

漏洩電流評価法による貯水池漏水調査例

応用地質（株） ○岡田 聡

はじめに

宅地造成計画の一環として設けられた貯水池（農業用ため池）で漏水が発生し、この対策について相談を受けた。そのため、漏水箇所を検出することを目的に、新しい電気探査手法である”漏洩電流評価法”による調査を提案し実施した。この結果、漏水を指摘した箇所において遮水シートの破損が確認され、修復により漏水を止めることができた。

この漏洩電流評価法は、管理型廃棄物処理場の漏水を探査する手法として開発が進められてきたもので、数値実験や土槽でのモデル実験の結果から漏水地点の検出能力が極めて高いことが確認された。

本稿では、これらの計画・調査・確認の結果を紹介し、漏水箇所の予測と実際の状況について報告する。

1. 調査経緯

新設された貯水池に試験湛水したところ、1日当たり約2cmの漏水と考えられる水位低下が生じた。そのため、漏水箇所を検出し、補修する必要があった。

この貯水池の構造は、図-1に示すように整地した盛土地盤に合成ゴム製の遮水シートを敷設し、その上位をコンクリートで覆工したものである。貯水池の面積は約4200㎡であり、水深は約2mである。

漏水の原因は、コンクリートの目地等から浸透した水が、遮水シートの損傷部から場外に流出しているものと考えられたため、調査目的を遮水シートの損傷部の検出に絞り、それに対して最も効果的な調査手法の検討をおこなった。

そこで、遮水シートの損傷箇所をコンクリートの上面より、非破壊的にかつ高精度で検出することのできる漏洩電流評価法を提案し、実施することとなった。

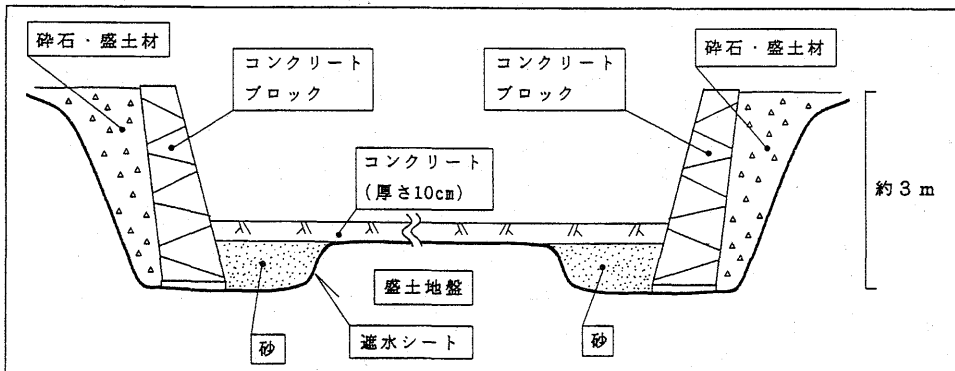


図-1 貯水池の構造模式図

2. 漏洩電流評価法の原理

遮水シートには、通常、合成ゴムやポリエチレン等が使われるが、これらの材質は非常に高比抵抗であり、電流を通し難い。一方、地下水や地表水は様々なイオンを含むため、100Ωm程度の比抵抗であり、電流は比較的よく流れる。このため、遮水シートが損傷を受けると、損傷部分が周辺に比べて極端に電流を通しや

すくなる。従って、図-2に示すように、貯水池の内部と外部に電流源を設け、シートを挟んで通電してやれば、電流の大部分はシートの損傷部分を通して流れると考えられる。漏洩電流評価法は、遮水シートから漏洩する電流の強度を面的に把握することにより、シートの損傷箇所を探る手法である。

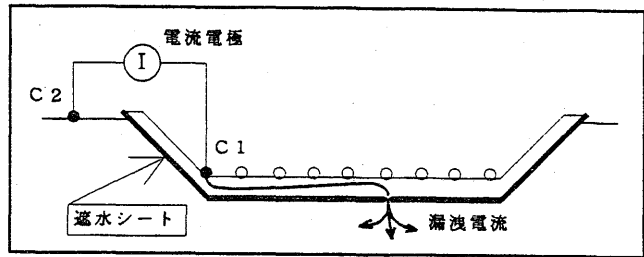


図-2 漏洩電流評価法の原理

3. 測定方法

測定は図-3に示すように、貯水池の内部（池の底）に電流源を設け、外部に設置した電極との間で一定量の電流を流す。貯水池内部には格子状に電極を配置し、電流が作りだした電位分布を面的に測定する。原理的には、一つの電流源が作り出す電位分布を用いても、損傷の検出は可能であるが、今回の測定では精度を向上させるために、2箇所の電流源について電位分布を測定した。

次に格子状に配置した電極の全てのグリッドについて比抵抗の測定を行う。1つのグリッドの4すみの電極のうち2つに電流を流し、残りの2つの電極の間に発生した電位差からグリッド内部の比抵抗を求める。この比抵抗測定方法は、4極法スクエア配置と呼ばれる方法で、グリッド内の比抵抗を簡便に、しかも精度良く求めることができる。これらにより測定された電位分布と比抵抗分布から、漏洩電流の分布を解析する。

今回の測定は、測定精度と作業性の両面を考慮し、格子点間隔5m、延べ201点の測点を配置し測定をおこなった。測定は、McOHM 2 1およびジオエレクトリックノードの電気探査システムを用い、自動測定によりおこなった。このシステムは、前もって作成した測定パターンに従って最大750電極までを自動的に切り換えて測定を行う機能を持っており、漏洩電流評価法のように複雑な電極パターンで測定する場合に適している。

また、電極の設置は、通常、電極棒を地盤に打設して行なうが、今回は10cm四方の鉄板を、電気抵抗の低いペースト状のベントナイトで貯水池底面に密着させておこなった。

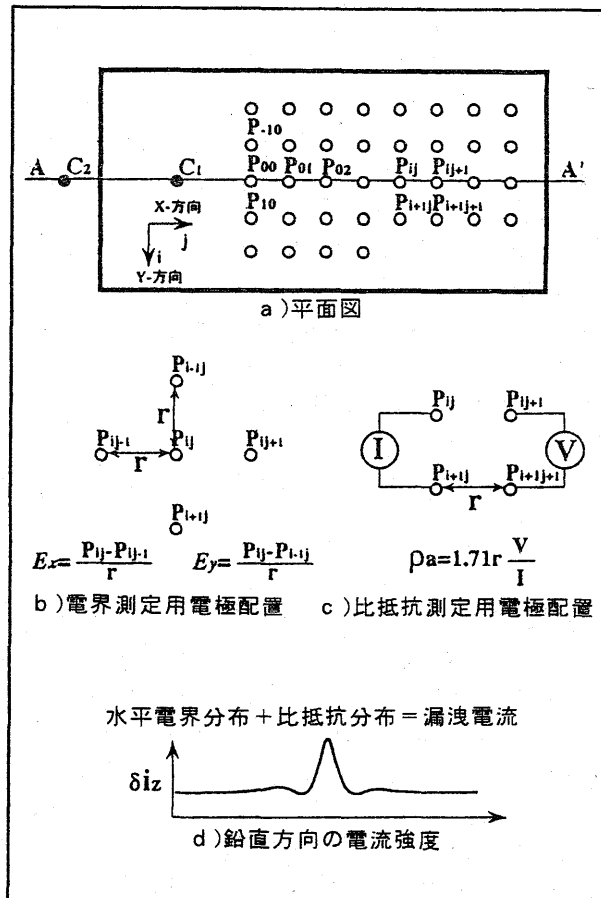


図-3 漏洩電流評価法の測定概念図

4. 解析方法

貯水池内部に設けた電流源から流れ出した電流は、シートの損傷箇所から外部へ漏洩し、貯水池内部に電界を作る。電界によって発生する電位は、電流源からの距離に反比例してしだいに減衰していく一次電位と、シートが損傷を受けた部分や貯水池内部の比抵抗の変化に起因する二次電位との和になっている。

従って、測定された電位分布は、損傷箇所の影響のみでなく、一次電位の影響や、貯水池内部の比抵抗分布の影響を受ける。しかし、電位分布と比抵抗分布から、遮水シートに対して垂直方向の電流強度を解析することができ、この電流は遮水シートの損傷箇所でのみ大きな値を示す。従って、一次電位および比抵抗分布の影響も受けず、シートの損傷位置の影響のみ検出することができる。

電流強度は、シート面内での電流密度の発散を計算すれば見積もることができる。オームの法則から、電流密度 j と電界強度 E 、導電率 σ (比抵抗 ρ の逆数) の間に、

$$j = \sigma E \quad (1)$$

という関係がある。両辺の発散を取ると、

$$\text{div } j = \text{grad } \sigma \cdot E + \sigma \cdot \text{div } E \quad (2)$$

となり、電界分布と比抵抗分布から電流強度を計算できる。(2)式の右辺第一項は比抵抗の変化によって生じる電流密度を表わし、第二項は電位の変化による電流密度を表わす。

よって、図-4の(d)、(e)、(f)に示すように比抵抗変化による電流密度と電界の変化による電流密度とを加えることにより、比抵抗の変化の影響による電流密度が相殺されるかたちとなり、シートの破損による電流密度の変化のみとらえることができる。

これらのことから漏洩電流評価法は、比抵抗の不均質さの影響も考慮した手法であることがわかる。

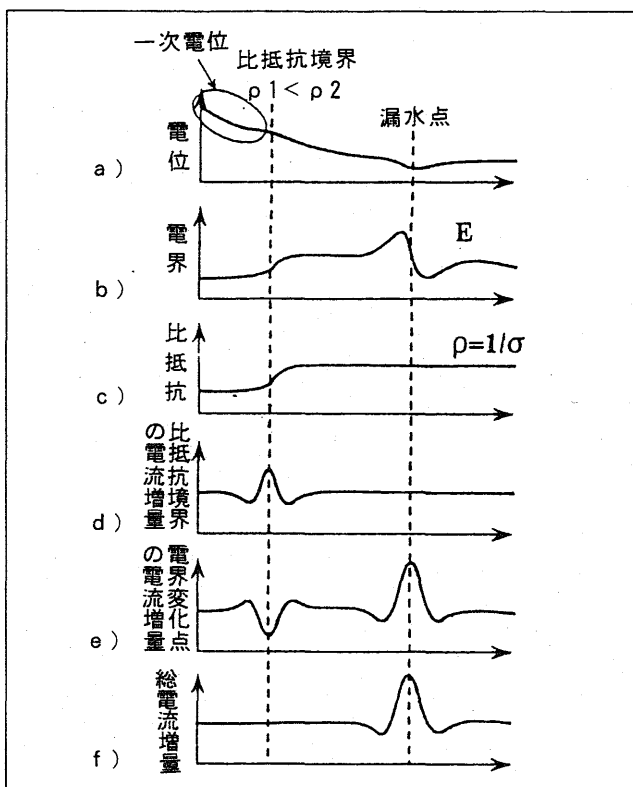


図-4 漏洩電流評価法の解析原理

5. 測定結果

比抵抗分布図を図-5に示す。比抵抗測定の結果、貯水池底面の比抵抗は約500Ωmから2500Ωmであり、5倍程度の開きがあった。また、特徴として低比抵抗ゾーンは底面の片隅部に集中し、中心部は一様に高比抵抗ゾーンである。即ち、電流は貯水池の壁面付近に沿って流れ易くなっている。

漏洩電流強度分布図を図-6に示す。

漏洩電流評価法は、防水シートを挟んで、内部と外部が絶縁されている場合に最も効果を発揮するが、今回の測定では、取水口から貯水池外部に電流が逃げるという状況であり、漏水部分を流れる電流があまり大きくなかった。このため、現れた異常の絶対値は予想よりも小さなものであったが、図-6に①~④で示した4つの異常ゾーンを捉えることができた。

①の異常と、②の異常は測定時に非常に大きな電位の反転が見られた。これは、この箇所には強い二次電位が発生していることを意味する。従ってこの2つの異常は、かなり大きなシートの損傷によるものであると

考えられる。①と②の異常は、負の異常によって2つに分かれている。この負の異常は電流源の影響である。かなり大きな異常が、負の異常によって分断されているところから見ると、①と②は繋がっている可能性もある。

③の異常は、A軸5m、B軸5mの位置に現れる大きな異常から、A軸25m B軸0m付近まで、やや弱い異常が繋がる形状を示す。A軸5m、B軸5mにはコンクリートの取水口があり、これが外部と電気的につながっているために現れる異常であろうと思われる。A軸25m、B軸0m付近まで続く弱い異常は、測定中に電位波形の反転が確認できており、外部と繋がっている部分がないため、シートの損傷を反映したものであると考えられる。

④の異常もまた、外部と電気的に繋がっていないにも拘らず正の異常が現れており、シートの損傷を示すものであると考えられる。

これらの異常箇所の特徴としては、どの異常箇所もコンクリートブロック製の壁面沿いに表われていることである。これは遮水シートを敷設後、壁面施工中にシートが損傷したと推定される。

この結果に基づき、図-7に斜線で示した箇所で漏水が起こっている可能性が高いと指摘し、同地点において開削による確認作業がおこなわれた。

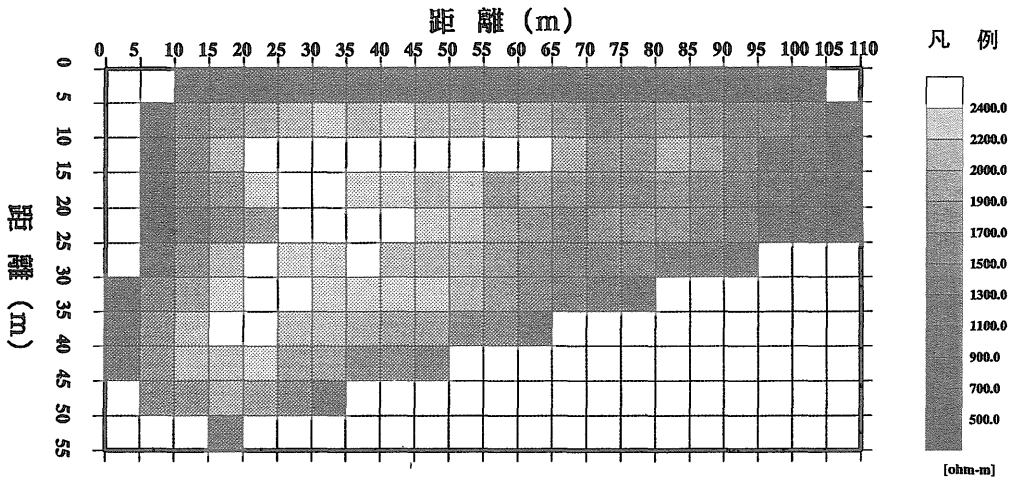


図-5 調査地の比抵抗分布図

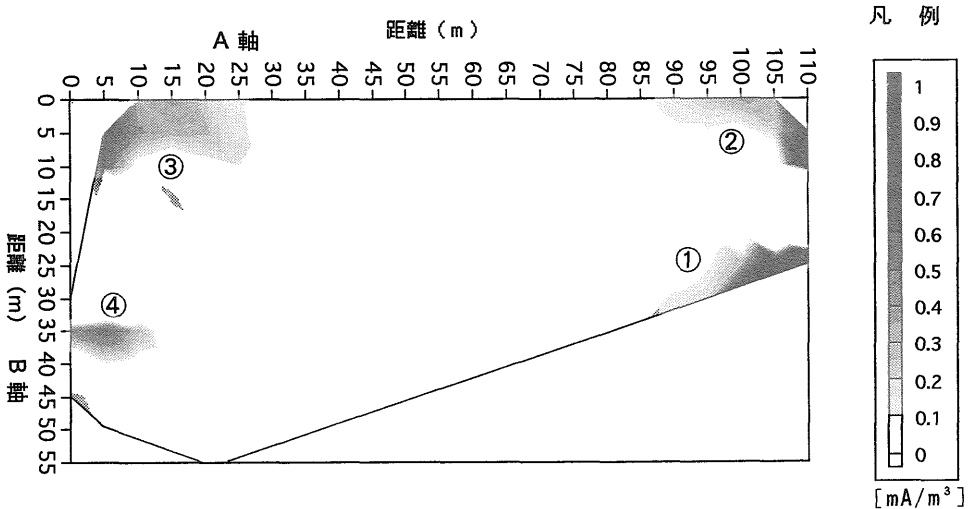


図-6 漏洩電流強度分布図

6. 開削による漏水箇所の確認

測定の結果をもとに、開削による遮水シートの損傷状況の確認をおこなった。その結果、指摘した範囲内の11箇所において、シートの損傷が確認された。図-7にシートの損傷箇所を●で示した。

これらのうち⑪の箇所については、開削作中にシートが損傷を受けた可能性もあり、漏水箇所であったかどうか判別できなかった。しかし、その他の箇所については、シートの裂傷やつなぎ目の接着不良がみられ、明らかに漏水箇所であると判断できるものであった。

また、▲で示した箇所においてはコンクリートブロックの目地から若干の湧水がみられた。これらは、ブロック壁背面の遮水シートが裂傷しているため、地下水が流入したことが考えられる。

以上のことから、調査の結果と検証の結果は良く対応しており、的確に漏水箇所の抽出をおこなうことができたと言えよう。

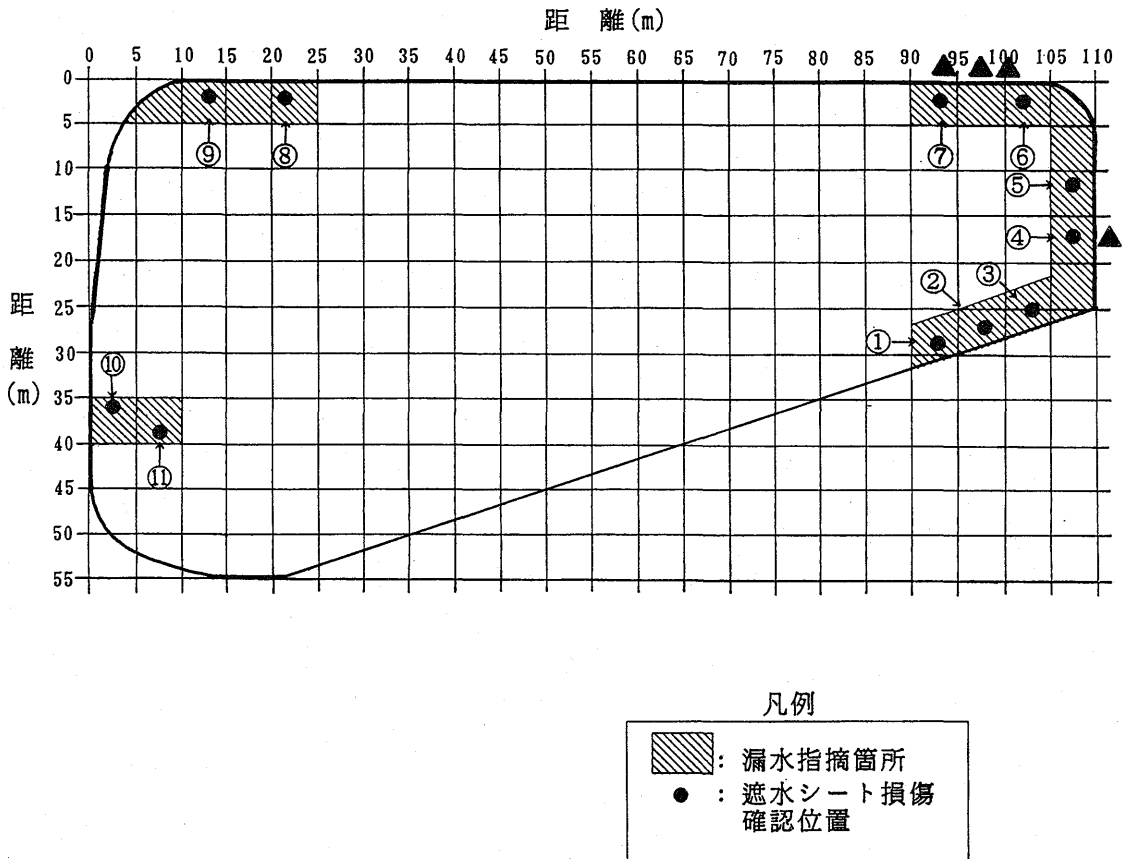


図-7 漏水指摘箇所および遮水シート損傷箇所平面図

7. おわりに

これら調査結果を報告し、確認をおこなった後、補修工事がおこなわれた。そして、その数週間後、漏水が止まったとの報告を受けた。

以上、新しい手法である漏洩電流評価法について、調査例と、その実用性を紹介したが、この調査を通じて、本手法を適用する際の留意点を以下に記す。

- ・貯水池での調査は、必ず取水口および排水口があるため、そこから電流が漏洩し、漏水点を通る電流が相対的に小さくなるため、精度の低下を招く。このような場合には、パワーブースターを用いて大電流を流すことが望ましい。
- ・また、作業の日程上可能であれば、内部の電流点を多く取ることが望ましい。特に面積の広い調査地に対して有効である。

また、今後の課題としては、以下のようなことが挙げられる。

1) 漏水地点の検出精度の向上。

例えば、ある調査対象について全体を測定・解析した後、異常を検出した箇所付近に電流点を設け、電極を密に配置することで、より検出精度を高めることができる。

2) 比抵抗分布から得られる情報の積極的利用。

現在は、どの部分で電流が流れ易いか等、定性的な情報しか利用していない。廃棄物処分場では、廃棄物に含まれるイオン濃度等との関連性に利用できる可能性がある。

[参考文献]

島 裕雅, 伊関伸一, 坂下 晋 (1993); 管理型廃棄物処分場における電気的漏水検出法の高精度化: 物理探査学会第88回学術講演会論文集, 211-216.

福岡晃一郎, 島 裕雅 (1994); 漏洩電流評価法による廃棄物処分場の漏水探査の高精度化 - 一重および二重遮水シート構造への適応性の検討 -

: 物理探査学会第90回学術講演会論文集, 345-349.