

論文 高曲げ強さを有するポリマーセメントモルタルの基礎的性質

小川晴果*1・大濱嘉彦*2・出村克宣*3

要旨: 低水セメント比で高圧縮強さを有するセメントモルタルの曲げ性状の改善を目的として、各種セメント混和用ポリマーディスパージョンを混入したポリマーセメントモルタルについて、その曲げ強さ、圧縮強さ、変形能力、吸水率及び長さ変化に及ぼすポリマーセメント比の影響を検討している。その結果、高圧縮強さを有するセメントモルタルに適切な水性ポリマーディスパージョンを混入することにより、ポリマーセメント比20%以下の低ポリマーセメント比でも、優れたポリマー混入効果が発揮されることを明らかにしている。

キーワード: ポリマーセメントモルタル、曲げ及び圧縮強さ、靱性、吸水率、乾燥収縮。

1. はじめに

永久型枠やカーテンウォールなどのプレキャスト部材の曲げ強さを増大させることによって、それらの部材断面を薄くし、軽量化を図ることは、運搬建込み作業の省力化や構造部材の節減といった建築生産の合理化に寄与するところが大きい。しかし、一般的に、低水セメント比の高強度コンクリートほど圧縮強度に対する曲げ強度の比が小さくなることが知られている¹⁾。そこで本研究では、低水セメント比で80MPa程度の高圧縮強さを有するセメントモルタルの曲げ性状の改善を目的として、各種セメント混和用ポリマーディスパージョンを混入したポリマーセメントモルタルについて、その曲げ強さ、圧縮強さ、変形能力、吸水率及び長さ変化に及ぼすポリマーセメント比の影響を検討した結果を述べる。

2. 使用材料

2.1 セメント及び細骨材

セメントとしては、JIS R 5210 (ポルトランドセメント) に規定する早強ポルトランドセメントの一部をシリカフェームで置換したものを使用した。細骨材としては、旧 JIS R 5201 (セメ

ントの物理試験方法) に規定する豊浦標準砂を使用した。

2.2 ポリマーディスパージョン

セメント混和用ポリマーディスパージョンとしてはスチレンブタジエンゴム (SBR) ラテックス、ポリアクリル酸エステル (PAE) 及びエチレン酢酸ビニル (EVA) エマルションを使用した。ポリマーディスパージョンには、その全固形分に対して、シリコーンエマルション系消泡剤 (有効シリコーン分, 44%) をその有効固形分として0.7%添加した。セメント混和用ポリマーディスパージョンの性質を Table 1 に示す。

3. 試験方法

3.1 供試体の作製

JIS A 1171 (試験室におけるポリマーセメントモルタルの作り方) に準じて、Table 2 に示す調

Table 1 Properties of Polymer Dispersions

Type of Polymer	Specific Gravity (20°C)	pH (20°C)	Viscosity (20°C, mPa·s)	Total Solids (%)
SBR	1.00	9.5	50	45
PAE	1.06	9.7		47
EVA	1.06	6.0±1.0	1000±200	45±2

*1 (株)大林組技術研究所建築第一研究室主任研究員 工修 (正会員)

*2 日本大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

*3 日本大学助教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

合の供試ポリマーセメントモルタルを、そのフロー値が 170 ± 5 一定となるように、水セメント比を調整して練混ぜ、寸法 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ (曲げ強さ、吸水率及び長さ変化率測定用)、寸法 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ (圧縮強さ及び弾性係数測定用)に成形し、2日湿空 [$20 \pm 2^\circ\text{C}$, 80%(RH)以上]、5日水中 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$)、21日乾燥 [$20 \pm 2^\circ\text{C}$, 50%(RH)] 養生を行って、供試体を作製した。

3.2 曲げ強さ試験

JIS A 1172 (ポリマーセメントモルタルの強さ試験方法) に準じて、寸法 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ の供試体の曲げ強さ試験を行った。曲げ強さ試験時に供試体中央の引張縁側にひずみゲージを張付け、引張縁ひずみを測定した。

3.3 圧縮強さ試験

JIS A 1172 に準じて、寸法 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の供試体の圧縮強さ試験を行った。その際、ひずみゲージを用いて圧縮ひずみを測定し、その結果から、弾性係数を算出した。なお、弾性係数は、圧縮強さの1/3の応力に対するひずみから、割線弾性係数として求めた。

3.4 吸水試験

JIS A 6203 (セメント混和用ポリマーディスパージョン及び再乳化形粉末樹脂) に準じて、寸法 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ の供試体の吸水率を求めた。

3.5 長さ変化試験

JIS A 1129 (モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法) に準じて、寸法 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ の供試体の乾燥収縮率を求めた。

4. 試験結果及び考察

Fig.1 には、フロー値が 170 ± 5 となるようにした場合の、ポリマーセメントモルタルの水セメント比とポリマーセメント比の関係を示す。ポリマー未混入モルタルに比べ、ポリ

マーセメントモルタルは、所定のフローを得るのに要する水セメント比が減少する。一般に、ポリマーセメントモルタルは、ポリマー粒子と連行空気泡のボールベアリング作用及びポリマーディスパージョン中に含まれる界面活性剤の分散効果により、ポリマー未混入モルタルに比べ良好なワーカビリティを与えることが明らかにされているが^{2),3)}、本研究でも、SBR及びPAE混入ポリマーセメントモルタルでは、ポリマーセメント比の増加に伴い水セメント比が減少している。但し、大濱の試験結果²⁾と同様に、EVA混入ポリマーセメントモルタルの水セメント比はポリマーセメント比が増大しても、ほとんど変化しない。

Fig.2 には、ポリマーセメントモルタルの曲げ強さとポリマーセメント比との関係を示す。ポ

Table 2 Mix Proportions of Polymer-Modified Mortars

Type of Mortar	Cement* : Sand (by mass)	Silica Fume Content (%)**	Polymer-Cement Ratio (%)	Water-Cement Ratio (%)
Unmodified	1 : 1.5	10	0	47.6
SBR-Modified			5	43.8
			10	42.5
			20	38.7
PAE-Modified			5	41.7
			10	37.9
			20	30.0
EVA-Modified			5	44.0
			10	41.9
	20	44.0		

Notes,* : Mixture of high-early-strength portland cement and silica fume.

** : wt% of cement.

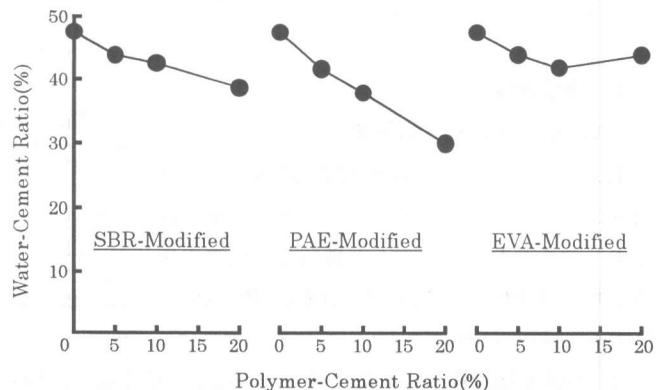


Fig.1 Water-Cement Ratio of Polymer-Modified Mortars with Flow of 170 ± 5

リマーセメントモルタルの曲げ強さは、ポリマー未混入モルタルのそれに比べて著しく大きく、ポリマーセメント比の増加に伴い増大する。特に、PAE及びEVA混入ポリマーセメントモルタルは、ポリマーセメント比10%以上で10MPa以上の高曲げ強さを発現し、ポリマーセメント比20%のものの曲げ強さは、12.2～14.6MPaであり、ポリマー未混入モルタルのその1.8～2.1倍である。

Fig.3には、ポリマーセメントモルタルの圧縮強さとポリマーセメント比の関係を示す。従来の研究から、ポリマーセメントモルタルの圧縮強さは、ポリマー未混入モルタルに比べほとんど改善されないことが知られている^{2),3)}。本研究においても、ポリマーセメントモルタルの圧縮強さは44.3～62.0MPaであり、ポリマー未混入モルタルのその60～84%である。しかし、ポリマーセメント比の増加に伴い、SBR及びEVA混入ポリマーセメントモルタルの圧縮強さは減少する傾向にあるが、PAE混入ポリマーセメントモルタルのそれは若干増大する傾向にある。これは、PAEの混入に伴う水セメント比の減少が著しいことに起因するものと考えられる。

Fig.4には、ポリマーセメント比を20%とした場合のSBR、PAE及びEVA混入ポリマーセメントモルタルの曲げ応力—引張縁ひずみ曲線を示す。ポリマーセメントモルタルは、最大荷重近傍まで、ほぼ線形の曲げ応力—引張縁ひずみ関係を示すが、その勾配はポリ

マー未混入モルタルに比べ小さい。又、ポリマーセメントモルタルの曲げ応力—引張縁ひずみ曲

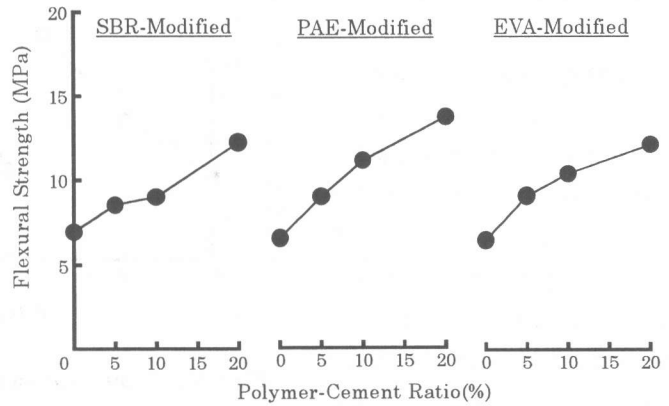


Fig.2 Flexural Strength of Polymer-Modified Mortars

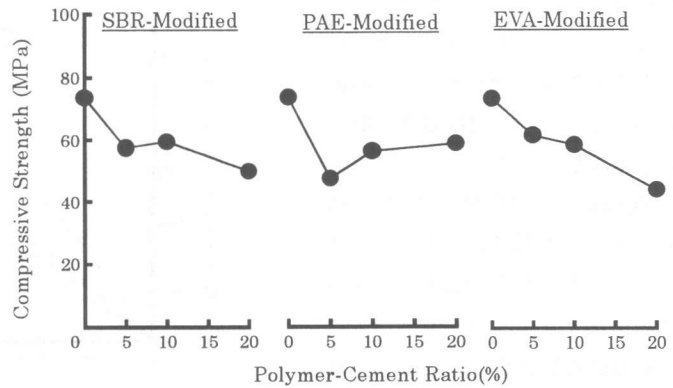


Fig.3 Compressive Strength of Polymer-Modified Mortars

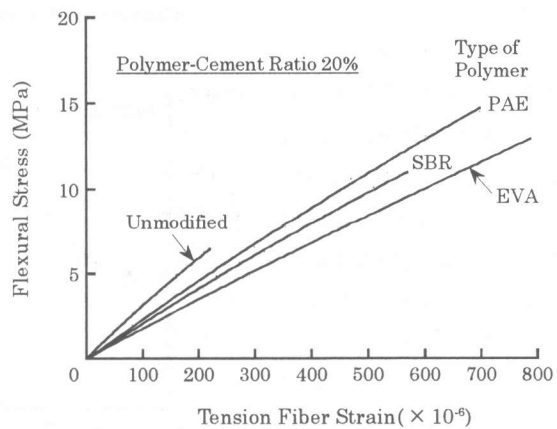


Fig.4 Flexural Stress-Tension Fiber Strain Curves for Polymer-Modified Mortars with Polymer-Cement Ratio of 20 %

線の勾配は、混入するポリマーの種類によって異なり、PAE、SBR及びEVAの順に小さくなる。

Fig.5には、ポリマーセメントモルタルの最大引張縁ひずみとポリマーセメント比の関係を示す。ポリマーセメントモルタルの最大引張縁ひずみは、ポリマー未混入モルタルのそれよりも大きく、ポリマーセメント比の増加に伴い増大する。特に、ポリマーセメント比20%のもののはそれは $570 \sim 790 \times 10^{-6}$ であり、ポリマー未混入モルタルのその約2.6~3.6倍である。これらのことから、高圧縮強さを有するセメントモルタルにポリマーを混入した場合でもポリマーの混入によって、その曲げ変形性能が著しく改善される。

Fig.6には、ポリマーセメント比を20%とした場合のポリマーセメントモルタルの圧縮応力-ひずみ曲線を示す。ポリマーセメントモルタルの種類にかかわらず、その圧縮応力-ひずみ曲線の勾配は、ポリマー未混入モルタルのそれよりも小さい。

Fig.7には、ポリマーセメントモルタルの最大圧縮ひずみとポリマーセメント比の関係を示す。ポリマーセメントモルタルの種類にかかわらず、最大圧縮ひずみは、ポリマーセメント比の増加に伴い増大する。ポリマーセメントモルタルの最大圧縮ひずみは、ポリマーセメント比5~10%では、約 $2900 \sim 4300 \times 10^{-6}$ 、ポリマーセメント比20%では、 $5700 \sim 7600 \times 10^{-6}$ であり、それぞれ、ポリマー未混入モルタルのその約1.1~1.3倍及び

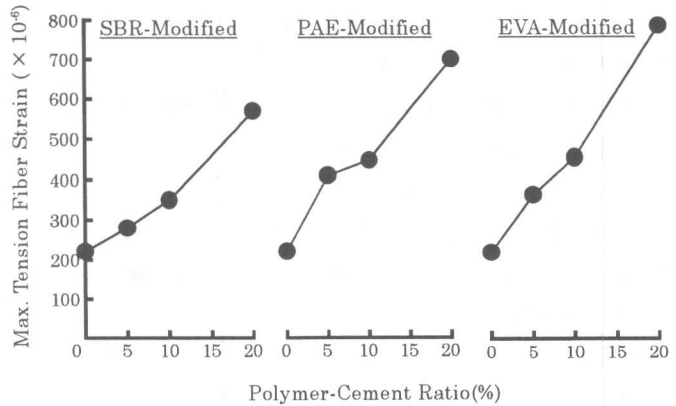


Fig.5 Maximum Tension Fiber Strain of Polymer-Modified Mortars

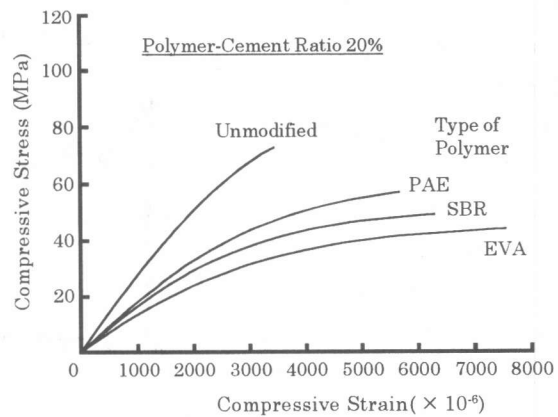


Fig.6 Compressive Stress-Strain Curves for Polymer-Modified Mortars with Polymer-Cement Ratio of 20 %

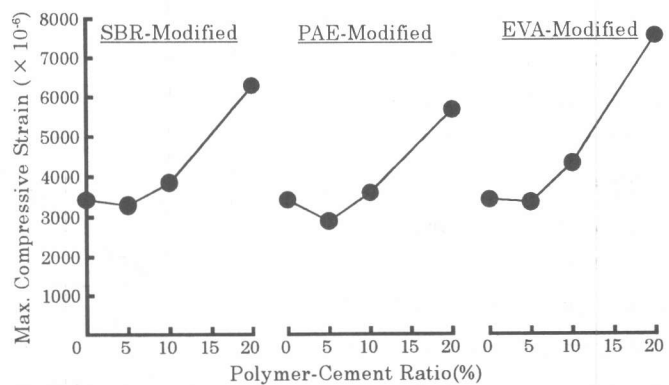


Fig.7 Maximum Compressive Strain of Polymer-Modified Mortars

1.7～2.2倍である。

Fig.8には、ポリマーセメントモルタルの弾性係数とポリマーセメント比の関係を示す。ポリマーセメントモルタルの弾性係数は、ポリマー未混入モルタルのそれよりも小さく、ポリマーセメント比の増加に伴い減少する。ポリマーセメントモルタルの弾性係数は、ポリマーセメント比5～10%では $2.1 \sim 2.3 \times 10^4 \text{MPa}$ 、ポリマーセメント比20%では $1.3 \sim 1.8 \times 10^4 \text{MPa}$ であり、それぞれ、ポリマー未混入モルタルのその84～92%及び51～68%である。

Fig.9には、ポリマーセメントモルタルの吸水率とポリマーセメント比の関係を示す。ポリマーセメントモルタルの吸水率はポリマー未混入モルタルのそれよりも小さく、ポリマーセメント比の増加に伴い著しく減少する。特に、ポリマーセメント比20%のSBR及びPAE混入ポリマーセメントモルタルの吸水率は、0.73～0.83%及びEVA混入ポリマーセメントモルタルのそれは2.96%であり、それぞれ、ポリマー未混入モルタルのその10～11%及び39%である。

Fig.10には、ポリマーセメント比を20%とした場合のポリマーセメントモルタルの乾燥収縮と材齢の関係を示す。又、**Fig.11**には、SBR、PAE及びEVA混入ポリマーセメントモルタルの材齢28日における乾燥収縮を示す。SBR及びPAE混入ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮は、ポリマー未混入モルタルのそれよりも小さく、ポリマーセメント比の増加に伴い減少する。ポリマーセメント比20%のSBR及びPAE混入

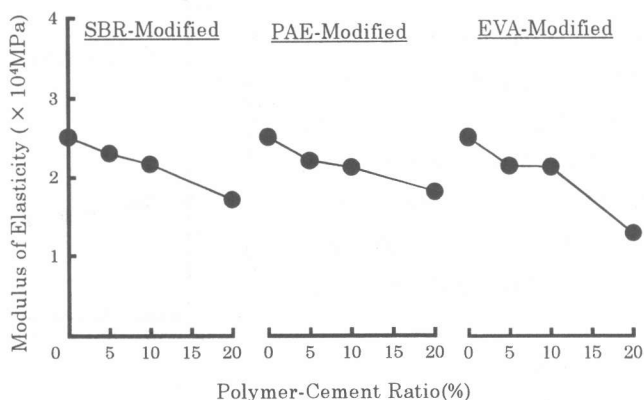


Fig.8 Modulus of Elasticity of Polymer-Modified Mortars

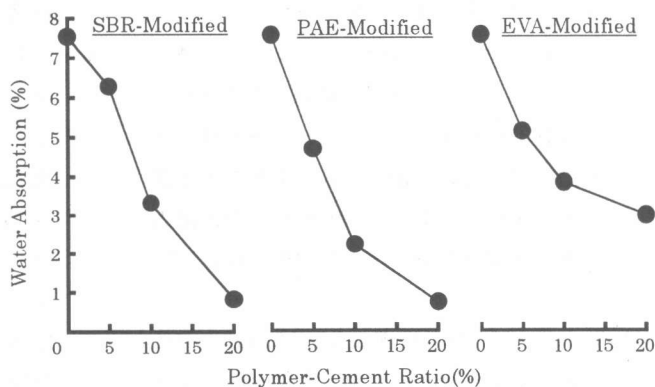


Fig.9 Water Absorption of Polymer-Modified Mortars

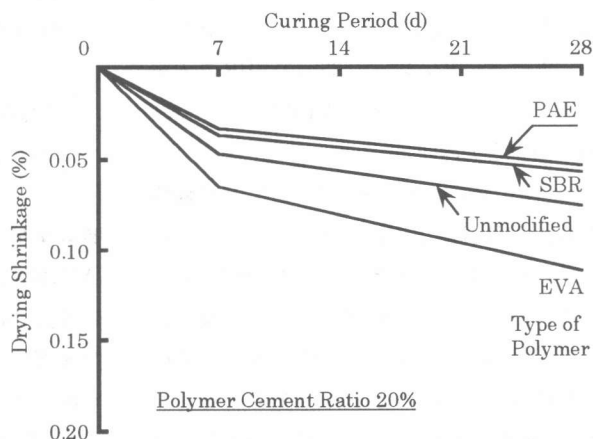


Fig.10 Drying Shrinkage of Polymer-Modified Mortars with Polymer-Cement Ratio of 20 %

ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮は、0.054～0.057%であり、ポリマー未混入モルタルのその71～76%である。しかし、EVA混入ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮は、ポリマー未混入モルタルのそれよりも大きく、ポリマーセメント比の増加に伴い増大する。

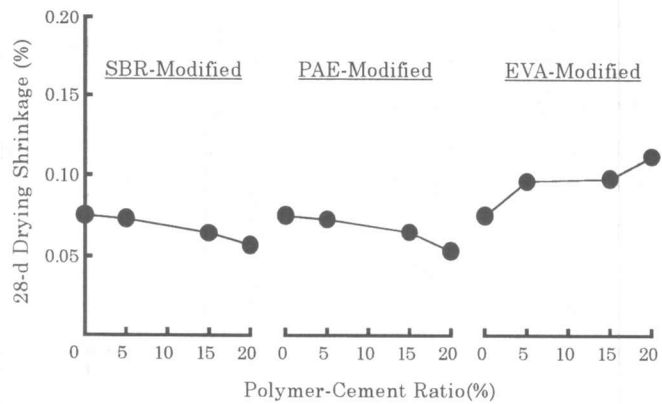


Fig.11 28-d Drying Shrinkage of Polymer-Modified Mortars

5. 結論

以上の結果を総括すれば、次の通りである。

- (1) 低水セメント比で調整した場合でも、ポリマーセメントモルタルのワーカビリティは、ポリマー未混入モルタルに比べて優れている。しかし、SBR及びPAE混入ポリマーセメントモルタルでは、ポリマーセメント比の増加に伴い所定のフローを得るのに要する水セメント比が減少するが、EVA混入ポリマーセメントモルタルのそれは、ほとんど変化しない。
- (2) 低水セメント比で圧縮強さ80MPa程度のセメントモルタルにポリマーを混入したポリマーセメントモルタルの曲げ強さは、ポリマー未混入モルタルのそれに比べ著しく大きく、ポリマーセメント比10%以上のPAE及びEVA混入ポリマーセメントモルタル及び、ポリマーセメント比20%のSBR混入ポリマーセメントモルタルは10MPa以上の高曲げ強さを発現する。
- (3) ポリマーセメントモルタルの曲げ強さ試験時の最大引張縁ひずみはポリマー未混入モルタルのそれよりも大きく、靱性に優れる。
- (4) 高曲げ強さを有するポリマーセメントモルタルの圧縮強さは、ポリマー未混入モルタルのそれに比べほとんど改善されない。
- (5) 高曲げ強さを有するポリマーセメントモルタルの最大圧縮ひずみはポリマーセメント比の増加に伴い増大する。しかし、その弾性係数は、ポリマー未混入モルタルのそれより

も小さく、ポリマーセメント比の増加に伴い減少する。

- (6) 高曲げ強さを有するポリマーセメントモルタルの吸水率はポリマー未混入モルタルのそれよりも小さく、ポリマーセメント比の増加に伴い著しく減少する。
- (7) 高曲げ強さを有するSBR及びPAE混入ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮は、ポリマー未混入モルタルのそれよりも小さいが、EVA混入ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮は、ポリマー未混入モルタルのそれよりも大きい。
- (8) 以上のことから、低水セメント比の高圧縮強さを有するセメントモルタルに適切な水性ポリマーディスページョンを混入することにより、上述のような優れた物理的及び力学的性質を持つ高曲げ強さを有するポリマーセメントモルタルの製造が可能である。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会編：コンクリート便覧，技報堂，1996. 2
- 2) 大濱嘉彦：建築用ポリマーセメントモルタルの性状と調合設計に関する研究，建築研究報告，第63号，1973. 10
- 3) 大濱嘉彦：セメント混和用ポリマー，セメント・コンクリート用混和材料，技術書院，pp. 189-230，1993. 9