

報告

[1073] 鉄筋の電気化学的特性値に関する一考察

正会員 田村 博 (日本建築総合試験所)

正会員○永山 勝 (日本建築総合試験所)

下澤和幸 (日本建築総合試験所)

1. はじめに

著者らは、既報において、¹⁾コンクリート表面で得られる電気化学的特性値は、鉄筋の電気化学的特性値とコンクリートの電気化学的特性値で構成される腐食モニタリングに関する基本式で表わされることを明らかにした。この基本式をもとに、腐食モニタリングを高い精度で行うためには、各種条件下における鉄筋ならびにコンクリートの電気化学的特性値に関する基礎的データを、系統的に数多く収集する必要がある。

本報告は、そのような見地に立って実施した、水溶液に長期間浸漬した鉄筋の電気化学的特性値に関する実験の結果について述べたものである。

2. 実験目的

腐食モニタリングの際、腐食速度に関係する特性値として、分極抵抗： R_p を測定することが有効と考えられており、一般に $W = K \cdot \int (1/R_p) dt$ が成立するとされている。ここに、 W は腐食量であり、本報告では、 $1/R_p$ を腐食速度指標、 $\int (1/R_p) dt$ を腐食量指標、 K を腐食量指標係数(定数)と呼ぶ。

今回の実験の主な目的は、上記の K 値に及ぼす、鉄筋表面処理(黒皮鉄筋とみがき鉄筋)や Cl^- 濃度の影響について検討することであった。既往の研究は、短期間の実験によるものが多く、腐食量も数十mgとなっているが、本実験では、腐食量を最大1000mg程度とする長期間(約200日間)の溶液浸漬実験とし、鉄筋の長さも変化させて K 値を検討した。

3. 実験方法

溶液としては、 $Cl^- 0\%Ca(OH)_2$ 飽和溶液とそれに $NaCl$ を加えて調整した $Cl^- 2\%Ca(OH)_2$ 飽和溶液の2種類を用いた。鉄筋には、 $\Phi 13mm$ の黒皮鉄筋とみがき鉄筋の2種類を用い、長さは、10、100、300mmの3種類とした。また、供試本数は各種2本ずつとした。溶液浸漬に先立ち、鉄筋は脱脂して清浄にし、重量測定の後、リード線をはんだ付けし、両小口をシリコン樹脂でシーリングした。溶液は、 $\Phi 65mm$ 、 $H 370mm$ の1ℓメスシリンダーに液高さが約35cmとなる迄入れ、1容器1本の鉄筋を、鉄筋の中央高さが液の中央高さとなるように鉛直に浸漬・静置した。溶液の温度は、 $18 \pm 5^\circ C$ とした。

液中の鉄筋の電気化学的特性値は、二極プローブ²⁾に塩橋(KCl 飽和寒天)を介して測定した。塩橋の開口径は、 $\Phi 4mm$ とし、塩橋先端と鉄筋表面の距離は、約5mmとした。測定位置の影響を確認するため、10mm鉄筋では中央部、100mm鉄筋では、上・下端から10mmの位置の2箇所、300mm鉄筋では100mm鉄筋と同様の上・下端部と中央部で測定した。なお、各部での測定値にはほとんど差がなかったため、本報告では、10mm鉄筋の中央部、100mm鉄筋の下部、300mm鉄筋の中央部での測定値を用いて整理した実験結果を報告する。

測定は、浸漬後6日までは毎日、7日以降6週までは3～4日毎、7週以降最終216日までは、2～3週毎に行った。浸漬216日終了後、鉄筋を錆除去剤（英国・アレキサンダー社製クリアー・ラスト（商品名）1/3希釈液（弱有機酸溶液））に1日浸漬し、浸漬前の重量から錆除去後の重量を差し引き、腐食量を求めた。なお、黒皮鉄筋の場合には、錆除去剤により健全部（黒皮）が除去される重量を、別途、健全な鉄筋によって求めておき、補正した。

4. 実験結果と考察

自然電位・分極抵抗測定値の経時変化を、鉄筋の長さ別に図-1(a)～(f)に示す。同一条件の結果はいずれか一方を示した。特に差のあったものは、同図(b)(f)に示すA～Dの分極抵抗経時変化であった。同図から次のようなことがわかる。

- ①みがき鉄筋の自然電位は、 Cl^- 0%の場合には、概ね-100～-200mV から-500～-700mV に変化したが、なかでも最も長い30cmのものが早期に変化した。
- ②黒皮鉄筋の自然電位は、いずれの溶液の場合にも、みがき鉄筋に比べ緩慢な変化を示したが、なかでも最も長い30cmのものが早期に変化した。

なお、鉄筋の長さによる自然電位の経時変化の差に関する考察は今後の課題としたい。

分極抵抗の測定結果は、鉄筋の腐食面積を考慮して比較する必要がある。すなわち、同じ腐食速度の全面均一腐食状態にある場合には、分極抵抗の測定値は、鉄筋の腐食面積（径が同じ場合、鉄筋の長さ）に反比例する。そこで、浸漬開始後初期で比較的安定した腐食状態にあると考えられる、浸漬21日目分極抵抗測定値を対象として検討を加えた。

図-2は、各条件で得られた分極抵抗測定値そのものである。鉄筋の長い方、 Cl^- 濃度の高い方が小さな値となっている。

次に、単位長さ当たりの腐食速度指標として、 $1/(L \cdot R_p)$ を求め（ L ：鉄筋の長さ）、図-3.1、3.2に示す。同図から、次のようなことがわかる。

- ①単位長さ当たりの腐食速度指標： $1/(L \cdot R_p)$ は、 Cl^- 0%の場合には、黒皮鉄筋、みがき鉄筋とも長さが異なってもほぼ同程度の大きさとなり、この時点（浸漬後21日目）での腐食速度は鉄筋の長さに影響されていないと判断された。
- ② Cl^- 2%の場合には、鉄筋が長いほど、 $1/(L \cdot R_p)$ が小さくなる（＝腐食速度が小さくなる）傾向が認められた。特に、みがき鉄筋の場合にその傾向が顕著であった。

次に、腐食量の測定結果を図-4、5に示す。これらの図から次のことがわかる。

- ①黒皮鉄筋とみがき鉄筋は同様の傾向を示し、 Cl^- 0%の場合には、鉄筋の長さの影響が明らかでないが、 Cl^- 2%の場合には、長いほど単位長さ当たりの腐食量が小さい。この傾向は、先に述べた単位長さ当たりの腐食速度指標の傾向とも一致している。
- ②30cm鉄筋は、 Cl^- 0%の場合でも腐食量が大きく、特に黒皮鉄筋で顕著である。しかし、30cm鉄筋の単位長さ当たりの腐食量は、 Cl^- 2%の場合でも、1cm鉄筋の Cl^- 0%の場合のそれとほぼ等しく、 Cl^- 2%の場合の約1/7である。鉄筋の長さの違いによる諸問題については、さらに検討を加え、後日報告したい。

次に、実測した腐食量： W と腐食量指標： $\int (1/R_p) dt$ の関係を、図-6.1、6.2に示す。同図から、次のようなことがわかる。

- ① $W = K \cdot \int (1/R_p) dt$ の関係が成立する。
- ②同図に示す測定結果AとCが、それぞれが属する種類の関係式から離れているのは、図-1(d)

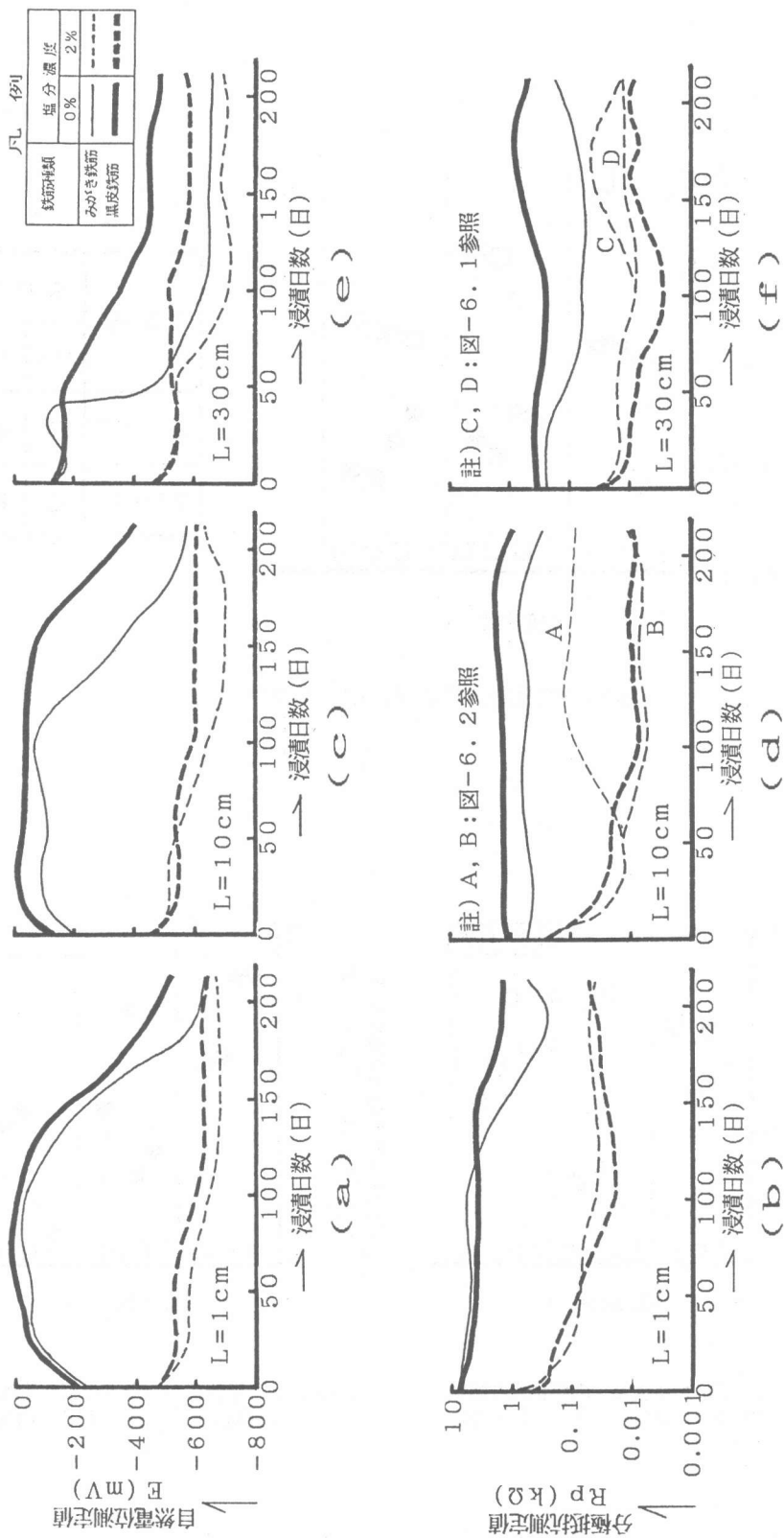


図-1 鉄筋の長さ と 自然電位・分極抵抗の経時変化

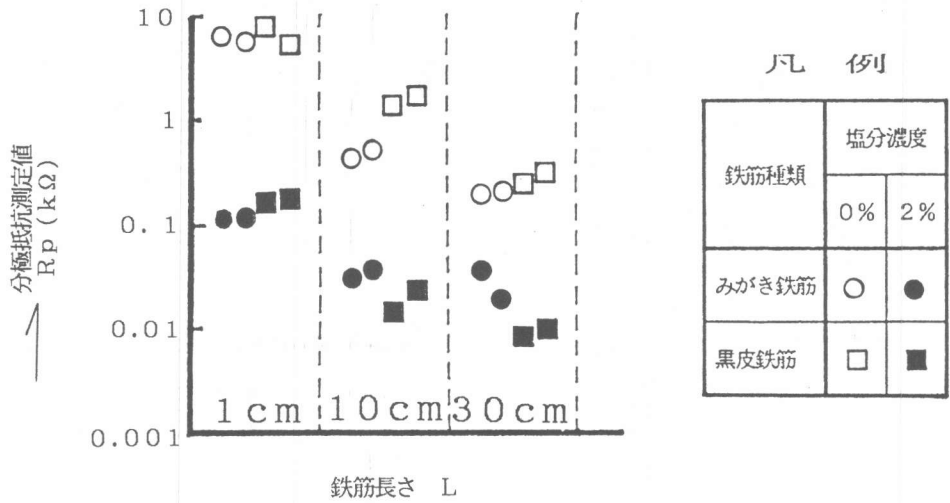


図-2 鉄筋の分極抵抗測定結果 (浸漬21日目)

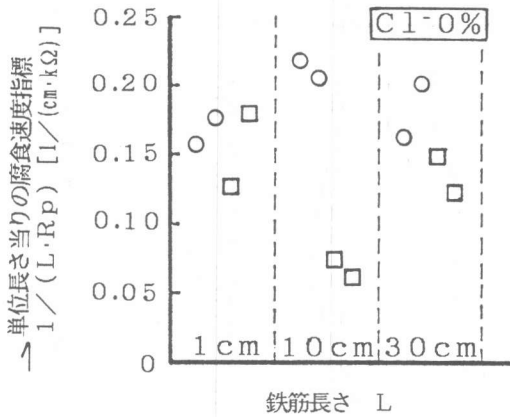


図-3.1 単位長さ当たりの腐食速度指標 (浸漬21日目, Cl-0%の場合)

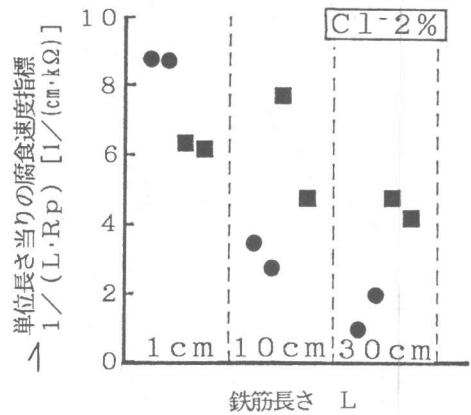


図-3.2 単位長さ当たりの腐食速度指標 (浸漬21日目, Cl-2%の場合)

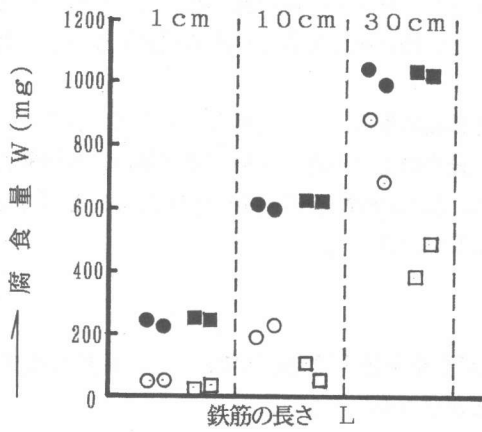


図-4 鉄筋の腐食量測定結果

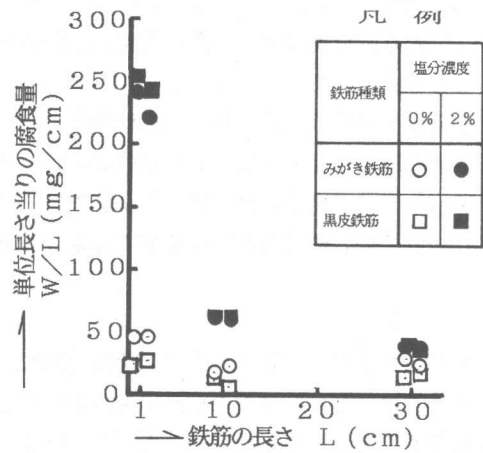


図-5 単位長さ当たりの腐食量

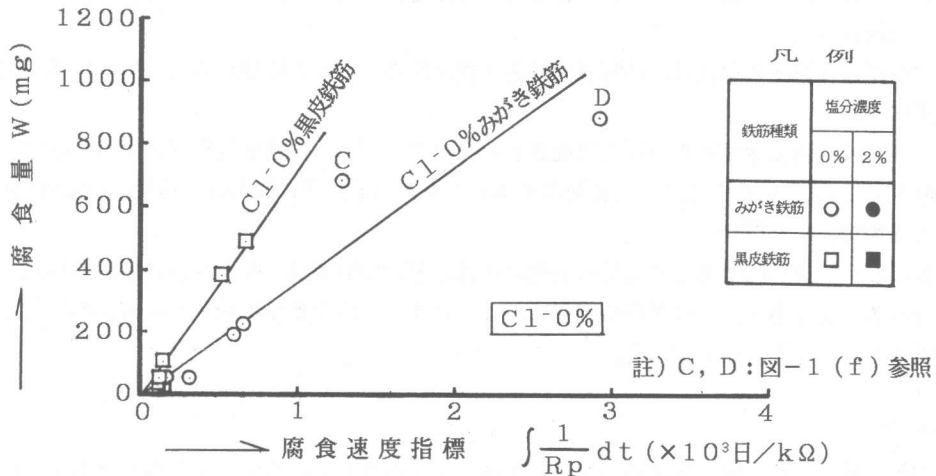


図-6.1 腐食量と腐食速度指標の関係(C1-0%の場合)

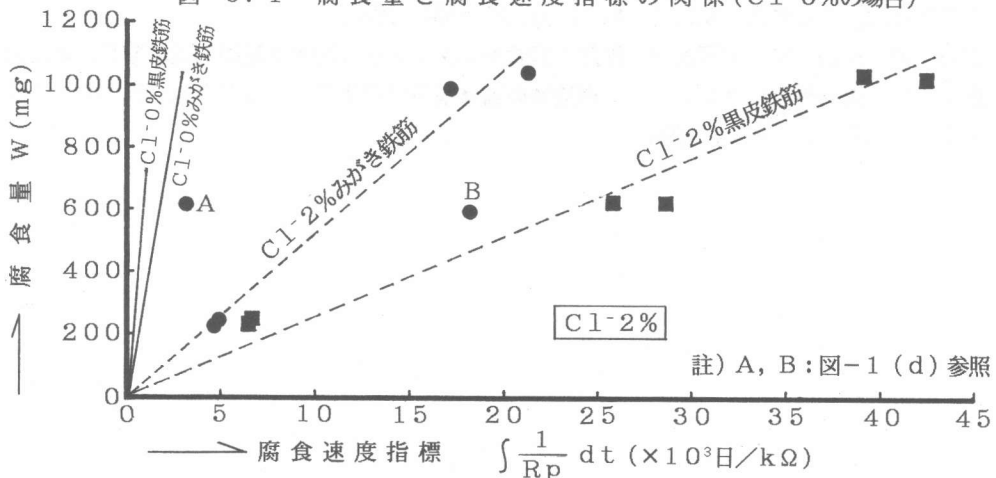


図-6.2 腐食量と腐食速度指標の関係(C1-2%の場合)

(f)に示すように、分極抵抗の経時変化が特異なもの(図-1(d)中のA、図-1(f)中のC)となっており、特異な現象(腐食現象とは別の現象で分極抵抗に影響を与える現象)が生じたためとも考えられる。

- ③腐食量指標係数：Kの値は、黒皮鉄筋、みがき鉄筋の別や、Cl⁻濃度0%と2%で異なる。
- ④K値の最大のもの(Cl⁻0%で黒皮鉄筋)は、最小のもの(Cl⁻2%で黒皮鉄筋)の約30倍であった。言い換えれば、同一R_p値であっても、Cl⁻0%で黒皮鉄筋の場合は、Cl⁻2%で黒皮鉄筋の場合の約30倍の腐食速度であることを示している。

5. おわりに

鉄筋を水溶液に長期間(約200日間)浸漬し、腐食量を最大1000mg程度とする、鉄筋の電気化学的特性値に関する実験の結果、次のようなことが明らかとなった。

- ①長期間の溶液浸漬実験でも、 $W = K \cdot \int (1/R_p) dt$ の関係が成立することが確認された。ここに、W：腐食量、K：腐食量指標係数(定数)、R_p：分極抵抗である。
- ②言い換えれば、分極抵抗の測定は、腐食速度と推定するための、きわめて有効な手段であることが確認された。
- ③腐食量指標係数：Kの値は、鉄筋表面処理(黒皮鉄筋とみがき鉄筋)やCl⁻濃度(0%と2%)で異なる。
- ④したがって、腐食速度を高い精度で推定するためには、(i)分極抵抗を測定するだけでなく、鉄筋表面でのCl⁻濃度も測定する必要があるとともに、(ii)Kの値とCl⁻濃度の詳細な関係を実験で求めておく必要がある。
- ⑤鉄筋の長さの違いによる自然電位の変化の相違などについては、今後さらに検討を加え、考察を深める必要がある。この課題の究明は、コンクリート中の鉄筋腐食メカニズムの究明と相通じるところがあり、重要である。

[参考文献]

- 1) 田村 博, 永山 勝, 下澤和幸：鉄筋の腐食モニタリングに関する一考察, 日本コンクリート工学年次論文報告集, Vol.11, No.1, pp.581~584, 1989.
- 2) 田村 博, 永山 勝, 下澤和幸：鉄筋の腐食モニタリングに関する基礎的実験結果, 鉄筋腐食による損傷を受けたコンクリート構造物の補修技術に関するシンポジウム, 日本コンクリート工学協会, pp.7~14, 1989.