

# ポリマーセメントモルタルと急結剤を併用した 新しい断面修復湿式吹付け工法の開発

早川健司<sup>1</sup>・早川智浩<sup>2</sup>・阿部 宏<sup>3</sup>・鳥取誠一<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 東急建設株式会社 技術研究所（〒229-1124 神奈川県相模原市田名3062-1）

<sup>2</sup>正会員 工修 株式会社大林組 土木技術本部構造技術部（〒108-8502東京都港区港南2-15-2）

<sup>3</sup>非会員 工博 日本化成株式会社 中央研究所（〒347-0117埼玉県北埼玉郡騎西町大字西ノ谷801-1）

<sup>4</sup>正会員 工博 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部（〒185-8540東京都国分寺市光町2-8-38）

近年、コンクリート構造物の断面修復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。そこで、多様化する現場の要求へ柔軟に対応でき、小型機械で施工可能な断面修復材料および工法の開発を目指し、アルカリフリー液体急結剤とポリマーセメントモルタルを併用する湿式吹付け工法を開発した。本工法は、100mm程度までの厚吹付けが可能であり初期強度の発現性、ポンプ圧送性、鉄筋背面への充てん性、耐はく落性に優れる等の特徴を有するものである。本報では、開発した断面修復工法の特徴、基本物性、施工システムを紹介するとともに、現場の施工条件を考慮して検討した施工性能、および断面修復材性能の評価結果について報告する。

**キーワード**：湿式吹付け，断面修復，ポリマーセメントモルタル，急結剤

## 1. はじめに

近年、コンクリート構造物の劣化現象が社会問題となっており、社会ニーズに即した補修方法が求められている。それに伴い、補修材の性能、補修工法はめざましい進歩を遂げている。一般的にコンクリート構造物は、塩害、中性化およびアルカリ骨材反応等により劣化し、補修や補強の必要が生じる。コンクリート構造物の補修では、鉄筋の腐食程度により鉄筋背面まで劣化したコンクリートを除去し、断面修復材で補修する方法が一般的である。これまで断面修復材は左官工法により施工されることが多かったが、最近、耐久性に優れ、施工効率が高く、また施工環境への影響の少ない湿式吹付けによる断面修復工法が注目されるようになってきている。

しかし、従来の吹付け工法は鉄筋背面の充てんが難しく、また、30mm程度の厚さで層状に吹付けることしかできず、補修後、早期に再劣化し、はく離・はく落などが問題となる場合も生じていた。

このような状況の中、高品質な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) 2)</sup>。本工法は、ノズル先でアルカリフリー液体急結剤を混合することにより、一度に100mm程度の厚さで吹付けることができる。さらに、流動

性の高いモルタルを使用するため圧送が安定し、また鉄筋背面への充てん性を向上させた湿式吹付けによる高品質な断面修復工法である。

本報では、開発した断面修復工法の特徴や施工システム等の工法概要を紹介するとともに、現場での施工条件を考慮して検討した施工性能、および断面修復材性能の評価結果について報告する。

## 2. 工法の概要

### (1) 特徴

本工法の特徴を以下に示す。

- ・最大厚さ100mm程度までの幅広い断面修復が連続的に施工でき、工期短縮が図れる（写真-1参照）。
- ・流動性の高いモルタルをノズルまで圧送するため、安定したポンプ圧送が可能である。
- ・鉄筋背面への充てん性等、良好な吹付け性能を有しており、作業効率の向上が図れる（写真-2参照）。
- ・かぶり部分には補強繊維を混合して吹付けるため、高い耐剥落性能を付与できる。
- ・乾式に比べて低粉塵、低リバウンドな吹付け工法である。
- ・吹付け後の左官仕上げが可能である。
- ・初期強度発現性、付着性に優れている。



写真-1 厚付け状況



写真-2 鉄筋背面への充てん状況

・粉末樹脂を配合しており、水練りだけで高性能なポリマーセメントモルタルが製造でき、品質管理が容易である。

## (2) 材料

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断面修復材はセメント、砂、混和材、粉末樹脂等を適正配合したプレミックス材料である。したがって、現場では水を加えるだけでポリマーセメントモルタルの製造が可能であり、品質管理は簡便である。また、急結剤には水溶性アルミニウム塩を主成分とする液体急結剤を使用し、添加率は 0.9~2.2wt% (対モルタル重量比) 程度の範囲である。また、補強繊維を適宜混入することが可能である。

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, 粉末樹脂等
急結剤	水溶性アルミニウム塩
繊維	ビニロン繊維, ガラス繊維

※プレミックス材料への混入タイプあり

表-2 吹付けモルタルの標準配合条件

W/C (%)	急結剤 (C×wt%)	繊維 (vol%)
39	3~5	0.4

## (3) 施工システム

図-1に本工法の吹付けシステム概念図、写真-3に資機材の配置例、表-3に使用機械の例を示す。本工法では、急結剤ポンプにより圧送した液体急結剤をノズル手前で圧縮空気と合流させ、噴霧化させた液体急結剤を含む圧縮空気ですべて圧送されたポリマーセメントモルタルを吹き付ける。本工法は、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

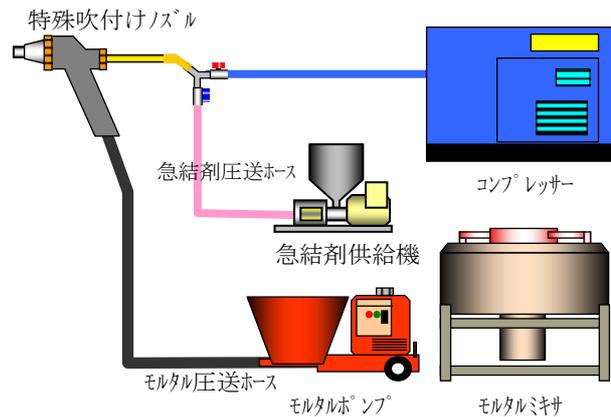


図-1 吹付けシステム概念図



写真-3 吹付け資機材の配置例

表-3 使用機械の例

種類	形式	仕様
モルタルミキサ	パン型	動力: 200V, 1~1.5kW 容量: 100~150L
モルタルポンプ	スネーク式	動力: 200V, 1.5kW 吐出量: 3~12L/min
	スクイズ式	動力: 200V, 3.7kw 吐出量: 3~45L/min
急結剤供給機	スネーク式	動力: 200V, 0.1kw 吐出量: 30~300mL/min
コンプレッサー	エンジン式	圧力: 0.7MPa 空気消費量: 3.5m³/min
配管	φ25~φ38mm 程度の耐圧ホース	
ノズル	特殊専用ノズル (φ25mm ホース直結)	

きるが、ノズル手前で急結剤とモルタルを混合使用するため、施工条件に見合ったモルタルおよび急結剤両者の吐出量を適切に設定する必要がある。

### 3. 施工性能

#### (1) フレッシュ性状

図-2に、モルタル温度がポリマーセメントモルタルのフレッシュ性状(フロー値)に及ぼす影響について示す。開発した断面修復材は現場で水と混合するだけでポリマーセメントモルタルを製造することができ、練り混ぜられたモルタルは高い流動性を示すとともに、その保持時間が長く、施工時の温度変化の影響も小さい。したがって、本ポリマーセメントモルタルは施工時の温度変化や比較的短い作業の中断時にも対応できる。

#### (2) ポンプ圧送性

##### a) 実験概要

本吹付け工法は、ポンプ圧送したポリマーセメントモルタルと別途圧送した急結剤をノズル位置で混合して吹き付ける。このため、所定の急結剤をノズ

ル位置で均一に混合するためには、モルタルを連続して安定的に圧送することが重要となる。一方、モルタルのポンプ圧送性は、モルタルのフレッシュ性状や配管径、長さ、打ち上げ高さ等の影響を受ける。したがって、施工計画においては、施工条件に応じて適切な能力のポンプや配管条件を設定することが安定した施工を行うために重要となる。そこで、モルタルポンプの形式、配管径・長さ、打ち上げ高さ、補強繊維を変化させた圧送実験を行い、これらの諸条件がポリマーセメントモルタルの圧送性に与える影響を検討した。

表-4 および図-3 に使用したモルタルポンプおよび実験条件を示す。実験では、地上にプラントを設置しポンプ圧送して足場上で吹付ける場合を想定し、揚程 10m の高所作業車を使用して揚程、吐出量、繊維の影響について検討した。また、モルタルポンプ形式の違い(スネーク式とスクイズ式)が圧送性に及ぼす影響について検討するため、ポンプおよび配管条件は圧送距離 25m (φ25mm ホース) の CASE1、および配管距離 50m (φ38mm ホース 40m+φ25mm ホース 10m) の CASE2 の 2 種類とした。圧送実験では、ポンプ出口およびノズル手前の配管等に圧力計を取り付けて圧送時の圧力変動を連続して計測した。

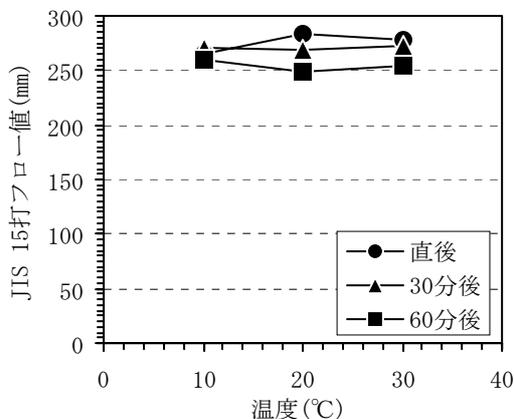
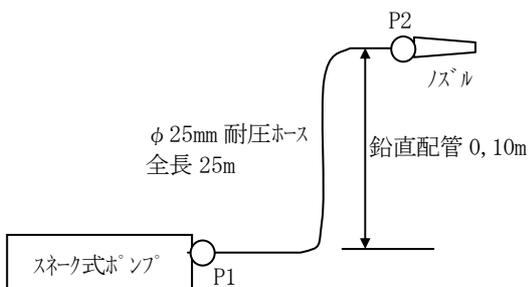


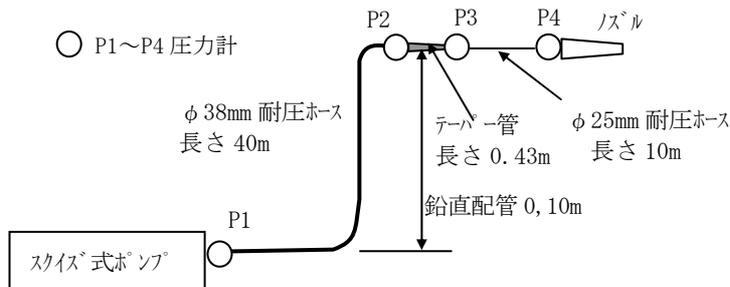
図-2 温度とフロー値の関係

表-4 モルタルポンプの概要

	スネーク式	スクイズ式
吐出能力	0.18~0.72m <sup>3</sup> /h	0.14~1.3m <sup>3</sup> /h
最大吐出圧力	1.5MPa	3.5MPa
モータ容量	1.5kW	3.7kW
重量	120kg	266kg
吐出量変速	プーリー無段変速式	インバータ変速式(3点ローラー)



CASE1 (配管距離: 計 25m)



CASE2 (配管距離: 計 50m)

図-3 配管条件

## b) 実験結果

図-4 にスネーク式のポンプを使用した場合の圧力測定結果の一例、図-5 にスクイズ式のポンプについて示す。ポンプ出口の圧力 (P1) の変動はスネーク式で 0.05MPa 程度、スクイズ式で 0.5 MPa 程度であり、安定して材料を送り出す機構のスネーク式の方が変動は少なかった。しかし、スクイズ式のポンプを使用した場合でもノズル手前の圧力 (P4) 変動は 0.05MPa 程度となり、ノズル位置では脈動の影響がほとんどなく、安定した圧送・吹付けが可能であることが確認された。

図-6 に、吐出量と 1 m あたりの圧力損失を示す。1 m あたりの圧力損失は吐出量に比例して大きくなり、吐出量が 0.3~0.5m<sup>3</sup>/h 程度の範囲では、φ 25mm ホースの場合 0.024~0.06MPa 程度、φ 38mm ホースの場合 0.008~0.02MPa 程度であった。また、繊維の有無で比較すると、繊維混入の圧力損失は繊維なしより大きくなる傾向にあり、ポンプ形式による圧力損失の相違は小さい結果であった。揚程の影響については、水平換算距離にして φ 25mm 配管で 1.3~2.8m 程度、φ 38mm 配管で 1.8~4.7m であった。これらの値を用い、ポンプ最大吐出圧力時の圧送

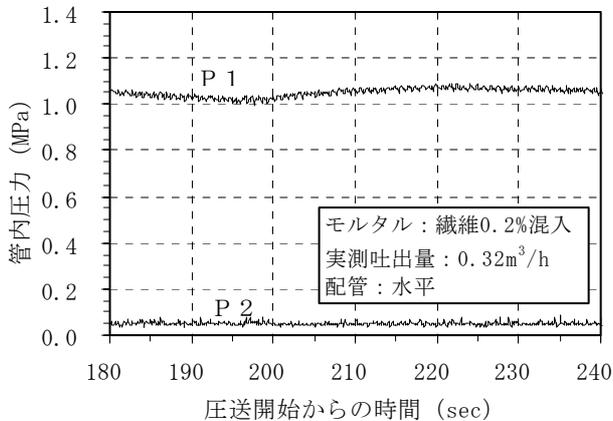


図-4 CASE1 スネーク式ポンプの圧力波形例

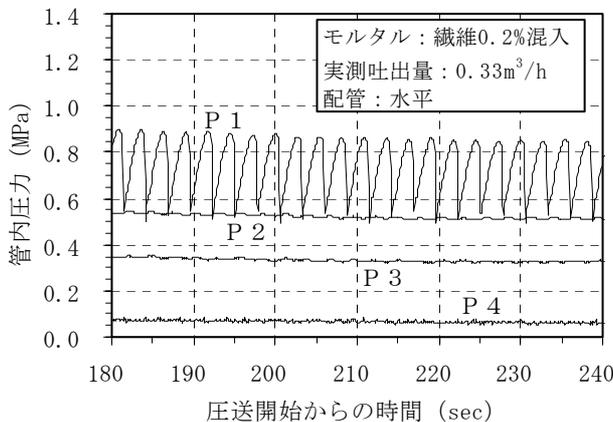


図-5 CASE2 スクイズ式ポンプの圧力波形例

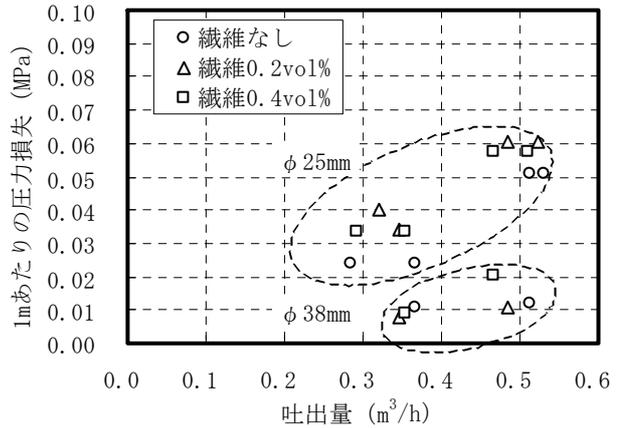


図-6 配管 1m あたりの圧力損失

可能距離を算定すると、CASE1 の条件での圧送可能距離は、揚程 10m・繊維混入率 0.4%・吐出量 0.3m<sup>3</sup>/h 程度で 20m 程度、CASE2 のシステムにおける同条件では 120m 程度の圧送が可能と判断された。これらのポンプ圧送に関する基礎データから、各施工条件に対するポンプ圧送性の照査が可能である。

## (3) 鉄筋背面の充てん性

### a) 実験概要

コンクリート構造物の補修は、劣化要因や鉄筋の腐食程度により鉄筋背面までのコンクリートを除去し、断面修復することが一般的である。ここで、鉄筋背面への吹付け充てんは補修後の品質に影響を及ぼすため確実に充てんする必要があり、複雑なノズル操作が要求される。本工法では、ポリマーセメントモルタルの流動性を改善して内径 25mm ホースでの圧送を可能とし、圧送ホースと直結するノズルを小型化することで操作性を向上させている。本実験は配筋された条件下での充てん性の確認を目的として行った。

表-5、図-7、写真-4 に、鉄筋を格子状に配置した型枠および実験条件を示す。本実験では、写真-4 に示すような格子状の配筋を有する型枠を用いた。そして、吹付け角度、吹付け距離、急結剤添加量等

表-5 実験条件

配筋条件	背面側：鉄筋 D13@150mm
	表面側：塩ビ管 φ 19@200mm 背面側鉄筋から型枠まで 20mm
吹付け条件	吹付け方向：垂直、上向き
	吹付け角度：30~90°
	吹付け距離：100~300mm
補助工法	急結剤添加率：2.5~7 C×wt%
	圧縮空気のリバウンド材等を除去



写真-4 吹付け型枠

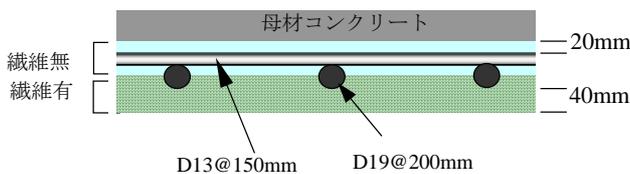


図-7 配筋条件

を変化させて吹付けを行った。充てん性は、吹付け後の試験体の鉄筋交差部からコアを採取して充てん状況を確認した。

#### b) 実験結果

写真-5 に吹付け後の試験体の配筋交差部から採取したコアの写真を示す。鉄筋背面にモルタルが十分に充てんされている状況を確認できる。

鉄筋背面の充てんが良好である条件は、吹付け角度  $45^\circ$ 、吹付け面からの距離 200mm 以下として鉄筋背面にノズルを押し込むようにして行った場合であった。また、モルタルの吐出量は施工性を考慮すると  $0.4\text{m}^3/\text{h}$  程度以下、急結剤添加率はセメントに対する質量百分率で 3%程度であった。ここで、急結剤の効果は温度等の影響を受けることから一概に最適添加率を定めることは難しいが、鉄筋背面への充てん性は吹付けたモルタルが可塑性を有する状態



D13mm 鉄筋 (背面側)       $\phi 19\text{mm}$  塩ピ (表面側)

写真-5 鉄筋交差部の充てん状況

の場合に良好であった。すなわち、鉄筋背面へ充てんする場合の急結剤添加率は、鉄筋背面へ吹き付けられたモルタルが吹付けの圧縮空気によりある程度動いて押込まれる状態に調整することが有効と考えられる。また、補助的手段としてリバウンド材等を圧縮空気を用いて除去する方法を併用することが鉄筋背面充てんに効果的であった。

## 4. 断面修復材の性能

### (1) 基本物性

表-6 に断面修復材の基本的な硬化性状を示す。表に示すように、本断面修復材は長さ変化が小さく、また外部からの塩化物イオンの浸透や中性化に対する抵抗性が高い等の性能を有し、耐久性に優れるものである。

表-6 基本的な硬化性状

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	$0.125 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$	JCI (14 案)
中性化深さ	0mm	JIS A 1171-2000 7.7
塩化物イオン浸透深さ	0mm	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

### (2) 付着強度に及ぼす配筋条件の影響

#### a) 実験概要

断面修復材には様々な性能が要求されるが、既設コンクリートとの一体性は最も重要な性能の一つである。3. (2) で述べたように、鉄筋背面への充てんは、鉄筋が障害となるためかぶり部分よりも確実に充てんすることが難しい。表-6 で示した断面修復材の基本性能を発揮させるためには、鉄筋背面を含めて十分モルタルが充てんしていることが必要である。また供用中の高架橋や橋梁等の施工においては、吹付け施工時また養生中も常時振動の影響を受ける条件である。このような実際の施工に近い条件下で施工した断面修復材の性能確認を目的とし、鉄筋背面の付着性能を指標とした実験を行った。

図-8 に実験に用いた配筋試験体の形状等を示す。本試験は J R 西日本 断面修復材・界面付着力実施

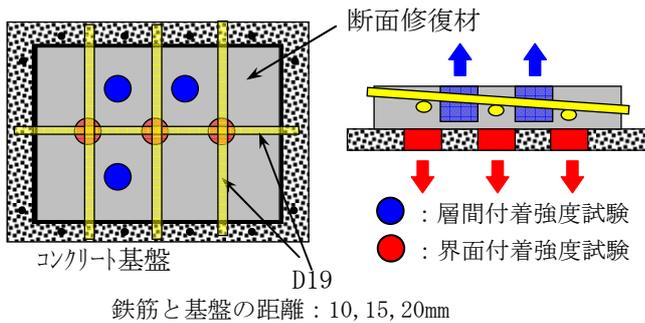


図-8 実験に用いた配筋試験体の形状

試験方法<sup>3)</sup>に準拠して行った。吹付けに当たっては、3.(3)で検討した結果から最適と考えられる方法により、上向きおよび水平方向施工の条件で行い、付着強度試験は材齢28日で実施した。

### b) 実験結果

図-9にコンクリート基盤と断面修復材の界面付着強度結果（鉄筋格子背面部）、図-10に断面修復材内の層間付着強度の試験結果（無筋部）を示す。水平方向施工および上向き施工ともに、付着強度は無筋部よりも鉄筋交差部で小さくなった。本工法は急結剤を使用することにより厚付けが可能であるため、急結剤を併用しない吹付け工法と異なり層状施工することなく表面まで（本試験体では7cm）連続的に仕上げるができる。したがって、断面修復材内の層間で付着破壊しにくいことが、無筋部の付着強度が大きくなった一要因と考えられる。また、配筋が障害となる部分の充てん性の低下が鉄筋格子部の付着強度に影響していることとも考えられたが、鉄筋部における付着強度は1.5N/mm<sup>2</sup>程度以上であり、配筋背面条件下においても十分な付着強度が得られることが確認された。また、同様の試験体を供用中の鉄道高架橋床版下面および柱に設置した状況で吹付け施工して同様な付着試験を行い、所要の1N/mm<sup>2</sup>以上の付着強度が得られることを確認した。

## 5. おわりに

本報では、開発した断面修復工法の特徴、施工システム、基本物性を示し、また実際の施工条件を想定したポンプ圧送性や鉄筋背面の充てん性等について検討し、施工性に優れ、高品質な断面修復材を施工できる工法であることを示した。

今後は、増加が予想される補修を必要とする土木構造物に対して本工法を積極的に展開して施工実績

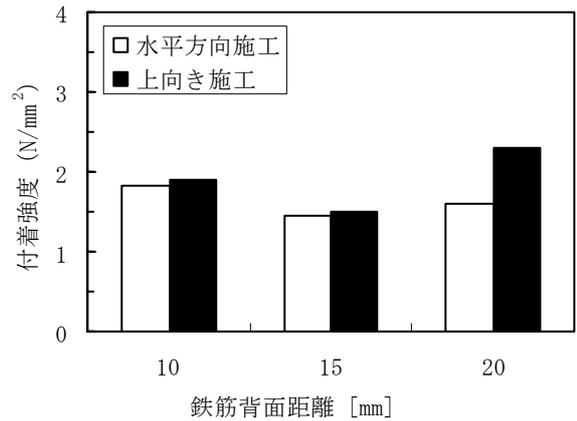


図-9 基盤と断面修復材の界面付着強度結果（鉄筋格子背面部）

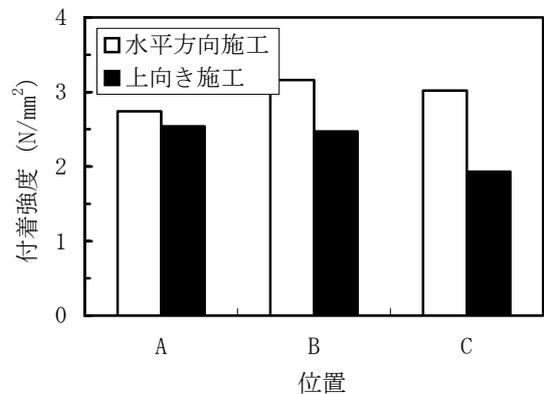


図-10 断面修復材の層間付着強度結果（無筋部）

を増やすとともに、実施工結果を反映させて本工法の完成度をさらに高めていきたいと考えている。

### 謝辞

本工法の開発に際し、ご協力頂きました昭栄薬品(株)、(株) J-fecに深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 伊藤正憲, 鳥取誠一, 楠本秀樹, 久保正則: 維混入湿式吹付けモルタルに関する検討, 第2回コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム, pp. 1-6, 日本材料学会, 2002. 10
- 2) 阿部宏, 伊藤正憲, 楠本秀樹, 平田 隆祥: 湿式吹付け工法によるポリマーセメントモルタルの付着に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 第26巻, 2004
- 3) 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 [第三版], 2003. 4