

[35] 流動化コンクリートの材料分離に及ぼす細粒分の影響

正会員 ○島 弘（徳島大学大学院）
 正会員 水口 裕之（徳島大学工学部）
 西 雄 孝（西松建設九州支店）

1. まえがき

近年、かた練りコンクリートの品質をそこなわず、その施工性を改善することを目的とした流動化コンクリートが多く使用されるようになっている。しかし、流動化コンクリートは、同一スランプの通常の軟練りコンクリートにくらべると、単位水量が小さいため骨材量に対するセメントペースト量が少なく、また、同じ水セメント比であっても、セメントペースト自体の流動性がきわめて大きくなっている。したがって、流動化コンクリートは材料分離を生じやすく、これを防ぐためにはコンクリート中の細粒分を十分に確保しなければならず、実際には、配合設計において細骨材量を4～5%増加させることなどが推奨されている¹⁾。

通常のコンクリートの材料分離に及ぼす細骨材率の影響についての研究は多く²⁾、流動化コンクリートに対しては十代田³⁾がリモルジング試験からみた分離性状に及ぼす細骨材率の影響を調べている。しかし、流動化コンクリートの材料分離の程度と細粒量の関係を定量的に求めた研究は少なく、この点に関する資料の蓄積が必要である。

そこで、本研究では、細粒分の量を変化させた流動化コンクリートを $15 \times 15 \times 60\text{cm}$ の柱状型枠に打込み、その材料分離の程度を調べ、流動化コンクリートの材料分離に及ぼす細粒分の影響について検討した。

2. 実験の概要

2.1 使用材料および配合

ブレーン値 $3130\text{cm}^3/\text{g}$ 、比重3.15の普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は、粗粒率2.84の陸砂およびこの陸砂と海砂とを質量比で1:4に混合した粗粒率1.73の混合砂を用いた。それぞれの粒度曲線を図-1に示す。粗骨材は、最大寸法25mmの硬質砂岩碎石を、粒度曲線が土木学会の標準粒度範囲のほぼ中央になるように粒度調整し、粗粒率で6.72としたものを使用した。リグニンスルホン酸塩とポリオール複合体を主成分とする標準型の減水剤およびAE助剤を用い、流動化剤としてはナフタリンスルホン酸塩系のものを使用した。流動化剤を添加する前のスランプ値 $12 \pm 1\text{cm}$ のベースコンクリートの配合を表-1に示す。

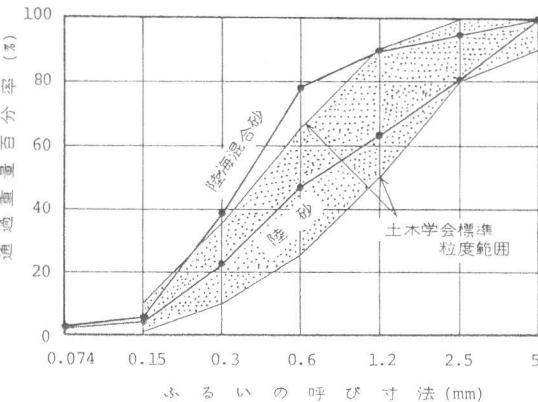


図-1 細骨材の粒度曲線

表-1 コンクリートの配合

に示す。細粒分は、セメント量を300および $400\text{kg}/\text{m}^3$ 、細骨材の粒度を前述の2種、細骨材率を40、46および52%とし、これらを組み合せて0.3mm以下の細粒量を $453 \sim 722\text{kg}/\text{m}^3$ に

配合番号	Ms (mm)	S1 (cm)	空気量 (%)	C (kg/m ³)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			混和剤 (ml/m ³)		
							W	S 海砂/陸砂	G	減水剤	AE助剤 (流動化剤)	
A-1	25	20±1	50±0.5	300	58	40	174	—	697	1 062	18.2	
A-2					61	46	183	—	791	943	750	18.2
A-3					64	52	192	—	882	827		16.4
B-1	400	44	46	400	42	40	167	—	674	1 027	18.2	
B-2					44	46	176	—	762	908	1 000	16.0
B-3					46	52	185	—	849	796		14.0
C-1	300	62	40	300	62	40	185	559	140	1 045	15.0	
C-2					65	46	194	634	159	928	750	9.0
C-3					68	52	203	708	177	813		5.0
D-1	400	45	40	400	45	40	181	536	134	1 002	10.0	
D-2					48	46	190	608	152	889	1 000	6.0
D-3					50	52	199	678	169	779		4.5

変えた。スランプ値 20 ± 1 cm の流动化コンクリートは、ベースコンクリートにセメント質量の 0.55% の流动化剤を添加して製造した。

2.2 供試体の作成および材料分離の測定
強制練りミキサを用いて 3 分間で練り混ぜたベースコンクリートを 5 分間静置した後流动化剤を添加し、30 秒間練り混ぜて流动化コンクリートとした。これをさらに 5 分間静置し、 $15 \times 15 \times 60$ cm の角柱型枠に一層で打込み、振動数を 10800 rpm、最大加速度を 3.0 g とした振動台上に固定し、大きな気泡が出なくなり十分締固まるのに適当であると思われる 15 秒間振動締固めを行った。型枠および振動台を図-2 に示す。

締固めた供試体は静置し、ブリージング終了後に、図-3 に示す上部および下部よりそれぞれ約 4 kg の試料を採取した。これらを 5 mm ふるいでウェットスクリーニングし、モルタル分を高周波加熱して水量を求めた。乾燥したモルタルは $74\mu m$ ふるいでふるい分けで細骨材量およびセメント量を求め、モルタル中の各成分量を測定した。
5 mm ふるいに残った粗骨材は水洗した後乾燥させ、20 mm および 10 mm ふるいでふるい分けで、5~10, 10~20 および 20~25 mm の粗骨材量を求めた。予備実験により、細骨材中の $74\mu m$ ふるい通過分、ウェットスクリーニング時に粗骨材のまわりにくっついているモルタルの各成分量などを求めておき、これらの値を補正した。

このようにして求めた各成分量およびコンクリート中の空気量はモルタル中にのみ含まれその量はモルタル量に比例すると仮定して求めた空気量から、コンクリート 1 m³ 中の各成分の重量を計算した。材料分離の程度は、各成分量の上部と下部との差で表した。

3. 実験結果および考察

成分の中で、10~20 mm および 20~25 mm の粗骨材が沈降し、他の成分はすべて浮上する傾向となっている。そこで、粗骨材を 5~10 mm と 10~25 mm に分けて考察した。

3.1 細粒分と材料分離の程度との関係

0.3 mm 以下の細粒量（セメント量 + 0.3 mm 以下の細骨材量）と各成分の分離の程度との関係を図-4 に示す。各成分とも、

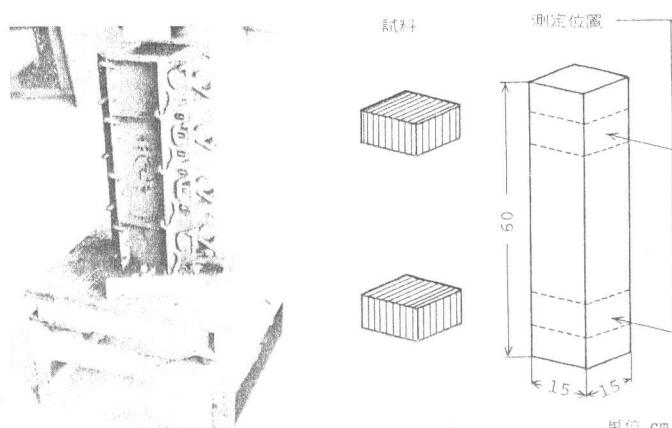


図-2 型枠および振動台

図-3 測定位置

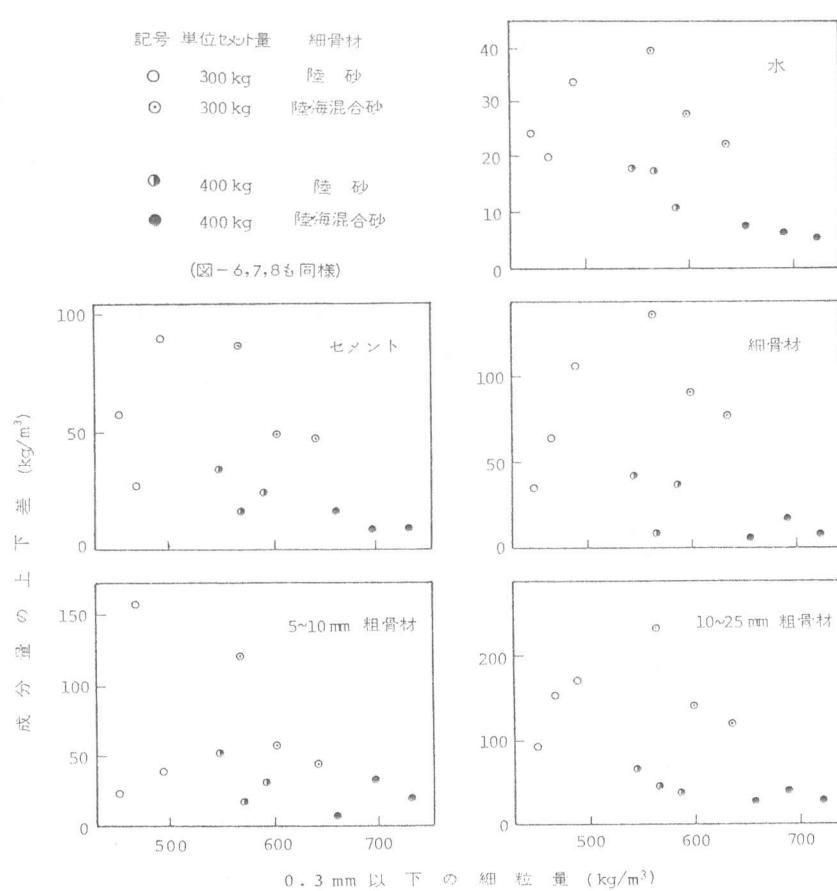


図-4 細粒分と各成分の分離の程度との関係

セメント量の違いによって、分離の程度に差がある。セメント量が $300\text{kg}/m^3$ のコンクリートでは $400\text{kg}/m^3$ のコンクリートよりも分離が大きくなっている。

セメント量が $300\text{kg}/m^3$ のコンクリートにおいては、ある細粒量に対して分離の程度が極大となる傾向を示している。この原因としては、コンクリート中の細粒分が少なすぎると、連続相とみなせる水と細粒分とから成るペースト状の成分が少なくなり、骨材粒子間の接触が多くなってコンクリートが荒々しくなり、型枠の中では各成分の移動が妨げられ、各成分の偏在を起しにくいためと考えられる。しかし、実際にはこのようなコンクリートは、打込み前に材料が分離、とくに細粒分を含んだ水分の多い成分のみが流れ出している。このような図-4に見られる細粒分が少なく材料分離の程度も小さいコンクリートは、スランプ試験において、図-5に示すようにネビルのいう“破壊スランプ”となっている⁴⁾。すなわち、これらのコンクリートは、打設時にすでに“External segregation”していると考えられ、以後このことを基にして考察した。

一方、セメント量が $400\text{kg}/m^3$ のコンクリートにおいては、細粒分が少ないと分離の程度が大きくなる傾向を示している。細粒分がある値よりも多くなると、材料分離の程度はほぼ一定の最小値となっている。

したがって、図-4に示されているように、セメント量が $300\text{kg}/m^3$ のコンクリートにおいては、“External segregation”を起さないために必要な 0.3 mm 以下の細粒量は約 $540\text{kg}/m^3$ であり、振動締固めによる材料分離は、約 $680\text{kg}/m^3$ 以上で最小となっている。また、セメント量が $400\text{kg}/m^3$ では、振動締固めによる材料分離を最小にするためには、約 $580\text{kg}/m^3$ の細粒量が必要となっている。

3.2 水セメント比の上部と下部との差

水セメント比の上部と下部との差を図-6に示す。正の値が、水セメント比が下部より上部が大きいことを表している。細粒分が少ない時には、一定の傾向はなくばらつきが大きいが、細粒分が多くなると、すなわち材料分離の程度が小さくなると、水セメント比の上下の差も

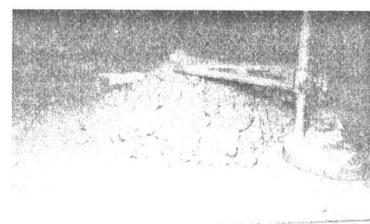


図-5 破壊スランプ⁴⁾

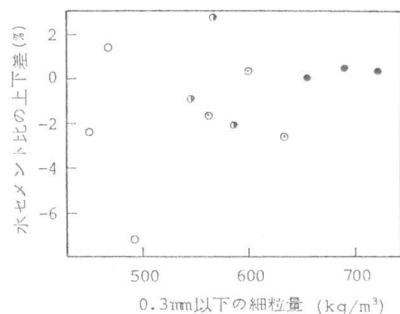


図-6 細粒量と水セメント比の上下差

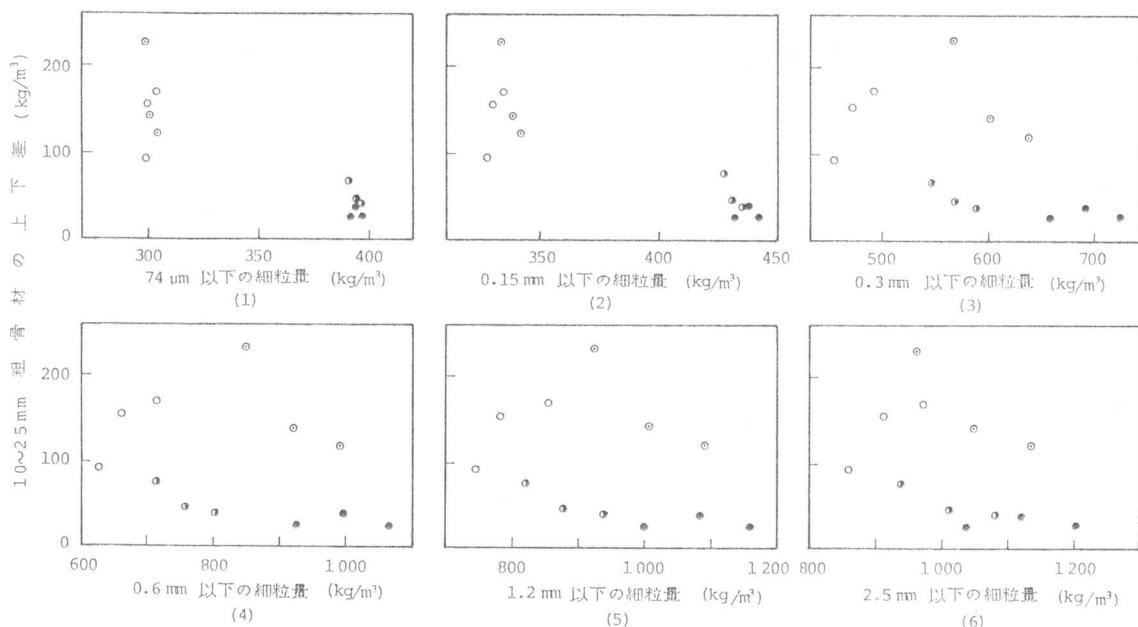


図-7 細粒量と $10 \sim 25\text{ mm}$ の粗骨材の分離の程度

小さくなる傾向にある。

3.3 材料分離に及ぼす細粒分の粒径の影響

図-4に見られるように、各成分の分離の程度は、細粒量に対してすべてほぼ同様の傾向を示している。また、前述したように、材料分離によって10~25mmの粗骨材は沈降し、他の成分は浮上している。したがって、10~25mmの粗骨材以外の成分の分離の程度は、10~25mmの粗骨材の分離の程度に比例すると考えられる。そこで、コンクリートの材料分離の程度は、10~25mmの粗骨材（以後G1と書く）の分離の程度で代表させよう。

図-7に各粒径以下の細粒量とG1の分離の程度との関係を示す。図-7の(1)および(2)に見られるように74μm以下あるいは0.15mm以下の細粒分が多い時には、分離の程度が小さくなっている。しかし、とくに細粒分がない場合には、74μm以下あるいは0.15mm以下の細粒量と同じであっても、G1の分離の程度は大きく異なっている。したがって、G1の分離の程度には、0.15mm以上の粒径の細粒分が関係していると考えられる。逆に0.3mm以上の各粒径以下の細粒分に対しては、図-7の(3)~(6)に見られるように、これらの細粒分が同じ量であっても、セメント量の違い、すなわちこれらの粒径以下の細粒分の量によってG1の分離の程度が異なっている。

したがって、G1の分離の程度に影響する細粒分の粒子径の境界が、0.15mmと0.3mmとの間にあると考えられる。そこで、この境界を0.2mmと仮定し、細骨材の粒度曲線の0.15mmと0.3mmとの間を直線と近似して、0.2mm以下の細粒量とG1の分離の程度との関係を図-8に示す。この図に見られるように、セメント量、細骨材の粒度および細骨材率の違いにかかわらず、0.2mm以下の細粒量のみによって材料分離の程度が表されており、0.2mm以下の細粒量が $430\text{kg}/\text{m}^3$ のとき材料分離が最大となり、 $500\text{kg}/\text{m}^3$ 以上ではほぼ一定の値を示している。この最大値よりも細粒分が少ない場合で材料分離が小さい部分は、スランプ試験を行ったときの観察結果と考え合わせると、前述した“External segregation”を生じている範囲といえる。

したがって、“External segregation”を起さないためには、0.2mm以下の細粒分が約 $430\text{kg}/\text{m}^3$ 以上必要であり、振動締固めによる材料分離を最小にするためには、約 $500\text{kg}/\text{m}^3$ 以上必要となる。

4.まとめ

以上、本実験で得られた結果をまとめると次のとおりである。

(1) セメント量、細骨材の粒度および細骨材率を変化させて細粒量を変化させた場合には、0.2mm以下の細粒量のみによって、コンクリートの材料分離の程度を表すことができる。

(2) 細粒分が少なくなると、振動締固めによる材料分離の程度は大きくなるが、“External segregation”を起こすような荒々しいコンクリートになるまで細粒分を減らすと、上部と下部との差で示した分離の程度は逆に小さくなってくる。

(3) 細粒分が多くなると、材料分離の程度は小さくなるが、ある値以上の細粒分を含んでも分離の程度はかわらない。

(4) “External segregation”を起さないための細粒量としては、0.2mm以下が約 $430\text{kg}/\text{m}^3$ 以上必要であり、振動締固めによる材料分離を最小にするためには、約 $500\text{kg}/\text{m}^3$ 以上必要となってくる。

参考文献

- 1) Superplasticizing Admixtures in Concrete, Cement and Concrete Association, 1976, pp. 7~8.
- 2) たとえば、加賀谷誠他；コンクリートの材料分離に及ぼす細骨材率の影響、第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集、1981, pp. 225~228.
- 3) 十代田知三；高流動コンクリートの分離性状図、日本建築学会大会学術講演梗概集、1980, pp. 273~274.
- 4) 後藤幸正、尾坂芳夫；ネビルのコンクリートの特性、技報堂、1979, pp. 166~167.

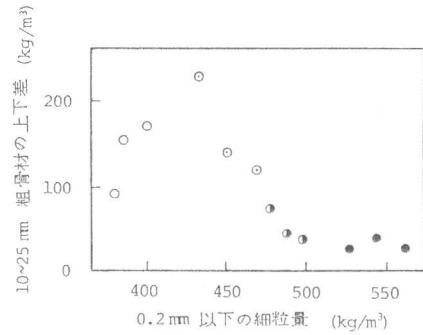


図-8 0.2mm以下の細粒量と10~25mmの粗骨材の分離の程度