

PVA を添加したモルタルの断面修復材としての適用性に関する研究

APPLICATION OF PVA-MODIFIED MORTAR TO A PATCHING REPAIR MATERIAL

田村悟士*・中村有里**・真鍋英規***・山田 優****

by Satoshi TAMURA, Yuri NAKAMURA, Hideki MANABE, Masaru YAMADA

1. はじめに

中性化や塩害などによって劣化したコンクリート構造物に対して、断面修復材を用いた断面修復工法が一般的に行われている。断面修復材に要求される性能には、強度、寸法安定性、遮蔽性、耐久性および既存コンクリートとの接着性があげられるが、補修施工した断面修復材の剥落に伴う第三者への被害を防ぐためにも、既存コンクリートとの接着性が特に重要な性能であるといえる。現在、断面修復材としての要求性能を満足するとの認識により、ポリマーセメントモルタル（以下、PCM という）が多く使用されている。一般に市販されている断面修復材用の無機系モルタルに用いられるポリマーは、SBR などの水性ポリマーディスパーション、アクリル系樹脂エマルジョンおよびEVAなどの再乳化形粉末樹脂である¹⁾。しかし、接着剤などにも利用されているPVAを用いたポリマーセメントモルタルによる断面修復材としての性能評価に関する検討はみられない。

そこで、PVA を添加したモルタルとコンクリート部材との接着性能について検討し、断面修復材としての適用性について考察した。

2. 実験フローおよび使用材料

本研究は、図1に示すような実験フローに従い実施した。まず、実験1でPVAの添加量の違いによる影響を検討するため、接着試験および基礎物性試験を行い、PVAの最適添加量を決定した。次に実験2では、実験1で得られた最適添加量を用いて、養生条件の違い、砂セメント比(S/C)の違い、下地処理方法の違いによる影響について、接

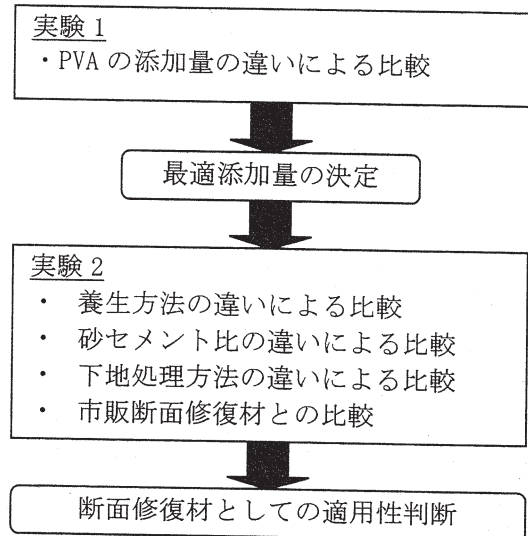


図1 実験フロー

着試験、基礎物性試験および促進劣化試験を行い検討した。さらに、市販されている断面修復材についても同様の実験を行い比較した。

表1に本研究で使用したモルタルの原材料を示す。セメントには、普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材には、JIS A 5201セメントの物理試験方法に規定されるISO標準砂を使用した。ポリマーには、耐水性に優れ界面活性効果がほとんどない完全鹼化型PVAを使用した。市販断面修復材との比較として、一般に使用実績が多いSBR系断面修復材を使用した。PVA添加モルタルの接着試験に供する被着体には、大きさ300×300×60mmのJIS A 5371プレキャスト無筋コンクリート製品に規定される市販舗装用コンクリート平板（以下、コンクリート平板という）を使用した。

3. 実験1 PVAの添加量の違いによる比較

3.1 試験体の種類と配合

試験体の種類と配合を表2に示す。JIS R 5201セメントの物理試験方法に規定される配合比率で

*大阪市立大学大学院工学研究科土木工学専攻後期博士課程（〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138）、**アイゾール産業(株)大阪本社技術営業部主任、***(株)富士ピー・エス大阪支店技術部設計課長、****大阪市立大学大学院教授、工学研究科都市系専攻

行った。例えば、PVA を添加しない試験体 (Un) では、TW/C は 50% (=1350g/2700g)、質量比でセメント：標準砂=1：3 である。PVA を添加した試験体において、単位水量 TW は W と PVA の合計量から、PVA の固形分質量を除いた分とした。

3. 2 試験方法

(1) モルタルの練混ぜ

PVA モルタルの練混ぜは、JIS A 1171 ポリマーセメントモルタルの試験方法に準じて行った。

(2) モルタルの基礎物性試験

PVA 添加モルタルのフレッシュ時の状態を把握するため、JIS A 1171 ポリマーセメントモルタルの試験方法に準じて、フロー試験、空気量を測定した。また、PVA 添加モルタルの保水力を把握するために、日本建築仕上げ材工業会規格の NSKS-003 に準じて、PVA モルタルの保水試験を行った²⁾。

保水試験は NSKS-003 に規定されるように、練混ぜ後直ちに、ろ紙を貼り付けた内径 50mm×高さ 10mm の型枠内にモルタルを入れ、1 時間放置した。1 時間後に型枠内のモルタルからろ紙への水分の広がり直径を計測し、式 1 に示す保水係数により

PVA モルタルの保水性を評価した。

$$\text{保水係数} = 50/D \quad (\text{式 1})$$

ここで、D はろ紙の平均広がり直径 (mm) である。

さらに、断面修復材のこて離れつまり作業性の良し悪しを評価するための模擬的な簡易法として下記の試験を考案した。空気量試験に用いた容器にモルタルを擦り切りで詰め、その上にガラス板を静置した。次に 1 分間、ガラス板を取り、ガラス板の付着したモルタルの重量を計測した。

次に、硬化後の試験として、JIS A 1171 ポリマーセメントモルタルの試験方法に準じて、曲げ強度試験、圧縮強度試験を実施した。試験体は、40×40×160mm の形状である。

試験体の打設後、温度 20℃、相対湿度 60% の状態で放置し、1 日後に脱型してから 6 日間にわたり温度 20℃ の水中で養生した。その後、気温 20℃、相対湿度 60% の状態で 21 日間気乾養生した。試験実施材齢は 28 日とした。

(3) モルタルの接着強度試験

被着体であるコンクリート平板の表面は、ディスクサンダーによるケレン処理を行い、コンクリート平板の表面脆弱部を除去した。表面処理後の

表 1 モルタルの原材料

構成材名	使用材料名	種類・品質
セメント	普通ポルトランドセメント	密度：3.14g/cm ³
水	上水道水	—
細骨材	ISO 標準砂	絶乾密度：2.64 g/cm ³ 吸水率：0.42% 単位容積重量：1.76kg/L 実績率：66.7%
ポリマー	完全鹼化型 PVA	状態：水溶液 ポリマー固形分：7% 鹼化度：99% 水溶液比重 (20℃)：1.017
	SBR	状態：水性ポリマーディスパージョン ポリマー固形分：45.5% 水溶液比重 (20℃)：1.022

表 2 試験体の種類と配合 (モルタル容積 50^ℓ分)

試験体記号	PVA の 添加量 (%)	TW/C (%)	S/C (%)	単位量 (g)			
				W	C	S	PVA (内固形分)
Un	0	50.0	3	1350	2700	8100	0
PVA5	5	49.7	3	1215	2700	8100	135 (9.5)
PVA10	10	49.3	3	1080	2700	8100	270 (18.9)
PVA15	15	49.0	3	945	2700	8100	405 (28.4)
PVA20	20	48.6	3	810	2700	8100	540 (37.8)
PVA25	25	48.3	3	675	2700	8100	675 (47.3)
PVA30	30	47.9	3	540	2700	8100	810 (56.7)
PVA40	40	47.2	3	270	2700	8100	1080 (75.6)

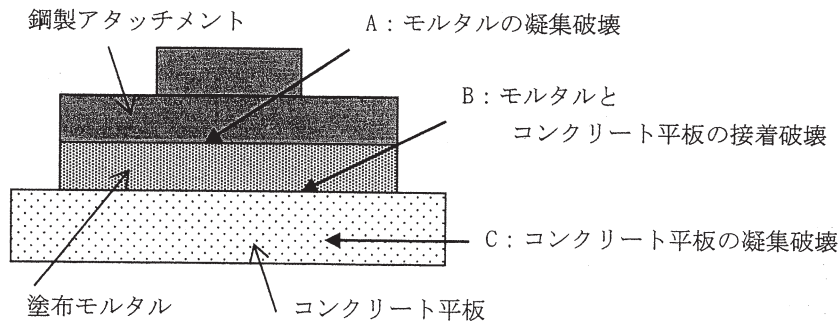


図2 接着強度試験の破壊モード

コンクリート平板を水洗い後、天日干しにより乾燥させ、モルタルの塗布施工に使用した。

モルタルの塗布には、コンクリート平板のまわりに布テープを貼り、コンクリート平板表面からの高さを10mmに設定した簡易型枠を作製した。そして絶乾状態のコンクリート平板表面に金鏝にてモルタルを塗布した。

養生は基礎物性試験と同様の手順とした。モルタルを引っ張る際の治具となる寸法50×50mmの鋼製アタッチメントの取り付けは、エポキシ系樹脂にて接着した。樹脂硬化後に鋼製アタッチメントの側面に沿ってコンクリート平板まで切込みを入れ、建研式接着力試験機により接着強度試験を行った。材齢28日に各試験体につき3箇所、接着強度試験を実施し、その平均値を接着強度とした。いずれの試験体も試験後に破壊位置を観察し、図2に基づいて破壊モードを確認し、さらに破壊モードの面積割合を測定した³⁾。

3.3 試験結果と考察

(1) モルタルのフレッシュ性状

PVAの添加量に対する、モルタルのフロー、空気量、保水係数およびガラス付着モルタル量の関係を図3～図6に示す。

PVAの添加量がC×10%以上の場合、フロー値は低下した。PVAの粘性による影響であると考えられる。

PVAをC×5%添加することで空気量が1%程度増加したが、添加量を増やすにつれて空気量が減少した。完全鹼化型PVAは界面活性効果をほとん

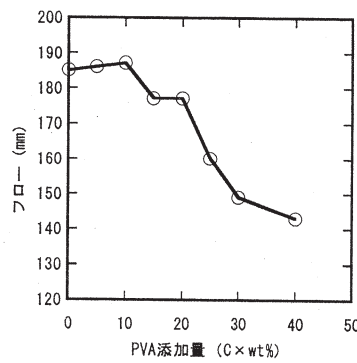


図3 添加量とフロー

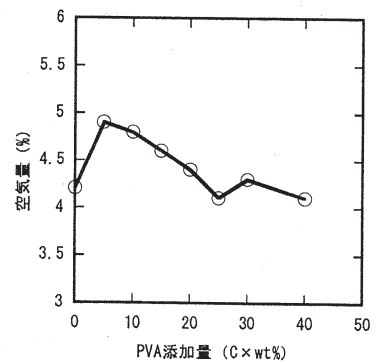


図4 添加量と空気量

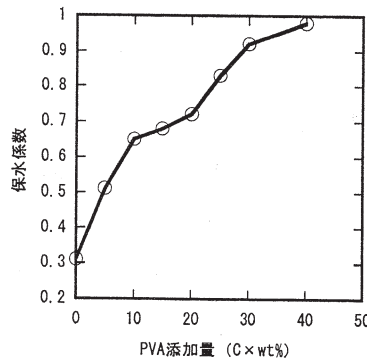


図5 添加量と保水係数

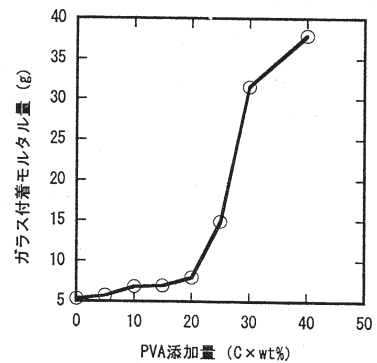


図6 添加量とガラス付着モルタル

ど有してないため、添加の増加による空気の連行性能がない。そのため、PVAの添加量にかかわらず、空気量の変動が1%以内に収まっていたものと考えられる。また、添加量が増えるにしたがって粘性が増加し、空気量が減少したのと考えられる。

保水性については、PVAの添加量が増えると保水係数が増加した。PVAをモルタルに添加することによる保水性向上効果が確認できた。一般にポリマーの添加量が増えると保水性が向上するが、

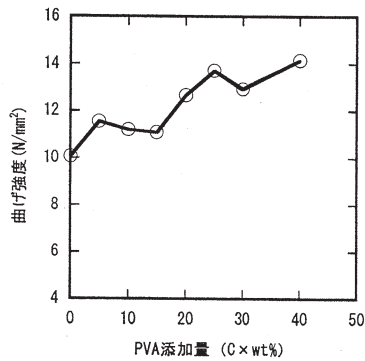


図7 添加量と曲げ強度

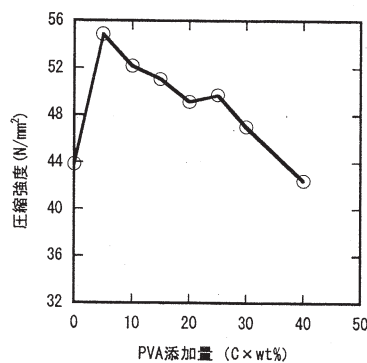


図8 添加量と圧縮強度

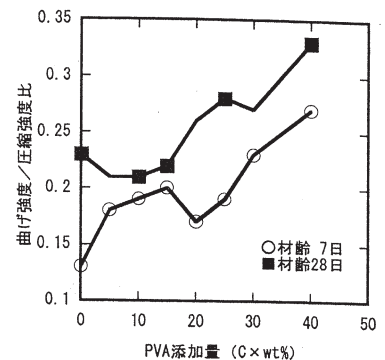


図9 曲げ強度/圧縮強度比

これはセメント硬化体内部に存在する空隙へのポリマーの充填効果とポリマーフィルムによる密封効果によるものといわれている⁴⁾。PVAについても同様の効果が得られるためと考えられる。

しかし、保水力および粘性の増加は施工性に不具合を及ぼす可能性がある。特にPVAをC×40%添加すると、保水係数が0.98であり、ほとんどブリージングしない状態であった。また、ガラスに付着したモルタル量についても、PVAをC×30%以上添加することで急激に増大している。これは、モルタルの剥離を悪くすることにつながるといえ、試験体作製時におけるモルタル塗布時においても、金鏝による施工が極めてしにくい状態であった。

以上より、断面修復材の施工性を含めたフレッシュ性状を考慮した場合、PVAの添加量によっては施工後の出来形の品質低下を招く可能性がある。今回の実験でフレッシュ性状について検討した結果、PVAの添加量はC×25%以下が望ましいと考えられる。

(2) モルタルの圧縮強度・曲げ強度

PVAの添加量に対するモルタルの材齢28日での曲げ強度を図7に、圧縮強度を図8に示す。

PVAの添加量を変化させることによる曲げ強度および圧縮強度の傾向が異なった。まず、PVAの添加量が増えるにしたがって、曲げ強度が増加した。PVA無添加モルタルに対して、28日材齢で1.1～1.4倍の向上効果が得られた。一方、圧縮強度については、PVAの添加量が5%のモルタルに圧縮強度のピークが現れた。ただし、PVAの添加量が30%以内であれば、PVAを添加しない場合より圧縮強度が向上している。また、図9に、曲げ強度/圧縮強度比を示す。PVAの添加量が増えるにしたがって、曲げ強度/圧縮強度比が増加している。これは、ポリマーセメントモルタルの特長として知

表3 PVA添加モルタルの接着試験結果

試験体記号	接着強度 (N/mm ²)	破壊モードと面積割合
Un	1.71	B85%C15%
PVA5	1.76	B75%C25%
PVA10	2.23	B10%C90%
PVA15	2.65	B5%C95%
PVA20	2.77	B15%C85%
PVA25	2.97	C100%
PVA30	2.40	B40%C60%
PVA40	2.04	B35%C65%

られており、本実験でもその特長が現れている。

(3) モルタルの接着強度

PVAの添加量が違うモルタルの材齢28日での接着強度試験結果を表3に示す。PVAを添加しないプレーンモルタルは、モルタルとコンクリート平板の界面での接着破壊(B)が大勢を占めた。ただし、プレーンモルタルにおいても付着強度が1.5N/mm²を超えており、比較的高い付着強度を有している。また、PVAを添加した場合の破壊状況は、モルタルとコンクリート平板の界面での接着破壊(B)か、もしくはコンクリート平板の凝集破壊(C)であった。特にPVAの添加量が10～25%のモルタルについては、コンクリート平板の凝集破壊(C)が破壊モードの85%以上に達している。コンクリート平板の凝集破壊(C)は、コンクリート平板自体の引張強度がモルタルとコンクリート平板の接着強度より下回ったために生じた破壊現象である。つまり、コンクリート平板の凝集破壊(C)を起こした場合のモルタルとコンクリート平板との接着力は、今回の接着強度以上の数値になるものと想定でき、このことからPVA添加モル

タルの接着強度は、今回の接着強度以上の数値になるものと想定でき、このことからPVA添加モル

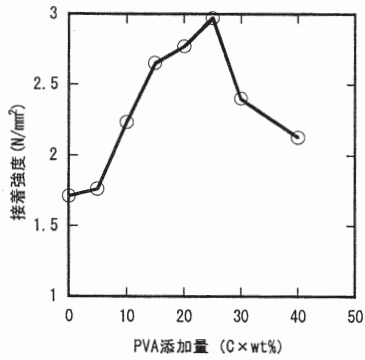


図 10 添加量と接着強度

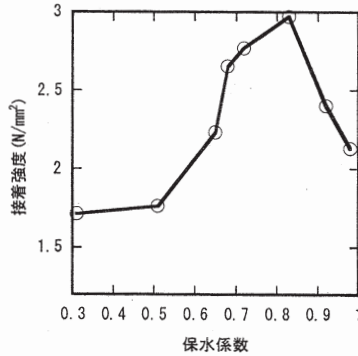


図 11 保水係数と接着強度

タルの接着性に対する性能が高いことがいえる。

PVA の添加量と接着強度の関係を図 10 に示す。PVA を 25%添加したモルタルの接着強度が最も大きかった。ただし、添加量をさらに増やすと接着強度が低下した。これは、PVA 添加モルタルの保水力の程度にあるものと考えられる。図 11 に保水係数と接着力の関係を示す。榊原ら²⁾は、ポリマーセメントモルタルと被着コンクリート部材との接着性能に及ぼす要因として、ポリマーセメントモルタルの保水性をあげており、保水力が高いモルタルほど塗布界面での水の移動がなく、接着力が高くなるとしている。PVA 添加モルタルについても、PVA の添加量が 25%までにおいては同様の傾向が得られている。しかし、保水係数が 0.9 を超えるような 30%以上の PVA を添加した場合、モルタルの塗布施工時にモルタルからコンクリート平板にほとんど水分移動がないため、逆に界面付近がモルタルによる水分でなじまずに一体化しなかったのではないかと考えられる。よって、接着力が低下したのと考えられ、接着強度の向上に

は適度な保水性が必要であるといえる。

以上、フレッシュ性状、曲げ強度、圧縮強度および接着強度の結果を総合すると、最適な PVA 添加量は C×25%程度であると考えられる。実験 2 では、PVA の添加量を C×25%と固定して各種要因の検討をおこなった。

4. 実験 2 PVA の添加量の違いによる比較

4. 1 試験体の種類と配合

試験体の種類と配合を表 4 に示す。実験 2 での検討事項は、養生方法の違い、

砂セメント比 (S/C) の違いおよび下地処理方法の違いによる影響である。下地処理による影響については、ケレン処理のみを行ったコンクリート平板と、コンクリート平板の透水量を抑制する目的でケレン後に PVA をプライマーとして事前に塗布したコンクリート平板を用いて、接着強度試験を実施した。養生方法の違いについては、実験 1 での結果 (Un, PVA25) との比較である。また、SBR 系断面修復材として市販されている製品についても同様の試験を行い、比較検討した。SBR 系断面修復材については、SBR 系水性ポリマーディスパージョンと、セメント、骨材および混和材がプレミックスとなっている粉体をメーカー指定の配合にて練混ぜて使用した。

4. 2 試験方法

試験は実験 1 と同様の方法で、基礎物性試験と接着強度試験および促進劣化試験を行った。ただし、Un と PVA25 以外の試験体の養生は、試験体の打設後に気温 20℃、相対湿度 60%の状態試験実施材齢まで気乾養生した。現在、断面修復材によ

表 4 試験体の種類と配合

試験体記号	養生方法 (脱型時からの日数)	S/C	下地処理方法	TW/C (%)	単位量 (g)			
					W	C	S	ポリマー (内固形分)
Un	6 日水中・21 日気中	3	ケレンのみ	50.0	1350	2700	8100	0
Un-D	28 日気中	3	ケレンのみ	50.0	1350	2700	8100	0
PVA25	6 日水中・21 日気中	3	ケレンのみ	48.3	675	2700	8100	PVA 675 (47.3)
PVA25-D	27 日気中	3	ケレンのみ	48.3	675	2700	8100	PVA 675 (47.3)
PVA25-D-S	27 日気中	2	ケレンのみ	48.3	1012.5	4050	8100	PVA 1012.5 (70.9)
PVA25-D-P	27 日気中	3	ケレン後にプライマー	48.3	675	2700	8100	PVA 675 (47.3)
SBR	27 日気中	不明	ケレンのみ	不明	-	8437.5		SBR 1350 (614.3)

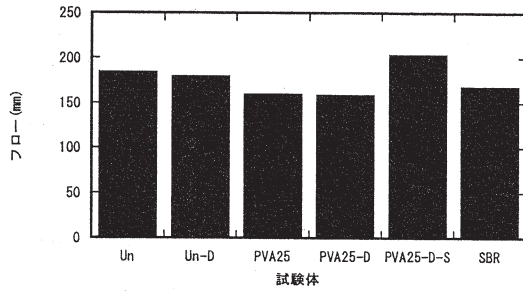


図 12 各試験体のフロー

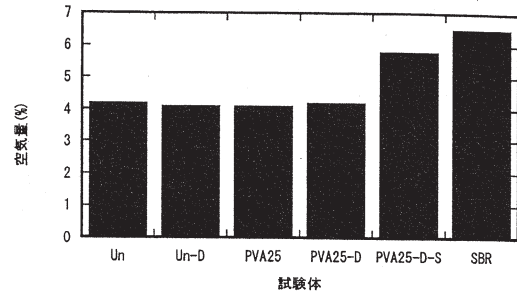


図 13 各試験体の空気量

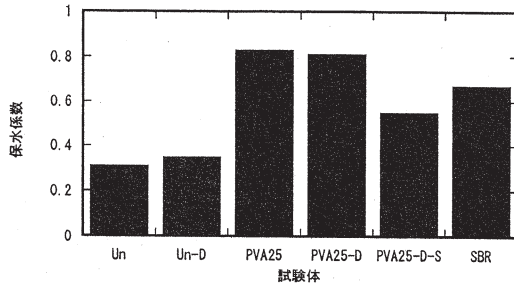


図 14 各試験体の保水係数

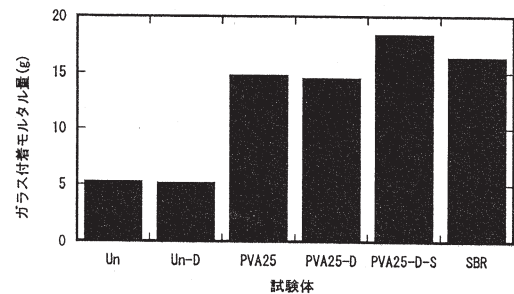


図 15 各試験体のガラス付着モルタル量

る補修が行われている構造物は橋梁や高架橋などが多く、そのような箇所で使用した場合に塗布後すぐに外気に触れることとなる。養生方法も以上の環境条件を再現することとした。試験実施材齢は7日および28日とした。

ポリマーセメントモルタルの促進劣化試験として、気温20℃、相対湿度60%の状態で材齢28日まで養生した試験体を50℃高温水に2週間浸漬させた。そして促進劣化試験後のモルタルの接着強度を計測した。

また、コンクリート平板の透水量を把握する目的で、JIS A 6909 建築用仕上塗材に規定される透水試験B法に準じた透水試験を実施した。透水量は、ディスクサンダーによるケレンを行ったコンクリート平板と、ケレン後にPVAにてプライマー処理を行ったコンクリート平板の各表面の3箇所、漏斗をシリコン系シーリング材で固定して計測した。

4. 3 試験結果と考察

(1) モルタルのフレッシュ性状

各種試験体のフロー、空気量、保水係数、ガラス付着モルタル量を図12～図15に示す。

砂セメント比の違いについては、砂セメント比が3の場合に比べて、砂セメント比が2の場合のフロー値および空気量が増加した。これは、砂セメント比が3の場合よりセメントペースト量および単位水量が増加したことによるものと考えられ

る。また、ガラス付着モルタル量が砂セメント比が3の場合より増加した。これは、ペースト量の増加により、モルタルの粘性が大きくなったことによるものと考えられる。

空気量については、PVA25-Dに比べて、PVA25-D-S、SBRともに増加した。PVA25-D-Sについては単位水量が増加したためと考えられる。

保水性については、PVA25-Dに比べてPVA25-D-S、SBRともに保水係数が低下した。PVA25-D-Sについては単位水量の増加によるものと考えられる。今回の実験では、PVAをC×25%添加することで、SBRに比べて高い保水力を有するという結果になった。

(2) モルタルの圧縮強度・曲げ強度

各試験体の材齢7日および28日材齢での曲げ強度、圧縮強度をそれぞれ図16、図17に示す。

養生条件の違いによる影響であるが、PVAの添加の有無にかかわらず、水中養生をする場合のほうが圧縮強度、曲げ強度とともに大きくなっている。ただし、PVAを25%添加した場合、曲げ強度はPVA無添加モルタルに比べて、気中養生の場合でも約1.4倍向上しており、ここでもポリマーセメントモルタルの特徴が現れているといえる。

砂セメント比の違いについては、砂セメント比が3の場合に比べて、砂セメント比が2の場合には圧縮強度、曲げ強度とも低下した。単位水量の増加や、フレッシュ性状において空気量が増加した

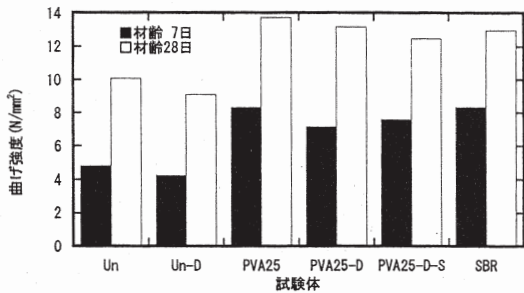


図 16 各試験体の曲げ強度

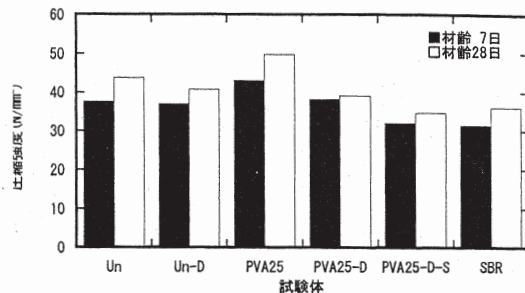


図 17 各試験体の圧縮強度

ことなどにより、強度が低下したものと考えられる。

(3) モルタルの接着強度

各供試体の 7 日材齢、28 日材齢の接着強度試験結果を表 5 に示す。

実験 2 においても、モルタルの凝集破壊はなく、すべての試験体でモルタルとコンクリート平板の界面での接着破壊 (B) か、もしくはコンクリート平板の凝集破壊 (C) であった。まず、PVA を添加しないモルタルである Un および Un-D とともに、モルタルとコンクリート平板の界面での接着破壊 (B) であった。これは、モルタルとコンクリート平板の界面でドライアウト現象が発生し、界面付近のモルタルの強度が低下することにより生じたといえる。PVA を添加したモルタルについては、モルタルとコンクリート平板の界面での接着破壊 (B) か、もしくはコンクリート平板の凝集破壊 (C) であった。また、PVA を添加し気中養生したモルタルについては、コンクリート平板の凝集破壊 (C) が材齢 28 日で破壊モードの 90% 以上に達してい

る。SBR については、モルタルとコンクリート平板の界面での接着破壊 (B) であった。また、促進劣化試験後の PVA 添加モルタルもやはり、コンクリート平板の凝集破壊 (C) であり、劣化に対する耐久性を維持している。

図 18 に各試験体の 7 日材齢および 28 日材齢での接着強度を示す。養生方法にかかわらず、PVA を添加することで接着強度が非常に向上しているが、気中養生のみの試験体 PVA25-D の接着強度が一番大きかった。当初、水中養生を数日でも行った試験体のほうが高い付着力を有すると想定していたが、PVA の高い保水力と PVA 自身の接着力が有効に働き、今回の結果につながったと考えられる。

図 19 にコンクリート平板の下地処理方法による透水量の違いを示す。下地処理方法の違いとして、ケレンのみとケレンの後にプライマー処理を行った 2 種類を設定したが、コンクリート平板の透水量が 2 種類の方法で大幅に異なり、透水量が多いケレンのみのコンクリート平板はモルタルの

表 5 モルタルの接着試験結果

試験体記号	7 日材齢		28 日材齢		促進試験後	
	接着強度 (N/mm²)	破壊モードと面積割合	接着強度 (N/mm²)	破壊モードと面積割合	接着強度 (N/mm²)	破壊モードと面積割合
Un	1.31	B100%	1.71	B85%C15%	—	—
Un-D	1.35	B100%	1.56	B100%	—	—
PVA25	2.22	B25%C75%	2.97	C100%	—	—
PVA25-D	2.53	B10%C90%	3.03	C100%	—	—
PVA25-D-S	2.44	B35%C65%	2.94	B10%C90%	—	—
PVA25-D-P	2.47	B30%C67%	2.71	B10%C90%	—	—
SBR	1.98	B100%	2.21	B100%	—	—
PVA25-D 促進後	—	—	—	—	2.36	C100%
PVA25-D-P 促進後	—	—	—	—	2.31	B5%C95%
SBR 促進後	—	—	—	—	1.52	B100%

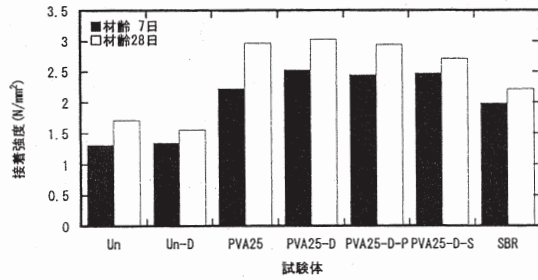


図 18 各試験体の接着強度

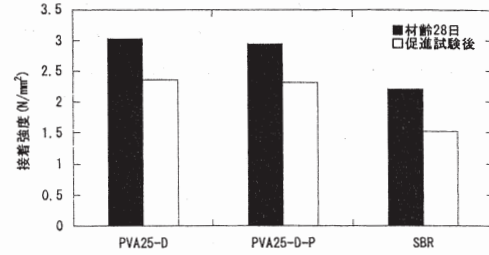


図 20 促進劣化試験後の接着強度

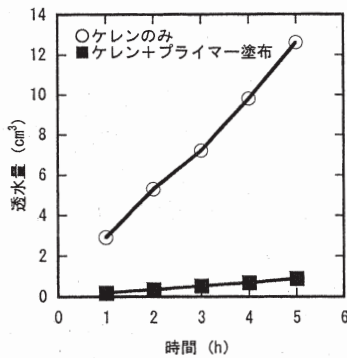


図 19 各下地処理による透水量

ドライアウト現象を起こしやすい環境にあったと考えられる。実際、PVA を添加しないモルタルでは、Un-D の接着強度が Un より低下しており、その影響を受けているといえる。しかし、PVA を添加すると、その高い保水力によりドライアウト現象が起りにくくなっているようであり、プライマーを塗ることによる有意な差は生じなかった。

砂セメント比による違いについては、圧縮強度および曲げ強度の場合と同様に接着強度は若干低下したが、それでもきわめて高い接着力を有している。また、SBR と比較すると、PVA のほうが高い接着力を有している。

促進劣化試験後の各試験体の接着強度を図 20 に示す。促進劣化試験後の接着強度については、促進劣化試験を行うことで、PVA25-D、PVA25-D-P および SBR と全て接着強度が低下した。PVA については 22% の接着強度低下であったが、SBR については 32% の接着強度低下であった。これは、ポリマー固形分が、PVA が 7% に対して SBR が 45% と 6 倍以上もあり、促進劣化することで SBR ポリマーの劣化が PVA よりも早く進んだためと考えられる。

4. まとめ

PVA の断面修復材として適用性について検討し

たが、適切な PVA の添加量により、断面修復材の要求性能として特に重要な下地コンクリートとの接着力を十分に高めることができた。今回の実験では、PVA の添加量が C×25% のときに最も接着強度が大きかった。また、促進試験により劣化させた場合でも、PVA モルタルの接着強度は促進試験前より低下したが、十分に高い接着強度を有していた。ただし、様々な劣化現象への耐久性や疲労耐久性の検証が今後の課題である。

参考文献

- 1) 日本建築学会：環境に配慮したコンクリートポリマー複合体の使い方とその技術の現状，pp68-75 (2003)
- 2) 榎原弘幸・安藤重裕・宮脇賢司・佐々木孝彦・上田洋・藤原申次：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 (2003)
- 3) S. N. pareek, Y. Ohama and K. Demura : Evaluation method for adhesive test result of bonding mortars to concrete substrates by square optimization method, ACI Journal, 92, pp. 355-360 (1995)
- 4) Y. Ohama : Handbook of polymer-modified concrete and mortars Properties and Process Technology, Noyes publications, pp. 51-52 (1995)

(2004年7月1日受付 2004年8月23日受理)