

# 論文 高流動コンクリートのフレッシュ性状に及ぼす骨材粒度の影響

平田隆祥\*1・竹田宣典\*2・三浦律彦\*3・十河茂幸\*4

要旨：高流動コンクリートの流動性や材料分離抵抗性に影響を与える要因の内、骨材粒度の影響について検討した。実験の結果、JIS A 5308付属書1で規定されている骨材の標準粒度分布の範囲内の骨材を使用した場合でも、骨材粒子の分散距離やペースト粘性の変化の影響で、高流動コンクリートの粘性やスランプフロー、漏斗流下時間が変化するため、高流動コンクリートのフレッシュ性状を管理する上で、骨材粒度は重要な要素の一つであることが明らかとなった。

キーワード：高流動コンクリート、骨材粒度、流動性、材料分離抵抗性、粘性

## 1. はじめに

高流動コンクリートは自己充填性に優れ、締固め作業を行うことなくコンクリートの打込みができるが、フレッシュコンクリートの性状や充填度が直接硬化コンクリートの品質に影響を及ぼすため、打込み前のフレッシュコンクリートの品質管理が重要となる。高流動コンクリートの合は、流動性や材料分離抵抗性を高めるため、従来配合に比べセメントなどの粉体量や高性能E減水剤の使用量が多く、また細骨材率を大きめに設定している。しかしこの結果、高流動コンクリートのフレッシュ性状は、高性能AE減水剤の温度依存性による影響や、骨材の粒度・表水率の変動の影響を従来より大きく受けることになる。

本論文では、高流動コンクリートのフレッシュ性状に及ぼす要因の内、粗骨材や細骨材の粒の違いの影響について検討した。また従来のスランプフロー試験のみでは把握が難しかった、材の品質変動に伴う微妙な粘性変化や、材料分離抵抗性の変化を、漏斗流下試験方法を用いて量的に評価することができるか検討した。

## 2. 配合理論に関する既往の研究

コンクリートの流動性、材料分離抵抗性、ワーカビリティなどに関係する主な配合理論として、コンクリートをペーストと骨材の二相系として考える余剰ペースト理論や、モルタルと粗骨材の二相系とし、図-1に示すように粗骨材粒子の分散距離を考慮する理論などが研究[1][2]されている。

余剰ペースト理論では、コンクリートのこれらの性質に直接影響するのは、主としてペーストの組成で決定されるが、ペーストの組成が与えられた場合

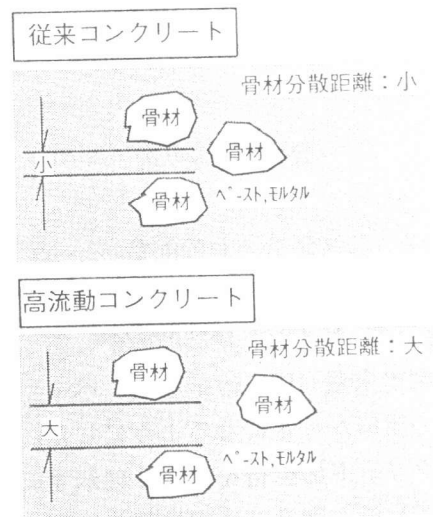


図-1 骨材分散の概念

\*1 株式会社大林組技術研究所 土木第三研究室 研究員 (正会員)  
 \*2 株式会社大林組技術研究所 土木第三研究室 研究員, 工修 (正会員)  
 \*3 株式会社大林組技術研究所 土木第三研究室 副主任研究員, 工修 (正会員)  
 \*4 株式会社大林組技術研究所 土木第三研究室 主任研究員, 工博 (正会員)

ペーストと骨材の相対量と骨材の特性によって影響され、骨材の比表面積や空隙率も関係する考えられている。一方、粗骨材粒子の分散距離を要因とする配合理論においても、粗骨材の分散距離は、モルタルに対する粗骨材の相対容積比と同様で、流動性、材料分離抵抗性などに影響を与えると考えられている。本論文では、骨材粒子の比表面積や分散距離の測定が困難な骨材空隙量とペースト量の相対容積比を用いて、間接的に骨材粒子の分散距離を相対比較することにより、分散距離の影響について検討を行った。

## 2. 実験内容

### 2.1 使用材料

実験に用いたコンクリート材料を表-1に示す。セメントは、中庸熱ポルトランドセメントを使用した。骨材および粗骨材は、分級して骨材粒度を調整した割合の異なる各4種類とした。表-2に骨材の物理試験結果を、図-2に骨材の粒度分布を示す。骨材は飽水状態で使用した。

表-1 使用材料および物性

材料	記号	材料の物性
セメント	C	中庸熱ポルトランドセメント；JISR5210規格品；比重3.20，比表面積 3150 cm <sup>2</sup> /g
石粉	Lf	舗装用石灰石粉；JISA5008規格品；比重2.73，比表面積 5400 cm <sup>2</sup> /g
細骨材	S1, S2, S3, S4	木更津産山砂；粒度調整品；表-2参照
粗骨材	G1, G2, G3, G4	青梅産碎石2005；粒度調整品；表-2参照
混和剤	A1, A2	A1 高性能AE減水剤；主成分：リカルボン酸系 A2 AE調整剤；主成分：変性アルキルカルボン酸系
水	W	地下水

表-2 骨材の物理試験結果

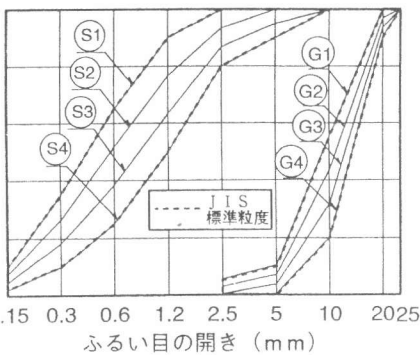


図-2 骨材の粒度分布曲線

種類	記号	産地	比重	吸水率 (%)	粗粒率 FM (%)	実積率 (%)	ふるいを通るものの質量百分率 (%)						
							10.0	5.0	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
細骨材	S1	木更津	2.62	1.78	2.00	61.8	100	100	100	90	65	35	10
	S2	津産			2.44	63.5	100	100	93.4	76.6	51.6	26.6	7.3
	S3	山砂			2.94	65.3	100	95	86.7	63.3	38.3	18.3	4.7
	S4	山砂			3.43	67.6	100	90	80	50	25	10	2
種類	記号	産地	比重	吸水率 (%)	粗粒率 FM (%)	実積率 (%)	ふるいを通るものの質量百分率 (%)						
							30	25	20	15	10.0	5.0	2.5
粗骨材	G1	青梅産	2.65	0.57	6.30	61.9	100	100	100	78	55	10	5
	G2	産			6.51	60.9	100	100	96.6	70.4	43.4	6.6	2.5
	G3	碎石			6.72	60.8	100	100	93.3	62.7	31.7	3.3	0
	G4	碎石			6.90	59.9	100	100	90	55	20	0	0

表-3 コンクリートの配合

### 2.2 コンクリートの配合

コンクリートの配合は、単位水量 g/m<sup>3</sup>，セメント量 350kg/m<sup>3</sup>，石微粉末量 150 kg/m<sup>3</sup>とし、ペーストの組成が一定になるようにした。コンクリートの配合を表-3に示す。高性能AE減水剤及びAE調整剤の添加、細骨材にS2、粗骨材にG2を使用した。スランプフローが60cm、空気4.7%になった配合No.2の添加量標準とし一定とした。

No	目標	W/P (%)	W/C (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )					混和剤 (PX%)		
					W	C	Lf	S	G	A1	A2	
1	細骨材の粗粒率の影響把握	32.0	45.7	49.3	160	350	150	(S1)	(G2)	848	2.20	0.024
815												
(S2)												
815												
2	粗骨材の粗粒率の影響把握	32.0	45.7	49.3	160	350	150	(S3)	(G1)	848	2.20	0.024
815												
(S4)												
815												
3	粗骨材の粗粒率の影響把握	32.0	45.7	49.3	160	350	150	(S2)	(G3)	848	2.20	0.024
815												
(S3)												
815												
4	粗骨材の粗粒率の影響把握	32.0	45.7	49.3	160	350	150	(S4)	(G4)	848	2.20	0.024
815												
(S1)												
815												

\* ( )内は種類を表す。 P = C + Lf

### 3.3 練混ぜ方法および試験手順

コンクリートの練混ぜ方法および試験手順を図-3に示す。練混ぜは温度20℃、湿度60%の恒温恒湿室で行い、容量60ℓの2軸強制練りミキサを使用した。1バッチの練混ぜ容量は50ℓとした。また、フレッシュコンクリートの経時変化の測定は、練り上がった試料を傾胴式ミキサに移し、試料が乾燥しないように蓋をしたうえで、3 rpm でアジテートしながら練上り直後と15分後、45分後にそれぞれ行った。

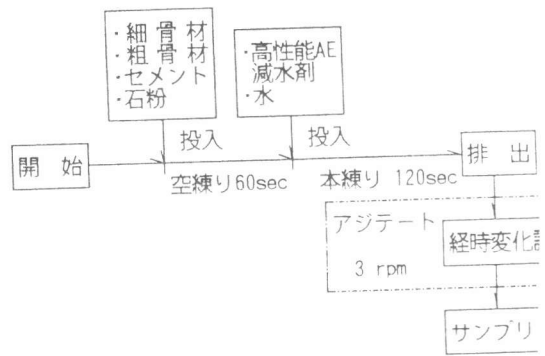


図-3 練混ぜ方法および試験手順

### 3.4 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表-4に示す。コンクリートの粘性および材料分離抵抗性の測定は、図-4に示す漏斗流下試験器を用いて行った。漏斗流下試験は、振動を与えないように静かに試料を試験器に充填し、コンクリートの流下時間を0.1秒単位まで測定した。

表-4 試験項目および方法

試験項目	試験方法
スランプフロー	試料はコーンに流込み、突かない
空気量	JIS A 1128 に準拠
練上り温度	デジタル温度センサーにて計測
漏斗流下時間	コンクリートの漏斗流下時間を 漏斗流下試験器：図-4 参照

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 細骨材の粗粒率の影響

粗骨材の粗粒率を6.51に固定し、細骨材の粗粒率を2.00~3.43の4段階に変化させた場合の、細骨材の粗粒率の違いが高流動コンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響を図-5~図-7に示す。

実験の結果、練上り時のフレッシュコンクリートの状態は、粗粒率が2.44の時は良好で、2.94の時若干の骨材沈降が見られ、3.43では骨材が沈降し材料分離状態となった。練上り直後のスランプフローは、図-5に示すように粗粒率が2.94までは粗粒率の増加に伴って増大し、2.94を越えると減少の傾向となった。またスランプフローの経時変化は粗粒率が増大するほど減少した。以上の結果より、細骨材の粗粒率が小さいほど、練上り後のスランプフローの変化が大きく、また練上り直後からのスランプの増大量が大きい配合ほど、その後のスランプロスが速い結果となった。この理由として粗粒率の小さい細骨材に

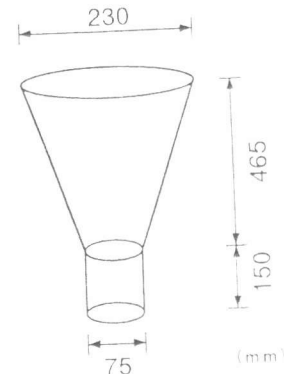


図-4 漏斗流下試験器<sup>[3]</sup>

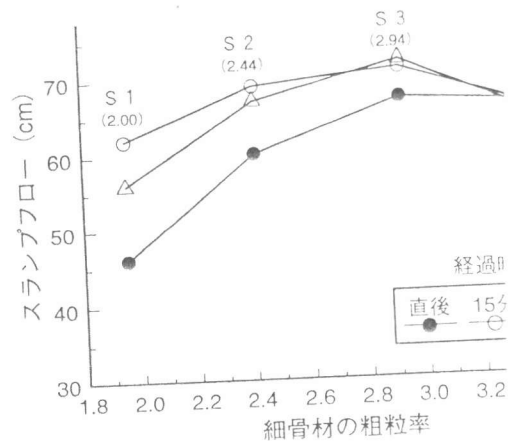


図-5 細骨材の粗粒率とスランプ

は微粒分が多く含まれており、高性能AE減水剤の流動保持成分や減水成分が微粒分に吸着することや、練混ぜの影響等が考えられる。

次に、練上り直後の空気量は図-6に示すように、粗粒率の増加に伴って単調に減少した。この理由として、粗粒率が大きい細骨材には微粒分が少ないため、エントレインドエアが導入されにくいことが考えられる。また空気量の経時変化は、45分後まで大きな変化は見られなかった。

練上り15分後の漏斗流下時間は、細骨材の粗粒率が2.44の時最も小さかったものの、2.00~2.94の範囲内では4秒程度の差となった。一方、粗粒率が3.43では流下時間は10秒以上増大した。粗粒率が3.43の場合は、細骨材中の微粉分が減少することによってモルタルの粘性が低下し、材料分離により骨材粒子の分散距離が減少して骨材粒子間にかみ合い現象が発生したためと考えられる。

#### 4.2 粗骨材の粗粒率の影響

細骨材の粗粒率を2.44に固定し、粗骨材の粗粒率を6.30~6.90の4段階に変化させた場合の、粗骨材の粗粒率の違いが高流動コンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響を図-9~図-10に示す。

練上り時のフレッシュコンクリートの状態は、粗骨材の粗粒率の違いによる大きな差は見られなかった。練上り直後のスランプフローは、図-8に示すように粗骨材の粗粒率の増加に伴う有意な差は見られなかった。またスランプフローの経時変化は、いずれの配合においても、練上り直後から15分後までスランプフローは約10cm増加し、45分後まで大きな変化は見られなかった。練上り時の空気量は、粗骨材の粗粒率の増加に伴って若干減少した。また空気量の経時変化は、練上りから15分後にいずれの配合でも約1%減少し、45分後までは変化は見られなかった。

練上り15分後の漏斗流下時間は、粗骨材の粗粒率の変化に伴う影響はほとんど見られな

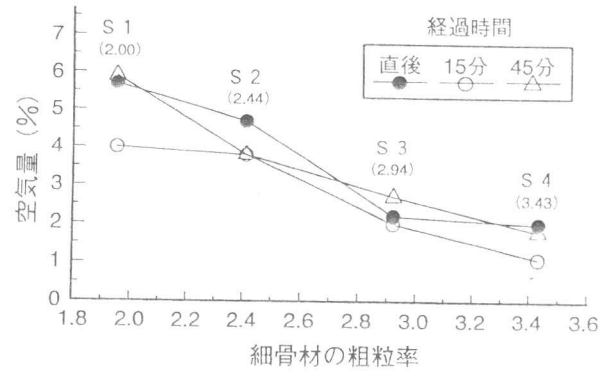


図-6 細骨材の粗粒率と空気量

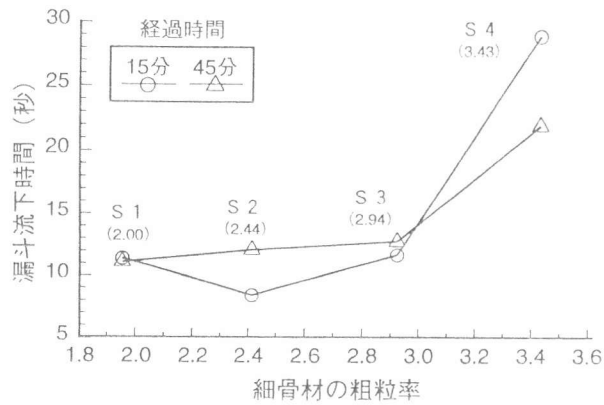


図-7 細骨材の粗粒率と漏斗流下時間

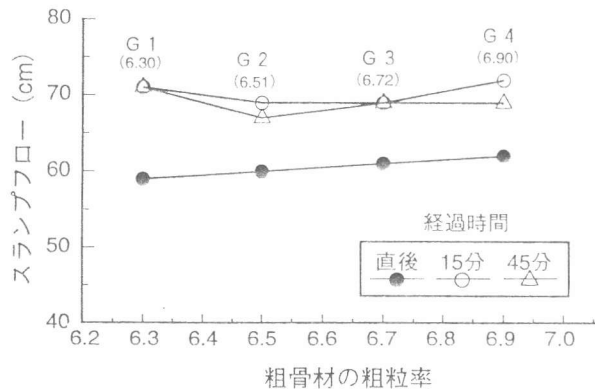


図-8 粗骨材の粗粒率とスランプフロー

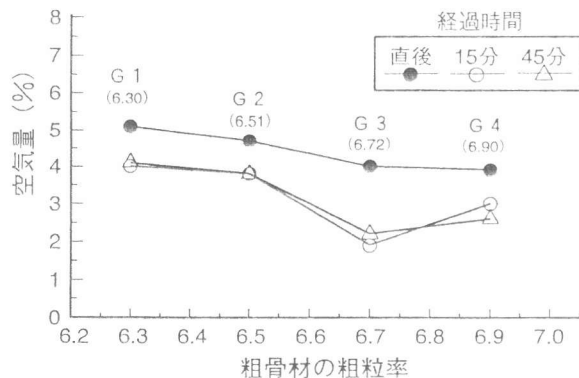


図-9 粗骨材の粗粒率と空気量

かった。一方、漏斗流下時間の経時変化は、45分後には粗骨材の粗粒率が大きい配合ほど増加する傾向を示し、粗粒率が6.90では約5秒増加した。

#### 4.3 骨材粒子の分散距離の影響

コンクリート中の骨材粒子の分散距離を直接計測することは困難なため、骨材中の空隙容積を実績率から算定し、この空隙容積に対するペースト容積の比を用いて、骨材粒子の分散距離を間接的に相対比較することにより、骨材粒子の分散距離の影響について検討を行った。各配合における細骨材と粗骨材を混合した骨材の、骨材実積率を測定した結果を図-11に、また混合した骨材の骨材空隙容積に対するペースト容積の比を表-5に示す。

細骨材と粗骨材を混合した骨材の実績率は、図-11に示すように細骨材、粗骨材単品の場合の実績率より増加した。本実験のように、細骨材と粗骨材の混合比率が一定でかつ同一種類の場合、混合後の実績率と各骨材の実績率の関係はほぼ直線で表せ、混合後の実績率は、72~78%の範囲内にあった。この実績率を用いて各配合における、細骨材と粗骨材を混合した骨材の骨材空隙容積に対するペースト容積の比を算定した結果、表-5に示すように容積比は140%~200%の範囲に分布した。骨材が均一にペースト中に分散している場合、この容積比が大きい配合ほど、骨材粒子の分散距離が大きくなると考えられる。

骨材空隙容積に対するペースト容積比と、スランプフロー、漏斗流下時間の関係を図-12、13に示す。細骨材の粒度分布を変化させた系ではばらつきが見られたものの、細骨材と粗骨材を混合した骨材の空隙容積に対するペースト容積比とスランプフローの関係は、容積比の増加に伴ってスランプフローは増加したが、増加の程度は少なかった。細骨材の粒度分布を変化させた系の、スランプフローのばらつきの原因として、微粒分を含んだ細骨材の場合、骨材粒子の分散距離の影響の他

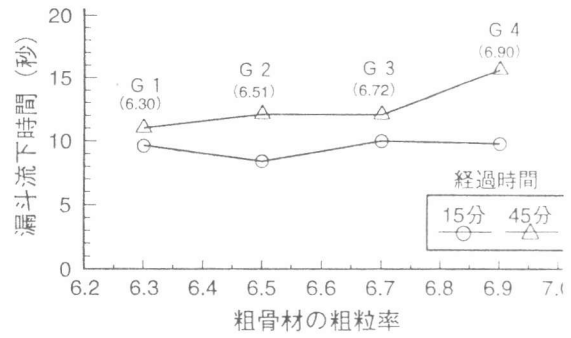


図-10 粗骨材の粗粒率と漏斗流下時間

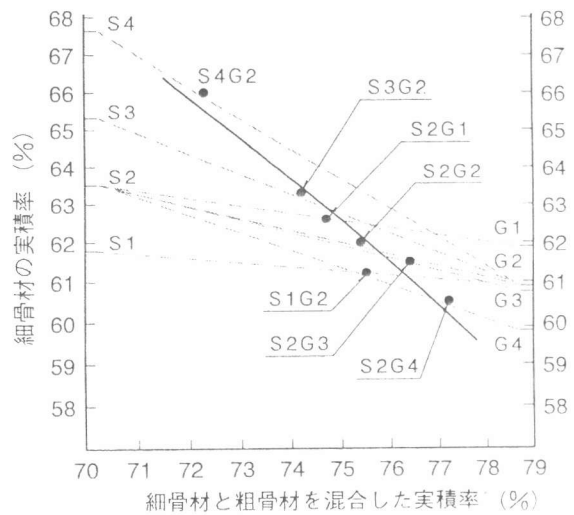


図-11 細骨材と粗骨材を混合した場合の骨材実績率

表-5 細骨材と粗骨材を混合した骨材の骨材空隙容積に対するペースト容積の比

No.	実績率 (%)	空隙率 (%)	骨材のかさ容積 (ℓ/m <sup>3</sup> )	空隙容積① (ℓ/m <sup>3</sup> )	ペースト容積② (ℓ/m <sup>3</sup> )	容積比②/① (%)
1	75.4	24.6	837.0	205.9	371.3	180
2	75.5	24.5	836.2	204.9	381.3	186
3	74.2	25.8	850.5	219.4	346.3	157
4	72.3	27.7	872.8	241.8	344.3	142
5	74.7	25.3	844.8	213.7	375.3	175
6	76.4	23.6	826.0	194.9	364.3	186
7	77.2	22.8	817.4	186.4	363.3	194

に、微粒分に混和剤が吸着することによる減水効果の違いや、練混ぜの影響などがあると考えられる。次に、骨材空隙容積に対するペースト容積比と漏斗流下時間の関係は、容積容積比が160%程度以上の範囲では、容積比の増加に伴い、漏斗流下時間は減少した。これは、骨材粒子の分散距離が増加することにより、フレッシュコンクリート内部の骨材のかみ合いが減少するためと考えられる。一方、容積比が160%程度以下では、漏斗流下時間は20秒程度増大した。この理由として、容積比の減少に伴って骨材粒子の分散距離が減少したことの他に、容積比160%程度以下の範囲では材料分離が生じた結果、骨材相互のかみ合いが生じた影響が大きいと考えられる。

## 6. まとめ

実験の結果得られた知見を下記に示す。

JIS A 5308付属書1で規定している骨材の標準粒度分布の範囲内で、高流動コンクリートの粗骨材および細骨材の粒度分布を変化させた結果、粗骨材の変化よりも細骨材の粒度変化の方がスランプフロー、空気量、漏斗流下時間へ及ぼす影響が大きい。また、骨材空隙容積に対するペースト容積比が160%から200%程度に増加するのに伴って、スランプフローは約5cm増加し、漏斗流下時間は約3.5秒

減少することが確認できたことから、骨材粒子の分散距離の増加がフレッシュコンクリートのこれらの性質に影響を及ぼしていると推察できる。一方、この容積比が160%程度以下では、骨材粒子の分散距離の減少の他に、細骨材中の微粒分不足に伴うペースト粘度の低下によって、高流動コンクリートの材料分離抵抗性に悪影響を与えたと考えられる。

## 【参考文献】

- [1] 岩崎訓明：コンクリート配合の原点，セメントコンクリート，No.564，pp.20-27，Feb. 1994
- [2] 日本コンクリート工学協会 編：フレッシュコンクリートの挙動研究委員会報告，1990.3
- [3] 三浦律彦 他：ロート流下試験法による超流動コンクリートの品質判定に関する一考察，JCI 超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集，pp.9-16，1993.5

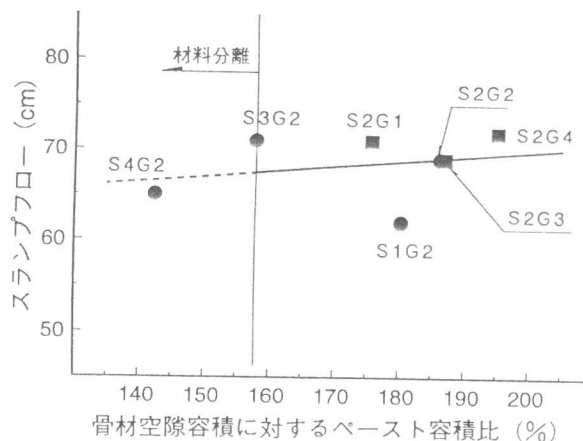


図-12 骨材空隙容積に対するペースト容積比とスランプフロー

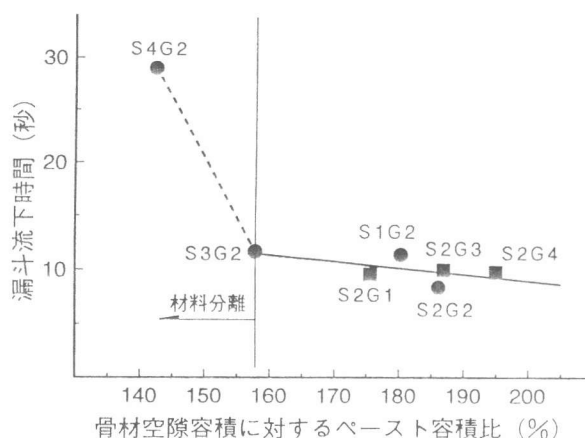


図-13 骨材空隙容積に対するペースト容積比と漏斗流下時間