

論文

[1020] 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

正会員○佐原晴也（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）  
 正会員 庄司芳之（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）

1. はじめに

筆者らは、増粘剤と高性能減水剤を用い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コンクリートと略称する）についていくつかの実験を行い、その有用性を確認している[1]。しかし、SFコンクリートのワーカビリティは、従来の試験方法のみでは評価しにくく、合理的な配合設計を行うためには、適切なワーカビリティ評価試験方法の確立が急がれる。

そこで今回は、増粘剤量、スランプフローおよび粗骨材の種類が異なるSFコンクリートのフレッシュ状態の性状を試験の試験方法で測定し、SFコンクリートのワーカビリティを評価する手法を検討した。また、これらの試験結果と実際の構造物における充填性の関連について、壁部材を想定した大型試験体を用いて検討した。

2. ワーカビリティ評価試験方法の検討

2.1 ワーカビリティ評価試験方法

高流動コンクリートのワーカビリティ評価試験に関してはこれまでいくつか報告されているが[2]、これらの試験方法の有用性については、まだ不明な点も多いと考えられる。ここでは、スランプフロー試験のほかに、図-1に示す3つの試験方法によってSFコンクリートのワーカビリティを評価した。なお、ボックス試験の仕切り板の開口高さは予備実験を行って適切な間隔を決定した。図-2には、ボックス試験の有意性を検討した結果を示す。

2.2 実験計画

増粘剤量、スランプフローおよび粗骨材の種類を変えて計18通りのワーカビリティのSFコンクリートを製造し、これらに2.1で述べた各試験方法を適用した。表-1に実験計画を示す。

2.3 使用材料および配合

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

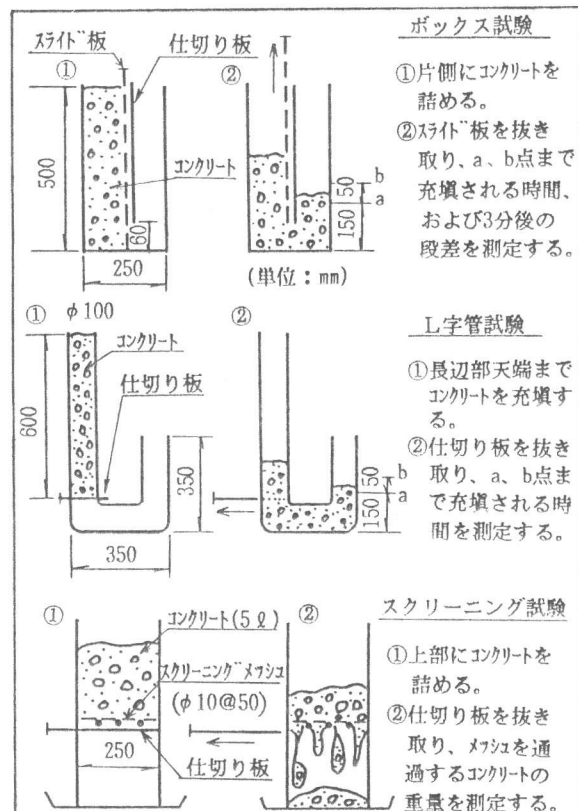


図-1 ワーカビリティ評価試験方法

減水剤を後添加する方法で製造した。練り混ぜは容量50ℓのパン型強制練りミキサで行った。表-2に使用材料を、表-3にベースコンクリートの配合を示す。ベースコンクリートの配合は、増粘剤をW×0.3%添加し、スランプフローを60cm程度にした場合、目視やボックス試験、L字管試験で良好な結果が得られるように試験練りで決定した。

#### 2.4 実験結果および考察

表-4にワーカビリティ試験結果を示す。同表のスランプフロー試験の流動性の○、△の評価は、スムーズに動くと判断された場合に○、動きがやや鈍い場合に△とした。また、分離抵抗性は、分離傾向が認められないと判断された場合に○、ペーストの浮きや粗骨材の分布にばらつきがみられた場合に△と評価した。なお、極めて流動しにくい状態や完全な材料分離状態にあると判断されるSFコンクリートは今回の配合ではみられなかった。

##### (1) ボックス試験結果

図-3に砕石を使用した場合の、スランプフローとボックス試験の3分後の段差の関係を示す。同図から、スランプフローが50~70cm程度の範囲で、スランプフローとボックス試験の3分後の段差は、増粘剤量の多少にかかわらず一義的な関係にあることがわかる。一般には、スランプフローが同程度でも増粘剤量が異なればSFコンクリートの性状は異なると考えられる。このため、ボックス試験の段差を指標にすることは、図-2に示すように、ベースコンクリートの配合検討などには有効であるが、適切なベースコンクリートの配合が決定した後の、増粘剤量の多少によるSFコンクリートの充填性の違いなどの評価にはあまり適さないとと言える。

##### (2) L字管試験結果

図-4にスランプフローとL字管試験のa点までの充填時間の関係を示す。同図から、スランプフローが大きいほど、増粘剤量が少ないほど、a点までの充填時間は短くなっていることがわかる。この時間の長短とスランプフロー試験での目視による流動性の○、△の評価の関係は、同一増粘剤量やスランプフローが同程度の条件で比較すると、時間が短い場合に○、長い場合に△になる傾向にある。このことから、L字管試験のa点までの充填時間を測定することで、スラン

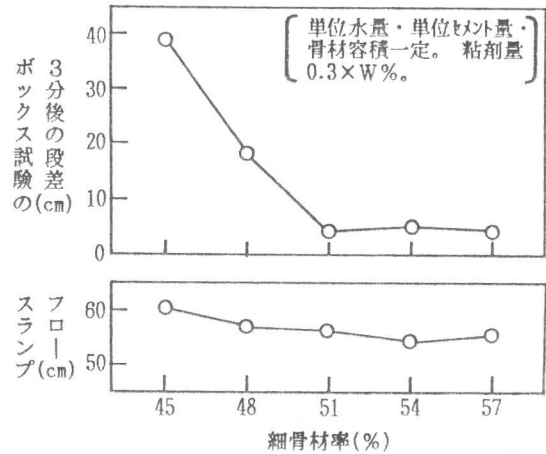


図-2 ボックス試験の有意性の検討結果

表-1 実験計画

実験NO.	粗骨材の種類	増粘剤量 (W×%)	目標スランプフロー (cm)
1-1,2,3	砕石	0.15	50,60,65以上
1-4,5,6		0.30	50,60,65以上
1-7,8,9		0.45	50,60,65以上
2-1,2,3	砂利	0.15	50,60,65以上
2-4,5,6		0.30	50,60,65以上
2-7,8,9		0.45	50,60,65以上

表-2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント (比重 3.16)
細骨材	相模川水系 60%、市原産山砂 40% (比重 2.60、FM 2.62)
粗骨材	津久井郡城山産砕石 (比重 2.64、FM 6.70) 相模川水系川砂利 (比重 2.62、FM 6.87)
AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物
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-3 ベースコンクリートの配合

粗骨材の種類	最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				
				W	C	S	G	AE減水剤
砕石	20	50	50.7	174	348	892	880	0.87
砂利	25	50	48.7	161	322	883	937	0.81

表-4 ワーカビリチー試験結果

試験NO.	ヘーコンクリート		増粘剤 (W×%)	高性能減水剤 m <sub>2</sub> /C=100kg	SFコンクリートのワーカビリチー試験結果						
	スランプ (cm)	空気量 (%)			スランプフロー試験		ボックス試験		L字管試験	スクリーニング試験	
					スランプフロー (cm)	目視判定 流動性 分 離抵抗性	a,b点まで 充填される 時間 (秒)	3分後 の段差 (cm)			a,b点まで 充填される 時間 (秒)
1-1	9.0	5.4	0.15	1750	51.0	△	○	a:9 b:9	9.5	a:11 b:11	24
1-2	10.0	5.2		2000	58.0	○	○	a:3 b:10	4.0	a:7 b:7	33
1-3	10.0	5.0		2500	68.0	○	△	a:4 b:10	2.2	a:6 b:15	43
1-4	10.5	5.1	0.30	2000	49.5	△	○	a:19 b:19	10.8	a:31 b:31	30
1-5	10.0	5.2		2500	60.0	○	○	a:10 b:27	2.0	a:18 b:28	56
1-6	9.5	5.0		3000	66.0	○	○	a:15 b:35	3.1	a:13 b:33	88
1-7	8.5	5.6	0.45	2750	51.0	△	○	a:60 b:60	10.5	a:48 b:48	30
1-8	9.5	5.3		3500	61.5	△	○	a:17 b:57	3.3	a:35 b:80	70
1-9	12.0	5.8		4500	65.5	△	○	a:15 b:37	1.5	a:23 b:50	70
2-1	10.0	4.0	0.15	2000	52.0	△	○	a:5 b:5	9.0	a:13 b:13	25
2-2	8.0	4.3		2500	60.5	○	△	a:5 b:14	6.0	a:4 b:7	41
2-3	9.0	3.8		3000	67.5	○	△	a:5 b:12	1.0	a:4 b:9	53
2-4	8.0	5.4	0.30	2000	46.0	△	○	a:30 b:30	12.3	a:25 b:25	18
2-5	11.0	4.3		2500	57.0	○	○	a:10 b:28	4.2	a:10 b:45	48
2-6	9.5	4.2		3500	67.0	○	○	a:12 b:62	6.7	a:11 b:25	49
2-7	9.0	4.0	0.45	2500	46.5	△	○	a:25 b:25	9.5	a:28 b:28	37
2-8	9.5	4.5		3500	62.0	△	○	a:45 b:45	8.5	a:15 b:37	59
2-9	10.0	4.5		4500	64.5	△	○	a:35 b:35	12.5	a:17 b:40	66

プフローや増粘剤量の違いによる流動性の違いを評価できると言える。

また、図-4には砂利を使用した結果の1例も示したが、スランプフローが同程度の場合、砂利の方が充填時間が短く、流動性が良い傾向にある。これは、L字管内での粗骨材の動きが回転を伴った動きであり、粒形の

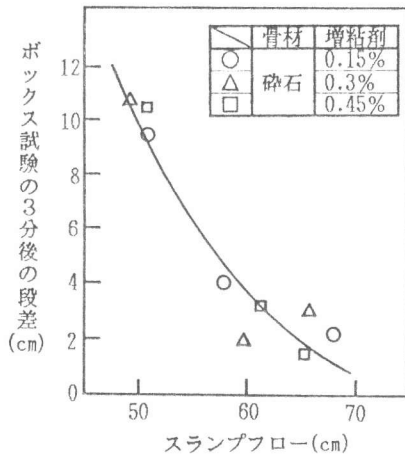


図-3 ボックス試験結果

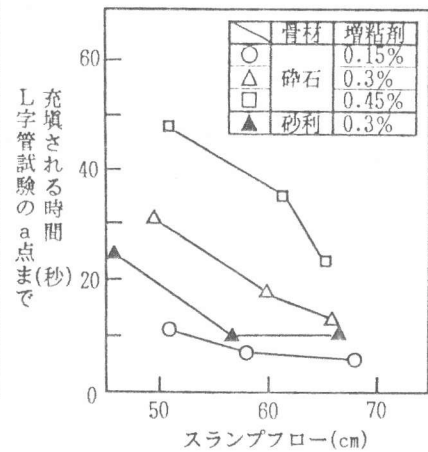


図-4 L字管試験結果

丸い砂利の方がより変形しやすいためと考えられる。したがって、L字管試験では粗骨材の種類による流動性の違いも評価できると言える。なお、ボックス試験のa点までの充填時間によっても流動性の良否が評価できたが、砂利を使用した場合に若干ばらつきがみられた。

(3)スクリーニング試験結果

図-5に砕石を使用した場合のスクリーニング試験結果を示す。メッシュを通過するコンクリート量は、増粘剤がW×0.15%の場合に少ない傾向にある。増粘剤がW×0.15%の場合には、目視による評価で材料分離抵抗性がやや劣ると判断されたことから、スクリーニング試験では増粘剤量の多少による分離抵抗性の違いが評価できると考えられる。砂利を使用した場合も同様な傾向であった。なお、既往の研究ではコンクリートのスランプとメッシュの通過量の関係は、流動性

と材料分離抵抗性の複合効果により、上に凸の曲線になるとされている[3]。本実験の結果は既往の研究結果と異なるが、これはスランプフローの範囲がやや狭いこと、対象としたコンクリートの性状が違うこと、実験方法がやや違うことなどによると考えられる。

#### (4)各試験間の相互関係

前述のように、SFコンクリートの流動性はL字管試験やボックス試験の流動時間で、分離抵抗性はメッシュの通過量である程度評価できると考えられる。そこで、この両者の関係の1例を増粘剤量を横軸にして、各スランプフローの範囲ごとに同一グラフ上にプロットすると、図-6のようになる。L字管のa点までの平均速度は流動距離を30cmとして計算した。図-6には碎石を使用した場合についてのみ示したが、砂利を使用した場合も同様の関係が得られる。

増粘剤量の増加に伴い平均速度は減少して流動性の低下を示し、逆に、メッシュの通過量は増加して分離抵抗性の増大を示す。この両曲線の交点は、1つの適切な配合のベースコンクリートを用いて、ある範囲のスランプフローのSFコンクリートを製造する場合の、最適な増粘剤量を示すと考えられる。

図-7は図-6をもう少し一般的な形に直したものである。増粘剤とスランプフローの範囲を広くとると、流動性を表す曲線と分離抵抗性を表す曲線の交点を結ぶ曲線は、上に凸の関係になると考えられる。この曲線のピーク点は、ある1つの配合に対して、SFコンクリートの充填能力が最大となる、スランプフローと増粘剤量の組み合わせを与えると考えられる。このような手法によって、SFコンクリートの配合設計が合理的に行える可能性があると考えられる。

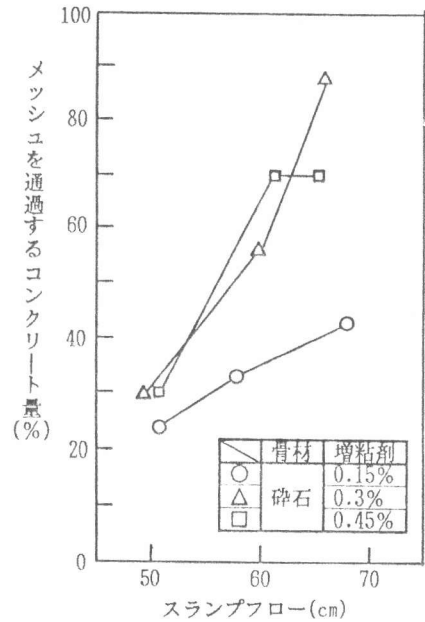


図-5 スクリーニング試験結果

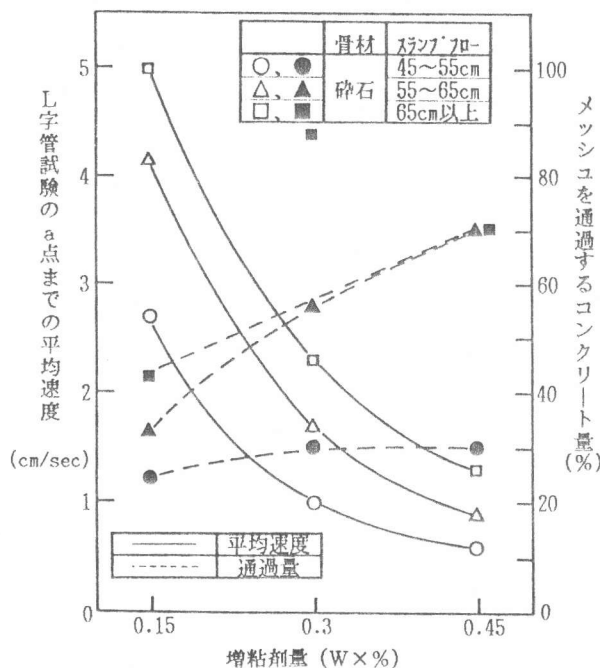


図-6 L字管試験結果とスクリーニング試験結果の相互関係

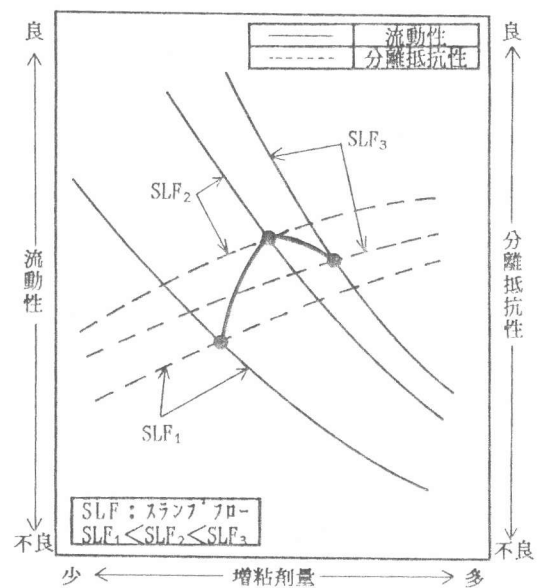


図-7 スランプフローと増粘剤量の最適な組み合わせ選定方法の概念図

### 3. 壁モデル試験体の充填実験

#### 3.1 実験計画

2.の実験結果をもとに表-5に示すように、増粘剤量、スランプフローおよび粗骨材の種類を変えた6通りのSFコンクリートを用いて実験を行った。また、比較のために通常の流動化コンクリートも打設した。

#### 3.2 試験体

試験体は壁部材を想定して、長さ3m×高さ1m×幅15cmとした。配筋は縦、横ともにD10を15cmピッチにダブル配筋とした。型枠の前面にはアクリル板を使用し、コンクリートの充填状況を観察した。

#### 3.3 使用材料および配合

使用材料およびベースコンクリートの配合は、表-2および表-3と同じである。

#### 3.4 コンクリートの製造および打込み

試験体1体あたりに打ち込むコンクリート量を300ℓとし、これを容量100ℓのパン型強制練りミキサで3バッチに分けて製造した。SFコンクリートは、ベースコンクリートのコンシステンシーを確認後に、増粘剤と高性能減水剤を添加し、90秒間混練して製造した。コンクリートの打込みはコンクリートバケットを用いて、型枠の一端の上部から無振動で流し込む方法で行った。

#### 3.5 測定項目

3バッチのうちの1バッチのコンクリートを対象にして、2.で述べたワーカビリティ試験を実施した。また、打込み終了後、コンクリートの流動距離に応じて2~4等分した点の下部から、10ℓのコンクリートを採取し、5mm以上の骨材を洗い出して、骨材分離の有無を検討した。

#### 3.6 結果および考察

##### (1)ワーカビリティ試験結果

表-6にワーカビリティ試験結果を示す。SFコンクリートのスランプフローはほぼ

目標のとおり得られたが、

配合条件が同じ場合について、表-6と表-4の各ワーカビリティ試験結果を比較すると、同様な結果が得られている場合と、幾分異なる場合とがみられた。したがって、試験日時や個人差の影響をできるだけ受けないように、各試験方法の手順を明確に規定する必要があると考えられる。

##### (2)充填状況

図-8に試験体の充填状況を示す。スランプフローが60cm程度のSFコンクリートは試験体端部まで充填されていることがわかる。また、スランプフローが50cm程度でも、増粘剤量がW×0.3%

表-5 実験計画

実験NO.	増粘剤 (W×%)	目標スランプまたはスランプフロー (cm)	骨材の種類
1	0	SL 21±1.5	砕石
2	0.15	SLF 50±2.5	"
3	"	SLF 60±2.5	"
4	0.3	SLF 50±2.5	"
5	"	SLF 60±2.5	"
6	"	SLF 65±2.5	"
7	"	SLF 60±2.5	砂利

表-6 ワーカビリティ試験結果

試験NO.	SFコンクリートのワーカビリティ試験結果						
	スランプフロー試験			ホップ試験		L字管試験	スクリーニング試験
	スランプまたはスランプフロー (cm)	目視判定 流動性	分離抵抗性	a, b点まで充填される時間 (秒)	3分後の段差 (cm)	a, b点まで充填される時間 (秒)	メッシュを通すコンクリート (%)
1	SL 23.5	△	△	a...4 b...-	16.0	a...3 b...-	-
2	SLF 49.5	△	○	a...- b...-	25.0	a...- b...-	20
3	SLF 63.0	○	△	a...8 b...-	12.0	a...6 b...14	32
4	SLF 52.0	△	○	a...12 b...-	9.0	a...20 b...-	18
5	SLF 61.0	○	○	a...11 b...24	4.0	a...10 b...21	53
6	SLF 65.5	○	△	a...5 b...11	0.5	a...9 b...20	71
7	SLF 63.5	○	○	a...5 b...17	2.5	a...12 b...27	49

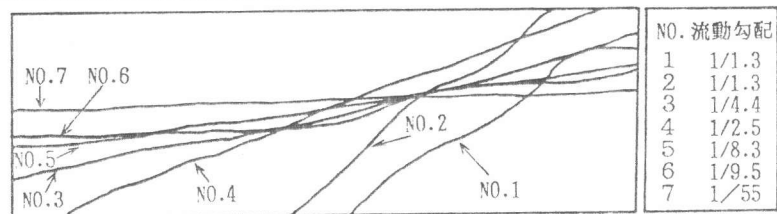


図-8 試験体の充填状況

の場合には、流動化コンクリートに比べて大幅に充填性が向上しており、SFコンクリートの充填性の良さを確認することができた。

ワーカビリティ評価試験結果と充填状況の関係は、表-6に示すように、実験NO.3を除いて、ボックス試験の段差が5cm以下の場合、L字管試験でb点まで充填されている場合あるいはメッシュ通過量が50%以上の場合に、型枠端部まで充填されていることがわかった。この関係の1例を2.の実験結果とともに示すと、図-9が得られる。すなわち、本実験でモデル化したような一般配筋の建築物を対象とした場合には、図-9の点線の範囲に入るようなSFコンクリートであれば、無振動でも十分に充填が可能なのことがわかる。

### (3)骨材分離状況

図-10に試験体端部まで充填できた場合について、流動距離と粗骨材含有率の関係を示す。粗骨材含有率は流動距離とともに少なくなる傾向にあるが、最も遠い位置から採取した試料においても、流動させないコンクリート中の粗骨材量の91~96%の粗骨材を含有していることから、配筋を施した型枠内を流動しても顕著な材料分離は生じていないものと判断される。

## 4. まとめ

本研究の結果をまとめると以下のようなになる。

- (1) SFコンクリートの流動性は、L字管試験やボックス試験におけるコンクリートの流動時間で、また、増粘剤量の多少による材料分離抵抗性の違いは、スクリーニング試験のメッシュの通過量で評価ができると考える。
- (2) L字管試験結果あるいはボックス試験結果とスクリーニング試験結果を組み合わせると評価すれば、SFコンクリートの配合設計が合理的にできる可能性がある。
- (3) 一般の建築物へのSFコンクリートの充填性についても、L字管試験、ボックス試験、スクリーニング試験の結果から、十分に把握することが可能である。

### 参考文献

- [1] 竹下治之ほか：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] 福留和人ほか：増粘剤および高性能減水剤を用いた高流動化コンクリートの材料分離抵抗性について、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集、pp210-211、1990.9  
 [3] 小沢一雅ほか：MFAフォーミングコンクリートの開発、コンクリート工学年次論文報告集、VOL.11、NO.1、pp699-704、1989.6

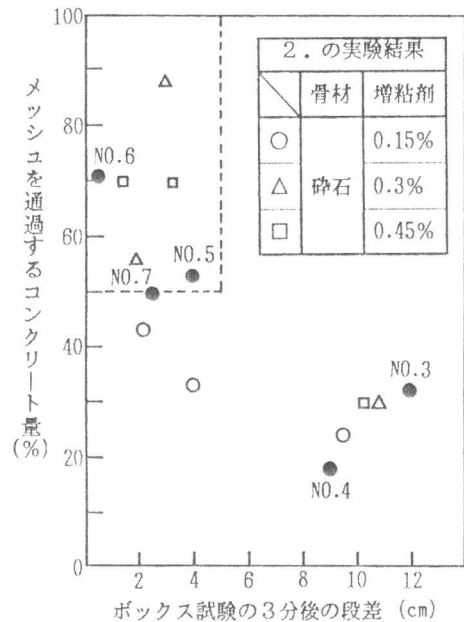


図-9 ワーカビリティ試験結果と充填性の関係の一例

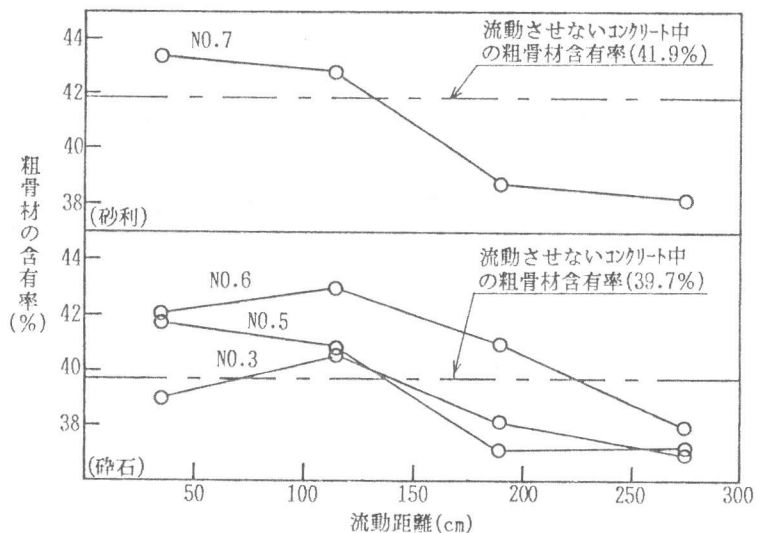


図-10 流動距離と粗骨材含有率の関係