

## 細骨材の粒子特性がモルタルの流動性に及ぼす影響

東京都立大学大学院 正会員 上野 敦、福島百合子  
フェロー 國府勝郎、正会員 宇治公隆

## 1. はじめに

近年、スラグ細骨材等の種類が増加しており、これらの細骨材が有する粒子密度や粒子形状などの性質も広範囲に及んでいる。環境負荷を低減しつつ、コンクリートの品質を確保するためには、このような細骨材の多様な粒子特性がコンクリートの品質に及ぼす影響を定量的に評価することが重要である。本研究は、様々な細骨材を適切に使用する考え方とその方法の構築を目的として、細骨材の粒子形状および粒度分布がモルタルの流動性に及ぼす影響を検討したものである。

## 2. 検討のシリーズ

本研究では、細骨材の粒子形状に応じた、モルタル中の細骨材粒子間距離の観点から、ペースト/細骨材粒子間空隙体積比（以下、 $k_p$ <sup>1)</sup>）および細骨材の微粒分置換率に着目し、以下に示すシリーズ1および2の検討を行った。また、粒形の劣る細骨材の粗粒分によるせん断抵抗の観点から、混合細骨材中のスラグ細骨材の最大径に着目し、シリーズ3の検討を行った。

(1)細骨材の粒子形状および粒度分布とモルタルの流動性（シリーズ1）

(2)細骨材微粒分置換率とモルタルの流動性（シリーズ2）

(3)混合細骨材中のスラグ細骨材最大径とモルタルの流動性（シリーズ3）

## 3. 実験概要

**3-1 使用材料** セメントは、密度  $3.16\text{g/cm}^3$  の普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は、粒子形状に着目し、表-1に示す6種類のものを使用した。各細骨材の粒子形状は、画像解析による粒子150個（3粒径、各50個）の円形度係数の平均値とJIS A 5005の粒形判定実積率によって評価した。円形度係数は、投影画像が円ならば1となり、投影面積に対して周長が卓越すると小さくなる。シリーズ2では、各細骨材を微粒分で体積置換した。微粒分には、フェロニッケルスラグ微粒分（密度  $3.05\text{g/cm}^3$ 、比表面積  $3190\text{cm}^2/\text{g}$ ）を使用した。なお、各スラグ細骨材の密度および吸水率は、JSCE-C506-2003に規定の電気抵抗法によって測定した。

**3-2 細骨材の粒度分布および実積率** シリーズ1では、細骨材の体積粒度分布を表-2に示す5水準に変化させた。シリーズ2および3では、粒度をNo.3一定とした。各細骨材の実積率は、JIS A 1104に従って測定した。

**3-3 モルタルの配合と流動性の測定** 各シリーズとも、モルタルの配合は、ペースト/細骨材体積比を1.00、W/Cを0.6の一定とした。シリーズ1では、この配合条件下で、細骨材の粒形および粒度が変化することで $k_p$ が変化し、細骨材粒子間距離が変化する。シリーズ2では、配合条件から計算された細骨材体積を、0～20%の範囲の5水準の置換率で微粒分で体積置換した。これにより、微粒分をペーストの一部と考えると、モルタル中のペースト体積が変化し、微粒分を除く細骨材粒子間距離が変化する。シリーズ3では、配合中の各材料体積を一定とし、各スラグ細骨材を粗粒から粒径ごとにPSで体積置換した。これにより、体積基準での細骨材の粒度分布およびモルタルの配合は一定となっており、混合細骨材中のスラグ細骨材の最大径が変化することとなる。モルタルの流動性は、JIS R 5201に規定の15打フロー試験によって測定した。

## 4. 結果および考察

**4-1 粒子形状** 細骨材の円形度係数と粒形判定実積率の関係は、図-1のとおりであり、円形度係数の増加に伴い、粒形判定実積率は比例的に増加する。理論的には粒形が球でも、粒形判定実積率は75%程度に漸近するが、両者の関係は粒形判定実積率が65%程度までは、直線的な関係となる。

キーワード：細骨材、粒子形状、粒度分布、微粒分量、混合細骨材中の最大径、流動性

連絡先：〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1 電話：0426-77-1111(内)4535、ファクス：0426-77-2772

表-1 細骨材の物理的性質と粒子形状

種類	記号	表乾密度	吸水率	絶乾密度	円形度	粒形判定
		( $\text{g/cm}^3$ )	(%)	( $\text{g/cm}^3$ )	係数	実積率
陸砂	PS	2.59	3.07	2.51	0.782	63.67
砂岩砕砂	CS	2.63	1.12	2.60	0.703	57.59
フェロニッケルスラグ細骨材	FNS	3.07	0.92	3.04	0.639	51.89
銅スラグ細骨材	CUS	3.49	0.15	3.48	0.669	56.16
電気炉酸化スラグ細骨材	EFS	3.68	0.33	3.67	0.689	54.73
高炉スラグ細骨材	BFS	2.81	0.28	2.80	0.661	55.41

表-2 細骨材の体積粒度分布

粒度 No.	ふるい目の開き(mm)							F.M.
	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	
1	0	10	35	65	90	100	100	2.00
2	0	2	10	50	90	100	100	2.48
3	0	5	20	40	70	85	100	2.80
4	0	10	30	35	50	80	100	2.95
5	0	2	10	25	50	80	100	3.33

4-2シリーズ1 kpと流動性の関係は、図-2のとおりであり、kpの増加に伴い、流動性は一般に向上し、一定の流動性に漸近する傾向を示す。また、各スラグ細骨材に着目すると、kpが同等であるにも関わらず、流動性は異なっており、粒子形状による影響を受けていると考えられる。各スラグ細骨材について、図-2のデータを最小自乗法で直線近似し、同等の流動性（15打フロ-200mm）を得るために必要なkpを計算した。スラグ細骨材の円形度係数とこの必要なkpとの関係は、図-3のとおりとなり、円形度係数の増大に伴い、必要kpは直線的に減少することがわかる。すなわち、粒形が球に近づくと、粒子間距離が小さくても同等の流動性とでき、両者の関係は逆比例的となる。

4-3シリーズ2 細骨材の微粒分置換率と流動性の関係は、図-4のとおりであり、微粒分置換率には、細骨材ごとに、流動性を最大とする適正值が存在することがわかる。微粒分をペーストの一部と考えると、配合中の微粒分量の増加により、ペースト体積が増加して細骨材粒子間距離が増大し、モルタルの流動性を向上させる効果が期待される。一方、微粒分の増加によって、ペーストの流動性が低下することも考えられる。細骨材粒子間距離の増大によるモルタルの流動性の向上が、微粒分を含むペーストの流動性低下によって損なわれない範囲の微粒分量は、細骨材の種類によって変化し、微粒分置換率の適正值が骨材ごとに変化していると考えられる。円形度係数と微粒分置換率の最適値の関係は、図-5のとおりとなり、円形度係数の増大に伴い、微粒分置換率の最適値は直線的に減少することがわかる。すなわち、細骨材の粒形に応じて微粒分を適量混合すれば、モルタルの流動性を向上させることができることがわかる。

4-4シリーズ3 混合細骨材中のスラグ細骨材の最大径と流動性の関係は、図-6のとおりであり、一般的には混合細骨材中のスラグ細骨材最大径が小さくなるほど、流動性が向上する。図-6から混合細骨材中のスラグ細骨材最大径がモルタルの流動性に対して支配的となるのは、0.3～1.2mmまでの粒径範囲であると考えられるため、この範囲における両者の関係を直線近似し、同等の流動性（15打フロ-250mm）を得るためのスラグ細骨材の最大径を計算した。円形度係数とこの最大径の関係は、図-7のとおりとなり、円形度係数の増加に伴い、同等の流動性とするための混合細骨材中のスラグ細骨材最大径は直線的に増加する。

5. まとめ

- (1) 粒形判定実積率が65%程度までであれば、細骨材の円形度係数は、粒形判定実積率から予測できる。
- (2) 細骨材円形度係数の増加に伴い、同等の流動性のために必要なkpと最適微粒分置換率は直線的に減少する。
- (3) 細骨材の円形度係数の増加に伴い、同等の流動性とするためのスラグ細骨材の最大径は直線的に増加する。

5. まとめ

- (1) 粒形判定実積率が65%程度までであれば、細骨材の円形度係数は、粒形判定実積率から予測できる。
- (2) 細骨材円形度係数の増加に伴い、同等の流動性のために必要なkpと最適微粒分置換率は直線的に減少する。
- (3) 細骨材の円形度係数の増加に伴い、同等の流動性とするためのスラグ細骨材の最大径は直線的に増加する。

謝辞：本研究は、文部科学省科学研究費、若手研究B（15760336）で行ったものである。

参考文献：1) 國府勝郎・上野敦：締固め仕事量に基づく超硬練りコンクリートの配合設計、土木学会論文集、No.532/V-30、pp.109-118、1996

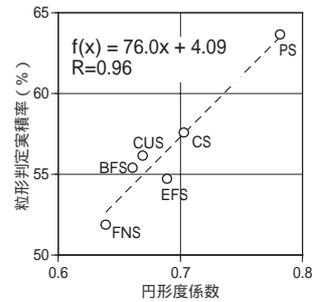


図-1 円形度係数と粒形判定実積率

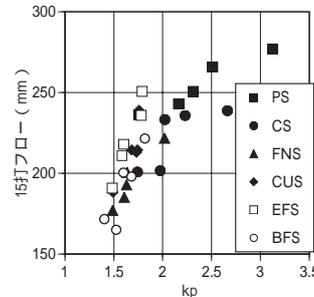


図-2 kpと流動性

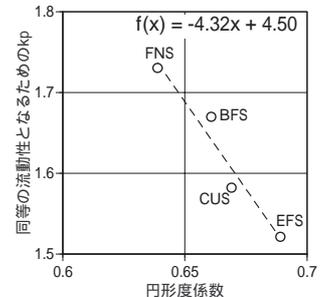


図-3 円形度係数と必要kp

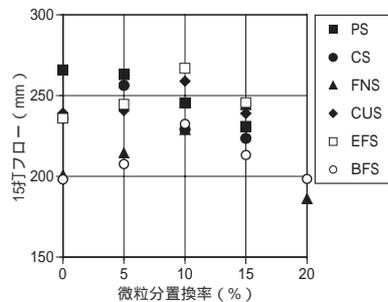


図-4 微粒分置換率と流動性

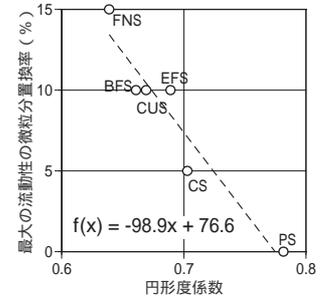


図-5 円形度係数と適正置換率

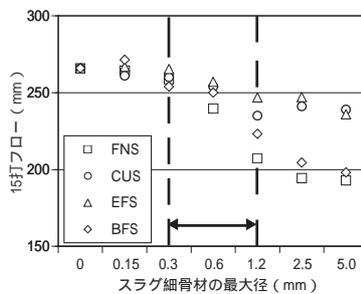


図-6 スラグ細骨材最大径と流動性

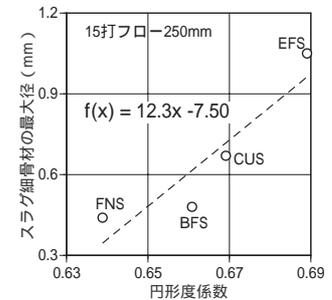


図-7 円形度係数と適正最大径