

コンクリートの塩害モニタリングに資する鉄筋腐食促進試験

日本工営（株）    正会員    ○高地透    中野雅章  
前田建設工業（株）    正会員    米田大樹    小原孝之

1. はじめに

コンクリート構造物の塩害は、飛来塩分や凍結防止剤から供給される塩分等により生じる劣化現象である。塩害は、鋼材腐食が始まっても直ちに外観に変状が現れず、目視点検等で腐食ひび割れを把握したとしても、既に劣化が加速期以降まで進展している状態であることから、事後対応になり、補修費用の増大や再劣化の原因の一つになっている。このため、対策手法や適用時期を見極め、補修効果を定量的に評価するために、効果的なモニタリング技術の開発が求められている。本研究では、加速期及び劣化期に至る塩分浸透や鉄筋腐食の状況を捕捉することを目的とし、塩水浸漬や腐食促進試験を実施し、複数のモニタリング技術の適用性について確認した。また、数値解析をモニタリング技術の補完として活用することを目的に、実験結果と解析結果を比較した。

2. 実験概要

2.1 塩分浸漬・電食試験

塩害による劣化促進を模擬するため、RC 梁供試体を塩水槽に 40 日間浸漬させた後、電食試験を行った。RC 梁供試体下面に銅電極を配して塩水槽に浸漬させ、梁供試体の主鉄筋に直流電流を加電する方法とした。

2.3 供試体と実験ケース

供試体概要と電食試験の概要を図-1 に示す。鉄筋腐食のモニタリングのため、供試体には「照合電極」および「ミニセンサー<sup>1)</sup>」を鉄筋位置に合わせて設置した(写真-1)。実験ケースは表-1 に示すとおりであり、せん断補強筋の有無、塩分浸漬濃度(Cl 濃度で 3%と 15%)、電食程度をパラメータとして考慮した。

各試験ケースでは、センサーの適用時期に合わせて埋設型か後施工型を分けて設置した供試体と、試験後に 4 点曲げの耐力確認試験を行う用途でセンサーを設置しない供試体の各々3 供試体を用意した。

2.4 計測機器について

「照合電極」は鉛照合電極を用いた。本試験では、供試体作製時に埋め込む場合と供試体に後施工で設置した場合とで確認した。

「ミニセンサー」は直径 4mm の円形の参照電極と内径 6mm 外形 10mm の環状対極を有し、自然電位、分極抵抗等の電気化学的特性値から鉄筋の腐食状態をモニタリングした。

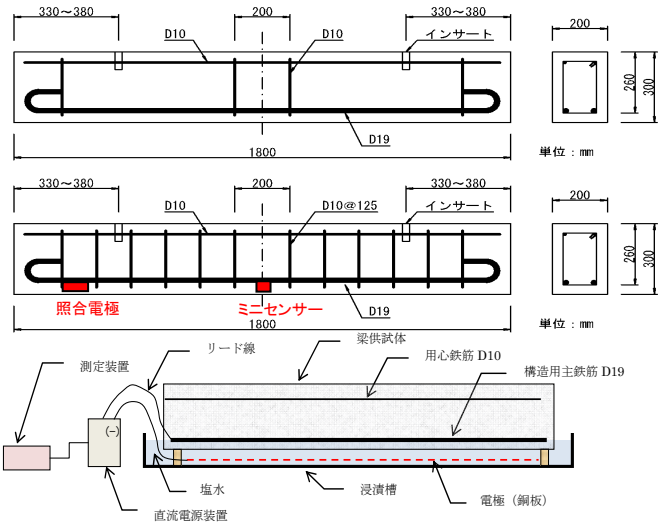


図-1 実験供試体と電食試験の概要

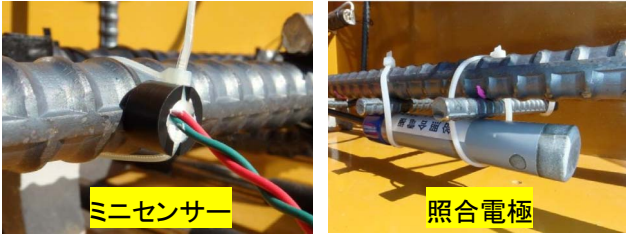


写真-1 センサー設置状況

表-1 実験ケース

| 実験ケース | 供試体種類     |           | 塩分<br>浸漬濃度 |     | 電食<br>(腐食の程度) |    |    |
|-------|-----------|-----------|------------|-----|---------------|----|----|
|       | (せん断補強筋無) | (せん断補強筋有) | 3%         | 15% | 無             | 軽微 | 重症 |
| 塩梁-01 | ●         |           | ●          |     | ●             |    |    |
| 塩梁-02 | ●         |           | ●          |     |               | ●  |    |
| 塩梁-03 | ●         |           | ●          |     |               |    | ●  |
| 塩梁-04 | ●         |           |            | ●   | ●             |    |    |
| 塩梁-05 | ●         |           |            | ●   |               | ●  |    |
| 塩梁-06 | ●         |           |            | ●   |               |    | ●  |
| 塩梁-07 |           | ●         | ●          |     | ●             |    |    |
| 塩梁-08 |           | ●         | ●          |     |               | ●  |    |
| 塩梁-09 |           | ●         | ●          |     |               |    | ●  |
| 塩梁-10 |           | ●         |            | ●   | ●             |    |    |
| 塩梁-11 |           | ●         |            | ●   |               | ●  |    |
| 塩梁-12 |           | ●         |            | ●   |               |    | ●  |

キーワード    塩害、モニタリング、照合電極、ミニセンサー

連絡先            〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304    Tel.029-871-2032    Fax.029-871-2022

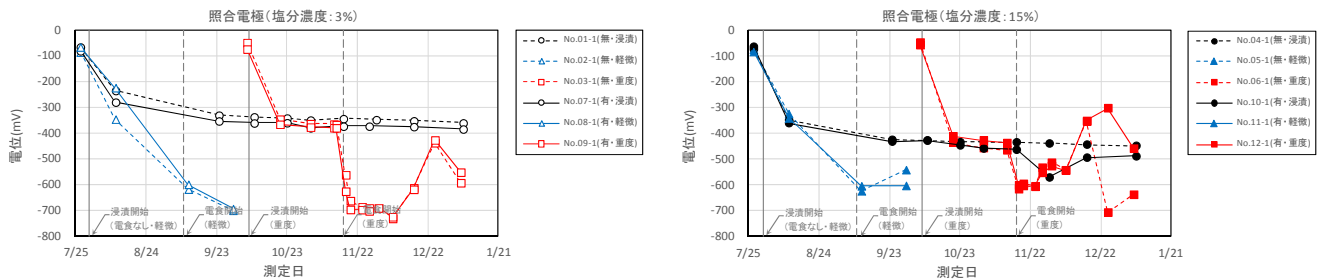


図-2 照合電極の計測結果

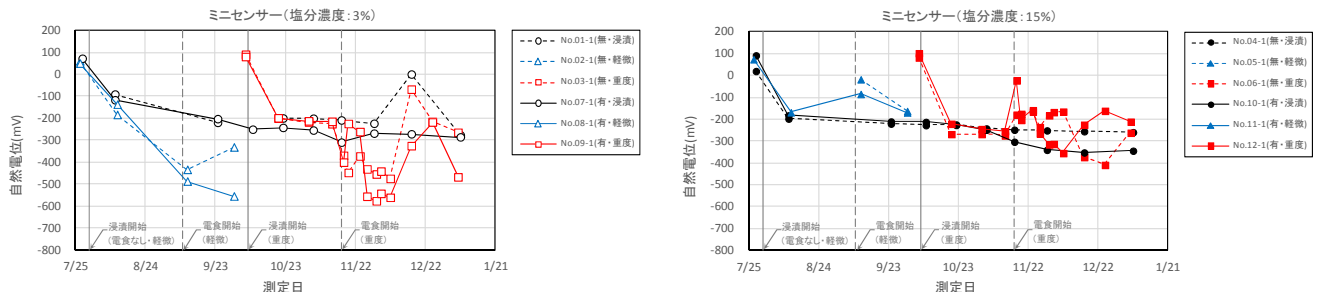


図-3 ミニセンサーの計測結果

### 3. 鉄筋腐食可能性に関する計測結果

照合電極の計測結果を図-2 に示す。浸漬開始後の電位が ASTM C876 で「90%以上の確率で腐食」と判定される $-350\text{mV}$ 程度に低下しており、鉄筋腐食が開始された可能性が高く、電食開始直後には電位が $-600\sim-700\text{mV}$ 程度まで低下したことから、腐食の進行を捉えていると判断できる。また、電食開始直後には表面にひび割れが認められず、はつりによって鉄筋腐食が確認できたことから(写真-2)、その時点では進展期と判断した。これらの傾向については、ミニセンサーも同様の結果を示しているため(図-3)、「照合電極」や「ミニセンサー」により進展期の鉄筋腐食を敏感に捉えることができ、塩害の早期劣化の把握ができることを確認した。

### 4. 鉄筋腐食とひび割れ幅に関する数値解析

試験後に計測した鉄筋の質量減少率と底面に発生したひび割れ幅(底面に発生した複数のひび割れ幅の合計)と解析結果を比較を図-4 に示す。解析は、コンクリートの微細空隙中に腐食ゲルが入り込むことによる膨張圧力の低下(Buffer Effect)を考慮可能な COM3<sup>2)</sup>を用いた。解析結果は概ね実験値の傾向を捉えており、加速期、劣化期の鉄筋腐食状況のモニタリングの補完に数値解析を活用できると考えられる。

### 5. まとめ

本研究では、塩水浸漬や腐食促進試験を行い、複数のモニタリング技術の適用性について確認した。その結果、照合電極とミニセンサーを用いた鉄筋腐食検知技術が塩害の早期劣化を捉えることができる可能性を確認した。また、数値解析技術により、鉄筋腐食とひび割れ幅の合計の相関をシミュレートできる可能性も高いことから、今後は、各種モニタリング技術と数値解析を合わせた塩害に対するモニタリングシステムの構築を目指し、実橋での適用性も含めて検討していく予定である。

### 6. 謝辞

本研究は、モニタリングシステム技術研究組合(RAIMS)が実施した研究であり、内閣府の「S I Pインフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の一環として国土交通省が実施する「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」委託事業研究の成果である。

### 参考文献

- 1) 下澤和幸他：小型埋設センサーによる鉄筋腐食モニタリング，コンクリート工学年次大会論文報告集，Vol.16,No.1,pp793-798,1994.6
- 2) Maekawa, K. Ishida, T. and Kishi, T. : Multi-Scale Modeling of Structural Concrete, Talor & Francis, 2009.



写真-2 はつりによる鉄筋腐食確認

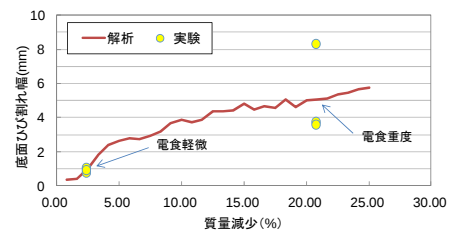


図-4 数値解析結果との比較