

原著論文

RDF焼却灰を利用した地盤材料の環境影響

鳥羽峰樹，土田大輔，高橋浩司，黒川陽一，永瀬誠，宇都宮彬

地盤材料であるポゾテックRは，RDF焼却灰，石炭灰及び排煙脱硫スラッジを原料とし，固化が十分に進行した1ヶ月後には，強度基準及び重金属類の土壤環境基準を満足し，道路等の地盤材料としての性能を有することが確認されている．本研究では，本材料が固化によって重金属類の溶出を抑制することを確認するため，pH2-13の範囲での重金属類の溶出量を調査し，それらのpH範囲ではほとんどの場合，RDF焼却灰と比較して低く抑えられていることを確認した．また，製造後初期に鉛が溶出したことから，鉛溶出量を経日的に追跡した結果，製造後徐々に溶出量が減少し1週間程度で土壤環境基準値を満足することが分かった．このときのX線回折分析結果から，カルシウムアルミネートが，鉛溶出抑制に関与していることが明らかとなった．更に，製造後初期の鉛溶出を抑制する方法を検討した結果，硫酸アルミニウムを添加し，溶出試験液のpHを12.3以下となるように管理すれば，出荷時(製造1日後)の鉛溶出量を土壤環境基準値以下に抑制できた．

[ キーワード : RDF焼却灰，有効利用，ポゾテックR，安全性評価，鉛 ]

1 はじめに

現在の廃棄物処理においては廃棄物焼却時のダイオキシン類の対策や最終処分場の不足といった課題に取り組んでいるところである．平成14年12月のダイオキシン類規制強化への対応として，高温で安定的な連続燃焼が可能な施設整備が必要であった．しかし，小規模市町村単独では，この施設整備が難しいのが現状であったことから，福岡県では，小規模市町村のごみ焼却に伴うダイオキシン類対策及びごみの熱回収を図るため，平成11年1月，大牟田市，電源開発(株)とともに，大牟田リサイクル発電株式会社を設立し，RDF発電事業を推進している．更に，RDF発電所の稼働に伴って排出される焼却灰については，埋立処分量の減容化及び資源節約のために，有効利用方法として，焼却灰を路盤材等に利用するポゾテックRの実用化試験を行った．

ポゾテックRは，石炭灰，RDF焼却灰，排煙脱硫スラッジ(亜硫酸カルシウム)及びセメントに，適量の水を加えて粉状体として，現場で転圧施工するものであり，材料の主成分であるカルシウム，アルミニウム及びケイ素等が水和反応によって固化することを利用したものである．また，本研究のなかで原料の配合割合の検討，強度

測定及び土壤環境基準に準じた重金属類の溶出試験による環境安全性評価を行った結果，強度及び環境安全性において道路等の地盤材料としての性能を有することが確認され，平成14年6月に福岡県建設技術情報センターの民間開発技術審査証明を取得した<sup>1)</sup>．

ポゾテックRは施工後徐々に固化が進み，強度が発現するとともに重金属類の溶出も抑制されると考えられている．このため，通常のコンクリートが安定化すると考えられている1ヶ月後の溶出試験による環境影響評価で，重金属類の溶出が土壤環境基準値以下となることが確認されていた．本論文では，ポゾテックRの環境影響に関する検討のなかで，重金属類の溶出についてのpH依存性試験<sup>2)</sup>，初期の鉛溶出についての経日変化及び溶出抑制方法の検討<sup>3)</sup>について記述した．

2 試験方法

2・1 pH依存性試験

ポゾテックRとその原料のうちRDF焼却灰(富山県南砺リサイクルセンター産出のRDFを実証試験設備で燃焼して得られたもの)及び石炭灰(九州電力港発電所から排出されたもの)について，pH依存性試験を行った．これら試験対象物の重金属類含有量を表1に示す．

福岡県保健環境研究所(〒818-0135 太宰府市大字向佐野39)

表1 ポゾテックR及びその原料の重金属類含有量

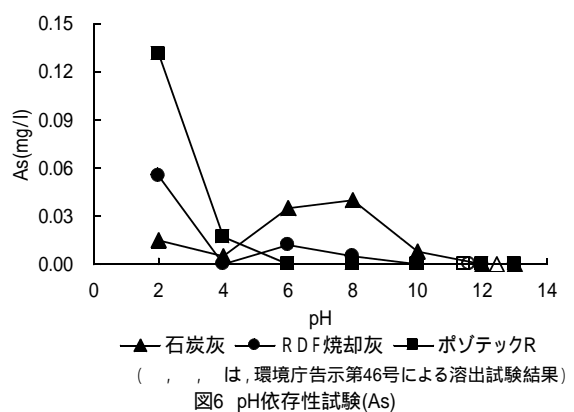
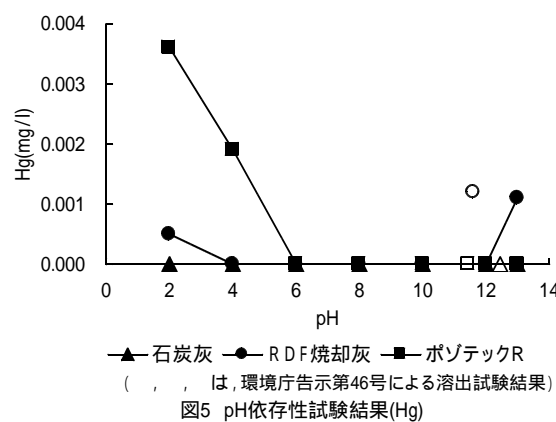
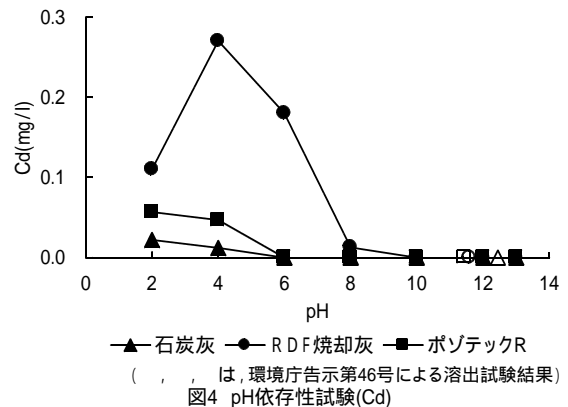
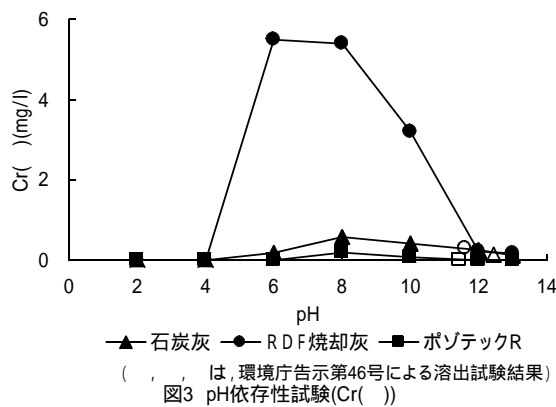
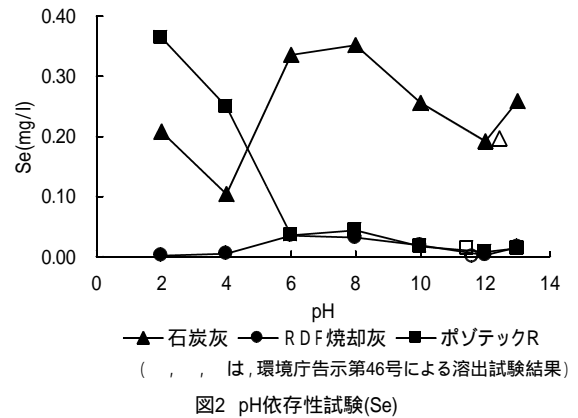
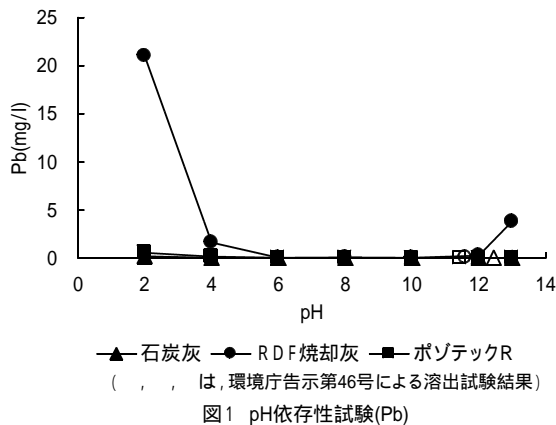
T-Hg	Cd	Pb	T-Cr	As	Se
(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)

RDF焼却灰及び石炭灰については有姿のまま使用し、ボゾテックRについては、強度試験のために作成される直径5 cm、高さ10 cm程度の円柱状の供試体を強度試験後に破碎し、ふるいにかけて直径2 mm以下として使用した。これらの試料50 gに蒸留水500 mlを加え、硝酸及び水酸化ナトリウム溶液を用いて、pHコントローラーでpH2, 4, 6, 8, 10, 12及び13に調整し、マグネチックスターラー

で6時間撈拌した。その後、孔径0.45 μmのメンブランフィルターでろ過して重金属類分析試料とした。また、環境庁告示第46号による溶出試験を同時に行った。

## 2・2 鉛溶出量の経日変化及び鉛溶出抑制方法の検討

製造後初期の固化が十分に進んでいない状態では、鉛の溶出が見られたことから、溶出傾向を明らかにするため経日変化を調べた。試料には、実際の製品と同じ配合



割合で作成した供試体を準備し、試験日まで20 日の恒温室に置いた養生箱(乾燥を防ぐため、下に水をはって、その上部に網を張り供試体を保存するもの)中に保存し

た。これを、試験日ごとに取り出して粉碎し、2 mmのメッシュを通過したものを環境庁告示第46号にしたがって溶出試験を実施した。また、このとき並行してX線回折

分析を行い、鉛溶出抑制メカニズムの解明を試みた。

また、鉛の溶出抑制方法の検討として、pHを低下させて鉛の溶出を抑制させるため、セメント添加量を通常の3%に対して、0%、1%に減少させる実験、ジチオカルバミン酸系のキレート剤をRDF焼却灰に対して、0%、1%、2%及び5%添加する実験、硫酸アルミニウム等を添加して、pHを11-12程度に低下させ、鉛の溶出を抑制する実験を実施した。添加物として硫酸アルミニウム等を選んだ理由は、成分としてポゾテックRにもともと含有され、pH以外の影響が少ないと考えられたためである。(及びの実験では、試料は、供試体を作成せず、紛状体のまま室温で放置した。)

の実験では、標準配合のポゾテックR(石炭灰、RDF焼却灰及び排煙脱硫スラッジの割合(重量比)が60:15:25で、セメントを外割で3%添加したもの)を対照として、硫酸アルミニウムを添加したもの、また、これに加えて、強度を増すためにセメント添加量を増加して5%としたもの、RDF焼却灰の割合を増やしたもの、更に、硫酸のみ添加したものについて、1日後に溶出試験を行った。

### 3 結果及び考察

#### 3・1 pH依存性試験

試験結果を図1-6に示し、同一試料で実施した環境庁告示第46号による溶出試験結果を白抜きのマーカーで併記した。鉛は、図1に示すように、全ての試料においてpH6-12では溶出量は<0.01-0.26 mg/lであり、顕著な溶出は見られなかった。しかし、上記以外のpH範囲では、RDF焼却灰から鉛が溶出し、その溶出量は、pH2、4及び13でそれぞれ、21 mg/l、1.6 mg/l及び3.8 mg/lであった。ポゾテックRの標準的配合量では、RDF焼却灰は重量比で全体の約11.5%となるため、配合割合から計算すると、pH2、4及び13でそれぞれ2.4 mg/l、0.18 mg/l及び0.44 mg/lとなるはずであるが、実際は、それぞれ0.56 mg/l、0.17 mg/l及び0.043 mg/lであり、計算値をかなり下回っている。このことは、ポゾテックRが水和反応によって固化し、このとき、鉛を水和固化物の中に封じ込めることによって溶出を抑制していると考えられる。

セレンは、石炭灰中の含有量が高いため、石炭灰からの溶出量は、pH2-13の範囲で高く、0.10-0.35 mg/lであった。また、RDF焼却灰は、pH6-10の範囲で比較的高い溶出傾向が見られた。六価クロムとしての溶出量は、pH6-10の範囲で比較的高く、特にRDF焼却灰で3.2-5.5 mg/lであった。しかし、ポゾテックRは、水和固化による効果が見られ、pH6以下及びpH12以上では<0.04 mg/l、pH8で0.19 mg/l、pH10で0.07 mg/lであった。カドミウムについては、全試料においてpH10以上では<0.01 mg/lであったが、RDF焼却灰では、pH2-8の範囲で溶出が見られ、特にpH2-6では0.11-0.27 mg/lの高濃度の溶出が見られ

た。ポゾテックRについてはpH6以上では0.01 mg/l以下であった。水銀については、pH4以下及びpH13で高濃度の溶出傾向が見られた。ポゾテックRについては、pH6以上では<0.0005 mg/lであった。ヒ素は、石炭灰及びRDF焼却灰のpH2とpH6-8で比較的高い溶出傾向があった。鉛以外の重金属類についても、ほとんどの場合固化することによって溶出抑制効果がみられた。

#### 3・2 鉛溶出量の経日変化

ポゾテックRからの鉛の溶出量は、図7に示すように、0日目に0.087 mg/lであったが、順次暫減して7日目に土壤環境基準(0.010 mg/l)を下回った。また、10日目には、検出限界値の0.005 mg/l未満となった。

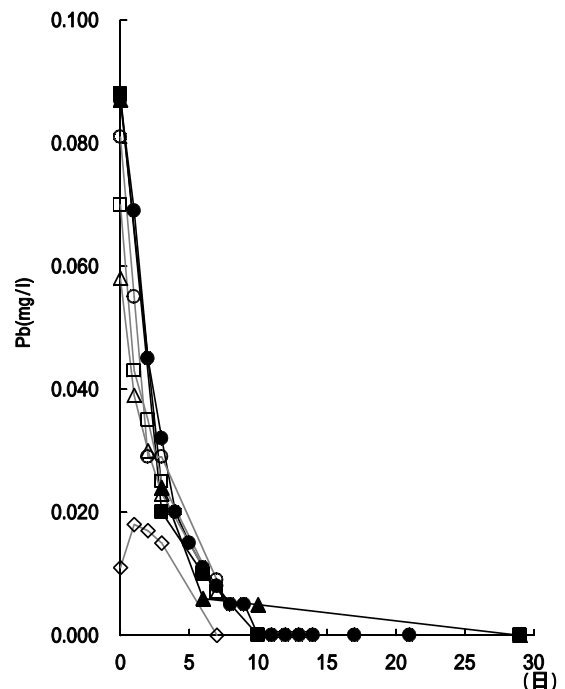


図7 鉛溶出量経日変化

●セメント3% ■セメント1% ▲セメント0% ○キレート剤0%  
□キレート剤1% △キレート剤2% ◇キレート剤5%

また、鉛の溶出抑制機構を解明するため、ポゾテックRの主成分であるカルシウム、アルミニウム及びケイ素を含む化合物の結晶構造の変化をX線回折で分析した。主なピークをライブラリから検索した結果、 $Ca_4Al_2O_6Cl_2 \cdot 10H_2O$  (フリーデル氏塩)、 $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$  (エトリンサイト)、 $CaSO_3 \cdot 0.5H_2O$  (亜硫酸カルシウム)、 $Al_6Si_2O_{13}$  (ムライト) 及び $SiO_2$  (クオーツ) が存在していると考えられた。図8より、 $2\theta = 9.1^\circ$  のエトリンサイトと思われるピークと $2\theta = 11.2^\circ$  のフリーデル氏塩と思われるピークが日を追って成長していることが明らかであり、鉛の溶出抑制機構にこれらの化合物の関与が示唆される。また、亜硫酸カルシウムは、排煙脱硫スラッジ由来するものであるため、水和反応によって結晶構造が変

化しなかった。また、ムライト及びクオーツは、元来安定な化合物であり、水和反応によって結晶構造が変化しないと考えられる。2θ = 26.6°のクオーツと思われるピ

ークが変動しているが、規則性はなく、試料のばらつきであると考えられる。

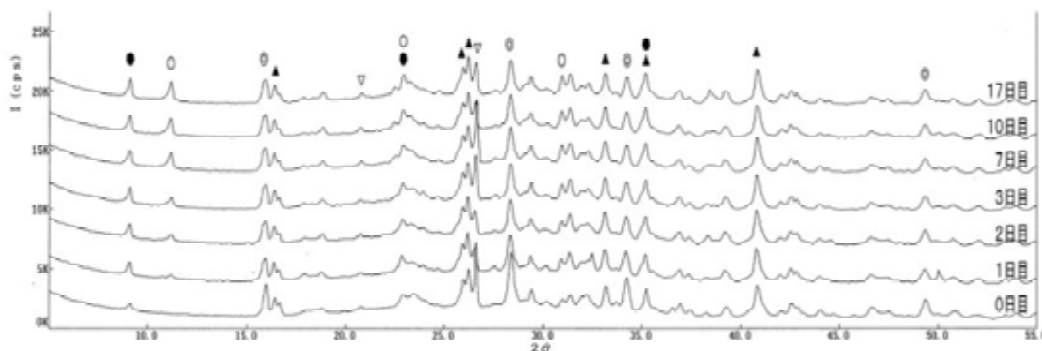


図8 X線回折図

○:  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_7\text{Cl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (フリーデル氏塩) ●:  $\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$  (エトリンガイト) ⊙:  $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$  (亜硫酸カルシウム) ▲:  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  (ムライト) ▽:  $\text{SiO}_2$  (クオーツ)

### 3・3 鉛溶出抑制方法の検討

図7に示した経日変化の結果より、製造後1週間は鉛が溶出することが分かったため、セメント、キレート剤及び硫酸アルミニウムの添加による溶出抑制についての実験を行った。図7に示すとおり初期の鉛溶出抑制に関して、セメント添加量の差による違いはほとんどなかった。また、キレート剤の添加による鉛の溶出抑制は、製造後初期にキレート剤添加量が多いほど鉛の溶出が抑制される傾向が見られたが、7日目ではキレート剤を添加しなかったものと大きな差はなかった。このことより、キレート剤は即効性があり、初期には鉛の溶出を抑える効果が高いが、土壤環境基準を満足するためには、大量のキ

討を行った。その結果、図9に示すように、溶出試験液のpHが12.3以下の場合、土壤環境基準値(0.01 mg/l)を満足することが分かった。これらの実験から、標準配合のポゾテックRに硫酸アルミニウムを適量添加することで、製造1日後に鉛の溶出を押さえることが可能で、強度的にも基準を満たすことができた。硫酸アルミニウムの添加量は、少なすぎるとpHが下がらず、多すぎてpHが下がりすぎると強度が落ちるため、pHが11.5-12.0の範囲になるように前試験により確認して決定した。標準配合のポゾテックRの場合、3%が適当であった。また、RDF焼却灰の割合を増やしても、硫酸アルミニウムの添加量を増やせば、基準を満たすことが可能であった。

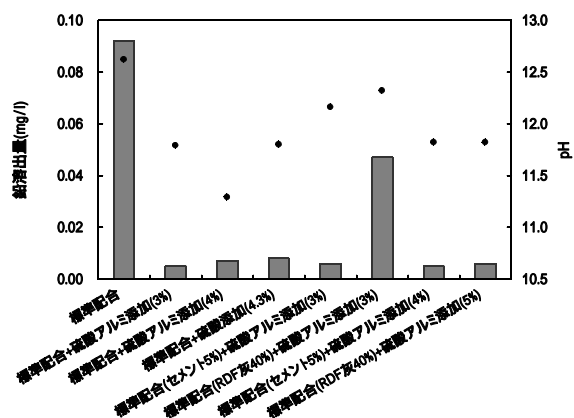


図9 pH低減試験結果

■ Pb(mg/l) ● pH

### 4 まとめ

pH依存性試験では、原料のRDF焼却灰は、pHによっては鉛等重金属類の高濃度の溶出が見られたが、ポゾテックRからの鉛の溶出量はpH2-13の範囲において低かった。このことから、水和固化によって重金属類が、固化物中に取り込まれ、溶出しにくくなる事が分かった。また、ポゾテックRを経日的にX線回折分析した結果、エトリンガイトやフリーデル氏塩等のカルシウムアルミネートが、鉛溶出抑制に関与していることが分かった。

鉛溶出量の経日変化から、ポゾテックRは、製造後一週間程度は鉛溶出量が土壤環境基準値を超えることが分かった。

このため、初期の鉛溶出を抑制する方法を検討した結果、硫酸アルミニウムを添加し、溶出試験液のpHを12.3以下となるように管理すれば、出荷時の鉛溶出量を土壤環境基準値以下に抑制できることが分かった。

レート剤を必要とし、7日後の抑制効果は、キレート剤を添加しない場合と同じであることが分かった。

次に、硫酸アルミニウムの添加による鉛溶出抑制の検

## 謝辞

本研究は、リサイクル総合研究センターのプロジェクト研究において、三井鉱山(株)、電源開発(株)、九州大学及び保健環境研究所が共同で実施したものであり、ポゾテックRの製造及び強度試験等に関することは三井鉱山(株)で行っている。ここに、関係各位に感謝の意を表す。

## 文献

1) 財団法人福岡県建設技術情報センター：RDFの流動床燃焼による灰を混入した地盤材料「ポゾテックR」、

民間開発技術・審査証明事業に基づく民間開発技術審査証明報告書、2002.

2) 鳥羽峰樹ら：RDF焼却灰とその水和固化物からの重金属類溶出特性，第12回廃棄物学会研究発表会講演論文集，863-865，2001.

3) 鳥羽峰樹ら：RDF焼却灰等の水和反応による鉛溶出抑制機構について，第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集，497-499，2003.

(英文要旨)

## Environmental Impact of Road Bed Material Containing Fly Ash Generated from Refuse-Derived Fuel Incinerator

Mineki TOBA, Daisuke TSUCHIDA, Koji TAKAHASHI, Youichi KUROKAWA, Makoto NAGASE and Akira UTSUNOMIYA

*Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences,  
Mukaizano 39, Dazaifu, Fukuoka 818-0135, Japan*

Road bed material "Poz-O-Tec R", which contains fly ash generated from Refuse-Derived Fuel (RDF) incinerator, is manufactured to promote the recycling of RDF fly ash. The properties of the material were investigated by the pH-dependent leaching test conducted in the range of pH2-13 using the batch type leaching test (Japanese Leaching Test No.46; JLT46) to evaluate the environmental impact on groundwater when this material is used as road bed. The result of pH-dependent leaching test shows that the concentrations of leached heavy metals from the road bed material are relatively smaller than those leached from its components, such as coal fly ash and RDF fly ash. And the amounts of heavy metals released from the material during JLT46 meet the environmental standards for all heavy metals except lead. It is confirmed that the concentration of lead by JLT46 decreases with consolidation of the road bed material and meets the environmental standards within 7 days after construction using this material. X-ray analysis indicates that calcium aluminate inhibit the leaching of lead. It is found that the initial high concentration of lead within 7 days can be controlled by adding aluminum sulfate which lowers the pH of the material to 12.3 or less.

[Key words; RDF incinerated ash, Effective utilization, Poz-O-Tec R, Safety evaluation, Lead]