

論文

[1066] 高流動コンクリートのフレッシュ状態の性状に及ぼす  
使用材料や配合の影響

正会員 ○庄司芳之 (日本国土開発技術研究所)  
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 沼田晋一 (西日本工業大学土木工学科)

1. はじめに

著者らは、これまで増粘剤と高性能減水剤を添加して締固め不要な程度まで高流動化したコンクリート (以下、SFコンクリートと称す) の研究を実施してきた[1],[2]。本研究では、SFコンクリートの配合設計を行うための基礎的なデータを得ることを目的として、使用材料および配合がSFコンクリートのフレッシュ状態の性状に及ぼす影響について実験的に検討を行った。

本報では、これらのうち細骨材のFM値と表面水、粗骨材のFM値などの骨材の品質の影響、および増粘剤と高性能減水剤の組合せの影響について実験的に検討した結果を報告する。

2. 骨材の品質がSFコンクリートのフレッシュ状態の性状に及ぼす影響

2.1 細骨材のFM値の影響

(1)使用材料および配合

表-1 に使用材料を示す。細骨材のFM値は、同表の細砂と粗砂の割合を変えることによって0.2づつ変化させた。また、増粘剤は消泡剤を混入しない新規のものを用いた。SFコンクリートは、目標スランプ12cmのベースコンクリートに、増粘剤と高性能減水剤を後添加し、120秒間混練して製造した。

練り混ぜには、容量50ℓの強制練りミキサを使用した。

表-2 にベースコンクリートの配合を示す。本実験では、細骨材のFM値

に関係なくs/aを一定とした場合、および細骨材のFM値に応じてs/aを変化 (FM値0.1の変化に対してs/aを0.5%補正) させた場合の2通りの配合について検討した。増粘剤量は $W \times 0.3\%$ とし、高性能減水剤量は、SFコンクリートのスランプフロー値60cmを目標に調整した。

(2)実験結果

図-1 に、s/aを50%と一定にした場合の細骨材のFM値と空気量との関係を、図-2 に、s/aを変化させた場合の細骨材のFM値と空気量との関係をそれぞれ示す。

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント:C (比重3.16)
細骨材	市原産山砂 :S <sub>s</sub> (比重2.52, FM1.77) 相模川水系川砂:S <sub>g</sub> (比重2.58, FM3.05)
粗骨材	津久井郡城山産碎石:G (比重2.64, FM6.70)
AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物ホリール複合体
AE剤	天然樹脂酸塩
増粘剤	セルロース系水溶性高分子化合物
高性能減水剤	高縮合トリアジン系化合物

表-2 ベースコンクリートの配合

F. M値	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	S <sub>s</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	S <sub>g</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	Ad (C×%)	AE (C×%)		
2.2	50	50	170	340	559	308	901	高性能減水剤:2.0	0.015		
2.4					430	440	901			高性能減水剤:2.0	0.020
2.6					301	572	901			AE減水剤:0.325	0.010
2.8					172	704	901			AE減水剤:0.313	0.008
3.0					-	880	901			AE減水剤:0.250	0.012
2.2	50	48	170	340	537	296	937	AE減水剤:0.475	0.002		
2.4		49			421	431	919	AE減水剤:0.400	0.005		
2.6		50			301	572	901	AE減水剤:0.375	0.008		
2.8		51			175	718	883	AE減水剤:0.375	0.008		
3.0		52			-	916	865	AE減水剤:0.375	0.008		

図-1から、ベースコンクリートの空気量がほぼ一定値であっても、SFコンクリートとした場合の空気量は細骨材のFM値によって大きく異なり、FM値が小さくなるほど空気量は増大する傾向にあることがわかる。これは、細骨材のFM値が小さくなると、空気を連行・保持しやすい細粒分が多くなるためと考えられる。

一方、図-2から、細骨材のFM値の変化に応じてs/aを補正すれば、s/aを50%と一定にした場合(図-1)に比べ、ベースコンクリートとSFコンクリートとの空気量との差は小さくなる。このような結果から、普通コンクリートの配合補正方法と同様、細骨材のFM値の変化に応じてs/aを補正することにより、ベースコンクリートとの空気量の変化を少なくし、適度な空気量のSFコンクリートを製造することが可能なことがわかる。

## 2.2 細骨材の表面水の影響

### (1) 実験概要

ここでは、細骨材の表面水がSFコンクリートのフレッシュ状態の性状に及ぼす影響を検討するため、表面水率を0~8%の範囲で2%ずつ変化させて実験を行った。用いた材料はAE減水剤を使用しなかった以外は表-1と同様とした。また、配合は表-2に示す細骨材のFM値が2.60の場合のものを用いた。

細骨材の表面水の影響については、SFコンクリートを生コンプラントで製造する場合を想定して、SFコンクリートは一括練りで製造した。すなわち、細骨材、セメント、増粘剤および粗骨材を投入して空練りを30秒行った後、水と高性能減水剤を添加し120秒間練り混ぜを行い製造した。増粘剤量は $W \times 0.3\%$ とし、高性能減水剤量は細骨材の表面水率が0%でスランプフロー値が55cm程度となる量(3.5 $\text{g}/C=100\text{kg}$ )

を基準とした。

### (2) 実験結果

図-3に細骨材の表面水率とSFコンクリートのスランプフローおよび空気量の関係を示す。

図-3から、細骨材の表面水率が大きくなるに従い、SFコンクリートのスランプフロー値が幾分大きくな

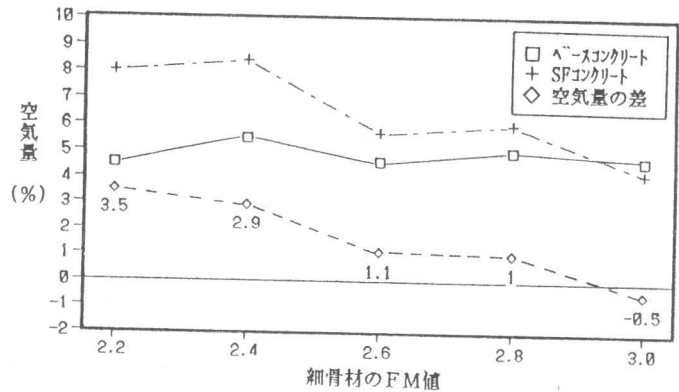


図-1 細骨材のFM値の影響(s/a=50%)

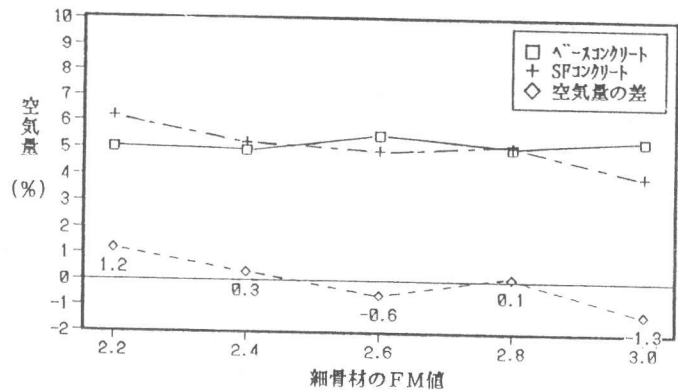


図-2 細骨材のFM値の影響 (s/aを変化)

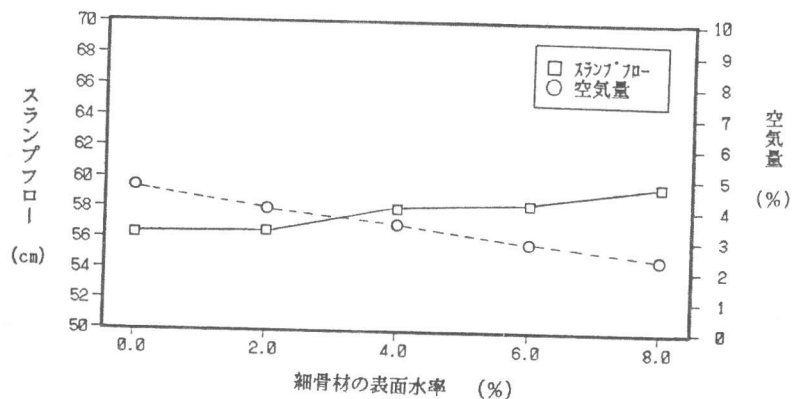


図-3 細骨材の表面水率の影響

る傾向にあることがわかる。これは表面水率0%の時を除くと、細骨材の表面水が空練りの際に一次混合水的な役割をなし、わずかではあるが分割練りがされているためと考えられる[3]。しかしながら、平均値に対してその差が2cm程度と小さいことから、SFコンクリートのスランプフローに及ぼす細骨材の表面水の影響は小さいと言える。このことは、細骨材の表面水のバッチ間変動や日間変動が大きくなりがちな生コン工場等の実状を考えると有利な性質と言える。また、同図から、表面水率が大きくなるに従い、SFコンクリートの空気量は減少する傾向にあることがわかる。これは、空練りの段階で表面水量に応じて増粘剤がセメントに吸着され、有効な増粘剤量が減少したことによるためではないかと考えられる。なお、上述したスランプフローの増大も、増粘剤の効果低減の現れとも考えられる。

### 2.3 粗骨材のFM値の影響

#### (1) 実験概要

ここでは、粗骨材のFM値がSFコンクリートのフレッシュ状態の性状に及ぼす影響を検討するため、粗骨材のFM値を6.45~6.85の範囲で0.2づつ変化させて実験を行った。粗骨材のFM値は、表-1に示した粗骨材をふるい分けを行うことにより調整した。その他の使用材料は表-1と同様である。また、配合は表-2に示す細骨材のFM値が2.60の場合を用い、SFコンクリートの製造方法、増粘剤量および高性能減水剤量は、2.1(1)の場合と同様にした。

#### (2) 実験結果

表-3に、SFコンクリートのスランプフローおよび空気量、ならびにワーカビリティ評価方法として著者らが提案したL字管試験およびスクリーニング試験結果[2]を示す。

表-3 各種試験結果

FM値	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	L字管試験 (秒)		スクリーニング試験 メッシュを通過する コンクリート (%)	実績率 (%)
			a点	b点		
6.45	61.5×61.0	4.4	19	48	51.4	58.3
6.65	60.5×60.0	5.0	9	21	29.2	58.9
6.85	60.5×57.5	4.7	12	42	20.9	58.3

同表から、スランプフロー、空気量およびL字管試験は、粗骨材のFM値の影響をあまり受けないことがわかる。これは、同じ材料をふるい分けをして粗骨材のFM値を調整したため、実績率が表-3に示すように差がないことによるためではないかと考えられる。しかし、スクリーニング試験においては、径の大きな骨材が増えるほどメッシュを通過するコンクリートの量は減少することから、粗骨材のFM値に影響されることがわかる。これは、スクリーニング試験のメッシュ間隔と骨材の径とに起因するものと考えられる。なお、L字管試験はかなり変動があり、その傾向は明らかではないが、いずれかの試験に試験誤差が出たためではないかと考えられる。

### 3. 増粘剤と高性能減水剤の組合せの相違が

#### SFコンクリートのフレッシュ状態の性状に及ぼす影響

本実験では、増粘剤と高性能減水剤の組合わせの相違が、SFコンクリートのフレッシュ状態の性状に及ぼす影響（スランプフローと空気量の経時変化、凝結特性）について検討を行った。

#### 3.1 高性能減水剤に対する増粘剤の溶解実験

SFコンクリートの製造は、生コン工場等で材料を一括投入し製造する方法（製造方法Ⅰ）と、工事現場でベースコンクリートに増粘剤と高性能減水剤を後添加し製造する方法（製造方法Ⅱ）の2通りが可能である。このうち、後者については、両混和剤をアジテータ車内のコンクリート

に均一に分散させるために、液状にして添加することが望ましい。このため、本実験に先立ち、まず各種の高性能減水剤に対する増粘剤の溶解実験を行い、溶解可能な増粘剤と高性能減水剤の組み合わせを対象として、以下の製造方法Ⅱの実験は行うこととした。

(1) 使用材料および測定項目

溶解実験に使用した増粘剤と高性能減水剤を表-4に示す。セルロース系増粘剤は、2. で述べたものと同様に消泡剤を混入しない新規のものを、また、アクリル系増粘剤は一般のものに比べて低重合度のものを用いた。各溶解実験で使用した増粘剤と高性能減水剤の添加量は、ベースコンクリートの配合を、単位水量 $174\text{kg}/\text{m}^3$ 、単位セメント量 $348\text{kg}/\text{m}^3$ として決定した。

測定項目として、溶解状態の観察および混合溶液の粘度の経時変化の調査を行った。粘度の測定は、 $20^\circ\text{C}$ 恒温室内において、B型粘度計（ロータNo. 4、回転数50rpm）を用いて行った。

(2) 実験結果

表-5に、混合直後の目視による溶解状態の観察結果を示す。同表において、◎印は完全に溶解している状態、○印はほぼ溶解しているが若干の増粘剤の浮遊が見られる状態、△印は増粘剤の浮遊が目立つ状態、×印はほとんど溶解していない状態あるいは溶解しているが直後から粘性が極めて高い状態を示す。また、図-4に、セル

ロース系増粘剤(B1)を用いた場合の混合溶液の粘度の経時変化を示す。

表-5から、本実験においても、セルロース系の増粘剤(B1)は、水中不分離性コンクリートの研究で指摘されている[4]と同様、メラミン系あるいはポリカルボン酸系を主成分とする高性能減水剤とは相性がよく、ナフタリン系のものとは相性が良くないことがわかる。しかし、図-4

に示されるように、増粘剤が完全に溶解したものでも、混合溶液の粘度が急激に増大する場合があるため、これらについては溶解後短時間の内にアジテータ車内のコンクリートに添加し攪拌する必要がある。一方、アクリル系増粘剤(B2)に関しては、ポリカルボン酸系の高性能減水剤を使用した場合、完全に溶解していない問題があるものの、スラリー状での後添加はできるものと考えられる。なお、これをコンクリートに後添加した場合は、両混和剤の相性について別途検討する必要がある。

3.2 SFコンクリートの特性実験

3. 1の結果を受けて、ここではセルロース系増粘剤(B1)と各種高性能減水剤を添加したSF

表-4 フレッシュコンクリートの試験結果

		主成分	添加量
増粘剤	B1	セルロース系	W×0.3%
	B2	アクリル系	W×0.3%
高性能減水剤	SP1	メラミン系	2.5ℓ/C=100kg
	SP2	メラミン系	2.5ℓ/C=100kg
	SP3	ポリカルボン酸系	C×2.0%
	SP4	ポリカルボン酸系	C×2.0%
	SP5	ポリカルボン酸系	C×2.0%
	SP6	ナフタリン系	C×2.5%
	SP7	ナフタリン系	C×2.5%
	SP8	アミノスルホン酸系	C×2.5%

表-5 溶解実験観察結果

増粘剤 高性能減水剤	B 1	B 2
SP1	◎	×
SP2	◎	—
SP3	○	△
SP4	◎	△
SP5	○	△
SP6	×	—
SP7	×	—
SP8	×	—

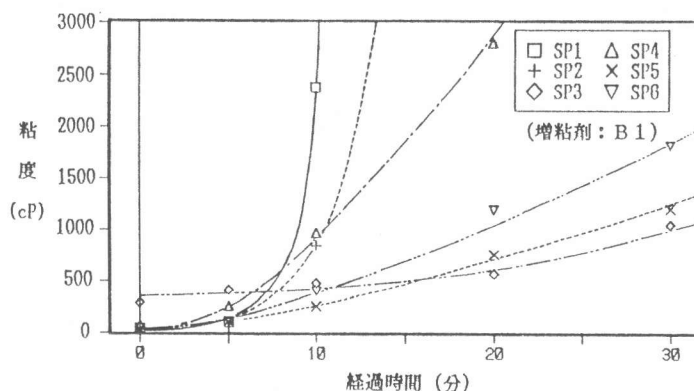


図-4 混合溶液の粘度測定結果

コンクリートを製造し、スランプフローと空気量の経時変化、および凝結特性について検討した。

(1) 使用材料および配合

高性能減水剤は表-4 に示すものを、その他の材料は表-1 に示すものを使用した。ベースコンクリートの配合は表-6 に示すもの（製造方法 I ではAE減水剤は使用せず）とし、増粘剤量は $W \times 0.3\%$ 、高性能減水剤量は表-7、8 に示す値とした。SFコンクリートの製造は、製造方法 I（一括投入法）および製造方法 II（後添加法；増粘剤と高性能減水剤はベースコンクリート製造約10分後に添加）の2通りの方法で行った。なお、実験は温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の室内にて実施した。

(2) 製造方法 I での実験結果

表-7 に、SFコンクリート製造直後のスランプフローと空気量、および凝結試験結果を示す。また、図-5、6 に、スランプフローと空気量の経時変化を示す。

表-7 から、溶解実験で増粘剤が溶解しない高性能減水剤を使用した場合には、SFコンクリートも製造できないことがわかる。

また、表-7、図-5、6 から、メラミン系 (SP1) とポリカルボン酸系 (SP3、SP4) の高性能減水剤を使用した場合を比較すると、スランプフローロスや空気量ロス、凝結速度はメラミン系の方が小さく良好であるが、凝結速度はメラミン系の方が速いことがわかる。

(3) 製造方法 II での実験結果

表-8 に、ベースコンクリートならびにSFコンクリートの製造直後のスランプフローと空気量および凝結試験結果を示す。また、図-7、8 に、スランプフローと空気量の経

表-6 ベースコンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	S <sub>s</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	S <sub>G</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	Ad (C×%)
50	50	174	348	255	608	892	0.375

表-7 各種試験結果 (製造方法 I)

種類	高性能減水剤 添加量	SFコンクリート		凝結試験	
		SLF (cm)	Air (%)	始発 (h)	終結 (h)
SP1	3.5 l/C=100kg	56.5	6.5	6.0	8.5
SP3	C×3.0%	62.5	6.4	14.0	16.5
SP4	C×3.0%	59.5	5.9	11.5	14.5
SP6	C×3.0%	流動性が全く得られず			
SP7	C×3.0%	流動性が全く得られず			
SP8	C×3.0%	流動性が全く得られず			

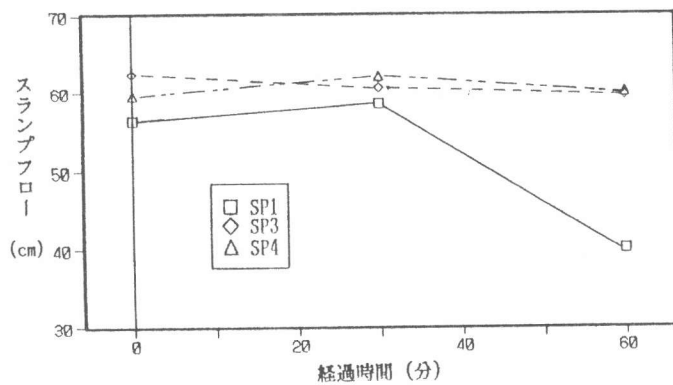


図-5 スランプフローの経時変化

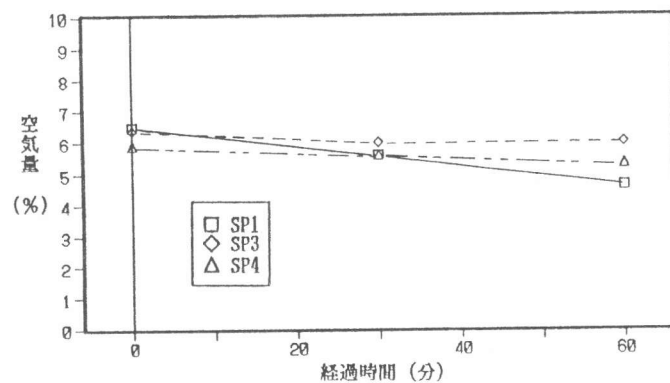


図-6 スランプフローの経時変化

表-8 各種試験結果 (製造方法 II)

種類	高性能減水剤 添加量	ベースコンクリート		SFコンクリート		凝結試験	
		SL (cm)	Air (%)	SLF (cm)	Air (%)	始発 (h)	終結 (h)
SP1	2.0 l/C=100kg	12.5	5.9	55.0	6.0	7.5	10.0
SP2	2.25 l/C=100kg	11.5	5.0	62.5	8.4	11.0	14.0
SP3	C×2.0%	13.0	5.6	60.5	6.0	11.0	13.5
SP4	C×2.0%	11.0	5.2	53.0	6.2	10.5	13.0
SP5	C×2.0%	12.5	5.5	54.0	6.0	21.0	24.0

時変化を示す。

これらの結果からも、3.2(2)の場合と同様、スランプフローに関してはポリカルボン酸系の方が、凝結速度に関してはメラミン系の方が良好な傾向がみられる。

また、表-7、8から、メラミン系の高性能減水剤のみを使用した場合と、AE減水剤とメラミン系高性能減水剤を併用した場合とでは、後者の方の凝結速度が速くなることが分かる。このようなAE減水剤と高性能減水剤の併用による凝結の遅延現象は、水中不分離コンクリートの研究においても指摘されている[4]。また、高性能減水剤の後添加も凝結の遅延の一因と考えられる。一方、ポリカルボン酸系の高性能減水剤を使用した場合には逆の傾向が見られる。これは高性能減水剤の添加量の違いによると考えられる。このように、ポリカルボン酸系の高性能減水剤を使用したSFコンクリートの凝結速度に関しては、AE減水剤との併用の影響よりも添加量の多少の影響の方が大きいと考えられる。

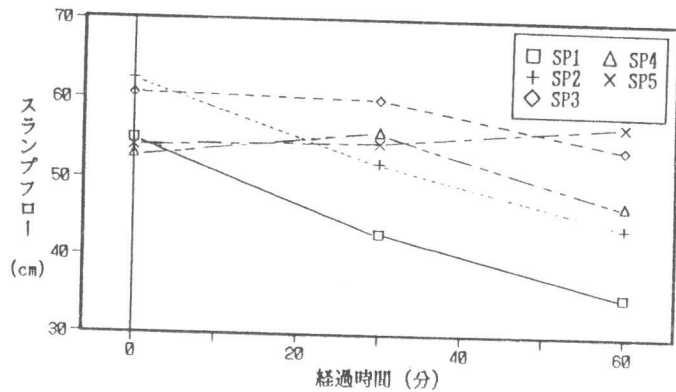


図-7 スランプフローの経時変化

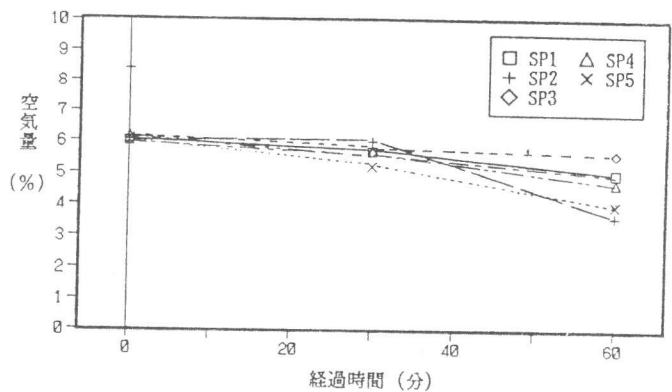


図-8 空気量の経時変化

#### 4. まとめ

本実験の結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 細骨材のFM値は、SFコンクリートのフレッシュ状態の性状、特に空気量に大きく影響を及ぼす。しかし、普通コンクリートの配合補正方法と同様に、FM値の変化に応じてs/aを変化させることにより、適度な空気量のSFコンクリートを製造することが可能である。
- (2) 細骨材の表面水は、SFコンクリートのスランプフローに対する影響は小さいが、空気量に対しては比較的大きな影響を及ぼす。
- (3) 粗骨材のFM値は、スランプフロー、空気量およびL字管試験にはほとんど影響を及ぼさないが、スクリーニング試験には影響を及ぼす。
- (4) 増粘剤と高性能減水剤の組合せによっては、SFコンクリートのフレッシュ状態の性状にかなり差が生じる場合がある。セルロース系増粘剤を使用する場合、高性能減水剤の主成分、添加量および製造方法によって、スランプフロー、空気量および凝結特性が異なる。

#### [参考文献]

- [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、pp143-154、1990. 1
- [2] 佐原晴也、庄司芳之、竹下治之：高流動コンクリートのワーカビリティ評価試験方法に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、VOL. 13、No. 1、pp137-142、1991
- [3] 魚本健人、星野富夫：コンクリートの分割練り混ぜ方法に関する研究、第4回コンクリート工学年次講演会講演論文集、pp117~120、1982
- [4] 土木学会：水中不分離コンクリート設計施工指針（案）、コンクリート・ライブラリ-第67号、平成3.5