

論文 単位ポリマー量がポリマーセメントモルタルの吸水および強さ性状におよぼす影響

我喜屋 宗満^{*1}・齋藤 俊克^{*2}・出村 克宣^{*3}

要旨: 本研究では、ポリマーセメントモルタルの吸水および強さ性状におよぼす単位ポリマー量の影響について検討している。その結果、単位ポリマー量の増加に伴って、ポリマーセメントモルタルの吸水率は減少すると共に、曲げ強さは著しく増大し、単位ポリマー量の増加に伴う吸水低減効果および曲げ強さ改善効果は、水セメント比が小さいものほど顕著に現れる傾向にある。しかし、ポリマーセメントモルタルの吸水特性については、形成される組織構造の物理・化学的性質による影響も含めて更に詳細な検討を要する。一方、その圧縮強さは単位ポリマー量の増加に伴って減少する。

キーワード: ポリマーセメントモルタル, 単位ポリマー量, 吸水率, 曲げ強さ, 圧縮強さ

1. はじめに

一般に、ポリマーセメントモルタルの性能は、セメントに対するセメント混和用ポリマーの全固形分の質量比であるポリマーセメント比を指標として検討されることが多い¹⁾。そのため、ポリマーセメントモルタルは、細骨材セメント比(質量比)、水セメント比およびポリマーセメント比が調合因子として取り扱われる。これらの調合因子のうち、水セメント比はセメントの水和反応に直接かかわる指標である。一方、ポリマーセメント比は、ポリマーをセメントの変性材料とする指標であるが、ポリマーセメントモルタル中のポリマーはセメントの水和過程において間接的な影響を及ぼすものの、硬化後においてはポリマーの連続相を形成し、セメント水和物相と細骨材相から成る複合組織を改質するものである。

また、近年、ポリマーセメントモルタルが様々な用途に広く普及しているものの、ポリマーセメント比が小さい場合には、ポリマーセメントモルタルとして取り扱わないケースも見受けられる。これは、特に、細骨材セメント比の小さい、換言すれば、単位セメント量が大きいポリマーセメントモルタルにおいて、ポリマーセメント比を指標とした場合、従来のものに比べて、ポリマーセメント比が著しく小さく見積られることによる。しかし、そのようなポリマーセメントモルタルであっても、ポリマーの混入効果が発揮され、用途拡大に寄与している。

これらのことを鑑みると、ポリマーセメント比に加えて、ポリマーセメントモルタルの性能の指標となる新たな調合因子を見出すことが必要であると考えられる。

そこで、本研究では、ポリマーセメントモルタルの単位ポリマー量とその吸水率、曲げおよび圧縮強さに及ぼす影響について検討することを目的としている。

なお、本研究における単位ポリマー量(Polymer Content)とは、ポリマーセメントモルタルの総体積中のセメント混和用ポリマーの全固形分の体積分率としている。

2. 使用材料

2.1 セメント

セメントとしては、JIS R 5210(ポルトランドセメント)に規定する普通ポルトランドセメントを使用した。その性質を **Table 1** に示す。

Table 1 Physical Properties and Chemical Compositions of Ordinary Portland Cement.

Density (g/cm ³)	Blaine Specific Surface (cm ² /g)	Setting Time (h-min)		Compressive Strength of Mortar (MPa)		
		Initial Set	Final Set	3d	7d	28d
3.16	3300	2-03	3-16	30.3	46.1	62.9
Chemical Compositions (%)						
MgO	SO ₃	ig. loss	Total Alkali	Chloride Ion		
1.61	2.05	1.80	0.49	0.023		

2.2 細骨材

細骨材としては、阿武隈川産川砂を使用した。その性質を **Table 2** に示す。

Table 2 Properties of Fine Aggregate.

Size (mm)	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)
≤2.5	2.58	2.90

2.3 練混ぜ水

練混ぜ水としては、上水道水を使用した。

*1 日本大学大学院 工学研究科建築学専攻 (学生会員)

*2 日本大学 工学部建築学科専任講師 博士 (工学) (正会員)

*3 日本大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

2.4 セメント混和用ポリマー

セメント混和用ポリマーとしては、スチレン/アクリル酸エステル共重合樹脂 (SAE) およびアクリル酸エステル・メタクリル酸エステル共重合体 (AME) エマルジョンの電荷の異なる 2 種類 (それぞれ, AME-N および AME-C と略称する) を用いた。それらの性質を **Table 3** に示す。

Table 3 Properties of Polymer Dispersion for Cement Modifier.

Type of Polymer	Viscosity (mPa · s)	Non Volatile Matter (%)	Glass-Transition Point, Tg (°C)	Ionic Charge
SAE	200	50	33	Anion
AME-N	300	45	4	Non-ion
AME-C	300	45	4	Cation

3. 試験方法

3.1 ポリマーセメントモルタルの調製

質量比で表される細骨材セメント比 (S/C) を 2 および 3, 水セメント比 (W/C) を 45, 50, 55 および 60%, 単位ポリマー量を 0, 2, 4 および 6%とした調合のポリマーセメントモルタルを JIS A 1171 (ポリマーセメントモルタルの試験方法) に準じて練混ぜ, 供試ポリマーセメントモルタルを調製した。**Table 4** には, ポリマーセメントモルタルの調合を示す。

Table 4 Mix Proportions of Polymer-Cement Mortars.

S/C ^{*1}	W/C (%)	Mix Proportions by Volume (%)				P/C (%)
		Polymer	Cement	Sand	Water	
2	45	0	20.5	50.3	29.2	0
		2	20.1	49.3	28.6	3.3
		4	19.7	48.3	28.0	6.8
	50	6	19.3	47.3	27.4	10.3
		0	16.4	60.3	23.3	0
		2	16.1	59.1	22.8	4.1
45	4	15.7	57.9	22.4	8.4	
	6	15.4	56.7	21.9	12.9	
	0	16.0	58.7	25.3	0	
50	2	15.7	57.5	24.8	4.2	
	4	15.4	56.4	24.3	8.7	
	6	15.0	55.2	23.8	13.3	
3	55	0	15.6	57.3	27.1	0
		2	15.3	56.2	26.6	4.3
		4	15.0	55.0	26.0	8.9
	60	6	14.7	53.9	25.5	13.6
		0	15.2	55.9	28.9	0
		2	14.9	54.8	28.3	4.5
4	14.6	53.7	27.7	9.1		
6	14.3	52.5	27.2	14.0		

Note, *1: Weight ratio of sand to cement.

3.2 空気量試験

JIS A 1171 に従って, 供試ポリマーセメントモルタルの空気量試験を行った。

3.3 供試体の作製

吸水率試験並びに, 曲げおよび圧縮試験用として, 供

試ポリマーセメントモルタルを寸法 40×40×160mm に成形し, 2d 湿空 [20°C, 90% (RH)], 5d 水中 (20°C) および 21d 乾燥 [20°C, 60% (RH)] 養生を行って, 供試体を作製した。

3.4 吸水率試験

JIS A 1171 に従って, 供試体の吸水率試験を行った。

3.5 曲げおよび圧縮強さ試験

JIS A 1171 に従って, 供試体の曲げおよび圧縮強さ試験を行った。

4. 試験結果および考察

Fig.1 には, **Table 4** に示したポリマーセメントモルタルの単位ポリマー量とポリマーセメント比の関係を示す。

当然のことながら, 単位ポリマー量の増加に伴って, ポリマーセメント比は増大する傾向にある。しかし, 前述したように, 単位ポリマー量が一定であっても, 細骨材セメント比が小さく, また, 水セメント比の小さいポリマーセメントモルタルのポリマーセメント比は小さい値となる。これは, ポリマーセメントモルタル総体積中の単位セメント量の増加によって, ポリマーセメント比が小さく算出されることによる。

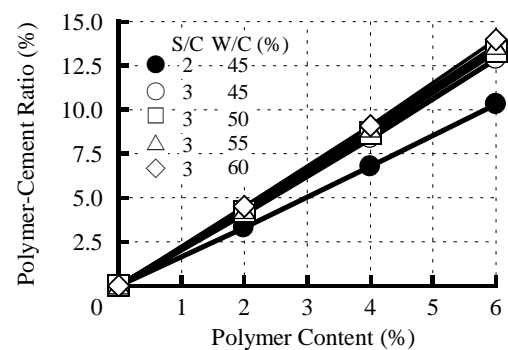


Fig.1 Polymer Content vs. Polymer-Cement Ratio of Polymer-Modified Mortars with Water-Cement Ratio of 45%.

Fig.2 および **Fig.3** には, 水セメント比 45% および細骨材セメント比 3 としたポリマーセメントモルタルのフロー値と単位ポリマー量の関係を示す。

セメント混和用ポリマー, 細骨材セメント比および水セメント比にかかわらず, ポリマーセメントモルタルのフロー値は単位ポリマー量の増加に伴って増大する傾向にある。これは, 単位ポリマー量の増加に伴い, セメント混和用ポリマーの持つ界面活性効果やポリマー粒子のボールベアリング効果の影響が大きくなり, ポリマーセメントモルタルのワーカビリティが改善されるためと推察される。一方, いずれのポリマーセメントモルタルにおいても, 細骨材セメント比が小さく, 水セメント比の大きいものほど, 単位水量が大きくなることに

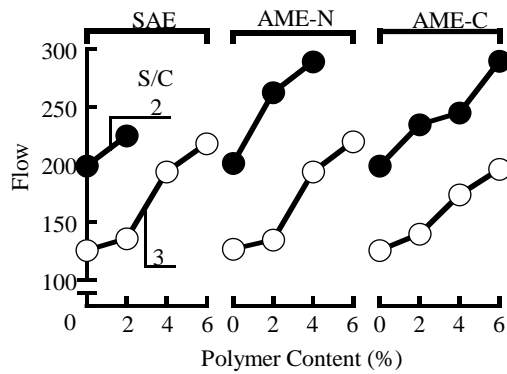


Fig.2 Polymer Content vs. Flow of Polymer-Modified Mortars with W/C of 45%.

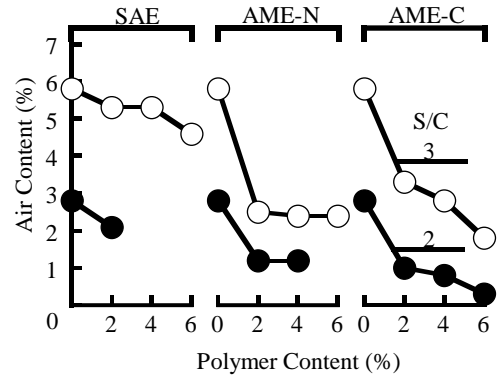


Fig.4 Polymer Content vs. Air Content of Polymer-Modified Mortars with W/C of 45%.

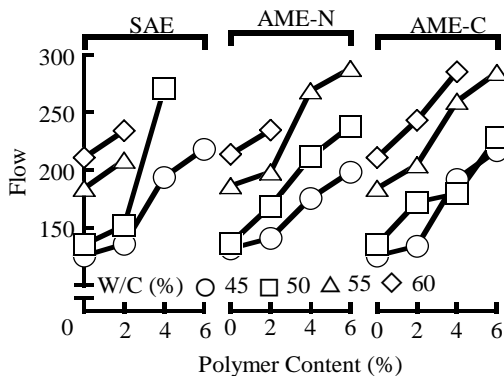


Fig.3 Polymer Content vs. Flow of Polymer-Modified Mortars with S/C of 3.

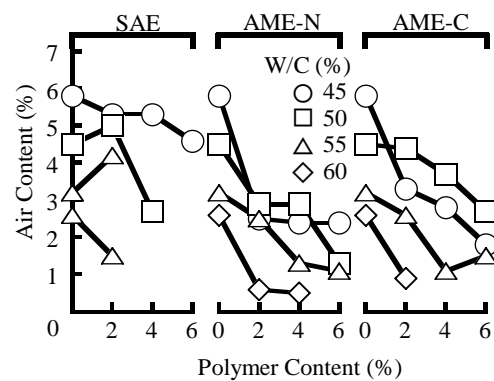


Fig.5 Polymer Content vs. Air Content of Polymer-Modified Mortars with S/C of 3.

起因して大きなフロー値を示す。また、セメント混和用ポリマーの種類によってフロー値が大きく異なっており、これは、セメント混和用ポリマーの粘度、化学組成および構成成分の違いによるものと推察される。

Fig.4 および Fig.5 には、水セメント比 45% および細骨材セメント比 3 としたポリマーセメントモルタルの空気量と単位ポリマー量の関係を示す。

セメント混和用ポリマー、細骨材セメント比および水セメント比にかかわらず、ポリマーセメントモルタルの空気量は単位ポリマー量の増加に伴って減少する傾向にある。本研究で使用したセメント混和用ポリマーには、その構成成分として消泡剤が含まれており、単位ポリマー量が増加すれば、ポリマーセメントモルタルの総体積中に含まれる消泡剤の量が増大することに起因するものと考えられる。しかし、セメント混和用ポリマー自体の起泡作用、およびその構成成分としての消泡剤の種類により消泡効果が異なるため、それぞれのポリマーセメントモルタルにおける単位ポリマー量と空気量の関係は、セメント混和用ポリマーの種類によって相当に異なる。

Fig.6 および Fig.7 には、水セメント比 45% および細骨材セメント比 3 としたポリマーセメントモルタルの吸水率と単位ポリマー量の関係を、Fig.8 には、細骨材セメント比 3 としたポリマーセメントモルタルの吸水率と水セ

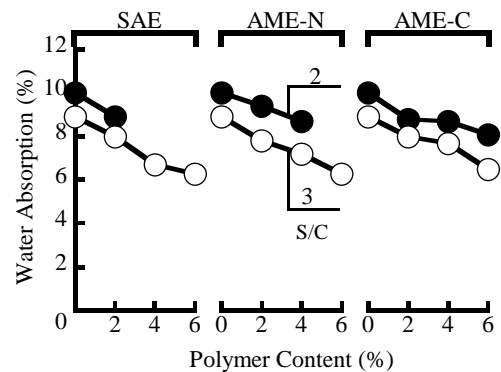


Fig.6 Polymer Content vs. Water Absorption of Polymer-Modified Mortars with W/C of 45%.

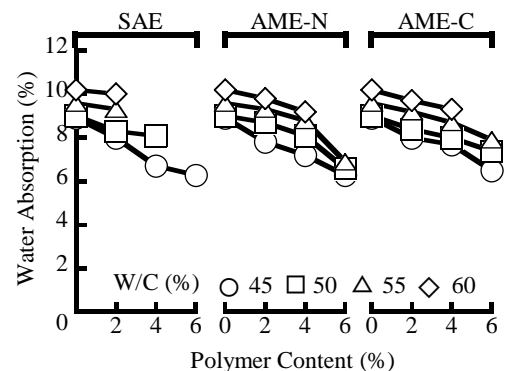


Fig.7 Polymer Content vs. Water Absorption of Polymer-Modified Mortars with S/C of 3.

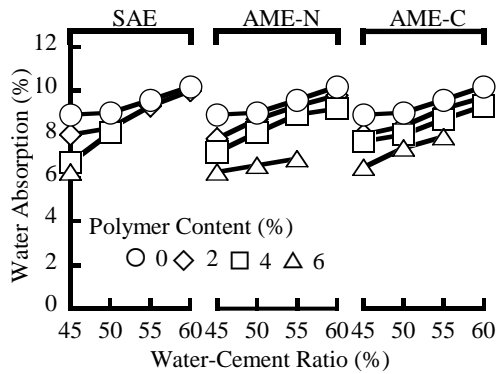


Fig.8 Water-Cement Ratio vs. Water Absorption of Polymer-Modified Mortars with S/C of 3.

メント比の関係を示す。

セメント混和用ポリマー，細骨材セメント比および水セメント比にかかわらず，ポリマーセメントモルタルの吸水率は単位ポリマー量の増加に伴って減少する傾向にある。なお，ポリマーセメント比にかかわらず，細骨材セメント比3のものに比べて，細骨材セメント比2のポリマーセメントモルタルの吸水率は大きい傾向にある。細骨材セメント比3のものに比べて，細骨材セメント比2のポリマーセメントモルタルの空気量は小さく，後述するように，その圧縮強さは大きい傾向にある。従って，細骨材セメント比が小さいものほど密な組織構造を形成するといえる。その結果，吸水率は小さくなると想定されるが，本研究の限りでは，そのような傾向がない。

ポリマーセメントモルタルにおいては，セメント水和物相と細骨材相間に，フィルム状や糸状のポリマーの連続相が存在して，水の浸入の障壁となるものと考えられる。しかしながら，吸水現象は主に毛细管作用によるものであり，それらの界面の表面張力に依存すると考えられるため，形成される組織構造の物理・化学的性質を含めて更に詳細な検討を要するものと推察される。

一方，ポリマー未混入モルタルと同様に，水セメント比の増加に伴ってポリマーセメントモルタルの吸水率は増大する傾向にあるが，いずれの水セメント比においても，単位ポリマー量の増加に伴って減少する。しかし，単位ポリマー量の増加に伴うポリマーセメントモルタルの吸水率の低減の程度は，水セメント比によって異なる傾向にある。そこで，次式により吸水低減率を算出した。

$$RR_{WA} = \frac{WA_0 - WA_i}{WA_0} \times 100$$

ここに， RP_{WA} ：吸水低減率 (%)

WA_0 ：ポリマー未混入モルタルの吸水率 (%)

WA_i ：ポリマーセメントモルタルの吸水率 (%)

Fig.9 から Fig.11 には，ポリマーセメントモルタルの吸水低減率と単位ポリマー量および水セメント比の関係を示す。

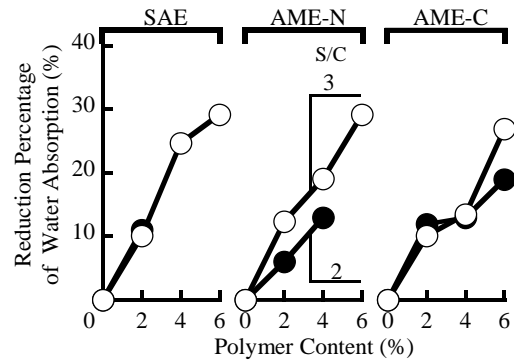


Fig.9 Polymer Content vs. Reduction Percentage of Water Absorption of Polymer-Modified Mortars with Water-Cement Ratio of 45%.

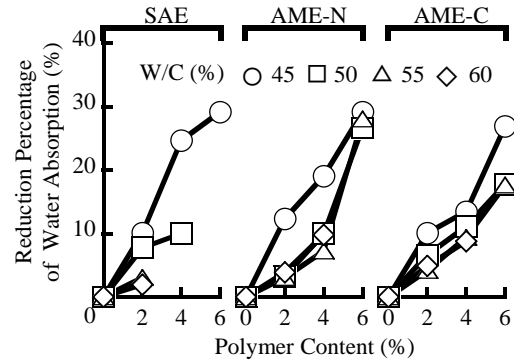


Fig.10 Polymer Content vs. Reduction Percentage of Water Absorption of Polymer-Modified Mortars with S/C of 3.

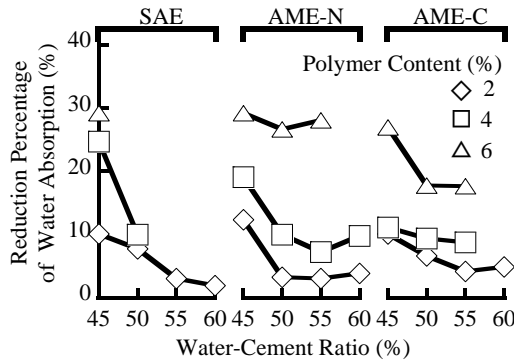


Fig.11 Water-Cement Ratio vs. Reduction Percentage of Water Absorption of Polymer-Modified Mortars with S/C of 3.

SAE および AME-C を用いたポリマーセメントモルタルにおいては，細骨材セメント比にかかわらず，単位ポリマー量の増加に伴う吸水低減効果はほぼ同様であるが，AME-N を用いたものでは，細骨材セメント比が小さい場合には，その低減率は若干小さい傾向にある。一方，いずれのセメント混和用ポリマーを用いた場合でも，水セメント比の小さいポリマーセメントモルタルにおいて，単位ポリマー量の差異による吸水低減効果の違いが明確に現れる傾向にある。

Fig.12 および Fig.13 には，水セメント比 45% および細骨材セメント比 3 としたポリマーセメントモルタルの曲

げ強さと単位ポリマー量の関係を、Fig.14 には、細骨材セメント比3としたポリマーセメントモルタルの曲げ強さと水セメント比の関係を示す。

セメント混和用ポリマー、細骨材セメント比および水セメント比にかかわらず、ポリマーセメントモルタルの曲げ強さは単位ポリマー量の増加に伴って著しく増大する傾向にある。これは、ポリマーセメントモルタル中に形成されるポリマー相の曲げ補強効果によるものと推察される。また、ポリマー未混入モルタルと同様に、単位ポリマー量にかかわらず、ポリマーセメントモルタルの曲げ強さは水セメント比の増加に伴って減少する。ここで、その曲げ強さ改善効果を明らかにするために、次式

により曲げ強さ改善率を算出した。

$$IP\sigma_f = \frac{\sigma_{fi} - \sigma_{f0}}{\sigma_{f0}} \times 100$$

ここに、 $IP\sigma_f$: 曲げ強さ改善率 (%)

σ_{fi} : ポリマーセメントモルタルの曲げ強さ (MPa)

σ_{f0} : ポリマー未混入モルタルの曲げ強さ (MPa)

Fig.15 から Fig.17 には、ポリマーセメントモルタルの曲げ強さ改善率と単位ポリマー量および水セメント比の関係を示す。

単位ポリマー量にかかわらず、ポリマーセメントモルタルの曲げ強さ改善率は、細骨材セメント比が大きいも

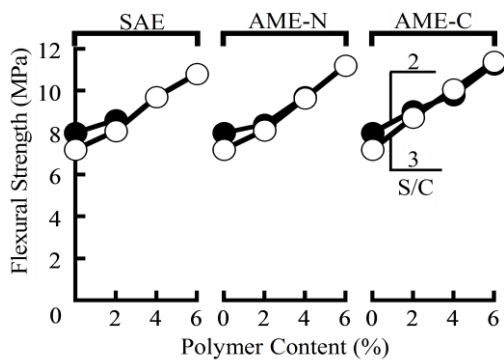


Fig.12 Polymer Content vs. Flexural Strength of Polymer-Modified Mortars with Water-Cement Ratio of 45%.

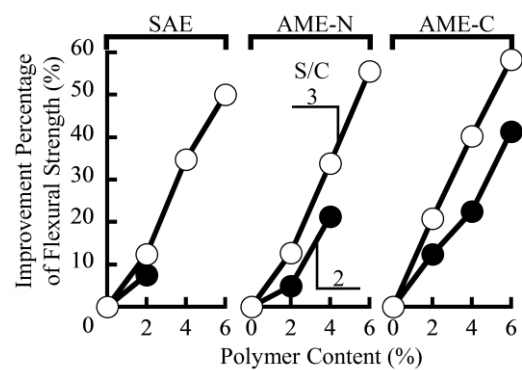


Fig.15 Polymer Content vs. Improvement Percentage of Flexural Strength of Polymer-Modified Mortars with Water-Cement Ratio of 45%.

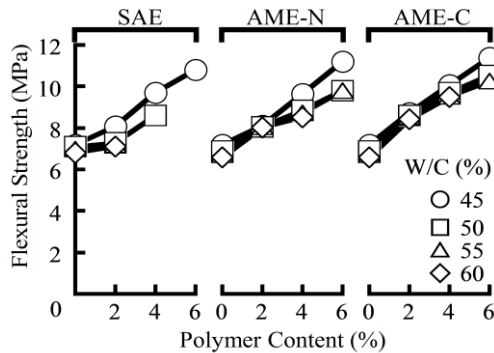


Fig.13 Polymer Content vs. Flexural Strength of Polymer-Modified Mortars with S/C of 3.

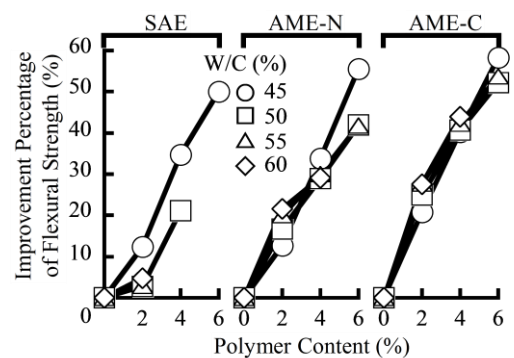


Fig.16 Polymer Content vs. Improvement Percentage of Flexural Strength of Polymer-Modified Mortars with S/C of 3.

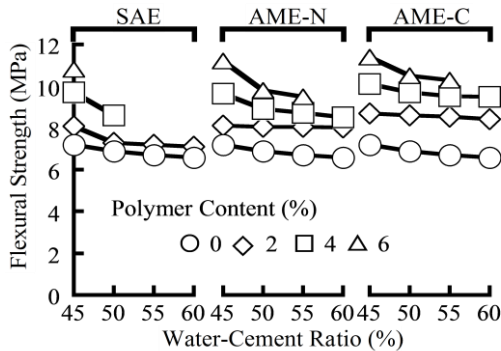


Fig.14 Water-Cement Ratio vs. Flexural Strength of Polymer-Modified Mortars with S/C of 3.

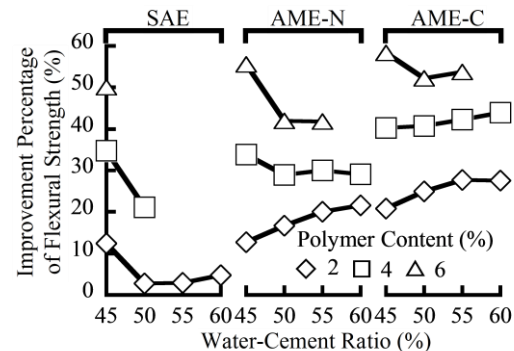


Fig.17 Water-Cement Ratio vs. Improvement Percentage of Flexural Strength of Polymer-Modified Mortars with S/C of 3.

ので若干大きい傾向にある。また、いずれのポリマーセメントモルタルにおいても、水セメント比の小さい場合に、単位ポリマー量の増加による曲げ強さの改善効果が顕著になる傾向にある。これは、水セメント比が小さいほど、ポリマーセメントモルタル組織がち密化し、ポリマー相とセメント水和物および細骨材との付着特性が改善されることに起因するものと推察される。

Fig.18 および Fig.19 には、水セメント比 45% および細骨材セメント比 3 としたポリマーセメントモルタルの圧縮強さと単位ポリマー量の関係を、Fig.20 には、細骨材セメント比 3 としたポリマーセメントモルタルの圧縮強

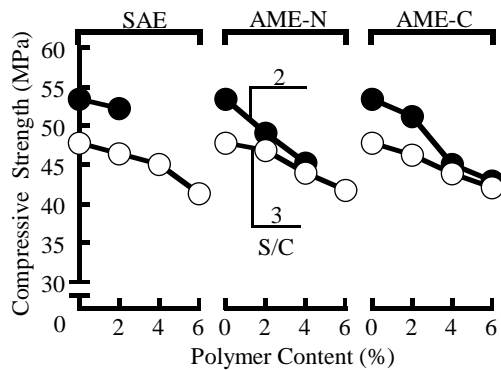


Fig.18 Polymer Content vs. Compressive Strength of Polymer-Modified Mortars with Water-Cement Ratio of 45%.

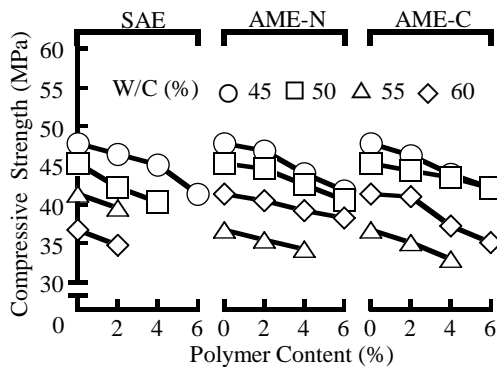


Fig.19 Polymer Content vs. Compressive Strength of Polymer-Modified Mortars with S/C of 3.

さと水セメント比の関係を示す。

セメント混和用ポリマー、細骨材セメント比および水セメント比にかかわらず、ポリマーセメントモルタルの圧縮強さは単位ポリマー量の増加に伴って減少する傾向にある。これは、ポリマーセメントモルタル中に形成されるポリマー相の弾性係数が小さいことに起因するものと推察される²⁾。このことは、細骨材セメント比 2 としたポリマー未混入モルタルの圧縮強さは、細骨材 3 としたもののそれよりも大きい値を与えるにもかかわらず、単位ポリマー量の増加に伴う圧縮強さの減少の程度が大きい傾向にあることから伺える。一方、当然のことながら、水セメント比の増加に伴って、ポリマー未混入モ

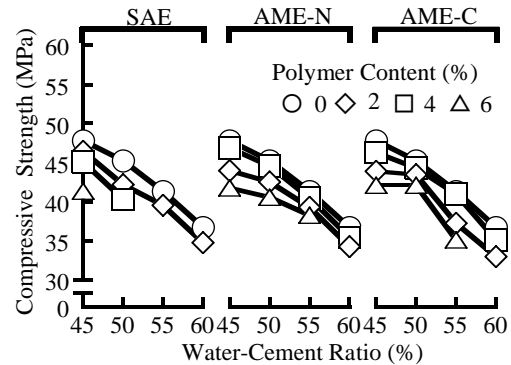


Fig.20 Water-Cement Ratio vs. Compressive Strength of Polymer-Modified Mortars with S/C of 3.

ルタルの圧縮強さは減少する傾向にあり、ポリマーセメントモルタルにおいても同様の傾向が認められる。

なお、セメント混和用ポリマーの機能およびその種類による影響度は、ポリマーセメントモルタルのフレッシュ時と硬化後では異なると考えられ、本研究の限りでは、フレッシュ性状に比べて、強さ性状においてはセメント混和用ポリマーの種類による差異が現れにくいことが示唆される。

5. 結論

本研究で得られた試験結果を総括すれば、次の通りである。

- (1) 単位ポリマー量の増加に伴って、ポリマーセメントモルタルのフロー値は増大し、空気量は減少する傾向にあり、その程度はセメント混和用ポリマーの種類によって相当に異なる。
- (2) 単位ポリマー量の増加に伴って、ポリマーセメントモルタルの吸水率は減少し、その曲げ強さは著しく増大する傾向にある。しかし、ポリマーセメントモルタルの吸水特性については、形成される組織構造の物理・化学的性質による影響も含めて更に詳細な検討を要する。
- (3) 単位ポリマー量の増加に伴う吸水低減効果および曲げ強さ改善効果は、水セメント比が小さいものほど顕著に現れる傾向にある。
- (4) ポリマーセメントモルタルの圧縮強さは、単位ポリマー量の増加に伴って減少する。

参考文献

- 1) 大濱嘉彦, 出村克宣: ポリマーセメントコンクリート/ポリマーコンクリート, シーエムシー出版社, pp.21-54, 2002.2
- 2) 林志翔, 長塩靖祐, 鶴澤正美: 高強度ポリマーセメントモルタルの強度発現性に及ぼす材料および養生条件の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1165-1170, 2005.6