

坑内反射法弾性波探査を用いた帯水層検知の試み

清水建設（株） 正会員 ○アドザム アズマン・金民哲・長谷陵平・淡路動太・濱洲良介・平野宏幸

1. はじめに

近年、広く実施されている坑内反射法弾性波探査は、比較的短時間で広範囲の地質状況を三次元的に把握し、切羽前方の地質リスクを評価する手法である。近年、受信計に3次元センサーを用いて3次元解析を行うことで、P波速度(V_p)に加えてS波速度(V_s)についても識別が可能となってきた。一般に V_p は孔隙内の流体の影響を受けて変化するが、S波は流体中を伝わらないので、 V_s は孔隙内の流体の影響を受けにくいことが知られている。すなわち、ある孔隙を持つ地層中に水が満たされると、 V_p は流体を媒介して伝わるようになるので相対的に早くなるが、 V_s は変化せず、見かけ上 V_p/V_s 値が大きくなる。この性質を用いれば、地山中の動ポアソン比 $\sigma = \{(V_p/V_s)^2 - 2\} / \{2[(V_p/V_s)^2 - 1]\}$ の分布を調べることで、地山中の帯水層を検知できる可能性がある。本報告では、水平に近い地質境界を持ち、そこに胚胎する帯水層とトンネルの干渉が問題となる滝室坂トンネル(坂梨工区)において、坑内反射法弾性波探査により求められた動ポアソン比分布と実際に認められた帯水層の関係を整理し、帯水層検知の可能性について考察を行う。

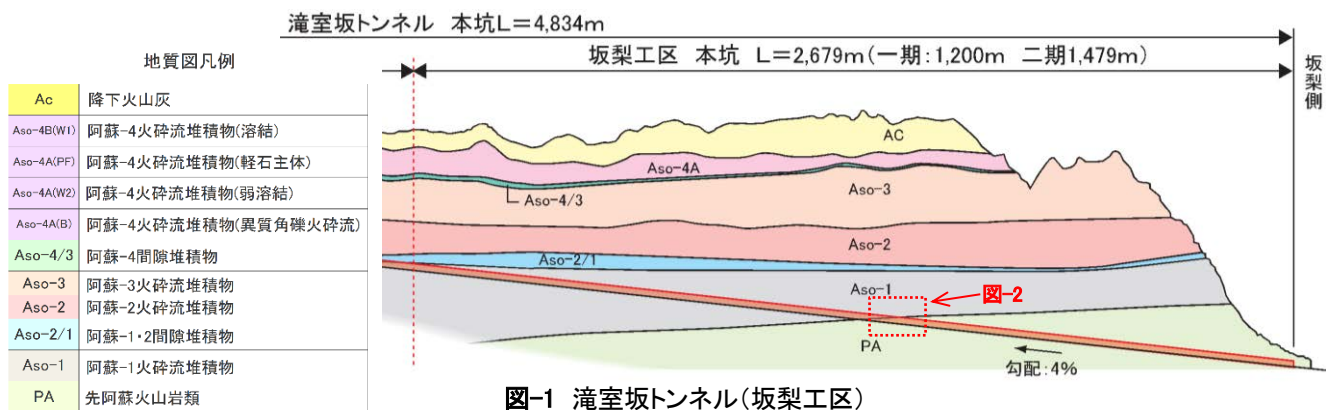


図-1 滝室坂トンネル(坂梨工区)

2. 地質概要

滝室坂トンネル(坂梨工区)は、全長約 4.8km の滝室坂トンネルの西側工区にあたる(図-1)。トンネルには更新世の先阿蘇火山岩類(PA層)の上に阿蘇1～4の火砕流堆積物(Aso-1～4)と、その間に狭在する間隙堆積物(Aso-2/1:凝灰岩・砂岩, Aso4/3:降下堆積物)がほぼ水平に分布している。Aso-2とAso-2/1の境界部には大規模な帯水層の存在が指摘されている。坂梨工区ではトンネル掘削は約 4%の上り勾配となり、各地質境界を下から上に掘削することになるため、トンネル上方の地質境界や帯水層の交差位置を正確に捉え、帯水層がトンネルと干渉する前に、必要な水抜きボーリング等を計画することが重要となる。

本報告では、Aso-1層とPA層の境界部で、坑内からの斜め上方ボーリングにより帯水層が認められた TD1,160m付近を検討対象とした。先行する避難坑では、PA層とAso-1層の境界部に近づいた段階で、切羽天端部から風化PA層(凝灰岩)が出現し、このPA層との交差区間では切羽から湧水が継続的に発生する状況が続いた(図-2)。PA層とAso-1層との層境は帯水層となっておりことが懸念があったことから、トンネル上部への穿孔探査を実施して帯水層の有無を確認した。その結果、図-2に示すようにAso-1層の底部に相当すると想定される境界面近傍で連続的に湧水の存在が確認されたことから、Aso-1の底部は広い範囲で帯水層を形成していることが分かった。

3. 探査方法

本報告では、坑内反射法弾性波探査としてTSP 303を採用した。TSP303では、反射面を検知する解析領域を切羽前方に設定し、トンネル軸と広角に交差する反射面を検知対象とするため、水平に近い地層境界を検出することは困難であった。そこで、反射波の解析領域をトンネル上方に

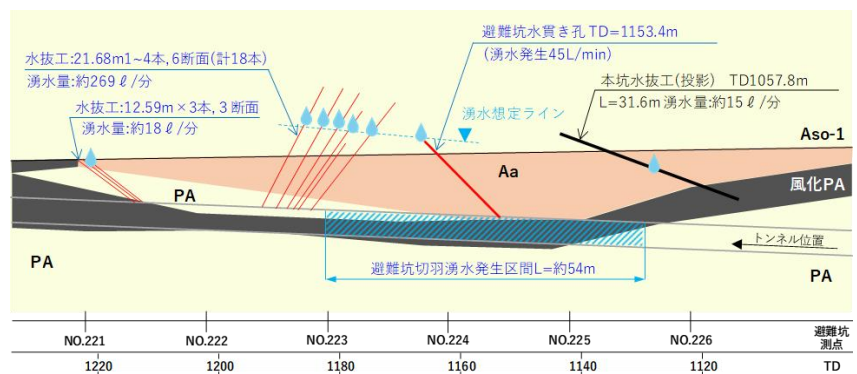


図-2 TD1,160m 近傍で認められた帯水層の状況

設定するトンネル上方探査¹⁾を適用し、トンネル軸と平行に近い反射面の検知を可能とすることで、トンネル上部に存在する水平に近い帯水層をモニターできるようにした。

また、TSP303 では3次元探査を行うことで、 V_p と V_s のそれぞれの速度分布を推定することで、解析対象領域内の動ポアソン比の分布を求めることが可能となる。本報告では、解析から得られる強反射面が連なる面を地層境界とし、動ポアソン比が大きな箇所を帯水層の可能性が高い箇所と仮定して、実際に観察された帯水層との相関を考察した。

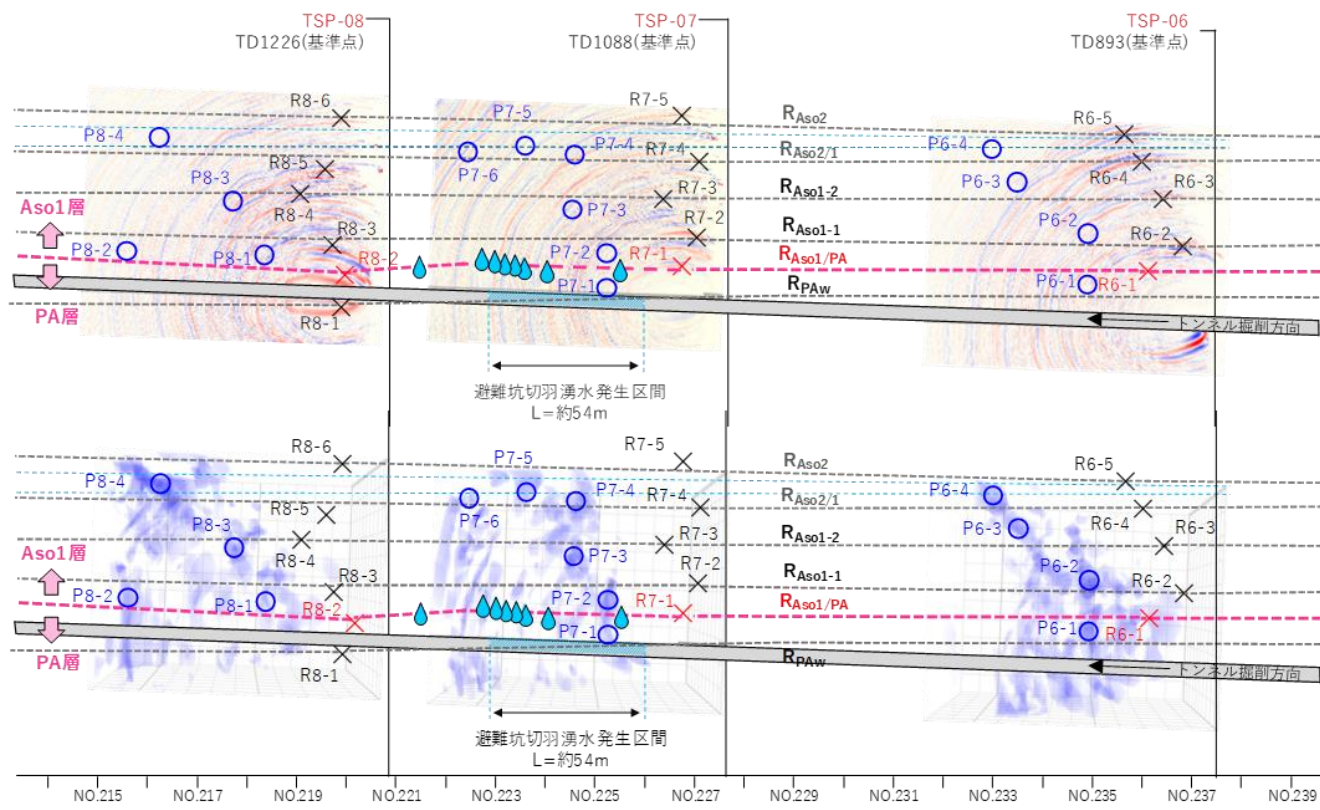


図-3 TD1, 160m 近傍の TSP303 による上方探査結果（上：マイグレーション図，下：動ポアソン比分布図）

4. 探査結果と考察

トンネル上部に帯水層の存在が確認された TD1, 160m の前後で実施された 3 回の TSP303 による上方探査の結果を図-3 に示す。図-3 上段は、各探査結果の反射面マイグレーション図を示しており、この図から、特に強い反射面の存在を示唆する箇所を×印で抽出し、それらの反射面延長方向を各探査結果間でつなぐことで、地層境界面を想定している。図-3 下段は、各探査結果の動ポアソン比が 0.32 以上となる箇所を青色で示し、特にポアソン比が高くなる箇所を青丸で抽出している。

帯水層の存在が確認された Aso-1 層底部は、強反射面群 (R6-1, R7-1, R8-2) をつないで得られる $R_{Aso1/PA}$ に相当している。また、各探査結果において $R_{Aso1/PA}$ 上で動ポアソン比が高くなる箇所 (P6-1, P7-2, P8-1, P8-2) が連続的に認められている。このことから、強反射面上で動ポアソン比が相対的に高くなっている箇所は帯水層の存在を示唆する可能性が高いと考えられる。

この手法を用いて、 $R_{Aso1/PA}$ より上位に認められている各反射面群においても、動ポアソン比の高まりを伴っているかどうかを評価することで、帯水層の有無を判断できる可能性がある。特に、当初地質の想定において、大量湧水の可能性が指摘されている Aso-2/1 間隙堆積物の分布想定高さ近傍に認められる強反射面 $R_{Aso2/1}$ 上では、動ポアソン比が相対的に高い状態を示す集中域 (P6-4, P7-4, P7-5, P7-6, P8-4) が連続的に認められていることから、今後もその傾向に注意が必要であると考えられる。

5. まとめ

坑内反射法弾性波探査を用いて、強反射面と動ポアソン比を評価することで、帯水層の存在を検知できる可能性があることが分かった。この手法により、帯水層の位置関係をモニターすることで、水抜工実施の時期、方角、延長等の合理的な施工計画が実施可能になると期待される。今後、より確実な帯水層検知の手法となるように、探査実績を集積していく予定である。

参考文献

- 1) 早川泰央, 濱洲良介, 平野宏幸, 吉河秀郎, 淡路動太: 坑内反射法弾性波探査を用いたトンネル上方探査による地質評価手法, 土木学会第 75 回年次学術講演会, 2020.