

土木研究所資料

下水汚泥焼却灰からの重金属の溶出特性及び 埋立て汚泥浸出水の浄化に関する調査報告書

平成3年3月

建設省土木研究所
下水道部汚泥研究室

Copyright © (1991) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

下水汚泥焼却灰からの重金属の溶出特性及び 埋立て汚泥浸出水の浄化に関する調査報告書

新下水処理研究官 京 才 俊 則
汚泥研究室 前 室 長 大 嶋 吉 雄*
主任研究員 岡 沢 邦 明
白 石 隆

*現：日本下水道事業団業務部援助課長

要 旨

現在、下水汚泥の有効利用として、建設資材への利用が注目されつつある。従来、陸上、及び海面に埋立てされていた汚泥をその持つ材料的特性を生かして有効利用しようというものである。この利用マニュアルについては、材料としての汚泥の物理・化学的特性に応じた利用方法という内容で昭和60年に土木研究所でまとめられているが、汚泥中に含まれる重金属の周辺環境への溶出といった安全面での確認を行ったデータは希少である。また、現在の主要な汚泥処分方法である陸上埋立て処分では、処分適地の確保の困難化といった問題の他に、降雨等によって悪質な浸出水が発生するといった問題が生じている。

本報告書は、建設資材として利用した汚泥からの重金属の溶出特性、及び埋立て汚泥から発生する浸出水の浄化方法について検討したものである。

キーワード：下水汚泥，建設資材，有効利用，重金属，埋立処分，浸出水。

ま え が き

現在、全国の下水处理場から発生する汚泥は、その8割が陸上、及び海面へ埋立て処分されている現状である。しかし、各都市における処分地の確保は苦しい状況にあり、今世紀末にはほとんどの都市で現存する処分地も満杯となると言われている。また、都市部では、汚泥処分地が遠隔地にあることが多く運搬に要する費用がかさむ等の問題をかかえている。このため、新規の処分地の確保に引き続き力をそそぐとともに、現在は少量であるところの汚泥の有効利用量を拡大していく必要がある。

汚泥の有効利用には、汚泥中の肥効成分の存在に着目した緑農地利用と都市部を含めた広い地域で安定的な供給が期待できる建設資材への利用とがある。緑農地利用に関しては、利用技術、利用体系もほぼ決まっているが、建設資材利用に関しては明確なものが提示されていなかった。そこで、建設省では昭和56年度より60年度の5年間にわたり、総合技術開発プロジェクト「建設事業への廃棄物利用技術の開発（昭和56～60年度）」を行い、その結果を下水汚泥の建設資材としての利用方法として提案した。しかし、実際の利用にあたっては、汚泥中の重金属など人体にとって有害な物質の溶出といった安全性の確認が明確化されておらず、建設資材利用の推進を抑制しているとも考えられたため、汚泥研究室では、昭和60～63年の4年間に渡り国立機関公害防止等試験研究費の枠内で、下水汚泥を建設資材に利用した場合の安全性について調査した。本報告は、その結果をとりまとめたものである。また、後半の砂層による埋立汚泥浸出水の浄化についての報告は、東北工業大学土木工学科の中山正与氏が、昭和61年度に土木研究所汚泥研究室に在籍中に調査され、その後にとめられたものである。

平成3年2月

下水道部 汚泥研究室

目 次

1. はじめに	1
2. 建設資材利用における汚泥中の微量重金属の環境への影響	3
2.1 研究の目的	3
2.2 基礎的考察	4
2.2.1 重金属溶出の影響因子	4
2.2.2 溶出試験法及び判定基準	7
2.2.3 汚泥焼却灰からの浸出水等の調査事例	10
2.3 調査内容	10
2.4 汚泥焼却灰の溶出試験	11
2.4.1 目 的	11
2.4.2 試験方法	11
2.4.3 試験結果	13
2.4.4 ま と め	14
2.5 屋外埋立て実験	14
2.5.1 目 的	14
2.5.2 実験方法	16
2.5.3 実験結果	17
2.5.4 ま と め	21
2.6 室内カラム実験	22
2.6.1 目 的	22
2.6.2 実験方法	22
2.6.3 実験結果	23
2.6.4 ま と め	26
2.7 浸出水の砂ろ過実験	26
2.7.1 目 的	26
2.7.2 実験方法	26
2.7.3 実験結果	27
2.7.4 ま と め	28
2.8 本研究により得られた成果	29
3. 砂層による埋立汚泥浸出水の浄化について	31
3.1 研究の目的	31
3.2 実験方法	31

3.3 結果および考察	33
3.4 ま と め	46
参 考 文 献	48

～資料編（データ集）～

1. 汚泥焼却灰の溶出実験	53
2. 屋外埋立て実験	67
3. 室内カラム実験	91
4. 浸出水の砂ろ過実験	105

1. は じ め に

わが国で処分されている下水汚泥は、図-1.1, 1.2に示すとおり昭和52, 53の約240万 m^3 をピークに減少する傾向にあり、昭和62年度末には約210万 m^3 となっている¹⁾。下水道普及率が増加しているにもかかわらず汚泥処分量が減少していることは、脱水の効率化、焼却量の増加などによる汚泥の減量化が進んでいるためである。

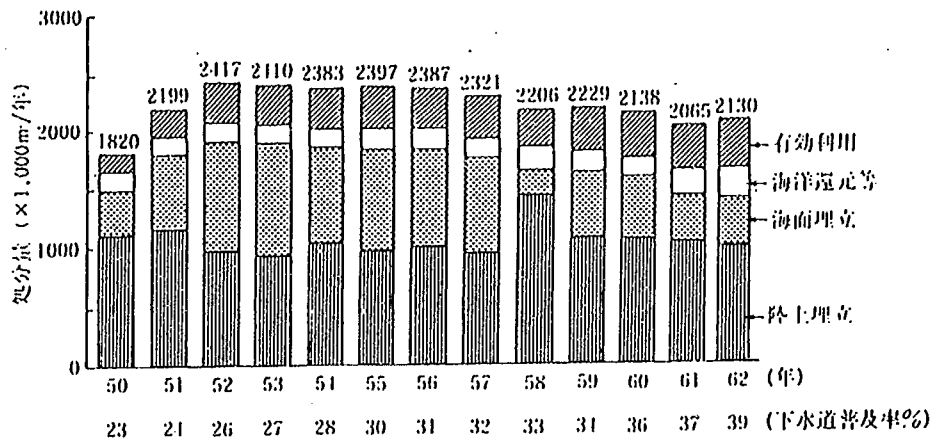


図-1.1 汚泥処分方法の経年変化

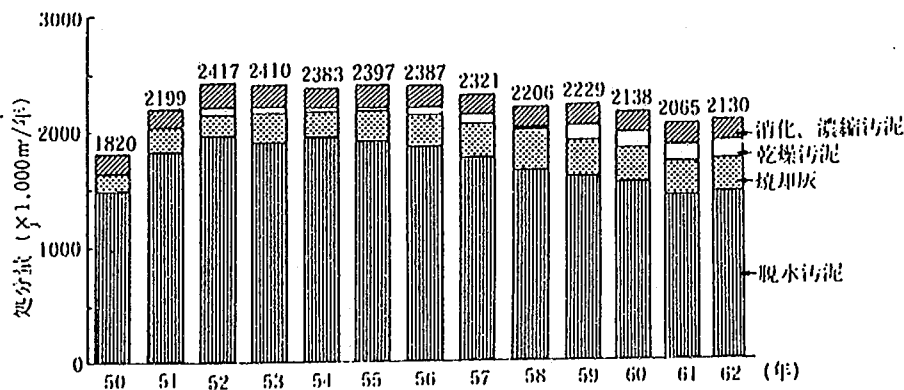


図-1.2 処分時の汚泥形態の経年変化

図-1.3に昭和59年度における汚泥の処分形態と処分方法を示す。年間に乾燥重量で113万t発生した汚泥は、そのうち55%が焼却されており、40%が脱水されている。処分方法としては、陸上、海面埋立てが全体量の80%以上であり、緑農地や建設資材へ有効利用されているものは、約14%にすぎない²⁾。

この様に処分量の80%以上は陸上埋立、海面埋立で処分されているが、これらの埋立地の処分容量には限度があり、現存する埋立地も数年で満杯となる都市が多い。このため、新規の埋立地を確保するよう努

力されているが、都市域の拡大、環境衛生上の問題などから埋立地の確保はだんだんと困難になってきている。一方、ここ数年来、汚泥処分量は減少しているが、長期的には下水道普及率の増加とともに汚泥処分量も増加すると考えられる。これらより、長期的に見た場合は下水汚泥の有効利用を推進していく必要がある。

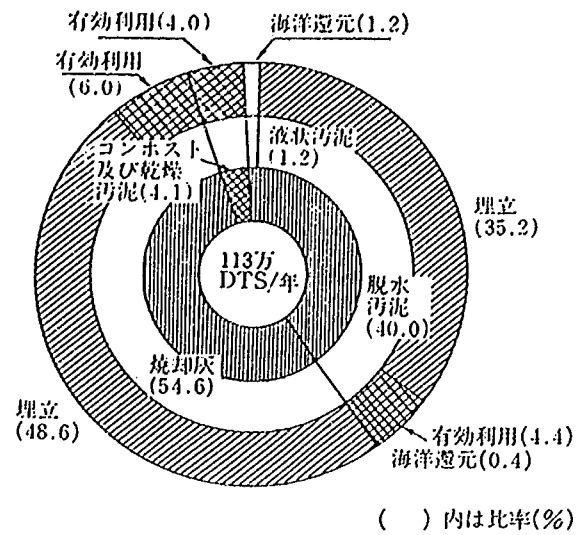


図- 1.3 汚泥形態と処分方法

2. 建設資材利用における汚泥中の微量重金属の環境への影響

2.1 研究の目的

下水汚泥の有効利用は、そのほとんどが緑農地への利用であるが今後は、安定的供給といった面などから建設資材への利用が増加するものと思われる。

汚泥の建設資材利用に関する調査研究は、建設省、日本下水道事業団、地方公共団体等で活発に進められており、利用可能な汚泥形態、利用分野、利用方法などの技術的課題に対し、室内実験、実証実験、現場施工実験を通し解決の方向が明らかになってきている。建設省では総合技術開発プロジェクト「建設事業への廃棄物利用技術の開発（昭和56～60年度）」において、他の廃棄物とともに汚泥の建設資材利用に関する調査を、土質、舗装、コンクリート、建築等の専門家がを行い、汚泥の物理・化学的な特性に基づき利用方法の提案を行った。^{3) 4)}

現在、提案されており一部実施されている下水汚泥の建設資材としての利用方法をまとめると表-2.1.1のようである。緑農地利用が汚泥中の有機物、及び窒素、リン等の肥効成分に着目したものであるのに対し、建設資材利用は、有機物を分解した残りの無機物利用であることが対照的である。

熔融スラグ、及び軽量骨材は、砂、碎石、及び人工軽量骨材の代替品としての利用が主体である。一方、焼却灰は、土、土質改良材、細粒材、窯業原料というように多方面への利用が考えられている。

今後、下水汚泥を広く建設資材として利用していくための課題として、

- a. 品質管理技術の確立
- b. 実績の積重ね
- c. 安全性の確認

表-2.1.1 下水汚泥の建設資材としての利用方法

汚泥形態	焼 却 灰	溶 融 ス ラ グ	軽 量 骨 材
性状	下水汚泥を800～900℃で焼却した無機分からなる残渣で、主成分はSi, Ca, Fe, Alの酸化物。Caの含有率は脱水に用いる調質剤により異なり、石灰-塩化第2鉄を用いると重量比で25～50%、有機高分子凝集剤を用いると3～8%程度となる。粒度は焼却方法により異なりシルトから細砂まで分布する。真比重は2.5～3.1、みかけ比重は1前後。	下水汚泥を1,200～1,500℃に熱し、汚泥中の無機物を融解し、冷却したもの。冷却方法、熱処理方法から次のように分類される。 水砕スラグ：融液を水で冷却。砂状でガラス質。 空冷スラグ：融液を大気中で冷却。砕石状でガラス質。 結晶化スラグ：上記スラグの表面性状や強度改善を目的として、結晶化を進めたスラグ。ガラス質スラグを熱処理して行う。	粘結力を補うために少量の有機物を加え造粒した焼却灰を1,000～1,150℃で焼結したもの。このようにすると、表面は半熔融となり、内部では気泡が発生して造粒物全体が膨張する。乾燥した脱水汚泥からくる技術も開発されている。
利用方法	・盛土材、埋戻し材 ・土質改良材 ・路床材、路盤材、アスファルトフィラー等路盤・舗装材 ・セメント原料、コンクリート細骨材 ・陶管、タイル等の窯業原料	・コンクリート骨材 ・路盤材 ・その他砂、碎石の代替材	・既存の人工軽量骨材の代替材

があるが、このうち本研究は c. の課題について検討を行ったものである。すなわち、建設資材として利用される下水汚泥中に微量に含まれている重金属が水環境にどの程度溶出していくかについて研究し、その安全性を確認することを目的としている。ここで、研究対象とした汚泥形態は、自硬性が期待され⁶⁾土、及び土質改良材として用いられている石灰系焼却灰である。

2.2 基礎的考察

石灰系焼却灰を土、及び土質改良材として使用した場合の、焼却灰中に含まれる微量重金属の溶出を検討するにあたり、以下の点について文献により調査した。

- a. 重金属溶出の影響因子
- b. 溶出試験法
- c. 許容濃度
- d. 関連文献

2.2.1 重金属溶出の影響因子

影響因子として、酸性雨の現状、土壌による重金属の吸着を調査した。これは一般に焼却灰中の重金属は周囲の水の pH が低くなる程溶出しやすくなるため、また、焼却灰から溶出した重金属も土壌により再び吸着されれば水には出てこないためである。

(1) 酸性雨の現状

酸性雨とは⁶⁾⁷⁾化石燃料などにより大気中に放出された硫黄酸化物 (SO_x) や窒素酸化物 (NO_x)、及び大気中で生成した硫酸、硫酸塩、硝酸塩などがレインアウト (rain out, 雨の核として取り込まれる、雲内洗浄) やウォッシュアウト (wash out, 降下する雨滴に取り込まれる) の過程を経て、雨滴に取り込まれ pH が低下して、地上に落下する雨をいう。一般に、雨水は大気中の二酸化炭素を吸収するため pH 5~6 程度を示すので、pH がこれ以下になったものを酸性雨と称している⁸⁾。酸性雨は、北米やヨーロッパにおいて、湖沼や森林等の生態系に深刻な影響を与え、国際的な問題となっており⁹⁾、国際的モニタリングが実施されたり、国際条件が結ばれたりしている。⁸⁾

我国に於いては、湖沼や森林等の生態系への深刻な影響の発生は報告されていないが、過去においての眼の刺激等を訴える事例が報告されている⁶⁾。この10年間、我国の自治体の研究機関などが中心になって行われた各地の雨水実態調査で得られた成果から、我国の都市部周辺の雨水の性状などについてまとめると次のようである。

- a. 我国の都市部周辺の雨水の pH は、主に 3~6 の範囲に出現し、平均値は 4.5 に近い。観測された pH の最定値は 2.6 である。図-2.2.1⁷⁾ 参照。
- b. 夏期に低い pH を有する降雨の出現率が高い。

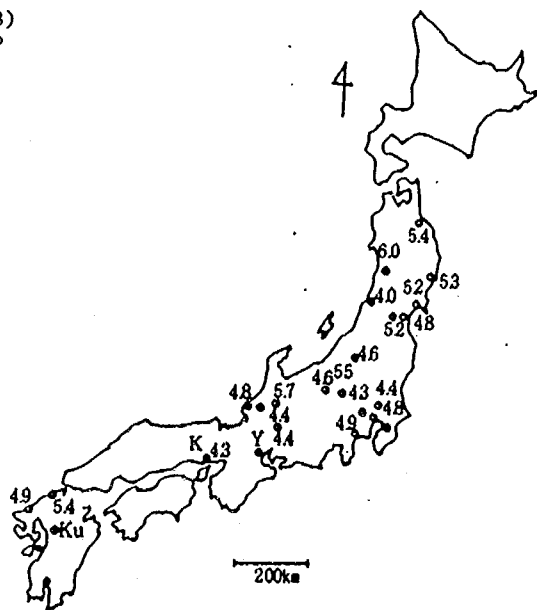


図-2.2.1 雨水の pH の分布 (昭和50~54年)

また、夏期を中心として、雨水の酸性化に及ぼす NO_x 系汚染物質の影響は大きい。

c. 最近10年間では、明確な pH の低下傾向は示されていない。

d. 雨水中の SO_4^{2-} 濃度は季節的にも変動は小さいが、 NO_x 濃度の変動は大きい。

e. 一雨内の雨水成分濃度は、降雨量の増加とともに減少し、 NO_3^- 、 Na^+ 、 Cl^- の減少量は大きい。
pH (H^+) は必ずしもそのような傾向を示さない。

f. 主に測定されている9種のイオン (SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 H^+ 、 NH_4^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+}) で、雨水中のアニオンとカチオンのバランスはほぼとれている。

g. 都市部の雨水の汚染は、 NH_4^+ や SO_4^{2-} によるよりは、 NO_3^- や H^+ により正確に評価される傾向がある。また、pH と EC との関係から雨水の地域特性を示すことができる。

h. 雨水中の Ca^{2+} イオンは都市部で高く、汚染の一つの指標となりそうであるが、酸性を中和する役割を説明するには、またデータ不足である。

i. 都市部の後背地の雨水でも、 NH_4^+ などの成分は都市部なみの濃度で出現する。

j. 大気中の粒子状物質は降雨により除去されるが、その除去率は化学成分によって異なる。

k. SO_x は降雨時、濃度が減少するが、 NO_x は見かけ上増加傾向を示すことが多い。

土壌への影響の観点からは、酸性雨とともに酸性物質が直接地表へ降下する乾性沈着も重要である。酸性雨、乾性沈着による土壌への影響の仕方は次のようである。⁶⁾

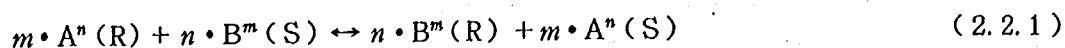
最初 H^+ の大半は土壌粒子に保持された塩基性陽イオンとのイオン交換反応によって消費され、その結果、Ca, Mg, K, Na 等のイオンが土壌溶液へ溶解して失われる。土壌の pH は塩基性陽イオンの枯渇後は急激に低下すると考えられる。塩基性陽イオンが消費された土壌では、さらに Al, Cu, Zn 等の金属、イオンが溶解される。しかし、実際の雨水には H^+ の他に塩基性陽イオンも含まれること（例えば我国では中国からの黄砂の飛来がある）、塩基性陽イオンと H^+ の交換は完全でないこと、風化等を伴うこと、土壌中では生態系による塩基性陽イオンの最循環が活発に行われているなどの理由により、pH の低下は緩慢であろうとの見方もある。

(2) 土壌による重金属の吸着

土中水に含まれる陽イオンが土壌により吸着され、反対に土壌中の陽イオンが土中水に放出される陽イオン交換により、焼却灰から土中水に溶出した重金属が土壌に再び吸着することが考えられるので、ここでは土壌の陽イオン交換について考察する。^{10) 11)}なおこのイオン交換は比表面積の大きい粘土鉱物について著しい。

1) 陽イオン交換容量

交換性陽イオンとして A^n を保持している陽イオン交換体（土壌）に B^m を含む溶液を加えると、次式で表される陽イオン交換平衡が成立する。



ここで (R) はイオン交換体、(S) は溶液、 m 、 n は係数及び電価数を表す。

イオン交換体がどれだけのイオンを交換，あるいは保持できるかは，交換体表面にある荷電の量，すなわちイオン交換基の数により決定される。粘土鉱物表面に発生する負荷電量は，その化学組成，構造に基づく重要な属性の一つであるが，これらはまた溶液の pH，イオン種と濃度，温度などによっても影響される。例えば，荷電には永久荷電（同形置換に起因する）と pH が依存荷電（破壊原子価に起因する）があり，前者は pH が変化してもその量は変わらないのに対し，後者は変化する。しかし一定条件下でイオン交換体の陽イオン交換容量（CEC，cation exchange capacity）を測定する方法¹²⁾がある。表 2.2.1 に粘土鉱物の CEC を示す。

表 2.2.1 粘土鉱物の構造型，粒子の形・大きさ，比表面積およびイオン陽イオン交換量（CEC）¹¹⁾

粘 土 鉱 物	構 造 型	粒子の形・大きさ	比表面積 (m ² /g)	CEC (me/100g)
カオリナイト	1:1層状；非和水型	板～薄板	10～55	2～10
ハロイサイト	1:1層状；和水～非和水型	中空管；長さ数 μm 外(内)径=100(50)nm	60～1100	5～15 10～40
スメクタイト	1:1層状；和水型	球；外径=0.1～1 μm	1100	60～100
(モンモリロナイト)	2:1層状；和水型	薄膜；1×1×0.01 μm	770	
パーミキュライト	2:1層状；和水型	板～薄板	770	100～150
雲母（イライト）	2:1層状；非和水型	板～薄板	10～55	10～15
緑 泥 石	2:1:1層状；非和水型	板～薄板	10～55	2～10
イモゴライト	準晶質，和水型	中空管；長さ数 μm 外(内)径=100(50)nm	1540	20～30
アロフェン	非晶質，和水型	中空球；外(内)径(4.3)nm	2210	30～135

* 板～桿板粒子の大きさ；1×0.1×0.1×0.02 μm。

単位ケイ酸塩層の厚さ；1:1型鉱物，0.7nm；2:1型鉱物，1.0nm。

** CEC；pH7.0，10～10 M塩溶液中で保持し得る交換性陽イオンの総量。

2) 選択係数

(2.2.1) 式に示す平衡に達している場合，この反応の濃度平衡定数 K_A^B は次のように与えられる。

$$K_A^B = \frac{[B_R^n]^m [A_S^n]^m}{[A_R^n]^m [B_S^m]^n} \quad (2.2.2)$$

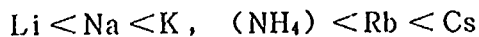
ここで， $[A_R^n]^m$ ， $[B_S^m]$ は交換体表面の交換性 A^n ， B^m の濃度 (mol/l)， $[A_S^n]$ ， $[B_S^m]$ は平衡溶液中の A^n ， B^m の濃度 (mol/l) である。

K_A^B は選択係数とも呼ばれ，イオン交換体表面に A^n にくらべ B^m がどの程度選択的に保持されるかを示す数値で A^n を基準にした B^m の値となる。A，B が荷電数の等しい陽イオン相互間の交換反応の場合は， $K_A^B > 1$ のとき B は A より選択的にイオン交換体に吸着され， $K_A^B < 1$ のときはその逆となる。A，B の荷電数が等しくない場合の取り扱いはいくらか複雑である。

一般的なイオン交換性の選択性には次のような傾向がある¹³⁾

- 1 価のイオンより 2 価のイオン，2 価のイオンより 3 価のイオンが選択性が高い。
- 同価のイオンでは水和したイオン半径が小さい程選択性が高い。
- 外部溶液の塩濃度が高いと選択性は減少する。

このうちbは1価の陽イオンについては認められ、



の順に選択性が増加するが、2価の陽イオンについては、明らかな差異が認められていない。¹¹⁾

3) 重金属の特異吸着

水銀、カドミウム、クロム、鉛、銅などの重金属は土壌に蓄積され易い。例えば、鉛と銅のカルシウムに対する粘土への選択係数は $10^3 \sim 10^5$ にもなり、このような場合は逆にカルシウムイオンをいくら高めても銅や鉛が出てくることはない。このような強い吸着は重金属の特異吸着といわれている。

表-2.2.2に土壌の重金属吸着特性を示す。一般に、 $\text{Pb}, \text{Cu} < \text{Zn} < \text{Co}, \text{Cd}$ の順に選択性の強い交換基の割合が減少している。この選択吸着の序列は、重金属イオンの大きさの序列、あるいは元素として

表-2.2.2 土壌の微量重金属吸着特性

	主要イオン 交換物質	選択性交換基 ($K_d^M > 100$) の割合 (%)					選択性交換基 (CECの20%) が示す最低 K_d^M 値				
		Pb	Cu	Zn	Co	Cd	Pb	Cu	Zn	Co	Cd
黒ボク土(B)	A, Im	>50	>52	46	0	0	2600	2200	480	7	12
火山灰風化物	A	>48	43	12	0	0	>1800	340	46	3	5
火山灰風化物	Ht	>43	>43	31	2	0	5400	3800	220	19	2
赤黄色土B	Ht, Fe-Ox	>72	78	38	1	0	>8900	6900	275	12	4
オキシソルB	Kt, Fe-Ox	>78	68	32	19	14	>11000	>11000	460	87	55
赤黄色土B	Kt, Vt-Ch	33	31	21	3	0	500	340	140	5	4
赤黄色土B	Mt	13	11	2	0	0	22	9	3	2	1
灰色低地土	Vt, 腐植	>22	>22	0	0	0	780	410	9	4	3
黒ボク土A ₁	Al-腐植, A, Im	>33	>34	12	0	0	1700	1700	51	8	7
黒ボク土A ₁	Al-腐植	>18	>18	5	0	0	1100	660	17	6	8

の電気陰性度の序列とは対応しないが、重金属イオンの加水分解の起こり易さの指標となる加水分解定数 (p^*K)、及びその水酸化物沈殿が重金属イオンを保持する強さの指標となる重金属の溶解度積 (pK_{so})とはかなりよい対応を示す。すなわち、 p^*K が小さく低いpHで加水分解する重金属イオン、また pK_{so} が大きく、難溶性の水酸化物を作る重金属イオンほど選択吸着性が著しい。

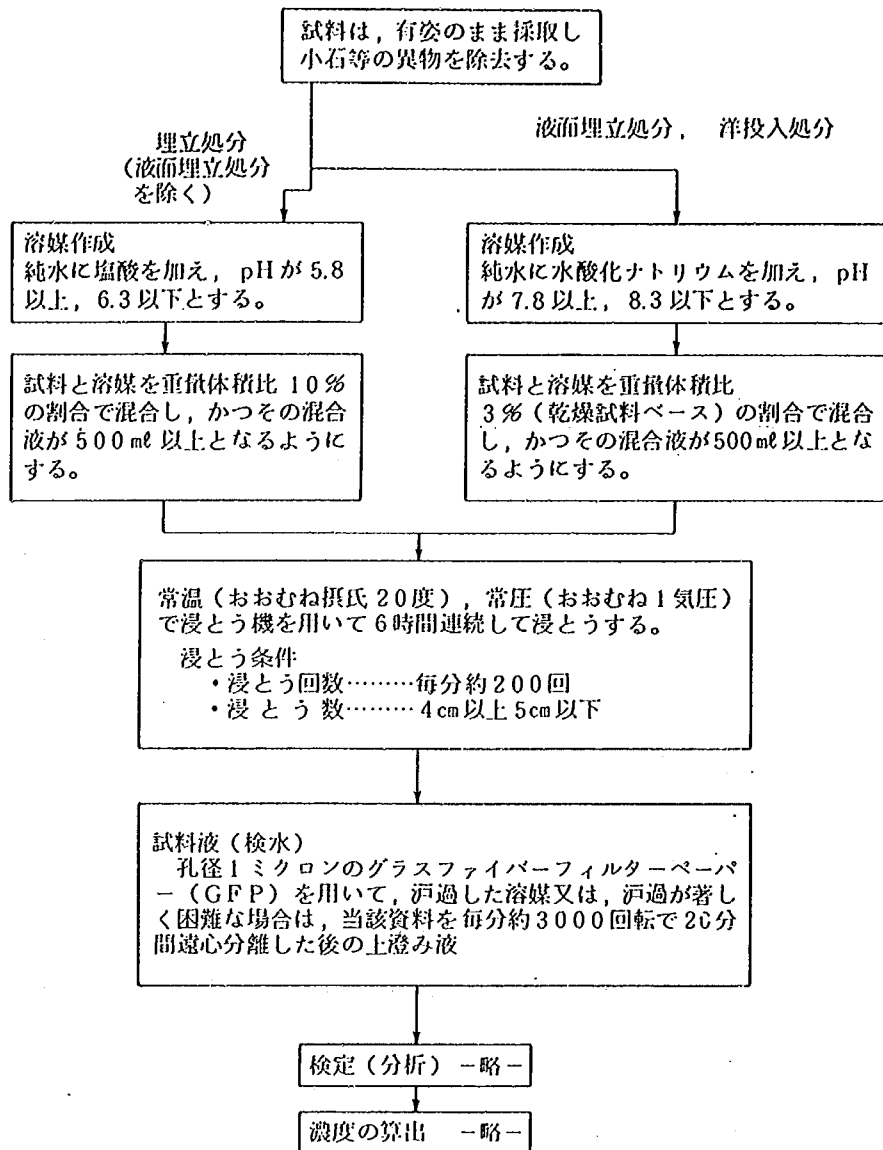
2.2.2 溶出試験法、及び判定基準

一般に下水汚泥の溶出試験は図-2.2.2にフローを示す。「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法 (環境庁告示第13号, 昭和57年環境庁告示第44号として改正, 以下環告法という)」によって行われている。この方法では純粹に塩酸を加えpHを5.8~6.3にした溶媒を用いることとなっているが、石灰等アルカリ分を多量に含む試料の場合、混合液のpHがアルカリ側に傾き、金属等の溶出が抑さえられると指摘されている。¹⁴⁾ ¹⁵⁾ このため、石井ら¹⁵⁾はごみ埋立て処分地における浸出水の実態を考慮して、酢酸濃度を1.0 M (60,000 mg/l) 以上にしてpHを4で溶出試験を行った場合、許容濃度は、始めに述べた環告法による場合の値 (表2.2.4) とは別次元のものと考えられる。¹⁵⁾

米国等における溶出試験法を表-2.2.3に示す。¹⁶⁾ このうち米国環境保護庁の抽出法 (以下EP法という) による溶出試験フローを図-2.2.3に示す。¹⁷⁾ 本法は溶媒として0.5 Nの酢酸を用いて、混合液のpHを5.0 ± 0.2に制御し24時間混合する。しかし酢酸添加量が4mg/g固形物以上になった場合は、酢酸添加をスト

ップする。即ち酢酸添加量に上限をもうけているところに特徴がある。

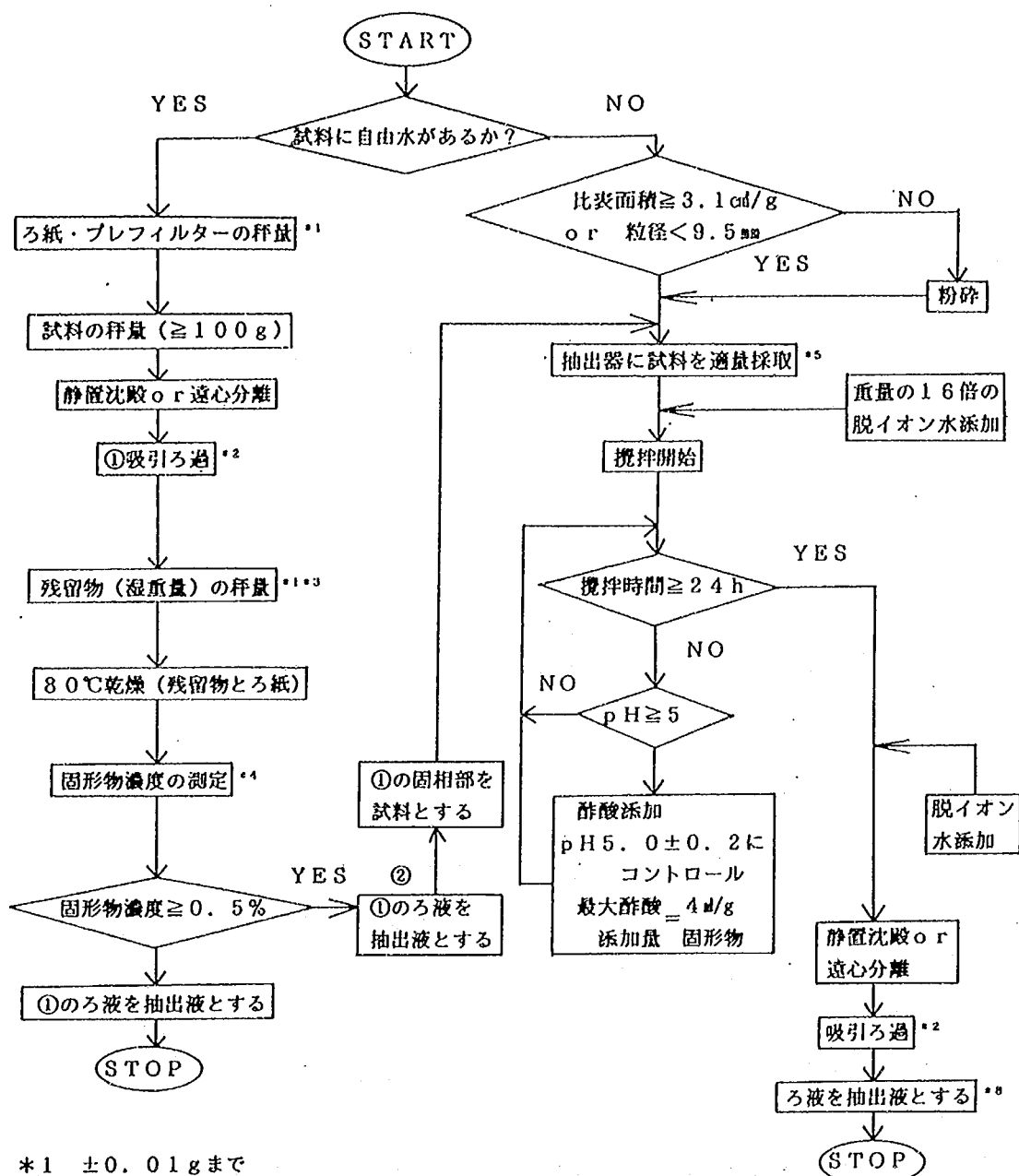
表－2.2.4 は、環告法及びEP法によって溶出試験を行う場合の判定基準である。



図－2.2.2 産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法

表－2.2.3 米国等における溶出試験法¹⁶⁾

機 関	試 験 名	主たる溶媒
米国環境保護法	抽出法 (Extraction Procedure)	酢 酸
米国材料試験協会	A 法	H ₂ O
	B 法	酢 酸
国際原子力機構	浸出試験	H ₂ O



- *1 ±0.01gまで
- *2 液相部でろ紙を湿らせて行う。圧力: 10~15psi, ≤75psi
- *3 残留物の湿重量=残留物とろ紙の湿重量-ろ紙の重量
- *4 固形物濃度 (%) = 初期の試料重量 × 100
- *5 自由水がない場合は100g
- *6 0.5N酢酸添加
- *7 添加脱イオン水量 = 20 × 固形物量 (g) - 16 × 固形物量 (g) - 添加酢酸量
- *8 自由水がある場合は②と混合する
試料の固形物濃度が0.5%以下である可能性がある場合のみ行う。

図- 2.2.3 米国環境保護庁の溶出試験法 (抽出法, EP法)

表-2.2.4 判定基準

溶 出 試 験 法	環 告 法			E P 法
処 分 方 法 汚での性状	埋 立 処 分	海 洋 投 入 処 分		
		(1)非水溶性の無機性汚でい (2)水銀を含む汚でいをばい 焼したもの	(1)有機性汚でい (2)水溶性無機汚でい	
項 目				
アルキル水銀化合物	不 検 出	不 検 出	不 検 出	—
水銀又はその化合物	0.005mg/ℓ 以下	0.005mg/ℓ 以下	2mg/kg 以下	0.2mg/ℓ
カドミウム又はその化合物	0.3 “	0.1 “	5 “	—
鉛又はその化合物	3 “	1 “	50 “	5 mg/ℓ
有機リン化合物	1 “	1 “	5 “	—
六価クロム化合物	1.5 “	0.5 “	25 “	—
ヒ素又はその化合物	1.5 “	0.5 “	25 “	5 mg/ℓ
シアン化合物	1 “	1 “	5 “	—
P C B	0.003 “	0.003 “	0.15 “	—
有機塩素化合物		40mg/kg 以下	40 “	—
備 考	金属等を含む廃棄物に係る判定基準を定める総理府令 (昭48.2.17, 総令5, 昭55, 総令48で改正)			この他バリウム(100mg/ℓ), セレンウム(1.0), 銀(5.0), クロム(5.0), 及び有機塩素 系の農薬について基準がある。

2.2.3 汚泥焼却灰からの浸出水等の調査事例

福知ら¹⁸⁾は、焼却灰をつめたカラムで水道水、3%食塩水1N酢酸アンモンによる溶出実験を約4年間にわたり行った。その結果、水道水を用いた浸出水のpHは当初約13で、約4年後も10.5前後であったこと、酢酸アンモニウムの場合、当初10前後であったが、約4年後もほとんど変化しなかったこと、Caの他全Crが溶出したことを報告している。また、カラム実験結果を上記3溶媒を用いた環告法による重金属溶出割合の法が約4年間の結果より高くなったと述べている。Crの溶出については岡久ら¹⁹⁾も報告している。埼玉県²⁰⁾では脱水ケーキ、焼却灰還元灰をpH7(1N酢酸アンモニウム溶液)、酸溶液(0.1M塩酸溶液)、純水(イオン交換水)を用いて振とう溶出実験を行い次のような結論を得ている。脱水ケーキ、焼却灰、還元灰からの溶出はCa分がほとんどであった。また、溶出元素の種類が多く、溶出量及び溶出率の高い汚泥は、脱水ケーキと乾燥余剰汚泥であった。Ca, Fe, T-Nを除いた汚泥間の総溶出量の差は、乾燥余剰汚泥>脱水ケーキ>還元灰>焼却灰であった。溶媒の種類による総溶出量の差は、pH7溶液>酸溶液>純水であった。

渡辺ら²¹⁾は、10種類の土壌を供試し、これに各種濃度の重金属溶液を加え、土壌による重金属吸着量を測定し次の結論を得た。土壌の重金属吸着量は $Pb \gg Cd > Cu > Zn$ の順であった。供試土壌の吸着量は砂含量とは負の関係があり、粘土、全炭素、CECとは正の相関があった。また渡辺らは各種重金属の共存における土壌の重金属イオン吸着量についても報告している。²²⁾

2.3 調査内容

本研究では、石灰系焼却灰を土、及び土質改良材として使用する際の重金属の溶出に関しての安全性の確認を行うために、図-2.3.1に示す調査を行った。以下、その調査内容を概説する。

- ① 材料としての石灰系焼却灰が安全かどうかの検討を環境庁告示、及び米国環境保護庁の溶出試験法の2法から行った。

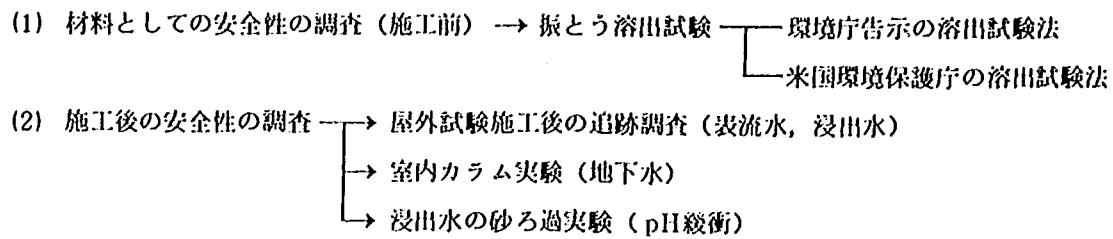


図 2.3.1 調 査 内 容

- ② 石灰系焼却灰を土、及び土質改良材として施工した後に、焼却灰中に含まれる微量な重金属が周辺の水環境にどの程度溶出するかについて、屋外に埋立て実験装置を設置し、より現状に近い条件で降雨により発生する浸出水、表面流出水（以下、表流水）について長期間に渡る調査を行った。
- ③ 石灰系焼却灰を路盤材等で使用した際に懸念される地下水への影響を調べるために室内カラム実験を行った。
- ④ 本実験で得られた溶出液は、焼却灰中の石灰化合物の影響により、高アルカリであることが予想されるので、溶出液 pH の緩衝性に関する実験を行った。

2.4 汚泥焼却灰の溶出試験

2.4.1 目 的

石灰系焼却灰を土、及び土質改良材として利用する際の重金属の溶出に関して、材料としての石灰系焼却灰が安全かどうかについて調査することを目的としている。

2.4.2 試験方法

実験に用いた 8 種類の試料の土質工学的特性と陽イオン交換容量（CEC）を表 2.4.1 に示す。試料 1, 2 は石灰系焼却灰で前者は流動炉（粒度が細かい）、後者は多段炉（粒度が粗い）で焼却したものである。また前者は加湿していないが、後者は処分時の飛散防止のための加湿を行っている。しかし、試料 2 も加えた水分は焼却灰中の酸化カルシウムと反応して水酸化カルシウムになっているので、自然含水比は 0 となっている。試料 3 は霞ヶ浦の底質である。試料 4 は下水管渠の工事現場から採取したものである。

試料 5～8 は、試料 3, 4 を試料 1, 2 の焼却灰で土質改良することを想定して、それぞれを乾燥重量で 1 : 1 になるように十分に混合したものである。

これら 8 種類の試料を対象として、環告法、EP 法（図 2.4.1 参照）による溶出試験を行った。

また、石灰を含んだ試料の溶出試験を行う場合には、pH の上昇が予想されるのでこれの調整が必要となる。現在行われている溶出試験法である環告法では、試料と混合前の溶媒の pH 調整しか行っていないので実際には高アルカリ側で試験を行っていることになる。そこで、前出の 2 試験法のととき同様の 8 試料の他に、細砂、砂、及び各々を焼却灰 2 種類と混合した 6 試料用い、酸及びアルカリを添加して試料と溶媒の混合後の pH を調整溶出試験を行い重金属の溶出特性と pH との関係を調査した。

pH の調整には各試料とも酸性側は硝酸を、アルカリ側は水酸化ナトリウムを用いて初期の pH を 7 段階に設定した。また溶出方法は、環告法に準じ試料と溶媒とを重量体積比 1 : 10 の割合で混合したものを酸またはアルカリにより pH 調整を行い、20℃恒温室において 6 時間連続振とうを行う方法を採用した。

表- 2.4.1 供試試料の土質工学的特性及び CEC

			試 験 法	供 試 試 料							
				1	2	3	4	5 (1+3)	6 (1+4)	7 (2+3)	8 (2+4)
				石灰系焼却灰		有機質 粘 土	シルト 質細砂	1～4の試料を土質改良を目的と して混合、混合比は乾重で1：1			
				流動炉	多段炉						
自 然 含 水 比 , W (%)			JIS A 1203	0	0	86.8	38.8	36.6	12.5	42.4	17.5
土 粒 子 の 比 重 , Gs			JIS A 1202	2.97	3.25	2.67	2.72	2.76	2.81	2.98	2.98
粒度 組成 (%)	砂分 (74 ~ 2,000 μ m)		JIS A 1204	32	78	19	57	28	47	51	67
	シルト分 (5 ~ 74 μ m)			52	15	28	26	46	41	25	25
	粘土分 (5 μ m 以下)			16	7	53	17	26	12	24	8
最適含水比, Wopt (%)			JIS A 1210 但し、混合土につい ては、KODAN 104-1975	47.7	63.8	43.5	20.5	48.2	32.5	52.0	36.0
最大乾燥密度, ρ_{dmax} (t / m ³)				1.079	0.966	1.118	1.630	1.098	1.234	1.071	1.340
湿潤側	ρ_{dmax} 90	含水比, W ₉₀ (%)		63.0	80.0	59.0	29.0	61.0	50.0	65.0	46.0
	乾燥密度, ρ_d			0.971	0.869	1.006	1.467	0.988	1.111	0.964	1.206
一軸圧縮強度, qu (kg / cm ²) *			JIS A 1216	0.865	0.247	0.433	0.406	1.72	4.18	0.778	0.888
透水係数, k (cm / S) *			JIS A 1218 (変水位法)	6.91×10^{-6}	4.01×10^{-5}	1.78×10^{-7}	1.62×10^{-5}	6.59×10^{-7}	2.68×10^{-6}	2.14×10^{-7}	1.99×10^{-6}
強熱減量 (%) **			土質試験法	15.0	5.0	11.8	4.1	13.7	10.3	7.0	3.1
CEC ($\frac{me}{100g}$ 乾重)	1 N酢酸ア ンモニウム	pH = 5	セミマイクロ Schollenberger 法 (土壤養分分析法, 養賢堂)	6.8	50.3	101	309	116	85.8	203	55.1
		pH = 7		7.2	12.4	45.6	21.3	36.7	34.5	42.3	18.7
		pH = 9		11.0	10.5	52.0	22.0	10.1	25.3	33.7	8.5
		pH = 11		8.3	2.6	61.4	22.4	8.5	13.3	95.0	9.9
	8.2 %硝酸 カルシウム	pH = 5		32.1	6.4	7.5	5.7	17.8	10.1	8.5	5.2
		pH = 7		33.1	4.2	5.6	2.8	9.2	14.7	6.6	5.2
		pH = 9		17.7	5.6	11.2	4.7	6.1	3.9	3.7	5.2
		pH = 11		17.7	5.6	9.4	4.7	10.8	7.7	5.6	3.7

* ρ_{dmax} 90% 湿潤側, 7日養生(試料3, 4を除く)で行った。試料3, 4は自硬性がないため養生なし。

** 加湿後

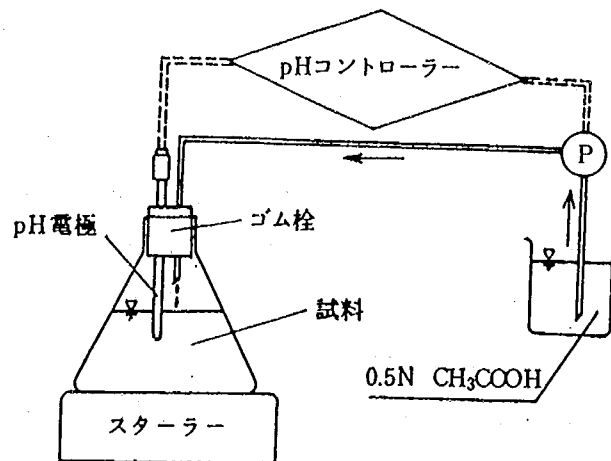


図- 2.4.1 EP法による溶出試験装置

2.4.3 試験結果

溶出試験の結果を表-2.4.2に示す。各試料の成分毎の含有量試験結果を表-2.4.3に示すが、有機リン、PCB、有機塩素化合物は含まれていないこと、また、焼却灰中には水銀が含まれていないことが確認されたので溶出試験においてはこれらの項目の分析は省略した。環告法、EP法による溶出試験結果は、表-2.2.4に示す判定基準を大幅に下回っていることが確認された。

表-2.4.2 溶出試験の結果

試験法	試料 No	試験 終了時 の pH	0.5 N酢 酸添加量 (cc)*	溶 出 液 の 分 析 結 果 (mg/l)									
				Cd	Pb	Cr (VI)	As	Cu	Zn	Fe	Ca	Mg	Cr
環 告 法	判 定 基 準 値**			0.3	3	1.5	1.5	—	—	—	—	—	—
	1	12.3		0.008	0.062	0.002	0.031	ND	0.015	0.19	98.0	ND	0.023
	2	11.8		0.019	0.036	ND	0.020	0.003	0.009	ND	72.4	0.013	0.043
	3	7.1		0.009	0.011	—	0.024	0.005	0.019	0.95	16.1	6.93	0.071
	4	8.6		0.005	0.074	—	0.060	0.028	0.031	4.92	ND	0.927	0.111
	5	11.3		0.007	0.075	ND	0.025	0.181	0.004	ND	146	0.051	0.126
	6	12.1		0.028	0.023	ND	0.051	0.037	0.010	0.19	60.5	0.006	0.083
	7	11.4		0.003	0.040	ND	0.015	0.165	0.005	0.01	134	0.100	0.129
	8	11.5		0.010	0.035	ND	0.056	0.033	0.004	ND	58.6	0.076	0.212
E P 法	判 定 基 準 値			—	5	—	5	—	—	—	—	—	5
	1	8.8	400	0.001	0.291	ND	ND	0.007	0.002	0.02	1390	3.6	0.216
	2	6.1	400	0.006	0.318	ND	0.010	0.061	0.021	0.39	1320	56.4	0.222
	3	5.2	20	0.003	0.065	ND	0.007	ND	0.004	0.78	10.6	5.6	0.061
	4	4.8	35	0.021	0.076	0.306	0.007	0.010	0.096	2.04	1.6	2.1	0.247
	5	7.7	400	0.002	0.285	ND	0.002	0.043	0.003	0.01	1310	64.5	0.105
	6	7.0	400	0.007	0.285	ND	0.007	0.005	0.008	0.48	1290	96	0.074
	7	5.2	305	0.005	0.186	ND	0.011	0.057	0.141	0.20	900	52	0.099
	8	5.2	310	0.004	0.307	0.152	0.008	0.051	0.171	0.02	986	63	0.142

* EP法のみ ** 埋立処分

表-2.4.3 分析結果

単位：mg / k g				
分析項目 \ 試料	焼却灰 (多段)	焼却灰 (流動)	粘性土	ヘドロ
有機りん	<1	<1	<1	<1
P C B	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
トリハロメタン				
クロロホルム	<0.01	<0.01	<0.01	0.017
ブロモジクロロメタン	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
ジブロモクロロメタン	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
ブロモホル	<0.02	<0.02	<0.2	<0.02
トリクロロエチレン	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
水銀	不検出	不検出	—	—

結果は乾燥固形物当たりの濃度

また pH 調整を行った試験の結果から、石灰系焼却灰を用いた試料では、振とう中に pH が大きくアルカリ側に移行し最初に設定した pH とは異なったものになる（図－2.4.2）ので、ここでは全ての試料について6時間連続振とう後の pH を解析に用いた。

pH と重金属の溶出率との関係を図－2.4.3 に示す。溶出率とは、溶媒中の重金属量の試料中の総含有重金属量に対する割合を重量百分率で表したものである。この図において低溶出率であった鉛、鉄、全クロム、六価クロムは除いてある。全体的な傾向としては、多段炉灰を含んだ試料よりも流動灰を含んだ試料の溶出率が高く、どの金属も pH 3 付近で流動炉灰とシルト質細砂の混合物からの溶出が顕著であり、カルシウムでは90%を越えている。これは表－2.4.1 からわかるように流動炉灰の方が多段炉灰より粒度が小さく単位重量当たりの表面積が大きいためと考えられる。カルシウムやマグネシウムは、アルカリ側でも溶出しカルシウムで pH 10 で20%程度のものも見られる。これに比較し、カドミウム、銅、亜鉛はアルカリ側では溶出率が低い結果となった。

2.4.4 まとめ

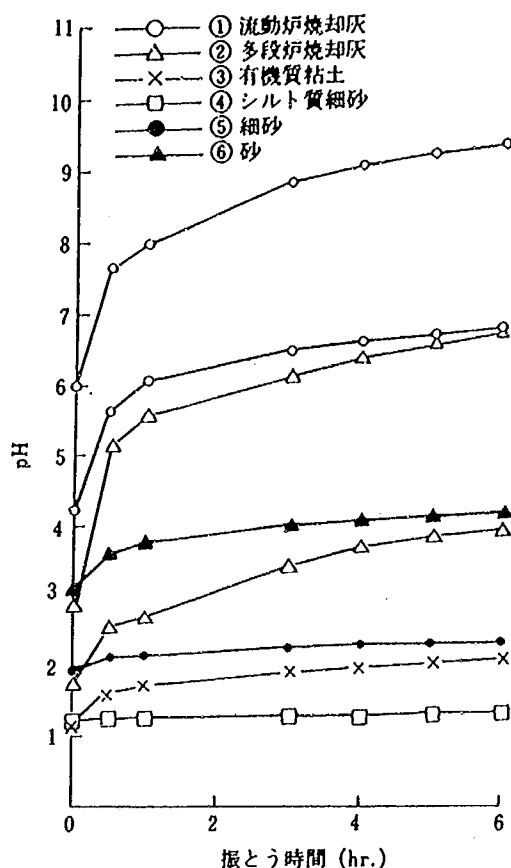
溶出実験より以下の点が明らかとなった。

- ① 環告法、EP法による溶出試験結果は、各判定基準値を大幅に下回っていた。
- ② 重金属の溶出率は、流動炉灰を含む試料の方が多段炉灰を含む試料よりも高かった。特に、流動炉灰とシルト質細砂を混合したものの溶出率は、どの金属についても高くカルシウムでは pH 3 で90%以上を示した。
- ③ カルシウム、マグネシウムはアルカリ側でも溶出し、カルシウムの場合 pH 10 で20%程度の溶出率を示した。これに対し、カドミウム、亜鉛がアルカリ側で溶出率が低かったことから、重金属の溶出は共存イオンの影響などを考えなければ pH により決定される溶解度に依存することが確認された。

2.5 屋外埋立て実験

2.5.1 目的

石灰系焼却灰を土、及び土質改良材として施工した際の焼却灰中の重金属の周囲の水環境への溶出について、屋外に埋立て実験装置を設け、より現場に近い条件で降雨により発生する浸出水、表流水への溶出特性を長期間に渡る調査から把握することを目的としている。



図－2.4.2 振とうによる pH の変化

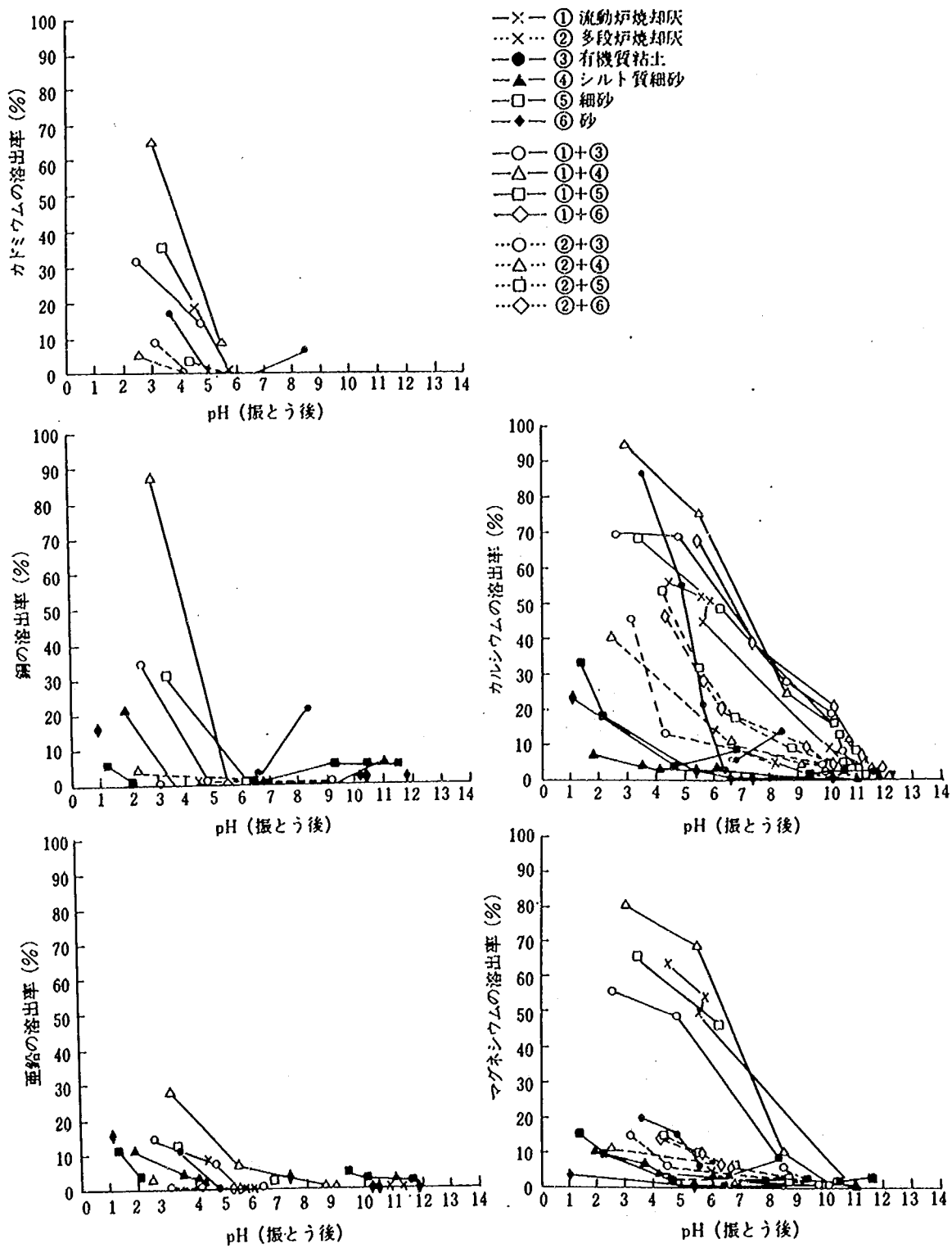


図-2.4.3 pHと溶出率の関係

2.5.2 実験方法

試料は、前出の溶出試験と同じ表-2.5.1に示す石灰系焼却灰、軟弱土、及び各々を土質改良を目的として混合したものの合計8種類であり、これらの試料から降雨により発生する浸出水、表流水の長期的な観測を行った。

表-2.5.1 供試試料の土質工学的特性

	試 験 法	供 試 試 料							
		1	2	3	4	5(1+3)	6(1+4)	7(2+3)	8(2+4)
		石灰系焼却灰 沈 動 灰	多 段 灰	有 機 質 粘 土	シルト質 細 砂	1~4の試料を土質改良を目的として混合、 混合比は乾重で1:1			
自然含水比, W (%)	JIS A1203	0	0	86.8	38.8	36.6	12.5	42.4	17.5
土粒子の比重, G _s	JIS A1202	2.97	3.25	2.67	2.72	2.76	2.81	2.98	2.98
粒度 砂分(74~2,000 μ m)	JIS A1204	32	78	19	57	28	47	51	67
組成 シルト分(5~74 μ m)		52	15	28	26	46	41	25	25
(%) 粘土分(5 μ m以下)		16	7	53	17	26	12	24	8
最適含水比, W _{opt} (%)	JIS A1210	47.7	63.8	43.5	20.5	48.2	32.5	52.0	36.0
最大乾燥密度, P _{dmax} (t/m ³)	但し、混合土につい ては KODAN	1.079	0.966	1.118	1.630	1.098	1.234	1.071	1.340
P _{dmax} 90% 含水比, W ₉₀ (%)	104-1975	63.0	80.0	59.0	29.0	61.0	50.0	65.0	46.0
湿潤側 乾燥密度, P _d	JIS A1216	0.971	0.869	1.006	1.467	0.988	1.111	0.964	1.206
一軸圧縮強度, q _u (kg/cm ²) [*]	JIS A1218(浸水浸法)	0.865	0.247	0.433	0.406	1.72	4.18	0.778	0.888
透水係数, k (cm/S) [*]	土質試験法	6.91 $\times 10^{-8}$	4.01 $\times 10^{-8}$	1.78 $\times 10^{-7}$	1.62 $\times 10^{-8}$	6.59 $\times 10^{-7}$	2.68 $\times 10^{-6}$	2.14 $\times 10^{-7}$	1.99 $\times 10^{-6}$
強熱減量 (%) ^{**}	土質試験法	15.0	5.0	11.8	4.1	13.7	10.3	7.0	3.1

* P_{dmax}90%湿潤側, 7日養生(試料3, 4を除く)で行った。試料3, 4は自硬性がないため養生なし。
** 加湿後

また、石灰系焼却灰には生石灰が含まれているため、これらの混合においては発熱反応が伴うが、その程度は試料1との混合において大きく、すでに述べたように試料2は加湿してあったため、その混合時の発熱は試料1の場合程ではなかった。

焼却灰による試料3, 4の土質改良効果を一軸圧縮強度(q_u)でみると次のようである。なお、一軸圧縮強度測定用の試料は、最大乾燥密度の90%値が得られる湿潤側の含水比で作製した。これは、現場施工において、最大乾燥密度を目標にして含水比調整を行っても実際にはこの程度の変動があるためである(図-2.5.1)。試料1で土質改良を行うと試料3は q_u=0.43kgf/cm²から1.72kgf/cm²へ(3.5倍)、試料4は0.41kgf/cm²から4.18kgf/cm²(10倍)と大巾にq_uが増加した。これに対し試料2による改良効果は試料1による程大きくなく、試料3, 4に対しそれぞれ1.8倍, 2.2倍にとどまる結果であった。

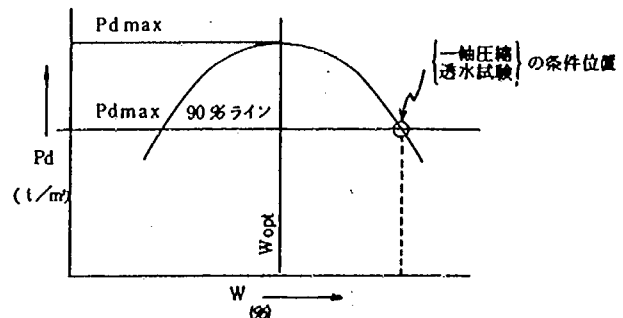


図-2.5.1 一軸圧縮試験, 透水試験用供試体の作成

装置は、図-2.5.2に示すような内径60cmのドラム缶であり、これに試料を最大乾燥密度の90%値が得られる湿潤側の含水比で30cm充填した。浸出水の他、表流水(オーバーフロー水)、雨水を採取した。

実験は、昭和61年3月から63年11月までの2年9ヶ月(993日間)継続した。

分析は、カドミウム, 鉛, 銅, 亜鉛, 鉄, カルシウム, マグネシウムは、誘導結合プラズマ発光分析法

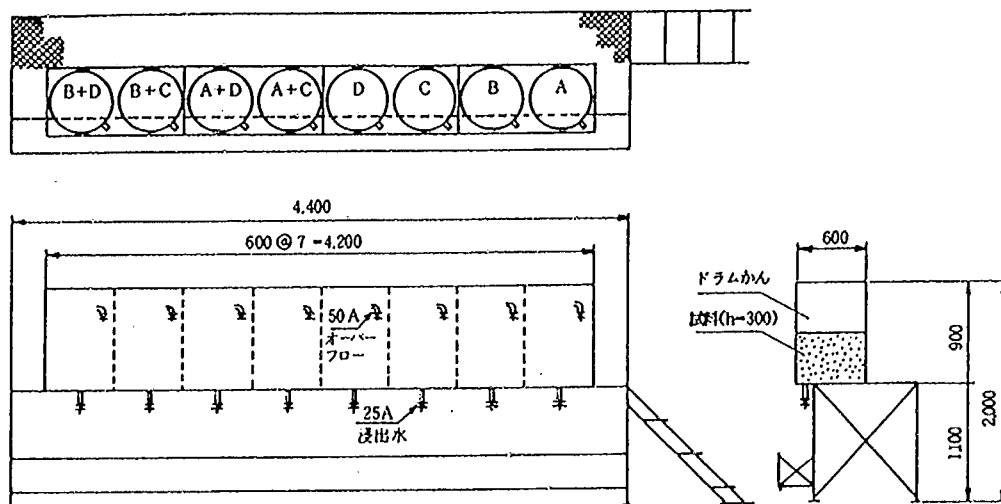


図-2.5.2 屋外埋立実験装置

(以下、ICP 発光分析法と略) により行い、全クロム、六価クロム、ヒ素は JIS 分析法²³⁾ により行った。ICP 発光分析法による測定項目のうち、カドミウム、鉛、銅、亜鉛は、焼却灰中に多く含有するとされている鉄、カルシウム、マグネシウムの影響を受けるため溶媒抽出により分離し測定した。また、カルシウム等濃度が高いものは適宜希釈した。ICP 発光分析のフローを図-2.5.3 に示す

2.5.3 実験結果

実験期間中の浸出水及び雨水の pH と重金属濃度を表-2.5.2 に示す。また、実験期間中に浸出水として溶出した重金属を負荷量として経時的変化を表したものを図-2.5.4 ~ 2.5.6 に示す。ここでの負荷量とは、浸出水中の重金属の量を埋立て試料の乾重で除したもので次式で表される。

累積負荷量 (mg/kg-DS) :

$$F_n = \sum_{i=1}^n (C_i V_i / W)$$

C : 浸出水中の重金属濃度 (mg/l)

V : 1 回当たりの浸出水量 (l)

W : 埋立て試料の総乾燥重量 (kg-DS)

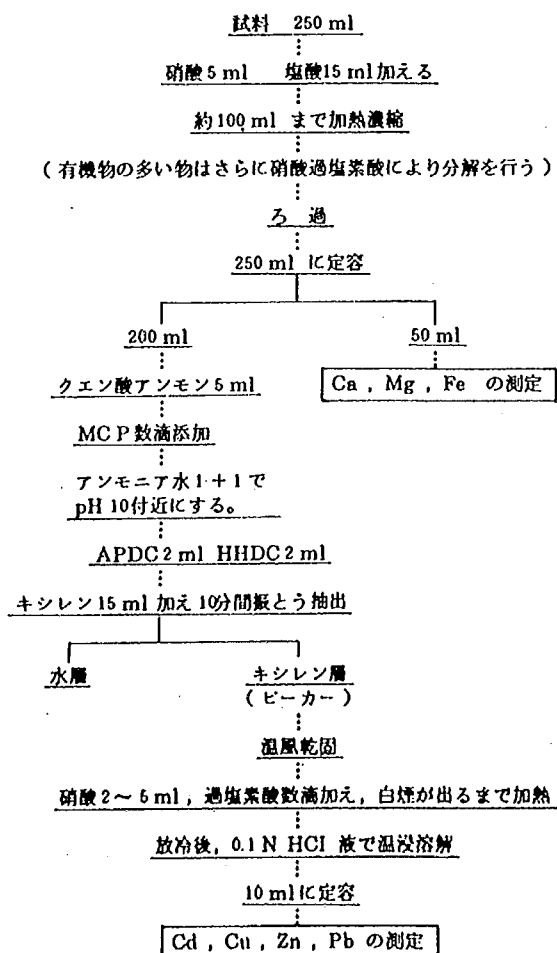


図-2.5.3 ICP 発光分析フロー

カドミウム、ヒ素は、一部を除いて総て定量下限値以下で環境基準値をクリアーしていた。
鉛は、試料 1 の浸出水中の濃度が環境基準値の 0.1 mg/l を上回り、実験開始から 993 日間で約 1.8mg/kg

表- 2.5.2 浸出水及び雨水の pH と重金属濃度 (mg/l)

試料	カドミウム	鉛	銅	亜鉛	鉄	カルシウム	マグネシウム	全クロム	六価クロム	ヒ素	pH
1 流動炉灰	<0.001	— <0.01~ 0.41	— <0.005~ 0.09	0.030 0.006~ 0.073	— <0.05~ 0.08	410 232~699	<0.05	0.022 0.014~ 0.030	— <0.005~ 0.027	<0.005	11.2~13.7
2 多段炉灰	<0.001	— <0.01~ 0.02	— <0.005~ 0.158	— <0.005~ 0.092	<0.05	139 2~307	<0.05	<0.005	— <0.005~ 0.014	<0.005	11.8~13.3
3 有機質土	<0.001	— <0.01~ 0.04	— <0.005~ 0.437	— <0.005~ 0.099	— <0.05~ 0.35	147 38~292	95.8 15.2~160	<0.005	<0.005	<0.005	5.5~9.5
4 シルト質土	<0.001	<0.01	— <0.005~ 0.414	0.066 0.021~ 0.184	— <0.05~ 1.22	8 2~22	11.6 0.33~43.5	<0.005	— <0.005~ 0.009	— <0.005~ 0.006	6.9~9.9
5 (1+3)	<0.001	— <0.01~ 0.02	— <0.005~ 1.822	— <0.005~ 0.090	— <0.05~ 0.07	77 37~153	— <0.05~ 1.20	— <0.005~ 0.035	— <0.005~ 0.042	<0.005	7.8~12.4
6 (1+4)	<0.001	— <0.01~ 0.01	— <0.005~ 0.407	— <0.005~ 0.099	— <0.05~ 0.05	55 2~139	— <0.05~ 0.37	— <0.005~ 0.014	— <0.005~ 0.012	<0.005	7.9~13.0
7 (2+3)	<0.001	— <0.01~ 0.02	— <0.005~ 0.242	— <0.005~ 0.093	— <0.05~ 0.06	415 87~1220	— <0.05~ 0.71	<0.005	— <0.005~ 0.013	<0.005	7.7~12.3
8 (2+4)	<0.001	— <0.01~ 0.09	— <0.005~ 0.321	— <0.005~ 0.184	<0.05	206 27~847	— <0.05~ 1.62	<0.005	<0.005	<0.005	8.0~12.3
雨 水	<0.001	<0.01	— <0.005~ 0.079	0.033 0.010~ 0.093	<0.05	— <1~6	0.24 0.10~0.59	<0.005	<0.005	<0.005	3.9~9.2
環境基準	0.01	0.1	—	—	—	—	—	—	0.05	0.05	—
排水基準	0.1	1	3	5	10	—	—	2	0.5	0.5	5.8~8.6

上段は単純平均値、下段は最小値~最大値を示す。

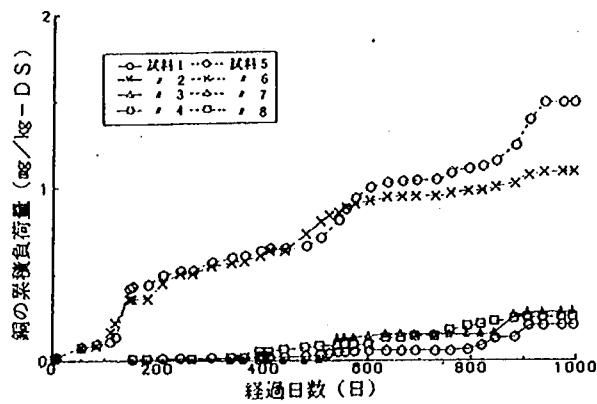


図- 2.5.4 銅の溶
銅の溶出負荷量変化

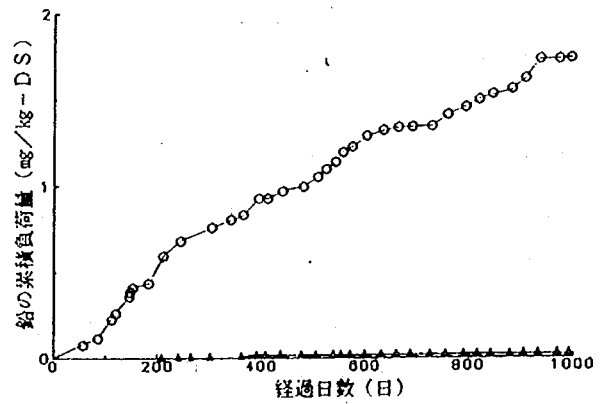


図- 2.5.5
鉛の溶出負荷量変化

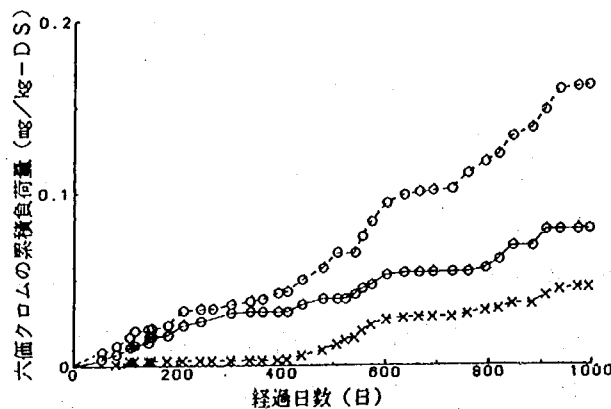


図- 2.5.6 六価クロ
ムの溶出負荷量変化

-DS の量が溶出した。しかし、実験開始当初に単純平均値で 0.29 mg/l あったものが、終了時には 0.10 mg/l となっており長期的には低下する傾向を示した。

銅は、試料 5, 6 からの溶出が比較的多かったが、総て排水基準値以下の値であった。試料 5 は、実験開始後 993 日で埋立て試料 1 kg (乾重) から約 1.5 mg の量が溶出している。

六価クロムは、試料 1, 5, 6 からの溶出が比較的多かったが、総て環境基準値の 0.05 mg/l 以下であった。

亜鉛、鉄は、雨水中の濃度と同程度であった。

全クロムは、総て低濃度で試料 1 以外は、定量下限値付近であった。

マグネシウムは、軟弱土の試料 3, 4 からの溶出が多く、焼却灰単体及び焼却灰と軟弱土との混合土からの溶出は少なかった。

カルシウムは、充填した焼却灰中に 20~25% DS 含まれるため、焼却灰単体及び焼却灰と軟弱土との混合土からの溶出が顕著であった。

試料 2, 4, 7, 8 等は、透水性が非常に悪く、降った雨が浸透せずに埋立層上部に溜まっていることが多かった。上部に溜まった水を分析した結果は、総て基準値以下であった。

実験期間中に降雨に伴い、8 種類の試料から発生した浸出水の量と pH、水温の変動幅を表-2.5.3 に示す。埋立試料表面の様子を写真-2.5.1~2.5.3 に示す。

また、降雨量、浸出水の pH の一例を図-2.5.7~2.5.8 に示す。浸出水量は、焼却灰単体の試料 1 及び混合土の試料 5, 6 で比較的多く、993 日間で 600 l 程度である。これは、試料 1 が 2 に比べて粒度が細かいために乾燥収縮を起こしやすく、試料に

表-2.5.3 浸出水の性状

試 料	浸出水量 (l)	pH (-)	水温 (°C)
① 流動炉灰	675	11.2~13.7	5~39
② 多段炉灰	234	11.8~13.3	5~38
③ 有機質粘土	371	5.5~9.5	6~35
④ シルト質細砂	11	6.9~9.9	7~32
⑤ ① + ③	573	7.8~12.4	6~35
⑥ ① + ④	610	7.9~13.0	6~34
⑦ ② + ③	152	7.7~12.3	6~38
⑧ ② + ④	528	8.0~12.3	6~37



写真-2.5.1 埋立試料表面の状態 (試料 5, 9ヶ月後)

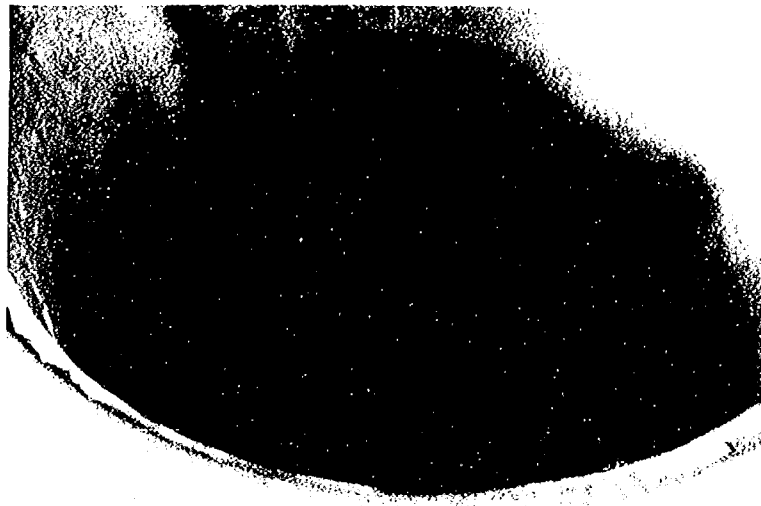


写真-2.5.2 埋立試料表面の状態（試料5，2年9ヶ月後）

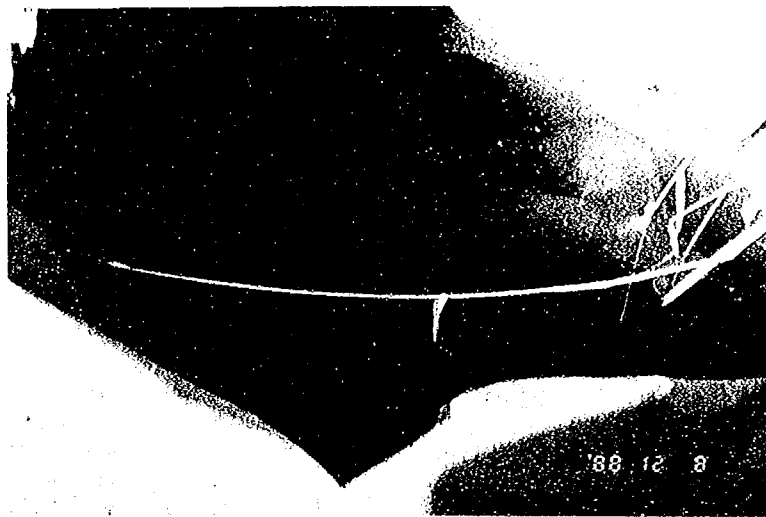


写真-2.5.3 埋立試料表面の状態（試料2，2年9ヶ月後）

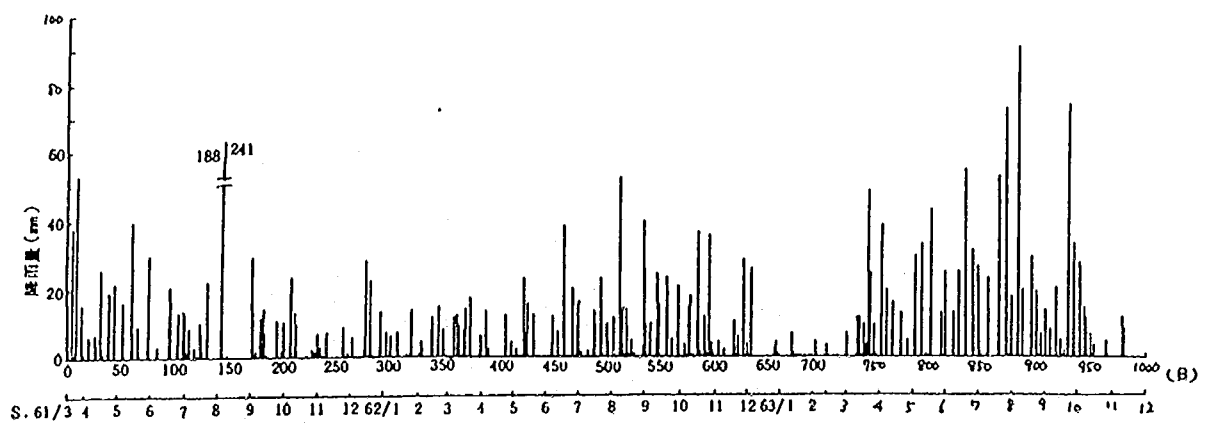


図-2.5.7 降雨量の変化

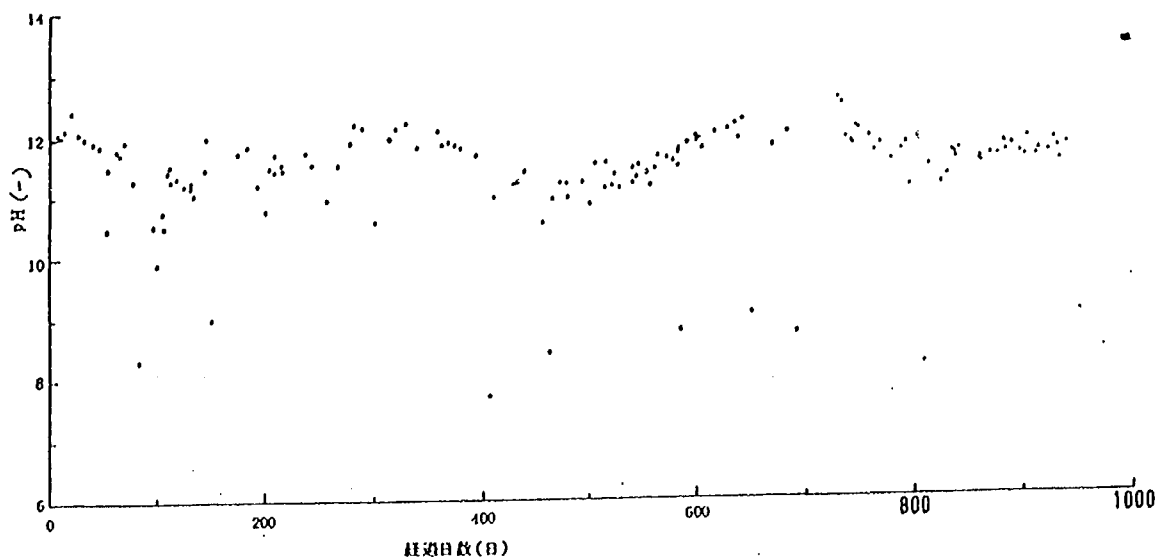


図- 2.5.8 浸出水 pH の変化 (試料 5 の例)

水みちを作ったためと考えられる。また、写真の様に試料表面には、約 9 ヶ月後から小さな雑草がはえ始めた。この雑草の根張りによる影響も少なくないと思われる。また、降雨量の増加する夏期に浸出水 pH の低下の傾向が見られた。これは、試料 1, 5, 6 では、降雨と浸出水量に強い相関があるため、降雨により浸出水が希釈されたためと考えられる。特に、降雨量の増加する夏期に 0～140 日, 460～630 日, 750～930 日付近で浸出水の pH が低下している。しかし、浸出水の pH は、改良土の試料 5～8 でも高アルカリであり 993 日間では時間とともに低下する傾向は見られなかった。

2.5.4 まとめ

屋外埋立て実験を長期に渡り行った結果、以下の点が明らかになった。

- ① 石灰系焼却灰 2 種類、軟弱土 2 種類、及びそれらを混合した土質改良土 4 種類の計 8 種類の試料の浸出水において、カドミウム、ヒ素は、一部を除きすべて定量下限以下で環境基準値を下回っていた。
- ② 流動炉からの石灰系焼却灰を単体で埋め立てたケースから鉛が浸出水中の濃度で環境基準値の 0.1 mg/l を上回り、実験開始から 993 日間で約 1.8 mg/kg-DS の量が溶出した。しかし、濃度としては、実験終了時で 0.10 mg/l となっており低下する傾向であった。
- ③ 銅は、流動炉灰と軟弱土を混合したものからの溶出が比較的多かったが、総て排水基準値以下であった。
- ④ 六価クロムは、流動炉灰単体、及びそれと軟弱土との混合土からの溶出が比較的多かったが、総て環境基準値の 0.05 mg/l 以下の値であった。
- ⑤ マグネシウムは土壌、カルシウムは焼却灰からの溶出が懸著であった。
- ⑥ 浸出水の pH は、実験開始後約 1000 日を経た現在でも低下の傾向はなく、高アルカリ性を示している。また、浸出水の pH は、降雨量のふえる夏場に低下する傾向が見られた。

2.6 室内カラム実験

2.6.1 目的

石灰系焼却灰を盛土材等に使用した場合の安全性の確認については、前述の屋外埋立実験で対処できるが、焼却灰を路床材、路盤材等に使用した場合には、降雨による浸出水よりも地下水の影響力が大きいと考えられる。そこで、ここでは地下水を想定したカラムを用いて安全性の確認を行うことを目的としている。また屋外埋立実験で環境基準値以上で溶出した鉛について室内実験で確認することにした。

2.6.2 実験方法

石灰系焼却灰を用いて改良を施した試料を酸性雨を想定して作成した硝酸酸性の水に浸し、²⁴⁾周囲水の重金属濃度を経時的に測定した。試料は、屋外埋立実験に用いた石灰系焼却灰（流動炉灰）と有機質粘土、及びシルト質細砂とを乾重で1:1の割合で混合し、計50mm、高さ100mmの円筒型に成型後、一週間養生したものを用いた。実験条件を表-2.6.1に示す。分析項目は、カドミウム、鉛、銅、亜鉛、鉄、全クロム、六価クロムである。

表-2.6.1 実験条件

実験名	試料	試料の湿潤密度(g/cm ³)	酸性水のpH	サンプリング数
A	・石灰系焼却灰(流動炉灰)と有機質粘土の混合土	1.39 ~ 1.47	1, 2, 3, 4.5, 6 の5段階	2週間に1回の計5回
	・ " " シルト質細砂 "	1.29 ~ 1.41		
B	・石灰系焼却灰(流動炉灰)と有機質粘土の混合土	1.31 ~ 1.48	"	3日後, 1, 3, 4, 5, 7, 9, 11週間後の計8回

① 実験 A

図-2.6.1に示すようにアクリル製円筒カラム（内径100mm、高さ500mm）に試料を3段に重ねて設置し、装置上部よりpH1, 2, 3, 4.5, 6の5段階に調整した硝酸酸性水を1,800ml投入した。また、試料表面の侵食防止のため不織布で側面を被覆した。

水は、2週間に1度の割合で全量引抜き、その都度新しい酸性水を1,800ml投入した。採取した水は、GF/B フィルターでろ過後分析に供した。

② 実験 B

不織布で被覆した試料を実験Aと同じpHに調整した酸性水を600ml入れた2lのポリエチレン製の容器に浸し実験を開始した（図-2.6.1参照）。水の採取は、実験開始後3日、1週間、3週間、4週間、5週間とその後2週間毎に11週間まで計8回行った。ただし、容器は40個（=8回×5段階）づくり、採水毎に1個ずつ使用した。

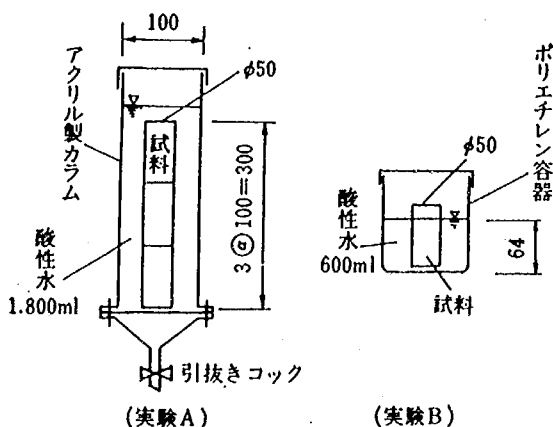


図-2.6.1 実験装置

2.6.3 実験結果

(1) 実験 A

各々のサンプリング時における pH と重金属濃度を図-2.6.2 に示す。カドミウム、鉛、六価クロムは、昭和61年度の結果よりそのほとんどが定量下限値かそれ以下であった。

初期の設定 pH が 2～6 のものは、1 回目のサンプリングで pH が 11.5～12.1 にまで上昇したため図中には省略した。初期の設定 pH が 1 のものは、pH が 2 回目のサンプリング以降直線的に減少し、約 240 日後で pH 1.7 程度にしか回復しなかった。

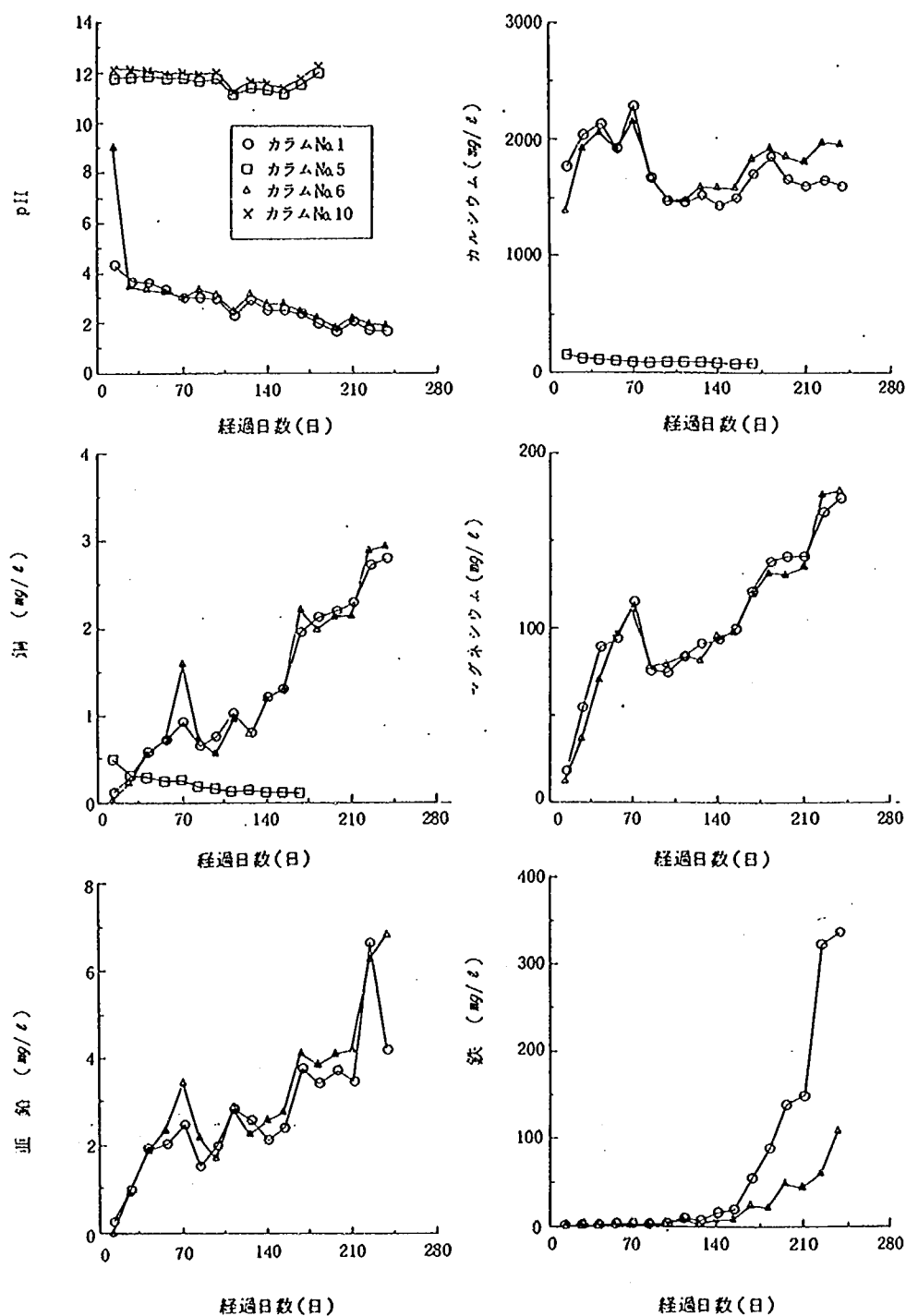


図-2.6.2 pH と重金属濃度の経日変化

重金属濃度も、初期 pH を 1 に設定したカラム 1 と 6 からの溶出が顕著となった。銅、亜鉛、マグネシウムは、経過日数とともに 2 週間の間に溶出する金属量が直線的に増加した。これに対し、カルシウムは、ほぼ横這い状態であるが、これは、実験開始直後より水中の濃度が溶解度の飽和状態に近いためであると思われる。鉄は、pH が 2.4 程度に下がった 170 日目くらいから溶出が顕著となり、それから約 50 日後にはカラム 1 のもので 300 mg/l 以上の濃度となっている。

(2) 実験 B

酸性水の pH 及び重金属濃度の経日変化を図-2.6.3 に示す。初期 pH 2～6 のものは 1 週間後で 11 以上に上昇しており、重金属濃度もカルシウム、銅以外では低濃度となっている。初期 pH 1 のものは、11 週間後で 10.5 程度であり pH 上昇速度は遅く、重金属濃度も pH の上昇に伴い低下する傾向にある。初期 pH が 2～6 のもので銅濃度が増加しているのは、水中に溶出したアンモニアと銅が反応して錯イオンを形成しアルカリ側で溶解度が増加し水中にとどまったためと考えられる²⁵⁾。銅とアンモニアの反応式を以下に示す。



式 (2.6.1)～(2.6.4)²⁵⁾ に示した銅アンモニア錯体の濃度に与えるアンモニア濃度の影響を図-2.6.4²⁵⁾ に対数濃度図として示す。これは、横軸に pNH_3 ($-\log \text{NH}_3$) を縦軸に Cu^{2+} の濃度をとったもので、あるアンモニア存在下における銅とアンモニア錯イオンの割合を示したものである。本実験では、有機質粘土に含まれていたアンモニアが時間とともに溶けだし、2 週間で 2mg/l ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$ として) 程度、11 週間で 12mg/l となった。初期 pH 2～6 のもので 2 週間後に銅濃度は約 0.2 mg/l であり、11 週間後では約 0.6 mg/l であった。pH 11 では、全体の 98% が NH_3 で存在しているため pNH_3 は 2 週間後で 3.9 となり図から溶解性銅のうち 3% が錯イオン化していることになる。同様に 11 週間後では、 pNH_3 が約 3.2 となり 25% 錯イオンとして存在していることになる。この様にアンモニア濃度に比例して銅濃度が増加したと考えられる。実験 A で有機質粘土を用いた試料から銅が溶出したものも同様の現象によるものと思われる。その後、濃度が低下の傾向にあるのは、アンモニア濃度の減少によるものと思われる。

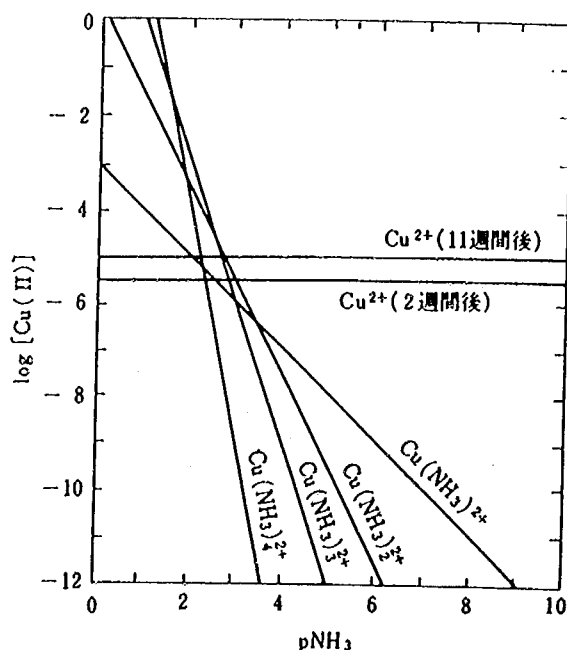


図-2.6.4 対数濃度図

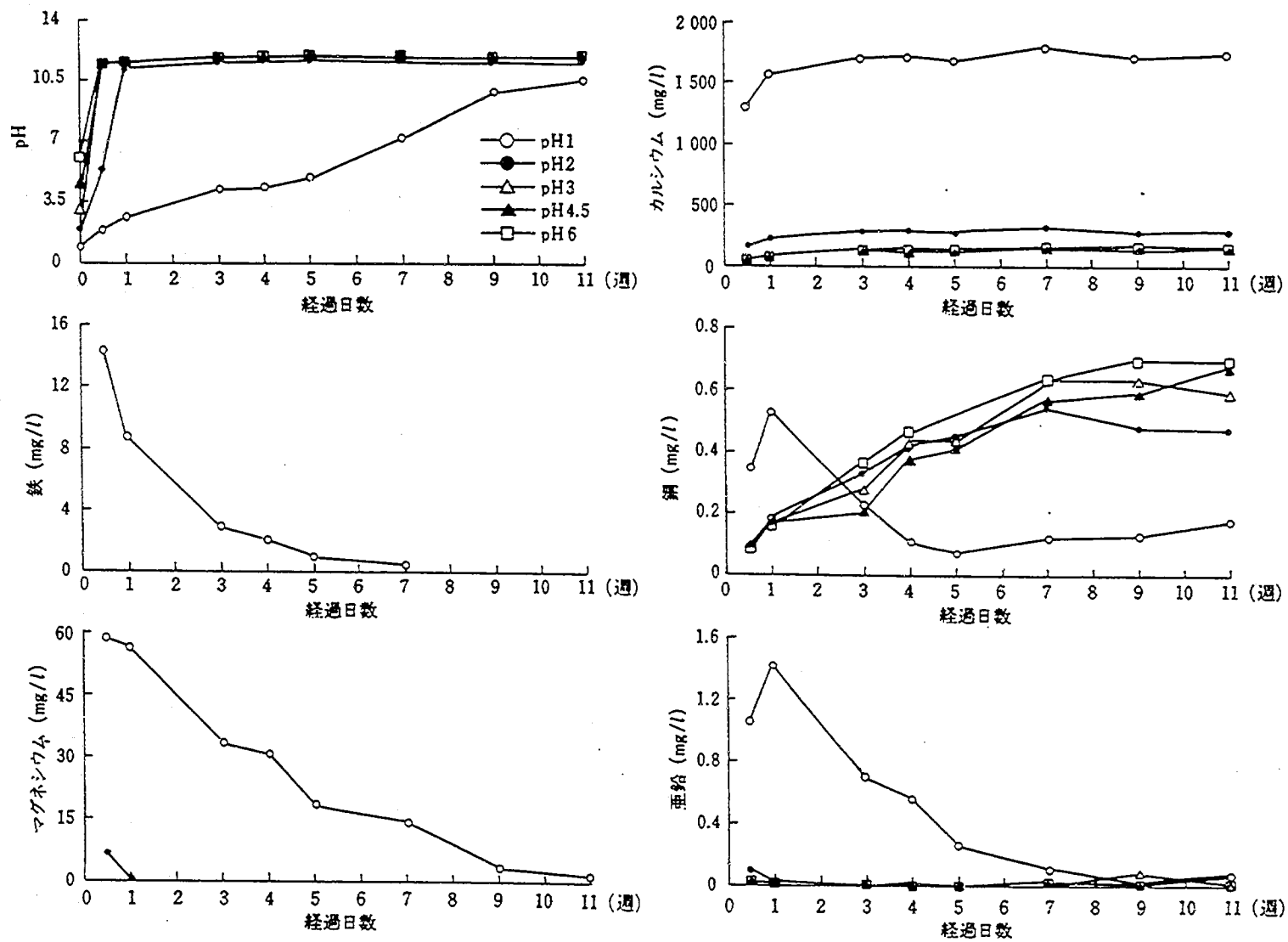


図-2.6.3 pHと重金属濃度の経日変化 (実験B)

2.6.4 ま と め

室内カラム実験により以下の点が明らかとなった。

- ① カドミウム、鉛、六価クロムはほとんど検出されず、全クロムも低濃度であった。
- ② 酸性水の引抜き、投入を2週間間隔で行った場合に、初期 pH 2 以上のものは最初から pH が11以上まで上昇し重金属も低濃度であった。
- ③ 初期 pH を1に設定したケースでは、実験開始後約240日後（17回の引抜き、投入を繰返した）で pH 1.7 程度にしか回復しなくなり、それにつれて銅、亜鉛、マグネシウム、鉄などの濃度が増加した。
- ④ 銅は、水中にアンモニアが存在すると反応して錯イオンをつくりアルカリ側で溶出した。銅アンモニア錯体は通常、嫌気性消化工程など高濃度のアンモニアが放出される際に形成されるが、本実験の場合 pH が11高くほとんどが NH_3 で存在するために低濃度でも形成されたものと思われる。
- ⑤ 各 pH に調整した酸性水に試料を浸した実験（実験B）では、試料中の石灰化合物の溶出により pH が上昇し各重金属の溶解度が減少したために重金属濃度は、時間とともに低下する傾向を示した。

2.7 浸出水の砂ろ過実験

2.7.1 目 的

石灰系焼却灰を用いた土質改良土からの浸出水が、周囲の土と接触した場合の重金属溶出に関与する因子の一つである pH の挙動について調査することを目的としている。

2.7.2 実験方法

本実験は、砂を充填したカラムを用いて浸出水のろ過を連続して行い、ろ液中の金属や pH を測定することにより砂の緩衝性や pH、金属の挙動について調査したものである。

実験装置を図-2.7.1に、カラム実験条件を表-2.7.1、及び充填した山砂の特性を表-2.7.2に示す。装置は、内径100mmの透明アクリル製円筒カラムで、これに水洗浄した山砂を各ケースとも同一間隙比となる様に、300mmの高さに充填した。投入水は、表-2.7.3に示す様

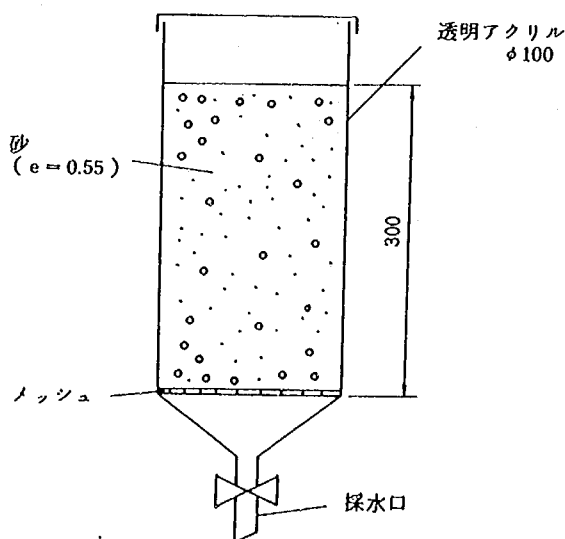


図-2.7.1 実験装置

に屋外埋立て実験に用いた流動炉灰にイオン交換蒸留水を加えて攪拌、溶出させた後に GF/B フィルターでろ過したものを用いた。なお、塩素イオンをトレーサとした実験（塩化ナトリウム濃度 1,000 mg/l、溶液 800 ml で砂を満たしておき、イオン交換蒸留水で塩素イオンがほぼ回収されるまで洗い流した）を行い、カラムにおける水の流下特性を調べた。これらをカラム上部より表-2.7.3に示す頻度で一定量投入

表-2.7.1 カラム実験条件

項 目	数 値
カラム内径 (mm)	100
充 填 高 さ (mm)	300
砂 の 体 積 (cm ³)	2355
砂 の 重 量 (g)	4080
間 隔 比	0.55
設定滞留時間 (日)	7, 14, 21

表-2.7.2 充填砂の土質的特性

項 目	数 値
含水比 (%)	0.81
強熱減量 (%)	0.71
吸水率 (%)	2.1
実積率 (%)	66.0
間隙比	0.55
単位体積重量 (g/cm ³)	1.70
真比重	2.68
60%粒径 (μm)	625
均等係数	3.5
粒 度	15
レキ分 (2000μm以上) (%)	83
砂分 (74~2000μm) (%)	2
シルト, 粘土分 (74μm以下) (%)	

表-2.7.3 実験条件

カラム	投入水	設定滞留時間	投入・引抜き頻度
1 2 3	焼却灰溶出液	7日 14日 21日	200ml × 4回 100ml × 4回 89ml × 3回
4 5 6	NaCl溶液 1,000mg/l	7日 14日 21日	200ml × 4回 100ml × 4回 89ml × 3回

した後に同量をカラム下部引抜きコックより引抜いた。引抜いた水は、各々の設定滞留時間を経た時点でコンポジットサンプルとした。カラム内は、飽和土を想定し予め砂の間隙を充填時にイオン交換蒸留水で満たした（カラム1～3）。ろ液は、GF/B フィルターでろ過した後に分析に供した。分析項目は、カリウム、アルミニウム、カルシウム、マグネシウムと pH であり、重金属等は ICP 発光分析により行った。

2.7.3 実験結果

図-2.7.2 に塩素イオンによるトレーサの実験の結果を示す。予め投入しておいた塩素イオン量が 800 mg（塩化ナトリウム 1,000 mg/l を 800 ml 投入）であるが、この 800 mg が流出する日数はカラム1～3で各々 7, 14, 21 日であり滞留時間は、設定滞留時間とほぼ一致していることがわかる。

図-2.7.3 にろ液の pH の変化を示す。pH 12.0 の焼却灰溶出液は、カラム1で pH 7.0～7.6, カラ

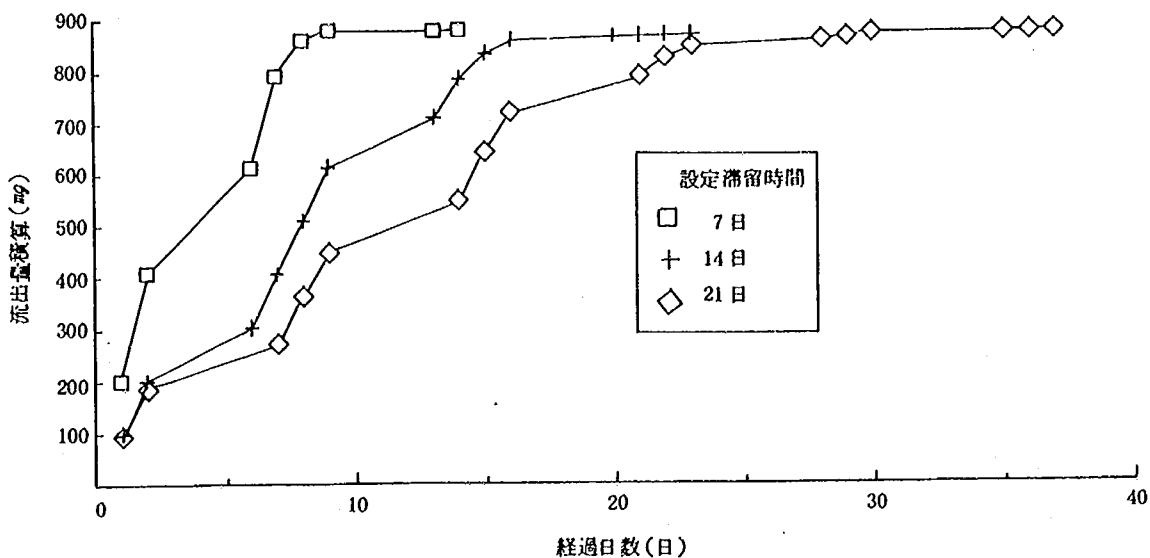


図 2.7.2 塩素イオンの挙動

ム2で7.3～7.6，カラム3で7.4～7.6にと，いずれも中性化している。また，設定滞留時間が短いほど pH が低くなる傾向を示した。

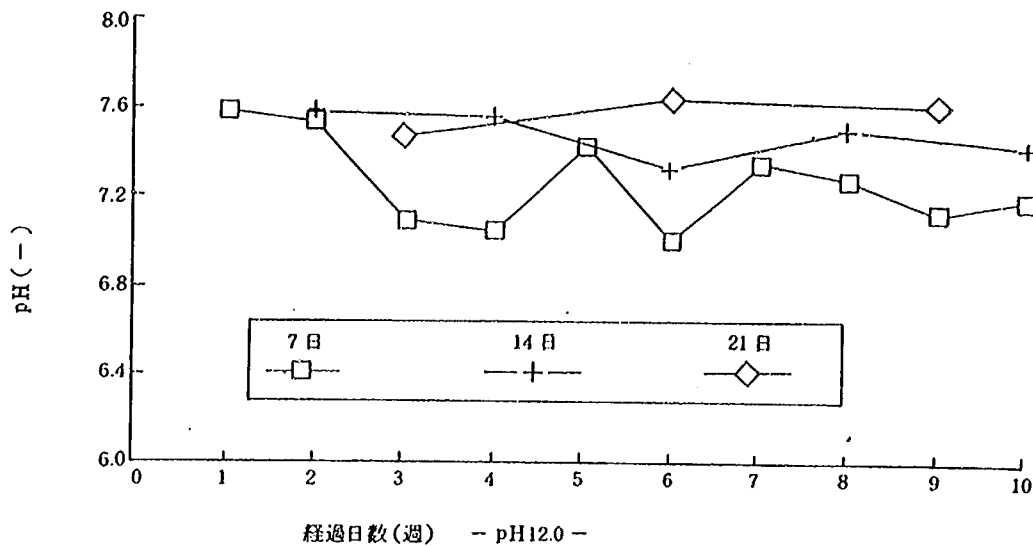


図- 2.7.3 pHの変化 (カラム 1, 2, 3)

pHが低下した原因は，溶出水が砂層を通過することにより，浸出水中に高濃度に存在するカルシウムイオンが砂粒子を核として炭酸カルシウムを形成し，粒子表面に固定したためではないと思われる。

金属イオンの挙動を図- 2.7.4 に示す。ここで，溶出量がマイナスの値を示しているのは砂中での蓄積を表している。各金属とも総て直線的な変化を示しており，カラム 1～3 に共通して，マグネシウム，ナトリウムが溶出し，カルシウム，カリウム，アルミニウムが蓄積されている。これは，イオン交換によって砂粒子表面に付着していたマグネシウム，ナトリウムが溶出し，投入したカルシウム等が砂に吸着したものと考えられる。

図- 2.7.5 に充填砂の置換性陽イオン量を示す。実験開始前と終了時の砂の置換性陽イオン量を比較すると，カルシウムが増加しマグネシウムの減少が見られる。この結果は，前述の金属イオンの挙動と一致している。

2.7.4 まとめ

浸出水の砂ろ過実験より以下の点が明らかとなった。

- ① 流動炉灰の溶出液を砂ろ過した場合，7 日間の滞留時間で pH 12.0 のものが pH 7.6 にまで低下

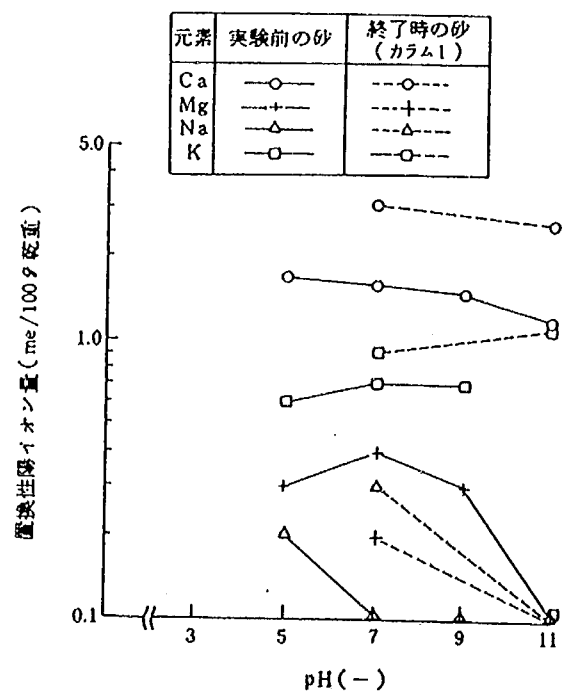


図- 2.7.5 充填砂の置換性陽イオン量

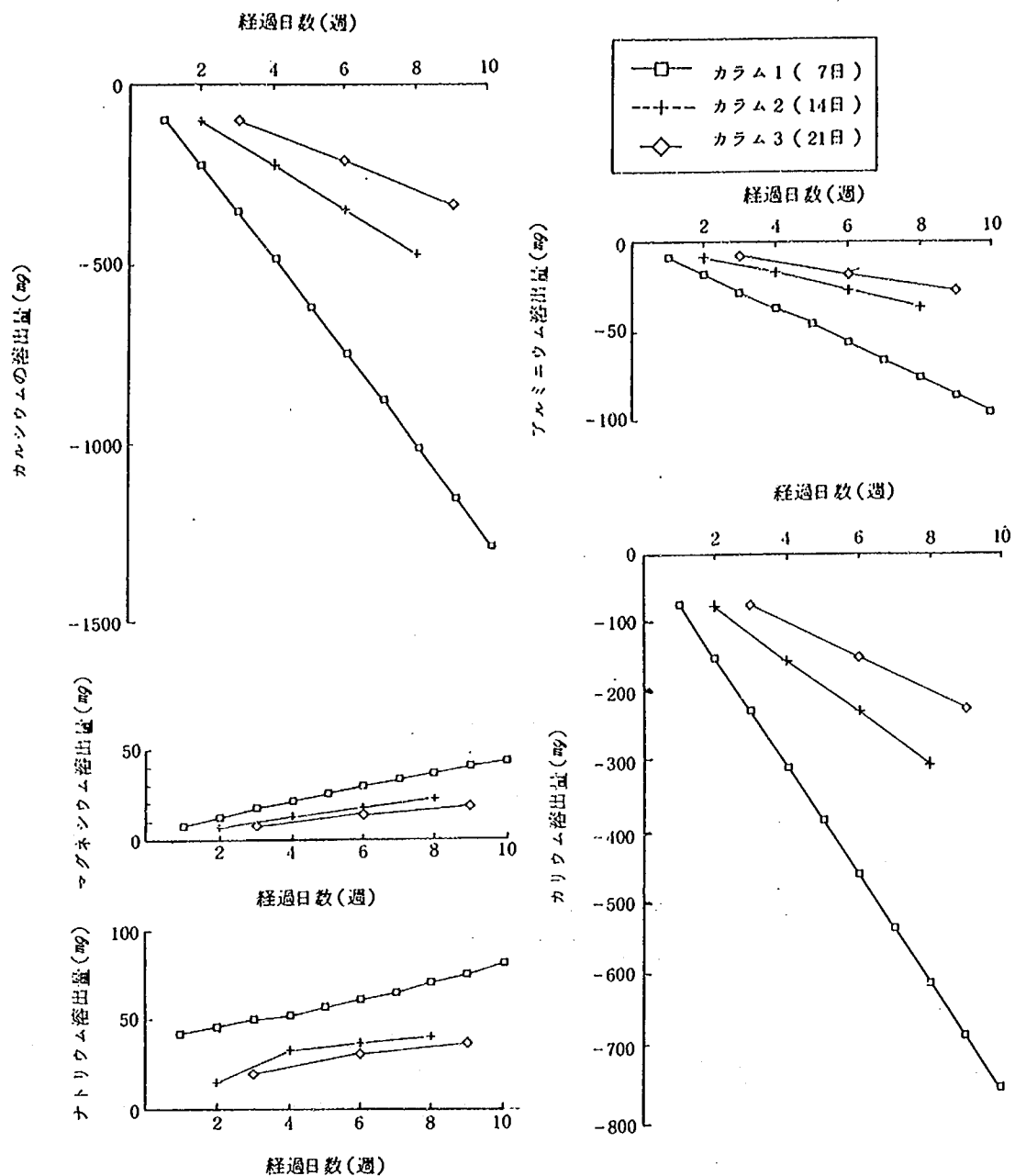


図-2.7.4 金属イオンの挙動

した。これは、カルシウムイオンが砂粒子を核として炭酸カルシウムを形成し粒子表面に固定したためと考えられる。

- ② 金属イオンの挙動としては、砂粒子にカルシウム等が吸着しマグネシウム、ナトリウムが溶出する傾向を示した。このことは、砂粒子表面の置換性陽イオン量の変化からも確認できた。

2.8 本研究により得られた成果

石灰系焼却灰を土、及び土質改良材として使用する際の焼却灰からの重金属の溶出に関して、石灰系焼却灰2試料（流動炉灰、多段炉灰）について4年間に渡る調査を行ってきた結果、以下の知見が得られた。

- 1) 石灰系焼却灰の材料としての安全性確認のために、環境庁、及び米国環境保護庁の溶出試験法により試験を行った。その結果、溶出液中の重金属濃度は、各々の判定基準値を下回っていた。
- 2) 石灰系焼却灰を土、土質改良材として施工した後の安全性を確認するために、屋外埋立実験、室内カラム実験、及び浸出水の砂ろ過実験を行った。その結果、屋外埋立実験では、浸出水中の重金属濃度はそのほとんどが環境基準値以下であった。地下水の影響を調べた室内カラム実験では、地下水のpHが1程度に下がらない限り、試料中の石灰化合物の溶出によりpHが上昇し各重金属の溶解度が小さくなって重金属の溶出が抑制されることがわかった。浸出水の砂ろ過実験では、石灰系焼却灰から溶出した液を砂層を通すことにより、溶出液中に多量に存在するカルシウムが砂粒子に吸着しマグネシウムが溶出した。それと同時に7日の滞留時間（実際に反応は数時間で起こるものと考えられる）で水のpHも12から7.6にまで低下した。

図-2.8.1に示す様に、下水汚泥とくに石灰系焼却灰の建設資材への利用用途としては、地盤・盛土材料、舗装・路盤材料、土木構造物等が考えられるが、このうち、埋戻材、路盤材として使用した場合には降雨による浸出水、表流水の影響よりも、地下水の影響の方が大きいと考えられる。よって、本調査では、地下水を想定した実験を行い、この方面からの検討を加えた結果、重金属の溶出は周辺の水環境への影響を及ぼすほどではないことがわかった。また、pHの問題も周囲の土壌による緩衝作用が考えられるため問題はないものと思われる。

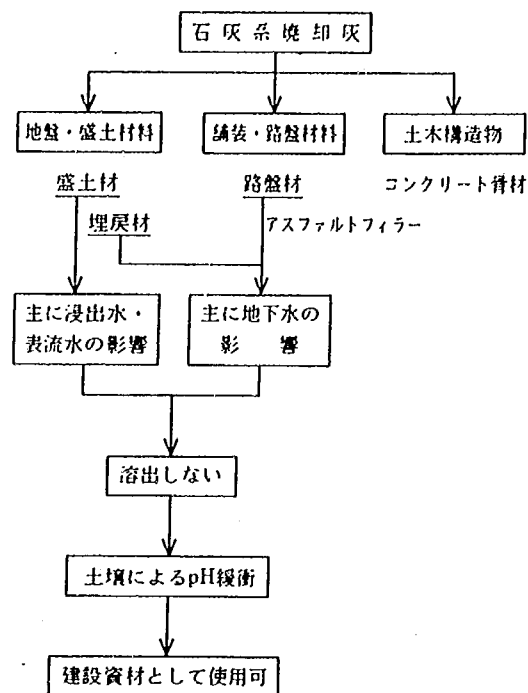


図-2.8.1 石灰系焼却灰の建設資材としての利用

3. 砂層による埋立汚泥浸出水の浄化について

3.1 研究の目的

下水汚泥を陸上において埋立てた場合、降雨等に伴って、悪質な浸出水が発生する。この浸出水の浄化の簡便法として、埋立時に使用する介在砂層の利用が考えられる²⁶⁾。本研究ではこの方法の現地での適用の可能性を検討するにあたっての基礎資料を得るために、カラム実験を実施し検討を加えたものである。

埋立てられる汚泥には、生脱水汚泥と消化脱水汚泥とがあり、消化脱水汚泥は一度、生物的な安定化を経ているために、これから発生する浸出水は分解しにくいのではないかと考えられる。又、これらの汚泥を脱水するに際して、凝集剤として消石灰を加える場合があり²⁷⁾、このため浸出水のpHが高くなり、浸出水の分解が阻害される可能性も考えられる。従って本研究では汚泥として生脱水汚泥と消化脱水汚泥を、脱水の際の凝集剤としては石灰系と高分子系を考え、この4種の汚泥から発生する浸出水の砂カラムによる除去特性を比較した。又、浸出水が砂カラムを通る際の流下特性も浄化を左右する大きな要素と考えられる。このことから本実験では流れモデルとして飽和流と不飽和流の場合についてもそれぞれ比較した。実際の陸上埋立地において砂層内を飽和流で流下させる場合の例を図-3.1に示す。

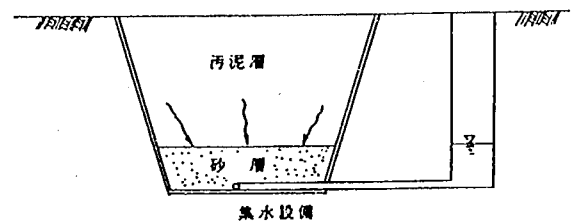


図-3.1 砂層による浸出水の浄化の概念図

3.2 実験方法

3.2.1 実験の概要

実験は内径5cmの亚克力製円筒カラムを用いて行った。これに供試砂を25cmの高さに詰めたもの(Aカラム)と、50cmの高さに詰めたもの2本(B, Cカラム)の合計3本を1組として用いた(図-3.2.1)。

A, Bカラムでは流入口は常時開いておき、上部より浸出水を間欠的に流入させ下部より流出させた。従って流れモデルとしては不飽和流を想定している。一方、Cカラムは上部より浸出水を流入させ、カラム内滞留水は上部の砂層面と同じレベルから押し出して流出させた。流れモデルとしては飽和流を想定している。Cカラムではガスの発生量と成分を知る目的で、ガス捕集袋をカラム上端に取り付けたことから、浸出水の流入口は浸出水の流入の際にのみ開けることとした。浸出水は1週間に1度、週の始め

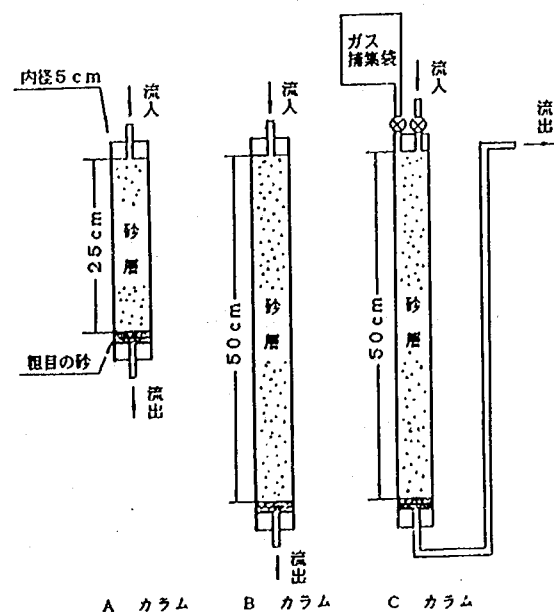


図-3.2.1 実験装置

に60mlを流入させた。これはカラムの断面積が19.6 cm²であることから、降雨量に換算すると、1,560mm/年となり、日本の平均降雨量(約1,600mm/年)に見合うだけの浸出水が砂層に流入することを想定している。カラムからの流出水は、その都度、冷蔵庫(約4℃)に保存し1カ月分(4週間分)のコンポジットサンプルについて分析を行った。なお、実験は20℃の恒温室内でカラムを遮光して6カ月間にわたって行った。

3.2.2 供試砂

実験に供した砂は水道水で十分に洗浄した川砂であり、この砂の粒径加積曲線を図-3.2.2に、物理・化学的特性を表-3.2.1に示す。カラムに充填した際の間隙率は40.2%であった。

3.2.3 浸出水

カラムへ流入させる浸出水は表-3.2.2に示す4種類の汚泥から作製した。これらの汚泥は該当する汚泥処理を実施している処理場から採取した新鮮なものである。この汚泥に等しい重さのイオン交換水を加え、1週間放置した後、3,000rpm、10時間の遠心分離を行い、この上澄水を用いた。作製した浸出水は試料保存庫(約8℃)で保存を続けた。

3.2.4 分析項目、方法

分析項目はpH, SS, TOC, K-N, NH₄-N, T-P, PO₄-Pである。又、分析は1μmのフィルター(GF/B)でろ過したろ液についても行った。カラムへ流入させた浸出水(以降、流入水と呼ぶ)と、Cカラム流出水については有機酸の分析を、Cカラムについては捕集ガス量の測定とガス成分の分析を合せて行った。分析方法は下水試験方法に準拠した。実験終了時にはカラム内容物について強熱減量及びC, Nについての分析を行った。

表-3.2.1 砂の物理・化学的特性

有効径	0.35 mm
均等係数	2.74
真比重	2.66
強熱減量	0.40 %
C	$14.4 \times 10^{-3} \%$
N	$0.88 \times 10^{-3} \%$
pH (H ₂ O)	6.67
pH (KCl)	6.51

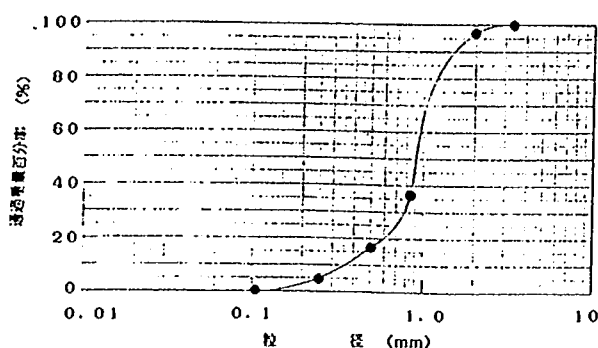


図-3.2.2 粒径加積曲線

表-3.2.2 実験に供した汚泥

汚泥種	生脱水汚泥		消化脱水汚泥	
	石灰系	高分子系	石灰系	高分子系
凝集剤添加量(X)	塩鉄 14.4 消石灰 72.0	0.7	塩鉄 12.3 消石灰 45.9	1.3
含水率(X)	66.6	82.8	56.2	79.9
強熱減量(X)	57.1	81.6	44.1	52.1

3.3 結果および考察

3.3.1 流下特性

3種のカラムA, B, Cにおける流下特性は、浄化の程度に大きな影響を与えられと考えられる。従ってこれを知ることは重要なことである。ここでは塩素イオンをトレーサーとした実験を行い流下特性の検討を行った。

(1) 実験方法

最初にカラム上端より1,000 mg/lの塩素イオンを60ml注入し、カラム下端で流出水を受けて流出水量と塩素イオン濃度を測定した。次週には、60mlの蒸留水を流入させ、同じようにカラムからの流出水量と塩素イオン濃度を測定した。これを最初に流入させた塩素イオン量がほぼ回収されるまで繰り返した。

(2) 実験結果

経過時間(週)と流出率(%) (=当該週の塩素イオン流出量(mg))の関係を図-3.3.1に示す。Aカラムでは塩素イオンを流入させた日に16.6%, 次週には62.1%の流出率を示した。BカラムはAカラムに比較して、砂層の厚さは2倍となっているが、Aカラムと同じような流出パターンを示しており、塩素イオンを流入させた日に6.7%, 次の週には58.5%の流出率を示した。Cカラムでは5週目にピークが現われる山形の流出パターンを示した。これらの実験結果から求めた平均滞留時間、ならびに95%の累積流出量が得られるまでの日数をまとめて表-3.3.1に示す。

以上の結果からA, Bカラムの流下特性を比較すると、砂層厚が2倍になっても平均滞留時間は1.2倍(9.7/7.8)にしかならず、95%が流出するまでの日数も同じ21日(3週間)であった。一方、Cカラムの平均滞留時間は45.3日であり、この値は空筒容積から計算した値と大差なかった。また、95%が流出するまでの日数は56日(約8週間)であった。

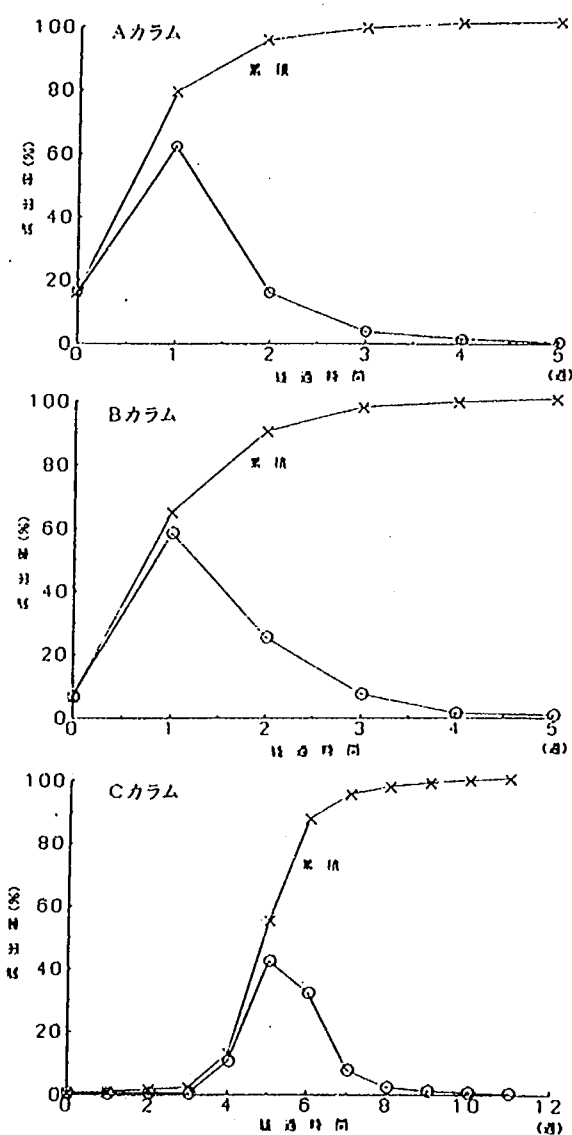


図-3.3.1 各カラムの流出率(塩素イオン量)

表-3.3.1 流下特性

カラム	A	B	C
平均滞留時間(日)	7.8	9.7	45.3 (46.0) *
95%累積流出量が得られるまでの日数(日)	21	21	56

* 空筒容積から計算

3.3.2 流入水、カラム流出水の分析結果および考察

表-3.2.2 に示したように本実験では4種の汚泥から作製した浸出水をカラムへの流入水とした。簡単のために今後、生脱水汚泥を「生脱」、消化脱水汚泥を「消脱」と略記する。それぞれの流入水の6カ月の平均濃度、並びに各カラム流出水の5・6カ月の平均濃度を表-3.3.2 に示す。平均流入濃度を比較すると、pH は石灰系の流入水が高い値を示しており、TOC、K-N、NH₄-N の各水質項目については、生脱系が消脱系よりも高い値を示し、特に生脱・石灰系が高濃度であった。

表-3.3.2 流入水・流出水平均濃度

項 目			生脱・石灰系	生脱・高分子系	消脱・石灰系	消脱・高分子系
流 入 水	P H (-)		8.3	6.8	12.8	8.1
	TOC (mg/l)		8550	2460	1320	1120
	K-N (mg/l)		2510	821	407	729
	NH ₄ -N (mg/l)		1640	716	119	625
	T-P (mg/l)		36.0	15.5	3.0	54.2
	PO ₄ -P (mg/l)		14.4	7.6	0.4	24.5
流 出 水	P H (-)	A	7.5	8.4	7.9	7.4
		B	8.6	8.6	7.7	6.0
		C	8.8	8.9	8.1	8.7
	TOC (mg/l)	A	5960 (30.3)	713 (71.0)	268 (79.7)	1020 (8.9)
		B	3170 (62.9)	469 (80.9)	96.5 (92.7)	490 (56.3)
		C	2370 (72.3)	333 (86.5)	196 (85.2)	384 (65.7)
	K-N (mg/l)	A	2510 (0)	533 (35.1)	132 (67.6)	430 (41.0)
		B	2450 (2.4)	710 (13.5)	25.3 (93.8)	261 (64.2)
		C	2170 (13.5)	768 (6.5)	323 (20.6)	528 (27.6)
	NH ₄ -N (mg/l)	A	1860	423	81.8	283
		B	1930	573	9.4	208
		C	1850	628	282	440
	T-P (mg/l)	A	16.4 (54)	3.3 (79)	0.6 (80)	32.4 (40)
		B	5.6 (84)	2.6 (83)	0.7 (77)	9.3 (83)
		C	6.9 (81)	2.3 (85)	0.8 (73)	3.3 (94)
	PO ₄ -P (mg/l)	A	2.4	0.3	-	9.7
		B	1.1	0.2	-	3.7
		C	1.6	0.2	0.1	0.9

A, B, C カラム名
() 除去率(%)
流入水は6カ月の平均値
流出水は5・6カ月の平均値

(1) 流出水量の変化 (図-3.3.2)

いずれのケースにおいても1カ月(4週間を1カ月とする)当りの流入量 60ml × 4 = 240 ml に見合うだけの流出量が得られており、水量の収支は取れていたものと考えられる。ただし、実験開始にあたってはカラム内の間隙はすべて蒸留水で満たされている状態からスタートした。従って、不飽和流であるA、Bカラムでは実験初日に間隙中に保持しきれない蒸留水が抜け出たために1カ月目の流出量が大きくなっている。

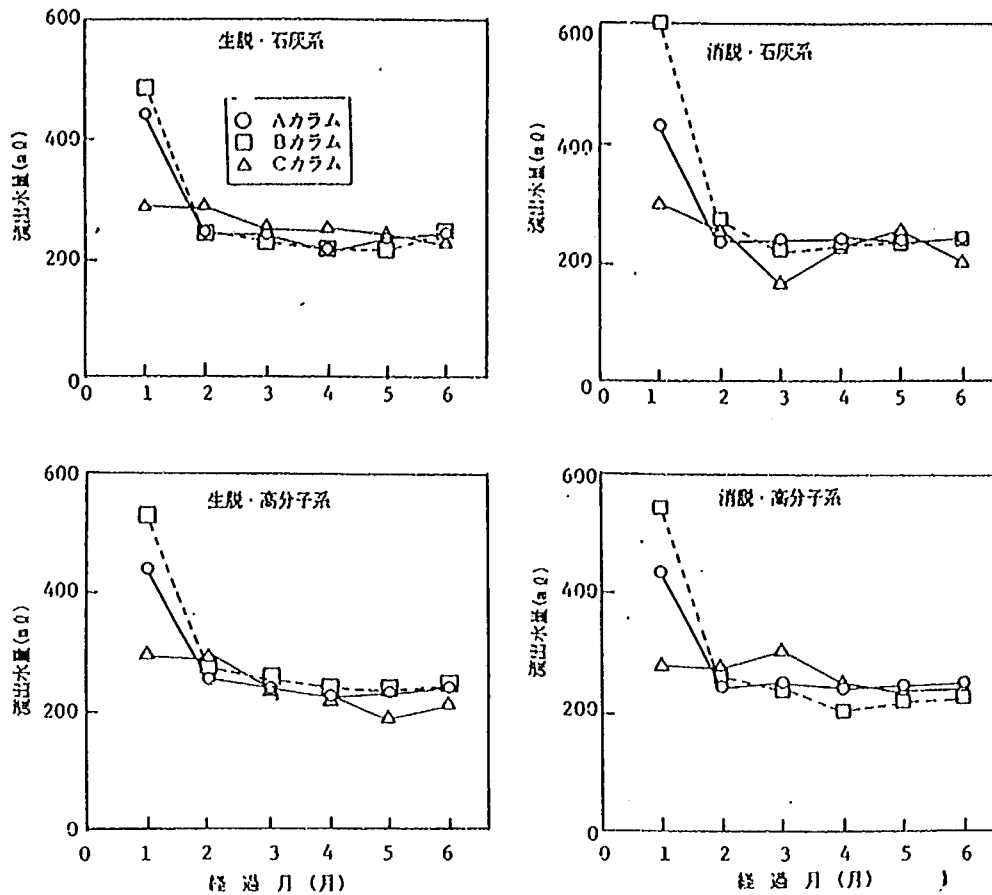


図-3.3.2 流出水量の変化

(2) pH の変化 (図-3.3.3)

生脱・石灰系の流入水 pH は実験開始時において 9.7 であったが徐々に減少し、6 カ月目には 7.8 まで低下した。流出水 pH は、1 カ月目に 7.3 前後の値であったが時間の経過とともに上昇し、B、C カラムでは 6 カ月目に 8.5 以上の値となった。生脱・高分子系の流入水は 6.3 から 7.9 へ上昇したが、流出水はいずれのカラムでもこの値より大きく 6 カ月目には 8~9 の値であった。消脱・石灰系の流入水は 13 程度の高 pH を示したが、流出水 pH は 1 カ月目から 7~8 の値を示し、pH の低下が顕著であった。消脱・高分子系の流入水 pH は 8 前後の値を示し、C カラムの流出水 pH は、ほとんどこれと同じ値を示した。一方、A、B カラム流出水 pH は流入水 pH よりも低い値であった。カラムごとにこれを整理すると、A カラムの流入水 pH は、時間が経過しても大きな変化を示さず、一方、C カラムの流出水 pH は時間の経過とともに上昇する傾向があり、6 カ月目にはいずれも 8 以上の pH を示した。

土には pH の緩衝作用があり、土の pH を激しく変化させる何らかの作用が加えられたときに、その変化をやわらげる機能をもつことが知られている。このメカニズムは大きく二つに分けられ、その一つは、pH 依存荷電によるものであり、もう一つは荷電物質のイオン交換の働きによるものであると考えられている²⁸⁾。砂についても同じような作用により pH が緩衝され、その結果として消脱・石灰系に見られるような pH の低下が生じたものと推論できる。京才等²⁹⁾の実験結果においても、砂層を通さない場合には pH が 12 前後であっても、砂層を通すことにより pH は 8 程度まで低下し、しかもその pH の緩衝作用は実験

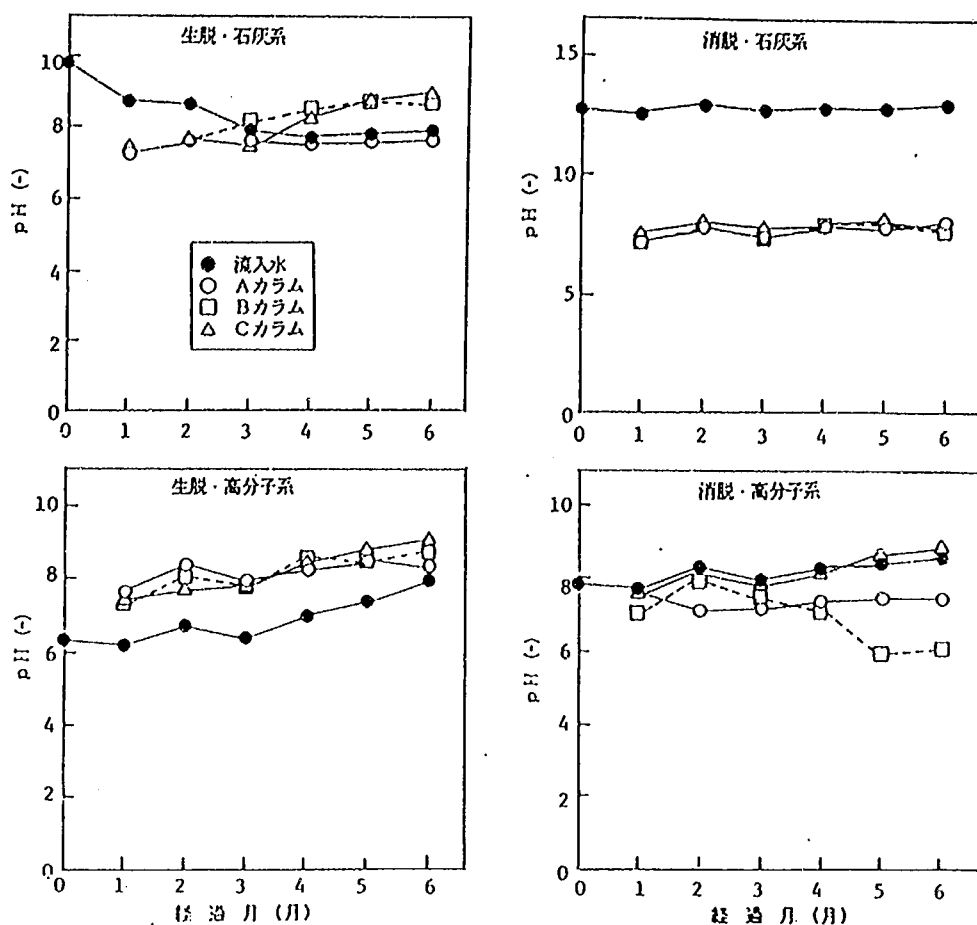


図-3.3.3 pH の変化

終了日（約 1,000 日）まで持続していたと報告している。砂のこのような pH の緩衝作用は、高 pH では活性が小さくなるような微生物に、より良い活動の場を与えることになり重要なことである。

(3) TOC の変化 (図-3.3.4)

生脱系の流出水 TOC は各カラムとも 2～3 カ月目にピークを示した後に減少する傾向にあった。1 カ月目の濃度が小さな値を示す原因としては、実験開始時にカラム内の間隙はすべて蒸留水で満たされており、この流出のために希釈されたこと、並びに滞留時間の影響で流出しきっていないことなどのためである。消脱系の流出水は、生脱系のように 2～3 カ月目にピークを示さず徐々に増加するか、あるいは時間の経過にかかわらず、ほぼ同じような濃度を示していた。

(4) K-N, $\text{NH}_4\text{-N}$ の変化 (図-3.3.5 (a), (b))

A, B カラムの流出水 K-N はいずれも 2, 3 カ月まで増加傾向を示し、それ以降は大きな変動を示さなかった。これに対して C カラム流出水 K-N は 6 カ月の実験期間中、増加傾向が続いていた。窒素の除去は一般に①生物学的硝化・脱窒、②砂への吸着、③微生物体への取り込み、などの作用により行われると思われるが、不飽和流である A, B カラムについては硝化による K-N の減少が生じているものと考えられる。ただし、流入水の $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ の測定結果はいずれも 1 mg/l 以下の濃度であり、流入水 K-N は T-N と考えても大差ない。しかし、流出水の $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ は測定しなかったため、硝化

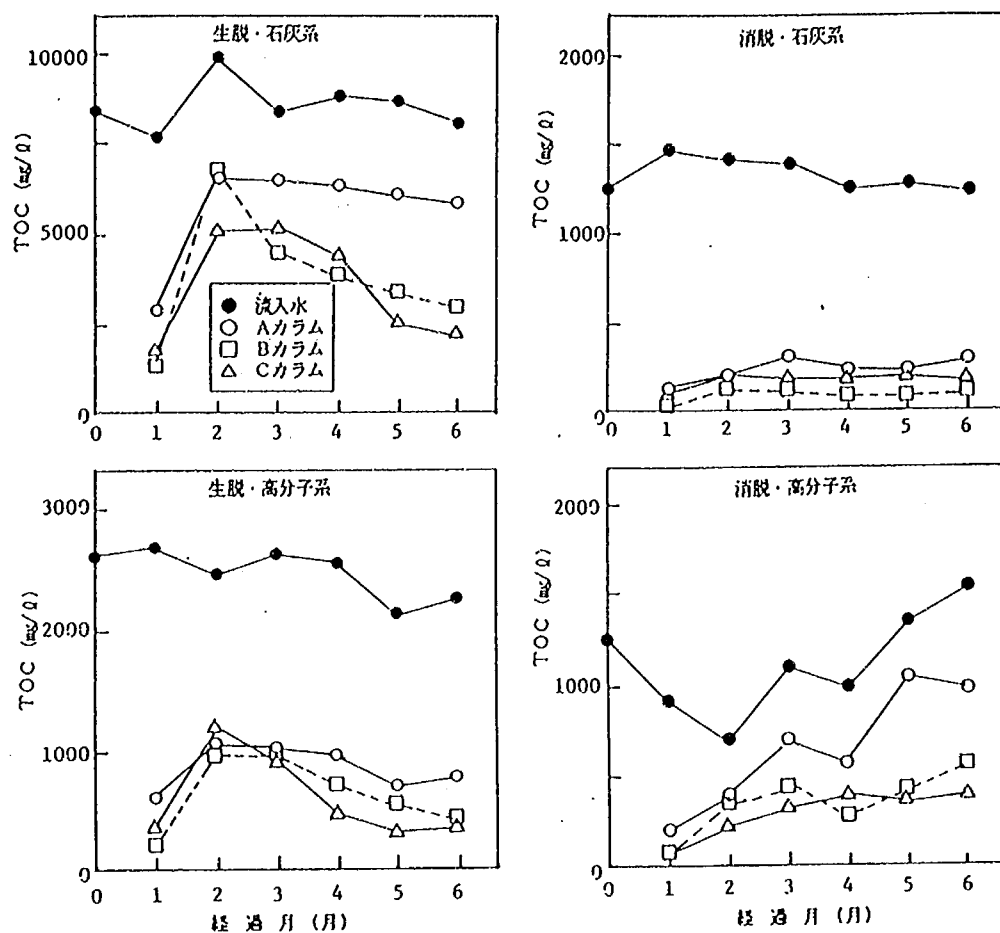


図-3.3.4 TOC の変化

についての定量的な判断はできなかった。

図-3.3.5(a)(b)に $(\text{NH}_4\text{-N}/\text{K-N})$ 比を示す。流入水のこの値は、消脱・石灰系を除いて大略0.7~0.9であり流出水についても5~6カ月目には流入水と同程度の値となった。消脱・石灰系の流入水は0.3前後の値であり $\text{NH}_4\text{-N}$ の占める割合が小さかった。しかし、流出水の5~6カ月の値は、Aカラムで0.6、Cカラムで0.9となっており、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が増大していることがわかる。図-3.3.5(b)に見られるように消脱・石灰系のCカラム流出水 $\text{NH}_4\text{-N}$ は流入水を越えるまで増加しており、これは有機性窒素が嫌氣的に分解したものと考えられる。

(5) T-P の変化 (図-3.3.6)

流入水 T-P の平均値は消脱・石灰系が3.0 mg/lであり、他の流入水に比較してかなり小さかった。流出水 T-P は TOC, K-N, $\text{NH}_4\text{-N}$ のような大きな変動は示さず、実験初期から終了時まで安定した濃度で流出していた。

(6) 有機酸および捕集ガスの変化 (図-3.3.7(a), (b))

有機酸の測定は、流入水ならびにCカラム流出水の酢酸、プロピオン酸、イソ酪酸、酪酸について行った。分析に際しては、前処理として除蛋白のためにスルホサリチル酸溶液を数滴加え、0.45 μm のメン

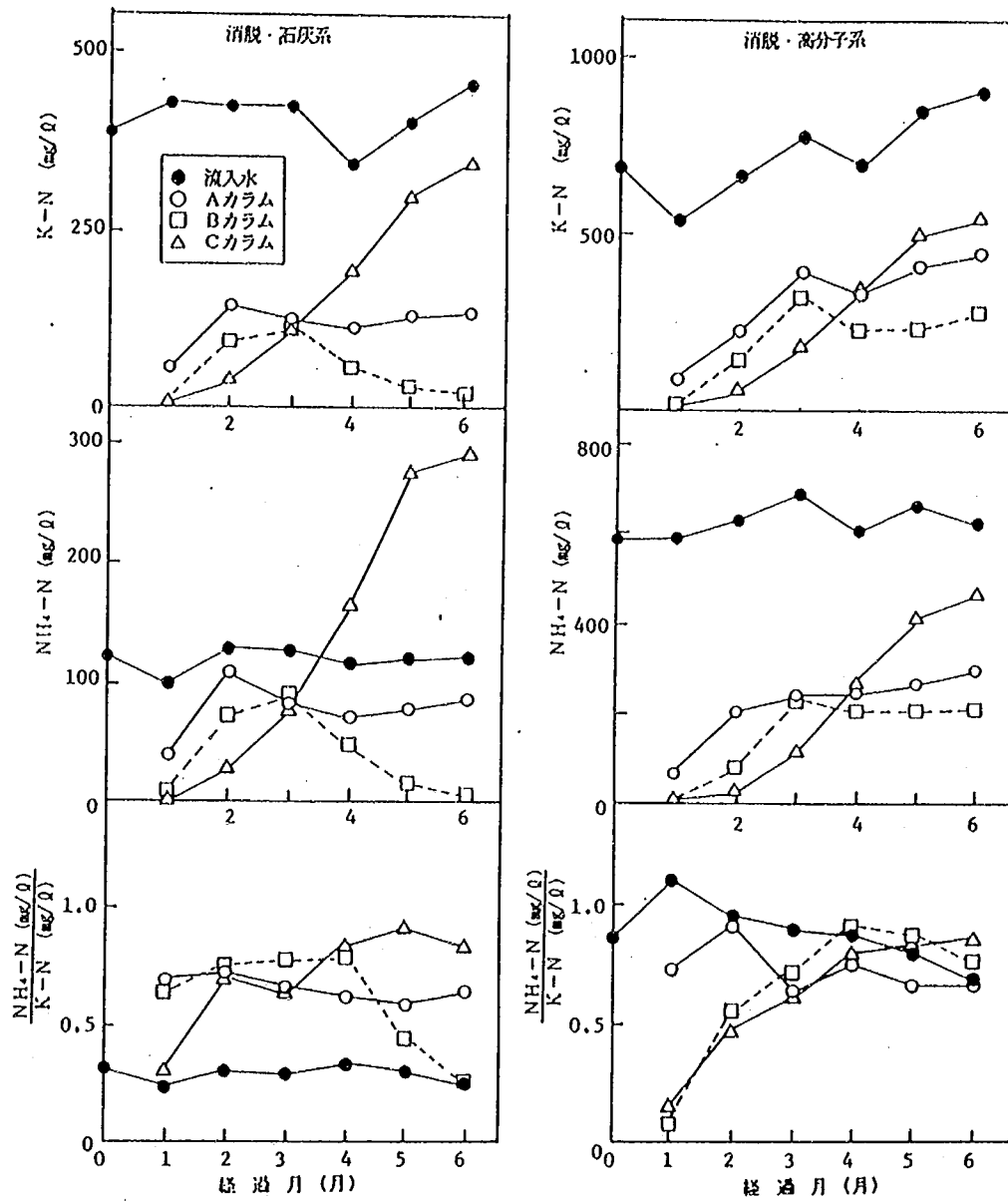


図-3.3.5(a) K-N, NH₄-N の変化

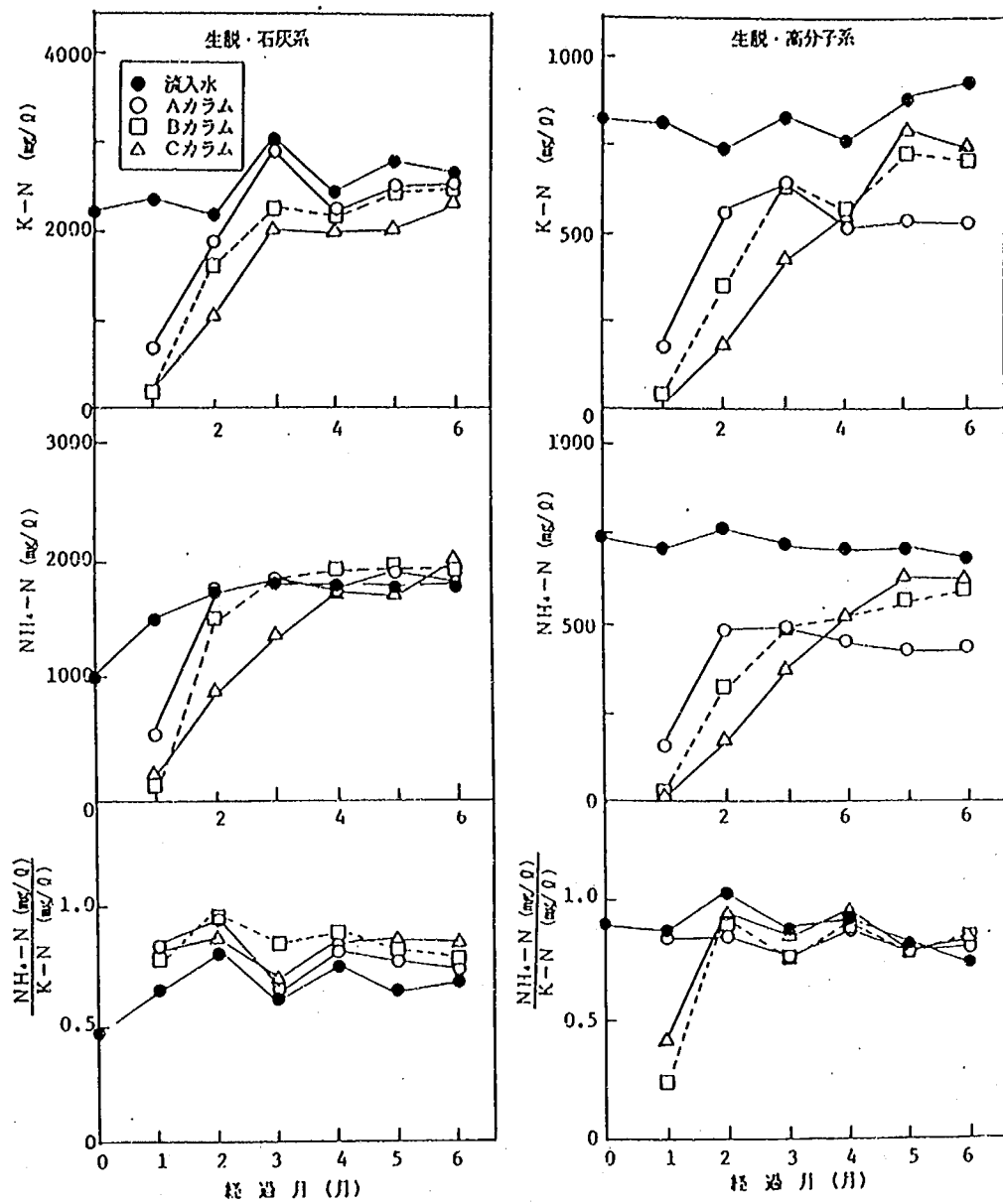


図-3.3.5 (b) K-N, NH₄-N の変化

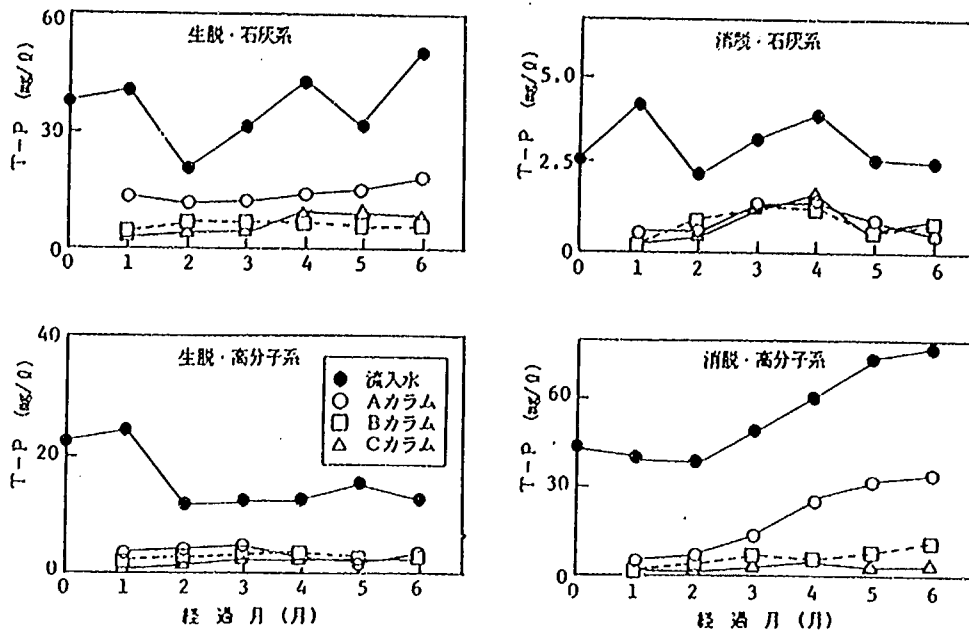


図-3.3.6 T-P の変化

ブレンフィルターでろ過したものを用いた。又、ガスの捕集はCカラムについてのみ実施し、ガス捕集量と、ガス成分の分析 (CH_4 , N_2 , O_2 , CO_2) を行った。生脱系の流入水の有機酸濃度は、消脱系に比較してかなり高いものであり、これは消化脱水汚泥が一度嫌氣的な分解過程を経たものであることから当然の結果といえる。生脱・石灰系では2~3カ月目からガスの発生がみられ、実験終了時まで、1カ月当り1 l前後の捕集量が得られた。又、このガスの60~80%がメタンガスであった。流出水の有機酸は3~4カ月をピークに減少しており、実験終了時においてはほとんど検出されなかった。これらのことから実験開始後2~3カ月目あたりからメタン菌による分解が進行したと思われる。

生脱・高分子系では2~3カ月目にガスの発生がみられたが、5カ月目以降の捕集はなかった。しかし、有機酸は2~3カ月目以降減少していることなどから、メタン発酵は進行していたものと考えられ、発生したガスは流出水に混入し流出したとも考えられるが、この原因については不明であった。

消脱・石灰系においても5カ月目にわずかのガス捕集量が得られたものの6カ月目には認められなかった。消脱・高分子系では、実験期間中のガス捕集量はなく、流入水、流出水中の有機酸も低濃度であった。以上のことから、消脱・高分子系以外の系についてはガスの発生が認められ、このガス中にはメタンガスが豊富であったことからメタン菌による分解が浄化に寄与していることがわかった。

次に、TOCに占める有機酸中の炭素量(有機酸炭素量)の変化を検討した³⁰⁾。酢酸 (CH_3COOH) は質量比で40%の炭素を含み、同じようにプロピオン酸 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) 48.6%, イソ酪酸 ($(\text{CH}_3)_2\text{CHCOOH}$)、酪酸 ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$) は54.5%の炭素を含む。流入水とCカラム流出水とについてこれらの有機酸炭素量の和を求めTOCに占める割合を計算したものを図-3.3.8に示す。ただし前に述べたように有機酸は前処理として0.45 μm のインブレンフィルターでろ過したものを分析した。これに対して、TOCは1 μm のGF/Bでろ過したもののについての結果を使用したため、この割合は若干小さ

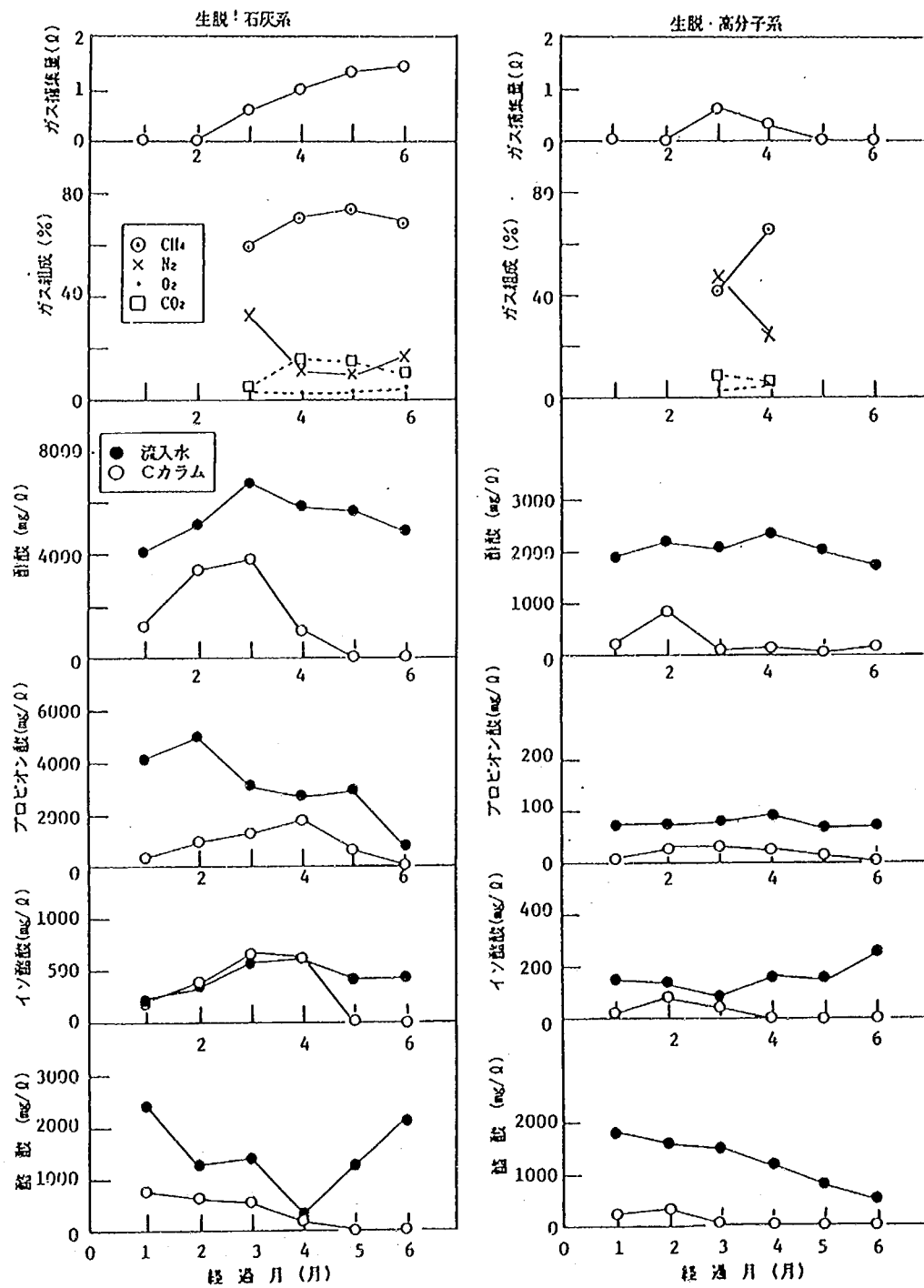


図-3.3.7 (a) 有機酸・捕集ガスの変化

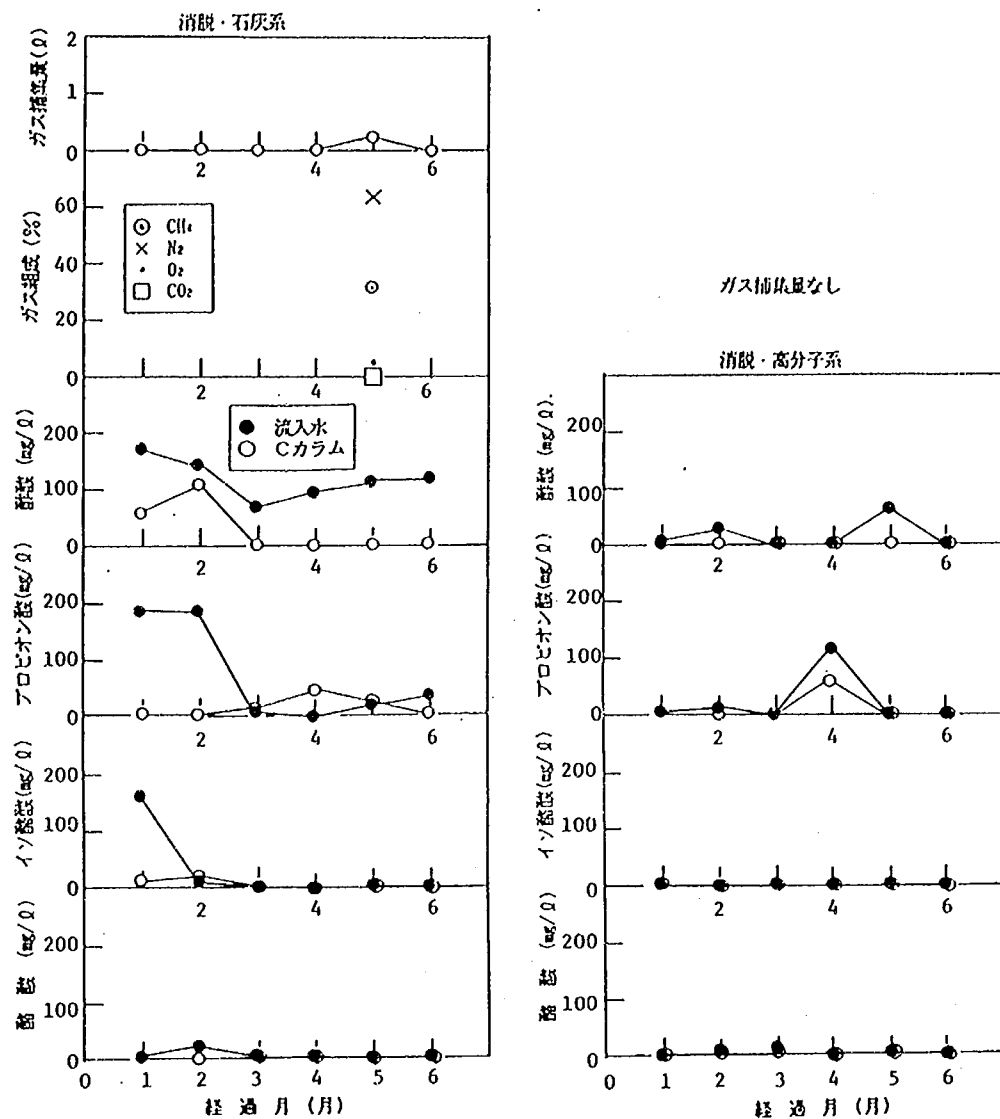


図- 3.3.7 (b) 有機酸・捕集ガスの変化

な値を示す可能性がある。流入水の値を比較すると、生脱系は消脱系に比較してかなり大きな値を示し、時間の経過とともに減少しているものの、1カ月目で生脱・石灰系では60%、生脱・高分子系では80%であった。流出水の値は徐々に低下しており、6カ月目では生脱・石灰系で1%、生脱・高分子系では25%程度となった。このように流入水に比べてかなり小さな値を示しており、有機酸の分解が影響していることがわかる。消脱・石灰系の流入水は18%から10%以下に減少したが、流出水の値は、5カ月目までは流入水より大きな値を示したものの、6カ月目にはほとんどTOC中に存在しなかった。消脱・高分子系では流入水、流出水とも10%以下であり、有機酸炭素量は小さかった。

(7) TOC, K-N, T-Pの除去量の変動

それぞれのカラムでの除去量と、その時間的变化を知るために、1カ月間の除去量を各月ごとに算出した。この結果を図- 3.3.9～3.3.11に示す。なお、1カ月間の除去量 (mg/月) は、

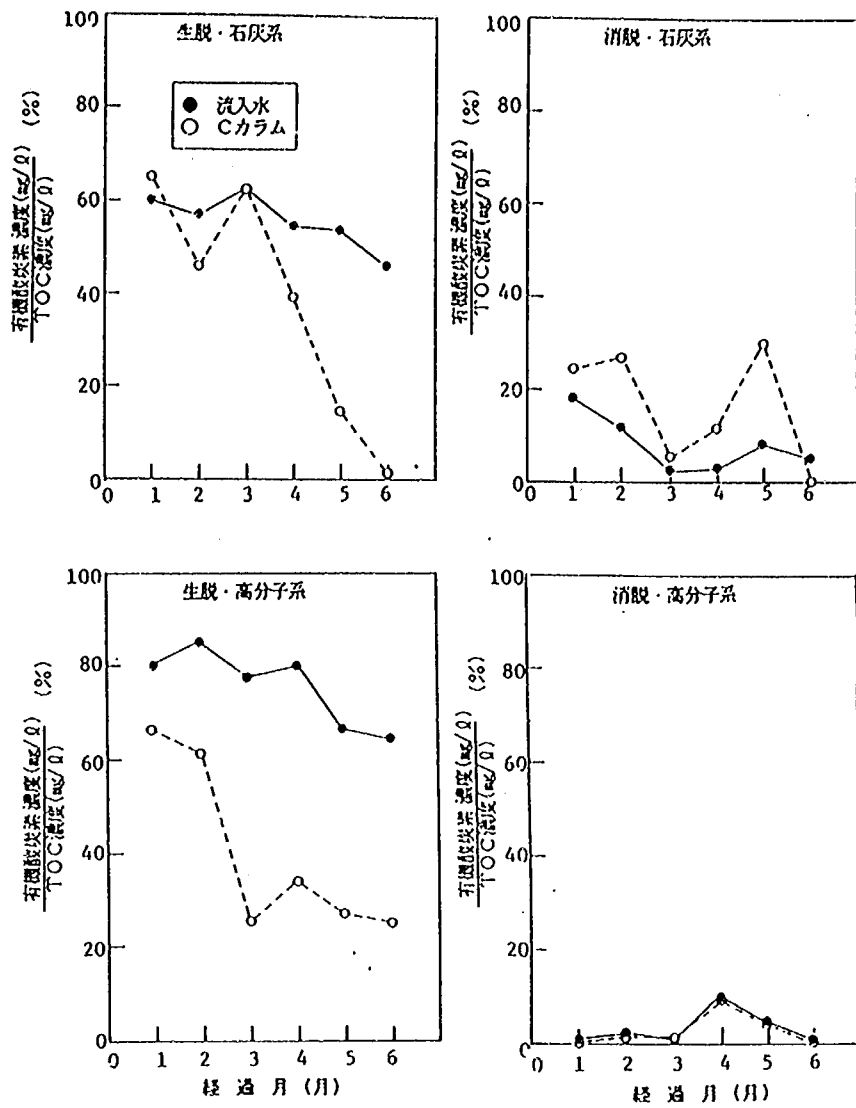


図-3.3.8 TOC 中の有機炭素濃度の割合の変化

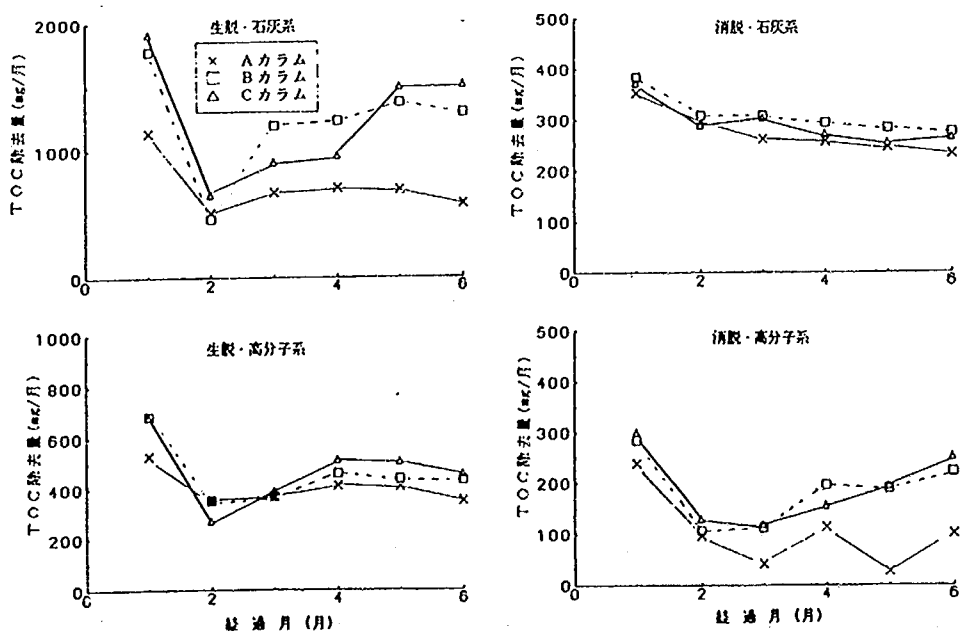


図-3.3.9 TOC 除去量の変化 (1カ月当たり)

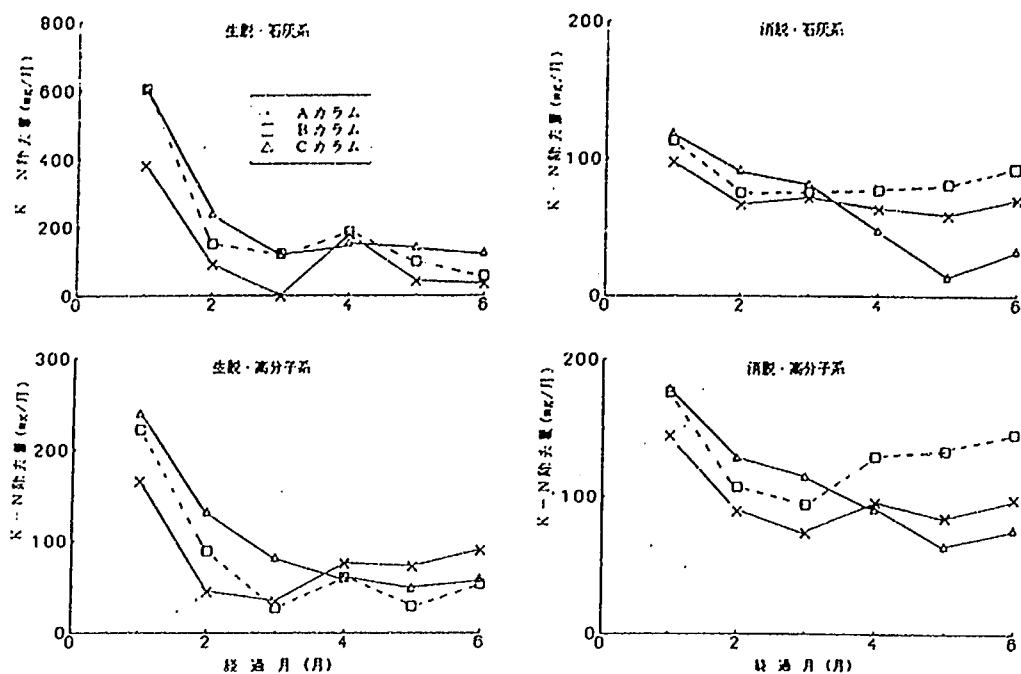


図-3.3.10 K-N 除去量の変化 (1 カ月当り)

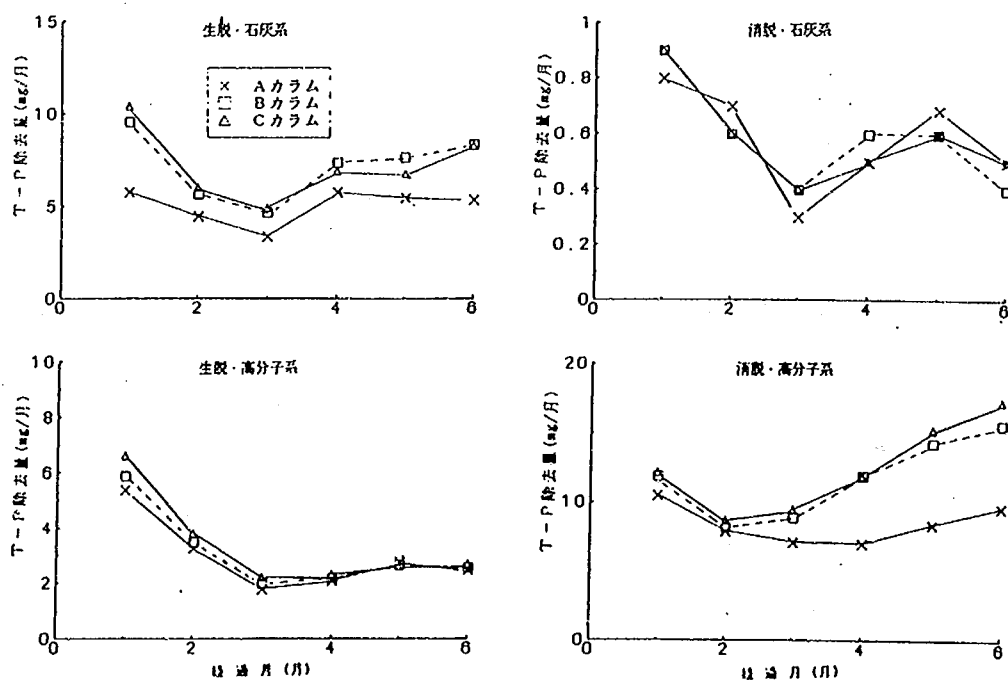


図-3.3.11 T-P 除去量の変化 (1 カ月当り)

平均流入水濃度 (mg/l) × 流出水量 (l/月)

－ 平均流出水濃度 (mg/l) × 流出水量 (l/月)

に従って、それぞれの月ごとに計算したものである。すべての項目で1カ月目の除去量が大きくなっているが、これは滞留時間の影響のためで、流入水が流出しきっていないために、見かけ上、大きな除去量を

示すことになる。この滞留時間の影響が及ばない2～3カ月目以降の変化は大きく次の3つのパターンに分けて考えることができる。

パターンⅠ …… 2～3カ月目以降増加する。

パターンⅡ …… 2～3カ月目以降大きな変化を示さない。

パターンⅢ …… 2～3カ月目以降減少する。

TOCについてはパターンⅠに属するものが多く、これは時間の経過とともに砂カラムの浄化能力が増大していると考えることができる。この原因としては、前項で述べた有機酸の減少、ガス発生などを考慮すると物理的な浄化能力の向上ではなく、微生物が増殖し、分解が活発に行われるようになったためであると考えられる。しかし、消脱・石灰系の流出水、ならびにすべての系のAカラム流出水は、パターンⅡあるいはⅢに属しており、時間の経過に伴う除去量の増加はみられなかった。

K-Nの除去量については、A、Bカラム流出水はパターンⅠあるいはⅡに属していたが、Cカラム流出水についてはパターンⅢに属するものが多い。

T-Pについては、流入水T-Pのばらつきが大きかったこともあり、除去量の一般的な傾向がはっきりしなかった。

TOC、K-N、T-Pの1カ月当りの負荷量（6カ月間の平均値）と除去量（5・6カ月の平均値）の関係を図-3.3.12～3.3.14に示した。TOC、T-Pについては、負荷量が増すと除去量も増加しており、カラムの浄化能力にはまだ余裕があることがわかる。K-Nについては、負荷量の大きい生脱系において、負荷量が増えても除去量100 mg/月を大きく越えることはなく、除去量の限界をうかがわせる結果となった。

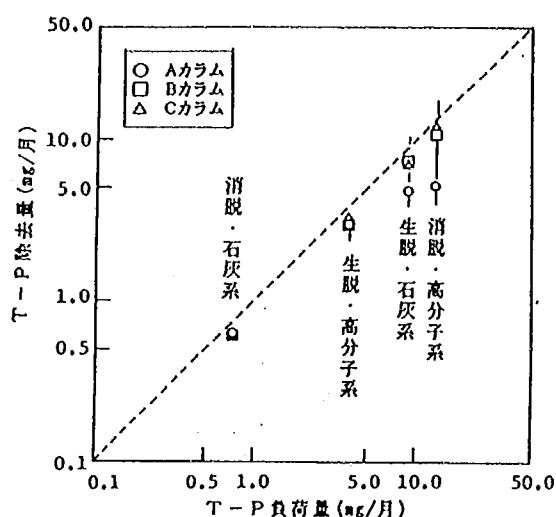


図-3.3.12 TOCの負荷量と除去量の関係

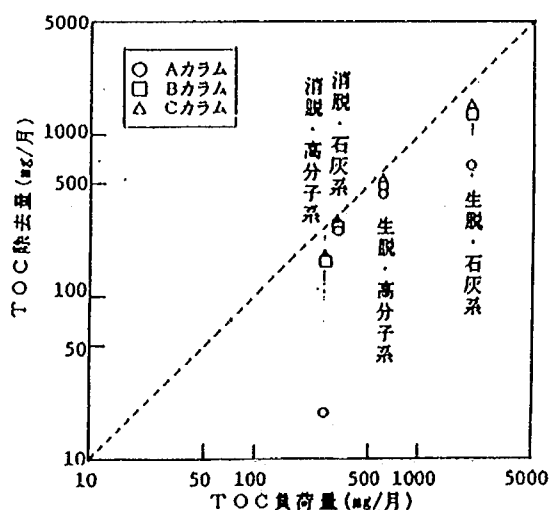


図-3.3.13 K-Nの負荷量と除去量の関係

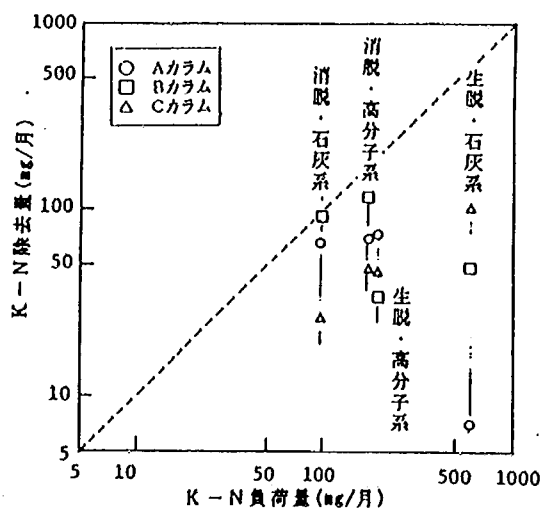


図-3.3.14 T-Pの負荷量と除去量の関係

3.4 ま と め

浸出水の砂による浄化効果について砂カラムを用いた実験を行った結果、次の知見が得られた。

- ① TOC の除去量は一般に負荷量に左右され、本実験の負荷量の範囲内では浸出水の種類にかかわらず、負荷量が増加すれば除去量も増加する。又、同じ砂層厚の場合には、飽和流の方が不飽和流に比較して除去率が高く、不飽和流の場合には砂層厚が厚くなると除去率も高くなる。
- ② 砂に生物が付着していない状態から実験を開始したが、飽和流の場合には生脱系の浸出水を流入させた後、2～3カ月目からガスの発生が認められ、これに並行して有機酸の減少が観測された。このガスにはメタンが豊富であったことからメタン発酵が進行しているものと推察された。このこと汚泥浸出水の砂層による浄化には、物理・化学的なもの以外に、生物も関与していることがわかった。
- ③ 流入浸出水の pH が13程度であっても砂層を通ずることにより pH は8程度まで低下し、TOC の除去量も高かったことから、砂層による浄化は石灰系汚泥のような高 pH の浸出水にも応用できる。
- ④ K-N の除去率は飽和流の場合、流入負荷にかかわらず30%以下であり（表-3.3.2）、浄化はあまり期待できない。不飽和流の場合は飽和流に比較して除去率は高い。
- ⑤ T-P は飽和流の場合、流入負荷にかかわらず70%以上の除去率が得られたが（表-3.3.2）、不飽和流で滞留時間が短い場合には、負荷が大きくなると除去率は低下する。

今後の課題としては、より長期的な浄化の過程を知るために、目づまりの観測をも含めて、更に長い期間にわたる実験を行うとともに、浄化の機構を明らかにすることが必要であると考えられる。

謝

辞

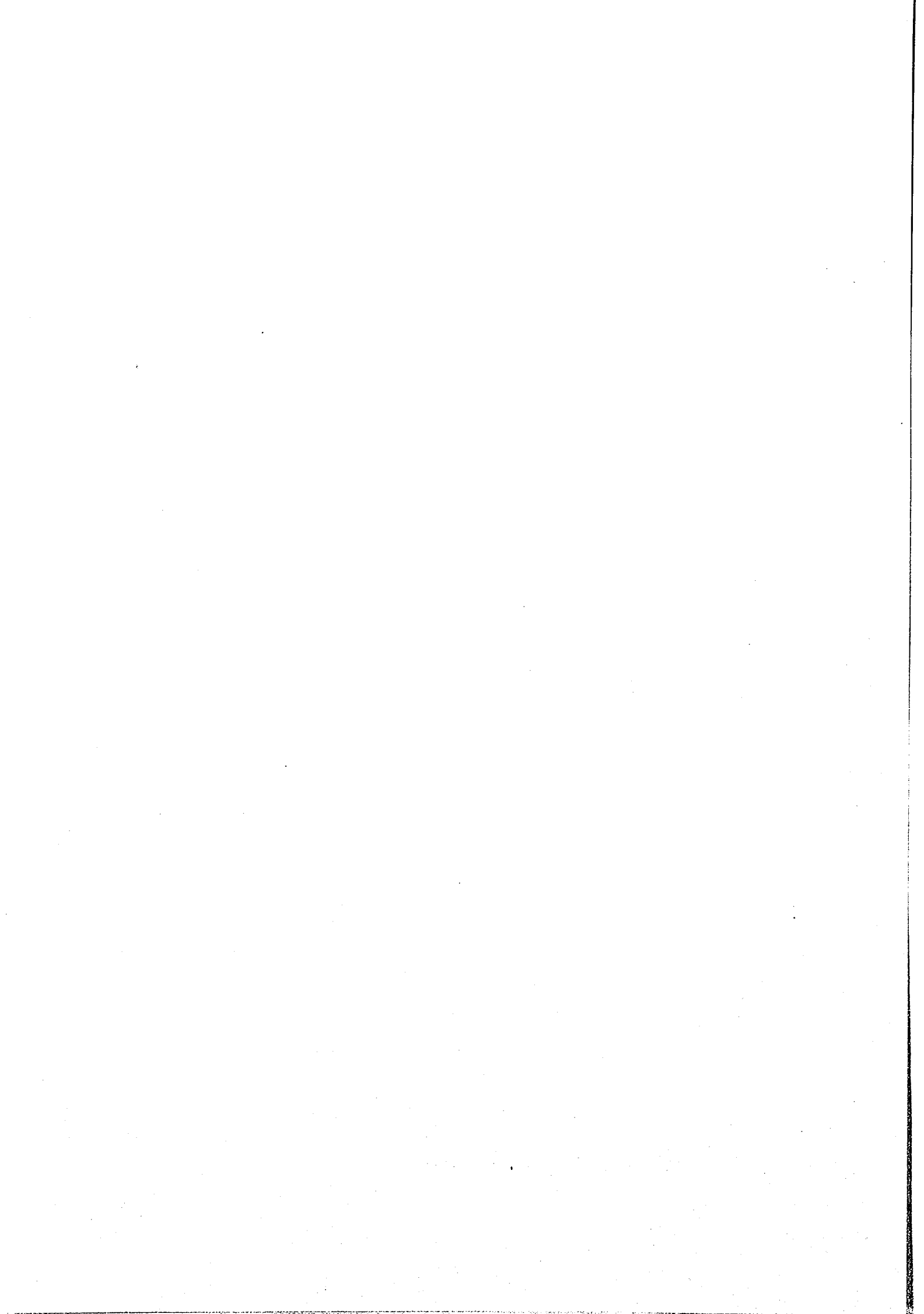
本研究を進めるにあたり、終始熱心に御協力、御指導を賜りました東北工業大学土木工学科の中山正与氏、及び関係者の方々に感謝致します。

参 考 文 献

- (1) 建設省都市局下水道部監修, 日本の下水道—平成2年—, 日本下水道協会, 平 2. 9.
- (2) 大嶋吉雄, 下水污泥溶融システム, 月刊下水道, Vol. 12, No. 2, pp. 2 ~ 6, 環境公害新聞社.
- (3) 建設省土木研究所污泥研究室, 下水污泥の建設資材としての利用方法, 土木研究所資料第 2440 号, 昭 62. 2.
- (4) 廃棄物の建設事業への利用可能性に関する調査報告書 (地盤・盛土分科会), (財) 国土開発技術センター, 昭 58. 3.
- (5) 日本石灰協会石灰安定処理委員会編, 石灰による炉床路盤の安定処理工法, 理工評論出版, 昭 60. 8.
- (6) 環境科学辞典, 東京化学同人, 昭 60. 9.
- (7) 大喜多敏一, 酸性雨, 環境情報科学, 13 - 4, 1984, pp. 11 ~ 20.
- (8) 平石伊彦, 酸性雨に係わる国際的動向, 第24回大気汚染学会講演要旨集, 昭 58, pp. 135 ~ 141.
- (9) 玉置正則, 我が国の雨水の化学的性状, 環境技術, Vol. 14, No. 12, 1985, pp. 132 ~ 143.
- (10) 岩田進午, 土のはなし, 科学全書17, 大月書店, 和 60. 5.
- (11) 和田光史, 土壤粘土によるイオンの交換・吸着反応, 日本土壤肥料学会編, 土壤の吸着現象, 博友社, 昭 56. 3
- (12) 農林省農林水産技術会議事務局監修, 土壤養分測定法委員会編, 土壤養分分析法, 養賢堂, 昭 50, pp. 33 ~ 41.
- (13) 宮原昭三, 大曲隆昭, 酒井重男, 実用イオン交換, 化学工業社, 昭 47. 1.
- (14) 西山雅洋, 甲賀喜夫, 岸田早苗, 下水污泥に含まれる重金属の溶出に関する研究, 公害と対策, Vol. 16, No. 8, pp. 33 ~ 38.
- (15) 石井富次, 井上善介, 本多淳裕, 産業廃棄物溶出試験法の検討, 水処理技術, Vol. 17, No. 3, 1976, pp. 1 ~ 12.
- (16) Notre Dame Univ., Analysis and Assessment of Incinerated Municipal Sludge Ashes and Leachates, PB 84-155563, Feb., 1984.
- (17) USEPA, Test Methods for Evaluating Solid Wastes, SW-846, 2nd. Edition, 1982.
- (18) 福知真和, 福田 純, 嶋岡忠敬, 下水污泥埋立処分に伴う重金属類の挙動について, 第20回下水道研究発表会講演集, 昭 58, pp. 756 ~ 758.
- (19) 岡久宏史, 石川忠男, 下水污泥埋立地における浸出水の水質特性, 第19回下水道研究発表会講演集, 昭 57, pp. 703 ~ 705.
- (20) 埼玉県下水污泥処理対策調査研究委員会, 下水污泥処理処分にに関する調査研究報告書, 昭 57. 3.
- (21) 渡辺紀元, 早川 修, 各種土壤の重金属吸着特性について, 水
- (22) 渡辺紀元, 早川 修, 各種重金属イオンの共存における土壤の重金属イオン吸着量について, 水処理技術, Vol. 20, No. 7, 1979, pp. 23 ~ 29.

- (23) 日本工業標準調査会審議，工場排水試験方法（JIS K 0102-1986），日本規格協会．
- (24) 玉置正則，大気汚染と雨水の酸性比，PPM，1984年3月，pp.2～11.
- (25) 松井三郎，野口基一訳，環境工学のための化学，森山出版．

❖❖❖ 資 料 編 ❖❖❖



1. 汚泥焼却灰の溶出実験

表-1.1 室内振とう溶出実験(振とう前 pH)

項目 振とう前 pH

試料	設定 pH							
	添加物	1	3	5	7	9	11	13
①	H ₂ SO ₄	2.66	4.74	6.20	8.03	10.00	10.90	
	HCl	4.45	4.75	4.98	5.25	8.50	10.02	
	HNO ₃	1.82	3.14	2.98	3.80	9.25	9.95	
	無添加							12.25
②	H ₂ SO ₄	1.37	1.97	2.91	6.63			
	HCl	1.86	2.89	4.17	5.82			
	HNO ₃	1.94	3.08	4.80	6.03			
	NaOH					10.19	11.32	11.91
③	H ₂ SO ₄	1.55	3.89	5.50				
	HCl	1.23	3.32	4.45				
	HNO ₃	1.36	3.35	4.68				
	無添加				6.40			
④	NaOH					8.78	8.55	9.87
⑤	H ₂ SO ₄	1.44	3.07					
	HCl	1.60	3.18					
	HNO ₃	1.52	3.01					
	無添加			4.13				
⑥	NaOH				7.78	8.21	10.06	11.67
①+③	H ₂ SO ₄	1.44	2.91	5.45	6.96			
	HCl	1.53	2.72	3.89	5.05			
	HNO ₃	1.27	2.00	3.62	5.62			
	NaOH					10.35	11.20	11.97
②+③	H ₂ SO ₄	1.37	2.65	4.78	6.67			
	HCl	1.06	2.05	4.33	6.33			
	HNO ₃	1.03	3.68	4.90	6.66			
	NaOH					10.80	10.96	12.04
①+④	HNO ₃	1.18	3.29	5.16	5.84	8.31	10.51	
	無添加							11.62
①+⑤	HNO ₃	1.28	2.74	5.20	6.11	8.89	10.36	
	無添加							11.81
①+⑥	HNO ₃	1.35	3.41	5.26	6.76	8.98	11.01	
	無添加							12.15
②+④	HNO ₃	1.82	3.26	5.60	6.66	8.90	10.80	
	無添加							11.99
②+⑤	HNO ₃	1.30	2.98	4.83	6.12			
	無添加					8.50		
	NaOH						9.71	10.58
	HNO ₃	1.09	2.94	5.23	7.25			
②+⑥	無添加					9.18		
	NaOH						10.14	11.34
③+④	HNO ₃	1.27	2.95	5.70	7.19	8.20	9.36	
	無添加							10.37
③+⑤	HNO ₃	1.05	2.88	5.22	7.16	8.22	9.56	
	無添加							10.66

①：流動炉焼却灰 ②：多段炉焼却灰 ③：有機質粘土

④：シルト質細砂 ⑤：細砂 ⑥：砂

表-1.2 室内振とう溶出実験(振とう後 pH)

項目 振とう後 pH

試料	設定 pH							
	添加物	1	3	5	7	9	11	13
①	H ₂ SO ₄	5.78	7.37	9.28	10.46	11.30	11.69	
	HCl	6.13	7.58	8.03	7.70	10.11	11.06	
	HNO ₃	4.54	5.92	5.79	5.72	10.90	11.34	
	無添加							12.29
②	H ₂ SO ₄	5.61	6.02	7.11	10.48			
	HCl	5.57	6.42	8.02	9.99			
	HNO ₃	6.01	6.82	8.21	10.44			
	NaOH					10.00	9.93	10.36
③	H ₂ SO ₄	3.82	5.32	6.31				
	HCl	2.83	5.23	5.53				
	HNO ₃	3.68	4.93	5.73				
	無添加				6.47			
④	H ₂ SO ₄	1.63	3.89					
	HCl	1.97	3.52					
	HNO ₃	1.95	3.64					
	無添加			4.16				
⑤	H ₂ SO ₄	1.56	3.93	6.23	8.39			
	HCl	1.55	3.75	5.73	6.07			
	HNO ₃	1.31	2.19	4.77	6.80			
	NaOH					9.44	10.57	11.70
⑥	H ₂ SO ₄	1.48	3.26	6.25	7.21			
	HCl	1.10	2.33	6.35	7.26			
	HNO ₃	1.09	5.37	6.78	7.33			
	NaOH					10.28	10.51	11.94
①+③	HNO ₃	2.68	4.84	8.60	10.11	10.54	11.23	
	無添加							11.73
①+④	HNO ₃	3.03	5.50	8.69	10.36	10.78	11.54	
	無添加							12.09
①+⑤	HNO ₃	3.47	6.29	10.32	10.44	11.05	11.50	
	無添加							12.14
①+⑥	HNO ₃	5.72	7.42	10.29	10.76	11.33	11.84	
	無添加							12.09
②+③	HNO ₃	3.10	4.34	9.81	8.97			
	無添加					9.46		
	NaOH						9.78	10.04
②+④	HNO ₃	2.49	6.72	9.08	10.60			
	無添加					10.77		
	NaOH						10.68	10.94
②+⑤	HNO ₃	4.31	5.67	6.80	8.86	10.68	10.80	
	無添加							10.48
②+⑥	HNO ₃	4.32	5.76	6.36	9.33	10.69	10.58	
	無添加							10.32

①：流動炉焼却灰 ②：多段炉焼却灰 ③：有機質粘土
 ④：シルト質細砂 ⑤：細砂 ⑥：砂

表-1.3 室内振とう溶出実験 Cd

項目 Cd 単位 mg/l

試料	設定 pH 添加物	1	3	5	7	9	11	13
①	H ₂ SO ₄	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
	HCl	0.017	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
	HNO ₃	0.033	0.001	0.002	0.003	<0.001	<0.001	
	無添加							<0.001
②	H ₂ SO ₄	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001			
	HCl	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001			
	HNO ₃	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001			
	NaOH					<0.001	<0.001	<0.001
③	H ₂ SO ₄	<0.001	<0.001	<0.001				
	HCl	0.009	<0.001	<0.001				
	HNO ₃	0.005	<0.001	<0.001				
	無添加 NaOH				<0.001	<0.001	<0.001	0.002
④	H ₂ SO ₄	0.001	<0.001					
	HCl	0.003	<0.001					
	HNO ₃	<0.001	<0.001					
	無添加 NaOH			<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
⑤	H ₂ SO ₄	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001			
	HCl	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001			
	HNO ₃	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001			
	NaOH					<0.001	<0.001	<0.001
⑥	H ₂ SO ₄	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001			
	HCl	0.002	0.001	<0.001	<0.001			
	HNO ₃	0.002	<0.001	<0.001	<0.001			
	NaOH					<0.001	<0.001	<0.001
①+③	HNO ₃ 無添加	0.037	0.015	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
①+④	HNO ₃ 無添加	0.069	0.010	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
①+⑤	HNO ₃ 無添加	0.036	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
①+⑥	HNO ₃ 無添加	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
②+③	HNO ₃ 無添加 NaOH	0.006	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
②+④	HNO ₃ 無添加 NaOH	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
②+⑤	HNO ₃ 無添加	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
②+⑥	HNO ₃ 無添加	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

①：流動炉焼却灰 ②：多段炉焼却灰 ③：有機質粘土
④：シルト質細砂 ⑤：細砂 ⑥：砂

表-1.4 室内振とう溶出実験 Cu

項目 Cu 単位 mg/l

試料	設定 pH 添加物	1	3	5	7	9	11	13
①	H ₂ SO ₄	0.027	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	
	HCl	0.006	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	
	HNO ₃	0.558	<0.005	0.005	0.005	<0.005	<0.005	
	無添加							<0.005
②	H ₂ SO ₄	<0.005	0.009	<0.005	<0.005			
	HCl	0.021	<0.005	<0.005	<0.005			
	HNO ₃	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005			
	NaOH					<0.005	<0.005	<0.005
③	H ₂ SO ₄	<0.005	<0.005	<0.005				
	HCl	<0.005	<0.005	<0.005				
	HNO ₃	<0.005	<0.005	<0.005				
	無添加				0.059			
④	H ₂ SO ₄	0.324	0.017					
	HCl	0.367	0.015					
	HNO ₃	0.414	0.010					
	無添加			<0.005				
⑤	H ₂ SO ₄	0.041	<0.005	0.005	0.011			
	HCl	0.042	<0.005	<0.005	<0.005			
	HNO ₃	0.046	0.015	<0.005	0.010			
	NaOH					0.045	0.040	0.045
⑥	H ₂ SO ₄	0.100	0.005	<0.005	<0.005			
	HCl	0.109	0.049	<0.005	<0.005			
	HNO ₃	0.104	<0.005	<0.005	<0.005			
	NaOH					0.016	0.014	0.016
①+③	HNO ₃	8.14	0.052	<0.005	0.022	0.026	0.048	
	無添加							0.035
①+④	HNO ₃	18.9	0.054	0.014	0.013	0.014	0.018	
	無添加							0.037
①+⑤	HNO ₃	6.92	0.024	<0.005	<0.005	0.022	<0.005	
	無添加							<0.005
①+⑥	HNO ₃	0.007	<0.005	0.009	<0.005	0.009	<0.005	
	無添加							0.147
②+③	HNO ₃	0.150	0.038	0.023	0.023			
	無添加					0.254		
	NaOH						0.030	0.028
②+④	HNO ₃	3.35	0.196	0.102	0.046			
	無添加					0.009		
	NaOH						0.012	0.013
②+⑤	HNO ₃	0.007	0.057	0.024	0.024	0.013	<0.005	
	無添加							<0.005
②+⑥	HNO ₃	0.012	<0.005	0.014	0.007	<0.005	<0.005	
	無添加							0.012

①：流動炉焼却灰 ②：多段炉焼却灰 ③：有機質粘土

④：シルト質細砂 ⑤：細砂 ⑥：砂

表-1.5 室内振とう溶出実験 Pb

項目 Pb 単位 mg/l

試料	設定 pH 添加物	1	3	5	7	9	11	13
①	H ₂ SO ₄	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
	HCl	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
	HNO ₃	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
	無添加							<0.01
②	H ₂ SO ₄	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
	HCl	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
	HNO ₃	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
	NaOH					<0.01	<0.01	<0.01
③	H ₂ SO ₄	<0.01	<0.01	<0.01				
	HCl	0.03	0.02	0.02				
	HNO ₃	0.02	0.02	0.01				
	無添加				<0.01			
	NaOH					0.03	0.01	0.11
④	H ₂ SO ₄	0.03	<0.01					
	HCl	0.02	<0.01					
	HNO ₃	0.02	<0.01					
	無添加			<0.01				
	NaOH				<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
⑤	H ₂ SO ₄	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
	HCl	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
	HNO ₃	0.02	<0.01	<0.01	0.01			
	NaOH					0.02	0.02	0.02
⑥	H ₂ SO ₄	0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
	HCl	0.08	0.02	<0.01	0.01			
	HNO ₃	0.08	<0.01	<0.01	0.01			
	NaOH					<0.01	<0.01	<0.01
①+③	HNO ₃	0.06	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	無添加							
①+④	HNO ₃	0.18	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	無添加							
①+⑤	HNO ₃	0.03	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	無添加							
①+⑥	HNO ₃	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.01
	無添加							
②+③	HNO ₃	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
	無添加					0.28		
	NaOH						<0.01	<0.01
②+④	HNO ₃	<0.01	<0.01	0.13	1.03			
	無添加					0.30		
	NaOH						<0.01	<0.01
②+⑤	HNO ₃	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	無添加							
②+⑥	HNO ₃	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	無添加							

①：流動炉焼却灰 ②：多段炉焼却灰 ③：有機質粘土
 ④：シルト質細砂 ⑤：細砂 ⑥：砂

表-1.6 室内振とう溶出実験 Zn

項目 Zn 単位 mg/l

試料	設定 pH 添加物	1	3	5	7	9	11	13
①	H ₂ SO ₄	0.332	0.075	0.009	0.012	0.011	<0.005	
	HCl	0.090	0.030	0.061	0.033	<0.005	<0.005	
	HNO ₃	8.73	0.592	0.893	0.226	0.010	0.011	
	無添加							0.007
②	H ₂ SO ₄	<0.005	0.009	<0.005	<0.005			
	HCl	0.032	<0.005	<0.005	<0.005			
	HNO ₃	0.014	<0.005	<0.005	<0.005			
	NaOH					<0.005	<0.005	<0.005
③	H ₂ SO ₄	0.013	0.025	0.027				
	HCl	0.124	0.049	0.021				
	HNO ₃	0.623	0.034	0.046				
	無添加 NaOH				0.071	0.123	0.089	0.005
④	H ₂ SO ₄	0.256	0.219					
	HCl	0.421	0.075					
	HNO ₃	0.484	0.178					
	無添加 NaOH			0.165	<0.005	<0.005	<0.005	0.153
⑤	H ₂ SO ₄	0.075	0.044	0.023	0.086			
	HCl	0.285	0.083	0.011	0.034			
	HNO ₃	0.316	0.103	0.042	0.075			
	NaOH					0.121	0.110	0.089
⑥	H ₂ SO ₄	0.270	0.096	<0.005	<0.005			
	HCl	0.340	0.161	0.040	0.038			
	HNO ₃	0.322	0.009	0.019	0.045			
	NaOH					0.007	0.005	0.010
①+③	HNO ₃ 無添加	8.32	4.16	0.030	0.017	0.011	0.012	0.014
①+④	HNO ₃ 無添加	15.8	3.80	0.057	0.096	0.034	0.026	0.040
①+⑤	HNO ₃ 無添加	6.78	0.128	0.046	0.024	0.024	0.024	0.029
①+⑥	HNO ₃ 無添加	0.886	0.042	0.025	0.044	0.016	0.042	0.027
②+③	HNO ₃ 無添加 NaOH	0.195	0.306	0.006	0.012	0.011	0.005	0.011
②+④	HNO ₃ 無添加 NaOH	1.93	0.038	0.005	0.011	<0.005	<0.005	<0.005
②+⑤	HNO ₃ 無添加	0.574	0.067	0.023	0.019	0.010	0.018	0.010
②+⑥	HNO ₃ 無添加	0.752	0.008	0.030	0.006	0.005	0.008	0.009

①：流動炉焼却灰 ②：多段炉焼却灰 ③：有機質粘土

④：シルト質細砂 ⑤：細砂 ⑥：砂

表-1.7 室内振とう溶出実験 Ca

項目 Ca 単位 mg/l

試料	設定 pH 添加物	1	3	5	7	9	11	13
①	H ₂ SO ₄	339	462	546	518	570	257	
	HCl	8700	8400	7150	6810	3520	1480	
	HNO ₃	14700	13100	13400	11500	2470	1100	
	無添加							253
②	H ₂ SO ₄	484	450	488	360			
	HCl	3550	1930	1150	608			
	HNO ₃	3060	1670	1050	538			
	NaOH					405	332	222
③	H ₂ SO ₄	202	81	17				
	HCl	267	103	63				
	HNO ₃	248	158	61				
	無添加 NaOH				10	18	18	41
④	H ₂ SO ₄	48	36					
	HCl	46	28					
	HNO ₃	56	34					
	無添加 NaOH			23	21	30	4	3
⑤	H ₂ SO ₄	57	17	2	2			
	HCl	53	24	9	28			
	HNO ₃	72	39	10	21			
	NaOH					6	6	7
⑥	H ₂ SO ₄	56	23	1	2			
	HCl	43	29	4	2			
	HNO ₃	45	5	2	2			
	NaOH					2	1	1
①+③	HNO ₃ 無添加	9800	9650	3940	2520	1240	491	126
①+④	HNO ₃ 無添加	13200	10500	3430	2240	1690	731	177
①+⑤	HNO ₃ 無添加	9250	6730	2380	1610	1210	401	192
①+⑥	HNO ₃ 無添加	9300	5330	2870	1690	1160	532	161
②+③	HNO ₃	5470	1520	544	343			
	無添加 NaOH					287	246	225
②+④	HNO ₃	4640	1280	484	420			
	無添加 NaOH					307	305	231
②+⑤	HNO ₃ 無添加	6150	3570	2120	1290	595	327	315
②+⑥	HNO ₃ 無添加	5340	3190	2250	1160	356	337	267

①：流動炉焼却灰 ②：多段炉焼却灰 ③：有機質粘土
④：シルト質細砂 ⑤：細砂 ⑥：砂

表- 1.8 室内振とう溶出実験 Fe

項目 Fe 単位 mg/l

試料	設定 pH 添加物	1	3	5	7	9	11	13
①	H ₂ SO ₄	6.19	0.10	0.46	0.06	<0.05	<0.05	
	HCl	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	
	HNO ₃	0.59	<0.05	<0.05	0.15	0.15	0.15	
	無添加							<0.05
②	H ₂ SO ₄	0.61	7.45	<0.05	7.47			
	HCl	0.21	0.07	0.07	0.17			
	HNO ₃	0.06	<0.05	0.05	<0.05			
	NaOH					<0.05	<0.05	<0.05
③	H ₂ SO ₄	469	42.6	0.14				
	HCl	1440	85.6	13.5				
	HNO ₃	900	358	18.3				
	無添加				33.4			
④	H ₂ SO ₄	174	1.06					
	HCl	55.5	0.36					
	HNO ₃	79.1	0.30					
	無添加			<0.05				
⑤	H ₂ SO ₄	27.5	0.12	28.7	52.4			
	HCl	6.59	<0.05	<0.05	2.01			
	HNO ₃	13.5	0.38	<0.05	25.3			
	NaOH					104	110	111
⑥	H ₂ SO ₄	33.1	0.31	4.48	2.01			
	HCl	16.2	0.72	1.26	4.61			
	HNO ₃	15.8	0.38	1.38	4.82			
	NaOH					8.41	7.85	4.47
① + ③	HNO ₃	498	34.5	0.11	0.13	<0.05	<0.05	
	無添加							<0.05
① + ④	HNO ₃	365	0.23	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	
	無添加							<0.05
① + ⑤	HNO ₃	14.5	0.20	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	
	無添加							<0.05
① + ⑥	HNO ₃	<0.05	0.31	0.25	<0.05	<0.05	<0.05	
	無添加							<0.05
② + ③	HNO ₃	303	24.7	<0.05	<0.05			
	無添加					<0.05		
	NaOH						<0.05	<0.05
② + ④	HNO ₃	48.0	0.10	<0.05	<0.05			
	無添加					<0.05		
	NaOH						<0.05	<0.05
② + ⑤	HNO ₃	10.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	
	無添加							<0.05
② + ⑥	HNO ₃	11.3	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.28	
	無添加							<0.05

①：流動炉焼却灰 ②：多段炉焼却灰 ③：有機質粘土
 ④：シルト質細砂 ⑤：細砂 ⑥：砂

表-1.9 室内振とう溶出実験 Mg

項目 Mg 単位 mg/l

試料	設定 pH 添加物	1	3	5	7	9	11	13
①	H ₂ SO ₄	1300	774	28.8	0.52	0.10	<0.05	
	HCl	827	620	302	452	6.01	0.34	
	HNO ₃	1340	1150	1050	1170	2.93	0.05	
	無添加							<0.05
②	H ₂ SO ₄	94.9	44.9	23.5	1.08			
	HCl	100	46.3	22.1	5.94			
	HNO ₃	80.2	34.2	17.2	3.47			
	NaOH					<0.05	<0.05	<0.05
③	H ₂ SO ₄	70.7	28.3	8.16				
	HCl	118	50.4	33.3				
	HNO ₃	105	75.9	31.3				
	無添加				5.80			
	NaOH					15.3	14.7	48.3
④	H ₂ SO ₄	55.6	40.5					
	HCl	54.6	46.6					
	HNO ₃	71.5	47.4					
	無添加			27.6				
	NaOH				31.6	33.7	5.48	8.74
⑤	H ₂ SO ₄	25.8	9.66	2.39	2.42			
	HCl	28.8	16.1	4.69	4.32			
	HNO ₃	37.8	22.6	5.61	4.55			
	NaOH					5.90	5.45	6.75
⑥	H ₂ SO ₄	9.24	3.18	0.70	0.47			
	HCl	6.70	3.39	0.35	0.43			
	HNO ₃	6.87	0.55	0.10	0.42			
	NaOH					0.68	0.64	0.33
①+③	HNO ₃	807	716	75.9	2.97	0.14	<0.05	
	無添加							<0.05
①+④	HNO ₃	1160	984	160	1.62	0.39	<0.05	
	無添加							<0.05
①+⑤	HNO ₃	791	585	1.82	0.86	<0.05	<0.05	
	無添加							0.77
①+⑥	HNO ₃	865	361	2.48	0.35	<0.05	<0.05	
	無添加							<0.05
②+③	HNO ₃	194	77.0	10.2	19.2			
	無添加					7.71		
	NaOH						3.46	1.43
②+④	HNO ₃	151	66.8	29.3	5.50			
	無添加					1.63		
	NaOH						1.96	0.05
②+⑤	HNO ₃	175	116	69.8	32.0	2.52	<0.05	
	無添加							<0.05
②+⑥	HNO ₃	147	89.2	60.4	17.5	0.24	0.13	
	無添加							<0.05

①：流動炉焼却灰 ②：多段炉焼却灰 ③：有機質粘土

④：シルト質細砂 ⑤：細砂 ⑥：砂

表- 1.10 室内振とう溶出実験 T-Cr

項目 T-Cr 単位 mg/l

試料	設定 pH 添加物	1	3	5	7	9	11	13
①	H ₂ SO ₄	0.006	0.034	0.362	0.013	0.267	0.099	
	HCl	0.022	0.151	0.179	0.164	0.120	0.038	
	HNO ₃	0.006	0.075	0.095	0.010	0.053	0.011	
	無添加							<0.005
②	H ₂ SO ₄	0.005	0.008	0.029	0.026			
	HCl	<0.005	<0.005	0.009	0.021			
	HNO ₃	0.005	0.006	0.011	0.023			
	NaOH					0.061	0.063	0.079
③	H ₂ SO ₄	<0.005	<0.005	<0.005				
	HCl	0.063	0.005	<0.005				
	HNO ₃	0.007	0.006	<0.005				
	無添加				0.034			
④	H ₂ SO ₄	0.028	<0.005					
	HCl	0.008	<0.005					
	HNO ₃	0.009	<0.005					
	無添加			<0.005				
⑤	H ₂ SO ₄	0.011	<0.005	0.006	0.011			
	HCl	0.006	<0.005	<0.005	<0.005			
	HNO ₃	0.006	<0.005	<0.005	0.009			
	NaOH					0.011	0.009	0.009
⑥	H ₂ SO ₄	0.017	<0.005	<0.005	<0.005			
	HCl	0.020	0.006	<0.005	<0.005			
	HNO ₃	0.009	<0.005	<0.005	<0.005			
	NaOH					<0.005	<0.005	<0.005
① + ③	HNO ₃	0.305	<0.005	0.006	0.010	0.022	0.008	
	無添加							0.022
① + ④	HNO ₃	0.399	0.090	0.144	0.115	0.043	0.009	
	無添加							0.006
① + ⑤	HNO ₃	0.064	0.099	0.106	0.114	0.021	0.012	
	無添加							<0.005
① + ⑥	HNO ₃	0.048	0.157	0.093	0.045	0.014	0.006	
	無添加							<0.005
② + ③	HNO ₃	0.049	<0.005	0.005	<0.005	0.005		
	無添加						<0.005	0.009
② + ④	HNO ₃	0.044	<0.005	0.018	0.029			
	無添加					0.006		
	NaOH						0.030	0.035
② + ⑤	HNO ₃	0.007	<0.005	0.009	0.008	0.018	0.032	
	無添加							0.038
② + ⑥	HNO ₃	<0.005	<0.005	<0.005	0.007	0.034	0.036	
	無添加							0.038

①：流動炉焼却灰 ②：多段炉焼却灰 ③：有機質粘土

④：シルト質細砂 ⑤：細砂 ⑥：砂

表- 1.10 室内振とう溶出実験 Cr(VI)

項目 Cr(VI) 単位 mg/l

試料	設定 pH 添加物	1	3	5	7	9	11	13
①	H ₂ SO ₄	<0.005	<0.005	0.354	<0.005	0.219	0.084	
	HCl	0.017	0.145	0.126	0.107	0.107	0.019	
	HNO ₃	<0.005	0.069	0.083	<0.005	0.041	<0.005	
	無添加							<0.005
②	H ₂ SO ₄	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005			
	HCl	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005			
	HNO ₃	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005			
	NaOH					<0.005	<0.005	<0.005
③	H ₂ SO ₄	<0.005	<0.005	<0.005				
	HCl	<0.005	<0.005	<0.005				
	HNO ₃	<0.005	<0.005	<0.005				
	無添加 NaOH				<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
④	H ₂ SO ₄	<0.005	<0.005					
	HCl	0.005	<0.005					
	HNO ₃	<0.005	0.005					
	無添加 NaOH			<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
⑤	H ₂ SO ₄	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005			
	HCl	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005			
	HNO ₃	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005			
	NaOH					0.005	<0.005	<0.005
⑥	H ₂ SO ₄	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005			
	HCl	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005			
	HNO ₃	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005			
	NaOH					<0.005	<0.005	<0.005
①+③	HNO ₃ 無添加	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.009	<0.005	0.008
①+④	HNO ₃ 無添加	<0.005	0.055	0.074	0.073	0.041	<0.005	<0.005
①+⑤	HNO ₃ 無添加	<0.005	0.054	0.059	0.053	0.009	<0.005	<0.005
①+⑥	HNO ₃ 無添加	0.035	0.087	0.053	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
②+③	HNO ₃ 無添加 NaOH	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
②+④	HNO ₃ 無添加 NaOH	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
②+⑤	HNO ₃ 無添加	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
②+⑥	HNO ₃ 無添加	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005

①：流動炉焼却灰 ②：多段炉焼却灰 ③：有機質粘土

④：シルト質細砂 ⑤：細砂 ⑥：砂

2. 屋外埋立て実験

流出金属量積算値

昭和61年度～63年度

(61.3.17～63.11.30)

但し、62年度に測定されなかった項目については、
61年度の測定平均値から積算値を求め63年度に続けた。



—69—

項目	Cu	單位	mg
1. 血清	0.0000	μg/ml	
2. 尿	0.0000	μg/ml	
3. 肝	0.0000	μg/g	
4. 腎	0.0000	μg/g	
5. 腦	0.0000	μg/g	
6. 脾	0.0000	μg/g	
7. 肺	0.0000	μg/g	
8. 心	0.0000	μg/g	
9. 胃	0.0000	μg/g	
10. 腸	0.0000	μg/g	
11. 膽	0.0000	μg/g	
12. 胰	0.0000	μg/g	
13. 腺	0.0000	μg/g	
14. 骨	0.0000	μg/g	
15. 血	0.0000	μg/g	
16. 精	0.0000	μg/g	
17. 卵	0.0000	μg/g	
18. 胎	0.0000	μg/g	
19. 乳	0.0000	μg/g	
20. 汗	0.0000	μg/g	
21. 髮	0.0000	μg/g	
22. 皮	0.0000	μg/g	
23. 毛	0.0000	μg/g	
24. 牙	0.0000	μg/g	
25. 骨	0.0000	μg/g	
26. 髓	0.0000	μg/g	
27. 腦	0.0000	μg/g	
28. 脊	0.0000	μg/g	
29. 神	0.0000	μg/g	
30. 經	0.0000	μg/g	
31. 水	0.0000	μg/g	
32. 液	0.0000	μg/g	
33. 汗	0.0000	μg/g	
34. 淚	0.0000	μg/g	
35. 涕	0.0000	μg/g	
36. 痰	0.0000	μg/g	
37. 便	0.0000	μg/g	
38. 尿	0.0000	μg/g	
39. 精	0.0000	μg/g	
40. 卵	0.0000	μg/g	
41. 胎	0.0000	μg/g	
42. 乳	0.0000	μg/g	
43. 汗	0.0000	μg/g	
44. 髮	0.0000	μg/g	
45. 皮	0.0000	μg/g	
46. 毛	0.0000	μg/g	
47. 牙	0.0000	μg/g	
48. 骨	0.0000	μg/g	
49. 髓	0.0000	μg/g	
50. 腦	0.0000	μg/g	
51. 脊	0.0000	μg/g	
52. 神	0.0000	μg/g	
53. 經	0.0000	μg/g	
54. 水	0.0000	μg/g	
55. 液	0.0000	μg/g	
56. 汗	0.0000	μg/g	
57. 淚	0.0000	μg/g	
58. 涕	0.0000	μg/g	
59. 痰	0.0000	μg/g	
60. 便	0.0000	μg/g	
61. 尿	0.0000	μg/g	
62. 精	0.0000	μg/g	
63. 卵	0.0000	μg/g	
64. 胎	0.0000	μg/g	
65. 乳	0.0000	μg/g	
66. 汗	0.0000	μg/g	
67. 髮	0.0000	μg/g	
68. 皮	0.0000	μg/g	
69. 毛	0.0000	μg/g	
70. 牙	0.0000	μg/g	
71. 骨	0.0000	μg/g	
72. 髓	0.0000	μg/g	
73. 腦	0.0000	μg/g	
74. 脊	0.0000	μg/g	
75. 神	0.0000	μg/g	
76. 經	0.0000	μg/g	
77. 水	0.0000	μg/g	
78. 液	0.0000	μg/g	
79. 汗	0.0000	μg/g	
80. 淚	0.0000	μg/g	
81. 涕	0.0000	μg/g	
82. 痰	0.0000	μg/g	
83. 便	0.0000	μg/g	
84. 尿	0.0000	μg/g	
85. 精	0.0000	μg/g	
86. 卵	0.0000	μg/g	
87. 胎	0.0000	μg/g	
88. 乳	0.0000	μg/g	
89. 汗	0.0000	μg/g	
90. 髮	0.0000	μg/g	
91. 皮	0.0000	μg/g	
92. 毛	0.0000	μg/g	
9			

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
61.3/17(4日目)	—		—	—	0.669	0.936	0.021		—	
3/20(7日目)	—		—	—	1.187	1.494	—	—	—	
3/20 ②	—		—	—			—	—	—	
3/31(11日目)	—	—	—	—	—	—	—	0.457	—	
5/7(55日目)			—	—	5.23	6.07	0.048	0.585		
6/5(84日目)			—	—	6.54	7.03	0.088			
6/30(109日目)	—	—	—	—	7.50	—	—	—	—	
7/2(111日目)		—	—	—	—	13.13	—	—	—	
7/10(119日目)			—	—	9.23	17.24	0.148			
7/19(128日目)	—	—	—	—	—	—	—		—	
8/5(145日目)		—			12.92	27.07	0.165	—		3と4:エ-ハ-フ-水
8/5 ②	—	—	—	—	22.08	27.66	—	—	—	
8/5 ③	—	—	—	—	28.82	27.79	—	—	—	
8/6(146日目)		—	—	—	—	—	—	—	—	
8/7(147日目)	—	—	—	—	—	—	—	0.823	—	
8/11(151日目)	0.378		—	—	29.55	27.86	0.444	0.969	—	
8/13(153日目)	—	—	—	—	—	—	—	1.076	—	
9/10(181日目)				—	30.35	28.04	0.455	1.134		
10/8(209日目)	0.664			—	34.13	35.02				4:エ-ハ-フ-水
10/16(217日目)	—	—	—		—	—	—	—	—	4:エ-ハ-フ-水
11/10(242日目)	0.791	0.054		—	35.90	39.35	0.459			
12/3(265日目)	—			—	35.96	39.51		1.221	—	
62.1/8(301日目)	0.940	1.451			39.24	42.83				4:エ-ハ-フ-水
2/14(338日目)	0.997		0.127	0.046	41.16	44.26		1.968		

1 : 流動炉焼却灰	3 : 有機質粘土	5 : 1 + 3	6 : 1 + 4
2 : 多段炉焼却灰	4 : シルト質細砂	7 : 2 + 3	8 : 2 + 4

表-2.2 屋外埋立実験(流出 Cu 量②)

昭和62年度

項目 Cu 単位 mg

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
62.2/22(346日目)	—	—	—	0.076	—	—	—	—		4:1-1-1-1-水
3/10(362日目)	0.980	0.859	0.105	—	41.86	44.96	0.500	1.851		
4/9(392日目)	1.225	0.859	0.105	—	43.80	47.52	0.500	4.936		
4/27(410日目)	1.225	0.859	0.184	—	44.84	49.92	0.500	4.936		
5/25(438日目)	1.225	0.859	0.184	—	44.84	49.92	0.500	6.170		
7/4(478日目)	1.470	1.718	0.189	—	45.74	57.12	0.500	7.404		
8/1(506日目)	1.960	1.718	0.394	—	49.02	62.72	0.500	8.021		
8/17(522日目)	2.450	—	—	—	—	65.44	—	—		
9/4(540日目)	2.940	2.577	9.862	0.191	56.02	66.72	0.500	8.021		
9/18(554日目)	2.940	—	9.862	—	60.49	69.12	—	8.638	—	
10/6(572日目)	3.185	2.577	9.862	0.191	64.81	70.72	0.500	8.638		4:1-1-1-1-水
11/4(601日目)	3.430	2.577	10.783	—	69.13	72.16	0.005	8.638		
12/7(634日目)	3.430	2.577	11.572	0.191	71.07	73.76	1.000	12.340		4:1-1-1-1-水
1/5(663日目)	3.430	2.577	11.572	0.191	71.66	73.92	1.000	12.340		4:1-1-1-1-水
2/1(690日目)	3.430	2.577	11.572	—	71.96	74.08	1.000	12.957		

1: 流動炉焼却灰

3: 有機質粘土

5: 1+3

6: 1+4

2: 多段炉焼却灰

4: シルト質細砂

7: 2+3

8: 2+4

表-2.3 屋外埋立実験(流出 Cu 量③)

昭和63年度

項目 Cu 単位 mg

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
63.3/10(728日目)	3.44	2.71	11.57	0.19	72.37	74.21	1.00	13.10		
4/9 (758日目)	3.44	2.87	11.57	0.21	74.99	75.61	1.02	16.23		
5/13(792日目)	3.81	2.90	11.67	0.21	76.74	76.54	1.02	18.35		
6/8 (818日目)	5.29	2.92	11.75	0.21	77.67	76.91	1.03	19.27		
7/4 (844日目)	7.93	2.93	11.92	0.28	79.84	78.33	1.05	20.75		
8/10(881日目)	8.29	3.01	20.13	0.30	86.12	79.94	1.61	22.19		
9/5 (907日目)	12.56	3.20	21.13	0.50	96.42	83.67	1.68	22.86		
10/3 (935日目)	12.56	3.21	21.13	0.51	103.3	85.05	1.68	22.86		
11/8 (971日目)	12.67	3.22	21.53	0.51	103.3	85.32	1.70	23.10		
11/30(993日目)	12.67	3.22	21.53	0.51	103.3	85.32	1.71	23.10		

1 : 流動炉焼却灰

3 : 有機質粘土

5 : 1 + 3

6 : 1 + 4

2 : 多段炉焼却灰

4 : シルト質細砂

7 : 2 + 3

8 : 2 + 4

表-2.4 屋外埋立実験(流出 Pb 量①)

昭和61年度

項目 Pb 単位 mg

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
61.3/17(4日目)	—		—	—					—	
3/20(7日目)	—		—	—				—	—	
3/20 ②	—		—	—			—	—	—	
3/31(11日目)	—	—	—	—	—	—	—		—	
5/7(55日目)	4.73		—	—						
6/5(84日目)	7.10		—	—						
6/30(109日目)	—	—	—	—		—	—	—	—	
7/2(111日目)	13.82	—	—	—	—		—	—	—	
7/10(119日目)	15.94		—	—						
7/19(128日目)	—	—	—	—	—	—	—		—	
8/5(145日目)	22.08	—						—		3と4:α-β-γ-水
8/5 ②	—	—	—	—			—	—	—	
8/5 ③	—	—	—	—			—	—	—	
8/6(146日目)	23.57	—	—	—	—	—	—	—	—	
8/7(147日目)	—	—	—	—	—	—	—		—	
8/11(151日目)	25.12	0.434	—	—					—	
8/13(153日目)	—	—	—	—	—	—	—		—	
9/10(181日目)	26.79			—						
10/8(209日目)	36.48	0.102	0.140	—						4:α-β-γ-水
10/16(217日目)	—	—	—		—	—	—	—	—	4:α-β-γ-水
11/10(242日目)	41.84	0.282	0.510	—						
12/3(265日目)	—	0.346	0.545	—					—	
62.1/8(301日目)	46.74		0.732							4:α-β-γ-水
2/14(338日目)	49.54									

1: 流動炉焼却灰

3: 有機質粘土

5: 1+3

6: 1+4

2: 多段炉焼却灰

4: シルト質細砂

7: 2+3

8: 2+4

表- 2.5 屋外埋立実験 (流出 Pb 量②)

昭和62年度

項目 Pb 単位 mg

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
62.2/22(346日目)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4:オ-ハ-フ-水
3/10(362日目)	51.35	0.330	0.830	—	—	—	—	0.624	—	—
4/9 (392日目)	57.15	0.330	1.400	—	0.365	—	0.172	0.624	—	—
4/27(410日目)	57.15	0.330	1.400	—	0.365	—	0.172	0.624	—	—
5/25(438日目)	59.70	0.330	1.400	—	0.365	—	0.172	0.624	—	—
7/4 (478日目)	61.37	0.330	1.400	—	0.365	—	0.172	0.624	—	—
8/1 (506日目)	64.91	0.330	1.400	—	0.365	—	0.172	0.624	—	—
8/17(522日目)	67.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9/4 (540日目)	70.21	0.417	1.613	—	0.365	—	0.172	0.624	—	—
9/18(554日目)	73.74	—	1.613	—	0.365	—	—	0.624	—	—
10/6 (572日目)	75.71	0.417	1.613	—	0.365	—	0.172	0.624	—	4:オ-ハ-フ-水
11/4 (601日目)	79.64	0.417	1.613	—	0.365	—	0.172	0.624	—	—
12/7 (634日目)	81.70	0.417	1.613	—	0.365	—	0.172	0.624	—	—
1/5 (663日目)	82.68	0.469	1.613	0.008	0.424	—	0.172	0.624	—	4:オ-ハ-フ-水
2/1 (690日目)	82.88	0.469	1.613	—	0.424	—	0.172	0.624	—	—

1: 流動炉焼却灰

3: 有機質粘土

5: 1+3

6: 1+4

2: 多段炉焼却灰

4: シルト質細砂

7: 2+3

8: 2+4

表- 2.6 屋外埋立実験 (流出 Pb 量 ③)

昭和63年度

項目 Pb 単位 mg

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
63.3/10(728日目)	83.08	0.469	1.613		0.428		0.172	0.624		
4/9 (758日目)	87.19	0.469	1.613		0.428		0.172	0.624		
5/13(792日目)	89.91	0.469	1.613		0.428		0.172	0.624		
6/8 (818日目)	92.61	0.469	1.613		0.428		0.172	0.624		
7/4 (844日目)	94.64	0.469	1.613		0.428		0.172	0.624		
8/10(881日目)	96.41	0.469	1.613		0.428		0.172	0.624		
9/5 (907日目)	100.21	0.494	2.021	0.01	0.428		0.172	0.624		
10/3 (935日目)	107.10	0.494	2.021	0.01	0.428		0.172	0.624		
11/8 (971日目)	107.10	0.494	2.021	0.01	0.428		0.172	0.624		
11/30(993日目)	107.41	0.494	2.021	0.01	0.428		0.172	0.624		

1 : 流動炉焼却灰

3 : 有機質粘土

5 : 1 + 3

6 : 1 + 4

2 : 多段炉焼却灰

4 : シルト質細砂

7 : 2 + 3

8 : 2 + 4

表-2.7 屋外埋立実験(流出 Zn 量①)

昭和61年度

項目 Zn 単位 mg

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
61.3/17(4日目)	—		—	—	0.323		0.43	1.31	—	
3/20(7日目)	—		—	—				—	—	
3/20 ②	—		—	—			—	—	—	
3/31(11日目)	—	—	—	—	—	—	—	1.51	—	
5/7(55日目)			—	—	1.623		1.22	3.61		
6/5(84日目)			—	—	3.603		1.92	4.71		
6/30(109日目)	—	—	—	—	27.623	—	—	—	—	
7/2(111日目)		—	—	—	—	1.36	—	—	—	
7/10(119日目)			—	—	28.903		3.82	6.32		
7/19(128日目)	—	—	—	—	—	—	—	7.26	—	
8/5(145日目)		—			31.34		11.38	—		3と4:オーバーフロー水
8/5 ②	—	—	—	—	32.75	3.71	—	—	—	
8/5 ③	—	—	—	—	35.35	10.74	—	—	—	
8/6(146日目)		—	—	—	—	—	—	—	—	
8/7(147日目)	—	—	—	—	—	—	—		—	
8/11(151日目)			—	—					—	
8/13(153日目)	—	—	—	—	—	—	—	9.34	—	
9/10(181日目)			123	—	35.69	11.71	11.52			
10/8(209日目)			455	—						4:オーバーフロー水
10/16(217日目)	—	—	—		—	—	—	—	—	4:オーバーフロー水
11/10(242日目)			1628	—			11.95			
12/3(265日目)	—		1729	—	36.81				—	
62.1/8(301日目)			3849							4:オーバーフロー水
2/14(338日目)			5209	127						

1: 流動炉焼却灰 3: 有機質粘土 5: 1+3 6: 1+4
 2: 多段炉焼却灰 4: シルト質細砂 7: 2+3 8: 2+4

表-2.8 屋外埋立実験(流出 Zn 量②)

昭和63年度

項目 Zn 単位 mg

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
63.3/10(728日目)	12.71	1.84	10.06	0.40	3.18	3.00	1.59	11.80		
4/9 (758日目)	13.46	1.87	10.69	0.44	3.18	3.00	1.59	12.26		
5/13(792日目)	13.83	1.90	10.88	0.44	3.30	3.13	1.61	12.59		
6/8 (818日目)	14.29	1.93	11.04	0.44	3.37	3.32	1.64	12.93		
7/4 (844日目)	15.07	1.99	12.14	0.55	3.85	4.06	1.73	13.47		
8/10(881日目)	15.46	1.99	12.65	0.58	3.85	4.06	1.78	13.47		
9/5 (907日目)	18.93	2.10	14.67	0.67	6.24	7.08	1.89	14.61		
10/3 (935日目)	21.74	2.13	17.14	0.71	6.99	7.91	1.92	15.08		
11/8 (971日目)	22.10	2.13	17.14	0.71	6.99	7.91	1.92	15.08		
11/30(993日目)	22.16	2.14	17.17	0.73	7.01	7.93	1.93	15.09		

1 : 流動炉焼却灰

3 : 有機質粘土

5 : 1 + 3

6 : 1 + 4

2 : 多段炉焼却灰

4 : シルト質細砂

7 : 2 + 3

8 : 2 + 4

表-2.9 屋外埋立実験(流出Ca量①)

昭和61年度

項目 Ca 単位 mg

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
61.3/17(4日目)	—	4	—	—	353	147	744	461	—	
3/20(7日目)	—	63	—	—	479	287		—	—	
3/20 ②	—		—	—			—	—	—	
3/31(11日目)	—	—	—	—	—	—	—	6601	—	
5/7(55日目)	6080	1743	—	—	2799	2712	2952	10671		
6/5(84日目)	9756	2611	—	—	3789	2827	6212	17161		
6/30(109日目)	—	—	—	—	4949	—	—	—	—	
7/2(111日目)	14096	—	—	—	—	3292	—	—	—	
7/10(119日目)	15476	3731	—	—	5859	3857	12462	30561		
7/19(128日目)	—	—	—	—	—	—	—	35301	—	
8/5(145日目)	22406	—			6756	5697	20902	—		3と4:α-α-α-α-水
8/5 ②	—	—	—	—	7539	5736	—	—	—	
8/5 ③	—	—	—	—	8279	5926	—	—	—	
8/6(146日目)	29096	—	—	—	—	—	—	—	—	
8/7(147日目)	—	—	—	—	—	—	—	37681	—	
8/11(151日目)	34466	6881	—	—	8310	5928	22172	39781	—	
8/13(153日目)	—	—	—	—	—	—	—	41131	—	
9/10(181日目)	36316	8361	271	—	8906	5935	23242	42891		
10/8(209日目)	45946	9971	1262	—	10916	6739	23759	43389		4:α-α-α-α-水
10/16(217日目)	—	—	—		—	—	—	—	—	4:α-α-α-α-水
11/10(242日目)	51966	11471	3362	—	11849	7282	24759	45319		
12/3(265日目)	—	12621	3558	—	11903	7283	25939	46034	—	
62.1/8(301日目)	61046	14001	7408		12903	7419	28979	49724		4:α-α-α-α-水
2/14(338日目)	64786	17241	9898	64	13504	7534	31539	53644		

1:流動炉焼却灰

3:有機質粘土

5:1+3

6:1+4

2:多段炉焼却灰

4:シルト質細砂

7:2+3

8:2+4

表-2.10 屋外埋立実験(流出Ca量②)

昭和63年度

項目 Ca 単位 g

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
63.3/10(728日目)	134	31.5	45.7	0.086	26.8	12.1	70.0	96.5		
4/9(758日目)	152	32.0	50.1	0.103	28.7	14.3	70.8	98.1		
5/13(792日目)	159	33.1	51.5	0.103	30.2	16.8	71.4	99.4		
6/8(818日目)	169	33.3	53.0	0.103	31.3	18.2	71.7	100.3		
7/4(844日目)	186	34.2	54.5	0.115	33.7	22.2	72.0	101		
8/10(881日目)	212	34.7	60.3	0.120	36.3	24.9	72.4	103		
9/5(907日目)	238	34.8	62.4	0.124	39.4	29.1	72.6	104		
10/3(935日目)	261	34.9	63.7	0.127	43.1	35.9	73.1	106		
11/8(971日目)	278	35.1	64.6	0.132	43.2	36.2	73.2	106		
11/30(993日目)	278	35.1	64.6	0.132	43.2	36.2	73.2	106		

1: 流動炉焼却灰 3: 有機質粘土 5: 1+3 6: 1+4
 2: 多段炉焼却灰 4: シルト質細砂 7: 2+3 8: 2+4

表-2.11 屋外埋立実験(流出 Mg 量①)

昭和61年度

項目 Mg 単位 mg

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
61.3/17(4日目)	—		—	—	0.323		0.43	1.31	—	
3/20(7日目)	—		—	—				—	—	
3/20 ②	—		—	—			—	—	—	
3/31(11日目)	—	—	—	—	—	—	—	1.51	—	
5/7(55日目)			—	—	1.623		1.22	3.61		
6/5(84日目)			—	—	3.603		1.92	4.71		
6/30(109日目)	—	—	—	—	27.623	—	—	—	—	
7/2(111日目)		—	—	—	—	1.36	—	—	—	
7/10(119日目)			—	—	28.903		3.82	6.32		
7/19(128日目)	—	—	—	—	—	—	—	7.26	—	
8/5(145日目)		—			31.34		11.38	—		3と4:α-α-γ-γ-水
8/5 ②	—	—	—	—	32.75	3.71	—	—	—	
8/5 ③	—	—	—	—	35.35	10.74	—	—	—	
8/6(146日目)		—	—	—	—	—	—	—	—	
8/7(147日目)	—	—	—	—	—	—	—		—	
8/11(151日目)			—	—					—	
8/13(153日目)	—	—	—	—	—	—	—	9.34	—	
9/10(181日目)			123	—	35.69	11.71	11.52			
10/8(209日目)			455	—						4:α-α-γ-γ-水
10/16(217日目)	—	—	—		—	—	—	—	—	4:α-α-γ-γ-水
11/10(242日目)			1628	—			11.95			
12/3(265日目)	—		1729	—	36.81				—	
62.1/8(301日目)			3849							4:α-α-γ-γ-水
2/14(338日目)			5209	127						

1: 流動炉焼却灰

3: 有機質粘土

5: 1+3

6: 1+4

2: 多段炉焼却灰

4: シルト質細砂

7: 2+3

8: 2+4

表- 2.12 屋外埋立実験 (流出 Mg 量②)

昭和63年度

		項目 Mg 単位 mg								
ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
63.3/10(728日目)			21200	160	128	30.4	26.9	34.2		
4/9 (758日目)		0.46	23500	171	132	30.4	27.3	51.3		
5/13(792日目)		0.69	24300	171	133	30.4	27.5	61.7		
6/8 (818日目)		0.82	24500	171	133	30.4	27.8	70.4		
7/4 (844日目)		0.82	25000	180	135	30.4	28.0	83.9		
8/10(881日目)	2.65	0.99	26700	182	136	31.9	28.4	91.3		
9/5 (907日目)	2.65	0.99	27400	184	138	31.9	28.5	92.6		
10/3 (935日目)	6.66	1.06	28000	187	141	34.2	28.8	100		
11/8 (971日目)	6.66	1.06	28200	187	141	34.2	29.0	102		
11/30(993日目)	6.84	1.10	28200	193	142	34.7	29.1	102		

1 : 流動炉焼却灰

3 : 有機質粘土

5 : 1 + 3

6 : 1 + 4

2 : 多段炉焼却灰

4 : シルト質細砂

7 : 2 + 3

8 : 2 + 4

表- 2.13 屋外埋立実験 (流出 Cr (vi)量①)

項目 Cr (vi). 単位 mg

昭和61年度

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
61.3/17(4日目)	—		—	—					—	
3/20(7日目)	—		—	—			—	—	—	
3/20 ②	—		—	—			—	—	—	
3/31(11日目)	—	—	—	—	—	—	—		—	
5/7(55日目)	0.236		—	—	0.549					
6/5(84日目)	0.410		—	—	0.793	0.110				
6/30(109日目)	—	—	—	—	1.154	—	—	—	—	
7/2(111日目)	0.667	—	—	—	—	0.246	—	—	—	
7/10(119日目)	0.731		—	—	1.398	0.246				
7/19(128日目)	—	—	—	—	—	—	—		—	
8/5(145日目)	0.833	—			1.493	0.246		—		3と4: x-x-フロー-水
8/5 ②	—	—	—	—	1.493	0.246	—	—	—	
8/5 ③	—	—	—	—	1.493	0.246	—	—	—	
8/6(146日目)	1.034	—	—	—	—	—	—	—	—	
8/7(147日目)	—	—	—	—	—	—	—		—	
8/11(151日目)	1.034		—	—	1.493	0.246			—	
8/13(153日目)	—	—	—	—	—	—	—		—	
9/10(181日目)	1.095			—	1.625	0.246				
10/8(209日目)	1.448			—	2.201	0.246				4: x-x-フロー-水
10/16(217日目)	—	—	—		—	—	—	—	—	4: x-x-フロー-水
11/10(242日目)	1.588			—	2.266	0.246				
12/3(265日目)	—			—	2.274	0.246			—	
62.1/8(301日目)	1.887				2.451	0.246				4: x-x-フロー-水
2/14(338日目)	1.928				2.569	0.246				

1: 流動炉焼却灰

3: 有機質粘土

5: 1 + 3

6: 1 + 4

2: 多段炉焼却灰

4: シルト質細砂

7: 2 + 3

8: 2 + 4

表- 2.14 屋外埋立実験 (流出 Cr (vi) 量②)

昭和62年度

項目 Cr (vi) 単位 mg

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
62.2/22(346日目)	—	—	—	2.569	—	—	—	—		4: x-x-70-水
3/10(362日目)	1.923			—	2.646	0.246				
4/9(392日目)	1.923			—	2.889	0.246				
4/27(410日目)	1.923			—	2.956	0.287				
5/25(438日目)	2.183			—	3.419	0.460	0.013			
7/4(478日目)	2.387			—	3.893	0.699	0.013			
8/1(506日目)	2.387			—	4.497	0.955	0.013			
8/17(522日目)	2.387	—	—	—	—	1.140	—	—		
9/4(540日目)	2.542				4.497	1.253	0.037			
9/18(554日目)	2.754	—		—	5.142	1.577	—		—	
10/6(572日目)	2.886				5.734	1.827	0.037			4: x-x-70-水
11/4(601日目)	3.242			—	6.475	2.069	0.037			
12/7(634日目)	3.321				6.804	2.154	0.037			4: x-x-70-水
1/5(663日目)	3.321				6.929	2.190	0.037			4: x-x-70-水
2/1(690日目)	3.333			—	6.982	2.190	0.037			

1: 流動炉焼却灰

3: 有機質粘土

5: 1 + 3

6: 1 + 4

2: 多段炉焼却灰

4: シルト質細砂

7: 2 + 3

8: 2 + 4

表- 2.15 屋外埋立実験 (流出 Cr (vi)量③)

昭和63年度

項目 Cr(vi) 単位 mg

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
63.3/10(728日目)	3.35				7.05	2.20	0.03			
4/9 (758日目)	3.35				7.67	2.34	0.03			
5/13(792日目)	3.48	0.01			8.12	2.48	0.03			
6/8 (818日目)	3.79	0.01			8.42	2.55	0.03			
7/4 (844日目)	4.27	0.01			9.14	2.77	0.03			
8/10(881日目)	4.27	0.06		0.005	9.47	2.77	0.03			
9/5 (907日目)	4.84	0.06		0.005	10.18	3.14	0.04			
10/3 (935日目)	4.84	0.06		0.005	11.00	3.41	0.04			
11/8 (971日目)	4.84	0.06		0.005	11.12	3.50	0.04			
11/30(993日目)	4.86	0.06		0.005	11.16	3.50	0.04			

1 : 流動炉焼却灰

3 : 有機質粘土

5 : 1 + 3

6 : 1 + 4

2 : 多段炉焼却灰

4 : シルト質細砂

7 : 2 + 3

8 : 2 + 4

表-2.16 屋外埋立実験(流出 T-Cr 量)

昭和61年度

項目 T-Cr 単位 mg

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
61.3/17(4日目)	—	—	—	—	0.011	0.029	—	—	—	—
3/20(7日目)	—	—	—	—	—	0.048	—	—	—	—
3/20 ②	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3/31(11日目)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5/7(55日目)	0.45	—	—	—	0.821	0.499	—	—	—	—
6/5(84日目)	0.76	—	—	—	1.095	0.671	—	—	—	—
6/30(109日目)	—	—	—	—	1.676	—	—	—	—	—
7/2(111日目)	1.35	—	—	—	—	1.026	—	—	—	—
7/10(119日目)	1.49	—	—	—	2.08	1.229	—	—	—	—
7/19(128日目)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8/5(145日目)	2.08	—	—	—	2.42	—	—	—	—	3と4:α-β-γ-水
8/5 ②	—	—	—	—	2.58	—	—	—	—	—
8/5 ③	—	—	—	—	2.806	1.324	—	—	—	—
8/6(146日目)	2.41	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8/7(147日目)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8/11(151日目)	2.81	—	—	—	2.81	1.331	—	—	—	—
8/13(153日目)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9/10(181日目)	2.91	—	—	—	3.01	—	—	—	—	—
10/8(209日目)	3.37	—	—	—	3.80	1.662	—	—	—	4:α-β-γ-水
10/16(217日目)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4:α-β-γ-水
11/10(242日目)	3.57	—	—	—	4.12	1.784	—	—	—	—
12/3(265日目)	—	—	—	—	4.15	1.792	—	—	—	—
62.1/8(301日目)	3.87	—	—	—	4.52	1.928	—	—	—	4:α-β-γ-水
2/14(338日目)	3.90	—	—	—	4.73	1.994	—	—	—	—

1: 流動炉焼却灰

3: 有機質粘土

5: 1+3

6: 1+4

2: 多段炉焼却灰

4: シルト質細砂

7: 2+3

8: 2+4

表- 2.17 屋外埋立実験 (流出 Fe 量)

昭和63年度

項目 Fe 単位 mg

ケースNo. 採水月日	1	2	3	4	5	6	7	8	雨水	備考
63.3/10(728日目)			0.67							
4/9 (758日目)			9.47							
5/13(792日目)			11.98							
6/8 (818日目)			12.61							
7/4 (844日目)			15.10	0.11						
8/10(881日目)	2.65		22.92	0.11						
9/5 (907日目)	2.65		26.19	0.11						
10/3 (935日目)	7.24		28.94	0.11						
11/8 (971日目)	9.04		29.91	0.11	0.24	0.72				
11/30(993日目)	9.19		30.00	0.13	0.24	0.72				

1 : 流動炉焼却灰

3 : 有機質粘土

5 : 1 + 3

6 : 1 + 4

2 : 多段炉焼却灰

4 : シルト質細砂

7 : 2 + 3

8 : 2 + 4

表- 2.18 屋外埋立実験 含有金属量 (初期濃度)

試料	内 訳	C d mg/kg	C u mg/kg	P b mg/kg	Z n mg/kg	C a %	F e %	M g %	T - C r mg/kg	A s mg/kg
①	流動炉焼却灰	1.78	396	15.9	1012	25.4	8.7	2.12	50.3	5.3
②	多段炉焼却灰	0.89	1377	27.9	1271	20.6	11.3	1.84	519	13.9
③	有機質粘土	0.27	34.8	12.8	51.9	0.274	5.2	0.52	43.8	8.6
④	シルト質細砂	0.21	17.3	7.5	37.0	0.674	2.9	0.62	55.2	7.4
	①+③	1.02	215	14.3	532	12.8	6.9	1.32	47.0	6.9
	①+④	0.99	207	11.7	524	13.0	5.8	1.37	52.7	6.4
	②+③	0.58	705	20.3	661	10.4	8.2	1.18	281	11.2
	②+④	0.55	697	17.7	654	10.6	7.1	1.2	287	10.6

表- 2.19 屋外埋立実験 分析結果 (実験終了時の濃度)

試料	内 訳	C d mg/kg	C u mg/kg	P b mg/kg	Z n mg/kg	C a %	F e %	M g %	T - C r mg/kg	A s mg/kg
①	流動炉焼却灰	7.0	824	89.7	1240	20.8	4.07	1.44	14.8	4.10
②	多段炉焼却灰	5.1	4210	134	220	18.3	4.41	1.38	288	9.52
③	有機質粘土	<0.1	32.6	44.4	4.0	0.877	4.07	0.468	5.36	12.3
④	シルト質細砂	0.84	7.22	46.9	15.1	1.31	2.03	0.441	14.4	10.4
	①+③	16.7	1190	109	440	11.9	4.88	0.965	23.3	7.25
	①+④	7.6	584	132	857	13.3	4.19	1.05	19.2	6.74
	②+③	6.5	3150	153	337	10.8	5.35	0.986	199	7.75
	②+④	7.4	2780	157	404	12.7	5.57	1.25	164	11.6

表- 2.20 屋外埋立実験 含有金属量 増減率%

		C d	C u	P b	Z n	C a	F e	M g	T - C r	A s
試料	内 訳									
①	流動炉焼却灰	393	208	564	122	81.9	46.8	67.9	29.4	77.4
②	多段炉焼却灰	573	305	480	17.3	88.8	39.0	75.0	55.5	58.5
③	有機質粘土	0	93.7	346	7.7	320	78.3	90.0	12.2	143
④	シルト質細砂	400	41.7	625	40.8	194	70.0	71.1	26.1	140
	①+③	1620	552	759	82.7	92.7	70.2	73.1	49.5	104
	①+④	763	282	1120	163	102	72.2	76.6	36.4	106
	②+③	1120	446	751	50.9	103	64.8	83.6	70.7	68.9
	②+④	1340	398	887	61.8	119	78.5	101	57.1	108

増減率% = 終了時 / 初期濃度 × 100%

表- 2.21 屋外埋立実験 含有金属量

試料	混合割合			金属項目 (単位 : mg)							
	灰(kg)	土砂 (乾重kg)	水(l)	C d	C u	P b	Z n	C a	F e	M g	T - C r
①	61.75	—	38.89	110	24.5×10^3	982	62.5×10^3	15.7×10^6	5.36×10^6	1.31×10^6	3.11×10^3
②	62.35	—	49.86	56	85.9×10^3	1.74×10^3	79.3×10^3	12.9×10^6	7.10×10^6	1.15×10^6	32.4×10^3
③	—	143.2(75.4)	—	21	2.63×10^3	966	3.92×10^3	207×10^3	3.96×10^6	393×10^6	3.31×10^3
④	—	152.7(110)	—	24	1.91×10^3	830	4.07×10^3	742×10^3	3.20×10^6	690×10^3	6.08×10^3
①+③	34.4	65.3(34.4)	11.09	71	14.9×10^3	988	36.7×10^3	884×10^3	4.79×10^6	912×10^3	3.25×10^3
①+④	38.7	53.7(38.7)	23.68	77	16.0×10^3	910	40.6×10^3	10.0×10^6	4.48×10^6	1.06×10^6	4.09×10^3
②+③	35.3	67.1(35.3)	14.21	42	50.0×10^3	1.44×10^3	46.8×10^3	7.45×10^6	5.88×10^6	841×10^3	19.9×10^3
②+④	44.22	61.4(44.2)	23.52	50	61.7×10^3	1.60×10^3	57.9×10^3	9.49×10^6	6.32×10^6	1.09×10^6	25.4×10^3

表- 2.22 屋外埋立実験終了時 外観

N o	供試材	上部の状況 供試材 色	硬さ	含水率%
1	流動炉焼却灰	水なし 0~5cm 茶色 5~10cm うす茶 10cm以下 灰白色	中硬	42.2
2	多段炉焼却灰	濁水で満水 茶灰色	硬	50.2
3	有機質粘土	水なし 茶褐色, 畑の泥状 草はえ	中硬	26.9
4	シルト質細砂	濁水満水 灰黒色	柔	29.3
5	1 + 3	草苔はえ 0~5cm 茶色 5cm以下 灰色	強硬	31.0
6	1 + 4	苔 0~5cm 茶色 5cm以下 うす茶	硬	26.7
7	2 + 3	濁水満水 灰茶色	硬	43.2
8	2 + 4	透明水満水	強硬	35.7

表- 2.23 屋外埋立実験 陽イオン交換容量

試 料	CEC (me/100g乾泥)
1 : 流動炉焼却灰	20.11
2 : 多段炉焼却灰	37.86
3 : 有機質粘土	65.72
4 : シルト質細砂	23.29
5 : 1 + 3	48.11
6 : 1 + 4	23.25
7 : 2 + 3	50.09
8 : 2 + 4	24.47

3. 室内カラム実験

表-3.1 室内カラム実験(A) pH

項目 流出水のpH

供試体: N○1～5が流動炉焼却灰+有機質粘土
 N○6～10が流動炉焼却灰+シルト質細砂

カラムN○ 浸漬期間	注入水のpH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		1.0	2.0	3.0	4.5	5.9	1.0	2.0	3.0	4.5	5.9
開始時～2週目		4.31	11.57	11.75	11.72	11.79	9.04	11.93	12.09	12.11	12.12
2週目～4週目		3.65	11.63	11.83	11.87	11.86	3.51	11.89	12.09	12.10	12.11
4週目～6週目		3.63	11.58	11.86	11.86	11.89	3.37	11.81	12.05	12.06	12.06
6週目～8週目		3.36	11.44	11.75	11.78	11.80	3.26	11.65	11.93	11.94	11.95
8週目～10週目		3.03	11.47	11.83	11.84	11.86	3.06	11.64	11.98	12.01	11.97
10週目～12週目		3.03	11.36	11.68	11.72	11.72	3.37	11.60	11.86	11.87	11.90
12週目～14週目		2.95	11.44	11.79	11.82	11.82	3.14	11.68	11.96	11.96	11.99
14週目～16週目		2.33	10.69	11.03	11.10	11.14	2.46	10.93	11.16	11.20	11.26
16週目～18週目		2.91	11.01	11.37	11.45	11.45	3.17	11.27	11.56	11.59	11.64
18週目～20週目		2.52	10.87	11.30	11.37	11.38	2.81	11.19	11.48	11.58	11.55
20週目～22週目		2.52	10.77	11.13	11.16	11.21	2.84	11.15	11.38	11.37	11.36
22週目～24週目		2.38	11.02	11.53	11.57	11.57	2.53	11.38	11.70	11.69	11.74
24週目～26週目		2.00	11.43	11.93	12.00	12.04	2.31	11.81	12.16	12.18	12.22
26週目～28週目		1.68					1.98				
28週目～30週目		2.09					2.28				
30週目～32週目		1.72					1.98				
32週目～34週目		1.68					1.95				

表-3.2 室内カラム実験(A) Cu

項目 Cu 単位 mg/l

供試体: N○1～5が流動炉焼却灰+有機質粘土
 N○6～10が流動炉焼却灰+シルト質細砂

カラムNo. 浸漬期間	注入水のpH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		1.0	2.0	3.0	4.5	5.9	1.0	2.0	3.0	4.5	5.9
開始時～2週目		0.122	0.478	0.533	0.525	0.510	0.044	0.050	0.062	0.061	0.055
2週目～4週目		0.308	0.336	0.357	0.360	0.317	0.241	0.039	0.047	0.046	0.043
4週目～6週目		0.586	0.290	0.290	0.322	0.306	0.563	0.076	0.064	0.065	0.082
6週目～8週目		0.728	0.255	0.239	0.264	0.261	0.747	0.033	0.039	0.067	0.056
8週目～10週目		0.932	0.211	0.243	0.310	0.283	1.61	0.050	0.048	0.112	0.093
10週目～12週目		0.658	0.178	0.195	0.223	0.196	0.758	0.026	0.037	0.040	0.037
12週目～14週目		0.755	0.161	0.174	0.219	0.173	0.581	0.025	0.038	0.057	0.037
14週目～16週目		1.028	0.126	0.157	0.200	0.141	0.972	0.020	0.030	0.031	0.030
16週目～18週目		0.806	0.147	0.166	0.172	0.160	0.802	0.027	0.041	0.041	0.039
18週目～20週目		1.22	0.106	0.153	0.154	0.131	1.20	0.024	0.030	0.035	0.055
20週目～22週目		1.31	0.107	0.129	0.161	0.130	1.29	0.021	0.030	0.027	0.034
22週目～24週目		1.96	0.091	0.106	0.149	0.128	2.23	0.019	0.029	0.045	0.038
24週目～26週目		2.13					2.01				
26週目～28週目		2.21					2.15				
28週目～30週目		2.30					2.16				
30週目～32週目		2.73					2.90				
32週目～34週目		2.80					2.95				

表-3.3 室内カラム実験(A) Zn

項目 Zn 単位 mg/l.

供試体: N○1～5が流動炉焼却灰+有機質粘土
 N○6～10が流動炉焼却灰+シルト質細砂

カラムN○ 浸漬期間	注入水のpH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		1.0	2.0	3.0	4.5	5.9	1.0	2.0	3.0	4.5	5.9
開始時～2週目		0.249	0.029	0.014	0.021	0.009	0.011	0.015	0.006	0.007	0.009
2週目～4週目		1.00	0.015	0.013	0.007	0.007	0.932	0.011	0.005	0.014	<0.005
4週目～6週目		1.93	0.068	0.039	0.020	0.040	1.96	0.031	0.019	0.022	0.043
6週目～8週目		2.05	0.028	0.009	0.007	0.021	2.39	0.020	0.355	0.102	0.666
8週目～10週目		2.48	0.021	0.022	0.038	0.025	3.46	0.154	0.058	0.070	0.018
10週目～12週目		1.53	0.008	0.013	0.009	0.015	2.21	0.007	0.011	0.013	0.016
12週目～14週目		2.00	0.023	0.026	0.070	0.049	1.75	0.019	0.040	0.032	0.024
14週目～16週目		2.82	0.030	0.035	0.027	0.024	2.90	0.021	0.024	0.019	0.024
16週目～18週目		2.57	0.047	0.029	0.069	0.035	2.29	0.019	0.018	0.050	0.044
18週目～20週目		2.13	0.010	0.023	0.013	0.023	2.62	0.015	0.019	0.014	0.028
20週目～22週目		2.41	0.018	0.014	0.014	0.012	2.78	0.023	0.014	0.008	0.110
22週目～24週目		3.81	0.011	0.012	0.012	0.012	4.15	0.011	0.014	0.018	0.030
24週目～26週目		3.45					3.89				
26週目～28週目		3.72					4.15				
28週目～30週目		3.48					4.24				
30週目～32週目		6.65					6.30				
32週目～34週目		4.19					6.86				

表-3.4 室内カラム実験 (A) Ca

項目 Ca 単位 mg/l

供試体: N o 1 ~ 5 が流動炉焼却灰 + 有機質粘土
N o 6 ~ 1 0 が流動炉焼却灰 + シルト質細砂

浸漬期間	カラム N o	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1 0
	注入水の pH	1.0	2.0	3.0	4.5	5.9	1.0	2.0	3.0	4.5	5.9
開始時 ~ 2 週目		1770	293	165	163	156	1400	195	100	95	93
2 週目 ~ 4 週目		2040	273	139	127	123	1930	238	118	110	107
4 週目 ~ 6 週目		2130	268	122	114	112	2070	256	125	112	111
6 週目 ~ 8 週目		1920	251	109	100	102	1930	245	120	108	107
8 週目 ~ 1 0 週目		2280	266	97	85	95	2160	253	104	84	96
1 0 週目 ~ 1 2 週目		1670	219	101	83	85	1680	240	109	97	107
1 2 週目 ~ 1 4 週目		1470	216	107	127	95	1480	228	122	108	104
1 4 週目 ~ 1 6 週目		1460	202	101	84	90	1490	211	111	106	104
1 6 週目 ~ 1 8 週目		1520	222	104	93	94	1600	250	118	108	114
1 8 週目 ~ 2 0 週目		1430	227	94	89	87	1590	241	113	105	102
2 0 週目 ~ 2 2 週目		1500	216	109	82	82	1590	257	100	95	100
2 2 週目 ~ 2 4 週目		1700	229	95	84	88	1840	242	119	99	104
2 4 週目 ~ 2 6 週目		1850					1930				
2 6 週目 ~ 2 8 週目		1660					1860				
2 8 週目 ~ 3 0 週目		1600					1820				
3 0 週目 ~ 3 2 週目		1650					1980				
3 2 週目 ~ 3 4 週目		1600					1970				

表-3.5 室内カラム実験(A) Mg

項目 Mg 単位 mg/l

供試体: No.1~5が流動炉焼却灰+有機質粘土
No.6~10が流動炉焼却灰+シルト質細砂

カラムNo. 浸漬期間	注入水のpH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		1.0	2.0	3.0	4.5	5.9	1.0	2.0	3.0	4.5	5.9
開始時~2週目		18.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	12.6	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
2週目~4週目		54.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	36.8	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
4週目~6週目		88.9	0.23	<0.05	<0.05	<0.05	70.3	0.06	<0.05	<0.05	<0.05
6週目~8週目		93.9	0.17	<0.05	<0.05	<0.05	96.6	0.08	<0.05	<0.05	<0.05
8週目~10週目		115	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	111	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
10週目~12週目		75.0	0.12	<0.05	<0.05	<0.05	78.5	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
12週目~14週目		74.0	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	79.3	0.07	<0.05	<0.05	<0.05
14週目~16週目		83.5	0.13	<0.05	<0.05	<0.05	84.2	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
16週目~18週目		90.6	0.12	<0.05	<0.05	<0.05	81.5	0.08	<0.05	<0.05	<0.05
18週目~20週目		93.8	0.20	<0.05	<0.05	<0.05	95.6	0.12	<0.05	<0.05	<0.05
20週目~22週目		100	0.28	<0.05	<0.05	<0.05	98.1	0.13	<0.05	<0.05	<0.05
22週目~24週目		121	0.60	<0.05	<0.05	<0.05	120	0.17	<0.05	<0.05	<0.05
24週目~26週目		138					132				
26週目~28週目		141					131				
28週目~30週目		141					136				
30週目~32週目		166					177				
32週目~34週目		174					179				

表-3.6 室内カラム実験 (A) Fe

項目 Fe 単位 mg/l

供試体: N○1～5が流動炉焼却灰+有機質粘土
 N○6～10が流動炉焼却灰+シルト質細砂

浸漬期間	カラムN○	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	注入水のpH	1.0	2.0	3.0	4.5	5.9	1.0	2.0	3.0	4.5	5.9
開始時～2週目		1.20	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
2週目～4週目		1.40	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.53	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
4週目～6週目		2.52	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	1.44	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
6週目～8週目		3.11	0.27	0.10	<0.05	<0.05	2.33	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
8週目～10週目		3.32	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	3.65	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
10週目～12週目		2.38	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	3.80	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
12週目～14週目		3.75	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	4.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
14週目～16週目		9.12	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	8.28	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
16週目～18週目		6.65	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	2.95	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
18週目～20週目		15.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	8.60	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
20週目～22週目		19.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	9.13	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
22週目～24週目		54.7	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	24.6	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
24週目～26週目		88.1					22.1				
26週目～28週目		137					49.7				
28週目～30週目		149					44.0				
30週目～32週目		323					61.2				
32週目～34週目		337					110				

表-3.7 室内カラム実験(B) pH 供試体 (流動炉焼却灰+有機質粘土)

		項目 pH				
初期条件 浸漬日数		p H 1	p H 2	p H 3	p H 4.5	p H 6
3日間		1.87	5.34	11.43	11.47	11.40
1週間		2.55	11.20	11.54	11.65	11.66
3週間		4.25	11.57	11.79	11.72	11.76
4週間		4.43	11.63	11.78	11.77	11.80
5週間		4.89	11.72	11.86	11.83	11.88
7週間		7.15	11.62	11.76	11.78	11.75
9週間		10.05	11.58	11.70	11.74	11.72
11週間		10.49	11.67	11.80	11.85	11.82

表-3.8 室内カラム実験(B) Cd 供試体 (流動炉焼却灰+有機質粘土)

		項目 Cd 単位 mg/l				
初期条件 浸漬日数		p H 1	p H 2	p H 3	p H 4.5	p H 6
3日間		0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
1週間		0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
3週間		0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
4週間		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
5週間		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
7週間		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
9週間		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
11週間		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表-3.9 室内カラム実験(B) Cu 供試体 (流動炉焼却灰+有機質粘土)

		項目 Cu 単位 mg/l				
初期条件 浸漬日数		p H 1	p H 2	p H 3	p H 4.5	p H 6
3日間		0.355	0.094	0.082	0.095	0.090
1週間		0.527	0.188	0.169	0.173	0.178
3週間		0.225	0.334	0.280	0.209	0.371
4週間		0.110	0.424	0.434	0.374	0.476
5週間		0.076	0.454	0.440	0.414	0.442
7週間		0.120	0.544	0.630	0.573	0.641
9週間		0.142	0.489	0.632	0.590	0.696
11週間		0.187	0.488	0.588	0.673	0.691

表- 3.10 室内カラム実験 (B) Pb 供試体 (流動炉焼却灰+有機質粘土)

項目 Pb 単位 mg/l					
初期条件 浸漬日数	p H 1	p H 2	p H 3	p H 4.5	p H 6
3日間	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
1週間	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
3週間	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
4週間	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
5週間	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
7週間	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
9週間	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
11週間	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

表- 3.11 室内カラム実験 (B) Zn 供試体 (流動炉焼却灰+有機質粘土)

項目 Zn 単位 mg/l					
初期条件 浸漬日数	p H 1	p H 2	p H 3	p H 4.5	p H 6
3日間	1.06	0.101	0.012	0.014	0.017
1週間	1.42	0.020	0.010	0.033	0.011
3週間	0.703	0.017	0.014	0.009	0.013
4週間	0.566	0.026	0.016	0.014	0.014
5週間	0.269	0.012	0.011	0.008	0.008
7週間	0.109	0.027	0.031	0.052	0.047
9週間	0.017	0.024	0.074	0.017	0.023
11週間	0.059	0.086	0.030	0.032	0.028

表- 3.12 室内カラム実験 (B) Ca 供試体 (流動炉焼却灰+有機質粘土)

項目 Ca 単位 mg/l					
初期条件 浸漬日数	p H 1	p H 2	p H 3	p H 4.5	p H 6
3日間	1300	172	71	63	55
1週間	1560	228	91	93	88
3週間	1700	281	131	134	143
4週間	1710	294	155	127	147
5週間	1650	275	162	132	147
7週間	1785	305	170	157	163
9週間	1700	276	165	157	168
11週間	1730	292	165	154	156

表- 3.13 室内カラム実験 (B) Fe 供試体 (流動炉焼却灰+有機質粘土)

項目 Fe 単位 mg/l					
初期条件 浸漬日数	p H 1	p H 2	p H 3	p H 4.5	p H 6
3 日間	14.3	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
1 週間	8.72	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
3 週間	2.90	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
4 週間	2.03	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
5 週間	0.90	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
7 週間	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
9 週間	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
11 週間	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

表- 3.14 室内カラム実験 (B) Mg 供試体 (流動炉焼却灰+有機質粘土)

項目 Mg 単位 mg/l					
初期条件 浸漬日数	p H 1	p H 2	p H 3	p H 4.5	p H 6
3 日間	56.7	6.48	<0.05	<0.05	<0.05
1 週間	56.4	0.09	<0.05	<0.05	<0.05
3 週間	34.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
4 週間	31.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
5 週間	18.5	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
7 週間	14.4	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
9 週間	3.38	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
11 週間	1.48	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

表- 3.15 室内カラム実験 (B) T-Cr 供試体 (流動炉焼却灰+有機質粘土)

項目 T-Cr 単位 mg/l					
初期条件 浸漬日数	p H 1	p H 2	p H 3	p H 4.5	p H 6
3 日間	0.034	0.008	0.007	0.008	0.007
1 週間	0.022	0.011	0.011	0.011	0.013
3 週間	<0.005	<0.005	0.007	0.007	0.005
4 週間	0.005	0.005	0.006	<0.005	<0.005
5 週間	<0.005	0.019	0.015	0.016	0.016
7 週間	<0.005	<0.005	0.008	0.007	0.008
9 週間	0.009	0.008	0.005	<0.005	0.007
11 週間	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005

表-3.16 室内カラム実験(B) Cr(VI) 供試体(流動炉焼却灰+有機質粘土)

項目 Cr(VI) 単位 mg/l					
初期条件 浸漬日数	pH 1	pH 2	pH 3	pH 4.5	pH 6
3日間	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
1週間	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
3週間	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
4週間	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
5週間	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
7週間	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
9週間	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
11週間	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005

表- 3.17 室内カラム実験(B)浸漬水量の比較

項目 試料番号	C d mg/l	C u mg/l	P b mg/l	Z n mg/l	C a mg/l	F e mg/l	M g mg/l	T - C r mg/l	C r (vi) mg/l	p H
p H 1 300ml	<0.001	0.115	<0.01	0.061	1700	<0.05	3.45	—	<0.005	10.02
p H 1 600ml	<0.001	0.187	<0.01	0.059	1730	<0.05	1.48	<0.005	<0.005	10.49
p H 1 1200ml	<0.001	0.039	<0.01	0.040	2050	<0.05	12.1	<0.005	<0.005	8.52
p H 1 600ml ろ布なし	<0.001	0.058	<0.01	0.034	1710	<0.05	<0.05	0.011	0.007	11.04
p H 3 300ml	<0.001	0.646	<0.01	0.042	176	<0.05	<0.05	—	<0.005	11.72
p H 3 600ml	<0.001	0.588	<0.01	0.030	165	<0.05	<0.05	<0.005	<0.005	11.80
p H 3 1200ml	<0.001	0.530	<0.01	0.039	161	<0.05	<0.05	0.007	<0.005	11.82
p H 3 600ml ろ布なし	<0.001	0.139	<0.01	0.036	101	<0.05	<0.05	0.006	<0.005	12.30
p H 1 布のみ	<0.001	0.015	<0.01	0.043	<1	<0.05	<0.05	0.006	<0.005	0.85
p H 2 布のみ	<0.001	0.003	<0.01	0.032	<1	<0.05	<0.05	0.006	<0.005	1.91
p H 3 布のみ	<0.001	0.001	<0.01	0.042	<1	<0.05	<0.05	<0.005	<0.005	3.01

4. 浸出水の砂ろ過実験

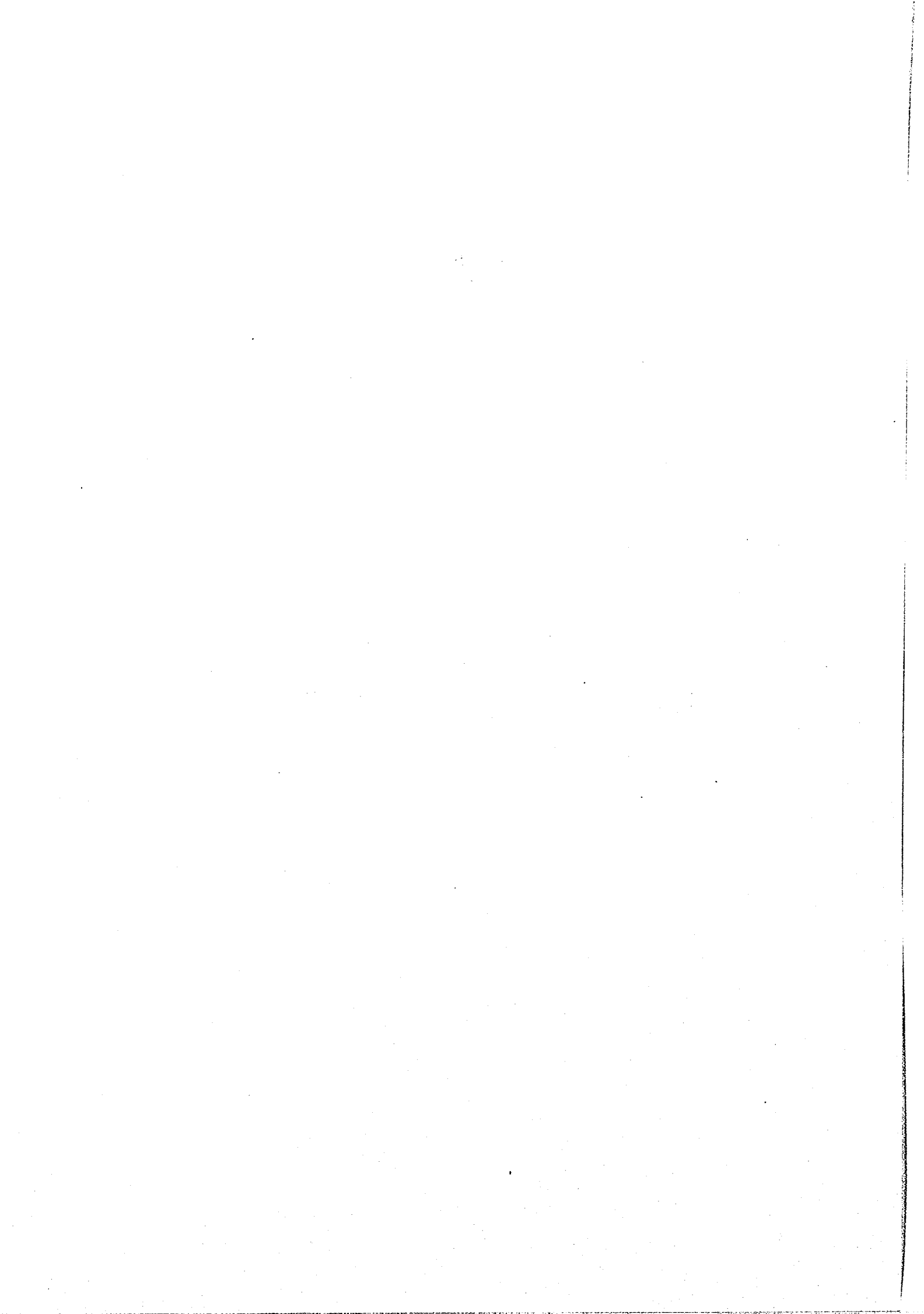


表-4.1 砂ろ過実験 pH (ろ過前)

項目 pH (ろ過前)

注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l 2000 500 100		
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6
1回目	6.47	7.45	7.54	7.46	6.14	6.63	7.08
2回目	7.42	7.81	7.78	7.57	6.87	7.27	7.65
3回目	7.12	7.36	7.47	7.26	6.91	7.30	7.56
4回目	7.01	7.28		7.40	6.85	7.26	7.66
5回目	7.26	7.35			6.63	7.03	7.38
6回目	7.07				6.76	7.08	7.50
7回目	7.02				6.61	6.79	7.09
8回目	6.96				6.70	6.83	7.15
9回目	6.88				6.79	7.05	7.34
10回目	7.41				6.60	6.87	7.23
注入原水	12.01				7.20	7.50	8.03

表-4.2 砂ろ過実験 pH (ろ過後)

項目 pH (ろ過後)

注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l 2000 500 100		
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6
1回目	7.57	7.59	7.48	7.46	6.54	7.00	7.44
2回目	7.52	7.56	7.64	7.73	7.03	7.30	7.60
3回目	7.08	7.31	7.60	7.23	6.99	7.16	7.54
4回目	7.03	7.49		7.58	6.92	7.24	7.65
5回目	7.41	7.43			6.84	7.05	7.55
6回目	7.00				6.72	7.03	7.45
7回目	7.35				6.60	6.84	7.17
8回目	7.27				6.74	6.97	7.33
9回目	7.13				6.78	7.05	7.39
10回目	7.19				6.68	6.94	7.28
注入原水							

表-4.3 砂ろ過実験 Cd

項目 Cd 単位 mg/l

注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l 2000 500 100		
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6
1回目	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
2回目	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
3回目	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
4回目	<0.001	<0.001		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
5回目	<0.001	<0.001			<0.001	<0.001	<0.001
6回目	<0.001				<0.001	<0.001	<0.001
7回目	<0.001				<0.001	<0.001	<0.001
8回目	<0.001				<0.001	<0.001	<0.001
9回目	<0.001				<0.001	<0.001	<0.001
10回目	<0.001				<0.001	<0.001	<0.001
注入原水	<0.001						

表-4.4 砂ろ過実験 Cu

項目 Cu 単位 mg/l

注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l 2000 500 100		
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6
1回目	0.005	0.009	0.012	0.005	0.005	<0.005	<0.005
2回目	0.007	0.012	0.014	<0.005	0.010	0.009	0.019
3回目	0.006	0.011	0.026	0.006	0.008	0.006	0.017
4回目	0.007	0.020		0.005	0.008	<0.005	0.005
5回目	0.008	<0.005			0.009	0.005	0.007
6回目	0.005				0.009	0.044	0.005
7回目	0.018				<0.005	<0.005	<0.005
8回目	0.014				0.014	0.025	0.006
9回目	0.016				0.010	0.046	0.015
10回目	<0.005				<0.005	<0.005	<0.005
注入原水	<0.005						

表-4.5 砂ろ過実験 Pb

項目 Pb 単位 mg/l

注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l 2000 500 100		
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6
1回目	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
2回目	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
3回目	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
4回目	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
5回目	<0.01	<0.01			<0.01	<0.01	<0.01
6回目	<0.01				<0.01	<0.01	<0.01
7回目	<0.01				<0.01	<0.01	<0.01
8回目	<0.01				<0.01	<0.01	<0.01
9回目	<0.01				<0.01	<0.01	<0.01
10回目	<0.01				<0.01	<0.01	<0.01
注入原水	<0.01						

表-4.6 砂ろ過実験 Zn

項目 Zn 単位 mg/l

注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l 2000 500 100		
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6
1回目	0.019	0.042	0.025	0.058	0.122	0.049	0.023
2回目	0.025	0.024	0.014	0.044	0.086	0.061	0.033
3回目	0.028	0.014	0.022	0.034	0.075	0.056	0.037
4回目	0.043	0.044		0.041	0.088	0.057	0.039
5回目	0.040	0.009			0.067	0.066	0.055
6回目	0.030				0.049	0.038	0.032
7回目	0.017				0.049	0.038	0.032
8回目	0.029				0.050	0.052	0.048
9回目	0.048				0.050	0.041	0.044
10回目	0.036				0.036	0.017	0.014
注入原水	0.022						

表-4.7 砂ろ過実験 Mg

項目 Mg 単位 mg/l

注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l		
					2000	500	100
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6
1回目	9.0	9.1	8.4	10.8	101	48.1	16.2
2回目	6.6	7.5	8.0	5.2	85.9	49.2	11.6
3回目	5.7	6.2	6.5	4.1	26.4	44.9	9.7
4回目	5.3	5.8		4.2	9.2	32.1	9.8
5回目	5.3	5.5			4.3	21.6	10.5
6回目	5.0				3.2	14.8	11.4
7回目	4.9				2.7	9.7	11.6
8回目	4.7				2.5	6.3	11.1
9回目	4.5				2.2	4.3	10.8
10回目	4.5				2.1	3.2	11.1
注入原水	<0.1						

表-4.8 砂ろ過実験 Al

項目 Al 単位 mg/l

注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l		
					2000	500	100
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6
1回目	2.5	2.5	2.5	3.4	14.5	7.9	3.0
2回目	1.7	2.7	1.9	2.1	46.3	12.6	2.3
3回目	1.4	1.5	1.6	1.1	16.1	7.8	1.9
4回目	1.9	1.5		1.1	22.8	11.8	2.7
5回目	1.8	1.4			22.6	11.8	2.9
6回目	1.1				16.6	8.8	2.1
7回目	1.1				16.6	8.8	2.2
8回目	1.1				16.7	9.0	2.2
9回目	1.1				16.6	9.0	2.1
10回目	1.1				18.1	9.5	2.3
注入原水	13.4						

表-4.9 砂ろ過実験 Ca

項目 Ca 単位 mg/l

注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l 2000 500 100		
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6
1回目	81	78	79	111	1520	386	99
2回目	51	55	60	45	1590	368	69
3回目	43	45	48	34	1610	372	56
4回目	36	42		32	1640	396	59
5回目	36	41			1670	411	60
6回目	35				1720	396	66
7回目	36				1740	432	68
8回目	33				1700	440	66
9回目	32				1720	447	67
10回目	32				1770	441	70
注入原水	205				1720	464	84

表-4.10 砂ろ過実験 Na

項目 Na 単位 mg/l

注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l 2000 500 100		
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6
1回目	95.6	62.5	67.8	114	73.7	51.4	44.6
2回目	49.6	63.7	57.7	67.8	57.9	44.9	36.3
3回目	46.9	48.6	49.1	50.8	27.2	28.0	28.4
4回目	47.2	48.2		45.7	18.9	17.5	21.5
5回目	48.1	44.4			12.3	12.4	15.4
6回目	47.7				7.1	9.1	13.0
7回目	50.0				5.8	7.2	9.4
8回目	49.6				4.4	5.3	7.3
9回目	50.4				4.0	4.8	6.3
10回目	49.8				3.0	3.8	5.3
注入原水	43.5						

表- 4.11 砂ろ過実験 K

項目 K 単位 mg/l

注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l		
	1	2	3	10	2000	500	100
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6
1回目	19.5	16.7	20.5	84.3	21.5	13.1	9.8
2回目	13.2	14.3	14.2	53.2	15.2	12.0	9.7
3回目	12.6	11.8	14.1	40.8	20.0	12.5	7.9
4回目	12.1	12.0		40.2	16.5	9.9	7.1
5回目	10.8	11.0			13.3	9.2	6.1
6回目	10.9				11.4	7.9	5.9
7回目	11.0				11.5	7.6	5.9
8回目	9.9				10.0	6.4	4.7
9回目	10.6				10.2	7.2	5.2
10回目	10.5				9.5	5.8	4.4
注入原水	107						

表- 4.12 砂ろ過実験流入流出量 C1

項目 C1 単位 mg/l

注入水	塩化ナトリウム溶液		
	1000mg/l		
カラムNo	7	8	9
1回目	163	270	299
2回目	771	742	725
3回目	990	922	909
4回目	1000	1010	
5回目	1000	1020	
6回目	1000		
7回目	1000		
8回目	1000		
9回目	1000		
10回目	1000		
注入原水	1000		

表-4.13 砂ろ過実験流入流出量 Cu

項目 Cu 単位 mg

注入水	流出積算量							流入積算量 (焼却灰溶出液)
	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 $\frac{\text{mg}}{\text{l}}$ 2000 500 100			
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6	
1回目	0.004	0.007	0.009	0.004	0.004	0	0	0
2回目	0.009	0.016	0.020	0.004	0.012	0.007	0.015	0
3回目	0.014	0.024	0.041	0.008	0.018	0.012	0.032	0
4回目	0.020	0.040		0.012	0.024	0.012	0.032	0
5回目	0.026				0.032	0.016	0.038	0
6回目	0.030				0.039	0.051	0.042	0
7回目	0.044				0.039	0.051	0.042	0
8回目	0.056				0.050	0.071	0.047	0
9回目	0.068				0.058	0.108	0.059	0
10回目	0.068				0.058	0.108	0.059	0
蓄積量								
カラムNo	1	2	3	10				
1回目	-0.004	-0.007	-0.009	-0.004				
2回目	-0.009	-0.016	-0.020	-0.004				
3回目	-0.014	-0.024	-0.041	-0.008				
4回目	-0.020	-0.040		-0.012				
5回目	-0.026							
6回目	-0.030							
7回目	-0.044							
8回目	-0.056							
9回目	-0.068							
10回目	-0.068							

表-4.14 砂ろ過実験流入流出量 Zn

					項目 Zn			単位 mg
	流出積算量							流入積算量
注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l 2000 500 100			(焼却灰溶出液)
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6	
1 回目	0.015	0.033	0.020	0.046	0.097	0.039	0.018	0
2 回目	0.035	0.052	0.031	0.081	0.166	0.088	0.044	0
3 回目	0.057	0.064	0.048	0.108	0.226	0.132	0.074	0
4 回目	0.092	0.09		0.014	0.296	0.178	0.105	0
5 回目	0.124				0.350	0.231	0.149	0
6 回目	0.148				0.389	0.261	0.175	0
7 回目	0.161				0.424	0.288	0.208	0
8 回目	0.184				0.464	0.329	0.246	0
9 回目	0.223				0.504	0.362	0.281	0
10 回目	0.252				0.532	0.376	0.292	0
蓄積量								
カラムNo	1	2	3	10				
1 回目	-0.015	-0.033	-0.020	-0.046				
2 回目	-0.035	-0.052	-0.031	-0.081				
3 回目	-0.057	-0.064	-0.048	-0.108				
4 回目	-0.092	-0.099		-0.141				
5 回目	-0.124							
6 回目	-0.148							
7 回目	-0.161							
8 回目	-0.184							
9 回目	-0.223							
10 回目	-0.252							

表-4.15 砂ろ過実験流入流出量 Mg

					項目	Mg	単位	mg
注入水	流出積算量							流入積算量
	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l			(焼却灰溶出液)
					2000	500	100	
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6	
1回目	7.2	7.2	6.7	8.6	80.8	38.4	12.9	0
2回目	12.4	13.2	13.1	12.8	149.5	77.8	22.4	0
3回目	17.0	18.2	18.3	16.0	170.6	113.7	30.0	0
4回目	21.2	22.8		19.4	178.0	139.4	37.8	0
5回目	25.5				181.4	156.7	46.2	0
6回目	29.5				184.0	168.5	55.3	0
7回目	33.4				186.1	176.3	64.6	0
8回目	37.2				188.1	181.3	73.5	0
9回目	40.8				189.9	184.8	82.1	0
10回目	44.4				191.6	187.3	91.0	0
蓄積量								
カラムNo	1	2	3	10				
1回目	-7.2	-7.2	-6.7	-8.6				
2回目	-12.4	-13.2	-13.1	-12.8				
3回目	-17.0	-18.2	-18.3	-16.0				
4回目	-21.2	-22.8		-19.4				
5回目	-25.0							
6回目	-29.0							
7回目	-33.4							
8回目	-37.2							
9回目	-40.8							
10回目	-44.4							

表-4.16 砂ろ過実験流入流出量 A1

項目 A 1 単位 mg								
	流出積算量							流入積算量
注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l 2000 500 100			(焼却灰溶出液)
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6	
1 回目	2.0	2.0	2.0	2.7	11.6	6.3	2.4	10.7
2 回目	3.3	4.1	3.5	4.4	48.6	16.4	4.2	21.4
3 回目	4.4	5.3	4.8	5.2	61.5	22.6	5.7	32.1
4 回目	6.0	6.5		6.1	79.7	32.0	7.9	42.8
5 回目	7.4				97.8	41.5	10.2	53.6
6 回目	8.3				111	48.5	11.9	64.3
7 回目	9.2				124	55.6	13.6	75.0
8 回目	10.0				137	62.8	15.4	85.7
9 回目	10.9				151	70.0	17.1	96.4
10 回目	11.8				165			
蓄積量								
カラムNo	1	2	3	10				
1 回目	8.7	8.7	8.7	8.0				
2 回目	18.0	17.2	17.9	17.0				
3 回目	27.6	26.8	27.3	26.8				
4 回目	36.8	36.3		36.7				
5 回目	46.1							
6 回目	56.0							
7 回目	65.8							
8 回目	75.6							
9 回目	85.5							
10 回目	95.3							

表-4.17 砂ろ過実験流入流出量 Ca

項目 Ca 単位 mg								
注入水	流出積算量							流入積算量
	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l 2000 500 100			(焼却灰溶出液)
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6	
1回目	64.8	62.4	63.2	88.8	1216	308.8	79.2	164
2回目	105.6	106.4	111.2	124.8	2488	603.2	134.4	328
3回目	140.0	142.4	149.6	152.0	3776	900.8	179.2	492
4回目	168.8	176.0		177.6	5088	1217	226.4	656
5回目	197.6				6424	1546	274.4	820
6回目	225.6				7800	1863	327.2	984
7回目	254.4				9192	2208	381.6	1148
8回目	280.8				10552	2560	434.4	1312
9回目	306.4				11928	2918	488.0	306
10回目	332.0				13344	3271	544.0	1640
蓄積量								
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6	
1回目	99.2	101	100	75.2	160	62.4	-12	
2回目	222	221	216	203	264	139	0	
3回目	352	349	342	340	352	212	22.4	
4回目	487	480		478	416	267	42.4	
5回目	622				456	309	61.6	
6回目	758				456	364	76.0	
7回目	893				440	389	88.0	
8回目	1031				456	408	103	
9回目	1169				456	422	116	
10回目	1308				416	440	128	
CaCl ₂ 標準液 流入量積算								
カラムNo	4	5	6					
1回目	1376	371	67.2					
2回目	2752	742	134					
3回目	4128	1113	201					
4回目	5504	1484	268					
5回目	6880	1856	336					
6回目	8256	2227	403					
7回目	9632	2598	470					
8回目	11008	2969	537					
9回目	12380	3340	604					
10回目	13760	3712	672					

表-4.18 砂ろ過実験流入流出量 Na

項目 Na 単位 mg

	流出積算量							流入積算量
注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l 2000 500 100			(焼却灰溶出液)
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6	
1 回目	76.4	50.0	54.2	91.2	58.9	41.1	35.6	34.8
2 回目	116.1	100.9	100.4	145.4	105.2	77.0	64.7	69.6
3 回目	153.6	139.8	139.6	186.0	127.0	99.4	87.4	104.4
4 回目	191.4	178.4		222.6	142.1	113.4	104.6	139.2
5 回目	229.9				152.0	123.3	116.9	174.0
6 回目	268.0				157.6	130.6	127.3	208.8
7 回目	308.0				162.3	136.4	134.8	243.6
8 回目	347.7				165.8	140.6	140.7	278.4
9 回目	388.0				169.0	144.4	145.7	313.2
10 回目	427.9				171.4	147.5	150.0	348.0
蓄積量								
カラムNo	1	2	3	10				
1 回目	-41.6	-15.2	-19.4	-56.4				
2 回目	-46.5	-31.3	-30.8	-75.8				
3 回目	-49.2	-35.4	-35.2	-81.6				
4 回目	-52.2	-39.2		-83.4				
5 回目	-55.9							
6 回目	-59.2							
7 回目	-64.4							
8 回目	-69.3							
9 回目	-74.8							
10 回目	-79.9							

表-4.19 砂ろ過実験流入流出量 K

		項目 K						単位 mg
		流出積算量						流入積算量
注入水	焼却灰溶出液				塩化カルシウム溶液 mg/l			(焼却灰溶出液)
					2000	500	100	
カラムNo	1	2	3	10	4	5	6	
1回目	15.6	13.3	16.4	67.4	17.2	10.4	7.8	85.6
2回目	26.1	24.8	27.7	110	29.3	20.0	15.6	171.2
3回目	36.2	34.2	39.0	142	45.3	30.0	21.9	256.8
4回目	45.9	43.8		174	58.5	38.0	27.6	342.4
5回目	54.5				69.2	45.3	32.4	428.0
6回目	63.2				78.3	51.6	37.2	513.6
7回目	72.0				87.5	57.7	41.9	599.2
8回目	80.0				95.5	62.8	45.6	684.8
9回目	88.4				103.6	68.6	49.8	770.4
10回目	96.8				111.2	73.2	53.3	856.0
蓄積量								
カラムNo	1	2	3	10				
1回目	70.0	72.2	69.2	18.1				
2回目	145	146	143	61.2				
3回目	220	222	217	114				
4回目	296	298		167				
5回目	373							
6回目	450							
7回目	527							
8回目	604							
9回目	681							
10回目	759							

表-4.20 砂ろ過実験 流出積算変化

トレーサー NaCl水 : Cl 1000mg/l 初期水量 850ml

流出水量 ml	流出濃度 (mg/l)			流出量 (mg)			流出量積算 (mg)		
	カラムNo			カラムNo			カラムNo		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
89			992			88.3			
100		984			98.4				
178			1030			91.7			180
200	994	1020		199	102			200	
267			1020			90.8			271
300		1020			102			302	
357			1030			91.7			362
400	1030	1040		206	104		405	406	
445			1040			92.6			455
500		1040			104			510	
534			1040			92.6			548
600	1040	1030		208	103		613	613	
623			1010			89.9			637
700		979			97.9			711	
712			919			81.8			719
800	880	747	717	176	74.7	63.8	789	786	783
890			444			39.5			823
900		457			45.7			832	
979			266			23.7			846
1000	345	226		69.0	22.6		857	854	
1068			147			13.1			859
1100		96.8			9.68			864	
1157			71.6			6.37			866
1200	76.6	36.8		15.3	3.68		873	867	
1246			43.8			3.90			870
1300		16.4			1.64			869	
1325			28.6			2.55			872
1400	16.8	6.6		3.36	0.66		876	870	
1424			20.6			1.83			874
1513			13.6			1.21			875
1600	5.6			1.12			878		

表-4.21 CEC および置換性 Ca, Mg, Na, K

単位: me/100g乾重

試料	調整p.H	置換性				C E C
		C a	M g	N a	K	
砂 (実験前)	5	1.7	0.3	0.2	0.6	2.8
	7	1.6	0.4	0.1	0.7	2.8
	9	1.5	0.3	0.1	0.7	3.0
	11	1.2	0.1	0.1	0.1	3.5
砂 (焼却灰溶出液 通過後: カラム1)	7	3.1	0.2	0.3	0.9	5.1
	11	2.7	<0.1	0.1	1.1	7.7
砂 (CaCl ₂ 標準水 通過後: カラム4)	7	2.3	<0.1	0.1	0.7	4.4
	11	2.0	<0.1	0.2	0.7	8.5
シルト	5	2.6	2.2	1.1	2.4	13.5
	7	2.6	2.1	0.5	4.7	13.1
	9	2.6	1.9	0.9	3.1	15.5
	11	2.4	1.0	0.4	2.0	22.2
粘土	5	4.2	5.1	0.5	3.7	14.4
	7	4.2	5.1	0.6	4.9	15.9
	9	3.5	3.9	0.4	3.2	18.0
	11	3.7	3.3	1.0	1.1	25.7

18-9 焼却灰を用いた土質改良土からの 重金属の溶出

建設省土木研究所 ○白石 隆
大嶋 古雄
京才 俊則

1. まえがき

昭和59年度の下汚泥処分量は、濃縮汚泥ベースの固形物換算によると約113万tでこのうち84%が埋立処分されており14%が有効利用されている現状である。有効利用のうち、建設資材として利用されているものは、全処分量の6%に過ぎないが、建設省の総合技術開発プロジェクト「建設事業への廃棄物利用技術の開発(昭和56～60年度)」において、下汚泥の建設資材としての利用方法がまとめられたことなどから今後は建設資材利用がますます増加すると考えられる。

本研究は、今後下汚泥を広く建設資材として利用していくための課題の1つである“安全性の確認”という点に着目し検討を加えたものである。すなわち、土、及び土質改良用添加材として下汚泥焼却灰を用いた時に微量に含まれている重金属が水環境にどの程度溶出していくかについて研究し、その安全性を確認することを目的としている。

2. 実験方法

調質材として、塩化第二鉄と消石灰を併用した脱水ケーキの焼却灰(以下、石灰系焼却灰と記す)を用いた試験盛土から発生する浸出水の長期観測実験(実験Ⅰ)と、軟弱土と混合し硬化した試料を用いた溶出実験(実験Ⅱ)を行った。

実験Ⅰは、図-1に示す装置を昭和61年3月に茨城県霞ヶ浦浄化センター内の屋外に設置し実験を行った。この装置は、内径600mmの円筒形のもので、これに最大乾燥密度の90%値が得られる湿潤側の含水比状態の試料を30cmの厚さに充填した。試料は、表-1に示す8種であり、内訳は石灰系焼却灰2種類、軟弱土2種類、及び土質改良することを想定してそれらを乾燥重量比で1:1に混合したもの4種類である。

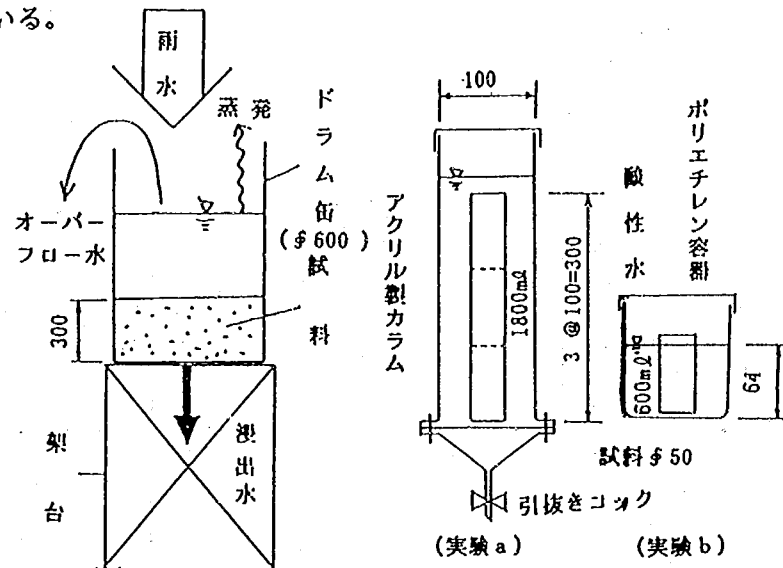


図-1 屋外埋立実験装置

図-2 実験装置

表-1 供試材料の土質工学的特性

試験項目	試験法	供 試 料							
		1	2	3	4	5 (1+3)	6 (1+4)	7 (2+3)	8 (2+4)
		石灰系焼却灰 流動炉	石灰系焼却灰 多段炉	有機質 粘土	シルト質 細砂	1～4の試料を土質改良を目的として 混合 混合比は乾重で1:1			
粒度	成分(74～2,00μm)	32	78	19	57	28	47	51	67
組成	シルト分(5～74μm)	52	15	28	26	46	41	25	25
組成	粘土分(5μm以下)	16	7	53	17	26	12	24	8
透水係数, k (cm/s)	JIS A1218 (変水位法)	6.91×10^{-4}	4.01×10^{-3}	1.78×10^{-1}	1.62×10^{-1}	6.59×10^{-1}	2.68×10^{-1}	2.14×10^{-1}	1.99×10^{-1}

浸出水の採取は、全量採取して1ヶ月に1度の割合でコンボジットサンプルとした。さら

に、雨水も採取した。これらは、採取後直ちにGF/Bフィルターで濾過した後分析に供した。

実験Ⅱは、実験Ⅰで用いた流動式焼却炉からの石灰系焼却灰（以下、流動炉灰と記す）と有機質粘土、及びシルト質細砂（実験Ⅱ・bは前者のみ）とを乾燥重量比で1:1の割合で混合し成形後（径50mm X 高さ100 mm）、1週間養生したものを図-2に示す装置に装着し実験を行った。この装置は、内径100mm、高さ500mmの透明アクリル製カラムと容量2ℓのポリエチレン容器であり、試料は酸性雨を想定して作成した硝酸酸性の水（pH 1、2、3、4.5、6に調整）に浸した。そして、周囲水の重金属濃度を経日的に測定した。実験Ⅱ・aでは2週間に1度の割合で全量引き抜きその都度新しい酸性水を投入した。実験Ⅱ・bでは、図の容器を40個用意し採取毎に5個（硝酸酸性水pH 5段階）ずつ使用した。採水は、実験開始後、3日、1週間、3週間、4週間、5週間後とその後は、2週間毎に11週間まで計8回行った。又、試料は表面の浸食防止のために不織布で被覆した。

分析は、いずれも溶出液をGF/Bフィルターで濾過後、カドミウム、鉛、銅、亜鉛、鉄は、誘導結合プラズマ発光分析法により行い、全クロム、六価クロムは、原子吸光光度法により行った。又、別に行った試験結果より、有機リン、PCB、その他の有機塩素化合物は含まれていないこと、焼却灰中には水銀が含まれていないことが確認されたのでこれらは分析項目からは除外した。

3. 実験結果及び考察

3-1 実験Ⅰ

試料1、5、6は、透水係数が比較的小さいにもかかわらず降雨が溜まることなく浸透し、浸出水量も多かった。これは、試料1は粒度が2に比べ小さいために乾燥収縮をおこしやすく、土層中に水みちを作りやすい状態であったためと考えられる。

浸出水及び雨水中の重金属濃度とpHを表-2に示す。カドミウムは、総て定量下限値を下回っていたが鉛は、流動炉灰から流出し平均値で0.29mg/ℓと環境基準値の0.1mg/ℓを上回っていた。この数値は、後述の実験Ⅱの結果とは矛盾したものであり、今後原因について検討していく予定である。銅、全クロム、六価クロムは、総て排水基準・環境基準の値以下であったが、多段炉灰よりも流動炉灰、

表-2 浸出水及び雨水中のP.Hと重金属濃度 (mg/ℓ) *

試料	カドミウム	鉛	銅	亜鉛	鉄	全クロム	六価クロム	pH
1 流動炉灰	<0.001	0.29 0.04~0.43	— <0.005~0.017	0.033 <0.009~0.062	— <0.05~0.05	0.022 0.014~0.030	— <0.005~0.016	12~13.7
2 多段炉灰	<0.001	— <0.01~0.02	— <0.005~0.101	— <0.005~0.026	<0.05	<0.005	<0.005	12~13.2
3 有機粘土	<0.001	— <0.01~0.04	— <0.005~0.015	0.046 0.005~0.073	— <0.05~0.08	<0.005	<0.005	6.5~8.5
4 シルト質土	<0.001	<0.01	— <0.005~0.026	0.058 0.035~0.082	— <0.05~1.22	<0.005	<0.005	8.6~9.3
5	<0.001	— <0.01~0.01	0.29 0.048~1.82	<0.005~0.052	<0.05~0.07	<0.005~0.035	<0.005~0.024	10~12.3
6	<0.001	<0.01	0.174 0.007~0.407	<0.005~0.035	<0.05	<0.005~0.014	<0.005~0.008	11.5~13
7	<0.001	— <0.01~0.01	— <0.005~0.035	— <0.005~0.031	— <0.05~0.06	<0.005	<0.005	8~12
8	<0.001	— <0.01~0.01	— <0.005~0.063	— <0.005~0.184	<0.05	<0.005	<0.005	10.5~12.3
雨水	<0.001	<0.01	<0.005	0.024 0.010~0.058	<0.05	<0.005	<0.005	3.9~9.2
環境基準	0.01以下	0.1以下	—	—	—	—	0.05以下	—
排水基準	0.1以下	1以下	3以下	5以下	10以下	2以下	0.5以下	5.8~8.6

* 上段は単純平均値、下段は最小値~最大値を示す。

及びこれを含む土質改良土からの溶出が比較的多いという傾向を示した。これは、2つの焼却灰の粒度の違いによると考えられ、粒度の小さい流動炉灰の方が反応表面積が大きいために、このような結果になったと思われる。鉄は、焼却灰中の含有量が多く高濃度の流出が予想されたが、石灰化合物の流出のために浸出水が高pHを示し、溶解度の低下を招いたために低濃度となった。亜鉛は、雨水中の濃度と同じかやや高い程度であった。

3.2 実験Ⅱ

実験Ⅱ・a、b共に、カドミウム、鉛、鉄、六価クロムは、いずれのpHにおいてもほとんどが検出されず全クロムも低濃度であった。図-3に結果の一例として亜鉛濃度の経日変化を示す。実験bでは、pH 1のものが試料中の石灰化合物の溶出によりpHが上昇し各重金属の溶解度が減少したために重金属濃度は、時間と共に低下した。しかし、実験aでは2週間毎に溶媒の引抜き、投入を行ったためpHが上昇するに至らず、pH 1で重金属濃度は増加した。

図-4に実験bの銅濃度の経日変化を示す。pH 2以上の水に浸した場合に銅濃度のみ増加したが、これは、有機質粘土から放出されたアンモニアが銅と反応して錯イオンを形成したためと考えられる。水中のアンモニア濃度は、2週間後で2mg/l、11週間後で12mg/l程度検出された。

4. まとめ

実験Ⅰの結果より、以下の点が明らかとなった。

- ①各試料共、鉛を除いた総ての金属について排水基準・環境基準の値以下であった。
- ②流動炉灰単体からの浸出水中の鉛の濃度が、環境基準値の0.1mg/lを上回り単純平均で0.29mg/lであったが、この数値は実験Ⅱの結果から考えると矛盾したもので、今後原因について検討する予定である。
- ③銅、全クロム、六価クロムは、多段炉灰よりも流動炉灰、及びこれらを含む土質改良土からの流出が比較的多いという傾向を示した。

実験Ⅱの結果より、次の点が明らかとなった。

- ④銅は、水中にアンモニアが存在すると反応して錯イオンをつくりアルカリ側でも溶出した。
- ⑤酸性水の引抜き・投入を行わない実験では、焼却灰中の石灰化合物の溶出によりpHが上昇し各重金属の溶解度が減少したために、重金属濃度は経時的に低下する傾向を示したが、引抜き・投入を行った実験ではpH 1の場合にpHがアルカリ側に達するに至らず重金属濃度は経時的に増加した。

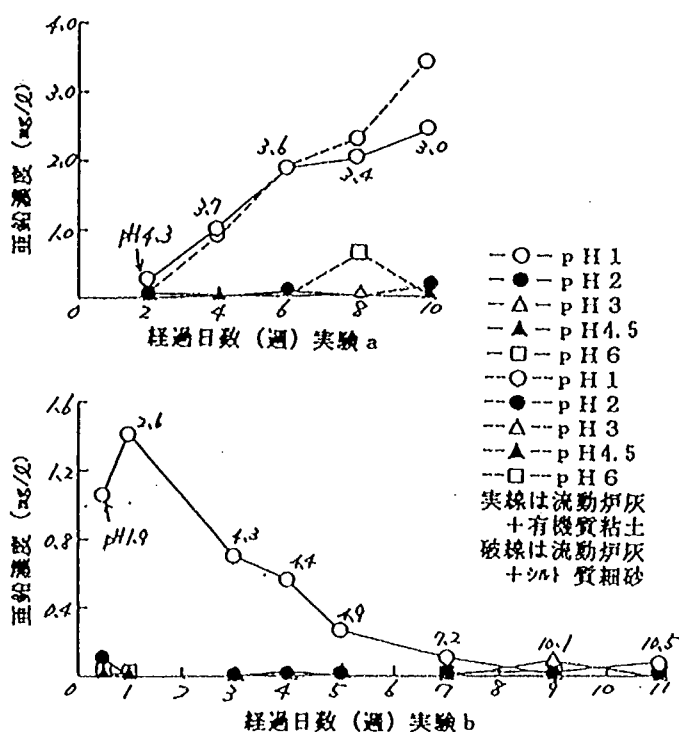


図-3 実験Ⅱの結果(亜鉛)

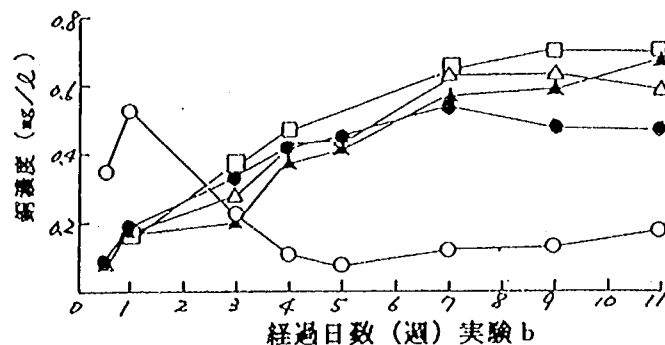


図-4 実験Ⅱの結果(銅)

12-3 砂層による埋立汚泥浸出水の浄化

東北工業大学 ○中山 正子
建設省土木研究所 大嶋 吉雄

1. まえがき

下水汚泥と埋立地において埋立てる場合、降雨等によって悪臭の浸出水が発生する。この浸出水の浄化の簡便法として、埋立時に使用する今在砂層の利用が考えられる。本研究では、この方法の現地での適用の可能性、並びに今在砂層として使用する砂の種類、砂層の滞留回数などによる浄化効果についての知見を得るためにカラム実験と実施し検討を加えたものである。

2. 実験方法

図-1に示す内径5cmのアクリル製カラムに供試砂と50cmの高さに詰め、浸出水と一定量通過させ、通過前後の浸出水の性状を調べた。浸出水は後述するように、1週間あるいは2週間に1回の頻度で砂層上端に注入し、砂層内滞留水は注入の都度、砂層表面と同じレベルから押し出されて流れる方式とした。

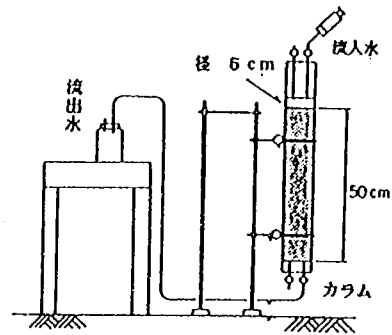


図-1 実験装置

(1) 供試砂

実験に供した砂は、山砂、海砂、および海砂を蒸留水で洗浄した洗浄海砂の3種類である。これらの粒径加積曲線を図-2に示す。海砂、山砂の有効径はそれぞれ0.25, 0.57 mm、不均係数は、1.8, 1.5 である。

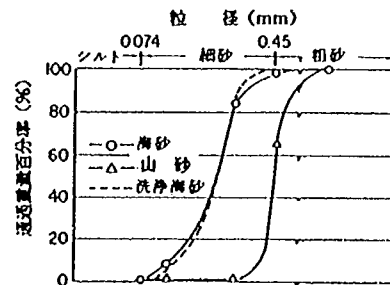


図-2 粒径加積曲線

(2) 実験条件

実験は充填砂の種類と、浸出水注入量との組合せにより表-1に示す7ケースについて行った。実験ケースAは、流入浸出水量が比較的小さなものであり、流入浸出水は、A処理場の生脱水汚泥（高含水率）と詰めたライシメータからの浸出水を用いた。実験ケースBで流入させた浸出水は、同じ処理場の生脱水汚泥50kgとイオン交換水100Lに満たし、3日間攪拌後、3000rpmの速に分離を行い、この上澄水を用いた。浸出水は実験期間中4℃の冷蔵庫に保存した。注入浸出水量(m³/週)とカラムの断面積が19.6cm²であることから浸透量に換算したものと表-1に

表-1 実験条件

実験ケース	A				B		
	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	B-3
流入浸出水量(ml/週)	15			30	60	120	240
透過量(mm/年) *	400			800	1600	3200	6400
滞留日数(日) **	195	168	177	88.7	44.3	22.2	11.1
充填砂	山砂	洗浄海砂	海砂				
空隙率(%)	42.5	38.8	38.7				
流入浸出水	生脱水汚泥を詰めたライシメータからの浸出水				生脱水汚泥とイオン交換水を混合、遠心分離後の上澄水		
実験期間(日)	290				140		112
温度	20℃恒温室内にて実験						

* カラム断面積と流入水量より計算

** 空隙率より計算

表-2 カラム実験における各水質項目の変化 (実験終了時)

実験ケース 項目	A					B			
	流入水	A-1	A-2	A-3	A-4	流入水	B-1	B-2	B-3
P H	7.1	7.3	8.9	8.7	8.1	7.2	8.7	7.9	7.8
BOD (mg/l)	39100	14700 (62.4)	2400 (93.9)	2840 (92.7)	6200 (84.1)	13400	3050 (58.7)	6660 (24.0)	8720 (22.0)
COD _{mn} (mg/l)	9690	5000 (48.4)	724 (92.5)	939 (90.3)	1760 (81.8)	7910	2940 (50.2)	5080 (32.1)	5570 (32.8)
TOC (mg/l)	18000	7400 (58.9)	1270 (92.9)	1650 (90.8)	3390 (81.2)	10200	3440 (45.5)	5940 (24.0)	6200 (28.2)
K-N (mg/l)	3990	450 (88.7)	95 (97.6)	193 (95.2)	860 (75.9)	2630	2030 (17.3)	2230 (9.4)	2490 (19.1)
NH ₄ -N (mg/l)	3260	272	51	142	917	1850	2010	2040	2090
T-P (mg/l)	16.8	4.2 (75.0)	0.8 (95.2)	1.6 (90.5)	3.5 (79.2)	114	16.6 (73.6)	73.1 (55.7)	63.3 (58.9)
PO ₄ -P (mg/l)	2.17	0.29	0.08	0.03	0.20	46.0	1.12	23.5	13.1

流入水は平均濃度

(): 除去率

示す。日本の平均降水量と 1600 mm/年 とすれば、15 ~ 20 ml/期 A 浸出水注入量は、この平均降水量の 0.25 ~ 4 倍量の浸出水が砂層に流入することと想定している。カラムへの浸出水の注入日表-1 に示す量とケース A では 2 週間に 1 度、ケース B では 1 週間に 1 度注入した。

3. 実験結果

カラム流出水の分析は、ケース A では実験終了時にのみ、ケース B については 4 週間分の流出水のコンパジットサンプルについて実施した。カラム流入浸出水の平均濃度及びカラム流出水の分析終了時の分析値と除去率を表-2 に示した。ケース B における除去率は実験期間中の流入水、並びに流出水の変動などと考慮して、総流入量 - 総流出量 から 総除去量と求め、これと基にして算出した。

(1) 砂の種類による影響

流入量と等しくし、表層砂の種類を変えた A-1 ~ A-3 のケースについて比較すると、すべての水質項目に渡って除去効果の発現が最も大きい介在砂は洗淨海砂 (A-2) であり、次に海砂 (A-3) 小砂 (A-1) の順となる。海砂と小砂との除去効果の相違は図-2 に示すような程度の違いに起因する。また洗淨海砂の場合も海砂と洗淨することにより実質的な表面積の増加があり、たもたと思われる。

(2) 滞留日数の影響

海砂と表層滞留日数と変化させた場合 (ケース B) の水質変化の一例を図-3 に示す。BOD について、流入水は 2 ヶ月後に最大値 20000 以上を示したが、その後冷蔵保存したにもかかわらず徐々に減少し、3 ヶ月後から 11000 ml/l 前後で安定した。これに対し流出水は滞留日数が短かいケース (B-2, B-3) は 3 ヶ月後から

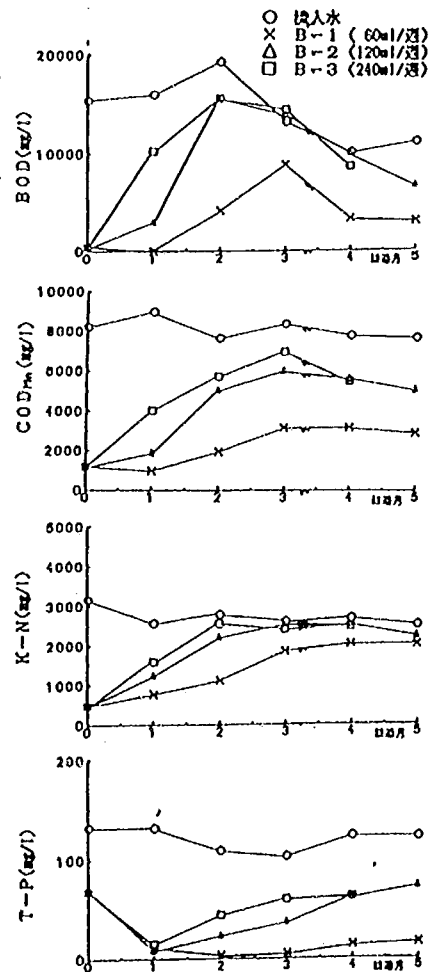


図-3 水質の変化 (ケース B)
(4 週間を 1 ケ月とした)

流入水とほぼ変わらない水質を示した。COPについて流入水は約8000 mg/lと5ヶ月間安定した値を示した。これに対し流出水は滞留日数の影響が顕著であった。K-Nの流入水は3000 mg/lで変化は少なかった。これに対し流出水は日数の経過とともに徐々に増加し、5ヶ月後にはほとんど流入水と同じ値となった。T-Pの流入水は120 mg/l前後で5ヶ月間安定であり、滞留日数の経過とともに大きく増加率を示した。滞留日数と除去率との関係とケースA-3、A-4の結果を含めて図-4に示す。いずれの項目においても、滞留日数が大きくなると除去率は増加する傾向を示した。BOD、COD、TOCについては、50%の除去率を得るのに50日程度の滞留日数が必要であることがわかる。また、T-Pについては、滞留日数が10日程度で、50%以上の除去率が期待できる。また、浸出水と単に放置してよい場合の水質変化と合わせて比較した。ケースBに用いた流入浸出水を20℃の恒温室内に放置し、放置日数と滞留日数とを比べて図-4に示した。BODは砂層カラムを通したもののよりやや小さい除去率を示したものの、COD、TOCの除去率は放置日数が140日でも35.6、58.3%でありカラム流出水ほどの除去率の増加は見られなかった。この結果から浸出水と砂層を通すことにより、放置浸出水よりも高い除去率が得られること、水質項目によらず除去率が異なることから、浄化機構に差が生じていることが明らかである。

(3) カラム単位容積当りの除去量

カラム単位容積当りの負荷量と除去量の関係とケースBについて図-5に示す。単位容積当りの負荷量が増加すれば、除去量も増加する傾向により、砂の浄化能力はほぼ飽和がえることがわかる。ケースB-1における除去量は、BOD 0.0736, COD_{Mn} 0.0358, TOC 0.0424, K-N 4.06×10^{-3} , T-P 0.764×10^{-3} (kg/m³・日)であった。

4. おわりに

介在砂層を用いた浸出水の浄化は、滞留日数と適正に確保すれば有効な方法であると思われる。本実験の流入浸出水は生脱水汚泥(高分子系)から得られたものであった。今後は、消化脱水汚泥(高分子系か石灰系かを含む)から生じる浸出水についても、その浄化機構の解明と含め確認する必要がある。

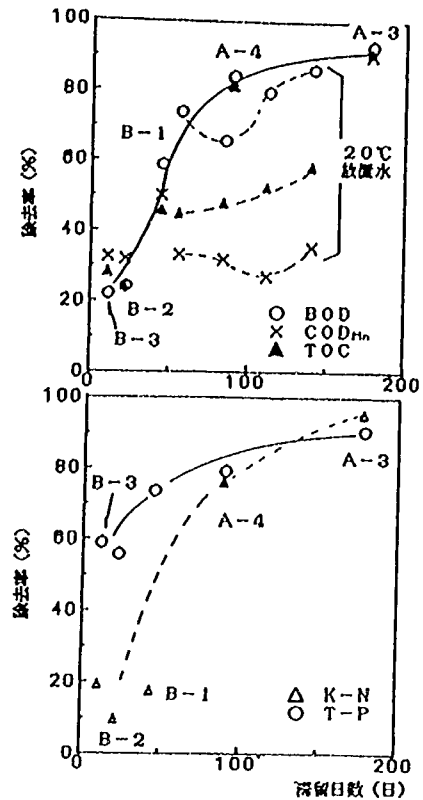


図-4 滞留日数と除去率の関係

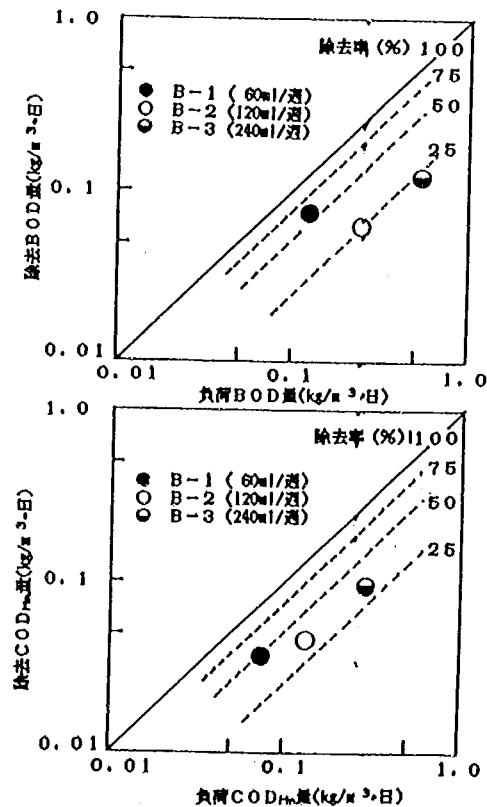


図-5 単位容積当りの負荷量と除去量の関係

下水汚泥焼却灰からの重金属の
溶出特性及び埋立て汚泥浸出水
の浄化に関する調査報告書(1)

I S S N 0386-5878
土木研究所資料 第2955号
平成3年3月(1991年)

京才俊 附 大場 昭 吉 雄
岡 沢 邦 明 白 石 隆

要旨 現在、下水汚泥の有効利用として、建設資材への利用が注目されつつある。従来、陸上及び海面に埋立てされていた汚泥をその持つ材料特性を生かして有効利用しようというものである。この利用マニュアルについては、材料としての汚泥の物理・化学的特性に応じた利用方法という内容で昭和60年に土木研究所でまとめられているが、汚泥中に含まれる重金属の周辺環境への溶出といった安全面での確認を行ったデータは希少である。また、現在の主要な汚泥処分方法である陸上埋立て処分では、処分地の確保の困難化といった問題の他に、降雨等によって悪質な浸出水が発生するといった問題が生じている。本報告書は、建設資材として利用した汚泥からの重金属の溶出特性及び埋立て汚泥から発生する浸出水の浄化方法について検討したものである。

キーワード：下水汚泥，建設資材，有効利用，重金属，埋立処分，浸出水

郵便はがき

41円切手
をはいて
下さい

305-□□

建設省土木研究所
下水道部汚泥研究室 御中

茨城県つくば市大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 2955 号

上記のとおり受領しました。

所 属(住所)

氏 名

印

土木研究所資料第2955号

