特集≫≫　維持管理・老朽化対策・リニューアル

高強度かつ高耐久性のセメント系繊維補強材料
タフショットクリート®

川　西　貴　士・石　関　嘉　一・平　田　隆　祥

我が国の建設投資が伸び悩む中，高度経済成長期に整備・建設された大規模な社会基盤ストックを維持するには，効率的な維持管理が必要となる。そのため，構造物の補修や補強においては，耐久性が高く，ライフサイクルコストを低減できる材料が求められている。そこで，高強度で高耐久性のセメント系繊維補強材料「タフショットクリート®」（以下「本補修・補強材料」という）を開発した。この材料の品質を確認した結果，圧縮強度を 100 N/mm^2 以上確保できること，中性化および塩害に対して高い抵抗性を有することを確認した。また，実際の構造物の補修工事に適用した結果，スラブ下面や壁面の断面修復において，十分な吹付け性能を有することを確認した。

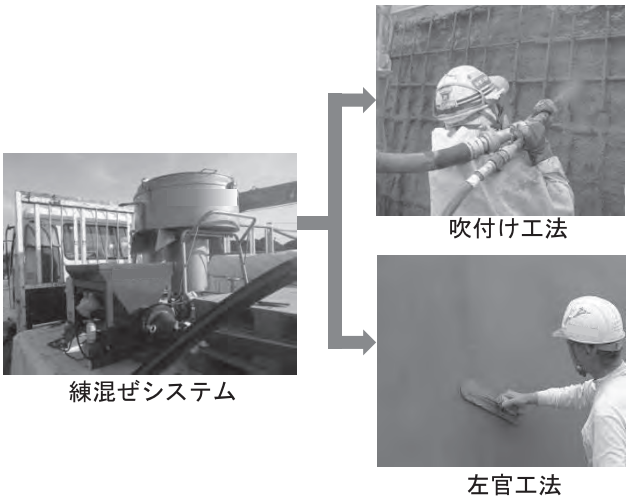
キーワード：リニューアル，高強度，高耐久性，ノンポリマー，吹付け，左官，断面修復，補修補強

1. はじめに

我が国の社会基盤ストックは，高度経済成長期に整備・建設されたものが多く，大半の構造物が供用開始から 50 年を超え，大規模な補修や補強を必要とする構造物が増大している[1)]。建設投資が伸び悩む中，社会基盤ストックを維持していくために，効率的な維持管理が求められている。そのため，構造物の補修や補強においては，耐久性が高く，ライフサイクルコスト（以下，LCC と呼称）を低減できる材料が必要となっている。

劣化したコンクリート構造物の断面修復用の材料として，一般にポリマーセメントモルタル（以下，PCM と呼称）が使用される。PCM は，セメント系のモルタルと比べて，躯体との付着性が良く，曲げ強度および引張強度が高いため，施工実績が増加している[2)]。しかし，PCM はポリマーが混入されているため，電気抵抗が高く，ポリマーが混入されていない普通のコンクリートとの間に電位差が生じる。そのため，特に塩害や中性化による劣化の起こりやすい海岸などの特殊な環境下では，断面修復部の周辺にマクロセル腐食による再劣化が発生する可能性があることが指摘されている[3)]。また，海岸の構造物は，PCM を用いて劣化部の断面修復を行った後，塩分浸透を防止するために，表面被覆材を塗装する場合が多い[4)]。しかし，表面被覆材は，有機系の材料を使用することが多いため，比較的劣化が早く，10 年程度で再塗装を施す必要があり，足場設置費等も含めて LCC が増加する。また, PCM 自体の耐用年数も 30 年程度と比較的短い。

このような背景から，構造物の劣化部の補修・補強材料として，高耐久な補修・補強材料が求められている。このニーズに応えるべく，ポリマーを添加することなく圧縮強度 100 N/mm^2 以上，耐用年数 50 年以上を確保できるセメント系繊維補強材料「本補修・補強材料」を開発した。従来の PCM と比較してコストは同等で，優れた性能を有する材料であり，部材の厚さを低減できるとともに，LCC も低減でき，左官・吹付けの両方に使用できる（**図―1**）特徴を有する。本稿は，この本補修・補強材料の概要と施工事例を紹介する。



図―1　吹付け工法・左官工法併用のイメージ

2. 本補修・補強材料とは

(1) 特長

一般のPCMと本補修・補強材料の性能の比較を**表―1**に示す。一般のPCMは，圧縮強度が40 N/mm^{2}程度であるのに対し，本補修・補強材料は，長期的に100 N/mm^{2}の圧縮強度を確保できる材料である。このため，一般のPCMより少断面で同じ荷重を負担することが可能で，補強時の部材の厚さを低減でき，スリム化が可能となる。

表―1　一般のPCMとの性能比較

項目	一般のPCM	本補修・補強材料
圧縮強度	40 N/mm^2	100 N/mm^2
同じかぶりにおける耐用年数	30年	50年
1回の施工で可能な吹付け厚さ	20 mm	40 mm

本補修・補強材料は組織が緻密であるため，二酸化炭素，塩分および水等が浸透しにくく，中性化および塩害に対して高い抵抗性を有する材料である。一般のPCMの耐用年数は30年程度であるが，本補修・補強材料は，50年以上の耐用年数を確保できる。この材料が有する高い耐久性により，LCCの低減が可能となる。

コンクリート構造物の補修・補強を行う場合，従来は，施工規模の大小に応じて，吹付け工法と左官工法とを使い分けている。そのため，それぞれの施工方法に応じて別々の種類のPCMを使う必要があり，作業が煩雑になりがちであった。本補修・補強材料は，練混ぜ水量を調整することで，吹付け工法と左官工法のどちらの工法にも使用が可能であり，建築構造物など比較的に狭い場所の施工から，桟橋の補修など土木構造物の広範囲の施工に至るまで，一種類の材料で対応することができる。また，この工法は吹き付けた後でも，容易にこて仕上げを施すことができ，表面を平滑に処理できる。さらに，付着性も優れており，一度に厚く吹き付けることができるため，吹付け回数の低減などにより工期の短縮が可能となる材料である。

(2) 材料

本補修・補強材料用の結合材には，高強度用の特殊セメント系材料を使用している。構成材料を**表―2**に示す。荷姿は混和剤等を内添したプレミックスタイプの袋体である。また，補強用の有機短繊維は，ビニロン短繊維，ナイロン短繊維，ポリプロピレン短繊維などを目的に応じて使用する。

表―2　構成材料

材料	仕様
プレミックス粉体	高耐久特殊セメント材 本補修・補強材料
練混ぜ水	水道水
短繊維	ビニロン短繊維 ナイロン短繊維 ポリプロピレン短繊維

モルタルの練混ぜ方法は，プレミックス粉体と練混ぜ水をモルタルミキサに投入して3分間練り混ぜた後，有機短繊維を投入し，さらに1分間練り混ぜる。練混ぜの状況を**写真―1**に示す。練り上がったフレッシュモルタルの品質は，JIS A 1171に準拠し，小型のスランプコーンを用いたスランプ試験により管理する。目標スランプは，圧送性，吹付けや仕上げの施工性から45 mmと設定した。スランプ試験の状況を**写真―2**に示す。

(3) 品質

本補修・補強材料の品質として，圧縮強度，中性化に対する抵抗性および遮塩性について確認した。実験結果を以下に示す。

写真―1　モルタルの練混ぜ状況

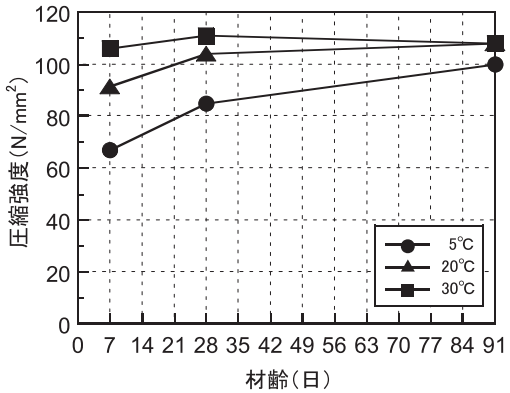
写真―2　スランプ試験の状況

練上り温度を5℃，20℃および30℃と変化させて，圧縮強度特性を確認した。圧縮強度試験の結果を**図―2**に示す。5℃の環境下でも，材齢91日で圧縮強度100 N/mm^{2}を確保できる。

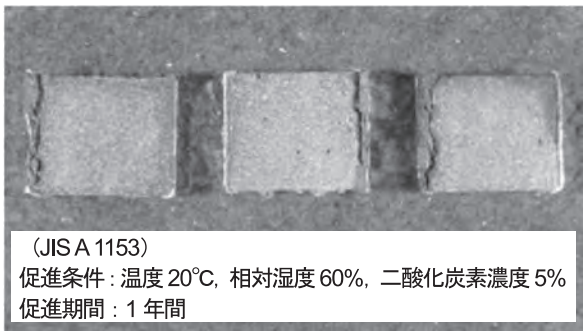
中性化に対する抵抗性は，JIS A 1153に準拠した促進中性化試験により確認した。温度20℃，相対湿度60%，二酸化炭素濃度5%の環境下で，1年間促進した後の中性化深さは0.1 mm以下であった。中性化深さの状況を**写真―3**に示す。遮塩性は，JSCE-G 572に準拠した浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験により確認した。温度20℃で濃度10%の塩化ナトリウム水溶液中に試験体を浸せきし，塩化物イオン濃度をJSCE-G 574に準拠したEPMA法により測定した。浸せき期間12か月において，見掛けの拡散係数は0.046 cm^2/年であった。鋼材の塩化物イオンによる腐食発生限界濃度を1.2 kg/m^{3}とした場合の共用期間と塩化物イオンの浸透深さの関係を**図―3**に示す。かぶり40 mmで耐用年数50年を確保できることを確認した。

(4) 吹付けシステム

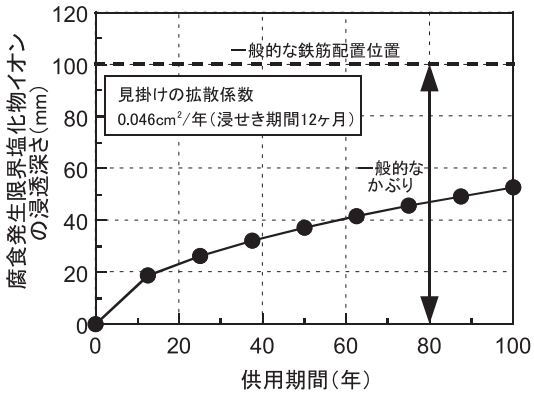
吹付けに使用する機械は，**写真―4**および**写真―5**に示すとおり，汎用のモルタルミキサ，ホッパー，スクイズポンプおよびコンプレッサーを使用したシステムとした。吹付けシステムの設置状況を**写真―6**に



図―2　圧縮強度の履歴



写真―3　促進中性化試験結果

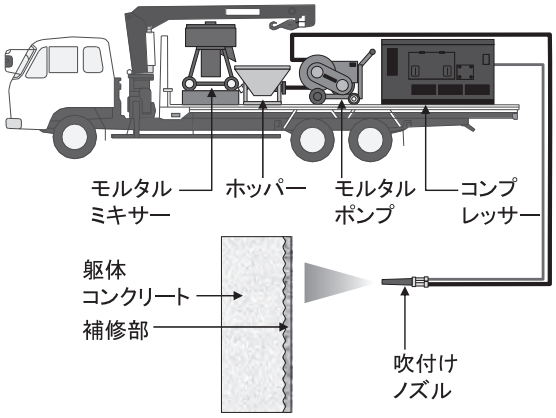


図―3　腐食発生限界塩化物イオンの浸透深さ

写真―4　モルタルミキサおよびホッパー

写真―5　スクイズポンプ

写真―6　吹付けシステムの設置状況



図―4　車載型の吹付けシステム

写真―7　吹付けの状況（床版下面）

示す。また，**図―4** に示すように，これらの使用機械をユニック車等のトラックに積載した車載型のシステムとすることで，容易に吹付け機械を移動することができ，延長の長い工事や施工範囲の広い工事にも対応可能である。

(5) 施工手順

本補修・補強材料を用いた補修の標準的な施工手順を説明する。最初にテストハンマー等により劣化範囲を調査し，浮きや剥離・剥落の認められる部位や塩分が浸透したコンクリートをすべて除去する。はつりとった打継ぎ面は微粉等が残らないよう圧縮空気等によりきれいに掃除を行う。次に，鉄筋の断面が腐食などで欠損している場合は代替鉄筋で補強を行い，鉄筋に防錆剤を塗布した後，はつり面にプライマーを塗布する。吹付け機械の準備が整ったら，モルタルの練混ぜを行い，吹付けを行う。吹付け完了後，桟木や定規等で粗仕上げを行い，最後に金ごてにより平滑に仕上げる。十分硬化した後，養生剤を塗布し，施工完了となる。

3. 実補修工事への適用

(1) 桟橋構造物の床版下面への適用（その 1）

海岸線に構築されている大型船が接岸する桟橋構造物が，塩害により著しく劣化していた。この桟橋構造物は，鋼管杭を基礎にした SRC 造の梁上部に RC 床版を設置した構造で，建設から約 45 年が経過して，梁や床版のかぶり部分のコンクリートの一部が剥離・剥落している状態であった。補修にあたり，耐久性の高い材料による補修が求められ，本材料を適用した。

事前に床版断面の塩化物含有量を調査し，塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m^3 以上に達する高濃度の塩分浸透部分を除去した。腐食により断面が欠損した鉄筋は交換し，露出した鉄筋全体に防錆材を塗布した。吹付け状況を**写真―7** に示す。断面修復の厚さは 130 mm 程度であった。1 層あたりの吹付け厚さは 40 mm 程度とし，4 層目の吹付けが完了した後に仕上げを行った。圧送距離は約 40 m であり，ϕ 50 mm の耐圧ホースとフレキシブルホースを繋いで使用した。施工速度は約 0.3 ～ 0.5 m^3/h であった。ポンプの圧力は標準的に 1.0 MPa で圧送でき，施工の状況は良好であった。

(2) 材料貯蔵設備の壁部材への適用（その 2）

大量の鉱石等を保管する RC 造の貯蔵設備の壁面が，鉱石等を投入する際の衝撃や摩耗等により，部材にひび割れやかぶり部分の剥離等が発生し，さらに鋼材腐食により剥落が生じていた。これまでは，普通のコンクリートの表面に鉄板を貼り付けて補修していたが，鉄板の摩耗や剥がれによる再劣化が発生した。そこで，補修にあたり，長期耐久性と摩耗に強い材料が求められ本補修・補強材料を適用した。

浮きが認められるコンクリートをすべてはつり取った後，腐食により断面が欠損した鉄筋は交換し，防錆剤を塗布した。壁面への吹付け状況を**写真―8** に示す。断面修復の厚さは 80 mm 程度であり，1 層あた

写真―8　吹付けの状況（壁面）

りの吹付け厚さは 50 mm 程度とした。圧送距離は約 25 m で，φ 50 mm の耐圧ホースとフレキシブルホースを繋いで使用した。施工速度は 0.8 m^3/h 程度で，ポンプの圧力は 1.0 MPa 程度であった。壁面への吹付けにおいても施工の状況は良好であった。

4. おわりに

ポリマーを添加することなく，圧縮強度 100 N/mm^2 以上の圧縮強度を有し，耐用年数 50 年以上確保できる高強度で耐久性に優れた本補修・補強材料「タフショットクリート®」を開発した。この工法を用いることで，生産性の向上とライフサイクルコストの低減が期待できる。今後，増大するコンクリート構造物のリニューアル工事に積極的に適用し，社会インフラ等の維持管理に貢献していく予定である。

謝　辞

技術開発にあたり，材料の選定，材料の製造･供給，データの測定等，多大な協力をいただいた宇部興産㈱の関係各位に 深謝致します。

JCMA

《参考文献》

1）土木学会：吹付けコンクリート指針（案）［補修･補強編］，コンクリートライブラリー第 123 号，2005.7
2）宮川豊章他：コンクリート補修・補強ハンドブック，朝倉書院，pp.425-430，2011.6
3）渡部正他：部分断面修復工法で補修した鉄筋コンクリート部材の鉄筋腐食性状に関する研究，土木学会論文集，E2（材料・コンクリート構造），Vol.69，No.3，PP.281-294，2013.7
4）日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術 ‘16［基礎編］，2016.2

［筆者紹介］

川西　貴士（かわにし　たかし）
㈱大林組
本社　技術本部　技術研究所　生産技術研究部
主任研究員

石関　嘉一（いしぜき　よしかず）
㈱大林組
本社　技術本部　技術研究所　生産技術研究部
主任研究員

平田　隆祥（ひらた　たかよし）
㈱大林組
本社　技術本部　技術研究所　生産技術研究部
主席技師