

## PS 灰造粒品を用いたモルタル・コンクリートに関する実験的研究

会員外○嶋田将平\*<sup>1</sup> 同 芦田圭介\*<sup>1</sup>  
 正会員 三森敏司\*<sup>2</sup> 同 大楽隆男\*<sup>3</sup>  
 会員外 保坂達巳\*<sup>4</sup> 正会員 浜 幸雄\*<sup>5</sup>

## 1. 材料施工 - 4. 特殊なコンクリート

PS 灰造粒品, モルタル, コンクリート, 強度増進, 初期凍害, CIF 試験

## 1. はじめに

近年, 都市ゴミ削減など社会的要望を背景として古紙を原料とする再生紙に対する市場の需要が増大し, その製造に際して大量のペーパースラッジ灰(以下 PS 灰と呼ぶ)が排出され, セメント原料等として輸送されているが, その処理費が問題となっている。この再資源化が課題となっている PS 灰を原料として, 少量の固化材と水を加えた造粒品を高温・高圧下で反応させ, 軽量で多孔質な固化品(以下 PS 灰造粒品と呼ぶ)が生成された。

本報では, PS 灰造粒品を細骨材として用いたモルタルの強度および粗骨材として用いたコンクリートの低温強度増進, 初期凍害抵抗性, RILEM CIF 法による耐凍害性の実験を行い, 普通骨材コンクリートと比較検討した。

## 2. 実験概要

## 2.1 PS 灰造粒品の概要

PS 灰造粒品の製造で用いた原料は, 製紙工場内のボイラーから主成分をペーパースラッジとして燃焼した際の副産物である PS 灰を使用した。

PS 灰造粒品の製造は, PS 灰と固化材(生石灰, セメント等)を所要量計量し攪拌後, 混練機内で加水・混練し, 混練した材料を造粒機で 3~10mm 程度の造粒物とした後, 185°C, 10 気圧のオートクレーブ養生を行った。写真 1 に PS 灰造粒品を示す。

生成された PS 灰造粒品の絶乾密度は 1.0g/cm<sup>3</sup> 未満と軽量なことから, JIS A 5002「構造用軽量コンクリート骨材」に準拠して実験を行った。

図 1 に無調整 PS 灰造粒品のふるい分け試験結果を示す。PS 灰造粒品は最大寸法 15mm で, 粗粒率が 4.73, 粒度は, JIS A 5002 規定の人工軽量細骨材および人工軽量粗骨材の範囲外であったため, 粒度調整を行ってモルタル, コンクリートに用いた。なお, 無調整 PS 灰造粒品の粗骨材部分(5~15mm)は 28.5%, 細骨材部分(0.15~5mm)は 66.8%であった。

## 2.2 モルタルに関する実験

## (1) 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm<sup>3</sup>)を, 細骨材は表 1 に示す白糠産陸砂および PS 灰造粒品を用いた。

## (2) モルタルの調合, 試験体の作製および強さ試験

モルタルの基本調合は, JIS R 5201 に準じ, 質量

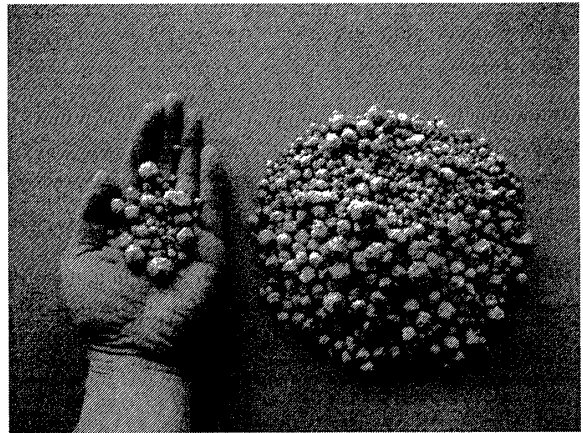


写真 1 PS 灰造粒品

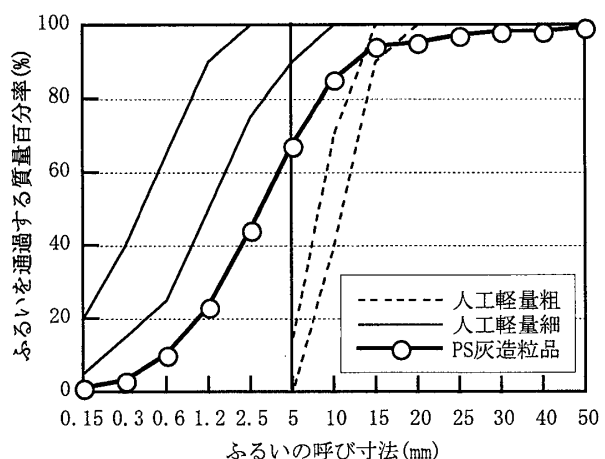


図 1 無調整 PS 灰造粒品のふるい分け試験結果

比でセメント1，細骨材3，水セメント比50%とした。なお，密度の小さいPS灰造粒品は陸砂と同体積に換算して使用した。練り混ぜは機械練りにより行い，4×4×16cmの角柱供試体を作製し，所定の材齢まで20℃水中養生を行った。曲げ，圧縮強度試験の材齢は，成形後1, 3, 7, 28, 91日とした。

2.3 コンクリートに関する実験

コンクリートの実験計画を表2に示す。

(1) 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメントを，細骨材は鶴居産山砂，粗骨材は尾幌産碎石（最大寸法20mm）およびPS灰造粒品（最大寸法15mm）を用いた。各骨材の物理試験結果を表1に示す。また，化学混和剤はAE減水剤標準形を用い，必要に応じて空気量調整剤を使用した。

(2) コンクリートの調合

コンクリートの調合は，表2に示す目標空気量，目標スランプが得られるように，練り上がり温度20℃を基本調合とし，試し練りにより定めた。混練は二軸強制練りミキサを用い，スランプ，空気量，単位容積質量，練り上がり温度を測定した。調合を表3に，練り上がり性状と91日後の気乾単位容積質量を表4に示す。

(3) 強度増進性状

強度増進性状に関する実験は，φ10×20cmの円柱供試体を用い，練り上がり温度を5℃，20℃として所定の材齢まで封緘養生を行った。圧縮強度試験の材齢は，5℃養生で7, 14, 28, 56, 112, 182日，20℃養生で1, 3, 7, 14, 28, 56, 91日とした。

(4) 初期凍害抵抗性

初期凍害抵抗性は表5に示す試験条件とし，φ10×20cmの円柱供試体を用いた。練り上がり温度を5℃とし，所定の材齢まで5℃封緘養生を行い，その後気中凍結水中融解による6サイクルの凍結融解作用を与えた後，20℃で材齢28日まで封緘養生を行った。凍結融解開始材齢は圧縮強度5N/mm<sup>2</sup>をはさむ4水準とし，圧縮強度の測定は，凍結融解開始時および終了時，材齢28日で行った。

(5) CIF試験

図2にCIF試験の行程を示す。CIF試験は10×10×20cmの梁型供試体を用い，脱型後6日間水中で，21日間20℃60%RHの恒温室中で養生した試験体の側面をブチルゴム付アルミテープでシールし，7日

表1 骨材の物理試験結果

骨材種類	細骨材			粗骨材	
	白糠産陸砂	鶴居産山砂	PS灰造粒品	尾幌産碎石	PS灰造粒品
表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.62	2.57	1.57	2.67	1.48
絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.59	2.51	0.97	2.63	0.90
吸水率 (%)	1.44	2.66	61.7	1.57	65.1
単位容積質量 (kg/l)	1.71	1.64	0.67*	1.54	0.49*
実績率 (%)	66.2	65.3	—	58.6	—
粗粒率	2.47	2.59	2.73	6.60	6.50

\*: 絶乾単位容積質量

表2 実験計画表

粗骨材種類	W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	試験項目
碎石 PS灰造粒品	55	18 ± 2.5	4.5 ± 1.0	圧縮強度試験 初期凍害試験 RILEM CIF試験

表3 コンクリートの調合

粗骨材	W/C (%)	s/a (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	絶対容積 (1/m <sup>3</sup> )			混和剤 (C × %)
				セメント	細骨材	粗骨材	
碎石	55	43.7	173	100	298	384	1.2
PS		43.7	170	98	300	387	0.8

PS: PS灰造粒品

表4 練り上がり性状と気乾単位容積質量

粗骨材	フレッシュコンクリートの性状				91日後気乾	
	練温 (°C)	スランプ (cm)	空気量 (%)		単位容積質量 (kg/l)	単位容積質量 (kg/l)
			圧力法	質量法		
碎石	21.0	20.1	4.7	3.5	2.298	2.280
	6.5	23.2	6.6	5.4	2.254	—
PS	19.0	12.1	5.9	3.7	1.830	1.620
	7.0	19.6	7.5	4.7	1.811	—

表5 初期凍害試験の条件

	凍結融解条件	圧縮強度試験の材齢
前養生	5℃封緘養生で圧縮強度5N/mm <sup>2</sup> をはさむ4材齢	凍結融解用供試体 ○凍結融解開始時 ○凍結融解終了後 ○後養生材齢28日終了時 比較用供試体 ○20℃養生材齢28日
凍結融解	気中凍結水中融解6サイクル 凍結: -18℃, 2.5時間 融解: +5℃, 1.5時間	
後養生	20℃封かん養生を材齢28日まで	

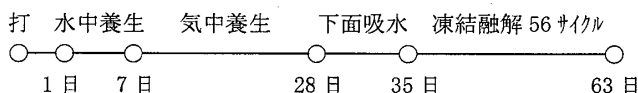


図2 CIF試験の行程

間の下面吸水後に図3に示すCIF試験装置で最高温度20℃(1時間保持),最低温度-20℃(3時間保持),温度勾配±10K/hourで1日2サイクルの下面吸水状態での一面凍結融解を56サイクルまで繰り返した。

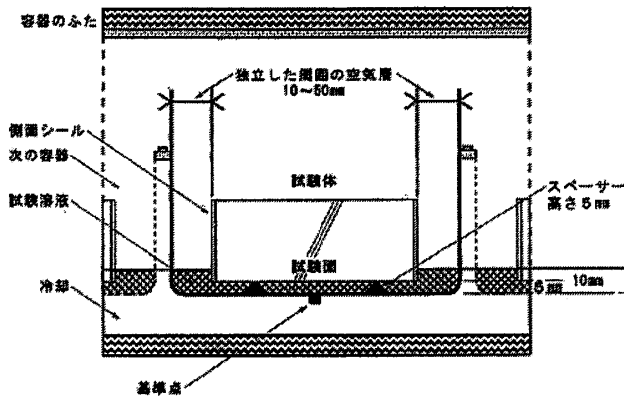


図3 CIF試験槽内の試験体と試験容器

測定項目は質量変化, 相対動弾性係数, 剥離量である。剥離量は, 各測定サイクル毎に試験容器ごと3分間の超音波洗浄を行い, 溶液を濾過した後, 剥離片を105℃で24時間乾燥させ, 剥離片の質量を測定した。相対動弾性係数は, たわみ振動法と超音波速度法の2種類の方法で測定した。

### 3. 実験結果および考察

#### (1) 基礎物性

表6にモルタル, コンクリートの基礎物性値を示す。PS灰造粒品を用いたモルタルの絶対乾密度は, 1.19g/cm<sup>3</sup>で普通モルタルの59%, コンクリートの絶対乾密度は1.49g/cm<sup>3</sup>で普通コンクリートの68%と軽量であった。図4にモルタルおよびコンクリートの絶対乾密度と圧縮強度の関係を示す。PS灰造粒品を用いたモルタルおよびコンクリートと普通モルタル, コンクリートの比強度の差は1前後と小さい。

表6 基礎物性 (材齢91日)

種別	陸砂モルタル	PSモルタル	砕石コンクリート	PSコンクリート
絶対乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.02	1.19	2.20	1.49
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	55.6	31.1	28.2	20.1
強度比 (N/mm <sup>2</sup> )	27.5	26.1	12.8	13.5
曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	7.7	4.2	—	—

#### (2) モルタルの曲げ, 圧縮強度増進

モルタルの曲げ, 圧縮強度増進性状を図5に示す。圧縮強度は直線的に増大し, 91日後のPS灰造粒品で陸砂の56%の強度発現となった。

#### (3) フレッシュコンクリートの性状

PS灰造粒品を用いたコンクリートは, 普通コンクリートに比べ常温, 低温時とも流動性が低下することがわかった。また, フレッシュ時の単位容積質量は1.83kg/lと普通コンクリートの80%であったが,

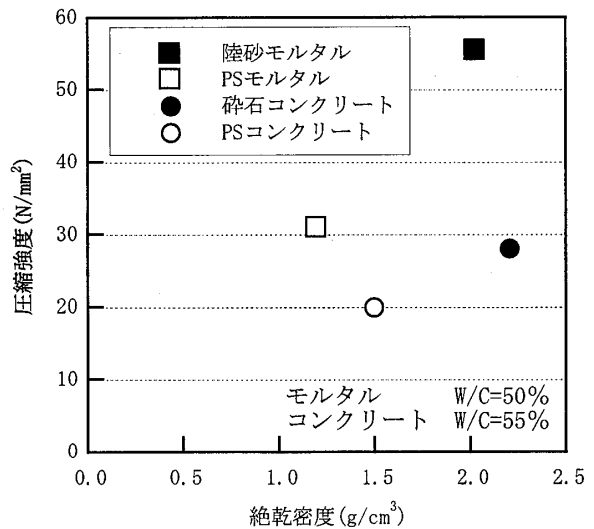


図4 絶対乾密度と圧縮強度の関係

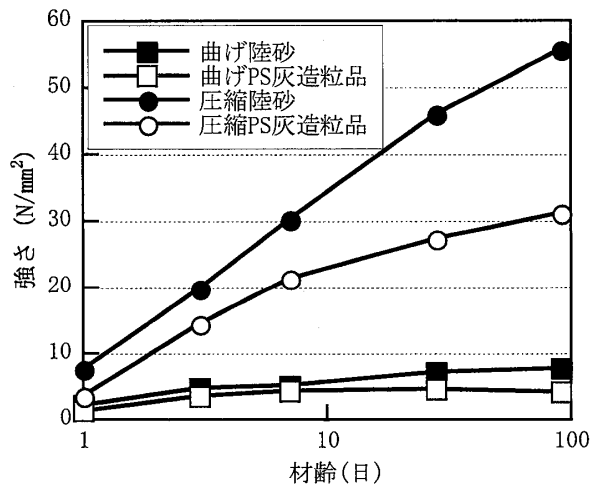


図5 モルタルの曲げ, 圧縮強度増進性状

91日後には1.62kg/l (普通コンクリートの71%) と更に軽量となった。これはPS灰造粒品の密度が小さく多孔質であることによる。

#### (4) コンクリートの低温強度増進性状

積算温度と強度増進性状の関係を図6に示す。砕石, PS灰造粒品とも5℃養生は20℃養生と比較して, 初期材齢では強度差が小さく, 長期強度でその差が大きくなる傾向が見られる。また, PS灰造粒品は砕石と比較して, 5℃養生で67~74%, 20℃養生で59~77%の範囲の圧縮強度発現となっている。

#### (5) コンクリートの初期凍害抵抗性

強度回復の程度を凍結融解を受けた供試体と受けない供試体の840° D・D時の強度比で表し, 凍結融解後の後養生による強度回復の程度によって初期凍害を受けたか否かを判定する。図7にその結果を示

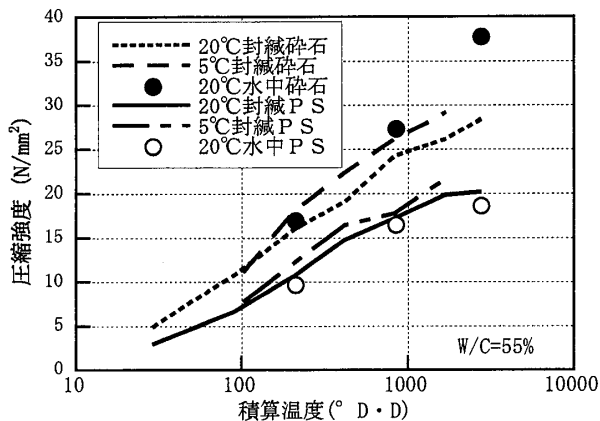


図6 コンクリートの圧縮強度増進性状

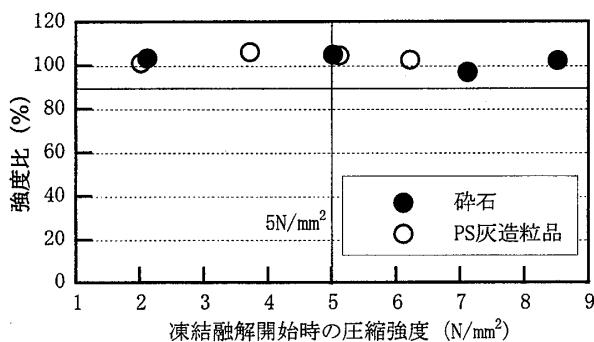


図7 凍結融解開始時の強度と840° D・Dの強度比の関係

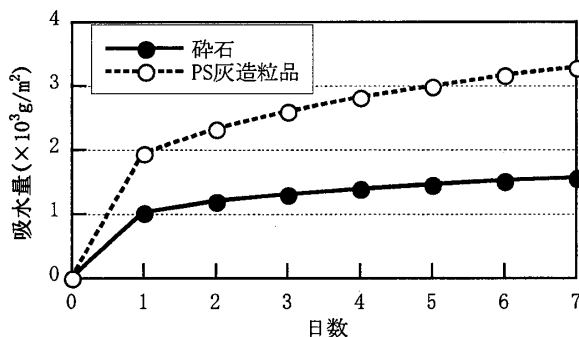


図8 下面吸水試験における毛細管吸水量の変化

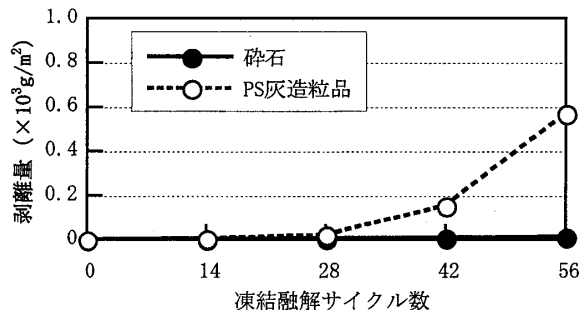


図9 CIF試験における剥離量の変化

す。碎石、PS 灰造粒品とも凍結融解開始時に  $2\text{N/mm}^2$  を超える圧縮強度であれば90%以上の強度回復を示しており、初期凍害を受けていないと判断できる。従って、粗骨材にPS 灰造粒品を用いた場合の初期凍害防止のために必要な圧縮強度は、普通コンクリートと同様に  $5\text{N/mm}^2$  と考えて良い。

(6) コンクリートのCIF試験

図8に下面吸水の毛細管吸水量の経時変化を示す。試験初日の吸水量が最も多く、総吸水量は軽量多孔質なPS 灰造粒品で碎石の約2倍の値となった。

図9にCIF試験での累積剥離量の変化を示す。PS 灰造粒品は28サイクルまでは  $22\text{g/m}^2$  と微量であったが、42サイクルで  $154\text{g/m}^2$ 、56サイクル  $569\text{g/m}^2$  と剥離量が増加した。

超音波速度法による相対動弾性係数に変化は認められなかったが、PS 灰造粒品の一部でCIF試験42サイクルから、たわみ振動法による相対動弾性係数が低下する傾向を示した。

4. まとめ

PS 灰造粒品を骨材として用いたモルタル、コンクリートについて諸特性の検討を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1) 普通モルタル、コンクリートとの比強度の差は1程度と小さい。
- (2) 気乾単位容積質量は、 $1.62\text{kg/l}$  と普通コンクリートに比べ軽量である。
- (3) 強度発現は普通コンクリートの6~7割である。
- (4) 初期凍害防止のために必要な圧縮強度は、普通コンクリートと同等な  $5\text{N/mm}^2$  とすることができる。
- (5) 毛細管吸水量は普通コンクリートの約2倍であり、CIF試験42サイクルから剥離量が増加した。

謝辞

本研究の実施にあたり、釧路高専卒論生・大西正揮氏の協力を得た。記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) 浜 幸雄ほか：高強度人工骨材を用いたコンクリートの初期凍害抵抗性，日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），pp.315～316，2001.9
- 2) M. J. Setzer：Recommendation of RILEM TC 176-IDC, Materials and Structures, Vol.34, RILEM, pp.515-525, 2001.11

\* 1 釧路工業高等専門学校専攻科  
 \* 2 釧路工業高等専門学校助教授  
 \* 3 釧路工業高等専門学校教授  
 \* 4 日本製紙(株) 釧路工場  
 \* 5 室蘭工業大学助教授・博士(工学)

Advanced Engineering Course, Kushiro National College of Technology  
 Assoc. Prof., Kushiro National College of Technology  
 Prof., Kushiro National College of Technology  
 Nippon Paper Industries Ltd. Kushiro workshop  
 Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr.Eng.