

シリカフュームを少量混和したコンクリートの物性評価

オリエンタル白石(株) 正会員 ○東 洋輔
オリエンタル白石(株) 正会員 石井 智大
オリエンタル白石(株) 正会員 俵 道和

1. はじめに

混和材の置換率はフライアッシュで約 10～20%，高炉スラグ微粉末で約 30～60%が一般的である。これらの混和材を用いたコンクリートを生コン工場で製造する場合には，混和材量が多くなるため，セメント用サイロを確保して供給体制を整備する必要がある。また，セメント用サイロの入替えに伴う費用や既存サイロを混和材で占有するための費用が発生するなどの制約も存在する。そこで，筆者らは置換率を少量（5%）としたシリカフューム（以下，SF）に着目した。置換率を少量にすることで，手投入での対応でコンクリートを製造・供給することができるため，混和材の導入に対する上記の制約を解決する一つの手段になることを想定した。したがって，SF を少量混和した場合の物性の把握を目的に，モルタルによる物性評価を行った。これまでの評価では，プレキャスト製品を想定した材齢 16 時間の圧縮強度が 35N/mm²程度となる配合で，早強ポルトランドセメントにフライアッシュを 20%置換あるいは高炉スラグ微粉末を 50%置換した配合と SF を 5%置換した配合（以下，SF5）を比較した。その結果，SF5 は塩化物イオン浸透抵抗性や透気係数などの物性の改善の効果が他混和材よりも優れた結果ではないが，早強ポルトランドセメントのみの配合（以下，H）と比較して概ね高くなる傾向が得られている¹⁾。本論では次段階として，現場打ちを想定した配合のコンクリートを使用し，SF を少量混和したときの塩化物イオン浸透抵抗性やアルカリシリカ反応抵抗性などの物性の改善の程度を確認するための検討を行った。

2. 使用材料

使用材料について，セメント種類は H（密度 3.14g/cm³），混和材は JIS 品の SF（密度 2.23g/cm³），細骨材は砕砂（密度 2.63g/cm³），粗骨材は碎石（密度 2.64g/cm³），混和剤は高性能 AE 減水剤と AE 剤とした。また，アルカリシリカ反応抵抗性を評価する際には，反応性の細骨材（川砂，密度 2.61g/cm³）を使用した。

3. コンクリート配合

コンクリートの配合を表 1 に示す。プレストレストコンクリート

表 1 コンクリートの配合

水準	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
			W	B		S (反応性S)	G	SP (B×%)	AE (B×%)
				H	SF				
H	45.0	44.0	165	367	—	779	995	0.50	0.001
H (ASR)			165	367	—	(773)	995	0.40	—
SF5			165	349	18	776	992	0.75	0.002
SF5 (ASR)			165	349	18	(770)	992	0.65	—

※(ASR): アルカリシリカ反応試験用で使用する配合を指す

表 2 測定項目

測定項目	備考	測定項目	備考
スランブ	JIS A 1101	長さ変化	JIS A 1129-3
空気量	JIS A 1128	圧縮強度	JIS A 1108
ブリーディング量	JIS A 1123	塩化物イオン浸透量	10% NaCl水溶液に浸漬, 0.1N硝酸銀噴霧
凝結時間	JIS A 1147	アルカリシリカ反応	1N NaOH水溶液(80℃)に2週間浸漬, 浸漬前後の長さ変化を測定

構造物で現場打ちを想定し，検討する配合は H および SF5 の 2 種類とした。水結合材比は 45%，細骨材率は 44%とし，スランブは 12±2.5 cm，空気量は 4.5±1.5%となるように混和剤で調整した。また，アルカリシリカ反応性の評価では反応性粗骨材を使用した，配合条件は同じとし，スランブや空気量は混和剤で調整した。コンクリートの練混ぜ，打込みおよび湿潤養生は 20℃，60%RH 環境下で行い，湿潤養生は 3 日間行った。脱型は材齢 4 日で行った。

4. 測定概要

測定項目を表 2 に示す。フレッシュ性状は，ブリーディング量および凝結時間を測定した。また，硬化特性は，長さ変化，圧縮強度，塩化物イオン浸透量およびアルカリシリカ反応に伴う長さ変化を測定した。塩化物イオン浸透抵抗性は，100×100×400mm の角柱供試体を用いて，脱型後に気中養生（20℃，60%RH）を材齢 28 日まで実施した。また，暴露試験までに側面 2 面を除く 4 面をエポキシ樹脂にて被覆した。暴露は 10%の NaCl 水溶液に浸漬する方法とした。評価方法は供試体の割裂面に 0.1N の硝酸銀水溶液を噴霧し，白色に変化した暴露表面からの深さを測定した。アルカリシリカ反応性は，ASTM C1260を参考に，材齢 28 日まで塩化物イオン浸透性の試験と同様に養生した 100×100×400mm の角柱供試体を，1N NaOH で，80℃の水溶液中に 2 週間浸漬し，浸漬前後の供試体の長さ変化を測定した。

キーワード シリカフューム，混和材，塩化物イオン，アルカリシリカ反応，ブリーディング
連絡先 〒321-4367 栃木県真岡市鬼怒ヶ丘 5 オリエンタル白石（株）技術研究所 TEL 0285-83-7921

5. 実験結果

フレッシュ性状の結果を表 3 に示す。所定のスランプや空気量を満足する混和剤量は、SF5 で多くなる傾向であった。

ブリーディング量の結果を図 1 に示す。ブリーディング量は H が $0.08\text{cm}^3/\text{cm}^2$ となったことに対して SF5 は $0.01\text{cm}^3/\text{cm}^2$ となり、SF によってブリーディング水の発生が抑制された。これは、シリカフュームの微粉末によって自由水が拘束されたためと推察される。

凝結特性について、H は始発 5 時間 20 分、終結 7 時間 15 分に対して、SF5 は始発 5 時間 50 分、終結 7 時間 35 分と同等であった。そのため、凝結が若干遅れるものの仕上げ時期に大きな影響を与えないことを確認した。

長さ変化を図 2 に示す。H と SF5 ともに長さ変化量は乾燥開始から 28 日までは SF5 が大きくなるが、56 日以降では H の方が大きくなる傾向であった。SF5 の長期的な長さ変化の減少は細孔構造が緻密になったことで水分の逸散量が少なくなり、長さ変化が小さくなったものと推察される。

圧縮強度を図 3 に示す。SF5 の圧縮強度は材齢 1 日において H より約 30% 高くなり、長期的な強度増進も大きくなった。これは、SF の充填効果により緻密になり初期強度を改善したこと、長期的に SF のポズラン反応が進行し強度が増進したことなどが影響したと推察される。

塩化物イオン浸透深さの結果を図 4 に示す。H よりも SF5 は浸透深さが小さく、かつ浸漬期間が長期になるとその差は大きくなる傾向であった。これは、SF 微粒子の充填効果やポズラン反応によって細孔構造が緻密になったため、遮塩性が改善されたものと推察される。

アルカリシリカ反応性について促進暴露前後の膨張率は H で 0.12%，SF5 で 0.04% と、SF により反応性を抑制する効果を示している。これは、SF の混和によって、CH 量を低減したこと、低 Ca/Si 比となる C-S-H を生成し、OH⁻が低下したことなどが影響したと推察される。

6. まとめ

本論では、早強ポルトランドセメントにシリカフュームを 5% 混和したことによるコンクリートの物性の改善程度を確認した。結果として、圧縮強度は無添加と比較して強度が高くなり、強度増進は長期にかけて増加することがわかった。耐久性に関しては、塩化物イオン浸透抵抗性を改善し、アルカリシリカ反応抵抗性も改善することがわかった。

参考文献

- 1) 東洋輔, 森寛晃, 多田克彦: 蒸気養生モルタルの強度, 耐久性および細孔構造に及ぼす追加養生の影響, セメント・

表3 フレッシュ性状結果

水準	スランプ	空気量	温度	水準	スランプ	空気量	温度
H	11.5cm	4.1%	22℃	SF5	14.0	4.3%	23℃
H (ASR)	14.5cm	5.0%	22℃	SF5 (ASR)	14.0	4.0%	22℃

※(ASR): アルカリシリカ反応試験用で使用する配合を指す

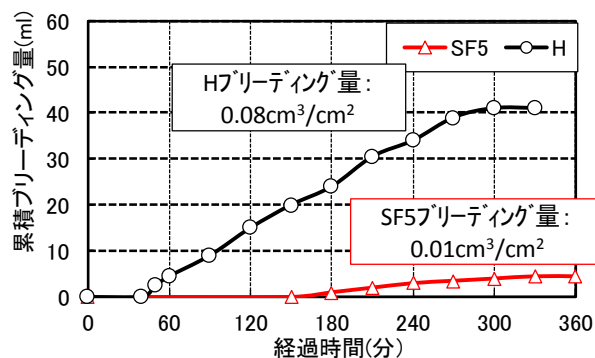


図1 ブリーディング量

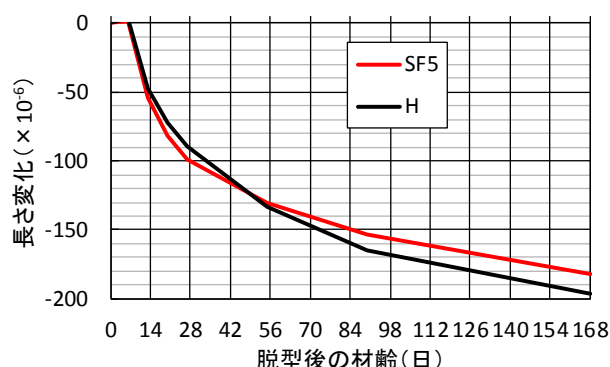


図2 長さ変化

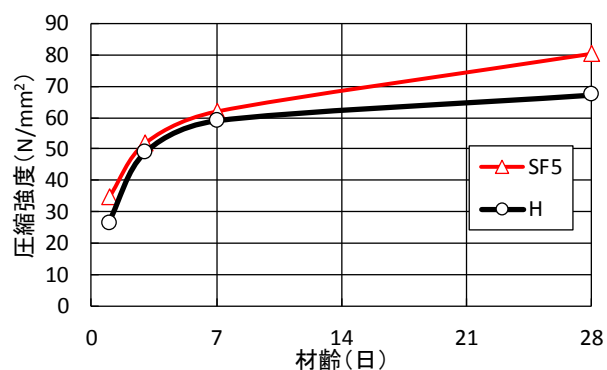


図3 圧縮強度

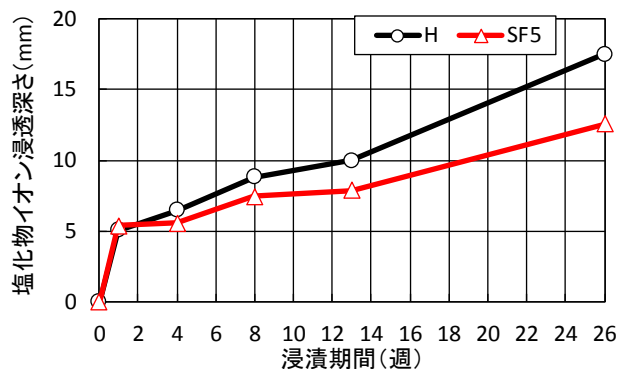


図4 塩化物イオン浸透深さ