

報告

[1049] 実構造物を対象とした締固め不要な高流動コンクリートの打設実験

正会員 ○ 佐原 晴也 (日本国土開発技術研究所)

正会員 竹下 治之 (日本国土開発技術研究所)

正会員 横田 季彦 (日本国土開発技術研究所)

1. はじめに

本研究は、バイブレータによる締固めをしなくても型枠の隅々まで行き渡り、しかも材料分離も少ない高流動コンクリート（通称：スーパーフローコンクリート、以下SFコンクリートと称す）の開発を目的としたものである。このような特性を有するSFコンクリートは、通常のコンクリートに増粘剤と高性能減水剤を添加して製造する。既報¹⁾では、SFコンクリートの基礎的研究として、両混和剤の配合比とコンシスティンシーとの関係、およびコンシスティンシーや振動締固めの有無が供試体の外観や品質に及ぼす影響について実験的に検討した。

本報では、このSFコンクリートをRC構造物へ適用した実験結果について報告する。実験の対象としたRC構造物は一般の建築物、およびコンクリート2次製品のボックスカルバートである。以下に、これらの実験の概要および実験結果について述べる。

2. SFコンクリートの建築物への適用例

2.1 実験対象建築物

実験の対象とした建築物は、図-1に示す、当社の新技術研究所の管理・研究棟のペントハウス部分である。型枠には合板型枠を使用した。

2.2 実験方法

2.2.1 ベースコンクリートの配合および使用材料

ベースコンクリートは、呼び強度225 kgf/cm²のレディーミキストコンクリートとした。表-1に配合を示す。細骨材は川砂と山砂の混合砂を、粗骨材は碎石を使用した。また、SFコンクリート用の増粘剤および高性能減水剤は、それぞれセルロー

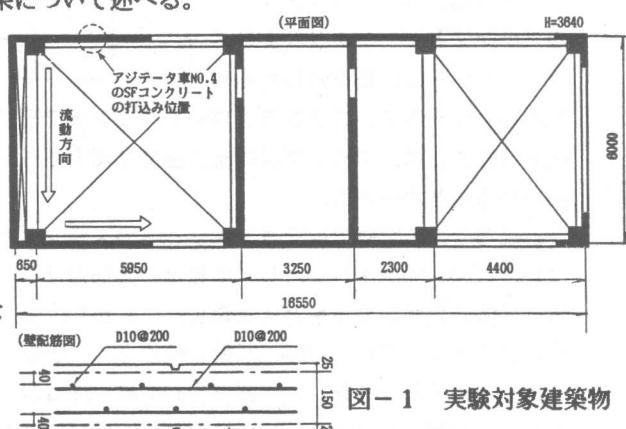


図-1 実験対象建築物

表-1 ベースコンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	目標スランプ (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤
20	12	60.0	51.3	165	275	944	911	0.688

S系の水溶性高分子化合物、およびトリアジン系化合物を使用した。

2.2.2 SFコンクリートの製造方法

SFコンクリートは、粉末状の増粘剤を高速攪拌機を用いて高性能減水剤に十分に溶解し、これをアジテータ車内のベースコンクリート (5m³) に投入し、120秒間混練する方法で製造した。

2.2.3 打込み方法

SFコンクリートの打込みは、バイブルータによる締固めを全く行わずに打込む方法と、径40mmの高周波バイブルータを補助的に用いて打込む方法の2ケースについて検討した。

2.2.4 試験項目

(1) フレッシュコンクリートの試験

フレッシュコンクリートの試験としては、スランプまたはスランプフロー、および空気量を測定した。また、SFコンクリートについては、スランプフローと空気量のアジデータ車内でのばらつきを2ケース（アジデータ車No.1、No.5）測定した。

(2) 硬化コンクリートの試験

硬化コンクリートの試験は、アジデータ車No.1、No.5のベースコンクリートおよびSFコンクリートについて行った。試験内容は、圧縮強度とヤング係数である。なお、円柱供試体の作成方法は、径23mmの小型棒状バイブルータを用いて締固めを行う方法、および流し込んだのみで締固めを行わない方法の2ケースとした。

2.3 実験結果および考察

表-2 フレッシュコンクリートのコンステンシー試験結果

2.3.1 コンステンシー試験結果

表-2に、フレッシュコンクリートのコンステンシー試験結果を示す。

(1) スランプフロー

図-2は、ベースコンクリートのスランプとSFコンクリートのスランプフローの関係を示したもの

アジデータ車 No	増粘剤の 添加量 (kg/m ³)	高性能減水 剤の添加量 (cc/C=100kg)	ベースコンクリート			SFコンクリート		
			スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)
1	0.5	3000	12.5	4.9	19.0	68.0×65.0	3.0	19.0
2	"	"	13.5	4.5	19.0	69.5×65.5	3.7	20.0
3	"	"	11.5	5.2	19.5	66.5×62.0	4.3	18.5
4	"	"	8.5	4.3	19.0	59.5×56	3.8	18.5
5	0.7	4000	11.5	4.7	19.0	49.0×46	4.2	19.0

* C : セメント

である。同図から、スランプフローを約±2cmで管理するためには、スランプは約±1cmで管理する必要があることが分かる。

ところで、本実験ではSFコンクリートのスランプフローは55~60cmを目標とし、混和剤の添加量は既報¹⁾の室内実験結果をもとに決定した。しかし、実際にはスランプフローが65cm前後の例が多く、かなり異なる結果となつた。この原因としては、SFコンクリートの製造量の違い、練り混ぜ機械（実験室のミキサとアジデータ車）の違い、混和剤の絶対量の違いなどが考えられる。したがつて、今後SFコンクリートの実用化に向けては、小型ミキサとアジデータ車の比較をした試験データの集積が必要と考える。

(2) 空気量

増粘剤に適量の消泡剤を添加して調整した結果、SFコンクリートの空気量は3.0~4.2%となり、所定の範囲内におさめることができた。しかし、SFコンクリートの気泡径や気泡間隔係数などの空気の“質”については十分には解明されておらず、研究課題の1つである。

2.3.2 SFコンクリートのスランプフローおよび空気量のアジデータ車内でのばらつき

図-3および図-4に、SFコンクリートのスランプフローおよび空気量のアジデータ車内でのばらつきの測定結果を示す。なお、図の横軸のコンクリート流の各部分の時間間隔は約6分間である。図-3から、スランプフローはコンクリート流の各部分で変動していることが分かる。

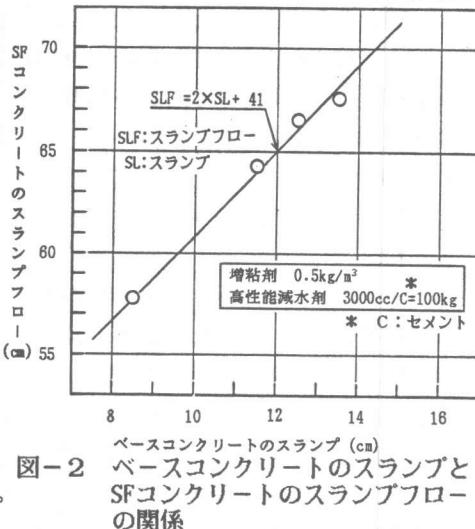


図-2 ベースコンクリートのスランプとSFコンクリートのスランプフローの関係

これは、試料採取時期が異なることによる経時変化も考えられるが、時間間隔がそれほど大きくなないこと、傾向が一定でないことから、混和剤の投入方法や練り混ぜ方法などについて検討する余地があるものと考えられる。

一方、図-4に示されるように、空気量はコンクリート流のはじめの部分の値に対して中央部、終わりの部分では1%ほど減少している。これは、増粘剤に混入された消泡剤の効果によるものと考えられる。

2.3.3 SFコンクリートの打込み時の流動状態の観察結果

SFコンクリートの型枠内での流動状態を観察した結果、図-1に示すように、アジテータ車No.4のSFコンクリート（スランプフロー約58cm）は、材料分離を起こすことなく10m弱の距離をスムーズに流動していくのが認められた（流動勾配約15°）。しかし、スランプフローが65cmを超える場合には、流動はするものの軟らかすぎの感があり、また、スランプフローが50cm程度のアジテータ車No.5の場合には、粘性が高すぎて流動状態の悪いのが観察された。

2.3.4 硬化コンクリートの試験結果

(1) ベースコンクリートとSFコンクリートの比較

表-3に硬化コンクリートの試験結果を示す。同表から、SFコンクリートの圧縮強度は、ベースコンクリートのそれに比べて20~25%ほど低下していることが分かる。これは、SFコンクリートの製造に際して、後添加する高性能減水剤を単位水量（5%程度に担当）として考慮しなかったことに起因していると考えられる。したがってベースコンクリートと同等の強度を得るために、後添加する高性能減水剤の添加量をあらかじめ差し引いた水量で、ベースコンクリートを製造する必要がある。

(2) 締固めの有無と圧縮強度の関係

表-3から、SFコンクリートの締固めを行わない供試体強度は、締固めを行つた供試体と同等もしくは若干小さいことが分かる。このような現象は、その後行つた実験結果でも同様であり、供試体レベルの強度比較においては、SFコンクリートは締固めを行わなくてもそれほど問題はないと言える。

2.3.5 型枠脱型後の観察結果

アジテータ車No.4のSFコンクリートは、型枠の隅々まで充填されており、また、

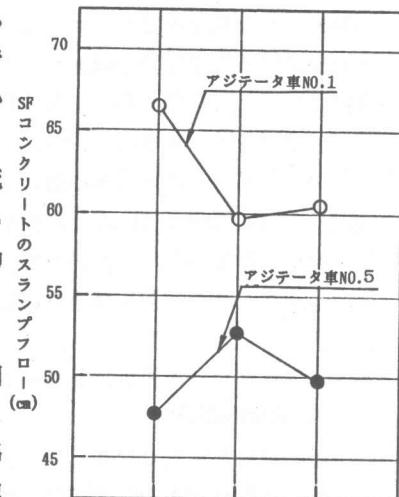


図-3 SFコンクリートのスランプフローのアジテータ車内でのばらつき
アジテータ車から排出されるコンクリート流の位置

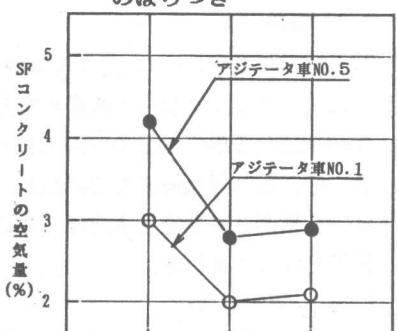


図-4 SFコンクリートの空気量の
アジテータ車内でのばらつき
アジテータ車から排出されるコンクリート流の位置

表-3 硬化コンクリートの試験結果

（供試体数各3本）

アジテータ車 No.	増粘剤の 添加量 (kg/m ³)	振動機 による 締固め	圧縮強度 (kgf/cm ²)		ヤング係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)	
			材令7日	材令28日	材令7日	材令28日
1	0 (ベース コンクリート)	有	174	240	2.01	2.34
		無	168	246	1.88	2.26
	0.5	有	148	199	1.97	2.36
		無	144	195	1.79	2.23
5	0 (ベース コンクリート)	有	157	221	2.11	2.39
		無	148	211	1.85	2.28
	0.7	有	108	182	1.84	2.01
		無	107	151	1.59	1.89

表面もかなり艶やかであった。これに対して、アジテータ車No.1やNo.5のSFコンクリートは、色違いや充填不良な部分も幾分みられた。以上より、SFコンクリートをバイブレータによる締固めを行わないで打込み、かつ、欠陥が生じない構造物とするためには、SFコンクリートのスランプフローをアジテータ車No.4程度、すなわち、55~60cmの範囲にするのが良いと考えられる。

SFコンクリートの打込みに際して若干の振動締固めを行うことによって、硬化後の表面状態は、比較のために同時に打込んだ流動化コンクリートを入念に締固た場合と同等以上の密実さ、艶やかさが得られていた。したがって、打込み時にまき込んだ空気泡を除くという程度の振動を与えるながらSFコンクリートを打込むことも有効と考えられる。

3. SFコンクリートのコンクリート2次製品への適用例

3.1 実験対象構造物

実験の対象としたコンクリート2次製品はボックスカルバート（内空寸法1000×1000、長さ2000、壁厚130、単位:mm）である。ただし実験時の配筋は、コア供試体を採取する都合から図-5に示すように片側のみとした。型枠は鋼製型枠を使用した。

3.2 実験方法

3.2.1 コンクリートの配合および使用材料

表-4にコンクリートの配合を示すが、本実験では、混和剤は全て単位水量の一部として換算した。細骨材は山砂、粗骨材は碎石を使用した。また、増粘剤、高性能減水剤は2.2.1と同じものを使用した。

3.2.2 実験計画

ボックスカルバートの外観や充填性などの仕上がり状態に影響を及ぼす因子として、表-5に示す項目をとりあげて検討した。

3.2.3 SFコンクリートの製造方法

各試験体のコンクリートは、容量0.5m³のパン型強制練りミキサを用いて、3バッチに分けて混練した。なお、本実験では、増粘剤と高性能減水剤は通常のAE減水剤などと同様に、練り混ぜ水に混入して使用した。練り混ぜ時間は、全材料投入後90秒間とした。

3.2.4 コンクリートの打込み

コンクリートの打込みは、縦打ちとしてコンクリートポンプを用いて行い、試験体No.1の通常コンクリートは図-5のA~D面にほぼ均等に投入したが、試験体No.2~No.4のSFコンクリートは同図に示すようにコーナー部の1箇所から投入して型枠内を流动させた。試験体No.5では、図-5に示すコーナー部の下部(H=20cm)からコンクリートを圧入して打上げた。

3.2.5 試験項目

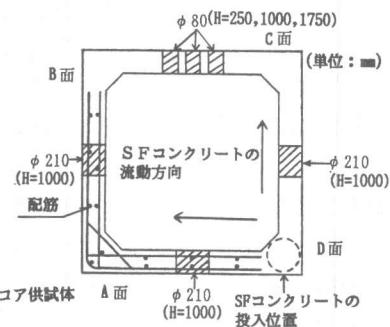


図-5 配筋およびコアの採取位置他

表-4 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	目標 スランプ (mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
				水	セメント	細骨材	粗骨材
25	12	43.9	47.0	152	346	841	967
							0.849

表-5 実験計画

試験体 No	増粘剤の 添加量 (kg/m ³)	高性能減水 剤の添加量 (cc/C \leq 100kg)	目標スランプ 又はスランプフロー (mm)	締固め の有無	打込み 方法
1	0	-	* SL 12	有 ^{注1}	落下
2	0.25	2350	* SLP 45~50	有 ^{注2}	落下
3		3125	SLP 55~60		
4	0.50	3750	SLP 55~60	無	落下
5					圧入

(注1: 打込み開始から終了まで連続して締固め)

(注2: 打込み時のみ締固め)

* C: セメント, SL: スランプ, SLP: スランプフロー

(1) フレッシュコンクリートの試験

フレッシュコンクリートの試験は、各試験体の1バッチ目のコンクリートを対象にして行い、スランプまたはスランプフロー、空気量および各々の経時変化を測定した。

(2) 型枠に作用する側圧

試験体No.1およびNo.4については、コンクリート打込み時に型枠に作用する側圧を測定した。測定はひずみケージ式圧力計を用いて行い、圧力計の設置高さはH=10,70,130cmとした。

(3) 硬化コンクリートの試験

a. 試験体の外観および内部の検査

各試験体は、脱型後の外観検査を行うとともに、図-5に示す3箇所でφ210mmのコアボーリングを行い、試験体内部のコンクリートの充填状況や材料分離の有無を観察した。

b. 強度管理用供試体およびコア供試体の圧縮強度試験

材令28日で、強度管理用供試体(φ100×200mm)、および図-5に示す位置から採取したφ80mmのコア供試体の圧縮強度を測定した。

3.3 実験結果および考察

3.3.1 フレッシュコンクリート

の試験結果

表-6に、フレッシュコンクリートのコンステンシー試験結果を示す。

SFコンクリートのスランプフローと空気量はほぼ目標とした値が得られたが、これらを得るために高性能減水剤の添加量や

表-6 フレッシュコンクリートのコンステンシー試験結果

試験体 No.	増粘剤の 添加量 (kg/m ³)	高性能減水 剤の添加量 (cc/C=100kg)	スランプまたはスランプフロー (cm)			空気量 (%)		
			直後	30分後	60分後	直後	30分後	60分後
1	0	0	*SL 12.5	7.5	6.5	5.2	4.5	4.4
2	0.25	2350	*SLF 48.0	41.0	35.0	5.9	5.7	5.1
3		3125	SLF 60.0	55.0	51.0	5.4	4.9	4.9
4	0.50	3750	SLF 59.5	60.5	52.0	5.3	4.5	3.9
5			SLF 61.5	60.5	55.0	6.0	4.8	4.3

* SL: スランプ, SLF : スランプフロー

増粘剤の種類は、事前に行った試験室での試し練りとは異なるものであった。このような傾向は2.3.1と同様であり、実機レベルの試験が必要なことを示している。

SFコンクリートのスランプフローの経時変化は、高性能減水剤の添加量が少ない場合に大きく、スランププロス低減型の高性能減水剤の利用も必要と考えられる。また、空気量の経時変化は通常のコンクリートとほぼ同等であった。

3.3.2 型枠に作用する側圧

図-6に示すように、通常コンクリート(試験体No.1)およびSFコンクリート(試験体No.4)とともに、側圧の値は各測定高さにおいてほぼ同じであった。前述の2.の実験時のSFコンクリートの流動状況や型枠の変形状況などから、SFコンクリートの側圧は通常コンクリートよりも大きいことが考えられたが、本実験の結果、両者はほぼ等しいことが分かった。

3.3.3 SFコンクリート打込み時の流動状況

締固めを行わずに打込んだSFコンクリートは、配筋を施した部分では流動勾配に段差ができるなどして、前述2.の実験時ほどスムーズには流動しなかつた。これは、対象構造物の厚さやか

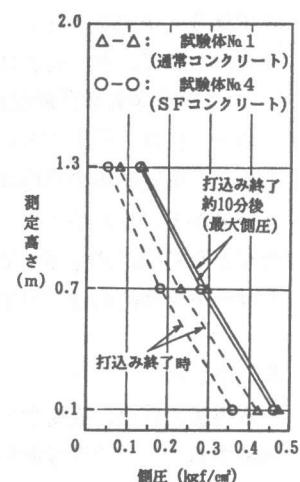


図-6 側圧の測定結果

ぶり厚さが小さい反面、粗骨材の最大寸法が2。[○]の実験の場合より大きかつたことが原因と考えられる。コンクリート2次製品の厚さを大きくすることは現実的ではないため、粗骨材の最大寸法を20mm以下とするような対応が必要と考えられる。

3.3.4 型枠脱型後の外観

型枠脱型後の外観を検査した結果、コンクリートの充填状況に関しては、いずれの試験体においても大きなジャンカなどは認められず良好であることが分かった。一方、試験体表面の状況は、SFコンクリートを打込んだ各試験体の表面に気泡跡が多く見られた。この原因としては、試験体No.2が他の試験体に比べて幾分良好であったことから、締固めの有無や締固め時間の影響もあるが、コンクリートの投入方法や、型枠の材質と型枠の表面に塗布するコンクリート剥離剤の影響も大きいと考えられる。現在、これらの要因が表面状態に及ぼす影響について検討中であり、結果がまとまり次第報告したいと考えている。また、SFコンクリートを型枠の下部から圧入した効果は、圧入口の近傍では気泡跡の減少に有効であったが、圧入口から離れたところでは期待したほどの効果は得られなかつた。

3.3.5 コアの検査結果

各試験体から採取したφ210mmのコアを検査した結果、試験体内部のコンクリートの充填状況は、いずれの試験体ともに良好であったが、試験体No.4, No.5のコアが他の試験体のコアに比べて気泡が若干多く見られた。また、鉄筋周りへの充填も良好であった。一方、材料分離に関しては、図-5から分かるように、B面から採取したコアに含まれる粗骨材量が最も少なくなると予想されたが、コアの検査結果では、試験体No.5でその傾向が認められるのみであった。

3.3.6 硬化コンクリートの試験結果

(1) 強度管理用供試体の試験結果

本実験では混和剤は全て単位水量として換算したため、SFコンクリートで作成した強度管理用供試体の平均圧縮強度が404kgf/cm²、通常コンクリートのそれが394kgf/cm²であり、両者は、ほぼ同等であった。

(2) コア供試体の試験結果

表-7にコア供試体の圧縮強度の測定結果示す。同表から、各試験体の平均コア強度はほぼ同じであることが分かる。したがって、SFコンクリートを締固めを行わずに打込んだ場合でも、強度低下をきたすとなく構造体を構築できることが分かる。また、コア強度の高さ方向のばらつきは、SFコンクリートを締固めを行わずに打込んだ試験体No.3,4,5は、通常コンクリートとほぼ同等となっている。

表-7 コア供試体の圧縮強度

試験体 No	圧縮強度 (kgf/cm ²)			
	H=25cm	H=100cm	H=175cm	試験体平均
1	358	373	383	371
2	348	405	393	381
3	378	374	356	369
4	399	387	382	383
5	393	379	358	377

4. まとめ

本実験の結果、適切なスランプフロー値のSFコンクリートは、一般のRC構造物の場合でも、締固めすることなく型枠の隅々まで充填が可能であること、および硬化後のコンクリートの品質も損われないことが分かった。一方、今後の課題としては、試験室の結果と実機との関係、混和剤の均一な混合方法、コンクリート2次製品表面の気泡跡の減少方法の検討などがあげられる。

- 1) 竹下治之、佐原晴也、横田季彦：締固め不要な高流動コンクリートに関する基礎的研究、コンクリート工学論文集、vol.1, No.1, 1990 pp.143-154