

# ガラス質微小中空球体の建材への応用 (その2)

——ポリマーセメントモルタルとしての基礎的研究——

青山 幹 森下 和仁  
林 好正

## Application of Glass Microspheres in Construction (Part 2)

—Basic Studies on Cement-Glass Microsphere Mortar  
Modified with Acrylic Emulsion—

Tsuyoshi Aoyama Kazuhito Morishita  
Yoshimasa Hayashi

### Abstract

This study is concerned with the application of glass microspheres in construction. The previous report (Part 1) presented basic studies on mixture workability, effect of thermoplastic resin on prevention of setting cracks, fiber reinforcement effects, etc. in an unsaturated polyester resin balloon system.

The purpose of most of the investigations described in this report was to study the effect of mixing ratio on the flexural and compressive strengths of cement-glass microsphere mortar modified with acrylic emulsion. Further, by pre-mixing fibrous materials such as polyester fiber, glass fiber, and carbon fiber, the fiber reinforcement effect was examined.

### 概 要

前報では、合成樹脂をマトリックスとしたガラス質微小中空球体の強度、き裂防止、補強方法とその効果および応用例について述べたが、本報ではそれに引きつづき、ガラス質微小中空球体を骨材とし、マトリックスとして早強セメントを用い、改質剤としてアクリル酸エステル系合成樹脂エマルジョンを用いたポリマーセメントモルタル(バルーンセメントモルタル)の基本的な調合の作業性、比重および強度について検討を行ない、特に曲げ強度については合成樹脂量が大きく寄与するという結論を得た。またバルーンセメントモルタルの延性の改良を目的とし各種繊維(カーボン繊維、耐アルカリ性ガラス繊維、ポリエステル繊維)をプレミックス法により混入し、その効果について検討を行ない、この中ではポリエステル繊維について効果が認められたが、概してプレミックス法による作業性の悪さが指摘された。

## 1. まえがき

前報<sup>1)</sup>においてガラス質微小中空球体(バルーン)のマトリックスとして、不飽和ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂を用いたレジンモルタルの強度、き裂防止、補強方法とその効果および現場への応用例について述べたが、本報ではマトリックスとして不燃材料を採用することとした。すなわち外壁のカーテンウォールのように比較的マッシブな部材への応用を考えると、屋外に暴露される部位については、マトリックスが合成樹脂ではその熱膨張による変形また延焼等の問題点が避けられない。そこで本報告は無機質バインダーをマトリックスとしたバルーンの研究の一環として、セメントを用いた、いわばバルーンセメントモルタルの基本調合について、作業性、気乾比重、強度の関係、また各種繊維の混入による効果の検討を行なったもので

ある。なおバルーンセメントモルタルの主たる用途としては、プレキャストパネルを考えたため、プレキャストコンクリート工場で通常使用する早強ポルトランドセメントを用いて実験を行なった。

## 2. 実験

### 2.1. 使用材料

- (1) ガラス質微小中空球体 前報<sup>1)</sup>による。
- (2) 早強ポルトランドセメント
- (3) 合成樹脂エマルジョン 主成分：アクリル酸エステル系ポリマー、固形分、45±1%、比重：1.054 pH：9.4~9.9
- (4) セメント分散剤 主成分：高縮合トリアジン系化合物、比重：1.13、pH：7~9、形態：液体、使用量：セメント 1kg に対し原液で40cc
- (5) カーボン繊維 比重：1.80、引張強さ：200

kg/mm<sup>2</sup>, 弾性係数: 3.7×10<sup>6</sup> kg/cm<sup>2</sup>

(6) 耐アルカリ性ガラス繊維 (Tex\*<sup>1</sup>2400) 比重: 2.71, 引張強さ: 210~280 kg/mm<sup>2</sup>, 弾性係数: 7.1~8.6×10<sup>5</sup> kg/cm<sup>2</sup>

(7) ポリエステル繊維 (10デニール\*<sup>2</sup>) 比重: 1.38, 引張強さ: 4.8g/d, 弾性係数: 80g/d, 伸び率(破断時): 20%

2.2. 試験体

試験体は, JIS R5201 に示される鋼製3連型枠を用い成形した。また繊維材料の混入はスラリーの打設前の混練中に行なう方法(プレミックス法)とした。試験体は室内放置し, 材令1日, 7日および28日で供試した。

2.3. 実験方法

(1) フロー値の測定 試験体作成時に同一スラリーより JIS R5201 に準じてフロー値を測定した。

(2) 気乾比重の測定 試験直前に各試験体の形状および重量を測定し, これより計算により求めた。

(3) 曲げ試験 オートグラフ IS-5000 を用い, スパン10cmの中央部加力で加力点のたわみ速度は0.5mm/minである。チャート紙よりたわみ量を求めた。

(4) 圧縮試験 オートグラフ IS-5000 を用い, ひずみ速度0.5mm/min で加力を行なった。

2.4. 結果

結果は, 表-1, 2, 図-3 に示す。

注 \*<sup>1</sup>Tex 1=1g/km, \*<sup>2</sup>1デニール(d)=1kg/9000m

3. 考察

3.1. 基本調査について

(1) 作業性(フロー値) モルタルのフロー値は, 主としてA/C比(表-1, 2の記号を用いる, 以下同じ)に関連を持ち, A/C比の増加についてフロー値は敏感に減少する。またW/C比の増加はA/C比が比較的小さい場合は有効に増加するが, A/C比が大きい場合は, W/C比よりP/C比の調整がより効果的であった。

(2) 気乾比重 モルタルの気乾比重は, A/C比と直線的な関係が認められ, A/C比の増加により低下する。また合成樹脂を混入したものは合成樹脂エマルジョンの空気連行性によるものと思われるが未混入のものに比し低下する。ただし, P/C比0.05と0.10との間には顕著な差は認められなかった。

(3) 曲げ強度 曲げ強度は, A/C比と直線的な関係があり, A/C比の増加につれ曲げ強度は低下する。また合成樹脂エマルジョンの混入は曲げ強度を上昇させる。ここで曲げ強度を目的変量とし, A/Mix, P/Mixをそれぞれ説明変量とした重回帰式, すなわち材料設計式を求めると,

$$\sigma_b = 118 - 1.56A/Mix + 5.73P/Mix \quad (3.1)$$

となる。さらに A/Mix, P/Mix を標準変量に変換して<sup>2)</sup> 重回帰式を求めると, (\*は標準変量を意味する)

$$\sigma_b^* = -0.555A/Mix^* + 0.631P/Mix^* \quad (3.2)$$

となり, P/Mix の効果は, A/Mix の効果より大きいと言える。なお3.1式は表-3に示すごとく有意であり, さらに, 重相関係数を求めると,

$$R_b^2 = 0.88 \quad \therefore R_b = 0.94$$

となり材料設計式として有効であると思われる。

Mix NO.	A/C比 (wt.) (骨材セメント比)	W/C比 (wt.) (水セメント比)	P/C比 (wt.) (樹脂セメント比)	A/Mix (0/Vol.) (混合中骨材量)	P/Mix (0/Vol.) (混合中樹脂量)	フロー値	1 日			7 日			28 日		
							$\rho$	$\sigma_b$	$\sigma_c$	$\rho$	$\sigma_b$	$\sigma_c$	$\rho$	$\sigma_b$	$\sigma_c$
							(kg/ccr)	(kg/ccr)	(kg/ccr)	(kg/ccr)	(kg/ccr)	(kg/ccr)	(kg/ccr)	(kg/ccr)	(kg/ccr)
1	0.35	0.5	0	38.8	0	>300	1.48	28.3	140	1.30	44.7	305	1.26	49.4	332
2	0.35	0.5	0.05	36.4	3.0	>300	1.29	17.8	66	1.22	49.8	206	1.18	83.1	274
3	0.35	0.5	0.10	35.2	6.0	>300	1.27	13.1	42	1.19	51.6	170	1.16	93.3	278
4	0.5	0.5	0	48.4	0	182	1.22	25.5	121	1.17	31.6	272	1.14	41.7	250
5	0.5	0.5	0.05	44.7	2.7	232	1.13	17.5	85	1.07	52.2	206	1.04	60.7	245
6	0.5	0.5	0.10	43.5	5.1	>300	1.18	17.0	69	1.13	57.8	207	1.10	96.8	295
7	0.5	0.6	0	44.6	0	>300	1.23	21.7	110	1.15	34.3	216	1.10	45.4	220
8	0.5	0.6	0.05	42.1	2.5	>300	1.20	12.3	56	1.09	38.4	164	1.07	63.9	227
9	0.6	0.5	0	51.8	0	115	1.12	20.9	115	1.07	36.2	226	1.05	44.7	230
10	0.6	0.5	0.05	49.0	2.4	170	1.09	16.6	93	1.05	45.0	209	1.02	52.7	246
11	0.6	0.5	0.10	48.6	4.8	217	1.07	14.4	65	1.00	44.9	179	0.99	65.2	246
12	0.7	0.5	0.05	52.6	2.2	125	0.99	14.5	70	0.94	37.2	171	0.92	47.5	195
13	0.7	0.5	0.10	51.5	4.3	149	1.02	14.9	66	0.97	45.3	172	0.96	72.2	220
14	0.7	0.6	0	52.8	0	133	1.09	17.9	79	1.02	17.6	186	1.00	35.5	201
15	0.7	0.6	0.05	50.1	2.1	199	1.11	12.8	46	0.98	30.8	173	0.97	46.4	200
16	0.7	0.7	0	50.4	0	253	1.16	12.1	46	1.04	13.7	154	1.00	32.1	163
17	0.75	0.6	0	54.5	0	137	1.09	16.1	87	1.04	30.4	178	1.00	38.9	193
18	0.75	0.6	0.05	51.7	2.0	192	1.05	11.2	63	0.99	35.6	154	0.97	50.3	208
19	0.75	0.6	0.10	50.6	4.0	264	1.05	6.0	39	0.97	29.4	135	0.95	64.0	219
20	1.0	0.6	0	61.3	0	100	0.91	5.5	29	0.84	17.5	98	0.84	21.6	100
21	1.0	0.6	0.05	58.3	1.7	100	0.90	3.7	22	0.84	30.2	115	0.82	40.0	124
22	1.0	0.6	0.10	57.3	3.4	111	0.86	4.7	20	0.80	30.4	120	0.79	43.9	145
23	1.0	0.6	0.20	55.4	6.5	164	0.91	0.8	7	0.84	24.1	100	0.82	57.4	167
24	1.0	0.7	0.10	55.2	3.2	151	0.93	1.9	19	0.84	18.8	100	0.82	48.2	154
25	1.0	0.84	0	55.9	0	137	1.02	6.8	37	0.92	18.0	117	0.87	27.6	123

気乾比重 ( $\rho$ ) および強度の数値は3体の平均値

表-1 試験体調査および試験結果(その1)

Mix NO.	A/C比 (wt.)	W/C比 (wt.)	P/C比 (wt.)	繊維材料			フロー値	7 日			28 日			
				種類	長さ mm	F/C比 (wt.) (繊維セメント比)		$\rho$	$\sigma_b$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\rho$	$\sigma_b$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	応力-ひずみ特性(曲げ)*
B				非補強			> 300				1.09	79.7	260	Brittle
CF-1				カーボン	10	0.01	196	1.11	44.7	170	1.07	78.1	292	
CF-2						耐アルカリガラス	10	0.02	158	1.06	50.5	166	1.05	80.3
GF-1	0.6	0.6	0.1	0.02	> 300							1.11	68.3	254
GF-2				ポリエステル	10	0.06	242				1.11	73.0	261	Ductile
PF-1						0.02	> 300					1.11	40.5	
PF-2				0.04		179					1.08	83.1	273	

\*注 図-2 参照のこと

表-2 試験体調査および試験結果 (その2 繊維混入の効果)

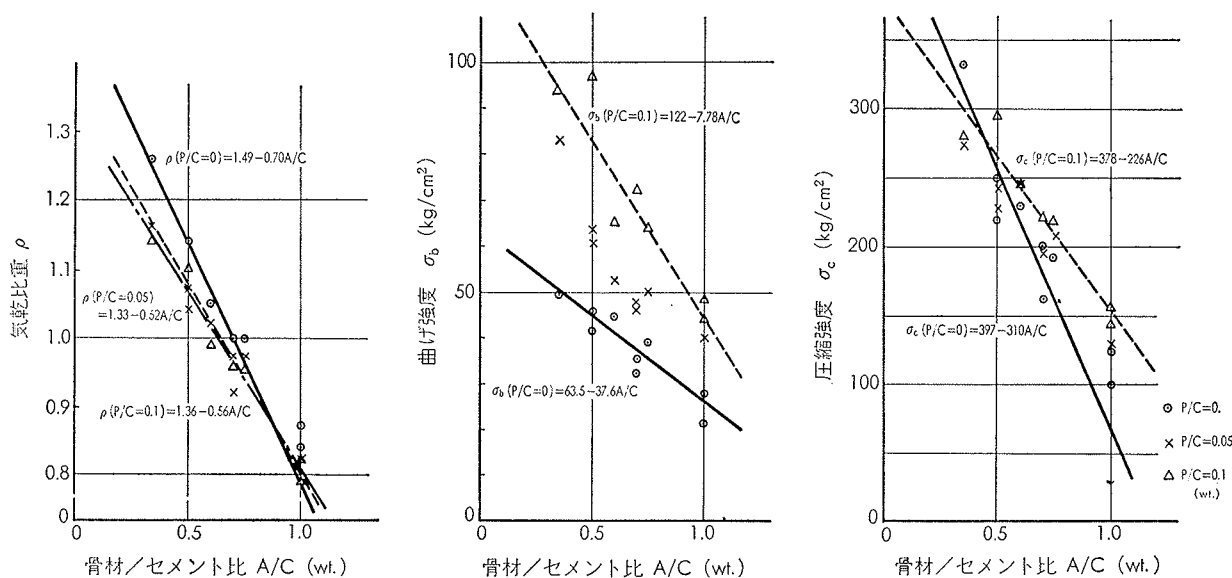


図-1 骨材/セメント比と気乾比重 28日強度の関係

(4) 圧縮強度 圧縮強度は、A/C比と直線的な関係を持ち、A/C比の増加につれ低下する。また合成樹脂エマルジョンの混入は、A/C比の大きい部分で有効であることが図-1のグラフにより理解される。ここで(3)と同様に重回帰式を求めると

$$\sigma_c = 575 - 7.36A/Mix - 0.06P/Mix \quad (3.3)$$

となる。同様に標準変量に変換して

$$\sigma_c^* = -0.872A/Mix^* - 0.002P/Mix^* \quad (3.4)$$

が得られる。これによると、A/Mixの影響は前述A/C比による説明のとおりであるが、P/Mixについては影響が小さいと言える。なお3.3式は表-4の分散分析表に示されるとおり有意であり、さらに重相関係数は、

$$R_c^2 = 0.76 \quad \therefore R_c = 0.87$$

となり材料設計式は有効であると思われる。

### 3.2 繊維混入の効果について

(1) 作業性 (フロー値) モルタルのフロー値は繊維の種類、長さおよび混入量により異なるが、全体として混入により大きく低下する。

(2) 強度 繊維のプレミックスにより必ずしもモ

変動要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比(F)
全変動	8481	24		
回帰による変動	7443	1	7443	165**
回帰からの残差の変動	1038	23	45.13	

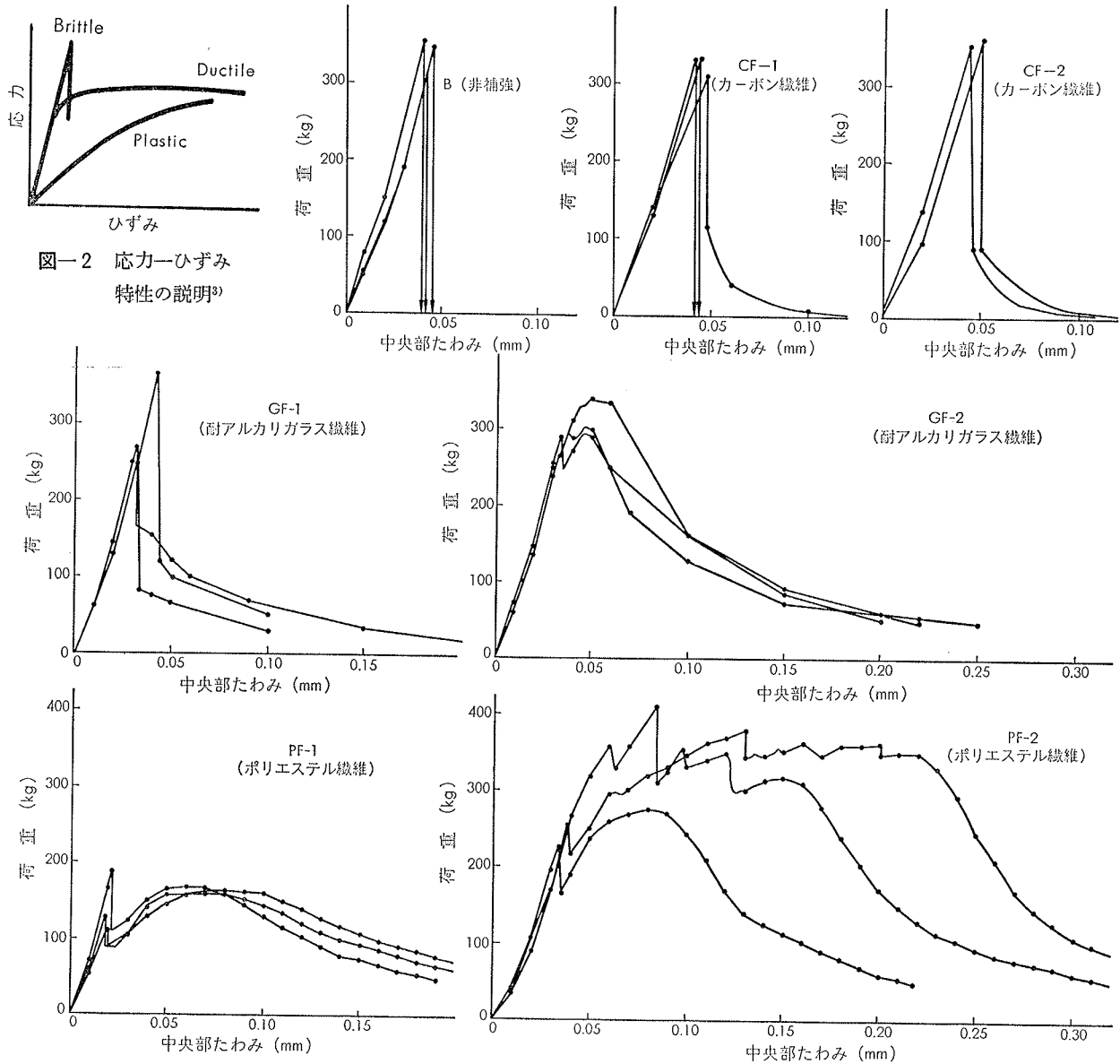
\*\*印は有意水準1%で有意であることを示す。(以下同じ)

表-3 分散分析表 (A/M, P/M,  $\sigma_b$ )

変動要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比(F)
全変動	76398	24		
回帰による変動	58137	1	58137	73.2**
回帰からの残差の変動	18261	23	794	

表-4 分散分析表 (A/M, P/M,  $\sigma_c$ )

ルタルの曲げ強度は改良されず、むしろ著しく減少するものも見られた。圧縮強度は繊維の種類等により異なるが、繊維をプレミックスすることにより約0~10%低下する傾向が現われた。これはプレミックスによる空気の巻き込みによると考えられる。またMix No. PF-2により明らかなように、この調査は延性を示し(図-3参照)モルタルの耐衝撃性を付与させる上で有効となる可能性が見出された。しかしながら概して



図一 2 応力-ひずみ特性の説明<sup>3)</sup>

図一 3 各種繊維混入試験体の荷重-たわみの関係

今回のパルーンセメントモルタルについて、繊維のプレミックスは種類によっては余り有効でないと見え、他の補強方法たとえばスプレーアンドサクション法等の検討も必要であろう。

4. あとがき

以上の検討結果より、パルーンセメントモルタルの基本調合について把握することができた。

さらに現在繊維による補強方法、他種のバインダーによる研究を予定しており、それらについては逐次報告する予定である。

なお本研究を行なうにあたり、(株)ショックベトンジャパン、諸橋滋巳氏より有用な示唆を受けました。ここに深い感謝を表わすものであります。

参考文献

- 1) 青山幹ほか：ガラス質微小中空球体の建材への応用，大林組技術研究所報，No. 12，(1976)
- 2) 河田至商：多変量解析入門，森北出版，(1973)
- 3) Materials Technology Division of the Concrete Society, Fiber-reinforced cement composites, (1973, July)