

- : 生物処理+凝集沈殿
- △: 生物処理+凝集沈殿+砂ろ過
- ▲: 生物処理+凝集沈殿+砂ろ過+活性炭吸着
- : 生物処理+凝集沈殿+砂ろ過+活性炭吸着+キレート処理

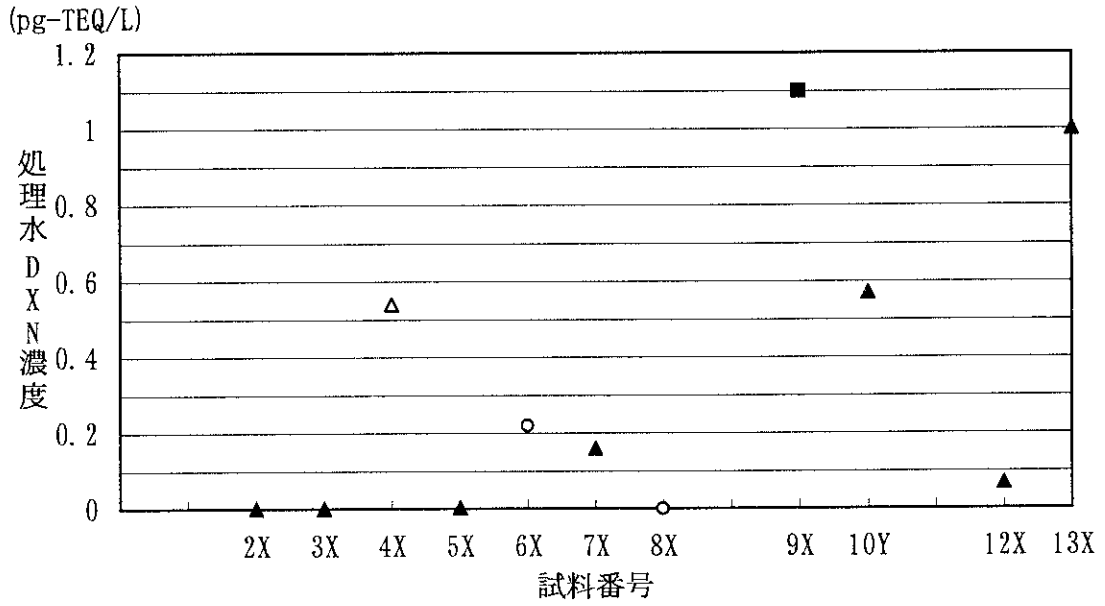


図2-3 処理水ダイオキシン類濃度 (TEQ)

- : 生物処理+凝集沈殿
- △: 生物処理+凝集沈殿+砂ろ過
- ▲: 生物処理+凝集沈殿+砂ろ過+活性炭吸着
- : 生物処理+凝集沈殿+砂ろ過+活性炭吸着+キレート処理

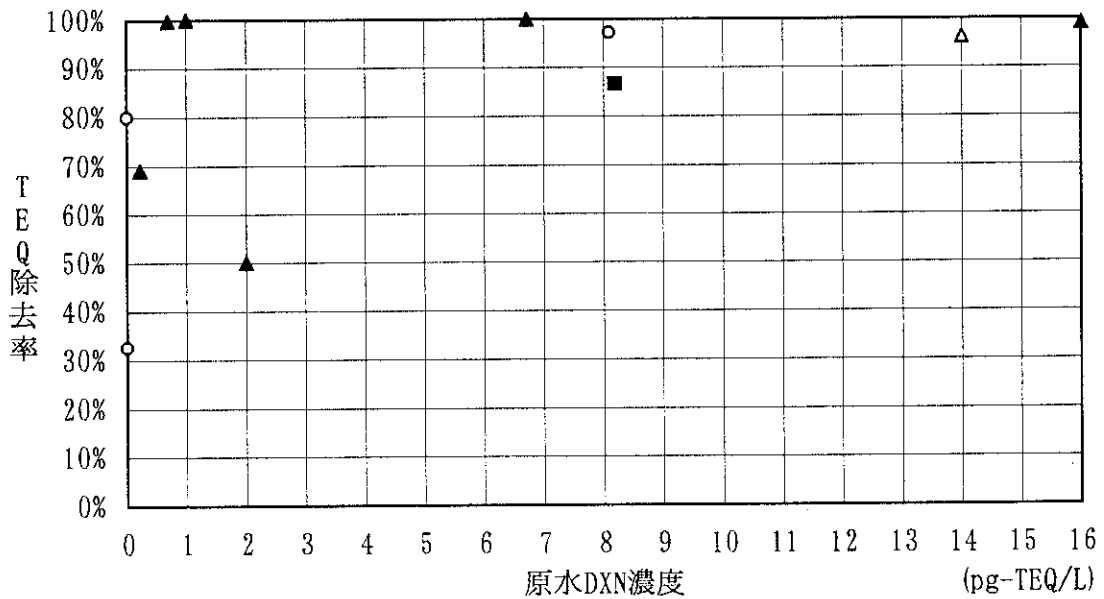


図2-4 原水ダイオキシン類濃度 (TEQ) と除去率

### 第3章 埋立処分場におけるダイオキシン類の収支調査

#### 3-1. No. 15処分場のダイオキシン類の物質収支

焼却灰と飛灰を主体に埋立を行っている最終処分場No. 15において、埋立層内部を掘削し、灰層と覆土層のダイオキシン類濃度を把握し、また、搬入物となる埋立ごみ(焼却灰、飛灰)、覆土材、降雨、降下煤塵、脱水汚泥(処分場への返送)、さらに搬出物となる浸出水、処理水、埋立地ガス中のダイオキシン類濃度を実測し、処分場全体でのダイオキシン類収支の試算を行った。

以下に得られた結果を示す。

##### ①最終処分場へのダイオキシン類のINPUT

###### ・埋立ごみ中のダイオキシン類濃度

6つの工場の焼却残渣の分析結果は、焼却灰で0.65～23pg-TEQ/g、飛灰で240～30,000pg-TEQ/gとなっており、焼却工場による濃度差が非常に大きい。

###### ・降下ばいじん中のダイオキシン類濃度

雨水を含む降下ばいじんの分析結果は、150pg-TEQ/m<sup>2</sup>/dayであり、比較的高い値となっている。これは最終処分場に隣接するバッチ式焼却炉からの排煙による影響が大きいものと考えられる。

###### ・覆土材中のダイオキシン類濃度

覆土材中の濃度は0.13pg-TEQ/gであった。

##### ②最終処分場からのダイオキシン類のOUTPUT

###### ・浸出水(原水)中のダイオキシン類濃度

原水中濃度は1.1pg-TEQ/Lで、比較的低い値であった。

###### ・浸出水(処理水)中のダイオキシン類濃度

処理水中濃度は検出限界(0.2pg-TEQ/L)以下で、現状の水処理施設により、原水中のダイオキシン類が除去されている。

###### ・脱水汚泥中のダイオキシン類濃度

水処理施設から排出される脱水汚泥中の濃度は0.73pg-TEQ/gで、埋立ごみ中のダイオキシン類濃度よりもかなり低い値であった。なお、この脱水汚泥は処分地に戻されているため、INPUTともなっている。

###### ・発生ガス中のダイオキシン類濃度

発生ガス中の濃度は0.65pg-TEQ/m<sup>3</sup>で、環境庁が示した指針値0.8pg-TEQ/mよりもわず

かに小さい値であった。

### ③最終処分場内部のダイオキシン類濃度

埋立層内のダイオキシン類の分析結果を図3-1、3-2に示す。

#### ・埋立灰中のダイオキシン類濃度

10サンプルの分析結果は100pg-TEQ/g～2,900pg-TEQ/gと10倍以上の違いがあった。この濃度は埋め立てられた焼却灰の濃度の10倍以上高いものの、飛灰の濃度範囲よりも少し低い値であった。従って、試料がほとんど飛灰の部分の場合は濃度が高く、飛灰の割合が低い試料では濃度が低めにでたものと考えられる。深さ方向、すなわち、埋立年度による違いは明確ではなかった。

#### ・覆土中のダイオキシン類濃度

中間覆土中の濃度は1.0pg-TEQ/g、2.6pg-TEQ/gとなっており、当初の覆土中濃度0.13pg-TEQ/gよりも1オーダー濃度が上昇している。上部の灰から浸出水の流れによって、ダイオキシン類が移動・吸着したものと考えられる。最表層覆土の濃度は0.7pg-TEQ/gで、これも当初の覆土中濃度よりも高くなっているが、最表層の場合、沈降ばいじんや雨水による沈着の影響が考えられる。

### ④最終処分場におけるダイオキシン類収支

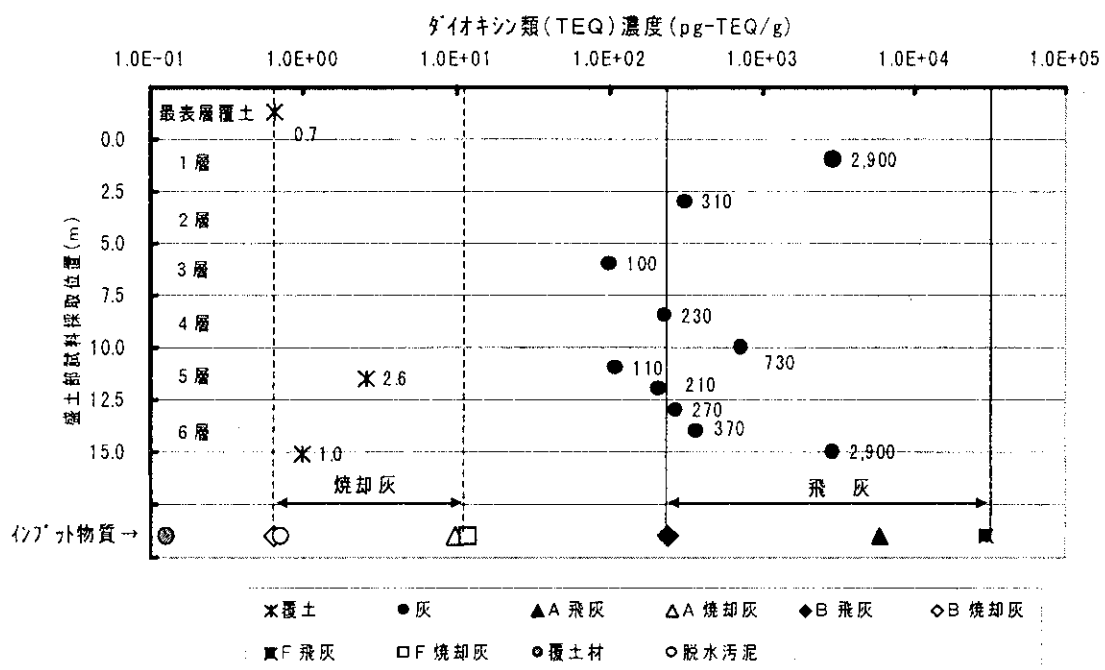
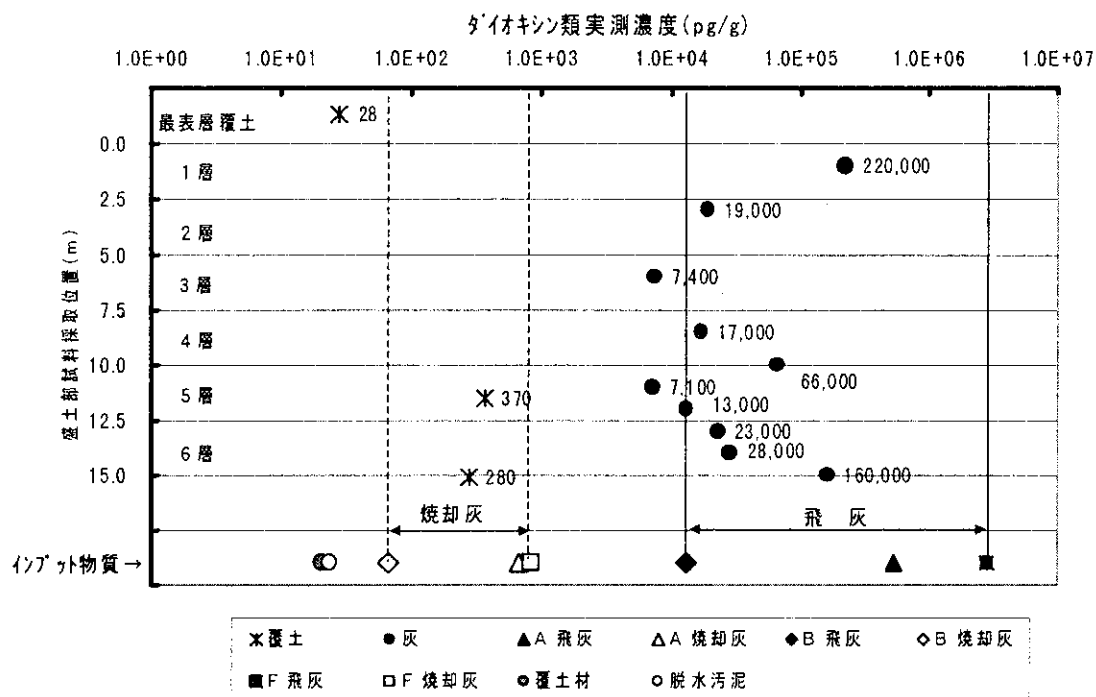
ダイオキシン類の収支に関連する試料の分析結果を図3-3、3-4に示す。また、物質収支の計算結果を図3-5、3-6に示す。図3-5、3-6では埋立開始からの焼却灰、飛灰、降下煤塵、覆土によるダイオキシン類総量を100%として、表記している。

#### ・INPUT

埋立開始からの処分場へのダイオキシン類入力のうち、飛灰が99.4%を占め、焼却灰が0.6%、降下ばいじんが0.01%、覆土材が0.006%、脱水汚泥が0.004%となっている。

#### ・OUTPUT

INPUTを100%とした時の最終処分場からのダイオキシン類出力は浸出水原水が0.0004%、発生ガスが0.00004%となっており、埋め立てられたダイオキシン類の99.9%以上が処分場内に貯留・保管されているものと考えられる。



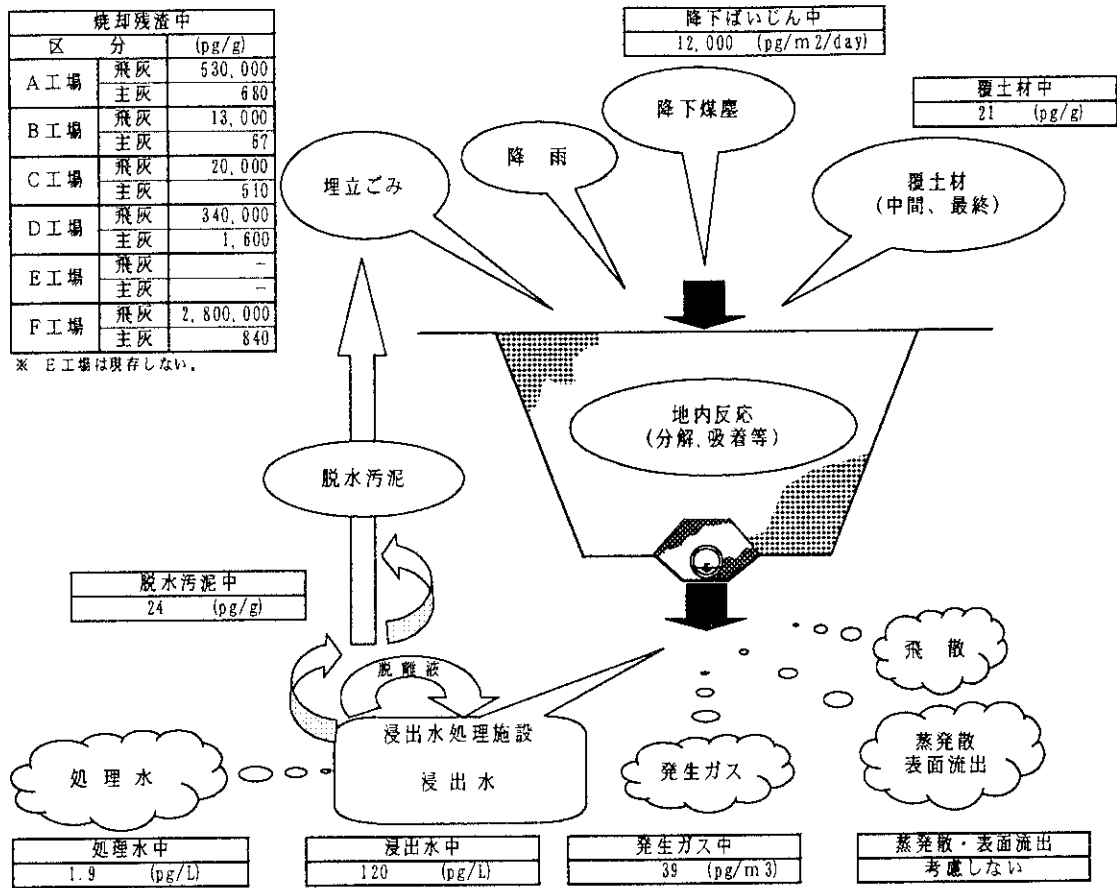


図 3-3 NO.15最終処分場における物質収支モデルとダイオキシン類実測濃度

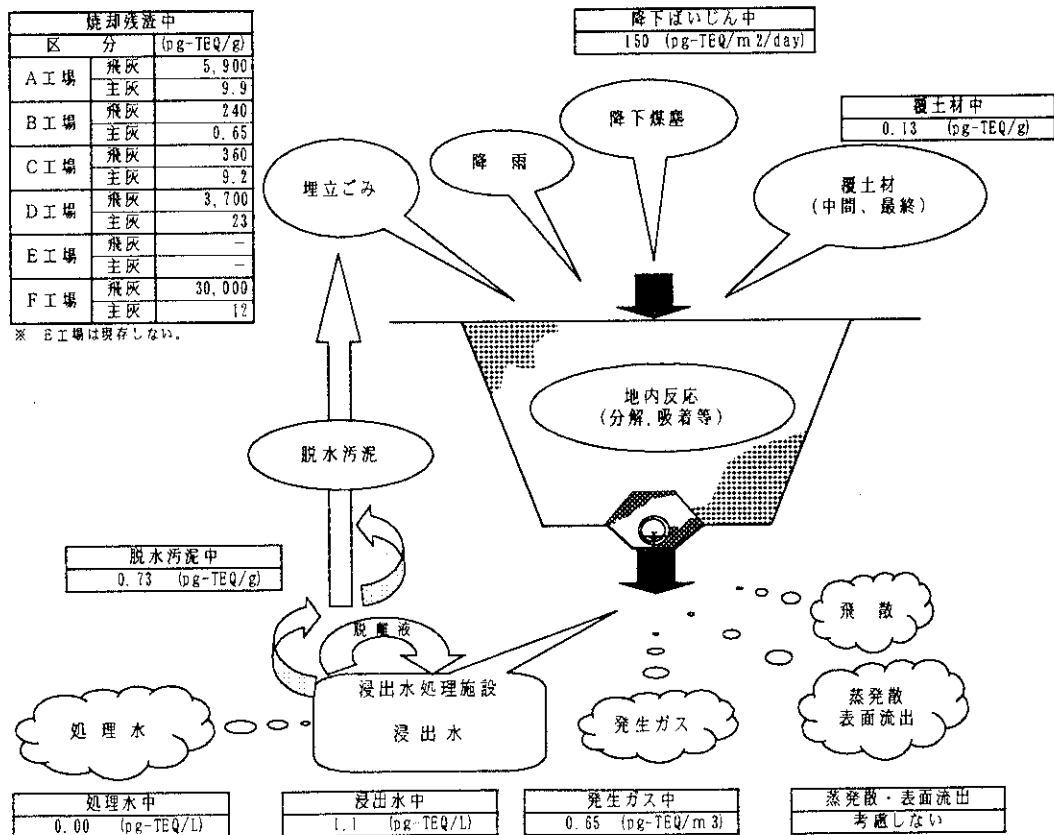


図 3-4 NO.15最終処分場における物質収支モデルとダイオキシン類毒性等量

焼却残渣中			
区分		g	%
A工場	飛灰	22,097.3	68.222
	焼却灰	113.4	0.350
B工場	飛灰	601.1	1.856
	焼却灰	12.4	0.038
C工場	飛灰	268.0	0.827
	焼却灰	11.7	0.036
D工場	飛灰	351.2	1.084
	焼却灰	6.6	0.020
E工場	飛灰	1,865.1	5.758
	焼却灰	9.6	0.030
F工場	飛灰	7,036.4	21.724
	焼却灰	7.2	0.022
小計	① 飛灰	32,219.1	99.471
	② 焼却灰	160.9	0.496
計		32,380.0	99.967

a % = ① / T × 100

b % = ② / T × 100

※ E工場濃度はA工場濃度とした。

降下ばいじん中	
5.782	g ③
0.018	%

c % = ③ / T × 100

覆土材中	
4.766	g ④
0.015	%

d % = ④ / T × 100

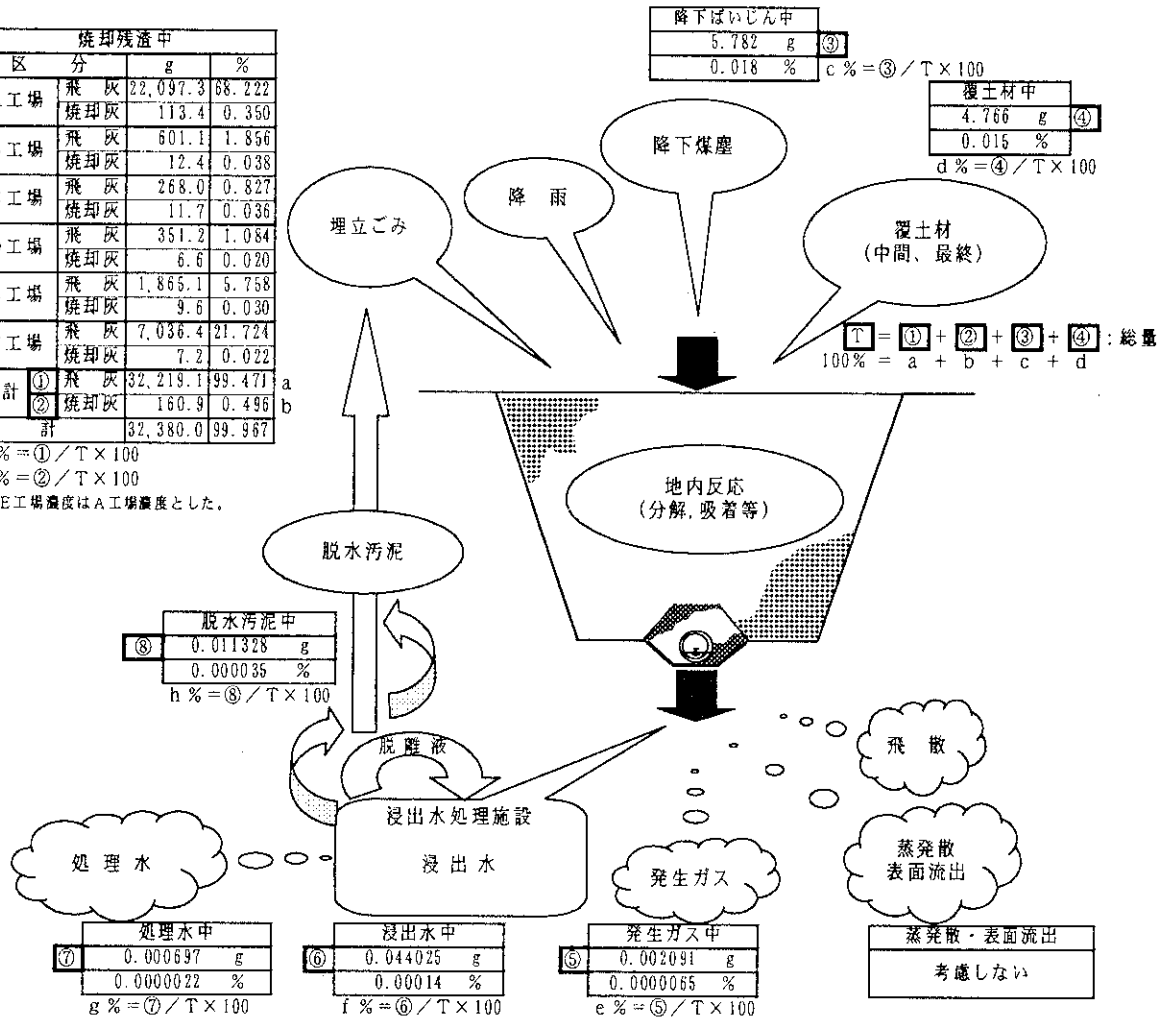


図 3-5 NO.15最終処分場におけるダイオキシン類の物質収支

焼却残渣中			
区分		g-TEQ	%
A工場	飛灰	246.0	67.527
	焼却灰	1.7	0.467
B工場	飛灰	11.1	3.047
	焼却灰	0.1	0.027
C工場	飛灰	4.8	1.318
	焼却灰	0.2	0.055
D工場	飛灰	3.8	1.043
	焼却灰	0.1	0.027
E工場	飛灰	20.8	5.710
	焼却灰	0.1	0.027
F工場	飛灰	75.4	20.697
	焼却灰	0.1	0.027
小計	① 飛灰	361.9	99.342
	② 焼却灰	2.3	0.630
計		364.2	99.972

$$a \% = \text{①} / T \times 100$$

$$b \% = \text{②} / T \times 100$$

\* E工場濃度はA工場濃度とした。

降下ばいじん中	
0.072 g-TEQ	③
0.020 %	

$$c \% = \text{③} / T \times 100$$

覆土材中	
0.02951 g-TEQ	④
0.00800 %	

$$d \% = \text{④} / T \times 100$$

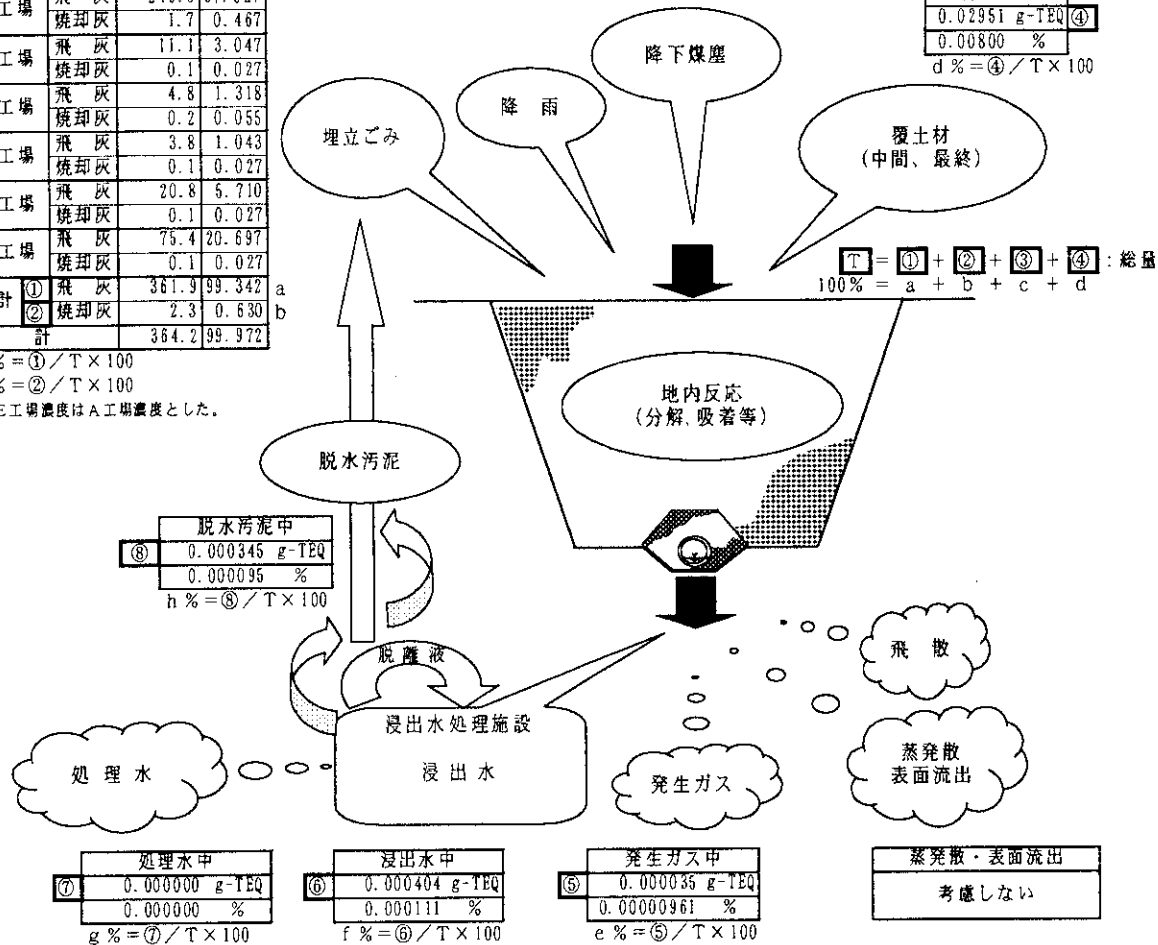


図 3-6 NO.15最終処分場におけるダイオキシン類 (毒性等量) の物質収支

### 3-2. No. 14処分場のダイオキシン類の物質収支

同様に焼却灰と飛灰を主体に埋立を行っている最終処分場No. 14において、ダイオキシン類の収支試算を行った結果を以下に示す。

#### ①最終処分場へのダイオキシン類のINPUT

##### ・埋立ごみ中のダイオキシン類濃度

焼却灰が7.1pg-TEQ/g、飛灰が6,100pg-TEQ/gとなっており、焼却灰の濃度が低い。

##### ・降下ばいじん中のダイオキシン類濃度

降下ばいじんは0.24pg-TEQ/m<sup>2</sup>/day、雨水は0.8pg-TEQ/Lで、比較的低い値となっている。これは採取開始前日にかなりの降雨があったためにバックグラウンドに近い値が得られたものと考えられる。

##### ・覆土材中のダイオキシン類濃度

覆土材中の濃度は0.02pg-TEQ/gであった。

#### ②最終処分場からのダイオキシン類のOUTPUT

##### ・浸出水(原水)中のダイオキシン類濃度

原水中濃度は2.0pg-TEQ/Lで、比較的低い値であった。

##### ・浸出水(処理水)中のダイオキシン類濃度

処理水中濃度は0.01pg-TEQ/Lで、現状の水処理施設により、原水中のダイオキシン類がほぼ除去されている。

##### ・凝沈汚泥中のダイオキシン類濃度

水処理施設から排出される凝沈汚泥中の濃度は第一凝沈汚泥が14pg-TEQ/g、第二凝沈汚泥が16pg-TEQ/gで、埋立ごみ中の焼却灰のダイオキシン類濃度と同レベルの低い値であった。なお、この脱水汚泥は処分地に戻されているため、INPUTともなっている。

##### ・発生ガス中のダイオキシン類濃度

発生ガス中の濃度は0.0009pg-TEQ/m<sup>3</sup>で、非常に低い値であった。

#### ③最終処分場内部のダイオキシン類濃度

##### ・埋立灰中のダイオキシン類濃度

焼却残渣部分の分析結果は上部が2,100pg-TEQ/g、下部が1,400pg-TEQ/gであった。こ



の濃度は埋め立てられた飛灰の濃度6,100pg-TEQ/gの3分の1程度の値であり、採取サンプルの飛灰と焼却灰の比率が影響しているものと考えられる。埋立年度が古い下部の方が濃度が低いのは脱着・流出や分解が起きたことも考えられるが、今回の結果からは明確に結論することはできない。

・覆土中のダイオキシン類濃度

覆土中の濃度は上部が50pg-TEQ/g、下部が6.0pg-TEQ/gとなっており、いずれも当初の覆土中濃度0.02pg-TEQ/gよりも2オーダー以上濃度が高くなっている。上部の埋立灰から浸出水の流れによって、ダイオキシン類が移動・吸着したものと考えられる。

④最終処分場におけるダイオキシン類収支

ダイオキシン類の収支計算結果を図3-7、3-8に示す。

・INPUT

埋立開始からの処分場へのダイオキシン類入力のうち、飛灰が99.7%を占め、焼却灰が0.3%、降下ばいじんが0.0002%、覆土材が0.0013%、脱水汚泥が0.0006%となっている。

・OUTPUT

INPUTを100%とした時の最終処分場からのダイオキシン類出力は浸出水原水が0.0006%、発生ガスが0.0000002%となっており、埋め立てられたダイオキシン類の99.9%以上が処分場内に貯留されているものと考えられる。

⑤周辺環境中のダイオキシン類濃度

・環境大気中のダイオキシン類濃度

埋立地の上流部で0.00038pg-TEQ/m<sup>3</sup>、下流部で0.00044pg-TEQ/m<sup>3</sup>となっており、非常に低い値であった。これは採取開始前日にかなりの降雨があったためにバックグラウンドに近い値が得られたものと考えられる。

・河川水中のダイオキシン類濃度

ため池流入水が0.18pg-TEQ/L、放流口下流水が0.47pg-TEQ/L、放流口上流水が1.6pg-TEQ/Lと比較的高い値となっている。これは採取日の前日・当日の降雨により、やや濁った状態であったことの影響や化学製品の副成物由来のダイオキシン類の影響も考えられる。

・河川底質中のダイオキシン類濃度

ため池底質が15pg-TEQ/g、放流口下流側底質が10pg-TEQ/gであり、焼却灰(7.1pg-TEQ/g)よりやや高く、水処理施設汚泥(14~16pg-TEQ/g)とほぼ同じ程度の値であった。

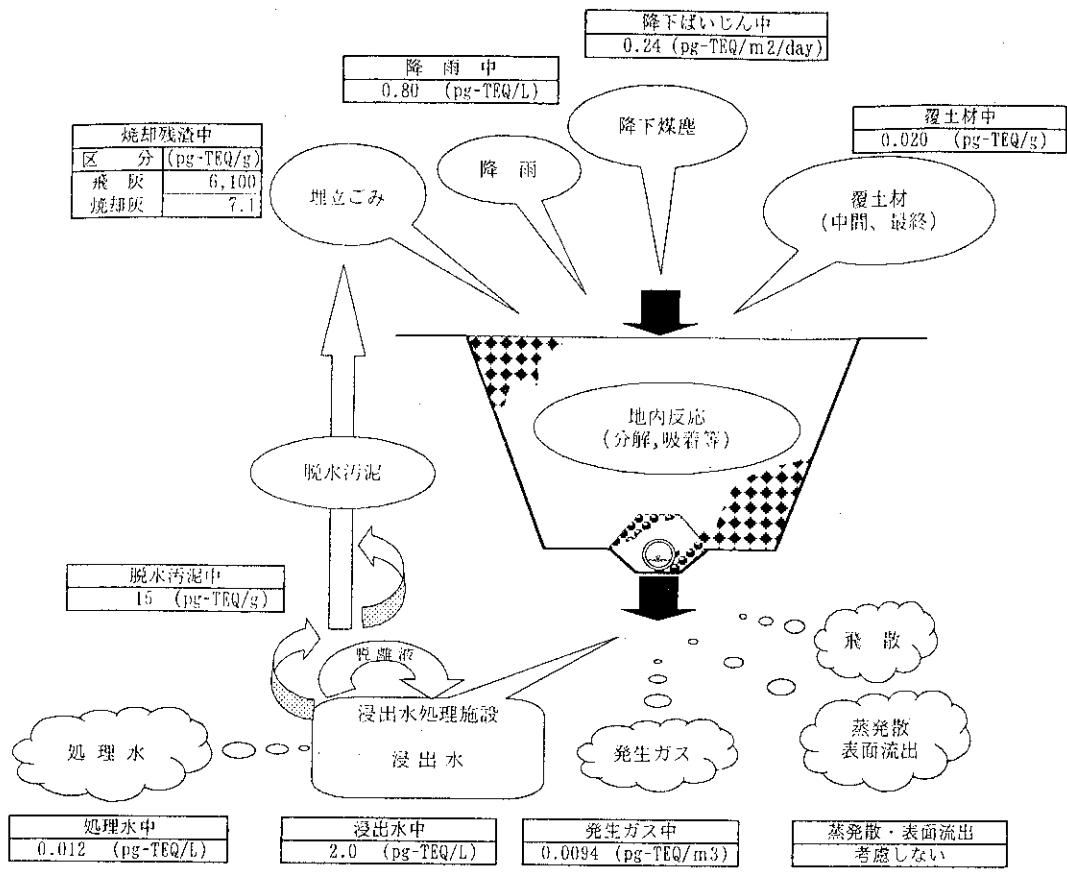


図 3-7 NO. 14 埋立地における物質収支モデルとダイオキシン類の毒性等量

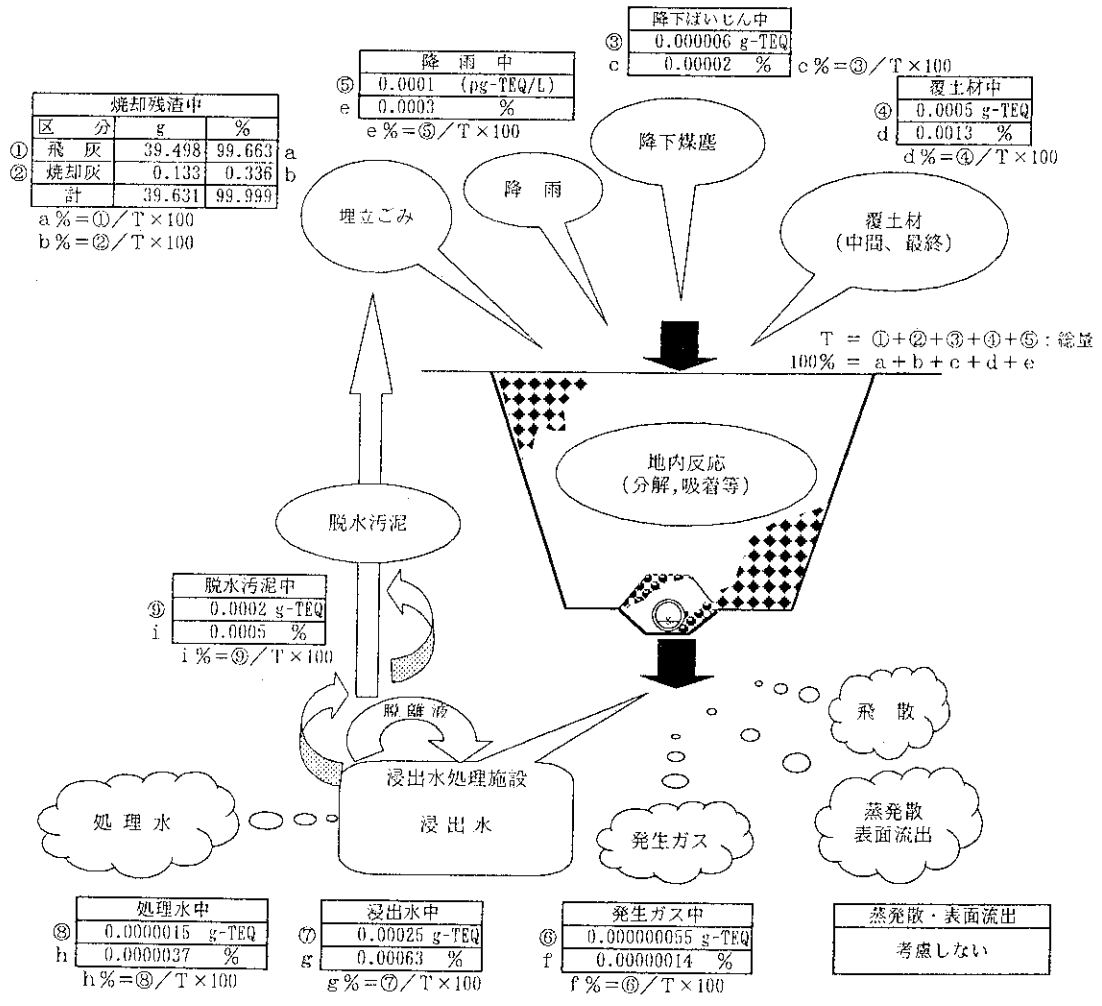


図 3-8 NO. 14埋立地におけるダイオキシン類毒性等量の物質収支

## 第4章 粉じん飛散調査

### 4-1. 処分場飛散調査

焼却灰を埋め立てる最終処分場において、廃棄物のダンピング、敷均し作業、さらには埋立地表面からの飛散が生じ、焼却残渣に含まれるダイオキシン類が飛散し周辺環境へも影響を及ぼしているのではないかと懸念されている。そこで、本研究では一般廃棄物処分場における粉じん飛散の実測調査をおこなった。また、ダイオキシン類の飛散分布を広く把握しようとするに検体数が増加し、分析費用が増大する。そこで焼却灰に特有な重金属類を飛散の指標とする可能性を検討した

- ・ 搬入飛灰・焼却灰中のダイオキシン類濃度

飛灰中濃度は焼却灰濃度の約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)中濃度

ダイオキシン類は埋立作業地点をピークとして、遠くになるに従って濃度が低くなっている(図4-1参照)。

- ・ 降下ばいじん中濃度

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(図4-2参照)。

- ・ 土壌中濃度

埋立地点から遠くなるに従って濃度は低くなるが、減衰傾向は明確ではない(図4-3参照)。

- ・ ダイオキシン類と重金属の相関

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(図4-4参照)。

大気環境基準
0.6 pg-TEQ/m <sup>3</sup>
大気排出基準(H14.12以降)
5.0 ng-TEQ/m <sup>3</sup>
施設NO.18 (H11.9 調へ)
焼却施設1号炉
2.1 pg-TEQ/m <sup>3</sup>
焼却施設2号炉
2.0 pg-TEQ/m <sup>3</sup>

凡例： 24日(昼) 24日(夜) 25日(昼) 25日(夜)

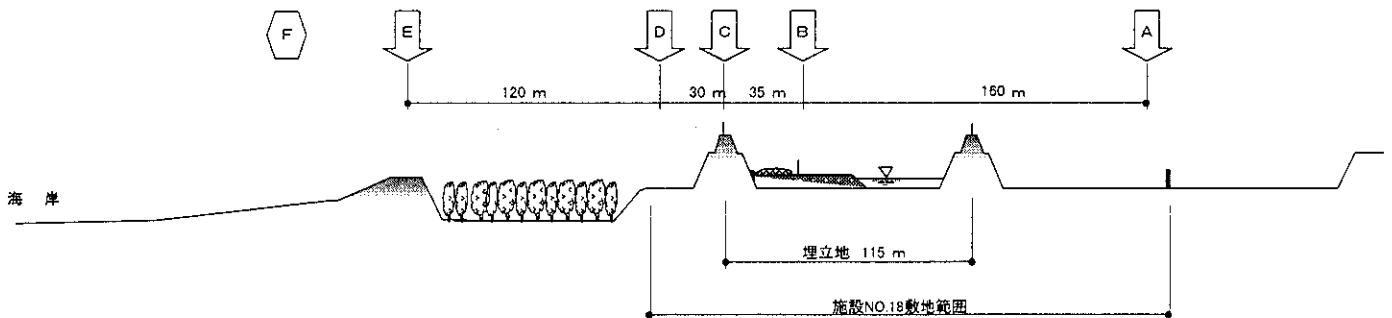
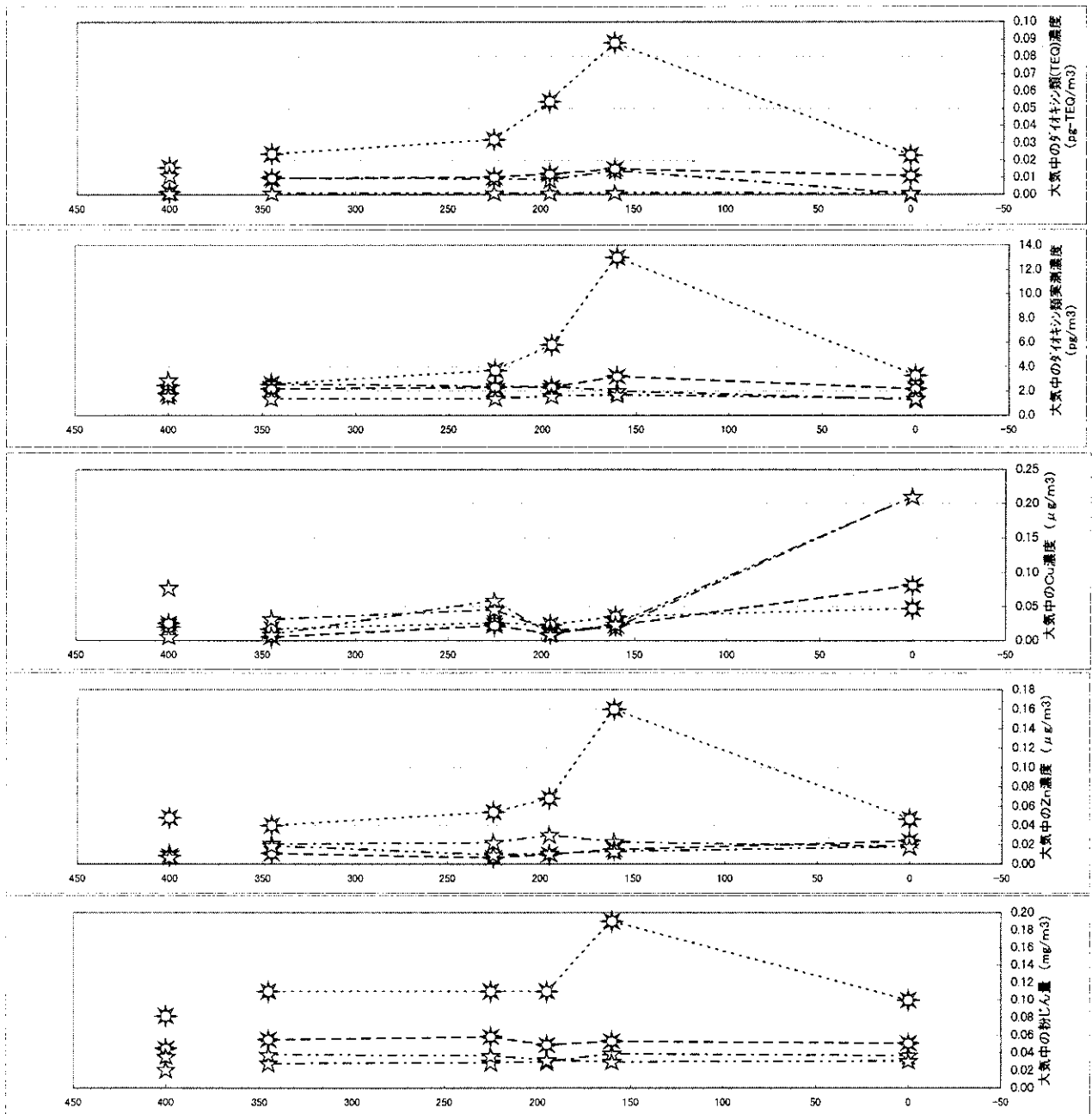
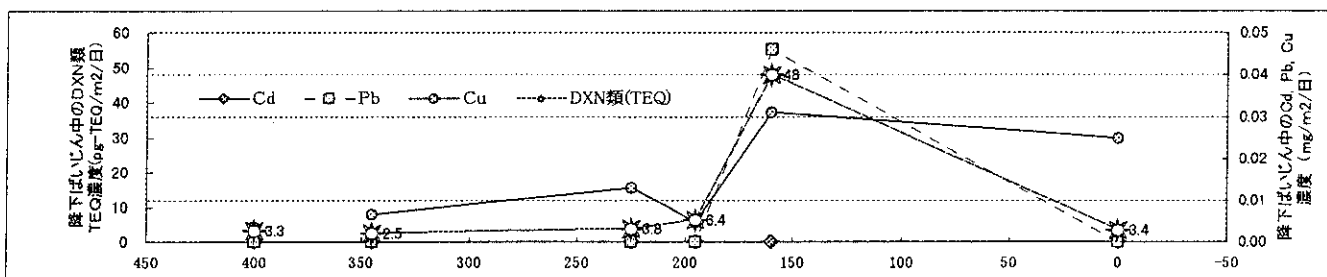
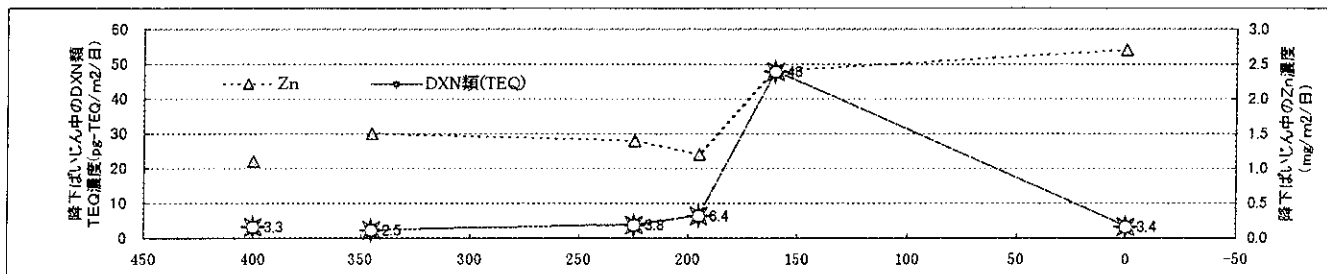


図 4-1 ダイオキシン類濃度, 重金属類(Cu, Zn)濃度及び総粉じん量のサンプリング地点との対応

<ダイオキシン類TEQ濃度と重金属類濃度>



<ダイオキシン類実測濃度と重金属類濃度>

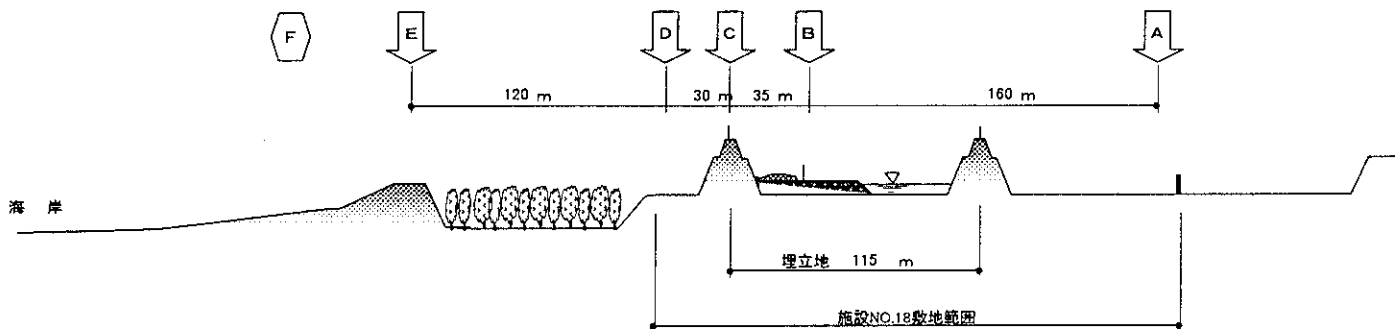
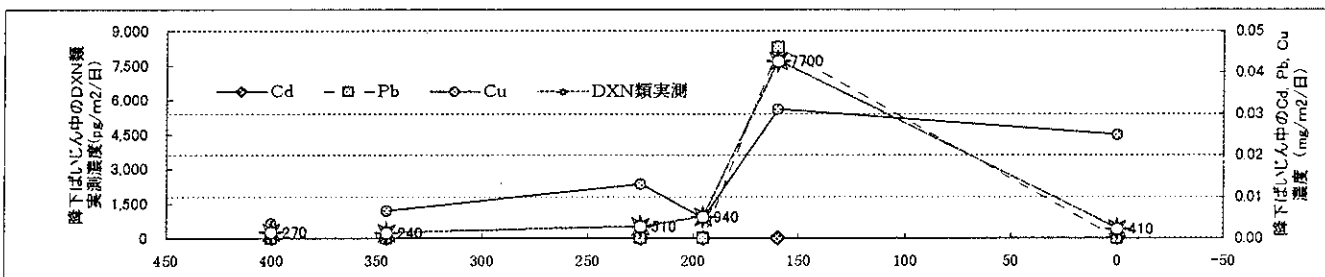
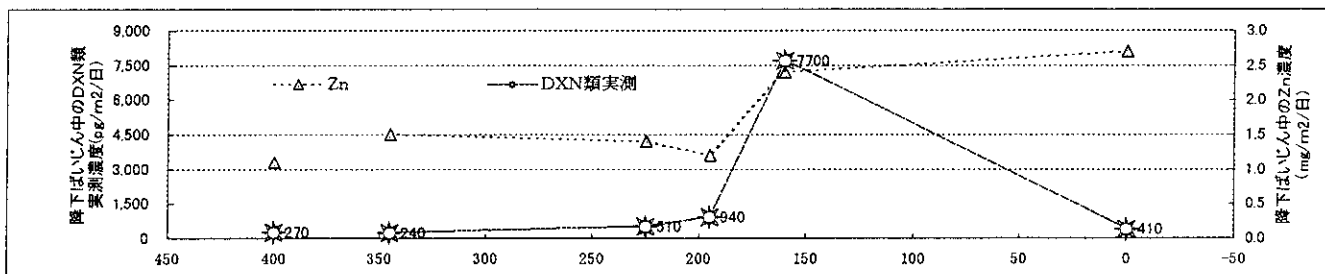
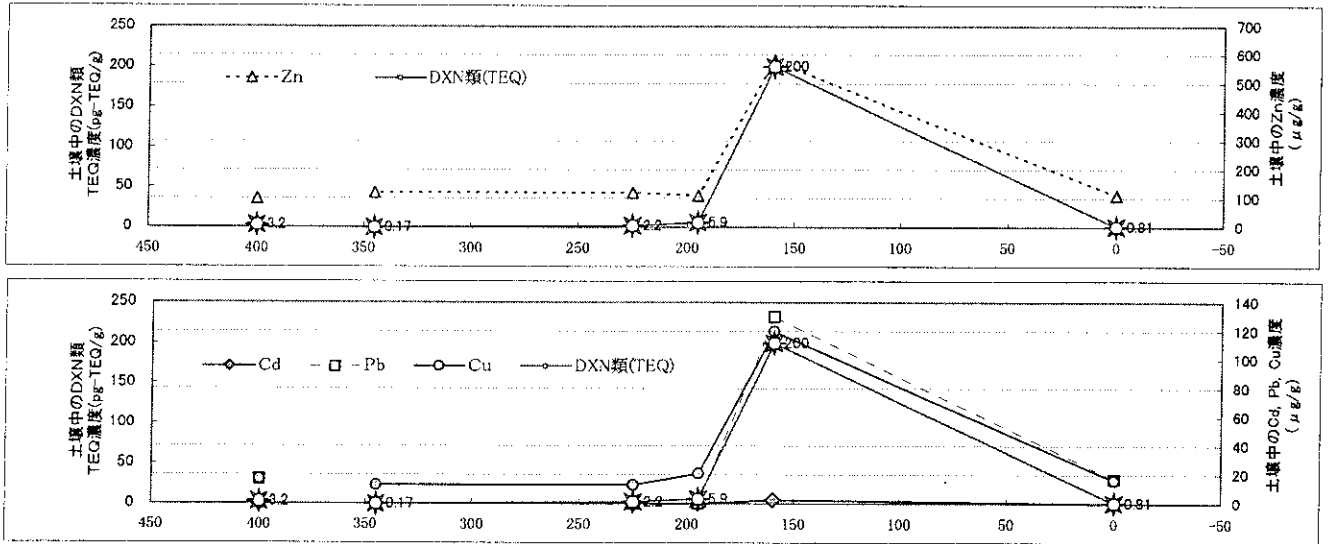


図 4-2 降下ばいじん中のダイオキシン類濃度、重金属類(Cd, Pb, Cu, Zn)濃度とサンプリング地点との対応

<ダイオキシン類TEQ濃度と重金属類濃度>



<ダイオキシン類実測濃度と重金属類濃度>

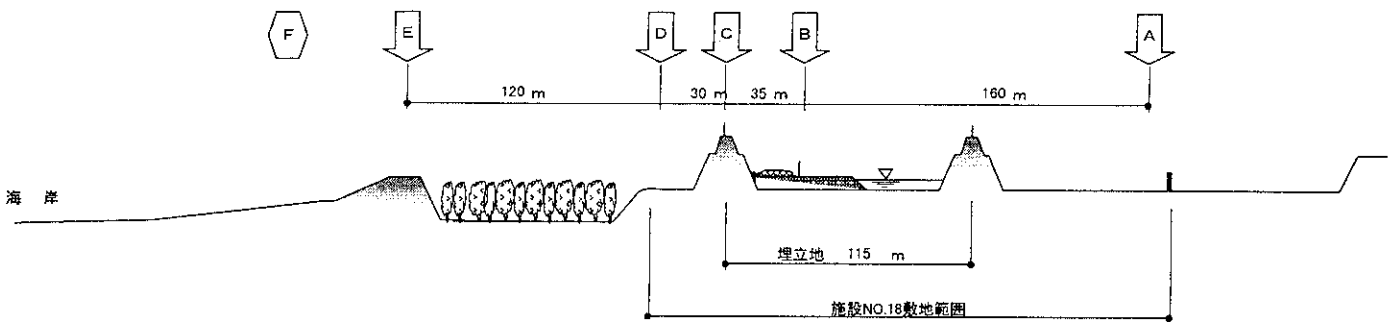
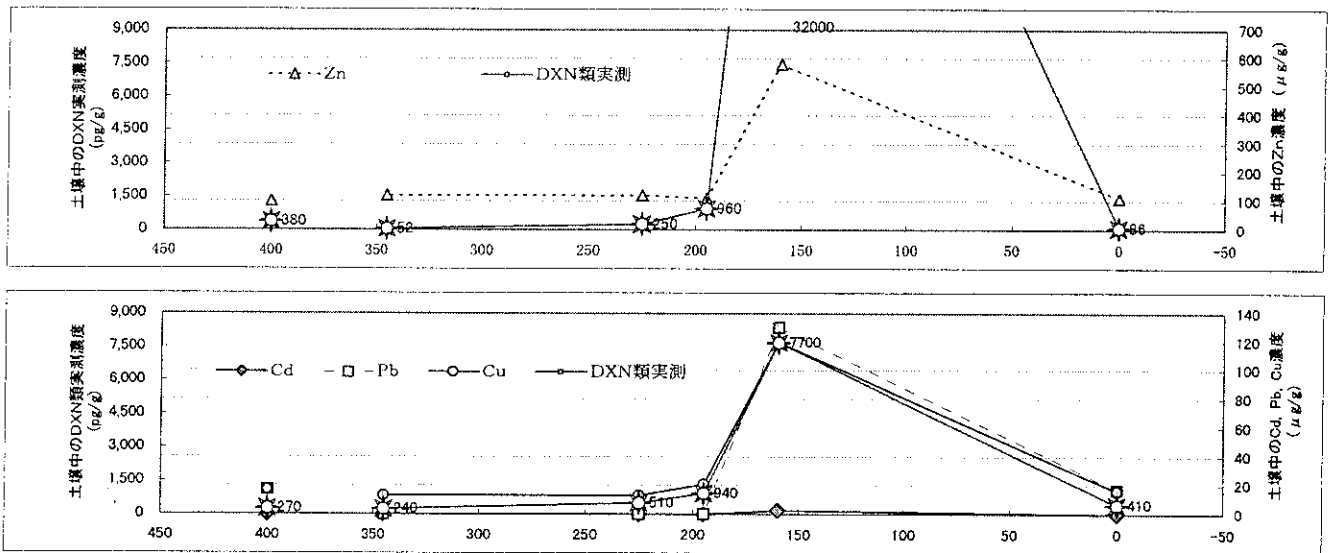
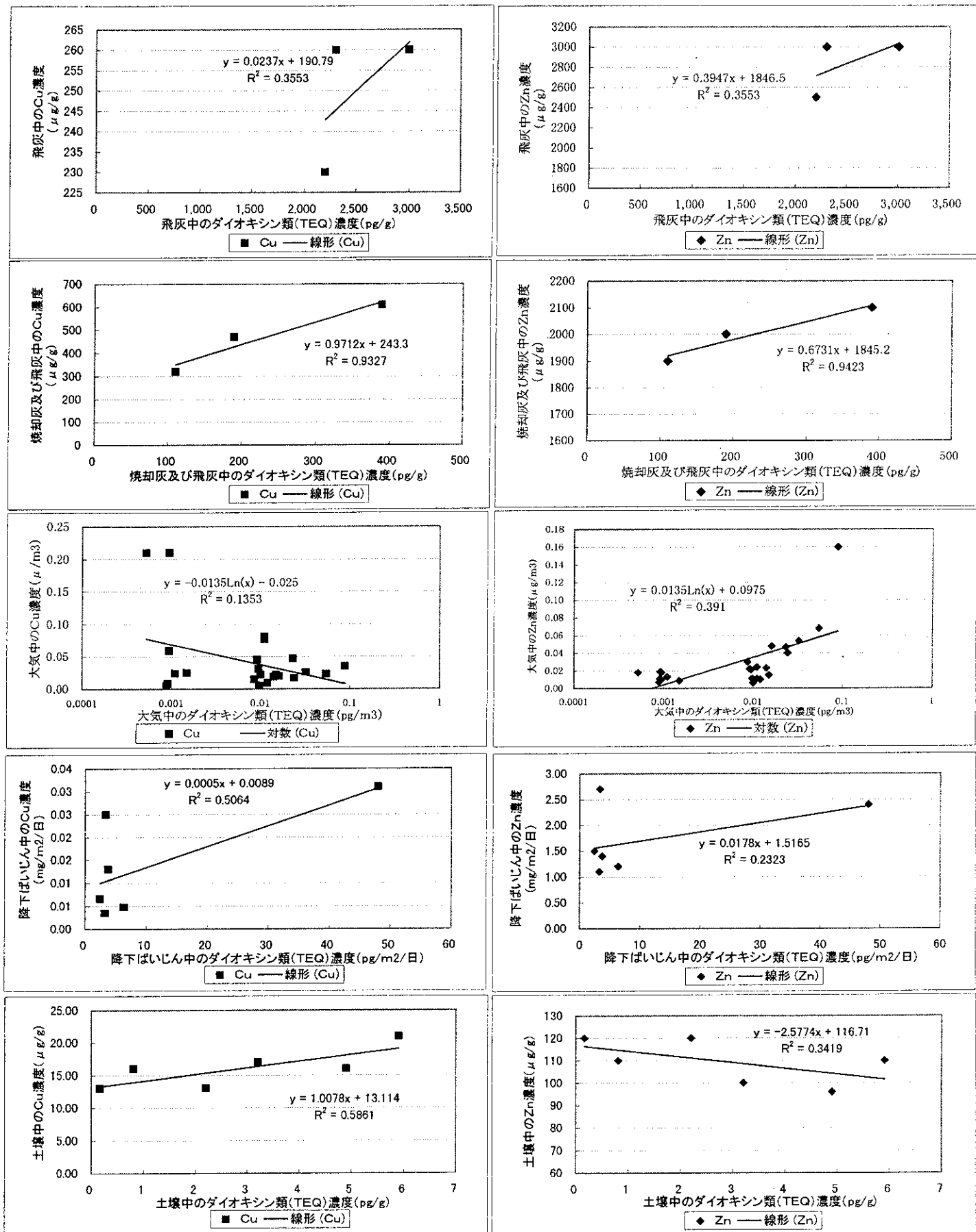


図 4-3 土壤中のダイオキシン類濃度、重金属類(Cd, Pb, Cu, Zn)濃度とサンプリング地点との対応



※土壌については、調査地点Bが埋立地内表土であり、他地点に比して高濃度であることから除外した。

図 4-4 存在形態別のダイオキシン類(TEQ)濃度と重金属類(Cu, Zn)の相関

## 4-2. 室内実験

埋立地における飛散状況の調査においては、風向、風速などの気象条件、焼却灰の投入状況が時間とともに変化し、これらの条件は埋立地によっても異なる。また、飛散粒子を直接計測するわけではないので、バックグラウンドのレベルおよび変化との区別が困難である。さらに、測定されるのは数時間の積分値であり、測定地点も限られる。

そこで、飛散に影響すると考えられる風速、焼却灰の特性をパラメータとして、図4-5に示す小風洞を用いた飛散実験を行い、焼却灰の飛散を直接測定した。実験結果をもとに焼却灰飛散をモデル化し、実験値との比較を行い、埋立地における飛散の可能性評価と、飛散を防止するための方法を示した。

- ・ 試料の粒径分布

K飛灰は焼却灰に比べて500  $\mu$ m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(図4-6参照)。

- ・ 含水率の影響

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(図4-7参照)。

- ・ 捕集試料の粒径分布

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(図4-8参照)。

- ・ 含水率による試料の粒径分布変化

含水率が大きくなるにつれて、小粒径粒子が減っていく(図4-9参照)。

- ・ 粒径別の捕集率

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(図4-10参照)。

- ・ 拡散計算に基づく計算との比較

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、飛灰の飛散可能性

焼却残渣の飛散は粒径69  $\mu$ m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。



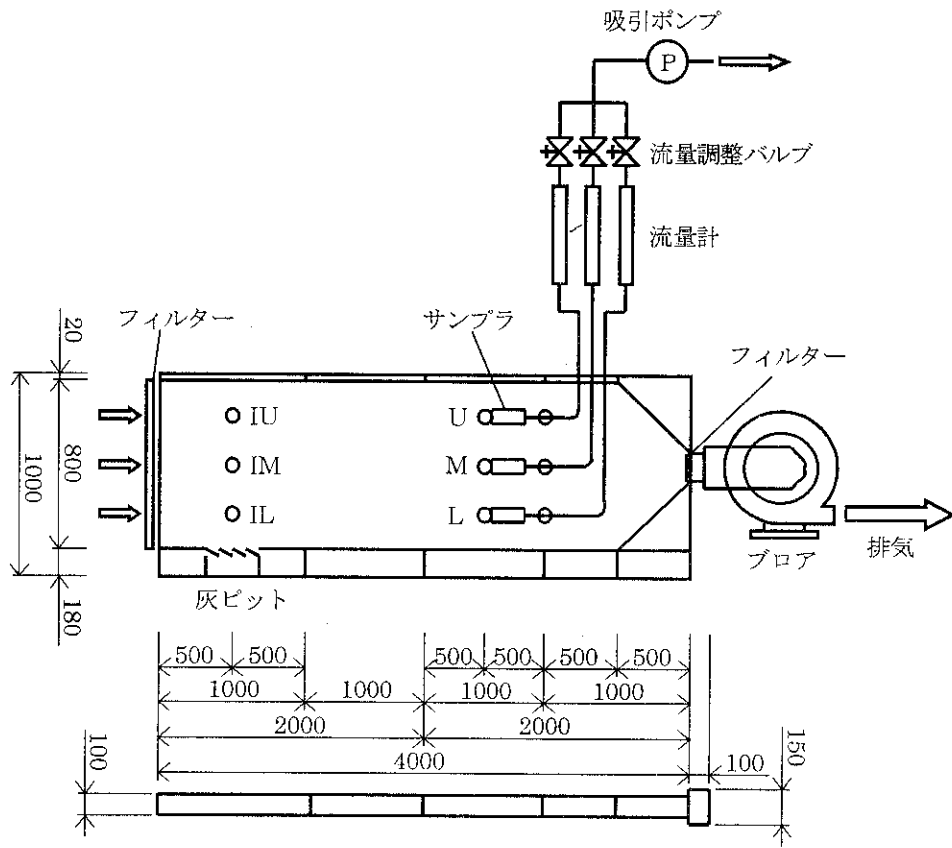


図 4-5 小風洞実験装置

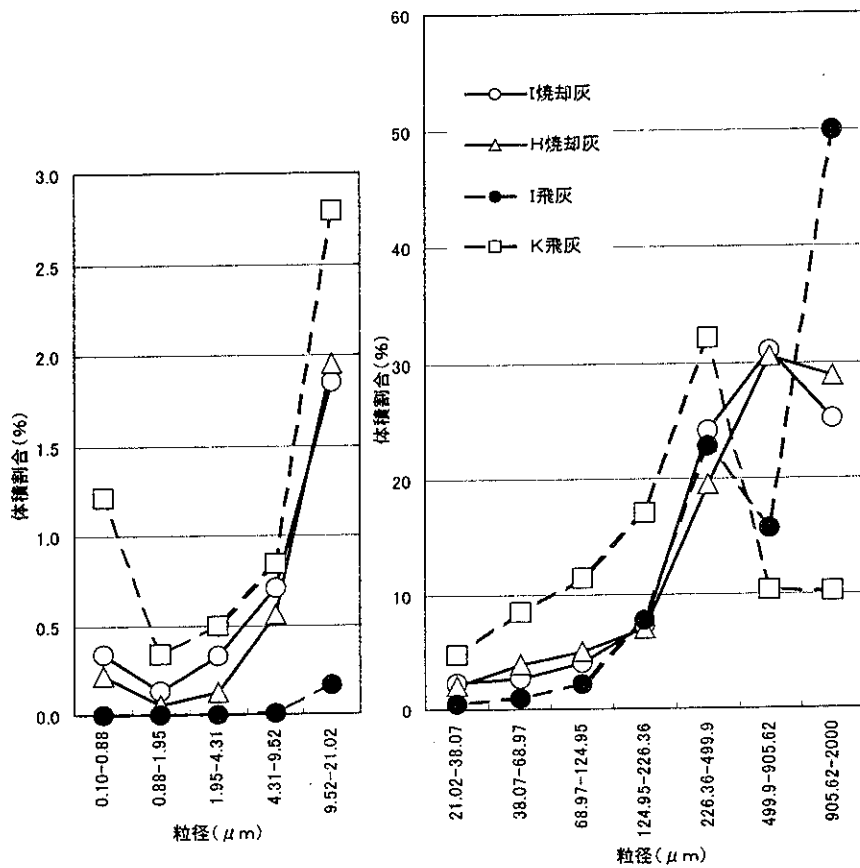


図 4-6 試料の粒径分布 (乾燥 焼却灰・飛灰、2mm 以下)

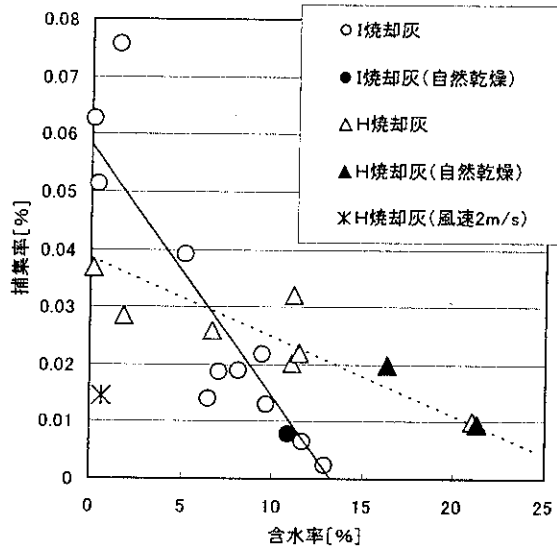


図 4-7 試料の含水率とサンプル捕集率の関係 (上段より投入し、上段サンプラーで捕集)

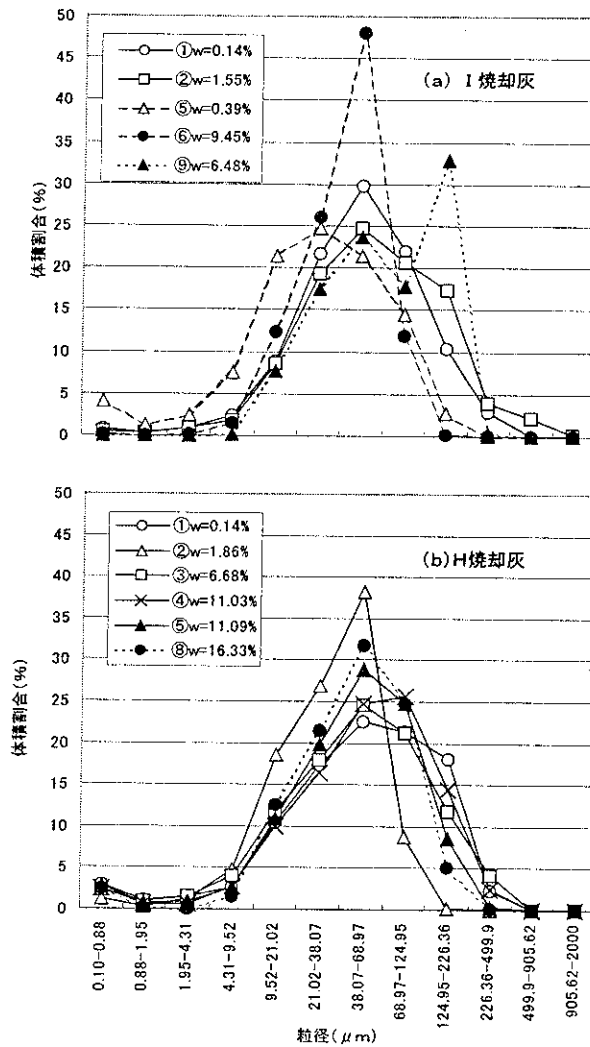


図 4-8 含水率の異なる試料を用いた際の捕集試料粒径分布(上段投入→上段サンプラー捕集)

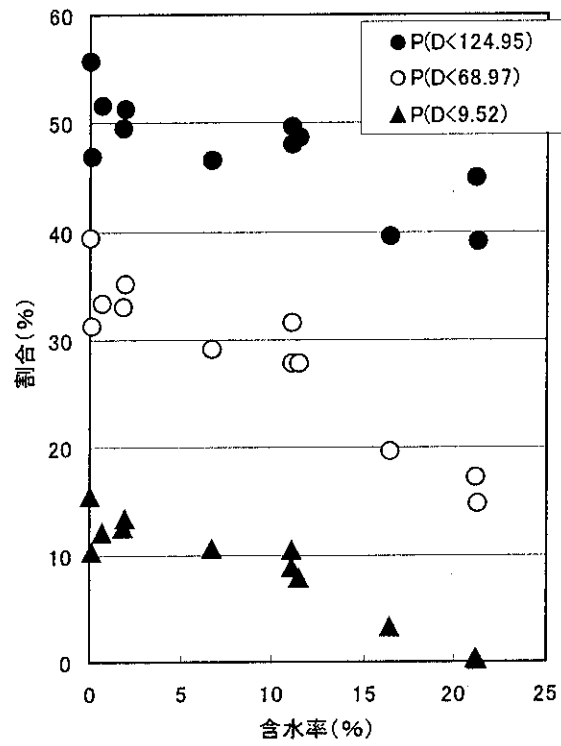


図 4-9 含水率の違いによる小粒径粒子割合の変化 (H焼却灰)

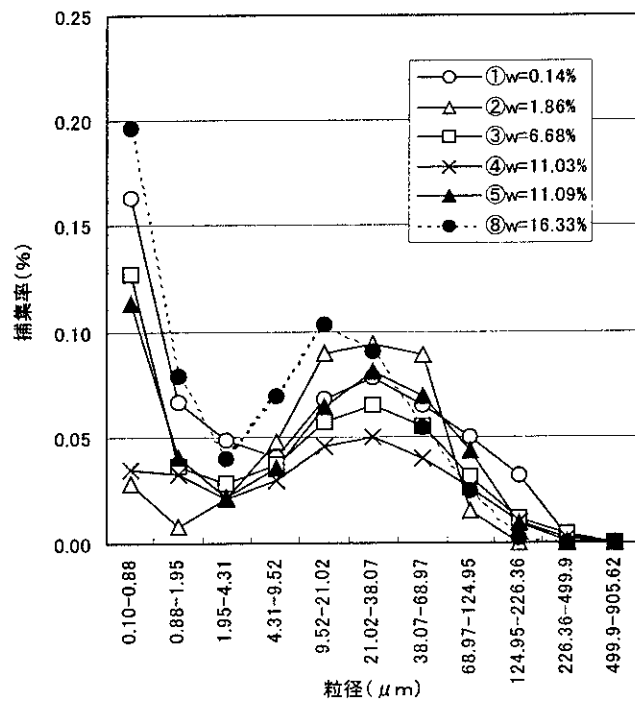


図 4-10 粒径別のフィルター捕集率 (H焼却灰)

## 第5章 模型実験におけるダイオキシン類の長期的挙動調査

図5-1に示す2つの大型模型槽(内径1m、高さ3.5m)に焼却灰：飛灰：破碎不燃物を6：2：2の比率に混合して充填し、自然降雨条件下で浸出水を採取し、定期的に分析を行った。1槽は浸出水を循環させる循環式準好気性埋立を模擬した。

### 1) 模型槽へのダイオキシン類のINPUT

#### ・埋立ごみ中のダイオキシン類濃度

焼却灰が19pg-TEQ/g、飛灰が64,000pg-TEQ/g、破碎不燃ごみが3.5pg-TEQ/gで、飛灰の濃度が非常に高い。模型槽に充填した混合ごみのダイオキシン類濃度は14,000pg-TEQ/gであった。

#### ・雨水中のダイオキシン類濃度

期間中実験地における雨水のダイオキシン類濃度を追跡調査した。雨水の濃度範囲は0.05～2.7pg-TEQ/Lであり、平均値は0.59pg-TEQ/Lであり、従来研究よりも低い。

### 2) 模型槽からのダイオキシン類のOUTPUT

模型槽からの浸出水中のダイオキシン類濃度と粒子体比率(SS性)の割合の変化を図5-2に示す。

#### ・準好気性埋立の第1槽の浸出水中のダイオキシン類濃度

埋め立て直後10pg-TEQ/L以上(～40pg-TEQ/L)であったが埋立282日経過以降は排水基準(10pg-TEQ/L)以下となった。

#### ・循環型準好気性の第2槽の浸出水中のダイオキシン類濃度

埋立直後から排水基準(10pg-TEQ/L)を下回る濃度あるいは基準と同程度の濃度で推移したが、降雨量が増加し循環水量を増やした時点で濃度が上昇する現象が見られた。

#### ・粒子体比率

浸出水中のダイオキシン類のうち、粒子体(1 $\mu$ mフィルター上)の比率は80～90%以上であった。

### 3) 模型槽におけるダイオキシン類収支

充填物、降雨及び浸出水のダイオキシン類濃度を分析することにより、図5-3に示すダイオキシン類収支を得た。

#### ・INPUT