

埋立地浸出水 RO 濃縮水の処理技術 (その2)

Handling Technology of Concentrate from Reverse Osmosis System for Landfill Leachate Treatment (No. 2)



(技)研究開発部 小 林 俊 幸
Toshiyuki Kobayashi
(環)製品開発室 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法の 1 つに、濃縮水を飛灰セメント固化の混練水として利用する方法がある。この方法はエネルギーをあまり必要とせず、経済的に優れた方法であるが、固化物の物理的・化学的安定性についてはこれまで知見がなかった。本報では、固化物の物理的安定性として圧縮強度、化学的安定性として重金属類や塩類の溶出量を指標とし、検討を行った。また、固化物の埋立環境下における長期的な安定性を確認するために、埋立模型槽を用いて実験を開始し、その概要を紹介する。

High salinity concentrate is generated by RO membrane facilities for landfill leachate treatment. We have been investigating a handling method of concentrate which use concentrate as mixing water for fly ash solidification process. Compressive strength and eluate concentration of heavy metals and salts have been examined from the view point of physical and chemical stability of solidified products. Also we have started an investigation on a long term stability of solidified products under imitate landfilling condition using lysimeters.

Key Words :

浸 出 水	Leachate
R O 膜	Reverse Osmosis Membrane
濃 縮 水	Concentrate
セメント固化	Solidification by Cement

まえがき

近年、最終処分場に埋立られる廃棄物は、無機物を高い割合で含む焼却残渣や不燃ごみが主体となっており、このため埋立地から発生する浸出水中の塩類濃度は高くなっている。従来の生物処理を主とする浸出水処理方式では、この塩類の除去ができず、またダイオキシン類などの微量環境汚染物質への対策が求められていることから、浸出水の高度処理の必要性はますます高くなっている。

当社の「DT モジュールシステム」は、RO 膜を使った次世代型の浸出水処理システムである。膜処理により、処理水は水道水基準を満たすほどの環境を汚染することのない水となって放流され、また一部は処分場内で再利用することも可能である。一方、膜処理に伴い高濃度の塩類などを含有する濃縮水が発生し、濃縮水の処理対策が膜処理法の普及に際して重要な課題となっている。

前報において、現時点で適用可能と思われる濃縮

水処理法を整理し、安全性、経済性の面から評価を行った¹⁾。この中の処理法の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について検討を行っている。本報では、混練水として濃縮水を用いた飛灰セメント固化物の圧縮強度、及び重金属類や塩類の溶出量から固化物の安定性について検討し、若干の知見が得られたので報告する。また、固化物を埋立てた場合の長期的な安定性を検討するために、実際の埋立環境を模擬した大型模型槽を用いた固化物の埋立実験を開始したので、その概要を紹介する。

1. 濃縮水の処理方法

1.1 RO膜による浸出水処理

第1図に「DTモジュールシステム」のフローを示す。NF膜や高圧のRO膜モジュールを組み合わせることにより最高97.5%の回収率が実現できる。

1.2 濃縮水の性状

第1表に本実験で使用した濃縮水の水質分析結果を示す。この濃縮水は、鳥取県下の最終処分場における実証実験装置から採取したものである。濃縮水を採取したときの実証装置全体の水回収率は95%であった。

1.3 飛灰のセメント固化処理

第2図に濃縮水を用いた飛灰のセメント固化処理フローを示す。ここでの飛灰とは、清掃工場の焼却炉の集塵装置で補修された煤塵であり、特別管理一般廃棄物である。無害安定化処理を施した後、最終処分することを法で義務づけられている。セメント固化法はこの無害安定化処理法の1つであり、薬剤と併用した方法は、清掃工場で広く採用されている。

本実験で使用した飛灰は、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。

第1表 濃縮水の水質

Table 1 Quality of concentrate

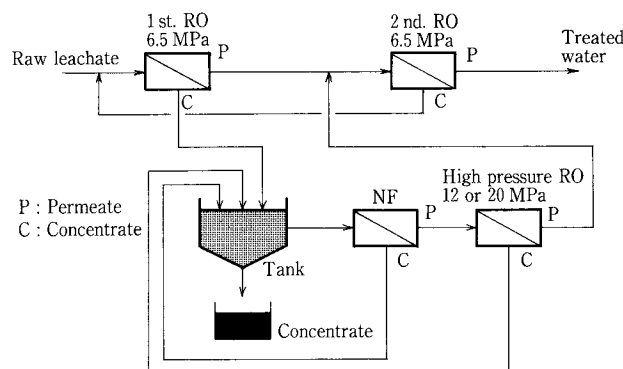
Parameter		Concentration
pH	—	6.2
Electric Conductivity	S/m	12.3
BOD	mg/l	<5.0
COD _{Mn}	mg/l	212
T-N	mg/l	315
TS	mg/l	105 000
SS	mg/l	5
Ca ²⁺	mg/l	10 840
Na ⁺	mg/l	22 800
SO ₄ ²⁻	mg/l	1 820
Cl ⁻	mg/l	52 600
Pb	mg/l	0.06

排ガス処理方式は乾式である。飛灰を水と混練し、大気中に放置することで重金属類が不溶化する現象が知られている²⁾。本実験では、飛灰の前処理として、飛灰と水を混練して2週間放置し、1.7 mm以下に粒径を調整した。第2表に飛灰の性状と前処理飛灰の溶出試験結果を示す。溶出試験方法は環境庁告示第13号法に準拠した。飛灰は重金属類の中でも鉛を高濃度に含有し、溶出量も非常に高いことがわかる。法で規制された鉛以外のその他の有害重金属類は、埋立基準以下であった。また、前処理を行うことで飛灰の鉛溶出濃度は、原灰に対して約99%低下した。

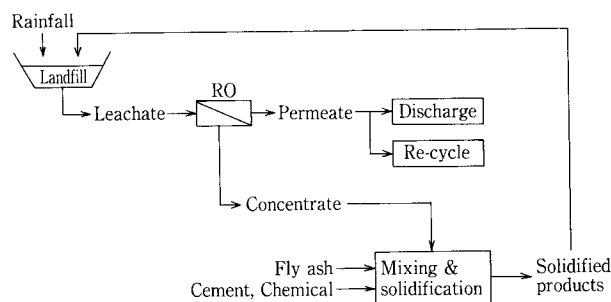
2. 実験目的及び方法

2.1 実験目的

混練水として濃縮水を用いた飛灰セメント固化物は、埋立地に埋立てられ、時間の経過とともに劣化していく。固化物の強度の低下に伴い崩壊することによって、安定であった固化物から有害な重金属類などが再び溶出していくことが懸念された。また、



第1図 「DTモジュールシステム」のフロー
Fig. 1 Flow diagram of "DT-Module System"



第2図 濃縮水を用いた飛灰セメント固化処理フロー
Fig. 2 Flow diagram of solidification with fly ash and cement using concentrate as mixing water

第2表 飛灰の性状
Table 2 Quality of fly ash

Parameter	Component of Fly Ash mg/kg	Concentration of Eluate mg/l		Elution Limit Standard for Landfilling mg/l
		Original Fly Ash	Matured Fly Ash	
pH	—	>12.0 (-)	>12.0 (-)	—
EC	—	4.10 (S/m)	2.51 (S/m)	—
Pb	1970	50.2	0.66	<0.3
Cd	131	<0.05	Not Analysed	<0.3
Ca ²⁺	186 000	8 660	Not Analysed	—
Na ⁺	38 000	3 310	Not Analysed	—
SO ₄ ²⁻	41 500	923	Not Analysed	—
Cl ⁻	159 000	15 800	8 000	—

濃縮水に多く含まれる硫酸塩は、セメントマトリックスを膨張破壊することで知られており、この硫酸塩のセメント硬化に悪影響を及ぼすことが懸念された。そこで本実験では、固化物の物理・化学的安定性について検討を行うことを目的とし、次の3点を安定性の指標とした。

- 1) セメントモルタルの膨張量の経時変化
- 2) セメント固化物の圧縮強度
- 3) セメント固化物からの重金属類、塩類の溶出濃度

2.2 実験方法

セメントモルタルブロックの膨張量測定実験では、セメント、細骨材として標準砂、水をミキサーで混練後型枠を使って成型し、水中養生を行った。硫酸塩濃度の違いによる膨張量の影響をみるために、混練水はイオン交換水、濃縮水、硫酸マグネシウム(MgSO₄)の試薬を濃縮水に添加したものの計4種類とした。MgSO₄濃度は1.5%と7.5%とした。配合はセメント：標準砂：水=0.65：2：0.65とした。膨張量の測定はダイヤルゲージ法で行った。

飛灰セメント固化物は、セメント、飛灰、水をミキサーで混練後、型枠を使って成型し、所定期間養生した。固化条件を次に示す。

- 1) 混練水イオン交換水と濃縮水の2種類
- 2) 配合：飛灰セメント=7:3, 8:2の2通り
- 3) 水添加率飛灰重量に対して60%（ただし、濃縮水の比重が1.07であることを考慮して、混練水として濃縮水を用いた供試体（以下、濃縮水供試体と呼ぶ）の水の配合量は、混練水としてイオン交換水を用いた供試体（以下、水供試体と呼ぶ）の配合量の1.07倍とした。）

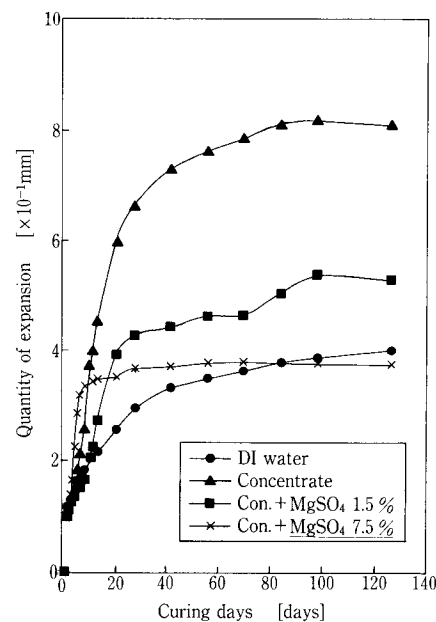
圧縮強度の測定はJIS A 1108, 溶出試験方法は環境庁告示第13号法に準拠した。水質分析項目は

pH, 電気伝導度, 塩化物イオン, 鉛とした。

3. 実験結果および考察

3.1 セメントモルタルの膨張量

第3図にセメントモルタルの膨張量の経時変化を示す。すべてのモルタルにおいて養生100日程度で膨張は止まる傾向を示している。最大の膨張量を示した濃縮水で混練したモルタルでも、膨張量は約0.8 mm, 膨張率では約0.5%と低く、モルタル表面にひび割れが入り、膨張破壊するような外観上の変化は示さなかった。また、養生80日程度で、イオン交換水を混練したモルタルと、濃縮水に硫酸マグネシウムを添加した（濃度7.5%）モルタルの膨張量はほぼ等しくなり、混練水中の硫酸塩濃度とモルタルの膨張量との間に相関はみられなかった。前述の結果より、濃縮水中の硫酸塩によって、セメント



第3図 モルタルの膨張量
Fig. 3 Expansion quantity of mortar

モルタルが異常膨張を起こして崩壊することはないと考えられた。

3. 2 供試体の圧縮強度試験結果

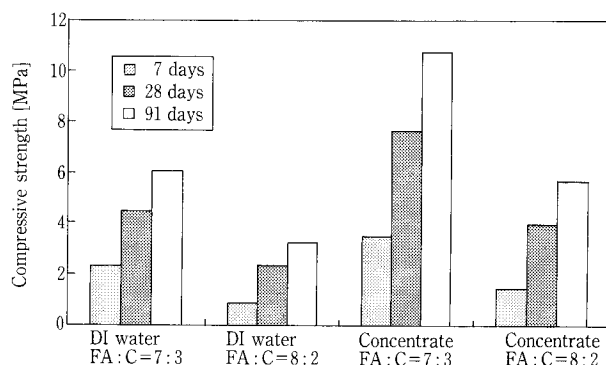
第4図に供試体の圧縮強度試験結果を示す。水中養生期間は7, 28, 91日の3通りとした。混練水の種類, 配合によらず, すべての供試体において養生日数が経つにつれて圧縮強度は増加している。このことから, 濃縮水中の高濃度の塩類は, セメント硬化を妨げることはないと考えられた。濃縮水供試体の圧縮強度は, 水供試体と比べて配合, 養生日数によらず1.7倍程度高かった。これは, 濃縮水中の高濃度の塩類がセメント硬化体の凝結, 硬化を早め, 強度の発現を促進する混和剤として作用したためと考えられた。有害産業廃棄物のセメント固化処理の際には, 固化物の圧縮強度基準値0.98 MPaが求められており, この値を参考にすると, 濃縮水供試体の圧縮強度は十分大きな値であると言える。

3. 3 供試体の溶出試験結果

本試験での供試体の養生は, 水中養生, 気中養生, 濃縮水中養生の3通りの養生条件下で行った。実際の固化物は混練後に埋立地に埋立てられ, それぞれの埋立深さや季節によって, 湿潤状態にも乾燥状態にもさらされることが予想される。また, 他の埋立廃棄物からの溶出液(埋立地中の浸透水)中の汚濁物質によって, 何らかの影響を受けることが予想されたため, 実際の埋立地から発生した浸出水をROで濃縮した濃縮水中でも養生を行った。

第3表に固化物の溶出試験結果を示す。埋立てられる飛灰処理物には, 重金属類の溶出濃度基準値が設けられており, Pbは0.3 mg/l以下である。混練水の種類, 配合, 養生条件によらず, 養生28日後にはすべての供試体のPb溶出量が0.3 mg/l以下となった。また, 養生日数の経過とともに溶出液のpH値が低下し, Pb溶出量も同時に低下していった。Pbは両性金属であり, pHが中性域になるほど溶出しにくいため, 固化物の溶出液のpH低下によってPb溶出量が低下し, 固化物の安定化の要因の1つとなったことが考えられた。Pbの溶出に関しては, イオン交換水と濃縮水の混練水の違いによる差は認められなかった。

気中養生条件下においては, 養生日数が経過しても固化物からのCl⁻溶出量は高いままであった。濃縮水中養生条件下においても, 養生水となる濃縮水の塩類濃度が高いために, 固化物から養生水へのCl⁻の移行が少なかったため, 固化物のCl⁻溶出量は養生91日後においても依然として高かったと思わ



第4図 飛灰セメント固化物の圧縮強度
Fig. 4 Compressive strength of fly ash block by cement

れる。固化物が埋立てられた場合, 雨水が直接接触する埋立表層部では固化物からのCl⁻溶出量が多いと予想されるが, 埋立中層から底層部においては, 固化物周辺の水の塩類濃度が高いために, 固化物からのCl⁻溶出は緩慢であると思われる。混練水の違いによるCl⁻溶出量の差は, 固化物中のCl⁻含有量に左右され, 例えば配合7:3の供試体では, 水供試体が78.4 g/kg, 濃縮水供試体が92.0 g/kgであり, 濃縮水供試体は水供試体に比べて約2割だけ含有量が多い。このため, 濃縮水には非常に高濃度の塩類が含まれているにもかかわらず, 濃縮水供試体からの溶出量は, 水供試体と比べて異常に高くなることはないことが考えられる。

また, すべての養生条件下において, 配合の違いによるPb溶出量の差はほとんどみられなかった。セメント添加量を増加させても, Pbの溶出量は著しく低下することなく, 省資源や経済性の面において, セメント添加量は飛灰や濃縮水の性状にあった適量を設定すべきである。

4. 埋立模型槽を用いた実験

4. 1 実験の目的

実験室内における圧縮強度, 重金属類や塩類の溶出量からみた固化物の安定性については十分期待できる結果が得られたが, 固化物を実際の埋立地に埋立てた場合の長期的な安定性について検討する必要がある。そこで, 本実験では実際の埋立環境を模擬した大型の模型槽を使って固化物の長期的な安定性について検討を行うことを目的とし, 1998年8月に固化物, および廃棄物を模型槽に充填した。

4. 2 埋立模型槽と充填条件

埋立模型槽は, 福岡県北九州市にある福岡大学資源循環・環境制御システム研究所内に設置してある。写真1に模型槽の外観を示す。模型槽は直径30 cm,

第 3 表 固化物の溶出試験結果

Table 3 Results of elution tests for solidified products

No.	Curing State	Mixing Water	Mixing Ratio Fly Ash : Cement	Curing Days days	pH —	EC S/m	Cl ⁻ mg/l	Pb mg/l
Run 1	in Water	Dl water	7 : 3	7	13.2	0.97	1 560	0.33
				28	12.6	0.53	709	<0.10
				91	12.4	0.32	461	<0.10
			8 : 2	7	13.0	0.80	1 560	0.38
				28	12.4	0.36	567	<0.10
				91	12.3	0.24	354	<0.10
	Concentrate	7 : 3	7	13.1	0.98	1 630	0.31	
			28	12.7	0.51	744	<0.10	
			91	12.4	0.32	449	<0.10	
		8 : 2	7	13.0	0.81	1 560	0.39	
			28	12.5	0.37	603	<0.10	
			91	12.2	0.24	378	<0.10	
Run 2	in Air	Dl water	7 : 3	7	12.4	1.77	4 960	0.37
				28	12.5	1.61	4 700	<0.10
				91	12.0	1.52	4 870	<0.10
			8 : 2	7	12.6	1.84	5 140	0.58
				28	12.2	1.67	5 490	<0.10
				91	11.6	1.16	5 890	<0.10
	Concentrate	7 : 3	7	12.6	2.08	5 940	0.44	
			28	12.5	1.79	5 320	<0.10	
			91	12.0	1.73	5 670	<0.10	
		8 : 2	7	12.4	2.04	6 290	0.69	
			28	12.2	1.86	6 290	<0.10	
			91	11.7	1.79	6 200	<0.10	
Run 3	in Concentrate	Dl water	7 : 3	7	13.4	1.45	3 720	0.21
				28	12.6	1.11	3 100	0.23
				91	12.0	0.95	3 190	<0.10
			8 : 2	7	13.2	1.43	4 080	0.34
				28	12.4	1.01	3 190	0.18
				91	11.9	1.03	3 590	<0.10
	Concentrate	7 : 3	7	13.3	1.44	4 250	0.23	
			28	12.6	1.02	3 010	0.14	
			91	12.0	0.93	3 150	<0.10	
		8 : 2	7	13.2	1.44	4 430	0.20	
			28	12.3	0.99	3 280	<0.10	
			91	11.9	1.02	3 550	<0.10	

高さ 6 m の塩化ビニル製のパイプであり、8 本設置されている。模型槽の上部は解放されており、自然降雨条件で実験を行っている。模型槽底部には浸

出水集水口が、また高さ 1 m おきに浸透水とガスの採取口が設けられている。

第 4 表に埋立廃棄物の充填条件を示す。模型槽に

第4表 埋立廃棄物の充填条件
Table 4 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
Ajusted 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 Ajusted Waste	kg		313	
Weight of Fly Ash Cement Block	kg		106	
Density	ton/m ³		1.0	

はセメント固化物と廃棄物を交互に7層充填した。廃棄物は、焼却灰と不燃性破碎ごみを混合した調整ごみ（この調整ごみを充填した槽をA槽と呼ぶ）、焼却灰と不燃性破碎ごみ、都市ごみコンポストを混合した調整ごみ（同じくB槽と呼ぶ）の2種類を用いた。A-1, B-1槽には混練水として水道水を用いた固化物、その他の槽には混練水として濃縮水を用いた固化物を充填した。これらの槽から発生した浸出水、また浸透水やガスを定期的に採取し、重金属類、塩類、有機物濃度などの分析を行っている。また、充填後6ヶ月、1年、2年後に模型槽を解体し、固化物と調整ごみを回収し、固化物の圧縮強度や重金属類、塩類などの溶出量を分析する予定である。

むすび

埋立地浸出水のRO膜処理装置から排出される濃縮水を、飛灰セメント固化処理の混練水として用いる方法は、エネルギー消費量が少なく、省資源や経済性からみて現実に即した方法であると言える。本報では、混練水として濃縮水を用いた飛灰セメント固化物の圧縮強度と重金属類、塩類の溶出濃度から固化物の安定性について検討を行い、従来の水を混練水とした固化物と比べても劣ることなく、安全に埋立処分することが期待できることを確認した。

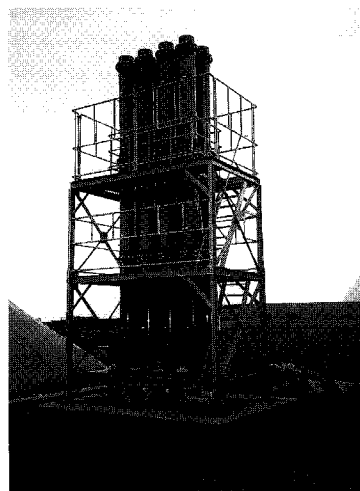


写真1 埋立模型槽の外観
Photo.1 Lysimeter

また、埋立環境下における長期的な固化物の安定性について検証を行うために、埋立模型槽を用いた実験を開始し、その概要を紹介した。

なお、本研究は福岡大学への委託研究であり、常に研究に対して多大な御指導を頂いている花嶋正孝教授、島岡隆行助教授、添田政司講師、また実験に協力して下さった多くの皆様に紙面を借りて深く感謝する。

〔参考文献〕

- 1) 小林俊幸ほか：神鋼パンテック技報，Vol. 40，No. 2（1997），p. 99.
- 2) 島岡隆行ほか：第18回全国都市清掃研究発表会講演論文集（1997），p. 44.

連絡先

小林 俊 幸
技術開発本部
研究開発部
TEL 078-992-6525
FAX 078-992-6504
E-mail ty.Kobayashi@pantec.co.jp

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