

# 論文 高流動コンクリートのフレッシュ性状に与える骨材品質の影響に関する研究

森 博嗣<sup>1</sup>・谷川 恭雄<sup>2</sup>・若林 信太郎<sup>3</sup>・吉兼 亨<sup>4</sup>

**要旨：**高流動コンクリートの流動挙動は、骨材の品質によって大きく左右されることが指摘されているが、骨材性質の影響に関する広範囲なデータは、また報告されていない。本研究では、高流動コンクリートのフレッシュ性状に与える骨材品質の影響を把握するため、4種類の基本調合に対して、産地あるいは種類の異なる計74種類の骨材を用いて高流動コンクリートを混練し、それらのフレッシュ性状について検討した。

**キーワード：**高流動コンクリート、流動性、スランプフロー値、空気量、骨材性質

## 1. まえがき

近年、高い流動性と適度な分離抵抗性を兼ね備え、無振動条件下で型枠の隅々まで充填することが可能な高流動コンクリートが開発・実用化されている。しかし、高流動コンクリートには、一般に、高性能AE減水剤、各種混和剤、あるいは増粘剤などが混入されるため、通常のコンクリートと比較してフレッシュ時の流動特性が広範囲に分布し、その性状を的確に評価することが難しい[1]。また、高流動コンクリートの流動挙動は、骨材の品質によって大きく左右されることが指摘されている[2]が、骨材性質の影響に関する広範囲なデータは報告されていない。

本研究では、骨材品質のばらつきが高流動コンクリートの流動性に及ぼす影響について実際的なデータを得ることを目的として、同一調合の高流動コンクリートに様々な種類の骨材を使用し、それらの影響範囲について調べた。

本研究は、日本コンクリート工学協会中部支部・高流動コンクリート研究委員会によって、中部7県の生コンクリート工業組合および加盟工場の協力の下で、1995年6月12日～6月22日に行われた共通実験の結果をとりまとめたものである。

表-1 コンクリートの調合

Series	W/C	w	c	s	g	Air	AE/C	SCA	HAE/C
35H	35	0.170	0.160	0.325	0.300	0.045	2.0×10 <sup>-5</sup>	-	1.2×10 <sup>2</sup>
35S									1.5×10 <sup>2</sup>
50H	50	0.180	0.114	0.361				0.4	2.0×10 <sup>2</sup>
50S									2.5×10 <sup>2</sup>

[Notes] W/C: Water - cement ratio (%), w: Water (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), c: Cement (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), s: Sand (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), g: Gravel (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), Air: Air content (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), SCA: Segregation control agent (kg/m<sup>3</sup>), AE: Air entraining agent, HAE: High - range water reducing AE agent.

\*1 名古屋大学助教授 工学研究科建築学専攻、工博 (正会員)  
 \*2 名古屋大学教授 工学研究科建築学専攻、工博 (正会員)  
 \*3 (株) 銭高組 工修 (正会員)  
 \*4 大有建設(株) 専務取締役 (正会員)

## 2. 実験の概要

### 2.1 試料

コンクリートの調合を表-1に示す。本実験では、水セメント比を35%および50%の2水準（以下、35シリーズおよび50シリーズと呼ぶ）とし、前者には、高炉セメントB種の、また後者には、普通ポルトランドセメントの、それぞれ同一ロットのものを共通で使用した。また、50シリーズにのみ、セルロースエーテル系の分離低減剤を添加した。ポリカルボン酸塩系高性能AE減水剤の添加量によって、目標スランプフロー値が55cm（Hシリーズ）および65cm（Sシリーズ）となる基本調合を用意した。

以上の4種類の調合に対して、産地あるいは種類の異なる計74種類の骨材を用いて高流動コンクリートを混練した。細骨材には、山砂、川砂、陸砂、砕砂、湖底砂、高炉スラグ細骨材などを、単独もしくは混合して使用した。また、粗骨材には、碎石、川砂利、陸砂利を単独もしくは混合して用いた。ただし、細骨材では5mm以上のものを、粗骨材では5mm以下のものをそれぞれ除外している。また、本研究では、骨材の性質を表す指標として、最大寸法、絶乾比重、表乾比重、吸水率、実積率、粒形判定実積率および粗粒率などを測定した。細骨材の粗粒率は、2.19~3.04、平均2.68であり、粗骨材の粗粒率は、6.50~7.27、平均6.88であった。

### 2.2 実験方法

フレッシュコンクリートの流動性状を評価するために、空気量試験およびスランプフロー試験を行った。実験は中部地方の各県で行われ、60リットルの試料を強制練りミキサで混練した。室温は18℃~25℃、コンクリート温度は19℃~26℃の範囲であった。スランプフロー試験における測定項目は、スランプ値 $Sl$ 、スランプフロー値 $Sf$ 、フロー50cm時間 $St50$ 、フロー終了時間 $St$ である。

また、同一試料に対して、流動性状の経時変化を評価するために、練上がり直後に測定した後静置し、練上がり後15分、30分、45分、60分、90分、120分後の同性状を1分間練り返した上で測定した。ただし、スランプフロー値が30cm以下になった場合には、それ以降の測定を中止した。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 空気量 $Air$

図-1に、空気量  $Air$  の測定値の頻度分布を調合別に示す。35シリーズでは、練上がり直後に空気量が2%未満の値を示したものが多数存在した。また、35シリーズに比べて、50シリーズでは空気

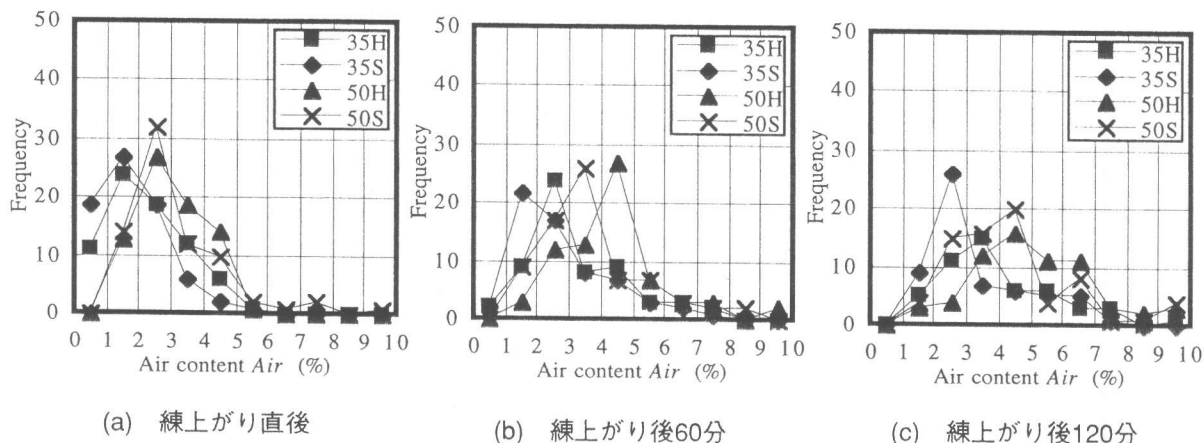


図-1 各試料の空気量  $Air$  の頻度分布

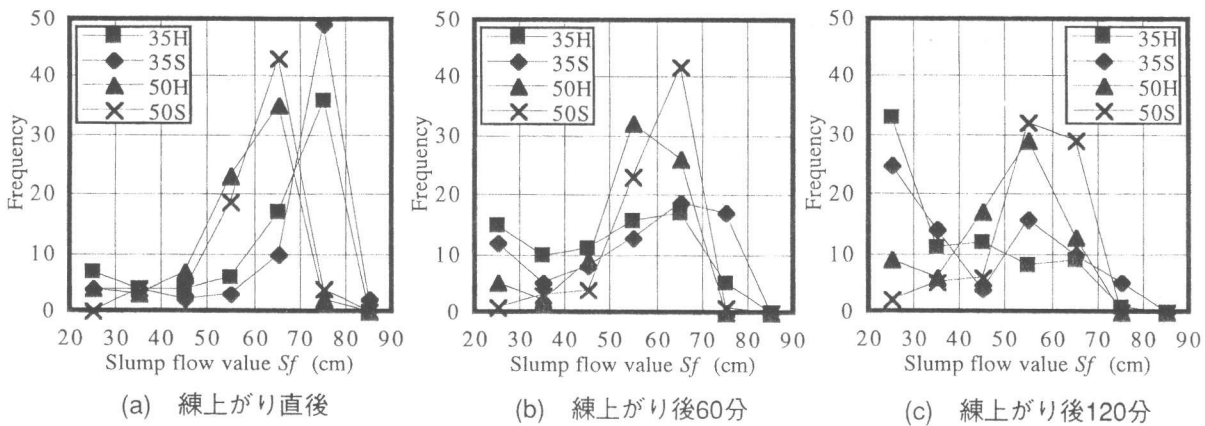


図-2 各試料のスランプフロー値 $S_f$ の頻度分布

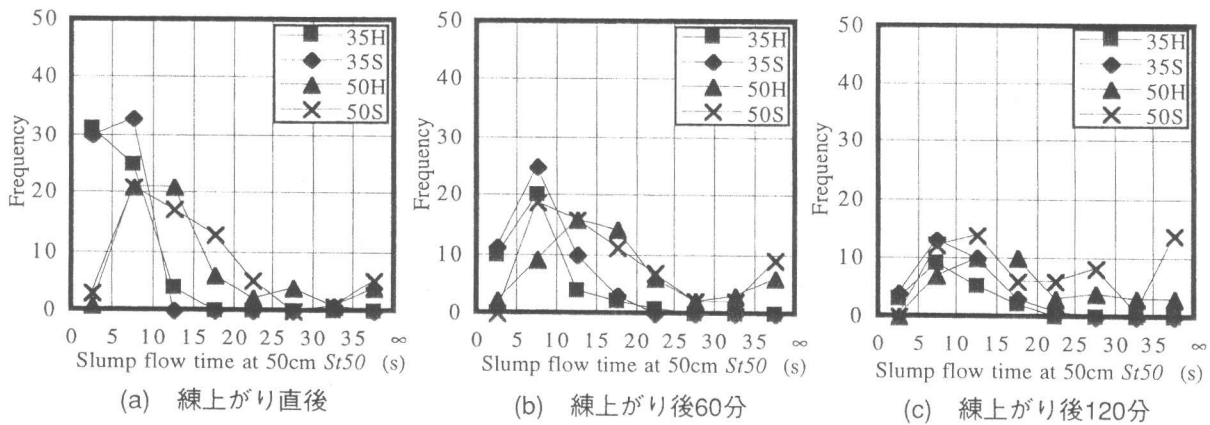


図-3 各試料のフロー50cm時間 $St_{50}$ の頻度分布

量がやや大きくなる結果となった。練上がり直後、60分後、120分後の空気量の分布を比較すると、時間が経過するにしたがって、空気量が全体的に若干増加する傾向にある。

### 3.2 スランプフロー値 $S_f$

図-2は、練上がり直後、60分後、および120分後のスランプフロー値 $S_f$ の頻度分布を示したものである。図中には、スランプフロー値が30cm以下になったものも含めて示した。練上がり後の時間の経過に伴い、スランプフロー値は低下し、ばらつきは増大している。35シリーズに比べて、単位水量が多く、分離低減剤が混入されている50シリーズの方が、スランプフロー値 $S_f$ の経時変化が少ない。

### 3.3 フロー50cm時間 $St_{50}$

図-3は、各試料のフロー50cm時間 $St_{50}$ の頻度分布を示したものである。スランプフロー値が50cm未満の試料のデータは、測定不能のため、図中には含まれていない。高性能AE減水剤添加量の影響はほとんど見られず、同一水セメント比の調合では、ほぼ同様の傾向を示した。また、練上がり直後120分までのフロー50cm時間の分布は、50シリーズでは、緩やかであるのに対して、35シリーズでは、フロー50cm時間が増加するものが多く見られ、粘性が増大する傾向を示している。

### 3.4 骨材性質の影響

図-4および図-5に、スランプフロー値 $S_f$ と細骨材および粗骨材の粗粒率 $FM$ の関係を示す。図中の直線は、各測定時間における両者の関係を最小二乗法によって回帰した直線である。ただし、以下の考察では、スランプフロー値の測定を中止した以後のデータは含まれていない。

図-4から明らかのように、練上がり後の時間が経過するにしたがって、一般にスランプフロー値 $S_f$ は低下し、またスランプフロー値 $S_f$ と細骨材の粗粒率 $FM_s$ の回帰直線の勾配は低下する。また、図-5からは、逆に、時間経過とともに、回帰直線の勾配は増加している。つまり、細骨材の粗粒率が大きいものほど、また粗骨材の粗粒率が小さいものほど、スランプフロー値 $S_f$ が時間とともに減少する傾向がみられる。この傾向は特に35シリーズで顕著である。

図-6は、練上がり直後のスランプフロー値 $S_f$ と細骨材の吸水率 $Q_s$ の関係を示したものである。細骨材の吸水率が大きいほど、スランプフロー値が小さくなる傾向があるが、50シリーズでは、35シリーズと比較して、この傾向は顕著ではない。

図-7に、練上がり直後より120分間のスランプフローロス $\Delta S_f$ と細骨材の表乾比重 $\rho_s$ の関係を示す。35シリーズでは、細骨材の表乾比重の増加にしたがって、スランプフ

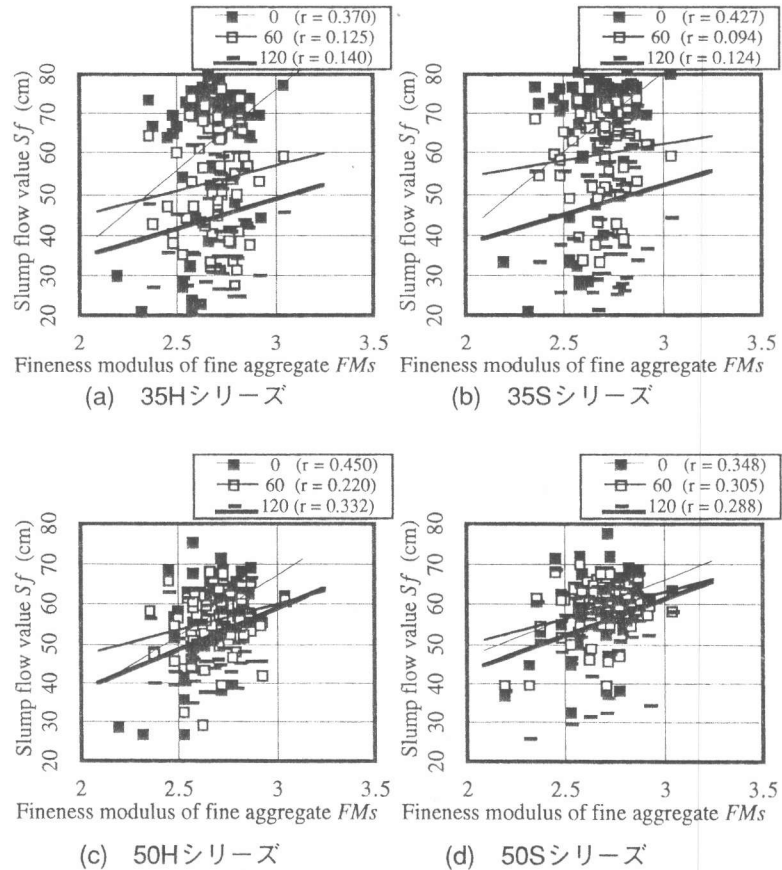


図-4 スランプフロー値 $S_f$ と細骨材の粗粒率 $FM_s$ の関係

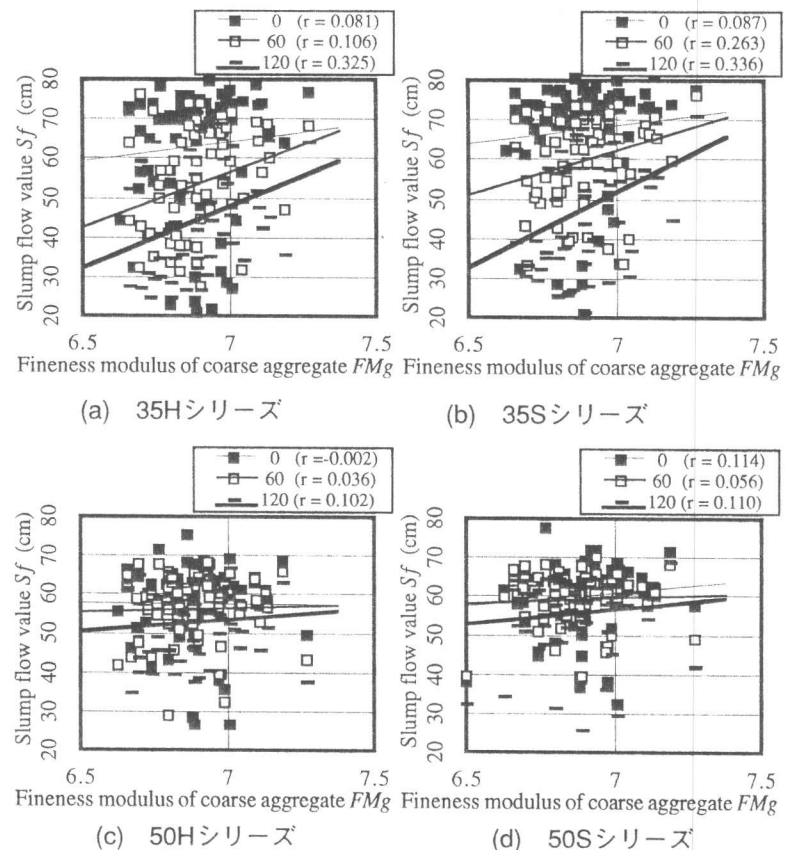


図-5 スランプフロー値 $S_f$ と粗骨材の粗粒率 $FM_g$ の関係

ローロスも減少する傾向があるが、50シリーズでは、この影響はほとんどみられない。

### 3.5 影響要因の整理

スランプフロー値  $Sf$  を目的変数 ( $y_e$ ) とし、各骨材性質を独立変数 ( $x_{e1}, x_{e2}, x_{e3}, \dots, x_{en}$ ) とする多項式(1)を組み立て、目的変数と各独立変数との相関性を示す偏相関係数  $r$  を算出した。表-2にその結果を一覧にして示す。

$$y_e = f(x_{e1}, x_{e2}, x_{e3}, \dots, x_{en}) \quad (1)$$

表中には、目的変数との相関性の高いものとして、偏相関係数  $r$  の絶対値が0.3を超えたものに下線をひいて表示した。この表から明らかのように、スランプフロー値  $Sf$  は、粗骨材よりも細骨材の性質に大きく影響を受ける傾向がある。すべての調合に共通し

て、高い相関性が見られるのは、細骨材の粗粒率  $FM_s$  である。また、35シリーズでは、50シリーズと比較して、表乾比重  $\rho_s$  や吸水率  $Q_s$  との相関性が高く、逆に、細骨材の実積率  $G_s$  との相関性は50シリーズが高いのに対して35シリーズでは低い値となっている。

表-3は、練上がり直後より120分間のスランプフローロス  $-\Delta Sf$  に対して、各骨材性質の偏相関係数  $r$  を求めたものである。すべての調合を通して、細骨材および粗骨材の吸水率がスランプフローロスに対して相関性が高いことがわかる。また、35シリーズで相関性の高かった細骨材の最大寸法  $S_{max}$ 、絶乾比重  $\rho_{ds}$ 、および粗骨材の粗粒率  $FM_g$  は、50シリーズでは相関性が低く、逆に粗骨材の表乾比重  $\rho_{gl}$  は、50シリーズの方が相関が高い。このように、スランプフローロス  $-\Delta Sf$  に影響を与える骨材性質は、調合によって異なる傾向がみられた。

しかし、以上の結果は各種の要因を独立に取り扱っており、単なる傾向を示しているにすぎない。より詳細な検討を行うためには、条件を整えたモデル実験が必要であろう。

## 4. まとめ

本研究では、高流動コンクリートの流動挙動に及ぼす骨材の影響に関するデータを広範囲に求め、全296種類の高流動コンクリートのコンシステンシー試験を行った。本研究で得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 骨材性質は、高流動コンクリートのスランプフロー値、空気量、フロー50cm時間に大きく影響を与える。

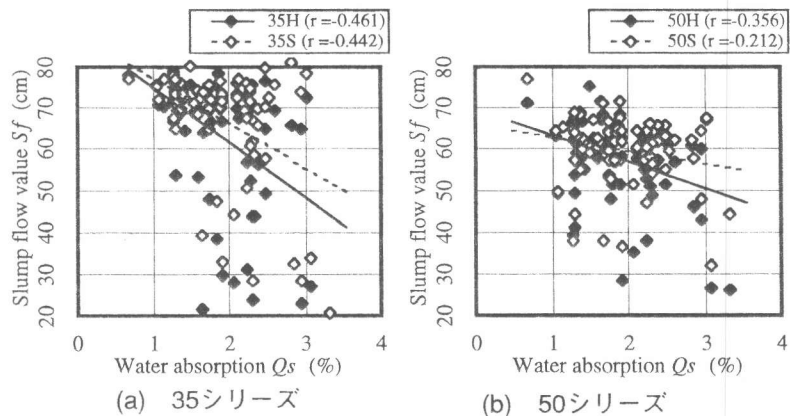


図-6 スランプフロー値  $Sf$  と細骨材の吸水率  $Q_s$  の関係

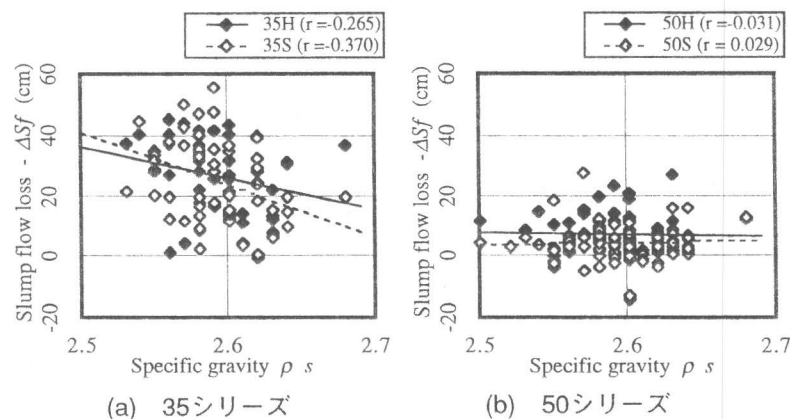


図-7 スランプフローロス  $-\Delta Sf$  と細骨材の表乾比重  $\rho_s$  の関係

表-2 スランプフロー値  $S_f$  と骨材性質の偏相関係数  $r$  表-3 スランプフローロス  $\Delta S_f$  と骨材性質の偏相関係数  $r$

細骨材	35H0	35S0	50H0	50S0
最大寸法 $S_{max}$	0.215	0.203	0.201	0.131
絶乾比重 $\rho_{ds}$	0.230	0.191	0.222	0.091
表乾比重 $\rho_s$	<u>-0.349</u>	<u>-0.367</u>	-0.155	0.004
吸水率 $Q_s$	<u>-0.452</u>	<u>-0.454</u>	-0.284	-0.123
実積率 $G_s$	0.052	0.097	<u>0.307</u>	<u>0.369</u>
粒形判定実積率 $G_{js}$	0.283	<u>0.300</u>	0.149	0.113
粗粒率 $FM_s$	<u>0.326</u>	<u>0.378</u>	<u>0.462</u>	<u>0.383</u>
洗い試験により失われる量 $SE_s$	-0.142	-0.174	0.098	0.141
粗骨材	35H	35S	50H	50S
最大寸法 $G_{max}$	0.209	0.206	0.264	0.267
絶乾比重 $\rho_{dg}$	0.283	0.203	0.215	0.069
表乾比重 $\rho_g$	-0.215	-0.180	-0.003	0.071
吸水率 $Q_g$	-0.256	-0.190	-0.074	0.070
実積率 $G_g$	0.172	0.197	0.167	0.186
粒形判定実積率 $G_{jg}$	-0.012	-0.012	-0.020	0.107
粗粒率 $FM_g$	0.014	0.017	-0.104	-0.108
洗い試験により失われる量 $SE_g$	<u>-0.361</u>	<u>-0.322</u>	-0.144	-0.136

細骨材	35H	35S	50H	50S
最大寸法 $S_{max}$	<u>-0.357</u>	<u>-0.469</u>	-0.289	-0.146
絶乾比重 $\rho_{ds}$	<u>-0.421</u>	<u>-0.551</u>	-0.120	-0.145
表乾比重 $\rho_s$	0.134	0.261	<u>0.306</u>	<u>0.470</u>
吸水率 $Q_s$	0.239	<u>0.416</u>	<u>0.331</u>	<u>0.496</u>
実積率 $G_s$	-0.149	0.026	0.233	0.175
粒形判定実積率 $G_{js}$	0.003	-0.153	-0.299	-0.188
粗粒率 $FM_s$	-0.103	-0.066	-0.120	-0.048
洗い試験により失われる量 $SE_s$	0.200	0.120	0.100	0.223
粗骨材	35H	35S	50H	50S
最大寸法 $G_{max}$	-0.244	-0.200	-0.066	-0.078
絶乾比重 $\rho_{dg}$	-0.276	<u>-0.350</u>	-0.102	-0.009
表乾比重 $\rho_g$	0.037	0.225	<u>0.419</u>	0.286
吸水率 $Q_g$	0.205	<u>0.418</u>	<u>0.450</u>	<u>0.365</u>
実積率 $G_g$	0.030	-0.053	0.032	-0.115
粒形判定実積率 $G_{jg}$	0.185	0.015	-0.044	0.049
粗粒率 $FM_g$	<u>-0.372</u>	<u>-0.366</u>	-0.037	0.165
洗い試験により失われる量 $SE_g$	0.024	0.010	0.138	0.095

- 2) 練り上がり直後のスランプフロー値のばらつきは、粗骨材よりも細骨材の性状に大きく起因する。
- 3) スランプフローロスは、骨材性状の影響を大きく受けるものの、調合によって影響要因は異なる。

#### 謝辞

本研究の実施に際しては、中部7県下の生コンクリート工業組合および加盟工場の皆様方に多大のご協力をいただいた。また、日本セメント（株）、竹本油脂（株）および信越化学工業（株）には、使用材料をご提供いただいた。付記して謝意を表する。

#### 参考文献

- [1] 谷川恭雄, 森博嗣, 他: 高流動コンクリートのコンシステンシー評価試験方法 (その1~その12), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), A-1, pp.183-206, 1995.8.
- [2] 山口昇三, 枝松良展, 岡村甫: モルタルフロー値に及ぼす細骨材特性の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.83-88, 1994.6.