

# 論文 再乳化形粉末樹脂混入モルタルの乾燥収縮及び強さ

金 完基\*1・大濱嘉彦\*2・出村克宣\*3

要旨：本研究では、3種類の細骨材を用い、収縮低減剤添加率及びポリマーセメント比を変えて、再乳化形粉末エチレン酢酸ビニル樹脂混入ポリマーセメントモルタルを調製し、乾燥収縮試験及び強さ試験を行っている。その結果、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及び強さに及ぼす収縮低減剤添加率、水セメント比、ポリマーセメント比、空気量及びセメントマトリックス中の水の表面張力の影響を明らかにすると共に、使用する骨材別に、これらの影響因子を考慮した乾燥収縮と曲げ及び圧縮強さ算定式を見いだしている。

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

## 1. はじめに

再乳化形粉末樹脂を用いたポリマーセメントモルタルの一般的性質は、普通セメントモルタルに比べて優れており、現在市販され、広範囲に使用されているセメント混和用ポリマーディスページョンを用いたポリマーセメントモルタルと遜色のない性能を有する。しかしながら、その乾燥収縮は、普通セメントモルタル及びポリマーディスページョンを用いたものと比べて相当に大きい[1]。又、普通セメントモルタル及びポリマーセメントモルタルの性質は、使用する骨材の種類に影響されるものと考える。一方、R. H. Smith及びR. H. Mills[2]は、界面活性剤を練混ぜ水に添加した場合、セメントペースト内の毛細管張力の低下により、セメントモルタル乾燥収縮が低減することを示している。

本研究では、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を目的として開発したポリエーテル系粉末収縮低減剤[3]の添加がその乾燥収縮及び強さに及ぼす影響を検討すると共に、収縮低減剤添加率、水セメント比、ポリマーセメント比などの調査要因を考慮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乾燥収縮及び強さ算定式を提案する。

## 2. 使用材料

### 2.1 セメント及び細骨材

セメントとしては、普通ポルトランドセメントを、細骨材としては、豊浦標準砂(TSS)、川砂(RS)及びけい砂(SS)を使用した。細骨材の性質を表-1に示す。

### 2.2 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)を使用した。再乳化形粉末樹脂の性質を表-2に示す。

表-1 細骨材の性質

Type of Sand	Size (mm)	Fineness Modulus	Unit Weight (kg/l)	Specific Gravity (20°C)	Water Content (%)
Toyouira Standard Sand	<0.297	—	1.52	2.63	0.11
River Sand	<1.2	2.17	1.58	2.57	2.70
Silica Sand	<1.2	2.18	1.75	2.60	<0.10

\*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 日本大学助教授 工学部建築学科, 工博 (正会員)

### 2.3 消泡剤

消泡剤としては、ポリエステル系粉末消泡剤を使用した。

### 2.4 収縮低減剤

収縮低減剤(SRA)としては、ポリエチレングリコールを使用した。収縮低減剤の性質を表-3に示す。

表-2 再乳化形粉末樹脂の性質

Type of Polymer	Appearance	Average Particle Size (μm)	Glass Transition Point, Tg (°C)	pH [10% Water Dispersion] (20 °C)
EVA	White Powder	60	0	5.0

表-3 収縮低減剤の性質

Appearance	Chemical Formula	Molecular Weight	pH [10% Water Dispersion] (20°C)
White Flake	HO(OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> H n=68	3000	5.4

## 3. 試験方法

### 3.1 供試体の作製

セメント：砂＝1：3（質量比），ポリマーセメント比(P/C)0, 5, 10, 15及び20%，消泡剤添加率1.0%（再乳化形粉末樹脂に対して）

とし、収縮低減剤添加率を0, 2, 4及び6%（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、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）に従って練混ぜ、寸法40x40x160mmに成形し、2日間湿空[20°C, 80% (RH)], 5日水中(20°C)養生を行って、供試体を作製した。3種類の細骨材を用い、収縮低減剤を添加した供試モルタルの調合を表-4に示す。

表-4 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調合

Type of Mortar	Cement: Sand (by Mass)	Polymer-Cement Ratio (%)	Shrinkage-Reducing Agent Content (%)	Water-Cement Ratio (%)			Air Content (%)			Flow				
				TSS	RS	SS	TSS	RS	SS	TSS	RS	SS		
Unmodified	1:3	0	0	82.0	65.0	56.0	8.0	5.6	5.1	170	168	167		
			2	78.5	63.0	54.0	11.0	10.5	10.0	174	173	170		
			4	77.0	61.0	52.0	11.0	10.0	9.6	167	173	173		
			6	76.0	59.0	51.0	10.5	9.6	9.4	166	170	174		
		EVA Powder-Modified	1:3	5	0	74.0	59.0	49.0	12.0	8.2	11.5	167	170	175
					2	73.5	59.0	50.0	11.0	7.6	7.4	174	169	168
					4	73.0	59.5	51.0	11.0	7.4	8.0	167	174	167
					6	73.0	59.5	52.0	10.5	8.4	9.6	170	175	174
				10	0	72.0	57.0	49.0	12.0	8.4	7.2	170	170	170
					2	71.5	58.0	49.0	11.5	6.0	5.0	170	167	167
					4	71.5	58.5	51.0	10.5	5.5	6.8	169	168	168
					6	71.5	59.0	52.0	10.0	6.6	8.6	171	167	165
15	0			69.5	55.5	47.5	11.0	6.8	7.2	172	172	171		
	2			69.5	56.0	47.0	11.0	4.7	4.7	170	169	170		
	4			69.5	56.5	50.0	10.5	4.8	6.0	170	167	166		
	6			69.0	57.0	54.0	10.0	7.0	7.4	167	166	170		
20	0	67.0	54.0	47.0	10.0	5.5	5.9	169	167	172				
	2	67.0	55.0	46.5	10.5	4.6	4.4	169	167	173				
	4	67.5	56.0	50.0	10.0	4.4	5.0	166	174	166				
	6	68.0	56.5	54.0	9.5	5.5	5.8	166	168	165				

### 3.2 ペースト抽出液の表面張力の測定

表-4に示すような調合のポリマーセメントモルタルと同様のポリマーセメント比及び

水セメント比とした供試ペーストを3分間練混ぜ、20°C, 80% (RH)の条件下に2時間放置した後、JIS A 6904（せっこうプラスター）に規定された保水性試験装置を用いて吸引汙過を行い、ペースト抽出液を得た。なお、練混ぜ水としては、イオン交換水を用いた。20°C, 50% (RH)の条件下で、ウィルヘルミー式表面張力計を用いて、ペースト抽出液の表面張力を測定した。

### 3.3 乾燥収縮試験

水中(20°C)養生した直後、供試体の基長を測定した後、乾燥[20°C, 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) のコンパレータ法に従って、乾燥材齢1, 3, 7, 14, 21, 28, 56及び91日における乾燥収縮を測定した。

### 3.4 強さ試験

5日水中(20℃)養生後、更に、21日乾燥[20℃, 50%(RH)]養生した供試体について、曲げ及び圧縮強さ試験を、JIS A 1172 (ポリマーセメントモルタルの強さ試験方法) に従って行った。

## 4. 試験結果

図-1から図-3には、3種類の細骨材を用い、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乾燥収縮と乾燥材齢の関係の一例を示す。一般に、普通セメントモルタルと同様に、乾燥材齢の経過に伴い、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乾燥収縮は増加する傾向にある。しかし、いずれの細骨材を用いた場合でも、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乾燥収縮は、乾燥材齢28日又は56日以後ほぼ一定となる。本研究の限りでは、ポリマーセメント比5%及び収縮低減剤添加率6%として、けい砂を用いた再乳化

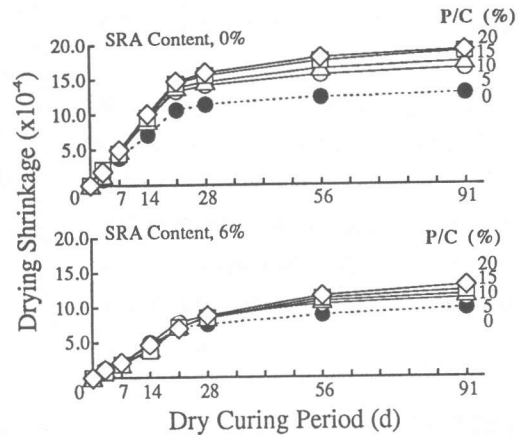


図-1 豊浦標準砂を用い、収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮と乾燥材齢の関係

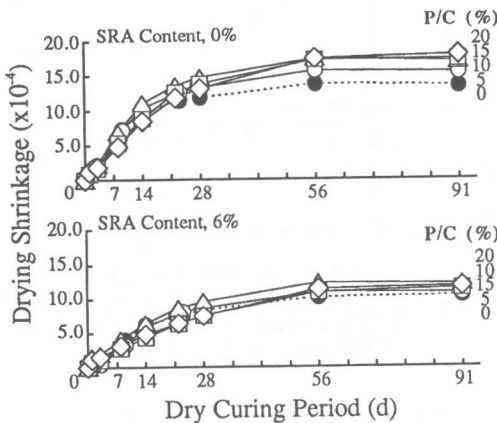


図-2 川砂を用い、収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮と乾燥材齢の関係

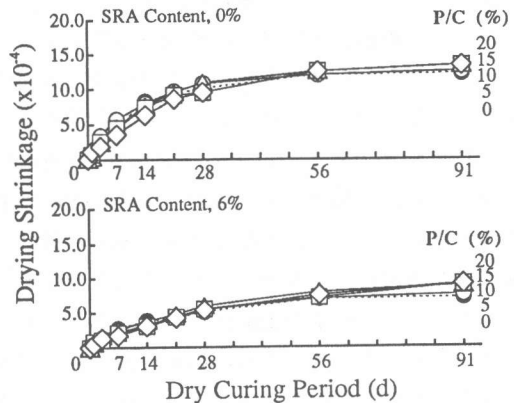


図-3 けい砂を用い、収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮と乾燥材齢の関係

形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの乾燥材齢91日における乾燥収縮値は、 $7.6 \times 10^{-4}$ であり、3種類の細骨材を用いたものの中で最も小さい。

図-4及び図-5には、3種類の細骨材を用い、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乾燥材齢56日の乾燥収縮と収縮低減剤添加率及びポリマーセメント比の関係を示す。細骨材の種類及びポリマーセメント比にかかわらず、収縮低減剤添加率の増加に伴って、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は著しく減少する。又、いず

れの細骨材を用いた場合でも、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乾燥収縮は、ポリマーセメント比の増加に伴って増大する傾向にある。特に、この傾向は、収縮低減剤無添加の場合において著しい。一方、収縮低減剤添加率にかかわらず、けい砂を用いたものの乾燥収縮は、ポリマーセメント比が増加してもほぼ一定となる。

図-6には、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ペースト抽出液の表面張力と収縮低減剤添加率の関係を示す。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ペースト抽出液の表面張力は、収縮低減剤添加率の増加に伴い低下する傾向にある。又、いずれの収縮低減剤添加率においても、ポリマーセメント比0%の普通セメントペーストに比べて、ポリマーセメントペーストの表面張力は相当に小さく、ポリマーセメント比の増加に伴って更に低下する。なお、収縮低減剤添加率2%以上では、収縮低減剤添加率の増加に伴うポリマーセメントペースト抽出液の表面張力の低下の割合は、普通セメントペースト抽出液のそれとほぼ同様である。以上のことより、3種類の細骨材を用い、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乾燥収縮は、収縮低減剤添加率、ポリマーセメント比及びセメントマトリックス中の水の表面張力に左右されるものと考えられる。そこで、これらの影響因子並びに水セメント比及び空気量を考慮して、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乾燥材齢56日における乾燥収縮の算定を試みると、使用する骨材別に、図-7に示すような実験式が得られる。これらの実験式は、次のような一般式で表すことができる。

$$\epsilon_s = (ax + b)(P/C)^{1/3} \quad (1)$$

$$x = (1-SRA/C)(ST)^2(W/C)(1-A)$$

ここに、 $\epsilon_s$ :乾燥収縮(x10<sup>-4</sup>)、P/C:ポリマーセメント比、SRA/C:収縮低減剤添加率、ST:セメントマトリックス中の水の表面張力(mN/m)、W/C:水セメント比、A:空気量、a及びb:骨材別に定

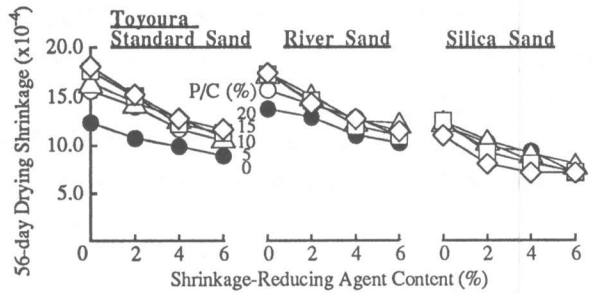


図-4 収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮と収縮低減剤添加率の関係

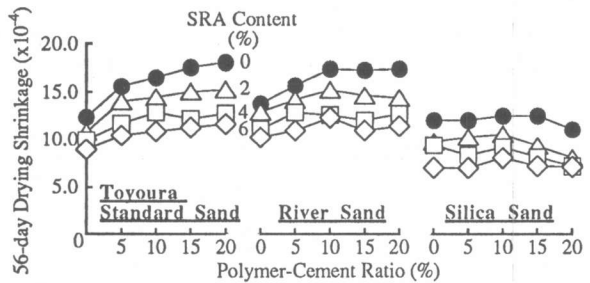


図-5 収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮とポリマーセメント比の関係

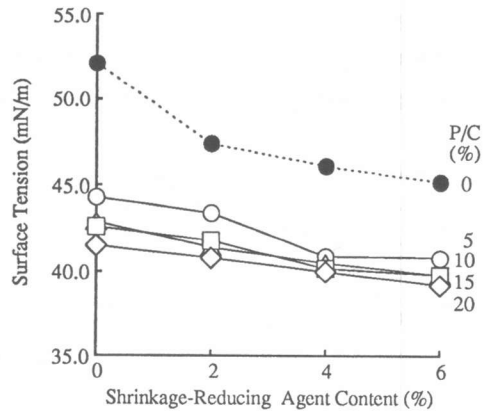


図-6 収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントペースト抽出液の表面張力と収縮低減剤添加率の関係

まる実験定数

図-8及び図-9には、3種類の細骨材を用い、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曲げ及び圧縮強さと収縮低減剤添加率及びポリマーセメント比の関係を示す。いずれの細骨材を用いた場合でも、普通セメントモルタルと同様に、収縮低減剤添加率の増加に伴い、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曲げ及び圧縮強さは減少する。しかし、ポリマーセメント比の増加に伴って、その曲げ強さは増大し、圧縮強さは減少する傾向にある。又、乾燥収縮と同様に、収縮低減剤添加率、ポリマーセメント比、水セメント比、空気量及びセメントマトリックス中の水の表面張力を考慮することによって、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曲げ及び圧縮強さについても、骨材別に、図-10及び図-11に示すような実験式が得られる。更に、これらの実験式は、次のような一般式で表すことができる。

$$\sigma_f \text{ 及び } \sigma_c = (cx+d) (P/C)^{1/3} \quad (2)$$

$$x = (1-SRA/C) (ST)^2 (W/C) (1-A)$$

ここに、 $\sigma_f$ 及び $\sigma_c$ :曲げ及び圧縮強さ(MPa)、P/C:ポリマーセメント比、SRA/C:収縮低減剤添加率、ST:セメントマトリックス中の水の表面張力、W/C:水セメント比、A:空気量、c及びd:骨材別に定まる実験定数

なお、普通セメントコンクリートに適用される水セメント比説によれば、一般に、水セメント比の増加によって、セメントコンクリートの強度は低下する。しかし、上述の一般式においては、水セメント比の増加によってポリマーセメントモルタルの強さは増加することになる。これは、乾燥収縮に関する一般式をそのまま用いているためであるが、本研究においては、フロー値一定としてポリマーセメントモルタルを製造しているため、水セメント比は、他の因子と関連して変

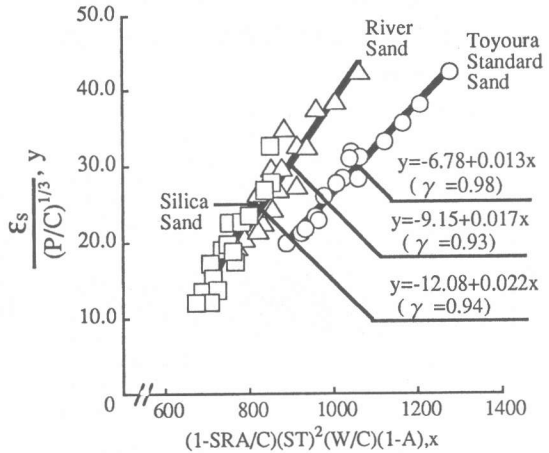


図-7 収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの乾燥収縮算定の試み

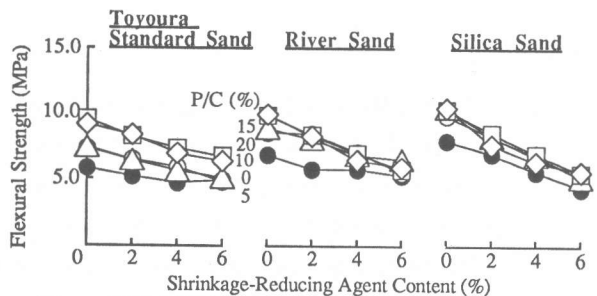


図-8 収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの曲げ強さと収縮低減剤添加率の関係

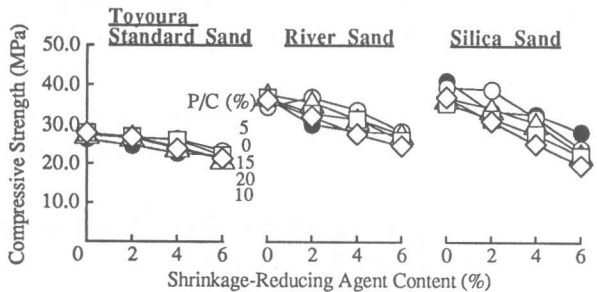


図-9 収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの圧縮強さと収縮低減剤添加率の関係

化するものであり、このような複合体における水セメント比の役割は、普通セメントコンクリートにおけるそれとは相当に異なることが示唆される。しかし、このことについては、更に検討を要するものとする。

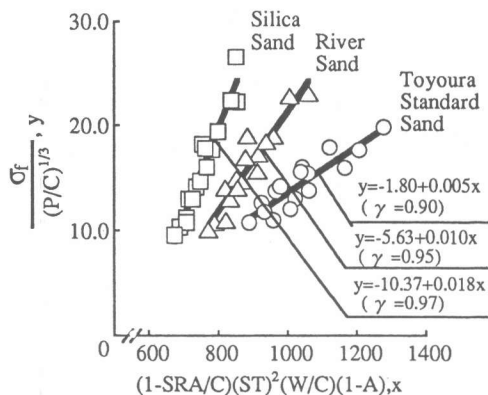


図-10 収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの曲げ強さ算定の試み

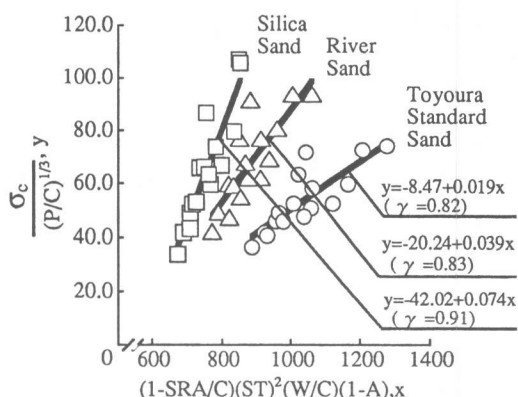


図-11 収縮低減剤を添加した再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの圧縮強さ算定の試み

## 5. 結論

- (1) 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乾燥収縮は、乾燥材齢の経過に伴い増大するが、乾燥材齢26日又は56日以降において、ほぼ一定となる。又、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、収縮低減剤添加率の増加に伴い減少するが、ポリマーセメント比の増加に伴い増大するか又はほぼ一定となる。
- (2) 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は、収縮低減剤添加率の増加に伴い減少する。又、ポリマーセメント比の増加に伴って、その曲げ強さは増大し、圧縮強さは減少する傾向にある。
- (3) 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乾燥材齢56日の乾燥収縮、材齢28日の曲げ及び圧縮強さの算定式として次式が提案できる。

$$\varepsilon_s, \sigma_f \text{ 及び } \sigma_c = (\alpha x + \beta) (P/C)^{1/3}$$

$$x = (1-SRA/C)(ST)^2(W/C)(1-A)$$

ここに、 $\varepsilon_s$ :乾燥収縮( $\times 10^{-4}$ )、 $\sigma_f$ 及び $\sigma_c$ :曲げ及び圧縮強さ(MPa)、P/C:ポリマーセメント比、SRA/C:収縮低減剤添加率、ST:セメントマトリックス中の水の表面張力(mN/m)、W/C:水セメント比、A:空気量、 $\alpha$ 及び $\beta$ :骨材別に定まる実験定数

## 参考文献

- [1] Ohama, Y., Demura, K. and Kim, W.: Properties of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powders, Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete, Vol.1, pp.81 ~ 90, May 1994
- [2] Smith, R.H. and Mills, R.H.: Variations in the Shrinkage of Concrete Resulting from the Use of Additives, Proceedings of the RILEM/CEMBUREAU International Colloquium on the Shrinkage of Hydraulic Concretes, Vol.1, Instituto Eduardo Torroja, Madrid, pp. II -G.0-II -G.15, Mar. 1968
- [3] 金完基, 大濱嘉彦, 出村克宣: 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