

## 促進試験による補修用モルタルの防食効果に関する研究

- EPMA による塩分分布の確認と防食効果の検討 -

東京大学 正会員 星野 富夫 飛鳥建設 正会員 槇島 修  
 東急建設 正会員 伊藤 正憲 BASF ポゾリス 正会員 元売 正美  
 東京大学 正会員 岸 利治 芝浦工業大学 F会員 魚本 健人

### 1. はじめに

塩害などで劣化した鉄筋コンクリート構造物の補修に用いられているポリマーセメントモルタルは、塩化物イオンや水・酸素などの鉄筋腐食因子を通しにくいと考えられている。この現象を確認するためにポリマーセメントモルタルならびにコンクリートに鉄筋を埋め込んだ試験体を作製して促進実験を行い、鉄筋の腐食状態や EPMA による塩分の分布状況などから、ポリマーセメントモルタルの鋼材腐食発生限界塩化物量や防食効果についての検討を行った。なお、本研究は、東京大学生産技術研究所と民間 16 社の共同研究「劣化したコンクリート構造物の補修工法に関する共同研究」の一環として実施したものである。

### 2. 実験概要

#### 2.1 実験条件

実験条件ならびに試験方法を表 - 1 に示す。補修用モルタルは、断面修復材として一般的な材料であるポリマーセメントモルタル（以下、PCMと称す）を用い、比較に用いたコンクリートは水セメント比 65%、単位水量  $170\text{kg}/\text{m}^3$  のコンクリートとした。それぞれの試験体には、塩化物イオン量を 5 水準（0.0, 0.6, 1.2, 2.4, 4.8  $\text{kg}/\text{m}^3$ ）とした塩化カルシウムを混練水に溶解させて作製した。試験体は、図 - 1 に示すようにかぶり 25mm となるように D13 の磨き丸鋼（SGD-3）を配して作製した。

促進腐食試験は、JCI-SC3 に準じて 7 日間で 1 サイクルとなる乾湿繰り返しを行った。

#### 2.2 評価試験

乾湿繰り返し試験が 20、30 サイクル時点では全ての塩分濃度の試験体の解体試験を行い、60 サイクルでは混入塩分量が多いものについて、100 サイクルでは混入塩分量が少ない試験体についての解体試験を行い、鉄筋の腐食状態の評価を行った。また、60、100 サイクル後の試験体では、EPMA による塩分分布の確認や化学分析（JCI-SC5）によっても塩分の含有量を確認した。

表 - 1 実験条件および試験方法

試験体	コンクリート	W/C = 65%, s/a = 60% 単位水量 = $170\text{kg}/\text{m}^3$ , スランプ = 11 ~ 12.5cm
	ポリマーセメントモルタル	ポリマーの種類: ベオバ系再乳化形粉末樹脂
混入塩化物イオン量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )		0, 0.6, 1.2, 2.4, 4.8
試験方法	JCI-SC3「塩分を含んだコンクリート中における補強用棒鋼の促進腐食試験方法 - 乾湿繰り返し法 -」に準じた。乾燥期間 (15, 65% RH) 3日間と湿潤期間 (65, 95% RH) 4日間の繰り返しを 1 サイクルとした。	
評価試験	鉄筋の腐食面積率	鉄筋全長 (180mm) の腐食をトレースし、両端 40mm を排除した 100mm を対象として、画像解析装置により腐食面積 (率) を測定した。
	EPMA 分析	加速電圧: 20KV, 試料電流: $1\mu\text{A}$ , 走査速度: 0.02sec/point

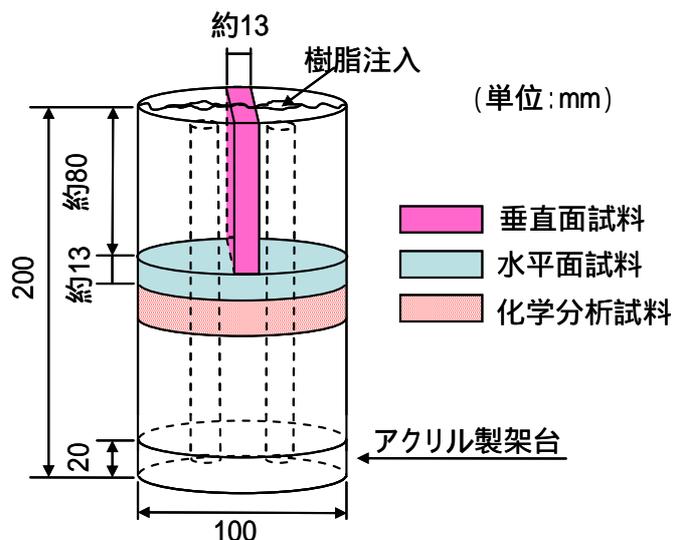


図 - 1 試験体と分析試料

### 3. 試験結果および考察

図 - 2 に乾湿繰返しに伴う塩化物イオン量と鉄筋腐食面積率の測定結果を示す。塩化物イオン量が同一である場合、コンクリートに比べて PCM の鉄筋腐食面積率が著しく少ない。

この結果を単位セメント量の違いによる塩化物イオンの固定化量の違いとして見ると、対象としたコンクリートの単位セメント量は  $262\text{kg/m}^3$  であり、PCMの単位セメント量は約  $600\text{kg/m}^3$  であることから、塩化物イオンの固定化量がセメント重量の 0.4% とすると、コンクリートで約  $1.0\text{kg/m}^3$ 、PCMで約  $2.4\text{kg/m}^3$  となる。コンクリートの場合、この固定量に近い  $1.2\text{kg/m}^3$  で腐食の発生が認められるが、PCMでは固定化量に近い  $2.4\text{kg/m}^3$  では腐食は認められなく、 $4.8\text{kg/m}^3$  で僅かな腐食が認められた。この結果から、PCMの鋼材腐食発生限界量は  $2.4\text{kg/m}^3$  よりも大きいと考えられ、PCMの防食効果には塩化物の固定化以外の影響もあると考えられる。

図 - 3、4 はEPMA (分析領域: 約  $9 \times 9\text{cm}$ ) によって塩分の分布を調べたものである。図 - 3 は塩化物イオンが  $1.2\text{kg/m}^3$  混入されたコンクリートの 100 サイクル後の試験体であり、水平方向の塩分分布を調べたものであるが、全周の表面付近の塩分が少なくなっている。この傾向は、表面の拡大分析 ( $2 \times 2\text{cm}$ ) の結果からも確認した。また、この部分を割裂してフェノールフタレイン溶液を噴霧して調べた中性化深さが  $5 \sim 6\text{mm}$  程度あることが確認された。これに比べ、図 - 4 に示すPCMの場合には、塩化物イオンが  $2.4\text{kg/m}^3$  のもので、同じく 100 サイクル後の試験体について垂直方向の塩分分布を分析したものであるが、ほぼ均一な分布を示している。また、中性化深さは殆ど認められなかった。

図 - 5 にJCI - SC5 に準拠して、化学分析により全塩分を調べた結果を示す。これは、促進試験 100 サイクル後の混入塩分量が  $1.2\text{kg/m}^3$  のコンクリートと  $2.4\text{kg/m}^3$  のPCM試験体ならびに 60 サイクル後の混入塩分量が  $2.4\text{kg/m}^3$  のコンクリート試験体についての分析結果である。この図を見ると、コンクリートの場合には表面の塩分濃度が低い状況が見られるが、PCMの場合には、100 サイクル後でも一様に分布していることが分かる。

### 4. まとめ

長期間の促進試験を実施した結果から、PCMの鋼材腐食発生限界塩化物量がコンクリートに比べて大きい事が推察された。ただし、このような長期間の促進実験を行う場合には、中性化による塩化物の濃縮や水分の移動に伴う塩化物の状態が変化することから、EPMA などにより塩化物の分布状況を調べる必要がある。

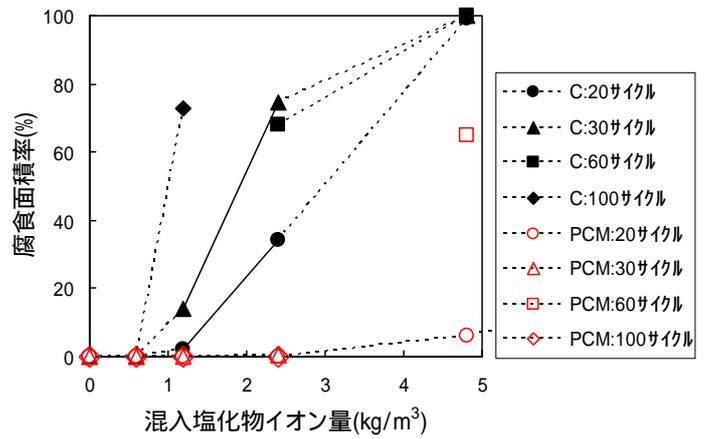


図 - 2 塩化物量と腐食面積率の関係

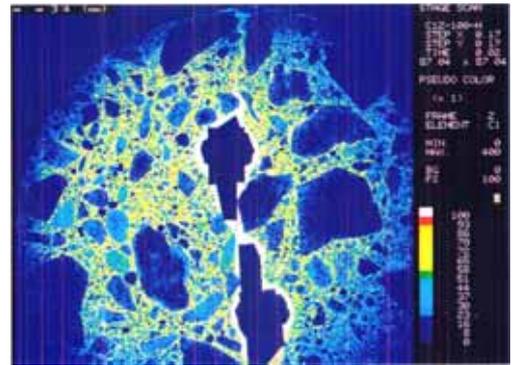


図 - 3 EPMA による塩分分布の確認 (C-Cl:1.2-100 サイクル、水平方向)

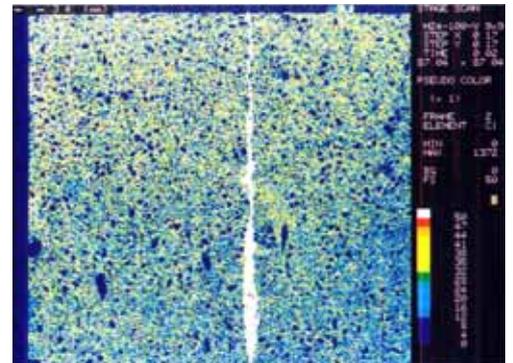


図 - 4 EPMA による塩分分布の確認 (PCM-Cl:2.4-100 サイクル、垂直方向)

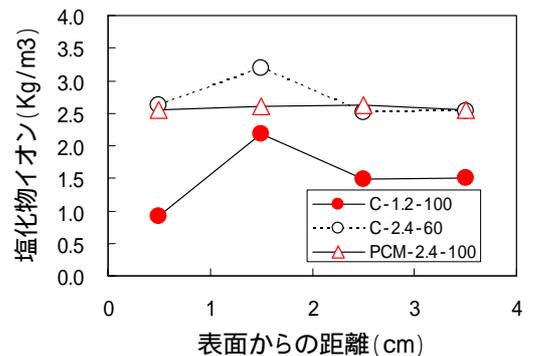


図 - 5 化学分析による塩分分布の確認