

(9) 埋立地における焼却飛灰処理物の長期安定性

Long-term Stability of Treated Incinerator Fly Ash in Monofill

宮脇健太郎*, 島岡隆行**, 花嶋正孝***

Kentaro MIYAWAKI*, Takayuki SHIMAOKA**, Masataka HANASHIMA***

西垣正秀****, 篠原武****

Masahide NISHIGAKI****, Takeshi SHINOHARA****

ABSTRACT; Because MSW Incinerator fly ash have a lot of heavy metals, that is needed to treat by stabilized treatment. Large-scale Lysimeters were used to study many materials; two types of chemically treated fly ash, untreated fly ash and molten slag. We continued to research this experiment for about 5 years. On this report, Water quality characteristics of leachate from lysimeters were described. Leachate volume of each lysimeter had large difference, because of permeability and water-holding capacity. Because treated fly ash has much alkaline substance, pH value of leachate was high at early period. Most of leachate from mono filling lysimeters had high concentration lead (Pb) at the early period.

KEYWORDS; Treated Incinerator Fly Ash, Molten Slag, Heavy Metals, Monofill, High salinity Condition

1. はじめに

現在、排出される一般廃棄物は、中間処理として焼却、破碎、コンポスト化などが行われている。1997年度において、焼却率は78%となり¹⁾、可燃物はほとんどが焼却されていると判断できる。焼却により、可燃分はガス化し、焼却残渣が発生することになる。焼却残渣は、大きく焼却灰(主灰または底灰)と飛灰(ばいじん)に分けられるが、有害重金属などを含有しており、特に飛灰はその含有量が高いことが知られており、法律で定められた方法により処理を行った後、埋立処分されなければならない。処理方法は、大きく5つに分類され、溶融固化、焼成処理、セメント固化、薬剤処理、酸等による抽出処理となっている。

重金属溶出は、pH、酸化還元電位に依存するため、飛灰処理物に対する様々な溶出特性調査の検討がこれまで行われている。飛灰処理物の安全性については、現状では環境庁告示13号溶出試験(以下、環告13号溶出試験)による評価のみで行われている。溶出試験については、実際の処分場での重金属流出特性との関係について議論があり、諸外国の溶出試験などとの比較などの検討も進んでいる²⁾。薬剤処理飛灰については、キレート処理を行った飛灰に対して実際に埋立られる条件を想定した実験を行い、経時的に調査を行ったところ、適切な薬剤添加条件では重金属の溶出を抑制し続けたとの報告がある³⁾。また、薬剤処理飛灰について廃棄物(焼却灰、破碎不燃残渣など)と共に埋立られた場合の長期安定性について、3年以上処理飛灰中の重金属は安定して存在していることが報告されている⁴⁾。

実際の飛灰処理物の埋立処分については、多くの場合、特に考慮されず焼却施設から焼却灰と共に排出・埋立処分されるが、飛灰の有害性などの問題から埋立時に管理し易いように他の廃棄物とは異なる区画に埋

* 福岡大学工学部土木工学科 (Dept. of Civil Engineering, Fukuoka University)

** 九州大学大学院環境システム科学研究センター(Institute of Environmental Systems, Kyushu University)

*** 福岡県リサイクル総合研究センター(Fukuoka Research Center for Recycling Systems)

**** (株) タクマ 装置設計部 (Takuma Co. Ltd.)

めるなどといった単独埋立が行われる場合もあり、リスク管理などからも集中管理しやすい埋立方法ではないかと考えることもできる。

筆者らは、処理物からの重金属等流出特性について検討するために、飛灰処理物の単独埋立を想定した、埋立模型槽を用いた長期的な埋立実験を1996年より継続して行ってきた。実際の飛灰の処理では、焼却飛灰に対して施設により様々な種類の処理が行われている。そこで、処理方法による比較を可能とするため、同一の飛灰に対して4種類の処理方法（条件：17種類）を用いた処理物の長期的実験を行った。これまで、重金属の浸出水への流出傾向についての調査^{5,6,7)}を行い、実験1年目に取り出した処理物中の重金属形態についての検討⁸⁾、飛灰からのダイオキシンの流出についての調査⁹⁾及び重金属流出要因に関する実験^{10,11,12)}について報告を行ってきた。本研究では、これまでの約5年間にわたる実験において、各種処理を行った飛灰処理物からの重金属類の溶出特性について調査し、溶出特性に影響を与える因子についての検討をまとめた。埋立実験では、薬剤処理物単独埋立、焼却灰混合埋立、溶融スラグ埋立の条件で充填を行い、浸出水の水量・水質を測定した。また、飛灰処理物の安定性を確認するために、充填試料を経時的に取り出し、溶出試験・含有量測定を行った。

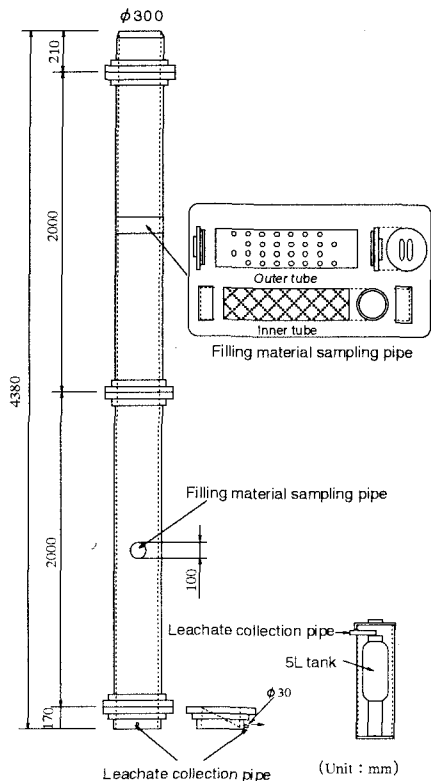


Fig1 Lysimeters

2. 試料および方法

2.1 埋立模型槽

埋立模型槽（以下、埋立槽）の構造を Fig.1 に示す。これは、内径 300mm のライシメータであり、上端を開放して自然降雨を受け入れ、底部には集水管を設けて浸出水を採水している。各槽とも下部からの空気侵入が容易な準好気性構造である。埋立槽には、経時的な充填物の性状変化を見るために充填物の採取管（Filling material sampling pipe）を設けてある。今回は、17本の埋立槽について報告する。なお充填試料に対応してNo.1槽～No.19槽（No.17,18除く）とした。

2.2 試料

充填した飛灰処理物は、都市ごみ焼却炉（全連続式ストーク炉）から排出されたバグフィルター飛灰を搬送コンベアの途中より採取し、混合・攪拌して均質にした後、各種の中間処理法による飛灰の処理を行い、埋立槽に充填した。採取した原灰についての成分および溶出試験分析結果を Table 1に示す。全体量が多いため、無作為に抽出した3検体について測定を行った。ほぼ、均質に混合されたと見せる結果が得られた。排ガス中のHCl除去のため、消石灰を噴霧しており、Ca含有量が非常に高く、また溶出試験のpHも12.5以上と高くなっている。有害重金属である鉛(Pb)の含有量・溶出試験ともに高い値を示した。Table2に充填物の一覧を示す。No.1～10には、飛灰を水及び薬剤と混練処理したものを充填した。No.1,2は水のみ（調湿）、

Table 1 Content and results of leaching test (Fly ash A)

Content				Leaching test(JLT13)				
	Unit	A	B	C	Unit	A	B	C
pH	-	-	-	-	-	12.5	12.6	12.6
Cl	%	18	20	15	mg/L	17000	16000	20000
Ca	%	30	29	30	mg/L	12000	12000	11000
Na	%	2.3	2.2	2.3	mg/L	2000	1900	1900
K	%	2.1	2	2.1	mg/L	2000	1900	1900
Pb	mg/kg	3700	3600	3800	mg/L	190	170	180
Cd	mg/kg	150	150	160	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005

Table 2 Filling materials and conditons

No.	Waste	Treatment method	Filling materials	Filling height (m)	Filling weight (kg)
1	Fly ash A	Humidity conditoning	Treated fly ash	4	257.4
2	Fly ash A	Humidity conditoning	Treated fly ash+Bottom ash A	4	341.4
3	Fly ash A	Organic chemical	Treated fly ash	2	138.1
4	Fly ash A	Organic chemical	Treated fly ash	4	277.2
5	Fly ash A	Organic chemical	Treated fly ash	8	540.8
6	Fly ash A	Organic chemical	Treated fly ash+Bottom ash A	4	351.3
7	Fly ash A	Organic chemical with pH ajuster	Treated fly ash	4	280.1
8	Fly ash A	Inorganic chemical	Treated fly ash	4	311.3
9	Fly ash A	Inorganic chemical	Treated fly ash+Bottom ash A	4	350.9
10	Fly ash A	Inorganic chemical with pH ajuster	Treated fly ash	4	213.6
11	bottom ash B	Surface melting furnace	Molten slag	4	383.2
12	bottom ash B, Fly ash B	Surface melting furnace	Molten slag	4	395.2
13	bottom ash B, Fly ash B, Incombustible	Surface melting furnace	Molten slag	4	388.9
14	Bottom ash A	Plasma melting furnace	Molten slag	4	384.9
15	Bottom ash A, Fly ash A	Plasma melting furnace	Molten slag	4	362.7
16	Bottom ash A	Non-treatment	Bottom ash A	4	346.2
19	Fly ash from plasma Melting Furnace	Organic chemical with cement	Treated fly ash	4	284.4

No.3～7 は有機系重金属固定剤（有機系薬剤）、No.8～10 は無機系重金属固定剤（無機系薬剤）による混練を行った。ただし、No.7,10 は、飛灰に多く含まれるアルカリ性物質を中和する pH 調整を行った後、重金属固定剤との混練を行った。また、No.2,6,9 は焼却灰と飛灰処理物を混合充填したものである。薬剤の添加量は、予備試験にて環告 1 3 号溶出試験による基準値を満足するように決定した。No.11～13 は、表面溶融炉スラグであり、焼却灰単独溶融、焼却灰と飛灰の混合溶融（混合比：6:4）、さらに不燃物を含めた 3 種混合溶融（混合比、5:3:2）を行ったものである。No.14,15 はプラズマ溶融炉スラグであり、焼却灰単独溶融、焼却灰と飛灰の混合溶融（混合比 8:2）を行ったものである。No.16 は焼却灰単独の充填である。焼却灰の成分および溶出試験分析結果を Table 3 に示す。No.19 はプラズマ溶融により発生した溶融飛灰を有機系重金属固定剤とセメントを併用して混練処理したものである。薬剤と飛灰の混練は、すべて 2 軸ニーダー式混練機を用いて行っている。

2.3 充填条件

埋立槽に、それぞれ、Table 2 に示す所定の高さへ試料の充填を行った。飛灰処理物は、埋立槽上部より投入し、締め固めなどは行っていない。ほぼすべての槽で 4 m の充填高さを持ち、単独埋立を模擬した充填を行った。No.3,4,5 については、実際の処分場での埋立条件の違いを見るために、高さを 2, 4, 8 m とし、同じ飛灰処理物（有機系薬剤）を充填している。また、No.2,6,9 については、実際の埋立条件を想定し焼却灰と飛灰処理物を 3 : 1 の重量割合で混合充填を行った。

2.4 分析

充填物については、充填前の含有量、溶出量（環告 13 号溶出試験、アペイラビリティー試験）を分析した。重金属は、pH に大きく依存することから代表的な処理条件については、pH 依存性試験も行っている。

浸出水については、分析に必要な最小量となった時点で採水してコンポジットサンプルとし、分析を行った。各サンプルは、ろ過をせずに分析に供した。なお、浸出水の pH 及び比重について各採水時に測定を行った。

浸出水の採水・分析については、以下の通りで行った。

採水時期：1,4,9,12,14,17,20,23,26,29,32,39,47,51 ケ月

分析項目：pH、EC、無機塩類（Na,K,Ca,Mg,Cl,SO₄）、重金属（Pb,Cd,Zn,Cu）

Table 3 Content and leaching test(Bottom ash A)

Item	Content		Leaching test(JLT13)	
	Unit	A	Unit	A
pH	-	-	-	11.6
Cl ⁻	%	1.4	mg/L	290
Ca	%	16	mg/L	200
Na	%	1.4	mg/L	77
K	%	0.37	mg/L	44
Pb	mg/kg	3100	mg/L	0.36
Cd	mg/kg	20	mg/L	<0.005

Table 4 Content and leaching test (Filling samples)

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	19
Content																	
Cl	190000	80000	180000	200000	180000	67000	150000	170000	95000	160000	11000	9300	11000	6600	12000	14000	320000
Ca	260000	140000	280000	290000	270000	130000	220000	240000	180000	220000	160000	170000	190000	130000	200000	160000	110000
Pb	3300	4700	3200	2800	3000	4900	1500	3300	3700	1800	800	610	980	290	210	3100	29000
Cd	190	45	180	180	190	22	120	160	91	140	12	9.9	7.1	<0.2	<0.2	20	490
Leaching																	
test(JLT13)																	
Cl	17000	4100	17000	17000	17000	2700	13000	13000	5000	18000	8.8	5	2.4	2.7	1.9	290	32000
Ca	9100	2400	9200	8600	9400	1400	6700	6400	2600	7500	52	37	11	5.3	6.1	200	2100
Pb	95	6.6	1.5	0.09	<0.05	0.9	<0.05	<0.05	0.12	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.36	<0.05
Cd	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.037	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
pH	12.2	12.4	12.2	12.2	12.2	12.1	9.3	7.2	9.4	9.5	10.9	10.5	9.5	8.4	9	11.6	10.9

3. 結果および考察

3.1 初期試験結果

Table4 に充填前試料の含有量および溶出試験結果について示す。溶出試験では、調湿飛灰 (No.1) は原灰同様に高い濃度を示した。また、有機系薬剤処理飛灰と焼却灰の混合充填 (No.6) と、焼却灰 (No.16) で溶出試験による Pb 基準値の 0.3mg/L を超えていた。処理を行った飛灰については、すべての試料で基準値以下となった。

Fig.2 に調湿飛灰(No.1)、有機系薬剤(No.3)、無機系薬剤(No.8)、焼却灰(No.16)についての pH 依存性試験 Pb に関する結果を示す。Pb は両性金属であり、pH の低い場合と高い場合の両方で溶解度が高くなる。すべての試料においてこの傾向が認められた。薬剤処理飛灰 (No.3,8) ではほぼすべての pH 領域で溶出が抑制されている。焼却灰 (No.16) についてみると、飛灰ほどではないが、含有量も溶出量も高い値を示している。

Fig.3 に同様に Cd について示す。どの試料でも pH が低くなるにしたがって、溶出量が増加している。薬剤処理飛灰では、溶出が抑制されている。含有量が低いこと及び調湿飛灰(No.1)においても溶出量が少ないことから、調湿飛灰 (No.1) と薬剤処理飛灰 (No.3,8) の差は小さくなっている。また焼却灰(No.16)では、含有量が少なく溶出量も低い。

これらの結果から、埋立槽に充填された処理物は、環告 13 号溶出試験による判定では、十分に基準を満足していることが分かる。

一方、焼却灰については、有害性などがあまり議論されないが、飛灰ほどではないものの、Pb の溶出が起ることが分かった。このことから、焼却灰は埋立地への搬入量も多く、今後の検討が必要と考えられる。

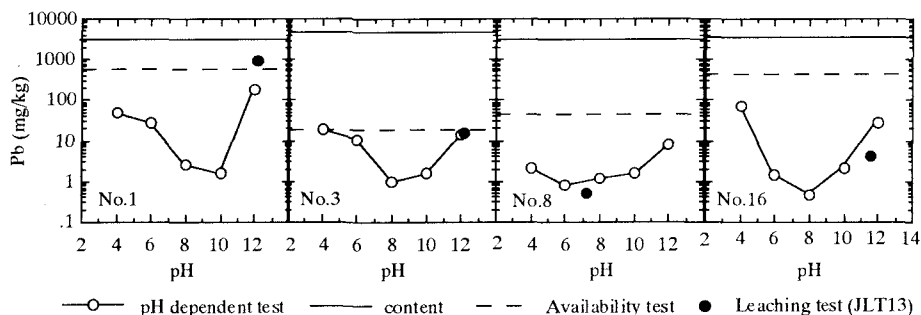


Fig. 2 pH dependent test (Pb)

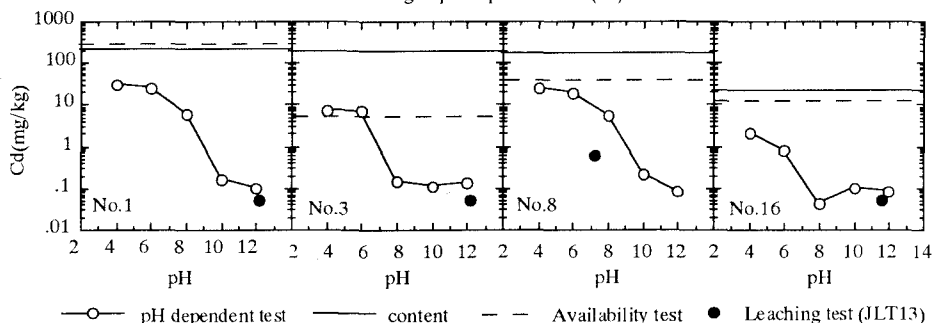


Fig. 3 pH dependent test (Cd)

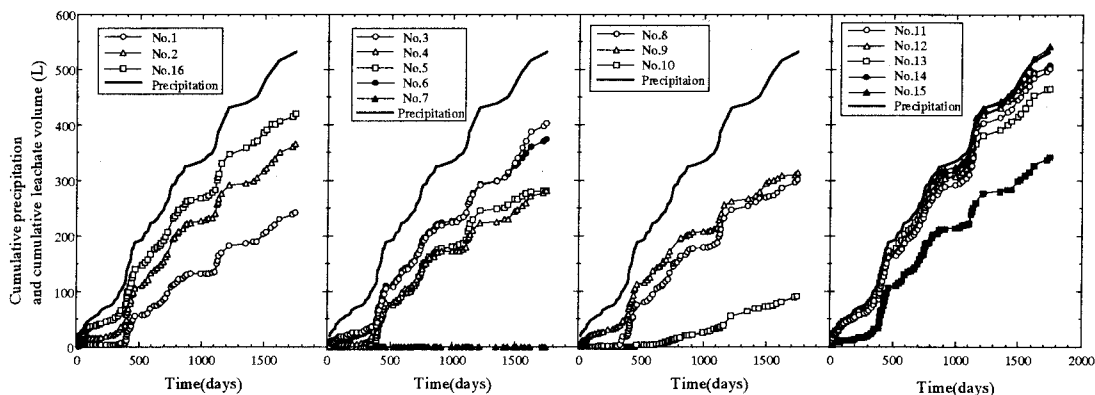


Fig. 4 Cumulative precipitation and leachate volume

3.2 浸出水

1) 浸出水量

Fig.4 には 1744 日間の累加浸出水量と累加降雨量の関係を示す。

充填物により、累加の浸出水量が大きく異なった。これは、充填物によって粒度分布、空隙率、表面の性状などが異なることや、透水性や保水性が異なるためと考えられる。溶融スラグを充填した槽

(No.11~15) は溶融スラグがガラス質であり、粒度が均一なため、

保水性が小さく、透水性が大きいことから、流出率が 87~101% となっており降雨のほとんどが流出していることが分かる。焼却灰埋立槽 (No.16) も流出率 78.7% と流出量が多くなっている。焼却灰はスラグに比べ、細粒分が多くなっているためと考えられる。飛灰処理物の埋立槽については、焼却灰混合 (No.2,6,9) では、流出量の比較的多い焼却灰の割合が大きいいため、流出率は 59~70% となり、飛灰単独埋立槽に比べて流出量が大きくなっている。飛灰単独埋立槽 (No.1,3,4,5,7,8,10) では降雨の半分以下であり、特に pH 調整剤を添加した飛灰処理物 (No.7, No.10) については、流出率は 0% および 17% と非常に低い値を示した。

充填高さを 2,4,8m と変化させた槽 (No.3,4,5) のうち、高さ 2m の低い槽では、早期に浸出水が流出し、流出率も 75% を超えている。高さ 4 及び 8m 槽については、60% 程度と低くなっていた。飛灰処理物の保水性について調査した結果¹³⁾を、Table 5 に示す。溶融スラグの保水量が、他の充填物に比べ非常に低いことが分かる。このことから、浸出水流出傾向に、飛灰の保水性が影響することが推測できる。なお、焼却灰と飛灰処理物については、差が少なく、保水性以外に粒度分布などの影響も考えられる。

これらのことから、飛灰処理物単体を埋める際は、飛灰処理方法によっては、埋立層内の透水性が悪くなったり、滞水が生じる可能性がある。また、溶融スラグの様に透水性の高い処理物を埋立地に多量に搬入した場合、降雨に対して流出挙動が大きく変化するため、浸出水処理などでの対応も必要であると思われる。溶融飛灰処理物を充填した槽 (No.19) においては、流出率が 64% となり、飛灰単独槽と同程度の値となった。

埋立槽浸出水の pH 経時変化を Fig.5 に示す。実験初期には、pH11 を超えるものもあったが、3 年後 (910 日) には pH7~9 まで低下している。未処理飛灰 (No.1) では、初期に 10.2 を示し、708 日目では 7.7 までゆっくりと低下している。焼却灰混合槽においても、顕著な差は見られなかった。焼却灰単独槽 (No.16) については、初期より pH7~8 でほぼ一定の値で推移した。有機系薬剤処理を行っている槽 (No.3,4,5) では高さ 2m, 4m, 8m と変化させており、4m 槽と 8m 槽では、4m の槽が早い時期に pH 低下が進行し、焼却灰混合槽 (No.6) についてはさらに早期に減少している。ただし、2m 槽については 352 日以降 pH が上昇し、埋立高さに伴う現象とは異なっていた。無機系薬剤処理を行った槽 (No.8) では、初期に pH4.6 という低い値を示した。薬剤が酸性を示し、添加量も通常より過剰量となっていたためと考えられる。

Table 5 Water-holding capacity of filling waste

Filling waste	Water-holding capacity (L/m ³)
No.1	371.0
No.4	285.3
No.8	466.0
No.12	84.3
No.16	322.8

焼却灰と混合している場合 (No.9) は初期より中性域を示し、焼却灰単独槽 (No.16) と同様の傾向を示した。なお、pH 調整剤を用いた槽 (No.10) においては、薬剤使用量が少ないため中性域で推移した。

溶融スラグについては、初期に高い pH を示した槽もあったが、131日目までに pH8 前後と

なり、以後はほぼ一定の値で推移した。溶融飛灰埋立槽 (No.19) では、初期から非常に低い値で推移した。溶融飛灰の原灰については溶出試験等を行っていないが、強い酸性を示すと伝えられている。処理後の環告 13 号溶出試験での pH は、セメントを添加していることもあり、10.9 となっているが、埋立槽での浸出水は 26 日目で 2.7 と酸性であった。これは、溶融飛灰がセメントとは完全には混合されておらず、未反応部分からの酸性物質の溶出が起ったと考えられる。降雨に伴い酸性物質が洗い出され、中性域へと変化した。

飛灰処理物単独で埋立を行った場合、飛灰がアルカリ性物質を多く含むため、浸出水も高い pH を維持すると予想されるが、実際には、一時的に pH の高い場合もあるものの、中性から弱アルカリ性を示すと考えられる。

3)無機塩類

Fig.6 に浸出水の塩素イオン濃度(Cl⁻)変化を示す。溶融スラグ槽 (No.11~15) を除く埋立槽で初期に 200mg/L 以上の濃度を示している。これは、塩化ナトリウムなどの飽和状態と同様と考えられる。未処理飛灰 (No.1) では、1000 日を越えても高い値で推移し、1200 日を過ぎて減少傾向になった。焼却灰混合槽 (No.2) では、271 日以降低下をしている。薬剤処理物 (No.3,4,5,8,10) においては、初期に高い値を示している。埋立高さを変化させた No.3,4,5 について見ると、高さ 2m の槽 (No.3) が充填量が少ないため早期に濃度減少が進行した。また、8m 槽 (No.5) においては、1555 日においても初期濃度に近い値を維持している。また、pH 調整剤を用いた処理物埋立槽 (No.10) では、累加の浸出水量も少ないため、洗い出しが進行せず、高い値で流出が継続している。

溶融スラグ埋立槽 (No.11~15) では、初期に 300mg/L 前後であったが、急速に減少し、352 日では 100mg/L 以下となった。このことは、スラグ表面にわずかな可溶性塩類が付着しており、洗い出しにより流出し濃度が急速に減少してい

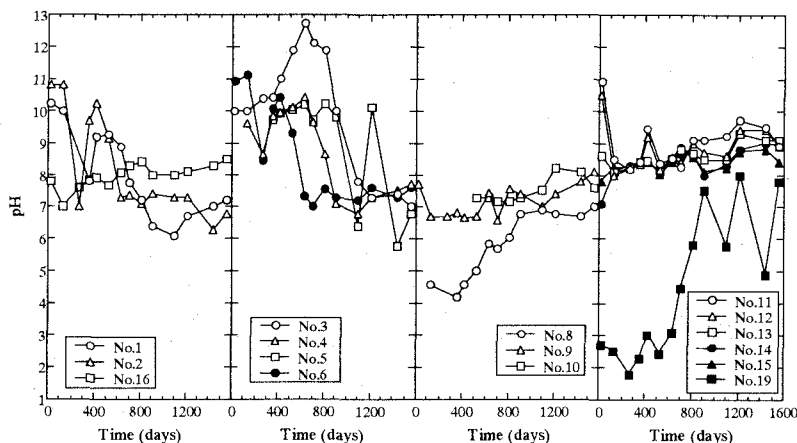


Fig. 5 Time variation of pH at leachate

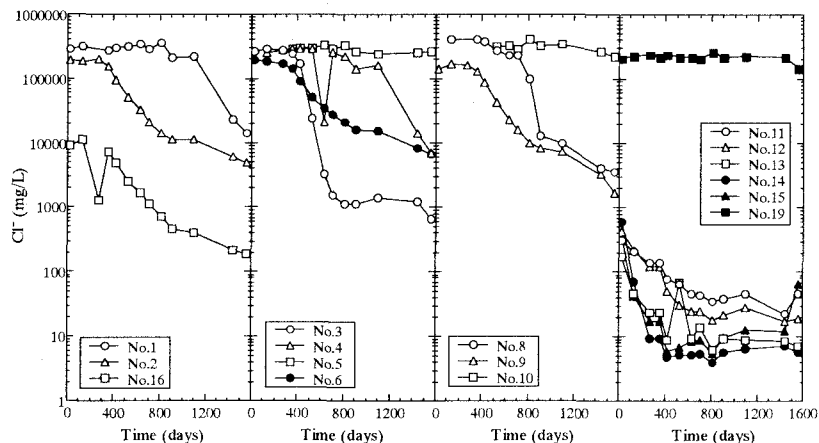


Fig. 6 Time variation of Cl⁻ in leachate

るといえる。溶融飛灰埋立槽では、1555 日まで高い値が継続している。含有量が飛灰に比べ多いことから、今後も高濃度の流出が継続と推測される。

Fig.7 に浸出水のカルシウム濃度 (Ca) 変化を示す。ほとんどの槽で Cl と同様の傾向を示したが、どの槽も Cl に比べると、低下の割合が大きくなっていた。

飛灰および溶融飛灰は多くの無機塩類を含有しており、その溶出は長期にわたることが分かる。埋立高さを変化させた実験では、埋立高さが高い（埋立量が多い）ほど、長期にわたり高い無機塩類を含む浸出水が発生すると考えられる。実際に、飛灰や溶融飛灰の処理物を分割（または単独）埋立処分すると、埋立地浸出水の高塩濃度化が進行すると考えられる。また、重金属などの溶解にも高濃度の無機塩類が関与しているため^{10,11,12,14}、検討が必要になると考えられる。

4) 重金属

Fig.8 に浸出水の Pb 濃度変化を示す。調湿飛灰 (No.1) では、初期に 3300mg/L という、非常に高い値を示し、1000 日程度まで 100mg/L 以上で流出が継続した。1555 日目でも、0.16mg/L と排水基準 (Pb:0.1mg/L) を超えている。調湿飛灰と焼却灰混合槽 (No.2) では、初期に 1100mg/L と高い値を示したが、708 日には排水基準以下となった。焼却灰 (No.16) では飛灰に比べ低い値ではあるが、初期に 0.2mg/L を示し、経時的に低下した。有機系薬剤で処理を行い埋立高さを変化させた槽 (No.3,4,5) についてみると、無機塩類同様に 2m 槽 (No.3) では早期に濃度減少が見られ、8m 槽 (No.5) では、比較的高い値で推移している。Pb 濃度は、Ca 濃度 (Fig.7 参照) の傾向と類似していることが分かる。このことは、高い Ca 濃度条件で Pb の溶出が促進されるという報告^{10,11,12,14}と一致する現象であった。有機系薬剤処理飛灰と焼却灰を混合したもの (No.6) については低い値となっており、混合された焼却灰が重金属を吸着していることが考えられる。

無機系薬剤処理飛灰 (No.8) では、調湿飛灰 (No.1) 同様の高い重金属濃度を示した。この槽では pH が 4.6 と非常に低くなっており (Fig.5 参照)、重金属濃度が高くなったものと推測される。薬剤が酸性を示しており、添加量が 30%と多量であったことが原因と

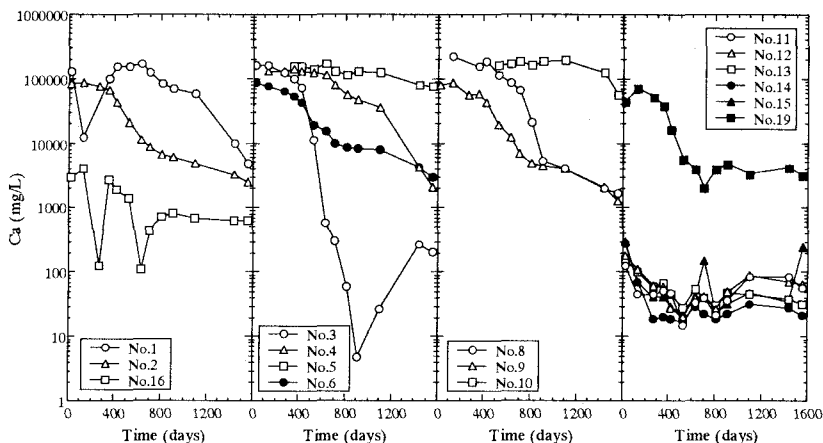


Fig. 7 Time variation of Ca concentration in leachate

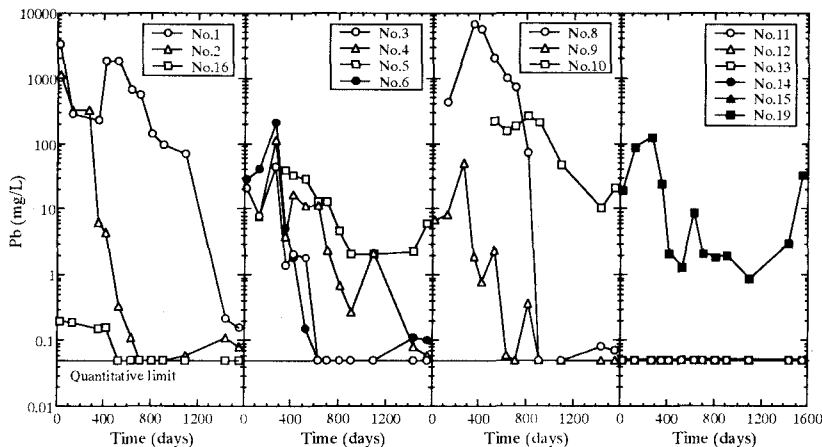


Fig. 8 Time variation of Pb concentration in leachate

考えられる。また、薬剤と飛灰が十分に混合されていなかった可能性があることも原因の一つと考えられる。焼却灰を混合した槽（No.9）では他の薬剤処理物埋立槽と同様の溶出傾向であった。溶融スラグ埋立槽（No.11～15）では、すべて定量下限値以下であった。溶融飛灰処理物の埋立

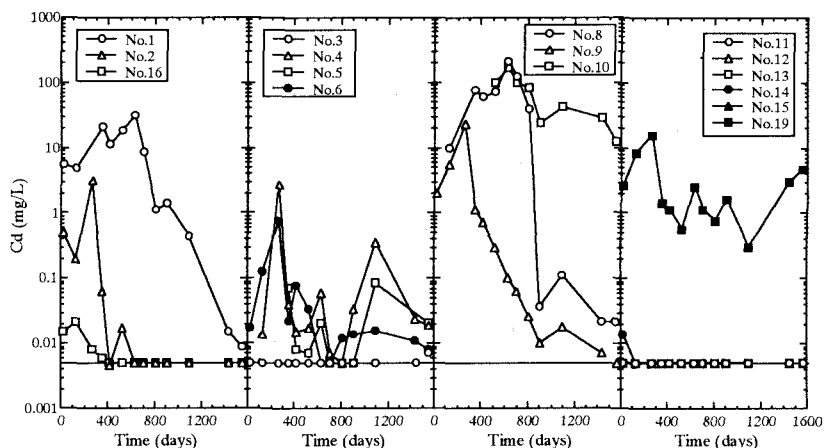


Fig. 9 Time variation of Cd concentration in leachate

槽（No.19）では、初期に 19mg/L を示し上下変動をしており、1555 日目でも同じオーダーにある。無機塩類などの溶出傾向などから、今後も流出が続くと考えられる。

Fig.9 に浸出水の Cd 濃度変化を示す。Pb と比較して、オーダーは異なっている（1/10 以下）が全体的な経時変化の傾向は同じであった。なお、有機系薬剤処理単独で充填高さ 2m のものについては、ほとんどの観測点で定量下限値以下であった。これは、埋立槽の浸出水 pH が 10 前後を示していたためと考えられる（Fig.5 参照）。

浸出水中の濃度の経時的な変化より、安定化処理を行った飛灰処理物でも単独埋立を行った場合、排水基準を大きく上回る可能性が高いことが分かった。また、焼却灰と混合した条件では、重金属流出の流出が抑制されていた。これは、焼却灰が飛灰から溶出した重金属を吸着したためと推測される。このことから、実際の埋立処分で混合された状態は、重金属による汚染のポテンシャル低減に有効であると考えられる。

4. まとめ

本報では、飛灰処理物の長期的な安定性について埋立模型槽を用いた検討について示した。以下にこれまでに得られた知見を述べる。

1) 飛灰処理物の性状の違いにより、浸出水の流出傾向が異なっていた。調湿飛灰、薬剤処理飛灰などは、降雨に対する浸出水量の割合が低くなっており、溶融スラグでは降水量の全量に近い浸出水が流出した。これらのことは、飛灰処理物の保水性、粒度分布割合などによると考えられた。

2) アルカリ性物質を多く含む飛灰処理物について、発生する浸出水では実験初期には高い pH を示していたが、徐々に低下し pH8 前後の弱アルカリ性の領域に達した。薬剤自体の pH も大きく影響し、pH が酸性を示す場合も存在した。

3) 飛灰処理物は、可溶性塩類を多く含有するものが多いため、浸出水中に溶解し、実験初期から長期間に高濃度の塩類を含む浸出水が発生した。塩類の飽和溶液に近い状態での流出が続くことが確かめられた。降雨による洗い出しにより、最終的には減少して行くことも確認された。また、埋立高さを変化させた場合、短い条件において洗い出しなどが早期に進行した。

4) 重金属の流出について、調湿飛灰（未処理）では、特に Pb が初期からかなり高い濃度で流出し、1555 日時点でも、排水基準を僅かに越える濃度であった。薬剤処理飛灰単独埋立においては、処理の効果は認められるものの、埋立基準である環告 13 号溶出試験を満足する処理物を埋立しているにもかかわらず、実験初期には数百 mg/L もの Pb が流出した。

5) 浸出水中の Pb 濃度は、高濃度で存在した Ca と傾向が類似しており、塩類による溶出促進が推測され

た。

6) 飛灰処理物と焼却灰の混合条件では、重金属溶出濃度が低い値を示した。この原因は、焼却灰による吸着と考えられた。

7) 熔融スラグでは、調湿飛灰、薬剤処理飛灰と異なり、浸出水 pH も低く、多量の塩類および重金属の溶出は認められなかった。

これらのことから、飛灰処理物について溶出試験での評価がそのまま、実際の埋立条件での重金属流出特性を示しているわけではなく、特に高い塩濃度などの条件が生じやすい飛灰単独での埋立では、重金属の溶出促進の可能性が示された。有害物のリスク管理の面からは、分画埋立（単独埋立）を行うことを予定する場合も考えられるが、埋立高さ・面積・降雨との接触状況などを把握（予測）した上で、十分な検討が望まれる。

【参考文献】

- 1) 環境省報道資料
- 2) 酒井伸一，水谷聡，高月紘：溶出試験の基本的考え方，廃棄物学会誌，Vol.7，No.5，pp.383-393(1996)
- 3) 野馬幸生，貴田晶子，高延堅三，児玉学：EP 灰キレート処理物の長期安定性について，第1回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.173-176(1990)
- 4) 島岡隆行，於久弘治，宮脇健太郎，花嶋正孝，堀好弘，松本克美，古川清治，内田敏仁：埋立処分された薬剤処理飛灰の有害重金属の安定性，廃棄物学会論文誌，Vol.9，No.6，pp.264-273（1998）
- 5) 宮脇健太郎，島岡隆行，花嶋正孝，西垣正秀，篠原武：各種の焼却飛灰処理物の埋立特性に関する研究，平成8年度土木学会西部支部研究発表会講演論文集，pp.982-983（1997.3）
- 6) 篠原武，西垣正秀，宮脇健太郎，島岡隆行，花嶋正孝：飛灰処理物の埋立特性に関する基礎的研究，第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.790-792（1997.10）
- 7) 宮脇健太郎，島岡隆行，花嶋正孝，篠原武，西垣正秀：飛灰処理物の埋立特性に関する基礎的研究（その2），pp.229-231，第19回全国都市清掃研究発表会講演論文集，pp.229-231（1998.2）
- 8) 坂井るり子，欧陽通，尹順子，大迫政浩，島岡隆行，宮脇健太郎，花嶋正孝，篠原武，西垣正秀：逐次抽出法による焼却残渣処理物中重金属の長期的溶出挙動の把握，第19回全国都市清掃研究発表会講演論文集，pp.283-285（1998.2）
- 9) 大迫政浩，金容珍，尹順子，島岡隆行，宮脇健太郎，西垣正秀，篠原武：ライシメータを用いた都市ごみ焼却飛灰からのダイオキシン類浸出挙動に関する研究，第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.892-894（1999）
- 10) 芳野和寿，宮脇健太郎，島岡隆行，花嶋正孝：高塩濃度条件下における飛灰からの重金属溶出特性について，平成10年度土木学会西部支部研究発表会講演論文集，pp.888-889(1999)
- 11) 宮脇健太郎，島岡隆行，花嶋正孝，篠原武，西垣正秀：埋立られた焼却飛灰からの重金属（Pb）流出に及ぼす影響因子，第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.521-623（1999）
- 12) K.Miyawaki, T.Shimaoka, M.Hanashima, T.shinohara, M.Nishigaki：The Mechanism of lead (Pb) leaching from incinerator fly ash in monodisposal landfill, Proceedings of the International Conference on the Science and Engineering of Recycling for Environmental Protection(Wascon2000), pp.588-594 (2000.6)
- 13) 岡田孝士，三笠真吾：埋立地におけるしゃ水工に関する研究 -しゃ水バリアとしての埋立廃棄物-，平成8年度福岡大学工学部土木工学科卒業論文
- 14) 中原啓介，坪井晴人：飛灰の塩化錯イオン抽出プロセス，第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.895-897(2000)