

[1] 碎石微粉を混入したモルタルの流動化に関する研究

正会員○松下 博通 (九州大学工学部)
 河野 泰義 (九州大学大学院)
 安田 泰二 (九州大学大学院)

1. まえがき

近年、コンクリートの品質、施工性を改善するために、流動化コンクリートが使用されるようになってきている。この流動化コンクリートについて土木学会では、流動化後のコンクリートが分離することなく所要のワーカビリティを得るためには、ベースコンクリートの単位セメント量が粗骨材最大寸法 25 mm の場合 270 kg/m³、40 mm の場合 250 kg/m³ 以上必要であるとしている。しかしながら、土木用コンクリート、特にマスコンクリートにおいては、上述の値以下の単位セメント量とする配合も少なくなく、流動化効果が望めないことが多い。このような場合、土木学会流動化コンクリート指針では、0.15 mm 以下の微粉分の多い細骨材、あるいはフライアッシュなどの混和材を用いればよいことを示しているが、その詳細な方法については不明である。そこで本研究では流動化コンクリートの流動化効果に及ぼす微粉混入の影響を明らかにすることを目的として、まずモルタルの単位セメント量がモルタルの流動化効果に及ぼす影響を検討し、モルタルが分離しない範囲での流動化剤を使用したときの減水率を求めた。次に、流動化効果が小さいモルタルに微粉を細骨材の一部として混入し、流動化効果がどのように改善されるかについて検討した。なお、微粉としては碎石ダストとフライアッシュを混入し、その粒の大きさ、形について検討する。

2. 単位セメント量がモルタルの流動化効果に及ぼす影響

(1) 実験概要 (i) 使用材料 セメントは普通ポルトランドセメント (比重 3.17, プレーン 3200 cm³/g) を、細骨材は表-1 に示す海砂 (1) をもちいた。また、流動化剤には、ナフタリンスルホン酸塩系のもの (比重 1.19) を使用した。なお、ベースモルタルはプレーンモルタルである。

(ii) 実験方法 モルタルの配合は、ベースモルタルのフローを 120 ~ 180 の範囲内として、単位セメント量を 290 ~ 500 g/l 程度に変化させた表-2 に示す 9 種の配合を用いた。ベースモルタルは JIS R 5201 に従って機械練りによる方法で練り混ぜ、フローを測定した。また、流動化剤の添加は練り上がり後 15 分とし、添加後 2 分間再度練り混ぜた後フローを測定しフロー増大量を求めた。なお、モルタルの分離の判定は目視により行い、フローテーブルを 15 回落下させた後、モルタルからの水分の流出、あるいはモルタル表面の細骨材にペーストが付着していないことなどが観察された場合を分離とした。

(2) 実験結果および考察

図-1 に、各配合のモルタルの流動化剤添加量とフローの関係を示す。これより、1(×C%) 前後の添加量でいずれのモルタルも分離していることがわかる。また、単位セメント量が多いほど、分離しない範囲でのフローの増大量が大きくなっている。そこで、最大可能フロー (分離しない範囲でのフローの最大値) に着目し、これと同一のフローをとる流動化剤無添加モルタルの単位水量を図-2 より求め、流動化剤による流動化効果を最大減水率を指標として検討する。ここで、最大減水率 ΔW は式 (1) から算出した。

$$\Delta W (\%) = (W_{pb} - W_{ps}) / W_{pb} \times 100 \quad \text{---- (1)}$$

ここに、ΔW : 最大減水率 W_{pb} : 流動化モルタルと同一のフローをとる流動化剤無添加モルタルの単位水量 W_{ps} : 流動化モルタルの単位水量

表-1 使用細骨材の物理的性質

種類	表比	比重	減水率 (%)	粒度分布 (残留率)						F.M.
				5mm	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
海砂 (1)	2.60	1.19	0	6	29	60	86	98	2.79	
海砂 (2)	2.56	1.30	0	4	28	58	90	99	2.79	

表-2 微粉無混入モルタルの配合

No.	W/C (%)	S/C	W (g/l)	C (g/l)	S (g/l)
1	50.0	3.00	254	508	1523
2		3.40	235	471	1661
3		3.50	231	463	1619
4		3.60	227	455	1636
5	62.5	3.63	268	428	1552
6		4.00	252	403	1612
7	83.3	4.63	230	368	1700
8		5.33	260	312	1667
9		6.00	241	289	1736

図-3に、単位セメント量と最大減水率の関係を示す。これよりW/Cによらず、単位セメント量の多いモルタルほど最大減水率は大きくなっている。また、最大減水率は単位セメント量と直線的な関係が見られ、回帰式を求めると式(2)のようになる。

$$\Delta W (\%) = 0.027 (C - 210) \quad \text{----- (2)}$$

(相関係数 0.97)

ここに、 ΔW : 最大減水率 C : 単位セメント量
式(2)から、単位セメント量が200 kg/m³程度より少ない場合は流動化効果が全く期待できないと考えられる。

3. 微粉が流動化効果の改善に及ぼす影響

(1) 実験概要

(i) 使用材料 セメントは前述と同じセメントを、細骨材は表-1に示す海砂(2)を用いた。微粉は久山産角閃石の砕石ダストとフライアッシュを用いた。砕石ダストは、まず0.15mmふるいを通過したものをD0とし

D0をさらに4つに分級し、図-4の粒度曲線に示すように粗い方からD1, D2, D3及びD4とした。また、微粉の物理試験結果を表-3に示す。

(ii) 実験方法

前述の微粉無混入モルタルの実験において各W/Cで流動化効果が最も得られなかったモルタル、すなわち各W/Cで単位セメント量が最も小さいモルタルに、微粉を細骨材の一部として混入し(外割)、流動化効果の改善が得られるかを検討した。モルタルの配合は表-4に示すように単位セメント量が289, 368及び455g/lの3種類とし、微粉の混入量は容積比でD/C = 0.3, 0.5の2種類とした。

(2) 実験結果及び考察

図-5に例としてBシリーズの配合について、D3, D4及びフライアッシュ混入モルタルの流動化剤添加量とフローの関係を示す。砕石ダストを混入することにより、分離するまでの流動化剤の添加量が増大し、微粉の混入量が多くなるほど最大可能フローが増大することがわかる。この傾向は、他のA, Cシリーズの配合ならびにD0,

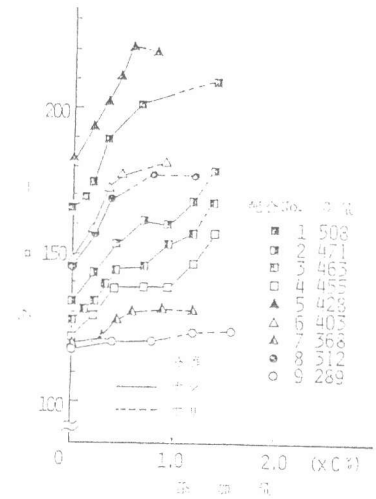


図-1 流動化剤添加量とフローの関係

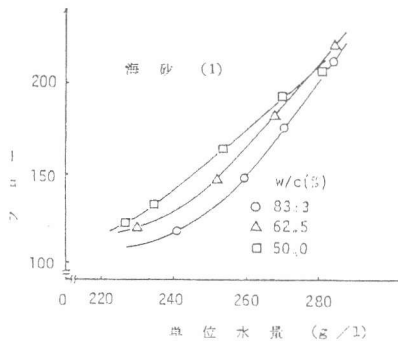


図-2 流動化剤無添加モルタルの単位水量とフローの関係(海砂(1)を使用した場合)

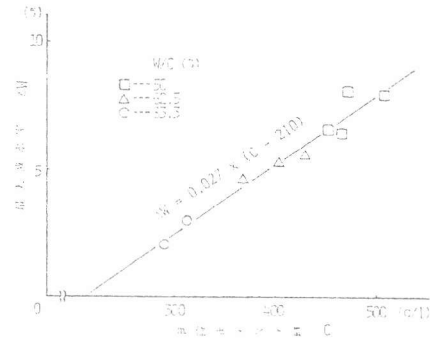


図-3 モルタルの単位セメント量と最大減水率の関係

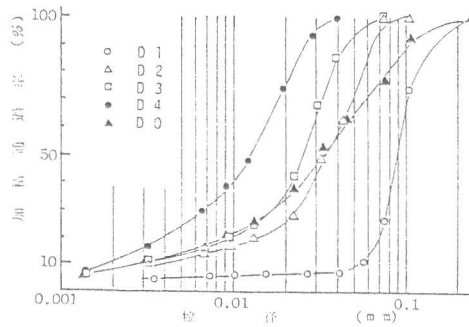


図-4 砕石ダストの粒度曲線

表-3 微粉の物理的性質

微粉	比重	ブレン (cm ² /g)	単位水量比
D1	2.97	585	104
D2		1670	102
D3		2530	102
D4		4500	103
D0		1970	102
FLY ASH 2.32		2540	95

表-4 微粉混入モルタルの配合

NO	W/C (%)	D/C	W (g/l)	C (g/l)	S (g/l)		
					海砂	D	F
A0	83.3	0.0	241	289	1709	0	0
A3		0.3			1639	81	63
A5		0.5			1594	135	105
B0	62.5	0.0	230	368	1674	0	0
B3		0.3			1585	103	80
B5		0.5			1525	172	134
C0	50.0	0.0	227	455	1611	0	0
C3		0.3			1501	23	100
C5		0.5			1428	213	166

D : 砕石ダスト F : フライアッシュ

D1 及び D2 の微粉を用いたいずれの場合も同様であった。ただし、粒径の小さい微粉ほど最大可能フローが大きくなる傾向が見られた。一方、フライアッシュ混入の場合は、混入量が多くなるほど、ベースフロー（流動化剤無添加時のフロー）自体ならびに最大可能フローのいずれも増大している。また、フライアッシュと同程度のブレンの値を取る D3 とを比較すると、微粉の粒径はほぼ等しいにもかかわらず、同一微粉混入量における最大可能フローは、フライアッシュの方が D3 よりもかなり大きくなっている。

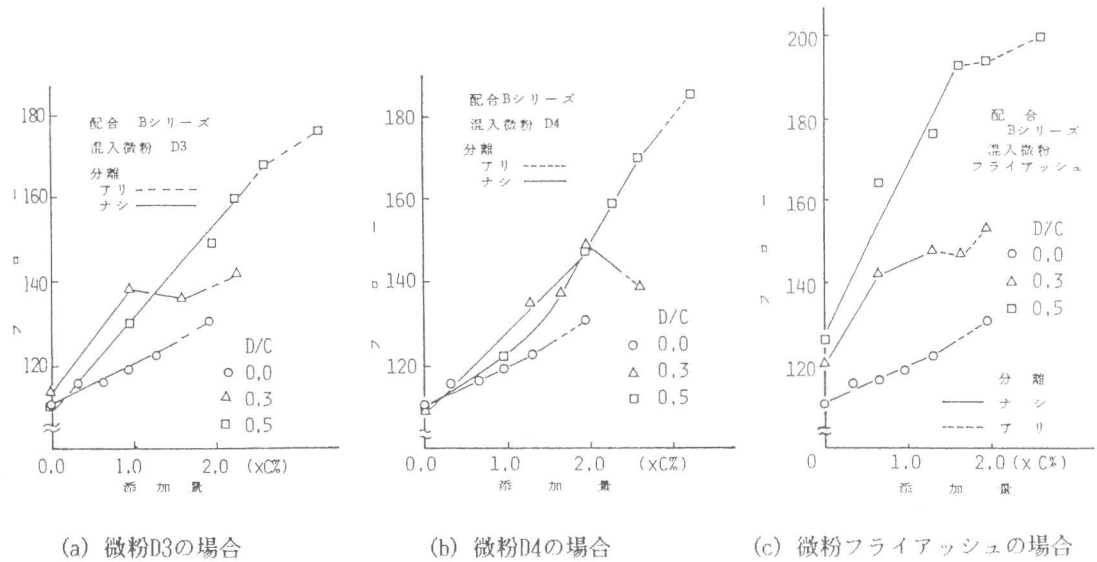


図-5 微粉混入モルタルの流動化剤添加量とフローの関係 (Bシリーズの場合)

次に、微粉混入による流動化効果の改善を、前述と同様に最大減水率を指標として検討する。ここで最大減水率とは微粉混入モルタルの最大可能フローと同一のフローをとる微粉無混入、流動化剤無添加のモルタルの単位水量を図-6 から求め、式(3)より算出した。

$$\Delta W = (W_{pb} - W_s) / W_{pb} \times 100 \quad (3)$$

ここに、 ΔW : 最大減水率 W_{pb} : 微粉を混入した流動化モルタルの最大可能フローと同一のフローをとる、微粉無混入、流動化剤無添加モルタルの単位水量
 W_s : 微粉を混入した流動化モルタルの単位水量

図-7 に、それぞれの微粉の混入量と最大減水率の関係を示す。いずれの微粉の場合も単位セメント量一定の条件下では、最大減水率と微粉混入量の間には直線関係が見られ、また微粉混入量増加による最大減水率の増大量は、単位セメント量によらずほぼ等しいことがわかる。そこで、最大減水率と単位セメント量および単位微粉量の関係を求めると式(4)のようになる。

$$\Delta W (\%) = 0.027(C - 210) + \beta D \quad (4)$$

ここに、 ΔW : 最大減水率 C : 単位セメント量
 β : 微粉混入量の増加による最大減水率の増大量
 D : 単位微粉量

ここで、 β の値を各微粉について求め、ブレンとの関係を図-8 に示す。これより砕石ダストについては、粒径の小さい微粉ほど流動化の改善に効果があることがわかる。一方、フライアッシュの β の値は、フライアッシュと同程度のブレンである D3 と比較してかなり大きくなっている。これは微粉の粒径が砕石ダストでは角ばっているのに対し、

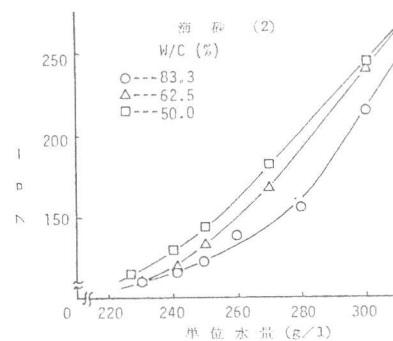


図-6 流動化剤無添加モルタルの単位水量とフロー値の関係 (海砂(2)を使用した場合)

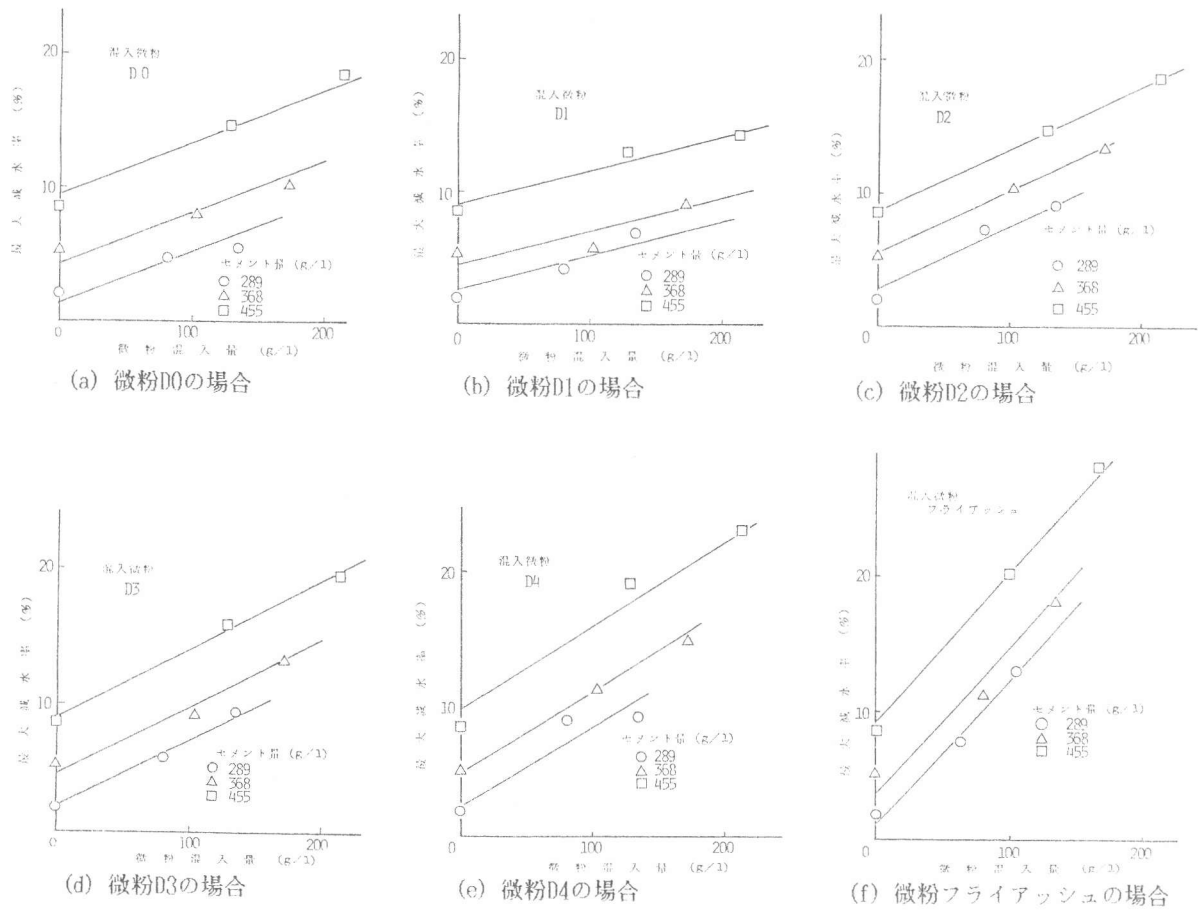


図-7 各微粉を混入したモルタルの微粉混入量と最大減水率の関係

フライアッシュでは球形に近いためと考えられ、さらに、このように粒形が異なる微粉について検討していく必要があると考えられる。また、微粉を混入したコンクリートの強度および乾燥収縮などについても検討する予定である。

4. 結論

(1) 砕石ダストの混入量が多くなるほど、分離するまでの流動化剤添加量が増大し、また最大可能フローも増大する。

(2) 砕石ダストでは、粒径の小さいものほど微粉混入量の増加による最大減水率の増大量は大きくなる。

(3) 粒径のほぼ等しいフライアッシュと砕石ダストの最大減水率を比較すると、粒形が球形に近いフライアッシュの方が、角ばった砕石ダストよりもかなり大きくなる。

(4) 単位セメント量が 250 kg/m^3 の最大減水率は式(2)から約1%であるのに対し、これにセメント量の20%のD4微粉を混入した場合、最大減水率は式(4)から約4%に増大する。

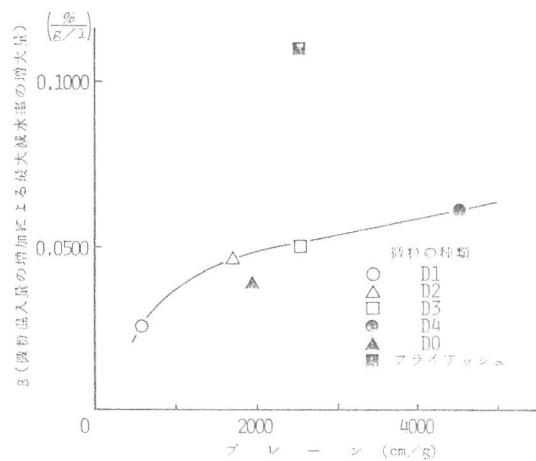


図-8 微粉のブレーションと β との関係

本研究を行うにあたり、九州大学卒業生、前田悦孝君(現・新日鉄化学)に労をわずらわした。ここに、厚く感謝の意を表する次第である。