

Ⅲ-B44 結晶片岩トンネルにおける切羽前方弾性波反射法探査と地山特性について

(株)フジタ 技術研究所 正会員 ○村山 秀幸 加藤 卓朗
埼玉県皆野寄居バイパス建設事務所 中村 繁明 高橋 正
(株)フジタ 首都圏土木支店 柳内 俊雄 他田 文孝

1. はじめに

弾性波反射法による切羽前方探査はTSP法やHSP法との名称で近年多くのトンネルに適用され、施工時にける坑内からのトンネル切羽前方予測として設計・施工への反映が期待されている。弾性波反射法で得られる情報は、地山の音響インピーダンスの相違によって発生する反射面の位置(分布)、方向性、相対的性状の変化(硬質から軟質へ、軟質から硬質へ)などであり、地山特性を評価し探査結果を設計・施工に反映するためには、これら反射面情報と地山性状(事前調査結果、既存掘削区間の切羽観察結果や坑内計測結果など)を総合的に評価することが最も重要かつ専門知識が必要な作業となる。

本報告は、三波川結晶片岩類より構成されるトンネルにて実施した切羽前方弾性波反射法探査(TSP法)において、結晶片岩に特徴的と考えられる反射面特性と地山性状の評価についてその概要を述べる。

2. トンネルおよび切羽前方探査の概要

切羽前方探査は、埼玉県秩父郡皆野町に位置する美の山トンネル本毛工区(一般国道140号皆野寄居バイパス、トンネル全長 $L=1,614\text{m}$ のうち皆野側 $L=702\text{m}$)で実施した。トンネル地質は、三波川変成岩類に属する黒色片岩(Bs)と緑色片岩(Gs)およびその互層を主体とし、トンネルほぼ中間付近に褶曲軸(向斜軸)が、地表からの弾性波屈折法により幅数 10m (最大幅約 200m で向斜軸周辺に想定)と規模の大きな弾性波低速度帯が数カ所に発達することが想定されていた。これらの褶曲構造と低速度帯(断層破碎帯相当)の発達は、三波川結晶片岩類が受けた造構造運動履歴とその後の風化侵食作用を反映していると考えられ、トンネル地山の破碎と脆弱化の進行が危惧され、事前に切羽前方地山を予測し設計・施工に迅速に対応することが望まれた。

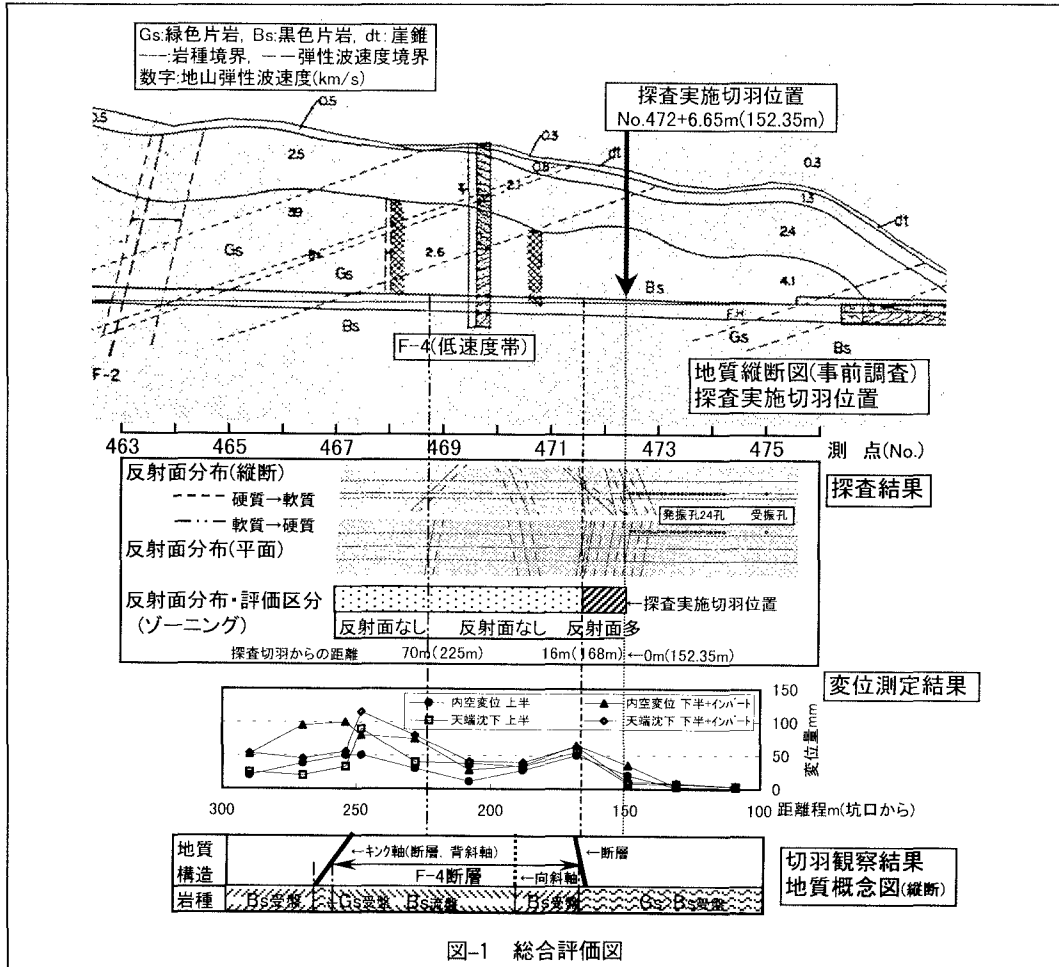
弾性波反射法(TSP法)による切羽前方探査は、切羽位置No.472+6.65mで実施し、切羽前方約 30m に想定される低速度帯(F-4断層)の位置と地山性状を明らかにすることを目的とした。探査位置における地山弾性波速度は $V_p=4.1\text{km/s}$ 、低速度帯は $V_p=2.6\text{km/s}$ と想定されていた。切羽前方探査は通常のTSP法における探査配置¹⁾とし、上半盤側壁に発振孔 $L=1.5\text{m}$ をピッチ 1.5m で24孔切羽側に配置し、受振孔 $L=2.4\text{m}$ を切羽から 52.7m 坑口側の両側側壁に配置した。発破は1孔当たり含水爆薬 50g (爆速 $5,300\sim 5,800\text{m/s}$)で瞬発電気雷管を用いた。

3. 探査結果と地山特性の評価

図-1に事前調査結果、探査結果、計測結果、切羽観察結果などを総合的に示す。探査時の切羽は緑色片岩を主体とする互層($G_s>B_s$)が分布し、結晶片岩特有の割れ目(片理面、層理面、亀裂、小断層など)が多く発達する非常にクラッキーな岩相を呈していた。前方探査結果による平均的な地山弾性波速度は $V_p=4.9\text{km/s}$ と非常に高い値を示し、反射面の抽出解析では当初その下限値である $V_p=4.6\text{km/s}$ を採用した。しなしながら、掘削後の総合評価においては $V_p=3.6\text{km/s}$ がほぼ妥当な地山弾性波速度であることが明らかとなった。地山弾性波速度は反射面の抽出位置(切羽からの距離)の算出に用いられ、この大小が探査距離精度を大きく左右する。一方、探査深度は $V_p=4.6\text{km/s}$ で約 90m 、 $V_p=3.6\text{km/s}$ で約 70m と非常に浅く、切羽前方に弾性波速度が極端に低い区間が存在すること示唆していた。抽出された反射面は、探査切羽近傍と前方約 20m 区間に多く抽出され、それ以深はほとんど反射面がないことが確認された。通常、反射面の分布から地山性状を評価する場合、「反射面が集中する区間=著しい地山変化、破碎帯、クラッキーゾーン」と考え施工上課題となる区間と想定する場合が多い²⁾。よって、当初の切羽前方地山評価においては切羽～切羽前方約 20m の「反射面が多い」区間を施工上要注意となる「破碎・クラッキーゾーン」と考え、切羽前方 20m 以深を「反射面のない(少ない)」区

キーワード：トンネル、NATM、切羽前方探査、弾性波反射法、三波川結晶片岩

連絡先：〒224-0027 横浜市都筑区大圃町74 tel045(591)3911, fax045(592)8657



間を「岩質が一様で安定したゾーン」とした。しかしながら、トンネル切羽が約16m掘進した段階で断層を伴い非常に乱され粘土化した黒色片岩に遭遇し、切羽と天端の自立性が困難な状態となり補助工法(天端・切羽へのウレタン注入)で対処した。この切羽状況は約100m区間連続し、内空変位が50mmを越えるケースも発生し、この破碎・脆弱区間がF-4断層に相当することが明らかとなった。以上より、本トンネルでは、通常とは異なり「反射面がない(少ない)ゾーン=破碎・粘土化の著しい脆弱区間」であることが判明し、このような反射面特性は、結晶片岩地山における脆弱な破碎帯に特徴的であると考えられる。また、地山弾性波速度が高く評価され最終評価段階で見直しを行った要因は、調査位置の結晶片岩が続成作用を強く受けた岩盤であったことと、切羽前方に非常に規模の大きな破碎帯が存在していたことによると考えられる。なお、最終総合評価における反射面の分布は断層や褶曲軸の位置、あるいは岩種区分と非常に調和的であることが分かる。

4. おわりに

本報告は、結晶片岩地山トンネルで実施した切羽前方弾性波反射法探査について述べ、通常とは異なる結晶片岩特有の破碎・脆弱帯における反射面特性と地山性状を明らかとした。本トンネルでは計3回の切羽前方探査を実施しており、トンネル全体における探査結果の総合的評価については今後報告する予定である。

【参考文献】1) ジェオフロンテ研究会, トンネル切羽前方探査技術資料, 1997. 11. 28 2) 波田光敬・松田美夫・渡辺康司・広畑義和・上松瀬義人・村山秀幸, 第三紀地山のトンネル切羽前方探査の試行と結果について, 第10回岩の力学シンポジウム, 岩の力学連合会, 1998. 1