

DỰ BÁO KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CÒN LẠI CỦA CỘT BTCT CHỊU NÉN LỆCH TÂM PHẪNG CÓ CỐT THÉP DỌC BỊ ẮN MÒN

Nguyễn Đăng Nguyên^{a,*}, Nguyễn Ngọc Tân^a

^a*Khoa Xây dựng Dân dụng & Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 02/04/2019, Sửa xong 28/05/2019, Chấp nhận đăng 30/05/2019

Tóm tắt

Nghiên cứu này trình bày phương pháp dự báo khả năng chịu lực còn lại của cột bê tông cốt thép (BTCT) chịu nén lệch tâm phẳng có cốt thép dọc bị ăn mòn sử dụng phần mềm XTRACT 3.0.8. Ảnh hưởng của sự ăn mòn cốt thép được kể đến thông qua sự suy giảm cường độ đối với bê tông khi chịu nén, và sự suy giảm cường độ và độ dẻo đối với cốt thép khi chịu kéo và chịu nén. Phương pháp này được áp dụng trên một cột ngắn bằng bê tông cốt thép (BTCT) có tiết diện 600×600 mm, với hàm lượng cốt thép dọc là 1,64%, và tỷ lệ giữa chiều dày lớp bê tông bảo vệ và đường kính cốt dọc là 1,6. Trong thực tế, sự ăn mòn không diễn ra đồng đều trên tất cả các vị trí (bề mặt) của cấu kiện. Do đó, nghiên cứu này khảo sát sáu trường hợp ăn mòn cốt thép dọc tương ứng với các vị trí khác nhau để xây dựng các biểu đồ tương tác P - M . Những biểu đồ này chỉ ra rằng khả năng chịu lực còn lại của cột BTCT phụ thuộc vào mức độ ăn mòn cũng như vị trí ăn mòn của cốt thép dọc.

Từ khoá: cột bê tông cốt thép; khả năng chịu lực giới hạn; ăn mòn cốt thép; biểu đồ tương tác.

PREDICTION OF RESIDUAL CARRYING CAPACITY OF RC COLUMN SUBJECTED IN-PLANE AXIAL LOAD CONSIDERING CORRODED LONGITUDINAL STEEL BARS

Abstract

In this study, a methodology to predict residual carrying capacity of corroded reinforced concrete columns subjected in-plane axial load having several corroded longitudinal steel bars using XTRACT 3.0.8 software, which is based on the deteriorated models of concrete and steel materials. The effects of corrosion of longitudinal steel bars are considered by using deteriorated constitutive law for concrete in compression, steel reinforcement in both tension and compression. The method used is applied on a short column sample with the section of 600×600 mm, longitudinal reinforcement ratio of 1.64, and ratio between concrete cover and steel bar diameter of 1.6. In fact, the corrosion does not occurred on whole locations (surface) of structural element. Therefore, this study considers six cases of longitudinal steel bars corresponding different locations in the section to draw the interaction diagram of P - M . These diagrams show that the residual carrying capacity of corroded reinforced concrete columns depends not only on corrosion level but also the corrosion location of longitudinal reinforcement.

Keywords: RC column; load-carrying capacity; reinforcement corrosion; interaction diagram.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(2V\)-06](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(2V)-06) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Mở đầu

Cốt thép bị ăn mòn là một trong những vấn đề thường gặp đối các công trình bê tông cốt thép (BTCT) sau một thời gian công trình đưa vào sử dụng. Sự ăn mòn làm giảm cường độ và độ dẻo của

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: nguyennnd@nuce.edu.vn (Nguyễn, N. Đ.)

cốt thép [1–7]. Hơn nữa, sản phẩm của quá trình ăn mòn là các rỉ sét có sự giãn nở về thể tích và tạo nên ứng suất kéo trong bê tông và làm cho bê tông suy giảm khả năng chịu lực [8, 9]. Sự ăn mòn cốt thép cũng làm cho lực dính của bê tông và cốt thép bị giảm đi [10, 11]. Do đó, sự ăn mòn sẽ làm cho độ cứng, khả năng chịu lực và biến dạng của cầu kiện bê tông cốt thép bị suy giảm [3, 12–14]. Như một hệ quả, sự an toàn và chịu lực của kết cấu công trình bị ảnh hưởng, kéo theo là sự giảm tuổi thọ của công trình so với thiết kế.

Về vị trí địa lý, Việt Nam nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa, với chiều dài bờ biển 3260 km từ 8° đến 24° vĩ độ Bắc, 1 triệu km² diện tích vùng biển đặc quyền kinh tế rộng gấp ba lần đất liền và hơn 3000 hòn đảo lớn nhỏ. Cả nước hiện có 28/63 tỉnh, thành phố tiếp giáp với biển với tổng diện tích 208560 km² chiếm 41% diện tích cả nước và 41,2 triệu dân chiếm gần 50% dân số cả nước, trong đó có 10 tỉnh, thành phố có hải đảo, quần đảo [15]. Các công trình bê tông cốt thép ở các thành phố gần và ven biển rất dễ bị ăn mòn do gió thổi từ biển vào mang theo độ ẩm và hàm lượng cao ion clorua. Nhiều công trình bê tông cốt thép trong môi trường biển ở Việt Nam sau khi sử dụng từ 5 - 10 năm đã bị ăn mòn và phá huỷ trầm trọng, đòi hỏi phải chi phí khoảng 30 - 70% giá thành xây mới cho việc sửa chữa bảo vệ chúng. Nhiều công trình được thiết kế với tuổi thọ đến 50 năm, nhưng trong thực tế chỉ đạt 20 - 30 năm, một số công trình bị hư hỏng nặng sau 10 - 15 năm đưa vào sử dụng [15]. Do đó, sự ăn mòn cốt thép chắc chắn là một vấn đề quan trọng, thu hút nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu trong nước thời gian gần đây [16, 17]. Hình 1 cho thấy sự ăn mòn cốt thép rất mạnh xảy ra tại một số công trình BTCT tại Việt Nam.



(a) Các trụ cầu bị ăn mòn cốt thép ở Phan Thiết
cách biển 1 km



(b) Cột nhà bị ăn mòn cốt thép ở Kiên
Giang cách biển khoảng 3 km

Hình 1. Ăn mòn cốt thép trong công trình bê tông cốt thép [15]

Tại Việt Nam, những nghiên cứu về vấn đề ăn mòn cốt thép trong kết cấu BTCT chưa nhiều, một số nghiên cứu thường chỉ xét đến các biện pháp chống và giảm ăn mòn mà chưa xét đến khả năng làm việc của kết cấu khi đã bị ăn mòn. Sau khi sự ăn mòn xảy ra, mối quan tâm chính là đánh giá khả năng chịu lực còn lại của cầu kiện/kết cấu bê tông cốt thép. Việc đánh giá hiện trạng kết cấu cầu hiện nay được thực hiện dựa trên việc quan sát bằng mắt thường, dựa trên kinh nghiệm của chuyên gia kết cấu, và trong một số trường hợp được bổ sung một số thí nghiệm không phá huỷ. Đánh giá đúng ảnh hưởng của sự ăn mòn đến ứng xử của cột bê tông cốt thép bị ăn mòn sẽ giúp nâng cao quy trình kiểm tra chất lượng công trình và giúp chủ đầu tư hoạch định chiến lược và phương pháp sửa chữa gia cường có hiệu quả.

Bài báo này đề xuất phương pháp dự báo khả năng chịu lực còn lại của cột BTCT chịu nén lệch tâm phẳng có kể đến ảnh hưởng của cốt thép dọc bị ăn mòn. Trong phương pháp tính toán, sự ăn mòn

của cốt dọc ảnh hưởng đến khả năng chịu lực còn lại của cột BTCT bằng cách kể đến sự suy giảm diện tích mặt cắt ngang cốt thép, sự suy giảm cường độ cốt thép bị ăn mòn, và sự suy giảm về khả năng nén của lớp bê tông bảo vệ do ứng suất kéo gây ra bởi sự ăn mòn cốt thép. Khả năng chịu lực còn lại của cột BTCT bị ăn mòn được định lượng bằng cách xây dựng biểu đồ tương tác giữa lực dọc và mô men.

2. Các mô hình vật liệu suy giảm do ăn mòn và giả thiết tính toán

2.1. Mô hình cốt thép

Trong nghiên cứu này, mối quan hệ ứng suất - biến dạng của cốt thép khi chịu kéo và chịu nén được mô hình bởi công thức (1):

$$f_s = \begin{cases} E_s \varepsilon_s & \text{khi } \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy} \\ f_{sy} & \text{khi } \varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su} \end{cases} \quad (1)$$

trong đó f_s và ε_s lần lượt là ứng suất và biến dạng của cốt thép; f_{sy} và ε_{sy} lần lượt là ứng suất chảy và biến dạng chảy của cốt thép; ε_{su} là biến dạng cực hạn của cốt thép; E_s là mô đun đàn hồi của cốt thép.

Sự ăn mòn làm suy giảm diện tích mặt cắt ngang của cốt thép. Trong nghiên cứu này, diện tích mặt cắt ngang còn lại của cốt thép dọc bị ăn mòn được thể hiện bằng công thức (2) với giả thiết ăn mòn là đồng đều dọc theo chiều dài thanh thép:

$$A_s(\Delta w) = \frac{\pi D_0^2}{4} (1 - 0,01 \times \Delta w) \quad (2)$$

trong đó $A_s(\Delta w)$ là diện tích mặt cắt ngang của thanh cốt thép bị ăn mòn; Δw (%) là khối lượng cốt thép bị ăn mòn trung bình; D_0 là đường kính của thanh cốt thép không bị ăn mòn.

Thực tế, ứng suất chảy và ứng suất bền của cốt thép có mối liên quan trực tiếp đến diện tích mặt cắt ngang nhỏ nhất hơn là diện tích mặt cắt ngang trung bình như giả thiết của công thức (2). Để kể đến hiện tượng này, ứng suất chảy và ứng suất bền của cốt thép được tính toán dựa vào công thức (3):

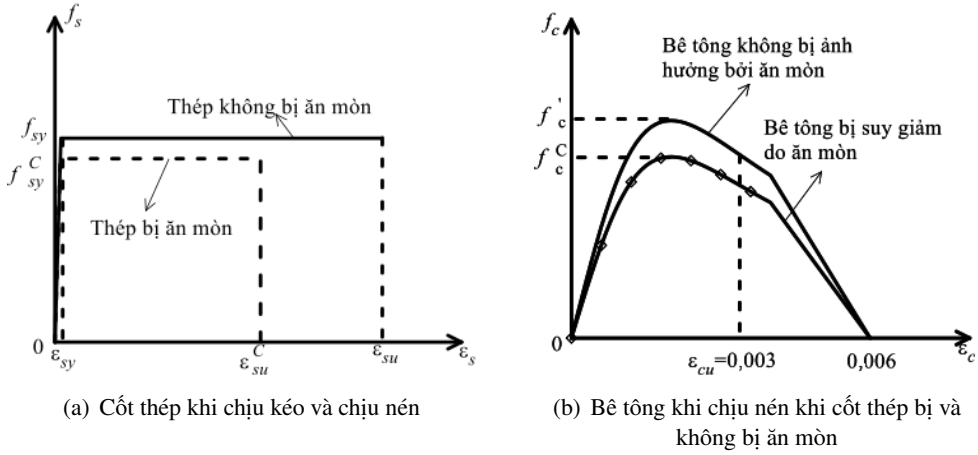
$$f_{sy}^C = (1 - \beta \times \Delta w) f_{sy0} \quad (3)$$

trong đó f_{sy}^C là ứng suất chảy của thanh cốt thép bị ăn mòn; β là hệ số suy giảm cường độ; và f_{sy0} là ứng suất chảy của thanh thép không bị ăn mòn. Trong nghiên cứu này, $\beta = 0,005$ như đề xuất của Du và cộng sự [2].

Do sự tập trung ứng suất và biến dạng tại các vị trí ăn mòn điểm, biến dạng cực hạn của cốt thép bị ăn mòn sẽ bị suy giảm [1, 6, 7, 18–21]. Biến dạng cực hạn còn lại của thanh cốt thép bị ăn mòn có thể được dự báo bằng công thức (4), trong đó mối quan hệ giữa khối lượng ăn mòn trung bình và biến dạng cực hạn còn lại được giả thiết là tuyến tính được giả thiết giữa khối lượng ăn mòn trung bình và biến dạng cực hạn còn lại được đề xuất bởi một số nghiên cứu [1, 7]. Trong khi đó, một số nghiên cứu khác đề xuất các phương trình hàm mũ biểu diễn mối quan hệ giữa khối lượng ăn mòn trung bình với biến dạng cực hạn còn lại [19, 21].

$$\varepsilon_{su}^C = (1 - \alpha \times \Delta w) \varepsilon_{su0} \quad (4)$$

trong đó ε_{su}^C là biến dạng cực hạn của thanh cốt thép bị ăn mòn; α là hệ số biến dạng cực hạn của cốt thép dọc; và ε_{su0} là biến dạng cực hạn của cốt thép không bị ăn mòn, $\varepsilon_{su0} = 0,12$. Hệ số α_i biến đổi từ 0 tới 0,06 tùy thuộc vào môi trường ăn mòn [1]. Du và cộng sự [1] đề xuất $\alpha = 0,03$ và $\alpha = 0,05$ lần lượt là giá trị cho cốt thép không nằm trong bê tông và cho cốt thép nằm trong bê tông sử dụng phương pháp ăn mòn điện hóa. Giá trị của α được lấy bằng 0,05 trong nghiên cứu này. Hình 2(a) biểu diễn mối quan hệ đường cong ứng suất - biến dạng khi chịu kéo và chịu nén của cốt thép bị và không bị ăn mòn.



Hình 2. Mô hình vật liệu không ăn mòn và ăn mòn cốt thép

2.2. Mô hình bê tông

Quan sát và thực nghiệm cho thấy rằng phần bê tông lõi không bị ảnh hưởng bởi sự ăn mòn của cốt thép [22]. Do đó, tính chất cơ lý của bê tông lõi được mô phỏng như đối với bê tông không bị ảnh hưởng bởi sự ăn mòn. Trong số các mô hình có sẵn của vật liệu bê tông, mô hình bê tông không được kiểm chế của Mander và cộng sự [23] được sử dụng để biểu diễn sự làm việc chịu nén của bê tông lớp bảo vệ khi không bị ảnh hưởng bởi sự ăn mòn và bê tông lõi.

Lớp bê tông bảo vệ khi bị ảnh hưởng bởi sự ăn mòn sẽ bị suy giảm ứng xử nén do sự xuất hiện ứng suất kéo gây ra bởi sự giãn nở thể tích bởi các sản phẩm của sự ăn mòn. Trong nghiên cứu này, sự suy giảm ứng suất khi nén của bê tông lớp bảo vệ do ăn mòn được mô phỏng sử dụng mô hình mềm hóa bê tông theo đề xuất của Vecchio và Collins [24] thông qua hệ số mềm (ξ) tính bởi công thức (5). Biến dạng kéo được tính toán dựa vào tổng bề rộng các vết nứt bởi công thức (6). Ứng suất nén của bê tông lớp bảo vệ do ảnh hưởng của sự ăn mòn được xác định bằng công thức (7).

$$\xi = \frac{1}{0,8 + 0,34 \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon'_c}} \leq 1 \quad (5)$$

$$\varepsilon_r = \frac{w_{cr}}{p_{cp}} = \frac{\sum w_{cri}}{p_{cp}} \quad (6)$$

$$f_c^C = \xi \times f'_c \quad (7)$$

trong đó f'_c là cường độ chịu nén của bê tông không bị ảnh hưởng bởi sự ăn mòn; f_c^C là cường độ chịu nén của bê tông bị ảnh hưởng bởi sự ăn mòn; ε_r là biến dạng kéo gây ra bởi các vết nứt do sự ăn mòn; p_{cp} là chiều dài dọc theo chu vi mặt cắt ngang tiết diện mà qua đó tổng bề rộng các vết nứt được tính toán; w_{cr} là tổng bề rộng các vết nứt theo chiều dài p_{cp} ; và w_{cri} là bề rộng của vết nứt do ăn mòn thứ i . Nếu không có kết quả đo thực nghiệm của w_{cr} thì ε_r được xác định theo các công thức (8) và (9) được đề xuất bởi Coronelli và Gambarova [12].

$$\varepsilon_r = \frac{\sum 2\pi(v_{cr} - 1)x}{p_{cp}} \quad (8)$$

$$x = \frac{D_0 - D_c}{2} \quad (9)$$

trong đó v_{cr} là tỷ số của đường kính tăng lên do giãn nở thể tích của sản phẩm ăn mòn so với đường kính bị giảm do ăn mòn của cốt thép; x là bề dày ăn mòn trung bình của thanh cốt thép bị ăn mòn; D_0 là đường kính ban đầu của cốt thép khi chưa bị ăn mòn; và D_c là đường kính cốt thép sau khi bị ăn mòn. Giá trị của v_{cr} phụ thuộc vào sản phẩm ăn mòn, và được thảo luận trong nghiên cứu của Liu và Weyers [9]. Giá trị $v_{cr} = 2$ được đề xuất bởi Molina và cộng sự [8] từ các nghiên cứu thực nghiệm, và đã được sử dụng trong phân tích phần tử hữu hạn [11, 25, 26].

Hình 2(b) thể hiện ảnh hưởng của sự ăn mòn tới ứng xử nén của bê tông không bị ảnh hưởng bởi sự ăn mòn và bê tông bị ảnh hưởng bởi sự ăn mòn.

2.3. Các giả thiết tính toán

Trong nghiên cứu này, những giả thiết sau đây được sử dụng trong tính toán khả năng chịu lực còn lại của cột bê tông cốt thép bị ăn mòn:

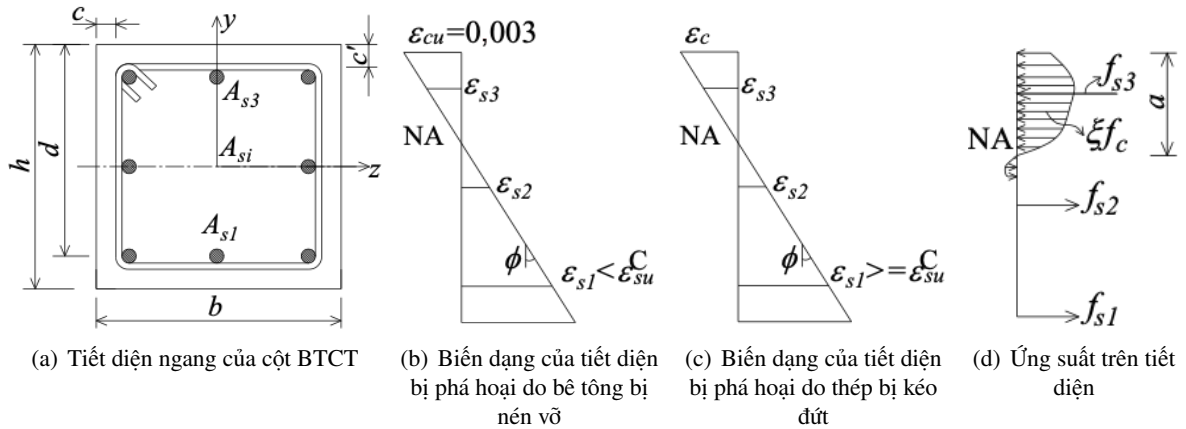
- Trên cùng một thanh cốt thép, sự ăn mòn là đồng đều trên toàn bộ tiết diện. Mức độ ăn mòn là như nhau đối với các thanh thép bị ăn mòn trên cùng một tiết diện;
- Trong tính toán khả năng chịu lực của cột BTCT, cường độ chịu kéo của bê tông được bỏ qua;
- Sự ăn mòn không làm thay đổi đáng kể hình dạng đường cong ứng suất - biến dạng của cốt thép. Do đó, có thể giả thiết rằng cốt thép bị ăn mòn có đường cong ứng suất - biến dạng tương tự như đối với cốt thép không bị ăn mòn và có đường chảy dẻo bằng phẳng;
- Mô hình bê tông không được kiểm chế của Mander và cộng sự [23] được sử dụng để mô phỏng ứng xử nén của bê tông bị và không bị ảnh hưởng bởi sự ăn mòn ăn mòn. Lớp bê tông bảo vệ bị ảnh hưởng bởi sự ăn mòn, ứng xử mềm hóa của bê tông được mô phỏng sử dụng hệ số mềm hóa đề xuất bởi Vecchio và Collins [24].
- Mặt cắt trước và sau biến dạng là phẳng;
- Sự kiểm chế nở ngang của bê tông do ảnh hưởng của cốt đai không kể đến trong tính toán.

3. Biểu đồ tương tác của cột BTCT bị ăn mòn

Biểu đồ tương tác giữa P - M của cột BTCT thường được tính toán bằng cách giả thiết một chuỗi phân bố biến dạng, mỗi một phân bố biến dạng tương ứng với một điểm cụ thể trong biểu đồ tương tác, và sau đó tính toán các giá trị tương ứng của P và M . Khi có đầy đủ các điểm như vậy được tính toán, các kết quả được tổng hợp lại và nối thành biểu đồ tương tác. Nghiên cứu này sử dụng phần mềm XTRACT 3.0.8 [27] để thiết lập biểu đồ tương tác, sử dụng các giả thiết tính toán nêu ở mục 3. Ứng xử của bê tông và cốt thép khi bị và không bị ảnh hưởng bởi sự ăn mòn được xác định theo mục 2 được trình bày ở trên. Mặt cắt ngang tiết diện được chia nhỏ thành các lớp vật liệu với tính chất mỗi lớp vật liệu tương ứng với mô hình vật liệu đã được định nghĩa ở mục 2. Phương pháp xây dựng biểu đồ tương tác được tham khảo ở tài liệu XTRACT 3.0.8 [27].

Một quá trình tính toán có kể đến toàn bộ các biến số liên quan đến sự ăn mòn cốt thép được thể hiện ở Hình 3 với một trường hợp ăn mòn và sự phân bố ứng suất. Mặt cắt ngang được thể hiện ở Hình 3(a), và phân bố biến dạng của mặt cắt ngang được thể hiện ở Hình 3(b) and 3(c). Biến dạng nén cực hạn của bê tông khi bị và không bị ảnh hưởng bởi sự ăn mòn được giả thiết bằng 0,003, và biến dạng cực hạn khi kéo của cốt thép ε_{su}^c tương ứng với sự phá hoại của mặt cắt ngang. Vị trí của trục trung hòa và biến dạng của mỗi lớp thép được tính từ sự phân bố biến dạng khi coi biến dạng của mặt cắt ngang là phẳng. Ứng suất của bê tông vùng nén và ứng suất của mỗi lớp cốt thép được thể hiện ở Hình 3(d). Các lực trong bê tông và các lớp cốt thép được tính toán bằng cách nhân các ứng suất với diện tích tương ứng mà các ứng suất tác dụng. Cuối cùng, lực dọc P_n được tính toán bằng cách cộng các

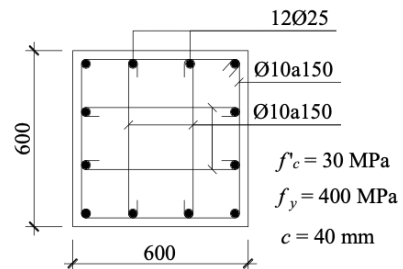
lực trong cốt thép và bê tông, và mô men M_n được tính toán bằng cách cộng các mô men do các lực trong cốt thép và bê tông lấy đối với đường trung hòa NA của mặt cắt. Các giá trị lực P_n và M_n đại diện cho một điểm trên biểu đồ tương tác.



Hình 3. Tính toán các ứng suất và biến dạng với một tiết diện ngang và phân bố biến dạng của cột BTCT

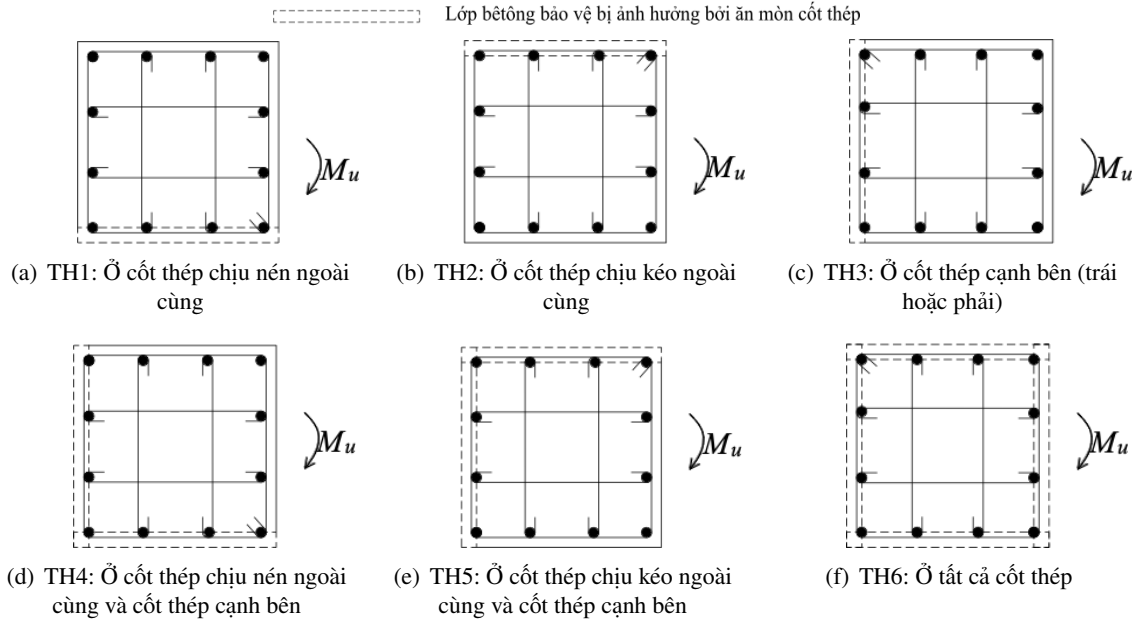
4. Áp dụng mô hình tính toán cho cột BTCT bị ăn mòn

Áp dụng các mô hình vật liệu suy giảm do ăn mòn của bê tông và cốt thép (mục 2.1) và các giải thuyết tính toán (mục 2.3), khả năng chịu lực còn lại của cột bê tông cốt thép bị ăn mòn được dự báo đối với một số các trường hợp bị ăn mòn khác nhau được thể hiện bằng biểu đồ tương tác (mục 3). Tiết diện ngang của cột BTCT được minh họa như Hình 4, với hàm lượng cốt thép dọc là 1,64%, tỷ số giữa chiều dày lớp bê tông bảo vệ và đường kính cốt thép là $c/d = 1,6$. Với cột bê tông cốt thép này, sáu trường hợp ăn mòn khác nhau đã được khảo sát, lần lượt là: (TH1) ăn mòn tại cốt thép chịu nén ngoài cùng; (TH2) ăn mòn tại cốt thép chịu kéo ngoài cùng; (TH3) ăn mòn ở cốt thép cạnh bên (trái hoặc phải); (TH4) ăn mòn tại cốt thép chịu nén ngoài cùng và cốt thép cạnh bên; (TH5) ăn mòn tại cốt thép chịu kéo ngoài cùng và cốt thép cạnh bên; (TH6) ăn mòn ở tất cả cốt thép. Hình 5 thể hiện sáu trường hợp ăn mòn khác nhau được khảo sát. Đối với mỗi trường hợp, các mức độ ăn mòn khác nhau của cốt thép dọc lần lượt là 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, và 50% được tính toán. Tính chất cơ lý của bê tông và cốt thép bị ảnh hưởng bởi mức độ ăn mòn khảo sát được cho ở Bảng 1.



Hình 4. Mặt cắt ngang cốt thép cột sử dụng để tính toán với các trường hợp ăn mòn

Hình 6 trình bày biểu đồ tương tác $P-M$ cho từng trường hợp ăn mòn cốt thép dọc. Với trường hợp 1 (Hình 6(a)), khi giả thiết rằng sự ăn mòn chỉ xảy ra ở lớp cốt thép chịu nén ngoài cùng. Khả năng chịu mô men và lực dọc của cột bị suy giảm khi mức độ ăn mòn tăng từ 5% đến 50%. Mức độ suy giảm về mô men và lực dọc ở điểm phá hoại cân bằng (balanced condition) là nhiều hơn mức độ suy giảm của mô men và lực dọc trong vùng phá hoại do nén và vùng phá hoại do kéo. Đó là bởi vì ở trạng thái phá hoại cân bằng thì trục trung hòa là cố định (do bị khống chế bởi biến dạng định trước



Hình 5. Các trường hợp ăn mòn được dùng trong tính toán

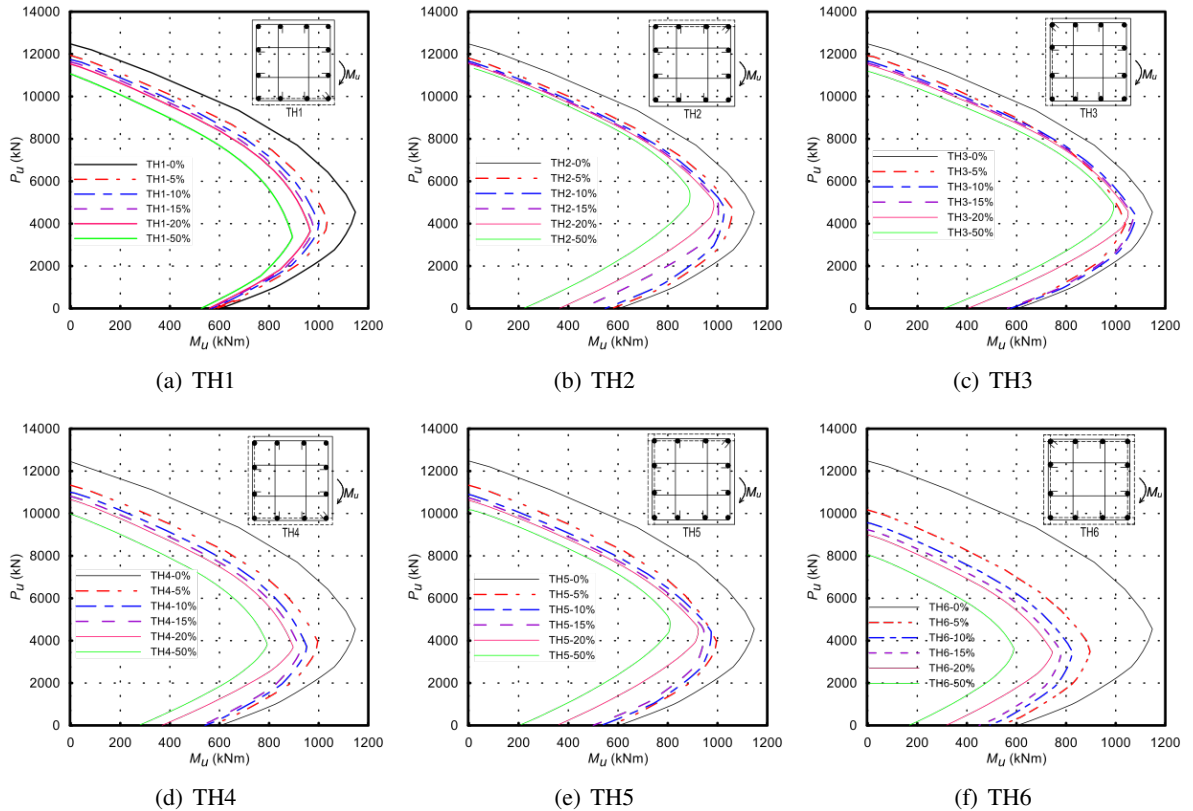
Bảng 1. Tính chất cơ lý của vật liệu với các mức độ ăn mòn

Thứ tự	$\Delta w(\%)$	D_c (mm)	$A_s(\Delta w)$ (mm ²)	ε_r	f_c^C (MPa)	f_{sy}^C (MPa)	ε_{su}^C
1	0	25,00	490,8	0,0	30,0	400,0	0,12
2	5	24,37	466,3	0,013256	9,82	390,0	0,09
3	10	23,72	441,8	0,02687	5,59	380,0	0,06
4	15	23,05	417,2	0,04087	3,872	370,0	0,05
5	20	22,36	392,7	0,05528	2,942	360,0	0,0018
6	50	17,68	245,44	0,15336	1,116	300,0	0,0015

của cốt thép và bê tông). Do đó, khi mức độ ăn mòn tăng lên, lực trong các cốt thép chịu nén giảm đi nên làm cho lực dọc trong cột giảm, và việc dịch chuyển trọng tâm mặt cắt sang vùng kéo làm giảm cánh tay đòn và cuối cùng là làm giảm giá trị mô men.

Với trường hợp 2 (Hình 6(b)), khi giả sử rằng sự ăn mòn xảy ra ở lớp cốt thép chịu kéo ngoài cùng, sự suy giảm khả năng chịu lực dọc khi nén đúng tâm là tương tự như trường hợp 1 (Hình 6(a)). Khi mức độ ăn mòn tăng lên, sự suy giảm về khả năng chịu lực là lớn hơn so với trường hợp 1 (Hình 6(a)) tại vùng phá hoại do kéo, thể hiện rõ khi mức độ ăn mòn lớn hơn 15% khi sự phá hoại của mặt cắt ngang được khống chế bởi cốt thép đạt biến dạng cực hạn do kéo đứt thay vì bê tông bị phá hoại.

Với trường hợp 3 (Hình 6(c)), khi sự ăn mòn xảy ra ở lớp cốt thép ngoài cùng của cạnh bên, sự suy giảm khả năng chịu lực ở vị trí chỉ có lực nén tác dụng là gần như bằng với trường hợp 1 và 2. Với cùng một mức độ ăn mòn, khả năng chịu lực của cột BTCT ở trường hợp 3 là lớn hơn so với khi ăn mòn xảy ra ở trường hợp 2. Điều này được giải thích là do hàm lượng cốt thép chịu kéo ở trường hợp 3 là cao hơn so với trường hợp 2. Bởi vì trường hợp 3 lớp thép chịu kéo ngoài cùng có ba thanh cốt thép không bị tác động bởi sự ăn mòn. Khi mức độ ăn mòn từ 5% đến 15% thì khả năng chịu lực của cột BTCT ở trường hợp 3 là lớn hơn so với trường hợp 1 với cùng một mức độ ăn mòn. Và khi mức



Hình 6. Biểu đồ tương tác của cột bê tông có cốt thép dọc bị ăn mòn

độ ăn mòn từ 20% đến 50%, với cùng một mức độ ăn mòn cốt thép dọc thì khả năng chịu lực của cột BTCT ở trường hợp 3 là cao hơn trường hợp 2 khi sự phá hoại của mặt cắt ngang là do bê tông đạt biến dạng cực hạn và bị phá hoại. Ở mức độ ăn mòn lớn hơn 20% thì cốt thép làm việc tuyến tính và coi như bị kéo đứt (công thức (4)) khi ứng suất trong cốt thép đạt tới khả năng chịu lực còn lại xác định theo công thức (3). Khi đó mặt cắt bị phá hoại do cốt thép bị kéo đứt thay vì bê tông bị nén vỡ, lúc này sự suy giảm khả năng chịu lực của cột bị ăn mòn trong trường hợp 2 là lớn hơn trường hợp 3.

Với trường hợp thứ 4 (Hình 6(d)) và trường hợp 5 (Hình 6(e)), khi sự ăn mòn xảy ra lớp thép cạnh bên và lớp thép chịu kéo hoặc nén ngoài cùng. Khi mức độ ăn mòn từ 5% đến 15% thì sự suy giảm về khả năng chịu lực của cột BTCT là gần như bằng nhau. Khi hàm lượng ăn mòn tăng trên 20%, sự suy giảm về khả năng chịu lực ở trường hợp 5 là lớn hơn ở trường hợp 4 ở vùng phá hoại dẻo. Sự suy giảm về khả năng chịu lực của cột BTCT trong vùng phá hoại do nén là gần bằng nhau giữa hai trường hợp. Nguyên nhân là do trong vùng phá hoại do nén thì ứng suất trong cốt thép chịu kéo là nhỏ nên ít ảnh hưởng tới khả năng chịu lực của cột trong hai trường hợp. Với trường hợp thứ 6 (Hình 6(f)), khi tất cả các cốt thép dọc bị ăn mòn, khả năng chịu lực của cột bị suy giảm lớn hơn so với các trường hợp khác. Khi mức độ ăn mòn tăng làm giảm hàm lượng cốt thép một cách đáng kể, cùng với đó là sự suy giảm khả năng chịu lực của cốt thép và lớp bê tông bảo vệ dẫn tới kết quả là cột bị giảm mạnh khả năng chịu lực nhiều hơn so với các trường hợp khác.

5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, phương pháp dự báo khả năng chịu lực còn lại của cột BTCT bị ăn mòn chịu nén lệch tâm phẳng đã được đề xuất dựa trên các mô hình vật liệu suy giảm do ăn mòn của bê tông và cốt thép sử dụng phần mềm XTRACT 3.0.8. Phương pháp dự báo đã được áp dụng trên một mô hình cột ngắn BTCT có tiết diện 600×600 mm, nhằm khảo sát sáu trường hợp tương ứng với các vị trí khác nhau của cốt thép dọc bị ăn mòn và sáu mức độ ăn mòn trong khoảng 0% đến 50%. Những kết quả thu được thể hiện bởi các biểu đồ tương tác $P-M$ trong cột BTCT. Nghiên cứu này cho phép đưa ra một số kết luận chính như sau:

- Khả năng chịu lực còn lại của cột BTCT chịu nén lệch tâm phẳng phụ thuộc đồng thời vào vị trí ăn mòn và mức độ ăn mòn của các thanh cốt thép dọc;

- Ăn mòn các thanh cốt thép ở cạnh chịu nén của cột làm giảm chiều cao làm việc của tiết diện, và do đó làm cho mức độ suy giảm khả năng chịu lực của cột nhiều hơn so với ăn mòn chỉ xảy ra ở cạnh bên (trái hoặc phải) hoặc ăn mòn xảy ra ở cạnh chịu kéo của tiết diện trong vùng phá hoại do nén. Tuy nhiên, ăn mòn các thanh cốt thép chịu kéo gây ra sự suy giảm khả năng chịu lực lớn hơn ăn mòn các thanh cốt thép chịu nén hoặc ở cạnh bên (trái hoặc phải), nhất là trong vùng phá hoại do cốt thép bị kéo đứt;

- Trong trường hợp tất cả các thanh cốt thép trên tiết diện ngang bị ăn mòn sẽ gây ra mức độ suy giảm khả năng chịu lực lớn nhất. Một vài khía cạnh được trình bày trong nghiên cứu này yêu cầu phải nghiên cứu sâu hơn nữa để tăng độ chính xác của phương pháp dự báo, cũng như các vấn đề nghiên cứu cần bổ sung. Có thể kể ra đó là:

- + Tính chất cơ lý của cốt thép bị ăn mòn trong mô hình tính toán đề xuất bị suy giảm dựa vào mức độ ăn mòn trung bình của các cốt thép dọc, điều này không phản ánh đúng thực tế khi các thanh cốt thép khác nhau là khác nhau trong mẫu thí nghiệm. Thêm nữa, sự ăn mòn trong thực nghiệm là ăn mòn điểm và điều này không được kể đến trong mô hình đề xuất.

- + Cốt thép chịu nén có thể bị mất ổn định do uốn dọc. Khả năng mất ổn định do uốn dọc tăng lên khi sự ăn mòn tăng. Do đó, mô hình tính toán chính xác hơn cần kể đến mất ổn định của cốt thép dọc bị ăn mòn khi chịu nén.

- + Khi sự ăn mòn tăng xảy ra lực dính giữa bê tông và cốt thép sẽ có xu hướng giảm. Giữa cốt thép và bê tông sẽ có sự trượt tương đối. Giả thiết mặt cắt phẳng sau biến dạng sẽ không chính xác khi lực dính giảm đi. Do đó, cần nghiên cứu phương pháp tính toán có thể kể đến lực dính giữa bê tông và cốt thép.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Trường Đại học Xây dựng cho đề tài cấp trường, mã số 102-2018/KHXD.

Tài liệu tham khảo

- [1] Du, Y. G., Clark, L. A., Chan, A. H. C. (2005). [Effect of corrosion on ductility of reinforcing bars](#). *Magazine of Concrete Research*, 57(7):407–419.
- [2] Du, Y. G., Clark, L. A., Chan, A. H. C. (2005). [Residual capacity of corroded reinforcing bars](#). *Magazine of Concrete Research*, 57(3):135–147.
- [3] Du, Y., Clark, L. A., Chan, A. H. C. (2007). Impact of reinforcement corrosion on ductile behavior of reinforced concrete beams. *ACI Structural Journal*, 104(3):285–293.

- [4] Dhakal, R. P., Maekawa, K. (2002). [Path-dependent cyclic stress-strain relationship of reinforcing bar including buckling](#). *Engineering Structures*, 24(11):1383–1396.
- [5] Dhakal, R. P., Maekawa, K. (2002). [Reinforcement stability and fracture of cover concrete in reinforced concrete members](#). *Journal of Structural Engineering*, 128(10):1253–1262.
- [6] Palsson, R., Mirza, M. S. (2002). Mechanical response of corroded steel reinforcement of abandoned concrete bridge. *Structural Journal*, 99(2):157–162.
- [7] Ou, Y.-C., Susanto, Y. T. T., Roh, H. (2016). [Tensile behavior of naturally and artificially corroded steel bars](#). *Construction and Building Materials*, 103:93–104.
- [8] Molina, F. J., Alonso, C., Andrade, C. (1993). [Cover cracking as a function of rebar corrosion: part 2—numerical model](#). *Materials and Structures*, 26(9):532–548.
- [9] Liu, Y., Weyers, R. E. (1998). Modeling time-to-corrosion cracking in chloride contaminated reinforced concrete structures. Discussions and closure. *ACI Materials Journal*, 96(6):675–681.
- [10] Auyeung, Y., Balaguru, P., Chung, L. (2000). Bond behavior of corroded reinforcement bars. *Materials Journal*, 97(2):214–220.
- [11] Bhargava, K., Ghosh, A. K., Mori, Y., Ramanujam, S. (2007). [Corrosion-induced bond strength degradation in reinforced concrete—Analytical and empirical models](#). *Nuclear Engineering and Design*, 237(11): 1140–1157.
- [12] Coronelli, D., Gambarova, P. (2004). [Structural assessment of corroded reinforced concrete beams: modeling guidelines](#). *Journal of Structural Engineering*, 130(8):1214–1224.
- [13] Ou, Y.-C., Nguyen, N. D. (2016). [Influences of location of reinforcement corrosion on seismic performance of corroded reinforced concrete beams](#). *Engineering Structures*, 126:210–223.
- [14] Ou, Y.-C., Nguyen, N. D. (2016). [Modified axial-shear-flexure interaction approaches for uncorroded and corroded reinforced concrete beams](#). *Engineering Structures*, 128:44–54.
- [15] Bộ Xây Dựng (2016). *Tài liệu đào tạo, bồi dưỡng thí nghiệm ăn mòn bê tông và bê tông cốt thép*. Chương trình đào tạo thuộc đề án 1511.
- [16] Tan, N. N., Nguyen, N. D. (2019). An experimental study on flexural behavior of corroded reinforced concrete beams using electrochemical accelerated corrosion method. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE)-NUCE*, 13(1):1–11.
- [17] Tân, N. N., Dũng, T. A., Thê, N. C., Tuấn, T. B., Anh, L. T. (2018). Nghiên cứu thực nghiệm xác định ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép đến ứng suất bám dính giữa bê tông và cốt thép. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng (NUCE)*, 12(6):29–38.
- [18] François, R., Khan, I., Dang, V. H. (2013). [Impact of corrosion on mechanical properties of steel embedded in 27-year-old corroded reinforced concrete beams](#). *Materials and Structures*, 46(6):899–910.
- [19] Dang, V. H., François, R. (2014). [Prediction of ductility factor of corroded reinforced concrete beams exposed to long term aging in chloride environment](#). *Cement and Concrete Composites*, 53:136–147.
- [20] Meda, A., Mostosi, S., Rinaldi, Z., Riva, P. (2014). [Experimental evaluation of the corrosion influence on the cyclic behaviour of RC columns](#). *Engineering Structures*, 76:112–123.
- [21] Yu, L., François, R., Dang, V. H., L’Hostis, V., Gagné, R. (2015). [Structural performance of RC beams damaged by natural corrosion under sustained loading in a chloride environment](#). *Engineering Structures*, 96:30–40.
- [22] Zhao, Y., Yu, J., Hu, B., Jin, W. (2012). [Crack shape and rust distribution in corrosion-induced cracking concrete](#). *Corrosion Science*, 55:385–393.
- [23] Mander, J. B., Priestley, M. J. N., Park, R. (1988). [Theoretical stress-strain model for confined concrete](#). *Journal of Structural Engineering*, 114(8):1804–1826.
- [24] Vecchio, F. J., Collins, M. P. (1986). The modified compression-field theory for reinforced concrete elements subjected to shear. *ACI Structural Journal*, 83(2):219–231.
- [25] Zandi Hanjari, K., Kettli, P., Lundgren, K. (2011). Analysis of mechanical behavior of corroded reinforced concrete structures. *ACI Structural Journal*, 108(5):532–541.
- [26] Ou, Y.-C., Nguyen, N. D. (2014). Plastic hinge length of corroded reinforced concrete beams. *ACI Structural Journal*, 111(5):1049–1058.
- [27] XTRACT 3.0.8 (2007). *Cross-sectional structural analysis of components*.