

(92) 電磁波トモグラフィによるグラウチング効果の把握について

ハザマ	正会員	○ 大沼和弘
〃		猪狩哲夫
〃	正会員	稲葉秀雄
中部電力(株)		村上晃生

Survey of Grouting Area, Using Electromagnetic Tomography

Kazuhiro ONUMA, Hazama Corporation
Tetsuo IGARI, Hazama Corporation
Hideo INABA, Hazama Corporation
Akio MURAKAMI, Chubu Electric Power Co., Inc.

Abstract

An exploration using electromagnetic waves was performed in grouting area. The results were as follows: ①The change of electric characteristics in grouting area appears clearly in the change of electromagnetic wave amplitude. ②Grouting treatment area and nontreatment area were approximately distinguished by comparison using salt water injection.

1. はじめに

近年ダムサイトとして良好な岩盤が少なくなり、これに伴ってグラウチングによる岩盤の改良が重要になっている。現在、グラウチング注入効果の判定としてはグラウチング施工時のルジオン値やセメントミルクの注入量により判定されることが多い。しかし、これらの値は岩盤内の諸物性の変化を十分に表現できるものでないため、実用的なグラウチングによる改良効果の判定法の確立が必要となっている。

ボーリング孔間においてボアホール型レーダーを用いた電磁波トモグラフィ（以下電磁波トモグラフィと略）は岩盤の亀裂の状態など地質状況の把握が可能であり¹⁾、また、グラウト材の浸入範囲の推定が可能である²⁾とされている。今回、重力式コンクリートダム基礎岩盤において、コンソリデーショングラウチング施工前に実施した、詳細設計のためのテストグラウチング実施時に電磁波トモグラフィを実施し、グラウチング施工時における電磁波トモグラフィの適用について検討を行った。

なお、今回の電磁波トモグラフィで使用した機器はハザマ・川崎地質(株)の共同開発したものである。

2. 試験概要

(1)地質概要

試験位置は、地質構造上、美濃帯に属しており、砂岩を主体として分布している。これらの砂岩は中粒砂岩が多いが、部分的に数mm大の頁岩の細礫を含む砂岩も見られる。岩盤等級は主にCM級（電中研式）で、岩質は硬質でハンマーの打撃で容易に割れない程度である。しかし、節理などの割れ目を多数含み、割れ目に沿って風化を受け岩塊の芯部まで酸化し、褐色を呈するものが多い。

また、試験範囲では今回の実施したボーリング孔において地下水水位は観測されていない。

(2)調査目的

本調査の目的は、

- ・グラウチング改良前、中、後の岩盤中の電磁波伝播特性の変化の把握。
 - ・グラウチング完了後、岩盤に塩水を注入した後に電磁波トモグラフィを実施することで、岩盤中の高透水性ゾーン（水みち）を調査。
- を行うことにより、グラウチングによる透水性についての岩盤の改良効果の判定を目的とする。

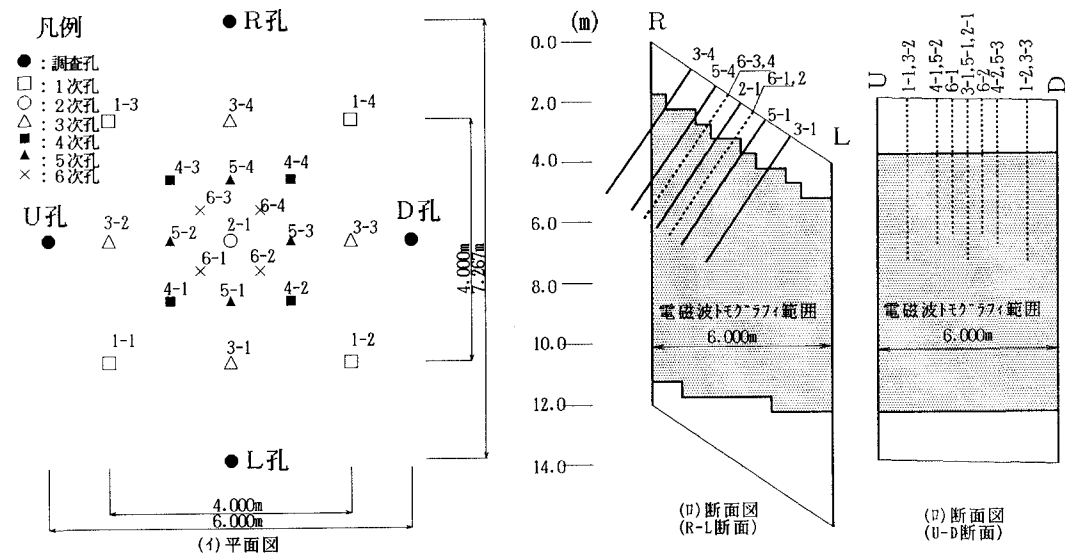
(3)調査概要

調査はダム基礎岩盤掘削後、斜面部で実施した。概略的位置を図－１に示す。電磁波トモグラフィは、テストグラウチング範囲を挟むように直交する２測線(R-L, U-D)で実施した。調査孔は削孔径86mm、深度12m 鉛直とし、孔間隔を水平6mとした。図－２に示すように、テストグラウチングは約１ヶ月を要し、この間、グラウチング前の岩盤の初期状態、グラウチング中（①～④）、グラウチング完了時に測定を行った。

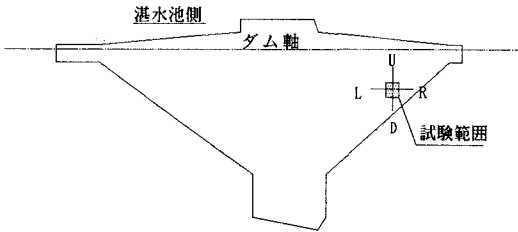
また、塩水は岩盤に比べ大きな伝導率を持つことから、塩水を岩盤に注入した場合は岩盤の電磁波伝搬特性が大きく変化することが報告されている²⁾。本調査においても、R孔より岩盤に塩水を注入した後、電磁波トモグラフィを実施した。

3. グ라우チング結果

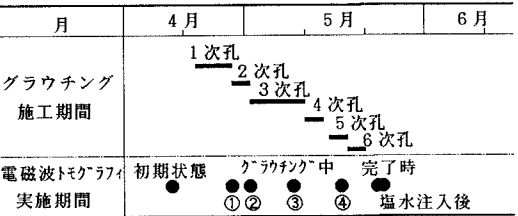
テストグラウチングのボーリングの孔配置を図－３に示す。削孔径は46mmで深度を5mとし、斜面に直交に削孔した。その後、ルジオンテスト実施し、セメントミルクの注入を行った。グラウト材のセメントは高炉B種を使用している。孔配置は1次孔を4m格子とし、2次孔、3次孔の順で、6次孔で1m格子まで実施した。なお、孔名はグラウチング回数と施工順序を示している。



図－３ グ라우チング孔配置図



図－１ 調査位置図



図－２ テストグラウチング 工程表

4. 電磁波トモグラフィ

電磁波トモグラフィは、中心周波数80MHz のアンテナを使用し、0.5mピッチで送受信アンテナを上下させデータを収集した。解析は電磁波の振幅データを用いた比減衰トモグラフィと電磁波伝播速度データを用いた速度トモグラフィの2通りの方法で実施しているが、今回の報告では、比減衰トモグラフィの結果について報告する。

比減衰トモグラフィ解析で得られる比減衰とは、受信波形の振幅を基準となる定数で割り、その自然対数を用いて各セルの相対的な減衰定数を求めたものである。このため、一般に言われている減衰定数との違いを明らかにするため比減衰と呼ぶ。

これらの結果のうち、主なものを図-4、5に示す。塩水注入前後の比減衰の差を求め、その分布を(二)に示している。

- (イ)初期状態の比減衰は0.3～0.5を示すものが多く、深部ほど値が大きくなっているように見える。
- (ロ)グラウチングが完了した状態では、初期状態に比べ全体的に値が増加傾向を示し、0.5～0.7となっ

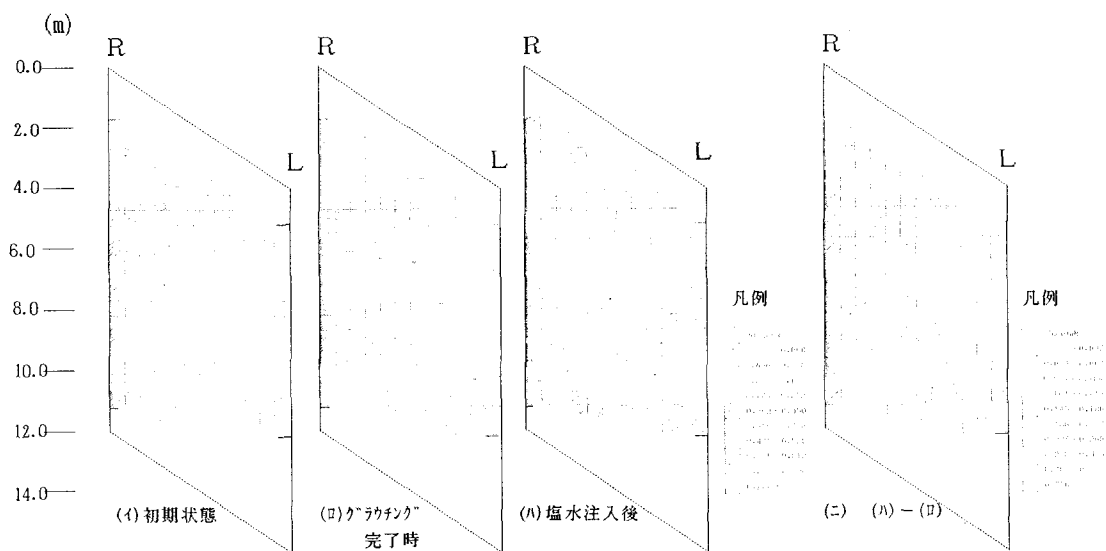


図-4 比減衰トモグラフィ結果 (R-L断面)

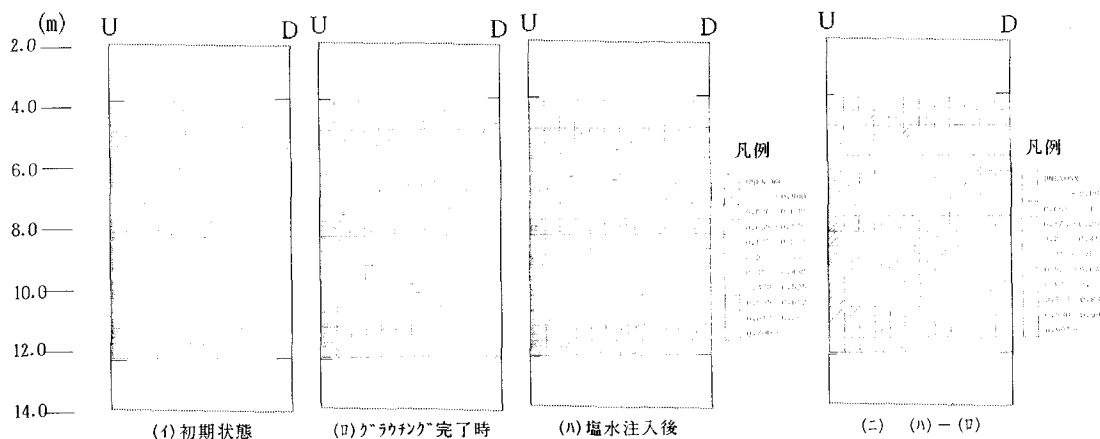


図-5 比減衰トモグラフィ結果 (U-D断面)

ている。特に、R孔4m付近の増加が著しい。(ハ)塩水注入時にはU-D断面10~12m付近の増大が顕著で、(ニ)を見ると0.4以上の増加が認められる。また、地表付近では値にほとんど変化が見られないことが分かる。なお、図-4(ニ)と図-5(ニ)では、作図処理上、凡例を変えている。

5. 考察

(1) グラウチング

回数ごとのルジオン値、セメントミルク注入量の平均値は図-6に示すように、回数を追うごとに減少している。また、1~4次孔では比較的大きな値を示しているが、5次孔以降では小さな値となっており、おおむね、5ルジオン以下、10kg/m以下となっている。これらの結果から、4次孔完了時には、セメントミルクが岩盤内にはば行きわたっていることが予想された。

(2) 電磁波トモグラフィ

電磁波トモグラフィでは、0.5m×0.5mの範囲(セルと略)を設定している。これらについてグラウチングの注入結果を参考にして、図-7に示すように、A~Dのグループ分けを行った。

A: 4~5次孔で囲まれた範囲

グラウチングが十分に行き渡っていると考えられる。

B: グ라우チング範囲内

C: B範囲から1m離れの範囲。

グラウチングが影響する範囲を1mと便宜的に想定した。

D: A、B、C以外の範囲

グラウチングによる影響が小さいと考えられる。

これらのグループごとに各セルの比減衰の変化について考察する。

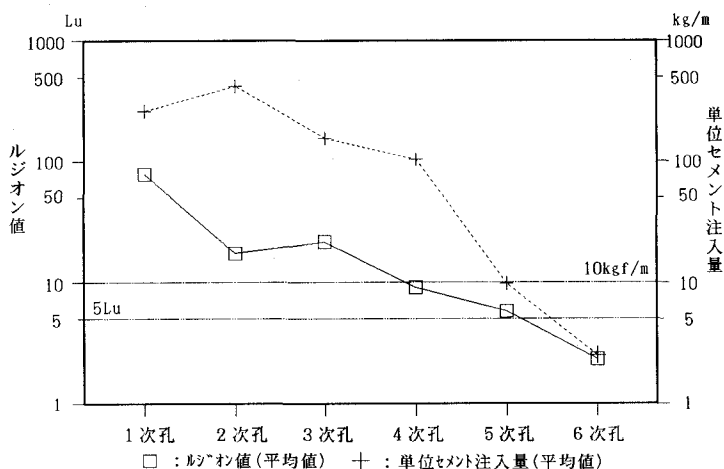


図-6 ルジオン値・単位セメント注入量の変化

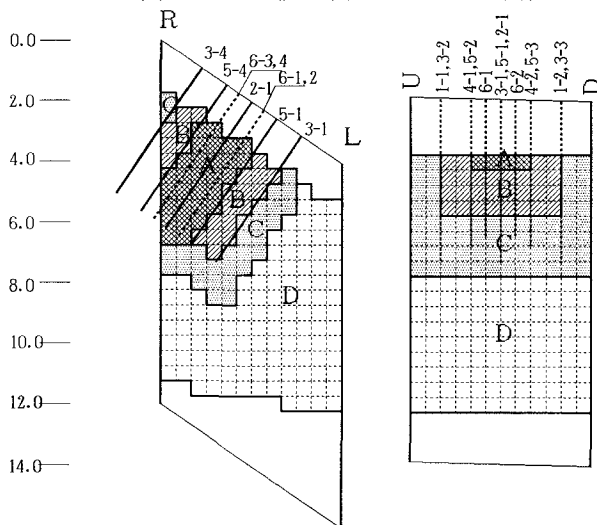


図-7 解析断面図

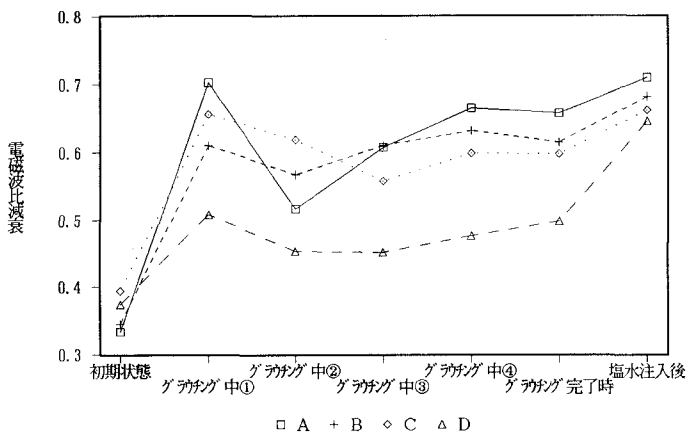


図-8 比減衰値の経時変化

なお、地表付近の比減衰の変化については測定器の機構上測定していない。

図-8は、グラウチングによる影響を各グループごとに、比減衰について測定時期ごとの平均値の変化を示している。また、図-9は塩水注入前後の比減衰の差を示している。

平均値の変化を見ると、グラウチング範囲であるA、B、および、周辺のCではグラウチングを開始すると大きな変化が見られるが、

グラウチング範囲外Dでは変化が比較的小さい。また、グラウチング完了後、塩水を注入した場合には、逆にA、B、Cでは変化が小さいのに対し、Dでは変化が大きい。

図-9では、図-4(二)、図-5(二)で求めた塩水注入前後の比減衰の差の大きさごとに度数分布を示している。これを見てもグラウチング範囲A(全体33セル)では注入前後の比減衰の差が0.023以下となるセルの個数が15点(45%)と集中しているのに対し、グラウチング範囲D(全体229セル)では44点(19%)となる。また、Dでは0.064～0.104(37点)、0.350～(30点)でピークを示している。

塩水注入後に見られた比減衰の変化は、塩水が岩盤中の割れ目に浸透したことを示していると考えられ、D範囲では岩盤中に塩水が浸透した部分が存在すると思われる。

なお、今回の測定においては、次数ごとのグラウチング注入範囲の推定では不明瞭な点が多く、今後に詳細な検討が必要と考えている。

6. まとめ

今回、ダム基礎岩盤におけるテストグラウチング範囲で電磁波トモグラフィを実施した結果、次のような事項が判明した。

比減衰トモグラフィを実施することにより、

- ・グラウチング施工時、セメントミルクの岩盤中への浸透域を把握することができる。
- ・塩水注入前後の比減衰の差を見るとグラウチング範囲外では、大きな値を示すセルが多いのに対し、グラウチング範囲では大きな値を示すものが少ない。岩盤中へ塩水が浸透する程度の差を示していると考えられる。

これらの結果から、岩盤の透水性に対するグラウチングの施工管理項目として、グラウチングチェック孔を利用した電磁波トモグラフィの実施を検討していきたい。方法としては、岩盤に塩水を注入した時に比減衰が大きな変化を示すことに着目して、①グラウチング完了後⇒②チェック孔ボーリング⇒③電磁波トモグラフィ⇒④チェック孔塩水注入⇒⑤電磁波トモグラフィ、の順で2回の電磁波トモグラフィを実施し、塩水注入前後(③と⑤)で測定された各セルの比減衰を比較する。これによりグラウチングによる岩盤の透水性改良度の評価が可能であると考えている。

参考文献

- 1)大沼和弘, 他(1992): 電磁波トモグラフィによる地質状況把握について, 日本応用地質学会平成4年度研究発表会講演論文集, pp. 77-80
- 2)北村孝海, 他(1992): 岩盤レーダーによる水みち推定およびグラウト硬化過程を効果の推定, 土木学会論文集, No. 454/Ⅲ-20, pp. 83-92

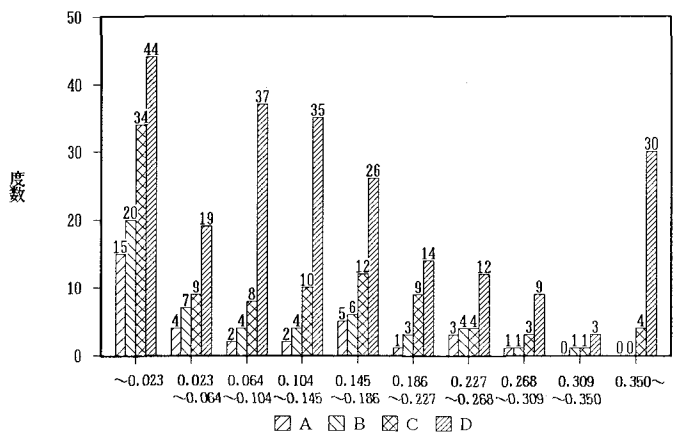


図-9 注入前後の比減衰の差