

浸出水観察と比抵抗探査による最終処分場埋立地の安定化モニタリング

栗原 正憲 大石 修

1 はじめに

排出された廃棄物の多くは焼却等の中間処理を経たのち、利用不可能なものは最終処分場へと埋め立てられる。管理型最終処分場では原水の水質が排水基準を満足することや、ガス発生量、埋立地内温度等に関して条件を定め、施設の廃止判断を行っている。現在の法令では埋立物の変化状況や保有水の性状把握の必要性については触れられていない。

千葉県では主に内陸の谷頭などの地形を利用して最終処分場が建設されていることが多い。そのため廃止判断が正しく行われなかった場合には、下流域の生活環境に悪影響が生じる可能性がある。この懸念から最終処分場の水処理施設は原水の水質が排水基準を満足した後も運営していることが多く、運営のためのコスト負担が長期間継続している。廃止判断を適切に行うためのモニタリング方法を確立し、リスク判断をより精確に行うことができれば、周辺住民の安心感が高まるとともに効率的な運営の実現につながるという。

本研究では、最終処分場の埋立地や浸出水の状態について把握し、時間経過によりどのような変化が生じるかを調査した。また、非破壊調査による埋立地のモニタリングを実施し、埋立地の環境リスク（主に埋立物からの化学物質溶出を想定した）の低下度（安定化度と呼ぶことにする）を把握しうるか検討した。

2 調査方法

2・1 原水の時系列データ

県内の5か所の管理型最終処分場の原水に含まれる化学成分濃度の時系列変化の特徴を把握し、濃度減少速度について考察した。表1に各最終処分場の概要と原水の水質データを収集した期間を示した。濃度減少速度の算出には、当センターで分析した値と、各最終処分場の維持管理記録のうち埋立終了後50か月以降のデータを使用した。当センターで分析した項目については表2に浸出水の分析方法を示した。なお、本稿

では浸出水のうち集水管で集められたものを原水、観測井により埋立地内から採取されたものを観測井浸出水と区別して表示し、両方を示す場合は浸出水と表示した。埋立地内に存在する水分は保有水と表示した。

表1 原水調査の対象最終処分場

	B	K	S	T	F-T
種別	一廃	一廃	一廃	一廃	産廃
埋立物	燃え殻 不燃ごみ その他	燃え殻 破碎ごみ 不燃ごみ 可燃ごみ その他	燃え殻 粗大ごみ 直搬ごみ 不燃ごみ 可燃ごみ	燃え殻 破碎ごみ	燃え殻 汚泥 廃プラ がれき類 その他
面積(m ²)	32,800	61,473	14,736	4,652	50,028
容積(m ³)	237,000	255,000	148,860	20,754	707,587
埋立終了	1995/1	1992/3	1988/3	1995/5	1992/8
調査期間	1999/3 -2010/6	1997/4 -2007/11	1995/5 -2007/12	1999/8 -2006/8	1996/10 -2010/8

表2 浸出水の分析方法

	分析方法	使用装置
pH	ガラス電極法 JIS K0102 12.1	横河電機(株) PH82
EC	JIS K0102 13	東亜ディーケーケー(株) CM-14P
Cl	イオンクロマトグラフ法 JIS K0102 35.3	日本ダイオネクス(株) DX-300
BOD	JIS K0102 21	飯島電子工業(株) B-100S
COD	COD _{Mn} JIS K0102 17	
TOC	NPOC JIS K0102 22.2	(株)島津製作所 TOC-5000
TN	熱分解法 JIS K0102 45.5	(株)ダイアインツルメンツ TN-05
Mn	ICP 発光分光分析法 JIS K0102 56.4	SII ナノテクノロジー(株) VISTA-PRO

2・2 埋立物観察と観測井浸出水の調査

埋立地を無水ボーリング掘削し、埋立廃棄物を採取して廃棄物の種類や性状を目視観察した。ボーリング孔には観測井を設置し、観測井浸出水の性状を確認した。また、一般廃棄物最終処分場B内の約100m離れた地点1,2の2箇所に観測井を3本づつ(名称:S,M,D), 1.5m間隔でごく近接して設置した。ストレーナー深度は地点1でS:1~4m,M:4~7m,D:7~10m,地点2でS:1~5m,M:5~8m,D:8~11mである。In-Situ社製TROLL9000を使用して観測井水位を連続測定した。

2・3 比抵抗探査と有効性の検討

埋立地の非破壊調査手法として比抵抗探査の有効性を検討した。比抵抗探査は電気探査を9か所、電磁探査を8か所の最終処分場で実施し、浸出水の電気伝導率と比較した。一部の埋立地ではコア試料の元素含有量と溶出液濃度を比抵抗と比較するほか、振動の伝達速度を測定する表面波探査を実施して参考材料とした。表面波探査により測定されたS波速度は地盤の硬さ等の物理的状態が反映される。

コア試料は風乾の後、C,N含有量はヤナコテクニカルサイエンス(株)製のCNコーダーMT-700で測定し、その他の元素含有量は日本電子(株)製の蛍光X線分析装置JSX-3400RでFP法により酸化物と仮定して測定した。また重量比で3倍の純水を加えて6時間浸とうした後に、平均孔径0.6μmのガラス繊維ろ紙でろ過して溶出液を作成し、表2の方法で分析した。

非破壊調査の使用機器

- ・ 電気探査：応用地質(株)製 McOHM Mark (電極間隔1m, ダイポール・ダイポール法)
- ・ 電磁探査：Geophex社製 GEM-2 (測定周波数：475,1175,3925,13575,47025Hz：各周波数での測定値を解析したTotal-ECを使用した。)
- ・ 表面波探査：応用地質(株)製 McSEIS-SX24 (End-on-spread：ランドストリーマ使用)

3 原水の時系列モニタリング

3・1 原水の水質の時間変化

最終処分場に降った雨水は埋立物から様々な化学成分を溶出しながら埋立地の底部まで浸透し、原水として流出する。浸出水は埋立物から発生した溶出液であり、埋立物の状態が反映されている。

最終処分場Bにおいて、原水の化学成分の濃度を追跡したものが図1である。時間の経過とともに複数の化学成分で濃度の減少が見られた。このような事例が県内複数の最終処分場において観察された。これは、埋め立てられた廃棄物に含まれる化学物質が雨水により洗い出されていることを反映したものと捉えることができ、洗い出しが進行することで化学物質の溶出と外部流出という視点からは安定化が進んでいる。

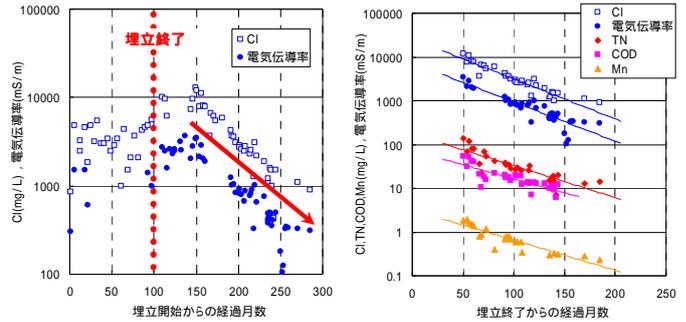


図1 原水の水質変化(最終処分場B)

表3 濃度減少の一次速度定数k(×10²)

	B	K	S	T	F-T
EC	2.1	-	0.26	-	-
Cl	2.1	-	-	-	0.49
BOD	-	0.61	-	-	-
COD	1.5	0.67	0.60	2.3	0.42
TN	1.7	0.93	-	2.5	0.48
SS	-	-	-	7.8	-
Fe	-	-	-	2.8	-
Mn	1.6	-	0.31	4.2	-
Zn	-	-	-	3.6	-

速度定数は $[C]=[C_0]\exp(-k \cdot t)$ の近似式より求めた。
([C]:成分濃度, k:速度定数, t:経過月数)

5か所の最終処分場(B,K,S,T,F-T)で同様の調査をしたところ、いずれの最終処分場でも原水の濃度は埋立終了後に低下する傾向にあり、濃度低下の挙動は埋立終了後50か月以降では指数関数でおおむね近似できた。埋立終了後50か月以降の原水のデータを指数関数に近似して濃度減少の速度定数を算出し、相関係数が0.5以上のものを表3に示した。速度定数から排水基準濃度に到達するまでの年数を算出してみると、この5か所の最終処分場のうち最も早いもので埋立終了から6.8年(T)、最も遅いものは37.6年(F-T)が必要であった。また、基準項目のなかで、排水基準を下回るまでに埋立終了から最も長期間を要したのは、いずれの処分場でもCODであった。一般的に安定化までには数十年を要すると言われるが¹⁾、原水の濃度低下の傾向から見ても、埋立終了から数十年間は安定して維持管理費用を確保可能な運営体制が必要と言える。独自の上乗せ排水基準を設けている施設もあり、その場合はさらに長期になることが見込まれる。

なお埋立直後の有機物分解が活発な時期のBOD, CODは急速に濃度が低下し、この近似式にはなじまなかった。また、原水が濃度低下するにつれて、濃度減少の速度がわずかずつ遅くなる傾向が見られ、今回の調査期間よりも長期間の挙動を近似すると誤差が大

きくなることが予想された。

原水の濃度に関する時系列情報は、埋立地の安定化度を判断するための重要な事項のひとつであるとともに、最終処分場の維持管理に必要な将来コストの計上や、最終処分場の施設廃止が可能となる時期を予測する材料として活用することが出来ると思われる。

3・2 水質変化速度と降水量の関係

原水濃度の減少速度に関連する因子としては大きく分けて、各成分の化学的性質と、埋立物がおかれる諸条件が考えられる。化学的性質としては、溶解度、溶解速度、埋立物と水との間の分配傾向等が挙げられ、埋め立ての諸条件としては、埋立方法や降水量の違い等が挙げられる。表3に示した項目では、最終処分場ごとに減少速度に近い傾向にあり、埋め立ての諸条件の違いは減少速度への影響度が大きいと思われた。

埋め立ての諸条件のうち、原水の濃度減少に直接的に影響する因子としては、埋立物に接触する水量が挙げられる。そこで、単位埋立物体積あたりに接触した水量と、表3の速度定数との関連を見たものが図2である。この水量には、埋立地に実際に浸透した水量に近いと思われる水処理施設の水処理量を、表3の速度算出に用いた期間中での平均値を求めて用いた（最終処分場 S は水処理量の記録がないため除外）。埋立物体積あたりの水処理量が多いほど原水の濃度減少速度が大きい傾向にある。調査期間における原水の濃度減少の要因は洗い出しが主であると思われ、埋立地に浸透する雨水量に大きく左右されていたと言える。原水が排水基準を満たすまでに必要な年数から水処理量の合計を計算すると、この4か所の最終処分場（B,K,T,F-T）においては埋立終了後に廃棄物体積の0.63～2.49倍の原水を水処理することになる。

埋立地への降水量に対する水処理施設の水処理量の割合を図3に示した。降水量には埋立地近隣のアメダスのデータを使用した。雨水のどの程度の割合が埋立地内に浸透し、洗い出しに貢献したかを示したものである。この割合は最終処分場ごとに異なっており、埋立地の起伏や高低差等の埋立形状や表面覆土の透水性の違い等により、雨水の浸透、流出、蒸発の傾向が影響を受けていると思われた。原水が基準値を満たすまで洗い出しを進めるには一定量の水量が必要であるこ

とから、埋立地への雨水の浸透傾向はそれまでにかかる年月に差を生じる一因となっていると言える。

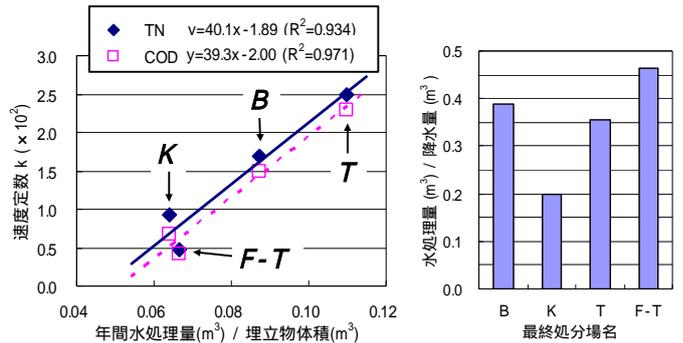


図2 速度定数と水処理量の関係 図3 水処理量と降水量の関係

4 埋立地の掘削と観測井浸出水の調査

4・1 時間経過による埋立物の変化

埋め立てた廃棄物が時間経過によりどのような変化を生じるか確認するため、埋立地をボーリング掘削し埋立物を採取した。

埋立終了から7年経過した時点で採取した一般廃棄物最終処分場Bの柱状コアの写真を図4に示した。プラスチック類は強度がもろくなるなどの変化があり、金属類の腐食は進行しているものの、目視観察では埋め立てられたままに近い状態で存在していることが多かった。浸出水の濃度が低いレベルに下がった埋立地でも風化の程度は不均一であり、浸出水の観察のみで埋立物の状態を十分把握できないと言える。

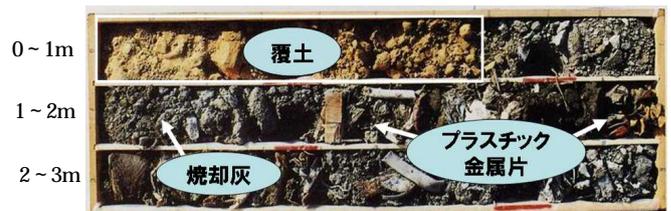


図4 埋立物のボーリングコア（最終処分場B）

4・2 観測井浸出水の性状調査

埋立物採取のためのボーリング掘削の後に観測井を設置し、観測井浸出水の水質調査を複数の最終処分場で行った。電気伝導率やpHをはじめとして有機物や重金属濃度などの保有水の化学成分の濃度は原水と異なることが多く、原水より高濃度のものが観察されることも珍しくなかった。その中から、この傾向が顕著であった最終処分場Bの水質分析結果を図5に示した。観測井浸出水の水質は地点や深度の違いにより濃度が大きく異なっており、地点1の観測井Dのように組成

が原水と大きく異なるものも見られた。

2004年7月から2005年1月に、地点2の観測井S,M,Dの水位を連続測定した結果を図6に示した。水浸透が均一で迅速であればこの3本の観測井の水位は同じ程度になるはずだが、それぞれの水位は長期間継続して異なり、変動の特徴も異なっていた。この地点の保有水は宙水のように局所的に存在しており、水の通りやすい部分（水みち）を選択して埋立地内を移動していると思われた。水みちから外れた部分は水の入れ替わりが乏しく洗い出しが停滞することが予想され、埋立地内で安定化の不均一が生じる原因になると考えられる。

このように、最終処分場内部の保有水は水質、分布において不均一であり、原水の水質観察のみでは保有水の不均一程度を把握することはできない。つまり、原水のみを観察した場合、高濃度の保有水が散在していたとしても把握できない。埋立地を広範囲に把握できる調査法の適用が望ましいと考えられた。

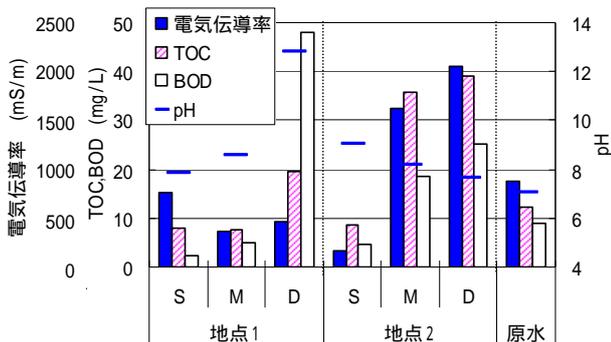


図5 観測井浸出水の水質(最終処分場B 2004年)

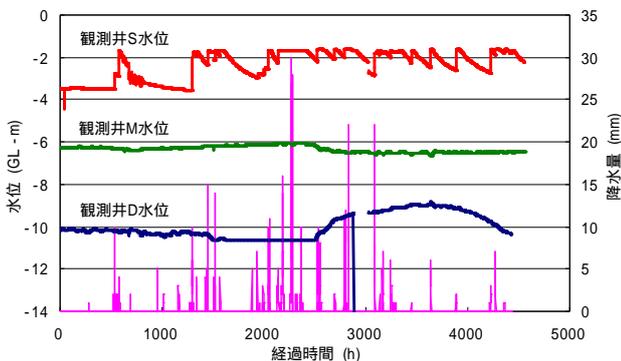


図6 観測井水位の連続測定結果(最終処分場B-地点2)

5 最終処分場の埋立地内部の非破壊調査

先に述べたように、原水が排水基準を満たしたとしても局所の保有水は高い濃度で残されている可能性があり、内部の状態を広く観察する手法の確立が望まし

いと考えられる。そこで、内部の観察手法として比抵抗を測定対象とした電気探査と電磁探査の有効性を検討することとした。比抵抗は埋立地の電気伝導率が反映されるため、埋立物や保有水の性状との関連が期待でき、洗い出し進行の把握に活用しうると考えたためである。

電気探査は電流、電磁探査は磁場を利用して地盤の比抵抗を測定する手法である。これらの探査手法は、埋立地内部の比抵抗を比抵抗断面として視覚的に把握することが可能である。また、埋立地を非破壊で簡単に調査できるため、掘削調査が困難な最終処分場の埋立地へ適用しやすく、多額のコストが発生することもないため有効な手法であると思われる。電気探査は深度方向の埋立地断面の比抵抗把握が可能であり、一方で電磁探査は水平面の比抵抗把握が可能である。これらを組み合わせることで、埋立地の比抵抗を三次元的に把握することが可能である。

5・1 埋立地の比抵抗断面

図7の上段の図は最終処分場Bにおいて2000年に電気探査を実施したものである²⁾。破線で示したエリア(X=5~20,下部分)には $0.1\Omega\cdot m$ 未満の比抵抗の低い部分が存在し、エリア(X=20~30,下部分)は $10\Omega\cdot m$ より比抵抗が高かった。埋立地内は数メートルの違いで比抵抗が大きく異なっていた。電気探査により、埋立地の電気伝導率という限られた情報ではあるが埋立地内部を面的に把握することが可能であり、その不均一程度を窺い知ることができた。

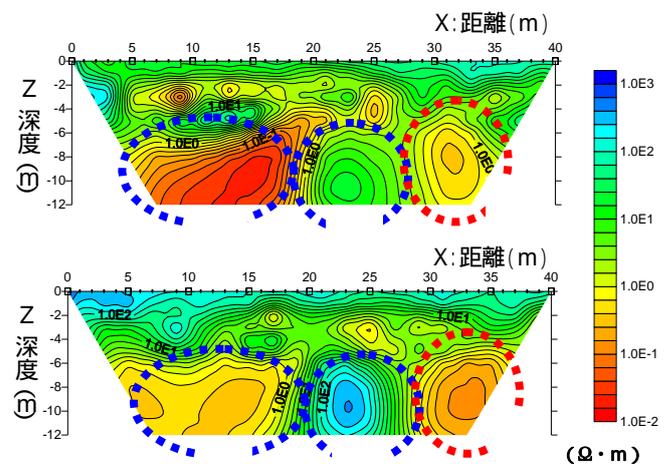


図7 比抵抗断面図(最終処分場B:上2000年,下2006年)

5・2 比抵抗の時系列変化

図7の下段の図は上段と同じ場所で2006年に測定したものである。2000年に比べ全体的に比抵抗が高く変化しており、 ρ エリアの比抵抗は10倍程度高くなっている。これは埋立地の電気伝導率が低下していることを示している。このときの原水の電気伝導率は2000mS/m(2000年)から400mS/m(2006年)に低下しており、比抵抗の変化傾向と矛盾しない。

しかし、 ρ エリア(X=28~35,下部分)のように比抵抗の変化がほとんど起きていないエリアもあった。この部分は周囲より洗い出しを受けにくい状態にあると考えられる。その理由として、水みちから外れ水供給に乏しくなっていること等が挙げられ、将来的に周囲よりも安定化が遅れる可能性が懸念される。比抵抗の変化を時系列で追跡して、その変化傾向が不均一でないか確認し、浸出水の濃度変化等と関連付けて考察することで、比抵抗調査を埋立地の安定化進行を議論する材料として活用しようと考えられた。

6 比抵抗調査の有効性確認

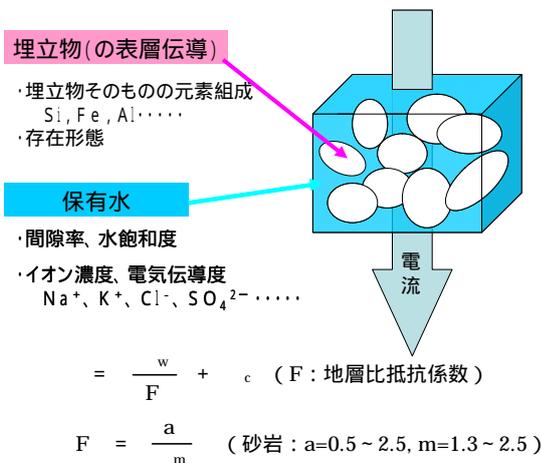


図8 埋立地の電気伝導率に関するモデル

埋立地を埋立物と保有水からなるモデルとして図8のように考えた場合、埋立地の電気伝導率は埋立物の電気伝導率を c 、保有水の電気伝導率を w 、間隙率を F として図中の式のように決定すると考えることができる³⁾⁴⁾。つまり最終処分場の埋立地の比抵抗は、埋立物と保有水の両方の状態により決定し、さらに保有水の寄与程度は電気伝導率のほか、間隙率や水飽和度といった保有水の存在量にも影響される。

5・2節で述べた調査例のように時間経過で比抵抗が

高くなることは、単純には洗い出しが進行し保有水中の電解質濃度が低下したことが反映されたと考えることができる。しかし、比抵抗を左右する因子は複数あり、比抵抗の変化がどの因子の変化をどの程度反映しているのかを明らかにすることが安定化調査手法として利用するためには必要である。

比抵抗調査による測定値が、埋立地のどの要素に左右されるかを確認するため、比抵抗と浸出水との比較を行った。さらに、最終処分場Bと最終処分場Aでは埋立物との比較(溶出試験、含有量試験)を行った。最終処分場Aは最終処分場Bの稼働まで同エリアから排出された廃棄物を埋め立てていた一般廃棄物最終処分場であり、受け入れたごみの種類はほぼ同じである。

6・1 浸出水との比較

電気調査を9か所の最終処分場(一廃7か所、産廃2か所:最終処分場B,K,S,F-T,Aを含む)の28地点(時間経過後に同一地点で測定も含む)、電磁調査を8か所(一廃7か所、産廃1か所:最終処分場B,K,S,Aを含む)の最終処分場の15地点(時間経過後に同一地点で測定も含む)で実施し、浸出水の電気伝導率と比較した。埋立地の複数の地点で同時期に比抵抗測定を行ったものは合わせて一測定として扱った。

図9は、比抵抗の低い部分ほど浸出水の電気伝導率を高くすることに寄与していると想定して、埋立地の比抵抗の最低値と浸出水の電気伝導率を比較したものである。複数の浸出水を採取した場合にはその電気伝導率のうち最大の値を使用した。(図中破線は比抵抗と電気伝導率の対応が等しい場合を示す)両者には相関関係が見られ、埋立地がどれだけ低い比抵抗を示すかは、内部の保有水の電気伝導率がどれだけ高いかに強く影響されていることがわかった。

また、廃棄物の埋立地ではない通常の地盤でも比抵抗と地下水の電気伝導率を調査し、比較として印で示した。洗い出しが進むにつれ、最終処分場の浸出水の電気伝導率が低く、比抵抗が高くなってゆき、通常の地盤の数値に近づく傾向にあった。

一方で、図10は比抵抗の最高値と浸出水の電気伝導率の最低値を比較したものであるが、図9ほど良い相関は見られず、比抵抗の高い部分は保有水の電気伝導率以外の要素の影響も大きいと考えられた。図10

のモデルから考えれば、その要素として埋立物そのものの違いや保有水の存在量の違いが挙げられる。

なお、電磁探査ではピンスポット状に極端な測定値が得られることがあり、地表面の金属類等が原因と思われたため、最大側と最小側の2.5%づつを除いた95%を比較に使用した。鉱さいを多く埋め立てた最終処分場1か所においては、全体的に異常に低い比抵抗を示したためこれらの比較からは除外した。これは金属類に鋭敏な電気探査の特性により、埋立物が保有水よりも大きく影響した事例と思われる。

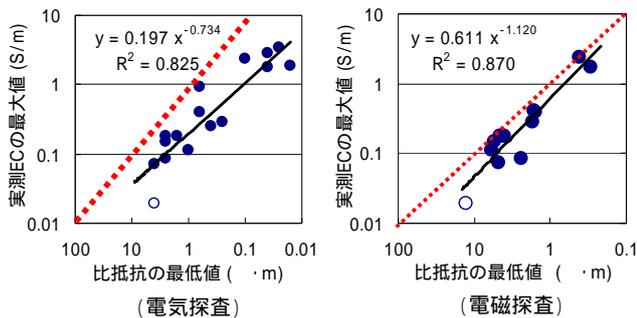


図9 浸出水の電気伝導度と比抵抗の比較1

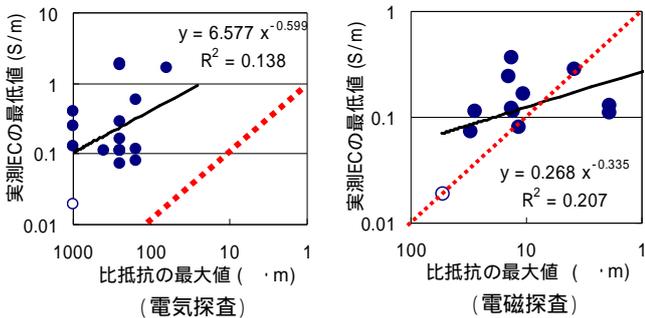


図10 浸出水の電気伝導度と比抵抗の比較2

6・2 埋立物との比較

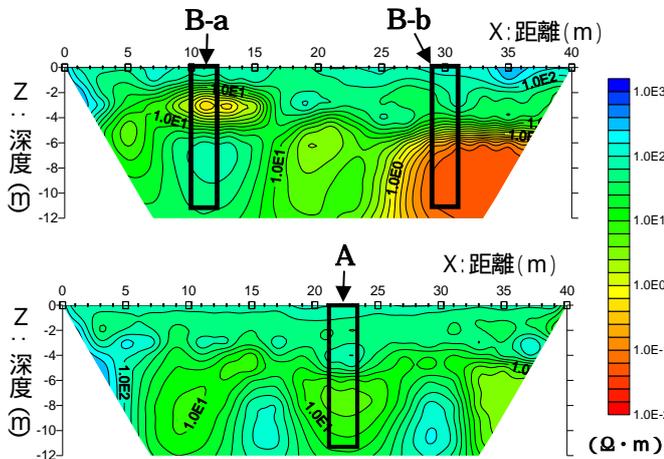


図11 比抵抗断面図とボーリング位置

(上：最終処分場B 2008年，下：最終処分場A 2010年)

最終処分場Bと最終処分場Aにおいて電気探査を実施し、その測定線の直下でボーリング掘削をして柱状のコア試料を採取した。図11に比抵抗断面図とボーリングの掘削位置を示した。ボーリングは最終処分場Bで2か所(地点B-a, 地点B-b)と、最終処分場Aで1か所(地点A)の計3地点で行い、それぞれ深度10mまで試料採取した。採取したコア試料は深度方向に区切り、溶出試験、含有量試験を行い、それぞれの深度の比抵抗値と比較した。なお、覆土厚は地点Aで約3.5m、地点B-aとB-bで約1mであった。

6・2・1 比抵抗と含有量の相関

比抵抗と埋立物の元素含有量との相関を表4に示した(比較数: 地点B-a, B-bは各10, 地点Aは20)。含水率はボーリング時に変化してしまったことが予想されたため比較対象から除外し、その他の元素の含有量は含水率を考慮せず算出した。採取試料は、水分を除き表中の元素により約95%が占められている。

地点B-aでは有意な相関(危険率5%)は見られず、地点B-bではFe₂O₃と負の相関が見られた。また、地点AではCaO, Fe₂O₃, C, Nで負の相関, SiO₂で正の相関が見られた。地点AでSiO₂が正の相関を示したのは、CaO, Fe₂O₃およびC, N化合物が比抵抗を低くする要素であるなら、SiO₂を含む化合物が多い部分では相対的にCaO, Fe₂O₃およびC, N化合物の含有量が低くなるためと考えられ、実際にはSiO₂は比抵抗に影響していないと思われる。

表4 比抵抗と含有元素量の相関

	B-a		B-b		A	
	相関係数	有意性検定	相関係数	有意性検定	相関係数	有意性検定
Na ₂ O	0.21	×	0.47	×	-0.14	×
K ₂ O	0.37	×	-0.05	×	0.21	×
MgO	-0.52	×	0.43	×	-0.29	×
CaO	0.49	×	-0.16	×	-0.64	×
Fe ₂ O ₃	0.38	×	-0.77	×	-0.88	×
Al ₂ O ₃	0.13	×	0.25	×	0.42	×
SiO ₂	-0.20	×	0.33	×	0.84	×
C	0.40	×	-0.57	×	-0.81	×
N	0.37	×	-0.57	×	-0.84	×

6・2・2 比抵抗と溶出液との相関

比抵抗とコア試料の溶出液のイオン濃度等の相関を表5に示した。多くの項目で有意な相関(危険率5%)が認められた(比較数: 地点B-a, B-bは各10, 地点Aは20)。埋立地の比抵抗はその部分の保有水の電気伝導率に強く影響されていると考えられる。相関が顕著であった理由として、廃棄物の埋立地の保有水は廃棄

物から溶出した電解質を含み電気伝導率が高くなる傾向にあり、比抵抗への影響度が大きくなりやすいことが考えられる。

ただし、地点 B-a では地点 B-b,A とは逆の正の相関を示しており、次項のとおり追加調査を行った。

表 5 比抵抗と溶出イオン濃度の相関

	B-a		B-b		A	
	相関係数	有意性検定	相関係数	有意性検定	相関係数	有意性検定
EC	0.90		-0.76		-0.76	
Na ⁺	0.93		-0.76		-0.76	
K ⁺	0.81		-0.75		-0.85	
NH ₄ ⁺	0.81		-0.89		-0.78	
Mg ²⁺	0.71		-0.92		-0.24	×
Ca ²⁺	0.85		-0.28	×	-0.54	
Cl ⁻	0.94		-0.75		-0.88	
SO ₄ ²⁻	0.02	×	0.67		-0.50	
TOC	0.78		-0.73		-0.74	
TN	0.74		-0.64		-0.80	

6・3 S波速度分布

6・2・2 で示した比抵抗と埋立物の溶出液の比較では、地点 B-b でおおむね負の相関を示し、一方で地点 B-a ではおおむね正の相関を示していた。地点 B-a では含有量と比抵抗の相関が見られないため、比抵抗がイオン濃度に影響を受けているなら負の相関を示すと考えられる。そのため、B-a 地点ではイオン濃度以外に比抵抗に強く影響する因子があったと考えられる。B-a 地点の試料採取後に設置した観測井には水面が見られず、一方で B-b 地点では水面が観察され、両地点の水分存在量の違いが比抵抗に影響したことが疑われた。この解釈を進めるため、表面波探査による比較調査を行った。表面波探査は振動の S 波速度を解析し可視化する手法である。一般的に S 波速度は埋立地が硬いほど大きい。また、間隙率が小さいほど振動の伝達速度は大きくなるとの関連が示されている⁵⁾⁶⁾。比抵抗と S 波速度を比較して埋立地の状態を考察した。

最終処分場 B と A の比抵抗調査と同じ測定線で表面波探査を実施し、その S 波速度分布を図 1 2 に示した。最終処分場 A の S 波速度は深度方向の変化が主で水平方向への変化は緩やかであった。地表面付近は軟らかく、深い部分は締め固まっていることが窺えた。一方で、最終処分場 B では S 波速度の分布がスポット状に見られ、横方向で急激に変化していた。図 1 1 と比較すると S 波速度の大きいエリア（一般的に硬い）の比抵抗が高く、S 波速度の小さいエリアの比抵抗が低い傾向にある。埋立物の硬さや間隙率が変化することで、

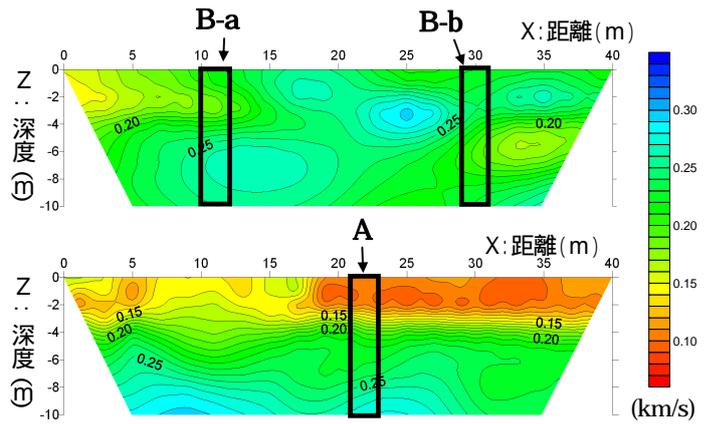


図 1 2 S波速度分布とボーリング位置

(上：最終処分場 B 2010 年，下：最終処分場 A 2010 年)

比抵抗が影響を受けていると捉えられる。間隙率の変化を反映したものであれば、保有水量が地点 B-a と B-b で大きく異なっていた可能性がある。

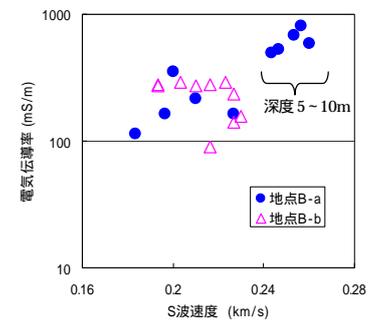


図 1 3 S波速度と溶出液の

電気伝導率の比較（最終処分場 B）

図 1 3 に最終処分場 B の S 波速度と溶出液の電気伝導率の比較を示した。地点 B-a では、深度 5~10m に B-b に比べて S 波速度の大きな部分が存在する。また、S 波速度が大きい部分ほど、溶出液の電気伝導率が高い傾向にあった。S 波速度の大きい部分の比抵抗が高い傾向にあったことを併せて地点 B-a の状態を推測すると、地点 B-a には硬く締め固まっていたり間隙率の低い部分があり、保有水量が少ないことが影響して比抵抗を高くしていたと考えられる。洗い出しのための水供給に乏しい状態にあり塩類が多く残されていたため、比抵抗の低い部分での溶出量が多かったものと推測された。

これらの相関調査により得られた知見をまとめると次のようになる。比抵抗の時系列変化と浸出水の濃度変化の関連を考察し、埋立地の洗い出し進捗について議論することは有意義である。また、埋立地内にどの程度低い比抵抗エリアが存在するかを確認することで、どの程度の電気伝導率の浸出水が発生する可能性があるかを推測する材料になりうる。しかし、埋立物の性状をピンポイントで把握する目的においては比抵抗の解釈をより慎重にする必要がある。つまり、比抵抗は

埋立地の複数の要因により決定されるため、測定値の考察においては、影響する要因のそれぞれを十分把握しておかなければ誤った解釈をする可能性がある。

7 まとめ

- (1) 最終処分場の原水は、埋立終了後 50 か月以降で指数関数に近似可能な濃度減少をし、その傾向から排水基準を下回る時期を推測できる。
- (2) 原水の濃度減少速度は埋立地ごとに異なる傾向にあり、同じ埋立地では複数の化学成分で同程度の減少速度を示した。廃棄物体積あたりの水処理量が多い埋立地ほど減少速度は速い傾向にあった。
- (3) 観測井浸出水の水質は深度や地点により異なることが多く、原水より高い濃度で観察されることも珍しくなかった。また、近接した観測井において水位が長期間異なって観測され、埋立地の水浸透の不均一さを原因として洗い出しの進み方に差が生じていると考えられた。
- (4) 埋立地の比抵抗は時間の経過とともに全体的に高くなる傾向にあった。比抵抗の変化が相対的に小さいエリアが部分的に見られた。
- (5) 埋立地の比抵抗の最低値は浸出水の電気伝導

率と相関関係が見られた。

- (6) S波速度が不均一な埋立地では、地点ごとに比抵抗と埋立物の溶出液濃度は異なる相関を示した。
- (7) 比抵抗は保有水のイオン濃度と水量に影響を受けていると考えられた。

参考文献

- 1) 山田正人, プレント・イナンチ, 石垣智基, 井上雄三: 埋立最終処分場の安定化とは何か, 第 10 回衛生工学シンポジウム論文集, p177~180(2002)
- 2) 香村一夫, 栗原正憲, 原雄: 浸出水中の無機イオン濃度からみた廃棄物層の性状変化, 資源地質, 55(2), p203-210(2005)
- 3) 高倉伸一: アーチーの式と並列回路モデル, Conductivity Anomaly 研究会, 2003 年論文集, p127-132(2003)
- 4) 光畑裕司: 電磁探査法による海岸平野における高塩分地下水調査, Journal of Geography, 115(3), p416-424(2006)
- 5) 楠見晴重, 山本剛, 中村真: 比抵抗・弾性波併用探査による老朽化法面の工学的評価法, 第 38 回岩盤力学の関するシンポジウム講演集, p35-38(2009)
- 6) 小村健太郎, 中田節也, 金子隆之, 鶴川元雄: 富士火山溶岩の物性測定 - 有効間隙率と密度, 弾性波速度, 熱伝導率の関係 -, 日本火山学会講演予稿集, p83(2003)

【要旨】

最終処分場から発生する原水に含まれる化学物質は時間経過とともに濃度減少を示し、その傾向は埋立終了後 50 か月以降で指数関数に近似できた。その濃度減少速度から原水の安定化時期を予測できると考えられた。濃度減少速度は埋立地ごとに異なる傾向にあり、埋立地に浸透する水量が多い埋立地ほど大きかった。また、浸出水は埋立地の地点、深度により異なる性状を示し、原水よりも高濃度で観測されることも珍しくなかった。観測井浸出水の観測により、保有水が宙水として存在している等の理由で埋立地内の安定化進行が不均一になっていると考えられ、埋立地内を広範囲に把握可能な調査手法の適用が必要と考えられた。

電気探査、電磁探査により測定した埋立地の比抵抗は浸出水の濃度レベルと相関があり、これらの探査手法を浸出水の濃度推測に活用でき、また時系列で比抵抗を追跡することで洗い出しの進捗把握に利用できると考えられた。ただし、比抵抗から埋立物の状態を把握するためには、埋立地の水分量等を把握し比抵抗を慎重に解析する必要がある。

キーワード : 最終処分場, 安定化, 浸出水, 電気探査, 比抵抗

Monitoring method of disposal landfill by leachate observation and resistivity survey