

# 鋳物廃砂の再生工程で発生した微細砂の焼結

Sintering of sand dust generated during recycling process of casting waste sand

渥美 太郎, 武 成祥, 松沼 宏佳\*, 熊倉 俊寿\*

Taro ATSUMI, Seisho TAKE, Hiroyoshi MATSUNUMA, Toshihisa KUMAKURA

鋳物廃砂の再生工程で発生する微細砂の再利用, リサイクル方法の検討を行うための基礎データとして微細砂の性状を調べ, 焼結体の作製を試みた. 微細砂を鋳物工場から排出されるダストと比較すると, 形状は同様であるがベントナイト含有率が低かった. また工程の最後で発生する微細砂を除いて, 化学組成はほぼ一定であった. 微細砂の焼結は1150℃以上で可能であり, 多孔質体が作製できた.

## 1. はじめに

鋳造業において廃砂, スラグ, 粉塵等の廃棄物が大量に発生する. その量は銑鉄鋳物生産量に対して34%といわれている<sup>1)</sup>. この廃棄物の量を減らすことは, 資源, 環境面において大きな課題である. 近年, ゼロエミッションへの取り組み強化から, 再利用, リサイクル率が向上し, 最終処分量はこれら廃棄物の15%まで減少している<sup>1)</sup>.

廃棄物減量に最も貢献しているのは, 廃砂の再利用である. 次に実績のあるのは主にセメント原料, 道路用骨材へのリサイクルであり, これらの強度や安全性などについて調べられている<sup>2-6)</sup>. その他に廃砂を原料としてゼオライトの合成<sup>7, 8)</sup>や, 他の原料と複合化した発泡セラミックスの合成<sup>9-12)</sup>などが行われているが, これらは処理量を大きく増加させるにはいたっていない.

日立化成コーテッドサンド株式会社では早くから鋳物廃砂の再利用を行っており, 現在, 製品である精密鋳物造型用材料コーテッドサンドの原料砂の70~80%に再生砂を使用している. Fig. 1に鋳物廃砂の再生工程の概略図を示す. この各工程において廃棄物として微細砂が生じる. その量は微細砂①が生産量の約15%, 微細砂②~④がそれぞれ約0.5%である. 現在, 微細砂の処分はセメント会社でのリサイクルである. 今後, 処分コストを削減するためにも, 微細砂を自社で再利用, リサイクルすることが課題である.

本研究では, この廃砂再生工程から発生する微細砂の再利用, リサイクルの可能性を検討す

るための基礎データを収集することを目的とした. まず, 微細砂の形状, 組成を明らかにし, 鋳物工場から出る粉塵ダスト<sup>13)</sup>と比較を行った. さらに, 微細砂を用いて焼結体の作製を試みた.

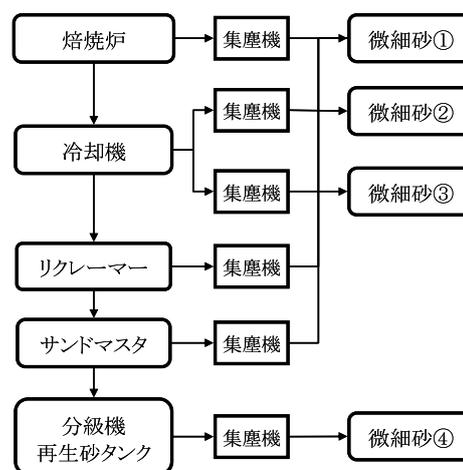


Fig. 1 鋳物廃砂再生工程と微細砂発生箇所

## 2. 方法

### 2-1. 微細砂サンプル

Fig. 1に示した廃砂再生の各工程から発生した微細砂①~④をサンプルとして用いた. 微細砂②と③はそれぞれ冷却機の工程の前半, 後半で発生する. 微細砂④は工程の最後の部分で発生する. 微細砂①はその他の再生工程から発生する微細砂を集めたものである.

各微細砂の形状は走査型電子顕微鏡(SEM)(TOPCON製, SEM-500)によって調べ, エネルギー

一分散型X線分光法器(EDS) (EDAX JAPAN製, DX-4)によってその組成を調べた。相は粉末X線回折法(XRD)(マックサイエンス製, MXP-3V)で同定した。さらにサンプルに含まれるベントナイトの量をメチレンブルー吸着法によって調べた。

## 2-2. 焼結体の作製

微細砂①~④は100℃で一晩乾燥させた。各微細砂1gを秤量し、ポリビニルアルコール水溶液を数滴加えてアルミナ乳鉢を用いて混合した後、一軸加圧成型、圧力50 MPaによってペレットを作製した。ペレットは電気炉を用いて、空气中、所定の温度で4時間焼成した。昇温、降温速度は200℃h<sup>-1</sup>とした。焼成は1100, 1150, 1160, 1170, 1180, 1200℃の各温度で行った。作製した焼結体の見かけ密度と開気孔率をアルキメデス法によって測定し、断面を実体顕微鏡とSEMで観察した。

## 3. 結果および考察

### 3-1. 微細砂の性状

Fig.2に微細砂①のSEM写真を示す。微細砂粒は角ばった形状であり、粒径は数μmから200μm程度の広い範囲である。他の微細砂②~④も同様な形状、粒径であった。XRDの結果、全ての微細砂において、α-SiO<sub>2</sub>のピークのみが観測された。鋳物工場から排出される粉塵ダストも同程度の粒度分布を持っており、形状はSiO<sub>2</sub>由来の角ばった形状であることが報告されている<sup>13)</sup>。

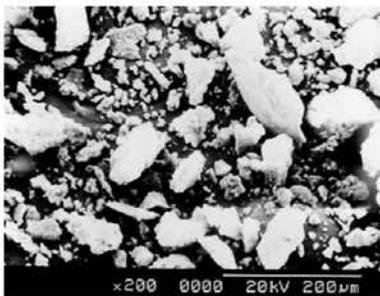


Fig. 2 微細砂①のSEM写真

粉塵ダストをそのまま再利用するのは困難で、例えばその角ばった形状のために、セメントの混和剤として再利用する場合に水分量が増加するであろうことが懸念されている<sup>4)</sup>。したがって、微細砂もそのままでの再利用は困難であると考えられる。

EDSによる微細砂粒子の組成分析では粒子によって大きなばらつきが見られたので、多数の粒子の面分析から平均的な化学組成を見積もった。Table 1に微細砂①~④の化学組成とメチレンブルー法から見積もった活性粘土であるベントナイト含有率を示す。化学組成から各微細砂はSiO<sub>2</sub>が主成分であることがわかる。微細砂①~③ではSiO<sub>2</sub>の約60wt%に対して、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が約20wt%含まれ、またその他の中で特にFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>とMgOの含有率が高い。それらに比べ、工程終盤で発生する微細砂④はSiO<sub>2</sub>の割合が約70mol%と高く、それ以外のものは含有率が減少している。鋳物工場から排出される粉塵ダストのSiO<sub>2</sub>含有量は50~90wt%と採取箇所によってばらつきが大きいものの、平均すると約75wt%である<sup>13)</sup>。セメント原料としてのリサイクルを考えた場合、微細砂はSiO<sub>2</sub>含有量が少ないので粉塵ダストに比べて劣るが、微細砂④を除けば、各工程から安定した化学組成のものが得られているので、品質の揃ったものを連続的に供給できる点で優れている。Table 1より、ベントナイト含有率は①~④の微細砂において僅かであった。鋳物工場から排出される粉塵ダストには大量のベントナイトが含まれており<sup>13)</sup>、この点も微細砂との大きな違いである。

Table 1 微細砂の組成(wt%)

|                                | 微細砂① | 微細砂② | 微細砂③ | 微細砂④ |
|--------------------------------|------|------|------|------|
| SiO <sub>2</sub>               | 62.1 | 58.3 | 56.8 | 71.4 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20.4 | 19.2 | 20.1 | 14.7 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 7.1  | 9.5  | 7.1  | 5.3  |
| CaO                            | 2.6  | 2.4  | 1.6  | 2.7  |
| MgO                            | 4.2  | 6.6  | 10.2 | 2.3  |
| Na <sub>2</sub> O              | 2.3  | 2.8  | 3.4  | 1.7  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.4  | 1.4  | 0.7  | 1.9  |
| 活性粘土*                          | 0.1  | 1.3  | 0.2  | 0.1  |

\*全重量に対する割合。

3-2. 微細砂の焼結

微細砂①～③のペレットは焼結温度1150, 1160℃で収縮したが, 1170℃以上では変形, 膨張した. 微細砂④の場合, 1100～1160℃においてペレットの大きさの変化はほとんどないが, 1170℃以上では他の微細砂同様, 変形, 膨張した. Fig. 3に1180℃における微細砂①の焼結体断面のSEM写真を示す. 微細砂焼結体は, 大小無数の丸い気孔が存在する多孔質体であった. 微細砂①～④の焼結温度1150℃以上のサンプルも同様な多孔質焼結体であった. 気孔の大きさと数を比較はSEM写真の倍率では困難であるため, 実体顕微鏡で観察を行った. ペレット外観の変化は微細砂①～③でほぼ同様であったが, 微細砂④のみが他と比較して膨張による変形が小さかった. Fig. 4に微細砂①と④の断面の比較を示す. どちらの焼結体も焼結温度の上昇とともに, 気孔の大きさ, 数が増加しているが, 1150～1170℃では微細砂①よりも④のほうが気孔の大きさが小さい.

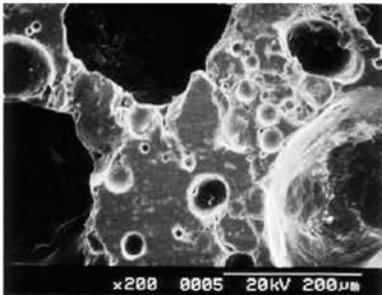


Fig. 3 微細砂①焼結体の断面SEM写真.  
(1180℃, 4時間, 空气中)

鋳物廃砂にガラスを混ぜて700～900℃で焼結した多孔質体では, その発泡の原因は鋳物廃砂中のカーボンが450～600℃で燃焼したとき

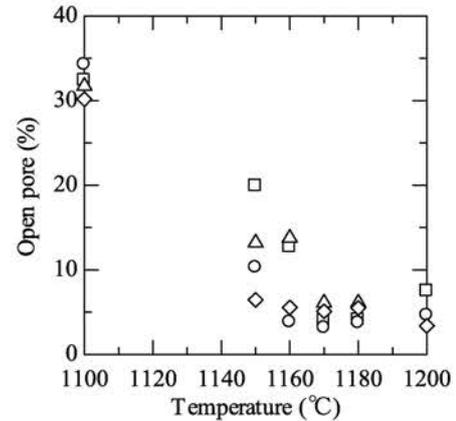


Fig. 5 微細砂焼結体の開気孔率. 微細砂①(○), ②(△), ③(□), ④(◇).

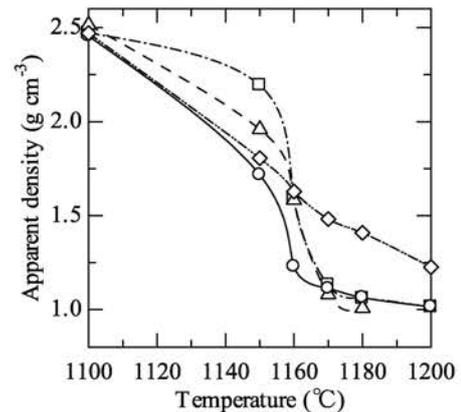


Fig. 6 微細砂焼結体の見かけ密度. 微細砂①(—○—), ②(---△---), ③(---□---), ④(---◇---).

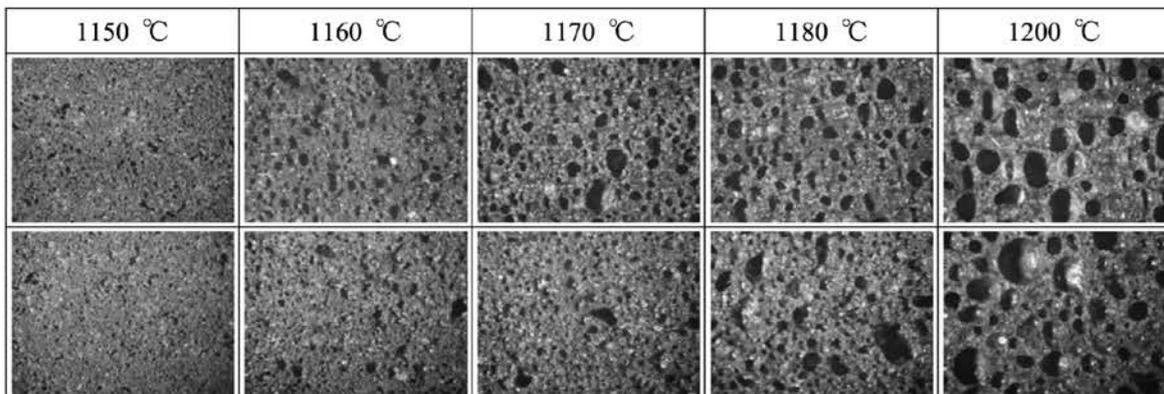


Fig. 4 微細砂①と④の焼結体の断面実体顕微鏡写真

に発生した二酸化炭素である<sup>12)</sup>。5wt%以上のベントナイトを含む鋳物廃砂を400~600°Cで焼結した多孔質体では、ベントナイトが発泡の原因になっている<sup>14)</sup>。微細砂の場合、ベントナイトをほとんど含まず、また焼結温度が1150°C以上と高温であり、カーボンやベントナイトが発泡の原因であるとは考えられない。Fig. 5に微細砂多孔質焼結体の開気孔率を示す。1100°Cにおける焼結前の開気孔率は全ての微細砂で30~35%であるが、微細砂①~③では1150°Cから減少し、1170°C以上において約5%で一定となった。これに対して微細砂④の開気孔率は1150°Cですでに約5%まで減少し、その後ほぼ一定の値を示した。Fig. 6に微細砂多孔質焼結体の見かけ密度を示す。全てのサンプルの見かけ密度は1100°Cで約2.5 g・cm<sup>-3</sup>であった。微細砂①~③の見かけ密度の変化は開気孔率と同様1150°Cから急激に減少し、その後1170°C以上で緩やかに減少した。微細砂④の場合、見かけ密度はほぼ直線的に減少しており、開気孔率とは異なる変化を示した。このような微細砂①~③と④との変化の違いは、前述の微細砂の組成の違いによるものと考えられる。焼結挙動の詳細は不明であるが、開気孔の減少は微細砂の焼結および部分溶融、見かけ密度の減少は閉気孔の体積の増加にともなう体積増によるものと考えられる。したがって、微細砂焼結体は閉気孔生成および閉気孔中の気体の膨張によって多孔質になったものと考えられる。

#### 4. 結論

鋳物廃砂を再生する過程で発生した微細砂は鋳物工場で生じるダストに比べてSiO<sub>2</sub>含有割合が低く、ベントナイトをほとんど含まない。その組成は最後の工程で発生するものを除いて一定であった。微細砂を用いた焼結体の作製は1150°C以上で可能であり、多孔質体が作製できることがわかった。焼結体の作製以外で例えば微細砂の造粒といった砂単独で再利用を考える場合においても、焼結温度1150°C以上の熱処理が必要と考えられる。

#### 5. 参考文献

- 1) 使用済み鋳物砂等の再利用・リサイクルシステム調査委員会編：「使用済み鋳物砂等の再利用・リサイクルシステム」調査報告書，日本鑄造技術協会，p. 5(2004).
- 2) 使用済み鋳物砂等の再利用・リサイクルシステム調査委員会編：「使用済み鋳物砂等の再利用・リサイクルシステム」調査報告書，日本鑄造技術協会，p. 60(2004).
- 3) 村川悟，柴田周治，西尾憲行：鋳物工場から排出される廃砂の有効利用に関する調査，三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告，No. 26，47-52(2002).
- 4) 佐藤嘉昭，清原千鶴，大谷俊浩：粉碎処理した鋳物ダストのコンクリート用混和剤としての有効利用に関する研究，大分大学VBL年報，3，119-206(2002).
- 5) 村川悟，樋尾勝也：鋳物鋳さいのコンクリート細骨材としての有効利用，三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告，No. 29，(2005).
- 6) 村川悟，西尾憲行，加藤進，吉村英基：鋳造工場から排出される廃棄物の性状，三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告，No. 27，(2003).
- 7) 吉野敦郎，島田紀元，杉山和夫，鈴木昌資：鋳物廃砂からの高性能型ゼオライトによる酸素濃縮供給装置の開発，埼玉県産業技術総合センター研究報告，3，(2005).
- 8) 吉野敦郎，大塚秀樹，杉山和夫，麻生信之，鈴木昌資：鋳物廃砂を利用するオゾン蓄積型シリカ系鮮度保持剤の開発，埼玉県産業技術総合センター研究報告，6，(2008).
- 9) 堀川弘善，勝世敬一，内田典昭，板橋孝至：無機系廃棄物を用いた発泡セラミックスの開発，北海道立工業試験場報告，No.301，99-106(2002).
- 10) 赤澤利之，野村隆文，吉田憲司，稲野浩行，皿井博美：鋳物廃砂ーアパタイト系土壤微生物用複合資材の作製と評価，北海道立工業試験場報告，No.301,107-116(2002).
- 11) 星幸二，加藤勝正，久野徹：廃鋳物砂と炭酸カルシウムスラッジを用いた水熱固化，愛知県産業技術研究所研究報告，1，(2002).

- 12)永坂博文, 新山茂利, 今西敏人: 廃鑄物砂の再利用に関する研究, 平成13年度和歌山県工業技術センター研究報告, 34-36(2002).
- 13)村川悟, 西尾憲行: 鑄造工場から排出されるダストの性状, 三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告, No. 28, (2004).
- 14)アイシン高丘: 無機質多孔質体の製造方法, 特許公開2000-44362 (2000).

---

\* 日立化成コーテッドサンド株式会社

小山工業高等専門学校 物質工学科  
E-mail: atsumi@oyama-ct.ac.jp

「受理年月日 2009年9月18日」

