

報告

[1131] 小型埋設センサーによる鉄筋腐食モニタリング

下澤和幸*²・田村 博*¹・永山 勝*²

1. はじめに

三つの電気化学的特性値（自然電位・分極抵抗・液抵抗）を測定して、コンクリート中の鉄筋の腐食状態を推定する際、鉄筋のごく近傍に参照電極・対極を埋設することで測定値に及ぼすかぶりコンクリートの影響を最小限に止め、また両電極には耐久的な貴金属材料を用いて、長期に継続して高精度な測定を可能とする手法として、偽参照電極使用埋設二極プローブによる手法を検討している[1]。本報告は、同手法の実用化を計るため考案した、小型埋設センサーによる鉄筋腐食モニタリング実験結果の一部を述べたものである。

2. 小型埋設センサー

新たに考案した小型埋設センサー（以下、ミニセンサーと呼ぶ）の概要は、下記のとおりである。

- ①中央に直径4mmの円形の参照電極、その同心円状に内径6mm外径10mmの環状の対極を配置している。なお、両電極の材質は金であり、表面積も同じである。
- ②鉄筋のごく近傍に埋設して、かぶりコンクリートの影響がほとんどない自然電位のみならず、分極抵抗および液抵抗も測定する。
- ③小型であるため、同センサーの埋設がコンクリート構造物の構造安全性・耐久性に及ぼす影響は無視でき、実構造物への適用も可能である。

3. 鉄筋腐食モニタリング実験

3.1 実験方法

下記の実験Ⅰ、Ⅱを実施した。なお、鉄筋（ ϕ 13mmのみがき鉄筋）1本を上面からのかぶり厚さ30mmで水平に埋設した鉄筋コンクリート試験体の形状・寸法（10×10×20cm、図-1参照）、ならびに使用したコンクリート（W/C=65%）は、両実験で共通とした。また、スペーサーを介さずに鉄筋を納めるため、コンクリートは10×10×10cmずつに二分して、連続2日で上面より打設した。

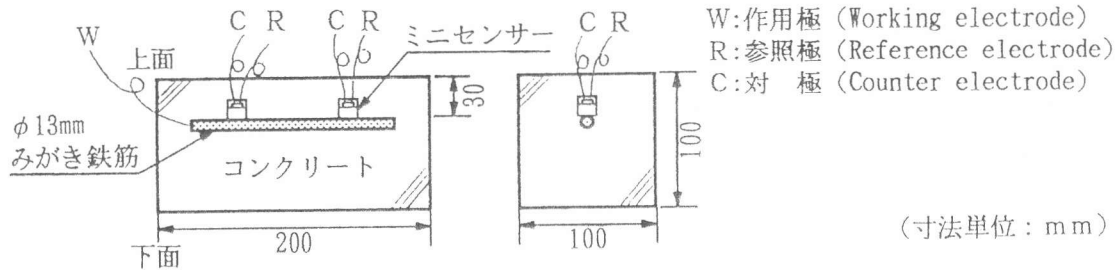
実験Ⅰ：塩化物イオン量（0kg/m³、10kg/m³（以下、それぞれ無塩コンクリート、含塩コンクリートと呼ぶ））ならびに環境条件（乾燥（20℃60±5%）、湿潤（40℃100%）、乾湿繰り返し（不定期））を変化させた220日間の鉄筋腐食実験を行った。コンクリート打設時に鉄筋の四等分点（中央を除く2点）に鉄筋上面から距離1mmに埋設した計2個のミニセンサーにより（図-1参照）、コンクリート脱型時から2時間毎に継続して電気化学的特性値を測定した。実験終了後、含塩コンクリートについては、コントロール用試験体から鉄筋を取り出し、腐食面積ならびに腐食減量の測定を行った。

実験Ⅱ：塩化物イオン量は10kg/m³とし、環境条件（乾燥、湿潤）を変化させた48日間の鉄筋腐食実験を行った。測定事項は、実験Ⅰと同様としたが、ミニセンサーは計12個を鉄筋軸芯に対して設置角度を変化させて配置し（図-1参照）、腐食進行の分布状況を電気化学的特性値の継続測定でモニタリングするとともに、同試験体を試験終了後破壊して鉄筋を取り出し、腐食面積ならびに腐食減量を測定した。

*1：（財）日本建築総合試験所 材料試験室長（正会員）

*2：同 研究員（正会員）

実験 I



実験 II

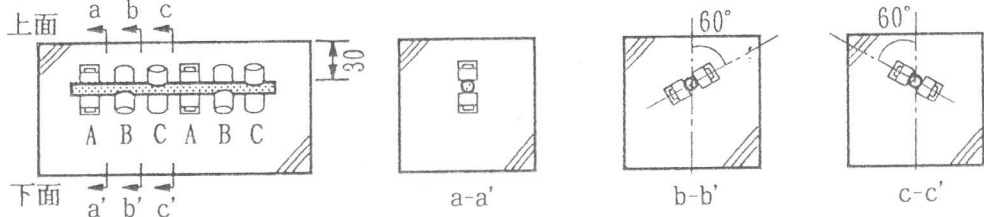


図-1 コンクリート試験体

3. 2 実験結果ならびに考察

今回の実験により、下記の事項が明らかとなった。

実験 I

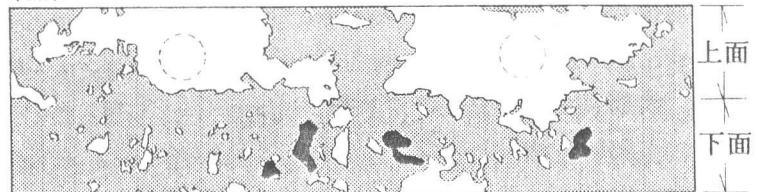
①含塩コンクリートの場合、乾燥条件下では広範囲に浅い腐食が、湿潤条件下では局部的に孔食が発生した。乾湿繰り返しの場合には、乾・湿両者と比較して、腐食面積は中間的な大きさ、腐食減量は最大となった。また、いずれの環境条件下でも、腐食は水平鉄筋の下面に卓越して発生する傾向が認められた。(以上については、表-1、図-2参照)

②ミニセンサーを水平鉄筋の上面のごく近傍に配置していたため、含塩コンクリートの場合でも乾燥条件下・乾湿繰り返し条件下では、無塩コンクリートの各種条件下の場合と同様、腐食の発生を推測させるような自然電位・分極抵抗の測定値は、得られなかった。湿潤条件下では、材齢約100日以降で自然電位が著しく卑変するとともに、分極抵抗が漸次単調に低下する傾向を示し、ミニセンサー設置位置近傍での局部腐食の進行が推測さ

表-1 腐食面積・腐食減量測定結果

実験	環境条件	材 齢 (日)	腐食面積 A (mm ²)	腐食減量 w (mg)
I	乾 燥	220	3598	348
	湿 潤		245	247
	繰り返		1203	602
II	乾 燥	48	151	48
	湿 潤		77	39

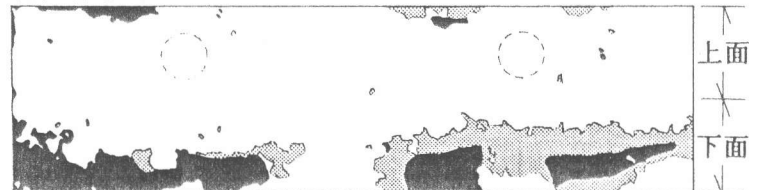
乾燥



湿潤



乾湿繰り返し



注) : 薄錆発生部, : 孔食部
 : ミニセンサー設置位置

図-2 腐食状況観察結果

れた。(以上については、代表的な測定結果 図-3.1, 3.2, 4.1, 4.2参照)

③分極抵抗測定値に及ぼすかぶりコンクリートの影響が、液抵抗測定値の数%であることは既に確認されている[2]。今回得られた液抵抗測定値は、乾燥条件下の場合を含め、分極抵抗測定値に比べ小さな値を示した。このことから判断して、鉄筋のごく近傍にミニセンサーを埋設することにより、かぶりコンクリートの影響がほとんどない分極抵抗測定値を得ることができ、分極抵抗測定値による鉄筋腐食速度の推定精度を高められることが明かとなった。(以上については、代表的な測定結果 図-3.2, 3.3, 4.2, 4.3参照)

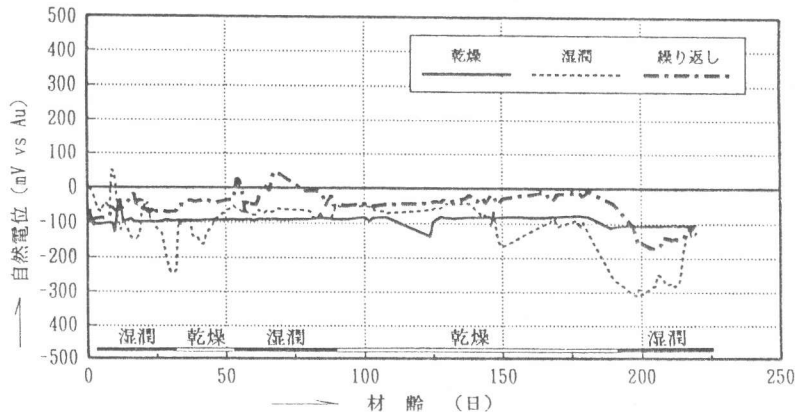


図-3.1 自然電位の経時変化(無塩コンクリート)

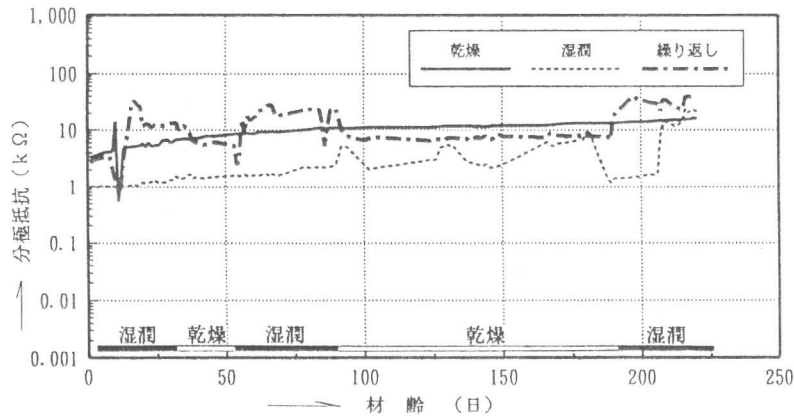


図-3.2 分極抵抗の経時変化(無塩コンクリート)

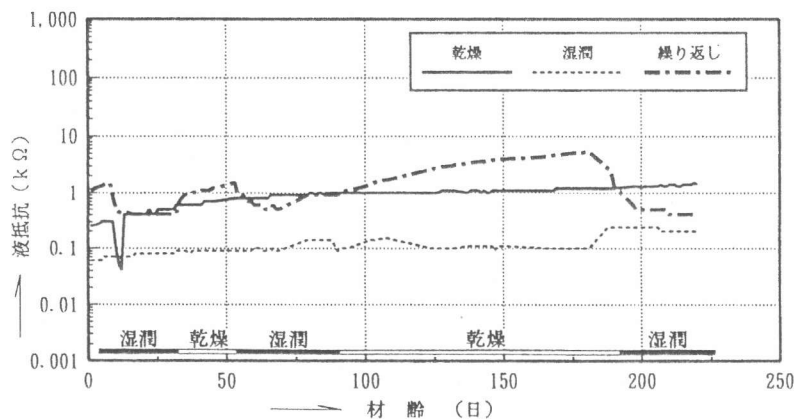


図-3.3 液抵抗の経時変化(無塩コンクリート)

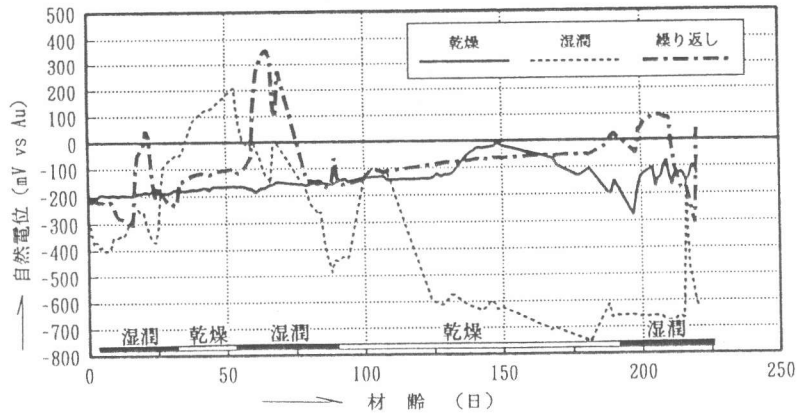


図-4.1 自然電位の経時変化 (含塩コンクリート)

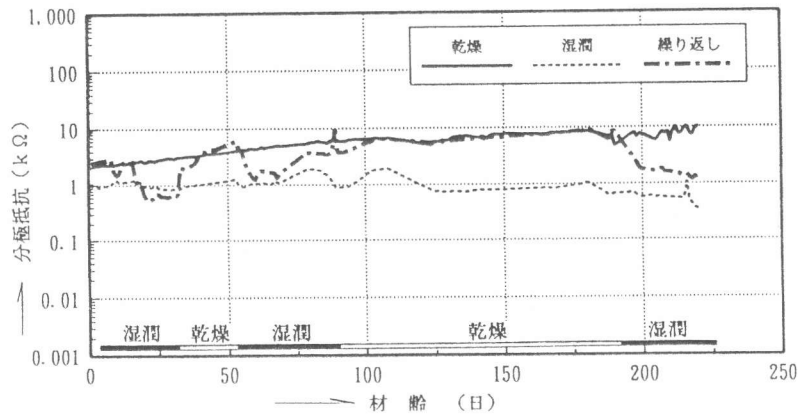


図-4.2 分極抵抗の経時変化 (含塩コンクリート)

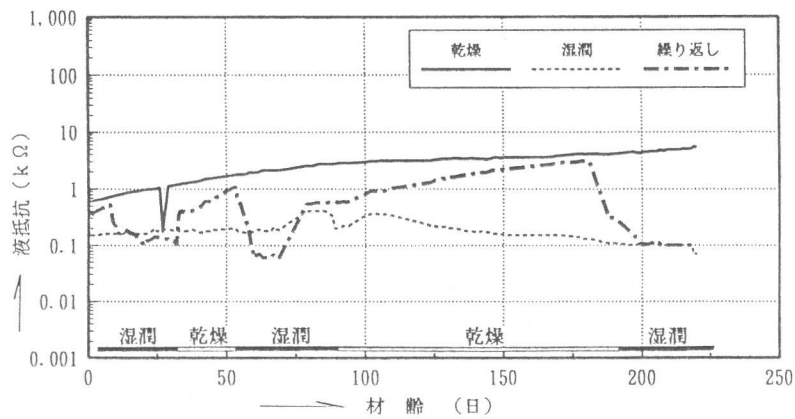


図-4.3 液抵抗の経時変化 (含塩コンクリート)

実験 II

①分散配置したミニセンサーによる測定値が、乾燥条件下（長期的には全面腐食状態となること）が実験 I で判っている）では、自然電位・分極抵抗測定値（特に自然電位）とともに全面腐食状態を推測させる傾向を示したのに対して、湿潤条件下（長期的には局部腐食状態となること）が実験 I で判っている）では、自然電位・分極抵抗測定値ともに経時変化が分散した結果となり、局部腐食状態を推測させるものであった（図-6.1~6.4, 7.1~7.4参照）。鉄筋を目視観察したところ、短期間実験のため、両条件下とも腐食は軽微であったが、湿潤条件下では局部腐食的な傾向が認

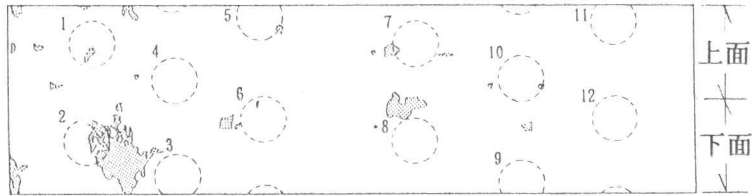
められた (図-5参照)。

②湿潤条件下で分極抵抗測定値の最小値を長期に継続した位置

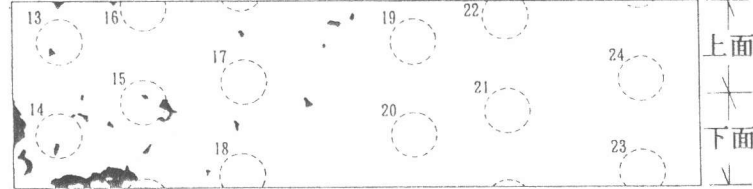
(No. 14) で孔食が認められミニセンサーにより、センサー付近の鉄筋腐食モニタリングが可能となった (図-5.7.3参照)。

③実験 I 同様、液抵抗測定値は、分極抵抗測定値に比べ小さな値を示し、鉄筋のごく近傍にミニセンサーを埋設して、かぶりコンクリートの影響がほとんどない分極抵抗測定値を得ることができた (図-6.3~6.6, 7.3~7.6参照)。

乾燥



湿潤



注) : 薄錆発生部, : 孔食部

\circ : ミニセンサー設置位置

図-5 腐食状況観察結果

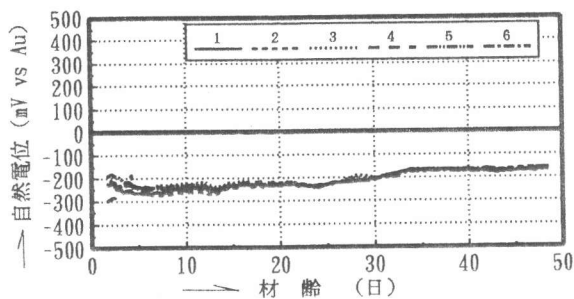


図-6.1 自然電位の経時変化 (乾燥条件)

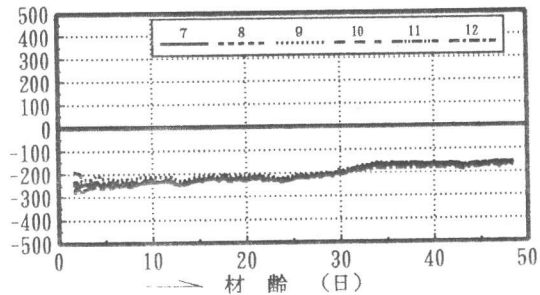


図-6.2 自然電位の経時変化 (乾燥条件)

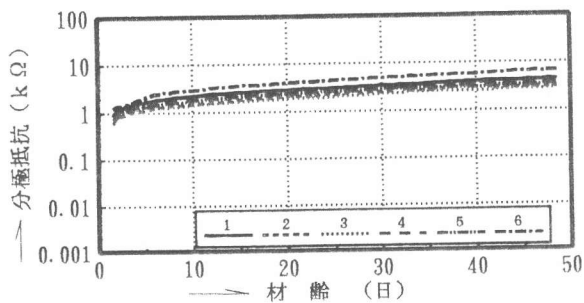


図-6.3 分極抵抗の経時変化 (乾燥条件)

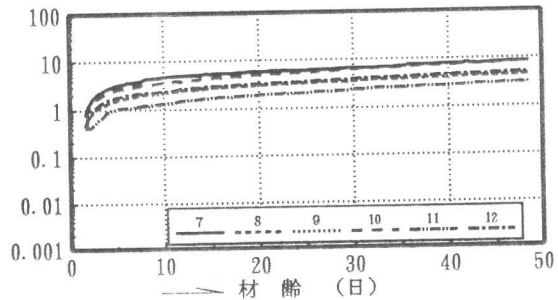


図-6.4 分極抵抗の経時変化 (乾燥条件)

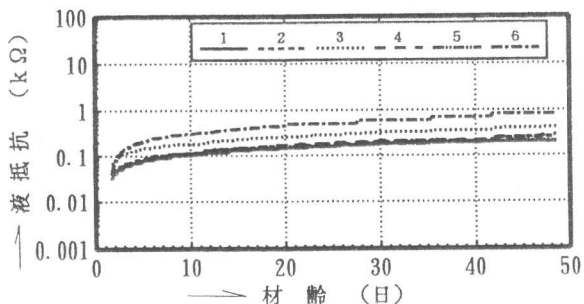


図-6.5 液抵抗の経時変化 (乾燥条件)

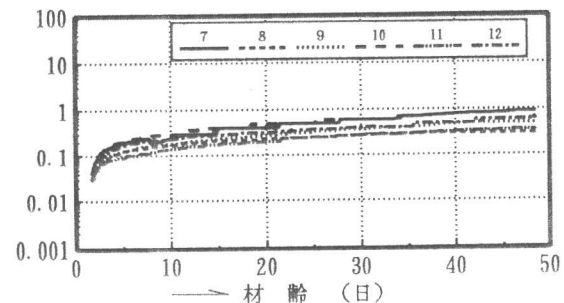


図-6.6 液抵抗の経時変化 (乾燥条件)

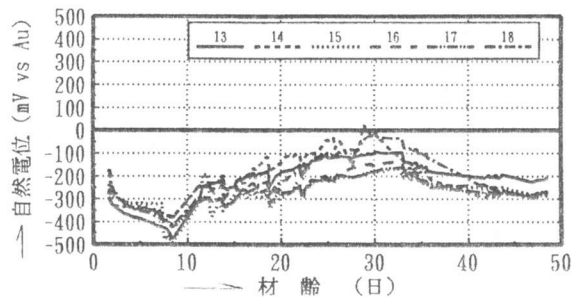


図-7.1 自然電位の経時変化 (湿潤条件)

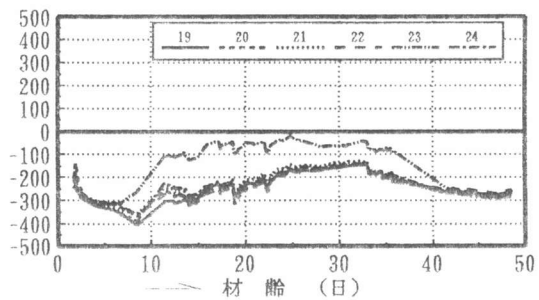


図-7.2 自然電位の経時変化 (湿潤条件)

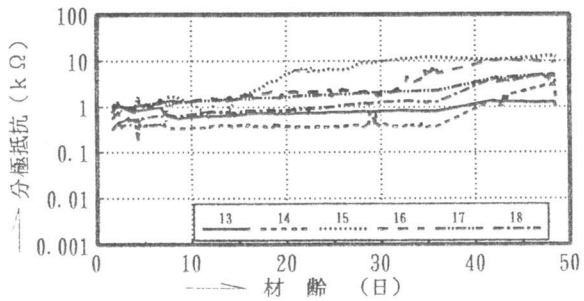


図-7.3 分極抵抗の経時変化 (湿潤条件)

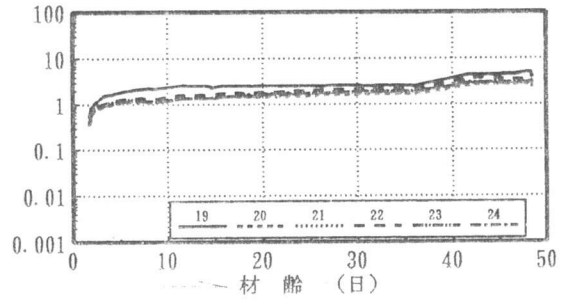


図-7.4 分極抵抗の経時変化 (湿潤条件)

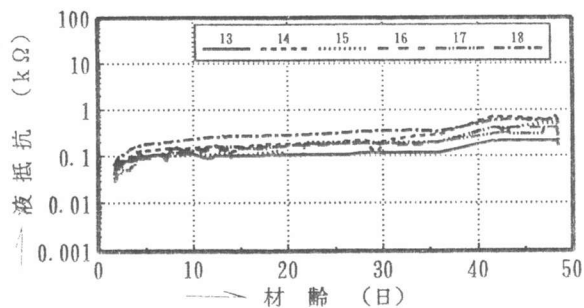


図-7.5 液抵抗の経時変化 (湿潤条件)

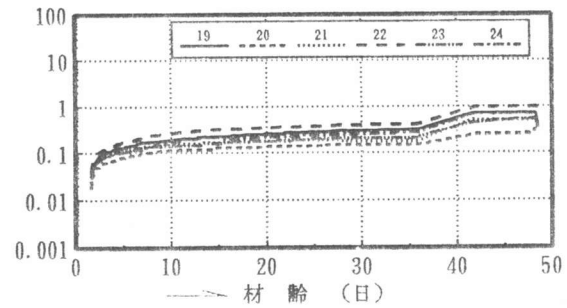


図-7.6 液抵抗の経時変化 (湿潤条件)

4. まとめ

今回の実験により、鉄筋のごく近傍に埋設したミニセンサーで、かぶりコンクリートの影響がほとんどない電気化学的特性値を得ることができ、鉄筋腐食モニタリングの精度を高められることが明らかとなった。今後さらに、既存コンクリート構造物へのミニセンサー後埋め工法を含めて検討を深め、信頼性の高い鉄筋腐食モニタリングを確立させたい。

<参考文献>

1. 田村博・永山勝・下澤和幸：偽参照電極使用埋設二極プローブによる腐食モニタリング，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.1，pp.777-782，1993
2. 田村博・永山勝・下澤和幸：鉄筋の腐食モニタリングに関わるコンクリートの電気化学的特性値，コンクリート工学年次論文報告集，11-1，pp.575-580，1989