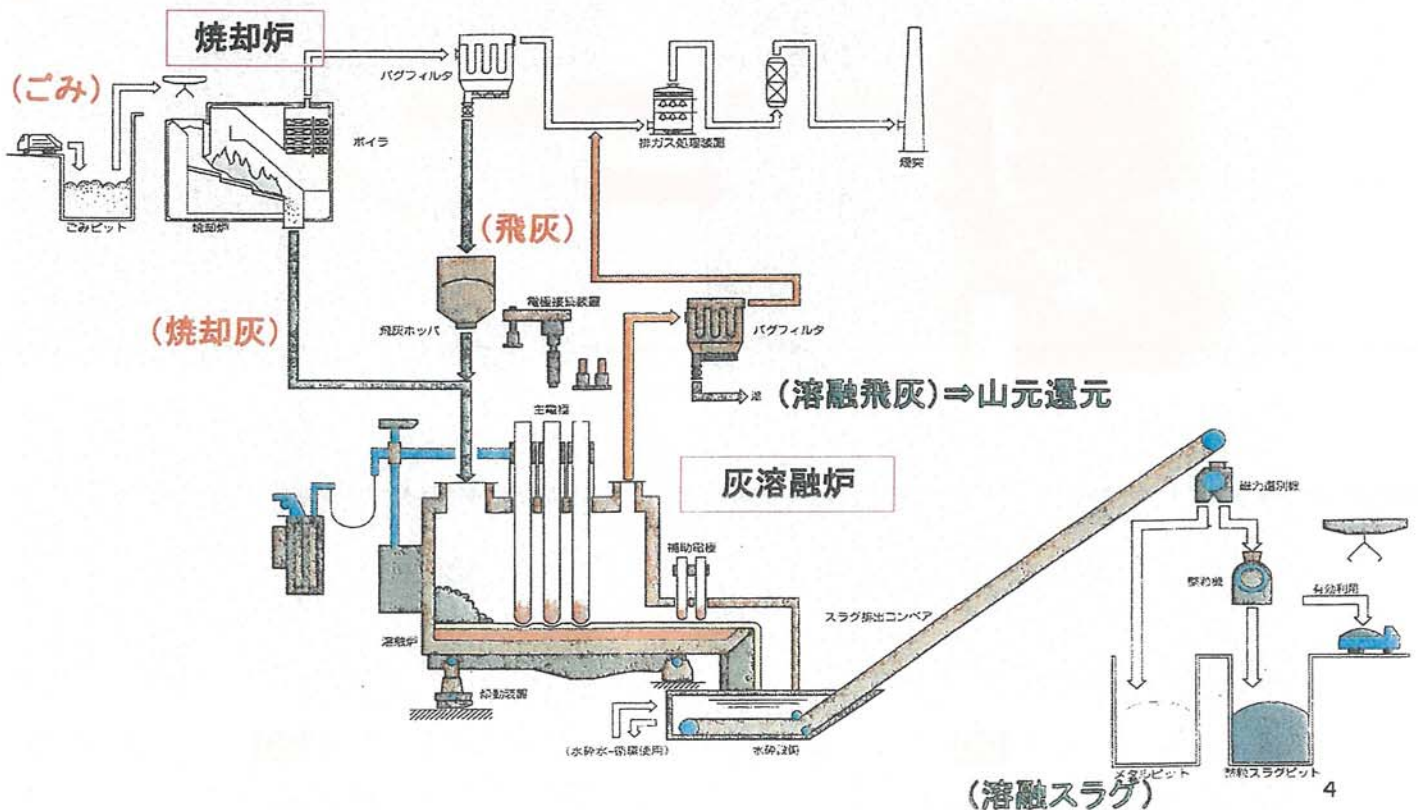


1. 熔融スラグ（エコスラグ）とは

ごみ（一般廃棄物）と下水汚泥およびこれらの焼却残渣を溶融処理してできるスラグで産業廃棄物を含むことがある

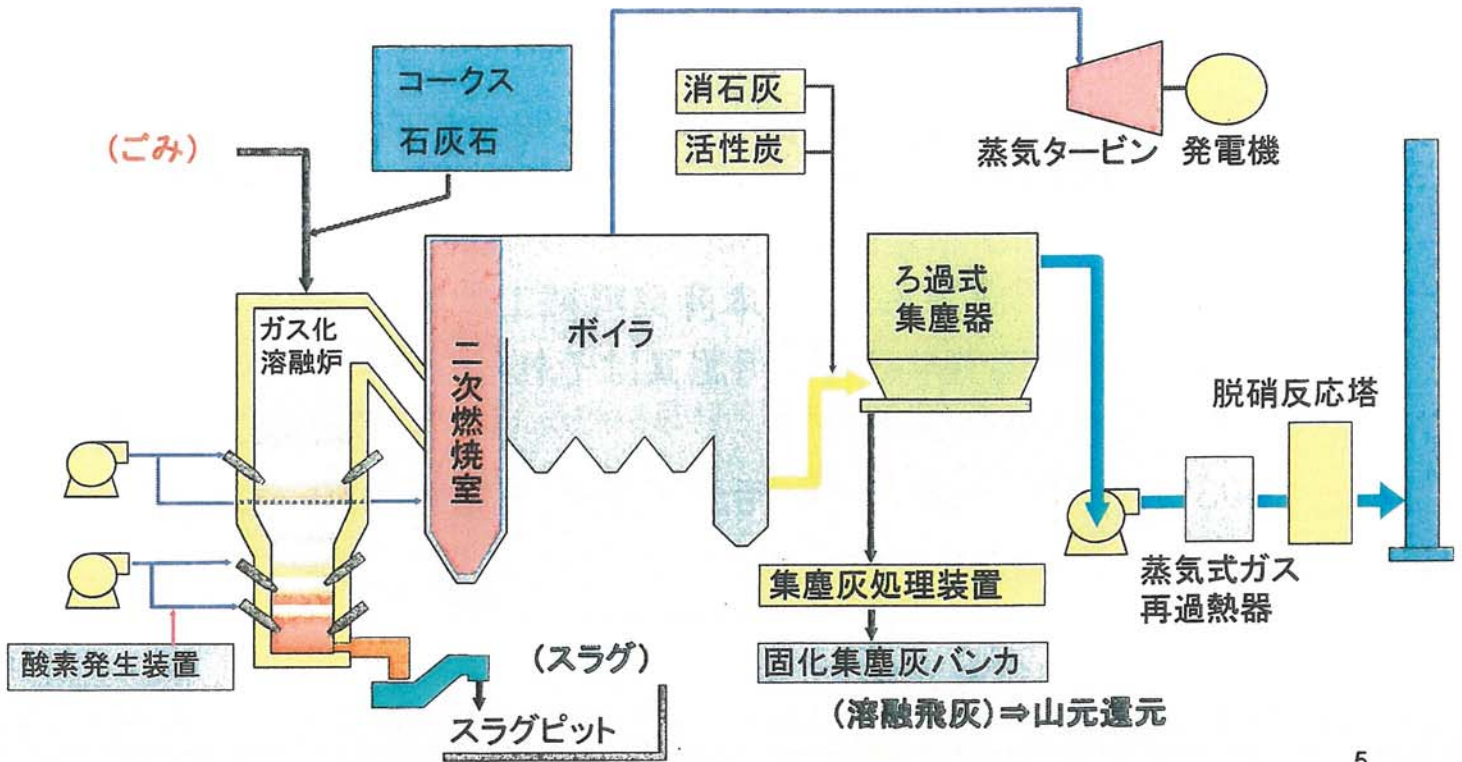
3

焼却炉+灰溶融炉の処理フローの例

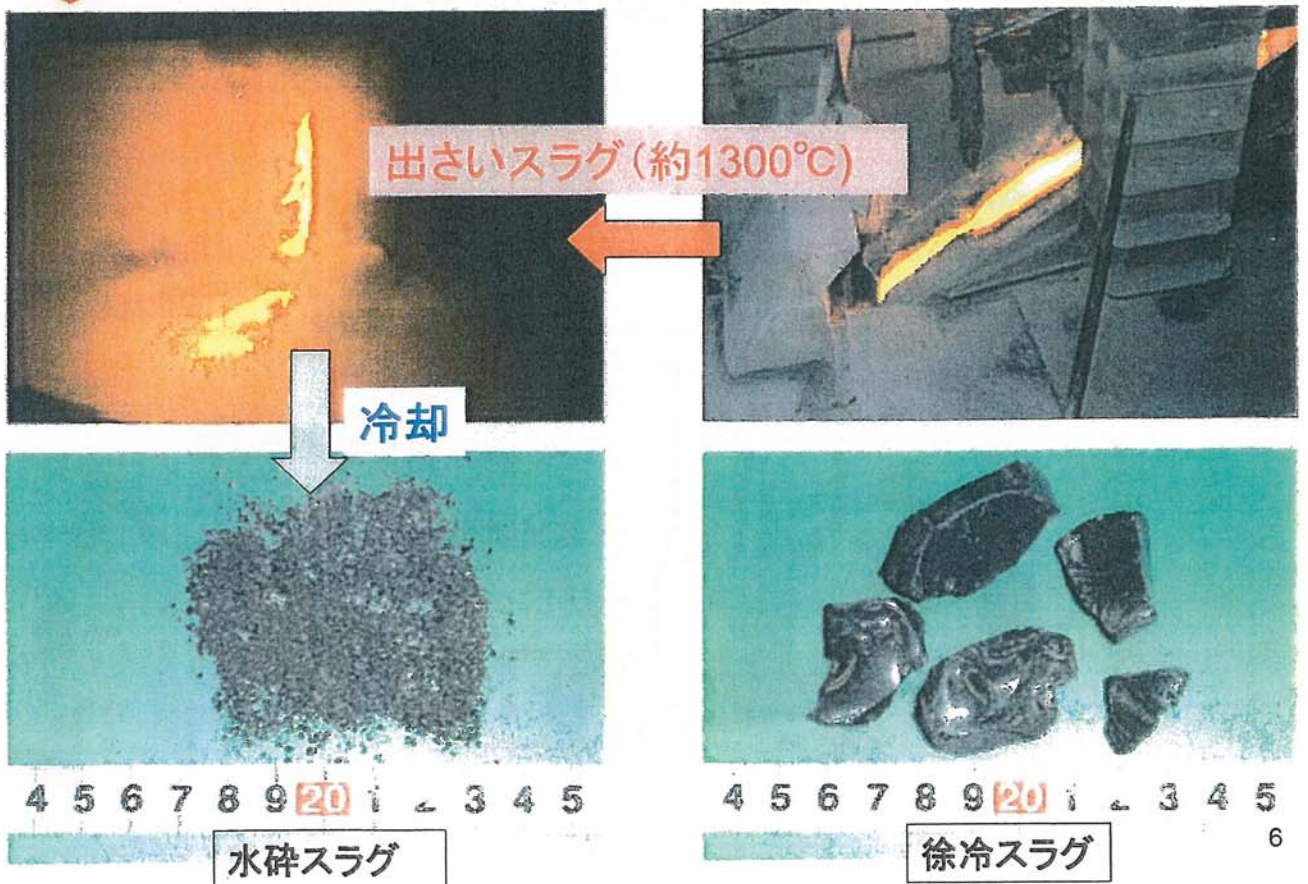


4

ガス化溶融炉のフロー例(シャフト式)



水砕スラグ / 徐冷スラグ

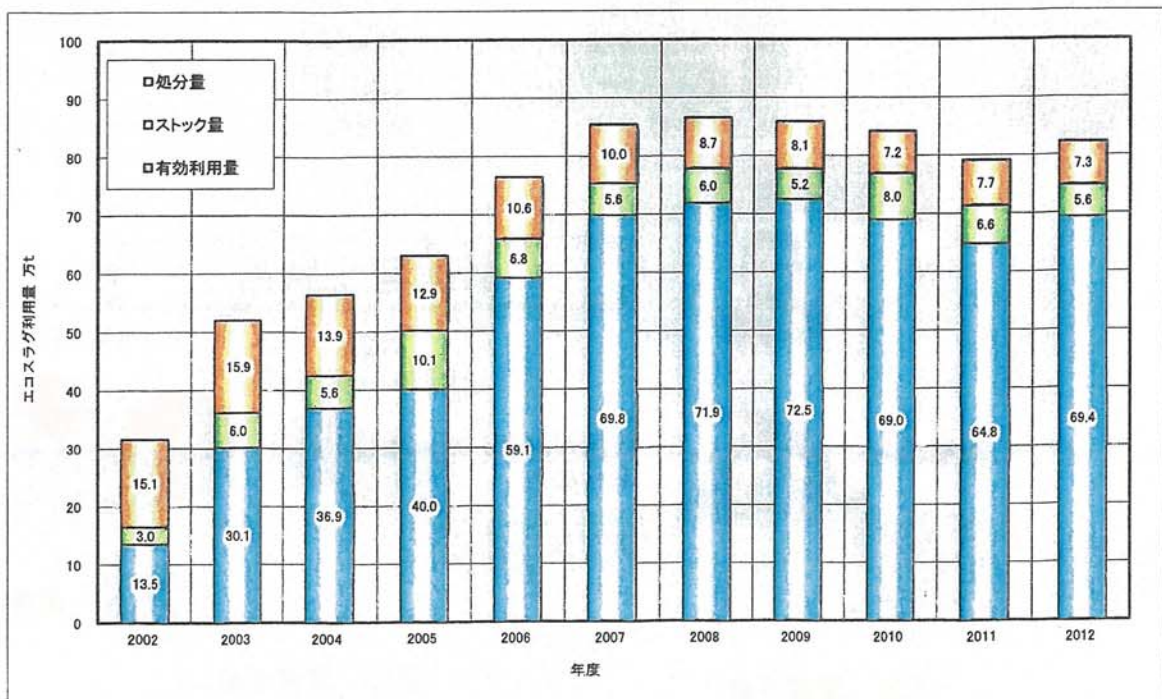


溶融施設のごみ処理量(2012年度)

全国の中間処理施設での直接焼却量 (万t)	溶融施設合計処理量 (万t)	ガス化溶融施設 (万t)	灰溶融炉併設焼却施設 (万t)	独立型灰溶融施設 (万t) スラグ量より推定
3,399 (100%)	1,235 (36%)	456	525	推計 254

12

エコスラグ利用量の推移



14

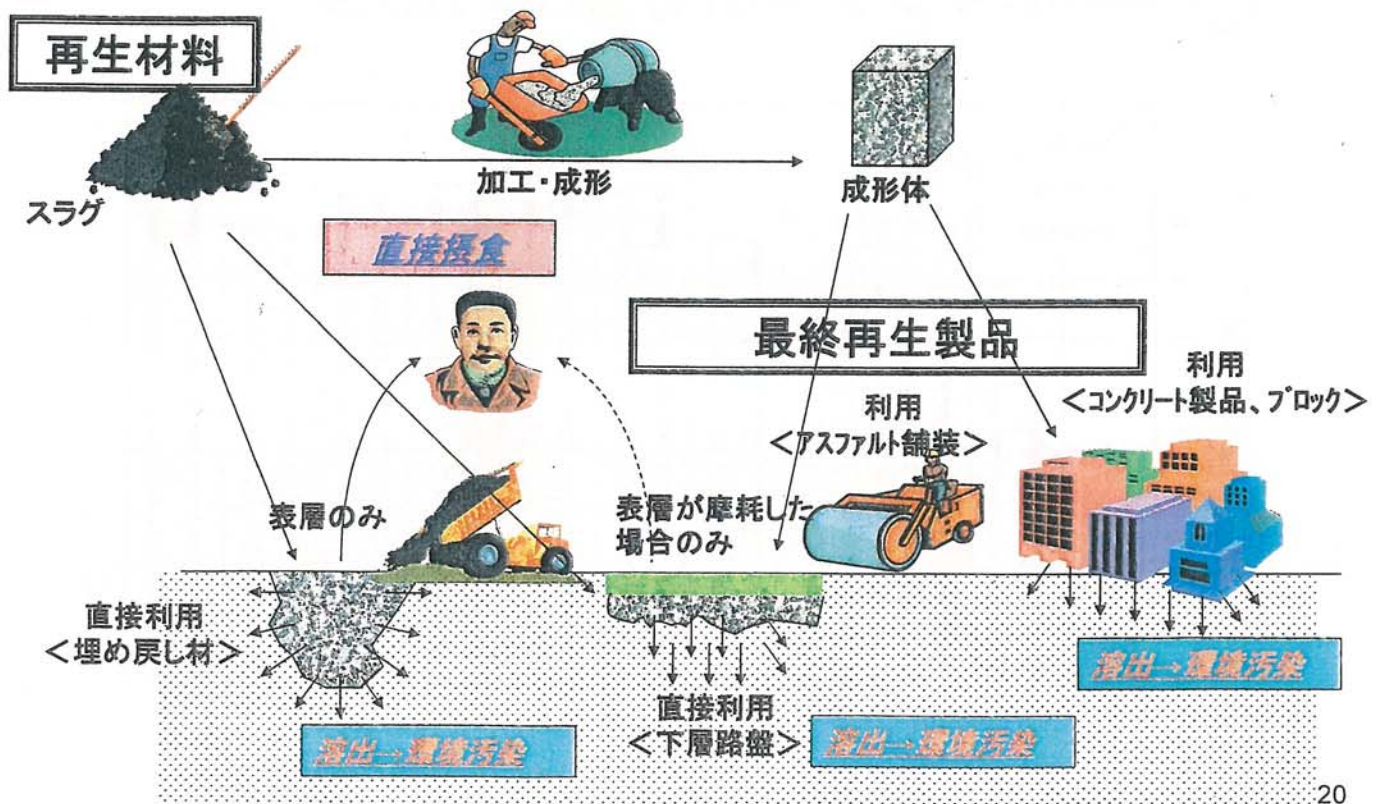
東京都のエコスラグ生産量(トン)

県	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
東京都	111,100	110,100	88,100	57,500	66,700
全国合計	866,100	857,300	841,600	791,200	821,200

エコスラグ利用普及委員会

17

スラグの有効利用形態と安全性評価



20

安全品質の基準

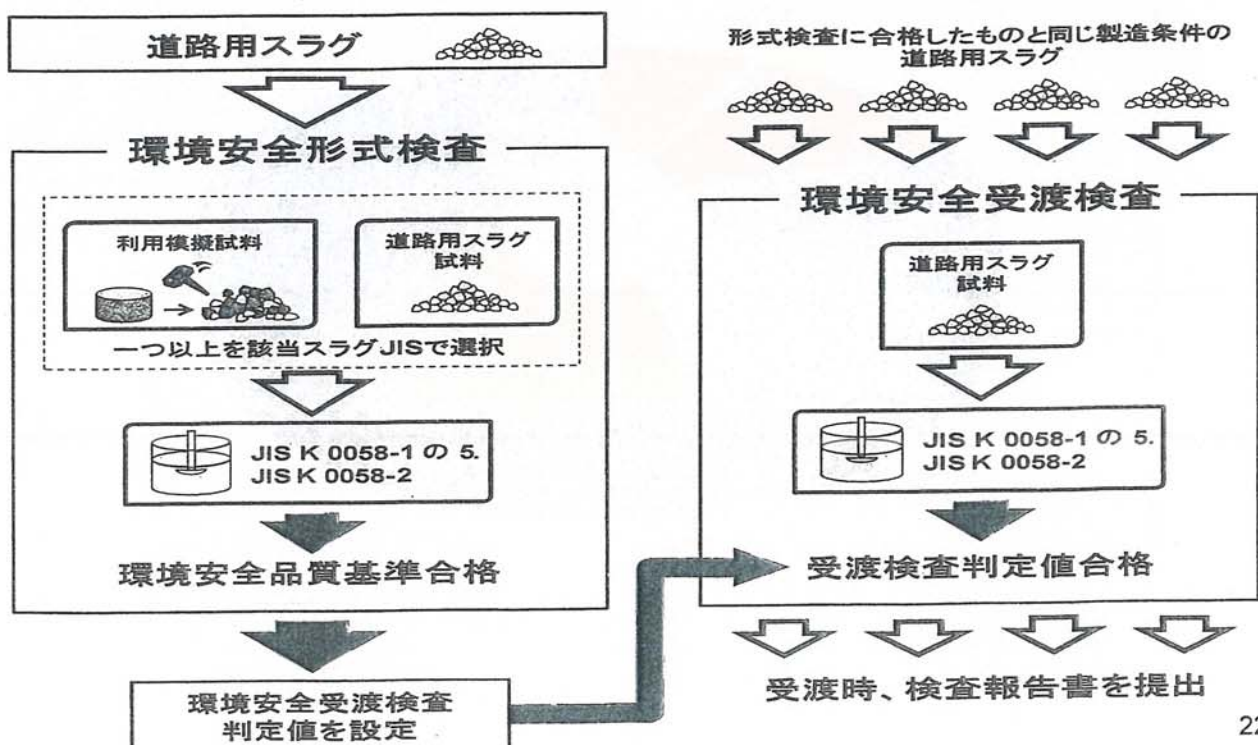
有害物質の溶出量と含有量

項目	溶出量基準 (mg / l以下)	含有量基準 (mg / kg 以下)
1. カドミウム	0.01	150
2. 鉛	0.01	150
3. 六価クロム	0.05	250
4. 砒素	0.01	150
5. 総水銀	0.0005	15
6. セレン	0.01	150
7. ふっ素	0.8	4000
8. ほう素	1	4000

21

環境安全品質及びその検査方法を

導入するための指針 (平成24年3月 経済産業省)

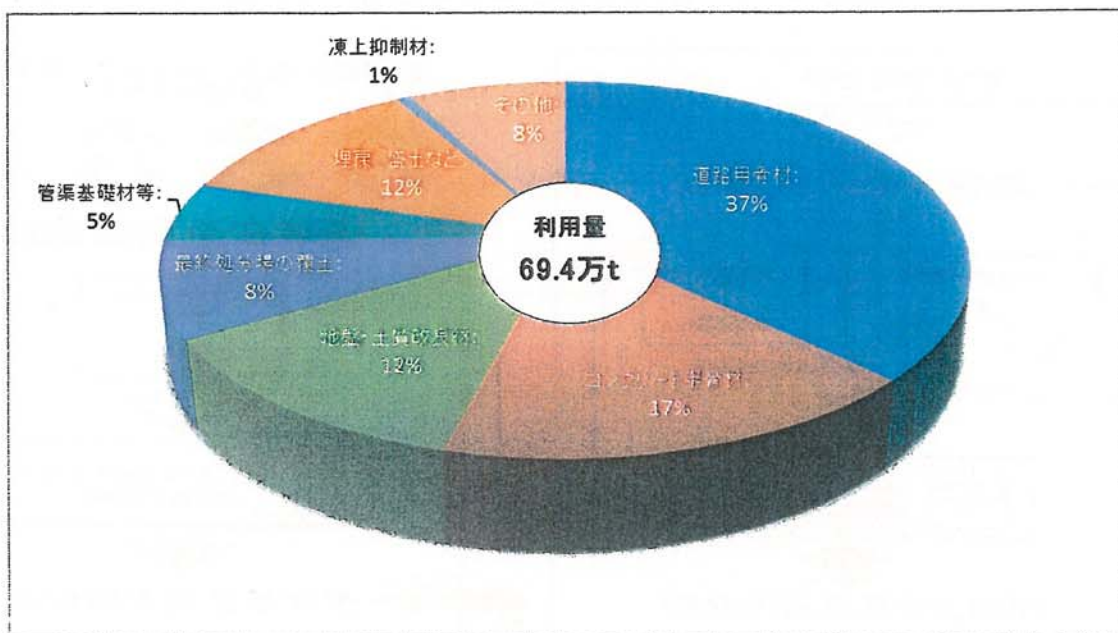


22

4. スラグ有効利用の実施例

23

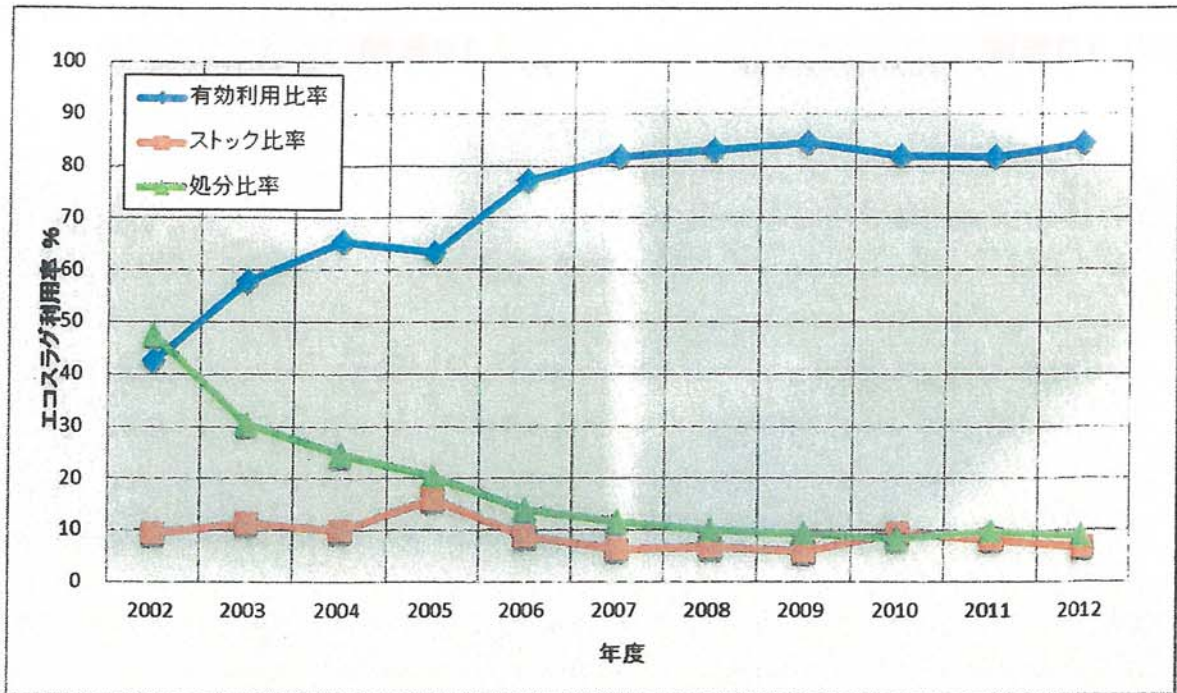
エコスラグの全国利用実績例(2012年度)



24



エコスラグ利用率推移



25



道路用

アスファルト舗装



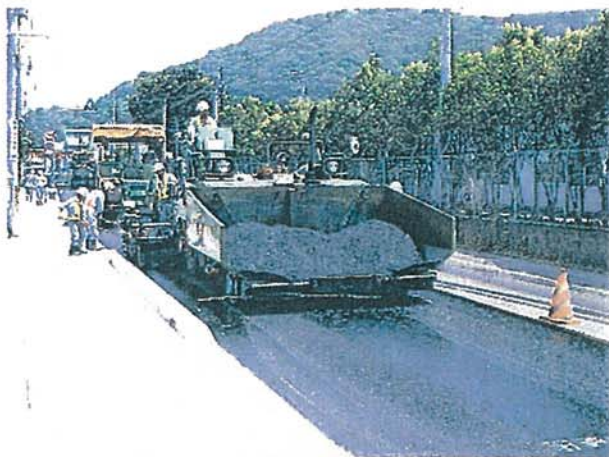
路盤材



26

アスファルト混合物利用の事例（公道長期追跡調査）

アスファルト混合物にエコスラグを利用し**10年間**の長期追跡調査



アスファルト混合物にエコスラグを利用し**12年間**の長期追跡調査



溶融スラグを利用した工区は通常材を利用した工区と比較して同等以上の路面性状が確保され、長期供用性に問題は無いことが判った。

有害物質の含有量試験、溶出量試験で、**環境安全性の問題は無かった。**

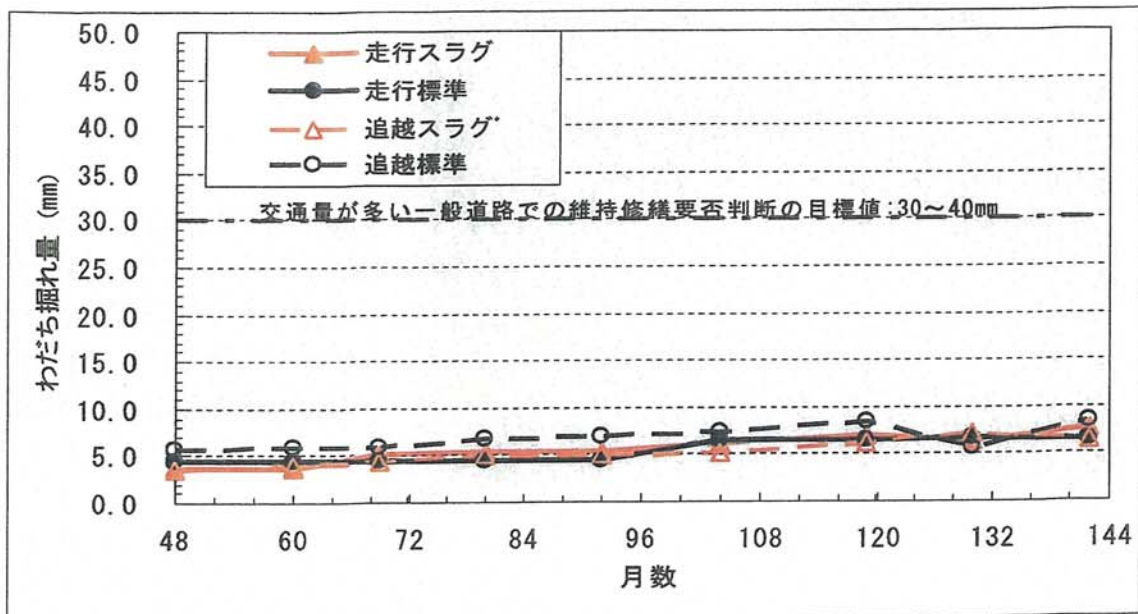
27

わだち掘れの測定状況



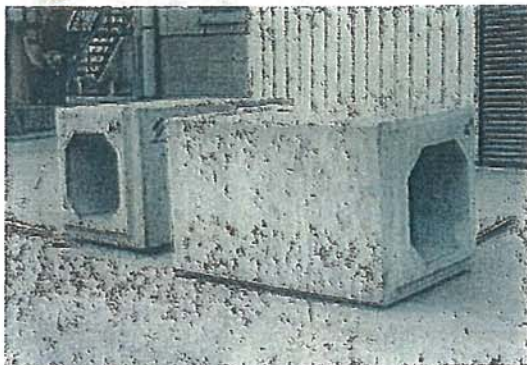
わだち掘れ量の経年変化

舗装 46, pp13-16(2011.3)

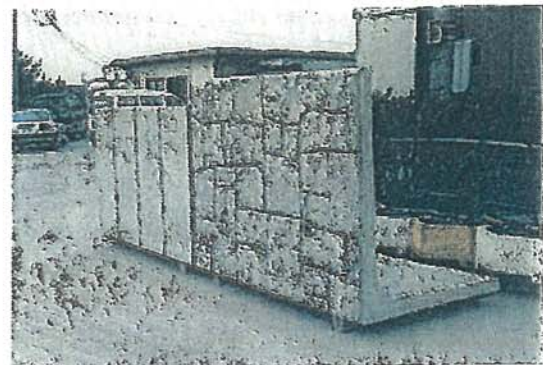


29

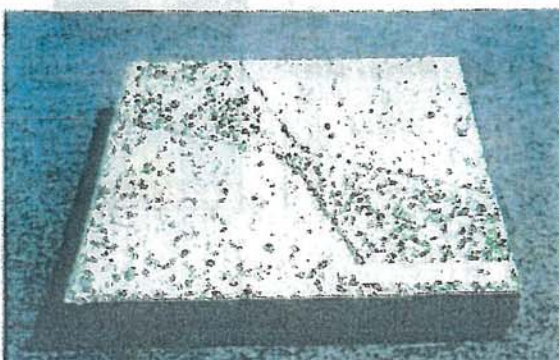
利用例 ② (コンクリート製品)



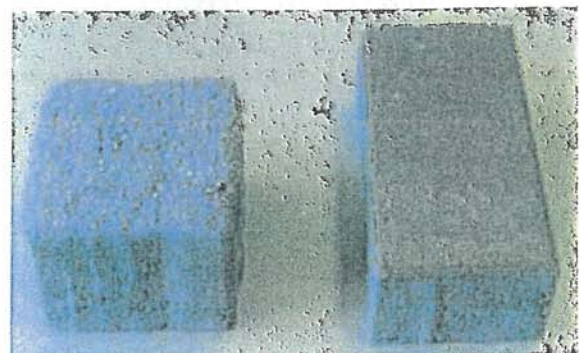
1. ボックスカルバート



2. L型擁壁



3. タイル



4. インターロッキングブロック

30

コンクリート二次製品の骨材利用の事例

(出展: エコスラグ利用普及センター)

都内の国道沿の歩道に施工事例: 国の直轄工事



溶融スラグを約510トン使用
 ・細骨材として骨材割合30%の透水性擬石平板を約13万枚製造
 ・細骨材として骨材割合10%の透水性点字平板を約4千枚製造。

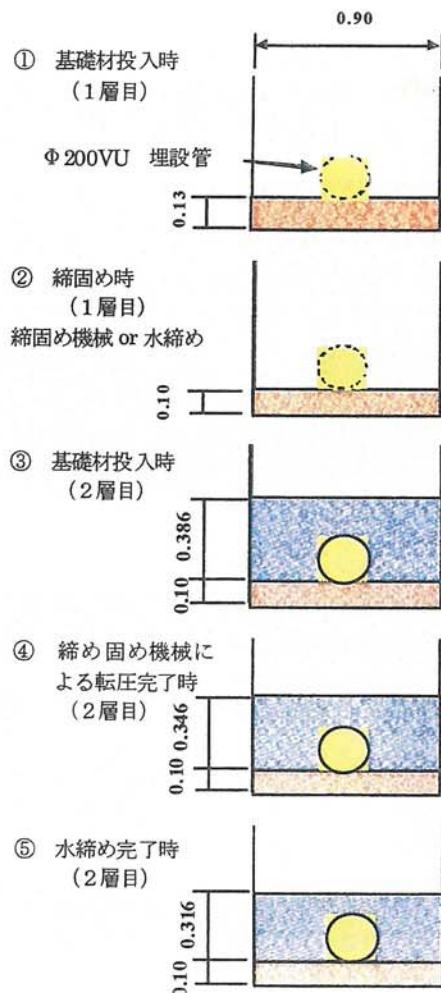


下水道工事の管基礎材

出展: エコスラグ2005コンフェランス

福山市では、管基礎材として従来用いていた高炉スラグとの特性を比較するための

- ・試験施工を実施し
- ・2004年7月より実用化し
- ・2010年度で7600トンを利用した



下水道工事の管基礎材(試験施工状況)

写真1 1層目の施工



写真2 2層目タンパ転圧



写真3 2層目の水締め



33

下水道工事の管基礎材(試験施工の結果)

〔材料特性〕

- ①エコスラグの物理性状・粒径は、高炉水砕スラグとほぼ同等
- ②高炉水砕スラグに比べ、透水性が高い

〔施工結果〕

- ③砂と同様に水締めによる施工が可能
- ④締固め機械による転圧で、十分な締固めが確認
- ⑤管基礎材料として十分使用できることを確認
- ⑥高炉水砕スラグに比べて比重が小さく、敷きならす作業が容易

〔留意点〕

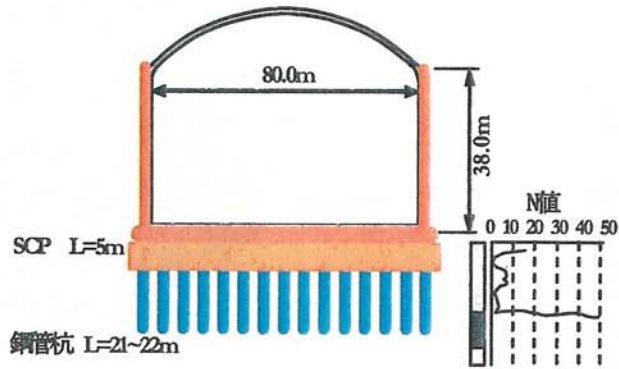
- ⑦管下部への材料の廻りに留意して、突固めを行う必要がある

34



地盤改良工事 サンドコンパクションパイル工法

LNGタンク断面図 (SCP杭723本)



工事施工全景 (水島LNG基地)



35

熔融スラグ入り改良土へ利用

写真 スラグ入り改良土の製作状況
(愛知県春日井市)

改良土は土堰堤として利用した

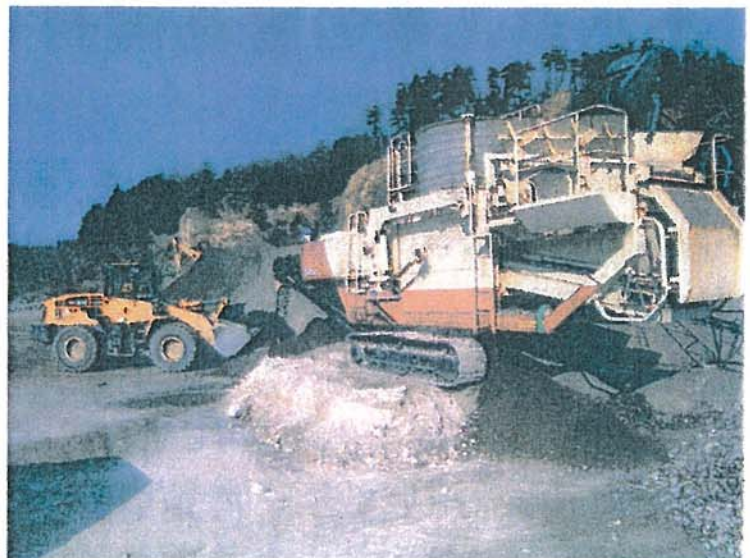


表 スラグ入り改良土の力学的試験結果

試験項目		スラグ入り改良土 (スラグ30%)	スラグ入り改良土 (スラグ50%)
突固め試験	最適含水比 (%)	8.8	8.5
	最大乾燥密度 (g/cm ³)	2.056	2.088
コーン指数 (kN/m ²)		5,309	8,704
一軸圧縮試験 (N/mm ²)		0.05	測定不可
三軸圧縮試験	c (kN/m ²)	32.0	30.9
	φ (°)	34.9	39.2

36

国土交通省の事例

(出展:エコスラグ利用普及センター)

スーパー堤防整備事業へのスラグ利用(概要)

(1)事業名 新砂地区高規格堤防整備事業
(国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所)

(2)事業場所

東京都江東区新砂三丁目地先
(荒川河口付近)

(3)期間

平成15年6月より

(4)スラグ量 概ね1万トン

(5)位置づけ 試験施工

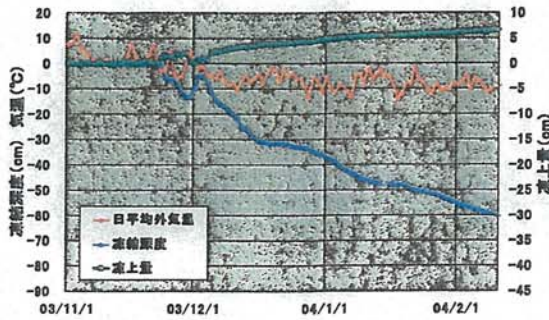
写真 新砂地区高規格堤防整備事業



凍上抑制材としての利用

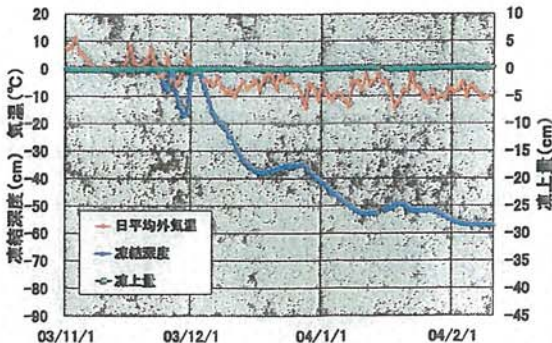
(出展:エコスラグ利用普及センター)

現地土
凍上率
=12.5%



凍上抑制層の施工状況
(西いぶり廃棄物処理広域連合:マルチタワー21 隣接地)

溶融スラグ
凍上率
=0.53%



凍上抑制層実施工例(北見市 越冬後)
手前スラグ、奥側火山灰

北見工大実証データ(鈴木教授提供)

徐冷スラグの利用例(1)



溶融物取出



スラグ徐冷



粗破碎



スケルトンバケットで粒径を整える



石材として出荷



それ以外のものを大有建設機で製品加工



単粒骨材・路盤材等として出荷

39

徐冷スラグの利用例(2)

①名古屋市内河川利用



香流川: 籠マット工詰め石(割ぐり石)
サイズ: 150~200mm



山崎川: 籠マット工詰め石(割ぐり石)
サイズ: 150~200mm

②安城市郷東川

多自然型護岸改修工事 サイズ: 200~300mm

国土交通省技術フェアにパネル出展



改修前



改修中



5年後

植生が回復し、下流から遡上した魚類等の産卵、休息、逃避場所などになり、それを狙う小動物も多数生息。

5. スラグ利用促進に向けて

41

リサイクル製品認定制度(土木建築資材の例)

- 骨材, 砕石, 路盤材, アスファルト製品, 埋戻材・盛土材, 土壌改良材・地盤改良材, 型枠材, コンクリート二次製品, インターロッキングブロック・舗装用コンクリート平板・タイル・ゴムブロック, 木質系舗装材・園路舗装材・透水性舗装材・保水性舗装材, 木質系土木資材・合板・木質パネル・木製工作物・木工品 など



骨材, 砕石, 路盤材



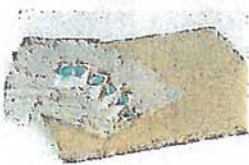
アスファルト製品



埋戻材



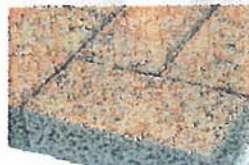
土壌改良材



型枠材



コンクリート二次製品
(L型擁壁)



インターロッキングブロック



木質系舗装材



木製工作物

(写真: 宮城県、富山県、栃木県、大分県のリサイクル認定製品パンフレット)

株式会社エックス都市研究所
山口直久・都築淳作成資料に基づく

42

自治体の指針制定が利用を促進する例

- スラグ単独の粒度分布がJISを満足しない場合でも、他骨材との混合後の粒度が満足する場合は、利用を妨げるものではない。(秋田県)
- 埋め戻し材として利用し、再掘削後、他工事に流用する。・・・適正利用であり廃棄物ではない。(静岡市)
再掘削したスラグの埋め戻し材は、原則として再利用を進めることとする。(むつ市)
- 従来の再生アスファルト混合物と同一単価とする。(岡山県)

43



7.5m × 14.5m × 4区画 (1区画で約380トン 1ヶ月分のスラグを貯留)(合計4ヶ月分を保管) 豊田市渡刈クリーンセンター

2-14-04 ゴミ焼却灰溶融スラグ入りアスファルト舗装

(1) 概要

ゴミ焼却灰溶融スラグ入りアスファルト舗装（以下、スラグ入り舗装）は、家庭から排出される一般ゴミを清掃センターなどが焼却し、さらに溶融したスラグをアスファルト混合物の細骨材の一部に代替した舗装である。

(2) 特長

- 1) 資源の有効活用を図ることができる。
- 2) 最終処分場の延命を図ることができる。
- 3) 高温でのスラグ化处理により、焼却灰中の重金属を封じ込みダイオキシン類を分解するため、有害物質の溶出がない。

(3) 適用場所

- 1) B交通程度
- 2) 公園などの園路舗装

(4) 施工手順

スラグ入り舗装の施工手順は、図-1に示すとおりである。

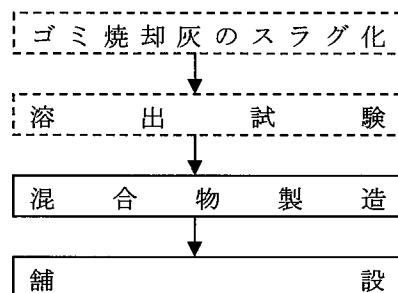


図-1 スラグ入り舗装の施工フロー

(5) 製造および施工上の留意点

- 1) スラグ混入率は、10%程度とする。
- 2) 使用するスラグは溶出基準を満足するものを使用する。

(6) 性状

1) 熔融スラグの性状

熔融スラグの一般的な性状は図-2に示すとおり、7種類のスラグ試料の表乾密度、吸水率がほぼ同等の値を示している。

このことから熔融スラグの性状を以下に示す。

- ・表乾密度：2.45cm³/m³以上
- ・吸水率：3.0%以下

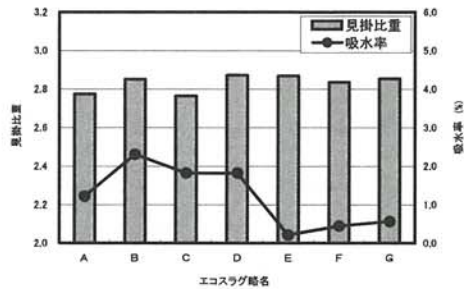


図-2 熔融スラグの性状

2) スラグ入り舗装の性状

①最適アスファルト量

スラグ入り舗装における最適アスファルト量は、スラグの混入量の増加に伴いアスファルト量は減少傾向となる。

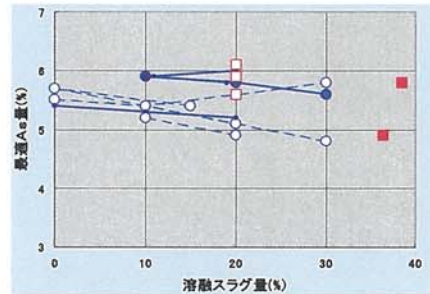


図-3 スラグ混入量と最適アスファルト量の関係

②マーシャル安定度

最適アスファルト量におけるマーシャル安定度は、スラグの混入量の増加に伴い減少傾向となる。

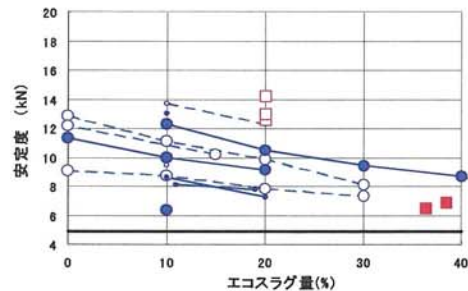


図-4 スラグ混入量とマーシャル安定度の関係

③残留安定度

最適アスファルト量における残留安定度は、スラグ混入率30%でも基準値の75%以上を満足しているが、スラグの混入量の増加に伴い減少傾向となる。

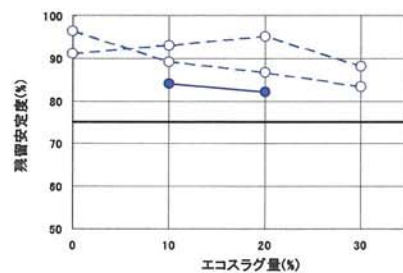


図-5 スラグ混入量と残留安定度の関係

(7) 溶出基準

溶融スラグをアスファルト混合物の骨材に使用する場合、安全性と環境保全を確保するため、表-1に示す基準を満足する必要がある。

表-1 有害物質の溶出および含有基準

項目	溶出基準	含有基準
カドミウム	0.01mg/ℓ以下	150mg/kg以下
鉛	0.01mg/ℓ以下	150mg/kg以下
六価クロム	0.05mg/ℓ以下	250mg/kg以下
砒素	0.01mg/ℓ以下	150mg/kg以下
総水銀	0.0005mg/ℓ以下	15mg/kg以下
セレン	0.01mg/ℓ以下	150mg/kg以下
フッ素	0.8mg/ℓ以下	4,000mg/kg以下
ホウ素	1mg/ℓ以下	4,000mg/kg以下

- 1) 溶出基準及び試験方法は、「土壤汚染に係る環境基準について（平成3年環境庁告示第46号）」に定める基準及び方法とする。
- 2) 含有量基準は、「土壤汚染対策法施行規則第18条第2項」で定める土壤に含まれる特定有害物質の量とし、試験方法は、「土壤含有量調査に係る測定方法（平成15年環境省告示第19号）」に定める方法とする。

環廃対発第070928001号

平成19年9月28日

各都道府県知事・各政令市市長 殿

環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部長

一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施の促進について（通知）

一般廃棄物の高温による溶融固化については、1200℃以上の温度でダイオキシン類を分解し、その削減に有効であるとともに、廃棄物の減容化に資するものである。また、溶融固化により得られた固化物（いわゆる溶融スラグ）は路盤材やコンクリート用溶融スラグ骨材などに利用することも可能であり、この場合には、最終処分場の延命化に一層効果的である。

一般廃棄物の溶融固化については、今後、さらにその実施を促進する必要があるが、とりわけ、溶融固化物の有効かつ適正な利用を促進していくことが望まれるところである。

溶融固化物の有効かつ適正な利用を促進していくためには、再生の段階において、その利用についても十分留意してこれを行うことが重要である。

このため、「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施の促進について」（平成10年3月26日付け生衛発第508号厚生省生活衛生局水道環境部長通知。以下「508号通知」という。）において、「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用に関する指針」を示し、その実施の促進についてお願いしてきたところである。

今般、日本工業規格A5032（一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ）及び日本工業規格A5031（一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材）が制定されたことから「508号通知」を見直すこととした。

貴職におかれては、下記事項にも留意のうえ、別添の「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用に関する指針」に基づく適正な再生利用の実施の促進が図られるよう、貴管下市町村を指導されたい。

なお、この通知は、地方自治法（昭和22年法律第67号）第245条の4第1項の規定に基づく技術的な助言であることを申し添える。

おって、「508号通知」は廃止する。

記

市町村が溶融固化した溶融固化物であって、別添の「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用に関する指針」中の溶融固化物に係る目標基準に適合するものにつき、市町村が自ら発注した公共建設工事において利用される場合には、当該利用は、その物の性状、排出の状況、通常の見扱、個別の用途に対する利用価値及び市町村の意思に照らし、社会通念上当該用途において一般に行われている利用であり、客観的に利用価値が認められ、なおかつ確実に当該再生利用に供されるものであることから、廃棄物の処分に該当するものではないとして差し支えないこと。ただし、この場合、市町村においては、溶融固化物の利用に関する内容を施工条件として設計図書に明示するなど、溶融固化物の適正な利用について十分な配慮を行うこと。

また、路盤材及び加熱アスファルト混合物用骨材並びにコンクリート用溶融スラグ骨材に用いる場合は、それぞれ日本工業規格A5032又は日本工業規格A5031への適合性について、工業標準化法（昭和24年法律第185号）に基づく認証を受けることが望ましいこと。

(別添)

一般廃棄物の溶融固化物の再生利用に関する指針

1 趣旨

溶融固化とは、燃焼熱や電気から得られた熱エネルギー等により、焼却灰等の廃棄物を加熱し、超高温条件下で有機物を燃焼、ガス化させるとともに、無機物を溶融した後に冷却してガラス質の固化物(以下「溶融固化物」という。)とする技術であり、重金属の溶出防止及びダイオキシン類の分解・削減に極めて有効である。

溶融固化物については、その品質が確保されれば、路盤材やコンクリート用溶融スラグ骨材等に利用することが可能であり、その利用を適切に進めることは、最終処分場の延命化を図るうえでも極めて重要である。

しかしながら、焼却灰等は鉛等を含有することから、生活環境への不安が溶融固化物の適正な利用を阻害する一因にもなっている。また、溶融固化物の安定的な利用先が確保されないことが、溶融固化の実施が進まない要因ともなっている。

このため、本指針は、生活環境の保全の観点から、溶融固化物の利用についても十分留意しつつ、一般廃棄物の溶融固化の実施に当たり遵守することが望ましい事項を定め、これに基づく溶融固化物の適正な再生利用の実施に資することを目的とする。

2 溶融固化物の用途

利 用 溶融固化物の用途としては、以下のようなものが考えられる。

- (1) 路盤材(下層路盤材、上層路盤材)、加熱アスファルト混合物用骨材
- (2) コンクリート用溶融スラグ骨材(コンクリート二次製品用材料含む。)
- (3) 埋め戻し材、路床材等

3 溶融固化物に係る目標基準

溶融固化の実施に当たっては、再生により得られる溶融固化物の利用についても十分留意することが重要であり、その利用により土壌や地下水の汚染等を生じることのないよう、その安全性が確実に確保されなければならない。

このため、生活環境の保全及び利用する用途に応じ要求される品質の観点から、溶融固化を行うに当たり満たすことが望まれる基準として、溶融固化物に係る目標基準を定めるものとする。

なお、この目標基準は、環境基本法(平成5年法律第91号)に基づく土壌の汚染に係る環境基準(平成3年環境庁告示第46号)や土壌汚染対策法(平成14年法律第53号)に基づく指定区域の指定に係る基準等を考慮して制定された日本工業規格と同レベルのものであり、これを満たせば当該用途に用いる場合において安全と考えられるものである。今後、溶融固化物の製品としての規格が変更された場合や用途がさらに拡大された場合等にあつては、用途に応じた見直しを検討するものとする。

- (1) 路盤材、加熱アスファルト混合物用骨材

◎日本工業規格A5032に適合していること。

- (2) コンクリート用溶融スラグ骨材

日本工業規格A5031に適合していること。

Q(3) 埋め戻し材、路床材等

日本工業規格A5032の4.2(有害物質の溶出量と含有量)の基準に適合していること。この場合において、有害物質の溶出量及び含有量についての試験方法及び検査は、日本工業規格A5032の5(試験方法)及び6(検査)によること。

また、利用に当たっては、用途に応じて、強度、耐久性等の品質も満たす必要がある。

TRPでは、1500℃

4 再生に関し、遵守すべき留意事項

- (1) 熔融については、あらかじめ対象となる廃棄物の熔融点を計測した上で、熔融炉内の温度を概ね1200℃以上の高温条件下に保つことにより行うこと。
- (2) 熔融に伴い生じるばいじんについては、セメント固化等による無害化やいわゆる山元還元などにより適正に処理すること。
- (3) 熔融固化物の冷却を水冷方式により行う場合には、冷却水の温度、pH、水量、水質等を適切に管理するとともに、冷却水の適正な処理を行うこと。
- (4) 排ガスについては、バグフィルター等の高度の機能を有する排ガス処理設備により処理すること。
- (5) 熔融固化物の品質を安定させるため、焼却灰とばいじんの割合を均一化するなど、廃棄物の成分に留意すること。
- (6) 熔融固化物の安定的な利用先の確保に努め、適正な保管量を超えることのないよう留意すること。また、熔融固化物の利用先の確保については、土木部局等の関係部局とも密接な連携を図ること。

ごみ焼却灰溶融スラグの アスファルト混合物への利用

福満雅之* 鈴木哲雄**

1. ま え が き

道路技術の新しい方向の一つとして、省資源への挑戦がうたわれている。舗装ではアスファルト発生材のリサイクルが最も一般的であるが、建設資材の再生利用から離れて、代替材料を他分野の特に関連が十分でない材料に求める研究は、省資源開発の対象を拡大する点で意義がある。

このような観点から、自治体のごみ処理場から産出される一般廃棄物のごみ焼却灰溶融スラグを、アスファルト舗装の骨材として利用することの可能性を検討することにした。ごみの排出量は年々増加している一方で、その最終処分場における処分残余容量は減少しつつあることから、焼却だけでなく、さらにその後高温で溶融・冷却してスラグ化することにより一段と減量化をはかることが多くなった。このスラグは化学的性状が安定しているため、埋立て処分されるのが普通であるがこれを舗装に利用できれば、ごみ最終処分場の延命という大きな社会問題の解決にも貢献できることとなる。鉄鋼スラグがアスファルト舗装に有効利用できることが確認されていることから、類似のごみ焼却灰溶融スラグのアスファルト舗装への利用の可能性は高いとみられる。

2. 課題と研究内容

2-1 ごみ焼却灰溶融水砕スラグの問題点

ごみ焼却灰溶融水砕スラグ（以下、溶融スラグという）は、ごみの焼却灰を約1,200~1,500℃の高温で溶融し、

これを水中で急冷して作られる水砕スラグである。ガラス質化した粒子の粒度は砂に類似しており、重金属類等が封じ込められているがその溶出は極めて少ないので、砂に代わるものとしての利用が考えられる。

溶融スラグを建設資材として用いる場合の問題点には、次のようなことが考えられる。

- 1) 溶融スラグの性状が、焼却するごみの性状により支配されるため、季節あるいは日により、産出されるスラグの性質が変動することがある。
- 2) 溶融スラグは急冷されるため、ガラス質化した粒子が団粒化しているがその結合が弱く、容易に細粒化するので、供用するときには当初の粒度や強度が変わっている可能性がある。
- 3) ごみの分別収集等の事前処理が行われても、最終産出物のスラグにある程度の不純物の混入が避けられない。
- 4) 重金属類等が封じ込められ安定化しているとはいえ、若干の溶出の可能性も考えられる。

溶融スラグをそのまま路盤材や埋め戻し材に利用するのに比較して、アスファルト混合物に利用する場合は、溶融スラグがアスファルトコーティングされるため重金属類等の溶出問題に対して、より安全であるという点で有利である。

2-2 研究の内容

研究の目的は、溶融スラグをアスファルト混合物（以下、アスコンという）の細骨材として利用することの可能性と、可能な場合の許容混入量を明らかにすることにあるが、その判断にあたって検討する内容は次のようにした。

- 1) 溶融スラグの細骨材としての適否

*前田道路(株) 21世紀プロジェクト推進室

** 同 技術部技術課

熔融スラグについてアスコンの細骨材に対する試験を行い、その物理特性をアスファルト舗装要綱（以下、舗装要綱という）等の規定、通常に用いられる砂などの一般的な性状と対照し、細骨材としての利用可能性を判断する。

2) 熔融スラグの環境への影響

熔融スラグの組成を調査するとともに、スラグ単体およびアスコンとしての利用を想定してアスファルトコーティングしたスラグについて、重金属類等の溶出量を産業廃棄物に対する試験法に準じた方法で測定し、結果を埋立て処分の判定基準と比較する。

3) 熔融スラグを用いたアスコンの特性

熔融スラグ混入率を変化させたアスコンに対して、一連の室内試験を行い、舗装要綱等の基準値と対比するとともに、その特性の変化から熔融スラグ許容混入量を見出す。

3. 熔融スラグの特性

本研究に用いた熔融スラグは、千葉県我孫子市クリーンセンターのバーナ式熔融炉により産出されたものである。熔融スラグは、ごみの内容、炉の運転状況によって比重、粒度などのバラツキが生じる。このことから、溶

融スラグは舗装材料としての適性を判断するために、産出日の異なる熔融スラグのふるい分け試験、比重および吸水率などの各種物理性状試験を実施し、性状の変動についても確認した。また、熔融スラグの環境に対する安全性を調査するために熔融スラグの組成分析および重金属類等の溶出試験を実施した。

3-1 熔融スラグの物理性状

熔融スラグの物理性状を確認するため、ふるい分け、比重および吸水率、ロサンゼルス試験機による粗骨材のすり減り試験（以下、すり減り試験という）、単位容積質量および硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験などをJISあるいはこれに準拠した方法で行った。熔融スラグの粒度は図-1に、その他の物理性状試験結果は表-1に示すとおりである。また、表-1には下水汚泥溶融水砕スラグ（細骨材）、高炉水砕スラグ（細骨材）および粗砂（砕砂）も参考までに示した。

図-1より、熔融スラグのおよそ90%が4.75mm以下で、そのうち4.75~0.6mmの粒径のものが全体のおよそ80%を占めている。また、熔融スラグの2.36mm通過質量の変動は約30%と各ふるい目の中で最も大きかった。

表-1より、比重、吸水率および単位容積質量の値は他の材料と大差ないが、硫酸ナトリウムによる骨材の安

表-1 物理性状試験結果

種類	項目	比重 (g/cm ³)			吸水率 (%)	すり減り減量 ¹⁾ (%)	単位容積質量 (g/cm ³)	骨材の安定性 (%)	粗粒率 (FM値)
		表乾	かさ	見掛					
ごみ焼却灰	平均値(n=8)	2.778	2.761	2.800	0.51	71.7	1.560	6.2	3.95
熔融スラグ	標準偏差	0.022	0.027	0.048	0.12	5.0	0.034	2.8	0.23
下水汚泥溶融スラグ (細骨材)		2.27	1.97	2.80	15.05	—	1.720	—	—
高炉水砕スラグ		2.76	2.75	2.79	0.56	—	1.630	1.7	2.68
粗砂 (砕砂) ²⁾		2.649	2.613	2.694	1.38	—	1.752	—	2.86

1) JIS A 1121に準拠した。なお、粒度区分はD粒度(4.75~2.36mm)にて実施。

2) 本研究に使用した粗砂。

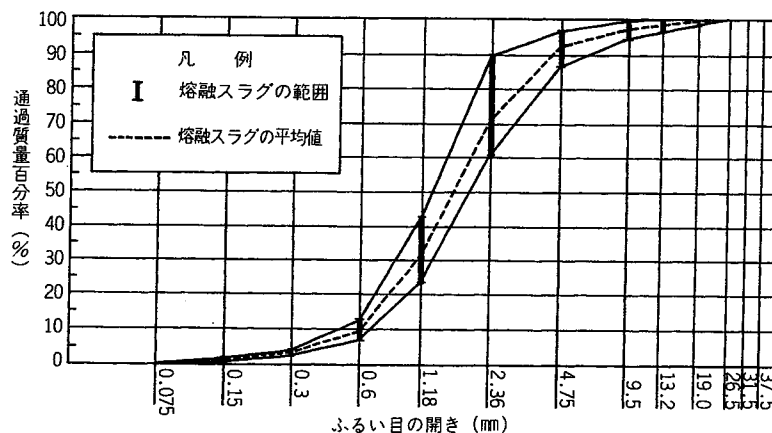


図-1 熔融スラグの粒度

定性については他のものよりも劣る結果となった。

3-2 熔融スラグの破碎過程

熔融スラグはその製法上強度的に弱いことがすり減り試験などで確認できたが、その破碎過程を把握するためにロサンゼルス試験機の回転数を変化させて熔融スラグの粒度の変動を調べた。

その結果は表-2に示すが、ロサンゼルス試験機の回転数が増加するにしたがってスラグの粗粒率と平均粒径が低下することがわかる。

図-2は破碎により細粒化が進行する状況を見るためのものであるが、縦軸にはそれぞれの粒度範囲の粒子が

表-2 すり減り試験の試験条件および結果

試験名	試料重量 (kg)	鋼球数 (個)	回転数 (回)	粗粒率 (FM値)	平均粒径 D_{50} (mm)
ロサンゼルス試験機による 粗骨材のすり減り試験	10.00	12 鋼球重量; 約5,000g	0	4.14	1.77
			100	3.54	1.29
			250	3.27	1.10
			500	3.05	0.93
			1,000	2.78	0.82
			2,000	2.50	0.70
			4,000	2.02	0.49

1) JIS A 1121に準拠

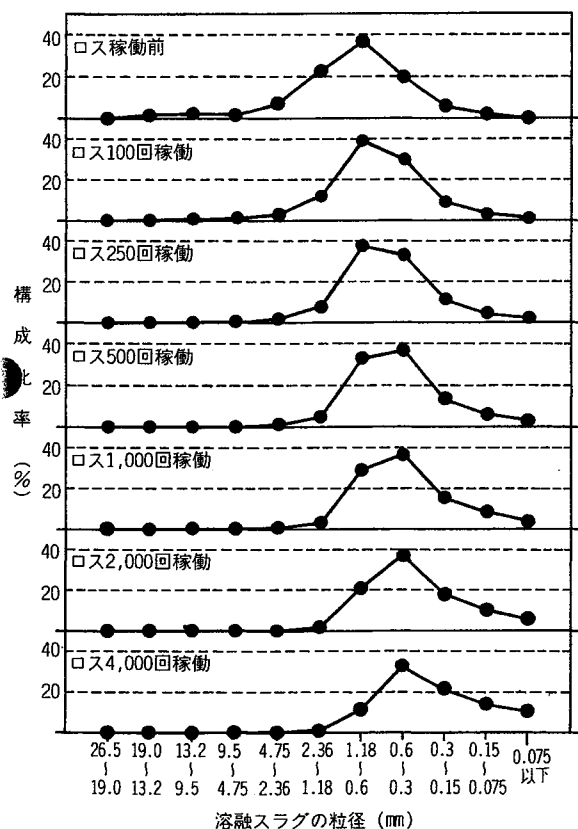


図-2 ロサンゼルス試験機の回転数の違いによる熔融スラグの粒度構成の変化

スラグ中で占める構成比率をとって図示した。初期には比較的粒径の大きい粒子の破碎が生じ、さらに粉碎されて細粒のものが多くなっていき、卓越粒径範囲が大粒径から小粒径へ(図では左から右へ)移動することがわかる。

3-3 熔融スラグの不純物

熔融スラグは分別収集されたごみの焼却灰を原料としているとはいえ、目視観察すると純粋スラグのほかに、磁器質のものにスラグが付着しているもの、スラグに金属が付着しているものおよび金属単体など、全体的に多様な形態を示している。これら純粋とは呼びがたい熔融スラグの種類と質量割合を、目視により分別して調査した。熔融スラグの細かい粒子についての判別は、目視では不可能であると判断し、粒径を9.5~4.75mmおよび4.75~2.36mmに区分し、スラグの形態種別3種類に金属単体1種を加えた計4種類の区別を設けて分類した。不純物の調査結果は表-3に示すとおりである。

表-3 熔融スラグの分別調査結果

構成比率 (%)	試料質量 (g)	9.5~4.75	4.75~2.36	備考
		100	50	
純粋スラグ	31.0	62.2	熔融スラグのみで構成されているもの	
磁器混じり	33.0	26.5	熔融スラグ1粒に磁器等が混入しているもの	
金属混じり	16.8	4.2	熔融スラグ1粒に金属が混入しているもの	
金属のみ	15.7	4.9	金属のみで構成されているもの	

注) 構成の種分けは目視によるものである。

表-3によると、熔融スラグ中の純粋スラグは粒径9.5~4.75mmのものが約30%、粒径4.75~2.36mmについては約60%以上であり、粒径9.5~4.75mmの中には不純物の混入量が多い。

熔融スラグは、ふるい分けにより4.75mm以下に調整することで、4.75mm以上に多く見られる金属等不純物の混入量が減少するので、アスコンのための細骨材としての問題は少なくなる。

3-4 熔融スラグの環境に対する安全性

(1) 組成分析および溶出試験で用いる熔融スラグの試料形態

熔融スラグの環境に対する安全性を検討するため組成分析および溶出試験を実施したが、熔融スラグの物理性状、破碎過程および不純物の試験結果等から、試料形態の違い(粒度の違い)が組成および溶出特性値に影響すると想定されるので、形態の異なる熔融スラグを準備して試験を行った。

検討の結果、採取したままの粗粒率が4.14(以下、FM値4という)の熔融スラグと、破碎過程を調査する試

表-4 主要成分および重金属類等含有量試験結果

試験項目	種類	ごみ焼却灰溶融スラグ			ごみ焼却灰	高炉水砕スラグ
		FM値；4	FM値；3	FM値；2		
主要成分 質量%	SiO ₂	39.01	—	—	28.32	33.4
	CaO	24.94	—	—	23.73	41.0
	Al ₂ O ₃	18.12	—	—	14.49	14.5
	Fe ₂ O ₃	5.94	—	—	5.12	0.4
	MgO	3.67	—	—	3.27	6.0
	Na ₂ O	3.15	—	—	3.29	—
	K ₂ O	1.54	—	—	2.44	—
	T-S	0.14	—	—	0.55	1.0
	P ₂ O ₅	2.97	—	—	3.27	—
	T-Cl	<0.1	—	—	6.90	—
重金属類等 mg/kg	その他	0.52	—	—	8.62	3.7
	T-Hg	<0.005	<0.005	<0.005	0.60	—
	Cd	<0.1	<0.1	<0.1	36	—
	Pb	70.4	88.4	95.8	1400	—
	Cr ⁶⁺	<0.5	<0.5	<0.5	—	—
	As	2.7	3.5	4.1	5.4	—
	CN	<1	<1	<1	—	—
	Cu	394	991	1350	2200	—
Zn	977	1060	1140	4500	—	
塩基度 ¹⁾		0.63	—	—	0.84	1.23

1) 塩基度 (=CaO/SiO₂) は溶融操作の指標となる値
(例：高炉スラグの塩基度=1.20~1.25)

表-5 溶出試験結果

(単位：mg/l)

試験名	計量の対象 検体名称		T-Hg	Cd	Pb	Cr ⁶⁺	As	CN ⁻	Cu	Zn	
			1) 溶出試験	溶融スラグ	pH7	FM値；4	<0.0005	<0.01	<0.05	<0.01	<0.01
pH7	FM値；3	<0.0005			<0.01	<0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.03
	FM値；2	<0.0005			<0.01	<0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.03
	アスファルトコーティングスラグ	<0.0005			<0.01	<0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.03
pH4	FM値；4	<0.0005		<0.01	<0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.03	
	FM値；3	<0.0005		<0.01	<0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.03	
	FM値；2	<0.0005		<0.01	<0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.03	
	アスファルトコーティングスラグ	<0.0005		<0.01	<0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.03	
下水汚泥溶融水砕スラグ		—		<0.002	<0.005	<0.005	—	—	<0.03	<0.001	
高炉水砕スラグ		不検出		不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	
埋立処分の判定基準 ²⁾		0.005以下	0.3以下	0.3以下	1.5以下	0.3以下	1.0以下	—	—		

1) 環境庁告示第13号に準拠する。

2) 総理府令第5号金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を示す。

験で発生した粗粒率が3.05 (以下, FM値3という), および粗粒率が2.02 (以下, FM値2という) の3形態のスラグを, 組成分析および溶出試験の試料とした。さらに, 溶出試験では溶融スラグFM値4の試料をストレートアスファルト60~80で被膜ができる程度に混合したものの (以下, アスファルトコーティングスラグという) を加えて, 4形態で実施した。

溶融スラグは粗骨材として利用することを目的としているので, 試料を4.75mm以下に整粒した。

(2) 溶融スラグの組成

溶融スラグの組成を知るため, 底質調査方法 (環水管第127号) に定める試験方法により, 主要成分および重金属類等の種類と含有量を求めた。

試験結果は, 表-4に示すとおりで, 参考のためにスラグの組成を溶融前のごみ焼却灰および高炉水砕スラグと対比して示した。

表-4によれば, 溶融スラグの主要成分の中では二酸化ケイ素 (シリカ), 酸化カルシウムおよび酸化アルミ

表-6 アスファルト混合物の使用材料, 骨材試験結果および骨材配合

材 料 名	材 質	産 地	比重 (kg/cm ³)			吸水率 (%)	スラグ混入率の違いによる骨材の配合割合(%)				
			表乾	かさ	見掛		配合A	配合B	配合C	配合D	配合E
溶 融 ス ラ グ	溶融スラグ	我孫子市	2.773	2.797	2.788	0.55	0	10	20	30	40
砕 石 6 号	硬質砂岩	八王子	2.680	2.688	2.718	0.85	37	37	37	37	37
砕 石 7 号			2.657	2.623	2.716	1.31	17	15	14	13	9
粗 砂 (砕 砂)			2.649	2.613	2.694	1.38	23	18	6	—	—
スクリーニングス	硬質砂岩	青梅	2.635	2.590	2.714	1.77	12	7	7	—	—
細 砂	山砂	木更津	2.632	2.582	2.699	1.94	8	9	12	15	8
石 粉	石灰石粉	葛生町	2.781			—	3	4	4	5	6
アスファルト	St60~80	—	1.031			—	—	—	—	—	—
合 計	—	—	—	—	—	—	100	100	100	100	100

ニウムが全体の80%以上を占めており、高炉水砕スラグと同様の成分で構成されている。また、溶融スラグのFM値の異なる3形態について、それぞれ重金属類等の含有量について比較すると、粗粒率が小さくなるにつれ、鉛、ヒ素、銅および亜鉛の含有量が増加する結果となった。これは溶融スラグの破碎の度合いが進むにつれて、4.75mm以下の溶融スラグ中に金属、磁器などの異物が増加するため、FM値4に比べ、FM値3、FM値2のほうが、重金属類等の含有量が多くなったものと思われる。

(3) 溶融スラグの溶出特性

溶融スラグの溶出特性については、スラグからの重金属類等の溶出の有無、溶出がある場合はその程度を調べることを目的とした溶出試験により評価することにした。実施した溶出試験は、総理府令第5号に示された埋立処分を対象とした「特別管理廃棄物の埋立処分」の判定基準への適合性を把握するため、環告13号に定める試験に準拠したものである。今回の溶出試験の条件として、試験液はpH7および環境の変化(酸性雨)を考慮したpH4に調整した。

試験結果は表-5に示すとおりで、溶融スラグおよびアスファルトコーティングスラグからの重金属類の溶出に関しては、「特別管理廃棄物の埋立処分」の判定基準を満足する結果を得た。

4. 溶融スラグを用いたアスファルト混合物の特性

4-1 使用材料および配合

本試験では、4.75mm以下に整粒した溶融スラグを細骨材代替材料として混入したアスファルト混合物の性状を確認するために、表層材として一般的に用いられている密粒度アスファルト混合物(13)(以下、密粒アスコンという)を採用した。

溶融スラグ混入率を変化させた場合における密粒アスコンの物理性状、および力学特性の変化を見いだすため

に6号砕石の配合割合および2.36、0.075mm通過質量を一定にして、骨材中における溶融スラグの混入率が10、20、30および40%のアスコンを配合設計し、比較のため舗装要綱に示されている密粒アスコンの中央粒度を目標とした溶融スラグの入っていないアスファルト混合物(以下、配合Aという)を用意した。

溶融スラグを混入したアスコンは、混入率10、20および30%の配合(以下、配合B、配合Cおよび配合Dという)については配合Aの合成粒度と同様なものとした。ただし、許容混入量の確認を行うために、溶融スラグ40%混入のアスコン(以下、配合Eという)については2.36mm通過量および0.075mm通過量は配合Aに合わせたものの、0.6~0.15mm通過量はスラグの粒度特性から、舗装要綱における密粒度アスコンの粒度範囲を若干外れたものとなったが、これについても他の配合と同様の試験を行った。

混合物の使用材料、骨材試験結果および骨材配合は表-6に、各配合の合成粒度は表-7および図-3に示すとおりである。

4-2 試験概要

本試験のアスファルト混合物に対する検討項目および

表-7 溶融スラグ混入アスコンの合成粒度 単位: %

配合名	配合A	配合B	配合C	配合D	配合E	中央値	基準値
	スラグ混入率(%)	0	10	20	30		
ふるい目	19.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100
	13.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.5
	9.5	82.9	82.9	82.9	82.9	82.9	—
	4.75	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	62.5
	2.36	42.1	42.7	42.9	42.9	42.5	42.5
開き(mm)	1.18	32.3	31.7	30.9	30.2	25.7	—
	0.6	23.9	23.1	22.8	22.7	16.2	24.0
	0.3	18.2	17.9	18.5	19.3	12.8	15.5
	0.15	10.1	9.9	9.5	9.5	8.1	12.0
0.075	5.9	5.9	5.5	5.4	5.7	6.0	4~8

注) アスファルト舗装要綱に定める密粒度アスファルト混合物(13)の粒度範囲

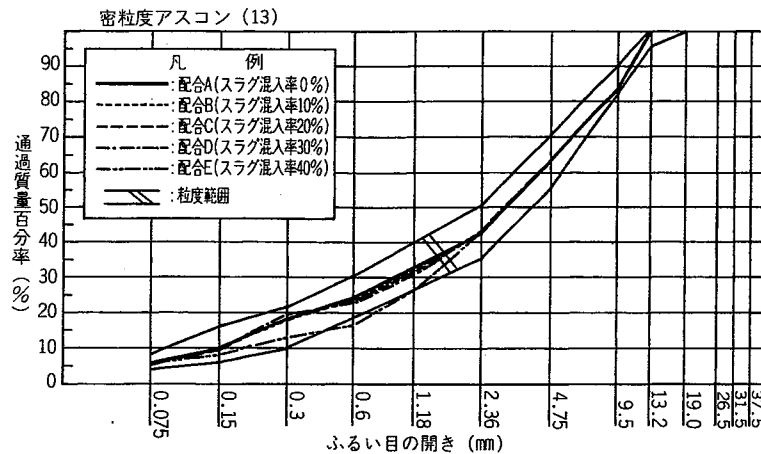


図-3 各配合の合成粒度

表-8 アスファルト混合物に対する検討項目および試験項目

検討項目	試験項目	備考
マーシャル特性	標準マーシャル安定度試験	各配合のOACでは75, 100, 150回についても実施
	ソックスレー抽出試験	各突固め回数ごとにおけるマーシャル供試体の粒度
耐水性	水浸マーシャル安定度試験	水浸時間: 48, 72, 96h
流動抵抗性	ホイールトラッキング試験	OACおよびOAC±0.5%
ひび割れ抵抗性	単純曲げ試験	OAC, 試験温度: -5℃ 載荷速度: 50mm/min
摩耗抵抗性	ラベリング試験	OAC, 試験温度: -10℃ 試験時間: 90分 サイドチェーン使用

注) 上記の試験は、全配合(配合A~E)について行うもの。

試験項目は、表-8に示すとおりである。マーシャル配合試験以外の試験に用いる供試体のアスファルト量は、最適アスファルト量（以下、OACという）を原則とし、流動抵抗性を検討するホイールトラッキング試験ではOACおよびOAC±0.5%について試験を行った。

4-3 試験結果

(1) マーシャル特性

マーシャル安定度試験における供試体作製時の突固め回数は50回で実施した。

各配合のOACの決定に際しては、舗装要綱のマーシャル基準値から求める方法と有効空隙率から求める方法の両方で検討し、最終的にはマーシャル基準値の共通範囲の中央値をOACとして採用した。その方法で求めたOACは、有効空隙率から求めたものより0.0~0.3%ドライ側になるが、混合性と供試体の目視観察からは良好なアスファルト量であると判断された。

熔融スラグの混入率におけるOAC、およびOACにおけるマーシャル特性は図-4に示すとおりである。

熔融スラグ(4.75~2.36mm)のすり減り減量は70%と大きく、混合物中の熔融スラグが混合時および転圧時に

破碎され、細粒化する懸念があるため、全ての配合(配合A~E)について、突固め回数を50, 75, 100および150回と変化させたマーシャル供試体を作製し、突固め密度の変化とアスコンの粒度変化を確認した(マーシャル供試体のアスファルト量は各配合のOACとした)。

突固め回数と密度および空隙率の関係は図-5に、熔融スラグ混入率とマーシャル供試体50回突固め後のふるい目(2.36, 0.075mm)における通過質量百分率の変化を図-6に示す。

図-4より以下のことがいえる。

- ① 配合A~Dについては熔融スラグの混入率が増加するとOACは減少する傾向にあるが、配合Eでは吸水率の少ない熔融スラグの混入量が多く、合成粒度が粗いにもかかわらずOACは逆に増加の傾向を示した。
- ② 熔融スラグの混入率が増加するにつれ、アスコンの密度は増加する傾向にある。これは、熔融スラグが他の骨材に比べて比重が大きいためである。
- ③ 空隙率、飽和度は各配合のOACではほとんど差がない。

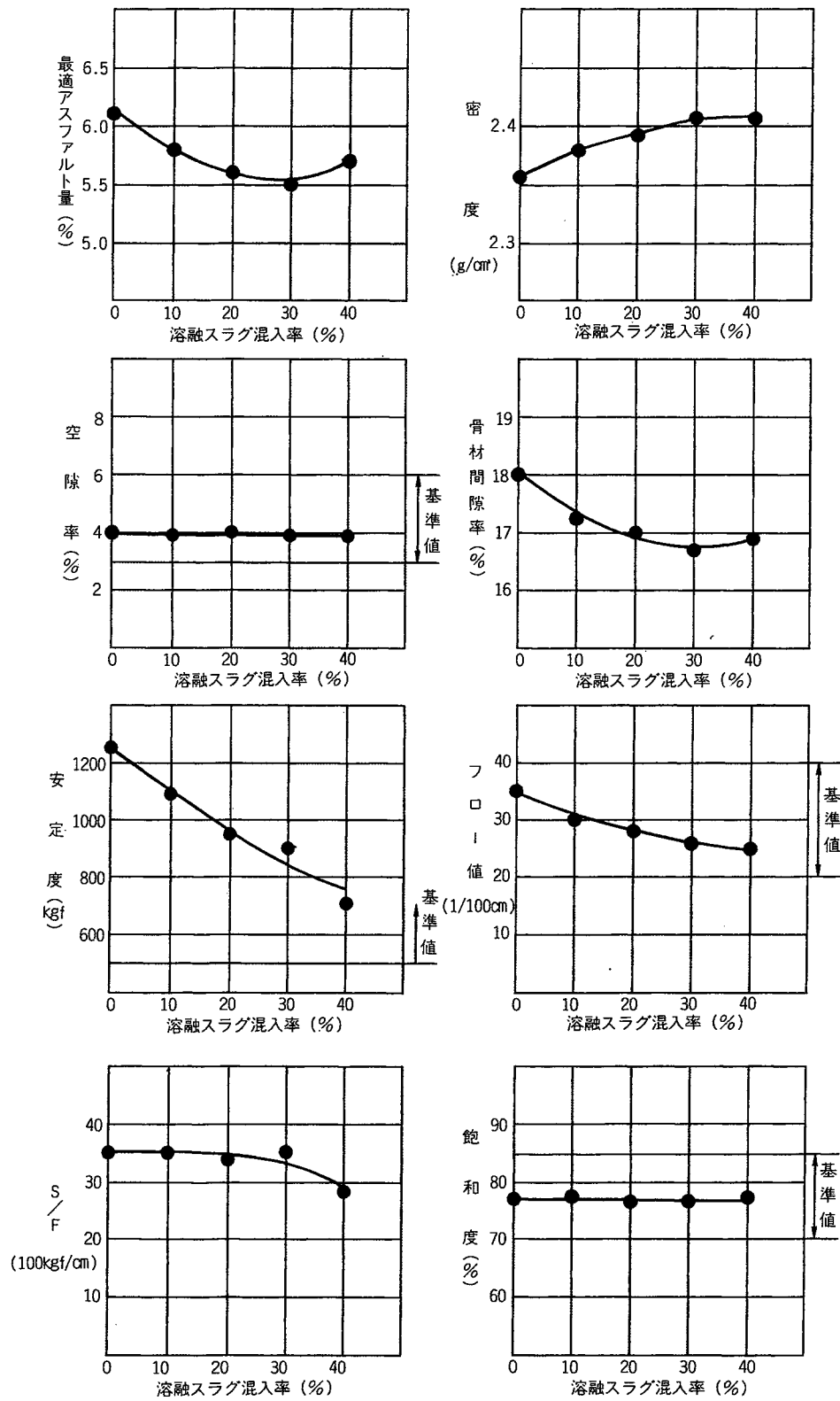


図-4 溶融スラグの混入率におけるOACおよびOACにおけるマーシャル特性

- ④ 安定度は溶融スラグの混入率が増加するにしたがって低下する傾向にある。しかし、全ての配合に対して舗装要綱に示す基準値（500kgf以上）を満足する結果であった。
- ⑤ フロー値は溶融スラグの混入率が増加するにしたがって下がる傾向にある。
- ⑥ 舗装要綱では耐流動や耐摩耗を重視する場合の設計アスファルト量の設定に関して、骨材間隙率（VMA）は骨材の最大粒径が13mmのときは16以上、安定度/フロー値（S/F）は、一般地域で20～50・100kgf/cmの範囲がそれぞれ望ましいとうたわれている。各配合で定めたOACはこの条件を満足するものであった。

図-5より以下のことがいえる。

- ⑦ 突固め回数の増加と密度および空隙率の関係は、全配合ともほぼ似通った傾向が見られた。これより、締固めやすさの傾向は同様であり、使用後の交通荷重による圧密の変化も同様に安定したものと考えら

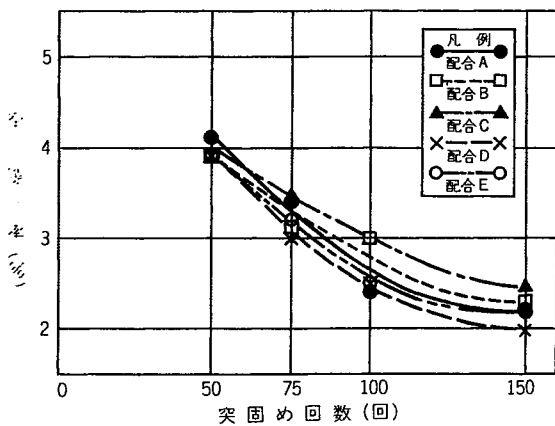
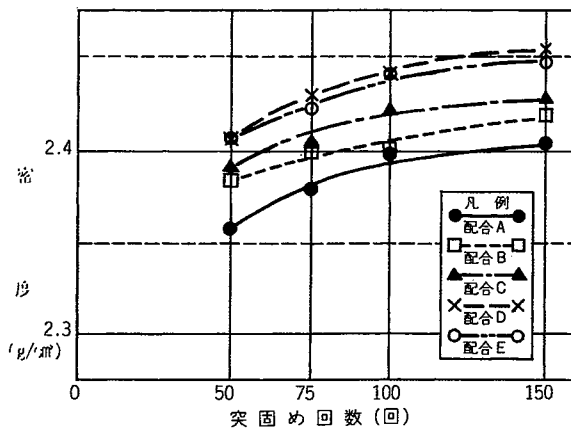
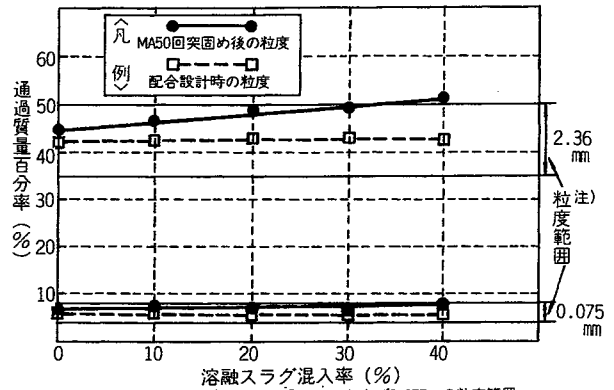


図-5 突固め回数と密度および空隙率の関係



注) 密粒アスコン(13)のふるい目2.36mmおよび0.075mmの粒度範囲

図-6 溶融スラグ混入率とマーシャル供試体50回突固め後のふるい目（2.36mm, 0.075mm）における粒度変化

れる。

図-6より以下のことがいえる。

- ⑧ 2.36mm, 0.075mmの通過質量百分率は配合設計時に比較すると、マーシャル供試体突固め後には増大する傾向にあるが、その程度は溶融スラグ混入率が増加するほど大きい。特に2.36mm通過質量百分率は溶融スラグの混入率が40%の時点で、舗装要綱に示されている密粒アスコンの粒度範囲の上限を超える結果となった。これは、強度の弱い、すなわち細粒化されやすい溶融スラグの混入量の増加が原因と思われる。

今回の結果から、図-4の溶融スラグ混入率とOACの関係では、混入率0～30%（配合A～D）まではOACが低下し、混入率40%（配合E）に限ってOACが増加した理由に関しては、溶融スラグがOACに影響を与える2つの相反する要因（吸水率、細粒化）のうち、混入率0～30%までは吸水率の少ない溶融スラグの増加によるOACの低下のほうが大きく作用し、混入率40%では細粒化によるOACの上昇のほうが大きく影響したためであると推測される。

(2) 耐水性

溶融スラグ混入に伴う耐水性の変化を明らかにするために、水浸時間を48, 72, 96時間と変えた水浸マーシャル安定度試験を実施した。溶融スラグ混入率の違いによる水浸時間と残留安定度の関係は図-7に示すとおりである。

図-7より、残留安定度は溶融スラグ混入率が多いものほど残留安定度が高い傾向を示した。これは、溶融スラグ自身はシリカ含有量が少なく高い塩基性を示すが、一般に塩基性岩はアスファルトとの付着性が良好であるといわれていることから、溶融スラグの混入率が多くな

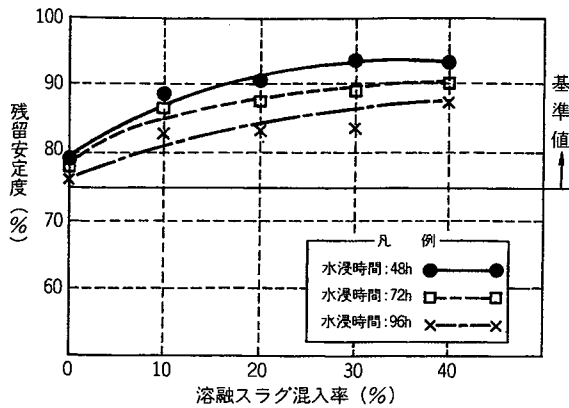


図-7 各水浸時間における溶融スラグ混入率と残留安定度

るにつれて残留安定度が高く推移したと思われる。

(3) 流動抵抗性

溶融スラグ混入率の違いによるアスコンの流動抵抗性を見るために、OACおよびOAC±0.5%についてホイールトラッキング試験を行った。その結果は図-8、図-9に示すとおりである。

図-8より、動的安定度は合成粒度が同様な配合A～

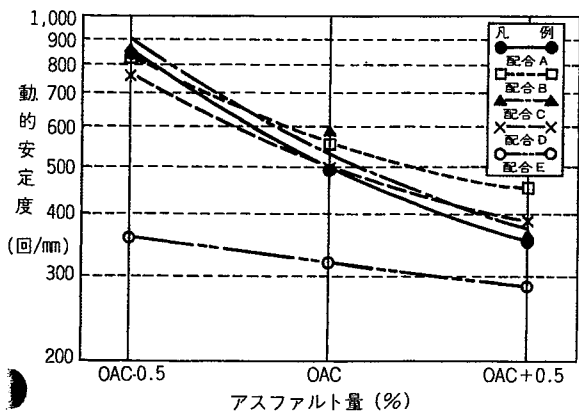


図-8 ホイールトラッキング試験結果

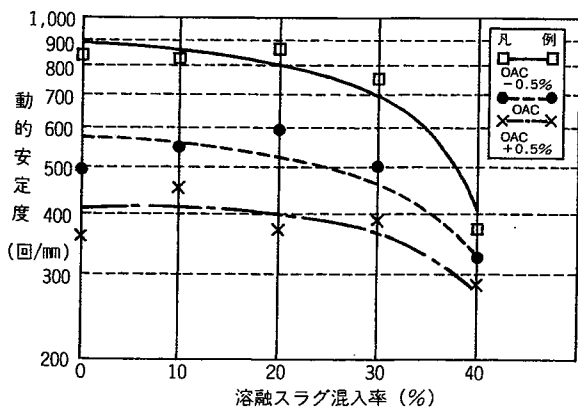


図-9 溶融スラグ混入率と動的安定度の関係

D (スラグ混入率0~30%)では差がなく、アスファルト量の増加とともに減少する。一方、配合E (混入率40%)の動的安定度は、他の配合に比べて低く、アスファルト量の増加とともに若干の低下が見られる程度であった。

図-9より、スラグ混入率0~30%までは動的安定度の変化は少ないが、混入率40%ではアスファルト量に関係なく他の配合に比べて動的安定度が低い。

(4) ひび割れ抵抗性

各種配合におけるOAC時の密粒アスコンのひび割れ抵抗性を比較するために、単純曲げ試験を行った。その結果は図-10に示すとおりである。

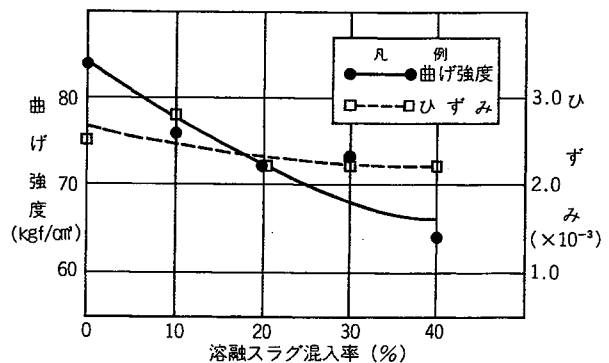


図-10 単純曲げ試験結果

図-10より、溶融スラグの混入率増加とともに曲げ強度は低下する傾向にあった。一方、ひずみ (2.5×10^{-3} ~ 2.2×10^{-3}) とスティフネス ($34,100 \sim 29,700 \text{kgf/cm}^2$) では、各配合における大きな変化はみられなかった。

(5) 摩耗抵抗性

アスコンの摩耗抵抗性を確認するために、OACについてラベリング試験を行った。その結果は図-11に示すとおりである。

図-11より、摩耗量は溶融スラグの混入率の増加とともに多くなる傾向にあった。このことは、溶融スラグの

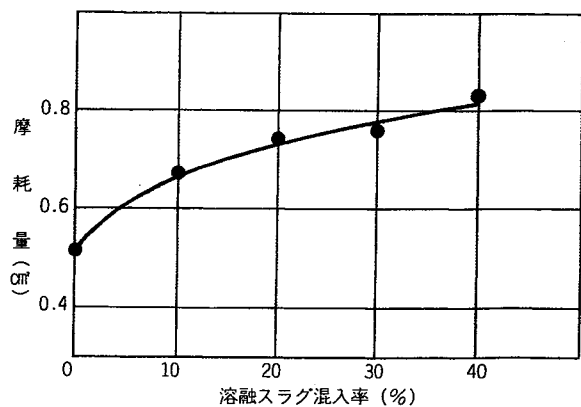


図-11 ラベリング試験結果

強度が他の骨材に比べて低いために、摩耗量が多くなったものと考えられる。

5. 考察

5-1 熔融スラグの細骨材としての適性

熔融スラグは産出日によりその粒度に変動があり図-1のようになっているが、一般に用いられている粗砂と比較して、細粒分の少ないやや粗めの材料となっている。ふるい目4.75mmにとどまるものの中には不純物が多いので(表-3)、アスコンの製造には4.75mmを通過したものをを用いるのがよい。

その他の物理性状は表-1のとおりで、細骨材に関してこれらの値についての基準値はないが、粗骨材に対する規定と比較すると吸水率3%以下、安定性10%以下の基準は満足するもの、すり減り減量30%以下の規定に対しては71.7%となってこれを大幅に上回っている。このことは表-2、図-2などから推定されるように、混合物の製造、転圧時にスラグが細粒化し、最終的に出来上がった舗装体の粒度が配合設計時のそれとは異なったものとなる可能性を示唆し、施工完了時における粒度が、要求されている粒度になるよう配合を考えなければならないことを意味する。

金属および金属混じりスラグが、アスコン中に混合することは望ましいことではない。表-3によれば、4.75~2.36mmの間でこれらの量が $4.2+4.9=9.1\%$ あるということは、スラグ全体における4.75~2.36mmの粒径の百分率が約21%であることから、2.36mm以下には金属が含まれないと仮定してスラグ全体中の混入率に換算すると、 $9.1 \times 20 \div 100 = 1.9\%$ の量が金属あるいは金属混じりスラグということになる。同様に計算すると、磁器混じりスラグが約5.5%混在することになるが、これが混合物の性状に与える影響は大きいとは考えられないであろう。

5-2 熔融スラグの環境への影響

表-4に見られるように、熔融スラグは熔融前の焼却灰と比較すると、重金属類等の含有量が減少しているものの鉛、銅、亜鉛を主とした重金属が含まれているが、表-5に示す重金属類等の溶出試験では埋立処分に係る判定基準の全ての項目を満足した。

熔融スラグは廃棄物として埋立処分されているが、そのまま建設資材として利用される例(たとえば盛土や路盤など)はほとんどなく、溶出が問題視されることは少ない。いま、熔融スラグをアスコンに利用することを想定すると、熔融スラグはアスファルトコーティングされているので、表-5の溶出試験の結果からわかるように、

重金属類等が外部に出る可能性はさらに少なくなる。

ただ、溶出試験に関してはさらに長期にわたり観測は必要であろう。なお、現実のアスコンからの溶出は、今回試験した4.75mm以下の単粒を主とする、アスファルトコーティングスラグからの溶出より少ないと考えられる。その理由は、アスコン中には熔融スラグ以外の骨材のほうが多いこと、アスコン層として利用される際にはスラグが直接水に接触する可能性は溶出試験の場合より小さいことなどから、今回の試験のほうが過酷な条件のもとで実施されていることによる。

5-3 熔融スラグを用いたアスファルト混合物の特性

図-4~6に見られるように、熔融スラグを細骨材に用いたアスコンの突固め特性は、スラグの混入率を40%まで増加しても特に問題にならない。図-6で混入率40%の場合に、2.36mm通過質量百分率が突固め後に舗装要綱に定める粒度範囲を逸脱しているが、現実の転圧でもこのようになるかどうかは今後調査しなければならない。

図-9のスラグ混入率と動的安定度との関係では、混入率30%までは動的安定度の変化はないと考えられるが、混入率40%でやや減少が見られるのは粒度が異なるためであろう。

図-10の単純曲げ試験結果では、スラグ混入率の増加に伴い曲げ強度が少し低下すること、図-11のラベリング試験結果では、スラグ混入率とともに摩耗量が大きくなることが認められる。

熔融スラグ混入率の増大と混合物特性の関係をまとめると、突固め特性は混入率0~40%のどの配合についても同様な傾向を示し、流動抵抗性については混入率0~30%までは大きな変化はなく、混入率40%ではやや低下する。曲げ強度、摩耗の特性には混入率が増加するにつれて若干の低下が認められるが、実用上問題となるような程度ではない。

6. 結論

ごみ焼却灰熔融水砕スラグを細骨材の一部としてアスコンに利用する場合には、重金属類等の溶出による環境の影響は少なく、スラグ混入率を骨材全体の30%まで増加しても舗装として求められる各種の性状が損なわれないことを室内試験の結果から明らかにした。

熔融スラグの特性には季節変動あるいは日変動が予測されることから、これを把握した上で配合、品質管理を行う必要がある。産出される熔融スラグの中で、ふるい目4.75mmにとどまるものの中には金属等の不純物が比較

的多いので、使用する熔融スラグは4.75mmでふるったものとするのが望ましい。

7. あとがき

アスコンの細骨材の代替材料として、熔融スラグが利用可能であることを室内試験で確認したが、実用化にあたっては実際の道路に舗装した状態での溶出特性、供用性、耐久性等の挙動を長期にわたって観測して最終的な結論を出さなければならない。特に環境問題に関連する溶出特性については、今回実施した溶出試験にとどまらず、試験項目、試験法、試験条件等をさらに実態に即し

て考察する必要がある。

最後に本研究を遂行するにあたり御援助、御教示をいただいた千葉県我孫子市役所、日立造船株式会社に深甚なる謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 京才ほか：「下水汚泥溶融スラグ骨材のコンクリートへの利用技術の開発」土木技術資料29-4 (1987)
- 2) 環境白書—平成6年版—(総説)(各論)環境庁
- 3) 水砕スラグ「土木用材料としての技術資料」鐵網スラグ協会
- 4) 「リサイクルのための化学」日本化学会
- 5) 「産業廃棄物処理ハンドブック—平成6年版—」厚生省生活衛生局水道環境部産業廃棄物対策室

寒冷地舗装会議

第6回ワークショップ (PICA6) について

寒冷地舗装会議第6回ワークショップ (PICA6) が平成8年(1996年)10月28日から11月1日まで、新潟市において開催されますので、その概要および今後の予定について紹介します。

寒冷地舗装会議 (PICA) について

寒冷地舗装会議 (PICA) は、昭和55年(1980年)6月に東京で開催された「第4回日加科学技術協議」において、日本側から寒冷地舗装に関する技術交流を提案し、カナダ側の合意を得て発足したものです。

現在は、昭和61年(1986年)5月7日、東京において締結された「日加科学技術協定」に基づき、両国の舗装技術者による技術交流、共同研究を目的として開催されています。

開催の経緯

寒冷地舗装会議はこれまでに5回開催されています。

第1回	昭和57年	バンクーバー (カナダ)
第2回	昭和59年	つくば (日本)
第3回	昭和62年	オワタ (カナダ)
第4回	平成2年	札幌 (日本)
第5回	平成5年	カナナスキス (カナダ)

第6回会議は、平成8年10月28日から11月1日まで、新潟市において開催されます。

会議テーマと論文募集

今年開催されるPICA6においては、以下の8つの全体会議のテーマと3つの専門家会議のテーマが決定されています。

<全体会議>

- ① 低温クラックの防止
- ② 空港舗装
- ③ 剛性、たわみ性舗装の設計
- ④ 冬期路面管理
- ⑤ 寒冷地舗装材料
- ⑥ 革新的舗装、舗装材料試験方法
- ⑦ 設計・施工一体型契約への技術的要求
- ⑧ 現場供用性データの自動取得法

<専門家会議>

- ① 舗装材料のリサイクル
- ② 舗装管理システム
- ③ 寒冷地へのSuperpaveの適用

発表論文数は双方併せて、30編程度を予定しております。多数の皆様のご参加をお待ち致しております。

会議のスケジュール

	午 前	午 後
10/28(月)	開会式 全体会議	全体会議 歓迎レセプション
10/29(火)	専門家会議	全体会議
10/30(水)	全体会議	全体会議 閉会式
10/31(木)	現場見学	
11/1(金)	現場見学	

(建設省土木研究所舗装研究室長 池田拓哉)

支店からの情報

熔融スラグ混入 I L B の製品化

北関東支店 斉藤 繁

はじめに

近年、都市部への人口集中によりごみの増加が大きな社会問題となっている。新聞、雑誌等で取り上げられているとおり、鉄類や家具等は再利用されているのに対し、一般のごみは95%が焼却されているのが実情であり、焼却灰、熔融スラグの最終処理問題も発生している。また、処理方法もごみ焼却灰排出型から重金属をガラス質で閉じ込めた熔融スラグ型に変遷してきている。

このような状況の中、越谷市、草加市、八潮市、三郷市、吉川町、松伏町の4市2町で運営されている「埼玉県東部清掃組合」の事務局長より当清掃組合の第2焼却場を建設中の前田建設工業に熔融スラグの使用用途についての打診があった。北関東支店では、熔融スラグの用途拡大を前田グループの問題として捉え、設備投資等を含め協議した結果、関連企業のインターロッキングブロック工場にて細骨材の代換品として検討することとなった。

本文は、熔融スラグを使用したインターロッキングブロック（以下 I L B）の製造および品質について報告するものである。

1. 熔融スラグとは

熔融現象を一言でいえば、物質を液体状態にすることである。物質の温度を上げていくと物質は固体状態から液体状態に移行する。例えば氷は0℃、銅は1,083℃、鉄は1,540℃、アルミナは2,050℃で熔融する。

都市ごみや下水汚泥の灰分は、約1,200～1,400℃の比較的低温で熔融状態となり、液体の熔融状態から温度を下げていくと再び固体に戻るが、この時表面に光沢のあるガラス質のスラグとなる。

このような原理に基づき製造されるものが熔融スラグ（写真-1）である。

ガラスの性質は、酸やアルカリに強く、この中に含まれる金属類は非常に溶出しにくい。そのため熔融処理後の最終生成物であるスラグは安全・安定である。

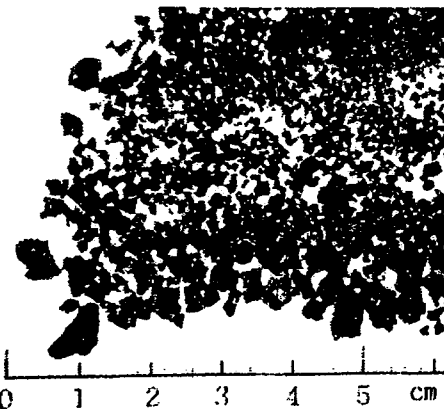


写真-1 使用した熔融スラグ

2. 溶融処理プラントの工程

溶融処理プラントのフローシートは図-1に示すとおりである。

都市ごみは焼却炉に投入され、排出される焼却灰は磁選により鉄缶類が取り除かれたのち振動櫛で30mm以上の不燃雑物と30mm以下の灰類とに分類される。

不燃雑物は粗大ごみ破碎系統に投入され、灰類は溶融炉に投入される。焼却炉排ガスからの集塵ダストはそのまま溶融炉に送られる。

一方、粗大ごみはまず破碎機に投入され破碎された後、磁選を行い分級装置で鉄缶類、可燃物、30mm以下の雑物とに分けられる。30mm以下の雑物は全量溶融炉に送られ、30mm以上の可燃物はその一部を30mm程度に細破碎した後、溶融炉に送られ溶融スラグとなる。

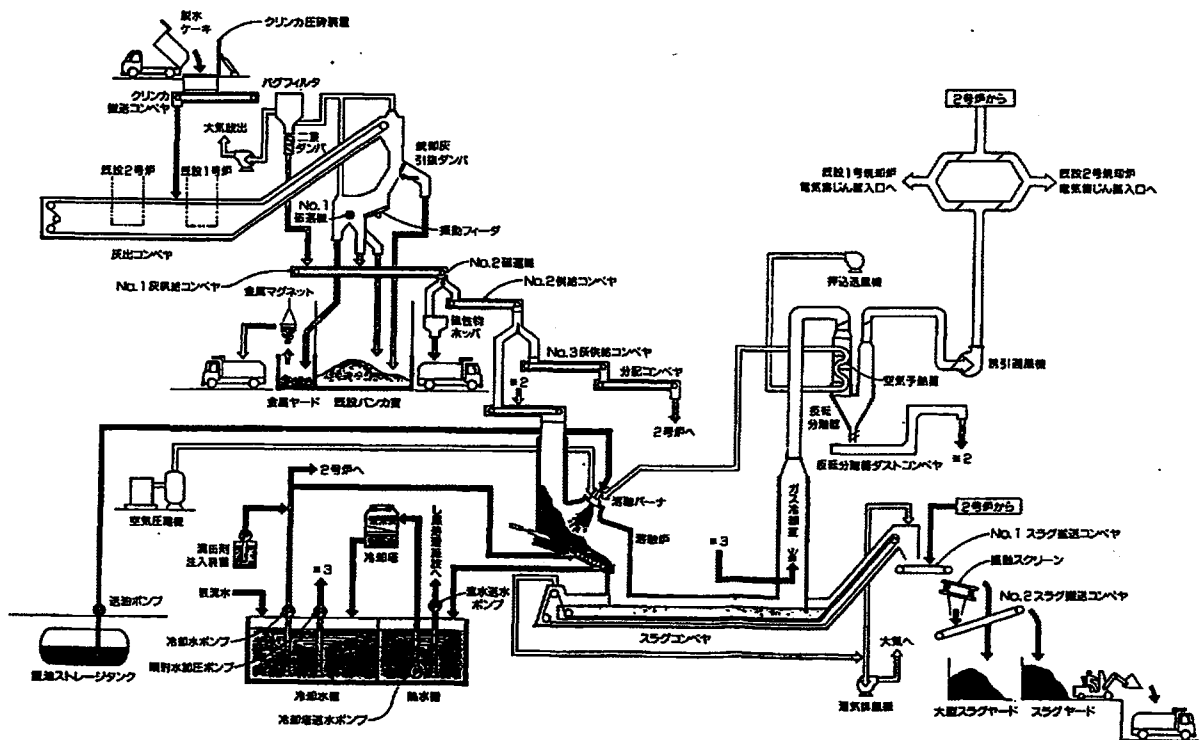


図-1 溶融処理プラントのフローシート

3. 溶融スラグ入り I L B の品質および寸法

I L B の製造に先立ち、溶融スラグの粒度を調整して細骨材として使用できるように、10mmのふるい分け装置の設置をお願いするとともに配合の検討を行った。

3-1 コンクリートの配合

I L B 舗装設計施工要領では曲げ強度が50kgf/cm²以上と規定されているが、清掃組合は、溶融スラグの有効利用および使用目的が歩道に限定されるために目標強度を30kgf/cm²に設定し、混入割合を決定した。

溶融スラグ入り I L B は、図-2 に示すとおりスラグの混入率が増加すると強度は、低下する傾向がある。

また、製品の製造にあたっては、I L B の色合いも考慮し基層コンクリート（溶融スラグ入り）の表面をモルタルで覆うこととした。

基層コンクリートと表面モルタルの配合を表-1 に示す。

I L B の強度規定は下限値として管理されているため、安全率などを考慮しスラグ混入率は50%にした。

表-1 基層コンクリートと表面モルタルの配合

材 料 名	W/C	単 位 量 (kg/m ²)						
		水 W	セメント C	砕 砂 S1	細 砂 S2	スラグ S3	6号珪 G1	顔料 P
基層コンクリート	30	120	420	720	—	1.070	314	—
表面モルタル	30	180	600	1.212	439	—	—	30

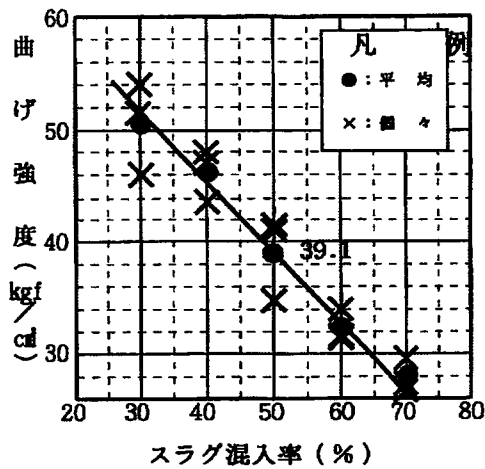


図-2 スラグ混入率と曲げ強度の関係

3-2 形状寸法および曲げ強度

今回製造した溶融スラグ混入 I L B の形状寸法は、図-3 に示す N タイプおよび S タイプの 2 種類があり、厚さは 60mm, 80mm がある。厚さ 80mm の曲げ強度は、表-2 に示す通りであり、色は赤、黄、茶、緑、白の 5 色とした。

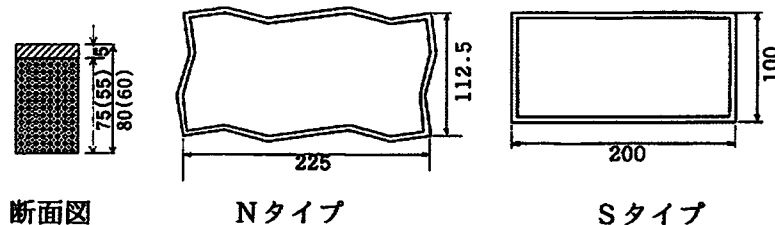


図-3 形状寸法

表-2 曲げ強度

供試体 NO	製品寸法 (mm)			荷重 (kgf)	曲げ強度 (kgf/cm ²)
	長さ	幅	厚さ		
1	197.1	97.3	81.5	940	34.8
2	197.3	97.0	81.2	1,110	41.6
3	197.4	96.9	81.8	1,110	41.0
平均値	197.2	97.0	81.5	1,053	39.1
規格値	±3	±3	±3		30以上

4. I L Bの製造

製造工程は図-4に示すとおりである。

厚さ8cmの形枠に7.5cmの基層コンクリートを打設後、コンクリートが硬化しないうちに表面モルタルを0.5cm覆い、仕上げ養生する。

清掃組合で生産された熔融スラグは、関連企業のブロック工場に骨材として搬入し製品化する。製品化されたI L Bは、清掃組合の製品置場にストックし、工事が発注されるとその都度必要量を現場に運搬する。

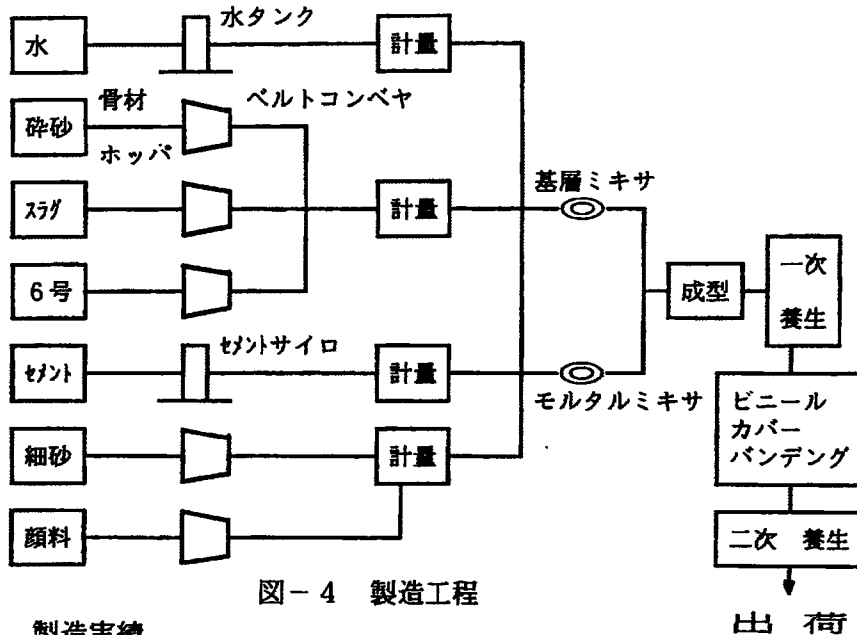


図-4 製造工程

5. 製造実績

平成5年10月12日に埼玉県東部清掃組合と製造に関する契約を取り交わした。I L Bの生産目標は、工場の熔融スラグ生産能力などを考慮し、月産3,750㎡、スラグ使用量1,000t、年間目標は175万個、面積にして43,750㎡とした。

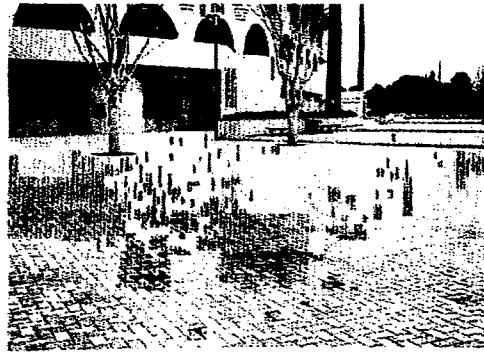
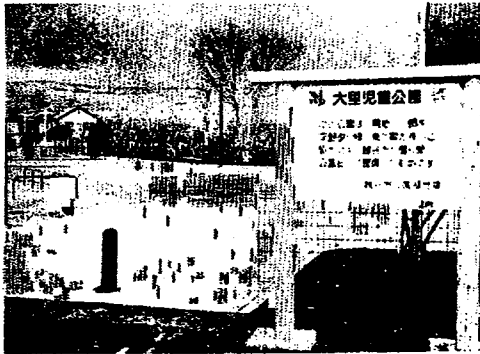
11月から2月までの製造実績は、7,386㎡(369,300個)であるが、3月は2,792㎡(139,600個)、4月は4,032㎡(201,600個)と軌道にのってきた。

おわりに

産業廃棄物の最終処分の問題は、各地方自治体における最重要課題であり、その対策に苦慮しているのが実情である。北関東支店では、そのような社会のニーズに対応し、清掃組合および前田建設工業と溶融スラグの用途拡大に努めた。用途拡大にあたっては、産業廃棄物の発生者が積極的に製品化された商品を使用して頂くことが原則であり、自治体と共同開発した今回の製品の販売方式は、4市2町の仕様書に溶融スラグ入り I L B と製品指定されていることから安定受注が見込まれる。

当社における製品販売の窓口は、斉藤繁が担当しています。北東京合材工場の特製製品売上げに多少でも寄与できれば幸いです。

また、技術的問題や支店での窓口は、支店技術課の斉藤昌課長が担当していますので、他支店で参考にされたい方はお問い合わせ下さい。



溶融スラグ混入 I L B を使用した景観舗装

~~~~~ 担当者のプロフィール ~~~~~



斉藤 昌 (45)  
技術課長  
景観体育施設課長  
職種：試験



斉藤 繁 (28)  
北東京合材工場  
試験担当  
職種：土木

