

V-63 オートクレープ養生を施した高強度シリカフューム混入コンクリートの研究

日本コンクリート工業(株) 正会員 丸山 武彦
 日本コンクリート工業(株) 正会員 土田 伸治

1. まえがき

産業副産物であるシリカフュームは平均粒径が $0.1\mu\text{m}$ と非常に小さく、コンクリートの混和材として使用した場合、コンクリート中の微細な空隙を充填する効果やポゾラン作用が期待でき、コンクリートの高強度化には非常に有望な材料である。本研究ではシリカフューム、高性能減水剤及びオートクレープ養生(以下、AC養生)を組み合わせることで、超高強度コンクリートの要因と水準の選定実験を行ったものである。

2. 実験概要

使用材料の主な物性値を表1に示す。実験は表2の要因と水準により目的別に3実験を行った。実験Iではセメント量及びシリカフューム混入率の影響を調べることを目的として、スランブ $12\pm 2\text{cm}$ 、他の条件は実験IIの水準1とした。実験IIではシリカフューム混入率を30%以上の多量使用とし、高性能減水剤添加量やAC養生条件等を変えた場合の影響を調べることを目的として、スランブ $8\pm 2\text{cm}$ 、細骨材率42%とした。実験IIIでは実験I・IIの結果に基づき、シリカフューム混入率30%、高性能減水剤添加量5%を最適水準とし、スランブは $8\pm 2\text{cm}$ としてセメント量、練り混ぜ方法及び細骨材率の影響を検討した。コンクリートの練り混ぜ方法は図1に示す4方法とし、練り混ぜ終了後、スランブ測定を行い、円柱供試体($\phi 10\times 20\text{cm}$)及び遠心供試体($\phi 20\times 30\text{cm}$)を作製した。供試体は 65°C 4時間の蒸気養生を施した後、AC養生を行い、圧縮強度、静弾性係数及び破壊ひずみを測定した。また、スランブドロップ試験はセメント量 $500\text{kg}/\text{m}^3$ でシリカフューム混入率 $20\cdot 30\%$ 、高性能減水剤添加量 $3\cdot 5\%$ の組合せ2配合について各2回行った。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリートについて： シリカフュームコンクリートの練り混ぜ状態は、水を投入してから1~2分位まではバサバサで練り混ぜられない状態であり、2分を過ぎるころから急激に練り混ぜる。シリカフュームが粉体状でもスラリー状でもほぼ同じ状況であり、粉体では粒子の表面積が大きく水分を吸着するのに時間を要し、スラリーでは水を吸着した粒子間の引力が大きく粒子を分散させるのに時間を要するためと思われる。図2に示すようにシリカフューム混入率が30%までは、シリカフュームを多く使用した方が単位水量は減少し、混入率20~30%で最少水量となる傾向を示す。これは、シリカフュームのベアリング効果によるものと考えられる。30%以上に多量使用するに従って単位水量は急激に増加する。これは、シリカフュームの微粒子の量がベアリング効果を超えて過剰になり、各粒子が保有する水量が増加するためと思われる。シリカフューム混入率が40%までは単位セメント量 $500\text{kg}/\text{m}^3$ の方が $350\text{kg}/\text{m}^3$ より単位水量が少ないのは、微粒子の粒度分布のバランスによるものと考えられる。図3では図2と同様な傾向であるが、シリカフュームの混入率を増すほど高

表2 実験の要因と水準

実験NO. (手法)	要 因	水 準			
		1	2	3	4
実験 I 一元 配置	A: シリカフューム混入率(体積外割%)	0	10	20	30
	B: 単位セメント量(kg/m^3)	350	400	450	500
実験 II L16	A: シリカフューム混入率(体積外割%)	30	40	50	60
	B: 単位セメント量(kg/m^3)	350	500	-	-
直交表	C: 高性能減水剤添加量(%)	3.0	5.0	-	-
	D: 練り混ぜ方法(図1参照)	㉑	㉒	-	-
	E: 高速遠心回転重力(g)	35	70	-	-
	F: オートクレープ養生180°C保持時間	3	6	-	-
	G: 細骨材率 S/a (%)	42	38	34	-
実験 III L9	B: 単位セメント量(kg/m^3)	500	600	700	-
	D: 練り混ぜ方法(図1参照)	㉑	㉒	㉓	-
直交表	G: 細骨材率 S/a (%)	42	38	34	-

表1 使用材料と主な性質

使用材料	主 な 性 質
セメント	普通ポルトランドセメント, 比重 3.16, プレーン値 $3200\text{cm}^2/\text{g}$
シリカフューム	比重 2.20, 比表面積 $200,000\text{cm}^2/\text{g}$, SiO_2 含有率 94.0
細骨材	岩産産硬質砂岩砕砂, 比重 2.63, 粗粒率 3.02
粗骨材	岩産産硬質砂岩砕砂, 比重 2.63, 最大骨材寸法 15mm
混和剤	ネオアクリル系有機塩基高性能減水剤, 比重 1.20

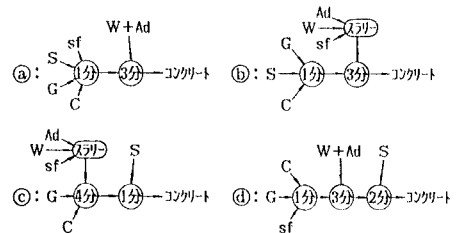


図1 練り混ぜ方法

性能減水剤の添加量の影響が大きく、多量のシリカフュームを使用する場合は減水剤を5%あるいはそれ以上使用することが有効であり、最適減水剤量はセメント量、シリカフューム混入率によって変わることが予想される。練り混ぜ方法は②の方法が単位水量を最も低くすることができた。

②、③は、シリカフューム、水及び高性能減水剤を予めスラリー状態にして投入したものであるが、材料の投入順序を変えても単位水量は増加した。図4より、シリカフュームコンクリートのスランプは30分経過程度ではほとんど低下せず、1時間経過でも低下率は低いことがわかった。

3.2 硬化コンクリートについて： シリカフュームコンクリートの最高圧縮強度は、 $\phi 10 \times 20$ 標準養生で 1210 kgf/cm^2 、 $\phi 10 \times 20$ A C養生で 1770 kgf/cm^2 、 $\phi 20 \times 30$ A C養生で 1571 kgf/cm^2 であった。弾性係数は強度の高いものでも $4.4 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 程度、圧縮破壊ひずみは 4000μ 程度である。図5より、シリカフューム混入率が30%までは圧縮強度は増加する傾向にあるが、混入率が30%以上になると横這いもしくは低下することから、シリカフュームの最適混入率は約30%程度と推定される。遠心締固めを行った場合は、シリカフューム混入率約10%を超える付近から標準供試体の強度よりも小さくなるが、これはシリカフュームの多量使用によって遠心成形時に材料の分離が起こりやすいこと、高強度域における供試体の形状寸法の影響があることなどの理由が考えられる。また、標準養生（材令28日）の場合は、シリカフュームのボブラン作用が十分に発揮されていないので強度は比較的小さいが、長期強度は増大するものと思われる。図6より、単位セメント量が $350 \sim 500 \text{ kg/m}^3$ の範囲では圧縮強度は増加するが、 500 kg/m^3 を越えると頭打ちとなり強度は伸びていない。この理由はセメント量が 600 kg/m^3 程度を超えると単位水量は減らなくなるため、水結合材比はほぼ同じになるからである。

4. まとめ

本実験結果よりシリカフュームと高性能減水剤を併用し、オートクレーブ養生を行うことによって、 1500 kgf/cm^2 以上の超高強度コンクリートを得ることは比較的容易であることが確認できた。たとえば、単位セメント量 500 kg/m^3 、シリカフューム混入率30%、高性能減水剤添加量5%及び混練方法②の水準による配合においては、最高圧縮強度は 1800 kgf/cm^2 が得られた。

〔参考文献〕1)丸山、土田、河野：シリカフュームを用いた高強度オートクレーブ養生コンクリートの研究、第43回セメント技術大会、1989.5

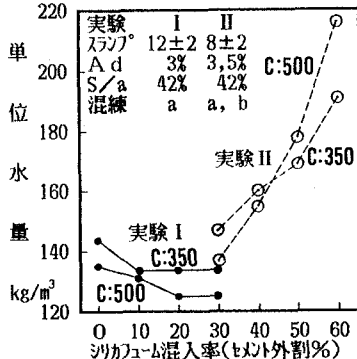


図2 シリカフューム混入率と単位水量の関係

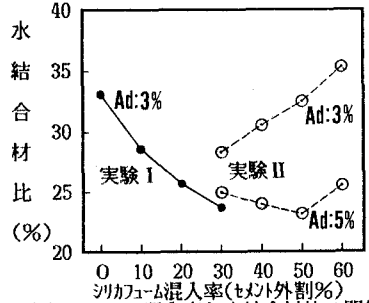


図3 シリカフューム混入率と水結合材比の関係

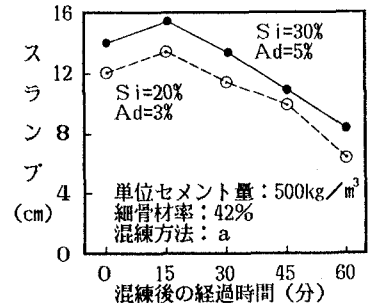


図4 スランプドロップ

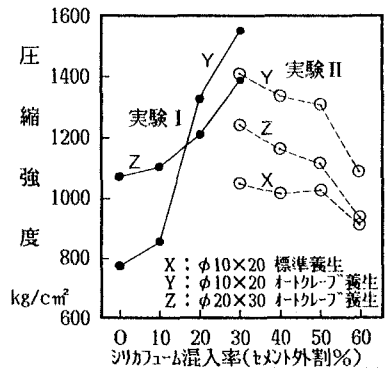


図5 シリカフューム混入率と圧縮強度の関係

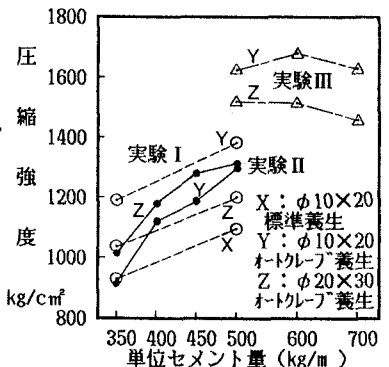


図6 単位セメント量と圧縮強度の関係