

論文 有機短繊維を使用した湿式吹付け高靱性ポリマーセメントモルタルの基礎性状

早川 健司*1・平田 隆祥*2・紀陸 和昭*3・大屋戸 理明*4

要旨: コンクリート構造物の合理的な維持管理が必要となっており、施工性や経済性の面から、吹付け補修工法が注目されている。一方、短繊維混入により擬似ひずみ硬化特性を有する複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料があり、土木学会より指針が平成 19 年 3 月に刊行された。本研究では、湿式吹付け断面修復技術をベースとし、比較的多い有機短繊維を混入し高靱性化することを想定して実験的検討を行った。本報告では、複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料としての一軸引張特性を満たすための配合条件の検討結果を示すとともに、湿式吹付け用高靱性ポリマーセメントモルタルの基礎性状について述べる。

キーワード: ポリマーセメントモルタル, 有機短繊維, 湿式吹付け, 高靱性, 一軸引張特性

1. はじめに

高度成長期に建設されたコンクリート構造物の合理的な維持管理が必要となっており、新しい補修材料や補修方法が開発されているが、供用中のコンクリート構造物の場合、施工性や経済性の面から、吹付け補修工法が注目されている。一方、短繊維混入により擬似ひずみ硬化特性を有する複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料 (以下 HPRCC) があり、土木学会より複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料設計・施工指針 (案) (以下 HPRCC 指針) が平成 19 年 3 月に刊行された¹⁾。この材料は多量の有機短繊維を添加することで、引張力を分担でき、ひび割れ幅を微細に抑え大きな引張変形と靱性を示すため、コンクリート構造物の補修用途などに今後の適用拡大が期待できる。

本研究は、これまで開発してきた湿式吹付け断面修復技術²⁾をベースとし、比較的多い有機短繊維を混入する場合について検討したものである。ベースとなる断面修復技術は液体急結剤とポリマーセメントモルタルを併用した湿式吹付け工法であり、厚付け可能であるなど施工性に優れるなどの特徴を有し、供用中の鉄道構造物の断面修復等に適用されている。本検討では、HPRCC 指針で示されている引張特性を付与することを想定し、どのような配合条件下で指針の引張特性を満足することができるか、HPRCC 指針で示されている一軸直接引張試験によって実験的に検討した。HPRCC にはポリエチレン (PE) 繊維や PVA 繊維が使用されることが多いが、本検討でははく落防止性能の付与を目的に補修用断面修復材などに用いられているポリプロピレン (PP) 繊維に着目した。PP 繊維は PE 繊維や PVA 繊維に比べ、引張

強度や弾性係数が小さいが、分散性がよく、化学的安定性、経済性等に優れる。本報告では、この湿式吹付け高靱性ポリマーセメントモルタルの引張特性に加え、フレッシュ性状や圧縮強さ、付着強度などの基礎性状について述べる。

2. 実験方法

2.1 使用材料および配合

表 1 に使用材料、表 2 に配合条件を示す。施工時の品質管理の簡便性を考慮し、水と有機短繊維以外はブレックス化することを想定して、再乳化型粉末樹脂等には粉体材料を用いた。有機短繊維には、引張強度 482N/mm²、ヤング係数 5.0kN/mm² の PP 繊維を用いることを基本とし、比較のため PVA 繊維を使用した。モルタルのワーカビリティはポンプ圧送性、吹付け後の付着性等を考慮し、試験練り・試験吹き等の事前検討を実施し、PP 繊維を用いた場合の 15 打フロー値 170mm 程度を目標として設定した。本検討に用いたモルタルの配合は、W/B=38%、P/B=5.2%の一定条件とし、S/C を 1.0, 1.4,

表 1 使用材料

種類	構成材料
粉体材料	ポルトランドセメント, 混和材, 乾燥珪砂, 再乳化型粉末樹脂 (酢酸ビニル・アクリル系) など
練混ぜ水	上水道水
短繊維	ポリプロピレン (PP) 繊維 13dtex, 12mm
	PVA 繊維 15dtex, 12mm

*1 東急建設 (株) 技術研究所土木研究室 工修 (正会員)

*2 (株) 大林組技術本部 技術研究所生産技術研究部 博士 (工学) (正会員)

*3 日本化成 (株) 中央研究所研究部

*4 財団法人鉄道総合技術研究所 コンクリート構造 博士 (工学) (正会員)

表-2 配合条件

	W/B (%)	P/B (%)	S/C	有機短繊維		
				種類	混入率 (vol.%)	
1	38.0	5.2	1.0	PP	2.5	
2			1.4			
3			1.8			
4			1.0	PVA		2.0
5			1.8			

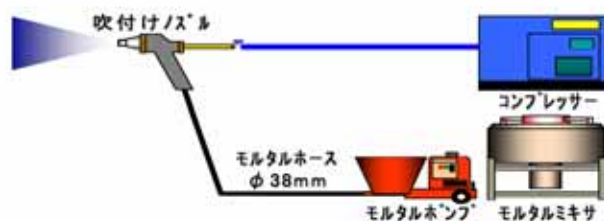


図-1 吹付けシステム

1.8 に変化させ、ペースト量の違いが引張特性等に与える影響を検討することとした。PP 繊維は引張強度やヤング係数が PVA 繊維より小さいことを考慮し、PVA 繊維の添加率 2.0% に対し、PP 繊維の添加率は 2.5% と大きく設定した。

2.2 吹付けシステムおよび方法

図-1 に吹付けシステムの概要、表-3 に使用資機材を示す。モルタルの製造にはパン型強制練りミキサ (200V, 容量 50 リットル) を用い、粉体材料に水を加えた状態で 3 分間、その後有機短繊維を投入して 3 分間の計 6 分間練り混ぜる方法とした。

圧送ポンプにはスクイズ式 (モータ容量 3.7kW, 最大吐出量 3.0m³/h, 3 点ローター式) を用い、吹付けノズルで合流させた圧縮空気によって吹き付けるシステムとした。ここで、圧送ホースには φ38mm, 長さ 10m を用い、また本検討の範囲では急結剤は使用しない吹付け方法とした。

練り混ぜたモルタルは図-1 に示したシステムを用いて吹付け試験を行い、ポンプ圧送性や模擬型枠への吹付け状態を確認した。

2.3 試験体の作製および試験方法

フレッシュ試験としては、フロー試験 (JIS R 5201) および単位容積質量の測定 (JIS A 1171) を実施し、単位容積質量については練混ぜ後に加えて吹付け後の試料についても試験した。

硬化物性の試験としては、圧縮、曲げ強さ、付着強度、ならびに HPFRCC 指針に示されている一軸直接引張試験を実施した。圧縮、曲げ強さ試験は JIS A 1171 に準拠し、試験体作製にあたっては容器に吹き付けた後に採取した試料を用いた。付着強度試験はコンクリート平板 (300×300×60mm) に厚さ 10mm で直接吹付けて作製した試験体を対象とし、建研式引張試験器を用いて行った。

図-2 に一軸直接引張試験体の形状、写真-1 に一軸直接引張試験装置を示す。一軸直接引張試験は HPFRCC 指針に示されている試験方法 1 「強度試験用供試体の作り方」、試験方法 2 「一軸直接引張試験方法」に準拠した。

表-3 使用資機材

種類	形式	仕様
モルタルミキサ	パン型	動力: 200V, 1.5kW 容量: 50 リットル
モルタルポンプ	スクイズ式	動力: 200V, 3.7kW 吐出量: 3.0m ³ /h
コンプレッサー	エンジン式	圧力: 0.7MPa 空気消費量: 3.5m ³ /min
配管	φ38mm の耐圧ホース, 長さ 10m	
ノズル	リング式ノズル	

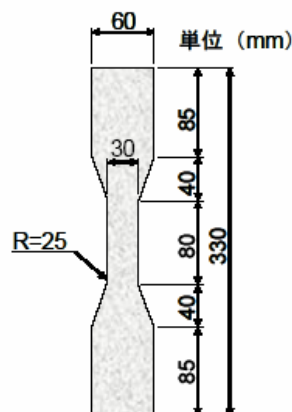


図-2 一軸直接引張試験体の形状



写真-1 一軸直接引張試験装置

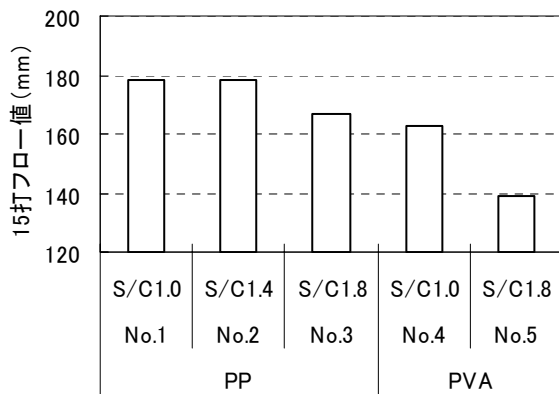


図-3 フロー値（練混ぜ後）

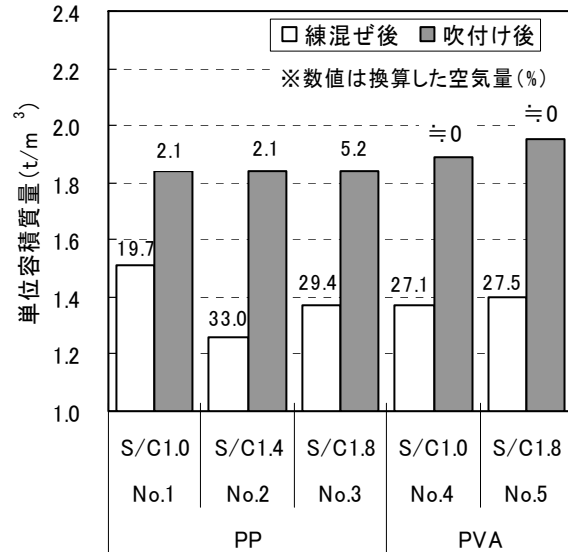


図-4 単位容積質量の試験結果



写真-2 吹付け状況



写真-3 吹付け後の状況

試験体は図-2に示す幅 30mm、厚さ 13mm のダンベル型とし、容器に吹き付けた後に採取した試料を型枠に充填したものと平置きした型枠に直接吹付けた 2 ケースを作製した。

なお、力学的試験はすべて材齢 28 日で実施した。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状および吹付け性

図-3にフロー値の試験結果を示す。練混ぜ後のフロー値は、PP 繊維使用の No.1~No.3 で 167~178mm の範囲、PVA 繊維の No.4, No.5 はそれぞれ、163, 139mm であり、S/C が大きくなるとフロー値は低下する傾向にあった。PVA 繊維を使用した場合は、PP 繊維を用いた場合よりフロー値が小さくなる傾向にあり、S/C=1.8 の No.5 のフロー値は 139mm で目標値を満足できなかったが、ファイバボール等はなく、練混ぜ状態はすべての配合で良好であった。

写真-2, 3に吹付け状況ならびに吹付け後の状況について示す。各モルタルを対象として吹付け試験を行っ

た結果、圧送時の脈動あるいは閉塞はなく、概ね良好なポンプ圧送性を示した。また、模擬型枠へ吹付けた状態でダレ等の発生はなく、本検討に用いた配合は吹付け施工可能であることが確認された。

図-4に単位容積質量の測定結果を示す。図中には空気量を 0%とした配合上の単位容積質量と比較して求めた空気量の概略値を合わせて示している。練混ぜ後の単位容積質量は 1.25~1.50t/m³ であるのに対し、吹付け後では 1.84~1.89t/m³ 程度となった。配合上の単位容積質量と比較して求めた空気量は練混ぜ後で 20~33%程度であるのに対し、吹付け後は 0~5%程度である。このように吹付け後の空気量は各配合で 5%以下に低下しており、練混ぜ後の空気量の大小が吹付け後のモルタルの空気量に与える影響は小さいことが示されている。ここで、練混ぜ後の空気量は繊維の分散性向上や流動性に必要であり、吹付け後の空気量は硬化物性に影響を与えるため、配合に応じて安定した値となるように留意する必要がある。

3.2 圧縮、曲げ強さ、付着強度

図-5に圧縮強さ、曲げ強さ、および付着強度の試験結果を示す。圧縮強さは48~56N/mm²であり、S/Cが大きくなると圧縮強さは概ね大きくなる傾向を示した。この原因としては、乾燥した骨材の吸水の影響によりS/Cが大きいほうが強度発現に有効な水セメント比が小さくなっている可能性があること、骨材量がセメントの分散等の練混ぜ効率に影響している可能性があること、また空気量の影響等によるものと考えられる。また、有機短繊維の種類が圧縮強さへ与える影響を同一のS/Cと比較すると、PP繊維よりPVA繊維の方が15%~20%程度増加した。この原因としては、吹付け後の空気量の相違、またPP繊維よりPVA繊維の方が高弾性で、かつ、セメントマトリックスとの付着力が高いことによる拘束効果が考えられる。

曲げ強さは11~18N/mm²であり、本試験のS/Cや繊維の種類による傾向は特に認められなかった。

付着強度は2.4~3.0N/mm²、破断位置はすべてモルタル表層の凝集破断であり、配合条件や繊維種類の影響は小さい結果であるが、圧縮強さと同様にS/Cが大きいほど付着強度は若干大きくなる傾向を示した。補修・補強用吹付けモルタルには、既設コンクリートとの一体性が要求されるため、付着強度は最も重要な要求性能の一つである。一般に、既設コンクリートとの一体性を確保するための付着強度は1.0N/mm²とされているが、本検討に用いたモルタルでは十分な付着強度が得られていることが確認された。

3.3 一軸直接引張試験

図-6に一軸直接引張試験結果である引張降伏強度、引張強度、引張終局ひずみ、図-7に応力ひずみ曲線をそれぞれ示す。また、写真-4に引張試験後の試験体状況を示す。

PP繊維を用いた場合の引張降伏強度は2.42~2.77、引張強度は3.66~3.84であり、この中で、No.3の吹付け採取後充填作製の供試体の引張降伏強度が若干大きい、概ね同等であった。引張降伏強度、引張強度ともに、S/C=1.8でPVA繊維を用いたNo.5は、高い傾向を示した。これは圧縮強さと同じ傾向であり、マトリックス強度の差、またPVA繊維のほうがセメントマトリックスとの付着力が高いことなどに起因するものと思われる。

一方、引張終局ひずみは、総じてPVA繊維よりPP繊維のほうが大きくなり、写真-4に示すようにひび割れも分散した。PP繊維の引張強度は、PVA繊維より低いものの、ひずみ硬化領域（降伏点と軟化開始点との間）が大きく、靱性が大きくなった。これは、PP繊維の方がPVA繊維より伸度が大きいこと、実験に用いた配合の圧縮強さは比較的高強度であり、PVA繊維とマトリッ

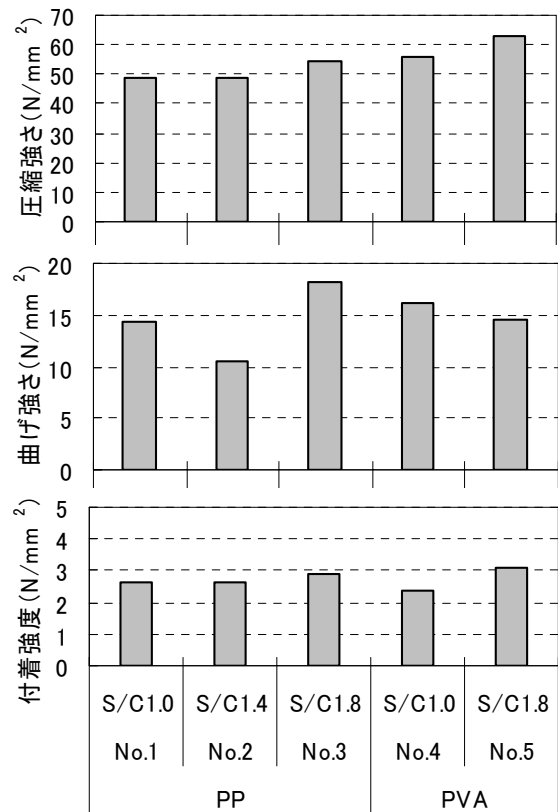


図-5 圧縮・曲げ強さ、付着強度の試験結果

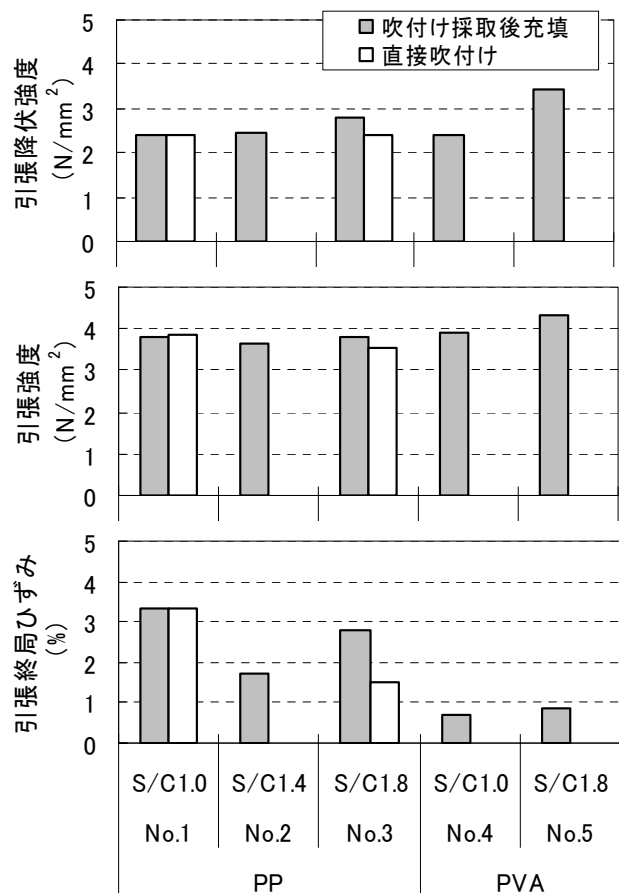
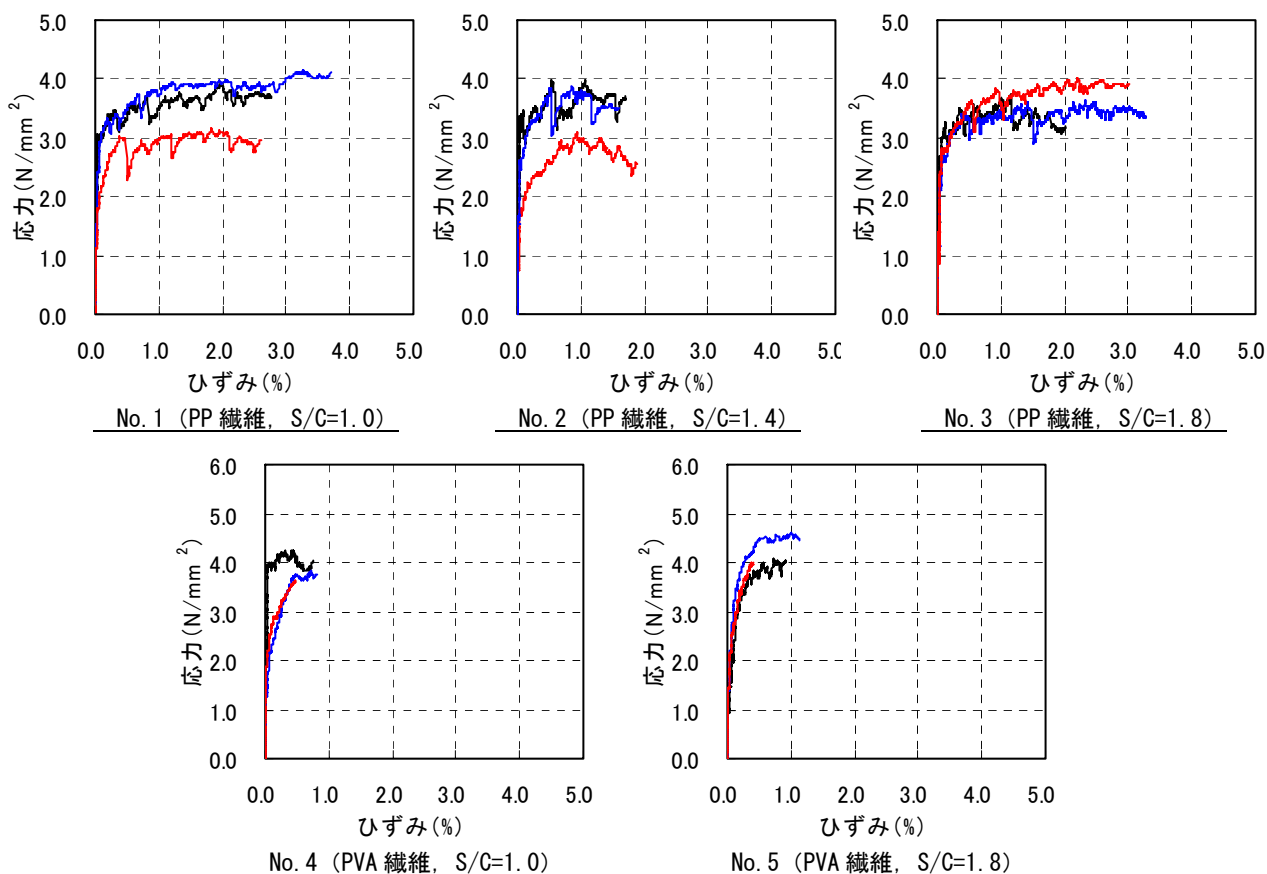


図-6 一軸直接引張試験結果



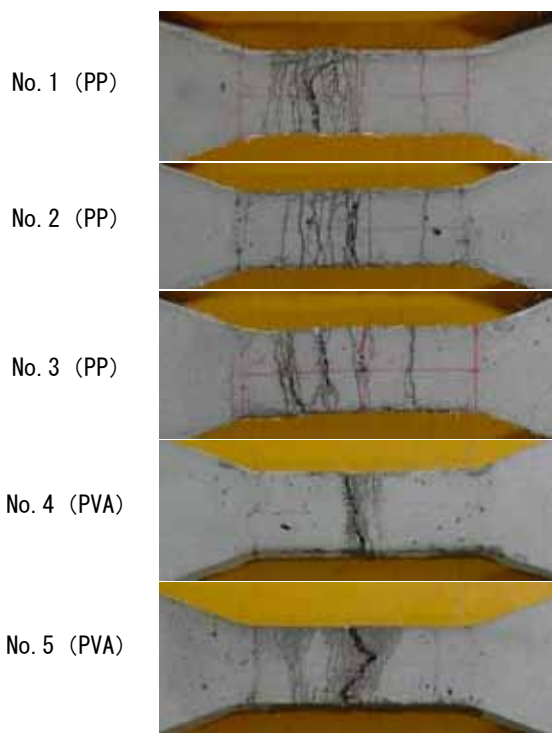
図ー7 一軸直接引張試験における応力ひずみ関係（吹付け採取後充填）

クスとの付着力が大きく、この結果として繊維が破断している可能性があることなどが原因と思われる。HPFRCCの引張終局ひずみやひび割れ幅は、繊維の種類形状とマトリクスの強度を変化させることで制御できる¹⁾と考えられ、本配合条件のポリマーセメントモルタルとPP繊維の組み合わせでは3%程度の引張終局ひずみを得ることができた。一方、本配合条件のモルタルにPVA繊維を用いた場合には大きな伸び能力が得られないことが明らかとなった。

試験体作製において、容器に吹付け採取しその後充填する方法では、実施工における繊維の配向状態と異なる可能性が有るため、一部の試験体では直接吹付け作製した試験体を作製して比較した。この結果、S/C=1.8でPP繊維を使用したNo.3で引張終局ひずみが小さくなったが、そのほかの引張特性値は大きな差異はない結果であった。したがって、本試験で得られた引張特性は実施工においても担保できるものと思われる。

4. まとめ

湿式吹付け断面修復技術をベースとし、比較的多い有機短繊維を混入した高靱性ポリマーセメントモルタルを対象として、HPFRCC指針に示されている一軸直接引



※ 供試体は吹き付け採取した後に充填作製
 ※ 引張終局ひずみが中央値の供試体

写真ー4 一軸直接引張試験後の状況

張試験などの基礎的性能に関する実験的検討を行った。
本実験の範囲で得られた知見を以下に示す。

- (1) S/C を 1.0～1.8 とした配合条件のポリマーセメントモルタルに PP 繊維を 2.5%混入することで、一軸直接引張試験による 3%程度の引張終局ひずみを得ることができる。
- (2) PVA 繊維を用いた場合、実験に用いた配合条件のポリマーセメントモルタルと組み合わせると 1%を越す引張終局ひずみは得られない。
- (3) 汎用的な練混ぜ、吹付けシステムにより、2%を越える繊維を添加した高靱性ポリマーセメントモルタルの製造、吹付けが可能である。
- (4) 実験に用いた高靱性ポリマーセメントモルタルの付着強度は $2.4\sim 2.9\text{N/mm}^2$ であり、断面修復材に要求される付着強度が十分確保できる。

謝辞

実験に際してご協力を頂きました昭栄薬品(株)、(株) J-fec の関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 土木学会：複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料設計・施工指針(案)，コンクリートライブラリー，No.127，2007.3
- 2) 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工法の開発，土木学会論文集 Vol.62，No.3 pp.459-472，2006