

論文

[1085] 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

正会員 田村 博 (日本建築総合試験所)

正会員○永山 勝 (同 上)

下澤和幸 (同 上)

1. はじめに

コンクリート中の鉄筋の腐食モニタリングのため、コンクリート表面で測定される電気化学的特性値（自然電位： E ，分極抵抗： R_p ，液抵抗： R_s ）には、鉄筋表面の電気化学的特性値と、かぶりコンクリートの電気化学的特性値が関わっている[1]。従って、精度の高い腐食推定を行うためには、両者の電気化学的特性値についての詳細な検討が必要であるが、特に後者についての研究は、これまでほとんど行われていない。

本報は、コンクリートの電気化学的特性値のうち、液抵抗（ cR_s ）と分極抵抗（ cR_p ）についての検討結果を述べたものであり、コンクリートの水セメント比（ W/C ），コンクリートに含まれる塩化物量，含水率，コンクリートの厚さや電極の接触面積が、それらの電気抵抗に及ぼす影響を明らかにした。コンクリートとモルタルの違いについても検討した。

2. 実験内容および方法

コンクリートやモルタルの供試体の電気抵抗を測定するため、表-1に示す一定の電気化学的特性値を保持した電極を2種類用意した。電極Aは、鉄筋をKCl溶液中に長期間浸漬したもので、供試体との接触面は $\Phi 4.5\text{cm}$ で飽和KCl寒天製とした。電極Bは、10cm角の銅板を飽和KCl寒天（15cm $\times$ 15cm $\times$ 3cm）の中央に埋設したものとした。なお、これらの電極は、電極の接触面積が電気抵抗測定値に与える影響を検討するために用いた。電極Aの接触面の形状寸法は、腐食モニタリング用二極プローブに合わせたものであり、電極Bの接触面の形状寸法は、コンクリートやモルタルの断面に合わせた。

電気抵抗の測定は、先ず図-1に示すとおり、電極Aと腐食モニタリング用二極プローブ、あるいは2つの電極Bで供試体を挟んで腐食計により分極抵抗および液抵抗を測定する。さらに引き続いて、供試体を挟まず電極Aと二極プローブ、あるいは2つの電極Bを直接接触させた場合の測定を行い、前者と後者の測定値の差を供試体の電気抵抗とした。

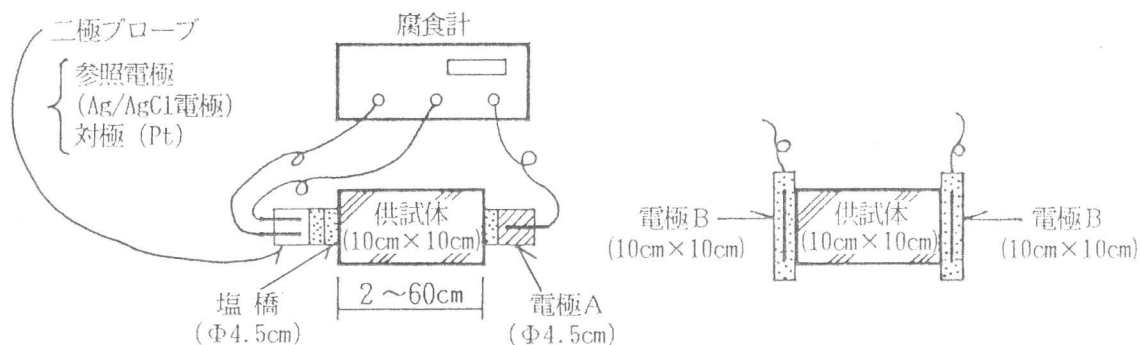


図-1 電気抵抗の測定方法

表-1 電極の電気化学的特性値

電 極	電 気 化 学 的 特 性 値		
	自然電位 (mVvsAg/AgCl)	分極抵抗 (kΩ)	液抵抗 (kΩ)
A	約-700	約0.02	0.05~0.20
B	-30~+20	0.25~0.50	約0.05

供試体は、コンクリートと同コンクリートをウェットスクリーニングしたモルタルの2種類とし、水セメント比（40%，70%），塩化物量（0 kg/m³，2 kg/m³）を変化させた。供試体の寸法は、断面を10cm×10cm，厚さを2,4,6,8,10,15,20,40,60cmの9種類とした。供試体の含水率が電気抵抗に及ぼす影響を検討するため、飽水状態（材令28日まで標準水中養生した直後の表面乾燥飽水状態）の場合と、乾燥状態（材令28日まで標準水中養生し、その後195日間、20℃,65%の室内で自然乾燥、測定は随時）の場合について測定した。なお、各供試体の飽水状態含水率は、同時に製作したΦ10×20cm供試体を用いて、材令28日まで標準水中養生を行った後、飽水状態の含水率を求めて、それを各供試体の初期含水率とした。その後の各供試体の含水率は、各供試体の重量を測定して求めた。

表-2 コンクリートの調合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				混和剤 (kg/m ³)
				水	セメント	細骨材	粗骨材	
40	35	21	4.5	200	500	496	1112	8.5 *1
70	35	18	3.5	225	321	579	1112	0.048 *2

*1：高性能AE減水剤 *2：AE剤

3. 実験結果

電気抵抗測定値から、液抵抗率（ $c R_s \times A / t$ ，ここに、A：電極の接触面積，t：供試体の厚さ）と分極抵抗率（ $c R_p \times A / t$ ）を求めて検討した。その結果次のようなことが、明らかとなった。なお以下に示す図は、特記のない限り、電極Aを用いた結果である。

（1）飽水状態の場合（図-2.1~2.6）。

- ①抵抗率（液抵抗率と分極抵抗率）は、供試体厚さが小さいほど大きく、厚さが大きくなるにつれて一定値に収束する傾向を示した（図-2.1~2.6）。
- ②抵抗率は、W/Cの大きい方が小さくなった（図-2.1，2.2）。
- ③抵抗率に対する塩化物量の影響は、W/Cが小さいときに大きく、塩化物量が大きいほど抵抗率は小さくなった（図-2.1，2.2）。
- ④電極の接触面積は、小さい方が抵抗率が小さくなった（図-2.3，2.4）。
- ⑤コンクリートとモルタル（同コンクリートから採取したモルタル部分）を比較すると、モルタルの方が小さい抵抗率の値を示したが、供試体の厚さ，W/C，塩化物量ならびに電極の接触面積の影響は、コンクリートと同様であった（図-2.1~2.6）。
- ⑥分極抵抗率は、液抵抗率の1/100程度の値であった（図-2.1，2.2，2.5，2.6）。
- ⑦分極抵抗率に及ぼす供試体厚さの影響は液抵抗率の場合と同様であることが確認されたが、W/Cや塩化物量の影響は確認できなかった（図-2.5，2.6）。

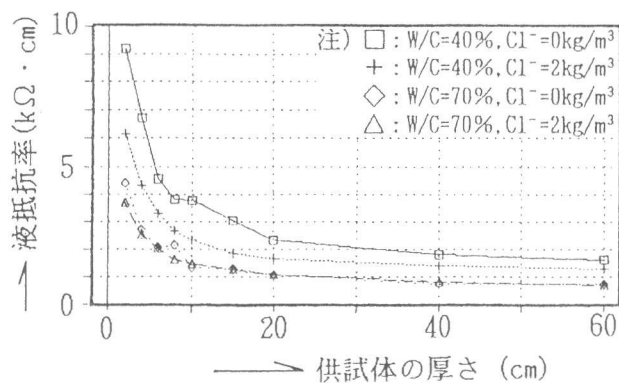


図-2.1 液抵抗率と供試体厚さの関係
(コンクリート)

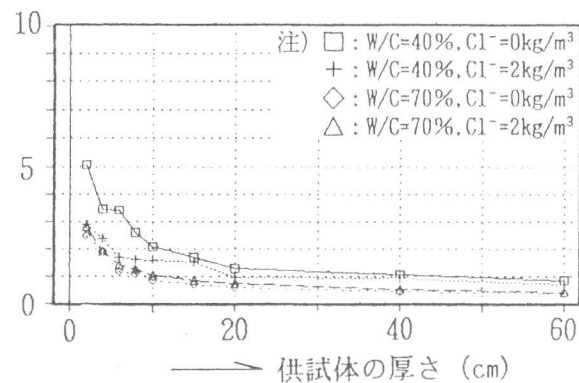


図-2.2 液抵抗率と供試体厚さの関係
(モルタル)

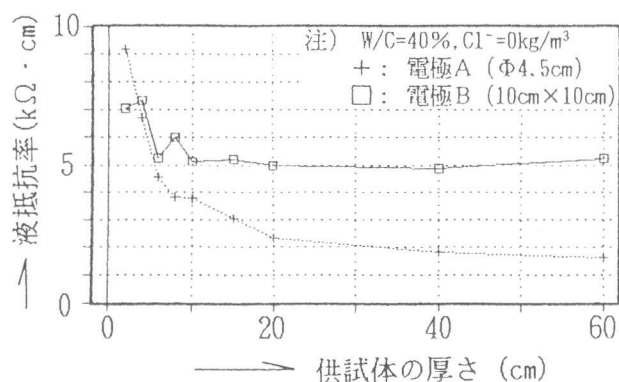


図-2.3 液抵抗率と供試体厚さの関係
に及ぼす電極の接触面積の影響
(コンクリート)

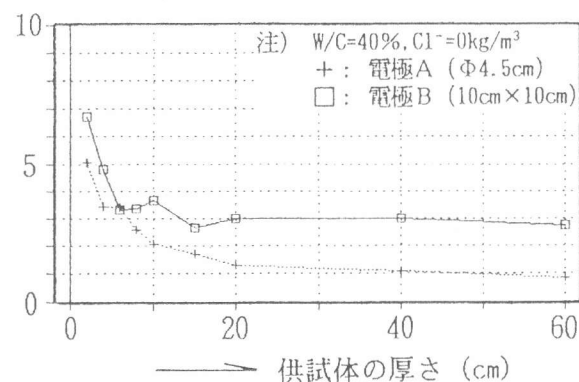


図-2.4 液抵抗率と供試体厚さの関係
に及ぼす電極の接触面積の影響
(モルタル)

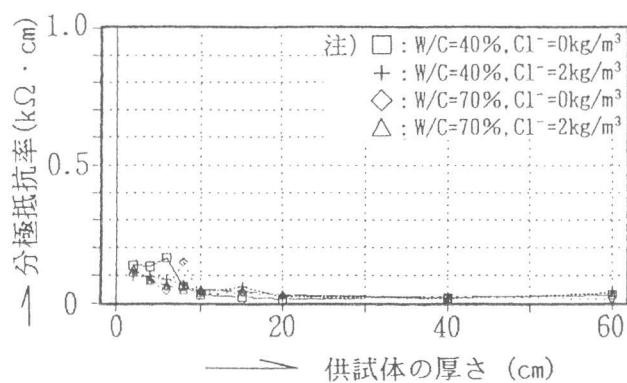


図-2.5 分極抵抗率と供試体厚さの関係
(コンクリート)

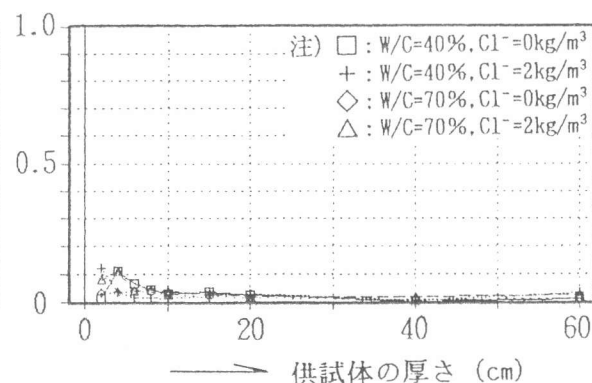


図-2.6 分極抵抗率と供試体厚さの関係
(モルタル)

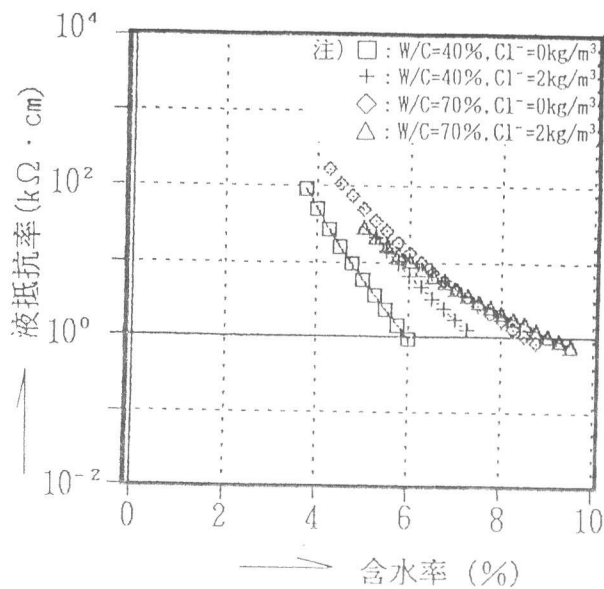


図-3.1 液抵抗率と含水率の関係
(コンクリート)

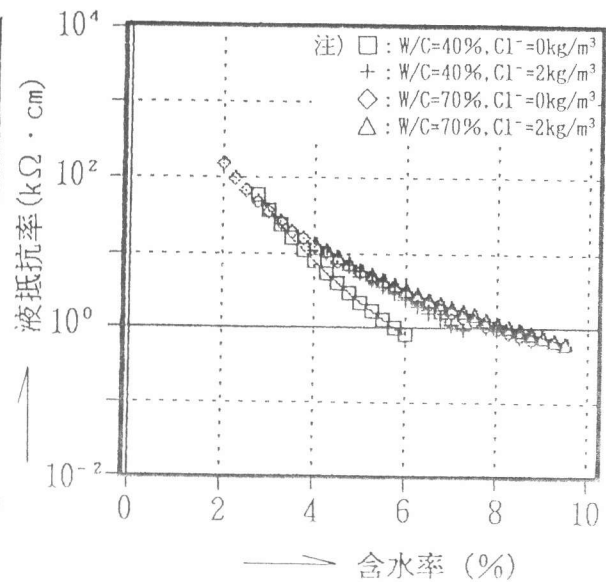


図-3.2 液抵抗率と含水率の関係
(モルタル)

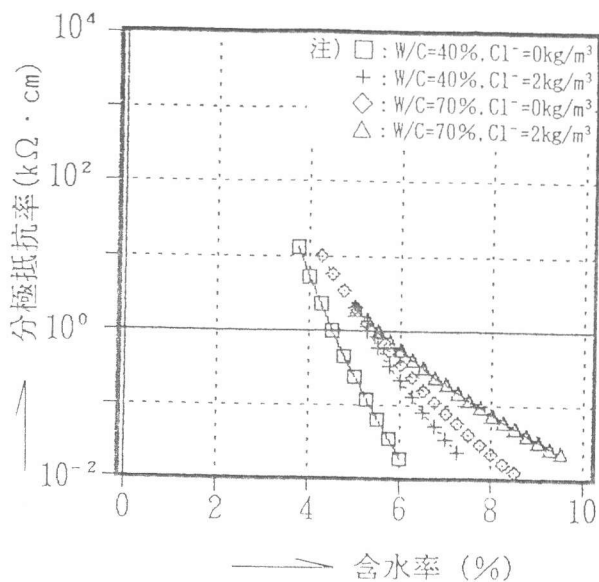


図-3.3 分極抵抗率と含水率の関係
(コンクリート)

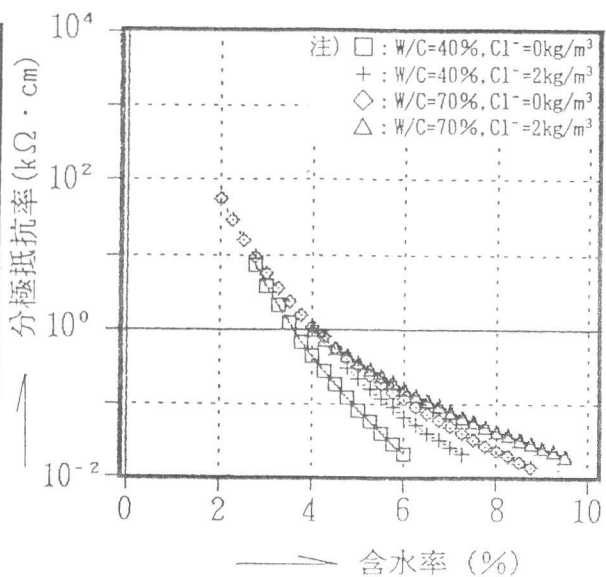


図-3.4 分極抵抗率と含水率の関係
(モルタル)

(2) 乾燥状態の場合

実験結果は、供試体の種類毎の含水率と抵抗率の関係を、指数式に回帰して検討した。その結果、次のようなことが明らかとなった。

- ①乾燥（含水率の減少）に伴い、抵抗率は顕著に増大した（図-3.1～3.4）。
- ② W/C が大きいほど、乾燥に伴う抵抗率の増大率は減少した（図-3.1～3.4）。
- ③塩化物量が大きいほど、乾燥に伴う抵抗率の増大率は減少した（図-3.1～3.4）。
- ④モルタルは、コンクリートよりも同一含水率に対する抵抗率が小さく、乾燥に伴う含水率の増大率も小さい（図-3.5, 3.6）。
- ⑤乾燥に伴う分極抵抗率の増大率は、 W/C が小さくなると、液抵抗率の増大率よりも若干大きくなる（図-3.7, 3.8）。
- ⑥同一含水率に対する抵抗率は、飽水状態に近い場合には W/C が大きい方や、塩化物量の大きい方が大きく、含水率が小さくなるにつれて、同程度になる傾向がある（図-3.1～3.4）。
- ⑦塩化物量が大きい場合には乾燥の進行が遅いため、最終材令での抵抗率は、水セメント比のいかにかわらず、塩化物量の大きい方が小さくなった（図-3.1～3.4）。

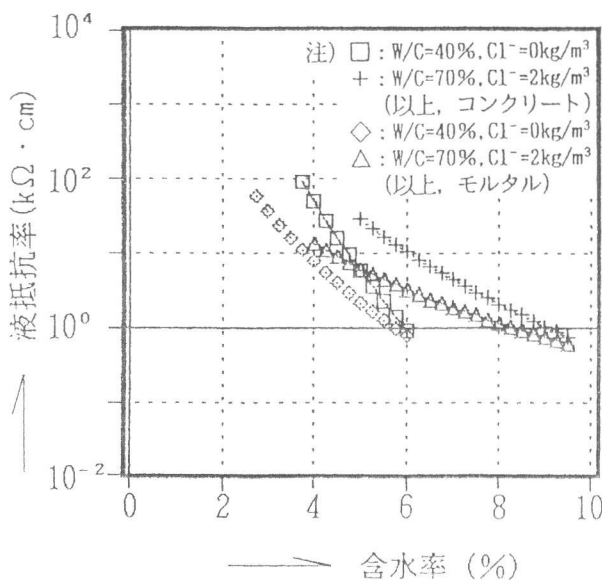


図-3.5 液抵抗率と含水率の関係における
コンクリートとモルタルの比較

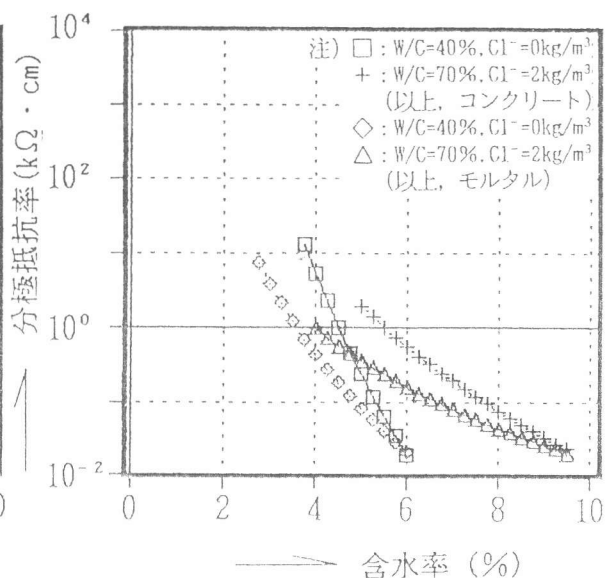


図-3.6 分極抵抗率と含水率の関係における
コンクリートとモルタルの比較

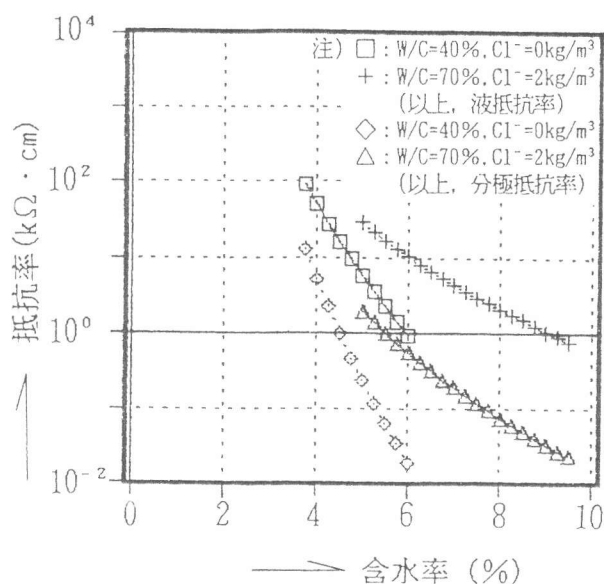


図-3.7 液抵抗率・分極抵抗率と含水率の関係（コンクリート）

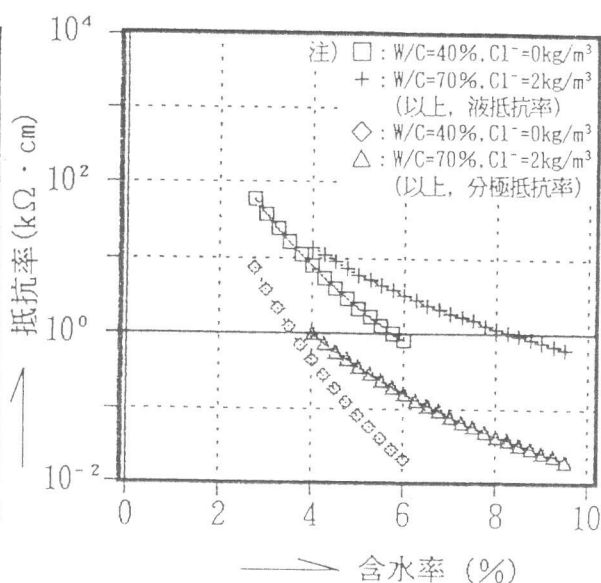


図-3.8 液抵抗率・分極抵抗率と含水率の関係（モルタル）

4. まとめ

今回の実験結果から、次のことがいえる

- ①コンクリートの液抵抗や分極抵抗に及ぼす、水セメント比、コンクリート中に含まれる塩化物量、コンクリートの厚さや電極の接触面積の影響が明らかとなった。これらの結果を、腐食モニタリングの測定値の解釈にあたって、考慮する必要がある。
- ②コンクリートが安定した含水状態、特に飽水状態にある場合には、コンクリートの電気抵抗が非常に小さく、自然電位による腐食状態の推定のみならず、分極抵抗による腐食速度の推定も可能である（参考文献[2]は、飽水状態で分極抵抗による腐食モニタリングが成功した例である）。
- ③コンクリートが不安定な含水状態にある場合には、例えば乾燥と湿潤が頻繁に繰り返される外壁コンクリートなどでの腐食モニタリングに際しては、コンクリートの電気抵抗などの電気化学的特性値の影響が大きいため、それらの影響を十分に考慮する必要がある。
- ④水セメント比や塩化物量が大きいコンクリートや粗骨材の少ないコンクリートでは、コンクリートの電気抵抗が小さくなり、腐食の電気化学反応においてコンクリート中の鉄筋が腐食しやすい環境であることが判る。

参考文献

- 1) 田村 博・永山 勝：コンクリート表面における腐食モニタリング用電気化学的特性値の一解釈，日本建築学会構造系論文報告集，No.410，pp.1-8，1990.4
- 2) 鈴木計夫・大野義昭・Praparntanatorn Somnuke・田村 博：Macrocell Corrosion Mechanism of Steel in Concrete (Differential Salt Concentration Cells)，日本建築学会構造系論文報告集，No.407，pp.1-12，1990.1