

[53] 超貧配合コンクリートへのシリカフェームの適用

正会員 関 慎 吾 (日本大学理工学部)

正会員 山 根 伸 俊 (日本大学大学院)

正会員 ○ 田 原 直 樹 (日本大学大学院)

千 秋 学 (日本大学大学院)

1. はじめに

コンクリート界において、産業副産物シリカフェームの有効利用に関する研究は近年急速に注目を浴せておりその適用性について種々観点から検討が進みつつある。シリカフェームをコンクリート混和材として利用することは、コンクリートの強度を増進させるだけでなく、水密性、耐久性向上のほか、さまざまな効果が報告され¹⁾²⁾ており、シリカフェームを有効に、また適正な利用を図ることは、コンクリートの高品質化に大きく寄与するものと思われる。ダムコンクリートにおいても工事機械の発達による施工技術の高度化や使用材料の開発が進むと同時に、合理化施工に関する提案が盛んになされており、経済的なコンクリートの需要が高まっている。

本研究では、著者らの前報の研究³⁾より、シリカフェームが貧配合コンクリートに対し有効であるとの結論に基づき、超貧配合コンクリートを対象としたローラーコンパクテッドダム(以下RCDと略記)コンクリートへシリカフェームを適用し、その適用性および有効利用について、従来使用されているフライアッシュと比較し、検討を行ったものである。

2. 使用材料

セメントは、中庸熟ポルトランドセメントを使用し、その化学成分を表-1に示す。

シリカフェームは、国産シリカフェームを使用し、比重、約2.2 比表面積は $200,000\text{cm}^2/\text{g}$ である。その化学成分を表-2に示す。

フライアッシュは、比重、約2.12 比表面積 $3,310\text{cm}^2/\text{g}$ を使用し、化学成分を表-3に示す。

骨材は、粗骨材として最大寸法80mmの阿武隈川産河川砕石(比重2.65、FM7.89)、細骨材として黒磯戸田地区より採取した河川砕石(比重2.55、FM2.89)を使用した。

減水剤は、 β -ナフタリン高縮合物を主成分とする高性能減水剤を使用した。

表-1 中庸熟ポルトランドセメントの化学成分(%)

ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TOTAL
0.5	23.8	3.5	3.9	63.7	1.3	1.8	98.5

表-2 シリカフェームの化学成分(%)

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	TOTAL
88.6	0.39	0.03	2.36	91.38

表-3 フライアッシュの化学成分(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	ig.loss	TOTAL
55.09	30.01	3.69	4.83	1.31	1.21	1.39	97.53

3. 実験方法

実験に用いたコンクリートの配合設計を行うにあたり、単位水量、細骨材率はRCD工法技術指針(案)⁴⁾に準じて行ったものであり、配合を表-4に示す。シリカフェーム、フライアッシュはセメント重要に対し内割で混入した。シリカフェームは、練り混ぜ水にあらかじめ溶解し、スラリー状になるまで攪拌したものをを用いた。

また、練り混ぜに際し、圧縮強度試験用供試体およびVC試験に用いるコンクリートは、40mmふるいでウェットスクリーニングした試料を用いることになっているが、実験装置の関係上、本実験においては、あらかじめ骨材寸法80mm~40mmの粗骨材を取り除き、練り混ぜを行った。

実験に使用した供試体は、 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ の円柱供試体であり、コンクリートの強度試験用供試体の作製方法お

表-4 コンクリートの配合表

配合番号	最大骨材寸法 (mm)	空気量の範囲 (%)	水結合材比 (%)	ボゾラン材 代替率 (%)	細骨材率 S/a (%)	Mix Proportion (kg/m ³)						混和剤添加率 (%)	α	β	V C 値	
						水	セメント	シリカフェューム	フライアッシュ	粗骨材						
										80 ~ 40 (mm)	40 ~ 5 (mm)					
10SF	80	1.5±1	10.5	0	3.2	100	0	0	0	693	520	100.9	2.0	1.03	1.18	11
10S1						90	10	0	0	691	519	100.8	2.0	1.04	1.19	15
10S2						80	20	0	0	690	518	100.6	2.0	1.05	1.19	12
10S3						70	30	0	0	689	517	100.4	2.0	1.06	1.20	10
10F1						90	0	1.0	691	519	100.8	1.0	1.04	1.19	11	
10F2						80	0	2.0	690	518	100.6	0.5	1.05	1.20	11	
10F3				70	0	3.0	667	525	101.9	2.0	1.10	1.16	13			
08S3				131	0	3.1	56	24	673	530	102.8	1.6	1.02	1.13	26	
12S3				87.5	0	3.2	84	36	683	513	99.6	1.5	1.13	1.22	18	
08F3				131	0	3.1	56	0	24	673	529	102.7	1.0	1.04	1.14	11
12F3				87.5	0	3.2	84	0	36	683	513	99.5	1.5	1.13	1.23	16

よびV C試験は、RCD工法技術指針（案）に準じて行った。

脱型は、供試体成型後、約48時間後に行い、養生は、脱型後所定の材令まで20℃の水中で養生を行った。

圧縮強度試験方法は、J I S A 1108 に準じて行った。

また、適当なコンシステンシー、すなわちRCD工法技術指針（案）の定める目標V C値（20±10秒）を得るため、高性能減水剤を添加し、V C試験結果が目標V C値の範囲内に入るように添加量を調節した。

なお表-4におけるαとはセメントペーストの細骨材空隙充填率、βはモルタルの粗骨材空隙充填率を示す。これらはともにRCDコンクリートの配合特性値であり、これによりペースト量およびモルタル量を検証した。

4. 代替率と圧縮強度との関係

単位結合材量を100kg/m³と一定にして、シリカフェュームおよびフライアッシュの代替率を0~30%まで10%間隔で変化させたコンクリートの圧縮強度試験を行った。図-1にシリカフェュームを混入した場合の圧縮強度および強度増進効果と混和材代替率との関係を示す。図-1によると、材令7日の場合、シリカフェュームの代替率が大きくなるにしたがって圧縮強度は低下した。しかし、材令経過とともに強度増進効果は大きくなり、材令91日においては、代替率10~30%の圧縮強度は、代替率0%のものと比較し、約1.5倍の強度増進がみられた。材令7日における圧縮強度の低下については、セメントの水和反応によって析出される遊離石灰量が少ないため、シリカフェュームのボゾラン反応による効果が遅延されているものと思われる。

図-2にフライアッシュを混入した場合の圧縮強度および強度増進効果と混和材代替率との関係を示す。図-2によると、代替率が大きくなるにしたがい圧縮強度は低下し、

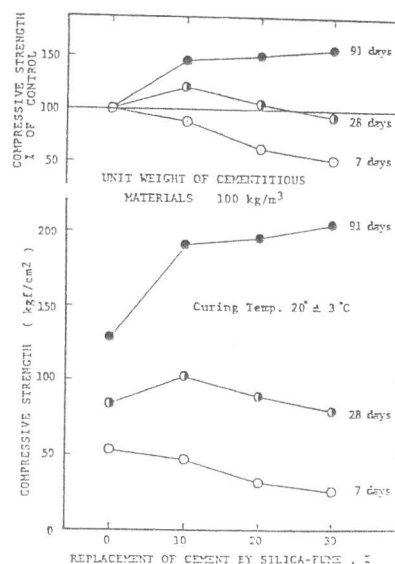


図-1 圧縮強度と混和材代替率との関係（シリカフェューム使用）

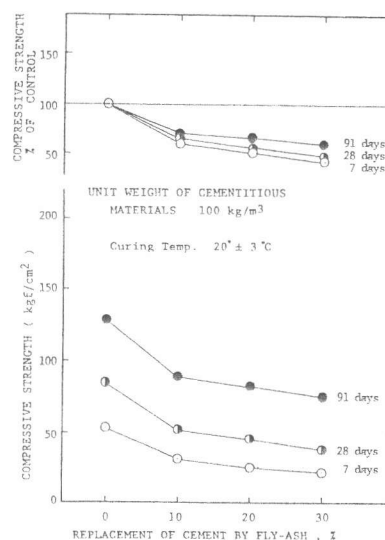


図-2 圧縮強度と混和材代替率との関係（フライアッシュ使用）

材令91日以前ではフライアッシュ代替による強度低下は、ポゾラン効果の発現時期に関係していると考えられ、フライアッシュと遊離石灰との反応が非常に遅いものと推察される。

図-3に圧縮強度と材令との関係を示す。図-3によると、シリカフェーム代替コンクリートの場合、その代替率が小さいほど、材令7日以降の材令による強度増加は急激であるが、その持続時間は短く、材令経過にともなって徐々に強度の伸びは緩やかになる傾向を示した。一方、代替率が大きいほど長期にわたってシリカフェームによる強度増進効果が持続すると推察される。

また、フライアッシュ代替コンクリートの場合には、材令91日を経過した時点でフライアッシュの混入効果があまり現れていないことと、材令経過による強度増加傾向が、無混入コンクリートのものと似ていることなどから、材令91日において、ポゾラン効果により生成されるCSHの量は、僅かであり、さらに材令による強度増加はセメントの水和反応のみにより生成されるCSHによるものと思われる。したがって、フライアッシュの代替率を大きくすることにより、セメントの絶対量が少なくなるため、無混入時に比較してセメントの水和反応により生成されるCSHの量が減少するため強度低下につながったものと推察される。

5. 単位結合材量と圧縮強度との関係

単位結合材量と圧縮強度との関係を調べるため、混和材代替率を一定として、単位結合材量を80、100、120 kg/m³と変化させたコンクリートの圧縮強度試験を行った。図-4に圧縮強度と材令との関係を示す。

図-4によると、単位結合材量が増加するにしたがって圧縮強度は増加し、特に材令が長期になるにしたがって、この傾向は顕著に現われた。シリカフェーム代替コンクリートの場合、材令経過による強度増進は著しく、材令91日において、単位結合材量を80 kg/m³ (シリカフェーム代替率30%)に低減した場合でも120 kgf/cm²程度の圧縮強度を示しており、圧縮強度に関してはダムの内部コンクリートに対する適用が十分可能であると思われる。

フライアッシュ代替コンクリートについては、材令経過による強度増加はあまりみられず、材令91日の圧縮強度はシリカフェームを使用した場合の材令28日程度の圧縮強度が得られたに過ぎなかった。

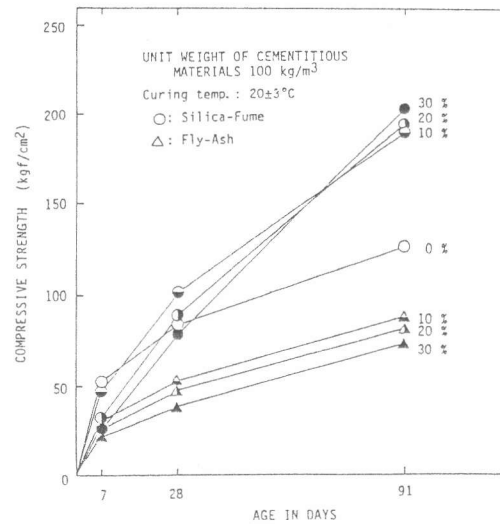


図-3 圧縮強度と材令との関係

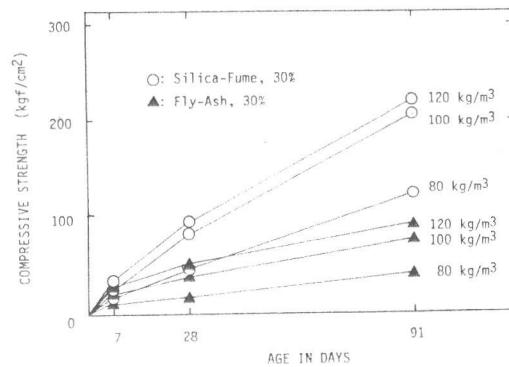


図-4 圧縮強度と材令との関係

表-5 圧縮強度、弾性係数、ポアソン比 (材令91日)

Mix. No	C+P (Kg/m ³)	S.F. C+P (%)	F.A. C+P (%)	Compres. Strength (Kgf/cm ²)	Modulus of Elastic. (Kgf/cm ²) × 10 ⁵	Poisson's Ratio
10SF	100	0	0	128	1.29	0.19
10S1		10		191	2.17	0.20
10S2		20		195	2.13	0.17
10S3		30		205	2.27	0.15
10F1	100	0	10	89	0.70	0.16
10F2			20	83	0.64	0.15
10F3			30	75	0.81	0.15
08S3	80	30	0	121	1.45	0.17
08F3		0	30	39	0.26	0.17
12S3	120	30	0	220	1.99	0.16
12F3		0	30	90	0.76	0.17

C=Moderate Heat Portland Cement, F.A=Fly-Ash, P=Pozzolanic Materials, S.F=Silica-Fume.

6. 変形性状

表-5に圧縮強度、弾性係数(1/3割線係数)、ポアソン比を示し、図-5に弾性係数と圧縮強度との関係を示す。弾性係数は圧縮強度の増加に伴って大きくなる傾向を示し、両者の間には良好な相関が認められ、相関係数 $r = 0.966$ であった。ポアソン比は0.14~0.20の値が得られており、通常のコンクリートと同程度であった。

図-6に単位結合材量 $100\text{kg}/\text{m}^3$ のコンクリートの応力-ひずみ曲線を示し、図-7に単位結合材量80、100、 $120\text{kg}/\text{m}^3$ のコンクリートの応力-ひずみ曲線を示す。

これらの図によると、シリカフェーム代替率の増加に伴い、変形性状は直線的な変形に近づき、破壊はぜい性的になる傾向を示した。また、シリカフェーム混入コンクリートの場合、代替率に関係なく応力-ひずみ曲線は、初期の段階では同様な変形性状を示した。このことは、フライアッシュ混入コンクリートについても同様であった。最大圧縮応力時のひずみは各配分とも同様な値を示した。

7. 結論

シリカフェームは、単位結合材量 $100\text{kg}/\text{m}^3$ 程度の超貧配分コンクリートに対しても強度の増加に有効に作用するものと思われ、このことより、RCDコンクリートの問題点である初期強度の低下を改善できるものと思われ、RCDコンクリートへの適用が期待される。また、代替材として、シリカフェームを使用することにより、単位結合材量 $80\text{kg}/\text{m}^3$ 程度の低減が期待でき、これにより、水和熱を抑制し、粘着性が高いことから材料分離の防止にも有効であると思われる。

最後に、本研究は日本大学理工学部交通土木工学科 安彦伸一、川端恒博君の協力を得て行ったものであり、心から感謝致します。

参考文献

- 1) V.M.Malhotra and G.G.Carette: Silica-Fume Concrete-Properties, Applications, and Limitations. Concrete International, pp.40~46, 1983
- 2) Theodor A. Burge: 14,000 psi in 24 hours, Concrete International, pp.36~41, 1983.9
- 3) 関慎吾, 山根伸俊: コンクリートへのシリカ・フェームの有効利用について, 第6回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.113~116, 1984
- 4) 国土開発技術研究センター: RCD工法技術指針(案), 昭和56年7月

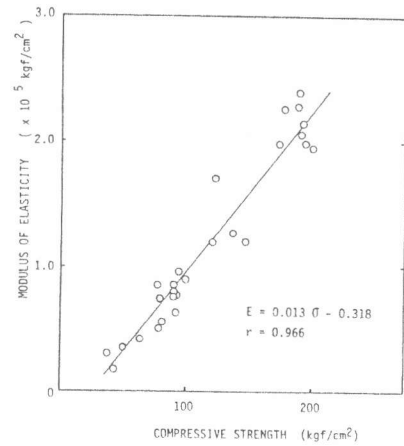


図-5 弾性係数と圧縮強度との関係

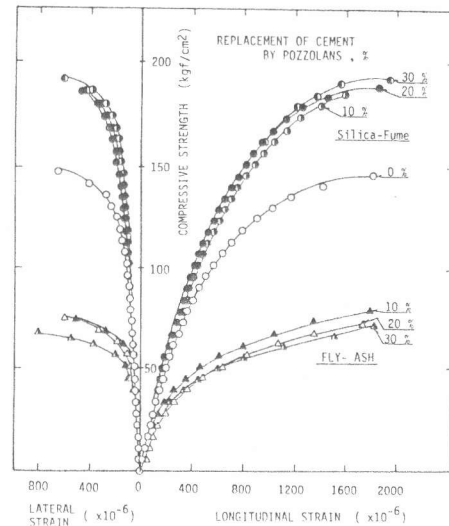


図-6 応力-ひずみ曲線

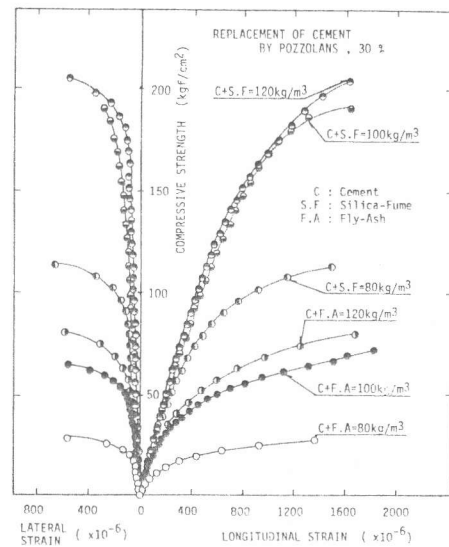


図-7 応力-ひずみ曲線