

(3)含水率による試料の粒径分布変化

図 4-15 に H 焼却灰の小粒径粒子の割合を示す。上記 1) で述べた理由のため、 $250\mu\text{m}$ 以下の試料をさらに $125\sim 250\mu\text{m}$ 、 $125\mu\text{m}$ 以下にふるい分け、それぞれの粒径分布に重量割合を乗じて足し合わせ、試料の粒径分布を求めた。図 4-15 は $124.95\mu\text{m}$ 以下、 $68.97\mu\text{m}$ 以下、 $9.52\mu\text{m}$ 以下の割合をそれぞれ $P_{D<124.95}$ 、 $P_{D<68.97}$ 、 $P_{D<9.52}$ として示している。図から、含水率が大きくなるにつれて小粒径粒子が減っていることがわかる。

さらに、試料の粒径分布 (図 4-15 に相当) および捕集試料粒径分布 (図 4-14) にそれぞれ試料投入量、捕集量をかけることにより、粒径別の捕集率を計算した。図 4-16 に H 焼却灰について求めた結果を示す。I 焼却灰については含水率を変化させた際の試料の粒径を測定していなかったため、粒径別の捕集率は計算できなかった。ばらつきが大きいのが、含水率との相関は見られず、粒径ごとの捕集率はほぼ同一である。すなわち、含水率が高くなっても小粒径粒子は飛散し、単にその割合が減少することが捕集量を減少させる原因と考えられる。次項で述べるように、拡散理論に従うならばある粒径以下では重力沈降の影響がなく、捕集率は一定となるはずである。 $9.5\mu\text{m}$ 以下で捕集率が小さいのは、測定方法に問題があると思われる。

微粒子は分子間力、静電気力などによって凝集するが、水分がある場合には液架橋力による凝集力が卓越する²⁾。液架橋力とは水分が粒子間の接触部に

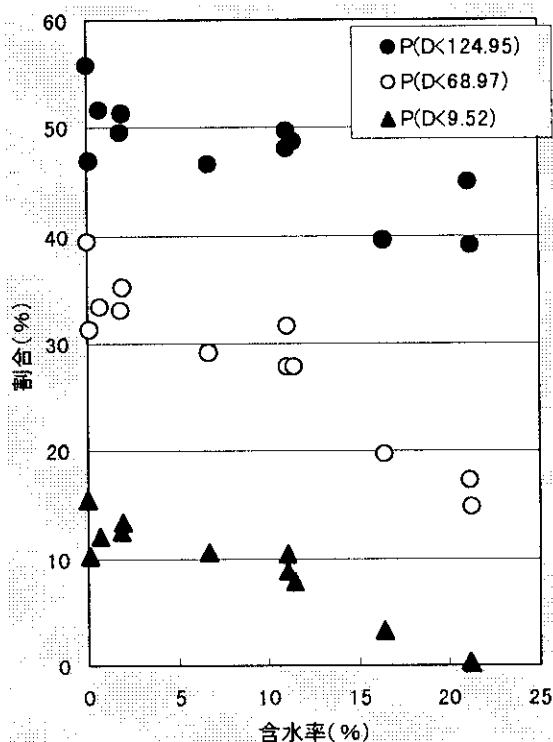


図 4-15 含水率の違いによる小粒径粒子割合の変化 (H焼却灰)

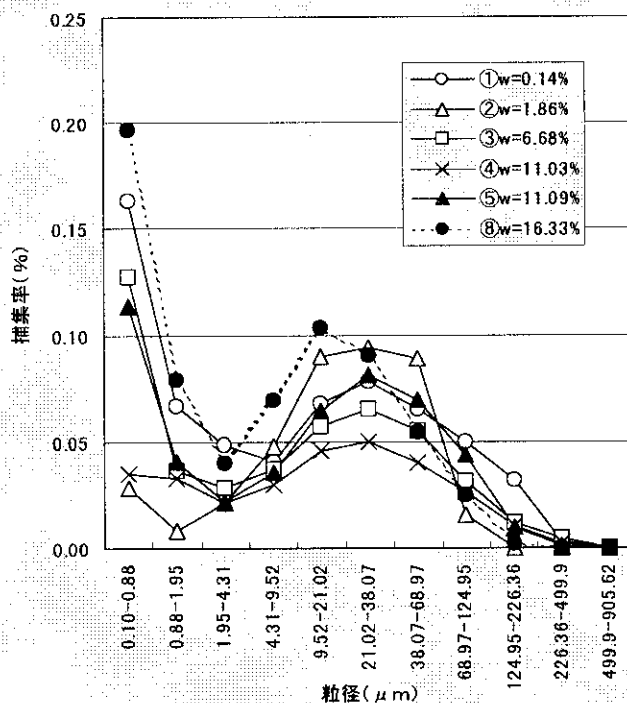


図 4-16 粒径別のフィルター捕集率 (H焼却灰)

保持されて液架橋を形成し、その内部が負圧となって粒子同士を付着させる力をいう。液架橋部の半径は 0.15nm から 100nm であるが、水分が多いほど液架橋部の半径が大きく、したがって付着力も大きくなる。凝集した粒子をばらばらにすることを分散と呼ぶが、付着力は非常に大きく容易に分散させることはできない。

4) 拡散理論に基づく計算との比較

(1) 拡散モデル

上記 2) 3) の結果から、粒子の飛散が拡散理論によって説明できると予想される。そこで、重力による粒子の沈降を考慮したブルームモデル³⁾を用いる。

$$C = \frac{Q}{2\pi V \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{\left(z + u \frac{x}{V}\right)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (1)$$

ここで、C : 濃度 [g/m³]

Q : 発生源強度 [g/s]

x, y, z : 風下、水平、鉛直方向の座標 [m]

σ_y, σ_z : y, z 方向の拡散幅 [m]

V : 平均風速 [m/s]

u : 粒子の落下速度 [m/s]

拡散計算は発生源強度 Q を与えて任意の点での濃度 C を計算するが、今回の実験で測定されているのは捕集量である。粒子の落下速度 u は粒径に依存するので、以下のようにして実験と対応づける。

ある粒径をもつ粒子群 k の投下重量を M_k [g] とし、これを T [s] の間一定に落下させたとすると、Q は次式で表すことができる。

$$Q = \frac{M_k}{T} \quad (2)$$

一方、サンプラーの捕集量 m_k [g] と捕集位置の濃度 C_k [g/m³] は、ポンプ吸引流量を q [m³/s] とすると次式で表せる。

$$m_k = q \times C_k \times T \quad (3)$$

式 (2)、(3) を式 (1) に代入し整理すると次式が得られる。

$$\frac{m_k}{M_k} = \frac{q}{2\pi V \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{\left(z + u \frac{x}{V}\right)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (4)$$

粒子を球とみなすと、重力 F_g 、浮力 F_b 、空気抵抗力 R (単位はいずれも $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$) の間には次の運動方程式が成り立つ。

$$\left(\frac{\pi d_p^3}{6}\right)\rho_s \frac{du}{dt} = (F_g - F_b) - R \quad (5)$$

$$F_g - F_b = \frac{\pi d_p^3}{6} g(\rho_s - \rho) \quad (6)$$

$$R = C_D \cdot A \frac{\rho u^2}{2} = C_D \frac{\pi d_p^2 \rho u^2}{8} \quad (7)$$

ここで、 d_p : 粒径 [m]、 C_D : 抵抗係数 [-]、 A : 粒子の断面積 [m^2]

u : 粒子の落下速度 [m/s]、 g : 重力加速度 [m/s^2]

ρ_s : 粒子の密度 [kg/m^3]

ρ : 空気の密度 [kg/m^3] (=1.204、20°C)

抵抗係数 C_D はレイノルズ数 $\text{Re} = \frac{ud_p}{\nu}$ (ν は空気の動粘性係数= $15.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

(20°C)) の関数として与えられるが、 $\text{Re} < 0.6$ (Stokes 領域) においては

$$C_D = 24/\text{Re} \quad (8)$$

であり、(5)~(7)式において $du/dt=0$ とし、(8)式を代入すると終速度 u_t は次式となる。

$$u_t = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g}{C_D} \frac{\rho_s - \rho}{\rho} d_p} \quad (9)$$

焼却灰の密度 ρ_s は花嶋ら 4)の測定値 2200~2500 (平均 2330) kg/m^3 より 2200 kg/m^3 として、粒径ごとの終速度 u_t を求める。厳密には Stokes 領域にあるのは $50 \mu\text{m}$ 以下の粒子のみだが計算が複雑になるので、(9)式を用いる。

拡散パラメータ σ_y 、 σ_z は大気安定度 D (中立) のときの値 $\sigma_y = 0.1107x^{0.929}$ 、 $\sigma_z = 0.1046x^{0.826}$ を用い⁵⁾、 x 、 z は焼却灰投入位置を基準としたサンプラー位置とし ($y=0$ とする)、粒径ごとに捕集率 ((4)式の値) を求めた。

(2)実験結果との比較

図 4-17 に H 焼却灰の実験結果との比較を示す。I 焼却灰については試料の粒径分布を測定しなかったの、捕集率が求められない。図は粒径 9.52~21.02 μm 、68.97~124.95 μm との比較を示すが、計算における粒径としては SALD3000 で測定される粒径が大きめであることを考え、階級の下限值を用いた。

計算においては多くのパラメータがあり、特に拡散幅の取り方で広がり方が異なる。装置の幅が狭いため、実験においては y 方向の壁面からの反射があると思われ、また小風洞

内の流れが一樣かどうかの確認も十分できていない。こうした問題はあるが、上下方向の分布、捕集率のオーダーともによく再現できている。小粒径の場合は投入高さを中心とした分布となるが、図 4-17(b)の粒径以上になると重力落下のため、分布の中心が下方へ移動する。ただしこれは飛散距離が 2 m の場合であって、距離によって中心軸のずれは異なる。

以上の考察はすべて小風洞内風速 3 m/s とした結果であるが、乾燥した H 焼却灰を用いて 2 m/s (サンプラーまでの距離は 2 m) として実験を行った。このときのサンプラー捕集率を図 4-13 に示しているが、同一距離では風速が小さいほど大きな粒子が落下するので、3 m/s のときよりも捕集率が減少することは説明がつく。この条件で拡散計算を行うと図 4-18 となり、よく一致している。したがって、(1)~(9)式によって焼却灰粒子の飛散をモデル化してよいと考えられる。なお、風速 1.5m/s、サンプラーまでの距離 1 m でも 2 度実験を行ったが、捕集量が少なく、図 4-18 を描くために必要な粒径分布を測定できなかった。

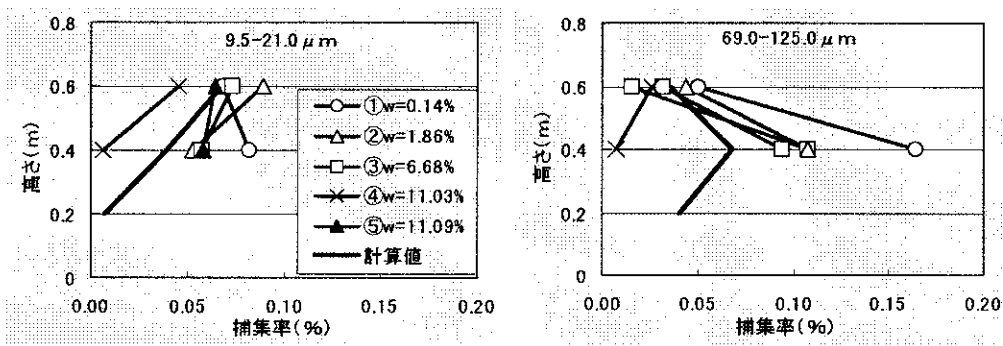


図 4-17 粒径群別の上段サンプラー捕集率
(0.6mの高さから投入。
H焼却灰、風速V = 3 m/s、サンプラーまでの距離 2 m)

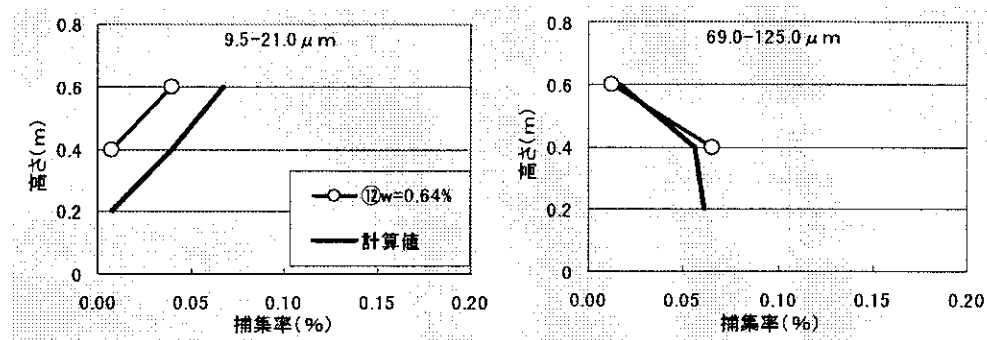


図 4-18 粒径群別の上段サンプラー捕集率
(H焼却灰、風速V = 2 m/s、サンプラーまでの距離 2 m)

5) 焼却灰、飛灰の飛散可能性

以上述べたことから、焼却残渣の飛散可能性は粒径分布に依存する。そこで、今回用いた I 焼却灰、I 飛灰、K 飛灰 (いずれも乾燥したもの) の粒径分布を、2mm 以上も含め

た全体に対する割合として表 4-9 に示す。(2mm 以下の粒径分布は図 4-11 に示している。) 含水率がゼロでない状態については No.18 処分場に埋め立てられる I 焼却灰の粒径分布を測定しなかったが、H 焼却灰と I 焼却灰は粒径分布が似ているので(図 4-11 参照) 図 4-15 より捕集率の低い W=11%、W=21%の H 焼却灰の粒径分布を示した。

図 4-17、図 4-18 に示したように、69~125 μm 以上の粒子は重力落下するため、それ以下の粒子が主として飛散に関係する。焼却灰についてはこの割合が、含水率を増加させることによって 4.48%から 1.07%まで減少している。また、I 飛灰と K 飛灰を比較すると、調湿によって飛散量が大幅に (21.65 \rightarrow 0.59%) 減少することがわかる。ただし焼却灰、飛灰はそれぞれ H 焼却灰(W=21%)、I 飛灰(W=0%)よりも含水率の高い状態で埋め立てられるので、小粒径粒子の割合はもっと小さいと考えられる。投入時の水分管理が重要である。

水分管理による小粒径粒子割合の低下は、(1)式における飛散可能性のある粒子の発生強度 Q を小さくすることを意味する。さらに埋立地への投入時点を考えると、焼却残渣を拡散場から遮断することが発生源強度 Q を低下させるために必要である。「強風時に埋立しない」、「投げ込み方式を避ける」ことは、いずれも大気にさらされる割合を低下させるとの意味を持つ。また、埋立後に乾燥し、重機の走行による巻き上げが起こることは覆土により避けられる。

表4-9 全試料量に対する小粒径粒子の割合

	(単位%)				
	21 μm 以下	21.02-38.07 μm	38.07-68.97 μm	68.97-124.95 μm	124.95- 226.36 μm
I 焼却灰(乾)	1.80	1.25	1.43	2.17	3.84
H 焼却灰(W=16%)	0.57	0.85	2.11	3.57	7.25
H 焼却灰(W=21%)	0.02	0.25	0.80	1.72	2.54
I 飛灰(乾)	0.06	0.16	0.37	0.79	2.75
K 飛灰(乾)	5.64	4.75	8.42	11.33	16.88

参考文献

- 1) 浮遊粒子状物質対策検討会：浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル、p.95 (1997)、東洋出版社
- 2) (財)日本粉体工業技術協会：微粒子工学—分散の基礎と応用—、朝倉書店、1994
- 3) 市川陽一、朝倉一雄：揚貯運炭施設からの炭じん飛散量予測手法の開発、大気汚染学会誌、26 巻、4 号、p.226~272 (1991)
- 4) 1) に同じ、p.198~200
- 5) 花嶋正孝、島岡隆行ほか：物理選別処理による一般廃棄物焼却灰の有効利用について、第 9 回廃棄物学会研究発表会、pp.410-412、1998

4-6. まとめ

(1) 処分場飛散調査結果

- ・搬入飛灰中ダイオキシン類濃度は、焼却灰中濃度の約10倍であった。粒径別では、飛灰は粒径による差は小さいが、焼却灰は粒径が小さいほど濃度が高い。
- ・大気(粉じん)中ダイオキシン類濃度は、埋立作業地点をピークとして、遠くなるに従って濃度が低くなっている。
- ・降下ばいじん中ダイオキシン類濃度は、埋立地点Bが最大で、次いで風下のC地点で高い。
- ・土壌中ダイオキシン類濃度は、埋立地点から遠くなるに従って濃度は低いですが、減衰傾向は明確ではない。
- ・ダイオキシン類と重金属の相関は、焼却灰中のCu、Zn濃度、大気中のZn濃度とのみ有意な相関があった。

(2) 室内実験結果

- ・試料の粒径分布は、K飛灰は焼却灰に比べて500 μm 以下の割合が高いが、I飛灰は小粒径粒子が非常に少なく、調湿の影響と考えられる。
- ・上部サンプラー捕集量は、含水率が高くなるに従って小さくなる。
- ・捕集試料の粒径分布は、焼却灰や含水率との関係は見られず、飛散するかどうかは粒径のみに依存する。
- ・含水率が大きくなるにつれて、小粒径粒子が減っていく。
- ・粒径と捕集率との相関は見られない。含水率が高くなっても小粒径粒子は飛散し、単にその割合が減少することが捕集量を減少させる原因と考えられる。
- ・拡散計算に基づく計算との比較では、重力による粒子の沈降を考慮したブルームモデルにより、上下方向の分布、捕集率のオーダーともによく再現できている。
- ・焼却灰、飛灰の飛散は粒径69 μm 以下の粒子が関係し、含水率を増加すると粒径は大きくなる。従って、投入時の水分管理が飛散防止に重要である。

第5章 大型埋立模型槽によるダイオキシン類挙動調査（挙動部会B）

5-1. 調査概要

1) 調査目的

わが国ではダイオキシン類の環境への新たな負荷の多くは一般廃棄物及び産業廃棄物の焼却によって生じている。このため厚生省は平成9年12月に廃棄物処理法に関する政省令を改正施行して焼却施設に対する排出基準の強化を行い、以後焼却施設から大気環境へ放出されるダイオキシン類は徐々に低減されつつある。また平成12年1月にはダイオキシン類特別対策措置法が施行され、施設から大気への放出規制に加えて、水質環境基準、水質排出基準、大気環境基準、土壤環境基準の設定も行われた。しかし一方で、大気環境への放出を妨げられたダイオキシン類は依然として飛灰や焼却灰といった焼却残渣中に残存しており、これらを処分する最終処分場への負荷低減と処分場からの流出防止がこれからの課題として残されている。このためダイオキシン類対策特別措置法では、ばいじん等の処理基準を設定するとともに、最終処分場の維持管理基準の設定も併せて行われた。

本委員会では平成9年度から最終処分場でのダイオキシン類対策にかかわる調査研究を開始し、既に全国のいくつかの処分場浸出水の実態調査を実施した。調査の結果、少なくとも処理水については問題になるような高濃度のダイオキシン類は認められず、原水についても処分場によるバラツキはあるものの当初の予想を下回る濃度がほとんどであった。しかし、焼却残渣中のダイオキシン類濃度と処分量を考慮すると、処分場に相当量のダイオキシン類が存在することは明白である。従って、将来にわたってダイオキシン類が安全に隔離保管されるかどうかを評価するためには、処分場内でのダイオキシン類の挙動に係わる知見を蓄積する必要がある。

処分場内での物質の挙動を調べる方法としては、実験室レベルからフィールドレベルまでいくつかの方法が考えられるが、最も現実的な方法としては実際の処分場を模擬した模型槽による実験がある。このため、本調査では平成10及び11年度の2カ年にわたって、実際の処分場を模擬できる規模の大型模型槽を使用して、処分場内でのダイオキシン類の挙動に係わる知見を得るための実験を実施した。

2) 調査対象

最終処分場におけるダイオキシン類の挙動特性を検討するため、表5-1に示した埋立実験条件を設定した。大型模型槽は図5-1に示した2基を設け、その特徴は第1槽が従来の準好気性埋立、第2槽は流出した浸出水を再度埋立地に循環することで埋立槽内で有機物やダイオキシン類の分解促進を図る循環式準好気性埋立とした。両槽とも覆土層として真砂土（厚さ20cm）を充填し、槽中央部には砂利を充填した直径20cmの循環柵を設置した。

実験に用いた廃棄物は焼却灰、飛灰及び破碎不燃物を混合調整したもので、1槽当たり3.76t（湿潤状態）を充填した。混合比は焼却灰:飛灰:破碎不燃物=6:2:2（湿潤状態）に設定したが、通常より飛灰量が多い充填比率となっている。混合は4槽分に相当する総量15.04tをまとめて重機で行い、十分な均質化を図った後コンテナバックとトラックスケー

ル（最小目盛 0.01t）を用いて各 3.76t を計量して第 1 槽及び第 2 槽に充填した。

模型槽に廃棄物を充填した後、上部をビニールシートで覆い雨水浸入を防止した状態で、約 2 週間廃棄物層の安定化を行った。その後ビニールシートを取り去り、自然降雨条件下で雨水を浸入させ、浸出水の採取を開始した。循環式準好気性埋立の模型槽である第 2 槽は、浸出水のうちダイオキシン類等の分析に必要な量を定期的に分取し、残った浸出水を予測される 1 日当たり浸出水量の 5 倍量（5Q, 20L/day）の速度で模型槽に循環させることとした。

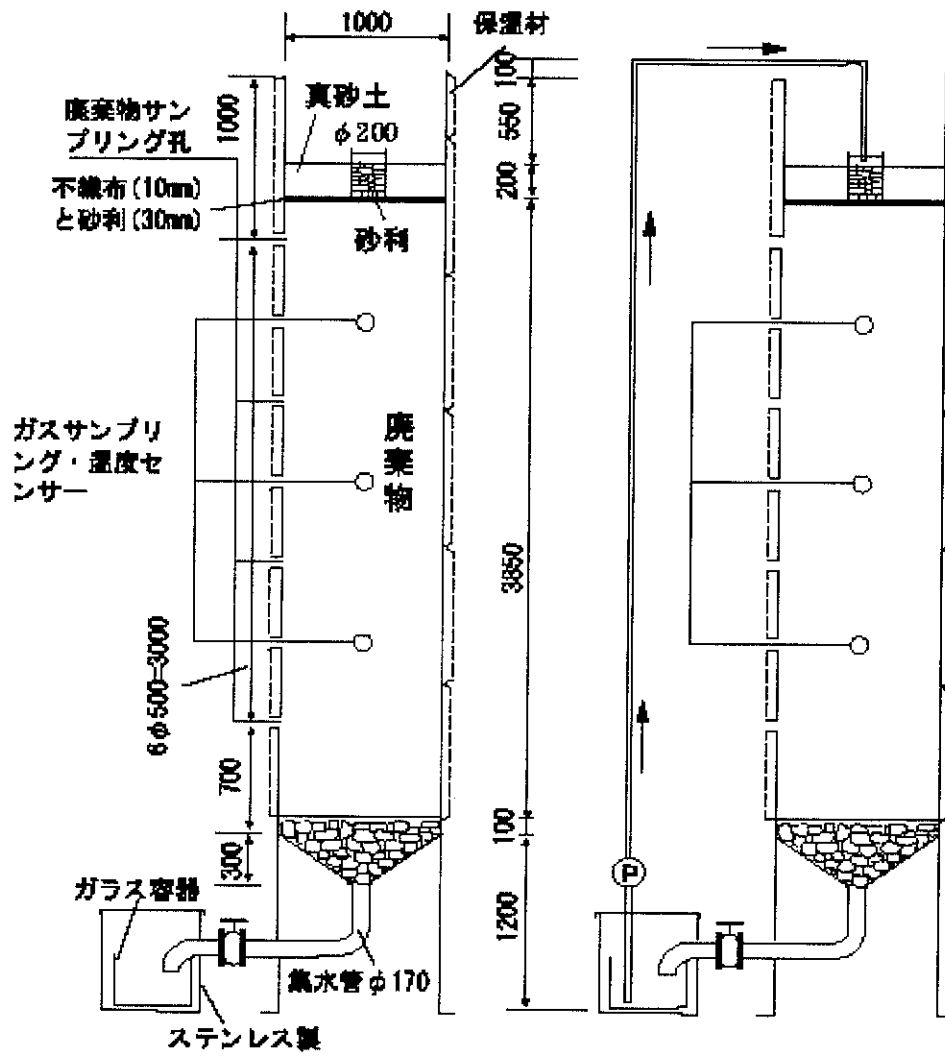
分析用の浸出水の採取は 1～2 ヶ月の間隔で実施し、ダイオキシン類、一般水質項目、重金属等の分析を行った。併せて、雨水及び充填物のダイオキシン類測定、埋立層の温度変化の測定なども実施した。

一連の実験内容と実施期日を表 5-2 に示す。また模型槽製作の過程を写真 5-1～5-12 に示す。

表 5-1 埋立実験条件

実験槽 No.	No. 1	No. 2
埋立構造	準好気性	循環式準好気性
埋立廃棄物	調整ごみ(焼却灰：飛灰：破碎不燃物=6：2：2)	
充填廃棄物重量(t)	3.76 t (焼却灰 2.26t, 飛灰 0.75t, 破碎不燃物 0.75t)	
単位体積重量 (t/m ³)	1.25	
覆土材	真砂土充填量 (kg)	220
	単位体積重量 (t/m ³)	1.4
降雨条件	自然降雨	
循環水量(L)	0	5Q=20L/day (14mL/min)

*第 2 層の循環水量は 1999 年 7 月 6 日（埋立後 355 日）から 20ml/min に変更した。



(単位：mm)

準好気性埋立槽 (No. 1槽) 循環式準好気性埋立槽 (No. 2槽)

図5-1 大型埋立模型槽

表 5-2 実験内容と実施期日

実験内容	実施期日	備考																										
混合廃棄物の調整 (写真 5-1~5-6 参照)	H10.7.9	焼却灰、飛灰、破碎不燃物についてそれぞれダイオキシン類及び金属類(浸出水の欄参照)の分析を実施。																										
埋立模型槽への廃棄物重点 (写真 5-7~5-12 参照)	H10.7.15	7月29日までシートで被覆																										
浸出水採取 採取方法 浸出水は遮光した 20L ガラス瓶に直接採取した。	H10.7.29~H10.9.1 H10.9.1~H10.10.16 H10.10.16 ~ H10.11.12 H10.11.12~H11.3.8 H11.3.8~H10.4.2 H11.4.2~H11.4.23 H11.4.23~H11.5.24 H11.5.24~H11.6.14 H11.6.14~H11.7.5 H11.7.5~H11.7.30 H11.7.30~H11.8.30 H11.8.30~H11.9.30 H11.9.30~H11.11.8 H11.11.8~H12.1.15	分析項目 (1) ダイオキシン類 (PCDD+PCDF) (2)一般項目 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>一般項目</th> <th>金属類</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>pH</td><td>T-Hg</td></tr> <tr><td>ORP</td><td>T-Cr</td></tr> <tr><td>EC</td><td>Cd</td></tr> <tr><td>BOD</td><td>Cu</td></tr> <tr><td>COD_{Mn}</td><td>Pb</td></tr> <tr><td>Cl⁻</td><td>Zn</td></tr> <tr><td>T-N</td><td>Fe</td></tr> <tr><td>NO₂-N</td><td>Mn</td></tr> <tr><td>NO₃-N</td><td>Na</td></tr> <tr><td>NH₄-N</td><td>K</td></tr> <tr><td>TOC</td><td>Ca</td></tr> <tr><td>SS</td><td></td></tr> </tbody> </table>	一般項目	金属類	pH	T-Hg	ORP	T-Cr	EC	Cd	BOD	Cu	COD _{Mn}	Pb	Cl ⁻	Zn	T-N	Fe	NO ₂ -N	Mn	NO ₃ -N	Na	NH ₄ -N	K	TOC	Ca	SS	
一般項目	金属類																											
pH	T-Hg																											
ORP	T-Cr																											
EC	Cd																											
BOD	Cu																											
COD _{Mn}	Pb																											
Cl ⁻	Zn																											
T-N	Fe																											
NO ₂ -N	Mn																											
NO ₃ -N	Na																											
NH ₄ -N	K																											
TOC	Ca																											
SS																												
雨水採取 採取方法 直径 80cm のステンレス製大型水盤(面積 0.528m ²)に雨水を採取し、採取した雨水はろ過することなくそのまま同じくステンレス製の貯槽に保持した。	H10.7.15 H10.9.24 H10.11.16 H11.1.23 H11.10.7 H11.11.1 H11.11.8 H11.11.16 H11.12.18 H12.1.7 H12.2.7	採取地北方 L 採取地付近秋雨 F 採取地北方を L 通過、午前 午後の 2 回採取 採取地南方を L 通過 採取地南方に F 採取地北方を L 通過 採取地北方を L 通過 西高東低型 降雪																										



写真5-1 破碎不燃物

破碎不燃物は写真の状態
で焼却灰、飛灰と混合した。

ダイオキシン類の分析は
スチール缶その他を除いて
行った。

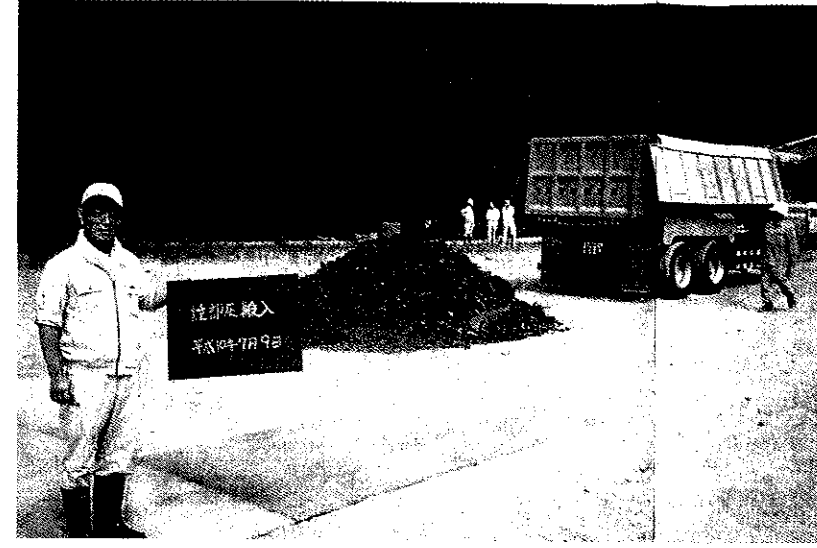


写真5-4 焼却灰

一般ゴミ焼却施設から発
生する焼却灰を使用した。



写真5-2 飛灰

飛灰はあらかじめコンテ
ナバッグに保管されていた
ものを使用した。

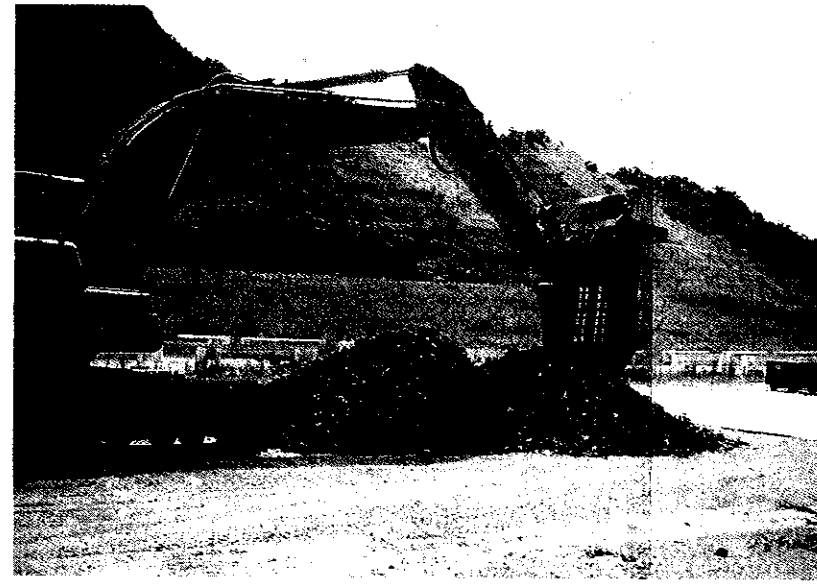


写真5-5 廃棄物の混合

重機を用いて3種の廃棄
物を十分に混合した。



写真5-3 飛灰

コンテナバッグの飛灰か
ら均質化を考慮してダイオ
キシン類分析用の試料を採
取した。

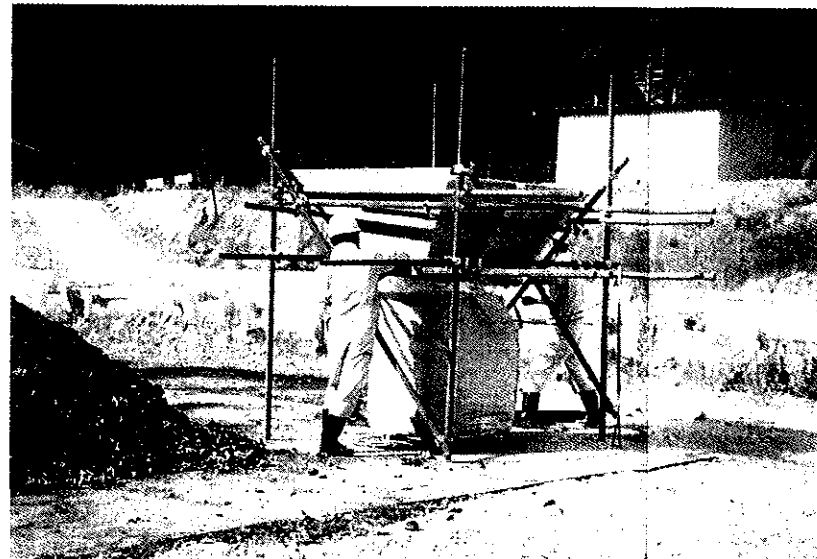


写真5-6 混合廃棄物をコン
テナバッグに保管

混合した廃棄物はトラッ
クスケールと通常の計量器
を用いて重量を正確に測定
した。

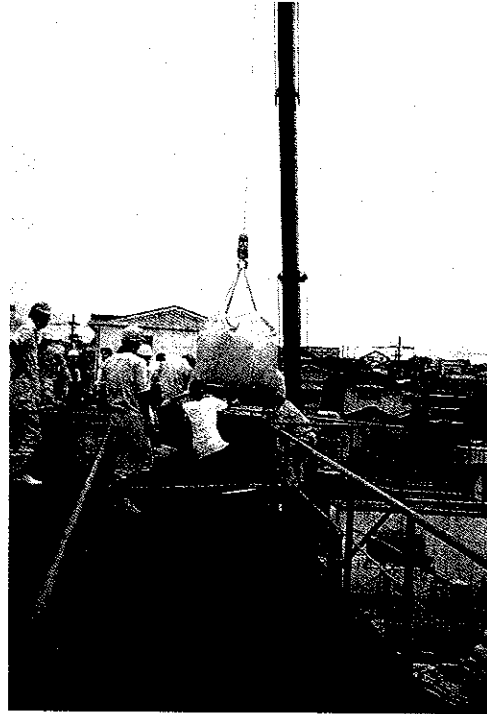


写真5-7 模型槽への廃棄物の充填
コンテナバッグから重機によって廃棄物を模型槽に移した。

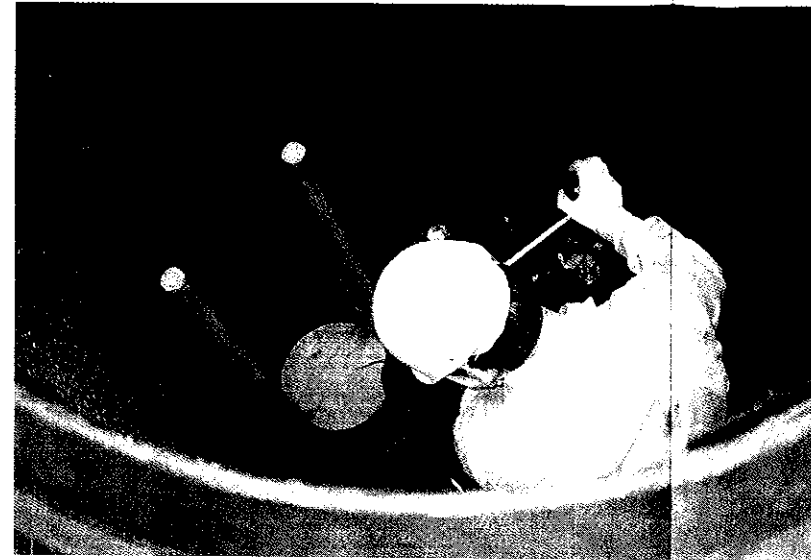


写真5-10 突き固め
廃棄物層は実際の処分場を想定して適切な突き固めを行った。

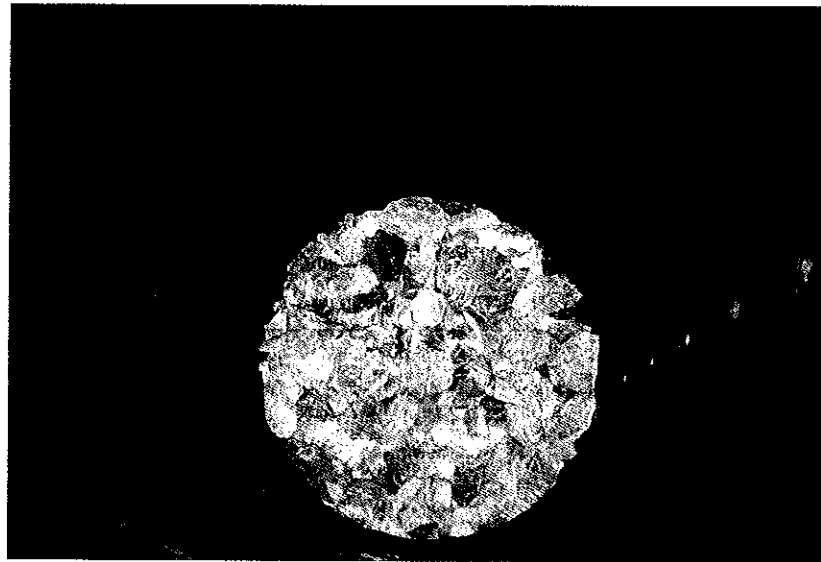


写真5-8 模型槽下部のぐり石
模型槽最下部にはぐり石を敷き詰めた。

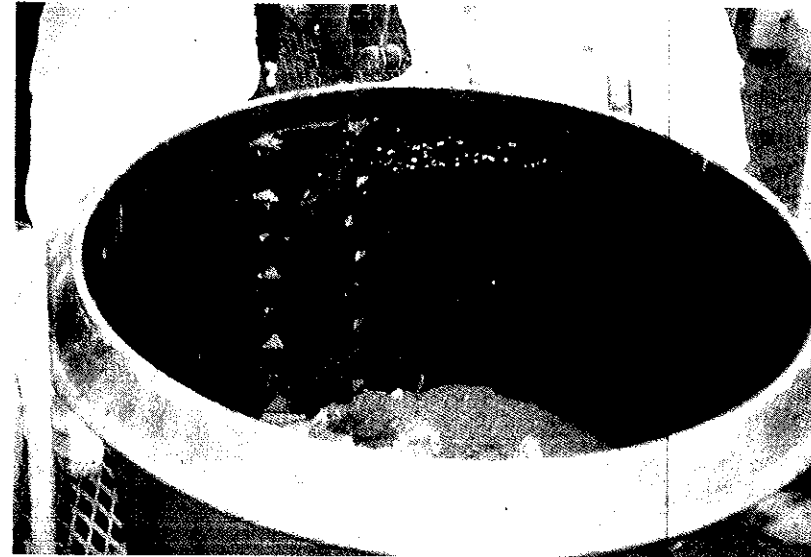


写真5-11 充填終了
全量 3.76t の混合廃棄物を充填した。



写真5-9 各種センサーの設置
混合廃棄物を充填すると同時に、所定の位置に温度計などのセンサーを設置した。

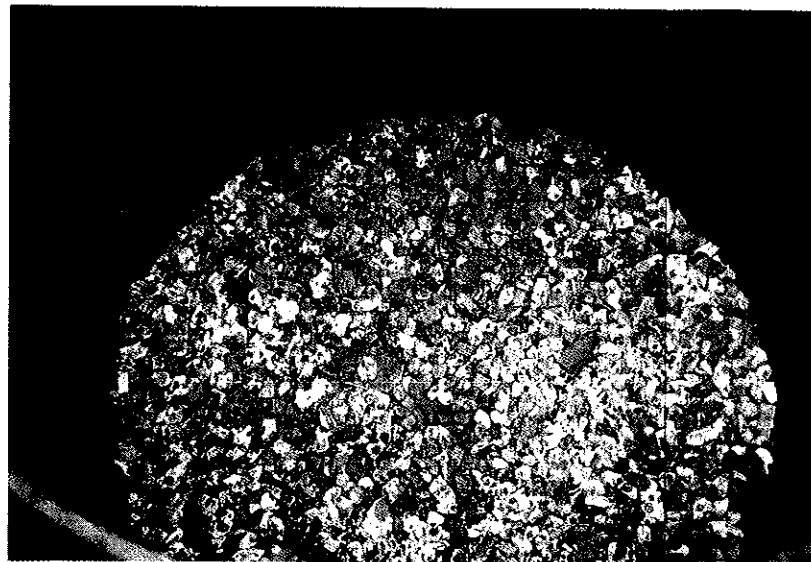


写真5-12 充填槽上部
雨水浸透の均一化のため廃棄物層上面に不織布を敷き、さらにその上に砂利層をおき、砂利層の上に20cmの真砂土を覆土した。

5-2. 調査結果

1) 浸出水量と降雨状況

図 5-2 及び 5-3 に実験地の日降雨量と月間降雨量を示す。実験地において 1998 年度は平年より少雨傾向で、特に冬期は極端な小雨であった。しかし 1999 年度は平年並の降雨があり、梅雨時の 6 月は平年の 1.5 倍以上の降雨があった。

実験地の降雨量の変化は模型槽浸出水量によく反映されており、第 1 槽及び第 2 槽とも廃棄物充填後 300 日程度までは浸出水量が少なかったが、300 日経過後は水量が大幅に増加した。特に循環型である第 2 槽は相当量の循環水が確保されたので 355 日経過時点で循環水量を 14ml/min から 20ml/min に増やし、そのことによって槽出口の浸出水量が第 1 槽よりさらに多くなった。

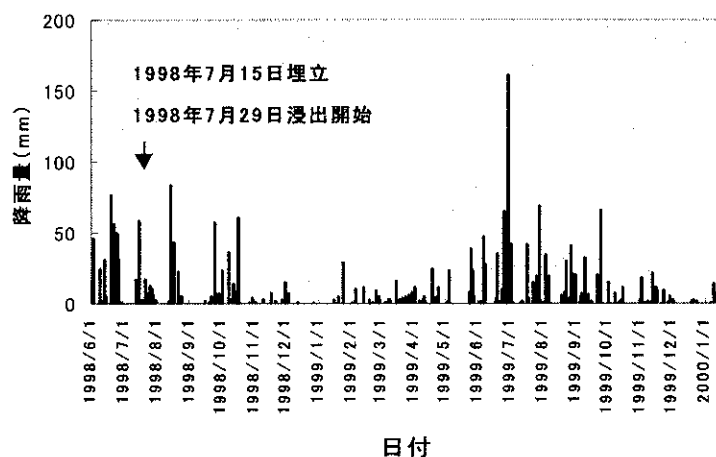


図5-2 実験地の日降雨量の推移

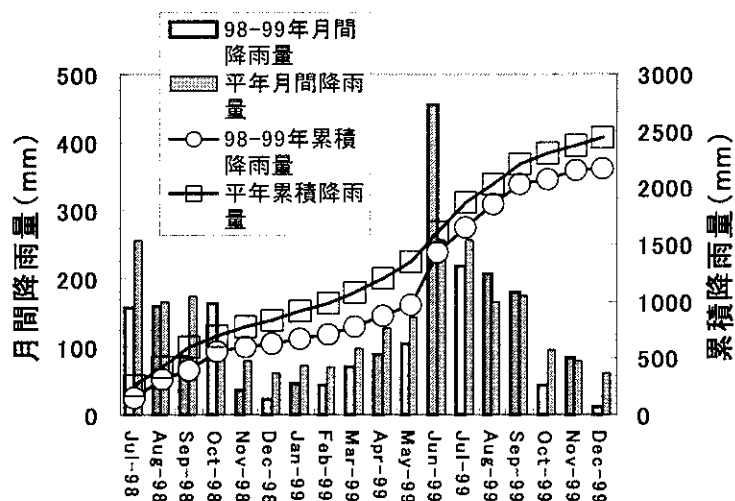


図5-3 実験地の月間降雨量

表5-3 模型槽の浸出水量

項目	1999												2000			
	7/29~9/1	9/1~10/16	10/16~11/12	11/12~3/8	3/8~4/2	4/2~4/23	4/23~5/24	5/24~6/14	6/14~7/5	7/5~7/30	7/31~8/30	8/31~9/30	10/1~11/8	11/8~1/15		
経過日数	48	93	120	236	261	282	313	334	355	380	411	442	481	549		
浸出水量(L)	21.35	26.73	58.00	5.80	12.10	29.70	18.80	41.70	210.70	54.00	65.00	132.00	29.30	45.00		
累積浸出水量(L)	21.35	48.08	106.08	111.88	123.98	153.68	172.48	214.18	424.88	478.88	543.88	675.88	705.18	750.18		

項目	1998												2000			
	7/29~9/1	9/1~10/16	10/16~11/12	11/12~3/8	3/8~4/2	4/2~4/23	4/23~5/24	5/24~6/14	6/14~7/5	7/5~7/30	7/31~8/30	8/31~9/30	10/1~11/8	11/8~1/15		
経過日数	48	93	120	236	261	282	313	334	355	380	411	442	481	549		
浸出水量(L)	30.86	13.17	40.00	38.20	10.50	32.50	11.50	57.70	222.00	104.00	130.00	251.00	98.50	105.00		
分給水量(L)	30.86	11.17	15.00	5.70	3.00	10.00	1.50	33.20	67.00	76.00	80.00	194.00	70.50	83.00		
槽出口累積浸出水量(L)	30.86	44.03	84.03	122.23	132.73	165.23	176.73	234.43	456.43	560.43	690.43	941.43	1039.93	1144.93		

第1槽浸出水の流出量データ

第2槽浸出水の流出量データ

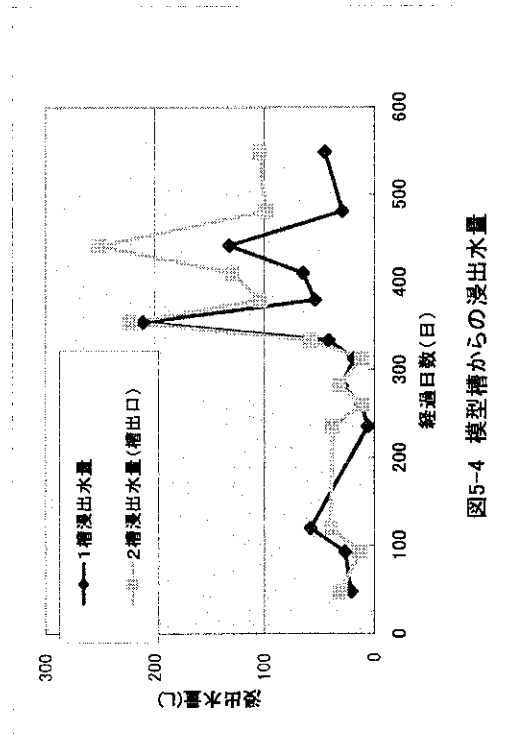


図5-4 模型槽からの浸出水量

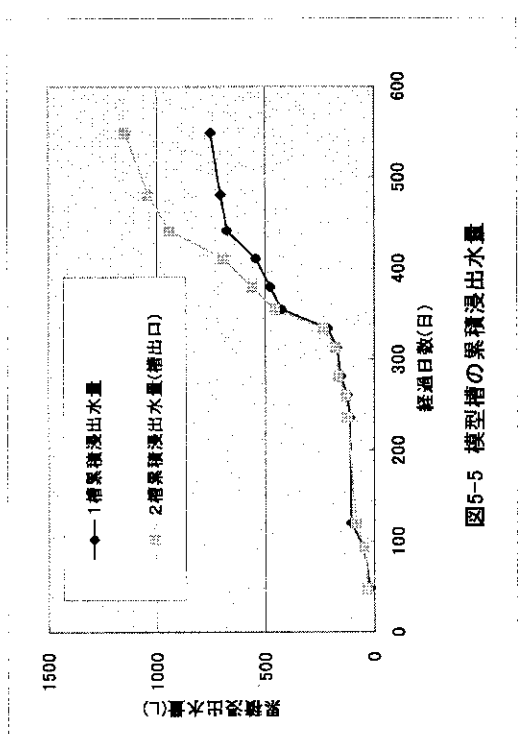


図5-5 模型槽の累積浸出水量

2) 模型槽の状態 (槽内温度の変化)

図 5-5 に埋立模型槽内温度 (上中下位置の平均) の経時変化、及び外気温との温度差の経時変化を示す。第 1 槽及び第 2 槽とも埋立直後は槽内温度が外気温よりかなり高く、40 日経過時点でも 5～7℃の温度差が認められた。槽内温度が外気温より高い傾向は埋立後 80 日経過のあたりまで認められたが、これは廃棄物中の有機物の分解に伴う発酵熱などに起因すると考えられる。しかしその後冬期にかかり槽内温度と外気温の差は小さくなり冬期は外気温の方が高い場合もあり、これらの分解反応が一旦鎮静化したと見られる。

その後 1999 年の春に入り再び槽内温度と外気温の差が大きくなり、この差は夏期にピークを迎え秋期から冬期にかけて小さくなる傾向にある。従って、槽内温度と外気温の差は有機物分解の活性化と鎮静化による周期的な季節変動を示すと考えられる。

槽内温度と外気温の温度差から夏期における有機物分解の促進が示唆されるが、このことは後に述べる TOC 濃度が埋立直後は別として冬期より夏期に高いということからも窺える。

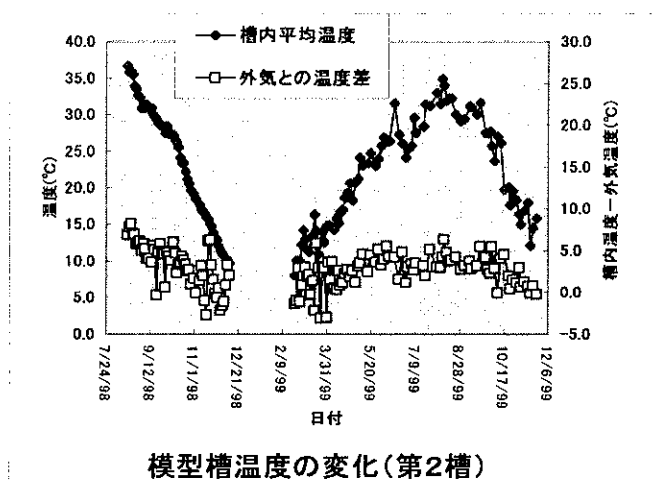
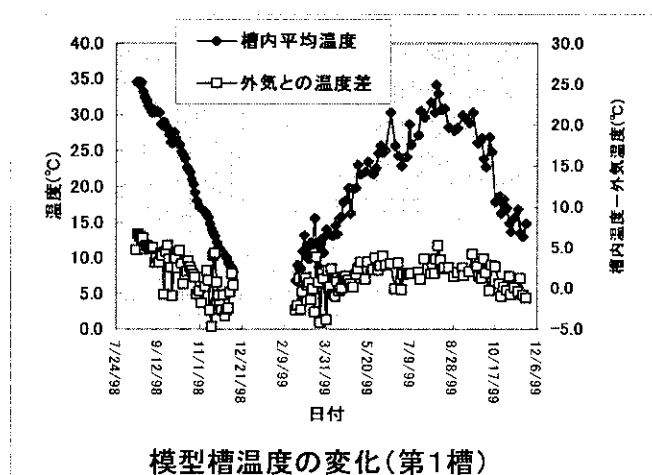


図5-5 模型槽の温度変化

3) 充填した廃棄物のダイオキシン類濃度及び同族体分布

埋立模型槽に充填した廃棄物のダイオキシン類濃度及び同族体分布（実測値）を表 5-4 及び図 5-6 にそれぞれ示す。表 5-1 の埋立実験条件と表 5-4 の廃棄物中ダイオキシン類濃度を考慮すると、廃棄物中のダイオキシン類の 99.9%は飛灰によるものである。従って、図 5-6 に示した同族体分布においても、混合ゴミ（充填割合と同じ割合で飛灰、焼却灰、破碎不燃ゴミを混合したもの。ただし、金属片等は除いて分析した）と飛灰の分布形状はほとんど同じである。焼却灰は飛灰と比べると、相対的に七塩素化のダイオキシンが少なく、四塩素化及び八塩素化のフランが多いと思われる。

表 5-4 充填廃棄物中のダイオキシン類濃度

廃棄物名	ダイオキシン類濃度 (pg-TEQ/g-dry)	分析試料の含水率（充填した際の含水率ではない）
飛灰	64000	23.0%
焼却灰	19	8.0%
破碎不燃ゴミ	3.5	0.6%
混合ゴミ	14000	8.4%

* 破碎不燃ゴミと混合ゴミの含水率は鉄屑などを除いて求め、ダイオキシン類の分析も同様に除いて行った。

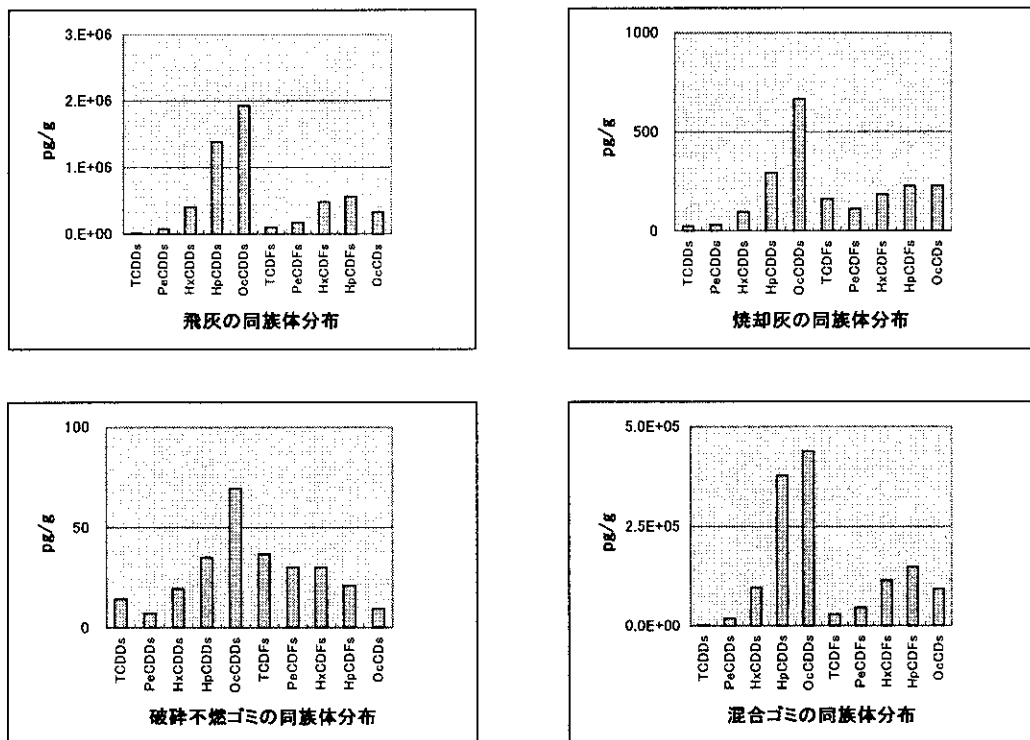


図5-6 廃棄物のダイオキシン類同族体分布

4) 廃棄物の溶出試験の結果

環境庁告示 13 号に準じて行った充填廃棄物に係わるダイオキシン類の溶出試験結果を表 5-5 に、また溶出液における同族体分布を図 5-7 に示す。

水試料の環境基準と溶出試験の基準は、たとえば全水銀においては 0.0005mg/L と 0.005mg/L と 1 : 10 の関係にある。その様に見ると、環境基準が 1 pg-TEQ/L に設定されたダイオキシン類は溶出試験において 10pg-TEQ/L まで許容される。ここで行った実験はコプラナ PCB を含んでいないが、64000pg-TEQ/g の高濃度ダイオキシン類を含有する飛灰の溶出試験結果が 2.1pg-TEQ/L という値であったことは注目に値する。また溶出試験において溶出する部分は本来含有されている部分のごく一部であると考えらるならば、含有量試験と溶出試験の結果から次の式で分配係数を算定できる。

$$\text{分配係数 (L/g)} = \frac{\text{含有量 (pg または pg-TEQ/g)}}{\text{溶出液濃度 (pg または pg-TEQ/L)}}$$

毒性等量のレベルでは分配係数は飛灰 3.0×10^4 、混合ゴミ 4.3×10^4 となった。

図 5-7 の溶出試験の同族体分布を見ると、飛灰と飛灰主体のダイオキシン類を含有している混合ゴミの分布の間に違いが見られるが、1 回の試験結果であるので単体の場合と混合した場合の溶出挙動の差について言及できる段階ではない。

表5-5 充填廃棄物の溶出試験結果

試料	含有量 pg-TEQ/g			溶出試験結果 pg-TEQ/L		
	Total PCDDs	Total PCDFs	合計	Total PCDDs	Total PCDFs	合計
飛灰	28000	36000	64000	0.047	2.036	2.083
焼却灰	5	14	19	検出せず	検出せず	検出せず
破碎不燃ゴミ	1	2.5	3.5	検出せず	検出せず	検出せず
混合ゴミ	6000	7500	13500	0.162	0.155	0.317

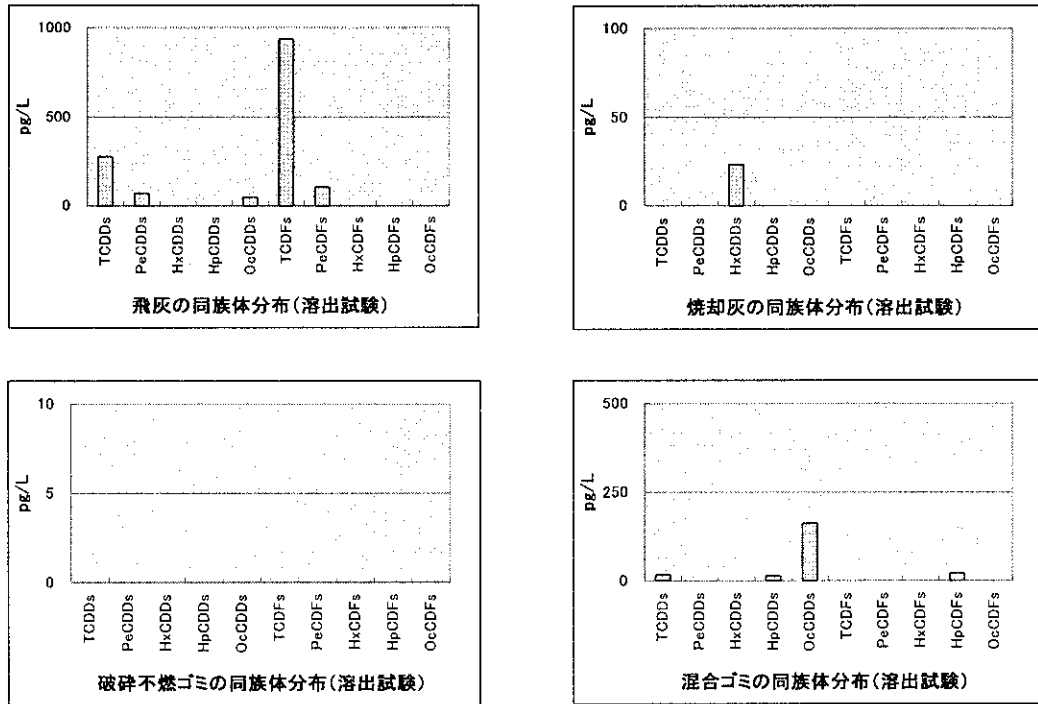


図5-7 溶出試験による充填廃棄物の同族体分布

表5-6 飛灰と混合ゴミの同族体毎の分配係数
(溶出試験の結果から計算)

同族体	飛 灰			混 合 ゴ ミ		
	含有量(pg/g) (A)	溶出濃度(pg/L) (B)	分配係数(L/g) (A)/(B)	含有量(pg/g) (A)	溶出濃度(pg/L) (B)	分配係数(L/g) (A)/(B)
TCDDs	15000	270	60	3300	17	200
PeCDDs	97000	70	1400	20000	<1	>20000
HxCDDs	530000	<2	>265000	100000	2	>50000
HpCDDs	1800000	<2	>900000	410000	15	27000
OcCDDs	2500000	47	53000	480000	160	3000
TCDFs	130000	940	140	31000	<1	>31000
PeCDFs	230000	110	2100	50000	<1	>50000
HxCDFs	620000	<2	>310000	120000	<2	>60000
HpCDFs	730000	<2	>365000	160000	22	7300
OcCDFs	430000	<5	>86000	100000	<5	>20000
Total PCDDs	4942000	391	13000	1013300	195	5200
Total PCDFs	2140000	1059	2000	461000	31	15000
Total PCDDs +PCDFs	7082000	1450	4900	1474300	226	6500

5) 浸出水のダイオキシン類の分析結果

模型槽浸出水のダイオキシン類濃度、流出量、累積流出量及び存在形態（SS 性、非 SS 性）を表 5-7、表 5-8、表 5-9、図 5-8 及び図 5-9 に示す。また同族体分布を図 5-10 及び 5-11 に示す。

表 5-7、表 5-8 及び図 5-8 から濃度の変化を見ると、第 1 槽では当初第 2 槽に比べてかなり高い濃度（～40pg-TEQ/L）であったが、濃度は一貫して減少傾向で廃棄物充填後 282 日経過以降は 10pg-TEQ/L を下回っている。第 2 槽は当初第 1 槽に比べて低濃度で、減少傾向で変化した。しかし、廃棄物充填後 282 日経過以降はそれ以前より濃度が高くなり、特に 481 日経過時の濃度は約 24pg-TEQ/L まで上昇した。これについては、282 日経過時点あたりから循環水循環の効果（洗い出し効果）が出始めたことが原因の一つとして考えられる。特に 355 日経過時点から循環水の速度を 14ml/min から 20ml/min に上げたことにより 481 日経過時点の高濃度が出現したと考えられる。後述する SS 濃度も 481 日時点で上昇（185mg/L）しており、循環の影響がダイオキシン類を含めたいろいろな項目の濃度に現れるものと考えられる。このことは浸出水の外観からもある程度推測でき、写真 5-13 及び 5-14 に示すように、ダイオキシン類濃度が高いときの浸出水はかなりの濁り（鉄による着色）が認められた。しかし第 2 槽は循環式準好気性埋立槽であるので、基本的に浸出水は埋立槽に戻すので外部への負荷は無い。

図 5-9 では模型槽からのダイオキシン類の流出量及び累積流出量の変化を示した。第 1 槽では単純に流出量と累積流出量を示したが、第 2 槽では流出量は単純に“濃度×槽出口の流出水量”として示したが、累積流出量については槽出口で測定された累積流出量から循環によって模型槽に戻されたダイオキシン類の累積量を差し引いて示した。なおかつ、ある期間の浸出水を一時保管し、次の期間の循環水として循環させた。従って、ある時点において槽出口で流出したダイオキシン類量より循環させた量の方が多きときもあり、この場合は累積流出量が見かけ上減少することになる。第 2 槽では併せて分析のために消費されたダイオキシン類の累積量も示した。分析のために消費されたダイオキシン類は本来模型槽に循環されるべきものである。

ダイオキシン類の流出量及び累積流出量の変化からも、第 1 槽において流出が低減される傾向にあり、第 2 槽において洗い出し等の効果によって相対的に第 1 槽より流出が多い傾向が認められる。しかし、第 2 槽では分析に消費した分を差し引いて考えると、現実的には槽出口に現れるダイオキシン類の量と循環させるダイオキシン類の量がバランスすると考えられ、環境負荷の少ないシステムである。

図 5-8 では SS 性ダイオキシン類の比率の変化も示した。TEQ レベルで見ても実測値レベルで見ても、浸出水中のダイオキシン類の存在形態は基本的に SS 性である。第 2 槽の 48 日経過時点で SS 性の比率が低くなっているのは、分析操作において懸濁物をアルコールで洗浄したため本来 SS 性のものが非 SS 性部分に加算されたものである。表 5-9 に参考として各同族体毎の存在形態の変化を示した。顕著な傾向は認められないが、SS 性の比率はダイオキシンでもフランでも高塩素化体より低塩素化体の方が大きいと思われる。この結果は前述の混合ゴミの溶出試験結果とも符合するものである。しかし一般的な知見と

しては高塩素化体の方が水溶解性は低いと言われている。本実験の結果は破碎不燃物などに含まれる物質の共存によって同族体の溶出挙動が変化する可能性を示唆している。

図 5-10 及び 5-11 には浸出水中ダイオキシン類の同族体分布を示す。約 500 日間の浸出期間において浸出水中の同族体分布は基本的に変化せず、図 5-6 に示した飛灰の分布を反映したものであった。ただ、非 SS 性のダイオキシン類の同族体分布では SS 性に比べて低塩素化体の部分が欠落する傾向が見られ、ここでもいろいろな物質が共存する条件下での同族体の溶出挙動の差が出ているものと考えられる。