

埋立地浸出水 RO 膜濃縮水の処理技術 (その3)

Handling Technology of Concentrate from Reverse Osmosis System for Landfill Leachate Treatment (No. 3)



(環)製品開発室
小林 俊幸
Toshiyuki Kobayashi
牛越 健一
Kenichi Ushikoshi

埋立地浸出水の RO 膜処理装置から排出される濃縮水の処理方法の 1 つに、濃縮水を飛灰セメント固化の混練水に利用する方法がある。本報では、大型の埋立模型槽を用いて、固化物の長期安定性と、埋立固化物の浸出水水質に及ぼす影響について検討を行った。実験の結果、埋立 1 年後の固化物の物理・化学的特性は安定しており、また埋立固化物による浸出水の塩類濃度の上昇は小さいことがわかった。

A high salinity concentrate stream is generated by RO membrane facilities for landfill leachate treatment. We have been investigating a handling method of concentrate which used concentrate as mixing water for fly ash solidification process. In this study, we have been investigating a long term stability of solidified products for the influence on quality of leachate caused by dumped solidified products under imitate landfilling condition using large-sized lysimeters. As a result, we have found that physical and chemical properties of solidified products mixed with concentrate after 1 year in the lysimeters were stable and an increasing salinity of leachate caused by them was hardly observed.

Key Words :

浸 出 水
R O 膜
濃 縮 水
セメント固化

Leachate
Reverse Osmosis Membrane
Concentrate
Solidification by Cement

まえがき

焼却残渣主体の埋立地からの浸出水には、高濃度の無機塩類、また難分解性物質やダイオキシン類などの微量環境汚染物質が含まれており、逆浸透 (RO) 膜法や電気透析法などの膜を用いた処理法が検討され、実用化されている。当社の「DT モジュールシステム」は、RO 膜を用いた次世代型の浸出水処理方式であり、国内では現在 1 基が稼働中であり、1 基が建設中である (1999 年 12 月現在)。前報にお

いて、膜処理に伴って発生する濃縮水の処理方法の 1 つとして、濃縮水を飛灰セメント固化処理の混練水へ有効利用する方法を提案し、固化物の物理・溶出特性について検討を行った¹⁾。その結果、従来の水道水などを混練水とした固化物の特性と比較しても劣ることなく、安全に埋立処分することが可能であると期待された。本報では、固化物を埋立てた場合の長期安定性や、浸出水水質に及ぼす影響について検討を行い、若干の知見が得られたので報告する。

1. 実験概要

1.1 飛灰のセメント固化処理

第1図に濃縮水を混練水として用いた飛灰のセメント固化処理フローを示す。膜処理によって発生した濃縮水は、飛灰のセメント固化処理の際に添加される混練水として利用される。清掃工場から排出された飛灰は、有害な重金属類などを高濃度に含んでいるため特別管理一般廃棄物に指定されており、無害安定化処理を施した後、最終処分することを法律で義務づけられている。セメント固化法は、法律で定められている4つの無害安定化処理方法の1つであり、薬剤処理法と併用するなどして清掃工場でも広く採用されている。

1.2 実験目的

前報までにおいて、実験室内で養生を行った固化物の物理・溶出特性からみた安定性について検討を行い、安全に埋立処分できることが期待できた^{1,2)}。そこで、本実験では埋立地の環境を模擬した大型の模型槽を用いて、固化物を埋立処分した場合の長期安定性と、浸出水水質に及ぼす影響について検討を行うことを実験の目的とした。

1.3 埋立模型槽の概要

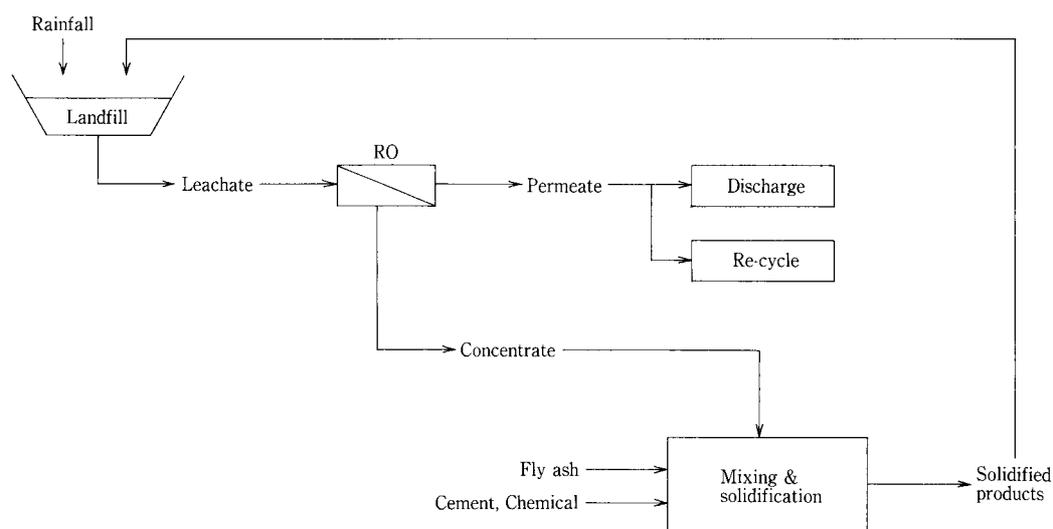
埋立模型槽（以下、埋立槽と呼ぶ）は直径30 cm、高さ6 mの塩化ビニル製のパイプであり、福岡県北九州市の福岡大学資源循環・環境制御システム研究所内に埋立条件の異なる8本が設置されている。埋立槽の上部は解放されており、自然降雨条件のもと実験を行っている。埋立槽の底部には、浸出水を

貯留するタンクを設置し、高さ1 m間隔に槽内のガスと浸透水を採取できるサンプリング孔を設置している。埋立槽には、1998年8月に廃棄物を埋立て、実験を開始した。第1表に埋立てた廃棄物の充填条件を示す。埋立槽には、固化物と調整ごみ（焼却灰、不燃性破碎ごみ、都市ごみコンポストを混合し調整したもの）を交互に7層埋立てた。調整ごみの質による固化物の長期安定性への影響について検討を行うため、調整ごみの質を2種類とした。第2図に廃棄物の埋立位置を示す。A-1、B-1槽には水道水を混練水として用いた固化物（以下、水道水固化物と呼ぶ）を、その他の槽には濃縮水を混練水として用いた固化物（以下、濃縮水固化物と呼ぶ）を埋立てた。

1.4 試料の性状

固化物の形状は、直径数 cmの粒状のものと、圧縮強度試験用の直径5 cm、高さ10 cmの供試体の2種類とした。飛灰は、重金属類の溶出を抑制するための前処理（エージング）として、飛灰と水を混練後、1日間大気中に放置した。飛灰、セメント及び混練水の配合は重量比で7:3:4.2とし、各試料をミキサーで混練後、7日間水中養生を行った。

第2表に固化物を作成するために用いた飛灰と濃縮水、また水道水固化物と濃縮水固化物、A、B槽それぞれに埋立てた調整ごみ（高さ3 mの位置からサンプリングしたもの）の含有量及び溶出試験結果を示す。飛灰は、ストーカ炉タイプの焼却炉において、電気集塵機で捕集されたものである。排ガス



第1図 濃縮水を用いた飛灰セメント固化処理フロー

Fig. 1 Flow diagram for treatment of fly ash solidification with cement using concentrate as mixing water

第 1 表 埋立廃棄物の充填条件
Table 1 Filling conditions

Lysimeter	A-1	A-2~4	B-1	B-2~4
Mixing Water of Fly Ash Cement Block	Tap Water	Concentrate	Tap Water	Concentrate
Adjusted Waste Ratio	Bottom Ash: Shredded Incombustible Solid Waste =15:1		Bottom Ash: Shredded Incombustible Solid Waste: Garbage Compost=30:1:1	
Volume of Landfilled Waste	m ³	0.419		
Weight of Adjusted Waste	kg	313		
Weight of Fly Ash Cement Block	kg	106		
Density	ton/m ³	1.0		

処理方式は乾式である。濃縮水は、一般廃棄物最終処分場の埋立地浸出水を RO 膜処理装置で約20倍に濃縮したものである。濃縮水固化物は、水道水固化物に比べて Cl⁻ 溶出濃度が約15%高いが、その他の成分の濃度には差はみられない。重金属類の Pb, Cd には埋立基準値 (<0.3 mg/l) が設けられており、両固化物ともこの基準を満足していた。

1.5 実験方法

埋立槽からの浸出水は定期的にサンプリングを行い、水量を測定し、有機物、無機塩類、重金属類濃度などを分析した。また、埋立1年経過後に、A-2, B-2 槽を解体し、槽内から固化物、調整ごみを回収し、圧縮強度試験、溶出試験を行った。圧縮強度試験方法は JIS A 1108, 溶出試験方法は環告13号法に準拠した。

2. 実験結果及び考察

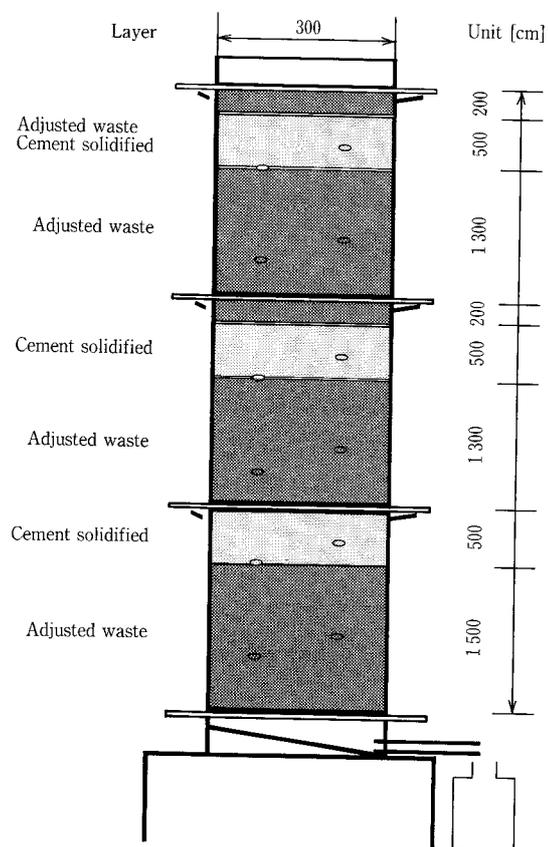
2.1 降水量と浸出水量

第3図に累積降水量と浸出水量の経時変化を示す。1998年8月19日に廃棄物を埋立て、56日後(10月中旬)に初めて浸出水を確認した。その後、降雨量の少ない時期が続いたため(平年降雨量の約6割)、翌年の2月に1槽あたり17.2 l の人工降水を行った。現在457日後において、累積浸出水量は64~69 l (6槽平均66.5 l) であり、累積降水量169 l に対して浸出率は約40%となっている。埋立槽の構造上、表流水としての流出がないため、60%の水分は埋立廃棄物の表層から蒸発したと考えられる。

2.2 浸出水中の汚濁物質濃度

1) pH, T-N, TOC

第4図(a)~(c)にそれぞれ浸出水の pH, T-N, TOC 濃度の経時変化を示す。pH は、コン

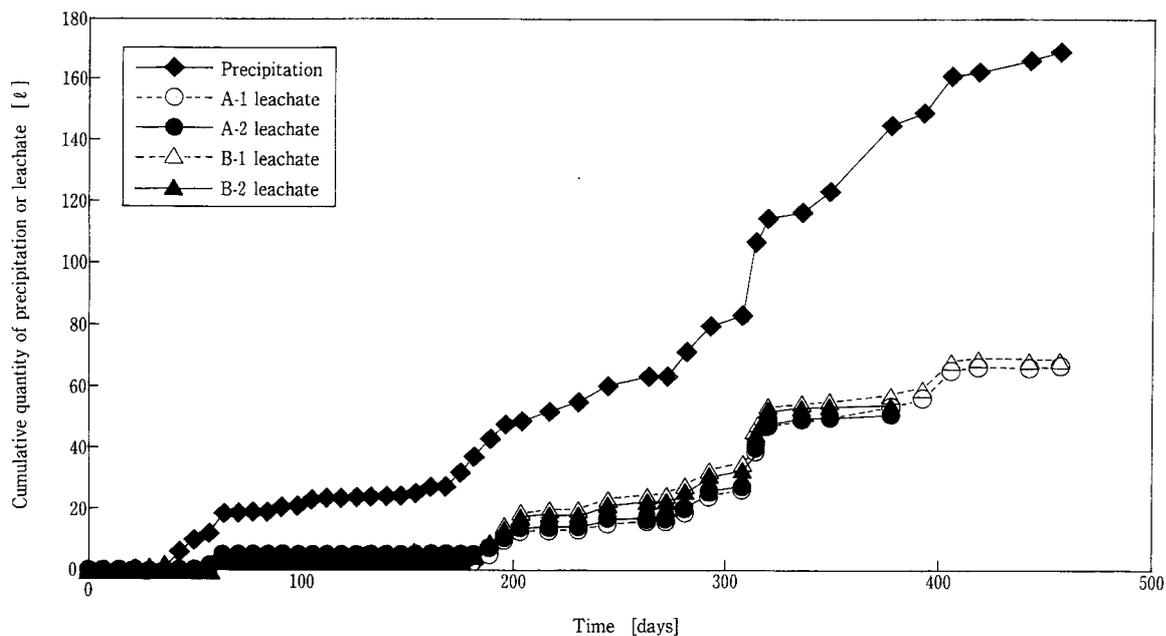


第2図 廃棄物の埋立位置
Fig. 2 Filling position of wastes

ポストが埋立てである B 槽の埋立初期においては約10と高く、その後は減少傾向を示し、アルカリ域から中性域へと移行している。A 槽は B 槽と比べて pH は低く、埋立初期は 8~9 であったが、現在では B 槽と同じくほぼ 7 付近で安定している。320 日後において、pH は一時的に上昇

第 2 表 埋立廃棄物の性状
Table 2 Quality of materials

Parameter	Fly Ash	Concentrate	Cement Solidified by Tap Water	Cement Solidified by Concentrate	Adjusted Waste (A-Lysi, 3 m)	Adjusted Waste (B-Lysi, 3 m)
Component						
Ca (%)	18.6	—	23.3	22.9	—	—
Na (%)	3.8	—	1.69	1.98	—	—
Cl (%)	15.9	—	11.0	11.0	—	—
Pb (mg/kg)	1 970	—	845	792	—	—
Cd (mg/kg)	131	—	50	46	—	—
Concentration of Eluate						
pH (-)	12.5	6.2	12.5	12.4	12.4	12.4
COD _{Mn} (mg/l)	—	212	<1.0	2.4	85.7	101
T-N (mg/l)	—	315	<1.0	<1.0	12.9	14.8
Ca ²⁺ (mg/l)	8 660	10 840	1 680	1 670	2 270	1 440
Na ⁺ (mg/l)	3 310	22 800	1 360	1 640	517	331
Cl ⁻ (mg/l)	15 800	52 600	4 620	5 320	3 560	2 000
Pb (mg/l)	50.2	0.06	0.13	0.14	0.51	0.41
Cd (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10



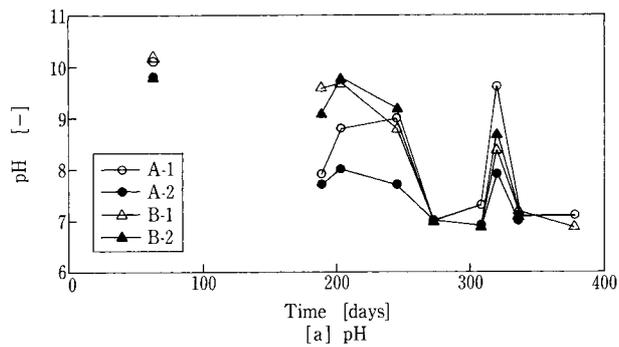
第 3 図 累積降水量と浸出水量
Fig. 3 Cumulative quantity of precipitation or leachate

しているが、これは大雨により槽内のアルカリ成分が多量に洗い出されたためと考えられる。T-N、TOC 濃度については、各槽間に顕著な差はみられず、濃縮水固化物の埋立てによる影響はみられない。T-N については上昇から安定傾向、TOC については減少傾向を示している。

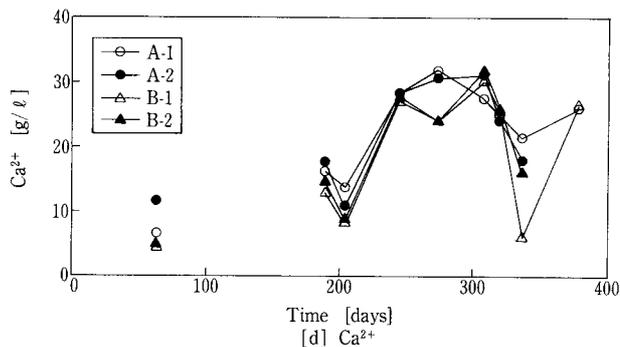
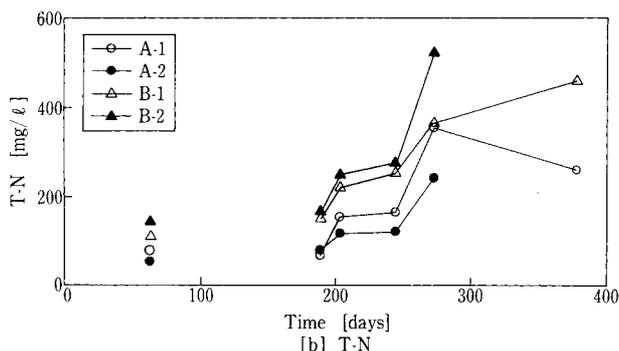
2) 無機塩類

第 4 図 (d), (e) にそれぞれ浸出水の Ca²⁺, Cl⁻ 濃度の経時変化を示す。すべての槽において

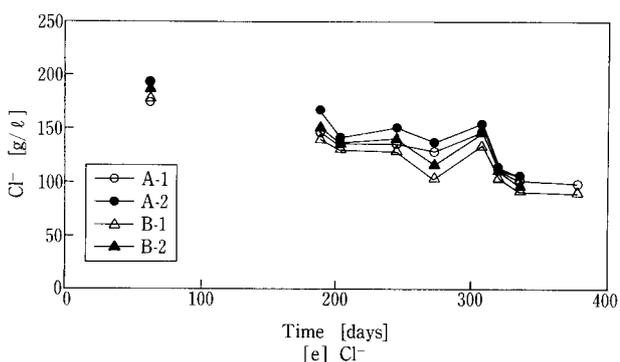
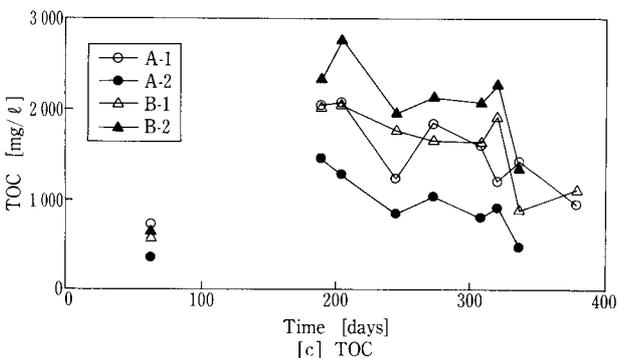
Ca²⁺, Cl⁻ ともに濃度は非常に高く、埋立初期ではそれぞれ 7 g/l, 180 g/l, 380 日後においても 30 g/l, 110 g/l であった。Ca²⁺ 濃度は、サンプリング日によってばらつきが大きく、降雨の影響を受けやすいことがわかるが、全体的には上昇傾向から最近ではほぼ安定している傾向にある。一方、Cl⁻ 濃度はゆるやかな減少傾向にある。水道水固化物を埋立てた槽 (A-1, B-1 槽) と濃縮水固化物を埋立てた槽 (A-2, B-2 槽) を比較し



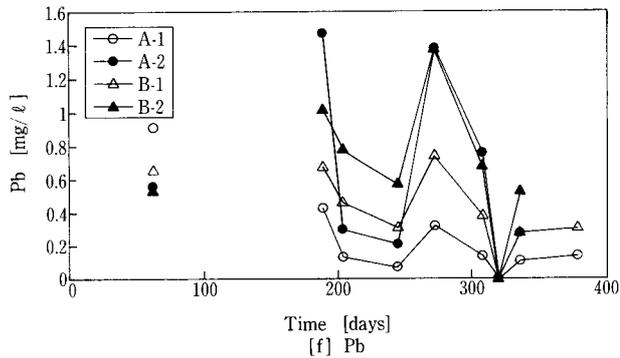
(a) pH

(d) Ca²⁺

(b) T-N

(e) Cl⁻

(c) TOC



(f) Pb

第4図 浸出水の水質
Fig. 4 Quality of leachate

てみると、Ca²⁺については、第2表の水道水、濃縮水固化物の溶出濃度差がないことから明らかな通り、顕著な差はみられない。Cl⁻濃度は、250日後においてA-2、B-2槽はA-1、B-1槽と比較して約10%高かったが、340日後ではA-1槽が103 g/l、A-2槽が107 g/lと、増減率は約5%まで低下している。

第5図にCl⁻の累積流出率の経時変化を示す。流出率とは、埋立前の廃棄物の可能溶出量（埋立物重量に溶出濃度を乗じた量）に対する浸出水と

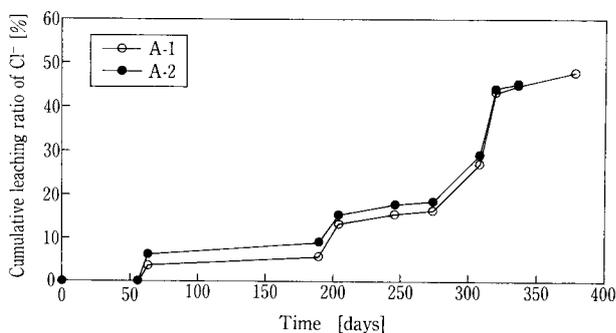
しての溶出量の割合を示す。埋立1年後の累積流出率はA-1、A-2槽とも約50%となっている。A-1槽の流出率に対するA-2槽の増減率は、310日後あたりまでは約10%であったが、その後は数%まで低下していることがわかる。埋立前の固化物の溶出試験結果では、濃縮水固化物のCl⁻濃度は濃縮水固化物に比べて15%ほど高くなっていた。埋立槽からの浸出水の濃度差は、これより小さくなっている。これは、浸透水中のCl⁻濃度は非常に高く、埋立槽内は平衡濃度に達してお

り、溶出試験で得られた結果よりも差が生じなかったと考えられる。

3) 重金属類

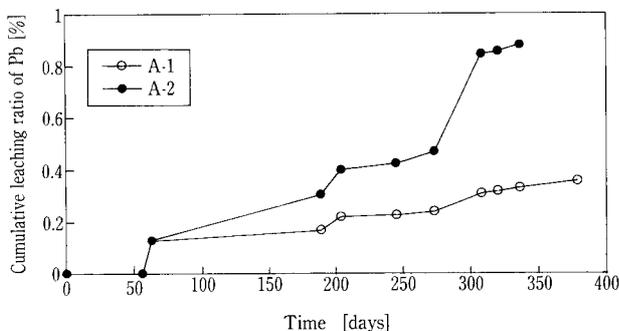
第4図(f)に浸出水のPb濃度の経時変化を示す。Pb濃度はばらつきが大きく、降雨による影響を強く受けていると考えられる。埋立前の固化物は、埋立基準値0.3 mg/lを満足していたが、浸出水中のPb濃度はこの値を超えることが多かった。これは、埋立廃棄物量に対して少量の雨水で洗い出されたため(降水量(ℓ)/埋立廃棄物量(kg)=0.4)、濃度が高くなったこと、浸出水の塩類濃度が通常の埋立地浸出水と比べて非常に高いこと、また調整ごみ中の焼却灰からも多くのPbが流出したことが関与しているものと考えられる。

第6図にPbの累積流出率の経時変化を示す。A-1とA-2槽を比較すると、340日後で約0.5%の開きがあるが、A-2槽は270~310日後にかけて非常に高い伸びを示している。これは、6月下旬に九州北部地方をおそった記録的な大雨によって、特異的な洗い出しが起こったためと考えられる。しかし、流出率は両槽とも1%以下と非常に低く、槽内でPbは不溶化、安定化していると思われた。



第5図 Cl⁻累積流出率

Fig. 5 Cumulative leaching ratio of Cl⁻



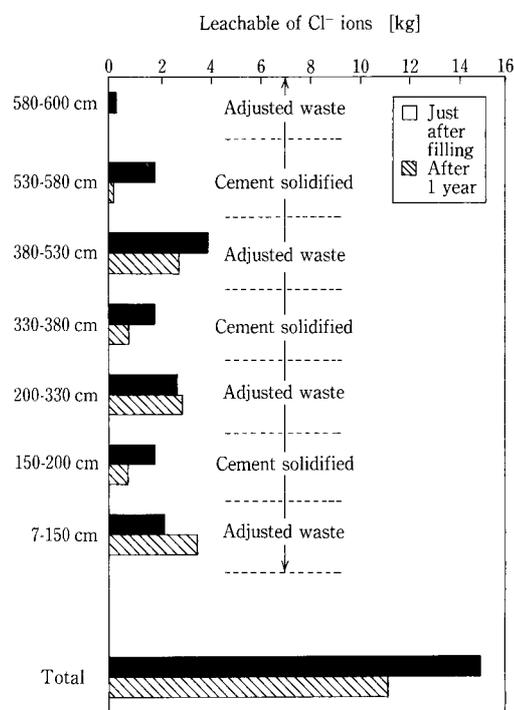
第6図 Pb累積流出率

Fig. 6 Cumulative leaching ratio of Pb

2.3 埋立1年後の固化物の溶出特性

第3表に、埋立1年後に埋立槽(A-2, B-2槽)の上, 中, 下層から回収した固化物の溶出試験結果を示す。pHは、上, 中, 下層から回収した固化物すべてで約12と高く、埋立前の固化物と比較しても0.5程度の低下にとどまった。また、フェノールフタレイン溶液を用いて中性化深さを測定した結果、固化物の内部、表面ともほとんど中性化が進んでいないことがわかった。無機塩類は、上, 中, 下層の順に濃度が高くなっており、降雨によって上層から洗い出されていることがわかる。重金属類は、ほとんどの固化物の溶出濃度は定量下限値以下であり、固化物は不溶化、安定化していることがわかった。

第7図に、A-2槽の埋立1年後の固化物、調整ごみの溶出試験結果から算出した埋立高さ毎のCl⁻の可能溶出量を示す。固化物層と調整ごみ層の、埋立前後の可能溶出量の低下率を比較してみると、固化物層の下層(高さ150-200cm)においては約60%低下しているのに対し、調整ごみ層の最下層(7-150cm)では埋立前と比べて可能溶出量は増加した。これは、Cl⁻は含有量の高い固化物から溶出し始め、槽内の浸透水中のCl⁻濃度は高いために、下層の調整ごみ層からCl⁻は溶出しにくくなり、逆に焼却灰の表面などにCl⁻が付着したためと考えられた。



第7図 埋立前後のCl⁻可能溶出量の変化

Fig. 7 Change of leachable Cl⁻ ions just before after filling after 1 year

第3表 埋立固化物の溶出試験結果

Table 3 Results of leaching tests on solidified block with cement

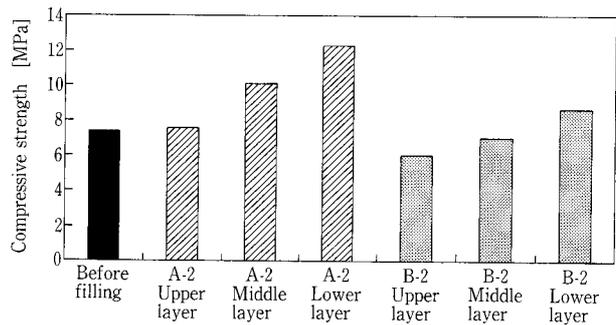
Lysimeter Layer	A-2			B-2		
	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower
pH (-)	12.1	11.9	12.1	12.0	11.9	12.0
EC (S/m)	0.26	0.73	0.73	0.17	0.40	0.53
T-N (mg/l)	<1.0	3.8	2.5	1.0	4.6	4.5
Ca ²⁺ (mg/l)	512	1 270	1 260	335	804	867
Na ⁺ (mg/l)	74.0	389	440	45.5	149	286
Cl ⁻ (mg/l)	582	2 330	2 210	312	1 100	1 570
Pb (mg/l)	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01
Cd (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

2.4 埋立1年後の固化物の圧縮強度

第8図に、埋立前と埋立1年後に上、中、下層から回収した固化物の圧縮強度試験結果を示す。A-2、B-2槽とも上、中、下層の順に圧縮強度が高くなっている。これは第3表の溶出試験結果より明らかな通り、上層ほど降雨によって固化物中のCa成分が洗い出され、強度が低下するためと考えられる。加えて、表層付近は湿潤、乾燥状態が繰り返されるため、この条件も強度を低下させる要因となったと思われる。また、A槽よりもB槽中の固化物の強度が低くなっているが、これはB槽に埋立てられた調整ごみ中のコンポストから溶出した有機成分の影響を受けたためと思われる。ただし、産業廃棄物のセメント固化物の圧縮強度基準値は0.98 MPaであり、これを参考にすると十分に強度は高いと言える。

むすび

浸出水のRO膜濃縮水の処理法の1つである、濃縮水を飛灰セメント固化処理の混練水へ利用する方法について、固化物の長期安定性と埋立てた固化物の浸出水水質に及ぼす影響について調査することにより、本方法の安全性について検討を行った。実験の結果、埋立1年後の固化物からの重金属類などの溶出特性、圧縮強度は非常に安定した状態であることがわかった。また、浸出水水質に及ぼす影響については、埋立初期においてCl⁻濃度が水道水固化物を埋立てた場合に比べて10%程度高くなること



第8図 圧縮強度試験結果
Fig. 8 Results of compressive strength tests

があったが、1年後においてはその差は非常に小さくなっている。これより、濃縮水固化物を埋立した場合においても、浸出水水質は従来に比べても問題となる差はなく、浸出水処理にもほとんど影響を与えることはないと推察された。

最後に、廃棄物の埋立、回収作業に際し、多大なご協力をいただきました福岡大学水理衛生工学実験室の皆様へ厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 小林俊幸ほか：神鋼パンテック技報, Vol.42, No.2 (1999), p.61.
- 2) 小林俊幸ほか：浸出水膜濃縮水の飛灰セメント固化混練水への有効利用(その2), 第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集, (1998), p.831.

連絡先

小林 俊 幸 環境装置事業部
製品開発室
TEL 078 - 992 - 6532
FAX 078 - 992 - 6503
E-mail ty.kobayashi@pantec.co.jp

牛 越 健 一 環境装置事業部
(技術士・水道部門) 製品開発室
担当部長
TEL 078 - 992 - 6532
FAX 078 - 992 - 6503
E-mail k.ushikoshi@pantec.co.jp