

# 論文 高流動コンクリートに与える細骨材微粒砂の影響

宮澤 聡<sup>\*1</sup>・中村 好輝<sup>\*2</sup>・小澤 満津男<sup>\*3</sup>・森本 博昭<sup>\*4</sup>

要旨：細骨材の 150 $\mu\text{m}$  以下の微粒砂が高流動コンクリートに与える影響を検討した。高流動コンクリートの構成材料である細骨材の 150 $\mu\text{m}$  以下の微粒砂を、いくつかの粒径に変化させて実験を行った。その結果、流動性、材料分離抵抗性ともに 75 $\mu\text{m}$  以下の粒径から差が見られ始め、粒径が小さくなるにしたがって流動性は低下し、材料分離抵抗性は大きくなった。また、材料分離状態のコンクリートに対しても微粒砂の粒径を変化させることによって、フレッシュ性状が改善した。このことから、微粒砂の粒度構成を変化させることにより、高流動コンクリートのフレッシュ性状を制御できる可能性を明らかにした。

キーワード：高流動コンクリート、微粒砂、流動性、材料分離抵抗性

## 1. はじめに

既往の研究では、細骨材中にはコンクリートの流動性や材料分離抵抗性に対して影響を与える微粒部分（以下、微粒砂という）が含まれていることがあり、その微粒砂中には粉体と同じ性質を持つものがあると考えられ、その境界線は 0.06mm 未満であると報告されている<sup>1)</sup>。著者らは前報のモルタル試験において、微粒砂の粒径 75 $\mu\text{m}$  と 45 $\mu\text{m}$  の間に流動性と材料分離抵抗性について影響を与える境界線が認められ、微粒砂の粒径ごとにモルタルフローに与える影響が異なることを明らかにした<sup>2)</sup>。前報では、既往の研究で報告されている微粒砂の境界線と同様の傾向が見られた。また、粒径ごとにモルタルのフレッシュ性状が変化しており、粒径を変化させることによって任意の流動性と材料分離抵抗性を持つモルタルを設計できる可能性が認められた。

しかし、細骨材の微粒砂については、流動性と材料分離抵抗性に与える影響は大きいと考えられるが、微粒砂の粒度や各粒径がコンクリートのフレッシュ性状にどのような影響を与えるかについては報告例が少ない。また、昨年度の結果はモルタルにおいての結果であり、対象を高流動コンクリートとした場合にはコンクリートの単位量に占める微粒砂量の割合が小さくなり、その影響がフレッシュ性状に顕著に表れない可能性が考えられた。

本研究は、前報の結果をもとにし、150 $\mu\text{m}$  以下の微粒砂の各粒径が高流動コンクリートのフレッシュ性状に与える影響を、各種のフレッシュコンクリート試験の結果を比較検討することにより明らかにすることを目的とした。また、前報の結果と比較し、モルタル試験の結果から高流動コンクリートのフレッシュ性状が予測可能であるかを検討した。なお、本研究においても、微粒

砂の粒径に着目して試験を行うこととした。

## 2. 実験方法

### 2.1 使用材料

#### (1) 微粒砂

表 - 1 に、微粒砂の物性を示す。微粒砂は、細骨材の製造プラントとは別の骨材プラントにおいて石粉回収装置を使用し直接採取した。なお、微粒砂は川砂由来のものである。これを試験におうじて粒径ごとに金属ふるいにてふるい分けをおこなった。本実験に使用した微粒砂は、採取したものをそのまま使用したもの（以下、ベース）、ベースから 75 $\mu\text{m}$  以下を除去したもの（以下、150-75 $\mu\text{m}$ ）、63 $\mu\text{m}$  を通過し 53 $\mu\text{m}$  にとどまるもの（以下、53 $\mu\text{m}$ ）、53 $\mu\text{m}$  を通過し 45 $\mu\text{m}$  ふるいにとどまるもの（以下、45 $\mu\text{m}$ ）、45 $\mu\text{m}$  ふるいを通過するもの（以下、45 $\mu\text{m}$  以下）、150-75 $\mu\text{m}$  と 45 $\mu\text{m}$  以下を重量混合率で 1:1 とし組み合わせたもの（以下、混合）を使用した。150-75 $\mu\text{m}$  については、前報において、150 $\mu\text{m}$  から 75 $\mu\text{m}$  の範囲に入る粒径は、流動性や材料分離抵抗性に与える影響がほとんど変わらなかったことからひとつの群として取扱った<sup>2)</sup>。各微粒砂の密度は、JIS R 5201（セメントの物理試験方法 6. 密度試験）にしたがって測定した。比表面積は、ブレン法（JIS R 5201 セメントの物理試験方法

表 - 1 微粒砂の物性値

微粒砂種類	密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	比表面積 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	吸水率 (%)
ベース	2.71	900	1.37
150-75 $\mu\text{m}$	2.71	640	
53 $\mu\text{m}$	2.71	830	
45 $\mu\text{m}$	2.71	1010	
45以下 $\mu\text{m}$	2.71	1320	
混合	2.71	1020	

\*1 昭和コンクリート工業（株） 品質管理課 工修（正会員）

\*2 岐阜大学 社会基盤工学科

\*3 岐阜大学 社会基盤工学科助教 工博（正会員）

\*4 岐阜大学 社会基盤工学科助教 工博（正会員）

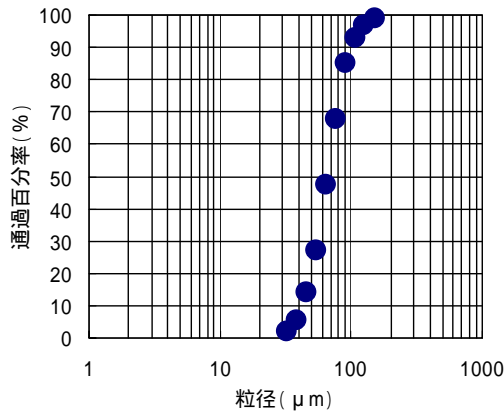


図 - 1 ベース微粒砂粒度

7.1 比表面積試験)にしたがって測定した。微粒砂の密度は粒径ごとに変化はなく、比表面積は粒径が小さくなるほど大きくなっている。図 - 1 に、ベース微粒砂の粒度を示す。粒度は、電磁振動機を使用し、ふるい分け試験により求めた。ベース微粒砂は、75μm 以下を約 70% 含んでいるものである。

(2)その他の使用材料

表 - 2 に、実験に使用したその他の使用材料を示す。セメントは、普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は川砂を使用し、粗骨材は碎石を使用した。粗骨材の最大寸法は 20mm である。混和剤はポリカルボン酸系の高性能減水剤を使用した。表 - 3 に、骨材の物性値を示す。細骨材は、金属ふるいによって 150μm 以下の微粒砂を取り除き、表乾状態にて使用した。

2.2 練混ぜ方法

高流動コンクリートの練混ぜは、強制 2 軸練りミキサ (容量 50 l) を使用し、練混ぜ量は 1 バッチ 25 リットルとした。練混ぜ方法は、セメント、細骨材、微粒砂にて空練りを 15 秒間行い、水、混和剤を投入後 90 秒間、その後かき落としを行い、粗骨材を投入して 90 秒間練混ぜを行ったのち排出した。なお、試験は排出後すぐに

表 - 2 その他の使用材料

材料名 (記号)	種類	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
セメント (C)	普通ポルトランド	3.15
細骨材 (S)	川砂	2.59
粗骨材 (G)	碎石	2.64
水 (W)	上水道水	1.00
混和剤 (AD)	高性能減水剤	-

表 - 3 骨材の物性値

項目	細骨材	粗骨材
表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.59	2.64
吸水率 (%)	1.10	0.48
実積率 (%)	60.0	59.0
粗粒率	2.95	6.66

実施した。試験は室温 20 にて行い、コンクリート温度が全ての試験において同一となるようにした。

2.3 試験方法

(1)スランブフロー試験

高流動コンクリートのフロー試験は、JIS A 1150 (コンクリートのスランブフロー試験) に準拠して行った。測定項目は、スランブフロー、フローの流動停止時間とした。スランブフロー試験は、コンクリートの流動性と材料分離状態の評価を目的として行った。なお、材料分離状態の判断は、水の浮き、骨材の沈みやコンクリートフロー中の骨材の偏在を目視にて判断した。

(2) L 形フロー試験

L 形フロー試験は、JSCE-F 514-1999 (高流動コンクリートの L 形フロー試験方法 (案)) に準拠して行った。測定項目は、流動速度 (以下、L フロー初速度)、最大 L フロー、流動が停止した時間 (以下、L フロー停止時間) とした。L フロー初速度は、流動始動面から 5cm までの流動速度を測定した。L 形フロー試験は、L フロー初速度からの粘性の評価を目的とした<sup>3)</sup>。L フロー初速度が小さくなると粘性が増加するということであり、粘性の増加は材料分離抵抗性が大きくなるとの判断である。

(3) V 漏斗試験

V 漏斗試験は、図 - 2 に示す試験器具を使用して行った。試験方法は、鉛直に置かれた V 漏斗内にコンクリートを上端まで静かに流し込み、上端をならした後に、吐出口の底蓋を開け、コンクリートが全量流出するまでの時間をストップウォッチで測定し、それを流下時間とした。V 漏斗試験は、流下時間からの粘性の評価を目的とした。流下速度が大きくなることで粘性が増し、流動性が低下し、材料分離抵抗性が大きくなるとの判断である。

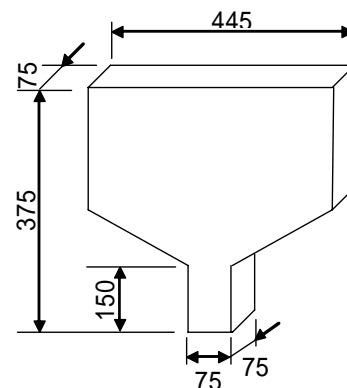


図 - 2 V 漏斗試験器具

3. 高流動コンクリートに微粒砂粒径が与える影響

3.1 実験概要

表 - 4 に、配合を示す。配合は、スランブフローがベース微粒砂にて 600 ± 30mm になるように混和剤を調整

した。これを基準配合とし、順次微粒砂の粒径を変化させて実験を行った。なお、微粒砂の細骨材に占める割合は質量で10%とした。これは、高流動コンクリートを製造する上で実績のあった微粒砂の割合を参考にしたものであり、本試験が前報で報告した試験に基づくためである。微粒砂は絶乾状態にて使用し、吸水率をもとに水量を補正した。

表 - 4 試験配合

試験名	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
	W	C	S	微粒砂	G	AD
ベース	175	500	779	87	834	2.88
150-75						
53						
45						
45以下						
混合						

### 3.2 実験結果

#### (1)スランブフロー試験結果

表 - 5, 図 - 3 に、微粒砂の各粒径のスランブフロー試験結果を示す。ベースと各粒径の結果を比較すると、ベース微粒砂から75 $\mu$ m以下を排除した150-75 $\mu$ mでは、スランブフローが大きくなったが、53 $\mu$ m, 45 $\mu$ m, 45 $\mu$ m以下と粒径が小さくなるにしたがって小さくなっていった。ベース配合から微粒砂の粒径のみを変化させたことによりスランブフローが変化したことから、微粒砂の粒径はスランブフローに対して影響を与えると考えられる。特に75 $\mu$ m以下の微粒砂からはスランブフローが低下しており、流動性を低下させる効果があると考えられる。

図 - 4 に、微粒砂粒径ごとの比表面積とスランブフローの関係を示す。比表面積が大きくなるにしたがってフローが低下する結果となった。このことから、微粒砂の粒径ごとの比表面積をひとつの指標として流動性の変化を判断することができると考えられる。しかし、53 $\mu$ mよりも比表面積が大きいベース及び混合においては、フローが同等または大きくなる結果となった。また、比表面積が同等である45 $\mu$ mと混合においても、混合の方がフローが大きくなった。流動性は、微粒砂が単粒の場合では比表面積の影響により低下するが、各粒径を組み合わせた場合は、比表面積が大きくなったとしても流動性が大きくなる傾向を示した。このことから、微粒砂は粒径の組み合わせによって流動性に与える影響が異なると考えられ、比表面積のみで流動性は評価できない部分があると考えられる。

なお、150-75 $\mu$ mを使用したコンクリートでは、水の浮きや骨材の沈みといった材料分離を示した。150-75 $\mu$ mはスランブフローが最大を示しているが、スランブフローの端部にはペーストのみがあり、骨材が偏在している

表 - 5 スランブフロー試験結果

試験名	スランブフロー(mm)	流動停止時間(s)	コンクリート温度( )	目視状態
ベース	580×570	30.0	20	良好
150-75	620×610	34.8	20	分離
53	530×530	26.0	20	良好
45	480×470	27.7	20	粘性大
45以下	390×380	18.9	20	粘性大
混合	545×530	26.3	20	良好

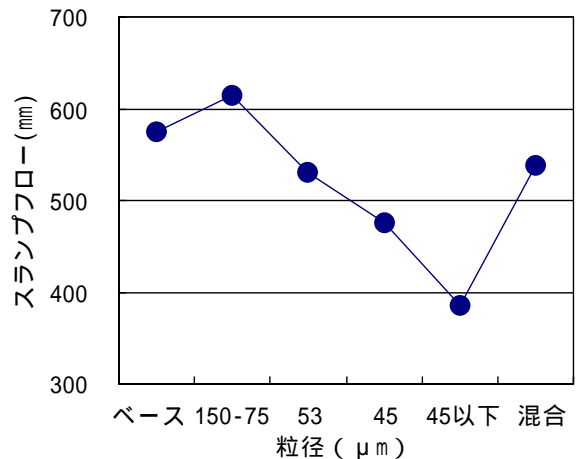


図 - 3 微粒砂粒径とスランブフローの関係

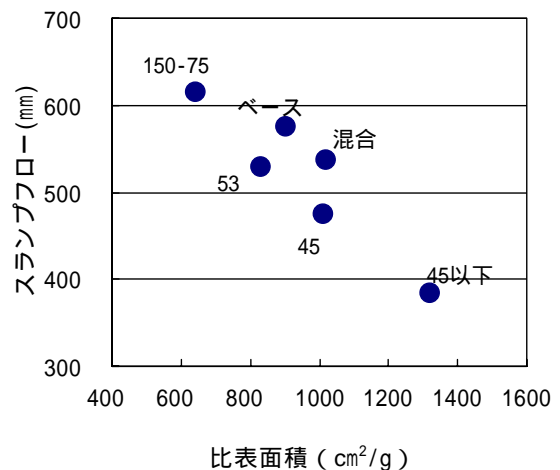


図 - 4 微粒砂粒径ごとの比表面積とスランブフローの関係

表 - 6 L形フロー試験結果

試験名	Lフロー初速度 (cm/s)	Lフロー停止時間 (s)	最大Lフロー (mm)
ベース	5.8	39.2	545
150-75	7.8	47.8	680
53	4.4	32.9	440
45	4.9	27.7	430
45以下	3.1	24.4	310
混合	6.2	34.2	485

状態であった。このことから 75 $\mu\text{m}$  以下の微粒砂は材料分離抵抗性を持つことが考えられる。ベース微粒砂は約 70% が 75 $\mu\text{m}$  以下の粒径で構成されているため材料分離も顕著に現れたと考えられる。

(2) L 形フロー試験結果

表 - 6, 図 - 5 に, L 形フロー試験結果を示す。L フロー初速度に着目すると, ベースよりも 150-75 $\mu\text{m}$  では大きくなり, 粒径が小さくなるにしたがって小さくなった。L フロー初速度の小さいものは粘性が大きいと考えられるため, 粒径の小さいものは粘性を大きくすると考えられる。粘性は, 材料分離抵抗性にも大きく影響すると考えられる。よって, 粒径が小さくなるにしたがい, 材料分離抵抗性が増すと考えられる。ベース微粒砂と 150-75 $\mu\text{m}$  の比較において, 150-75 $\mu\text{m}$  では, L フロー初速度が大きくなっており, コンクリートが材料分離を起こしていることから, 75 $\mu\text{m}$  以下の粒径が材料分離抵抗性に影響を与えていることが見られる。最大 L フローは, L フロー初速度と同様の傾向が見られた。

図 - 6 に, 微粒砂粒径ごとの比表面積と L フロー初速度の関係を示す。L 形フロー試験においても, 微粒砂の比表面積が大きくなるに応じて L フロー初速度が小さくなっている。なお, 混合についてもスランプフロー試験時と同様に比表面積だけでは判断できない結果となった。

スランプフローがほぼ同一である 53 $\mu\text{m}$  と混合では, 混合が 53 $\mu\text{m}$  よりも L フロー初速度が大きくなり, 粘性が小さい結果となった。これは, 微粒砂の粒径を変化させることにより, 流動性を同等としたままで異なる材料分離抵抗性を持つコンクリートが得られる可能性を示していると考えられる。このことから, 粒径を変化させることによってコンクリートの流動性と材料分離抵抗性を制御できる可能性が見られた。

(3) V 漏斗試験結果

表 - 7, 図 - 7 に, V 漏斗試験結果を示す。漏斗流下時間は, 粒径が小さくなるほど大きくなっていき, 45 $\mu\text{m}$  では閉塞しコンクリートが最後まで流れ落ちなかった。これは, L フロー初速度の挙動と同様の傾向である。すなわち, 粒径が小さくなるにしたがって粘性が増したことで流下時間が大きくなったと考えられる。また, V 漏斗

表 - 7 V 漏斗試験結果

試験名	漏斗流下時間 (s)
ベース	18.1
150-75	14.8
53	21.6
45	22.0
45以下	閉塞
混合	20.7

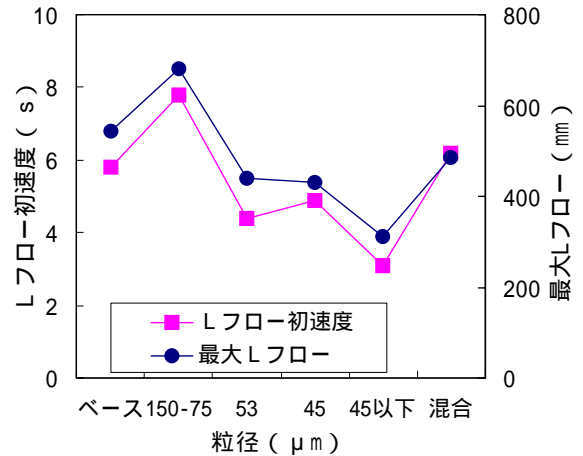


図 - 5 微粒砂粒径と L フロー初速度及び最大 L フローの関係

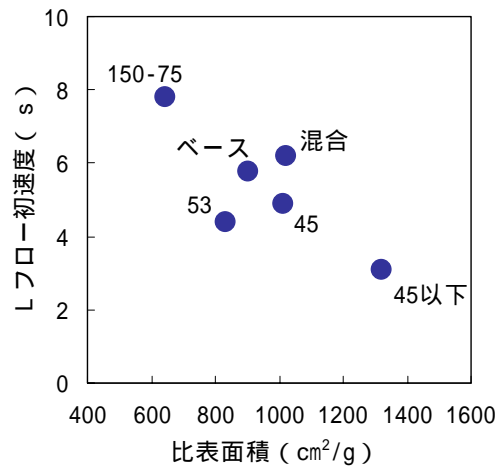


図 - 6 微粒砂粒径ごとの比表面積と L フロー初速度の関係

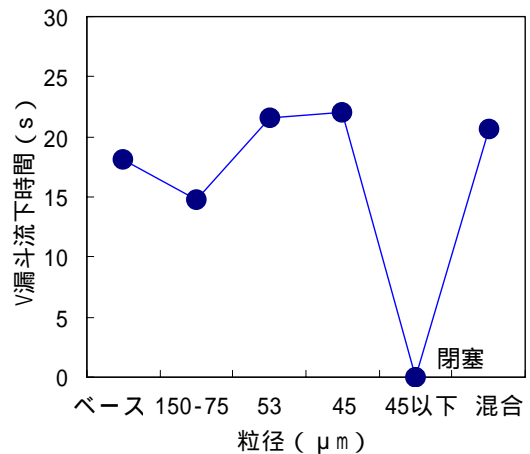


図 - 7 微粒砂粒径と V 漏斗流下時間の関係

試験は一種の間隙通過性の判断指標とすることもできる<sup>1)</sup>。このことから粒径が小さくなるにしたがって通過性能が低下する結果となった。

#### (4) モルタルフロー試験結果との比較

表 - 8 に、前報で報告したモルタルフロー試験の試験結果を示す<sup>2)</sup>。この結果から、75 $\mu\text{m}$  のモルタルフローを 1.00 とした場合、53 $\mu\text{m}$  では 0.87、38 $\mu\text{m}$  では 0.64 という比率であった。同様にスランブフローにおいて 150-75 $\mu\text{m}$  を 1.00 とした場合、53 $\mu\text{m}$  では 0.86、45 $\mu\text{m}$  以下では 0.63 であった。このことから、モルタルとスランブのフローの低下割合はほぼ一致するものとなった。よって、モルタルにて微粒砂が流動性に与える影響を評価することで、コンクリートについても同様に評価することができる可能性が考えられる。

微粒砂の粒径ごとの評価は、コンクリートとした場合、コンクリートの単位量に占める微粒砂量の割合が小さくなり、その影響が顕著に表れない可能性が考えられた。しかし、本試験結果から、コンクリートのフレッシュ性をモルタル試験によって評価することが可能であることが明らかとなった。また、コンクリートとした場合においても微粒砂は、フレッシュ性に大きな影響を与えることが明らかとなった。

表 - 8 モルタルフロー結果<sup>2)</sup>

微粒砂 粒径	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					フロー値 (mm)
	W	C	S	微粒砂	AD	
75	315	899	932	104	4.50	325
53						283
38						208

### 4. 材料分離を起こしているコンクリートへの微粒砂の適用性

#### 4.1 実験概要

前章において、微粒砂は粒径が小さくなるにしたがって、コンクリートの粘性が大きくなり、材料分離抵抗性が増すことを明らかにした。そこで、既に材料分離を起こしているコンクリートの細骨材微粒砂の粒径を小さくすることで、材料分離状態を改善することが可能であるかを検討した。

表 - 9 配合

試験名	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
	W	C	S	微粒砂	G	AD
ベース	175	500	779	87	834	3.75
150-75						
53						
45						
45以下						

表 - 9 に、配合を示す。配合は、3 章で行った実験で使用した配合に、材料分離を起こすまで混和剤を添加したものである。試験は、スランブフロー試験、L 形フロー試験、V 漏斗試験を行った。コンクリートは材料分離を起こしていることとし、フローにはこだわらないこととした。材料分離は、水の浮きや骨材の沈み、コンクリートフロー中の骨材の偏在を目視によって判断した。

#### 4.2 実験結果

図 - 8 に、スランブフロー試験結果を示す。スランブフローは、粒径が小さくなるにしたがって小さくなった。材料分離状態はベース、53 $\mu\text{m}$  までは、スランブフローの端部において粗骨材が見られないなど骨材の偏在が見られた(図 - 8 中の点線で囲まれた部分)が、45 $\mu\text{m}$ 、45 $\mu\text{m}$  以下ではそれが改善されており、材料分離状態が

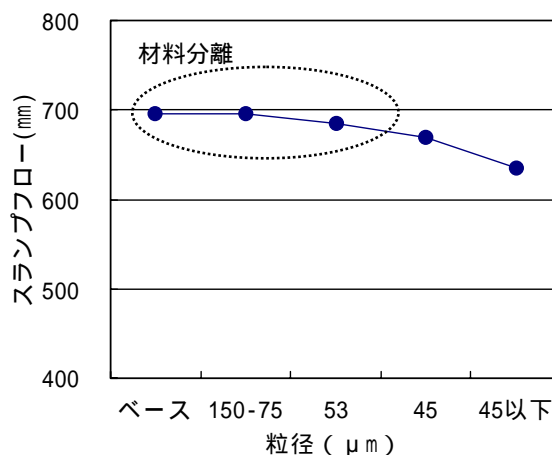


図 - 8 微粒砂粒径と材料分離したコンクリートのスランブフローの関係

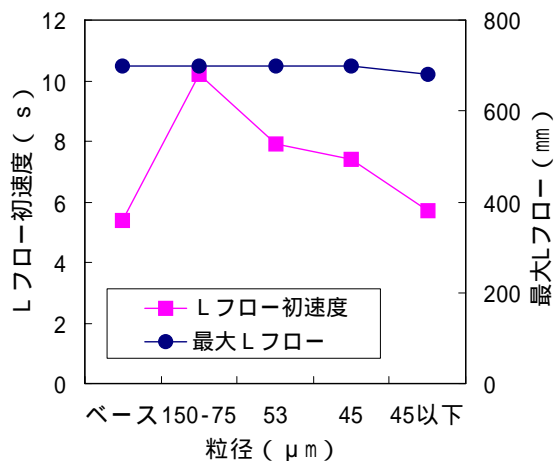


図 - 9 微粒砂粒径と材料分離したコンクリートのLフロー初速度及び最大Lフローの関係

改善されていた。よって、本実験の結果では、45 $\mu\text{m}$  より小さい微粒砂は材料分離抵抗性を増加させる傾向が見られた。

図-9に、L形フロー試験結果を示す。ベースのLフロー初速度が最も小さくなったのは、粘性が大きいためではなく、材料分離が生じていたため骨材の沈下によるかみ合いが生じた結果であると考えられる。粒径が小さくなるにしたがってLフロー初速度が大きくなっているのは、材料分離が改善されていき骨材のかみ合いではなく、粘性の増加が評価されているためであることが考えられる。最大Lフローにおいて、ベース、150-75 $\mu\text{m}$ 、53 $\mu\text{m}$ で差が見られないのは、最大Lフロー測定限界値である試験器具の端部に到達したためである。またこれらの粒径の最大Lフロー端部においては、ペーストのみが存在していたが、45 $\mu\text{m}$ 、45 $\mu\text{m}$ 以下では骨材が存在しており、材料分離が改善されていることがわかった。

図-10に、V漏斗試験結果を示す。V漏斗試験では、ベースが最も流下時間が大きくなった。これは、漏斗試験器具内での骨材の沈下が原因であると考えられる。53 $\mu\text{m}$ で流下時間が小さくなっているのは、骨材のかみ合いが解消されたことによると考えられる。53 $\mu\text{m}$ よりも45 $\mu\text{m}$ 、45 $\mu\text{m}$ 以下で流下時間が大きくなったことから粘性が増していることがわかる。

本実験は、コンクリートを高性能減水剤の過剰添加によって材料分離を発生させて行った。その条件下においては、微粒砂の粒径は、スランブフローやLフロー初速度から材料分離抵抗性を改善させる効果が見られた。これは、微粒砂の粒径が小さくなるにしたがって比表面積が大きくなることや、混和剤を吸着するためであると考えられる<sup>4)</sup>。以上のことから、微粒砂は材料分離を起こしているコンクリートにおいても状態を改善できる結果が得られた。

## 5.まとめ

本実験により以下の知見が明らかになった。

- (1) 微粒砂の密度は粒径ごとに変化はなく、比表面積は粒径が小さくなるほど大きくなった。  
微粒砂の粒径が小さくなるにしたがって、スランブフローは小さくなり、Lフロー初速度は小さくなった。また、ロート流下時間は大きくなった。これは、微粒砂の粒径が小さくなることにより、比表面積が大きくなり、それが要因のひとつとなり材料分離抵

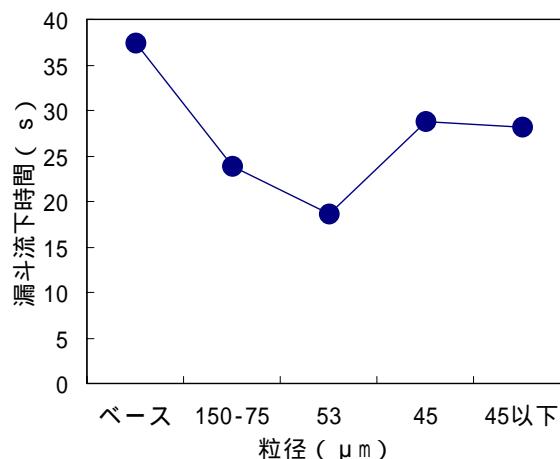


図-10 微粒砂粒径と材料分離したコンクリートの漏斗流下時間の関係

抗性が増し、流動性が低下したためであると考えられる。

- (2) 粒径を混合したものは、単粒と同等の比表面積であっても流動性が増し、材料分離抵抗性が小さくなる傾向が見られた。このため、混合した微粒砂は比表面積では判断ができない結果となった。
- (3) 微粒砂の粒径を変化させることによりコンクリートの流動性と材料分離抵抗性を制御できる可能性が見られた。
- (4) モルタルフロー試験の結果は、コンクリート試験の結果はよくあわしている。
- (5) 材料分離を起こしているコンクリートに対して、細骨材微粒砂の粒径を変化させることによって、材料分離状態を改善できる。

## 参考文献

- 1) 岡村甫ほか、ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版、1993
- 2) 宮澤聡ほか、モルタルフローに与える細骨材微粒砂の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.30、No.2、pp.49-54、2008.7
- 3) 岡田和寿ほか、コンクリートの粘性に及ぼすポリカルボン酸系混和剤の分子量の影響、Vol.30、No.2、pp.1-6、2008.7
- 4) 平田隆祥ほか、高流動コンクリートのフレッシュ性に及ぼす骨材粒度の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.1、pp.81-86、1995.6