

報 告

[1010] シリカフェーム高強度コンクリート用生コンクリートプラ
ントの開発

佐藤光男^{※1}・大浦鉄男^{※2}・奥野亨^{※3}・米澤敏男^{※4}

1. はじめに

シリカフェームはシリコンメタル、あるいはフェロシリコンの生産過程で発生する排煙中に含まれる粉塵を回収した副産物であり、活性ガラス質の二酸化ケイ素を主成分とする粒形0.1~0.5 μ mの球形の超微粒子である。

シリカフェームの製品形態には粉末状、顆粒状、スラリー状の3つがある。顆粒状、スラリー状はすでに欧米で生コンクリートに利用されている。一方、粉末状のものは(1)混入時の分散性が良い(2)流動性やポズラン反応等の混入効果が良い等の優れた性質があるにもかかわらず、実用化されていなかった。これは粒子が細かいため、現状の設備では貯蔵、搬送、計量等のハンドリングが困難なためである。

この問題を解決するために、筆者らは粉末状シリカフェームの貯蔵、搬送、計量及び混練ミキサへの投入を自動的に行うシリカフェーム専用のプラント(以下SFCプラントと略す)を開発した。

本報告はSFCプラント設備の概要及び同設備を用いて製造したシリカフェーム超高強度コンクリートの性質についてまとめたものである。

2. SFCプラントの概要

本プラントの全景を写真-1に、又概略図を図-1に示す。SFCプラントはサイロ架台、サイロ、コンプレッサー、レシーバータンク、ブロータンク、バグフィルター、ホイストクレーン、計量器、配管、操作盤等で組み合わされている。この設備は運搬、解体が容易な構造であり、大型トラック3台程度で移設可能である。

シリカフェームの貯蔵、運搬、計量、放出機構は概略次の通りである。

1) 貯蔵:サイロは、下部にスクリーフィーダーを付けた容量15 m^3 の横置型のものであり、フレコンバックをホイストクレーンで吊り上げ、サイロ上部投入口よりシリカフェームを供給する。サイロを横置としたのは、縦型のサイロによるシリカフェームの重力排出が困難なためである。

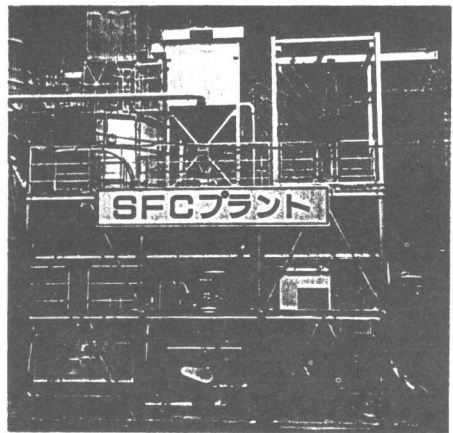


写真-1 SFCプラント全景

※1 京浜菱光コンクリート工業株式会社 品川工場

※2 三菱マテリアル株式会社

※3 株式会社竹中工務店 東京本店

※4 株式会社竹中工務店 技術研究所

2) 運搬：サイロ下部のスクリーフィーダーからプロータンクにシリカフェームを投入し、タンク中でシリカフェームを空気と混合した後、圧縮空気により計量器へ輸送する。

3) 計量、放出：圧送したシリカフェームを計量器で所定量計量し、バッチャープラントの材料総合放出信号により混練ミキサに投入する。この装置には過不足計量防止の装置がついている。

SFCプラントの計量値の設定は、写真-2の制御盤でコントロールし、この制御盤をバッチャープラントの制御盤に連結することによって、シリカフェームの計量、放出等の自動操作を行う。SFCプラントの主な仕様を表-1に示す。

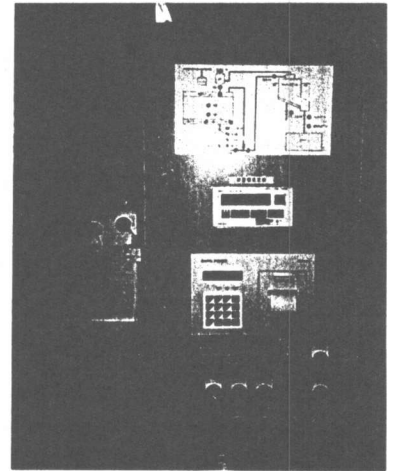
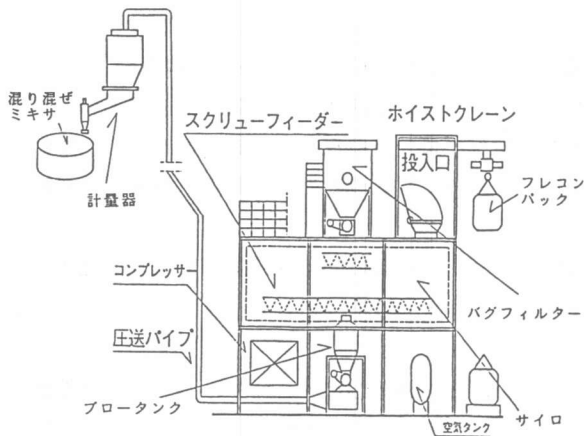


図-1 SFCプラント概略図

写真-2 SFCプラント制御盤

表-1 SFCプラントの仕様

項目	能力
貯蔵容量	4 t (コンクリート約70m ³ 相当)
運搬方式	高圧空気圧送方式
最大計量値	120 kg (精度±2%)
1バッチのタイムサイクル	60秒

3. SFCプラントの性能確認実験

SFCプラントの性能を確認するために計量精度および空気輸送がシリカフェームの性質に及ぼす影響について実験した。

3.1 計量精度

計量器の設定値を79.5kg (コンクリート約1.5m³分に相当) とし、30回の計量を行った時の計量誤差を図-2は示す。計量値は全て±2%の範囲内にあり、JIS A 5308の混和材の計量精度に関する規定を満足している。

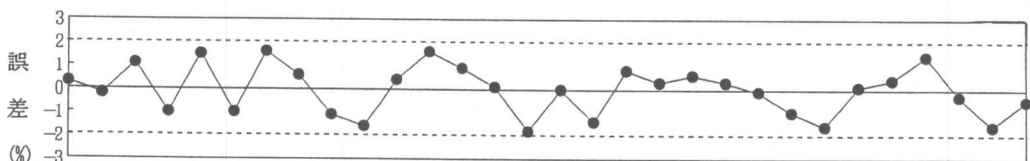


図-2 計量誤差の測定結果

3. 2 空気輸送がシリカフェームの性質に及ぼす影響

SFCプラントでの空気輸送（以下空送という）がシリカフェームに与える影響を調べるために、輸送前、輸送後のシリカフェームとシリカフェームを用いたコンクリートの性質を試験をした。

(1) シリカフェームの性質

シリカフェームの性質としては、分散性〔1, 3〕、含水率、高密度の3つを選定し、空気輸送前後の値を測定した。

試験結果を図-3、図-4、図-5に示す。

分散性、含水率、高密度いずれも空気輸送前後で大きな差は認められない。

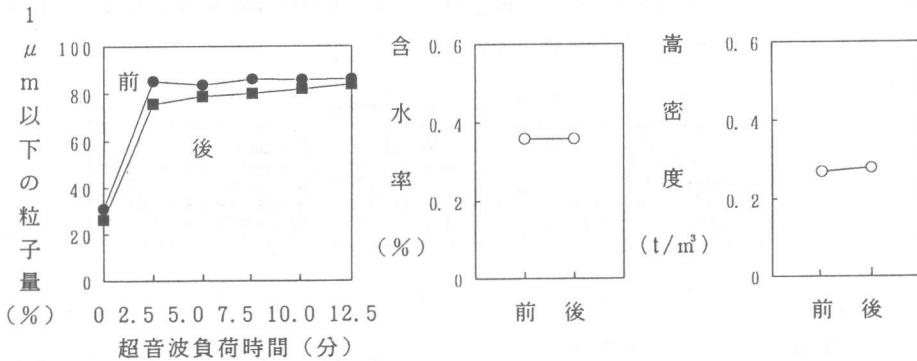


図-3 空送前後の超音波分散性

図-4 空送前後の含水率

図-5 空送前後の高密度

(2) コンクリートの性質

空気輸送前後のシリカフェームを用いて水結材比28%のコンクリートを練り混ぜ、コンクリートのスランプ、スランプフロー、空気量および圧縮強度を試験した。

使用材料と調合は4. 1に示すものと同様であり、コンクリートの練り混ぜには容量70ℓの強制攪拌型ミキサを使用した。

試験結果を図-6および図-7に示す。スランプ、スランプフロー、空気量いずれも空送前後の差は小さい。圧縮強度も空送前後の差は小さい。空気輸送前後のシリカフェームの性質およびシリカフェームを用いたコンクリートの性質の差がきわめて小さいことから、SFCプラントでの空気輸送がシリカフェームの性質に影響していないことが確認された。

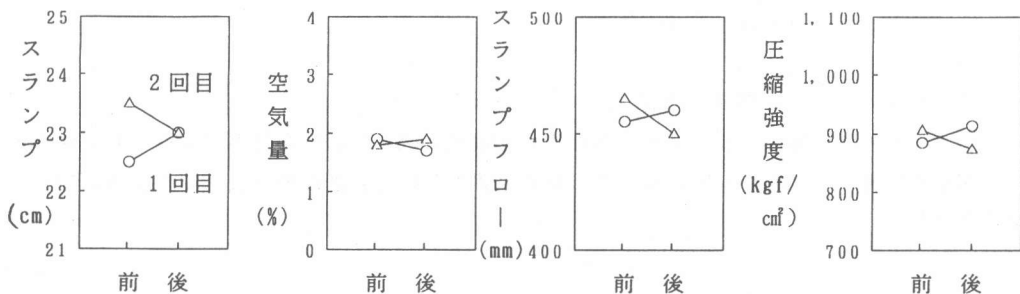


図-6 空送前後のフレッシュコンクリートの性質

図-7 空送前後の圧縮強度

4. シリカフェームコンクリートの製造

$F_c = 600\text{kgf/cm}^2$ 、スランプ $23 \pm 2\text{cm}$ 、スランプフロー $450 \pm 80\text{mm}$ 、空気量 $1.5 \pm 1\%$ のシリカフェーム超高強度コンクリートを約 1000m^3 製造出荷し、SFCプラントで製造したシリカフェームコンクリートの品質と品質変動を調べた。

4. 1 使用材料と調合

セメントはM社製フライアッシュセメントB種（比重:2.97）、シリカフェームはE社製粉末シリカフェーム（比重:2.20,比表面積:14.2 m^2/g , SiO_2 :93.8%）、細骨材は木更津産山砂（比重:2.60,吸水率:1.62%,FM 2.68）、粗骨材は鳥形山産石灰岩碎石（比重:2.70,吸水率:0.28%,FM 6.65）、混和剤は特殊スルホン酸基カルボキシル基含有多元ポリマーを主成分とする高性能AE減水剤を使用した。コンクリートの調合を表-2に示す。

表-2 コンクリートの調合

最大寸法 (mm)	W/C+SF	単体量 (kg/m ³)					
		W	C	SF	S	G	Ad
20	28.0	147	472	53	686	1069	11.02

4. 2 練り混ぜ

ミキサには容量 3000l のパン型強制練りミキサを使用した。1回の練り混ぜ量は 1.5m^3 とし、混和剤分割添加装置を用い、図-8に示す方法でコンクリートを練り混ぜた。

練り混ぜ時間はあらかじめミキサ電流を測定し、図-9に示すように波形が安定する時間を練り混ぜ完了と判定し定めた。この時間は材料放出開始より70秒であった。

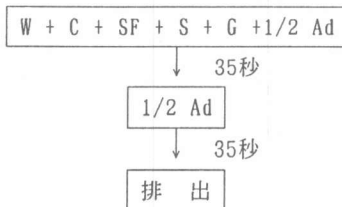


図-8 コンクリートの練り混ぜ方法

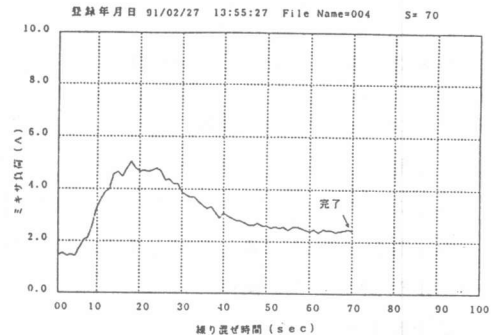


図-9 練り混ぜ時間とミキサ負荷

4. 3 シリカフェームの受入検査

シリカフェームの性質とコンクリートの性質の関連性に関する研究の結果〔1～5〕と諸外国での規準類を参考にシリカフェーム受入れのために管理項目と管理基準を表-3のように定め、管理を実施した。

4. 4 フレッシュコンクリートの性質

試験の頻度を出荷時には 30m^3 に1回、荷卸し時には 60m^3 に1回とし、スランプ、空気量、スラ

表-3 シリカフュームの受入品質管理基準

管理項目	試験方法	検査頻度		管理基準
		入船時	生コン工場受入れ時	
SiO ₂	JIS M 8852	入船時毎にランダムに3ヶ所から試料を抜き取り試験を行う	-	85%以上
強熱減量	JIS R 5202			6.0%以下
比表面積	注 1)			100,000 cm ² /g以上
比重	注 2)			2.0以上
分散性	注 3)			1 μm以下の粒子30%以上
含水率	注 4)	受入毎1回	-	4%以下
嵩密度	注 5)			0.25~0.40 t/m ³

- 注1) 比表面積：窒素吸着法により測定
 注2) 比重：ヘリウムガスを使用したオートピクノメーターで測定
 注3) 分散性：レーザー回折式粒度分布測定装置の分散槽に、250mlの蒸留水と0.2gのシリカフュームを加え、超音波負荷開始後2.5分間隔で12.5分まで粒度分布を測定
 注4) 含水率：試料100gを24時間乾燥し、乾燥前後の重量を電子化学天秤で測定
 注5) 嵩密度：100ccのプラスチックびんに約8割入れたシリカフュームを5回手で振った後500ccのメスシリンダー上部から自然落下させ、シリカフュームの嵩容積がちょうど500ccとなるまで繰り返し、重量測定を行って嵩密度を測定。

ンプフロー、コンクリート温度を測定した。図-10、図-11に出荷時と荷卸し時の試験結果を示す。出荷時のスランプと空気量のバラツキは設定した許容範囲内であったが、平均値は目標に対してやや高めの値であった。スランプフローの値は設定した許容範囲を外れるものが若干見られたが、スランプ、空気量については許容範囲内にあり、コンクリートには分離は認められず、施工上問題はなかった。コンクリート温度は14~21.5℃の範囲であった。

コンクリートの出荷時から荷卸しまでは20分から25分であったが、運搬がスランプ、空気量、スランプフローに与える影響はほとんど認められなかった。

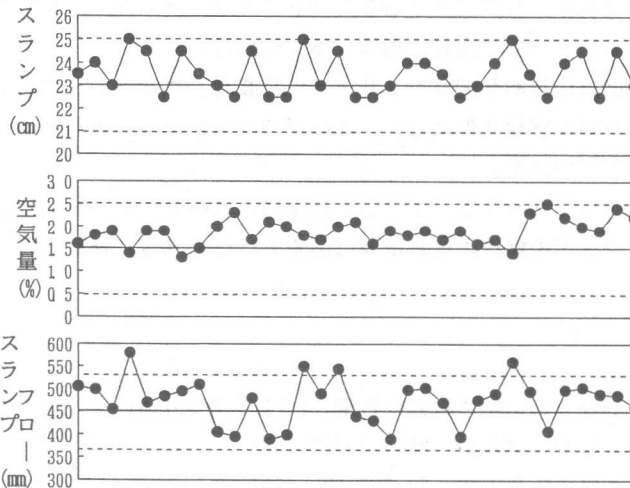


図-10 出荷時のフレッシュコンクリートの性質

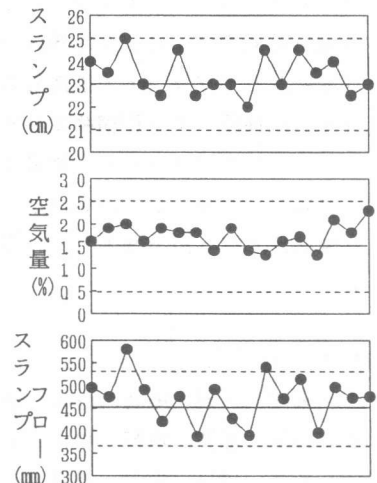


図-11 荷卸し時のフレッシュコンクリートの性質

4. 5 圧縮強度

供試体の採取はフレッシュコンクリートの試験と同時に行った。1回の試験は任意の一運搬車から採取した試料で作った3個の供試体の平均値とし、養生条件は標準養生とした。

図-12、図-13に出荷時と荷卸し時の試験結果を示す。調合強度865kgf/cm²に対して荷卸し時の強度の平均値は899kgf/cm²であり、目標に対して34kgf/cm²高い値となった。変動係数は出荷時4.6%、荷卸し時4.9%であり、調合計画時に採用した値(8%)に比較し、小さい値であった。

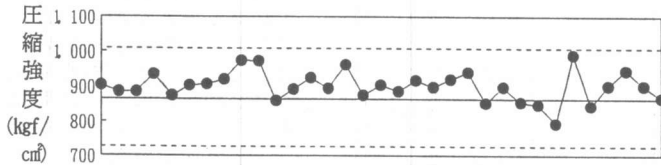


図-12 出荷時のコンクリートの圧縮強度

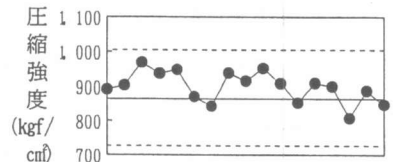


図-13 荷卸し時のコンクリートの圧縮強度

4. 6 SFCプラントで製造したコンクリートの品質のまとめ

SFCプラントを用いて製造した約1000m³の水結合材比28%のシリカフェーム超高強度コンクリートは、フレッシュコンクリートの性質と圧縮強度いずれも良好な管理状態にあった。製造されたコンクリートの品質とその変動は、SFCプラントの性能のみではなく、生コンクリートプラント全体の管理技術に影響されるものであるが、ここで示した結果からSFCプラントを用いることによって品質変動の小さいシリカフェーム超高強度コンクリートを製造できることが確認された。

5. 結論

粉末のシリカフェームを生コン工場では貯蔵、搬送、計量できる設備(SFCプラント)を開発し、このプラントの性能評価を行うとともに約1000m³のシリカフェーム超高強度コンクリートを製造した結果、以下に示す諸点を結論することができた。

- (1) SFCプラントは目標とした±2%の計量精度を有している。
- (2) SFCプラントで空気輸送した前後のシリカフェームおよびシリカフェームコンクリートの性質は同様であり、空気輸送がシリカフェームの品質に影響することはない。
- (3) SFCプラントで製造した約1000m³の超高強度コンクリートの品質は、フレッシュコンクリートの性質および圧縮強度いずれも良好な管理状態にあり、このプラントによって大量のシリカフェームコンクリートを製造することができる。

粉末のシリカフェームを利用した生コンクリート製造プラントは世界に例のないものであり、今後改良すべき点も残されている。プラントの維持管理技術等に関する研究をさらに進展させたい。

参考文献

- 1) 米澤、古賀、朝倉、杉本：コンクリート工学年次論文報告集、PP.291-296,1991
- 2) 柿沢、米澤、奥野、和泉、立屋敷：建築学会大会、PP.819-820,1991
- 3) 米澤、和泉、柿沢、奥野、立屋敷：建築学会大会、PP.821-822,1991
- 4) 中島、米澤、三井、杉本、下野：建築学会大会、PP.269-270,1992
- 5) 杉本、米澤、下野、中島、三井：建築学会大会、PP.271-272,1992