

### 断面修復したモルタルにおける界面の微細組織観察

電力中央研究所 正会員 ○大塚 拓  
 電力中央研究所 正会員 松井 淳  
 関西電力 正会員 審 浩年  
 セレス 非会員 久松 信太郎

#### 1. はじめに

塩害等で劣化したコンクリートに対して、断面修復が実施される場合がある。断面修復には長期接着性をはじめ多様な性能が求められるが、本研究においては、断面修復材と母材の界面の物質移動抵抗性や耐久性に着目し、実験に基づき断面修復材-モルタル間の界面の状態や塩分の分布状況について検討を加えることを目的とした。

#### 2. 実験概要

##### (1) 試験体の作製

軸方向に断面修復材-母材(モルタル)の界面を有する試験体を作製した。図1に手順のイメージを示し、具体的に以下に記述する。まず、表1に示す条件により母材となるモルタルを作製した。硬化したモルタルの中心を通るように軸方向に割裂し、半分となったものを直径50mm×高さ100mmの型枠に設置後、市販の断面修復材(ポリマーセメント系軽量モルタル)を打設した。断面修復材の打設にあたっては、メーカーのマニュアルに従い、母材(モルタル)表面を十分に乾燥させ、プライマー(エポキシ樹脂系接着剤)を塗布した後、ある程度の粘り気が出てきたことを確認した段階で、混練した断面修復材を打設した。さらに、卓上バイブレータにより締固めを実施した。1日後に脱型し、20℃水中に1カ月程度静置した。その後、硬化体の中央部から約50mmの高さで切り出し、これを試験体とした。

##### (2) 環境負荷

上記の試験体について、日本の沿岸部において最も厳しい塩害環境を想定し、表2に示す環境負荷を与えた[1]。期間は6カ月とした。

##### (3) 微細組織観察

環境負荷を終えた試験体の界面近傍において、電子線マイクロアナライザ(EPMA)を用いた元素濃度の面分析、および電子顕微鏡による観察を実施した。分析面は、図1に示すように、試験体の中心で、軸方向かつ界面に直交する面とした。EPMA分析では、上部を暴露面とし、上下方向に通る界面の左側が断面修復材、右側が母材(モルタル)となるように試料位置を調整した。

表1 モルタル(母材)の作製条件

使用材料	研究用セメント, セメント強さ試験用標準砂
水セメント比	50mass%
砂セメント比	300mass%
サイズ	直径50mm×高さ100mm
養生	20℃水中養生, 約91日

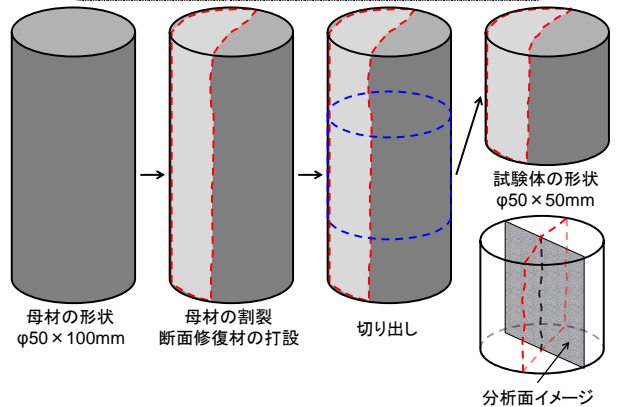


図1 試験体作製手順および分析面のイメージ

表2 環境負荷条件[1]

温度	40℃±2℃
湿度	80%±5%
塩分量	60mg/dm <sup>2</sup> ・day
塩分付与方法	3%NaCl溶液の噴霧 (24時間毎に3分間)

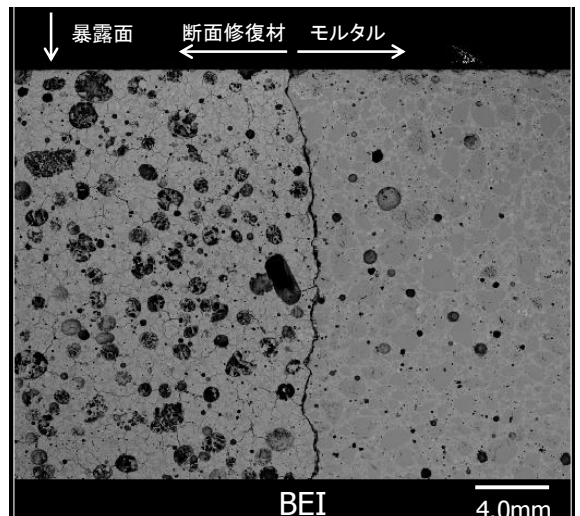


図2 界面近傍の反射電子像

キーワード 補修, 断面修復, 界面, 塩分浸透, EPMA, 電子顕微鏡

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 電力中央研究所 地球工学研究所 TEL 04-7182-1181

### 3. 実験結果及び考察

図2にEPMA分析を実施した全範囲の反射電子像(BEI)を示す。界面は中央付近に明確に確認された。

図3には、図2と同じ範囲において塩素(Cl)濃度分布を示した。モルタル側では、暴露面から数mm程度の範囲でCl濃度がやや高くなっていることが確認できるが、より深い部分ではほぼ一定の濃度分布となっていた。暴露面付近でCl濃度が高くなっている理由については、塩水の噴霧が1日に1度であり、噴霧の間に試験体表面が乾燥するため、濃縮が生じていることが考えられる。断面修復材側では、Clの浸透が確認できる深さは暴露面から5mm程度であり、モルタル部に比べ、塩分浸透への抵抗性が高いことが分かる。一方で、界面近傍のCl濃度に着目すると、断面修復材側において界面と直交する方向に濃度勾配が生じており、Clの確認できる深さは界面から3mm程度であった。

図4には、図2の範囲のうち、暴露面を含む界面付近を拡大し、炭素(C)濃度分布を示した。界面には数 $\mu\text{m}$ ~数十 $\mu\text{m}$ 程度のC濃度が高い領域が存在することが確認され、図5に示すように、電子顕微鏡によっても同様の領域が確認された。なお、電子顕微鏡においてはEDX分析によりC濃度の高い領域を確認している。この領域は、材料の成分から樹脂の層であることが分かる。また、プライマーを先行して施工しているため、打設後の水分の移動や、それに伴う断面修復材中の樹脂の濃縮は生じにくいと考えられることから、断面修復材に含まれる樹脂によるものではなく、プライマーによる樹脂の層であると考えられる。

以上から、モルタル部に浸透したClが樹脂の層を通じて拡散した可能性が考えられるが、この点についてはさらなる検討が必要である。一般に、プライマーはドライアウトの防止(施工の安定)、接着強度の上昇等を目的として使用される[2]が、物質移動の観点での役割を把握することも重要と考えられる。塩害を対象に断面修復を施工した場合には、今回の実験と同様に、プライマーを含む界面近傍が母材に含まれる塩分の影響を受けることも考えられるため、これを考慮した耐久性の検討が必要である。

### 4. まとめ

断面修復を模擬したモルタル試験体によって、界面の微細組織観察を実施した。界面には樹脂の層が生じ、この層を通じて母材に浸透した塩分が断面修復材へ拡散した可能性を示した。今後、引き続き環境負荷を継続し、界面への変状等を検討していく予定である。

**謝辞**：本研究は、電力9社、日本原子力発電(株)、電源開発(株)、日本原燃(株)による原子力リスク研究センター共通研究として実施した。関係各位に謝意を表す。

### 参考文献

- [1] 日本工業規格(JIS G 0594:2004) 無機被覆鋼板のサイクル腐食促進試験方法, 2004.  
 [2] 土木研究所: コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル(案), 2016.

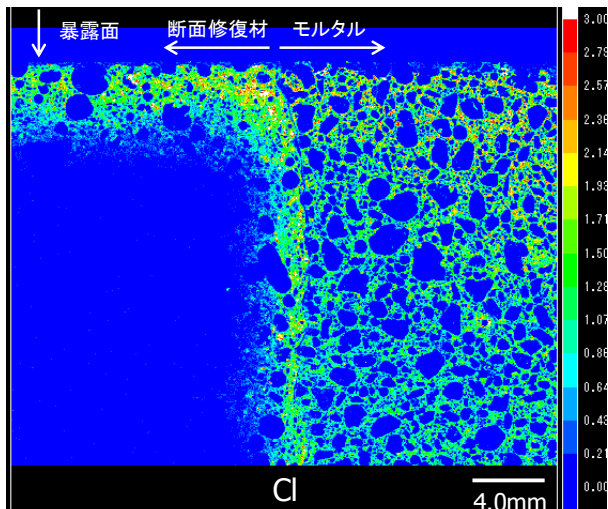


図3 界面近傍の塩素(Cl)濃度分布

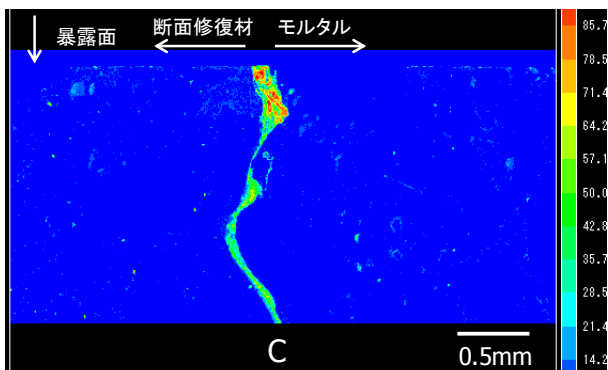


図4 界面近傍の炭素(C)濃度分布

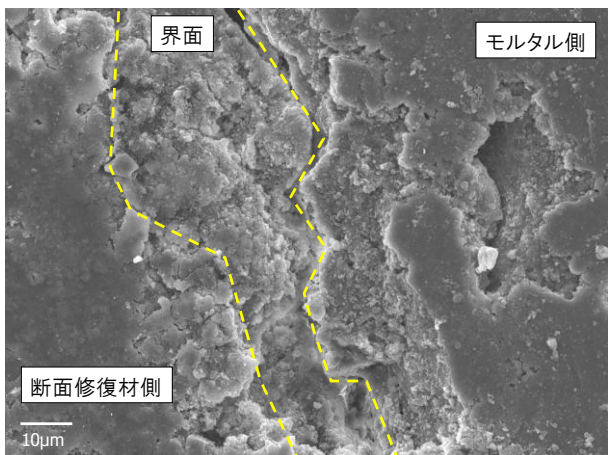


図5 界面近傍の電子顕微鏡像