

トンネル軸を横断する測線を用いた 弾性波振幅解析による切羽前方探査法について

今井 博¹・山上 順民¹・青木智幸¹・三谷一貴²・高橋 亨³・相澤隆生⁴

¹大成建設株式会社・技術センター ²大成建設株式会社・関西支店, ³公益財団法人深田地質研究所, ⁴サンコーコンサルタント株式会社

はじめに

トンネル切羽前方探査の技術として、坑壁に発振孔・受振孔を配置する弾性波切羽前方探査法がある。しかし、この配置は、原理的に、トンネル軸に平行な反射面の特定には効果的であるが、トンネル軸に垂直に交差する切羽前方の反射面に対しては、推定する速度分布などに誤差を含みやすい。そこで、切羽前方の反射面位置を精度良く捉え、また、反射面での物性変化を捉える目的で、トンネル軸に直交する発振孔・受振孔を配置した方法で実験を行った。解析にはAVO技術を利用している。

実験概要

椿坂トンネル位置概要

椿坂トンネルでは、滋賀県の発注で、発破工法により、上り勾配が3%で全長1970m（トンネル部＝1842m）を施工している。トンネル掘削工事位置は、柳ヶ瀬断層と接近しており、柔らかい粘土状の破碎帯が数多く出現し、多量出水の可能性が予想されていた。図1に工事現場位置と柳ヶ瀬断層の想定位置を示す。

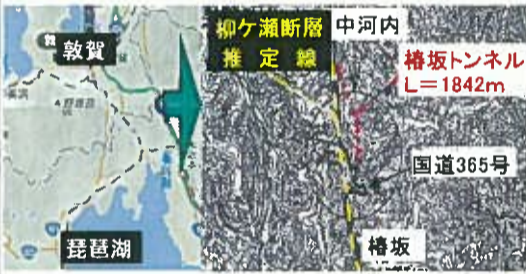


図1 椿坂トンネル位置

発振・受振機器配置

図2に本実験における発振孔・受振孔の位置について、HSP配置とTTSP配置を示す。H1～H5はトンネル孔壁に設けた発振孔であり、切羽に向かって、Rcv1～12は、トンネルの左側壁、Rcv13～24はトンネルの右側壁、に設けた受振器位置である。写真1に、HSP用受振器、TTSP用受振器の設置状況を示す。

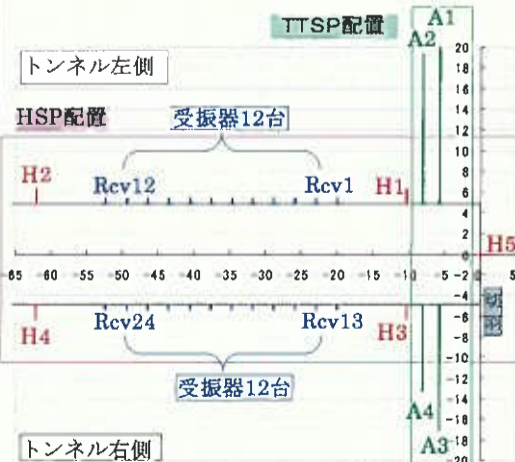


図2 発振孔・受振孔の平面図



写真1 HSP受振器・TTSP受振器設置

探査原理

TTSP(AVO)探査の原理

TTSPは、AVO理論を用いている。AVOでは、弾性波の物性境界面への入射角度が θ である場合のP波の反射係数に関して、図3から、

$$R_{pp}(\theta) \approx P + \alpha \sin^2 \theta \quad (1)$$

が物性を与える。ここで $\sigma = 1/3$ 程度ある場合は、式(1)の α やPとS波の反射係数Sとの近似式(2)：

$$\alpha = P - 2S \quad (2)$$

が利用でき、したがって、Sやポアソン比の変化率PRが、式(2)の切片Pと傾き α を用いて、表される：

$$S = \frac{P - \alpha}{2}, \quad PR = \frac{4}{3}(P + \alpha) \quad (3)$$

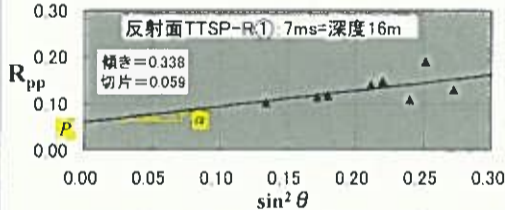


図3 $\sin^2 \theta - R_{pp}$ プロット例

速度解析の原理

TTSPでは、オフセット記録をゼロ・オフセット記録に変更する、NMO補正(図4)が利用でき、このとき反射面までのP波速度が推定される。

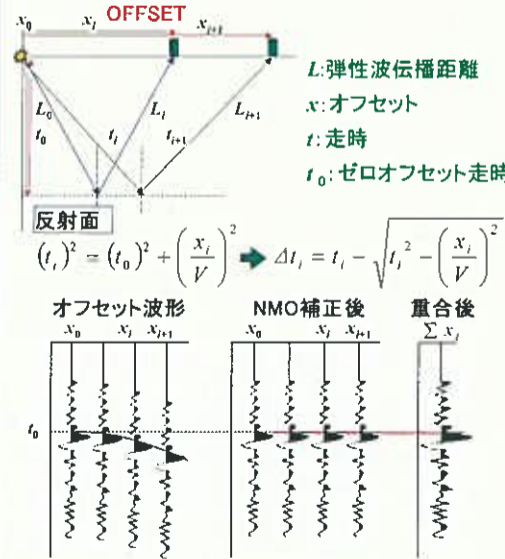


図4 NMO補正の原理

TTSP結果の解釈

TTSPで取得したSおよびPRと地山状況の関係を図5に示す。



図5 TTSP結果と地山対応(概念図)

TTSP (Tunnel Transverse-array Seismic Profile)

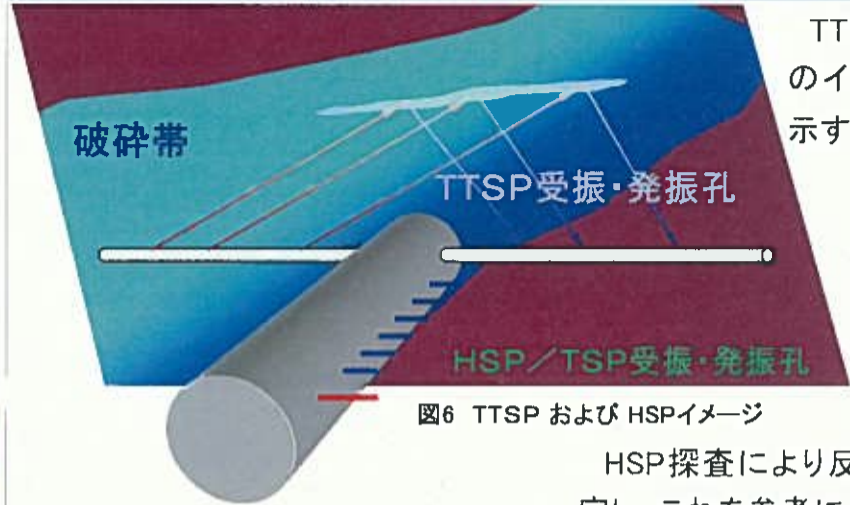


図6 TTSP および HSPイメージ

TTSPの探査状況のイメージを図6に示す。

HSP探査により反射面を4面特定し、これを参考に、TTSPのデータからRMS速度を求め、Dixの式で層別区間速度を推定し、CDP重合を行った(図7)。反射面およびPと α 、SとPRを表1にまとめた。

TTSP解析結果

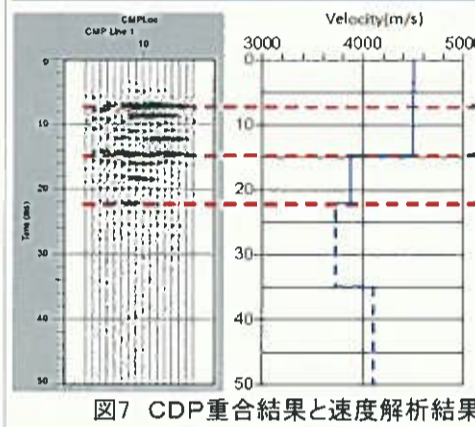


図7 CDP重合結果と速度解析結果

表1 TTSP解析結果

反射面番	TTSP-反射面①	TTSP-反射面②	TTSP-反射面③
切羽距離 m	16	34	47
傾き α	0.338	0.200	-0.156
切片 P	0.059	0.066	0.041
S波反射係数 S	-0.140	-0.067	0.099
ポアソン比変化率 PR	0.530	0.355	-0.153
地山変化予想	硬⇒軟	硬⇒軟	軟⇒硬

実験結果 比較と考察

TTSP反射面②はHSP反射面①に相当し、地盤が不良となる屈折法結果や切羽観察と整合性がある。また、HSPや屈折法では捉えられていないが、TTSP反射面③は、地山が良くなるという切羽観察と整合性があり、TTSP解析が物性の変化を優位に捉えていることが確認できた(図8)。

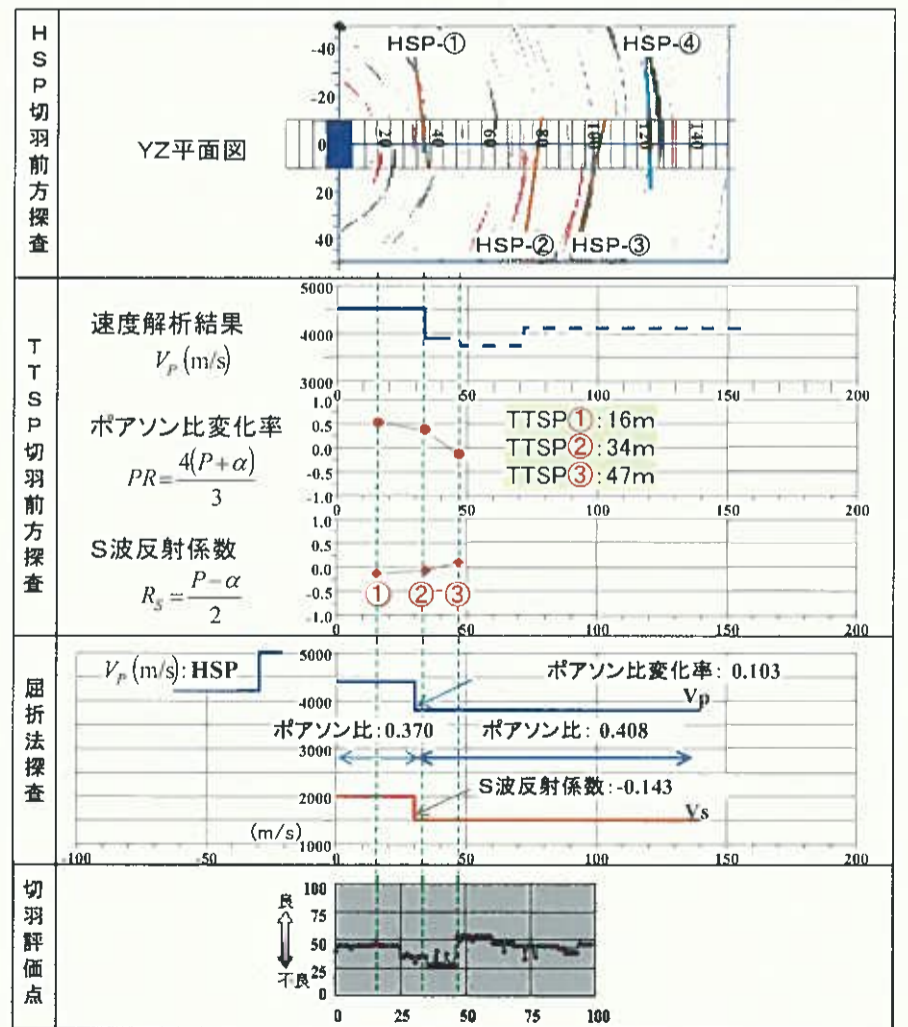


図8 HSP, TTSP, 屈折法, 切羽観察結果の比較

今後の研究

上記示したように、TTSP探査法の有効性が確認できた。今後は、受振器を3成分にするなどの改良を考え、さらに適用事例を増やし、TTSP探査法の実用性を高めていきたい。