

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560561  
 研究課題名（和文） R C造建築物の維持保全に係わる補修工法の効果の評価に関する研究  
 研究課題名（英文） Evaluation of the effect of repairing method for RC buildings related to it's maintenance  
 研究代表者  
 梶田 吉弘 (MASUDA YOSHIHIRO)  
 宇都宮大学・工学研究科・教授  
 研究者番号：30272214

研究成果の概要：コンクリート中の塩化物イオン量が多い場合は、鉄筋腐食補修工法による腐食抑制効果は、あまり期待できないこと、劣化したコンクリートは鉄筋の裏側まで切り取らないと効果が期待できないこと、鉄筋防錆処理材を施すと補修効果が向上することなどを明らかにした。鉄筋腐食度の評価指標として質量減少率を取りあげ、各種工法の補修効果を評価し、発錆面積率で評価した場合と同様な傾向を示すことを明らかにした。しかし、塩化物イオン量が多い場合や、補修部分と補修していない部分との境界部分では、発錆面積率が同じでも質量減少率には差がある場合があることを示した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学／建築構造・材料

キーワード：補修工法、鉄筋防錆処理材、断面修復材、ポリマーセメントモルタル、樹脂モルタル、塩化物量、研り、補修の境界部

## 1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート造は、耐久性、耐火性に優れた構造として社会的に重要な建築物に多く用いられ、その寿命は半永久的でメンテナンスフリーと考えられていたことがあった。しかし、高度成長期に急ピッチで建設された鉄筋コンクリート造建築物において竣工後10～20年というきわめて早い時期に鉄筋腐食による劣化現象が顕在化し、その

耐久性について社会的にも広く関心もたれた。その後、持続可能な社会に向けてスクラップアンドビルドの時代からストックの時代へと変化する中で、鉄筋コンクリートの劣化機構の解明や補修技術に関する研究が数多くなされ、各種補修工事の仕様も提案されるようになった。しかし、鉄筋コンクリート造の劣化現象の中で、耐久性の低下にきわめて大きな影響を及ぼす塩化物イオンを

んだコンクリート中の鉄筋腐食やその補修工法の効果については、促進劣化試験や短期間の屋外暴露試験によってある程度検証されてきているものの、長期間の屋外暴露試験による検証は、現段階ではまだ少なく最終的な結論は出されていない。

## 2. 研究の目的

本研究は、各種鉄筋腐食補修工法を施した試験体を長期にわたって屋外暴露試験し、鉄筋腐食を計測して、補修効果を評価し、過去に行われた促進劣化試験の結果と比較して、補修工事仕様の基礎資料とすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

鉄筋が腐食してコンクリートが劣化し各種の補修工法を施した状況を再現した試験体を20年間にわたって長期屋外暴露試験に供し、鉄筋腐食度を計測して補修効果の評価を行った。劣化要因は、コンクリート中の塩化物イオン量とし、0.5、1.5および3.0kg/m<sup>3</sup>の3水準とした。また、補修工法の仕様として、劣化したコンクリートの切り取り範囲、各種の鉄筋防錆材、断面修復材、表面被覆材などの補修材料とし、これらの工法の仕様の補修効果の評価を行った。補修効果の評価は鉄筋腐食度を計測し、発錆面積率を指標として行った。

実験体の概要を図1に示す。また、補修工法を表1に示す。

## 4. 研究成果

暴露試験における屋外暴露試験期間と鉄筋の発錆面積率の関係を図2～図4に示す。

長期暴露試験（発錆面積率）として、劣化症状が顕在化している場合を対象として、鉄筋防錆材および断面修復材による鉄筋腐食補修効果に関する実験的検討をおこなった。まず、コンクリート中に各種濃度の塩化物イオンが含まれるという劣化要因が内在し、部分的に鉄筋が露出するという劣化が顕在化した状況を再現した鉄筋コンクリート試験体に代表的な鉄筋防錆材、断面修復材および表面被覆材などの計21種類の断面修復工法を施したうえで、約20年間の屋外暴露試験を行い、その補修効果を鉄筋腐食部分の面積を鉄筋の表面積で除した発錆面積率にて評価した。その結果は次のようである。

(1) 境界部、補修部および無補修部の暴露期間19.9年における塩化物量別の発錆面積率の平均値を求めると図5のようになる。コンクリート中の塩化物量の級が0.5kg/m<sup>3</sup>および1.5kg/m<sup>3</sup>に比べて3.0kg/m<sup>3</sup>の時は、2倍以上の発錆面積率となり、補修工法による鉄筋腐食の抑制効果は、あまり期待できない。

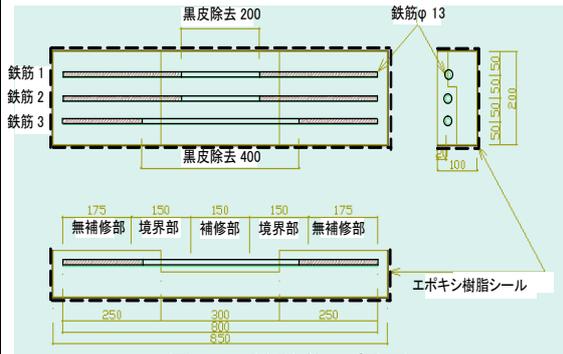


図1 試験体の概要  
表1 補修工法

防錆処理材	断面修復材	表面被覆材	塩化物量の級	使用記号
なし	軽量PCM <sup>※3</sup> (SBR)	なし	0.5	0-LP-0
		複層仕上塗材 (一般形)	3.0	0-LP-E
		複層仕上塗材 (防水形)	3.0	0-LP-F
	軽量PCM <sup>※3</sup> (防錆剤入SBR)	なし	0.5	0-LP-0
		なし	1.5	0-LP-0
		なし	3.0	0-LP-0
PCM <sup>※1</sup> (SBR)	PCM <sup>※2</sup> (SBR)	なし	0.5	P-P-0
		複層仕上塗材 (一般形)	3.0	P-P-E
		複層仕上塗材 (防水形)	3.0	P-P-F
	軽量PCM <sup>※3</sup> (SBR)	なし	0.5	P-LP-0
	なし	1.5	PEV-PEV-0	
	なし	3.0	PA-PA-0	
PCM <sup>※1</sup> (EVA)	PCM <sup>※2</sup> (EVA)	なし	1.5	PEV-PEV-0
PCM <sup>※1</sup> (アクリル)	PCM <sup>※2</sup> (アクリル)	なし	1.5	PA-PA-0
PCM <sup>※1</sup> (弾性アクリル)	PCM <sup>※2</sup> (弾性アクリル)	なし	1.5	PF-PF-0
PCM <sup>※1</sup> (防錆剤入SBR)	PCM <sup>※2</sup> (防錆剤入SBR)	なし	3.0	PI-PI-0
エポキシ樹脂	軽量EPM <sup>※4</sup>	なし	0.5	E-LE-0
		なし	1.5	E-LE-0
		なし	3.0	E-LE-0
	EPM <sup>※5</sup>	なし	0.5	E-PA-0
		なし	1.5	E-PA-0
		なし	3.0	E-PEP-0
なし (比較用)	なし	なし	0.5	E-E-0
		複層仕上塗材 (一般形)	3.0	E-E-E
		複層仕上塗材 (防水形)	3.0	E-E-F
なし (比較用)	なし	0.5	N	
なし (比較用)	なし	1.5	N	
なし (比較用)	なし	3.0	N	

使用記号は、防錆処理材-断面修復材-表面被覆材の略号を示し、0は、なしを示す

※1 PCM ポリマーセメントペースト ※4 軽量EPM 軽量エポキシ樹脂モルタル

※2 PCM ポリマーセメントモルタル ※5 EPM 現場調査エポキシ樹脂モルタル

※3 軽量PCM 軽量ポリマーセメントモルタル

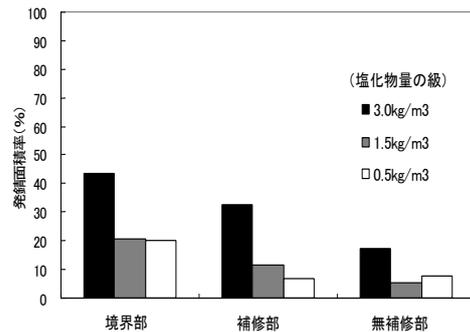


図5 塩化物物量別発錆面積率

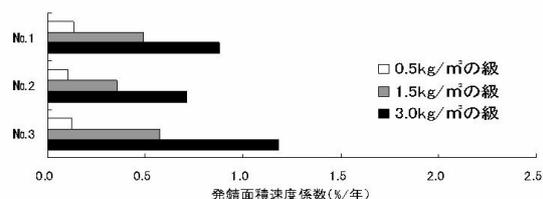


図6 鉄筋No.別の発錆面積速度係数 (ポリマーセメント系)

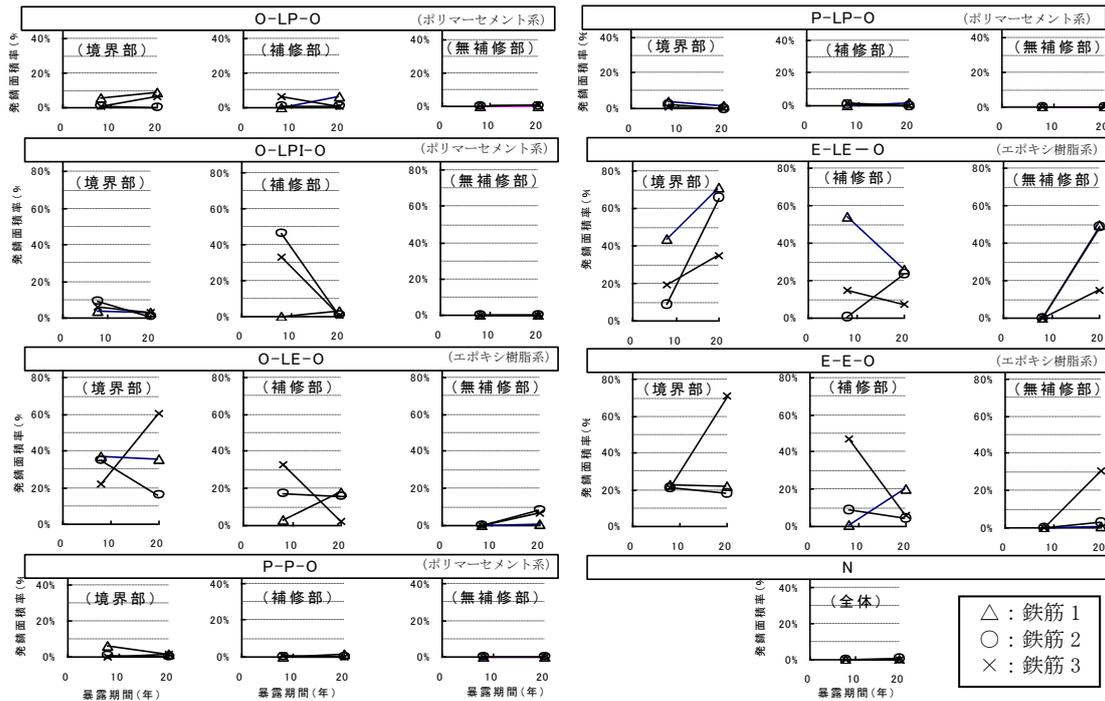


図2 鉄筋の発錆面積率と屋外暴露試験期間の関係 その1 (塩化物量の級 0.5kg/m<sup>3</sup>)

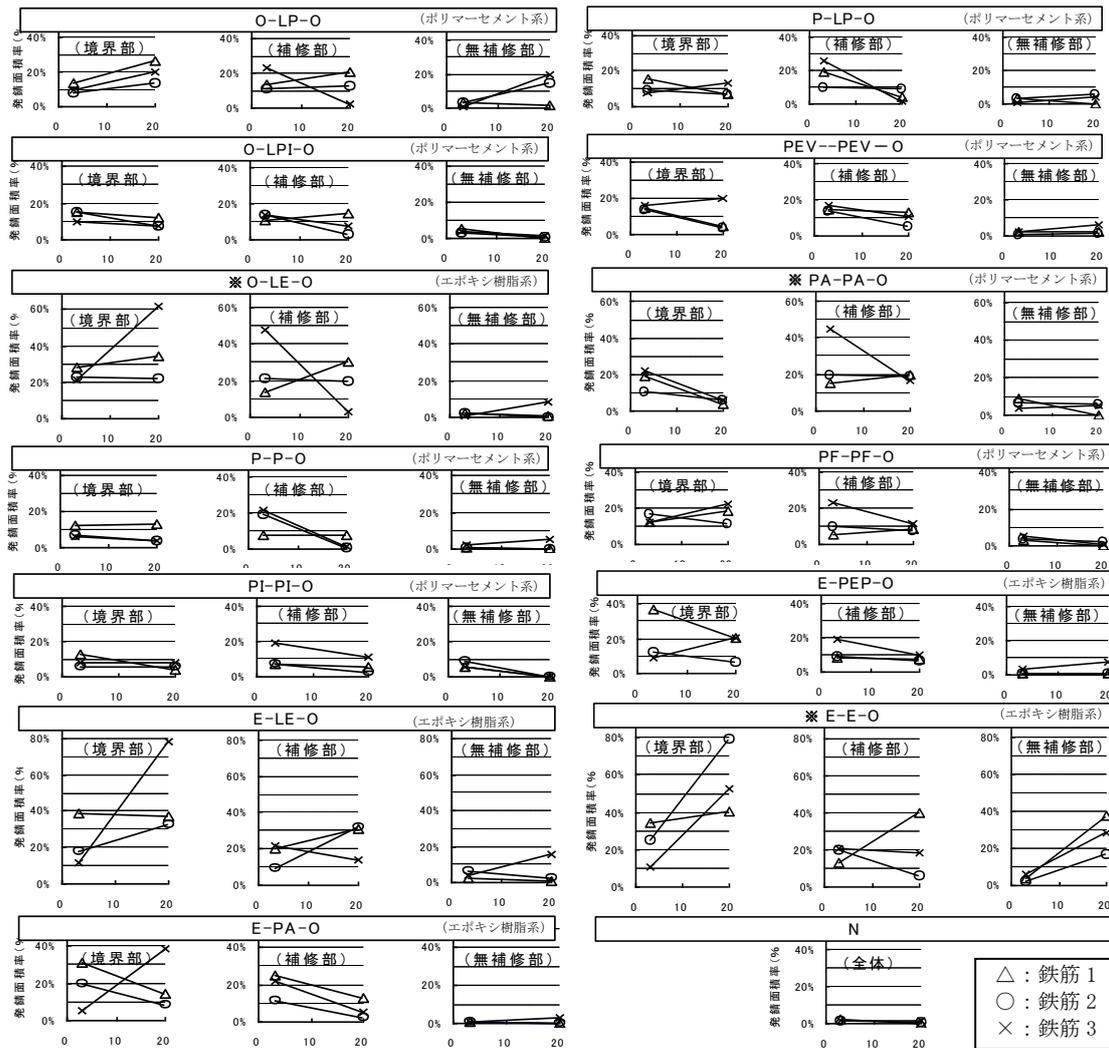


図3 鉄筋の発錆面積率と屋外暴露試験期間の関係 その2 (塩化物量の級 1.5kg/m<sup>3</sup>)

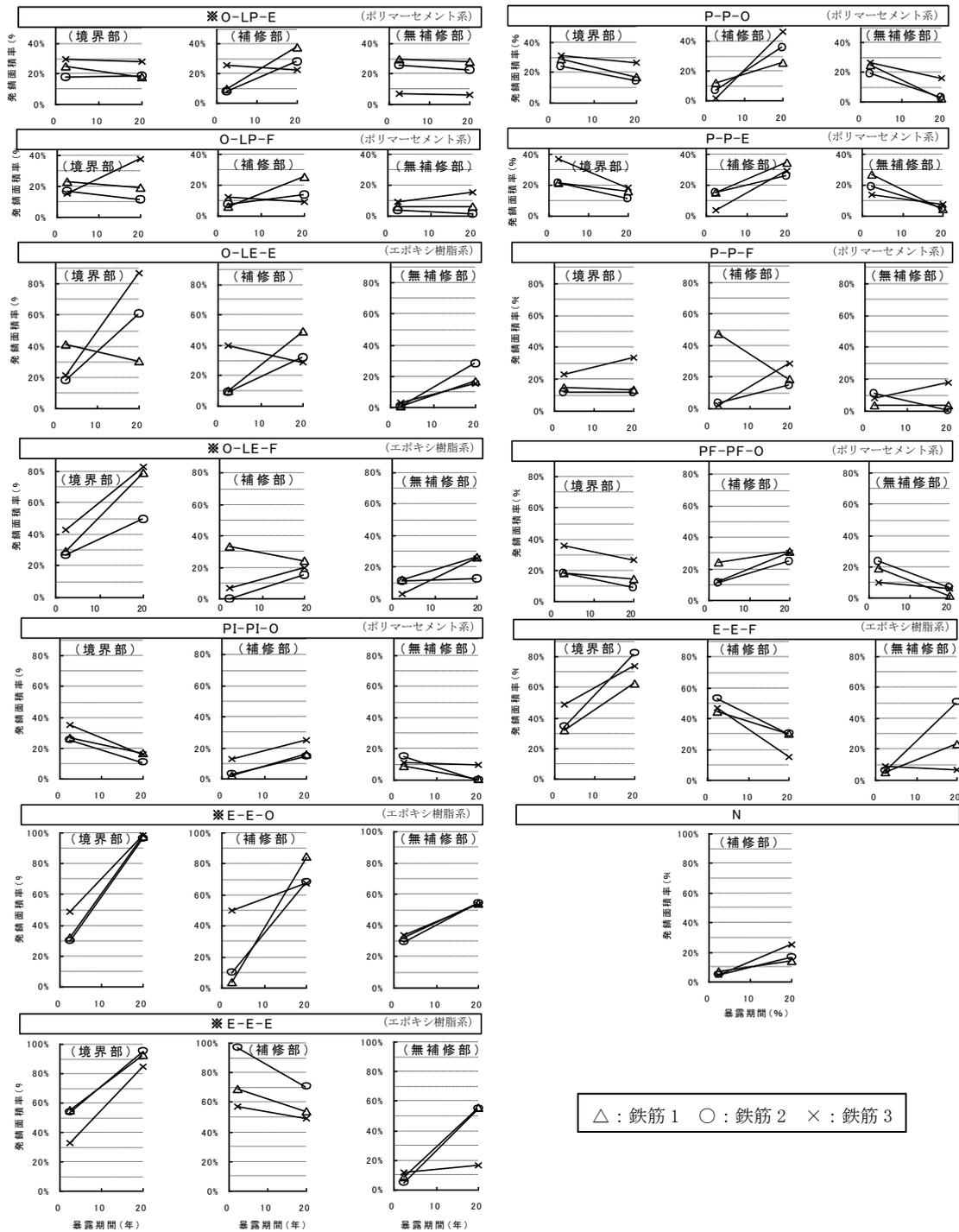


図4 鉄筋の発錆面積率と屋外暴露試験期間の関係 その3 (塩化物量の級 3.0kg/m<sup>3</sup>)

- (2) 図6と図7に鉄筋No別の発錆面積速度係数を示す。断面修復の際、鉄筋3は、鉄筋1・2に比べて発錆面積率が大きく鉄筋の裏側までは取り取らないと、防錆材・断面修復材、表面被覆材の効果が期待できなくなる。
- (3) 図8に断面修復材別の発錆面積速度係数を示す。鉄筋防錆処理材を施すことで、鉄筋腐食の補修効果が向上するが、エポキシ樹脂系の材料に比べて、ポリ

マーセメント系材料の方がより効果が認められる。

- (4) 図9に部材別の発錆面積速度係数を示す。断面修復材に表面被覆材を併用すると、鉄筋腐食の抑制効果が若干期待できる傾向が見られる。
- (5) 断面修復を施した後の発錆面積率の増加傾向を  $S = at^b$  で表すとポリマーセメント系とエポキシ樹脂系とで傾向が異なり、ポリマーセメント系は、短期暴

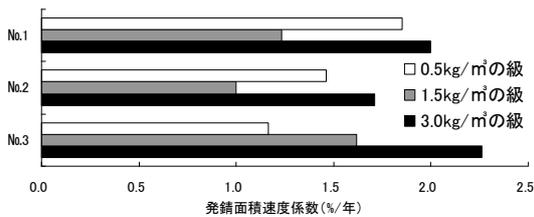


図7 鉄筋No別の発錆面積速度係数 (エポキシ樹脂系)

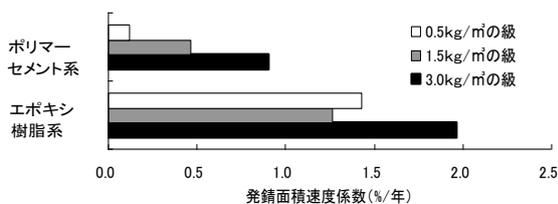


図8 断面修復材別の発錆面積速度係数

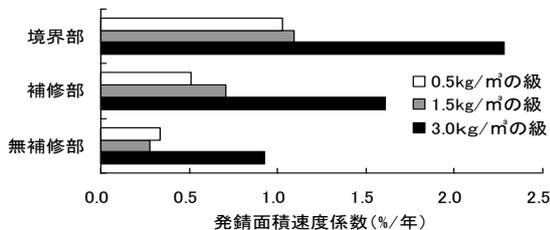


図9 部位別の発錆面積速度係数

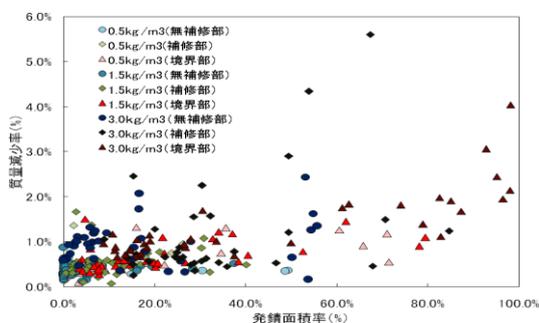


図10 部位別の発錆面積率と質量減少率の関係

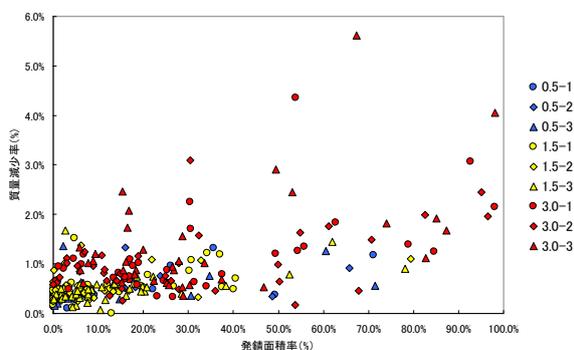


図11 鉄筋No別の発錆面積率と質量減少率の関係

露までに0.31乗に比例して腐食が進行する。ということがわかった。

長期暴露試験（質量減少率）として実施した補修効果を、腐食前の鉄筋質量から除錆後の鉄筋質量を減じた値を腐食前の鉄筋質量で除した質量減少率にて評価した結果、発錆面積率で評価した場合と同様な傾向を示すことを明らかにした。

また、各塩化物量における部位別および鉄筋No別の発錆面積率と質量減少率の関係を図10、図11に示す。部位別には全ての塩化物量において、境界部での発錆面積率の広がりが見受けられるが、塩化物量3.0kg/m³の場合、補修部において質量減少率が著しいものが見受けられる。次に鉄筋別では、全ての塩化物量において鉄筋No.3の腐食が著しく、塩化物量3.0kg/m³の場合では、質量減少率の広がりも顕著である。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2件)

- ① 西村真治、桝田佳寛、鹿毛忠継、松林裕二 : コンクリート工学年次論文集、Vol. 30、No.2、pp. 589-594、2008年、査読有
- ② 西村真治、桝田佳寛、鹿毛忠継、松林裕二 : 日本建築学会構造系論文集、第73巻、第633号、pp. 1913-1920、2008年、査読有

[学会発表] (計 2件)

- ① 西村真治、桝田佳寛、鹿毛忠継、濱崎仁 : 鉄筋防錆材および断面修復材による塩害劣化補修工法の長期屋外暴露試験、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、p. 1225-1226、2007年8月
- ② 西村真治、桝田佳寛、鹿毛忠継、松林裕二 : 鉄筋防錆材および断面修復材による塩害劣化補修工法の長期屋外暴露試験(その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、p. 991-992、2008年9月

### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

桝田 吉弘  
宇都宮大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：30272214

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者