

高炉スラグ超微粉末を用いた超高強度繊維補強コンクリートの諸特性

太平洋セメント株式会社 正会員 ○茨木 泰介 石田 征男 石井 祐輔
株式会社デイ・シイ 正会員 藤原 了

1. はじめに

平均粒子径がシングルミクロン領域のきわめて細かい高炉スラグ超微粉末は、シリカフューム（以下、SF）の代替材料として検討がなされており、SF 使用時と比較して初期強度の増進や高性能減水剤の低減に寄与することが確認されている¹⁾。また、品質変動も小さく、国内生産であるため、輸入に依存している SF に対してカントリーリスクがともなわない利点がある。

超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）では、流動性の改善や高強度化を目的とし、基本的な構成材料として SF が用いられることが UFC 指針（案）²⁾に記載されている。UFC 適用範囲である 150N/mm² 以上の強度域において高炉スラグ超微粉末を用いた場合については十分明らかになっていない。そこで、高炉スラグ超微粉末を用いた UFC のフレッシュ性状と強度特性について評価し、UFC への適用可能性について検討した。

2. 試験概要

2.1. 使用材料

使用材料は上水道水(W)、中庸熟ポルトランドセメント (C)、高炉スラグ超微粉末(B1S)、細骨材(S)、鋼繊維 (FM)、高性能減水剤(SP)である。S、FM および SP は UFC 設計・施工指針（案）²⁾に準じたものである。比較対象として市販 UFC を参考に調製したプレミックス粉体(PM)を用いた水準についても試験を実施した。

各々の粉体材料の粒度分布を図-1 に示す。高炉スラグ超微粉末の累積平均径(D50)は 2.01μm であり、セメントと SF の中間に位置しており、粒度分布は狭い。

2.2. 配合

配合を表-1 に示す。水結合材比は 15%、繊維混入率は 2.0vol.%とした。水準はセメントに対する B1S の置換率の違いによる評価を目的とした 5 種類と、比較のため UFC の市販品に相当する Blank とした。また、ペーストのフレッシュ性状に着目するため、ペーストと細骨材の体積比率を一定とした。そのため僅かに単位

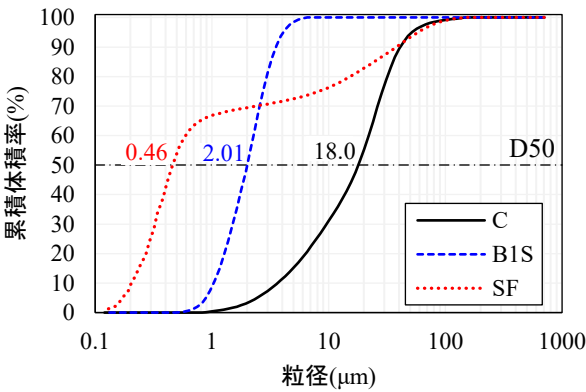


図-1：各粉体材料の粒度分布

表-1：水準および配合

水準	W/B (%)	単位質量(kg/m ³)					
		W	結合材 B			S	FM
			PM	C	B1S		
Blank	15	200	1333	—	—	896	154
B1S/P-15%		205	—	1164	205		
B1S/P-20%		205	—	1091	273		
B1S/P-25%		204	—	1020	340		
B1S/P-30%		203	—	948	406		
B1S/P-40%		202	—	807	538		

水量が変動している。

2.3. 実験方法および試験項目

練混ぜは、「空練り 1 分→注水→流動化+練混ぜ 1.5 分→繊維投入→2 分練混ぜ」とした。ここで、流動化とは、試料が十分に練り混ぜられ状態が安定するまでの時間であり、目視により判断している。結合材は練混ぜ前に袋混合を行いプレミックスした。試験項目は、JIS R5201 を参考とした落下運動を与えないフロー試験において、フローの広がり 200mm に到達するまでの時間と 180 秒時点のフロー値を測定した。圧縮強度は供試体寸法 φ50×100mm とし、20℃環境で所定材齢の封緘養生と材齢 1 日時点で脱型し 90℃48h（加熱、冷却は 15℃/hr）の熱養生後に取得した。

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート，高炉スラグ微粉末，混和材，流動性，圧縮強度
連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント（株） 中央研究所 TEL:043-498-3915

3. 試験結果

3.1. フレッシュ性状

流動化するまでの練混ぜ時間と B1S 置換率の関係を図-2 に示す。流動化するまでの練混ぜ時間は B1S 置換率 25% で Blank より速くなり、B1S 置換率が大きくなるほど速くなる傾向にある。180 秒フローと SP 添加量の関係を図-3 に示す。B1S 置換率 20% 以上で Blank よりも流動性は良好となる。また、B1S 置換率が大きくなるほど所要の流動性を得るための SP 添加量は減少する。200mm フロー到達時間と 180 秒フローを図-4 に示す。B1S 置換率 40% では 180 秒フローに対する 200mm フロー到達時間は速い傾向にあった。実験用に調製した Blank は市販の UFC よりも SP 添加量は多いが、B1S を 25% 以上置換することで一般的な UFC と同等以上の流動性や練混ぜ時間が得られる可能性を示した。

3.2. 強度特性

各材齢、養生における圧縮強度と高炉スラグ置換率の関係を図-5 に示す。B1S 置換率 20%～40% では封緘・熱養生ともに Blank と同等以上の圧縮強度となり、一般的な UFC と同等の圧縮強度が得られる可能性を示すことができた。B1S 置換率 40% では初期強度は Blank より僅かに劣るが、それ以降の材齢および熱養生後では高く、長期的な強度発現が確認された。

4. まとめ

本検討において以下の知見を得た。

- 1) 高炉スラグ超微粉末の置換率が大きくなるほど所定の流動性を得るまでの練混ぜ時間や SP 添加量は減少する傾向にある。
- 2) 流動性は高炉スラグ超微粉末の置換率 20% 以上で、練混ぜ時間は置換率 25% 以上で一般的な UFC と同等以上の性能が得られる可能性が示された。
- 3) 高炉スラグ超微粉末の置換率が 20～40% の場合、一般的な UFC と同等の強度が得られる可能性が示された。また、最適な置換率は 25% であった。

参考文献

- 1) 藤原了：シングルミクロン粒子径を有する無機混和材料を用いたモルタル・コンクリートの諸特性に関する研究、宇都宮大学学位論文、2021
- 2) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)、コンクリートライブラリ 113、2004

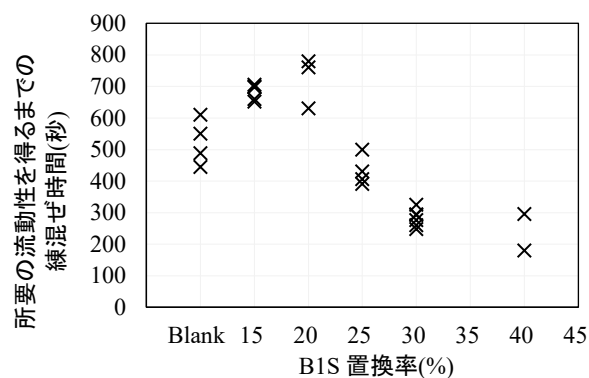


図-2 : 流動化時間と B1S 置換率の関係

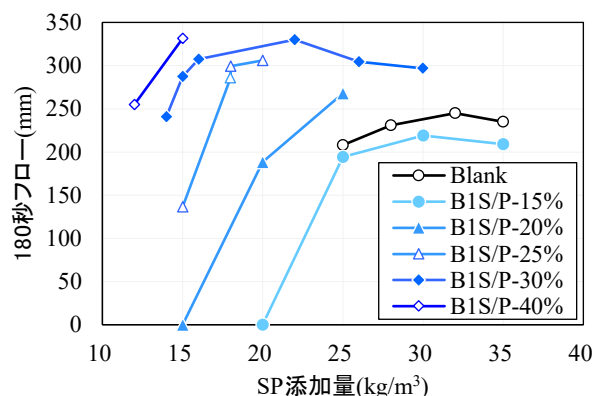


図-3 : 180 秒フローと SP 添加量の関係

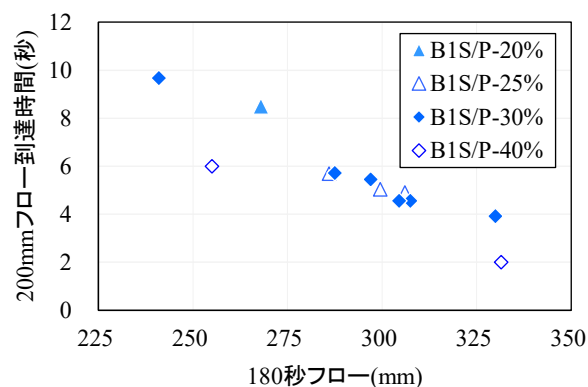


図-4 : 200mm フロー到達時間と 180 秒フローの関係

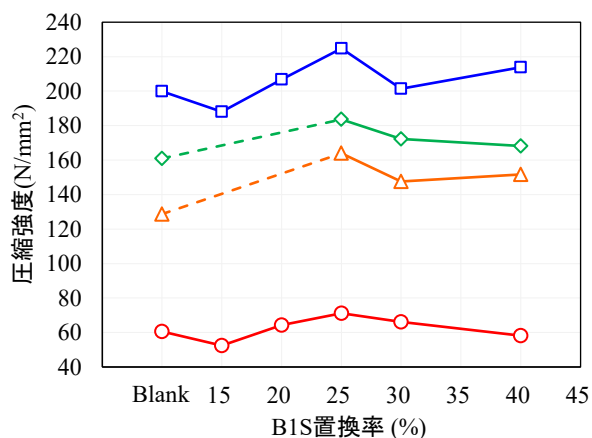


図-5 : 圧縮強度と B1S 置換率の関係