

大成建設技術研究所 正会員 大友 健
大成建設技術研究所 正会員 飯田 一彦
大成建設土木設計部 浅井 有一郎

1. まえがき

近年、シリカフュームをコンクリートの混和材料として使用する例が増えている。これは、シリカフューム中の非晶質 SiO_2 のポゾラン反応による硬化、およびコンクリート中の微細空隙のシリカフューム超微粒子による充填効果によってコンクリートを高強度化、緻密化することをを目的としたものである。

シリカフュームは、フェロシリコンやシリコンメタルの製造時に発生するガスを集塵することにより得られる産業副産物である。したがって、これをコンクリートの混和材として使用する場合には、その品質を把握することが必要である。本報告は、世界各地で副生されるシリカフュームのうち現在国内で入手可能である10種を対象として、この品質を検討するため、化学分析・モルタル強度試験を実施した結果である。さらに 4種については、コンクリート強度試験をおこなっている。

2. 化学組成

表1は、各種シリカフュームの化学組成を示したものである。分析手法として、 SiO_2 はアルカリ融解後凝集沈澱法と吸光光度法を併用した。 SO_3 は硫酸バリウム重量法により、他の金属酸化物については硝酸フッ酸による分解後 AAs・ICP を適用している。

シリカフュームのポゾラン活性を決定する重要な因子と考えられる SiO_2 含有量は、各種シリカフュームにおいて 87%から 97%まで差がみられる。特に E・H・J が大きな値を示している。他の成分はほとんどが 1% 以下の値を示している。 Fe_2O_3 については、C が大きな値となっている。このため C は粉体が黒く、コンクリートとした時、色合が他とことなる。Ig. Loss からは炭素含有量を推測できる。種類により 1.0% ～ 6.3% とかなり異なっている。アルカリ量は A・D・G がやや高い。その他の成分は、各種シリカフューム間でほとんど変りがない。

3. 物理的性質

表2は物理的性質を示したものである。比重測定には比重瓶法を、比表面積測定には BET法（一点法）を用い、平均粒径はこれらの値から算出した。

各種シリカフュームの比重は 2.19 ～ 2.31 の範囲内にある。比表面積は15 ml/g 程度のもものと20 ml/g 程度のものに分けられる。したがって平均粒径は 0.11 μm 程度のもものと 0.21 μm 程度のものになっている。シリカフュームは一般に粉体であるが、Hのシリカフュームのみ果粒状に加工されている。

表1 シリカフュームの化学組成

	Ig. loss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	MnO	TiO_2	Total
A	1.0	90.0	0.4	0.4	0.4	2.0	0.2	1.0	2.3	0.1	0.001	96.9
B*	2.4	92.4	0.4	0.8	0.3	0.9	0.3	0.8	1.0	0.05	0.008	99.4
C	3.8	90.7	0.3	3.0	0.3	0.3	0.4	0.1	0.9	0.1	0.006	99.9
D*	4.5	87.1	0.3	1.0	0.1	1.0	0.8	1.1	1.7	0.1	0.006	97.7
E*	4.1	94.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.9	0.2	0.3	0.05	0.002	100.4
F	3.1	90.7	0.2	0.8	0.1	1.0	0.4	0.6	0.2	0.02	0.006	97.1
G	2.5	88.4	0.4	1.0	0.2	1.0	1.0	0.1	1.8	0.1	0.006	96.5
H*	4.2	94.5	0.2	0.1	0.1	0.2	0.4	0.2	0.3	0.01	0.003	100.2
I*	6.3	90.6	0.3	0.2	0.6	0.8	0.4	0.2	0.7	0.1	0.009	100.2
J*	2.0	97.5	0.2	0.04	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.01	0.002	100.2

* 外国産
Hは果粒状である。

4. モルタル強度試験

10種のシリカフュームについて、SF/C=10%、W/ C+SF=29%、S/C= 1.27/1 高性能減水剤一定量の配合で、モルタル強度試験をおこなった。シリカフュームは粉体のまま使用している。試験にはφ 5×10供試体を用いた。なお比較試験体としてシリカフュームを加えない配合についても強度試験をおこなった。結果を図1に示す。

σ28では、種類により 942kg/cm²から 725kg/cm²まで強度の差を生じている。10種中、A・C・F・Gは国産品であるが、特に外国産と国内産の差はない。Jのシリカフュームは、最も低い強度を示している。これは、Jが果粒状であるため、コンクリート中への分散性が低いことによると思われる。物理的特性として比重が大きく、比表面積の小さいシリカフュームの場合、練り混ぜ時のフローが大きくなる傾向が認められる。フローが大きい時には、モルタルの強度も大きくなる傾向がある程度みられるので、シリカフュームのコンクリート中への分散の程度が、強度に影響を及ぼすものと考えられる。

7日強度では、いずれのシリカフュームもシリカフュームなしのものと比べて低い強度となっているが、28日強度では、かなりの強度増大が認められ、ポゾラン反応の効果があらわれているものと考えられる。

5. コンクリート強度

コンクリートによる試験は、C・F・H・J各種について実施した。SF/C=10%、W/ C+SF=29%の高強度人工軽量骨材コンクリート配合を対象としたものである。圧縮強度の経時変化を図2に示す。モルタル試験で高い強度を示したBは、コンクリートとした時もσ28で 617kg/cm²と高い値を示している。同様にモルタル強度が低いJはコンクリート強度が低い。両者のモルタル強度の差は 180kg/cm²程度あるがコンクリートとした場合には、80kg/cm²程度となる。コンクリート強度の経時変化をみると、シリカフュームの種類により初期材令で大きな強度差が生じている場合でも、その後の強度発生により強度差が小さくなる傾向がみとめられた。これは、本配合コンクリートの場合、軽量骨材の強度もコンクリート強度と関係があるためと考えられる。

6. まとめ

10種のシリカフュームに関する分析・試験をおこなった結果、シリカフュームの種類がコンクリートの強度に影響を及ぼすことがみとめられた。しかし、従来いわれている、SiO₂に代表されるシリカフュームの成分による差は少なく、むしろモルタルのフロー値によってあらわされるような流動性の影響の方が大きいように思われる。今後はシリカフューム混入コンクリートの流動性とシリカフュームの分散性について検討をおこなう予定である。

表2 シリカフュームの物理的特性

	Specific Gravity	Specific Surface Area	D _{BET}
		(m ² /g)	(μm)
A	2.28	12.5	0.21
B	2.31	14.0	0.19
C	2.30	22.6	0.12
D	2.21	14.9	0.18
E	2.19	24.1	0.11
F	2.25	14.1	0.19
G	2.25	15.2	0.18
H	2.20	21.9	0.12
I	2.19	25.6	0.11
J	2.21	23.4	0.12

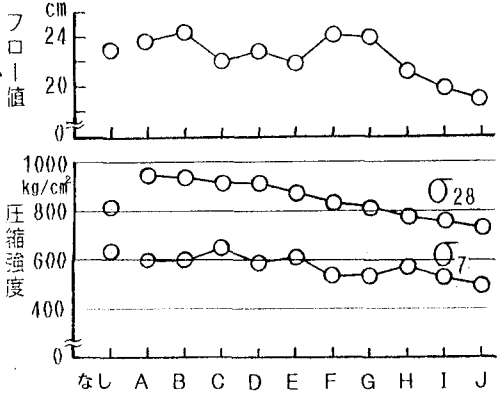


図1 各種シリカフュームのフロー値および強度

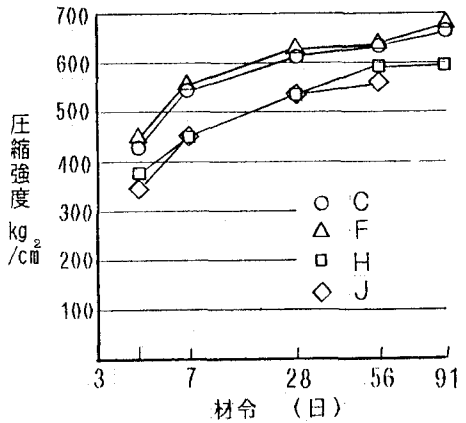


図2 コンクリート強度の経時変化