

# コンクリート構造物の断面修復工法の開発

## — 繊維混入湿式吹付けモルタルに関する検討 —

伊藤 正憲\* 早川 健司\* 瀬野 康弘\*

**要約:** 近年、コンクリート構造物の断面修復工法にポリマーセメントモルタルを使用した湿式吹付け工法が適用される場合が多くなってきている。本研究は、多様化する現場での要求に柔軟に対応でき、小型機械で施工可能な断面修復材料、工法の開発を目的とした。特に、補修後の剥離剥落に対する抵抗性の向上を期待して従来品に比べて2倍程度の長さを有する比較的長い繊維の使用を試みた。

その結果、長さ25mmの繊維を吹付け断面修復材に使用する場合の最適な再乳化粉末樹脂種類や繊維混入率などの材料、配合条件が明らかとなった。また、この条件で吹付け採取したモルタル試験体は、長さ変化率が極めて少なく、天井面に吹付けた場合でも付着性も十分に確保できること、および耐剥離剥落に対しては、安定した吹付けができる範囲で繊維混入率をなるべく高くすることが有効であることなどが明らかとなった。

**キーワード:** 補修, モルタル, 湿式吹付け, 繊維, 圧送性, 硬化物性

**目次:** 1. はじめに  
2. 材料選定および圧送吹付け性状  
2. 硬化物性  
4. まとめ

### 1. はじめに

近年、コンクリート構造物の断面修復工法にポリマーセメントモルタルの湿式吹付け工法が適用される場合が多い。また、補修工数の多くは作業空間が限られていることが多く、コスト的にも人員削減可能な小型機械による施工が望ましい。

一方、高架橋床版等の補修工数の多くは劣化した部分をはつり取り、鉄筋背面を含めて断面を修復するが、鉄筋背面には母材との付着力と充填性、かぶり部分にはひび割れ、剥離剥落等に対して効果的な断面修復材料、工法が要求されている。

そこで、本研究は、鉄筋背面には繊維なし、かぶり部には繊維を混入するといった要求性能に柔軟に対応可能な断面修復材料、工法の開発を目的とした。また、一般的な断面修復材の多くは、10mm前後の短い繊維を使用しているが、本研究では剥離剥落に対する抵抗性を向上させるため25mmの比較的長い繊維の使用を試みた。さらに、環境面への配慮として全材料を粉体化し、残材の排出を極力抑制できる材料を対象とした。

本稿では、かぶり部の補修を想定して繊維を混入したポリマーセメントモルタルを対象とし、小型の機械システムで最適な圧送・吹付け性状が得られる材料、配合条件について検討した結果を述べる。また、繊維混入率(以下、VF)を変化させて吹付け試験体を採取し、強度、長さ変化率、付着性等に及ぼす影響を確認するとともに、剥離剥落に対する抵抗性について検討した結果について述べる。

### 2. 材料選定および圧送吹付け性状

#### 2.1 使用材料と配合条件

表1に配合条件を、表2に使用材料を示す。

表1 配合条件

要因		水準
水結合材比	W/B(%)	42以下
砂結合材比	S/B	1.9
ポリマー結合材比	P/B(%)	5.0
高性能減水剤添加率	B×%	2.5
繊維混入率	VF(vol%)	0.2~0.8

表2 使用材料

種類	材料	
結合材	B	早強型セメント, 収縮抑制混和材
砂	S	硅砂
ポリマー	P1	酢酸ビニル, エチル共重合樹脂
	P2	ポリアクリル酸エステル樹脂
	P3	アクリル酸エステル等の共重合樹脂
	P4	酢酸ビニル, アクリル等の共重合樹脂
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系
繊維	F	ビニル繊維 繊維長25mm, φ0.2mm

#### 2.2 検討項目

一般的に断面修復材に使用されるポリマーは、液体のポリマーディスパーションと粉体の再乳化形粉末樹脂がある。本開発では、材料の単純化を目的としたことから後者の使用を検討した。材料、配合の選定は、流動性をフロー試験(JIS R 5201)で、見掛けの粘性を写真1に示す

傾斜流量計<sup>1)</sup>により評価し、小型機械で圧送、吹付け可能なものを選定した。一方、繊維は、耐剥離剥落性を考慮してより長い繊維の使用が有効であると考えた。一般的に比較的長い繊維を混入する方法には、ミキサまたはノズルで混入する方法がある。いずれの方法にも特徴はあるが、本開発では十分な混合を可能とする観点から、繊維をミキサで混入した。なお、実験では Vf を変化させて圧送、吹付け性状を確認するとともに、急結剤を添加せずに採取したモルタルから繊維を洗出し、吹付け後の繊維の均一性について検討した。



写真1 傾斜流量計による粘性評価<sup>1)</sup>

### 2.3 吹付けシステム

図1に吹付けシステムを示す。本システムは繊維を混入したモルタルをミキサで練混ぜ、特殊ノズルにて空気、液体急結剤と合流させて吹付けるものである。

圧送、吹付け試験時の管理として、モルタルポンプ出口、吹付けノズル手元で圧力を測定した。なお、材料選定および圧送吹付け性状の検討では、急結剤を添加せずに吹付けて実験した。

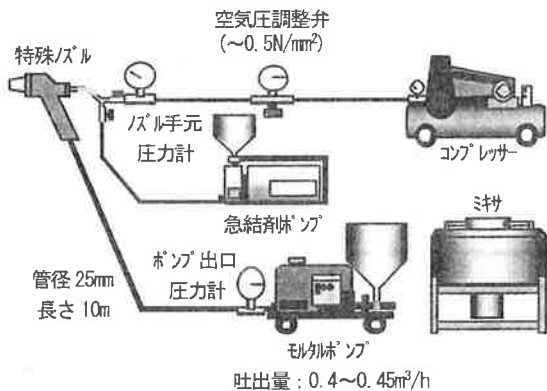


図1 吹付けシステム

### 2.4 結果と考察

#### (1) 材料、配合選定

図2にポリマー種類と流動性、見掛けの粘性の関係を示す。川端らの研究<sup>1)</sup>を参考にすると本システムで吹付け施工する場合の最適なモルタルの粘性、即ち流下時間は12秒程度である。P1, P2を使用した場合、流動性が低く、見掛けの粘性も高くなり、特に、P1はその傾向

が大きかった。これは、ポリマー粒子を分散させるためにある種の増粘剤の性質を有する材料が少量混合されているためによるものと考えられた。

一方、P3, P4を使用した場合は、目標とする流動性と見掛けの粘性が得られた。しかし、P3は空気を多量に連行しており、実際には消泡剤等の併用が考えられた。水結合材比は適当な粘性が得られ、さらに硬化物性を考慮すると38%程度が適当であることが確認できた。以上より、水結合材比38%、ポリマーはP4(酢酸ビニル、アクリル等の共重合樹脂)の使用が適当であると判断した。

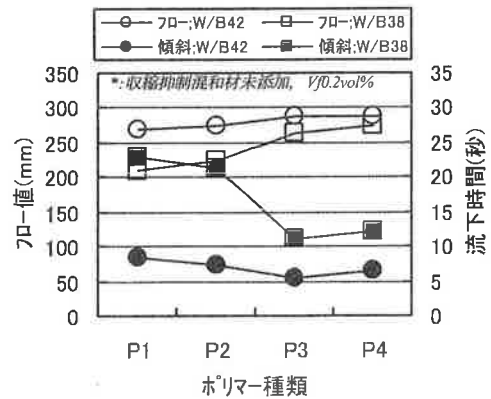


図2 ポリマー種類と流動性、粘性の関係

#### (2) 繊維混入率の違いによる圧送・吹付け性状

表3に Vf を変化させた場合のフレッシュ試験の結果を示す。フレッシュ性状に及ぼす Vf の違いによる明確な影響は見られずフロー値、傾斜流量計流下時間、空気量ともにほぼ同等となった。しかし、急結剤を添加せずに吹付け採取したモルタルのフレッシュ試験の結果、空気量が吹付け前の半分以下となり、これによりフロー値は変わらないが流下時間が長くなり、すなわち、見掛けの粘性が若干増大する傾向にあった。

表3 フレッシュ試験結果(P4, W/B38%)

Vf vol%	フロー値 mm	傾斜時間 秒	空気量 %
0.2	254 (250)	9.3 (16.7)	14.8 (6.0)
0.4	266	9.1	12.1
0.6	241	12.8	13.5
0.8	251	8.8	12.0

( )内は急結剤未添加で吹付け採取した結果

図3に Vf と吹付け時のモルタル吐出量、計測した各圧力の関係を示す。前述した通り Vf の違いによらずほぼ安定した品質のモルタルを同じ設定量で圧送したが、Vf が高くなるに従い、吐出量が若干低下する傾向にあった。

また、Vf が高くなるに従い、ポンプ出口での圧力が高くなる傾向にあり、同様にノズル手元の圧力も高くなる傾向にあった。一般的にはモルタル配管内の圧力は管自体の耐久性を考慮して 1N/mm<sup>2</sup> 程度以下が適当であると

言われている。今回検討した Vf の範囲内では、いずれも吐出圧力は 1N/mm<sup>2</sup> 程度以下であったが、Vf を 0.8vol% とした場合には、圧力変動が大きく、安定した吹付け性を確保することができなかった。これは本開発目的が機械の小型化ということもあり 100V のポンプを使用したため、25mm の繊維を混入したポリマーセメントモルタルを吹付ける場合の限界 Vf は 0.6vol% であると考えている。

すなわち、機械の小型化を目指した本システムで効率的に繊維を混入したモルタルを圧送、吹付ける場合の Vf は 0.6vol% 以下が適当であることが確認できた。

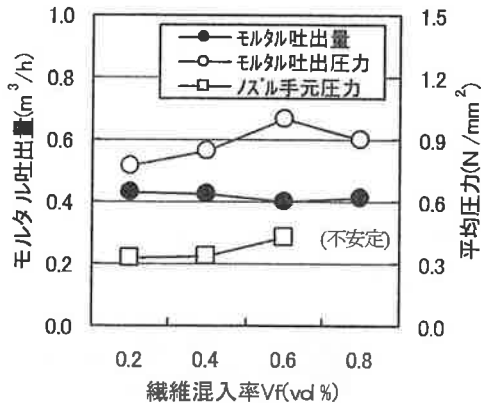


図3 繊維混入率と吐出量、圧力の関係

(3) 吹付け後の繊維混入率

表 4 に急結剤を添加せずに吹付けて採取したモルタルの繊維の洗い試験の結果を示す。対象としたモルタルは Vf0.6vol% であり、40 リットルのモルタルを吹付けている間に 1.6 リットルの試料を 3 回採取した。

試験の結果、モルタル中に繊維はほぼ均等に混入されており、吹付け中にも繊維の飛散はほとんど確認されなかった。

表 4 繊維の洗い試験 (Vf0.6vol%)

採取試料 (リットル)	洗出した繊維質量 (g)	Vf (vol%)
1.6	12.6	0.606
	13.1	0.630
	12.3	0.591
—	平均	0.61

3. 硬化物性

3.1 目標物性値

表 5 に本検討で目標とした断面修復材の物性値を示す。これらは、西日本旅客鉄道株式会社(以下、JR 西日本)および日本道路公団試験研究所(以下、JH)等の規格値を参考にしたものである<sup>2) 3)</sup>。

表 5 目標とした物性値

種類	設定目標値
曲げ強度	3.1N/mm <sup>2</sup> 以上 <sup>2)</sup>
圧縮強度	20.0N/mm <sup>2</sup> 以上 <sup>2)</sup>
付着強度	1.0N/mm <sup>2</sup> 以上 <sup>2)</sup>
長さ変化率	0.05%以下 <sup>3)</sup>

3.2 使用材料と配合条件

材料、配合選定の結果より、吹付け試験体採取時の配合は水結合材比を 38%、ポリマー結合材比を 5%、使用したポリマーは酢酸ビニル、アクリル等の共重合樹脂を主成分とする再乳化粉末樹脂とした。繊維は長さ 25mm のビニロン繊維とし、Vf を 0.2, 0.4, 0.6vol% と変化させた。練混ぜは、繊維以外の材料でモルタルを製造した後、ミキサ内に所要 (Vf0.2~0.6vol%) の繊維を順じ投入した。急結剤は水溶性アルミニウム塩を主成分とするアルカリフリー液体急結剤を使用し、試験体作製前の予備吹付け試験により上向きに吹付け可能で、左官仕上げが可能な時間として 30 分以上確保できる添加率を検討し、結合材質量に対し 7% として添加した。

3.3 試験項目および方法

表 6 に実施した試験項目と方法を示す。

3.4 吹付けシステムと試験体採取方法

吹付けシステムは、図 1 と同様であり試験体採取時には各部が所定の圧力であることを確認しながら吹付けた。

強度試験、長さ変化率試験で対象とした試験体は JSC E-F 561 に準拠して 500×500×200mm の木製パネル型枠に吹付けた後、材齢 2 日でコア抜き、または、切出し、その後 20℃ の封緘養生とした。なお、各試験は材齢 7 日と 28 日(長さ変化率測定は乾燥材齢)で実施した。吹付け試験体採取の状況を写真 2~4 に示す。

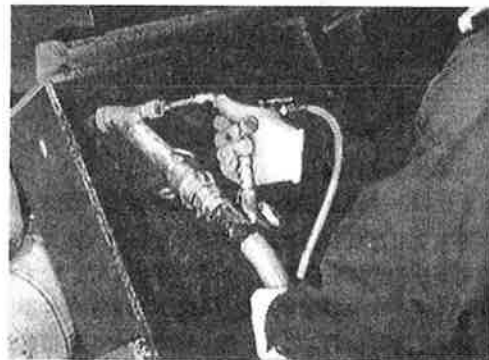


写真 2 吹付け状況(強度、長さ変化率)

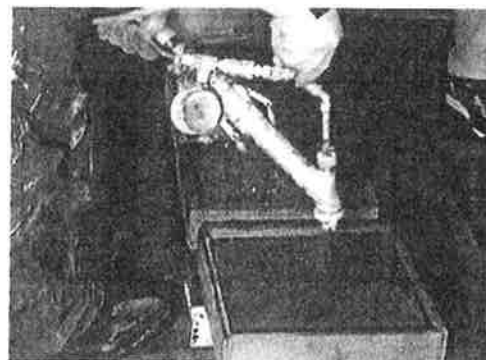


写真 3 吹付け状況(付着強度 A 法)

表 6 試験項目および方法

試験項目	準拠基準, 方法*	記号**
フロー試験・空気量	JIS R 5201 管理値 250±20mm・JIS A 1128 管理値 10±5%	
傾斜流量計 流下時間 <sup>1)</sup>	目標値 10±5 秒	U0.2 U0.4 U0.6
圧縮強度試験	ベース試験体; JIS A 1108 φ100×200mm 脱型; 材齢 2 日 吹付け試験体; JIS A 1107 φ80×160mm	
耐剥離剥落性	吹付け試験体; 圧縮強度試験時、最大荷重に達した後、最大荷重の 10%の荷重になるまで載荷状態を保持、その時に剥落したモルタル片を採取し、載荷前の質量に対する割合として算出した剥落率(%)として評価	S0.2 S0.4 S0.6
曲げ強度 刀痕試験	吹付け試験体; JSCE-G552-1999, 材齢 28 日のみ □100×100×400mm, 3 等分点載荷, スパン 300mm, 切り欠き無し	
長さ変化率試験	JHS 416 ベース試験体; □40×40×160mm, 吹付け試験体; □100×100×400mm 材齢 2 日 基長測定, 20°C, 60±5%RH, コンタクトゲージ法, 乾燥材齢 28 日で評価	U0.2 S0.4
付着強度	A 法; 300mm 角平板(湿潤面)に下向き 10mm 厚で吹付け, □40mm 建研式 B 法; 図 4 に示す型枠内に上向き 70mm 厚で吹付け, φ70mm 建研式 <sup>2)</sup>	S0.4

\*: ベース試験体 - 型枠から直接採取した試験体, 吹付け試験体 - 急結剤を添加し吹付け採取した試験体

\*\* : S; 吹付け試験体, U; ベース試験体(型枠から採取), 数字は繊維混入率を示す。本文中は Vf と表記

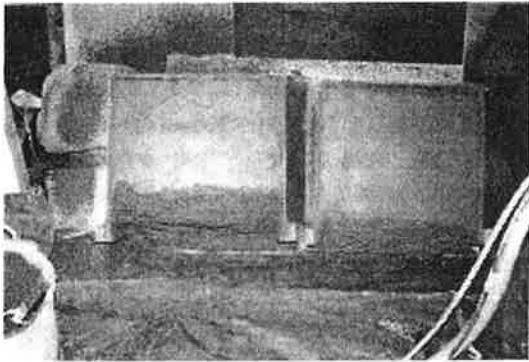


写真 4 仕上げ後の状況

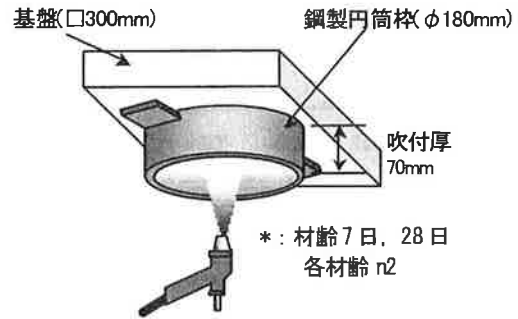


図 4 付着強度試験 B 法<sup>2)</sup>

### 3.5 結果と考察

#### (1) 単位容積質量

図 5 にベースおよび吹付け試験体の単位容積質量を示す。前述 2.4(2)で示したように吹付けることによりモルタル中の空気量が減少することの影響を受け、いずれの Vf の場合もベース試験体に比べて吹付け試験体の単位容積質量が増加する傾向にあった。中でも単位容積質量が最も大きくなったのは Vf0.4vol%であった。

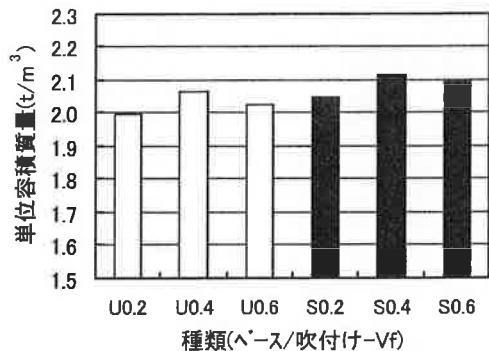


図 5 吹付け前後の単位容積質量

#### (2) 圧縮強度

図 6 に材齢と吹付け試験体の圧縮強度の関係を示す。いずれの Vf でも吹付け試験体の材齢 28 日圧縮強度は 35 N/mm<sup>2</sup> 以上であった。中でも Vf0.4vol%が最も圧縮強度が高くなった。これは単位容積質量に影響を受けていたと考えられる。また、ベース試験体と比較すると、吹付け試験体は単位容積質量が増加しているものの、急結剤添加等の影響により材齢 28 日で平均 17%強度が低下する傾向にあった。

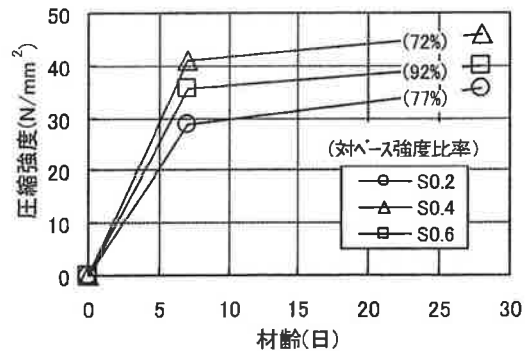


図 6 材齢と吹付け試験体圧縮強度の関係

(3) 付着強度

写真 5 に付着強度試験 B 法の状況を、図 7 に材齢と吹付け試験体の付着強度の関係を示す。なお、付着強度試験 A 法は一般的な左官材を含めた材料の付着強度の評価方法であり、B 法は JR 西日本で新たに規定された断面修復材の付着強度の評価方法である<sup>2),4)</sup>。

Vf0.4vol%として吹付けたモルタルの付着強度は材齢 7 日で 1.5N/mm<sup>2</sup>以上、28 日で 3.0N/mm<sup>2</sup>以上となり、目標とした値を十分に満足していた。

しかし、下向きに吹付けて試験体採取した A 法と上向きに吹付けて試験体採取した B 法を比較した場合、上向きの B 法の方が付着強度は低下する傾向にあった。これには、吹付け厚さの違いによる影響のほか、既往の研究<sup>9)</sup>で示されているように上向きに吹付けた場合、モルタルの吐出速度が低下して密実性が低下することや、吹付け直後の硬化が不十分な段階で自重が作用することなどの影響を受けていると考えられる。

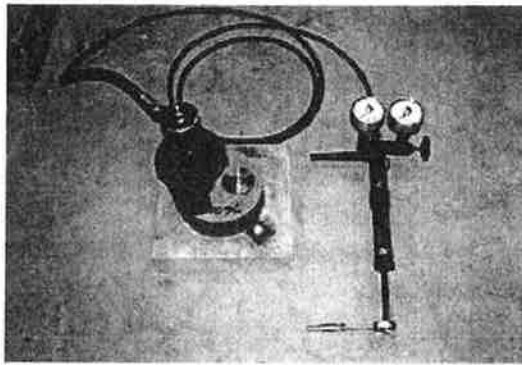


写真 5 付着強度試験状況(B法)

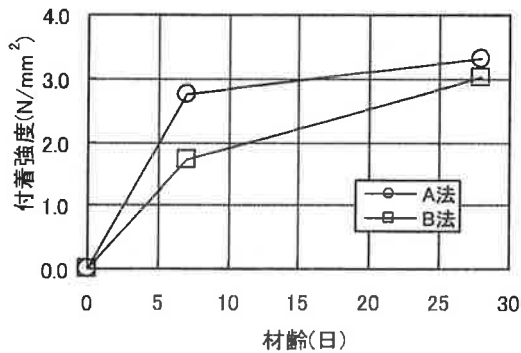


図 7 材齢と付着強度の関係

(4) 長さ変化率

図 8 に乾燥材齢と長さ変化率の関係を示す。ベース試験体と吹付け試験体の長さ変化率を比較した場合、吹付け試験体の方が長さ変化率は小さくなった。特に、初期材齢での長さ変化率の差が大きかった。これは Vf や試験体寸法の違いによる影響とともに、急結剤添加による影響が考えられる。すなわち、収縮が進展しやすい初期材齢において、吹付け試験体は急結剤の作用により強度が比較

的に発現し、収縮を抑制する傾向にある。一方、ベース試験体は急結剤を添加していないため初期材齢での強度発現が吹付け試験体に比べて若干遅れ、この時期における収縮が若干大きくなり、材齢 7 日以降の長さ変化率の傾向は同等であるものの、乾燥材齢 28 日時点での長さ変化率としては差が生じたものと考えられる。

いずれにしても吹付けた試験体の乾燥材齢 28 日までの長さ変化率は 0.034%であり、添加したポリマーおよび収縮抑制混和材の効果により低収縮性を示した。

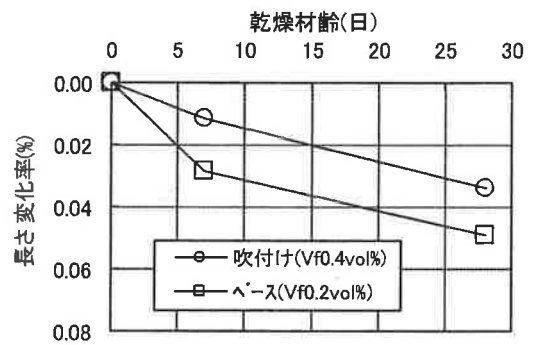


図 8 乾燥材齢と長さ変化率の関係

(5) 曲げ強度、曲げタフネス

図 9 に Vf と曲げ強度および曲げじん性係数の関係を示す。いずれの Vf でも曲げ強度は 4N/mm<sup>2</sup>以上であった。曲げ強度は圧縮強度と同様に単位容積質量の影響を受けており、単位容積質量が最も大きかった Vf0.4vol%が 5.7 N/mm<sup>2</sup>と最も大きくなった。

一方、曲げじん性係数は、Vf0.4vol%と Vf0.6vol%の値がほぼ同等となった。これは Vf0.4vol%は曲げ強度が Vf0.6vol%よりも大きかったこと、一方でひび割れ発生後の残留荷重は逆の傾向にあったことで曲げじん性係数としては同等となったと考えられる。従って、マトリックス自体の強度が同等であった場合、繊維混入率が高くなるに従い、タフネスは向上する傾向にあると考えられる。

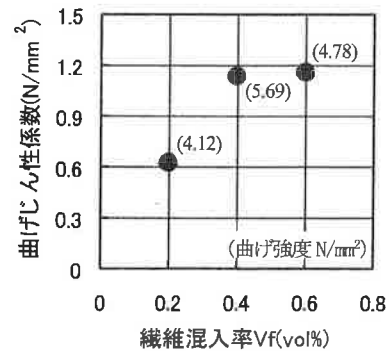


図 9 繊維混入率と曲げじん性係数の関係

#### (6) 剥落率

図 10 に Vf と剥落率の関係を示す。Vf が高くなるに従い、剥落率は小さくなる傾向にあった。今回測定した剥落率によって実際の断面修復材施工後の剥離剥落に対する抵抗性を直接評価できるわけではないが、曲げタフネス試験の結果も合わせて評価した場合、安定した吹付けが可能な範囲で繊維をなるべく多く混入することによって耐剥離剥落性が改善される傾向にあると考えられる。

今後、耐剥離剥落性については繊維長、繊維径、混入率等を変化させてさらに検討していく予定である。

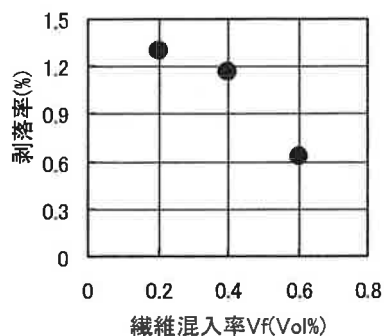


図 10 繊維混入率と剥落率の関係

#### 4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1)長さ 25mm のビニロン繊維を吹付け断面修復材に使用する場合、W/B は 38%、P/B は 5%が適当であり、最適な再乳化粉末樹脂は酢酸ビニル、アクリル等の共重合樹脂であった。
- (2)この条件で比較的小型の機械を使用し安定した吹付けができるのは繊維混入率 0.6vol%程度までであり、この場合、繊維はモルタル中で均等に分散し、飛散等もなかった。
- (3)吹付け採取したモルタルの長さ変化率は 0.034%と極めて少なかった。
- (4)天井面に吹付けたモルタルの付着強度は 1.5Nmm<sup>2</sup>以上となり十分な付着性が確保できた。また、圧縮強度等も目標とする値を十分に満足していた。
- (5)耐剥離剥落には、安定した吹付けができる範囲で繊維混入率をなるべく高くすることが有効であることがわかった。

#### 謝 辞

本論文は、財団法人鉄道総合技術研究所からの受託業務の一部を取りまとめたものであり、実験は株式会社大林組、昭栄薬品株式会社、株式会社ジェフエックの関係者の御協力のもとで実施した。関係各位に末筆ながら感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1)川端他：ゼツノボルク吹付け充填工法の開発，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.2，pp.1375-1380，1999
- 2)西日本旅客鉄道株式会社鉄道本部施設部：コンクリート構造物補修の手引き(第二版)，2001.12
- 3)日本道路公団試験研究所：試験研究所技術資料第 121 号，材料施工資料(第 1 号)，コンクリート保護工，1996.3
- 4)野村他：鉄筋コンクリート鉄道高架橋補修材料の付着性状に関する検討，複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画に関するシンポジウム論文集，pp.113-116，日本コンクリート工学協会，2001.5
- 5)大野他：吹付けコンクリートの強度特性に関する一考察，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.24，No.1，pp.297-302，2002

## DEVELOPMENT OF FIBER REINFORCED SPRAYING MORTAR USING DRY MIX PROCESS.

M.Ito, K.Hayakawa, Y.Seno

Recently, the wet spraying method of polymer cement mortar has been applied to the repair of the structure. In the repair work, the method that suppressed the discharge of a waste is desired. Since working space is limited, the construction by the small machine is desirable. Adhesive strength with the base concrete and repletion are necessary in the reinforcing steel back. For the protection part, the materials of which the resistance is high for peeling flaking, etc. are necessary.

Then, this examination did the development of repairing materials fees and method which could flexibly deal with demand on the spot with the purpose. In this paper, selection result and transfer and spraying of the material, hardening material character are described.