研 23.

シリカフューム混入率を変化させたコンクリートのフレッシュ性状及び強度、並びに製造システムについて

金塚美喜男＊１　○伊藤　　司＊１　香取　恒雄＊２　大見川隆治＊２

要旨：近年、高強度・高耐久コンクリートに対応してシリカフュームを使用したコンクリートの事例が増えているが、シリカフュームセメントを使用するケースが一般的であり、シリカフュームの混入率をコンクリート生産者が使用時にコントロールすることが難しい。今回、スラリー状にしたシリカフュームを混和材として使用し、配合によりシリカフュームの混入率を変化させた場合のコンクリートのフレッシュ性状及び強度について検討を行った結果、フレッシュ性状の改善に必要とされるシリカフュームの最適な混入率を選択する目安が確認できた。また、シリカフュームの混入率の変化への対応が可能なシリカフュームスラリー化システムを考案し、実用性の検討も併せて行った結果、シリカフュームの混入率を変化させたコンクリートの製造が随時可能となった。

キーワード：シリカフューム、シリカフュームスラリー、シリカフューム混入率、シリカフュームスラリー化システム

１．はじめに

高強度コンクリートのフレッシュ性状及び強度特性の向上を目指し、混和材にシリカフューム（以下、ＳＦ）を使用し、混入率の違いによる品質の変動を確認することを目的として、実験を行った。

また、コンクリートの配合毎にＳＦ混入率を任意にコントロールできる製造システム（溶解・貯蔵・運搬・濃度管理・計量）を考案し、実用性及び連続製造の可能性も併せて確認した。

２．実験概要

２．１　使用材料及びコンクリートの配合

セメントは、低熱ポルトランドセメントを使用した。

ＳＦは、セメント質量に対し表－１の混入（内割り）とし、５０％質量濃度のスラリーで使用した。その他使用した材料を表－２に、コンクリートの配合を表－３に示す。

コンクリートのフレッシュ性状は、練り上がり直後のスランプフローが６０±１０㎝となるよう高性能ＡＥ減水剤で調整し、目標の空気量は２±１％とした。

＊１　東京エスオーシー株式会社　　＊２　佐倉エスオーシー株式会社

表－１　水結合材比ごとのＳＦ混入率

水結合材比（%）	ＳＦ混入率（%）
２４，２８	０，５，７，１０
２０	０，５，７，１０，１５

表－２　使用材料

材　　料	銘　柄　及　び　産　地
セ メ ン ト	低熱ポルトランドセメント（密度：３．２４g/cm^3）
混　和　材	シリカフューム（密度：２．２６g/cm^3）
細　骨　材	富津産山砂（表乾密度：２．５８g/cm^3）
	鳥形山砕砂（表乾密度：２．６６g/cm^3）
粗　骨　材	岩瀬産砕石2005（表乾密度：２．６５g/cm^3）
混　和　剤	ポリカルボン酸系高性能ＡＥ減水剤

表－３　コンクリートの配合

配合No.	W/B (%)	SF混入率 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)						混和剤 (B×%)
				セメント	SF	水	山砂	砕砂	砕石	
1	20	0	49.4	700	0	140	477	328	837	0.98
2		5	49.0	665	35	140	471	323	837	1.00
3		7	48.8	651	49	140	466	320	837	1.07
4		10	48.6	630	70	140	463	318	837	1.35
5		15	48.2	595	105	140	455	313	837	1.45
6	24	0	52.1	584	0	140	533	366	837	1.10
7		5	51.8	555	29	140	526	362	837	1.10
8		7	51.7	543	41	140	523	360	837	1.15
9		10	51.5	526	58	140	520	358	837	1.20
10	28	0	50.9	572	0	160	506	348	837	1.40
11		5	50.5	543	29	160	500	344	837	1.55
12		7	50.5	532	40	160	498	343	837	1.70
13		10	50.3	515	57	160	495	340	837	1.70

注；W/B：水結合材比＝W/(C+SF)、s/a：細骨材率

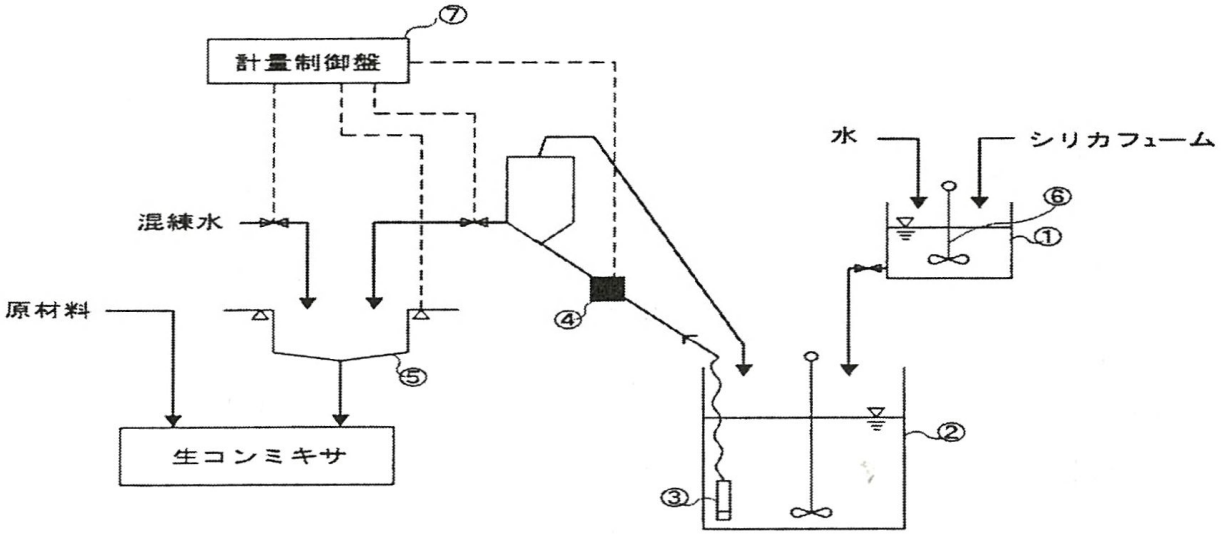
２．２　実験方法

（１）　ＳＦスラリー化システムの構築

ＳＦスラリー化システムは、ＳＦスラリーの製造、貯蔵及び濃度管理の設備を有したものである（図－１参照）。同システムの構築においては、まず始めに濃度管理を担うセンサーの評価試験を行った。このセンサーは、γ線式密度計であり、測定対象となる物質に放射線を照射させ、線源から検出部に至るまでの放射線の減衰によって物質の密度を測定するものである。今回はこの密度計を配管の途中に設置し、管内を流れるスラリーに放射線を照射させた場合の減衰比とスラリー濃度の関係を求めることによって、濃度計としての適用性を評価した。

次に貯蔵タンクから圧送されるスラリー濃度の均一性を確認するため、配管途中よりスラリーを採取し、ＪＩＳ　Ａ　６２０７（コンクリート用シリカフューム）附属書１（規定）のシリカフュームスラリーの固形分の定量方法に順じて各試料の濃度を測定した。

最終的にはシステムを稼動し、ＳＦ混入コンクリートを製造し、それに要する時間やコンクリートの性状から安定的製造の可否を判断した。



① シリカフュームスラリー 製造撹拌槽
② シリカフュームスラリー 調整貯溜槽
③ 水中ポンプ
④ スラリー濃度センサー（γ線密度計）
⑤ 水、シリカフュームスラリー計量槽
⑥ 撹拌機（インバーター付）
⑦ 生コンクリート製造計量制御盤

図－１　ＳＦスラリー化システム

（２） コンクリートのフレッシュ性状及び圧縮強度の確認

コンクリートは図－１に示すスラリー化システムを設置した実機ミキサ（強制二軸型、容量：６ｍ^3、練混ぜ量：３ｍ^3）で製造し、アジテータ車に積込み後、排出される５０～１００^{リットル}のコンクリートを除いた部分を試料として用いた。試験項目を表－４に示す。

表－４　コンクリートの試験項目

種　　別	項　　目
フレッシュ コンクリート	・スランプフロー　・Ｌ型フロー ・空気量　・コンクリート温度
硬化コンクリート	・圧縮強度（材齢　３，７，２８，５６，９１日）

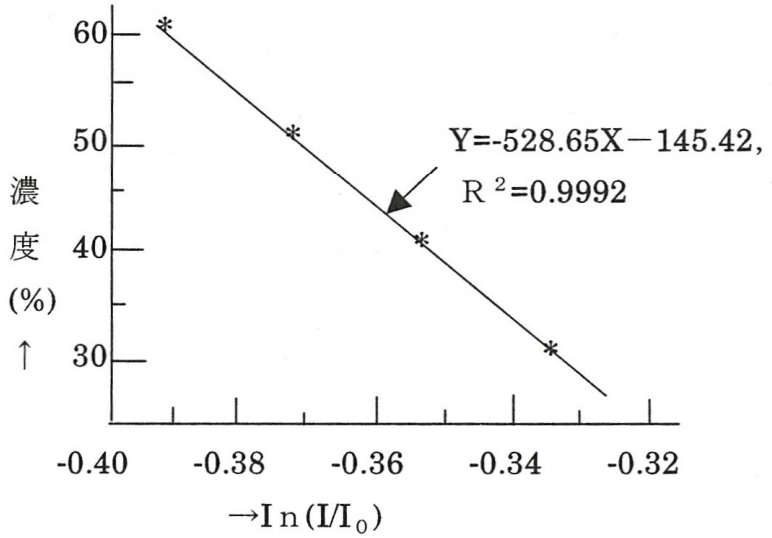
２．３　実験結果

（１） ＳＦスラリー化システムの構築

ＳＦスラリー濃度とγ線密度計の減衰比（線源放射I_0、検出部放射Ｉとした場合のＩｎ（Ｉ/Ｉ$_0$））の関係を図－２に示す。図－２より、両者には良好な相関関係があり、濃度センサーとしての適用が可能であると判断した。

次に貯蔵タンクから圧送されるスラリー濃度の均一性を確認した。その結果を表－５に示す。表－５より、スラリー濃度の変動は小さく、ＪＩＳＡ６２０７の固形分規格値内（±４％以内）を満足していることがわかる。

これにより、表－３に示す配合の練混ぜを実機ミキサにより行った。練混ぜに要した時間（ミキサへの材料投入完了～コンクリートの練混ぜ完了）は、W／Bにより若干異なるものの１２０～２４０秒であり、システムの各機能は製造に関して問題がないことが確認できた。



図－２　γ線密度計とＳＦスラリー濃度との関係

表－５　ＪＩＳ法によるＳＦスラリー濃度

回数	濃　度 (%)	平　均	標準偏差 (%)
1	４９．１	４９．７	０．６６
2	５０．４		
3	４８．７		
4	５０．３		
5	４９．８		

（２）コンクリートのフレッシュ性状及び圧縮強度

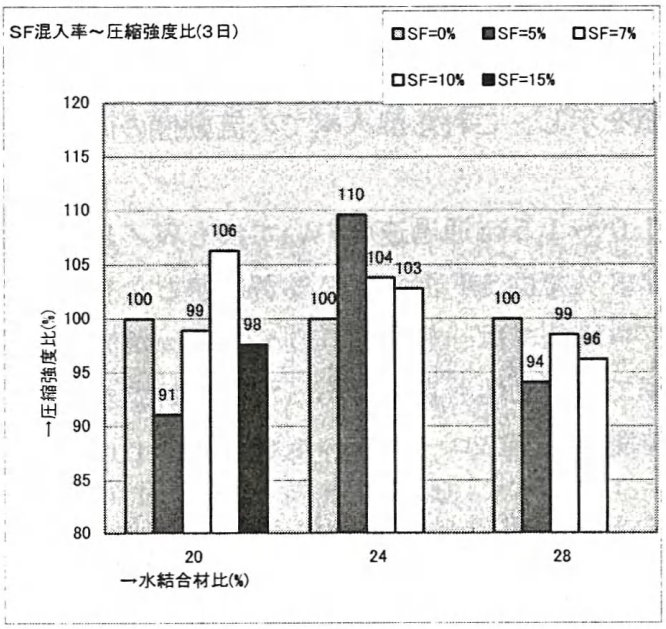
コンクリートのフレッシュ性状を表－６に、圧縮強度を図－３に示す。

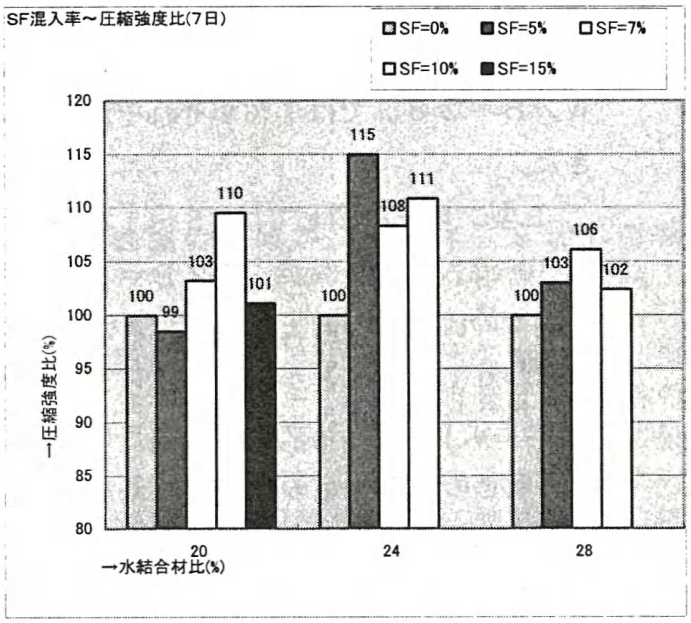
表－６　コンクリートのフレッシュ性状

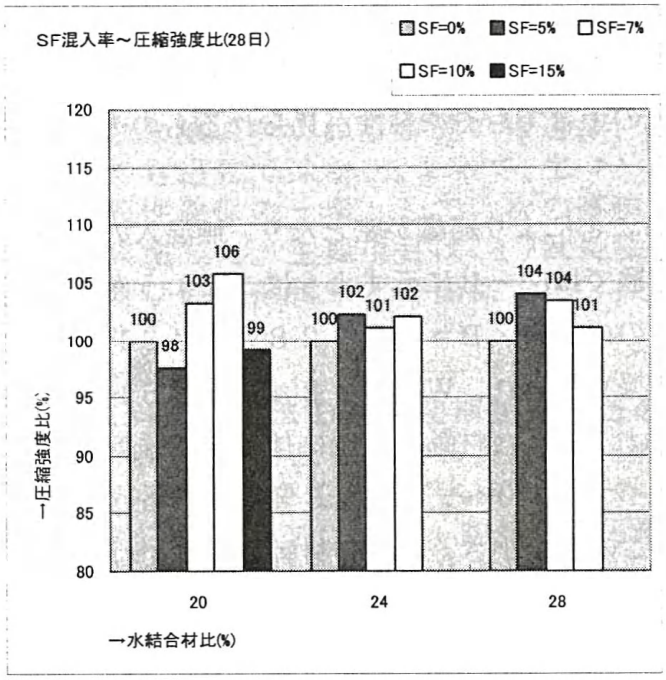
配合No.	W/B (%)	SF混入率 (%)	ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ		L型ﾌﾛｰ				空気量 (%)	ｺﾝ温度 (℃)	練時間 (sec)	評価
			最終 (cm)	50 cm (sec)	5~10 (cm/sec)	10~15 (cm/sec)	ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	ﾌﾛｰ (cm)				
1	20	0	61.0	20.60	4.7	4.6	33.5	73.5	1.4	15	240	×
2		5	66.0	18.27	4.3	4.4	34.0	74.5	1.2	15	240	×
3		7	68.0	17.84	4.2	4.3	32.5	64.5	1.2	14	210	△
4		10	70.0	11.00	5.4	5.3	35.0	75.0	1.1	15	210	◎
5		15	63.5	14.46	4.6	4.5	34.5	73.0	1.2	14	210	○
6	24	0	59.3	14.67	4.3	2.9	35.0	54.0	1.4	17	150	×
7		5	66.3	11.68	5.1	4.9	33.0	66.5	1.4	16	150	◎
8		7	68.8	12.93	5.8	6.1	32.0	69.0	1.8	16	150	◎
9		10	62.0	13.90	4.6	4.5	33.5	68.0	1.5	16	150	○
10	28	0	53.8	8.05	7.3	7.9	34.0	74.0	1.5	16	120	○
11		5	56.0	7.14	12.4	11.7	32.0	59.5	1.6	15	120	◎
12		7	56.0	6.12	16.2	14.9	32.5	62.0	1.4	15	120	◎
13		10	56.8	7.40	15.8	13.7	33.0	68.0	1.9	15	120	◎

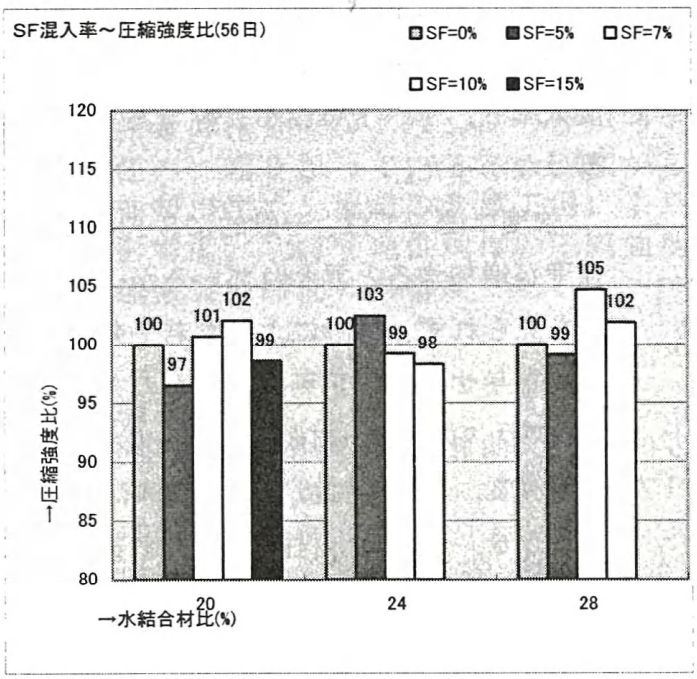
注：評価は、試料の状態（目視を含む）及びスコップ等での取扱いの難易を元に判定した。

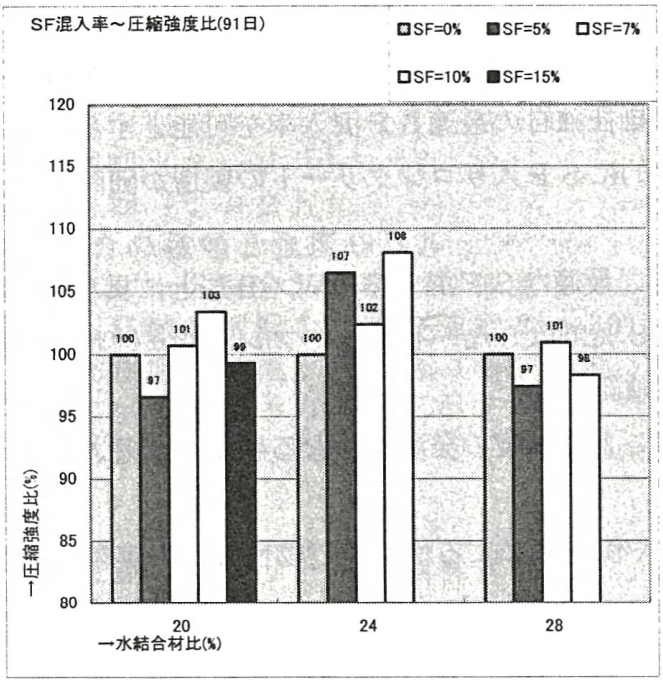
（◎：優良、○：良、△：可、×：不可）











図－３　ＳＦ混入率と圧縮強度比

スランプフローに関しては、５０㎝通過時間の小さい値のものが流動性が良好であることから、表－６に示すとおり、ＳＦ混入率はW／Ｂ＝２０％では１０％、W／Ｂ＝２４％では５％、W／Ｂ＝２８％では７％がそれぞれ小さい値を示し、これら混入率での流動性の向上が確認できた。

Ｌ型フローに関しては、５～１０㎝及び１０～１５㎝通過速度のいずれもW／Ｂ＝２０％ではＳＦ混入率１０％が、W／Ｂ＝２４％，２８％ではＳＦ混入率７％が最速となり、これら混入率での流動性の向上が確認できた。またフロー値では一般的に６０～７５㎝が流動性が良好と言われていることから、これらＳＦ混入率での流動性も良好であったと判断できる。

以上より、スランプフローの５０㎝通過時間とＬ型フローの５～１０㎝及び１０～１５㎝通過速度との間に一定の傾向が伺えた。

評価に関しては、フレッシュコンクリートの取扱いの難易から判断すると、W／Ｂ＝２０％ではＳＦ混入率１０％が良好であり、１５％でも特に向上は見られず、７％以下では粘性が著しく増し、５％以下では練混ぜに要する時間も長くなり、取扱いが困難な上、練返しにも労力を要した。W／Ｂ＝２４％ではＳＦ混入率５，７％が良好であった。W／Ｂ＝２８％ではＳＦ混入率５，７，１０％が良好であり、無混入の場合でもやや粘性が見られるものの取扱いに影響はなかった。

強度に関しては、一般的にＳＦを混入することにより組織が密となり、無混入のものに比べ強度が増加すると言われているが、今回の実験では図－３に示すようにこのような傾向が必ずしも見られず、材齢によって若干差があるものの、W／Ｂ＝２０，２８％ではＳＦが強度の増加に寄与せず、ＳＦ無混入のものを下回る結果も見られ、W／Ｂ＝２４％ではＳＦ無混入に対し、プラスの傾向（材齢５６日を除き）が見られた。また材齢の経過に伴う圧縮強度の発現は、初期（３，７日）にはＳＦ無混入に対し、マイナス１０～プラス１５％程度あったものが、２８，５６，９１日と材齢が経過するに従い、この差が小さくなり、材齢９１日ではマイナス４～プラス８％となった。

３．まとめ

ＳＦスラリー化システムを構築した結果、システム内でのＳＦスラリー濃度の変動は小さく、均一であることが確認できた。これにより、自社独自の最適ＳＦ混入率を可能とするＳＦスラリー化システムを完成することができ、安定的にＳＦ入りコンクリートの製造が随時可能となった。

コンクリートのフレッシュ性状の結果より、最適なＳＦ混入率はW／Ｂごとに異なり、W／Ｂ＝２０％では１０％が、W／Ｂ＝２４，２８％では５ないし７％でフレッシュ性状に改善が見られ、最適なＳＦ混入率を選択する目安が確認できた。

一方、コンクリートの圧縮強度は、W／Ｂごとに強度の発現が異なる結果となり、最適なＳＦ混入率を確認することができなかった。

今後の課題として、高強度用混和剤の種別や使用量による性状及び物性確認の実験を精力的に進める所存である。