

報告 自然電位・分極抵抗法による鉄筋腐食現地追跡調査

足立幸郎^{*1}・宮川豊章^{*2}・関 惟忠^{*3}・小林茂広^{*4}

要旨：鉄筋腐食を非破壊的に検査する手法として、自然電位及び分極抵抗法を採用し、主たる損傷要因が中性化である実構造物を対象に10年間追跡調査を行った。その結果、自然電位分布図では、周辺部に比べて電位が卑な値を示す箇所の存在が、経年により明確に認められることから、鉄筋腐食発生を追跡調査する手段として自然電位法は有用である。ただし、中性化腐食に対して実用化するには、自然電位とはつり調査結果との整合性が不十分であること等から、さらに広汎な検討が必要である。また、分極抵抗法を補修効果の評価に用い、鉄筋腐食の進行が認められないことを確認した。

キーワード：鉄筋腐食、非破壊検査、実構造物、自然電位、分極抵抗

1. 目的

コンクリート構造物を維持管理していく上で、鉄筋の腐食状態が重要な判断基準となっている。鉄筋腐食が進行すると、かぶりコンクリートにひびわれが発生し、そのひびわれを通じて水分や酸素等が供給されることにより、鉄筋腐食がさらに促進され、コンクリート片の剥離・剥落という第3者事故を引き起こす危険性も考えられる。したがって、鉄筋腐食による損傷をできるだけ早い時期に処置することが必要であるが、コンクリート中に存在する鉄筋の腐食状態を、外観観察のみで把握することは容易ではない。

このため、阪神高速道路公団では、鉄筋の腐食状況を非破壊的に検査する手法の開発を目的として、昭和59年度より電気化学的反応に着目した鉄筋腐食モニタリング手法として、自然電位法と分極抵抗法を取り上げ、鉄筋腐食評価方法や補修効果の判断等に関する継続調査を実施した。対象構造物は海砂による塩分は存在するものの、主たる損傷原因は中性化であると考えられているものである。10年間にわたる調査結果をもとに、両手法の適用性および今後の問題点について取りまとめたものである。

2. 調査方法

2.1 自然電位による追跡調査

昭和59年度から、堺線の2ヶ所の高欄（津守及び汐見橋入路、いずれも昭和44年竣工）において、自然電位分布を25cm間隔で測定し、各箇所の鉄筋腐食の進行状況を追跡調査した。自然電位は、コンクリートの含有水分及び温度の影響を受けるので、測定は、前日に降雨のなかった日に行うこととし、乾燥した状態、コンクリート表面を1時間ウエスで覆った上に散水して湿潤状態とした直後、1時間後および2時間後の合計4回データ収集を行った。同時に、コンクリ

*1 阪神高速道路公団 保全施設部 保全技術課、工修（正会員）

*2 京都大学 助教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

*3 阪神高速道路公団 保全施設部 保全技術課長

*4 （株）中研コンサルタント 技術第一部長、工博（正会員）

ート水分計（ケット社製：ココHI-500）を用いたコンクリート中の水分量の測定およびコンクリート温度の測定を行い、自然電位の補正を行った。

2.2 分極抵抗法の適用性調査

自然電位法は、コンクリート表面が補修材料等の絶縁材料で覆われている構造物に対しては適用が困難である。これに対して、分極抵抗法は自然電位法に比べて実績が少ないものの、基本的には、絶縁材料で被覆された構造物中の鉄筋腐食の判断にも利用できる手法である。ただし、実構造物を対象とした適用性に関するデータはきわめて少ない。本調査では、堺線玉出入路及び環状線長堀入路において、かぶり不足のために鉄筋腐食やコンクリートの浮きが生じた箇所を対象に、試験補修工事を実施し、その補修効果についてモニター用鉄筋を対象として分極抵抗法による検討を加えた。

試験補修工事は、高さ1m・幅2mの範囲を1ブロックとして、阪神公団の現行3タイプの補修方法（Aタイプ：ガラスクロス1層仕上げ、Bタイプ：ガラスクロス2層仕上げ、Cタイプ：コンクリート塗装）を各入路で1ブロックずつ、昭和60年1月中旬に施工した。

3. 調査結果

3.1 自然電位法による調査

(1) 自然電位の水分・温度による変化

自然電位はコンクリート温度や水分量の影響を受けて変化するので、電位による評価を行うためには補正方法を確認する必要がある。水分計による測定は、どの範囲・存在形態の水分を評価しているのかといった問題点もあるが、同一箇所において繰り返し測定を行った結果、そのばらつきが小さかったので指標として採用した。本調査では、昭和63年に津守及び汐見橋入路において、コンクリート温度10～25℃の範囲で、表面水分量が7～9%の通常の状態と、9～10%の非常に湿った状態とに分類して自然電位を測定し、自然電位とコンクリート温度との相関関係図（図-1）を作成した。

また、コンクリートの水分量による自然電位の変化例として、平成5年度における測定結果を図-2に示す。自然電位が散水により50～100mV程度卑化した後、時間経過による乾燥につれて、見かけ上徐々に貴化していく状況が認められる。

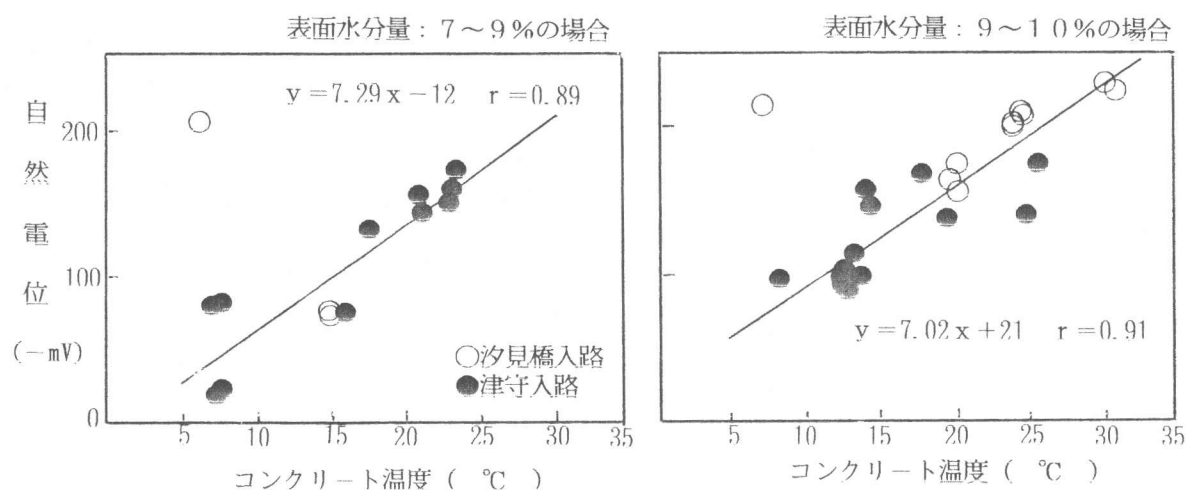


図-1 自然電位とコンクリート温度・水分との関係

(2) 自然電位の経年変化

自然電位の経年変化を図-3に示す。これらの図は、各年度における測定値を、図-1に示した補正式を用いて、「昭和59年度の散水養生前」を基準とした値に換算したものである。津守入路及び汐見橋入路とも、昭和59年度の測定開始以来、自然電位が徐々に卑な方向へ変化した。昭和62～63年度あたりをピークとして、原因が不明であるが、以降は逆に貴な方向へとシフトしている。そして、平成2～5年度の間において、バラツキはあるものの、ほぼ同程度の数値で推移している。昭和59年度の初期値と平成5年度の値を比較すると、津守入路では10

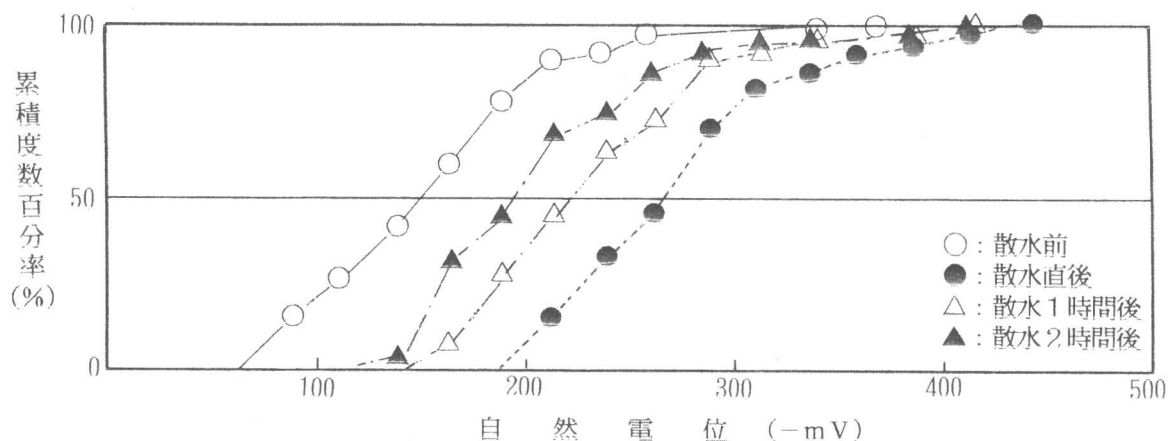


図-2 水分含有量の変化による自然電位累積度数分布の経時変化

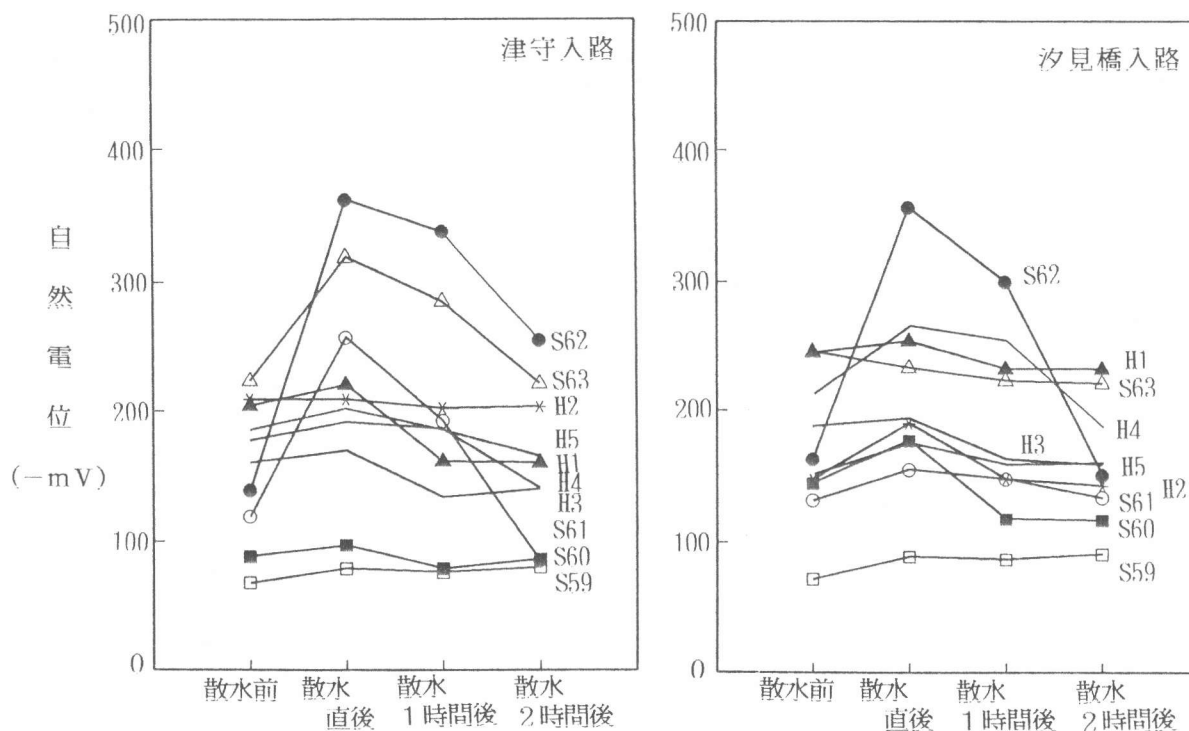


図-3 自然電位中央値の経年変化

0～200mV程度、汐見橋入路では50～100mV程度卑化している。追跡調査を開始してから約10年が経過し、自然電位中央値の分布が卑な方向へ移動しているものの、乾燥時でも-150～-250mVと安定した領域であること、また、ひびわれや浮き等といった外観変状の進行も認められないことから、著しい腐食状況ではないと考えられる。

自然電位分布の経年変化傾向を検討するため、等電位分布図を作成した。代表例を図-4に示す。年月の経過により自然電位分布に差が生じており、自然電位の絶対値はともかくとして、周辺部に比べて電位値が卑な箇所の存在が明確に認められている。電位差が存在するということ、つまり、その間において電位差が生じているということは腐食電流の発生を意味するものであり、腐食発生の有無を追跡調査する手法として、自然電位法が適用できる可能性が認められる。

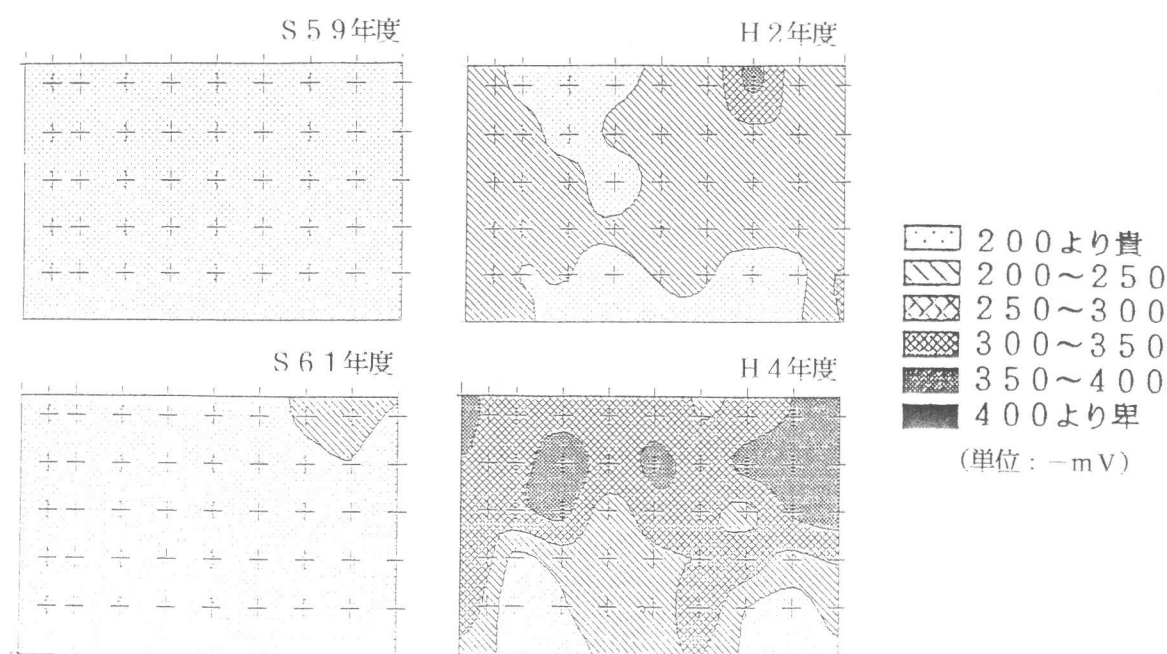


図-4 自然電位分布の経年変化（汐見橋入路）

(3) はつりによる自然電位法の精度検証

自然電位法の精度を検討するため、平成5年度に、津守入路10箇所、汐見橋入路5箇所で鉄筋のはつり出し調査を行い、鉄筋の発錆状態、かぶりおよび中性化深さの測定を行った。結果を表-1に示す。はつり箇所の自然電位は、津守入路の方が汐見橋入路よりも卑な傾向にあり、散水養生した場合の自然電位の上昇割合も大きい。はつり調査の結果では、逆に津守入路の方が全体に健全であった。自然電位の大小と鉄筋の腐食状態の間には相関関係が認められない状況である。「かぶり-中性化深さ」を有効かぶりとすると、有効かぶりが小さい場合に、鉄筋の腐食度が高いことが分かる。構造物ごとに見ると、津守入路では、有効かぶりが10～15mm程度であったのに対し、汐見橋入路では1～7mmと小さな値であり、腐食発生傾向と合致している。自然電位による鉄筋腐食の判断としては、ASTMC876に規定された「電位による鉄筋腐食の評価基準」がある。両入路における測定結果は、自然電位はいずれの箇所でも大部分が-100～-200mVの範囲にあり、ASTMの評価基準では、腐食なし、もしくは不確定と判断される値であり、電位のみでは腐食の有無は判別し難い範囲にある。このことから、自然電位がこのレベルにある場合には、鉄筋の腐食の判断は難しく、腐食の可能性の大小についてのみ評価しう

るものと考えられる。さらに、ASTMの評価基準の妥当性・整合性については、ASTMの評価基準が塩害を対象として設定されたものであるのに対し、本対象構造物の腐食要因が中性化であること、またかぶりコンクリートには浮きが存在する箇所もあることおよび本調査結果における電位値の範囲が比較的小さいことから、全体的な可否については判断できなかった。

3.2 分極抵抗法の適用性調査

補修工法ごとの分極抵抗の経時変化を図-5、6に示す。

津守入路の場合、平成2年度の測定値が異常値と考えられるので、これを除外すると、無補修の場合の分極抵抗値が最も大きく、ついでクロス2層、クロス1層、コンクリート塗装の順に小さくなっている。10

年通じての傾向を見ると、各補修工法とも平成2年度まで漸減傾向であったが、以降、逆に増加する方法に転じている。一方、玉出入路の分極抵抗値は、全期間を通じておおむねガラスクロス1層が最も大きく、ついで無補修、コンクリート塗装、ガラスクロス2層の順に小さくなっている。ただし、長堀入路のような漸減・漸増傾向は認められない。両試験補修区間とも分極抵抗値が補修材料によって異なっているが、工法ごとの分極抵抗値の大小傾向は異なっており、補修工

表-1 はつりによる精度検証結果

はつり箇所	かぶり mm	中性化深さ mm	有効かぶり mm	腐食状況	付近の電位 (-mV) 散水前 直後	
津守 1	42	27	15	リブに一部赤錆	140	216
津守 2	37	27	10	リブに一部赤錆	179	295
津守 3	38	22	16	健全	172	263
津守 4	36	30	6	健全	180	275
津守 5	36	22	14	健全	205	365
津守 6	36	20	16	健全	212	341
津守 7	33	21	12	健全	227	416
津守 8	38	22	16	健全	88	260
津守 9	30	21	9	健全	122	296
津守 10	33	24	9	一部発錆	75	247
汐見橋 1	25	24	1	部分的に断面欠損 および リブが一部欠損	172	180
汐見橋 2	25	22	3		202	185
汐見橋 3	25	18	7	表面断面欠損、裏健全	168	189
汐見橋 4	27	20	7	部分的に断面欠損	162	196
汐見橋 5	22	21	1	部分的に断面欠損	124	170

中性化深さ：1%フェノールフタレイン液噴霧法により判定

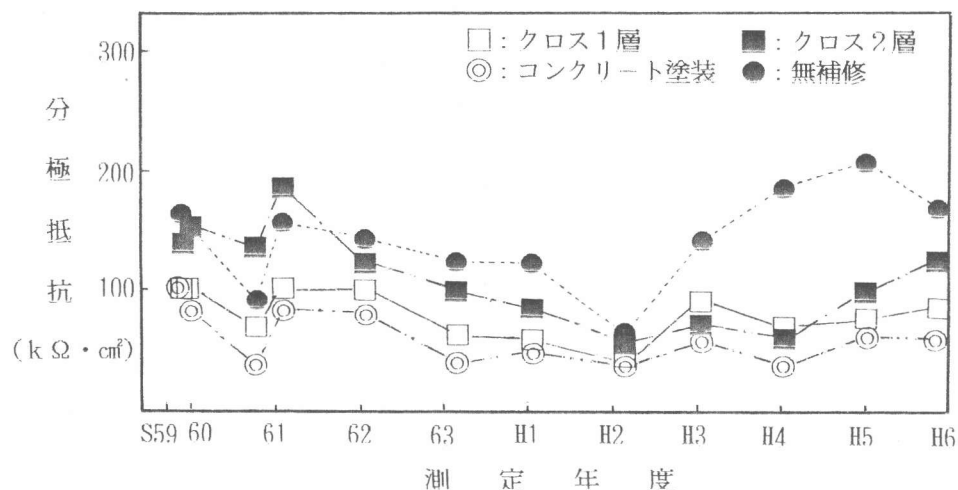


図-5 試験補修区間での分極抵抗の経年変化(長堀入路)

法ごとの腐食効果を比較できるような顕著な差異は見られない。構造物の外観変状が進行していないことから、鉄筋の発錆が進行していないことによるものと考えられる。したがって、分極抵抗法の適用性については、腐食が進行している構造物における検討を含めて、さらに広範なデータの収集が必要である。

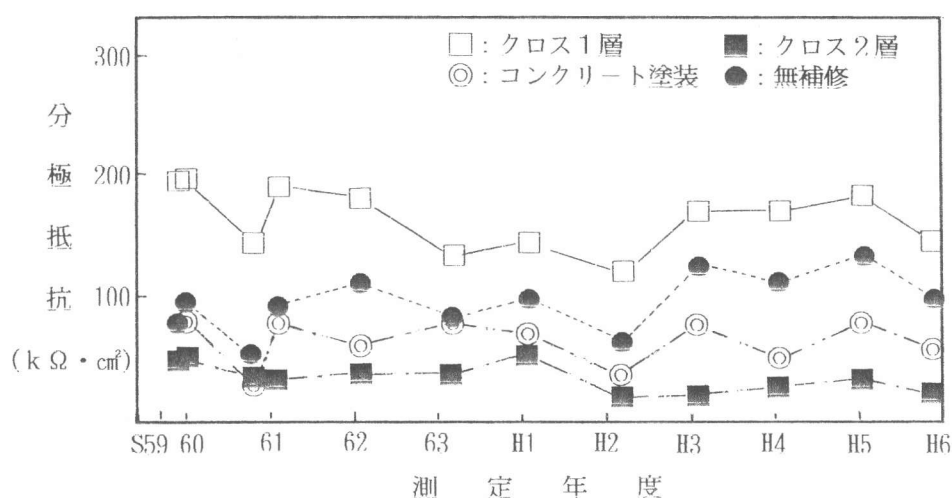


図-6 試験補修区間での分極抵抗の経年変化（玉出入路）

4. まとめ

- (1) 自然電位分布図によると、自然電位の絶対値はともかくとして、周辺部に比べて電位が卑な値を示す箇所の存在が経年により明確に認められ、鉄筋腐食発生を追跡調査する手段として自然電位法が適用できる可能性が認められる。
- (2) 自然電位は、津守入路の方が汐見橋入路よりも卑な値であったが、はつり調査の結果では、逆に津守入路の方が全体に鉄筋が健全であった。これは、津守入路では、かぶりから中性化深さを引いた「有効かぶり」が10～15mm程度であったのに対し、汐見橋入路では1～7mmと小さな値であったことが影響したものと考えられる。
- (3) 塩害による鉄筋腐食を対象に設定されたASTMの評価基準は、主たる腐食要因が中性化である本対象構造物の鉄筋腐食評価には整合性が不十分であった。
- (4) かぶりから中性化深さを引いた「有効かぶり」が鉄筋腐食に影響していることを考慮すると、自然電位法を中性化に対して適用するのは、中性化深さをもパラメータとした電位の評価基準の設定が必要である。
- (5) 分極抵抗の工法ごとの大小傾向は測定箇所によって異なっているが、経年後も初期値における大小関係をほぼ維持しており、補修工法ごとの防食効果を比較できるような顕著な差異は見られない。構造物の外観変状が進行していないことから、鉄筋の発錆が進行していないことが影響したものと考えられる。分極抵抗法の適用性について判断するには、鉄筋の腐食が進行しているケースでの測定が必要であり、実用化にあたってはさらに検討が必要である。

（謝辞）本測定にあたっては、(株)国際建設技術研究所葛目宏氏の多大な協力を得た。記して感謝します。