

P S 灰造粒品を用いたコンクリートの強度増進と耐凍害性

正会員 ○三森 敏司*¹
同 大楽 隆男*²
会員外 保坂 達巳*³
正会員 浜 幸雄*⁴

P S 灰造粒品, コンクリート, 強度増進
耐凍害性, 凍結融解, 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PS灰が排出されている。このPS灰を原料として少量の固化材を加えた造粒品をオートクレーブ養生で反応させ、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灰造粒品を粗骨材として用いたコンクリートの製造を行い、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. 実験計画および方法

表1に実験計画を示す。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、粗骨材は尾幌産砕石およびPS灰造粒品を用いた。各骨材の物理試験結果を表2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。

コンクリートの調合は、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。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。

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。

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。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。

CIF試験は10×10×20cmの梁型供試体を用い、所定の養生を行っ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日間の下面吸水後に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。測定項目は質量変化、相対動弾性係数、剥離

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
砕石 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2 骨材の物理試験結果

骨材種類	細骨材	粗骨材	
	鶴居産山砂	尾幌産砕石	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

粗骨材	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	
砕石	55	43.7	173	100	298	384	1.2
PS				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)
砕石	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 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℃, 2.5時間 融解: +5℃, 1.5時間	比較用供試体 ○20℃養生材齢28日
後養生	20℃封かん養生を材齢28日まで	

Strength Development and Frost Resistance of Concrete using Paper Sludge Ash Agglomerates

MIMORI Toshiji, TAIRAKU Takao, HOSAKA Tatsumi and HAMA Yukio

量で、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) 低温強度増進性状

積算温度と強度増進性状の関係を図1に示す。碎石、PS灰造粒品とも5℃養生は20℃養生と比較して、初期強度で差が少なく、長期強度が高くなる傾向が見られる。また、PS灰造粒品は碎石と比較して、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。

2) 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2にその結果を示す。碎石、PS灰造粒品とも凍結融解開始時に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。よって粗骨材に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) CIF試験

図3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4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22g/m²と微量であったが、42サイクルで154g/m²、56サイクル569g/m²と剥離量が増加した。

なお、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灰造粒品を粗骨材として用いた水セメント比55%のコンクリートについて強度増進と耐凍害性の検討を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1) 製造されたコンクリートの気乾単位容積質量は、1.62kg/lと普通コンクリートに比べ軽量である。
- (2) 強度発現は普通コンクリートの6～7割である。
- (3) 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な5N/mm²とすることができる。

参考文献

- 1) M.J.Setzer : Recommendation of RILEM TC 176-IDC, Materials and Structures, Vol.34, RILEM, pp.515-525, 2001.11
- 2) 浜 幸雄、三森敏司、大柴隆男、友澤史紀 : 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

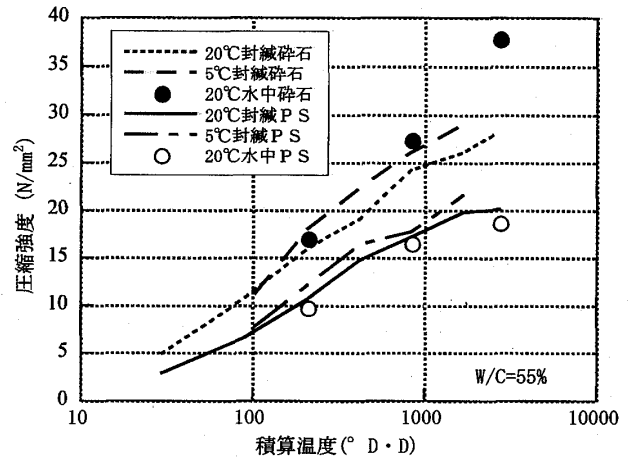


図1 圧縮強度増進性状

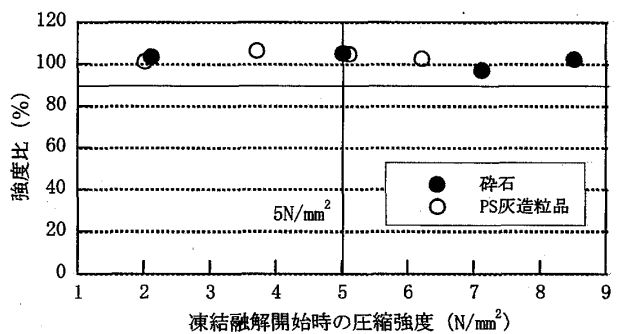


図2 凍結融解開始時の強度と840° D・Dの強度比の関係

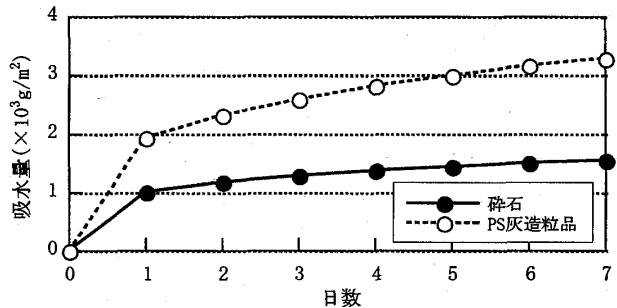


図3 下面吸水試験における毛細管吸水量の変化

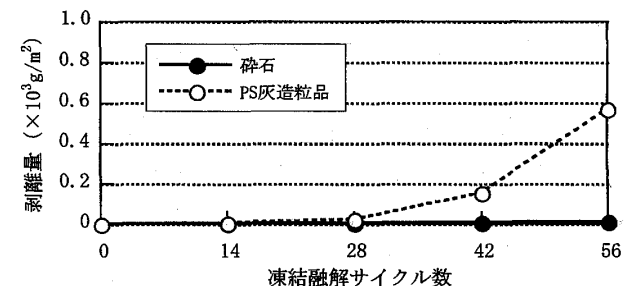


図4 CIF試験における剥離量の変化

* 1 釧路工業高等専門学校 助教授
 * 2 釧路工業高等専門学校 教授
 * 3 日本製紙(株) 釧路工場
 * 4 室蘭工業大学 助教授・博士(工学)

* 1 Assoc. Prof., Kushiro National College of Technology
 * 2 Prof., Kushiro National College of Technology
 * 3 Nippon Paper Industries Ltd. Kushiro Workshop
 * 4 Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr.Eng.