

(80) 比抵抗トモグラフィーによる
塩水トレーサーを用いた岩盤内水みち調査
Application of Resistivity Tomography for Flow Paths Investigation in a Rock Mass
Using Salt Water Tracer

戸井田 克*・升元 一彦*・日比谷 啓介*
Masaru TOIDA, Kazuhiko MASUMOTO and Keisuke HIBIYA

The recent accomplishment of various utilizations of underground space demands the advanced methods for investigating not only cracks or geological conditions, but also flow paths of ground water in a rock mass. In this context, a new technique, geotomography – seismic, electromagnetic and resistivity tomography – is being examined as a prospective technique for surveying hydrogeological conditions in a rock mass.

In this paper, resistivity tomography was applied to detect the infiltration of salt water at the tracer test in order to investigate flow paths in a rock mass, alternation of sandstone and mudstone. Comparing this results with the results of geophysical logging and seismic tomography at the same site, it was concluded that flow paths of ground water was interpreted as the decreasing area of resistivity because of the infiltration of salt water.

1. はじめに

近年の多様化した岩盤空洞利用に対し、建設対象となる岩盤の水利地質構造を把握することは重要な課題の一つである。特に、高レベル放射性廃棄物地層処分場建設時には、広域から局所的な領域にわたって正確な岩盤内の地下水挙動の把握が必要であり、これらのニーズに応える調査技術としてジオトモグラフィー技術の実用化が検討されている。比抵抗トモグラフィーは地下水に関する情報を得るのに有効な調査技術であり、筆者らは弾性波トモグラフィーと組み合わせることにより広い領域の岩盤内を対象とした含水状況評価が可能であることを確認している¹⁾。一方、比較的狭い領域の岩盤に対して詳細な水みちを把握する場合には、分解能の面で優れている電磁波トモグラフィーの方が有効であることも確認している²⁾。

今回、電磁波が透過しにくい砂岩泥岩互層の岩盤サイトにおいて詳細な水みちを把握することを目的として、比抵抗トモグラフィーにより塩水トレーサーを追跡する経時測定を実施した。この結果、比較的狭い領域の岩盤に対しても塩水トレーサーを利用した比抵抗トモグラフィー測定を行うことにより、岩盤内の水みちを把握できる見通しが得られたので以下に報告する。

2. 原位置調査の概要

2.1 調査サイトの概要

原位置調査は岩盤内の調査坑道底盤に掘削した3本のボーリング孔($\phi=86\text{mm}$)を利用して行った。ボー

* 正会員 鹿島技術研究所

リング孔配置は図-1に示すとおりで、No.1孔は孔長25mの鉛直孔、No.2孔は孔長35mの鉛直孔、No.3孔は孔長35mの75°傾斜孔で、No.2孔、No.3孔は同一平面内にある。調査サイトの地質は砂岩泥岩互層で、走向はほぼ東西方向で高角度で北に傾斜している。岩盤は全体的に堅硬であるが、地層の走向傾斜にほぼ平行なN78E75Nの節理系が調査坑道に直交してよく発達しており、比較的低位角節理系も見られる。今回の調査は図-2に示すA-A断面、B-B断面の2断面で行った。図-2には調査坑道で確認できる顕著な破砕部F-1～F-8の平面位置と2つの測定断面内での地質情報を示す。断面内での各破砕部の位置は走向傾斜とボーリングコア観察結果から推定して示している。また、3本のボーリング孔の孔口からはたえず湧水があり、この調査位置周辺の岩盤は飽和状態であることが確認できた。

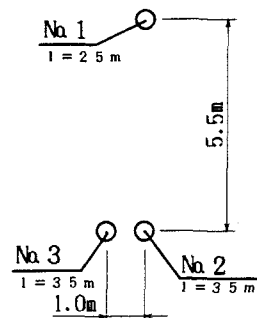


図-1 ボーリング孔配置図

2.2 測定方法

トレーサー試験としてNo.2孔から塩水を投入し、このトレーサーを追跡するため、(1)塩水投入前(初期値)、(2)投入直後、(3)投入後約6時間経過後、の計3回、A-A、B-Bの各断面について比抵抗トモグラフィ測定を実施した。塩水の投入は、ビニール袋に入れた高濃度の塩水を孔底で拡散させることにより行った。図-3はNo.2孔の孔口における電気伝導度の推移を示したものである。塩水投入前には $140\mu\text{S}/\text{cm}$ で安定していた電気伝導度は塩水投入直後 $20,000\mu\text{S}/\text{cm}$ に上昇し、この後B-B断面の比抵抗トモグラフィ測定を実施したが、測定中も孔口から湧水があったため測定終了時には $10,000\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下まで低下した。このため、再度塩水を投入し、電気伝導度が $20,000\mu\text{S}/\text{cm}$ に戻ったことを確認してからA-A断面の測定を実施した。また、塩水投入後約6時間経過

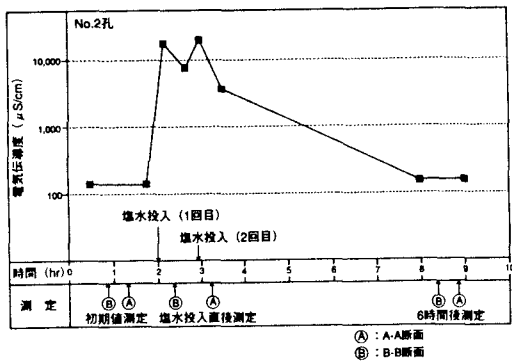


図-3 No.2孔の孔口における電気伝導度

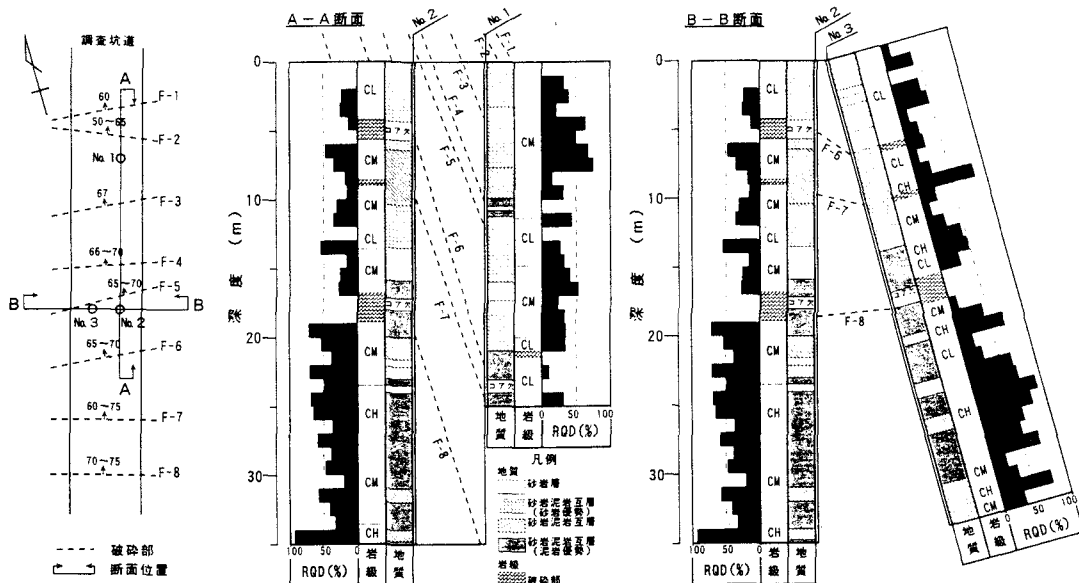


図-2 調査サイトの地質構造

後には電気伝導度が $150\mu\text{S}/\text{cm}$ とほぼ塩水投入前の状態に戻っていることがわかる。

比抵抗トモグラフィー測定は、電流、電位電極のそれぞれの一方を遠電極にとる2極法電極配置で行った。測定電極は、孔口より2m下から3m間隔でNo.2孔に11点、No.1孔に8点、No.3孔に8点を配置した。

比抵抗トモグラフィー測定に先立ち、調査サイトの岩盤特性を把握するために弾性波トモグラフィーと物理検層（温度検層、電気検層）を実施した。弾性波トモグラフィーは、比抵抗トモグラフィーと同様にA-A、B-Bの各断面について測定を行った。No.2孔を発振孔として発振点は孔口より3m下から1m間隔で28点とし、受振点は孔口から1m間隔でNo.1孔では25点、No.3孔では31点とした。物理検層は鉛直孔であるNo.1孔、No.2孔で実施し、電気検層は電極間隔を0.25m、0.5m、1mとするノルマル法で測定を行った。

3. 調査結果の評価

3.1 トモグラフィー解析結果の評価

弾性波トモグラフィーの解析結果を図-4に、物理検層の測定結果（電気検層は電極間隔1mの結果のみ）を図-5に、塩水投入前の比抵抗トモグラフィーの解析結果を図-6に示す。

弾性波トモグラフィー解析結果を図-2に示すボーリングコア観察結果や破砕部の分布と比較する。A-A断面では、No.2孔5m以浅の弱層部、18m付近の破砕部、No.1孔20m以深の弱層部は低速度部として検出できているが、No.2孔9m付近の破砕部やNo.1孔12m付近の弱層部は検出できていない。また、この断面では破砕部が高角な右下がりとして表れるはずであるが、解析結果からはその傾向が認められない。これは測定波線がボーリング孔間だけであるために、ほとんどの波線が破砕部を横切ってしまう、高角な破砕部をトモグラフィー解析上で十分に再現できないためと考える。一方、B-B断面では破砕部が比較的低位に表れるため、破砕部F-6、F-7を含む10m以浅の弱層部や破砕部F-8の連続が低速度部として検出できている。

比抵抗トモグラフィー解析結果から得られた比抵抗値分布については、A-A断面ではNo.2孔10～15mとNo.1孔4～10mに低比抵抗部があり、B-B断面ではNo.3孔8m付近に低比抵抗部が認められる。これらの部分は弾性波トモグラフィーから得られる低速度部とほぼ一致しており、対象岩盤が飽和状態であることから含水率の高い弱層部であるため比抵抗値が小さくなっていると考えられる。このように、比抵抗トモグラフィー

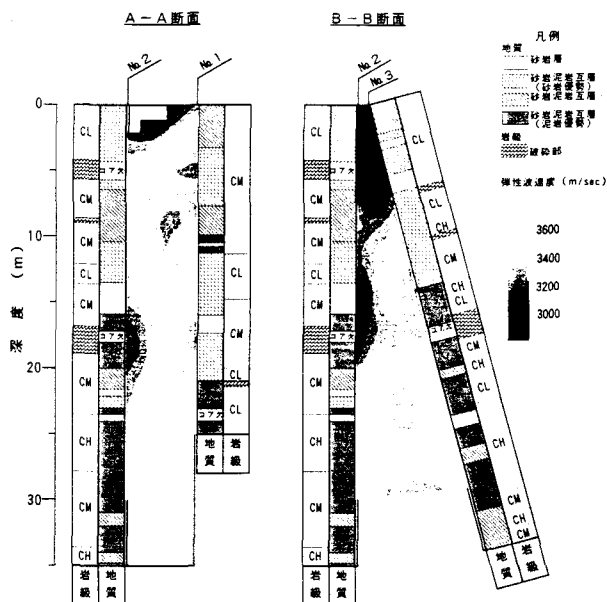


図-4 弾性波トモグラフィー解析結果

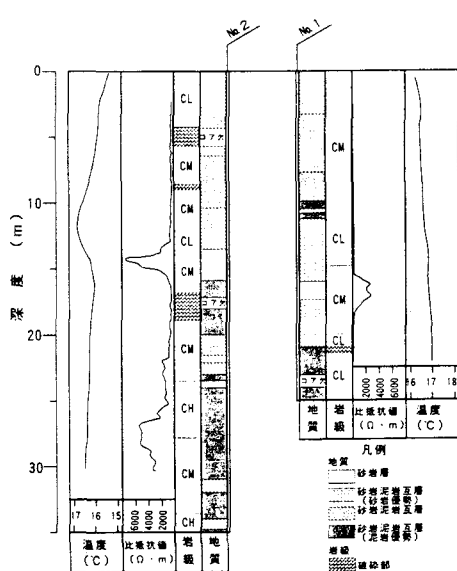


図-5 物理検層結果

からも全体的な弱層部の分布を知ることができる。
また、図-5に示す電気検層の結果からは、No. 1孔18m付近とNo. 2孔15m付近砂岩層で比抵抗値が高くなり、泥岩が混在すると比抵抗値は顕著に低下することがわかる。この結果は前報³⁾と同様の傾向であり、岩種の違いが比抵抗値に影響を与えることを示しているが、比抵抗トモグラフィー解析結果では、No. 2孔の15m付近砂岩層において比抵抗値が逆に小さくなっている。これは、比抵抗トモグラフィー解析結果が岩種よりも岩盤内の含水状態をより反映するためであり、No. 2孔の12m付近の弱層部と18m付近の破砕部によりこの付近全体の含水率が高くなっていることによるものと考ええる。

3.2 塩水トレーサーによる水みちの把握

塩水投入後における比抵抗値の変化率を図-7に示す。比抵抗値変化率 $\Delta\rho$ (%)は

$$\Delta\rho = (\rho - \rho_0) / \rho_0 \times 100$$

ただし、 ρ_0 は塩水投入前の初期比抵抗値($\Omega \cdot m$)

で算出した。A-A断面については、塩水投入直後には

No. 2孔の13m付近からNo. 1孔の10mと13m付近に比抵抗値の低下域がある。6時間経過後には、これらの低下域の内No. 2孔の13m付近からNo. 1孔の10m付近は低下率は減少しているものの引き続き比抵抗値の低下域である。また、No. 1孔、No. 2孔の5m以浅やNo. 2孔の20m付近からNo. 1孔の23m付近に新たな比抵抗値の低下域が確認できる。一方、B-B断面については、塩水投入直後にはNo. 2孔の13m付近からNo. 3孔の10m付近、

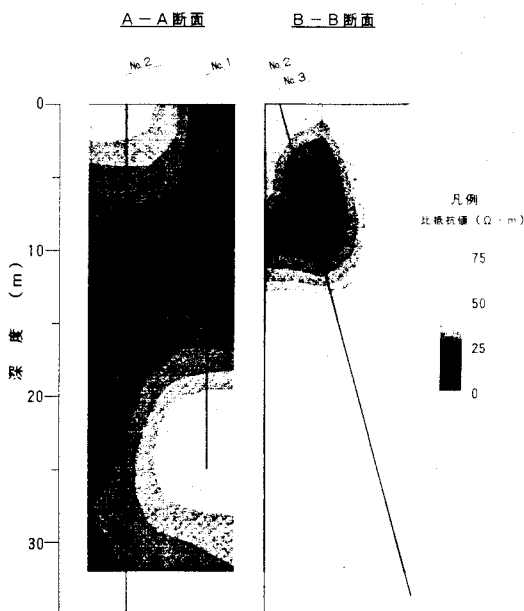


図-6 比抵抗トモグラフィー解析結果

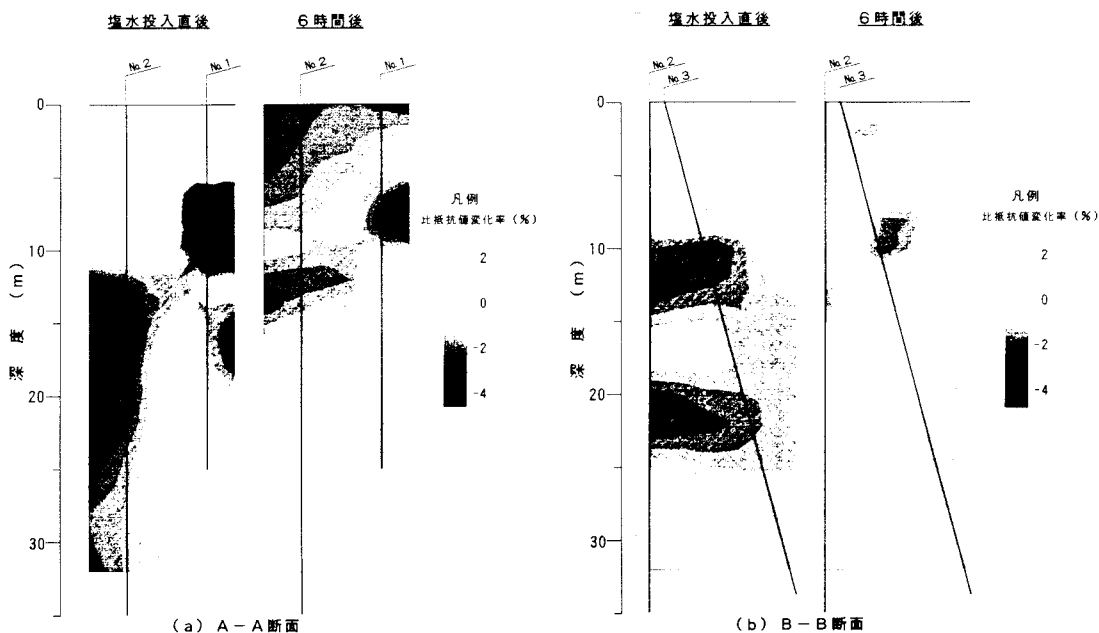


図-7 塩水投入による比抵抗値変化率

No. 2孔の20m付近からNo. 3孔の22m付近、の2箇所に比抵抗値の低下域がある。6時間経過には、これら2箇所は低下率が減少しているが引き続き比抵抗値の低下域である。さらに、No. 3孔の3m以浅に新たな低下域が確認できる。

これらの比抵抗値の低下域はNo. 2孔から投入された塩水の移動経路を反映しており、岩盤内の水みちを表しているものと考えられる。つまり、No. 2孔の13m付近からNo. 1孔の10m付近とNo. 3孔の10m付近にかけてと、No. 2孔の20m付近からNo. 1孔の23m付近とNo. 3孔の22m付近にかけての2つの主要な水みちの存在が推定できる。また、6時間後に見られるボーリング孔浅部の比抵抗値の低下域は、孔内湧水による上昇流により塩水が孔口付近に移動したためと思われる。

図-5に示す温度検層の結果から、No. 2孔の13m付近で水温が地温勾配による一定の傾斜から高い方へずれる異常が見られる。この水温分布はNo. 2孔の13m付近から水温の違う湧水が混入していることを示しており、この付近に水みちが存在する

と判断される。また、図-8には塩水投入直後の比抵抗値変化率が-1.5%以下の領域と破碎部の位置を併せて示す。今回推定した水みちは比較的低角で、調査坑道で確認できる高角な破碎部とは傾向が異なっている。しかし、調査サイト周辺では比較的低角な節理系も見られ、ボアホールスキャナーによる孔内観察結果からも開口した低角な亀裂が認められることから、調査坑道では確認できない低角な破碎部(F-9, F-10)が存在し水みちとなっているものと考えられる。

4. おわりに

今回、塩水トレーサーを比抵抗トモグラフィーにより追跡する経時測定を実施した。この結果、(1)比抵抗トモグラフィーにより含水率の比較的高い弱層部の全体的な分布を把握することができた、(2)塩水投入による比抵抗値の低下域の分布から岩盤内の主要な水みちを把握することができた。今後、同サイトで実施した透水試験結果との対比により比抵抗トモグラフィーによる水みち調査技術の有用性を確認する予定である。

5. 参考文献

- 1) 日比谷啓介・稲葉武史・稲生道裕・戸井田克・升元一彦：比抵抗トモグラフィーによる岩盤の水利地質構造評価について、第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp. 331～336，1994.
- 2) 日比谷啓介・稲生道裕・升元一彦：電磁波トモグラフィーによる岩盤の含水状態評価について、第25回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp. 256～260，1993.
- 3) 戸井田克・升元一彦・日比谷啓介：比抵抗トモグラフィーによる水利地質構造の異方性評価について、第26回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp. 331～335，1995.

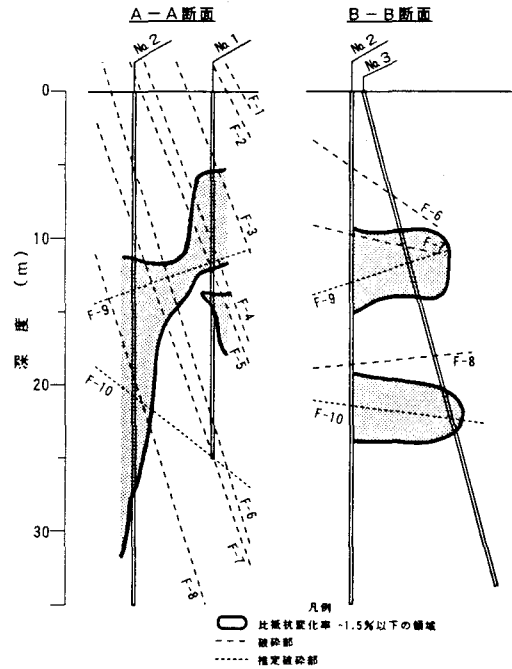


図-8 塩水トレーサーにより推定される水みち