

# 論文 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

阿部 宏\*1・伊藤 正憲\*2・楠本 秀樹\*3・平田 隆祥\*4

**要旨**：本研究ではアルカリフリー液体急結剤を使用した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強さについて、材齢、下地の含水状態、温度及び鉄筋の影響等をパラメーターに整理し、付着試験を実施し左官工法と比較し安定した付着強さが得られることを明らかにした。

**キーワード**：ポリマーセメントモルタル、付着強さ、湿式吹付け工法、急結剤

## 1. はじめに

コンクリート構造物は、塩害、中性化及びアルカリ骨材反応などによる劣化により補修の必要が生じる。コンクリート構造物の補修は、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る埋め戻しが多かったが、近年は耐久性、施工効率及び施工環境に優れる湿式吹付け工法が開発されている<sup>1)</sup>。しかし、従来の吹付け工法は鉄筋背面への充填が難しく、補修後の浮き、剥落などが問題となる場合が生じていた。

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た。本施工システムは、ポリマーセメントモルタルに流動性を付与し、ポンプから吹付けノズルまでの圧送抵抗が少なく、かつ、管径を小さくして操作性を確保している。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厚付けを可能とするとともに、吹付け技術により鉄筋背面への充填性を向上することが可能となった<sup>2),3),4)</sup>。

吹付けモルタルの付着特性については、材料、急結剤添加率、設定条件及び下地の影響につい

て研究されているが<sup>5),6)</sup>、配筋された条件で鉄筋の影響下における付着特性に関する研究は行われていない。本研究では、アルカリフリー液体急結剤を用いた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性能について、従来の左官工法と比較し検証を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験材料

吹付け用及び左官用ポリマーセメントモルタルの配合を表-1に示す。吹付け用ポリマーセメントモルタルは加水し練混ぜた後、ビニロン補強繊維、急結剤の順に添加した。表-2にJIS A 1171 “ポリマーセメントモルタルの試験方法”による硬化後の物性を示す。比較として用いた左官用ポリマーセメントモルタルは、日本建築学会断面修復材用ポリマーセメントモル

表-1 ポリマーセメントモルタルの配合

種類	P/C [%]	W/C [%]	繊維 [vol%]	フロー <sup>注)</sup>
吹付け用	5.2	39	0.4	257
左官用	7.5	44	0.15	138

注)JIS R 5201

\*1 日本化成 (株) 中央研究所 工博 (正会員)  
 \*2 東急建設 (株) 技術研究所土木研究室 修士 (正会員)  
 \*3 (財) 鉄道総合技術研究所 構造技術研究部 (正会員)  
 \*4 (株) 大林組 土木技術本部構造技術部 工博 (正会員)

タルの品質基準(案)に適合する。

## 2.2 試験概要

### 2.2.1 モルタルの調整及び施工方法

吹付け用ポリマーセメントモルタルの調整は、表-1に示す配合で練混ぜ、加水3分後にビニロン補強繊維(25mm)を投入し1分間練り混ぜた。吹付けは、図-1に示す施工システムを使用し、モルタル/急結剤比率の変動を防ぐためモルタルはスネークポンプ、アルカリフリー液体急結剤は専用のポンプを用いて圧送した。ノズル先でモルタルと液体急結剤を混合し吹付け、図-2及び図-3に示す試験体を作製した。表-3に吹付け施工条件を示す。左官用ポリマーセメントモルタルは、加水し3分間練混ぜた状態で金鏝を用いて塗付けた。

### 2.2.2 小型試験体

#### (1)小型試験体の作製

下地基板は、JIS A 5371に規定する舗装用コンクリート平板(300×300×60 mm)を研磨紙#150で研磨し、表-2に示す処理を行った。吸水調整材としてエチレン酢酸ビニル共重合樹脂エマルジョンを固形分量9%に水で希釈し塗布乾燥後、吹付け用ポリマーセメントモルタルは吹付けにより、また、左官用ポリマーセメントモルタルは鏝塗りにより施工し厚さ10mmに均した。

#### (2)小型試験体の付着試験方法

小型試験体の付着強さ測定は、図-2に示す位置にコンクリートカッターで40×40mmの切れ込みを入れ、建研式引張試験機を用いて最大荷重を測定し5個の平均から求めた。

#### (3)小型試験体の試験概要

##### a. 圧縮強さ及び付着強さの関係

各ポリマーセメントモルタルの小型試験体は、20℃で材齢1日、7日及び28日で付着強さ及びJIS A 1171による圧縮強さを測定した。

##### b. 養生温度の影響

各ポリマーセメントモルタルの小型試験体は、10、20、30℃で材齢7日及び28日の付着強さ

表-2 吹付け施工条件

項目	種類	
	吹付け用	左官用
曲げ強さ (N/mm <sup>2</sup> )	9.5	8.7
圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )	64.4	41.3
長さ変化率 (%)	-0.056	-0.081
吸水 (g)	16.4	18.3
付着強さ (N/mm <sup>2</sup> )	2.7	3.0
透水 (ml/hr)	0.1	0.3
中性化深さ (mm)	0	1
塩分浸透深さ (mm)	0	0
静弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	2.76×10 <sup>4</sup>	2.29×10 <sup>4</sup>
線膨張係数 (×10 <sup>-5</sup> /℃)	1.25	1.19

表-3 ポリマーセメントモルタルの物性

空気圧 [MPa]	空気吐出量 [m <sup>3</sup> /min]	モルタル吐出量 [m <sup>3</sup> /h]	急結剤添加率 [対セメント%]
0.6~0.7	0.8~1.0	0.4	4~5

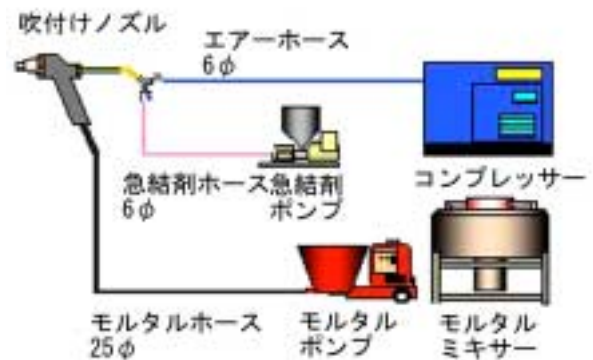


図-1 吹付けシステムの概要

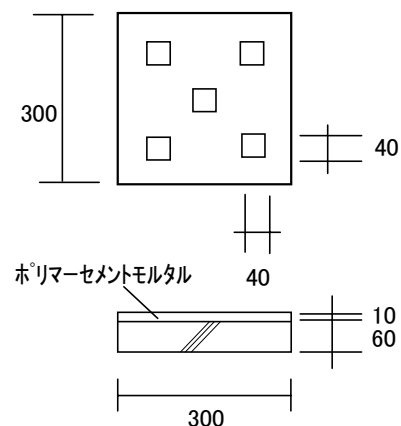


図-2 小型試験体の形状

を測定した。

### c. 下地の状態が付着に及ぼす影響

表-4に示す含水状態が表乾, 絶乾, 湿潤の水準の下地の小型試験体の材齢 28 日の付着強さを測定した。表乾, 絶乾は吸水調整材を塗布した。

## 2.2.3 配筋試験体

### (1) 配筋試験体の作製

配筋試験体の形状を図-3に示す<sup>7)</sup>。コンクリート下地の鉄筋格子位置には付着測定のためあらかじめ直径 68mm のコアを抜き, そのコアを戻して固定し表層を研磨紙#150 で研磨し, 吸水調整材を塗布した。試験体を壁及び天井に取り付け, 各ポリマーセメントモルタルを 70mm の厚さに施工した。吹付け用ポリマーセメントモルタルは 2 層に分けて吹付け, 基層 (ビニロン繊維なし) 40mm, 表層 (ビニロン繊維入り) 30mm で合計 70mm の厚さに吹付けた後, 表面を金鏝で仕上げた。左官用ポリマーセメントモルタルは一度の塗り厚を 10~20mm として 4~5 回に分けて 3 日間で厚さ 70mm に塗付けた。また, 充填状況を確認するため図-3と同寸の木製型枠に同様に作製した。

### (2) 配筋試験体の付着試験方法

鉄筋格子部の付着強さはコンクリートコアを建研式引張試験機で引張り測定した。無鉄筋部の付着強さは, モルタル側から直径 68mm の切れ込みを入れモルタル側から測定した。

### (3) 充填率測定

充填率は, 配筋型枠と同寸の木製型枠に施工し, 硬化後裏面型枠を外し観察し付着試験測定位置の細骨材や空隙が表面に現れ不完全充填となっている面積を付着面積で除して未充填面積率を求めた。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 圧縮強さと付着強さの関係

吹付け用及び左官用ポリマーセメントモルタルの各材齢の圧縮強さと付着強さの関係を図-

表-4 下地の状態

下地の状態	詳細
表乾	20℃, 60%に保管
絶乾	80℃ 24時間乾燥後、20℃, 60%に保管
湿潤	20℃水中24時間浸漬後直ちに水を拭取る

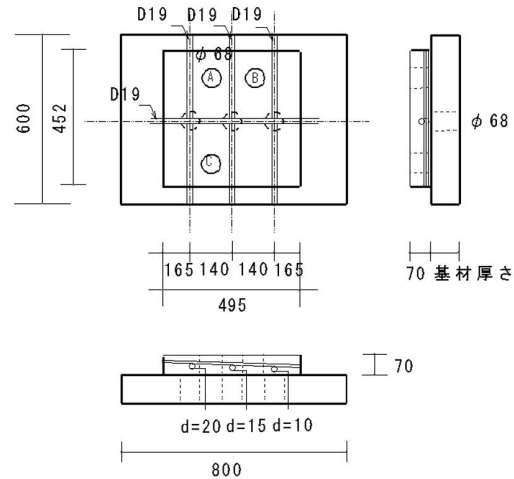


図-3 配筋試験体の形状

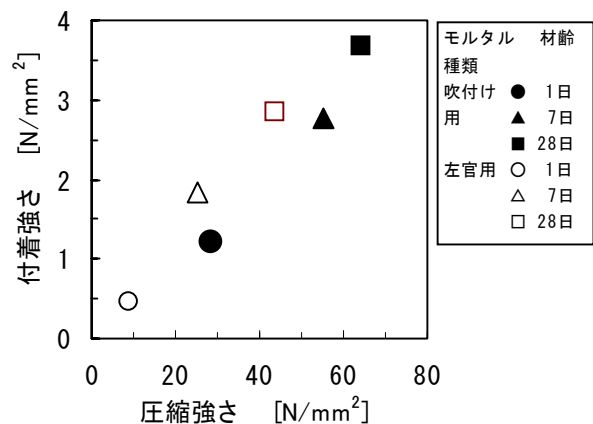


図-4 圧縮強さと付着強さの関係

4に示す。各ポリマーセメントモルタルとも材齢が増すに従い, 圧縮強さ及び付着強さは増加し, 圧縮強さと付着強さの間に相関性が認められた。このことから付着強さは, モルタルの強度発現と密接に関係している。

### 3.2 下地の含水状態と付着強さ

図-5に下地の含水状態と各ポリマーセメントモルタルの付着強さを示す。絶乾下地にも吸水調整材を塗布したため, 表乾下地と付着強さの差は認められない。また, 湿潤下地では吸水調整材を塗布しなかったが, 付着強さの差は認

められない。一方、表乾下地で吸水調整材を塗布しない場合は付着強さの低下が認められた。吹付け用ポリマーセメントモルタルの方が左官用より付着強さは大きく、この差の原因は、3.1 のから硬化したモルタル自体の強度差に起因するものと考えられる。

### 3.3 養生温度

図-6 に示すよう各ポリマーセメントモルタルともに 10~30℃ の範囲では、材齢 28 日の付着強さに有意差は認められなかった。

### 3.4 配筋の影響

#### (1) 鉄筋格子部の充填性

図-7 及び図-8 は、配筋試験体と同じ寸法の木製型枠に各ポリマーセメントモルタルを施工した裏面型枠面の付着試験面積に占める未充填面積率を示す。一般的な吹付け工法では、鉄筋格子部はノズル操作から吐出されるモルタルが鉄筋の影となり、鉄筋の投影面積は付着試験面積の 60% 以上になる。鉄筋格子背面部にモルタルが十分に充填されないと付着強さが低下することは容易に想定できる。従って、本吹付け工法では、鉄筋格子に対するノズル角度を 45° とし近距離から鉄筋格子内に先端を挿し込むような形でモルタルを充填をした。また、補助手段として圧搾空気によりリバウンドした余分な材料を除去しながら吹付けた。無鉄筋部でもリバウンドによる影響が若干認められるが、本工法による鉄筋格子背面の未充填面積率は図-7 に示すように平均 9% 以下と少ない。ただし、鉄筋格子部へのモルタル充填性は鉄筋背面距離の影響があり、その距離が小さいほどモルタルの未充填面積率が増加する傾向がある。

図-8 は左官用ポリマーセメントモルタルの未充填面積率を示す。無鉄筋部は吹付け工法よりも未充填面積率は少ないが、鉄筋格子部には未充填部分が認められる。左官工法で未充填部が発生した原因は、職人の手で施工するため鉄筋格子部は鉄筋が障害となり金鋸が入りにくいこと、かつ、鉄筋が死角とり付着面の一部に塗り残し箇所が生じたことが挙げられる。

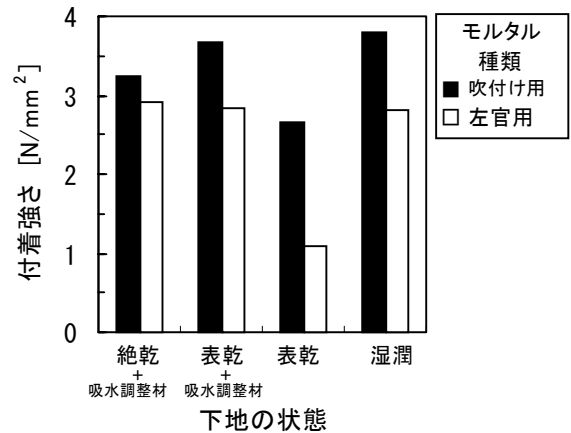


図-5 下地の含水状態と付着強さ

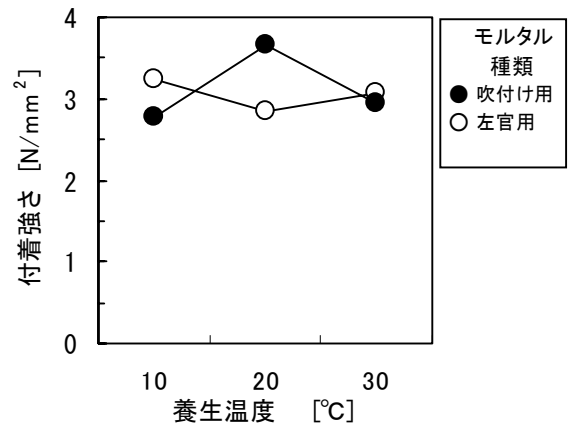


図-6 温度と付着強さ

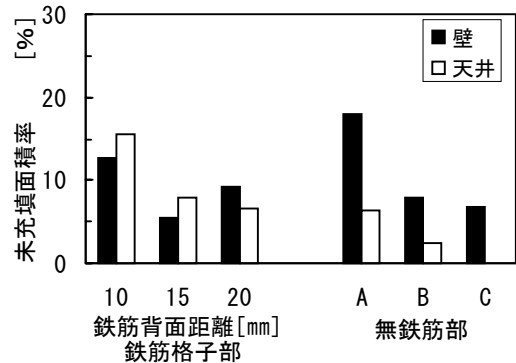


図-7 付着面積に占めるモルタルの未充填面積率 (吹付け用ポリマーセメントモルタル)

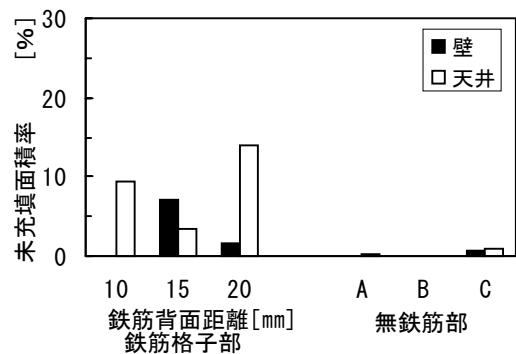


図-8 付着面積に占めるモルタルの未充填面積率 (左官用ポリマーセメントモルタル)

## (2) 配筋試験体の付着強さ

図-9は、吹付け用ポリマーセメントモルタルの配筋試験体の付着強さを示す。鉄筋の有無による差が認められ、鉄筋がない部分の付着強さは $2.4\sim 3.2\text{N/mm}^2$ に対し、鉄筋格子部は $2.3\sim 1.4\text{N/mm}^2$ と全体的に低い。鉄筋背面距離の影響はモルタルの充填性との関係があるが、 $10\sim 20\text{mm}$ の範囲では明確ではなかった。また、試験体設置部位(天井、壁)による付着強さへの影響は少ない。鉄筋格子部の付着強さが無鉄筋部と比較し全体的に低い理由として、鉄筋が吹付け時の障害となりモルタルの充填が阻害されるためと考えられる。しかしながら、本研究の吹付け工法は鉄筋背面の充填性を考慮し施工条件を設定したため、モルタルの未充填面積率が平均9%以下と小さく、付着強さに対する鉄筋背面距離の影響が明確に現れにくい結果となったと考えられる。

図-10は左官用ポリマーセメントモルタルの付着強さを示す。左官用ポリマーモルタルは、吹付け工法と比較して付着強さが全体に小さく、試験体設置部位(壁、天井)の差異は少ないが、鉄筋の有無による差異は認められる。これは、鉄筋格子部が金鏝作業の障害となること及び試験体断面観察により鉄筋背面充填時におけるモルタルのダレによる付着界面や塗継ぎ部の動きが生じたため、付着強さが低下したと考えられる。また、吹付け用ポリマーセメントモルタルと比較し、全体的に付着強さが低い傾向が認められる。このことは3.4(1)で述べたように、吹付け用と左官用の材料及び工法の違いによる差が付着強さに影響していると考えられる。

図-11及び図-12は各ポリマーセメントモルタルの付着試験面積に占めるモルタルの未充填面積率と付着強さの関係を示す。いずれのポリマーセメントモルタルも、吹付け用及び左官用共に未充填面積率と付着強さの明確な相関は認められない。

更に未充填面積率と付着強さの関係を考察するために各ポリマーセメントモルタルの付着強

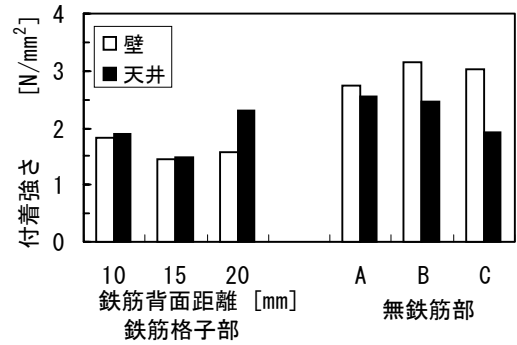


図-9 配筋試験体の付着強さ (吹付け用ポリマーセメントモルタル)

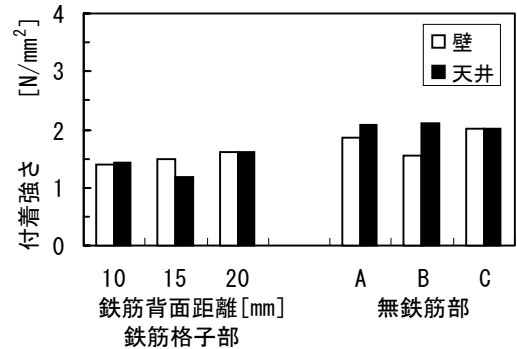


図-10 配筋試験体の付着強さ (左官用ポリマーセメントモルタル)

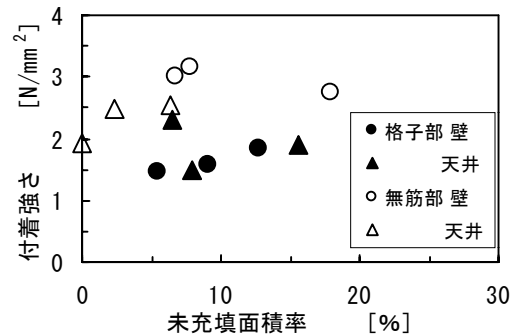


図-11 未充填面積率と付着強さの関係 (吹付け用ポリマーセメントモルタル)

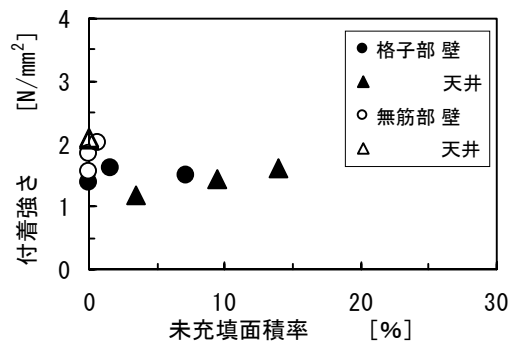


図-12 未充填面積率と付着強さの関係 (左官用ポリマーセメントモルタル)

さの計算値  $F$  を小型試験体の付着強さ  $f$  と付着面積部の未充填面積率  $a$  から式(1)により求めた。

$$F = (1 - a/100) \cdot f \quad (1)$$

$F$  : 付着強さの計算値 [N/mm<sup>2</sup>]  
 $f$  : コンクリート平板の付着強さ [N/mm<sup>2</sup>]  
 $a$  : モルタル未充填面積率 [%]

図-13 は吹付け用及び左官用ポリマーセメントモルタルの配筋試験体の付着強さと、コンクリート平板の付着強さ  $f$  とモルタルの未充填面積率  $a$  から式(1)により求めた計算値  $F$  を比較した。各ポリマーセメントモルタルとも計算値は、実測値より大きい。また、吹付け用ポリマーセメントモルタルの方が計算値、実測値ともに高い。いずれのポリマーセメントモルタルも配筋の影響により付着強さは低下したが、吹付け用ポリマーセメントモルタルの方が左官用ポリマーセメントモルタルよりも付着強さが高い傾向にある。

#### 4. まとめ

アルカリフリー液体急結剤を用いた湿式吹付け工法によるポリマーセメントモルタルと左官用ポリマーセメントモルタルの付着強さを実験により比較検討した結果、次のことが判明した。

- (1) 小型試験体の付着強さは、吹付け用ポリマーセメントモルタルの方が左官用ポリマーセメントモルタルより大きい。これはモルタルの強度発現の差に関係する。
- (2) 配筋試験体では、各ポリマーセメントモルタルの未充填面積率と付着強さの間に明確な相関は認められない。
- (3) 配筋がある場合、吹付け用ポリマーセメントモルタルの付着強さは、鉄筋格子部、無鉄筋部とも左官用ポリマーセメントモルタルも大きい。

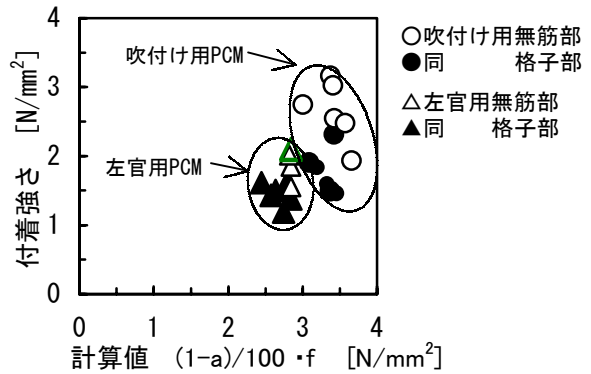


図-13 配筋試験体の付着強さと計算値の関係

#### 謝辞

本研究に協力頂きました昭栄薬品(株), (株)ジェーフエックの方々に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 久保証則ら：復用吹付け工法，土木技術，Vol.55 No.8，2000.8
- 2) 伊藤正憲ら：繊維混入湿式吹付けモルタルの開発(その1 材料選定と圧送吹付け性状)，土木学会年次学術講演会講演概要集第5部，Vol.57，pp.615-616，2002
- 3) 楠本秀樹ら：繊維混入湿式吹付けモルタルの開発(その2 硬化物性)，土木学会年次学術講演会講演概要集第5部，Vol.57，pp.617-618，2002
- 4) 伊藤正憲ら：繊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
- 5) 渡辺裕一ら：ポリマーセメントモルタル吹付け工法に関する基礎的研究，日本コンクリート工学協会年次論文報告集，Vol.19，No.1，pp.1171-1176，1997
- 6) 後藤充志ら：吹付けコンクリートの付着強度に関する研究，日本コンクリート工学協会年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp.1176-1182，1998
- 7) 西日本旅客鉄道(株)：コンクリート構造物補修の手引き [第3版]，2003.4