

# 粒度分布に着目した高流動コンクリートの材料範囲の提案

Proportion of Material Limits Based on Particle Size Distribution for Super Workable Concrete

相良 健一\*・加藤 佳孝\*・魚本 健人\*

Kenichi SAGARA, Yosataka KATO and Taketo UOMOTO

## 1. はじめに

現在、自己充填性を有する高流動コンクリートの配合がいくつか提案されている<sup>1)</sup>。しかしながら、その配合通りであっても、自己充填性を有する高流動コンクリートにならない場合が見られる。これは使用材料の特性が製造月日、製造方法、製造産地などの違いにより必ずしも一定の特性を持つとは限らないためである。

本研究では異なる特性の一つとして、粒度分布に着目し、粒度分布の変化がフレッシュ時の品質に及ぼす影響の把握および再現性のある自己充填性を有する高流動コンクリートを製造するための推奨粒度分布の提案を行った。

## 2. 使用材料および実験概要

本研究では、表1に示す特性を持つ材料を使用し、結合材として普通ポルトランドセメント、混和材として高炉スラグ微粉末を用いた粉体系高流動コンクリートを対象とした。実験は、まず、練混ぜ時間、水粉体比、細骨材容積比、細骨材率、高性能AE減水剤添加率などを変化させることで表2に示す基準配合を決定した。この基準配合に対し、

表1 使用材料及び特性

材料	材料特性
水	上水道水
セメント	普通ポルトランドセメント 密度3150(kg/m <sup>3</sup> )、比表面積3260 (cm <sup>2</sup> /g)
混和材	高炉スラグ微粉末、密度2900(kg/m <sup>3</sup> ) 比表面積4110.5810.7980.9800(cm <sup>2</sup> /g)
細骨材	富士川産川砂、密度2630(kg/m <sup>3</sup> )、実積率65.8% 富士川産川砂、密度2660(kg/m <sup>3</sup> )、実積率65.5%
粗骨材	両神産砕石5~13mm、密度2700(kg/m <sup>3</sup> )、実積率57.1% 両神産砕石13~20mm、密度2700(kg/m <sup>3</sup> )、実積率58.2%
混和剤	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系) AE助剤(ロジン系界面活性剤)

\*東京大学生産技術研究所 第5部

表2 基準配合

W/P (%)	s/a (%)	単位置量 (kg/m <sup>3</sup> )					添加率 (P×%)	
		W	C	BS	S	G	SP	AE
35	55	175	150	350	863	725	0.8	0.4

表3 性能評価試験

性能評価試験	目標値
空気量	4~7(%)
50cm到達時間	5.0秒以内
フロー停止時間	15~30秒以内
スランブフロー	65±5cm
V漏斗流下時間(直後)	5~15秒
V漏斗流下時間(5分静置後)	5~15秒
ボックス充填高さ	30cm以上
圧縮強度(材齢28日)	45MPa以上

表4 変化項目および変化水準

変化項目	変化水準
スラグ比表面積(cm <sup>2</sup> /g)	BS40・BS40+60・BS60 BS80+80・BS80・BS100
スラグ置換率(%)	30・40・50・60・70・80
粉体量(kg)	400・450・500・550・600
細骨材割合 <sup>*1</sup>	0・0.4・0.6・0.8・1.0
粗骨材割合 <sup>*2</sup>	0.1・0.2・0.3・0.4・0.5・0.6・0.9

\*1 S1が細骨材使用量に占める割合

\*2 G大が粗骨材使用量に占める割合

粉体、細骨材、粗骨材の粒度分布を変化させ、その場合にフレッシュ時の品質に及ぼす影響を表3に示す各種性能評価試験により把握を行った。それぞれの材料の粒度分布の変化項目および変化水準を表4に示す。粉体に関しては、スラグ比表面積、スラグ置換率、粉体量、細骨材に関しては細骨材1(以後S1)と細骨材2(以後S2)の混合割合、粗骨材に関しては、5~13mm(以後G小)と13~20mm(以後G大)の混合割合を変化させた。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 粉体の粒度分布変化時

粉体の粒度分布が変化した場合(ここではスラグ比表面

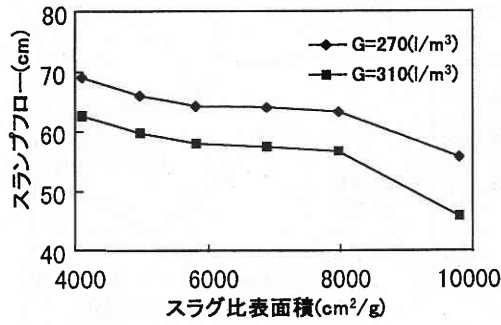


図1 スラグ比表面積とスランプフローの関係

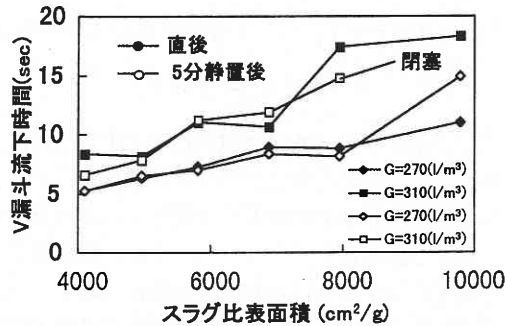


図2 スラグ比表面積とV漏斗流下時間の関係

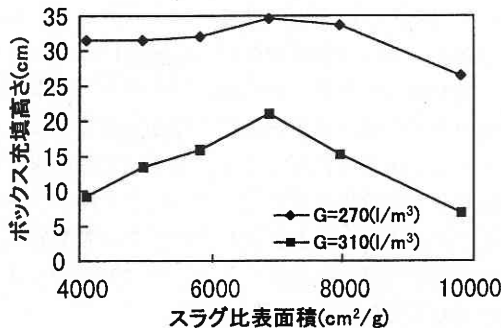


図3 スラグ比表面積とボックス充填高さの関係

積変化時のみ) の性能評価試験の結果を図1～3に示す。図1はスラグ比表面積とスランプフローの関係であるが、スラグ比表面積の増加に伴いスランプフローが減少しスラグ比表面積約8000 (cm<sup>2</sup>/g) において目標フロー値65±5 cmを下回った。この傾向は図2、図3にそれぞれ示すV漏斗流下時間、ボックス充填高さの結果にも見られ、比表面積約7000～8000 (cm<sup>2</sup>/g) においてフレッシュ時の品質が大きく変化していることがわかる。

この原因を解明するために、粒子の比表面積に着目した。通常、スラグはブレーン比表面積という実際の比表面積とは必ずしも一致しない比較値を用いて管理されている。そこでレーザー回折式粒度分布測定装置を用い、粒子が球形

表5 ブレーンおよび実測比表面積

比表面積(cm <sup>2</sup> /g)		Dps* (m)
ブレーン	実測	
4110	4648	4.27E-06
4960	5166	4.00E-06
5810	5485	3.77E-06
6885	11352	1.82E-06
7960	13210	1.57E-06
8880	13489	1.53E-06
9800	13768	1.50E-06

\*比表面積球相当径

であると仮定して比表面積(以後実測比表面積)の算出を行った。表5に示すように、ブレーン比表面積約7000 (cm<sup>2</sup>/g) において実測比表面積が急激に増加している。また、この場合に平均粒径として比表面積球相当径の算出を行った場合においても、ブレーン比表面積約7000 (cm<sup>2</sup>/g) において急激に粒径が小さくなっている。粒子の表面に一定の厚さで水が拘束されると考えると、比表面積の増加つまり表面積の増加により粒子表面の拘束水が急激に増加し、自由水の減少ひいては流動性の低下、充填性の低下をきたしたものと考えられる。

### 3.2 細骨材の粒度分布変化時

実験に使用した細骨材(S1, S2)の粒度分布を図4、実験結果を代表して細骨材別のボックス充填高さを図5に示す。土木学会の粒度標準に完全に収まっているS1使用時ではボックス充填高さ目標値30cmを満足したのに対し、若干取りまきれてない部分が見られるS2使用時ではボックス充填高さ18cm程度と目標を下回った。この理由を説明するために、粉体同様粒子の比表面積に着目した。しかし実際に比表面積を算出した場合、確かに両者に違いはあるものの、その違いは粉体粒子と比較すると非常に小さく粒子の表面に拘束される水量では説明が付かなかった。次に骨材同士のかみ合いと関係の深い実積率に着目したが、この場合もS1, S2の実積率はほとんど変わらず説明が付かなかった。そこで細骨材、粗骨材を混合した場合の実

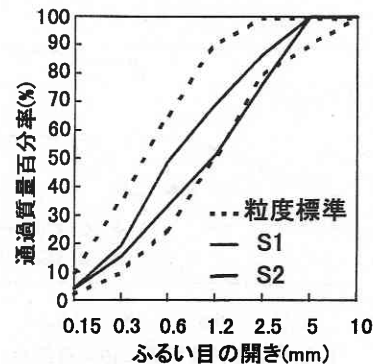


図4 細骨材の粒度曲線

研究速報

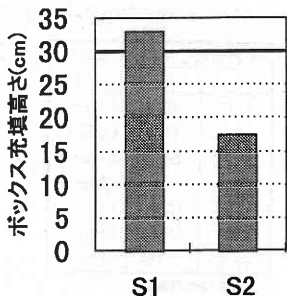


図5 2種類の細骨材のボックス充填高さ

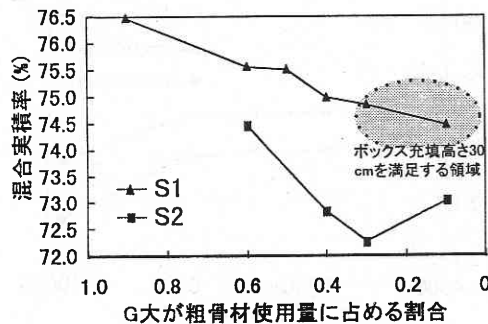


図8 G大が粗骨材使用量に占める割合と混合実積率の関係

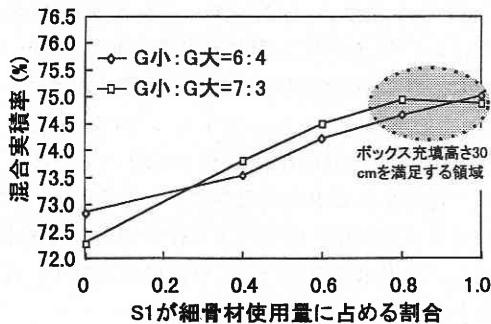


図6 S1が細骨材使用量に占める割合と混合実積率の関係

積率（以後混合実積率）に着目した。この場合の結果を図6に示す。図6はS1が細骨材使用量に占める割合と混合実積率の関係を示したものであるが、ボックス充填高さ30cmを満足するためにはS1の割合が0.8以上かつ混合実積率が約74~75(%)であることが分かる。

3.3 粗骨材の粒度分布変化時

G小とG大の混合割合変化時にフレッシュ時の性能評価試験において大きな変化が見られたのは、ボックス充填高さであった。図7はG大が粗骨材使用量に占める割合とボックス充填高さの関係であるが、G大の割合が約0.3~0.4以上となるとボックス充填高さが急激に低下してることが伺える。粗骨材の場合、ボックス充填高さ30cmを満足するためにはG大の割合および細骨材の場合と同

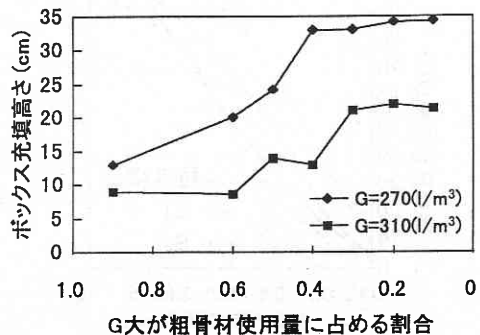


図7 G大が粗骨材使用量に占める割合とボックス充填高さの関係

様、混合実積率を74~75(%)とする必要がある(図8)。

4. 推奨粒度分布

ここでは、ボックス充填高さ30cmを満足する粉体、細骨材、粗骨材別および全体での推奨粒度分布を示す。

粉体の推奨粒度分布を求める手法としてニューラルネットワークおよび感度解析<sup>2)</sup>を用いた。まず、高流動コンクリートを表6に示すように水と様々な粒径の粒子に分類し、各粒径の使用量の変化がボックス充填高さに及ぼす影響の把握を行った。この解析結果をもとに、粒径90μm以下を粉体とし、ボックス充填高さ30cmを満足する各粒径別の使用量の算出を行った。この場合の粒度分布を示したものが図9であり、粉体の粒度分布がこの範囲に収まっている場合に自己充填性を有する高流動コンクリートの製造が可能である。なお点線は基準配合時の粒度分布である。

細骨材および粗骨材に関しては、先程の実験結果をもとに推奨粒度分布の算出を行った。その結果を図10、図11に土木学会の粒度標準とともにそれぞれ示す。推奨粒度分布は土木学会の粒度標準と比較すると、その幅が狭くより厳しいものとなっている。

次に、粉体、細骨材、粗骨材の推奨粒度分布をまとめて全体の累積で表した推奨粒度分布を図12に示す。図12には推奨粒度分布とともに、松尾・小澤らによる高密度配筋部充填性試験を用いた研究<sup>3)</sup>においてA(コンクリートが一

表6 粒径分類および各粒径の構成割合

粒径 (mm)	セメント (%)	スラグ (%)	細骨材 (%)	粗骨材 (%)	計 (%)	全体に占める割合*(%)
0.000~0.016	22.44	77.52	0.03	0.00	100	14.72
0.016~0.032	36.94	62.58	0.48	0.00	100	6.30
0.032~0.064	50.77	44.70	4.54	0.00	100	2.40
0.064~0.09	28.16	28.03	43.81	0.00	100	1.04
0.090~0.15	3.02	3.08	93.90	0.00	100	1.35
0.15~5	0.00	0.00	100.00	0.00	100	39.47
5~20	0.00	0.00	0.00	100.00	100	34.72

\*各粒径の質量が全質量に占める割合

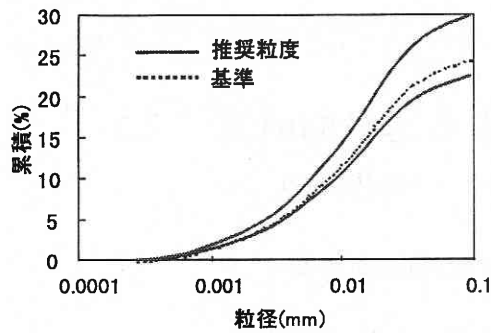


図9 粉体 (90 μm 以下) の推奨粒度分布曲線

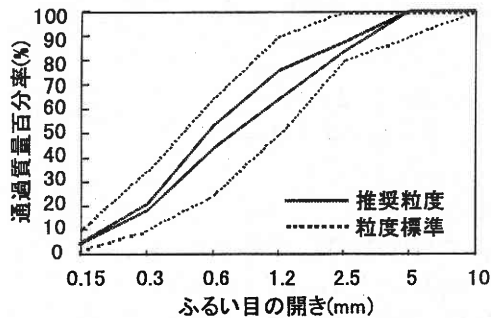


図10 細骨材の推奨粒度曲線

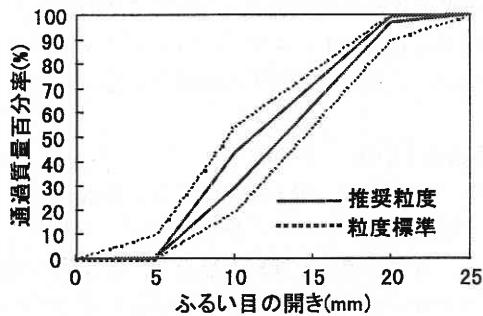


図11 粗骨材の推奨粒度曲線

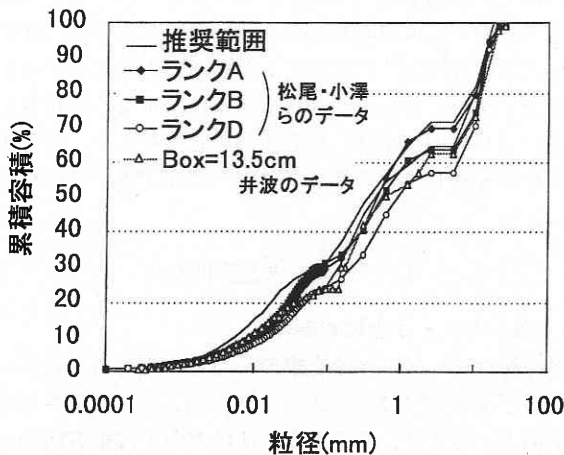


図12 全体の推奨粒度分布

研究速報  
 体で滑らかに通過し、流動勾配も緩やか)、B (通過速度が遅く、粒度勾配に段差)、D (閉塞やジャンクが発生し、流動勾配も急となる) とランク分けされた場合および井波の研究<sup>4)</sup>においてボックス充填高さ13.5cm の場合の粒度分布を示す。自己充填コンクリートとして使用可能と評価されるランクA, ランクB がほぼ推奨粒度分布内に収まっているのに対し、ランクD およびボックス充填高さ13.5cm は収まりきれていない。つまり、使用材料が異なる場合や配合が異なる場合においても、自己充填性を有する高流動コンクリートを製造するためには、ここで示した推奨粒度分布に収まっていることが条件となる。

### 5. ま と め

再現性のある自己充填性を有する粉体系高流動コンクリートの使用材料品質の提案を目的とし、使用材料の粒度分布に着目した本研究において得られた結果を以下にまとめる。

- (1) スラグ比表面積など粉体の粒度分布変化時において、ボックス充填高さをはじめとするフレッシュ時の品質の低下は、粒子の表面積と関係が深く、粒子の正確な表面積を把握することが必要である。
- (2) 細骨材、粗骨材に関しては、混合実積率および大きい粒子の量の管理が重要である。
- (3) 粒度分布に着目し、固体粒子の累積分布を求めることで、自己充填性を有する高流動コンクリートの材料範囲が明らかとなった。

謝辞：本研究をまとめるにあたり、適切な助言を頂いた東京大学生産技術研究所山口明伸氏に感謝の意を表します。  
 (1997年 3月31日受理)

### 参 考 文 献

- 1) 例えば、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, 1993.9.
- 2) 大矢 孝, 魚本健人, 堤知明：ニューラルネットワークを用いたコンクリート製造管理システムに関する研究, 土木学会論文集, No.514/V-27, 1995.5.
- 3) 松尾茂美, 小澤一雅：自己充填コンクリートの充填性に及ぼす粗骨材特性の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, 1994.
- 4) 井波良太：ニューラルネットワークによる高流動コンクリートの性能評価に関する研究, 千葉工業大学修士論文, 1996.3.