

S2-03 新規制動向を踏まえた土壌汚染対策工法の検討

～対策における課題と対策上の留意点～

○大橋 貴志¹・白石 祐彰¹・藤崎 幸市郎¹・山崎 祐二¹・伊藤 良治¹
新規制動向を踏まえた調査対策スキームの検討部会¹ 1 土壌環境センター

1. 調査目的

土壌汚染問題が顕在化する可能性や法規制が見直される可能性のある化学物質に対し、その土壌・地下水汚染の調査・対策手法について、十分に整備されていないと考えられる課題を抽出し、その解決策を提示することを目的に検討を行った。

具体的な検討項目は、**新たな基準(将来の規制を含め)に対する対策技術の検討**(課題抽出及び解決策の提案)

2. 検討方法

2.1 対象とした化学物質

諮問第362号(土壌の汚染に係る環境基準及び土壌汚染対策法に基づく特定有害物質の見直し等について、平成25年10月7日付け)に示された6物質(1,1-ジクロロエチレン、クロロエチレン、1,2-ジクロロエチレン、トリクロロエチレン、1,4-ジオキサン、カドミウム)を対象とした。

2.2 具体的検討項目

国内外文献40報の情報を、①物性のまとめ、②分解生成物に関する知見、③1,4-ジオキサン対策の実態調査結果、④揮発性に劣る水溶性物質の対策スキーム、分解を考慮した対策スキームの4つの観点で分類し、内容を整理した。なお、本稿では**カドミウム**についての検討結果の記載は**割愛**した。

3. 検討結果

3.1 クロロエチレン類の検討結果

(1) 現行の対策方法の適用可能性

- ・物性や対策技術の原理、文献調査より**適用可能**
- ・1,2-ジクロロエチレンは、分解生成物としての**トランス体の生成は少なく、対策に影響する事例は少ない**と推察
- ・**クロロエチレン**対象の対策事例の**報告は少ない**(知見の集積が必要)

(2) 留意点

- ・**有害な中間代謝産物の生成**に留意が必要
- ・**クロロエチレン**は基準値が他のVOCより**1オーダー低く、対策期間が長期化する可能性**
- ・**親物質が基準を満たしても、分解物であるクロロエチレンでは基準超過の可能性**があることに留意が必要

ジクロロエチレンの物性

項目	ジクロロエチレン	
	トランス-1,2-ジクロロエチレン	シス-1,2-ジクロロエチレン
分子量(分子式)	96.95	96.95
比重(一)	1.26	1.28
土壌吸着定数* Koc	36	49
オクターノール/水分配係数 (logKow)	2.06	1.86
外観	無色の液体	無色の液体
沸点 (°C)	47	60.6
融点 (°C)	-49.8	-80.5
溶解度* (mg/L) (20°C)	6,300	300
ヘンリー定数 (一)	6.72×10^{-3}	3.37×10^{-3}

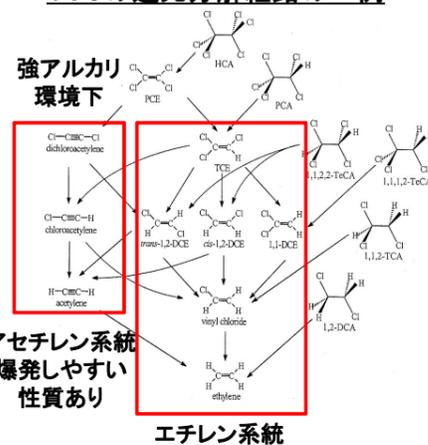
※出典により値が異なる場合は、併記した。

トランス体とシス体は、類似する物性やや異なる物性があるが、概ね他の**一種特定有害物質と同等の物性を有している**。

VOCの分解情報の整理

VOC化学分解	
酸化	比較的速やかに二酸化炭素と水に分解
還元	・エチレン系統 ・アセチレン系統 石灰混合による浄化方法を用いた場合など 強アルカリ環境下において発生する可能性あり ・エタン系統
VOC生物分解	
好気	・ジクロロエチレン化合物を形成せず ・ジクロロ酢酸やトリクロロ酢酸といった 有害な中間代謝産物 を生成
嫌気	・シス-1,2-ジクロロエチレンの残留 ・無害なエチレンまで浄化するには、 <i>Dehalococcoides</i> 属細菌が必要と考えられ、その検出技術が重要

VOCの還元分解経路の一例



トランス-1,2-ジクロロエチレンの発生する割合は低いと考えられる

3.2 1,4-ジオキサンの検討結果

(1) 現行の対策方法の適用可能性

- ・**技術的助言(環水大士第1604151号)**に示された対策方法 ⇒ 現行対策方法が**概ね適用**できる見込み
- ・適用可能: 地下水の水質測定、原位置封じ込め、遮水工封じ込め、地下汚染の拡大の防止(透過性地下水浄化壁は現状として困難)、**土壌汚染の除去(下線: 措置実績なし)**
- ・適用困難: 遮断工封じ込め
- ・**文献などで確認された対策事例** ⇒ 遮水工封じ込めを除き**報告事例を確認**

(2) 留意点

- ★**化学処理**
 - ・**中間生成物の生成**に留意して完全に無機化できる処理装置等を選定
 - ・原水中の**マンガンイオン**及び**塩化物イオン**によって**酸化処理が阻害**
 - ・**オゾン処理**を行う場合、原水中に臭化物イオンが含有すると**臭素酸(水道水質基準項目)**を生成
- ★**生物処理**
 - ・**共代謝促進**を図るメタン等、バイオスパーキング等での酸素の供給方法
- ★**その他留意点等**
 - ・水に任意の割合で溶解するため、地下水の流れによる**汚染拡散**
 - ・土壌に吸着しにくい性質であり、揚水や洗浄工法等で回収できる可能性

1,4-ジオキサンの化学分解経路の一例



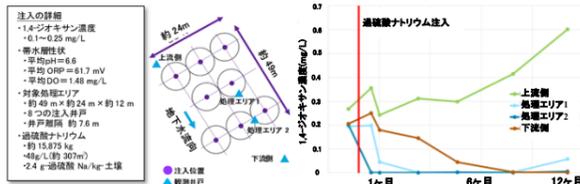
1,4-ジオキサン分解情報の整理

1,4-ジオキサン化学分解	
酸化	初期段階で エチレングリコールホルメート類 が生成され、 アルデヒド類、有機酸類 を経て、最終的には 二酸化炭素 まで分解される
還元	—
1,4-ジオキサン生物分解	
好気	テトラヒドロフラン、トルエン、プロパン を一次基質とした 共代謝 、あるいは 1,4-ジオキサンそのものを資化 することにより分解が可能であるとの報告がある
嫌気	室内試験で一例の報告があるものの、他例の情報は確認できなかった

1,4-ジオキサンの原位置浄化の実態調査結果(2014年及び2016年の米国Battelle社国際会議要旨集)

2014年では地下水補水以外ほとんど報告がなかったが、2016年では地下水を対象とした酸化処理5報、好気的生物処理8報、電気化学的酸化還元処理1報、不飽和帯土壌を対象とした土壌ガス吸引の事例1報、その他事例1報、簡易分析に適用可能性のあるサンプラ-紹介1報が確認された。

1,4-ジオキサンの原位置酸化分解の事例



酸化剤に長期効果が持続する**過硫酸ナトリウム**を使用した**原位置酸化分解の事例(Battelle 2016)**。必要に応じてアルカリなどの活性剤を利用することが提案されている。また、酸化環境下に比べて還元状態下の地下水では分解が進みにくいことに注意が必要である。

1,4-ジオキサンの原位置バイオレメディエーションの事例



プロパンと空気の供給と共代謝菌の投入による**原位置バイオレメディエーション**を行った事例(Battelle 2014)。事前の試験ではプロパンと空気の供給のみでは1,4-ジオキサン分解が確認されず、原液21mの地点に共代謝菌による1,4-ジオキサン分解を行う**rubor-ENV425株**を投入することで分解促進を確認した。

3.3 対策スキーム

一般化を推進する第1段階として、「水溶性を考慮した対策スキーム」、「分解性を考慮した対策スキーム」として取りまとめた。対策を右の6つのフェーズに分類、フロー化し、各フェーズにおいて新規制物質を対策するうえで特に留意すべき点や、具体的な対応方法に絞って記述した。

- (1) 汚染状況の把握
- (2) 対策方針・目標の決定
- (3) 対策技術のスクリーニングおよび適用技術の選定
- (4) 追加調査等の実施
- (5) 対策実施
- (6) 対策実施中、実施後のモニタリングおよび対策効果の評価

4. おわりに

新規制物質の物性の整理や分解経路調査、浄化事例の実態把握などを通じ、これらの物質特性のうち分解性および水溶性に着目し、対策を行う際の留意点や対応方法について取りまとめた。今後の課題の一つとして、詳細調査の際に物性を考慮するため、分解生成物の広がりや考え方の把握方法、適切な実施時期等についての検討がある。例えば、クロロエチレンは、親物質の分解生成物として存在し、親物質に比べてより地下水下流側および地下深部へ広がっていることを想定して対策範囲を検討することが留意点として挙げられるが、実際にどのような手法や考え方で範囲を決定するかなど、より踏み込んだ検討が必要と考えられる。