

地盤環境リスクと環境負荷の考え方とその評価事例

Case Studies on Evaluation of Geo-environmental Risk and Environmental Load

大 嶺 聖 (おおみね きよし)

九州大学大学院准教授 工学研究院

稲 積 真 哉 (いなすみ しんや)

京都大学大学院助教 工学研究科

伊 藤 良 治 (いとう よしはる)

飛鳥建設㈱エンジニアリング事業推進部 課長

渡 邊 保 貴 (わたなべ やすたか)

茨城大学大学院 日本学術振興会特別研究員

1. はじめに

地盤環境プロジェクトにおける環境影響評価技術の高度化と適用に関する研究委員会では、地盤環境のあるべき姿を議論するために、ランドデザインワーキンググループでの活動を行ってきた。土壌・地下水汚染対策や自然由来重金属対策のあり方、廃棄物処分場の延命化・廃止・跡地利用、再生製品の利用に伴う環境問題、経済性・環境リスク・環境負荷の評価など検討すべき多くの課題が残されている。また、地盤環境の保全や環境リスクをわかりやすく伝えることも地盤工学に関わる技術者にとって重要な問題である。

本文では、評価事例として、開発途上国における廃棄物処理の環境コスト、再生製品利用としての建設汚泥と浄水汚泥の環境価格および土壌汚染対策の環境負荷と健康被害リスクの考え方の概要を示す。さらに、土壌汚染処理技術を例に、地盤環境リスクと環境負荷のあるべき評価の考え方および今後の課題を述べる。

2. 評価事例

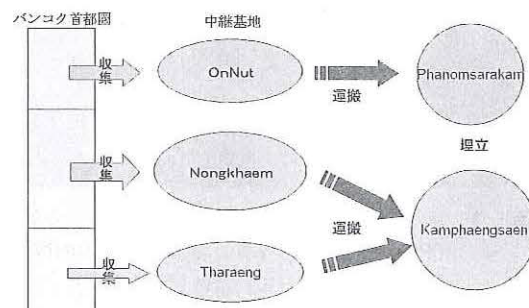
2.1 開発途上国における廃棄物処理の環境コスト

開発途上国の一つであるタイ・バンコク首都圏における廃棄物処理の現状も環境へ多大な負荷を与えており、環境負荷を可能な限り削減した上で経済的な廃棄物処理システムの構築が求められている。

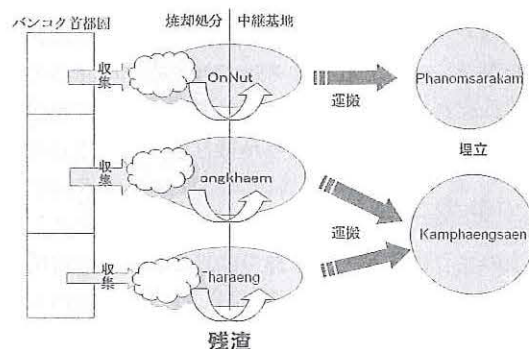
本事例¹⁾ではタイ・バンコク首都圏にて現状採用されている廃棄物処理システム（ベースラインシナリオと呼称する）、ならびに対策シナリオとして仮定した2種類の廃棄物処理シナリオ（図-1）に対して、長期的な処理コストおよび環境コストを廃棄物発生量、温室効果ガス排出量および埋立処分地の必要面積の観点から定量的に評価している。さらに、本事例ではタイ・バンコク首都圏における廃棄物処理システムの社会環境会計論的な最適化を環境税および環境補助金によって検討している。なお、社会環境会計論的な最適化はタイ・バンコク首都圏における廃棄物処理に限らず、各国・各都市で生じる様々な環境問題に対して、その解決の重要性ならびに方法論を示す一助になると考えられる。

開発途上国における廃棄物処理システムの最適化は、それをどの視点から考えるかが重要となってくる。例え

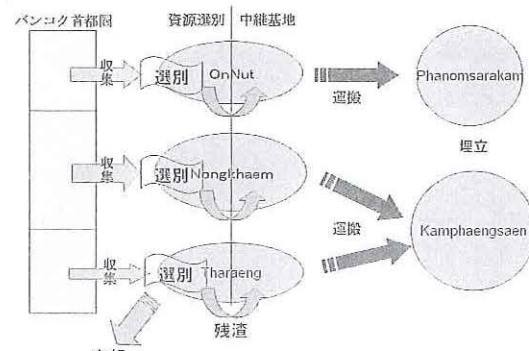
ば、トータルコスト（処理コスト+環境コスト）または環境コストの最小化の観点において、中間処理過程として焼却処理施設の導入は、その初期投資額を考えると資金的に余裕のある投資主体に向けたものである（図-2）。



(a) バンコク首都圏の現状に即した廃棄物処理シナリオ (BL シナリオ)

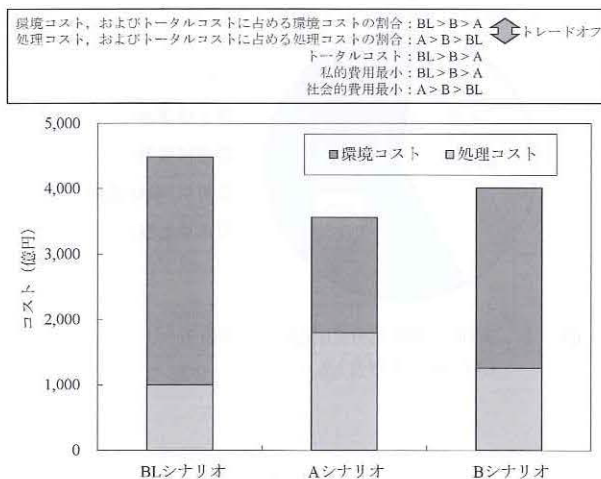


(b) 焼却処理施設の導入を想定した廃棄物処理シナリオ (A シナリオ)



(c) 資源分別処理施設の導入を想定した廃棄物処理シナリオ (B シナリオ)

図-1 想定したバンコク首都圏における廃棄物処理シナリオ



図—2 幾何ブラウンによる廃棄物発生量予測値をインプットとした場合における各シナリオで推定される処理コストおよび環境コスト

具体的には、先進国による CDM 等の環境投資の際に有用な評価である。また、中間処理過程としての資源分別処理の導入は、環境効率の投資面において費用対効果に優れていると評価することができ、初期投資を抑え効率的に環境コストを削減する場合や、一定の環境基準を達成する目的において有用である（図—2）。ただし、上記はいずれも「環境に優しい」廃棄物処理の達成を目指すものである。

開発途上国の、特に住民にとって、資金は生活していくためのものであり、環境保全のために資金を費やすことは現状考えにくいと言える。そのため、環境税や環境補助金のような環境政策によりインセンティブ付けをすることも考えられるが、いずれの環境政策も費用を伴うものであり実行は難しい可能性がある。先進国においても環境保全のインセンティブは重要と考えられるが、それ以前に先進国と開発途上国の住民にはその思考に相違がある。例えば、日本において住民は非常に協力的にごみ排出時の分別作業を行い、また企業による環境保全活動も行われている。日本におけるこのような現状は、住民に環境保全の考えが浸透している、すなわち、環境教育が適切に行われていることの効果が現れているためと言える。日本においては1960年前後から顕在化した公害を含む環境問題の原因・実態・防止策を教育に組み込んでいるため、住民に環境保全の意識が芽生えている。一方、タイのような開発途上国における住民はそのような教育を受けておらず、環境に協力的な意識を持つ動機がないと考えられる。そのような場合は、廃棄物処理施設の導入や環境政策を行う大前提として、環境教育を取り入れることが有効な手段と言える。廃棄物処理における環境汚染の実態、あるいは土地を浪費することのデメリット等を住民に教育し、環境保全の動機を持たせることが重要である。本事例における環境影響を考慮した廃棄物処理システムの評価は、その前提の下で有用となり、合意形成の手段となり得る。それが達成されることで、環境影響を考慮した廃棄物処理の評価（本評価事例）は

決して先進国目線のものではなくなる。

2.2 再生製品利用としての浄水汚泥の環境価格

建設汚泥の現状として、平成20年度建設副産物実態調査によると、建設汚泥の排出量は建設廃棄物全体の約7%にあたる450万tであり、再資源化率は69.8%である。環境省では、平成17年7月に「建設汚泥処理物の廃棄物該当性の判断指針について」を告示し、国土交通省では、平成18年3月に「建設汚泥再生利用指針検討委員会」の報告書を公開しており、それらが建設汚泥に対する適切な認識と処理に結びついているものと考えられる。しかし、建設汚泥は品質を満足するだけでは市場での競争力が低いことも指摘されており、公共工事での積極的な利用を推進する等の政策的な対策が講じられている。廃棄物の有効利用の重要性を理解するためには、有効利用における環境負荷あるいはその低減効果を定量的に示すことも重要であると考えられる。

廃棄物の有効利用における環境負荷を算定する方法には、処理に伴って生じる二酸化炭素排出量や生態系への影響などから計算される環境コストや、再資源化や処分に関するコストを考慮した建設材料コストとして評価する方法がある²⁾。いずれも主に貨幣的尺度を用いて環境負荷を表す。図—3に示すように、環境負荷に関わる項目を抽出し、環境負荷を可能な範囲で具体的に定量化する点が重要な考え方である。ここで、建設汚泥に適用可能な考え方として、浄水汚泥の環境負荷算定の事例を紹介する。浄水汚泥を埋設管工事の埋戻し材として利用する場合の環境負荷低減効果を、最終処分量の削減や天然資源の節約等の優先度の高い項目を選択することにより、評価した例である³⁾。次式は市場価格に基づいて浄水汚泥の環境価格 C_E を算出するものである。環境負荷の要因を限定していることから、環境コストとは区別をして環境価格を定義している。

$$C_E = (c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5) + c_n V_n \left(1 - \frac{p_{\text{mix}}}{100} \right) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 c_1 は環境影響を予防するための費用（円）、 c_2 は浄水汚泥を前処理するために要する費用（円）、 c_3 は運搬や保管に要する費用（円）、 c_4 は浄水汚泥を利用することによる最終処分費用の削減分（円）、 c_5 は浄水汚泥を利用することによる従来の土質材料の節約費用（円）である。山砂等との混合利用も考慮するため、 c_n は山砂など一般的な土質材料の価格（円/m³）、 V_n は山砂の使用量（m³）、 p_{mix} は浄水汚泥の混合率（%）としている。浄水汚泥を埋設管工事の埋戻し材として複数年継続して利用する場合、浄水汚泥の混合率と利用率が大きいほど、環境負荷低減効果が期待されることを示した（図—4参照）³⁾。

建設汚泥を地盤材料として利用する場合において、建設汚泥の最終処分量の削減と山砂の新規採取量の削減は「リサイクル原則化ルール」の背景とも合致する重要な項目となる。環境影響因子の抽出や原単位の設定等が簡易的な評価結果に結びつく場合があることに留意しなければならないが、環境負荷に関する項目の優先順位を明

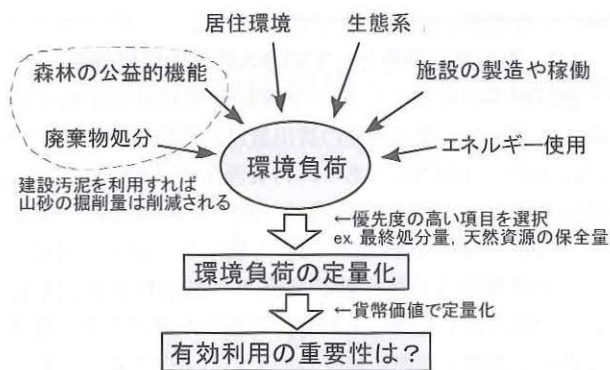


図-3 環境負荷の定量化に関する概念図

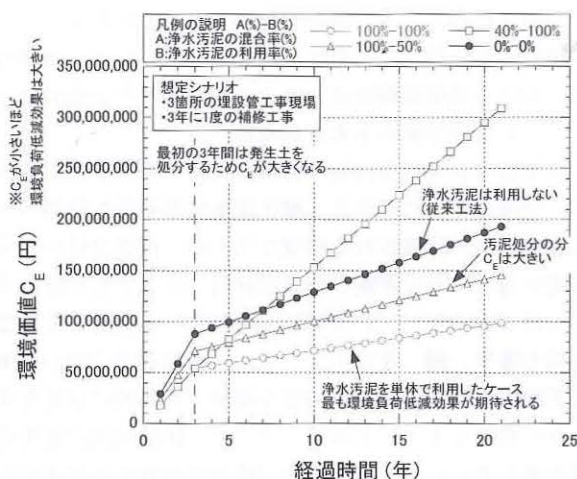


図-4 浄水汚泥の利用に関する環境価格の試算例

確に設定することにより、比較的簡便に環境負荷を定量化し、結果を政策決定に反映することが期待される。

2.3 土壤汚染対策の環境負荷と健康被害リスク

自然界の地殻や河川にもカドミウム、クロム、水銀、セレン、鉛、砒素、ふっ素、ほう素が存在し、工業原料として利用されるだけでなく、砒素、ふっ素、セレンは人間の必須元素であることが知られている。

環境基準は、健康影響から定められているが、工事等で遭遇する重金属を含む地層や岩石・土壤の酸化・還元によって土壤溶出量、土壤含有量を超過することがある。

土壤汚染対策法が平成22年4月に改正・施行され、それまで対象ではなかった自然由来重金属含有土壤も指定基準を超過した場合、汚染土壤として扱われることになった。土壤汚染対策法が適用される汚染状態の敷地では、自然由来重金属含有土壤の敷地も区域指定され、地下水飲用禁止等で健康被害防止されることとなった。

また、改正法では、土壤汚染の措置には、掘削除去を指示措置とせず、掘削除去工事の届出による汚染土の場外搬出の抑制策等を講じて、敷地内での汚染土壌措置を行わせることで環境汚染の拡散防止を推進している。

ところが、土地取引では、判例で汚染土は隠れた瑕疵とされる場合があり、人為的土壤汚染と自然由来重金属の溶出量・含有量超過は同じように扱われ、土地の引き渡しでは完全な浄化が要求される。土壤汚染の主な対策は法改正後も掘削除去が大半を占めている。

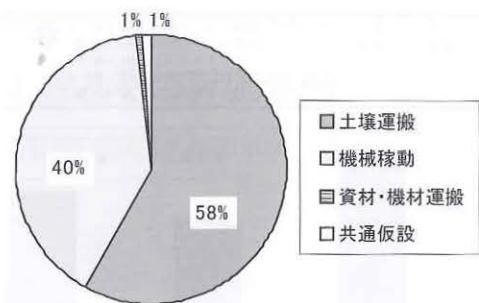


図-5 掘削+場外処分の内訳(大規模モデルケースでのCO₂排出量割合)⁴⁾

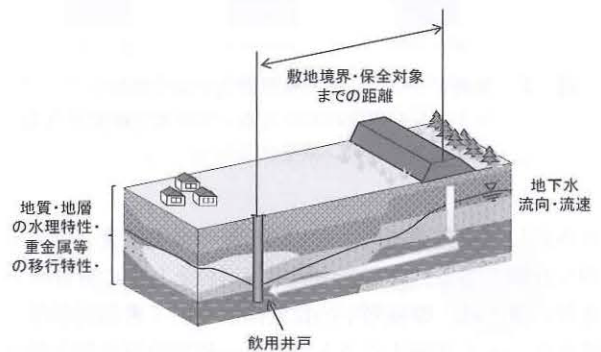


図-6 サイト概念モデルの例⁵⁾

したがって、土地を売却する企業の経済的な環境コスト負担が軽減されていない。

土壤汚染対策工事が環境に与える負荷は、(財)土壤環境センター「CO₂排出量検討事業報告書⁴⁾」で検討されており、研究成果の一部を紹介する。本報告書は、東京都の土壤汚染処理技術フォーラムのモデルケースで対策工事のCO₂排出量を試算したものである。

図-5は、掘削量13 200 m³の場合の試算による掘削工事CO₂排出比率の内訳(排出量392 657 kg-CO₂(29.8 kg-CO₂/t汚染土):処分のCO₂排出量除く)であり、運搬に関わるCO₂排出比率が高いことが判る。

また、最終処分場の汚染土処分CO₂排出量は4.5 kg-CO₂/t、セメント原料化は299 kg-CO₂/tとみなしているが、セメント原料化の場合、セメントが新たな建設資材であることから、CO₂排出量の10%程度とし、処分のCO₂排出量が工事に占める割合を算定すると最終処分は20%、セメント原料化は50%となる。

一方、国土交通省の「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壤への対応マニュアル(暫定版)」(平成22年3月:以下マニュアルという⁵⁾)では、工事で掘削した重金属含有土は、土壤汚染対策法の措置以外に①遮水シート封じ込め、②転圧による透水性低下、③吸着層による重金属の補足等が紹介されている。

これらの方法は、公共工事等では重金属含有土を処分せず有効利用できる制度もあることから再利用先の距離が短ければCO₂排出量が少なくなり、環境負荷の低減に有効である。

また、マニュアルでは、土壤汚染対策法に準じる調査・対策のほか、重金属を含む岩石・土壤は長期的な

表一 1 土壤汚染処理技術の性能比較 (○:優, △:普通, ×:劣) (参考文献 6)を修正)

比較項目	ファイトレメディエーション	バイオレメディエーション	化学的処理	物理的・熱的処理
処理対象物質	重金属類, VOC	六価クロム, VOC	重金属類, VOC	重金属類, VOC
処理コスト	○	○	△~× (技術で異なる)	△~× (技術で異なる)
環境コスト	○	△	×	×
即効性 (短期浄化)	×	△	○	○
土壌の温度・湿度等が与える処理能力への影響	×	×	○	○
広範囲に低濃度で汚染された地域への適用	○	○	×	×

(注) VOC・・・揮発性有機化合物

溶出量が増加する場合があります, その把握を加味した調査方法や地下水摂取や直接摂取の対象地での人の曝露量を評価した方法 (図一 6 参照) で, 対象地での健康被害防止対策することが提案されている。

これらのリスク評価方法や拡散防止方法は, 一部の汚染地仲介企業が, 事業化した例があるが, 土地取引で一般的に活用されるためには, 自然由来重金属含有土壌の土地評価方法の確立が必要と考える。

3. 地盤環境リスクと環境負荷のあるべき評価の考え方

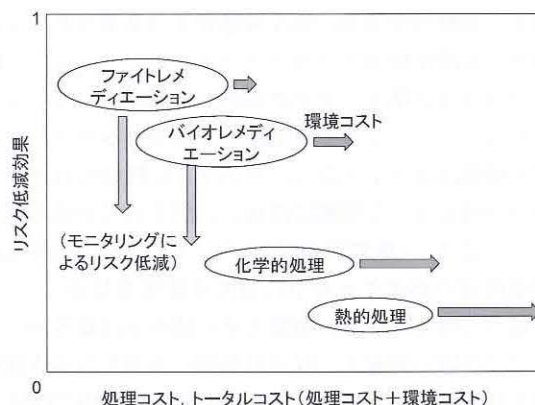
土壤汚染処理技術として, 表一 1 に示す四つの方法 (ファイトレメディエーション, バイオレメディエーション, 化学的処理, 熱的処理) を取り上げてリスク低減効果と環境負荷の関係を考察する。環境負荷については, これまでに提案されている環境コスト²⁾に着目し, 処理コストと環境コストの和をトータルコストとする。環境コストは, 処理に伴って生じる二酸化炭素の排出量や生態系に及ぼす影響などによって表されるものとする。

図一 7 に各処理方法に対するリスク低減効果と処理コストおよびトータルコストの関係を示す。ファイトレメディエーションやバイオレメディエーションは, 効果が発揮されるまで時間がかかるが, その間にモニタリングを併用することで環境リスクを低減できると考えられる。一方, 化学的処理や熱的処理はエネルギー消費が高く, 環境コストが大きくなる。そのため, 環境負荷を考慮したトータルコストで考えると, 低負荷型土壤汚染処理に比べて化学的処理や熱的処理はコストがかなり大きくなることが想定される。

従来は, 廃棄物処理, 再生品利用および汚染土対策において, 地盤環境リスクと環境負荷を個別に議論してきたが, 今後はこれらの両方を考慮しながら, より合理的な対策を行うことが望まれる。

4. ま と め

廃棄物処理や再生製品利用における環境負荷の評価事例として, 環境コストの算定例を示した。また, 土壤汚染対策の環境負荷や健康被害リスクの考え方の事例を紹介



図一 7 リスク低減効果とコストの関係

介した。今後のあるべき評価の考え方として, 地盤環境リスクと環境負荷の大きさに応じた効果的な処理方法が必要となる。モニタリングによる環境リスクの低減もその一つであると考えられるが, その内容を一般市民に理解してもらうためには, リスクコミュニケーションによって地盤環境の保全や環境リスクをわかりやすく伝えることも必要となる。

参 考 文 献

- 1) 稲積真哉・大津宏康・塩谷智基・勝見 武・石川憲俊: パンコク首都圏の廃棄物処理に関する環境影響評価・環境会計に基づく環境経済評価, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント) 特集号, Vol. 66, No. 1, pp. 1~12, 2010.
- 2) 大嶺 聖・松雪清人: 建設発生土および廃棄物の有効利用における環境経済評価モデル, 土と基礎, Vol. 55, No. 1, pp. 10~12, 2003.
- 3) 渡邊保貴・小峯秀雄・安原一哉・村上 哲・豊田和弘: 環境経済効果に着目した浄水汚泥と砂質土の混合利用, 土木学会論文集 C, Vol. 66, No. 4, pp. 788~799, 2010.
- 4) 財土壤環境センター 技術委員会「CO₂ 排出量検討事業報告書」(平成20年度), pp. 101.
- 5) 国土交通省「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル(暫定版)」(平成22年3月: 建設工事における自然由来重金属等含有土砂への対応マニュアル検討委員会) pp. 77.
- 6) 文部科学省科学技術政策研究所科学技術動向研究センター: 科学技術動向2002年3月号 (<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt012j/>).

(原稿受理 2011.5.6)