

底質ダイオキシン類の洗浄分級技術に関する研究

Study on Technology for Washing and Classifying Dioxins in Bottom Materials

三澤孝史* 白石祐彰* 大塚義一**

要 旨

ダイオキシン類に汚染された底質は、国内の河川、港湾、湖沼において対策の必要な量が数千から数十万 m^3 と大量となるため、その費用が莫大なものとなることが想定されている。その中でも、ダイオキシン類濃度が高い場合には無害化処理が必要とされる。ダイオキシン類の無害化処理技術は、熔融法、低温還元熱分解法等、様々なものが開発されているが処理費が高いためコストダウン技術が望まれている。このような背景より、底質ダイオキシン類を低コストで処理するために、無害化処理する底質量を低減する前処理工程（洗浄分級）を付加したシステムの研究に取り組んでいる。洗浄分級により、底質をダイオキシン類濃度が高い粒子と低い粒子に分け、無害化処理が必要な底質量を低減することにより、全体の処理費を低減する。本報では、ダイオキシン類により汚染された底質を用いた実験室規模の洗浄分級実験について述べる。今回の実験では、分級技術として超小型のハイドロサイクロンを選定し、底質ダイオキシン類に対する分級性能を把握した。

キーワード：底質、ダイオキシン類、洗浄、分級、ハイドロサイクロン

1. まえがき

平成 12 年 1 月に「ダイオキシン類対策特別措置法」が施行されたことを受け、ダイオキシン類による水底の汚染に係る環境基準が平成 14 年 9 月に定められた。あわせて平成 11 年より全国的に実施された公共用水域における底質ダイオキシン類に係る調査の結果、いくつかの河川、港湾、湖沼において環境基準を超える底質が発見されている。

底質とは、河川、湖沼、海洋等の水底に砂利、砂、粘土、ヘドロ等の不溶物が堆積したものであり、本来は無害なものであるが、近年の人間生活の高度化ならびに産業の発達に伴い、自然の浄化能力を超えた汚染物質が排出されるようになり、有機物や有害物質が高濃度に含まれ環境汚染が問題となっている¹⁾。ダイオキシンは、元々、ポリ塩化ジベンゾ-パラジオキシン (PCDD) という物質を指している。「ダイオキシン類対策特別措置法」では、このダイオキシンと似たような性質を示すポリ塩化ジベンゾフラン (PCDF) およびコプラナー塩化ビフェニル (Co-PCB) を合わせてダイオキシン類と定義している。これらは置換した塩素の位置や数により多数の構造異性体を持ち、毒性も異なっている。

底質のダイオキシン類は、食物連鎖を通じ生物濃縮されたものを摂取する等による人体への悪影響が懸念されており、その対策は喫緊の課題となっている。

底質ダイオキシン類は、対策の必要な量が数千から数十万 m^3 と大量となるため、その費用が莫大なものとなることが想定されている。その中でも、ダイオキシン類濃度が高い場合には無害化処理が必要とされる。ダイオキシン類の無害化処理技術は、熔融法、低温還元熱分解法、化学分解法等、様々なものが開発されているが、高価なため、コストダウン技術が望まれている。

このような背景より、ダイオキシン類に汚染された底質を低コストで処理するために、無害化処理する底質量を低減する前処理工程（洗浄分級）を付加したシステムの研究開発に取り組んでいる。前処理工程の洗浄分級により、底質をダイオキシン類濃度が高い粒子と低い粒子に分け、濃度が高く無害化処理が必要な底質量を低減することにより全体の処理費を低減するというものである。

本報では、ダイオキシン類により汚染された底質を用いた実験室規模の洗浄分級実験について述べる。今回の実験では分級技術として超小型のハイドロサイクロンを選定し、ハイドロサイクロンの底質ダイオキシン類に対する分級性能を把握した。

2. 洗浄分級技術の概要

2.1 目標とする処理システム

最初に、底質ダイオキシン類の対策の考え方について述べる。底質ダイオキシン類は、その含有濃度によって

*技術研究所 **技術本部環境プロジェクト部

処理方法が区分されている。

ダイオキシン類は、物質により毒性の強さが異なる。そのため、ダイオキシン類の濃度は、最も毒性の高い、PCDD の一種である 2,3,7,8-TCDD の毒性を 1 として、他のダイオキシン類の毒性の強さを換算した毒性等価係数を用いてダイオキシン類の毒性を足し合わせた毒性等量 (TEQ : Toxic Equivalent) が用いられている。

表-1 に陸上処分する場合に選定される処理方法を示す。3000pg-TEQ/g 超の場合は、埋め立てる区画を明確に管理して一時保管することも可能であるが、最終的には分解無害化するように示されている。底質の環境基準 150pg-TEQ/g 以下であれば、土質材料として、制限なく利用が可能である。

本研究において目標とする、ダイオキシン類による汚染底質の処理システムの概念図を図-1 に示す。

このシステムは、底質を洗浄分級することにより、無害化処理する底質量を低減することにより、全体の処理費用の低減を目的としている。

ダイオキシン類は難水溶性であり、水中では水に溶けているのではなく、微粒子状のものに吸着して水中に存在している。底質の場合は、図-2 に示すように、底質の土粒子に付着している有機物にダイオキシン類が吸着していると考えられる。図-3 に実験結果から得られた底質の TOC (全有機炭素) とダイオキシン類濃度との関係を示す。TOC とダイオキシン類濃度は正の相関があることがわかる。

表-1 処分方法の選定²⁾

含有濃度 (pg-TEQ/g)	処分方法
3000 超	原則、分解無害化
1000 超-3000 以下	埋立処分
150 超-1000 以下	埋立処分、またはリスク管理下で土質材料としての利用
150 以下	土質材料として利用

(備考) 土壌の環境基準 : 1000 pg-TEQ/g
底質の環境基準 : 150 pg-TEQ/g

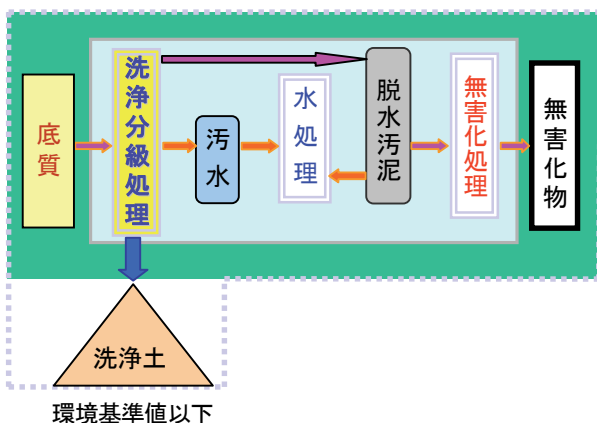


図-1 目標とする処理システムの概念図

そこで、土粒子からダイオキシン類が付着している有機物を取り除くことにより、ダイオキシン類濃度の低い底質を分離できる可能性が高いと考えた。

さらに、底質土粒子の比表面積を考えると、微粒子ほど比表面積が大きいため、単位重量当りのダイオキシン類濃度は高くなると想定できる。図-4 に示すように、底質を比較的粒径が大きくダイオキシン類濃度が低いと考えられる部分と、粒径が小さくダイオキシン類濃度が高く無害化処理が必要な部分に分級することにより、無害化処理する底質量を低減することが可能と考えた。土壌を対象とした洗浄分級技術は、研究・開発が行われ実用化されている。しかし、有機物を含み、比較的粒径の小さい粒子が大部分を占める底質に対しては、洗浄分級の実績は乏しい。

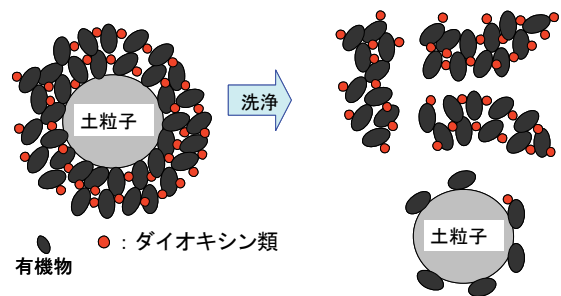


図-2 底質へのダイオキシン類の付着形態

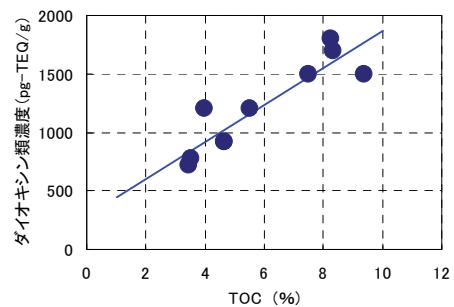


図-3 TOC とダイオキシン類濃度の関係

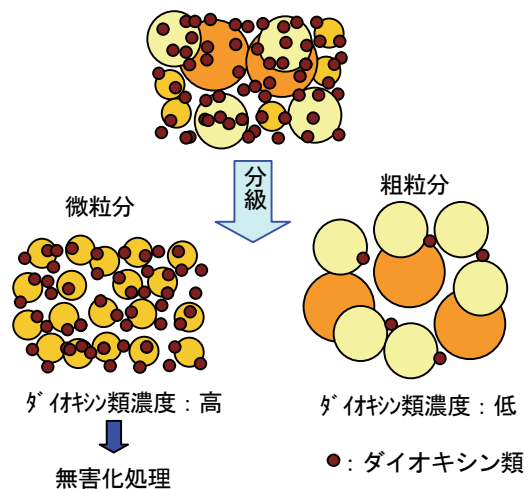


図-4 底質の分級効果の概念図

今回は、底質ダイオキシン類の洗浄分級技術としてハイドロサイクロンの適用性を検討した。

2.2 実験に用いたハイドロサイクロンの概要

ハイドロサイクロンは、液体中の粒子を遠心力を用いて連続的に分離する装置であり、建設分野においても掘削土等の分級に使われ、実績がある装置である。

ハイドロサイクロンの機能を概説³⁾すると、**図-5**に示すように、材料(底質)をハイドロサイクロン内部に円筒断面の接線方向に圧入すると、本体内部に沿って回転(1次回転流)しながら流下する。下部の排出口からは一部しか排出されないため、上向き2次回転流が生じ、上部の溢流排出口を通して排出する。1次回転流は、遠心力が比較的小さいため粗大粒子が内壁へと沈降する。2次回転流は周速、角速度とも1次回転流よりもはるかに大きいため、強い遠心力によってより細かい粒子が分離され、1次回転流により分離された粒子とともに内壁に沿って移動し、下部より濃縮されたスラリーとなって排出される。内壁へと沈降分離されなかった微粒分は上向き2次回転流により上部の溢流排出口より排出される。

ハイドロサイクロンの分離性(分級点)は、遠心加速度および滞留時間によって決定される。沈降分離が可能な限界粒子径 d_s は、式(1)のように表せる。しかし実際

には、限界粒子径で完全に分離できるわけではなく、粗粒分に微粒分が、また微粒分に粗粒分が一部混入する。

$$d_s = \sqrt{\frac{18\mu q}{g(\rho_p - \rho_f)Z}} \tag{1}$$

- ここで、 d_s : 限界粒子径 (cm)
- μ : 粘度 (g/cm/s)
- q : 単位面積当りの流量 (cm/s)
- g : 重力加速度 (cm/s²)
- ρ_p : 粒子密度 (g/cm³)
- ρ_f : 液体密度 (g/cm³)
- Z : 重力加速度に対する倍率(遠心効果)

である。ハイドロサイクロンの分級性能に影響を与える要因は、固液混合材料の投入圧力、粒子形状や固形分濃度がある。スラリーの場合、固形分濃度が高くなると、粘性の増加や粒子間の流れが妨げられることにより分級性能が低下する。また、ハイドロサイクロンの分級性能は、サイクロン内径と相関があり、材料の粒径が小さいと、サイクロンも小さくしなければ十分な分離性能が得られない。今回、底質を分級するにあたり、その粒径が小さいため、これまで建設分野で一般的に使われてきたものに比べ、非常に小さなハイドロサイクロンを適用することとした。

写真-1に実験に用いたハイドロサイクロンを、**表-2**に仕様を示す。このテスト機はハイドロサイクロンが1基装備され、試料供給用のポンプも組み込まれている。ハイドロサイクロンは、円錐状で、寸法は**表-2**に示すように、上部流入部内径:10mm、下部排出口内径:1.5mmとこれまで建設分野で使用されたものに比べ、非常に小型である。このハイドロサイクロンを複数個、並列に組み込むことにより単位時間当りの必要処理量を確保できる。

3. 洗浄分級実験

3.1 実験に用いた底質の性状

実験試料に用いた底質のダイオキシン類濃度は、**表-3**に示すように 2100pg-TEQ/gであった。また、有機物

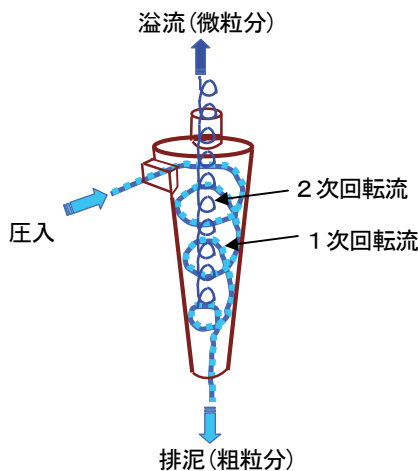


図-5 ハイドロサイクロン内部の流れ

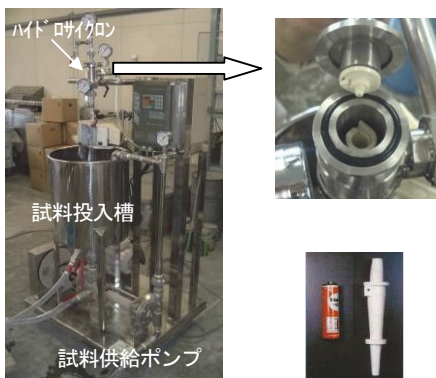


写真-1 ハイドロサイクロンテスト機

表-2 ハイドロサイクロンテスト機の仕様

機 器	仕 様
ハイドロサイクロン	寸法: 上部流入部内径 10mm、下部排出口内径 1.5mm、全長 100mm 処理量: 100~50L/hr (使用流体: 水の場合) 最高使用圧力: 0.7MPa
試料の供給ポンプ	型式: スラリー用一軸偏心ポンプ (インバータ制御) 吐出量×揚程: 300L/hr×70m 回転数: 70~650rpm モータ: 0.75kW×200V

量の指標となる強熱減量は約 10%であった。

粒度区分を表-4に示す。75 μ m以下の粒径が大部分を占めている。

図-6にレーザー回折・散乱法により測定した粒度分布を示す。10 μ m位に粒径のピークがあることがわかる。採取地によって底質の粒度分布は様々であるが、今回使用した底質は比較的粒径が小さい部類に入ると思われる。

3.2 実験概要

a. 実験方法

予備実験結果より、実験は分級性能を上げるために図

表-3 底質のダイオキシン類濃度分析結果
(公定法) pg-TEQ/g

ポリ塩化ジベンゾ-p-ダイオキシン(PCDD)	630
ポリ塩化ジベンゾフラン(PCDF)	730
コプラナーポリ塩化ビフェニル(Co-PCB)	720
トータルダイオキシン類	2100

注)各異性体の濃度は数値を丸め、有効数字2桁として表示

表-4 実験に使用した底質の粒径区分

粒径区分	重量比 (%)
砂分 (75 μ m~2mm)	1.7
シルト分 (5~75 μ m)	74.7
粘土分 (5 μ m未満)	23.6

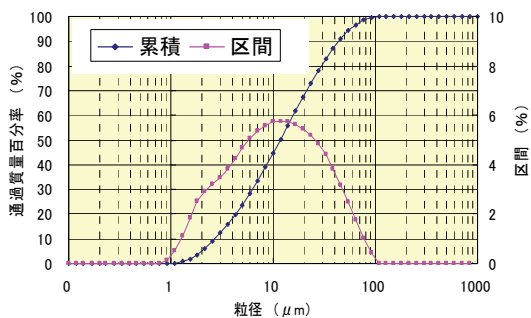


図-6 実験に用いた底質の粒度分布

図-7に示すようにハイドロサイクロンに4回通すことを基本とした。ハイドロサイクロンを通す毎に粗粒分は濃縮されて試料の固形分濃度が上がるため、ハイドロサイクロンに供給できるように各段階で加水して濃度調整した。実験結果として、4回通した後に得られる最終粗粒分のダイオキシン類濃度の低減により評価した。洗浄分級実験におけるダイオキシン類濃度は迅速法により分析した。

b. 実験ケース

当初、ハイドロサイクロンを用いた場合は分級のみではなく、洗浄効果を期待できると考え、予備実験を行った。その結果、図-8に示すように、実験前の元試料のダイオキシン類濃度が低い場合(500pg-TEQ/g程度)は、粗粒分を底質の環境基準(150pg-TEQ/g)以下にすることができた。しかし、元試料のダイオキシン類濃度が高くなると、粗粒分のダイオキシン類濃度はあまり低減できていない。

この原因として、①ハイドロサイクロンのみでは洗浄

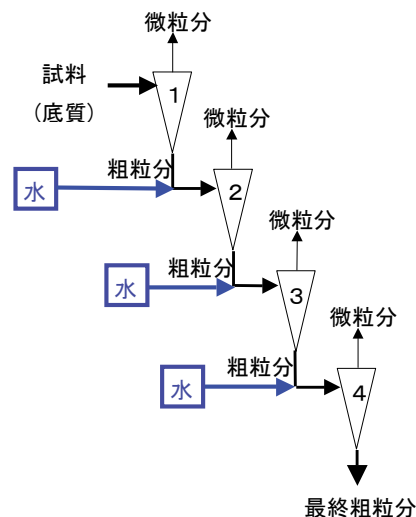


図-7 ハイドロサイクロンによる実験概要

表-5 実験ケース

ケース No.	ハイドロサイクロンの条件		試料の固形分濃度 (%)	前処理方法
	供給圧 (MPa)	回数 (回)		
1	0.7	4	20	ハイドロサイクロンに通す前にスタティックミキサーで複数回処理
2	0.7	4	10	
3	0.7	4	5	
4	0.7	8	20	
5	0.7	4	20	事前に高速乳化・分散機で複数回処理
6	0.7	4	20	各段毎にスタティックミキサーで複数回処理
6-2	-	-	-	ケース6で得られた最終粗粒分をさらに沈降分離
7	0.1	4	20	各回毎にスタティックミキサーで複数回処理
8	0.7	4	20	・事前に過酸化水素添加 ・各段毎にスタティックミキサーで複数回処理
8-2	-	-	-	ケース8で得られた最終粗粒分をさらに沈降分離
9	0.1	4	20	・事前に過酸化水素添加 ・各回毎にスタティックミキサーで複数回処理

効果が小さく、土粒子からダイオキシン類が付着した有機物を十分に取り除けない、②前述したように、ハイドロサイクロンは機構的に土粒子を限界粒子径で完全に分離できず微粒分が幾らか混ざってしまう、等が考えられる。そこで、ハイドロサイクロンを使用する前に底質を洗浄して有機物をできるだけ剥がす、およびハイドロサイクロンの分級性能を少しでも向上させる条件を実験により検討した。実験ケースを表-5 に示す。

土粒子より有機物を除去する方法としては、物理的、化学的方法が考えられる。物理的な方法の一つとして、スタティックミキサー（内径8mm、長さ260mm、エレメント数21枚）を使用した。スタティックミキサーに底質を圧入し乱流を生じさせ、粒子同士の擦り合いや、ミキサーの羽根等への衝突による洗浄効果を期待した。実験では試料全量が、スタティックミキサーを3回通過するようにした。ケース5も物理的な方法であり、化粧品

や医薬品等に用いられる高速乳化・分散機で底質を複数回処理して有機物を除去しようとした。ケース8、9は化学的方法を追加したもので、過酸化水素により有機物の酸化分解を狙った。

ケース7、9では、供給圧を下げることで、分級粒径を大きくしようとした。分級する粒径を大きくすることで、比表面積が小さくなり、ダイオキシン類濃度が低下することを期待した。

分散剤は、粒子をできるだけ分散させるために全ケースで用いた。実験に用いた底質は、粒径が10 μ m以下の微粒子が多く含まれている。微粒子の場合、粒子表面の性質（電位、吸着等）により、粒子の凝集、分散の状態が変わる。図-9に、実験に用いた底質のゼータ電位とpHの関係を示す。微粒子界面には界面電荷と対イオンによって電気二重層が形成される⁴⁾。ゼータ電位は、粒子と液が相対的に動くときの境界面における電位であり、微粒子の分散安定性の指標となる。ゼータ電位を変えることにより、微粒子の凝集、分散の状態を変えることができ、ゼータ電位の絶対値が大きくなると分散しやすくなる。ゼータ電位は図-9に示すように、pHを変えることにより変化する。pHを大きくすると微粒子はより分散しやすくなる。今回の実験では、ハイドロサイクロンに供給する前に水酸化ナトリウムを添加して、pHを10に調整した。

3.3 実験結果

a. ハイドロサイクロンの回数の影響

図-10にハイドロサイクロンの使用回数を1、4、8とした時の分級した粗粒分のダイオキシン類濃度を示す。図中にはダイオキシン類の実測濃度と毒性等量を併記している。同図より、1回を4回にすることによりダイオキシン類濃度は低減している。しかし、さらに回数を増やした8回のケースでは、4回に比べ濃度は高くなり、回数の増加が濃度低減に結びついていない。回数を増やすと土粒子からダイオキシン類が付着した有機物が剥がれ、剥がれた微粒子状の有機物が水中に浮遊し、分級した時に最終粗粒分に混ざるために、回数を増やしてもダイオキシン類濃度の低減に結びついていないと考えられる。

ハイドロサイクロンにより分級が進むと、下部から排出される粗粒分は、濃縮され固形分濃度が大きくなる。8回のケースでは、4回以降、ほとんど粗粒分の固形分濃度に変化が見られなかった。また、最終粗粒分の粒度分布を4回のケースと比べても、顕著な差が見られないことから、今回の底質に対しては4回で概ね分級性能に達したと思われる。以上より、回数については3ケースのみのデータであるが、この結果からは4回程度が適当と思われる。

ダイオキシン類毒性等量と実測濃度の低減率を比べると、実測濃度の低減に比べ、毒性等量はそれほど低減し

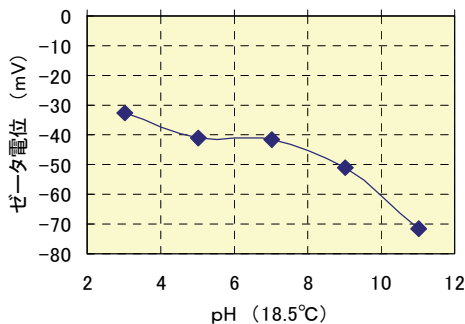
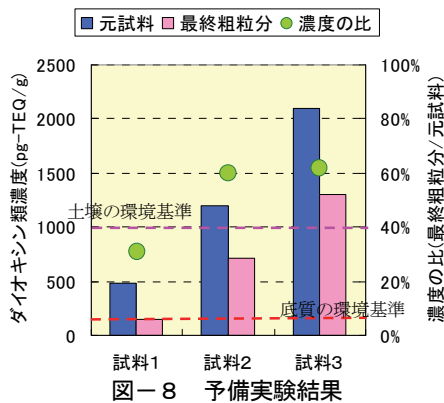


図-9 底質のpHとゼータ電位の関係

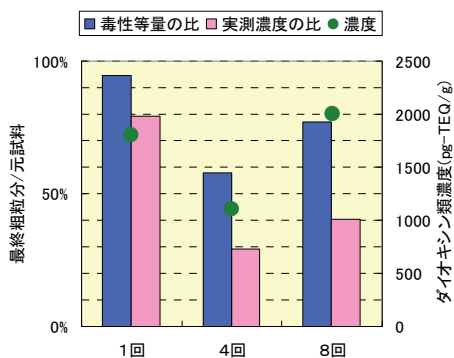


図-10 ハイドロサイクロンの回数と濃度の関係

ておらず、比例していない。これより、洗浄分級により、ダイオキシン類の各異性体が土粒子から一様に分離されるのではなく、毒性が高い異性体の方が分離され難いと思われる。したがって、毒性が高いダイオキシン類異性体と低いものでは、土粒子への付着特性が異なっていることが考えられる。これは他の実験結果についてもほぼ同様の傾向である。

b. 供給圧の影響

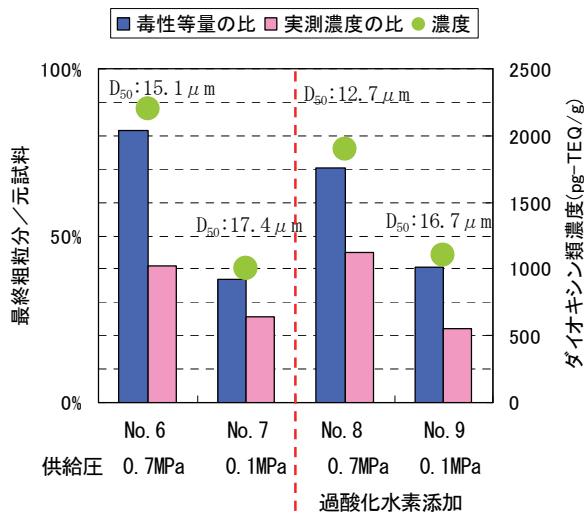


図-11 供給圧とダイオキシン類濃度の関係

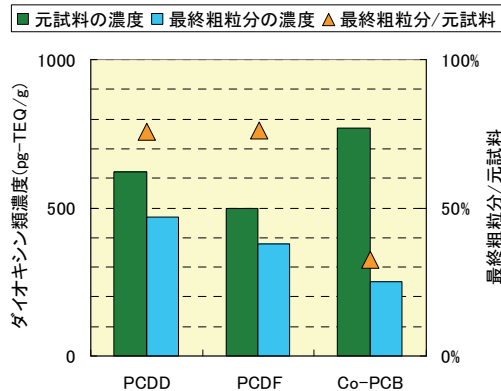


図-12 ダイオキシン類の異性体別の分級結果

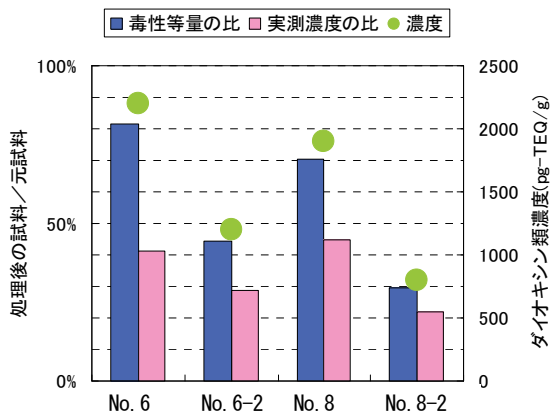


図-13 沈降分離によるダイオキシン類濃度

図-11 に供給圧を変えたケース6～9について、最終粗粒分のダイオキシン類濃度を示す。図中には、最終粗粒分の粒径 D_{50} も併記している。想定したように供給圧を0.1MPaに下げることにより、0.7MPaの場合に比べ、分級された最終粗粒分の粒径 D_{50} が大きくなり、ダイオキシン類濃度も低減している。しかし、当然ながら分級粒径が大きくなると最終粗粒分量は減少し、目的とする無害化処理量の低減量は減少する。今回の実験では、最終粗粒分と微粒分の比は、0.7MPaの場合で約40:60(乾燥重量)、0.1MPaの場合で約20:80(乾燥重量)であった。この結果より、対象の底質の粒度分布において粒径の大きい粒子が多ければ、分級によるダイオキシン類濃度の低減効果が向上すると共に、全体の処理費用を低減できる無害化処理量の低減も可能となることが推察できる。

c. ダイオキシン類異性体ごとの分級傾向

図-12 に、ケース1について異性体別に分けた最終粗粒分のダイオキシン類濃度を示す。理由については現在のところ、明らかではないが、図-12 に示すように、PCDD、PCDF に比べ、Co-PCB において最終粗粒分のダイオキシン類濃度の低減が大きい。この傾向は、他のほとんどのケースについても同様である。

d. 沈降分離の効果

ハイドロサイクロンによる分級のみでは、粗粒分にダイオキシン類濃度が高い微粒分が混ざってしまい、最終粗粒分の濃度が顕著に下がらない。そこで、ハイドロサイクロンにより得られた最終粗粒分をさらに沈降分離して、混在している微粒分をできるだけ除こうと試みた。

ケース6、8について、ハイドロサイクロンで分級後の最終粗粒分を、pH 調整することにより沈降分離した。図-13 に、ケース6-2、8-2として、沈降分離により得た沈殿物について、ハイドロサイクロンに供給する前の元試料に対するダイオキシン類濃度比および濃度を示す。図中には沈降分離する前の最終粗粒分(ケース6、8)についても併記している。図-13 より、ハイドロサイクロンにより分級した後に、さらに沈降分離することにより、ダイオキシン類濃度が高い微粒分を除かれ、濃度が元試料の80%以上であったものが50%以下に低減している。過酸化水素を添加したケース8-2では、土壤の環境基準1000pg-TEQ/g以下になっている。

e. 洗浄方法による洗浄効果

図-14 に全ケースにおけるダイオキシン類濃度の元試料に対する最終粗粒分の比および濃度を示す。最終粗粒分のダイオキシン類濃度が元試料に対し、ケース2、4、6、8以外は、ほぼ50%程度に低減している。

ケース2は固形分濃度を10%としたケースであり、分級実験中に閉塞気味であったため、ダイオキシン類濃度が高くなったと思われる。今回の実験では、固形分濃度20%(ケース1)と5%(ケース3)において最終粗粒分のダイオキシン類濃度に大きな差はない。洗浄分

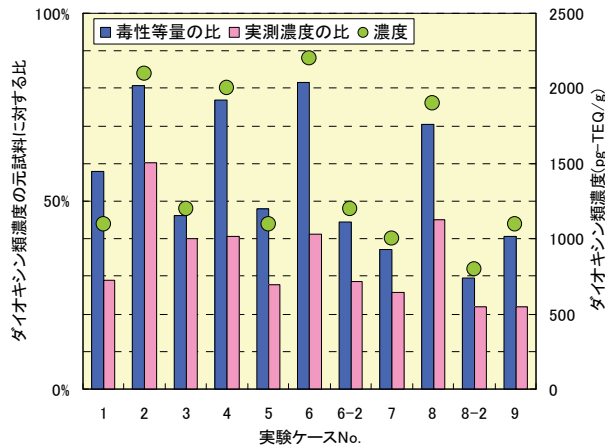


図-14 各ケースにおけるダイオキシン類濃度

級処理量や後の排水処理を考えると、今回の底質では試料の固形分濃度は20%が適当と思われる。

ケース4はハイドロサイクロンを8回としたケースであり、前述したように回数を増加しても必ずしも濃度が低減していない。

ケース1～4の結果からは、ハイドロサイクロンの使用回数は4回、試料の固形分濃度は20%程度が、最終粗粒分のダイオキシン類濃度を下げるのに適当な条件と思われる。

ケース6、8は、ハイドロサイクロンで分級する前に、毎回、スタティックミキサーで試料を循環したケースである。これと、1回目のみ、スタティックミキサーで循環したケース1を比べると、逆に最終粗粒分のダイオキシン類濃度は高くなっている。これは、ケース6、8では、スタティックミキサーで4回処理することにより、最初に1回のみ処理するケース1よりも、土粒子からダイオキシン類が付着した有機物が剥がれる。しかし、剥がれた微粒子状の有機物が水中に浮遊し、ハイドロサイクロンで分級した時に最終粗粒分に混ざるために分析結果としてダイオキシン類濃度が高くなると考えられる。

ケース6-2、8-2のように、ハイドロサイクロンで分級したものをさらに沈降分離することにより、ダイオキシン類濃度を低減することができる。ケース6-2とケース8-2では、最初に過酸化水素を添加したケース8-2の方がダイオキシン類濃度は低い。これは過酸化水素による有機物の酸化分解の効果が付加されたためと考えられる。

3.4 実験のまとめ

ハイドロサイクロンによる分級実験より分かったことを以下に示す。

- i. ハイドロサイクロンの使用回数は、4回程度が適当であり、それ以上、回数を増やしても、必ずしも最終粗粒分のダイオキシン類濃度は低減しない
- ii. ダイオキシン類実測濃度の低減に比べ、毒性等量の下がり方は小さく、毒性等価係数が大きいダイ

オキシシン類異性体と小さいものでは、土粒子への付着特性が異なっていることが考えられる

- iii. 試料の固形分濃度の影響については、今回の底質では固形分濃度5～20%で明確な差は見られず、洗浄分級処理量や後の排水処理を考えると、今回の底質では試料の固形分濃度は20%が適当と思われる
- iv. ハイドロサイクロンの供給圧を下げ分級粒径を大きくすると、最終粗粒分のダイオキシン類濃度は下がる
- v. ただし、分級される底質量は低減するため、底質の性状に応じて、全体の処理費用が低減できる供給圧を設定する必要がある
- vi. 分級の前処理として数ケースの洗浄方法を試みた結果、ハイドロサイクロンによる分級後の最終粗粒分のダイオキシン類濃度は、元試料の濃度(2000pg-TEQ/g程度)の50%程度に低減する
- vii. ハイドロサイクロンによる分級後、さらに沈降分離することによりダイオキシン類濃度を低減することができる

4. あとがき

ダイオキシン類により汚染された底質の無害化処理費用のコストダウンを目的として、無害化処理量を低減するための洗浄分級技術の研究に取り組んでいる。分級技術として超小型のハイドロサイクロンの適用性を実験により検討し、その性能を把握した。ハイドロサイクロンによる分級前に物理化学的な洗浄方法および沈降分離を組み合わせることにより、分級された最終粗粒分のダイオキシン類濃度を元の底質の半分程度に低減できる。

ただし、今回の実験では、ダイオキシン類濃度2000pg-TEQ/g超の底質を、その環境基準(150pg-TEQ/g)以下に低減するまでには到らなかった。実験に用いた底質は比較的粒径が小さかったが、底質の粒度分布によっては洗浄分級効果の向上が見込め、粗粒分のダイオキシン類濃度をさらに低減できると考えられる。今回のような底質を対象とするならば、さらに性能の良い洗浄分級技術について、検討が必要と考える。

【参考文献】

- 1) (社)土木学会、「土木用語大辞典」、技報堂、p. 858、1999. 2
- 2) 国土交通省港湾局・河川局、「底質ダイオキシン類対策の基本的考え方」、2007. 3
- 3) Derek B. Purhas、白戸紋平、井出哲夫監訳、「固液分離技術」、技報堂、pp. 246-257、1947
- 4) 北原文雄、「界面・コロイド化学の基礎」、講談社、pp. 94-95、2003