

Phân tích ứng xử của kết cấu bản bê tông nhẹ cốt composite sợi thủy tinh (GFRP) dùng thay thế tà vẹt gỗ trên cầu dầm thép đường sắt

■ PGS. TS. TRẦN THẾ TRUYỀN; ThS. PHẠM VĂN HÙNG
TS. TỪ SỸ QUÂN; ThS. ĐOÀN BẢO QUỐC

Trường Đại học Giao thông vận tải

■ TS. HỒ XUÂN BA

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

TÓM TẮT: Bài báo giới thiệu đề xuất thiết kế bản bê tông nhẹ cốt composite sợi thủy tinh dùng thay thế tà vẹt gỗ trên các cầu dầm thép đường sắt. Bê tông nhẹ cường độ 30 MPa sử dụng cốt liệu nhẹ Keramzit dùng làm vật liệu chính thay cho bê tông thông thường. Cốt composite sợi thủy tinh (GFRP) được dùng thay thế cho cốt thép thông thường. Kết cấu bê tông nhẹ - cốt GFRP có đặc điểm ứng xử khác so với kết cấu bản bê tông cốt thép thường. Các tính toán phân tích ứng xử của kết cấu bản bê tông nhẹ - cốt GFRP dùng thay cho tà vẹt gỗ được thực hiện bằng mô phỏng số với bài toán gia tải tĩnh và gia tải động của tải trọng đoàn tàu. Kết quả tính toán là cơ sở quan trọng cho việc đánh giá khả năng áp dụng dạng kết cấu mới này cho các công trình cầu đường sắt.

TỪ KHÓA: Bê tông nhẹ, mô phỏng, cầu đường sắt, mô hình, tà vẹt gỗ, cốt composite sợi thủy tinh (GFRP).

ABSTRACT: This article presents the design proposal of GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) reinforced light weight concrete slab used for replacing wooden ties on steel-girder railway bridges. Light weight concrete with strength of 30 MPa and GFRP bar were used for fabrication of slab on railway bridge. Behavior analysis of GFRP reinforced lightweight concrete slab was carried out by numerical simulation with static load and dynamic load of train. Results will be the important basis to evaluate of the application capacity of this structure for railway bridges.

KEYWORDS: Light weight concrete, modeling, railway bridge, model, wooden ties, glass fiber reinforced polymer (GFRP).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông nhẹ (LWC) đã và đang được sử dụng rộng rãi

trên toàn thế giới cho cầu đường bộ cũng như cầu đường sắt. Cầu Mặt trời (1992), cầu Lewis & Clark (1996) và cầu Greenland (1996) là một số ví dụ điển hình cho việc ứng dụng thành công bê tông nhẹ vào công tác xây dựng cầu. Ưu điểm của bê tông nhẹ đã được chứng minh bằng sự giảm về khối lượng của kết cấu cầu, do đó làm tăng khả năng chịu hoạt tải của kết cấu. Khối lượng của bê tông nhẹ có thể giảm tới 25% so với những kết cấu bê tông thông thường, đặc biệt giúp đẩy nhanh quá trình lắp ráp và chi phí vận chuyển bằng việc dùng những cấu kiện đúc sẵn [7].

Tại Việt Nam, bê tông nhẹ đã được ứng dụng trong một số kết cấu tòa nhà như Khách sạn Fortuna, Trung tâm Thể thao Long Biên, Nhà hàng Green Place và đều được đánh giá cao bởi chủ đầu tư cũng như người sử dụng. Ý tưởng ứng dụng bê tông nhẹ cho kết cấu cầu đã được phát triển những năm gần đây, phân tích kỹ thuật và về khía cạnh kinh tế của kết cấu bê tông nhẹ đã được tiến hành và so sánh với những kết cấu cầu bê tông thông thường [2]. Đối với các cầu dầm đường sắt, chi phí cho tà vẹt gỗ bây giờ khá cao do yếu tố bảo vệ môi trường, do đó việc thay thế tà vẹt gỗ bằng các tà vẹt làm từ bê tông nhẹ là điều cần thiết và cũng có thể là một giải pháp hiệu quả trong tương lai.

Cốt liệu phi kim trong đó có thanh composite cốt sợi thủy tinh (GFRP) đã và đang được sử dụng rộng rãi trong nhiều ngành công nghiệp. GFRP có thể làm giảm trọng lượng kết cấu, tăng độ bền và tăng tuổi thọ của công trình xây dựng. Với các ưu điểm như vậy, thanh GFRP đã và đang được sử dụng để thay thế cốt thép truyền thống.

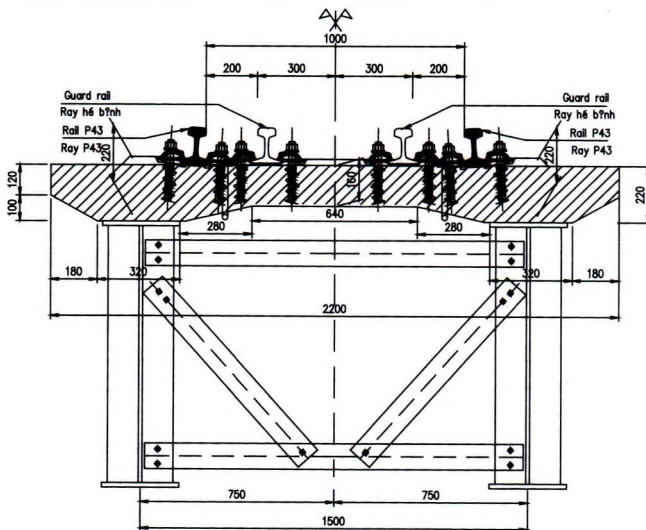
Nghiên cứu đề xuất ý tưởng sử dụng bản bê tông nhẹ cốt GFRP thay thế cho tà vẹt gỗ trên các cầu đường sắt (Hình 2.1). Thiết kế sơ bộ ban đầu đã được đưa ra cùng với những thiết kế hình học và kỹ thuật theo tiêu chuẩn Việt Nam. Tuy nhiên, nên thêm vào một số phân tích để có khả năng kiểm soát tốt hơn ứng xử của bản bê tông dưới tác động của tĩnh tải và hoạt tải. Các kết quả thu được từ các phân tích động và tĩnh, bao gồm tần số cơ bản của bản và các hình dạng mode, hệ số khuếch đại động, độ võng lớn nhất, phân bố ứng suất giữa các kết quả khác nhau đều được đề cập và

thảo luận. Kết quả nghiên cứu góp phần đánh giá tính khả thi của dạng kết cấu mới này khi dùng thay thế cho tà vẹt gỗ trên cầu đường sắt.

2. KẾT CẤU BẢN BÊ TÔNG NHẸ CỐT GFRP THAY THẾ CHO TÀ VỆT GỖ TRÊN CẦU ĐƯỜNG SẮT

Việc phải tìm ra giải pháp phù hợp với việc thay thế kết cấu tà vẹt gỗ trên cầu đường sắt là vô cùng cấp thiết hiện nay khi mà yêu cầu xây mới và nâng cấp các công trình cầu đường sắt để đảm bảo tốc độ và tải trọng khai thác trong những năm gần đây của ngành Đường sắt Việt Nam. Một trong các giải pháp được nghiên cứu này để cập là sử dụng bê tông nhẹ kết hợp với cốt composite sợi thủy tinh (GFRP) chế thành các cấu kiện dạng bản dùng thay thế cho tà vẹt gỗ trên cầu thép đường sắt đối với cả cầu cũ và cầu mới. Tại Việt Nam, việc ứng dụng bê tông nhẹ trong xây dựng cầu đường sắt là ý tưởng rất mới. Việc nghiên cứu để xuất phương án thay thế tà vẹt gỗ bằng tấm bê tông nhẹ cốt GFRP sẽ có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao. Sử dụng đồng thời hai loại vật liệu này sẽ cho một kết cấu có độ bền cao, nhẹ và đặc biệt có các tính năng gần với vật liệu gỗ hơn so với bê tông thường. Đây là yếu tố quan trọng có thể dùng thay cho tà vẹt gỗ trên cầu đường sắt.

Kết cấu bản để xuất trong nghiên cứu này là bản bê tông nhẹ có chiều dài 2,2 m (bằng chiều dài tà vẹt gỗ), bề rộng 1 m, dày 0,22 m (bằng chiều cao tà vẹt gỗ) sử dụng cốt composite sợi thủy tinh (GFRP) làm cốt chịu lực. Kích thước hình học của bản bê tông nhẹ được thể hiện trong Hình 2.1. Bản mặt cầu bê tông nhẹ (LWC) liên kết với một dầm thép (tạo thành từ hai dầm thép chữ I) dạng không liên hợp. Thiết kế này giúp thay thế cho 2 tà vẹt gỗ trên cầu đường sắt, với tổng chiều dài là 1 m. Bên cạnh đó, các chi tiết khác và ray cũng được thể hiện cùng trên Hình 2.1.



Hình 2.1: Mặt cắt điển hình của bản bê tông nhẹ LWC

Bê tông nhẹ sử dụng là loại bê tông cốt liệu nhẹ Karemzit có cường độ thiết kế 30 MPa. Cốt GFRP có kích thước khác nhau được bố trí để đảm bảo yêu cầu chịu tải tĩnh và động của đoàn tàu. Chi tiết về các thông số cơ lý của hai loại vật liệu này được giới thiệu ở mục III.

3. PHÂN TÍCH ỨNG XỬ CỦA KẾT CẤU BẢN BÊ TÔNG NHẸ CỐT GFRP

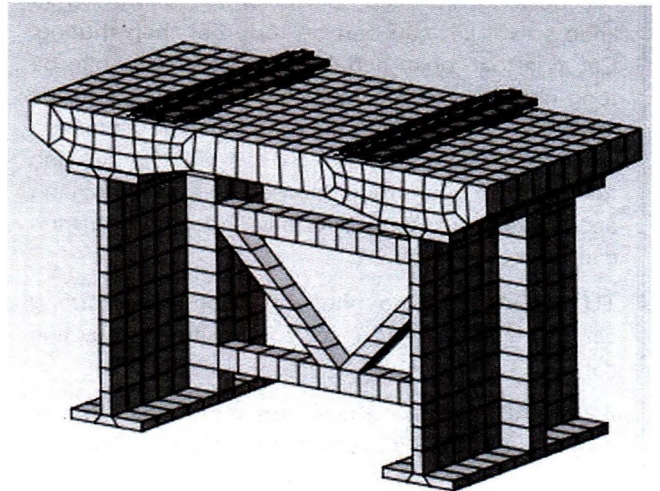
3.1. Mô hình tính toán

Các mô hình phi tuyến vật liệu được áp dụng cho bê tông nhẹ và cốt GFRP nằm trong vùng dự báo chịu ảnh hưởng hư hỏng của dầm bầm; các mô hình đàn hồi của vật liệu gán cho vùng an toàn hơn để giảm khối lượng tính toán. Quá trình mô hình hóa được thực hiện cùng với kiểm soát tải trọng. Bê tông nhẹ được định nghĩa như một vật liệu phi tuyến với ứng xử kéo dựa trên đề xuất Hordijk's proposal [7] với các thông số kỹ thuật bao gồm cường độ chịu nén 30 MPa, cường độ chịu kéo 3,33 MPa, mô-đun đàn hồi là 15,949 GPa, hệ số Poisson là 0,2 và khối lượng riêng là 1.700 kg/m³ [9].

Cốt phi kim GFRP bao gồm thanh $\Phi 12$ & $\Phi 14$ với đặc trưng: trọng lượng 2.500 kg/m³, cường độ chịu kéo 4.580 MPa, mô-đun đàn hồi $E = 85,5$ GPa, biến dạng kéo giới hạn 3,3%, hệ số poisson là 0,22 [10].

Tải trọng thẳng đứng lên đến giá trị T22 nằm trong khoảng giá trị tải trọng động cho phép [1], có giá trị là 20,163 kN. Tải trọng dọc trục tiêu chuẩn của một đoàn tàu sử dụng tại Việt Nam là 220 kN. Xét đến hệ số xung kích $(1+IM) = 1,6$. Do đó, mô hình được đặt tải từ 0 kN đến $P = 400 \text{ kN} > P_{\max} (1+IM) = 352 \text{ kN}$.

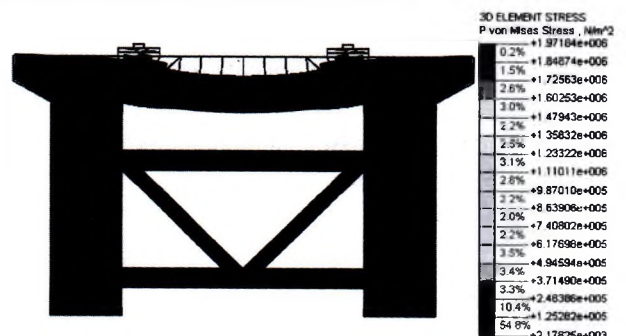
Lưới phần tử hữu hạn được thể hiện trong Hình 3.1.

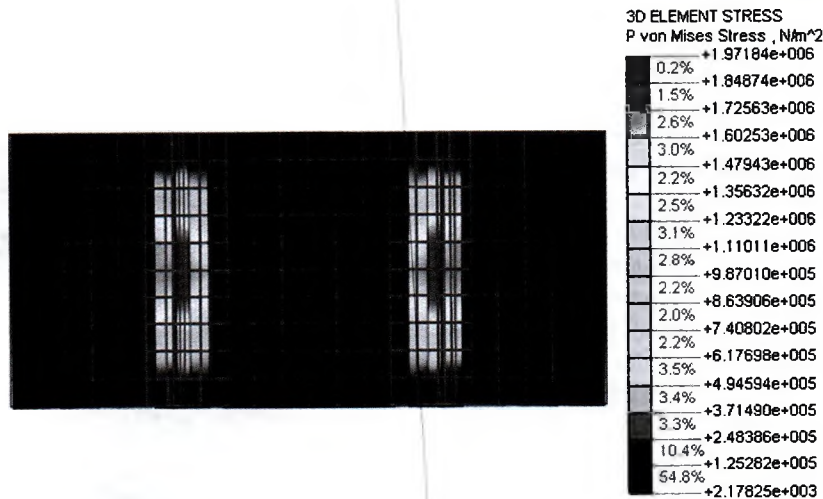


Hình 3.1: Lưới phần tử hữu hạn

3.2. Kết quả phân tích tĩnh

Trường ứng suất của bê tông và lực dọc trục của cốt sợi được coi như là kết quả đầu ra của mô hình.



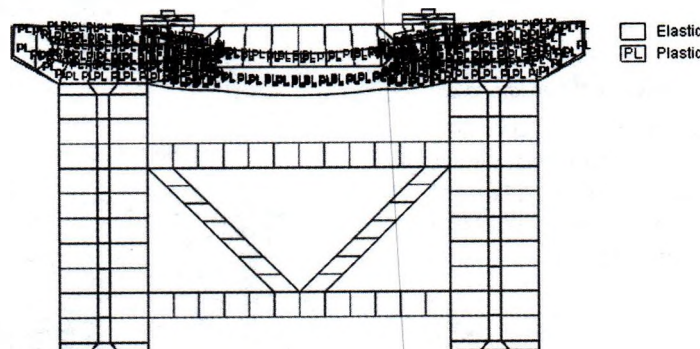


Hình 3.2: Trường ứng suất: Mặt cắt ngang của bản bê tông nhẹ LWC

Trong Hình 3.2 thể hiện lực nén cục bộ tại vị trí đặt tải lên đến 21 - 22 MPa. Giá trị này nhỏ hơn giá trị cuối cùng của lực nén bê tông là 28 MPa. Điều này có nghĩa là dưới tác dụng của tính tải quy đổi T22, bản bê tông nhẹ thiết kế vẫn chưa vượt ra khỏi ngưỡng phá hoại của vật liệu.

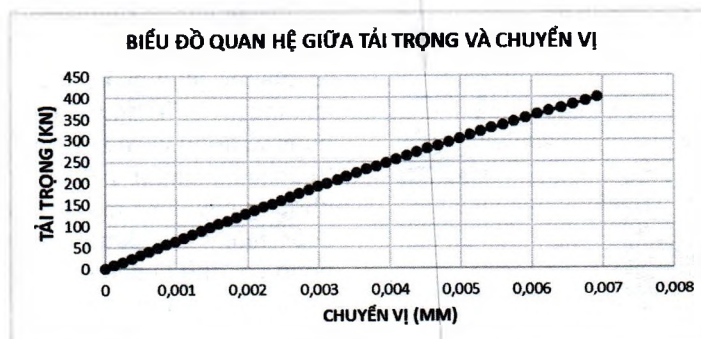
Đồng thời, một số vết nứt cũng xuất hiện trên bê tông do ứng suất kéo cao tương ứng với sự truyền lực trực tiếp từ ray đến bệ đỡ dầm thép. Về mặt lý thuyết, một giàn có thể được tạo thành liên kết mặt trên của bản bê tông nhẹ LWC dưới đường ray và mặt dưới của nó nằm phía trên bệ đỡ dầm thép.

Theo như kết quả thu được bằng phân tích phần tử hữu hạn, chúng ta có thể xác định những vết nứt do ảnh hưởng của nén, các vết nứt xuất hiện tập trung tại vùng liên kết mặt dưới của ray và mặt dưới phía trên dầm đỡ.



Hình 3.3: Trạng thái dẻo của các phần tử đặc

Những vị trí cục bộ, cụ thể là phần tiếp giáp giữa đệm ray với bản mặt cầu và phần tiếp giáp giữa dầm thép với bản mặt cầu có xuất hiện hiện tượng chảy dẻo. Như vậy có thể xác định, các vị trí này là vị trí nứt đầu tiên của bản mặt cầu. Hiện tượng nứt này là hiện tượng nứt do ảnh hưởng của hiệu ứng nén của tải trọng lên ray. Tải trọng của tàu truyền xuống bản mặt cầu gây nén thớ trên của bản mặt cầu đồng thời gây kéo thớ dưới. Do vậy, để hạn chế vết nứt cần thiết phải bổ sung cốt sợi ở tại vị trí này.



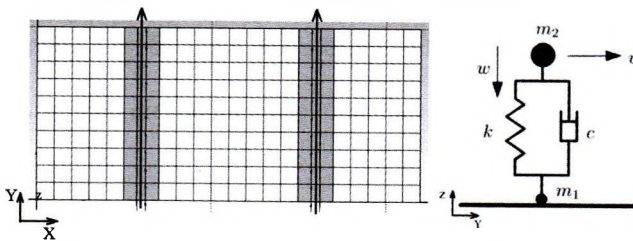
Hình 3.4: Biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và độ võng giữa nhịp của bản mặt cầu (tải trọng lên đến 400 kN tương đương 2 lần tải trọng cuối cùng của T22)

Kết quả mô hình hóa cho thấy giai đoạn phá hoại của bê tông xảy ra sớm hơn giai đoạn dẻo của cốt GFRP. Vùng chịu nén cục bộ và cùng chịu kéo tổng thể được thể hiện một cách rõ ràng khi tải trọng nhỏ và không phức tạp cốt liệu phi kim chưa phát huy tác dụng tối đa. Tuy nhiên, khi tải trọng lớn vượt mức giới hạn của kết cấu hay tải trọng phức tạp thì cốt liệu phi kim phát huy tác dụng tối đa và đảm bảo chịu lực cũng như an toàn cho kết cấu.

Xét Hình 3.4, chúng ta có thể thấy đường mối quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị gần như tuyến tính. Điều này thể hiện rõ ràng rằng cốt sợi làm việc đàn hồi khá tốt và đảm bảo chịu được những tải trọng lớn và đặc biệt lớn. Điều này khác với tính chất của cốt thép, với cốt thép sau giai đoạn đàn hồi, khả năng làm việc của cốt thép sẽ suy giảm rõ rệt, lúc đó quá trình nứt diễn ra nhanh với số lượng vết nứt nhiều hơn.

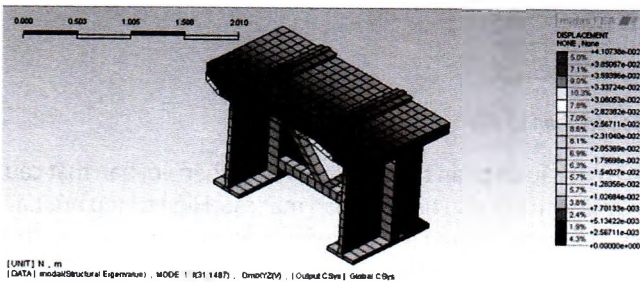
3.3. Kết quả phân tích động

Phân tích động được thực hiện với trường hợp đoàn tàu di chuyển với tốc độ không đổi, xét với tốc độ 40 km/h, tàu di chuyển dọc trên ray. Khối lượng $m_2 = 110$ KN (1/2 trục tàu) di chuyển với tốc độ không đổi $v = 40$ km/h.

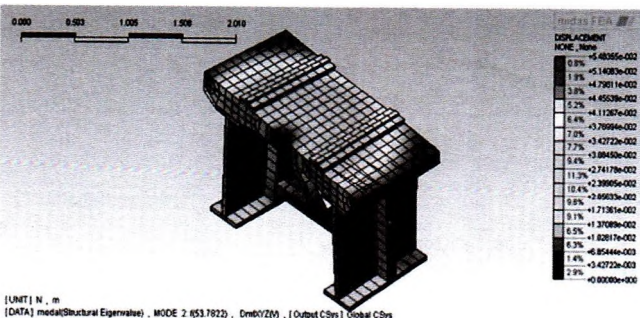


Hình 3.5: Mô hình đoàn tàu di chuyển với tốc độ không đổi

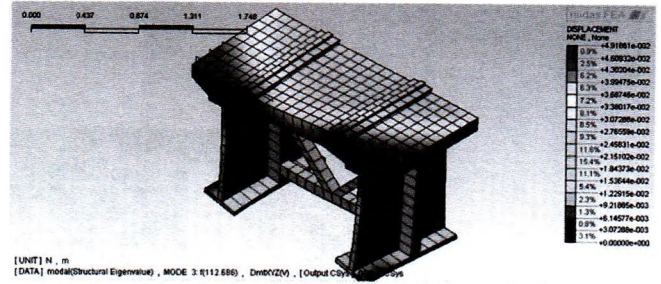
Hình 3.6 - 3.11 thể hiện hai vector riêng đầu tiên của bê tông nhẹ và các tần số cơ bản tương ứng với các giá trị 30,09 Hz, 51,72 Hz, 109,65 Hz, 269,19 Hz, 241,82 Hz và 351,84 Hz. Các tần số này cao hơn nhiều so với tần số bình thường, ước tính tối đa vào khoảng 1 Hz.



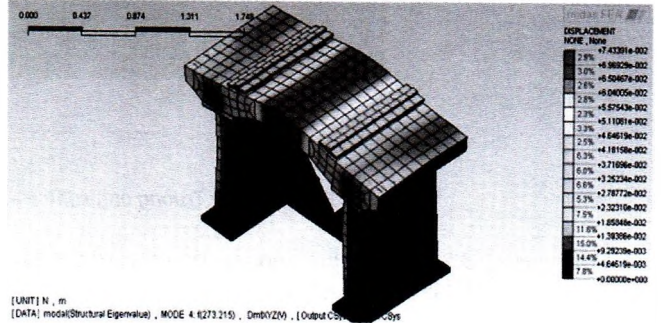
Hình 3.6: Vector riêng tại 30,09 Hz



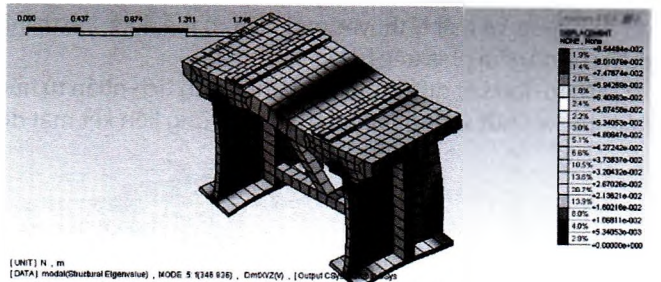
Hình 3.7: Vector riêng tại 51,72 Hz



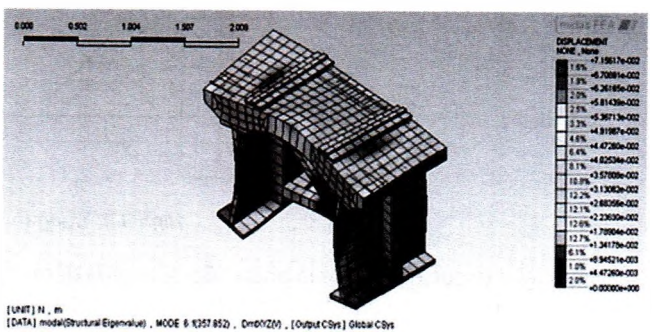
Hình 3.8: Vector riêng tại 109,65 Hz



Hình 3.9: Vector riêng tại 269,19 Hz



Hình 3.10: Vector riêng tại 241,82 Hz



Hình 3.11: Vector riêng tại 351,84 Hz

Theo như kết quả, mẫu thí nghiệm có độ dự trữ ổn định khá lớn dưới tác động của tải trọng động. Sau đó, tần số của mô hình quá cao trong khi tần số của tàu rơi vào khoảng 1 Hz. Trong mô phỏng này, một đoàn tàu 22 tấn được sử dụng và mô hình hóa thành một khối với hai bậc tự do là hai phương: Phương ngang (trục y): Vận tốc theo phương này được giả định tương đương với vận tốc của đoàn tàu, $v = 40$ km/h. Phương thẳng đứng (trục z) dao động coi như là dao động đơn giản của vật được hỗ trợ bằng lò xo và một thiết bị giảm xóc.

Sử dụng phần mềm FEA Midas, mô hình hóa được thực hiện với một số chi tiết như sau:

- Do vận tốc không thay đổi, nghiên cứu này lựa chọn

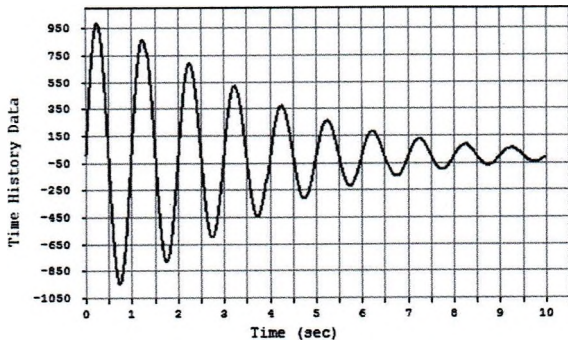
thời điểm $t = 0,09s$ (từ lúc $t = 0$): trục có khối lượng 22 tấn đi qua điểm.

- Phần cuối của bản bê tông nhẹ (chiều dài 1 m). Bảng dưới đây thể hiện thời điểm trục đoàn tàu đi qua các vị trí của các nút.

Bảng 3.1. Thời điểm trục đoàn tàu đi qua các vị trí

Nút	Load set	Loại tải trọng	Hướng	Vector hướng	Thời điểm đến (sec)	Tỷ lệ
1766	mass	Force	Y	0,0, 1,0, 0,0	0	1
1869	mass	Force	Y	0,0, 1,0, 0,0	0	1

+ Dao động thẳng đứng (trục z) được miêu tả trong biểu đồ dưới đây:



Hình 3.12: Biểu đồ tần số dao động của khối

Các dạng sóng phía trên được gọi là "giảm chấn dao động". Nói cách khác, nó là biểu đồ nghịch đảo của dạng sóng xung kích của trục tác động lên ray. Gia tốc trọng trường $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$, bỏ qua ma sát giữa tàu và ray.

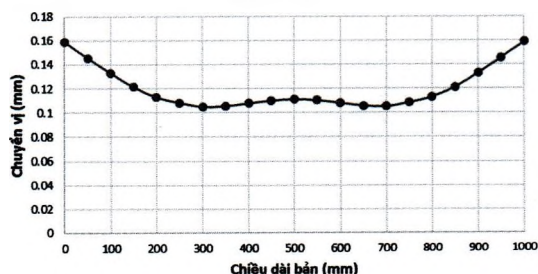
Chỉ xét đến tần số của mode N°1 $f_1 = 31,148 \text{ Hz}$ được sử dụng trong phân tích này. Các kết quả phân tích bao gồm chuyển vị, vận tốc và gia tốc thu được khi sử dụng mô hình khối chuyển động của tàu T22 (Hình 3.12). Giá trị chuyển vị ở mặt cắt giữa nhịp là lớn nhất. Do đó, vận tốc và gia tốc tại ray sẽ lớn hơn. Kết quả thống kê được thể hiện trong Bảng 3.2 sau đây:

Bảng 3.2. Giá trị lớn nhất khi sử dụng mô hình khối

Chuyển vị	Vận tốc	Gia tốc	Ứng suất
1,5749 (mm)	2,4774 (mm/sec)	0,09739 (mm/sec ²)	24,5260 (N/mm ²)

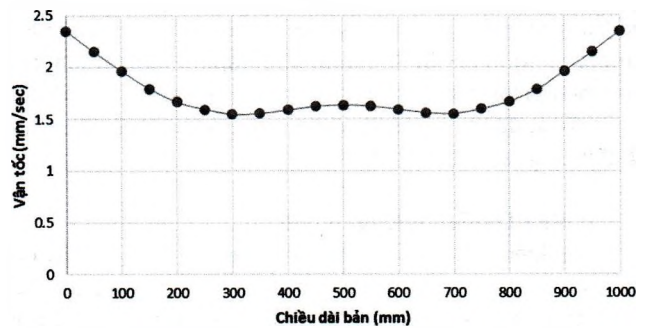
Tốc độ 40 km/h là tốc độ phẳng của trục T22 trên khối bê tông nhẹ cốt sợi LWC. Qua quá trình phân tích tính toán, chúng tôi thu được biểu đồ sau:

CHUYỂN VỊ



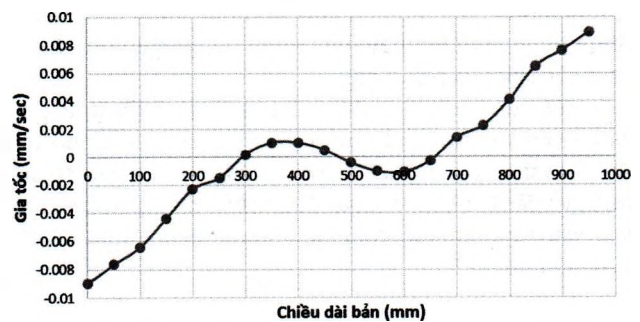
Hình 3.13: Chuyển vị theo trục xyz do tải trọng động gây ra khi khối di chuyển

VẬN TỐC



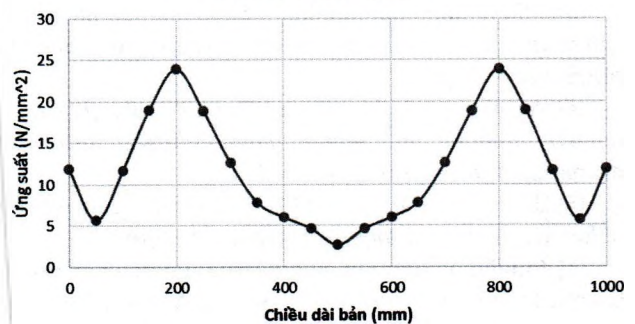
Hình 3.14: Vận tốc theo trục xyz do tải trọng động gây ra khi khối di chuyển

GIA TỐC



Hình 3.15: Gia tốc theo trục xyz do tải trọng động gây ra khi khối di chuyển

ỨNG SUẤT VON-MISES



Hình 3.16: Ứng suất theo trục xyz do tải trọng động gây ra khi khối di chuyển

Qua các biểu đồ từ Hình 3.13 đến Hình 3.16, có thể thấy kết quả các giá trị chuyển vị, vận tốc và gia tốc tại thời điểm tàu bắt đầu chạy và kết thúc quá trình là lớn nhất. Các giá trị này lớn đồng nghĩa với việc, trong thiết kế đường sắt thực tế các kỹ sư cần chú ý các vị trí cắt ray hoặc nối ray. Tại các vị trí này thường gây xung lực lớn. Hơn nữa tại thời điểm này, trục tàu đang tác dụng lực lên đầu hẫng của ray, do đó cần xem xét và nghiên cứu các biện pháp gối kê tại vị trí đầu hẫng này, tránh trường hợp hư hỏng kết cấu. Tiếp theo, khi tàu đi tới vị trí bản đệm, lúc này ứng suất là lớn nhất, tại thời điểm này, toàn bộ tải trọng sẽ được truyền trực tiếp xuống bản mặt cầu và dầm thép bên dưới. Kế tiếp, khi tàu chạy tới điểm chính giữa, thời điểm này tiếp tục gây ra mô-men kéo và lớn hơn thời điểm khi tàu bắt đầu khởi chạy trên ray. Tại thời điểm này, ứng suất kéo ở mặt dưới là lớn nhất và có thể

bắt đầu gây nứt nếu tải trọng lớn. Dựa vào các kết quả trên, nhóm nghiên cứu đề xuất thiết kế bản mặt cầu đường sắt bê tông nhẹ với cốt GFRP, với một số chú ý và điều chỉnh như là bổ sung cốt GFRP tại các vị trí tập trung ứng suất cục bộ. Khi tiến hành lắp đặt bản mặt cầu ngoài thực tế cần chú ý các điểm đầu và cuối các đoạn ray, cải thiện và nâng cao chất lượng các mối nối ray nếu có.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Tìm kiếm giải pháp thay thế tà vẹt gỗ trên cầu đường sắt cũ và mới là rất cần thiết hiện nay. Một trong các giải pháp được nghiên cứu này đề xuất là sử dụng các bản bê tông nhẹ cốt chịu lực dạng thanh composite sợi thủy tinh. Kết cấu mới này có độ đàn hồi tốt, có độ cứng và độ bền tốt, khối lượng khá nhẹ khi so với kết cấu bê tông cốt thép truyền thống. Việc nghiên cứu ứng dụng kết cấu bản bê tông nhẹ - cốt GFRP thay thế cho tà vẹt gỗ trên cầu đường sắt là cần thiết và phù hợp.

Kết quả phân tích ứng xử của bản bê tông nhẹ cốt composite sợi thủy tinh dùng thay thế cho tà vẹt gỗ trên cầu dầm thép đường sắt cho thấy, với kết cấu bản có kích thước và đặc trưng cơ lý của vật liệu như đề nghị hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu chịu lực tĩnh và động dưới tác động của đoàn tàu T22.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Bộ GTVT, *Tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam*.
- [2]. Cơ quan Đường sắt Việt Nam, *Dữ liệu thống kê cầu đường sắt ở Việt Nam*.
- [3]. Ozyildirim, C (2008), *Durability of Structural Lightweight Concrete*, Lightweight Aggregate Concrete Bridges Workshop, pp.1-14.
- [4]. Vaysburd, A. M. (July 1996), *Durability of Lightweight Concrete Bridges in Severe Environments*, Concrete International, vol.18, no.7, pp.33-38.
- [5]. James. E. Roberts (1997), *Lightweight Concrete for California's Highway Bridges*, Concrete structures.
- [6]. Murillo, J., Thoman, S., Smith, D (1994), *Lightweight Concrete for a Segmental Bridge*, Civil Engineering.
- [7]. Reid W. Castrodale (2015), *Use of Lightweight Concrete for Bridges Moved into Place*, 2015 National ABC Conference.
- [8]. *Analysis and Algorithm*, Midas FEA, Midas Korea.
- [9]. Personal notes of Asso.Ph.D Tran, *University of Transport and Communications*, Hanoi, Vietnam.
- [10]. Công ty Cổ phần Cốt sợi polyme Việt Nam (FRP), *Bảng Đặc trưng kỹ thuật và thông báo giá thép GFRP-2014*.
- [11]. Đỗ Đức Thắng (2012), *Triển vọng ứng dụng cốt sợi thủy tinh gia cường Polymer thay thế cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép ở Việt Nam*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, số 14/12.
- [12]. *Tiêu chuẩn "Áp dụng trong xây dựng kết cấu bê tông và Kết cấu địa kỹ thuật cốt sợi phi kim loại"*, CTO HOCTPOИ 2.6.9-2103, Moskva 2014.
- [13]. *Lass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Rebar - Aslan™100 series FIBERGLASS REBAR*, 2011.
- [14]. 440.2R-08 *Guide for the Design and Construction*

of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, First Printing July 2008.

Ngày nhận bài: 05/12/2020

Ngày chấp nhận đăng: 29/01/2021

**Người phản biện: PGS. TS. Nguyễn Hữu Thuận
TS. Hoàng Việt Hải**