

硬化促進剤を用いた断面修復用吹付け工法（TDR ショット工法）の開発

Development of Repair Splayed Mortar (TDR Shot Method) with Accelerating Agent

平間 昭信^{*1} 川端 康夫^{*2}
Akinobu Hirama Yasuo Kawabata
名倉 政雄^{*2} 松尾 勝弥^{*3}
Masao Nagura Katsuya Matsuo

【要旨】

コンクリート構造物の維持、保全が求められている。塩害やアルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の早期劣化が報道などで取り上げられ、大きな社会問題となっている。そのような劣化・損傷を生じたコンクリート構造物の耐久性などの機能を回復させるために、様々な補修・補強工法が提案され採用されているが、現在採用されている工法はコスト面や粉じん、はね返りなどの環境面などで問題点を有している。そこで、現状技術を分析し、リニューアル市場への参入のアイテムとして、新たな断面修復工法の開発を目的とし、H15年度より材料開発に着手した。これまでに、国土交通省西大津バイパス補修工事、日本道路公団敦賀北陸自動車道桎曲高架橋補修工事、大牟田市水路補修工事、JR西日本の神戸支社管内高架橋修繕（A）工事など6件の施工実績がある。本報告では、これまでの工法開発、および現場適用までについての検討内容を取り纏めた。

【キーワード】 吹付けモルタル 補修 急結剤 力学性能 耐久性 粉じん

1. はじめに

中性化や塩害などにより劣化したコンクリート構造物の補修技術として、吹付け工法による断面修復工法がある。吹付け工法による断面修復工法には、ポリマーセメントモルタルを用いる湿式方式と、速硬セメントを用いる乾式方式に大別される。湿式方式は一般的に耐久性能および付着強度の面で優れているが、厚付けできないことや、モルタルの吐出量が少ないといった施工能力などに課題がある。一方、乾式方式については、長距離圧送が可能なことや低コストではあるが、発生粉じんやはね返りが多いという課題を有している。そこで、湿式方式、乾式方式の有する課題を解決したポリマー混和剤を含まないプレミックスモルタルに硬化促進剤を添加させて吹き付ける新たな断面修復工法「TDR ショット (Tough and Durable Repair shot)」を開発した^{1), 2)}。

本報告では、室内試験による材料選定、試験吹付けによる性能評価、現場適用に至るまでの検討内容について、

以下に、報告する。

2. TDRショット工法の開発目標

開発に着手する時点において、既に断面修復工法として確立、展開されていたポリマーセメントモルタルを用いる湿式方式、速硬セメントを用いる乾式方式について、それぞれの課題を抽出、整理し、下記に示す開発目標を設定した。また、要求品質については、表-1に示す、旧日本道路公団「断面修復材品質規格」を満足することを目標とした。

- ① 粉じん、はね返りが少ないこと
- ② 1層の施工厚さが100mm以上であること
- ③ 0.5m³/h以上の施工能力を有すること
- ④ 一般コンクリートと同等以上の耐久性を有すること
- ⑤ 左官仕上げが可能であること
- ⑥ 従来工法に比べて、低コストであること

1. 防災 R&D センター 技術研究所 2. 土木本部 環境 RN グループ 3. 土木本部 トネルグループ

表一 旧日本道路公団断面修復材料 品質規格

項目	試験条件	規格
固化時間		固化時間は、1時間以上であること。
厚塗り性		たれ、ずれ、はがれを生じないこと。
断面修復材の外観	湿冷繰返し試験後	外観は均一で、われ、はがれ、ふくれのないこと。
硬化収縮性		硬化収縮率は、0.05%以下であること。
熱膨張性	硬化収縮試験後	熱膨張係数は、 $2.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 以下であること
コンクリートとの 付着性	湿潤時	付着強度は、 $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であること。
	耐アルカリ性試験後	
	湿冷繰返し試験後	
塗装塗膜との付着性	湿冷繰返し試験後	付着強度は、 $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であること。
圧縮強度		圧縮強度は、 $24\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であること。

3. 室内実験による材料構成の選定

開発目標とした品質、施工性および経済性を達成するために室内試験を行い、材料構成について検討した。

3.1 実験概要

(1) 使用材料

基本とした使用材料を表一に示す。この開発においては経済性の観点から、セメント混和用ポリマーディスペーションを用いないこととした。このことから、一般コンクリートと同等以上の耐久性を確保するために、混和材料として流動化剤、収縮低減剤、膨張材など選定した。ひび割れの抵抗性、曲げ耐力の向上のための繊維としては、施工性、美観を考え、ビニロン繊維を選定した。

また、施工厚さが100mm以上を確保するために、硬化促進剤として、粉じん発生や人体への安全性を考慮して、液体のアルカリフリー系硬化促進剤を選定した。

表一 基本とした使用材料

使用材料	主成分
セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	石灰石細骨材、最大粒径1.2mm
収縮低減剤	ポリオキシアルキレン系収縮低減剤
膨張材	カルシウムサルフォアルミネート系膨張材
流動化剤	メチロールメラミン系流動化剤
粘性調整剤	セルロースエーテル系粘性調整剤
繊維	ビニロン繊維、繊維径0.2mm、繊維長12mm
硬化促進剤	水溶性アルミニウム塩、液体

(2) 実験要因と水準

検討した材料構成を表一に示す。実験で評価した材料構成は、収縮低減剤および膨張材の有無、硬化促進剤の添加率が品質に与える影響を確認した。なお、流動化剤の添加率はフローが200mm程度となるように調整した。

表一 室内実験での実験要因、実験水準

実験要因	実験No	収縮低減剤 (C+S) %	膨張材 (C+S) %	硬化促進剤 (材料) × %
無添加	1	0.0		0.0
収縮低減剤 の影響	2	0.7	0.0	2.0
	3	1.5		
	4	2.0		
	5	2.5		
膨張材の 影響	6	0.0	0.7	2.0
	7		1.5	
	8		2.0	
収縮低減剤 と膨張材の 併用の影響	9	2.0	2.0	0.0
	10	1.5	2.0	
	11			
硬化促進剤 の影響	12	1.5	2.0	0.5
	13			1.0
	14			3.0

(3) 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表一に示す。モルタルの練混ぜは、ホバートミキサーに繊維以外のプレミックスした材料と練り混ぜ水を所定量加え、低速で練り混ぜながらビニロン繊維を添加後、2分間練り混ぜた。硬化促進剤の添加は練り上がったモルタルに硬化促進剤を加えた後、高速で10秒間攪拌した。試験体作製は、テーブルバイブレーターで型枠に振動を与えながら成形を行った。

表一 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
フロー	JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」
単位容積質量	JIS A 1171 「ポリマーセメントモルタルの試験方法」
凝結速度	JSCE D-102 「吹付けコンクリート用急結剤品質規格」
長さ変化	JHS 416 「日本道路公団試験研究所規格」養生：材齢2日で基長測定し、その後、温度20°C、湿度60%で養生
圧縮強度	JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」養生：温度20°C、湿度60%試験材齢：7日、28日

3.2 実験結果および考察

(1) フレッシュ性状, 圧縮強度

フレッシュ性状の結果および圧縮強度の試験結果を表-5に示す。すべての実験ケースにおいて、流動化剤を適宜調整することにより、フローは目標とした200mm程度を確保できることを確認した。

材齢28日における圧縮強度は30N/mm²以上の結果が得られた。収縮低減剤の圧縮強度への影響については、添加率が増加するほど圧縮強度は低下する傾向にあり、強度発現性を大きく阻害しない添加率1.5%までが適切な添加率と判断された。また、硬化促進剤については、添加率が増加するほど圧縮強度は若干低下する傾向であるが、添加率3%においても6%程度の強度低下であり、選定した硬化促進剤は強度発現性に与える影響が小さいことが確認された。

表-5 フレッシュ性状および圧縮強度の試験結果

実験要因	実験No	フロー(mm)	圧縮強度 (N/mm ²)	
			材齢7日	材齢28日
無添加	1	207	28.1	40.3
収縮低減剤の影響	2	205	27.2	39.1
	3	204	27.0	38.8
	4	206	24.2	35.4
	5	206	21.5	31.7
膨張材の影響	6	210	27.1	39.5
	7	206	27.4	39.1
	8	205	26.9	39.0
収縮低減剤と膨張材の併用の影響	9	206	26.5	37.2
	10	208	27.1	38.8
	11	—	—	—
硬化促進剤の影響	12	202	27.4	39.8
	13	205	28.0	40.1
	14	201	26.7	37.9

(2) 凝結性状

硬化促進剤添加率が凝結性状に与える影響を図-1に示す。硬化促進剤添加率が1%まではほとんど貫入抵抗値の増加は認められないが、2%以上では凝結性状が大きく向上する傾向である。この結果から、硬化促進剤の添加率を適宜調整することにより、施工厚さ100mmの確保、および左官仕上げを行えるものと判断した。

次に、収縮低減剤添加率が凝結性状に与える影響を図

1-2に示す。収縮低減剤添加率が2%以上で貫入抵抗値は低下する傾向が認められた。圧縮強度の結果においても、添加率2%以上でその影響が顕著になることから、収縮低減剤の過添加は水和反応を抑制するものと判断された。

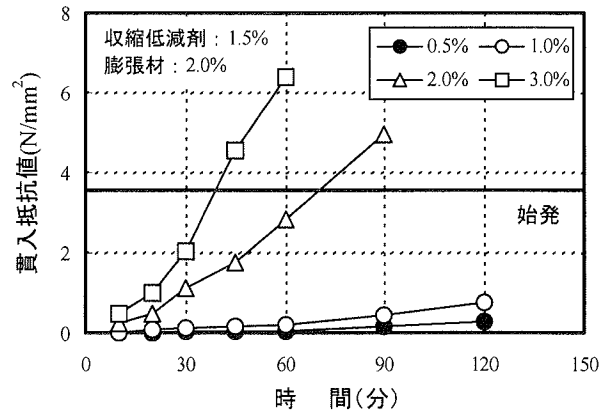


図-1 硬化促進剤添加率が凝結性状に与える影響

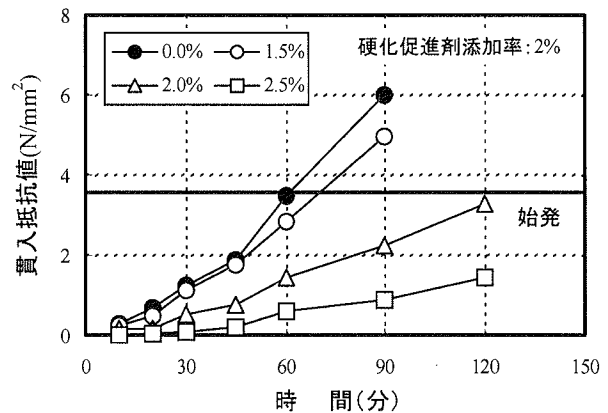


図-2 収縮低減剤添加率が凝結性状に与える影響

(3) 長さ変化率

収縮低減剤添加率が長さ変化率に与える影響を図-3に示す。収縮低減剤添加率の増加に伴い長さ変化率は減少する傾向である。添加率2.5%では、混和剤無添加に比べ、材齢28日において約半分の長さ変化率であり、その効果が確認された。

次に、膨張材添加率が長さ変化率に与える影響を図-4に示す。膨張材についても、添加率を増加させると長さ変化率は低下する傾向が認められるが、収縮低減剤よりも、その低減効果は小さい。

以上のことから、長さ変化を低減する手法としては、収縮低減剤を使用することが有効である。しかし、収縮低減剤は凝結促進、および強度発現を阻害することなどが確認

されたことから、過添加することはできない。このことから、膨張材との併用による長さ変化率の低減効果を確認した。その結果を図-5に示す。凝結性状や強度発現性に与える影響が小さい収縮低減剤添加率を1.5%とし、膨張材添加率を2%の併用により、目標とする長さ変化率0.05%を確保できる可能性が見出せた。

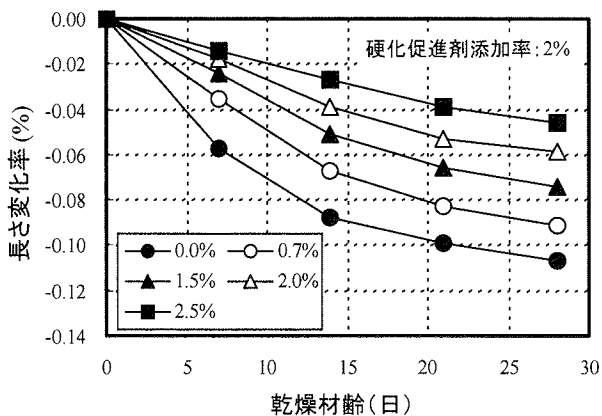


図-3 収縮低減剤添加率が長さ変化率に与える影響

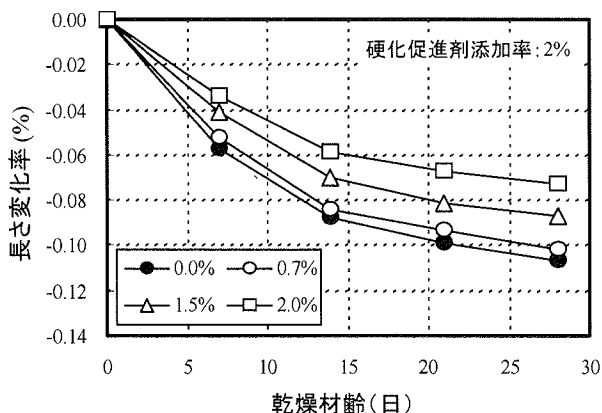


図-4 膨張材添加率が長さ変化率に与える影響

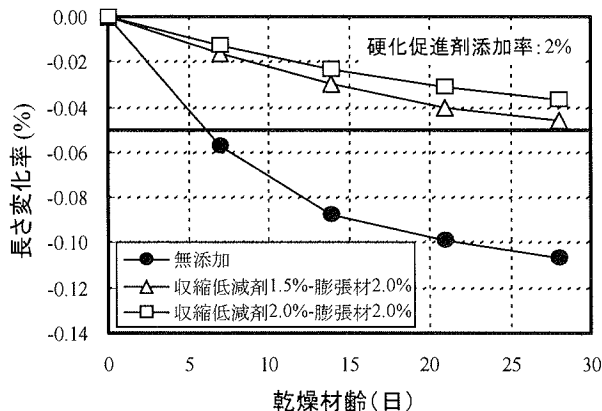


図-5 収縮低減剤と膨張材添加率を併用した場合の長さ変化率に与える影響

硬化促進剤添加率が長さ変化率に与える影響を図-6に示す。硬化促進剤添加率が3%までは、長さ変化率に及ぼす影響は小さいことを確認した。

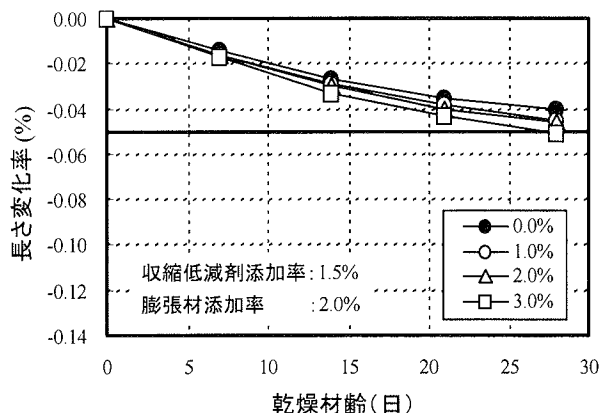


図-6 硬化促進剤添加率が長さ変化率に与える影響

3.3 まとめ

室内実験では、使用する混和材料、硬化促進剤の種類、添加率の選定を目的とし、強度特性、長さ変化率を指標とした検討を実施した。

その結果、収縮低減剤添加率は、凝結性状および強度発現性に与える影響が小さい1.5%とし、長さ変化率を考慮して膨張材を2%併用する材料構成が適切と判断された。また、硬化促進剤添加率は、標準添加率を2%とし、3%以内であれば強度発現性や長さ変化率に与える影響は小さいことから、その範囲において、目標とした施工厚さやコテ仕上げなどに対応した調整が可能である判断された。

4. 吹付け実験による品質性能確認

室内試験の結果より、選定した材料および材料構成により、吹付け実験を行い、開発目標とした品質、施工性について検証を行った。

4.1 実験概要

(1) 配合

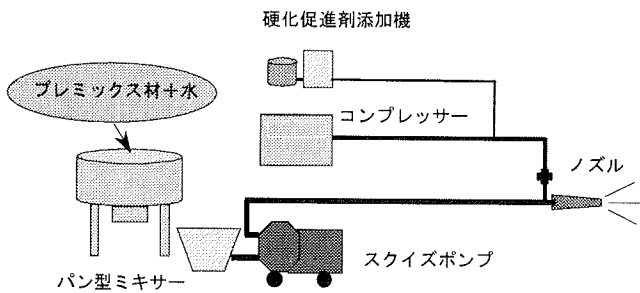
室内実験を受けて選定した材料および構成比により、ビニロン繊維以外をプレミックスとした。そのプレミックス材料を用いたモルタル配合を表-6に示す。なお、ビニロン繊維は1.0vol%，硬化促進剤はプレミックス材料に対して2.0%を外割にて添加した。

表一六 モルタル配合

W/材料 (%)	単体量 (kg/m ³)		ビニロン 繊維 (kg)	硬化促進 剤 (kg)
	プレミックス材	水		
14	1,900	266	13	38

(2) 吹付けシステム

吹付けシステムを図一七に示す。パン型ミキサーでプレミックス材、水、ビニロン繊維を練り混ぜた後、スクイズポンプでノズル先端まで圧送して、ノズル吐出口手前で圧縮空気と硬化促進剤を導入して吹き付けるシステムである。



図一七 吹付けシステム

4.2 検証結果

(1) 強度特性の検証

TDR 吹付けモルタルの強度特性を表一七に示す。試験方法、品質規格値については、表一に示した旧日本道路公団断面修復材料品質規格に準拠し、検証を行った。

表一七に示すように、強度特性については、いずれの強度とも、目標とした品質規格を満足する結果であることを確認した。

表一七 強度特性の試験結果

項目	試験結果	目標値
圧縮強度 (N/mm ²)	42.3	24
曲げ強度 (N/mm ²)	7.6	—
静弾性係数 (N/mm ²)	2.0×10 ⁴	—
付着強度 (N/mm ²)	湿潤養生	1.5
	耐アルカリ性試験後	
	温冷繰返し試験後	

(2) 耐久性の検証

TDR 吹付けモルタルの硬化収縮、熱膨張係数を表一七に示す。に示すように、硬化収縮、熱膨張係数とも、目

標とした旧日本道路公団断面修復材料品質規格を満足する結果であった。

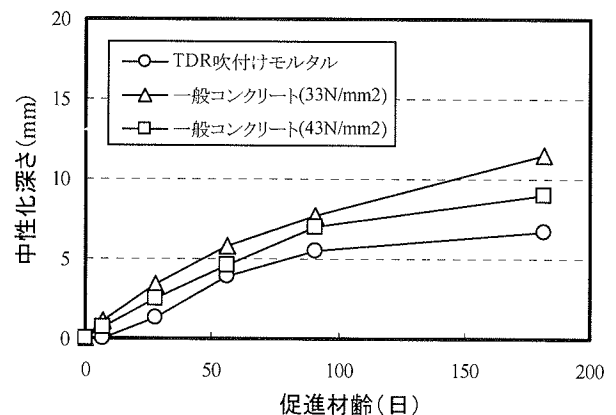
表一八 硬化収縮、熱膨張係数の試験結果

項目	試験結果	目標値
硬化収縮性率	0.04%	0.05%以下
熱膨張係数	1.61×10 ⁻⁵ /°C	2.0×10 ⁻⁵ /°C以下

JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に準じて実施した試験結果を図一八に示す。図に示すように、TDR 吹付けモルタルは、圧縮強度 33N/mm² および 43N/mm²の一般コンクリートに比べて中性化深さの進行が抑制されている。中性化速度係数を算出し、中性化速度比で比較すると一般コンクリート(33N/mm²)に対しては 0.62、一般コンクリート(43N/mm²)に対しては 0.75 とであり、良好な中性化抵抗性を有することが確認された。

JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」に準じて実施した試験結果を図一九に示す。TDR 吹付けモルタルは、圧縮強度 33N/mm² および 43N/mm²の一般コンクリートに比べ、塩化物イオン浸透深さの進行が抑制されている。見かけの拡散係数を算出し、拡散係数比で比較すると一般コンクリート(33N/mm²)に対しては 0.28、一般コンクリート(43N/mm²)に対しては 0.58 であった。

JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法(A 法)」に準じて実施した試験結果を図一十に示す。一般コンクリート(33N/mm²)は 270 サイクルにおいて、凍結融解抵抗性の指標である相対動弾性係数 60%を下回っているのに対し、TDR 吹付けモルタルは、300 サイクルまでほぼ一定のまま維持し、300 サイクルでの相対動弾性係数は 88.7%であった。



図一八 中性化促進試験結果

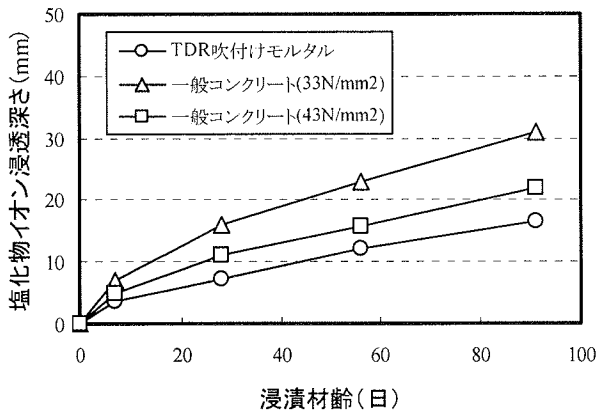


図-9 塩化物イオン浸透深さ試験結果

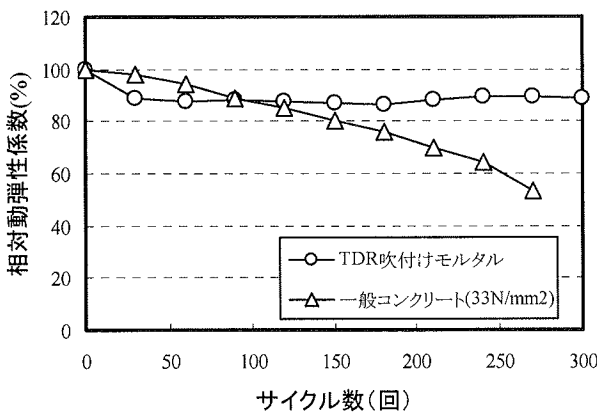


図-10 凍結融解試験結果

(3) 振動負荷での性状確認

この検討は、供用中の橋梁下面での吹付け施工を想定し、図-11に示すように、周波数5Hz、全振幅0.5mmの振動下にある吹付け箇所(2450×1200×200mmのPCプレキャスト版の下面に850×750×100mmの試験対象面をウォータージェットではつりを行った対象面)に補修吹付けモルタルを吹き付けて、モルタルの剥落、ひび割れ発生の有無を確認し、さらに、28日後の付着強度を評価する試験である。振動負荷を与える時間は24時間である吹付け開始から24時間連続して、実験条件で振動負荷試験を実施した。天端から起振機で所定の振動を与えた状態で下面より吹付けによる断面修復を実施した。

その結果、吹付け面には振動負荷による剥落やひび割れの発生もなく、材令28日において1.8N/mm²の付着強度が得られた。このことから、振動下においても100mm程度の厚吹きが可能であり、十分な付着強度を有することを確認できた。

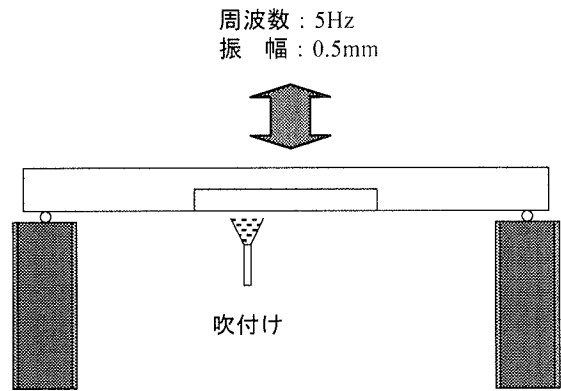


図-11 振動負荷試験の概念図

(4) 施工性の検討

湿式吹付けを採用したこと、硬化促進剤の凝結促進作用によりポリマーセメントモルタルの吹付けと同様に、粉じん、はね返り率は少なく、はね返りについては5%程度であり、クリーンな施工環境が確保されるとともに、材料ロスのない施工方法であることを確認した。

また、表層部において、硬化促進剤添加率を1%として厚み10~20mmで吹き付けることにより、写真-1に示すように左官仕上げが可能であることも確認した。



写真-1 左官仕上げ後の状況

(5) 施工条件の影響³⁾

吹付け工法については、ノズルマンの技量とともに、圧送空気量や対象面との距離などの施工要因が吹付けコンクリートの品質に影響することが報告されている⁴⁾。そこで、施工条件が圧縮強度、付着強度に及ぼす影響について検討した。

圧送空気量と圧縮強度、付着強度の関係を図-12に示す。図に示すように、圧送空気量が0.8m³/min以上であれば圧縮強度に差異が求められない結果であった。付着強度については、1.5N/mm²以上の良好な結果ではあった

が、圧送空気量の増加とともに低下する傾向である。このことは、付着面での吹付け圧力が高いために付着したモルタルが乱されること、あるいは、吹き付けたモルタルが周辺部に押し出されるために、付着面への密着が低下したものと推察される。

図-13には、対称面との距離と圧縮強度および付着強度の関係を示す。対称面との距離が10cmでは、標準とした20cmに比べて圧縮強度で30%、付着強度で18%小さい結果であった。これについては、圧縮空気量の場合と同様、対称面との距離が極端に小さい場合には、吹付け面における吹付け圧力が高いために吹き付けられたモルタルが乱されたことによるものと考えられ、圧送空気量と対称面との距離については、両者を適切に設定することが重要であることを確認した。

なお、硬化促進剤添加率およびモルタル吐出量の結果については、今回実施した実験の範囲では、強度特性に及ぼす顕著な影響は認められなかった。

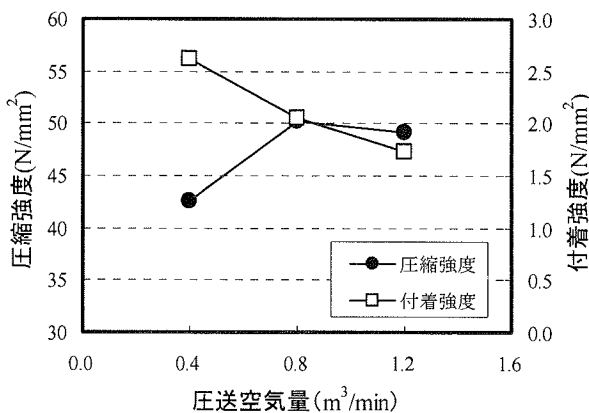


図-12 圧送空気量と強度特性の関係

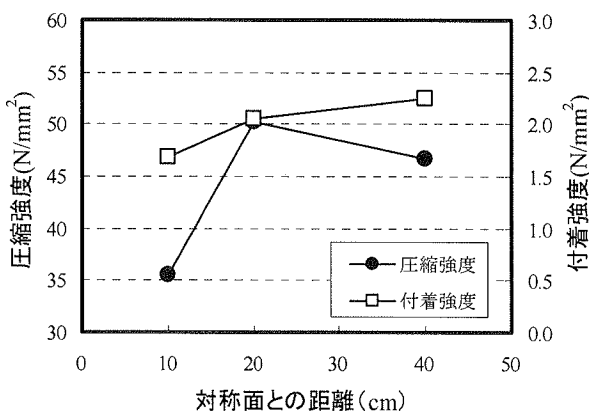


図-13 対称面との距離と強度特性の関係

4.3 まとめ

強度特性、耐久性および施工性など、断面修復材に求められている性能を満足することを確認し、実施工への適用に問題ないことを判断した。

5. 施工実績

これまでの主な施工実績は6件であり、そのうち代表的な施工実績である北陸自動車道井川橋への適用について、紹介する⁹⁾。

5.1 概要

北陸自動車道井川橋では、コンクリート橋の桁端部にひび割れや一部剥離する状態が見受けられていた。その原因は活荷重の衝撃などに加え、凍結防止剤を含んだ路面排水の影響とみられる鉄筋腐食によるものと考えられた。これらの損傷は、耐久性の観点からも適切な補修が必要であり、劣化コンクリートを除去し、断面修復を行う断面修復工法が採用された。対象構造物の概要を表-5に示す。ここでは、施工性、および施工後の品質を比較する目的で、TDR ショット工法とポリマーセメントモルタルを用いた湿式吹付け工法（以下、PCM）との両工法を併用して施工した。

表-9 北陸自動車道井川橋の補修概要

項目	概要
橋梁名	北陸自動車道敦賀インター井川橋
橋種	3径間中空スラブ橋
橋長	47m
対象部位	A1橋台側床版下部、支承近傍
施工数量	本工法24m ² 、PCM24m ² 、厚さ80mm
劣化状況	塩害による発錆、コンクリートの浮き、剥離
施工時期	平成16年10月

5.2 施工性の検証

施工対象の支障周りの狭隘部（奥行き85cm、高さ20cm）は、吹き付け用のノズルを吹き付け面に対して直角に配置できないことから、施工が困難な部位であった。本工法では、写真-2に示すように、作業空間が確保できない場合でも適切に施工できる特殊ノズルを開発し、適用している。この特殊ノズルは、先端部がノズルマンの意図に合わせ前後して、鉄筋の背面の吹き付けを可能としたものである。

施工性の比較では、本工法については仕上げを行う表層を除く主な断面厚さを1回で吹付けを行い、翌日、表層吹きを行う2層での施工とした。これに対して、PCMでは、所定の厚さに対して、一度の吹付けで断面厚さが確保できないため4層に分けての施工となり、厚付け能力の違いが、施工効率に寄与することが確認できた。

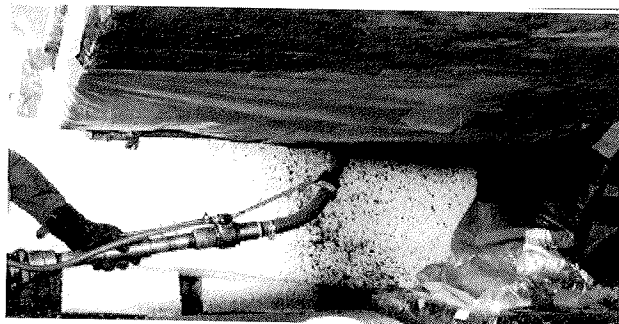


写真-2 狭隘部の吹付け状況

6. おわりに

現在、土木分野では、橋梁、栈橋、上下水道処理施設、トンネルなどの社会資本ストックをいかに維持して行くかが重要な課題とされている。このような中、断面補修工法が果たす役割が益々高まっており、信頼性の高く、ローコストの工法が求められている。今回開発した本工法は、室内試験による性能評価試験や、試験施工などの検討を行い、断面修復材料に求められる高い品質と施工性を確認し、現場展開を進めている。

今後、施工実績を増やすとともに、工法の改良改善や施工した構造物の継続調査を行い、さらなる信頼性向上を図ってゆく予定である。

最後に、本工法の開発および現場展開に際しては、東日本高速道路㈱、中日本高速道路㈱、JR西日本㈱、大牟田市、電気化学工業㈱、他関係各位に多大なるご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 荒木昭俊・寺村 悟・水島一行・山岸隆典・松尾勝弥・川端康夫・平間昭信、名倉政雄：硬化促進剤を用いた補修吹付けモルタルの特性，第4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.253～260，2004.10
- 2) 川端康夫・松尾勝弥・名倉政雄・平間昭信・寺村悟・荒木昭俊：新しい断面修復用湿式吹付け工法の開発，土木学会土木建設技術シンポジウム2004，pp.311～312，2004.7
- 3) 平間昭信・川端康夫・荒木昭俊・寺村 悟：硬化促進剤を用いた補修用吹付けモルタルの施工要因が品質に及ぼす影響に関する検討，土木学会第60回年次学術講演会概要集V，pp.141-142，2005.9
- 4) 安藤慎一郎・大野俊夫・伊藤正憲・魚本健人：吹付けコンクリートの品質に及ぼす各種吹付け条件の影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.2，pp.1351～1356，1999.
- 5) 川端康夫・槇島 修：新しい断面修復用湿式吹付け工法の開発と補修工事への適用，高速道路保全技術改善発表大会，pp.94～98，2006.7

Summary In this study, a surface repair method using sprayed mortar with an accelerator was investigated in regard to several execution factors, such as compressive strength and bond strength. Excessively large quantity of compressed air and excessively short distance between the nozzle and the sprayed surface were found to adversely affect the compressive and bond strengths because of the high spraying pressure on the surface. The liquid accelerator (water-soluble alminate) produced no adverse effect on the compressive and bond strengths in the designed dosage range.

【Keywords】 sprayed mortar, repair, accelerator, mechanical performance, durability, dust