

論文 粉末収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの性質に及ぼす粉末消泡剤の影響

遠藤 秀彦^{*1}・大濱 嘉彦^{*2}・出村 克宣^{*3}

要旨：本研究では、粉末収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの空気量、強さ、乾燥収縮及び吸水率に及ぼす粉末消泡剤の影響について検討している。その結果、一部の例外を除き、再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタル及びそれに粉末収縮低減剤を添加したものの各種性質に及ぼす粉末消泡剤の添加効果は、粉末消泡剤及び再乳化形粉末樹脂の種類に依存するが、POE・POP・モノオレイルエーテルが最も優れた効果を発揮する。従って、粉末収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの使用に当っては、POE・POP・モノオレイルエーテルの添加が推奨される。

キーワード：再乳化形粉末樹脂、ポリマーセメントモルタル、消泡剤、収縮低減剤、乾燥収縮

1. はじめに

再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルは、ポリマーディスパージョン混入ポリマーセメントモルタルに比べて、練混ぜ水以外の材料が粉体で供給され、施工現場において練混ぜ水のみを加えて使用できる **prepackaged** 型ポリマーセメントモルタル製品の製造が可能である。しかしながら、再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルは、ポリマーディスパージョン混入ポリマーセメントモルタルに比べて、その空気量及び乾燥収縮が相当に大きいという欠点を持つ¹⁾。最近、粉末収縮低減剤が開発され、大濱ら²⁾によって、再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮低減には、ポリエーテル系粉末収縮低減剤の添加が最も有効であることが明らかとなった。しかしながら、その粉末収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの性質に及ぼす粉末消泡剤の種類の影響については、いまだ検討されていない。なお、これまでも粉末収縮低減剤を添加しない場合における粉末消泡剤の検討を行い、その添加率がほぼ 1.0%で効果のあることを確認している。³⁾

本研究では、仕上材や鉄筋コンクリート構造物用補修材としての **prepackaged** 型ポリマーセメントモルタル製品の製造に多用される再乳化形粉末樹脂と粉末収縮低減剤を添加したポリマーセメントモルタルの性質に及ぼす粉末消泡剤の種類の影響を検討している。

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。セメントの性質を **Table 1** に示す。

2. 2 細骨材

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. 3 セメント混和用再乳化形粉末樹脂

セメント混和用再乳化形粉末樹脂としては、エチレン酢酸ビニル(EVA)、酢酸ビニル・ビニルバーサテート(VA/VeoVa)及びポリアクリル酸エステル(PAE)粉末を使用した。再乳化形粉末樹脂の性質を **Table 2** に示す。

*1 日本大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 日本大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

*3 日本大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

2. 4 粉末消泡剤

粉末消泡剤(以下, PA と略称)としては, ポリオキシエチレン(POE)・ポリオキシプロピレン(POP)・モノオレイルエーテル(以下, PA-1 と略称), ポリオキシエチレン(POE)・ポリオキシプロピレン(POP)・テトラデシルエーテル(以下, PA-2 と略称)及びポリプロピレングリコール(以下, PA-3 と略称)粉末消泡剤を使用した。

2. 5 粉末収縮低減剤

粉末収縮低減剤(以下, SRA と略称)としては, ポリエーテル系粉末収縮低減剤を使用した。

3. 試験方法

3. 1 供試体の作製

JIS A 1171(ポリマーセメントモルタルの試験方法)に従って, セメント:細骨材=1:3(質量比), ポリマーセメント比(P/C)を 0.5,10,15 及び20%, 粉末消泡剤の添加率を0及び1.0%(再乳化形粉末樹脂に対する質量百分率), 粉末収縮低減剤の添加率を0及び6.0%(セメントに対する質量百分率)とした調合の供試モルタルを, 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た。供試モルタルを寸法 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ に成形し, 2d 湿空[20℃,80%(RH)] +5d 水中(20℃)+21d 乾燥[20℃; 50%(RH)]養生を行って, 供試体を作製した。

3. 2 空気量試験

JIS A 1128[フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法(空気室圧力方法)]に従って, モルタル用エアメーターを用いて, 供試モルタルの空気量を測定した。

3. 3 曲げ及び圧縮強さ試験

JIS A 1171に従って, 供試体の曲げ及び圧縮強さ試験を行った。

3. 4 乾燥収縮試験

供試体を2d 湿空[20℃, 80%(RH)]+5d 水中(20℃)養生してから, その基長を測定した後, 乾燥[20℃, 50%(RH)]養生を行い, JIS A 1129(モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法)に従って, 乾燥期間 28d における乾燥収縮を測定した。

3. 5 吸水率試験

JIS A 1171に従って, 供試体を 20℃の静水に浸漬し, 水中浸漬時間 48h における質量を測定して, 吸水率を求めた。

4. 試験結果及び考察

Fig.1 には, PA 及び SRA 添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの空気量とポリマーセメント比の関係を示す。PAE 混入ポリマーセメントモルタルを除き, 再乳化形粉末樹脂の種類及びポリマーセメント比にかかわらず, PA 及び SRA 無添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの空気量は,

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	2-25	3-30	29.5	44.5	61.3
Chemical Compositions (%)						
MgO		SO ₃		ig. loss		
1.4		2.0		1.9		

Table 2 Properties of Redispersible Polymer Powders

Type of Redispersible Polymer Powder	Appearanse	Average Particle Size (μ m)	Glass Transition Point, Tg (°C)	pH [10% Water Dispersion] (20°C)
EVA	White Powder	85	-5	5.4
VA/VeoVa	White Powder	75	-3	7.5
PAE	White Powder	70	8	8.3

20.0%以上であり、普通セメントモルタル (P/C, 0%) のそれよりも著しく大きい。一方、PA 及び SRA 無添加の PAE 混入ポリマーセメントモルタルの空気量は、15.0~16.0%程度であり、普通セメントモルタル (P/C, 0%) のその約 2 倍である。しかし、再乳化形粉末樹脂及び PA の種類にかかわらず、PA 及び SRA 無添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの空気量は、PA の添加により著しく減少し、

更に、ポリマーセメント比 5%で最大値に達する傾向にある。空気量の上から見ると、EVA 及び VA/VeoVa 混入ポリマーセメントモルタルにおいては、PA-1 の消泡効果が最も優れており、次いで、PA-3、PA-2 の順に消泡効果は劣ってくる。一方、PAE 混入ポリマーセメントモルタルにおいては、PA-3 の消泡効果が最も優れており、次いで、PA-1、PA-2 の順に消泡効果は劣ってくる。

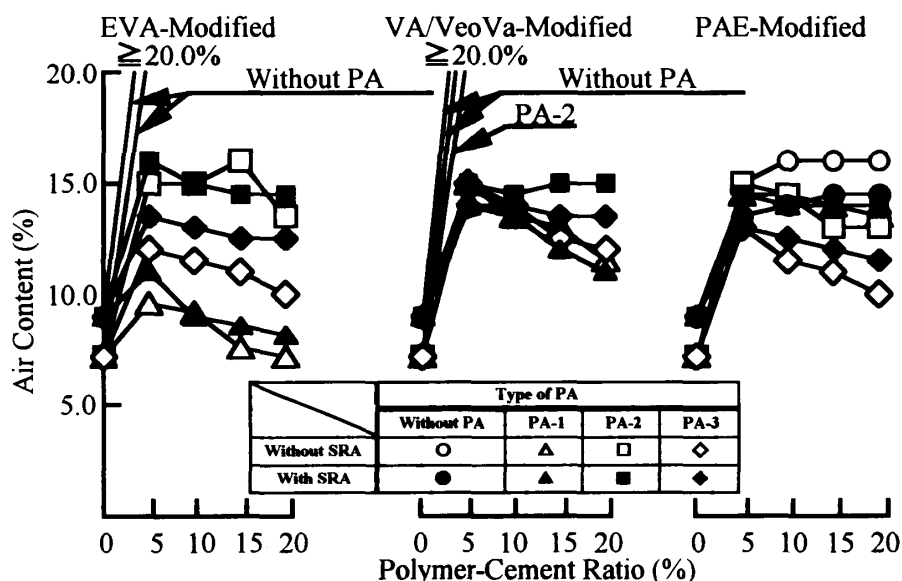


Fig.1 Polymer-Cement Ratio vs. Air Content of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powders with Powdered Antifoamers and Powdered Shrinkage-Reducing Agent.

Fig.2 には、PA 及び SRA 添加の再乳化形粉末樹脂混入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の関係を示す。再乳化形粉末樹脂の種類及びポリマーセメント比にかか

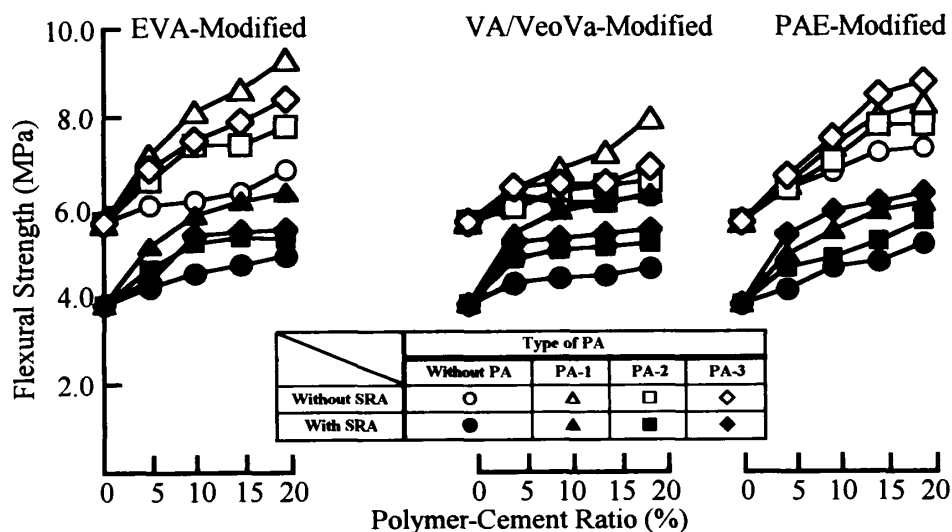


Fig.2 Polymer-Cement Ratio vs. Flexural Strength of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powders with Powdered Antifoamers and Powdered Shrinkage-Reducing Agent.

わらず、PA 及び SRA 無添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの曲げ強さは、SRA の添加により減少する。一部の例外を除き、再乳化形粉末樹脂の種類にかかわらず、PA 及び SRA 無添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの曲げ強さは、ポリマーセメント比の増加に伴って増大すると共に、更に、PA の添加により増大する。再乳化形粉末樹脂及び PA の種類にかかわらず、SRA 添加で PA 無添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメン

トモルタルの曲げ強さは、ポリマーセメント比の増加に伴って増大すると共に、更に、PA の添加により増大する。再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタル及びそれに SRA を添加したものの曲げ強さの PA 添加による増大は、**Fig.1** に示したように、PA の添加による再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの空気量の減少に起因するものと考える。

Fig.3 には、PA 及び SRA 添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの圧縮強

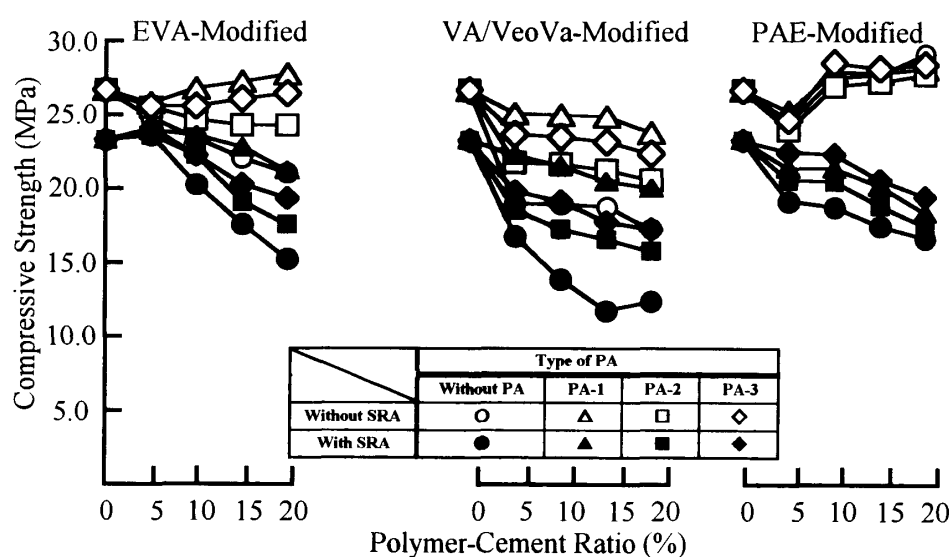


Fig.3 Polymer-Cement Ratio vs. Compressive Strength of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powders with Powdered Antifoamers and Powdered Shrinkage-Reducing Agent.

さとポリマーセメント比の関係を示す。再乳化形粉末樹脂の種類及びポリマーセメント比にかかわらず、PA 及び SRA 無添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの圧縮強さは、SRA の添加により減少する。PAE を除き、再乳化形粉末樹脂及び PA の種類にかかわらず、PA 及び SRA 無添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの圧縮強さは、ポリマーセメント比の増加に伴って減少するものの、PA の添加により、その減少割合は小さくなる。再乳化形粉末樹脂及び PA の種類にかかわらず、SRA 添加で PA 無添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの圧縮強さは、ポリマーセメント比の増加に伴って減少するものの、PA の添加により、その減少割合は小さくなる。

再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタル及びそれに SRA を添加したものの圧縮強さの PA 添加による改善は、**Fig.1** に示したように、PA の添加による再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの空気量の減少に起因するものと考える。強さの上から見ると、EVA 及び VA/VeoVa 混入ポリマーセメントモルタルにおいては、PA-1 添加時の強さが最も大きく、次いで、PA-3、PA-2 添加の順に強さは小さくなる。一方、PAE 混入ポリマーセメントモルタルにおいては、PA-3 添加時の強さが最も大きく、次いで、PA-1、PA-2 添加の順に強さは小さくなる。

Fig.4 には、PA 及び SRA 添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの乾燥期間 28d における乾燥収縮とポリマーセメント比

の関係を示す。再乳化形粉末樹脂及び PA の種類にかかわらず、PA 及び SRA 無添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮は、ポリマーセメント比の増加に伴って著しく増加するものの、PA の添加により、その増加割合は小さくなる。再乳化形粉末樹脂の種類にかかわらず、PA 及び SRA 無添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮は、SRA の添加によって減少し、更に、PA と SRA の併用添加によって著しく減少する。再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタル及びそれに SRA を添加したものの PA 添加に

よる乾燥収縮の減少は、**Fig.1**に示したように、PA の添加による再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの空気量の減少に起因するものとする。乾燥収縮の上から見ると、EVA 及び VA/VeoVa 混入ポリマーセメントモルタルにおいては、PA-1 添加時の乾燥収縮低減効果が最も優れており、次いで、PA-3、PA-2 添加の順に劣ってくる。一方、PAE 混入ポリマーセメントモルタルにおいては、PA-3 添加時の乾燥収縮低減効果が最も大きく、次いで、PA-1、PA-2 添加の順に劣ってくる。

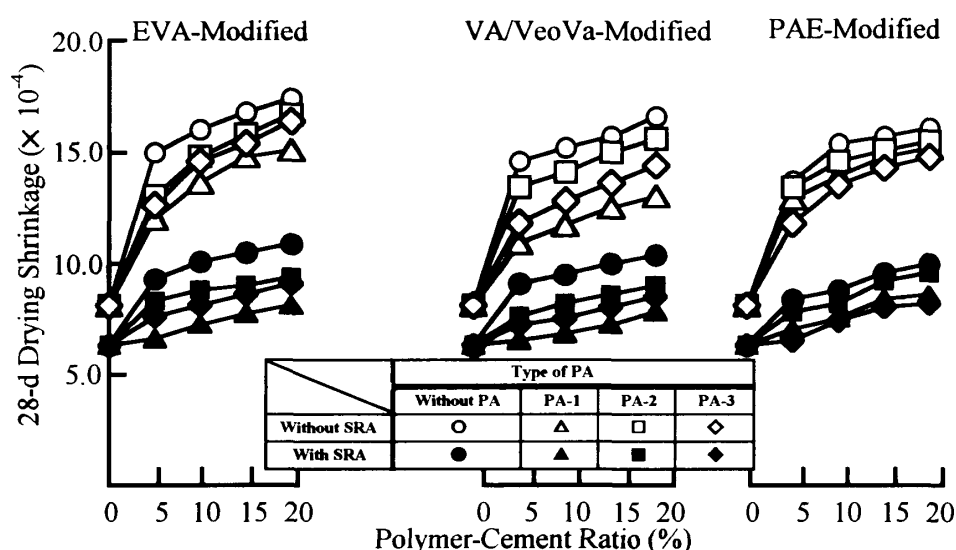


Fig.4 Polymer-Cement Ratio vs. 28-d Drying Shrinkage of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powders with Powdered Antifoamers and Powdered Shrinkage-Reducing Agent.

Fig.5 には、PA 及び SRA 添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの水中浸漬時間 48h における吸水率とポリマーセメント比の関係を示す。PAE を除き、再乳化形粉末樹脂の種類及びポリマーセメント比にかかわらず、PA 及び SRA 無添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの吸水率は、SRA の添加により増大する。再乳化形粉末樹脂の種類にかかわらず、PA 及び SRA 無添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの吸水率は、ポリマーセメント比の増加に伴って減少すると共に、更に、PA-1 及び PA-3 の添加によ

り減少する。再乳化形粉末樹脂及び PA の種類にかかわらず、SRA 添加で PA 無添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの吸水率は、ポリマーセメント比の増加に伴って減少すると共に、更に、PA-1 及び PA-3 の添加により減少する。一方、SRA 添加の有無にかかわらず、PA-2 添加の再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの吸水率は、PA 無添加のそれよりも大きい。PA-2 を除き、再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタル及びそれに SRA を添加したものの吸水率の PA 添加による減少は、**Fig.1**に示したように、PA の添加

による再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの空気量の減少に起因するものと考えられる。吸水率の上から見ると、EVA 及び VA/VeoVa 混入ポリマーセメントモルタルにおいては、PA-1 添加時の吸水率が最も小さく、次いで、

PA-3, PA-2 添加の順に吸水率は大きくなる。一方、PAE 混入ポリマーセメントモルタルにおいては、PA-3 添加時の吸水率が最も小さく、次いで、PA-1, PA-2 添加の順に吸水率は大きくなる。

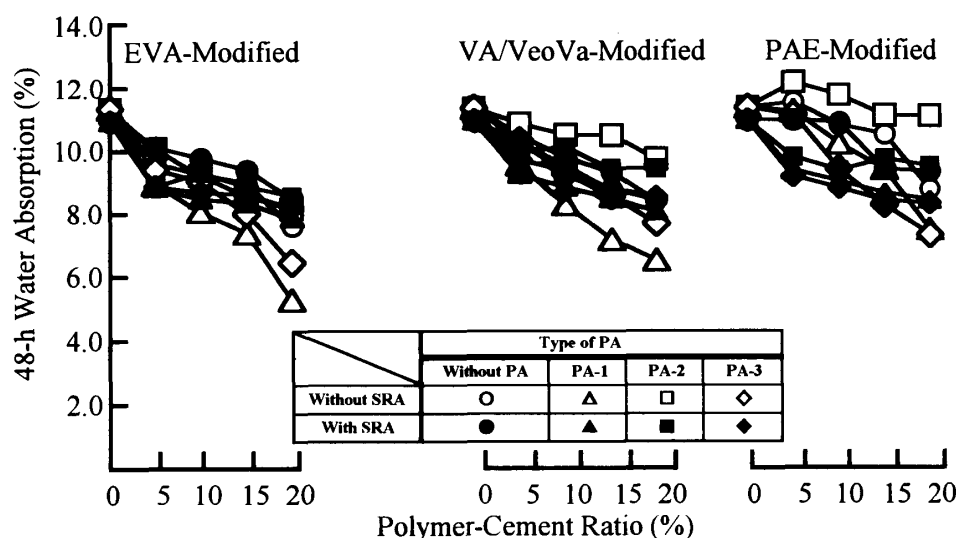


Fig.5 Polymer-Cement Ratio vs. 48-h Water Absorption of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powders with Powdered Antifoamers and Powdered Shrinkage-Reducing Agent.

5. 結論

以上の試験結果を結論づければ、次のとおりである。

- (1) 一部の例外を除き、再乳化形粉末樹脂及び PA の種類、SRA の添加の有無並びにポリマーセメント比にかかわらず、再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルでは、PA の添加によって、その空気量は減少し、その曲げ及び圧縮強さは改善され、その乾燥収縮及び吸水率は小さくなる傾向にある。
- (2) PAE を除き、再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタル及びそれに SRA を添加したものの各種性質に及ぼす PA の添加効果は、PA 及び再乳化形粉末樹脂の種類に依存するが、PA-1 が最も優れている。
- (3) 以上のことから、PAE を除き、再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタル及びそ

れに SRA を添加したものの使用に当たっては、粉末消泡剤として POE・POP・モノオレイルエーテル (PA-1) の添加が推奨される。

参考文献

- 1) Ohama, Y. and Shiroishida, K. : Properties of Polymer-Modified Mortars Using Powdered Emulsions, Polymer Concrete, Uses, Materials, and Properties, SP-89, American Concrete Institute, Detroit, pp.313-322, 1985
- 2) 大濱嘉彦, 出村克宣, 金 完基 : 再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮低減, 材料, Vol. 46, No. 1, pp.84-88, 1997. 1
- 3) 大濱嘉彦, 出村克宣, 金 完基 : 再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの曲げ及び圧縮強さに及ぼす粉末消泡剤の添加効果, セメント・コンクリート論文集, No. 50, pp.744-749, 1996. 12