

47. 環境問題と建設産業とのかかわり (Ⅲ)

ー環境事業のリスクとその回避方法についてー

GLOBAL ENVIRONMENT AND CONSTRUCTION INDUSTRY (Ⅲ)

ーRisk of Environmental Project and Mitigation Methodー

弘末文紀* 相越 宏** 吉川聡雄*** フレッド・モーベンザーダー****

Fuminori HIROSUE, Hiromu AIKOSHI, Fusao YOSHIKAWA, Fred MOAVENZADEH

ABSTRACT; In environmental projects related to construction industry, there are two different types. One is construction project of environmental infrastructure (waste disposal facility, etc.), the other is remediation project of contaminated soil and groundwater and so on. The former is traditional project for construction companies, so they have a lot of experience and understand how to treat problems which occur under construction. While the later, in particular contaminated soil remediation, is new project for them. Therefore, we investigated the experience of American remediation companies based on case studies and risk assessment guideline of US Environmental Protection Agency about contaminated soil and groundwater.

KEYWORDS; contaminated soil, remediation, risk mitigation, risk assessment

1. はじめに

建設産業がかかわりうる環境事業は、表－1に示すように、廃棄物処理・処分施設や下水道施設等の環境関連インフラの整備事業と土壌・地下水汚染や河川・湖沼汚濁対策等の環境浄化事業に分類できる。前者の環境関連インフラ整備については、これまでの伝統的な建設事業の一貫であるため、その事業が人間および環境に及ぼすリスクには過去の多くの経験を参考として対策をたてることが可能であると考ええる。しかし、後者の環境浄化事業の中でも特に土壌・地下水汚染の浄化事業は、最近、工場跡地の再開発等で顕在化しつつあるが建設産業にはその実績は多くないこと、さらに汚染物質が有害物質であり化学的知見が必要であることから、その事業の人間および環境へのリスクについて充分認識する必要がある。そこで、土壌・地下水汚染の浄化事業に関する経験が豊富な米国の事例を基に、その実施に伴うリスクの分類とその回避・軽減策を調査する¹⁾とともに、米国環境保護局が実施しているリスクアセスメント手法について調査した²⁾のでここに報告する。

表－1 建設産業がかかわりうる環境事業

環境関連インフラ整備事業	廃棄物処理・処分施設整備 下水道整備 緑化・植林（屋上緑化、沿道緑化） 省エネ・省資源型システム（省エネビル、新交通システム、 雨水利用システム） 公園整備（自然公園、都市公園） など
環境浄化事業	土壌・地下水汚染の浄化 河川・湖沼・海洋の汚濁の浄化 など

* ハザマ Hazama Corporation. ** 佐藤工業(株) Sato Kogyo Co.,Ltd. *** 西松建設(株) Nishimatsu Construction Co.,Ltd. **** マサチューセッツ工科大学CCRE Center for Construction Research and Education, Massachusetts Institute of Technology

2. 土壌・地下水浄化事業のリスク分類

建設産業が土壌・地下水浄化事業に取り組む場合、その事業に伴うリスクは以下に示すように、企業にかかわるビジネスリスクと人間および環境にかかわる物理的リスクの2種類に大別される。

- ビジネスリスク：契約時の現場条件が不明確なことから生じる財政的損失のリスク
技術が適用できなかったり、事故の発生による企業イメージ低下のリスク
- 物理的リスク：（一般の工事と同様の）建設現場としてのリスク
人間の健康に対するリスク
周辺環境（生態系を含む）への影響に関するリスク

ここでは、物理的リスクの内、人間の健康に対するリスクと周辺環境への影響に関するリスクに着目し、米国の2つの事例に基づくこれらの具体的リスクとその回避方法について述べる。

2. 1 人間の健康に対するリスク

(A) 作業員の安全に対するリスク

有害物質による汚染土壌の浄化事業では、現場の作業員を汚染に伴う危険から守るため、安全対策の強化が要求される。この安全対策の強化は、米国では一般に連邦、州および地方の当局により定められた適用法規を遵守し、それを企業の総合的安全衛生規定に取り入れることにより達成できるとしている。これらの法規には、必要な作業員訓練に対する要求事項、並びに個人保護装備の要求事項が示されている。

(1)事例：ニューベッドフォードハーバー・スーパーファンドサイト

1)サイト概要

- 背景：1940年から1978年まで電気機器関係のPCB製造所があった。
- 汚染物質：湾内の底質層からPCB（120トンと見積られている）のほか重金属（カドミウム、クロム、銅、鉛）が発見されている。
- 対策：汚染したヘドロを浚渫後、移動、貯蔵、排水、焼却（負圧にした堅固な建屋内で）する。

2)リスク概要

本サイトの浄化事業において、作業員に関係する安全上のリスクが、浚渫底質中のPCBおよび重金属に対する曝露または接触により生じる。

3)リスク回避方法

本サイトの浄化を請け負ったパーランド社は、連邦安全衛生規定OSHA 29 CFR 1910.120に厳格に従い、一般作業員および監督者の訓練を実施し、作業員を保護するために個人保護装備を使用するとともに作業環境中の汚染物質のモニタリングを行った。なお、個人保護装備の使用にあたっては、不必要にハイレベルの保護装備の使用による熱ストレス、著しい疲労、視野の制限が傷害につながるといった新たなリスクを生じる点に充分注意しなければならない。ちなみに、上記規定では、作業員保護に対して表-2のようなレベルを設定している。

表-2 作業員保護のレベルと対応する保護装備¹⁾²⁾

保護レベル	対応する保護装備
A：最高レベルの呼吸器、皮膚および目の保護	呼吸器：外部供給式の空気呼吸装置（送気マスク） 皮膚：完全密着着衣
B：呼吸器に対しては最高の、皮膚と目にはより低いレベルの保護。および未知の環境に遭遇した場合の選択レベル	呼吸器：外部供給式の空気呼吸装置（送気マスク） 皮膚：つなぎ、ブーツカバー、手袋
C：吸取缶式の呼吸装置使用が基準に適合、皮膚の保護にはより低いレベル	呼吸器：吸取缶式呼吸装置（防毒マスク） 皮膚：つなぎ、ブーツカバー、手袋
D：正規の作業着のみ着用、呼吸器に危険なし 皮膚には最低レベルの保護	呼吸器：なし 皮膚：つなぎ、ブーツカバー、手袋

(B) 公衆の安全に対するリスク

汚染土壌・地下水の浄化事業では、工事の進捗に伴って作業員のみならず周辺住民等に対しても、接触、吸入または摂取によって汚染物質に曝露する潜在的リスクがある。各々の汚染土壌・地下水の浄化現場は、OSHA 29 CFR 1910.120に従った安全衛生規定の実施に加えて作業現場周辺のモニタリングが必要となる。

(1)事例：WR グレース・スーパーファンドサイト

1)サイト概要

背景：化学製品の製造に伴う排水。100年以上工場用地として使用されてきたため不明点が多い。

汚染物質：砒素、クロム、鉛、硫化水素、VOCs が検出されている。

対策：掘削、固化・安定化、タンクの移設、地下水の揚水処理

2)リスク概要

砒素等で汚染された土壌をセメント等で固化して敷地内の処分場に埋立てるために掘削することから、粉塵等の大気拡散による曝露が生じる。

3)リスク回避方法

本サイトの浄化を請け負ったGZAR社は、作業地域およびその周囲に最新式の大気監視システムを設置し、即時に現場内と周辺の大気汚染の分析値が得られるようにした。また、作業員に対する訓練により事故の発生を防止するとともに、万が一事故が発生した場合を想定して地元の病院、消防、警察および救急要員のための1日訓練を実施した。さらに、救急要員には彼らのサービスが現場で要求される場合に必要なツールとして呼吸装置が提供された。この地域社会の緊急時サービス隊に対する訓練と機器の提供は、現場における作業全体の安全に対する意識の向上につながり、ひいては安全関連のリスクを有効に減ずることになる。

2. 2 周辺環境への影響に関するリスク

土壌・地下水浄化事業には、ある種の不注意による汚染物質の排出が起こる可能性がある。このタイプの事故は、現場の作業員と地域の環境に甚大な物理的損害をもたらす可能性がある。このような事故に伴う安全問題は慎重に討議されるべきであり、事故の影響を最小にするよう設計された付随計画が重要となる。

(1)事例：ニューベッドフォードハーバー・スーパーファンドサイト（サイト概要は前述）

1)リスク概要

本サイトの浄化事業では、地域環境への汚染拡散のリスクが、浚渫、脱水後の底質を1マイル離れた処分場へパイプラインで搬送する過程において特に懸念された。

2)リスク回避方法

パーランド社は、この底質搬送用のパイプラインの設計に当たり、安全性を確保するために二重壁のパイプラインを建設することとした。また、同サイトの汚染拡散の可能性を減少するためにとられた他の対策として、浚渫の際に広がる汚染物質を捕集するために浚渫地域の周囲に特殊なスクリーンを設置した。大気を通しての汚染物質の拡散に対しては、他の浄化事業サイトと同様に大気監視システムが設置されている。

3. 米国のリスクアセスメント手法

伝統的にリスクアセスメントは、人間の健康に対するリスクを評価するためにのみ用いられてきた。土壌・地下水浄化事業の分野では、人間の健康に対するリスクアセスメントは以下の3つの目的で用いられる。

- ①未浄化のサイトがもたらす現在および将来のリスク（ベースラインリスク）を決定するため
- ②浄化目標を設定するため
- ③浄化対策を評価するため

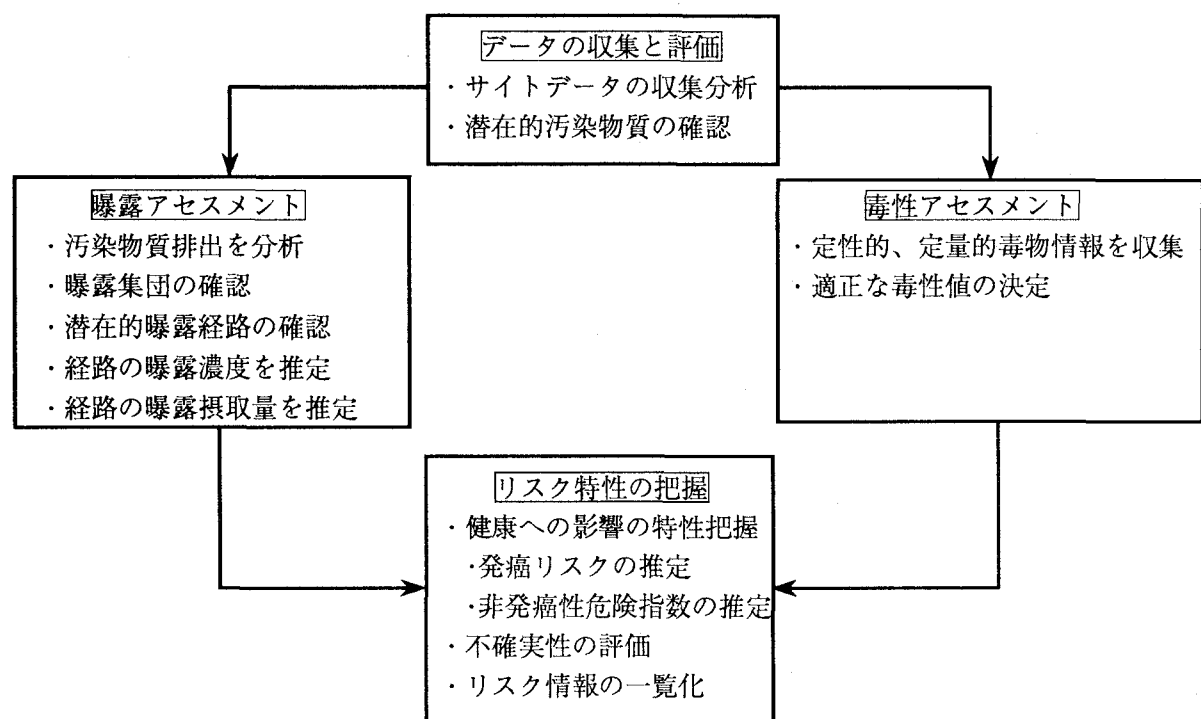
最近では、生態系に対するアセスメントが浄化対策の評価に用いられ始めているだけでなく、浄化を行う必要性の決定と浄化目標の設定にもかかわるようになっている。

3. 1 人間の健康に対するリスクアセスメント

(A) ベースラインリスクアセスメント

未浄化のサイトがもたらすベースラインリスクの評価は、図-1に示す4つの段階を経て行われる。データの収集と評価では問題の汚染物質を決定し、それに対し曝露アセスメントと毒性アセスメントが行われる。曝露アセスメントでは、人がそのサイトから受ける汚染量を推定する。毒性アセスメントでは、汚染物質が

人間の健康に与える影響とその曝露レベルとの関係を数量化する。リスクの特性把握では、定量的評価と定性的評価の両方を組み合わせてリスクの特性を把握する情報を一覧化する。



図－1 ベースラインリスクアセスメントの構成³⁾

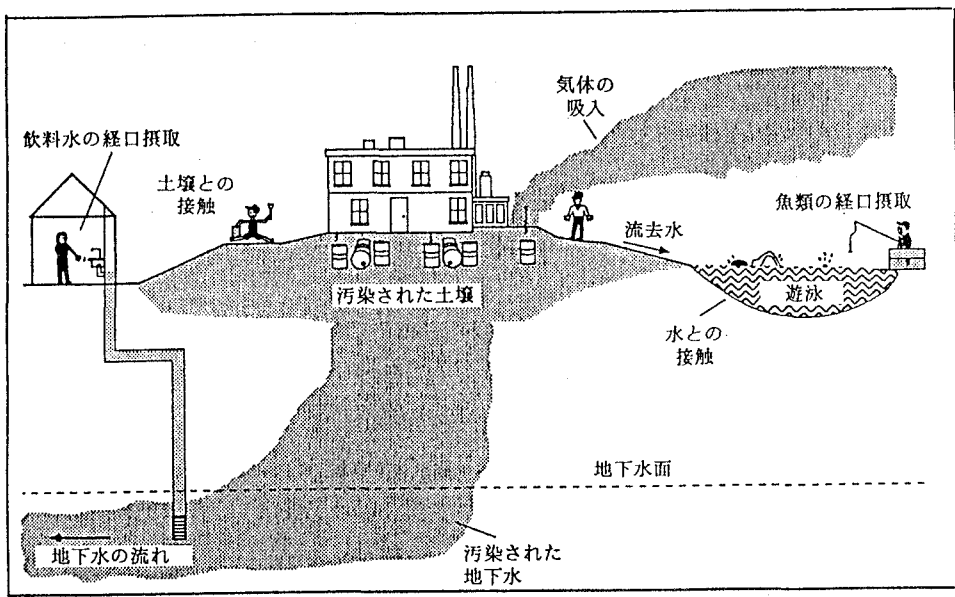
(1)データの収集と評価

リスクアセスメントを行うために、そのサイトに関する以下のデータを収集してその有効性を評価する。

- ・ 汚染物質の正体
- ・ 主要汚染源の汚染濃度と関与する媒体
- ・ 汚染源の特性、特に排出可能性に関する情報
- ・ 環境のバックグラウンド特性

(2)曝露アセスメント

曝露アセスメントは、実際のまたは潜在的な人間への曝露の規模、曝露の頻度と期間そして経路を評価するために行われる。曝露経路とは、図－2に示すように、汚染源から人間に達するまでの飲料水や空中に漂う粒子など汚染物質が移動する経路をさす。曝露アセスメントの目的は、現在および将来の土地利用上の仮定に基づき、それぞれの曝露経路の最



図－2 曝露経路⁴⁾

高推定摂取量（長期的な人体蓄積濃度）を決定することである。

(3) 毒性アセスメント

毒性アセスメントは、そのサイトで確認された汚染物質への曝露に伴う健康上の悪影響の種類と、曝露の規模と悪影響の関係を評価するものである。また、ある汚染物質が人間に対する発癌物質となる量や質といった不確実性をも考慮する。毒性アセスメントは、有害性確認および摂取量反応評価という2つのステップで行われる。有害性確認は、汚染物質への曝露が健康上の悪影響の発生率を高めるか否かを決定し、摂取量反応は、入手可能な毒物情報、人間の疫学的データを用いる統計学的・生物学的モデル、そして動物毒性研究に基づく定量的関係の決定である。

(4) リスク特性の把握

ベースラインリスク特性把握では、曝露アセスメントの結果（すべての曝露経路と土地利用とすべての汚染物質についての摂取量）と毒性アセスメントの結果（すべての曝露規模とすべての汚染物質についての毒性値）を比較検討して、存在する各曝露経路について汚染物質がもたらすリスクを決定する。

(B) 浄化目標の設定

米国環境保護局によれば、浄化の目標は「各経路を通じてもたらされるリスクを除去し、抑制し、または管理することによって、人間の健康と環境を保護すること」にある。ひとたびリスクがベースラインリスクアセスメントにおいて確認されたならば、汚染物質と問題の媒体について浄化目標が設定される。浄化目標は通常、汚染物質と媒体について該当する適切な基準値が存在するならばそれらを用いて設定される（飲料水基準など）。ただし、この一般的な基準値は、サイト固有の条件を加味しておらず、サイトの立地条件や利用形態によっては目標値としては厳しすぎることもありうる。そこで、リスクアセスメント法を用いたサイト固有の浄化基準の設定が有効な手法となる。リスクに基づく浄化目標設定に際しては、各媒体における汚染物質を確認し、将来の土地利用シナリオを仮定した後、ベースラインリスクアセスメントと同様に曝露経路とパラメータが決定される。そして、その汚染物質に対する発癌性リスクを 1×10^{-6} （100万人に1人の発癌率）と設定して、特定媒体に残留するが人間への許容リスクを超えない汚染濃度を推定する。

(C) 浄化対策の評価

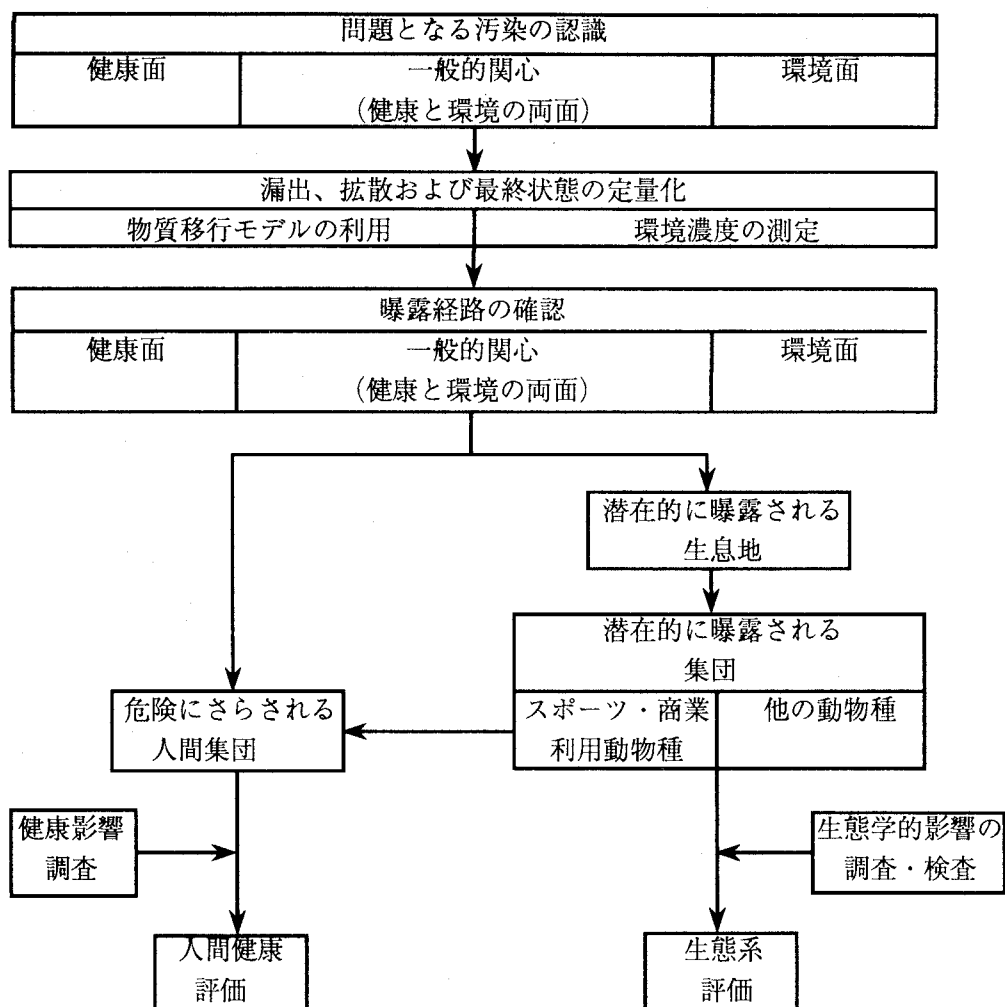
浄化対策の実施に伴うリスクの評価は、ベースラインリスクおよび浄化目標の評価に含まれる計算とは対照的に定性的な評価となる。浄化対策のリスク評価の主な利用用途は、ある浄化対策の（浄化中の）短期的結果および（浄化後の）長期的結果と、その他に提案された浄化対策の結果を予測し、比較することである。このリスクの相対的比較は、そのサイトにとって最も有効な浄化シナリオを決定するために有効である。

3. 2 生態系に対するアセスメント

1980年代の初期まで、汚染の生態系への影響はほとんど考慮されなかった。実際、多くの浄化対策の実施は、汚染されていない生物学的資源をも破壊した。1980年代の末ごろから、汚染サイトが農村部にあり潜在的に重要な生態学的資源を支えている地域にまで及ぶにいたり、本アセスメントが必要となってきた。人間の健康と生態系に対するアセスメントの関係は、図-3に示したようなものとなる。生態系に対するアセスメントは、以下の目的で実施される。

- ① 環境への損害の実際のまたは潜在的脅威を記録するため
- ② 汚染の範囲を確定するため
- ③ 汚染による野生生物およびその生息地への実際のまたは潜在的影響を確定するため
- ④ 汚染による実際のまたは潜在的な生態系への悪影響を記録するため
- ⑤ 浄化基準を作成するため
- ⑥ 浄化対策の生態学的影響を評価するため

一般に生態学的リスクの評価を行う際には4つの段階がある。すなわち、汚染の特性把握、生物資源の特性把握、生態系の特性把握、そして生態系が被るリスクの特性把握である。



図－３ 人間の健康に対するリスク評価と生態系に対するリスク評価の関係⁵⁾

４．おわりに

米国では土壌・地下水浄化事業において、人間の健康のみならず生態系を含めた周辺環境に対してもそのリスクを認識して対策が検討されていることは、我が国の本問題に対する今後の取り組み方に大きな方向性を示唆しているように感じられた。しかし、複雑な方程式を駆使するリスクアセスメント手法の使用に際しては、かなりの時間と費用が必要となる上に、データに関する不確実性が必ず存在するため、その利用には充分慎重でなければならない。そして、われわれ技術者は、これらの結果を有効に利用しつつ、日本の国土風土に適応したより安全で確実な浄化事業を実施できるよう努めねばならない。

なお、本報は、米国マサチューセッツ工科大学、佐藤工業(株)、西松建設(株)、ハザマが、建設産業による地球環境問題への貢献について研究するために設立した「地球環境問題コンソーシアム」の活動成果の一部をまとめたものである。現在、本コンソーシアムでは、環境浄化事業を効率的かつ経済的に実施する方策について調査研究を行っている。

<参考文献>

- １) Robert Ayres : The Management of Risk, CCRE, MIT, 1995.1.
- ２) Jennifer L. Griffith : Risk Assessment at Hazardous Waste Site, CCRE, MIT, 1994.12.
- ３) U.S.EPA : Risk Assessment Guidance for Superfund, Vol. I, Human Health Evaluation Manual (Part A), EPA/540/1-89/002, December 1989, pp.1-7.
- ４) U.S.EPA Region 1, "Understanding RCRA Risk Assessment for Human Health" February 1994, p.4.
- ５) U.S.EPA : Risk Assessment Guidance for Superfund, Vol. II, Environmental Evaluation Manual, EPA/540/1-89/001, p.4.