

論文 各種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*¹・河野広隆*²

要旨：コンクリートの断面補修用の材料として普通モルタル，市販の補修用モルタル，ポリマーセメントモルタルの3種類，施工法として吹付け，コテ塗り，注入の3種類，母材コンクリートの表面処理として乾燥，湿潤，プライマー処理の3種類の条件を設定し，施工性，付着性および耐久性等について検討した。この結果，各施工法ごとに特徴があること，表面処理としてはプライマー処理がよいこと，補修材に発生する乾燥ひび割れは膨張のピークを原点とした収縮量と対応すること，凍結融解については打継ぎ面の耐久性の照査が重要であること等が明らかとなった。

キーワード：断面補修，補修材，施工性，付着強度，耐久性

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，定期的な点検と同時に，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，補修材料や補修方法は多岐にわたり，補修工法の選定や補修効果を評価する方法は確立されていない。今後，補修を要する既設構造物が確実に増大してくることから，補修技術の評価方法を確立することが求められている。

そこで断面補修工法について，補修材の種類，補修工法，打継ぎ面の表面処理方法等の組合せを種々に変えた実験を行い，それぞれの工法の施工性や付着強度，耐久性等について検討した。

2. 実験方法

2.1 実験の概要

実験は，現場での断面補修工事を模擬し，以下の手順によって実施した。

(1)母材コンクリートの作製

15 × 15 × 53cm または 10 × 10 × 40cm の角柱型枠を使用し，型枠上縁から 2cm 低い高さまで母材コンクリートを打設。

(2)表面処理

母材コンクリートの表面のレイタンスを除去し，各種の表面処理を実施。

(3)補修材の施工

表面処理を行った面に対して材料と施工法の組合せを変えた断面補修（厚さ 2 cm）を実施。

(4)ひび割れ観察

所定の養生後，補修材表面に発生する乾燥ひび割れを観察。

(5)付着強度試験

母材と補修材との付着強度を測定。

(6)耐久性試験

断面補修を行った試験体を用いて凍結融解試験および乾湿繰返し試験を実施。

実験に使用した断面補修材の配合・性状を表-1に，実験ケース数を表-2に示す。

それぞれの工程の詳細を以下に述べる。

2.2 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，早強セメントを使用した。この材料を 15 × 15 × 53cm および 10 × 10 × 40cm の角柱型枠に型枠上端から 2cm 低い高さ（底から 13cm または 8cm）まで

*1 土木研究所 構造物マネジメント技術チーム 主任研究員（正会員）

*2 土木研究所 構造物マネジメント技術チーム 主席研究員（正会員）

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)				膨張剤等 の有無	ポリマー の有無	練上り 温度(℃)	練上り後 フロー(mm)	空気量(%)	
	水	セメント	細骨材	繊維					練上り後	吹付け後
A	280	700	1097	0	無	無	21.6	168×167	6.3	2.3
B	335	(980)	(965)	(5)	有	無	23.4	141×141	－	2.5
C	292	(795)	(1025)	(5)	有	有	20	144×142	－	3.4
D	335	(980)	(965)	(5)	有	無	23.4	141×141	－	2.5
E	256	(700)	(1300)	0	有	無	19.5	(0打225×225)	0.45	－

()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

表－2 試験条件の組み合わせと試験体本数

実験分類	試験体寸法 (mm)	補修材	A			B			C			D	E
		施工法	吹付け									コテ塗り	注入
		表面処理	乾燥	湿潤	プライマー	乾燥	湿潤	プライマー	乾燥	湿潤	プライマー	プライマー	プライマー
ひび割れ 観察	15×15×53	逆打ち	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		順打ち	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
凍結融解	10×10×40	逆打ち	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
乾湿繰返し	10×10×40	逆打ち			2			2			2		

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とし、この面を補修材を施工する打継ぎ面とした。この打継ぎ面に対して、打設した翌日および水中養生終了後にワイヤーブラシによる研磨を行い、レイトランスを除去した。試験体の作製本数は表－2に示すとおりである。

養生は打設の翌日から材齢 21 日まで水中養生を行い、その後は気乾状態とした。

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。

2.3 表面処理

補修材を施工するときの打継ぎ面の表面処理として以下の3通りを設定した。

(1)乾燥状態：70℃の乾燥炉において24時間乾燥した。

(2)湿潤状態：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、打継面にはできるだけ水が浮いていない状態とした。

(3)プライマー処理：70℃の乾燥炉において24時間乾燥した後に、補修材メーカーの推奨するプライマー（アクリル樹脂系吸水防止材）を打継ぎ面に霧吹きで噴霧することとし、吹き付け量は100～200g/m²とした。

プライマーは打継面に浸透し、薄い皮膜を形成することで、補修材の水分が母材コンクリ

ートに浸透するのを防ぎ、また補修材打設時に皮膜の表面が溶解し補修材と一体化することで付着性を向上させる機能を有している。

吹付けの施工に対しては上記の(1)(2)(3)の表面処理を設定し、コテ塗り、注入に対しては(3)のみの設定とした（表－2参照）。

2.4 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、それぞれの工法に適し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ダ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のものや、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を混合して使用される。配合の詳細はほとんどのものが非公開である。

本実験では表－1に示す各補修材を使用した。このなかでB、C、D、Eの材料は市販の材料であり、配合の詳細は不明なため、洗い試験を実施し、0.06mm以下の粒子をセメント、それ以上の粒子を細骨材を仮定し、推定した配

合を()書で示した。

各材料の特徴は以下のとおりである。

A：水セメント比 40 %のモルタルであり、フロー値が 170mm 程度になるようにセメントと細骨材との混合比を選定した。なお、空気量を 7 %程度含む配合とした。

B, D：モルタルに繊維と膨張材類が混入された市販の吹付け・コテ塗り兼用の材料である。ここでは吹付けに用いたものをB, コテ塗りに用いたものをDと呼ぶ。

C：モルタルに繊維と膨張材類、さらにポリマーが混入された吹付け用材料である。

E：モルタルに膨張材類が混入された注入用材料である。

2.5 補修材の施工方法

補修材の施工方法としては表-2に示すように、吹付け、コテ塗り、注入の3通りを設定し、逆打ちと順打ちの施工を実施した。

(1) 吹付け

A, B, Cの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方法とした。

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こととした。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こととした。

(2) コテ塗り

Dの材料を金コテで塗りつける方法とした。

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方法とした。

(3) 注入

Eの材料を注入する方法とした。

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手押しポンプを用いて注入した。順打ちは母材コンクリートの上面に注入材を2cmの厚さに流し込むこととした。

2.6 養生

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%の室内で気乾放置とした。

2.7 ひび割れ観察

15×15×53cmの試験体については材齢28日にひび割れの発生状況を観察した。

2.8 付着強度試験

15×15×53cmの試験体については材齢28日経過後に、建研式接着力試験装置によって母材と補修材との打継ぎ面の付着強度を測定した。測定に際しては、事前に、補修材面からφ50mmのコアドリルで深さ約3cm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、鉛直方法に引張ることとした。試験数は1試験体当たり2箇所とした。

2.9 耐久性試験

10×10×40cmの試験体(補修材の施工は全て逆打ち)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。

乾湿繰返し試験については、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。

各試験終了後に2.8の付着強度試験を実施した。試験数は1試験体当たり2箇所とした。

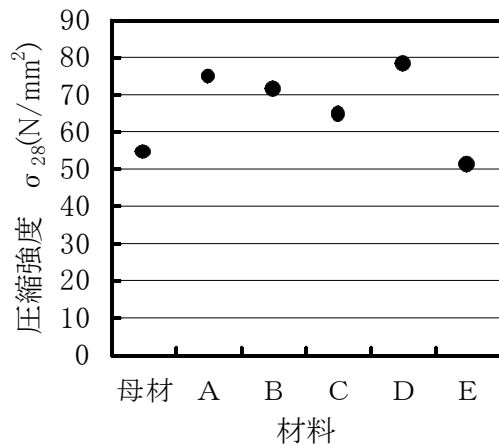
4. 実験結果

4.1 各補修材料の基本性状

各材料ごとに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はφ10×20cm、引張はφ10×15cm、補修材については圧縮はφ5×10cm、引張はφ5×7.5cmとした。型枠への材料の打ち込み方法は実験を行った施工方法に準拠した。

圧縮強度および引張(割裂)強度を図-1,



図－１ 各材料の圧縮強度

2に示す。各補修材の強度は母材コンクリートと同程度かそれ以上の値を示した。なお、BとDは練上り時点では同じ材料であるが、施工性の違いによって強度に多少の差が生じたようである。すなわち、吹付けでは円柱型枠が小さいことから作業が繁雑となり、多少のアバタの発生が認められた。

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、(1)乾燥、(2)湿潤、(3)プライマー処理、の3通りを設定したが、湿潤の状態を長時間保つ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、表面が汚れない限り、性能を長期にわたって維持することが可能で、作業は容易であった。

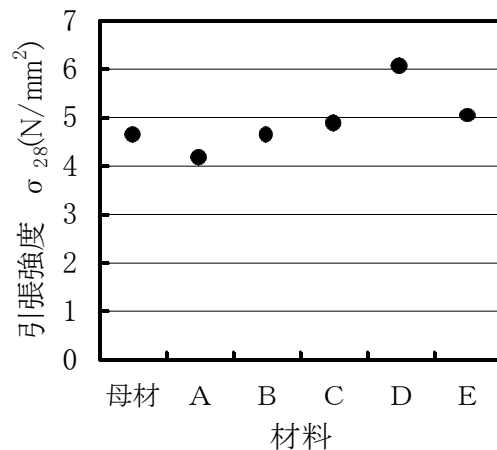
4.3 補修材の施工性

(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、補修に必要な量の2倍程度の材料を必要とした。

補修材Cはフロー値ではBとほぼ同じであるが、ポリマーの混入の影響で変形に対する抵抗力が小さく、Bに比較してダレ落ちが多い傾向が認められた。

打継面が湿潤状態のものに対しては、表面にわずかでも浮水があると付着強度が低下するので、吹付けた補修材料を一度かき落とし、再度、



図－２ 各材料の引張強度

吹付けを行った。

なお、補修材A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低下した。

(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

今回の試験では作業上の問題はなかった。

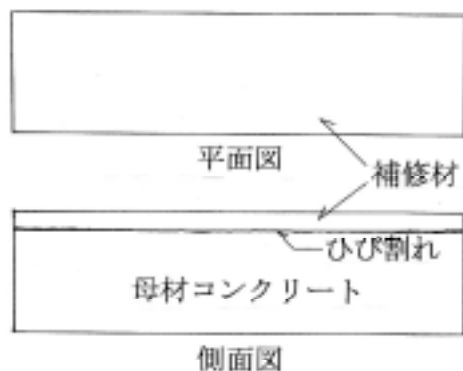
4.4 ひび割れ観察結果

材齢 28 日を経過した段階でのひび割れ発生状態については、以下の3とおりの状態が確認された。

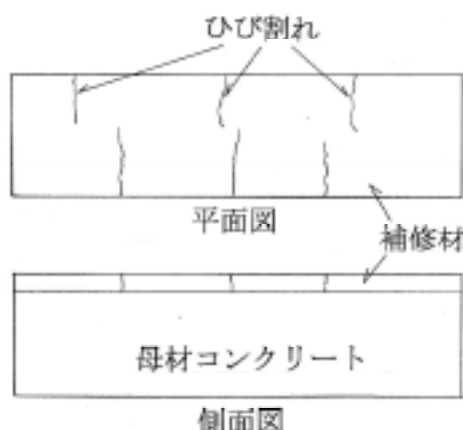
(1)打継面沿いにひび割れが発生：図－3(a)に示すように打継ぎ面沿いに補修材が剥がれるようにひび割れが発生したケースである。このひび割れは表面処理を乾燥状態とした全ての試験体で発生した。

(2)補修材の表面にひび割れが発生：図－3(b)のように補修材の表面にほぼ等間隔にひび割れが発生したケースである。このひび割れは表面処理が湿潤かプライマー処理で、A、B、Dの補修材を施工したケースで認められた。ひび割れ幅は最大で 0.06 ～ 0.08mm であった。

(3)ひび割れ無し：ひび割れが生じなかったケースであり、これに該当するのは表面処理が湿

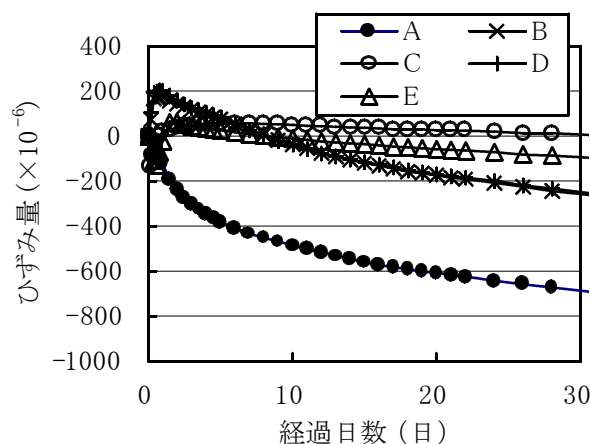


(a) 乾燥－補修材 A－順打ち



(b) プライマー－補修材 D－順打ち

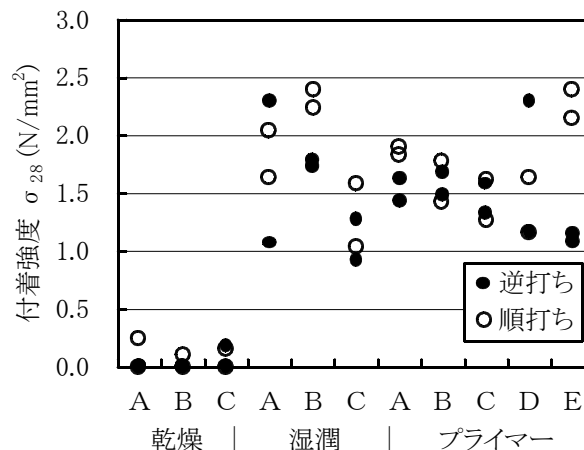
図－3 ひび割れ観察図の例



図－4 補修材のひずみ履歴

潤かプライマー処理で、C、Eの補修材を施工した条件であった。

図－4は各補修材の打設後のひずみ履歴である。補修材Aは単なるモルタルなので最初から収縮する挙動を示すが、他の補修材は膨張材等の影響で最初は膨張し、その後収縮に転じている。上記(2)の乾燥ひび割れは膨張のピークを



図－5 付着強度試験結果

原点とした収縮量の大きいものに発生した。

4.5 付着強度試験結果

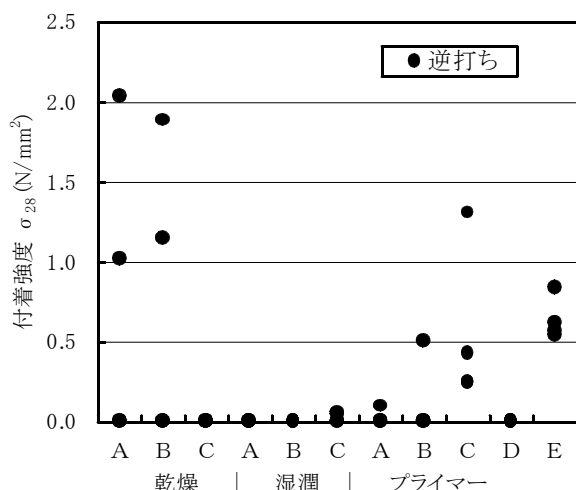
材齢 28 日での付着強度試験結果を図－5に示す。破断は全て打継ぎ面沿いに発生した。表面処理が乾燥状態のケースの付着強度はほとんどゼロであった。表面処理が湿潤状態のものでは補修材 A、B の付着強度が高く、C はやや低い強度となった。表面処理がプライマー処理のものでは A、B の付着強度が高く、C の強度はやや低い傾向が認められた。D は B と同じ材料をコテ塗りしたものであり、強度はややばらついたが、平均値としては B と同程度であった。注入材の E の結果は順打ちの強度は高く、逆打ちの強度は順打ちの 1/2 程度であった。

E の逆打ちの付着強度が低かった理由については、付着強度試験を行った後の破断面に空気泡が多く確認されており、注入時に打継ぎ面沿の空気が抜けきらないことが原因と考えられる。E 以外の材料では、順打ちと逆打ちとの強度差は認められなかった。

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付着強度試験結果を図－6に示す。これを凍結融解試験前の強度(図－5)と比較すると以下のような傾向が認められた。

表面処理が乾燥状態のものについては、付着強度が 0 のものと、付着強度が増加したもの



図－６ 凍結融解試験後の付着強度試験結果

が認められた（この原因は明らかではない）。表面処理が湿潤状態のものについては、付着強度はほとんど0であった。表面処理がプライマー処理のものについては材料A，B，Dの付着強度はほぼ0であり，ポリマー混入材料Cと注入材Eの付着強度は凍結融解前の半分程度であった。

破断の位置はいずれのケースとも打継ぎ面沿いに生じており，凍結融解に対しては補修材そのものの耐久性はもとより，特に打継ぎ面の耐久性の照査が重要であることが分かった。

なお今回の実験は，各補修工法ごとの耐久性の違いをより明確にみるために 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厳しい条件であり，図－6の結果から実際の耐久性を評価するものではない。

4.7 乾湿繰返し試験結果

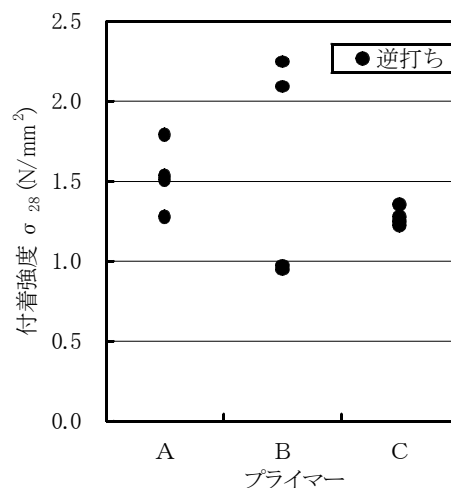
30 サイクルの乾湿繰返し試験終了後に実施した付着強度試験結果を図－7に示す。これを乾湿繰返し試験前の強度（図－5）と比較すると，付着強度の変化は認められなかった。

5. まとめ

実験結果を以下に整理する。

5.1 施工性について

(1)表面処理の方法については，プライマー処



図－7 乾湿繰返し試験後の付着強度試験結果

理が簡便で，かつ安定した付着強度が得られた。

(2)吹付け作業では補修材料の飛散が多く認められた。

(3)吹付けによる逆打ちの作業性はモルタル系の材料Bが優れ，ポリマーを含むCはダレ落ちがやや多かった。

5.2 施工後の物性について

(1)吹付け用モルタルA，Bおよびコテ塗り用モルタルDでは乾燥ひび割れが発生した。吹付け用ポリマーモルタルCおよび注入用モルタルEではひび割れは発生しなかった。乾燥ひび割れの発生は膨張のピークを原点とした補修材の収縮量と対応したものであった。

(2)補修材Eを逆打ちで注入したケースでは，打継面沿いに空気泡が残り，順打ちに比較して付着強度が低下する結果となった。

(3)凍結融解に対しては，補修材そのものの耐久性以外に，打継ぎ面の耐久性の照査が重要であることが分かった。

(4)乾湿繰返し試験結果では付着強度の低下は認められなかった。

以上，限られた試験ケースではあるが，補修の工法，補修材の種類，表面処理の種類を各種設定し，それぞれの施工性，強度，耐久性について実験を行い，それぞれの特徴を整理した。断面補修材の種類は多岐にわたっており，今後とも実験を継続していく予定である。