

PSV-16 コンクリートの強度および耐久性に及ぼすシリカフュームの影響

福岡大学 正員 大和竹史

福岡大学 正員 添田政司

福岡大学 正員 江本幸雄

1. はじめに

シリカフュームはフェロシリコンや金属珪素の製造時に産出される産業副産物の一つである。これをコンクリートに混入すると強度、水密性および耐久性が改善されるので注目されている。しかし、国内ではその産出量が少ないので研究がまだあまり行われておらず十分な基礎的資料が不足している。本研究はシリカフュームの混入がコンクリートの強度、耐凍害性、耐薬品性等の耐久性に及ぼす影響を実験的に検討したものである。

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメント（比重3.16）、粗骨材は角閃岩碎石（比重2.89、最大寸法20mm）、細骨材は海砂（十分除塩済、比重2.58、吸水率1.50%）を用いた。シリカフュームは国内産

表-1 シリカフュームの比重および化学成分

種 類	比 重	化学成分 (%)				
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO
国 産	2.24	89.5	0.4	0.9	1.8	0.2
外国産	2.26	93.1	0.4	0.9	1.8	0.2

のものを主に使用し、耐薬品性実験では外国産のものも用いた。表-1にこれらの比重および化学成分を示す。混和剤はシリカフュームを混入した配合と低水セメント比の配合でベータナフタリンスルホン酸系の高性能減水剤を使用し、その他の場合にはリグニンスルホン酸塩とポリオール複合体を主成分とするAE減水剤と空気量調整用AE助剤を使用した。

コンクリートの配合は水セメント比を25, 35, 45および55%の4通りとし、シリカフューム混入率は単位セメント重量の内割で0~30%とした。検討した試験項目は硬化コンクリートの圧縮強度、耐凍害性および耐薬品性である。この他に、反応性骨材を用いたコンクリートの膨張量抑制に及ぼすシリカフュームの影響と塩水噴霧による硬化コンクリートへの塩分浸透深さも検討した。

3. 実験結果および考察

図-1にシリカフューム混入率と材令28日圧縮強度の関係を示す。シリカフュームを混入すると圧縮強度が増加する傾向が認められ、混入率が10%あるいは20%の場合に最大の圧縮強度が得られた。

水銀圧入法によって求めた硬化コンクリートの総細孔容積は水セメント比が小さい程小さく、またシリカフューム混入率の増加に伴い減少の傾向が認められた。

表-2に凍結融解試験で得た耐久性指数を示す。NON-AEコンクリートの凍結融解試験（ASTM C666, A法）結果から凍結融解サイクルに伴う相対動弾性係数の低下は水セメント比が大きくなるほど大きく、シリカフューム混入率が増加するにしたがってその低下傾向が著しいことが認められた。しかし、水セメント比25%の場合はシリカフューム混入率の多少に関わらず優れた耐凍害性を示した。AEコンクリート（空気量4, 6, 8%）の凍結融解試験においてもシリカフューム混入率の増加に伴い耐凍害性が低下する傾向がある。顕微鏡による硬化コンクリートの気泡分布の観察結果からシリカフュームを混入したコンクリートの気泡間隔係数は無混入のものより大きいことを確認した。これがシリカフュームコンクリートの耐凍害性の低下原因と考えられる。シリカフュームコンクリートの場合、普通コンクリートと同等の耐凍害性を確保するためにはエントレインドエアー量をより多く連行する必要がある。

10%Na₂SO₄溶液中に約一年間浸漬したコンクリート供試体の重量減少は約3%程度未満であった。一方、2%HClおよび5%H₂SO₄溶液に浸漬した場合の重量減少は著しく大きくなった。いずれの場合においてもシリ

カフュームの混入により耐薬品性を改善できることが確認できた。たとえば、2% HCl 溶液の場合、シリカフュームを10% 混入すると重量減少を半分程度に抑制することができ。なお、国内産と外国産のシリカフュームで大差は認められなかった。

表-2 各種配合における耐久性指数

NON-AE コンクリート																				
W/C(%)	25					35					45					55				
混入率	0	5	10	20	30	0	5	10	20	30	0	5	10	20	30	0	5	10	20	30
D. F	98	95	95	95	93	82	64	59	55	46	47	45	43	20	14	35	33	24	11	7

AE コンクリート *										* 水セメント比は55% である ** 耐久性指数
空気量 (%)	4			6			8			
混入率 (%)	0	10	20	0	10	20	0	10	20	
D. F**	83	21	31	—	87	44	—	89	86	

* 水セメント比は55%

** 耐久性指数

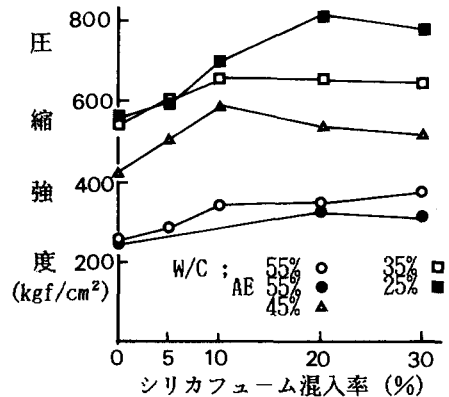


図-1 シリカフューム混入率と圧縮強度の関係

硬化コンクリート供試体（材令28日）への塩水（3% NaCl溶液）噴霧試験により塩素イオン浸透深さを測定した結果、シリカフューム混入率の増加に伴い浸透深さが小さくなる傾向が認められた。例えば、4週間塩水噴霧後の浸透深さはシリカフューム無混入の場合、16mmであるが混入率を10% にすると5mm になりほぼ1/3 に抑制された。しかし、さらに混入率を多くしてもその抑制効果の増加はあまり期待できないようである。

図-2 に反応性骨材（ $R_c = 89$, $Sc = 757 \text{ mmol}$ ）を粗骨材として用いたコンクリートの材令に伴う膨張量曲線を示す。セメントのアルカリ含有量は Na_2O 等価百分率で2.0%とした。図よりシリカフューム混入率の増加により反応性骨材による膨張量が抑制されることが明らかである。

シリカフューム無混入の膨張量を基準として膨張低減率 Re (ASTM C441) を次式により計算した。

$$Re = (Er - Et) \times 100 / Er$$

ここに、 Et は試験した配合の膨張率

Er は基準となる配合の膨張率

ちなみに反応性骨材を粗骨材全体の50%（重量比）用いた場合の Re はシリカフューム混入率 5, 10, 20% でそれぞれ23, 34, 99% である。

4. まとめ

シリカフューム混入率をセメント重量の10% ~ 20% 程度にすると最大の圧縮強度が得られた。シリカフューム混入により耐凍害性が低下するので空気量を多めに進行する必要がある。塩素イオン浸透深さの抑制効果や耐薬品性を改善できることが確認できた。

5. 参考文献

- (1) Yamato, Emoto, Soeda; Strength and Freezing-and-Thawing Resistance of Concrete Incorporating Condensed Silica Fume, ACI SP-91 Vol-2, 1986
- (2) 添田、大和、江本、反応性骨材を用いたコンクリートの膨張量および細孔構造、セメント技術年報 40
- (3) 添田、大和、江本、シリカフュームを用いたコンクリートの化学的抵抗性、土木学会西部支部研究発表会講演集 1988

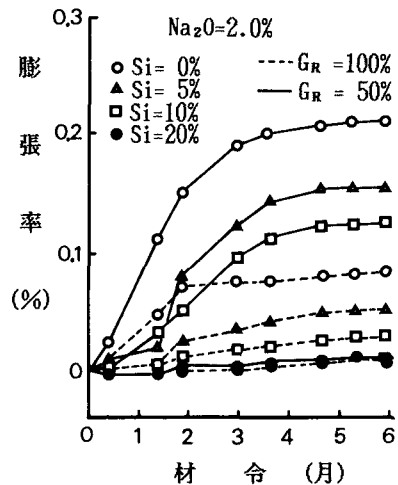


図-2 シリカフューム混入による膨張曲線