

Phương pháp thực hành khảo sát kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn

Practical Methods to Investigate Corroded Reinforced Concrete Structures

Vũ Hoàng Hiệp⁽¹⁾, Đặng Vũ Hiệp⁽²⁾, Vũ Ngọc Anh⁽³⁾

Tóm tắt

Khảo sát đặc trưng vật liệu trên kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn bằng các phương pháp khoan lấy mẫu hay thí nghiệm không phá hủy là khó khăn. Bài báo này đề xuất áp dụng công thức thực nghiệm từ nhiều nghiên cứu đã được công bố, xác định tính chất cơ học của vật liệu bê tông, cốt thép, diện tích cốt thép sau khi bị ăn mòn, chủ yếu thông qua bề rộng vết nứt. Đề xuất này được kiểm chứng thông qua thí nghiệm và kết quả khảo sát thực tế. Đặc trưng vật liệu chính là số liệu đầu vào của các mô hình tính toán khả năng chịu lực của kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn.

Từ khóa: khảo sát, công thức thực nghiệm, bê tông cốt thép, ăn mòn

Abstract

It is challenging to investigate material characteristics in corroded reinforced concrete structures by core testing (direct method) or non-destructive testing (NDT). This paper proposes to apply empirical formulas from many published studies to determine the mechanical properties of concrete and reinforcement, and the area of reinforcement after corrosion, mainly through using corrosion-induced crack width. This proposal is verified through experiments and actual investigation results. The setup of an experiment and actual investigation results for verifying the proposed formulas are presented herein. Material characteristics are the input data of the models to calculate and assess corroded reinforced concrete structures.

Key words: investigation, empirical formula, reinforced concrete, corrosion

(1)PGS.TS, Khoa Xây dựng,
Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội,
Email: <vuhoanghiệp@hau.edu.vn>

(2)PGS.TS, Khoa Xây dựng,
Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội,

(3)PGS.TS, Vụ KHCN & Môi trường,
Bộ Xây dựng

Ngày nhận bài: 21/03/2022
Ngày sửa bài: 11/04/2022
Ngày duyệt đăng: 5/7/2022

1. Giới thiệu

Ăn mòn là một quá trình môi trường tác động làm phá hủy dần các thành phần vật liệu có hoạt tính trên kết cấu bê tông cốt thép (BTCT), chủ yếu qua các phản ứng hóa học và điện hóa. Cơ chế ăn mòn phổ biến nhất đối với kết cấu bê tông cốt thép bị là cơ chế vật liệu bê tông bị cacbonat hóa, chuyển hóa thành phần $\text{Ca}(\text{OH})_2$ thành CaCO_3 , làm thay đổi độ pH, mất chức năng bảo vệ cốt thép thụ động. Nước và các chất oxy hóa tác dụng làm gỉ cốt thép. Vùng xâm thực của môi trường biển có ion clorua xâm nhập gây cơ chế ăn mòn điện hóa làm cốt thép sẽ bị gỉ, suy giảm tiết diện cốt thép nhanh hơn nhiều. Mặt khác, bê tông còn bị ăn mòn khi tiếp xúc với chất lỏng hoặc khí có chứa các chất ăn mòn. Khoáng C_3A trong xi măng khi thủy hóa, phản ứng với các thành phần của nước biển tạo ra sản phẩm ettringit có thể tích tăng tạo ra ứng suất phá vỡ cấu trúc đá xi măng, cangkhoáng C_3S thủy hóa giải phóng hydroxit canxi, tác dụng với nước biển tạo ra muối dễ hòa tan.

Với cơ chế ăn mòn như trên, sự hư hỏng và suy giảm độ bền, tuổi thọ của kết cấu BTCT có những đặc điểm khác so với tải trọng tác dụng làm phá hỏng kết cấu. Do vậy, cần có những nghiên cứu chuyên sâu, phương pháp riêng để xác định tính chất cơ học của vật liệu, đặc trưng của cốt thép và các lý thuyết tính toán, kiểm tra khả năng chịu lực, ứng xử của kết cấu BTCT bị ăn mòn.

2. Các phương pháp xác định mức độ ăn mòn và tính chất cơ học của vật liệu

2.1. Xác định nguy cơ ăn mòn và diện tích cốt thép bị ăn mòn

- Phương pháp đo điện thế: Phương pháp này được các tiêu chuẩn ASTM-C876-15 [6] và TCVN 9348:2012 [4] chỉ dẫn sử dụng. Dùng thanh kim loại nằm trong dung dịch cùng ion âm nối với cực âm của vôn kế trong khi thanh thép trong bê tông được nối với cực dương của vôn kế. Thông qua hiệu điện thế dòng ăn mòn đo được chỉ cho phép đánh giá khả năng cốt thép trong bê tông có bị ăn mòn hay không. Không đánh giá được tỷ lệ ăn mòn. Giá trị đo được bị ảnh hưởng mạnh bởi điều kiện môi trường, vết nứt, độ pH, điện trở của bê tông, chiều dày lớp bê tông bảo vệ.

- Phương pháp đo điện trở của bê tông: Quá trình ăn mòn cốt thép phát triển tùy thuộc vào sự cung cấp oxy đến cực cathode và điện trở bê tông. Xác định giá trị điện trở bê tông sẽ nhận dạng được định tính về tình trạng ăn mòn cao hay thấp [16], không định lượng được chính xác mức độ ăn mòn cốt thép.

- Phương pháp sử dụng sóng âm thanh AE (Acoustic Emission): Đầu đo AE có thể nhận dạng được vị trí và độ lớn của nguồn gây sóng âm (dân nổ thể tích do gỉ). Rung động cơ học sẽ được chuyển thành tín hiệu điện tử qua bộ khuếch đại và được ghi lại. Di Benedetti và cộng sự [14] chứng minh phương pháp này là hiệu quả để phát hiện sự khởi phát ăn mòn cốt thép trong bê tông, nhưng rất khó xác định tỷ lệ ăn mòn thông qua tín hiệu AE, vốn nhạy cảm với các sóng nhiễu khác, không thích hợp đo hiện trường.

- Phương pháp điện trở phân cực tuyến tính LPR (Linear polarization resistance): Trong phương pháp LPR, một điện thế thấp ($10\pm 30\text{mV}$) được duy trì giữa điện cực tham chiếu trên bề mặt bê tông và thanh cốt thép bị ăn mòn trong kết cấu [8]. Từ cường độ dòng điện đo được trong một khoảng thời gian nhất định và điện thế duy trì sẽ xác định được điện trở phân cực (R_p). Mật độ dòng điện ăn mòn tức thời (hay: tỷ lệ ăn mòn tức thời) i_{corr} được tính trực tiếp từ giá trị R_p .

- Phương pháp dòng tĩnh xung tức thời GP (Galvanostatic Pulse) là một phương pháp mạnh được phát triển sau năm 1988. Cường độ dòng điện I_{app} thường từ $5\text{--}500\mu\text{A}$ áp trong khoảng thời gian ngắn 5-30s cho ăn mòn chủ động. Sau khi cốt thép bị phân cực, đo sự thay đổi điện thế giữa cực tham chiếu và thanh thép. Sử dụng đường cong quan hệ điện thế và thời gian xác định điện trở phân cực và điện trở bê tông để tính toán tỷ lệ ăn mòn. Ưu điểm của phương

pháp này là xác định nhanh tỷ lệ ăn mòn, ít bị ảnh hưởng môi trường. Tuy nhiên dây dẫn điện nối với cốt thép trong kết cấu và thời gian đo kéo dài quá 100s sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác của phép đo.

- Các nghiên cứu phát triển công thức thực nghiệm được các tác giả Liu.T và Weyers. R.W [13] công bố cho phép xác định tỷ lệ ăn mòn từ các tham số là hàm lượng clorua trong môi trường, nhiệt độ bề mặt cốt thép, điện trở bề tông bảo vệ, thời gian. Công thức của Vu. K.A.T và Stewart.M.G [19] tính được tỷ lệ ăn mòn là hàm của chất lượng và chiều dày lớp bê tông bảo vệ (w/c, C). T. Vidal cùng cộng sự [18] lần đầu tiên đề nghị mối quan hệ giữa bề rộng vết nứt do ăn mòn thép dọc và mất mát diện tích cốt thép do ăn mòn gây ra trong điều kiện rất gần với tự nhiên. Cùng nhiều các công thức thực nghiệm xác định tính chất cơ học của cốt thép bị ăn mòn được công bố thông qua các tham số rất thuận lợi khi khảo sát, đo đạc hiện trường.

- Phương pháp phá hoại mẫu đề nghị trong ASTM G1-03 [7] phải lấy mẫu cốt thép ra khỏi bê tông, đánh giá mất mát diện tích tiết diện ngang cốt thép hay mất mát trọng lượng thanh cốt thép một cách chính xác nhất bằng cách ngâm thanh thép trong dung dịch hỗn hợp của 1000ml HCl với 50g SnCl₂ và 20g Sb₂O₃ trong 25 phút để làm bong toàn bộ lớp gỉ bề mặt. Sau đó thanh thép được cân lên để xác định lượng ăn mòn. Phương pháp này gây tổn thương thêm cho kết cấu đã bị xâm thực, chỉ phù hợp cho nghiên cứu trong phòng thí nghiệm.

2.2. Xác định tính chất cơ học của bê tông trên kết cấu bị ăn mòn

Các phương pháp không phá hủy như sử dụng thiết bị bật nảy, sóng siêu âm vốn khá phổ biến trong khảo sát kết cấu hiện hữu lại có hạn chế trong khảo sát kết cấu BTCT bị ăn mòn, bởi phạm vi sử dụng phương pháp.

- Phương pháp xác định cường độ nén bằng súng bật nảy trong TCVN 9334:2012 [2] đã nêu rõ không áp dụng phương pháp đối với bê tông bị nứt, rỗ hoặc có các khuyết tật, đối với bê tông bị ăn mòn.

- Phương pháp xác định vận tốc xung siêu âm đánh giá chất lượng bê tông - TCVN 9357:2012 đã nêu rõ nguyên tắc để đảm bảo độ tin cậy của phương pháp cần thiết lập trước mối quan hệ giữa vận tốc xung siêu âm với đặc tính của loại bê tông cần đánh giá dựa trên các mẫu đúc sẵn. Như vậy các mẫu đúc sẵn tương tự loại bê tông bị ăn mòn là không thể.

Phương pháp khoan lấy mẫu bê tông là phương pháp có độ chính xác cao khi đánh giá chất lượng bê tông trên kết cấu. Tuy nhiên, tiêu chuẩn TCVN 3105:1993 [1] quy định việc khoan, cắt các mẫu bê tông chỉ được tiến hành tại các vị trí trên kết cấu sao cho sau khi lấy mẫu kết cấu không bị giảm khả năng chịu lực. Đối với kết cấu bê tông cốt thép đã bị ăn mòn vốn đã bị giảm khả năng chịu lực lại lấy mẫu khoan khả năng cao sẽ gây thêm suy giảm hơn nữa. Mặt khác vùng bê tông có các vết nứt do ăn mòn khó có thể lấy được mẫu khoan nguyên vẹn để tiến hành các bước thí nghiệm nén mẫu xác định cường độ chịu nén.

Các phương pháp xây dựng công thức thực nghiệm xác định cường độ và mô đun đàn hồi của bê tông sau khi đã bị ăn mòn, đặc biệt là thông qua diện tích cốt thép bị ăn mòn là một hướng khả thi để xem xét, áp dụng hiện trường.

3. Đề xuất áp dụng các công thức thực nghiệm trong khảo sát vật liệu của kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn

Tổng hợp các phương pháp khảo sát vật liệu trên kết

cấu BTCT bị ăn mòn trong mục 2 nêu trên có thể chia thành 3 nhóm phương pháp chính: Nhóm phương pháp phá hủy mẫu lấy từ kết cấu; Nhóm phương pháp điện hóa không gây phá hủy kết cấu và Nhóm phương pháp sử dụng công thức thực nghiệm.

Phân tích sẽ thấy mỗi nhóm phương pháp đều có mặt mạnh và những hạn chế. Nhóm phương pháp phá hoại mẫu lấy từ kết cấu cho kết quả chính xác nhất, nhưng gây ảnh hưởng nhiều nhất đến khả năng chịu lực của kết cấu. Mặt khác, cấu trúc bê tông bị ăn mòn đã xốp rỗng, tồn tại các vết nứt sẽ rất khó lấy được mẫu khoan nguyên dạng. Nhóm phương pháp không phá hủy dùng các thí nghiệm điện hóa và vật lý không gây tổn hại kết cấu nhưng kết quả đo rất nhạy cảm với điều kiện môi trường. Mật độ các thanh cốt thép trong thực tế ảnh hưởng nhiều loạn thanh thép bị phân cực, chiều dày lớp ăn mòn lớn... là những nguyên nhân khiến việc xác định tỷ lệ ăn mòn có thể sai số rất lớn.

Nhóm phương pháp sử dụng công thức thực nghiệm có tính đơn giản, dễ ứng dụng, ít tốn kém hơn cả vì có thể tính toán được thông số cần khảo sát chỉ thông qua một số tham số dễ thu thập. Do không kể được hết các tham số ảnh hưởng đến ăn mòn nên nhiều trường hợp có thể nằm ngoài phạm vi áp dụng công thức, độ chính xác của kết quả khảo sát cũng hạn chế. Tuy nhiên, với số lượng dữ liệu lớn, mẫu thí nghiệm đa dạng, thời gian theo dõi lâu và sự phát triển của phương pháp, một số kết quả nghiên cứu có thể xem xét áp dụng trong thực tế sẽ được đề xuất, kiểm chứng và xem xét hiệu chỉnh ở các nội dung trình bày dưới đây.

3.1. Xác định tỷ lệ ăn mòn cốt thép bằng công thức thực nghiệm

Nếu đo được tỷ lệ ăn mòn tức thời hay mật độ dòng điện tức thời i_{corr} (mA/cm²) tại thời điểm khảo sát, theo công thức từ định luật Faraday có quan hệ giữa tỷ lệ ăn mòn tức thời i_{corr} (mA/cm²) và mất mát đường kính thanh thép như sau:

$$i_{corr} \text{ (mA/cm}^2\text{)} = 1,716.\delta \quad (3.1)$$

với δ (cm) là mất mát đường kính thanh thép do ăn mòn.

Công thức (3.1) xác tỷ lệ ăn mòn tức thời (trong khoảng thời gian là 1 năm), sau thời gian T năm kể từ khi khởi phát ăn mòn thì lượng suy giảm đường kính thanh thép sẽ là 1,716.δ.T.

Từ δ sẽ xác định được đường kính còn lại của thanh cốt thép bị ăn mòn: $D_{corr} = D - \delta$, với D là đường kính ban đầu.

- Các công thức của Liu.T và Weyers. R.W [13] dựa trên kết quả thực nghiệm trên 2927 số liệu từ 7 bộ mẫu bị phơi nhiễm muối clorua dưới điều kiện ngoài hiện trường trong 5 năm, đã đề nghị công thức dự báo tỷ lệ ăn mòn cho như sau:

$$i_{corr} = 0,926 \exp \left[\frac{7,98 + 0,7771 \ln(1,69C_i) - \frac{3006}{T}}{-0,000116R_c + 2,24t^{-0,215}} \right] \quad (\mu\text{A/cm}^2) \quad (3.2)$$

Công thức (3.2) cho thấy quá trình ăn mòn cốt thép trong bê tông trong môi trường sử dụng phụ thuộc vào lượng chứa clorua, C_i (kg/m³) (thông qua hàm logarit Nepe), nhiệt độ T (K) ở bề mặt cốt thép, điện trở của lớp bê tông bảo vệ R_c (Ω), thời gian ăn mòn t (năm).

Điện trở của bê tông xác định theo công thức thực nghiệm sau:

$$R_c = \exp[8.03 - 0.54 \ln(1 + 1.69C_i)] \quad (\Omega) \quad (3.3)$$

- Một công thức khác của Vu. K.A.T và Stewart. M.G [19]

đưa ra mô hình dự báo tỷ lệ ăn mòn dựa trên giả thiết rằng tỷ lệ ăn mòn được kiểm soát bởi sự tiêu thụ khí O² trên bề mặt cốt thép, bởi vậy tỷ lệ ăn mòn i_{corr} sẽ là hàm của chất lượng và chiều dày lớp bê tông bảo vệ (w/c , C), khi không xác định được hàm lượng clorua trong kết cấu. Nhóm tác giả này đề nghị công thức dự báo tỷ lệ ăn mòn khi bắt đầu giai đoạn phát tán sau 1 năm bắt đầu ăn mòn trong môi trường chứa clorua ở nhiệt độ 20°C, độ ẩm 75%:

$$i_{corr(1)} = \frac{37.8(1-w/c)^{-1.64}}{C} \quad (\mu A/cm^2) \quad (3.4)$$

trong đó, C là chiều dày lớp bê tông bảo vệ (cm); w/c là tỉ lệ nước: xi măng.

Trong suốt quá trình phát tán ăn mòn, tốc độ ăn mòn dự báo theo công thức:

$$i_{corr}(t_p) = 0.85t_p^{-0.29}i_{corr(1)} \quad (\mu A/cm^2) \quad (3.5)$$

với t_p là thời gian tính từ khi giai đoạn mồi bắt đầu (năm).

- Khi kết cấu BTCT đã xuất hiện các vết nứt do ăn mòn trên bề mặt, đề xuất sử dụng công thức của T. Vidal [18] xác định tỷ lệ ăn mòn cốt thép dựa trên bề rộng vết nứt do ăn mòn:

Tính diện tích cốt thép mất mát do ăn mòn cần thiết để gây ra vết nứt đầu tiên trên bề tông:

$$\Delta A_{s0} = A_s \left[1 - \left[1 - \frac{\alpha}{\phi_0} \left(7.53 + 9.32 \frac{c}{\phi_0} \right) 10^{-3} \right]^2 \right], \text{ mm}^2 \quad (3.6)$$

trong đó, c chiều dày lớp bê tông bảo vệ, mm;

A_s là diện tích tiết diện ngang ban đầu thanh thép dọc, mm²;

ϕ_0 là đường kính ban đầu thanh thép dọc, mm.

α là hệ số tập trung, lấy = 2 cho ăn mòn đồng đều; = 4÷8 cho ăn mòn điểm.

Bề rộng vết nứt do ăn mòn gây ra xác định theo công thức sau:

$$w = K(\Delta A_s - \Delta A_{s0}), \text{ mm} \quad (3.7)$$

trong đó, $K = 0,0575$ là hệ số thực nghiệm xác định từ hồi quy tuyến tính.

Xác định bề rộng vết nứt do ăn mòn trên bề mặt bê tông dễ dàng thực hiện tại hiện trường mà không phụ thuộc vào các yếu tố môi trường. Từ công thức (3.7) có thể suy ra mất mát diện tích cốt thép dọc ΔA_s trực tiếp.

3.2. Xác định cường độ vật liệu bê tông, cốt thép bị ăn mòn

Sau khi xác định được diện tích cốt thép đã bị ăn mòn theo mục 3.1, áp dụng công thức của Mohsen [15], xác định cường độ chịu nén của bê tông khi xảy ra ăn mòn cốt thép:

$$f'_{c,corr} = (1 - \lambda)f'_c \quad (3.8)$$

trong đó: $f'_{c,corr}$ và f'_c là cường độ bê tông khi bị ăn mòn cốt thép và cường độ bê tông ban đầu;

λ là phần trăm giảm cường độ chịu nén của bê tông, phụ thuộc vào mức độ ăn mòn cốt thép và tỷ lệ nước/xi măng (N/X)

$$+ \text{ với } N/X = 0,4: \quad \lambda = 2,72.Q_{corr} - 1,98 \quad (3.9)$$

$$+ \text{ với } N/X = 0,45: \quad \lambda = 2,29.Q_{corr} - 1,73 \quad (3.10)$$

$$+ \text{ với } N/X = 0,5: \quad \lambda = 2,57.Q_{corr} - 1,87 \quad (3.11)$$

Q_{corr} là mức độ cốt thép bị ăn mòn (%), tính theo công thức:

$$Q_{corr} = 1 - \left(\frac{d_{corr}}{d_0} \right)^2 \quad (3.12)$$

với: d_{corr} và d_0 là đường kính cốt thép đã bị ăn mòn và đường kính cốt thép ban đầu.

Công thức của Du Y.G. và cộng sự [9] xác định cường độ chịu kéo của cốt thép khi xảy ra ăn mòn cốt thép như sau

$$f_s^C = (1 - \beta \times \Delta w) f_0 \quad (3.13)$$

trong đó: f_s^C và f_0 lần lượt là cường độ chịu kéo của cốt thép khi bị ăn mòn và cường độ cốt thép ban đầu ;

β là hệ số suy giảm cường độ, lấy = 0,005.

Δw là tỉ lệ khối lượng cốt thép bị ăn mòn trung bình so với khối lượng cốt thép ban đầu (%).

4. Đánh giá độ tin cậy của các công thức thực nghiệm

4.1. Áp dụng xác định khả năng chịu lực của cấu kiện

Xác định khả năng chịu lực cho dầm BTCT bị ăn mòn từ các thông số đặc tính cơ học của vật liệu ban đầu và bản đồ vết nứt do ăn mòn gây ra được xác định trên cấu kiện: Tiết diện $b \times h = 150 \times 280 \text{ mm}$; Nhịp tính toán 2800mm; $f_y = 500 \text{ MPa}$; $f_c = 45 \text{ MPa}$; Cốt dọc chịu kéo 2φ16; Chiều cao làm việc 224mm.

Dầm bị ăn mòn, các vết nứt dọc theo thanh thép dọc do ăn mòn gây ra ở mặt trước lớn nhất là 1.6mm gần vùng có mô men lớn nhất. Ở mặt sau của dầm vết nứt do ăn mòn gây ra lớn nhất là 2.7mm gần vùng có mô men lớn. Ở mặt chịu kéo của dầm ở vùng giữa dầm vết nứt lớn nhất do ăn mòn gây ra rộng 1.8mm. Ở hai đầu dầm, nơi có mô men nhỏ, bề rộng vết nứt lớn nhất do ăn mòn gây ra là 2.5mm. Mặt chịu nén không xuất hiện vết nứt do ăn mòn.

Để dự báo mất mát diện tích cốt thép thông qua bản đồ vết nứt do ăn mòn, trong ví dụ này sử dụng công thức của T. Vidal [18] như trình bày tại mục 3.1:

$$w = K(\Delta A_s - \Delta A_{s0}) \Rightarrow \Delta A_s = \frac{w + K\Delta A_{s0}}{K}$$

Diện tích mất mát cốt thép dọc trung bình tại khu vực giữa dầm tính theo mô hình T. Vidal, $\Delta A_s = 67,87 \text{ mm}^2$, tương đương mất mát diện tích cốt dọc do ăn mòn trung bình 16,88%.

Diện tích cốt dọc còn lại: $A_{s,corr} = 402 - 67,87 = 334,13 \text{ (mm}^2\text{)}$

Cường độ chịu kéo của cốt thép dọc kể đến ăn mòn tính theo công thức của Du và cộng sự [9] đề nghị cho trong mục 3.2:

$$f_s^C = (1 - \beta \times \Delta w) f_0 = (1 - 0,005 \times 16,88) \times 500 = 457,8 \text{ (MPa)}$$

Thay số tính được chiều cao vùng bê tông chịu nén:

$$s = \frac{f_s^C A_{s,corr}}{0,85 f_{c,corr} b} = \frac{457,8 \times 334,13}{0,85 \times 45 \times 150} = 26,66 \text{ (mm)}$$

Hợp lực bê tông vùng nén:

$$F_{cc} = 0,85 f_{c,corr} b s = 0,85 \times 45 \times 150 \times 26,66 = 152961,75 \text{ (N)}$$

- Mô men giới hạn:

$$M_u = M_c = F_{cc} \left(d - \frac{1}{2} s \right) = 152961,75 \times \left(224 - \frac{1}{2} \times 26,66 \right) = 32224451,87 \text{ (Nmm)} \approx 32,2 \text{ (kNm)}$$

Kết quả thử tải cho thấy mô men giới hạn dầm chịu được là 64 kNm[11], dự báo có sai số 24%, thiên về an toàn.

4.2. Áp dụng trong đánh giá ứng xử của dầm chịu uốn

Kiểm tra ứng xử dầm bê tông cốt thép bị ăn mòn do chính nhóm tác giả thực hiện[10] có sơ đồ vết nứt như Hình 1:

Sử dụng các công thức của T. Vidal xác định diện tích cốt thép còn lại sau khi bị ăn mòn, tính toán độ cứng mỗi phần tử kết quả trình bày trong Bảng 1:

Với các số liệu khảo sát xác định theo công thức thực nghiệm, dùng lý thuyết Phần tử lớn [17], tính toán độ võng của dầm và so sánh với kết quả thí nghiệm cho thấy: tại mức tải 30kN, độ võng dầm theo tính toán là 4,4mm, độ võng dầm thí nghiệm là 5,2mm. Chênh lệch kết quả 15,3% theo hướng thiên về an toàn.

4.3. Xác định diện tích cốt thép tại hiện trường

Tiến hành khảo sát hiện trường cấu kiện cột BTCT bị ăn mòn phát lộ vết nứt dọc cốt thép dọc như Hình 2. Đo đạc vết nứt do ăn mòn trên bề mặt bê tông được chiều rộng vết nứt là 2,4mm, dùng thiết bị điện tử xác định được đường kính cốt thép $\phi 18$, chiều dày lớp bê tông bảo vệ 23mm.

Dùng công thức T. Vidal xác định được diện tích cốt thép bị mất mát $\Delta A_s = 42,84\text{mm}^2$.

Đục bỏ lớp bê tông bảo vệ và lấy mẫu cốt thép ra khỏi cấu kiện. Ngâm mẫu thép trong dung dịch HCl trong 25 phút rồi đánh sạch gỉ, sấy khô. Cân xác định khối lượng thực tế của mẫu thép. Tính quy đổi ra diện tích tiết diện thực tế còn lại của thanh cốt thép bị ăn mòn là $232,35\text{mm}^2$. Diện tích cốt thép bị mất mát thực tế là $\Delta A_{stt} = 22,11\text{mm}^2$.

Như vậy, diện tích cốt thép bị mất mát dự báo đã sai lệch 48% so với thực tế. Nhưng diện tích cốt thép dọc còn lại (thông số đưa vào tính khả năng chịu lực của cấu kiện [20]) dự báo chỉ sai lệch 9% so với thực tế khảo sát. Sai số này là chấp nhận được.

5. Kết luận

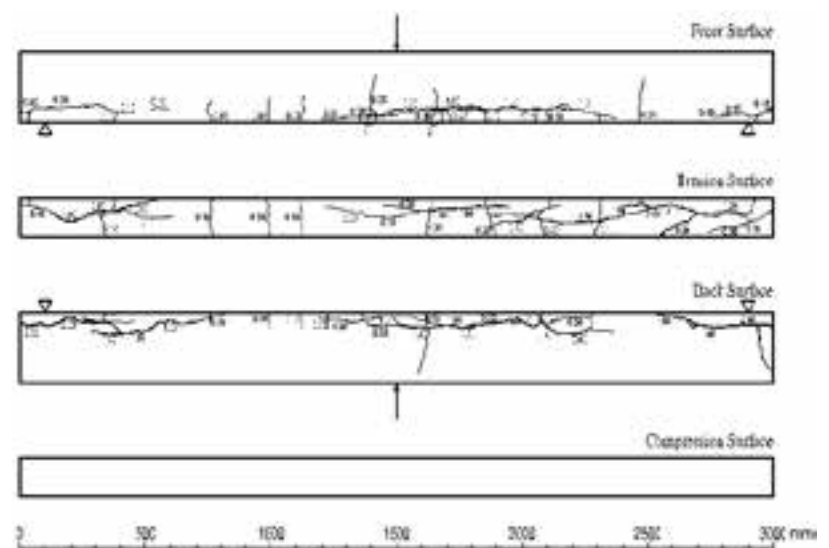
Khảo sát kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn là công việc phức tạp, dễ gặp nhiều sai số, ảnh hưởng đến kết quả đánh giá an toàn kết cấu.

Các phương pháp không phá hủy thông thường áp dụng khảo sát kết cấu bê tông cốt thép nói chung bị hạn chế khi khảo sát kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn, thậm chí không áp dụng được.

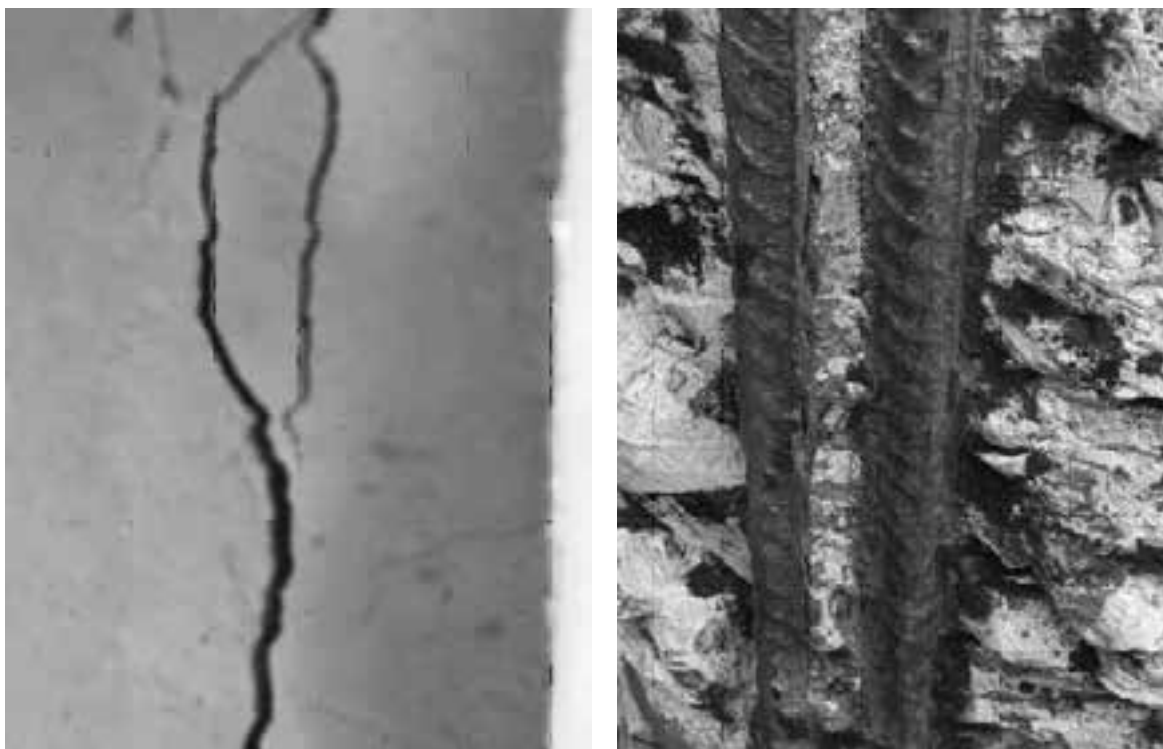
Bài báo đề xuất áp dụng các công thức thực nghiệm được công bố từ những trung tâm nghiên cứu chuyên sâu về ăn mòn của châu Âu và Hoa Kỳ cho thấy sự khả thi và đã được kiểm nghiệm sai số chấp nhận được. Dấu hiệu vết nứt ăn mòn dùng để đánh giá

Bảng 1: Số liệu tính toán dầm A2CL3

Phần tử	L_e (mm)	w (mm)	ΔA_s (mm ²)	A_{sr} (mm ²)	L_t (mm)	L_{tcor} (mm)	Mô men quán tính trung bình phần tử lớn I_{mcor} (mm ⁴)
1	130	0.5 2.5	16 51	335	150	366	0.7566 E+8
2	150	0.2 2.0	11 42	349		285	0.7566 E+8
3	387	0.1 1	9 24	369		198	1.0372 E+8
4	218	0 0	0 0	402		150	0.9728 E+8
5	136	0 0	0 0	402		150	0.8856 E+8
6	261	0.7 0.3	19 12	371		190	0.9033 E+8
7	254	0.9 1.2	23 28	351		246	0.8159 E+8
8	83	1.6 1.8	35 38	329		344	0.6997 E+8
9	133	1.5 2.0	33 42	327		356	0.7067 E+8
10	204	1.5 2.0	33 42	327		356	0.7239 E+8
11	48	1.5 1.8	33 38	331		335	0.6957 E+8
12	207	0.9 0.9	23 23	356		229	0.8084 E+8
13	156	0.6 0.6	18 18	366		198	0.8118 E+8
14	150 (239)	0 1.6	0 35	367		239	0.8393 E+8
15	283 (194)	0.1	9	344		333	0.7536 E+8



Hình 1: Sơ đồ vết nứt dầm



Hình 2: Vết nứt ăn mòn trên cột và cốt thép được lấy mẫu

tình trạng ăn mòn và đặc trưng cơ học vật liệu bị ăn mòn rất đơn giản, dễ sử dụng.

Để tăng thêm độ tin cậy cho kết quả khảo sát kết cấu bê

tông cốt thép bị ăn mòn, trên từng công trình cụ thể có thể đối chứng với kết quả lấy mẫu đại diện để hiệu chỉnh công thức thực nghiệm bằng hệ số điều chỉnh phù hợp./.

Tài liệu tham khảo

1. TCVN 3105:1993, Hỗn hợp bê tông nặng và bê tông nặng - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử. Bộ KH&CN, 1993.
2. TCVN 9334:2012, Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén bằng súng bật nảy. Bộ KH&CN, 2012.
3. TCVN 9335:2012, Bê tông nặng - Phương pháp thử không phá hủy - Xác định cường độ nén sử dụng kết hợp máy đo siêu âm và súng bật nảy. Bộ KH&CN, 2012.
4. TCVN 9348:2012, Bê tông cốt thép - Kiểm tra khả năng cốt thép bị ăn mòn - Phương pháp điện thế. Bộ KH&CN, 2012.
5. TCVN 9356:2012, Kết cấu BTCT - Phương pháp điện từ xác định chiều dày lớp bê tông bảo vệ, vị trí và đường kính cốt thép trong bê tông. Bộ KH&CN, 2012.
6. ASTM-C876-15-Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.
7. ASTM Committee G-1 on Corrosion of Metals. Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2003; Volume 3, pp. 17-25.
8. C. Andrade and C. Alonso, Corrosion rate monitoring in the laboratory and on-site, Construction and Building Materials, Vol. 10, No. 5, pp. 315-328, 1996.
9. Du, Y. G., Clark, L. A., Chan, A. H. C., Residual capacity of corroded reinforcing bars. Magazine of Concrete Research, 5(3): 135-147, 2005.
10. Hoang Hiep Vu, Ngoc Anh Vu, Raoul François. "Effect of corrosion of tensile rebars and stirrups on the flexural stiffness of reinforced concrete members". European Journal of Environmental and Civil Engineering, Volume 18, Issue 3, 2014.
11. Inamullah Khan, Raoul François, Arnaud Castel. Prediction of reinforcement corrosion using corrosion induced cracks width in corroded reinforced concrete beams. Cement and Concrete Research 56 (2014) 84-96.
12. Linwen Yu, Raoul François, Vu Hiep Dang, Valérie L'Hostis, Richard Gagné. Distribution of corrosion and pitting factor of steel in corroded RC beams. Construction and Building Materials 95, 384-392, 2015.
13. Liu, T, Weyers. R. W., Modelling the dynamic corrosion process in chloride contaminated concrete structures, Cement and Concrete Research, 28(3), pp. 365-379, 1998.
14. M. Di Benedetti, G. Loreto, F. Matta, A. Nanni. Continuous acoustic emission monitoring of reinforced concrete under accelerated corrosion. J. Mater. Civ. Eng. 2013, 25, 1022-1029.
15. Mohsen A.S., Mohamad A.B., Mohamad G.B., Effect of longitudinal rebar corrosion on the compressive strength reduction of concrete in reinforced concrete structure, Advances in Structural Engineering, 11 pages. 2016.
16. Polder, R.B. Test methods for onsite measurement of resistivity of concrete - a RILEM TC-154 technical recommendation. Constr. Build. Mater. 2001, 15, 125-131.
17. Raoul Francois, Arnaud Castel, Thierry Vidal. A finite macro-element for corroded reinforced concrete. Materials and Structures 39:571-584, 2006.
18. T. Vidal, A. Castel, R. Francois. Analyzing crack width to predict corrosion in reinforced concrete. Cement and Concrete Research 34 (2004) 165-174.
19. Vu. K.A.T., Stewart. M.G., Structural reliability of concrete bridges including improved chloride-induced corrosion models. Structural Safety, 22, pp. 313-333, 2000.
20. СП 13-102-2003, Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений (Cơ sở biên soạn TCVN: Nhà và công trình - Các nguyên tắc khảo sát kết cấu chịu lực), 2003.