

## 534 セラミックサンド粒子の圧縮破壊強度とリサイクル時破壊確率評価

香川大 ○平田英之  
ツチヨシ 黒川豊井関農機 森本宏(香川大院)  
ツチヨシ 上林仁司

## 1. はじめに

現在、鑄造用鑄物砂として毎年 100 万 t 程度の天然ケイ砂が採掘され、資源の枯渇が心配されている。また天然ケイ砂は、その硬度の低さから、再使用をする際に行われる友擦りによって数十%は微粉化する。これらの微粉は、産業廃棄物として廃棄されるため、更なる環境に対する負荷となっている。そこで天然ケイ砂に代わって、高付加価値の鑄物砂として人工のセラミックサンド開発され適用が進みつつある。セラミックサンドは硬度の高さから再使用の際に、微粉の発生を抑えることが可能である。また低熱膨張率等から高精度の鑄物の作成を可能とすることによって、更なる付加価値を得られる。ところで、セラミックサンドのこれらの特性、特にリサイクル性を評価するためには、友すりや杵つきによる評価が現在行われている。友すりや杵つきによって評価するためには大量の試料が必要になるが、試験的にセラミックサンドを作成した場合、一度の工程では、少量のセラミックサンドしか作成できないという問題がある。また従来の評価では、リサイクル性との関連性が明確化されていない。そこで本研究では、大量のセラミックサンドを必要とする評価ではなく、粒子数十粒の圧縮強度試験と衝突時に対する動的シミュレーションを用いた評価方法を検討した。また、以上の結果を用いてセラミックサンドのリサイクル性評価の方法を提案した。

## 2. 従来研究

セラミックサンドは、主な材料として、ムライト、クロマイトサンド、オリビンサンド、アルミナ等を使用しており、鑄物砂としての特性を得るために、ジルコンや酸化チタン等が少量配合される場合もある。製造方法は原料の配合、乾燥造粒、造粒、焼成、研磨、整粒の工程を行いながら直径 0.1~0.5mm の整った粒子状に造粒されたものである。図 1 は実際のセラミックサンドである。

その特徴としては、

1. 耐火性が高い
  2. 膨張性がほとんどない
  3. 耐久性(耐磨耗性, 耐破碎性, 耐熱衝撃性等)が高い
  4. 真球度, 粒径などの, 品質がきわめて安定している
  5. 成分の均一, 通気性の安定
- 等が上げられる。ところで、セラミックサンドの評価として、現在友すりをしたり、砂を杵で突いたりして

評価しているが、評価に大量の試料を必要とするため、製造プロセスの検討が困難である。またこれらの評価方法、特に杵つきによる評価では、砂粒子の対破碎性の相対評価は可能であるが、最終的な要求特性とどう関係しているのかが不明である。

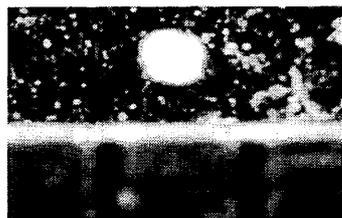


図 1 顕微鏡で見たセラミックサンド

## 3. 研究方法

そこで本研究では

- 圧縮強度試験
  - 静的シミュレーションを用いて圧縮破壊した際の内部応力の明確化
  - 動的シミュレーションによって衝突時における内部応力を検証
  - 圧縮破壊の際の応力と動的シミュレーションによる応力の分布を用いたリサイクル性の評価
- を行っていくことによってセラミックサンドのリサイクル性の評価方法を確立することを目的とする。本研究での概念を図 2 に示す。

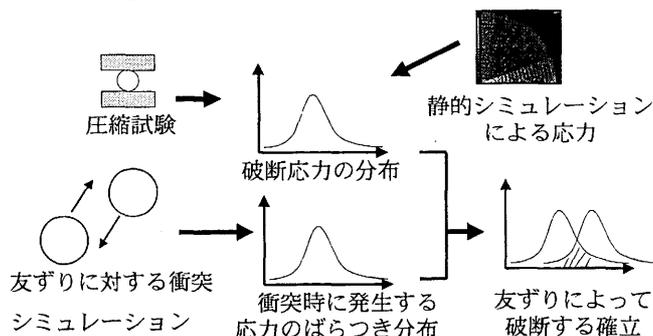


図 2 リサイクル性評価の概念

## 4. 結果

## 4. 1 セラミック粒子の圧縮強度評価

3種類の天然珪砂と2種類のセラミックサンドの圧縮破壊強度を測定するために、セラミックサンド粒子を顕微鏡にて確認した後、微小試験機によって圧縮試験を行った。強度と粒径の関係を図 3 に示す。図に示すように、圧縮荷重と粒径の両方にばらつきが見られるために強度の定量的な比較が行えない。そ

ここで近似曲線を用いることによって一定の粒子径に基準化した圧縮強度評価を行う。図4は粒子径を基準化した圧縮破壊荷重の分布を示す。

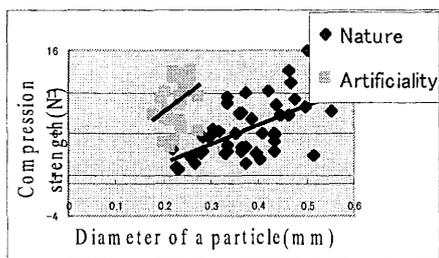


図3 粒径と圧縮荷重の関係

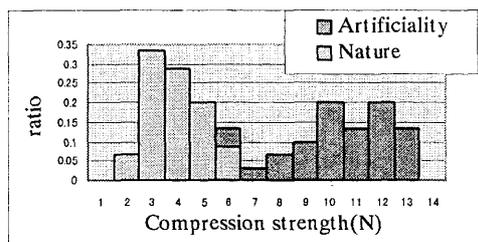


図4 基準化した圧縮荷重の分布

#### 4.2 静的シミュレーションを用いた応力解析

静的シミュレーションによって軸対象の半径0.1mmの粒子モデルに0.01Nの荷重をかけたときの応力を求める。その際の応力分布の例をは図5に示す。

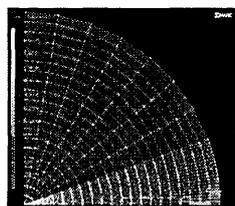


図5 軸対象モデルの応力分布

4.1で圧縮破壊した際の荷重と今回の結果より破壊した際の内部応力を考えて、セラミックスの強度の体積依存性を考慮するため有効体積を用いて次式のような基準化された応力を用いて評価を行った。このときに有効体積はFEMの後処理プログラムにより算出した。

$$\sigma = \sigma_{\max} V_{\text{eff}}^{\frac{1}{m}}$$

#### 4.3 動的シミュレーションを用いた動的解析

動的シミュレーションによって衝突時の発生応力を解析した。

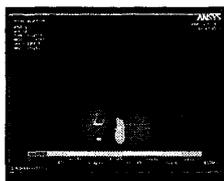


図6 衝突のモデル図

図6に解析結果の例を示す。3種類の粒子径、3種類の衝突方法、3種類の衝突速度を用いてシミュレーションを行った。

#### 4.4 衝突時の発生応力のばらつき分布

友ざりの際の衝突は様々なケースにおいて確率は均等と考え、各粒子が10回程度衝突するとしてその中での最大応力のばらつき分布求めた。4.2と同じように有効体積によって基準化したものが図7となる。このときの平均値は49.8MPa、標準偏差は14.1MPaであった。

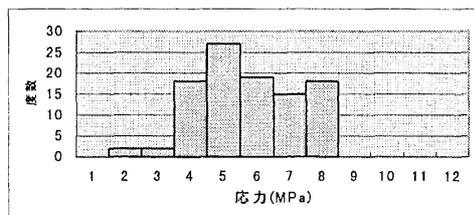


図7 基準化した衝突時における応力

#### 4.5 微粉化率の評価方法

強度と衝突応力の分布を正規分布化したものを、それぞれ $f_1$ 、 $f_2$ とすると図8のように衝突応力が破壊応力を超えたときを破碎するものと考え、その確率を微粉化率とした。

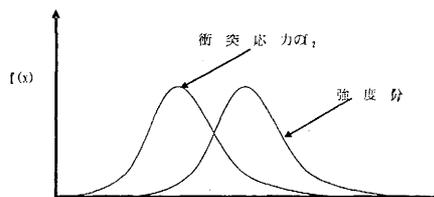


図8 微粉化率の概念

#### 4.6 微粉化率の計算結果

4.2と4.4によって求められた、図2の概念のように分布の重なる部分は衝突によって発生する応力が破壊する時の応力よりも高いと考えられるので、この時には微粉化すると考えられる。そこで正規分布の重なる部分を求めるプログラムを作成する事によって表1のように微粉化率の評価が行えた。

表1 微粉化率

	天然圭砂1	天然圭砂2	天然圭砂3	セラミックサンド1	セラミックサンド2
微粉化率 (%)	10.1101	1.1827	31.4410	0.0280	0.0005

#### 5. まとめ

数種類の天然圭砂とセラミックサンドに関して、圧縮破壊試験と衝突シミュレーションを行い、リサイクル性の評価として、友ざり工程の微粉化率の評価を試みた。その概要を報告した。

参考文献省略