

特集 「土壌汚染と対策技術」

解説

土壌汚染と対策技術



久保 博

Soil Contamination and its Remediation

Hiroshi Kubo

1. 土壌および地下水汚染の問題とは

私達人類は勿論、多くの生物にとって「大気・水・土壌」は生存の根幹をなす環境要素である。人類の生産・流通・消費活動に伴い排出された有害な化学物質によって土壌あるいは地下水が一定の濃度レベルを超えて汚染されると、飲料水、土埃の吸入、農作物の食用などを通して人の健康を直接害する恐れがある。また土壌は、地球上の生物サイクルの一部を構成している土壌微生物の棲み家であり、一握りの土壌には天文学的な数の微生物が活動している。この微生物は、動植物の遺骸を植物が養分として吸収できるよう無機塩類の形に分解するという重要な役割を担っている。土壌が汚染されると、人の健康への直接影響だけでなく、土壌微生物を含む生物サイクルの破滅につながる恐れがある。なお、次章の土壌汚染対策法は生態系まで考慮したものではない。また土壌汚染は、地下水を通じ汚染が周辺地まで拡大することが多い。建設工事に伴う土の掘削、移動による汚染の拡大もある。土壌汚染は、地価の下落を招くことから経済的ダメージも大きい。高度経済成長時代の負の遺産である土壌汚染は、地球の持続発展のために解消しなければならない我々に与えられた課題であり、日本や欧米をはじめ、地球的規模で浄化対策、修復が取組まれている。

2. 土壌汚染対策法

米国の1980年代のスーパーファンド法など、欧米では日本よりも一足先に土壌汚染の法制化が始まった。日本では農地の土壌汚染対策が1971年に法制定されたが、都市部の土壌汚染については1991年の「土壌環境基準」の制定がスタートであった。その後、いくつかの対策指針が行政指導として出された時期を経て、2003年2月に「土壌汚染対策法」が施行され、法体系が整った。土壌汚染対策法には、土壌汚染の調査、ならびに土壌汚染が露見した場合の手順・手続き・責任・対策技術・費用負担・罰則などが定められている。土壌汚染対策法の対象物質は、2003年現在、25物質であり、第一種特定有害物質（11種の揮発性有機化合物）、第二種特定有害物質（9種の重金属等）および第三種特定有害物質（5種の農薬等）である。それぞれの有害物質は、土壌溶出量基準（環境省告示46号）によって汚染土壌に判定された場合、さらに第二溶出量基準を超過するか否かの判定を経てTable1のような分類の対策技

術が適用可能になる。対策技術は、封じ込め（原位置、遮水工、遮断工）と不溶化（原位置、掘削埋戻し）と汚染除去の3つに大きく分類される。汚染除去は、汚染土壌から汚染物質を除去し浄化する技術で、基準値を満足することが確認されると汚染地域指定からの除外を可能にする。

なお、これらの有害物質とは別に、2000年にダイオキシン類対策特別措置法が施行され、その中で土壌のダイオキシン含有量の環境基準が制定された。

Table 1 第一、二、三種特定有害物質による汚染土壌の措置における各技術の適用可能性

指定基準	地下水汚染	措置の種類	第一種 (VOCs)		第二種 (重金属等)		第三種 (農薬等)	
			第二溶出量基準に対する溶出量					
			以下	超過	以下	超過	以下	超過
土壌溶出量基準を超過	なし	地下水の水質測定						
	あり	原位置不溶化または不溶化埋戻し	×	×	×	×	×	×
		原位置封じ込め		×	()	()		×
		遮水工封じ込め		×	()	()		×
		遮断工封じ込め	×	×				
		土壌汚染の除去						

原則とする措置
 土地所有者等と汚染原因者の双方が希望したとき命じられる
 土地所有者等が希望したとき命じられる（原則とする措置に要する費用を超えない場合）
 × 適用不可
 () 不溶化して第二溶出量基準に適合させることを前提とする
 土地の所有者等と汚染原因者の双方が希望したとき命じられる
 は汚染土壌を掘削せず鉛直遮水壁と上面の遮水構造で汚染拡散を防ぐ。 は汚染土壌を掘削し別途設けた場所に封じ込める。

3. 土壤汚染対策技術の開発

土壤汚染対策技術は、封じ込め、不溶化、汚染除去の3つに分類され、対象物質によって適用技術が異なり、法基準を満足することが最低限の浄化目標となる。対策技術にはTable 2に示すように、地盤を掘削せずに浄化する「原位置処理」と汚染土壌を掘削して浄化する「掘削処理」があり、それぞれ物理的、化学的および生物的な方法がある。この分野は激しい技術開発競争の中にあるが、当社も積極的に技術開発を行っている。

3.1 VOCs（揮発性有機化合物）

VOCsには、密度が水よりも大きいDNAPLと水よりも小さいLNAPL（ベンゼンなど）があり、いずれも揮発し易く、水に溶け難い。「原位置処理」には、土壤ガス吸引、地下水揚水、空気注入（エアスパージング）、加熱吸引、バイオ処理、薬剤処理などがある。バイオプスターを用いて空気や栄養物質を供給し微生物活性を高めるとともに通水洗浄の効率を上げる工法は当社独自である。「掘削処理」には、生石灰混合、攪拌曝気、鉄粉混合（還元分解）、バイオ処理などがある。当社では、トリクロロエチレン等を高効率で分解する特有の微生物を汚染土壌に混合し浄化する技術を実証している（本号掲載）。

3.2 重金属等

重金属等汚染土壌の代表的な対策技術は、不溶化と洗浄であり、沸点が低い水銀など特殊な物質には加熱脱着もある。不溶化は実績の多い技術であり、土壤汚染対策法で恒久対策として認められたので、今後適用が増えと予想される。不溶化は複合汚染への対応、原位置処理における攪拌混合精度の向上、長期耐久性の向上などが課題である。洗浄処理、特に掘削した土壌の洗浄技術は、近年急速に発展した。当社は、砂質土に適用される分級洗浄だけでなく粘性土の洗浄無害化技術も開発し実証した（本号掲載）。汚染土壌ではないが、石炭灰を有効利用する際の安全性向上のための洗浄処理技術の開発も継続している（本号掲載）。植物栽培による汚染土壌の浄化するなわちファイトレメデーションは、広域・低濃度汚染に向いており、当社は基礎研究を終了した（本号掲載）。

3.3 油類

油汚染土壌は、油の一成分であるベンゼンについて土壤環境基準があるが、油分そのものに基準値はない。原位置処理の代表的技術は、バイオ処理と通水洗浄であり、バイオプスターと通水洗浄の併用技術は、当社独自である。また、掘削処理の代表的技術は、バイオ処理と加熱処理である。掘削バイオ処理においては、浄化効率の向上のため栄養資材投入や施工管理が重要である（本号掲載）。

Table 2 主な土壤汚染対策技術
(太線の罫枠の技術は本号に論文掲載している)

対象物質	原位置処理	掘削処理
VOCs等	土壤ガス吸引・揚水処理	生石灰混合気化処理
	土壤ガス加熱吸引処理	攪拌曝気処理
	エアスパージング	鉄粉混合還元処理
	バイオ処理(バイオプスター)	加熱脱着処理
	薬剤処理(酸化剤等)	バイオ処理
重金属等	不溶化処理	不溶化処理
	通水洗浄処理	洗浄処理
	ファイトレメデーション	加熱脱着処理
油類	バイオプスター工法	バイオ処理
	土壤ガス加熱吸引処理	加熱処理
	通水洗浄処理	洗浄処理
ダイオキシン類		金属Na還元分解処理
		高温加熱分解処理
		抽出還元分解処理
全般		掘削除去(場外搬出)
	各種の封じ込め	遮断・遮水処理

3.4 ダイオキシン類

ごみ焼却炉跡地などで問題になるダイオキシン汚染土壌の浄化対策が各地で着手されつつある。ダイオキシン無害化技術には、物理的（高温処理）、化学的、生物的な技術がある。当社は、金属ナトリウムを用い脱塩素反応で無害化する化学的技術を保有している（本号掲載）。

4. あとがき

20世紀の高度経済成長の負の遺産である汚染土壌・地下水の対策工事は、土壤汚染対策法の施行に伴い一層推進すると予想される。対策技術には「安全性・信頼性」、「低コスト」、「短工期」、「低環境負荷」が求められ、このことを肝に銘じ技術開発を行ってきた。多種多様の対策技術の中から、対象物質や現場条件に応じて最適技術を選択し組合わせて、浄化工事を行う。当社の保有する豊富な技術メニューと技術ノウハウは、かならずや顧客が求める土壤環境の修復に貢献できるものと考えられる。