

# 報告 道路橋 RC 床版の断面修復における打継ぎ界面付着強度と改善方法に関する実験的研究

後藤 昭彦\*1・宮永 憲一\*2・松本 政徳\*3・渡邊 晋也\*4

**要旨:** 道路橋RC床版の上面側に発生する部分的な変状対策として、断面修復による部分補修を実施している。しかし、断面修復ではブレーカ等でハツリ処理を行うことも多く、既設コンクリートに発生した微細ひび割れ等の影響による打継ぎ界面の付着強度不足により、短期間で再び変状する場合もある。本報告は、ブレーカ等でのハツリ処理により不足した打継ぎ界面の付着強度を、表面処理などで改善する方法について、試験体による要素実験で検討したものである。その結果、ウォータージェットおよびスチールショットブラストによる研掃や微細ひび割れ補修剤塗布などの方法により付着強度を改善できることが判明した。

**キーワード:** RC 床版, 部分補修, 断面修復, ハツリ処理, 微細ひび割れ, 表面処理, 付着強度

## 1. はじめに

高速道路橋などRC床版では、交通荷重による疲労や凍結防止剤による塩害などの変状が顕著化している。中でも床版上面側で発生する変状は、ポットホールなどの舗装損傷を誘発するため、走行安全性への影響が大きいとともに、舗装補修や床版補修の際には交通規制が必要となるため、維持管理上の課題となっている。

この変状のほとんどは、床版上面の鉄筋腐食やかぶりコンクリートの浮き・はく離などであるが、車輪走行位置などで部分的に発生する場合が多く、また床版内部では比較的健全な場合もある。このため、一般的な対策として、コンクリート変状部をハツリ除去した後、コンクリートなどの補修材で打換える断面修復を行っている。

床版上面の断面修復は、供用中に小規模に発生した変状に対し応急的に実施する場合、舗装の全面打換えに合わせて実施する場合、床版補修として全面的に実施する場合などがある。このうち、特に応急的に断面修復を実施した箇所の中には、比較的短期間のうちに再び変状が発生し、同様の補修を繰り返している場合もある。

このような状況を踏まえ、筆者らはRC床版上面の断面修復における耐久性向上の研究を行ってきた。これまでの研究<sup>1)</sup>により、補修材の強度特性や収縮特性、打継ぎ界面における付着性能、補修部に浸入した水などが変状の要因として、複合的に影響していると推定した。

本文は、これらの要因のうち、打継ぎ界面における付着性能に着目し、ハツリ処理方法による付着強度への影響、表面処理などにより低下した付着強度を改善する方法について、試験体による要素実験により検討した内容について報告するものである。

## 2. 断面修復におけるハツリ処理の実態

筆者らが RC 床版上面の断面修復における実態調査を行った結果、応急的または部分的な断面修復の場合には、変状部のハツリ処理を写真-1 に示すような、比較的軽量で施工時間の早い、コンクリートブレーカなどの手持式動力工具（以下、「ブレーカ等」という）で行っていることが多く、また打継ぎ界面に対しても特段の処理を行っていないことが判明した。

既往の研究<sup>2)</sup>によると、ブレーカ等によるハツリ処理では打継ぎ界面の付着強度が低下し、ウォータージェット工法（以下、「WJ」という）によるハツリ処理では、高い付着強度が得られることが知られている。

このため、応急的または部分的な断面修復においても WJ によるハツリ処理を行うことが望ましいが、WJ ハツリ処理には、高圧ポンプやその他の機材が非常に大型で大規模となるとともに、水処理などの課題があるため、応急的で補修規模が比較的小さい場合や、長時間の交通規制が実施できないような条件下では、コスト面や施工時間面において課題があるのが現状である。



写真-1 ブレーカ等によるハツリ処理

\*1 (株) 高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室 主任研究員 (正会員)

\*2 (株) 高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室 研究員

\*3 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第二部 技術課長 (正会員)

\*4 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第二部 博士(工学) (正会員)

### 3. 打継ぎ界面における付着強度の改善検討

筆者が行った研究では、ブレーカ等を用いてハツリ処理した際には、既設コンクリートに図-1に示すような、微細ひび割れや脆弱部（以下、「微細ひび割れ等」という）が発生することが判明している。このような微細ひび割れ等を有したまま補修材を打継いだ場合、打継ぎ界面は一体化するものの、界面下 15mm~20mm の既設コンクリートが破壊する。このため、結果的に断面修復箇所の付着強度が低下し、輪荷重作用による耐久性を著しく低下させる。

打継ぎ界面に発した微細ひび割れ等の対策方法には、次の2つの方法が考えられる。

- a) 微細ひび割れ等を除去する方法
- b) 微細ひび割れ等を補修する方法

微細ひび割れ等を除去する方法には、スチールショットブラスト工法（以下、「SSB」という）による研掃やWJによる研掃などが考えられる。一方で、微細ひび割れ等を補修する方法には、樹脂や微粒子セメントなどの他材料で固化させることが考えられる。

そこで、ブレーカ等によるハツリ処理で低下した付着強度に対し、これらの方法およびこれらを組合せた方法による改善効果について、床版上面断面修復を模擬した試験体による要素実験を実施し検証することとした。

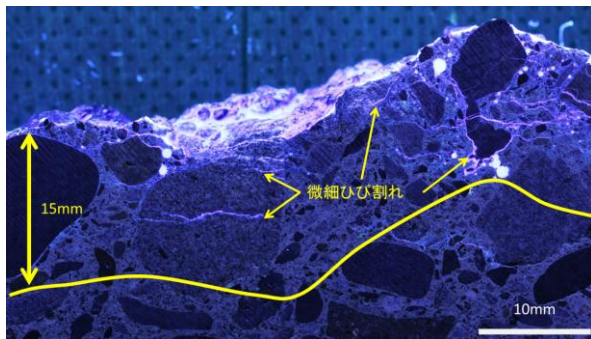


図-1 微細ひび割れ等の発生状況

### 4. 実験概要

#### 4.1 実験の流れ

本実験のフローを図-2に示し、以下のa)~f)にその概要を示す。また、実験ケース一覧を表-1に示す。

- a) 床版を模擬した供試体（試験基材）を製作する。
- b) 製作した供試体に断面修復を想定したブレーカ等によるハツリ処理（10体）と、比較用としてWJによるハツリ処理（2体）を実施する。
- c) ブレーカ等によるハツリ処理を行った供試体に対する表面処理として、SSB研掃、WJ研掃、SSB研掃と接着剤の塗布、微細ひび割れ補修剤と接着剤の塗布、比較用として無処理の5つの方法で実施する。なお、WJ研掃の試験体は、1週間以上の自然乾燥を行う。
- d) 条件の同じ試験体それぞれに、断面修復の補修材として超速硬コンクリートとポリマーセメントモルタル（以下、「PCM」という）を打設し、24時間養生する。なお、補修材打継ぎ面は接着剤塗布を除き両材料ともドライアウトを防止する目的で水湿しを行う。
- e) 断面修復を行った試験体上面より、打継ぎ界面を含む引張試験用コアを採取する。
- f) 採取コアによる直接引張試験を実施し、付着強度を測定する。

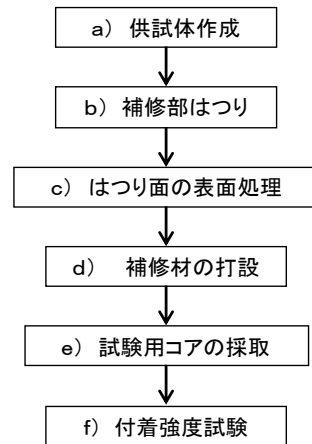


図-2 実験フロー

表-1 実験ケース一覧

ハツリ処理方法	表面処理方法	表面処理方法（詳細）	補修材の種類	
			記号（凡例）	
			超速硬コンクリート	ポリマーセメントモルタル
手持式動力器具（ブレーカ等）	無処理	-	A	G
	スチールショットブラスト研掃（SSB研掃）	150kg/m <sup>2</sup> @1回	B-1	H-1
		150kg/m <sup>2</sup> @2回	B-2	H-2
	ウォータージェット研掃（WJ研掃）	表面処理『大』	C-1	I-1
		表面処理『中』	C-2	I-2
		表面処理『小』	C-3	I-3
	スチールショットブラスト研掃（SSB研掃）+接着剤	150kg/m <sup>2</sup> @1回+コンクリート打継用接着剤	D-1	J-1
150kg/m <sup>2</sup> @2回+コンクリート打継用接着剤		D-2	J-2	
	微細ひび割れ補修剤+接着剤	含浸系接着剤+コンクリート打継用接着剤	E	K
ウォータージェット（WJ）	無処理	-	F	L

#### 4.2 供試体（試験基材）概要

実験に用いた供試体の寸法は、実施工におけるハツリ処理および表面処理を再現させるため、断面修復範囲が確保できるよう、図-3 に示すとおり縦 1.35m×横 1.35m×高さ 0.3mとした。

また、ハツリ処理および表面処理作業には既設床版鉄筋の施工性への影響を考慮する必要があるため、供試体は有筋とした。配筋は RC 床版の変状が顕著である昭和 39 年の鋼道路橋設計示方書に準拠し、主鉄筋 D16 (上段：@300mm)，配力筋 D10 (上段：@300mm)，鉄筋のかぶりは 30mm とした。

使用したコンクリートについても、当時の設計基準に準じ、呼び強度 24N/mm<sup>2</sup> (24-8-25N) とした。コンクリートの配合を表-2 に示す。なお、試験体はコンクリート打設後、3 日間散水養生を施したのち脱型し、28 日間以上経過させ所定の強度を発現させた。

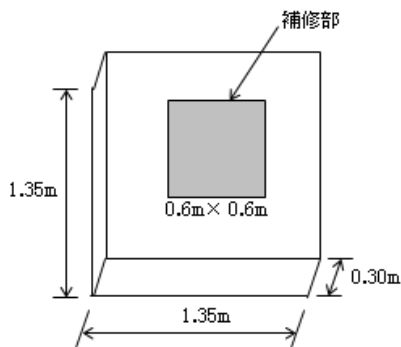


図-3 供試体形状

表-2 供試体コンクリート配合

呼び強度	W/C	s/a	空気量	W	C	S1	S2	G	Ad	スランプ	空気量
	%			kg/m <sup>3</sup>						cm	%
24	54.5	47	4.5	155	285	527	351	1000	2.85	6.0	4.3

#### 4.3 実験ケース

##### (1) ハツリ処理方法

本実験では、供試体における断面修復範囲 (0.6m×0.6m×0.07m) のハツリ処理として、以下の 2 つの方法で実施した。

##### 1) ブレーカ等によるハツリ処理

ブレーカ等によるハツリ処理は、出来るだけ実施工を再現する目的で、まず 30kg 級のコンクリートブレーカを用いて、上側鉄筋位置までハツリ出しを行い、次に 7kg 級のピックハンマーを用いて、鉄筋裏やハツリ面を仕上げの方法で行った。その後、簡易な吸引機によりハツリ表面に残存コンクリート片や粉体の清掃を実施した。写真-2 にブレーカ等によるハツリ処理状況、写真-3 にハツリ処理面の状況を示す。

##### 2) WJ によるハツリ処理

WJ によるハツリ処理では、良好な付着性性能が得られるため、本実験の着目であるブレーカ等によるハツリ処理および表面処理対策との比較用として実施した。

WJ によるハツリ処理は、床版補修などに使用している WJ 機械を用いて、水圧や流量を調節しながら上側鉄筋下約 20mm までのハツリ出しを行った。その後、吸引器により残存コンクリート片や滞留水の清掃を実施した。写真-4 に WJ 機械によるハツリ処理状況を示す。



写真-2 ブレーカ等によるハツリ処理



写真-3 ハツリ処理面



写真-4 WJ によるハツリ処理

##### (2) ハツリ処理後の表面処理方法

本実験では、低下した付着強度の改善方法として、ブレーカ等によるハツリ処理を行った供試体に、以下の 4 つの方法による表面処理を実施した。なお、表面処理との比較用として 1 つは無処理とした。

##### 1) SSB による研掃

SSB による研掃には、床版増厚時の既設床版研掃などに用いる大型研掃機を使用した。また、投射密度の影響を検討するため、標準的な仕様を参考に、研掃回数を変

えた2ケースで実施した。

- a) 投射密度 150kg/m<sup>2</sup>で1回
- b) 投射密度 150kg/m<sup>2</sup>で2回

写真-5 (a) にSSBによる研掃状況を示す。

#### 2) WJによる研掃

WJによる研掃には、写真-5 (b) 示すように、コンクリート舗装の目荒しなどに用いる、小型WJ研掃機を使用し、水圧や処理速度の影響を検討するため、事前の試験施工を踏まえ、以下の3ケースで実施した。

- a) WJ条件「大」として、220MPaで速度3分/m
- b) WJ条件「中」として、175MPaで速度1.5分/m
- c) WJ条件「小」として、175MPaで速度0.4分/m

写真-6 に各WJ条件による処理後の表面状況を示すが、WJ条件が大きくなるほど、粗骨材以外のモルタル部分がハツリ取られ、表面の凹凸が大きくなる傾向であった。



(a) SSB 研掃 (b) WJ 研掃

写真-5 研掃による表面処理

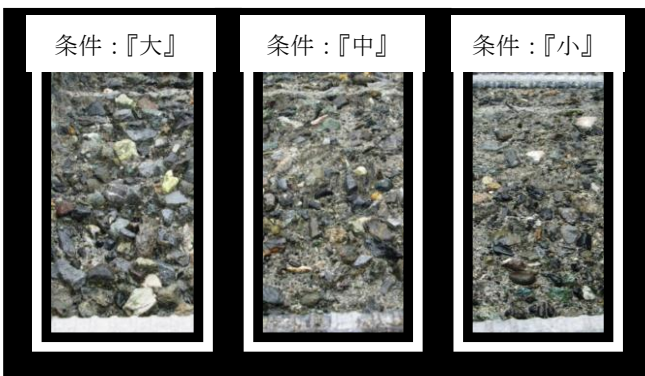


写真-6 WJ 研掃後の表面状況

#### 3) SSB 研掃+接着剤塗布

コンクリート打継ぎ用接着剤は、床版増厚におけるはく離耐久性の向上対策として、既往の研究<sup>3)</sup>によりその効果が確認されている。しかし、筆者らの行った研究<sup>4)</sup>では、ブレーカ等のハツリ処理を行った試験体にコンクリート打継ぎ用接着剤を塗布しても、微細ひび割れ等の影響により付着強度が大きく改善しないことが判明している。このため、床版増厚と同様にSSB研掃によりある程度の微細ひび割れ等を除去した後、写真-7に示すような、エポキシ樹脂系のコンクリート打継ぎ用接着剤を塗布し(塗布量 0.9kg/m<sup>2</sup>)、その効果を確認することとした。

#### 4) 微細ひび割れ補修剤+接着剤塗布

本実験では、微細ひび割れ等を補修する方法として、写真-8に示すような、低粘度のエポキシ樹脂系接着剤(以下、「含浸系接着剤」という)を塗布した。塗布量については、事前の性能試験に基づき 0.3kg/m<sup>2</sup>とした。

なお、筆者らの行った研究<sup>4)</sup>において、ハツリ処理面に含浸系接着剤を塗布しただけでは、付着強度の改善効果が小さく、含浸系接着剤とコンクリート打継ぎ用接着剤を組合せて使用することにより、大幅に付着強度が改善できることを確認している。このため、本実験においても両者を組み合わせて使用することとした。



写真-7 コンクリート打継ぎ用接着剤



写真-8 含浸系接着剤

#### (3) 断面修復に使用する補修材

本実験では、断面修復に用いる補修材として、以下の特性の異なる2つの材料で実施した。

##### 1) 超速硬コンクリート

初期強度の発現が材齢3時間で24N/mm<sup>2</sup>以上と高く、材料が全てプレミックされており施工性が良いため、応急的または部分的な床版上面の断面修復の現場で、最も多く使用されている補修材である。なお、粗骨材にはGmax20mmを用いている。

##### 2) PCM

PCMはセメントモルタルにセメント混和用ポリマーを混入しており、コンクリートとの付着強度が高く、また硬化収縮量も小さいため、コンクリート構造物の小規模な断面修復用補修材として一般的に使用されている。本実験では、床版上面断面修復用のPCMとして開発された、SBR(スチレンブタジエンラテックス)ポリマー系の補修材を用いた。

#### 4.4 付着強度試験

付着強度試験は、高性能万能試験機を用いた直接引張試験により行い、得られた引張強度を付着強度として取り扱った。なお、直接引張試験における載荷速度はNEXCO試験法に基づき  $0.06 \pm 0.04 \text{ N/mm}^2$  とした。

試験体は、補修材の打設後 24 時間養生したそれぞれのケースの供試体から、打継ぎ界面を含む  $\phi 75\text{mm}$  のコアを各 5 本ずつ採取し、打継ぎ界面を中心に長さ 10cm に切断・研磨したのち、上下面に引張治具をエポキシ接着剤で固定して作成した。なお、試験時（2日後）における補修材の平均圧縮強度は、超速硬コンクリートで  $46.4\text{N/mm}^2$ 、PCM で  $27.0\text{N/mm}^2$  であった。

### 5. 試験結果および考察

#### 5.1 超速硬コンクリート試験体における付着強度

補修材に超速硬コンクリートを用いた試験体における、各実験ケースの付着強度試験結果を図-4 に示す。

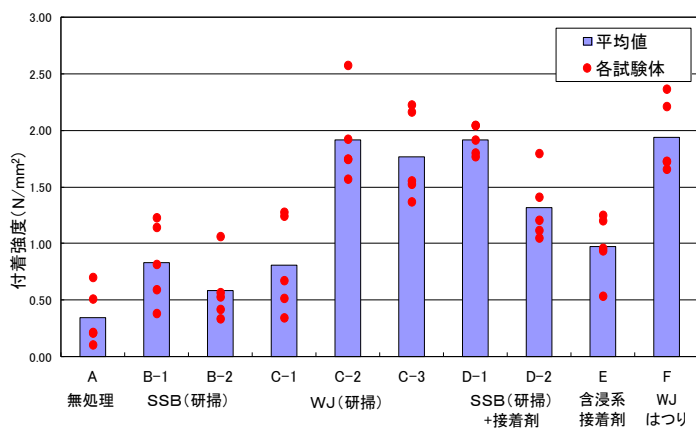


図-4 付着強度試験（超速硬コンクリート試験体）

##### (1) 無処理およびWJハツリ

ブレーカ等によるハツリ処理で無処理の場合には、付着強度が  $0.35\text{N/mm}^2$  と低く、微細ひび割れ等の影響を大きく受けていると考えられる。逆にWJによるハツリ処理では付着強度が  $1.94\text{N/mm}^2$  と高く、一般的な打継ぎ界面に求められる付着強度  $1.5\text{N/mm}^2$  を満足していた。

##### (2) SSB研掃およびSSB研掃+接着剤

SSB研掃  $150\text{kg/m}^2$  で1回および2回のみで表面処理を行った試験体では、 $0.83\text{N/mm}^2$ 、 $0.58\text{N/mm}^2$  と無処理と比べて付着強度は改善しているものの共に低い結果であり、SSB研掃のみでは微細ひび割れ等を十分除去できなかったためと考えられる。

一方、SSB研掃後にコンクリート打継ぎ用接着剤を塗布した試験体では、SSB研掃のみに比べ、 $1.92\text{N/mm}^2$ 、 $1.32\text{N/mm}^2$  と大幅に付着強度が改善された。この要因として、SSB研掃で完全に除去出来なかった微細ひび割れ等をコンクリート打継ぎ用接着剤が充填した、もしくは、

単に健全な打継ぎ界面の付着強度が向上したことなどが考えられるが、解明には至っていない。

また、SSB研掃1回より2回実施した方の付着強度が低くなった。この要因として、SSB研掃の投射密度が上がったことにより、ハツリ処理による微細ひび割れ等の除去とともに、新たな微細ひび割れ等が発生した可能性も考えられるが、解明には至っていない。

##### (3) WJ研掃

WJ研掃「中」、「小」で表面処理を行った試験体では  $1.91\text{N/mm}^2$ 、 $1.77\text{N/mm}^2$  と高い付着強度が得られたが、WJ研掃「大」では  $0.81\text{N/mm}^2$  と「中」、「小」に比べ、付着強度が低かった。この要因として、強いWJ研掃により処理面の凹凸が大きくなり、超速硬コンクリートが十分に充填されなかったことなどが考えられる。

##### (4) 含浸系接着剤+接着剤

含浸系接着剤塗布後にコンクリート打継ぎ用接着剤を塗布した試験体では、 $0.98\text{N/mm}^2$  と無処理と比べて付着強度が改善した。しかし、この結果は筆者らが行った試験板での試験結果  $1.98\text{N/mm}^2$  に比べて、50%程度の付着強度であった。この要因として、本実験では実施工を再現し、ハツリ面の清掃を吸引機のみで行ったため、ハツリ粉や埃などの影響により、浸透性が低下したことなどが考えられる。

#### 5.2 PCM試験体における付着強度

補修材にPCMを用いた試験体における、各実験ケースの付着強度試験結果を図-5 に示す。

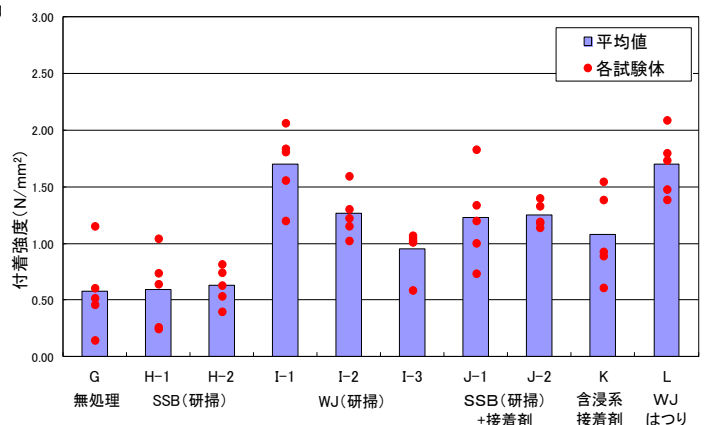


図-5 付着強度試験（PCM試験体）

##### (1) 無処理およびWJハツリ

超速硬コンクリートと同様に、無処理の場合には、付着強度が  $0.58\text{N/mm}^2$  と低く、WJによるハツリ処理では付着強度が  $1.70\text{N/mm}^2$  と高い結果であった。

##### (2) SSB研掃およびSSB研掃+接着剤

SSB研掃を  $150\text{kg/m}^2$  1回および2回のみで表面処理を行った試験体では、 $0.59\text{N/mm}^2$ 、 $0.63\text{N/mm}^2$  と無処理と比

べて付着強度がほとんど改善しない結果であった。

一方、SSB 研掃後にコンクリート打継ぎ用接着剤を塗布した試験体では、超速硬コンクリートと同様に、SSB 研掃のみに比べ、 $1.23\text{N/mm}^2$ 、 $1.25\text{N/mm}^2$  と大幅に付着強度が改善された。

### (3) WJ 研掃

超速硬コンクリートとは違い、WJ 研掃「大」で表面処理を行った試験体が  $1.70\text{N/mm}^2$  と高い付着強度が得られ、WJ 研掃「中」、「小」と研掃レベルが下がるにつれて、 $1.26\text{N/mm}^2$ 、 $0.95\text{N/mm}^2$  と付着強度が低下した。この要因として、強い WJ 研掃により処理面の凹凸が大きくなったとしても、粗骨材のっていない PCM では凹凸間に良く充填され、また研掃レベルが大きいほど微材ひび割れ等の除去性能が向上するためと考えられる。

### (4) 含浸系接着剤+接着剤

超速硬コンクリートと同様に、含浸系接着剤塗布後にコンクリート打継ぎ用接着剤を塗布した試験体では、 $1.08\text{N/mm}^2$  と無処理と比べて付着強度が改善した。

## 5.3 補修材別試験体による付着強度

補修材に超速硬コンクリートを用いた試験体と、PCM を用いた試験体における、各実験ケースの付着強度試験結果の比較を図-6 に示す。

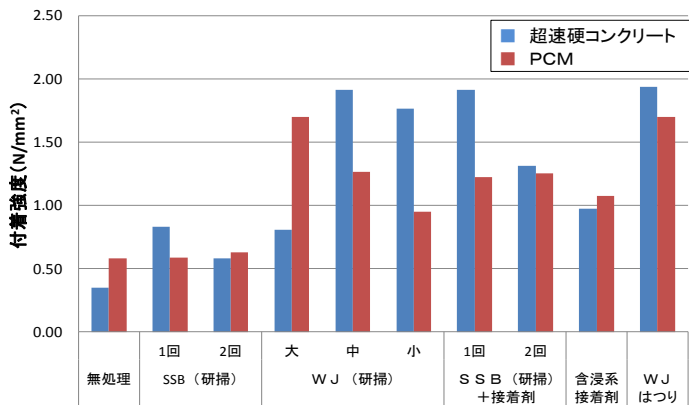


図-6 付着強度試験 (PCM 試験体)

### (1) ハツリ処理および表面処理別の付着強度

各ケースにおける補修材ごとの付着強度の傾向は、全体的にはほぼ同様であったが、実験前の想定とは異なり、超速硬コンクリートの方が高くなっているものもあった。この要因として、本実験では付着強度試験を打設後2日で実施したため、補修材における初期の硬化特性の差が、付着強度の発現にも影響を及ぼした可能性が考えられる。

### (2) 研掃レベルによる表面処理別の付着強度

研掃による表面処理では、研掃レベルによって PCM と超速硬コンクリートの付着強度の傾向に差が見られた。この要因については、未解明な部分も多いが、表面処理

状態によっては、補修材における骨材寸法や混和ポリマーなどの相性が付着強度に影響したためと考えられる。

## 6. 実験のまとめ

本実験の結果、以下の知見が得られた。なお、付着強度試験では、一般的に破断位置などについても着目する必要があると考えられるが、本実験においては破断位置が全て打継ぎ界面直下の既設コンクリート部に集中しており、破断面の状況においてもその差が明確でなかったため考察から割愛した。

- 1) ブレーカ等ハツリ処理では WJ ハツリ処理と比較して、大幅に付着強度が低下し、一般的な打継ぎ界面に求められる付着強度  $1.5\text{N/mm}^2$  を確保出来ない。
- 2) ブレーカ等ハツリ処理により低下した付着強度は、表面処理などにより改善することが可能であり、本実験では、SSB 研掃<微細ひび割れ補修剤+接着剤<SSB 研掃+接着剤<WJ 研掃、の順で効果が高くなる。
- 3) WJ 研掃と SSB 研掃では、その研掃レベルや補修材との組合せによって、改善効果に影響を及ぼす。
- 4) 微細ひび割れ補修剤+接着剤塗布は最も簡易に付着強度を改善することが可能であるが、ハツリ面の清掃状態などに影響を受ける。

## 7. おわりに

本研究では、ハツリ処理で低下した付着強度に対し、表面処理による改善効果について検討を行った。その成果として、適切な表面処理により WJ ハツリ処理に近い付着性能まで改善することが可能であることが判明した。

今後も、実施工における効果的なハツリ処理方法や表面処理方法を確立するため、WJ ハツリ処理、WJ 研掃や SSB 研掃技術の向上、微細ひび割れ補修剤の性能向上などについて、検討を行う必要があると考える。

## 参考文献

- 1) 後藤昭彦：既設コンクリート床版における上面部分補修部の変状要因に関する一考察，土木学会第67回年次学術講演会，2012
- 2) 紫桃孝一郎，上東泰，野島昭二，吉田敦：ウォータージェット技術を利用した新旧コンクリート構造物の一体化処理，コンクリート工学 38 巻 8 号，2000.8
- 3) 長谷俊彦，和田圭仙，後藤昭彦：上面増厚床版における劣化要因と耐久性向上対策の検討，コンクリート工学，Vol50，No.3，2011
- 4) 渡邊晋也，堀井久一，谷倉泉，後藤昭彦，コンクリート打継ぎ面の内部に生じた脆弱部および微細ひび割れの補強方法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol34，No.1，pp1660-1665，2012