

SWD (Seismic While Drilling) によるトンネル切羽前方探査

大成建設 (株) 技術センター 正会員 ○山上順民 今井博 青木智幸

大成建設 (株) 関西支店 椿坂トンネル作業所 正会員 友野雄士 三谷一貴

1. はじめに

山岳トンネルにおける切羽前方探査法の1つとして、削孔探査が行われてきた。削孔探査は、削孔時の機械データから、単位体積あたりの岩盤を掘削するのに要するエネルギーを求め、この値により岩盤評価を行う方法である。削孔探査は、切羽前方の湧水に対する探りボーリングと兼用できる利点があるが、既存の岩盤分類（硬さ・割れ目間隔・割れ目性状に基づく）と対応をとることが難しいことが課題であった（表1）。そこで、今回は、トンネル支保設計や岩盤分類と関係づけられている弾性波速度分布を求める方法として、石油資源探査で使用されている Seismic While Drilling（以下、SWD と呼ぶ）をトンネルに適用した（表1）。切羽からの先進ボーリング削孔中の掘削ビットから発生する振動を分析し、切羽前方の弾性波速度の分布を把握するトンネル切羽前方探査を試みた。

表1 削孔探査と SWD の比較

	長所	短所
削孔探査	- 湧水に対する探りボーリングと兼用できる - 実績が多い	- 岩盤分類との対応が困難 - 局所的な影響を受ける - 削孔方法（フィード圧の変化）による影響がある
SWD	- 直接的に弾性波速度分布が把握できる - 局所的な影響を受けず区間平均的な値となる - 削孔を妨げず、削孔探査と同時にできる	- 解析時間を要する - トンネルでの実績がない

2. SWD

石油資源探査における SWD は、掘削ビットから生じる振動を振源として用い、直接波による掘削箇所 の物性状況の把握や、反射波による貯留層の位置の予測が行われている（図1）。その原理は、まず、掘削ビットから生じる振動を地上の掘削マシン及びマシンと離れた地表部で受振する。次に、図2において、受振波の波形処理（相互相関により T_r を求める）と受振位置に関する補正（ T_1 を考慮する）により、掘削ビットから生じた振動が地表受振点に到達する時間（ T_2 ）を求める。この処理を深度毎に行うと、掘削ビットと受振点間の距離は既知であるので、削孔区間の弾性波速度分布を求めることができる。

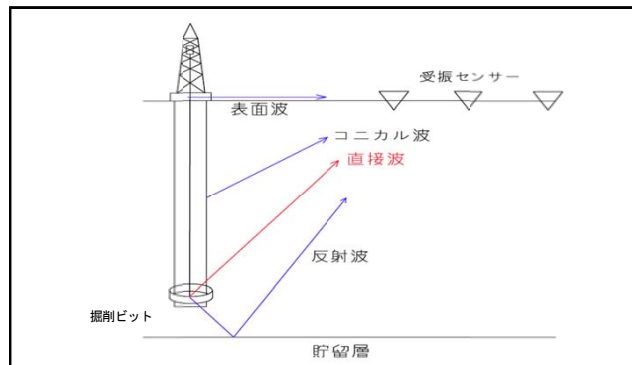


図1 SWD の概念図

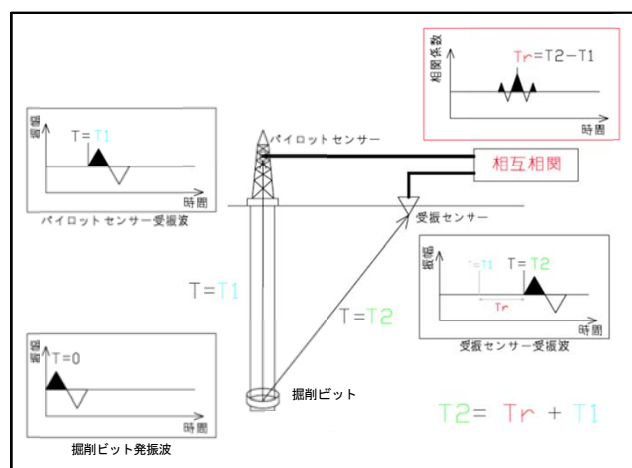


図2 SWD における到達時間の求め方

3. トンネルへの適用実験

SWD のトンネルへの適用実験を滋賀県の国道 365 号椿坂トンネルで実施した。本トンネルは中生代の頁岩を主体とし、潜在割れ目が多数認められた。

3.1 実験方法

SWD を図3に示すレイアウトで実施した。削孔機械は、ドリルジャンボを使用し、スイベル部に掘削ビットの掘削振動をモニターするための受振センサー（パイロットセンサー）を設置した（図4）。受振センサーは、ノイズ源となる坑内の機械などの影響を減らすために、切羽の右側壁に長さ 23m の AGF 鋼管（φ76mm）を削孔し、この中に多連のハイドロフォン（1m 間隔）を設置した。探査区間（削孔長）は 55m とし、データは 1m 削孔毎に波形処理を行った。

キーワード：SWD, 削孔探査, 山岳トンネル, 切羽前方探査

連絡先：〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター TEL:045-814-7237

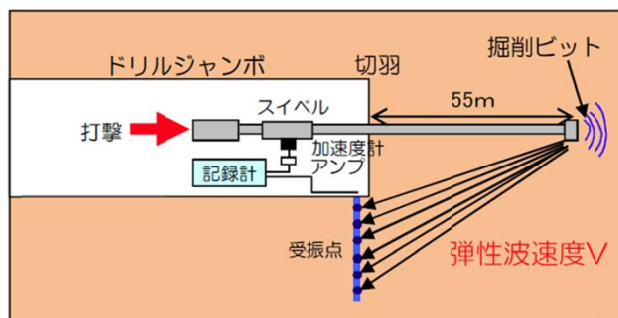


図3 トンネルにおけるSWDのレイアウト（平面図）



図4 パイロットセンサー設置状況

3.2 実験結果

実験結果の相互相関波形を図5に示す。解析は、ノイズの影響を考慮して、孔壁からの深度が最も深い受振点（深度23m）で得られたデータを用いた。図5において、削孔深度0~20m区間、27~31m、33~36m、43~48mはノイズの影響が強く、到達時間が得られなかったが、図5中の赤線の位置（矢印部）で直接波の到達が確認された。

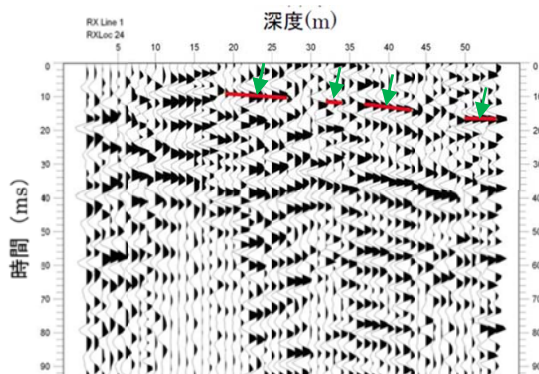


図5 各深度区間の相互相関波形

4. 考察

トンネルに適用したSWDにより得られた、切羽前方の弾性波速度分布の妥当性を検証するために、掘削後のトンネル底盤で測定（屈折法弾性波探査による）した実測値や掘削実績（切羽観察結果）と比較した（図6）。

探査区間中の掘削実績としては、実験時の切羽位置から35~45mの位置に破碎帯が確認された。屈折法弾性波探査による実測結果では、切羽観察結果と調和する30~45m区間で低い弾性波速度（2.9km/s）が確認された。

今回、SWDで得られた結果と検証データとを比較すると、破碎帯が確認された区間において、相対的に速度が低い区間（3.3km/s、実験時の切羽位置から36~52m）が認められ、SWDにより幅約10mの破碎帯が検出できたと考えられる。

5. おわりに

今回の実験から、探査深度55mの削孔振動探査により、トンネル切羽前方約30mにある幅約10mの破碎帯を把握することができた。

しかし、ノイズにより解析できない区間もあったことから、振源となる削孔方法の変更（パイロットセンサーに近い後方打撃式から、先端打撃式への変更）や、受振方法の改良により、S/N比を向上させることが課題である。今後は、S/N比の向上により、探査深度の長距離化、高精度化を目指したいと考える。

参考文献

- 1) 芦田 譲, 用語解説 SWD, 物理探査, 第50巻, 第3号, 252-256, 1997.
- 2) 物理探査ハンドブック, 物理探査学会, 1998

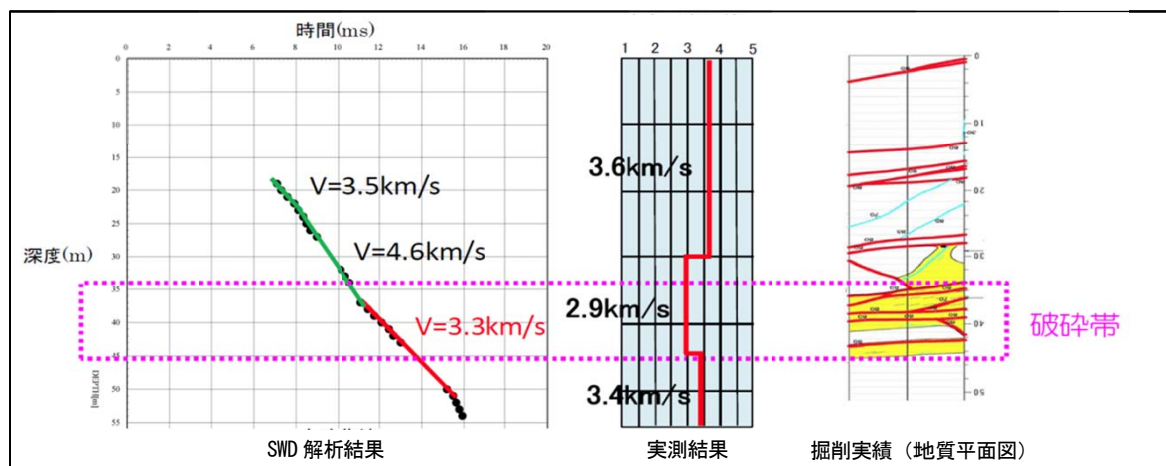


図6 SWD結果と実測値・掘削実績との比較