

### V-3 既設コンクリート構造物の補修技術の開発

研究予算：運営交付金（一般勘定、道路勘定）

研究期間：平 12 ～平 15

担当チーム：技術推進本部（構造物マネジメント技術）

研究担当者：河野広隆、渡辺博志、片平博

#### 【要旨】

本研究では、コンクリート構造物を対象に、ひび割れへの樹脂注入や、劣化部分を取り除いてコンクリートを打ち直す断面補修技術について、各種補修工法の特徴や補修効果を高めるための留意点を整理し、その工法選定や施工性、補修結果に対する評価方法を提案することを目的に研究を行った。15年度は鉄筋を有する試験体に人工的にひび割れを発生させ、このひび割れに対して各種のひび割れ補修工法を実施し、これによる鉄筋の腐食防止効果を測定することで、各種ひび割れ補修工法の特性と効果を明らかとし、これをもとにひび割れ補修に関する工法選定手法の提案を行った。断面補修工法については、各種補修工法について施工性、強度、ひび割れ抵抗性、耐久性に関する実験を行い、この結果から断面補修に関する工法選定手法の提案を行った。

キーワード：コンクリート構造物、ひび割れ補修、断面補修、施工性、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、適切な維持管理と同時に、劣化した構造物に対しては適切な補修を行うことが重要である。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、補修技術を確立していく必要がある。

本研究ではコンクリート構造物を対象にひび割れへの樹脂注入や、劣化部分を取り除いてコンクリートを打ち直す断面補修技術について研究を行った。

ひび割れ補修工法に関する研究としては、鉄筋を有するコンクリート試験体に人工的なひび割れを発生させ、このひび割れに対して各種のひび割れ補修工法を実施した試験体を用いて塩害環境の促進劣化試験を実施した。この結果をもとに、ひび割れ補修の効果について検討し、また、ひび割れ補修工法の選定手法を提案した。なお、促進腐食試験では鉄筋

を腐食させる目的でコンクリート試験体に塩分を付与することとし、塩分の付与方法としては、以下の2とおりを設定した。

(1) 外来塩：試験体の外部から塩分を与える方法

(2) 初期塩：コンクリート内部に最初から塩分を混入する方法

断面補修工法については、施工面の処理工法、施工の方向、施工方法、補修材料等の条件を種々に選択し、施工性、強度、ひび割れ抵抗性、耐久性に関して独自の実験を行い、この結果をもとに断面補修工法の選定手法の提案を行った。

表-1 コンクリート使用材料

水	水道水
セメント	普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	川砂, 密度2.60g/cm <sup>3</sup> , 吸水率1.05%
粗骨材	川砂, 密度2.67g/cm <sup>3</sup> , 吸水率0.61%
AE減水剤	リグニンスルホン酸塩
AE助剤	界面活性剤

表-2 コンクリート配合とフレッシュ性状

配合名	粗骨材最大寸法(mm)	水セメント比(%)	目標空気量(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤量(g/m <sup>3</sup> )		測定スランプ <sup>a</sup> (cm)	測定空気量(%)
					水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	AE助剤		
W/C40	20	55	4.5	45	160	400	785	982	1240	8	4.5	3.6
W/C55	20	55	4.5	45	160	291	826	1032	902	2.9	9.6	4.3
W/C70	20	55	4.5	45	160	229	849	1062	710	2.3	6.7	4.1

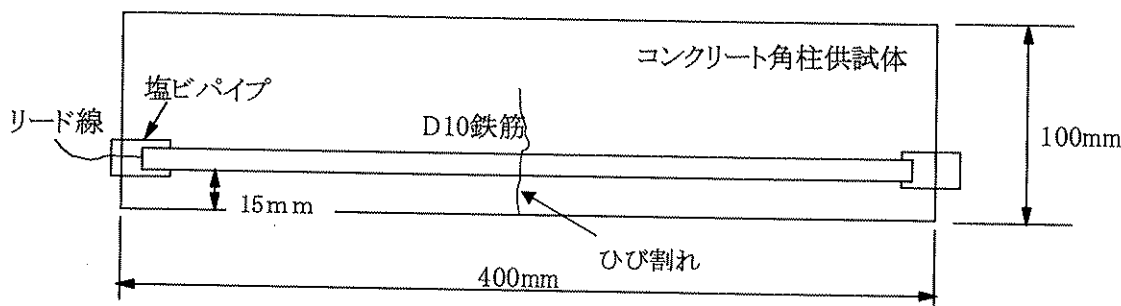


図-1 試験体形状図

表-3 実験を行ったひび割れ補修工法

名称	概要	施工場所
表面塗布	ひび割れへの含浸作用のあるエポキシ樹脂をコンクリート表面に塗布	ひび割れの周囲幅10cmの範囲
低圧注入	ひび割れに低粘度エポキシ樹脂を低圧で注入	ひび割れ部
充填	ひび割れ表面を深さ1cm程度までUカットしシーラント系充填材で充填	ひび割れ部
表面被覆	コンクリート表面を塗装により被覆(表-4参照)	ひび割れの周囲幅10cmの範囲
充填+表面被覆	充填と表面被覆を併用	ひび割れの周囲幅10cmの範囲

表-4 表面被覆工法の手順

①プライマー処理	コンクリート表面にエポキシ樹脂プライマーを塗布
②不陸調整	コンクリート表面の凹凸をエポキシ樹脂系パテで平滑化
③中塗り	エポキシ樹脂系塗料を塗布(水密性、気密性の確保)
④上塗り	ポリウレタン樹脂系塗料を塗布(耐候性の確保)

中央にひび割れを発生させた。ひび割れ幅は0.2mmと0.5mmの2種類とした。

このひび割れに対して表-3に示す各方法により補修を行った。なお、

表-3中の表面塗布と表面被覆については、実際の施工ではコンクリート表面の全面に施工することが可能だが、今回の実験では全面を覆うと自然電位の測定ができないので、ひび割れの周囲10cm程度までの範囲を覆うこととした。

さらに図-1に示す試験体の底面以外はエポキシ樹脂でシールし、外部からの塩水や空気の浸入は底面のみから行われる条件とした。試験体の条件を表-5に整理する。

促進試験は、「JCI-SC3 塩分を含んだコンクリート中における補強用棒鋼の促進腐食試験方法-乾湿繰返し法-」を参考に、以下の工程を1サイクルとし、20サイクルまで試験を行った。

- ・塩水環境：20℃の3%の食塩水に浸漬、1日間
- ・湿潤環境：温度65℃、相対湿度95%、2日間
- ・乾燥環境：温度18℃、相対湿度40%、4日間

なお、1サイクルごと(塩水環境後)に鉄筋の自然電位の測定を行った。自然電位とは鉄筋が腐食しやすい環境であるかどうかを評価する指標であり、錆びやすい状態ほど卑(-)の値を示す。-150mVよりも貴(+側)であれば腐食しない環境、-150~-350mVの範囲はグレーゾーン、-350mVよりも卑では腐食する環境とされている。

表-5 試験体の製作条件一覧

	水セメント比(%)	初期塩分(kg/m <sup>3</sup> )	ひび割れ幅(mm)	補修方法
外来塩による実験	40	0	0.2	表面塗布 低圧注入 充填 表面被覆 充填+表面被覆
	55		0.5	
	70			
初期塩による実験	40	0	0.2	低圧注入
	55	0.6		
	70	1.2		
		2.5		
		5		

## 2. ひび割れ補修に関する実験方法

### 2.1 外来塩に対する実験方法

試験体の作製に使用したコンクリート材料の品質を表-1に示す。コンクリートの配合は水セメント比を40, 55, 70%の3水準とし、表-2に示す配合で練り混ぜを行った。

練り混ぜたコンクリートを用いて図-1に示す試験体を製造した。この試験体には異形鉄筋D10を配置し、試験体底面からのかぶり厚さを15mmとした。コンクリート打設後、翌日に脱枠し、14日間湿布養生を行った。

その後、中央点荷法によるコンクリートの曲げ強度試験方法(JIS A 1106 付属書)により、試験体

## 2.2 初期塩に対する実験方法

試験体の作製方法は基本的に 2.1 と同一であるが、表-1 に示す 3 種類のコンクリート配合に対して塩化ナトリウムを 0, 0.6, 1.2, 2.5, 5.0kg/m<sup>3</sup> 添加した配合で試験体を作製した。また、ひび割れ幅は 0.2mm のみとし、補修方法は表-3 に示す低圧注入のみとした。その他の作製条件は 2.1 と同一である。試験体の製作条件を表-5 に整理する。

促進試験の方法としては、以下の工程を 1 サイク

ルとし、20 サイクルまで試験を行った。

- ・ 湿潤環境：温度 65℃、相対湿度 95%、3 日間
  - ・ 乾燥環境：温度 18℃、相対湿度 40%、4 日間
- なお、1 サイクルごと（塩水環境後）に鉄筋の自然電位の測定を行った。

## 3. ひび割れ補修に関する実験結果

### 3.1 外来塩に対する実験結果

自然電位の測定結果を図-2 に示す。水セメント

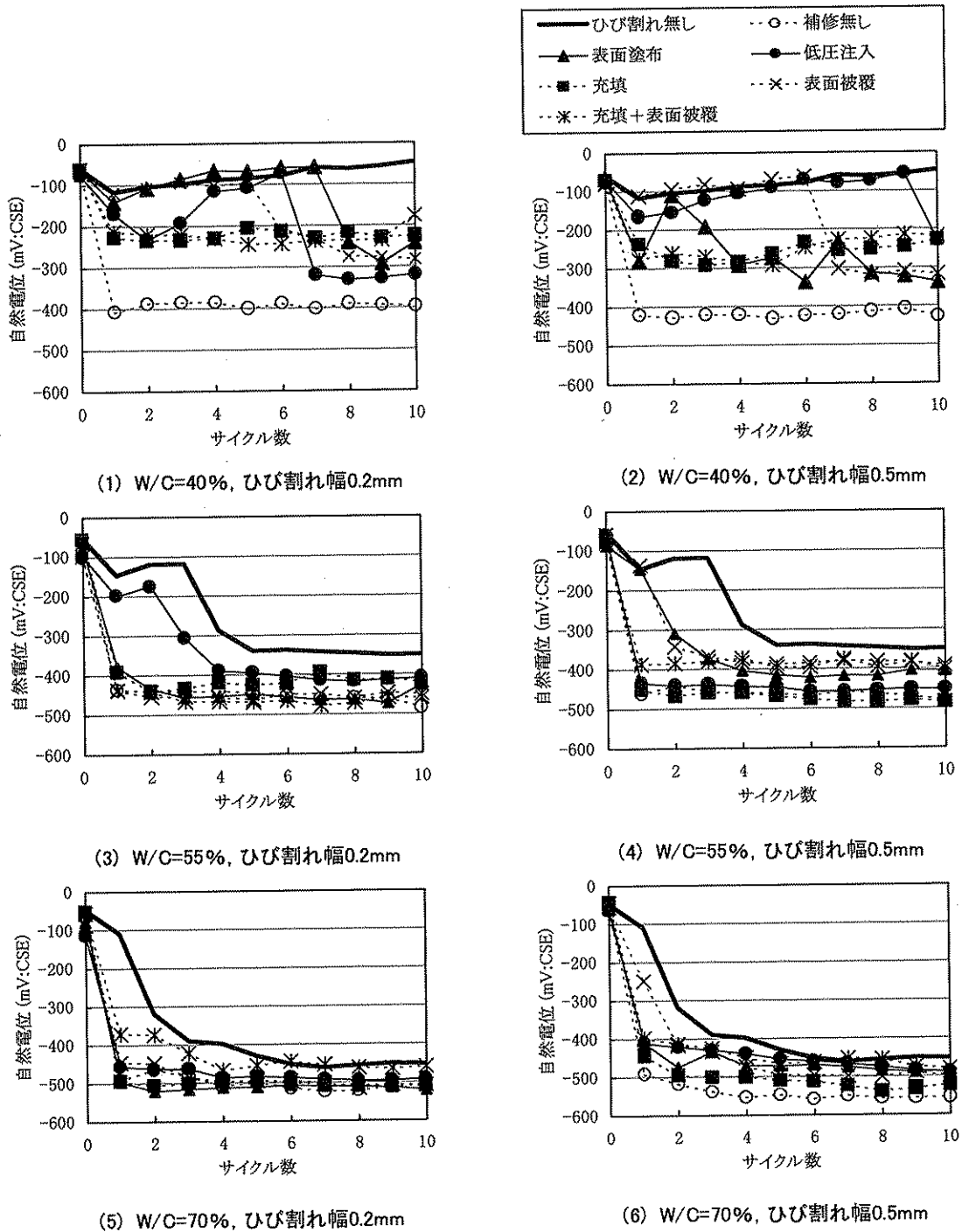


図-2 外来塩に関する実験結果（自然電位）

比(W/C)ごとに、実験結果を以下に整理する。

### 3.1.1 W/C40%のケース

(1) ひび割れ無しの試験体では $-100\text{mV}$ 程度の値を保持し、腐食しない環境であった。

(2) ひび割れを補修しない試験体では1サイクル目から $-400\text{mV}$ 程度の値を示し、腐食する環境であった。

(3) ひび割れ補修した試験体のうち、比較的良好的な結果を示したものはひび割れ $0.2\text{mm}$ では低圧注入、表面塗布、表面被覆の3種類、 $0.5\text{mm}$ では低圧注入と表面被覆であった。

(4) 充填のケースでは1サイクル目からグレーゾンの結果となった。充填工法はコンクリート表面から深さ $1\text{cm}$ 程度までしか充填しないために、外来塩分環境の厳しい条件では、ひび割れへの塩分浸透を完全に遮断することは困難と考える。

(5) 充填+表面被覆のケースでは1サイクル目で塗装面の表面にひび割れが確認され、グレーゾンの結果となった。ひび割れが発生した原因としては充填材と表面被覆材の熱膨張係数、または湿度による変形状が異なり、試験中の急激な環境条件の変化に双方の変形性が追従しきれずに、ひび割れが発生したものと考えられる。

### 3.1.2 W/C55%のケース

(1) ひび割れ無しの試験体でも、4サイクル程度で $-350\text{mV}$ 程度まで値が低下した。この理由としては、本試験ではかぶりが $15\text{mm}$ しかないこと、乾燥条件から塩水に浸漬するために急速に塩水が浸透すること等によると考えられる。

(2) 4サイクルまでの間で、わずかに補修の効果が認められた試験体は、ひび割れ幅 $0.2\text{mm}$ の低圧注入の試験体のみであった。

(3) その他の全ての試験体は実験開始直後から $-400\text{mV}$ 程度の値を示した。

### 3.1.3 W/C70%のケース

全ての試験体で、試験開始直後から $-400\text{mV}$ ～ $-500\text{mV}$ の卑の値を示した。これはコンクリート自体の透水性が高いためにコンクリート表面全体から塩分が浸透したためと考えられる。表面を被覆する表面塗布や表面被覆でも卑の値となった理由としては、今回の実験では、ひび割れ部分の周囲 $10\text{cm}$ 程度までの範囲しか被覆しておらず、その他の部分から塩水が浸透したためと考えられる。

## 3.2 初期塩に対する実験結果

自然電位の測定結果の例を図-3に示す。実験結

果を以下に整理する。

(1) ひび割れ無しの試験体：自然電位は $-100\text{mV}$ ～ $-400\text{mV}$ の範囲にあり、水セメント比が高いほど、また、初期塩分量が多いほど卑となる傾向を示し、腐食しやすい環境であることが分かる。

(2) ひび割れ補修無しの試験体：自然電位は $-400\text{mV}$ ～ $-600\text{mV}$ の範囲にあり、ひび割れ無しの試験体に比較してかなり腐食しやすい環境となっていることが分かる。自然電位の値は水セメント比が高いほど、また、初期塩分量が多いほど卑となる傾向を示した。また、水セメント比が高いほど、ひび割れ無しとの差が小さくなる傾向を示した。これは水セメント比が高いとコンクリート自体の透透性が高くなるために、ひび割れの有無による影響度合いが小さくなるのとも考えられる。

(3) ひび割れ補修(低圧注入)した試験体：自然電位はひび割れ無しの試験体の自然電位の値に近い値を示しており、ひび割れ補修が初期塩分による鉄筋の腐食に対しても有効であることが分かった。

## 4. ひび割れ補修工法の選定手法の提案

実験結果をもとに、塩害環境を想定した場合のひび割れ補修工法の選定方法について以下のように提案する。なお、塩害環境でない一般地域での補修については「コンクリートのひび割れ調査、補修、補強指針-2003-」(コンクリート工学協会)に従えば良いと考える。

### 4.1 塩分環境が厳しい場合の選定

ひび割れが発生すると内部の鉄筋が腐食しやすい条件となるために、補修を行う必要がある。

補修工法としては、ひび割れに対する樹脂の低圧注入工法のように、ひび割れを完全に塞ぐ工法が最も効果的である。ただし、全てのひび割れに対して注入と行うことは困難なので、 $0.2\text{mm}$ 以下のひび割れに対しては、ひび割れへの含浸作用のある表面塗布工法が有効と考える。

塗装による表面被覆工法も有効と考える。ただし、定期的なメンテナンスが必要である。

ひび割れ部分をVカットまたはUカットして充填する工法は、充填範囲がコンクリート表面から深さ $1\text{cm}$ 程度までなので、塩分環境が厳しい条件には不向きと考える。

### 4.2 塩分環境がさほど厳しくない場合の選定

塩分環境が厳しい場合と同様に、ひび割れに対する注入工法が最も効果的と考えるが、コストが高く

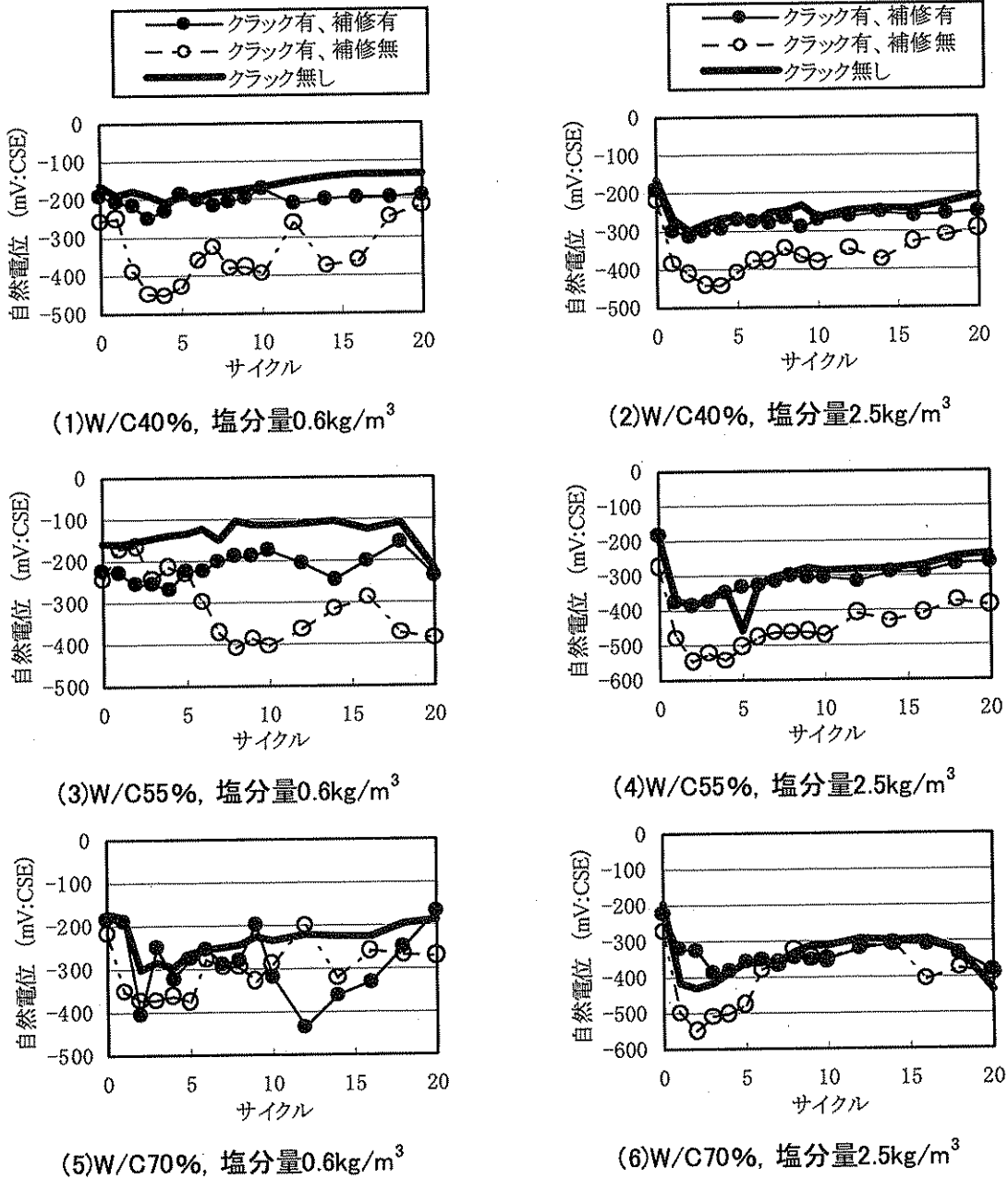


図-3 初期塩に関する実験結果（自然電位、塩分量0.6kg/m<sup>3</sup>と2.5kg/m<sup>3</sup>の例）

なる。

ひび割れに対する充填工法や、表面被覆工法も有効と考えられる。ただし、補修材の耐久性を考慮して定期的なメンテナンスが必要と考える。

0.2mm以下のひび割れに対しては含浸作用のある表面塗布工法が有効と考える。

#### 4.3 水セメント比の高いコンクリートの場合の選定

コンクリートの水セメント比が高い場合には、コンクリート自体の透過性が大きいので、ひび割れのみを補修しても鉄筋が腐食する。この場合は塗装による表面被覆工法のようにコンクリート表面全体を

覆う必要があると考える。この場合、塗装の一部に欠陥が生じるとそこから塩分が浸入するので、定期的なメンテナンスが重要と考える。

#### 4.4 補修工法を組み合わせる場合の留意点

今回の実験の中で、充填工法と塗装による表面被覆工法を組み合わせたケースでは、塩害の促進試験の初期段階で塗装面にひび割れが発生した。この原因は充填材と被覆材の変形性能（伸び能力や熱膨張係数）の違いによるものと考えられる。このように、異種の材料を組み合わせる場合は、事前に確認試験を行うなど、十分な配慮が必要である。

## 5. 断面補修材の実験方法

### 5.1 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-6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

ては表-7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。

### 5.2 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-8に示す各種の方法で厚さ2cmの補修材の施工を行った（図-4参照）。

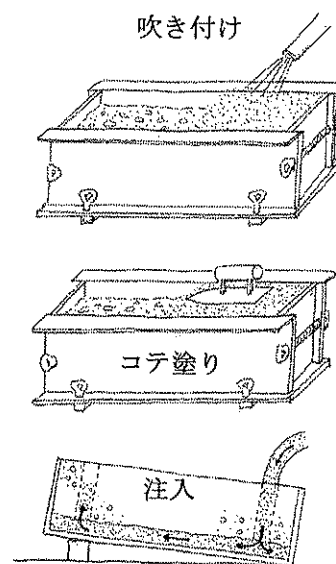


図-4 補修材の施工方法

表-6 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 <sup>3</sup> )						膨張剤等	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不要	
	GSps	—	394	303	—	1603*2	—	有	SBR系	(0打300以上)	プレパ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:プレパックド用粗骨材

表-7 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

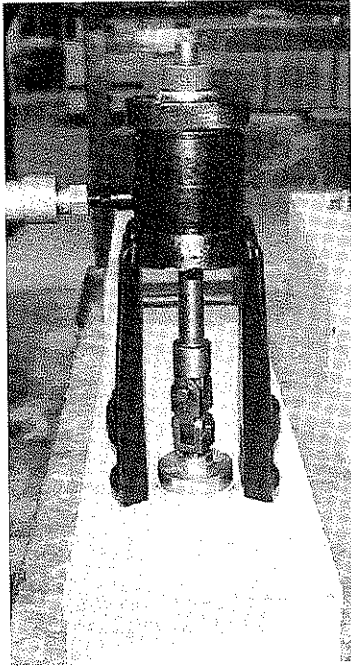


写真-1 付着強度試験

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日経過後に建研式付着強度試験法<sup>1)</sup>(写真-1)によって打継面の付着強度を測定した。

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返し試験を実施した。試験本数を表-9に示す。

### 5.3 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ブラシ等による研磨を行い、レイタンスを除去し、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

表-8 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	順打ち			逆打ち		
	表面処理	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

表-9 凍結融解試験、乾湿繰返し試験の実施本数

	施工方向	順打ち			逆打ち		
	表面処理	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：乾湿繰返し試験の本数

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/mm<sup>2</sup>、引張強度は4.7N/mm<sup>2</sup>であった。

### 5.4 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-7中のカッコ書き)についてはプライマー①を使用した。

### 5.5 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-4参照)で、逆打ちと順打ちの施工を実施した。補修材料との組合せは表-8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。

### 5.6 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。

### 5.7 付着強度試験

材齢28日経過後に、建研式接着力試験器によって母材と補修材との付着強度を測定した。

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、5.8 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。

### 5.8 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。

## 6. 断面補修材の実験結果

### 6.1 各補修材の基本性状

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、割裂引張強度を測定した。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。

圧縮強度および割裂引張強度を図-5、6に示す。圧縮強度は補修材によって違いがあり、30~70N/mm<sup>2</sup>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/mm<sup>2</sup>の範囲に分布した。

### 6.2 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。

### 6.3 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。

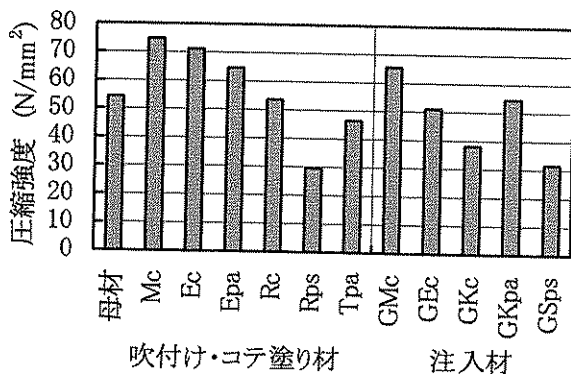


図-5 各材料の圧縮強度

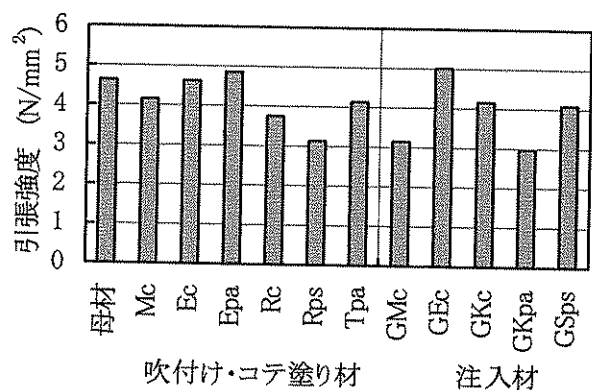
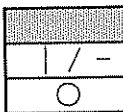


図-6 各材料の引張強度



表-10 ひび割れ観察結果

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

凡例：  

 打継ぎ面沿いにひび割れ  
 | / - 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

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-6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

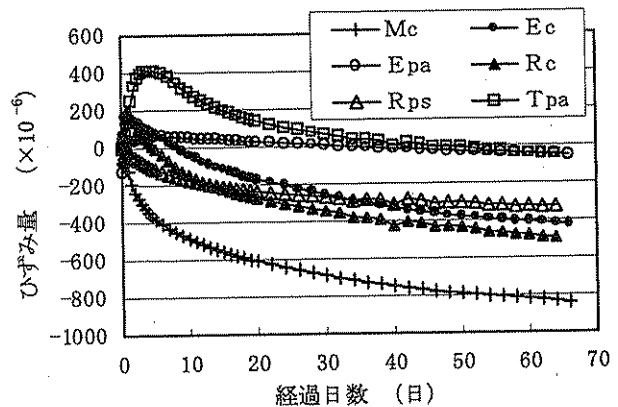
今回の試験では単純に流し込むだけであり、特に問題となることは無かった。

6.4 ひび割れ観察結果

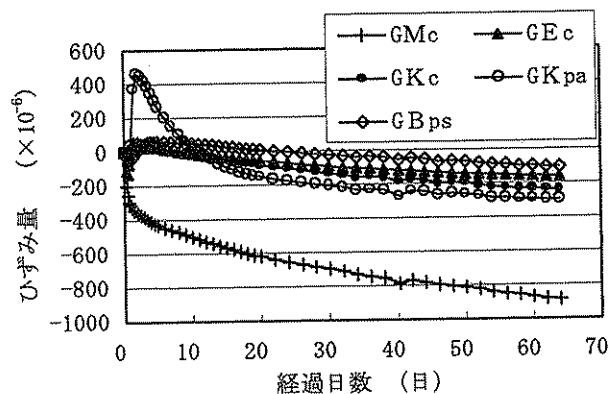
材齢 28 日を経過した段階でのひび割れ発生状況を表-10に示す。表中の網掛けで示したものは、打継面に沿って補修材が剥がれるようにひび割れが入ったものであり、「| / -」は乾燥収縮によって補修材の表面に生じたひび割れの概要である。ひび割れの幅は最大で 0.06 ~ 0.08mm 程度であった。

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-7は各補修材の打設後のひずみ変化を測定し



(a) 吹付け・コテ塗り材料



(b) 注入材料

図-7 各種補修材料の打設後のひずみ変化

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

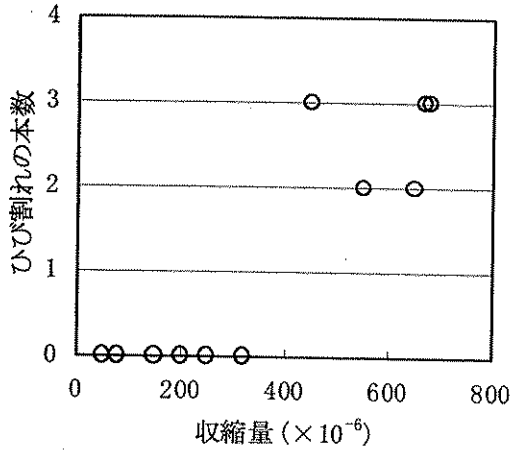


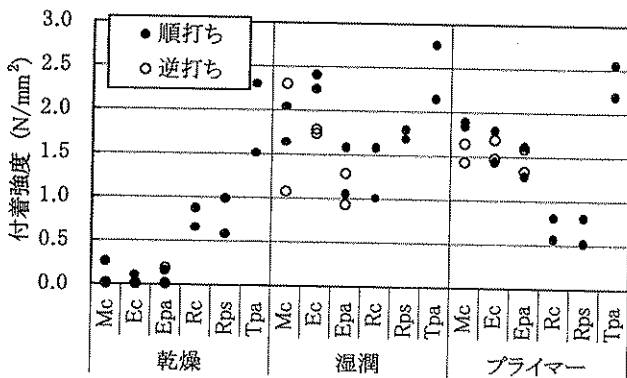
図-8 収縮量とひび割れ本数の関係

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-10 に示すおおよそのひび割れ本数との関係をみると図-8 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  $320 \times 10^6$  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方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、水分の蒸発に留意する必要があると考えられる。

### 6.5 付着強度試験結果

付着強度試験結果を図-9 に示す。なお、図-9 (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



(a) 吹付け・コテ塗り材料

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-9 (a) の吹付け・コテ塗り用の補修材では、打継面が乾燥状態だと付着強度が低下する傾向を示した。順打ちと逆打ちとを比較すると、有意な差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ついては水の膜によって付着が妨げられるのを防ぐ目的で、施工した補修材を一度かき落として再び施工した。このために湿潤-逆打ちの付着強度が低下しなかったものと考えられる。

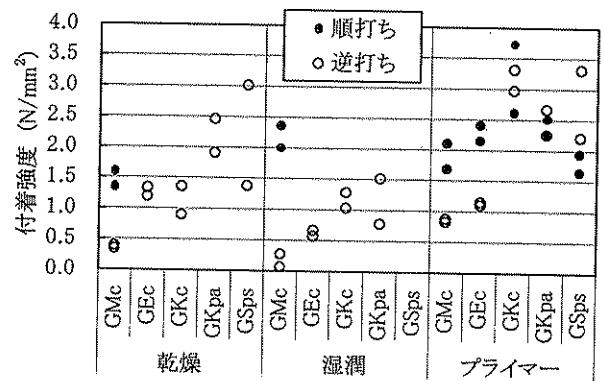
図-9 (b) は注入材の結果である。GMc の逆打ちの強度が順打ちに比較して小さいが、この理由は GMc は注入材の中では唯一膨張材を含んでいない材料であり、補修材の収縮とブリーディングの影響で付着面に隙間が生じたためと考えられる。GMc 以外の材料でも打継面が湿潤状態で逆打ちのケースでは付着強度が低めとなっており、施工面に水の膜が形成され、付着が妨げられたことが予想される。

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

### 6.6 凍結融解試験結果

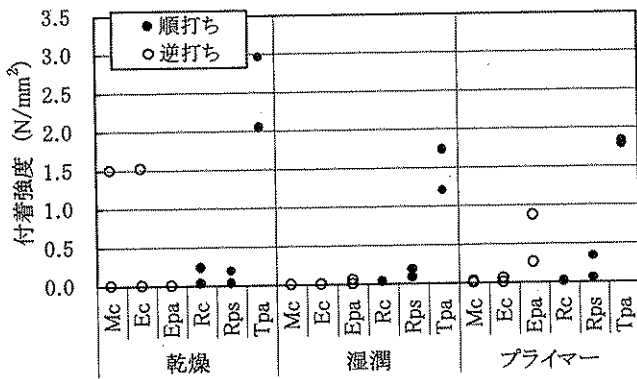
300 サイクルの凍結融解試験終了後に実施した付着強度試験結果を図-10 に示す。これを図-9 と比較すると比較的良好な強度を保持したのは Tpa のみであり、他の補修材の付着強度は大きく低下した。

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

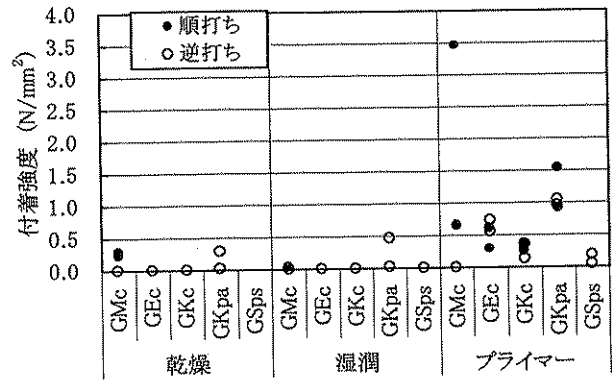


(b) 注入材料

図-9 付着強度試験結果



(a) 吹付け・コテ塗り材料



(b) 注入材料

図-10 凍結融解試験後の付着強度試験結果

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-10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。

### 6.7 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-11に示す。これを乾湿繰返し試験前の強度(図-9)と比較すると、付着強度の低下は認められなかった。

## 7. 各種断面補修工法の選定手法の提案

断面補修工法に関する実験は主に13～14年度に実施した。この実験の詳細については14年度の報告書に掲載した。この実験結果をもとに断面補修工法の選定手法について以下のように提案する。

### 7.1 補修工法の選定

断面補修工法には主に、コテ塗り、吹き付け、注入の3種類の工法がある。各工法ごとに以下のような特徴があり、これを考慮したうえで工法を選定する必要がある。

(1) コテ塗り工法： 左官によるコテ塗り作業であり、施工の善し悪しは左官の技量に依存する。手作業であることから大規模な断面補修には不向きであり、小規模な補修に適している。

(2) 吹き付け工法： 補修材を圧縮空気によって吹き付ける工法であり、中～大規模の補修に適していると考えられる。この工法では材料が飛散するので、材

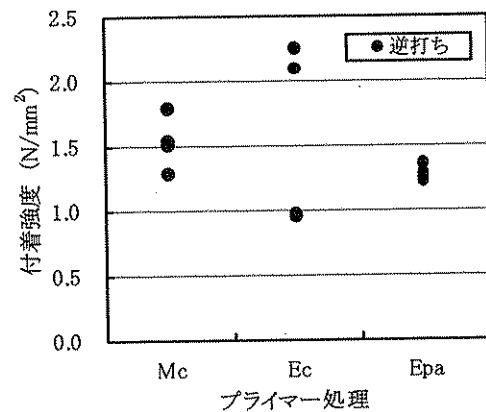


図-11 乾湿繰返し試験後の付着強度試験結果

料量の余裕と、周辺環境への配慮が必要である。また、吹付け後の表面仕上げには左官によるコテ塗りが必要である。また、補修材中の空気量は吹き付けによって大幅に低下する。

(3) 注入工法： 型枠を必要とするため、比較的大規模な断面補修に適していると考えられる。注入工法は逆打ちで使用される場合が多いが、この場合、注入材に膨張材が含まれていないと付着面に隙間が生じ、十分に付着強度が得られない。また、順打ち等の条件で施工され、補修材が外気に触れるような部位ではフレッシュ時にひび割れが発生する可能性がある。ひび割れ発生の原因は水分の蒸発によるものと考えられ、注入工法では補修材料が外気に触れない条件で使用するのが良いと考える。

### 7.2 補修材を施工するはつり面の処理方法の選定

断面補修の場合に最も弱点となるのは打継ぎ面である。このため、チッピング等によってはつったコンクリート面については出来るだけ丁寧に浮き石等を除去することが重要である。

さらに、このコンクリート面に補修材を施工する際に、コンクリート面を乾燥する場合、濡らす場合、プライマーを施工する場合がある。今回の実験結果では、乾燥面に順打ちする条件と湿潤面に逆打ちする条件では十分に付着強度が得られなかった。また、湿潤状態を均一に保持することは困難であった。これらのことから、プライマー処理を行うことが妥当と考える。

### 7.3 補修材の基本的な配合の選定

断面補修材のほとんどは膨張材類を含むセメントモルタルか、ポリマーセメントモルタルである。吹付け・コテ塗り材の場合はさらに短繊維が含まれているものが多い。

ポリマーの効果については、今回の実験の範囲では認められなかった。

補修材の水セメント比は40%程度のものが多い。耐久性を確保する観点からその程度の水セメント比とする必要があると考える。凍結融解に対する耐久性確保の観点からエントレインドエアを混入する方法も考えられるが、逆打ちの場合には打継ぎ面に空気が溜まることになり好ましくない。また、吹付け工法の場合には、吹付け時にエントレインドエアは大幅に減少してしまい、十分な効果を期待するのは難しいと考える。

コテ塗り工法や吹付け工法ではダレ落ちの少ない材料を選定し、注入工法では逆に流動性に優れた材料を選定する必要がある。また、注入工法で逆打ちでの施工を行う場合には、材料に膨張材が含まれていないと、硬化時の収縮とブリーディングの影響で十分な付着強度が得られない。

### 7.4 乾燥ひび割れを防止するための選定条件

補修面積が大きかったり、補修材の厚さが薄い場合には硬化時の乾燥収縮によって補修材表面にひび割れが発生しやすい。このため、補修材の収縮量の大小が重要となるが、補修材の商品カタログに記載されている収縮量は、例えば材齢28日時点での収縮量の絶対値であることが多く、この値からひび割れ発生を推測することは困難である。

大半の補修材には膨張材が混合されているために、打設後に一旦膨張して、その後収縮に転じる。今回の実験結果からは、この膨張のピークを原点とした収縮量が $400 \times 10^{-6}$ を超える材料にひび割れが発生した。この値を参考に補修材の選定を行うと良いと考える。

### 7.5 凍結融解耐久性を確保するための選定条件

補修された部分の耐久性を評価しようとした場合、母材や補修材が健全であっても、付着面の強度が低下する場合があることが、今回の実験で分かった。また、付着強度の低下を相対動弾性係数で評価することはできなかった。このため、付着面の耐久性を評価するための試験法が必要である。試験の方法としては、14年度に実験したような形状の試験体を使用し、試験終了後に付着強度を測定する方法が良いと考える。ただし、試験方法の簡易化や評価基準については今後の検討課題である。

### 参考文献

- 1) 片平博、河野広隆：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、コンクリート工学年次論文集、第25巻、コンクリート工学協会、2003.7
- 2) 片平博、河野広隆：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、土木技術資料、Vol.45, No.8, 2003.8
- 3) 片平博、河野広隆：各種コンクリート断面補修工法の施工性、強度、耐久性に関する実験的検討、土木研究所資料、No.3925, 2004.2