論文　軽量耐水性せっこう硬化体の基礎性状

熊谷　慎祐[*1]・大濱　嘉彦[*2]・出村　克宣[*2]・佐藤　文人[*3]

要旨：著者らは，せっこうへの鉱物質混和材及びポリマー混和剤の混入により，耐水性せっこう硬化体の製造に成功している。本研究では，耐水性せっこう硬化体の新規用途開発を目的として，軽量耐水性せっこう硬化体を製造し，その基礎性状について検討している。その結果，適当な軽量骨材を選定することにより，耐水性を低下させずに軽量耐水性せっこう硬化体の曲げ及び圧縮強さは増大する。本研究の限りでは，廃ガラスを溶融発泡させた人工軽量骨材である発泡ガラスを用い，軽量骨材混入率を 10 から 20vol%とすることによって，耐水性をある程度保持した軽量耐水性せっこう硬化体の製造が可能である。

キーワード：軽量せっこう硬化体，軽量骨材，高炉スラグ，SBR，耐水性，強さ，吸水率

1.　はじめに

せっこう硬化体は，難燃性，断熱性及び硬化後の寸法安定性が優れることから，建築材料として広範囲に利用されているが，せっこう硬化体の耐水性が不良であることから，その用途は限られている。これまで，せっこうへの鉱物質混和材の混入によって，せっこう硬化体の耐水性はある程度改善されているが，まだ抜本的な耐水性改善には至っていない [1)]。著者らは，既に，3 種類の鉱物質混和材とポリマー混和剤の併用による調合の検討を行い，せっこう硬化体の耐水性を改善している [2), 3)]。本研究では，この成果を踏まえた上で，せっこう硬化体の新規用途開発を目的として，軽量骨材を用いて耐水性せっこう硬化体の軽量化を行い，軽量耐水性せっこう硬化体の基礎性状について検討している。

2.　使用材料

2.1　せっこう

せっこうとしては，排煙脱硫せっこうを処理して得られる β 型半水せっこう（略称：gypsum）を使用した。なお，せっこうの急結防止のために，クエン酸一水和物を，せっこうに対して質量比で 0.05%添加した。

2.2 鉱物質混和材

鉱物質混和材としては，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（略称：cement），高炉スラグ微粉末（略称：slag，比表面積：9630cm^2/g）及びシリカフューム（略称：SF，比表面積：18890cm^2/g，SiO_2 含有率：95.6%）を使用した。

2.3 ポリマー混和剤

ポリマー混和剤としては，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）の品質規定に合格するスチレンブタジエンゴム(SBR)ラテックスを使用した。なお，シリコーンエマルション系消泡剤を，SBR ラテックスの全固形分に対して，有効シリコーン分が 0.7%となるように添加した。

2.4 軽量骨材

軽量骨材としては，JIS A 5007(パーライト)に規定する黒曜石パーライト（略称：PL-1 及び略称：PL-2），廃ガラスを溶融発泡させた人工軽量骨材である発泡ガラス(略称：FG-1 及び略称：FG-2)及びシラスバルーン(略称：SB)を使用した。なお，軽量骨材の物理的性質及び化学成分を **Table 1** に示す。

*1 日本大学大学院　工学研究科建築学専攻　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 日本大学大学院　工学研究科建築学専攻　(正会員)

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)に準じて，**Table 2** に示す調合の供試せっこう複合体を練混ぜて寸法40×40×160mmに成形し，1d湿空[20℃，90%(RH)]+6d乾燥[20℃，50%(RH)]養生を行って供試体を作製した。

3.2 曲げ及び圧縮強さ試験

JIS A 1171 に従って，48h 水中浸漬前後の供試体の曲げ及び圧縮強さ試験を行った。又，供試体の見掛け密度を，g/cm^3 を単位とする無名数で

Table 1 Physical Properties and Chemical Compositions of Lightweight Aggregates.

Type of Lightweight Aggregate	Size (mm)	Density (g/cm^3)	Water Absorption (%)	Organic Impurities
PL-1	1.2-0.6	0.19	10.2	Nil
PL-2	2.5-1.2	0.15	11.5	Nil
FG-1	<1.2	0.70	8.7	Nil
FG-2	2.5-1.2	0.64	8.3	Nil
SB	0.075-0.044	0.23	0.5	Nil

Type of Lightweight Aggregate	Chemical Compositions (%)							
	ig. loss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
PL-1	0.96	76.36	12.40	1.05	0.47	0.14	4.42	4.38
PL-2	0.96	76.36	12.40	1.05	0.47	0.14	4.42	4.38
FG-1	0.20	71.00	4.40	0.40	9.40	0.57	1.20	12.00
FG-2	0.20	71.00	4.40	0.40	9.40	0.57	1.20	12.00
SB	1.00	76.00	14.00	2.50	2.00	0.50	2.00	2.00

Table 2 Mix Proportions of Water-Resistant Lightweight Gypsum-Based Composites.

Gypsum：Cement：SF：Slag (by mass)	Retarder* Content (mass% of gypsum)	Type of Lightweight Aggregate	Lightweight Aggregate Content (vol%)	Type of Polymer	Polymer-Binder** Ratio (%)	Water-Binder Ratio (%)	Flow
100：0：0：0	0.05	Without Lightweight Aggregate	0	Unmodified	0	39.0	201
75：3：5：17	0.05		0	SBR	10	43.0	202
		PL-1	10			46.0	203
			20			47.0	202
			30			51.0	202
			40			49.0	205
			50			54.0	196
		PL-2	10			45.0	204
			20			46.0	200
			30			52.0	205
			40			51.0	204
			50			58.0	203
		FG-1	10			45.0	196
			20			48.0	204
			30			54.0	199
			40			59.0	204
			50			80.0	204
		FG-2	10			44.0	199
			20			44.0	201
			30			52.0	198
			40			55.0	202
			50			71.0	198
		SB	10			50.0	200
			20			59.0	198
			30			81.0	203
			40			130.0	198
			50			—***	—

Notes, *: Retarder was added to the gypsum at 0.05% of gypsum.
**: Binder=Gypsum+Cement+SF+Slag.
***: Unable to mix.

表し，曲げ及び圧縮強さをこの無名数で除した値をそれぞれ比曲げ強さ，比圧縮強さとして算出した。

3.3　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。

4. 試験結果及び考察

Fig.1 には, 軽量耐水性せっこう硬化体の見掛け密度と軽量骨材混入率の関係を示す。軽量骨材の種類にかかわらず, 軽量耐水性せっこう硬化体の見掛け密度は，軽量骨材混入率の増加に伴って減少する。

Fig.2 には, 軽量耐水性せっこう硬化体の水結合材比と軽量骨材混入率の関係を示す。軽量骨材の種類にかかわらず, 軽量耐水性せっこう硬化体の水結合材比は，軽量骨材混入率の増加に伴って増大する。特に, SB を用いた軽量耐水性せっこう硬化体の軽量骨材混入率の増加に伴う水結合材比の増加は著しく，軽量骨材混入率 40vol%で 130.0%となる。

Fig.3 から **Fig.7** には，軽量耐水性せっこう硬化体の吸水率と水中浸漬時間の関係を示す。軽量骨材の種類にかかわらず，軽量耐水性せっこう硬化体の吸水率は, 水中浸漬 3h までに急激に増加し，その後は緩慢に増加する。軽量耐水性せっこう硬化体の吸水率は, 軽量骨材の種類によって著しく異なり，その水結合材比が大きいものほど大きい傾向に

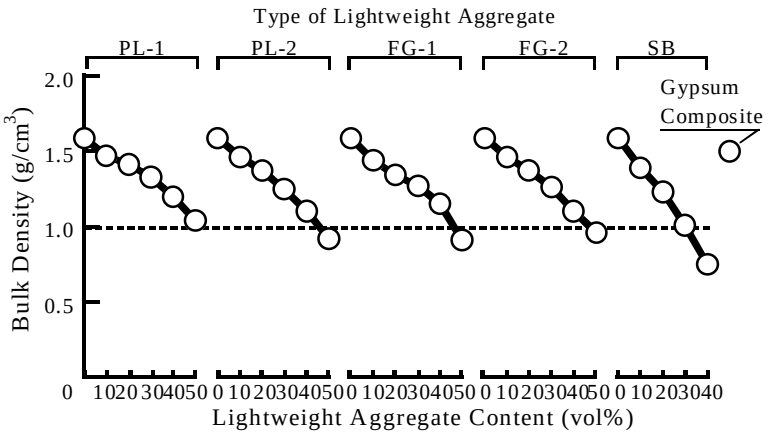

Fig.1　Lightweight Aggregate Content vs. Bulk Density of Water-Resistant Lightweight Gypsum-Based Composites.

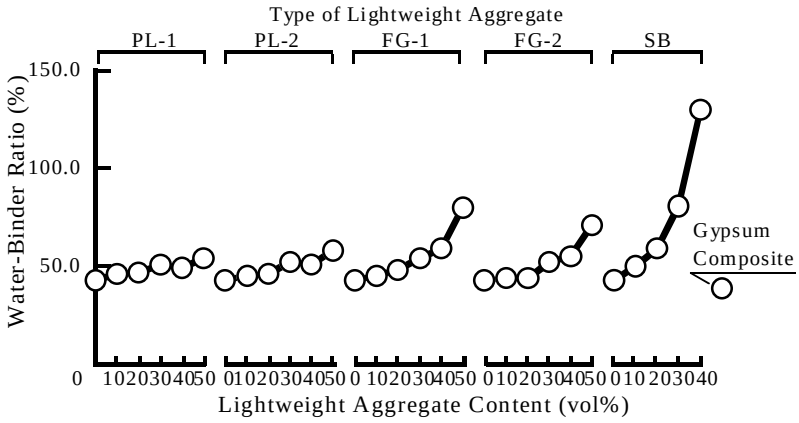

Fig.2　Lightweight Aggregate Content vs. Water-Binder Ratio of Water-Resistant Lightweight Gypsum-Based Composites.

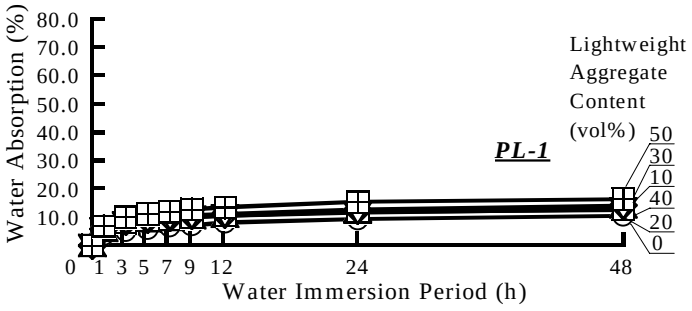

Fig.3　Water Immersion Period vs. Water Absorption of Water-Resistant Lightweight Gypsum-Based Composites Using PL-1.

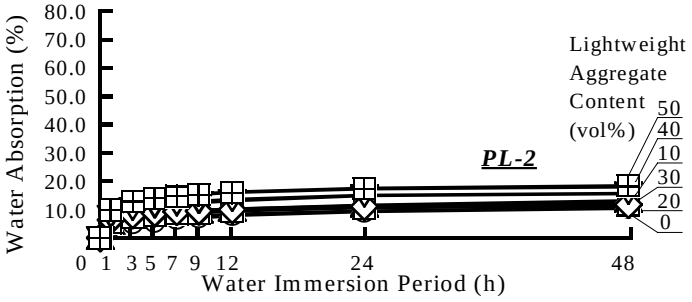

Fig.4　Water Immersion Period vs. Water Absorption of Water-Resistant Lightweight Gypsum-Based Composites Using PL-2.

ある。

Fig.8 には，軽量耐水性せっこう硬化体の 48h 水中浸漬後の吸水率と軽量骨材混入率の関係を示す。軽量骨材の種類にかかわらず，軽量耐水性せっこう硬化体の 48h 水中浸漬後の吸水率は，軽量骨材混入率の増加に伴って増加する傾向にある。これは，軽量骨材混入率の増加に伴う水結合材比の増加及び吸水率の大きい軽量骨材の混入によるものと推察される。

Fig.9 には，軽量耐水性せっこう硬化体の水中浸漬前後の曲げ強さと軽量骨材混入率の関係を示す。SB を用いた軽量耐水性せっこう硬化体の 48h 水中浸漬前後の曲げ強さは，軽量骨材混入率の増加に伴って減少する。PL-1，PL-2，FG-1 及び FG-2 を用いた軽量耐水性せっこう硬化体の 48h 水中浸漬前の曲げ強さは，軽量骨材混入率の増加に伴って増加し，軽量骨材混入率 10 から 20vol%で最大値に達する。又，48h の水中浸漬によって，その曲げ強さは減少するが，この傾向は軽量骨材混入率の増加に伴って大きくなる。これは，軽量骨材混入率の増加に伴う水結合材比の増加によるものと考えられる。又，軽量骨材混入率 0%の耐水性せっこう硬化体の曲げ強さは，48h 水中浸漬を行うことによって増加する。

Fig.10 には，軽量耐水性せっこう硬化体の水中浸漬前後の圧縮強さと軽量骨材混入率の関係を示す。SB を用いた軽量耐水性

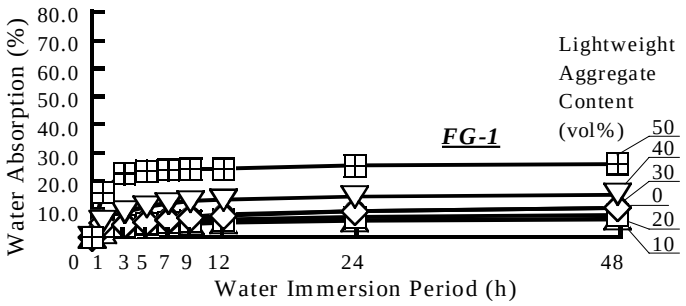

Fig.5 Water Immersion Period vs. Water Absorption of Water-Resistant Lightweight Gypsum-Based Composites Using FG-1.

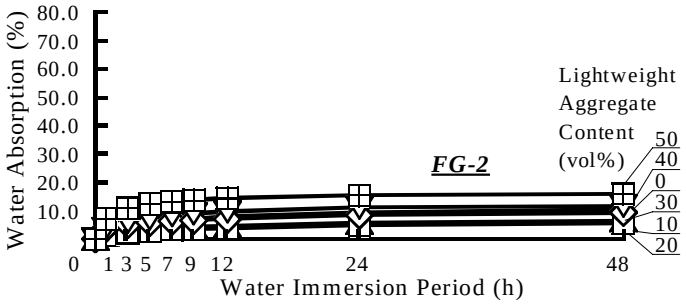

Fig.6 Water Immersion Period vs. Water Absorption of Water-Resistant Lightweight Gypsum-Based Composites Using FG-2.

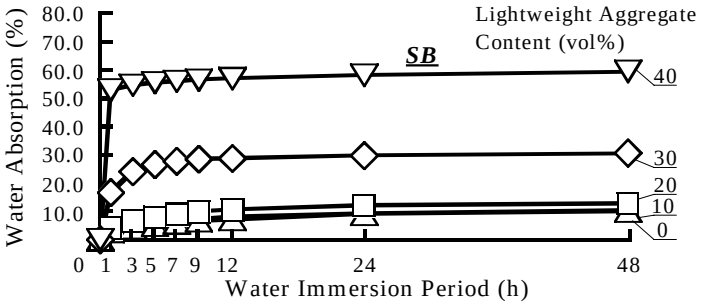

Fig.7 Water Immersion Period vs. Water Absorption of Water-Resistant Lightweight Gypsum-Based Composites Using SB.

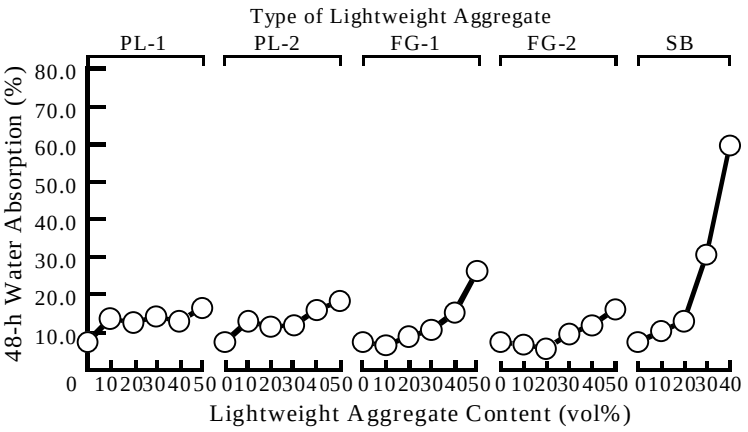

Fig.8 Lightweight Aggregate Content vs. 48-h Water Absorption of Water-Resistant Lightweight Gypsum-Based Composites.

せっこう硬化体の 48h 水中浸漬前後の圧縮強さは，軽量骨材混入率の増加に伴って減少する。PL-1，PL-2，FG-1 及び FG-2 を用いた軽量耐水性せっこう硬化体の 48h 水中浸漬前の圧縮強さは，軽量骨材混入率 10%で最大値に達する。又，軽量骨材の種類にかかわらず，軽量耐水性せっこう硬化体の圧縮強さは，48h 水中浸漬によって若干減少する。

Fig.11 には，軽量耐水性せっこう硬化体の比曲げ強さと軽量骨材混入率の関係を示す。軽量耐水性せっこう硬化体の比曲げ強さは，軽量骨材混入率の増加に伴って増加し，軽量骨材の種類別に，軽量骨材混入率 10 から 40vol%で最大値に達する。耐水性せっこう硬化体の比曲げ強さは，軽量骨材の混入によって改善されるが，その比曲げ強さの向上のためには，FG-1 及び FG-2 の使用が推奨される。

Fig.12 には，軽量耐水性せっこう硬化体の比圧縮強さと軽量骨材混入率の関係を示す。軽量耐水性せっこう硬化体の比圧縮強さは，軽量骨材混入率の増加に伴って増加し，軽量骨材の種類別に，軽量骨材混入率 10 から 20vol%で最大値に達する。耐水性せっこう硬化体の比圧縮強さは，軽量骨材の混入によって改善されるが，比圧縮強さの向上のためには，FG-1 及び FG-2 の使用が推奨される。

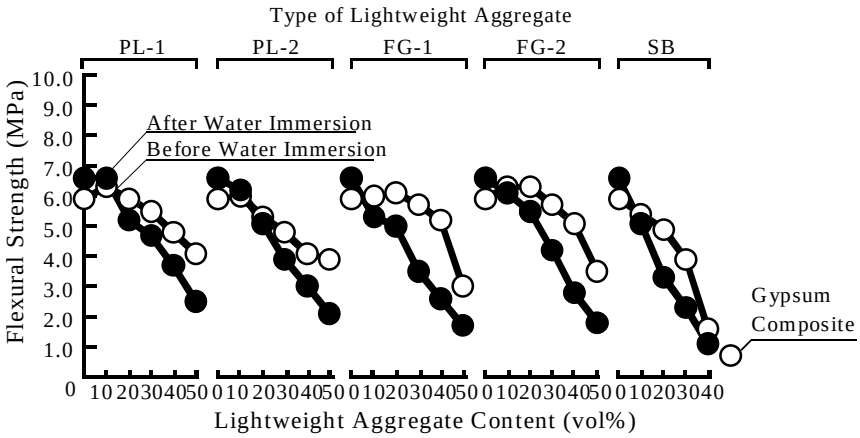

Fig.9 Lightweight Aggregate Content vs. Flexural Strength of Water-Resistant Lightweight Gypsum-Based Composites.

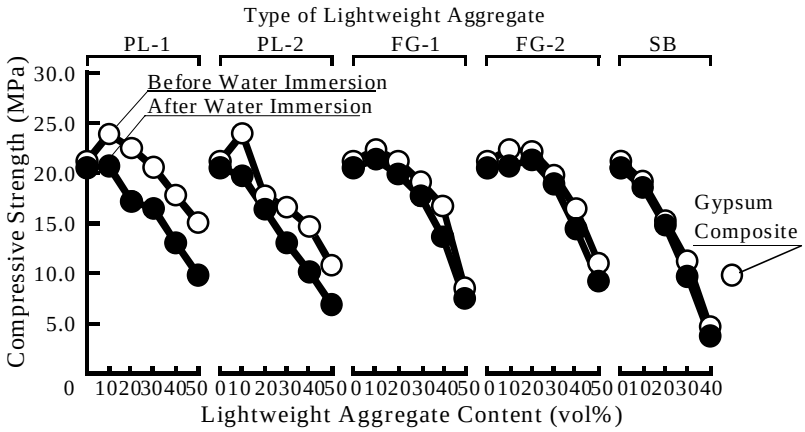

Fig.10 Lightweight Aggregate Content vs. Compressive Strength of Water-Resistant Lightweight Gypsum-Based Composites.

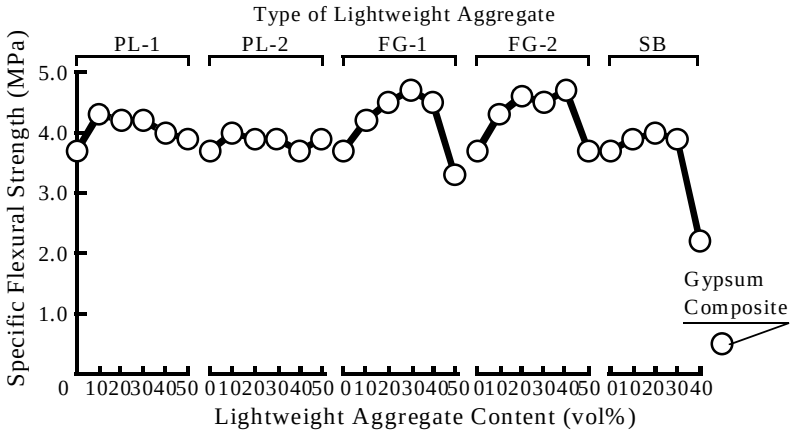

Fig.11 Lightweight Aggregate Content vs. Specific Flexural Strength of Water-Resistant Lightweight Gypsum-Based Composites.

5. 結論

以上の試験結果を結論づければ，次の通りである。

(1) 軽量耐水性せっこう硬化体の見掛け密度は，軽量骨材混入率の増加に伴って減少し，軽

量骨材の種類による差異は余り認められない。

(2) 軽量耐水性せっこう硬化体の水結合材比は，軽量骨材混入率の増加に伴って増加する。

(3) 軽量骨材の種類にかかわらず，軽量耐水性せっこう硬化体の 48h 水中浸漬後の吸水率は，軽量骨材混入率の増加に伴って増加する。

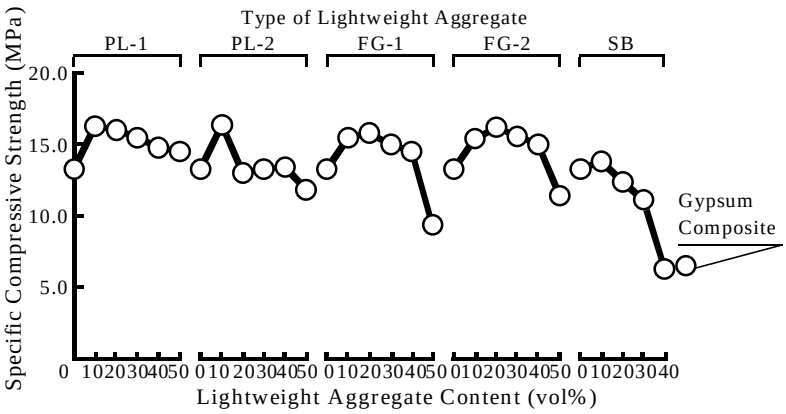

Fig.12 Lightweight Aggregate Content vs. Specific Compressive Strength of Water-Resistant Lightweight Gypsum-Based Composites.

(4) 軽量耐水性せっこう硬化体の強さ性状は，使用する軽量骨材の種類によって異なり，PL-1，PL-2，FG-1 及び FG-2 を用いた軽量耐水性せっこう硬化体の曲げ及び圧縮強さは，軽量骨材混入率 10 から 20vol%で最大値に達する。

(5) 耐水性せっこう硬化体の比曲げ及び比圧縮強さは，軽量骨材の混入によって改善される傾向にあり，特に，FG-1 及び FG-2 の使用による軽量耐水性せっこう硬化体の比曲げ及び比圧縮強さ改善効果が優れる。

(6) 以上のことから，耐水性せっこう硬化体の軽量化に当っては，その吸水率，強さ性状及び耐水性に与える軽量骨材の種類と混入率の影響から，適当な軽量骨材を選定する必要がある。本研究の限りでは，FG-1 又は FG-2 を用い，軽量骨材混入率を 10 から 20vol%とすることによって，見掛け密度が 1.3 から 1.4 g/cm^3 程度で，耐水性をある程度保持した軽量耐水性せっこう硬化体の製造が可能である。

(7) FG-1 及び FG-2 を用い，軽量骨材混入率を 40vol%とした軽量せっこう硬化体の見掛け密度は，1.1 g/cm^3 程度に軽減できる。この軽量せっこう硬化体の曲げ及び圧縮強さは，それぞれ 5MPa 及び 16MPa, 48h 水中浸漬後の曲げ及び圧縮強さは，それぞれ 2.5MPa 及び 13MPa となり，耐水性の低下を招くものの，せっこう単味の硬化体の曲げ強さ 0.7MPa 及び圧縮強さ 9.8MPa（48h 水中浸漬後の強さは測定不能）と比べて，その強さ性状及び耐水性は相当に優れる。

参考文献

1) Bentur, A., Kovler, K., and Goldman, A.,: Gypsum of Improved Performance Using Blend with Portland Cement and Silica Fume, Advances in Cement Research, Vol.6, No.23, pp.109-116, July 1994

2) 出村克宣，大濱嘉彦，熊谷慎祐，「ポリマー混入せっこう硬化体の耐水性改善」，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.1，pp.373-378，1997.6

3) Ohama, Y., Demura, K., Kumagai, S., Joo, M., Katsuhata, T., Sugawara, D., and Fowler, D.W.: Improvement in Water Resistance of Polymer-Modified Gypsum-Based Composites, Proceedings of the Fourth International Conference on Repair, Rehabilitation, and Maintenance of Concrete Structures, and Innovations in Design and Construction, American Concrete Institute, pp.659-671, Sept. 2000