めっき工場の汚染土壌対策
—修復費用低減の提案—

小 野 久 雄*

*(株)クリーンジャパンエンジニアリング(〒224-0054 神奈川県横浜市都筑区佐江戸町 148-1)

A Countermeasure for Polluted Soil of Plating Factory

Hisao ONO*

*Clean Japan Engineering Co., Ltd.(148-1, Saedo-cho, Tuzuki-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 224-0054)

Keywords : Preliminary Investigation, Polluted Soil, Improvement of Soil

1. はじめに

土壌汚染防止法が平成 15 年 2 月 15 日に施行され、使用が廃止された有害物質使用特定施設に係る工場または事業場の敷地であった土地は、廃止の届出をした日から 120 日以内に土壌汚染の恐れを把握するための調査をすることが義務付けられた。

しかしながら、土壌汚染は肉眼で判断できるものでなく、調査してみないと汚染の状況が把握できないため、土壌修復に要する費用はもとより、調査費用についても予算化できないのが現実である。したがって、事業の廃止、土地の改変をともなう工場または事業場の改造計画、法施行前に特定施設を廃止した土地の売却を検討する場合、どれほど予算が必要となるか、重要な問題となる。

地下水の汚染が確認されたならば、土壌は汚染されている。地下水の汚染の拡大を防止するため、汚染防止対策法に則り、措置を講じなければならない。土壌調査に先立ち、地下水汚染の有無を確認することが、今後の土壌修復計画を構築する上で、大変大きな要因となる。そこで、地下水汚染に至る前の段階、すなわち汚染土壌を除去することにより、土壌汚染の修復が可能な場合について、表面処理工場を例に紹介する。

2. 土壌汚染の基準値と埋立て基準値

表 1 に、特定有害物質の種類と土壌汚染基準値（溶出試験）・埋立て基準値を示す。

表に示す 25 種類の物質のうち、当該事業場において過去に使用した有害物質のすべてが、調査の対象となる。

3. 事前調査の重要性

ここでは、めっき業界で頻繁に使用し、またはされていた有機塩素系溶剤（13 種類）、六価クロム化合物およびシアン化合物による土壌汚染問題について検証する。

最も重要なことは、事前に事業場の汚染状況を把握するこ

表 1 特定有害物質の種類と土壌汚染基準値(溶出試験)，埋立て基準値

特定有害物質	土壌汚染基準値 (溶出試験)	埋立て基準値
カドミウムおよびその化合物	0.01 mg/L 以下	0.3 mg/L 以下
六価クロム化合物	0.05 mg/L 以下	1.5 mg/L 以下
シマジン	0.003 mg/L 以下	0.03 mg/L 以下
シアン化合物	検出されないこと	1 mg/L 以下
チオベンカルブ	0.02 mg/L 以下	0.2 mg/L 以下
四塩化炭素	0.002 mg/L 以下	0.02 mg/L 以下
1,2-ジクロロエタン	0.004 mg/L 以下	0.04 mg/L 以下
1,1-ジクロロエチレン	0.02 mg/L 以下	0.2 mg/L 以下
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.04 mg/L 以下	0.4 mg/L 以下
1,3-ジクロロプロペン	0.002 mg/L 以下	0.02 mg/L 以下
ジクロロメタン	0.02 mg/L 以下	0.2 mg/L 以下
水銀およびその化合物	0.0005 mg/L 以下 (且つアルキル水銀が 検出されないこと)	0.005 mg/L 以下 (且つアルキル水銀は 検出されないこと)
セレンおよびその化合物	0.01 mg/L 以下	0.1 mg/L
テトラクロロエチレン	0.01 mg/L 以下	0.1 mg/L 以下
チウラム	0.006 mg/L 以下	0.06 mg/L 以下
1,1,1-トリクロロエタン	1 mg/L 以下	3 mg/L 以下
1,1,2-トリクロロエタン	0.006 mg/L 以下	0.06 mg/L 以下
トリクロロエチレン	0.03 mg/L 以下	0.3 mg/L 以下
鉛およびその化合物	0.01 mg/L 以下	0.3 mg/L 以下
ヒ素およびその化合物	0.01 mg/L 以下	0.3 mg/L 以下
フッ素およびその化合物	0.8 mg/L 以下	
ベンゼン	0.01 mg/L 以下	0.1 mg/L 以下
ホウ素およびその化合物	1 mg/L 以下	
ポリ塩化ビフェニル (PCB)	検出されないこと	0.003 mg/L 以下
有機リン化合物	検出されないこと	1 mg/L 以下

とであるが、前述の通り、正式に指定機関に調査を依頼した場合、汚染の程度により費用が増大していく。これは、汚染の進行度により分析検体数が増加するためである。

そこで、事業場の過去の経歴から、最も汚染の可能性の高い（たとえば、設備の設置場所・タンク設置場所・作業場所など）場所を中心に、概ね10m間隔で網目を引き、中心点・交点をサンプリングの箇所とする。図1に土壤調査区画図の一例を示す。サンプリングは、工場休業中もしくは操業中の業務に支障のない時期を選んで実施する。図2に汚染調査のための開孔部（コア）の模式図を示す。サンプリングした土壌は、事業場の過去の経歴などを考慮のうえ、該当する有害物質の分析を行う。現在の事業場は床面が不透水性であるため、コアを抜き、表層から5cmほど底部の土壌を検体とする。サンプリングの箇所は、事業場の経歴にともない増減は自由である。これを表層調査という。

表層調査は、あくまでも汚染状況把握のための自主的な調査であるため、指定機関による分析の必要はなく、自社分析でかまわない。また、分析結果を公表する義務もない。こうして得られた結果を、汚染部分と非汚染部分に分類した汚染分布図を作成し、おおよその汚染状況を把握することが必要である。

この段階における注意点は、コアを抜いた部分から雨水・工場廃水などが流れ込み、汚染を拡大させる可能性があることである。特に、屋外のサンプリング場所は、アスファルトなどにより不透水性加工をしておかないと、流入水により汚染を拡散・拡大させてしまう恐れがあるので注意が必要である。

4. 汚染の拡散防止と汚染軽減の考え方

汚染部分のコアについては、汚染拡散を防止し、併せて土壌浄化技術を活用して、汚染度を軽減する方法があるので、有害物質の種類ごとの活用例を紹介する。

【有機塩素化合物】

めっき業界では、素材の脱脂工程に多くの有機塩素化合物

が使われてきた。そのいずれもが、比重が水より重く、揮発性が高いという特徴を持っている。現在、汚染土壌の浄化技術として、真空抽出法・低温揮発法・燃焼ガス塩化揮発法などが利用されているが、いずれも設備・費用負担が大きく、休業中あるいは操業中の事業場で採用することは困難である。

そこで、抜いたコアに多孔管を挿入し、次に地上の多孔管上部を真空ポンプにつなぐ。これによって、簡易式真空抽出装置が完成する。操業に差し支えないときに任意に真空ポンプを稼働させ、土壌中の有機塩素化合物を抽出する。抽出した有機塩素ガスは既存の排ガス処理装置にて処理することができる。この作業は地表温度が高いときほど、また、湿度が低いときほど有効とされている。

事業を廃止する時まで、いくらかでも土壌中の有機塩素化合物が回収できれば、修復工事における費用負担が軽減されるものと思われる。

【六価クロム化合物】

クロム化合物は六価の場合有害であるが、三価クロムは有害性がない。六価クロム化合物は、比重が重く粘度も高いため、原液の場合には土壌への浸透速度は大変遅く、拡散の可

図2 汚染調査のための開孔部（コア）

図1 土壤調査区画図の一例

能性は少ない。しかし、水溶性が高いため、雨水・工場廃水などによって希釈されると、粘度を失い、拡散する危険性を持っている。また、クロム酸処理工程における洗浄水などのように、濃度の薄い六価クロム化合物は、広範囲に汚染が拡散されていることが多く見られる。

ただし、汚染の拡散には一定の経路（いわゆる、みず道）があることが、多くの事例として示されている。このみず道を利用し、コアに蓋をしておき、渇水期にコアから少量の六価クロム還元剤を注入する。この場合、大量に六価クロム還元剤を注入すると、却って汚染を拡散させることになるので、長期にわたり、少量ずつ注入することが重要である。みず道から浸透して行った還元剤は、汚染物質の六価クロムと接触し、徐々に還元され安定な三価のクロムになっていくことが期待できる。

三価のクロムは有害物質ではないので、土壤汚染有害物質から除外される。修復工事では、還元されていない（未反応）六価クロムのみが対象となるため、還元効果が大きければ大きいほど、汚染土壌の量および濃度が低下し、修復工事における費用負担が軽減される。

【シアン化合物】

通常、めっき業界で使用されているシアン化合物は、錯体を形成していることが少ないため、そのほとんどが、長期間のうちに自然に酸化され、 CO_2 、 NO_2 、に分解されてしまう。しかし、土壌中に浸透した場合、 CN イオンとして残留し、汚染土壌となることがしばしば見られる。この場合も、六価クロム化合物と同様に、みず道を利用し、コアの蓋から、酸化剤を少量ずつ徐々に注入する。この作業を繰り返し行うことにより、土壌中のシアン化合物が分解されていくことが期

待できる。酸化されたシアン化合物は、ガス状の気体となり、土壤汚染有害物質から除外されるので、酸化反応が進めば進むほど、汚染土壌の量および濃度が低下し、修復工事における費用負担が軽減される。

5. 汚染土壌の修復

コアを活用した汚染拡散防止施工によって、事前調査結果の拡大を防止しながら、汚染範囲の縮小、汚染濃度の低下を図るが、その効果を確認するため、予め予備的な表層調査を実施することを推奨する。予備表層調査の結果および事前調査のときに作成した汚染分布図とを比較することによって、汚染の拡散防止と汚染軽減の効果を確認することが重要である。

次の段階で、汚染の残っている部分の深さ方向の汚染状況の調査を行う。このことによって、おおよそ地中の汚染土壌の容積を推定することができる。調査により判明したデータを基に、事業の廃止、土地の改変をともなう工場または事業場の改造計画、法施行前に特定施設を廃止した土地の売却を考える際の汚染土壌修復にかかる予算の積算を行うことができる。

積算の方法として、まず表層の汚染調査・深さ方向の汚染調査により、汚染物質の種類と汚染濃度および汚染土壌量を把握し、修復の方法を検討する。修復の方法は、速やかに汚染土壌を修復する場合、汚染土壌の掘削による除去が最も安全、かつ効率的といわれている。なお、処分の方法は、汚染濃度により異なる。

土壤汚染基準値は、環境基準値として厳しい条件が設定されている。この基準値を超えたすべての土壌が汚染土壌とさ

図3 埋立て基準を超えた土壌の処分方法

れる。これは、事業場の土地は遮水構造を持っていないため、将来地下水への浸透が懸念されるためである。一方、管理型処分地における埋立て基準値の範囲内に収まっている汚染土壌は、汚染を拡散させないように掘削し、全量を管理型処分地に埋立て処分を行い、汚染されていない土壌に入れ替えることで修復が完了する。ただし、この場合には、地下水に汚染が生じていないことを掘削時に確認しなくてはならない。

埋立て基準を超えた濃度の汚染土壌は、図3に示すように3通りの処分方法が考えられる。

一つは、現地にて薬品などを加えて埋立て基準値以下にし、前述の通り全量掘削除去し埋立て処分を行う方法である。この場合は、処分後の土壌の分析証明を取り、埋立て基準を満たしていることを確認する。

もうひとつの方法は、有害物質を含んだままの土壌を、処分業許可を有する処分業者に処分を委託する方法である。通常、産業廃棄物の有害汚泥の許可を有する中間処理業者が、鉋山法に基づき、引き受けてくれるが、この場合は予め、中間処理業者が許可を所有している地方自治体との事前協議を行い、受入れ承諾を受けなければならない。この対象となる中間処理業者としては、光和精鉋(北九州市)、日鉋環境(茨城県)、同和鉋業(秋田県)、日曹金属(福島県)などがある。

弊社が実施した工事方法は、不溶化埋め戻しという工事方法である。この工事方法は、有害物質を薬品などで水に溶けない状態として埋め戻すものである。ただし、汚染土壌防止法では埋め戻された場所にある地下水の下流側に1つ以上の観測井戸を設け、1年間に4回以上定期的に地下水を採取し、2年間継続して有害物質が地下水を汚染していないことを確認しなければならない。

上記の方法のうち、汚染状況・汚染土壌の量・地質・敷地の使用頻度・土地の再活用の必要性・汚染物質の種類に併せた最も良い結果の得られる処分方法を選択することが必要である。

6. 事例紹介

汚染土壌の修復には、まず調査が必要である。他の廃棄物

と異なり、数量や濃度の見極めが困難であるためである。岡山県の事例では、指定機関により表層調査から開始したものの、汚染の拡散が著しく、地下水はおろか付近の河川にまで汚染が拡大しており、途中で調査を中止したものの、調査分析費だけで2,000万円を超える費用負担が発生した。汚染土壌の措置には全く手がつかぬまま、流出する汚染物質を遮断するための工事費(費用に要した金額は不明)を負担したところで、工事を一時中断したところがあった。

また、東京都の事例では、汚染原因が把握されないうちに、修復工事を開始したものの、一向に状況が改善されなかった。改めて原因調査をしたところ、地下に埋設した有害物質供給配管に亀裂が生じており、定常的に微量の有害物質が土壌を汚染していたことが報告されている。

7. おわりに

汚染土壌の修復は、法律で定められている通り重要な案件ではあるが、修復が不可能というものではない(修復技術がなく、土地全体を遮断構造としなければならないケースもあるが)。事前に汚染状況を正確に把握し、事業の廃止・土地の改変・土地の売却の前に、十分な準備と措置を行うことによって対策に当たれば、余分な費用を負担することが未然に防止できる。法整備の遅れから、図らずも土地を汚染してしまったとき、十分な準備と措置とを検討し対処してほしい。このように有害物質の特性を見極め、事前に汚染状況を調査し、改善のための措置を予め施しておくことが、汚染土壌の拡大を防ぐことにつながり、多くの修復工事方法の選択肢を持つことになる。修復方法として多くの選択肢をもつことが、最終的には費用軽減を図ることになる。

なお、本稿では、有機塩素化合物・六価クロム化合物・シアン化合物に絞って、汚染土壌の拡散防止、汚染軽減および汚染土壌の修復についての考え方を解説してきたが、他の有害物質も原理・発想は同様である。

以上、表面処理工場を例に、汚染土壌の修復方法の考え方を紹介してきた。本稿が、皆様の参考になれば幸いである。

(2006-8-28 受理)