

(5) 岩盤レーダー・比抵抗探査による水みちおよびグライ効果の調査

備 間 組 北村孝海 宇部興産(株) 米田俊一
日本基礎技術(株) 寺戸康隆 川崎地質(株) 登内正治
山 口 大 学 中川浩二

Investigation of hydraulic pathways and grouting effects by bore hole radar and resistivity measurement

Takaomi KITAMURA, Hazama Corporation
Shun-ichi YONEDA, Ube Industries Co.LTD
Yasutaka TERADO, Nihon Kiso Gijutu Co.LTD
Shoji TONOUCHI, Kawasaki Geological Engineering Co.LTD
Koji NAKAGAWA, Yamaguchi University

Abstract

To investigate hydraulic pathways and grouting effects in the rock mass, electromagnetic waves and resistivity measurements were performed in the field. At first, the salt water was poured into a borehole for surveying hydraulic pathways. And high permeability zones were estimated from tomographic data by crosshole measurements obtained before and after injection.

Secondly, two kinds of cement milk were grouted in the rock mass for investigating the grouting effects. About one month after, tomographic data were measured before and after salt water injection. From the results of measurement, the regions which the cement milk penetrated through the rock joints, were approximately estimated.

1. まえがき 最近、電磁波探査、比抵抗探査を実施し、ジオグラフィ解析を行うことによって地盤構造（層構成、破碎帯、水みち等）を推定するための現地実験、適用例等がいくつか見られるようになってきた¹⁾²⁾。特に、電磁波探査、比抵抗探査として有効と思われるものとして、電磁波伝播および比抵抗が地盤の電気的特性によって変化する特徴を活かし、地盤へ塩水を注入してその前後の比較から水みちを調査すること、またグライ注入によって地盤の電気的特性が変化することを利用してグライ侵入範囲を推定すること等に利用することが挙げられる。例えば、ダム工事においては対象地盤の複雑化、多様化と相まってグライの設計・施工数量は一段と多くなり、ダムによってはグライ総延長が15万m～20万mに及ぶ例も見られる³⁾ようであり、グライの施工管理・効果の推定にこれらの探査法が適用できれば、さらに合理的な施工ができる可能性がある。そこで、筆者らは電磁波探査、比抵抗探査を用いて、水みち探査、グライの効果推定のための適用実験を行ったので、その結果について報告する。

2. 調査位置および地質概要 調査位置は、山口県宇部市二俣瀬区大字木田字落畑小野湖畔にある宇部興産(株)採石場である。地質は、中生代三畳系である埴生層群に区分され、けつ岩、細粒砂岩で構成されている。地表およびボーリングの観察によれば、岩盤の岩級区分はC_M～D級の範囲に分布し、多くはC_L級岩盤に相当する。地層の走向はN80W～EWとほぼ東西であり、傾斜は50°程度の北落ちを示しているが、節理は層理に沿うもの、斜交するもの、直交するものと多岐にわたっている。

3. 実験方法 調査地点には孔径66mm、深さ15mの調査用ボーリング孔を孔間距離5mで直線上に3本設置し、S3-S2間あるいはS2-S1間で岩盤レーダー、比抵抗の調査を行った(図-1)。調査は、まず自然状態の地盤について行い、次に水みちを調べるため塩水を地盤に注入した後に調査を行った。

塩水は水100kgに塩5kgの割合で混合したものをG2孔(孔径66mm、深さ10m)を用いて、深度GL-3.5～10

mの区間に注入した。塩水注入は2段階に分けて行い、第一段階では注入量は500L、第二段階では注入量は944Lであった。第一段階と第二段階の塩水注入後に、各々岩盤レダ-、比抵抗の調査を行った。この後、グライトの侵入範囲、グライトによる止水性の効果を調べるため、地盤にグライトを注入し、その後経時的に調査を行った。グライト注入は、G2孔とG1孔を拡孔(φ66mm→86mm)して、二重管ダブルバツカ-方式にて行った。グライト注入剤は宇部興産(株)製の高炉セメントB種、超微粒子セメントを用い、G2孔へは高炉セメントB種、G1孔へは超微粒子セメントを注入した。以降、S3とS2孔に挟まれる断面を高炉B種断面、S2とS1孔に挟まれる断面を超微粒子断面と呼ぶことにする。注入量は、高炉セメントB種が150~225kg/mで総注入量1038kg、超微粒子セメントが150~225kg/mで総注入量1152kgであった。グライト注入後は2~4日後、8~10日後、28~30日後に岩盤レダ-、比抵抗の探査を行った。なお、28~30日後の探査が終了した後、G2孔とG1孔へ塩水を注入し、その後さらに岩盤レダ-、比抵抗の探査を行った。この時の塩水注入量は、G2孔へは400L、G1孔へは150Lであった。

自然地盤およびグライト注入後の透水性を調査するため、グライト注入前にはG1およびG2孔を用いて1回、グライト注入後には2日後と28日後の2回にわたりチェツク孔C1およびC2を用いて水シ-メントを行った。水シ-メントの結果を図-2に示す。

4. 調査方法 電磁波探査は岩盤レダ-探査装置(御間組・川崎地質(株)共同開発)を用いて行い、フツツ中心周波数は80MHzである。トモグラフィ-を得るため、フツツは1mツツで上昇・下降させデータを集めた。トモグラフィ-解析においては、まず各ツツの初期値の設定はBPT法により、地盤の構造を再構成する手法としては、反復法の中のWART法によった。

比抵抗探査(装置は応用地質(株)製)は2極法で行い、ツツ-リング孔(深度GL-3~13m)と地表面に電極を1mツツで配置し、全電極間のトモグラフィ-測線でデータを収集した。トモグラフィ-解析は有限要素法により行い、初期データは比抵抗逆投影法により作成した。

5. 水みち調査結果

1) 調査結果 ①等深度測線のレダ-振幅では第一段階の塩水注入によってGL-7~9m付近で振幅減少が生じ、第二段階の塩水注入によりさらに振幅減少が見られた(図-3)。

②塩水注入前の自然地盤のレダ-振幅トモグラフィ-に比べ、第一段階の塩水注入後においては、塩水注入区間のGL-10m以浅の領域ではほとんどの所で振幅の減少が見られるが

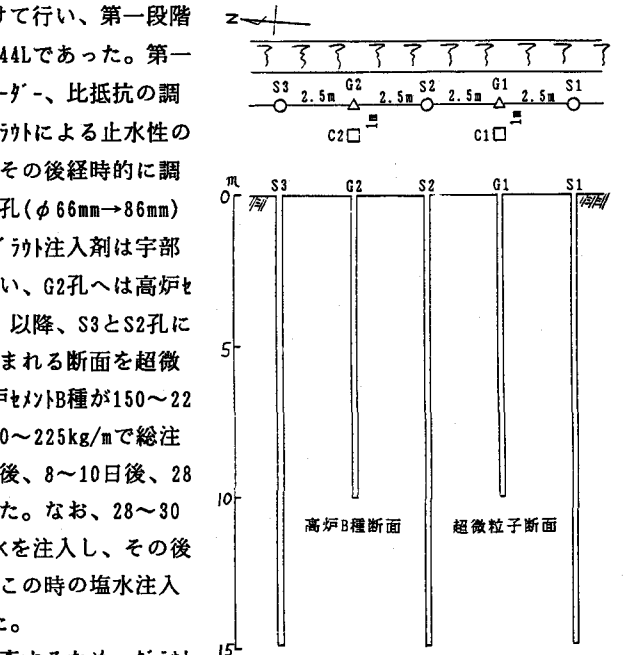


図-1 ツツ-リング孔の配置

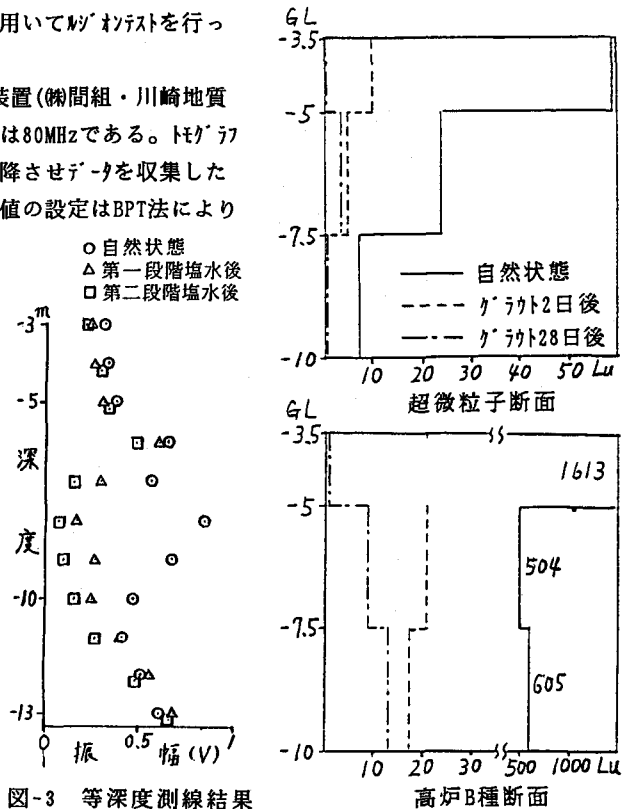


図-2 水シ-メント結果

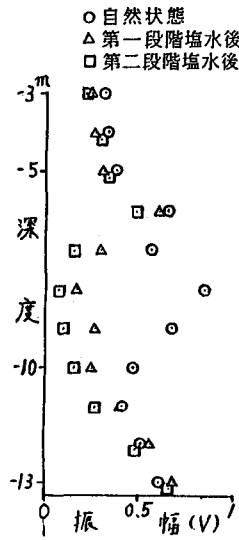


図-3 等深度測線結果 (電磁波)

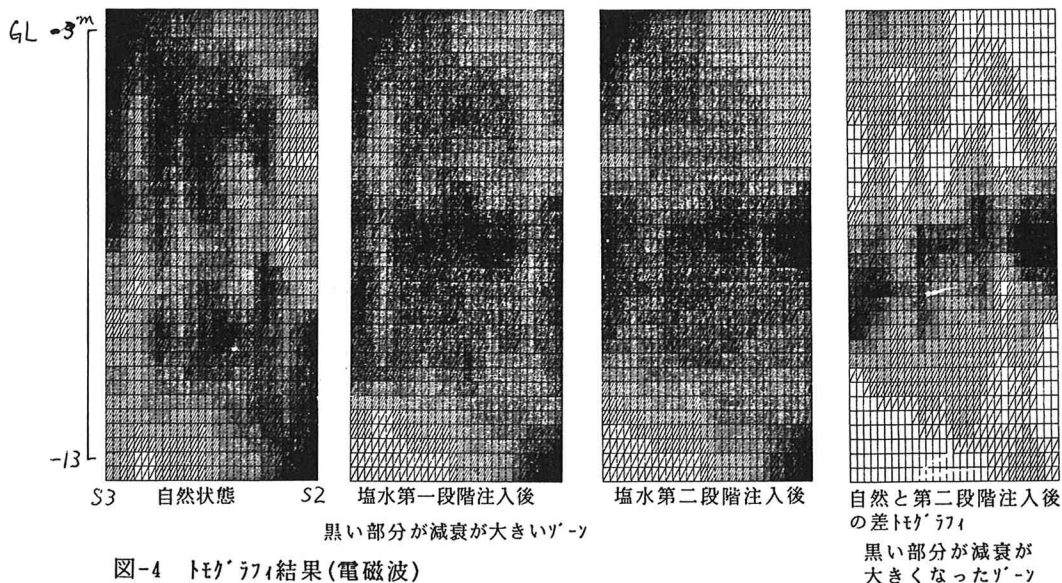


図-4 トモグラフィ結果(電磁波)

、特にGL-7～10mの深度で振幅の減少が著しく、GL-5m以浅にも一部振幅の減少が見られた。さらに、第二段階の塩水注入後においては、振幅が減少したゾーンが拡大されるとともに振幅減衰そのものが大きくなった様子が捉えられた(図-4)。③比抵抗トモグラフィにおいても、GL-7～10m付近およびGL-3m以浅のゾーンでの比抵抗が著しく低下し、第二段階の塩水注入でさらに比抵抗が低下した様子が捉えられた(図-5)。

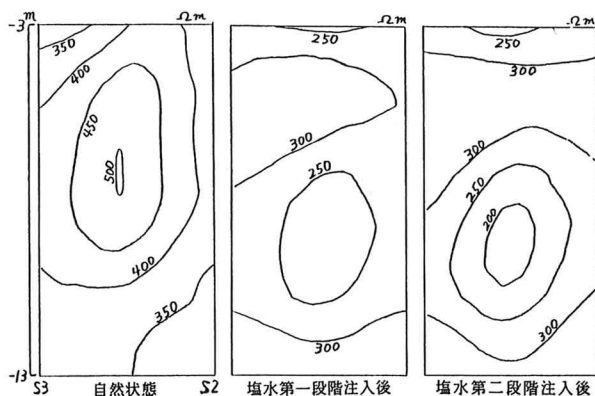


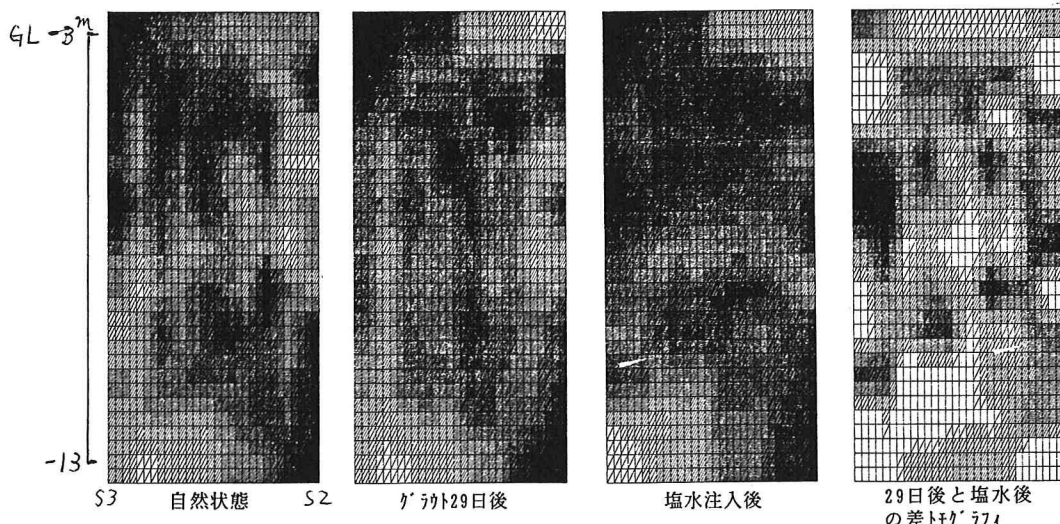
図-5 トモグラフィ結果(比抵抗)

2) 結果の検討 ①これらの結果から、塩水は選択的に節理に侵入しており、GL-7～10mおよびGL-3m以浅に塩水が優勢的に侵入したと考えられ、この区間が高透水性ゾーン(一種の水みち)と推定された。

②得られた水みちは μ 値の大きい位置と必ずしも対応しないが、 μ 値がその点の三次元の透水性を表わしたのに対し、 ρ の結果は探査断面の二次元の透水性を表わしたものであること等の違いによるものと思われる。このことは、逆に ρ で方向の異なる断面を調査することにより透水異方向性を知ることができることを示していると解釈される。③ ρ と μ との比較では、節理の多い部分へ必ずしも塩水が優勢的に侵入していない。このことは、地盤の透水性が節理の多少よりも卓越する節理の幅、連続性等によって支配されるためと思われる。

6. グラウト効果の調査結果 ここでは、グラウト効果の調査結果のうちグラウト注入約30日後のデータおよびその直後に実施した塩水注入後のデータに基づいた結果を示す。

1) 高炉B種断面の結果 ① ρ の等深度測線における振幅結果では、二次注入終了29日後には、自然状態に比べほぼすべての深度で振幅の減少が見られるが、特にGL-5～10m付近で減少率が大きい。また、塩水注入によりさらにほぼ全ての深度で振幅減少が見られ、特にGL-6～10mでは40～60%の振幅減少となっている(図-6)。② ρ 振幅トモグラフィによると二次注入終了29日後の結果では自然状態に比べ振幅減衰の大きなゾーンがGL-5～11mの深度でG2孔周辺に見られる。また、塩水注入前に対し、注入後にはGL-



黒い部分が減衰が大きいゾーン

図-7 トモグラフィ結果(電磁波、高炉B種断面)

黒い部分が減衰が大きくなったゾーン

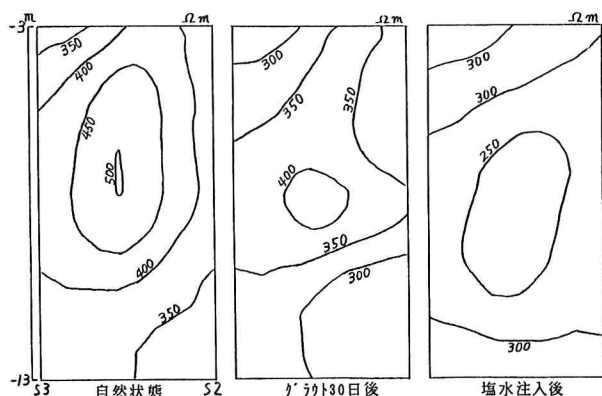


図-8 トモグラフィ結果(比抵抗、高炉B種断面)

12m以深においては振幅が注入前に比べあまり変化していないが、それ以外の全ての深度にわたって振幅が減衰した結果となった。さらに、塩水注入前後の違いを詳しく見るため振幅の差トモグラフィによれば、深度GL-6～9mの区間でｸﾞﾗｯﾄ注入孔を中心にして左右へ各々約1.5mの範囲で振幅減衰が少なく、そのゾーンを取り囲むように振幅減衰の大きなゾーンが見られる(図-7)。

③比抵抗トモグラフィによると二次注入終了30日後の調査では、自然状態に比べ領域全体で比抵抗の低下が見られる。また塩水注入により、塩水注入前に高比抵抗であったGL-4～10mのゾーンが低比抵抗となり、その他のゾーンに変化はあまり見られなかった(図-8)。

2)超微粒子断面の結果 ①等深度測線結果のうち、レダ-の振幅では二次注入終了28日後には、全ての深度で自然状態に比べ振幅の減少が見られ、減少率はGL-5～10m区間で比較的大きい。また、ほぼ全ての深度で塩水注入による振幅変化は見られない(図-6)。 ②レダ-振幅トモグラフィによると二次注入終了28日後の調査では、自然状態に比べ振幅減衰の大きなゾーンが左上部および右下部に見られる。また、塩水注入前に対し、注入後にはGL-6m以浅のゾーンで若干振幅減衰が大きくなった以外は、ほとんど変化は見られなかった。これを詳しく見るため、塩水注入前後の振幅の差トモグラフィによれば、中央付近にやや左

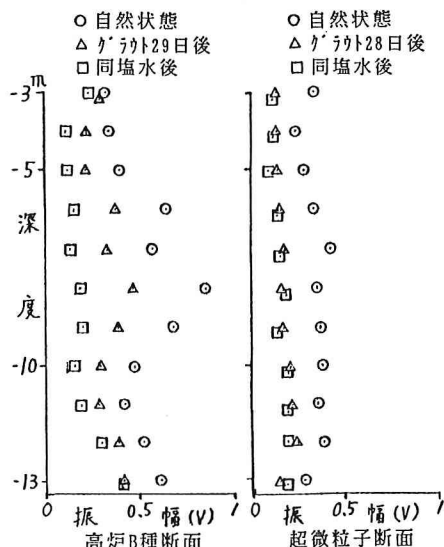


図-6 等深度測線結果(電磁波)

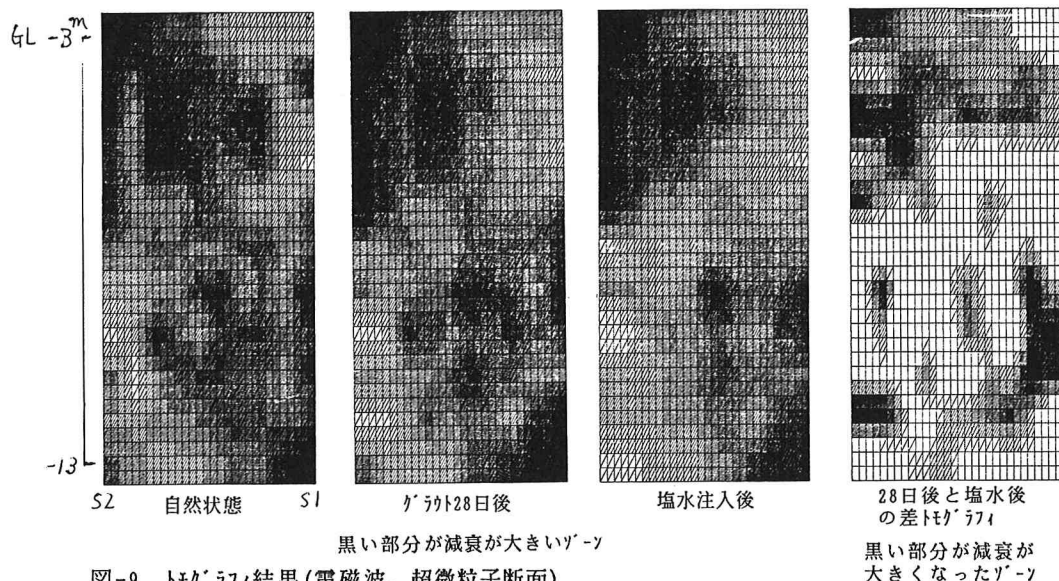


図-9 トモグラフィ結果(電磁波、超微粒子断面)

下がりにより若干振幅が大きくなったゾーンが見られ、その上下にやや振幅が小さくなったゾーンが見られる(図-9)。

③比抵抗トモグラフィによると二次注入終了29日後の調査では、自然状態に比べ全体的に比抵抗の低下が見られる。また、塩水注入前後で顕著な比抵抗の変化は見られず、GL-6m以浅で5~10%の比抵抗の低下が見られる程度であった(図-10)。

3) 結果の検討 ①ゲラウト注入約30日後の結果は、ここには示していないが経時的に

調査した結果では、ゲラウトの硬化に伴って、レーダーの振幅および比抵抗が回復した様子を捉えていた。但し、各々自然状態まではまだ回復していない結果を示した。②ゲラウト注入30日後における塩水注入前後の結果の差から、超微粒子セメント注入断面ではゲラウトがかなり填充され岩盤の止水性が高まったと推定されたのに対し、高炉B種セメント注入断面では塩水が侵入するゾーンがかなり残されており、ゲラウトが節理に十分回っていないと推定された。これは、チェック孔でのR₀値が、超微粒子セメント断面では1~2Lu、高炉B種セメント断面では10~15Luであったことと対応している。③なお、高炉B種断面でゲラウトが侵入したと推定される深度は、前章の水みち調査で得られた水みちの深度とよく一致している。

7. あとがき 今回の調査により電磁波探査、比抵抗探査が、水みちの推定、ゲラウト効果の推定へ適用できる目処が得られた。今後、電磁波探査結果と透水性、ゲラウト侵入量、ゲラウトによる止水性の改良程度等をより定量的に評価するための検討、データ収集が重要であると考えられる。最後に、調査に協力いただいた山口大学建設工学科防災研究室坂尾技官、学生の皆様に感謝します。

参考文献

- 1) 向上拡美他: 第22回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 136~140, 1990. 2
- 2) 小島圭二他: 応用地質30巻4号, pp. 1~10, 1989. 12
- 3) 寺戸康隆: 日本No. 443, pp. 45~57, 1981. 9