

VI-107

レーリー波探査法による山岳トンネル前方探査法の検討-その3-

ハザマ 正会員 笠博義、猪狩哲夫、正会員 大沼和弘
ビイック(株) 富岡直人

1. まえがき

山岳トンネルの安全で合理的な施工においては、事前にトンネル路線上の地質状況を把握しておくことが極めて重要である。すなわち、施工において問題となる断層破碎帯などの地質的脆弱部の位置、規模、地下水の有無などを正確に予測することができれば、事前の支保工の選定や補助工法の準備が可能となり、突然こうした地質的問題箇所遭遇した場合に比較して、格段に安全性が向上する。さらには、その結果として総合的な工期を短縮することも可能となる。このようなことから、これまでもトンネル施工においては事前に地表からの地質調査や物理探査または、切羽よりの先進ボーリングを行うなどして地質情報を入手してきた。しかし、一般的に事前調査の精度には限界がある上、急峻な山岳地帯では十分な調査さえ実施できないこともある。また、先進ボーリングを常時実施することも工程や坑内作業の面で困難なのが現状である。

以上のような背景において、昨今、特にトンネル切羽の前方をより高精度に、より簡易に探査するための技術開発が進められ、さまざまな物理探査手法の適用が試みられている。こうした中で筆者らは非破壊で容易にトンネル前方の地質情報を入手できる方法として、レーリー波探査法に着目して検討を続けてきた。本報告は、これまでいくつかのトンネルで実施してきた現場実験結果をもとに、レーリー波探査結果と岩盤の物理的な性質との関係について検討し、定量的な岩盤の評価の可能性を考察したものである。

2. レーリー波探査法によるトンネル前方探査の概要

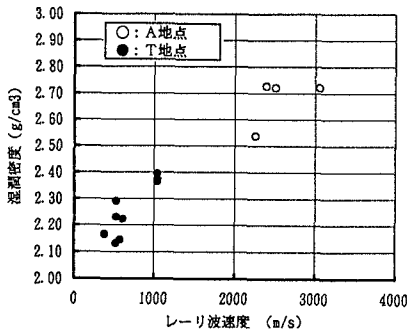
本来、レーリー波探査法は地表面に設置された電磁式の起振機によって地盤に任意の周波数の振動を与え、それによって発生したそれぞれの周波数(波長)に対応したレーリー波の伝搬速度を求めることから、地盤の垂直構造を調査する手法である。この方法をトンネル切羽の前方方向の探査に適用したものが、ここで検討を進めているトンネル前方探査法である。実際の探査方法としては、起振機および検出器をボルトやアンカーで切羽に直接固定して行なう方法や、掘削機械に起振機を取り付けて圧着させる方法が提案されているが、いずれの方法でも、比較的短時間(1~3時間程度)に探査を行うことが可能であり、探査結果の解析についてもパソコンでも容易に実施できることが多数の現場実験から確認されている。

なお、これまでの現場実験から得られた知見を以下にまとめた。

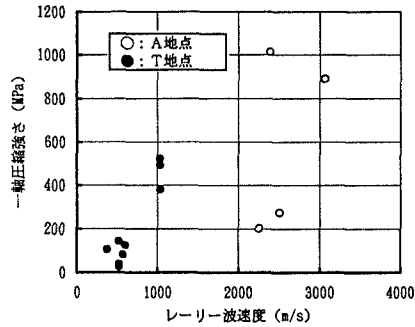
- ①探査距離は地質構造などによって左右されるが最大で切羽前方20m程度である¹⁾。
- ②断層破碎帯などの地質的な脆弱部は、レーリー波速度の低速度帯や速度構造の急変する変曲点として把握できる。特に、粘土を挟在する断層では数100m/s以上も速度が低下することが知られている²⁾。
- ③探査可能な破碎帯幅は、約1m以上(トンネル軸方向に対する見かけ上の幅)であるが、それより小規模なものでも破碎程度や切羽からの距離などの条件によっては探査可能である²⁾。
- ④かなりばらつきはあるものの、レーリー波速度と岩盤等級の間には相関関係が見られる²⁾。

3. 岩盤の物理的性質とレーリー波速度の関連性

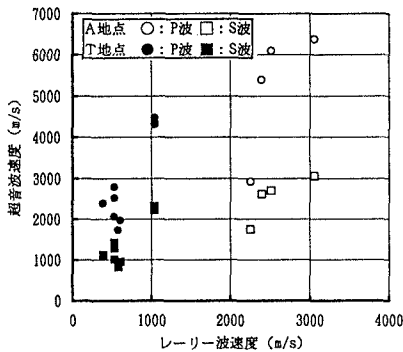
レーリー波速度はP波とS波(SV波)の合成波として位置づけられることから、理論的にはこの速度は密度や剛性率(ポアソン比とヤング率から求められる)によって決定されるものと考えられる。このことは、レーリー波速度から、ここで述べたような岩盤の物理的な性質を推測できる可能性があることを示している。そこで、これまでの現場実験において、岩石試験を合わせて実施した2地点のトンネルにおけるデータをもとにレーリー波速度と湿潤密度、一軸圧縮強度、超音波速度、静弾性係数の4項目について検討を行った。この結果、図-1~4に示すように、各項目ともレーリー波速度との相関関係が認められることが確認された³⁾。特に、図-1に示した湿潤密度との関連性は明瞭であり、事前に推測したように、レーリー波速度か



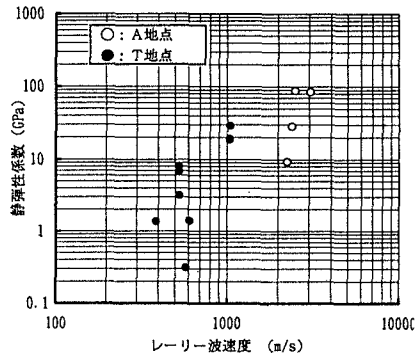
図－1 レーリー波速度と湿潤密度の関係



図－2 レーリー波速度と一軸圧縮強度の関係



図－3 レーリー波速度と超音波速度の関係



図－4 レーリー波速度と静弾性係数の関係

ら岩盤の密度を推定できる可能性が高いことが示された。また、超音波速度（図－3）や静弾性係数（図－4）については、ばらつきはあるものの相関関係があることは明かであり、今後のデータの集積によって、より確実な両者の関連性を確認できるものと思われる。一方、一軸圧縮強度（図－4）については凝灰角礫岩からなるT地点と砂岩・泥岩からなるA地点では傾向が異なっている。このことについては、データ数自体が少ないことの影響もあると思われるが、地質による違いが現れている可能性がある。

以上の検討結果から、データ数が少ないため不明瞭な部分もあるが、レーリー波探査を行うことによって、トンネル切羽前方の岩盤の物理的な性質の推測が可能であるということが出来る。

4. まとめと今後の課題

レーリー波探査法によるトンネル前方探査は、これまでは主に断層破砕帯などの位置を探索する技術として位置づけられてきたが、本検討結果から、この手法はある程度定量的に切羽前方の岩盤を評価することが可能であることが確認された。今後は、さらにデータの集積を進め、地質条件等をも考慮した検討を行うことが必要である。また、今回の検討では、レーリー波速度との比較データとして、ボーリングコアの室内試験結果を用いたが、弾性波の伝搬に対しては、亀裂などの影響も小さくないことも知られており、岩盤としての物理的な性質（例えば坑内弾性波速度など）との比較検討を行う必要もあるものと思われる。

なお、トンネル前方探査手法としては、100m以上の長距離探査が可能であるTSP法が注目されているが、今後はこうした新しい技術も念頭において、地質条件や探査目的ごとに、各探査手法の適用性を明確にした上で、それぞれの特長を活かした現場適用を図っていく必要があるものと考えられる。

1)笠、他：レーリー波探査法による山岳トンネル前方探査法の検討、土木学会第46回年次学術講演会VI、1991

2)笠、他：切羽前方の断層調査へのレーリー波探査法の適用-その2-、第29回土質工学研究発表会、1994

3)猪狩、他：山岳トンネルの前方探査におけるレーリー波探査法の適用性について、応用地質学会H6研究発表会、1994