

(28) ボアホール型岩盤レーダーによる水みち探査への適用実験

㈱ 間 組	正会員	○北村孝海
同 上	〃	向上拓美
同 上	〃	塩崎 功
同 上	〃	弘末文紀
川崎地質㈱	〃	登内正治

Exploration results of hydraulic pathways by the borehole radar

T. KITAMURA, H. KOJO, I. SIOZAKI, F. HIROSUE HAZAMA-GUMI,LTD.
S. TONOUCHI Kawasaki Geological Engineering Co.,LTD

Abstract

To investigate hydraulic pathways in the rock mass,field tests using the borehole radar were performed.For surveying flow paths,the salt water was poured into borehole B2 in the granite rock mass and tomographic data by crosshole measurements were obtained before and after injection.

In this study,the attenuation of the amplitude was clearly noticed in the regions which the salt water penetrated the rock mass and these regions matched high permeability zones.From these results,it was thought that the investigation of flow paths in the rock mass using a borehole radar was possible.

1.まえがき

筆者らは、岩盤の構造、弱線部、高透水ゾーン等を探査する技術として、電磁波を用いたボアホール型岩盤レーダーの開発・改良を進めており、いくつかの室内実験・現地実験を併行して実施してきた。室内実験では、岩盤中に亀裂がある場合の、亀裂の挟在物の種類・亀裂幅・電磁波の入射方向による影響等に着目した、平板アンテナによる実験を実施し、岩盤中の基本的な電磁波伝播特性の検討を行ってきた。現地実験では、実験サイトに設けたBo.孔を用いてボアホール型岩盤レーダーによる実験を実施し、岩盤の亀裂・岩盤等級との対応、探査可能距離の検討等を行ってきた。今回は、現地実験において、岩盤中に塩水を注入する前後でトモグラフィ測定を行い、水みち探査に適用できる可能性が得られたので、その結果について報告する。

2.現地実験場所および地質

実験場所は、宮城県伊具郡丸森町の福島県宮松ヶ房ダム(施工中)洪水吐横の実験サイトである(写真-1)。実験サイトにはφ66mm、深さ30mのボーリング孔3本(最大孔間距離30m)を設けてある(図-1参照)。

当地域は阿武隈山地北部に位置し、阿武隈帯と呼ばれる花崗岩類および広域変成岩類によって構成されている。このうち、実験サイトは白亜紀後半の花崗閃緑岩からなっている。実験サイト横の亀裂観察およびボーリングコア観察の結果から岩盤等級はC₂~C₃級、RQDは平均40%程度で亀裂頻度

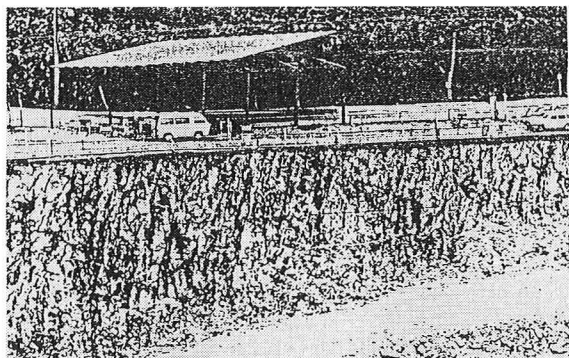


写真-1 実験場所全景

は5～10本/m(図-2)と全体に亀裂がよく発達している。亀裂の走向傾斜は、N10～20W 60～70NEおよびN40～50W 70～80SWに集中し、これらの亀裂は一部に粘土を挟み、また、地下水の経路となっている部分があり、幅2～10mm程度の鉄分や他の有色鉱物の集積のため黒色化した部分が認められる。

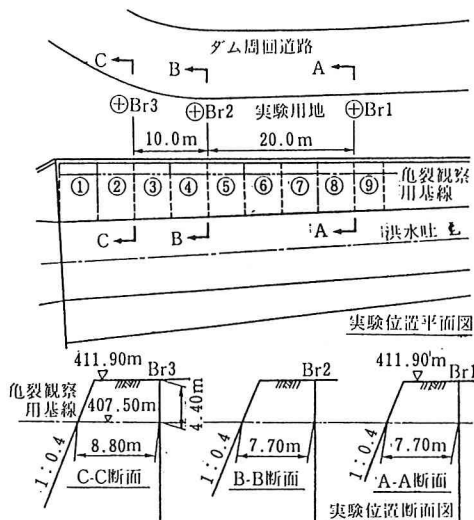


図-1 実験位置

3. 岩盤レーダー探査装置

実験には、中心周波数80MHz(外径60mm、アンテナ長約2m)のアンテナを使用した(写真-2)。制御装置、記録装置は、写真-3に示すようなシステムであり、パソコンによって現地にてデータ解析が可能である。

4. 実験方法

岩盤中に塩水を注入することにより、式(1)に示すように、塩水侵入に伴う電磁波伝播の減衰特性が変化し、それが受信エネルギー(振幅)の違いとなって測定される性質を用い¹⁾、水みち探査の可能性を検討するための実験を行った。

$$\alpha_2 - \alpha_1 \propto 1 / (R \cdot \ln(P_{R2} / P_{R1})) \quad (1)$$

ここに、 α : 減衰定数

P_R : 受信エネルギー

R : 発・受信点の距離

実験は、塩水注入前に1回目の調査を行い、それを初期値として塩水注入後のデータの変化を調べた。塩水注入後は、注入直後(塩水注入終了1時間後から測定開始)、注入半日後(18時間後から測定開始)、注入1.5日後(42時間後から測定開始)の3回について調査を行った。調査に要した時間は、いず

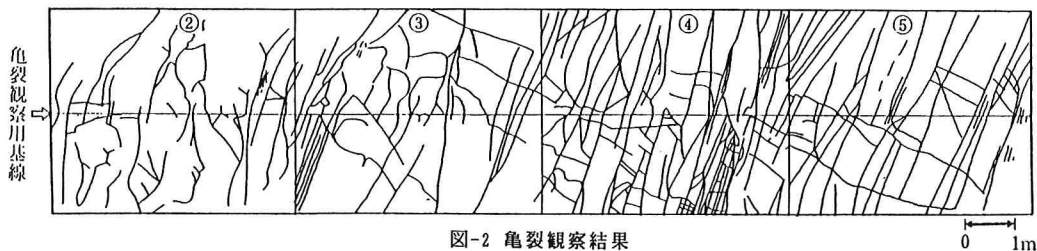


図-2 亀裂観察結果

れも2時間程度であった。Bo.孔はBo.2とBo.3(孔間距離10m)を使用し、調査した深度は5～20m区間で、1.5mピッチでトモグラフィのデータを収集した。測線図を図-3に示す。

塩水は、水1m³に塩50kgの塩分濃度(塩分濃度は、室内で行った岩石中の亀裂による電磁波伝播特性の変化実験の結果²⁾をもとに設定した。注入した塩水の電気伝導度は30～50mS/cmで、注入圧1kg/cm²にてBo.2の深度5～10m区間へ5.5m³を注入した。塩水注入後、Bo.2および3の孔内水の電気伝導度を測定したところ10～30mS/cmと上昇していたため(元々の地下水は約500μS/cm)、両孔の洗浄を行い、500μS/cm以下としたのちに、注入直後のレーダー調査を行った。ただし、注入半日後および1.5日後のレーダー調査前には、孔内洗浄は実施していない。

なお、事前に深度5～30m区間で5m毎にルジオン試験を実施して、各深度の透水性を把握した。

実験結果の整理に当たっては、電磁波伝播時間は受信波形の第一ピークまでの時間を読みとり、振幅は第一ピークと第二ピークの差(すなわち、全振幅)を読みとった。

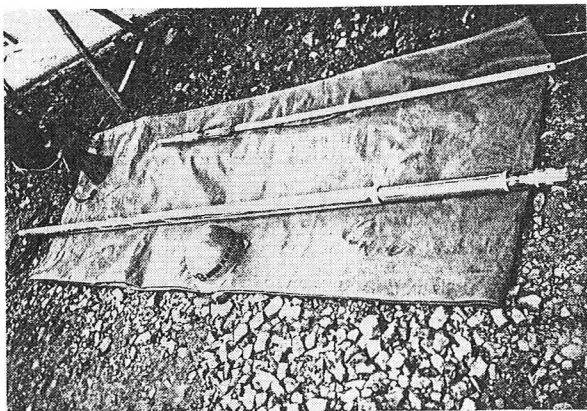


写真-2 ポアホール型ゾンデ(80MHzアンテナ)

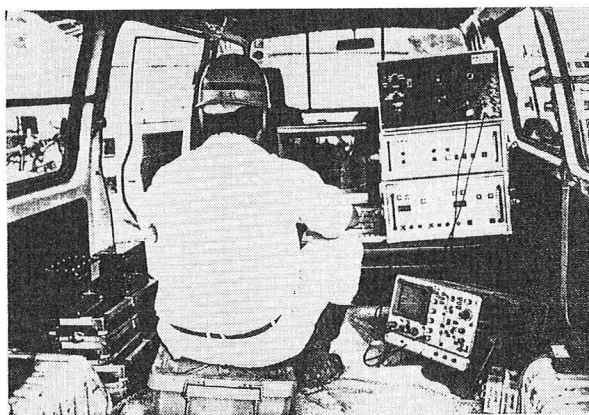


写真-3 制御装置・記録装置

5. 実験結果³⁾

(1)受信波形は、図-4に示すように、かなり明瞭な波形が得られており、塩水注入 前後の波形を比較すると、深度9.5m以浅の波形は、塩水注入後に第一ピークの振幅が小さくなるとともに、後続波の振幅も小さくなっている。一方、深度11m以深では、塩水注入後において第三ピーク以降の後続波が若干振幅が小さくなる傾向は見られるものの、注入前後の波形に顕著な違いは見られない。

(2)注入前の等深度測線で得られたデータから(図-5)、深度毎で伝播時間では浅部で若干遅くなる程度であるが、振幅では大きな違いが見られる。すなわち、深度11m付近の振幅が小さい部分を除くと、浅部で振幅が小さく、深部で振幅が大きくなる傾向であり、深度5mの振幅は深度20mの約1/10となっている。

(3)注入前後の等深度測線データを比べると(図-5)、注入直後には注入前の振幅に対し、深度14m付近を除くと、深度10m以深ではほとんど差が見られないが、深度5～10m区間では約40%の振幅減少が生じている。一方、注入半日後および注入1.5日後においては、調査した全ての深度において注入前に

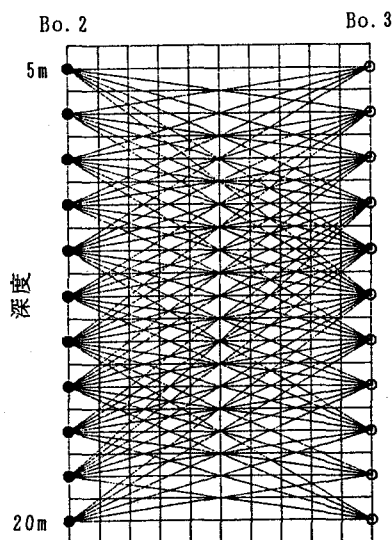


図-3 測定波線図(水みち探索)

比べ、振幅の減少が見られる。これは、塩水が調査領域全体に浸透したことも可能性としては考えられるが、事前の透水試験結果およびBo.孔内水の電気伝導度測定結果から判断すると、Bo.孔内への塩水の逆流による影響が大きかったのではないかと考えられる。

6. 結果の検討

(1) 事前にBo.2を用いて実施された透水試験の結果では、深度5~10mが $10L_u$ 以上、10m以深は $0.1L_u$ 以下であり、深度5~10mの高透水ゾーンと電磁波の振幅減衰が大きいゾーンが良く一致する結果が得られた。注入前の振幅トモグラフィ結果(図-6)においても、深度5~10m付近(特に、5~6m付近)に減衰の大きいゾーンが見られ、透水性の高いゾーンを反映している。この結果は、地盤の高透水ゾーンの調査にレーダーが適用できることを示したものと判断される。

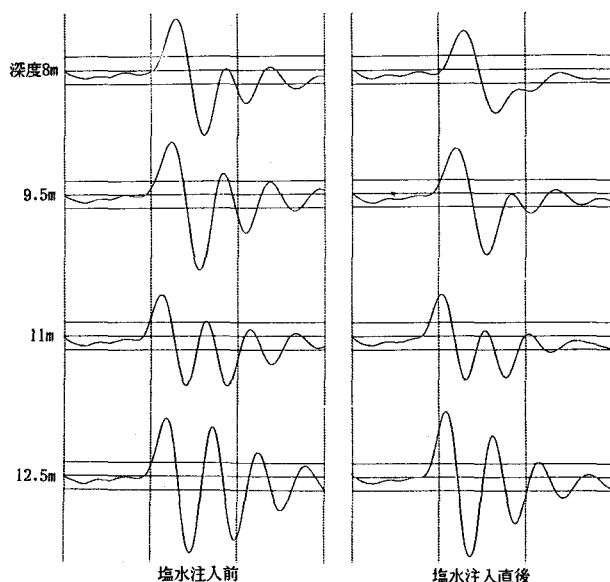


図-4 受信波形例

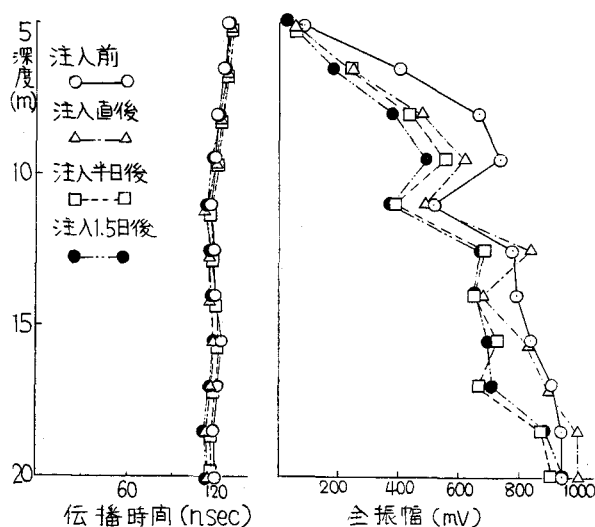
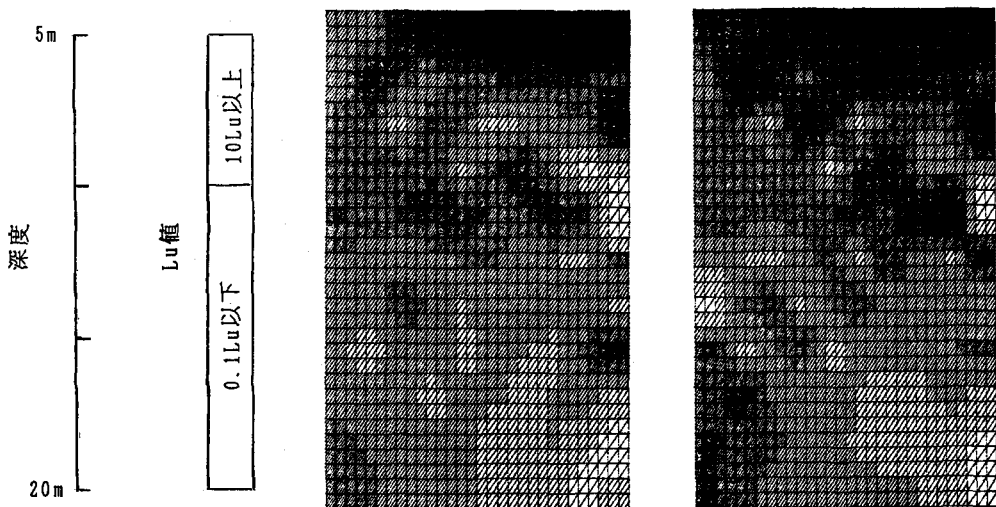


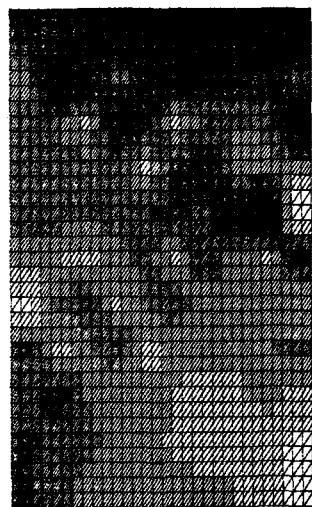
図-5 等深度測線結果(80MHzアンテナ)

(2) 注入直後の振幅トモグラフィ結果(図-7)、注入前と注入直後の差トモグラフィ結果(図-8)によると、振幅減衰が大きくなったゾーンは、Bo.2(注入Bo.孔)側では深度5~7m付近、Bo.3側では深度7~12m付近に見られる。この結果は、Bo.2から注入された塩水が、あまり深部へ広がらずに水平方向に広がった後、亀裂の卓越方向(図-2に示された亀裂の観察結果は、裏側からみた図となっている。)に沿



Bo. 2 黒い部分が減衰大 Bo. 3

図-6 振幅トモグラフィ結果
(塩水注入前)



黒い部分が減衰大

図-7 振幅トモグラフィ結果
(塩水注入直後)

って斜め下向きに浸透したことを示したものであると考えられる。この推定は、前述の透水試験結果、および受信波形からもうなずけ、今後、塩水注入前後のデータ比較から、現場での水みち探査が可能であることを示したものと解釈される。

7. あとがき

電磁波の伝播特性を利用した調査によって、水みち探査の可能性が得られ、また、電磁波による探査が高透水ゾーンの推定にも有効であることが認められた。また筆者らは、別の実験において、透過法により $C_{H1} \sim C_{L1}$ 級の花 岩で、30MHzアンテナを用いれば孔間距離30mの探査が可能であることを確認しており、今後は、各種の地盤(硬岩・軟岩)探査への適用を図りつつ、装置の改良も併せて進めていく予定である。

参考文献

- 1) A. L. RAMIREZ, R. J. LYTLE: Technical Note-Investigation of Fracture Flow Paths Using Alterant Geophysical Tomography, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 23, No. 2, pp. 165~169, 1986
- 2) 北村孝海、向上拡美、塩崎 功、弘末文紀、登内正治: 岩盤レーダーによる電磁波伝播特性実験について、物理探査学会第81回学術講演会講演論文集、pp. 281~284、1989. 11
- 3) 北村孝海、向上拡美、塩崎 功、弘末文紀、登内正治: ボアホール型岩盤レーダーによる現地探査実験例について、地下電磁計測ワークショップ論文集、pp. 73~78、1989. 12

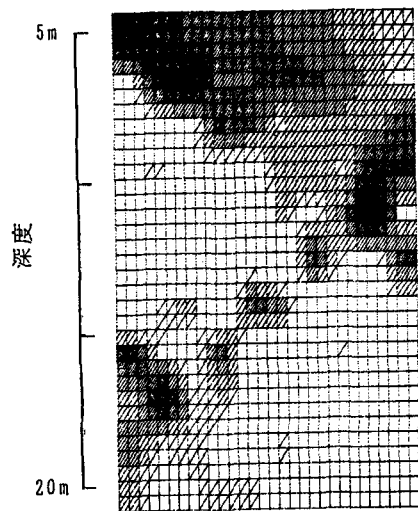


図-8 差トモグラフィ結果
黒い部分が塩水注入後減衰が
大きくなったゾーン