

Nghiên cứu bản mặt cầu liên hợp bê tông nhẹ và vữa cường độ cao cốt sợi thép

■ TS. NGUYỄN ĐÌNH HÙNG - Trường Đại học Quốc tế - Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh
■ KS. NGUYỄN VĂN LIÊM - Trường Đại học GTVT TP. Hồ Chí Minh

TÓM TẮT: Bài báo thể hiện nghiên cứu thực nghiệm của bản mặt cầu dày 10cm cho cầu giao thông nông thôn (GTNT) Ba bản L00, L10 và L15 có chiều dài 140cm, liên hợp bằng bê tông nhẹ sử dụng hạt EPS có chiều dày lớp dày bằng vữa cường độ cao cốt sợi thép dày lần lượt là 0mm, 10mm và 15mm. Kết quả chỉ ra rằng, bản L00 và L10 phá hủy uốn và dòn, L15 có tính dẻo. Chiều dày lớp vữa cường độ cao tăng thì lực gãy là vết nứt 0,1mm tăng. Lực tới hạn của L15 lớn hơn L00 và L10 khoảng 9%

TỪ KHÓA: Vữa cường độ cao cốt sợi thép, bê tông nhẹ sử dụng hạt EPS, phá hủy uốn và vết nứt.

ABSTRACT: This paper presents experimental study of deck with 10cm in depth for bridge in rural area. Three decks L00, L10 and L15, length of 140cm, were composited by light weight concrete using EPS and high strength fibre reinforced mortar at bottom layer of 0mm, 10mm and 15mm, respectively. The results showed that L00 and L10 were failed as flexural and brittle mode, L15 was failed as flexural and ductile mode. Depth of high strength fibre reinforced mortar layer was increased, applied load causing crack width of 0,1mm was larger. Capacity of L15 was larger than that of L00 and L10 about 9%

KEYWORDS: High strength fiber reinforced mortar, light weight concrete using EPS, flexural mode and crack width.

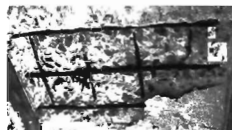
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để thúc đẩy phát triển kinh tế - xã hội và đạt tiêu chí chương trình nông thôn mới về lĩnh vực hạ tầng giao thông, việc đầu tư phát triển GTVT GTNT ở các tỉnh đồng bằng sông Cửu Long đang được thực hiện và đầu tư.



Hình 1.1: Cầu dầm giản đơn 1400 cho cầu giao thông nông thôn

Kết cấu phần trên của cầu GTNT ở khu vực đóng bằng sông Cửu Long thường là dạng kết cấu I bằng bê tông cốt thép dự ứng lực và bản đổ tại chỗ. Bề dày của bản mặt cầu thường là 10cm. Dạng cầu GTNT như thế hiện ở Hình 1.1.



Hình 1.2: Bê tông bị suy giảm, cốt thép dầm bị ăn mòn

Khảo sát các cầu giao thông cho thấy, nhiều bản mặt cầu bê tông sau thời gian sử dụng, bê tông bị suy giảm chất lượng, cốt thép bị ăn mòn như Hình 1.2 và dẫn đến suy giảm tuổi thọ của công trình. Hơn nữa, biến đổi khí hậu đã và đang gây ra hiện tượng nước lũ không về như mùa khô năm 2015 - 2016 và hiện tượng xâm ngập mặn diễn ra trong thời gian dài ở đồng bằng sông Cửu Long và tạo ra môi trường ăn mòn cốt thép lẫn sâu vào đất liền. Do đó, bảo vệ chống ăn mòn cho cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép cũng là một trong những yếu tố quan trọng góp phần cải thiện độ bền lâu của kết cấu cũng như giảm giá thành khai thác của công trình.

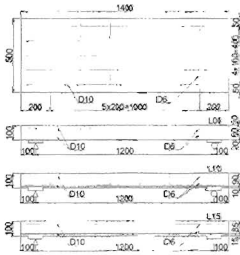
Việc sử dụng bê tông thường làm kết cấu bản mặt cầu làm tăng tính tải cho kết cấu dầm và móng móng trụ. Việc sử dụng bê tông nhẹ làm bản mặt cầu sẽ làm giảm tính tải dẫn đến làm tăng tải trọng khai thác. Tuy nhiên, bê tông nhẹ lại có khả năng chống kéo uốn không cao và dẫn đến có khả năng bảo vệ cốt thép khỏi ăn mòn yếu. Gần đây, nghiên cứu vữa cường độ cao có tác dụng

70MPa đến 110MPa [1] sử dụng vật liệu địa phương, tro bay và muội silic có thể làm giảm giá thành của vữa so với các chế phẩm thương mại. Vữa có độ thấm clorua rất thấp, có thể nói là không đáng kể. Do đó, việc vữa cường độ cao kết hợp với cốt sợi thép để làm tăng khả năng chống ăn mòn cốt thép và tăng độ dẻo của kết cấu được thực hiện trong nghiên cứu này. Trong bài báo này, cốt thép thường sẽ được bảo vệ bằng một lớp vữa cường độ cao cốt sợi thép với các chiều dày khác nhau để đánh giá sức kháng và khả năng bảo vệ cốt thép trong bản mặt cấu GTNT.

2. THÍ NGHIỆM

2.1. Bản thí nghiệm

Có ba bản mặt cấu dạng dầm giản đơn được sử dụng trong thí nghiệm này. Mỗi bản có chiều dài 140cm, cao 10cm và rộng 50cm như *Hình 2.1*. Chiều dày lớp bảo vệ cốt thép là 15mm. Khoảng cách giữa hai tim gối bản là 120cm. Chiều dài tính toán của bản là khoảng cách nằm trong giới hạn của chiều dài tính toán bản mặt cầu. Bản L00 là dầm đối chứng và được đổ hoàn toàn bằng bê tông nhẹ có chiều dày 10cm và có hai lớp cốt thép. Trong khi đó, bản L10 và L15 có độ lớp vữa cường độ cao cốt sợi thép dày lần lượt là 10mm và 15mm. Việc đổ lớp vữa cường độ cao này được thực hiện để xem xét khả năng chống kéo uốn và chống ăn mòn cho cốt thép chịu kéo. Đối với bản L10 và L15, vữa cường độ cao cốt sợi thép được đổ trước lần lượt là 10mm và 15mm trước một ngày so với bê tông nhẹ. Một lớp đá được rải lên mặt lớp vữa cường độ cao cốt sợi thép để đảm tạo ra sự nhám giữa lớp bê tông nhẹ đổ sau như *Hình 2.2*.



Hình 2.1. Kích thước các bản được thử nghiệm

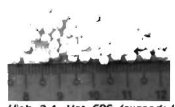


Hình 2.2: Thi công bê tông nhẹ

2.2. Vữa cường độ cao cốt sợi thép



Hình 2.3: Loại cốt sợi thép



Hình 2.4: Hạt EPS (expanded polystyrene)

Bảng 2.1. Cấp phối vữa cường độ cao cốt sợi thép

Bản	Cát (g)	Nước (g)	Xi măng (g)	Tro bay (g)	Muội silic (g)	Sợi thép (g)	Phụ gia (g)
L10	9167	1796	4719	1019	944	412	94
L15	13750	2694	7079	1528	1416	618	142

Bảng 2.2. Cấp phối bê tông nhẹ

Tỷ nước/xi măng	Đá dăm (kg)	Cát (kg)	Nước (l)	Xi măng (kg)	Tro bay (kg)	Muội silic (kg)	EPS (kg)	Phụ gia (kg)
0,35	464,5	336,8	70	200	74,85	40	5,25	4

Bảng 2.3. Các đặc tính của cốt thép

Loại	Ứng suất chảy, f_y (MPa)	Ứng suất tới hạn, f_u (MPa)	Mô-đun đàn hồi, E_s (GPa)	Diện tích, A_s (mm ²)
D6	378,5	543,0	200	28,27
D10	364,1	508,7	200	78,54

Cấp phối vữa cường độ cao được xác định dựa trên cấp phối vữa cường độ cao được nghiên cứu trước đó [1] với tỷ lệ nước trên xi măng (w/c) là 0,35. Cốt sợi thép là loại có hình sợi thẳng, hai đầu có móc neo như *Hình 2.3*. Chiều dài của sợi là 35mm, đường kính của sợi là 0,6mm. Khối lượng riêng của thép làm cốt sợi thép là 7.850 kg/m³. Cốt sợi thép được thêm vào tương ứng với 0,75% thể tích của vữa. Như vậy, mỗi m³ vữa sẽ thêm vào tương ứng là 58,875kg cốt sợi thép. Cấp phối vữa cho mỗi bản được thể hiện ở *Bảng 2.1*. Mỗi mẻ vữa cường độ cao cốt sợi thép lấy 3 viên có kích thước 50x50x50mm để xác định cường độ chịu nén và một mẫu tròn có đường kính 15cm để xác định cường độ chịu kéo của vữa. Cường độ chịu nén và chịu kéo của vữa đạt lần lượt 84MPa và 7,9MPa.

2.3. Bê tông nhẹ

Bê tông nhẹ được làm chủ yếu từ đá dăm rỗng, cát, xi măng, tro bay, muội silic và hạt EPS. Đá dăm là đá ong, lớp đá bị phong hóa trên bề mặt của các mỏ đá dẫn đến bị rỗng. Hiện tại, đá ong thường được bóc tách và bỏ đi hoặc sử dụng cho các mục đích có yêu cầu cường độ đá khá nhỏ. Khi đá ong bị vỡ bột, không được tận dụng, gây ra lãng phí và ô nhiễm môi trường sinh thái tự nhiên. Cường độ chịu nén của đá ong chỉ vào khoảng 42MPa. Giá trị này chỉ phù hợp cho bê tông nhẹ có cường độ chịu nén nhỏ hơn cường độ chịu nén của đá dăm. Đá rỗng có kích cỡ hạt là loại 01x02cm. Độ hút ẩm cũng được xác định là 2,48%. Tuy nhiên, lỗ rỗng khá lớn, khi

vết đá lên, một phần nước trong đá bị chảy ra và không phần ảnh hưởng tỷ lệ rỗng của đá. Xi măng là loại PCB40 và muối silic có sẵn trên thị trường. Tro bay là rác thải từ Nhà máy Nhiệt điện Vĩnh Tân. Hạt EPS cũng là sản phẩm trên thị trường như Hình 2.4.

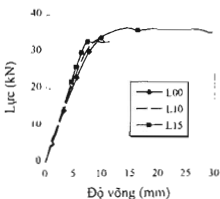
Bê tông nhẹ được yêu cầu có khối lượng thể tích nhỏ hơn 2.000 kg/m^3 . Ngoài ra, cường độ của bê tông nhẹ đạt khoảng 25 MPa . Hiện nay, chưa có cách để xác định cấp phối bê tông nhẹ. Tuy nhiên, thành phần đá dăm, cát có thể được xác định theo bê tông thường, sau đó xác định lượng xi măng dựa trên gợi ý của tiêu chuẩn ACI [2]. Tỷ lệ nước có thể xác định tương đối nhỏ để tránh làm phân tầng do sử dụng hạt EPS rất nhẹ. Cụ thể trong thí nghiệm này, tỷ lệ nước trên xi măng chỉ lấy là 0,35. Để đảm bảo an toàn, cấp phối bê tông thường được xác định với cường độ khoảng 30 MPa để xác định hàm lượng đá dăm và cát. Sau đó, lượng xi măng được lấy 400 kg/m^3 . 50% thể tích của bê tông này sẽ được thay thế bởi hạt EPS. Bảng 2.2 thể hiện cấp phối cho bê tông nhẹ trong nghiên cứu này. Kết quả cho thấy, cường độ chịu nén của mẫu bê tông nhẹ trung bình đạt $26,7 \text{ MPa}$ và đạt yêu cầu về bê tông nhẹ.

2.4. Cốt thép

Cốt thép thường được bố trí như trên Hình 2.1 gồm hai lưới cốt thép. Cốt thép dọc sử dụng thanh cốt thép đường kính D10, cốt thép ngang sử dụng thanh cốt thép có đường kính D10. Mỗi loại thép lấy 3 thanh có chiều dài 60cm để thử nghiệm và xác định các đặc trưng trung bình của vật liệu. Các đặc tính của thép được liệt kê trong Bảng 2.3.



Hình 2.5: Kê bản trên máy nén để chuẩn bị thí nghiệm



Hình 2.6: Mối quan hệ lực và độ võng

2.5. Trình tự thí nghiệm

Các bản được đặt trên hai gối và được gia tải thông qua một điểm ở giữa bản như Hình 2.5. Tải trọng được tăng dần dần thông qua việc điều khiển độ võng dăm.

Bản thân máy gia tải có thể ghi lại lực và độ võng của dăm. Ngoài ra, 6 pi-gauge được sử dụng để phát hiện vết nứt xuất hiện trên bản ở vị trí giữa dầm bản. Trình tự các pi-gauge được đánh số từ 1 đến 6 tính từ bên phải bản. Pi-gauge số 3 được bố trí ở giữa dăm. Trong quá trình gia tải, thường xuyên theo dõi sự hình thành và phát triển vết nứt bằng mắt thường để kết hợp với kết quả đo từ pi-gauge.

3. KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

3.1. Mối quan hệ lực và độ võng

Hình 2.6 thể hiện mối quan hệ giữa lực gia tải và độ võng của bản. Về cơ bản, các bản làm việc theo ba giai đoạn: giai đoạn đàn hồi không có vết nứt, giai đoạn đàn hồi có vết nứt và giai đoạn phi tuyến [3]. Đối với bản L00, vết nứt đầu tiên xuất hiện ở vị trí của pi-gauge số 3, ở giữa bản. Khi độ mở rộng của vết nứt đạt 0,1mm, lực đo được là 10kN và độ võng của bản là 2,45mm. Chú ý rằng 0,1mm là giới hạn độ mở rộng cho phép trong kết cấu bê tông cốt thép có thể chống ăn mòn cốt thép. Độ võng cho phép trong trạng thái giới hạn sử dụng là $L/1200$ [4], tương ứng độ võng cho phép tối đa là 0,1mm, vì chiều dài nhịp là 1.200mm. Trong khi đó, độ võng của bản đạt 2,45mm, bề rộng vết nứt mới đạt 0,1mm. Như vậy, bản có thể thỏa mãn điều kiện của trạng thái sử dụng về độ võng.

Giá trị 10kN tương ứng với 29,6% giá trị lực tới hạn mà bản chịu được. So với dăm sử dụng bê tông thường có cường độ chịu nén lên đến 48,1MPa, lực làm cho vết nứt uốn đầu tiên mở rộng đến 0,1mm là 35,2% giá trị lực tới hạn của bản [5]. Hay nói cách khác, bản sử dụng bê tông nhẹ có vết nứt chịu uốn mở rộng 0,1mm sớm hơn so với bản bê tông thường. Điều đó có nghĩa là bản sử dụng bê tông nhẹ chống ăn mòn cốt thép yếu hơn so với bản bê tông thường. Sau đó, bản trải qua giai đoạn đàn hồi có vết nứt với một số vết nứt phát triển. Bản bị phá hủy khi vết nứt đầu tiên mở rộng đột ngột, bê tông vùng chịu nén ở giữa bản bị phá hủy nên và bản cũng bị phá hủy khi lực đạt 33,8kN và độ võng đạt là 9,77mm. Giai đoạn phi tuyến trên bản L00 xảy ra rất ngắn.

Đối với bản L10, vết nứt đầu tiên mở rộng đến 0,1mm ở giữa bản khi lực đạt 11,3kN với độ võng là 2,39mm. Sau khi vết nứt đầu tiên xuất hiện, bản trải qua giai đoạn đàn hồi có vết nứt. Bản phá hủy đột ngột khi vết nứt ở giữa bản mở rộng đột ngột, lực tới hạn đạt 33,15kN với độ võng tương ứng là 9,1mm. Giai đoạn phi tuyến trên bản L10 xảy ra rất ngắn, giống bản L00. Giá trị lực tại thời điểm vết nứt mở rộng 0,1mm tương ứng với 34,1% lực tới hạn của bản. Như vậy, có thể nói khi thêm 10mm vữa cường độ cao cốt sợi thép, lực gây ra vết nứt uốn đầu tiên đạt 0,1mm, xấp xỉ so với bản sử dụng bê tông thường [5].

Đối với bản L15, giai đoạn đàn hồi không vết nứt đến khi vết nứt đầu tiên xuất hiện. Vết nứt mở rộng 0,1mm ở lực gia tải 18,1kN với độ võng là 3,91mm. Giai đoạn đàn hồi có vết nứt với sự xuất hiện kéo dài đến khi lực gia tải đạt 32,65kN, ứng với độ võng đạt 7,19mm. Sau đó, bản trải qua giai đoạn phi tuyến đến lực tới hạn là 36,45kN ở vòng 14,34mm. Giá trị lực tại thời điểm vết

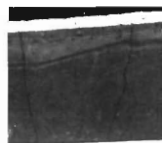
nứt mở rộng 0,1mm đạt 49,66%. Có thể nói rằng, với chiều dày vừa cường độ cao cốt sợi thép lên đến 15mm, lực gây ra độ mở rộng vết nứt lên đến 0,1mm đã tăng lên khá nhiều so với trường hợp chỉ bố trí vừa cường độ cao cốt sợi thép 10mm hoặc không có vừa cường độ cao cốt sợi thép. Sau khi đạt tới lực tới hạn, lực gia tải giảm nhẹ và độ võng tăng lên đáng kể. Ở thời điểm dừng tải, lực gia tải trên dầm còn đạt 35,15kN ứng với độ võng 29,63mm. Điều này chứng tỏ, sự đóng góp của vừa bê tông cường độ cao cốt sợi thép làm tăng tính dẻo của bản.



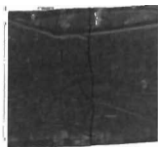
Hình 3.1: Vết nứt trên các bản sử dụng bê tông nhẹ



Hình 3.2: Vết nứt trên các bản L00



Hình 3.3: Vết nứt trên các bản L10



Hình 3.4: Vết nứt trên các bản L15



Hình 3.5: Cốt sợi thép ở vết nứt L15

3.2. Dạng vết nứt

Vết nứt của các bản sử dụng bê tông nhẹ được thể hiện ở Hình 3.1. Hiện tượng bong tách giữa phần bê tông nhẹ và vừa cường độ cao cốt sợi thép không quan sát thấy. Đối với bản L00, sau khi vết nứt đầu tiên

xuất hiện ở giữa bản, có hai vết nứt cũng xuất hiện về mỗi bên so với tim bản với khoảng cách giữa các vết nứt khoảng 10cm. Tuy nhiên, hai vết nứt uốn ở hai bên tim bản hầu như không mở rộng. Các vết nứt uốn ở giữa bản mở rộng đột ngột như Hình 3.2. Trong khi đó, ở phía đối diện vị trí vết nứt ở bên trái tim bản cũng mở rộng và nối với vết nứt ở giữa bản ở phía đang quan sát.

Đối với bản L10, sau khi vết nứt ở giữa bản xuất hiện, hai vết nứt ở hai bên tim bản cũng xuất hiện. Như vậy, bản L10 có 3 vết nứt uốn xuất hiện như Hình 3.3. Hai vết nứt ở hai bên, cách vết nứt ở giữa khoảng 15cm. Khoảng cách này lớn hơn so với hai vết nứt hai bên ở bản L00. Hai vết nứt ở hai bên ở bản L10 cũng phát triển rõ hơn so với hai bên nứt tương ứng ở bản L00. Bề rộng vết nứt ở bản L10 cũng nhỏ hơn so với bản L00 ở giai đoạn tới hạn. Tại thời điểm lực gia tải đạt tới lực lớn nhất, vết nứt ở giữa bản mới chỉ mở rộng 0,687mm. Trong khi đó, tại thời điểm tới hạn, vết nứt ở giữa bản L00 đo được là 1,014mm. Đây là do ảnh hưởng của cốt sợi thép trong vừa cường độ cao đã ngăn cản vết nứt mở rộng. Tại giai đoạn dừng tải, chưa thấy có sự đứt cốt sợi thép. Bê tông nhẹ ở vùng chịu nén cũng bị phá hủy khi lực đạt đến giá trị tới hạn.

Đối với bản L15, sau vết nứt đầu tiên xuất hiện ở giữa bản, các vết nứt khác cũng xuất hiện. Các vết nứt ở bản L15 tập trung ở khu vực giữa bản như Hình 3.4. Khác với bản L10, các vết nứt về phía của giữa bản cũng xuất hiện nhưng với khoảng cách rất gần nhau, chỉ khoảng 10cm và giống như bản L00. Tuy nhiên, từ vết nứt giữa bản, các vết nứt khác phát triển thêm ra dọc bản như Hình 3.5, không song song ngang bản. Hình 3.5 cũng thể hiện chụm vết nứt giữa nhịp sau khi dừng tải. Kết quả cho thấy, các sợi cốt thép đã bị đứt và bị tuột. Bê tông nhẹ ở vùng giữa bản cũng bị phá hủy chịu nén khi khả năng chịu lực đạt đến giá trị tới hạn.

3.3. Cơ chế phá hủy

Dựa trên mối quan hệ lực và độ võng, sự hình thành và phát triển của vết nứt, các bản thí nghiệm được cho là phá hủy theo uốn. Sau khi vết nứt giữa dầm xuất hiện và phát triển, các vết nứt uốn khác cũng xuất hiện với khoảng cách khác nhau. Bản L00 và bản L15 khoảng cách vết nứt khá gần, bản L10 khoảng cách lớn hơn. Tuy nhiên, tại thời điểm phá hủy, vết nứt giữa bản đều mở rộng, bê tông chịu nén phía trên cũng phá hủy và gây ra phá hủy uốn trong dầm. Tuy có sự xuất hiện vừa cường độ cao cốt sợi thép nhưng bản L10 có ứng xử khá giống với bản L00 về mối quan hệ lực và độ võng. Giai đoạn phi tuyến trên bản L00 và L10 gần như không có. Điều đó chứng tỏ, với 10mm vừa cường độ cao là chưa đủ để làm tăng tính dẻo của bản bê tông nhẹ bị phá hủy dòn. Sự khác biệt ở hai bản L00 và L10 là lực gây ra vết nứt mở rộng 0,1mm ở bản L10 là lớn hơn so với L00.

Đối với bản L15, sau vết nứt đầu tiên, các vết nứt uốn khác cũng xuất hiện. Bản L15 trải qua đủ ba giai đoạn đàn hồi, đàn hồi có vết nứt, phi tuyến. Giai đoạn phi tuyến với độ võng lớn thể hiện bản có tính dẻo lớn. Hơn nữa, giai đoạn sau lực tới hạn bản thể hiện tính dẻo khá lớn. Đây là đóng góp của lớp vừa cường độ cao lên đến 15mm so với bản L00 và L10. Bản L15 cũng bắt đầu

bi phá hủy khi vết nứt uốn giữa bản mở rộng và phát triển về phía chịu nén. Khi bê tông phía chịu nén bản đạt được lực tới hạn, lực tại thời điểm vết nứt giữa bản mở rộng 0,1mm cũng lớn hơn khá nhiều cho với L10. Lực tới hạn của bản L15 cũng tăng khoảng 9% so với lực tới hạn của bản L00 và L10. Độ cứng của bản L15 cũng lớn hơn so với hai bản L00 và L10.

4. KẾT LUẬN

Vữa cường độ cao với 0,75% thể tích cốt sợi thép có cường độ chịu nén lên đến 84MPa và cường độ chịu nén lên đến 7,9MPa, kết hợp với bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu nhẹ và hạt EPS lên đến 50% thể tích bê tông có cường độ chịu nén là 26,7MPa được dùng để chế tạo bản mặt cầu. Việc kết hợp giữa vữa cường độ cao cốt sợi thép và bê tông nhẹ để làm bản mặt cầu không gây ra bong tách. Kết quả chỉ ra rằng, các bản đều bị phá hủy uốn. Tuy nhiên, bản L00 và L10 có tính giòn. Trong khi đó, bản L15 có tính dẻo. Khi sử dụng thêm vữa cường độ cao cốt sợi thép làm cho tải trọng gây ra vết nứt 0,1mm lớn hơn. Điều đó làm cho khả năng chống ăn mòn cốt thép của bản có sử dụng vữa cường độ cao cốt sợi thép tốt hơn. Khi sử dụng 10mm vữa cường độ cao cốt sợi thép thì khả năng chịu lực của bản không tăng đáng kể so với bản sử dụng hoàn toàn bằng bê tông nhẹ. Tuy nhiên, khi tăng chiều dày lớp vữa cường độ cao cốt sợi thép lên 15mm thì sức kháng của bản tăng lên 9% so với bản bê tông nhẹ hoàn toàn và bản sử dụng 10mm lớp vữa cường độ cao cốt sợi thép.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Đình Hùng và Đoàn Hồng Lộc (2018), *Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng muối silic đến cường độ chịu nén và độ thấm clo của vữa cường độ cao*, Tạp chí GTVT, số tháng 4, tr.69-73.
- [2]. American Concrete Institute (1991), *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete*, ACI Committee 211 Report, ACI 211.1-91, Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- [3]. Nguyen Dinh Hung (2011), *Shear Failure Mechanisms of Segmental Prestressed Concrete Beam with External Tendons*, PhD Thesis, Tokyo Institute of Technology.
- [4]. TCVN 11823:2017 (2017), *Tiêu chuẩn thiết kế cấu đường bộ*.
- [5]. Nguyễn Đình Hùng, Vũ Hồng Nghiệp, Nguyễn Văn Tâm, Nhữ Thị Lan Hương (2019), *Nghiên cứu thực nghiệm sửa chữa bản mặt cầu bằng cốt thép thường và bê tông tự đầm*, Tạp chí GTVT, tr.54-59, số tháng 1+2.

Ngày nhận bài: 05/02/2020

Ngày chấp nhận đăng: 09/3/2020

Người phản biện: PGS. TS. Vũ Hồng Nghiệp
TS. Vũ Việt Hưng