

## 坑内反射法弾性波探査の複合探査による帯水層検知の試み

清水建設(株) 正会員 ○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。しかし、一般的な坑内反射法弾性波探査では、トンネル坑内に起振源と受振点を設置して、切羽前方を解析領域として設定するため、トンネル軸と広角に交差する反射面は検知可能であるが、トンネル軸と平行な断層や水平に近い地質境界などを検出することは難しく十分に検討されていない。一方、帯水層を付帯するような水平に近い地層が卓越する場合には、こうした地質境界がトンネル周辺のどの位置に分布し、どこで交差するかを事前に把握することが地質リスクを管理する上で重要な課題である。そこで本稿では、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、2つの坑内反射法弾性波探査を組み合わせることで、対象となる地質境界を比較的精密に把握し、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。

## 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-1の境界部

(Aso-2/1層)には大規模な帯水層の存在が指摘されている。坂梨工区でのトンネルは約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トンネルと帯水層の交差位置を正確に捉え、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、TD2,550m~TD2,700m前後において、帯水層の存在が懸念されるAso-2/1層を対象に坑内反射法弾性波探査を実施し、求められた地質境界部付近で穿孔探査を行い、湧水が確認された位置と比較を行う。

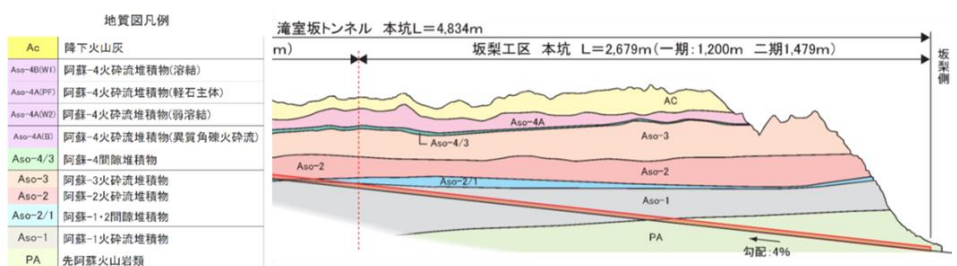


図1 滝室坂トンネル(坂梨工区)の地質縦断面図

## 3. 探査手法

組み合わせた2つの坑内反射法弾性波探査は、TSP 303及びブレーカ探査である。TSP303は、トンネル切羽後方の側壁で少量の火薬を用いた発破(発振)を繰返し行って弾性波を発生させ、地質不連続面に反射して戻る波を受振して、記録された波形の解析を行い、反射面の三次元分布を推定するものである。TSP 303は発破を起振源とするため生じる弾性波の振幅が大きく、探査範囲が広がるが、坑壁の削孔、装薬、発破を行うため数時間程度は施工が中断される。ブレーカ探査は油圧ブレーカによる切羽への打撃時に発生する振動を起振源として反射波の解析を行う手法である。ブレーカ探査は、ブレーカ打撃を起振源とするため、探査可能範囲は狭くなるが、設置から撤収までの時間が比較的短いことから、日常サイクルの中で行われる「コソク作業」時等に実施できるため、切羽施工の休止はほとんどなく、頻繁に探査することが可能である。今回、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るが、反射波の解析領域をトンネル上方に設定するトンネル上方探査を適用し、トンネル軸と平行に近い反射面の検知

キーワード 山岳トンネル, 弾性波探査, ブレーカ探査, 帯水層

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1 清水建設(株) 土木技術本部 地下空間統括部 TEL:03-3561-3887

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、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、実際に観察された帯水層との相関を考察した。

#### 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 TD2,550m～

TD2,700m の前後で実施された3

回の TSP303 及びブレイカ探査による上方探査の結果を図-2に

示す。図-2 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-2 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。想定された地質境界面は、強反射面群 (R15-1, R16-1, R17-1) をつないで得られる  $R_{Aso1/2-1}$  に相当している。また、各探査結果において  $R_{Aso1/2-1}$  上で動ポアソン比が高くなる箇所 (P15-2, P15-3, P16-2, P16-3, P17-1) が連続的に認められている。そこで、坑内から斜め上方に穿孔探査を実施し、帯水層の有無を確認した。その結果、図-3の通り、当初地質縦断図の Aso-2/1 層中に連続的に湧水の存在が確認されたことから、Aso-2/1 層中に境界面が存在し、広範囲に帯水層を形成していることが明らかとなった。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。

今後、TSP 303 探査・ブレイカ探査等を用いて継続的にモニターすることで、帯水層と交差前の適切な箇所

で、水抜きボーリング等必要な対策工を講じることが可能であると考えられる。

今後、TSP 303 探査・ブレイカ探査等を用いて継続的にモニターすることで、帯水層と交差前の適切な箇所

で、水抜きボーリング等必要な対策工を講じることが可能であると考えられる。

今後、TSP 303 探査・ブレイカ探査等を用いて継続的にモニターすることで、帯水層と交差前の適切な箇所

で、水抜きボーリング等必要な対策工を講じることが可能であると考えられる。

今後、TSP 303 探査・ブレイカ探査等を用いて継続的にモニターすることで、帯水層と交差前の適切な箇所

で、水抜きボーリング等必要な対策工を講じることが可能であると考えられる。

今後、TSP 303 探査・ブレイカ探査等を用いて継続的にモニターすることで、帯水層と交差前の適切な箇所

で、水抜きボーリング等必要な対策工を講じることが可能であると考えられる。

今後、TSP 303 探査・ブレイカ探査等を用いて継続的にモニターすることで、帯水層と交差前の適切な箇所

で、水抜きボーリング等必要な対策工を講じることが可能であると考えられる。

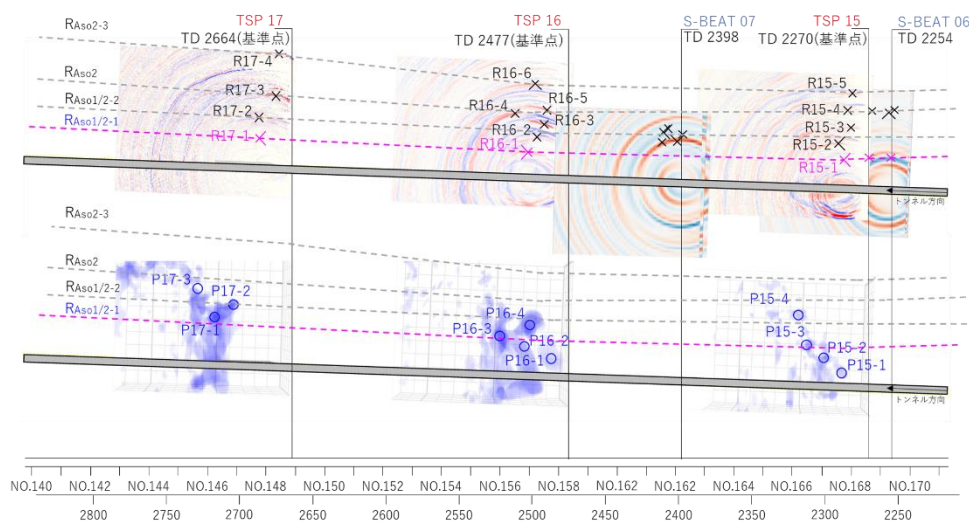


図 2 TD2,550m～TD2,700m 前後の坑内反射法弾性波探査結果  
(上：マイグレーション図，下：動ポアソン比分布図)

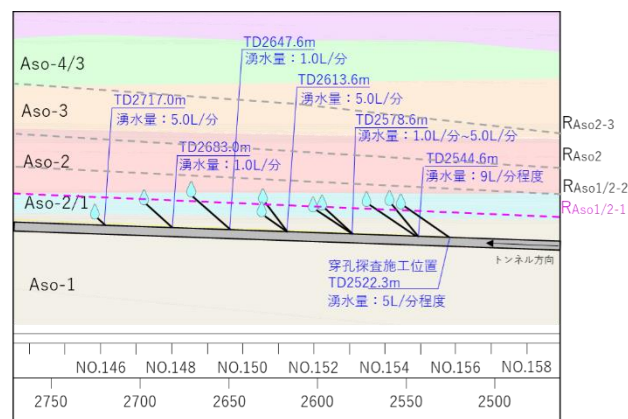


図-3 穿孔探査の結果