

ノンコア削孔切羽前方探査と坑内弾性波探査

(株)大林組 技術研究所 正会員 ○桑原 徹, 畑 浩二
(株)大林組 名古屋支店 正会員 玉井昭雄

1. はじめに

トンネル HSP (Horizontal Seismic Profiling) 法や TSP (Tunnel Seismic Prediction) 法と呼ばれる坑内弾性波探査は、弾性波の解析により反射波を検出し、切羽前方の断層破砕帯や地層境界を判定しようとするものである。しかし、日本の複雑な地質構造に対しては、解析結果の地質的な判定方法や精度・信頼性について課題も多い。

筆者らは、既往のノンコア削孔トンネル切羽前方探査(削孔検層、穿孔検層、穿孔探査などとも呼ばれる)を改良した新しい解析手法(削孔速度変換解析システム)を開発し検証を行ってきた^{1)~4)}。また岩盤物性との関係を利用して地山強度比や弾性波の反射係数の算定方法についても提案を行ってきた^{4),5)}。この研究では、ノンコア削孔調査に基づく弾性波の反射係数の算定方法、および事例研究に基づく坑内弾性波探査との比較検討結果を報告する。

2. ノンコア削孔による弾性波の反射係数の算定

反射波の振幅に関連して、境界面からの反射波の強さはその面でのインピーダンスの差に応じて変化する。反射振幅の大きさである反射係数は、以下で定義されている⁶⁾。

$$\text{反射係数 } r_i = (Z_{i+1} - Z_i) / (Z_{i+1} + Z_i) = (\rho_{i+1} V_{i+1} - \rho_i V_i) / (\rho_{i+1} V_{i+1} + \rho_i V_i) \quad (1)$$

ただし、i 層から垂直に i+1 層に入射する場合、音響インピーダンス $Z_i = \rho_i V_i$, ρ : 密度, V : 弾性波速度(km/s)

ここで、ノンコア削孔データから、反射波と同様な方法で反射係数を計算し、これを反射係数 r_j とする。

$$\text{反射係数 } r_j = (\gamma_{j+1} V_{pcj+1} - \gamma_j V_{pcj}) / (\gamma_{j+1} V_{pcj+1} + \gamma_j V_{pcj}) \quad (2)$$

ただし、j: j 番目の削孔データ、 γ : 地山の単位体積重量 (kN/m³)、 V_{pc} : コア試料の弾性波速度 (km/s)は正規化削孔速度比~室内試験結果の相関関係式⁴⁾(図-1)から求める。

3. 事例調査研究の結果

(1) 削孔速度変換解析の結果

研究対象は、中央構造線に伴う断層破砕帯を含む 50m の区間であり、火山岩、頁岩、花崗岩などからなる。ノンコア削孔調査に加えて、先進ボーリング(コア観察、RQD など)、速度検層、TSP 法、切羽地質観察、室内岩石試験も実施した。

削孔速度変換解析によりまず正規化削孔速度比を計算し、これからさらに式(2)を利用して弾性波の反射係数を計算した。検証区間には 2ヶ所の断層・破砕帯があり(図-2)、図中 FZ は断層主部の粘土質・礫状の頁岩および花崗岩質の破砕岩からなり、SZ は礫状でおおむね RQD≒0 の花崗岩質の破砕岩区間である。正規化削孔速度比の高いピークはこの 2ヶ所の弱層区間に対応しており、また反射係数の高い 4ヶ所(図中▼印)は、断層・破砕帯の始点と終点に対応している。すなわち、弱層と新鮮岩の境界部から発生する主要な反射波は、この 4ヶ所から発生することを示している。

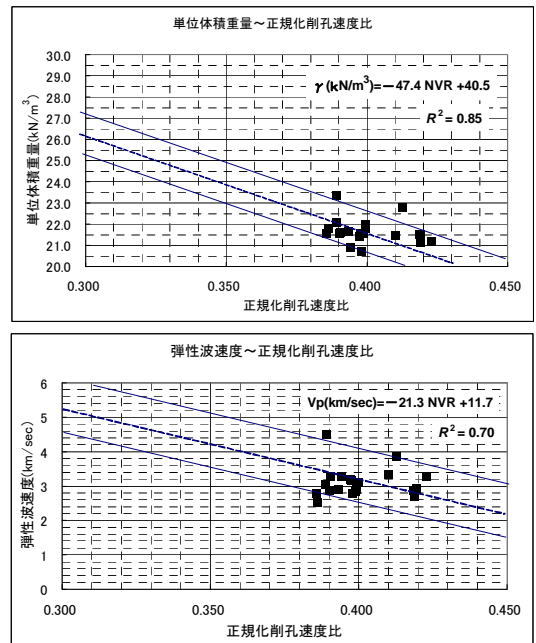


図-1 正規化削孔速度比~岩石物性の相関

キーワード: トンネル切羽前方探査, ノンコア削孔調査, 正規化削孔速度比, 反射係数, 坑内弾性波探査, TSP 法

〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640	(株)大林組 技術研究所 地盤技術研究部	TEL 042-495-1015
〒461-8506 愛知県名古屋市東区東桜 1-10-19	(株)大林組 名古屋支店 土木工事部	TEL 052-961-5110

(2) ノンコア削孔調査と坑内

弾性波探査の比較検討

弾性波の反射係数（ノンコア削孔削孔速度変換解析）と反射強度（TSP法）との対比を図3に示す。いずれも4ヶ所で大きな反射特性を示し（ノンコア削孔▼印, TSP法▲印），これらは2ヶ所の断層・破碎帯の始点と終点での岩質境界に対応している。

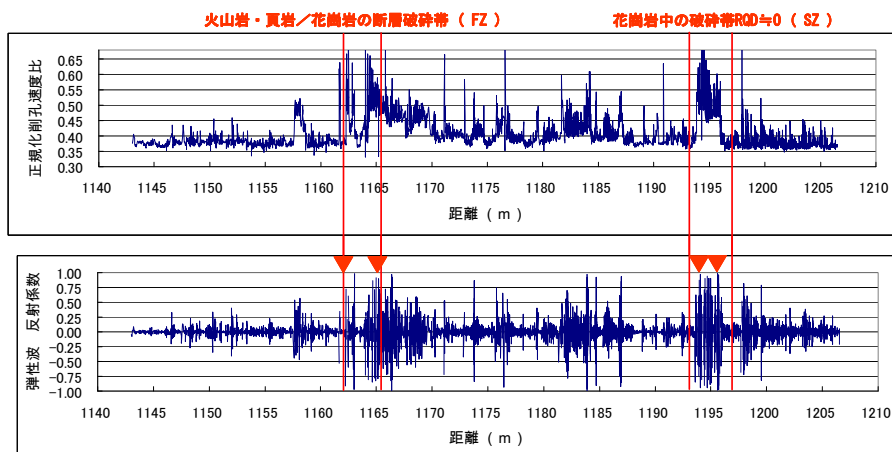
仔細に見ると両者において差異がある。断層・破碎帯の始点に該当する反射面（+印）では両者のずれは1~3m程度であるが、終点に該当する反射面（-印）ではずれは10~16mと大きい。この理由は、TSP法における速度解析結果の誤差、反射波の周波数や重複反射によるものと考えられる。したがって、TSP法は断層・破碎帯の出現地点は評価可能であるが、区間幅（深度）については過大評価をする場合もあることを示唆している。

4. まとめ

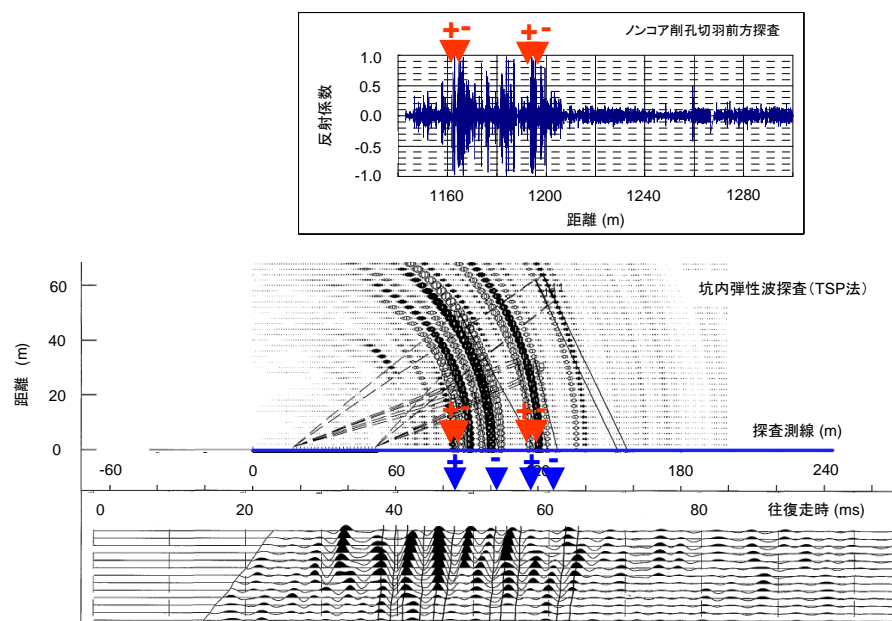
今回の研究結果は、地質展開図による坑内弾性波探査の検証方法に加えて、ノンコア削孔調査に基づくクロスチェックの有効性を示している。一次元的なノンコア削孔調査と二次元~三次元的な坑内弾性波探査の組合せは前方探査として有望であるが、坑内弾性波探査の精密な地質評価法の確立が今後の検討課題である。

謝辞 本研究結果の内容を御理解いただき、論文発表を許可して頂いた国土交通省中部地方整備局浜松河川国道事務所の関係各位に深い感謝の意を表します。

参考文献 1) 稲川雄宣ほか：ノンコア削孔による切羽前方予測技術の基礎的研究，トンネル工学報告集第16巻，(2006)，2) 桑原 徹ほか：変換解析システムによるノンコア削孔トンネル切羽前方予測技術，トンネル工学論文集第18巻，(2008)，3) 桑原 徹ほか：削孔速度解析システムによる花崗岩地山でのトンネル切羽前方探査，土木学会第64回年次学術講演会，第VI部門，(2009)，4) 桑原 徹ほか：ノンコア削孔トンネル切羽前方探査による地山強度比の推定，トンネル工学報告集第19巻，(2009)，5) Kuwahara T. et al. : Geological Prediction Ahead of the Tunnel Face by the Exploration Drilling System During the Tunnel Excavation, ITA - AITES 2010 World Tunnel Congress, (2010)，6) 物理探査学会（編）：物理探査ハンドブック，(1998)



図一2 ノンコア削孔速度変換解析結果



図一3 ノンコア削孔調査と坑内弾性波探査の比較