

◆ 特集：橋梁の維持管理・補修補強 ◆

各種コンクリート用断面補修工法の施工性・付着性
および耐久性に関する研究

片平 博* 河野広隆**

1. はじめに

社会資本ストックを長期間にわたって活用していくためには、適切な維持管理と同時に、劣化した構造物に対する適切な補修が必要である。しかし、既設コンクリート構造物の補修材料や補修方法は多岐にわたり、補修工法の選定法や補修効果の評価方法は必ずしも確立されていない。今後、補修を要する既設構造物が確実に増加してくることから、補修技術の評価方法を確立することが求められている。

本研究は既設コンクリート構造物の断面補修工法について、補修材施工面の表面処理方法、補修材の種類、補修材の施工法等の組み合わせを種々に設定した実験を行い、各補修工法の施工性、強度、耐久性等について特徴と留意点を整理したものである。

2. 補修材料

補修の工法には吹付け、コテ塗り、注入等の工法があり、それぞれの工法に見合った補修材が市販されている。吹付けとコテ塗りに用いられる材料はタレ落ちを防ぐ目的から流動性の小さい配合となっており、注入用の材料は流動性を高めた配合となっている。材料の成分としてはモルタルまたは骨材径の小さなコンクリートをベースとして、施工性や引張強度を高める目的で繊維が混入されているものや、打設後の収縮を防止する目的から膨張材や収縮低減材（以下、膨張材類という）が添加されているもの、さらにはポリマーが混入されているものなどがある。これらの材料は事前に調合されたものが市販されており、現場で定められた量の水等と混合して使用されている。配合の詳細は非公開のものがほとんどである。

本実験では表-1に示す11種類の補修材を使用した。McとGMcは当実験室で配合設計したモル

表-1 補修材の配合とフレッシュ性状

補修材の種類		単位量 (kg/m ³)						膨張材等	ポリマー	練上り後 フロー (mm)	備 考
		水	液体 ポリマー	セメント	粉体 ポリマー	細骨材	繊維				
吹付け コテ塗り	Mc	280	－	700	－	1097	0	無	無	168 × 167	空気量6.3% (吹付け後2.3%)
	Ec	335	－	(920)	－	(1030)	(5)	有	無	141 × 141	
	Epa	292	－	(800)		(1020)	(5)	有	アクリル系	144 × 142	
	Rc	355	－	(850)	－	(1020)	(10)	有	無	147 × 147	
	Rps	146	127	(810)	－	(350) *1	(13)	有	SBR系	133 × 137	コテ塗り専用
	Tpa	324		(790)	－	(1050)	(6)	有	アクリル系	171 × 170	
注 入	GMc	250	－	(630)	－	(1430)	－	無	無	(0打222 × 222)	
	GEc	256	－	(700)	－	(1300)	－	有	無	(0打225 × 225)	
	GKc	242	－	(640)	－	(1190)	－	有	無	(0打232 × 231)	カタログではプライ マー不要
	GKpa	146	146	(640)	－	(1190)	－	有	アクリル系	(0打208 × 215)	カタログではプライ マー不要
	GSps	394		303	－	1603*2	－	有	SBR系	(0打300以上)	プレバックドコンク リート

() 内は洗い出しによる推定値。0.06mm以下をセメント、0.06mm以上を細骨材と仮定

*1：軽量細骨材 *2：プレバッキング用粗骨材

表-2 プライマーの種類と補修材との組合せ

	成 分	補修材との組合せ
プライマー①	アクリル系	Ec, Epa, GEc (Mc, GMc, GKc, GKpa)
プライマー②	アクリル系	Tpa
プライマー③	SBR系	Rc, Rps, GSps

() 内は異なるメーカーの組み合わせ

タルなので配合は明らかだが、その他の材料は市販の補修材料であり、配合の詳細は不明であった。このため、洗い試験を実施し、0.06mm以下の粒子をセメント（粉体ポリマーを含む）、それ以上の粒子を細骨材と仮定し、推定した配合を（ ）書で示した。

なお、打継面の処理に使用するプライマーについては表-2に示す3種類を使用した。プライマーとは付着性を向上させる目的で打継面に塗布する

下地剤のことである。

3. 実験方法

3.1 実験概要

15×15×53cmの角柱型枠を使用して13×15×53cmの母材コンクリートを打設し、打継面の表面処理を施した後に、表-3に示す各種の方法で厚さ2cmの補修材の施工を行った（図-1）。

補修材を施工した翌日に脱型し、3日間の湿布養生を行った後に気乾状態で28日間放置し、その間に発生するひび割れを観察した。また、材齢28日経過後に建研式接着力試験器¹⁾によって打継面の付着強度を測定した（写真-1）。

さらに同様の方法で作成した10×10×40cmの角柱供試体を用いて凍結融解試験および乾湿繰り返し試験を実施した。試験本数を表-4に示す。

表-3 施工法、ひび割れ観察および接着力試験の実施ケース

	施工方向 表面処理	順打ち			逆打ち		
		乾燥	湿潤	プライマー	乾燥	湿潤	プライマー
吹付け、 コテ塗り	Mc	吹	吹	吹	吹	吹	吹
	Ec	吹	吹	吹、コテ	吹	吹	吹、コテ
	Epa	吹	吹	吹	吹	吹	吹
	Rc	コテ	コテ	コテ			
	Rps	コテ	コテ	コテ			
	Tpa	コテ	コテ	コテ			
注 入	GMc	注入	注入	注入	注入	注入	注入
	GEc			注入	注入	注入	注入
	GKc			注入	注入	注入	注入
	GKpa			注入	注入	注入	注入
	GSps						注入

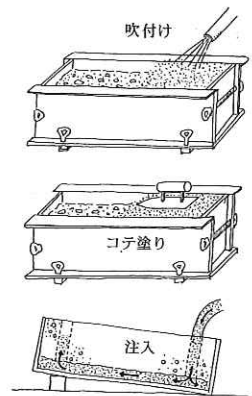


図-1 補修材施工の概要

表-4 凍結融解試験、乾湿繰り返し試験の実施本数

	施工方向 表面処理	順打ち			逆打ち		
		乾燥	湿潤	プライマー	乾燥	湿潤	プライマー
吹付け、 コテ塗り	Mc				2	2	2 (2)
	Ec				2	2	4 (2)
	Epa				2	2	2 (2)
	Rc	1	1	1			
	Rps	1	1	1			
	Tpa	1	1	1			
注 入	GMc	1	1	1	1	1	1
	GEc			1	1	1	2
	GKc			1	1	1	1
	GKpa			1	1	1	1
	GSps						1

数値：凍結融解試験の本数

() 内数値：乾湿繰り返し試験の本数

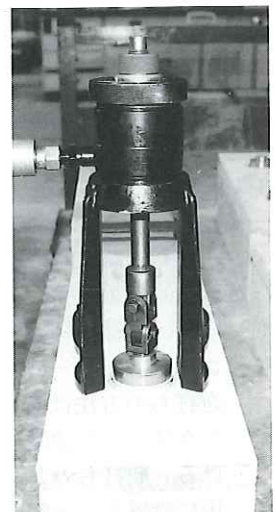


写真-1 付着強度試験

3.2 母材コンクリートの作製

母材コンクリートは粗骨材最大寸法20mm、水セメント比40%の配合とした。

この材料を15×15×53cmの角柱型枠に型枠上端から2cm低い高さ（底から13cm）まで打設した。打設した上面（打設面）はコテ仕上げをせず、骨材がやや露出する状態に仕上げ、この面を補修材を施工する打継面とした。この打継面に対しては、打設した翌日にワイヤーブラシ等による研磨を行い、レイトンスを除去し、骨材を露出させた。さらに水中養生終了後においてもワイヤーブラシにより表面の汚れを取り除いた。

養生は打設の翌日から材齢21日まで水中養生を行い、それ以降は実験の条件ごとに湿潤状態や乾燥条件等を設定した。

なお、凍結融解試験および乾湿繰返し試験に用いる供試体については10×10×40cmの角柱型枠に型枠上端から2cm低い高さ（底から8cm）まで打設することで、同様に作製した。

母材コンクリートの材齢28日経過後の圧縮強度は54N/mm²、引張強度は4.7N/mm²であった。

3.3 表面処理

補修材を施工するときの打継面の表面処理方法としては以下の3通りを設定した。

- ①乾燥：70℃の乾燥炉で24時間乾燥した。
- ②湿潤：20℃の水中に24時間浸し、コンクリート内部に十分吸水させた状態で、表面にはできるだけ水が浮いていない状態とした。
- ③プライマー：70℃の乾燥炉で24時間乾燥した後に、打継面に表-2に示すプライマーを霧吹器によって噴霧した。使用したプライマーは各補修材ごとにメーカーの推奨するプライマーとした。特に推奨するプライマーがない補修材（表-2中のカッコ書き）についてはプライマー①を使用した。

3.4 補修材の施工方法

補修材の施工方法は以下の3通りの方法（図-1）で、逆打ちと順打ちの施工を実施した。補修材との組合せは表-3のとおりである。

- (1) 吹付け：補修材料をポンプで圧送し、これをコンプレッサーからの圧縮空気で吹付ける。逆打ちの方法は高さ約2mの架台上に母材コンクリートを設置し、下側から補修材を吹付ける。順打ちの方法は、母材コンクリートを床に設置し、上側から補修材を吹付ける。
- (2) コテ塗り：補修材料を金コテで塗りつける。

逆打ちと順打ちの母材コンクリートの設置方法は吹付けと同じ。

- (3) 注入：補修材料を注入する。逆打ちは母材コンクリートを型枠内に2cm浮かした状態で設置し、母材コンクリートに事前に空けたφ25mmの注入孔から注入材を注入する。順打ちは母材コンクリートの上面に注入材を2cmの厚さに打設。

3.5 ひび割れ観察

補修材の施工後3日間は湿布養生を行い、その後は室温20℃、湿度約50%の室内に静置し、ひび割れの発生状況を観察した。

3.6 付着強度試験

材齢28日経過後に、一般に普及している建研式接着剤試験器¹⁾によって母材と補修材との付着強度を測定した（写真-1）。測定に際しては、事前に補修材表面からφ50mmのコアカッターで深さ約3cmまでの溝切りを行い、このφ50mmの円形面にアタッチメントを接着し、油圧によって鉛直方向に引張り、破壊時の荷重を測定した。

なお、3.7 耐久性試験終了後の試験体に対しても付着強度試験を実施した。

3.7 耐久性試験

10×10×40cmの試験体については凍結融解試験および乾湿繰返し試験を実施した。

凍結融解試験はJIS A 1148のA法（水中凍結水中融解、-18～+5℃、1サイクル4時間、300サイクル）に準拠して実施した。

乾湿繰返し試験は、乾燥は60℃の乾燥炉で48～72時間、湿潤は20℃の水中で24時間（1週間で2サイクル）として、30サイクルまで実施した。

4. 実験結果

4.1 各補修材料の基本性状

各材料について円柱供試体を作成し、材齢28日の圧縮強度、引張（割裂）強度を測定した。供試体の寸法は母材コンクリートについては圧縮φ10×20cm、引張φ10×15cm、補修材については圧縮φ5×10cm、引張φ5×7.5cmとした。

圧縮強度および引張（割裂）強度を図-2、3に示す。圧縮強度は補修材によって違いがあり、30～70N/mm²の範囲に分布した。引張強度は圧縮強度に比較して材料による差が小さく、3～5N/mm²の範囲に分布した。

4.2 表面処理の施工性

母材コンクリートの打継面の表面処理について、

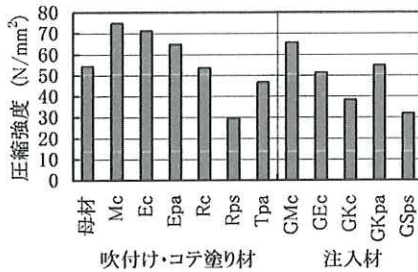


図-2 各材料の圧縮強度

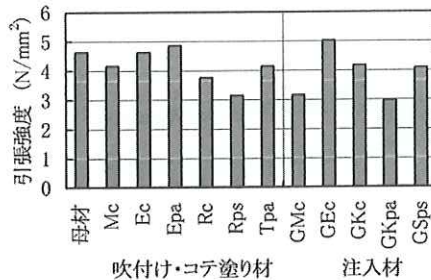


図-3 各材料の引張強度

①乾燥、②湿潤、③プライマーの3通りを設定したが、湿潤の状態を長時間安定して保持することは困難であった。これに対してプライマー処理は霧吹きによる噴霧を一度だけ行えば良く、作業は容易であった。

4.3 各補修工法の施工性

(1) 吹付け

吹付けは、周辺への材料の飛散が多く認められた。吹付け終了後には余分な材料をかき落とし、最終的にコテで仕上げる必要があり、補修する容量の2倍程度の材料を必要とした。

補修材 Mc については練上り直後と吹付け後に空気量を測定した。この結果を表-1に示すが、吹付けによって補修材中の空気量は大幅に減少することが確認された。

(2) コテ塗り

作業は左官による手作業であり、吹付けに比較すると施工速度は劣るが、材料のロスは少なかった。

(3) 注 入

今回の試験では単純に流し込むだけであり、特に問題となることは無かった。

4.4 ひび割れ観察結果

材齢28日を経過した段階でのひび割れ発生状況を表-5に示す。表中の網掛けで示したものは、打継面に沿って補修材が剥がれるようにひび割れが入ったものであり、「| / -」は乾燥収縮によって補修材の表面に生じたひび割れの概要である。ひび割れの幅は最大で0.06～0.08mm程度であった。

この結果から、打継ぎ面沿いのひび割れは表面処理が乾燥状態ものに多く認められた。また、乾燥収縮によって生じる補修材表面のひび割れについては、補修材の種類によって発生状況が異っており、膨張材やポリマーの有無との関連も明確でなかった。

図-4は各補修材の打設後のひずみ変化を測定した結果である。図中の Mc と GMc は純粋なモルタルなので打設当初から収縮しているが、他の市販の補修材には膨張材等が混入されている影響で打設直後は膨張し、その後、収縮に転じている。膨張のピークのひずみ量を原点として材齢28日の収縮量を求め、この値と表-5に示すおおよそのひび割れ本数との関係を見ると図-5のようである。

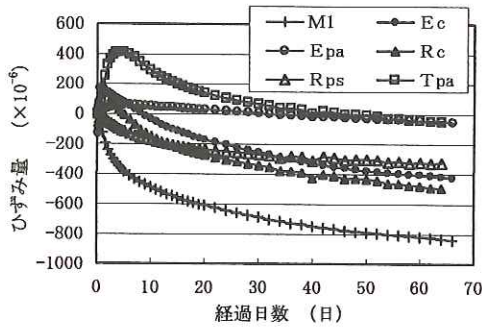
この結果では収縮量とひび割れ発生状況とは良く対応しており、収縮ひずみ量が 320×10^{-6} 以下の補修材ではひび割れの発生は認められなかった。

なお、乾燥収縮によるひび割れは逆打ちよりも順打ちのもののほうが発生本数がやや多いようである。これは打設直後の水分の蒸発の影響と考えられ、特に補修材の表面が露出するような場合には、施工直後から、水分の蒸発に留

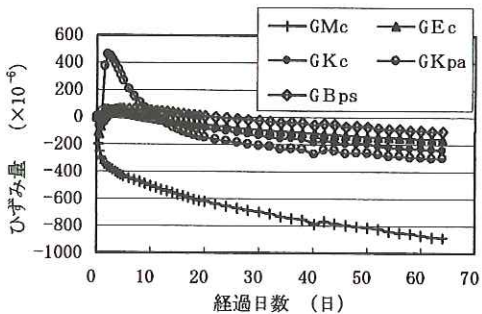
表-5 ひび割れ観察結果

	施工方向	順打ち			逆打ち		
		乾燥	湿潤	プライマー処理	乾燥	湿潤	プライマー処理
吹付け、コテ塗り材	Mc						
	Ec						
	Epa		○	○		○	○
	Rc						
	Rps	○	○	○			
	Tpa	○	○	○			
注入材	GMc				/		
	GEc			○	○	○	○
	GKc			○	○	○	○
	GKpa			/ - //	○	○	
	GSps						○

凡例：
 付着面沿いにひび割れ
 表面に発生したひび割れの位置と方向
 ひび割れ発生なし



(a) 吹付け・コテ塗り材料



(b) 注入材料

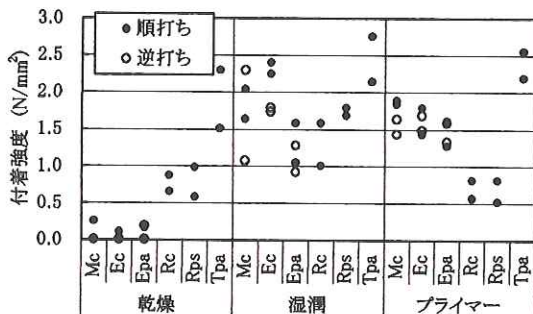
図-4 各種補修材の打設後のひずみ変化

意する必要があると考えられる。

4.5 付着強度試験結果

付着強度試験結果を図-6に示す。なお、図-6(a)では吹付けとコテ塗りの結果をまとめて整理した。この理由は、材料Ecにおいて吹付けとコテ塗りの比較を行ったが、付着強度に有意な差が認められなかったためである。

図-6(a)の吹付け・コテ塗り用の補修材では、打継面が乾燥状態のケースで付着強度が低下するものが認められた。順打ちと逆打ちとで有意な差



(a) 吹付け・コテ塗り材料

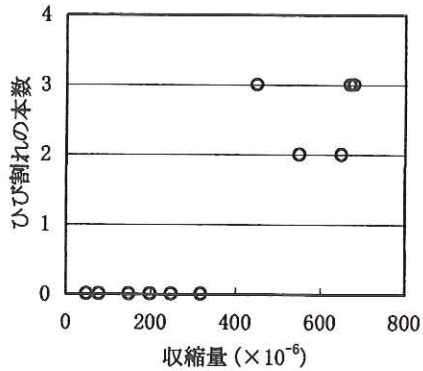


図-5 収縮量とひび割れ本数の関係

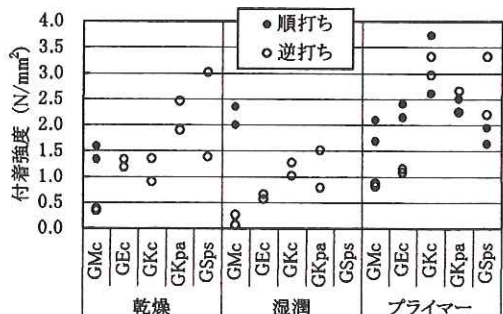
は認められなかった。今回の試験では打継面が湿潤状態のケースに対しては水の膜によって付着が妨げられるのを防ぐ目的で、一度施工した補修材をかき落として再び施工しているために差が出なかったものと考えられる。

図-6(b)は注入材の結果である。GMcの逆打ちの強度が順打ちに比較して小さいが、この理由はGMcは今回使用した注入材の中では唯一膨張材を含んでいない材料であり、補修材の収縮とブリーディングの影響で付着面に隙間が生じたためと考えられる。GMc以外の材料でも打継面が湿潤状態で逆打ちのケースでは付着強度が低めとなっており、施工面に水の膜が形成され、付着が妨げられたことが予想される。なお、GEcのプライマー処理の逆打ちの強度が順打ちに比較して小さいが、付着面沿いに気泡が多く確認されたケースである。

プライマー処理を行ったケースでは吹付け・コテ塗り材、注入材ともに概ね良好な付着強度が得られている。

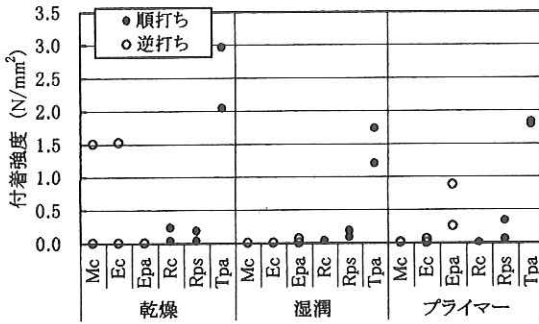
4.6 凍結融解試験結果

300サイクルの凍結融解試験終了後に実施した

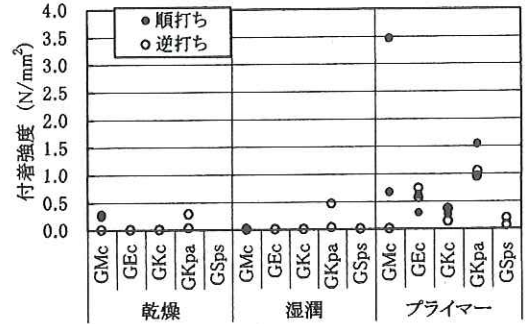


(b) 注入材料

図-6 付着強度試験結果



(a) 吹付け・コテ塗り材料



(b) 注入材料

図-7 凍結融解試験後の付着強度試験結果

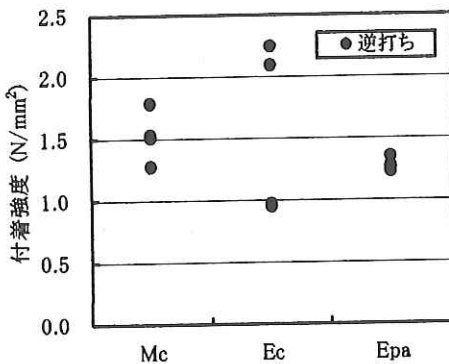


図-8 乾湿繰返し試験後の付着強度試験結果

付着強度試験結果を図-7に示す。これを図-6と比較すると比較的良好な強度を保持したのはTpaのみであり、他の補修材の付着強度は大きく低下した。

付着強度試験時の破断位置は、プライマー処理のGKcとGKpaが補修材部分であり、この2種類については補修材そのものの耐久性が低い結果となった。その他の補修材については全て打継面で破断しており、補修材自体は十分な耐久性を有していても打継面の耐久性に留意が必要であることが分かった。

なお今回の実験はJIS A 1148 A法に準拠した凍結融解試験を実施したが、橋梁等の実際の環境条件に比べてかなり厳しい試験条件と考えられ、図-7の結果から実際の耐久性を直接評価できるものではないと考えられる。

4.7 乾湿繰返し試験結果

30サイクルの乾湿繰返し試験終了後に実施した付着強度試験結果を図-8に示す。これを乾湿繰返し試験前の強度(図-6)と比較すると、付着強度の低下は認められなかった。

5. まとめ

以上の実験結果を以下に整理する。

- (1) 表面処理の方法については、施工性、強度ともにプライマー処理が優れていた。
- (2) 吹付けの作業では材料の飛散が多く発生する。また、吹き付けによって空気量は大幅に低下することが分かった。
- (3) 逆打ちによる注入工法では膨張材等が含まれた補修材を使用しないと十分な付着強度が得られないことが分かった。
- (4) 補修材表面に発生する乾燥ひび割れは、補修材の膨張のピークを原点とした収縮量と対応していることが分かった。
- (5) 凍結融解に対して高い耐久性を確保するためには、補修材自体の耐久性はもとより、打継面の耐久性に留意が必要であることが分かった。

参考文献

- 1) 今泉勝吉：建築内装工事における接着工法に関する研究、建築研究所報告、第49号、1967年3月

片平 博*



独立行政法人土木研究所
技術推進本部構造物マネジメント技術チーム主任
研究員
Hiroshi KATAHIRA

河野広隆**



独立行政法人土木研究所
技術推進本部構造物マネジメント技術チーム主席
研究員
Hirotaka KAWANO