

TRT 手法によるシールドマシンの切羽前方探査の検証試験

鹿島建設株式会社 正会員 ○升元 一彦, 栗原 啓丞, 松下 智昭, 吉迫 和生, 白鷺 卓, 福田 昌弘

1. はじめに

シールド工事において障害物や空洞の存在, 岩盤境界などの地質変化は掘進におけるリスクとなるため, 前方探査により事前に把握しておくことが合理的で安全な施工を行う上で重要である。しかし, シールドマシンにおける探査装置設置箇所の制約等の探査自体の課題や, 掘進速度の速さに対応した迅速な探査結果出力の困難さから前方探査手法は有効に適用されてこなかった。これに対し, 山岳トンネルの前方探査で活用されている TRT 探査 (三次元反射法探査) 手法をシールドトンネルへ展開することを目指し, 切羽前方数十 m の探査を目的として弾性波と用いる方法 (弾性波 TRT 探査) と, 切羽直近の数 m の探査を目的として電磁波を用いる方法 (レーダ TRT 探査) の 2 つの手法の開発を進めている。

これらの探査における課題は, ①シールド工事では未固結な地盤内での探査になることが多いため, 伝搬速度が遅く減衰が大きくなり, 解析を行う上で有意な反射波形が取得できない可能性があること, ②発受信においてシールドマシン自体が反射波の阻害要因 (弾性波ではマシンを伝搬する振動や速度が大きい点, 電磁波では素材の鉄が電磁波を遮蔽する点) となる可能性があること, ③シールドマシン内において探査装置設置に空間的制約があること, が挙げられる。今回, ①の課題に対する検討として, シールドマシン上での計測レイアウトを模擬した TRT 探査手法の検証試験を更新世の半固結泥岩で実施した結果について報告する。

2. TRT 手法のシールド前方探査への適用

岩盤で使われている弾性波を用いた TRT 探査手法は, トンネルの坑壁に 3 次的に設置した発受振点で反射法探査を行い, 切羽前方の地質境界や破碎帯のような不連続面を 3 次的イメージとして非破壊で探査する手法である¹⁾。シールド工事で弾性波 TRT 探査を適用するためには, ②の課題があるためシールドマシンやセグメントの外側の地盤中に発受振点を設置する必要がある。このため, 先進ボーリングを利用して複数回打撃による発振を行い, マシンの外側に設置した複数の受振器で反射波形を計測するレイアウトを想定した。また, レーダ TRT 探査を適用するためには, 同じ②の課題があるためシールドマシンの外側で電磁波を送受信する必要がある。このためカッタ面板に送受信アンテナを設置し, カッタを回転させ計測位置を順次変えて計測を行うことにより複数の位置での反射波形を計測できるレイアウトとした (図 1)。

検証試験では各々の計測レイアウトを平面的に再現して計測を行い, TRT 解析を行うことにより地盤内や斜め前方の既知の境界が反射面として捉えられるか確認を行った。

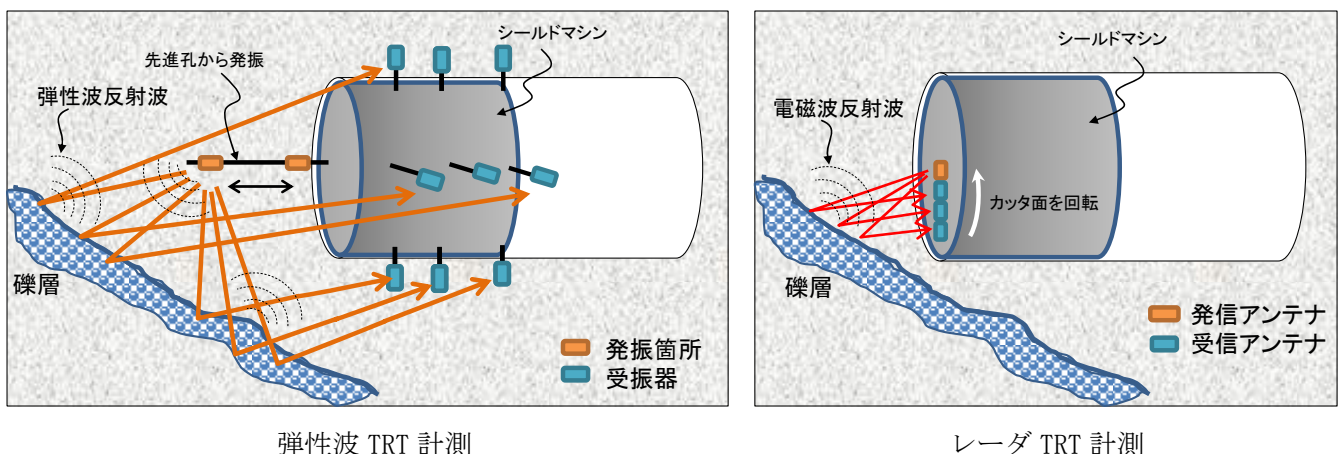


図 1 TRT によるシールドマシン切羽前方探査の概念図

キーワード シールドマシン, TRT 手法, 弾性波探査, レーダ探査

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 042-489-6574

3. 検証試験方法

弾性波 TRT の検証試験は細砂や砂礫を挟在する更新世の半固結泥岩の地盤面で実施した。泥岩は塊状で新鮮部の N 値は 75-150 であるが、地表付近の弱風化部の N 値は 30-40 を示す。挟在層の傾斜はほぼ水平で、砂礫は 150-300 と大きな N 値を示す。また、近傍のボーリング結果から弱風化部が 20m 程度の厚さで発達していると推定されており、これらの分布を弾性波 TRT の検出対象とした。レーダ TRT の検証試験は泥岩の基盤の上に盛土を行った駐車場において実施した。事前に実施したパルスレーダの結果から、盛土と基盤との境界面が地表から 2.5-3.0m に電磁波の反射面として確認できたので、これをレーダ TRT の検出対象とした。

図 2 に検証試験の平面的な計測レイアウトを示す。弾性波 TRT では道路トンネルのような大型シールドマシンの外側に受振点を配置し、シールド前方に発振点を設けた状態を想定した計測レイアウトとした。発振は地盤面をカケヤで打撃することで行い、受振は表面の土砂を取り除き速度計を地盤に直接接地させた。解析に用いた地盤の弾性波速度は、直達波の速度から 700m/sec とした。レーダ TRT ではシールドマシン前面に送受信アンテナを配置し、カット面板を回転させて送受信位置を変えることを想定した計測レイアウトとした。発受信アンテナを直線になるように配置し、当初の位置関係を維持しながらアンテナを 30° 間隔で移動させて 360° 測定を行った。解析に用いた地盤の電磁波速度は、CMP 測定結果から 0.079m/ns とした。

4. 検証試験結果

図 3 (1) に弾性波 TRT 解析結果を示す。泥岩の弱風化部内では多数の水平方向の反射面が確認され、風化部内に挟在する砂礫からの反射を表していると考えられる。一方、新鮮部との境界以深では、これらの反射面が減少しており、新鮮部では風化部に比べ砂礫との N 値の差が少なくなったために反射面が少なくなったものと判断できる。また、発振位置前方の擁壁の段差位置も反射面として捉えられている。これらのことから、半固結泥岩内に強度に差がある砂礫が挟在する場合や擁壁といった明瞭な反射面がある場合は、30-40m 前方でも弾性波 TRT 探査により検出可能であることが分かった。

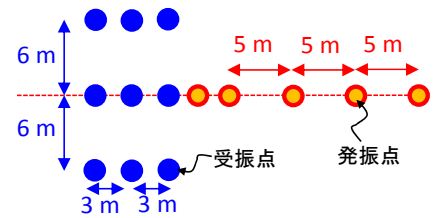
次に、図 3 (2) にレーダ TRT 解析結果を示す。盛土中には小さな反射面が多数見られ、基盤との境界以深ではそれが減少している。基盤内では埋戻し土の不均質性がなくなったためと考えられ、レーダ TRT で数 m 前方の境界面が検出できることが分かった。

5. おわりに

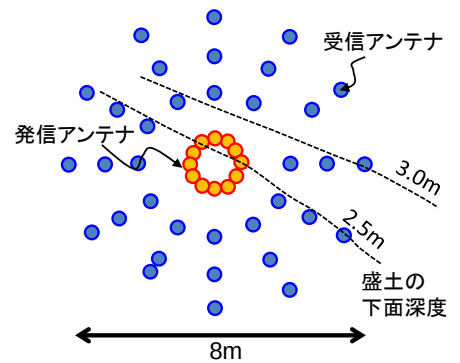
今回の半固結泥岩における検証試験結果から、シールドマシンを想定した計測レイアウトで TRT による前方探査が適用可能であることが分かった。今後、マシン内部から地盤へ設置する受振器の開発や解析手法の自動化を進め、実機搭載への可能性の検討を行う予定である。

参考文献

1) 例えば 白鷺ほか; 反射トモグラフィ法を利用したトンネル周辺地質の予測, 第 11 回岩の力学国内シンポジウム, F18, 2002.

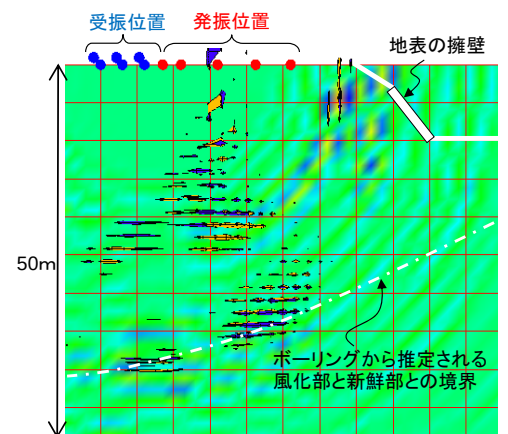


(1)弾性波 TRT 計測の平面配置

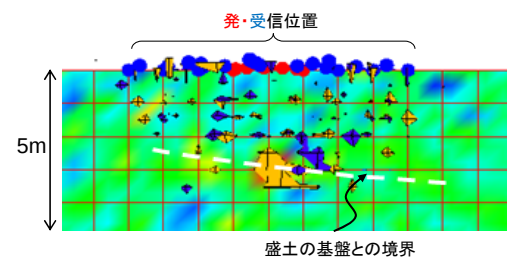


(2)レーダ TRT 計測の平面配置

図 2 検証試験の計測レイアウト



(1) 弾性波 TRT 解析結果



(2) レーダ TRT 解析結果

図 3 検証試験の TRT 解析結果
(縦断面図)