

論文

[1096] 鉄筋の腐食モニタリングに関わるコンクリートの電気的特性

正会員 田村 博 (日本建築総合試験所材料試験室)

正会員○永山 勝 (同 上)

下澤和幸 (同 上)

1. はじめに

著者らは、コンクリート表面にプローブを当て、コンクリート表面で電気化学的特性値（自然電位： E 、分極抵抗： R_p 、液抵抗： R_s ）を測定することによって、コンクリート中の鉄筋の腐食状況を推定する手法を検討している。^{1)~4)} これまでの検討によって、コンクリート表面で得られた測定値には、鉄筋に関する電気化学的特性値（ sE 、 sR_p 、 sR_s ）に加え、コンクリートに関する電気化学的特性値（ cE 、 cR_p 、 cR_s ）が関係していることが明らかとなった。

しかし、これまでの同特性値に関する研究としては、コンクリートの一般的な物性値としての電気抵抗に関する若干の資料があるだけである。また、その電気抵抗は、本報で取り扱う、（ $cR_p + cR_s$ ）の形で扱われていることから、腐食モニタリングに用いるに必要な、 cR_p 、 cR_s それぞれ単独の特性値については、これまで全く検討されていないといえる。また cE については、著者らが電位差 α_i （ここでいう cE ）のあることを見出す⁴⁾まで、どこにも取り上げられなかった特性値である。

本報では、これら鉄筋の腐食モニタリングに関わるコンクリートの電気的特性に関する基礎的な検討結果の一部を報告する。

2. 実験概要

2.1 実験A

(a) 目的

既報⁴⁾において、①コンクリート表面での自然電位測定値は、コンクリート表面と、鉄筋に接するコンクリート面との電位差 cE_i （既報の α_i ）の影響を受けること ② cE_i はコンクリートの含水分布によって生じ、かぶりコンクリート表面が、鉄筋に接するコンクリート面に比べて含水率が高い場合には負の値に、含水率が低い場合には正の値となり、その絶対値は200mVにも及ぶ場合があること ③かぶりコンクリート部分の電気抵抗（分極抵抗ならびに液抵抗）が、コンクリート表面での電気化学的特性値の測定値に影響を与えていることを示した。したがって、本実験は次のようなことを目的として実施した。

- ① 電位差 cE_i に及ぼす、コンクリートの水セメント比ならびに、コンクリート用材料中に塩化物を含んだ場合の塩化物量の影響を把握する。
- ② かぶりコンクリート部分の cE_i 、 cR_{pi} 、 cR_{si} を簡易に測定する方法を検討する。

(b) 方法

水セメント比 (40%, 55%, 70%) ならびに塩化物量 (0 kg/m^3 , 1 kg/m^3 , 2 kg/m^3) を変化させた 9 種類のコンクリート板 ($100 \times 190 \times 400 \text{ mm}$) を製作した。材令 60 日まで標準水中養生した後、図-1 に示すように穿孔した。さらに、一面 ($100 \times 400 \text{ mm}$) のみを解放して水分蒸散面とし、その他の面はエポキシ樹脂接着剤でコーティングして、それらの面からの水分蒸散を防止した。また、コンクリート板の穿孔部内面についても孔の底面を除き同様のコーティングを施した。コーティングを終えたコンクリート板を 40°C 水中で 1 日養生した後、 40°C 気中で徐々に乾燥させた。なお、乾燥に関しては、穿孔内部の乾燥を防ぐため、孔の底部に至る栓をした。乾燥開始後、4 日後まで 1 回/日、その後 1 回/2 日の頻度で、穿孔プローブを用いて図-2 に示すような方法で、 cE_i , cR_{pi} , cR_{si} をそれぞれの測定位置で測定した。

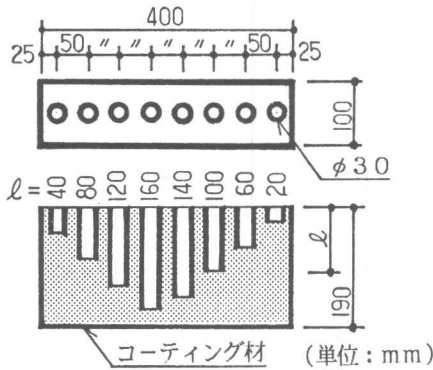


図-1 実験 A 試験体

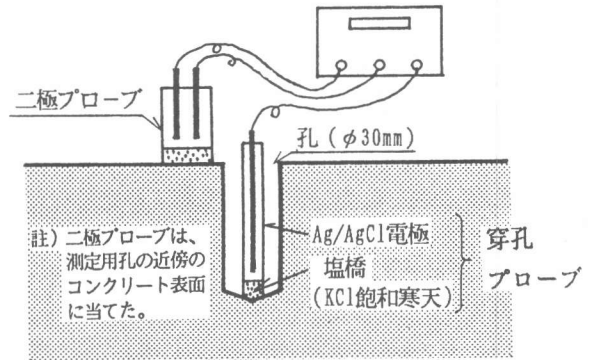


図-2 実験 A 測定方法

2.2 実験 B

(a) 目的

実験目的は、下記のとおりとした。

- ① コンクリート断面の径ならびに電極の径を、コンクリート中の骨材の最大寸法の 3 倍以上として、コンクリートの真の (あるいは、それに近い) 分極抵抗値、液抵抗値を求める。
- ② コンクリートの分極抵抗 (cR_p) と液抵抗 (cR_s) に対する、水セメント比ならびにコンクリート中の塩化物量の影響を把握する。
- ③ 分極抵抗と液抵抗の値の比率を把握する。

(b) 方法

実験 A と同じコンクリートを用い、調合の異なる 9 種類のコンクリート柱体 ($8 \times 8 \times 19 \text{ cm}$) を製作した。今回の実験では、実験時 (材令 60 日) まで標準水中養生を行い、飽水状態で使用した。図-3 に示すように、柱体小口に電極を当て、電気抵抗 (cR_p , cR_s) を測定した。なお電極には、銅板 ($10 \times 10 \text{ cm}$, 厚さ 0.1 mm) を厚さ 4 cm の塩橋 (KCl 飽和寒天) の中央に配したものをを用いた。

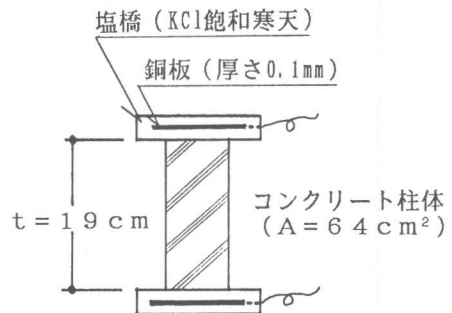


図-3 実験 B

2.3 実験C

(a) 目的

著者らが基礎的実験に用いている試験極とプローブの組合せ ($A = \pi \times 4.5^2 / 4 = 15.9 \text{ cm}^2$) によって測定したコンクリート板の電気抵抗に対する、コンクリート板の厚さ t 、試験極-プローブ間距離 l の影響を把握することを目的とした。

(b) 方法

実験Aと同じコンクリートを用い、調合の異なる9種類のコンクリート板 (19×40cm, 厚さ t) : 2, 4, 6 cm) を製作した。同コンクリート板を用い、図-4に示すように、 l ならびに l' を $l = 0, 10, 20, 30 \text{ cm}$, $l' = 0, 10 \text{ cm}$ と順次変化させて電気抵抗を測定した。

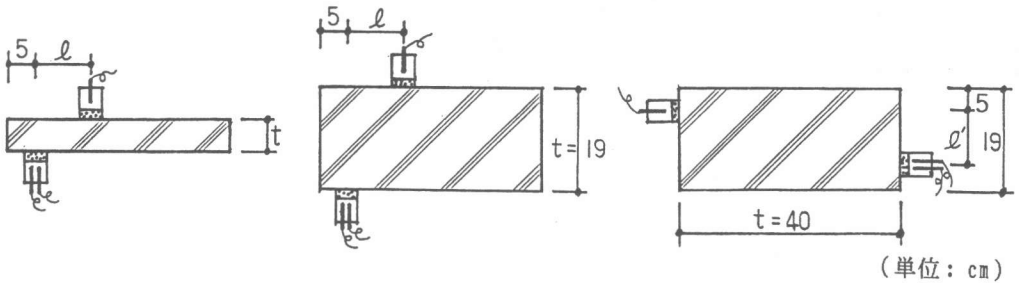


図-4 実験 C

3. 実験結果

実験A ----- 代表的な測定結果として、乾燥4日後の測定結果を図-5.1~5.3に示す。なお、飽水時から測定時までの質量減は約0.5~0.9%であった。また、二極プローブと穿孔プローブの組合せで得られた抵抗値を、真の抵抗値と区別する意味で「みかけの分極抵抗」、「みかけの液抵抗」と呼ぶこととした。

実験B ----- 液抵抗率 ($c\rho_s = A/t \times cR_s$) に及ぼす塩化物量の影響を図-6.1に、水セメント比の影響を図-6.2に示す。また、分極抵抗率 ($c\rho_p = A/t \times cR_p$) の液抵抗率に対する比率と塩化物量ならびに水セメント比の関係を図-7.1, 7.2に示す。

実験C ----- 二極プローブならびに試験極の底面積 (ともに、 $\phi 45 \text{ mm}$) を用いて、みかけの液抵抗率 ($\rho = A/t \times R$) を求め、試験極・プローブ間距離との関係を図-8に示した。

以上の実験結果から次のようなことが明らかとなった。

- ① 電位差 cE は、水セメント比が大きいほど大きくなる傾向があるが、塩化物量の影響はない (図-5.1)。
- ② 図-2に示す方法によって、かぶりコンクリート部分の電位差 cE 、みかけの分極抵抗 cR_p ならびにみかけの液抵抗 cR_s が簡易に測定できた (図-5.2, 5.3)。
- ③ cR_p および cR_s は水セメント比が大きいほど大きくなるが、塩化物量の影響はない (図-5.2, 5.3)。
- ④ 飽水状態のコンクリートの場合には、液抵抗率 $c\rho_s$ は水セメント比が大きいほど、塩化物量

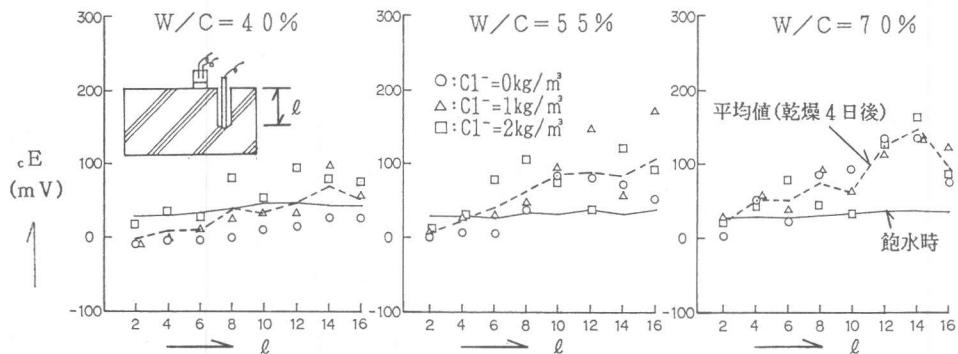


図-5.1 孔の深さと電位差の関係

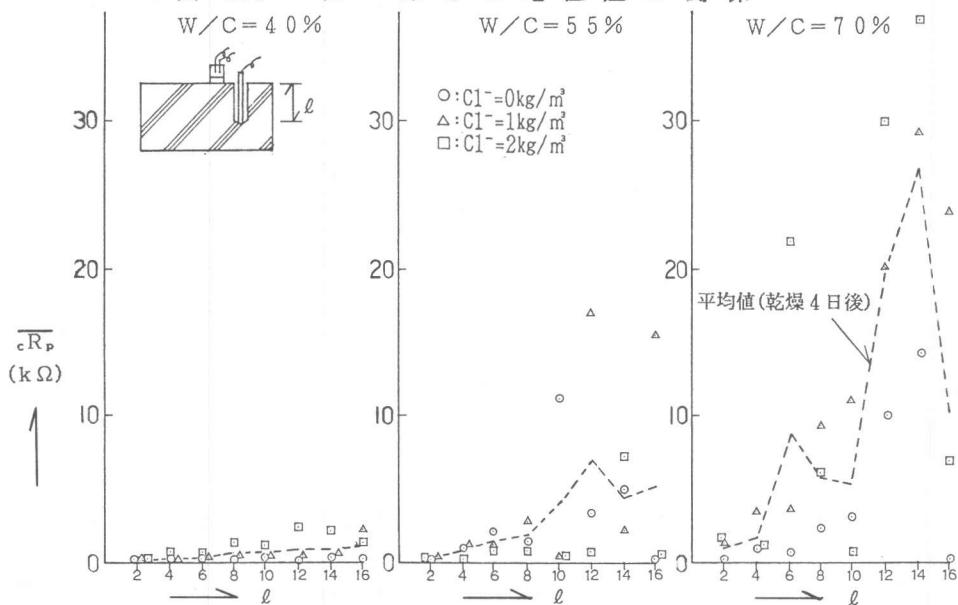


図-5.2 孔の深さとみかけの分極抵抗の関係

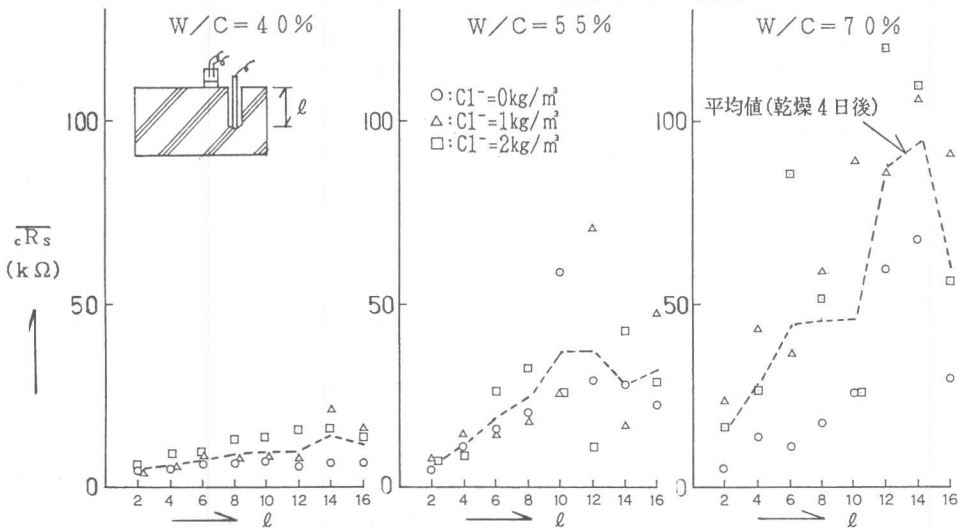


図-5.3 孔の深さとみかけの液抵抗の関係

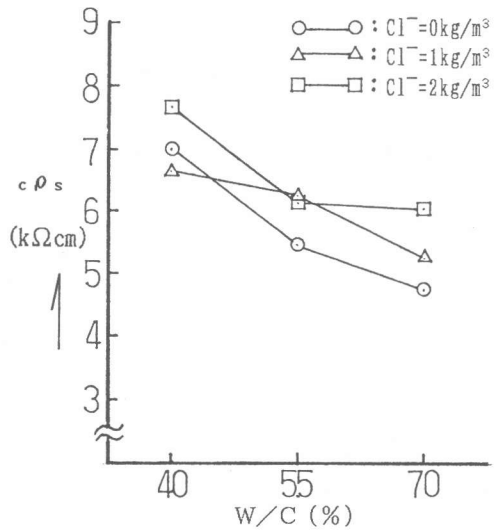
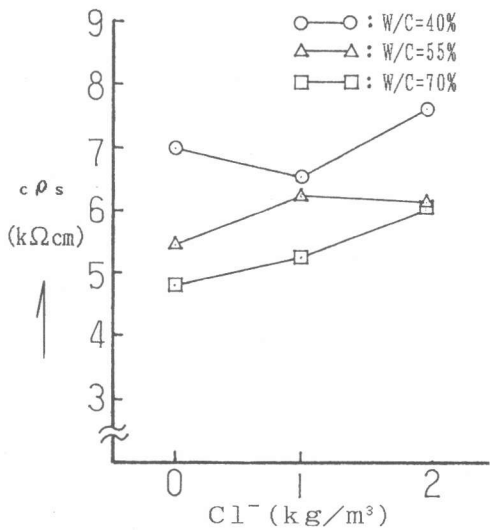


図-6.1 液抵抗率に及ぼす塩化物量の影響

図-6.2 液抵抗率に及ぼす水セメント比の影響

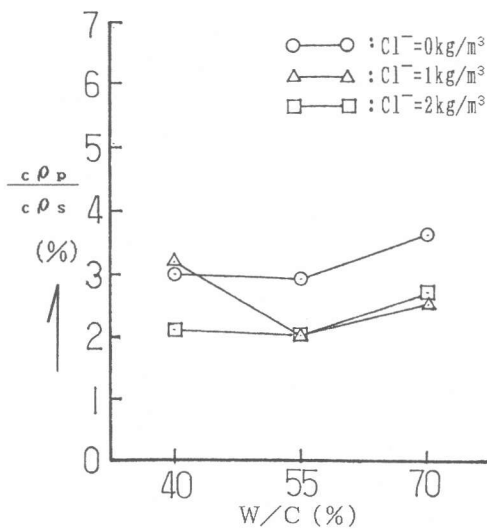
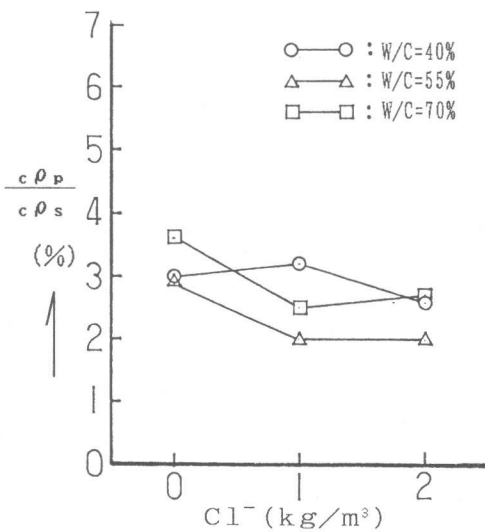


図-7.1 分極抵抗率/液抵抗率に及ぼす塩化物量の影響

図-7.2 分極抵抗率/液抵抗率に及ぼす水セメント比の影響

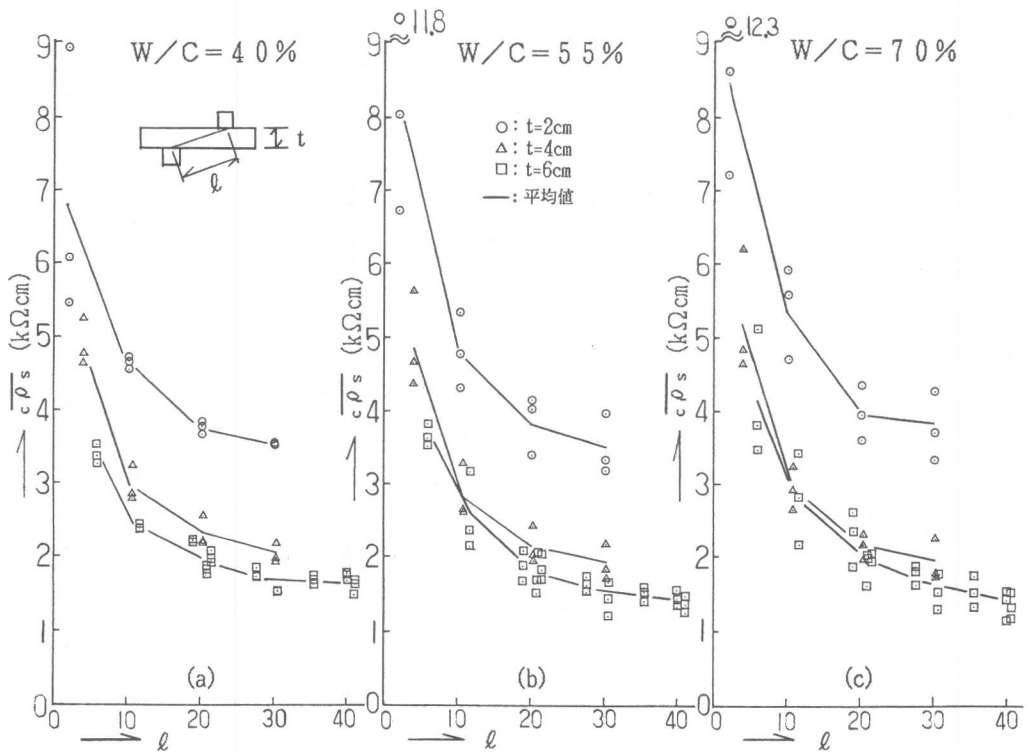


図-8 みかけの液抵抗率と試験極・プローブ間距離の関係

が小さいほど小さくなる傾向がある (図-6.1, 6.2)。

- ⑤ 飽水状態のコンクリートの分極抵抗率 $c\rho_p$ は、液抵抗率 $c\rho_s$ の数%の大きさである。
- ⑥ 乾燥状態のコンクリートの $c\rho_p/c\rho_s$ の値は、飽水状態に比べ高くなる傾向がある (図-5.2, 5.3によれば、 $c\rho_p/c\rho_s=20\%$ である)。
- ⑦ コンクリートは同一でも、部材厚が小さいほど抵抗率は大きくなる傾向がある (図-8)。
- ⑧ コンクリートは同一でも、部材厚が小さい場合には、電極間距離が小さいほど抵抗率は大きくなる傾向がある (図-8)。

4. まとめ

以上のとおり、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(cE , cR_p , cR_s)について、水セメント比、塩化物量の大きさや部材厚の影響を検討した結果の一部を紹介した。今後さらに詳細な検討を続ける予定である。

(参考文献)

- 1) 田村 博, 吉田正友: 第6回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.205~208, 1984.
- 2) 田村 博, 吉田正友: 第7回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.109~112, 1985.
- 3) 鈴木計夫, 大野義照, 二宮 一, Sumnuke Praparntaratorn, 田村 博: セメント技術年報, 42, pp.383~390, 1988.
- 4) 田村 博, 永山 勝, 下澤和幸: 日本コンクリート工学協会「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」, pp.7~14, 1989.