

# 論文 付着面の条件や養生条件が断面修復材の付着強度に与える影響

片平 博\*1・渡辺博志\*2・山田 宏\*3・渡辺健治\*4

**要旨:** 断面修復工法において、基盤表面の凹凸性状や、水湿し・プライマー処理の違い、更には養生方法の違い等が、付着強度に与える影響について実験的な検討を行った。この結果、研磨紙によって十分に研磨した平滑な基盤表面に水湿しをした条件では、湿潤養生を十分な期間実施した条件を除いて、安定した付着強度が得られにくいこと、平滑面であってもプライマー処理を施した場合や、基盤表面に凹凸を付けた条件では水湿しであっても、安定して高い付着強度が得られること等が分かった。

**キーワード:** 断面修復材, 付着強度, プライマー, 養生

## 1. はじめに

増大したコンクリートの社会ストックを効率的に維持管理していくためには、点検技術や補修・補強技術の確立が極めて重要である。断面修復工法に関しては、これまでに様々な研究開発が行われてきており<sup>1)</sup>、これらの成果をもとに、社会ストックを維持管理する団体や学会などから性能を確認するための試験方法や品質規格がそれぞれ提案・制定されている。

断面修復工法の重要な性能の一つに、基盤コンクリートとの付着性能が挙げられる<sup>2)</sup>。表-1は、各団体が定めている付着強度を試験する際の基盤コンクリートの条件である<sup>3)4)5)6)</sup>。規格ごとに条件が異なり、統一されていないことが分かる。また、断面修復材を施工した後の養生方法やその期間についても、規格上に明確な記載はされておらず、「製造業者が指定する期間」等の記載に留まっている。断面修復材の配合の詳細についても各製造会社の特許性の観点から、配合のどの条件が付着強度にどの程度関与しているのかについて、明確になっているとは言い難い面がある。

このような背景から、断面修復工法における基盤との付着性能に関して、基盤の W/C の違い、基盤表面の凹凸

の有無、水湿し・プライマー処理の比較、断面修復材中のポリマー結合材比、養生方法およびその期間等の影響について実験的な検討を行ったものである。なお、断面修復工法にはコテ塗り工法、吹きつけ工法、注入工法等があるが、今回はコテ塗り工法を対象とした検討を行った。

## 2. 実験方法

試験の概要は図-1および図-2に示すように、コンクリートの基盤上に断面修復材を厚さ約 10mm で塗布し、所定の養生終了後にコアリング機によって補修面上面から基盤に達するまで円形のコアリング機を入れ、建研式接着剤試験器によって付着強度を測定したものである。

実験ケースを表-2に、基盤コンクリートの配合を表

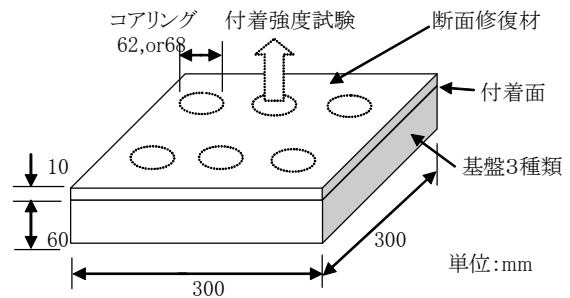


図-1 付着強度試験の概要(シリーズ I, II)

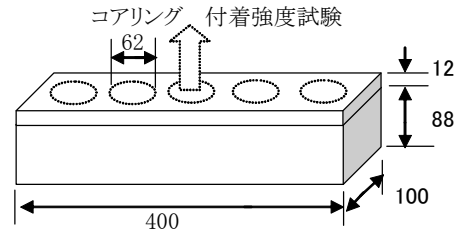


図-2 付着強度試験の概要(シリーズ III)

表-1 付着強度試験の基盤の条件

	配合	形状寸法 (mm)	表面処理
JIS A 1171 ポリマーセメント モルタル	モルタル	70×70×20	150番 研磨紙
JSCE K 561 断面補修材	コンクリート	300×300×60	150番 研磨紙
NEXCO-432 断面修復モルタル	コンクリート	H75 or 100	ウォーター ジェット
EN 1504-3	コンクリート	300×300×100	ウォーター ジェット

\*1 独立行政法人土木研究所 つくば中央研究所 材料資源研究グループ 基礎材料チーム 主任研究員 (正会員)  
 \*2 独立行政法人土木研究所 つくば中央研究所 材料資源研究グループ 基礎材料チーム 上席研究員 (正会員)  
 \*3 住友大阪セメント株式会社 建材事業部 技術開発グループ 補修材チーム兼アンカーチーム (正会員)  
 \*4 独立行政法人土木研究所 つくば中央研究所 材料資源研究グループ 基礎材料チーム 交流研究員

表-2 実験ケースと附着強度試験結果

実験名	断面修復材の配合			施工後の養生		基盤表面の状態		基盤のW/C						
	No.	配合名	ポリマー結合材比 (%)	収縮低減剤の有無	養生方法 (温度は20℃一定)	日数 (日)	粗度	事前処理	W/C35	W/C50	W/C65			
I	I-1	P0	0	無	ラップのみ	28	平滑	水湿し	△	△	○			
	I-2	P2	2											
	I-3	P5	5											
	I-4	P0	0		90%RH以上	28						○	○	○
	I-5	P2	2											
	I-6	P5	5											
	I-7	P0	0		水中	28						○	○	○
	I-8	P2	2											
	I-9	P5	5											
II	II-1	P5'	5	有	90%RH以上	7	平滑	水湿し	△	△	○			
	II-2						凹凸		○	○	○			
	II-3	P0'	0				○		○	○				
III	III-1	P0''	0	無	湿布	0	平滑	水湿し	×	×	×			
	III-2					1			×	×	△			
	III-3					2			×	△	◎			
	III-4					7			×	×	△			
	III-5					0		○	○	○				
	III-6					1		○	◎	◎				
	III-7					2		○	◎	◎				
	III-8					7		○	◎	◎				

凡例 附着強度 ×:0.4以下 (N/mm<sup>2</sup>) △:0.4~1.5 ○:1.5~2.5 ◎:2.5~

表-3 基盤コンクリートの配合

実験シリーズ	配合名	G <sub>max</sub> (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 (kg/m <sup>3</sup> )			フレッシュ性状		使用材料 (絶乾密度:g/cm <sup>3</sup> )		
					水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	高性能AE	増粘剤	スランプ (cm)	空気量 (%)	セメント	細骨材	粗骨材
I, II	W/C35	20	35	42	172	491	676	983	-	3.19	-	19.5	3.4	早強	川砂 (2.56)	石灰岩 (2.69)
	W/C50	20	50	45	172	344	779	988	1.07	-	-	13.2	3.9			砂岩 (2.65)
	W/C65	5	65	-	273	420	1344	-	1.30	-	0.27	-	5.8			-
III	W/C35	20	35	42	172	491	676	983	-	3.19	-	20.3	4.9	早強	川砂 (2.56)	石灰岩 (2.69)
	W/C50	20	50	45	172	344	779	988	1.07	-	-	11.5	4.2			砂岩 (2.65)
	W/C65	20	65	47	172	265	844	926	0.82	-	-	8.7	5.5			火山岩 (2.40)

表-4 断面修復材の配合

シリーズ	配合名	水結合材比 (%)	ポリマー結合材比 (%)	目標空気量 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							フレッシュ性状	
					水	セメント	膨張材	石粉	細骨材	ポリマー	収縮低減剤		繊維
I	P0	45	0	3	333	710	30	305	740	0	0	2.6	145
	P2	45	2	3	333	710	30	305	740	14.8	0	2.6	159
	P5	45	5	3	333	710	30	305	740	37	0	2.6	164
II	P0'	45	0	3	333	710	30	305	740	0	16.7	2.6	未測定
	P5'	45	5	3	333	710	30	305	740	37	16.7	2.6	未測定
III	P0''	46	0	3	356	744	30	244	712	0	0	2.6	170

表-5 断面修復材の使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント
膨張材	石灰系、低添加型
石粉	石灰石微粉末
細骨材	川砂 (絶乾密度:2.56g/cm <sup>3</sup> )
ポリマー	アクリル系粉体ポリマー
繊維	ビニロン繊維、繊維長6mm

一 3 に、断面修復材の配合を表-4 に、その使用材料を表-5 に示す。実験は表-2 に示すように3つのシリーズに分けて実施した。以下にその内容を述べる。なお、実験は全て20℃の室内環境で実施した。

### 2.1 シリーズ I の実験内容

附着強度試験は JSCE K 561 に準拠することとし、シリーズ I では主に断面修復材のポリマー水結合材比と養生条件を変えた実験を行った。

基盤コンクリートを W/C50% で作製し、水中養生した。基盤の表面 (打ち込み面) は 180 番研磨紙 (規準では 150 番研磨紙とあるが、使用したベルトサンダーに使用でき

る研磨紙に 150 番が無かったことから直近のものを使用した) で十分に研磨した。この条件ではコンクリート表面は滑らかな平面となることから以後「平滑」と称する。断面修復材の塗布は基盤作製後、養生日数 28 日経過以降に行った。断面修復材塗布の 10 分程度前に基盤の表面に水湿しを施し、表面の浮き水をウエスで拭った状態で断面修復材を塗布した。

断面修復材は水結合材比 45% のセメントモルタルまたはポリマーセメントモルタルとし、ポリマー結合材比は 0, 2, 5% の 3 水準とした。また、いずれの配合にも膨張材と繊維を混入した。この断面修復材を金コテを

使って、基盤コンクリート表面に強く擦り付けるように塗布し、最終的に厚さ 10mm で仕上げた。

施工後の養生方法としては、(1) 施工現場では十分な養生ができない状況を想定して表面にラップをかけただけで気乾状態、(2) 90%RH 以上の条件で 28 日間養生、(3) 水中で 28 日間養生の 3 水準とした。

28 日の養生終了後にコアリング機によって補修面上面から基盤に達するまで円形の切込みを入れ、建研式接着力試験器によって付着強度を測定した。

また、基盤コンクリートおよび断面修復材で円柱供試体（コンクリートは  $\phi 100\text{mm}$ 、モルタルは  $\phi 50\text{mm}$ ）を作製し、圧縮強度試験（水中養生 28 日）を実施した。さらに、断面修復材の  $100 \times 100 \times 400\text{mm}$  供試体にひずみ計を埋設し、封緘状態でのひずみ変化を測定した。

## 2.2 シリーズⅡの実験内容

シリーズⅡでは、シリーズⅠと同様に図-1 に示す方法で実験を行うこととし、主に基盤コンクリートの品質と表面の粗度を変えた実験を行った。すなわち、基盤の W/C を 35, 50, 65% の 3 水準（W/C65% はモルタル配合）とし、表面（打ち込み面）の粗度については研磨紙による平滑の他に、写真-1 に示すジェットタガネ（タガネのロッド寸法  $\phi 2\text{mm}$ ）によって表面から 1~3mm 程度をはつき取って凹凸を付けたものの 2 種類とした。なお、使用したジェットタガネは小型のもので、打撃の衝撃で基盤コンクリート中にクラックが入り、付着強度が大きく低下するようなものではなかった。

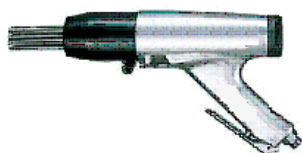


写真-1 ジェットタガネ

シリーズⅠのラップのみの養生で良好な付着強度が得られなかったことから、シリーズⅡの養生方法としては、断面修復材施工後に表面にラップをかけ、更に試験体をビニール袋で包み、ビニール袋内に水滴が付着する程度に霧吹きで散水してビニール袋内の湿度を 100%RH に近い状態とした。この状態で 7 日間養生した後にビニール袋から取り出して付着強度試験を実施した。

断面修復材の配合はシリーズⅠの P0, P5 とほぼ同じとしたが、養生終了後からの乾燥の影響を考慮して、収縮低減剤を添加した。

## 2.3 シリーズⅢの実験内容

シリーズⅢでは、主に断面修復材塗布前の事前処理として水湿しとプライマー処理の比較と、養生日数の比較

を行った。

$100 \times 100 \times 400\text{mm}$  の角柱供試体作製の型枠を使用し、型枠底面に厚さ 12mm の型枠用合板を敷いた状態で基盤コンクリートを打設した（図-2）。基盤コンクリートの W/C は 35, 50, 65% の 3 水準とした。シリーズⅠと同様に養生終了後に打ち込み面を研磨紙で平滑とし、再び型枠内に配置した。

基盤表面の事前処理として、水湿しの他に、プライマー処理を施したケースを設定した。プライマーはアクリル樹脂系の水溶性ポリマー（固形分率 18%）であり、約  $80\text{g/m}^2$  を基盤表面に散布し、乾燥した後に断面修復材を塗布した。

養生日数と事前処理の影響を明確に捉えるために、断面補修材の配合としては、ポリマーや収縮低減剤を含まない配合（P0）と同等のものとした。ただし、使用する細骨材の品質がやや変化した関係で、配合を微修正した。

断面修復材の施工後の養生方法としては湿布養生とし、養生期間を 0, 1, 2, 7 日間と変化させた。湿布養生後は材齢 7 日までは湿度 40%RH、その後は 60%RH の環境で気乾養生とし、材齢 14 日以降に付着強度試験を実施した。

また、圧縮強度試験用の円柱供試体（ $\phi 50\text{mm}$ ）を作製し、湿布養生を行い、材齢 1, 2, 7, 28 日時点で圧縮強度試験を実施した。

## 3. 実験結果

### 3.1 基盤および断面修復材の強度特性

基盤コンクリートと断面修復材 P0, P2, P5 の水中養生材齢 28 日の圧縮強度を図-3 に示す。これによると基盤コンクリートの強度は当然ながら W/C が小さいものほど高くなった。断面修復材（W/C45%）の強度は基盤の W/C35% と W/C50% の間であった。ポリマー結合材比が高くなるほど圧縮強度はやや低下する傾向を示した。

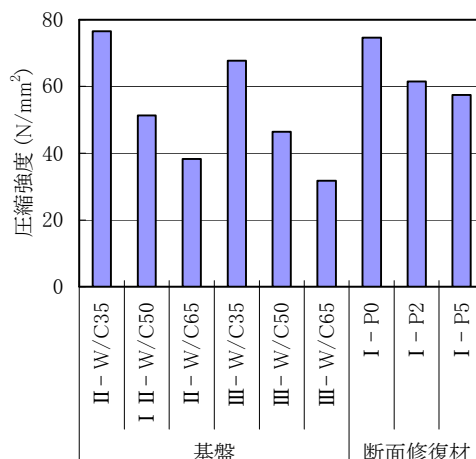


図-3 圧縮強度試験結果

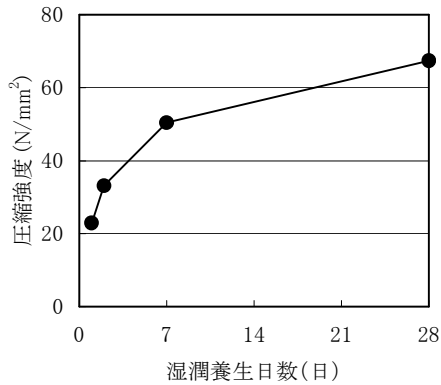


図-4 断面修復材P0”の材齢と強度の関係

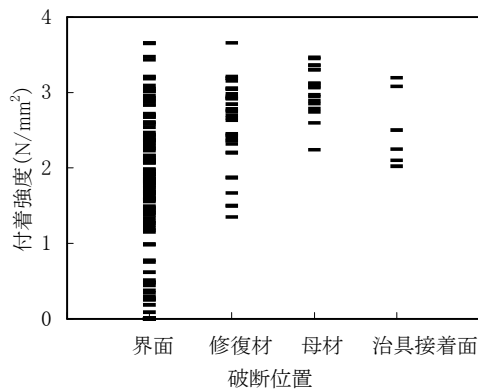


図-5 破断位置と付着強度との関係

図-4は断面修復材P0”における湿布養生日数と圧縮強度の関係を示したものであるが、強度は材齢とともに増加する傾向を示している。初期材齢での強度は低く、材齢1日程度では基盤コンクリートの強度よりも低い結果となっている。

### 3.2 付着強度試験の破断位置と強度の関係

付着強度試験結果について、破断位置と測定された強度との関係を図-5に示す。母材と修復材との界面で破断した強度値が幅広く分布しており、それ以外の部分での破断は概ね2N/mm<sup>2</sup>以上の比較的高い強度領域で発生していた。界面以外で破断した場合でも、界面の強度はそれ以上であることは明らかなので、全てのデータを付着強度として採用した。

付着強度試験は図-1、2に示すように1基盤あたり5～6箇所で行っており、基盤ごとの平均値を求めた。

### 3.3 シリーズⅠの実験結果

図-6に付着強度の試験結果を示す。養生条件に関しては、ラップのみの条件での付着強度が低く、水中または90%RH以上で28日間養生した条件での付着強度は高くなった。ポリマーの影響については、ポリマー結合材比が大きくなるほど、付着強度がやや大きくなり、養生条件の影響が小さくなる傾向を示した。

### 3.4 シリーズⅡの実験結果

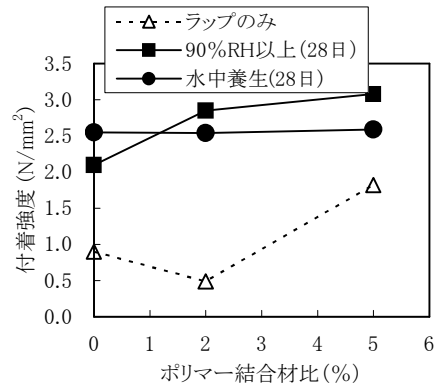


図-6 シリーズⅠの付着強度試験結果

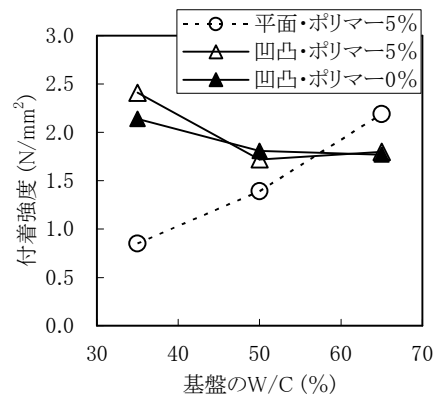


図-7 シリーズⅡの付着強度試験結果

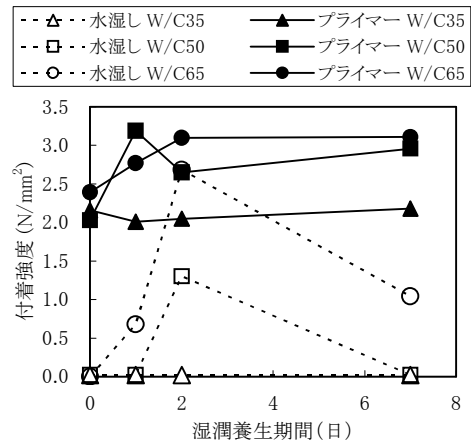


図-8 シリーズⅢの付着強度試験結果

付着強度試験結果を図-7に示す。凹凸の有無によって傾向が異なり、平滑の場合では、ポリマーが5%混入されている配合でも、基盤のW/Cが小さい場合には付着強度が低下する傾向を示した。凹凸をつけたケースではいずれも1.5N/mm<sup>2</sup>以上の付着強度を示し、基盤のW/Cが低いものほど付着強度がやや高くなる傾向を示した。なお、ポリマーの有無による差は認められなかった。

### 3.5 シリーズⅢの実験結果

付着強度試験結果を図-8に示すが、事前処理が水湿しかプライマーかで、付着強度が大きく異なる結果となった。プライマーの結果では、養生日数によらず

2.0N/mm<sup>2</sup>以上の高い付着強度を示した。これに対して水湿しの場合の付着強度は低い結果となった。養生日数2日の条件で付着強度が発現しているものがある一方で、養生日数7日でも剥離してしまうものがあるなど、不安定な試験結果となった。

基盤のW/Cの影響をみると、プライマー、水湿しともに、W/Cが小さいものほど付着強度が低くなる傾向を示した。

#### 4. 考察

ここまで、実験シリーズごとに結果を示してきたが、ここでは試験結果を包括的に捉え、付着強度試験のデータのバラツキについて考察した後に、基盤の粗度、水湿しとプライマー処理の比較、ポリマーの効果、養生の効果について考察する。

##### 4.1 付着強度試験結果におけるデータのばらつき

図-1および図-2に示すように付着強度試験は1試験体あたり6箇所または5箇所実施している。その付着強度の平均値とデータの最大-最小の範囲との関係を整理したものを図-9に示す。

これによると、平均値の大小によってデータの分布に異なる特徴が認められた。今回の実験結果の範囲では、平均値の値が1.5N/mm<sup>2</sup>以下の範囲ではバラツキの幅が大きく、最低付着強度は0に近いものが多かった。すなわち、この強度範囲では、付着面の強度が不安定であったと言える。これに対して平均値の値が1.5N/mm<sup>2</sup>以上の範囲ではバラツキの幅はそれほど小さくなく、比較的安定した付着強度が測定されている。

##### 4.2 断面修復材の膨張作用と基盤の粗度

表-2には、付着強度試験の結果として、表の凡例に示すような区分で×△○◎を付して整理した。これより、基盤表面を平滑とした条件において、安定した付着強度(○◎)が得られたのは主にI-4~9の水中養生または湿潤養生を28日間実施したケースと、III-5~8のプライマー処理を施したケースであり、その他のケースでは不安定な付着強度となった。

断面修復材には膨張材を混和していることから、図-10に示すように材齢5日程度まで膨張が続いており、これによって基盤表面が平滑の条件では界面にズレが生じて付着強度が低下した可能性が考えられる。この可能性に関しては、今後詳細な検討を行う必要がある。

また、基盤表面が平滑の条件では図-8に示すように基盤のW/Cが小さいものほど付着強度が低くなる傾向を示した。この原因としては、基盤表面の微視的な平滑度の違いが考えられる。付着強度試験後に基盤側の付着面の拡大写真を撮影した。写真-2が「W/C65%-平滑」、写真-3が「W/C35%-平滑」の条件である。W/C65%

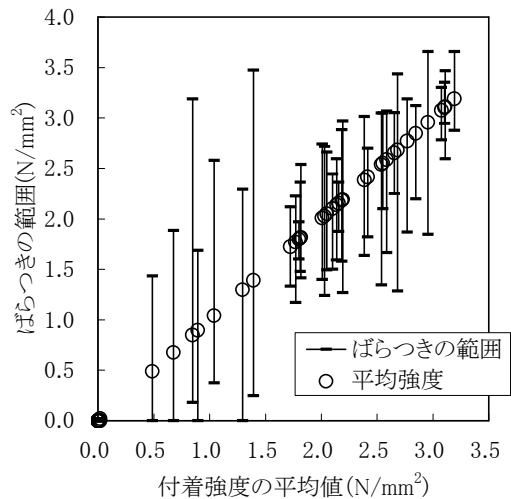


図-9 付着強度試験結果のバラツキ

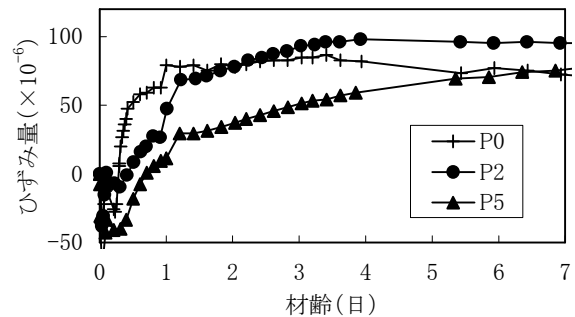


図-10 断面修復材のひずみ測定結果

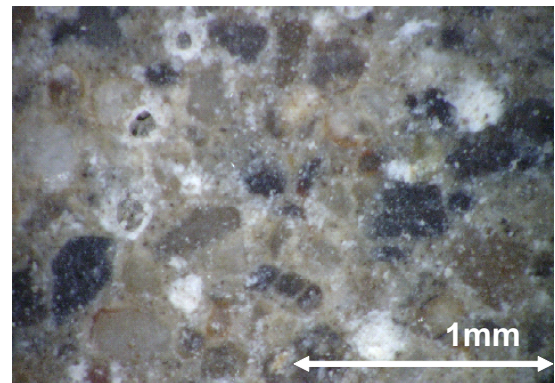


写真-2 「W/C65%-平滑」の付着面

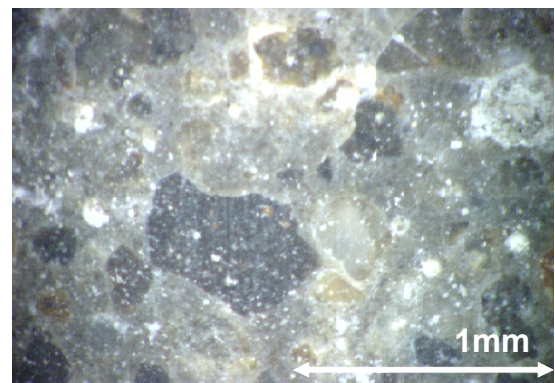


写真-3 「W/C35%-平滑」の付着面

では砂の粒子の凹凸が表面に表れており、窪みに白色の

断面修復材の付着物が確認できる。これに対して W/C35 %では、砂の粒子までも平坦に削られている。すなわち、同じ研磨紙による研磨であっても低水セメント比のほうがツルツルとした平滑面となりやすく、この平滑性の違いが付着強度に影響を与えた可能性が考えられる。

基盤の表面に凹凸を付けたケースでは、いずれのケースでも付着強度は高く、図-7の実線に示すように特に基盤の W/C が小さいものほど付着強度がやや高くなる傾向を示した。断面修復材の強度と付着強度が高い場合には、基盤の強度による差が出るものと考えられる。

基盤の表面を平滑とする条件は表-1に示すように、いくつかの試験規格において規準として定められているが、上記のように、特に低 W/C の基盤コンクリートを用いる場合は、平滑性が極めて高くなる可能性があり、断面修復材を施工する現場のコンクリート面とは異なった条件となることに留意が必要である。

#### 4.3 水湿しとプライマー処理の比較

事前処理の方法として水湿しとプライマー処理の2つの方法を設定したが、その違いは図-8に顕著に表れている。基盤表面が平滑の条件であっても、プライマー処理を施したケースでは、高い付着強度を示した。

プライマーの効果としては、断面修復材のフレッシュ時の水分が基盤に吸水されるドライアウトを防止する効果が知られているが<sup>1)2)</sup>、断面収縮材の初期材齢における膨張変形等に対してプライマーの層が緩衝材となって剝離を防止したことも予想される。

#### 4.4 ポリマーの効果

今回の実験では断面修復材のポリマー結合材比を0, 2, 5%とした。その効果は図-6で確認できる。養生条件が「ラップのみ」のケースで、ポリマー0%のケースでは付着強度が小さかったが、ポリマーを5%混入することで付着強度がやや増加する傾向を示した。しかしながら、ポリマーの混入が付着強度の改善に与える効果は、基盤の粗度の違いやプライマー処理の効果に比較すると小さいものと考えられる。

#### 4.5 養生の効果

今回の実験では表-2に示すように様々な養生条件を設定した。表中の「90%RH」と「湿布」は類似した条件と考えられる。

シリーズⅢ-1~4のように、「平滑-水湿し」の条件で、ポリマー0%の配合では、湿布養生を7日まで行っても安定した付着強度は得られなかった。ただし、シリーズⅠ-4の90%RHで28日養生のケースでは高い付着強度を示しており、膨張が終了した後の湿潤養生が付着強度の発現に寄与した可能性が考えられる。

基盤の表面に凹凸を設けたシリーズⅡ-2,3 やプライマー処理を施したシリーズⅢ-5~8 では、1週間以下の湿

潤養生で高い付着強度を示した。特にプライマー処理を施したケースでは図-8に示すように養生期間にあまり関係なく高い付着強度を示した。ただし、養生日数0日の付着強度がやや低い傾向にあり、この段階での付着試験の破断状況は、破断位置が付着面ではなく断面修復材部分であるものがほとんどであった。図-4に示すように養生期間が短い場合には断面修復材の強度が十分に発現していないためと考えられる。

### 5. まとめと今後の課題

本実験の範囲では以下の結果が得られた。

- (1) 平均付着強度がおよそ  $1.5\text{N/mm}^2$  以下の場合では付着強度のばらつきが大きかった。
- (2) 基盤の表面を研磨紙で研磨して平滑とし、水湿しをしたケースでは、安定した付着強度が発現しにくい結果となった。
- (3) 基盤の表面にジェットタガネで凹凸をつけたケースでは高い付着強度が得られた。
- (4) 基盤の表面が平滑であってもプライマー処理を施すことで、高い付着強度が得られた。
- (5) 断面修復材にポリマーを混入することで、付着強度はやや向上する傾向が見られた。
- (6) 養生方法と養生期間が付着強度に与える影響は、条件によって様々であったが、プライマー処理を行ったケースでは養生期間が短くても良好な付着強度を示した。
- (7) 断面修復材に含まれる膨張材による膨張作用等が付着強度に与える影響についての検討が必要である。

#### 参考文献

- 1) (社)セメント協会：すぐに役立つセメント系補修・補強材料の基礎知識第2版, 技報堂出版株式会社, 2011
- 2) たとえば, 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, Vol.25, No.1, pp.1506-1510, 2003
- 3) 一般財団法人日本規格協会：JIS A 1171 ポリマーセメントモルタルの試験方法, 2000
- 4) 公益社団法人土木学会：JSCE-K 561 コンクリート構造物用断面修復材の試験方法(案), 2010
- 5) (株)高速道路総合技術研究所：NEXCO 試験法 432 断面修復用吹付けモルタルの試験方法, 2012
- 6) The European Standard, EN-1504-3 Products and systems for the protection and repair of concrete structures, Part 3:Structural and non-structural repair, 2005
- 7) 榊原 弘幸, 佐々木 孝彦：ポリマーセメントモルタルの接着強度に及ぼすコンクリート下地処理法の影響, 材料, Vol.52, No.9, pp.1082-1088, Sep.2003