

防錆剤混入ポリマーセメントモルタルによる 塩害劣化コンクリート中の鉄筋の防食効果†

青山 實伸* 鳥居 和之**

Effectiveness of Polymer-Modified Cement Mortar with Corrosion Inhibitor in Preventing Chloride-Induced Steel Corrosion in Concrete

by

Minobu AOYAMA* and Kazuyuki TORII**

In Japan, the polymer-modified cement mortar (PCM) with the corrosion inhibitor has often been used as repair materials for deteriorated reinforced concrete structures due to the chloride-induced steel corrosion. In this study, the reinforced concrete specimens with two levels of chloride content were prepared and exposed to wet and dry cycles in the chamber for a long period to clarify the macro-cell corrosion of steel bar in the concrete. The effectiveness of the type and dosage of corrosion inhibitor, LiNO_2 or $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$, in PCM and the degree of chipping around steel bars in repair work in preventing the steel corrosion in concrete were comparatively investigated by means of electro-chemical measurements such as linear polarization resistance and AC impedance methods.

From the experimental results, it was found that PCM with both corrosion inhibitors of LiNO_2 and $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ had almost the same effect in preventing the steel corrosion when their NO_2^- molecular ratio to Cl^- was constant, and that the chipping and patching work beyond steel bars was more effective in restoring the passive state of steel bars. Furthermore, both the linear polarization resistance and the AC impedance methods were very useful as a non-destructive inspection method for estimating the corrosion behavior of steel bars in repaired and unrepaired concrete with PCM.

Key words : Repair material, Polymer-modified cement mortar, Corrosion inhibitor, Macro-cell corrosion, Linear polarization resistance, AC impedance

1 はじめに

塩害による損傷を受けたコンクリート構造物では、断面修復と表面塗装との組み合わせによる補修工法が採用されている。断面修復工法では、補修箇所近傍のマクロセル腐食による再損傷の防止や部材と補修材料との一体性の確保より、鉄筋裏側までハツリだしポリマーセメントモルタル系断面修復材を用いて補修することが推奨されている。一般に、断面修復材には鉄筋の再不動態化やその後の鉄筋腐食の抑制を目的として、亜硝酸系の防錆剤を混入することが多い。わが国では亜硝酸系防錆剤として亜硝酸リチウム (LiNO_2) や亜硝酸ナトリウム (NaNO_2) が使用されているが、欧米の諸国では亜硝酸カルシウム ($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$) も多く使用されている^{1), 2)}。亜硝酸塩による鉄筋の防錆効果はコンクリートに含有される亜硝酸イオンと塩化物イオンとのモル比 ($\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$) により決まり、その値は 0.6 ~ 1 程度とされている¹⁾。また、亜硝酸塩系防錆剤の適用においては、亜硝酸の酸化剤としての作用による不動態の形成効果だけでなく、モルタルの付着強度やワーカビリティへの影響、中性化やアルカリ骨材反応への影響、周囲の環境に及ぼす影響なども考慮して、防錆

剤の種類およびその混入量を決定することが必要である。従来、防錆剤混入のポリマーセメントモルタルにおける防錆効果は、促進養生試験または屋外暴露試験における鉄筋の腐食減量の調査結果から判断されてきた^{3) ~ 5)}。しかし、厳しい塩分環境下の鉄筋コンクリート部材を対象として、防錆剤による鉄筋の再不動態化とその後の鉄筋腐食の抑制効果との関係を分極抵抗法および AC インピーダンス法により長期にわたり詳細に検討したものは少ないようである。

本研究は、塩害による損傷を受けたコンクリート構造物での補修や予防保全を想定して、防錆剤混入ポリマーセメントモルタルを、①断面修復材、または②コンクリート表面への貼付け材、として用いた場合の防錆効果およびマクロセル腐食に及ぼす影響を明らかにすることを目的としている。このため、本研究では、実環境を模擬した乾燥・湿潤の繰り返し環境下にて、各種断面修復材により補修した鉄筋コンクリート部材の自然電位、分極抵抗値および AC インピーダンス特性値を長期にわたって計測することにより、電気化学的計測の結果と試験終了後の鉄筋の腐食状況との対応を検討した。

† 原稿受理 平成 14 年 11 月 27 日 Received Nov. 27, 2002

* (株)クエストエンジニア土木調査設計部 〒920-0025 金沢市駅西本町, Civil Eng. Res. and Planning Dept. Quest Engineer Co., Ltd., Ekinishihonmachi Kanazawa, 920-0025

** 正会員 金沢大学工学部土木建設工学科 〒920-8867 金沢市小立野, Dept. Civil Eng., Kanazawa Univ., Kodatsuno, Kanazawa, 920-8867

2 実験概要

2.1 使用材料および配合

コンクリートの配合を Table I に示す。セメントは普通ポルトランドセメント (S社) を使用し、目標スランプおよび空気量をそれぞれ 10cm および 4.5% とした。コンクリートの練り混ぜ水には塩化ナトリウムを混入し、マクロセル腐食を発生させるために、コンクリートの塩化物イオン量を 2.5kg/m^3 (低塩化物イオンレベル) および 7kg/m^3 (高塩化物イオンレベル) とした。断面修復用ポリマーセメントモルタルの配合を Table II に示す。断面修復用ポリマーセメントモルタル (PCM) は、湿式吹付け用のプレミックス材料を使用した。セメント混用ポリマーはスチレン・ブタジエン・ゴム系 (SBR) であり、ポリマーセメント比は 5% である。防錆剤としては亜硝酸リチウムと亜硝酸カルシウム (試薬品 1 級品) の 2 種類を使用し、北陸地方の橋梁の塩害補修での実績⁶⁾ を参考にして、亜硝酸イオン (NO_2^-) のモル比が 0.8 および 2.0 となるように防錆剤の添加量を決定した。

2.2 鉄筋腐食測定用試験体の形状と試験体の種類

鉄筋腐食測定用試験体の形状を Fig. 1 に示す。試験体は断面寸法が $200 \times 400 \times 80\text{mm}$ であり、鉄筋腐食計測用鉄筋 (D13mm, SD295A) および対極材用のステンレス丸鋼 ($\phi 10\text{mm}$, SUS304) をかぶり厚 15mm で埋設

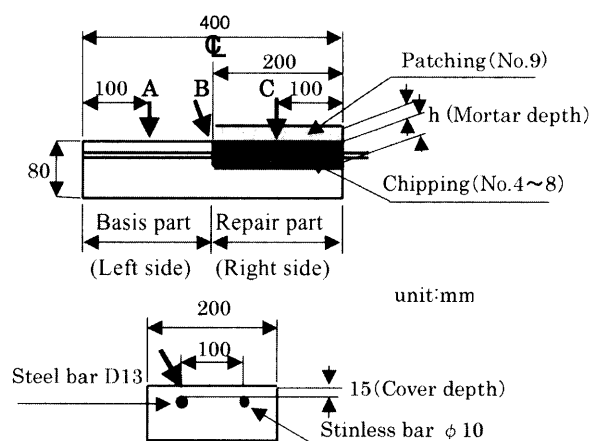


Fig. 1. Dimensions of reinforced concrete specimen for steel corrosion test.

した。Fig. 1 における矢印位置 (A, B, C) は鉄筋腐食の電気化学的な計測位置を示す。試験体の左側 (低塩化物イオン量) と右側 (高塩化物イオン量) の塩化物イオン量はそれぞれ 2.5 および 7kg/m^3 であり、右側の断面修復部における断面修復の深さを 15mm (鉄筋の表面まで) および 35mm (鉄筋の裏側まで) の 2 種類とし、防錆剤の種類および混入量を種々に変化した PCM で断面修復部を充填した。試験体の種類を Table III に示す。

Table I. Mix proportions and properties of concrete.

f'_{ck} (N/mm^2)	G_{max} (mm)	W/C (%)	Unit weight (kg/m^3)					Test results		
			W	C	S	G	Ad*	Slump (cm)	Air content (%)	f'_{28} (N/mm^2)
21	10	63	170	210	874	929	0.54	5	5.7	29.2

*High-range water reducing AE admixture

Table II. Mix proportions of PCM and OPC mortar.

	Type of polymer	P/C (%)	W/C (%)	f'_{28} (N/mm^2)
PCM	SBR*latex	5	45.5	43.3
OPC mortar	—	—	45.5	41.5

*SBR: Styrene butadiene rubber

Table III. Types of reinforced concrete specimens used for steel corrosion test.

No.	Cl ⁻ content in concrete (kg/m^3)		Patching repair material	Patching depth (mm)	Amount of corrosion inhibitor in repair mortar *
	Basis part (left)	Repair part (right)			
1	2.5	0	—	—	—
2	2.5	7.0	—	—	—
3	2.5	7.0	—	—	[LN 8.5kg/m^3 (0.8) in concrete]
4	2.5	7.0	PCM	35	Without corrosion inhibitor
5	2.5	7.0	PCM	15	LN 21.0kg/m^3 (2.0)
6	2.5	7.0	PCM	15	CN 30.0kg/m^3 (2.0)
7	2.5	7.0	PCM	35	LN 8.5kg/m^3 (0.8)
8	2.5	7.0	PCM	35	CN 12.0kg/m^3 (0.8)
9	2.5	7.0	OPC Mortar	15** (Thickness)	LN 57.5kg/m^3 (5.4)

*LN: LiNO_2 , CN: $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, (): $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$ mole ratio

**OPC mortar with LN of 57.5kg/m^3 was coated on the surface of concrete.

No. 1, 2 試験体は、比較用基準試験体（塩化物イオン量によるマクロセル腐食の発生）である。No. 3 試験体は防錆剤を練り混ぜ時に混入、No. 4～8 試験体は PCM における防錆剤の種類および断面修復深さの相違、No. 9 試験体は貼り付けモルタルからの防錆材の浸透、に着目したものである。

試験体はコンクリート打設後 2 日目に断面修復およびモルタル貼り付け（No. 9 試験体）を実施し、散水湿布養生を 4 日間行った。脱枠後、周面および貼り付けモルタルの上面をエポキシ系塗料で塗装した。

2・3 試験方法

2・3・1 圧縮強度および電気抵抗性の測定 試験体は直径 50mm、高さ 100mm の円柱体であり、脱型後、所定期間中温度 20℃ の恒温室内にて水中養生を実施した。圧縮強度試験は JIS A1108 に従い材齢 28 日および 273 日（鉄筋腐食試験終了時）にて実施した。電気抵抗性の測定では、交流電気抵抗測定装置（LCR メータ、交流負荷電圧：10mV、交流周波数：1KHz）を使用し、カルボキシメチルセルロースナトリウムのゲルにより試験体の両端面に銅板電極（100 × 100mm）を接触させた。電気抵抗性の測定は 2 週間毎に実施した。

2・3・2 乾燥・湿潤繰り返し試験 乾燥・湿潤の繰り返し試験は、コンクリート試験体の塗装完了後に、コンピュータ制御式の環境試験装置を使用して実施した。乾燥・湿潤の繰り返しは 4 日間の乾燥（温度 40℃、相対湿度 50%）と 3 日間の湿潤（温度 40℃、相対湿度 95% 以上）の組み合わせを 1 サイクルとし、鉄筋腐食によるひび割れの発生が顕著となるまで約 10 箇月間実施した。

2・3・3 鉄筋腐食の電気化学的測定 交流インピーダンス測定装置を使用して、鉄筋の自然電位、分極抵抗および AC インピーダンス特性値を測定した。腐食電流値 (I_{corr}) は、Stern-Geary 式において定数 (B) を 26mV とし計算した^{7), 8)} 電気化学的測定は、参照電極として飽和カロメル電極を使用して、温度 20℃ の恒温室内にて試験体を十分に湿潤状態にした後に、Fig. 1 に示す 3 点 (A, B, C) で実施した。No. 9 試験体では、事前に貼り付けモルタルに電極挿入用の孔をあけ、コンクリート面上で測定した。電気化学的測定は 2 週間毎に実施した。

2・3・4 試験体割裂および鉄筋腐食量の測定 乾燥・湿潤の繰り返し試験終了後に、試験体を割裂した。割裂面にはフェノールフタレイン溶液を噴霧して、中性化深さを調べた。No. 9 試験体では、割裂面にトルエン-2, 4-ジイソシアナート 10% 希釈溶液を塗布して亜硝酸イオンのコンクリートへの浸透状況を調べた。0.1% 以上の亜硝酸イオンが存在する場合に黄褐色の呈色反応が生じるとされている。

割裂試験体より埋設鉄筋を取り出し、鉄筋の腐食面積および腐食度を測定した。鉄筋の腐食度は、土木学会コンクリート標準示方書（維持管理編）を参考に目視により判定した⁹⁾その後、鉄筋を中央で切断し、温度 50℃ のクエン酸二アンモニウム溶液（濃度 10%）に 12 時間浸漬し、鉄筋の腐食減量を測定した。

3 防錆剤混入ポリマーセメントモルタルの諸特性

3・1 フレッシュモルタルの流動性

亜硝酸リチウムを 55kg/m³ まで混入した PCM では、プレーンモルタルと比較して、練り混ぜ時のフローが 10mm 程度大きくなり、練り混ぜ時から 1 時間程度は吹付けに必要な流動性が得られた。亜硝酸カルシウムを混入した PCM では、経過時間とともにフローが大きく低下するが、遅延剤を用いて混入量 30kg/m³ までは吹付けに必要な流動性を確保することができた。モルタルの流動性に及ぼす影響を考慮すると、亜硝酸カルシウムよりも亜硝酸リチウムの方が利用しやすく、亜硝酸リチウムおよび亜硝酸カルシウムは、それぞれ 55kg/m³ および 30kg/m³ 程度まで混入可能であると判断した。

3・2 硬化モルタルの圧縮強度と電気抵抗性

鉄筋腐食試験に使用したコンクリートおよび PCM の圧縮強度と電気抵抗性の経時変化を測定した。試験体の種類を Table IV に、試験結果を Fig. 2 および Fig. 3 に各々示す。コンクリートでは、塩化物イオンの混入量が増加するにつれて圧縮強度が若干低下する。PCM では、防錆剤の混入量の増加とともに圧縮強度が減少するが、

Table IV. Types of concrete and PCM specimens tested for compressive strength and electrical resistivity.

Concrete		PCM	
A	Plain concrete	D	Plain mortar
B	Cl ⁻ 2.5 kg/m ³	E	LN 57.5 kg/m ³
C	Cl ⁻ 7.0 kg/m ³	F	CN 30kg/m ³

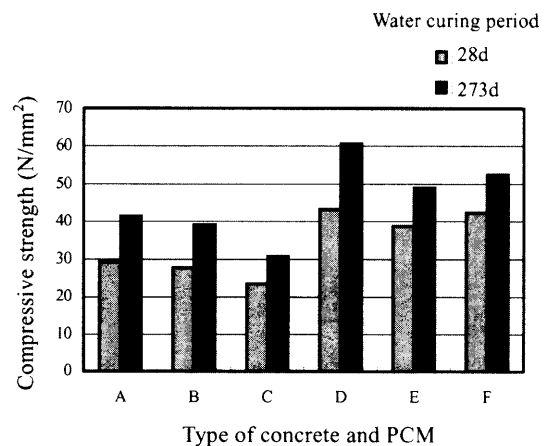


Fig. 2. Compressive strength of concrete and PCM.

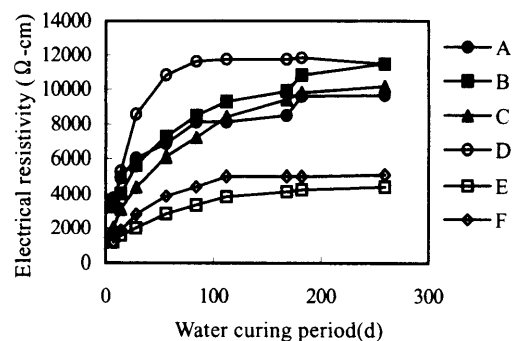


Fig. 3. Electrical resistivity of concrete and PCM.

亜硝酸カルシウムは亜硝酸リチウムよりも同一の亜硝酸モル比における圧縮強度の減少がより大きい。一方、コンクリートおよびPCMの電気抵抗値は、塩化物イオンや防錆剤の混入による影響を圧縮強度の場合よりも鋭敏に受けており、それらの混入量が増加するにつれて電気抵抗値が大きく低下する。また、PCMの電気抵抗値は初期材齢においては水中養生期間とともに増加する傾向にあるが、防錆剤の種類や混入量にかかわらず材齢91日以後はほぼ一定の値になる。防錆剤の種類に関しては、圧縮強度と同程度に亜硝酸カルシウムは亜硝酸リチウムよりも同一の亜硝酸モル比における電気抵抗値の低下が大きい。コンクリート母材と断面修復材との間の電気抵抗値の差が大きくなると、マクロセル腐食が発生しやすくなると言われており、ポリマーや防錆剤の種類やその添加量を工夫することによりPCMの電気抵抗値を母材コンクリートに近づけることも可能であると考えられる。

4 乾燥・湿潤繰返し試験における鉄筋腐食の電気化学的測定

4・1 自然電位および腐食速度

乾燥・湿潤の繰返しにともなう鉄筋埋め込み試験体の自然電位および腐食電流値の経時変化を Fig. 4 および Fig. 5 に示す。塩化物イオンの混入量を変化させた基準試験体に関して、塩化物イオン量の少ない No. 1 試験体は長期間にわたり鉄筋の不動態が保たれていたが、200日以後徐々に塩分が混入された側で腐食が始まった。No. 2 試験体は高濃度の塩化物イオンを混入したものであり、塩分濃度差により比較的早期から大きな腐食電流が発生し、A, B 点の腐食電流値は $10\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 程度まで増大した。No. 3 試験体は 0.8 モル相当の亜硝酸リチウムを練り混ぜ時に混入したものであるが、No. 2 試験体と比較すると鉄筋腐食は若干抑制されているが、同様に長期にわたり大きな腐食電流値を示しており、十分な鉄筋腐食の抑制効果が発揮されなかった。実際に、No. 2, 3

の両試験体では 90 日経過時に中央右側（高塩化物イオン量側）の上面に鉄筋に沿ったひび割れが発生し、ひび割れはその後の乾燥・湿潤の繰返しとともに拡大した。一方、防錆剤を混入した PCM により断面修復を実施した試験体（No. 5, 6, 7, 8 試験体）では、腐食電流値が $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 程度以下に抑制されており、鉄筋腐食によるひび割れの発生は認められなかった。鉄筋に対するはつり深さの影響に関して、鉄筋の裏側まで断面修復したもの（No. 7, 8 試験体）は、鉄筋の表面までしか断面修復しなかったもの（No. 5, 6 試験体）と比較して自然電位が貴側にあり、腐食電流値も小さい。No. 5, 6 試験体では測定点の間での腐食電流値に差が認められず、母材コンクリートと断面修復材との間のマクロセル腐食が発生しにくいものと考えられる。それに対して、No. 7, 8 試験体では A, B 点と比べて C 点の腐食電流値が大きく低下しており、測定期間がさらに長期になるとマクロセル腐食が発生する懸念がある。また、No. 5, 6 試験体および No. 7, 8 試験体がほぼ同様な腐食挙動を示すことから、亜硝酸イオンのモル比が同じ場合には亜硝酸リチウムと亜硝酸カルシウムの防錆効果はほぼ同程度であると判断される。さらに、防錆剤を混入した OPC モルタルを貼り付けた No. 9 試験体では No. 2 試験体に比べると腐食電流値が小さくなるが、本実験での測定期間内では鉄筋腐食の抑制効果は十分に発揮されておらず、150 日経過時にコンクリート表面に鉄筋に沿ったひび割れが発生した。

亜硝酸イオンのコンクリートへの浸透状況を調べた結果を Fig. 6 に示す。OPC モルタルを貼り付けた No. 9 試験体ではコンクリートの表面から 30mm 程度まで亜硝酸イオンの存在を示す呈色が認められた。しかし、貼り付けモルタルの場合、十分な量の亜硝酸イオンが鉄筋周囲まで比較的短い期間に浸透するのは難しく、この間に鉄筋腐食が進行したのと考えられる。

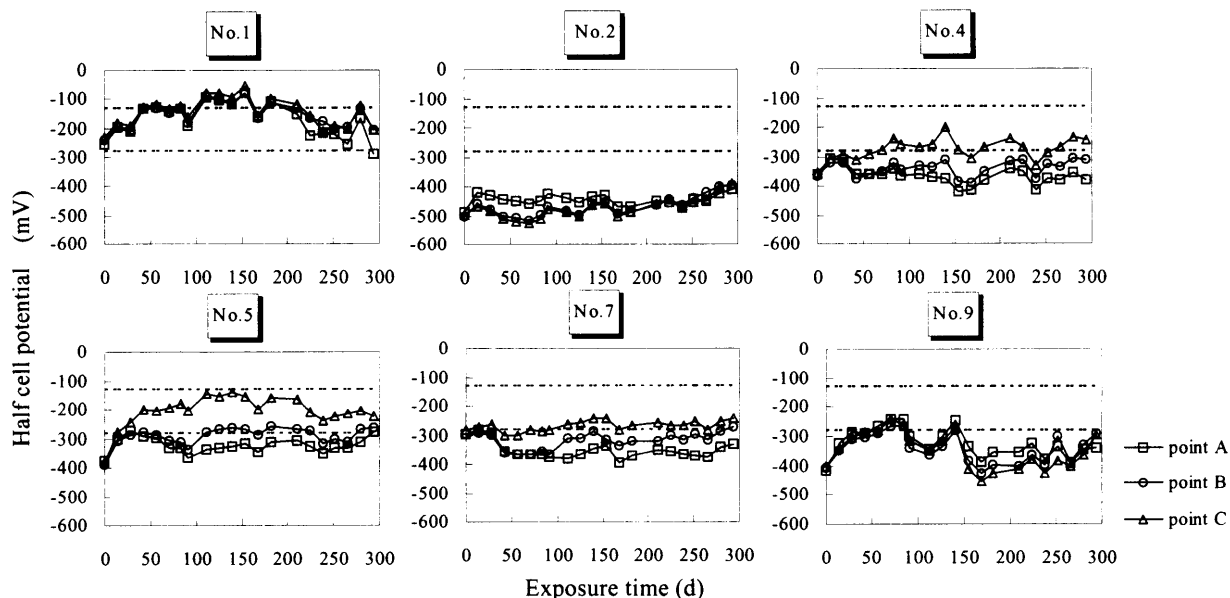


Fig. 4. Variations of half cell potential with exposure time of steel bars in concrete.

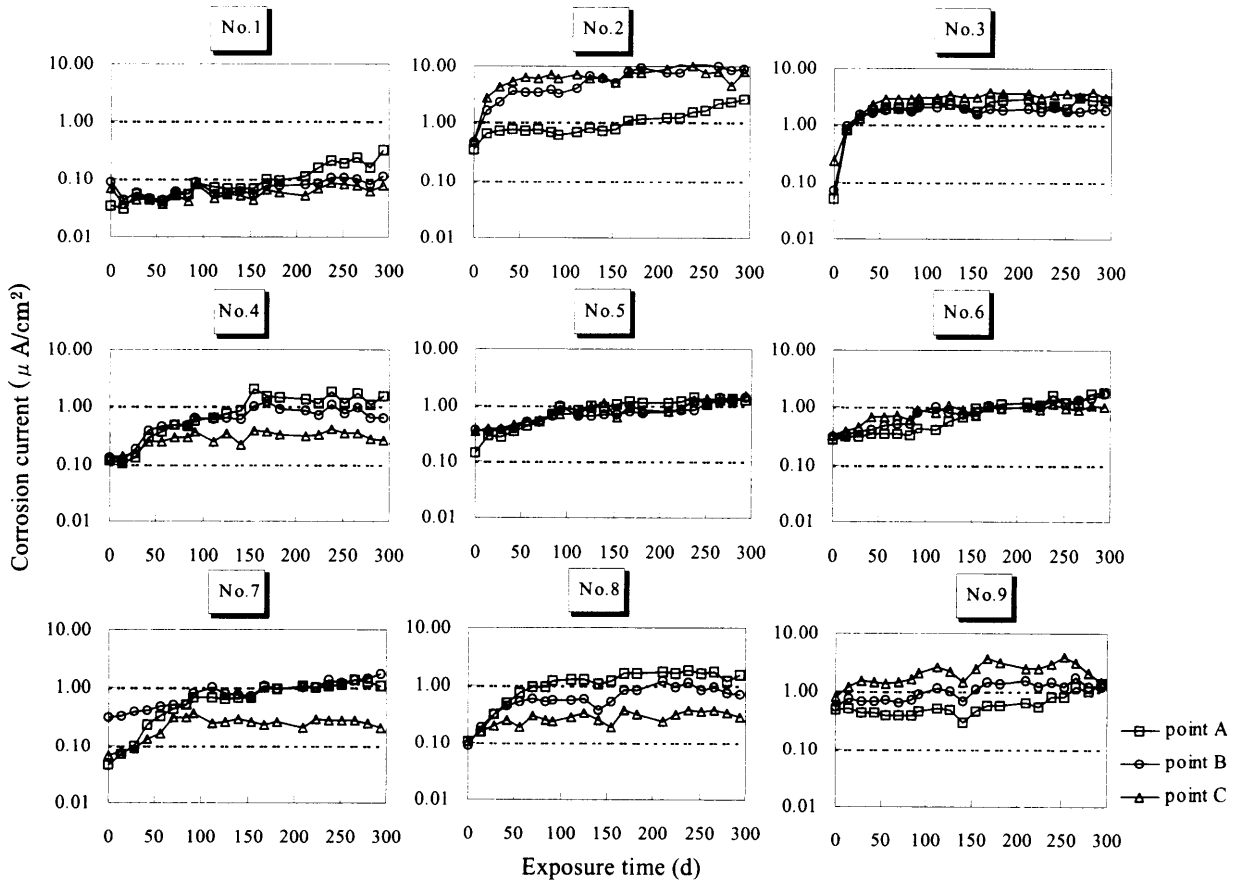


Fig. 5. Variations of corrosion current with exposure time of steel bars in concrete.



Fig. 6. Penetration of NO_2^- ion from attached OPC mortar into concrete.

4・2 AC インピーダンス特性値

乾燥・湿潤の繰り返しにともなう鉄筋埋め込み試験体の AC インピーダンス特性値の経時変化を Fig. 7 に示す。AC インピーダンス特性値は、鉄筋腐食が開始されるまではほぼ直線であるが、鉄筋の不動態の破壊、その後の鉄筋腐食の進行にともない次第に円弧状のものとなっている。AC インピーダンス特性値の円弧が小さくなっていく過程より鉄筋の腐食状況が明確に判断でき、鉄筋の腐食挙動を評価するための非破壊検査法として有効である。

分極抵抗および AC インピーダンス特性値の測定結果より算定した腐食電流値の関係を Fig. 8 に示す。中程度までの腐食レベル（腐食電流値が $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以下）では両測定値の間に 1 : 1 の良好な関係があるが、それ以上

の激しい腐食レベルになると分極抵抗から算定した値は、AC インピーダンスからのものと比較して腐食電流値が小さくなる傾向にある。

5 乾燥・湿潤繰り返し試験後における鉄筋の腐食性状

5・1 鉄筋の腐食状況

乾燥・湿潤繰り返し試験の終了後の割裂試験体における鉄筋の腐食状況を Fig. 9 および Table V に示す。Fig. 9 は鉄筋の腐食状況の展開図であり、図の上下端が鉄筋の上端位置、中央が鉄筋の下端位置にあたる。なお、中性化深さはコンクリート母材で 3 ~ 10mm、断面修復部 (PMC) で 2 ~ 3mm であり、測定期間中に中性化が鉄筋位置まで達することはなかった。鉄筋腐食に関して、最も激しい腐食がみられた No. 2 試験体ではマクロセル腐食の進行により腐食度Ⅳの範囲が低塩化物イオン量側（左側）の約 2/3 の面積までにも及んでいる。それに対して、No. 3 試験体では高塩化物イオン量側（右側）が最も激しく腐食している。一方、防錆剤を混入した PCM により断面修復を実施した試験体の鉄筋腐食度は、No. 2, 3 試験体と比較して全般的に小さい傾向にある。すなわち、No. 5, 6 試験体では断面修復材と接する鉄筋の上面の腐食は防錆剤の浸透により抑制されているが、鉄筋の下面で腐食度Ⅲ程度の腐食が発生している。また、No. 7, 8 試験体では断面修復部での鉄筋腐食は完全に抑制されているが、断面修復の境界付近および低塩化物イオン量側（左側）で鉄筋腐食が発生しており、マクロセル腐食の進行が確認できる。さらに、貼り付けモルタルによる

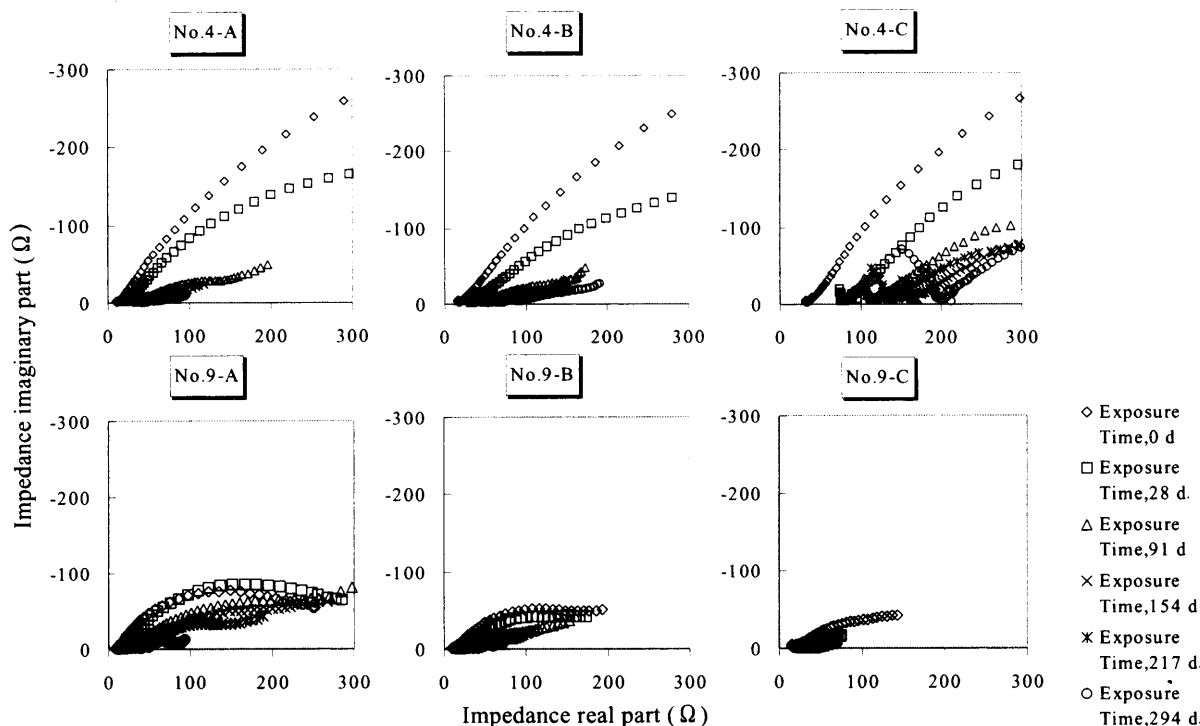


Fig. 7. Variations of AC impedance spectrum with exposure time of steel bars in concrete.

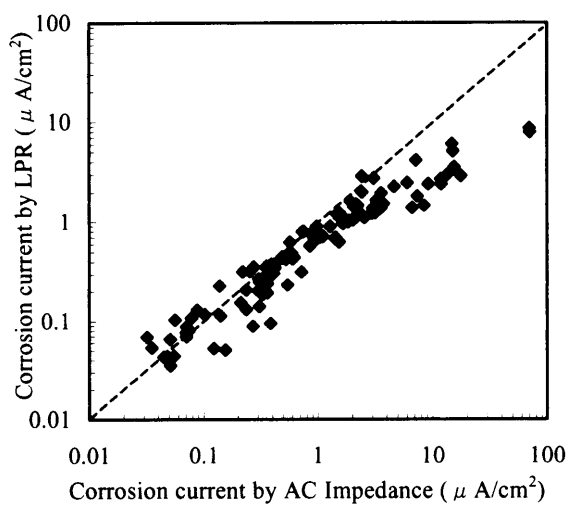


Fig. 8. Relationship between corrosion current measured by linear polarization resistance (LRP) and AC impedance methods.

補修を実施した No. 9 試験体では、低塩化物イオン量側(左側)の腐食が効果的に抑制されている。以上の鉄筋腐食度の目視判定結果は、鉄筋腐食の減量値とも良く一致している。

5・2 分極抵抗および AC インピーダンスによる腐食減量値の推定

分極抵抗および AC インピーダンスより計算した腐食減量値と実測値との関係を Fig. 10 に示す。鉄筋の左側および右側の腐食減量値と対応させるために、A 点および C 点の測定値よりファラデーの法則より腐食減量値をそれぞれ計算した。分極抵抗および AC インピーダンスより計算した鉄筋の腐食減量は鉄筋腐食の実測値と比較

Table V. Weight losses (%) and corrosion grade of steel bars in concrete specimen after wet and dry cycle test.

No.	Basis part (left)	Repair part (right)
1	0.3 (I)	0.4 (I)
2	1.8 (IV)	6.8 (IV)
3	0.7 (I)	2.3 (IV)
4	1.1 (III)	0 (I)
5	0.8 (I)	1.9 (III)
6	0.9 (I)	1.7 (I)
7	0 (I)	0.3 (I)
8	1.2 (III)	0.7 (I)
9	0.8 (I)	4.6 (III)

* (): Corrosion grade evaluated by visual observation
 I: Little corroded, II: Slightly corroded
 III: Moderately corroded, IV: Severely corroded

的良く対応しているが、電気化学的測定からの鉄筋の腐食減量は実測値よりも小さなものになった。また、AC インピーダンスより求めた腐食減量の算定値は分極抵抗より求めた値より大きくなり、より実測値に近いものとなった。このことは、高腐食領域では AC インピーダンスの測定値が分極抵抗のものよりも実際の腐食挙動をよりの確に表わしていることを示している。

6 結 論

本研究で得られた結果をまとめると、次のようである。

(1) PCM の圧縮強度および電気抵抗値は防錆 (LiNO_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$) の混入量の増加にともない減少する。PCM の強度およびワーカビリティより判断すると、PCM への防錆剤の混入量は亜硝酸カルシウムで 30kg/m^3 程度まで、亜硝酸リチウムで 55kg/m^3 程度までと考えられる。

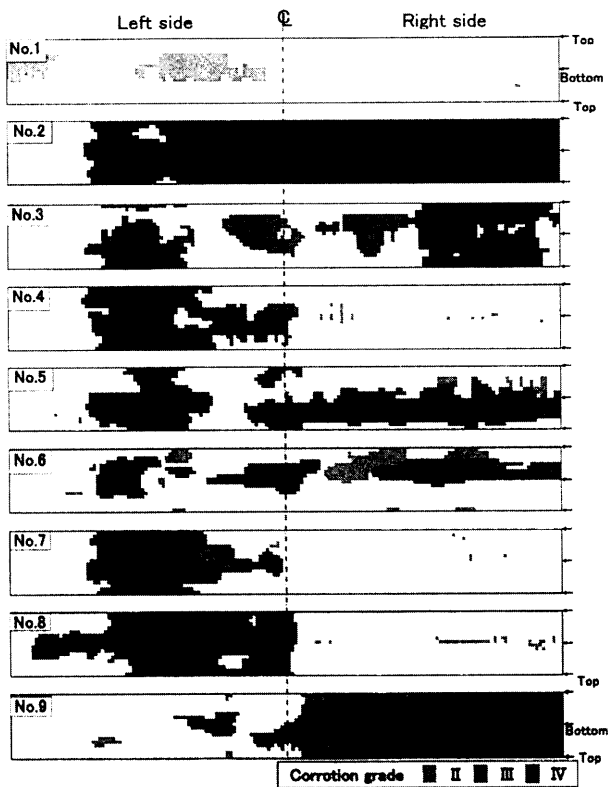


Fig. 9. Corrosion area and corrosion grade of steel bars after wet and dry cycle test.

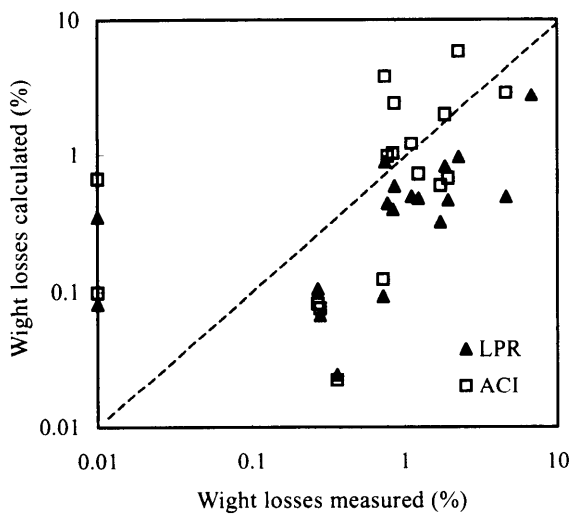


Fig. 10. Relationship between weight losses of steel bar measured and calculated by liner polarization resistance (LPR) and AC impedance (ACI) methods.

(2) 防錆剤を混入したPCMにより断面修復を実施した試験体では、腐食電流値が $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 程度以下になり、乾燥・湿潤の繰り返し環境下で長期にわたり鉄筋腐食の抑制効果が認められる。

(3) 断面修復におけるはつり深さの影響に関して、鉄筋の裏側まで断面修復した試験体は、鉄筋の表面までしか断面修復しなかった試験体と比較して断面修復部の鉄筋腐食が大きく抑制される。しかし、鉄筋の裏側まで断面修復した試験体は鉄筋の表面までしか断面修復しなかった試験体よりも断面修復部近傍および非補修部での腐食がより大きい。

(4) 防錆剤 (LiNO_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$) の種類に関して、亜硝酸イオンのモル比が同じ場合には亜硝酸リチウムと亜硝酸カルシウムの鉄筋腐食の抑制効果は同程度である。

(5) 分極抵抗およびACインピーダンスにより算定した腐食電流値の間には1:1の関係が認められ、両者の腐食電流値が $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ を超えると激しい腐食の発生が認められる。

(6) 電気化学的測定より計算した鉄筋の腐食減量は試験終了後の実測値よりも小さい傾向にある。

金沢大学大学院生牧尾誠氏、辻裕和氏並びに(株)クエストエンジニアの関係諸氏に感謝します。

参考文献

- 1) A. Bentur, S. Diamond and N. S. Berke, "Steel Corrosion in Concrete", p.113 (1992) E & FN SPON.
- 2) 川村満紀, 谷川 伸, 古東秀文, コンクリート工学論文集, **8**, 1, 75 (1997).
- 3) 北川明雄, 堀 孝廣, 中村祐二, セメント・コンクリート論文集, **43**, 521 (1989).
- 4) 宇仁菅康之, 栢田佳寛, 地頭蘭博, 藤井和俊, コンクリート工学年次論文集, **19**, 1165 (1997).
- 5) 杉浦章雄, 榎原弘幸, 宮脇賢司, 大崎敬一, コンクリート工学年次論文集, **23**, 373 (2001).
- 6) 岡井賢一, 守山 守, 登坂智平, 小澤郁夫, コンクリート工学, **34**, 2, 33 (1996).
- 7) M. Stern and A. L. Geary, J. Electrochem. Soc., **104**, 56 (1957).
- 8) J. P. Broomfield, Proc. of Int. Conf. on Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, **1**, 1 (1994).
- 9) 土木学会, コンクリート標準示方書「維持管理編」, 92 (2001).