

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*3・山本 祐子*4

要旨: 筆者らは、コンクリート構造物の鉄筋腐食状態を遠隔モニタリングする手法を開発し、既に実用化している。本報では、実構造物を対象に約400日間連続的に遠隔モニタリングした結果をもとに、鉄筋の電気化学的特性値と対象構造物付近の気温および相対湿度との関連性を検討した。この結果、四季の温度変化に伴い、分極抵抗が1桁程度変化していること、また、気温・湿度の日内変化によっても分極抵抗は敏感に変化していることが判った。これらのことから、実構造物の鉄筋腐食モニタリングにおいては、精度及び信頼性を確保するため、連続的に電気化学的特性値を計測することが必要であることが明らかとなった。

キーワード: 鉄筋腐食, 遠隔モニタリング, ミニセンサ, 分極抵抗, 気温, 湿度

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を埋設して、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について検討を続けている¹⁾。前報²⁾において、中性化が進行したコンクリート構造物を対象に、補修後の電気化学的特性値を約90日間にわたり遠隔モニタリングした結果を報告した。前報の結論は、実測値の変動幅が比較的大きかった分極抵抗に着目し、対象構造物付近の詳細な気象観測データをもとに気温および相対湿度との関連性を検討した結果、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(図-1参照)を用いて、実構造物における鉄筋腐食状態が詳細に把握でき、合理的な維持保全にきわめて有用であること、などを明らかにした。本報では、同構造物の遠隔モニタリングをさらに継続して行い、1時間ごと約400日間に及ぶ連続的なモニタリング結果と、気象庁の気象観測データによる気温・湿度との関連性を検討した。以下に、その結果の一部について報告する。

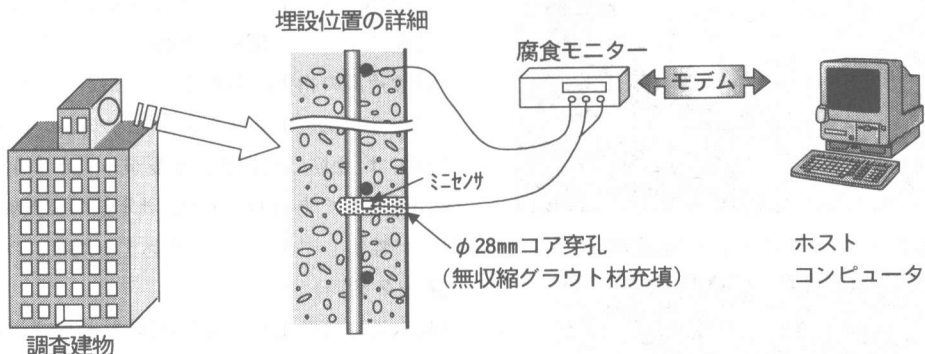


図-1 鉄筋腐食遠隔モニタリングシステム

- *1 (財)日本建築総合試験所 材料検査部 大淀試験室 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)
- *3 (財)日本建築総合試験所 材料試験室 室長代理 工博(正会員)
- *4 (財)日本建築総合試験所 材料試験室 研究員(正会員)

2. 鉄筋腐食遠隔モニタリング実測例の概要

2.1 ミニセンサの埋設

遠隔モニタリングを実施している構造物は、昭和6年に建築された鉄骨鉄筋コンクリート造の歴史的構造物である。当該構造物は、経年による中性化が過大であったため、屋外全面を電気化学的アルカリ付与工法により再アルカリ化させた構造物である。モニタリング対象部材は、屋外面にある庇（鉄筋コンクリート造）で、庇の12本の垂木（断面：150×150mm）において、内部鉄筋（φ9mm）の近傍（鉄筋表面からの距離15～20mmの位置）にミニセンサを埋設している（写真-1参照）。なお、ミニセンサ（写真-2参照）は、筆者らが開発したもので、直径約10mmの円盤状電極（参照極と対極の2極で構成している）である。ミニセンサは、既往の水溶液実験³⁾で電気化学的特性値を測定するための電極として十分な性能を保有していることを確認している。

2.2 腐食モニターの概要

分極抵抗測定方法は、交流矩形波電流分極法による重畳式二重パルス方式である。本モニターは、分極電圧が±2～20mVの範囲に入るように

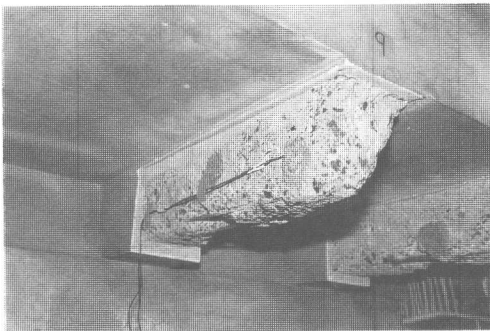


写真-1 ミニセンサ埋設状況

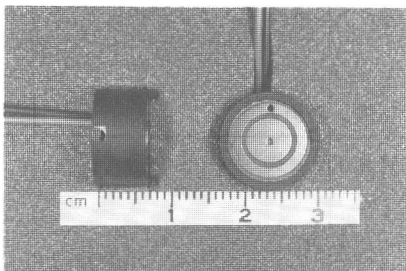


写真-2 ミニセンサ

印加電流レベルが自動設定されており、分極測定用パルスとして0.125Hz（8秒）、液抵抗測定用パルスとして約1kHzが印加される。

2.3 気象観測データ

対象構造物から直線距離で約700m地点の大阪管区気象台の観測データを用いた。気象観測データのうち、気温及び相対湿度（以下、単に湿度と呼ぶ）を腐食モニタリング結果と比較検討した。

3. 測定結果と考察

腐食モニタリング結果は、垂木12本のうち、雨が掛かり易い端の垂木（CH1）と、雨掛かりが少ない庇中央（CH3）およびその中間のもの（CH2）計3本について、1997年10月から1998年11月までの約400日間の測定結果を検討した。測定期間中のモニタリング対象構造物付近の気象変化は、平均気温が2～32℃の範囲で昇降し、平均湿度は40～95%の範囲で変化していた（図-3参照）。

腐食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、以下の事項が明らかとなった。

①自然電位は、測定材齢の経過に伴い、わずかずつではあるが、貴な方向に変化する傾向を示している。測定値は、約+20～-80mV（銅-硫酸銅電極電位では概ね-250～-350mV）の範囲であり、ASTM C876によれば不確定な状態と推定される値であった（図-2参照）。

②腐食速度の指標である分極抵抗は、気温が上昇すると分極抵抗が小さくなる傾向が認められ、本事例では、鉄筋の腐食速度が夏季に大きくなることが明らかであった。また、測定値の変動幅は、他の特性値と比べて大きく変動する傾向にあった（図-2参照）。

③腐食環境に関係する液抵抗は、材齢の経過に伴う大きな変化はないものの、気温が徐々に下降する時期に、測定値の変動幅が大きくなる傾向を示した（図-2参照）。液抵抗についての詳細な検討は、今後の検討課題としたい。

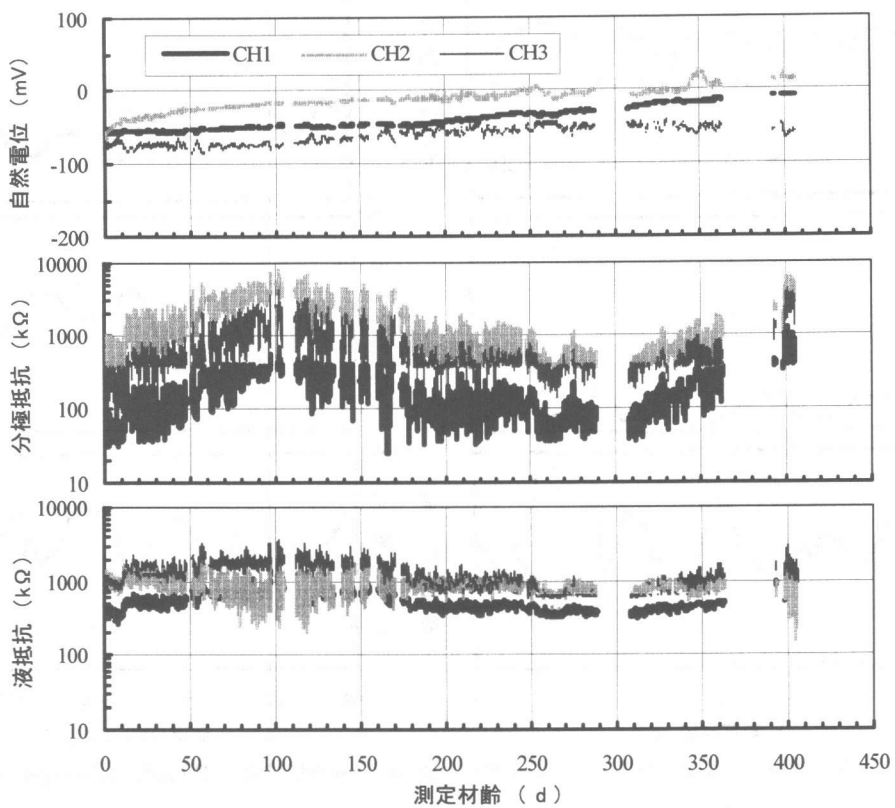


図-2 電気化学的特性値の経時変化

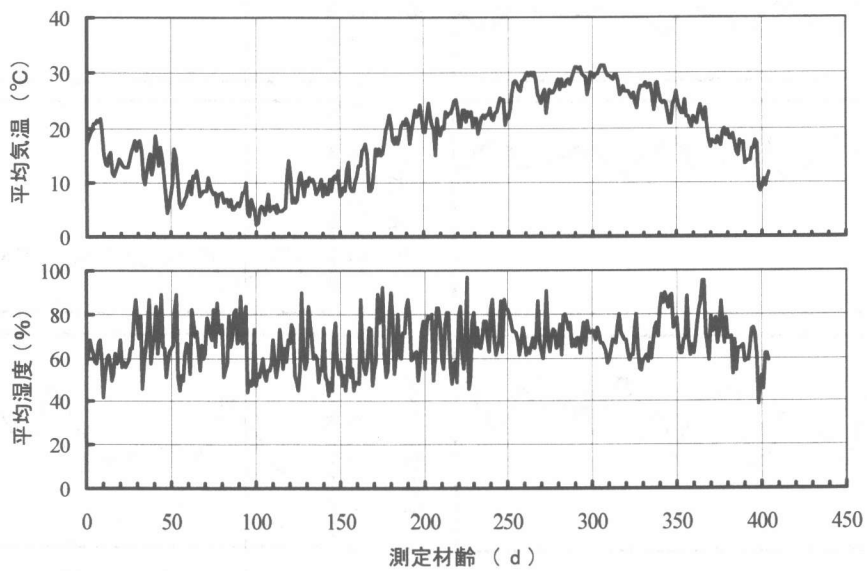


図-3 平均気温及び平均湿度の経時変化

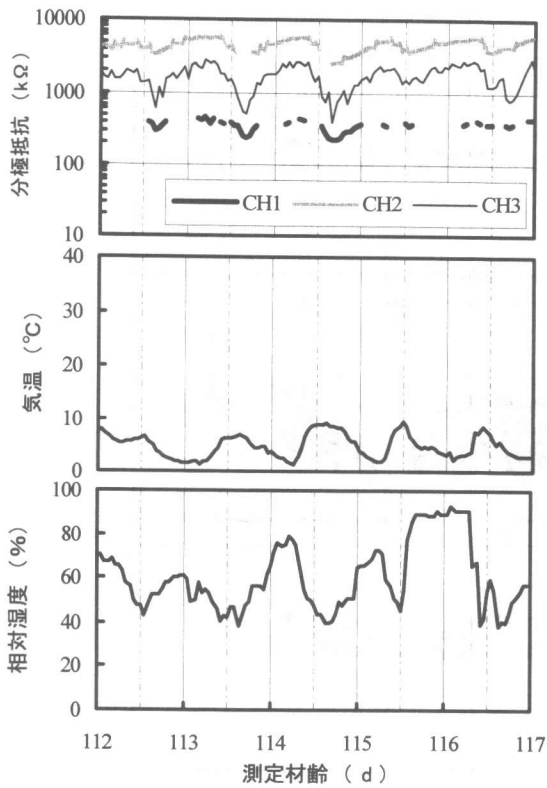


図-4.1 分極抵抗と気温・湿度の経時変化(98年冬)

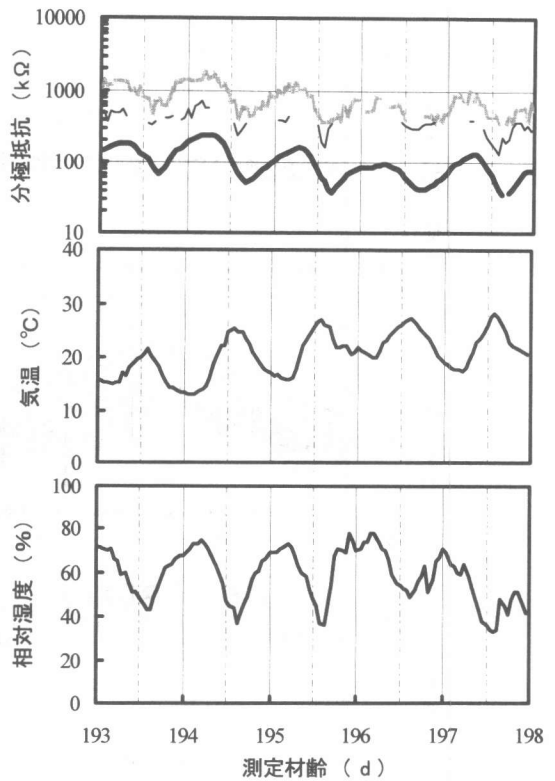


図-4.2 分極抵抗と気温・湿度の経時変化(98年春)

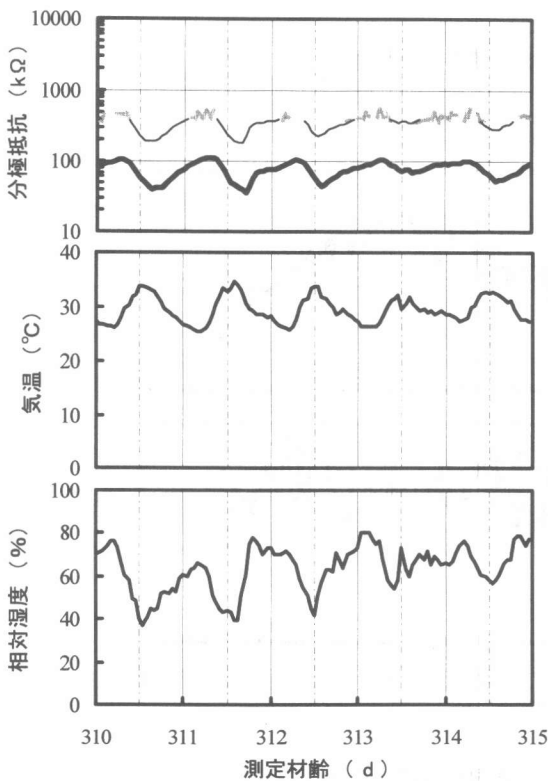


図-4.3 分極抵抗と気温・湿度の経時変化(98年夏)

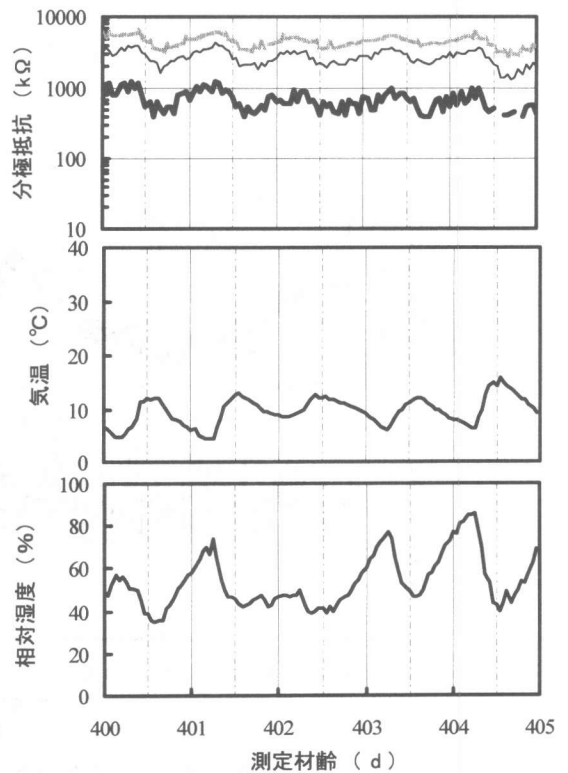


図-4.4 分極抵抗と気温・湿度の経時変化(98年秋)

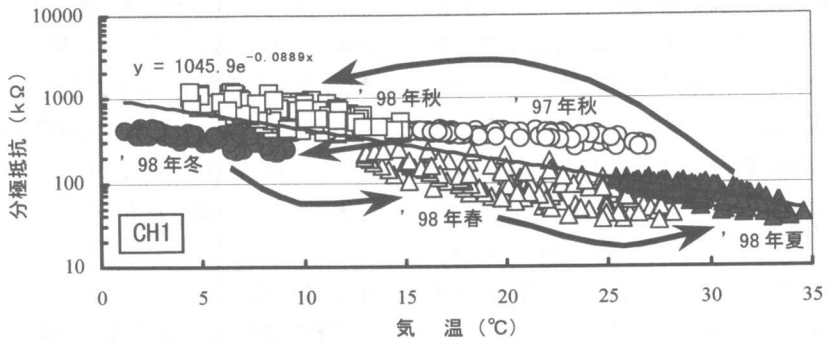


図-5.1 分極抵抗の季節による分布と気温の関係 (CH1)

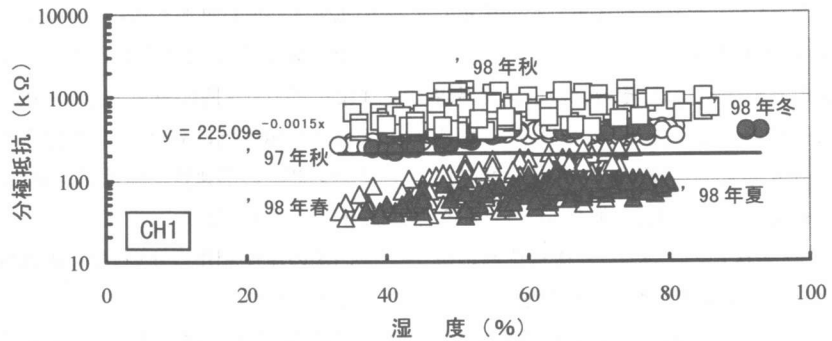


図-5.2 分極抵抗の季節による分布と湿度の関係 (CH1)

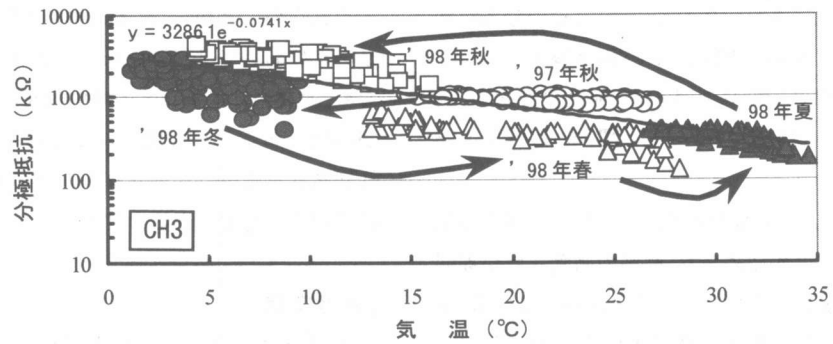


図-5.3 分極抵抗の季節による分布と気温の関係 (CH3)

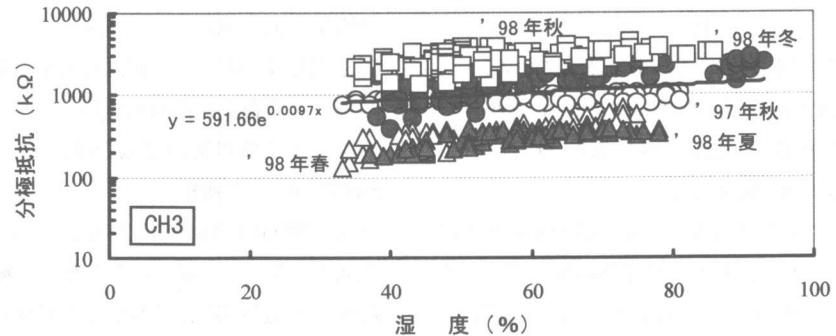


図-5.4 分極抵抗の季節による分布と湿度の関係 (CH3)

年間を通して測定値の変動が大きかった分極抵抗について、1時間ごとの詳細な気温および湿度と比較した。比較した期間は、各季節ごとの連続した5日間とし、1998年2月4日から同月8日までを98年冬、1998年4月26日から同月30日までを98年春、1998年8月21日から同月25日までを98年夏、および1998年11月19日から同月23日までを98年秋とした。その結果、以下のような事項が明らかとなった。

④分極抵抗は四季のそれぞれにおいて、気温や相対湿度の変化に伴い、敏感に変化する傾向を示した（図-4.1～4.4参照）。

⑤四季を通じて分極抵抗は、その日の最高気温時から1～2時間後に最低湿度（40%程度）になる時に、極小値を示した（図-4.1～4.4参照）。

さらに、前報に示した1997年10月19日から同月23日（97年秋）を含めて、分極抵抗測定値の気温および湿度依存性について検討を行った。なお、図示したものは雨掛かりし易い垂木（CH1）と、雨掛かりが少ない庇中央（CH3）である。

⑥分極抵抗は季節が変わるごとに、その分布範囲が変化している（図-5.1～5.4参照）。

⑦特に気温との関係では、分布範囲の変化が、循環するように移動している（図-5.1、図-5.3参照）。

⑧分極抵抗は、気温の昇降に対して反比例する傾向にあることが認められ、鉄筋の腐食速度が雰囲気気温度に影響を受けていることが現れている。冬季低温時の分極抵抗と夏季高温時の分極抵抗は、概ね1桁異なる結果であった（図-5.1、図-5.3参照）。なお、前報において、ミニセンサ自身に温度依存性がないことを確認している。

⑨分極抵抗と湿度との関係においては、湿度の高低による分極抵抗の変化は特に認められなかった（図-5.2、図-5.4参照）。

⑩なお、ミニセンサによる分極抵抗の絶対値の評価については、試験体や実構造物の臨床データを蓄積し、現在検討中である。今までのところ、コンクリート中に塩化物が含まれていない本事例のような場合、鉄筋の分極面積は、ミニセンサ直下

部分よりも広がりが生じ、直下部分の2～3倍の面積が分極範囲になることが判っている。すなわち、本事例では夏季に30kΩ程度の分極抵抗が測定されているが、鉄筋の単位面積当りでは、60～90kΩ・cm²程度になり、かなり低速の腐食速度であることが予測される。

4. まとめ

筆者らが開発した鉄筋腐食の遠隔モニタリングシステムにより、実構造物において連続する長期間の電気化学的特性値をモニタリングすることができた。本報では、1997年10月から1998年11月までの約400日間に及ぶ測定値のうち、変動幅の大きな分極抵抗に着目し、気象観測データとの比較およびその関連性を検討した結果、以下の事項が明らかとなった。

①四季の温度変化に伴い、分極抵抗は1桁程度変化が生じている。

②気温・湿度の日内変化によっても分極抵抗は敏感に変化している。

これらのことから、実構造物の鉄筋腐食モニタリングにおいては、精度および信頼性を確保するため、連続的に電気化学的特性値を計測することが必要であることが明らかとなった。また、この鉄筋腐食遠隔モニタリングシステムが、構造物の維持管理に有用であることが判った。

【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
- 2) 下澤和幸・田村博・永山勝・山本祐子：コンクリート構造物の鉄筋腐食遠隔モニタリング，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp877-882，1998
- 3) 永山勝・田村博・谷川恭雄：コンクリート中の鉄筋モニタリング用ミニセンサーの基礎的性能に関する水溶液実験，日本建築学会構造系論文集，No.510，pp23-28，1998.8