

粉体の粒度調整による高流動コンクリートの 単位粉体量低減化

藤原浩巳¹・長瀧重義²・大即信明³・遠藤秀紀⁴

¹正会員 日本セメント株式会社 中央研究所副主任研究員 (〒135 東京都江東区清澄一丁目2-23) 現, 東京工業大学大学院 (〒152 東京都目黒区大岡山二丁目12-1)

²正会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 (〒152 東京都目黒区大岡山二丁目12-1)

³正会員 工博 東京工業大学教授 工学部開発システム工学科 (同上)

⁴工修 日本セメント株式会社開発第1部特許課係長 (〒100 東京都千代田区大手町一丁目6-1)

本研究は、粒度分布を調整したセメント系材料を用いることにより、現状の粉体系高流動コンクリートに必要なとされる多量の粉体量を低減することを目的とした。研究は高流動コンクリートの基本性状を満足するためのモルタル部分の降伏値・塑性粘度の範囲を調べ、その範囲に入るために必要な粉体量の下限値と粒度分布特性の関係を明らかとした。そして、最も粉体量を低減できる粒度分布特性を持ったセメント系材料を用いて高流動コンクリートを製造し性能の評価を行なったものである。その結果、通常のコンクリートと同程度の単位セメント量で高流動コンクリートの製造が可能であることがわかった。

Key Words : high fluidity, non-segregating property, passability between bars, Blane Finness, distribution constant, yield value, viscosity, unit powder content

1. はじめに

高流動コンクリートとは高い流動性と材料分離抵抗性を併せ持つことを特徴としたコンクリートであるが、その材料分離抵抗性を付与する方法により粉体系、増粘剤系等に大別されている。すなわち粉体系とはセメント、高炉スラグ、石灰石粉等の粉体を通常 $600\text{kg}/\text{m}^3$ 以上用いることによりモルタル分の粘性を高め、分離抵抗性を付与するものであり、また増粘剤系はアクリル系やセルローズ系に代表される水溶性高分子材料を添加することでモルタル分の粘性を高めたものである。しかしこの2つの方法で分離抵抗性を高めた場合には次のような問題が考えられる。すなわち粉体系においては通常のコンクリートに比べ、多量の粉体を使用していることに起因する乾燥収縮量¹⁾および硬化に伴う自己収縮量の増大²⁾および水和による発熱量の増大²⁾の問題がある。また、増粘剤系においても水量および粉体量が比較的多い他、コストアップ、他の混和剤との相性³⁾等の問題がある。

そこで本研究は粉体の性状を改善することにより、増粘剤を用いること無く通常のコンクリートに近い

粉体量 ($400\text{kg}/\text{m}^3$ 以下) で、振動等による締固め作業が不要な高流動コンクリートを製造することを目的とした。

粉体性状の改善によるコンクリートの流動性向上の試みは、セメント粒子の球状化⁴⁾や、粒度分布の改善⁵⁾、C3A+C4AF量の低減⁶⁾等、これまでも多くの研究が為されている。しかし、これらはいずれも降伏値低減の目的で研究されたものであり、高流動コンクリート用のセメント材料に必要な塑性粘度の増大を目的としたものではない。

本研究は粉体の粒度分布を調整することにより、モルタル部分の降伏値の低減と塑性粘度の増大を図り、現状の高流動コンクリートの単位粉体量および単位水量の低減化を検討したものである。

2. 研究のフロー

研究の考え方を図-1に示す。研究の目標を単位粉体量 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 以下で高流動性(スランプフロー値 500mm 以上)、分離抵抗性(分離指標値 5% 以下: 3章参照)および間隙通過性(間隙通過性試験における左右の室のコンクリート表面高さの差 20cm 以下

表-1 普通ポルトランドセメントの化学分析値(%)

ig. loss	insol	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	f-CaO	Total
1.6	0.3	61.6	20.1	5.0	3.0	1.1	2.0	0.38	0.43	0.26	0.06	0.17	0.6	96.00

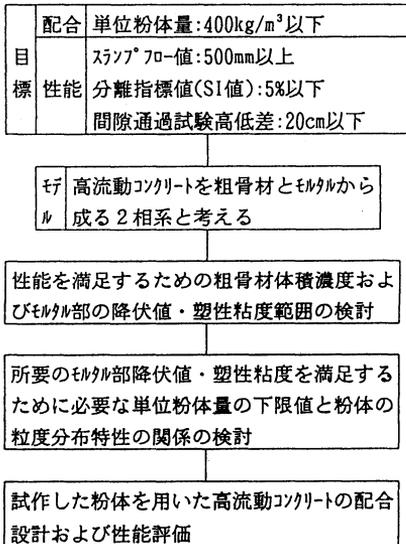


図-1 研究の考え方

3. 高流動コンクリートにおける粗骨材体積濃度およびモルタルの降伏値・塑性粘度の範囲の検討

(1) 実験概要

高流動コンクリートは、粗骨材とモルタル部分からなる2相系のモデルとして取り扱うことができる。そこで、本章では増粘剤量を変化させることによってモルタルの降伏値・塑性粘度を6水準に調整し、次に、これらのモルタルと粗骨材を3水準の容積割合で混合して18種のコンクリートを製造し性能(流動性、分離抵抗性および間隙通過性)の評価を行なった。その結果をもとに高流動コンクリートが成立するためのモルタルの降伏値・塑性粘度の範囲を求めたものである。

a) 使用材料

以下に示す材料を用いた、表-1に普通ポルトランドセメントの化学分析値、図-2に細骨材の粒度分布曲線、図-3に粗骨材の粒度分布曲線を示す。

セメント：普通ポルトランドセメント (OPCと略、ブレン比表面積3210cm²/g、比重:3.15、n値:1.06)

細骨材：瑞穂産砕砂 (比重2.60、F. M. 2.92、実績率66.2%)

粗骨材：青梅産砕石 (比重2.64、最大寸法20mm、実績率59.8%)

高性能減水剤：β-ナフタリンスルホン酸ナトリウム縮合物塩 (以下NSFと略記する)

A E 剤：アニオン系界面活性剤

増粘剤：ポリアクリルアミド系増粘剤を主成分とした混和剤 (以下HFと略記する)

b) 実験条件

モルタルの配合組成を表-2に示す。これは基準としたコンクリート配合(単位結合材(セメント+HF)量450kg/m³、単位水量205kg/m³および細骨材率60%)から、モルタル部分を取り出したときの組成となっている。この組成のモルタルに増粘剤をセメント重量に対して0から3.3%までの6水準混和し、高性能減水剤は結合材重量に対して3%、A E 剤はコンクリートの空気量が4±1%となる0.033%添加した。

これら6水準のモルタルの降伏値・塑性粘度を外円筒回転型粘度計で測定した結果を図-4に示す。塑性粘度(図中 η_{pl})および降伏値(図中 τ_f)とも増粘剤の混和率(図中p)の増加に伴い直線的に

：3章参照)の全てを満足する高流動コンクリートが製造可能となるような粉体を見出すこととした。そして、高流動コンクリートを粗骨材とモルタル部分から成る2相系のモデルで考え、上記の性能を満足するための粗骨材体積濃度(コンクリート中に占める粗骨材の容積割合)とモルタル部の降伏値・塑性粘度の関係について検討を行ない、所要のモルタルの降伏値・塑性粘度範囲を特定した。次に粉体の粒度分布状態を表す要因であるブレン比表面積とRosin-Rammler式におけるn値を変化させた粉体を用いて所要のモルタルの降伏値・塑性粘度範囲を満足する粉体量の必要最低限値を求めた。これにより、単位セメント量370kg/m³、単位水量150kg/m³程度で高流動コンクリートが製造可能となる粉体の粒度分布特性値範囲が明らかとなった。そして、このような粒度分布範囲に入るセメントを用いて高流動コンクリートの配合設計を行ない、練り混ぜ後の流動性、分離抵抗性および間隙通過性について評価を行なった。その結果、全ての性能を満足することがわかり、ここに目的とする増粘剤無しで通常のコンクリートに近い粉体量の高流動コンクリートを製造することが可能となったものである。

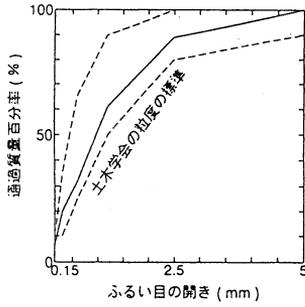


図-2 細骨材の粒度分布曲線

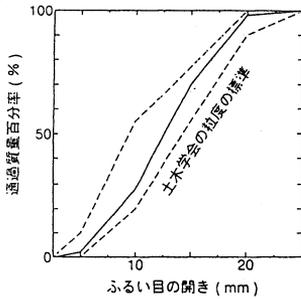


図-3 粗骨材の粒度分布曲線

表-2 モルタルの配合組成

重量構成比(%)			増粘剤混和率 (対セメント重量)				NSF添加 率(%)	AE剤添加 率(%)
セメント	水	骨材	0.0	0.88	1.32	1.76	2.20	3.30
28.0	12.7	59.3					3.0	0.033

表-3 コンクリートの配合条件

配合 No	粗骨材体積 割合(%)	細骨材率 (%)	水/セメント 比(%)	単位量(kg/m ³)				増粘剤(HF)混和率 (対セメント重量%)	NSF 添加率(%)	AE剤添加 率(%)
				セメント	水	粗骨材	細骨材			
3-1	24.5	60.0	45.5	450	205	955	646	0.88		
3-2	29.5	53.8	45.5	420	191	892	778	1.32	1.76	3.0
3-3	34.5	48.1	45.5	390	178	829	910	2.20	3.30	(%)

増加している。これらのモルタルと粗骨材を3水準の粗骨材体積濃度（コンクリート中に占める粗骨材の容積割合： X_v ）となるように混合してコンクリートとした。これらのコンクリートの配合条件を表-3に示す。

c) 評価試験項目

① 流動性評価試験

コンクリートの流動性はJIS A1101のスランプ試験法に準じて、そのコンクリートの広がりであるスランプフロー値を測定し、500mm以上を高流動性を有していると評価した²⁾。

② 分離抵抗性評価試験

2リットルの容器に入れたコンクリートを、5mmふるいの上に静かにあけて5分間静置した。次にふ

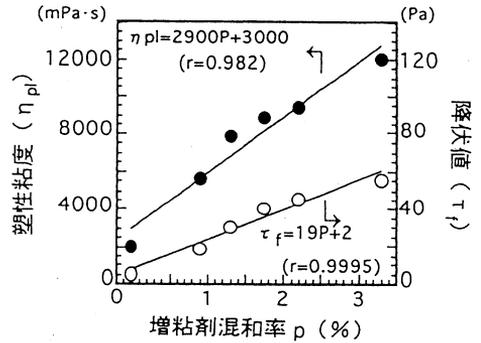


図-4 モルタルの降伏値・塑性粘度

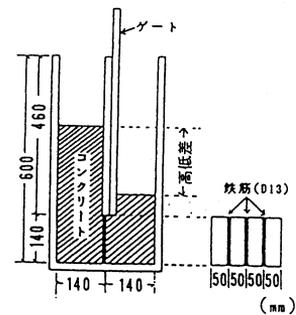


図-5 間隙通過性評価試験方法

るい通過モルタルの重量を測定し、次式で定義される分離指標値(Segregation Index, 以下SI値と略記する)を算出した⁷⁾。

$$SI \text{ 値} = \frac{\text{ふるいから落下したモルタル重量}}{2 \text{ リットルのコンクリート中のモルタル重量}} \times 100(\%)$$

SI値：分離指標値(Segregation Index)

このSI値が5%以下となるものを十分な分離抵抗性を有していると評価した⁸⁾。

③ 間隙通過性評価試験

図-5に示す容器の左側の上端部までコンクリートを流し込み、ゲートを開いてコンクリートがゲート前の鉄筋の間をすり抜け、容器の右側に流れ込む動きが止った状態での容器右側と左側の高さの差を測定した。この様な試験では鉄筋間を通過するものとゲート開放直後に鉄筋間で閉塞するものの2パターンにコンクリートは大別されるが、本試験では高低差が20cm以下となったものを十分な間隙通過性を有していると評価した。

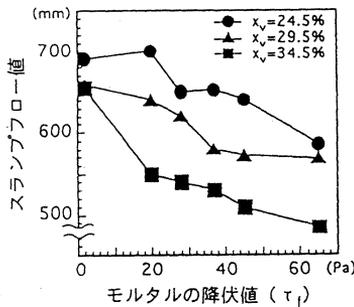


図-6 コンクリートのスランプフロー値とモルタルの降伏値の関係

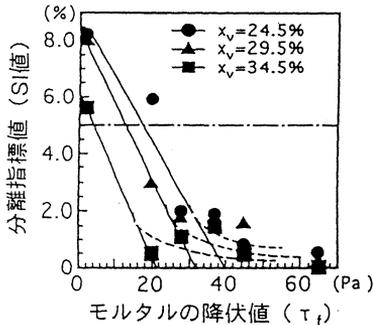


図-7 モルタル部分の降伏値とコンクリートのSI値の関係

(2) 実験結果およびモルタル分の降伏値・塑性粘度範囲の特定

a) 流動性評価試験結果

スランプフロー値はコンクリートの動きが静止した状態での測定値であり、コンクリートの降伏値によってほぼ決まる値と考えられる⁹⁾。また、コンクリートを2相系の材料と考えた場合には降伏値は粗骨材体積濃度とモルタルの降伏値よりほぼ決まる¹⁰⁾。

そこで図-6にコンクリートのスランプフロー値とモルタルの降伏値の関係を粗骨材体積濃度(X_v)別に示した。この図よりコンクリートのスランプフロー値はモルタル降伏値の増大に伴って、また粗骨材体積濃度が大きくなるにつれて小さくなり流動性が低下していることがわかる。この結果より、粗骨材体積濃度の上限が34.5%までの範囲ではモルタルの降伏値は50Pa以下でコンクリートが高流動性となることがわかった。

b) 分離抵抗性評価試験結果

図-7にモルタル部分の降伏値と、コンクリートのSI値の関係を示す。各配合ともSI値はモルタル降伏値が増大するに従い急激に減少し(図中実線部)、ある程度以上 τ_f が大きくなると0に近い値を推移する(図中点線部)。これは τ_f の増大に伴い粗骨

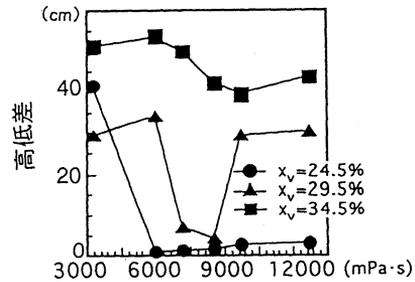


図-8 モルタル部分の塑性粘度と高低差の関係

材に付着拘束されるモルタルが多くなるためSI値が減少するものである。実際にはSI値が5%程度以下であれば、粗骨材の沈降等の分離は生じない⁸⁾ことがこれまでの研究で分かっているため、図より粗骨材体積濃度の下限値24.5%の範囲では、モルタルの降伏値が20Pa以上であれば十分な分離抵抗性を有することがわかった。

c) 間隙通過性評価試験結果

間隙通過性は、コンクリートが鉄筋間を通過する際の流動時において、モルタル部分が粗骨材を連行するに十分な連行力を持つことが要求されるものであり、影響を及ぼす因子としては鉄筋間隔、コンクリート中の粗骨材体積濃度、粗骨材最大寸法およびモルタルの塑性粘度等が考えられる¹¹⁾。本実験では鉄筋間隔を、間隙通過性を評価する試験として幾つかの研究機関で採用されている値(純間隔37mm)¹²⁾、粗骨材最大寸法を一般的な20mmとし、その条件内で粗骨材体積濃度別に間隙通過性について評価した。

モルタル部分の塑性粘度と高低差の関係を図-8に示す。この試験結果は高低差10cm以下のほぼ鉄筋部を通過したものと、30cm以上の鉄筋部で閉塞した結果の2つに大別された。

すなわち、粗骨材体積濃度が24.5%の条件においては塑性粘度が最も小さい条件で閉塞した以外はコンクリートのほとんどが鉄筋部を通過し、34.5%の条件においては全ての条件で閉塞した。また、その中間の29.5%においては塑性粘度7000~9000mPa·sの範囲でのみ通過し、その前後では通過しなかった。したがって、間隙通過性に必要なモルタル部の塑性粘度の範囲は、粗骨材体積濃度によって異なることが分った。また、鉄筋純間隔の条件が変化することにより、間隙通過に必要な粗骨材体積濃度とモルタルの塑性粘度の関係も変化すると思われる。

しかし、今回の実験条件である鉄筋純間隔37mmの配筋条件では、モルタルの塑性粘度が6000~12000mPa·sの範囲内であるならば、粗骨材体積濃度を29.5

表-4 探索範囲

単位粉体量 (kg/m ³)	探索範囲								備考 認定単位 粗骨材量 (kg/m ³)
	増粘剤無混和				増粘剤混和				
	単位水量 (kg/m ³)	単位細骨材量 (kg/m ³)	NSF添加率 (%)		単位水量 (kg/m ³)	単位細骨材量 (kg/m ³)	NSF添加率 (%)	増粘剤混和率 (%)	
550	165~230	768~937	1.0~3.0	—	—	—	—	739	
500	150~230	809~1017	1.0~3.0	—	—	—	—		
450	150~230	850~1058	1.0~3.0	160~235	838~1032	2.0~3.0	1.0~3.0		
425	145~230	871~1092	1.0~3.0	155~235	858~1066	2.0~3.0	1.0~3.0		
400	140~220	918~1126	1.0~3.0	150~230	892~1100	2.0~3.0	1.0~3.0		
375	135~220	938~1159	0.7~2.5	140~220	938~1146	1.0~2.5	1.0~2.5		
350	130~210	985~1193	0.7~2.5	135~215	972~1180	1.0~2.5	1.0~2.5		
325	125~200	1031~1226	0.7~2.0	130~210	1005~1214	1.0~2.0	1.0~2.5		

%以下で調整することにより鉄筋間を通過する条件を求めることが可能であることがわかった。また、鉄筋純間隔37mmの配筋条件は、比較的厳しい条件であり²⁾、上記の塑性粘度範囲は安全側であることや、図-4に示されたように、高流動性および分離抵抗性を満足するための降伏値の適性な範囲(20~50Pa)にほぼ対応していることより、本研究の範囲内であるが間隙通過性のためのモルタル塑性粘度を6000~12000mPa・sの範囲とした。

以上の検討の結果、本実験の範囲内である粗骨材体積濃度が24.5~34.5%においては、モルタル部分の降伏値が20~50Paの範囲が高流動性および材料分離抵抗性を満足するための条件であることがわかった。また、間隙通過性を満足するためのモルタル部分の塑性粘度の条件は、鉄筋純間隔や粗骨材体積濃度により変化するが、純間隔37mm以上の条件で、モルタルの塑性粘度が6000~12000mPa・sの範囲であると考えた。

なお、今回の実験においては、モルタル部分の基本的な構成比(セメント:水:細骨材)を一定として検討したが、これらの構成比が若干変化しても、適切な降伏値および塑性粘度の範囲は、大きくは変化しないものと考えられる。しかし、高性能減水剤や増粘剤の種類が変化したり、モルタル構成比が大きく変化した場合には、降伏値および塑性粘度以外の性状(付着特性等)が変化し、上記の範囲が変化する可能性があり、今後の検討を要するものと考えられる。

4. 所要のモルタル部の降伏値・塑性粘度範囲を満足するために必要な単位粉体量の下限値と粉体の粒度分布特性の関係の検討

本章では3章で求めた高流動コンクリート成立のためのモルタルの降伏値・塑性粘度値範囲を、通常のコンクリートの単位粉体量と同程度の400kg/m³以下で現出できる粒度分布特性領域を探索したものである。

(1)探索方法

粉体の粒度分布状態を表す要因としてブレーン比表面積とRosin-Rammler式によるn値(以下n値と略記する)の2つの因子をとりあげた。ここでRosin-Rammler式におけるn値とは、RosinとRammlerによって提案された次式で表示される粒度分布における定数nであり、この値が小さいほど粒度分布範囲が広くなるものである¹³⁾。

$$R_{(D_p)} = 100 \cdot \exp(-bD_p^n)$$

$R_{(D_p)}$: 積算ふるい上質量(%), D_p : 粒子径,
b, n: 定数

なお、n値算出のための粒度分布の測定は、粉体をエタノールに分散させ、レーザー光を照射し、ブラウンホフナー回折を利用した方法で行なった。

次に、これら2つの要因を変化させた粉体を用い、増粘剤無混和の場合と混和した場合で表-4に示す単位粉体量の各レベルにおいて、高流動コンクリート成立のためのモルタルの降伏値・塑性粘度範囲(降伏値20~50Pa, 塑性粘度6000~12000mPa・s)が

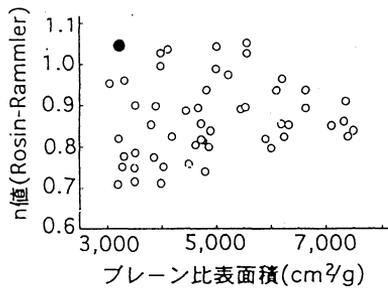


図-9 粉体のプレート比表面積およびn値
(図中の黒点は、OPCのプレート比表面積とn値を示す)

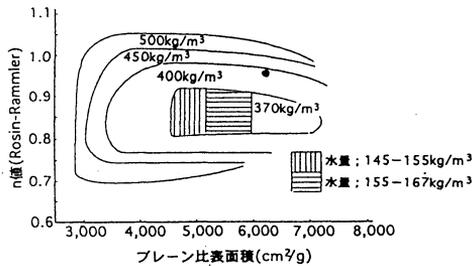


図-10 増粘剤無混和の場合の所要最少粉体量とプレート比表面積およびn値の関係

達成可能かを試験し、どこまで粉体量を少なくできるかを調べた。表中には探索した単位水量、高性能減水剤(NSF)添加率および増粘剤の混和率範囲を示す。また、併せて最も粉体量を少なくできる粒度分布領域において、単位水量の下限値も調べた。

(2) 実験概要

a) 使用材料

粉体には3章で用いた普通ポルトランドセメント(OPC)と石灰石粉(比重:2.70)を用いた。石灰石粉は、ボールミルを用いてプレート比表面積2200~10000cm²/gの範囲に粉砕した。これらの石灰石粉とOPCを重量比1:1に混合することにより、図-9に示す、プレート比表面積3500~7500cm²/g、n値0.7~1.1の範囲の51種類の粉体を調整した。

増粘剤、高性能減水剤および細骨材は3章におけるものと同じとした。

b) 実験条件

モルタルの配合条件は、コンクリートにおける粗骨材体積濃度を28.0%としたときのモルタル部分(粉体、水および細骨材)の単位量で調整した。すなわち表-4に示した各単位粉体量において水量および高性能減水剤の添加量を調整することで3章で

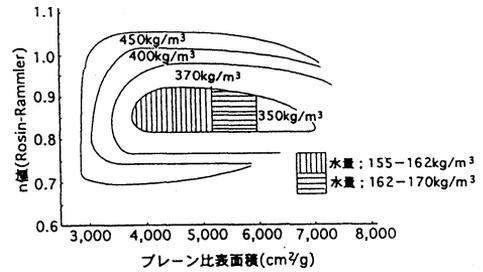


図-11 増粘剤を混和した場合の所要最少粉体量とプレート比表面積およびn値の関係

特定した降伏値・塑性粘度範囲が達成可能かを調べたものであるが、この場合、粗骨材体積濃度は28.0%で一定としたため水量の増減に応じて細骨材量を変化させた。また、増粘剤を用いた条件では、さらに増粘剤混和率も調整した。

ここで粗骨材体積濃度を28.0%とした理由を以下に示す。

①28.0%は本研究における高流動性、分離抵抗性および間隙通過性の全ての条件を、モルタル部分の降伏値および塑性粘度を適切な範囲とすることで満足することが可能である。

②3章における29.5%では間隙通過性を満足するための塑性粘度範囲が非常に狭いために、粗骨材体積濃度を29.5%より幾分か小さい28.0%とした。

モルタルの練混ぜは、2リッターのホバートタイプミキサで2分間行なった。その後モルタルの降伏値および塑性粘度を外円筒回転型回転粘度計により測定した。

(3) 実験結果

表-4に示した配合条件範囲において、増粘剤無混和でモルタルの降伏値・塑性粘度を測定し、降伏値20~50Pa、塑性粘度6000~12000mPa・sの条件を満たすために必要な最少粉体量を求めた結果を図-10に示す。

この結果、プレート比表面積が4500cm²/g以上かつRosin-Rammer式のn値が0.8~0.9の範囲であるならば、単位粉体量が370kg/m³で高流動コンクリートが製造可能であり、更に、プレート比表面積が4500~5200cm²/gの範囲であれば、単位水量が150~155kg/m³程度で製造可能であることがわかった。

次に増粘剤を用いた場合の結果を図-11に示す。この結果、プレート比表面積が通常のセメントに近い値である3500cm²/g以上かつn値が0.8~0.9の範囲であるならば、単位粉体量が350kg/m³で高流動コ

ンクリートが製造可能であり、増粘剤を用いない場合より若干単位粉体量を低減できることが分った。更に、ブレン比表面積が3500~5200cm²/gの範囲であれば、単位水量が150~162kg/m³の範囲で製造可能であることが分った。しかし、もともと増粘剤を使用した高流動コンクリートは単位粉体量はそれほど多くはないため、この様な粉体を用いたことによる粉体量低減効果は幾分小さなものとなった。

(4)まとめ

以上の検討により、粉体のブレン比表面積を4500~5200cm²/g、Rosin-Rammler式のn値が0.8~0.9の範囲に調整することで、従来500kg/m³以上の粉体を用いていた粉体系高流動コンクリートに比べ粉体量を25%以上低減でき、かつ増粘剤を用いることなく高流動コンクリートを製造可能な粉体が得られる可能性があることがわかった。

5. コンクリートによる性能評価

前章で求めた単位粉体量および単位水量を低減できる粒度分布領域に入る粉体を用いて高流動コンクリートを製造し、その性能について評価を行なった。

(1)実験概要

a)使用材料

実験に用いる粉体として、普通ポルトランドセメントを用い、次の3つのグレードに粒度調整を行なったものを用いた。

No.①：単位粉体量と単位水量を最も少なくすることができるブレン比表面積が4500~5200cm²/g、n値が0.8~0.9の範囲の粉体。

No.②：単位粉体量は最低とすることができるが、単位水量は若干多くなるブレン比表面積が5200~6000cm²/g、n値が0.8~0.9の範囲である粉体。

No.③：単位粉体量および単位水量を若干多くなるブレン比表面積が3500~4500cm²/g、n値が0.8~0.9の範囲の粉体。

粒度分布の調整は、ボールミルによって粉砕したブレン比表面積の異なるセメントを混合することにより行なった。また、比較用として粒度調整を行わない普通ポルトランドセメント (No.④)を用いた。表-5にこれらの粉体のブレン比表面積およびn値を示す。その他の材料として細骨材、粗骨材および高性能減水剤に3章と同じものを用いた。

表-5 粉体の粒度分布特性およびコンクリート配合条件

粉体 No.	粉体粒度分布特性		コンクリート配合条件				NSF 添加率 (%)
	ブレン比表面積 (cm ² /g)	n 値	単量(kg/m ³)				
			セメント	水	細骨材	粗骨材	
①	4720	0.88	370	159	1105	739	2.3
②	5680	0.89	370	165	1090	739	2.3
③	3630	0.88	400	174	1041	739	2.5
④	3210	1.06	370	159	1105	739	2.3

表-6 モルタルの降伏値・塑性粘度およびコンクリートの性能評価試験結果

粉 体 No.	モルタル特性		コンクリート性能評価項目		
	降伏値 (Pa)	塑性粘度 (mPa·s)	高流動性	分離抵抗性	間隙通過性
			スランプフロー (mm)	SI値 (%)	高低差 (cm)
①	42	6000	570	3.8	7.5
②	38	6300	580	3.3	6.8
③	35	7000	580	4.0	4.3
④	74	18000	400	8.7	48.2

b)実験条件

コンクリートの配合条件を表-5に併記した。各コンクリートの粗骨材体積濃度は4章での設定値である28.0%とした。なお単位水量と高性能減水剤の添加率は、予備的に行なったモルタルによる実験の結果から、高流動コンクリートのモルタル部降伏値および塑性粘度範囲を達成できる最低の値とした。

なお、No.④においては高性能減水剤添加率および単位水量の調整で上記の範囲を達成することはできないため、比較としてNo.①における配合と同じとした。

なお、本章における単位水量は4章における値より若干増しているが、これは本章で用いた粉体は10%普通ポルトランドセメントであるため、初期水和の影響が出たものと考えられる。

c)評価試験項目

モルタル部の降伏値・塑性粘度を測定するとともに、コンクリートの性能評価を3章と同様以下の試験で行なった。

- ①流動性評価試験
- ②分離抵抗性評価試験
- ③間隙通過性評価試験

(2)実験結果

各モルタルの降伏値・塑性粘度およびコンクリートのスランプフロー値とSI値および間隙通過性試験における高低差の測定結果を表-6に示す。粒度調

整を行なった普通ポルトランドセメントを使用したすべてのモルタルは所要の降伏値・塑性粘度を満足しており、またコンクリートとしたときも、スランプフローは500mm以上、分離指標値は5%以下、高低差20cm以下であり、単位粉体量が400kg/m³以下でも高流動コンクリートとしての性能を満たした。特に、ブレーン比表面積が4500~5200cm²/g、n値が0.8~0.9の範囲であるNo.①の普通ポルトランドセメントを使用した場合、単位粉体量が370kg/m³、単位水量が159kg/m³で高流動性、分離抵抗性および間隙通過性を満たすコンクリートが得られた。

一方、通常の普通ポルトランドセメントであるNo.④を使用した場合には、いずれの性能も満たすことはできなかった。この場合、流動性を高めるために高性能減水剤の添加率を上げた場合には、SI値が更に高くなり、著しい分離をきたすものと考えられる。

6. まとめ

通常のコンクリートに近い粉体量(400kg/m³以下)で高流動コンクリートを製造することを目的とし、粉体の粒度分布を調整することにより、現状の高流動コンクリートの単位粉体量および単位水量を低減できるセメント材料について検討を行なった。その結果、以下のことが分った。

(1)ブレーン比表面積が3500~5200cm²/g、Rosin-Rammler式のn値が0.8~0.9の範囲に入るように粒度調整を行なった普通ポルトランドセメントを用いることにより、単位セメント量が370kg/m³、単位水量が159kg/m³で高流動性、材料分離抵抗性および間隙通過性の全てを満足する高流動コンクリートが製造できる。

(2)高流動コンクリートにおいて、高流動性、分離抵抗性および間隙通過性を満足するためのモルタル部の降伏値・塑性粘度の範囲は、降伏値が20~50Pa、塑性粘度は6000~12000mPa・sである。

(3)単位粉体量および単位水量が最も少ないレベルで(2)のモルタルの降伏値・塑性粘度範囲を満足することが出来る粉体のブレーン比表面積およびRosin-Rammler式のn値の範囲は以下の通りである。

①増粘剤を用いない場合にはブレーン比表面積が4500~5200cm²/g、Rosin-Rammler式のN値が0.8~0.9の範囲であった。

②増粘剤を用いた場合にはブレーン比表面積が3500~5200cm²/g、Rosin-Rammler式のn値が0.8~0.9の範囲であった。

また、この場合増粘剤を用いた方が若干単位粉体

量は少なくできる。

本研究においては、細骨材、高性能減水剤および増粘剤をそれぞれ1種類選んで検討したが、セメントの鉱物組成、高性能減水剤の主成分、混和材種類等により、モルタルの塑性粘度および降伏値の関係が変化することが筆者らのこれまでの研究で明らかとなっている¹⁴⁾。したがって、これらの効果を適切に利用し、降伏値を高めることなく塑性粘度を高めることができれば、上記の必要最低限の単位セメント量および単位水量をさらに低減することが可能と考えられ、今後さらに検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 藤原浩巳, 下山善秀, 堂園昭人: 高流動コンクリートの耐久性に関する実験的検討, 土木学会年次学術講演会概要集第5部, pp. 206-207, 1993.
- 2) 日本コンクリート工学協会: 超流動コンクリート研究委員会報告書(Ⅱ), pp. 149-160, 186-187, 1994.
- 3) 土木学会: 水中不分離性コンクリート設計施工指針(案), コンクリートライブラリー-67, p. 97, 1991.
- 4) 田中勲, 鈴木信雄, 一家惟俊: 球状化セメントの流動特性, セメント・コンクリート論文集, No. 46, pp. 198-203, 1992.
- 5) 内川浩, 宇智田俊一郎, 岡村隆吉: まだ固まらないセメントペースト, モルタル及びコンクリートの流動性に及ぼすセメントの粉末度及び粒子組成の影響, セメント・コンクリート論文集, No. 43, pp. 42-47, 1989.
- 6) 名和豊春, 深谷泰文, 鈴木清孝, 柳田克巳: 高ビークライト系セメントを用いた高流動・高強度コンクリートに関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, pp. 143-148, 1993.
- 7) 木村昌博, 梅原秀哲, 吉田弥智: コンクリートの材料分離の定量化に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No. 44, pp. 306-311, 1990.
- 8) 藤原浩巳, 下山善秀, 岡本享久: 高流動コンクリートの乾燥収縮に関する研究(その1 実験概要, その2 実験結果), 建築学会学術講演概要集, pp. 661-664, 1994.
- 9) 村田二郎: コンクリート技術100講, 山海堂, p. 93, 1990.
- 10) 和美広喜, 笠井浩, 柳田克巳, 亀田泰弘: 回転翼型粘度計による高強度コンクリートの流動特性値測定方法に関する実験的研究, コンクリート工学論文集Vol. 1, No. 1, pp. 133-141, 1990.
- 11) 堂園昭人, 藤原浩巳, 下山善秀: 高流動コンクリートの鉄筋間通過性に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部, pp. 308-309, 1994.
- 12) 日本コンクリート工学協会: 超流動コンクリート研究委員会報告書(Ⅰ), pp. 73-126, 1993.

- 13) 三輪茂雄：粉体工学通論, 日刊工業新聞社, p. 16, 1991.
14) 遠藤秀紀, 藤原浩巳, 鳥居南康一, 下山善秀：各種材

料がモルタルレオロジー特性に及ぼす影響の検討, 第
49回セメント技術大会講演集, pp. 288-293, 1995.

(1994. 11. 29 受付)

A STUDY FOR REDUCING UNIT POWDER CONTENT OF HIGH FLUIDITY CONCRETE
BY CONTROLLING POWDER'S PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

Hiromi FUJIWARA, Shigeyoshi NAGATAKI, Nobuaki OTSUKI and Hideki ENDO

This study aims to reduce unit powder content of high fluidity concrete by controlling powder's particle size distribution. In this paper, the ranges of viscosity and yield value of mortar to be part of concrete, which satisfy the high fluidity, non-segregating property and passability between steel bars, were clarified. And the physical characters of powder, which can satisfy the ranges with the minimum unit powder content, were clarified. Based on the results, new cementitious powder which can produce high fluidity concrete with low unit powder content was presented.