

論文 ポリマーせっこう硬化体の耐水性改善

出村克宣*¹・大濱嘉彦*²・熊谷慎祐*³

要旨:本研究では、ポリマー混入せっこう硬化体の耐水性改善を目的に、セメント、シリカフューム及び高炉スラグ微粉末を混入したせっこう硬化体及びそれにポリマーを混入したポリマーせっこう硬化体の耐水性に及ぼす調合条件及び養生条件の影響について検討している。その結果、せっこう硬化体の耐水性は、鉱物質混和材料であるセメント、シリカフューム及び高炉スラグ微粉末の混入によって改善されると共に、ポリマー結合材比を20%として調製することにより、耐水性に優れたポリマーせっこう硬化体の製造が可能であることを明らかにしている。

キーワード:せっこう, 耐水性, 調合条件, 養生条件, ポリマー

1. はじめに

せっこうは、安価で硬化後の寸法安定性、防火性、断熱性に優れ、しかも、凝結時間が短いなどの優れた特性を有している。しかしながら、せっこう自体の強度及び耐水性が乏しいことから、その用途はせっこうプラスターやせっこうボードなどの建築材料に限られている。これまで、せっこう硬化体の耐水性改善策として、堀ら[1]は、せっこうにセメントや高炉スラグ微粉末を混入することを試み、ある程度の耐水性改善を可能にしているが、セメントとせっこうの反応に起因した膨張圧により、せっこう硬化体にひび割れが生じるなどの問題を抱えている。又、Bentur.A.ら[2]は、せっこうにシリカフュームを混入することを試みているが、抜本的な耐水性改善には至っていない。

本研究は、せっこう硬化体の耐水性改善を目的として、鉱物質混和材としてのセメント、シリカフューム及び高炉スラグ微粉末を混入した場合の調合条件、養生条件及びポリマーの混入がせっこう硬化体の耐水性に及ぼす影響について検討し、耐水性に優れたポリマーせっこう硬化体を製造しようとするものである。

2. 使用材料

2. 1 せっこう

せっこうとしては、 β 型半水せっこうを使用した。

2. 2 鉱物質混和材

鉱物質混和材としては、普通ポルトランドセメント、シリカフューム及び高炉スラグ微粉末(スラグ)を使用した。

2. 3 凝結遅延剤

凝結遅延剤としては、試薬1級のくえん酸一水和物を使用した。

*1 日本大学助教授 工学部建築学科, 工博(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 工学部建築学科

2. 4 ポリマー混和剤

ポリマー混和剤としては、スチレンブタジエンゴムラテックスを使用した。なお、ポリマー混和剤には、その全固形分に対して、シリコン系消泡剤を有効シリコン分0.7%（質量比）として添加した。

3. 試験方法

3. 1 供試体の作製

調合条件を検討するために、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、表-1に示す調合の供試せっこうペーサイトを、そのフロー値が 200 ± 5 一定となるように水結合材比を調整して練混ぜた後、寸法 $40 \times 40 \times 160$ mmに成形し、2日湿空[20°C, 80%(RH)], 5日水中(20°C)養生を行い、供試体を作製した。又、セメント混入率5%, シリカフューム混入率1%及びスラグ混入率19%とした供試せっこうペーサイトについては、養生条件を検討するために、次の養生を行って供試体を作製した。

- (1) 2日湿空[20°C, 80%(RH)], 5日水中(20°C)養生
- (2) 2日湿空[20°C, 80%(RH)], 5日乾燥[20°C, 50%(RH)]養生
- (3) 7日湿空[20°C, 80%(RH)]養生

更に、ポリマーの混入効果を検討するために、セメント混入率5%, シリカフューム混入率1%及びスラグ混入率19%とした供試せっこうペーサイトについて、ポリマー結合材比0, 5, 10, 15及び20%としてポリマーを混入した上で、2日湿空, 5日乾燥養生を行い、供試体を作製した。なお、本研究においては、せっこう, セメント, シリカフューム及びスラグの混合物を結合材と称する。

3. 2 吸水試験

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）に従って、供試体を20°Cの水中に浸漬して、水中浸漬0, 1, 3, 6, 12, 24及び48時間における供試体の質量を測定し、次式により、供試体の吸水率を算出した。

$$W = [(W_i - W_0) / W_0] \times 100$$

ここに、W：吸水率(%), W_i ：水中浸漬後の供試体の質量(g), W_0 ：水中浸漬前の供試体の質量(g)

3. 3 曲げ及び圧縮強さ試験

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、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。

表-1 せっこう硬化体の調合

Gypsum Content (%)	Cement Content (%)	Silica Fume Content (%)	Slag Content (%)	Retarder* Content (%)	Water-Binder Ratio (%)	Flow
75	1	0	24	0.05	35	205
		1	23		35	204
		3	21		37	205
		5	19		37	199
	3	0	22		34	196
		1	21		35	202
		3	19		36	196
		5	17		37	200
	5	0	20		35	204
		1	19		35	200
		3	17		36	199
		5	15		38	197
	10	0	15		36	204
		1	14		36	201
		3	12		37	196
		5	10		39	198
	15	0	10		36	195
		1	9		37	205
		3	7		38	200
		5	5		39	197
20	0	5	37	203		
	1	4	37	203		
	3	2	38	198		
	5	0	40	197		

Note, * : Citric acid was added for gypsum at 0.05% of gypsum.

4. 試験結果及び考察

図-1から図-5には、水中養生したせっこう硬化体の曲げ及び圧縮強さとシリカフューム混入率、セメント混入率及びスラグ混入率の関係を示す。セメント混入率にかかわらず、せっこう硬化体の圧縮強さは、シリカフューム混入率1%で最大値を示すか又はシリカフューム混入率の増加に伴って減少する傾向にあるが、その曲げ強さに及ぼすシリカフューム混入率の影響はほとんど認められない。一方、シリカフューム混入率にかかわらず、せっこう硬化体の曲げ及び圧縮強さは、セメント混入率3%で最大値に達する。本研究の限りでは、セメント混入率3%とし、シリカフューム混入率0~5%（スラグ混入率17~22%）として調製したせっこう硬化体は、8.7~9.5MPaの曲げ強さ及び31.8~35.2MPaの圧縮強さを発現する。又、図-4及び図-5に示すように、せっこう硬化体の曲げ及び圧縮強さとスラグ混入率の間には、高い相関性が認められ、せっこう硬化体の曲げ及び圧縮強さは、スラグ混入率の増加に伴って増大する。

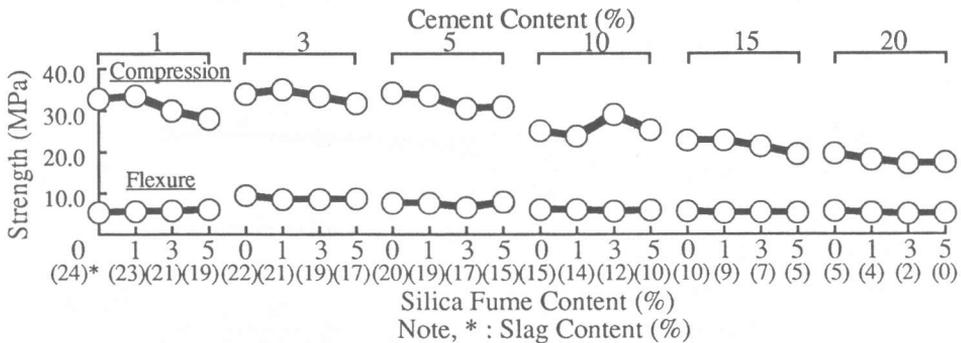


図-1 せっこう硬化体の曲げ及び圧縮強さとシリカフューム混入率の関係

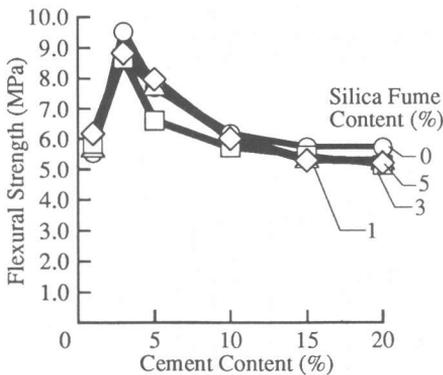


図-2 せっこう硬化体の曲げ強さとセメント混入率の関係

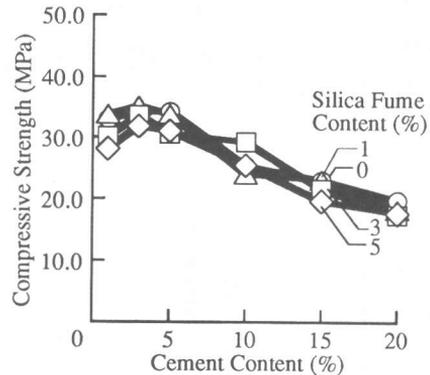


図-3 せっこう硬化体の圧縮強さとセメント混入率の関係

図-6には、セメント混入率5%、シリカフューム混入率1%及びスラグ混入率19%とし、乾燥又は湿空養生したせっこう硬化体の吸水率と水中浸漬時間の関係を示す。なお、乾燥養生及び湿空養生後において、せっこう硬化体の表面には若干の微細なひび割れが認められた。いずれのせっこう硬化体とも、水中浸漬1時間までに著しく吸水し、その後の吸水は緩慢となる。養生条件にかかわらず、鉱物質混和材であるセメント、シリカフューム及びスラグを混入したせっこう硬化体の吸水率は8%前後であり、せっこう単体のその1/4~1/6となる。乾燥養生したせっこう単体の吸水率は、湿空養生したもののそれよりも小さいが、鉱物質混和材を混入したせっこう硬化体の吸水率は、乾燥養生したもののそれよりも湿空養生したものの方が小さい。これは、湿空養生するこ

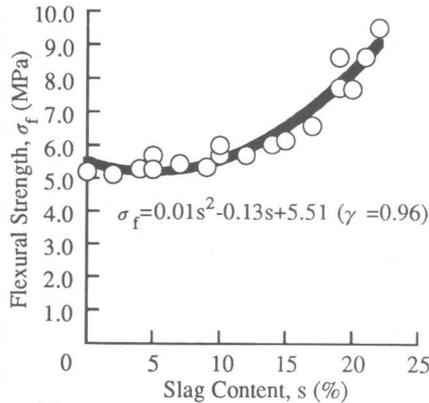


図-4 せっこう硬化体の曲げ強さとスラグ混入率の関係

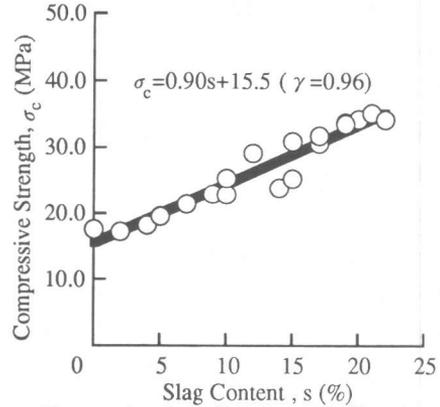


図-5 せっこう硬化体の圧縮強さとスラグ混入率の関係

とによって、混入した鉱物質混和剤の硬化反応が生じるためと考える。

図-7及び図-8には、セメント混入率5%、シリカフェーム混入率1%及びスラグ混入率19%としたせっこう硬化体の48時間水中浸漬前後の曲げ及び圧縮強さと養生条件の関係を示す。水中養生したせっこう硬化体の曲げ強さは8.6MPaとなる。しかし、乾燥及び湿空養生したせっこう硬化体の水中浸漬前の曲げ強度は1.0MPa程度であり、これは、上述したように、養生後に認められたせっこう硬化

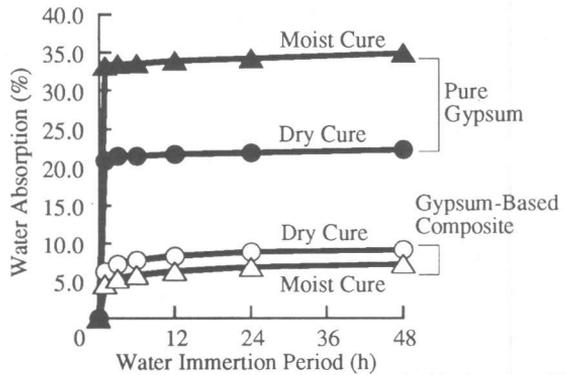


図-6 せっこう硬化体の吸水率と水中浸漬時間との関係

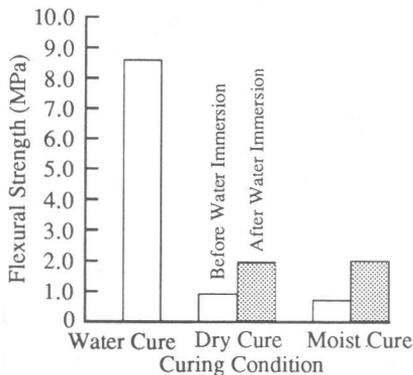


図-7 せっこう硬化体の48時間水中浸漬前後の曲げ強さと養生条件の関係

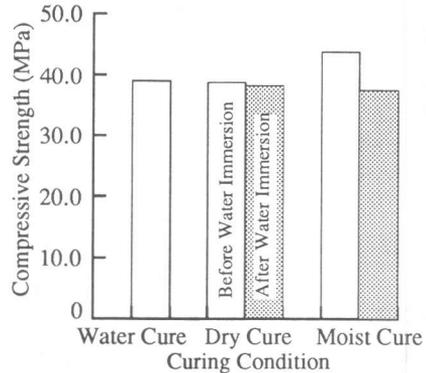


図-8 せっこう硬化体の48時間水中浸漬前後の圧縮強さと養生条件の関係

体表面のひび割れの影響と考えられる。又、乾燥養生及び湿空養生したせっこう硬化体の水中浸漬後の曲げ強さは、水中浸漬前のそれよりも1MPa程度高い値を与える。これは、水中浸漬期間中に、せっこう硬化体表面の微細なひび割れが閉塞するためと推察される。一方、水中浸漬前後のせっこう硬化体の圧縮強さに及ぼす養生条件の影響はほとんど認められない。

図-9には、乾燥養生したポリマー混入せっこう硬化体の48時間水中浸漬後の吸水率とポリマー結合材比の関係を示す。なお、乾燥養生後において、ポリマー結合材比10%までのポリマーせっこう硬化体表面に若干の微細なひび割れが認められた。ポリマー混入せっこう硬化体の吸水率は、ポリマー結合材比の増加に伴って減少し、特に、ポリマー結合材比20%としたポリマー混入せっこう硬化体の吸水率は1.0%であり、ポリマー無混入せっこう硬化体のその1/9と著しく小さくなる。

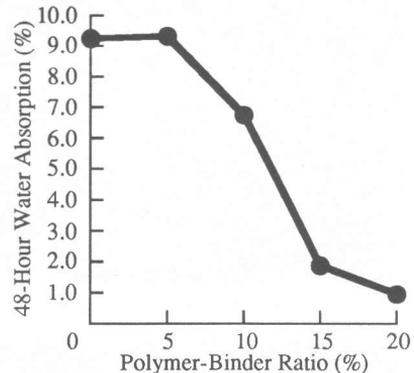


図-9 ポリマー混入せっこう硬化体の48時間水中浸漬後の吸水率とポリマー結合材比の関係

図-10及び図-11には、乾燥養生したポリマー混入せっこう硬化体の水中浸漬前後の曲げ及び圧縮強さとポリマー結合材比の関係を示す。ポリマー混入せ

っこう硬化体の水中浸漬前後の曲げ強度は、ポリマー結合材比の増加に伴って増大し、特に、ポリマー結合材比20%としたせっこう硬化体の水中浸漬前後の曲げ強さは、それぞれ、8.8及び9.2MPaに達し、ポリマー無混入せっこう硬化体のその約5~9倍となる。ポリマー混入せっこう硬化体の水中浸漬前の圧縮強さは、ポリマー結合材比5%で最大値に達する。一方、ポリマー混入せっこう硬化体の水中浸漬後の圧縮強さは、水中浸漬することによって若干低下するもののいずれのポリマー結合材比においても、35MPa以上の実用強さを発現し、ポリマー結合材比20%としたものの水中浸漬後の圧縮強さは37.9MPaである。なお、ポリマー結合材比の増加に伴って、その曲げ強さは増大するが、圧縮強さがほとんど変化しないのは、混入したポリマーがせっこう硬化体中でフィルムを形成して曲げ強さを改善するが、ポリマーフィルムの弾性係数が小さいために、その圧縮強さ発現に寄与しないためと考える。

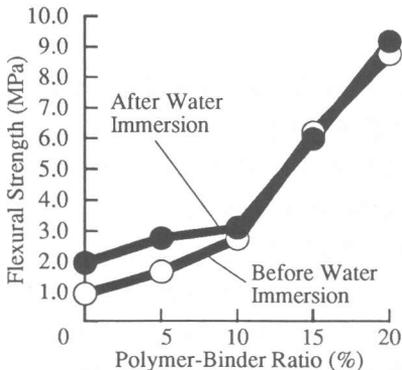


図-10 ポリマー混入せっこう硬化体の水中浸漬前後の曲げ強さとポリマー結合材比の関係

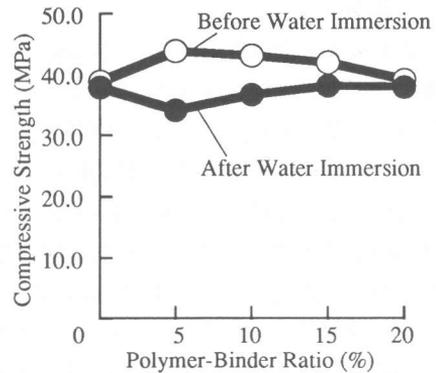


図-11 ポリマー混入せっこう硬化体の水中浸漬前後の圧縮強さとポリマー結合材比の関係

写真-1及び写真-2には、せっこう単体及びポリマー無混入せっこう硬化体の微細構造の電子顕微鏡写真を、写真-3には、ポリマー混入せっこう硬化体の微細構造の電子顕微鏡写真を示す。写真-1に示すように、硬化後のせっこう単体においては、せっこうの針状結晶が観察される。ポリマー無混入せっこう硬化体（鉍物質混和材混入せっこう硬化体）においては、せっこう単体で観察される針状結晶の他に、エトリンナイトと思われる水和物が観察される。又、ポリマーせっこう

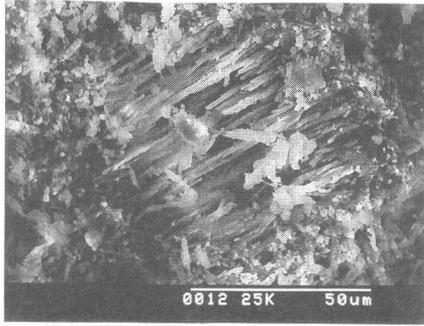


写真-1 せっこう単体

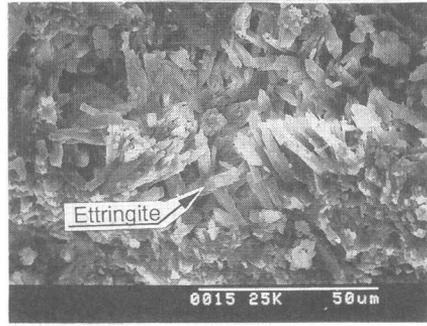


写真-2 ポリマー無混入せっこう硬化体

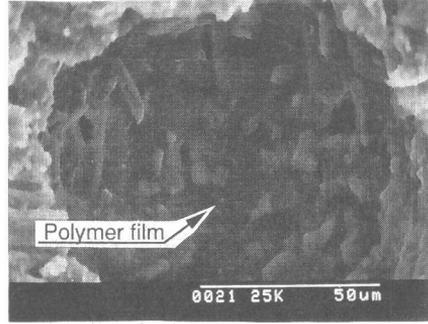
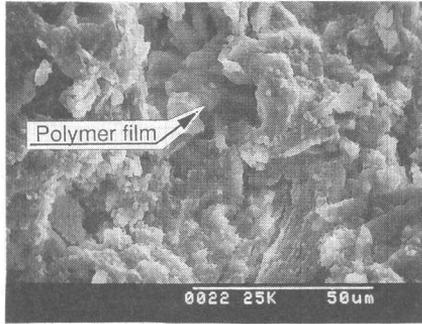


写真-3 ポリマー混入せっこう硬化体

う硬化体においては、せっこう及びエトリンガイトの結晶間をポリマーフィルムが充填し、更に、結晶をポリマーフィルムが覆って、組織が緻密になっている様子が観察される。このような組織構造の形成が、ポリマーせっこう硬化体に耐水性を付与しているものと推察される。

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) せっこうと鉱物質混和材であるセメント、シリカフェーム及びスラグを混合して製造されるせっこう硬化体は、せっこう単体に比べて優れた耐水性を有する。しかしながら、そのようなせっこう硬化体を乾燥又は湿空養生した場合には、その表面に微細なひび割れが発生し、水中浸漬による強さの低下は無いものの、実用的な曲げ強度の発現が望めない。
- (2) 鉱物質混和材を混入したせっこう硬化体へのポリマーの混入によって、乾燥養生後においても、その表面での微細なひび割れの発生が認められなくなる。本研究の限りでは、ポリマー結合材比を20%とすることによって、吸水率が1.0%程度で、水中浸漬後においても、9.2MPaの曲げ強さ及び37.9MPaの圧縮強さを有する耐水性に優れたポリマーせっこう硬化体が製造可能である。

参考文献

- [1] 堀 長生, 青山 幹, 大村久平, 鯉渕 清: 繊維補強スラグ石膏セメント系軽量複合材に関する研究(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), A 材料施工 防火 海洋 情報システム技術, pp.709-710, 1989.10
- [2] Bentur, A., Kovler, K. and Goldman, A.: Gypsum of Improved Performance Using Blends with Portland Cement and Silica Fume, *Advances in Cement Research*, V.6, No.23, pp.109-116, July 1994