

Phân tích các yếu tố về thiết kế và xây dựng cầu bê tông cốt thép theo quan điểm độ bền sử dụng

■ TS. NGUYỄN LỘC KHA

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

TÓM TẮT: Bài báo phân tích một số cơ chế hư hỏng của vật liệu trong kết cấu bê tông cốt thép xét đến sự tương tác giữa vật liệu, kết cấu với môi trường, từ đó đề xuất các cơ sở để xây dựng và phát triển các triết lý và lý thuyết thiết kế kết cấu bê tông cốt thép cho công trình theo quan điểm về độ bền sử dụng.

TỪ KHÓA: Kết cấu bê tông cốt thép, môi trường, độ bền sử dụng, cơ chế hư hỏng.

ABSTRACT: This article analyzes some failure mechanisms of materials for reinforced concrete structures considering the interaction between materials, structures and the environment. Since then, proposing the foundations to build and develop the design philosophies and theories for reinforced concrete structures based on the point of view of durability.

KEYWORDS: Reinforced concrete structure, environment, durability, failure mechanisms.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thực tế của lịch sử ngành Xây dựng đã tạo ra các công trình cầu có khả năng chịu tải cao và có tuổi thọ bền vững theo thời gian. Nhiều công trình vẫn còn tồn tại giá trị cho đến ngày nay như: cầu Pons Phabricius (Rome trên 2.000 tuổi); cầu Ponte Vecchio (Italia trên 670 tuổi); cầu Ponte Di Rialto (Italia trên 430 tuổi); cầu Khaju (Iran trên 350 tuổi)...

Ngày nay, với sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật đã tạo ra nhiều vật liệu có khả năng chịu lực cao, độ bền theo thời gian rất lớn, các lý thuyết tính toán phức tạp đã được hỗ trợ bởi các phần mềm chuyên dụng... Như vậy, khi sử dụng các công nghệ khoa học hiện đại và được điều chỉnh cho phù hợp với từng điều kiện cụ thể, hoàn toàn có thể cung cấp các sản phẩm có tuổi thọ sử dụng từ 100 đến 150 năm hoặc hơn nữa trong ngành Xây dựng.

Cách tiếp cận tích hợp mới này xác định một trọng tâm mới trong quy trình thiết kế và xây dựng công trình. Cần có một thay đổi quan trọng trong tư duy về thiết kế, thi

công và bảo trì công trình. Sự thay đổi như vậy có thể dẫn đến cải thiện đáng kể hiệu suất tuổi thọ của chúng.

Để có cơ sở phát triển các triết lý và lý thuyết thiết kế kết cấu cho các công trình cầu theo tuổi thọ sử dụng, điều đầu tiên là cần phải hiểu rõ cơ chế hư hỏng của vật liệu, của kết cấu bê tông cốt thép trong sự tương tác giữa vật liệu, kết cấu với môi trường. Sự hiểu biết này sẽ là triết lý cơ bản cho thiết kế vòng đời sử dụng của các kết cấu công trình. Những điều cơ bản trong hiểu biết đương đại về sự tương tác giữa cấu trúc và môi trường, tương tác từ thiết kế, thi công và sử dụng được nêu trong bài báo này.

2. SỰ TƯƠNG TÁC GIỮA KẾT CẤU VỚI MÔI TRƯỜNG

Bê tông cốt thép là vật liệu xây dựng linh hoạt và bền chắc nhất hiện nay và đã chiếm được vị trí thống trị trong ngành Xây dựng, do đó sẽ trở thành một thảm họa kinh tế cho quốc gia khi các khu dân cư đô thị, các cây cầu hoặc các công trình cảng biển lớn xuống cấp chỉ sau vài năm đưa vào sử dụng. Như vậy, trong tương lai, nhu cầu về hiệu suất sử dụng các công trình quan trọng sẽ đặt ra những thách thức đối với nhà thiết kế và nhà thầu thi công; các nhà quản lý và khai thác trong việc nắm vững các đặc tính của kết cấu, vật liệu, xây dựng và bảo trì.

Điều cần thiết phải làm nổi bật những nguyên nhân này với mục đích điều chỉnh và trong một số trường hợp là hiệu chỉnh, bổ sung và thay thế các phương pháp thiết kế, quy trình thi công, thành phần vật liệu cũng như quy trình bảo dưỡng và sửa chữa hiện hành, để đảm bảo các kết cấu đáng tin cậy hơn trong tương lai.

2.1. Yêu cầu về độ bền

Trong những năm qua, ở các nước tiên tiến đã yêu cầu các công trình cầu, đường hầm và các cảng biển được thiết kế để đáp ứng tuổi thọ sử dụng thông thường là 100 đến 120 năm và với một số công trình đặc biệt lên đến 200 năm [7].

Hiện tại, độ bền của kết cấu thường được tính đơn giản bằng cách thỏa mãn các yêu cầu về cường độ, không có mối quan hệ hợp lý giữa độ bền của kết cấu với tuổi thọ sử dụng thực tế đạt được. Chưa có phương pháp luận nào thống nhất chung về cơ sở độ bền và tuổi thọ sử dụng của chúng. Các tiêu chuẩn thiết kế hiện nay đều không xem xét đến yếu tố thời gian ngoại trừ các tác động về độ rão, co ngót, các lý thuyết về độ bền cường độ (ULS) và trạng thái giới hạn vật liệu (SLS) của chúng.

2.2. Đặc điểm của kết cấu bê tông cốt thép

Kết cấu bê tông cốt thép có một số tính chất đặc trưng quan trọng, khác biệt cơ bản với kết cấu làm từ các loại vật liệu khác như sau [1]:

- Chất lượng và tính năng độ bền của kết cấu bê tông cốt thép là các đặc tính giả định ở giai đoạn thiết kế.

- Chất lượng thực sự và đặc tính hoạt động của kết cấu bê tông được quyết định thực tế từ quá trình thi công trên công trường. Khoảng thời gian rất ngắn của quá trình xây dựng (giờ, ngày và tuần) lại trở thành giai đoạn quan trọng nhất, nơi xác định hiệu suất độ bền của kết cấu hoàn thiện.

Để quản lý các đặc tính đặc biệt này của kết cấu bê tông, cần có khái niệm thiết kế dựa trên hiệu suất độ bền, quy trình thực hiện, chương trình kiểm tra và bảo trì theo kế hoạch. Thiết kế ban đầu phải tính đến chiến lược bảo trì trong tương lai.

2.3. Khái niệm về độ bền và tuổi thọ sử dụng

Một cấu trúc được coi là bền khi nó hoạt động tốt và duy trì hình thức có thể chấp nhận được trong thời gian người sử dụng cần cấu trúc đó. Tuy nhiên, nếu khái niệm như vậy cũng không phải là cơ sở để thiết kế, bảo trì và sửa chữa cấu trúc.

Cách tiến bộ để thiết kế theo độ bền là phải xem độ bền như là một yêu cầu về tuổi thọ sử dụng. Theo cách này, khái niệm "độ bền" phi thực tế và khá chủ quan được chuyển thành một yêu cầu cụ thể về "số năm", trong đó kết cấu sẽ hoạt động tốt mà không có chi phí bảo trì cao không lường trước được [2]. Theo quan điểm này thì yếu tố thời gian phải được đưa vào như một tham số thiết kế. Ngoài ra cũng còn cần có các yếu tố khác như:

* Các yếu tố môi trường:

Các yếu tố ảnh hưởng của môi trường đến vật liệu và kết cấu phải đánh giá được về nồng độ, thời gian tác động và cơ chế vận chuyển các yếu tố bất lợi di chuyển vào bên trong kết cấu bê tông và cả các cơ chế hư hỏng của bê tông và cốt thép.

Như vậy, rõ ràng là chất lượng của lớp bê tông bên ngoài tiếp xúc với môi trường xâm thực trở thành một thông số xác định chất lượng quan trọng nhất [3].

Đối với việc kiểm soát thời gian bắt đầu ăn mòn cốt thép, chiều dày của lớp bê tông bảo vệ trở thành một thông số thiết kế bổ sung.

* Mã và tiêu chuẩn làm cơ sở thiết kế:

Đối với các công trình phổ biến của các cấu trúc bình thường, các quy tắc và quy định của một quốc gia sẽ được xác định dựa trên các yêu cầu về tuổi thọ thiết kế của nó để phục vụ xã hội được ngầm hiểu thông qua các tiêu chuẩn, quy chuẩn và các yêu cầu thiết kế đã được hệ thống hóa.

Tuy nhiên, người ta thường quên rằng việc tuân thủ nghiêm ngặt các yêu cầu được nêu trong các quy chuẩn và tiêu chuẩn chỉ mang lại chất lượng và hiệu suất tối thiểu có thể chấp nhận được đối với xã hội và tuổi thọ công trình nói chung chỉ ở mức 50 - 70 năm cho các tòa nhà đối với tiêu chuẩn Việt Nam, hoặc 75 năm đối với tiêu chuẩn AASHTO và đối với công trình cầu, khá nhất là 120 năm đối với tiêu chuẩn Anh.

Ngoài ra, nền tảng kiến thức và kinh nghiệm để xây

dựng thành các quy chuẩn, tiêu chuẩn thông thường là từ 30 năm trở lên. Do đó, các thành tựu về sản phẩm vật liệu và phương pháp tính toán thiết kế mới thường sẽ khó khăn để được chấp nhận trong thiết kế, bất kể độ tin cậy về mức độ khoa học và công nghệ của nó.

* Vòng đời sử dụng và chi phí vòng đời:

Tất cả các kết cấu dù bằng vật liệu xây dựng gì cũng sẽ già đi và xuống cấp theo thời gian. Do đó, phải làm rõ nhu cầu sử dụng liên quan đến thời gian sử dụng. Có như vậy thì quyết định đầu tư không chỉ ảnh hưởng đến chi phí ngắn hạn của việc tạo ra cấu trúc đó mà còn ảnh hưởng nhiều đến chi phí dài hạn để bảo trì và sửa chữa cấu trúc để phù hợp với yêu cầu hoạt động lâu dài của chúng.

2.4. Tác động của môi trường (tính xâm thực của môi trường)

Đối với kết cấu công trình được thiết kế theo tuổi thọ sử dụng, một trong những yếu tố đầu tiên và quan trọng nhất là xác định các điều kiện tiếp xúc môi trường của mỗi thành viên kết cấu, các thành viên kết cấu có thể tiếp xúc môi trường trong các điều kiện phơi nhiễm khác nhau. Ví dụ như kết cấu tiếp xúc trong khí quyển, ngập trong nước, ngập mặn, nằm trong vùng thủy triều tác động mạnh... Tùy theo điều kiện tiếp xúc với môi trường sẽ xác định mức độ xâm thực phổ biến cho từng cấu trúc đối với các loại vật liệu, để từ đó có giải pháp thiết kế kết cấu phù hợp.

2.5. Vật liệu và cấu trúc vật chất

Khi xác định được tính xâm thực của môi trường, bước tiếp theo là xác định các cơ chế suy thoái liên quan của vật liệu và kết cấu. Cần thiết xây dựng các mô hình toán học mô tả các quá trình suy giảm của vật liệu, kết cấu theo thời gian.

2.6. Cơ chế suy thoái của vật liệu bê tông

Cơ chế suy thoái của vật liệu bê tông cốt thép là quá trình cacbonat hóa, sự tích tụ sulphat và sự thâm nhập clorua. Trong đó, sự thâm nhập clorua gây ra ăn mòn cốt thép là vấn đề nghiêm trọng nhất, đặc biệt là trong môi trường nóng ẩm và ven biển ở Việt Nam.

Vật liệu bê tông có hai giai đoạn suy thoái theo thời gian như sau:

* *Giai đoạn khởi đầu:* Trong giai đoạn này, chưa có sự suy yếu đáng kể nào của vật liệu hoặc chức năng của kết cấu. Nhưng trong môi trường xâm thực, các yếu tố gây hại đã bắt đầu vượt qua một số hàng rào bảo vệ vốn có của cấu trúc vật liệu. Quá trình cacbonat hóa, sự thâm nhập clorua và sự tích tụ sulphat đã bắt đầu phát triển [5].

* *Giai đoạn phát triển:* Sự suy giảm chức năng của kết cấu, sự hư hỏng của vật liệu ngày càng phát triển và dễ dàng quan sát được. Một số cơ chế hư hỏng phát triển và lan truyền với tốc độ ngày càng tăng theo thời gian.

* Ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường:

Mức nhiệt độ quyết định đến tốc độ vận chuyển các vật chất xâm thực vào bên trong bê tông. Các phản ứng hóa học và điện hóa đều được tăng tốc khi nhiệt độ tăng.

Các nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra rằng, khi nhiệt độ môi trường tăng 10°C sẽ làm tốc độ phản ứng tăng gấp đôi. Chỉ riêng yếu tố này đã cho thấy môi trường nhiệt đới nóng ẩm trở nên hung dữ hơn đáng kể so với vùng khí hậu ôn đới.

Như vậy, nguyên tắc chính của thiết kế kết cấu bê tông cốt thép theo tuổi thọ sử dụng là tùy theo môi trường và sự tương tác của kết cấu với môi trường để có thể tạo ra và sử dụng các loại bê tông có cường độ và cấu trúc phù hợp cho từng nhóm kết cấu công trình.

3. CÁC YÊU CẦU THIẾT KẾ CẤU BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO TUỔI THỌ SỬ DỤNG

3.1. Thiết kế kết cấu phù hợp thiết kế độ bền

Khi thiết kế một kết cấu, điều đầu tiên cần xác định là các tải trọng mà kết cấu phải chống đỡ. Những tải trọng này thường thay đổi, nên người thiết kế thường đơn giản hóa bằng cách áp dụng các hệ số tải trọng thiên về các giá trị bất lợi để kết cấu trở nên an toàn hơn. Kết cấu xây dựng phải chịu được các tải trọng tính toán này thông qua việc lựa chọn tổ hợp các hệ thống kết cấu, hình dạng, kích thước phần tử kết cấu, loại vật liệu và cường độ của vật liệu được chọn sử dụng cho kết cấu.

Tuy nhiên, khi nói đến thiết kế theo độ bền sử dụng thì tình hình hoàn toàn khác. Việc sử dụng một cách đơn giản hóa như nêu trên dường như khó có thể chấp nhận được. Các tiêu chuẩn chỉ cung cấp các định nghĩa định tính về độ phơi nhiễm của kết cấu mà không xác định được mối liên quan giữa tuổi thọ thiết kế đến độ bền của kết cấu. Đặc biệt, không xác định và định lượng được các trạng thái giới hạn độ bền mà kết cấu phải vượt qua để kết thúc tuổi thọ sử dụng.

3.2. Chiến lược cơ bản về thiết kế kết cấu, công trình theo độ bền

Với một công trình xây dựng, yêu cầu về tuổi thọ sử dụng của một kết cấu, của toàn công trình phải không được tách rời theo cơ sở của tuổi thọ thiết kế. Sự kết thúc của tuổi thọ thiết kế của các chi tiết, kết cấu phải được xác định bằng định lượng cụ thể.

Trong thực tế, tuổi thọ sử dụng có thể khác và dài hơn tuổi thọ thiết kế bởi các lý do sau:

Thứ nhất, giải pháp thi công, bảo dưỡng, bảo trì hợp lý, cấu trúc vật chất của vật liệu kết cấu được lựa chọn, sử dụng hợp lý sẽ có tác dụng kéo dài thêm giai đoạn lan truyền quá trình xâm thực của môi trường hơn so với dự kiến của thiết kế.

Thứ hai, các quyết định thay đổi tích cực về loại, chi tiết và tần suất bảo trì trong quá trình sử dụng của chủ sở hữu cũng có thể kéo dài tuổi thọ sử dụng của kết cấu, của công trình.

Thứ ba, một số lý thuyết được đơn giản hóa đã được áp dụng trong các tiêu chuẩn thiết kế theo hướng an toàn cho kết cấu cũng làm tăng tuổi thọ sử dụng.

Như vậy, rõ ràng là nếu xây dựng một chiến lược thiết kế hợp lý, sẽ kéo dài tuổi thọ sử dụng công trình gần như vô hạn. Về nguyên tắc, có thể thực hiện theo hai chiến lược thiết kế khác nhau cơ bản về độ bền [6]:

Chiến lược A: Thiết kế, xây dựng hoàn chỉnh các chi tiết kết cấu trước sự ước lượng mọi tình huống, mọi loại hình của sự xâm hại từ môi trường đe dọa đến sự xuống cấp của các kết cấu, của công trình.

Chiến lược B: Lựa chọn thành phần vật liệu và chi tiết kết cấu tối ưu để chống lại sự xuống cấp đe dọa kết cấu

trong một thời gian sử dụng xác định, đồng thời phải xác định được kinh phí, thời gian, tần suất, phương pháp bảo trì và các giải pháp tăng cường, bổ sung cho kết cấu trong tương lai. Chiến lược B còn gọi là mô hình hóa các quá trình suy thoái của vật liệu, của kết cấu.

Chiến lược A và Chiến lược B có thể được kết hợp trong cùng một cấu trúc nhưng cũng có thể khác nhau đối với các phần khác nhau của kết cấu tùy thuộc vào mức độ tiếp xúc với môi trường của các bộ phận kết cấu.

Cách tiếp cận của chiến lược A là dựa trên các tiến bộ về khoa học vật liệu tại thời điểm thiết kế xây dựng kết cấu, công trình để chọn vật liệu tiến bộ sử dụng trong thiết kế kết cấu để chống lại sự xâm thực của môi trường và từ đó làm tăng tuổi thọ sử dụng công trình, chi phí và tần suất bảo trì của kết cấu trong tương lai có thể sẽ giảm. Tuy nhiên, chi phí đầu tư ban đầu sẽ tăng rất cao.

Cách tiếp cận theo chiến lược B là một cách lựa chọn thông minh, số lượng và các loại biện pháp được hợp tác một cách thích hợp để đảm bảo tuổi thọ sử dụng của kết cấu theo yêu cầu.

Đây được coi là một chiến lược thiết kế bảo vệ kết cấu công trình ở nhiều giai đoạn, hoặc nói một cách khác, đây là cách tiếp cận nhiều phương pháp kháng của kết cấu ở nhiều giai đoạn khác nhau [3-4].

4. KẾT LUẬN

Các lý thuyết về xác suất và độ tin cậy trong thiết kế kết cấu đã được phát triển và hoàn thiện đáng kể trong nhiều năm qua, hiện nay đang được áp dụng vào hoạt động thiết kế kỹ thuật thực tế. Phương pháp luận đã được quốc tế công nhận và sử dụng trong nhiều thập kỷ làm cơ sở cho thiết kế an toàn kết cấu thông qua "LRFD" bán xác suất nổi tiếng.

Các yếu tố và cơ chế chi phối độ bền và hiệu suất của kết cấu trong thời gian sử dụng đã được thể hiện qua dự án nghiên cứu của "DuraCrete", "Thiết kế độ bền sử dụng dựa trên hiệu suất xác suất của kết cấu bê tông cốt thép" với đề xuất tuổi thọ sử dụng > 150 năm [5].

Với các lập luận trên, chắc chắn trong thời gian tới, việc thiết kế kết cấu công trình đảm bảo an toàn và tuổi thọ sử dụng lâu dài sẽ dần được thực hiện bằng các quy trình tương tự và sẽ được đưa vào sử dụng rộng rãi.

Bài báo nêu các vấn đề tổng quát về thiết kế kết cấu công trình theo tuổi thọ sử dụng, có thể giúp cho các chủ đầu tư, các cơ quan quản lý, thẩm tra, kỹ sư thiết kế... có cách nhìn mới về độ bền sử dụng của công trình để có chiến lược lựa chọn, quyết định đầu tư đối với các công trình quan trọng nhằm đảm bảo đủ khả năng chịu lực của kết cấu, tăng tuổi thọ sử dụng, tránh phải tốn kém nhiều chi phí sửa chữa khắc phục các hư hỏng của kết cấu công trình. Bài báo cũng có thể sử dụng làm tài liệu giảng dạy cho sinh viên trong việc phân tích kết cấu và tính toán kết cấu công trình cầu.

Tài liệu tham khảo

[1]. Fagerlund, Göran (June 1979), *Service Life of Structures. General Report, Session 2.3, Proceedings*,

Rilem Symposium on Quality Control of Structures, Stockholm, Sweden.

[2]. Rostam, S. (1991), *Philosophy of Assessment and Repair of Concrete Structures and the Feedback into New Designs*, Regional Conference on Damage Assessment, Repair Techniques and Strategies for Reinforced Concrete held in Bahrain 7th-9th December.

[3]. Rostam, S. (1993), *Service Life Design - The European Approach*, ACI Concrete International, no.7, 15, 24-32.

[4]. DuraCrete (1999) *General Guidelines for Durability Design and Redesign*, The European Union - Brite-EuRam III, Project No. BE 95-1347, "Probabilistic Performance based Durability Design of Concrete Structures", Report No. T 7- 01-1.

[5]. Rostam S. (September 2000), "Does High Performance Concrete Provide High Performance Concrete Structures?" Paper to be presented at the PCI/FHWA/fib International Symposium on "High Performance Concrete", 24-27, Orlando, USA.

[6]. Markeset, Gro, Steen Rostam and Torben Skovsgaard (November 2000), *Stainless Steel Reinforcement - An Owner's, a Designer's and a Producer's Viewpoint*, Proceedings, 6th International Conference on Deterioration and Repair of Reinforced Concrete in the Arabian Gulf, Bahrain, 20-22.

[7]. Rostam, Steen (September 2005), *Durability and the Impact of the Execution Process on the Useful Service Life of Concrete Structures*, Proceedings of the New Zealand Concrete Industry Conference, Auckland 22-24.

[8]. *Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 11823 - 1:2017.*

Ngày nhận bài: 28/02/2021

Ngày chấp nhận đăng: 10/03/2021

Người phản biện: TS. Nguyễn Thạc Quang