

超高強度セメント硬化体への高性能減水剤とシリカフュームの空隙構造への影響

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 ○大梶 信也

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、設計基準強度 100 N/mm^2 を超える超高強度コンクリートの施工実績は増加傾向にあり、このようなコンクリートは水結合材比が極めて低く、減水効果による強度増進、流動性向上効果を計るために、高性能減水剤(SP)やシリカフューム(SF)といった混和材料が不可欠となっている。そこで、本研究では低水結合材比において、高性能減水剤の種類やシリカフュームの混和率が圧縮強度発現性に深く関係する空隙構造に与える影響について検討した。

2. 試験概要

2.1 使用材料及び配合条件

表-1 に使用材料、表-2 にモルタル配合を示す。セメントは低熱ポルトランドセメントを用い、水結合材比(W/B)は22%一定とし、空気量は3%以下となるように消泡剤を添加した。SF添加量はセメント内割り10%、20%とし、SP-N配合では減水剤Nを、SP-U、SF10、SF20配合では減水剤Uを使用し、SP添加量はモルタルフロー値が $250 \pm 20 \text{ mm}$ になるように決定した。練混ぜはモルタルミキサを用い、蒸留水、減水剤、消泡剤を注水後5分間行い、5分間静置した後、再び練混ぜを1分間行った。モルタル供試体は寸法 $\phi 50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ とし、材齢1日まで軽量型枠上面をラップフィルムで被い、材齢1日以降はアルミテープで被い所定材齢まで 20°C 一定環境下で封緘養生した。

2.2 圧縮強度試験

測定はJIS A 1108に準拠し材齢3日、7日、28日で試験を行った。

2.3 空隙径分布測定試験

水銀圧入式ポロシメータを用いて、モルタル供試体の材齢3日、7日、28日で直径 $3 \sim 1 \times 10^5 \text{ nm}$ の空隙径分布を測定した。試料は圧縮強度試験と同じ試験供試体の中央部からカットし、 $2.5 \sim 5.0 \text{ mm}$ の塊状とした後、エタノール、アセトンで吸引ろ過を行い、アセトンに3時間浸漬後、D-dry法を用いて24時間乾燥させ、水和反応を停止後、1ヶ月間真空デシケータ内で保管したものを使用した。

表-1 使用材料

材料	略号	諸元
セメント	B	低熱ポルトランドセメント 密度: $3.22(\text{g/cm}^3)$ ブレーン値: $3470(\text{cm}^2/\text{g})$
シリカフューム	SF	フェロシリコン系 密度: $2.20(\text{g/cm}^3)$ BET値: $22.0(\text{m}^2/\text{g})$
練混ぜ水	W	蒸留水
細骨材	S	ISO標準砂 密度: $2.63(\text{g/cm}^3)$
高性能(AE)減水剤	N	ポリカルボン酸系高強度用高性能AE減水剤
	U	ポリカルボン酸系超高強度用高性能AE減水剤
消泡剤	DEF	ポリエーテル系抑泡剤

表-2 モルタル配合

配合名	W/B	使用減水剤	単位量(kg/m ³)				SP量	DEF量
			W	B		S	(C×wt%)	(C×wt%)
				C	SF			
SP-N	N	22	235	1066	—	1066	1.00	0.07
SP-U	U		—	1.05	0.07			
SF10			230	932	104		1.30	0.05
SF20			223	808	202		1.80	0.06

3 試験結果及び考察

3.1 圧縮強度

図-1 に圧縮強度試験結果を示す。減水剤の種類による圧縮強度への影響は、SP-UとSP-Nは材齢3日、7日で同程度の強度を示したが、材齢28日ではSP-Uが7%程度上回った。また、SF添加量の増加による圧縮強度への影響は、SF無添加のSP-Uと比較して材齢3日、7日ではSFを添加したSF10、SF20が若干下回ったが、材齢28日ではほぼ同等となった。

3.2 空隙径分布測定試験結果

図-2, 3, 4に材齢3日、7日、28日における $3 \sim 1000 \text{ nm}$ の空隙径分布測定結果を示す。減水剤の種類による空隙構造に与える影響は、材齢3日、7日では特に見られなかったが、材齢28日においてSP-Uが 30 nm において、SP-Nより空隙量が減少した。また、SF添加量の

キーワード シリカフューム 高性能減水剤 空隙径 超高強度コンクリート

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

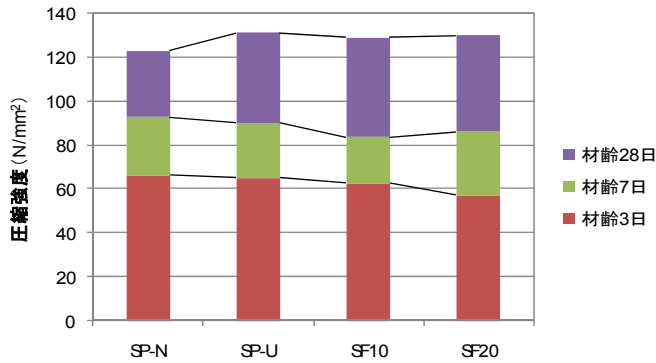


図-1 圧縮強度試験結果

増加による空隙構造に対する影響は、材齢3日でSF10がSF無添加配合とほぼ同等であるのに対し、SF20では30nmの空隙量が減少し10nmの空隙量が増加した。材齢7日ではSF無添加配合の空隙径のピークが30nmになのに対し、SF添加配合における空隙径のピークはSF10では10nm、SF20では3~10nmとなった。材齢28日ではSF無添加配合における空隙径のピークが10nmに対して、SF10、SF20配合はSF添加量に関わらず空隙径のピークは3nmとなり全体的に減少した。また、SF10、SF20配合は材齢7、28日でSP-N、SP-Uに比べ空隙径が小さくなった。SF無添加配合と比較してSF添加配合の空隙径が小さくなった要因として、SFによるマイクロファイラ効果によりセメント粒子間の空隙が充填され、空隙構造が緻密化したことが推察される。

3.3 圧縮強度と全空隙量の相関関係

図-5、6に圧縮強度と特に空隙の変化が見られた3~100nmの空隙量の関係を示す。SF無添加配合では、同じ空隙量でもSP-UがSP-Nと比較して、圧縮強度が約90N/mm²以上の範囲で空隙量が減少するにつれ圧縮強度が増加する割合が大きくなる傾向が見られた。また、SF添加配合ではSFの添加量に関わらず空隙径が3~100nmでの空隙量と圧縮強度の相関式が各配合とも同等の結果となった。空隙径が3~100nmでの空隙量と圧縮強度の関係は全配合とも相関係数がほぼ1となり、強い相関を示した。

4 まとめ

- (1) 圧縮強度では、減水剤の違いによって材齢28日で影響が表れ、SF添加量による影響は材齢3日、7日では見られたが、材齢28日では特に見られなかった。
- (2) 空隙径分布では、SF無添加配合と比較してSF添加配合の空隙径のピークが小さくなった。また、減水剤の種類、SF添加量に関わらず圧縮強度と空隙径3~100nmの空隙量に強い相関が確認できた。

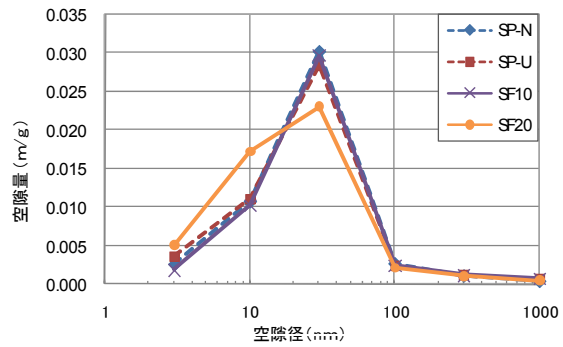


図-2 材齢3日 空隙径分布

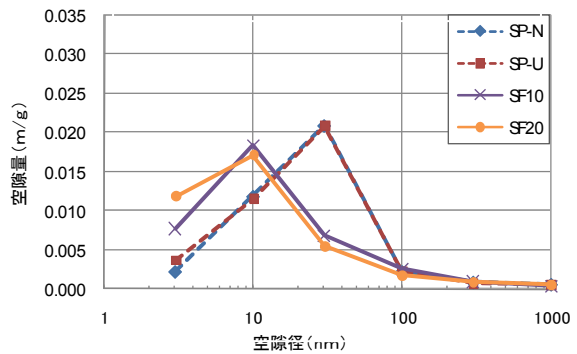


図-3 材齢7日 空隙径分布

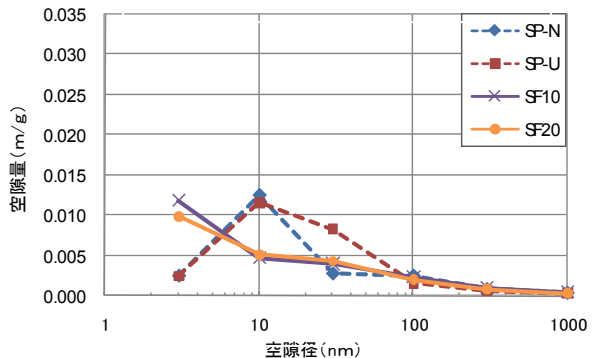


図-4 材齢28日 空隙径分布

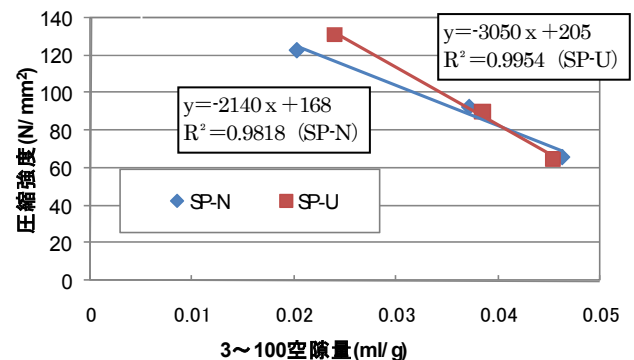


図-5 SF無添加配合の圧縮強度と空隙量(3~100nm)

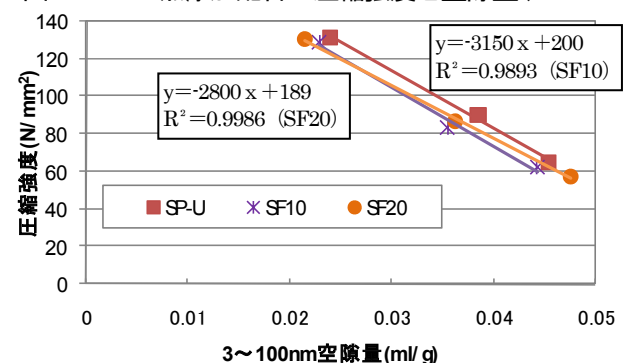


図-6 SF添加配合の圧縮強度と空隙量(3~100nm)