

50. ミニボアホールレーダを用いた多点計測による 3 次元水理挙動の評価

Evaluation of Three-Dimensionally Hydraulic Behavior by Multipoint Measurement Using Small Borehole Radar

○升元一彦（鹿島建設），栗原啓丞（鹿島建設）

Kazuhiko Masumoto, Keisuke Kurihara

1. はじめに

山岳トンネルやダム工事では，掘削領域周辺の地下水挙動や止水注入工によるグラウチング効果などを評価することが重要である．そこで，筆者らは岩盤中の 3 次元的な水理挙動を多点でモニタリングするために，ボーリング孔を利用した小型の電磁波計測機器であるミニボアホールレーダを開発した．今回，ミニボアホールレーダの基本性能の確認と，モニタリング用途を想定した模擬土槽中での多点計測を行い，計測結果の 3 次元イメージングを試みた．本稿では，これらについて得られた知見を報告する．

2. ミニボアホールレーダの開発

一般的な非破壊調査手法の中で，電磁波を媒体とした手法は含水状態の変化に対して鋭敏であるため，岩盤亀裂面に存在する地下水や注入材料の検知には優れる．しかし，実際に電磁波調査に用いられる地中レーダやボアホールレーダは非常に高価で計測方法も大がかりになるため，水理挙動のモニタリング用途には不向きであるといえる．そこで，広範囲を 1 点でモニタリングするのではなく，アンテナを小型化し計測範囲を犠牲にする代わりに多点でモニタリングする手法を検討した．この際，アンテナは複数本必要となるため，材料や製造方法を工夫することで安価なものとし，出力としては複数の受信波形から解析的に 3 次元イメージングを行うこととした．また，ポータブル式のネットワークアナライザーを用いることで現地での多点モニタリング計測の汎用性を向上させた．開発したミニボアホールレーダは，50-500MHz と 100-1000MHz の周波数帯を有する（写真 1）．本稿では，100-1000MHz の試験計測で得られた結果について述べる．

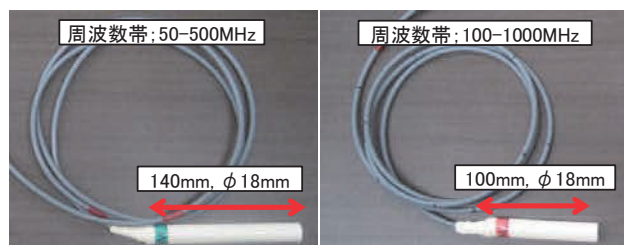


写真 1 ミニボアホールレーダ

3. 基本性能確認試験

まず，ミニボアホールレーダの基本性能確認のために水槽内で水中伝搬波形を測定した．図 1 は得られた水中伝搬波形で，水の比誘電率を 81 とした時のアンテナ

ナ離隔に対する直達波の初動走時が一致しており，水中での電磁波伝搬が捉えられることがわかった．

次に，図 2 に示す均質な珪砂からなる土槽内で送受信アンテナを対向させて計測深度を変えていく対向測定を行った．珪砂は水で締固め，締固め後は底板から排水を行った．土槽中には，VP20 塩ビ管を鉛直方向と斜め方向に 6 本配置し，本測定では斜方向に離隔 108cm で配置した A, B 孔にそれぞれ発受信アンテナを設置し，両アンテナを GL.-0cm より斜距離で 10cm（鉛直距離で 2.9cm）ずつ下げながら計測した．計測は初期条件（自然乾燥状態）と GL.-45cm まで注水した条件で行った．図 3 は各々の条件で得られた波形である．

① 初期条件（自然乾燥状態）

図 3 より，深度変化に伴う波形の観測走時をみると，GL.-38cm 以深で伝搬速度が遅くなる傾向がみられた．これは，締固め後の排水が不完全で，土槽の深部ほど含水率が高くなり伝搬速度が遅くなったためと考えられる．また，GL.-0～10cm 程度まで，空中伝搬の影響を受けた波形が確認できた．

② 注水後（水面位置：GL.-45cm）

水面上部の GL.-32cm 付近から初期条件に比べて波の伝搬速度が遅くなる傾向がみられた．これは珪砂の毛管作用により，設定した水位レベルよりも水分が上昇していたことが原因に考えられる．さらに，GL.-29～42cm 付近の観測波形に後続波が確認され，水面からの反射波を捉えられた可能性があることがわかった．

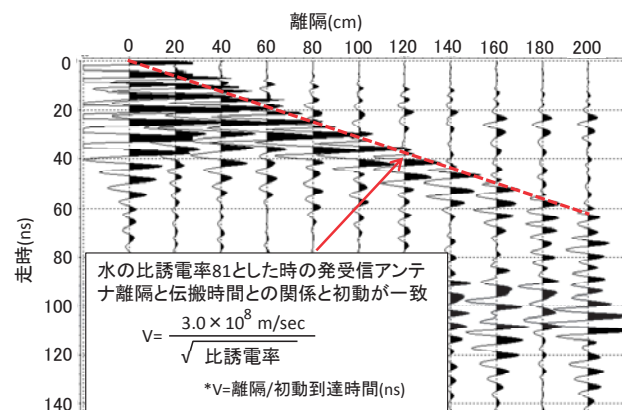


図 1 水中伝搬波形

4. 多点計测试験と 3 次元イメージング

① 多点計測による観測波形の確認

同じ土槽において，水位変化を多点計測による水面からの反射波形で捉えられるかどうか検証した．発信ア

ンテナを土槽中心の GL.0m 位置に、受信アンテナを A～F 孔それぞれの GL.-30cm 位置に 1 つずつ設置し、水位上昇に伴う観測波形の変化を確認した。GL.-75～GL.-45cm まで水位を 5cm ずつ上昇させながら計測した結果、GL.-50～55cm に水面が存在するケースで反射波形を確認できた。図 4 に A 孔、B 孔の受信アンテナで水位上昇ごとに観測された波形を示す。

② TRT 解析技術に応用した 3 次元イメージング

計測結果の 3 次元イメージングを行うために、山岳トンネルの前方探査で多くの適用実績をもつ TRT 解析を試みた。TRT 解析とは、複数のセンサーを用いて観測した弾性波の反射波形からトンネル前方の地質境界位置を 3 次元的に予測する解析技術である¹⁾。今回は、水位 GL.-50cm の条件で A～F 孔の多点計測により得られたデータを用いて TRT 解析を行った。図 5 に得られた 3 次元イメージング結果を示す。TRT 解析の結果、GL.-50cm 付近に水面境界からの反射面を捉えられており、ミニボアホールレーダを使った多点計測結果を 3 次元イメージングにより評価できる可能性があることがわかった。しかし、一部では水面位置以外にも反射面が表れており、これは受信と発信のアンテナ数の不足や配置の問題で反射面の位置を精度よく同定できていないことや、側壁や底板からの多重反射の影響が表れているものと考えられる。

5. おわりに

電磁波レーダによる水理挙動の多点モニタリングを目的としてミニボアホールレーダを開発し、その基本性能を確認した。また、模擬土槽を用いた多点計測を行い、注水面からの反射波形を捉えることができ、計測結果の 3 次元イメージングが可能であることがわかった。今後は、3 次元イメージングの精度向上のために最適な発信アンテナと受信アンテナの組合せを検証し、実用化に向けた原位置試験等を検討する。

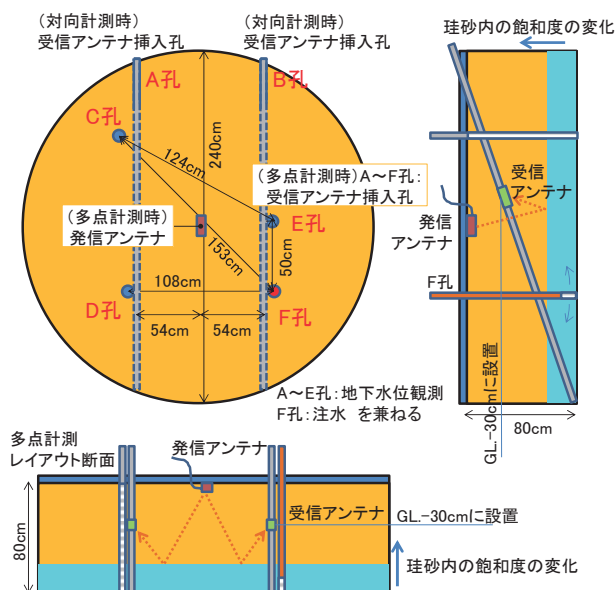


図 2 模擬土槽および計測レイアウト

参考文献

- 1) 横田ほか：無線式トンネル三次元反射法弾性波探査技術の開発，岩盤力学に関するシンポジウム講演集，土木学会，2009

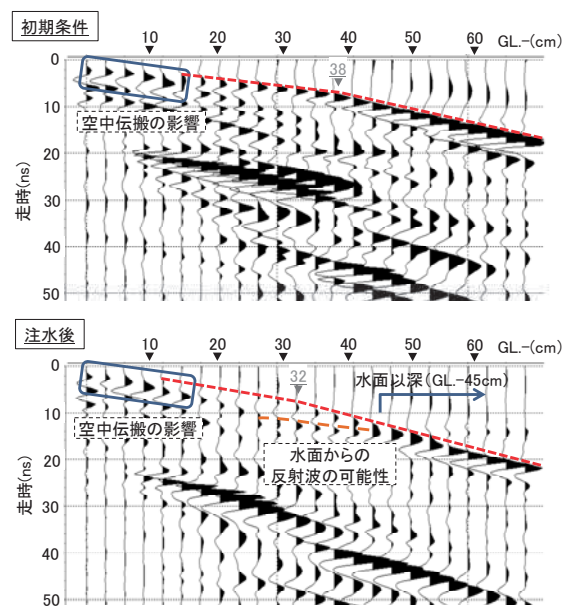


図 3 対向計測における観測波形

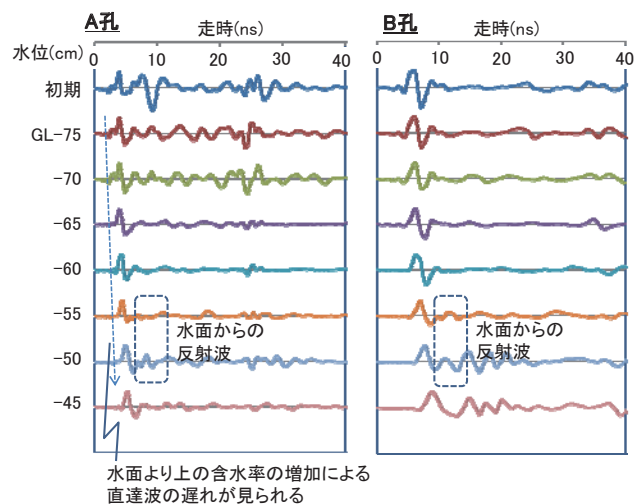


図 4 多点計測における水位変化毎の観測波形

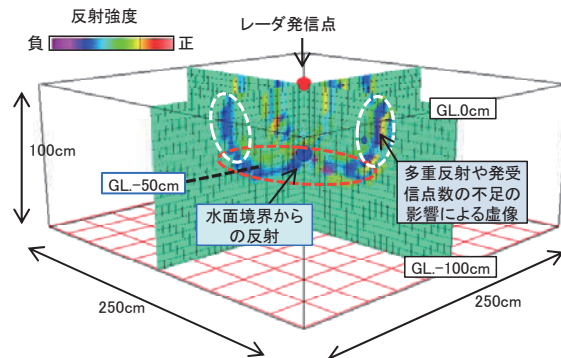


図 5 TRT 解析による 3 次元イメージング図