

# 有害物質が検出された土壌汚染調査及び対策工の実施例について

株式会社ソイル・ブレーン  
河村 重行

## 1. はじめに

土壌汚染対策法が施行されて3年が過ぎ、最近では土壌汚染に関する認識が徐々に高まってきた。しかし、地方では土壌汚染対策法の第3条に基づく土壌汚染状況調査の実施例はまだ少なく、どちらかといえば土地取引に伴うリスク管理の観点から自主的に行う土壌汚染調査（サイトアセスメント）として取り組む事例が増加傾向にある。

ここでは、市街地の再開発計画に伴い実施したリスク管理のための土壌汚染調査及び対策実施例をもとに、調査地点設定時の留意点、基準値をオーバーしたヒ素に対する解釈事例、また、表層部とGL-8.0～10.0m付近の深部で基準値をオーバーしたテトラクロロエチレン（以下PCEという）等の検討及び対策事例を紹介し、今後の課題についても述べる。

## 2. 調査の進め方と調査結果の概要

### 2.1 全体調査の進め方

調査にあたっては、ASTM実務規格E1527-00、E1903-97<sup>1)</sup>に従って一次調査・資料等調査（以下フェイズ 調査という）を行い、その結果をもとに、土壌汚染対策法にも準拠した現地調査計画を立案し、その後二次調査（以下フェイズ 調査という）を実施するという流れとした。

### 2.2 フェイズ 調査結果

調査対象地は、商店、一戸建て住宅、中高層集合住宅等が密集した市街地であり、調査対象面積は約5,400m<sup>2</sup>である。また、対象地は古くから開けた市街地であり、工業地域として利用された履歴は認められなかった。対象地内には、一般的に有害物質を使用する可能性がある事業場として、クリーニング店や硝子店があり、現在はないが過去にボルトの製造工場、銭湯や写真店等が存在していたことが確認できた。ただし、クリーニング店や硝子店は、土壌汚染対策法では調査の必要性のない300m<sup>2</sup>以下の小規模な個人店舗である。また、水質汚濁防止法に基づく特定施設は存在しなかった。

なお、対象地区は海岸に近い低地であり、建物の支持層確認のために実施された既存地質調査資料では、地盤上位に砂層が厚く（層厚約10m）分布し、その下位に砂礫層が厚く分布していることがわかった（図-1参照）。また、地下水位はGL-2m付近と浅い位置に分布しており、聞き取り調査により対象地内には6箇所の浅井戸が存在することがわかった。

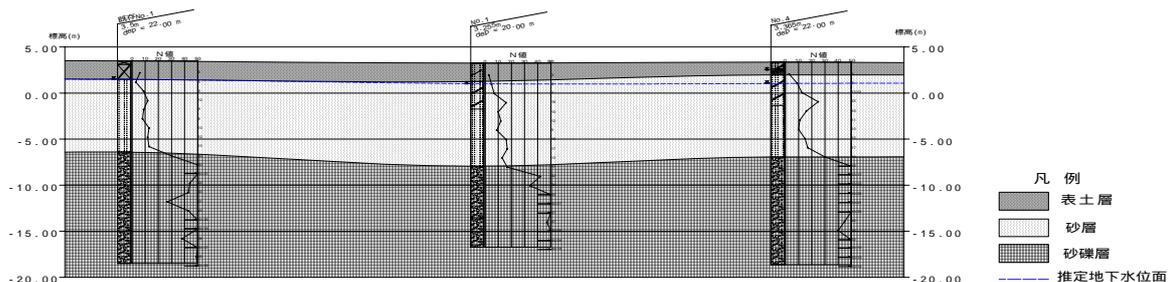


図-1 調査地の推定地質断面図（既往資料による）

### 2.3 フェイズ 調査計画

フェイズ 調査の結果、汚染が存在する証拠はないものの、土壤汚染の可能性が全くないとは断定できないため、土壤汚染対策法の考え方による「土壤汚染が存在するおそれが少ないと認められる土地」であると判断した。したがって、対象地域をおよそ900m<sup>2</sup>（原則として30mメッシュ）の全6区画に分割した区画とすることにしたが、対象地がきれいな方形でないこと、供用中の建物を避けた地点で調査を実施するという制約があったことから、やや変則的な区画割とした（図-2参照）。

調査地での汚染対象物質としては、主として第一種及び第二種特定有害物質が対象になると考えたが、分析項目としては安全を考え土壤汚染対策法で定めた特定有害物質25物質を対象とした。なお、揮発しやすい特性を有する第一種特定有害物質に対しては、土壤ガス調査を、第二種及び第三種特定有害物質に対しては表層土壌を採取し、室内にて分析を行うことにした。また、表層土壌調査については、5地点混合法による分析とし、土壤ガス調査は区画の中心で1地点行うことにした。

なお、対象地に井戸の存在が確認されたため、代表的な井戸1箇所水道水質基準項目26項目の水質分析も行う計画とした。

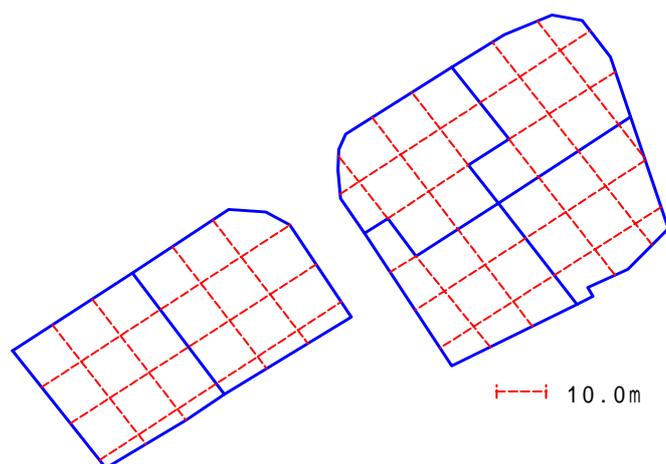


図-2 調査区画図

### 2.4 フェイズ 調査結果

土壤ガス調査の結果、6区画のうち1区画で、基準値内ではあるがPCEが検出された。この区画は、クリーニング店が存在する区画であることから、念のためクリーニング店脇で土壤ガス調査を実施したところ、基準値をオーバーすることがわかった。PCEが基準をオーバーする深度は、表層付近の1.0m以浅とGL-8.0~10.0m付近（深部はPCEあるいはその分解生成物であるシス-1,2-ジクロロエチレンが基準値をオーバー）であることがわかった。

また、第二種及び第三種特定有害物質に対する土壤溶出量試験、土壤含有量試験の結果、同じく6区画のうち1区画でヒ素が溶出量基準値をオーバーすることがわかった。ヒ素の溶出量が基準をオーバーする深度は、表層の1.0m以浅のみであることがわかった。

なお、PCEが検出された下流側に位置する井戸水の水質は飲料水基準を満足していることがわかった。

### 3. 調査結果に対する考察

#### 3.1 基準値をオーバーしたヒ素に対する解釈

調査地の一部の区画では、使用履歴が確認されなかったヒ素が溶出量試験により基準値をオーバーした。その原因としては、自然由来の可能性が高いと判断したが、以下にその根拠を述べる。

##### (1) 既往文献での事例

表-1 に示すように、ヒ素、鉛及びふっ素は自然起源による土壌汚染の事例が多く報告されている。また、調査地のような平野部の海成堆積物の場合、ヒ素の含有量はあまり高くないても、公定法による溶出試験を行うと水質環境基準値(10ppb)を超えて溶出してしまう場合があると言われている<sup>2)</sup>。

表-1 自然起源の土壌汚染と判断された事例数<sup>3)</sup>

物質名	ヒ素	鉛	ふっ素	ほう素	水銀	カドミウム	セレン	六価クロム
事例数	31	18	14	1	8	4	2	0

##### (2) 自然的レベル値との比較

ヒ素の含有量がオーバーした区画において、ヒ素の全含有量試験を4試料行った結果(平均値+3σ)は35.8mg/kgであり、表-2 に示す自然的レベルの範囲内と見なせる含有量(全量分析)の上限値39mg/kgをやや下回った。

表-2 自然的レベルの範囲内と見なせる含有量(全量分析)の上限値(mg/kg)<sup>3)</sup>

物質名	ヒ素	鉛	ふっ素	ほう素	水銀	カドミウム	セレン	六価クロム
上限値の目安	39	140	700	100	1.4	1.4	2.0	-

注：表の値は、全国10都市で行った市街地の土壌中の試験結果より求めた値(平均値+3σ)

以上の結果をもとに、溶出量試験により基準値をオーバーしたヒ素は自然由来の可能性が高いと判断した。

#### 3.2 PCE等の汚染分布に対する考察

調査地の一部区画では、表層土壌でPCEが基準値をオーバーした。そのため、ボーリング調査で深度方向の濃度分布を確認した結果を図-3に示す。

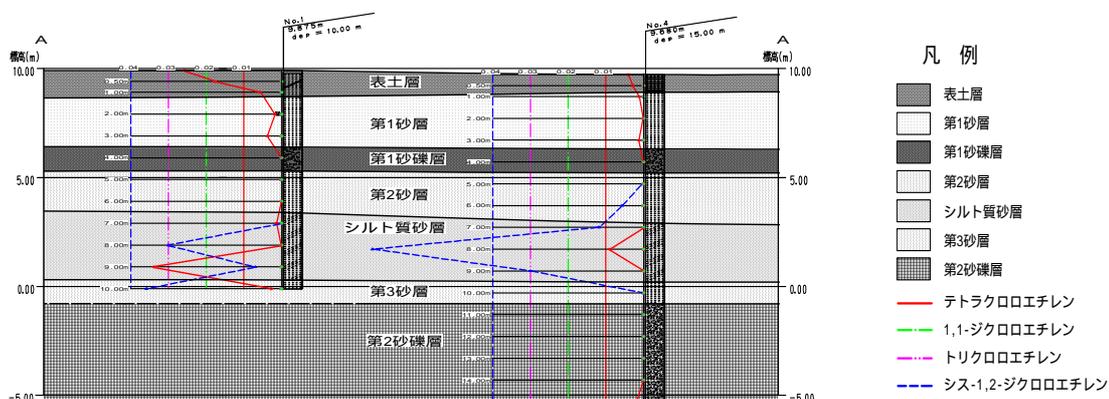


図-3 PCEの深度方向分布調査結果

図-3 に示した推定地質断面図は、図-1 の地層区分を見直したものであるが、これは密度が  $1.623\text{g}/\text{cm}^3$  と水より大きく、難溶性で浸透性に優れているPCEが、GL-10m以深の砂礫層まで汚染が到達していなかった理由を検証するため、調査地地盤の地層構成、粒度試験結果等の再評価を行ったものである。なお、地層構成は、土壌分析のためのサンプリング試料と既存ボーリング柱状図の記事も参考とし、1.0m深度毎の試料を用いた粒度試験を追加実施し、図-4 に示す細粒分含有率やCreagerの近似式 $k=0.35(D_{20})^{2.3}$  [ $D_{20}$ :20%粒径]より推定した透水係数をもとに見直した。

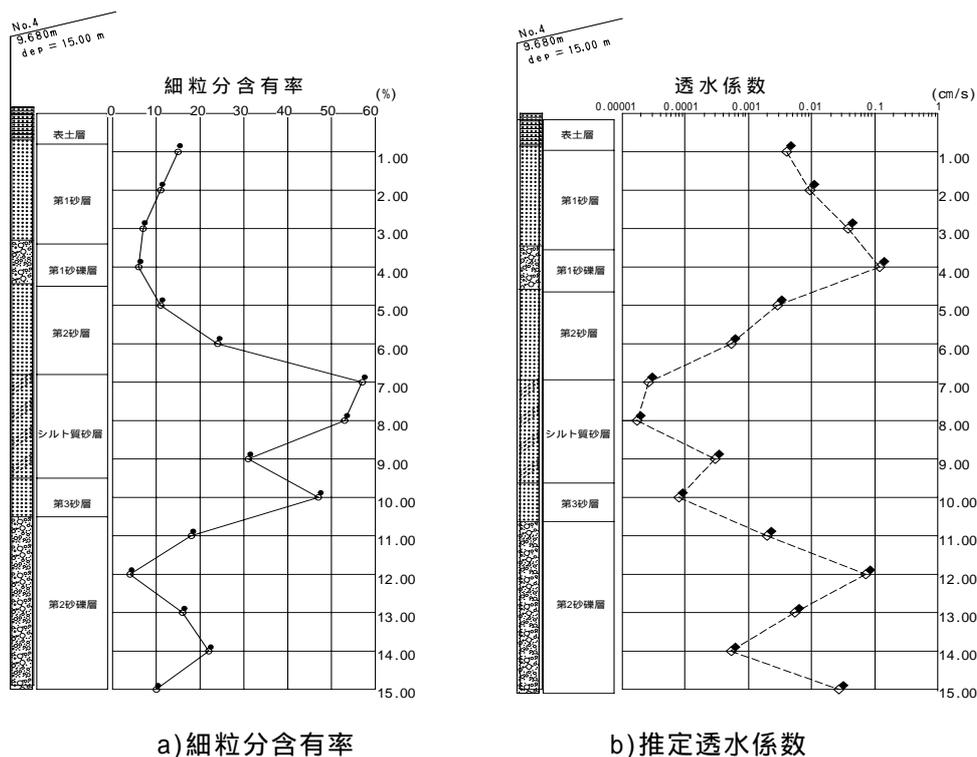


図-4 深度方向の細粒分含有率と推定透水係数

以上の結果より、深部で確認された PCE 等は、比較的透水性の高い砂や砂礫層を下方に移動し、細粒分を 30 ~ 50%程度含有する透水性の低い GL-7.0m ~ 10.0m 付近のシルト質砂層及び第 3 砂層中に留まり、一部は還元的脱塩素化反応が進み、シス-1,2-ジクロロエチレンに分解したものと考えた。なお、表層部の PCE は、地表部がアスファルト等で覆われている地点も多く、完全に揮発しない状態で不飽和土層の間隙中に留まっているものと考えた。

#### 4. 対策の考え方

##### 4.1 ヒ素の対策について

ヒ素の汚染は自然由来と判断したことから、原則として対策は特に行わないことにした。ただし、建設工事時に、基準値をオーバーしている区画で掘削計画があるため、発生土の処分方法を考えておく必要があった。そのため、ヒ素が基準値をオーバーする平面分布(原則 10m メッシュ)及び深度 (GL-5.0m まで) を絞り込んだ。

その結果、汚染範囲の深度 1m 以浅の掘削土壌については、セメント工場に搬入しセメント原料として処理することとした。なお、ヒ素の溶出量は、基準値  $0.01\text{mg}/\text{L}$  に対して、最大  $0.046\text{mg}/\text{L}$  であった。

#### 4.2 PCE等の対策について

表層だけでなく、GL-8.0~10.0mの深部でも汚染が確認されたPCE等の対策については、再開発実施後の後対策は難しいこと、調査地周辺で井戸を使用している箇所があり、地下水等の摂取によるリスク措置の観点などから、現時点で汚染を除去しておくことが適切と考えた。そのため、ヒ素と同様、PCE等が基準値をオーバーする平面分布(原則10mメッシュ)及び深度(GL-15.0mまで)を絞り込んだ。なお、PCEの溶出量は基準値0.01mg/Lに対して、最大0.034mg/L、シス-1,2-ジクロロエチレンの溶出量は基準値0.04mg/Lに対して、最大0.072mg/Lであった。

対策工としては、深部の汚染土壌を搬出により除去する手法は難しく、原位置による土壌汚染の除去が適切と考えた。原位置による土壌汚染の除去方法としては、地下水揚水法、微生物分解による方法等、各種あるが、本調査地では、比較的短期間で分解が可能であり、特定有害物質の濃度や土質等にも影響を受けにくい等の特徴を有する還元分解作用を利用した処理法の鉄粉機械攪拌工法を適用することとした。この工法は、スラリー状にした鉄粉浄化剤を改良対象地盤に注入しながら混合攪拌し、任意の深度の土壌浄化を行うことが可能である。

対策工事にあたっては、モニタリング井戸を設置し、地下水の水質を継続して監視したが、対策前に地下水濃度が唯一オーバーしていた井戸についても、施工後1ヶ月程度で浄化できたことが確認できた。対策実施後のモニタリング井戸での地下水分析試験結果を図-5に示す。

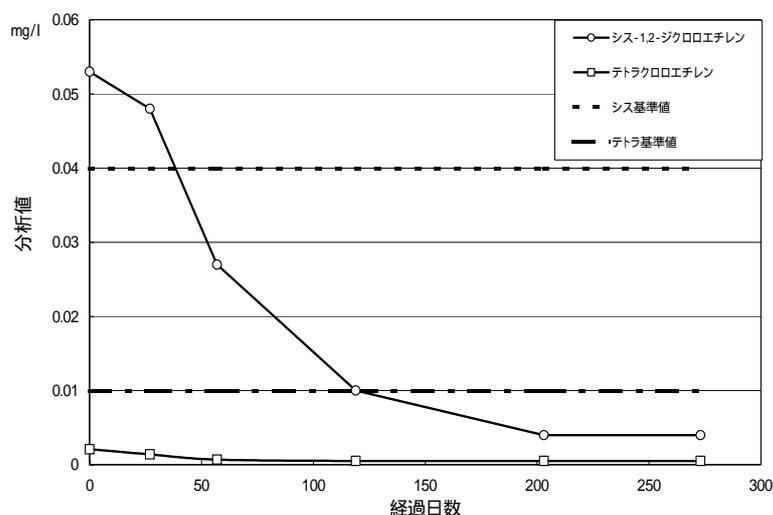


図-5 地下水分析試験結果図

#### 5. 土壌汚染調査実施時の問題点と課題

以下では、今回の業務経験をもとに、土壌汚染調査を実施する際の問題点と今後の課題等について述べる。

##### 調査地点の選定

調査結果の評価にあたっては、調査地点の選定位置が結果を大きく左右する可能性がある。そのため、フェイズI調査時に使用履歴等を含めた極力多くの正確な情報を得る必要がある。また、調査時には、今回のように建物が供用中であり、調査地点が限られるという制約を受けることもあるが、機械的に調査地点を選定しないように心がける必要がある。

### 目的に応じた地層状況の把握

土壌中の汚染物質の挙動を考察するためには、調査地に分布する細粒分含有率の違いや透水性の変化等を正確に把握することが重要であった。その結果が対策工の決定にも関係してくることから、既存資料を使用する場合、何のために実施された調査の成果であるかも考慮したうえで参照し、目的に応じた調査内容の提案や地質断面図の作成を心がける必要がある。

### 定量的な判定について

今回の調査時には、汚染の実態について定性的な評価しか行わなかった。終了後、汚染物質の挙動を評価するために、移流・分散解析を試みたが、設定する入力定数等の問題は残されているものの、大まかな現象を再現することができた。対策の検討や対策後の経過を予測する際には、数値解析による定量的な判定が有効になるため、今後は積極的に取り入れていきたい。

### 余剰試料の処理について

現場で採取した土壌は、分析に用いる試料以外は余剰試料として手元に残ることになる。今回は、汚染濃度も低く余剰試料も少量であったことから、当社で保管し、現場での対策実施時に併せて処理を行った。しかし、汚染濃度が濃い試料を長期間大量に保管する場合はリスクを伴うことになる。そのため、公定分析法ほどの精度はなくても、汚染があるかないかを現場である程度判断できる簡易分析機器の整備や、汚染があった場合には、現場で不溶化・固化等を行い、無害化できるような少量の試料に対するリスク低減システムの構築が必要である。

### リスクに基づく評価について

自主的に行うリスク管理のための土壌汚染調査で土壌汚染が見つかった場合、経済性を考慮すると、全て対策措置が要求されるとは限らない。その場合、土壌汚染がもたらす人へのリスクの大きさに応じて措置の方法を決定する必要がある。一般的に、リスクとは毒性×暴露量（濃度と摂取量）で評価されるため、暴露経路等を考慮し、リスクの大きさに見合った対策を提案していくことも必要である。

### 【参考文献】

- 1) 協同組合 地盤環境技術研究センター翻訳出版：環境サイトアセスメント フェイス ・ 技術マニュアル
- 2) 社団法人産業環境管理協会：サイトアセスメント実務と法規
- 3) 社団法人土壌環境センター編：土壌汚染対策法に基づく調査及び措置の技術的手法の解説