

論文 モルタルフローに与える細骨材微粒砂の影響

宮澤 聡^{*1}・杉浦 克幸^{*2}・小澤 満津雄^{*3}・森本 博昭^{*4}

要旨：細骨材の 150 μm 以下の微粒砂がモルタルフローに与える影響を検討した。細骨材微粒砂の粒径を 150 ~ 38 μm の範囲で変化させ、各粒径における流動性と材料分離抵抗性を変形係数と拘束水比の関係から調べた。その結果、流動性、材料分離抵抗性ともに 106 μm, 75 μm では差が見られなかったが、45 μm では流動性が小さくなり、材料分離抵抗性が大きくなることが明らかになった。また、粒径によって材料分離に至るまでの挙動に違いがあることを明らかにした。これにより、微粒砂の粒度構成を変化させることにより、モルタルフロー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

高流動コンクリートを製造するうえで重要になる要素は流動性と材料分離抵抗性である。この2つを両立させることによって、良好なフレッシュ性状が得られる。しかし、この両者のバランスは様々な条件によって影響を受けやすく、その結果良好なフレッシュ性状が損なわれる。このため、安定的に高流動コンクリートを製造することが難しくなっているのが現状である。フレッシュ性状に影響を与える要素としては、外気温や骨材の表面水、材料品質など多岐にわたる。中でも特に大きな影響を与えると考えられているのが細骨材である^{1),2)}。細骨材が高流動コンクリートに与える要因としては、粒度、粒形および微粒分などがあげられる。その中でも 150 μm 以下の微粒砂が大きな影響を与えられる。現在までに微粒砂についての研究はいくつか報告されている^{2),3)}が、微粒砂の各粒度、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についての報告例は少ないのが現状である。

高流動コンクリートは、粉体量の増加や化学混和剤（減水剤、増粘剤等）の添加によって良好なフレッシュ性状が得られるように設計される。粉体には、フライアッシュや高炉スラブ微粉末などが多く利用されてきたが、近年では砕石粉などの使用例も見られる。このような状況の中で、筆者らは、高流動コンクリートに使用可能な細骨材の幅を拡大することを目的として、150 μm 以下の微粒砂を調整することにより高流動コンクリートに適した細骨材を製造することが可能であると考えた。

本研究では、150 μm 以下の微粒砂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明らかにすることを目的とし、高流動コンクリートのモルタル部分について微粒砂の影響を検討することとした。高流動コンクリ

ートは粉体系を対象とした。150 μm の微粒砂については、砂の産地、粒子形状、粒径など様々な条件があるが、本実験では粒径に着目して検討することとした。

2. 実験方法

2.1 使用材料

表 - 1 に、実験に用いた材料を示す。セメントは、普通ポルトランドセメントを使用した。表 - 2 に、細骨材および微粒砂の物性値を示す。細骨材は、ふるいによって 150 μm 以下の微粒砂を取り除き、表乾状態にて使用した。微粒砂は、使用した細骨材とは別の産地の細骨材から採取したものを使用した。これは、骨材プラントにおいて石粉回収装置を使用し直接多量に採取したためである。微粒砂は試験におうじて粒径ごとに金属ふるいにてふるいわけた。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 - 1 使用材料一覧

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

表 - 2 細骨材および微粒砂の物性値

項目	細骨材	微粒砂
表乾密度 (g/cm ³)	2.59	2.59
吸水率 (%)	1.10	1.37
実積率 (%)	60.0	-
粗粒率	2.95	-

*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 社会基盤工学科教授 工博 (正会員)

2.2 練混ぜ方法

モルタルの練混ぜには、JIS R 5201 に定められたミキサを使用し、練混ぜ量は1バッチ1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30秒間空練りし、水、混和剤を投入後低速1分間、その後かき落としを行い、高速で1分間行った。試験は、フロー試験を行った。試験機具はJIS R 5201 に定められたフローコーンを使用し、落下運動を与えずにフロー値を測定した。フロー値は、最大フロー値とその直交方向を測定した。

3. 微粒砂がモルタルのフロー値に与える影響

3.1 実験概要

微粒砂各粒径成分がモルタルのフロー値に与える影響を検討した。微粒砂は、125 μm を通過し106 μm ふるいにとどまるもの(以下、106 μm)、106 μm を通過し90 μm ふるいにとどまるもの(以下、90 μm)、90 μm を通過し75 μm ふるいにとどまるもの(以下、75 μm)、63 μm ふるいを通過し53 μm ふるいにとどまるもの(以下、53 μm)、45 μm ふるいを通過し38 μm ふるいにとどまるもの(以下、38 μm)を使用した。微粒砂は、細骨材中の微粒砂が占める割合を質量で6、10、14%となるように添加した。モルタルの配合は、微粒砂率ごとに粒径75 μm にてフロー値が300以上となるように混和剤添加率を調整した。これを基準モルタルとし、微粒砂の粒径を変化させて実験を行った。表-3に、モルタルの配合を示す。

表-3 モルタル配合

割合 S×wt%	粒径 (μm)	単位量 (g/l)				
		W	C	S	微粒砂	AD
6	106,90,	315	899	974	62	4.50
10	75,53,	315	899	932	104	4.50
14	45	315	899	891	145	5.39

3.2 実験結果

表-4、図-1に、実験結果を示す。表-4中の網掛け部は、材料分離をしたモルタルを示す。実験結果から、微粒砂率6%では、粒径75 μm 以上ではフロー値が小さくなる傾向にあったが、10%ではほぼ同等であり、14%では逆に大きくなる傾向にあった。なお、14%では75 μm よりも大きな粒径は材料分離を示していた。75 μm 以下では、フロー値が小さくなる傾向が見られた。

このように、微粒砂がフロー値に与える影響は、微粒砂の粒径と細骨材に占める割合によって変化することがわかる。この理由として、細骨材の中でも微粒砂が水を拘束する特性やモルタルの流動性状に及ぼす影響が粒径によって変化することが考えられる。それによりモルタルの流動性や材料分離抵抗性についても粒径ごと

表-4 細骨材中の微粒砂の割合と粒径の関係

微粒砂割合 (S×wt%)	粒径 (μm)	フロー値
6	106	290
	90	295
	75	328
	53	315
	38	303
10	106	315
	90	315
	75	325
	53	283
	38	208
14	106	365
	90	340
	75	335
	53	338
	38	250

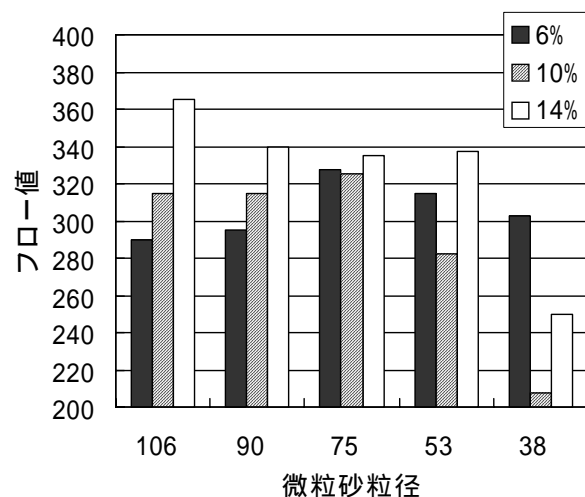


図-1 細骨材中の微粒砂の割合と粒径の関係

に特性があると考えられる。そこで、次章では粒径ごとの特性を明らかにする実験を行うことにした。

4. 微粒砂が流動性に与える影響

4.1 混和剤を使用しないモルタルにおける影響

(1) 実験概要

高流動コンクリートを製造するうえで、混和剤の使用は必要不可欠である。しかし、本実験シリーズにおいては、まず微粒砂の基本特性を把握するため混和剤を使用しない条件下での微粒砂がモルタルの流動性に与える影響を検討することとした。これは、混和剤によって微粒砂の界面の状態が変わり、粒径ごとの特性を明確にできないと考えたからである。細骨材に占める微粒砂の割合は、10%として更に検討を行った。ここで10%とした理由は、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る。微粒砂は、106 μm 、75 μm 及び45 μm の粒径のものを使用した。表-5

に、モルタルの配合を示す。表中のm0は微粒砂0%を、m10は微粒砂10%を示し、ハイフオン以降の数値は、使用した微粒砂の粒径を示す。モルタルの配合は、水粉体容積比（以下、 V_w/V_p ）を1.2~1.8の範囲で振り分けて決定した。なお、モルタル配合設計時には、微粒砂は細骨材の一部として計算した。 V_p は配合計算後、セメントと微粒砂の容積の合計として求めたものである。

表 - 5 混和剤を使用しないモルタル配合

試験名	V_w/V_p	単位量 (g/l)				
		W	C	S	微粒砂	AD
m0	1.400	350	788	1036	0	0
	1.600	369	727	1036	0	0
	1.800	386	675	1036	0	0
m10 -106~ 45	1.441	378	700	932	104	0
	1.517	386	675	932	104	0
	1.592	393	652	932	104	0
	1.667	400	630	932	104	0

(2) モルタル試験結果の評価方法

モルタルフロー試験によって得られた試験結果の評価方法として、本実験では水粉体容積比（ V_w/V_p ）とフロー値の相対フロー面積比（ m ）の關係に着目することとした。相対フロー面積比は、試験から得られたフローの平均値から、式(1)によって求められる。ここで、 F_m はモルタルのフロー値を示す。水粉体容積比と相対フロー面積比には、線形關係が成立することが既に明らかになっている³⁾。また、モルタル中の細骨材容積比を一定とした場合にも、両者に線形關係が成立することが明らかになっている⁴⁾。この線形關係は、図-2、式(2)によって表される。フロー試験結果にて得られる水粉体容積比をy軸とし、相対フロー面積比をx軸としたグラフの近似直線において、相対フロー面積比が0となるときの水粉体容積比がそのモルタルの拘束水比（ m ）となる。また、近似直線の傾きがそのモルタルの変形係数（ E_m ）となる。拘束水比、変形係数が小さいほど流動性増大に必要な水量が少なくなることを意味している。本実験においても、微粒砂の粒径を変えたモルタルにおける水粉体容積比と相対フロー面積比の關係から、変形係数と拘束水比を算定した。その結果から、微粒砂の粒径ごとの特性を比較することとした。

$$\Gamma m = \left(\frac{F_m}{100} \right)^2 - 1 \quad \dots (1)$$

$$\frac{V_w}{V_p} = E_m \cdot \Gamma m + \beta m \quad \dots (2)$$

(3) 実験結果

表-6、図-3に、混和剤を使用しない場合の微粒砂の粒径ごとの試験結果を示す。図表中のm0は微粒砂0%

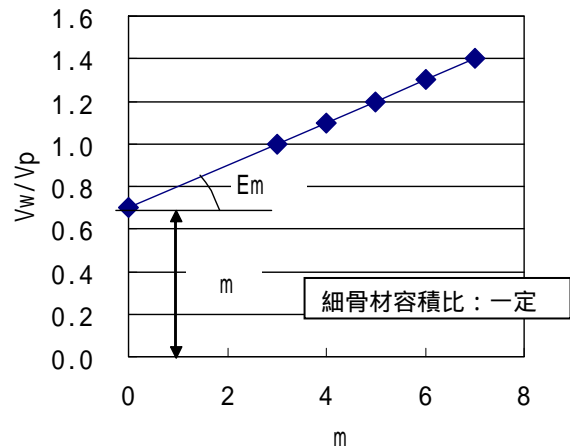


図 - 2 V_w/V_p と m の關係⁴⁾

表 - 6 混和剤を使用しない場合のフロー値と E_m , m

項目	フロー (mm)			
	m0	m10-106	m10-75	m10-45
V_w/V_p	1.40	178	-	-
	1.44	-	235	228
	1.52	-	243	243
	1.59	-	268	258
	1.60	215	-	-
	1.67	-	273	268
	1.80	250	-	-
E_m	0.129	0.100	0.112	0.085
m	1.13	1.00	0.98	1.16

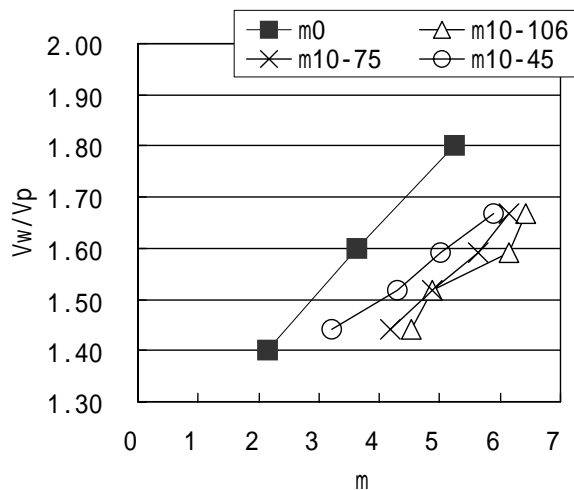


図 - 3 混和剤を使用しない場合の微粒砂の粒径の關係

を、m10は微粒砂10%を示し、ハイフオン以降の数値は、使用した微粒砂の粒径を示す。微粒砂の有無について見ると、微粒砂を添加することによってフロー値が大きくなることがわかる。これは、微粒砂によって骨材同士の噛み合いが緩和されたためであると考えられ、変形係数が小さくなっていることからこのことが推測できる。

微粒砂の粒径に着目すると、変形係数は微粒砂106 μ m、

75 μm はほぼ同等であるが、45 μm では顕著に小さくなった。また、拘束水比についても、微粒砂 106 μm 、75 μm はほぼ同等であったが、45 μm では顕著に大きくなった。45 μm において拘束水比が大きくなり、他の粒径と顕著な違いが見られるのは、比表面積が大きくなり、微粒砂が水を保つ性能（保水性）が上がったことが原因のひとつであると考えられる。

4.2 混和剤を使用したモルタルにおける影響

(1) 実験概要

高流動コンクリートに混和剤を使用するのは、粉体の分散効果による減水効果などがあげられる。本実験で使用している微粒砂は、細骨材とセメントの中間に位置していると考え、混和剤の使用下において、微粒砂がモルタルに与える影響について検討した。

表 - 7 に、モルタルの配合を示す。微粒砂は、106 μm 、75 μm 、45 μm を使用した。本実験シリーズでは、それぞれの粒径を混合した微粒砂についても検討を行った。混合した粒径は、106 μm と 75 μm 、106 μm と 45 μm である。重量混合率は、1 : 1 とした。モルタルの配合は、水粉体容積比（以下、 V_w/V_p ）を 0.8~1.2 の範囲で振り分けて決定した。なお、 V_p はセメントと微粒砂の容積である。混和剤添加率は、セメント質量に対して 0.5% とした。モルタル試験結果の評価は前節(2)と同様とした。

表 - 7 混和剤を使用したモルタル配合

試験名	V_w/V_p	単位量 (g/l)				
		W	C	S	微粒砂	AD
m10 -106~ 45	0.841	292	969	932	104	4.85
	0.882	300	945	932	104	4.73
	0.924	307	922	932	104	4.61
	0.965	314	900	932	104	4.50
	1.006	321	879	932	104	4.40

(2) 実験結果

表 - 8、図 - 4 に、混和剤を使用した場合の微粒砂の粒径ごとの試験結果を示す。前節の混和剤を使用しない場合と比較すると、変形係数、拘束水比ともに大きく減少した。これは、混和剤を使用しないため粉体の凝集構造によって取り込まれていた水が、混和剤によって外に出たためであると考えられる。

粒径別に見ると、変形係数は微粒砂無し、106 μm 、75 μm はほぼ同等であるが、45 μm では大きくなった。また、拘束水比については、微粒砂無しよりも、微粒砂有りではその全粒径で小さくなった。混和剤により微粒砂の粒径ごとに拘束水比と変形係数に違いが見られる結果となった。このことから、微粒砂は粒径によって混和剤の影響を受けやすいものと受けにくいものがあることが考えられる。今回の実験においては、その影響の境

表 - 8 混和剤を使用した場合のフロー値と E_m 、 m

項目	フロー値					
	m10-106	m10-75	m10-45	m10-106+75	m10-106+45	
V_w/V_p	0.841	158	163	173	223	188
	0.882	230	250	205	263	248
	0.924	278	278	235	280	295
	0.965	300	295	255	318	305
	1.006	318	318	310	323	308
E_m	0.018	0.019	0.035	0.020	0.025	
m	0.809	0.800	0.771	0.787	0.734	

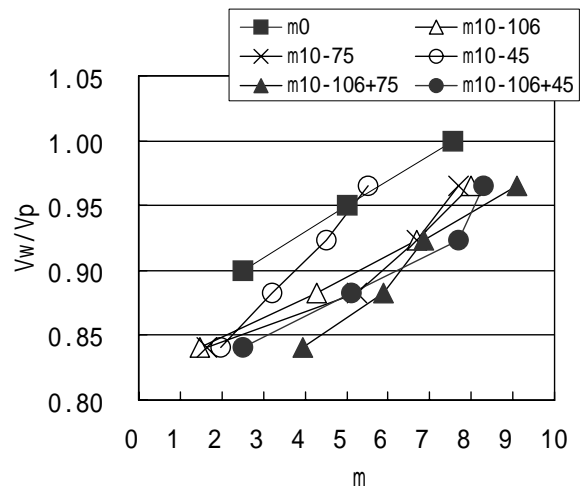


図 - 4 混和剤を使用した場合の微粒砂の粒径の関係

界線が 45 μm であると考えられる。45 μm では、拘束水比が小さくなり自由水が増えたが、変形係数が大きくなったことでフロー値は最も小さくなった。これは、45 μm が微粒砂よりも粉体に近く、混和剤の分散性能に影響を与えたためであると考えられる。また、106 μm から 75 μm への粒径の変化では、フロー値や変形係数、拘束水比に変化が見られなかったことから、粒径がこの範囲で変化する場合には混和剤の影響を受けにくいと考えられる。

混合した粒径では、単粒よりも大きなフロー値を示した。106 μm と 75 μm の混合微粒砂は、単一粒径と同等の変形係数であるが、拘束水比が小さくなったことにより、自由水が増えフロー値が増加したと考えられる。106 μm と 45 μm の混合微粒砂についても同様の傾向が見られた。拘束水比が減少した理由としては、微粒砂を混合することにより粉体の実積率が上がったためであると考えられる。

流動性に対しては変形係数、拘束水比の結果から微粒砂の粒径 75 μm と 45 μm の間にひとつの影響境界線があると考えられる。

5. 微粒砂が材料分離抵抗性に与える影響

5.1 実験概要

前章までの試験では、モルタルの流動性に及ぼす微粒砂の粒径ごとの影響を検討してきた。本試験シリーズは、高流動コンクリートを製造する上で重要な材料分離抵抗性に微粒砂が与える影響を検討することとした。

表 - 9 に、モルタル配合を示す。微粒砂は、106 μm 、75 μm 、45 μm を使用した。混合粒径は、106 μm と75 μm 、106 μm と45 μm の組合せである。重量混合率は、1:1とした。混和剤添加率は、セメント質量に対して0.5%とした。実験は、 V_w/V_p を順次増加させていき、材料分離を起こすまで行った。なお材料分離は、目視で判断することとした。判断する項目としては、水の浮きと細骨材の沈みとした。

5.2 実験結果

表 - 10、図 - 5、写真 - 1 に、材料分離抵抗性と微粒砂の関係を示す。表 - 6 中の網掛けは材料分離を示す。図 - 5 中の実線は、材料分離を示す直前のフロー値を示す。また、図 - 5 の $V_w/V_p=1.006$ 以前のフロー値は、図 - 4 に示したフロー値である。微粒砂が単粒の場合、粒径が小さ

表 - 9 材料分離試験のモルタル配合

試験名	V_w/V_p	単位量 (g/l)				
		W	C	S	微粒砂	AD
m0	1.050	307	922	1036	0	4.61
	1.100	314	900	1036	0	4.50
	1.125	318	889	1036	0	4.45
	1.150	321	879	1036	0	4.40
m10-106~45	1.006	321	879	932	104	4.40
	1.047	327	859	932	104	4.30
	1.087	333	840	932	104	4.20
	1.127	339	822	932	104	4.11

表 - 10 材料分離を示す V_w/V_p とフロー値の関係

V_w/V_p	フロー値					
	m0	m10-106	m10-75	m10-45	m10-106+75	m10-106+45
1.006	-	318	318	310	323	308
1.047	-	350	330	323	335	308
1.050	315	-	-	-	-	-
1.087	-	360	340	328	348	328
1.100	323	-	-	-	-	-
1.125	323	-	-	-	-	-
1.127	-	-	-	333	-	-
1.150	328	-	-	-	-	-

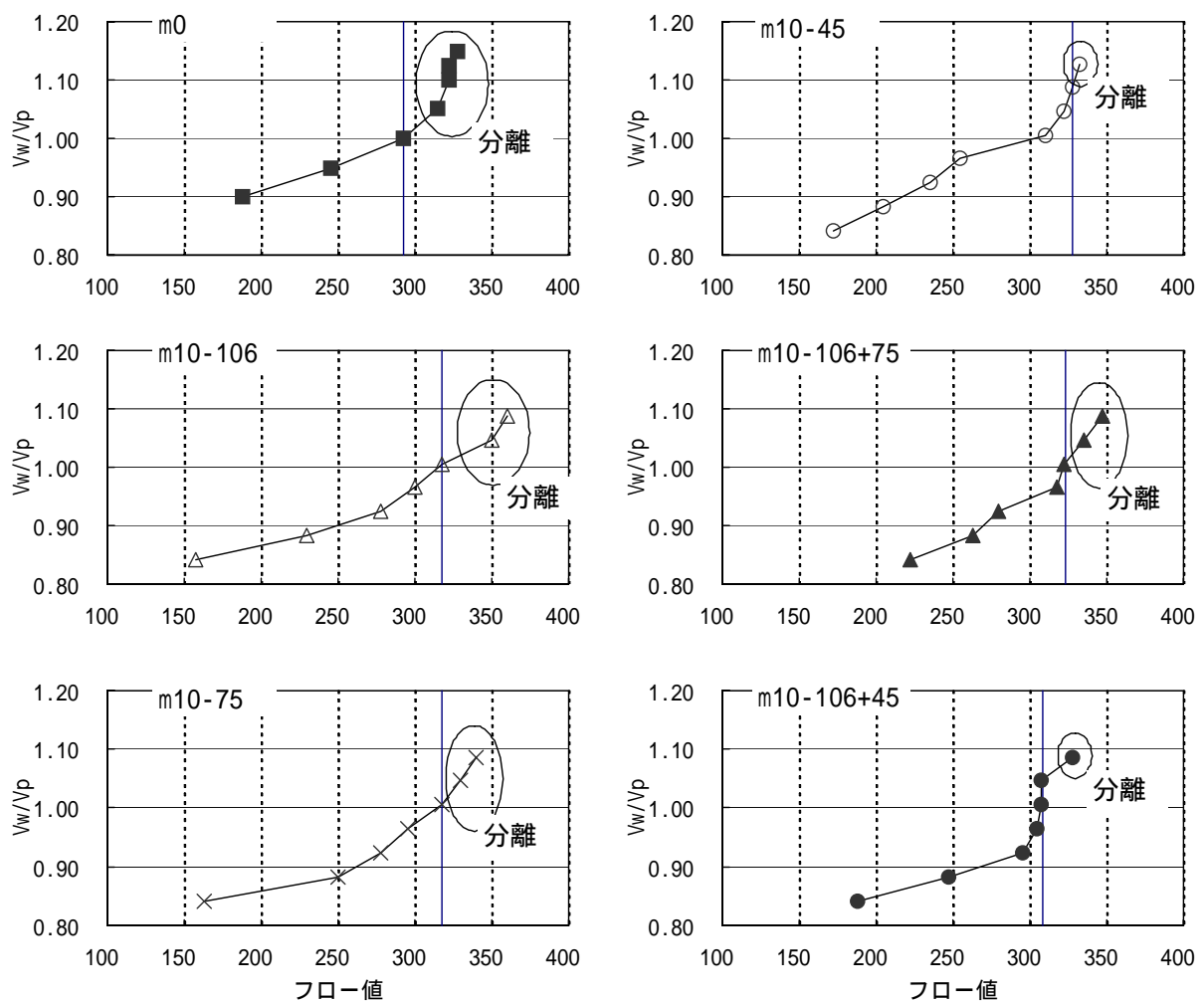


図 - 5 微粒砂粒径ごとの V_w/V_p と材料分離の関係

微粒砂 106 μm

$V_w/V_p=0.965$

$V_w/V_p=1.006$

$V_w/V_p=1.047$



微粒砂 45 μm

$V_w/V_p=0.965$

$V_w/V_p=1.006$

$V_w/V_p=1.047$

$V_w/V_p=1.127$

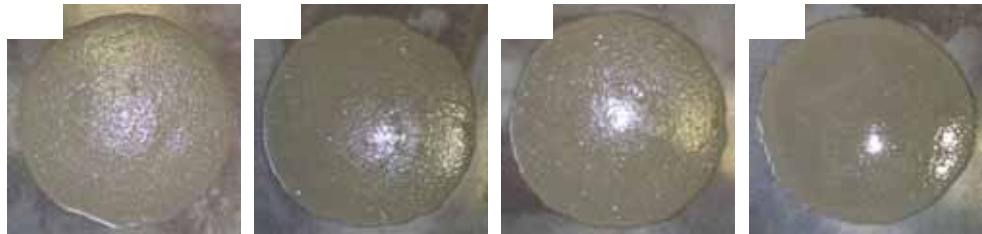


写真 - 1 粒径別の材料分離傾向

くなるに従って、材料分離を示す V_w/V_p は大きくなった。粒径ごとにみると、106, 75 μm では材料分離を示した V_w/V_p が 1.006 であったが、45 μm では 1.127 と大きくなり、顕著な差が見られた。さらに 45 μm では材料分離を示すまでのフロー値の変化は、 V_w/V_p の増加に対するフロー値の増加量が小さくなる傾向にあった。すなわち、粒径 106 μm では V_w/V_p とフローの関係が線形に近い状態のまま材料分離が見られたが、45 μm ではフロー値 300 を境界にして線形の関係が崩れ、 V_w/V_p の増加に伴うフロー値の増加量が小さくなりながら材料分離を示すという傾向が見られた。これより、45 μm は水量の増加による材料分離に対して鈍感であると考えられる。

このような結果から、粒径が小さくなるに従って材料分離抵抗性が増加すると考えられる。粉体に対する水量が増加しても、材料分離を示さないことから、微粒砂の粒径は小さくなるにしたがって保水性が増大していくと考えられる。すなわち、流動性に寄与しない水を保つ機構を微粒砂が持っていると考えられる。その保水量が、ある限度を超えたときに材料分離が生じるので、粒径の小さい微粒砂は材料分離に有効であると考えられる。

粒径の異なる微粒砂を混合した場合は、材料分離を示す V_w/V_p (以下、括弧内の数字) が同等である 106 μm (1.047) と 75 μm (1.047) では、同じく 1.047 で材料分離を示した。材料分離を示す V_w/V_p が異なる 106 μm (1.047) と 45 μm (1.127) では、1.087 を示した。また、106 μm と 45 μm を混合した場合は、材料分離を示すまでのフロー値の変化が 45 μm の単粒時と同様の傾向を示した。このことから粒径を混合した場合は、粒径の小さい微粒砂の特性に影響を受ける結果となった。

6.まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

(1) 細骨材の微粒砂は、粒径の違いによってモルタルの流動性と材料分離抵抗性に与える影響が異なる。

(2) 混和剤を使用しないモルタルにおける微粒砂粒径ごとの変形係数と拘束水比は、106 μm と 75 μm ではほぼ同等であったが、45 μm で顕著な違いが見られた。混和剤を使用した場合は、拘束水比では粒径が小さくなるにしたがって小さくなり、変形係数では混和剤なしの場合と同様に 45 μm で異なる傾向が見られた。

(3) 微粒砂の材料分離抵抗性は、粒径が小さくなるにしたがって大きくなり、材料分離を示すフロー値も同様に大きくなる。また、材料分離を示すまでのモルタルの挙動も粒径によって異なる。

(4) 微粒砂の粒径の 75 μm と 45 μm の間には、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た。

(5) 微粒砂の粒径が小さくなるにしたがい、混和剤の影響を受けやすくなる。

(6) 微粒砂の粒径を変化させることにより、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ある。

参考文献

- 1) 中村亮太ほか、細骨材の粒度の相違が高流動コンクリートの性状に及ぼす影響について、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.111-176, 1995.6
- 2) 平田隆祥ほか：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、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.81-86, 1995.6
- 3) 山口昇三ほか：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
- 4) 枝松良展ほか：モルタルの変形性を表す細骨材の材料特性の定量化、土木学会論文集, No.538/V-31, pp.37-46, 1996.5