

東京都立大学 学生員 白鳥 明 正会員 國府勝郎
住友金属鉱山(株) 久恒政幸

1. 目的

銅スラグをコンクリート用細骨材として使用した場合には、練混ぜによって粒度および粒子形状が変化する可能性がある。そこで練混ぜに用いる前の粉砕処理による粒度調整、およびコンクリートの練混ぜ中の粒度および粒子形状の変化を検討した。コンクリートに使用する骨材の形状判定は、主に実積率が用いられている。また、形状係数として細長率、方形率、偏平率、容積係数などの提案があるが、実用性は乏しいようである。本文は、画像解析装置を用いて、粒子形状を定量的に検討したものである。

2. 試料

試料とした銅スラグは0, 2, 4, 6, 8および10分間使用前に粉砕処理したもの、またこれらをコンクリート用細骨材として2および10分間練混ぜした後ウェットスクリーニングによって回収したものである。銅スラグの前処理粉砕に使用した粉砕機は試験用小型ボールミルで、1バッチ当り1kgを乾式粉砕した。コンクリートの練混ぜは重力式ミキサを使用し、1バッチの量は10 lで行った。

3. 試験方法

銅スラグ細骨材の破砕による粒度の変化をふるい分け試験によって、また粒子の形状の変化を画像解析によって検討した。ふるい分け試験は、それぞれの試料についてJIS A 1102に準拠し、手ふるいで湿式で行った。粒子形状の判定は粉砕時間0, 4および6分間の試料、および0および4分間粉砕した試料をコンクリート用細骨材として2および10分間練混ぜた試料について、画像解析装置による形状係数を算出した。画像解析処理の概要は図1のとおりである。1試料当たり(5粒/1画面)×4画面で合計20粒の形状係数測定値を平均して測定結果とした。形状係数は表1に示す円形度係数、形状係数①～③の4種類で表した。表中の等周不等式は、長さ l の曲線に囲まれた面積を F としたときに、 $l^2 - 4\pi F \geq 0$ すなわち、 $1 \geq 4\pi F/l^2$ の関係式を示し、等号は円のときに成立する。なお、粒子の形状は平面的に認識したもので、3次元的な情報を与えるものではない。

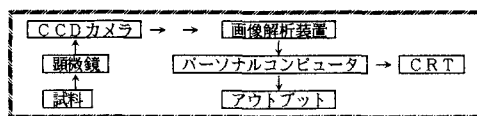


図1 画像解析処理の概要

表1 形状係数について

	特徴・計測方法
円形度係数	円=1, 楕円、不規則形状<1を示す係数。等周不等式を用いて係数の値を算出する。
形状係数①	円形度係数の逆数。1より離れると凹凸の度合が大きくなる。
形状係数②	円らしさを表す形状係数。円および楕円=1, 不規則形状<1。1に近いほど円らしさを表す。 係数② = $\frac{\pi \times (\text{楕円の長軸} + \text{短軸})}{2 \times \text{周囲長}}$
形状係数③	丸さの度合を表す形状係数。1が最も小さい値で1より大きくなるほど円より遠ざかる。最大径と面積の関係を用いて算出される係数。 係数③ = $\frac{\pi}{\text{面積}} \times \frac{\text{最大径}^2}{4}$

4. 結果

4-1ふるい分け

前処理粉砕時間ごとのふるい分け試験結果を図2に示す。粉砕開始直後から1.2mm以上の部分が急激に減少し、それ以下の粒度の部分が增加する。粉砕開始2分以降には0.6mmから1.2mmの部分が徐々に粉砕され、それ以下の粒度の部分が增加している。未粉砕試料の練混ぜ中の粒度変化を図3に示す。未粉砕試料では1.2mm以上の大粒子が粉砕されやすいことが示されている。前処理4分粉砕試料の練混ぜ中の粒度変化の例を図4に示す。2分以上の前処理粉砕を行った試料は、

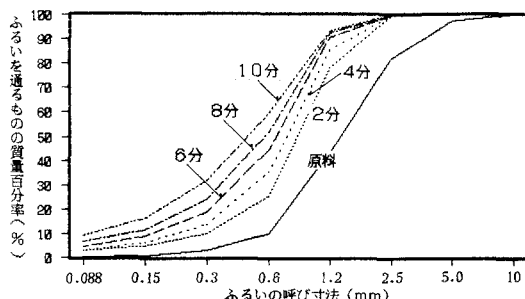


図2 粉砕時間と粒度の関係

練混ぜ中の粒度の変化がほとんどなく、粒度分布は安定する。

4-2形状

画像解析による測定結果を表2に示す。粉碎前後の形状係数は形状係数①の変化が最も大きく、形状変化を把握しやすい。これは、不規則形状の円形度係数は1より小であるため、これを逆数とした形状係数①の値変化は大きくなるからである。なお、図5に実形状と形状係数との関係を参考のために示す。

表2に示す粉碎時間と形状係数①との関係は、粉碎時間0分から4分にかけて大きく係数値が減少し、4分から6分では粒子形状の変化はほとんどない。ふるい分け試験結果によれば、試料の粒度が顕著に変化するのは粉碎時間2分であり、粉碎時間4分とすれば粒度および粒子形状も安定することが確認された。

未粉碎および4分間粉碎の試料の練混ぜ時間と形状係数①との関係を図6に示した。未粉碎の場合、練混ぜ時間が増加するにしたがって係数が減少しており、形状が円形に近づくことがわかる。未粉碎試料は2分以上の練混ぜによって2.5mm以上の粒子が減少し、0.6mm粒度の粒子が増加することがふるい分け試験結果から認められ、この粒度の変化とともに粒子の角ばりが減ることが推察される。4分粉碎の場合、練混ぜ時間が増加しても係数はほとんど変化せず、練混ぜ中の粒度および粒形ともに安定していることがわかる。

5. まとめ

銅スラグ細骨材の粉碎処理および練混ぜ中の粒子の変化を、ふるい分け試験および画像解析によって検討し、次のことが分かった。

- 1)画像解析によって粉碎処理などによる粒子形状の変化を容易にかつ定量的に把握することができる。
- 2)銅スラグ細骨材は2～4分間粉碎すれば粒度および粒形ともに安定する。また、粉碎時間として4分行えば、コンクリートとして練混ぜた場合の粒度の変化および粒形の変化はほとんどない。
- 3)骨材の粒度および粒形の変化をふるい分け試験および画像解析によって検討することは有効であり、コンクリートのコンシステンシーや実積率と粒子形状係数の関係を、今後検討していくことが必要である。

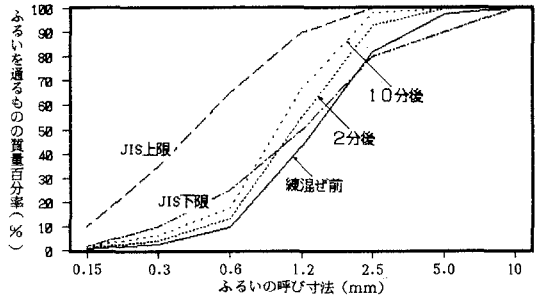


図3 練混ぜによる未粉碎スラグ粒度変化

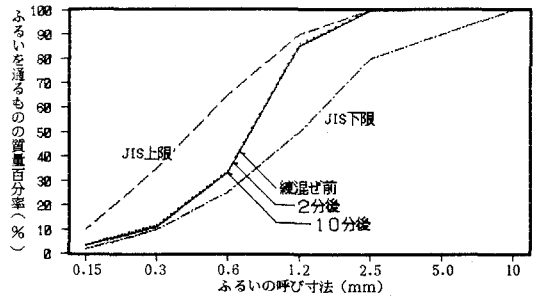


図4 練混ぜによる4分粉碎スラグ粒度変化

表2 形状係数の結果

粉碎	練混ぜ	円形度係数	形状係数①	形状係数②	形状係数③
0分	0分	0.6612	1.5390	0.8210	1.6122
	2分	0.6840	1.4862	0.8401	1.6597
	10分	0.7500	1.3478	0.8763	1.5841
4分	0分	0.7887	1.2747	0.8973	1.5057
	2分	0.7771	1.2925	0.8925	1.5371
	10分	0.7826	1.2815	0.8959	1.5595
6分	0分	0.7724	1.3033	0.8892	1.5439

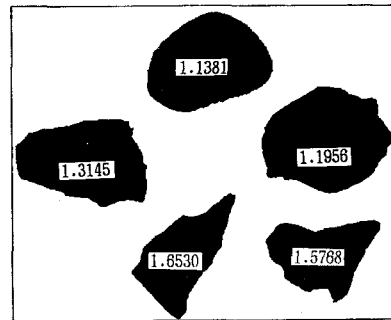


図5 実形状と形状係数①の関係

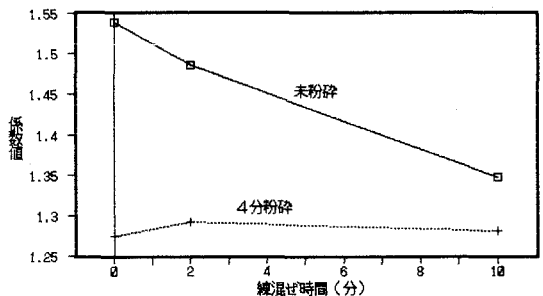


図6 練混ぜ時間と形状係数①