

## 廃棄物の埋立管理における前処理の効果

久保田 洋 矢島 聡 \*1  
岡本 太郎 酒向 信一 \*2  
山田 裕己 \*1

### 概 要

近年、最終処分場の立地困難、残余容量の逼迫から焼却灰の熔融処理やエコセメント化等の再利用を前提とした処理が始まっている。しかし、エネルギーやコストの点からなかなか進まず、現時点では焼却灰の多くは最終処分場に埋め立てられている。焼却灰を埋め立てる最終処分場の立地を困難にしている要因として焼却灰に含まれる塩類や重金属等に起因する長期に渡る周辺環境への負荷に対する住民の不安感や不信感があり、負荷が少なく安全性の高い最終処分場が厳しく求められている。

廃棄物を安全性及び安定性が高い状態に早期に改質する方法として、埋立前に行う前処理が提案されている。筆者らは、環境への負荷を抑えた前処理方法として、適切な散水と通気処理に着目し研究を行っている。本報文では焼却灰に対する前処理としての散水と通気の効果の検証を行い、埋立後の長期溶出特性についてもカラム実験にて検討を行った。また焼却灰を熔融処理した場合に発生する熔融飛灰についても、埋立管理の参考とすべくその溶出特性について調査した。

### The effect of pretreatment for landfill management of wastes

#### Abstract

Recycling of bottom ash using melting treatment and *Eco - cement* has started recently because of difficulty in finding new landfill sites and the limited capacity of existing sites. However, the majority of bottom ash is still being dumped in landfills because these recycling processes are expensive and require a great deal of energy. The main difficulties in locating landfill sites come from worries of residents living near to candidate landfill sites about long-term environmental burdens caused from saline and heavy metals in bottom ash. Therefore, the need to construct waste disposal sites, which present minimal environmental burdens is increasing.

In order to cope with these problems, pretreatment methods prior to dumping have been proposed to make wastes safer and more stable. We focus on this pretreatment method, and have started the development of a method using sprinkling water and aerating to reduce environmental burdens efficiently. In this report, the effect of sprinkling and aerating for bottom ash was investigated and long-period elution behavior after landfilling of pretreated bottom ash was studied by using column experiments. The elution behavior of melting fly ash was also investigated for landfill management.

キーワード： 最終処分場 焼却灰 前処理  
散水 通気

\*1 設計エンジニアリングセンター \*2 土木本部

## §1. はじめに

最終処分場に搬入された廃棄物は自然降雨もしくは人工散水により安定化が進むとされている。焼却灰を主体として搬入された最終処分場においても有機物などの成分が長期にわたり低濃度で浸出水に溶出する可能性が指摘されている。そのため最終処分場が閉鎖された後も、廃止までに長期間を要し、浸出水処理などの管理コストや周辺環境に対する影響が懸念されているのが現状である。

これに対して、焼却灰を最終処分場に埋め立てる前に処理(前処理)を行い、より安定で安全な状態にしたものを埋め立てるといった方法が提案されている。前処理を行うことにより、処分場のインシャルコストは一時的に上昇するが、結果、浸出水の水質は安定し処分場の閉鎖後に速やかに廃止ができるようになるため、跡地利用の促進など全体としてはコスト削減になると期待されている。

本報告では、エネルギー消費や環境への影響を最小限に抑えながら、最大限の効果を達成することを目標に開発を進めている前処理方法について報告する。

## §2. 前処理の考え方

焼却灰等の廃棄物を早期に安定化させるための処理方法としては、機械で洗浄する方法、酸化剤などの薬剤を添加する方法などが研究されているが<sup>1)、2)</sup>、本研究では環境への負荷を少なく、エネルギー消費やコストを抑える方法として、埋立前の廃棄物を散水と通気によって前処理する方法の研究開発を行っている。本研究の前処理の期待される効果としては、廃棄物中の塩類等の溶出されやすい成分を適量の散水により洗い流し、通気によって有機物の分解、重金属類の難溶化を促進することである。「溶出しやすいものは洗い流し、溶出しにくいものは閉じ込める」ことが本研究の前処理の考え方であり、処分場からの浸出水がより安定したものになることで埋立管理における省力化や処分場の早期廃止によるコスト削減が可能になると考えている。本報告では、前処理によって廃棄物の浸出水が初期に比べて濃度が低く、安定した状態になることを「改質」と定義した。

本研究の前処理について、2003、2004年に北九州市エコタウン実証研究センターにあるコンクリート製ドーム型クロードシステム処分場実験施設にて実証試験を実施した。実証試験の結果、散水を分割して行うことによって効率的に洗い流しが行うことができることを矢島らが報告している<sup>3)</sup>。

## §3. 実験概要

### 3.1 実証試験

2003年から2004年に北九州市において行った実証試験(写真1)では散水処理の効果(一部前報<sup>3)</sup>にて報告)の他に、通気処理の効果、実施時期による影響についての調査も行った。



写真1 実証試験装置

### 3.2 前処理済み焼却灰の長期溶出特性

前処理を行った焼却灰が処分場に埋め立てられた場合の長期溶出特性について調べるために、前処理済み焼却灰を積み増したカラム試験装置を用いて実験を行った。比較として未処理の焼却灰を積み増した実験を行った。

### 3.3 溶融飛灰の溶出特性

焼却灰以外の廃棄物を前処理する場合の条件設定の参考とするため、溶融処理に伴い発生する溶融飛灰を対象として、散水処理実験を行いその溶出挙動を焼却灰と比較した。実験は内径100mm、高さ400mmのカラム試験装置(図1)を用いて行った。

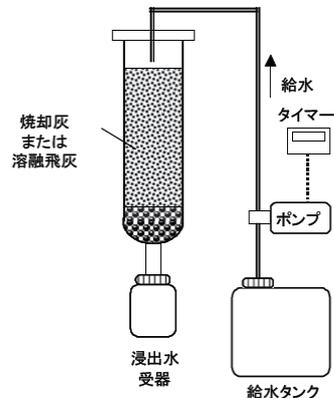


図1 カラム試験装置

§4. 実験

4.1 実験1(実証試験)

4.1.1 試験方法

実証試験装置としては2m×2m×0.6mの試験槽を6区画設置し、上部からスプリンクラーによる散水、試験槽下部より通気が行える装置を装備した。一般廃棄物の焼却施設から得た焼却灰(主灰)を10mmのふるいにて夾雑物を除去し、試験槽に搬入した。充填密度は前処理時の締め固め・転圧しない状態として1.3g/cm<sup>3</sup>、埋立時の重機による転圧などにより締め固めた状態1.8g/cm<sup>3</sup>とした。実験は冬期、夏期、秋期の3回行った。各実験の処理条件を表1に示す。

表1 試験条件

RUN	試験槽	焼却灰		密度 g/cm <sup>3</sup>	厚さ cm	散水強度 mm/day	分割回数 Time(s)	通気	加湿
		採取年月	処理						
1 冬期	C-1	2003/12	未処理	1.3	30	4	1	×	×
	C-2	2003/12	未処理	1.3	30	2	1	×	×
	C-3	2003/12	未処理	1.3	30	0	0	×	×
	C-4	2003/12	未処理	1.3	30	4	2	×	×
	C-5	2003/12	未処理	1.3	30	4	3	×	×
	C-6	2003/12	未処理	1.3	25	4	3	×	×
2 夏期	C-1	2004/07	未処理	1.3	30	4	3	×	×
	C-2	2004/07	未処理	1.3	30	4	1	×	×
	C-3	2004/07	未処理	1.3	30	1.3	3	×	×
	C-4	2004/07	未処理	1.3	30	4	3	○	×
	C-5	2004/07	未処理	1.3	30	4	3	○	○
	C-6	2004/07	未処理	1.3	30	4	3	○	○
3 秋期	C-1	2004/07	処理済	1.8	30	2	3	×	×
	C-2	2004/11	未処理	1.3	30	2	3	×	×
	C-3	2004/11	未処理	1.3	30	4	3	×	×
	C-4	2004/11	未処理	1.3	30	2	3	○	×
	C-5	2004/11	未処理	1.3	30	4	3	○	×
	C-6	2004/11	未処理	1.3	30	2	3	○	○

4.1.2 結果

1) 分割散水の効果

4mm/日の散水量を分割した場合の全有機炭素(TOC)の累積溶出量を図2に示す(データは冬期)。TOC溶出量は浸出水量とTOC濃度から算出した。試験期間を通じて、各処理区の溶出量は直線的に推移した。分割回数が多いほどTOC累積溶出量が多くなる傾向が示された。このことから前報と同様に、分割散水にすることで水と焼却灰の接触時間が長くなり効率的な洗い流しが可能となることが示された。

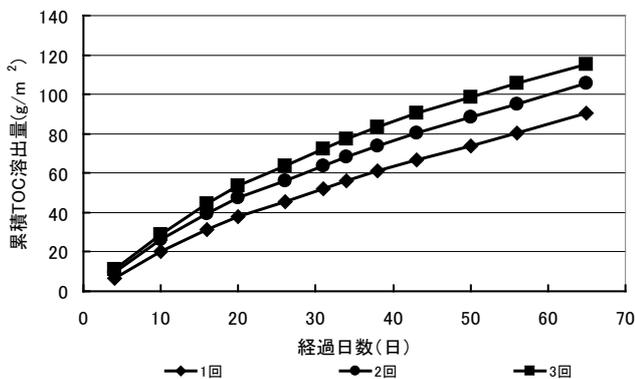


図2 TOC累積溶出量の推移

2) 通気処理の効果

4mm/日相当の水量を散水(1.3mm×3回)する条件において、通気を通気線速度2mm/秒、試験槽下部より上向流で行い、通気処理の効果を検討した。TOC濃度の推移を図3に示す。通気処理を行った試験区においては浸出水TOC濃度が未処理区と比較して早期に低下しており、通気処理が焼却灰の改質に効果的であることを確認した。

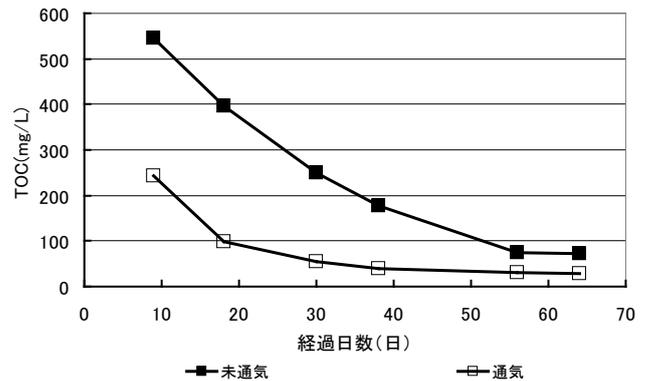


図3 通気処理がTOC溶出に与える影響(夏期)

3) 通気処理における散水量の効果

通気処理における散水量の効果について検討を行った結果を図4に示す。散水量を2mm/日(0.7mm×3回)に減じた試験区では、4mm/日散水・未通気処理区と比較してTOC濃度の低減効果は見られなかった。前処理においては通気と共に散水量が重要な要素であることが示唆された。

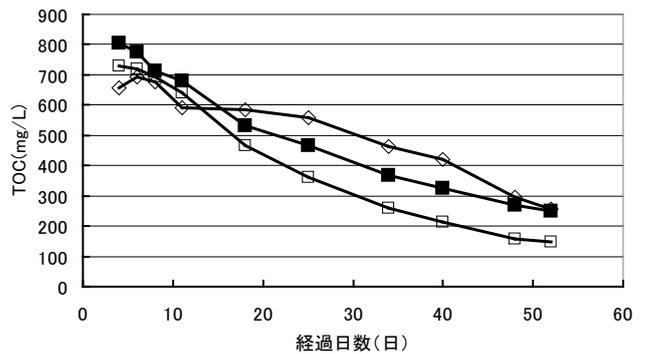


図4 通気・散水処理がTOC溶出に与える影響(秋・冬期)

4) 気温が前処理に与える影響

本項では、3回の実証試験において同一条件で行った前処理試験区を抽出し、比較検討を行い、前処理に対する、気温などの環境条件の影響を検討した。前処理条件は4mm/日(1.3mm×3回)散水、埋立密度1.3g/cm<sup>3</sup>、未通気である。試験期間中の日平均気温及

び日平均相対湿度を表2に示す。

浸出水中の TOC 濃度の経時変化を図5に示す。初期濃度は 700~900mg/L とほぼ同じ程度であった。夏期に行った試験結果では、40~50 日の時点で濃度は 100mg/L 以下となり、60 日以降ではほぼ横ばいとなった。他の時期の試験区では、60 日以降の TOC200~300mg/L 程度になると予想され、周囲の気温条件によって改質の効果が異なる可能性が示唆された。

表2 試験期間中の平均気温及び平均相対湿度

	冬期	夏期	秋・冬期
気温(°C)	7.3	29.6	10.2
湿度(%)	68.1	72.5	66.3

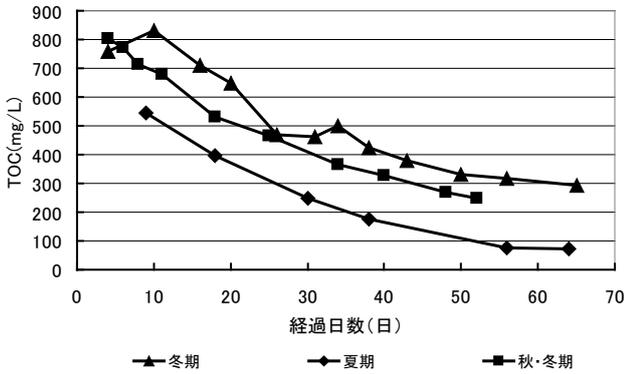


図5 浸出水中の TOC 濃度の推移(時期別)

## 4.2 前処理済み焼却灰の長期溶出特性

### 4.2.1 試験方法

4.1 の実証試験(2004 夏・秋期)で前処理(4mm/日散水)を行った焼却灰と、同時期に採取した未処理焼却灰をそれぞれ時期をずらして三層積み増すカラム試験を行った。カラムは内径 100mm、高さ 800mm の塩化ビニル製の装置を用いた。基本的構造は図1と同様である。実験の手順としては、1 層目の焼却灰を高さ 20 cm、密度 1.8g/cm<sup>3</sup> で充填し、4mm/日の散水条件にて開始した。以降開始から40日後に 2 層目、160 日後に 3 層目と同条件にて焼却灰を充填、4mm/日の散水を継続する実験を行い、3 層目積み増しが終了した後も散水を続け、前処理済み焼却灰を埋め立てた場合の長期的な溶出特性についての検討を行った。

### 4.2.2 結果

積み増した焼却灰の浸出水 pH の結果を図6に示す。pH は前処理なしで積み増したカラム(以降、未処理区)で 1 層目充填後に pH12 近くあったが約 50 日後には pH9 にまで下がり、その後積み増しに伴う大きな変動は見られなかった。前処理済み焼却灰のカラム(以降、前処理区)では1層目充填直後から pH8 前後を示し、1200

日を過ぎても大きな変動は見られなかった。

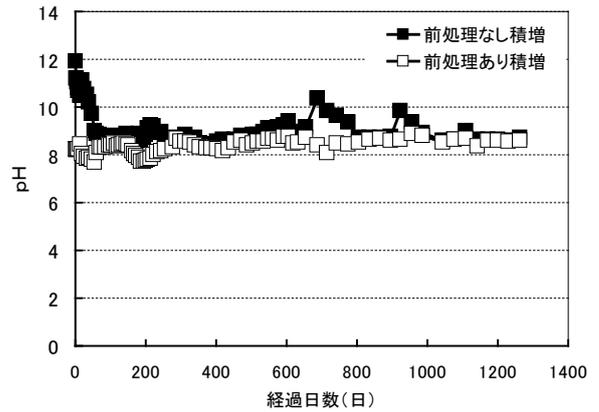


図6 浸出水中の pH

電気伝導度(EC)の結果を図7に示す。EC は積み増し後に各処理区ともに濃度変動が見られた。濃度のピークの大きさは未処理区のピークが最大 5.1S/m あったのに対して、前処理区では 1.3S/m と低い値であった。

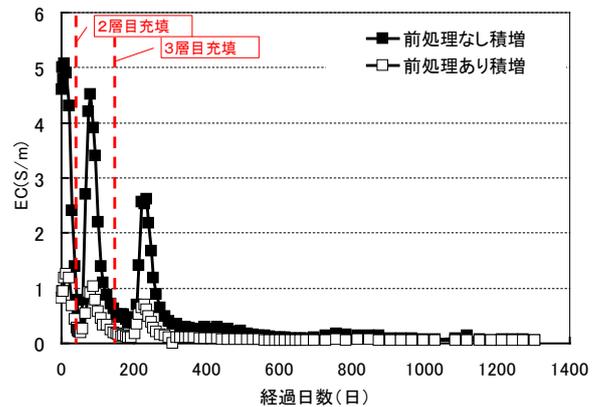


図7 浸出水中の EC の推移

浸出水中の TOC 及び全窒素(TN)の結果を図8に示す。TOC、TN についても EC と同様に積み増しに伴う大きな濃度の変動が未処理区で見られた。一方、前処理区では3層積み増しを行っても、試験開始時に TOC で 250mg/L、TN で 25mg/L 程度が最高値であり、その後は濃度変動の小さい安定した水質を示すことが確認された。ピークの出現した時期は EC と TOC では一致していた。

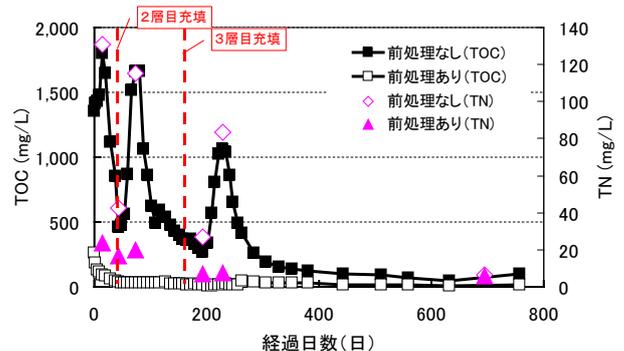


図8 浸出水中の TOC 及び TN 濃度の推移

ピークの出現は積み増し回数が増えるに従い遅れており、1層目では充填からピーク出現まで9日だったのが、2層目では40日、3層目では187日と焼却灰を積み増していくことで浸出水質の改善により時間がかかることが示された。本実験ではたかだか60cmの積み増し高さであるが、実際の処分場では10m以上積み増すことも多く、ピークの出現には非常に長い時間を要していると推察される。3層目を充填してから200日以上経過すると未処理区でも、散水による洗い流し効果により水質は安定するが、EC、TOC、TNの値は前処理区の方が未処理区よりも低い値で推移しており、その傾向は3層目埋立後500日以上経過しても変わらなかった。本実験の結果より埋立前に前処理を行うことにより処分場閉鎖後の水質の改善にも寄与でき、早期廃止の可能性が示唆された。

### 4.3 溶融飛灰の溶出特性調査

#### 4.3.1 試験方法

一般廃棄物焼却施設に併設した焼却主灰・飛灰溶融炉から採取した重金属固定処理済の溶融飛灰と、一般廃棄物焼却施設(ストーカー式)から採取した焼却主灰(以下、焼却灰)の成分及び溶出特性を比較し、溶融飛灰に対する散水の効果について検討した。

#### 1) 無機成分組成及び溶出試験

無機成分については溶融飛灰および焼却灰を105℃で乾燥しボールミルで破砕した後、蛍光X線分析装置にて分析を行った。溶出試験は環境庁告示13号に準じて行った。溶出水の無機塩類濃度はICP発光分光光度計により分析した。

#### 2) カラム試験

カラム試験装置(図1)に溶融飛灰約1.1g/cm<sup>3</sup>、焼却灰約1.3g/cm<sup>3</sup>の密度でそれぞれ充填した。散水は4mm/日(1.3mm×3回)になるようにタイマーでポンプを制御しカラム上部より滴下した。浸出水はカラム下部に浸出水受器を取り付け採取した。カラム試験は25℃の恒温室内にて行った。

#### 4.3.2 結果

##### 1) 無機成分分析結果

表3に蛍光X線分析の結果を示した。焼却灰と比較して、溶融飛灰ではCa、Na、K等の無機塩類の含有量が高いことが確認された。重金属類についても高い傾向が見られた。

表3 無機成分組成

	単位: wt. (%)	
	溶融飛灰	焼却灰
Na	4.673	0.445
Mg	0.534	0.784
Al	1.526	5.769
Si	2.759	18.789
P	0.267	1.615
S	4.682	1.482
K	3.338	1.328
Ca	38.030	17.939
Ti	0.307	0.899
Mn	0.108	0.310
Fe	1.029	6.994
Cu	0.238	0.160
Zn	0.966	0.321
Pb	0.596	0.278

#### 2) 溶出試験結果

表4に溶出試験結果を示した。溶融飛灰の溶出水では焼却灰に比べ、ECで約4倍、Na濃度で約30倍、Ca濃度で約2.5倍高く、浸出水への大量の無機塩類の溶出の可能性が示唆された。

表4 溶出試験溶出水の成分組成

項目	単位	溶融飛灰	焼却灰
pH		12.8	12.6
EC	S/m	3.1	0.8
TOC	mg/L	12	34
Na	mg/L	2,936	90
Ca	mg/L	1,915	753

#### 3) カラム試験結果

溶融飛灰および焼却灰の浸出水のEC値の推移を図9に示す。焼却灰のECは試験開始から40~50日で1S/m以下でほぼ横ばいになった。溶融飛灰のECは40日前後まで高い値で維持した後に低下する傾向が見られ、1S/m程度まで下がるのに150日を要した。

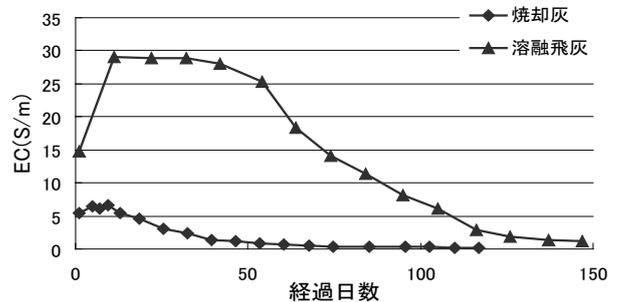


図9 浸出水中のECの推移

浸出水中Na、Ca濃度の推移について図10、11に示す。焼却灰では経過日数と共にNa、Ca濃度は低下した。溶融飛灰のNa濃度は40日ごろまで高い値のまま

一定で推移し、その後急激に低下した。Ca 濃度は初期に約 2000mg/L で維持した後、Na 濃度の低下が始まる 50 日前後を境に急激に濃度が上昇し、85 日前後で最大値を示した。

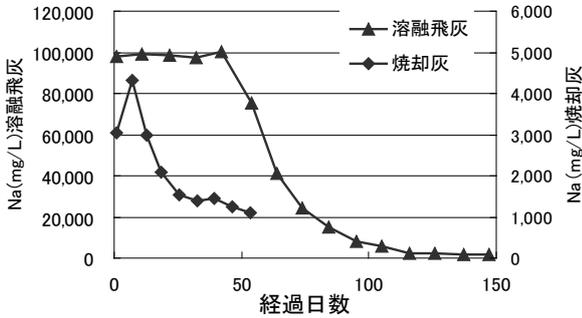


図10 浸出水中の Na 濃度の推移

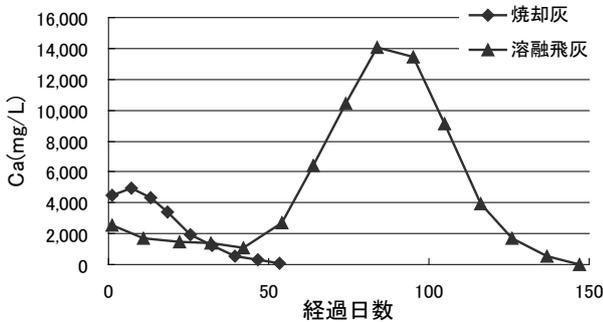


図11 浸出水中の Ca 濃度の推移

浸出水中の TOC 濃度の推移を図12に示す。焼却灰の TOC 濃度は散水開始 10 日前後でピークを示した後、低下した。TOC の低下速度は 40~50 日を境に遅くなる傾向が見られた。溶融飛灰では散水初期時は一定で推移していたが、50 日前後を境に上昇を示した。原因として、溶融飛灰に混合された固定剤等の流出が推察された。

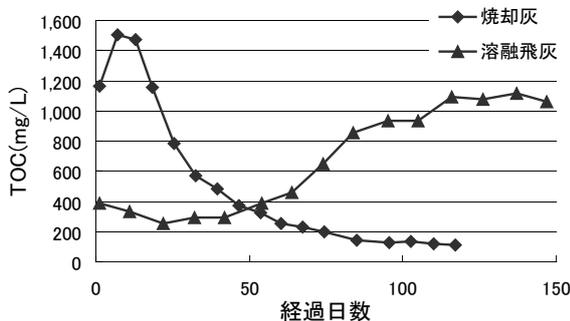


図12 浸出水中の TOC 濃度の推移

本実験の結果から、溶融飛灰は焼却灰に比べ塩濃度が非常に高い廃棄物であることが確認された。試験期間中の溶融飛灰ではカラム試験装置の受器に大量の塩の析出が見られた。また溶出特性についても Na の

後に Ca が溶出するなど焼却灰とは異なっていた。本実験では 4mm/日の散水を行ったが、溶融飛灰の場合はスケール等の問題に十分配慮し、長期的な挙動も含めて前処理や埋立管理を行う必要があると考えられる。

## §5. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 焼却灰の前処理方法としての散水は、分割して行うことにより効率的な洗い流し効果が得られること、また通気処理と併用することにより TOC 濃度の低減に効果的であることが示唆された。前処理は周囲の気温条件により、改質の効果が異なる可能性が示唆された。
- (2) 前処理済みの焼却灰をカラムに積み増し行った長期溶出実験では、未処理焼却灰カラムの浸出水 EC、TOC、TN 値は積み増しの度に大きな変動を示したが、前処理済みカラムでは変動は小さく、低く安定した水質を示していた。また積み増し回数が進むに従い、浸出水中の各濃度の変動ピーク出現が遅くなることが示唆された。
- (3) 溶融飛灰は焼却灰に比べて塩濃度が非常に高く、固定剤なども混入しているため、焼却灰とは異なる溶出特性を示すことが確認された。

**謝辞** 本研究の一部は三井造船株式会社との共同研究による平成 15、16 年度(財)エンジニアリング振興協会の受託研究「高度管理型最終処分場の新プロセス技術」の成果であり、その実施に当たっては同協会および委員会の先生方の貴重なご意見、ご指導を頂きました。関係各位の方々に深謝いたします。

## 参考文献

- 1) 谷岡隆・吉田忠弘ら: スパイラル式湿式洗浄設備による廃棄物洗浄、第 13 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp978-980、2002.
- 2) 木崎稔・樋口壯太郎ら: 廃棄物埋立地の早期廃止、安定化に関する研究、第 15 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp1208-1210、2004.
- 3) 矢島聡・佐竹英樹ら: 高度管理型最終処分場における埋立物安定化に関する研究、フジタ技術研究報告、第 40 号、2004.

## ひとこと

環境負荷が少なく、安全性を向上させる前処理方法の実現に向けて研究を進めていきたいと思っております。



久保田 洋