

高炉スラグ細骨材が低度処理再生細骨材を用いたモルタルの急速凍結融解抵抗性に与える効果

徳島大学大学院 学生会員 ○宮崎優治 徳島大学大学院 フェロー会員 橋本親典
徳島大学大学院 正会員 渡辺 健 徳島大学大学院 正会員 石丸啓輔

1. はじめに

再生骨材コンクリートの実用普及に向けた一手として、低品質再生骨材を用いたコンクリートにおける耐久性の確保があげられる。本研究室では、近年耐久化材料として着目されている高炉スラグ細骨材（BFS）と低度処理再生粗骨材を用いたコンクリートの品質向上を目指した研究を実施している。既往の研究成果より、凍結融解抵抗性及び施工性能は、BFS の粒度に影響されることが示唆された。本研究では、粒度及び粒径範囲の異なる BFS が、低度処理再生細骨材を用いたモルタルの硬化性状に与える効果について検討した。本概要では急速凍結融解抵抗性について評価した。

2. 実験概要

主な使用材料を表－1 に示す。S は普通砕砂である。RS は、PC 杭を破碎し 5mm ふるい通過分を全量使用した低度処理のもので再生細骨材 L に該当する。BFS は、福山産の BFS5 と倉敷産の BFS1.2 の 2 種類を使用した。BFS の各粒径の特性を検討する際は、細粒分の割合が多い BFS1.2 を 1.2-0.6mm, 0.6-0.3mm, 0.3-0.15mm, 0.15mm 以下の 4 つの範囲に分級した。各粒径範囲の BFS の物理的性質を表－2 に示す。比較のため、BFS の 0.15mm 以下の粒径に近い GGBF, 水硬性がない材料である LSP と SiO₂ も使用した。

モルタルの配合を表－3, 細骨材の組み合わせを表－4 に示す。W/C は 50%, S/C は 3.0 で一定とした。STD シリーズとして、細骨材 1 に S および RS を全量用いたモルタル（配合名は N および R）を作製した。シリーズ 1 は、BFS を細骨材容積に対し 50%, シリーズ 2 は、分級した BFS と微粉末を細骨材容積に対し 30%置換した。空気量は、AE 剤および消泡剤を用いて 3.0±1.0%とした。配合名について、シリーズ 1 における BFS を混合した配合は「BFS の種類－置換率」で表し、RS を使用した場合は末尾に R を示した。シリーズ 2 における分級した BFS を混合した配合は各粒径範囲の記号で示した。

急速凍結融解抵抗性は、液体窒素と温水を用いて、急速に凍結と融解を繰り返すことで、短期間での検討が可能である急速凍結融解試験¹⁾で求めた。本試験の供試体はφ100×200mm とし、試験材齢 7 日まで標準養生した。JIS A 1148 A 法の凍結融解試験の通常 300 サイクルが、本試験の 10 サイクルに相当し、JIS A 1148 A 法より厳しい試験¹⁾である。

表－1 使用材料

種類	記号	産地・物理的性質
セメント	C	普通ポルトランドセメント (密度3.16g/cm ³ , 比表面積3340cm ² /g)
	S	阿波産砂岩砕砂 (表乾密度2.57g/cm ³ , 吸水率1.77%, F.M.2.63)
細骨材	RS	再生細骨材 (表乾密度2.35g/cm ³ , 吸水率8.13%, F.M.3.48, 微粒分量4.6%, ペースト付着率33.2%)
	BFS5	福山産高炉スラグ細骨材 (表乾密度2.73g/cm ³ , 吸水率0.78%, F.M.2.56)
	BFS1.2	倉敷産高炉スラグ細骨材 (表乾密度2.78g/cm ³ , 吸水率0.29%, F.M.2.21)
	GGBF	高炉スラグ微粉末 (密度2.91g/cm ³ , 比表面積4150cm ² /g)
微粉末	LSP	石灰石微粉末 (密度2.72g/cm ³ , 比表面積4960cm ² /g)
	SiO ₂	二酸化ケイ素 (密度2.65g/cm ³ , 比表面積1000cm ² /g)

表－2 粒径範囲を調整したBFSの物理的性質

種別	記号	粒径範囲 (mm)	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
BFS1.2および 粒径範囲 調整品	BFS1.2	未調整(1.2-0)	2.78	0.29
	1.2-0.6	1.2-0.6	2.77	0.44
	0.6-0.3	0.6-0.3	2.81	0.07
	0.3-0.15	0.3-0.15	2.85	0.02
	0.15	0.15以下	2.88	0.00

表－3 モルタルの配合

W/C (%)	単位量 (L/m ³)		
	水	セメント	細骨材
50	283	179	538

表－4 細骨材の組み合わせ

シリーズ	配合名	細骨材 1		細骨材 2		
		種別	比率 (%)	種別	粒径範囲 (mm)	比率 (%)
STD	N	S	100	-	-	-
	R	RS				
1	BFS5-50R	RS	50	BFS5	未調整 (5-0)	50
	BFS1.2-50R			BFS1.2	未調整 (1.2-0)	
2	BFS1.2-30R	RS	70	BFS1.2	未調整 (1.2-0)	30
	1.2-0.6R			BFS1.2の 粒径範囲 調整品	1.2-0.6	
	0.6-0.3R				0.6-0.3	
	0.3-0.15R				0.3-0.15	
	0.15R				0.15以下	
	GGBFR			GGBF	未調整	
	LSPR			LSP		
	SiO ₂ R			SiO ₂		

3. 実験結果および考察

シリーズ1の急速凍結融解抵抗性を図-1に示す。細骨材に全量RSを用いた配合Rは、5サイクル目で相対動弾性係数が60%を下回った。RSは吸水率が大きいため、骨材の全含水量を考慮した総単位水量が大きく増加し、急速凍結融解抵抗性が低下した。一方、BFSを混合した再生骨材モルタルの相対動弾性係数は、10サイクル終了後も90%程度を保持し急速凍結融解抵抗性は大きく向上した。BFSの吸水率が極めて低く、RSに対し50%置換したシリーズ1の場合、総単位水量を大きく減少できたためと考えられる。また、低品質な再生骨材をコンクリート中に混合した場合、残存する付着モルタルや付着ペーストから $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が凍結過程で溶出し遷移帯が劣化する。これに対し、BFSを用いた場合、骨材界面に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が抽出しにくくなる²⁾ため、他の吸水率が低い細骨材よりも改善効果が優れると考えられる。粒度の異なるBFSを置換した各配合における差異は、SとRSで明確に現れなかった。

図-2はBFS1.2-30RとBFS1.2-50RとRの急速凍結融解抵抗性の結果を比較したものである。前述したように、吸水率が低いBFSの置換率が高くなるにしたがって、急速凍結融解抵抗性は向上した。

シリーズ2の急速凍結融解抵抗性を図-3に示す。分級したBFSの粒径範囲が小さくなるにしたがって、10サイクル終了後の相対動弾性係数は向上した。これは、粒径範囲が小さくなるにしたがって表面積が大きくなり、BFSの水和反応性が高まったためと考えられる。図-4に1.2-0.6mmの耐久性指数に対する各粒径範囲の耐久性指数の比を示す。0.3mm以下の粒径範囲から耐久性指数の比が大きくなることが確認できた。図-5に0.3mm以下の粒径範囲のBFSと微粉末を比較した結果を示す。0.3-0.15Rおよび0.15Rにおける10サイクル終了後の相対動弾性係数はGGBFRの付近にあり、RSを用いたモルタルに対し、0.3mm以下の粒径からGGBFに近い改善効果を示すことが示唆された。LSPは反応性がないことから、GGBFRほどの凍結融解抵抗性の向上は認められなかった。

4. まとめ

再生細骨材Lを用いたモルタルの凍結融解抵抗性は、BFSを混合することにより改善された。BFSの各粒径範囲が与える改善効果としては、粒径を小さくしたBFSを混合することで、低品質な再生骨材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性をより向上させる可能性が高いと考えられる。

参考文献 1) 弓場上有沙ほか：再生骨材コンクリートによるJISの凍結融解試験方法（A法）と液化窒素を用いた簡易急速凍結融解試験方法の比較，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.941-946，2011. 2) 綾野克紀ほか：高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性に関する研究，土木学会論文集E2（材料・コンクリート構造），Vol.70，No.4，pp.417-427 2014.

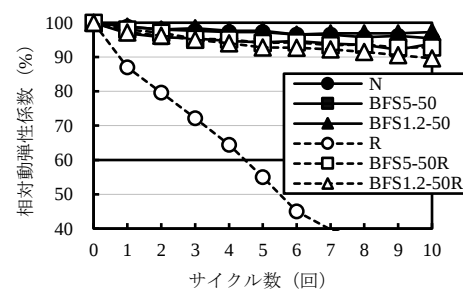


図-1 急速凍結融解抵抗性（シリーズ1）

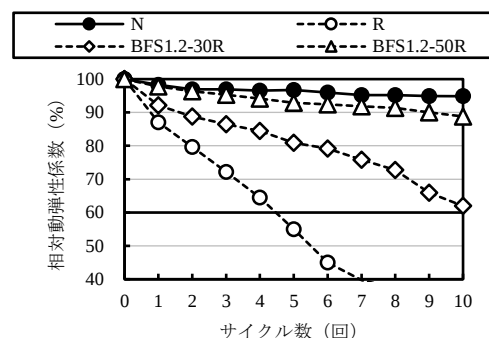


図-2 BFSの置換率による影響

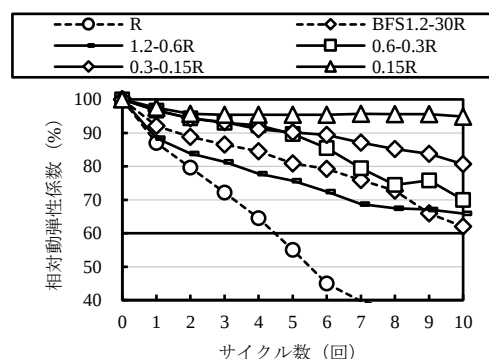


図-3 急速凍結融解抵抗性（シリーズ2）

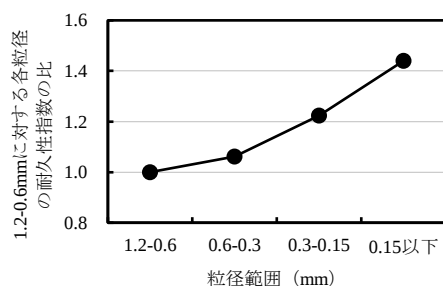


図-4 粒径範囲と1.2-0.6mmに対する各粒径の耐久性指数の比の関係

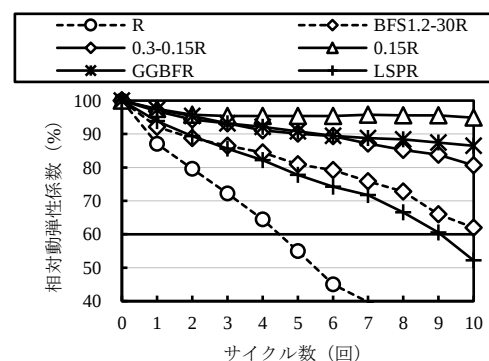


図-5 0.3mm以下の粒径範囲のBFSと微粉末の急速凍結融解抵抗性の比較