

「超高強度コンクリートの実用化」について

金塚美喜男*1 伊藤 司*1 ○中村 明*1 香取 恒雄*2

1. はじめに

平成12年6月1日から施行された建築基準法で定められた告示1446号により、建築物にJISA 5308 (レディミクストコンクリート) に規定されていないコンクリートを使用する場合は、指定性能評価機関において材料性能評価を受け、国土交通大臣の認定を取得することが義務付けられた。

性能評価においては、調合決定のための強度算定式の妥当性、品質管理方法と製造安定性および構造体強度を保証する強度補正值などが審議されるため、数多くの実機試験データによる実構造物を模擬した試験体から採取したコア強度と管理用供試体の強度発現との比較検討などのデータが必要とされる。

本報告は、調合によりシリカフェームの混入率を任意に変更させることが可能なシリカフェームスラリー化システムを独自に考案し、超高強度コンクリートの製造に当って、スラリー状にしたシリカフェームを混和材として用い、設計基準強度150N/mm²の大臣認定を取得し、実用化した事例を紹介するものである。

2. シリカフェームスラリー化システムの構築

超高強度コンクリートの製造にシリカフェームを使用した事例が増えているが、定量のシリカフェームがブレミックスされたシリカフェームセメントを用いるケースが一般的であり、コンクリート生産者がシリカフェームの混入率を使用時にコントロールすることが難しい状態となっている。本来、コンクリートにシリカフェームを使用する目的は、材料分離に対する抵抗性、強度発現性、水密性、耐久性等の改善にあり、目的に応じてシリカフェームの混入率を任意にコントロールすることが重要となる。

そこで今回、自らシリカフェームを購入し、常設のセメントを用い、超高強度コンクリートを製造するにあたり、調合ごとにシリカフェームの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・濃度管理・計量)を考案し、数多くの実験を行い、シリカフェームの混入率に自由度を持ったシステムを構築した。

(1) 実験

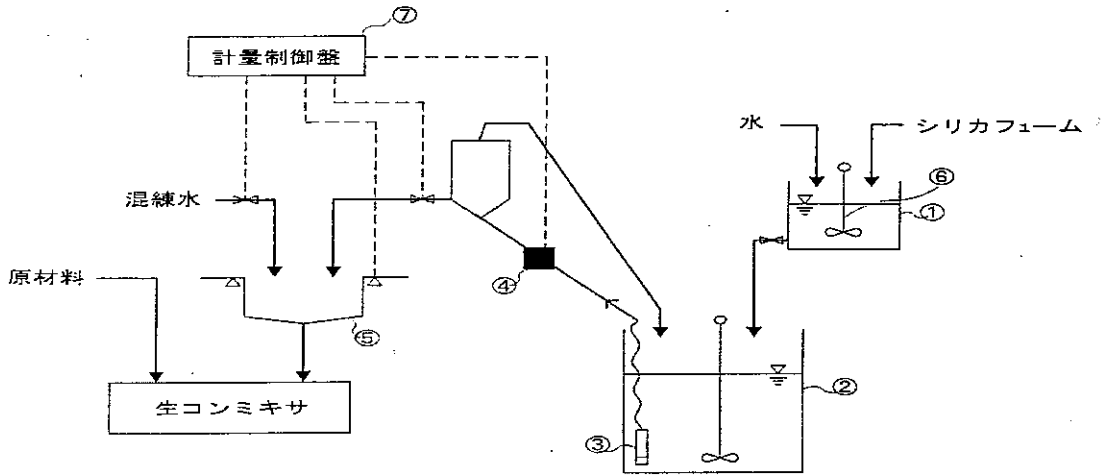
シリカフェームスラリー化システムは、シリカフェームスラリーの製造、貯蔵および濃度管理の設備を有したものである(図-1参照)。同システムの構築においては、まず始めに濃度管理を担うセンサーの評価試験を行った。このセンサーは、γ線式密度計であり、測定対象となる物質に放射線を照射させ、線源から検出部に至るまでの放射線の減衰によって物質の密度を測定するものである。今回はこの密度計を配管の途中に設置し、管内を流れるスラリーに放射線を照射させた場合の減衰比とスラリー濃度の関係を求めることによって、濃度計としての適用性を評価した。

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、JISA 6207 (コンクリート用シリカフェーム) 附属書1 (規定) のシリカフェームスラリーの固形分の定量方法に準じて、各試料の濃度を測定した。

最終的にはシステムを稼働し、シリカフェーム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 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



- ① シリカフェームスラリー 製造攪拌槽
- ② シリカフェームスラリー 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、シリカフェームスラリー計量槽
- ⑥ 攪拌機（インバーター付）
- ⑦ 生コンクリート製造計量制御盤

図-1 シリカフェームスラリー化システム

(2)結果

シリカフェームスラリー濃度と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 $\ln(I/I_0)$ ）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-1に示す。表-1より、スラリー濃度の変動は小さく、JIS A 6207 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-2に示す調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、水結合材比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。

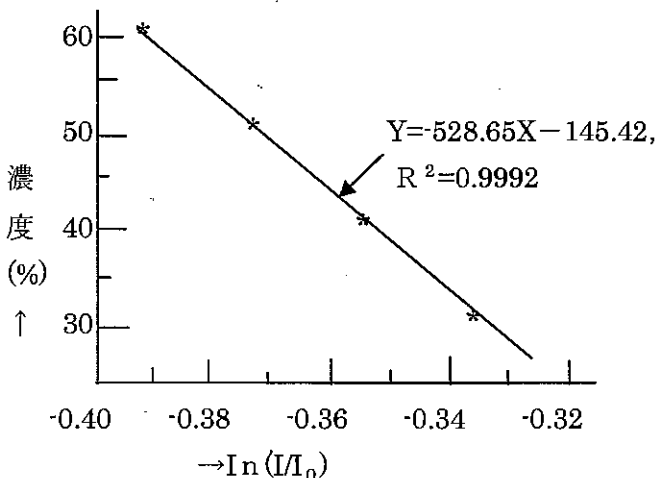


図-2 γ線密度計とシリカフェームスラリー濃度との関係

表-1 JIS法によるシリカフェームスラリー濃度

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		

表－2 コンクリートの調合

水結合材比(%)	シリカフェーム混入率 (%)
20	0, 5, 7, 10, 15
24、28	0, 5, 7, 10

3. 製造管理

(1)使用材料の管理

コンクリートに使用している材料はすべてが JIS 製品であり、容易に入手可能である。材料受入基準値は、過去 1 年間の試験成績書を基に定めた。その一例として、低熱ポルトランドセメントの JIS 規格値と受入基準値を表－3 に示す。

表－3 低熱ポルトランドセメントの品質管理値

品質項目	セメントの品質		測定方法	
	JIS規格値	受入基準値		
密度(g/cm ³)	—	3.24±0.02	JIS R 5201	
比表面積(cm ² /g)	2500以上	3000以上		
凝結	始発(min)	60以上		60以上
	終結(h)	10以下		10以下
安定性(パット法)	良	良		
圧縮強さ(N/mm ²)	7d	7.5以上		9.5以上
	28d	22.5以上	35.0以上	
	91d	42.5以上	60.0以上	
水和熱(j/g)	7d	250以下	250以下	JIS R 5203
	28d	290以下	290以下	
酸化マグネシウム(%)	5.0以下	5.0以下	JIS R 5202	
三酸化硫黄(%)	3.5以下	3.5以下		
強熱減量(%)	3.0以下	3.0以下		
全アルカリ(%)	0.75以下	0.75以下		
塩化物イオン(%)	0.02以下	0.01以下		
けい酸二カルシウム(%)	40以上	56±3		
アルミン酸三カルシウム(%)	6以下	6以下		

(2)粗骨材の選定

粗骨材を選定するに当たって、高強度域で影響が顕著になると言われている品質に着目し、物性値および水結合材比 14%での圧縮強度を確認した。

圧縮強度においては、粗骨材本来の強度を確認することを目的とし、標準養生とは別に 80℃温水による促進養生での結果も確認し、併せて検討した。圧縮強度確認に用いた標準養生は、鋼製型枠を用いて成型 24 時間後に脱型して以後 20℃の水中養生、また、促進養生は簡易型枠を用いて成型 24 時間後から型枠のまま 80℃の温水養生で所定材齢まで養生を行った。粗骨材の物性値を表－4 に、粒度分布を図－3 に、圧縮強度の結果を図－4 に示す。

これらより粗骨材間には顕著な差が見られず、また、促進養生では材齢 28 日でいずれも 170N/mm²を超える圧縮強度が得られたことから、使用実績のある茨城県岩瀬産を選定した。

表-4 骨材の物性

試験項目		試験方法	規格値	岩瀬	八王子	甲州
				硬質砂岩	硬質砂岩	安山岩
密度(g/cm ³)	絶乾	JIS A 1110	25以上	2.65	2.66	2.56
	表乾	JIS A 1110	2.65±0.02	2.66	2.69	2.62
吸水率(%)		JIS A 1110	20以下	0.45	0.504	2.26
粘土塊量(%)		JIS A 1137	—	0.1	0.03	0
微粒分量試験によって失われる量(%)		JIS A 1103	1.0以下	0.1	0.27	0.18
軟らかい石片(%)		JIS A 1126	5.0以下	1.3	3	1
安定性(%)		JIS A 1122	12以下	2.5	1.4	2.5
すりへり減量(%)		JIS A 1121	35以下	11.3	12.6	13.3
実積率(%)		—	—	—	—	—
粒研砕実積率(%)		JIS A 5005	57以上	60.8	60	60.2
アルカリシリカ反応性の区分	化学法	JIS A 1145	無害	—	無害	無害
	モルタルバー法による6か月後の膨張率(%)	JIS A 1146	0.100未満	0.035	—	—
粒度、粗粒率(下表による)		JIS A 1102	6.60±0.20	6.55	6.63	6.71

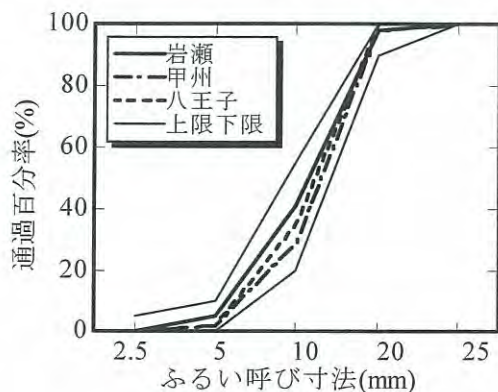


図-3 粒度分布

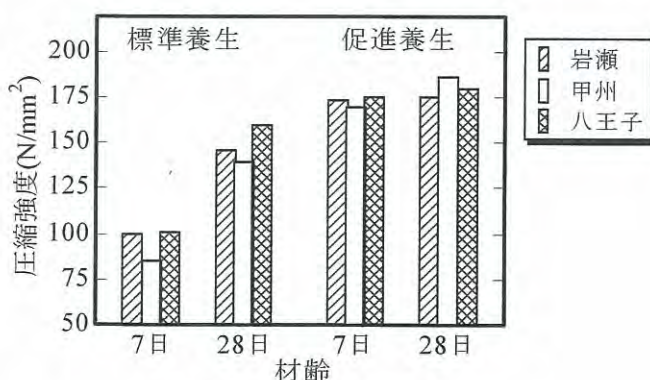


図-4 圧縮強度の結果

(3) シリカフェームスラリーの改良

シリカフェームの溶解液として、細骨材の表面水管理に柔軟性を持たせ、高性能 AE 減水剤との相性改善を目的とし、分散剤を新たに開発した。

(4) コンクリート温度の影響

夏期に製造を行う場合、天候条件によってコンクリートの練り上がり温度や荷卸し時の温度が、一般的に管理値として採用されている 35℃を超えることが予想される。そこで、材料温度と室温を高温に保った条件下でコンクリートの練混ぜを行い、フレッシュ性状や強度発現の確認を行った。これらの結果を表-5 および図-5 に示す。これによると、温度上昇に伴い高性能 AE 減水剤の使用量は増加するものの良好なフレッシュ性状が得られ、管理材齢での圧縮強度は 20℃で練り上がり後標準養生を行ったものと同様の結果が得られた。以上より、荷卸し時のコンクリート温度の上限を 40℃とした。

表-5 高温練り上がり時のフレッシュ性状

調合	SP添加量	フロー時間(sec)		スランプフロー (cm)	空気量 (%)	C.T (°C)	室温 (°C)
		50cm	停止				
LSF20	1.70	8.3	89.6	73.5	1.4	37.0	38.0
LSF14	2.60	16.5	123	71.0	1.7	37.0	38.0
LSF20Ex	1.85	6.7	90.5	77.5	1.0	37.0	38.0
LSF16Ex	2.10	12.5	134	75.3	1.5	37.0	38.0
LSF14Ex	2.90	17.1	148	72.0	1.7	37.0	38.0
LSF12Ex	3.60	28.2	127	62.5	2.0	37.0	38.0

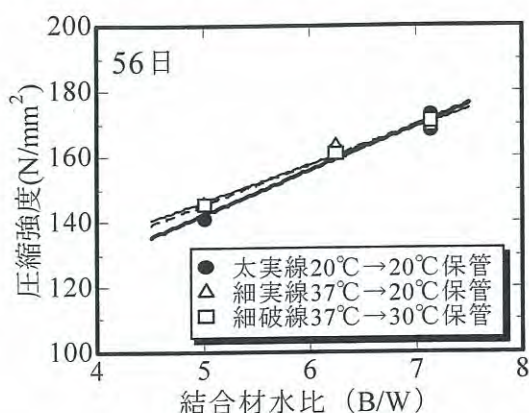


図-5 練り上がり温度と圧縮強度

(5) 運搬時間

夏期におけるフレッシュ性状の経時変化の一例を図-6に示す。これによると、スランプフローは時間とともに小さくなる傾向が見られるものの、150分（練混ぜ時の加水後）でも許容範囲内にあり、また、空気量も同様に許容範囲内にあることが確認できた。以上より、荷卸しまでの運搬時間の限度を150分とした。

4. 実用例

(1) 表面水率の測定

細骨材の表面水率測定は、貯蔵ビンより計量器への落下時にサンプリングを行い、この結果と自動表面水測定装置による測定値との差が0.5%以内であれば、自動表面水測定装置による測定値を設定値とした。

粗骨材の表面水率測定は、細骨材同様、貯蔵ビンより計量器への落下時にサンプリングを行い、JIS A 1803（粗骨材の表面水率試験方法）により測定し、測定値を設定値とした。

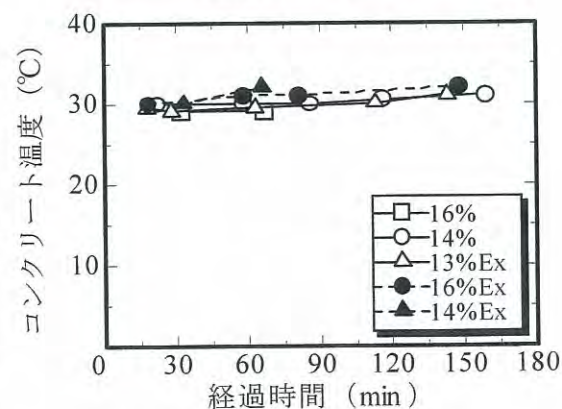
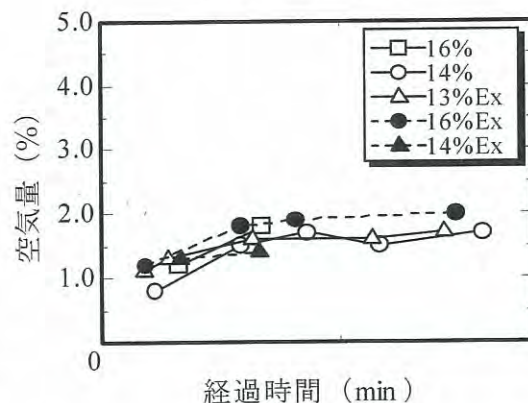
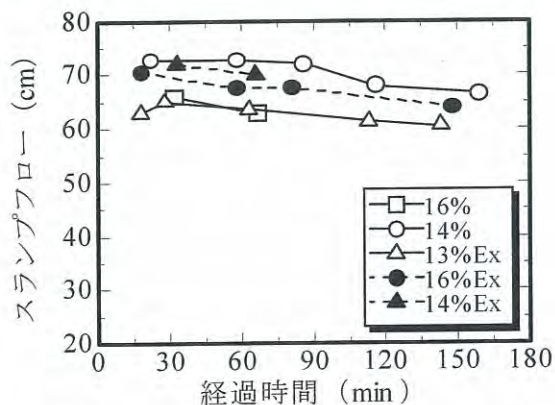


図-6 フレッシュ性状の経時変化

(2) シリカフェームスラリー濃度の測定

シリカフェームの濃度管理は、計量器近傍に取付けたガンマ線による透過型非接触式密度計を用い、シリカフェームスラリーの濃度を 60% で管理した。

(3) 製造安定性の確認

コンクリートの目視による性状判断が困難なため、スランプリュー計による負荷電力値を目安とし、ミキサに積込んだ全てのコンクリートのスランプリューを測定した。スランプリューの測定は、 2m^3 をミキサに積込んだ後、爆裂防止材を投入し、更に 2m^3 を積込んだ 4m^3 より試料を採取し、測定した結果であり、ミキサ負荷電力値は 2 バッチの平均値とした。ミキサ負荷電力とスランプリューの関係（管理強度 115、スランプリュー 65 cm、測定回数 49 回）は、7 割強の相関があり、ミキサ負荷電力は練り上がり後のスランプリューを評価する際の指標として有効であった。ミキサ負荷電力とスランプリューの関係を図-7 に示す。

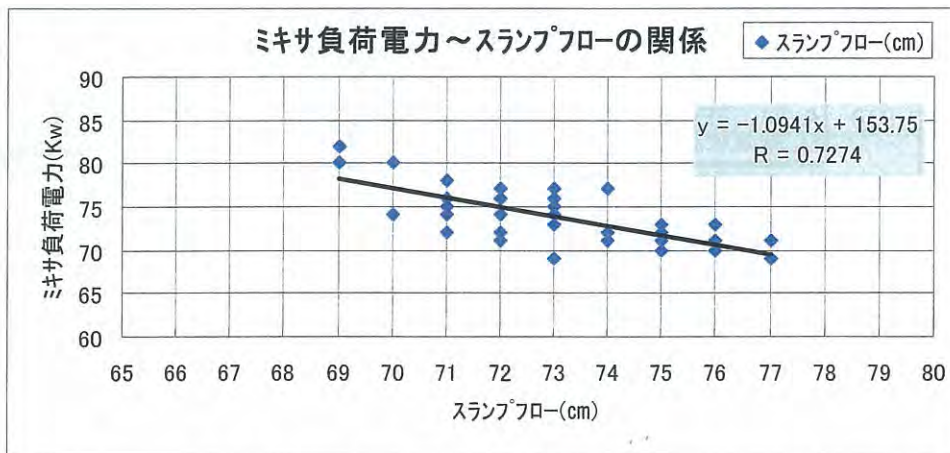


図-7 ミキサ負荷電力とスランプリューの関係

5. まとめ

今年の7月の月上旬から9月上旬までの2ヶ月間に、

管理強度 115（設計基準強度 $100\text{N}/\text{mm}^2$ ）： 282.0m^3 、134 バッチ

管理強度 135（設計基準強度 $120\text{N}/\text{mm}^2$ ）： 77.0m^3 、32 バッチ

を製造し、出荷した。

コンクリートの製造管理手法自体は、従来より行っている手法を一新したものではないが、製造に携わる一人一人が緊張感を持って、取組んだことにより、所期に目標としたコンクリートが製造できたものと判断している。

シリカフェームスラリー化システムの考案・構築から丸6年を要し、実構造体への納入となったが、コンクリート強度の高強度化への更なる対応が望まれる中、普及への足掛かりを得たものとする。

尚、紹介したシリカフェームスラリー化システムは、東京エスオー(株)芝浦工場および佐倉エスオー(株)佐倉工場に設置しており、随時、製造要求に対応できる体制にある。

以上