kế sẽ làm giảm khối lượng tính toán, nhưng sai số so với thực tế thường xảy ra và rất khó kiểm soát. Hầu hết các trường hợp hệ số động lực trong tiêu chuẩn đưa ra không xét đến các thông số kỹ thuật liên quan đến tải trọng xe và kết cấu cầu như: tần số dao động riêng của kết cấu, các dạng dao động nguy hiểm của kết cấu, tần số dao động có thể xảy ra cộng hưởng, ảnh hưởng của tốc độ xe chạy, số lượng trục xe và độ cứng nhịp xe, ảnh hưởng của lực hãm, tình trạng bề mặt cầu, cũng như sơ đồ kết cấu cầu. Để chính xác hơn các tham số ảnh hưởng này chỉ xác định được trong thực nghiệm, đo đạc tại hiện trường hoặc trong phòng thí nghiệm. Tuy nhiên, các số liệu đo và số lượng điểm đo có hạn nên không thể phản ánh hết cho toàn bộ hệ thống cầu và chi phí cho công tác đo đạc thực nghiệm thường rất tốn kém và mất thời gian.

Với sự phát triển và hỗ trợ mạnh mẽ của máy tính điện tử, hiện nay hầu hết các nghiên cứu về dao động của công trình đều sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) và các phương pháp số, cho phép mô hình hóa kết cấu và phân tích kết cấu bằng mô hình của phương pháp PTHH. Trong phạm vi bài viết này các tác giả sẽ áp dụng phần mềm KC05 để mô hình hóa kết cấu nhịp chính của Bồng Sơn sau khi được liên tục hóa và phân tích dao động của hệ dưới tác dụng của tải

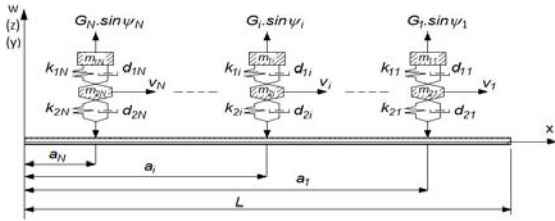
trọng xe di động mô hình 2 khối lượng. Phần mềm KC05 đã được xây dựng dựa trên cơ sở của phương pháp PTHH và các phương pháp số [5].

Mô hình PTHH và kết quả phân tích bằng số về dao động của cầu Bồng Sơn dưới tác dụng của tải trọng xe di động được giới thiệu tóm tắt ở mục 2.

2. Mô hình tính toán và phương trình vi phân dao động

2.1. Mô hình và phương trình dao động của tải trọng di động

Xét phần tử dầm chịu tác dụng của N tải trọng di động, mô hình 2 khối lượng như trên Hình 2 với điều kiện các tải trọng không va đập vào nhau và không tách khỏi dầm:



Hình 2: Mô hình tương tác giữa phần tử dầm và tải trọng di động.

trong đó:

$P_i = G_i \cdot \sin \Psi_i$ - lực kích thích điều hoà đối với trục xe thứ i.

m_{1i} - khối lượng của thân xe, kể cả hàng hoá truyền xuống trục xe thứ i.

m_{2i} - khối lượng của trục xe thứ i.

k_{1i}, d_{1i} - độ cứng và độ giảm chấn của nhíp xe thứ i.

k_{2i}, d_{2i} - độ cứng và độ giảm chấn của lớp xe thứ i.

L- chiều dài của phần tử dầm.

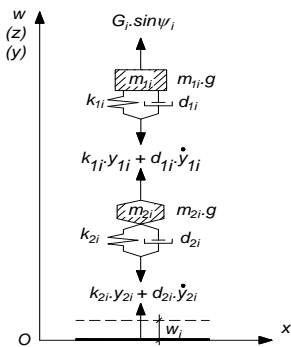
a_i - toạ độ của trục xe thứ i tại thời điểm đang xét với tốc độ di chuyển đều:

$$a_i = v_i \cdot (t - t_i) \quad \text{với } t \geq t_i \quad (1)$$

v_i - vận tốc của tải trọng thứ i.

t_i - thời điểm tải trọng thứ i bắt đầu vào phần tử dầm. t - thời điểm đang xét.

Cấu trúc của tải trọng di động thứ i được tách ra như hình 3.



Hình 3. Cấu trúc của tải trọng di động thứ i

Quy ước chiều dương của tải trọng và w, y, z hướng lên.

y_{1i} và y_{2i} : Chuyển vị tương đối giữa khối lượng m_{1i} so với m_{2i} và khối lượng m_{2i} so với phần tử dầm tại thời điểm đang xét theo phương thẳng đứng.

$w_i = w(x, t)|_{x=a_i}$ là độ võng của phần tử dầm tại vị trí của tải trọng thứ i ở thời điểm đang xét.

Gọi z_{1i} và z_{2i} là toạ độ tuyệt đối của khối lượng m_{1i} và m_{2i} theo phương thẳng đứng:

$$z_{1i} = y_{1i} + y_{2i} + w \quad (2)$$

$$z_{2i} = y_{2i} + w$$

Áp dụng nguyên lý d'Alembert viết phương trình cân bằng cho khối lượng m_{1i} và m_{2i} :

$$\left. \begin{aligned} -m_{1i} \cdot \ddot{z}_{1i} - k_{1i} \cdot y_{1i} - d_{1i} \cdot \dot{y}_{1i} - m_{1i} \cdot g + G_i \cdot \sin \Psi_i &= 0 \\ -m_{2i} \cdot \ddot{z}_{2i} - k_{2i} \cdot y_{2i} - d_{2i} \cdot \dot{y}_{2i} + k_{1i} \cdot y_{1i} + d_{1i} \cdot \dot{y}_{1i} - m_{2i} \cdot g &= 0 \end{aligned} \right\} (3)$$

Kết hợp (2.2) và (2.3) và biến đổi ta được phương trình dao động của tải trọng thứ i:

$$\left. \begin{aligned} -m_{1i} \cdot \ddot{z}_{1i} + d_{1i} \cdot \dot{z}_{1i} + k_{1i} \cdot z_{1i} - d_{1i} \cdot \dot{z}_{2i} - k_{1i} \cdot z_{2i} &= G_i \cdot \sin \Psi_i - m_{1i} \cdot g \\ -m_{2i} \cdot \ddot{z}_{2i} + (d_{1i} + d_{2i}) \cdot \dot{z}_{2i} + (k_{1i} + k_{2i}) \cdot z_{2i} - d_{1i} \cdot \dot{z}_{1i} - k_{1i} \cdot z_{1i} &= -m_{2i} \cdot g + d_{2i} \cdot \dot{w}_i + k_{2i} \cdot w_i \end{aligned} \right\} (4)$$

Trên hình 3: $F_i = k_{2i} \cdot y_{2i} + d_{2i} \cdot \dot{y}_{2i}$ kết hợp với (3) ta được:

$$F_i = G_i \cdot \sin \Psi_i - (m_{1i} + m_{2i}) \cdot g - m_{1i} \cdot \ddot{z}_{1i} - m_{2i} \cdot \ddot{z}_{2i} \quad (5)$$

Viết lại dưới dạng phân bố và thêm hàm tín hiệu điều khiển logic:

$$\xi_i(t) = \begin{cases} 1 & \text{khi } t_i \leq t \leq t_i + T_i \\ 0 & \text{khi } t < t_i \text{ và } t > t_i + T_i \end{cases} \quad ; \quad T_i = \frac{L}{v_i}$$

Ta được:

$$p_i(x, z, t) = \xi_i(t) \cdot \left[G_i \cdot \sin \Psi_i - (m_{1i} + m_{2i}) \cdot g - m_{1i} \cdot \ddot{z}_{1i} - m_{2i} \cdot \ddot{z}_{2i} \right] \cdot \delta(x - a_i) \quad (6)$$

Trong đó $\delta(x - a_i)$ là hàm Delta-Dirac.

2.2. Phương trình dao động uốn của phần tử dầm chịu tải trọng di động

Theo [14], Trường hợp phần tử dầm chịu các tải trọng di động như hình 2, ta có phương trình dao động uốn của phần tử dầm chịu tải trọng di động như sau:

$$\left. \begin{aligned} EJ_d \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \theta \frac{\partial^5 w}{\partial x^4 \partial t} \right) + \rho F_d \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \beta \frac{\partial w}{\partial t} &= p(x, z, t) \\ p(x, z, t) &= \sum_{i=1}^N \xi_i(t) \cdot \left[G_i \cdot \sin \Psi_i - (m_{1i} + m_{2i}) \cdot g - m_{1i} \cdot \ddot{z}_{1i} - m_{2i} \cdot \ddot{z}_{2i} \right] \cdot \delta(x - a_i) \\ -m_{1i} \cdot \ddot{z}_{1i} + d_{1i} \cdot \dot{z}_{1i} + k_{1i} \cdot z_{1i} - d_{1i} \cdot \dot{z}_{2i} - k_{1i} \cdot z_{2i} &= G_i \cdot \sin \Psi_i - m_{1i} \cdot g \\ -m_{2i} \cdot \ddot{z}_{2i} + (d_{1i} + d_{2i}) \cdot \dot{z}_{2i} + (k_{1i} + k_{2i}) \cdot z_{2i} - d_{1i} \cdot \dot{z}_{1i} - k_{1i} \cdot z_{1i} &= -m_{2i} \cdot g + d_{2i} \cdot \dot{w}_i + k_{2i} \cdot w_i \end{aligned} \right\} (7)$$

Trong đó: $i = 1 \div N$; EJ_d : độ cứng chống uốn của phần tử dầm; ρF_d : trọng lượng của phần tử dầm trên 1 đơn vị chiều dài; θ và β : hệ số ma sát trong và hệ số ma sát ngoài của phần tử dầm. Sau khi biến đổi ta đưa về ma trận:

$$M_e \cdot \left\{ \ddot{q} \right\} + C_e \cdot \left\{ \dot{q} \right\} + K_e \cdot \left\{ q \right\} = \left\{ f_e \right\} \quad (8)$$

M_e, C_e, K_e - lần lượt là ma trận khối lượng, ma trận cản, ma trận độ cứng hỗn hợp:

$$M_e = \begin{bmatrix} M_{w1} & M_{e1} & M_{e2} \\ 0 & M_{1e1} & 0 \\ 0 & 0 & M_{2e2} \end{bmatrix}; C_e = \begin{bmatrix} C_{w1} & 0 & 0 \\ 0 & C_{2e1} & C_{2e2} \\ C_{2w} & C_{2e1} & C_{2e2} \end{bmatrix}; K_e = \begin{bmatrix} K_{w1} & 0 & 0 \\ 0 & K_{2e1} & K_{2e2} \\ K_{2w} & K_{2e1} & K_{2e2} \end{bmatrix}; \quad (9)$$

$\ddot{q}, \dot{q}, q, f_e$ lần lượt là véc tơ gia tốc, vận tốc, chuyển vị, lực hỗn hợp:

$$\{\ddot{q}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{W} \\ \ddot{Z}_1 \\ \ddot{Z}_2 \end{Bmatrix}; \{\dot{q}\} = \begin{Bmatrix} \dot{W} \\ \dot{Z}_1 \\ \dot{Z}_2 \end{Bmatrix}; \{q\} = \begin{Bmatrix} W \\ Z_1 \\ Z_2 \end{Bmatrix}; \{f_e\} = \begin{Bmatrix} F_w \\ F_{21} \\ F_{22} \end{Bmatrix} \quad (10)$$

M_{ww}, C_{ww}, K_{ww} - lần lượt là ma trận khối lượng, ma trận cản, ma trận độ cứng của phần tử dầm cơ bản chịu uốn, có thể tìm thấy trong tài liệu [14] ÷ [17]. Các ma trận và các véc tơ còn lại xem tài liệu [4].

2.3. Phương trình vi phân dao động uốn của toàn hệ thống

Để ứng dụng vào phân tích dao động cầu bê tông cốt thép tiết diện chữ I được liên tục hóa kết cấu nhịp, ta rời rạc hệ cầu bê tông cốt thép tiết diện chữ I thành các phần tử cơ bản chịu tải trọng di động và sử dụng thuật toán của phương pháp phần tử hữu hạn để xây dựng hệ phương trình vi phân dao động cho toàn hệ:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{F\} \quad (11)$$

trong đó $[M], [C], [K]$ lần lượt là ma trận khối lượng, ma trận cản, ma trận độ cứng của toàn hệ thống theo mô hình tương tác động lực học giữa cầu bê tông cốt thép tiết diện chữ I liên tục nhịp và tải trọng di động. \ddot{U}, \dot{U}, U, F lần lượt là véc tơ gia tốc, vận tốc, chuyển vị, lực tương đương mở rộng cho toàn hệ thống theo mô hình tương tác động lực học giữa cầu bê tông cốt thép tiết diện chữ I và tải trọng di động.

3. Áp dụng phân tích cầu Bồng Sơn

3.1. Các số liệu cơ bản về kết cấu và tải trọng

Cầu Bồng Sơn nằm trên Quốc lộ 1A bắc qua sông Lại Gianh, đi qua huyện Hoài Nhơn, tỉnh Bình Định gồm 19 nhịp (19x33m) được liên tục hóa dầm I và chia làm 2 liên (liên 1 từ nhịp 1 đến nhịp 9, liên 2 từ nhịp 10 đến nhịp 19), chiều dài toàn cầu 627 m. Do gần như đối xứng nên tác giả nghiên cứu liên 1 gồm 9 nhịp của cầu Bồng Sơn, sơ đồ kết cấu nhịp như hình 4.

Mặt cắt ngang gồm 4 dầm I 1800mm. Cấu tạo, kích thước chi tiết của kết cấu, đặc trưng hình học và đặc trưng cơ học của vật liệu xem tài liệu [1].



Hình 4: Sơ đồ liên 1 cầu Bồng Sơn

Loại xe áp dụng để phân tích dao động cho kết cấu giàn được lựa chọn phù hợp với tải trọng thiết kế là loại xe tải KAMAZ do Nga sản xuất có ba trục, tải trọng 30T, các tham số cơ bản như sau:

Bảng 1: Các tham số của tải trọng xe di động

	Trục trước	Hai trục sau	
m ₁₁	5.75 T	m _{12,13}	11.13 T
m ₂₁	0.25 T	m _{22,23}	0.87 T
k ₁₁	120 T/m	k _{12,13}	260 T/m
d ₁₁	0.734 Ts/m	d _{12,13}	Ts/m
k ₂₁	160 T/m	k _{22,23}	320 T/m
d ₂₁	0.3672 Ts/m	d _{22,23}	0.8 Ts/m
b _{1÷2}	4.35 m	b _{2÷3}	1.3 m

Áp dụng phần mềm KC05 [5] vào phân tích dao động và xác định hệ số động lực của cầu Bồng Sơn dưới tác dụng của tải trọng di động mô hình hai khối lượng. Loại xe tải KAMAZ ba trục có các tham số cơ bản như bảng 1 được đưa vào phân tích với các tốc độ khác nhau. Sơ đồ kết cấu được rời rạc như hình 5.



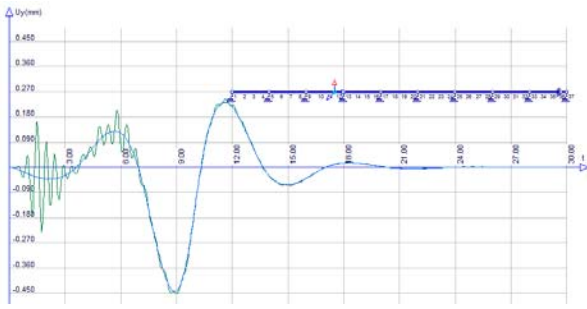
Hình 5: Sơ đồ hệ tọa độ tính toán cầu Bồng Sơn

3.2. Một số kết quả phân hệ số động lực

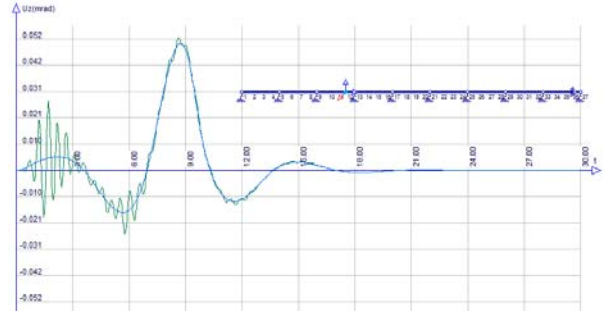
Kết quả phân tích dao động và hệ số động lực của chuyển vị đứng của cầu Bồng Sơn dưới tác dụng của tải trọng xe di động bằng phần mềm KC05 như bảng 2, hình 6 và hình 7.

Bảng 2: Hệ số động lực của chuyển vị đứng

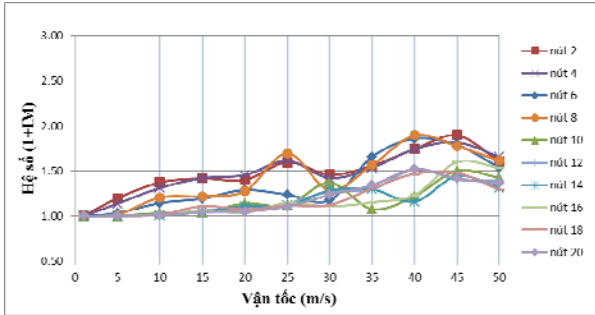
Nút khảo sát	Tọa độ Nút (m)	Vận tốc xe chạy trên cầu (m/s)										
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
2	8.4	1.00	1.20	1.37	1.42	1.40	1.60	1.46	1.56	1.75	1.90	1.61
3	16.8	1.00	1.17	1.36	1.41	1.41	1.65	1.48	1.54	1.74	1.91	1.63
4	25.1	1.00	1.14	1.31	1.42	1.46	1.61	1.42	1.54	1.74	1.82	1.65
6	41.9	1.00	1.04	1.15	1.19	1.29	1.24	1.18	1.66	1.86	1.79	1.54
7	50.3	1.00	1.03	1.16	1.17	1.24	1.40	1.28	1.63	1.90	1.62	1.61
8	58.7	1.00	1.02	1.21	1.22	1.28	1.70	1.29	1.57	1.90	1.78	1.61
10	75.4	1.00	1.00	1.04	1.04	1.14	1.12	1.37	1.08	1.22	1.50	1.42
11	83.8	1.00	1.00	1.05	1.00	1.13	1.06	1.32	1.10	1.40	1.43	1.39
12	92.9	1.00	1.00	1.02	1.07	1.07	1.14	1.27	1.30	1.52	1.41	1.40
14	108.9	1.00	1.00	1.01	1.05	1.11	1.12	1.28	1.30	1.16	1.44	1.31
15	117.3	1.00	1.00	1.04	1.06	1.05	1.15	1.19	1.22	1.12	1.47	1.56
16	125.7	1.00	1.00	1.02	1.06	1.04	1.15	1.11	1.15	1.23	1.60	1.54
18	142.5	1.00	1.00	1.02	1.11	1.08	1.12	1.13	1.31	1.47	1.48	1.29
19	150.8	1.00	1.00	1.02	1.07	1.05	1.11	1.18	1.34	1.51	1.46	1.37
20	159.2	1.00	1.00	1.01	1.04	1.05	1.11	1.24	1.34	1.52	1.42	1.36



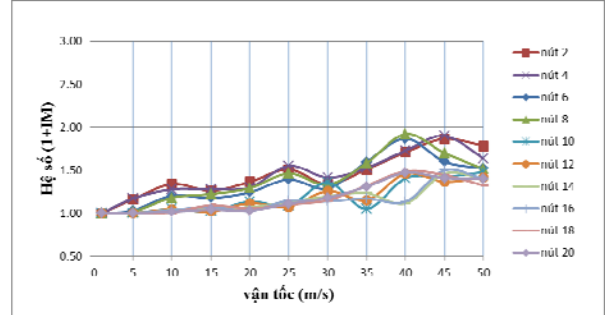
Hình 6: Biểu đồ dao động của chuyển vị đứng tại nút 11



Hình 8: Biểu đồ dao động của chuyển vị xoay tại nút 11



Hình 7: Biểu đồ hệ số động lực của chuyển vị đứng



Hình 9: Biểu đồ hệ số động lực của chuyển vị xoay

Kết quả phân tích dao động và hệ số động lực của chuyển vị xoay của cầu Bồng Sơn dưới tác dụng của tải trọng xe di động bằng phần mềm KC05 như như bảng 3, hình 8 và hình 9.

Kết quả phân tích dao động và hệ số động lực của lực cắt của cầu Bồng Sơn dưới tác dụng của tải trọng xe di động bằng phần mềm KC05 như như bảng 4, hình 10 và hình 11.

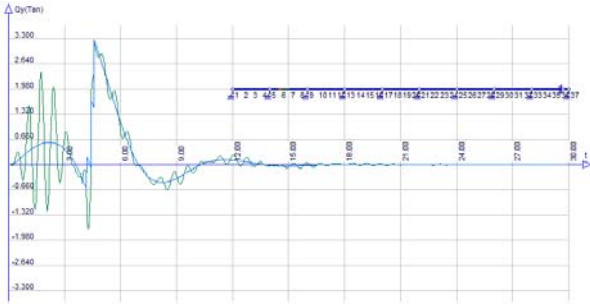
Bảng 3: Hệ số động lực của chuyển vị xoay

Nút khảo sát	Tọa độ Nút (m)	Vận tốc xe chạy trên cầu (m/s)										
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
2	8.4	1.00	1.16	1.34	1.26	1.36	1.51	1.34	1.51	1.71	1.87	1.78
3	16.8	1.02	1.34	1.24	1.39	1.40	1.53	1.47	1.65	1.78	1.84	1.76
4	25.1	1.00	1.17	1.28	1.28	1.30	1.55	1.41	1.53	1.73	1.90	1.63
6	41.9	1.00	1.03	1.20	1.18	1.24	1.39	1.29	1.60	1.87	1.60	1.52
7	50.3	1.00	1.05	1.33	1.41	1.41	1.51	1.53	1.60	1.95	1.78	1.65
8	58.7	1.00	1.02	1.18	1.22	1.29	1.46	1.33	1.58	1.92	1.70	1.51
10	75.4	1.00	1.00	1.05	1.02	1.14	1.09	1.36	1.05	1.41	1.42	1.48
11	83.8	1.00	1.00	1.09	1.06	1.13	1.25	1.43	1.53	1.81	1.61	1.41
12	92.9	1.00	1.00	1.05	1.02	1.12	1.08	1.26	1.15	1.46	1.37	1.42
14	108.9	1.00	1.00	1.04	1.05	1.07	1.13	1.20	1.23	1.11	1.46	1.40
15	117.3	1.00	1.00	1.02	1.11	1.04	1.12	1.16	1.26	1.30	1.47	1.45
16	125.7	1.00	1.00	1.04	1.07	1.03	1.15	1.14	1.17	1.13	1.50	1.40
18	142.5	1.00	1.00	1.01	1.09	1.06	1.10	1.15	1.32	1.49	1.45	1.32
19	150.8	1.00	1.00	1.00	1.02	1.07	1.13	1.08	1.30	1.42	1.23	1.49
20	159.2	1.00	1.00	1.02	1.04	1.03	1.11	1.18	1.31	1.47	1.41	1.40

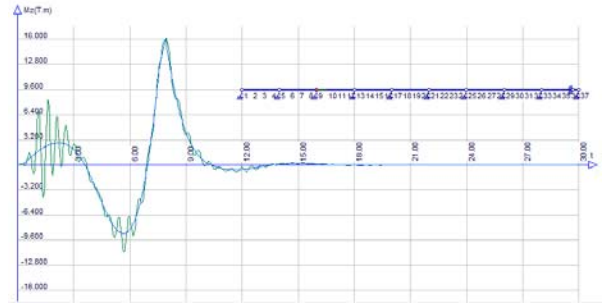
Bảng 4: Hệ số động lực của lực cắt

Nút khảo sát	Tọa độ Nút (m)	Vận tốc xe chạy trên cầu (m/s)										
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
2	8.4	1.02	1.11	1.13	1.37	1.24	1.37	1.23	1.26	1.33	1.31	1.23
3	16.8	1.00	1.17	1.19	1.19	1.45	1.48	1.46	1.25	1.33	1.49	1.48
4	25.1	1.00	1.02	1.12	1.25	1.41	1.50	1.52	1.20	1.36	1.51	1.46
6	41.9	1.00	1.00	1.25	1.13	1.12	1.00	1.00	1.32	1.28	1.29	1.38
7	50.3	1.00	1.01	1.05	1.09	1.13	1.33	1.34	1.17	1.70	1.59	1.41
8	58.7	1.00	1.00	1.12	1.12	1.19	1.40	1.19	1.25	1.53	1.60	1.54
10	75.4	1.00	1.00	1.03	1.00	0.97	1.22	1.40	1.18	1.03	1.41	1.41
11	83.8	1.00	1.00	0.96	1.01	0.98	1.02	0.87	0.89	1.36	1.42	1.32
12	92.9	1.00	1.00	0.98	1.01	1.08	1.24	1.00	1.36	1.36	1.55	1.47
14	108.9	1.00	1.00	1.00	1.11	0.99	1.03	1.06	1.19	0.97	1.12	1.20
15	117.3	1.00	1.00	0.98	1.03	1.02	0.96	1.15	0.99	1.05	1.35	0.85
16	125.7	1.00	1.00	1.01	1.04	1.02	1.07	1.08	0.99	1.25	1.32	1.11
18	142.5	1.00	1.00	1.00	0.95	1.04	1.07	1.05	0.98	1.06	1.16	1.00
19	150.8	1.00	1.00	1.00	1.02	1.02	0.99	1.01	1.05	1.05	1.37	1.29
20	159.2	1.00	1.00	1.01	1.02	1.15	1.00	1.06	1.12	1.09	1.41	1.32

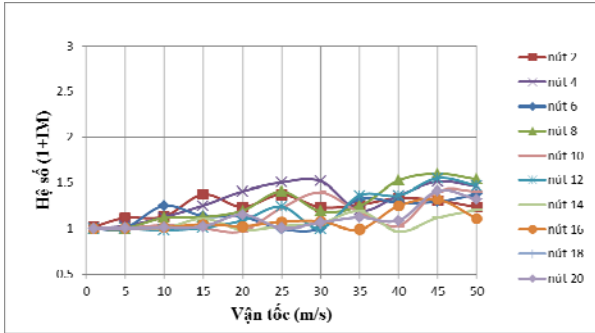
Phân tích hệ số động lực cầu dầm bê tông cốt thép tiết diện chữ I được liên tục hóa dưới tác dụng của tải trọng di động



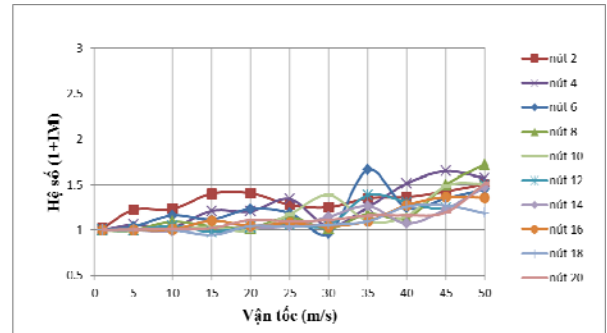
Hình 10: Biểu đồ dao động của lực cắt tại nút 6



Hình 12: Biểu đồ dao động của mô men tại nút 6



Hình 11: Biểu đồ hệ số động lực của lực cắt



Hình 13: Biểu đồ hệ số động lực của mô men

Kết quả phân tích dao động và hệ số động lực của mô men của cầu Bồng Sơn dưới tác dụng của tải trọng xe di động bằng phần mềm KC05 như như bảng 5, hình 12 và hình 13.

Bảng 5: Hệ số động lực của mô men

Nút khảo sát	Tọa độ Nút (m)	Vận tốc xe chạy trên cầu (m/s)										
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
2	8.4	1.02	1.22	1.23	1.40	1.41	1.28	1.25	1.35	1.36	1.43	1.51
3	16.8	1.00	1.12	1.26	1.32	1.41	1.52	1.15	1.28	1.49	1.70	1.31
4	25.1	1.00	1.06	1.03	1.21	1.21	1.34	1.04	1.25	1.51	1.65	1.57
6	41.9	1.00	1.04	1.16	1.12	1.23	1.19	0.97	1.66	1.24	1.35	1.45
7	50.3	1.00	1.01	1.09	1.10	1.21	1.25	1.26	1.31	1.75	1.38	1.22
8	58.7	1.00	1.00	1.09	1.04	1.02	1.14	1.01	1.18	1.13	1.50	1.72
10	75.4	1.00	1.00	1.02	1.03	1.00	1.17	1.39	1.10	1.16	1.49	1.51
11	83.8	1.00	1.00	1.04	0.96	1.07	0.97	1.15	0.97	1.39	1.19	1.81
12	92.9	1.00	1.00	1.04	0.98	1.03	1.06	1.05	1.39	1.31	1.24	1.50
14	108.9	1.00	1.00	1.00	1.11	1.03	1.05	1.15	1.26	1.07	1.23	1.47
15	117.3	1.00	1.00	1.04	1.08	1.04	1.10	1.10	1.09	1.11	1.43	1.38
16	125.7	1.00	1.00	1.01	1.10	1.04	1.08	1.04	1.10	1.27	1.37	1.36
18	142.5	1.00	1.00	1.00	0.95	1.04	1.04	1.06	1.09	1.26	1.27	1.18
19	150.8	1.00	1.00	1.02	0.98	1.02	1.08	1.13	1.27	1.39	1.34	1.32
20	159.2	1.00	1.01	1.01	1.02	1.11	1.09	1.11	1.16	1.16	1.19	1.51

Qua các biểu đồ khảo sát sự biến thiên của hệ số động lực theo tốc độ của tải trọng di động, ta thấy hệ số động lực của chuyển vị, mômen, lực cắt tại các vị trí khác nhau theo các phương khác nhau có kết quả khác nhau khi tốc độ và tải trọng di động thay đổi.

Trong phạm vi khảo sát tương ứng với tốc độ khai thác $v = 1 \div 20$ (m/s) hay $v = 3.6 \div 72$ (km/h):

- HSDL lớn nhất chuyển vị đứng $(1+\mu)_{max} = 1,46$.
- HSDL lớn nhất chuyển vị xoay $(1+\mu)_{max} = 1,42$.
- HSDL lớn nhất của mô men $(1+\mu)_{max} = 1,41$.
- HSDL lớn nhất của lực cắt $(1+\mu)_{max} = 1,45$.

Trong phạm vi khảo sát rộng hơn tương ứng với tốc độ $v = 1 \div 50$ (m/s) hay $v = 3.6 \div 180$ (km/h):

- HSDL lớn nhất chuyển vị đứng $(1+\mu)_{max} = 1,9$.
- HSDL lớn nhất chuyển vị xoay $(1+\mu)_{max} = 1,97$.
- HSDL lớn nhất mô men $(1+\mu)_{max} = 1,81$.
- HSDL lớn nhất của lực cắt $(1+\mu)_{max} = 1,70$.

Khi tốc độ tải trọng di động giảm dần đến 0, hệ số động lực giảm và dần hội tụ đến 1, kết quả phân tích động tiệm cận với kết quả phân tích tĩnh. Điều này cho thấy kết quả phân tích phù hợp với lý thuyết tính toán.

Dao động của hệ có xét đến lực cản tắt khá nhanh.

4. Kết luận

Bài báo giới thiệu một số kết quả phân tích hệ số động lực của chuyển vị, mômen uốn và lực cắt trong kết cấu cầu Bồng Sơn tỉnh Bình Định do tải trọng di động gây ra bằng phương pháp số. Kết quả nghiên cứu

cho thấy tốc độ xe chạy có ảnh hưởng lớn đến dao động của cầu. Khi tốc độ tải trọng di động tăng, trong phạm vi khảo sát, hệ số động lực có xu hướng tăng và đạt cực trị trong khoảng $v=40\div 45\text{m/s}$, sau đó có xu hướng giảm xuống. Dao động của hệ có xét đến lực cản tắt khá nhanh.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Hồ sơ thiết kế kỹ thuật cầu Bồng Sơn – tỉnh Bình Định.
- [2]. AASHTO, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6th Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, 4th Edition, Washington, D.C. (2012).
- [3]. Bộ Giao thông Vận tải, Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN272-05, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội, (2005).
- [4]. Nguyễn Xuân Toàn, Phân tích dao động của cầu dây văng dưới tác dụng của tải trọng di động. Luận án TS. Kỹ thuật, Hà Nội, 2007.
- [5]. Nguyễn Xuân Toàn (2008). “Nghiên cứu xây dựng phần mềm phân tích tương tác động lực học giữa cầu dây văng và đoàn tải trọng di động mô hình 2 khối lượng”, Đề tài KH và CN cấp Bộ, mã số SĐH07-NCS-01.
- [6]. Nguyễn Xuân Toàn, Trần Đức Long, Trần Văn Đức (2011). Ảnh hưởng của tốc độ và khối lượng xe di động đến dao động của cầu dầm liên tục nhiều nhịp. Tạp chí Giao thông Vận tải, Số 8/2011.
- [7]. Nguyễn Xuân Toàn, “Phân tích hệ số động lực của chuyển vị và lực cắt trong cầu dầm liên tục do tải trọng di động gây ra bằng phương pháp số”, TTCT Hội nghị Khoa học toàn quốc lần thứ 2 về Cơ kỹ thuật và Tự động hóa, NXB BKHN, 10/2016, trang 196-202.
- [8]. Nguyễn Xuân Toàn, Nguyễn Duy Thảo, Kuriyama Yukihisa, “Phân tích hệ số động lực của chuyển vị, mômen uốn và lực cắt trong cầu dầm SuperT có bản mặt cầu liên tục nhiệt do tải trọng di động gây ra bằng phương pháp số”, Tạp chí Giao thông Vận tải, số 03/2017, trang 42-45, ISSN: 2354-0818.
- [9]. Nguyễn Xuân Toàn, Nguyễn Duy Thảo, Nguyễn Văn Hoan, “Xác định hệ số động lực của cầu dầm Super T có bản liên tục nhiệt do tải trọng di động gây ra bằng phương pháp đo đạc thực nghiệm”, Tạp chí Giao thông Vận tải, số 08/2017, trang 71-74, ISSN: 2354-0818.
- [10]. Toan X. N., Duc V. T., "A finite element model of vehicle - cable stayed bridge interaction considering braking and acceleration", The 2014 World Congress on Advances in Civil, Environmental, and Materials Research. Busan, Korea, p.109, (20p.)
- [11]. Xuan-Toan Nguyen, Van-Duc Tran, “Determination of dynamic impact factor for continuous girder bridge due to vehicle braking force with finite element method analysis and experimental investigation”, Vietnam Journal of Mechanics, VAST, Vol. 39, No. 2 (2017), pp. 149 – 164. ISSN 0866-7136.
- [12]. Xuan-Toan Nguyen, Van-Duc Tran, and Nhat-Duc Hoang, “A Study on the Dynamic Interaction between Three-Axle Vehicle and Continuous Girder Bridge with Consideration of Braking Effects”. Journal of Construction Engineering, Volume 2017, Article ID 9293239, 12 pages. ISSN: 2314-5986.
- [13]. Paultre, P., Chaallal, O., Proulx, J. (1992), “Bridge dynamics and Dynamic Amplification Factors - a Review of Analytical and Experimental Findings”, Canadian J. of Civil Eng., 19(2), p. 260-278.
- [14]. Ray W. Clough and Joseph Penzien, Dynamics of structures. McGraw-Hill, Inc. Singapore, 1993.
- [15]. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., The Finite Element Method. McGraw-Hill, Inc, Vol 1&2, New York, 1989.
- [16]. Reddy J.N., An Introduction to the Finite Element Method. McGraw-Hill, Inc. Singapore, 1991.
- [17]. Smith I. M., Griffith D. V., Programming the finite element method. John Wiley & Sons, Singapore, 1988.