

図 3-3-5 地中レーダー探査断面図

(農業集落排水処理施設内 使用レーダー周波数 200MHz 探査深度 3.5m)

(B) 廃棄物埋設地

廃棄物埋設地において、事業者ボーリング NO.2 の井戸を原点(X=0m, Y=0m)として、X 軸を北(KR川側)に正の値、Y 軸を西(盛土側)に正の値とした測線を設定して探査を行なった。探査結果は電波に対する反射の強い部分を赤色、弱い部分を白色、中間を緑色で示している。

ア. 周波数 400MHz アンテナ使用例

周波数 400MHz アンテナを使用して図 3-3-6 の測線にしたがって探索した結果の一例を図 3-3-7 に示す。結果の全体は添付図のレーダー探索断面図(探索深度 2.5m)に示す。

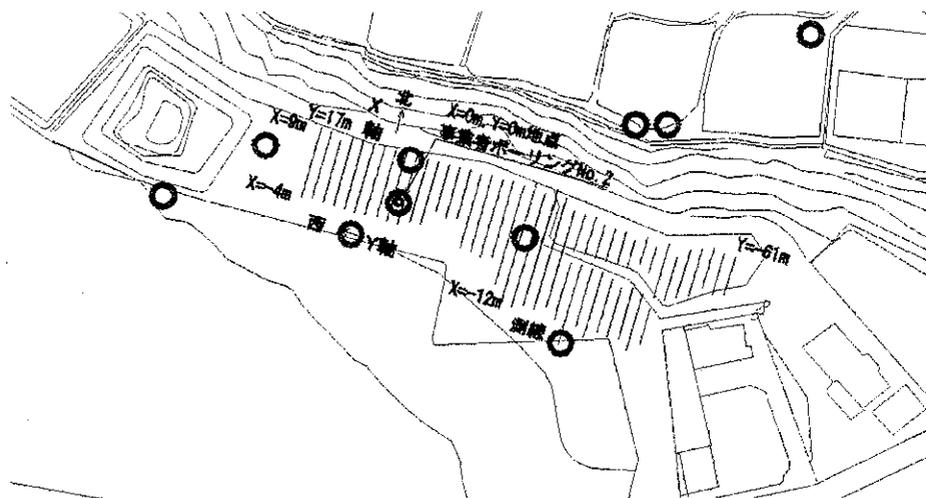


図 3-3-6 地中レーダー測線図
(使用レーダーアンテナ周波数 400MHz 探索深度 2.5m)

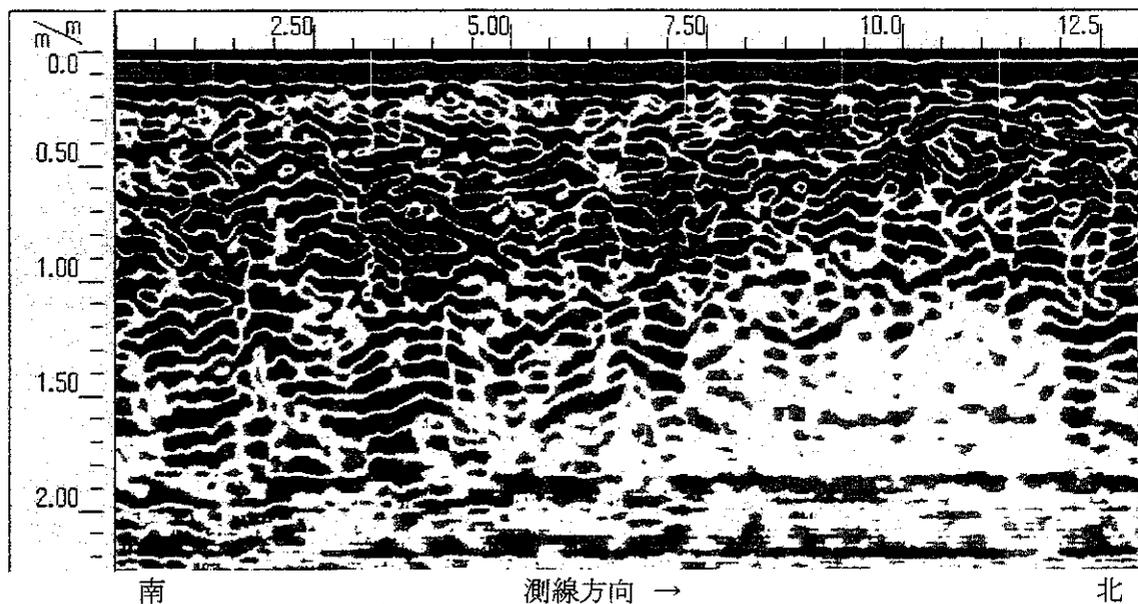


図 3-3-7 地中レーダー探索断面図 (探索座標 X=-4.1m~+9m, Y=-1m)
(使用レーダーアンテナ周波数 400MHz 探索深度 2.5m)

図 3-3-7 は事業者ボーリング NO.2 の井戸より東へ 1m の X 軸方向測線の探索結果を示すもので、表層 1m 程度までにある赤色層(反射の強い層)は廃棄物埋設後の覆土層を示している。覆土層の下に廃棄物埋設層があるが、南側と北側とでは廃棄物の質が異なるため、地中の反射状況に違いが現れていると考えられる。

イ. 周波数 200MHz アンテナ使用例

周波数 200MHz アンテナを使用して図 3-3-8 の測線にしたがって探査した結果の一例を図 3-3-9 に示す。結果の全体は添付図のレーダー探査断面図(探査深度 4m)に示す。

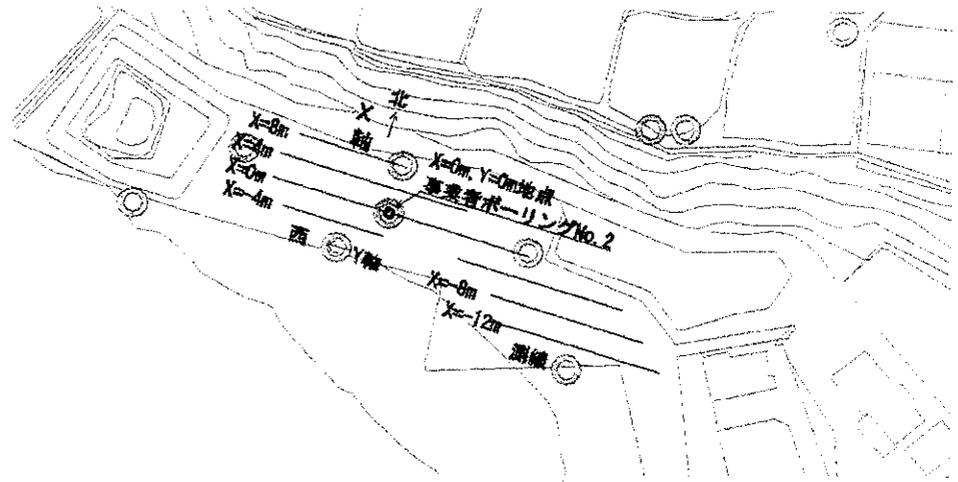


図 3-3-8 地中レーダー測線図

(使用レーダー周波数 200MHz 探査深度 4m)

図 3-3-9 は事業者ボーリング NO.2 の井戸より西側の Y 軸方向測線の探査結果を示すもので、表層 1m 程度までにある赤色層は廃棄物埋設後に覆土した地層を示しており、その下の白色層が廃棄物層を示していると考えられる。

平成 11 年 12 月 9 日のボーリングの A 地点は、この測線よりさらに西側にあるが、2.4m までコンクリート片混じりの覆土があり、その下に黒灰色の臭気の強い廃棄物層があると報告されている。図 3-3-9 においても測線の始点の西端は中央部に比べて赤色層が厚く、覆土層が厚くなっていると考えられる。深度 4m 付近の赤色層はレーダー反射波のノイズによるものである。

ウ. 周波数 100MHz アンテナ使用例

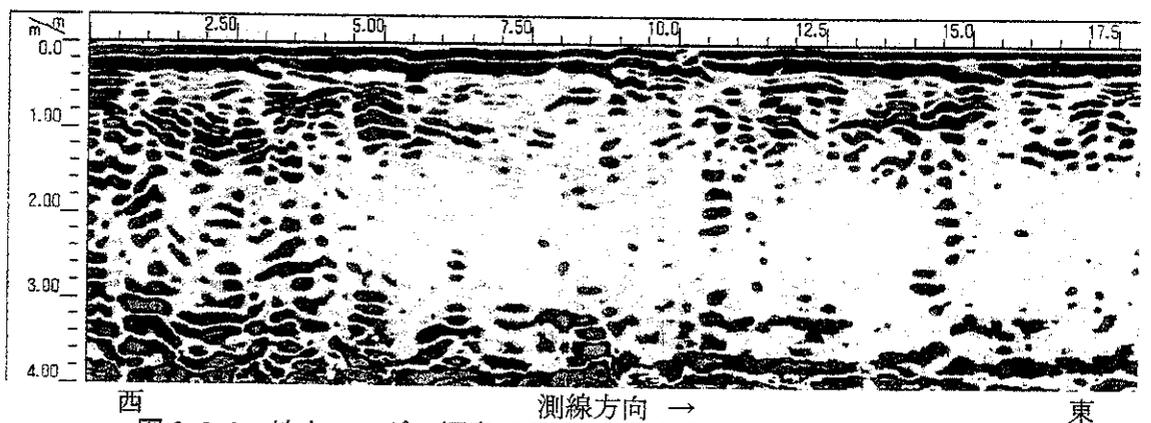


図 3-3-9 地中レーダー探査断面図 (探査座標 X=0m, Y=20~2.5m)
(使用レーダーアンテナ周波数 200MHz 探査深度 4m)

周波数 100MHz アンテナを使用して図 3-3-10 の測線にしたがって探査した結果の一例を図 3-3-11 に示す。結果の全体は添付図のレーダー探査断面図(探査深度 12.5m)に示す。

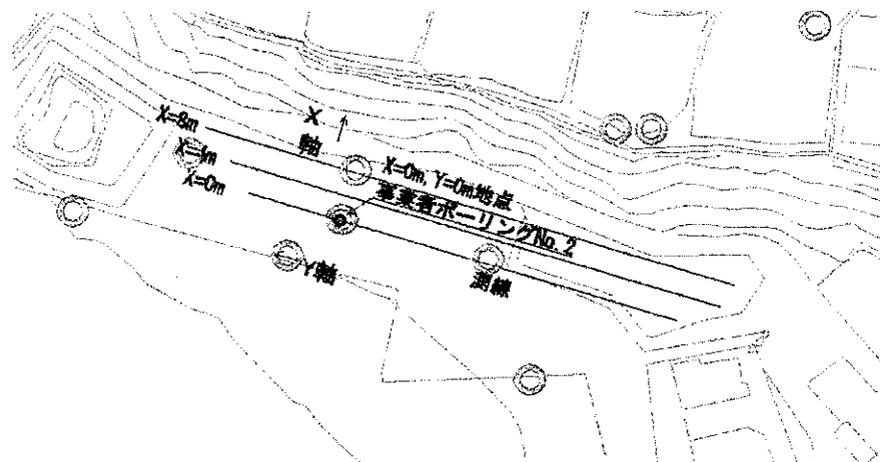
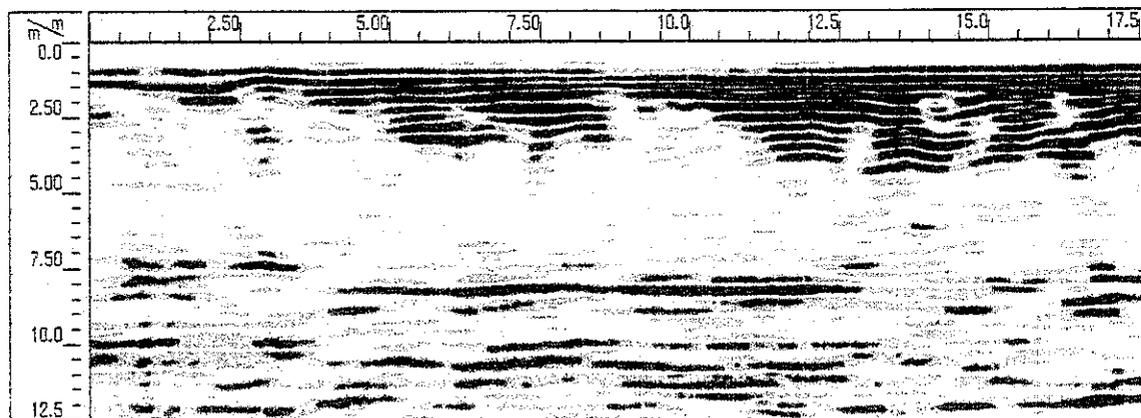


図 3-3-10 地中レーダー測線図
(使用レーダー周波数 100MHz 探査深度 12.5m)



西 測線方向 → 東
図 3-3-11 地中レーダー探査断面図 (探査座標 X=0m, Y=14.8~3.3m)
(使用レーダーアンテナ周波数 100MHz 探査深度 12.5m)

図 3-3-11 は事業者ボーリング NO.2 の井戸より西側の Y 軸方向測線の探査結果を示すもので、地下水位に相当する 6m ないし 7m の位置から上に電波に対する反射の弱い層が見られ、その下に反射の強い層が見られる。

平成 11 年 12 月 9 日のボーリングの A 地点は、この測線より西側にあり、B 地点は図 3-3-11 の測線より東側にある。A 地点のボーリング結果では 6.7m まで黒灰色の廃棄物層があり、その下に含水率の高いヘドロ層があると報告されている。7m 付近から色相が変化しているのは、このヘドロ層より下を示していると考えられる。

また、A 地点と B 地点のボーリング結果では埋設物の質が異なっていることが報告されて

おり、西と東とで反射状況が異なることは、埋設物の質の違いを示しているものと考えられる。

以上の結果から、探査した全域に廃棄物が埋設されていること、地表部に 1m 程度の覆土がされているが覆度の厚さは地点により違いがあることなどがわかった。また、埋設物のレーダーに対する反射の状況が地点により違いが見られ、異なる廃棄物が埋設されていることが推定される。また、覆土層よりも深部の方が強い反射が見られる地域があり、覆土の質も地域により違いがあると考えられる。

これらの結果は埋設地内のボーリング結果と一致しており、レーダー探査結果とボーリング結果を総合解析することにより、埋設分布が把握できることを示している。

④ EnviScan®法解析結果

EnviScan®法による解析結果を下記の添付資料図に示す。

- 1) EnviScan2次元汚染分布図(最大深度 12.5m)
- 2) EnviScan2次元汚染分布図(最大深度 4m)
- 3) EnviScan3次元汚染分布図(最大深度 12.5m)
- 4) EnviScan3次元汚染分布図(最大深度 4m)
- 5) GPR 測線およびサンプリング地点分布図
- 6) EnviScan3次元汚染立体図

EnviScan®法による解析の結果、廃棄物埋設地に高濃度の汚染があり、そこからの汚染がKR川方面に浸出していることが分かる。添付資料の図の内、探査深度 12.5m で探査したときの EnviScan による解析結果の内 3.75m～5m の深度の平面断面を図 3-3-12 に示し、測定深度 4m で探査したときの EnviScan による解析結果の内 2m～2.4m の深度の平面断面を図 3-3-13 に示す。

各地点の標高が異なっているのに対し、図は一律に地表面からの深さで示しているので、結果を検討する時は標高の違いを考慮する必要がある。

EnviScan3次元汚染立体図から、廃棄物埋設地の高濃度汚染の部分を抽出したものを図 3-3-14 に示す。この図のように濃度別の汚染の塊を示すことにより、汚染部分の容積を把握することができる。図で青色に表示されている部分は特に汚染濃度の高いところである。

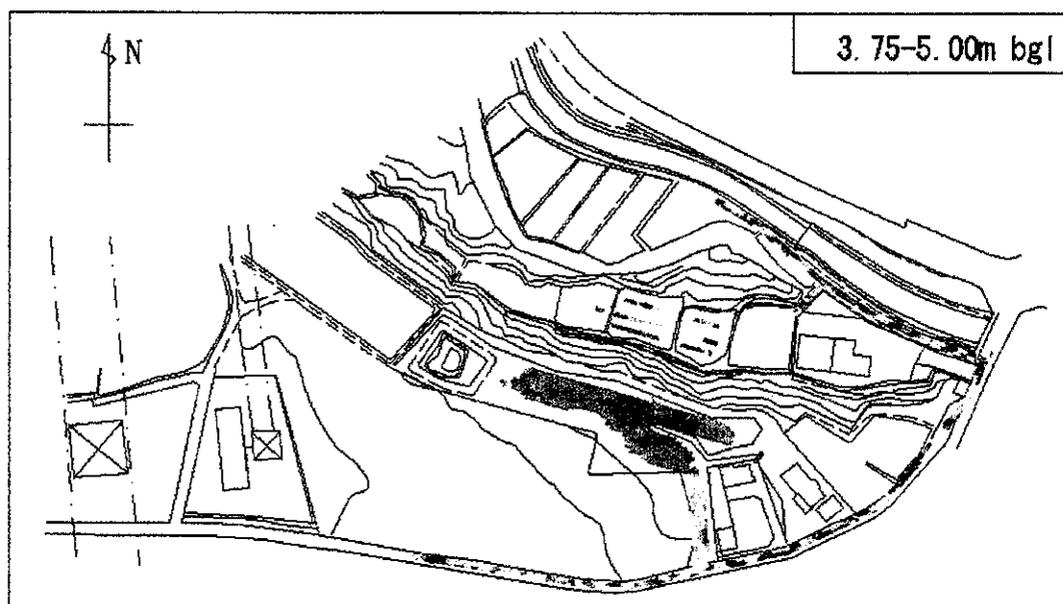


図 3-3-12 EnviScan 解析結果 深度 3.75~5m
 (使用レーダーアンテナ周波数 100MHz 探査深度 12.5m)

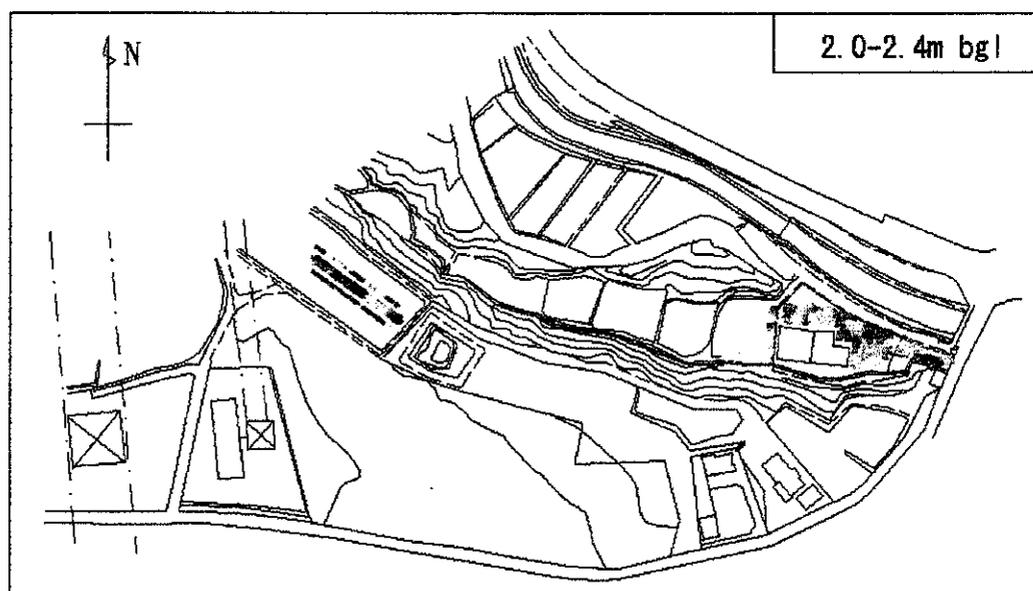


図 3-3-13 EnviScan 解析結果 深度 2~2.4m
 (使用レーダーアンテナ周波数 200MHz 探査深度 4m)

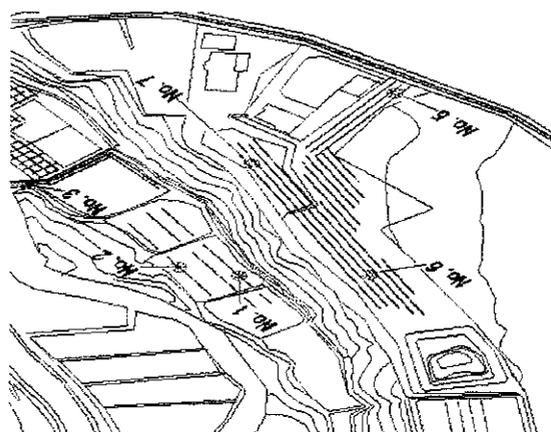


図 3-3-14 EnviScan 解析結果 廃棄物埋設地の高濃度汚染の塊
(使用レーダーアンテナ周波数 100MHz 探査深度 12.5m)

⑤ 土壌分析

EnviScan[®]法による解析結果をもとに、添付資料の「GPR 測線およびサンプリング地点分布図」に示す調査地域内の7地点においてボーリングを行ない土壌を採取分析した結果を表 3-3-2 に示す。なお、表中の空白部は検出限界以下を示す。

埋設地内では高濃度の重金属と石油系炭化水素、揮発性有機化合物が検出された。廃棄物埋立地内でも No.6 と No.7 の試料はクロム含有量、鉱物油含有量が異なっており、埋設物の違いを示している。

廃棄物埋設地の外の地域では重金属含有量は低いものの、トルエン等が検出されており、廃棄物埋立地から揮発性有機化合物がKR川に向かって浸透していることが分かる。

なお、分析は全て分析機関にて行なったため、試料採取から分析に供するまでの間は冷蔵するなど、試料の取扱いに留意した。揮発性有機化合物はボーリングにより試料を掘りあげた時点から揮発していくので、分析結果は地中にある時の状況を正確に示しているものではない。

⑥ EnviScan®法 相関分析

図 3-3-12、図 3-3-13 および資料編に示した EnviScan の解析結果はレーダー値と称する無次元の相対値に色相を割り付けて表示しており、各々の色相は汚染の絶対濃度を示すものではない。

そこで、土壌分析の結果とレーダー値の相関を解析し絶対値としての評価を行なった。

その例を図 3-3-15 に示す。

廃棄物埋設地では 2 箇所のボーリングを行ない、各々 2 深度の土壌を採取分析した結果から総石油系炭化水素とレーダー値の相関を求めた。

No.6 の地点では 2.0m～2.5m の深さの廃棄物層から試料を採取した。2m より浅い層は覆土層であった。

レーダー値は 1.25m～2.5m の層の濃度を平均化しているので、こ

の層のレーダー値は覆土層の低濃度部分も加算しているので、廃棄物層単独の場合より低く算出されている。このため、図 3-3-15 では No.6 の浅い層のレーダー値が低く、他の試料の値とは離れた地点にある。他の 3 点はレーダー値を算出した範囲が廃棄物層に位置しているため、レーダー値と総石油系炭化水素含有量との相関性が良くとれている。

休耕田、農業集落排水処理施設内、農道、公道では、トルエンなどの揮発性有機化合物が $\mu\text{g/l}$ のオーダーで検出され、EnviScan®法による解析の感受性の高さを示した。しかし、個々の地域での試料点数が少なく相関性を求めるに至らなかった。

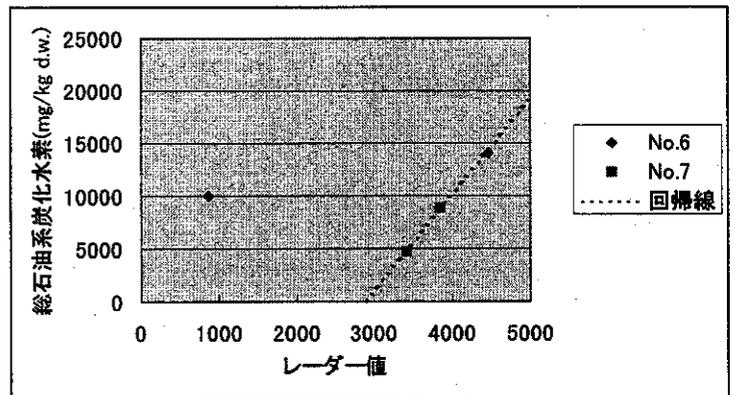


図 3-3-15 廃棄物埋立地内のレーダー値と総石油系炭化水素

3) 全体評価

① 廃棄物埋設地

廃棄物埋設地は全体的に汚染されているが、埋設廃棄物に違いがあるため、汚染濃度は一律ではない。

EnviScan®法による解析結果から、廃棄物埋設置の中央部(事業者ボーリング地点 No.2 を中心に)に高濃度の汚染があり、それより搬入口側の比較的深いところにも高濃度の汚染部分があることがわかった。

② 廃棄物埋設地西側植林地内

廃棄物埋立地から若干離れた植林地内に汚染の可能性のある反応が解析結果に現れており、揮発性有機化合物による汚染が拡散している可能性が考えられる。

③ 農業集落排水処理施設内

排水処理施設内の北側の、施設建設工事の際に掘削作業を行わなかった地点に揮発性有機化合物による汚染が拡散していることが推定された。

④ 農業集落排水処理施設西側 休耕田(施設より2枚目と3枚目の休耕田)

農業集落排水処理施設より3枚目の休耕田に揮発性有機化合物による汚染が広がっていることが分かった。

休耕田は地表より約 1.5m の粘質土層があり、その下に砂礫層があるという地層構造になっている。汚染はこの砂礫層に広がっていると考えられる。これは従前のボーリング調査においても確認されている。

⑤ 農業集落排水処理施設入口 から休耕田北側に至るKR川に沿った農道

農業集落排水処理施設のKR川側農道に揮発性有機化合物の汚染が達していることが分かった。この農道の下層約 0.8m のところには旧土手道と見られる圧接された地層面があり、その下に灰色の粘土層がある。汚染はさらに下の砂礫層に到達していることが判明した。

⑥ 農業集落排水処理施設入口 から、No.C ボーリング調査地点に至る公道

廃棄物埋設地南側の公道に揮発性有機化合物による汚染が見られた。この地点の汚染は廃棄物埋設地とは独立している汚染と見られ、廃棄物埋設地とは異なる汚染源からのものである可能性がある。この点については近傍の土壌をさらに分析して解析する必要がある。

⑦ その他の知見

休耕田横の崖には茶褐色の油による汚染の露頭が現れている。この面を削ると図 3-3-16 に示す黒色の油の層が現れた。

この油は低温時には固体状であったが、日中地温が上昇すると液状化し流動性があらわれ流れ落ちていた。したがって、この油は冬季地温の低い時には流動拡散せず、地温が上昇した時に拡散が進むと考えられる。

この油は灰色粘土層には浸入せず、その下の砂礫層を汚染していた。

農業集落排水処理施設より3枚目の休耕田の土壌分析では石油系炭化水素の含有量は、ほとんど検出されていないが、1枚目の休耕田では油膜が見られ従前のボーリング調査結果でも油分が検出されていることから、この油は休耕田に浸出していると考えられる。



図 3-3-16 油汚染露頭

4) まとめ

① 汚染の広がり

揮発性有機化合物による汚染は廃棄物埋設地の全面とその下の休耕田および農業集落排水処理施設を経てKR川沿いの農道まで達していることが分かった。

② 油による汚染層

油等による汚染は粘土層の下の砂礫層を通して休耕田側に浸出している。

廃棄物埋設地に投棄された廃油は融点が若干高く、冬季の地温が低い時には固体であるが、地温が上昇すると流動性が出てくる性質を持っており、冬季の地温が低い所では汚染は広がらず、地温が高くなった時点で拡散しているものと考えられる。これに対し、揮発性有機物は常時流動性があるので、油と揮発性有機化合物は異なる拡散傾向を示していると考えられる。

③ 地下水位

降雨時に地下水観測井の水位を測定した所、従前の調査結果とは異なり、廃棄物埋設地の中心部の水位が南側よりも高い傾向が見られた。このことは、汚染の拡散をシュミレーションする際に留意する必要があると考える。

④ 汚染診断システムの評価

本調査地は周辺に変電所や高圧線があり電波障害が見うけられ、地中レーダー探査に最適な環境であるとはいえない。また、汚染物は均一ではなく多種類の物質による複合汚染である。

このような調査環境の中で汚染の広がりを特定できたことは、本調査方法の汚染診断システムとしての有用性を示したものである。

廃棄物埋設地でのレーダー値と石油系炭化水素濃度の回帰分析の結果、試料点数が少ない中でも相関性が見られ、本法の有用性が確認された。

本調査は土壌採取分析点数に制約があり試料点数が少なかった。さらに確度の高い相関分析を行なうためには、さらなる土壌分析が必要である。

廃棄物埋設地以外では、多種類の有機物による複合汚染であり、測定地域が多種類であったが、EnviScan®法による解析の結果にもとづいて濃度が高いと判定された土壌を採取した結果、揮発性有機化合物が検出されており、EnviScan®法の有用性と感受性の高さが確認された。

3.3.2 運用上の課題

現地調査で明らかとすべき事項は、有害物の平面的及び鉛直方向への拡散状況と拡散形態であり、特に有害物のリスク評価を適切に検討する必要がある。リスク評価は敷地境界線上における有害物の濃度で決定され、現在の評価軸は環境基本法、水質汚濁防止法等環境関連法規に示される環境基準、排水基準等がある。敷地境界を越えて汚染が拡散する場合、どの範囲まで拡散しているか、現地で把握するしかなく、この場合、排出原者以外の土地において調査を行う必要がある。

しかし、一般的には外部地権者の調査同意の取得が困難であり、調査が迅速に進展しない場合がある。このため、有害物の汚染形態を考えるにあたり広域的な調査連絡体制の確立が必要と考える。

汚染診断修復システムの運用にあたっては、現地調査で汚染物質の状況、自然環境の状況を現地踏査からスタートし、汚染の状況の深刻度に応じて簡易調査、詳細調査と進展させ、現状を的確に把握し、必要に応じて対策の実施を行うシステムとしている。また、汚染の状況により数値シミュレーション、修復計画の立案を行うが、ここで、汚染状況確認のための調査・把握手法と、数値シミュレーション、修復計画の立案のための調査・把握手法が必ずしも一致しない場合があり、汚染の程度、形態、今後とり得る方策をシステム運用初期の段階で決定し、前段階でそれぞれが必要とする情報を一元的に調査・解析し、条件として利用するよう配慮を行う必要がある。

本研究で実施した事例を基に、今後事前に考慮すべき調査に関する今後の課題を整理した。

(今後の課題)

- ・現地の状況を把握する調査事項(手法、項目、方法)と、室内試験のための必要となる条件、シミュレーションの構築に必要な条件が異なることに起因する数度にわたる調査の実施を防止し、各目的に対する効率的、総合的調査フローを立案する。
- ・廃棄物由来の複合汚染に対するサンプリング手法の開発
- ・作業者の安全性の確保
- ・適切な調査地点が得られるような協力体制、制度の確立
- ・的確な環境リスクが検討できる分析方法、表示方法の開発

第3章 参考文献

- 1)環境庁ホームページ <http://www.eic.or.jp/eanet/>
- 2)廃棄物処理におけるダイオキシン類の生成と制御 平岡 正勝
廃棄物学会誌 Vol.1 No.1 pp20-37,1990
- 3)廃棄物最終処分場で検出されるダイオキシン類の濃度レベル 野馬 幸生、池口 孝
廃棄物学会誌 Vol.10 No.6 pp447-465,1999

第4章 オンサイト修復技術の研究（K市事例）

4.1 汚染修復対策におけるオンサイト修復技術の位置付け

K市における埋立物は現地調査の結果、汚泥、焼却灰等の管理型廃棄物に有機溶剤、廃油が混合投棄されており、特別管理産業廃棄物に該当する状態にあることがわかった。

不法投棄された廃棄物層の溶出試験結果等から、埋立判定基準項目のうち、有機塩素化合物を主体とする項目が基準を超過しており、項目外ではあるが、キシレン、トルエンの濃度が高い状況である。

さらに、埋立物層内の地下水についても、排水基準項目のうち、一般環境項目、有害項目ともに、基準を超過する状況である。

周辺環境においても、不法投棄地内から拡散したと考えられる有害物質が、環境基準を超えるレベルで検出された。

K市における現場及び周辺環境に対する環境保全措置として、浄化対策を考える場合、オンサイト修復技術とオフサイト修復技術に分類される。

すなわち、オンサイト修復技術は、汚染現場地内で有害物の浄化対策を行うもので、本現場においては、発生源である埋立物からの有機塩素化合物を主体とする発生ガス対策、埋立物の浄化対策、汚染地下水対策が挙げられる。また、周辺環境への影響を現時点で遮断する遮水対策も本技術に包含されると考えられる。

一方、オフサイト技術は、有害物を含む埋立物、汚染地下水を一旦取り出し、場外にて、浄化対策等を行い、再度埋め戻す、または適切な処分を行うものである。

表4-1-1 オンサイト修復技術及びオフサイト修復技術の特徴

	オンサイト修復技術	オフサイト修復技術
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・汚染レベルに対応した修復システムが決定でき、効率的な修復が行える。 ・修復作業にあたり、現場の状況変化に対応した対策がとり易い。 ・シミュレーションと協働することで、修復目標、対策期間の判断が可能となる。 ・有害な廃棄物の移動がない。 ・修復技術を緊急的対策から恒久的対策まで、汚染のレベルと修復目標、修復期間に対応し設計できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・既施設を利用する事で、修復費用が安価となる。 ・汚染原因物質が現場から比較的短期間で除去され、その後の汚染拡散に危惧が消失する。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・場内に施設を設置する空間、作業空間が必要となる。 ・汚染現場毎の汚染特性を踏まえたシステムを構築する場合、費用が割増しとなる。 適用する技術により、修復期間が長期化する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・汚染原因物質の取り出しが必要で、二次的な汚染拡散に十分配慮する必要がある。 ・有害な物質の移動が発生する。 ・汚染レベルに対し、効率的な処理が行える施設の選定作業が必要。 ・汚染レベルが変動することで処理

4.2 土壌・地下水汚染対策におけるオンサイト修復技術の役割と効果

土壌・地下水汚染対策においてオンサイト修復技術は、以下のような役割を担うものと位置づけられる。

K市の事例のように、不適正処分場を汚染源とする現場では、汚染リスクが極めて高いことから、汚染現場地内で有害物の浄化対策だけでは、困難な場合もありうるため、オフサイト修復技術との組み合わせを図りながら効率的な修復を行う必要がある。

汚染現場地内で有害物の浄化対策を行うものであるから、現場ごとの汚染状況(汚染物質、汚染レベル、汚染範囲)に対応した修復システムを構築する必要がある。

浄化・修復期間中の汚染濃度の変化が生じることが考えられるため、シミュレーションと協働し、修復方法ごとの修復効率、対策期間を検討し、現場ごとに最も有効かつ効率的な修復システムを構築する必要がある。

また、オンサイト修復技術に求められる効果としては、以下に示すものがあげられる。

修復目標を設定し、段階的(緊急対策→応急対策→恒久対策)に原状回復を進めることで、環境への汚染リスクを最小限にとどめ、効率的な修復を行う。

不法投棄、不適正処分場を汚染源とする現場の場合、多くの有害物質による複合汚染であることが多く、単一の浄化・処理システムでは対処できないことが多い。そこで、汚染現場毎の汚染特性を踏まえたシステムを構築することで、最も効率的な処理を行うことができる。

4.3 修復プロセスの手順

土壌・地下水汚染対策においてオンサイト修復技術選定の手順選定は、まず、各現場における有害物の質と量、周辺環境の地形・地質条件、水理条件等により、周辺環境に対し、どのような形態で移動・拡散し生活保全上支障をきたしているかを的確に、かつ迅速に判断する必要がある。

修復技術の選定にあたっては、生活保全上支障をきたしている要因から対汚染媒体の優先順位付けを行い、措置内容として、それぞれの汚染媒体に対し、緊急対策、応急対策、恒久対策の3段階程度のステップを設けて、効果的な対策を行う必要がある。

すなわち、緊急対策は、汚染媒体の移動・拡散が著しく、火急な対策が必要で、対策する事で、周辺への移動・拡散を停止し、周辺環境における対策の時間的猶予を設ける事項、応急対策は、緊急対策の後、実施すべき応急的な対策事項、恒久対策は、その後の環境保全上支障がないとされるレベルまで恒久的に実施すべき事項と考えられる。

修復技術の選定にあたっては、対策効果、施工性、対策費用の観点から評価し、決定すべきと考えられる。

K市の現場における有害物の質と量、周辺環境の地形・地質条件、水理条件等から検討した修復プロセスを図 4-3-1 に示した。

4.4 オンサイト修復技術の概要

4.4.1 生物化学的手法の概要

汚染物質ごとの生物化学的手法における技術の区分、技術の名称、技術の例を表 4-4-1 に示した。

表 4-4-1 生物化学的手法

汚染物質	技術の区分	技術の名称	技術の例
ダイオキシン類	V	微生物分解	白色腐朽菌による分解
農薬	V	バイオパイル(畝)	分解菌を加えた汚染土壌を盛り立て、定期的に切り返しを行う
石油系	II	微生物分解	原位置バイオレメディエーション
	V	微生物分解	バイオレメディエーション
		バイオベンテイング	地中への酸素吸入による好気性微生物の分解促進
		バイオパイル(畝)	分解菌を加えた汚染土壌を盛り立て、定期的に切り返しを行う
		バイオパイル	汚染土壌に栄養塩類を添加、コンテナに充填し、配管から空気を通気させる
		スラリー生物処理	スラリー状にした汚染土壌を曝気し、好氣的生物分解を行う
油	V	微生物分解	厩肥、無機肥料添加により油汚染土壌を分解
揮発性有機塩素化合物	V	バイオベンテイング	地中への酸素吸入による好気性微生物の分解促進
		バイオパイル(畝)	分解菌を加えた汚染土壌を盛り立て、定期的に切り返しを行う
		ランドファームing	栄養塩類を添加・混合、微生物分解を促進
		地下水循環法	地下水揚水、栄養塩類の添加、注水による循環法
TCE	II	微生物分解	原位置バイオレメディエーション
	V	微生物分解	バイオレメディエーション
			通気攪拌で強制的にTCEを気化後、菌体を混合して分解処理 低毒性の菌体活性化剤による分解の促進
PAHs	II	微生物分解	原位置バイオレメディエーション
	V	微生物分解	バイオレメディエーション

※ I : 汚染物質の拡散防止技術

出典1~7)

II : 原位置での汚染物質の分解/安定化技術

III : 汚染媒体の除去技術

IV : 汚染媒体からの汚染物質の分離技術

V : 汚染物質の分解/安定化技術

4.4.2 熱化学的手法の概要

汚染物質ごとの熱化学的手法における技術の区分、技術の名称、技術の例を表 4-4-2 に示した。

表 4-4-2 熱化学的手法

汚染物質	技術の区分	技術の名称	技術の例
PCB	IV	熱脱着	アルカリ触媒化学分解(BCDプロセス)
		高温加熱脱着	乾留による熱脱着
	V	焼却・熱分解	高温熱分解処理
		熔融	高速直接熔融ロータリーキルン炉による 焼却熔融処理
			スラグ排出型ロータリーキルン炉による 焼却熔融処理
ガラス固化	汚染土壌を高温で熔融、ガラス体に固化		
ダイオキシン類	V	熔融固化法 (ジオメルト)	汚染土壌に通電、1600～2000℃で熔融し、熱分解し、CO ₂ にする。
		真空加熱 分解法	汚染土壌を減圧・加熱し、熱分解する。 重金属類も蒸発・分離回収が可能
		ガラス固化	汚染土壌を高温で熔融、ガラス体に固化
農薬	IV	熱脱着	アルカリ触媒化学分解法(BCDプロセス)
		低温加熱	低沸点物質を対象とした熱脱着
		高温加熱脱着	乾留による熱脱着
	V	焼却・熱分解	焼却・熱分解
ガラス固化		汚染土壌を高温で熔融、ガラス体に固化	
石油系	IV	熱脱着	生石灰による揮散処理
			水蒸気蒸留法
		低温加熱	低沸点物質を対象とした熱脱着
	V	高温加熱脱着	乾留による熱脱着
		熔融	高速直接熔融ロータリーキルン炉による 焼却熔融処理
揮発性有機塩素化合物	IV	熱脱着	間接加熱キルンによる加熱処理
		高温加熱脱着	乾留による熱脱着
	V	焼却・熱分解	焼却・熱分解
熔融		燃料加熱式ロータリーキルン炉による熔融処理	
シアン	IV	熱脱着	水蒸気蒸留法
重金属類	IV	熱脱着	水蒸気蒸留法
	V	焼却・熱分解	焼却・熱分解
		熔融	スラグ排出型ロータリーキルン炉による 焼却熔融処理
	ガラス固化	汚染土壌を高温で熔融、ガラス体に固化	
PAHs	IV	高温加熱脱着	乾留による熱脱着
	V	熔融	高速直接ロータリーキルン炉による焼却熔融処理

- ※ I:汚染物質の拡散防止技術
 II:原位置での汚染物質の分解/安定化技術
 III:汚染媒体の除去技術
 IV:汚染媒体からの汚染物質の分離技術
 V:汚染物質の分解/安定化技術

出典1～7)

4.4.3 物理化学的手法の概要

汚染物質ごとの物理化学的手法における技術の区分、技術の名称、技術の例を表 4-4-3 に示した。

表 4-4-3 物理化学的手法

汚染物質	技術の区分	技術の名称	技術の例
PCB	IV	土壌洗浄/溶媒抽出	土壌湿式洗浄法
	V	超臨界水酸化分解	超臨界水(400℃、25MPa)により、酸化分解
ダイオキシン類	V	超臨界水酸化分解	超臨界水(400℃、25MPa)により、酸化分解
		メカノケミカル法	高速回転するボールミルにより化学的に活性化された有機物を脱塩素処理する
石油系	III	汚染地下水の揚水	揚水処理
		汚染地下空気の吸引	真空抽出法
		土壌ガス吸引+地下水揚水	二重吸引法
	IV	土壌洗浄/溶媒抽出	土壌湿式洗浄法
		曝気	エアースパーキング法
揮発性有機塩素化合物	III	汚染地下水の揚水	揚水処理
		汚染地下空気の吸引	真空抽出法
		土壌ガス吸引+地下水揚水	二重吸引法
	IV	曝気	エアースパーキング法
		活性炭吸着	真空抽出法による汚染地下空気を活性炭吸着により処理
	V	UV+生物活性炭処理	高濃度汚染ガスに対して、UV処理を行なったあと、生物活性炭処理を組み合わせることで分解無害化
		高圧噴射攪拌置換固化	地中にセメントミルクを高圧で注入し固化
シアン	IV	電気的分離	電気泳動現象による汚染物質の移動、除去
重金属類	I	化学的不溶化	重金属を含む排水の浄化
	III	汚染地下水の揚水	揚水処理
		汚染土の掘削	埋設された廃棄物の選別、処理
	IV	土壌洗浄/溶媒抽出	土壌湿式洗浄法、泡沫浮上法
電気的分離		電気泳動現象による汚染物質の移動、除去	
PAHs	IV	土壌洗浄/溶媒抽出	土壌湿式洗浄法

- ※ I:汚染物質の拡散防止技術
 II:原位置での汚染物質の分解/安定化技術
 III:汚染媒体の除去技術
 IV:汚染媒体からの汚染物質の分離技術
 V:汚染物質の分解/安定化技術

出典1~7)