

# 報告 各種セメント系断面修復材の電気抵抗率に関する検討

内藤 英晴<sup>\*1</sup>・守屋 進<sup>\*2</sup>・川俣 孝治<sup>\*3</sup>・皆川 浩<sup>\*4</sup>

要旨：コンクリート構造物の電気防食の防食効果や防食効果の均一性に影響を及ぼす因子の一つに、補修工事の一環で電気防食を適用する際に実施される断面修復や、以前に実施した断面修復で使用された補修材料の電気抵抗率の影響が指摘されている。そこで、本報告は現在市販されている多様な断面修復材料の電気抵抗率の測定を行い、各種断面修復材料の電気抵抗率を共通の水準で把握し、断面修復材の電気抵抗率に及ぼす影響因子について検討を行った。その結果、断面修復材の電気抵抗率は、材料自体による差が大きいことや、含水状態に影響されることなどが明らかとなった。

キーワード：セメント系断面修復材，電気抵抗率，四電極法，電気防食

## 1. はじめに

塩害により劣化したコンクリート構造物の補修工事において、電気防食工法は厳しい塩害環境下でも有効な対策工法として着目されている。しかし、確実な防食効果を得るためには、防食電流を均一に流すことが必要である。コンクリート構造物の電気防食の防食効果や防食効果の均一性に影響を及ぼす因子の一つとして、補修工事の中において実施された断面修復に使用される補修材料の電気抵抗率の影響が指摘されている<sup>1)</sup>。

セメント系材料の電気抵抗率は、材料自体の水分含有量や材料に配合される有機系材料（例えば、ポリマーエマルジョン等）に影響されると考えられるが<sup>1)</sup>、その電気抵抗率自体の測定方法が確立されていない。そのため、電気防食施工範囲に適用されている断面修復材料が電気防食の防食効果や効果の均一性に及ぼす影響を的確に把握することができない現状にある。

著者らは、このような問題を解決するための第一歩として、セメント系材料の電気抵抗率を簡便かつ適確に測定するための試験方法を提案した<sup>2)・4)</sup>。

また現在、セメント系断面修復材料には、断面修復の方法や材料自体の耐久性などを考慮して、種々の材料を配合したプレミックス材料が多数市販されてが、これらの材料の電気抵抗率は、かなり異なると考えられる。

例えば、施工法（左官・吹付け・注入など）の違いは使用する水量が異なり、また、高濃度のポリマーエマルジョンは、材料自体の電気抵抗率が大きくなる<sup>1)</sup>。

本報告は、このような観点から、先に提案した電気抵抗率測定方法を用い、現在市販されている多様な断面修復材料の電気抵抗率の測定を行い、各種断面修復材料の電気抵抗率を共通の水準で比較し、これらの断面修復材の電気抵抗率の状況を把握することを目的としている。

## 2. 実験概要

### 2.1 検討対象としたセメント系断面修復材

実験に使用したセメント系断面修復材の種類は、下の表-1に示すA～Vの22種類であり、いずれも現在市販

表-1 検討対象のセメント系断面修復材

材料記号	ポリマーの有無	ポリマーの種類	施工方法(用途)
A	有		左官・吹付け用
B	無		左官・吹付け用
C	有		左官・吹付け用
D	無		左官・吹付け用
E	有	記載なし	注入用
F	無		注入用
G	有	記載なし	左官・吹付け用
H	有		左官・吹付け用
I	有	記載なし	左官・吹付け用
J	有		左官・吹付け用
K	有		左官・吹付け用
L	無		注入用
M	有		注入用
N	無		左官・吹付け用
O	無		注入用
P	有		左官・吹付け用
Q	無		左官・吹付け用
R	有	記載なし	左官・吹付け用
S	有		左官・吹付け用
T	無		注入用
U	有	記載なし	注入用
V	有		左官・吹付け用

\*1 五洋建設(株) 技術研究所部長 工博 (正会員)

\*2 独立行政法人土木研究所 材料地盤研究グループ 工博

\*3 住友大阪セメント(株) 建材事業部課長 工博 (正会員)

\*4 東北大学大学院工学研究科助教 工博 (正会員)

されているプレミックス材料である。表-1では、各メーカーの技術資料等に基づき、ポリマーの有無、ポリマーの種類及び用途で各材料を分類している。ポリマーの種類は、SBR（スチレンブタジエン系ラテックス）、PAE（ポリアクリル酸エステル系ポリマー）、VAV（酢酸ビニルビニルパーサテート）である（順不同）。

なお、本試験の目的は現在市販されているこれらのプレミックス材料の電気抵抗率の把握であるため、ポリマーの種類を含め、材料自体の詳細な特性の記述は、材料の特定につながることから、これを割愛している。

### 2.2 供試体の作製及び実験因子

供試体の作製は、これらの断面修復材を製造するメーカーが推奨する水量、練混ぜ方法、供試体作製方法を適用し、40×40×160mmの供試体を作製した。電気抵抗率の測定は、材齢28日、91日、182日及び440日で実施し、作製した供試体を養生室（温度20℃、湿度60%RH）において水中養生および封かん養生を行った。

また、電気抵抗率の測定が終了した供試体は、供試体中の含水率の測定を実施した。

### 2.3 電気抵抗率の測定方法

断面修復材の電気抵抗率の測定方法としては、四電極法とした<sup>4)</sup>。この四電極法による測定概念図を図-1に示す。電気抵抗率の測定装置は、定電圧交流電源装置、電流計、通電電極、測定端子および電位差計によって構成される。また、供試体はモルタルの場合には40×40×

160mm、コンクリートの場合には100×100×400mmの角柱供試体を標準とするものである。具体的な測定に関する設定は表-2のようにした<sup>4)</sup>。

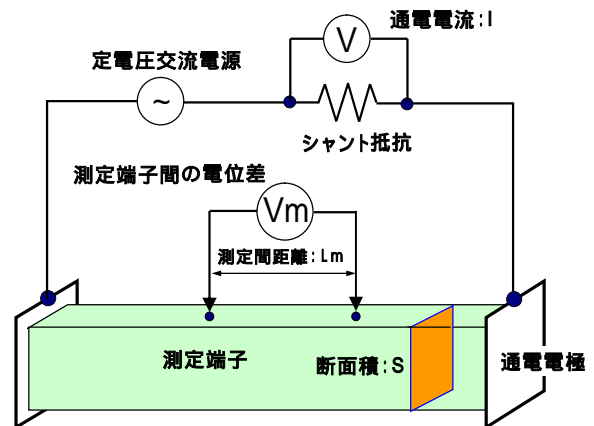


図-1 四電極法による測定概念図

表-2 四電極法による測定条件の設定

設定項目	設定
通電極の材料	ステンレス板 (t=2mm)
測定端子の間隔	4 cm
通電電極の媒体	カルボキシメチルセルロース
周波数	73.3Hz
印加電圧	10V

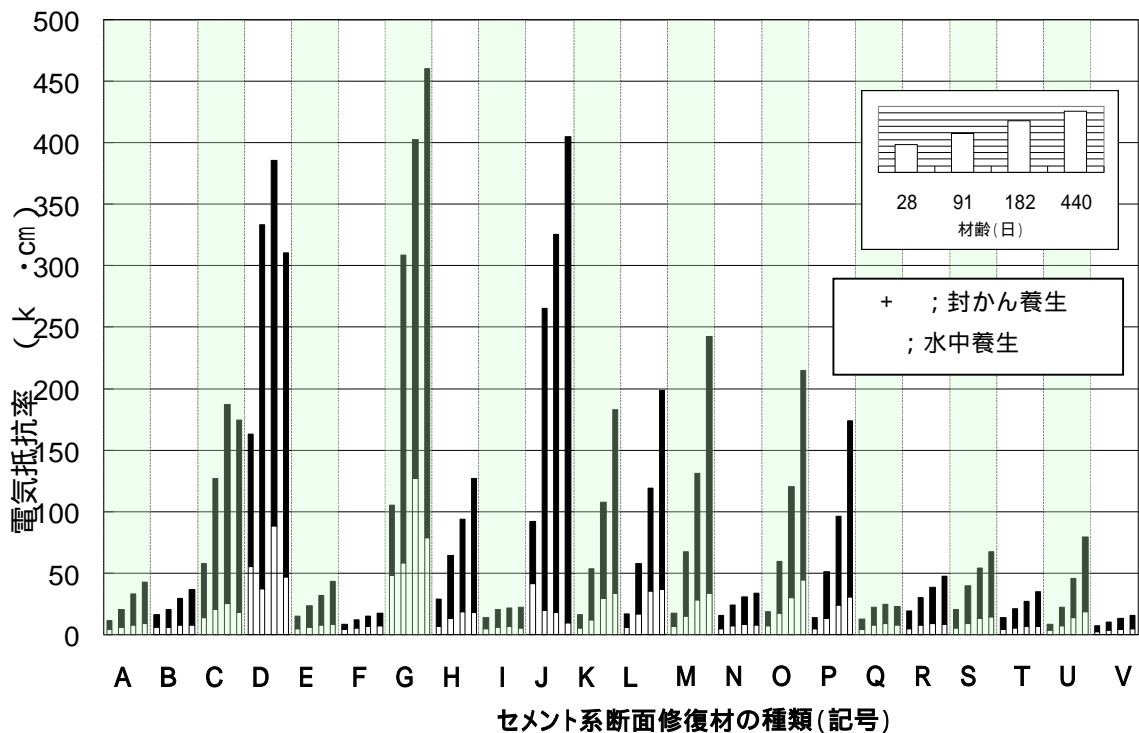


図-2 各種セメント系断面修復材の電気抵抗率測定結果

### 3. 各種断面修復材の電気抵抗率

#### 3.1 各種断面修復材の電気抵抗率

図 - 2 は、本実験において検討対象とした 22 種類の断面修復材の電気抵抗率の測定結果であり、材料ごとに材齢及び養生方法の違いによる差を示している。なお、図中の白抜き棒グラフの値は水中養生を行った場合の測定値であり、白抜きと黒抜きを合わせた値は封かん養生を行った場合の測定値を示す。

この図に基づくと、全ての材料及び材齢において封かん養生の電気抵抗率の方が水中養生より大きいこと、一部の修復材を除き、概ね材齢の経過とともに電気抵抗率は増加することが把握できる。なお、着目すべき最大の特徴は、断面修復材の種類によって電気抵抗率の測定値に大きな違いが認められることである。これは、塩害により劣化したコンクリート構造物に電気防食工法を適用する際に、事前に付随して実施される断面修復工に適用される補修材料の選定においては、断面修復材の電気抵抗率も十分に考慮した選定を行わなければならないことを示唆している。

また、図 - 3 は、電気抵抗率の測定が終了した封かん養生の供試体の含水率を測定した結果と電気抵抗率との関係を示したもので、図 - 4 は、図 - 3 のうちから材齢 440 日のデータのみを抽出して示したものである。

これらの図から、電気抵抗率は、試料の乾燥状態との相関がある程度認められるが、そのバラツキは、かなり広範囲にわたる分布になっていることがわかる。

#### 3.2 断面修復材の電気抵抗率とポリマーとの関係

図 - 5 は、本実験において電気抵抗率を測定した各種セメント系断面修復材を、ポリマー添加の有無で分類し、測定値の平均を養生条件ごとに示したものである。

この図から、水中養生では、ポリマー添加の有無による電気抵抗率の違いは認められない。しかし、封かん養生では、ポリマー添加有の方の電気抵抗率が大きく、水

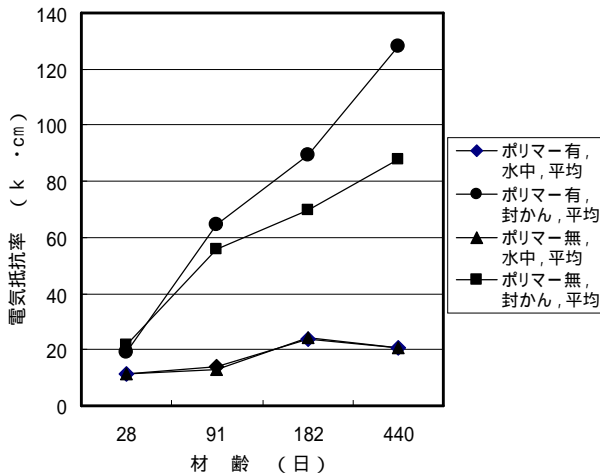


図 - 5 ポリマーの有無と電気抵抗率 (平均値)

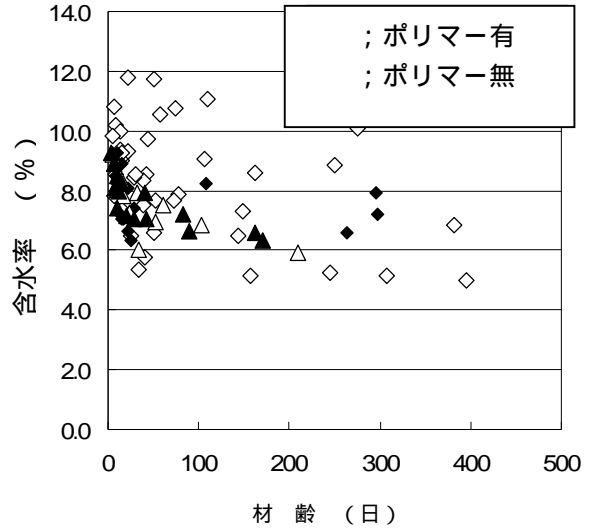


図 - 3 含水率と電気抵抗率との関係 (全材齢)

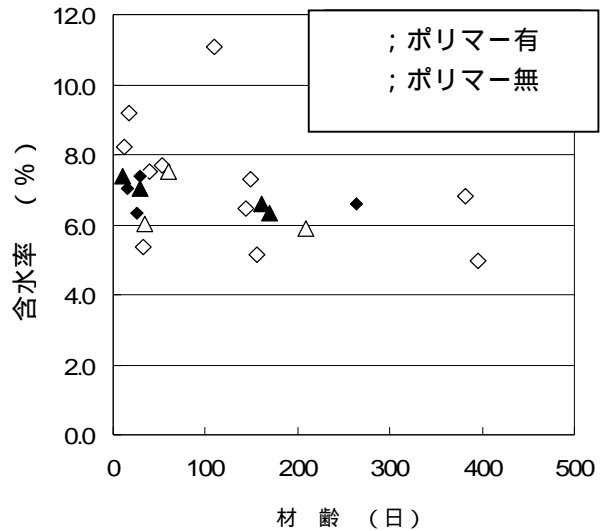


図 - 4 含水率と電気抵抗率との関係 (材齢 440 日)

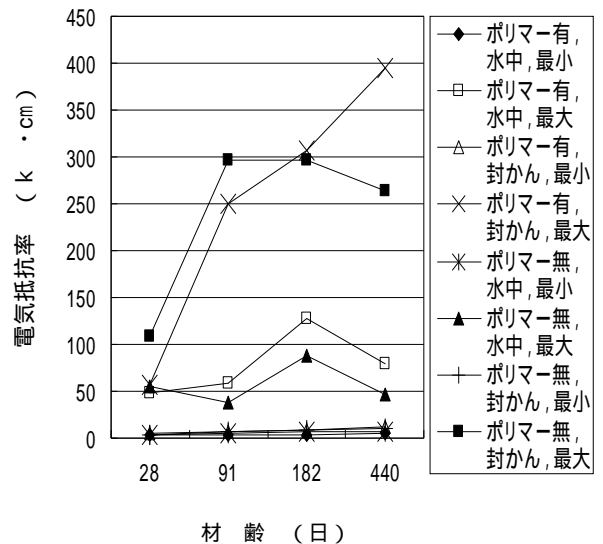


図 - 6 ポリマーの有無と電気抵抗率 (最大・最小)

分の逸散はポリマーの造膜を促進するため、ポリマーを添加した材料の乾燥は、電気抵抗率の増加に大きく関与することがうかがえる。

なお、電気抵抗率の測定結果には、同一条件であっても材料による違いが大きい傾向があったため、図-6には、電気抵抗率の測定値の最大値と最小値をポリマー添加の有無および養生条件で分類して示している。

この図によると、測定値の最小値は、ポリマー添加の有無及び養生方法の違いによる差がほとんど認められない。一方、最大値は、水中養生では、ポリマー添加有の電気抵抗率の方が大きくなる傾向がうかがえるが、封かん養生では、ポリマー添加の有無による影響に顕著な違いを認めることができない。このことは、各々の断面修復材の配合組成から得られる電気抵抗率の特性の方がポリマー添加の有無の影響より、卓越していると判断できる。

図-7は、ポリマーを使用している断面修復材のうち、使用しているポリマーの種類に着目し、ポリマーの種類ごとの電気抵抗率の平均値を示したものである。

この図に基づく、今回の実験対象の断面修復材に使用されている3種類のポリマーでは、ポリマー添加の有無の場合と同様に、水中養生の場合には、ポリマーの種類が断面修復材の電気抵抗率に及ぼす影響をほとんど把握することができない。一方、封かん養生では、ポリマーの種類で、  
（注：図中の記号は不明）の順に電気抵抗率が大きくなっていることがわかる。

また、図-8は、ポリマーの種類の影響における封かん養生の場合の電気抵抗率の最大値と最小値を示した図である。

この図からは、図-7の平均値で最も大きい電気抵抗率を示したポリマーと、平均値の小さなポリマーでは、最大値と最小値に大きな差があるが、ポリマーは最大値と最小値にほとんど差がない性状を示した。

また、ポリマーの封かん養生の電気抵抗率の最小値は、水中養生の場合と同程度の非常に小さい結果であった。

このような傾向を考慮すると、ポリマーの種類が断面修復材の電気抵抗率に及ぼす影響としては、図-7の平均値で最大の電気抵抗率を示したポリマーは、他のポリマーの種類より電気抵抗率を増加させる傾向がうかがえるが、他のポリマーについては、ポリマーの影響よりもプレミックス材としての他の使用材料や配合など、断面修復材全体としての電気抵抗特性の方が優先するものと考えられる。

### 3.3 断面修復材の施工方法と電気抵抗率との関係

図-9は、断面修復材の施工方法（用途）を左官又は吹付けで施工する材料と注入で施工する材料とに分類し、

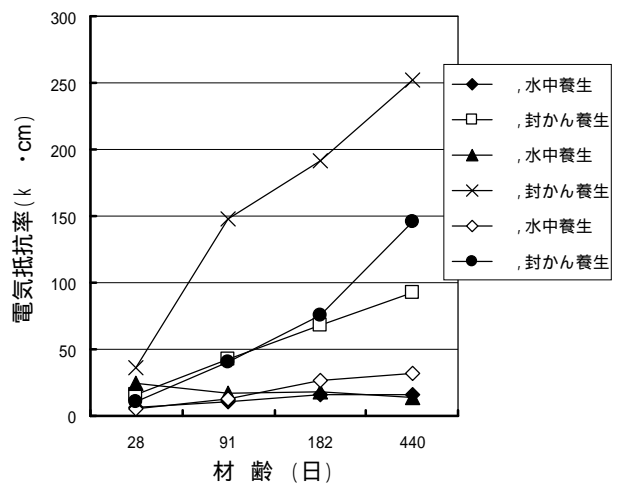


図-7 ポリマーの種類と電気抵抗率（平均値）

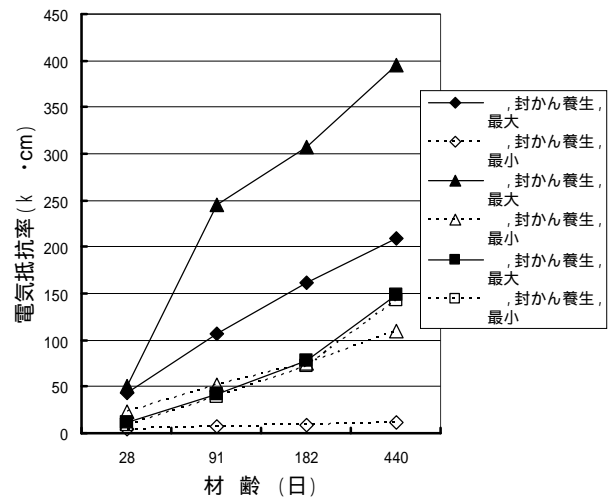


図-8 ポリマーの種類と電気抵抗率（最大・最小）

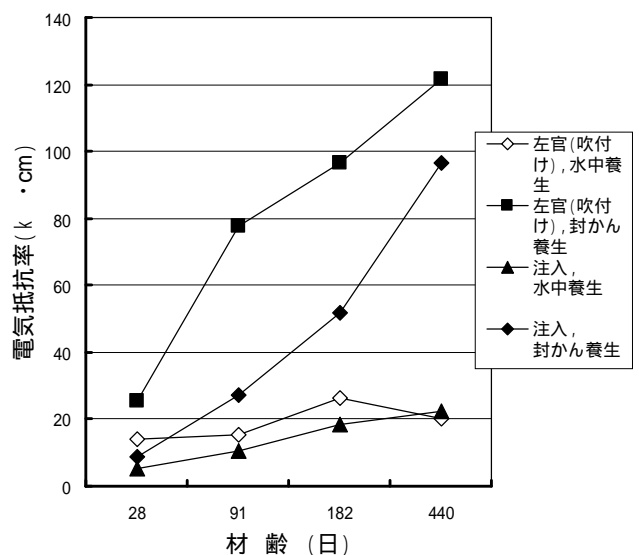


図-9 材料の施工方法と電気抵抗率（平均値）

この施工方法（用途）と電気抵抗率の測定値の平均との関係を示したものである。

この図から、断面修復材の施工方法（用途）が電気抵抗率に及ぼす影響としては、全体的な傾向として、左官や吹付けに適用する断面修復材の電気抵抗率の方が大きく、特に封かん養生の場合に、その差が顕著で、左官や吹付けに用いる断面修復材の電気抵抗率の方が大きくなっている。また、封かん養生での電気抵抗率の経時変化は、注入用の断面修復材の方が、左官や吹付け用の断面修復材より大きい傾向にあることがわかる。

これは、注入用の断面修復材は、流動性を考慮したプレミックス材となっていることやそのために使用する単位水量が大きいためと考えられる。

図 - 10 は、断面修復材の施工方法（用途）の違いを電気抵抗率の最大と最小で示したものである。

この図からは、先に述べたポリマーの有無の場合と同様に、測定された電気抵抗率の最小値での断面修復材の施工方法（用途）による電気抵抗率の違いは、ほとんど認められないが、封かん養生時の最大値では、施工方法（用途）による差が大きく、平均値とは逆に、注入材の方が小さくなっている。

これは、3.2の図 - 6のポリマー添加の有無による影響の場合と同様に、プレミックス材料として配合された材料並びにこの材料の練混ぜに用いられる単位水量も含めたこの断面修復材自体の電気抵抗特性は、一般的に言われている単位水量が大きく、ポリマー無添加の場合の電気抵抗率が小さくなる傾向と大きく異なっていることが推察できる。このことは、通常、電気抵抗率に影響を及ぼすと考えられるポリマーの有無や材料の施工方法などでの電気抵抗率の推定や判断をプレミックス材料に適用するには、問題があると考えることができる。

### 3.4 ポリマーの有無および断面修復材の施工方法と電気抵抗率との関係

図 - 11 は、ポリマー添加の有無と断面修復材の施工方法（用途）とを分類し、その電気抵抗率の測定値の平均を示したものである。

この結果では、水中養生においては、ポリマー添加の有無および材料の施工方法（用途）の違いによる電気抵抗率の差は小さく、これを明確に論ずることはできないが、ポリマー添加の有無に関わらず、材齢1年程度までは、注入用の方の電気抵抗率が小さい傾向にある。また、封かん養生の場合では、注入用の断面修復材の電気抵抗率が小さくなる傾向がうかがえ、また、ポリマー無添加の方の電気抵抗率が小さくなる傾向がうかがえる。

### 3.5 養生条件の違いが電気抵抗率に及ぼす影響

図 - 12 は、同一材齢での水中養生と封かん養生による電気抵抗率の測定結果の相関関係を示したものである。

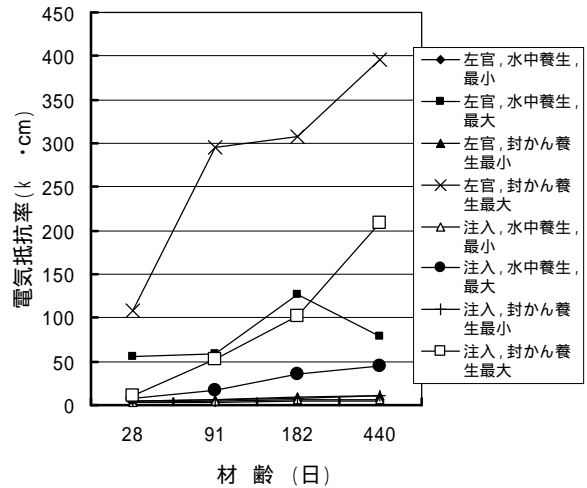


図 - 10 材料の施工方法と電気抵抗率（最大・最小）

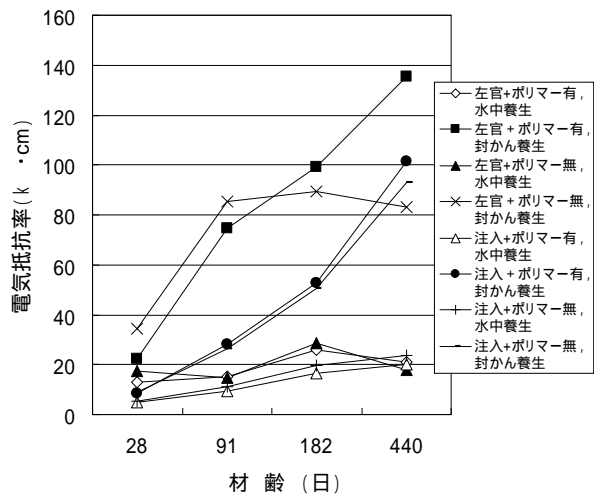


図 - 11 ポリマー添加の有無および材料の施工方法（用途）と電気抵抗率との関係

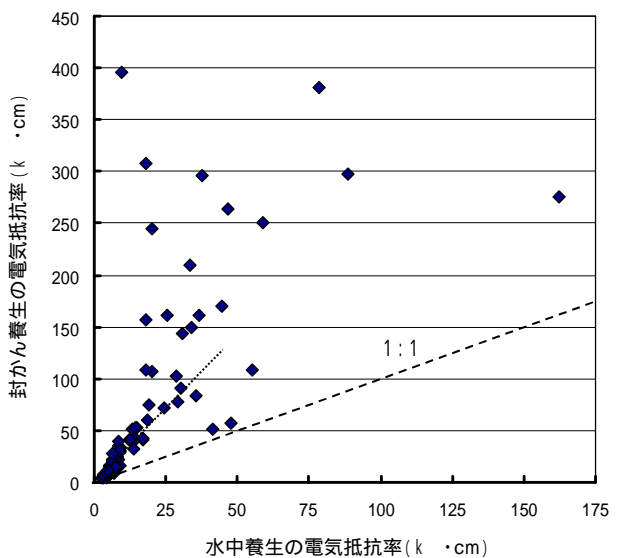


図 - 12 養生方法と電気抵抗率との関係

この図から、電気抵抗率の測定値が比較的小さい（水中養生で  $30 \text{ k} \cdot \text{cm}$  程度）領域での、本実験で検討した断面修復材の電気抵抗率は、双方の間にかかなりの相関関係が確認できるが、電気抵抗率の測定値が大きい領域でのバラツキは非常に大きいことがわかる。

このことは、電気抵抗率が大きい領域での電気抵抗率の測定は、材料自体の電気抵抗率や乾燥程度の影響を大きく受ける可能性があるため、電気抵抗率が比較的小さい領域での電気抵抗率の測定に比べ、その測定に際しての注意が必要であることも示唆していると判断できる。

#### 4. まとめ

コンクリート構造物への電気防食工法を適用する際の防食効果の均一性に着目し、新たに提案したセメント系材料の電気抵抗率の測定方法を用い、現在市販されているセメント系断面修復材の電気抵抗率を測定した。その結果、全体的な傾向として、以下のようなことが明らかとなった。

- (1) 現在市販されているセメント系断面修復材の電気抵抗率は、材料自体による差が非常に大きい。
- (2) セメント系断面修復材の電気抵抗率は、材料自体の乾燥により増加する傾向にある。
- (3) 水中養生での電気抵抗率には、断面修復材へのポリマーの適用や材料の用途による影響がほとんど認められない。
- (4) 封かん養生での電気抵抗率には、断面修復材にポリマーを適用した場合や左官や吹付け用に適用される断面修復材の電気抵抗率が大きくなる傾向にある。
- (5) 市販されているセメント系断面修復材料の中には、ポリマー添加無で、通常、単位水量が小さい左官や吹付け用の材料でも非常に大きい電気抵抗率を有する

材料（例えば、本実験の D など）があり、また、逆にポリマー添加物の注入材で比較的小さい電気抵抗率を有する材料（例えば、本実験の E など）もある。このことは、電気抵抗率は、材料個々に測定を実施し、これを把握しなければならないことを示唆している。

なお、電気防食工事における具体的な断面修復材の選定に当たっては、電気防食の対象となる構造物のコンクリート自体も環境の影響を受け、乾燥程度によって電気抵抗率が変化することも考慮しなければならない。

#### 謝辞

本研究は、独立行政法人 土木研究所と日本エルガード協会が共同で実施したものであるが、本研究を実施するに当たっては多くの材料メーカーから材料の提供をいただくほか、多大なご協力を受けました。ここに、謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：電気化学的防食工法設計施工指針（案）、コンクリートライブラリー107, 2001.11
- 2) 川俣孝治, 守屋進, 内藤英晴, 皆川浩：セメント系材料の電気抵抗率測定方法に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, 2004
- 3) 皆川浩, 守屋進, 内藤英晴, 川俣孝治：セメント系断面修復材の電気抵抗率測定法の試験条件に関する基礎的検討, 土木学会第 59 回年次講演会, 2006.9
- 4) 守屋進, 川俣孝治, 内藤英晴, 皆川浩：セメント系断面修復材の電気抵抗率測定方法に関する検討, 土木技術資料, Vol.49, No.7, pp.64-69, 2007.7