

五洋建設 (株) 技術部 正会員 〇清 水 和 之
五洋建設 (株) 技術研究所 正会員 高 木 兼 士
五洋建設 (株) 技術研究所 正会員 曾 我 晋 也
五洋建設 (株) 技術研究所 正会員 木 村 敦

1. まえがき

シリカフュームをコンクリート混和材として使用することにより、ワーカビリティ・水密性・凍結融解抵抗性・化学抵抗性を改善し、水和発熱・材料分離を減少させる効果がある。シリカフュームはフェロシリコン・シリコンメタルの製造時に電気炉で溶解したケイ石がフューム状に発生したものを、バックフィルターで摘集した超微粒活性シリカ質粉末であり、製造メーカーにより成分や比表面積が異なるため、シカフュームを混入したコンクリートの品質が安定しない。また、シリカフュームの混入率の違いによっても性状が変化する。

本報文は、シリカフュームの製造メーカーや混入率がコンクリートのコンシステンシーおよび圧縮強度に及ぼす影響について実験的に検討した結果について述べるものである。

2. 実験概要

(1) 要因と水準

実験に採用した要因と水準を表-1に示す。

(2) 使用材料とシリカフュームの物理的性質

使用材料の諸元を表-2に、シリカフュームの物理的性質を表-3に示す。混和剤は、シリカフュームを混入したコンクリートに高性能減水剤を使用し、普通コンクリート（シリカフューム混入率0%）にAE減水剤を用いた。また、シリカフュームは、国内産2種（A社、B社）、外国産2種（C社、D社）の4種類を使用した。この4種類のシリカフュームは、主成分であるSiO₂が90%以上のものである。また、シリカフュームは粉体で使用した。

(3) 配合

配合条件として、単位水量、セメント+シリカフュームの単位重量および細骨材率を一定とした。シリカフュームの混入率15%の場合の配合を表-4に示す。

3. 実験結果および考察

(1) シリカフュームの比表面積の影響

シリカフュームの比表面積とスランプおよび圧縮強度の関係を、そ

れぞれ、図-1、図-2に示す。図-1より、シリカフュームを混入し

表-1 要因と水準

実験項目	要因	水準
シリカフュームの比表面積の違い	シリカフュームの種類	A,B,C,D社
	シリカフュームの混入率, $Si/(C+Si)$	15%
シリカフュームの混入率	シリカフュームの種類	A社
	シリカフュームの混入率, $Si/(C+Si)$	0,10,15,20%

表-2 使用材料

使用材料	種類	物理的性質		
		比重	吸水率(%)	その他
セメント	普通ポルトランドセメント	3.16	—	比表面積 3240cm ² /g
シリカフューム	4社の製品	表-3に示す		
細骨材	君津産川砂	2.63	1.77	FM=3.37
粗骨材	八王子産硬質砂岩	2.64~2.71	0.94~1.53	—
高性能減水材	ワタシスBAFソル酸塩	1.2	—	—
AE剤	天然樹脂酸塩	1.06	—	—
AE減水剤	ポリカルボキシル酸塩系複合剤	1.25	—	—

表-3 シリカフュームの物理的性質

種類	物理的性質	
	比重	比表面積(m ² /g)
A社	2.20	26.45
B社	2.30	15.87
C社	2.02	21.02
D社(果粒状)	2.30	18.86

表-4 配合表

最大粗骨材寸法 G _{max} (mm)	スラン プ (cm)	空気量 (%)	水結合 比 W / (C+Si) (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg / m ³)					シリカ・ム Si		A E 剤 (%)	高性能 減水剤 (%)
					水 W	セメン ト C	細骨材 S	粗骨材 G (mm)		単位量 (kg/m ²)	混入率 (%)		
								5-10	10-20				
20	8	4.0	49.0	43.4	165	288	779	414	620	51	15	0.09	2.0

たコンクリートのスランプは、シリカフュームの比表面積が大きくなるほど小さくなる。このとき、比表面積が $16\text{m}^2/\text{g}$ から $20\text{m}^2/\text{g}$ の間ではスランプは急激に変化するが、 $20\text{m}^2/\text{g}$ 以上ではスランプの変動量は小さい。この現象は、シリカフュームの粒子表面に水が吸着する作用と高性能減水剤の分散効果が低減するためと考

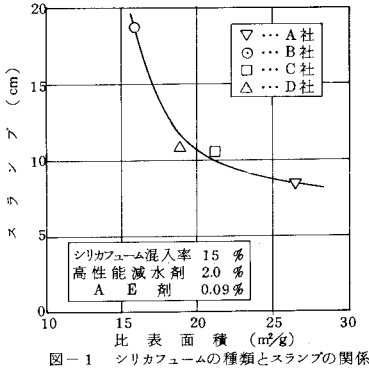


図-1 シリカフュームの種類とスランプの関係

えられる。特に、比表面積 $20\text{m}^2/\text{g}$ 前後を境として著しく異なる。図-2によると、材令7日、28日圧縮強度はともに比表面積が $16\sim 21\text{m}^2/\text{g}$ の範囲では差がない。しかし、比表面積が $26\text{m}^2/\text{g}$ の材令7日、28日圧縮強度はともに、比表面積が $16\sim 21\text{m}^2/\text{g}$ の範囲の強度に比べ $30\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度高くなった（材令7日で13%、材令28日で7%）。これは、比表面積が大きくなるとセメントの水和反応の過程で遊離した $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と接するシリカフュームの表面積が増え、ポゾラン反応によって生成される珪酸石灰水合物が多くなり、強度の増進効果が顕著になったためと考えられる。以上より、スランプ、圧縮強度はシリカフュームの比表面積によってかわることが言える。

(2) シリカフューム（A社）の混入率の影響

シリカフュームの混入率と圧縮強度の関係を図-3に示す。材令7日強度においては、シリカフューム混入率0%、10%では差はないが、10%から20%に増えるにつれて低くなる。また、材令28日強度においては、混入率10%、15%、20%の差はないが、混入率0%に比べると12%程度（ $50\text{kgf}/\text{cm}^2$ ）高くなった。また、混入率10%～20%の材令28日圧縮強度と同等の強度を得るため必要な普通コンクリートの水セメント比は41.8%となった（シリカフューム混入の場合、水セメント比49%）。これより、シリカフュームは強度の向上に効果があることが言える。次に、図-3から得られた結果をもとにシリカフュームの混入による効果に相当するセメント量（セメント代替量と称する）を算出し表-5に示す。シリカフューム1gに対するセメントの代替量は、混入率10%では2.7g、混入率15%、20%では2.1gである。これより、材令28日圧縮強度に対してシリカフュームの効果の高い混入率は10%、15%、20%のなかでは10%であることが言える。

4. まとめ

シリカフュームを混入したコンクリート（材令28日圧縮強度 約 $450\text{kgf}/\text{cm}^2$ ）の基礎的研究をおこなった結果、以下のことが明らかになった。

シリカフュームは強度の向上に効果があり、効果の高い混入率は本実験においては10%である。しかし、シリカフュームの比表面積の違いによってスランプ、圧縮強度がかわるため、使用にあたっては事前に比表面積のチェックが必要である。

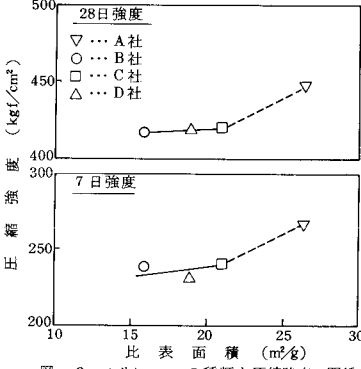


図-2 シリカフュームの種類と圧縮強度の関係
(シリカフュームの混入率 15%)

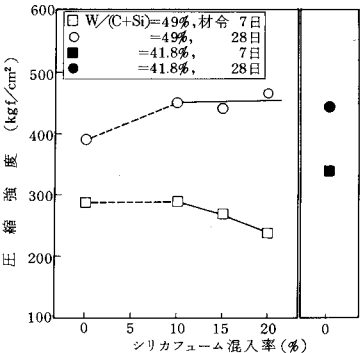


図-3 シリカフュームの混入率と圧縮強度の関係
(A社)

表-5 シリカフューム1gに対するセメント代替量

シリカフュームの混入率 (%)	シリカフューム1gに対するセメント代替量 (g)
10	2.7
20	2.1
30	2.1