

Nghiên cứu giải pháp ứng xử đối với hiện tượng dịch trượt của gối cầu cao su bản thép cho các kết cấu nhịp dầm giản đơn BTCT DƯL có chiều dài nhịp trung bình

Research on behavioral solutions to the slip phenomenon of rubber bridge bearings for for simple pc girder span with average span length

> PGS.TS HOÀNG HÀ

Trường Đại học Giao thông vận tải; Email:hoangha.utc@gmail.com

TÓM TẮT

Do có nhiều ưu điểm như cấu tạo đơn giản, dễ lắp đặt, giá thành hạ, tuổi thọ khai thác hợp lý, ngoài ra còn có tính năng giảm chấn, giảm tiếng ồn nên gối cầu cao su bản thép đã và đang được áp dụng rộng rãi cho các kết cấu nhịp cầu BTCT DƯL nhịp nhỏ và trung bình. Bên cạnh các ưu điểm nêu trên, hiện nay việc sử dụng các loại gối cầu cao su bản thép dạng tấm ở một số công trình cầu đang xảy ra hiện tượng dịch trượt, lệch khỏi vị trí thiết kế. Bài viết phân tích nguyên nhân và đề xuất giải pháp khắc phục hiệu quả hiện tượng này.

Từ khóa: Gối cầu cao su bản thép; dịch trượt; lệch vị trí thiết kế.

ABSTRACT

Due to many advantages such as simple structure, easy installation, low price, reasonable service life, in addition to having damping and noise reduction features, steel plate rubber bearings pad have become popular. is being widely applied to small and medium span prestressed reinforced concrete bridge structures. In addition to the above advantages, currently the use of steel plate rubber bridge bearings in some bridge projects is causing the phenomenon of shifting away from the design position. This article analyzes the causes and proposes effective solutions to overcome this phenomenon.

Keywords: Steel plate rubber bridge bearing; slippage move; deviated from the design position.

1. GIỚI THIỆU

Gối cầu cao su là dạng gối đàn hồi nên có thể hấp thụ các chuyển động ngang theo mọi hướng và chuyển động quay quanh

mọi trục thông qua biến dạng đàn hồi, từ đó cho phép lực được truyền một cách an toàn từ kết cấu nhịp sang đỡ trụ cầu. Ngoài ra gối cầu cao su còn thụ rung động giảm xung kích và ngăn chặn sự truyền âm thanh khi có các phương tiện giao thông di chuyển trên cầu. Gối cao su dạng tấm thường được sử dụng cầu nhịp trung bình và đã được thiết kế để chịu chuyển động ngang và chuyển động quay do các nguyên nhân như dự ứng lực, tải trọng, nhiệt độ, co ngót và từ biến.

Yêu cầu chung của gối cao su là đảm bảo chịu tải trọng từ phản lực gối ở đầu dầm và đủ khả năng kháng cắt do các dịch vị ngang của kết cấu nhịp. Các tham số về độ cứng, biến dạng theo các phương dọc, ngang cầu và góc xoay phải được lựa chọn phù hợp với đặc điểm cấu tạo và chịu lực của kết cấu nhịp bên trên và phải được thí nghiệm kiểm tra trước khi lắp đặt gối cầu [3].



a) Cầu cầu Ahmad Shah (Malaysia)



b) Cầu trên tuyến ĐSĐT Bến Thành - Suối Tiên



c) Cầu ở bang Louisiana (Mỹ)

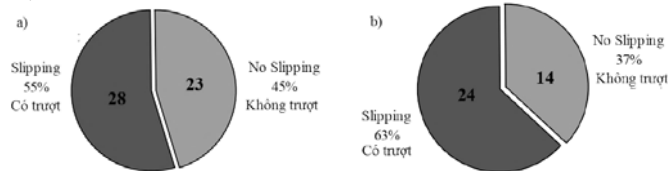
Hình 1. Hư hỏng và dịch trượt gối cầu cao su sử dụng cho kết cấu cầu dầm BTCT DƯL

Yếu tố định vị chống xô dịch của gối cầu cao su phụ thuộc vào ma sát giữa gối với các bản thép trên đỉnh trụ và đáy các đầu dầm thép hoặc BTCTDƯL và các chốt hãm. Do cấu tạo phức tạp nên các chốt hãm chỉ dùng chủ yếu là chống lực cắt và chuyển dịch ngang do động đất khi cần thiết. Đối với các kết cấu cầu nhịp nhỏ và trung bình thường không dùng chốt hãm do đã cấu tạo bộ phận có chức năng chống động đất tách ra khỏi gối cầu. Như vậy khi sử dụng các gối cao su bản thép vấn đề định vị các gối chỉ phụ thuộc vào lực ma sát ở bề mặt tiếp xúc giữa bề mặt của gối với các tấm thép đệm. Do các nguyên nhân khác nhau, khi lực ma sát không đảm bảo theo yêu cầu thiết kế, gối cầu cao su có thể dần dần chuyển dịch lệch khỏi vị trí thiết kế (hình 1). Hiện tượng này xảy ra khá phổ biến ở công trình cầu trên thế giới và một số dự án xây dựng cầu ở Việt Nam thời gian gần đây nên cần phải phân tích rõ nguyên nhân để đưa ra giải pháp khắc phục hiệu quả.

2. PHÂN TÍCH NGUYÊN NHÂN XẢY RA HIỆN TƯỢNG CHUYỂN DỊCH TRƯỢT GỐI CAO SU

2.1 Mô tả tình trạng dịch trượt gối cầu cao su

Trượt (slippage) hay còn gọi là đi bộ ("walking") là hiện tượng gối cầu di chuyển ra khỏi vị trí ban đầu do không được tiếp xúc sát vào bề mặt thốt gối trên đỉnh trụ hay đẩy dầm và không được cố định chặt vào phần đỡ bên dưới (ví dụ bằng epoxy). Một cuộc điều tra của Bộ GTVT Mỹ vào năm 1994 [6] đã cho thấy hiện tượng này xảy ra khá phổ biến (hình 2)



Hình 2. Tỷ lệ xảy ra hiện tượng dịch trượt gối cầu cao su thống kê ở Mỹ năm 1994

Số lượng các bang có xảy ra hiện tượng trượt gối cầu là 28/51 chiếm 55% (hình 2a). Nếu loại trừ 13 bang chưa sử dụng gối cầu cao su thì tỷ lệ nói trên chiếm tới 63% trong số các bang có sử dụng gối cầu cao su. Hiện tượng này cũng xảy ra ở nhiều nước khác ví dụ như xê dịch gối cầu cao su của cầu Ahmad Shah (Malaysia) hay ở dự án xây dựng đường sắt đô thị Bến Thành - Suối Tiên (Việt Nam) như trên hình 1.

2.2 Phân tích nguyên nhân trượt gối cầu cao su

a) Các yêu cầu cơ bản về thiết kế gối cầu cao su bản thép

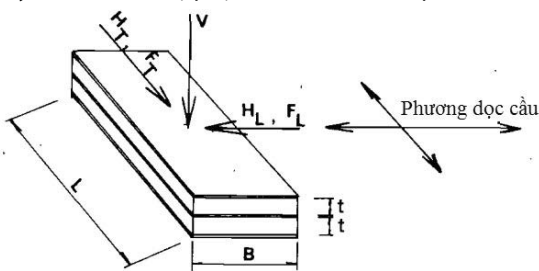
Phương pháp thiết kế gối cầu cao su bản thép đã được nghiên cứu khá kỹ lưỡng về mặt lý thuyết và thực nghiệm để đưa ra các chỉ số giới hạn cơ bản sau đây:

+ Chiều dày của các lớp cao su không được nhỏ hơn 10mm và không được lớn hơn 25mm

+ Biến dạng cắt e_b và biến dạng nén e_c nhỏ hơn một giá trị nhất định, tùy thuộc vào yêu cầu sử dụng cho công trình cụ thể.

+ Không được xảy ra lực kéo trực tiếp đối với gối cầu và biến dạng kéo do quay phải được giảm bớt bằng độ lệch do nền trực tiếp.

+ Gối phải được giữ ổn định vị trí theo thiết kế, không được dịch chuyển so với các bộ phận kết cấu mà nó tiếp xúc.



Hình 3. Các thông số cấu tạo và thành phần lực tác động trên gối cao su bản thép

Các ký hiệu lực tác dụng lên gối cầu trên hình 3 gồm: V- tải trọng theo phương đứng; H_L và F_L là trị số lực theo phương ngang và lực cắt lớn nhất do tải trọng tác động theo hướng dọc cầu; H_T và F_T là trị số lực theo phương ngang và lực cắt lớn nhất do tải trọng tác động theo hướng ngang cầu;

Công thức thực nghiệm để tính toán mô đun đàn hồi cho gối cao su bản thép:

$$E_c = E(1 + 2KS^2) \text{ cho gối và các tấm đệm} \quad (1)$$

$$E_c = E1,33(1 + 2KS^2) \text{ cho băng gối}$$

Trong đó: E_c - mô đun đàn hồi nén của gối.

E - mô đun đàn hồi của vật liệu gối.

S - hệ số hình dạng của gối, S = diện tích hữu hiệu của gối/chu vi x chiều dày

K - Hệ số áp lực nén

Để kiểm soát dịch trượt của các gối di động, tỷ số giữa lực nén tối thiểu lên bề mặt gối và lực cắt ngang lớn nhất tác dụng không được nhỏ hơn:

+ Khi gối cao su tiếp xúc với vật liệu bê tông : 3 ($f = 0,33$)

+ Khi gối cao su tiếp xúc với vật liệu thép : 4 ($f = 0,25$)

b) Dự đoán nguyên nhân gây ra hiện tượng dịch trượt của gối cao su

Về mặt nguyên lý, khi không có cấu tạo chốt giữ định vị gối cầu cao su chỉ được giữ tại vị trí thiết kế bằng áp lực trên bề mặt gối do phản lực gối tạo ra lực ma sát trên các bề mặt tiếp xúc, dịch trượt chỉ có khả năng xảy ra khi các điều kiện tạo ma sát không đảm bảo [4]:

+ Do giãn nở của kết cấu nhịp và co lại không hoàn toàn bằng nhau, đặc biệt là đối với trường hợp mặt phẳng tiếp xúc của gối không song song với các trục của đầu dầm.

+ Do dao động của kết cấu nhịp ở thời điểm độ võng âm hay do hoạt tải đặt lệch tâm cầu đã làm giảm áp suất trên bề mặt gối cao su.

+ Do áp lực thẳng đứng trên bề mặt gối không đồng đều dẫn đến lực ma sát không đồng đều, khi chịu các lực ngang gối sẽ bị xoay lệch khỏi vị trí [5].

Dự đoán được đưa ra trên cơ sở thu thập và phân tích là dù mức độ và dạng dịch trượt có thể khác nhau nhưng tất cả đều xảy ra trong trường hợp áp lực lên bề mặt tiếp xúc của gối không được phân bố một cách đồng đều. Nhiều phương pháp đã được sử dụng để khắc phục vấn đề này nhưng phần lớn chúng liên quan đến việc bổ sung các cấu tạo chặn để hạn chế dịch chuyển của các gối cầu đang khai thác[5].

c) Các hướng nghiên cứu làm rõ nguyên nhân và khắc phục hiện tượng trượt gối cầu cao su.

Do tính chất phức tạp và xảy ra trên diện rộng ở nhiều nơi trên thế giới, hiện tượng dịch trượt gối cầu cao su đã thu hút rất nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu trong thời gian khá dài. Các hướng nghiên cứu phát triển theo xu hướng xét các yếu tố có khả năng tác động đến hiện tượng dịch trượt ngày càng đầy đủ và toàn diện hơn [6,10]. Về phương pháp nghiên cứu cũng áp dụng những công nghệ hiện đại nhất như Video tốc độ cao hay cảm biến lực để phát hiện nguyên nhân và mức độ tác động của chúng. Kết quả có thể tóm tắt như sau:

+ Giai đoạn 1: Các nghiên cứu tập trung vào phân tích ứng suất cắt tác động và hệ số ma sát ở mặt tiếp xúc của gối, kết quả đưa ra khuyến cáo cần điều chỉnh cấu tạo sao cho kiểm soát được ứng suất cắt nhỏ (nhỏ hơn 1/5 so với ứng suất nén). Đại diện là các tác giả Du Pont de Nemours and Co (1959), Bakirzis và Lindley (1970).

+ Giai đoạn 2: Để cập thêm tới các yếu tố tác động do nhiệt độ thay đổi và tính chất của vật liệu chế tạo gối cao su do các tác giả Stanton và Roeder (1982), Roeder et al. (1987), English et al. (1994) đã đưa ra được hai kết luận quan trọng: i) dẫn nở do nhiệt là nguyên nhân trực tiếp dẫn đến dịch trượt gối cầu và ii) gối cầu làm bằng cao su tổng hợp có khả năng kháng trượt tốt hơn làm bằng cao su tự nhiên.

+ Giai đoạn 3: Bắt đầu từ dự án do Đại học bang Texas của các tác giả Muscarella và Yura (1995), Chen và Yura (1995) đã đưa thêm ra kết luận chất chống oxy hóa trong thành phần cao su chế tạo gối là một nguyên nhân quan trọng gây ra sự dịch trượt. Giai đoạn cuối của dự án ở Đại học bang Texas được thực hiện bởi Hamzeh et al. (1995) cũng đưa ra kết quả khẳng định lại các kết luận của các tác giả trên.

+ Giai đoạn 4: Một cuộc điều tra thực địa toàn diện về gối cầu cao su tổng hợp bị trượt ra khỏi vị trí thiết kế đã được thực hiện do Đại học bang Louisiana. Chuyển động của dầm do nhiệt độ liên

quan đến chuyển dịch của gổ được theo dõi bằng Video, với việc điều tra ở nhiều địa điểm sử dụng gổ cầu cao su cũng như các nhà sản xuất chúng. Dữ liệu thu thập được đã đưa ra các kết luận sau:

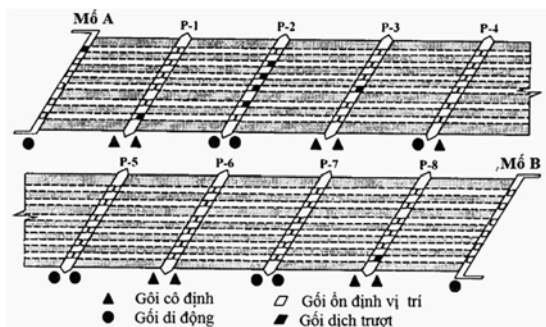
- Sự dịch trượt xảy ra giữa mặt tiếp xúc gối/dầm khi dầm chịu chuyển động do nhiệt độ thay đổi, do đó hiện tượng trượt này xảy ra hàng ngày.

- Parafin đã được thêm vào vòng bi cao su tổng hợp để chống oxy hóa tốt nhưng lại làm giảm khả năng chống trượt của gối cầu cao su.

- Cần tăng cường độ nhám của các mặt tiếp xúc để tăng hệ số ma sát giữa gối cầu và các bộ phận liên quan. Ưu tiên tăng cường độ nhám hơn cho mặt tiếp xúc giữa dầm và đá kê gối.

- Cần đảm bảo sự phân bố áp lực đồng đều ở bề mặt tiếp xúc bao gồm cả việc xem xét độ “khum” của đáy dầm BTCT DƯỠ ở vị trí gối do lực ứng suất trước gây ra.

d) Xem xét các trường hợp cấu tạo đặc biệt có thể ảnh hưởng tới độ dịch trượt của gối cầu cao su ở các công trình cầu thực tế.



Hình 4. Sơ đồ dịch trượt gối cầu cao su xảy ra ở cầu Kuala Lipis (Malaysia)

Do cầu Kuala Lipis là cầu chéo góc 35° và hiện tượng dịch trượt gối cũng được phát hiện ở một cây cầu chéo khác bắc qua sông Jegor ở bang Kelantan (Sani, 1998) nên cần nghiên cứu thêm ảnh hưởng của yếu tố chéo góc trên mặt bằng của cầu đến dịch trượt của các gối.

Tuy nhiên các nghiên cứu đầy đủ hơn sau đó trên 22 cầu chéo có góc chéo trên 40° ở Malayssia đã cho thấy sử dụng gối cao su có mặt cắt hình chữ nhật đối với các cầu này không thấy xảy ra hiện tượng dịch trượt gối.

3. CÁC GIẢI PHÁP BỔ SUNG NHẪM KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG CHUYỂN DỊCH TRƯỢT GỐI CAO SAU

3.1 Kiểm soát chất lượng chế tạo gối cao su

Tiêu chuẩn về thiết kế chế tạo gối cầu cao su bản thép đã được phát triển ngày càng hoàn thiện hơn dựa trên các nghiên cứu và thực nghiệm đủ tin cậy. Hệ thống tiêu chuẩn AASHTO cho gối cầu cao su liên quan đến vật liệu, chế tạo, yêu cầu tính toán được chấp thuận rộng rãi nhất, ngay cả đối với các nhà sản xuất ở châu Âu. Trên bảng 1 giới thiệu hệ Tiêu chuẩn áp dụng để chế tạo gối cầu cao su của một cơ sở sản xuất Liên danh Anh, Pháp và Tây Ban Nha.

Các yêu cầu kỹ thuật cơ bản trong bảng 1 cũng đã được cập nhật đưa vào Tiêu chuẩn TCVN 10308:2014 - Gối cầu cao su không có tấm trượt - Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử của Việt Nam [1].

Yêu cầu thí nghiệm gối cầu cao su trước khi đưa vào lắp đặt cũng được tiến hành nghiêm túc để loại bỏ các sản phẩm không đủ chất lượng. Trên hình 5 trình bày mẫu yêu cầu về kết quả thí nghiệm kiểm tra các thông số kỹ thuật của gối cầu cao su bản thép ở Việt Nam.

Bảng 1: Tiêu chuẩn vật liệu chế tạo gối cao su theo AASHTO

Đặc tính vật liệu	Tiêu chuẩn ASTM	Yêu cầu kiểm tra	Polyisoprene (Cao su tự nhiên)	Polychloroprene (Neoprene)	Đơn vị
Tính chất vật lý	AASHTO M251 Phần 8.8.4	Tối thiểu - Mô đun đàn hồi cắt	79.8 (0.55)	79.8 (0.55)	psi (MPa)
	ASTM D412	Tối thiểu - Cường độ kéo	2,248 (15.5)	2,248 (15.5)	psi (MPa)
	ASTM D412	Tối thiểu - Độ giãn dài cực hạn	450	400	%
Độ giòn ở nhiệt độ thấp	ASTM D746	Cấp 0-2	Không cần kiểm tra	Không cần kiểm tra	
	Quy trình B				
		Cấp 3 - Kiểm tra -40° F (-40° C)	Đạt	Đạt	
		Cấp 4 - Kiểm tra -54,4° F (-48° C)	Đạt	Đạt	
		Cấp 5 - Kiểm tra -70,6° F (-57° C)	Đạt	Đạt	

[illegible]

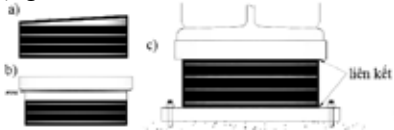
Hình 5. Mẫu yêu cầu kết quả thí nghiệm gối cầu cao su ở Việt Nam

3.2 Điều chỉnh về cấu tạo của gối cao su bản thép để hạn chế dịch trượt

Do yêu cầu chống võng các kết cấu nhịp dầm thường tạo độ võng ngược bằng cách chế tạo hay do dự ứng lực nên dẫn đến có độ “khum” ở đáy dầm. Đặc điểm này được cho là nguyên nhân khiến cho bề mặt tiếp xúc giữa gối và đáy dầm không song song với mặt bằng gối dẫn đến áp lực nén trên bề mặt gối không đồng đều. Các nhận định này đã dẫn đến việc đưa ra các giải pháp chế tạo gối đặc biệt có các bản thép hình nêm (hình 6a), hoặc sử dụng thêm tấm trượt bằng thép không gỉ để chịu các tác động trượt lớn bất thường (hình 6b) hoặc gắn cố định gối cao su vào một hoặc cả 2 bề mặt tiếp xúc với đáy dầm và đá kê gối trên trụ (hình 6c).

3.3 Chỉ dẫn thi công lắp đặt gối cầu cao su

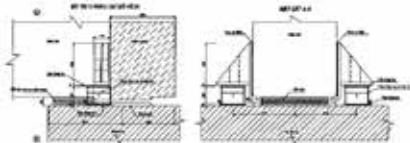
Các chỉ dẫn thi công lắp đặt cũng đã đưa ra các lưu ý có từ phân tích nguyên nhân nêu trên tập trung vào các tầng độ ma sát của bề mặt tiếp xúc (phun cát) hay đảm bảo tiếp xúc kín, khít ở các bề mặt (dùng gối có nêm hoặc đặt nghiêng gối theo trục “khum” đáy dầm), hay đảm bảo không có sự thâm nhập của chất gây trơn trượt khi lắp đặt gối.



Hình 6. Một số giải pháp cấu tạo tăng cường khả năng chống trượt của gối cầu cao su

3.4 Nghiên cứu phương pháp thay thế sửa chữa thuận tiện

Trong [11] giới thiệu phương pháp thay thế gối cầu cao su mà không làm gián đoạn giao thông trên cầu dựa trên sử dụng hệ thống kích phù hợp và nâng đồng bộ kết cấu. Tuy nhiên trong điều kiện không cần huy động nhiều kích có thể sử dụng hệ thống giá đỡ đơn giản và hiệu quả như đã thực hiện gần đây ở một số dự án xây dựng cầu ở Việt Nam (hình 7)



Hình 7. Cấu tạo hệ giá đỡ nâng dầm để thay thế gối cầu cao su cho một số dự án ở Việt Nam

4. NHẬN XÉT VÀ THẢO LUẬN

+ Trước hết cần chú ý đối tượng nghiên cứu chống dịch trượt ở đây là loại gối cao su bản thép dạng tấm (bearing pad) được sử dụng nhằm các mục đích tiện ích như đơn giản chế tạo lắp đặt, giá thành hạ, chi phí bảo dưỡng thấp, dễ thay thế. Các giải pháp chống dịch trượt theo hướng cấu tạo thêm các bộ phận hãm hay liên kết cố định gối vào mặt trượt sẽ làm thay đổi mục tiêu trên và chỉ sử dụng khi thực sự cần thiết.

+ Vấn đề dịch trượt của gối cầu cao su bản thép (dạng tấm) xảy ra trên diện rộng và đã được tập trung nghiên cứu một cách toàn diện ở nhiều nước trên thế giới. Các dự án được tiến hành nghiêm túc và công phu do các cơ sở nghiên cứu có uy tín thực hiện đã đưa ra 2 kết luận quan trọng:

- Hiện tượng dịch trượt có khả năng xảy ra hàng ngày do nguyên nhân chính là sự dịch chuyển kết cấu do dãn nở nhiệt.

- Khả năng đáp ứng của các gối cao su bản thép trong trường hợp bị dịch chuyển là không đảm bảo do không duy trì được áp lực nén đồng đều trên diện tích tiếp xúc hữu ích của gối dẫn đến lực ma sát không đủ để chống lại các lực cắt do chuyển động ngang.

+ Tuy quy luật thống kê xảy ra hiện tượng trên không thật rõ ràng nhưng xu thế dịch trượt của các gối cầu cao su bản thép nhiều hơn cho các gối di động. Hiện tượng dịch trượt cả dầm gối di động như trên hình 4 cũng đã phát hiện cá biệt ở Việt Nam.

+ Giải pháp sử dụng gối cao su có nêm hình côn như trên hình 6a đã sử dụng ở nhiều ở Mỹ nhằm đảm bảo sự tiếp xúc trên toàn bộ bề mặt gối tuy vậy cá biệt hiện tượng dịch trượt vẫn xảy ra do không phải lúc nào cũng duy trì được trạng thái tiếp xúc như ban đầu [6].

+ Tuy một số nghiên cứu về vấn đề này đã đề cập đến ảnh hưởng của trạng thái dao động của kết cấu cầu đến dịch trượt của gối cao su bản thép nhưng chưa tìm được tài liệu nào đưa ra các chỉ dẫn đánh giá mức độ ảnh hưởng cụ thể.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

- Dễ dàng nhận thấy là việc khắc phục hiện tượng dịch trượt gối cầu cao su bản thép dạng tấm gặp khó khăn không phải do thiếu các giải pháp cấu tạo hạn chế dịch chuyển của các gối. Vấn đề là ở chỗ nhu cầu sử dụng hướng tới việc duy trì các ưu điểm đặc trưng của loại gối cầu này mà không muốn có thêm các cấu tạo phức tạp, đặc biệt là khi áp dụng cho các cầu BTCT DƯL nhịp nhỏ và trung bình.

- Nguyên nhân của hiện tượng dịch trượt gối cầu loại này cơ bản đã được làm rõ chủ yếu là do sự dịch biến dạng của kết cấu do nhiệt độ, giải pháp khắc phục theo hướng đảm bảo duy trì áp lực đủ lớn và đồng đều trên toàn bề mặt tiếp xúc của gối đã được xác định là chính xác.

- Kinh nghiệm xử lý vấn đề này ở một số dự án xây dựng cầu ở Việt Nam theo hướng sử dụng công nghệ để loại trừ ảnh hưởng do độ “khum” ở của đáy dầm ở gần gối, giúp cho lực ngang do dãn nở nhiệt luôn song song với trục của gối kết hợp với chú trọng lắp đặt đảm bảo sự tiếp xúc đồng đều trên toàn diện tích bề mặt gối đã cho kết quả thực tế rất khả quan.

- Do vấn đề ảnh hưởng của dao động chưa được xét đầy đủ nên việc duy trì áp lực gối đều trên toàn bộ bề mặt tiếp xúc là không phải luôn được theo mong muốn vì vậy cần thử nghiệm thêm giải pháp tạo nghiêng bề mặt đá kê gối về phía đầu dầm cũng như hoàn thiện giải pháp thay thế để có thể nâng cao hiệu quả áp dụng của loại gối cầu cao su bản thép dạng tấm ở Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tiêu chuẩn thiết kế gối cầu cao su TCVN 10308:2014
- [2]. Hoàng Hà: Nghiên cứu giải pháp tổng thể khắc phục tồn tại của gối cầu cao su sử dụng cho các kết cấu cầu dầm, Tạp chí xây dựng số 9-2003, trang 90 -93.
- [3]. Báo cáo kết quả thí nghiệm kiểm tra chất lượng gối cao su bản thép cho một số dự án xây dựng cầu, Viện KHCN GTVT, 2023.
- [4]. Doris Eichburg, Beth Anne Feero, EIT và David Nicastrò: “Bearing pad durability in precast concrete garages”-The Construction Specifier Construction Specifications Institute (CSI), January, 2015
- [5]. I. Spitz: “The design and behaviour of elastomeric bearing pads” , Die Sivielle Ingenieur in Suid-Afrika - September 1978.
- [6]. Chen, Rose A.: Elastomeric Bridge Bearings: Ozone protection, Leachate analysis and National survey on movement, University of Texas at Austin, August 1995
- [7]. Lee Ho Sing, Ng See King et al, “Replacement of Existing Mechanical Bearings with Elastomeric Bearings for Sultan Ahmad Shah Bridge, Temerloh, Malaysia,” Presentation in International Conference on Current and Future Trends in Bridge Design Structure and Maintenance, Singapore, October 4-5, 1999.
- [8]. Leow Choon Heng, Wong Wai Ching and Ng See King, “Performance of Diamond Shape Elastomeric Bearing Pads in Kuala Lipis Bridge,” Presentation in 10th REAAA Conference, Kyoto, Japan, September 2000.
- [9]. Yu-min Zhang, Ling-bo Wang: Stiffness optimized research of high damping rubber bearing for beam bridges, nd International Conference on Machinery, Electronics and Control Simulation (MECS 2017).
- [10]. Jamie McDonald, Ernest Heymsfield, and R. Richard Aven: Slippage of Neoprene Bridge Bearings, Journal of Bridge Engineering, Vol 5, No3. 2000.
- [11]. Guodong Qiao, *, Xin Gao, Kan Ren, Jiangjiang Tao: Research on the application of technology of replacing bridge Bearings without interrupting traffic, Journal of Physics, Conf. Ser. 1865 032041.