

高炉水砕スラグ細骨材を使用したコンクリートの微粉末添加によるブリーディングの低減効果

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 ○藤井 陽介
 JFE ミネラル株式会社 正会員 吉澤 千秋
 日本大学理工学部 正会員 佐藤 正己
 日本大学理工学部 正会員 梅村 靖弘

1. はじめに

近年、環境の悪化や資源の枯渇への懸念から西日本を中心に海砂の採取規制が行われ、良質な天然細骨材（以下 NS）の入手が困難になり新たなコンクリート用細骨材の開発が必要となっている。高炉スラグ細骨材（以下 BS）は産業副産物であり資源有効利用の観点から期待されている。しかし、BS を使用したコンクリートは NS と比較して、ブリーディング量の増加による短期強度と凍結融解抵抗性の低下が指摘されている¹⁾²⁾。一方、利点として収縮低減効果が報告されている³⁾。そこで、本研究では BS を使用したコンクリートにおけるブリーディング低減および短期強度増進効果、凍結融解抵抗性の改善が見込まれる微粉末の検討を行った。

2. 研究概要

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

使用材料を表-1、コンクリートの配合を表-2 に示す。コンクリート配合は水セメント比(W/B)50%、目標スランブは 10.5±2.5cm、目標空気量は 4.5±1.5%、コンクリート温度は 20℃とした。普通ポルトランドセメントに対して天然細骨材を用いた NS 配合、高炉スラグ細骨材を用いた BS 配合、BS 配合を基に早強ポルトランドセメント(HPC)に 100%置換した HPC-100、25%内割置換した HPC-25、シリカフェーム(SF)で 3%、5%、10%内割置換した SF-3、SF-5、SF-10 の 7 種類とした。

2.2 試験項目

- (1)フレッシュ性状：JIS A 1101 に準拠しスランブを測定した。JIS A 1128 に準拠し空気量を測定した。
- (2)ブリーディング試験：JIS A 1123 に準拠し測定した。
- (3)圧縮強度試験：測定は JIS A 1108 に準拠し、供試体寸法を φ100×h200mm とした。供試体は所定材齢まで標準水中養生した。試験材齢は、1 日、3 日、7 日、28 日とした。
- (4)凍結融解試験：JIS A 1148 の A 法(水中凍結融解試験方法)に準拠し試験を行い、動弾性係数と質量変化率を測定した。

3. 結果及び考察

3.1 フレッシュ性状:BS を 100%使用した BS 配合では、練混ぜ時に非常に泡立った状態となった。また、BS を

表-1 使用材料

材料名	備考	略称
セメント	普通ポルトランドセメント 密度 3.16 g/cm ³ ブレーン値3340cm ² /g	OPC
	早強セメント 密度 3.13 g/cm ³ ブレーン値4720cm ² /g	HPC
混和材	シリカフェーム 密度 2.20 g/cm ³ BET値 20.2cm ² /g	SF
細骨材	陸砂 表乾密度 2.62 g/cm ³ 吸水率 1.09%	S
	高炉水砕スラグ 絶乾密度 2.82 g/cm ³ 吸水率 0.14%	BS
粗骨材	石灰石碎石 表乾密度 2.67 g/cm ³ 吸水率 0.39%	G
混和剤	高性能AE減水剤 ポリカルボン酸エーテル系化合物	SV
	AE減水剤 リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体	SP
	AE剤 アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤	AE
	消泡剤 ポリアルキレングリコール誘導体	DEF

表-2 コンクリートの配合

配合	s/a (%)	単位体積重量 [kg/m ³]						混和剤				測定値		
		W	B			S	BS	G	SP (C×%)	SV (C×%)	AE (C×%)	DEF (C×%)	スランブ [cm]	空気量 [%]
NS	46	156	312	-	-	844	-	1021	1.0	-	0.1	-	8.5	4.0
BS		195	390	-	-	862	894	1.0	-	0.2	3.0	8.0	4.1	
HPC-25		185	277	93	-	883	916	-	0.5	0.1	2.5	9.0	5.7	
HPC-100		175	-	350	-	904	938	-	1.0	0.6	7.0	10.5	5.5	
SF-3	48	180	349	-	11	893	926	-	0.5	0.6	10.0	12.0	5.9	
SF-5		180	342	-	18	891	925	-	0.5	0.5	10.0	10.0	5.0	
SF-10		175	315	-	35	899	933	-	0.8	0.2	6.0	10.5	5.3	

使用している HPC 添加配合も同様に、消泡剤を使用しない場合はブリーディングとともにエントラップドエアが浮き上がってくる状態であった。したがって BS を使用した配合は、消泡剤で大きなエントラップドエアを一度消去し、AE 剤でエントレインドエアを連行する必要性が認められた。

3.2 ブリーディング試験:図-1 にブリーディング率の時系列変化を示す。BS 配合は NS 配合と比較して、2 倍以上も高くなった。次に BS と比較して、HPC-25 配合は同等程度となったが、HPC-100 配合は 30%低くなった。しかし、NS 配合より 90%高くなった。NS 配合と比較して SF-5、SF-10 配合はブリーディング率が低く

キーワード 高炉スラグ細骨材、早強ポルトランドセメント、シリカフェーム、ブリーディング、凍結融解

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 理工学部土木工学科 TEL/FAX 03-3259-0682

なり、SF-3 配合は HPC-100 配合と同等となった。これはセメントよりも粒子径が百分の一である SF に吸着される水の増加によりブリーディング水が減少したことが要因と推察される。

3.3 圧縮強度試験: 図-2 に圧縮強度試験の結果を示す。材齢 1 日では、BS 配合の圧縮強度は NS 配合と比較して約 30%低かった。材齢 28 日からは同等以上となった。これは高炉スラグ細骨材にある潜在水硬性による影響と推察される²⁾。HPC 添加配合および SF 添加配合は材齢 1 日での圧縮強度が NS 配合と比較して、同等以上となった。材齢 28 日では、HPC-25 配合は NS 配合と同等となり、HPC-100 配合では約 20%大きくなった。SF 添加配合の強度は NS 配合と比較し約 10~40%大きい結果となった。これは、SF による材料粒子間の充填効果と SF のポズラン反応によるものと推察される。

3.4 凍結融解試験: 図-3 に凍結融解、図-4 に質量変化率、表-3 に耐久性指数を示す。すべての配合は 300 サイクルまで相対動弾性係数 60%以上を保った。一般的に十分な凍結融解抵抗性を有するためには気泡間隔係数は約 250 μm以下にすることが望ましいとされている⁴⁾。

BS 配合は少し高い 370 μmであったが耐久性指数は 99%を保った。しかし、HPC-25 配合は 500 μm程度となり耐久性指数が 61%となった。一方、HPC-100 配合においては、十分な凍結融解抵抗性を保った。SF-10 配合は気泡間隔係数が 550 μm程度であったが耐久性指数は 89%を保った。したがって、SF 添加配合に関してはさらに微細な空隙構造と凍結融解抵抗性について検討する必要性が認められた。

4. まとめ

- (1)BS を使用するとエントラップドエアを巻き込み易いため、消泡剤を使用してエントラップドエアを破泡させ AE 剤でエントレインドエアを連行する必要がある。
- (2)ブリーディングの低減や短期強度の増進には、HPC や SF の添加が大きく効果があった。
- (3)BS の使用による凍結融解抵抗性の低下は、ブリーディングのみに起因するものではなく、エントラップドエアの巻き込みにより適切なエントレインドエアの混入が難しいためであることが明らかとなった。

【参考文献】

- (1)上本洋,阿部道彦,鹿毛忠継,浅野研一:高炉スラグ細骨材用

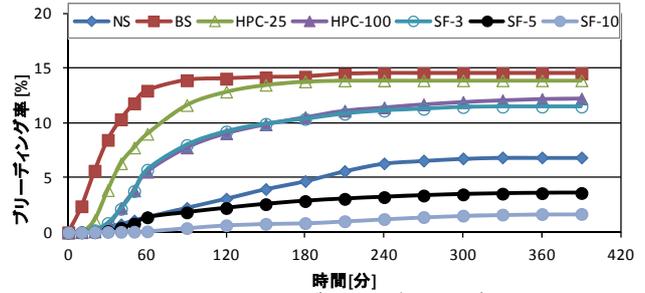


図-1 ブリーディング

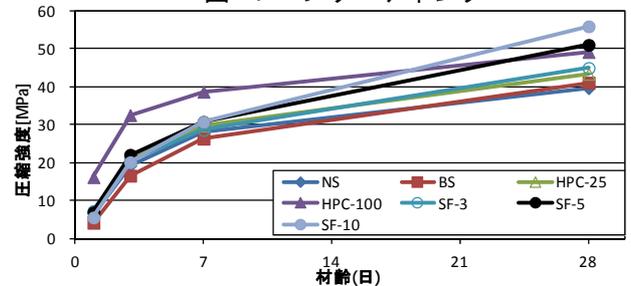


図-2 圧縮試験

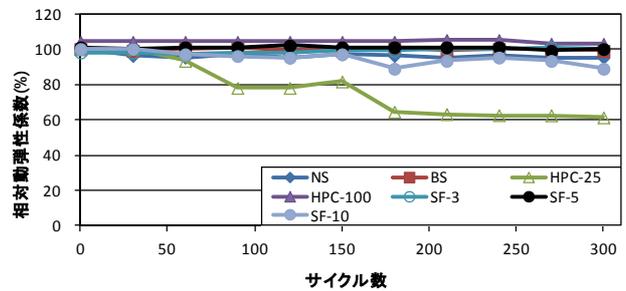


図-3 凍結融解

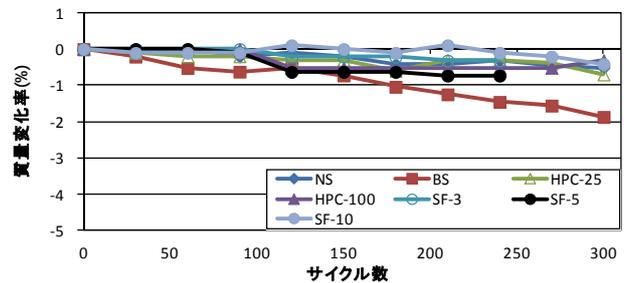


図-4 質量変化率

表-3 耐久性指数

配合	NS	BS	HPC-25	HPC-100	SF-3	SF-5	SF-10
耐久性指数(%)	95	99	61	100	99	99	89

いたコンクリートの凍結融解に関する研究,コンクリート工学年次論文集 No.33,p1014,2011

- (2) SHI Dongsheng, 栢田佳寛,阿部道彦,鹿毛忠継:高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの圧縮強度および細孔構造に関する研究,日本建築学会構造系論文集 No.665,p119 9-1204,2011
- (3) 露木尚光,木之下光男,齊藤和秀,吉澤千秋:高炉スラグ細骨材を使用したコンクリート低減メカニズムの考察,土木学会年次学術講演会講演概要集,No.66,p523,2011
- (4) 日本コンクリート工学協会:コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する研究委員会報告書,p115,2008