

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HIỆN TƯỢNG ẨM MÒN CỐT THÉP ĐẾN KẾT CẤU BÊTÔNG CỐT THÉP BẰNG MÔ HÌNH 3D-RBSM

Nguyễn Công Luyện¹

Tóm tắt: Ẩm mòn cốt thép là hiện tượng phổ biến đối với kết cấu bê tông cốt thép chịu sự xâm nhập của ion clorua hay hiện tượng cac-bon hóa. Hiện tượng này có thể gây nứt vỡ lớp bê tông bảo vệ, làm giảm đường kính của cốt thép và lực dính giữa bê tông và cốt thép, từ đó làm giảm khả năng chịu lực và sự làm việc bình thường của kết cấu, gây nguy hại cho sự an toàn của con người. Các mô hình để mô phỏng và dự đoán ảnh hưởng của hiện tượng này ở cấp độ kết cấu vì vậy trở nên thực sự cần thiết. Tác giả đã đề xuất và phát triển một mô hình sử dụng mô hình 3D-RBSM trong đó cốt thép được mô phỏng bằng phần tử dầm để mô hình có thể phân tích ở cấp độ kết cấu. Trong bài báo này, ảnh hưởng của các nhân tố như ảnh hưởng của sự sắp xếp các thanh cốt thép, ảnh hưởng của sự ăn mòn cốt thép lên lực dính giữa bê tông cốt thép sẽ được nghiên cứu cụ thể sử dụng mô hình đã phát triển. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình có khả năng mô phỏng chính xác ảnh hưởng của các nhân tố này. Vì vậy, mô hình có thể được sử dụng để đánh giá và dự đoán khả năng chịu tải và ứng xử của kết cấu bê tông bị ăn mòn cốt thép.

Từ khóa: ăn mòn cốt thép, lực dính, mô hình 3D-RBSM.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhiều công trình được xây dựng ở nước ta trong vài thập kỉ trở lại đây đã và đang bị xuống cấp nghiêm trọng do ảnh hưởng của môi trường như hiện tượng ăn mòn, cac-bon hóa, phản ứng kiềm cốt liệu, v.v... Trong đó, ăn mòn cốt thép trở thành hiện tượng phổ biến do sự xâm nhập của ion clo-rua. Trong điều kiện bình thường, độ kiềm cao trong bê tông giúp tạo lớp màng thụ động xung quanh cốt thép, bảo vệ cốt thép khỏi bị ăn mòn. Khi ion clo-rua xâm nhập vào trong bê tông thông qua các lỗ rỗng, chúng phá hủy lớp màng này và cốt thép bắt đầu bị ăn mòn khi sự có mặt của ôxi và hơi nước. Quá trình ăn mòn cốt thép gây ra sự suy giảm của đường kính cốt thép và sự phát triển vết nứt do gỉ, làm giảm lực dính giữa bê tông và cốt thép. Hiện tượng này có thể gây ra sự suy giảm của khả năng chịu lực và bong tróc của lớp bê tông bảo vệ, ảnh hưởng đến khả năng làm việc bình thường của kết cấu và gây nguy hại cho sự an toàn của con người.

Để quá trình phục hồi, duy tu và bảo dưỡng kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn được hiệu quả, quá trình diễn tiến của vết nứt cũng như khả năng chịu lực còn lại của những kết cấu này phải được nghiên cứu đánh giá và dự đoán một cách chính xác. Vì vậy, việc xây dựng mô hình để đánh giá và dự đoán sự phát triển vết nứt và khả năng chịu lực của kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn trở nên cấp thiết. Cho mục tiêu này, một số mô hình đã được xây dựng (Ozbolt nnk., 2012; Toongoenthong nnk., 2005; Tran nnk., 2011). Tuy nhiên những mô hình này có những mặt hạn chế như: khó khăn trong việc mô phỏng cấp độ kết cấu hay quá trình phân tích tốn nhiều thời gian. Tác giả đã đề xuất và phát triển một mô hình sử dụng phương pháp 3D-RBSM trong đó cốt thép được mô phỏng bằng phần tử dầm để mô hình có thể phân tích ở cấp độ kết cấu (Nguyen nnk., 2017). Trong bài báo này, ảnh hưởng của các nhân tố phổ biến trong kết cấu thực tế như ảnh hưởng của sự sắp xếp các thanh cốt thép đến sự phát triển vết nứt; ảnh hưởng của sự ăn mòn cốt thép lên lực dính giữa bê tông cốt thép sẽ được nghiên cứu cụ thể sử dụng mô hình đã phát triển.

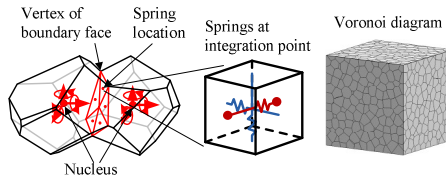
¹ Khoa Xây dựng Thủy lợi - Thủy điện, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng

2. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG ẨM MÒN CỐT THÉP SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP 3D-RBSM

2.1. 3D-RBSM

Mô hình 3D-RBSM (three-dimensional Rigid Body Spring Model) được phát triển bởi Yamamoto nnk. (2008). Mô hình này dựa trên phương pháp phần tử rời rạc, mô phỏng bê tông bằng tập hợp các phần tử cứng (rigid particles). Các phần tử này liên kết với nhau bằng các liên kết nằm trên các mặt biên giữa các phần tử, được mô tả như hình 1. Các phần tử này được tạo ra một cách ngẫu nhiên, gọi là Voronoi diagram. Tại tâm mỗi phần tử có 6 bậc tự do.

Một liên kết pháp tuyến và hai liên kết tiếp tuyến được đặt tại tâm điểm của mỗi tam giác tạo bởi trọng tâm và đỉnh của mặt biên giữa hai



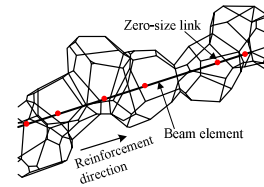
Hình 1. 3D-RBSM

2.2. Mô hình mô phỏng ăn mòn cốt thép

Mô hình mô phỏng ăn mòn cốt thép sử dụng phương pháp 3D-RBSM đã được tác giả đề xuất (Nguyen nnk., 2017). Trong phân tích sự phát triển vết nứt do ăn mòn cốt thép gây ra, việc mô phỏng đường kính thực và bề mặt của cốt thép là tối quan trọng vì hình dạng vết nứt, bề rộng vết nứt bị ảnh hưởng bởi tỷ số giữa lớp bê tông bảo vệ và đường kính cốt thép cũng như ăn mòn cục bộ xung quanh cốt thép. Mặc dù vậy, phần tử dầm để mô phỏng cốt thép dùng trong mô hình không có những đặc điểm này, do đó tác giả đã đề xuất tiết diện ảo của cốt thép, phần diện tích tiết diện này bằng đúng diện tích tiết diện thật của cốt thép (phần diện tích màu đỏ hình 3). Các hạt Voronoi nằm trong phần diện tích tiết diện này sẽ được cung cấp biến dạng gây ra do ăn mòn, được đặt trong liên kết pháp tuyến nằm trên các mặt tiếp xúc giữa các hạt Voronoi. Biến dạng này được tính toán dựa trên

phần tử (vertex of boundary face). Ứng xử phi tuyến của bê tông được đặt vào các liên kết. Ứng xử của các liên kết này cung cấp một sự thông hiểu về sự tương tác giữa các phần tử thay vì ứng xử bên trong từng phần tử như cơ học liên tục (Yamamoto nnk., 2008). Việc mô phỏng sự làm việc của kết cấu bê tông cốt thép đến ứng xử sau nứt bằng 3D-RBSM đã được thực nghiệm và kết quả cho thấy rằng mô hình này cho kết quả chính xác, đặc biệt là hình dạng vết nứt, vị trí vết nứt (Yamamoto nnk., 2008).

Cốt thép được mô phỏng bằng các phần tử dầm, được mô tả trong hình 2. Các phần tử dầm này được liên kết ngẫu nhiên với các hạt Voronoi bằng phần tử zero-size link, tại hai đầu nút phần tử dầm sẽ được đặt hai chuyển vị thẳng và một chuyển vị xoay (Yamamoto nnk., 2008).



Hình 2. Mô phỏng cốt thép bằng phần tử dầm

áp lực mở rộng U phụ thuộc vào độ ăn mòn (Tran nnk., 2011):

$$U = \frac{W_r (\alpha_{cor} - 1)}{\rho_s} \quad (1)$$

Trong đó:

W_r : độ ăn mòn (mg/cm^2)

$$W_r = \frac{\rho_s \cdot V_{loss}}{2\pi r L} \quad (2)$$

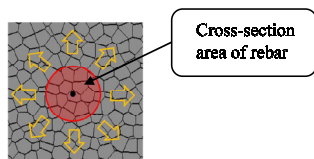
α_{cor} : hệ số tăng thể tích của gỉ, giả thiết lấy 2,5.

ρ_s : trọng lượng riêng của thép ($7,85 \times 10^3 \text{ mg}/\text{cm}^3$).

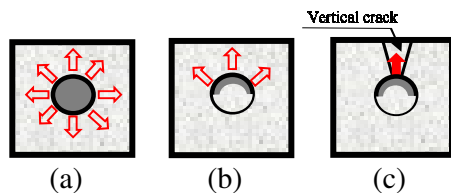
V_{loss} : thể tích của phần cốt thép bị mất do ăn mòn (cm^3).

Trong mô hình, ứng suất gây ra do gỉ được tính toán dựa trên mô-đun đàn hồi của bê tông thay vì mô-đun đàn hồi của gỉ như trong kết cấu thực. Vì vậy áp lực U được nhân thêm hệ số hiệu chỉnh β :

$$U_{md} = U \cdot \beta \quad (3)$$



Hình 3. Tiết diện ảo của cốt thép



Hình 4. Mô phỏng ảnh hưởng của ăn mòn cục bộ và sự phân tán của gỉ

(a) Ăn mòn toàn phần; (b) Ăn mòn cục bộ; (c) Sự phân tán của gỉ lên vết nứt

Dựa trên các kết quả thí nghiệm trước đây bởi Tran nnk. (2011), cốt thép thường không bị ăn mòn trên toàn bộ chu vi mà chỉ bị ăn mòn một phần, thường là phía trên của cốt thép. Tran nnk. (2011) cũng chỉ ra sự phân tán của gỉ vào trong vết nứt cũng ảnh hưởng đáng kể lên sự phát triển của vết nứt do ăn mòn. Ảnh hưởng của các nhân tố này được mô phỏng trong mô hình như minh họa hình 4. Với trường hợp ăn mòn cục bộ (hình 4(b)), chỉ những phần tử Voronoi nằm ở bề mặt phía trên (phần màu đen) được cung cấp biến dạng do ăn mòn. Sự phân tán của gỉ lên vết nứt (hình 4(c)) xảy ra khi bắt đầu có sự xuất hiện vết nứt thẳng đứng (vertical crack) với bề rộng xác định, trong nghiên cứu này sự phân tán của gỉ xảy ra khi bề rộng vết nứt thẳng đứng bằng 0,2mm. Khi đó áp lực mở rộng sẽ được tính toán lại dựa trên lượng phân tán của gỉ vào vết nứt (với giả thiết gỉ lấp đầy vết nứt):

$$\Delta U_{real} = \Delta U - \frac{\Delta V_{crk}}{2\pi rL} \quad (4)$$

Trong đó:

- ΔU_{real} : áp lực mở rộng thực tế
- ΔV_{crk} : thể tích của vết nứt
- r : bán kính cốt thép
- L : chiều dài cốt thép

Sự ảnh hưởng của các nhân tố này lên sự mở rộng và phát triển vết nứt đã được mô phỏng khá chính xác bằng mô hình (Nguyen nnk., 2017). Mô hình cũng đã được kiểm chứng với các mẫu thí nghiệm một thanh cốt thép có đường kính khác nhau, chiều dày lớp bê tông bảo vệ khác nhau hay kích cỡ mẫu thí nghiệm khác nhau. Kết quả cho thấy mô hình có khả năng mô phỏng chính xác hình dạng vết nứt cũng như sự phát triển mở rộng vết nứt của các mẫu thí nghiệm trên (Nguyen nnk., 2017). Bài báo này sẽ tiếp tục kiểm chứng mô hình với các mẫu thí nghiệm có sự sắp xếp các thanh cốt thép khác nhau và xem xét ảnh hưởng của ăn mòn đến lực dính giữa bê tông và cốt thép.

3. KIỂM CHỨNG MÔ HÌNH

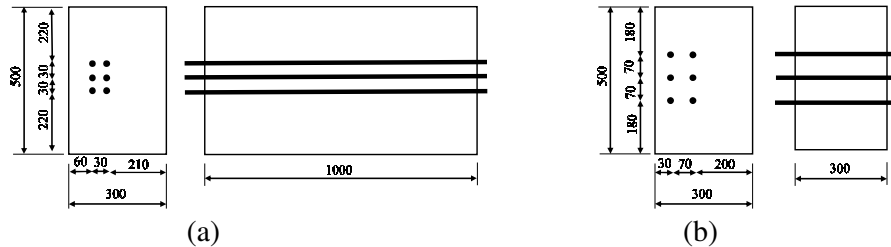
3.1. Ảnh hưởng của sự sắp xếp các thanh cốt thép khác nhau lên hình dạng và sự phát triển vết nứt

Để đánh giá được ứng xử của kết cấu bị ăn mòn ngoài thực tế, mô phỏng chính xác ứng xử nứt của mẫu có nhiều thanh cốt thép là thiết yếu. Thí nghiệm ăn mòn điện phân của Omar nnk. (2017) được dùng để mô phỏng sử dụng mô hình 3D-RBSM đã đề xuất. Các mẫu thí nghiệm của Omar nnk. (2017) bao gồm: RC-30 và RC-70, trong đó con số đứng sau RC chỉ khoảng cách giữa các thanh cốt thép (đơn vị mm). Kích thước mẫu và sắp xếp của cốt thép được mô tả như hình 5. Mẫu thí nghiệm RC-30 (500x300x1000mm) có khoảng cách giữa các cốt thép 30mm theo cả phương đứng và phương ngang. Trong khi đó, mẫu RC-70 (500x300x300mm) được thiết kế với khoảng cách giữa các cốt thép 70mm. Các mẫu thí nghiệm này được dùng để đánh giá ảnh hưởng của sự sắp xếp cốt thép lên sự phát triển vết nứt. Đường kính cốt thép dùng trong thí nghiệm là 16mm. Trước khi thí nghiệm, cường độ chịu nén của bê tông trong các mẫu RC-30 và RC-70 đo được lần lượt là 35.7 Mpa và 33.7 Mpa.

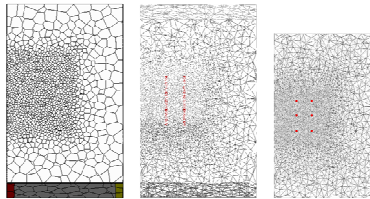
Mẫu được thí nghiệm cho đến khi độ ăn mòn trung bình trong các mẫu đạt 16.01% (RC-30) và 14.66% (RC-70). Điểm chung có thể được quan sát trong cả hai mẫu là các thanh thép gần bề mặt bị ăn mòn nhiều hơn so với các thanh

thép nằm trong. Với mẫu RC-30, các thanh thép bên ngoài có độ ăn mòn lần lượt là 22.5%, 21.2% và 17.2%, trong khi các thanh bên trong lần lượt có độ ăn mòn là 18.0%, 9.3 % và 7.9%. Tương tự, các thanh thép bên ngoài của mẫu RC-70 có độ ăn mòn 25.7%, 22.1% và 16.3% so

sánh với 7.9%, 7.4% và 8.5% đối với cốt thép bên trong. Sau thí nghiệm, các vết nứt được quan sát trên bề mặt mẫu thí nghiệm. Sau đó mẫu được cắt ngang tại vị trí trọng tâm để quan sát hình dạng vết nứt bên trong (Omar nnk., 2017).



Hình 5. Kích thước và kích thước mẫu thí nghiệm (Omar nnk., 2017)
(a) RC-30; (b) RC-70



Hình 6. Mô hình bằng 3D-RBSM

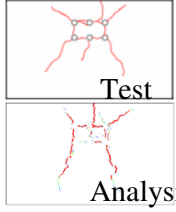
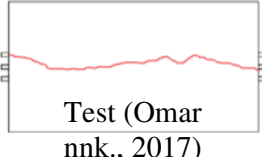
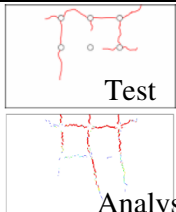
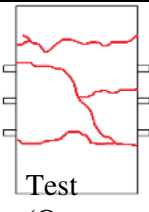
Mô hình phân tích bằng 3D-RBSM được mô tả như hình 6. Mỗi mẫu thí nghiệm được mô phỏng với chỉ 100mm dài để rút ngắn thời gian phân tích. Kích cỡ các hạt Voronoi là 5mm đối với vùng diện tích gần các thanh cốt thép và 30mm cho các vùng khác. Mỗi thanh cốt thép được ấn định độ ăn mòn xác định từ thí nghiệm. Hình 7 mô tả hình dạng vết nứt lấy từ mô hình so sánh với kết quả thí nghiệm. Kết quả cho thấy hình dạng vết nứt bên trong lấy từ mô hình khá giống với kết quả thí nghiệm. Các vết nứt hình thành từ các cốt thép và liên kết lại với nhau thành vết nứt lớn. Điểm chung quan sát được ở cả mô hình và thí nghiệm là vì các thanh cốt thép bên ngoài bị ăn mòn nhiều hơn, các vết nứt kết nối giữa các thanh thép này cũng lớn hơn so với vết nứt hình thành ở các thanh thép bên trong. Ở mẫu RC-70, khoảng cách giữa các thanh thép bên ngoài đến bề mặt là chỉ 30mm, do đó vết nứt dễ dàng lan rộng lên bề mặt. Vết nứt bề mặt xuất hiện trên cả ba thanh thép bên ngoài. Trong khi đó, khoảng cách xa hơn giữa

các thanh thép bên ngoài đến bề mặt ở mẫu RC-30 khiến vết nứt khó có thể lan rộng đến bề mặt, kết quả là chỉ một vết nứt dài xuất hiện trên bề mặt mẫu, dù vết nứt bên trong mẫu là khá lớn. Từ kết quả mô hình và thí nghiệm, có thể kết luận rằng sẽ là không chính xác nếu đánh giá tình trạng nứt bên trong kết cấu thông qua các vết nứt quan sát được ở bên ngoài. Sự phát triển vết nứt bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như sự sắp xếp của cốt thép, chiều dày lớp bê tông bảo vệ hay độ ăn mòn của cốt thép. Mô hình đề xuất sẽ đóng góp cho việc đánh giá sự phát triển vết nứt ở cấp độ kết cấu một cách hiệu quả.

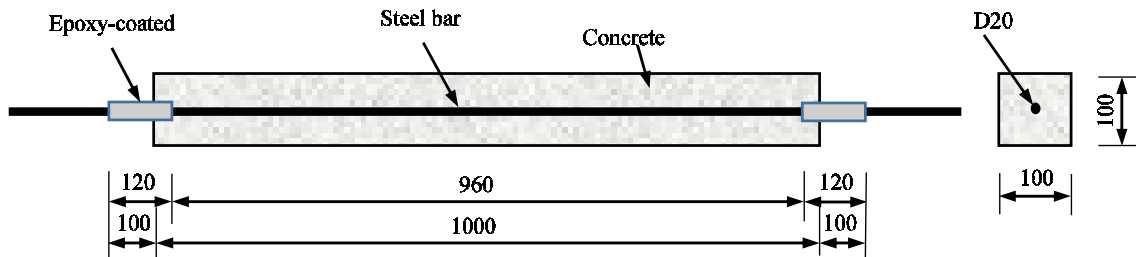
3.2. Ảnh hưởng của ăn mòn đến lực dính giữa bê tông và cốt thép

3.2.1. Hình dạng mẫu thí nghiệm và mô hình phân tích

Kết quả thí nghiệm dùng để đối chiếu với mô hình được thực hiện bởi Shang nnk. (2011). Tác giả đã thực hiện thí nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng của ăn mòn cốt thép đến lực dính giữa bê tông và cốt thép bằng cách thí nghiệm kéo dọc trục tổng cộng 11 mẫu thí nghiệm: 2 mẫu chuẩn (không bị ăn mòn) và 9 mẫu bị ăn mòn với độ ăn mòn khác nhau, từ 0.6% đến 8%. Kích thước và hình dáng mẫu được cho trong hình 8. Tất cả mẫu thí nghiệm có cùng mặt cắt ngang hình vuông cạnh 100mm và cùng độ dài 1000mm. Ở trọng tâm tiết diện ngang mẫu thí nghiệm đặt 1 thanh cốt thép có đường kính D20.

	Internal crack	Surface crack
RC-30	 Test Analysis	 Test (Omar nnk.. 2017) Analysis
RC-70	 Test Analysis	 Test (Omar) Analysis

Hình 7. Hình dạng vết nứt lấy từ mô hình so sánh với thí nghiệm

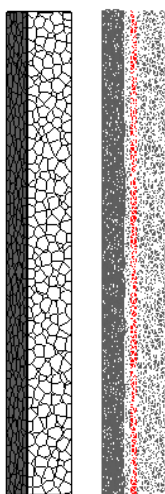


Hình 8. Hình dạng và kích thước mẫu thí nghiệm (Shang nnk., 2011)

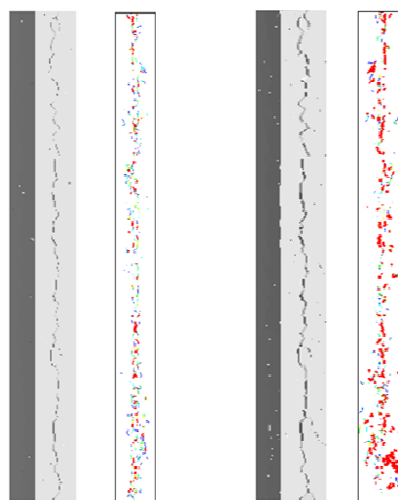
Sau 28 ngày bảo dưỡng, mẫu được tiến hành thí nghiệm ăn mòn. Để tránh ăn mòn cục bộ xảy ra, hai đoạn cốt thép hai đầu độ dài 120mm được bọc với nhựa thông (epoxy-coated), như hình 8. Sau khi mỗi mẫu bị ăn mòn với độ ăn mòn nhất định, thí nghiệm dừng lại và bề rộng vết nứt trên bề mặt được đo đạc. Sau đó, mẫu được thí nghiệm kéo dọc trục hai đầu. Các vết nứt ngang được đo đạc một cách cẩn thận trong quá trình thí nghiệm và chú thích trên bề mặt mẫu. Lực kéo được gia tăng cho đến khi không còn vết nứt ngang nào xuất hiện. Sau thí nghiệm, cốt thép được lấy ra để tiến hành đo độ ăn mòn (Shang nnk., 2011).

Trong bài báo này, tác giả chọn ba mẫu thí nghiệm điển hình từ thí nghiệm trên để mô hình: một mẫu chuẩn (không bị ăn mòn), hai mẫu bị

ăn mòn với độ ăn mòn lần lượt là 3.9% và 7.4%. Mô hình ăn mòn 3D-RBSM đã đề xuất sẽ được dùng để mô phỏng 3 mẫu này. Đối với mẫu bị ăn mòn, quá trình phân tích bao gồm 2 giai đoạn: trước tiên quá trình mô phỏng ăn mòn được tiến hành với độ ăn mòn mục tiêu là 3.9% và 7.4%. Sau đó các mẫu này được tiến hành kéo dọc trục bằng cách cố định một đầu và kéo đầu còn lại. Mô hình RBSM được minh họa trong hình 9. Hình 10 biểu thị vết nứt do ăn mòn quan sát dọc thanh cốt thép đối với mẫu có độ ăn mòn 3.9% và 7.4%. Một vết nứt xuất hiện trên bề mặt dọc theo chiều dài thanh và vết nứt bên trong xuất hiện xung quanh cốt thép. Khi cốt thép bị ăn mòn nhiều hơn, vết nứt bề mặt và vết nứt bên trong xung quanh cốt thép cũng trở nên lớn hơn.



Hình 9. Mô hình ăn mòn RBSM



(a) (b)

Hình 10. Vết nứt do ăn mòn quan sát dọc mẫu thí nghiệm (a) 3.9%; (b) 7.4%

3.2.2. Ảnh hưởng của vết nứt do ăn mòn lên lực dính

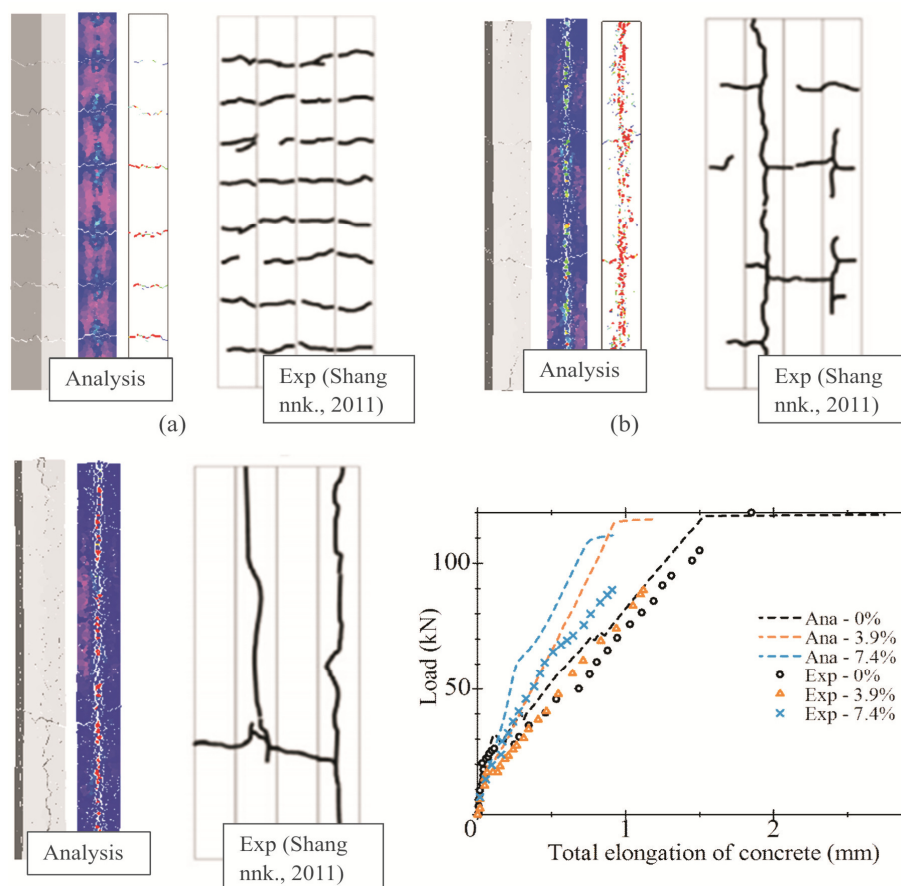
Hình 11 so sánh kết quả lấy từ mô hình và thí nghiệm sau khi tiến hành kéo dọc trục các mẫu. Đặc điểm dễ dàng nhận thấy là số lượng các vết nứt ngang giảm dần khi độ ăn mòn tăng. Mẫu không bị ăn mòn (hình 11(a)) có số vết nứt ngang lớn nhất và khoảng cách giữa các vết nứt cũng ngắn nhất. Kết quả từ mô hình trùng khớp với kết quả thí nghiệm, mặc dù rằng chúng không giống nhau hoàn toàn về số lượng vết nứt nhưng giống nhau về sự phân bố vết nứt. Kết quả này có thể được giải thích rằng khi lực dính tốt, ứng suất trong cốt thép được truyền dễ dàng qua bê tông và tạo thành các vết nứt ngang khi ứng suất trong bê tông vượt quá cường độ chịu kéo của nó.

Đối với mẫu bị ăn mòn cốt thép, vết nứt do ăn mòn tạo ra xung quanh cốt thép làm giảm lực dính giữa bê tông và cốt thép. Vì vậy ứng suất trong cốt thép khó có thể truyền qua bê tông, kết quả là làm giảm số lượng vết nứt ngang và làm khoảng cách giữa các vết nứt ngang lớn hơn. Độ ăn mòn càng cao thì số lượng vết nứt càng ít, có thể thấy rõ trong hình 11(b),(c). Kết quả từ mô hình hoàn toàn trùng khớp với kết quả thí nghiệm. Có thể thấy rõ rằng ứng xử lực dính bị

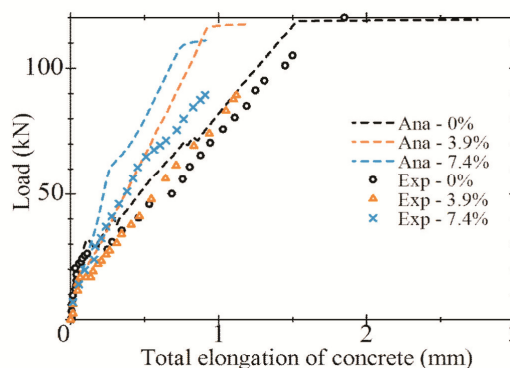
thay đổi đáng kể khi có sự hình thành vết nứt xung quanh cốt thép do ăn mòn.

Quan hệ lực kéo - độ giãn dài của bê tông của cả ba mẫu được cho trong hình 12. Cả kết quả từ mô hình và thí nghiệm biểu thị rằng độ giãn dài của bê tông trong mẫu chuẩn (0%) là lớn nhất bởi vì nó hình thành nhiều vết nứt ngang hơn. Khi độ ăn mòn dọc cốt thép càng cao, số lượng vết nứt ngang được hình thành ít hơn, do đó độ giãn dài của bê tông cũng trở nên ít hơn. Xu hướng này cũng đã được kiểm chứng trong cả kết quả từ mô hình và thí nghiệm. Tuy kết quả từ mô hình có một ít sai khác với kết quả thí nghiệm, sự trùng khớp trong xu hướng ứng xử lực dính khi cốt thép bị ăn mòn chứng tỏ rằng mô hình có khả năng mô phỏng ứng xử này.

Khi cốt thép bị ăn mòn, sự xuất hiện vết nứt bên trong và trên bề mặt kết cấu cũng như sự thay đổi lực dính là hai nhân tố chủ yếu gây nên sự thay đổi trong khả năng chịu lực và ứng xử của kết cấu bị ăn mòn. Mô hình ăn mòn sử dụng 3D-RBSM trên có khả năng mô phỏng ảnh hưởng của các nhân tố này. Vì vậy, mô hình đề xuất có thể trở thành một công cụ hiệu quả để đánh giá và dự đoán khả năng chịu lực và ứng xử của kết cấu bê tông bị ăn mòn trong các nghiên cứu sau này.



Hình 11. Kết quả kéo dọc trực so sánh giữa mô hình và thí nghiệm (a) 0%; (b) 3.9%; (c) 7.4%



Hình 12. Quan hệ lực kéo - độ giãn dài của bê tông

4. KẾT LUẬN

Mục tiêu của bài báo là mô phỏng sự ảnh hưởng của sự sắp xếp các thanh cốt thép lên hình dạng và sự phát triển vết nứt, ảnh hưởng của ăn mòn lên lực dính giữa bê tông và cốt thép sử dụng mô hình ăn mòn 3D-RBSM đã đề xuất. Một số kết luận được rút ra từ nghiên cứu:

(1) Mô hình đề xuất có khả năng mô phỏng ảnh hưởng của sự sắp xếp các thanh cốt thép lên hình dạng và sự phát triển vết nứt do ăn mòn. Vết nứt xuất phát từ các cốt thép riêng lẻ và liên kết lại với nhau thành vết nứt lớn bên trong kết cấu. Từ kết quả mô hình và thí nghiệm, có thể kết luận rằng sẽ là không chính xác nếu đánh giá tình trạng nứt bên trong kết cấu thông qua các vết nứt quan sát được ở bên ngoài. Sự phát triển vết nứt bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như sự sắp xếp cốt thép, chiều dày lớp bê tông bảo vệ hay độ ăn mòn cốt thép.

(2) Các vết nứt gây ra do gỉ dọc theo thanh cốt thép làm giảm lực dính giữa bê tông và cốt thép. Kết quả từ mô hình và thí nghiệm cho thấy các vết nứt này làm cho ứng suất trong cốt thép khó truyền được qua bê tông, kết quả là ít vết nứt ngang được hình thành trong thí nghiệm kéo dọc trực mẫu thí nghiệm. Khi độ ăn mòn càng cao, vết nứt ngang càng ít và độ giãn dài của bê tông càng ít.

(3) Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình có khả năng mô phỏng hình dạng vết nứt với kết cấu có sự sắp xếp các thanh cốt thép khác nhau cũng như sự thay đổi lực dính do ăn mòn. Do vậy, mô hình đề xuất có thể trở thành một công cụ hiệu quả để đánh giá và dự đoán khả năng chịu lực và ứng xử của kết cấu bê tông bị ăn mòn trong các nghiên cứu sau này.

Lời cảm ơn

Bài báo này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa - ĐHQGHN với đề tài có mã số: T2018-02-48.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Nguyen, C.L., Nakamura, H., Miura, T., and Yamamoto, Y. (2017): "Analysis of Corrosion-Induced Crack Propagation of RC Members Modeling by Corrosion Expansion Pressure around Beam Element", Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 39, pp. 961-66.
- Omar, I. G. (2017). "Influences of Interfacial Pores and Reinforcement Arrangement on Development of Corrosion Crack in Concrete", M.E. thesis, Dept. Civil Eng., Nagaoka University of Technology, Niigata, Japan.
- Ozbolt, J., Orsanie, F., and Balabanie, G. (2012). "Modelling Damage in Concrete Caused by Corrosion of Reinforcement", Coupled 3D FE model, Int J Fract 178: 233 – 44.
- Shang, F., An, X., Mishima, T., and Maekawa, K. (2011): "Three-dimensional Nonlinear Bond Model incorporating Transverse Action in Corroded RC Members", Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 9, No. 1, pp. 89-102.
- Toongoenthong, K. and Maekawa, K. (2005). 'Simulation of Coupled Corrosive Product Formation, Migration into Crack and Propagation in Reinforced Sections', Journal of Advanced Concrete Technology 3(2): 253 – 65.
- Tran, K. K., Nakamura, H., Kawamura, K. and Kunieda, M. (2011). "Analysis of crack propagation due to rebar corrosion using RBSM", Cement & Concrete Composites 33: 906-917
- Yamamoto, Y., Nakamura, H., Kuroda, I. and Furuya, N. (2008). "Analysis of Compression Failure of Concrete by Three Dimensional Rigid Body Spring model", Journal of JSCE 64: 612 – 30 (in Japanese).
- Yamamoto, Y., Nakamura, H., Kuroda, I. and Furuya, N. (2014). "Crack propagation analysis of reinforced concrete wall under cyclic loading using RBSM", European Journal of Environmental and Civil Engineering 18(7): 780 – 92.

Abstract:

MODELING THE EFFECT OF REBAR CORROSION ON RC STRUCTURES USING 3D-RBSM

Rebar corrosion is a popular phenomenon in RC structures subjecting to chloride ingress and carbonation. Such a phenomenon results in concrete cover spalling, loss of rebar diameter and bond reduction, consequently triggers a damage on load capacity and service life of RC structures and lastly poses risks to human safety. Powerful numerical tools that can simulate and predict the effects of this phenomenon in structural level thus become vitally important. The authors proposed and developed a model using 3D-RBSM in which rebar is modeled by beam element in order for modeling structural level. In this paper, effects of various factors such as effect of arrangement of multiple rebars, effect of rebar corrosion on bonding behaviour will be intensively investigated using the said model. The results showed that the model can be able to precisely simulate the effects of these factors on RC structures subjecting to rebar corrosion. The model, thus, will be a promising tool in use of evaluating structural behaviour and predicting load capacity of RC structures subjecting to rebar corrosion.

Keywords: rebar corrosion, bond, RBSM model.

Ngày nhận bài: 30/6/2018

Ngày chấp nhận đăng: 30/7/2018