

# ポリマーセメント系湿式吹付けモルタルの 長期耐久性に関する検討

早川 健司\* 伊藤 正憲\* 前原 聡\*

**要約：** これまで開発してきた補修・補強用湿式吹付け工法は、ノズル先でアルカリフリー液体急結剤を添加することにより一度に 100mm 以上の厚さで吹付けることができ、さらに、流動性の高いモルタルを使用するため圧送中の閉塞が少なく、また、鉄筋背面への充填性を向上させたポリマーセメント系湿断面修復吹付け工法である。

本報では、本工法で施工した断面修復材の長期耐久性を評価することを目的として実施した躯体コンクリートとの付着性状、遮塩性、耐硫酸塩性等に関する促進および暴露実験結果について報告する。各評価試験の結果、付着強度は長期的に安定して発現されていること、遮塩性能はコンクリートよりかなり高いこと、また耐硫酸塩性はコンクリートと同等以上であることが示された。

**キーワード：** 補修、断面修復、ポリマーセメントモルタル、付着強度、遮塩性、耐硫酸塩性

目次：	1. はじめに	4. 試験結果および考察
	2. 工法概要	5. 結論
	3. 試験概要	

## 1. はじめに

これまで筆者らは断面修復工法としてアルカリフリー液体急結剤を使用したポリマーセメントモルタルの湿式吹付け施工システムを開発してきた<sup>1)</sup>。本工法（ジョツ・クリート工法）は、ノズル先でアルカリフリー液体急結剤を添加することにより一度に 100 mm 程度の厚さで吹付けることができ、さらに流動性の高いモルタルを使用するため圧送中の閉塞が少なく、また鉄筋背面への充てん性を向上させた断面修復工法である。

本工法により施工した断面修復材の遮塩性等の耐久性についてはポリマーセメントモルタルの一般的な耐久性に関する試験により性能を確認しているが<sup>2)</sup>、断面修復材の長期性状については、施工条件・環境、暴露条件等の影響を受けるため、促進試験や暴露試験等により評価することが重要である。

本報では、本工法の断面修復材の長期性状の評価を目的に、暴露・促進期間を 1 年程度と比較的長期として実施した付着性、遮塩性、耐硫酸塩性について評価した結果について報告する。

ここで、断面修復に用いるためには躯体コンクリートと一体となることが前提となるため、付着性状は断面修復材に要求される最も重要な性能の一つである。遮塩性の評価は、塩害劣化した構造物の断面修復にお

ける補修後の耐用年数を設計するのに必要である。また、山岳トンネル覆工において漏水中に含まれる硫酸塩による劣化が報告<sup>3)</sup>されており、トンネル覆工の断面修復や増厚へ適用する場合を想定して耐硫酸塩性の評価を実施した。

## 2. 工法概要

表 1 に本工法に用いる吹付け材料、表 2 に吹付け材料の標準配合を示す。本工法の主材料であるポリマーセメントモルタルはセメント、砂、混和材、再乳化粉末樹脂等を適正配合したプレミックス材料である。

図 1 に本工法の吹付けシステムを示す。本工法は、一

表 1 吹付け材料

種類	主成分等
プレミックス材料	セメント、砂、混和材、再乳化粉末樹脂等
急結剤	水溶性アミン塩
繊維	ビニロンφ0.1mmL13mm

表 2 標準配合

	プレミックス材料	水	急結剤	繊維
単位量 (kg/m <sup>3</sup> )	1925	243	25	5
範囲	—	±12.8 kg	0.9~2.2 wt%※	0.2~0.6 vol%※

※モルタルに対する百分率

\*土木エンジニアリング部 土木施工グループ

一般的な湿式吹付け工法と同様の工程で作業することができる。

表 3 に断面修復材の基本的な硬化物性値を示す。本断面修復材は乾燥収縮が小さく、また中性化に対する抵抗性が高い等、耐久性に優れるものである。

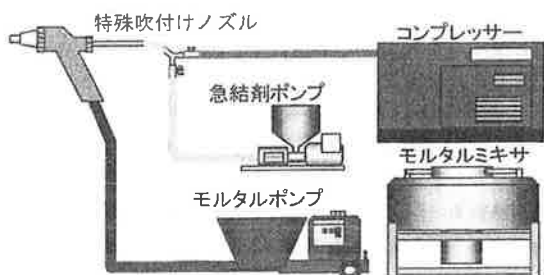


図1 吹付けシステム例

表3 基本物性値

試験項目	試験結果	準拠基準
曲げ強さ	9.4N/mm <sup>2</sup>	JIS A 1171-2000 7.2
圧縮強さ	54.8N/mm <sup>2</sup>	
接着強さ	2.8N/mm <sup>2</sup>	JIS A 1171-2000 7.3
吸水量	16.1g	JIS A 1171-2000 7.4
透水量	0.2ml/h	JIS A 6916-2000 7.15
長さ変化	0.064%	JIS A 1171-2000 7.6
熱膨張係数	0.125×10 <sup>-4</sup> /°C	JCI(14案)
中性化深さ	<0.1mm	JIS A 1171-2000 7.7
塩化物イオン浸透深さ	<0.1mm	JIS A 1171-2000 7.8
凍結融解抵抗性	300サイクル異常なし	JIS A 1171-2000 7.10

### 3. 試験概要

#### 3.1 供試体の作製方法

各試験用の供試体は、表 1, 2 に示した材料・配合を使用し、図 1 の吹付けシステムを用いて作製した。各供試体の作製方法を以下に述べるが、各供試体は実施工レベルで作製したため、吹付け方向、モルタル温度、初期養生温度等の条件は異なる。

付着供試体は地下鉄トンネルを対象とした試験施工<sup>3)</sup>および海岸付近の道路橋脚を対象とした試験施工時に 300×300×50mm のコンクリート平版へ 10mm 厚で吹付け施工して作製した。遮塩性の評価には、試験施工を行った道路橋脚から材齢 7 日にコア採取した供試体を用いた。コア径は 50mm であり、コア長は断面修復厚さ約 100mm に加え、躯体コンクリート 50mm 程度を含む全長 150mm 程度である。ここで、コア採取位置には躯体コンクリート界面から約 20mm の位置に試験用の鉄筋 D10 を設置し、コアは鉄筋を含むように採取した。試験用の鉄筋を配置したのは、鉄筋背面は吹付け充填が比較的困難な部分であり、塩分を含む躯体コンクリート側からの塩化物イオン浸透の評価等を目的としたためである。耐硫酸塩性に用いた供試体は実施工と同じ

吹付けシステムを用いて 300×300×40mm の木箱に吹き付け、材齢 1 日で脱型後、40×40×160mm の供試体を切出した。

#### 3.2 暴露・促進条件および試験方法

作製した付着供試体は列車振動の影響を受ける地下鉄坑内、乾湿の影響を受ける屋外環境（神奈川県相模原市）、また 20°C、60%R.H の恒温室内のそれぞれに暴露した。付着試験は、40×40mm のアタッチメントを取付けた後、その周辺をコンクリート層まで切込み、建研式引張機を用いて実施した。

遮塩性は乾湿繰返しによる促進試験を行って評価した。採取したコア供試体は表面を除く各面をエポキシ樹脂でコーティングし、塩水噴霧 12 分と温風乾燥 5 時間 48 分を 1 サイクルとして 1000 サイクルまで実施した。1000 サイクル終了後の供試体は図 2 に示すようにカットし、表面付近および躯体コンクリート界面付近を対象とし、EPMA による面分析を行った。

耐硫酸塩性は供試体にコンタクトチップを取付け、材齢 1 日から 10%NaSO<sub>4</sub> 溶液に浸漬し、浸漬期間 38 週までの長さ変化（コンタクトゲージ法による）および質量変化を測定した。

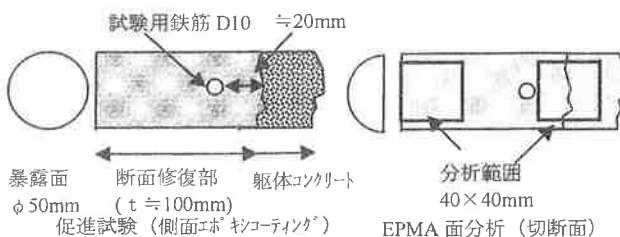


図2 遮塩性評価試験の概要

### 4. 試験結果および考察

#### 4.1 付着性能

図 3 に、材齢と付着強度の関係を示す。材齢 7 日から恒温室内に気乾暴露した供試体の付着強度は材齢 28 日で 3.9N/mm<sup>2</sup> であった。一方、実環境に暴露した供試体の

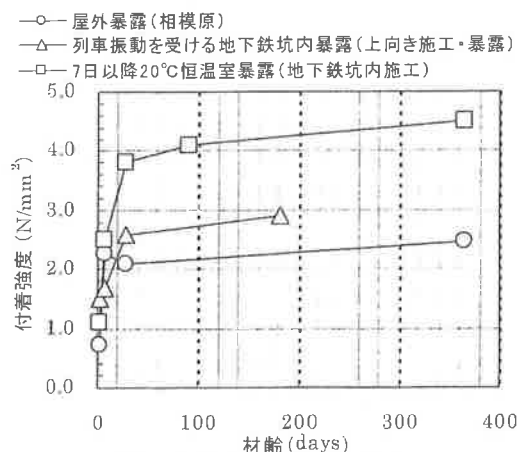


図3 材齢と付着強度の関係

うち、列車振動を受ける地下鉄坑内に暴露したものは材齢 28 日で  $2.3\text{N/mm}^2$ 、また乾湿繰返しを受ける屋外暴露においては  $2.1\text{N/mm}^2$  であった。一般に、断面修復材の付着強度の基準値は、材齢 28 日で  $1.0\sim 1.5\text{N/mm}^2$  である<sup>4)</sup>。本試験結果は材齢 28 日でいずれも  $2.0\text{N/mm}^2$  以上であり、断面修復材に要求される付着強度を満足した。ここで各暴露条件によって材齢 28 日の強度が異なった原因としては、水量や急結剤添加率が標準範囲内で異なること、吹付け圧力等の施工条件、施工環境、暴露条件、またコンクリート基板の強度等の影響が考えられる。しかし、各供試体の付着強度は材齢 28 日以降、半年、1 年の長期材齢において増加傾向を示し、実環境においても所要の強度が安定して確保されていることが確認できた。

#### 4.2 遮塩性

図 4 に促進 1000 サイクル後の EPMA による Cl の分析結果を示す。ここで、濃紺部分が Cl 無混入、黄緑、黄色、赤、白の順に濃度が高いことを示している。比較のため同条件で促進養生した塩害環境で一般に使用される W/C50%以下で指定されたコンクリートの分析結果も合わせて示す。

コンクリート供試体は表面から 25mm 程度塩分が浸透しているのに対し、本工法における断面修復材は表面から 7mm 程度であり、遮塩性に優れていることが示されている。また、躯体コンクリートとの界面の測定結果を見ると、躯体コンクリートには約  $0.25\%$  (約  $5.7\text{kg/m}^3$ ) の Cl が存在しており、この内在塩分が断面修復側に 6mm 程度拡散している様子が確認できる。

表 4 に、各 EPMA の分析結果を数値化した Cl 濃度分布を用い、フィックの拡散方程式の解で回帰分析して求めた見かけの拡散係数を示す。表中には土木学会コンクリート標準示方書の塩化物イオンに対する拡散係数の照査に示されている予測式から算出した拡散係数（普通ポルトランドセメント、W/C50%）も合わせて示す。

見かけの拡散係数は、コンクリートで  $4.8\times 10^{-8}\text{cm}^2/\text{sec}$ 、断面修復材は暴露面側および躯体境界側でそれぞれ  $1.6\times 10^{-9}$ 、 $2.7\times 10^{-9}\text{cm}^2/\text{sec}$  程度であり、断面修復材の拡散係数はコンクリートの 1/10 以下であった。ここで、断面修復材の拡散係数は暴露面側と躯体界面側で同程度であり、吹付け充填が比較的困難な鉄筋背面でも表面側と同等の断面修復層が形成されていると推察できる。この見かけの拡散係数を用い、本促進環境下での塩化物イオンの拡散を予測すると、例えばかぶり 5cm 位置が一般に鉄筋の発錆限界とされる  $1.2\text{kg/m}^3$  となる時期は、コンクリートで約 1.6 年後、断面修復材では約 69 年後となる。実際の塩害環境と本促進条件の厳しさを比較することは難しいが、本断面修復材は一般的なコンクリートと比較してかなり遮塩性に優れていると考えられる。

#### 4.3 耐硫酸塩性

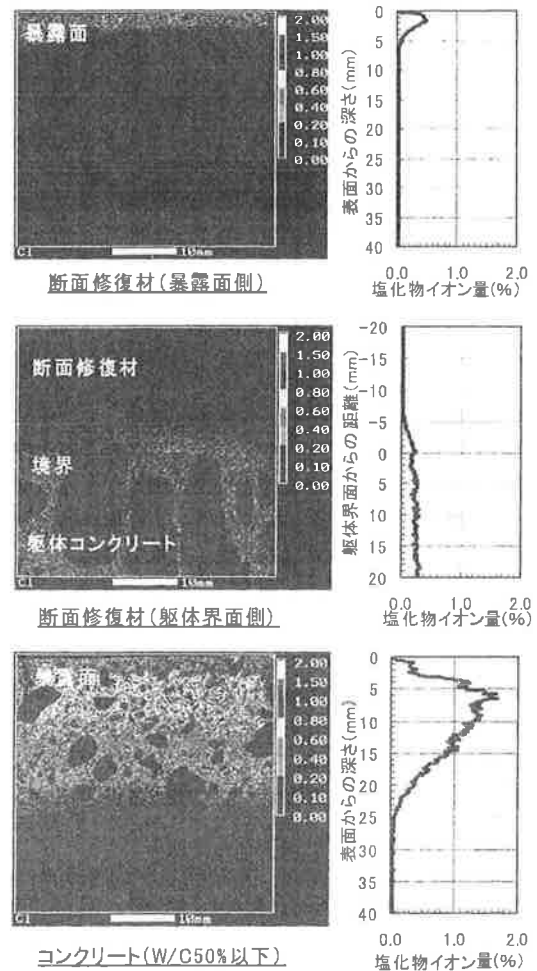


図 4 EPMA による Cl の面分析結果

表 4 見かけの拡散係数

供試体	見かけの拡散係数 ( $\text{cm}^2/\text{sec}$ )
コンクリート	$4.8\times 10^{-8}$
断面修復材(暴露面側)	$1.6\times 10^{-9}$
断面修復材(躯体界面側)	$2.7\times 10^{-9}$
土木学会予測式(W/C50%)	$5.3\times 10^{-8}$

図 5 に  $10\%\text{NaSO}_4$  溶液への浸漬期間と長さ変化および質量変化の関係を示す。各試験体とも浸漬期間 38 週においてひび割れ等の外観変状は観察されていない。急結剤添加量 2.2%では他より若干長さ変化および質量変化が大きいが、この一原因としてはモルタルの空隙組織の違いが考えられる。ただし、その差はわずかであり、また添加率 1.2、1.7%は急結剤なしと同程度の長さ変化を示した。 $10\%\text{NaSO}_4$  浸漬による既往の研究<sup>9)</sup> (W/C57%のコンクリート)における長さ変化は、6ヶ月で  $400\times 10^{-6}$ 程度、10ヶ月で  $900\times 10^{-6}$ 程度、14ヶ月で  $2500\times 10^{-6}$ 程度と浸漬 6ヶ月以降に急激に増加する傾向が報告されていること等と比較すると、本工法の急結剤

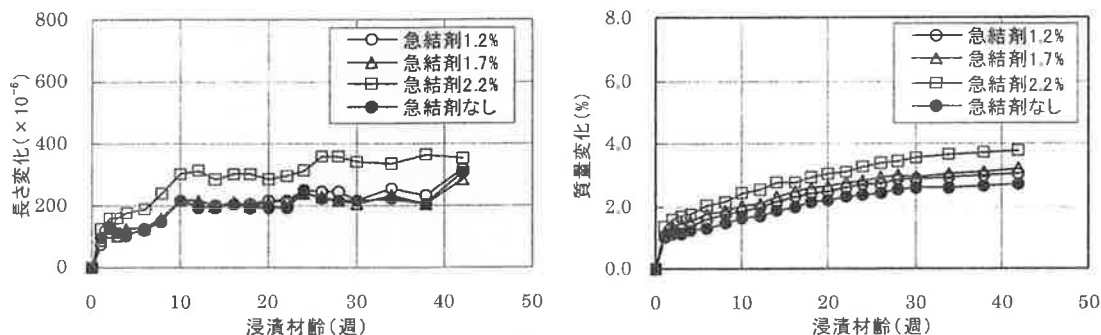


図5 浸漬材齢と長さ変化、質量変化の関係 (10%NaSO<sub>4</sub>浸漬)

添加の範囲では耐硫酸塩性への影響はなく、土木学会コンクリート標準示方書に示されている硫酸塩を含む環境で使用する場合の最大水セメント比 50%以下のコンクリートと同等以上であると思われる。本浸漬試験は継続中であり、より長期浸漬での評価を実施中である。

## 5. 結論

本報では、ポリマーセメント系湿式吹付け工法による断面修復材の付着性、遮塩性、耐硫酸塩性に関する評価を実施した。得られた結果を以下にまとめる。

(1) 付着強度は材齢 28 日で 2.0N/mm<sup>2</sup> 以上得られ、列車振動を受ける地下鉄坑内、また屋外暴露における長

期材齢でも安定した付着強度が確保されている。

(2) 本断面修復材は遮塩性に優れ、塩化物イオンの拡散係数は 10<sup>-9</sup>cm<sup>2</sup>/sec のオーダーであり、W/C50%程度のコンクリートの 1/10 以下であった。

(3) 10%NaSO<sub>4</sub> 溶液へ 38 週間浸漬した結果、ひび割れ等の外観変状は認められず、長さ変化等も安定しており、実用上耐硫酸塩性に問題ないことが確認された。

本報告では、急結剤を併用したポリマーセメント系湿式吹付け工法による断面修復材の耐久性評価を行った。暴露・促進試験の継続、また本工法を適用した実構造物の追跡調査等により、今後も長期耐久性の評価を実施していく予定である。

## 謝 辞

ジョツ・クリート 工法は、(財)鉄道総合技術研究所、(株)大林組、昭栄薬品(株)、日本化成(株)と共同開発したものであり、地下鉄工事への適用に関しては、東京地下鉄(株)、(株)大林組との共同研究「吹付けコンクリート補修工法の鉄道トンネルへの適用に関する共同研究」、道路橋の橋脚躯体部を対象とした試験施工および遮塩性に関する評価試験は、新都市社会技術融合創造研究会傘下「既設構造物の延命化技術に関する研究プロジェクト」の一環として実施したものである。末筆ながら、関係各位に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 例えば、伊藤正憲・青木茂・平田隆祥・早川健司・阿部宏・鳥取誠一：液体急結剤を使用した高品質ポリマーセメント系断面修復吹付け工法の開発，土木学会論文集 F, Vol. 62, No. 3, 2006
- 2) 上田洋・松田芳範・西尾壮平・佐々木孝彦：トンネル覆工の劣化について，コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, 2004
- 3) 早川智浩，大坪清隆，伊藤正憲，楠本秀樹，阿部宏：ポリマーセメントモルタルを用いた湿式吹付け断面修復材の初期付着特性について，土木学会関東支部第 31 回技術研究発表会，2004
- 4) 土木学会：コンクリートライブラリー第 123 号，吹付けコンクリート指針(案) [補修・補強編]，2005
- 5) 松下博通，牧角龍憲，濱田秀則：硫酸塩によるコンクリートの劣化に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集, Vol. 7, 1985

## STUDY ON LONG-TERM DURABILITY OF POLYMER-MODIFIED MORTAR BY WET SPRAYING

K.Hayakawa, M.Ito, and S.Maehara

The wet spraying method which uses together with alkali free liquid accelerator and polymer-modified mortar is characteristic as follows:1)The method can be applied to the maximum spraying thickness of up to 100mm. 2)Relatively high strengths are achieved at early age.3)The pumpability and the filling on the back of a steel-bar are excellent.

In this study, several tests were carried out to investigate long-term durability of polymer-modified mortar by this method. The evaluation executed bond characteristics between existing concrete and spraying mortar, chloride resistivity and sulfate resisting behavior.