

# 廃棄物再生利用における環境影響評価について

## (廃棄物処理施設等における再生利用促進事業)

中村公生・森下敏朗・岩佐美紀子・立山 諒・富山幸子\*・関戸知雄\*\*

### **Environmental Impact Assessment of Waste Recycling**

(Promotion of recycling in solid waste treatment facilities)

Kimio NAKAMURA, Toshiroh MORISHITA, Mikiko IWASA, Ryou TACHIYAMA,  
Sachiko TOMIYAMA and Tomoo SEKITO

#### Abstract

Elution and content analysis according to JIS were conducted on construction materials such as asphalt pavement and concrete products using molten slag generated from a solid waste treatment facility. And availability leaching test was also performed to the products. It was found that the concentrations of hazardous heavy metals leached from the products containing slag were significantly low. However lead concentration leached from molten slag was widely varied between lots. It was concluded that storage of slag is necessary to smooth the lead contents in slag. And improvement of manufacturing process would be effective on the improvement of slag quality.

Key words : slag, elution analysis, content analysis, asphalt pavement, concrete product

#### はじめに

循環型社会の形成のためには、廃棄物のリサイクルを促進することにより、最終処分する廃棄物の量を減少させることが最も重要である。特に、廃棄物処理施設等から発生する溶融スラグ等は、建設資材等として有効活用することにより、最終処分量の大幅な減少が可能である。

しかしながら、本県においては、溶融スラグ等の化学的安定性、安全性や物理強度等、有効活用のための知見が十分ではなく、また解決すべき課題も残されているため、ほとんどが最終処分（埋立処分）されているのが現状である。

本県では、これらの課題を克服するため、平成20年度から22年度にかけて産学官が連携して「廃棄物処理施設等における再生利用促進事業」を実施した。

この事業において、当所は宮崎大学工学部等と共同で溶融スラグの環境影響評価試験(化学試験)を行い、環境への安全性を評価したので、その結果を報告する。

#### 試料及び試験方法

##### 1 試料

以下の試料を用いた。試料の採取は宮崎大学工学部等が行った。

##### 1) 溶融スラグ

県内の廃棄物処理施設で発生した溶融スラグ。この施設では廃棄物をストーカ炉(579t/日)で焼却し、発生した焼却灰及び飛灰をプラズマ式灰溶融炉(70t/日)で溶融している。発生した溶融スラグは水砕されている<sup>1)</sup>。

##### 2) 溶融スラグ混合アスファルト舗装材

環境科学部 \*現環境森林課, \*\*宮崎大学工学部

溶融スラグを混合し試験舗装された道路から採取した、アスファルト舗装材。

### 3) 溶融スラグ混合コンクリート製品試作品

溶融スラグの割合を変えて混合し試作したコンクリート製品。

## 2 試験方法

以下の3種類の試験を実施した。検液調製は全て宮崎大学工学部が行い、検液中の重金属等分析は当所が行った。重金属等分析は水銀を還元気化原子吸光法、フッ素をランタン-アリザリンコンプレキソン吸光光度法、ホウ素をICP発光分析法で行い、他の項目はICP-質量分析法で分析した<sup>2)</sup>。

### 1) JIS 溶出量試験<sup>3)</sup>

JIS K 0058-1 に準拠して行った。すなわち、粗砕試料 50g に 500mL の純水を加え、毎分 200 回で 6 時間振とう溶出後遠心分離した上澄み液をろ過して検液とした。

### 2) JIS 含有量試験<sup>4)</sup>

JIS K 0058-2 に準拠して行った。すなわち、粗砕試料 6g に 200mL の 1mol/L 塩酸を加え、毎分 200 回で 2 時間振とう溶出後遠心分離し上澄み液をろ過して検液とした。

### 3) 溶出量等のロット間変動調査

ロットの違いによる溶出量等の差異をみるため、平成 19 年から 20 年にかけて約 1 年間にわたり概ね 1 週間ごとに採取した 43 ロットの溶融スラグについて、各々 JIS 溶出量試験と含有量試験を行った。この場合の溶出は JIS に準拠した攪拌溶出で実施した。

### 4) アベイラビリティ試験<sup>5)</sup>

各試料の安定性を確認するため、最大溶出可能性を評価する方法として知られているアベイラビ

リティ試験を行った。この試験方法は、pH4 及び pH12 の過酷な環境下で溶出する重金属等の量を測定する方法である。

#### a) 酸系列

破碎試料 16g に 800mL の純水を加え、pH6.5 ~ 7.5 になるように pH 調整しながら 3 時間攪拌溶出後ろ過して酸系列 pH7 の検液とした。次に、ろ過残渣に再び 800mL の純水を加え、pH4 になるように pH 調整しながら 3 時間攪拌溶出後ろ過して酸系列 pH4 の検液とした。

#### b) アルカリ系列

破碎試料 16g に 800mL の純水を加え、pH6.5 ~ 7.5 になるように pH 調整しながら 3 時間攪拌溶出後ろ過してアルカリ系列 pH7 の検液とした。次に、ろ過残渣に再び 800mL の純水を加え、pH12 になるように pH 調整しながら 3 時間攪拌溶出後ろ過してアルカリ系列 pH12 の検液とした。

## 結果及び考察

### 1 JIS 溶出量試験及び同含有量試験結果

溶融スラグ、溶融スラグ混合コンクリート及び同アスファルトの JIS 溶出量試験結果を Table 1 に示し、JIS 含有量試験結果を Table 2 に示した。

表中、アスファルトコアは、試験舗装された道路から施工 1 ヶ月後に採取したアスファルト舗装材であり、溶融スラグは舗装材の骨材中に 10% の割合で混合されている。

コンクリートブロックはコンクリート製品試作品であり、溶融スラグはそれぞれの骨材中に 0%、10%、30% の割合で混合されている (0% は混合な

Table 1 Results of elution analysis (JIS) (mg/L)

	Pb	T-Cr*	As	Se	Cd	B	F	Hg
JIS 基準 <sup>6), 7)</sup>	0.01	0.05 (Cr(6))	0.01	0.01	0.01	1	0.8	0.0005
アスファルトコア	0.0008	0.0020	0.0082	<0.001	<0.00005	0.02	<0.08	<0.0005
アスファルト用溶融スラグ	0.0005	<0.0005	0.0005	<0.001	0.00019	0.20	<0.08	<0.0005
コンクリートブロック0%	0.0029	0.018	<0.0005	<0.001	0.00011	<0.01	<0.08	<0.0005
コンクリートブロック10%	0.0042	0.022	0.0006	<0.001	0.00019	<0.01	<0.08	<0.0005
コンクリートブロック30%	0.0049	0.022	0.0005	<0.001	0.00009	<0.01	<0.08	<0.0005
コンクリート用溶融スラグ	<0.0001	0.0005	0.0005	<0.001	<0.00005	0.05	<0.08	<0.0005

\* 今回の Cr の結果は T-Cr で示した (基準は Cr(6))。

Table 2 Results of content analysis (JIS) (mg/kg)

	Pb	T-Cr*	As	Se	Cd	B	F	Hg
JIS 基準 <sup>6), 7)</sup>	150	250(Cr(6))	150	150	150	4000	4000	15
アスファルトコア	3	170	1.4	0.8	0.1	8	<400	<1.5
アスファルト用溶融スラグ	45	290	0.7	2.2	0.4	170	<400	<1.5
コンクリートブロック0%	14	90	5.8	1.0	0.4	22	<400	<1.5
コンクリートブロック10%	18	51	8.3	1.1	0.5	28	<400	<1.5
コンクリートブロック30%	21	64	8.3	1.2	0.6	40	<400	<1.5
コンクリート用溶融スラグ	19	240	0.6	2.0	0.2	144	<400	<1.5

\* Crの結果はT-Crで示した(基準はCr(6)). T-Cr値が高めの検体については、別途Cr(6)値が基準内であることを確認済み。

しの場合)、また、アスファルト用とコンクリート用の溶融スラグは別ロットのものである。

試験結果は、JISの規定どおり重金属類各項目について、溶出量試験については検液中の濃度で示し、含有量試験については試料1kgあたりの重金属類量に換算して示した。結果は繰り返し3回の平均値である。

溶出量試験、含有量試験いずれについても、全試料の試験結果がJISの基準に適合するものであった。

## 2 溶出量等のロット間変動調査結果

Pb溶出量のロット間変動をFig. 1に示し、Cd及びAsについての結果をFig. 2に示した。結果は検液中の濃度で示し、濃度は繰り返し3回の平均値である。Pb、Cd及びAsの溶出量について、全検液(全てのロットのスラグ)の結果がJISの基準に適合していた。また、Pb(平均値0.73μg/L)については、低濃度の試料が多かったものの値には大きな変動がみられ、一部は基準値の1/2程度の値も見られた。CdについてもPb同様の変動傾向であった。Asについては約半数の検液が定量下限値(0.5μg/L)未満(Fig. 2では0.5μg/Lで表示)であり、変動幅はPbやCdよりも狭いものの、やはり変動がみられた。なお、JISで基準が定められている他の元素についても、同様に値に変動はあるものの、基準には適合する結果であった。

Pb含有量試験結果のロット間変動をFig. 3に示し、Cd及びAsについての結果をFig. 4に示した。結果は溶出量の場合と同じく繰り返し3回の平均値である。Pb、Cd及びAsの含有量試験についても、全検液(全てのロットのスラグ)の結果

がJISの基準に適合していた。値の変動幅については、各元素とも溶出量試験と同様の傾向であった。また、Pb(平均値62mg/kg)は基準値内ではあるものの高含有量域で値が変動しており、基準値に近い値も見られた。

一方、Cd(平均値0.65mg/kg)とAs(平均値0.71mg/kg)は基準値と比べて極めて低いレベルの値での変動であった。なお、他の元素についても、同様に値に変動はあるものの、基準には適合する結果であった。

これらのことから、溶融スラグの重金属類溶出量試験、含有量試験の結果については、製造ロットによって値が大きく異なることが分かった。さらに、Pbについては、基準内とはいえ特に含有量試験において、高値を示すスラグが一部存在していることも分かった。このため、溶融スラグ製造工程の管理に留意するとともに、ある程度の量をストックして濃度を平均化する工夫が必要であるものと考えられる。

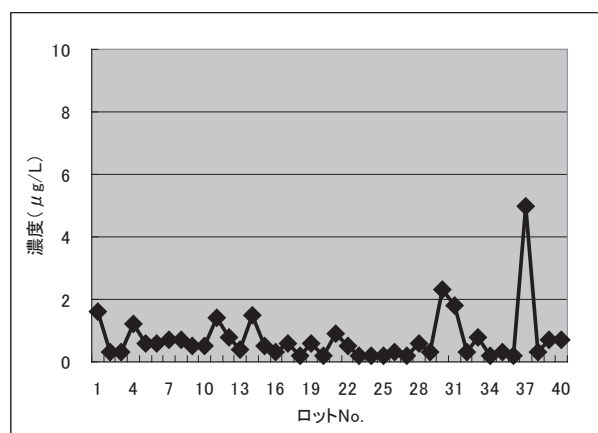


Fig.1 Variation of Pb concentrations leached from molten slag

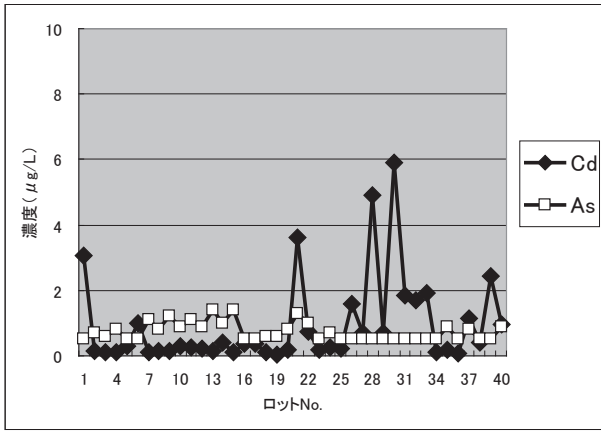


Fig.2 Variation of Cd and As concentrations leached from molten slag

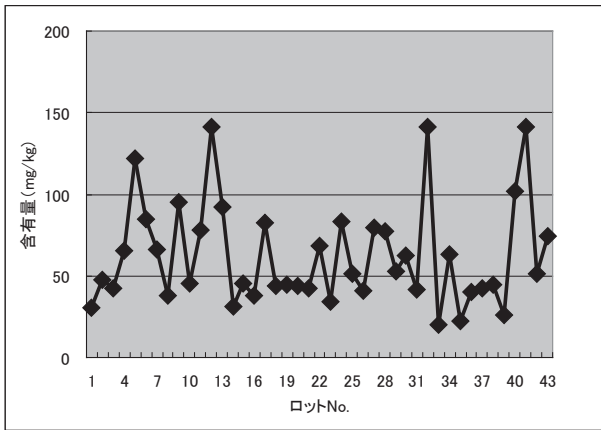


Fig.3 Variation of Pb contents in molten slag measured by JIS analysis method

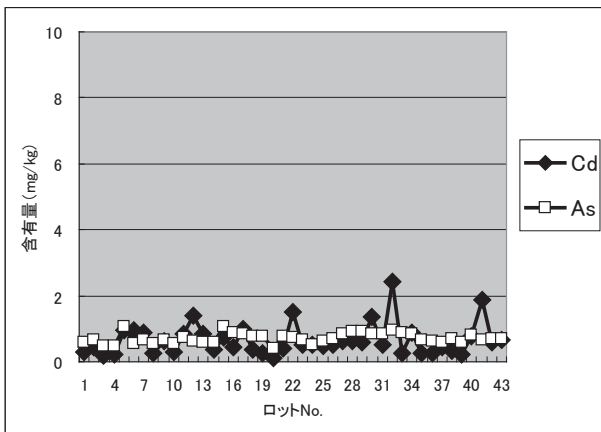


Fig.4 Variation of Cd and As contents in molten slag measured by JIS analysis method

### 3 アベイラビリティー試験結果<sup>8)</sup>

溶融スラグ及び溶融スラグ混合アスファルト舗装材のアベイラビリティー試験結果を Fig.5～7 に示した。

溶融スラグはアスファルト舗装材に使用される骨材中に 10%の割合で混合し、アスファルト舗装材（アスファルトコア）の採取は、施工 1 ヶ月後と 1 年後に行った。対照として、溶融スラグを混合しない通常の骨材のみを使用したアスファルト舗装材の場合（混合率 0%）とアスファルトのみ（骨材抜き）の場合も試験した。

試験結果は、酸系列とアルカリ系列それぞれ、重金属類溶出量を各試料 1kg あたりに換算して示したが、アスファルトのみや溶融スラグ混合率 0%の場合と比べて、溶融スラグを 10%混合しても溶出量には大差なく、施工後 1 年経過しても、溶出量の増加は認められないことが分かった。

溶融スラグ混合コンクリートブロック等のアベイラビリティー試験結果を Fig.8～10 に示した。

溶融スラグはアスファルト舗装材用とは別ロットのものを使用し、コンクリートブロック用骨材中に 10%及び 30%の割合で混合した。対照として、溶融スラグを混合しない通常の骨材のみを使用したコンクリートブロックの場合（混合率 0%）も試験した。

試験結果から、アスファルト舗装材の場合と同様にコンクリートブロックの場合も溶融スラグを 10%混合しても溶出量には大差なく、混合率を 30%に上げて、溶出量の増加は認められないことが分かった。

前述したように、アベイラビリティー試験は実環境に比べてかなり過酷な条件での溶出試験であるので、今回の結果から見て、今回の混合率程度なら、溶融スラグをアスファルト舗装材やコンクリート製品に混合しても環境への影響は問題ないレベルであることを確認できた。

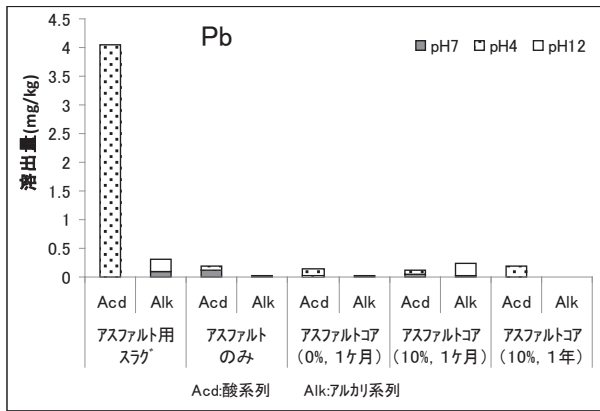


Fig.5 Pb concentrations leached by availability test from molten slag and asphalt pavement using molten slag

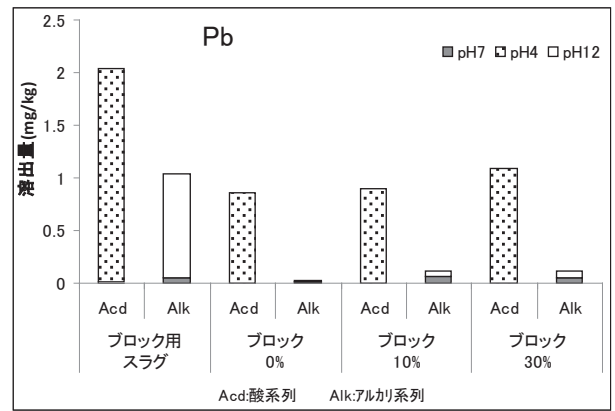


Fig.8 Pb concentrations leached by availability test from molten slag and concrete products using molten slag

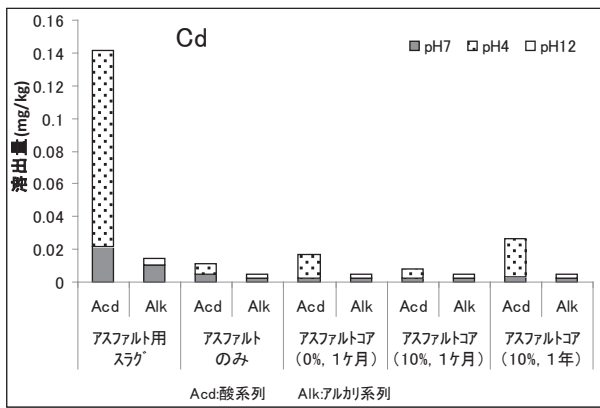


Fig.6 Cd concentrations leached by availability test from molten slag and asphalt pavement using molten slag

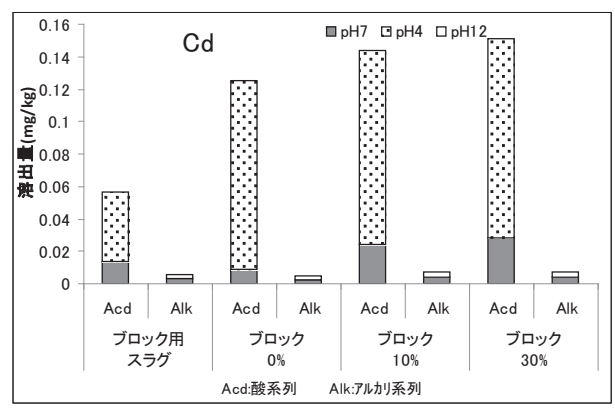


Fig.9 Cd concentrations leached by availability test from molten slag and concrete products using molten slag

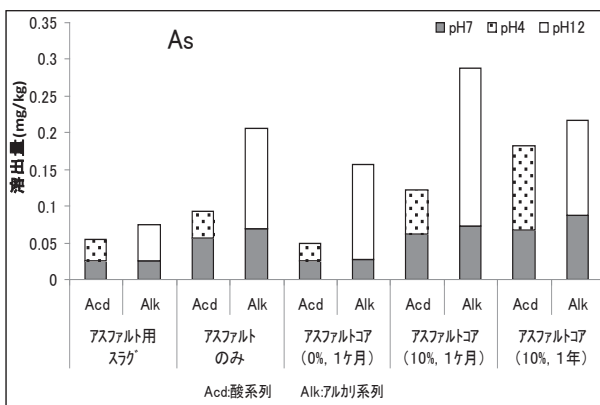


Fig.7 As concentrations leached by availability test from molten slag and asphalt pavement using molten slag

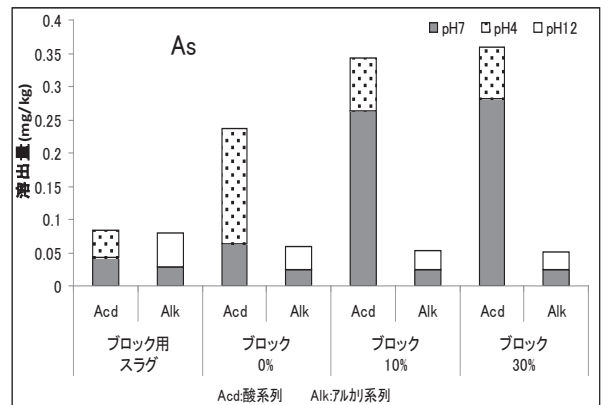


Fig.10 As concentrations leached by availability test from molten slag and concrete products using molten slag



## まとめ

1 溶融スラグ自体及び溶融スラグを混合したアスファルト舗装材やコンクリート製品試作品についての各種溶出試験結果は、アベイラビリティ（長期環境影響評価）試験を含めて良好であり、重金属等による環境への影響は極めて小さいことが認められた。これにより、溶融スラグをアスファルト舗装やコンクリート製品に混合して利用することは環境面からは問題ないことを確認できた。

2 ただし、溶融スラグについては、鉛等の含有量と溶出量のロット間変動があるので、ある程度の量をストックして濃度を平均化する必要がある。また、溶融スラグ製造工程の管理も重要である。

3 今後、溶融スラグ利用の試験舗装や試作・試験施工等をさらに進め、性能・環境影響評価を実施するとともに、ガイドラインの策定等により溶融スラグ活用システムを構築する必要がある。

なお、溶融スラグを利用したアスファルト舗装試験施工区間の物性面及び溶融スラグ混合コンクリート製品試作品の物性面についても良好な試験結果であることを、別途、廃棄物処理施設等における再生利用促進事業の物性試験グループにより確認済みである。

## 謝辞

この報告は、本県で行った産学官連携の「廃棄物処理施設等における再生利用促進事業」における研究成果の一部である。この事業に参加され、溶融スラグの提供、アスファルト試験舗装及びコンクリート製品試作等でご尽力いただいた関係者の皆様に深く感謝します。

## 参考文献

- 1) 関戸知雄他：都市ごみ溶融スラグの重金属溶出量変動と溶出試験方法の違いに関する研究，平成 21 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，2009
- 2) 中村公生他：ICP-質量分析法による超微量元素同時分析，当所年報第 20 号，2008
- 3) 日本工業規格 JIS K0058-1-2005
- 4) 日本工業規格 JIS K0058-2-2005
- 5) 平成 19 年度廃棄物処理等科学研究総合研究報告書，2008
- 6) 日本工業規格 JIS A5031-2006
- 7) 日本工業規格 JIS A5032-2006
- 8) 関戸知雄他：都市ごみ溶融スラグ利用製品の環境影響と物理的性状評価，平成 23 年度廃棄物資源循環学会春の研究討論会発表ポスター，2011