

重金属汚染土の対策工法の現状と問題点

和田信彦¹⁾

¹⁾ 和田技術士事務所/㈱アステック

1. 重金属の指定基準

重金属は比重が4を越える金属類の総称で、土壤汚染対策法ではカドミウム・鉛・六価クロム・砒素・総水銀・銅・セレンが、シアン・ふっ素・ほう素などと共に第二種特定有害物質と区分されている。同法では重金属等について、直接摂取によるリスクと地下水等の摂取によるリスクの観点から二つの基準概念を導入し、前者を土壤含有量基準、後者を土壤溶出量基準と定義した(表1)。

特定有害物質		土壤汚染対策法の指定基準		対策基準
区分	項目	土壤含有量基準	土壤溶出量基準	第二溶出量基準
第二種特定有害物質 (重金属等)	カドミウム	150mg/kg以下	0.01mg/L以下	0.3mg/L以下
	六価クロム	250mg/kg以下	0.05mg/L以下	1.5mg/L以下
	全シアン	遊離シアンとして50mg/kg以下	検出されないこと	1mg/L以下
	総水銀	15mg/kg以下	0.0005mg/L以下	0.005mg/L以下
	アルキル水銀		検出されないこと	検出されないこと
	セレン	150mg/kg以下	0.01mg/L以下	0.3mg/L以下
	鉛	150mg/kg以下	0.01mg/L以下	0.3mg/L以下
	砒素	150mg/kg以下	0.01mg/L以下	0.3mg/L以下
	ふっ素	4,000mg/kg以下	0.8mg/L以下	24mg/L以下
	ほう素	4,000mg/kg以下	1mg/L以下	30mg/L以下

Table1 Criteria of Content and the Dissolved Amount of Heavy Metals

特定有害物質の区分と含有量基準・溶出量基準および第二溶出量基準に適合か不適合かによって、適用できる措置対策と完了までの手順概要を図1に示す。

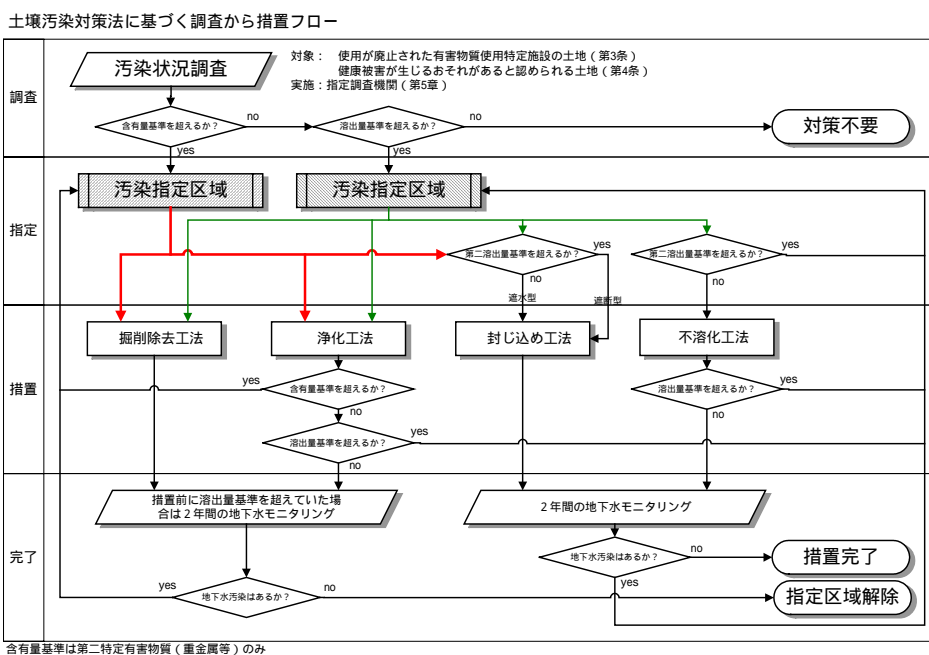


Fig.1 Flow Chart from the Investigation to the Treatment of Polluted Soil

2. 措置対策

重金属等には二つの基準があるため、特定有害物質の含有量と溶出量の濃度分布状況や対象土量にもとづいた、適切な措置対策の選択や有効な組み合わせと総合的なコスト評価が必要である。おもにとられている措置対策は、掘削除去工法、封じ込め工法、浄化工法および不溶化・固定化工法である。

十分商品化されている重金属汚染土のおもな措置対策について概要を述べる。

① 掘削除去工法

濃度によって中間処理を経る場合と経ない場合があるが処分場への廃棄で、措置対策として短期間でもっとも確かである。しかし、コストが高いうえに今日では最終処分場の残容量が少なく新規建設が限られているため、受け入れ自体が大変困難になっている現実問題がある。また、場外搬出した汚染土の不法投棄による汚染拡散や、入れ替えた自然地層から特定有害物質が検出されるなどの問題もある。セメント原料の一部として原料化する工法は比較的安価であるが、セメント品質を維持するため受け入れ可能な汚染物質や濃度に制限がある。

② 封じ込め工法

遮水型あるいは遮断型の構造物による汚染土の密封である。含有量と溶出量および土量ともに変化のない汚染土が存在するために、近隣住民の理解と協力を得ることが難しい。また、地下に構造物があるため土地の利用は極めて制限される。

③ 浄化工法

土壌・地層中から重金属等そのものを分離除去する方法で、洗浄法、熱処理法、電気分解法などがある。

砒素汚染サイトにおける地層の粒度組成と含有量の相関例を示す(図2)。砒素の含有量は粘土分・シルト分の重量が増加すると共に増加し、砂質分が増加すると減少する。溶出量もほぼ同じ相関傾向を示し、このことから重金属はおもに細粒堆積物と結合し挙動していることが言える。

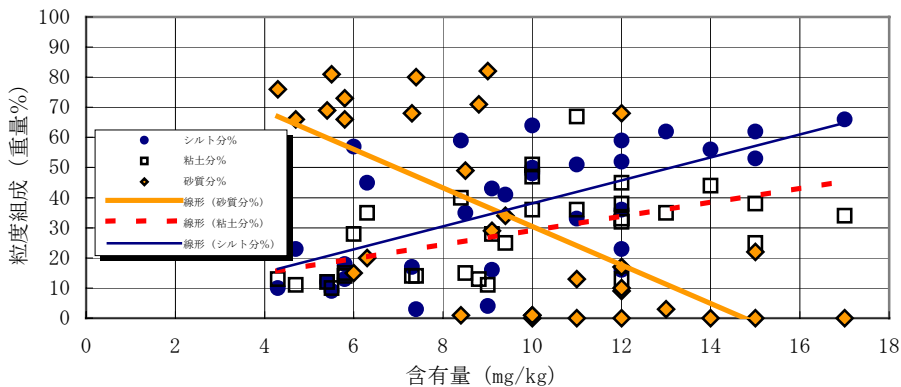


Fig.2 Relation between the Grain Size and the Content of Arsenic

浄化工法の一つである洗浄工法はこの特性を利用し、汚染土壌・地層を掘削後に洗浄分級あるいは原位置にて高圧洗浄し、細粒堆積物と共に重金属を除去し含有量と溶出量を減少させる原理である。

汚染土 3 試料をシルト・粘土の細粒分と砂質分に篩分け分級し、それぞれの重金属の含有量 (mg/kg) と重量 (%、粒度重量×含有量) を表した (図 3)。原汚染土に比較して 3 試料の鉛・砒素ともに分級した細粒分の含有量が高く、重金属が細粒堆積物と結合していることを重ねて示す。砒素では 12%の細粒分に含有量の 50%が濃集する一方、細粒分が 4%しかない試料では 9%に留まる。鉛では 12%の細粒分に 40%の含有量が濃集するが、細粒分が 4%の試料では 10%である。このように洗浄工法による重金属の除去率は粒度組成に大きく支配され、細粒分が少ないと低下する。細粒分が増加すると重金属の除去率は高くなるが、場外搬出する廃棄物量が増えて工事費が上昇するため非効率的となる。

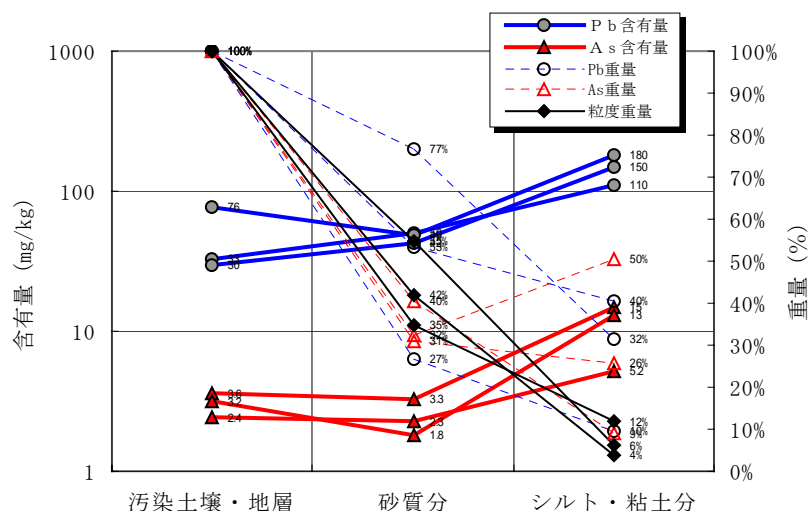


Fig.3 Content of Heavy Metals on the Grain Size

重金属と土粒子は吸着やイオン交換・膠結・化合など、物理化学的に比較的強固に結合している。このため、上記例のように洗浄等の浄化工法では、含有量の 30~60%程度しか除去できていない。したがって、基準の数倍の含有量をもつ高濃度汚染土や、粘土・シルトの細粒分が 30%程度を越える地層では適用できない。また、処理後は粒度組成や有機物量など、土壌・地層の形質が大きく変化する。

④ 不溶化・固定化工法

重金属の溶出を抑制ないし停止する技術であるため、含有量基準を越えた汚染土については不適である。しかしながら重金属汚染土の中でも大半を占める、含有量基準以下かつ第二溶出量基準以下の低濃度汚染土や、土壌汚染対策法適用外の自然的原因の汚染土に対して、本工法はコスト的にも優位かつ有効な措置である。

県営C射撃場の鉛汚染土の対策にかかわり、不溶化工法の効果検証のため実施された公開試験結果を表2に示す。均質に調整された鉛汚染土（含有量4,900mg/kg、溶出量1.60mg/L）が分配され、各工法の技術者が衆目の前で改良材を添加混合し、県が公定法分析をおこなった結果である。溶出量が原汚染土より低下したものでも、溶出量基準（0.01mg/L）に適合したのは僅かに2工法4改良試料であった。原汚染土よりも溶出量が増加した試料もあり、中にはむしろ溶出を促進させ100倍以上も増加した驚愕の工法まであった。この公開試験の結果は不溶化工法の中には全く未成熟な技術がある一方で、完成度が極めて高い工法が存在することを示している。土壌汚染対策法では一括して不溶化工法の適用を限定しているが、個々の工法ごとに技術評価と適用を検討すべきである。

現状では、不溶化工法の中には品質が疑わしいものや適用条件で効果が大きくバラつくもの、不溶化が不完全で再溶出の懸念があるもの、環境に大きな負荷を新たに与えるものなどがある。適用に当たっては技術の完成度や実績、適用条件等について充分吟味することが重要である。

工法区分	剤品名・商標名	添加量（重量%）	溶出量（mg/l）
液体キレート系	E	0.01	0.67
		0.05	0.99
		0.10	1.12
		0.2	1.3
		0.5	2.2
		2.0	2.5
	O	1.0	1.2
		5.0	0.2
		10.0	0.24
液体キレート+化学的不溶化系	E+塩化第二鉄	0.10	310.00
		0.20	260.00
		0.50	200.00
化学的不溶化系	硫化ナトリウム	0.1	3.2
		0.5	14
		1.0	26
	G	A	<0.005
		B	0.023
地化学的固定化系	S	A	<0.005
		B	<0.005
		C	<0.005

Table2 Open Test of Treatments about the Polluted Soil by the Lead

重金属汚染土のおもな措置対策工法の概要を比較整理しておく（表3）。

長年にわたり確かな施工実績を重ねている工法があるほか、研究開発による新規技術が国内外から最近も盛んに発表されている。中には実証試験段階でとうてい商業ベースに成り得ない技術、開発された国でもすでに陳腐となっている技術、原理や施工方法が未確立の技術などが、市場には結構多く存在する。

対策工法は原理と施工と両方の良否が問われる。原理が正しくなければ措置対策として問題外であるが、原理が正しくても施工方法や管理技術の完成度が高くないと目標品質は得られない。原理と施工と共に完成され実績を積んでいる対策工法は、市場で宣伝されている割には意外と少ない。

工法区分 処理場所	封じ込め		不溶化・固定化			浄化				掘削除去
	原位置・掘削後		原位置・掘削後			原位置		原位置・掘削後		処分場
工法名	遮水工	遮断工	化学的不 溶化	セメン ト固 定化	地化学 的固 定化	揚水抽出	電気分解	加熱処理	洗浄	掘削除去
工法の概要	第二溶出 量基準 適合の 汚染土 を遮水 壁で封 じ込め	厚さ 35cm 以上の鉄 筋コン クリ ート遮 断壁で汚 染土を封 じ込め	塩化第二 鉄等の薬 剤を利用 して、化学 的に無害 化	セメン ト固 定 メ ン よ 定 化	新結晶 鉱物中 に特 定有 害物 質を 固 定 化	ボーリン グ孔利 用の水 の強 制循環 抽出	電流によ り電気分 解させ金 属イオン を回収	加熱して 揮発ある いは燃焼 させ、回 収または 空中放 散	掘削後分 級洗 浄、原 位 置に て超 高 圧洗 浄水 によ り特 定有 害物 質を 除 去	中間処 理を 経て 処分 場処 理、 一部 セメ ント 原料 化処 理
適用	△第二溶 出量基 準適 合のみ	○	△第二溶出量基準適合のみ △第二溶出量基準量不適合は封じ込めと併用 ×含有量基準を超える場合は不適			○	○	△揮発性のものに 限る	○	○
長期的な安定性	△封じ込め構造物の劣 化監視が必要		△再溶出 の可能性 あり	△再溶 出可能 あり	○地化学 的に安定	○特定有 害物質が 減少する △結合度 の高い重 金属等は 適用が難 しい	○特定有 害物質が 減少する	○特定有 害物質が 減少する	○特定有 害物質が 減少する ×粘土質 の場合は 廃棄物 が多くな る	◎特定有 害物質が 除去され る
工期 (3,000m ²)	○数ヶ月		◎1ヶ月 以内	◎1ヶ月 以内	◎1ヶ月 程度	×数ヶ月～1年			△1～数ヶ月	◎1ヶ月 以内
工費 1m ² あたり	△比較的高い 2～5万円		◎安い 1万円以 下	◎安い 1万円以 下	○比較的 安い 1.5万円 前後	△比較的高い 2.0～4万円			×高い 4～6万円	
総合的特徴	△土地の再利用が極めて 制限される ×近隣住民の理解が得 難い		△長期的 な安定に 疑問 △複合汚 染では薬 剤が複数	△長期 的な安 定に疑 問	○長期 的に安 定 ○第二 溶出 量以下 や自然 的原因 の汚 染土改 良に最 適	△重金含有量の除去率は30～70%で、数10%以上 残留する ×浄化後に残留した重金属が再溶出し、溶出量基準 を超える事例がある △各工法の完成度の吟味と対象物質による適応条 件の慎重検討が必要 △工法によっては非常に長期間を要する			×汚染土 の受け 入れ施 設少 ない ×不法 投棄 等による 汚染 拡散の 可能性	

Table3 Treatment Methods about the Polluted Soil by Heavy Metals

3. 土壌汚染対策法施行後の傾向

土壌汚染対策法施行後に、関東圏をおもに大都市圏でおこなわれた措置対策事例を、入手できた資料や報道から集計すると工法の偏重が顕著である(図4)。

処分場処理とセメント原料化を合わせて掘削除去が全体の70%近くを占めている。これは、環境行政と土地取引関係者など官民ともに、手っ取り早く汚染土が目の前から無くなれば良いとの指導や意識の現れである。また、汚染指定区域に指定(台帳登録)されていないものの解除条件を考慮した結果、将来にわたって指定されることがないように掘削除去が選択されていると考えられる。

しかしながら汚染した土壌・地層を移動する掘削除去は、作為と無作為とにかかわらず汚染の拡散をもたらす機会を増やしていることになる。土地価格や工事費が相当に厳しい現況での安易な移動は、産業廃棄物が全国各地で不法投棄され汚染が拡散した産廃行政の二の舞となる懸念が大いにある。

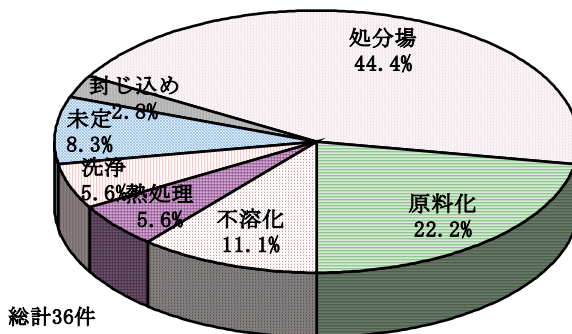


Fig.4 Ratio of Treatment Methods

SUMMARY ABOUT TREATMENT METHODS FOR THE POLLUTED SOIL
BY HEAVY METALS

by

Nobuhiko Wada*

Because there are two criteria in heavy metal, we have to conduct the cost evaluation that was based on the content and dissolved amount of heavy metals,

Moreover, soil quantity of the treatment.

The methods that are taken mainly are discharge, confined by wall, purification and fixation. There are methods that are piling up a certain achievement extending for a period of the many years, meanwhile recently many technology are carried out. However, several technologies are execution method that already is stereotype also in the country where it was developed, last technology that is able to become a commerce base and the unestablishment. In the market, it exists a lot.

The method does not become when both quality of principal and execution are not correct. If the principle is not correct be out of the question, or the principle is correct when the completion degree of the execution ability and control technology are not high the goal quality be not obtained. The treatment method that is completed with principle and execution ability and be piling up an achievement is advertised in the market it is few with incredulity comparatively.

*Wada Consultant Office for Geo-Environment & Astec.Co.Ltd.
571-2 Shimonomiya, Tamamura-town, Gunma Prefecture, 370-1112 JAPAN.
Astec Co.Ltd.:5-21-3 Hirai, Edogawa-ku, Tokyo, 132-0035 JAPAN.
E-mail:nobuhiko.wada@nifty.com & n.wada@astec-geo.co.jp

Key Words: treatment methods, soil, pollution, heavy metals