

コンクリート構造物の断面修復 湿式吹付け工法の開発（その2）

早川 健司* 伊藤 正憲* 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。これまでに筆者らは、多様化する現場で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が高いこと、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、本工法の特徴、施工システム、基本物性について述べるとともに、実施工へ展開するにあたって実用レベルで検討したポンプ圧送性、振動条件下での付着特性、既設コンクリートとの一体性の評価結果について報告する。検討の結果、揚程等のポンプ圧送条件と圧送可能距離の関係、振動条件下において所要の付着強度が得られること、既設コンクリートと吹付け材料の一体性が一体打ちと同等であること等が明らかになった。

キーワード： 補修、断面修復、ポリマーセメントモルタル、圧送性、付着強度、せん断強度

目次：	1. はじめに	4. 振動条件下での付着特性
	2. 工法の概要	5. 一体性の評価
	3. ポンプ圧送実験	6. おわりに

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、社会的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、補修方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、施工効率がよく、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、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てきた¹⁾。本工法（ジョツツ・クリート工法）は、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

ため圧送中の閉塞が少なく、また、鉄筋背面への充てん性を向上させた新しい湿式吹付けによる断面修復工法である。

本報では、今回開発した断面修復工法の特徴、基本物性、施工システムを示すとともに、実用レベルで検討したポンプ圧送性、振動を受ける環境下での付着特性、また既設コンクリートとの一体性の評価結果について報告する。

2. 工法の概要

2.1 特徴

ジョツツ・クリート工法は、従来の湿式吹付けによる断面修復技術に液体急結剤を使用することにより、初期強度が高く、厚付け性を可能にした断面修復工法である。写真 1 に本工法による床版下面への吹付け状況を示す。本工法の主な特徴は以下のとおりである。

- ・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。
- ・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。
- ・かぶり部分には短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。

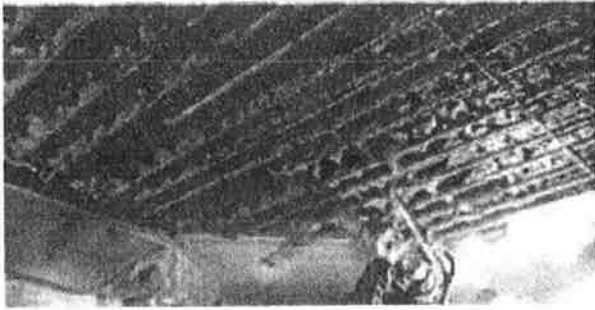


写真1 床版下面の吹付け作業状況

- ・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，附着性に優れている。
- ・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。

2.2 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，再乳化粉末樹脂等を適正配合したプレミックス材料(粉体材料)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。本工法では推奨できる急結剤，および繊維を指定しているが，補修する構造物の要求性能などによりこれ以外の製品の使用も可能である。なお，この場合には事前に要求した性能が確保できるかなどについて吹付け試験を行って確認しておくが必要になる。

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，再乳化粉末樹脂等
急結剤	水溶性アルミニウム塩
繊維※	ビニロンφ0.1mmL13mm ビニロンφ0.2mmL25mm

※粉体材料への混入タイプあり

表2 標準配合

	粉体材料	水	急結剤	繊維
単位量 (kg/m ³)	1925	243	25	5
範囲	—	±12.8kg	0.9~ 2.2wt%※	0.2~ 0.6vol%※

※モルタルに対する百分率

2.3 施工システム

図1に本工法の吹付けシステム例，表3に使用機械の例を示す。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。

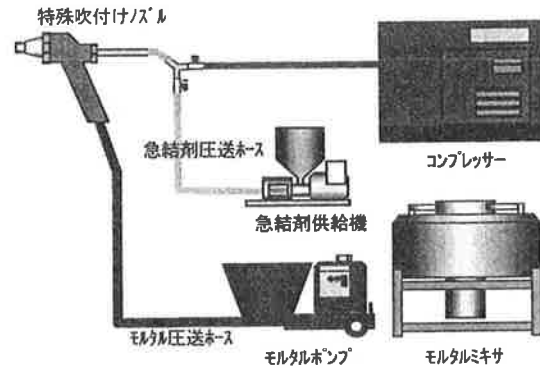


図1 吹付けシステム例

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：3.5m ³ /min
配管		φ25~φ38mm 程度の耐圧ホース
ノズル		特殊専用ノズル

2.4 基本物性

図2に環境温度がフレッシュ性状(フロー値)に及ぼす影響について示す。本ポリマーセメントモルタルは，流動性に優れるとともに，その保持時間が長く，施工時の温度変化の影響も小さいことを特徴とする。したがって，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。

表4に断面修復材の基本的な硬化物性値を示す。表に示すように，本断面修復材は乾燥収縮が小さく，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，耐久性に優れるものである。

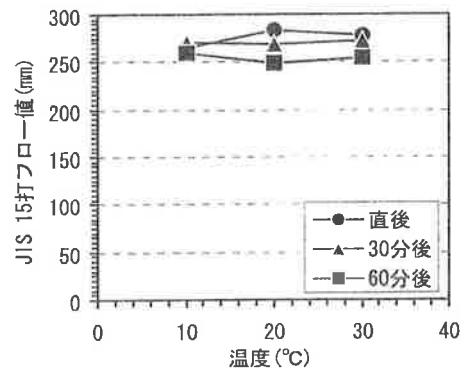


図2 温度とフロー値の関係

表4 基本物性値

試験項目	試験結果	準拠基準
曲げ強さ	9.4N/mm ²	JIS A 1171-2000 7.2
圧縮強さ	54.8N/mm ²	
接着強さ	2.8N/mm ²	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	0.125×10 ⁻⁴ /°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

3. ポンプ圧送性

3.1 実験概要

今回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。これによりポンプから吹付けノズルまでの安定した圧送性が得られ、かつ、管径(φ25mmホース使用)を小さくして吹付け時などの操作性を向上させている。

ポンプ圧送性は配管距離、揚程、吐出量等の影響を受けるが、実現場における施工条件は様々である。そこで、資機材配置やモルタルポンプの選定等、施工条件に応じて適切な施工計画を立案するための資料を得ることを目的に、実施工を想定した圧送性に関する実験を行った。

表5、表6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。

表5 モルタルポンプの種類

	スネーク式	スクイズ式
製造メーカー	新明和工業	岡三機工
型式	DM-15	OKG-35E
吐出能力	0.18~0.72m ³ /h	0.14~1.3m ³ /h
最大吐出圧力	1.5MPa	3.5MPa

表6 実験条件

実験条件	水準
揚程	0,10m
吐出量	0.3, 0.5m ³ /h
繊維	なし, あり

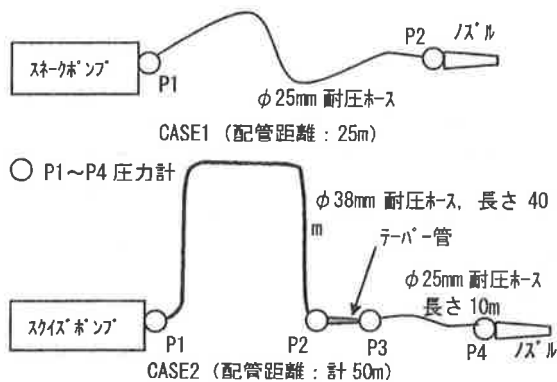


図3 配管条件

3.2 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0.5MPa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。

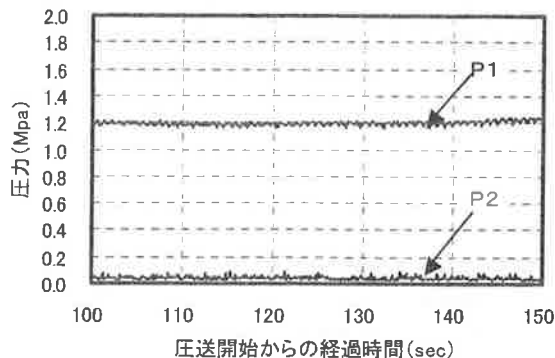


図4 圧力測定結果(CASE1)
スネーク式、吐出量0.3m³/h、揚程10m

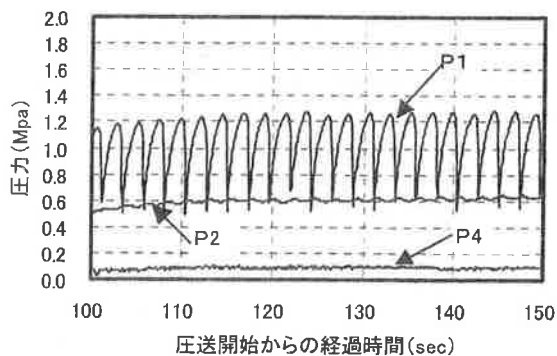


図5 圧力測定結果(CASE2)
スクイズ式、吐出量0.3m³/h、揚程10m

図6に、吐出量と1mあたりの圧力損失を示す。1m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0.3~0.5 m³/h 程度の範囲では、φ25mm ホースの場合 0.024~0.06MPa 程度、φ38mm 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φ25mm 配管で1.3~2.8m 程度、φ38mm 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可能距離を算定すると、CASE 1 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 0.3m³/h 程度で 20m 程度、CASE 2 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。このようにポンプ圧送に関する基礎データが得られたことから、各施工条件に対するポンプ圧送性の照査が可能となった。

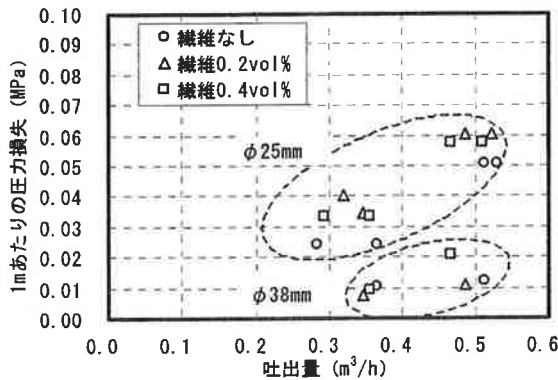


図6 吐出量と1mあたりの圧力損失

4. 振動条件下での付着特性

4.1 実験概要

吹付けモルタルの付着特性については、吹付け条件および下地の表面処理の影響などについて研究されているが、極初期材齢から振動の影響を受けた状態における付着特性に関する研究報告例は少ない。また、現実的に補修を必要とする土木構造物は供用中のものが多く、耐はく離・はく落性の観点から、硬化後はもとより、硬化過程の振動の影響を考慮した検討が必要である。そこで、硬化過程で振動を受ける実際の地下鉄坑内と試験室内における付着特性について検討した²⁾。

吹付け対象は、市販のコンクリート平板（寸法：300×300×100mm）であり、吹付け 24 時間前に吸水調整剤を塗布し乾燥させ、10mm の厚さで断面修復材を吹付け、表面をコテで仕上げた。試験は 24 時間後から行い、硬化過程における列車振動の影響を確認した。

表7に、試験ケースを示す。Case1 は、実構造物の補修を想定し、供用中の地下鉄坑内で吹付け 2 時間後から列車による振動を受け、その後、24 時間以内に約 600 回の列車通過の影

響を受ける環境である。なお、Case1 では、吹付け面および養生面は天井面(床版下面)を想定し下向きとした。一方、Case2~4 は Case1 との比較用で、いずれも試験室内でのサンプルリングとし、所定の材齢において建研式引張試験を実施した。測定は3~5 箇所行い、その平均値を付着強度とした。

表7 付着試験ケース

Case	暴露条件			繊維	急結剤添加率 (%)*	試験材齢
	場所	温度	方向			
1	地下鉄坑内	20~30℃	下向き	φ0.1, L12mm	1.9	1~183日
2	試験室内	20℃	上向き			無し
3		30℃		1~28日		
4		20℃				

*モルタルに対する質量百分率

4.2 実験結果

図7に材齢 24 時間の付着強度を示す。吹付け後 24 時間の付着強度はいずれの条件でも 1.5N/mm² 以上となり、本工法により吹付けられた断面修復材の大きな特徴である極初期材齢における良好な強度発現性が確認できた。吹付け後、約 2 時間から列車の振動を受け始め、24 時間以内に約 600 回の列車通過振動の影響を受けた Case1 は 1.5N/mm² 程度の付着強度であったが、Case2 の室内試験結果と比べると若干付着強度が低下する傾向にあった。また、Case2 と 3 を比較すると養生温度が高いほど、初期の付着強度も高くなる傾向にあった。従って、初期の付着強度は養生温度による影響も大きく、また、硬化過程で振動を受ける環境下では、吹付け方向や養生時の自重等の影響を受けるものと考えられる。なお、繊維の有無が変動因子である Case2 と 4 を比較すると繊維が混入していない Case4 では付着強度が約 10%低下しており、繊維による影響も見られた。

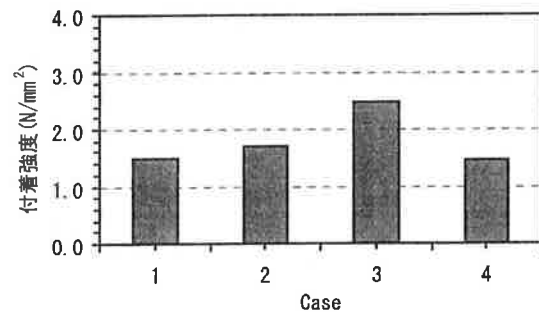


図7 付着強度試験結果(材齢24時間)

図8に材齢と付着強度の関係を示す。前述したとおり地下鉄坑内に暴露した Case1 と比較用の Case4 では材齢 24 時間の付着強度はほぼ同じ程度であった。しかし、Case1 はその後の強度の増加が Case4 に比べて小さかった。これは、断続的に振動を受ける地下鉄坑内の影響、さらには養生の方法(下向き

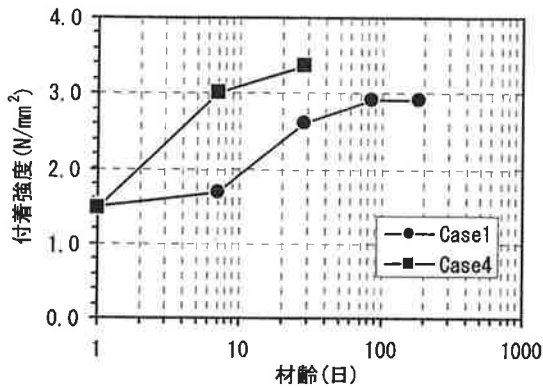


図8 材齢と付着強度の関係

と上向き)の違いによるものと考えられる。しかしながら、Case1 についても材齢半年の付着強度が 3N/mm² 程度であることから、本工法で吹付けた断面修復材は長期の付着性にも優れることが確認できた。

5. 一体性の評価

5.1 実験概要

吹付け工法による梁や柱などの構造部材の補修において、既設コンクリートと吹付け材料との一体性について実用レベルで検討した信頼できるデータは少ない。そこで、今回開発した湿式吹付け断面修復工法を用いて、大型のプッシュオフ型せん断試験を行い、新旧コンクリートの打継ぎ面のせん断伝達性能について検討した³⁾。

表8 に試験体の条件、図9 に試験体の概要図を示す。せん断試験体は合計6体作製した。先打ちコンクリート部には、24-15-20N のコンクリートを用いた。Case1 の吹付け部分は横置きで行い、試験のばらつきを考慮して3体作製した。なお、吹付け前には表面をチップング処理し、エチレン酢酸ビニル系の吸水調整材でプライマー処理した後、図9 に示す台形部分に幅 200mm×高さ 300mm の面積分の吹き付けを行った。残りの後打ち部分については、断面修復材を流し込んで試験体を作製した。試験の評価は、せん断力 Q と相対変位 δs との関係からせん断応力度を算出して行った。

5.2 実験結果

図10 に示す関係より、最大せん断力 Q₁、打継ぎ面の面積で除したせん断応力度 τ₁、その時の相対変位 δ_{s1}、および図11 に示すモールの応力円から(1)式で求めたコンクリートのせん断強度計算値 τ_{1cal} と τ₁/τ_{1cal} を表9 に示す。

$$\tau_{1cal} = \sqrt{F_c \cdot F_t} / 2 \quad \dots (1)$$

F_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)
(先打ちコンクリートの圧縮強度 : 28.4 N/mm²)

F_t : コンクリートの引張強度(N/mm²)
(先打ちコンクリートの引張強度 : 2.3 N/mm²)

表8 試験体の条件

Case	打設方法		打継ぎ面の処理方法
	先打ち部	後打ち部	
1	コンクリート 型枠打設	吹付け	目粗し
2		コンクリート型枠打ち	(チップング)
3		吹付け	目粗しなし
4		コンクリート型枠打ち	(一体打ち)

* : Case1 のみ、ばらつきを考慮して3体作製

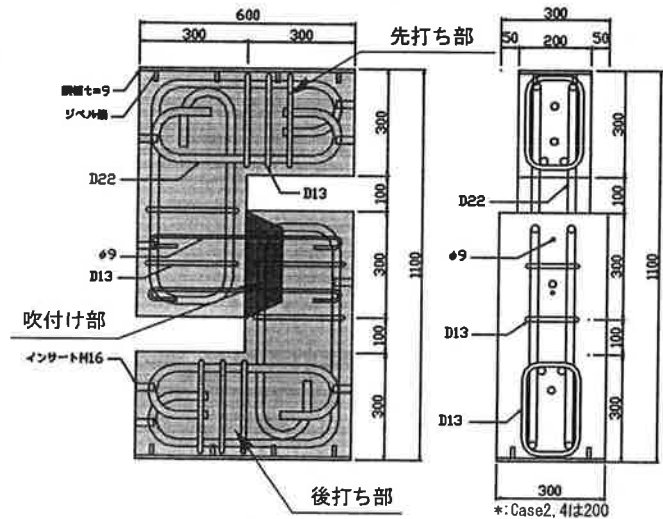


図9 せん断試験体概要図

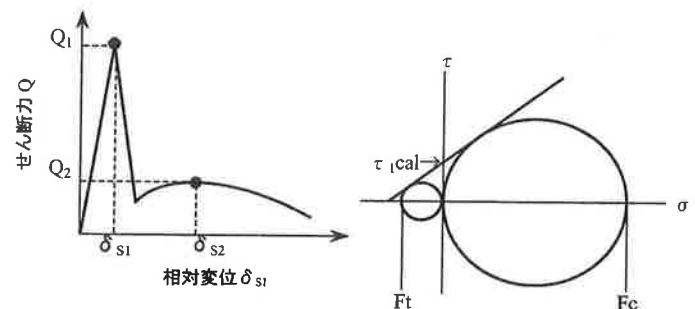


図10 相対変位とせん断力の関係 図11 モールの応力円

表9 せん断試験結果

Case	Q ₁ (kN)	τ ₁ (N/mm ²)	δ _{s1} (mm)	τ _{1cal} (N/mm ²)	τ ₁ /τ _{1cal}
1	218.1	3.64	0.02	4.04	0.90
	227.0	3.78	0.03		0.94
	222.0	3.70	0.02		0.92
	平均	222.4	3.71		0.02
2	122.0	2.03	0.01		0.50
3	238.2	3.97	0.03		0.98
4	234.1	3.90	0.01		0.97

Case1 の最大せん断力 Q_1 の平均値は 222.4kN であり、一体打ちである Case4 で得られた 234.1kN の 95% となった。コンクリートを打ち継いで断面修復した部材が曲げに対して一体で抵抗するためには、曲げが作用した部材の層間せん断伝達が打継ぎ面でも確保されることが必要となる。したがって、試験結果より、本工法による先打ち部と後打ち部は一体化していると判断できる。一方、注入工法を想定した試験 Case 2 の最大せん断力 Q_1 は Case 4 の 52% と低い結果となった。また、目粗しの無い Case 3 は Case4 と同等の最大せん断力が得られた。計算値 τ_{cal} に対する比を見ると、Case 1 および Case3 はいずれも計算値の 90% 以上の結果となっており、吹付けにより一体性が得られたことを示していると考えられる。したがって、本工法で断面修復された RC 部材は、一体打ちの場合と同じように設計することが可能であることが確認できた。

謝辞

ジョツ・クリート 工法は、(財)鉄道総合技術研究所、(株)大林組、昭栄薬品(株)、日本化成(株)と共同開発したものであり、地下鉄工事への適用に関しては、東京地下鉄(株)(旧帝都高速度交通営団)、(株)大林組との共同研究「吹付けコンクリート補修工法(ジョツ・クリート工法)の鉄道トンネルへの適用に関する共同研究」として実施したものである。末筆ながら、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 伊藤正憲・早川健司・瀬野康弘：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，東急建設技術研究所報 No. 28，2002. 12
- 2) 早川智浩，大坪清隆，伊藤正憲，楠本秀樹，阿部宏：ポリマーセメントモルタルを用いた湿式吹付け断面修復材の初期付着特性について，土木学会関東支部第 31 回技術研究発表会，2004. 3
- 3) 平田隆祥，瀬野康弘，菅原孝男，鳥取誠一：大型せん断試験による湿式吹付け断面修復工法の一体性に関する研究，土木学会年次学術講演会講演概要集第 6 部，Vol. 59，pp687～688，2004. 9

DEVELOPMENT OF THE SPRAYING MORTAL FOR CONCRETE STRUCTURES

K.Hayakawa, M.Ito, and Y.Seno

Recently, the wet spraying method of polymer cement mortar is applied to the repair of concrete structures. We have so far developed the wet spraying method, which uses together with both alkali free liquid accelerator and polymer cement mortar. The typical features of this method developed are as follows:

- The method can be applied to the maximum spraying thickness of up to 100mm.
- Relatively high strengths are achieved at early age by using the polymer cement mortar.
- The pumpability and the filling on the back of a steel-bar are excellent.

In this research, several tests were carried out to investigate the basic properties of this method, the pumpability and bond characteristics between existing concrete and spraying mortar. By using the test results, the construction standard was established to verify the improved performance after repair, and the wet spraying method developer is now being applied to the existing concrete structures.

6. 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、基本物性を示した。そして、本工法の実用レベルでの評価として、ポンプ圧送性、振動下での付着特性、ならびに大型せん断試験による一体性の評価結果を報告した。

これらの実用レベルでの検討から、変化する施工条件への対応が可能となり、また本断面修復工法の効果が実証された。なお、本工法は鉄道高架橋床版を対象とした試験施工を既に実施し、また現在地下鉄トンネル内において試験施工を実施している。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いきたいと考える。