

## 埋立物と比抵抗の比較調査事例 2

栗原正憲 大石 修

### 1 はじめに

最終処分場の埋立物は年月の経過とともに降水により洗い出しを受け、浸出水の濃度は徐々に低下してゆく。しかし、埋め立て地の内部はみずみちの存在等を原因として、洗い出しの遅れた部分が発生していると考えられる。コストのかかる観側井設置などの手段によらず、広範囲に埋立地の洗い出し進行を把握できれば、本質的な安定化の判断に有益であると考えられる。比抵抗探査（電気探査）は低コストで広範囲の深度方向（X-Z 面）のモニタリングが可能なることから、最終処分場の安定化判断への貢献が期待される手法である。また、電磁探査は電気探査と同様の比抵抗調査が可能であり、広範囲の水平方向（X-Y 面）の調査が容易であるという利点からその活用が期待される。

一般的に比抵抗の低い部分には電解質が多く存在しており洗い出し進行が遅れていると予想できるが、これらの手法により洗い出し進行の程度を推測するには、実際の埋立物との対比を行いどの程度の相関が期待できるのかを確認しておく必要がある。

これまでの調査では比抵抗（電気探査）と埋立物の溶出液の  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$  濃度に弱い負の相関が見られ 1)、比抵抗（電気探査、電磁探査）と原水の電気伝導度との関連性も複数の処分場において確認されている 2)。今回、埋立物の異なる処分場において同様の相関調査を実施し、引き続き埋立物性状の推定手段としての活用可能性を探ることとした。廃棄物種や埋め立て状態が違うことで相関の傾向にどのような違いがあったかの調査事例として報告する。

### 2 調査方法

調査対象としたのは一般廃棄物最終処分場 H-B1 である。（調査期間：2008 年 1～3 月）複数の観側井が設置されており、保有水面が一定しないなど水供給の不均一さが指摘されている埋立地である 3) 4)。廃棄物種は焼却残渣の割合が多いが、その他プラスチック、金属、木片など多種類の廃棄物が埋め立てられている。

最終覆土からは約 13 年が経過しており、原水の電気伝導度（以下 EC）は安定的に減衰の傾向にある 5)。

電気探査（ダイポール・ダイポール法）、電磁探査を複数回実施し埋立地の比抵抗分布を確認した（図 1、2）。特徴的な高比抵抗を示した地点 A、低比抵抗を示した地点 B、さらに電磁探査で高い応答を示した地点 C を選択し、試料採取のためのボーリングを行った。廃棄物試料のボーリングコアは、1m 間隔で試料を平均化し 2mm メッシュのふるいを通じた後に、各種化学分析を実施した。地点 A、B のボーリング孔は観側井とし保有水の水位および EC の調査を行った。

### 3 調査結果

#### 3.1 比抵抗探査

電磁探査結果を図 1、電気探査結果を図 2 に示した。両手法の併用により図 3 のように 3 次元的な比抵抗把握が可能である。図中矢印はボーリング位置に設定した地点 A、B、C を示している。それぞれ無水ボーリング掘削を行い、埋立物の採取を行った。

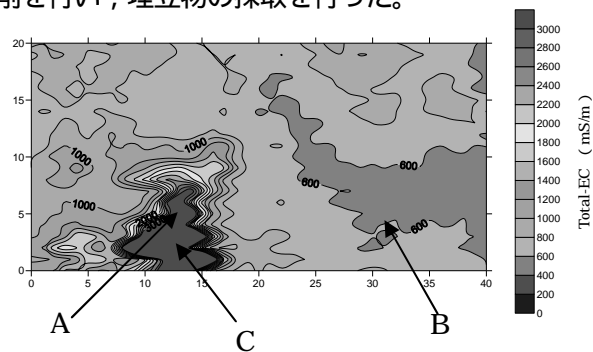


図1 電磁探査結果

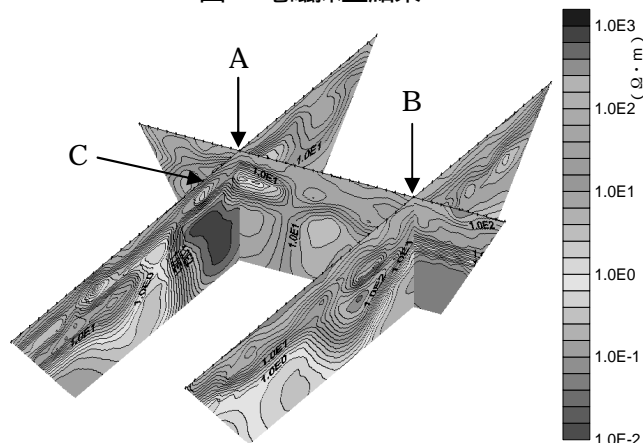


図2 電気探査結果

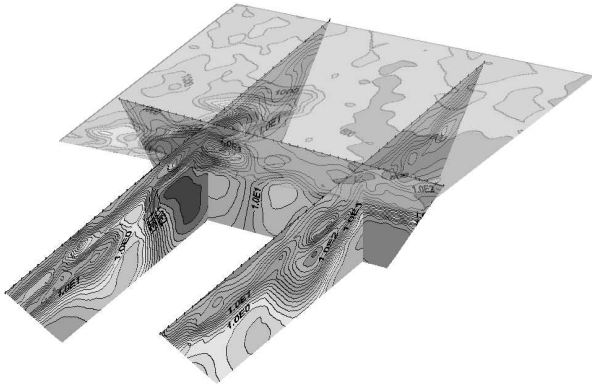


図3 電気、電磁探査結果

### 3.2 採取試料の性状

埋立物は上部の数センチが覆土であり、それ以下の深度は多くの割合は焼却灰（セメント固化物含む）であり、その他は金属片、木片、プラスチック片でほぼ占められている。地点、深度が異なれば廃棄物組成は大きく変化している。また、中間覆土は焼却灰等と混合しており判別が困難な状態であった。採取した廃棄物試料を種類ごとに目視で分類し、それぞれの大きな含有割合を表1に示した。

地点A, Bともに深度5~6mまでは焼却灰が主体であり、6m以深では木片の割合が増加している。また、ほぼ全体に数cm大のプラスチック片が存在している。地点A, Bは比抵抗では大きな違いがあるが、コア観察からは明確な違いは見られなかった。金属類は針金状や数cmの金属片が多いが、地点A, Cでは10cm幅程度の大きなものが見られる部分もあった。

表1 廃棄物種の分類

コア深度m	地点A			地点B			地点C		
	灰	木片	金属	灰	木片	金属	灰	木片	金属
0~1		x	x	x	x	x		x	x
1~2		x		x		x		x	
2~3		x		x					
3~4		x		x		x			
4~5		x				x			
5~6		x				x		x	x
6~7		x	x						
7~8			x						
8~9			x			x			
9~9.5			x			x			x

(主成分50%~, 多く含有20%~, 含有,x無し)

### 3.3 コア分析結果(含有元素量)

蛍光X線分析, CNコーダーにより含有量分析を行い,各深度の比抵抗と比較したものを図4に,また主要元素について相関係数と有意性検定(危険率5%)の結果を表2に示した。

有意な相関傾向を示すものはほとんど無く,本調査で対象とした処分場では,埋立物の元素含有量の比抵抗への寄与は相対的に小さかったと考えられる。

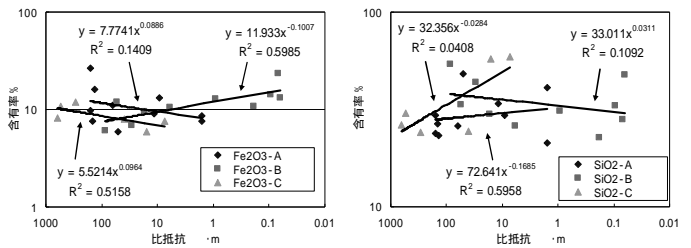


図4 比抵抗と含有量の比較

表2 比抵抗と含有量の相関一覧

	A		B		C	
	相関係数 R	有意性検定 (危険率5%)	相関係数 R	有意性検定 (危険率5%)	相関係数 R	有意性検定 (危険率5%)
含水率	+0.20	x	-0.62	x	+0.59	x
Na <sub>2</sub> O	+0.21	x	+0.47	x	+0.66	x
K <sub>2</sub> O	+0.37	x	-0.05	x	-0.84	x
MgO	-0.52	x	+0.43	x	+0.45	x
CaO	+0.49	x	-0.16	x	+0.77	x
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	+0.38	x	-0.77	x	+0.72	x
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	+0.13	x	+0.25	x	-0.67	x
SiO <sub>2</sub>	-0.20	x	+0.33	x	-0.77	x
C	+0.40	x	-0.57	x	+0.91	x
N	+0.37	x	-0.57	x	+0.92	x

### 3.4 コア分析結果(溶出イオン濃度)

埋立物試料を固液比1:3で6時間振とうすることにより溶出液を作成した。溶出された主要成分の濃度と比抵抗の関係を図5,相関係数と有意性検定(危険率5%)の結果を表3に示した。

多くの成分に共通して地点Bでは比抵抗と溶出成分の関係は右上がりの傾向にあり,比抵抗が減少すると濃度は増加している。逆に,地点A, Cでは多くの成分において右下がりの傾向にある。

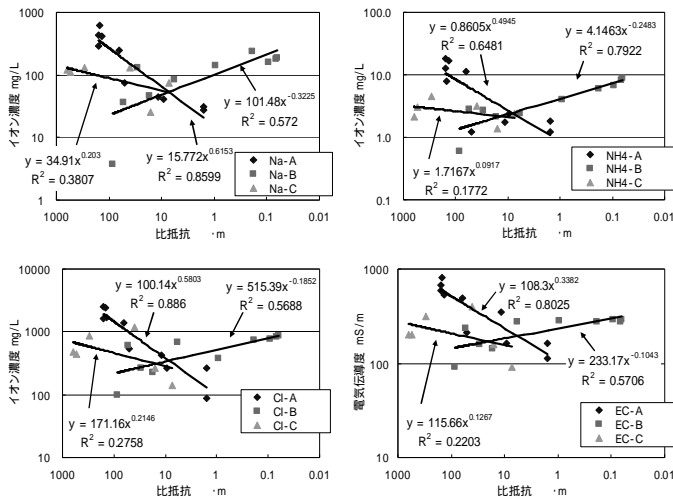


図5 比抵抗と溶出濃度の比較

表3 比抵抗と溶出イオン濃度の相関一覧

	A		B		C	
	相関係数 R	有意性検定 (危険率5%)	相関係数 R	有意性検定 (危険率5%)	相関係数 R	有意性検定 (危険率5%)
EC	+0.90		-0.76		+0.47	×
Na	+0.93		-0.76		+0.62	×
K	+0.81		-0.75		-0.19	×
NH4	+0.81		-0.89		+0.42	×
Mg	+0.71		-0.91		+0.68	×
Ca	+0.85		-0.28	×	+0.58	×
Cl	+0.94		-0.75		+0.53	×
SO4	+0.02	×	+0.67		-0.72	×
TOC	+0.78		-0.73		+0.55	×
TN	+0.74		-0.64		+0.71	×

### 3.5 観側井による水質調査

ボーリング掘削の後に地点A,Bには水質調査のための観側井を設置した。各井戸の設計は表4のとおりである。

表4 GLからの深度 m

	地点 A	地点 B
ストレーナー上端	7.80	8.00
ストレーナー下端	9.40	9.20
井戸底	9.50	9.30

ボーリングから約一ヶ月が経過し水質が安定した時点で採水を行った。地点Bは水位GL-9.12m, 電気伝導度 1200mS/mであった。水位は低いものの地点Bには継続して保有水が存在していることがわかる。なお,同じ時期の原水の電気伝導度は340mS/mである。地点Bの保有水のイオン濃度は原水に比べて明らかに高濃度であり,埋立地の中で相対的に洗い出しの遅れている部分であると推測できる。電気探査の結果も周

囲に比べ相対的に低比抵抗を示しており矛盾しない。一方で,地点Aには保有水面は確認できなかった。

## 4 考察

### 4.1 地点ごとの相関傾向の違いについて

地点A,Cにおいては比抵抗とイオン濃度は正の相関傾向にある。一般的には,高濃度の電解質が存在する部分ほど低比抵抗を示し負の相関傾向にあると考えられるが,地点Aでは正の相関傾向にあり,比抵抗を決定する因子のうちイオン濃度以外の寄与が大きかったものと考えられる。

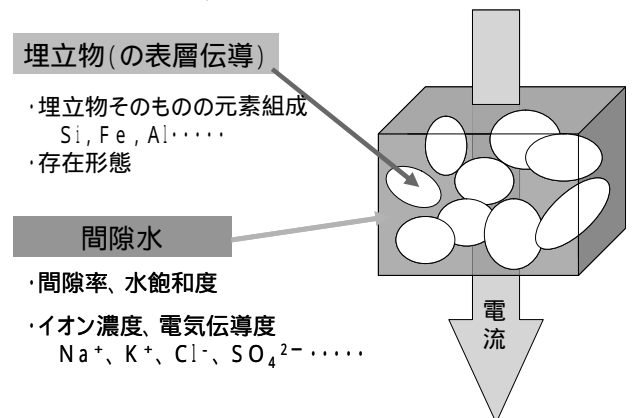


図6 地盤の電気伝導度に関するモデル

図6のように岩石と間隙水からなる地盤のモデルを考えた場合,地盤の電気伝導度 は岩石の電気伝導度を  $c$ , 間隙水の電気伝導度を  $w$ , 間隙率を  $F$  として次式のように決定すると考えることができる<sup>6)7)</sup>。間隙水の寄与程度は間隙率や水飽和率に影響されることになる。

$$= \frac{w}{F} + c \quad (F: \text{地層比抵抗係数})$$

$$F = \frac{a}{m} \quad (\text{砂岩}: a=0.5 \sim 2.5, m=1.3 \sim 2.5)$$

地点Bや,地点Bと同様に負の相関傾向を示した2007年の調査<sup>1)</sup>では観側井に保有水面が確認できたが,一方で地点Aの観側井には保有水面が見られなかった。つまり,地点Aが高比抵抗を示した原因のひとつとして,地点Aの周囲は水飽和率が低かった可能性が考えられる。今回の調査では含有元素量と比抵抗に明確な関連性は確認されていないことから,水飽和率や間隙率といった水の存在量の違いが比抵抗に大きな影響を及ぼしていた可能性が高い。

一般的に、水の供給が少ない部分は洗い出しが遅く、多くの塩類が残され保有水の電気伝導度は高くなると考えられるが、保有水の存在量が少ないことの寄与が大きいのであれば相対的に高比抵抗を示すこともありうる。このような場合は、高比抵抗ゾーンであっても高濃度の電解質が残存している可能性を否定できない。

#### 4・2 電磁探査が高い応答を示した原因について

電磁探査を実施した調査エリアのなかに特徴的に高い電磁探査 EC(3000mS/m 以上)を示す部分があった。この値は電気探査の結果や浸出水の電気伝導度に比べて極端に高く、電磁探査の測定結果は何らかの影響を受けていた可能性がある。

この高 EC 部分中央の C 地点から採取した試料には深度 1m 付近に大きな金属片(Fe,Al: ~10cm)が含まれていた。また、近傍の A 地点では深度 3m 付近に金属類が多い部分が見られる。(表 1 参照)

本研究室で過去に行った実験において、深度の浅い物質ほど測定値に強く寄与し、金属類の寄与は比較的大きいことが確認されている<sup>8)</sup>。今回の測定結果も浅い部分の金属類に強く影響され高い電気伝導度を示していた可能性がある。電磁探査法でこのような結果が得られた場合の測定結果の解釈にあたっては、出来る限り表層付近の簡易ボーリングを行うなどして、慎重な判断を行うことが望ましいと思われる。

#### 5 まとめ

- ・ 最終処分場埋立地において比抵抗と埋立物の調査を行ったところ、比抵抗と埋立物の溶出液のイオン濃度が負の相関を示す地点、逆に正の相関を示す地点があった。負の相関を示した地点では観側井設置後に保有水面が確認できたが、正の相関を示した地点には水面が見られなかった。埋立地の水飽和率の違いが比抵抗に影響していると推測された。
- ・ 電磁探査において強い測定値を示した地点のコアの目視分類では、相対的に金属類が多く見られ、特に浅い深度の金属量が多かった。

比抵抗探査は簡便に埋め立て地調査が可能であり、今現在、埋立地からどの程度のイオン溶出量(濃度×水量)があるかを推測する手段としては有意義である<sup>2)</sup>。浸出水の安定化の裏づけとしては有意義な手段であると考えられる。しかし、局所の埋立地の安定化(洗い出し)を推測する目的にはやや情報不足である。得られる比抵抗データは間隙率、水飽和率、イオン濃度、埋立物種の寄与の合計値として決定されたものであり、それぞれを個別に把握することはできない。

埋立物の洗い出し程度を推測するには間隙水のイオン濃度の情報が必要であり、そのためには埋立地内の保有水の量的分布を別の手段で正確に把握する必要があるが、簡易調査では一般的に困難である。保有水の分布や地温、廃棄物組成について別途調査した上で比抵抗の解釈を正確に行わなければ不正確な判断を下す可能性があるが、多種の追加調査を行うことは簡易スクリーニングの利便性を失うと考えられる。

一時期の比抵抗データのみからでは埋立物の状態把握を正確に行うことは難しい。しかし、比抵抗を継続的に追跡して浸出水の濃度変化と比較することにより、埋立地の洗い出しが順調に進行しているのか、閉塞された懸念部分が存在するのかを推測する材料としては役立てることができると思われる。比抵抗探査の結果解釈は今後も検討を重ねてゆく必要があるが、これを洗い出し進行を追跡するツールとして活用することに加え、懸念部分には詳細な個別調査を実施することで、効率的な安定化モニタリング体制を構築するための材料のひとつとなりうると思われる。

## 参考文献

- 1) 栗原正憲, 大石修: 埋立物と比抵抗の比較調査事例, 千葉県環境研究センター年報, 第7号, 92-93(2007)
- 2) 栗原正憲, 大石修, 佐藤賢司: 電気, 電磁探査による最終処分場モニタリングの有効性検討, 第19回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 753-755(2008)
- 3) 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), 203-210(2005)
- 4) 栗原正憲: 観側井に関する降水量の影響調査, 千葉県環境研究センター年報, 第4号, 94-95(2004)
- 5) 栗原正憲, 大石修: 最終処分場浸出水の成分濃度の時系列変化と降水量との関係, 第18回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 707-709(2007)
- 6) 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, 127-132(2003)
- 7) 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), 416-424(2006)
- 8) 大石修, 佐藤賢司: 廃棄物層調査における電磁探査法の適用事例(2) - 埋設試験結果報告 -, 千葉県環境研究センター年報, 第7号, 96-97(2007)

## Comparison investigation of landfill and resistivity

Masanori KURIHARA, Osamu OHISHI

最終処分場の安定化度判断は, 埋立地を代表するデータとして浸出水(原水)のモニタリングにより行われている。しかし, 埋立地の内部は廃棄物種や水浸透が不均一であり安定化の進行に差が生じることが予想されるため, 内部をモニタリングし埋立物の性状を確認することが望ましい。

これまでの調査では, 原水や観側井から採取した浸出水の電気伝導度と比抵抗探査により計測した比抵抗値の関連性が複数の一般廃棄物最終処分場において確認されている。また, 鉱さいが多く埋め立てられた産業廃棄物埋立地において埋立物の溶出液の  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$  濃度と弱い負の相関が確認されていた。

今回, 一般廃棄物最終処分場において同様の比較調査を行ったところ, 埋立物の溶出液のイオン濃度と比抵抗が負の相関を示す地点, 逆に正の相関を示す地点があった。負の相関を示した地点では観側井戸設置後に保有水面が確認できたが, 正の相関を示した地点には水面が見られず埋立物中の水飽和率が低いと推測された。比抵抗は埋立地の水分量の影響を受けるため, 比抵抗値の解釈には慎重を要する。

キーワード : 最終処分場, 安定化, 比抵抗, 電気探査, 電磁探査