

PS 灰造粒品を用いたコンクリートの初期凍害抵抗性と低温強度増進

会員外○芦田圭介*¹正会員 三森敏司*²同 大楽隆男*³同 濱 幸雄*⁴

1. 材料施工 - 4. 特殊なコンクリート

PS 灰造粒品, コンクリート, 初期凍害, 凍結融解, 強度増進, 比強度

1. はじめに

製紙工場のパルプ製造工程, 紙製造工程, 古紙処理工程等から発生するペーパースラッジ (以下PSと略す) を焼却処理した際に大量のPS灰が発生する。PS灰はセメントの原料としての用途もあるが, 嵩高で輸送運賃がかかることや, 重金属類の有害物質が含まれていることから, 直接埋め立て処分ができないことなど, その処理費が問題となっている。このような状況に鑑み, PS灰を有効利用することで処理費の抑制を図る方法として, PS灰造粒品が製造されている。

本研究は, PS灰造粒品を粗骨材として用いたコンクリートの初期凍害抵抗性と低温強度増進性状を把握することを目的としている。

2. 実験計画および方法

実験計画を表-1に示す。粗骨材と水セメント比の異なる4種類のコンクリートを作製し, 初期凍害試験と圧縮強度試験を行った。

セメントは普通ポルトランドセメント ($\rho = 3.16\text{g/cm}^3$) を, 細骨材は鶴居産陸砂, 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。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。骨材の物理試験結果を表-2に示す。PS灰造粒品は, PS灰に少量の固化材 (生石灰, セメント等) を添加し, 水を加え混合機で攪拌造粒したものを, 高温高压のオートクレーブ養生で反応させた非焼成の造粒固化体である。そのため市販されている焼成型骨材に比べ軽量・多孔質で高吸水率である。

コンクリートの調合は, 表-1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°Cを基本調合とし, 試し練りによって定めた。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, 練り上がり性状を表-4に示す。

表-1 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	45	18 ± 2.5	4.5 ± 1.0	初期凍害試験 圧縮強度試験
PS 灰造粒品	55			

表-2 骨材の物理試験結果

骨材種類	細骨材	粗骨材	
	鶴居産陸砂	尾幌産碎石	PS 灰造粒品
表乾密度 (g/cm ³)	2.57	2.67	1.48
絶乾密度 (g/cm ³)	2.51	2.63	0.90
吸水率 (%)	2.66	1.57	65.1
単位容積質量 (kg/l)	1.64	1.54	0.49*
実績率 (%)	65.3	58.6	-
粗粒率	2.59	6.60	6.50

*: 絶乾単位容積質量

表-3 コンクリートの調合

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位水量 (kg/m ³)	絶対容積 (l/m ³)			混和剤 (C × %)
				セメント	細骨材	粗骨材	
45N	45	41.0	178	125	267	385	1.2* ¹
45PS							1.0
55N	55	43.7	173	100	298	384	1.2
55PS							0.8

PS: PS 灰造粒品 *1: 空気量調整剤を C × 0.0025% 使用

表-4 コンクリートの練り上がり性状

記号	W/C (%)	フレッシュコンクリートの性状				
		練温 (°C)	スランプ (cm)	空気量 (%)		単位容積質量 (kg/l)
				圧力法	質量法	
45N	45	21.0	20.8	3.7	2.0	2.342
		6.0	22.7	5.2	3.5	2.306
45PS		20.5	22.3	6.3	3.0	1.850
		7.5	23.5	5.4	3.7	1.837
55N	55	21.0	20.1	4.7	3.5	2.298
		6.5	23.2	6.6	5.4	2.254
55PS		19.0	12.1	5.9	3.7	1.830
		7.0	19.6	7.5	4.7	1.811

Resistance to Early Frost Damage and Strength Development at Low Temperature
on Concrete using Paper Sludge Ash Agglomerates

Ashida Keisuke et al.

初期凍害抵抗性は表-5に示す試験条件とし、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体を用いた。練り上がり温度を 5°C とし、所定の材齢まで 5°C 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°C 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^2 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。

強度増進性状に関する実験は、 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体を用い、練り上がり温度を 5°C 、 20°C 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°C 養生で7, 14, 28, 56, 112, 182日の6材齢、 20°C 養生で1, 3, 7, 14, 28, 56, 91日の7材齢とした。

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°C 封緘養生で圧縮強度 5N/mm^2 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
凍結融解	気中凍結水中融解6サイクル 凍結： -18°C , 2.5時間 融解： $+5^\circ\text{C}$, 1.5時間	比較用供試体 ○ 20°C 養生材齢28日
後養生	20°C 封かん養生を材齢28日まで	

表-6 材齢91日のコンクリート密度

試験体記号	45N	45PS	55N	55PS
水セメント比 (%)	45		55	
気乾密度 (g/cm^3)	2.32	1.67	2.28	1.62
絶乾密度 (g/cm^3)	2.24	1.53	2.20	1.50

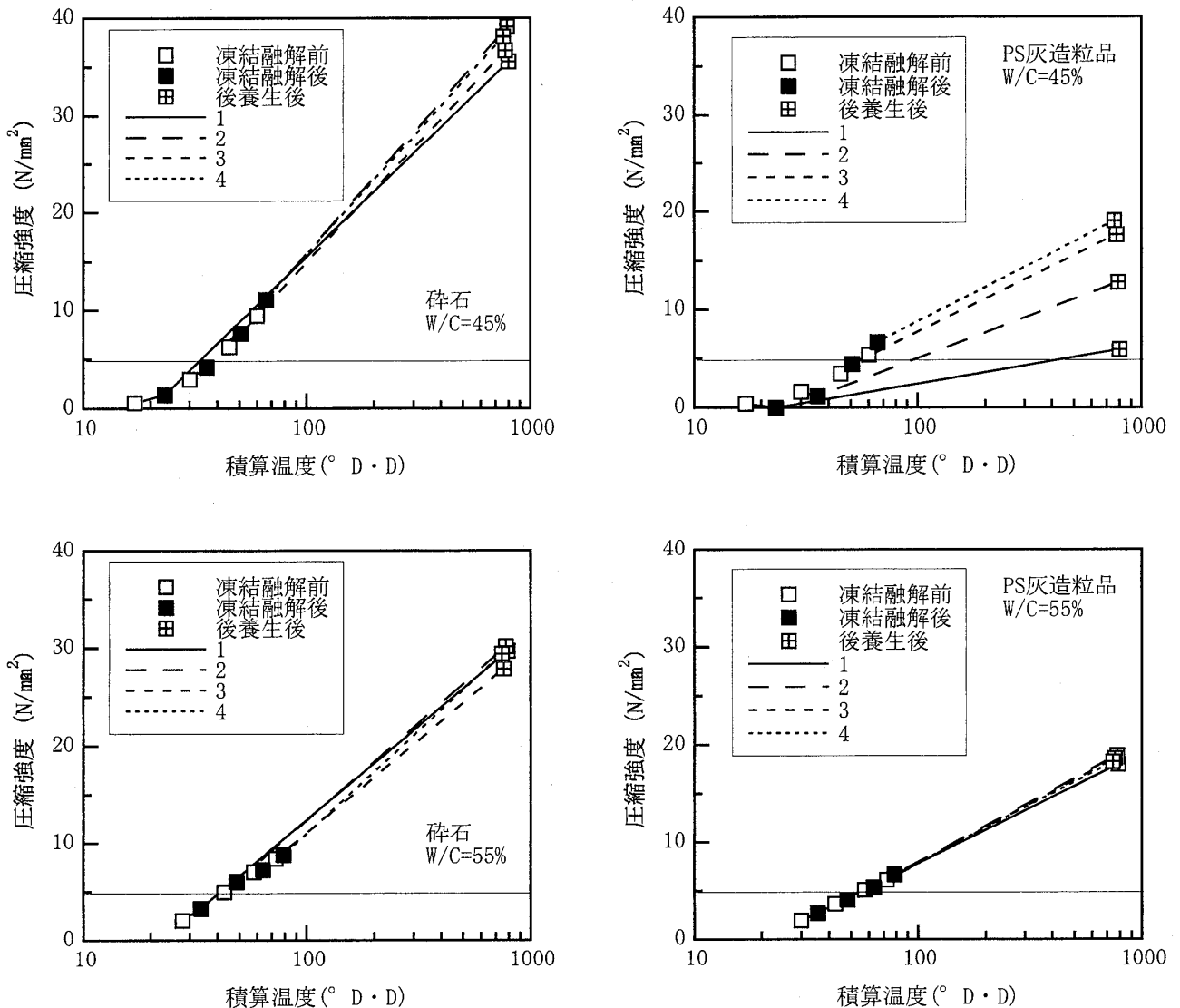


図-1 凍結融解前後の初期材齢から後養生28日までの圧縮強度の傾向

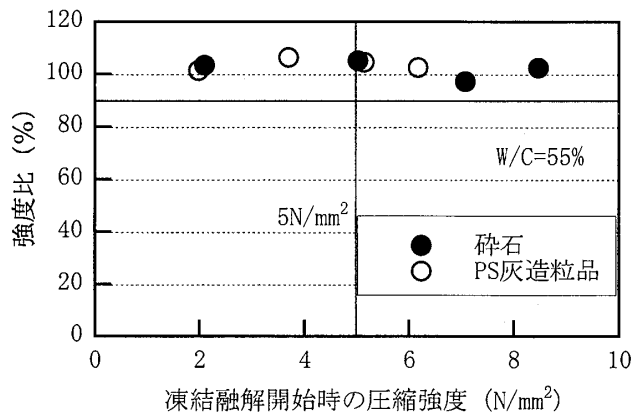
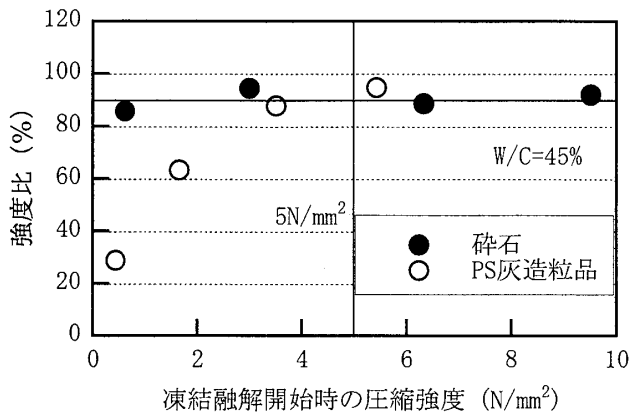


図-2 凍結融解6サイクル後の強度回復の状況 (材齢28日)

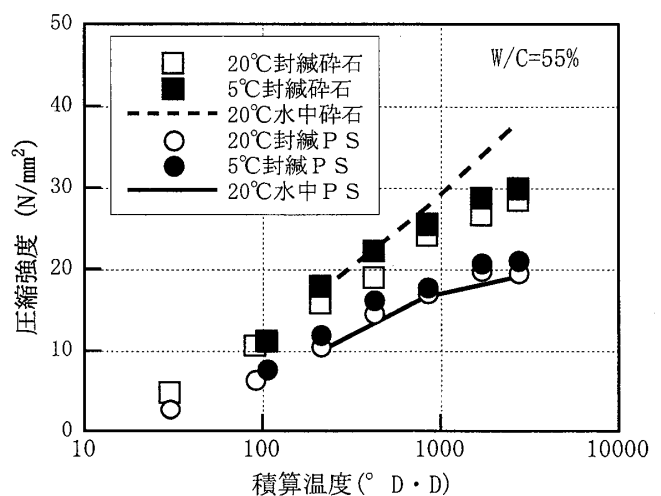
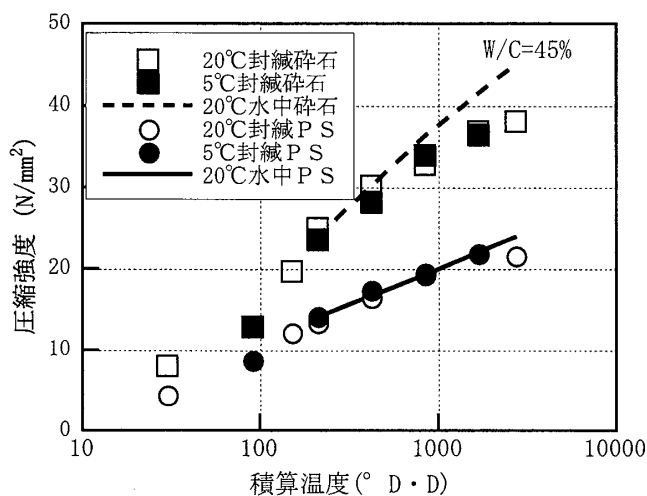


図-3 コンクリート圧縮強度増進の傾向

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリートの性状および硬化後の密度

PS 灰造粒品を用いたコンクリートの流動性は、普通コンクリートと同様に低温では大となり、空気量も増加する傾向を示した。また、フレッシュ時の単位容積質量は水セメント比 45% で 1.85kg/l、55% で 1.83kg/l と普通コンクリートに比べ 20% 軽量である。

材齢 91 日のコンクリート密度を表-6 に示す。PS 灰造粒品を用いたコンクリートの気乾密度 (g/cm³) は、水セメント比 45% で 1.67、55% で 1.62 と普通コンクリートより約 30% 軽量である。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。

3.2 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ものである。図-1 に凍結融解前後の初期材齢から後養生 28 日までの圧縮強度の傾向を、図-2 に強度回復の状況を示す。砕石、PS 灰造粒品とも凍結融解開始時に水セメント比 45% では 3N/mm² を超える圧縮強度、55% では 2N/mm² 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 5N/mm² と考えて良い。

3.3 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-3 に、比強度の傾向を図-4 に示す。砕石、PS 灰造粒品のそれぞれの養生温度とも、初期材齢では強度差が小さく、長期材齢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、水セメント比 55% の 5°C 養生で 67 ~ 73%、20°C 養生で 59 ~ 77%

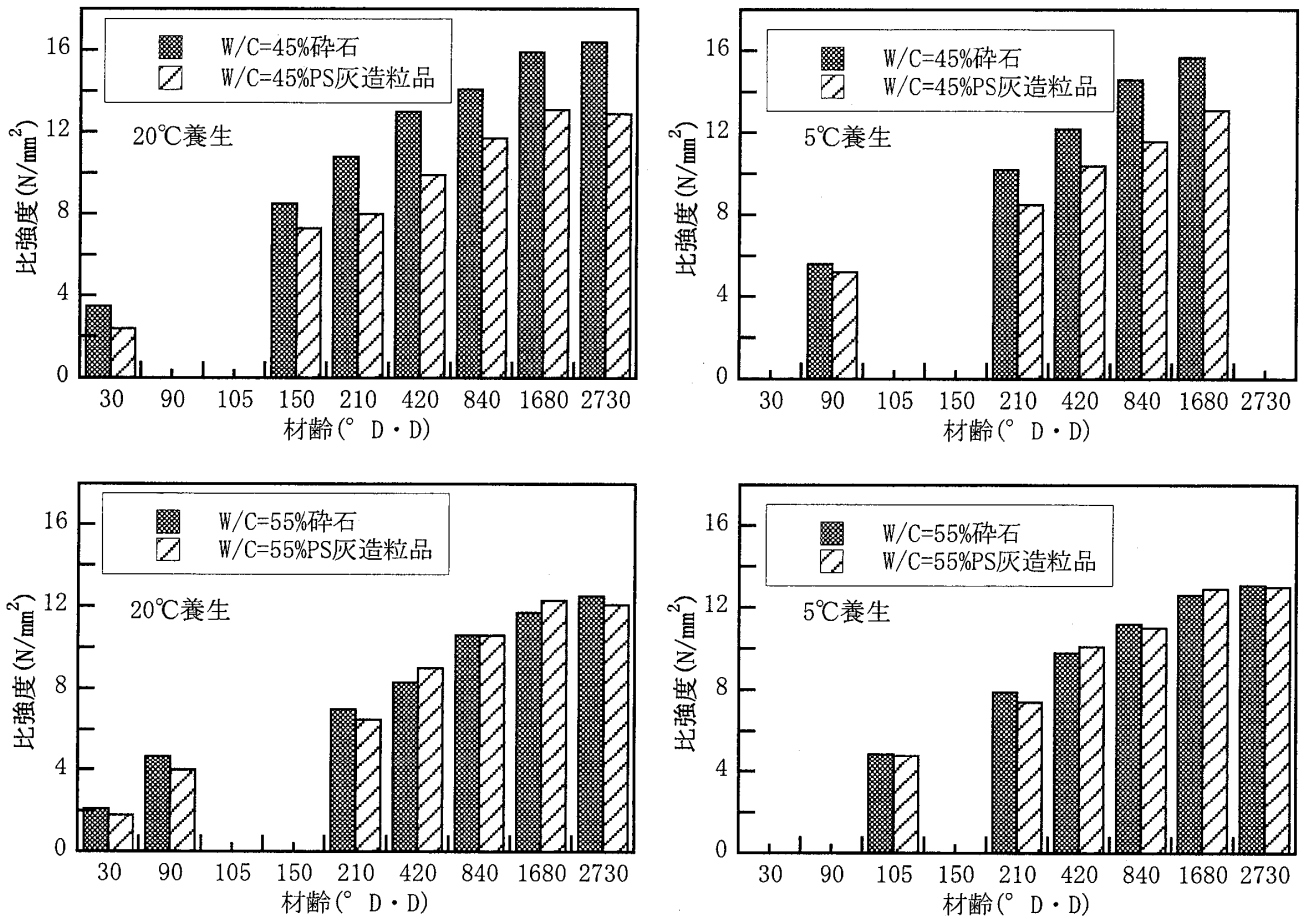


図-4 積算温度別の比強度の傾向

の圧縮強度発現であるが、45%では5°C養生が57～68%、20°C養生で50～62%と55%に比べ強度増進の割合が小さい。

PS灰造粒品の材齢28日の比強度(N/mm²)は水セメント比45%で11.7(20°C養生)、11.6(5°C養生)、55%で10.6(20°C養生)、11.0(5°C養生)と標準的な軽量コンクリートの値である10N/mm²を満足している。なお、水セメント比55%では両者の比強度に差はないが、45%では約3N/mm²の差を生じている。これはPS灰造粒品自体の圧壊強度に起因している。

4. まとめ

PS灰造粒品を粗骨材として用いた水セメント比45%、55%のコンクリートの初期凍害抵抗性と低温強度増進性状について得られた結果を以下に示す。

- (1) 質量はフレッシュ時で20%、材齢91日で30%軽量である。
- (2) 初期凍害防止に必要な圧縮強度は、普通コンク

リートと同等な5N/mm²とすることができる。

- (3) 強度発現は普通コンクリートの6～7割である。
- (4) 比強度は10N/mm²超であり、普通コンクリートと同等である。

謝辞

本研究は日本製紙(株)釧路工場との共同研究の一環として行われました。また、本研究の実施にあたり、本学卒論生の小島栄・高橋武郎君の協力を得ました。ここに記して、感謝の意を表します。

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) 日本建築学会：寒中コンクリート施工指針・同解説，1998

- * 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 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
 Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr.Eng.