

鋳物廃砂の利用に関する調査研究

堀川 弘善, 皿井 博美, 名雪 東彦

Study on the Utilization of Waste Molding Sand

Hiroyoshi HORIKAWA, Hiromi SARAI, Haruhiko NAYUKI

抄 録

最近の産業廃棄物に対する規制は益々強くなり、道内企業の多くがその対応に迫られている。本研究は、産業廃棄物として最終処分を行っている鋳物廃砂を、原料が枯渇しつつあるレンガ用原料として再利用する事が可能であるか調査する事を目的とし、鋳物工場各社に対してのアンケートによって鋳物廃砂の発生状況調査、鋳物廃砂の基礎特性の掌握、廃砂の原料化処理に関する検討、及び基礎的な配合試験を行った。

その結果をまとめると以下のとおりである。(1)北海道における鋳物廃砂の発生状況をアンケートにより調査し、排出量、種類を掌握した。(2)鋳物廃砂の基礎物性を測定し、レンガ原料としての使用方法を検討した。(3)鋳物廃砂を、そのままレンガ原料として使用すると、粒径の大きな鉄粉が溶融し、アバタ状の不良品を形成するが、磁力選鉱処理を施すことで上記問題点が解決でき、本検討の範囲ではレンガ原料として使用する事に支障はないことがわかった。

1. はじめに

最近の産業廃棄物に対する規制は益々強くなり、道内企業の多くがその対応に迫られている。中でも札幌地区の規制はきびしく、廃棄物処分に多大な費用がかかる。鋳物工場から排出される、使用済みの砂（廃砂）は産業廃棄物に指定されており、その量は札幌圏内だけでも、年間数百トンを超える。

一方札幌市に隣接する江別市野幌地区では、年間生産量約3万トンの粘土窯業産業が存在している。この業界は近隣地区の都市化、宅地化が進むなかで、新たな原料土の確保が困難となり、それらの対策が重要な課題となっている。

本研究は、産業廃棄物として最終処分を行っている鋳物廃砂を、原料が枯渇しつつあるレンガ用原料として再利用する事が可能であるか調査する事を目的とする。研究内容は、排出される鋳物廃砂の分類、及び分析、基礎性状の把握、廃砂の原料化処理に関する検討、及び基礎的な配合試験を行った。

本報告は平成6年度に実施した経常研究をまとめたものである。

2. 鋳物廃砂の排出状況

2.1 調査方法

鋳物工場から排出される鋳物廃砂について、現状を知るために、後述の文献を参考に道内の33社にアンケートを郵送し、記入後返送して頂く方法によって調査を実施した¹⁾。

2.2 回収率

アンケートをお願いした33社の内16社から回答を頂いた。札幌市内からは9社中・8社と高い回収率であった。これは廃棄物処理の問題が他の地域と比較して深刻だからであろう。

2.3 従業員数と生産規模

従業員数を図1に、製品トン数を図2に示す。今回の調査では、事務管理部門の人数は集計に入れているが、鋳物部門と明かに違う部門の人数はカウントしていない。

30名未満の企業が10社と多い反面、50名以上の企業も5社ある。

主要製品を種別にまとめたのが図3である。産業機械が最も多く、以下公共事業関連、農機具と続く。

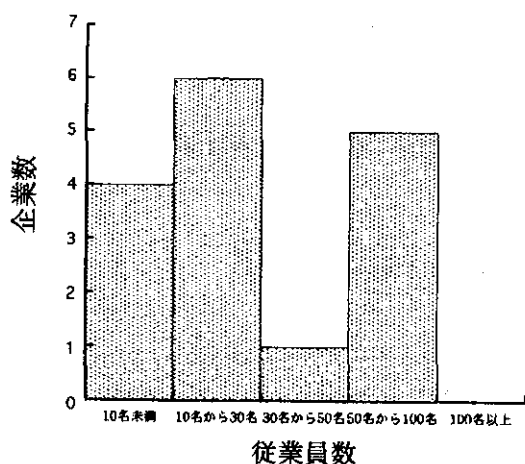


図1 従業員数

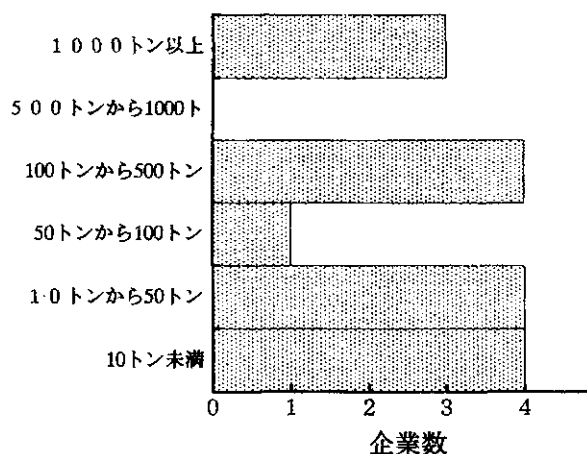


図2 製品トン数

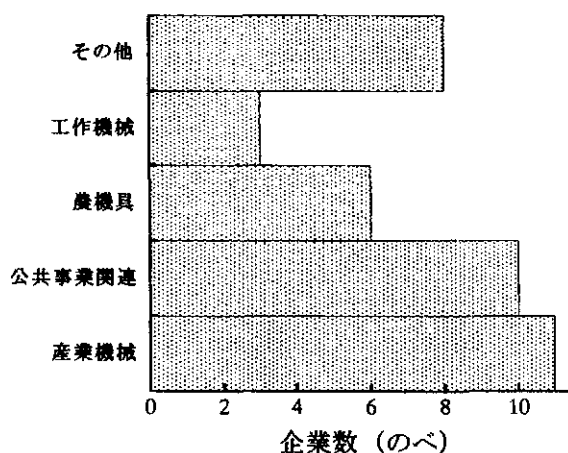


図3 主要製品

2.4 廃棄物発生状況

図4に鋳物廃砂の種類別発生状況を示す。ここで、回答を頂いた企業の中で、室蘭地区で、1社だけで他の15社の合計とほぼ同じ量を排出する企業がある。この企業は近々CO₂ガス型(自硬性)からフラン型へ変更が予定されているため、アンケート結果の検討の際にはその点を留意すべきであろう。アンケート回答の集計によると、本道での鋳物廃砂の発生量は合計年間約2500トンであった。室蘭地区の企業をのぞいて考えると約1300トン、札幌近郊に限って見た場合約920トンである。鋳型砂の粘結剤別に見た場合、室蘭地区の企業をのぞいて考えると、ベントナイト系廃砂が最も多く、フラン系廃砂の倍以上発生している。

鋳物砂の種類は、図5に示した購入している副資材から見ると、硅砂がオリビンサンドより多いようである。

図6に示した、砂以外の廃棄物としては、ダストが最も多く、のろ、耐火物屑と続く。また発生量は比較的小さいが、空き缶や廃オイルも含まれていた。

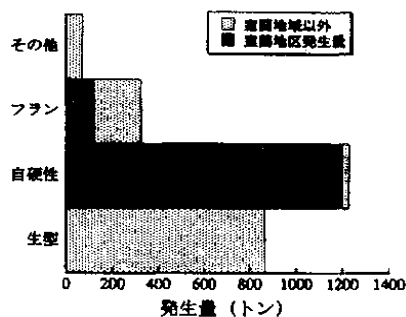


図4 鋳物廃砂の種類

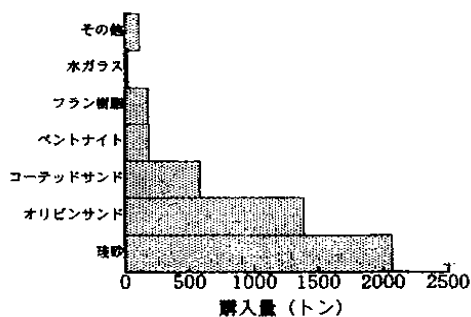


図5 副資材の購入量

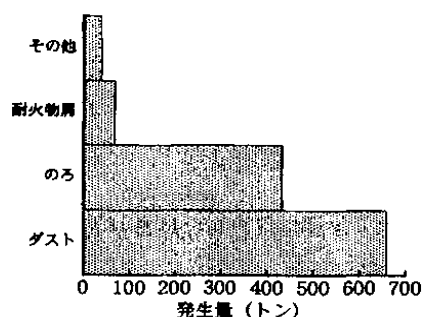


図6 砂以外の廃棄物

2.5 廃棄物処理方法

処分方法は16社中13社が外部に委託していた。廃棄物置き場の容量の回答を図7に示す。場所がなく困っている企業がある反面、1か月以上の容量がある企業も8社ある。図8を見ると約半数の企業が分別に対して、“可能であるが手間がかかりいやだ”と回答しており、廃棄物の分別が困難な事が予想される。しかしながら“分別が可能”と回答した企業の合計廃砂量は1550トンであるのに対し、“手間がかかりいや”と回答した企業の合計は900トンと全体の1/3以上もあり、無視できない量である。廃棄物を分別することが鋳物廃砂の再利用にとり重要である事は明かである。

図9に鋳物廃砂の処理費用を示す。回答された費用の合計は年間約1650万円であった。

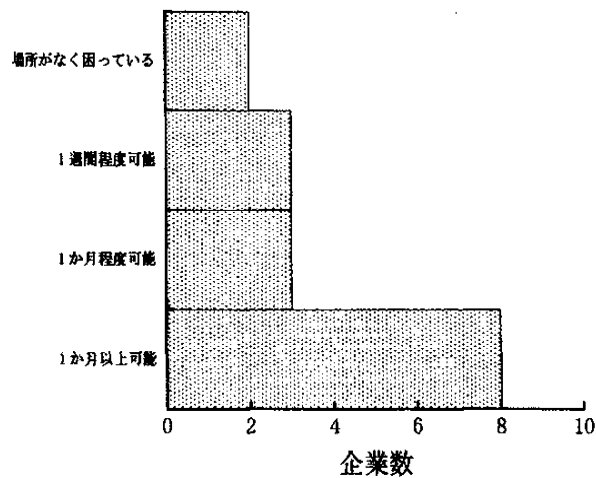


図7 廃棄物置き場の容量

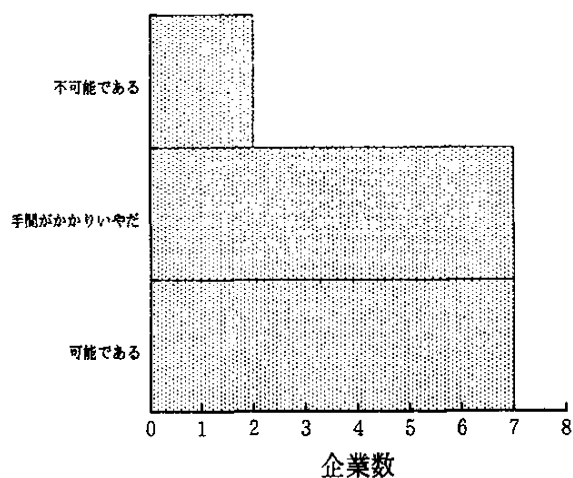


図8 鋳物廃砂の分別

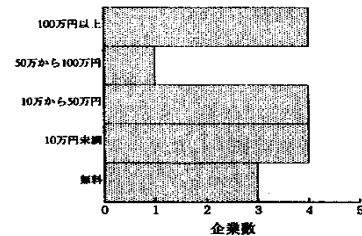


図9 鋳物廃砂の処理費用

3. 鋳物廃砂の基礎性状

3.1 サンプル

鋳物廃砂の調査結果から、ベントナイト系廃砂とフラン系廃砂を検討対象とした。一般的にベントナイト系鋳型砂は、回収砂をベースに硅砂、ベントナイト、及びその他添加材を補給し繰り返し再利用される。処理の過程で排出される廃砂としては、集塵機で捕集されるダストの他に、簡単に砕くことができる握り拳大の塊も含まれている。一方、フラン系鋳型砂は再生砂にフラン樹脂を添加し、混砂される。鋳型として使用された後、砂粒表面に付着した硬化した樹脂を衝撃で剥す事により再利用される。フラン系鋳型砂の廃砂として排出されるのは、主に硬化した樹脂と衝撃で微粉化した砂である。

ベントナイト系廃砂は市内T社より、フラン系廃砂は市内S社より採取した。なおいずれの廃砂も排出時には水分がまったく無いが、フラン系廃砂は発塵防止の目的で約3%の水分が添加されている。

比較のために用いた野幌粘土、野幌山砂は、実際のレンガ原料として使用されているもので、江別市H社より採取した。

3.2 鋳物廃砂の分析方法

ベントナイト系、及びフラン系の鋳物廃砂を化学分析、粒度分布測定、示差熱分析、X線回折測定を行った。

化学分析は、100℃にて十分に乾燥したサンプルを振動ミルで粉碎し、1000℃で強熱減量を測定し、その後蛍光X線分析装置を用いガラスビード法にて測定した。

粒度分布は標準篩を用い、ロータップシェーカーで30分間振動させた後測定した。前述のベントナイト系廃砂に含まれていた塊は、振動時に破碎された。

示差熱分析は、振動ミルで粉碎したサンプルを島津社製の示差熱分析装置を用い、昇温速度10℃/min、レファレンスとしてアルミナを用いて測定した。

X線回折測定は、サンプルを振動ミルで粉碎した後、マックサイエンス社製MO3X-HFを用い、Cuターゲット、管電圧40KV、管電流20mA、ステップ角度 $2\theta = 0.02^{\circ}$ 、スキャンスピード $2^{\circ}/\text{min}$ の条件にて測定した。

3.3 分析結果及び考察

ベントナイト系廃砂の熱分析結果を図10, フラン系を図11に示す。これを見るとベントナイト系は重量減量が少なく、発熱のピークが350℃, 550℃, 及び580℃と3つある。最も大きな550℃のピークは使用したカーボンと思われるが, 他のピークの由来は不明である。フラン系廃砂は重量減量が大きく, 発熱のピークも明確なものは1つしかない。

X線回折測定結果を図12, 図13に示す。フラン系, ベントナイト系廃砂のいずれからも石英のピークしか見られない。ベントナイト系廃砂からも粘土成分のピークが観察されなかったのは, 粘土成分のピーク強度が比較的弱い為であろう。

化学分析結果を表1に示す。ベントナイト系, フラン系, いずれも不燃分の大部分は硅砂の成分である SiO_2 であり, 鉄の含有量は粘土, 山砂より少ない。強熱源量を見ると, フラン系廃砂は多いが, ベントナイト系廃砂は通常使用されている粘土, 山砂より可燃分が少ない。

粒度分布を図14に示す。いずれの廃砂も山砂より粒度分布が狭く, メジアン径は大きい。フラン系廃砂は砕けた砂が主成分なためベントナイト系より細かい。

以上から, 鋳物廃砂をレンガ原料として使用する際には現在使用されている山砂の代替品として使用することが可能であると判断した。

4. 金属片分離検討

4.1 金属片分離の目的

予備実験として, 鋳物廃砂をレンガ素地(粘土8に山砂2を混合した物)に10%配合し, 試験片を焼成した。その結果, 試験片に発泡ポリスチレンの平板を火で炙ったような溶融し

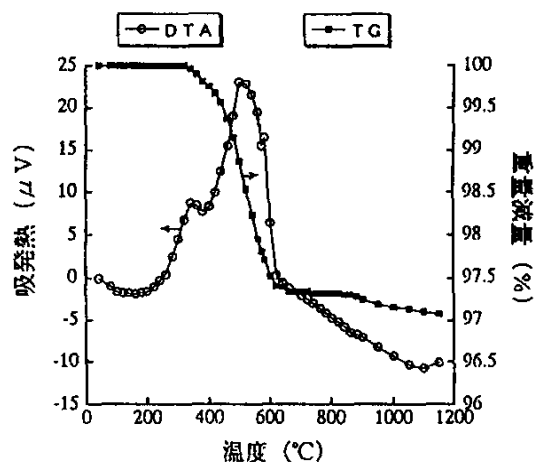


図10 ベントナイト系廃砂熱分析

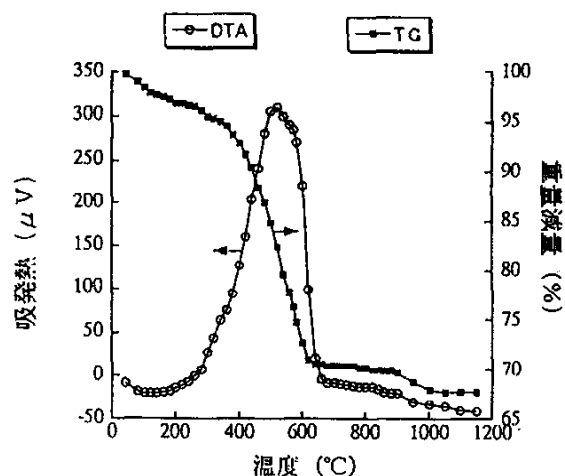


図11 フラン系廃砂熱分析

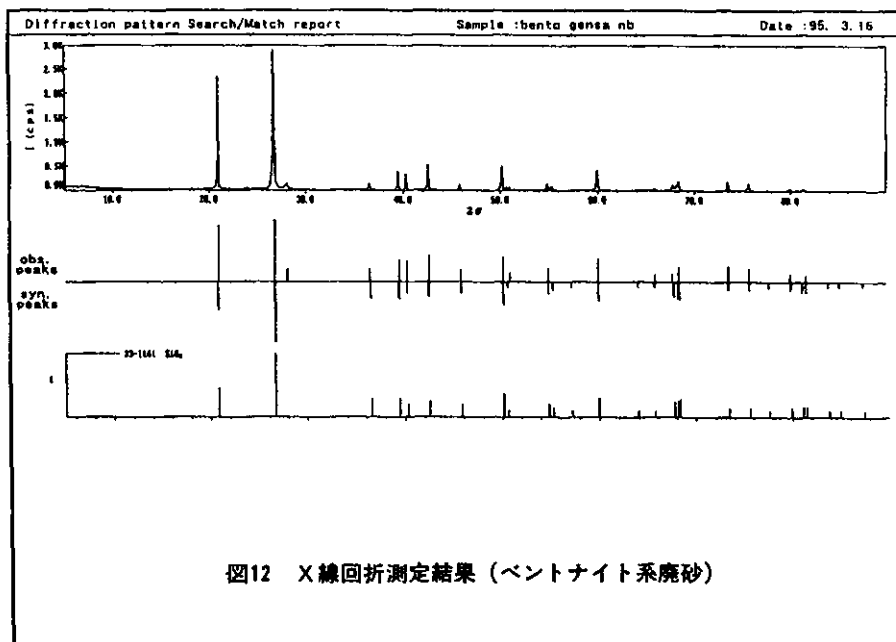


図12 X線回折測定結果(ベントナイト系廃砂)

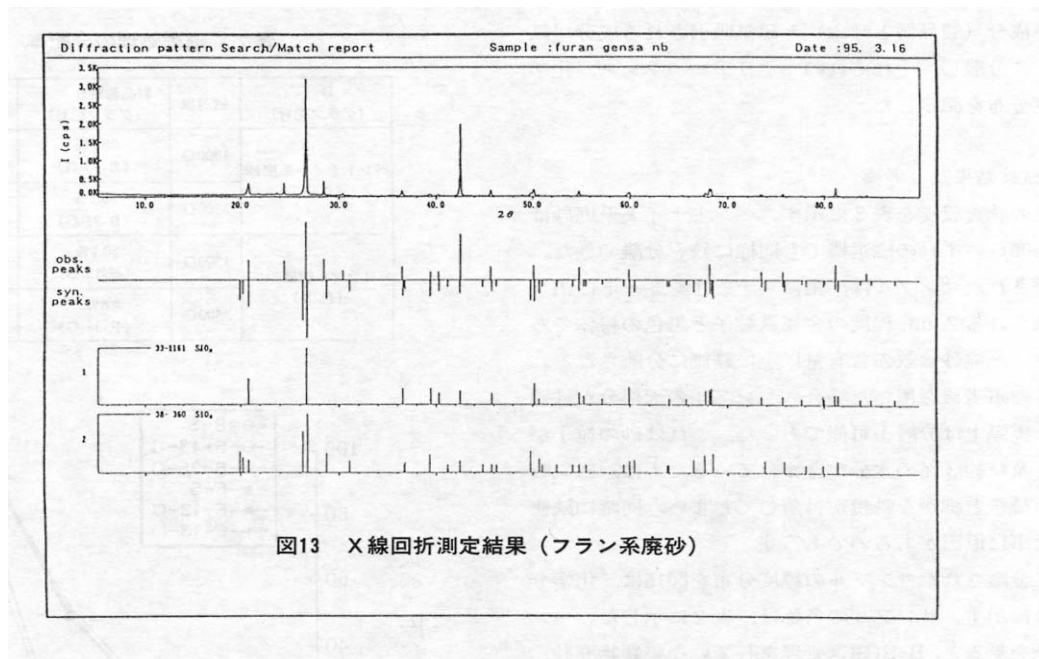


図13 X線回折測定結果（フラン系廃砂）

表1 化学分析値

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Ig.loss	合計
ベントナイト系廃砂	90.22	5.81	1.72	1.10	0.00	0.90	0.63	0.71	3.34	104.44
フラン系廃砂	63.33	3.51	3.64	2.08	0.00	0.58	0.37	0.55	29.77	103.83
野幌粘土	62.87	20.08	6.16	1.19	0.80	1.72	1.57	1.41	6.40	102.20
野幌山砂	64.99	17.86	5.33	1.39	0.77	1.71	1.80	1.68	6.00	101.53

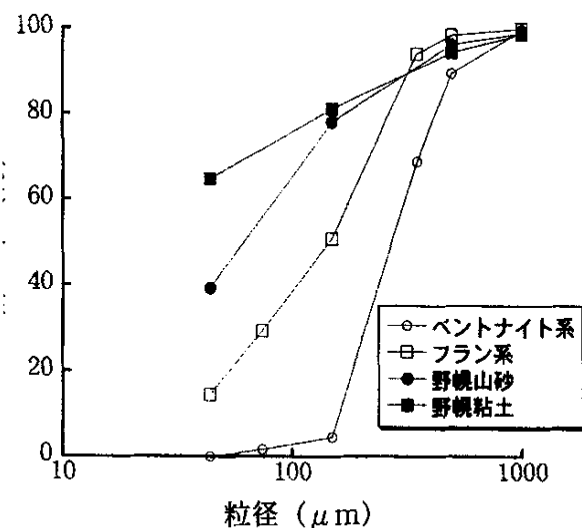


図14 粒度分布

たアバタ状の不良点が観察された。この溶融した試験片を E PMA を用いて表面の元素分析をした結果、溶融した箇所には明かに鉄が多い事が判明した。通常、ヘマタイト (Fe₂O₃) やマグネタイト (Fe₃O₄) ではこのような異常は生じる事はない。つまり、これは金属状態の鉄の混入によるものと思われる。予備実験で見られたアバタの発生を防止する目的で、金属状態の鉄の分離について検討を行った。

4.2 試験方法

金属片を分離する手法として、磁石を使用する方法は広く用いられている。磁選機メーカーとして実績の多い日本マグネティックス(株)と打ち合わせを行い、本件の場合ドラム型磁選機が適当である事が判り、試験する事とした。試験は日本マグネティックス社本社にて実施し、ドラム型磁選機の表面磁化の強さを 1300G、及び 3500G の 2 水準変えて実施した。ベントナイト系廃砂、フラン系廃砂を磁選機にかけて磁気吸

引されない成分（製品側と呼ぶ）と磁気吸引される成分（鉄側と呼ぶ）に分離し、それぞれのマテリアルバランス、化学成分、粒度分布を測定した。

4.3 分離試験結果及び考察

分離試験の物質収支を表2に示す。ベントナイト系廃砂は1300G、3500Gいずれの磁選機でも同様に鉄を分離できた。鉄側に分離されたサンプルは、主にスチールショットに由来すると想像される2mm程度の金属鉄粒子と黒色の粉体であった。フラン系廃砂は鉄の含有量以上に鉄側に分離される。特に3500Gの磁選機を用いた場合、サンプルの大部分が鉄側に移行し、実際上は分離不可能であった。これは砂の粒子が細かい事、及び約3%の水分が含まれているために、磁気吸引されない粒子と細かな鉄粉が付着してしまい、同時に鉄側に移行した事に原因があるのであろう。

こうして分離されたサンプルの粒度分布を図15に、化学分析値を表3に示す。サンプルの名称は、表2に示した。ベントナイト系を見ると、B-S（磁選処理をしていない鋳物廃砂）に比べ、磁選された砂はFeの含有量が少なく、磁選の効果が明かである。しかしながらフラン系廃砂は、F-Sも磁選された砂も、Fe含有量はほとんど同じである事からも磁選の効果はないと言える。

以上からベントナイト系廃砂は1300Gの磁選機で十分に鉄の分離ができるが、フラン系廃砂はドラム型磁選機での鉄の分離は不可能である。

表2 磁選処理の分配率

砂 (グラフ記号)	磁選機	製品側割合 (グラフ記号)	鉄側割合 (グラフ記号)
ベントナイト系廃砂 (B-S)	1300G	98.1% (B-13-G)	1.9% (B-13-I)
	3500G	98.1% (B-35-G)	1.9% (B-35-I)
フラン系廃砂 (F-S)	1300G	60.1% (F-13-G)	39.9% (F-13-I)
	3500G	4.8% (F-35-G)	95.2% (F-35-I)

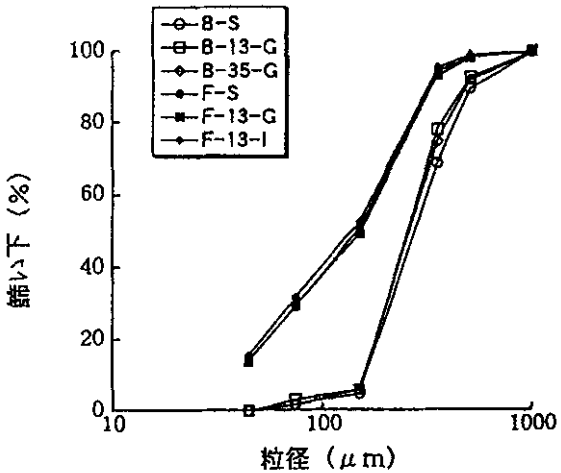


図15 磁選処理後の粒度分布

表3 磁選処理後の化学分析値

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Ig.loss	合計
B-S	90.22	5.81	1.72	1.10	0.00	0.90	0.63	0.71	3.34	104.44
B-13-G	88.34	5.93	1.43	1.15	0.00	0.93	0.70	0.70	4.43	103.61
B-35-G	88.81	5.86	1.36	1.15	0.00	0.91	0.71	0.71	4.47	103.98
F-S	63.33	3.51	3.64	2.08	0.00	0.58	0.37	0.55	29.77	103.83
F-13-G	64.08	3.48	3.51	2.08	0.00	0.57	0.37	0.60	28.40	103.08
F-13-I	62.59	3.51	3.58	1.89	0.00	0.58	0.49	0.62	29.81	103.07

5. 配合試験

5.1 実験方法

鋳物廃砂をレンガ原料の山砂の代替品として使用できないか、またその際の問題点は何かを検討するため配合試験を実施した。配合1は上市されているレンガの配合である。また配合10～配合12は比較の為に、廃砂の代わりに金属鉄の粒子を用いた。配合10、及び配合11に用いた鉄粉は80mesh及び200meshの試薬鉄粉であり、配合12に用いたのは、2mmのスチールショットである。

十分に乾燥した原料粉末を表4に示した割合で混合し、原料100重量部に対し水を14.5重量部添加した。混合物を1週間エージングした後、造粒し顆粒状原料粉末を得た。ついで

表4 配合割合

サンプル番号	野模粘土	野模山砂	廃砂量	廃砂種類
配合 1	8	2	—	—
配合 2	8	1	1	B-S
配合 3	8	0	2	B-S
配合 4	8	1	1	B-13-G
配合 5	8	0	2	B-13-G
配合 6	8	1	1	B-35-G
配合 7	8	0	2	B-35-G
配合 8	8	1	1	F-S
配合 9	8	0	2	F-S
配合 10	8	1	1	175μm鉄粉
配合 11	8	1	1	74μm鉄粉
配合 12	8	1	1	2mm鉄粉

成形圧力 200kg/cm^2 の条件で、縦 110mm ×横 66mm のタイルをプレス成形し、室温にて乾燥した。しかる後、昇温スピード 100°C/hr 、最高温度保持時間2時間、焼成後は炉内の自然冷却の条件で焼成し、サンプルを得た。

こうして得られたサンプルの収縮率、吸水率を測定し、サンプルの外見を観察した。

5.2 実験結果及び考察

吸水率を図16, 図17に、収縮率を図18, 図19に、サンプルの観察結果を表5に示す。

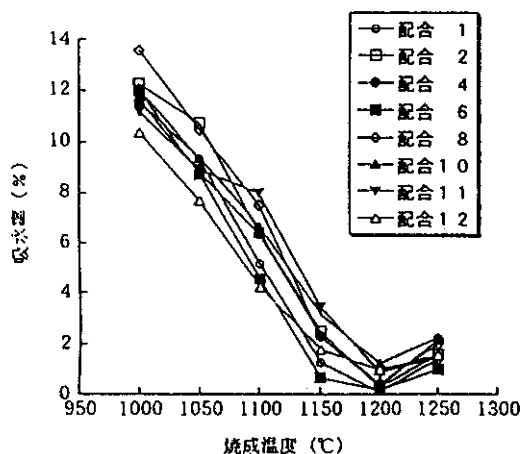


図16 吸収率 (鑄物廃砂10%)

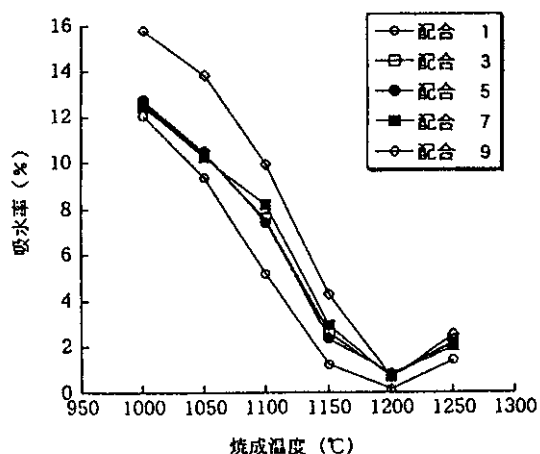


図17 吸収率 (鑄物廃砂の配合20%)

焼成温度と吸水率の関係を見ると、廃砂の使用量が10%である図17, 20%である図18のいずれのサンプルも、市販のレンガとおなじ配合である配合1と比較して、ほとんど変わらない。

収縮率の関係を見ると、市販のレンガと同じである配合1は 1100°C に収縮率のピークを持つが、鑄物廃砂を添加したサンプルの大部分はピークが 1150°C になっている。しかしなが

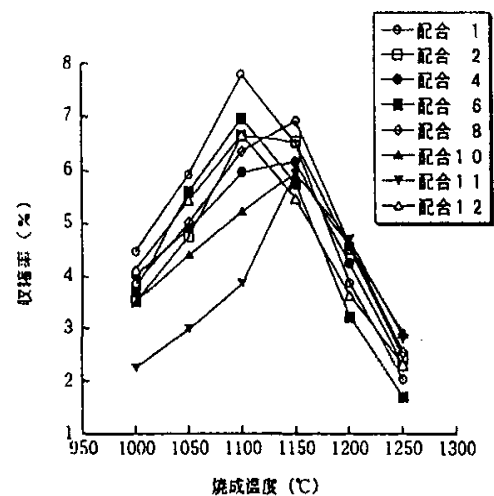


図18 収縮率 (鑄物廃砂10%)

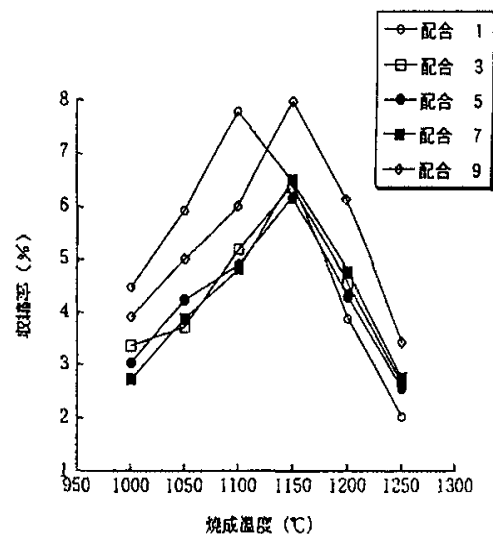


図19 収縮率 (鑄物廃砂10%)

表5 焼成サンプル観察結果

焼成温度	1000°C	1050°C	1100°C	1150°C	1200°C	1250°C
配合 1					若干割れあり、表面割れあり	サンプルが割れ、表面割れあり
配合 2		表面割れあり	表面割れあり			1. 表面割れあり
配合 3		表面割れあり		表面割れ若干あり、ひびあり	表面割れ若干あり	1. 表面割れあり
配合 4						サンプルが割れ、表面割れあり
配合 5						1
配合 6						1
配合 7						1
配合 8			ひびあり	表面割れ若干あり、ひびあり	表面割れ、表面割れあり	1. 表面割れあり
配合 9		表面割れ若干あり	表面割れ、ひびあり	表面割れ、ひびあり	表面割れ、若干割れあり	1. 表面割れあり
配合 10	若干割れあり	表面割れあり			表面割れ、若干割れあり	1. 表面割れあり
配合 11					表面割れあり	サンプルが割れ、表面割れあり
配合 12	表面割れ若干あり	表面割れあり	表面割れあり、ひびあり	表面割れ、表面割れあり	表面割れ、表面割れあり	1. 表面割れあり

ら焼成温度に対する収縮率の変化割合は、鋳物廃砂を添加したサンプルの方が小さく、収縮率については問題点がない。

サンプルを観察すると、磁選処理を施していないベントナイト系廃砂を用いた12サンプルのなかで、5サンプルに溶融したアバタ状の異常が見られたが、1300G及び3500Gの磁選を施した24サンプルには上記異常点は見られなかった。このアバタ状異常は、175 μ mの鉄粉を使用したサンプルには見られないが、2mmの鉄粉では見られる。つまり溶融したアバタ状不良はある大きさ以上の鉄が原因である事が判った。

市販のレンガ配合の場合、焼成温度1200℃でサンプルは膨張し始めるが、磁選処理の有無に関わらずベントナイト系廃砂を添加した場合、膨張しにくくなる。これは廃砂の主成分がSiO₂であるからであろう。ベントナイト系廃砂を用いたサンプルの色は、市販のレンガ配合のサンプルと大差がなかった。

フラン系廃砂を用いたサンプルは、表面がざらざらした荒い感じであり、色も心持ち黒っぽい。磁選処理を施していないベントナイト系廃砂を用いた場合に見られた溶融した不良点は観察されなかった。これは今回使用したフラン系廃砂大きな粒径の鉄粉が入っていなかったためであろう。サンプルにわずかであるが、ひびが入っていた。これは、廃砂の主成分である石英がクリストバライト化したことが想像できる。通常クリストバライト化のクラック対策としては、長石の添加²⁾、粘土の使用割合の増加等などの手法が用いられている。本検討の場合サンプルが小さいので現れにくいですが、レンガの様な大きなサンプルの場合強熱減量が大きい原料を用いると膨張することがある。フラン系廃砂を用いた場合にはこの点を注意する必要がある。

6. まとめ

以上の結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 北海道内における鋳物廃砂の発生状況をアンケートにより調査した結果、道内の年間廃砂排出量は約2500トン、札幌近郊に限ってみると約920トンである。また鋳物廃砂を粘結剤別にみた場合、発生量が多いのはベントナイト系廃砂であり、次いでフラン系廃砂である。それらの年間処理費用の合計は約1650万円である。
- 2) 鋳物廃砂の基礎物性を測定した。ベントナイト系廃砂は主成分が石英であり、強熱減量が少ない。フラン系廃砂は強熱減量が多く、発塵がある。これらをレンガ原料として使用する場合、山砂の代替品として使用するのが適当である。
- 3) 鋳物廃砂をそのままレンガ原料として使用すると、粒径

の大きな（少なくとも175 μ m以上）鉄粉が溶融し、アバタ状の不良点を形成する。

- 4) ベントナイト系廃砂は磁力選鉱処理を施すことで上記問題点が解決でき、本検討の範囲ではレンガ原料として使用する事に支障はなかった。
- 5) フラン系廃砂はドラム型磁選機では鉄の分離が不可能であった。レンガ原料として使用すると、表面が粗面化した。また石英がクリストバライト化し、変態膨張することによって想像される亀裂の発生が見られた。
- 6) ベントナイト系鋳物廃砂をレンガ原料として使用する際には、配合前に粉碎及び磁選処理が必要である。

7. おわりに

産業廃棄物として最終処分を行っている鋳物廃砂を、原料が枯渇しつつあるレンガ用原料として再利用する事が可能であるか調査することを目的とし、排出される鋳物廃砂の分類、及び分析、基礎性状の把握、廃砂の原料化処理に関する検討、及び基礎的な配合試験を行った。

最後に本研究にご協力下さった鋳造各社、磁選機メーカーの方々、及びサンプルを提供して下さいました各社に感謝致します。

引用文献

- 1) 大西保人・溝渕紀夫、高知県工業試験場報告、No12、P56-67、1981
- 2) 渡辺倭文子・山崎太郎・高野元栄、富山県工業技術センター研究 報告、No5、P2、21-2、22、1991