

論文 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

中村亮太^{*1}・輪湖建雄^{*2}・鈴木雄三^{*3}・佐藤正一^{*4}

要旨：高流動コンクリートは、その性状が種々の要因によって影響を受けやすい。そこで、影響要因の一つとして細骨材の微粒分および粗粒率に着目して、フレッシュコンクリートの性状に及ぼす影響について調査した。増粘剤系高流動コンクリートにおいては、粉体系高流動コンクリートに比較して細骨材微粒分の有無による影響は少なく、高炉スラグ微粉末を適量添加することにより、流動性、充填性が向上した。また、良好なフレッシュコンクリートの性状を示す粗粒率の範囲が抽出できた。さらに、レーザー回折式粒度分布測定法により、微粒分やコンクリート材料全体の粒度分布について調査した。

キーワード：高流動コンクリート、細骨材微粒分、粗粒率、粒度分布

1. はじめに

近年、高流動コンクリートの実構造物への適用例[1]が多く報告されている。高流動コンクリートを大量製造する上では品質の安定性が要求されるため、この安定性に影響を及ぼす要因に検討が必要となる。影響要因の一つである細骨材の微粒分（本実験では0.15mm以下の粒径定義した）や粗粒率が高流動コンクリートに及ぼす影響については、粉体系あるいは併用系の流動コンクリートにいくつかの報告[2][3]があるが、増粘剤系高流動コンクリートではほとんど見られない。そこで、筆者らは増粘剤系高流動コンクリートにおいて、これらの要因がフレッシュコンクリートの性状にどのような影響を及ぼすかを調査した。また、粉体系高流動コンクリートでの検討も若干行った。さらに、高炉スラグ微粉末を若干添加することによって、増粘剤系流動コンクリートのフレッシュ性状の変化についても調査した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

実験に用いたコンクリートの材料を表-1に示す。使用セメントは増粘剤系高流動コンクリート（以下増粘剤系）に高炉セメントB種、粉体系高流動コンクリ

表-1 使用材料

セメント	高炉セメントB種、高炉スラグ混入率40~45%
	比重 3.04、比表面積 3800cm ² /g
高炉スラグ微粉末	普通ポルトランドセメント、比重 3.16、比表面積 3400cm ² /g
	比重 2.89、比表面積 6000cm ² /g級
細骨材	海砂：比重 2.59、吸水率 1.06%、F.M.=2.54(2.56)
	砕砂：比重 2.62、吸水率 2.06%、F.M.=2.93(3.14)
粗骨材	砕石：Gmax 20mm、比重 2.60、吸水率 1.27%、F.M.=6.
	兵庫県西島産
増粘剤	低界面活性型水溶性セルロースエーテル
	高性能AE減水剤

※○内は細骨材の0.15mm以下を削除した時の粗粒率

*1 東洋建設(株)鳴尾研究所材料研究室研究員(正会員)

*2 運輸省第三港湾建設局次長

*3 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所長

*4 (財)沿岸開発技術研究センター

ート（以下粉体系）に普通ポルトランドセメントをそれぞれ用いた。細骨材、粗骨材は一般に関西で使用しているものを用いた。混和材は増粘剤系、粉体系ともに比表面積 $6000\text{cm}^2/\text{g}$ 程度の高炉スラグ微粉末を用いた。

表-2にコンクリートの配合を示す。両コンクリートとも充填性、間隙通過性の面から単位粗骨材量を増粘剤系が $315\text{l}/\text{m}^3$ 、粉体系が $300\text{l}/\text{m}^3$ とした。増粘剤系では増粘剤添加量を単位水量の0.25%と一定にした。また、流動性が各配合によって異なるため、高性能AE減水剤の添加量を変えることでスランプフローを65cm程度に調整した。

表-2 コンクリートの配合

コンクリートの種類	セメントの種類	スランプフロー(cm)	W/(C+P)(%)	s/a(%)	空気量(%)	単位量 上段:(l/m^3)、下段(kg/m^3)					増粘剤 W×%	高性能AE減水剤 (C+P)×%
						W	C	P*	S	G		
増粘剤系	高炉B	65	36.7~47.0	48.5~51.7	2.0	193	135	40~0	297~337	315	0.25	1.6~2.2
						193	411	116~0	772~876	819		
粉体系	普通ポルト	65	30.0	50.5	2.0	176	56	142	306	300	—	1.1~1.5
						176	176	411	796	780		

*P：高炉スラグ微粉末

2.2 試験項目および方法

表-3 試験項目および方法

表-3に試験項目および方法を示す。試験項目は流動性評価にスランプフロー試験、充填性評価に $V_{7.5}$ 、 $V_{6.5}$ ロート試験をそれぞれ用いた。

試験項目	試験方法
スランプフロー試験	土木学会基準「コンクリートのスランプフロー試験方法(案)」に準拠。測定項目：広がり、50cm到達時間
空気量試験	JIS A 1128 による。
単位容積質量試験	JIS A 1116 による。
$V_{7.5}$ ロート試験	Vロート試験方法(案)「4」に準拠。流出口寸法：75×75mm、75×65mm
$V_{6.5}$ ロート試験	測定項目：流下時間

2.3 実験の水準

以下に示す3つの目的で実験を行った。実験の水準を表-4に示す。

(1) 細骨材微粒分の影響

表-4 実験の水準

細骨材微粒分の有無がコンクリートの性状に及ぼす影響について調査した。細骨材は砕砂および海砂の微粒分(0.15mm以下)を木杵ふるいを用いて水洗いしながら除去したものと通常の細骨材のままで使用した場合についてコンクリートの性状を調べた。

(2) 高炉スラグ微粉末の影響

コンクリートの種類	セメントの種類	スラグ添加量(l/m^3)	細骨材微粒分(S+P)×% (%)	粗粒率	高性能AE減水剤添加量(C+P)×%	実験目的
増粘剤系	高炉B	0	5.64	2.66	2.2	(1)
			0	2.73		
		10	5.44	2.66	2.0	(1)、(2)
			0	2.73		
		20	5.24	2.66		(1)、(2)
			0	2.56、2.73、2.84 2.96、3.08	1.6	(1)、(2) (3)
		30	5.04	2.66		(1)、(2)
			0	2.73	1.6	
		40	4.84	2.66	1.6	(2)
			0			
粉体系	普通ポルト	142	3.86	2.66	1.5	(1)
			0	2.73		
			0	2.56、2.62、2.73 2.84、2.96	1.3	(3)

増粘剤系において、高炉スラグ微粉末を10、20、30、 $40\text{l}/\text{m}^3$ 添加し、添加の有無および添加量の違いがフレッシュコンク

リートの性状に及ぼす影響について調査した。その中で、最適な高炉スラグ微粉末の添加量の検討を行った。また、優れた流動性、充填性を発揮する微粒分量（セメント、高炉微粉末、細骨材微粒分の合計）の範囲についても検討した。

(3) 細骨材粗粒率の影響

高炉スラグ微粉末を 20 l/m^3 添加した配合を用いて、細骨材の海砂と砕砂の混合比率を多くにより、粗粒率の違いによるフレッシュコンクリートの性状について調査した。細骨材のものを用いた場合、混合比率を変えることにより細骨材中の微粒分の量が増えるので、影響を削除するため、海砂、砕砂とも 0.15 mm 以下の微粒分を木杵ふるいを用いて水洗いし除去したものを用いた。

3. 実験結果および考察

(1) 細骨材微粒分の影響

図-1に細骨材微粒分の有無によるスランプフロー、 V_{75} 、 V_{65} ロート流下時間の関係。増粘剤系については高炉スラグ微粉末の添加量の違いについても検討した。コンクリートは、細骨材微粒分有りのもので、スランプフローが概ね 65 cm 程度になるように設定し、細骨材微粒分を削除したものとの比較で評価した。その結果、増粘剤系ではそれぞれの細骨材微粒分の影響はあまり見られなかった。それに対し、粉体系では細骨材微粒分を多くすることにより、スランプフローが 12 cm 程度大きくなり、 V_{75} 、 V_{65} ロート流下時間は6秒程度小さくなった。

V_{75} 、 V_{65} ロートやスランプフローの流動状態から、増粘剤系は粉体系に比べて細骨材微粒分の有無がコンクリートの流動性や粘性等に及ぼす影響が小さい傾向にあると判断された。

(2) 高炉スラグ微粉末の影響

図-2に増粘剤系における高炉スラグ微粉末添加量とスランプフロー、 V_{75} 、 V_{65} ロート流下時間の関係を示す。増粘剤系に高炉スラグ微粉末を 10 、 20 、 30 、 40 l/m^3 添加した場合、高炉スラグ微粉末の増量に伴い、スランプフローを 65 cm 程度に調整するのに必要な高性能AE減水剤添加量が結合材量の 2.0 、 1.6% と少なくなる傾向にあった。

本実験で、同一の流動性状において V_{75} 、 V_{65} ロート流下時間を小さくするという観点から考えると、高炉スラグ微粉末の最適な添加量は 20 l/m^3 であった。また、同一の流動性状を発揮させるのに必要な高性能AE減水剤添加量も、高炉スラグ微粉末の添加量が 20 l/m^3 で最も少なくなった。すなわち、増粘剤系では、高炉スラグ微

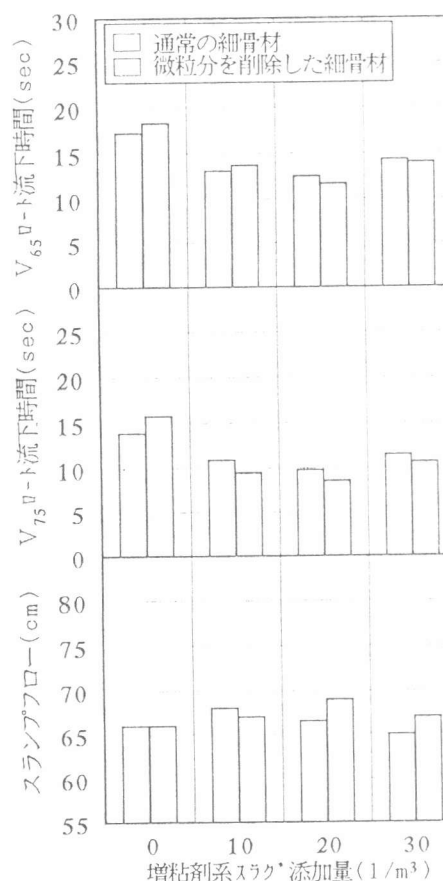


図-1 細骨材微粒分の有無とスランプフロー、 V_{75} 、 V_{65} ロート流下時間

粉末を適量添加することで、高性能AE減水剤の削減や $V_{7.5}$ 、 $V_{6.5}$ ロート流下時間を小さくできる等の効果が認められた。

図-3に微粒分量の合計とスランプフロー、 $V_{7.5}$ 、 $V_{6.5}$ ロート流下時間の関係を示す。同じ流動性を持つコンクリートで微粒分量を評価した場合、増粘剤系において、高炉スラグ微粉末を10～20 t/m^3 添加したときの微粒分量の範囲(160～180 t/m^3 程度)が充填性に優れていると考えられた。また、この範囲であれば細骨材微粒分を削除しても(微粒分量の範囲140～160 t/m^3 程度)流動性、充填性に優れたフレッシュコンクリートの性状を示した。

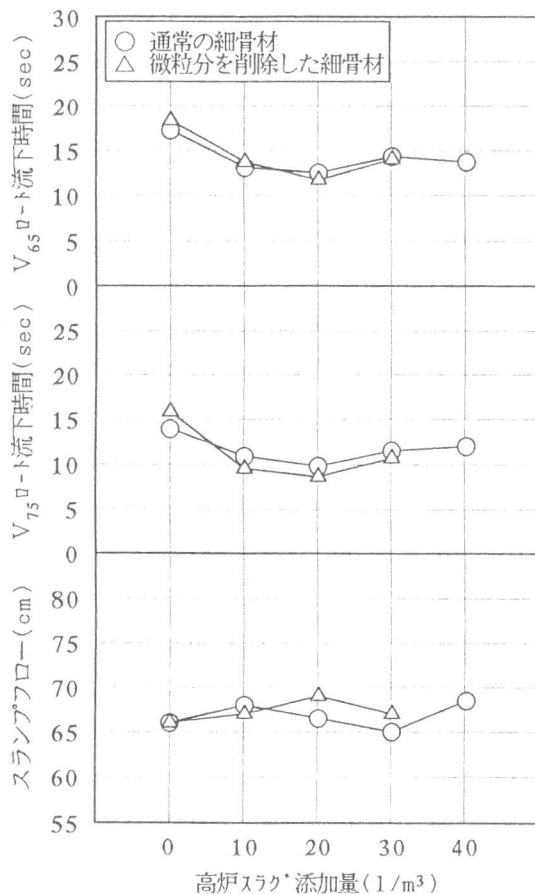


図-2 高炉スラグ添加量とスランプフロー
 $V_{7.5}$ 、 $V_{6.5}$ ロート流下時間の関係

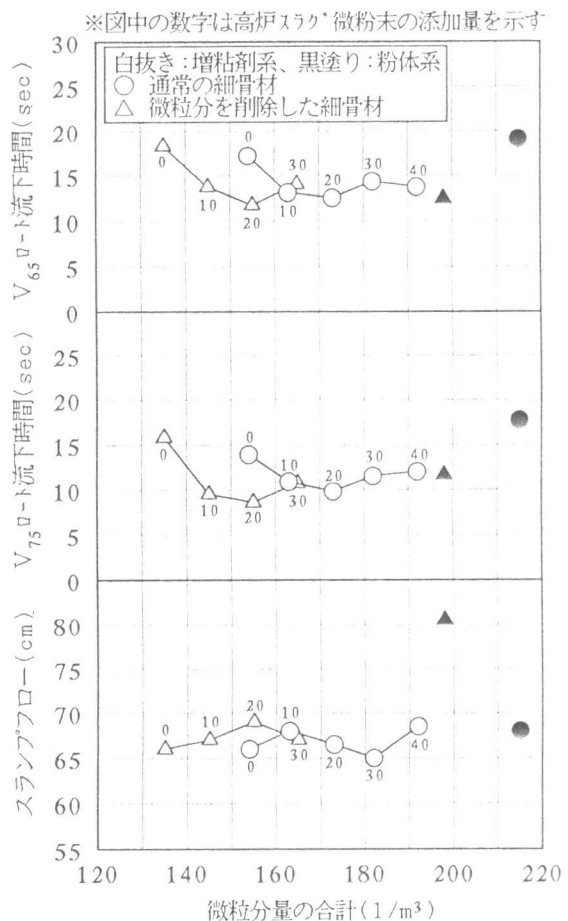


図-3 微粒分量の合計とスランプフロー
 $V_{7.5}$ 、 $V_{6.5}$ ロート流下時間の関係

(3) 細骨材粗粒率の影響

図-4に細骨材粗粒率とスランプフロー、50cmフロー到達時間、 $V_{7.5}$ 、 $V_{6.5}$ ロート流下時間の関係を示す。細骨材粗粒率は海砂と砕砂の混合比率を生コン工場で普通コンクリートを製造する場合で、通常用いられている7:3を基本とし、その比率を変えることで細骨材粗粒率を調整した。本実験での細骨材粗粒率の検討は、増粘剤系が2.56～3.08、粉体系が2.56～2.96の範囲である。

増粘剤系において、実験に用いたコンクリートの配合は、最も流動性、充填性に優れたフレッシュコンクリートの性状を示した高炉スラグ微粉末を20 t/m^3 添加した配合を用いた。コンクリートの性状は細骨材粗粒率が大きく(砕砂が多く)なるにつれて粘性が小さくなり、粗粒率3.08で、目視観察からではあるが、若干材料分離気味であった。流動性、充填性に優れた性状を示す細骨

材粗粒率の範囲としては、50cmフロー到達時間、 V_{75} 、 V_{65} ロート流下時間や目視観察等からも56~2.96程度であると考えられた。

粉体系においても、増粘剤系と同様に、細骨材粗粒率が大きくなるにつれて粘性が小さくなる粗粒率2.96で、目視観察からではあるが、若干材料分離気味であった。流動性、充填性に優れた性状を示す細骨材粗粒率の範囲は2.56~2.84程度と増粘剤系とほぼ同程度であった。

なお、本実験における評価は細骨材中の0.15mm以下の微粒分を削除して行ったため、実験によって導いた粗粒率の範囲を実際の細骨材に適用する場合、特に細骨材中の微粒分の有無によって大きく性状が変わる粉体系では注意する必要があると考えられる。

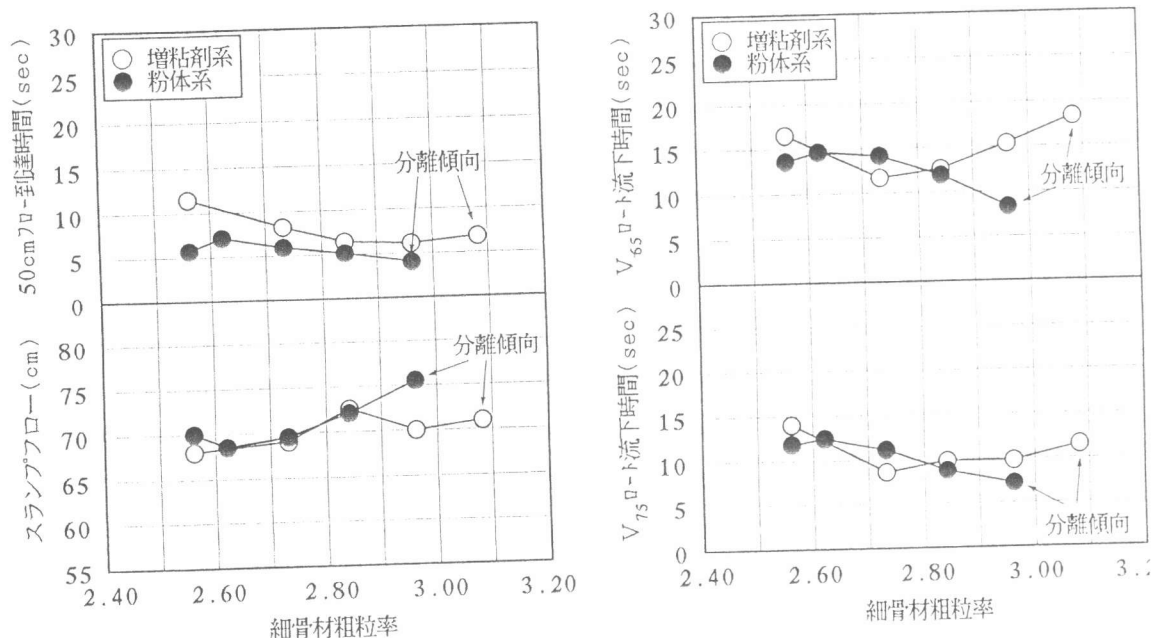


図-4 細骨材粗粒率とスラップフロー、50cmフロー到達時間、 V_{75} 、 V_{65} ロート流下時間の関係

4. コンクリートの粒度分布

図-5に微粒分（セメント、高炉スラグ微粉末、細骨材微粒分）、図-6にコンクリート用材料全体の粒度分布をそれぞれ示す。粒径0.1~150 μ mの微粒分についてはレーザー回折式分布測定法を用いて測定し、150 μ m以上の粒径については細骨材、粗骨材のふるい分け試験（S A 1102による）の結果を用いた。微粒分の粒度分布を観察すると、普通ポルトランドセメ

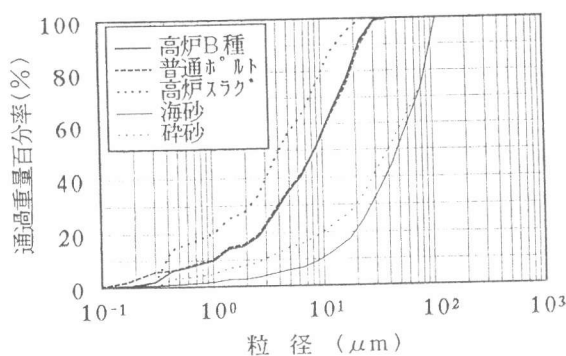


図-5 各種材料の微粒分の粒度分布

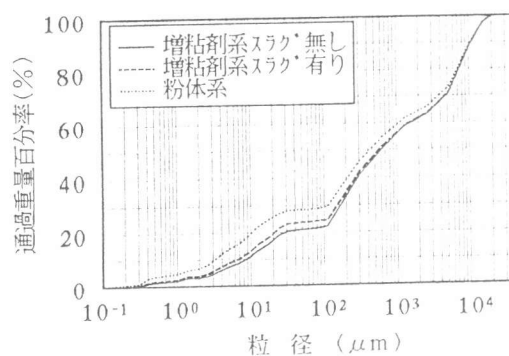


図-6 コンクリートの使用材料全体の粒度分布

と高炉セメントB種の違いはほとんどなく、60 μ m以上の粒径については細骨材微粒分のみに依存していることが分かる。また、コンクリートの使用材料全体の粒度分布では増粘剤系、粉体系の両コンクリートとも全体の粒度分布の傾向は類似しており、粉体系の粒度分布が最も上にあることから微粒分の合計量が多いことを示している。30~150 μ mあたりの粒径が少ないのは、この間の粒径を占める細骨材微粒分がコンクリート全体において微量であるためである。本実験の範囲では明らかにできなかったが、今後の課題として、各粒径がコンクリートの流動性、充填性に及ぼす影響度合いを調査する必要があると考える。

5. まとめ

本研究の範囲で得られた成果より以下のことが明らかになった。

(1) 細骨材微粒分がフレッシュコンクリートの性状に及ぼす影響は、増粘剤系より粉体系の方が敏感であった。

(2) 増粘剤系では、高炉スラグ微粉末を添加することで、フレッシュコンクリートの性状変化に対して、高性能AE減水剤の削減や充填性を向上させる効果があることが分かった。高炉スラグ微粉末の最適な添加量は、20t/m³であり、検討した配合において、 $V_{7.5}$ 、 $V_{6.5}$ ロート流下時間を小さくでき、充填性に優れたフレッシュコンクリートの性状を示す微粒分量の範囲は、160~180t/m³程度であった。

(3) 流動性、充填性に優れたフレッシュコンクリートの性状を示す細骨材粗粒率の範囲は、0.15mm以下の細骨材微粒分を削除したもので評価すると、増粘剤系で2.56~2.94、粉体系で2.56~2.84とほぼ同程度であった。

(4) 実験に用いたコンクリートの使用材料全体の粒度分布は、増粘剤系、粉体系の両コンクリートとも類似の傾向を示した。また、両コンクリートとも細骨材微粒分に含まれる30~150 μ mの粒径が少なかった。今後、コンクリート全体の粒度分布とフレッシュコンクリートの性状の関係を調査する必要があると考える。

6. おわりに

本実験は、神戸港「港島トンネル」沈埋函フルサンドイッチ構造部へ充填される高流動コンクリートに関する実験であり、一連の実験における計画から実施、取り纏めに至る過程で、適切な助言や多大な御支援を戴いた関係者各位に対し紙面を借りて深謝いたします。

【参考文献】

- [1] 例えば、多田和樹、津田義久、中島由貴、中島興康：増粘剤を用いた省力化施工コンクリートによるケーソ底版コンクリートの施工、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 16, No. 1, 1994, pp. 61-66
- [2] 例えば、山口昇三、枝松良展、岡村甫：ミクログ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, 1994, pp. 83-88
- [3] 例えば、岡龍一郎、岩城実、坂田昇：特殊増粘剤が高流動コンクリートの流動性を安定させる効果－表面水設定誤差等による水量変化及び細骨材粗粒率の影響－、土木学会第48回年次講演会論文集、1993, pp138-139
- [4] 岡村甫、前川宏一、小澤一雅：ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版