

## SỰ PHÁT TRIỂN CƯỜNG ĐỘ BẮM DÍNH CỦA CỐT THÉP VỚI BÊ TÔNG TRONG MÔI TRƯỜNG TỰ NHIÊN VEN BIỂN ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

TS. NGUYỄN LÊ THI, KS. NGUYỄN HOÀNG BẢO LINH  
QUATEST 3 - Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm cường độ bám dính của cốt thép thanh vằn  $D = 10$  mm với bê tông cốt sợi phân tán trong môi trường tự nhiên ven biển đồng bằng sông Cửu Long. Kết quả nghiên cứu trên mẫu bê tông M60 (với cốt sợi phân tán, silica fume, phụ gia siêu dẻo), chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép 45 mm cho thấy: Cường độ bám dính cốt thép với bê tông ( $\tau_{THEP-MT}$ ) gia tăng theo thời gian cùng cường độ bê tông, phụ thuộc chủ yếu vào cường độ nén của bê tông và chưa bị ảnh hưởng nhiều bởi tác động sau 2 năm của môi trường ven biển.

**Từ khóa:** bê tông, cường độ bám dính, cốt thép, môi trường tự nhiên ven biển.

**Abstract:** The paper presents the experimental results of bond strength of deformed steel bar 10 mm in diameter with fiber concrete under typical natural coastal environment of the Mekong Delta. Research results on M60 concrete samples (with PP fiber, silica fume, super-plasticizer admixture), concrete cover of 45 mm showed that: Bond strength of rebar to concrete ( $\tau_{THEP-MT}$ ) increases over time with the compressive strength of the concrete, depends mainly on the compressive strength of the concrete and is not affected much by the impact of the coastal environment after 2 years.

**Keywords:** concrete, bond strength, rebar, natural coastal environment.

### 1. Giới thiệu

Ăn mòn cốt thép kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường biển Việt Nam hiện nay khá nghiêm trọng và đòi hỏi sự quan tâm đặc biệt. Môi trường biển thường được phân làm 3 vùng: vùng ngập nước, vùng nước lên xuống và vùng khí quyển. Phần lớn kết cấu bê tông cốt thép bị hư hỏng trong môi trường biển là do cốt thép bị ăn mòn [1]. Sự hư hỏng thường được thể hiện qua các hiện tượng nứt lớp bê tông bảo vệ (do gỉ thép gây giãn nở), giảm tiết diện cốt

thép chịu lực do bị ăn mòn và suy giảm liên kết bê tông - cốt thép, làm kết cấu bê tông cốt thép bị tổn thất khả năng chịu lực.

Liên kết giữa cốt thép và bê tông thường được đặc trưng bởi giá trị cường độ bám dính giữa cốt thép và bê tông. Giá trị này trong môi trường biển, có thể bị suy giảm do các cơ chế: giảm ma sát liên kết bê tông - cốt thép do gỉ hình thành trên mặt cốt thép, giảm diện tích tiếp xúc cốt thép - bê tông do lớp bê tông bảo vệ cốt thép bị nứt tách khỏi cốt thép và sự kết hợp của cả hai cơ chế trên. Cường độ bám dính thường được xác định bằng phương pháp kéo nhỏ (pull-out) [2].

Cường độ bám dính của cốt thép với bê tông đã được các tác giả nghiên cứu trong các điều kiện khác nhau, tập trung trên các mẫu cốt thép bị ăn mòn 34567. Tuy nhiên, ở Việt Nam chưa có nhiều nghiên cứu về quy luật phát triển theo thời gian của thông số này, đặc biệt trên loại bê tông cường độ cao với cốt sợi phân tán và trong điều kiện ăn mòn của môi trường biển thực tế.

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về sự phát triển cường độ bám dính cốt thép - bê tông theo thời gian trên loại cốt thép thanh vằn với bê tông mác 60 MPa có cốt sợi phân tán có xét đến ảnh hưởng của một số yếu tố như vật liệu chế tạo bê tông, tác động của môi trường nước tự nhiên ven biển của các vùng thuộc đồng bằng sông Cửu Long.

### 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Sử dụng các loại nguyên vật liệu có sẵn, phổ biến tại khu vực phía Nam nói chung và đồng bằng sông Cửu Long nói riêng. Trong đó, có vật liệu mới qua áp dụng thực tế đã phát huy hiệu quả tốt như cốt sợi PP Forta Ferro. Xi măng sử dụng trong nghiên cứu (X) là xi măng PCB 40 phù hợp TCVN 6260:2009 [8]; cốt liệu nhỏ C (cát mịn là cát sông - có mô đun độ lớn là 2,2 phối hợp với cát thô - cát đồi có mô đun độ lớn là 3,5) và cốt liệu lớn là Đá

dăm  $D_{max} = 20$  mm, phù hợp TCVN 7570:2006 9; phụ gia khoáng hoạt tính silica fume ( $Si$ ) phù hợp TCVN 8827:2011 10, phụ gia hóa học siêu dẻo thể hệ 3, gốc cacboncylate phù hợp TCVN 8826:2011 11. Cốt sợi polypropylene (PP) của Forta Ferro loại

sợi 54 mm phù hợp theo ASTM C1119 8/ BS EN 14889-2 13/ TCVN 12392-2:2018 14. Cốt thép có đường kính danh nghĩa  $D=10$  mm, phù hợp theo TCVN 1651-2:2008 15. Tính chất cơ lý của cốt sợi phân tán PP và cốt thép cho ở bảng 1.

**Bảng 1. Tính chất cơ lý của sợi PP và cốt thép**

| TT | Tên chỉ tiêu              | Kết quả thử nghiệm |          |
|----|---------------------------|--------------------|----------|
|    |                           | PP                 | Cốt thép |
| 1  | Đường kính danh nghĩa, mm | 2,20               | 10       |
| 2  | Đường kính thực tế, mm    | 2,18               | 9,5      |
| 3  | Giới hạn bền kéo, MPa     | 570                | 599      |
| 4  | Độ giãn dài, %            | 16,5               | 21,0     |
| 5  | Mô đun đàn hồi, GPa       | 6,5                | 19,5     |

Theo TCVN 9436:2012 16, để chống ăn mòn cho cốt thép trong bê tông cốt thép vùng thủy triều lên xuống, cần sử dụng bê tông có cường độ (40 – 50) MPa, độ chống thấm nước W10 – 12 (N/CKD 0,40 - 0,45,  $X \geq 350$  kg/m<sup>3</sup>,  $Cl^- \leq 0,6$  kg.m<sup>3</sup>), chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép 60 mm khi dùng bê tông M40 và 50 mm khi dùng M50.

Trong nghiên cứu đã sử dụng hàm lượng xi măng 350 kg/m<sup>3</sup> có tăng cường hàm lượng sợi PP 6,0 kg/m<sup>3</sup> bê tông, phụ gia khoáng hoạt tính silicafume hàm lượng thay đổi lần lượt là 2,6 %; 5,0 % và 7,4 % để cải thiện cấu trúc đá xi măng, cố định hàm lượng phụ gia siêu dẻo 0,8 L/ 100 kg xi măng và độ sụt (4±2) cm, N/CKD trong khoảng (0,38 - 0,40). Chi tiết cấp phối bê tông cốt sợi cho ở bảng 2.

**Bảng 2. Thành phần cấp phối bê tông cốt sợi**

| TT | Cấp phối | Thành phần cho 1 m <sup>3</sup> bê tông |                   |                   |      |     |       |
|----|----------|-----------------------------------------|-------------------|-------------------|------|-----|-------|
|    |          | X kg                                    | C <sub>Đ</sub> kg | C <sub>S</sub> kg | Đ kg | N L | Si kg |
| 1  | 2,6%     | 350                                     | 510               | 340               | 1050 | 145 | 9,1   |
| 2  | 3,0%     | 350                                     | 500               | 340               | 1040 | 145 | 10,5  |
| 3  | 5,0%     | 350                                     | 500               | 340               | 1040 | 144 | 17,5  |
| 4  | 7,0%     | 350                                     | 500               | 340               | 1040 | 144 | 24,5  |
| 5  | 7,4%     | 350                                     | 500               | 340               | 1040 | 143 | 25,9  |

Mức độ ăn mòn của nước biển đối với bê tông cốt thép tùy thuộc vào hàm lượng các muối chứa ion clo ( $Cl^-$ ) và ion sunphat ( $SO_4^{2-}$ ), độ pH và nhiệt độ của nước biển. Ngoài ra, còn có tác động do ăn mòn cơ học như tác động của thủy triều, sóng đánh hay chu trình khô – ướt. Đề tài đã chọn lưu giữ mẫu trong vùng thủy triều lên xuống và sóng táp 16 tại 5 địa phương

có phần diện tích bờ biển tương đối lớn để nghiên cứu là: Kiên Giang, Sóc Trăng, Bến Tre, Bạc Liêu và Cà Mau. Mức độ ăn mòn của các môi trường trên được đánh giá theo tiêu chí tổng hợp 17 gồm: nhiệt độ trung bình, tổng số giờ nắng/ngày, độ mặn trung bình và chiều cao sóng trung bình của từng địa phương, theo thống kê khí tượng, thủy văn năm 2016 nêu ở bảng 3.

**Bảng 3. Tính chất và thành phần hóa của nước biển**

| TT | Tên địa điểm          | Kết quả thống kê trung bình năm 2016 |                          |              |                    |
|----|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------|--------------------|
|    |                       | Nhiệt độ, °C                         | Tổng số giờ nắng/ngày, h | Độ mặn, g/kg | Chiều cao sóng, cm |
| 1  | Rạch Giá – Kiên Giang | 28                                   | 7                        | 11,6         | 12,0               |
| 2  | Trần Đề – Sóc Trăng   | 28                                   | 7                        | 13,5         | 20,4               |
| 3  | Bình Đại – Bến Tre    | 27                                   | 7                        | 15,4         | 21,2               |
| 4  | Gành Hào – Bạc Liêu   | 28                                   | 7                        | 17,4         | 22,5               |
| 5  | Sông Đốc – Cà Mau     | 28                                   | 6                        | 28,5         | 18,7               |

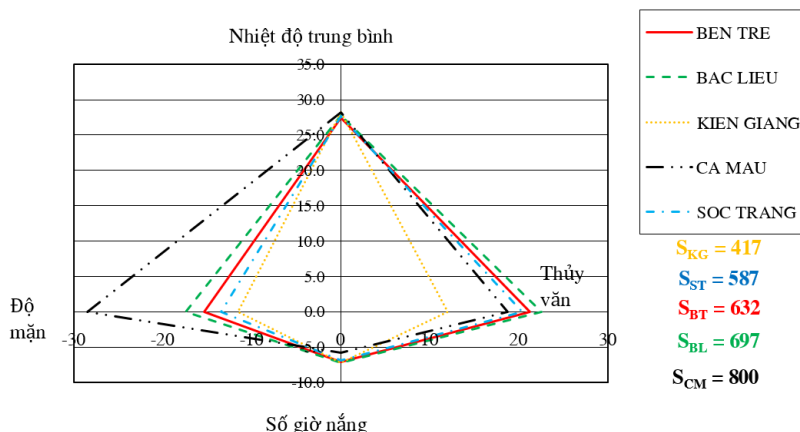
Đề tài sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm 18 để nghiên cứu ảnh hưởng của môi trường đến sự phát triển cường độ bám dính của cốt thép

với bê tông trong môi trường thực tế ven biển đồng bằng sông Cửu Long so với đối chứng trong phòng thí nghiệm. Trong thí nghiệm, hàm mục tiêu được đặt

là cường độ bám dính của cốt thép với bê tông, các biến số cụ thể là:

- TG (Z<sub>1</sub>) - Tuổi thử nghiệm: min 3 tháng (90 ngày), max 21 tháng (630 ngày);
- SF (Z<sub>2</sub>) - Hàm lượng phụ gia silica fume: min 3% và max 7% theo hàm lượng xi măng;

- MT (Z<sub>3</sub>): Điều kiện ăn mòn: min - ngâm trong môi trường ít khắc nghiệt nhất và max - ngâm trong môi trường khắc nghiệt nhất của 5 địa phương. Việc phân loại và xếp hạng mức độ môi trường của từng địa phương dựa trên số liệu quan trắc cho ở bảng 3 và minh họa ở hình 1. Sắp xếp theo thứ tự xâm thực từ thấp đến cao: Kiên Giang, Sóc Trăng, Bến Tre, Bạc Liêu và Cà Mau.



Hình 1. Lựa chọn môi trường xâm thực dựa trên các yếu tố tổng hợp

Thông số nghiên cứu tối ưu hóa được chọn là cường độ bám dính. Các mức cơ sở và khoảng biến thiên của các yếu tố cho ở bảng 4.

Bảng 4. Các mức cơ sở và khoảng biến thiên của các yếu tố

| Ký hiệu | Biến mã hóa    | Yếu tố                                     | Các mức cơ sở |     |     | Khoảng biến thiên |
|---------|----------------|--------------------------------------------|---------------|-----|-----|-------------------|
|         |                |                                            | -1            | 0   | +1  |                   |
| TG      | x <sub>1</sub> | Tuổi thử nghiệm (Z <sub>1</sub> ), ngày    | 90            | 360 | 630 | 270               |
| SF      | x <sub>2</sub> | Hàm lượng silica fume (Z <sub>2</sub> ), % | 3             | 5   | 7   | 2,0               |
| MT      | x <sub>3</sub> | Điều kiện môi trường (Z <sub>3</sub> )     | 2             | 3   | 4   | 1,0               |

Mô hình được lựa chọn để nghiên cứu là mô hình trực giao, bậc 2 có tâm, 3 yếu tố:

$$y' = b_0 + b_1X_1 + \dots + b_kX_k + b_{12}X_1X_2 + \dots + b_{k-1,k}X_{k-1}X_k + b_{11}X_1^2 + \dots + b_{kk}X_k^2 \quad (1)$$

Quy hoạch thực nghiệm các yếu tố toàn phần TYP có số lượng mẫu: 2<sup>3</sup>+6+1=15 mẫu. Trong đó có 8 thí nghiệm nhân phương án, bổ sung 2k điểm sao (\*) và 1 thí nghiệm ở tâm phương án. Ngoài ra, còn thí nghiệm thêm 3 thí nghiệm ở tâm phương án và các thí nghiệm trên mẫu đối chứng bảo dưỡng trong điều kiện phòng thí nghiệm để so sánh.

Mẫu thử cường độ bám dính với bê tông có kích thước (D=100, H = 100) mm, được chuẩn bị bằng cách bọc sáp phần cốt thép 23 để giữ 50 mm cốt thép ngập trong bê tông (cấp phối bảng 2) để nghiên cứu bám dính. Chi tiết công tác chuẩn bị mô tả ở hình 2.

Mẫu thử được đúc, bảo dưỡng 28 ngày trong phòng thí nghiệm, sau đó được tiếp tục lưu giữ trong môi trường nước biển ven bờ tại 5 địa điểm đã được chọn như mô tả ở hình 3. Các mẫu đối chứng được

ngâm nước trong phòng thí nghiệm trong thời gian từ tháng 07/2018 đến 07/2020.

Thiết bị sử dụng thử nén bê tông có thang đo 3000 kN, vạch chia 1 kN, độ chính xác 1%. Thiết bị thử độ bám dính có thang đo 100 kN, vạch chia 0,1 kN, độ chính xác 1% và bộ gá để thử độ bám dính được mô tả ở hình 4.

Chỉ tiêu cần đánh giá, so sánh là cường độ bám dính giữa bê tông và cốt thép khi ngâm trong môi trường thực tế tại hiện trường cửa biển (HT) và môi trường đối chứng (ĐC). Cường độ bám dính  $\tau$  được tính theo công thức sau 19:

$$\tau = \frac{F}{\pi DL}$$

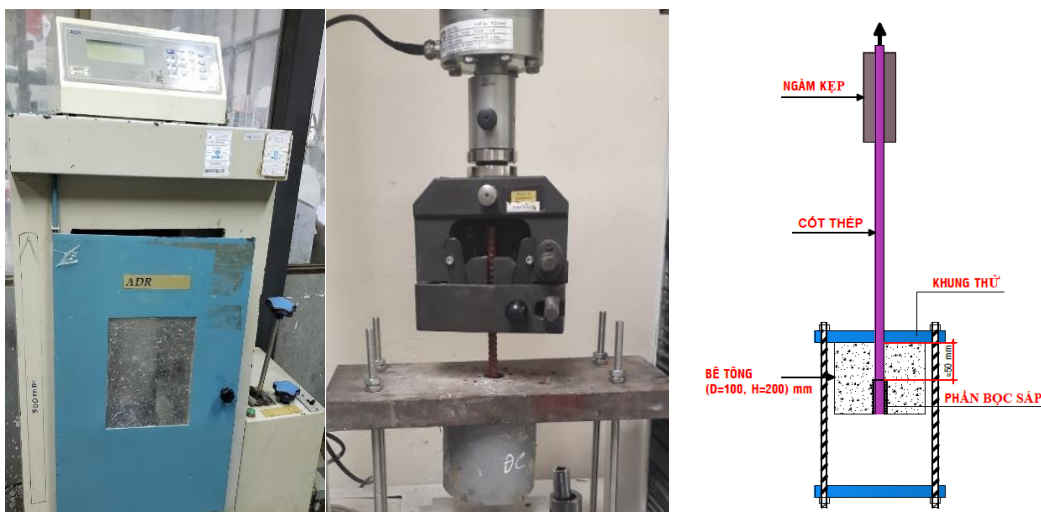
Trong đó: F - lực kéo phá hủy, D - đường kính làm việc thực tế và L - chiều sâu làm việc của cốt thép.



Hình 2. Chuẩn bị mẫu thử cường độ nén và bám dính của cốt thép với bê tông



Hình 3. Bảo dưỡng các mẫu thử tại Bình Đại, Bến Tre



Hình 4. Thiết bị thử cường độ nén và cường độ bám dính với bê tông

### 3. Kết quả thực nghiệm và thảo luận

#### 3.1 Kết quả thực nghiệm

Mẫu điển hình sau khi thử độ bám dính giữa cốt thép với bê tông ở hình 5 cho thấy dạng phá hủy liên kết giữa cốt thép với bê tông là do mất liên kết của lực bám dính khi chưa có ăn mòn.



Hình 5. Mẫu thử độ bám dính cốt thép sau khi thử

Kết quả thử cường độ bám dính của cốt thép và cường độ bê tông quy về mẫu hình trụ ( $D=150$ ;  $H=300$ ) mm cho ở bảng 5.

**Bảng 5. Kết quả thử cường độ bám dính của cốt thép và cường độ nén của bê tông**

| TT | Ký hiệu mẫu | Giá trị mã hóa |         |         | Giá trị thực |       |       | Cường độ bám dính, MPa |       |                |       |
|----|-------------|----------------|---------|---------|--------------|-------|-------|------------------------|-------|----------------|-------|
|    |             | $x_1$          | $x_2$   | $x_3$   | $Z_1$        | $Z_2$ | $Z_3$ | Cốt thép               |       | ACI 440.1R (*) |       |
|    |             |                |         |         |              |       |       | $y$                    | $y_1$ | $f_c$          | $r$   |
| 1  | M1          | +              | +       | +       | 630          | 7     | 4     | 19,23                  | 20,32 | 70,5           | 17,35 |
| 2  | M2          | -              | +       | +       | 90           | 7     | 4     | 16,14                  | 17,23 | 63,8           | 16,50 |
| 3  | M3          | +              | -       | +       | 630          | 3     | 4     | 19,60                  | 21,53 | 70,3           | 17,32 |
| 4  | M4          | -              | -       | +       | 90           | 3     | 4     | 16,41                  | 17,89 | 63,4           | 16,46 |
| 5  | M5          | +              | +       | -       | 630          | 7     | 2     | 18,85                  | 20,32 | 70,3           | 17,32 |
| 6  | M6          | -              | +       | -       | 90           | 7     | 2     | 16,58                  | 17,23 | 65,2           | 16,68 |
| 7  | M7          | +              | -       | -       | 630          | 3     | 2     | 18,93                  | 21,53 | 70,6           | 17,36 |
| 8  | M8          | -              | -       | -       | 90           | 3     | 2     | 16,72                  | 17,89 | 64,3           | 16,56 |
| 9  | M9          | +1,215         | 0       | 0       | 688          | 5     | 3     | 20,87                  | 21,28 | 71,9           | 17,52 |
| 10 | M10         | - 1,215        | 0       | 0       | 32           | 5     | 3     | 15,80                  | 16,32 | 61,9           | 16,26 |
| 11 | M11         | 0              | +1,215  | 0       | 360          | 7,4   | 3     | 17,82                  | 19,80 | 66,4           | 16,84 |
| 12 | M12         | 0              | - 1,215 | 0       | 360          | 2,6   | 3     | 18,35                  | 20,08 | 66,8           | 16,89 |
| 13 | M13         | 0              | 0       | +1,215  | 360          | 5     | 5     | 17,73                  | 19,10 | 69,5           | 17,23 |
| 14 | M14         | 0              | 0       | - 1,215 | 360          | 5     | 1     | 18,70                  | 19,40 | 69,9           | 17,28 |
| 15 | M15         | 0              | 0       | 0       | 360          | 5     | 3     | 17,92                  | 19,30 | 69,1           | 17,18 |
| 16 | M16         | 0              | 0       | 0       | 360          | 5     | 3     | 17,97                  | 19,45 | 69,7           | 17,25 |
| 17 | M17         | 0              | 0       | 0       | 360          | 5     | 3     | 17,86                  | 19,11 | 70,2           | 17,31 |
| 18 | M18         | 0              | 0       | 0       | 360          | 5     | 3     | 17,76                  | 19,17 | 69,3           | 17,20 |

(\*) Công thức của ACI 440.1R 19:  $r = (20,23\sqrt{f_c})/d_b$ . Trong đó:  $d_b$ : đường kính cốt thép; và  $f_c$ : cường độ nén của bê tông (quy về mẫu trụ  $D=150$ ,  $H=300$ ).

Kết quả ở bảng 5 cho thấy cường độ bám dính của mẫu cốt thép trong điều kiện hiện trường (HT, giá trị  $y$ ) và đối chứng (ĐC, giá trị  $y_1$ ) biến thiên lần lượt trong khoảng (15,80 – 20,87) MPa và (16,32 – 21,53) MPa. Các giá trị trên mẫu HT có phần thấp hơn kết quả trên mẫu DC và gần xấp xỉ hơn so với kết quả tính toán theo ACI 440.1R.

$$y' = 17,98 + 1,54x_1 - 0,14x_2 - 0,23(x_2^2 - 0,73) + 0,23x_1x_3 \quad (2)$$

$$\Delta y' = 1,30 + 0,23x_1 - 0,24x_2 - 0,33(x_1^2 - 0,73) + 0,61(x_2^2 - 0,73) - 0,23x_1x_3 \quad (3)$$

So sánh kết quả cường độ bám dính cốt thép với bê tông trong điều kiện môi trường nghiên cứu, tính toán theo phương trình (1) và trong môi trường đối chứng cho ở hình 6.

Tương quan giữa cường độ bám dính và cường độ nén trên mẫu lập phương cạnh 150 mm ( $R_n$ ) trong điều kiện hiện trường cho ở hình 7 với phương trình điển hình:

$$\tau_{\text{THEP-MT}} = 0,318 R_n - 7,92 \quad (4)$$

$$\tau_{\text{THEP-MT}} = 15,93 + 0,003TG + 8,52 \cdot 10^{-4}TGMT + 0,505SF - 0,058SF^2 - 0,307MT \quad (5)$$

$$\Delta \tau_{\text{THEP}} = 3,70 + 0,007TG - 4,53 \cdot 10^{-6}TG^2 - 8,52 \cdot 10^{-4}TGMT - 1,645SF + 0,152SF^2 + 0,307MT \quad (6)$$

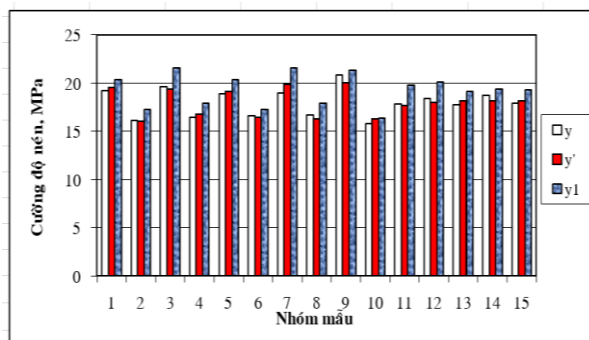
Giải phương trình (2), cho thấy  $y'$  đạt giá trị cực đại 20,04 MPa ứng với  $x_1 = 1,215$ ,  $x_2 = -0,30$ ,  $x_3 = 0$  tương ứng với giá trị thực thời gian ngâm bê tông 688 ngày tuổi, hàm lượng silica fume bằng 4,4%,

Giải hệ phương trình (1) ở trên ta được các phương trình hồi quy tương thích với thực nghiệm của cường độ bám dính cốt thép với bê tông  $y'$  và độ suy giảm cường độ bám dính của mẫu ở hiện trường so với mẫu đối chứng ( $\Delta y'$ ) như sau:

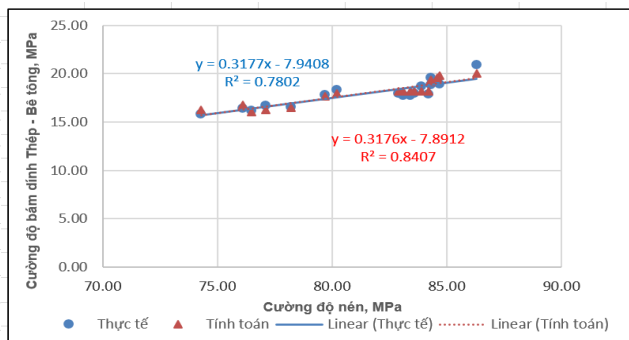
Biểu đồ 3D biểu diễn cường độ bám dính và độ suy giảm cường độ bám dính của cốt thép với bê tông theo các biến mã hóa  $x_1$ ,  $x_2$  (ứng với  $x_3 = 0$ ) cho ở hình 8.

Chuyển đổi các biến mã hóa  $x_i$  sang biến thực  $Z_i$  theo ký hiệu (TG =  $Z_1$  tuổi thử nghiệm; SF =  $Z_2$  hàm lượng silica fume và MT =  $Z_3$  điều kiện môi trường), ta có các phương trình hồi quy theo ký hiệu biến thực tế:

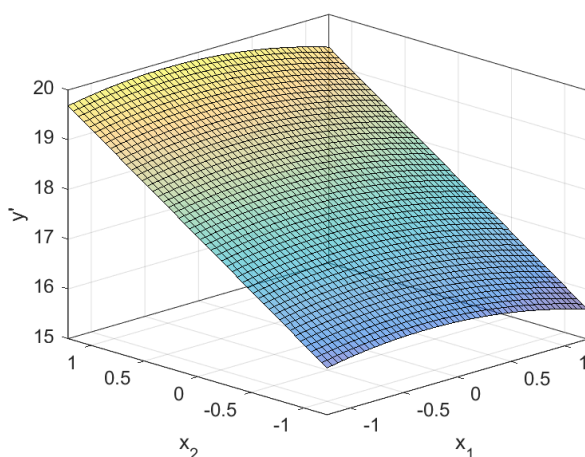
trong đó thời gian là tham số chính, đóng góp sự gia tăng cường độ bám dính cốt thép – bê tông 1,73 MPa, tức 9,62%, silica fume góp 0,19 MPa, tức 1,05%.



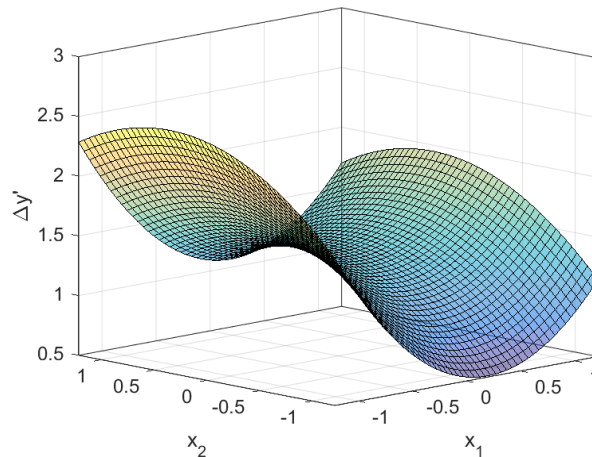
Hình 6. So sánh cường độ bám dính thực tế



Hình 7. Tương quan giữa cường độ và tính toán bám dính và cường độ nén



Hình 8. Biểu đồ 3D cường độ bám dính và mức độ suy giảm ( $x_3 = 0$ )



### 3.2 Thảo luận

#### 3.2.1 Ảnh hưởng của hàm lượng silica fume tới độ bám dính cốt thép - bê tông

Xét phương trình hồi quy (2) có thể thấy tham số  $x_2$  (hàm lượng silica fume) ảnh hưởng tới độ bám dính cốt thép – bê tông qua biểu thức  $(-0,14x_2 - 0,23(x_2^2 - 0,73))$ , nghĩa là khi  $x_2 = -1$  (silica fume 2,6%),  $\tau$  tăng 0,08 MPa, tức 0,4%, so với bám dính trung bình 17,98 MPa, khi  $x_2 = +1$  (silica fume 7,4%),  $\tau$  giảm 0,2 MPa, tức 1,1% so với trung bình.

So sánh 3 số liệu thí nghiệm 11, 12, 15 ở bảng 5, có thể thấy (khi  $x_1 = 0$  và  $x_3 = 0$ ) cường độ bám dính ở 360 ngày ứng với hàm lượng silica fume 2,6%; 5,0% và 7,4% lần lượt bằng 18,35; 17,92 và 17,82 MPa. Nghĩa là, về giá trị tuyệt đối, cường độ bám dính với 2,6% silica fume là lớn nhất nhưng xét về giá trị tương đối so với giá trị trung bình 17,98 MPa sự thay đổi là nhỏ, chỉ chênh so với trung bình lần lượt là 2,0, 0,3 và 0,9 %. Điều này có thể do việc thay đổi hàm lượng silica fume (2% mỗi mức) trong nghiên cứu chưa đủ lượng để làm thay đổi đáng kể cường độ bám dính cốt thép – bê tông.

#### 3.2.2 Ảnh hưởng của mức xâm thực môi trường tới độ bám dính cốt thép - bê tông

Phương trình (2) cho thấy ảnh hưởng của môi trường biển các tỉnh ven biển Đông Nam Bộ, tuy có khác nhau về mức độ ăn mòn theo chỉ tiêu tổng hợp, còn khá nhỏ. Nếu lấy cường độ bám dính trung bình là 17,98 MPa, tham số  $x_3$  - môi trường ảnh hưởng mạnh nhất khi  $x_3 = 1$ ,  $x_1 = 1$ , và  $x_2 = 0$ , thì  $x_3$  chỉ gây ảnh hưởng ở mức 0,23/17,98 tức khoảng 1,3%. Điều này có thể giải thích do bê tông mác cao M60 - M70, chiều dày bê tông bảo vệ cốt thép khá lớn (45 mm) nên trong 2 năm môi trường tuy có mức độ ăn mòn khác nhau, nhưng chưa thể xâm nhập sâu đủ gây ảnh hưởng tới vùng liên kết bê tông – cốt thép.

#### 3.2.3 Ảnh hưởng của thời gian tới cường độ bám dính cốt thép - bê tông

Phương trình hồi quy (2) cho thấy ảnh hưởng của thông số này (khi  $x_2 = 0$ ) là  $1,54x_1 + 0,23x_1.x_3$ , có ảnh hưởng từ 1,31 tới 1,78 MPa, tức 7,3 tới 10% - khá lớn so với độ bám dính trung bình 17,98 MPa.

So sánh kết quả 3 thí nghiệm 10, 16 và 9 ứng với tuổi mẫu 32/ 360/ 688 ngày, cường độ nén bê tông

đạt tương ứng 61,9/ 69,7/ 71,9 MPa, cường độ bám dính thực tế cốt thép – bê tông tương ứng 15,80/ 17,97 /20,87 MPa, cường độ tính toán theo ACI 440.1R có giá trị tương ứng 16,26/ 17,25/ 17,52 MPa thì có thể thấy sự thay đổi theo thời gian của cường độ nén và bám dính cốt thép – bê tông so với 32 ngày tuổi khá lớn và đạt như sau:

- Ở tuổi 360 ngày, cường độ nén tăng 12,6%, bám dính  $\tau$  thực tế tăng 13,7%,  $\tau$  tính toán tăng 6,1%;
- Ở tuổi 688 ngày, cường độ nén tăng 16,0%, bám dính  $\tau$  thực tế tăng 32,0%,  $\tau$  tính toán tăng 7,8%.

Như vậy, theo thời gian, cường độ bám dính cốt thép – bê tông thực tế có phát triển mạnh hơn so với cường độ nén thực tế và nhanh hơn so với giá trị tính toán theo ACI 440.1R. Việc này có thể giải thích là do cấu trúc đá xi măng của bê tông trở nên đặc chắc hơn theo thời gian (khoáng mới tăng, lỗ rỗng giảm), bê tông co ngót hóa học phần nào cũng bọc ép mạnh hơn lên cốt thép làm ma sát và cường độ bám dính giữa chúng tăng. Điều này cũng phù hợp với cực trị của phương trình hồi quy đã nêu ở phần trên và tương quan cường độ nén - độ bám dính bê tông với cốt thép theo ACI.

### 3.2.4 Mức suy giảm độ bám dính cốt thép - bê tông trong môi trường ăn mòn so với đối chứng

Từ phương trình (3) có thể thấy cường độ bám dính của tập hợp các mẫu trong môi trường ăn mòn biển (với các cấp phối khác nhau, ở các thời gian khác nhau) có bị suy giảm, với mức suy giảm trung bình 1,3 MPa, tức 6,7 %, so với cường độ bám dính trung bình của tập mẫu đối chứng (19,38 MPa).

Tuy nhiên, trong tập thí nghiệm này có một số sai số. Ở thí nghiệm 10, mặc dù mới 32 ngày tuổi, tức vừa kết thúc thời gian bảo dưỡng phòng thí nghiệm, cường độ bám dính thép – bê tông đã bị suy giảm 3,2 % (15,8/ 16,32 MPa). Nếu so sánh 4 thí nghiệm 15, 16, 17, 18 (cùng  $x_2$ ,  $x_1$  tuổi và  $x_3$  môi trường), mức suy giảm  $\tau$  sau 360 ngày trung bình là 5,6 %, nhưng sau 2 năm theo thí nghiệm 9 lại chỉ còn 1,9 %. Điều này cho thấy để rút ra kết luận cho vấn đề này, các số liệu cần được nghiên cứu thêm.

## 4. Kết luận & kiến nghị

Từ kết quả nghiên cứu 2 năm cường độ bám dính cốt thép – bê tông trong điều kiện môi trường

ven biển của đồng bằng sông Cửu Long và trên mẫu đối chứng, có thể rút ra các kết luận và kiến nghị như sau:

- Cường độ bám dính cốt thép với bê tông M60 – M70 cốt sợi phân tán trong môi trường biển phụ thuộc chủ yếu vào cường độ nén, gia tăng theo thời gian cùng cường độ nén, nhưng với mức tăng mạnh hơn. So với 32 ngày tuổi, nếu cường độ nén sau 360 và 688 ngày tăng 12,6 và 16,0 % thì cường độ bám dính tăng tương ứng 13,7 và 32,0 %;
- Môi trường ven biển các tỉnh đồng bằng sông Cửu Long, tùy theo tiêu chí đánh giá tổng hợp có mức ăn mòn khác nhau, nhưng sự khác nhau này sau 2 năm mới chỉ gây ảnh hưởng ở mức 1,3 % tới cường độ bám dính của cốt thép với bê tông mác M60 – M70 có cốt sợi phân tán và chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép 45 mm;
- Silica fume ở liều lượng (2,6 – 7,4) % so với xi măng có gây ảnh hưởng tới cường độ bám dính cốt thép – bê tông, nhưng chỉ ở mức (0,9 – 2,0) % so với cường độ bám dính trung bình;
- Cường độ bám dính cốt thép – bê tông trong môi trường ăn mòn nhìn chung có dấu hiệu suy giảm đôi chút so với mẫu đối chứng bảo dưỡng trong phòng thí nghiệm. Tuy nhiên, quy luật chưa thực sự rõ ràng và cần được nghiên cứu đầy đủ hơn, nhất là trong điều kiện bê tông cốt thép bị tác dụng lâu dài trong môi trường biển;
- Các kết quả nghiên cứu của đề tài có thể được tham khảo áp dụng cùng TCVN 9346:2012.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đặng Văn Phú (1999). Viện Khoa học công nghệ xây dựng - Báo cáo tổng quan Ăn mòn và bảo vệ các công trình xây dựng trong môi trường xâm thực. *Hà Nội, tháng 7*.
2. ACI 408R-03 (Reapproved 2012), Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension.
3. Papa Niane Faye, Yinghua Ye, and Bo Diao (2017). Bond Effects between Concrete and Steel Bar Using Different Diameter Bars and Different Initial Crack Width. *Advances in Civil Engineering Volume, Article ID 8205081, 11 pages*.
4. Aryanto & Y. Shinohara (2012). Bond Behavior between Steel and Concrete in Low Level Corrosion of Reinforcing Steel. *15<sup>th</sup> WCEE. Lisboa*.

5. Marco Valente (2012). Bond Strength between Corroded Steel Rebar and Concrete. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 4, No. 5, October.
6. Mohammed Sonebi, Richard Davidson, David Cleland (2011). Bond between Reinforcement and Concrete – Influence of Steel Corrosion. *International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto Portugal, April 12 -15th*.
7. Marco Valente (2012), Bond Strength between Corroded Steel Rebar and Concrete. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 4, No. 5, October.
8. TCVN 6260:2009, Xi măng poóc lăng hỗn hợp - Yêu cầu kỹ thuật.
9. TCVN 7570 : 2006, Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật.
10. TCVN 8827:2011, Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa – Silicafume và tro trấu nghiền mịn.
11. TCVN 8826:2011, Phụ gia hoá học cho bê tông.
12. ASTM C1116/C1116M – 10a (Reapproved 2015), Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete.
13. BS EN 14889-2:2006, Fibres for concrete - Part 2: Polymer fibres - Definitions, specifications and conformity.
14. TCVN 12392-2:2018, Sợi cho bê tông cốt sợi - Phần 2: Sợi polyme.
15. TCVN 1651-2:2008, Thép cốt bê tông – Phần 2: Thép thanh vằn.
16. TCVN 9346:2012, Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường biển.
17. Atlas công nghệ thuộc Dự án phát triển dựa trên công nghệ của khu vực Châu Á & Thái Bình Dương, năm 1989.
18. Nguyễn Cảnh (2011), Quy hoạch thực nghiệm, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
19. ACI 440.1R-06, Guide for the Design and Construction of Structural Concrete. *Reinforced with FRP Bars*.

**Ngày nhận bài:** 01/9/2020.

**Ngày nhận bài sửa lần cuối:** 18/9/2020.