

V-4 シリカフュームを混入したコンクリートの性質 (第1報)

北海道工業大学 正員 堀口 敬
 〃 上田 広典
 〃 氏家 義三
 〃 山元 達夫

1. はじめに

近年、省資源、省エネルギーのための産業副産物のコンクリートへの利用が盛んになっているが、フェロシリコンやシリコンメタルの製造時に発生する球形の粒子であるシリカフュームもその1つである。北欧、北米における報告によると、シリカフュームを混入した場合、コンクリートの強度増加及び耐久性向上等に効果があるとされているが、我国でも近年シリカフュームのコンクリート混和材としての適用が注目されている。本報告では、シリカフュームを混和材としたコンクリートの基礎的性状を把握するため、長さ変化、曲げ強度、圧縮強度、及び摩耗性状等について検討を行ったものである。

2. 実験概要

(1) 使用材料及び配合

セメントは普通ポルトランドセメント（比重3.15）である。骨材には、粗骨材としては川砂利（比重2.61、最大粒径15mm）、細骨材は川砂（比重2.59、最大粒径5mm）を使用した。シリカフュームは、国内産のパウダー状のものを使用し、その物理的性質を表-1に示す。減水剤はナフタリンスルホン酸塩系の高性能減水剤を使用し、コンクリートの配合は表-2に示すようにセメント重量を200, 400, 600kg/m³と変化させ、シリカフュームの混入率はセメント重量の内割でそれぞれ0, 10, 20, 30%とした。

(2) 練り混ぜ及び打設方法

ミキサーは強制練りミキサー（オムニミキサー）を用い、骨材、セメントを各30秒間練り混ぜた後、シリカフュームを水でスラリー状にした物を投入、その後、残りの水と減水剤を投入し、低速で30秒間、さらに高速で2分間練り混ぜを実施した。その後、曲げ試験用の7.5x7.5x40(cm)の4連角柱型枠と摩耗試験用の15φx5(cm)の型枠にコンクリートを2層に分けて打設し、テーブル式バイブレータによって締め固めを行った。

(3) 試験方法

長さ変化測定は、供試体成形時にダイヤルゲージ用プラグを予め長さ方向の上下端に埋設し、翌日に供試体を脱型し、この時点基準長として、以降3日後、その後は7日毎にダイヤルゲージ

表-1 シリカフュームの物理的性質

外観	比表面積	平均粒径	かさ比重	シリカ含有量	比重
灰色粉末	18-23m ² /g	0.13-0.18μ	普通 0.2	90.07%	2.2

表-2 コンクリートの配合

記号	W/(C+SF) (%)	SF (%)	S/A (%)	単位量 (kg/m ³)				
				W	C	SF	S	G
200SF0 SF10 SF20 SF30	50	0	40	100	200	0	836	1263
		10			180	20	833	1260
		20			160	40	831	1258
		30			140	60	829	1253
400SF0 SF10 SF20 SF30	40	0	40	160	400	0	708	1068
		10			360	40	704	1060
		20			320	80	700	1054
		30			280	120	696	1050
600SF0 SF10 SF20 SF30	20	0	40	120	600	0	683	1033
		10			540	60	678	1024
		20			480	120	672	1016
		30			420	180	667	1008

ジ方式長さ変化測定器（図-1）で測定した。曲げ強度試験は、載荷スパンを30cmとして3等分点曲げ試験をJIS A 1106に準じて行った。圧縮強度試験は、曲げ試験を行ったはりの折片を用い、その長さは、はりの高さより5cm以上長い供試体を用いてJIS A 1114に準じて圧縮試験を行った。摩耗試験は、道工大式摩耗試験機¹⁾を用い、試験時間を20、40、60分間、振動数8Hz、振幅25mmで行った。

3. 実験結果

本実験の結果をまとめると、表-3のようになった。長さ変化量は 3本の供試体をダイヤルゲージで測定したものの平均値である。曲げ強度は 3本の供試体の平均値をとり、圧縮強度は、曲げ強度試験を行ったはりの折片を使用して計算したものである。平均摩耗深さは、摩耗損失量（水置換法）を、摩耗表面積で除したものである。

(1)長さ変化量の結果と考察

表-3の結果より、各供試体の長さ変化を図にした

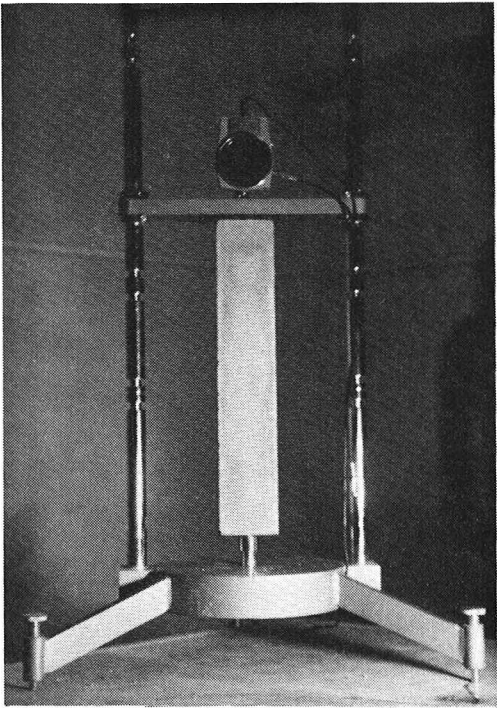


図-1 長さ変化測定器

表-3 実験結果のまとめ

記号	長さ変化 (10 ⁻⁶ mm)					圧縮強度 (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)	平均摩耗深さ (mm)		
	3日	1週	2週	3週	4週			20	40	60
200SF0	75	0	-75	-75	-75	296	40.39	—	—	—
SF10	50	-50	-75	-50	-50	376	48.17	—	—	—
SF20	25	-75	-125	-100	-100	299	43.05	—	—	—
SF30	25	-75	-100	-100	-125	284	39.42	—	—	—
400SF0	250	175	125	100	125	592	65.80	1.60	3.10	4.40
SF10	200	150	75	75	75	631	71.75	1.12	2.45	3.32
SF20	250	200	100	100	125	570	66.65	1.11	2.19	3.06
SF30	175	125	150	150	100	502	57.65	—	—	—
600SF0	200	150	100	75	75	776	86.09	—	—	—
SF10	175	100	25	-25	-75	829	99.84	—	—	—
SF20	175	100	50	25	0	800	89.96	—	—	—
SF30	250	200	150	100	75	752	80.43	—	—	—

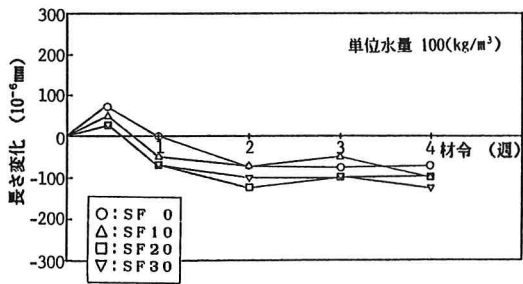


図-2 a 長さ変化と材令との関係

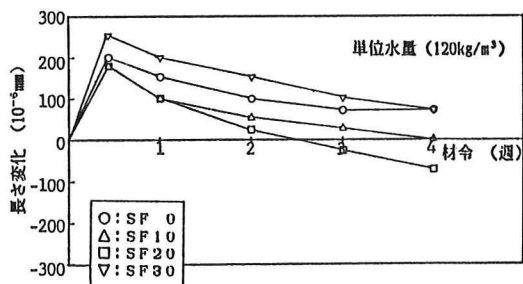


図-2 b 長さ変化と材令との関係

ものが、それぞれ図-2a, 2b, 2cである。シリカフュームを混入したコンクリートと普通コンクリートとの差は認められなかった。また、単位水量の増減による長さ変化の値は、シリカフューム混入コンクリート及び普通コンクリートとも同程度の値を示した。このことは、窪山ら²⁾、及び添田ら³⁾の報告でも同様の結果が報告されている。

(2) 圧縮強度・曲げ強度の結果及び考察

図-3, 4は、単位セメント量200, 400, 600kg/m³におけるシリカフューム混入率と圧縮強度及び曲げ強度の関係を示したものである。すべての単位セメント量においても、シリカフューム混入率が10%付近で最大値を示した。その後、混入率の増加にともない強度の低下がみられた。

既往の研究によれば最適シリカフューム混入率に関しては、水中養生の場合10%程度が最適であるという報告⁴⁾ ⁵⁾あるいは、30%程度までシリカフュームの混入にともない強度が増加するという報告³⁾ ⁵⁾ ⁶⁾と、大きく分けて2種の報告があるが、後者の報告の方が多数発表されている。またシリカフュームを混入したコンクリートの強度発現については養生、材令、セメントの種類に大きく依存することが報告されている。例えば、養生温度が高いほど強度が増加し³⁾、セメントの種類については普通ポルトランドセメントと早強ポルトランドセメントでは早強ポルトランドセメントの方がシリカフュームの混入による効果的な強度の向上が得られる²⁾。材令については28日強度よりもむしろ90日強度になってその効果を示すようで、その割合もシリカフューム混入率の増加と共に大きくなる⁴⁾。今回の実験では、シリカフュームの混入による強度の増加率は、図-3, 4より混入率が10%のときで圧縮強度、曲げ強度でそれぞれ10%, 15%程度であった。この結果は、普通ポルトランドセメントを用いたこと、及び材令28日で比較検討を行った事などが大きな要因を占めていることが、上述した他の文献の報告より推察されるが、本報告で用いた配合のコンクリートでは、シリカフュームの混入による力学的強度の著しい向上は認められないようである。

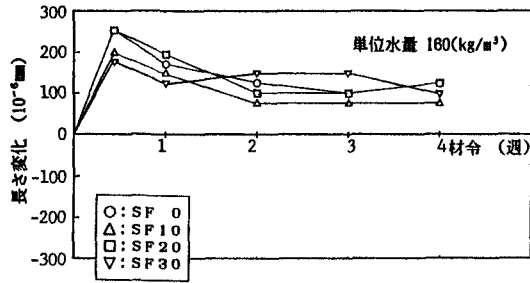


図-2c 長さ変化と材令との関係

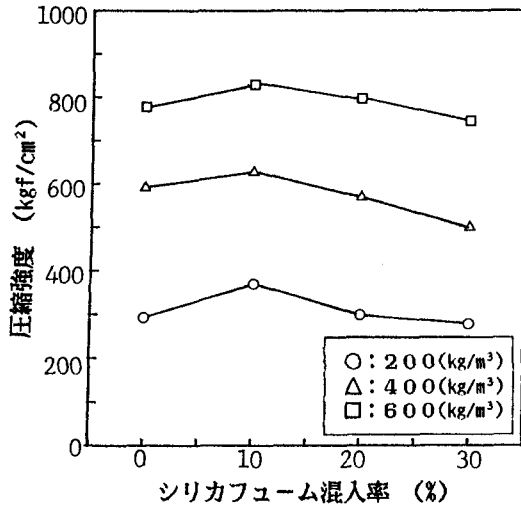


図-3 単位セメント量の変化による圧縮強度とシリカフューム混入率との関係

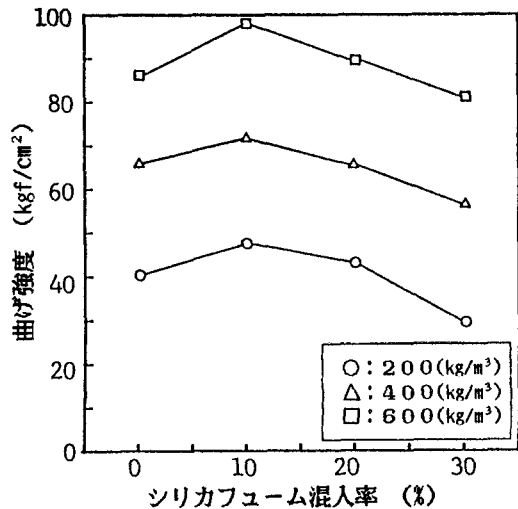


図-4 単位セメント量の変化による曲げ強度とシリカフューム混入率との関係

(3) 摩耗試験結果及び考察

表-3の結果より、シリカフューム混入コンクリートと普通コンクリートの試験時間ごとの平均摩耗深さを表わしたものが図-5である。シリカフュームの混入率が増すと平均摩耗深さが減少する傾向が顕著に表れた。この図から、シリカフューム混入率が20%までは、耐摩耗性の向上に関して効果があることが判明した。この結果は、シリカフュームの混入による高いボゾラン反応とコンクリート中の空隙を埋める作用とが耐摩耗性の効果を高めたものと思われる。

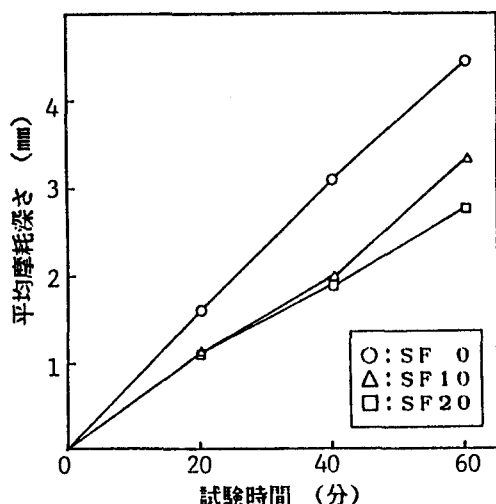


図-5 シリカフューム混入率による平均摩耗深さと試験時間との関係

4. まとめ

本実験の範囲内で得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 長さ変化に関しては、シリカフュームを混入したコンクリートと普通コンクリートとの間に明確な差は認められなかった。
- (2) 圧縮強度、曲げ強度に関しては、シリカフュームの混入は、強度の向上に効果があり、最適な混入率は10%付近であり、20%,30%になると強度の低下する傾向がみられた。
- (3) 耐摩耗性については、シリカフュームの混入率の増加とともに、コンクリートの耐摩耗性状の向上に大きな影響を及ぼすことが判明した。
- (4) 今回の実験では、養生条件、試験材令、セメントの種類、或いは減水剤の混入率などを全て一定として実施したが、シリカフューム混入コンクリートの力学的性状などを更に深く把握するためには、これらの因子を変化させた、より広範囲の研究が必要と思われる。

参考文献

- 1)堀口, 長野, 渡辺: コンクリートの摩耗機構に関する研究(その1), 土木学会北海道支部論文報告集, No.41, 1985, pp.604-609.
- 2)窪山, 中野: シリカフュームを混入したコンクリートの特性, 第39回セメント技術大会, 講演要旨, 1985, pp.126-127.
- 3)添田, 江本, 長本, 大和: コンクリートの諸性質に及ぼすシリカフュームの影響, 第7回コンクリート工学年次講演会論文集, 1985, pp.205-208.
- 4)関, 山根, 田原, 千秋: 超貧配合コンクリートへのシリカフュームの適用, 第7回コンクリート工学年次講演会論文集, 1985, pp.209-212.
- 5)長滝, 米倉: シリカフュームとコンクリート, コンクリート工学, Vol.23, No.5, May 1985, pp.5-14.
- 6)M.BUIL, P.ACKER: CREEP OF A SILICA FUME CONCRETE, CEMENT and CONCRETE RESEARCH, Vol.15, No.3, 1985, pp.463-466.