# 指向性ボアホールレーダによる水平孔での3次元割れ目分布調査

鹿島建設(株) 正会員 ○松下智昭 升元一彦 白鷺 卓 田中久人 森下慶一 松永ジオサーベイ(株) 植木 隆 唐澤信輔 牧野大樹 和田一成

#### 1. はじめに

山岳トンネルでは、予期せぬ割れ目や断層に遭遇し、切羽崩壊することが少なからずある.このような地質 トラブルを避けるには、事前に割れ目の位置だけでなく分布を把握することが重要である.そのための探査手 法として、筆者らは、反射波の到来方向を推定可能な指向性ボアホールレーダによる前方探査技術の開発を進 めている<sup>1)</sup>.本稿では、水平孔でのレーダ探査方法の検討と現場試験を実施したので、その結果を報告する.

### 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は困難であった.一方、今回使用 した指向性ボアホールレーダ(図-1)は、複数本の受信アンテ ナ素子が円形アレー状に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<sup>2),3)</sup>.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深度の反射波の平均到達時間から、探査ターゲットの 3次元位置を推定することができる<sup>3)</sup>.これにより、単一孔にお いて孔周辺の割れ目の3次元分布を評価することが可能である.

## 3. 水平孔でのレーダ探査方法の検討

水平孔での探査の場合, 孔崩れ防止策が大きな課題となる. ま た, 高周波電磁波による計測をするため, 非鋼製材の保孔管が必 要になる. そこで, トンネル補助工法の一つ FRP Injection Tube 工法(以下, FIT 工法)で使われているガラス繊維強化プラスチ ック(GFRP)製の FIT 管を保孔管として適用することにした. 一 方で, 構造上, FIT 管同士を繋ぐスリーブ(L=0.2m)は鋼製材と なるため, 探査結果への影響が懸念された. そこで, スリーブが レーダ探査へ与える影響を確認するための基礎試験を実施した.

基礎試験は、図-2に示すように、地表面下約 1m のガス管(φ 85mm)を探査ターゲットして、地上から FIT 管内に指向性ボアホ ールレーダを入れて探査した場合と FIT 管なしで探査した場合 で行った.その結果、FIT 管ありの場合でも、解析した反射点の 位置はほぼガス管に一致した(図-3).このことから、スリーブ は解析結果にほとんど影響を与えず、FIT 管を保孔管として利用 できることが確認できた.





# 4. 現場試験

現場試験は、花崗岩主体のトンネルにおいて、岩盤割れ目を探査ターゲットとして実施した. 試験用の水平 孔(削孔径:101mm)は、トンネル左側壁から N73W 方向(上向き 2°)に 20.8m 掘削した(図-4). 削孔後の 湧水量は 3ℓ/分程度と少なかった.

キーワード 指向性ボアホールレーダ,トンネル前方探査,水平孔,FIT 管,割れ目の3次元分布 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

-1103-



試験は、最初にボアホールカメラで孔内を撮影した.次に水平孔 に FIT 管を挿入し、その中に指向性ボアホールレーダを入れ、孔口 から深度 4m~18m 範囲で、0.1m 間隔でデータ収録した.

図-5に試験孔沿いの波形データと孔内画像を示す. 孔内画像から, 破砕帯 5 箇所 (F1~F5),開口割れ目 24 本 (o1~o24),密着割れ目 116 本を確認し,各々の走向傾斜を算出した.波形データからは,計 8 個の反射面 (Ph1~Ph8)からの反射波を抽出し,各反射波の到達時 間を解析して,反射面の走向傾斜とボーリング孔との交差深度を算 出した.解析結果の一例として,図-6に反射面 Ph2 の3次元描画を 示す.指向性ボアホールレーダから求めた Ph2 の走向傾斜は,交差 深度±1m付近の破砕帯F3のボアホールカメラから推定した走向傾斜 とほぼ一致した (図-7 左).同様に,反射面 Ph7 について交差深度 表-1 各反射面に相当する割れ

推定した反射面 【指向性ボアホールレーダ】			破砕帯・開口割れ目※1 【ボアホールカメラ】			
	走向傾斜	交差深度 m		走向傾斜	交差深度 m	開口幅 mm
Ph1	N74E56N	4.8	F3-u	N58E22N	3.4~3.8	-
			F3-1	N67E20N	3.6~4.1	-
Ph2	N53E39N	4.6	F3-u	N58E22N	3.4~3.8	-
			F3-1	N67E20N	3.6~4.1	-
Ph3	N2E41W	8.6	06	N13E28W	8.9~9.1	2.5
Ph4	N57E89N	8.3	o3	N67E79N	7.2~7.4	4
			o4	N75E68N	7.9~8.0	2
			o5	N76E71N	8.6~8.7	4.5
Ph5	N46W70W	11.7	o11	N2W27W	$11.8 \sim 12.0$	2
			o12	N5W7OW	12.5 $\sim$ 12.6	2
Ph6	N59E33N	8.8	o4	N75E68N	7.9~8.0	2
			o5	N76E71N	8.6~8.7	4.5
Ph7	N3W22W	13.0	o11	N2W27W	11.8~12.0	2
			o12	N5W70W	12.5 $\sim$ 12.6	2
Ph8	N47E37N	17.7	o20	N70E61N	$17.0 \sim 17.2$	8
			o21	N82E38N	16.9~17.6	2
			o22	N9E37W	18.1~18.3	2.5
			o23	N20E42W	18.3~18.4	2.5

※1 反射面の交差深度±1m付近の破砕帯・開口割れ目を抽出

±1m 付近の開口割れ目と比較すると,両者の走向傾斜がほぼ一致するもの (o11, 012) と一致しないもの (o10) があった (図-7 右). レーダ探査では孔壁から奥行き方向へより連続した割れ目を反射面として捉えている と考えられるため, o11, o12 に比べて o10 の割れ目は連続性に乏しかった可能性がある. その他の反射面に ついても,ボアホールカメラで推定した開口割れ目の走向傾斜とほぼ一致しており (表-1),指向性ボアホー ルレーダにより孔壁から奥行き方向へ連続する割れ目の大局的な方向を捉えられることが分かった.

#### 5. おわりに

本研究では、基礎試験により FIT 管を保孔管として利用できることを確認し、次に FIT 管を使用した現場試験を実施した.現場試験の結果、指向性ボアホールレーダにより孔壁から奥行き方向へ連続する割れ目の大局的な方向を捉えられることが分かった.今後は測定方法等を改良しながら、現場適用を進める予定である. 参考文献:1) 松下ほか、第 14回岩の力学国内シンポジウム 講演集,講演番号 016, 2017. 2) 和田ほか、物理探査学会第 130回学術講演会論文集, pp. 99-102, 2014. 3) Ebihara et al., Near Surface Geophysics, Vol. 11, pp. 185-195, 2013.