

廃砂の摩擦方式による再生

村川悟*, 藤川貴朗*, 西尾憲行*

Reclamation of Waste Sand by Attrition

by Satoru MURAKAWA, Takao FUJIKAWA and Noriyuki NISHIO

Foundries discharge old molding sand as waste. Most sand discharged from sand blasting equipment which is one of this waste sand is not reclaimed. Reclamation of the sand by attrition was tried. As the result, reclamation of the sand is easier than the other waste sand. The waste sand which is discharged by three foundries can be reclaimed by the 0.2MPa of mechanical pressure and the five cycles operation.

Key words: reclamation, waste sand, attrition

1. はじめに

鑄造工場で鑄型を作製する際に利用されている鑄物砂は、粘土とけい砂を混合した生型砂が主として使用されている。この鑄物砂は、再生してふたたび鑄物砂として利用することが可能である。

しかし、廃砂の中でショット砂とよばれる鑄物の清掃工程（ショットブラスト装置による清掃）で発生するものは、ほとんどが再生されずに廃棄されている。これは、ショット砂の中に金属鉄分が多く混入していること、ショット砂は鑄込み工程で熱影響を受けた砂の割合が高く脆化している可能性があるなどの理由によるとされているが、このショット砂の再生を検討した報告例は見あたらない。

現在、再生の方法は大きく分けて、ばい焼と表面研磨とを組み合わせる方法と、表面研磨のみで行う方法の二通りがある。それぞれの方法は、再生後の砂の使用目的、廃砂の性状などにより選択されて利用されている。一般的に、表面研磨のみに比べて、ばい焼と表面研磨を組み合わせた再生は、より多様な廃砂の再生が可能であるが、コスト的には不利である¹⁾。

生型廃砂の表面研磨のみによる再生については、

大規模な鑄物工場においてコールドボックスと呼ばれるタイプの鑄型への再生が技術的に確立されている²⁾。それ以外の適用についてはいくつかの報告例があるが^{3) 4)}、詳細な実態は明らかになっていない。一般的に、様々な鑄物工場から排出される種々の性状の廃砂を一括して再生するには、ばい焼と表面研磨を組み合わせる必要があり、単一の鑄物工場から排出される廃砂のように比較的性状が均一の廃砂については表面研磨のみで再生は可能であると考えられているが、不明な点も多い。

本研究では、再生がほとんどされていないショット砂を対象に表面研磨（摩擦方式）のみによる再生を試みたので、以下に報告する。

2. 実験方法

2. 1 再生対象の廃砂

再生実験対象砂は、3カ所の鑄物工場のショットブラスト装置から排出される廃砂とした。

今回対象としたショット砂と呼ばれる廃砂は、溶湯の鑄込み時に1573～1773Kの高温の溶湯と接した砂、あるいはその近傍に存在した砂である。そのため、砂が高温になった際に急激に膨張、収縮することにより、亀裂が発生する可能性があり、この亀裂が脆化の原因となることが指摘されている。この脆化により発生する問題は、高い圧力を

* 金属研究室研究グループ

表1 再生条件

磁選条件	処理量(t/H)	3
	磁束密度(G)	3000
再生条件	処理量(t/H)	3
	加圧力(MPa)	0.2、0.3、0.4
	再生回数	1回、3回、5回
分級条件	集塵風量(m ³ /min)	55

受ける造型時に砂が破砕することである。この造型時の破砕の有無を試験的に確認する方法として、破砕試験による判定が提案されている⁵⁾。そこで、採取した廃砂（ショット砂）と通常の廃砂（オーバーフロー砂と称されている）の65メッシュの単粒度の砂を対象に破砕試験（50gの砂に50KNの静加重を3600s加える）を行い、試験前後の粒度分布を調べて耐破砕性を比較評価した。

ショット砂の金属鉄分量を確認するために、鉄分の分析を行った。分析は、酸により金属鉄分を溶解し、その溶液中のFeをICP発光分光分析装置により定量する方法を用いた。

表2 採取した廃砂の粒度分布など

No	1	2	3	3 オーバー フロー砂
粒度分布 (wt%)				
メッシュ				
6	0	0	0	0
8	0	0	0	0
10	0	0	0	0
14	0	0	0	0.4
20	0	0.2	0.2	0.2
28	0.4	0.6	3.2	0.4
35	2.7	10.0	6.6	4.8
48	12.1	31.8	18.0	19.0
65	35.1	38.0	36.6	35.6
100	29.9	15.2	23.0	23.6
150	12.6	3.4	6.4	6.8
200	4.0	0.6	1.2	1.6
270	1.1	0.2	0.4	0.8
pan	0.4	0	0.4	0.6
粒度指数	118.0	85.7	98.8	104.7
粘土分(wt%)	1.7	0.0	4.0	6.2
活性粘土分(wt%)	0.3	0	0	5.3
Ig.loss(wt%)	1.8	0.7	2.1	4.6
化学成分 (wt%)				
シリカ	88.6	89.2	89.4	86.7
アルミナ	4.4	4.1	2.6	4.9
酸化鉄	1.3	0.9	0.9	2.9
マグネシア	0.9	0.6	1.7	1
酸化カルシウム	0.6	0.5	0.5	0.5
酸化ナトリウム	1	0.8	0.3	2
炭素分(wt%)	1	0.6	1.7	4.1
pH	9.25	10.44	9.44	9.36

* 化学成分は鉄分、Ig.loss抜き後の試料に対する%

* Ig.lossは鉄分抜き後の試料に対する%

2. 2 再生装置および再生条件

再生は、磁選により金属鉄分を除去した後に、表面研磨方式のひとつである加圧摩擦方式の再生装置により実施した。加圧摩擦方式は、加圧式のスクライジングローラーにより砂を押しつけながら再生する方式であり、加圧力の調整が可能である。また、装置には流動層型の分級装置が付属しており、この装置により表面研磨後の砂の微粉を分級除去することが可能である。

再生条件を選定するために、廃砂の中から1種類の砂を選定して、加圧力および再生装置への廃砂の投入回数（再生回数）を3水準変化させて再生を実施した。表1に、磁選、再生、分級条件を示す。条件の選定は、再生後の表面状態、再生時の砂の回収率（再生後の砂の重量の、再生前の砂の重量に対する比率）などを比較することにより行った。

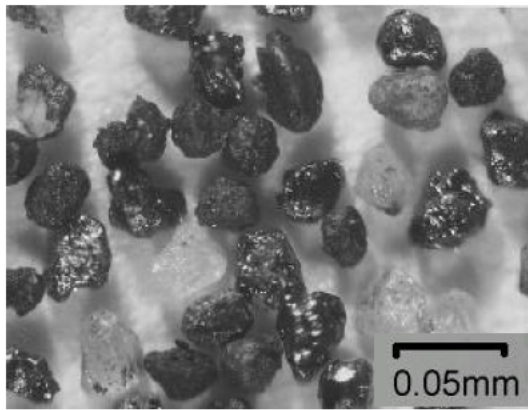
2. 3 再生実験

2. 2で決定した再生条件により、3種類の廃砂の再生を行った。再生処理後の砂は、粒度分布、粘土分、Ig.loss（強熱減量）などを測定し、鑄造砂として再利用可能であることを確認すると共に、表面状態、砂の粒形を観察して再生状態を評価した。

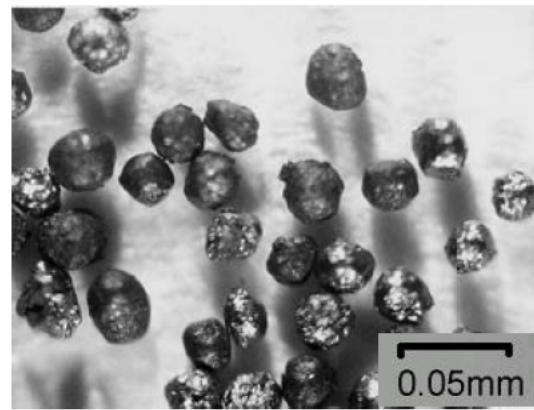
3. 結果と考察

3. 1 再生対象の廃砂

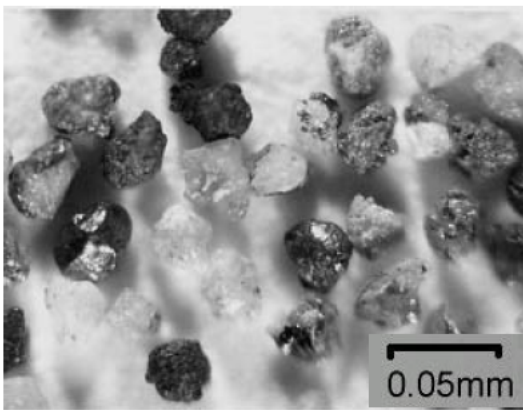
3カ所の鑄造工場から採取した再生対象の廃砂（ショット砂、No.1～3）、比較のためのオーバーフロー砂（No.3と同じ工場から採取）の粒度分布、粘土分、Ig.loss、化学成分、炭素分（有機物中の炭素を含む）、pHを表2に、粒形写真を図1に示す。粘土分は、オーバーフロー砂に比べて各廃砂ともに低い傾向にあり、特に活性粘土分はほぼ0%となっている。これは、鑄込み工程での熱影響により粘土分が変質する



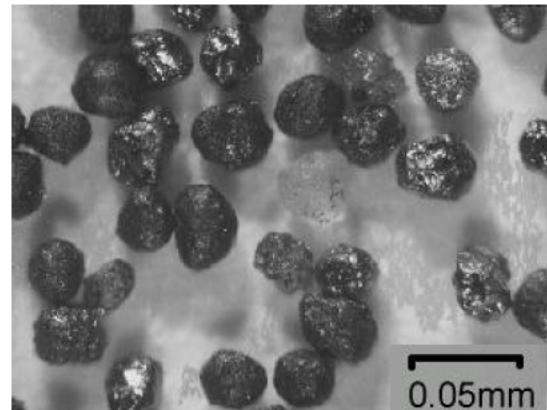
No. 1



No. 3



No. 2



No. 3 (オーバーフロー砂)

図1 再生前の砂の粒形写真

か、活性を失うためである。Ig.lossについてもオーバーフロー砂より低い値を示すのは、同様に熱影響により有機物分、無機炭素分の一部が燃焼しているためである。粒形写真からは、廃砂の表面が黒っぽい部分が多く観察される。これは、砂粒の表面に付着している有機物分、無機炭素分あるいは、オーリティックと呼ばれる粘土の変質層

が黒く見えるためである。

表3に破碎試験の結果を示す。粒度分布および粒度指数（粒度分布から求める指数で、砂の表面積と相関関係にあり、値が大きいほど砂粒度が小さいことを示す）から判断して、それぞれの砂について明確な破碎性の違いは認められなかった。実際の鋳物砂の熱影響を受ける状況を考えた場合、

高温にさらされるのは短時間であり、かつ高温の溶湯に直接接しているのもごく一部の砂である。そのため、ショット砂の熱影響による劣化は余り起きていないとも判断される。鋳物用けい砂の熱影

表3 破碎試験の結果

No.		1	1	2	2	3	3
			オーバー フロー砂		オーバー フロー砂		オーバー フロー砂
粒度分布 (wt%)	メッシュ						
	65	66.9	70.3	70.4	69.1	69.8	75.3
	100	21.9	18.8	19.0	17.6	23.7	17.5
	150	4.3	3.9	4.1	4.5	2.9	2.5
	200	2.6	2.5	2.4	2.8	1.5	1.4
	270	1.7	1.7	1.5	2.2	0.8	1.1
	pan	2.6	2.8	2.6	3.8	1.3	2.2
粒度指数		123.5	123.0	121.4	130.3	111.7	114.6

表 4 採取した廃砂の金属鉄分

No	1	2	3	3 オーバー フロー砂	4	5	6	7	8
鉄分(wt%)	0.3	0.4	6.1	0.4	7.8	9.5	0.5	18.7	9.2

表 5 磁選後の廃砂の金属鉄分

No.	1	2	3	3 オーバー フロー砂
鉄分(wt%)	0.2	0.2	0.1	0.2

響を検討した実験としては、電気炉で高温にさらして脆化を確認した例⁶⁾などはあるが、実際のショット砂についての検討例はない。最終的な判断は、より多くの砂でのデータの採取が必要であるが、ショット砂の劣化の問題については見直しの必要性があると考えられる。

表 4 に、廃砂の金属鉄分を示す。No.4～8 は、No.1～3 とは別の鋳物工場のショット砂である。金属鉄分の値は 0.3～18.7% で試料により大きな違いがある。これは、ショットブラスト装置に付属している磁選装置の能力およびメンテナンス状況の違いによるものと考えられる。低い方の値である No.1,2 は、オーバーフロー砂と同等のレ

ベルである。金属鉄分はショットブラスト装置に付属する磁選装置でオーバーフロー砂と同じレベルまで除去可能であると判断され、砂の再生を進める場合、ショットブラスト装置付属の磁選装置の選定、メンテナンスも重要であることが示されている。

3. 2 再生条件の選定

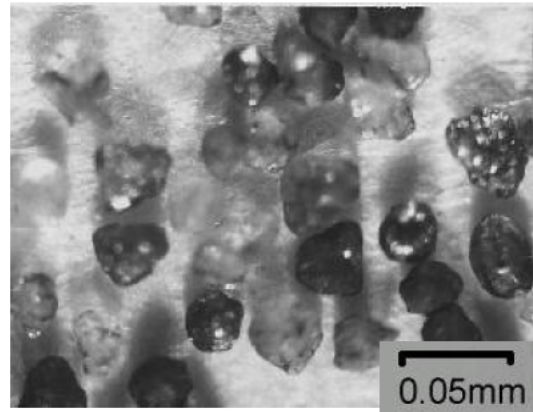
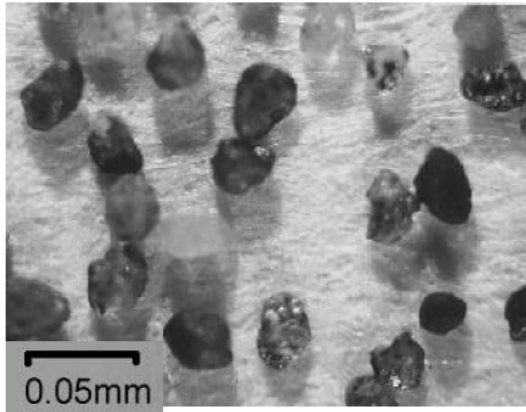
表 5 に、磁選後の廃砂の鉄分を示す。No.3 の試料についてもオーバーフロー砂と同等の水準まで下がっているのが確認できる。

表 6 に各条件で再生したときの砂の回収率、再生後の砂の粒度分布、粘土分、Ig.loss、化学成分を示す。表には、比較のための市販再生砂（ばい焼と表面研磨を組み合わせた方法で再生）のデータも示した。

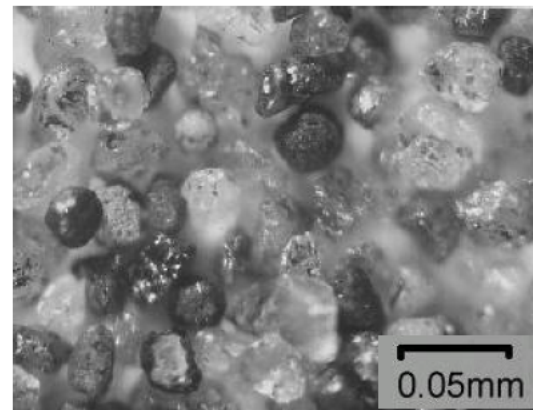
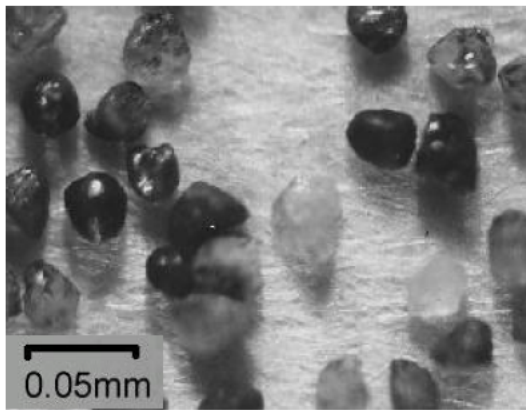
稼働している再生工場での回収率は 70%程度であるといわれている。よって今回実験において

表 6 再生時の砂の回収率、再生後の砂の粒度分布など

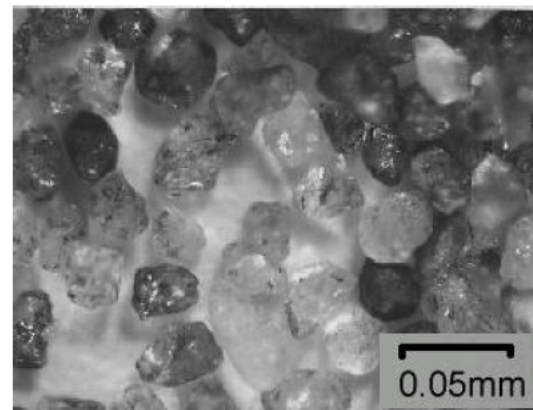
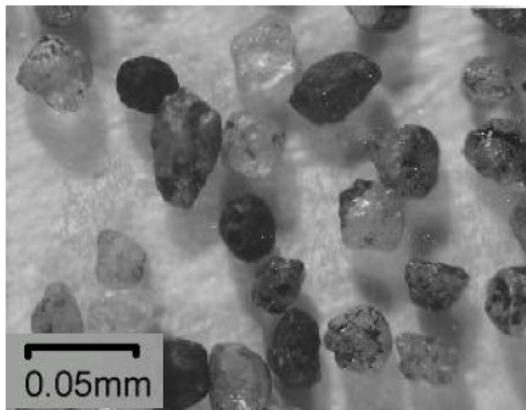
再生条件	加圧力(MPa)	0.2			0.3			0.4			市販再生砂
	再生回数	1	3	5	1	3	5	1	3	5	
回収率(wt%)		90	79	71	87	70	60	82	57	43	—
粒度分布(wt%)	メッシュ										
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	28	0.6	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
	35	4.8	5.2	3.8	3.4	3.2	2.4	1.8	1.6	2.4	2.6
	48	14.4	14.6	13	12.4	12	9.8	10.8	9.4	10.4	10.8
	65	37.6	34.8	37.4	31.8	29.8	30.6	33.4	32.2	29.6	30.1
	100	30.2	31.8	33.4	30.2	32.4	35.4	32	34	32.2	39.1
	150	10	11.2	10.8	15	17	17.8	15	16.4	18.8	15.2
200	1.8	1.4	1	5.2	4	3.4	5.2	5.2	5.8	1.7	
270	0.2	0.2	0.2	1	0.4	0.2	1.4	0.8	0.6	0.2	
pan	0	0	0	0.2	0	0	0.2	0.2	0	0	
粒度指数		106	107	108	120	119	120	123	124	124	115
粘土分(wt%)		0.4	0.2	0.2	0.6	0.4	0.2	0	0	0	0
Ig.loss(wt%)		0.82	0.53	0.39	0.68	0.31	0.22	0.44	0.22	0.16	0.36
化学成分	シリカ(wt%)	—	—	93.0	—	—	93.2	—	—	93.1	—
鉄分(wt%)		—	—	0.2	—	—	0.1	—	—	0.1	0.2



再生回数 1 回



再生回数 2 回



再生回数 3 回

加圧力 0.2MPa

加圧力 0.3MPa

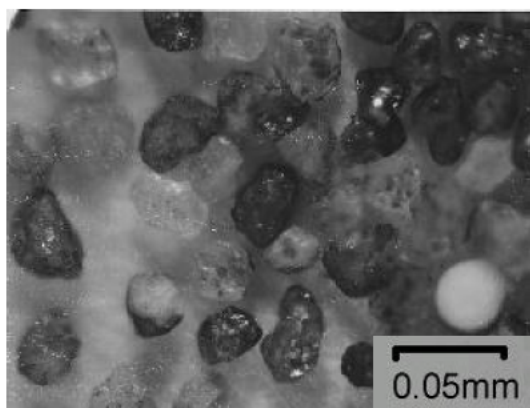
図 2 再生後の粒形写真 (加圧力 0.2MPa,0.3MPa)

も 70%を超える回収率を達成することを目標とした。表 6 から、この目標を満たさない加圧力 0.3MPa で再生回数 5 回、加圧力 0.4MPa で再生回数 3 回以上は条件として不適であると判断した。

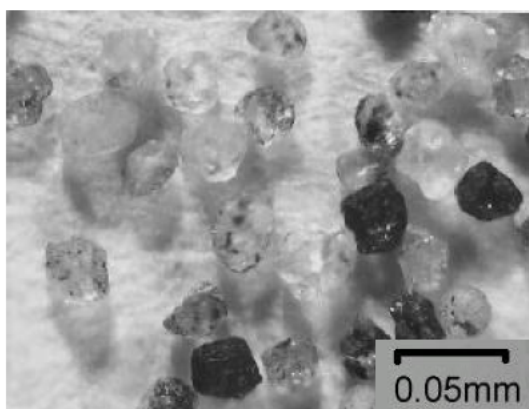
粒度分布は、再生回数を増やすことによりわずかに細粒化する傾向にはあるが、各条件の砂とも鋳物砂として利用できる水準であり、明確な差は

認められない。なお、加圧力を増やすことも細粒化の原因となるが、今回の実験では再生前の廃砂のばらつきがあるため確認できなかった。

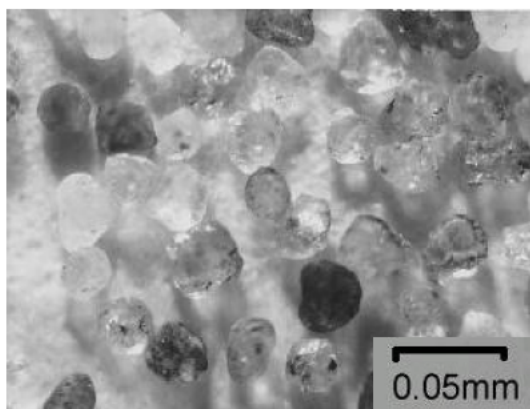
粘土分、Ig.loss については 0 に近づけることが望ましい。今回の実験では市販の再生砂の値、他の文献^{4) 7)}を参照して、粘土分 0.5%以下、Ig.loss 0.5%以下を目標とした。表 6 からこの目



再生回数 1 回



再生回数 3 回



再生回数 5 回
加圧力 0.4MPa

図 3 再生後の砂の粒形写真

標を満たさない加圧力 0.2MPa および 0.3MPa で再生回数 1 回および加圧力 0.2MPa で再生回数 3 回は条件として不十分であると判断される。

化学成分（シリカ分）については、再生により増加するのが認められるが、再生条件の決定に及ぼすような差は認められない。

図 2, 3 に粒形写真を、図 4 に比較のための市

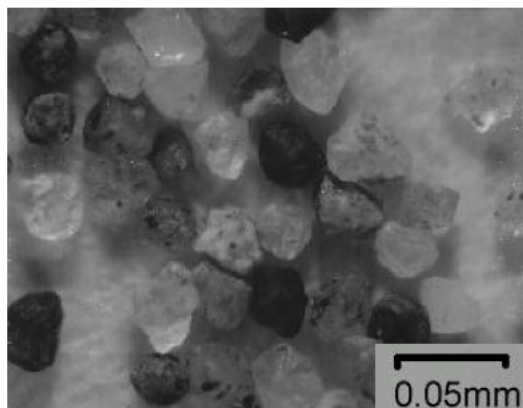


図 4 市販再生砂の粒形写真

販再生砂の粒形写真を示す。再生が進むにつれて表面の付着物が除去され砂粒本来の透明な表面が増加してくるのが観察される。さらに、粒形は再生につれて尖った部分が研磨され丸くなる傾向が観察される。再生が十分に行われているか否かについては、表面の付着物の除去の割合が大きな判断のポイントとなり、市販の再生砂と同程度に透明な表面が露出した段階に達すれば鋳物砂として再利用が可能であると判断することとした。再生後の砂の表面状態から判断して、加圧力 0.2MPa で再生回数 5 回、加圧力 0.3MPa で再生回数 3 回以上、加圧力 0.4MPa で再生回数 3 回以上が望ましい表面状態と認められた。

以上の結果から、回収率、砂の表面状態などを総合的に判断して、再生実験の再生条件としては、加圧力 0.2MPa で再生回数 5 回および 0.3MPa で再生回数 3 回が適した条件であると考えられる。

3. 3 再生実験結果

3. 2 で適していると判断される 2 つの条件のうち、加圧力が高い条件 (0.3MPa) の方が砂粒の破碎が起きやすいと判断されるため、加圧力 0.2MPa で再生回数 5 回を実験条件として採用した。

表 7 に、再生後の砂の回収率、再生後の砂の粒度分布、粘土分、Ig.loss を示す。比較のために No.3 のオーバーフロー砂のデータも示した。回収率は、すべて 70% 以上であり目標を達している。粒度分布が各砂とも若干細かくなっているが、鋳物砂として問題のない水準である。粘土分、

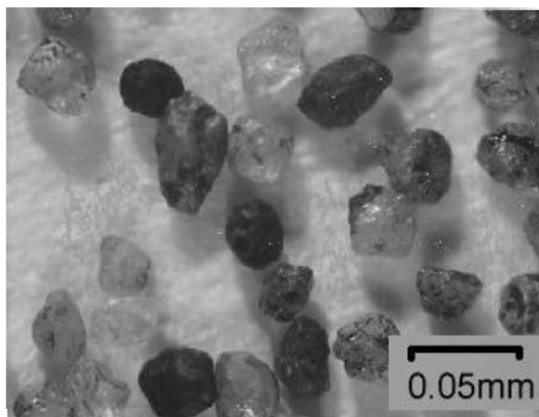
表7 再生後の砂の回収率、再生後の砂の粒度分布など

No.		1	2	3	3 オーバー フロー砂
回収率(wt%)		71	73	78	74
粒度分布 (wt%)	メッシュ				
	6	0	0	0	0
	8	0	0	0	0
	10	0	0	0	0
	14	0	0	0	0
	20	0	0	0	0
	28	0.2	0.6	0.4	0.6
	35	3.8	8	4.4	4.2
	48	13	31.8	17.4	18.4
	65	37.4	39	38.8	38.6
	100	33.4	15.8	30.2	28.2
	150	10.8	4.4	8.2	9.2
	200	1	0.4	0.6	0.8
	270	0.2	0	0	0
pan	0	0	0	0	
粒度指数		108	87	101	102
粘土分(wt%)		0.2	0	0	0
Ig.loss(wt%)		0.39	0.17	0.50	0.70
金属鉄分(wt%)		0.2	0.2	0.1	0.1

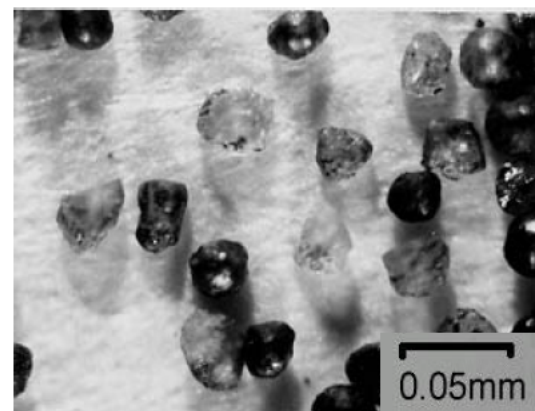
Ig.lossについては、それぞれ0.2%以下、0.5%以下の目標を達成している。前述のように一般的に熱影響を受けているショット砂はオーバーフロー砂に比べて粘土分、Ig.lossは低い。再生は粘土分、Ig.lossを低くすることがひとつの目的であるからショット砂の方が再生は容易であるといえる。

図5に再生後の砂の粒形写真を示す。各砂（ショット砂）ともに、砂粒本来の透明な表面を有する砂粒が増えて、鋳物砂として再利用が可能な状態であると判断される。

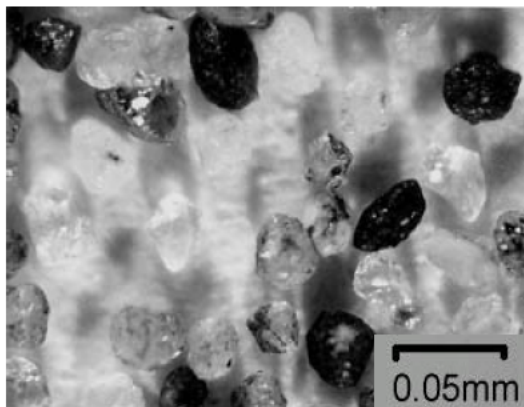
No.3のショット砂とオーバーフロー砂を比較する



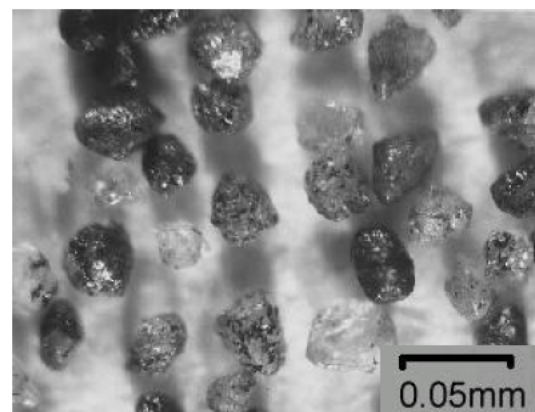
No. 1



No. 3



No. 2



No. 3 (オーバーフロー砂)

図5 再生砂の粒形写真

とショット砂の方が再生の進行が早く、再生が容易なことを示している。砂の再生は砂の表面に付着している付着物の除去が主な目的である。この表面付着物の表面研磨での除去は微粉、粘土分の少ない方が効率がよい⁸⁾。表 2 に示したようにショット砂は粘土分、微粉 (pan) がオーバーフロー砂に比べて低く、これがショット砂の再生が容易な要因であると考えられる。

4. まとめ

鋳物工場から排出されるショット砂とよばれる廃砂について、加圧摩擦方式のみによる再生を試みた結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) ショット砂とオーバーフロー砂の耐破碎性の明確な違いは認められない。
- 2) ショット砂に含まれる金属鉄分の量は、工場により大きく異なり、低いものはオーバーフロー砂と同等である。
- 3) ショット砂は、オーバーフロー砂に比べて摩擦方式による砂の再生が容易である。
- 4) 実際に鋳造工場から排出されたショット砂を加圧摩擦方式の再生装置で再生した結果、加圧力

0.2MPa、再生回数 5 回で再生可能であった。

参考文献

- 1) 増野修:” 機械式砂再生装置の開発” .JACT News, No. 461, P21- (1995)
- 2) 糸長一二他:” しゅう動方式による生型再生砂のコールドボックス法への適用” .鋳造工学, 65, P571- (1993)
- 3) 川合悦蔵他:” 生型廃砂の再生利用” .鋳造工学会第 136 回全国講演大会概要集, P21 (2000)
- 4) 小林竜彦他:” ロータリーリクレーマによる鋳物砂再生システムとその特性” .JACT News, No. 462, P23- (1995)
- 5) 日本鋳物協会東海支部無機砂型研究部会報告書” 生型材料の評価方法” (1982)
- 6) 田中俊夫:” 鋳物砂の熱影響による変化について” .JACT News, No. 449, P19- (1994)
- 7) 東野崇:” 鋳鋼用鋳物砂の再生処理技術の確立とその適用” .鋳物 62, P756- (1990)
- 8) 青田俊彦他:” 生型古砂のスクラビング再生について” .JACT News, No. 329, P25- (1984)