

報告 片引き試験による断面修復材の付着強度試験方法に関する検討

川上 明大*¹・片平 博*²・渡辺 博志*³

要旨：劣化したコンクリート構造物の補修には、断面修復材が多く使用されている。断面修復材には、下地コンクリートとの良好な付着性能が求められる。現在、付着強度の測定は、簡易に評価が可能な片引き接着力試験器が広く利用されているが、付着試験面積、形状、載荷速度等の試験条件が必ずしも明確に定められていない。そこで、試験方法の違いが付着強度に及ぼす影響を検討した。その結果、下地にプライマー処理を行った場合、付着試験面積、形状、切込み条件による付着強度の差は生じなかったが、水湿し処理の場合、試験前に行う切込み条件の違いにより差が生じた。また、載荷速度の影響は、コンクリートの引張強度に類似した傾向であった。

キーワード：付着強度、片引き試験、接着力試験器、試験条件、載荷速度

1. はじめに

既存コンクリート構造物を適切に維持管理し、社会資本の長寿命化が必要な時代となっている。そのような社会情勢の中で、劣化したコンクリート構造物を補修する方法として、断面修復工法が多く用いられている。補修に使用する断面修復材には、施工性能、硬化性能、耐久性に加え、下地コンクリートとの良好な付着性能が求められる。

付着強度の測定には、**図-1**に示すような簡便な片引き接着力試験器が広く使用されており、補修現場での付着強度管理等にも普及している。これまで、片引き接着力試験器を用いて、下地コンクリートの付着面の表面粗さや下地処理方法が付着強度へ及ぼす影響について報告してきた¹⁾²⁾。

一方で、片引き接着力試験器を使用する際の試験方法については、既存の規格を参考にして実施しているケースが多い。例えば、付着試験面積、形状については、JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」に示されている特殊な治具を使用した両引き付着強度試験方法を参考に□40mmで実施される場合やJSCE-K 561「コンクリート構造物補修用断面修復材の試験方法(案)」に示されているφ50mm以上で実施される場合などが見られる。載荷速度については、JIS A 1171に示されている試験方法では、毎分1,500~2,000N(≒0.02N/mm²/sec)と規定されているものの、片引き付着強度試験に関しては、明確に規定されていないのが現状である。そこで、本実験では、片引き接着力試験器を使用した場合の付着試験面積、形状、切込み条件および載荷速度が断面修復材の付着強度に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験方法

2. 1 下地コンクリートの作製

下地コンクリートの配合、フレッシュ性状および硬化性状を表-1に示す。骨材には硬質砂岩(絶乾密度2.65g/cm³)、細骨材には川砂(絶乾密度2.57g/cm³)を使用した。下地コンクリートは、100×100×400mm鋼製型枠に、天端より12mm低い位置までコンクリートを打ち込むことで作製した。

既報の実験結果から、付着強度は、下地コンクリートの表面粗さの影響を受けることがわかっている。本実験では、**写真-1**に示す2種類の表面粗さを選択した。洗出しは、ウォータージェット処理、砂目は、ブラスト処理を想定したものである¹⁾。

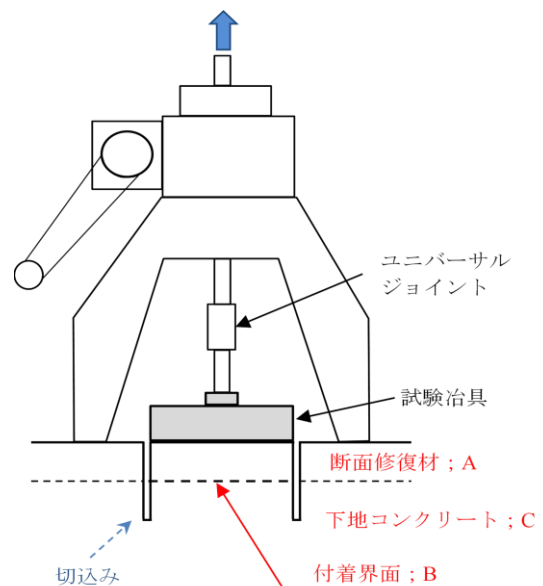


図-1 片引き接着力試験器の概要と破断位置の分類

*1 国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ 交流研究員 (正会員)

*2 国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ 主任研究員 (正会員)

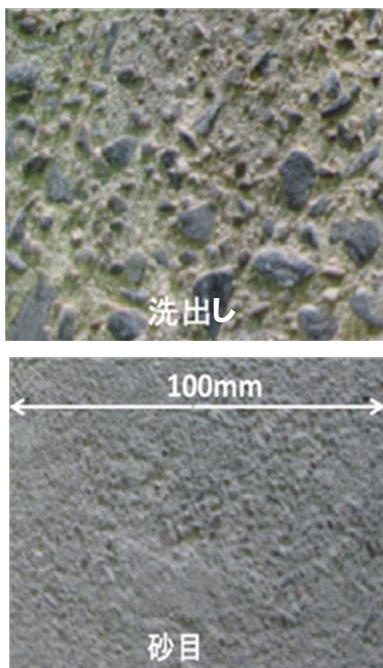
*3 国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ グループ長 (正会員)

表－1 下地コンクリートの配合

Gmax (mm)	W/C (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					フレッシュ性状		硬化性状		
			水	普通セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)	引張割裂強度 (N/mm ²)
20	50	45	172	344	779	988	0.87	12.1	4.9	46.4	32.6	3.5

表－2 断面修復材の配合

水結合材比 (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)							硬化性状		
		水	結合材		石灰石微粉末	細骨材	ビニロン繊維	収縮低減剤	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)	引張割裂強度 (N/mm ²)
			早強セメント	膨張材							
46	3	356	744	30	244	712	2.6	16.7	58.4	23.4	3.0

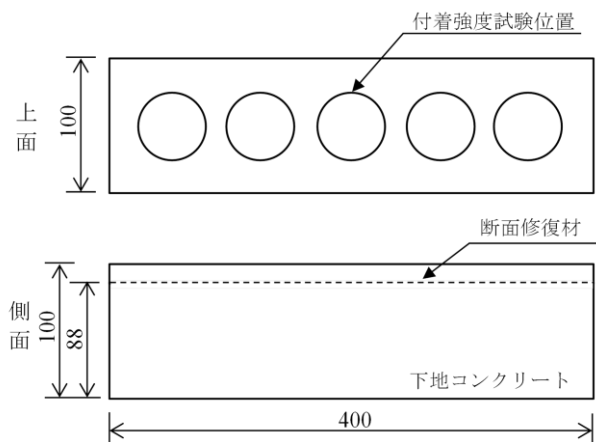


写真－1 下地コンクリートの表面粗さの状況

表－3 断面修復材の使用材料

水	水道水
セメント	早強ポルトランドセメント
石灰石微粉末	密度 ; 2.70g/cm ³
	湿分 ; 0.05%
	45μmふるい残分 ; 4%
細骨材	川砂 (絶乾密度 ; 2.56g/cm ³)
繊維	ビニロン繊維 Lf=6mm
膨張材	石灰系 低添加型
収縮低減剤	特殊ノニオン系収縮低減剤

洗出しは、下地コンクリートを打込み後、打継ぎ面に超遅延剤を 300ml/m² 塗布し、翌日、ペースト部分を水で



図－2 試験体形状の一例 (単位 ; mm)

洗出して作製した。一方、砂目は、下地コンクリートの凝結を見計らい、砂の粒子が露出する程度にたわしで表面を軽く撫でて作製した。

表面粗さを調整した下地コンクリートは、水中養生を28日間実施した後、約4ヶ月間、20～30℃の室温環境下で乾燥させ、長さ変化が概ね収束した状態とした。

2. 2 断面修復材の配合と打込み

打継ぎに使用した断面修復材の配合、硬化性状を表－2、使用した材料を表－3に示す。配合は、市販の断面修復材を模擬し、膨張材、収縮低減剤、短繊維を添加した。また、断面修復材には、付着強度向上を目的の一つとしてポリマーを添加するケースが多い。しかし、本実験では、試験方法が付着強度に及ぼす影響を確認する観点から、ポリマー添加による付着強度差の縮小を避けるため、ポリマーを無添加とした。

下地コンクリートは、100×100×400mm 鋼製型枠に再度設置し、下地処理を実施した。断面修復材を打継ぐ場合、下地コンクリートの乾燥状態が付着強度に大きな影響を及ぼすことがわかっている。これは、付着界面で断面修復材の水分が下地コンクリートに奪われ、付着界面に近

表-4 実験要因

条件	下地コンクリートの表面粗さ	下地処理	荷速度 (N/mm ² /sec)	付着試験面積および形状		
				□40mm (1,600mm ²)	φ 50mm (1,963mm ²)	φ 62mm (3,019mm ²)
付着試験面積・形状 乾式/湿式コア	洗出し	プライマー処理	0.02	○	●	○/●
		水湿し処理		○	●	○/●
	砂目	水湿し処理		○	●	●
荷速度	洗出し	プライマー処理	0.004		●	
			0.02		●	
			0.1		●	
		水湿し処理	0.004		●	
			0.02		●	
			0.1		●	

○;乾式切込み ●;湿式切込み

い位置の断面修復材中のセメント水和が不十分となる現象（ドライアウト）によるものとの報告がある³⁾。本実験では、ドライアウトを防止する方法として、プライマー処理、または水湿し処理の2種類の下地処理を施した。

プライマー処理は、下地コンクリートの表面にアクリル系のエマルジョン（固形分15%）を刷毛で80g/m²塗布し、自然乾燥させた。水湿し処理は、断面修復材打込みの約30分前に、下地コンクリートの表面に霧吹きで散水して十分に湿らせ、断面修復材の打込み直前にウエスで余剰水を拭き取った。

次に、20℃の室内環境で表-2に示す断面修復材をミキサで練混ぜ、コテを使用し、下地コンクリートに擦り付けるように断面修復材を打ち込み、試験体を作製した。断面修復材の施工厚さは、12mmとした。作製完了後の試験体形状を図-2に示す。

2.3 実験要因

実験要因を表-4に示す。付着試験面積、形状の影響は、□40mm、φ50mm、φ62mmで比較した。これらの条件は、各規格を参考に決定した。□40mmは、JIS A 1171より、φ50mm、φ62mmは、JSCE-K 561より引用した。なお、φ62mmは、所有する片引き接着剤試験器の能力で試験可能な上限の寸法として定めた。切込みには、□40mmは、乾式ハンドカッター、φ50mm、φ62mmは、湿式コアマシンを使用した。また、表面粗さが洗出しの条件で、φ62mmについては、乾式コアマシンでの切込みも行ない、乾式コアと湿式コアによる違いを比較した。

荷速度の影響は、0.004N/mm²/sec、0.02N/mm²/sec、0.1N/mm²/secで比較した。これらの条件は、JIS A 1171で規定されている荷速度0.02N/mm²/secを中心とし、低速側を5分の1の0.004N/mm²/sec、高速側を5倍の0.1N/mm²/secとした。

2.4 付着強度試験

下地コンクリートに断面修復材を打継ぎ、20℃で7日間湿布養生を行い、その後21日間は気乾状態（20℃、60%R.H）で保管した。その後、図-1に示すように、ハンドカッター、コアマシンで付着界面から深さ10mm程度まで切込みを入れ、表層をケレン掛けした後、試験治具をエポキシ系接着剤で接着して、図-1に示す片引き接着剤試験器で付着強度試験を行った。試験体の本数は、各条件1本とし、1本につき5箇所付着強度試験を実施した。

2.5 破断位置の確認

付着強度試験後の破断位置の分類を図-1に示す。破断位置の確認は、目視で行った。破断位置は、断面修復材での破断、断面修復材と下地コンクリートの付着界面破断、下地コンクリートでの破断の3パターンとし、それぞれの面積割合を求めた。

3. 実験結果

3.1 付着試験の面積と形状の影響

付着強度試験結果を図-3、破断位置の面積割合を図-4に示す。「洗出し/プライマー処理」の条件では、3水準の付着試験面積、形状の付着強度の平均は、すべて2N/mm²以上で良好な結果であった。φ50mmで付着強度が非常に高い箇所が1箇所あったが、これを特異点として除外した場合、どの水準もほぼ同等の付着強度であった。「洗出し/水湿し処理」の条件では、φ50mmの値がやや低かった。「砂目/水湿し処理」の場合、φ50mmでは、切込み時に2箇所付着界面での剥離が生じ、付着強度の平均は低く、破断位置は、全て付着界面であった。付着強度のばらつきは、□40mm、φ50mmに比べ、φ62mmでは若干小さくなる傾向が見られた。

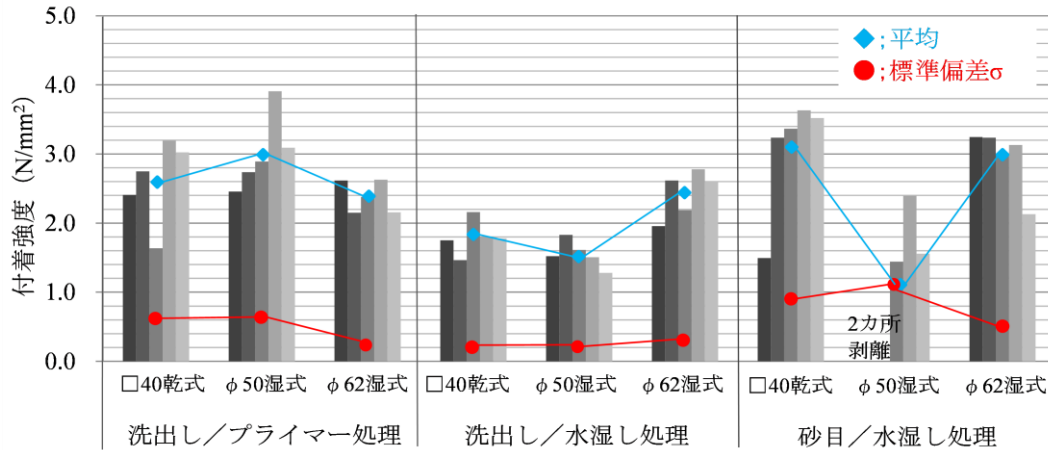


図-3 付着強度試験結果 (付着試験面積, 形状)

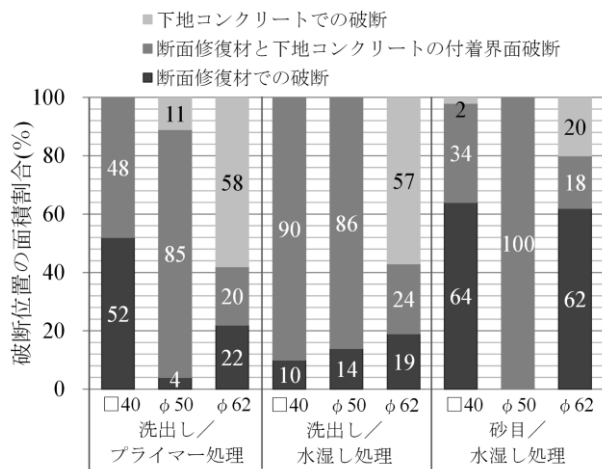


図-4 破断位置の面積割合 (付着試験面積, 形状)

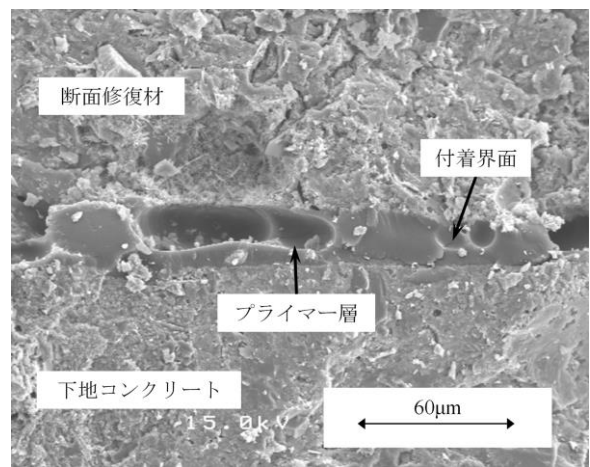


写真-2 付着界面の SEM 写真 (プライマー処理)

このように、付着試験の面積、形状の違いが付着強度に及ぼす影響は、プライマー処理では、顕著な違いが認められなかったが、水湿し処理では、違いが認められた。プライマー処理の付着強度は高かったのに対して、水湿し処理の一部で剥離が起り、差が生じた要因を検討するため、プライマー処理の有無に着目し、付着界面の状況を走査型電子顕微鏡で観察した。観察に用いた試験体は、プライマー処理と水湿し処理の付着界面の違いをより見やすくするため、下地コンクリートの施工面の表面粗さを平滑仕上げ (#180 研磨紙により研磨) とし、断面修復材を施工して作製した。

プライマー処理の付着界面を写真-2、水湿し処理の付着界面を写真-3に示す。電子顕微鏡の画像から、プライマー処理と水湿し処理とでは、界面の状況に違いがあることが認められた。水湿し処理の場合では、断面修復材の施工後の付着界面に一部でわずかな隙間の生じている箇所が確認された。一方、プライマー処理を行った試験体は、厚さ 20~30 μm 程度のプライマー層により下地コンクリートと断面修復材が密着している状態が確認

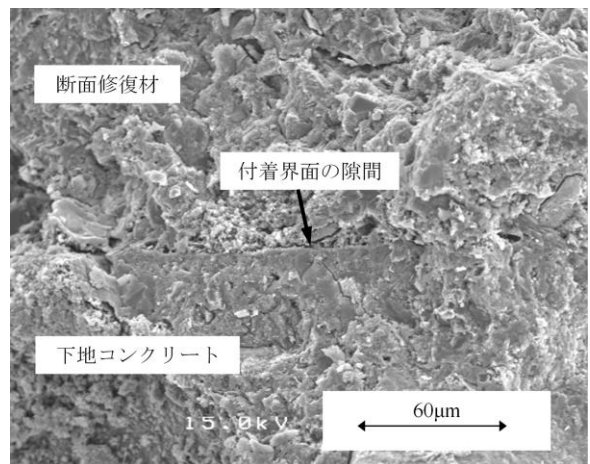


写真-3 付着界面の SEM 写真 (水湿し処理)

できた。このプライマー層は、アクリル系エマルジョンであることから、変形追従性が高く、せん断力等による付着界面への悪影響を低減させる特性があると考えられる²⁾。

このように、水湿し処理では、付着界面に生じた一部

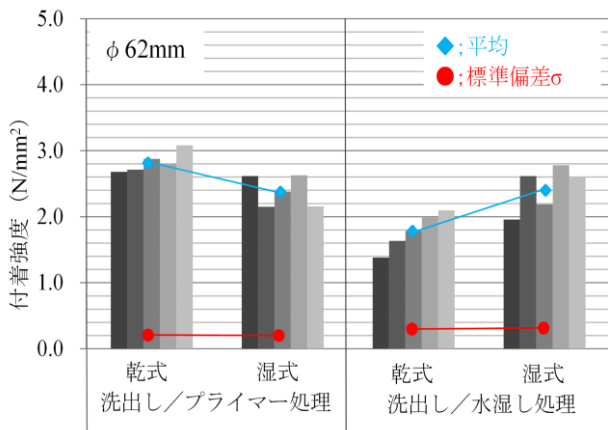


図-5 付着強度試験結果 (コア削孔の比較)

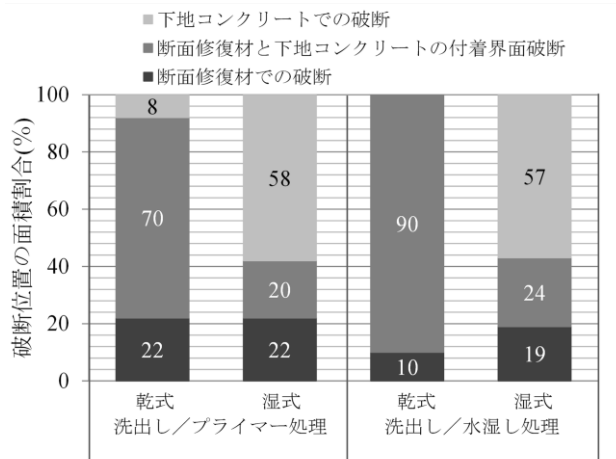


図-6 破断位置の面積割合 (コア削孔の比較)

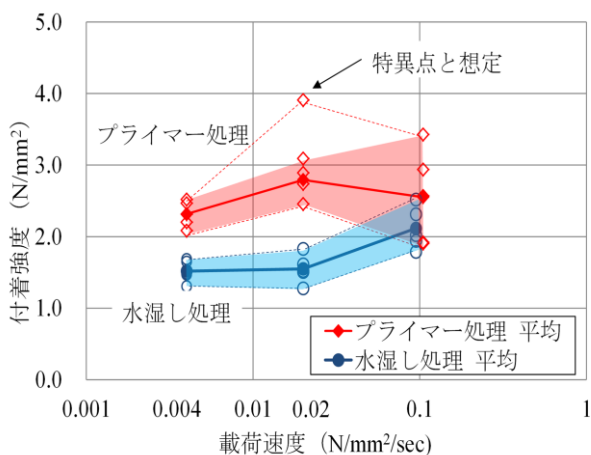


図-7 載荷速度と付着強度の関係

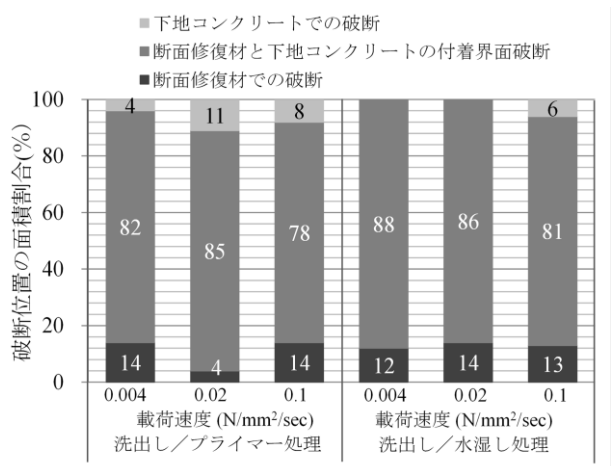


図-8 破断位置の面積割合 (載荷速度)

のわずかな隙間が、付着界面に作用する負荷の程度によっては、より大きな損傷に誘導される場合も考えられ、付着試験面積や形状による切込み条件の違いによって、付着強度に差が生じることも想定される。

3.2 コア削孔での乾式と湿式の比較

付着強度試験結果を図-5、破断位置の面積割合を図-6に示す。切込み条件の違いとして、φ62mmで乾式コアと湿式コアの比較を行った。プライマー処理の場合、乾式コア、湿式コアともに付着強度の平均は、2N/mm²以上であり、ほぼ同等の付着性能であると考えられる。水湿し処理の場合、付着強度の平均は、乾式コアでは、1.8N/mm²、湿式コアでは、2.4N/mm²であった。各条件において、付着強度のばらつきは、比較的小さかった。破断位置は、水湿し処理の乾式コアで付着界面での破断割合が高くなった。プライマー処理では、写真-2に示した変形追従性の高いプライマー層が存在することで、切込み操作による負荷が緩和され、2N/mm²以上の安定した付着強度が得られたものと推察される。水湿し処理では、乾式コアの場合、湿式コアに比較して付着界面にか

かる負荷が大きく、付着強度に悪影響を与えた可能性が考えられる。

3.3 載荷速度の影響

載荷速度と付着強度の関係を図-7に示す。図-7中の網掛けは、プライマー処理の0.02N/mm²/secで付着強度が高かった1点を特異点として除外して、各載荷速度での付着強度の範囲を示している。プライマー処理の場合、0.004N/mm²/secから0.02N/mm²/secでは、付着強度が高くなり、0.1N/mm²/secでは、ばらつきが大きくなる傾向が見られた。一方、水湿し処理の場合、0.004N/mm²/secと0.02N/mm²/secでは、付着強度に大きな差は見られず、0.1N/mm²/secでは付着強度が高くなる傾向であった。破断位置の面積割合を図-8に示す。破断位置については、載荷速度の違いによる差は、見られなかった。

一般的に、コンクリートの引張強度は、載荷速度の影響を受けることが知られており、載荷速度の低下に伴って、引張強度も低下することが知られている。下地コンクリートと断面修復材の付着強度についても、類似した

傾向があることが確認できた⁴⁾。

4. まとめ

片引き接着力試験器を使用して、試験方法が断面修復材の付着強度に及ぼす影響について検討を行った結果、以下の結果が得られた。

- (1) 付着試験面積、形状の影響を比較したところ、プライマー処理では、付着強度に差は生じなかったが、水湿し処理では、付着強度に差が生じた。
- (2) 水湿し処理の付着界面を走査型電子顕微鏡で確認したところ、一部にわずかながら隙間が確認された。切込み時にこの隙間にかかる負荷により、プライマー層を形成していない場合には付着強度に差が生じる可能性がある。
- (3) 切込み時の乾式コアと湿式コアの影響を比較したところ、水湿し処理の場合、付着強度は、乾式コアのほうが低くなる傾向が見られた。
- (4) 載荷速度の影響を比較したところ、コンクリートの引張強度に類似した傾向が見られた。

参考文献

- 1) 片平博, 渡辺博志: 付着面の表面粗さが断面修復材の付着強度に与える影響: 日本材料学会アップグレードシンポジウム論文集, 1030, 2014
- 2) 渡邊健治, 片平博, 渡辺博志: 断面修復材の寸法安定性が付着強度に与える影響: 日本材料学会アップグレードシンポジウム論文集, 1030, 2013
- 3) 榊原弘幸他: ポリマーセメントモルタルの付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, pp.1082-1088, 2003.7
- 4) 鈴木雅博, 河野広隆, 渡辺博志, 田中良樹: コンクリートの引張強度に及ぼす載荷速度の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.649-654, 1999.6