

岩手・青森県境不法投棄物の焼却および溶融特性

佐々木 秀 幸*・安 部 隆 司*・中 南 真理子*・平 野 高 広**
藤 原 智 徳***・藤 原 忠 司****・小山田 哲 也****

【要 旨】 国内最大規模の産業廃棄物が岩手・青森県境に不法投棄された。その処理方法として、セメントの原料化や溶融処理が検討され、セメント原料化としての利用は、既に実施されている。一方、溶融処理に関しては、一般廃棄物の実績はあるものの、不法投棄物を対象とした例はほとんどない。

本研究では、主として溶融処理を念頭に、不法投棄物の性状を調べ、さらに実機を用いた焼却・溶融試験も行っており、不法投棄物を溶融処理するにあたっての留意点を整理した。

不法投棄廃棄物の性状は、場所によって大きく異なっていたが、総体的に、主成分は珪素、アルミ、鉄およびカルシウムで、灰分が多く、発熱量は比較した一般廃棄物の1/6程度に過ぎない。塩基度の低いものが多く、溶融助剤を添加して溶流温度を低くする必要がある。

実機試験では、焼却および溶融に伴う有害ガスの発生は認められなかった。また、溶融スラグからの重金属等の溶出はなく、安全性の観点からは、骨材としての利用が可能と思われる。

キーワード：不法投棄物，化学分析，溶融，スラグ，重金属濃度

1. は じ め に

青森県田子町と岩手県二戸市にまたがる27 haの広大な土地で、産業廃棄物の不法投棄が行われた。投棄された廃棄物は87.6万m³と推定され、国内最大規模である。不法投棄の発覚後、岩手県は、全量撤去の方針を打ち立てたが、問題となるのは撤去した廃棄物の処理であり、処理方法を検討するためには廃棄物の性状把握が必要となる。

岩手県では、平成13年度に現場でトレンチ調査を行い、さらに14年度には、ボーリング調査を実施して廃棄物の実態を明らかにした。それによると廃棄物の品目は、汚泥、燃えがら、フィルム類、食品廃棄物およびRDF様のプラスチック等と多岐にわたり、バーク堆肥に混ぜられて投棄されている箇所も多い¹⁾。さらに、ダイオキシ

ン類や重金属類を含有する廃棄物も存在している。

廃棄物の性状は、場所によって大きく異なっており、岩手県側では、比較的有害性の低い箇所から、撤去を開始した。搬入先の主体は、県内のセメント工場であり、セメント原料の一部として利用している。セメント原料とする場合、廃棄物の成分が問題となる。たとえば、塩素が多く含まれれば、セメント原料として適さない。しかし、現場には、そのような箇所が存在するため、セメント工場以外にも、廃棄物の受入先を検討しておく必要がある。

有害物質を含む廃棄物の有効な処理方法としては、溶融処理があげられ、岩手県でも、この処理方法を念頭においている。溶融処理は、一般廃棄物の処理方式として一般化しつつあるが、産業廃棄物を溶融処理している例は少なく²⁾、不法投棄物の溶融処理となれば、香川県豊島の廃棄物で行われているに過ぎない³⁾。たしかに、豊島の例は、岩手・青森県境の不法投棄物を処理するにあたって、貴重な先例となる。

しかし、豊島がシュレッダーダストを主体としているのに対し、本廃棄物には、焼却灰と汚泥の混じったバーク堆肥が多く、豊島とは異なっている。また、不法投棄物の排出企業数は、岩手県が把握しているだけで1万社以上におよび、品目の数も豊島より多いと推察される。

原稿受付 2004.10.14 原稿受理 2005.7.20

* 岩手県環境保健研究センター

** 岩手県工業技術センター

*** 岩手県盛岡地方振興局保健福祉環境部

**** 岩手大学工学部建設環境工学科

連絡先：〒020-0852 岩手県盛岡市飯岡新田1-36-1

岩手県環境保健研究センター 佐々木秀幸

E-mail: hideyuki-sasaki@pref.iwate.jp

廃棄物の焼却・溶融特性が、品目によって異なるのは明らかであり、廃棄物の品目が多ければ、処理にあたって格別の配慮を要すると考えられる。本研究では、多品目からなる不法投棄物を対象とし、焼却・溶融特性を明らかにして、溶融処理を行う際の留意点を探ることにした。さらに、溶融施設を有する企業のプラントで、有害成分を含む不法投棄物の溶融試験を行い、溶融処理の妥当性を検討した。また、この際発生するスラグを骨材として利用する方法を想定し、スラグの有害性も測定した。

2. 実験方法

2.1 不法投棄物の分析

2.1.1 試料と採取方法

岩手県が平成14年度に行ったボーリング調査は、不

法投棄物の埋蔵量、有害成分および地盤の地質構成等を把握する目的で行ったもので、合計31地点からコア試料を採取した。周辺の土壤汚染等も調べるため、対象範囲を広くしており、投棄物が埋設されていたのは、そのうち25地点であった。埋設深さは、最大で14.1mにも達している。

本研究では、この調査で採取されたコア試料を分析の対象とすることにした。有害成分等の調査用として、各コアのかなりの部分が既に使われており、残された部分から試料を採取した。投棄物が埋設されていた25地点のうち、6地点については、柱状図として保存するため、試料採取ができなかった。19の採取地点をFig. 1の丸印で示す。各地点のコアから、代表的もしくは特徴的と思われる試料を採取し、分析を行った。試料数は、合計で58である。



Fig. 1 Sampling points for illegal dumped wastes

現場では、投棄物が地上に放置されていた箇所もあり、Fig. 1 の GR-1 ～GR-4 に位置する。コア試料とは別に、これら地上堆積の箇所からも、それぞれ1試料ずつ採取し、分析に加えた。したがって、分析用試料の総数は62となる。

なお、後述する溶融試験においては、この地上堆積物から試料を採取した。実機の試験であるため、多量の試料を必要とする。地中に埋められた投棄物を、重機で掘削すると、土壤汚染を広げる恐れがあるため、地上堆積物を試料とした。後述するように、GR-1 ～GR-4 の中で、GR-3 の試料が全体の平均に近い性状を示したので、この地点から溶融試験用の試料を採取した。

試料採取場所と採取量を取りまとめて、Table 1 に示す。

2.1.2 分析内容

不法投棄物を焼却・溶融するために必要な分析を行った。はじめに、試料の水分量を求めた。測定は一般廃棄物の水分測定法（S 52.11. 4 環整第 95 号）に準じて行った。水分を測定した乾燥試料のうち、コア試料は磁選後、全量をカッターミルで粉碎した。さらに振動ミルで微粉碎して分析試料とした。地上堆積物は、ミキサーで均質化し、JISM 8100 に準じた円すい 4 分法によって縮分した。縮分した試料は、コア試料と同様に調整した。分析試料で、H、S、Cl の含有量および低位発熱量を測定した。H、S は燃焼熱伝導率測定方式の元素分析装置（パーキンエルマー（株）CHNS/O アナライザ 2400 II）を用いて測定し、Cl は JIS M 8813 に準じてエシユカ法により分析した。低位発熱量は JIS M 8814 に準じて測定して

いる。

溶融処理による減量を知るため、1,100℃での熱灼減量を測定した。試料を粉碎し、溶流温度と成分を分析した。溶流温度は ISO 540 に準じて、酸化雰囲気中で測定した。成分分析では、JIS M 8852 に準じて試料をアルカリ溶融法で分解し、高周波プラズマ発光分光分析装置（パーキンエルマー（株）製 optima 3300 DV）によって分析した。ただし、アルカリ金属元素の分解には、マイクロウェーブ試料分解装置（Anton Paar 製 Microwave Sample Preparation System）を用いた。Si はアルカリ溶融－質量法で分析している。

2.2 溶融試験

2.2.1 溶融試験用試料の有害性評価

バックホーを用いて採取した溶融用試料は、縮分処理して分析試料とした。有害性は環境庁告示第 46 号に準じた溶出試験と、環境省告示第 19 号に準じた含有試験で評価した。

2.2.2 焼却および溶融試験

溶融処理でできたスラグは、その冷却方法により、砕砂状もしくは塊状となる。不法投棄物の処理にあたっては、これらを、コンクリート用あるいはアスファルト混合物用の骨材として有効に活用しようとしており、溶融試験でも、砕砂（細骨材）あるいは碎石（粗骨材）を製造できる近在の 2 社の溶融炉を用いることにした。

1 社は、岩手県北上市の K 社で、廃棄物をロータリーキルンで焼却した焼却残渣を、回転式表面溶融方式で溶融し、スラグを水砕する。溶融スラグは、細骨材としての利用となる。もう 1 社は、青森県八戸市の T 社で、直流式電気還元溶融方式の溶融炉を有する。ここでは、スラグを徐冷するため、塊状で排出される。これを破碎すれば、粗骨材が得られ、破碎方法によっては、細骨材にもなる。しかし、サンプル量が少なく、通常の運転を停止して、不法投棄物の焼却灰のみを溶融するのは、同社の場合、無理があったため、同社では小型の焼却炉を用いて焼却灰とし、これを、神奈川県 S 社が所有

Table 1 Sampling points and mass of dumped waste

Purpose	Sample	Symbol	Points	Sample number	Sampling mass
Analyze	Boring core	A 4 ～W 4	19	58	200 g
	Ground waste	GR 1 ～ 4	4	4	10 kg
Melting test		GR 3	1	1	22 ton

Table 2 Condition of incineration furnaces and melting furnaces

Company	Process	Type of furnace	Capacity	Heat source	Temp. (°C)	Melted ash	Cooling type	Shapes of slags
K Co., Ltd.	Incineration	Rotary kiln + Stoker	47.5 ton/day	Waste plastics + Crude petroleum	> 850	—	—	—
	Melting	Rotary surface melting	18.0 ton/day	Crude petroleum	1300	Bottom and fly ash	Water cooling	Sand
T Co., Ltd.	Incineration	Spiral flow system	45 kg/batch	Kerosene	> 850	—	—	—
S Co., Ltd.	Melting	DC resistance	10 kg/hour	Electricity	1300 ～ 1400	Bottom ash	Slow cooling	Stone

する、同じ直流式電気還元溶融方式の実証プラントで溶融した。溶融物は塊状で、ほとんどが粗骨材となるよう破碎した。

Table 2 に 3 社の焼却・溶融処理装置の概要を示す。

2.2.3 焼却灰および溶融スラグの有害性

溶融試験を行った焼却灰とその溶融スラグについて、環境庁告示第 46 号に準じた溶出試験を行い、土壤環境基準と比較して、安全性を評価するとともに、環境省告示第 19 号に準じた含有試験も行い、土壤含有基準と比較した。

3. 実験結果および考察

3.1 不法投棄物の分析

3.1.1 水分、灰分および低位発熱量分析結果

Table 3 にコア試料と地上堆積物の水分、可燃分、灰分および低位発熱量を示す。灰分の計算には $1,100^{\circ}\text{C}$ で熱灼減量の値を使用した。

比較のために、千葉市の一般廃棄物の値⁴⁾も示しており、不法投棄物の場合、平均的には灰分が多く、水分、可燃分および発熱量が相対的に少ない結果となっている。しかし、それぞれの標準偏差はおしなべて大きく、場所によって、不法投棄物の性質が大きく異なると受け止めるを得ない。とくに、低位発熱量のばらつきが大きくなっているが、平均的な低位発熱量は一般廃棄物の生ごみより低く、産業廃棄物の動物の死体に該当する⁵⁾。この値は自然限界より低い⁶⁾ため、多くの場合補助燃料による焼却が必要であると推察される。

灰分の平均値が 46 wt% と高い理由としては、投棄物の多くに燃えがらが含まれることや⁷⁾、投棄物を覆った土砂が含まれることが考えられる。県境の不法投棄物は、岩手県側で 18.8 万 ton と推定されており、これをすべて焼却処理すると仮定すれば、46 wt% にあたる 8.6 万 ton の焼却灰が発生することになる。ちなみに、地上堆積物 GR-3 を 800°C で焼却したところ、焼却灰の単位容積質量は 850 kg/m^3 であった。この数値をあてはめて、全量を焼却した場合の焼却灰の容積を算出すれば、10 万 m^3 以上となる。

3.1.2 3 成分および溶融温度

不法投棄物を強熱した試料の分析結果を Table 4 に示す。主成分は SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 Fe_2O_3 で、一般廃棄物の焼却灰や土壌に近い構成であった。しかし、構成割合は試料によって大きくばらついている。11 成分以外で 1 % 以上含まれていた元素を Other に示した。

3 主成分 (SiO_2 、 CaO 、 Al_2O_3) の分布を Fig. 2 に示す。図には比較のため、一般廃棄物焼却残渣の分布も示

してある。楕円で囲まれた範囲がそれに相当する。

一般廃棄物の焼却灰や飛灰では、3 成分の中央から SiO_2 および CaO の多い領域に分布しており、この領域の場合、溶流温度は比較的低いとされている。一方、不法投棄物の場合、 CaO が少なく、生成される結晶が mulite から anorthite の範囲に分布している⁸⁾。前掲の Table 4 には、溶流温度も示している。表より、 CaO 量の少ない mulite の範囲にある試料を抽出し、その平均的な溶流温度を求めたところ、 $1,350^{\circ}\text{C}$ ほどで、全体的な平均より 50°C ほど高い値となった。この範囲の試料には、溶融助剤を添加して、溶流温度を下げる必要があると考えられる。

不法投棄物の 3 主成分の合計は、全体に対し一部の例外を除いて、45 ~ 85 wt% の範囲にあった。これは、一般廃棄物の焼却灰や飛灰の 55 ~ 75 wt%⁹⁾ より広い範囲となっている。とくに、3 主成分の割合が小さい例も存在しており、そのような場合には、3 主成分で検討するのではなく、多成分での解析が必要になると思われる。

3.1.3 溶流温度と塩基度

Table 4 によれば、溶流温度の標準偏差は 89°C であり、 $1,400^{\circ}\text{C}$ 以上に加熱しなければ溶流しない試料が 10 試料あった。また、使用した電気炉の最高温度である $1,700^{\circ}\text{C}$ 以上でも溶流しない試料が 2 つあった。これらの試料は Al_2O_3 を主成分とする白色泥状物で、外観が他の試料と異なっていた。

溶融にあたっては CaCO_3 等の溶融助剤を添加することが必要と考え、これを検討すべく、Fig. 3 に示すように、不法投棄物の塩基度と溶流温度の関係を求めた。塩基度の計算には CaO 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 、 FeO 、 Al_2O_3 を含めた場合も検討したが、いずれも同じ傾向を示したことから、 CaO/SiO_2 の場合を示した。

溶流温度が、最も低くなる塩基度は 0.8 ~ 1.1 程度で¹⁰⁾、この範囲から外れると溶流温度は高くなる傾向にあった。分析試料の塩基度は CaO の含有量が少ないため、平均で 0.47 と小さかった。多くの試料が、最適と思われる塩基度の範囲を下回っていることから、溶融処理にあたっては、溶流温度を下げるため、溶融助剤を添加する必要があると考えられる。

3.2 溶融試験

3.2.1 溶融試験用試料と有害性評価

4 ヶ所の地上堆積物の中で GR-3 の試料が、分析した不法投棄物の水分、灰分、可燃分および発熱量の平均に最も近く、岩手県側の不法投棄物に典型的な燃えがらおよび汚泥混じりのバーク堆肥様物を主体としていること⁷⁾から、この地点の試料を溶融試料とした。成分等を

Table 3 Physical properties and S, Cl content of illegal dumped wastes

Points	Depth (m)	Moisture content (wt%)	Ash content (wt%)	Combustible matter content (wt%)	Low heat value (kJ/kg)	S (Wt%-Dry)	Cl (Wt%-Dry)	
A 4	1	1.90 ~ 2.00	37.8	52.5	9.7	— 10	0.45	0.60
	2	4.00 ~ 4.15	36.8	55.1	8.1	— 980	0.23	1.05
B 1	1	1.00 ~ 1.10	39.8	35.6	24.6	4409	1.77	0.85
	2	3.00 ~ 3.20	46.5	33.6	19.9	2521	1.51	1.16
	3	7.00 ~ 7.10	27.5	65.4	7.1	— 719	0.27	0.51
	4	8.20 ~ 8.30	36.1	53.5	10.4	— 36	1.16	1.05
	5	10.40 ~ 10.50	37.3	45.1	17.6	2097	2.06	1.54
B 2	1	0.00 ~ 0.10	57.5	25.3	17.2	1417	0.24	0.37
	2	0.60 ~ 0.70	49.3	41.0	9.7	441	0.25	1.01
	3	0.90 ~ 1.00	48.2	28.6	23.2	3697	0.79	1.47
	4	4.60 ~ 4.70	48.2	13.7	38.1	6071	0.72	0.29
	5	6.50 ~ 6.60	25.9	70.5	3.6	— 676	0.02	0.17
	6	7.50 ~ 7.60	43.2	50.3	6.5	— 1175	0.04	0.49
	7	8.50 ~ 8.60	31.1	64.1	4.8	— 842	0.02	0.30
B 3	1	1.20 ~ 1.30	23.1	70.4	6.5	718	0.61	0.49
	2	7.50 ~ 7.60	48.1	33.0	18.9	2155	0.20	1.32
B 4	1	2.70 ~ 2.80	53.1	22.8	24.1	3283	5.02	0.43
	2	4.50 ~ 4.60	39.9	44.2	15.9	2204	0.97	0.67
	3	7.40 ~ 7.50	37.3	54.4	8.3	— 982	0.13	0.70
	4	9.30 ~ 9.40	28.6	39.9	31.5	6731	0.40	1.41
	5	11.20 ~ 11.30	34.9	40.7	24.4	3199	0.17	1.77
B 5	1	1.90 ~ 2.00	49.7	30.8	19.5	1661	1.21	0.45
	2	3.30 ~ 3.40	35.7	43.5	20.8	2949	2.77	0.76
	3	6.40 ~ 6.50	42.3	39.2	18.5	2114	1.50	0.67
	4	9.40 ~ 9.50	34.7	43.2	22.1	3774	2.00	1.11
	5	11.60 ~ 11.70	34.0	37.4	28.6	5819	0.32	0.83
	6	13.00 ~ 13.10	44.1	38.0	17.9	2038	0.47	1.30
B 6	1	4.60 ~ 4.70	43.8	36.8	19.4	3160	1.34	0.36
	2	7.30 ~ 7.40	34.4	47.4	18.2	3514	0.83	0.61
	3	9.40 ~ 9.50	40.2	48.7	11.1	242	0.38	1.24
	4	10.50 ~ 10.60	45.1	45.0	9.9	— 131	0.07	1.08
	5	11.60 ~ 11.70	40.9	51.8	7.3	— 1008	0.17	0.78
B 7	2.30 ~ 2.40	42.2	44.0	13.8	966	1.26	0.64	
D 3	1	4.30 ~ 4.35	49.9	42.9	7.2	— 1325	0.25	0.06
	2	5.25 ~ 5.30	57.9	21.0	21.1	3477	1.93	0.32
	3	7.35 ~ 7.40	48.4	31.0	20.6	3258	0.96	0.63
	4	9.05 ~ 9.10	22.3	73.9	3.8	— 587	0.10	0.07
E 1	1	2.90 ~ 3.00	36.3	57.2	6.5	— 951	0.08	0
	2	3.90 ~ 4.00	42.3	49.7	8.0	— 375	0.05	0
F 1	1	2.50 ~ 2.60	40.3	59.7	0	14142	1.98	0.04
	2	4.20 ~ 4.25	27.0	60.0	13.0	2216	0.31	0.02
J 1	1	1.90 ~ 2.00	39.0	42.5	18.5	2615	0.45	0.55
	2	3.90 ~ 4.00	44.1	40.2	15.7	2102	0.61	0.96
	3	6.00 ~ 6.10	42.3	51.0	6.7	— 1140	0	0.12
K 1	2.00 ~ 2.10	37.4	54.5	8.1	— 856	0.12	0.26	
N 1	1	2.50 ~ 2.60	32.8	51.6	15.6	— 986	0.13	0.45
	2	4.50 ~ 4.55	39.7	48.5	11.8	— 1163	0.11	0.77
T 1	1	2.00 ~ 2.10	40.6	47.9	11.5	341	0.03	0
	2	3.90 ~ 4.00	34.4	59.0	6.6	— 856	0.28	0
T 5	1	2.20 ~ 2.25	42.1	51.6	6.3	— 1041	0.02	0
	2	7.50 ~ 7.55	38.5	56.2	5.3	— 1018	0.04	0
	3	11.50 ~ 11.55	48.9	45.6	5.5	— 1237	0.04	0
T 6	1	2.05 ~ 2.10	38.8	55.1	6.1	— 1032	0.03	0.12
	2	4.95 ~ 5.00	53.0	25.9	21.1	2254	0.09	0.12
T 7	1	3.10 ~ 3.20	49.8	38.1	12.1	656	0.19	0.03
	2	5.50 ~ 5.60	36.2	59.1	4.7	— 895	0	0.02
	3	9.80 ~ 9.90	51.5	43.0	5.5	— 1349	0.06	0.02
	4	12.25 ~ 12.35	16.9	80.9	2.2	— 416	0	0.01
W 4	2.30 ~ 2.35	48.4	43.6	8.0	— 346	0.06	0.01	
GR-1	—	37.8	40.3	21.9	2401	0.39	0.03	
GR-2	—	36.8	37.1	26.1	3006	0.84	0.04	
GR-3	—	39.8	44.4	15.8	1483	0.41	0.12	
GR-4	—	39.8	37.9	22.3	1829	0.74	0.04	
Average		40.2	46.0	13.9	1315	0.63	0.51	
Maximum		57.9	80.9	38.1	14142	5.02	1.77	
Minimum		16.9	13.7	0	— 1349	0	0	
Standard deviation		8.3	12.9	8.0	2629	0.86	0.48	
Municipal solid waste		47.7	6.7	45.6	8500	0.08	0.40	

Table 4 Chemical properties and flow temperature of ignition residue of illegal dumped waste

Points		Chemical composition (Wt%)												Basicity	Flow temp. (°C)
		SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	K ₂ O	ZnO	CuO	Other	CaO/SiO ₂	
A 4	1	41.8	6.2	21.0	11.5	0.4	0.2	2.4	0.6	0.3	0.2	0.0		0.15	1314
	2	51.9	4.6	22.6	13.9	0.2	0.0	2.3	0.7	0.3	0.1	0.0	Cl	0.09	1324
B 1	1	36.9	15.9	16.6	14.1	1.0	0.5	2.2	2.5	0.4	0.5	0.3	S	0.43	1223
	2	32.0	12.5	9.6	22.5	1.0	0.7	2.4	1.9	0.8	0.8	0.4	Cl, S	0.39	1247
	3	50.1	5.5	21.7	8.2	0.3	0.1	1.7	0.8	0.4	0.1	0.1		0.11	1316
	4	29.5	16.0	14.3	14.7	6.0	0.2	2.3	0.6	0.6	0.2	0.1	Cl, S	0.54	1218
	5	31.2	16.9	11.7	13.2	5.1	0.3	2.1	0.9	0.5	0.2	0.1	Cl, S	0.54	1260
B 2	1	32.4	12.7	13.6	24.2	2.2	0.3	1.5	0.5	0.2	0.4	0.2		0.39	1245
	2	5.1	38.5	2.5	3.8	20.8	0.1	0.8	0.4	0.3	0.2	0.2	Cl	7.62	1516
	3	27.6	15.8	14.8	14.9	1.8	0.4	2.1	1.8	0.6	0.5	0.3	Cl	0.57	1200
	4	48.1	6.8	14.9	7.8	0.8	0.0	2.2	0.6	0.2	0.1	0.3		0.14	—
	5	52.1	3.8	22.5	6.7	0.1	0.0	1.7	0.7	0.3	0.0	0.0		0.07	1316
	6	40.9	4.2	28.2	11.7	0.1	0.0	2.1	0.9	0.1	0.0	0.0		0.10	1350
	7	51.4	2.1	26.2	8.0	0.0	0.0	1.4	0.8	0.3	0.0	0.0		0.04	1370
B 3	1	5.4	1.3	1.8	32.3	0.0	0.0	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	Ba	0.24	1440
	2	16.2	42.2	5.4	6.1	3.5	0.9	2.4	0.5	0.2	0.5	0.0	Cl	2.61	1386
B 4	1	21.4	16.7	9.5	20.0	2.3	0.5	1.3	0.3	0.5	0.5	0.3	S	0.78	1226
	2	32.2	10.9	11.7	16.8	0.3	0.7	2.1	1.4	0.5	0.6	0.5		0.34	1170
	3	49.0	4.9	19.3	9.2	0.1	0.0	2.1	0.8	0.3	0.1	0.1		0.10	1253
	4	19.6	30.4	7.6	13.7	0.8	0.6	1.7	2.5	0.2	0.7	0.1	Cl	1.55	1240
	5	28.9	33.0	6.9	7.2	1.0	0.3	1.4	1.9	0.2	0.1	0.0	Cl	1.14	1195
B 5	1	22.8	19.6	9.4	21.9	2.1	0.5	1.3	0.8	0.3	0.5	0.3	S	0.86	1250
	2	23.9	14.8	9.1	18.7	0.9	0.5	2.5	1.4	0.8	0.5	0.3	S	0.62	1180
	3	22.6	14.0	8.3	22.7	1.1	0.5	1.7	1.3	0.7	0.5	0.4	S	0.62	1195
	4	25.5	10.7	18.2	21.1	1.3	2.4	1.5	1.2	0.3	1.4	0.2	Cl, S	0.42	1246
	5	40.0	13.6	17.1	6.5	0.5	0.1	4.1	2.4	0.2	0.1	0.0		0.34	1197
	6	42.4	9.7	19.9	8.5	0.9	0.3	3.3	1.2	0.3	0.1	0.0		0.23	1235
B 6	1	39.1	12.3	14.5	9.6	0.9	1.1	3.3	1.5	0.2	0.9	0.1	S	0.31	1158
	2	33.3	11.7	16.6	14.9	0.0	0.3	2.5	1.8	0.3	0.4	0.4		0.35	1228
	3	53.6	2.4	18.9	4.5	0.1	0.0	1.2	0.8	0.6	0.0	0.1	Cl	0.04	1297
	4	50.3	1.2	25.2	5.3	0.1	0.0	1.0	0.7	0.5	0.0	0.0	Cl	0.02	1458
	5	56.8	2.3	21.7	5.3	0.0	0.0	1.3	0.7	0.6	0.0	0.1		0.04	1300
B 7		40.8	10.0	18.7	10.5	1.4	0.2	1.8	0.9	0.3	0.1	0.1	S	0.24	1250
D 3	1	57.9	3.1	24.8	9.0	0.1	0.0	1.9	0.8	0.2	0.1	0.1		0.05	1347
	2	21.5	12.1	16.7	10.4	5.2	1.6	2.6	1.1	0.2	0.9	0.4	S	0.56	1300
	3	30.4	11.5	13.0	16.8	2.6	2.2	2.2	0.8	0.2	0.7	0.1		0.38	1240
	4	59.9	3.8	18.0	6.2	0.1	0.0	2.2	0.6	0.2	0.0	0.0		0.06	1300
E 1	1	59.0	3.2	20.3	6.4	0.1	0.0	2.1	0.6	0.1	0.0	0.0		0.05	1280
	2	56.8	3.4	20.6	6.2	0.2	0.0	2.0	0.6	0.1	0.0	0.0		0.06	1314
F 1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—
	2	57.2	3.0	20.1	6.4	0.3	0.0	1.7	0.6	0.4	0.0	0.0		0.05	1323
J 1	1	18.5	4.3	8.3	30.4	10.6	1.4	1.1	1.0	0.1	1.2	0.3		0.23	1260
	2	36.8	8.1	18.1	14.0	0.1	0.4	2.0	1.8	0.2	0.3	0.4		0.22	1300
	3	51.9	0.5	28.7	9.0	0.0	0.0	1.7	0.8	0.1	0.0	0.0		0.01	1520
K 1		53.4	3.9	24.2	7.8	0.2	0.0	2.0	0.7	0.2	0.1	0.1		0.07	1338
N 1	1	0.3	0.9	72.8	0.3	0.0	0.2	14.1	0.2	0.1	0.1	0.1		3.00	> 1700
	2	0.1	0.1	67.7	0.2	0.0	0.2	10.7	0.1	0.3	0.2	0.0		0.96	> 1700
T 1	1	60.2	0.9	23.1	4.5	0.1	0.0	1.3	0.6	0.2	0.0	0.0		0.02	1381
	2	60.3	1.6	21.2	6.2	0.1	0.0	1.2	0.5	0.6	0.0	0.0		0.03	1445
T 5	1	57.7	3.1	20.7	6.3	0.2	0.0	2.1	0.6	0.1	0.0	0.0		0.05	1290
	2	60.4	0.1	11.6	3.9	0.0	0.0	0.7	0.6	0.8	0.0	0.1		0.00	1430
	3	59.3	0.2	22.0	6.0	0.1	0.0	1.0	0.5	0.1	0.0	0.0		0.00	1432
T 6	1	54.5	3.1	21.1	7.4	0.1	0.0	2.2	0.6	0.1	0.0	0.0		0.06	1320
	2	60.4	2.6	17.5	5.9	0.1	0.0	1.5	0.5	0.2	0.0	0.0		0.04	—
T 7	1	60.4	2.8	17.4	6.5	0.2	0.1	1.4	0.5	0.2	0.0	0.0		0.05	1327
	2	49.8	3.3	18.0	6.1	0.0	0.1	0.6	0.7	0.1	0.0	0.1		0.07	1284
	3	49.6	0.9	23.2	6.0	0.0	0.0	1.1	0.9	0.1	0.0	0.1		0.02	1552
	4	56.4	3.4	14.6	4.3	0.0	0.2	2.2	0.5	0.1	0.0	0.1		0.06	1301
W 4		58.1	2.3	14.8	5.5	0.1	0.0	2.2	0.6	0.1	0.0	0.1		0.04	1282
	GR-1	34.0	11.5	14.0	17.0	2.5	0.8	1.6	0.4	0.4	0.4	0.2		0.34	1262
	GR-2	43.4	7.5	16.5	14.7	1.4	0.9	1.7	0.5	0.2	0.2	0.1		0.17	1238
	GR-3	38.1	10.6	15.3	14.0	1.5	0.9	1.7	0.5	0.2	0.5	0.3		0.28	1235
	GR-4	35.9	6.2	16.9	13.9	1.0	0.6	2.0	1.1	0.2	0.4	0.5		0.17	1245
	Average	40.3	8.7	18.4	11.0	1.4	0.3	2.2	0.9	0.3	0.3	0.1		0.47	1299
	Maximum	60.4	42.2	72.8	32.3	20.8	2.4	14.1	2.5	0.8	1.4	0.5		7.62	> 1700
	Minimum	0.1	0.1	1.8	0.2	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0		0.00	1158
	Standard deviation	16.5	9.0	11.3	6.8	3.1	0.5	2.0	0.6	0.2	0.3	0.1		1.07	89

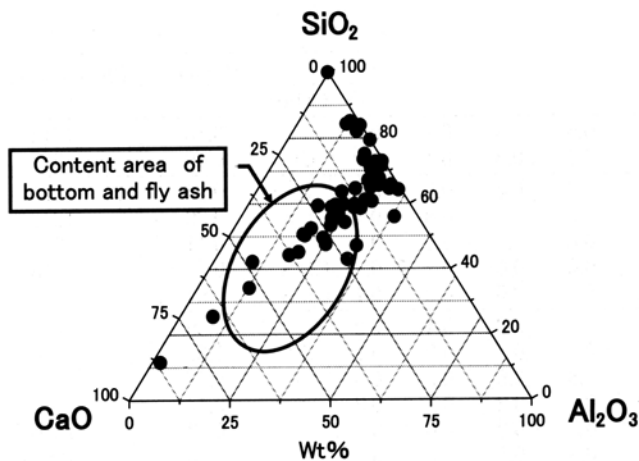


Fig. 2 Compositions shown by ternary diagram of SiO_2 - CaO - Al_2O_3 system

Table 5 に示す。また、金属成分の溶出量と含有量を Table 6 に示す。F と B の溶出量と、Pb と F の含有量が基準を満足しなかった。なお、溶融試験に用いた試料の量は 22 ton である。

3.2.2 焼却・溶融試験

溶融試験用不法投棄物は、灰分が多く発熱量が低いため、焼却には助燃剤が必要と推測された。実際にも K 社での焼却試験では、試料に対して低位発熱量が 17,533 (kJ/kg) の廃プラスチックを、助燃剤として質量比で 150% 加えた。T 社での焼却試験でも、試料に対して質量比 100 ~ 120% の灯油を必要とした。

K 社は、焼却灰と飛灰を溶融する際、溶流温度を下げるために溶融助剤として CaCO_3 を入れた。混合割合

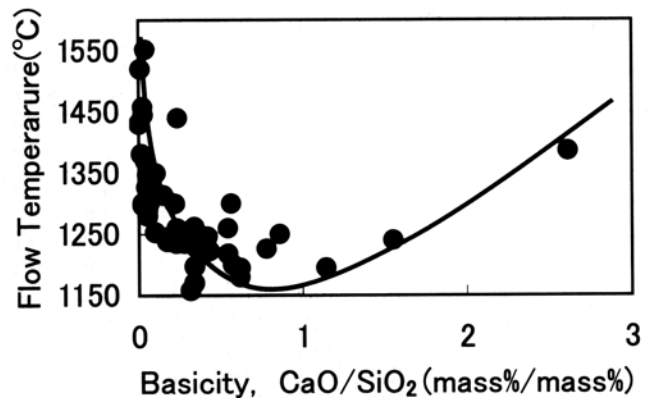


Fig. 3 Effect of basicity of illegal dumped wastes on flow temperatures

は、焼却灰：飛灰：助剤 = 60 : 25 : 15 とした。K 社独自の測定によれば、これによって、溶流温度が 1,350°C から 1,250°C となり、運転温度 1,300°C での溶融が可能であった。

S 社では焼却灰のみを溶融した。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 MgO およびコークスを 70 : 28 : 2 の割合で混合した溶融助剤を加えた。混合割合は、焼却灰：助剤 = 77 : 23 であった。なお、焼却灰の溶融に要した電力量は 1 ~ 2 kWh/kg であった。

各社で行った焼却および溶融試験時の、排ガスの分析結果を Table 7 に示す。T 社と S 社についてはダイオキシン分析を実施していないが、他の項目はすべて廃棄物焼却炉の排ガス基準に適合している。

溶融用試料 GR-3 には、Table 5 に示すように、一

Table 5 Physical and chemical properties of illegal dumped waste for melting process

Moisture content (wt%)	Ash content (wt%)	Combustible matter content (wt%)	Low heat value (kJ/kg)	Chemical composition of dry sample (wt%)					Flow temp. (°C)	Chemical composition of ignition residue (wt%)								
				C	H	N	S	Cl		SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	P_2O_5	Na ₂ O	MgO	ZnO	CuO
49.4	34.6	16.0	799	12.4	1.72	0.84	1.09	0.12	1302	40.0	10.3	17.6	13.3	1.8	0.94	2.4	0.51	0.32

Table 6 Heavy metals concentration in elution test (Environmental Agency Notification No. 46) and contents test (Environmental Agency Notification No. 19) from waste sample for melting process

Item	Cd	Cr^{6+}	As	T-Hg	Se	Pb	F	B
Result of elution test (mg/L)	0.005	< 0.02	0.007	< 0.0005	< 0.002	< 0.005	5.6	3.8
Environmental soil standard (mg/L)	< 0.01	< 0.05	< 0.01	< 0.0005	< 0.01	< 0.01	< 0.8	< 1
Result of contents test (mg/kg)	3.3	< 0.7	1.4	< 0.1	0.1	460	13000	120
Environmental soil standard (mg/kg)	< 150	< 250	< 150	< 15	< 150	< 150	< 4000	< 4000

Table 7 Smoke concentration from incinerators and melting furnaces on treating of waste materials

Company	Exhaust process	NOx (ppm)	SOx (ppm)	HCl (ppm)	Dioxins (ng-TEQ/m ³)
K Co., Ltd.	Incineration process	40	4.0	24	0.062
	Melting process	37	1.0	12	0.088
T Co., Ltd.	Incineration process	95	2.7	5.7	—
S Co., Ltd.	Melting process	3	24.0	< 0.5	—

Table 8 Heavy metals concentration in elution test (Environmental Agency Notification No.46) and contents test (Environmental Agency Notification No.19) from bottom ashes and molten slag

Item		Cd	Cr ⁶⁺	As	T-Hg	Se	Pb	F	B
Result of elution test (mg/L)	bottom ash	< 0.005	< 0.02	< 0.005	< 0.0005	< 0.002	< 0.005	1.5	1.6
	K Co., Ltd. molten slag	< 0.005	< 0.02	< 0.005	< 0.0005	< 0.002	< 0.005	< 0.1	0.2
	S Co., Ltd. molten slag	< 0.005	< 0.02	< 0.005	< 0.0005	< 0.002	< 0.005	< 0.1	0.3
Environmental soil standard (mg/L)		< 0.01	< 0.05	< 0.01	< 0.0005	< 0.01	< 0.01	< 0.8	< 1
Result of contents test (mg/kg)	bottom ash	< 0.1	< 0.7	1.2	< 0.2	< 0.1	1.5	7000	83
	K Co., Ltd. molten slag	< 0.1	< 0.7	< 0.1	< 0.2	< 0.1	6.9	1400	350
	S Co., Ltd. molten slag	< 0.1	< 0.7	< 0.1	< 0.2	< 0.1	0.3	2300	270
Environmental soil standard (mg/kg)		< 150	< 250	< 150	< 15	< 150	< 150	< 4000	< 4000

般廃棄物に比べてSが多く含まれていたが、排出規制値を超えることはなかった。また、本試料のCl含有量は少なかったが、一般廃棄物の含有量^{11,12)}を超過する不法投棄物もあることから、今後の処理にあたっては焼却、溶融設備等への影響に留意する必要がある。

3.2.3 溶融スラグの有害性評価

得られた焼却灰および溶融スラグの有害性を評価した結果をTable 8に示す。焼却灰の場合、溶出試験でFとBが土壤環境基準を、含有試験ではFが土壤含有基準を満足しなかった。しかし、溶融スラグの場合は両方の基準を満たしており、安全に再利用できることが確認できた。

Pb化合物のように、比較的低温で揮発しやすい場合には、飛灰に濃縮されることから¹³⁾、焼却処理した焼却灰でも基準を満たすことができるが、完全に揮発させるためには、1,800℃以上の温度が必要¹⁴⁾となるFやBは焼却灰に残ってしまう。一方、溶融処理すれば、FやBも、ガラスの網目構造に取り込まれ、溶出基準と含有基準を達成できるスラグになると考えられる。

4. ま と め

岩手・青森県境に大量に不法投棄された産業廃棄物の特徴は、品目の数が多いことにあり、その処理にあたっては、この点に対する配慮が必要不可欠となる。本研究では、このような先例のない不法投棄物を溶融処理することを念頭に置いて、物性評価および溶融試験を行った。得られた成果の主なものは、以下のとおりである。

- 1) 合計62地点の試料を対象とした分析によれば、おしなべて水分が多く、発熱量は少ないことから、不法投棄物の自己燃焼は望めないといえる。灰分の平均は46.0 wt%で、岩手県側の不法投棄物をすべて焼却処理した場合、10万m³以上の焼却灰が発生すると推察される。
- 2) 試料の平均的な溶流温度は1,299℃であり、溶流温度の目安となる塩基度(CaO/SiO₂)は平均

0.47で、溶流温度が低くなる0.8～1.1よりも小さかった。このことから、溶融処理では多くの場合、溶流温度を下げるために、溶融助剤を添加する必要があると考えられる。

- 3) 品目の数が多いこともあり、焼却および溶融特性とも、場所によって大きなばらつきが見られる。処理にあたっては、可能な限り多量の廃棄物を混合・均質化する前処理が必要である。また、このような処理をしても、補助燃料や溶融助剤の量は変えなければならないと予想される。たとえば溶融の場合、廃棄物焼却灰の塩基度を測定し、溶融助剤の量を自動的に調節できるようなシステムの開発が望まれる。なお、溶流温度が極端に高い試料も存在したことから、このような投棄物を溶融処理対象から外すことも検討すべきである。
- 4) 地上堆積物を対象として、焼却および溶融試験を行ったところ、焼却時および溶融処理時とも、規制値以上の有害物質の発生はなかった。
- 5) 溶融試験に用いた不法投棄物には、土壤環境基準を超過するF、Bが検出された。これを焼却した焼却灰でも、FやBが土壤環境基準を超過したが、2つの方式で溶融したスラグではいずれも基準を満たし、有害性の観点からは、骨材等への再利用が可能であると考えられた。ただし、対象としたスラグは、平均的な特性を示すと考えられた地上堆積物から得られたものであり、場所によっては、有害物の含有量あるいは溶出量が基準を超えるスラグになる可能性を否定できない。この管理体制の構築も今後の課題である。

無害と見なされた溶融スラグについては、積極的に活用を図っていく必要がある。用途としては、コンクリート用骨材、アスファルト混合物用骨材および路盤材などが考えられ、今後はこれらの適用性を検討する予定である。

参考文献

- 1) 岩手県：岩手・青森県境不法投棄現場の原状回復に係るプロポーザル資料「岩手・青森県境不法投棄事案（岩手県エリア）における特定産業廃棄物に起因する支障の除去等の実施に関する計画案」（2004）
- 2) 石川禎昭：最先端のごみ処理溶融技術，日報出版，pp. 39-50（2001）
- 3) 香川県豊島廃棄物等処理技術検討委員会：豊島廃棄物に対する処理技術の検討，廃棄物学会誌，第12巻，第2号，pp. 117-124（2001）
- 4) 山田純夫，清水益人，三好史洋：サーモセレクト方式ガス化改質炉，JFE技報，第3号，pp. 20-24（2004）
- 5) 大阪府：大阪府HP，大阪府廃棄物焼却炉に係る指導指針別表第3付表
- 6) 石川禎昭：新・ごみ教養学なんでもQ&A，中央法規出版，p. 149（2000）
- 7) 岩手県：青森・岩手県境不法投棄事案に係る合同検討委員会・第4回技術部会配付資料2（2003）
- 8) E. M. Levin, C. R. Robbins and H. F. McMurdie：Phase Diagrams for Ceramists, American Ceramic Society（1964）
- 9) 西野順也，田原賢一：都市ごみ焼却灰及び飛灰の溶融処理，Journal of the Ceramics Society Japan, Vol. 106, pp. 1117-1123（1998）
- 10) 堀井安雄，田中信寿：焼却残渣埋立率の高い埋立地の侵出水処理における最近の技術課題，廃棄物学会誌，第8巻，第1号，pp. 64-75（1997）
- 11) 松藤敏彦：データから見た高塩類問題の原因と将来，廃棄物学会誌，第8巻，第7号，pp. 493-499（1997）
- 12) 鍋島淑郎：焼却残渣溶融技術の現状，都市清掃，第54巻，第242号，pp. 303-307（2001）
- 13) Y. M. Kuo, T. C. Lin and P. Tsai：Metal Behavior During Vitrification of Incinerator Ash in a Coke Bed Furnace, Journal of Hazardous Materials, B 109, pp. 79-84（2004）
- 14) 内山 武，原 義明，武田幹治，上杉浩之，中村 崇：2段羽口式溶融還元炉による難処理金属スラッジの資源化技術の開発，鉄と鋼，第89巻，第5号，pp. 56-62（2003）

Incineration and Melting Properties of Illegally Dumped Wastes in the Area Bordering Iwate and Aomori Prefectures

Hideyuki Sasaki*, Takashi Abe*, Mariko Nakaminami*, Takahiro Hirano**
Tomonori Fujiwara***, Tadashi Fujiwara**** and Tetsuya Oyamada****

* Research Institute for Environmental Sciences
and Public Health of Iwate Prefecture

** Iwate Industrial Research Institute

*** Department of Health and Welfare, Morioka Regional Development Bureau

**** Department of Civil and Environmental Engineering,
Faculty of Engineering, Iwate University

† Correspondence should be addressed to Hiroshi Ohbayashi：
Research Institute for Environmental Sciences
and Public Health of Iwate Prefecture
(1-36-1 Iiokashinden, Morioka-city, Iwate, 020-0852 Japan)

Abstract

Illegally dumped industrial wastes in border areas of Iwate and Aomori prefecture have become a social problem in Japan. These wastes have been examined for practical use as concrete production materials in addition to melting processes. Municipal solid wastes have been examined using melting processes. However, few illegal wastes were investigated in this way.

This study used chemical investigation to elucidate characteristics of these waste materials as recycled materials and treated waste materials using melting processes.

These waste materials have different organizations in each burial area, but the following are tentative results. Principal components were silica, alumina, ferrite and calcium oxide. Compared with municipal solid wastes, these wastes have high ratios of ash. Furthermore, the calorific value of these waste materials was about 1/6.

Exhaust gases of incineration and melting process were not harmful. We conclude that the molten slag might be useful as an aggregate material for concrete because heavy metals did not outflow from it.

Key words: illegal dumped waste, chemical analysis, melting process, molten slag, heavy metal concentration