

サイト概念モデルを用いた土壌・地下水汚染の管理・制御技術

山木正彦* 森 啓年** 佐々木哲也*** 稲垣由紀子**** 塚本将康*****

1. はじめに

1.1 本研究の背景

建設工事において土壌・地下水汚染に遭遇した際、その影響は発生源での有害物質の含有量、溶出量で評価してきた。近年、土壌汚染に関する関係法令等が整備され、遭遇契機も多様化している状況に鑑みると、現場毎に想定される土壌・地下水環境を考慮した、効率的かつ効果的な新たな影響評価手法が必要となっている。

1.2 土壌汚染に関する基準と法令

平成3年8月の土壌環境基準の設定、平成15年2月の土壌汚染対策法（以下、「土対法」）の施行を経て、平成22年4月には改正土対法が施行された。また、東京都や大阪府、千葉県などの地方自治体においても、土壌汚染に関する条例が数多く制定されてきている。

このような中、平成3年にはわずか40件だった土壌汚染の調査は、土対法施行直後の平成15年度にはおよそ20倍の762件、平成20年度にはさらにその倍の1,365件が実施され、世の中の土壌汚染に対する関心の高まりが伺える¹⁾。実際に、これらの土壌汚染の調査が実施されたもののうち、平成20年度は約半数の697件で基準を超過する土壌汚染が顕在化している¹⁾。

1.3 公共事業における土壌汚染

公共事業においても例外ではなく、鶴見川多目的遊水地整備²⁾や圏央道八王子北IC建設予定地²⁾における廃棄物混じり土、仙台市東西線地下鉄建設工事³⁾や東北新幹線八甲田トンネル建設工事⁴⁾における自然由来の重金属等を含む岩石・土壌などに遭遇する場合は発生している。

公共事業における土壌汚染については、用地買収前に土壌汚染が顕在化する場合、「公共用地の取得における土壌汚染への対応に係る取扱指針」（国土交通省、平成15年4月30日）に従い対応することとなる。一方、用地取得後や工事開始後に

土壌汚染に遭遇する場合、土対法や「建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル（暫定版）」⁵⁾、「建設工事で遭遇するダイオキシン類汚染土壌対策マニュアル（暫定版）」²⁾、「建設工事で遭遇する廃棄物混じり土対応マニュアル」⁶⁾などを参考に、公共工事の事業者自らが対応するケースが多い。しかし、①大量の汚染土壌への対応、②複数の利害関係者の存在によるリスクコミュニケーションの困難さ、③次章で示す遭遇形態の多様性、④多数の関係法令の存在による対応の複雑さなど、課題は様々で、新たな土壌・地下水の管理・制御技術が求められている。

土木研究所では、土壌・地下水汚染の影響を定量的に予測、評価し、対策の合理化を目指す新たな影響検討手法の構築を検討している。これは従来、個々に実施されていた調査、影響評価、対策、モニタリングを統合し、一連の流れ、目的を持って影響検討を実施する手法である。本手法の説明は3章にて記す。

2. 公共工事における土壌汚染遭遇契機

土壌汚染に遭遇する契機として、土地の使用履歴から調査を行い判明する場合や、視覚や嗅覚など五感に基づくもの、建設発生土のストックヤードへの受入時や条例に基づく調査によって判明するケースなど様々である。

(1) 土地の使用履歴から調査を行い判明する場合

土地の使用履歴調査により、工場やクリーニング店、ガソリンスタンドなどが存在し、過去に有害物質を取り扱った記録が判明し、土壌汚染調査が行われる場合がある。

(2) 五感に基づく異常から判明する場合

1) 土壌の異常な着色

掘削時に土壌に異常な着色が発見され、土壌汚染が顕在化する場合がある（写真-1）。

2) 土壌や浸出水の油膜や異臭

土壌や地下水の異臭から土壌汚染が顕在化する場合がある。これは、一部の揮発性有機化合物や油に存在する特有の臭気に起因する（写真-2）。

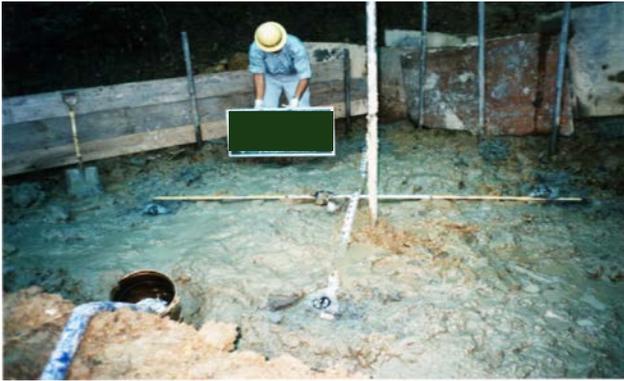


写真-1 シアン汚染土壌

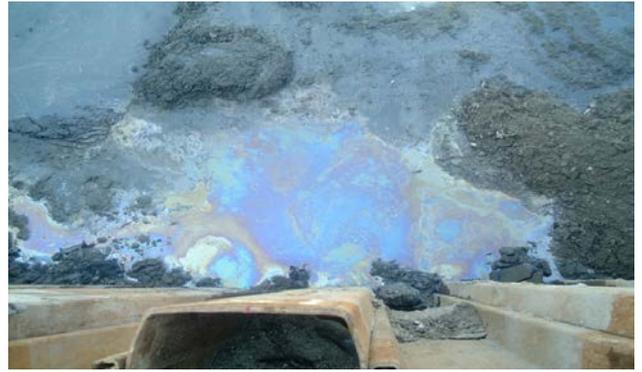


写真-2 油汚染土壌



写真-3 廃棄物混じり土



写真-4 自然由来の重金属等を含有する岩石・土壌

3) 土壌に異物が混入

掘削した土壌に異物、特に廃棄物の混入が判明し、土壌汚染が顕在化する場合もある（写真-3）。

4) 自然由来の重金属等を含有する岩石・土壌

我が国には自然由来の重金属等を含有する岩石・土壌が広く分布し、公共事業においても自然由来の重金属等を含む岩石・土壌の存在が顕在化する場合がある（写真-4）。

(3)ストックヤード等への受入時や条例により判明する場合

ストックヤード等への受入時や地方自治体のいわゆる残土条例により、土壌の溶出試験等を実施し安全性を確認することが求められる場合がある。

3. サイト概念モデルに基づく影響検討

3.1 対応の流れ

建設工事開始後に土壌汚染に遭遇した場合、一般には調査、影響検討、対策、モニタリングの順で実施する。土木研究所では、従来、個々に実施されてきたこれらを統合し、なおかつ発生源での有害物質の含有量、溶出量で評価してきた土壌・地下水汚染の影響を、周辺への影響により評価する、合理的かつ定量的な**サイト概念モデル**[※]に基づく影響検討手法を開発している。この影響検討は「**サイト概念モデルの構築**」と「**影響評価の実**

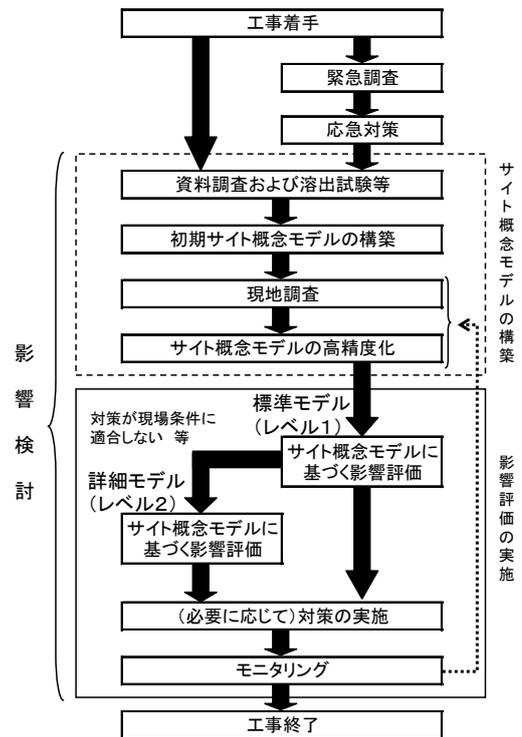


図-1 サイト概念モデルに基づく土壌汚染への対応フロー

施」からなる。図-1にサイト概念モデルに基づく土壌汚染への対応フローを示す。

3.2 サイト概念モデルの構築

サイト概念モデルに基づく影響検討は、建設工事において現場毎に想定される土壌・地下水汚染の影響を明確にし、対応方針、現地調査計画の立

※土木用語解説：サイト概念モデル

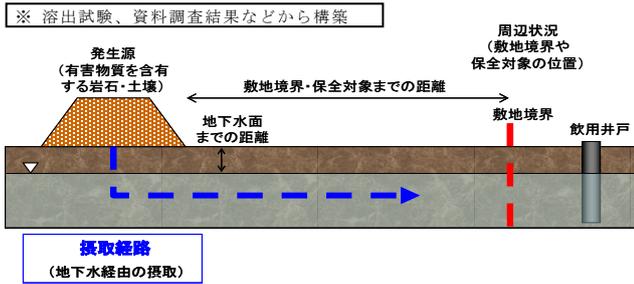


図-2 初期サイト概念モデルの例

案、影響評価の実施、対策の選定・設計などを効率的かつ効果的に実施するための手法である。

サイト概念モデルには、対応方針、現地調査計画の立案に活用することを目的に構築する「初期サイト概念モデル (図-2)」と、影響評価の実施、対策の選定・設計に活用することを目的に構築する「サイト概念モデル (図-3)」の二種類がある。初期サイト概念モデルは既存資料調査などによる対象地域の地形・地質、水理特性・水質、土地利用履歴や発生源の有害物質の含有量・溶出試験結果等の情報をもとに、周辺環境への影響を想定し、現地調査計画の立案に活用するものである。サイト概念モデルは、さらに現地調査などによる発生源および採取経路における有害物質の土壌への吸着特性、表流水や地下水の詳細な情報を加え、想定される周辺環境への影響を明確にし、影響評価の実施、対策の選定・設計に活用するものである。

3.3 影響評価の実施

3.3.1 影響評価とは

構築したサイト概念モデルを用いて、有害物質が敷地境界や保全対象近傍に達する場合の地下水の有害物質濃度を移流分散解析等により求め、判定基準と比較することで、定量的な影響評価を実施する。この際、評価期間は100年間を目安とする。なお、この定量的な影響評価の実施は、リスクコミュニケーションの際に活用するツールとしても期待される。

影響評価には比較的簡易なサイト概念モデルを活用し一次元解析等を実施する「標準モデル (レベル1) による影響評価」と、詳細なサイト概念モデルを活用し多次元解析等を実施する「詳細モデル (レベル2) による影響評価」がある。これらの影響評価に基づき対策の設計を行う。

3.3.2 標準モデル (レベル1) による影響評価

標準モデル (レベル1) による影響評価は、現地調査によって取得した現地のパラメータを利用

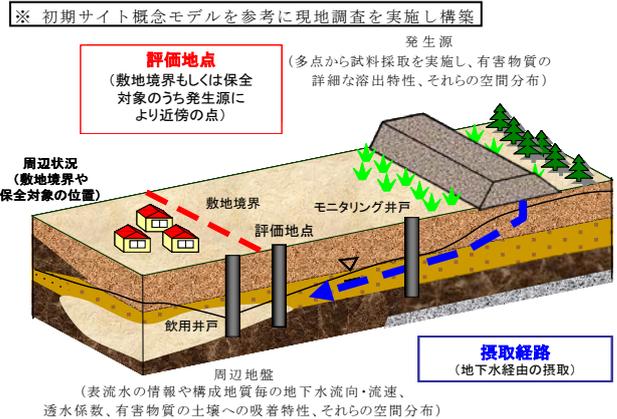


図-3 サイト概念モデルの例

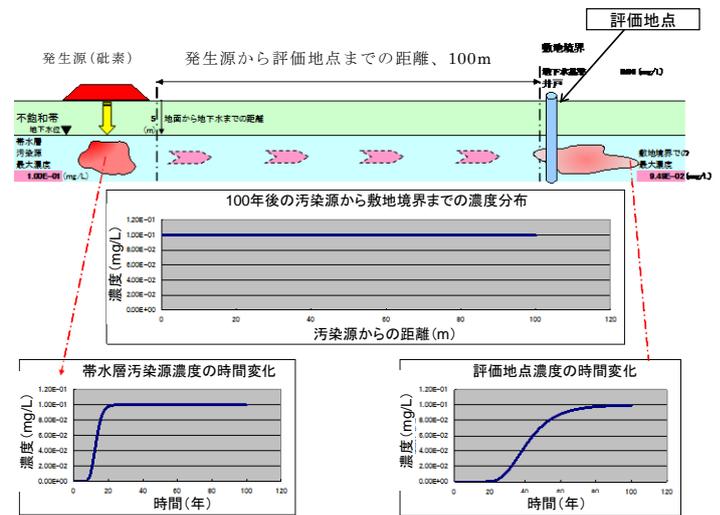


図-4 1DTRANSUの計算結果例 (砒素を対象とした100年間の影響予測)

し、一次元の移流分散解析等を用い影響予測および影響評価を実施する。解析を実施する測線の選定にあたっては現場毎の地下水流況、保全対象位置、想定される影響等を考慮することが必要となる。

土木研究所土質・振動チームでは、西垣ら⁷⁾が提案した手法に基づき、かつ現場で事務所職員が使用することを前提とした簡易な移流分散解析ソフトウェア1DTRANSUを整備した。入力するデータは、発生源における有害物質の種類、帯水層のパラメータ (透水係数、間隙率、遅延係数等)、地下水位、年間降水量等である。出力として発生源直下の帯水層における有害物質濃度と時間の関係、発生源と評価地点間のある時間における有害物質濃度、評価地点直下の帯水層における有害物質濃度と時間の関係が得られる。図-4に1DTRANSUの計算結果例を示す。1DTRANSUの特徴としては、表計算ソフトExcelが使用でき

れば利用可能で、影響予測を行う際に必要となる地盤のパラメータが参考値として設定されており、直ちに概略計算が可能ということが挙げられる。

3.3.3 詳細モデル（レベル2）による影響評価

詳細モデル（レベル2）による影響評価は、標準モデル（レベル1）に基づいて設計した対策が現場条件に適合しない時などに、より詳細な現地調査によって取得した現地パラメータを使用し、多次元の移流分散解析等⁷⁾（図-5参照）を実施する。

3.4 留意事項

サイト概念モデルに基づく影響検討を実施する際は、モニタリングを併用し、不確実性を担保することが必須となる。また、モニタリングの結果に応じて追加調査やパラメータの再設定を含むサイト概念モデルの修正等を適宜行い、影響検討の精度を可能な限り向上させる。その結果新たな対策の必要性が生じた場合は適切な対応を検討する。

4. まとめ

環境問題への関心が高まる昨今においては、有害物質の影響検討を行う場合には、科学的根拠に基づいた定量的な予測が重要である。本検討により得られた主たる成果は以下の通りである。

- ・新たな影響検討の考え方として、サイト概念モデルに基づく影響検討手法の提案を行った。
- ・サイト概念モデルに基づく影響評価に適用する簡易な移流分散解析ソフトウェア1DTRANSUを整備した。

なお今後は、模型実験や現場の観測データをもとにパラメータの設定方法の検討を行い、手法の検証を実施し影響検討の精度を高めていく。

これらの成果は、「建設工事で遭遇する地盤汚

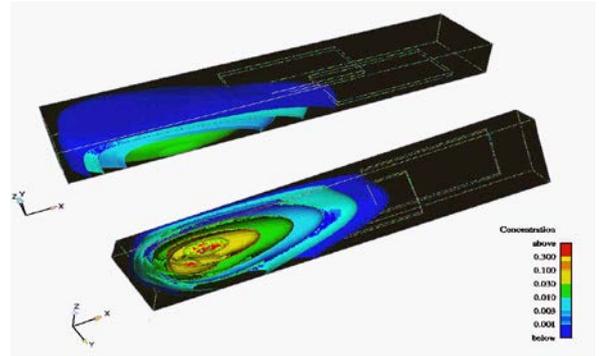


図-5 三次元移流分散解析の計算例
（ある地盤条件において地下水に溶け込んだトリクロロエチレンの5年後の拡散状況）

染対応マニュアル（暫定版）」の改訂に反映する予定である。

参考文献

- 1) 環境省水・大気局環境局：平成20年度土壤汚染対策法の施行状況及び土壤汚染調査・対策事例等に関する調査結果、環境省HP、2010.3.
- 2) 土木研究所編：「建設工事で遭遇するダイオキシン類汚染土壌対応マニュアル〔暫定版〕」、鹿島出版会、2005.12.
- 3) 森研一郎、門間聖子：「仙台市地下鉄東西線建設工事における自然由来の重金属を含む建設発生土処理に関する取り組み」、資源・素材2009（札幌）C3-7、pp.173～176、2009.9.
- 4) 太田岳洋：「鉄道建設における自然由来重金属等含有土砂対策の事例と今後のあり方」、資源・素材2009（札幌）C3-6、pp.169～172、2009.9.
- 5) 独立行政法人土木研究所編：建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル〔暫定版〕、鹿島出版会、pp.123～128、2004.
- 6) 土木研究所監修、土木研究センター編著：「建設工事で遭遇する廃棄物混じり土対応マニュアル」、鹿島出版会、2009.10.
- 7) 西垣誠、菱谷智幸、橋本学、河野伊一郎：飽和・不飽和領域における物質移動を伴う密度依存地下水流の数値解析手法に関する研究、土木学会論文集、No.511/III-30、pp.135～144、1995.

山木正彦*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地盤研究グループ土質・振動チーム 研究員、博士(工学)
Dr.Masahiko YAMAKI

森 啓年**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地盤研究グループ土質・振動チーム 主任研究員
Hirotohi MORI

佐々木哲也***



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地盤研究グループ土質・振動チーム 上席研究員
Tetsuya SASAKI

稲垣由紀子****



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地盤研究グループ土質・振動チーム 研究員
Yukiko INAGAKI

塚本将康*****



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地盤研究グループ土質・振動チーム 交流研究員
Masayoshi TSUKAMOTO