

## 施工後の耐久性に着目したセメント系補修材の品質評価

材料技術研究部 コンクリート材料研究室  
室長 上田 洋

### 1. はじめに

セメント系補修材は、劣化したコンクリート構造物の断面修復等に広く用いられており、その耐久性を高めることは鉄道構造物の維持管理に大きな効果がある。セメント系補修材を用いて断面修復を行ったコンクリート構造物は、その多くが健全に使用されているが、施工後にひび割れやはく離等の変状を生じ、その後の維持管理に手間を要する例もしばしば見受けられる。

断面修復に広く用いられているセメント系補修材として、セメントモルタルにポリマーディスパージョンまたは再乳化形粉末樹脂を混和したポリマーセメントモルタル（以下 PCM と呼ぶ）がある。PCM の試験方法は、JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」に規定されているが、その性能は表 1 に示すように主に補修材単体で評価されており、構造物に施工した後の補修箇所全体の耐久性は評価されていない。これは、コンクリート構造物への施工後の評価がコンクリートの性状に左右され、製品の評価手法として適切ではないと判断されたためであろうが、実構造物ではコンクリートと補修材との接着面（以下、界面と呼ぶ）で変状が起こることも多く、これらの現象は補修材単体の性能評価では捉えることができない。

そこで、本研究 1) ではセメント系補修材として汎用的に使用されている PCM を対象として、コンクリートへの施工後の耐久性に着目した品質評価を行い、セメント系補修材の耐久性向上に繋げることを目的とした。

### 2. 検討項目および試験体作製

本研究では、コンクリートと PCM との界面に着目し、ひび割れ発生の特徴、接着特性ならびに界面に沿った水分移動抵抗性について検討した。コンクリート試験体には、表 2 に示す「普通 27-12-20N」のレディーミクストコンクリートを使用し、PCM には断面修復材として市販されている湿式吹付け 9 材料（補修材 A～I）を用いて、図 1 に示すようにコンクリート板の下面から施工した。PCM の配合や施工は各メーカーの仕様に基づき、施工した試験体は屋外に約 5 年間静置した。一部の試験体では、その一部分を切断して断面性状を確認したのちに静置した。なお、本研究では PCM 製品の種類による性能の優劣を見出すのではなく、一般的に生じ

表 1 セメント系補修材の評価項目

	補修材単体の評価	構造物への施工後の評価
強度性状	曲げ強さ 圧縮強さ	接着強さ 接着耐久性
耐久性	吸水率、透水量 長さ変化率 中性化深さ 塩化物イオン浸透 凍結融解抵抗性 透湿度	(なし)

JIS A 1171における硬化後の試験方法

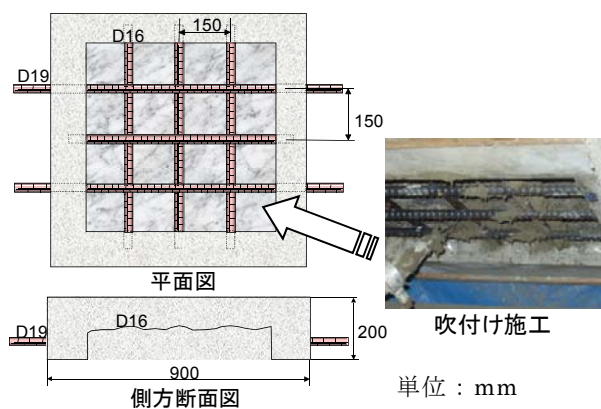


図1 試験体の概要

表2 コンクリートの配合

コンクリートの種類による記号	呼び強度	スランプ	粗骨材の最大寸法による記号	セメントの種類による記号		
普通	27	12	20	N		
水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤
53.0	46.1	170	321	814	976	4.173

る現象を明らかにすることを目指した。

### 3. 試験結果および考察

#### 3.1 ひび割れに関する検討

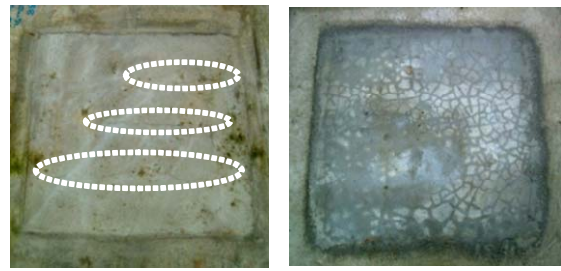
静置後の試験体を観察したところ、一部の試験体にひび割れが認められた。代表的なひび割れは、図2に示す4種類に分けられる。なお、(c)および(d)のひび割れは一部を切断して静置した試験体の切断面にて観察された。(a)および(b)のひび割れはPCMの収縮によると考えられ、(c)のひび割れはコンクリートとPCMとの間における膨張・収縮挙動の不一致によると考えられる。(d)のひび割れは、PCMを複数回施工する際の施工層間とほぼ一致したことから、各層における硬化性状の違い等に起因した膨張・収縮挙動の不一致によると考えられる。各ひび割れのうち、(c)および(d)のひび割れは構造物表面からは確認することができず、これらがコンクリート内部で進展すると、補修材のはく落に繋がることになるが、ひび割れのコンクリート内部への進展はわずかであった。

#### 3.2 接着特性に関する検討

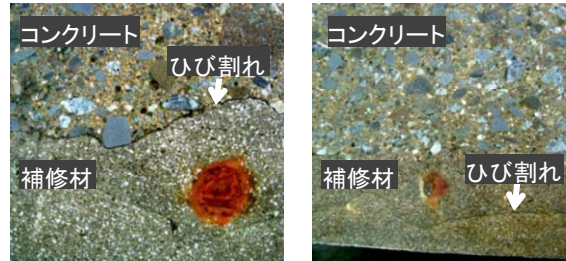
接着強度試験は、試験体にφ75mmの大きさで補修材側からコンクリートに達するまで切り込みを入れ、鋼製アタッチメントをエポキシ樹脂で接着させた後、建研式接着試験機を用いて行った。試験は、比較のためにコンクリート単体でも実施した。図3は、材齢28日の測定結果と材齢約5年の測定結果のそれぞれについて、各測定値を示したものである。接着強度にはばらつきがみられるが、全体的にみると図4に示すように、多くのPCMにおいて材齢5年の平均値が材齢28日と比べて高く、接着強度は材齢とともに増進する傾向にある。

#### 3.3 コンクリートと補修材との界面に沿った水分移動抵抗性に関する検討

吹付け施工した試験体から、一辺が200mmの立方体となるように切り出し、その中央にφ75mmの孔を補修材側からコンクリート面に達するまで削孔してこの孔を水で満たし、試験体側面からの水分滲出状況を調べた。なお、試験体側面には水を検知すると赤色に着色する試薬を事



(a) 鋼材に沿ったひび割れ (b) PCM表面の微細ひび割れ



(c) コンクリートとPCMとの界面ひび割れ (d) 鋼材を回避したPCM内部ひび割れ

図2 試験体のひび割れ発生状況

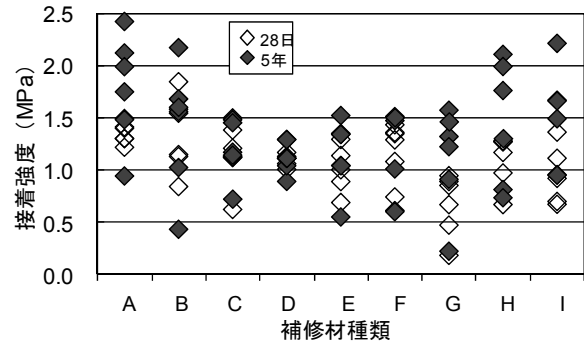


図3 補修材の接着試験結果 (各測定値)

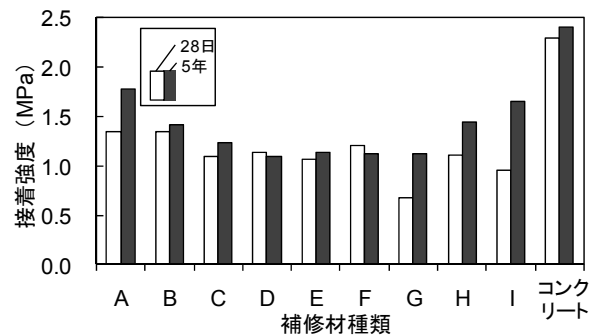


図4 補修材の接着試験結果 (平均値)

前に噴霧した。

図 5 に試験結果の例を示す。図 5(a)では、試験開始 2 分後にはコンクリートと PCM との界面からわずかに水の滲出がみられ、5 分後には水の滲出が明瞭に観察された。60 分後になると、滲出した水が周辺に広がる結果となった。図 5(b)は、試験開始 10 分後の観察例で、補修材 B,C,F はいずれも界面から水が流れ出しており、流出箇所では粗大な空隙が存在することが推定される。

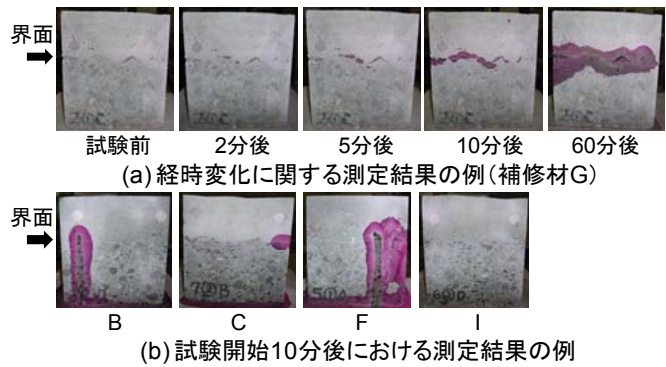


図 5 水分滲出試験結果の例

補修材 I では、水の滲出は認められなかった。測定した試験体の各面（計 20 面）について水分滲出の発生比率をまとめると、水分滲出のみられた試験面が全体の 45% に達した。このような水の滲出は、試験体内部にいわゆる「水みち」が形成された際に発生するもので、界面ではこのような水みちが発生しやすい、いかえれば界面では水分移動抵抗性が低いことを示している。このような水みちの発生は、広義に捉えれば施工欠陥の一つとも解釈し得るが、慎重に施工された試験体の多くに発生していることから、いわゆる粗雑な施工によるものではなく、この補修システムが本質的に内在する課題であるといえる。

### 3.4 小孔を用いた吸水試験

図 5(b)をみると、水の滲出箇所は界面全域ではないことから、界面の性状は場所によって異なると考えられる。そこで、界面の比較的小さい領域における性状を調べるため、吹付け施工した試験体に小孔を開け、その孔を用いた吸水試験を行った。小孔は、試験体端部から 50mm の箇所にて  $\phi 10\text{mm}$  の孔を 1 試験体あたり 5 箇所（計 45 箇所）開け、水を注入した後に水位の時間変化を調べた。また、比較のためにコンクリート単体での試験も実施した。孔壁にある界面等からコンクリートや PCM に浸透する水が多いと、水位の時間変化が大きくなる。

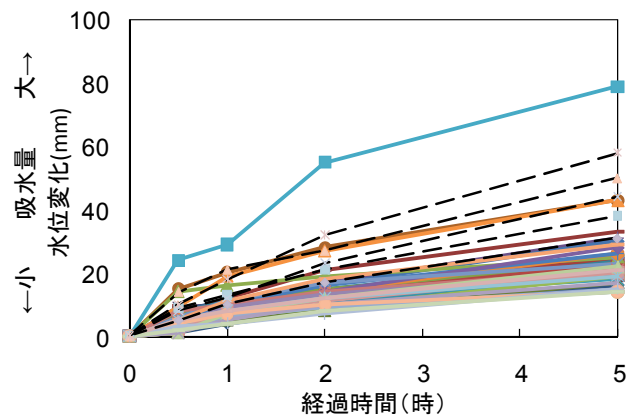


図 6 小孔からの吸水試験結果

破線はコンクリート単体の測定結果を示し、その他は補修材を施工した試験体における各測定結果をまとめて示した。

試験結果は図 6 に示すとおりで、水位の時間変化は多くの削孔箇所ではコンクリート単体よりも小さく、孔壁からの水分浸透は少なかった。

ただし、5 時間で約 80mm の水位変化を示した孔もみられ、この孔では孔壁に空隙があるといえる。水位変化が全体的に小さかったのは、削孔が小孔であったことから空隙に位置しない孔が多かったためと考えられる。

### 3.5 界面を含むコアの透水試験

次に、このような水分移動抵抗性を定量的に評価するために、界面に着目した透水試験を行った。試験には、吹付け施工試験体

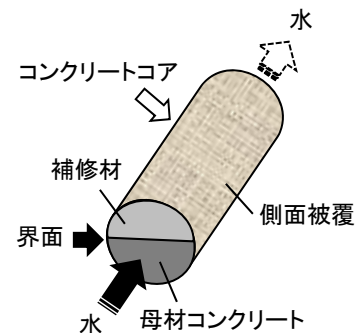


図 7 コアの透水試験

から界面を含むようにして採取したφ100mmのコアを用いた(図7参照)。また、比較用としてコンクリート単体での試験も実施した。試験は、コアを円筒容器に入れて周囲をエポキシ樹脂でシールした後、透水試験器に設置して水圧1MPaで48時間加圧し、その間に水の排出が認められた場合にはアウトプット法により透水係数を求め、水の排出が認められない場合にはインプット法により拡散係数を求めて透水係数に換算した。試験結果は図8に示すとおりで、コンクリートとほぼ同じ透水性を有する例もみられたが、そのほかのコアはいずれもコンクリート単体と比べて透水係数が約10~100倍と非常に大きくなり、界面における水分移動抵抗性が全体的に極めて低いことがわかった。

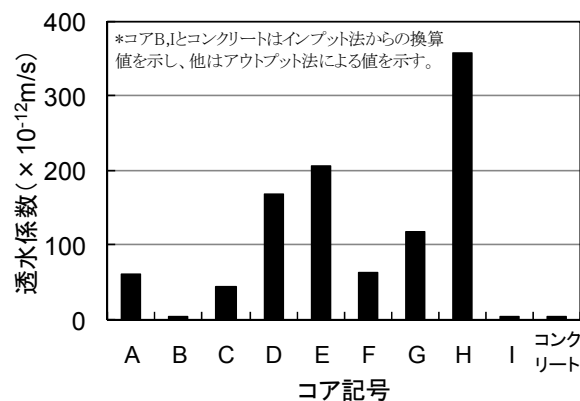


図8 コアの透水試験結果

#### 4. セメント系補修材を施工したコンクリートの耐久性

本研究の結果から、セメント系補修材を施工したコンクリート構造物では、コンクリートと補修材との界面に起因した諸現象がみられ、特にコンクリートと補修材との界面に沿った水分移動抵抗性は全体的に極めて低いことがわかった。実構造物でも、コンクリートと補修材との界面から水が浸透することで鋼材腐食を生じる例は多くみられる。この現象は、従来の評価では捉えられないことから、新たな品質評価の観点として界面での水分移動抵抗性に着目し、その指標として界面での透水係数を測定することが有効である。この指標を用いることにより、補修材の性能向上や材料特性に応じた下地処理の工夫などに繋げることができる。また、当面の対策として、界面から水が浸透しやすい箇所では鋼材背面まではつり取るなど鋼材位置が界面にならない補修が効果的であるといえる。

#### 5. おわりに

本研究では、セメント系補修材として一般的なポリマーセメントモルタル(PCM)を施工したコンクリートについて、コンクリートと補修材との界面における諸特性を明らかにしたものである。得られた成果の概要を以下に示す。

- (1)補修材の吹付け施工では、コンクリートとの界面および補修材の施工層間等にひび割れの発生がみられる事例があったが、本研究の範囲ではこれらのひび割れの躯体内部への進展はごくわずかである。
- (2)コンクリートと補修材との界面での接着強度にはばらつきがみられるが、全体的には材齢とともに増進する傾向にある。
- (3)コンクリートと補修材との界面における透水係数は、コンクリートの10~100倍程度が多く、界面での水分移動抵抗性は全体的に極めて低い。今後、セメント系補修材の評価にあたってはコンクリートとの界面に沿った水分移動抵抗性に着目した評価を行うことが重要である。

コンクリートと補修材との界面に関する技術向上により、セメント系補修材を施工した後のコンクリート構造物の耐久性をより高めることができると考えられ、引き続き研究をしていきたい。参考文献

- 1) 上田洋, 工藤輝大, 玉井譲: 鉄道総研報告, Vol.24, No.8, pp.5-10 (2010)