

Nghiên cứu ứng dụng hệ lan can liên kết chìm trên các tuyến đường cao tốc ở Việt Nam

Nguyễn Trọng Đồng*, Đặng Ngọc Anh, Đỗ Minh Hiếu, Trần Mỹ Hạnh

Tổng công ty Đầu tư phát triển Đường cao tốc Việt Nam (VEC)

Ngày nhận bài 2/1/2019; ngày chuyển phản biện 7/1/2019; ngày nhận phản biện 21/2/2019; ngày chấp nhận đăng 27/2/2019

Tóm tắt:

Lan can thép với hệ liên kết chìm tăng cường tại vị trí chân cột (lan can liên kết chìm) được ứng dụng tại các tuyến đường cao tốc ở nhiều nước trên thế giới, đặc biệt là Cộng hòa Pháp, đã chứng tỏ được những ưu thế về mặt kinh tế - kỹ thuật, đồng thời mang lại tính thẩm mỹ bởi kết cấu thanh mảnh. Bài viết nghiên cứu khả năng ứng dụng công nghệ lan can liên kết chìm vào các tuyến đường cao tốc ở Việt Nam.

Từ khóa: lan can cầu, liên kết chìm, kết cấu thép.

Chỉ số phân loại: 2.1

Research into applying sunk-jointed rails for expressways in Vietnam

Trong Dong Nguyen*, Ngoc Anh Dang,
Minh Hieu Do, My Hanh Tran

Vietnam Expressway Corporation (VEC)

Received 2 January 2019; accepted 27 February 2019

Abstract:

Bridge steel rails with sunk joint at the base of the railing column (sunk-jointed rails), which have been applied for expressway projects in many countries around the world, especially in France, have proved their advantages on the economical and technical sides, as well as the aesthetics thank to their slender structure. This article presents an overview of the sunk-jointed rails technology and the ability to apply it for expressways in Vietnam.

Keywords: bridge rails, steel structure, sunk-jointed.

Classification number: 2.1

Đặt vấn đề

Trên các tuyến đường cao tốc của Việt Nam hiện nay, kết cấu lan can được sử dụng chủ yếu là lan can bê tông hoặc lan can liên hợp bê tông - thép [1]. Các lan can này đáp ứng được mức độ ngăn chặn cho các tuyến đường có xe tải trọng lớn lưu thông với tốc độ cao, tuy nhiên còn tồn tại một số nhược điểm là nặng nề (700-1.400 kg/m dài), thời gian thi công dài và thẩm mỹ chưa cao. Các lan can thép có cấu tạo thanh mảnh, nhẹ nhàng nhưng chưa đáp ứng được mức độ ngăn chặn như các lan can bê tông.

Xuất phát từ những đặc điểm trên, Tổng công ty Đầu tư phát triển Đường cao tốc Việt Nam (VEC) đã đề xuất với Bộ Giao thông Vận tải (GTVT) cho phép nghiên cứu một dạng lan can mới khắc phục những nhược điểm của hệ thống lan can cầu hiện nay.

Trên cơ sở tham khảo lan can BN4 của Cộng hòa Pháp, nhóm nghiên cứu đã có những cải tiến để phù hợp với điều kiện thi công tại Việt Nam, từ đó đề xuất lan can thép với hệ liên kết chìm đặt trong bê tông bản mặt cầu nhằm gia cường phần chân cột, đáp ứng mức độ ngăn chặn L4 dành cho các tuyến đường cao tốc [2, 3]. Đồng thời với kết cấu thanh mảnh, trọng lượng nhỏ sẽ làm giảm tải tác dụng lên cánh hẫng dầm biên và tăng tính thẩm mỹ cho công trình.

Với những ưu điểm của mình, kết cấu lan can liên kết chìm hứa hẹn khả năng áp dụng đại trà cho các công trình cầu trên các tuyến đường của Việt Nam.

Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là lan can thép có hệ liên kết chìm đặt trong bê tông bản mặt cầu.

*Tác giả liên hệ: Email: trongdong.nguyen@gmail.com

Phương pháp nghiên cứu là nghiên cứu lý thuyết, kết hợp với mô phỏng bằng phần mềm và thực nghiệm:

Nghiên cứu lý thuyết để xác định cơ sở thiết kế lan can cầu

Nghiên cứu được thực hiện qua việc nghiên cứu các tiêu chuẩn thiết kế lan can của Mỹ, Anh, châu Âu và Việt Nam [4, 5]; xem xét, đánh giá các quy định về mức độ ngăn chặn, loại phương tiện, vận tốc và góc va xô với lan can; từ đó đề xuất tiêu chuẩn phù hợp áp dụng cho thiết kế các cầu kiện của lan can.

Thông qua việc nghiên cứu các tiêu chuẩn thiết kế khác nhau, nhóm nghiên cứu nhận thấy yêu cầu thiết kế lan can trong các tiêu chuẩn đều dựa trên quy định về mức độ ngăn chặn. Đối với từng nước, do đặc điểm phương tiện tham gia giao thông khác nhau, văn hóa giao thông khác nhau mà quy định về loại xe, tải trọng, vận tốc và chạm, góc va chạm cũng khác nhau.

Theo Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN272-05 của Việt Nam quy định mức độ ngăn chặn của lan can cầu trên đường cao tốc phải đạt mức độ ngăn chặn L4, có nghĩa là lan can phải chịu được xe có tải trọng 22 tấn va chạm theo góc 15° với vận tốc 80 km/h. Quy định này phù hợp với điều kiện tại Việt Nam nên nhóm nghiên cứu lựa chọn tiến hành thiết kế tính toán theo Tiêu chuẩn 22TCN272-05 [2].

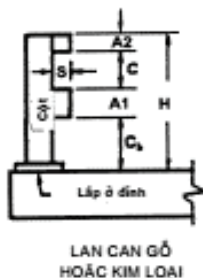
Thiết kế, kiểm toán lan can theo Tiêu chuẩn 22TCN272-05

Việc thiết kế tính toán theo tiêu chuẩn kỹ thuật được thực hiện với trình tự sau: thiết kế cấu tạo hệ thanh - cột lan can, kiểm toán lan can theo điều kiện hình học; kiểm toán lan can theo điều kiện về sức kháng; xác định nội lực hệ lan can bằng phần mềm Midas; thiết kế hệ liên kết chìm, bố trí bulong liên kết; kiểm toán bulong và đường hàn theo các điều kiện trong tiêu chuẩn; thiết kế bố trí cốt thép cho cánh hẫng dầm biên.

Theo tiêu chuẩn, điều kiện đảm bảo về hình học của lan can như sau:

$$\sum A_i/H \geq \sum A_i/H_{\min \text{ tuyệt đối}}$$

Với $\sum A_i/H_{\min \text{ tuyệt đối}}$ được xác định theo Điều 13.7.3.2.2, Tiêu chuẩn 22TCN272-05.



Hình 1. Các kích thước cơ bản của lan can dạng thanh cột.

Trên cơ sở phân tích phi đàn hồi quá trình va chạm của ô tô và lan can, trong mục 13.7.3.4, 22TCN272-05 quy định điều kiện kiểm toán cho hệ lan can gồm 2 nội dung:

Kiểm toán về sức kháng:

$$\sum R_i \geq F_i$$

Kiểm toán về trọng tâm ngoại lực tác dụng:

$Y = \sum (R_i Y_i) / \sum R_i \geq H_c$ - Điều kiện đảm bảo ô tô khi va xô không bị lật ra ngoài lan can.

Trong đó: R_i - Sức kháng của hệ thống lan can (kN); Y_i - Khoảng cách từ mặt cầu tới thanh lan can thứ i .

R_i của lan can cần được tính trong 2 trường hợp:

Khi xe va vào giữa nhịp lan can, dạng phá hoại gồm số lượng nhịp lan can N là lẻ, sức kháng của hệ dầm và cột:

$$R_R = \frac{16M_p + (N-1)(N+1)P_p L}{2NL - L_i}$$

Khi xe va vào cột lan can, dạng phá hoại gồm số lượng nhịp lan can N là chẵn, sức kháng của hệ dầm và cột:

$$R_R = \frac{16M_p + N^2 P_p L}{2NL - L_i}$$

Ngoài các yêu cầu kiểm toán về vật liệu, kiểm toán chi tiết bulong, đường hàn thì đây là các yêu cầu kiểm toán cơ bản và đặc thù trong công tác thiết kế lan can cầu.

Đánh giá khả năng làm việc của lan can

Sau khi thiết kế, khả năng làm việc của lan can có thể đánh giá bằng các phương pháp sau:

Đánh giá bằng thử nghiệm động: việc thử nghiệm động được tiến hành bằng nhiều phương pháp, trong đó phổ biến là sử dụng xe ô tô va vào mô hình lan can cầu được bố trí tại bãi thử (hình 2). Ô tô có tải trọng, vận tốc và góc va tương tự như quy định trong tiêu chuẩn.



Hình 2. Mô hình xe đâm vào lan can.

Ngoài ra, phương pháp sử dụng vật nặng được tạo thế năng tương đương động năng va chạm cũng được sử dụng (hình 3).



Hình 3. Mô hình va chạm bằng con lắc.

Đánh giá bằng thử nghiệm tĩnh: thử nghiệm tĩnh có thể được tiến hành trong phòng thí nghiệm (hình 4) hoặc trực tiếp ngoài công trường (hình 5). Với phương pháp thử nghiệm tĩnh, hệ thống kích, cảm biến đo lực, chuyển vị được sử dụng để đánh giá khả năng chịu lực, quan hệ giữa lực và chuyển vị của lan can [6-9].

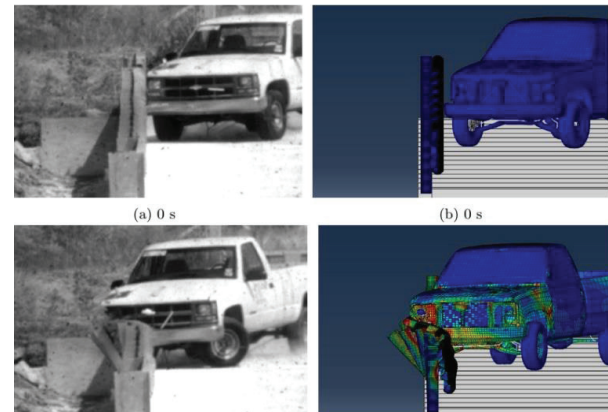


Hình 4. Mô hình thử nghiệm tĩnh trong phòng thí nghiệm.



Hình 5. Mô hình thử nghiệm tĩnh ngoài hiện trường.

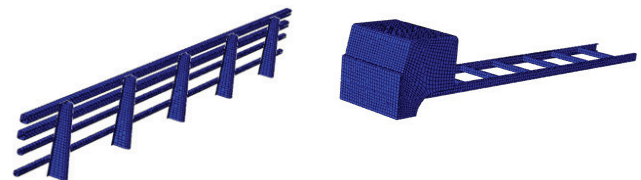
Đánh giá thông qua mô phỏng bằng phần mềm chuyên dụng: với sự phát triển của công nghệ thông tin, hiện có nhiều phần mềm chuyên dụng mô phỏng ứng xử động của kết cấu bằng phương pháp phần tử hữu hạn cho độ chính xác cao [10, 11]. Ví dụ dưới đây là so sánh giữa kết quả thử nghiệm động bằng va xe với mô phỏng bằng phần mềm Abaqus (hình 6) [6].



Hình 6. So sánh mô phỏng và chạm.

Những phân tích nêu trên cho thấy rằng, việc sử dụng phương pháp mô phỏng động để đánh giá khả năng làm việc của kết cấu lan can cho độ tin cậy cao. Chi phí và thời gian thực hiện đối với phương pháp này thấp hơn so với các phương pháp khác. Do đó nhóm nghiên cứu đề xuất lựa chọn phương pháp mô phỏng va chạm động để đánh giá khả năng làm việc của lan can liên kết chìm bằng phần mềm chuyên dụng Abaqus/Explicit - đây là một phần mềm có uy tín dùng để mô phỏng công trình dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn, cho phép giải quyết vấn đề từ phân tích tuyến tính đơn giản đến mô phỏng phi tuyến tính phức tạp.

Mô hình lan can và ô tô được mô phỏng dưới dạng phần tử dạng vỏ mỏng theo kích thước thực tế (hình 7).



Hình 7. Mô hình va chạm của xe tải với lan can liên kết chìm.

Mô hình đàn hồi dẻo Von - Mises được sử dụng để mô tả ứng xử cơ bản của các cấu kiện thanh và cột lan can. Hệ số Poisson của thép trong miền biến dạng đàn hồi được lấy là $\nu=0,3$.

Đầu các cột lan can được khai báo chuyển động tự do theo các hướng, chân cột có liên kết dạng ngàm nhằm thiên về an toàn trong tính toán lực tác dụng lên hệ liên kết chìm.

Ô tô mô phỏng được xây dựng theo mẫu ô tô thử tải tiêu chuẩn cho mức độ ngăn chặn L4, vận tốc 80 km/h và xô vào lan can với góc tiếp xúc 15° . Kết quả của mô phỏng là căn cứ kiểm chứng các tính toán, kiểm toán theo tiêu chuẩn kỹ thuật cũng như phục vụ tối ưu hóa thiết kế.

Nghiên cứu về sự làm việc của bộ phận liên kết chìm

Bộ phận liên kết chìm chôn trong bê tông được phân tích,

nghiên cứu bởi mô hình thực nghiệm, trong đó 2 mẫu thử là cột lan can có chiều cao 1,4 m tiết diện chữ H (250 x 250 x 9 mm), liên kết với bản mặt cầu bằng 6 bulong đường kính 24 mm (liên kết thường) hoặc liên kết với bản mặt cầu thông qua hệ liên kết chìm (hình 8).



Hình 8. Bố trí mô hình thực nghiệm.

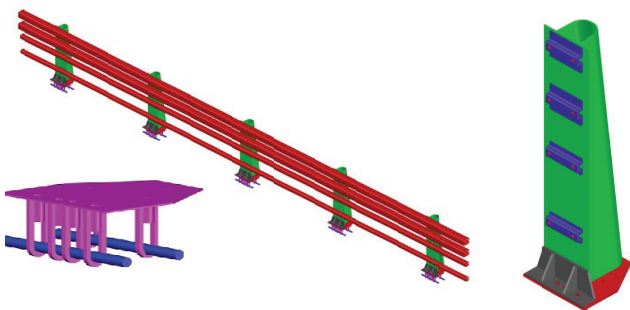
Các mẫu thử chịu tác dụng của ngoại lực của kích thủy lực cho đến khi đạt biến dạng lớn, từ đó phân tích, đánh giá cơ chế hình thành, phát triển vết nứt, sức kháng của từng cột lan can.

Để đo đặc chuyển vị mẫu thử trong quá trình thử nghiệm, nhóm nghiên cứu đã lắp đặt 4 đầu đo chuyển vị, trong đó 1 đầu đo tại vị trí đầu cột và 1 đầu đo tại vị trí chính giữa bản thép tăng cường, 2 đầu đo tại vị trí cạnh bên của bản tập chân cột.

Kết quả và bàn luận

Thiết kế, kiểm toán lan can theo Tiêu chuẩn 22TCN272-05

Thép chế tạo lan can có giới hạn chảy $f_y=400$ MPa, giới hạn bền $f_u=570$ MPa. Cấu tạo lan can có dạng như hình 9, kích thước các thanh được trình bày ở bảng 1.



Hình 9. Cấu tạo điển hình lan can liên kết chìm.

Bảng 1. Kích thước các thanh lan can.

Kích thước (mm)	Thanh 1	Thanh 2	Thanh 3	Thanh 4
B	150	150	100	90
b	64	64	39	39
t	4	4	4	4
R	4	4	4	4

Kết quả kiểm toán theo các nội dung của tiêu chuẩn cho thấy hệ lan can thỏa mãn các điều kiện kiểm toán về hình học:

$$\sum A/H = 0,32 > \sum A/H_{\min \text{ tuyệt đối}} = 0,3$$

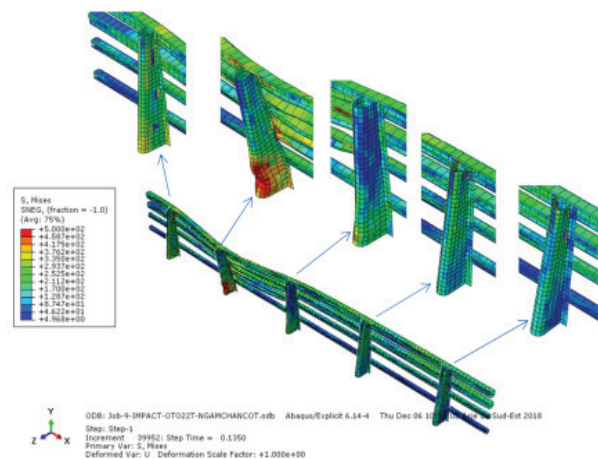
Đồng thời hệ lan can cũng thỏa mãn các điều kiện về kiểm toán sức kháng dưới tác dụng của ngoại lực trong tiêu chuẩn, theo bảng 2.

Bảng 2. Giá trị kiểm toán sức kháng lan can liên kết chìm.

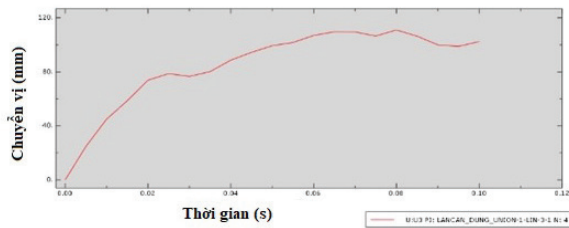
Tổ hợp va xe	Va vào cột lan can		Va vào nhịp lan can	
	Rtb (N)	Ytb (mm)	Rtb (N)	Ytb (mm)
Giá trị	1.868.914	1.031	1.343.270	1.159
Điều kiện	Rtb $\geq$ Ft = 516.000 N	Ytb $\geq$ He = 1.020 mm	Rtb $\geq$ Ft = 516.000 N	Ytb $\geq$ He = 1.020 mm
Kiểm toán	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt
Kết luận	Đạt		Đạt	

Kiểm chứng khả năng làm việc của lan can bằng mô phỏng động

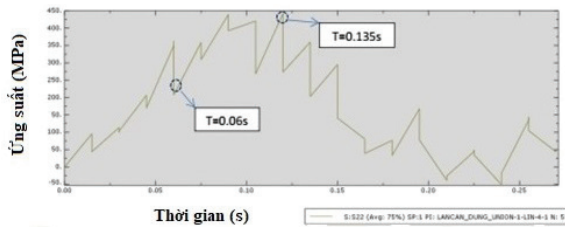
Hệ lan can và ô tô thử tải được mô phỏng theo tỷ lệ 1:1 so với kích thước và khối lượng thực tế. Các thông số về vật liệu được lấy theo thiết kế. Biến dạng các chi tiết hệ lan can thể hiện ở hình 10; chuyển vị đầu cột được thể hiện ở hình 11; ứng suất lớn nhất tại vị trí chân cột được thể hiện ở hình 12 và lực nhỏ bulong chân cột được thể hiện ở hình 13.



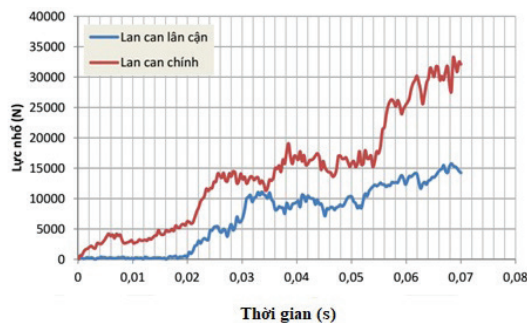
Hình 10. Mô phỏng biến dạng do va xô lan can liên kết chìm.



Hình 11. Biểu đồ chuyển vị đầu cột.



Hình 12. Biểu đồ ứng suất chân cột.



Hình 13. Biểu đồ lực nhỏ bulong.

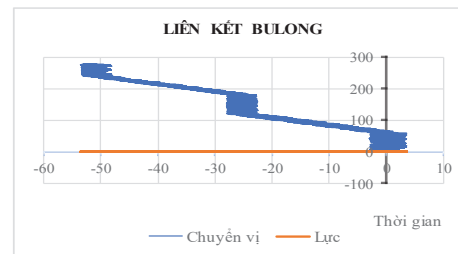
Việc mô phỏng và chạy động cho thấy một số điểm sau đây: nội lực phá hoại xác định bởi mô phỏng động nhỏ hơn nội lực được xác định bởi tính toán theo tiêu chuẩn do tính toán theo tiêu chuẩn bằng phương pháp phân tích lực chưa xem xét sự ảnh hưởng của biến dạng đến quá trình truyền lực. Như vậy, theo tiêu chuẩn hệ liên kết chìm đã được thiết kế thiên về an toàn, đủ khả năng chịu lực và chạy động, đảm bảo mức độ ngăn chặn L4. Về biến dạng, ứng suất chân cột đạt tới giá trị giới hạn đàn hồi (450 MPa), chân cột và thanh lan can tại vị trí va xô đã bị biến dạng và làm việc tại trạng thái chảy dẻo. Tuy nhiên, hệ lan can chưa đạt đến trạng thái phá hoại (<570 MPa), đảm bảo duy trì chức năng ngăn chặn theo yêu cầu.

Nghiên cứu về sự làm việc của bộ phận liên kết chìm

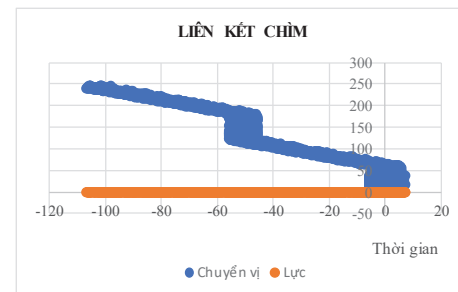
Kết quả thử nghiệm thể hiện trên 2 yếu tố:

Tương quan chuyển vị - lực:

Lực kích lớn nhất trong thử nghiệm liên kết bulong là 52 kN (hình 14) và lực kích lớn nhất trong thử nghiệm liên kết chìm là 105 kN (hình 15).



Hình 14. Biểu đồ chuyển vị - lực của thử nghiệm đối với liên kết bulong.



Hình 15. Biểu đồ chuyển vị - lực của thử nghiệm đối với liên kết chìm.

Cùng một hành trình kích, ngoại lực do kích tác động lên mẫu lan can liên kết chìm có giá trị lớn gấp 2 lần ngoại lực do kích tác động lên mẫu lan can liên kết thường. Điều đó minh chứng khả năng chịu lực của lan can liên kết chìm tốt hơn khả năng chịu lực của lan can thông thường.

Mức độ phá hủy kết cấu:



Hình 16. Mặt trên mẫu thử liên kết chìm.



Hình 17. Mặt chính diện mẫu thử liên kết chìm.

Đối với mẫu liên kết chìm, hình ảnh phá hủy (hình 16 và 17) của mẫu cho thấy vết nứt phát triển sâu xuống dưới, không xuất hiện phá hoại (vết nứt) theo phương ngang, gần bề mặt. Nguyên nhân là dưới tác dụng của lực nhỏ, các chốt trong liên kết chìm đã kéo thép neo (được chôn sâu trong bê tông) tạo nên mô men uốn trong mẫu thử, dẫn đến vết nứt dọc từ trên xuống.



Hình 18. Phá hủy mẫu thử liên kết bulong.

Đối với mẫu liên kết thường (hình 18): hình ảnh phá hủy ở mặt chính diện cho thấy vết nứt chính phát triển theo phương ngang, nông ngay sát mặt trên bề bê tông (cách bề mặt bê tông khoảng 5 cm). Một vài vết nứt theo phương thẳng đứng phát triển từ bề mặt xuống vết nứt ngang và phát triển tiếp từ vết nứt ngang xuống dưới là hệ quả của việc phá hoại theo vết nứt chính.

Điều đó cho thấy, liên kết của cột lan can thông thường với bê tông chỉ thông qua các bulong, sự làm việc chung giữa bulong và bê tông bản mặt cầu chỉ thông qua lực dính bám nên không phát huy được khả năng làm việc của bê tông bên dưới, khiến bulong bị bật nhổ, kéo theo cả hệ cột lan can. Phân tích trên cũng lý giải cho việc cùng một hành trình kích, ngoại lực tác dụng lên cột lan can liên kết chìm có giá trị cao gấp 2 lần ngoại lực kích tác dụng lên cột lan can thường. Như vậy có thể thấy, hệ lan can liên kết chìm đã phát huy được khả năng làm việc của phần bê tông mẫu thử phía sâu dưới cột lan can, giúp kết cấu có khả năng chịu lực tốt.

So sánh chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật của kết cấu lan can liên kết chìm

Về mặt kỹ thuật, lan can liên kết chìm đạt mức độ ngăn chặn L4, khối lượng lan can liên kết chìm vào khoảng 325 kg/m dài, giảm khoảng 4 lần so với lan can bê tông (1.400 kg/m dài). Điều này giúp giảm tĩnh tải tác dụng lên kết cấu phần trên cầu.

Về mặt kinh tế, chi phí xây dựng lan can liên kết chìm thấp hơn không nhiều so với lan can bê tông, nhưng thấp hơn khoảng 37% so với lan can liên hợp thép - bê tông.

Ngoài ra, nhờ khả năng chịu lực tốt của liên kết chìm, cự ly các cột lan can có thể được bố trí cách xa nhau hơn so với kết cấu liên kết bằng bulong thường, tăng cường tính thanh mảnh và thẩm mỹ cho kết cấu. Cùng với đó, việc thi công lắp ghép giúp lan can liên kết chìm thuận tiện trong thi công

lắp đặt, dễ bảo dưỡng thay thế.

Các thông số so sánh về hiệu quả kinh tế của lan can liên kết chìm và các lan can khác được thể hiện ở bảng 3.

Bảng 3. So sánh chi phí xây dựng của các loại lan can.

Loại	Lan can bê tông	Lan can cầu thép chân bê tông	Lan can liên kết chìm
Tĩnh tải (kg/m)	1.437	769	325,4
Chi phí cho cầu 30 m (triệu đồng)	219,2	342,4	214,5
Chi phí (triệu đồng/m dài)	3,65	5,7	3,57
Tỷ lệ giá thành	1	1,562	0,978
Mức độ ngăn chặn	L4	L4	L4
Thẩm mỹ	X	XX	XX
Công trình	Cầu Ông Toàn*	Cầu Bình Khánh*	Đề xuất

*Cầu thuộc Dự án đường cao tốc Bến Lức - Long Thành.

Kết luận

Công nghệ lan can liên kết chìm được nghiên cứu thiết kế phù hợp với điều kiện Việt Nam, đáp ứng khả năng chịu lực cho đường cao tốc cũng như các tuyến đường có lưu lượng xe tải nặng cao. Bên cạnh khả năng chịu lực lớn hơn 2 lần so với lan can liên kết bulong thông thường, trọng lượng bản thân nhỏ hơn khoảng 4 lần so với lan can bê tông và chi phí thấp khoảng 37% so với lan can liên hợp bê tông - thép, hứa hẹn lan can liên kết chìm sẽ được ứng dụng rộng rãi trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Minh Nghĩa (2007), “Đường người đi và lan can trên cầu”, *Tổng luận Cầu*, Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội.
- [2] Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN272-05.
- [3] AASHTO (2012), *LRFD Bridge Design Specifications*, LRDUS-6, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- [4] ASSHTO (2016), *Manual for Assessing Safety Hardware (MASH)* 2016.
- [5] Ministère du Logement (2009), *Decision d'accordement n° BN4/16-06-08 du 13 février 2009 relative à la barrière de sécurité métallique modèle “BN4/16”*.
- [6] Dassault Systemes Sirmulia Corp (2008), *Abaqus theory manual*, Providence: Rhod. Island USA.
- [7] Texas Transportation Institute (TTI) (2004), *Báo cáo thử nghiệm lan can BTCT cấp độ TL-5*, mã số: TRP-03-194-04.
- [8] Collection du Guide Technique GC (1999), *Barrières de sécurité - pour la retenue des poids lourds*, Barrières de niveau H2 ou H3.
- [9] National Cooperative Highway Research Program (1993), *Report 350 - Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Feature*.
- [10] Report.No: FHWA/TX-05/9-8132-3 (2005), *Testing and evaluation of the Florida F shape bridge rail with reduced deck thickness*.
- [11] Report.No: FHWA/TX-07/0-4823-CT-19 (2005), *Design of retrofit vehicular Barrie using Mechanical anchors*.