



**KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC ACEA-VIETGEO 2021
PHÚ YÊN, 13 - 14 THÁNG 5 NĂM 2022**

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ XÂY DỰNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT



**KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC ACEA-VIETGEO 2021
PHÚ YÊN, 13 - 14 THÁNG 5 NĂM 2022**

**ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ XÂY DỰNG
PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG
KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN**

Mã ISBN: 978-604-67-2296-0



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC

ACEA-VIETGEO 2021

BAN TỔ CHỨC

PGS.TS. Nguyễn Vũ Phương	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Đồng Trưởng ban</i>
PGS.TS. Tạ Đức Thịnh	Hội Địa chất công trình và Môi trường Việt Nam	<i>Đồng Trưởng ban</i>
GS.TS. Trần Thanh Hải	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Phó Trưởng ban</i>
TS. Phan Văn Huệ	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Phó Trưởng ban</i>
PGS.TS. Lê Minh Phương	Trường Đại học Bách khoa - ĐHQG TPHCM	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Duy Việt	Trường Đại học Giao thông Vận tải	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Xuân Thảo	Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Văn Lâm	Hội Địa chất thủy văn Việt Nam	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Bùi Trường Sơn	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Lê Đàm Ngọc Tú	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>

BAN KHOA HỌC

GS.TSKH. Phạm Văn Ty	Hội Địa chất công trình và Môi trường Việt Nam	<i>Trưởng ban</i>
TS. Phạm Ngọc Tiến	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Phó Trưởng ban</i>
PGS.TS. Nguyễn Văn Lâm	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Huy Phương	Hội Địa chất công trình và Môi trường Việt Nam	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Đỗ Minh Đức	Trường Đại học Khoa học tự nhiên - ĐHQGHN	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Bùi Trường Sơn	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
PGS.TS. Nguyễn Thị Nụ	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Thanh Danh	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Văn Hải	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Thành Sơn	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Văn Phóng	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Thành Dương	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Phạm Đức Thọ	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Công Định	Trường Đại học Giao thông Vận tải	<i>Ủy viên</i>
TS. Nguyễn Bách Thảo	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Phạm Văn Hùng	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Vũ Minh Ngạn	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
TS. Hoàng Đình Phúc	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>

BAN THƯ KÝ

TS. Nguyễn Thành Dương	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Trưởng ban</i>
TS. Nguyễn Thanh Danh	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Phó Trưởng ban</i>
ThS. Ngô Đình Thành	Trường Đại học Xây dựng Miền Trung	<i>Ủy viên</i>
TS. Phạm Thị Việt Nga	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
ThS. Phạm Thị Ngọc Hà	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>
ThS. Nguyễn Văn Hùng	Trường Đại học Mở - Địa chất	<i>Ủy viên</i>

KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC
ACEA -VIETGEO 2021

PHÚ YÊN, VIỆT NAM
13 - 14 THÁNG 5 NĂM 2022

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ
XÂY DỰNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG
KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN

Ban biên tập:

TẠ ĐỨC THỊNH
BÙI TRƯỜNG SƠN
NGUYỄN VĂN LÂM
NGUYỄN THÀNH DƯƠNG
NGUYỄN THANH DANH
NGUYỄN VĂN HÙNG

ACEA - VIETGEO 2021

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ XÂY DỰNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN

PHÚ YÊN, VIỆT NAM
13 - 14 THÁNG 5 NĂM 2022

ĐƠN VỊ TỔ CHỨC

Trường Đại học Xây dựng Miền Trung
Hội Địa chất công trình và Môi trường Việt Nam
Hội Địa chất thủy văn Việt Nam
Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam
Trường Đại học Mở - Địa chất
Trường Đại học Giao thông Vận tải
Trường Đại học Bách khoa - ĐHQG TPHCM
Công ty TNHH Thế giới Kỹ thuật

ĐƠN VỊ ĐỒNG HÀNH

Trường Đại học Xây dựng Miền Trung
Trường Đại học Mở - Địa chất
Trường Đại học Bách khoa - ĐHQG TPHCM
Trường Đại học Giao thông Vận tải
Công ty TNHH Thế giới Kỹ thuật
Công ty Cổ phần Đầu tư và Phát triển GMC
Công ty Cổ phần khảo sát thiết kế xây dựng Đất Việt
Công ty TNHH Nam Miền Trung
Công ty Cổ phần Khoa học Công nghệ Bách khoa TP Hồ Chí Minh

LỜI NÓI ĐẦU

Hội nghị khoa học toàn quốc “Địa chất công trình - Địa kỹ thuật và Xây dựng phục vụ phát triển bền vững khu vực Miền Trung và Tây Nguyên” (ACEA-VietGeo 2021) được tổ chức tại Trường Đại học Xây dựng Miền Trung, tỉnh Phú Yên trong các ngày 13, 14 tháng 5 năm 2022. Hội nghị do Hội Địa chất công trình và Môi trường Việt Nam, Trường Đại học Xây dựng Miền Trung đồng chủ trì, các đơn vị: Hội Địa chất thủy văn Việt Nam, Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Trường Đại học Giao thông Vận tải, Trường Đại học Bách khoa - ĐHQG TP HCM, Công ty TNHH Thế giới Kỹ thuật phối hợp tổ chức.

Ban Tổ chức Hội nghị đã nhận được hơn 100 báo cáo đăng ký tham gia Hội nghị, sau khi có kết quả phản biện, Ban Khoa học đã lựa chọn 71 bài báo của các nhà khoa học để đăng trong Kỷ yếu của Hội nghị. Các bài báo khoa học đăng trong kỷ yếu trình bày những kết quả nghiên cứu về các lĩnh vực: Địa chất công trình - Địa kỹ thuật xây dựng, Tai biến địa chất, Kỹ thuật xây dựng và Vật liệu mới, Tài nguyên nước và Môi trường được biên tập và xuất bản bởi Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.

Chúng tôi hy vọng rằng, Hội nghị không chỉ là diễn đàn để các nhà khoa học chia sẻ, thảo luận những kết quả nghiên cứu mới về các lĩnh vực khoa học liên quan mà còn là dịp để các tổ chức, cá nhân gặp gỡ, ký kết hợp tác nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động khoa học và công nghệ trong các lĩnh vực chuyên môn.

Các chủ đề của Hội nghị Khoa học toàn quốc “Địa chất công trình - Địa kỹ thuật và Xây dựng phục vụ phát triển bền vững khu vực Miền Trung và Tây Nguyên” là:

- Địa chất công trình - Địa kỹ thuật xây dựng;
- Kỹ thuật xây dựng và Vật liệu mới;
- Tai biến địa chất;
- Tài nguyên nước và Môi trường.

Trong quá trình chuẩn bị tổ chức Hội nghị, Ban Tổ chức đã nhận được sự hỗ trợ cả về tinh thần và vật chất của các tổ chức và cá nhân: Trường Đại học Xây dựng Miền Trung, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Công ty TNHH Thế giới Kỹ thuật, Công ty Cổ phần Đầu tư và Phát triển GMC, Công ty cổ phần Khoa học Công nghệ Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh, Công ty TNHH Nam Miền Trung, Công ty Cổ phần Khảo sát thiết kế xây dựng Đất Việt,... Ban Tổ chức Hội nghị xin gửi tới các tổ chức, cá nhân lời cảm ơn sâu sắc về sự ủng hộ, giúp đỡ quý báu đó. Ban Tổ chức Hội nghị cũng xin chân thành cảm ơn các nhà khoa học, tình nguyện viên và đặc biệt là Ban Khoa học, Ban Thư ký, những người đã làm việc rất nhiệt tình với trách nhiệm cao cho sự thành công của Hội nghị.

Do thời gian tuyển chọn, biên tập và in ấn hạn chế nên không tránh khỏi thiếu sót, Ban Tổ chức Hội nghị mong bạn đọc lượng thứ. Xin chân thành cảm ơn Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật đã giúp đỡ xuất bản cuốn Kỷ yếu này.

BAN TỔ CHỨC HỘI NGHỊ

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH THỜI ĐIỂM XUẤT HIỆN NÚT BÊ TÔNG DO ĂN MÒN CỐT THÉP TRONG KẾT CẤU BÊ TÔNG CỐT THÉP LÀM VIỆC TRONG MÔI TRƯỜNG BIỂN

Nguyễn Văn Mạnh*, Phạm Đức Thọ, Bùi Văn Đức

Trường Đại học Mở - Địa chất

Tóm tắt

Khi kết cấu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường biển sẽ xuất hiện hiện tượng ăn mòn cốt thép do sự xâm nhập của ion clo có trong nước biển. Khi ion clo khuếch tán xuyên qua chiều dày lớp bê tông bảo vệ tích tụ trên bề mặt thanh cốt thép đến giá trị tới hạn sẽ bắt đầu ăn mòn cốt thép. Cốt thép trong bê tông bị ăn mòn sẽ tạo ra gỉ sắt làm tăng thể tích tạo ra áp lực lên bê tông, dẫn tới gây nứt bê tông và phá hủy kết cấu bê tông cốt thép. Bài báo trình bày phương pháp tính toán thời điểm bắt đầu xuất hiện nứt trong bê tông do hiện tượng ăn mòn cốt thép bằng phương pháp giải tích và mô phỏng số. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để xác định tuổi thọ của cấu kiện bê tông cốt thép làm việc trong môi trường biển.

Từ khóa: Ăn mòn cốt thép; tuổi thọ; môi trường biển; ion clo;

1. Đặt vấn đề

Vùng biển nước ta nằm trải dài trên 3200km từ Bắc vào Nam và có hàm lượng ion clo (Cl^-) tương đối cao (9 - 18 g/lít). Các công trình bê tông cốt thép làm việc trong môi trường biển sẽ bị ăn mòn bởi ion clo. Khi ion clo xâm nhập xuyên qua chiều dày lớp bê tông bảo vệ sẽ tích tụ trên bề mặt thanh cốt thép. Quá trình xâm nhập của ion clo qua lớp bê tông bảo vệ thường xảy ra theo 4 cơ chế khác nhau: do sức hút mao dẫn, do sự thẩm thấu bởi sự tập trung hàm lượng ion clo cao trên bề mặt bê tông, do thẩm thấu dưới áp lực căng bề mặt, và do sự dịch chuyển do chênh lệch điện thế. Hàm lượng ion clo tích tụ đạt đến giá trị tới hạn thì cốt thép bắt đầu bị ăn mòn. Giá trị hàm lượng ion clo tới hạn phụ thuộc loại chất dính kết sử dụng để chế tạo bê tông và có thể được lấy theo bảng C.1 của TCVN 12041-2017. Hiện tượng ăn mòn cốt thép làm giảm tiết diện cốt thép và giảm liên kết giữa cốt thép với bê tông (Djerbi và nnk, 2008). Ngoài ra, cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép bị ăn mòn sẽ tạo ra gỉ sắt làm tăng thể tích, dẫn tới gây nứt bê tông và phá hủy kết cấu. Theo kết quả khảo sát thực tế (Cao Duy Tiến và nnk, 2003; Nguyễn Nam Thắng, 2007) cho thấy các công trình bê tông cốt thép trong khu vực bờ biển và dưới nước biển sau một thời gian sử dụng thường có dấu hiệu gỉ sắt ở các mức độ khác nhau không đảm bảo tuổi thọ của công trình.

Bài báo trình bày phương pháp tính toán thời điểm bắt đầu xuất hiện nứt trong kết cấu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường biển với giả thiết bỏ qua ảnh hưởng của ion clo đến bê tông, chỉ xét đến ảnh hưởng ăn mòn cốt thép do ion clo.

2. Cơ chế ăn mòn cốt thép do ion clo

Quá trình ăn mòn cốt thép của Ion clo có trong nước biển được chia làm 3 giai đoạn (Suwito và Xi, 2008) như sau:

* Ngày nhận bài: 21/02/2022; Ngày phản biện: 23/3/2022; Ngày chấp nhận đăng: 10/4/2022

* Tác giả liên hệ: Email: nguyenvanmanh@humg.edu.vn

+ Giai đoạn khuếch tán ion clo:

Trong giai đoạn này, các ion clo từ nước biển xâm nhập vào trong bê tông và lan tỏa đến bề mặt cốt thép trong bê tông làm phá vỡ màng bảo vệ trên bề mặt cốt thép. Khi nồng độ ion clo đạt đến giá trị tới hạn, màng bảo vệ bị phá hủy và cốt thép bắt đầu bị ăn mòn. Giai đoạn khuếch tán ion clo thường là khoảng thời gian dài nhất trong quá trình suy giảm khả năng chịu lực của kết cấu bê tông cốt thép. Giai đoạn này có thể kéo dài trong nhiều năm, tùy thuộc vào chất lượng của bê tông điều kiện môi trường xung quanh kết cấu. Các nghiên cứu thực nghiệm gần đây của các tác giả Xi và nnk. cho thấy rằng phải mất từ 7 đến 20 năm để các ion clo có thể đạt đến giá trị tới hạn và cốt thép bắt đầu bị ăn mòn. Khoảng thời gian này có sự biến động trong phạm vi lớn như vậy là do chất lượng bê tông khác nhau, điều kiện môi trường khác nhau,...

+ Giai đoạn tích lũy gỉ sắt:

Gỉ sắt bắt đầu hình thành khi có sự ăn mòn cốt thép. Các lớp gỉ tích tụ trong vùng chuyển tiếp giữa cốt thép và bê tông, đồng thời gỉ sắt cũng phân bố vào trong các lỗ rỗng của bê tông. Do thể tích của gỉ sắt lớn hơn cốt thép ban đầu nhiều lần, cho nên nó sẽ chiếm thể tích của bê tông. Khi các lỗ rỗng trong vùng bê tông tiếp xúc với cốt thép được lấp đầy bởi gỉ sắt sẽ tạo ra áp lực ở vùng tiếp xúc này. Áp lực vùng tiếp xúc sẽ tạo ra ứng suất kéo trong bê tông. Khi giá trị ứng suất kéo này đạt đến cường độ chịu kéo của bê tông thì bắt đầu hình thành các vết nứt trong bê tông. Giai đoạn này kết thúc khi xuất hiện các vết nứt đầu tiên trong bê tông.

+ Giai đoạn phát triển nứt:

Khi bê tông bị nứt do sự trương nở thể tích của gỉ sắt sẽ làm giảm khả năng chịu tải của kết cấu. Quá trình ăn mòn vẫn tiếp tục diễn ra, khi khối lượng gỉ sắt tích tụ tăng dần lên sẽ làm cho vết nứt phát triển nhanh chóng và dẫn tới phá hủy nứt vỡ hoặc bong tách lớp bê tông làm cho kết cấu mất khả năng làm việc.

3. Xác định thời gian bê tông bắt đầu nứt

Trên cơ sở phân tích cơ chế ăn mòn cốt thép do ion clo ở trên, có thể xác định thời điểm bê tông bắt đầu nứt như sau:

$$T_{\text{nứt}} = T_{\text{kt}} + T_{\text{cr}} \quad (1)$$

Trong đó:

T_{kt} : là tuổi thọ không bảo trì của bê tông (năm).

T_{cr} : là khoảng thời gian từ khi bắt đầu ăn mòn cốt thép và tích tụ gỉ sắt cho đến khi bê tông bắt đầu bị nứt (năm).

- Xác định thời gian T_{kt} :

Theo TCVN 12041-2017: hàm lượng ion clo bao gồm cả lượng có mặt ban đầu trong bê tông (từ nguyên liệu hoặc quá trình trộn) và lượng thâm nhập sau này từ môi trường, được giới hạn bởi lượng ion clo tới hạn, được quy định như là giá trị giới hạn cho việc bắt đầu ăn mòn cốt thép. Giá trị của hàm lượng ion clo tới hạn hoặc ngưỡng ion clo chủ yếu phụ thuộc vào chủng loại và hỗn hợp chất kết dính. Phương trình cho thiết kế dựa trên tuổi thọ không tính đến bảo trì là:

$$C_d \leq C_{\text{lim}} \quad (2)$$

Trong đó:

C_{lim} : là hàm lượng ion clo gây ra ăn mòn cốt thép (% của khối lượng chất kết dính) được lấy theo bảng C.1 của TCVN 12041-2017;

C_d : là hàm lượng ion clo trên bề mặt cốt thép trong bê tông (% trọng lượng so với tổng chất kết dính), thâm nhập từ môi trường bên ngoài và cũng là một loại tạp chất trong nguyên liệu bê tông, có thể ước tính từ biểu thức:

$$C_d = (C_s - C_o) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{a}{2\sqrt{D_a T_{kt}}} \right) \right] + C_o \quad (3)$$

Trong đó:

a : chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép (cm);

D_a : hệ số khuếch tán clo biểu kiến ($\text{cm}^2/\text{năm}$);

T_{kt} : tuổi thọ không bảo trì của bê tông (năm)

C_o : hàm lượng ion clo ban đầu tại bề mặt cốt thép trong bê tông (% khối lượng so với tổng lượng chất kết dính) kể cả từ nguyên liệu hoặc trong quá trình trộn;

C_s : hàm lượng ion clo tại bề mặt bê tông, lấy theo bảng C.2 TCVN 12041-2017;

erf : hàm sai số Gauss:

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-y^2} dy \quad (4)$$

Với biến số:

$$z = \frac{a}{2\sqrt{D_a T_{kt}}} \quad (5)$$

Từ các phương trình (3), (4), (5) có thể tính được tuổi thọ không bảo trì của bê tông T_{kt} (năm).

- Xác định thời gian T_{cr} :

Giả sử bán kính ban đầu của thanh thép chưa bị ăn mòn là R (m), sau khi ion clo thẩm thấu và tích tụ trên bề mặt cốt thép đạt giá trị tới hạn sẽ bắt đầu bị ăn mòn. Giả thiết T_{cr} (năm) là khoảng thời gian từ khi cốt thép bắt đầu bị ăn mòn cho đến khi bê tông bắt đầu nứt. Khi đó cốt thép sẽ bị ăn mòn sâu vào thanh thép một khoảng là (d_s) như sau:

$$d_s = i_c \cdot T_{cr} \quad (6)$$

Với i_c là tốc độ ăn mòn trung bình hằng năm (m/năm).

Thể tích cốt thép ban đầu tính cho một đơn vị dài:

$$V_o = \pi R^2 \quad (7)$$

Thể tích thép bị ăn mòn tính cho một đơn vị dài:

$$V_1 = \pi[R^2 - (R - d_s)^2] = \pi(2Rd_s - d_s^2) \quad (8)$$

Nhưng do sản phẩm ăn mòn có tính trương nở thể tích, nên phần thể tích do sản phẩm ăn mòn tạo ra sẽ là:

$$V_2 = n \cdot V_1 = n \cdot \pi(2Rd_s - d_s^2) \quad (9)$$

Với n là hệ số nở thể tích của sản phẩm ăn mòn. Giá trị của n phụ thuộc vào sản phẩm tạo ra khi bị ăn mòn. Theo tác giả Liu và Weyers (1998), hệ số nở thể tích dao động trong khoảng từ 1,7 đến 6,15 như trong bảng 1.

Bảng 1. Giá trị trương nở thể tích của sắt khi bị ăn mòn (Liu và Weyers, 1998)

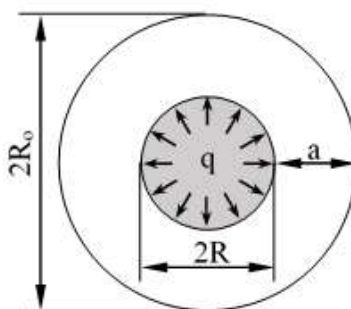
Sản phẩm do ăn mòn	Tỉ lệ trương nở thể tích (n)
FeO	1,70
Fe ₃ O ₄	2,00
Fe ₂ O ₃	2,10
Fe(OH) ₂	3,60

$\text{Fe}(\text{OH})_3$	4,00
$\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	6,15

Phần thể tích sản phẩm ăn mòn hữu hiệu gây ra áp lực là:

$$V_s = V_2 - V_1 = \pi(n - 1)(2Rd_s - d_s^2) \quad (10)$$

Khi cốt thép bị ăn mòn sẽ tạo ra sản phẩm ăn mòn tăng thể tích so với cốt thép ban đầu, gây ra ứng suất trong bê tông. Để đơn giản trong tính toán, bài toán được quy về bài toán ống trụ dày chịu áp lực bên trong (q), với chiều dày lớp bê tông bảo vệ là (a) và bán kính ban đầu thanh thép tròn là (R), bán kính ngoài của ống là ($R_o = R + a$) như trên hình 1.



Hình 1. Mô hình ống trụ thành dày chịu áp lực bên trong

Dựa vào bài toán ống trụ thành dày chịu áp lực bên trong là áp lực do sự trương nở thể tích của sản phẩm ăn mòn cốt thép, từ đó xác định được chiều sâu ăn mòn cốt thép tại thời điểm bê tông bắt đầu nứt như sau [Nguyễn Văn Mạnh, 2020]:

$$d_s = R(1 - \sqrt{1 - \rho}) \quad (11)$$

Trong đó: ρ là tỉ lệ cốt thép đã bị ăn mòn (%).

Thay giá trị d_s vào phương trình (6), tính được thời gian từ khi cốt thép bị ăn mòn cho đến khi bê tông bắt đầu nứt như sau:

$$T_{cr} = \frac{d_s}{i_c} \quad (12)$$

Như vậy, thay các giá trị T_{kt} và T_{cr} vào phương trình (1) sẽ tính được thời gian từ khi kết cấu làm việc trong môi trường biển đến khi bắt đầu xuất hiện nứt trong bê tông.

4. Ví dụ tính toán

Xác định thời điểm bắt đầu xuất hiện vết nứt trong kết cấu bê tông cốt thép với các thông số sau:

Kết cấu BTCT làm việc trong môi trường biển có nồng độ clo tại bề mặt bê tông là:

$C_s = 1,5\%$ khối lượng bê tông.

Chiều dày lớp bê tông bảo vệ: $a = 5\text{cm}$

Đường kính thanh cốt thép: $\phi = 20\text{mm}$

Bê tông cấp độ bền B30 chỉ sử dụng chất kết dính là xi măng poóc lăng, có: $R_b = 22\text{MPa}$; $R_{bt} = 1,8\text{MPa}$; $E_c = 32,5\text{GPa}$

Bê tông được chế tạo từ xi măng PCB40: $X = 465\text{kg/m}^3$ bê tông; $\gamma_{BT} = 2500\text{kg/m}^3$.

Hệ số trương nở thể tích (Fe_2O_3): $n = 2,1$

Hệ số khuếch tán ion clo của bê tông: $D_a = 0,422\text{cm}^2/\text{năm}$

Tốc độ ăn mòn trung bình năm: $i_c = 1 \mu\text{m}/\text{năm}$.

Tính thời gian khuếch tán ion clo: T_{kt}

Giả thiết hàm lượng ion clo ban đầu tại bề mặt cốt thép trong bê tông là $C_o = 0\%$.

Dựa vào bảng C.1 (TCVN 12041-2017) xác định được hàm lượng ion clo tối hạn cho loại bê tông này là $C_d = 0,45\%$ khối lượng xi măng hay $0,45\% \cdot 465 = 2,0925(\text{kg/m}^3)$.

Hàm lượng ion clo so với khối lượng bê tông là:

$C_d = 2,0925/2500 = 0,0837\%$ khối lượng bê tông.

Thay các giá trị vào phương trình (3) được:

$$0,083 - (1,5 - 0) \left[1 - \text{erf} \left(\frac{5}{2\sqrt{0,422 T_{kt}}} \right) \right] + 0$$

Suy ra:

$$\text{erf} \left(\frac{a}{2\sqrt{D_a T_{kt}}} \right) = 0,9442$$

Chúng ta có:

$$z = \frac{a}{2\sqrt{D_a T_{kt}}} = \frac{5}{2\sqrt{0,422 T_{kt}}} = 1,36$$

Tính được: $T_{kt} = 8$ (năm).

Như vậy tuổi thọ không bảo trì của bê tông là $T_{kt} = 8$ (năm).

Tính thời gian từ lúc ăn mòn cốt thép đến khi bê tông bắt đầu nứt: T_{cr}

Sử dụng các công thức tính toán trong tài liệu (Nguyễn Văn Mạnh, 2020), tính được chiều sâu ăn mòn cốt thép tại thời điểm bê tông bắt đầu nứt là:

$$d_s = 1,034 \text{ } \mu\text{m}$$

Do đó thời gian từ khi cốt thép bị ăn mòn đến lúc bê tông bắt đầu nứt là:

$$T_{cr} = \frac{d_s}{i_c} = \frac{1,034}{1} = 1,03 \text{ năm}$$

Tổng thời gian từ khi kết cấu làm việc trong môi trường có ion clo đến khi bê tông bắt đầu nứt là:

$$T_{nứt} = T_{kt} + T_{cr} = 8 + 1,034 = 9,034 \text{ năm.}$$

5. Kết luận

Kết cấu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường biển có chứa các ion clo làm giảm tuổi thọ của công trình do quá trình khuếch tán và ăn mòn cốt thép của chúng. Khi các ion clo tích tụ trên bề mặt thanh cốt thép đến giá trị tới hạn sẽ gây ra hiện tượng ăn mòn cốt thép. Quá trình ăn mòn cốt thép sinh ra gỉ sắt là các hợp chất có tính trương nở thể tích lớn nên gây ra áp lực tác động trực tiếp lên lớp bê tông tiếp xúc với cốt thép và gây nứt bê tông khi ứng suất tác động đạt đến giá trị độ bền kéo của vật liệu bê tông. Trên cơ sở phân tích bài toán thẩm ion clo và bài toán cơ học ống trụ thành dày chịu áp lực bên trong, bài báo đưa ra lời giải cho việc tính toán thời gian từ khi kết cấu tiếp xúc với môi trường có chứa ion clo cho đến khi bê tông bắt đầu bị nứt $T_{nứt}$ (năm) bao gồm 2 thành phần: tuổi thọ không bảo trì của bê tông T_{kt} (năm) có thể tính toán từ các biểu thức (3), (4) và (5); thời gian từ khi bắt đầu ăn mòn cốt thép và tích tụ gỉ sắt cho đến khi bê tông bắt đầu bị nứt T_{cr} (năm) được tính toán theo biểu thức (12).

Quá trình khuếch tán ion clo vào trong bê tông và ăn mòn cốt thép là một quá trình hóa - lý - cơ phức tạp. Bài báo mới chỉ xem xét quá trình này ở khía cạnh cơ - lý chứ chưa xét đến sự tác

động của các quá trình hóa học. Vì vậy, cần có những nghiên cứu tiếp theo để có thể xét được ảnh hưởng đầy đủ các yếu tố đến quá trình ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép làm việc trong môi trường biển để có thể giúp các nhà quản lý, thiết kế có thể đưa ra các biện pháp, thời điểm bảo trì thích hợp nhằm làm tăng tuổi thọ của công trình.

Tài liệu tham khảo

- Djerbi, A., et al., 2008. Influence of traversing crack on chloride diffusion into concrete. *Cement and Concrete Research*. Vol. 38, pp.877-883.
- Kim T.K., Choi S.J., Choi J.H. and Kim J.H., 2019. Prediction of chloride penetration depth rate and diffusion coefficient rate of concrete from curing condition variations due to climate change effect. *Inernational journal of Concrete Structures and Materials*. Vol. 13, Article number 15.
- Liu Y. and Weyers R.E., 1998. Modeling the time-to-corrosion cracking in chloride contaminated reinforced concrete structures. *ACI Materials Journal*. Vol. 95, pp.675-680.
- Nguyễn Văn Mạnh, 2020. Nghiên cứu xác định chiều sâu ăn mòn cốt thép khi bắt đầu xuất hiện nứt bê tông trong môi trường biển. *Hội nghị toàn quốc Khoa học trái đất và tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2020)*. Trường Đại học Mở - Địa chất, tháng 11/2020.
- Hồ Văn Quân, Phạm Duy Hữu và Nguyễn Thanh Sang, 2016. Cải thiện độ chống thấm ion clo và kéo dài tuổi thọ kết cấu bê tông ở môi trường biển bằng cách sử dụng kết hợp muối silic và tro bay. *Tạp chí Giao thông vận tải*, năm 2016.
- Suwito C. and Xi Y., 2008. The effect of chloride-induced steel corrosion on service life of reinforced concrete structures. *Structure and Infrastructure Engineering*. Vol. 4, No. 3, pp. 177-192.
- TCVN 12041:2017. Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Yêu cầu chung về thiết kế độ bền lâu và tuổi thọ trong môi trường xâm thực.
- Nguyễn Nam Thắng, 2007. Nghiên cứu ứng dụng canxi nitrit làm phụ gia ức chế ăn mòn cốt thép cho bê tông cốt thép trong điều kiện Việt Nam. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Viện Khoa học công nghệ Xây dựng.
- Phạm Đức Thọ và nnk., 2019. Mô hình lưới dự báo thời gian bắt đầu ăn mòn cốt thép của bê tông trong môi trường biển. *Tạp chí Giao thông vận tải*, năm 2019.
- Hoàng Thị Bích Thủy, 2007. Ảnh hưởng của nồng độ ion clo, độ ẩm và chiều dày bê tông đến quá trình ăn mòn cốt thép. *Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng*, số 2/2007.
- Cao Duy Tiến và nnk, 2003. Báo cáo tổng kết dự án Chống ăn mòn và bảo vệ các công trình bê tông và bê tông cốt thép vùng biển. Viện Khoa học công nghệ Xây dựng.
- Wong H.S. et al., 2010. On the penetration of corrosion products from reinforcing steel into concrete due to chloride-induced corrosion. *Corrosion Science*. Vol. 52, pp. 2469-2480.
- Xi Y., Abu-Hejleh N., Asiz A. and Suwito A., 2004. Performance evaluation of various corrosion protection systems of bridges in Colorado, Colorado Department of Transportation. *Report No. CDOT-DTD-R-2004-1*.
- Zhao Y. and Jin W., 2016. *Steel corrosion - induced concrete cracking*. Published by Elsevier.