

堆積軟岩を対象とした 3 次元孔間弾性波トモグラフィの適用性の検討

鹿島 技術研究所 正会員 ○白鷺卓 山本拓治

1. はじめに

3 次元的に複雑に変化する地質構造に対し、費用対効果が低く、適用範囲に制限の多い従来の 2 次元での評価に代わる手法として、筆者らは 3 次元孔間弾性波トモグラフィを開発し、その費用対効果の高さ、硬岩地山における低速度域の検出及びグラウト効果の評価が可能であることを確認した¹⁾。しかし、硬岩地山において、広範囲を探索対象とした弾性波トモグラフィでは発破による弾性波（P 波）を利用するのが一般的であるが、発破を仕掛ける手間がかかり、探索時間が長くなるという問題、発破を使用するための安全管理上の問題、騒音・振動など環境面の問題などがあった。さらに、軟岩で構成される地質や硬質部と軟質部の弾性波速度差が小さい場合に、硬岩地山での探索結果と比べて精度が劣るという問題があった。そこで今回、簡易かつ安全に P 波と S 波の両方を任意の周波数帯で安定的に発振できる電磁制御式発振器を開発し、軟質な砂岩泥岩互層で構成される堆積岩サイトに適用を試みた。その結果、弾性波速度差が比較的小さい砂岩と泥岩の地層境界の把握が可能であることを確認できたので報告する。

2. 探索概要

試験サイトには、深度 41m の No.1 孔、No.2 孔、No.4 孔及び深度 37m の No.3 孔が一直線上に存在し、No.1-No.2 孔間、No.2-No.3 孔間は 5m、No.3-No.4 孔間は 8m であった（図-1）。ボーリングのコア観察によると、サイトの地質は新第三系の砂岩泥岩互層であり、薄い礫岩層を挟在している。No.2 から No.3 の間には地質境界面が 70°～80°の傾斜で分布しており、No.1 孔側に泥岩優勢層、No.4 孔側に砂岩優勢層がそれぞれ分布している。採取したコアのほとんどには微小な亀裂が入っており、特に砂岩部は泥岩部に比べて相対的に低い RQD 値を示している。

探索には、2.0m 間隔で 12 点の加速度計が埋め込まれている長さ $L=25\text{m}$ のハイドロフォンを受振センサーとして、任意の周波数帯で S 波を安定して発振できる電磁制御式発振器（図-2）を発振

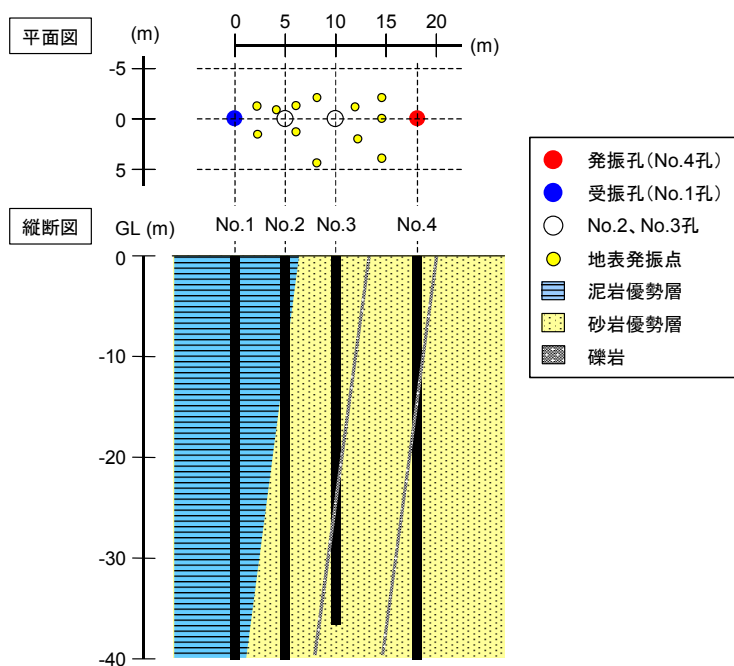


図-1 試験サイトの地質概要

源として利用した。この電磁制御式発振器は、スイープ波振源の一種であり、長さ約 30cm、重量約 5kg と小型かつ軽量であるため、取扱いは容易である。なお、発振器本体の先端に接続されたものは孔壁固定装置で、油圧により拡大し、発振器を任意の位置で圧着・固定することができる装置である。

まず、No.1 孔にハイドロフォンを孔底まで挿入・固定し、No.4 孔に電磁制御式発振器を下ろして孔底から地下水面 GL-4.0m まで、2.0m ずつ引き上げながら発振した。その後、No.1 孔のハイドロフォンを 15m 引き上げて固定し、再度 No.4 の孔底から 2.0m ずつ発振した。また、本サイトの地質構造が垂直に近いと、孔間での探索のみでは十分な精度を確保できないことから、No.1～4 孔周辺の地表 12 点においても電磁制御式発振器を地面に押しつけて発振し、その波形も記録・解析した。

キーワード：弾性波トモグラフィ、3 次元、堆積軟岩、電磁波トモグラフィ

連絡先：〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 TEL 0424-89-7708 FAX 0424-89-7034

3. 探査結果

図-3 (a) にボーリングのコア観察により予想された泥岩と砂岩の分布及び岩石コアのP波速度、図-3 (b) に No.1 孔と No.4 孔間の3次元弾性波トモグラフィ結果として弾性波線経路図と弾性波速度分布図、図-3 (c) に事前に行われた電磁波トモグラフィ結果として発信周波数を変えたときの電磁波伝播速度の変化率分布図を示した。なお、電磁波伝播速度の変化率が大きい範囲に泥岩系が分布することはあらかじめわかっていた。

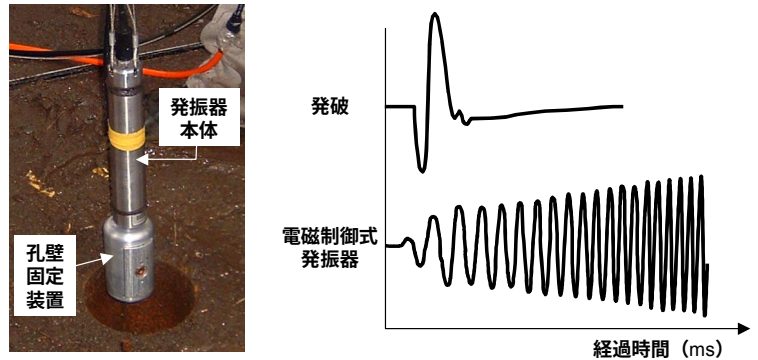


図-2 電磁制御式発振器（左）と発振波形の比較（右）

まず、(b) の弾性波線経路図を見ると、伝播経路が直線ではなく3次元的に分布しており、特に地表付近で顕著であることから、地表付近に地質の変化があると予測できる。次に、(b) の弾性波速度分布図を見ると、GL-15m 以深では、事前に予測されていた砂岩・泥岩の地層境界に沿うように弾性波速度の顕著な境界が分布していることがわかる。しかし、GL-15m より上では、境界は No.4 孔側に傾斜しており、予想地質境界とは異なった結果を示しているが、これは地表付近の風化帯を反映していると考えられる。なお、左側の泥岩分布域の平均弾性波速度は 1.8km/sec、右側の砂岩分布域の平均弾性波速度は 2.4km/sec であった。一方、(c) に示す電磁波トモグラフィ結果にも同様の結果が見られることから、実際の地質状況に即した結果が得られているものと考えられる。

4. まとめ

軟質な砂岩と泥岩の互層で構成される堆積岩サイトにおいて、今回開発した電磁制御式発振器を用いた3次元孔間弾性波トモグラフィを実施した結果、平均弾性波速度の差が 0.6km/sec と比較的小さい砂岩・泥岩の境界を検出することが可能であった。この結果を踏まえ、今後は土質分野への適用拡大を目指して、本手法の精度の向上及びシステムの信頼性を高めていく所存である。

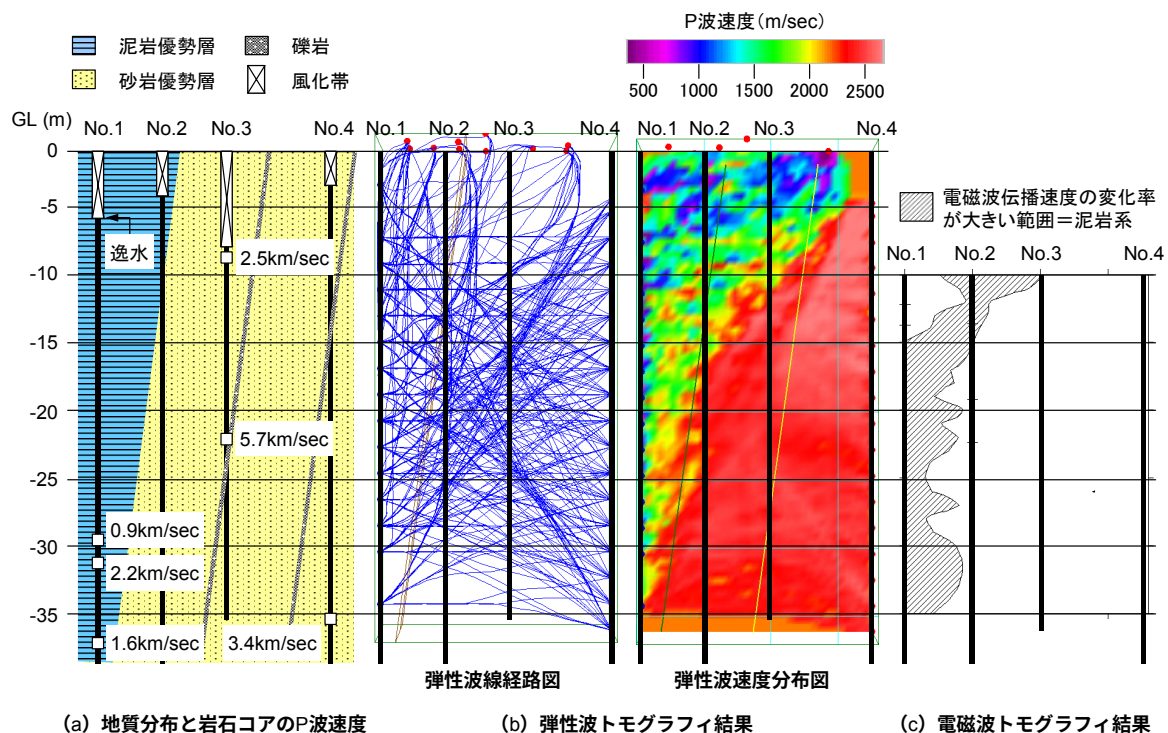


図-3 地質状態と探査結果の比較

1) 山本拓治・白鷺卓・富田諭・青木謙治（2003）：3次元孔間弾性波トモグラフィによるグラウト効果の評価、土木学会 第32回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.203-208.