

ハザマ土木統括本部 山本浩之
 ハザマ技術研究所 正会員 笠 博義
 ハザマ土木統括本部 猪狩哲夫

1. まえがき

TSP (Tunnel Seismic Prediction) 法は、スイスで開発されたトンネル前方探査システムである¹⁾。この方法は弾性波反射法的一种であり、坑内から容易かつ短時間に切羽前方の地質の不連続面の位置を検出することが可能であることから、最近国内でも適用事例が多数報告されている。本研究では、TSP法探査において、基本的な解析・処理において問題となりうる特質について整理を行ったので、その結果を紹介する。

2. TSP法の概要

TSP法では、図-1に示すように、トンネル坑壁で少量の火薬を爆発させ、これによって生じた直接波および反射波を高感度の地震計によって受振する。なお、この方法では通常の反射法とは逆に受振点は1点とし、発振点は一定間隔で24点(標準的な場合)を配置している。ここで得られた地震波から反射波を抽出した後、ディフракション法などを用いて地震波反射面の位置を把握し、反射面の連続方向をトンネル軸上に延長することで反射面となっている断層などの出現位置を予測するものである。

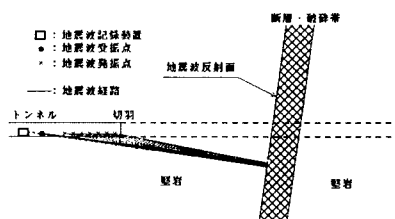


図-1 TSP法の概要

3. 切羽前方探査適用上の留意点及び検討結果

TSP法の解析では、各起振点からの直接波の平均地震波速度を用いる処理が行われている。これにより、解析速度が迅速になり、トンネル施工中にほぼリアルタイムで探査結果を把握することが可能となる一方、探査区間に地震波速度が異なる層が存在する場合には反射面の位置にずれが生じる恐れがある。また、トンネルにおける反射面位置の予測では、反射面を平面と仮定し解析を行っているが、反射面においてアンギュレーションなどを含む場合には反射面出現位置にずれが生じる可能性もある。

ここでは、①直接波の平均地震波速度と異なる速度層が存在する場合、②受発振区間の地震波速度が前方地山弾性波速度と異なる場合、③反射面がアンギュレーションなどによりトンネルとの交差角に誤差を含む場合について、それぞれ地質モデルを設定し解析結果に与える影響について検討を行った。検討結果を表-1に示す。

4. まとめ

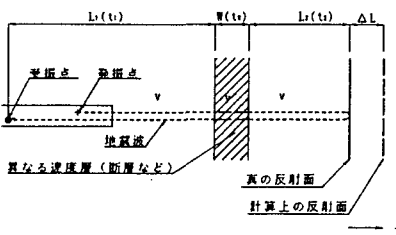
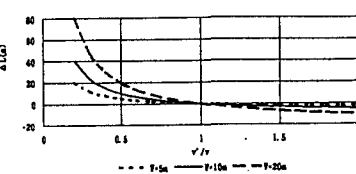
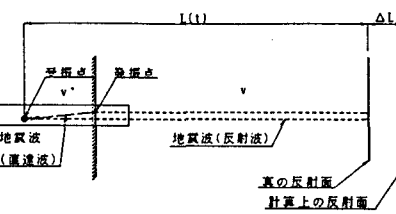
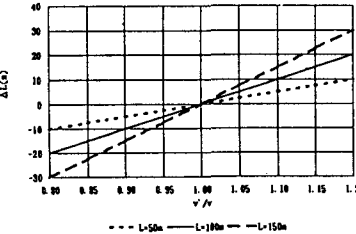
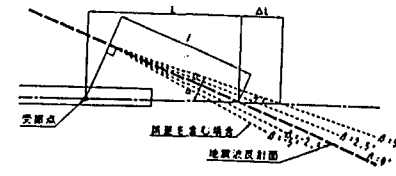
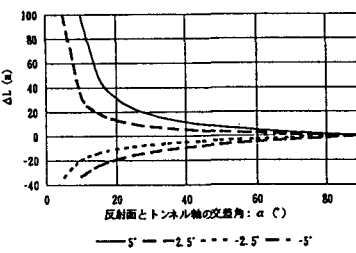
短時間で遠距離の前方探査が可能なTSP法は、TBM工法のような高速掘削を行う現場においては、特に切望される技術である。しかしTSP法は、表-1で示したような、誤差を発生させる要因を含んでいる。すなわち、探査区間の速度構造が複雑な場合や探査対象となる断層が低角度で交差する場合には、遠距離になるほど誤差が大きくなる可能性がある。

このため、TSP法を適用するにあたっては、ここで示したような解析上の特質や探査区間の地質構造などを十分に念頭に置く必要がある。また探査後の掘削進行に伴う坑内地質観察により、地山状況によっては、予測された断層位置の補正を行うなどして、精度を上げることも必要であると考えている。

なお、本報告は、第50回年次学術講演会(1995)にて発表したものを加筆した。

引用文献：1) G.Sattel et al: Prediction ahead of the tunnel face by seismic methods-pilot project in Centovalli Tunnel, Locarno, Switzerland, First Break, Vol. 10, No. 1, pp. 19 ~25, 1992

表-1 検討結果一覧

検討ケース	計算式	検討結果
① 直接波の平均地震波速度と異なる速度層が存在する場合  V: 直接波の平均速度 V': 異なる速度層の速度 $L1, L2$: V速度層の距離 W: 異なる速度層V'の幅 $t1, t2, tw$: 各速度層の伝播時間	$L1 + L2 + W$ $= V \cdot (t1 + t2) + V' \cdot tw \dots (1)$ $W = V' \cdot tw \dots (2)$ $L1 + L2 + W$ $= V \cdot (t1 + t2 + tw) \dots (3)$ (1)、(2)、(3)より見かけ上のずれΔLは、 $\therefore \Delta L = (V - V') \cdot tw$ $= (V/V' - 1) \cdot W$	 $V'/V < 1$の場合、ΔL(見かけ上のずれ)は大きな値となり、仮に幅10mの低速度層($V'/V=0.5$)が前方に存在する場合には、反射面が10mずれることになる。
② 受発振区間の地震波速度が前方地山地震波速度と異なる場合  V: 前方の地震波速度 V': 直接地震波の平均速度 L: 反射面までの距離 t: 伝播時間	$L \approx V \cdot t \dots (1)$ $L + \Delta L = V' \cdot t \dots (2)$ (1)、(2)より見かけ上のずれΔLは、 $\therefore \Delta L \approx (V'/V - 1) \cdot L$	 反射面までの距離が$L=100m$の場合、直接波の地震波速度が地山の地震波速度と10%異なると、10mのずれが発生することになる。また反射面までの距離Lが大きいほどずれが増大する。
③ 反射面がアンギュレーションなどによりトンネルとの交差角に誤差を含む場合  α: 地震波反射面がトンネル軸となす角 β: アンギュレーション等による反射面角度の誤差 L: 反射面までの距離	$l = L \cos \alpha, \gamma = \alpha - \beta$ とした時、見かけ上のずれΔLは、 $\Delta L / \sin \beta = l / \sin \gamma$ より $\Delta L = l \sin \beta / \sin \gamma$ よって、 $\therefore \Delta L$ $= L \cos \alpha \sin \beta / \sin(\alpha - \beta)$	 $\beta = 5^\circ$の時、$\alpha \leq 45^\circ$になると反射面の出現の位置が10m以上ずれることになり、そのずれは低角度ほど大きくなる。