

## 埋立が終了した廃棄物最終処分場における電気探査の適用事例

Practical study of electrical resistivity survey in a closed sanitary landfill.

室蘭工業大学大学院 ○学生員 竹田好晴 (Yoshiharu Takeda)  
 室蘭工業大学 正員 吉田英樹 (Hideki Yoshida)  
 室蘭工業大学 正員 河内邦夫 (Kunio Kawauchi)

## 1. はじめに

現在まで埋立が終了した廃棄物最終処分場において、処分場への雨や周辺地下水の流入を防ぐ機能や廃棄物層内に浸透した水を処分場外に排水する集排水設備がない、あるいは十分機能していない場合があり、内部での水の滞留により嫌気性となり、水質が悪化したり、メタンガスを始めとした埋立ガスが顕著に発生するために、処分場周辺への環境汚染が懸念される。このような環境汚染の防止措置を講じる場合、処分場の内部状況、例えば廃棄物層の深さや水位などの基本的な情報が必要となる。ボーリング掘削は最も一般的な方法であるが、コストの制約から限られた数のボーリング掘削のみで広大な処分場内における内部状況を推定する事は困難である。また、内部状況を適切に把握するためのボーリング掘削位置を事前に選定をすることも必要である。そこで、非破壊でボーリング掘削と比べ安価でできる電気探査が有効であると思われる。

これまで処分場において電気探査を行った事例はあるが<sup>1,2)</sup>、まだ適応事例は少ないことに加え、手法も様々であるため、十分な知見が得られていない。そこで、処分場への雨や周辺地下水の流入を防ぐ機能がなく、廃棄物層内に浸透した水を処分場外に排水する集排水設備が十分機能していない、埋立が終了した廃棄物処分場の現場において、処分場全体にわたる電気探査を行い、ガス抜き管設置におけるボーリング掘削記録を参照するとともに、ガス抜き管内の水位測定を行い、電気探査によって内部水位及び廃棄物層底部直下の地盤（以下、元地盤）の深さを推定することを試み、検討した結果を報告する。図-1に処分場概要を示した。

## 2. 比抵抗電気探査法（垂直探査）

地盤に電流を流し、地盤内部に形成される電位から比抵抗分布を解析する方法を比抵抗法という。地表面に設置した一対の電流電極と、これと離して設けられた別の

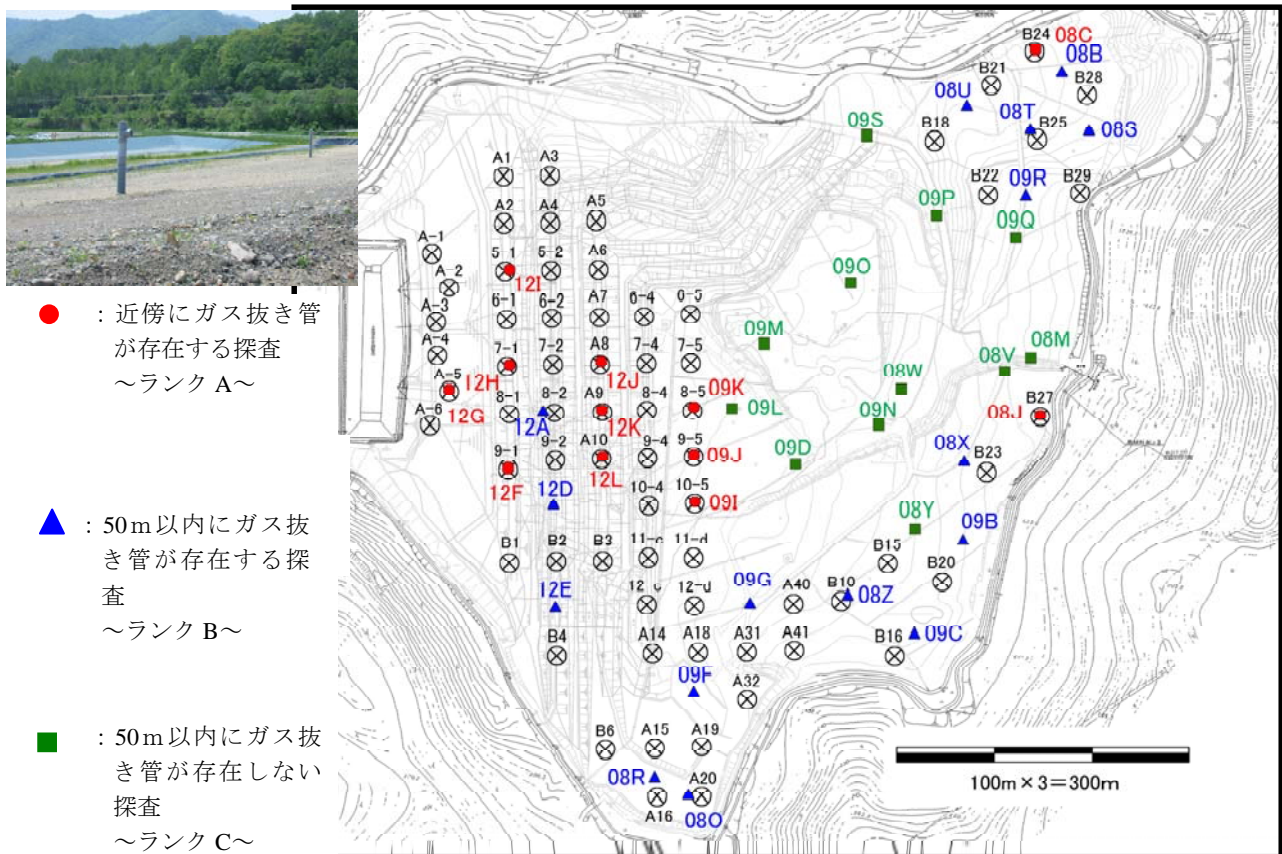


図-1 処分場概要とガス抜き管位置図

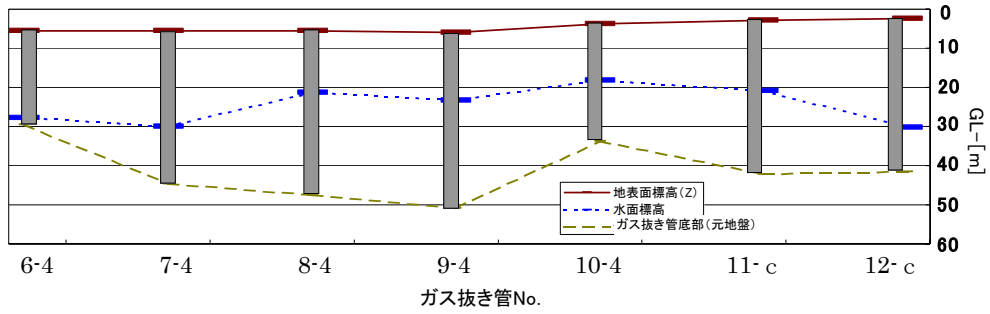


図-3 4番ライン断面図

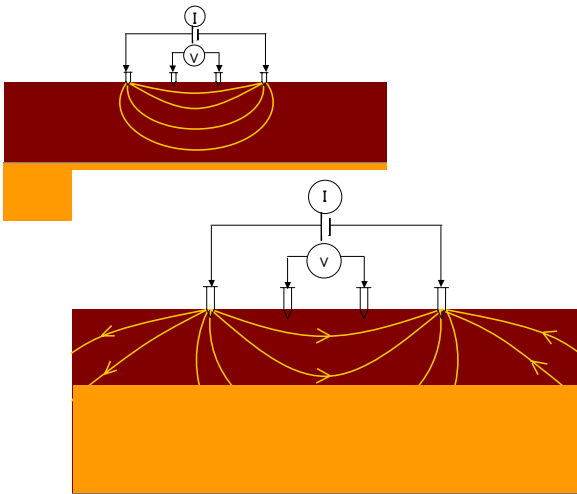


図-2 電気探査概要

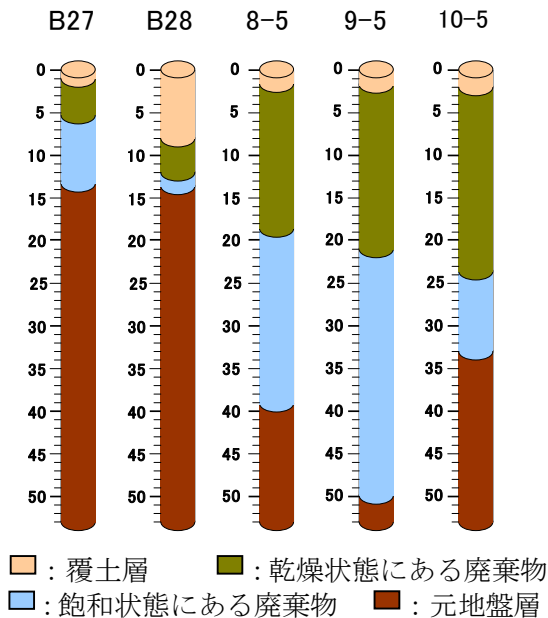


図-4 ボーリング記録と水位測定

一対の電位電極を用いて測定を行う。(図-2 参照)  
地盤の比抵抗は、鉱物の種類、鉱物粒子間の空隙を満

たす水の水分量やイオン濃度、あるいは温度などによって異なるため、比抵抗分布から地盤構造を推定する事ができる。流した電流  $I$  と測定される電位差  $V$  から大地の比抵抗  $\rho$  を求める。

$$\rho = K \cdot V / I \quad (1)$$

で計算される。Kは電極配置係数で(今回は Wenner 配置と呼ばれる方法を用いた)  $K=2\pi a$  となる。a: 電極間隔 [m]

電位電極と電位電極の間隔(電極間隔 a)が小さければ比抵抗値は浅い部分の構造を反映し、大きければ深部の構造も含む値を計測する。したがって、電極間隔を種々変化させ、一連の測定を行うことで、地盤内の一次的な比抵抗値の分布を知ることができる。

### 3. 調査対象埋立地概要

調査地は北海道内の山間部に位置している一般廃棄物最終処分場で、埋立期間 24 年を経て、平成 15 年に埋立が終了した。廃棄物層下の元地盤は遮水シートがなく、建設当初は浸出水集排水設備が配置されていたが、現在は十分に機能していない状態にあり、処分場周辺より流入した水がうまく排出されずに、内部に大量に水が滞留していることが推測される。

処分場には、平成 17 年度から開始された新設ガス抜き管設置工事によって現在 68 本のガス抜き管が存在している。ガス抜き管の位置は図-1 に示した。ガス抜き管設置に伴うボーリングは、掘削した内容物とボーリングロットの摩擦抵抗より元地盤に達したと判断された時点まで掘削している。本研究ではガス抜き管底部が埋立以前の元地盤廃棄物層との境界面であるとした。これらのガス抜き管を使用して水位測定に加えて、水質・ガス成分・温度などの各種調査が行われている。

### 4. ボーリング掘削記録と水位測定結果

代表的な事例として、図-3 にガス抜き管内 6-4 から 12-c までの内部水位及び基盤までの深さを示した。各ガス抜き管の水平方向の間隔は 50m である。処分場は山間にあるため、基盤の位置は水平方向に大きく変化し、また水位も水平方向に一定ではない。

次に図-4 にボーリング掘削結果による詳細な地盤構成図を示した。構成は、地表面(以下、GL)近くの覆土層、水位測定結果より得られた内部水面より上部を乾燥状態にある廃棄物層、内部水面よりガス抜き管底部ま

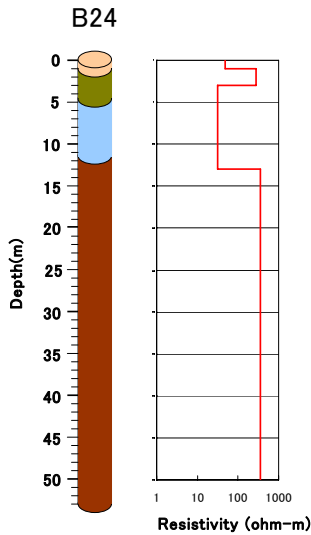


図-5 電探結果と水位測定結果

表-1 実測データと推定データ一覧

場所	ランク	対応ガス管	内部水位[m]			元地盤深さ[m]		
			実測	推定	誤差	実測	推定	誤差
08B	B		8	7	-1	14	20	6
08C	A	B24	5	3	-2	12	13	1
08J	A	B27	5	4	-1	15	14	-1
08M	C		5	3	-2	15	15	0
08O	B		4	6	2	9	12	3
08R	B		3	6	3	13	18	5
08S	B		7	7	0	9	7	-2
08T	B		5	3	-2	6	21	15
08U	B		6	4	-2	8	9	1
08V	C		7	5	-2	15	22	7
08W	C		5	8	3	23	35	12
08X	B		8	5	-3	15	15	0
08Y	C		12	5	-7	24	32	8
08Z	B		19	10	-9	26	24	-2
09B	B		9	14	5	17	19	2
09C	B		11	2	-9	19	22	3
09D	C		8	10	2	33	29	-4
09F	B		19	9	-10	23	24	1
09G	B		19	18	-1	19	-	-
09I	A	10-5	24	21	-3	33	34	1
09J	A	9-5	21	14	-7	50	50	0
09K	A	8-5	19	12	-7	39	43	4
09L	C		15	16	1	35	30	-5
09M	C		15	15	0	20	26	6
09N	C		5	4	-1	23	33	10
09O	C		11	8	-3	21	31	10
09P	C		7	9	2	22	31	9
09Q	C		5	7	2	15	28	13
09R	B		5	5	0	15	19	4
09S	C		8	9	1	18	27	9
12A	B		16	12	-4	28	26	-2
12D	B		16	7	-9	28	27	-1
12E	B		8	2	-6	18	18	0
12F	A	9-1	10	10	0	18	26	8
12G	A	A-5	9	12	3	20	30	10
12H	A	7-1	16	10	-6	22	21	-1
12I	A	5-1	12	8	-4	22	31	9
12J	A	A8	20	13	-7	37	35	-2
12K	A	A9	26	20	-6	37	35	-2
12L	A	A10	13	13	1	42	41	-1

※ランクとは探査地点とガス抜き管の場所が0m(A)、50m以内(B)、50m以上(C)と定義したもの

でを飽和状態にある廃棄物層、そして元地盤層と分類した。

処分場全体で計算すると、覆土層が 2m、平均内部水位

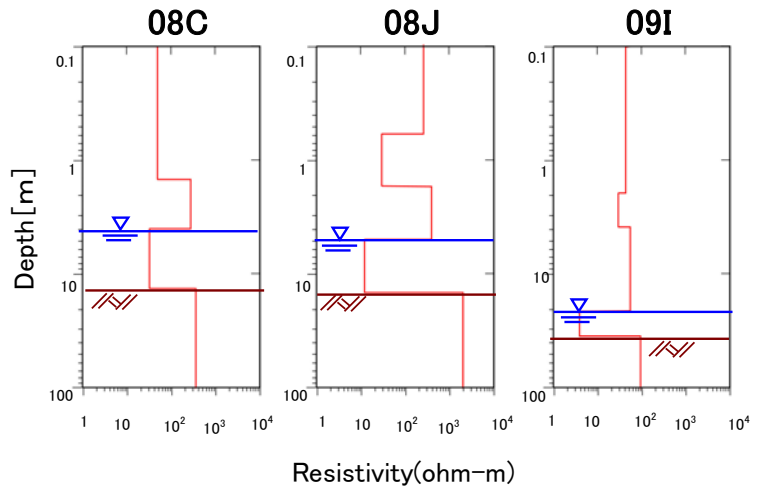


図-6 比抵抗分布図

は GL-14.1m、元地盤深さは約 24m となった。乾燥状態にある廃棄物層の厚さは約 12m に対して、飽和状態にある廃棄物層の厚さは約 10m に達し、8 割以上の廃棄物層に水が滞留し、空気の侵入が困難な嫌気性雰囲気になっていると推測される。融雪時期には大量の水が地表から侵入するため、さらにこの割合は増えると思われる。

また、図-4 に示した処分場境界線近くのガス抜き管 (B27、B28) においては元地盤までの深度が 10m 程度、滞留している地下水の水深は 5m であるが、処分場の中心部に近いガス抜き管 (8-5、9-5、10-5) になると元地盤までの深度が 30~50m、水深は場所により 30m にも達しており、大量の水の滞留が見られる。

## 5. 比抵抗電気探査

### 5.1 概要

電極配置は Wenner 配置とし、探査深度は 40~70m とし、探査位置は水位測定が可能なガス抜き管の近傍を含む処分場全域にわたって全 40 点 (図-1 に探査地点を表記している) において電気探査を行った。

### 5.2 比抵抗電気探査の結果と考察

電気探査の結果と、水位測定結果を図-5 に示した。まず、ガス抜き管 B24 での結果を示した。図-4 に示した地盤構成図と、電気探査による比抵抗値の鉛直方向の変化 (横軸に比抵抗値 Resistivity、縦軸に GL からの深さ) を示した。探査において、電流が内部水面下の地盤を通ると、水は電気を通しやすいため、比抵抗値は小さくなる。一方、元地盤内を電流が通ると、岩石のような地層は電気を通しにくいいため、比抵抗値は大きくなる。

ただし、比抵抗値は地盤内の各深さのみの局所的な数値ではなく、地表面からその深さまでの総合的な比抵抗値を示している。したがって、比抵抗値そのものの大小でなく、深さ方向の比抵抗値の勾配の変化によって地盤内の構成状況の変化を推定する。例えば、B24 では 1m 付近の変化が覆土層から乾燥した廃棄物層への変化、3m 付近の変化が乾燥した廃棄物層から水で飽和した廃棄物層への変化、そして 13m 付近の変化が廃棄物層から元地盤への変化を示しているものと推定している。

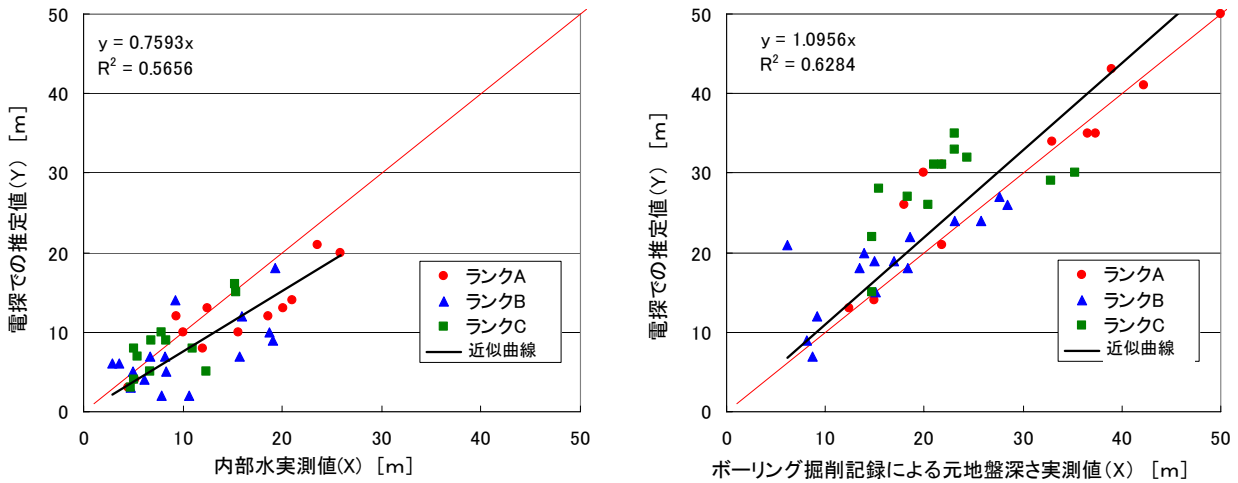


図-7 電気探査による推定値と実測値比較

同様に、図-6に08J,09I,12Fの3点の比抵抗分布図を併せて示したが、それぞれ内部水面位置及び元地盤深さを図のように推定した。図のように比抵抗値の変化が複数見られたが、前節で述べたように平均的な覆土層厚さが2m程度、内部水面深さが14m程度、元地盤深さが約24mであることを考慮して、内部水面位置及び元地盤深さを推定した。

ここまで述べたような方法で比抵抗値の上昇・下降より内部水面及び元地盤の深さを推定し、ガス抜き管内での実測値との比較を行った結果の一覧を表-1に示した。今回の探査では、ガス抜き管近傍で行った探査をランクA、ガス抜き管50m以内で行った探査をランクB、周辺50m以内でガス抜き管が内場合（水位測定値がない場合）にはランクCと分類した。また、近傍にガス抜き管がない探査（ランクB、C）の場合には、周辺のガス抜き管の内部水面及び元地盤深さの実測値の分布より推定した値を比較対象とした。

推定結果の評価のため、横軸に実測値、縦軸に推定値を取ったものを図-7に示した。内部水位については、ばらつきはあるが、ランクAのデータについて、実測値と推定値の完全な一致を示す直線（細線）に比べてやや右の領域にある、つまり内部水位の深さの実測値に対して推定値がやや浅い値を示していることがわかる。一般に廃棄物層内の水分は一樣に分布せず、宙水と呼ばれるような局所的な水塊を形成することがあると推測される。また、毛細管現象によって水面から上部に水分が引っ張られることも考えられる。このため、内部水面より上部にも多量の水分を保持している可能性もあり、推定値が実測値よりも小さい傾向になったと思われる。水面データを用いて最小二乗法で原点を通る直線で近似したところ、図に示したような太線のようになった。相関係数 $R^2$ は0.57となり、データ数が41個であるので、5%の有意水準で有意な相関があることがわかった。

一方、元地盤深さについては、実測値と推定値の一致する傾向が強く、最小二乗法で原点を通る直線で近似したところ、傾きは1.1とほぼ1に近く、相関係数 $R^2$ は0.63となり相関が良いことがわかる。

さらに、これらの実測値と推定値の一致の度合いにつ

いて、推定値の標準誤差 $\sigma$ を以下の式で求めた。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_i (y_i - \alpha x_i)^2}$$

ここで、 $x_i$ は実測値、 $y_i$ は推定値、 $N$ はデータ個数、 $\alpha$ は近似曲線の傾きである。

この結果、内部水位については $\sigma=3.4\text{m}$ 、元地盤については $\sigma=6.0\text{m}$ となった。この結果より、廃棄物層内の不均質性を考慮すれば十分な精度を持っていると思われる。廃棄物処分場において内部水面及び元地盤深さを電気探査によって推定することは可能であることがわかった。

## 6. まとめ

今回行った電気探査の結果から、本処分場においては、比抵抗分布より埋立地の内部状況を推定することは可能であると考えられる。

今後の課題として、他の電気探査を同じ場所で行って、今回の手法との推定精度の比較を行い、最も適切な電気探査としてどの方法を選べばよいかを検討する必要がある。また、ボーリング掘削の事前調査手法として電気探査を位置づけた場合、どのくらいの頻度（処分場面積あたりの本数）でボーリング掘削を行えばよいかを考えるにあたり、電気探査で得られた結果をどのように使っていくかという点についても検討する必要がある。

## 7. 引用・参考文献

- 1) 香村一夫、山崎康広：廃棄物層の安定化問題に関わる場の把握の重要性、廃棄物学会論文誌、Vol. 15, No.1, pp11-18, 2004
- 2) 石井一英、古市徹、今井紀和、和田卓也：廃棄物起因の土壌・地下汚染現場への数値シミュレーションと比抵抗法の適用、廃棄物学会論文誌、Vol. 13, No.5, pp279-288, 2002
- 3) 物理探査学会：図解 物理探査