

論文 補修・補強材料としてのポリマーセメントモルタルの付着性状

高瀬 誠司*1, 小玉 克巳*2, 栗原 哲彦*3, 佐藤 貢一*4

要旨: 補修・補強材料としてポリマーセメントモルタルを用い、打継ぎ面(付着界面)の付着性状に影響を及ぼす表面粗さを、フラクタル次元、表面積、中心線平均粗さにより定量的に評価し、付着性状に及ぼす影響を検討した。その結果、各評価方法において処理表面の粗さが粗くなるほど、曲げ、せん断、付着強度は増加した。また、引張軟化曲線、破壊エネルギーを推定することで、材料固有の特性を明らかにすると同時に、補修・補強材料の評価方法として用いることができることを明らかにした。

キーワード: ポリマーセメントモルタル、付着性状、表面粗さ、破壊エネルギー

1. はじめに

道路構造物においては、交通車両の大型化や、車両の増大に伴う繰り返し荷重による疲労劣化や、設計要領の改訂、外的環境に起因する劣化作用により耐久性・耐荷性が低下していることが予測される。

劣化した構造物は、補修・補強を施し健全化を図る必要がある。例えば、床版の補強工法の一つに下面増厚工法がある。この工法は、劣化した床版の下面をはつり、コンクリートを健全な状態にし、ポリマーセメントモルタルを吹付ける工法である。ここで、補修・補強材料としてのポリマーセメントモルタルに要求される性能に付着強度を上げることができる。補修・補強材料の付着性状は材料固有の付着強度だけでなく、打継ぎ面(付着界面)の表面処理方法にも大きく影響を受ける。そこで、表面の粗さと打継ぎ部の性能について多くの研究が進められている^{1,2)}。

本研究では、ポリマーセメントモルタルを用い、現場施工を想定した表面処理方法を実施し、処理面の表面粗さを定量的に評価し、ポリマーセメントモルタルの付着性状の評価を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

曲げ付着試験に用いた供試体は、中央部に鉛直打継ぎ部を設けたはり供試体とした。寸法は10×10×40cmとした(図-1(a)参照)。

せん断付着試験では、供試体中央に10×10×10cmのコンクリート供試体を配置し、その両端にポリマーセメントモルタルを打設し10×10×40cmのはり供試体を作製した(図-1(b)参照)。

付着強度試験には、JIS A 5304に準拠した30×30×5cmの標準試験板を用い、ポリマーセメントモルタルを2cm程度の厚さで塗布した(図-1(c)参照)。

母材コンクリートの打継ぎ面及び標準試験板の表面はあらかじめ、表-1に示すような処理を施した。母材コンクリートの打継ぎ面にはサンドブラスト、ウォータージェットの処理を、標準試験板にはサンドブラスト、ウォータージェット、サンダーの各処理を施した。

2.2 使用材料

ポリマーセメントモルタルは、アクリル系ポリマーセメントモルタル2種(以下P1,P2)、ポリ

*1 武蔵工業大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (正会員)

*2 武蔵工業大学教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

*3 武蔵工業大学講師 工学部土木工学科 博士(工学) (正会員)

*4 奈良建設(株) 建設事業部 技術研究所 主任研究員 (正会員)

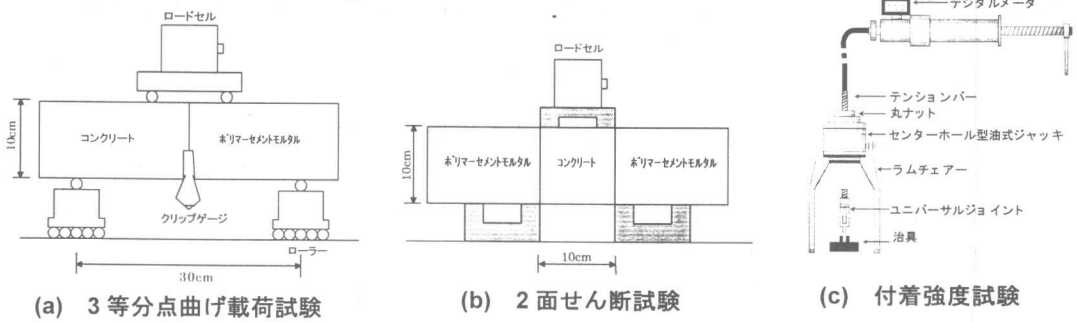


図-1 各試験概略図

表-1 表面処理方法および実施試験一覧

処理方法	シリーズ	施工条件	曲げ試験		せん断試験		付着強度試験	
			実施	使用材料	実施	使用材料	実施	使用材料
サンドブラスト	B-1	空気圧 0.490N/mm ²	○	P1,M1	○	P1,M1	○	P1,P2,M1,R1
		アルミ吐出量 6.25kg/min						
	B-2	空気圧 0.294N/mm ²	○	P1,M1	○	P1,M1	○	P1,P2,M1,R1
		アルミ吐出量 3.75 kg/min						
ウォータージェット	W-1	噴射圧力 200~300N/mm ²	○	P1,M1	○	P1,M1	○	P1,P2,M1,R1
	W-2	噴射圧力 180N/mm ²	○	P1,M1	○	P1,M1	○	P1,P2,M1,R1
サンダー	S-1	0.333sec/cm ²	-	-	-	-	○	P1,P2,M1,R1
	S-2	0.133sec/cm ²	-	-	-	-	○	P1,P2,M1,R1

アクリル酸エステル系ポリマーセメントモルタル(以下 M1), スチレンブタジエンゴム系ポリマーセメントモルタル(以下 R1)の4種類とし, 曲げ試験においては, P1, M1 を, せん断試験, 付着強度試験には全4材料を用いた。

ポリマーセメントモルタルの配合を表-2に, 母材コンクリートの配合を表-3に示す。表-1に実施試験一覧を併記する。

2.3 処理面の粗度の計測

表面処理面の形状をシリコンゴムで型取りし, 石こうを用いて処理面を復元した。復元した処理面に対し触針式3次元形状計測機を用いて計測を行った。曲げおよびせん断試験用の供試体では10×10cmの処理面に対し7×7cmの範囲を0.4mm間隔で計測した。付着試験用供試体では, 30×30の処理面を10×10cmの9枚に分割し, それぞれ0.4mm間隔で計測した。表面粗度の測定例を図-2に示す。

2.4 荷重方法

(1) 曲げ付着試験

荷重は3等分点曲げ荷重とし, 破壊が打継ぎ

表-2 ポリマーセメントモルタルの配合

材料名	粉体 (kg)	エマルジョン (kg)	練り水 (kg)	W/C ₀ (%)
P1	20	-	3.2	16
M1	20	3.08	-	-
P2	20	-	3.2	16
R1	25	0.95	3.25	-

W/C₀は, 水/コンパウンド比

表-3 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				Ad1*1 (cc)	Ad2*2 (cc)
		W	C	S	G		
60	47.2	174	290	826	964	725	29

Ad1: AE減水剤, Ad2: 補助AE剤

部で生じるよう切欠きを設けた。切欠き深さは40mmとした。荷重及び切欠き肩口開口変位(CMOD)をロードセル及びクリップゲージを用いて計測した。図-1(a)に3等分点曲げ荷重の試験概略図を示す。

(2) せん断付着試験

せん断付着試験は, 図-1(b)に示すように2面せん断試験とした。最大荷重をロードセルにより測定し, せん断付着強度を算出した。

表-4 母材コンクリートの打継ぎ面の粗度

処理方法	表面積 (cm ²)	中心線平均粗さ (mm)	フラクタル次元	
			2次元	3次元
B-1	53.44	0.636	1.031	2.061
B-2	51.78	0.493	1.021	2.038
W-1	82.27	1.808	1.115	2.195
W-2	53.04	0.585	1.036	2.068

表-5 標準試験板の付着面の粗度

処理方法	表面積 (cm ²)	中心線平均粗さ (mm)	フラクタル次元	
			2次元	3次元
B-1	50.79	0.313	1.014	2.029
B-2	50.25	0.299	1.016	2.031
S-1	49.52	0.216	1.013	2.026
S-2	49.83	0.362	1.001	2.001
W-1	60.50	1.347	1.064	2.106
W-2	50.40	0.298	1.015	2.029

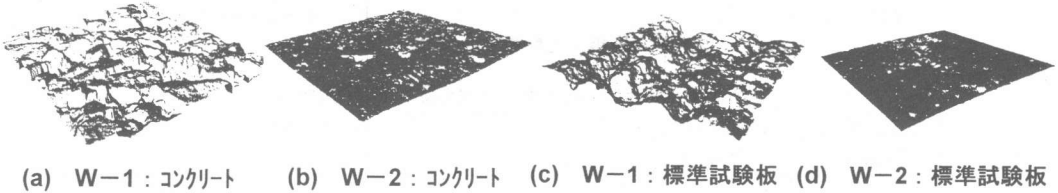


図-2 処理面の計測例

(3) 付着強度試験

標準試験板にこて塗りで各材料を塗布し、養生期間を7日、28日とし、養生期間終了後、建設省建築研究所式付着強度試験機を用い付着強度を測定した。図-1(c)に試験機概略図を示す。

2.5 引張軟化曲線の推定

曲げ試験結果である荷重-CMOD 曲線から多直線近似法³⁾により、引張軟化曲線を推定した。さらに、引張軟化曲線から破壊エネルギーの算出を行った。

3. 表面粗さの定量化

3次元形状計測結果から、以下に示す3種類の粗度を算出した。

3.1 表面積

計測点を三角形で結び、その三角形の面積の総和を処理面の表面積として算出した。

3.2 中心線平均粗さ

切り口断面の中心線から両側に出た部分の面積の総和を測定長(70mm)で除すことにより求めた。

3.3 フラクタル次元

フラクタル次元とは、任意の部分拡大しても元の図形と同形となる自己相似図形の総称である⁴⁾。フラクタル理論では図形の複雑さを定

量的に表す指標として、非整数であるフラクタル次元が用いられる。一般的にフラクタル次元の値が大きいほど形状が複雑である。ここでは、Box Counting 法⁴⁾を用い、切り口断面を正方形により被覆する処理(2次元図形)と、面を立方体で被覆する処理(3次元図形)により2つのフラクタル次元の算出を行った。

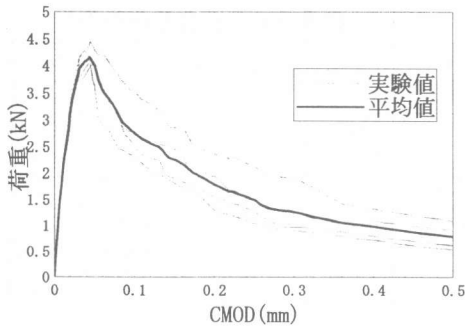
4. 結果及び考察

4.1 表面粗さ

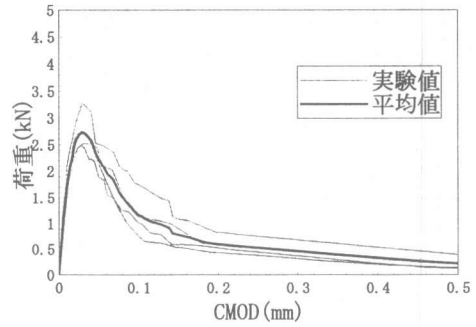
各表面処理により処理された母材コンクリートの打継ぎ面の粗度を表-4に、標準試験板の付着面の粗度を表-5に示す。

母材コンクリートでは、処理レベルを高くすると粗度が増加しており、表面粗さを定量的に評価できている。サンドブラスト法においては、アルミナ吐出量が1.7倍程度増加しているのに対し、表面積は3%程度の増加しか得られなかった。また、ウォータージェット法では、水圧を180N/mm²から、200~300N/mm²へと1.5倍程度にすることにより、フラクタル次元以外の粗度は2倍近い値か、それ以上の値が出ていることがわかった。

標準試験板においても、母材コンクリートと同様、処理の強さが強いほど粗度の値も大きくなっている。



(a) W-1 の M1



(b) W-2 の M1

図-2 荷重-CMOD 曲線の一例

表-6 曲げ強度・せん断強度・付着強度

処理方法	曲げ付着強度 (N/mm ²)		せん断付着強度 (N/mm ²)		付着強度 (N/mm ²)							
	P1	M1	P1	M1	7日				28日			
					P1	M1	P2	R1	P1	M1	P2	R1
B-1	2.25	1.90	0.64	0.73	2.62	2.52	2.63	2.58	2.83	2.64	2.68	2.74
B-2	2.20	1.88	0.80	0.60	2.53	2.44	2.50	2.48	2.71	2.61	2.56	2.62
W-1	2.55	2.18	1.57	0.92	2.92	2.65	2.51	2.63	3.02	2.93	2.83	—
W-2	2.23	1.89	0.89	0.76	2.64	2.57	2.43	2.56	2.79	2.72	2.60	—
S-1	—	—	—	—	2.65	2.25	2.61	2.58	2.78	2.31	2.78	2.67
S-2	—	—	—	—	2.78	2.45	2.68	2.68	2.87	2.66	2.91	2.71

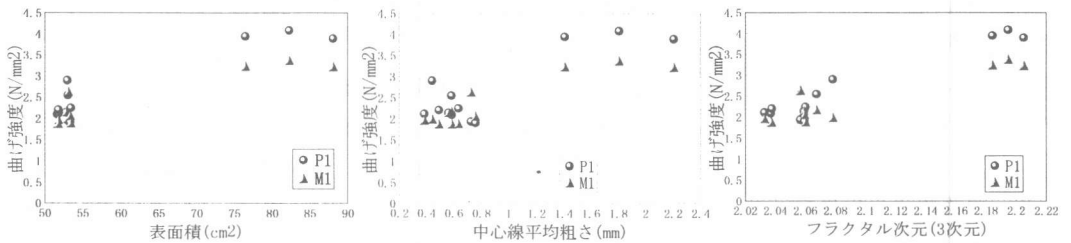


図-4 粗度と曲げ強度との関係

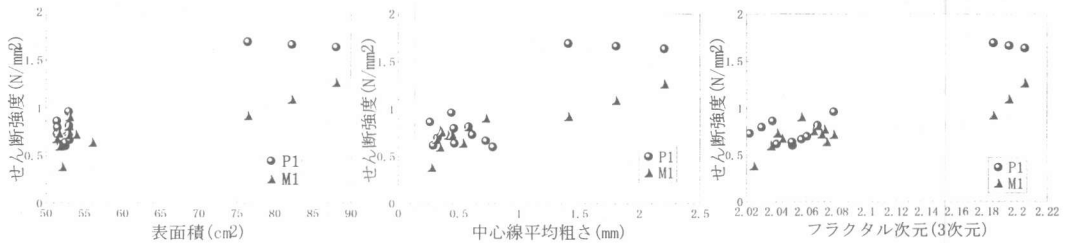


図-5 粗度とせん断強度との関係

4.2 曲げ付着強度

図-3に実験より得られた荷重-CMOD 曲線 (細い実線) の一例を示す。図中には、平均曲線

(太い実線) も示す。表-6に曲げ付着強度を示す。図-4に粗度と曲げ付着強度の関係を示す。いずれの粗度においても、粗度が大きくなるに伴

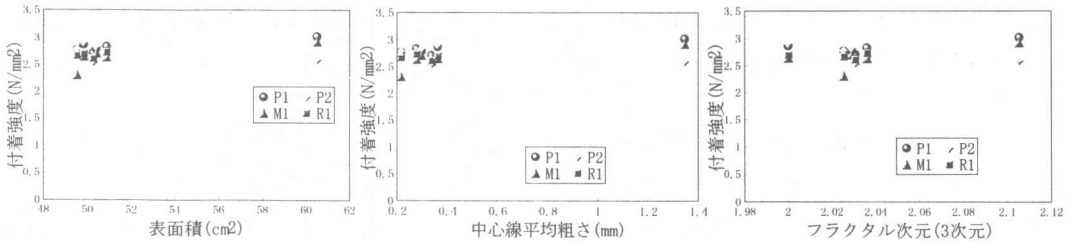
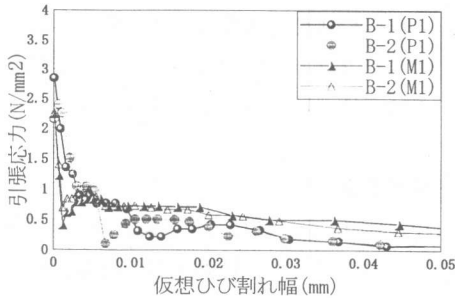
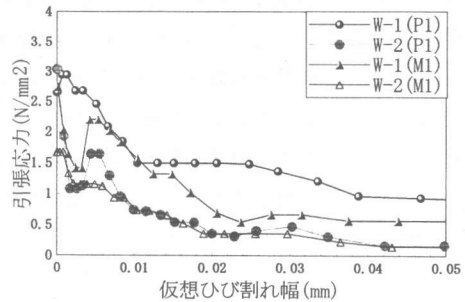


図-6 粗度と付着強度との関係



(a) サンドブラスト処理



(b) ウォータージェット処理

図-7 引張軟化曲線

い、強度も増加する傾向にある。

4.3 セン断強度

表-6 にせん断付着強度を示す。図-5 に粗度とせん断付着強度の関係を示す。曲げ付着強度同様に粗度が大きくなると各ポリマーセメントモルタルとも、せん断強度が大きくなる傾向が見られた。

4.4 付着強度

表-6 に付着強度を示す。各ポリマーセメントモルタルとも若材齢時から強度発現が見られ、極端な強度増進は認められなかった。また、全ての材料において、道路公団規格値⁵⁾以上の付着強度が出ており良好な結果であった。図-6 に粗度と付着強度の関係を示す。曲げ・せん断強度と同様に、粗度の増加に伴い付着強度も増加傾向にあった。

5. 引張軟化曲線と破壊エネルギー

平均の荷重-CMOD 曲線から多直線近似法により推定した引張軟化曲線を図-7 に示す。

サンドブラスト処理を施したシリーズ (B-1, B-2) においては、同材料同士では、引張軟化

曲線の形状に大きな差異は認められなかった。これは、サンドブラスト処理された2面 (B-1, B-2) の粗度が同程度であり、両者の付着性状が同等であったためと考えられる。処理レベルごとに比較すると、M1 は P1 より軟化直後の応力低下が著しく、軟化初期の応力レベルは低いものの、仮想ひび割れ幅が大きな領域では P1 より M1 の方が応力レベルは高くなっている。これより、本実験におけるサンドブラスト処理では、M1 の方が軟化後 (ひび割れ後) の応力伝達能力に優れている、つまり、ひび割れ抵抗性に優れていることが分かる。

ウォータージェット処理を施したシリーズ (W-1, W-2) においては、各ポリマーセメントモルタルとも表面処理程度の高い W-1 の方が応力レベルは高くなった。処理レベルごとに比較すると、W-1 においては M1 より P1 の方が応力レベルは高くなった。これは、B-1, B-2 の結果と異なっている。W-2 においては M1 および P1 の引張軟化曲線の形状はほぼ同程度となった。

以上から、粗度が比較的低い面においては

M1の方が、粗度が際立って高い面においてはPIの方がひび割れ抵抗性に優れていると推察できる。

仮想ひび割れ幅 0.05mm までの引張軟化曲線下の面積（ここでは、単に破壊エネルギー）を表-7に示す。引張軟化曲線の仮想ひび割れ幅の小さい領域は部材の最大荷重に、仮想ひび割れ幅の大きな領域は部材の最大荷重以降の挙動に影響を与える。ここでは、便宜上、0.05mm までの引張軟化曲線下の面積を求め、破壊エネルギーとした。なお、粗度との比較を行うため、代表としてフラクタル次元（3次元）を表中に併記した。表から粗度の増加に伴い破壊エネルギーが増加することが分かる。

6. まとめ

ポリマーセメントモルタルの付着性状について、表面処理粗さ、各種強度、引張軟化曲線及び破壊エネルギーから検討した。得られた結果を以下にまとめる。

(1) 表面処理粗さを表面積、中心線平均粗さ、フラクタル次元により定量的に評価することができた。

(2) 処理方法の種別に関係無く、粗度の増加に伴い、曲げ付着強度、せん断付着強度、付着強度、及び、破壊エネルギーは増加した。

(3) 表面処理をした処理面に対して粗度を評価し、破壊エネルギー、曲げ付着強度、せん断付着強度、付着強度を算出することによりポリマーセメントモルタルの付着性状に関して相対的な評価が可能であった。

(4) 各使用ポリマーセメントモルタルの強度値に反映されないひび割れ後の挙動を引張軟化曲線の形状から相対的に評価できた。このことは、補修・補強材料を選定する際の指標とすることが可能であろうと思われる。

以上、表面処理方法によって生成される凹凸の粗さと、ポリマーセメントモルタルの付着性能について検討を行ったが、表面処理方法が極端になってしまった為、中間層の粗度による付

表-7 破壊エネルギーとフラクタル次元

処理方法	破壊エネルギー (N/mm)		フラクタル次元 3次元
	PI	M1	
B-1	0.0196	0.0302	2.061
B-2	0.0199	0.0283	2.038
W-1	0.0735	0.0489	2.195
W-2	0.0281	0.0247	2.068

着性能の研究を進ることや、粗度および各種強度のバラツキについても検討する必要がある。これらについては今後の課題である。

参考文献

- 1) 西田好彦, 国枝 稔, 栗原哲彦, 六郷恵哲 : コンクリート打継ぎ部の付着性状およびその評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vo.19, No.2, pp.129-134, 1997
- 2) 栗原哲彦, 西田好彦, 鎌田敏郎, 六郷恵哲 : コンクリート打継部における表面処理粗さの定量化と付着性状の評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.1261-1266, 1998
- 3) 栗原哲彦, 安藤貴宏, 国枝 稔, 内田裕市, 六郷恵哲 : 多直線近似方による引張軟化曲線の推定と短繊維補強コンクリートの曲げ破壊性状, 土木学会論文集, No.532/V-30, pp.119-129, 1996, 2
- 4) 高安秀樹 : フラクタル, 朝倉書店, 1986
- 5) 日本道路公団試験研究所 : 断面修復材品質規格, 材料施工資料(第1号)コンクリート保護工, 日本道路公団試験研究技術資料 121号, pp.24-25, 114-115, 1995, 3