

鑄造工場から排出されるダストの性状

村川悟* , 西尾憲行*

Property of Dust Discharged by Foundries

by Satoru MURAKAWA and Noriyuki NISHIO

Chemical analysis, clay determination, size analysis and leaching test were carried out for the dust discharged from foundries. On the basis of this result, the followings were verified :1) whether beneficial reuse as a cement raw material is possible, 2) whether recycle in the foundry is possible, 3) whether beneficial reuse is possible as a base and subbase material . As a result, it became clear that there is the high possibility of beneficial reuse as a cement raw material. However, recycle in foundries and the beneficial use as a base and subbase material have many problems, and are restricted in part.

Key words: property of dust, foundry, beneficial reuse, cement, base and subbase

1 . はじめに

鑄造工場において鑄物（鉄系）1000kg を生産する際には，約 340kg の廃棄物が排出される¹⁾．このため，廃棄物の減量を図ることは鑄造工場において大きな課題となっている．

鑄造工場から排出される廃棄物は，廃砂，スラグ，ダストなどである．この中で，廃砂は，再生して再び鑄物用の砂として利用する，あるいはセメント用の原料として利用することが可能である．また，スラグは，路盤材料として利用することが可能である¹⁾．しかし，ダストは一部がセメント用の原料として利用されているが，他に適当な利用法がなくほとんどが埋立処分されている．

鑄物工場から排出されるダストは，大きく分けて以下の工程で発生する．

- ・ 鑄型関連工程
 - 鑄造型工程
 - 鑄型ばらし工程
 - 鑄物砂混練工程
- ・ 鑄物清掃工程
- ・ 溶解工程

この中で，鑄型関連工程（鑄物砂造型工程，鑄型ばらし工程，鑄物砂混練工程）から発生するダストは，砂およびベントナイト（変質物を含む）が主な構成物である．鑄物清掃工程で発生するダストは，砂，ベントナイト（変質物を含む）と清掃工程で利用されるスチールショットの微粉が主な構成物である．さらに，溶解工程で発生するダストは，溶湯の酸化物，コークスの灰分（キュポラの場合のみ）が主な構成物である．セメント原料として利用されるダストは，セメントを製造する際の原料のひとつで，シリカ（ SiO_2 ）が主成分であるけい石の代替として利用される．よって，ダスト中の SiO_2 の含有量は高い方が望ましく，セメント業界からは 7 割以上の SiO_2 を含むことが求められている²⁾．しかし，ダストは 7 割以上の SiO_2 を含まない場合があると推測される．一方，セメント業界における廃棄物の利用はしだいに増えており，様々な廃棄物がセメント原料として利用されている．このような中で，セメント用原料としてダストの利用量を増やすためには，ダストがセメント原料として利用可能であることを示す必要がある．しかし，中小鑄物工場のダストの性状をまとめたデータはなく，例えば，それぞれの

* 金属研究室研究グループ

表 1 ダストを採取した工場の概要

	1	2	3	4	5	6	7	8
使用溶解炉	電気炉	電気炉	キュボラ	電気炉	キュボラ	電気炉	キュボラ	電気炉
使用鋳型	生型	生型 有機	生型	生型	生型 有機	生型	生型	生型
鋳型の添加物	石炭粉 でんぷん	石炭粉 でんぷん	石炭粉 でんぷん	石炭粉	石炭粉 でんぷん	石炭粉 でんぷん	石炭粉	石炭粉
中子の有無	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり
中子の種類	シェル	シェル	シェル	シェル	シェル	シェル	シェル	シェル
主な生産品	マンホール	機械部品	機械部品	下水道関係	機械部品	下水道関係	機械部品	マンホール
生産量(トン/月)	350	40	100	400	350	90	400	260

表 2 採取したダストの発生箇所など

		1	2	3		4	5		6	7				8
		A	B	A	B	A	A	A	A	A	B	C	D	A
発生箇所	溶解													
	混練													
	造型													
	ばらし													
	ショットプラスト													
	その他													
加湿		あり	なし	なし	なし	あり	あり	あり	あり	あり	なし	あり	あり	なし

鋳物工場ではダストの SiO₂ の含有量がどの程度かははっきりしない。

さらに、鋳物工場で廃棄されているダストの中には、ふたたび鋳物用の材料として活用可能なものがある³⁾。すなわち、鋳造型工程などで発生するダストを分級して粒度の粗いものを鋳物砂として利用する方法や、鋳物砂混練工程で発生するダストをふたたびベントナイト同等品として利用する方法などである。これらの方法を利用する場合も、鋳物工場におけるダストの粒度分布、粘土分(ベントナイト)の含有率などの性状を明らかにし、鋳物工場ごとに利用可能かどうか判別する必要がある。

前述のようにスラグは路盤材として利用されているが、廃砂も他の路盤材料と混ぜて路盤材として利用する例もある¹⁾。例えば、道路用鉄鋼スラグの中で最も利用されている CS-40 で 0 ~ 40mm で、粒度範囲は幅広い(JIS A5015 道路用鉄鋼スラグ)。廃砂の粒度範囲は路盤材として利用する場合、細かい粒度の部分として利用される。ダストは、廃砂よりさらに粒度が細かいが、同様に路盤材用の材料として利用できる可能性があるため、一部で検討されている⁴⁾。

本研究では、実際の鋳物工場から排出されているダストについて、化学成分、粘土分、粒度分布

および安全性などを明らかにすることにより、セメント原料としての利用、鋳物工場内での再利用、さらには路盤材料としての利用が可能かどうか検証した。

2. 実験方法

2.1 試料のサンプリング

試験対象のダストは、三重県内の中小規模の鉄鋳物工場(8 工場)から採取した。表 1 にダストを採取した鋳物工場の概要を示す。

前述のようにダストの発生箇所は、複数箇所あるが、発生箇所によりダストの性状は異なると思われる。そこで、鋳物工場の種々の発生工程からダストを採取するようにした。表 2 に採取したダストの発生箇所を示す。表 2 に示したように、ダストは異なる発生箇所のダストが混合されている場合が多い。

2.2 化学成分、粘土分など

ダストの成分などを明らかにするために、化学成分、粘土分、活性粘土分、強熱減量(Ig.loss)、金属鉄分、炭素分(C)、pH を測定した。鋳物工場から発生するダストのほとんどはけい砂あるいはその微粉の含有量が多い。そこで、それぞれの測定は砂に適用されている分析法・測定法を準用

表3 ダストの化学成分

	1A	2A	3A	3B	4A	5A	6A	7A	7B	7C	7D	8A
SiO ₂ (wt%)	87.3	77.2	50.9	74.0	75.0	75.8	74.2	47.2	89.2	83.7	80.6	82.1
Fe ₂ O ₃ (wt%)	1.7	3.8	27	12	2.7	1.4	8.2	12	4.1	2.4	2.1	1.6
Al ₂ O ₃ (wt%)	10	17	2.8	17	10	15	12	3.3	7.1	8.7	8.3	2.1
MnO ₂ (wt%)	<0.1	<0.1	6.4	0.1	0.1	<0.1	0.2	2.3	0.2	0.1	0.1	0.1
TiO ₂ (wt%)	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
MgO(wt%)	1.2	1.6	1.6	0.3	3.3	2.3	1.5	0.7	0.8	1.2	1.6	1.7
CaO(wt%)	0.5	1.2	0.9	2	1.1	0.9	0.9	0.8	0.4	0.8	0.9	0.7
ZnO ₂ (wt%)	-	-	-	-	-	-	-	24.9	-	-	-	-
SiO ₂ (wt%)*	80.7	65.7	38.0	65.5	66.3	67.2	63.9	38.6	78.0	73.3	68.7	70.9

* Ig.loss分および金属鉄分を含んだダストに対するパーセンテージ

することとした。

化学成分の中で SiO₂ 分はフッ化水素酸法⁵⁾、他の成分はフッ化水素酸法で得られた残渣を二硫酸カリウムで溶融し溶融物を水で溶かして ICP 発光分光分析法で定量⁵⁾した。

粘土分は JIS-Z2601、活性粘土分はメチレンブルー吸着法（日本鑄造工学会東海支部砂型研究部会試験法 TJFS-205）、Ig.loss は JIS-Z2601、金属鉄分は硝酸で鉄分を溶解後、ICP 発光分光分析法での定量する方法、炭素分はセラミックスの分析で利用されている高周波燃焼・赤外線吸収法、pH は日本鑄造工学会東海支部砂型研究部会試験法 TJFS-205 でそれぞれ測定した。

2.3 粒度分布

ダストの物理的性状試験として、粒度分布を測定した。測定は砂の粒度分布測定法（JIS-Z2601）を準用した。

2.4 安全性の試験

廃棄物の安全性の試験としては溶出試験が一般的である。さらに、路盤材として利用する場合は、土壌の基準を満たす必要があるが、この基準では溶出試験が採用されている。そこで、溶出試験（環境庁告示法）をダストに適用し、安全性を検証した。

3. 結果と考察

3.1 化学成分、粘土分など

表3に、ダストの化学成分（Ig.loss および金属鉄分を除いたサンプルに対する wt%）を示す。各ダストとも SiO₂ が主成分で 5 割から 9 割を占めている。溶解ダストと他のダストでは値が大き

く異なっており、溶解ダストは SiO₂ が低く、Fe₂O₃（3A のダスト）あるいは ZnO₂（7A のダスト）が高い傾向が認められる。この中で 7A の ZnO₂ は溶解材料である鉄くずの亜鉛めっきの影響と推測される。

SiO₂ 分に注目すると、Ig.loss および金属鉄分を含んだダスト全体量に対する SiO₂ の含有量はほとんどのダストが 7 割を切っており、セメントで望ましいとされる含有量に達しているダストは一部のみであった。したがって、セメント材料としての利用は不向きな場合が多いといえる。ただし、鑄造工場で排出される廃砂は SiO₂ が 9 割程度であり、廃砂と混ぜることにより SiO₂ 分を調整することは可能である。

路盤材料として活用することを考えた場合、セメントと同様に SiO₂ 分が高いダストは、最も一般的な路盤材料である砕石と化学成分が同じと見なされ問題は無いと判断される。

表4に、ダストの粘土分、活性粘土分、Ig.loss、金属鉄分などを示す。5A のダストは、高い活性粘土分を含有しており、粘土分の一部として、造型ラインに戻せると判断される。Ig.loss は、それぞれの有効利用において不必要な成分であるので低い方が望ましい。しかし、ほとんどのダストが 10% を越えており、再利用・有効利用を考えた場合に注意を要する。溶解ダスト以外のダストで、清掃工程のダストあるいはこれを含むダストは金属鉄分が高い傾向にある。これについては、造型ラインに戻す場合、路盤材料として活用する場合は、磁選による除去が必要である。

3.2 粒度分布

表4 ダストの粘土分、活性粘土分、I_g.loss など

	1A	2A	3A	3B	4A	5A	6A	7A	7B	7C	7D	8A
粘土分(wt%)	23.2	41.2	-	38.8	35.4	65.2	50.2	-	17.4	23	44	25.8
活性粘土分 (wt%)	11.5	19.9	-	15.4	18.5	52.0	20.9	-	2.7	13.2	17.8	8.0
I _g .loss(wt%)	7.8	16.6	23.9	12.3	12.6	12.5	13.2	15.6	2.0	13.8	16.7	13.8
金属鉄分(wt%)	0.4	0.9	9.9	0.6	0.6	0.3	2.9	6.6	12.4	0.4	0.6	2.0
C(wt%)	5.2	11.0	5.8	6.2	6.7	6.8	7.2	12.1	5.4	13.0	17.0	7.2
pH	8.8	7.4	4.2	7.7	7.7	9.0	8.4	7.7	8.4	8.9	8.6	7.9

図1および表5にダストの粒度分布を示す。溶解ダストを除くダストの中で、鋳物砂の主な粒度範囲である48～150メッシュの砂を40%以上含むダストは、1A、7B、7Cであった。これらのダストは、分級してふたたび鋳物砂として利用することが考えられる。ただし、7Bについては表4に示したように金属鉄分が高く磁選などの方法で金属鉄分を除去する必要がある。なお、ほとんどのダストは粒度が細かくそのまま鋳物砂として

再利用できると考えられるダストは少ないという結果になった。

路盤材料として、他の路盤材料と混ぜて利用する場合、表3に示したようにダストによっては砂に近い粒度分布であるものもあり、活用の可能性はある。しかし、そのような粒度のものでも、微粉(Pan)の量が多く、発塵の問題、屋外に保管時の流出の問題が起こる可能性が高く、配合量は十分に検討する必要がある。

3.3 安全性の試験

表6に溶出試験結果を、表7に環境基準を示す。鋳物工場の廃棄物で、ダストはカドミウム、鉛、砒素、セレンが検出されることがあり、土壤環境基準を上回ることがある⁶⁾。今回の結果においてもこの傾向が見られる。さらに、溶解ダストは、重金属を多く含む可能性が高く、溶出試験でも高い値を示す傾向にあるとされているが、今回の結果でも3Aのダストで、この傾向が認められる。ホウ素、フッ素については、平成13年度に土壤に関する環境基準が定められ、その対策が必要となってきた。過去のデータでは、これらの元素の溶出試験がなされていないが、今回の結果で

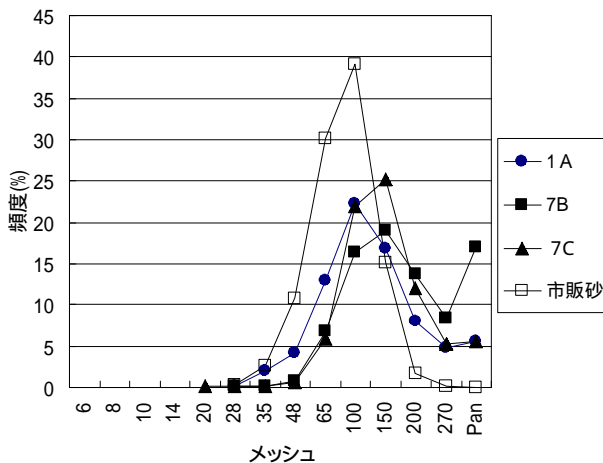


図1 ダストの粒度分布

表5 ダストの粒度分布

メッシュ	1A	2A	3A	3B	4A	5A	6A	7A	7B	7C	7D	8A	市販砂
6			0.6					0.6					
8			0.6					1.4					
10			0.8	0.2		0.4		2				0.2	
14			2	1		0.4		3.2				0.2	
20			2.2	1.4		0.4	0.2	3		0.2		0.4	
28	0.2	0.2	3	1.4		0.6	0.2	3.4	0.2	0.2		0.2	0.3
35	2	0.4	3	1		0.2	0.2	3.8	0.2	0.2	0.2	1.8	2.6
48	4.2	0.8	2.8	0.6	0.4	0.4	0.4	6	0.8	0.6	0.2	5.6	10.8
65	13	3.6	3	0.8	1.8	0.8	1.8	11.6	6.8	5.8	2	11.8	30.1
100	22.2	6.8	3.4	2.6	8	2.2	5.2	11.8	16.4	22	9.2	12.6	39.1
150	16.8	7.2	4.4	5	16	4.8	6.8	10.2	19	25.2	10.8	12.2	15.2
200	8	11.4	4.8	9.8	16.6	7	6.2	7.6	13.8	12	9.4	10.8	1.7
270	4.8	12	5.2	14.2	8.2	7.8	8.2	6.4	8.4	5.2	7.8	9	0.2
Pan	5.6	16.4	10.4	23.2	13.6	9.8	20.6	13.6	17	5.6	16.4	9.4	0

(単位:%)

表 6 ダストの溶出試験

	1A	2A	3A	3B	4A	5A	6A	7A	7B	7C	7D	8A
カドミウム (mg/L)	<0.01	<0.01	1.7	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
鉛 (mg/L)	0.06	0.01	1.3	0.01	0.03	0.15	0.09	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
六価クロム (mg/L)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
砒素 (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.02	<0.01
総水銀 (mg/L)	<0.0005	<0.0005	5E-04	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
セレン (mg/L)	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
ホウ素 (mg/L)	<0.1	0.3	3.2	0.6	0.1	<0.1	0.1	1.5	0.1	0.1	0.2	0.1
フッ素 (mg/L)	2.5	2.2	28	1.2	1.2	4.2	0.8	6.4	1.6	1.8	2.1	1.9

表 7 環境基準

分析項目	土壤環境基準 (mg/L)*1	産業廃棄物に係る 判定基準(mg/L)*2
カドミウム	0.01	0.1
鉛	0.01	0.1
六価クロム	0.05	0.5
砒素	0.01	0.1
総水銀	0.0005	0.005
セレン	0.01	0.1
ホウ素	1	
フッ素	0.8	15

*1 土壤の汚染に係る環境基準について(平成3年度環境庁告示46号)

*2 産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法(昭和48年環境庁告示第13号)

はフッ素が1つの試料を除いた11の試料で、ホウ素で2つの試料で土壤環境基準を越える値となっており、注意が必要なが示されている。

4. 有効利用の可能性

以上の結果より、ダストの有効利用について、まとめると以下の通りである。

(1) セメント原料としては、鑄型関連工程および鑄物清掃工程から発生するダストが利用可能である。ただし、SiO₂分がセメント業界から要望されている7割に満たないダストが多く、SiO₂分が高い廃砂との混合が必要である。

(2) 鑄物用材料としての再活用は、鑄型関連工程から発生するダストの一部が利用可能である。ただし、利用の可能性のあるダストは一部に限られるため、粒度分布、活性粘土分などを確認して利用する必要がある。なお、清掃工程から発生す

るダストも金属鉄分を除去すれば、利用可能である。

(3) 路盤材としての活用は、溶出試験で土壤環境基準を超える可能性があるため、あらかじめ土壤環境基準に適合することを確認してから利用する必要がある。さらに、路盤材として活用する場合は、他の路盤材料と混ぜて利用することとなるが、発塵対策などの問題から配合量の検討が必要である。

(4) 溶解工程から発生するダストは、上記の3つのいずれの方法においても適用はできない。

参考文献

- 1) 使用済み鑄物砂等の再利用・リサイクル調査委員会:"使用済み鑄物砂等の再利用・リサイクルシステム調査報告書".日本鑄造技術協会(2004)
- 2) 鑄物砂再利用標準化調査委員会:"使用済み鑄物砂の再利用促進に向けて".日本鑄造技術協会ほか(2003)
- 3) 竹内康夫ほか:"鑄造工程における廃棄物低減の取り組み状況".TOYOTA Technical Review,45(2),P40-(1995)
- 4) 金子春夫ほか:"鑄造集塵ダストの道路用材料への適用性について".骨材資源,25,P1-(1993)
- 5) 地質調査所:"地球化学的試料の分析法".地質調査所(1978)
- 6) 素形材センター:"鑄造廃棄物の有効利用促進に向けて".素形材センター(2000)