

報告 コンクリート構造物の鉄筋腐食遠隔モニタリング

下澤 和幸*1・田村 博*2・永山 勝*1・山本 祐子*1

要旨：中性化が進行した既存コンクリート構造物の補修効果を長期間にわたり確認するため、鉄筋近傍にミニセンサーを埋設し、遠隔モニタリングシステムにより、電気化学的特性値を連続的に測定している。本報では、測定値の変動幅が比較的大きな分極抵抗に着目し、対象構造物付近の詳細な気象観測データとの比較を行った。その結果、1) 分極抵抗が気温や相対湿度の変化に伴って敏感に変化していること、2) 気温経時変化曲線で気温が極大値を示す時から1～2時間後に相対湿度が極小値を示し、同時期に分極抵抗は極小値を示すこと、3) この鉄筋腐食遠隔モニタリングシステムを用いて、実構造物における鉄筋腐食状況が詳細に把握でき、合理的な維持保全にきわめて有効である、などを述べた。

キーワード：コンクリート構造物、鉄筋腐食、遠隔モニタリング、ミニセンサー、分極抵抗

1. はじめに

コンクリート構造物の鉄筋近傍にミニセンサーを埋設して、三種類の電気化学的測定値（自然電位、分極抵抗、液抵抗）を計測し、コンクリート中の鉄筋の腐食状態を長期間かつ高精度で連続的に遠隔モニタリングする手法を開発すべく検討を続けている。本報では、既存のコンクリート構造物にミニセンサーを埋設して行った、1時間ごと約90日間にわたる連続的な腐食遠隔モニタリングを気象観測データと比較検討した結果の一部を紹介する。

2. 鉄筋腐食遠隔モニタリングシステム

腐食遠隔モニタリングシステムは、コンクリート構造物の測定対象部材内部の鉄筋近傍に埋設するミニセンサーと、現地に設置される腐食モニターおよび測定監視室のホストコンピューターで構成されている（図-1参照）。遠隔モニタリングの操作や各種の設定は測定監視室から行なう。測定データの転送機能は、測定監視室からの指示によるデータの転送と併せて、腐食モニターからの自動転送も可能である。一定時間に達するとNTT公衆回線を使用して、測定監

視室のホストコンピューターを呼び出し、自動的にデータ転送が可能である。以下に各構成品の概要を述べる。

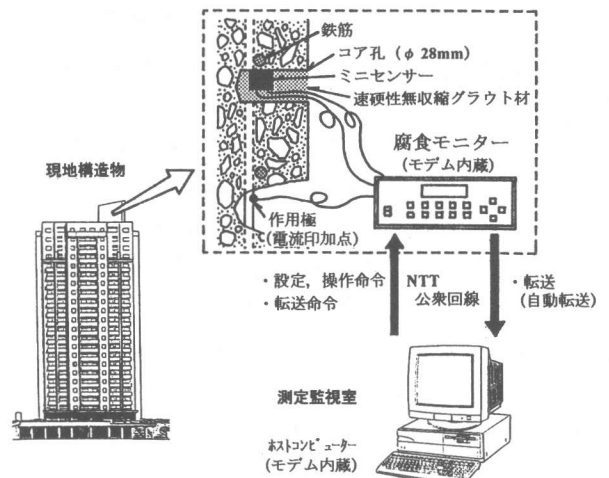


図-1 鉄筋腐食遠隔モニタリングシステム

2.1 腐食モニター

腐食モニターは、交流矩形波電流分極法による重畳式二重パルス方式の装置を使用し、分極電圧が4～40mVの適正範囲に入るよう電流レンジを自動選択できるように設定しており、分極測定用パルス印加時間は8秒としている。こ

*1 (財) 日本建築総合試験所材料試験室 研究員 (正会員)

*2 (財) 日本建築総合試験所材料試験室 室長 工博 (正会員)

のモニターは、測定機能と併せてモデム内蔵による通信機能を有している。測定データは、モニター内部のメモリに蓄積された後、上述の各方法により転送が可能である。

2.2 ミニセンサー

ミニセンサーの特徴は、下記のとおりである(写真-1 参照)。

- ① 鉄筋近傍に埋設することにより、かぶりコンクリートの影響を最小限化した測定値が得られる。
- ② 鉄筋の腐食状態・腐食速度・腐食環境を評価するための三種類の電気化学的測定値(自然電位、分極抵抗、液抵抗)を測定できる。
- ③ ミニセンサーは、直径6mmの円形偽参照電極と内径8mm、外径10mmの環状対極を有し、各電極の材料として、高耐久性を保有させるため金を使用している。
- ④ ミニセンサーは、小粒の粗骨材と同程度の大きさであり(円筒状のセンサーの外径は13mm、高さ7mm)、センサーがコンクリート構造物の構造耐力や耐久性に影響を与える心配はない。
- ⑤ 新設構造物のみならず既設構造物にも適用が可能で、新設構造物の場合、固定用治具を用いミニセンサーを鉄筋近傍に固定する。既設構造物の場合には、鉄筋近傍にコアを穿孔し、ミニセンサーを速硬性無収縮グラウト材(低アルカリ型)を用いて埋設する。
- ⑥ コンクリート表面の仕上げ材が絶縁体であっても測定が可能である。
- ⑦ 実環境下での実構造物の連続腐食モニタリングが可能である。

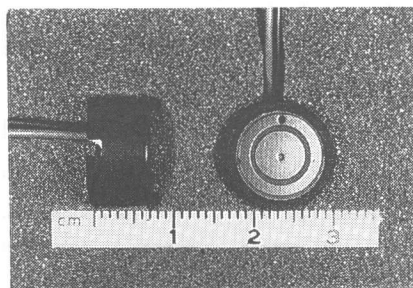


写真-1 ミニセンサー

3. モニタリング実測例

大規模な保存改修工事を実施した歴史的建造物において、補修後の補修性能確認を行う目的で、鉄筋腐食遠隔モニタリングを実施した。

3.1 対象構造物および補修工事

鉄筋腐食遠隔モニタリングを実施した対象構造物は、鉄骨鉄筋コンクリート造の歴史的構造物である。モニタリングの対象部材は、コンクリートの中性化進行による内部鉄筋の腐食(軽微な表面腐食)が確認され、電気化学的補修(再アルカリ化工法)を施した鉄筋コンクリート造の底の垂木である。

3.2 モニタリングシステム

測定対象部材である底の12本の垂木(コンクリート断面: 150×150mm)において、内部鉄筋(主筋、丸鋼φ9mm)の配筋状態を確認した。次いで、垂木の先端から約100mmの位置の側面に、φ28mmのコアを鉄筋近傍に穿孔し、速硬性無収縮グラウト材を用いて、ミニセンサーの埋設を行った。ミニセンサーは、垂木1本に対し、1つを鉄筋表面からの距離15～20mmの位置に埋設した。なお、ミニセンサーの埋設は補修工事実施前に行った。各センサーの配線処理後に、腐食モニターの各チャンネル端子に接続を行い、1時間ごとの連続モニタリングを開始した。

3.3 気象観測データ

モニタリング対象構造物に関する気象観測データは、大阪管区气象台より入手した、対象構造物から直線距離で約700m地点のものを用いた。それらのうち、今回の検討に用いたデータは、1時間ごとの気温および相対湿度、1日ごとの平均気温および平均湿度である。

3.4 測定結果と考察

モニタリング結果は、垂木12本の内、雨掛かりの可能性が最も高い端のもの(CH1)と、底中央(CH3)及びその中間のもの(CH2)計3本についての、秋期後半から冬期前半(1997年10月16日～1998年1月16日)までの約90日間の測定結果である。この期間は、平均気温が22～5℃の範囲で徐々に低くなり、平均湿度が40～90%

の範囲にある時期であった(図-2.4,図-2.5参照)。モニタリング結果を気象観測データと比較検討した結果,以下のような事項が明らかとなった。

①腐食状態に関係する自然電位は,測定を開始した初期からの経時変化量は小さく,CH2が僅かに貴変している程度である。測定値は, $-10 \sim -80\text{mV}$ (銀-塩化銀電極基準では概ね $-160 \sim -230\text{mV}$) の範囲であり,非腐食状態と推定された(図-2.1参照)。

②腐食環境に関係する液抵抗は,徐々に増大する傾向のものと(CH1およびCH3),低下する傾向のもの(CH2)に分かれた(図-2.2参照)。液抵抗のこのような傾向は,自然電位および分極抵抗には認められなかった。液抵抗についての詳細検討は今後の課題とし,本報では触れない。

③腐食速度に関係する分極抵抗は,時間経過に伴い,徐々に増大する傾向を示した。これは,平均気温が徐々に低下する傾向と一致した(図-2.3, 図-2.4参照)。3本の垂木を比較すると,底端のもの(CH1)が最も小さく,垂木ごとの分極抵抗値の差が顕著であった。また,経時変化の傾向は,3本ともよく類似した変化を示した(図-2.3参照)。

測定値の変動幅が大きな分極抵抗について,1時間ごとの温度及び相対湿度の測定値と比較した結果,以下の傾向が確認された。

④分極抵抗は,気温や相対湿度の変化に伴って敏感に変化する傾向を示した(図-3.1~5.3参照)。

⑤晴天期間では,1日以内の変動幅が大きく,約 $300\text{k}\Omega$ の差が生じた。その日の最高気温時から

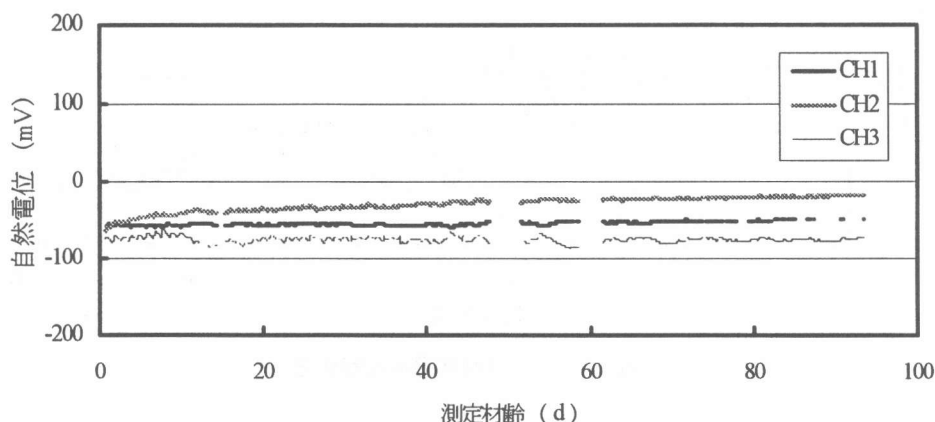


図-2.1 自然電位の経時変化

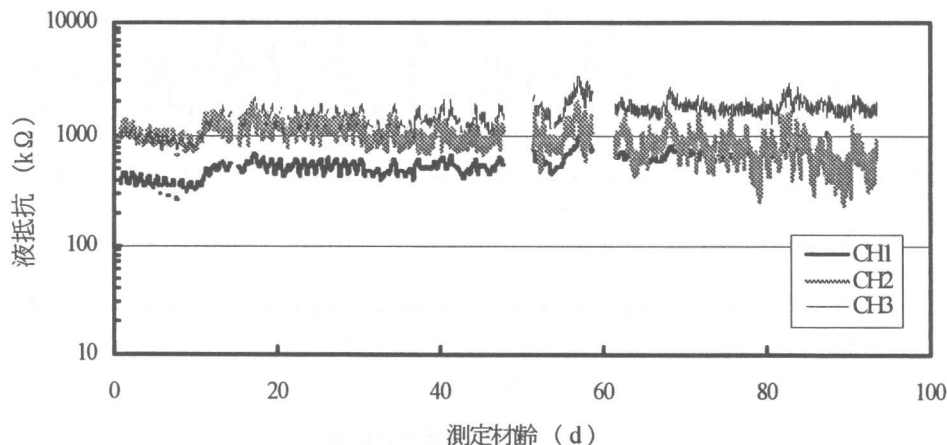
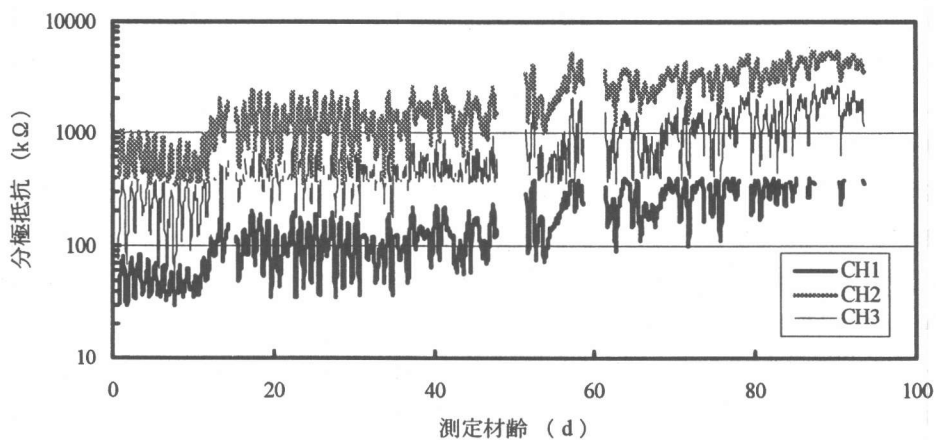
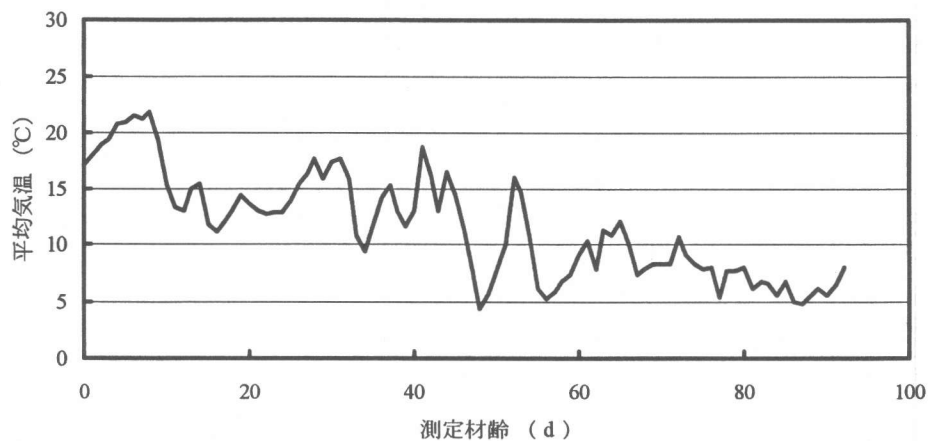


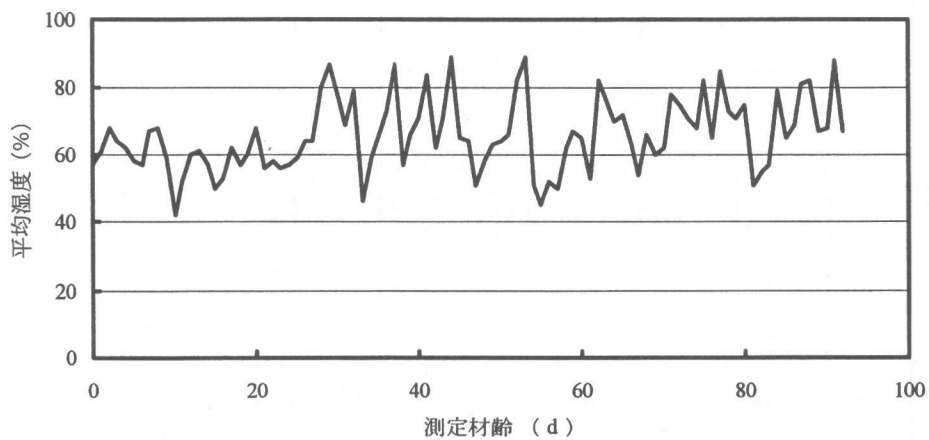
図-2.2 液抵抗の経時変化



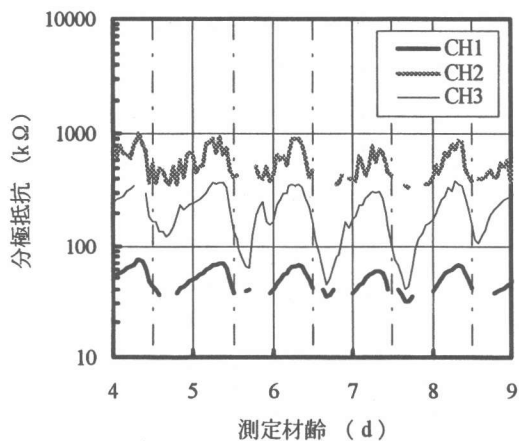
図－2.3 分極抵抗の経時変化



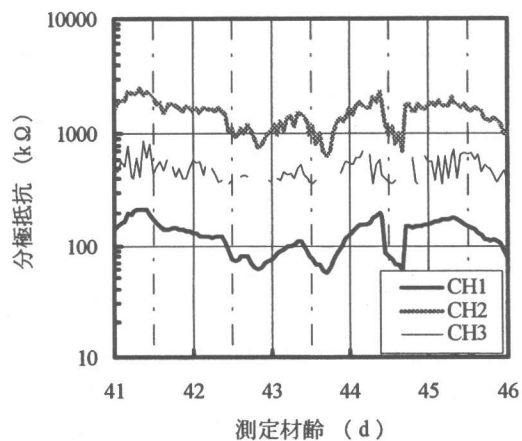
図－2.4 平均気温の経時変化



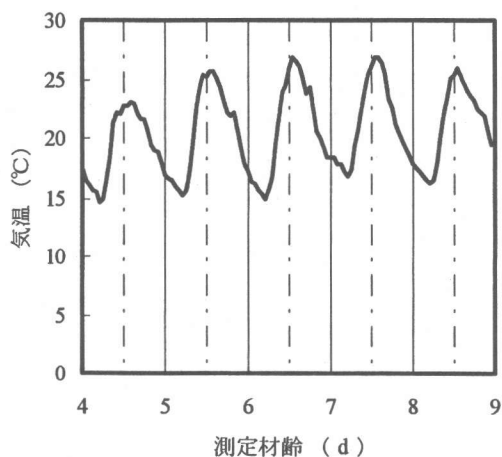
図－2.5 平均湿度の経時変化



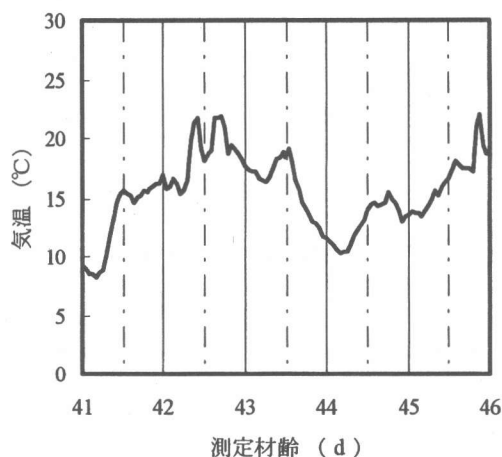
図一 3.1 分極抵抗の経時変化（晴天期間）



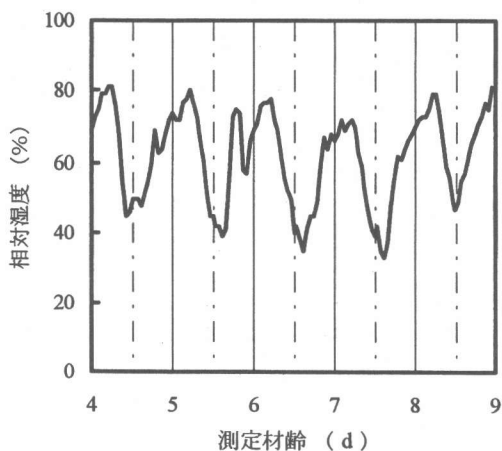
図一 4.1 分極抵抗の経時変化（晴天・雨天混在期間）



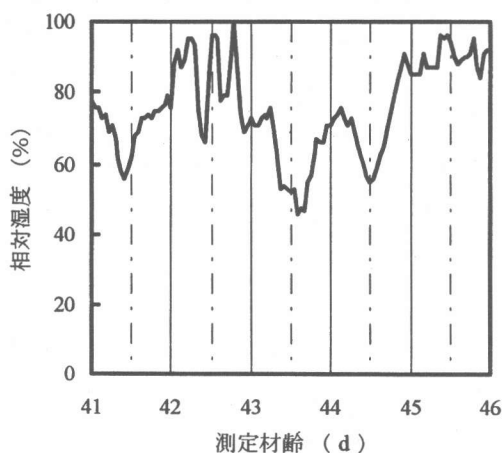
図一 3.2 気温の経時変化（晴天期間）



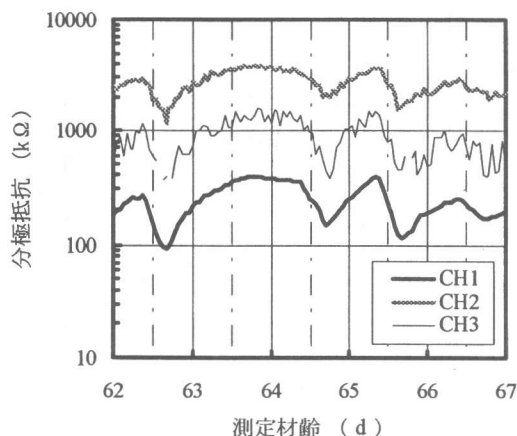
図一 4.2 気温の経時変化（晴天・雨天混在期間）



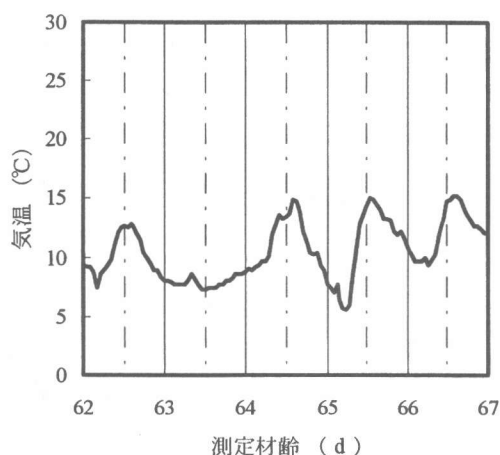
図一 3.3 相対湿度の経時変化（晴天期間）



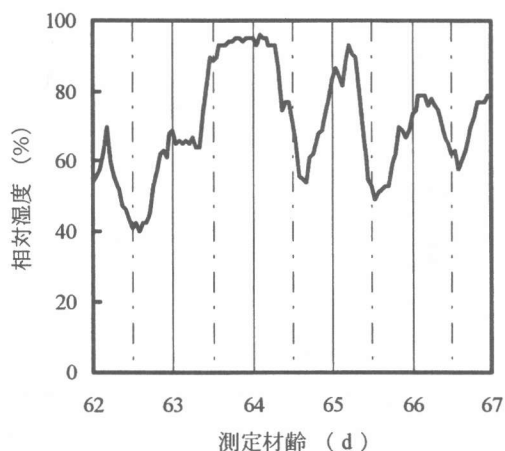
図一 4.3 相対湿度の経時変化（晴天・雨天混在期間）



図－5.1 分極抵抗の経時変化(晴天・雨天混在期間)



図－5.2 気温の経時変化(晴天・雨天混在期間)



図－5.3 相対湿度の経時変化(晴天・雨天混在期間)

1～2時間後に相対湿度が最低湿度(40%程度)になり,分極抵抗がその日の最小値を示した(図－3.1～図－3.3参照)。

⑥図－2.3においては,各測定点での分極抵抗の経時変化の傾向はよく類似しているが,詳細な図でそれらを比較すると,類似していない部分も認められた。また,測定値が途切れている部分もあったが,その原因などの詳細は現在のところ不明である(図－3.1参照)。

⑦晴天・雨天混在期間では,晴天期間に比べて,分極抵抗の変化が乏しい傾向を示した(図－4.1～図－4.3参照)。晴天期間と同様,相対湿度が極小値を示す時期に分極抵抗が極小値を示す傾向が認められた(図－5.1～図－5.3参照)。

なお,ミニセンサーの温度依存性については,自然電位の場合,10℃上昇につき5mV程度の増大であり,銀-塩化銀電極とほぼ同程度である。分極抵抗及び液抵抗の場合には,温度依存性はない。また,ミニセンサーの経時による原点移動については,3～4年の使用実績の範囲では認められていない。

4. まとめ

既存コンクリート構造物の鉄筋近傍にミニセンサーを埋設し,鉄筋腐食遠隔モニタリングを継続中である。本報では,秋期後半から冬期前半約90日間の測定結果のうち,特に分極抵抗に着目し,気象観測データと比較検討した。その結果,以下のような事項が明らかとなった。

①分極抵抗は気温や相対湿度の変化に伴って敏感に変化している。

②気温が極大値を示す時から1～2時間後に相対湿度が極小値を示し,同時期に分極抵抗が極小値を示す。

③この鉄筋腐食遠隔モニタリングシステムを用いて,実構造物における鉄筋腐食状況が詳細に把握でき,合理的な維持保全にきわめて有効である。

【参考文献】

1)下澤和幸・田村博・永山勝:鉄筋腐食遠隔監視システムの開発研究,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.173-174, 1994.9