

射撃場における土壌・地下水汚染 対策と土地利用の検討

かわむらこういち にしむらよしゆき ひらやまとしあき みかもとしろう さとうてつろう
川村功一¹・西村義之¹・平山利晶¹・三家本史郎¹・佐藤徹朗²

¹国際航業（株）技術サービス本部 環境保全部（〒183-0057東京都府中市晴見町2-24-1）

²国際航業（株）技術サービス本部 環境保全部（〒102-0085東京都千代田区六番町2）

遊休地化した射撃場の利用再開に向け、効果的な土壌・地下水汚染対策を検討した。

検討にあたっては、航空レーザー測量による地形解析、地下水シミュレーション、土壌汚染のメカニズム解析等を実施した。土壌汚染対策の検討では、解析結果に基づき、下流側の水田への影響に配慮し、湧水や表流水、地下水を介した汚染が生じないように排水路や調整池を整備する計画とした。また、汚染拡散の未然防止を図るため、地下水モニタリング網を整備した。

最終的に汚染土壌の全量掘削時の1/3まで費用を縮減できた。また、リスクコミュニケーションにより住民の同意を得た。本稿では、ブラウンフィールド対策としての業務事例を示す。

Key Words：射撃場、ブラウンフィールド、土壌・地下水汚染対策、地下水シミュレーション、リスクコミュニケーション、サステナブルレメディエーション

1. はじめに

ライフル射撃場やクレー射撃場では、平成15年の土壌汚染対策法（以下、「法」という。）施行後に、鉛散弾による土壌汚染が顕在化した。

射撃場での土壌汚染は、落下した鉛散弾が汚染原因であり、その範囲が広いために汚染土壌の除去に多額の費用が掛かり、休止もしくは閉鎖せざるを得ない射撃場が少なくない。

実際のところ、表-1によれば、散弾銃（クレー）射撃場が法施行後に減少している。また、県立射撃場では、26箇所のうち11箇所が閉鎖中となっている。クレー射撃は、競技の特性から飛距離（約240m）、範囲（約180°）ともに、ライフル射撃よりも大きく、土壌汚染が廃止の要因の一つと考えられる。

表-1 指定射撃場数の推移と県立射撃場の状況^{1), 2)}

区分	年次	平成15年	平成20年	平成23年	県立		
					県立	開場中	閉鎖中
指定射撃場の指定を受けている射撃場数	ライフル銃	123	139	131	10	6	4
	散弾銃	261	262	218	16	9	7
	空気銃	238	236	228			
	けん銃	41	47	46			
	指定数						

この射撃場用地のように「土壌汚染の存在、あるいはその懸念から、本来、その土地が有する潜在的な価値よりも著しく低い用途あるいは未利用となった土地」は、ブラウンフィールドと定義される³⁾。

ブラウンフィールドは、射撃場のほか、主に工場跡地に見られるが、土壌汚染対策の実施には次のような障害がある。第一に、法に基づく健康被害防止のため、これまでは、主に汚染土壌の掘削除去が行われていたが、対策費用が高額であった（図-1）。加えて、対策に長期間を要すること、汚染を公表しがたいなどの潜在的な要因がある。



図-1 土壌汚染の調査・対策の事例数⁴⁾

このような背景のもと、平成22年の法改正では、掘削除去以外の環境リスクの管理方法として、摂取経路の遮断を基本とする考え方が示された。

以下に、法改正を契機とした射撃場の土壌・地下水汚染対策と土地利用の検討における新たな取組について、建設コンサルタントが務めた事項を述べる。

2. 対象地の状況

一般に射撃場は、山あいに位置することが多く、水資源を含む自然が豊富である半面、土壌・地下水汚染の拡散や流出のリスクを合わせ持つ。

対象地においても、鉛散弾による土壌汚染（土壌含有量と土壌溶出量）が高濃度、広範囲に見られた。また、湧水が豊富で地下水があり、水の流動を介しての汚染拡大が懸念された。特に、対象地を縦断する農業用水路が下流側の水田に用水を供給しており、鉛の混濁に留意する必要がある。さらに、対象地は、土壌汚染発覚後に閉鎖、その後10年以上放置されていたため、残置物などが散乱した状態であった。



写真-1 対象地の空中写真



写真-2 対象地に堆積した残置物

3. 対策方針

対象地での制約事項は表-2のとおりであり、汚染土壌の掘削除去を全面的に行えば汚染は排除される一方、予算・期間を多大に要するだけでなく、地形改変がもたらす影響や掘削土の運搬・処分などの問題発生が予見された。

表-2 対象地での制約事項

側面	制約事項
時間	平成32年度までに対策を終え、再開させる。
費用	全量掘削を行う場合、数十億円を要する。
法規制	土壌汚染対策法での指定区域に指定された。
環境	湧水が豊富で、下流側に水田がある。

ここで、全ての制約事項を同時には解消できなかった。そのため、リスクとベネフィットのバランスを考慮し、最適化する方法を考えた（図-2）。

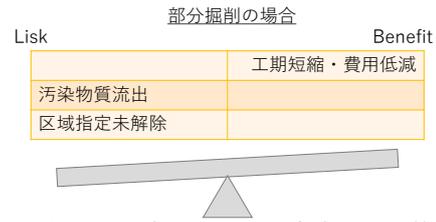


図-2 リスク-ベネフィットを考慮した対策方針

本業務では、全量掘削除去を選択しない場合でも、対象地の特性や汚染のメカニズム、保全対象を把握したうえで、未然防止を含む汚染の拡散防止策により、安全を確保できると判断した。

以下に、その具体的な手順と着眼点を示す。

4. 対策検討

(1) 対象地の特性分析

a) 対象地の地形の把握

地形特性の理解のためには、過去の地形と現況地形を把握し、変化を確認する必要がある。

本業務では、過去の地形を昭和45年の地形図（1/25,000）から把握し、現況地形は航空レーザー測量成果から把握した。

地形図と現況地形のELSAマップ（Color-coded Elevation and Slope Angle composite Map）からは、地形の変化はなく、北西から南東にかけて浸食を受け、対象地内の2箇所（赤と青の点線）の谷から運ばれた土砂が堆積した地形であることが理解された（図-3）。

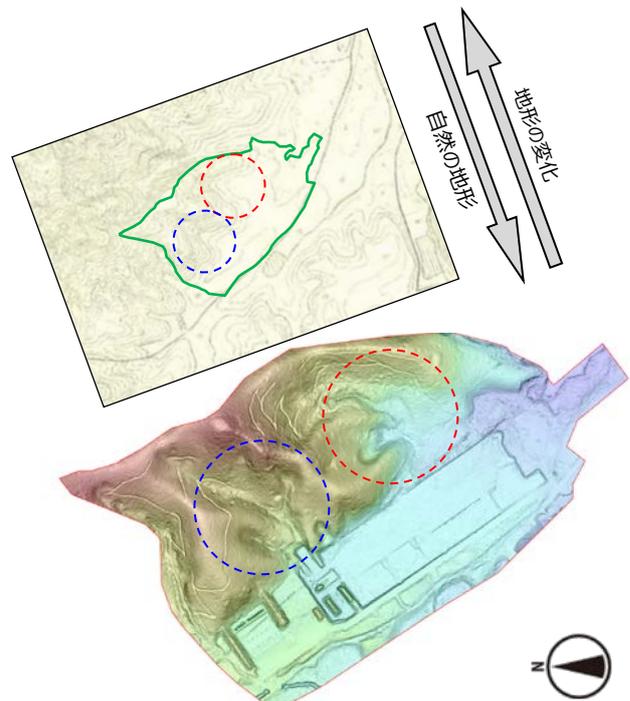


図-3 昭和45年当時の地形図（上段）と現況地形のELSAマップ（下段）

b) 水文調査・地下水シミュレーション

対象地では、地形や現地状況から、湧水や表流水、地下水の存在が推察されたため、水文調査、地下水の流動シミュレーションを実施した(図-4, 図-5)。

これにより、緩斜面から平坦地にかけて地下水が認められ、大局的には北西から南東に向かって流動していることが分かった。一方、湧水は斜面から緩斜面に認められた。湧水と地下水の水質を比較すると相違があったことなどから、湧水は斜面中に降った雨が地表に現れたものと推察された。これより、湧水と地下水は個別の流動メカニズムを持つため、それぞれに対策を施すことで、汚染拡大を防止しようと考えた。

2箇所の谷からの流出は、湧水や表流水に限られることが判明したため、谷の出口をコントロールポイントとして観測井戸を設置し、汚染拡散の未然防止に役立てることとした。

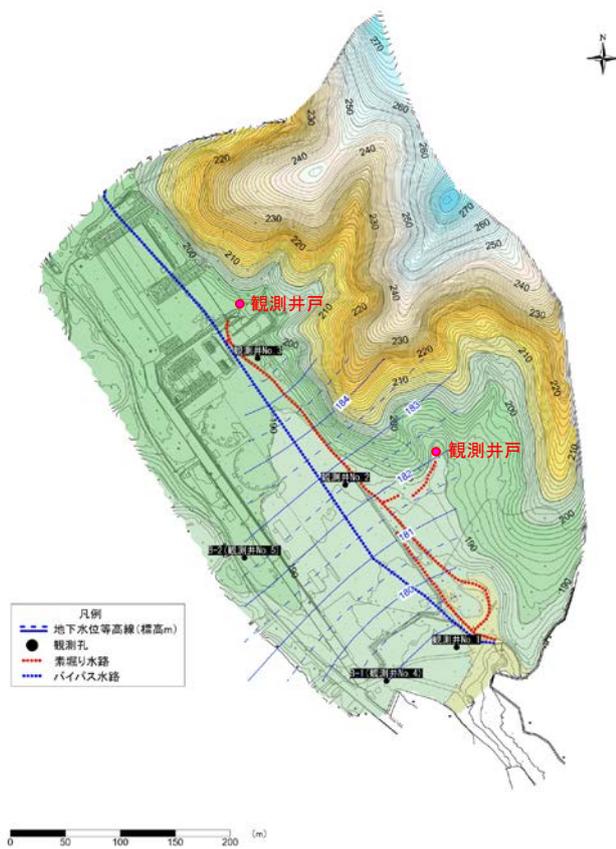


図-4 地下水位の分布

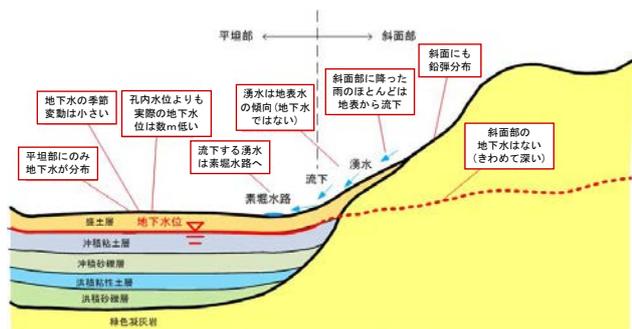


図-5 地質分布と地下水賦存の推定横断面

(2) 土壌汚染のメカニズム

一般的に鉛は水に溶けやすいが、土壌への吸着能が高く、移動性は低いとされる⁵⁾。

既往調査によると、対象地内の801個の10m格子(単位区画)のうち、329区画が鉛の土壌溶出量基準(0.01mg/L)を超過し、そのうち、42区画が第二溶出量基準(0.3mg/L)を超過した。また、515区画が鉛の土壌含有量基準(150mg/kg)を超過した。

本業務では、既往調査の結果から地中の汚染状況を3次元的に分析した(図-6)。

これより、山の斜面と平坦地の境界付近に汚染濃度の高まりが確認されたため、斜面中の鉛散弾や汚染土壌が表流水や湧水によって流出し、平坦地に至って停滞したと判断された。併せて、10年以上経過した状態でも、土壌汚染のほとんどは地下水面よりも上に留まっていることが理解された。

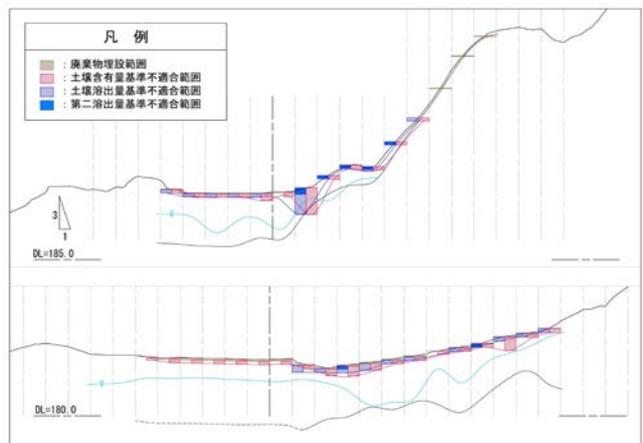


図-6 土壌汚染の水平-垂直2次元分布

鉛の土壌含有量と土壌溶出量の関係(図-7)では、ばらつきはあるものの一定の相関が見られ、土壌溶出量の平面分布と地下水シミュレーションの結果から、第二溶出量以上の高濃度汚染土壌に限って除去することで、将来的な下流側への影響を十分低減できると判断された。

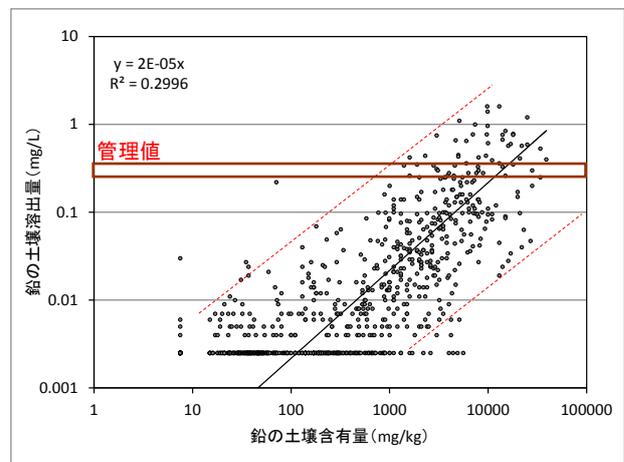


図-7 土壌含有量と土壌溶出量の相関図

(3) 対策の立案

a) 鉛汚染対策

鉛汚染対策では、水を介した土壌汚染の拡大を最小化すればリスクを低減できると考え、①散乱した鉛散弾、廃棄物、高濃度（第二溶出量以上）の汚染土壌を除去し、②場内水路を整備して表流水や湧水を排水し、また、これにウィープホールを設けて地下水位を低下させることとした。さらに、③汚染拡大の未然防止のため、2箇所目の谷の出口に観測井戸を設置する計画とした。

これらが機能すれば、汚染土壌が湧水や表流水、地下水に触れることはなく、地下水汚染が生じる可能性を抑えることができる。さらに、災害の未然防止を目的として、調整池と最下流部に、鉛の吸着能力を有するゼオライト水路を設計した。

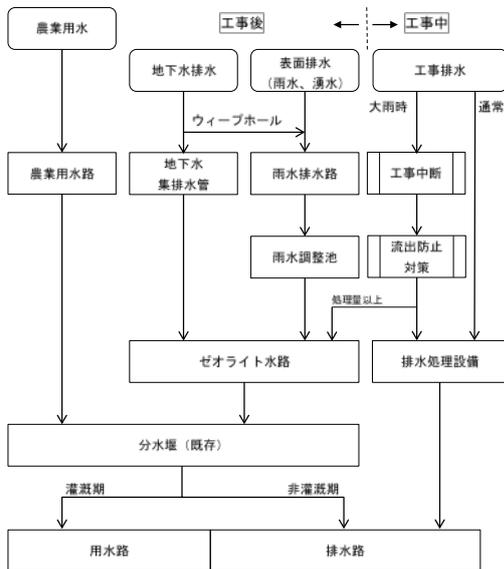


図-8 工事中及び工事後の水の管理方法

b) 土地利用計画

射撃場の再開にあたっては、利用者が汚染物質を直接摂取するリスクを考慮する必要がある。

そこで、斜面部では残置物は撤去するが、樹木は伐採せず、森林に戻す計画とした。一方、平坦部には、人が立ち入る可能性があるため、全面舗装し、斜面部との境界には、立ち入り防止用のフェンスを設置する計画とした（図-9）。なお、土壌汚染の主たる原因であるクレー射撃は廃止する方針とした。

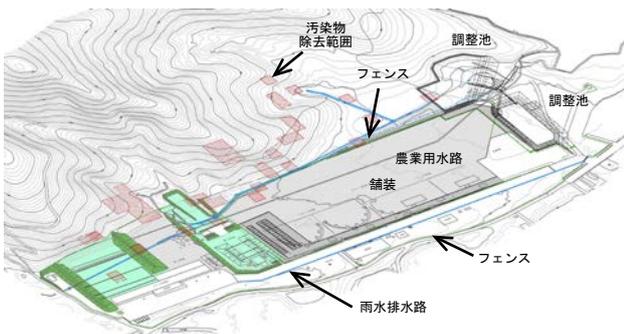


図-9 土地利用図

(4) リスクコミュニケーション

対象地では、土壌汚染発覚後、閉鎖中であっても定期的に水質調査を行い、地域住民に情報を開示していた。これにより、リスクコミュニケーションが熟成されて、鉛汚染対策計画の同意が得られた。

5. まとめ

(1) 成果

本業務では、調査・分析を施して土壌汚染対策を立案し、これに即した土地利用計画を検討し、必要な計画・設計を行った。成果は以下のとおりである。

- ✓ 費用を汚染土壌の全量掘削時の1/3に縮減した。
- ✓ 土壌汚染を管理しつつ土地利用する計画として地域住民に示すことができ、計画への合意を得られた。

(2) ブラウンフィールド対策の展開

このような土壌汚染は射撃場だけでなく、工場跡地など全国に多数存在する。

昨今、欧米においては、土壌・地下水汚染浄化事業において、経済面だけではなく、環境面、社会面を含めた3つの側面から総合的に評価し、最適な浄化手法を関係者間で合意していく「サステナブルレメディエーション（SR）」の考え方が浸透しつつある。また、日本国内においても、土壌汚染地の有効活用について検討が行われている⁶⁾。

今後、これらの分野が発展し、本業務の成果が土壌汚染地の有効活用とブラウンフィールド解消の一助となれば幸いである。

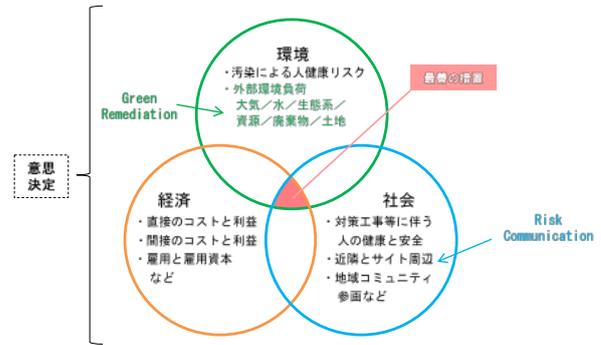


図-10 サステナブルレメディエーションの概念図

参考文献

- 1) 警察白書、指定射撃場の数の推移、2003-2013
- 2) 県知事記者会見資料、県立射撃場整備に関する最終方針、2011
- 3) 土壌汚染をめぐるブラウンフィールド対策手法検討調査検討会、検討報告書、2007
- 4) 環境省、改正土壌汚染対策法の概要と留意点、2010
- 5) 環境省、射撃場に係る鉛汚染調査・対策ガイドライン、2007
- 6) 中島誠、土壌汚染による環境リスク管理と土地活用の実例講演資料、2013