

腐食ひび割れ発生限界腐食量に関する研究

大成建設 土木技術研究所 正会員 ○堀口 賢一

大成建設 土木技術研究所 正会員 丸屋 剛

1. はじめに

本研究は、鉄筋コンクリートの塩害劣化のうち進展期を対象とし、進展期における腐食速度の推定と腐食ひび割れ発生限界腐食量の定量評価を実験により行ったものである。実験では、鉛照合電極を埋設した鉄筋コンクリート供試体を製作して、濃度 3%の NaCl 溶液への乾湿繰返しを行いつつ、自然電位を 10 分間隔で連続的にモニタリングすることにより、進展期の開始時期、すなわち鋼材の腐食発生時点を正確にとらえた<sup>1)</sup>。また、供試体の外観観察を継続的に行い、進展期の終了時期、すなわち腐食ひび割れの発生時点を把握することで、進展期の長さを正確に評価した。さらに自然電位の測定と並行して分極抵抗を定期的に測定し、分極抵抗の値から進展期における腐食速度を推定した。なお、ここで示すデータの一部は既報<sup>2)</sup>のものである。

2. 実験方法

図-1 に供試体の形状・寸法を示す。供試体の内部には、SD295A の異形鉄筋 D19 をかぶり 25mm で 1 本配置し、鉛照合電極を 3 箇所配置した。表-1、表-2 に供試体の配合と使用材料を示す。セメントは普通ポルトランドセメントとし、水セメント比は 65%とした。

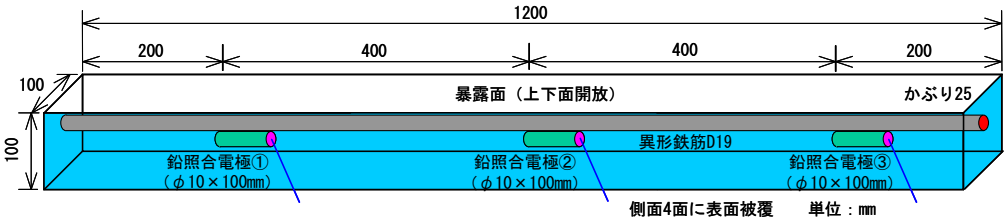


図-1 供試体の形状・寸法

表-1 供試体の配合

| Gmax<br>mm | スランプ<br>cm | 空気量<br>% | 水セメント比<br>% | s/a<br>% | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |     |      | 初期含有塩化物<br>イオン濃度 (kg/m <sup>3</sup> ) |
|------------|------------|----------|-------------|----------|--------------------------|------|-----|-----|------|---------------------------------------|
|            |            |          |             |          | 水                        | セメント | 細骨材 | 粗骨材 | 混和剤  |                                       |
| 13         | 13.0       | 5.1      | 65          | 52       | 180                      | 277  | 933 | 881 | 2.76 | 0.04                                  |

表-2 供試体の使用材料

| 使用材料 | 種類・品質                                  |
|------|----------------------------------------|
| セメント | 普通ポルトランドセメント、密度3.16g/cm <sup>3</sup>   |
| 細骨材  | 山砂、表乾密度2.61g/cm <sup>3</sup> 、吸水率2.15% |
| 粗骨材  | 碎石、表乾密度2.67g/cm <sup>3</sup> 、吸水率0.74% |
| 混和剤  | リグニンスルホン酸系AE減水剤                        |

表-3 測定項目

| 測定項目 | 測定方法・測定頻度              |
|------|------------------------|
| 自然電位 | 埋設した鉛照合電極で10分ごとに連続計測   |
| 分極抵抗 | 交流インピーダンス法で8ないし4サイクルごと |
| 表面観察 | 目視で腐食ひび割れの有無を1サイクルごと   |

3. 実験結果

図-2 に供試体 No. 2 の自然電位と分極抵抗の経時変化を示す。自然電位は、銅硫酸銅電極（CSE）に換算している。また、写真-1 に腐食ひび割れの発生状況と腐食生成物除去後の鉄筋表面状況を示す。供試体 No. 2 の自然電位は、実験開始から 4500 時間程度で急激に低下する現象が見られた。既往の研究結果<sup>1)</sup>によれば、この時点を腐食開始と判断できる。また、11300 時間で写真-1 に示すような腐食ひび割れが目視により確認

キーワード コンクリート、腐食ひび割れ発生限界腐食量、塩害、進展期、分極抵抗、腐食速度

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター土木技術研究所 TEL045-814-7228

され、このときのひび割れ幅は 0.05mm 以下であり、鉄筋には孔食による腐食が発生していた。一方、分極抵抗は、自然電位が低下してからほぼ一定で推移していることから、進展期の腐食速度も、ほぼ一定であったと考えられる。

表-4 に分極抵抗から推定した腐食ひび割れ発生限界腐食量を示す。分極抵抗から腐食電流密度を算出する際の Stern-Geary 式の K 値は、0.026 (V) とした。この腐食電流密度と進展期の長さをファラデーの法則に当てはめ、腐食ひび割れ発生限界腐食量を算出した。なお、ここで用いている分極抵抗は、供試体解体直前に供試体表面の鉄筋直上において 25mm 間隔で自然電位を測定し、その分布の中で最も卑であった位置で測定した値であり、腐食ひび割れの発生した位置にほぼ相当していた。これによれば、本実験条件における腐食ひび割れ発生限界腐食量は、12.8～42.1  $\text{mg}/\text{cm}^2$  (平均 26.9  $\text{mg}/\text{cm}^2$ ) と推定された。

#### 4. 結論

本研究では、自然電位を連続的に計測することにより腐食発生時点を的確にとらえ、また、目視により腐食ひび割れの発生時点を把握することで、進展期の時間的な長さを正確に評価した。これと分極抵抗の測定値から算出される腐食速度により、腐食ひび割れ発生限界腐食量を適切に評価することができた。

#### 謝辞

本実験の一部は、財団法人エンジニアリング振興協会（現エンジニアリング協会）の研究開発業務の一環として実施しました。また、研究開発成果のとりまとめにおいて、鹿児島大学大学院理工学研究科武若耕司教授のご指導を頂いたことに厚く謝意を表します。

#### 参考文献

- 堀口賢一，丸屋 剛，武若耕司：自然電位連続モニタリングによる発錆時期推定手法の検討と腐食発生限界塩化物イオン濃度の測定，コンクリート工学年次論文集，Vol. 28，No. 1，pp. 1007-1012，2006。
- 堀口賢一，丸屋 剛，武若耕司：塩害環境下における鉄筋コンクリートの腐食ひび割れ発生時期の推定，土木学会年次学術講演会，Vol. 62，pp. 1065-1066，2007。

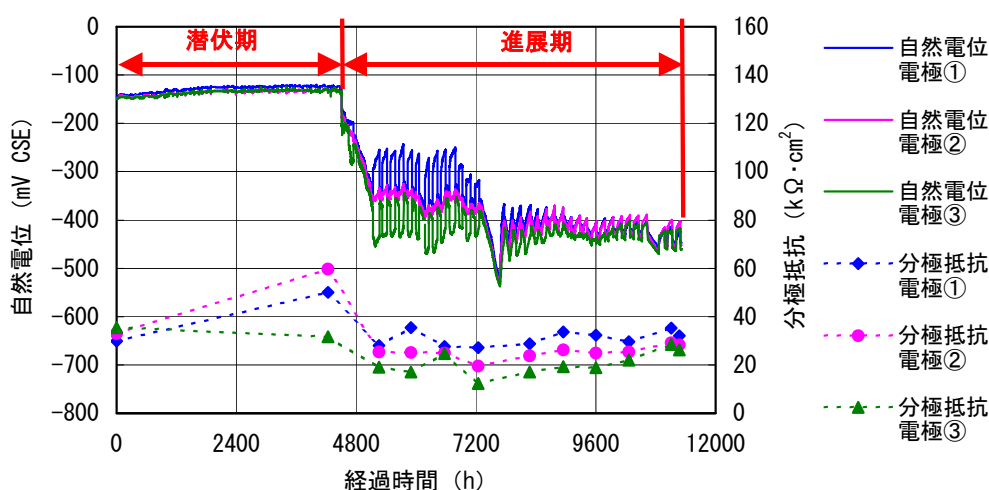


図-2 自然電位と分極抵抗の経時変化（供試体 No. 2）

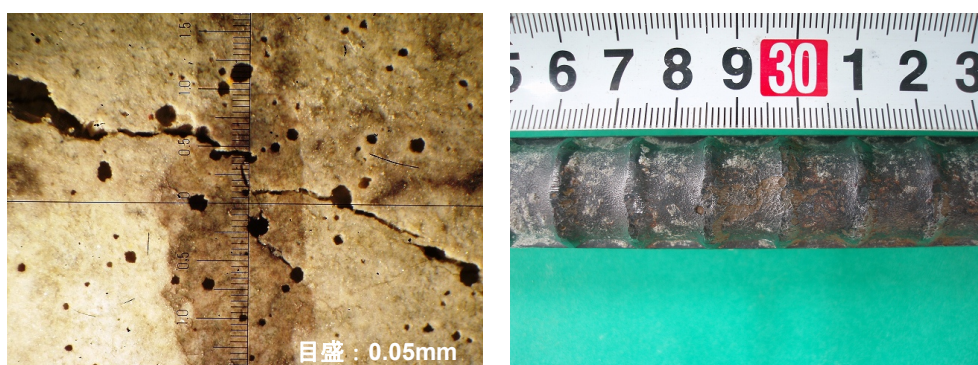


写真-1 腐食ひび割れの発生状況と腐食生成物除去後の鉄筋表面状況

表-4 腐食ひび割れ発生限界腐食量の推定値

| 供試体 No. | 進展期の長さ (日) | 分極抵抗 ( $\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ ) | 腐食電流密度 ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) | 腐食速度 ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{年}$ ) | 腐食ひび割れ発生限界腐食量 ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ ) |
|---------|------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| No. 1   | 497.7      | 11.0                                        | 2.4                                  | 21.6                                      | 29.4                                      |
| No. 2   | 283.8      | 14.4                                        | 1.8                                  | 16.5                                      | 12.8                                      |
| No. 3   | 452.3      | 7.0                                         | 3.7                                  | 34.0                                      | 42.1                                      |
| No. 4   | 312.0      | 8.4                                         | 3.1                                  | 28.4                                      | 24.3                                      |
| No. 5   | 365.7      | 9.2                                         | 2.8                                  | 25.7                                      | 25.8                                      |