

# Đánh giá những nguyên nhân hư hỏng và giải pháp sửa chữa tăng cường cầu trong điều kiện khai thác ở Việt Nam

## Assessment of damage causes and solutions for repairing and strengthening bridges under operating conditions in Vietnam

Nguyễn Trường Toán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt - Học viện Kỹ thuật quân sự

\*Tác giả: bluestar47@gmail.com

■Nhận bài: 06/04/2025 ■Sửa bài: 24/04/2025 ■Duyệt đăng: 12/06/2025

### TÓM TẮT

Trong quá trình khai thác công trình cầu, có nhiều nguyên nhân khác nhau dẫn đến hư hỏng kết cấu cầu, ảnh hưởng trực tiếp đến độ bền và an toàn của công trình. Các nguyên nhân này có thể bao gồm quá trình phá hủy vật liệu do sự tác động của môi trường, độ ẩm, nhiệt độ và sự ăn mòn hóa học. Ngoài ra, nguyên nhân từ khảo sát, thiết kế như việc tính toán không chính xác về tải trọng hoặc sai sót trong lựa chọn vật liệu cũng góp phần làm giảm tuổi thọ của cầu. Nguyên nhân thi công, như việc thi công không đúng tiêu chuẩn, không tuân thủ quy trình kỹ thuật, hoặc việc giám sát thi công không chặt chẽ cũng có thể dẫn đến các hư hỏng nghiêm trọng. Bên cạnh đó, nguyên nhân khai thác quá tải là một yếu tố quan trọng gây ra sự xuống cấp của cầu, khi lưu lượng và tải trọng vượt quá khả năng chịu đựng của kết cấu. Trong nghiên cứu này, tác giả đã phân tích những nguyên nhân này và đề xuất các giải pháp tăng cường, sửa chữa công trình cầu, đặc biệt trong điều kiện khai thác ở Việt Nam. Kết quả nghiên cứu này là tài liệu quan trọng, giúp các cơ quan quản lý đưa ra các phương án bảo trì, sửa chữa hiệu quả, đảm bảo an toàn giao thông và kéo dài tuổi thọ công trình cầu.

**Từ khóa:** hư hỏng; cầu bê tông cốt thép; sửa chữa cầu; tăng cường cầu.

### ABSTRACT

During the operation of bridge infrastructure, there are various factors that lead to the deterioration of the bridge structure, directly affecting its durability and safety. These causes can include the degradation of materials due to environmental factors, humidity, temperature, and chemical corrosion. Additionally, survey and design issues, such as incorrect calculations of load capacity or errors in material selection, also contribute to the reduced lifespan of the bridge. Construction-related factors, such as non-compliance with standards, failure to follow technical procedures, or inadequate construction supervision, can also result in severe damage. Moreover, overloading during operation is a critical factor that accelerates the degradation of bridges when traffic flow and load exceed the structural capacity. In this study, the author analyzes these causes and proposes solutions for reinforcing and repairing bridge infrastructure, particularly under the operating conditions in Vietnam. The findings of this research serve as an important reference for management agencies in formulating effective maintenance and repair strategies, ensuring traffic safety, and extending the lifespan of bridge structures.

**Keywords:** damaged; reinforced concrete bridge; bridge repair; bridge reinforcement.

## 1. GIỚI THIỆU

Trong hệ thống giao thông đường sắt và đường bộ hiện nay ở nước ta, cầu bê tông cốt thép chiếm tỷ lệ rất lớn, tới trên 70% tổng số

công trình cầu ở Việt Nam. Loại cầu này được ưa chuộng và sử dụng rộng rãi nhờ tính bền vững, tuổi thọ lâu dài, giá thành xây dựng hợp lý và dễ thi công. Cầu bê tông cốt thép có

thể đáp ứng được nhu cầu vận tải ngày càng tăng cao, đặc biệt là trong các tuyến đường trọng điểm, nơi lưu lượng giao thông rất lớn. Hơn nữa, việc sử dụng cầu bê tông cốt thép cũng giúp giảm thiểu chi phí bảo dưỡng và sửa chữa so với các loại cầu khác, đồng thời góp phần đảm bảo an toàn cho người tham gia giao thông [1, 2].

Mặc dù có nhiều ưu điểm, việc bảo trì và kiểm tra định kỳ các công trình này vẫn là một yêu cầu quan trọng để đảm bảo tính ổn định và an toàn lâu dài cho hệ thống giao thông quốc gia.

Trải qua chiến tranh, đất nước bị chia cắt trong thời gian dài, hệ thống kết cấu nhịp cầu ở nước ta đã hình thành những đặc thù riêng biệt tùy theo từng khu vực Bắc, Trung và Nam, cũng như theo từng tỉnh và tuyến đường giao thông. Ở miền Bắc, các cầu được xây dựng chủ yếu để phục vụ nhu cầu vận tải đường bộ và đường sắt, đặc biệt là các tuyến trọng điểm như quốc lộ 1A, đường sắt thống nhất, quốc lộ 2, quốc lộ 3. Những khu vực này, do điều kiện địa lý và chiến tranh, đã hình thành nhiều kiểu cầu có kết cấu đơn giản nhưng đảm bảo an toàn và hiệu quả sử dụng. Trong khi đó, miền Nam, với các tuyến đường như quốc lộ 1, quốc lộ 80, quốc lộ 91, lại chứng kiến sự phát triển mạnh mẽ hơn trong việc xây dựng cầu, đặc biệt là sau khi đất nước thống nhất. Các cầu ở miền Nam thường có yêu cầu chịu tải trọng lớn hơn và được xây dựng với kỹ thuật tiên tiến hơn để đáp ứng nhu cầu vận tải ngày càng tăng. Sự phát triển của hệ thống cầu ở các khu vực này phản ánh đặc điểm kinh tế, chiến lược phát triển hạ tầng và các yếu tố môi trường đặc thù của từng vùng miền. Các đặc điểm chính của hệ thống cầu bê tông cốt thép ở nước ta là:

- Đa dạng về chủng loại.

- Đa dạng về khổ cầu, tải trọng và cấu tạo mặt cắt ngang.

- Thời gian xây dựng ở các giai đoạn khác nhau.

- Được thiết kế và thi công theo nhiều tiêu chuẩn khác nhau: Pháp, Mỹ, Liên xô, Trung Quốc, Úc, Châu Âu và Việt Nam.

- Đã qua 2 cuộc chiến tranh, là mục tiêu đầu tiên bị đánh phá nên trong số các cầu đang sử dụng, nhiều cầu ở dạng được phục hồi sửa chữa.

Các công trình cầu được xây dựng qua các thời kỳ lịch sử khác nhau, do đó, sử dụng các loại vật liệu và giải pháp kết cấu khác nhau, đồng thời được thiết kế với các khổ cầu và tải trọng thiết kế khác nhau. Trước năm 1990, kết cấu phổ biến là dầm bê tông cốt thép (BTCT) và dầm thép liên hợp, với tải trọng thiết kế là H10, H13 hoặc H13 kết hợp với X60 theo tiêu chuẩn 22-TCN-18-79. Tuy nhiên, từ những năm 2000, các cầu mới được xây dựng có tải trọng thiết kế lớn hơn, thường là H30 hoặc H30 kết hợp với XB80, đồng thời khổ cầu cũng được mở rộng để đáp ứng nhu cầu giao thông ngày càng tăng. Hiện nay, rất nhiều cầu trên cả nước đang phải cấm biển hạn chế tải trọng, với các giá trị phổ biến như 10T, 13T, 18T, 20T và 25T. Điều này cho thấy, việc nâng cấp các cầu để đồng bộ hóa tải trọng, đảm bảo tất cả các cầu có thể khai thác với tải trọng HL93 (theo tiêu chuẩn thiết kế cầu hiện hành 22-TCN-272-05 và TCVN 11823:2017) và mở rộng khổ cầu nhằm duy trì năng lực giao thông thông suốt trên các tuyến đường đang trở thành một yêu cầu cấp bách [3, 4].

Theo báo cáo của Bộ Giao thông Vận tải, tính đến năm 2020, cả nước có khoảng 25.000 cây cầu, trong đó có hơn 10.000 cầu đã được xây dựng từ trước năm 1975 và nhiều cầu trong số đó đã xuống cấp nghiêm trọng. Trong giai đoạn 2016–2020, Bộ Giao thông Vận tải đã thực hiện sửa chữa, nâng cấp và thay thế hơn 1.000 cầu yếu, hư hỏng, nhưng vẫn còn hàng nghìn cầu cần được cải tạo hoặc xây mới để đảm bảo an toàn giao thông. Đi kèm với những hư hỏng, xuống cấp gây ra những thiệt hại ảnh hưởng trực tiếp đến giao thông, làm tăng chi phí vận chuyển, giảm hiệu quả kinh tế và ảnh hưởng đến đời sống người dân. Ngoài ra, việc cầu hư hỏng cũng gây ra tai nạn giao thông, làm tăng chi phí y tế và giảm năng suất lao động.

Dựa trên thực trạng hiện nay, trong nghiên cứu này, tác giả sẽ phân tích tình hình hư hỏng và đề xuất các giải pháp tăng cường, sửa chữa

các công trình cầu trong điều kiện khai thác giao thông tại Việt Nam.

## 2. THỰC TRẠNG CÁC NGUYÊN NHÂN HƯ HỎNG CỦA CẦU BÊ TÔNG CỐT THÉP Ở NƯỚC TA

Để đánh giá thực trạng và nguyên nhân hư hỏng của cầu bê tông cốt thép (BTCT) ở Việt Nam, ta có thể sử dụng các phương pháp đánh giá như sau:

+ Khảo sát hiện trường (kiểm tra trực quan như quan sát các dấu hiệu hư hỏng như nứt nẻ, bong tróc, gỉ thép, lún, nghiêng; chụp ảnh, quay video như ghi lại hiện trạng phục vụ phân tích sau; Đo đạc như sử dụng máy toàn đạc, cảm biến biến dạng, đo độ võng, nghiêng).

+ Phân tích vật liệu: Lấy mẫu bê tông và thép từ các vị trí hư hỏng để phân tích cường độ, độ bền hoặc Kiểm tra ăn mòn thép, cacbonat hóa bê tông, sự xâm nhập của clorua, sunfat...

+ Kiểm định không phá hủy (NDT - Non-destructive testing) có thể sử dụng siêu âm để kiểm tra các vết nứt bên trong hay X-Ray hoặc Radar xuyên bê tông (GPR) để phát hiện kết cấu bị ẩn hư hại. Ngoài ra, có thể đo điện trở, tiềm năng ăn mòn của cốt thép.

+ Mô hình hóa và tính toán lại như sử dụng phần mềm như SAP2000, MIDAS để phân tích ứng suất – biến dạng của cầu hoặc mô phỏng tải trọng để xác định mức độ làm việc của kết cấu.

### 2.1. Các nguyên nhân gây hư hỏng cầu bê tông cốt thép

Sự hư hỏng của cầu bê tông cốt thép và bê tông dự ứng lực có thể do những nguyên nhân chính sau:

- Nguyên nhân do quá trình phá hủy vật liệu;
- Nguyên nhân do thiết kế;
- Nguyên nhân do thi công;
- Nguyên nhân do quá trình sử dụng.

Trong các nguyên nhân hư hỏng nêu trên, nguyên nhân do thiết kế, nguyên nhân do thi

công hoặc do quá trình khai thác là những nguyên nhân không phải lúc nào cũng xảy ra trên kết cấu cầu. Sự hư hỏng của kết cấu nhịp cầu do các nguyên nhân này gây ra chủ yếu là các hư hỏng về nứt, công việc sửa chữa cầu trong trường hợp như vậy sẽ mang tính lựa chọn giải pháp sửa chữa kết cấu chứ không phải mang tính lựa chọn giải pháp vật liệu.

### 2.2. Hư hỏng công trình cầu do quá trình phá hủy vật liệu của kết cấu

#### 2.2.1. Quá trình xuống cấp của bê tông cốt thép

Cả bê tông và cốt thép đều chịu tác động mạnh mẽ của môi trường xung quanh và sự chùng ứng suất theo thời gian, làm cho kết cấu BTCT xuống cấp.

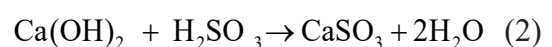
Sự xói mòn, mài mòn, va đập do xe cộ đi lại trực tiếp trên kết cấu, tác động áp lực của bom mìn gây ra. Điều này phải kể đến yếu tố va đập tàu bè trong quá trình khai thác.

Sự thay đổi nhiệt độ ngày, đêm, giữa các mùa và công trình bị cháy do hỏa hoạn làm thay đổi bản chất chịu lực của vật liệu [5].

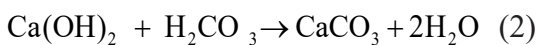
Sự hư hỏng do tính chất hoá lý: Sự phá hoại này do nguyên nhân bên ngoài lẫn bên trong bản chất của vật liệu gây nên.

Vì bị ngập nước thường xuyên hoặc theo chu kỳ nên một số thành phần của bê tông bị nước mang ra ngoài đã làm tăng độ rỗng trong bê tông. Tốc độ quá trình này tăng theo thời gian.

Anhydric Sulfurous trong không khí thấm vào bê tông làm giảm cường độ và giảm tính kiềm của bê tông làm cho việc bảo vệ cốt thép của bê tông bị suy giảm. Axit Sulfurous phản ứng với các thành phần của bê tông ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) và tạo ra Canxi sunfit  $\text{CaCO}_3$ , điều đó giảm tính kiềm của bê tông. Khi tính kiềm của bê tông bị giảm, lớp bảo vệ cốt thép bị suy yếu, làm tăng khả năng ăn mòn của cốt thép trong bê tông, dẫn đến việc giảm cường độ và độ bền của công trình. Điều đó được thể hiện bởi phương trình hóa học như sau:



Khí cac-bon-níc trong khí quyển tác dụng với thành phần vôi của bê tông gây ra sự cac bon nát hoá. Hiện tượng này không làm giảm cường độ của bê tông nhưng làm giảm tính kiềm của nó tạo điều kiện cho sự ăn mòn cốt thép. Hiện tượng này xảy ra khắp cả bề mặt xung quanh công trình nhất là bề mặt các vết nứt với độ mở rộng trên 0,3mm. Các phản ứng hóa học được thể hiện bởi các phương trình sau:



Sự phá huỷ lý hóa của bê tông cũng xảy ra khi công trình nằm trong môi trường xâm thực như không khí bị ô nhiễm bởi khói bụi, các khí thải công nghiệp nhất là nguồn hoá chất có khí sunfuaro và clorua hoặc nước biển có nhiều muối clorua.

Sự có mặt của muối sunphat sẽ gây phản ứng hoá học với vôi của xi măng gây ra các chất trương nở.

Tác động của các phản ứng hoá học giữa cốt liệu và chất kết dính mà người ta gọi là alcali-silic hoặc phản ứng alcali. Kết quả phản ứng tạo ra các chất nở xung quanh cốt liệu gây nứt.

### 2.2.2. Sự ăn mòn cốt thép trong bê tông

Cốt thép trong bê tông được bảo vệ bởi tính kiềm của xi măng. Độ kiềm của xi măng  $\text{PH} > 11$  cốt thép sẽ được bảo vệ chống lại sự ăn mòn, nếu chỉ số PH giảm thì tính chủ động bị mất dần và sự ăn mòn phát triển.

Do tác dụng của anhydric Sulfurous, do hiện tượng cac-bon-nát hoá mà tính kiềm của bê tông giảm làm suy yếu khả năng bảo vệ cốt thép.

Khả năng chống gỉ bị suy yếu cả khi chất lượng bê tông kém, độ rỗng lớn, chiều dày lớp bảo vệ không đủ, bề mặt có nhiều vết nứt.

Sự gỉ Cốt thép do có ôxy, các ion  $\text{CL}^-$ ,  $\text{SO}_4^{4-}$ . Thép bị ôxy hoá tạo thành ôxyt sắt  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hoặc các muối khác của sắt.

Sự ăn mòn cốt thép để lại những hậu quả hư hỏng của kết cấu như sau:

Phát triển gỉ sắt, sắt nở gây trương nở thể tích rất mạnh làm cho bê tông mặt ngoài bị nứt vỡ, môi trường có điều kiện xâm thực dễ dàng, như vậy gỉ sắt lại càng phát triển mạnh.

Giảm tiết diện chịu lực của thép, có khi làm đứt cốt thép.

Độ dính kết giữa cốt thép và bê tông giảm dẫn đến sự kết hợp chịu lực giữa thép và bê tông giảm.

Trong môi trường nước biển, các ion  $\text{CL}^-$  xâm nhập vào các kết cấu bê tông cốt thép gây ăn mòn và trương nở cốt thép tạo ứng suất nội phá huỷ kết cấu bê tông. Ăn mòn cốt thép sẽ tăng dần với sự tăng của ion  $\text{CL}^-$  tự do có trong nước. Sản phẩm phản ứng ăn mòn có thể tích lớn hơn. Đó là nguyên nhân làm nứt, trương nở bê tông.

### 2.3. Hư hỏng do quá trình thiết kế

Sai sót do công tác khảo sát, thiết kế cũng là những nguyên nhân quan trọng dẫn đến hư hỏng công trình [6]. Điều này dẫn đến những sai lầm trong thiết kế và được liệt kê như sau:

- + Giải pháp kết cấu đưa ra không hợp lý.
- + Giả thiết tính toán không phù hợp với sự làm việc thực tế trong giai đoạn thi công và giai đoạn khai thác.

Hư hỏng do thiết kế chủ yếu nhất phải kể đến đó là sự lún lệch của móng, trụ, co ngót không đều giữa các bộ phận và sự xuất hiện vết nứt ở các móng, trụ, kết cấu nhịp.

### 2.4. Hư hỏng do quá trình thi công công trình cầu

Những sai sót trong quá trình thi công là nguyên nhân phổ biến và rất quan trọng làm giảm chất lượng kết cấu, giảm tuổi thọ công trình. Các sai sót này khá đa dạng và thể hiện ở nhiều mức độ khác nhau như:

+ Chất lượng bê tông không đạt do dùng vật liệu lẫn nhiều tạp chất, có chất ăn mòn, dùng đá cát dễ bị kiềm hoá, dùng xi măng không chịu được môi trường ăn mòn.

+ Quá trình sản xuất bê tông không đúng thành phần cấp phối, trộn chưa đều, chưa đạt độ nhuyễn cần thiết, thời gian vận chuyển lâu, bị phân tầng khi đổ bê tông.

+ Quá trình đổ bê tông: ván khuôn bị bần hoặc ván khuôn hở làm mất nước trong bê tông, đầm bê tông không đạt độ chặt yêu cầu dẫn đến bê tông bị rỗ, bị rỗng, chiều cao đổ bê tông quá lớn dẫn đến bê tông bị phân tầng. Lớp bê tông bảo vệ không đảm bảo do thiếu các con kê, bảo dưỡng bê tông kém, đặt cốt thép trong bê tông thiếu hoặc sai vị trí.

+ Thời gian tháo ván khuôn quá sớm dẫn đến biến dạng quá lớn, thậm chí gây nứt.

+ Thiếu cẩn thận khi vận chuyển các cấu kiện đúc sẵn từ nhà máy đến công trường.

+ Sai sót khi bơm vữa vào trong ống dẫn các cốt thép dự ứng lực tạo điều kiện gì cấp dự ứng lực.

+ Sai sót do kéo căng các bó thép dự ứng lực như trượt chốt neo, luồn neo, căng kéo không đủ lực, đứt cục bộ các sợi thép...

+ Sai sót về bảo vệ kín nước đầu neo,...

### 2.5. Hư hỏng do quá trình khai thác công trình cầu

- Khai thác công trình cầu quá sớm.

- Thay đổi chế độ khai thác, quá tải do xe nặng qua lại nhiều lần, đặc biệt hoạt tải tăng nhiều về số lượng và về tải trọng.

- Va chạm với các phương tiện giao thông.

- Tác động của nhiệt độ: Công trình bị cháy bê tông bị nổ vỡ do giãn nở nhiệt, vật liệu bị thay đổi theo hướng xấu hơn so với thiết kế.

- Công tác bảo dưỡng, sửa chữa không được thực hiện một cách thường xuyên, kịp thời dẫn đến hư hỏng dây chuyền và phát triển ngày càng nhanh, mức độ ngày càng trầm trọng.

- Do sự thay đổi môi trường như chế độ nước, chế độ dòng chảy, ô nhiễm gây ăn mòn bê tông [7].

- Tăng tĩnh tải quá mức do lớp phủ mặt cầu.

Tất cả các nguyên nhân trên góp phần làm cho chất lượng kết cấu ban đầu kém, giảm dần theo thời gian dẫn đến những hư hỏng trong công trình làm cho tuổi thọ công trình thấp,

điều kiện khai thác khó khăn hoặc bị hạn chế, thậm chí có công trình bị phá hoại hoàn toàn gây hậu quả nghiêm trọng.

Để việc khôi phục sửa chữa công trình được tốt, cần có kế hoạch khảo sát kiểm tra theo dõi thường xuyên, đánh giá phân loại hư hỏng, tìm đúng nguyên nhân để đưa ra phương pháp sửa chữa có hiệu quả.

### 2.6. Đánh giá mức độ hư hỏng công trình cầu

- Hư hỏng trầm trọng, nguy hiểm cần phải thay thế: Ở mức độ này các biểu hiện của sự hư hỏng như sau: Có vết nứt xiên gần đầu dầm hoặc vết nứt thẳng đứng giữa dầm chạy suốt từ đáy dầm lên sát bản cánh cả hai bên và có độ mở rộng >1mm. Với khuyết tật này, thường xuất hiện rung động lớn, bất thường của kết cấu nhịp khi có tải trọng đi qua.

Cũng với vết nứt như vậy nhưng chỉ ở một bên dầm và có độ mở rộng >3mm sâu quá tầng bảo hộ vào trong thân dầm.

Bê tông mủn rộp nhiều, tróc lở, nhiều chỗ cường độ bê tông giảm lộ nhiều cốt thép, cốt thép bong khỏi bê tông, gỉ mủn > 32% tiết diện.

Kiểm toán cấu kiện công trình thiếu năng lực trên 10% so với tải trọng khai thác.

Những kết cấu nhịp có các dầm hư hỏng ở mức độ này thì phải được thay thế bằng kết cấu mới.

- Loại hư hỏng có thể khắc phục sửa chữa, tăng cường để tiếp tục khai thác [8].

+ *Hư hỏng nhẹ*: Chất lượng bê tông còn khá tốt, ít bị phong hoá và các-bon-nát hoá, các vết nứt mở rộng < 0,2 mm mà không phát triển, không làm lộ cốt thép, cường độ chịu nén của bê tông còn đạt khoảng trên 200kg/cm<sup>2</sup> và khá đồng đều ở mọi khu vực. Qua kiểm toán thấy còn đủ khả năng chịu lực theo tải trọng khai thác.

Nếu các kết cấu nhịp hư hỏng thuộc loại này thì chưa cần sửa chữa mà chỉ cần duy trì chế độ bảo dưỡng, duy tu tốt, quét sơn để vết nứt chống xâm thực làm tăng tuổi thọ công trình.

+ *Hư hỏng vừa*: Chất lượng bê tông kém hơn loại trên, bê tông có nhiều dấu hiệu phong hoá, cát-bon-nát nhẹ, cường độ đạt từ 150 - 200 kG/cm<sup>2</sup> và không đồng đều, các vết nứt có độ mở rộng > 0,2mm nhưng không quá 1mm, để lộ một số cốt thép đai cá biệt lộ cốt thép chủ lớp ngoài, cốt thép có bị gỉ nhưng chưa đáng kể.

Qua kiểm toán vẫn còn xấp xỉ đạt khả năng chịu tải.

Nếu các kết cấu nhịp hư hỏng thuộc loại này thì cần phải sửa chữa gia cường lại để đảm bảo khả năng chịu tải trong quá trình khai thác.

### 3. CÁC GIẢI PHÁP SỬA CHỮA VÀ TĂNG CƯỜNG CẦU

Các biện pháp sửa chữa và tăng cường cầu bê tông cốt thép đã hư hỏng ở nước ta từ trước tới nay bao gồm rất nhiều phương pháp. Tùy theo mục đích sửa chữa là để nâng cao tuổi thọ và độ tin cậy hay để khôi phục hoặc tăng cường khả năng chịu lực của kết cấu. Mỗi biện pháp có những ưu điểm nhất định tuy nhiên cũng tồn tại nhiều hạn chế, phụ thuộc vào mức độ đầu tư và khả năng của đơn vị thi công. Sau đây là một số biện pháp sửa chữa và tăng cường điển hình ở Việt Nam [9, 10].

#### 3.1. Sửa chữa cầu bằng phương pháp phun bê tông

Phương pháp phun chỉ là một trong các phương pháp đổ bê tông và sản phẩm cũng có các tính chất như loại bê tông được thi công theo cách thông thường. Một ví dụ điển hình về việc sửa chữa cầu bằng phương pháp phun bê tông là công trình cầu cảng Thị Nại tại Bình Định. Tại đây, các kết cấu bê tông cốt thép bị hư hỏng do ăn mòn, xâm thực và phong hóa đã được khắc phục bằng kỹ thuật phun vữa cường độ cao.

Do ưu điểm là bê tông phun dính bám tốt với bề mặt nên phương pháp này được áp dụng nhiều trong sửa chữa gia cố các kết cấu cũ nhằm mục đích:

- Tạo lớp áo dày bảo vệ bề mặt bê tông cũ và cùng tham gia chịu lực.

- Che phủ các cốt thép bị lộ ra.

- Sửa chữa tăng cường những phần bê tông bị suy thoái, bị cacbonat hóa, bị khoan đục...

Có hai phương pháp phun bê tông là phương pháp phun bê tông khô và phun bê tông ướt.

#### 3.1.1. Phương pháp phun bê tông khô

Phương pháp này có lâu đời hơn, người ta trộn hạt cốt liệu nhỏ ở độ ẩm tự nhiên với xi măng trong máy trộn rồi nhờ áp lực khí nén đưa hỗn hợp đến vòi phun. Tại vòi phun có nước được dẫn đến và cùng phun ra. Ưu điểm của phương pháp này là hạn chế được co ngót và nứt, cường độ lực dính bám đều tăng, lượng xi măng không nhiều và tỷ lệ N/X thấp. Dùng vòi khô có thể làm tăng tốc độ phun (tốc độ phun tối đa đạt đến 70-80 m/s), do đó vật liệu dễ đi sâu vào các vị trí cần thiết. Tuy nhiên với phương pháp này, cần phải biết điều chỉnh lượng nước tại đầu ra ở mức vừa đủ cho quá trình thủy hóa và hạn chế gây co ngót, không làm mất xi măng ở dạng bụi.

#### 3.1.2. Phương pháp phun bê tông ướt

Hỗn hợp bê tông được rót vào trong máy, ở đó nó bị ép vào trong ống dẫn nhờ một máy bơm. Tại đầu vòi phun có khí nén được dẫn đến để cùng phun vào bề mặt đón. Ưu điểm của phương pháp này là độ ướt của bê tông đều hơn, dễ tạo ra độ dẻo cần thiết. Song cả 2 ưu điểm này đều làm tăng độ co ngót. Do có độ dẻo nên tốc độ di chuyển chậm hơn và khó phun sâu. Trường hợp này lượng xi măng nhiều hơn, tốc độ phun chậm hơn, chỉ từ 20-30 m/s. Yêu cầu đối với phương pháp này là cần có thiết kế cấp phối, trong đó ổn định lượng nước, cỡ cốt liệu, tỷ lệ N/X, loại xi măng và loại phụ gia.

Ở nước ta biện pháp phun bê tông được áp dụng chủ yếu trong việc sửa chữa gia cố các hầm đường sắt bị hư hỏng nặng. Hiệu quả của phương pháp này là sự dính bám giữa cốt thép với bê tông phun cũng giống như trong các trường hợp bê tông được thi công theo các cách thông thường, nó đảm bảo khả năng bảo vệ cốt thép, đảm bảo sự làm việc

chung với phần kết cấu cũ. Sự truyền nội lực từ phần kết cấu cũ sang lớp bê tông mới phun vào được đảm bảo nhờ sự dính bám trên bề mặt đón.

Tuy nhiên, biện pháp này có một số nhược điểm đó là nếu sử dụng các vật liệu truyền thống (xi măng thường) thì việc nứt do co ngót là không thể tránh khỏi đối với kết cấu. Mặt khác, quá trình phun dù khô hay ướt đều đòi hỏi thiết bị kỹ thuật lớn và quy trình công nghệ chặt chẽ, hao hụt vật liệu trong quá trình thi công tương đối lớn, tới 30% số vật liệu sử dụng và còn gây ảnh hưởng tới môi trường của khu vực thi công. Không thể thực hiện trong điều kiện thông xe bình thường.

### 3.2. Tăng cường cầu bê tông cốt thép bằng phương pháp dán bản thép

Phương pháp dán bản thép được dùng để khắc phục khuyết tật và tăng cường khả năng chịu lực của cầu BTCT. Ngăn chặn sự phát triển của vết nứt, tăng khả năng chống nứt; thay thế cốt thép bố trí sai vị trí hoặc thêm cốt thép khi trong thiết kế hoặc thi công thiếu cốt thép; tăng khả năng kháng uốn, cường độ chịu cắt của dầm cầu, bản mặt cầu.

Một ứng dụng điển hình về việc tăng cường cầu bê tông cốt thép (BTCT) bằng phương pháp dán bản thép tại Việt Nam là công trình Cầu Bà Rén trên Quốc lộ 1. Trước đây, khi lưu lượng và trọng lượng của hoạt tải khai thác tăng lên, công trình cầu, đặc biệt là kết cấu phần trên dầm cầu tại vị trí chịu mô men lớn, vị trí chịu lực đặt lớn và bản mặt cầu không còn đủ khả năng chịu tải. Nhiệm vụ đặt ra lúc đó là tìm ra giải pháp để tăng cường khả năng chịu tải của cầu với giá thành hợp lý.

#### 3.2.1. Ưu điểm phương pháp

- Chi phí thấp và dễ thi công;

- Ít ảnh hưởng đến kết cấu hiện hữu. Các tải trọng dài hạn tiếp tục được chịu bởi mặt cắt nguyên ban đầu. Ứng suất trong bản thép chỉ xuất hiện khi có hoạt tải lên kết cấu liên hợp do vậy từ biến không phải là vấn đề cần phải quan tâm.

#### 3.2.2. Nhược điểm phương pháp

- Tấm thép nặng, dầm dài nên khó thi công do phải có mối nối.

- Lắp ghép công kênh.

- Cần nhiều thời gian / nhân công.

- Bản thép cần phải điều chỉnh chế tạo phức tạp.

- Khó khăn trong cầu lắp, thi công khu vực chật hẹp.

- Khoan và bắt bu lông vào bê tông có thể phát sinh những sự cố.

- Công việc hàn thép tấm có thể xảy ra hiểm họa cháy, nổ.

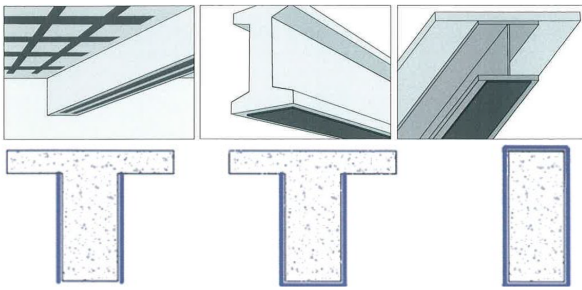
- Khó khăn trong việc quản lý chất lượng.

- Bản thép cũng có hiện tượng gỉ dưới tác dụng của môi trường. Hiện tượng này ảnh hưởng nghiêm trọng đến sự dính kết giữa bản thép và bê tông do sự xuống cấp của lớp keo dính bám.

### 3.3. Phương pháp sửa chữa và tăng cường sử dụng sợi cường độ cao-FRP

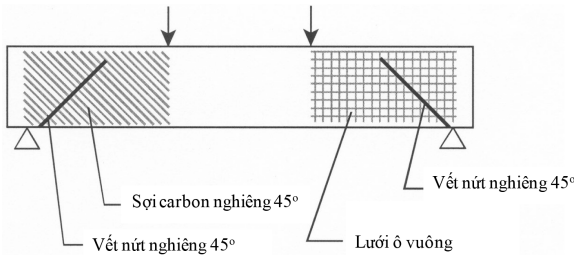
Trên thế giới FRP đã được dùng để gia cường kết cấu bê tông cốt thép, kết cấu thép và kết cấu gỗ từ những năm 80 của thế kỷ XX. Những nước đi đầu và phát triển công nghệ này là Mỹ và một số nước EU như Anh, Pháp, Đức, Thụy Sĩ... Ở Mỹ, châu Âu và châu Á đều có các hướng dẫn tính toán cho kết cấu gia cường bằng FRP, ví dụ như AC125 (2003) của ICC - Hội tiêu chuẩn quốc tế Mỹ, ACI440 (2002) của ACI - Viện bê tông Mỹ, TR57 (2003) của Technical Report the Concrete Society, UK - Hiệp hội bê tông Anh, Fib14 (2001) của Fib - EU, CSAS806 (2002) của CSAS - Hiệp hội tiêu chuẩn Canada, JSCE (1999) của Nhật Bản. Ở Việt Nam vẫn chưa có một tiêu chuẩn cụ thể về sử dụng vật liệu nên chủ yếu dựa vào hướng dẫn của ACI440-02.

Thành phần vật liệu được sử dụng trong các hệ thống vật liệu FRP hiện nay bao gồm: chất kết dính (chất kết dính nền, chất độn, chất kết dính bão hòa); cốt sợi cường độ cao (sợi carbon, sợi thủy tinh, sợi aramid) và lớp phủ bảo vệ.



**Hình 1.** Tăng cường cầu sử dụng dán sợi carbon

- Tăng cường chống uốn cho kết cấu nhịp cầu: dán theo phương dọc của dầm;
- Tăng cường chống cắt, dán bọc xung quanh sườn và bầu dầm dạng chữ U tương tự như cốt đai. Có thể dán vuông góc với vết nứt hoặc dán tạo thành lưới ô vuông;
- Có thể kết hợp với tấm bản thép.



**Hình 2.** Hướng dán sợi carbon trên kết cấu nhịp cầu

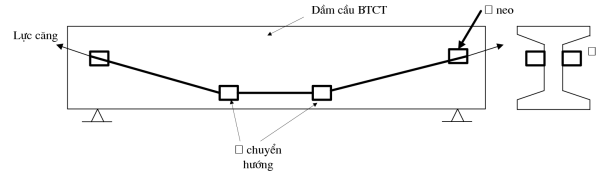
Trong giải pháp sửa chữa tăng cường cầu, hệ thống FRP còn được dùng dưới dạng thanh (dạng tròn hay vuông) dán ngay sát mặt dưới dầm (Near-Surface-Mounted- NSM).

### 3.4. Tăng cường cầu bằng dự ứng lực ngoài

Công nghệ gia cường kết cấu bằng dự ứng lực ngoài là một trong những giải pháp kỹ thuật được các nước trên thế giới áp dụng để sửa chữa, nâng cấp cầu yếu nói chung và cầu BTCT nói riêng.

Việc ứng dụng tăng cường cầu bê tông cốt thép (BTCT) bằng phương pháp dán bản thép tại Việt Nam là công trình Cầu Bà Rén trên Quốc lộ 1. Trước đây, khi lưu lượng và trọng lượng của hoạt tải khai thác tăng lên, kết cấu phần trên dầm cầu tại vị trí chịu mô men lớn và bản mặt cầu không còn đủ khả năng chịu tải. Giải pháp dán bản thép đã được áp dụng để tăng cường khả năng chịu tải của cầu với chi phí hợp lý.

Nguyên lý làm việc của kết cấu là bố trí cấu tạo các bộ phận kết cấu nằm ngoài tiết diện như ụ neo, ụ chuyển hướng bó cáp, bó cáp dự ứng lực ngoài và truyền lực căng từ bó cáp vào dầm để nâng cao khả năng chịu tải trọng của dầm cầu cũ (Hình 3).



**Hình 3.** Sơ đồ DUL-ngoài đối với dầm BTCT nhịp đơn

Việc tính toán kết cấu dự ứng lực ngoài dựa trên cơ sở nguyên lý sau: Tính toán lực căng thanh bar truyền lên ụ neo để tạo được lực ma sát giữa hai mặt tiếp xúc giữa ụ neo và thân dầm khi chịu tác động của lực căng bó cáp DUL. Lực DUL truyền vào dầm không gây mất ổn định chịu nén và độ võng ngược của dầm.

Tác dụng cơ bản của hệ thống dự ứng lực ngoài tăng cường là cung cấp thêm cho kết cấu nhịp dầm lực nén và mô men uốn có lợi cho dầm. Tuy nhiên, đối với kết cấu nhịp cần được tăng cường là dạng nhịp dầm BTCT DUL, bản thân dầm bê tông cũng đã có sẵn lượng ứng suất trước nhất định; do vậy lực căng kéo thêm và đường đi của bó cáp dự ứng lực ngoài cần được xem xét và phân tích rất kỹ lưỡng.

Công nghệ gia cường kết cấu bằng DUL ngoài đã được áp dụng khá rộng rãi trong việc sửa chữa, tăng cường cầu, đặc biệt cho việc tăng cường tải trọng khai thác đối với các cầu có tải trọng thiết kế thấp (H13-H18, X60), chất lượng dầm BTCT còn tốt lên tải trọng khai thác cao hơn (H30, XB80 hoặc HL93).

Kết cấu bê tông cốt thép DUL ngoài là một tiến bộ đã và đang được áp dụng ở Việt Nam. Biện pháp DUL ngoài được sử dụng như là một phương pháp để tăng cường và nâng cấp kết cấu bê tông nhằm cải thiện khả năng khai thác của kết cấu bê tông hiện hữu. Tương tự như các kết cấu bê tông DUL, giải pháp DUL ngoài có thể sử dụng để giảm hay

chống lại việc hình thành vết nứt của bê tông. Nó cũng có thể sử dụng để giảm hay làm thu hẹp bề rộng vết nứt hiện hữu. Tác dụng của việc này làm tăng khả năng của kết cấu chống lại hiện tượng gỉ cốt thép. Độ cứng tăng lên do thép DƯL ngoài làm giảm độ biến dạng và chấn động trong quá trình khai thác. Biên độ ứng suất trong bê tông có thể giảm do đó tăng năng lực chịu tải của kết cấu. Sự hiện diện của độ võng quá mức trong các dầm bê tông có thể được loại bỏ hoàn toàn.

Nguyên lý cơ bản của thép DƯL ngoài tương tự như đối với các kết cấu bê tông DƯL thông thường nghĩa là: việc sử dụng các lực dọc trục và mô men ngược dấu tải trọng làm tăng sức kháng uốn của dầm và nâng cao năng lực chống nứt. Các ảnh hưởng của nó cũng làm tăng cường khả năng chống cắt của kết cấu. Việc đánh giá chính xác khả năng chịu uốn và cắt của dầm bê tông sử dụng thép DƯL không dính bám trong và ngoài mặt cắt rất khó khăn. Lý do là lực trong thép là một hàm số phụ thuộc vào đặc tính ứng xử của toàn bộ dầm hơn là phụ thuộc vào sự phân bố biến dạng trên một mặt cắt. Hiệu ứng thứ cấp, ví dụ như thay đổi độ lệch tâm của thép dưới tác dụng biến dạng của dầm rất khó định lượng. Các tiêu chuẩn và các tài liệu hiện nay đều chưa đưa ra được công thức chung và dễ áp dụng mà chủ yếu đưa ra các công thức thực nghiệm dựa trên kết quả thí nghiệm.

Hệ thống neo sử dụng trong tăng cường cũng tương tự như hệ thống neo sử dụng trong kết cấu bê tông DƯL thông thường. Các neo có thể cố định tại các bộ phận khác nhau của bản mặt cầu ví dụ như tại khối đầu dầm, dầm ngang, sườn dầm hay bản cánh. Đối với các dầm bê tông cốt thép hay bê tông dự ứng lực, các tao thép DƯL có thể đặt tại bên dưới bản cánh dưới hay sườn dầm tùy thuộc vào yêu cầu thiết kế. Các bó cáp thường có dạng thẳng hay gẫy khúc. Các điểm chuyển hướng thường được làm bằng thép. Các đoạn cáp thẳng và ngắn cũng có thể được nghiên cứu áp dụng trong trường hợp có thể mà không cần tới ụ chuyển hướng.

#### 4. KẾT LUẬN

Dựa vào kết quả phân tích trên, ta có thể đưa ra các nhận xét sau:

Đã tiến hành phân tích nguyên nhân và hiện trạng hư hỏng cầu ở Việt Nam trong các giai đoạn thi công và khai thác. Trong giai đoạn thi công, các hư hỏng thường do chất lượng vật liệu kém, thi công không đúng kỹ thuật hoặc thiếu giám sát. Trong giai đoạn khai thác, các yếu tố như quá tải trọng, điều kiện môi trường khắc nghiệt và thiếu bảo dưỡng định kỳ gây ra hư hỏng. Các vết nứt, gỉ sét cốt thép và suy giảm chất lượng bê tông là những vấn đề phổ biến ảnh hưởng đến độ bền và an toàn của công trình.

Đã đưa ra những giải pháp sửa chữa và tăng cường cầu bằng cách phun vữa bê tông, dán bản thép, sử dụng sợi cường độ cao- FRP và DƯL ngoài. Mỗi phương pháp đều luận giải ưu, nhược điểm và phạm vi áp dụng.

Hướng nghiên cứu tiếp theo: Ngoài những công nghệ và giải pháp sửa chữa tăng cường cầu được phân tích trên chúng ta có thể ứng dụng bê tông tính năng siêu cao (UHPC) để thay bản mặt cầu cũ hoặc dùng vật liệu polyme biến tính để tăng khả năng chịu lực bản thép. Ngoài ra, sử dụng AI để dự báo hư hỏng, đề xuất kế hoạch sửa chữa chủ động.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] P.B. Thắng và N.D. Tuyên, Kiểm định và sửa chữa cầu. Nhà xuất bản GTVT, 2014.
- [2] P.B. Thắng, N.T. Hưng và P.H. Quân, *Kiểm định, sửa chữa và tăng cường cầu*. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và công nghệ. 2019.
- [3] 22-TCN-272-05. Tiêu chuẩn thiết kế cầu. Bộ GTVT, 2005.
- [4] TCVN 11823:2017. Thiết kế cầu đường bộ, 2017.
- [5] Mustesin A.K., Aatif A.K., Ghazanfar A.A., Asif U., *Framework for fire risk assessment of bridges*. Structures, Vol.33, Pg, 523-532, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.04.071>
- [6] P.V. Thứ, *Rủi ro hư hỏng các công trình xây*

- dựng và phương pháp tiếp cận*. Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 6. Tr. 87-93, 2009.
- [7] TCXDVN 327: 2004 Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường biển.
- [8] Phạm Hồng Q., Hồ Xuân N., Mai Đức A., Nguyễn Thị Cẩm N. *Chẩn đoán hư hỏng cầu giàn thép sử dụng mạng hồi quy cải tiến dựa trên mô hình số được cập nhật từ dữ liệu thu được từ cảm biến quang*. Tạp Chí Khoa Học Giao Thông Vận Tải, 2024, 75(6), 2000-2014.
- [9] N.Q. Tường. *Sửa chữa và gia cố công trình bê tông cốt thép bằng phương pháp dán nhờ sử dụng vật liệu FRP*. Tạp chí phát triển KH&CN, Số 10, Tr 39-51, 2007.
- [10] Nguyen, D. D., Tran , V.H. *Repair and Strengthening of Cantilever Continuous Bridges using External Prestressed Cables: The Case Study of the Tan De Bridge in Vietnam*. Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol.15 (1). 20005-20011, 2025.