

水平ボーリング孔での指向性ボアホールレーダによる水みち分布調査への適用

鹿島建設(株) 正会員 ○松下智昭 升元一彦 白鷺 卓 渕先弘一 北村義宜
松永ジオサーベイ(株) 和田一成 植木 隆 唐澤信輔

1. はじめに

山岳トンネルでは、掘削中に突発湧水による切羽崩壊などが発生しており、安全で合理的な施工を行うためには、事前に水みちの位置だけでなく、その分布方向まで把握することが必要である。そのための探査手法として、反射波の到来方向を推定できる指向性ボアホールレーダは、従来のレーダ調査では困難であった水みちの分布方向まで評価できる可能性がある。本研究では、トンネル現場において指向性ボアホールレーダによる水みち分布調査への適用性を確認するため、水平ボーリング孔を利用した現場試験を実施したので、その結果について報告する。

2. 指向性ボアホールレーダの概要

従来のボアホールレーダは無指向性のため、どの方向から反射波が到来したかを評価することができなかった。一方、指向性ボアホールレーダ(図-1)は、受信アンテナ用の6個の素子が円柱状にアレー配置されているため、素子間の反射波の到達時間差から到来方向を推定することができる^{1), 2)}。さらに、送受信アンテナ間の間隔を一定のまま深度方向に微小に移動させて得た2深度のデータから、地中の反射点の三次元位置を推定することができる²⁾。指向性ボアホールレーダの調査事例としては、これまでに鉛直ボーリングにおける亀裂分布の調査結果が報告されており³⁾、本研究では水平ボーリングでの適用性を現場試験で確認した。

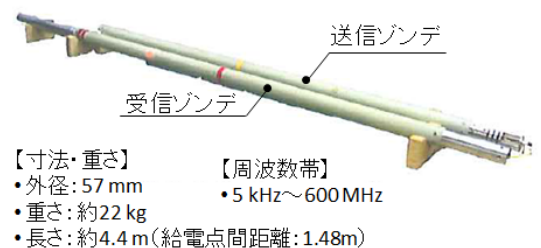


図-1 指向性ボアホールレーダ

3. 現場試験方法

本試験を実施したトンネル周辺の地質平面図を図-2に示す。地質は、主に中生代の砂岩頁岩互層($V_p=5$ km/s程度)で、石英斑岩や流紋岩が概ね南北方向に延びる貫入岩として分布している。砂岩頁岩互層の層理面は、西北西-東南東~東西方向の走向で $40\sim 80^\circ$ の北傾斜である。

本試験は、トンネル右側壁から約 70° 右方向に掘削した水平ボーリング孔で実施した。ボーリング孔の直径は101 mmで、深度30 mまでの区間を試験対象とした。この区間の地質は、穿孔ずりから主に砂岩であることを確認した。湧水に関しては、施工中、深度6 m~12 mで区間湧水量が約8 ㍓/分あったが、大量湧水箇所は確認できなかった。



図-2 トンネル周辺の地質平面図

試験は、まず従来型の無指向性ボアホールレーダ計測を行い、反射波の顕著な深度範囲を現場で確認した。計測間隔は0.2 mで、深度2 m~25 m区間で実施した(計測深度の基準は、受信アンテナの中心(給電点)としている)。測定では、5 kHz~600 MHzの周波数帯を使用した。次に、無指向性ボアホールレーダの計測結果を踏まえ、反射波の顕著な2区間(区間①: 深度3 m~6.5 m, 区間②: 深度13 m~17 m)において、指向性ボアホールレーダによる計測を0.1 m間隔で実施した。最後に、水平ボーリング孔内の亀裂位置および走向傾斜を調査するため、ボアホールカメラにより孔内を撮影した。

キーワード 指向性ボアホールレーダ, トンネル, 水平ボーリング孔, 亀裂の走向傾斜, 鉱物脈

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6659

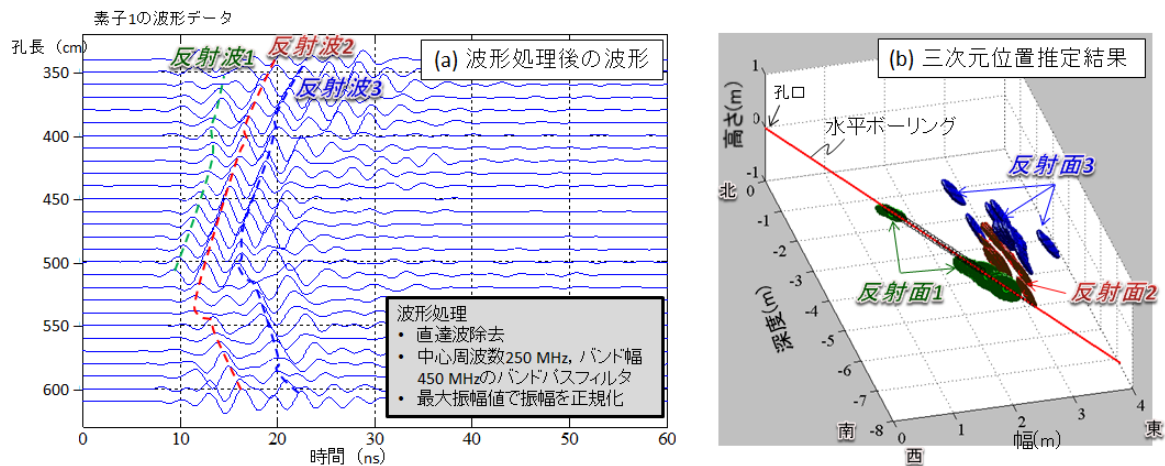


図-3 指向性ボアホールレーダの計測結果 (区間①)

4. 試験結果・考察

指向性ボアホールレーダの計測結果として、図-3に区間①の結果を示す。図-3(a)の波形データから、連続する3つの反射波を確認した。図-3(b)は、それぞれの反射波の2深度データから反射面の位置推定を行い、三次元的に表示させたものである(図中の反射面1~反射面3)。さらにそれぞれの反射面について、一つの平面として最小二乗法で近似し、反射面の走向傾斜、ボーリング孔との交差深度を算出して後述のボアホールカメラの結果と比較した。なお、区間②では、反射波を2つ(反射面4, 反射面5)確認している。また、比誘電率については、区間①では平均5.6, 区間②では平均5.2であった。

指向性ボアホールレーダで推定した反射面の分布の妥当性を検証するため、ボアホールカメラの結果と比較した。ボアホールカメラで確認した亀裂のうち、開口亀裂や鉱物脈は電磁波の反射面になる可能性が高いため、これらを比較の対象とした。図-4は、推定した反射面と開口亀裂、鉱物脈を平面図上に描画したものである。図-4によれば、開口亀裂(実線)はボーリング孔と高角度で交差するものが多く、計測結果の反射面と一致するものはなかった。鉱物脈(点線)に関しては、低角度で交差するものに着目すると、V-1, V-4, V-5は反射面1~反射面3と、V-10は反射面5とそれぞれ走向・ボーリング孔との交差深度がほぼ一致している。一方で反射面4については、走向・ボーリング孔との交差深度が一致する鉱物脈は確認できなかった。その理由として、複数の鉱物脈や開口亀裂からの反射波を計測していた可能性が考えられる。

5. おわりに

本研究によって、水平ボーリング孔であっても指向性ボアホールレーダにより亀裂の分布を推定できる可能性が示された。今後、水みち分布調査への適用性を確立するため、湧水孔での適用を検討していく予定である。

参考文献: 1) 海老原ほか, 物理探査学会第124回学術講演会論文集, pp. 287-290, 2011. 2) Ebihara et al., Near Surface Geophysics, Vol. 11, pp. 185-195, 2013. 3) Wada et al., 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), 2016.

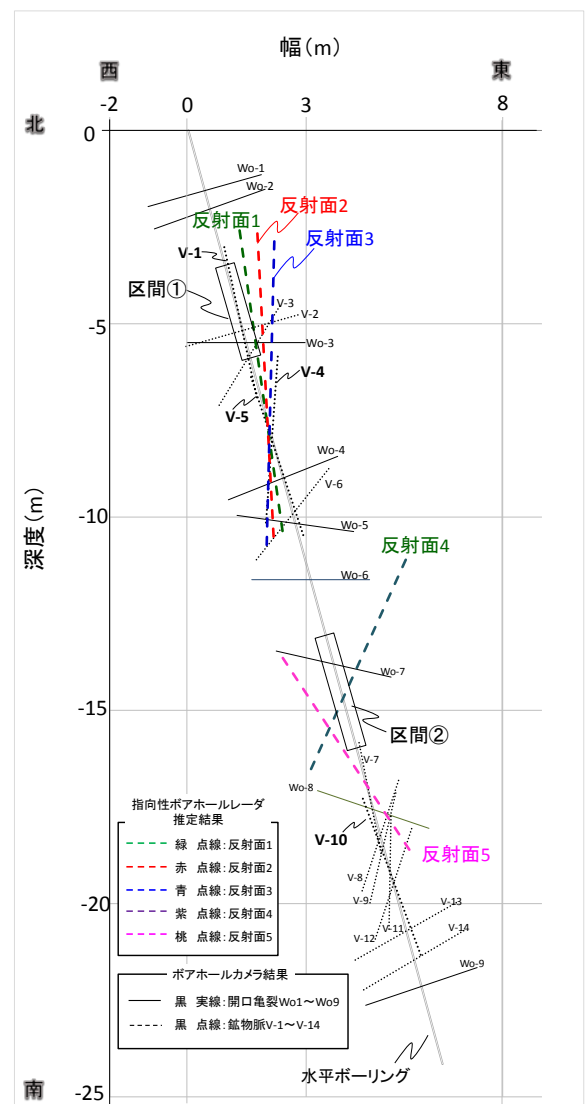


図-4 反射面と亀裂分布の比較