

トンネル事前設計における弾性波速度評価の重要性について

山口大学大学院（学）○三宅和志

日本道路公団試験研究所（正）赤木 渉

山口大学工学部（正）中川浩二

1. はじめに

現在、トンネル工事において、事前設計における支保パターンの設定は、日本道路公団の地山分類表に従い、地表踏査、ボーリング調査結果、弾性波探査から得られる速度値などを基にして決定されている。しかしながら、そのようにして求められた予測地質と実地質との間に大きな食い違いが見られることが多く、施工時の工法変更は頻繁に行われている。しかし、トンネル施工における工法変更は予算管理、工程管理の面において好ましいことではない。さらに、こればかりではなく、時には工法変更の遅れが安全性に影響を及ぼす可能性を有することも考えられる。そこで、本研究では、事前調査としてトンネル全線で実施される弾性波探査に着目し、その調査から得られる速度値データを基にした地山評価を岩種別に行う。その速度値による地山評価を行うことにより、弾性波探査は各岩種の地山状態をどの程度推定でき、推定しにくい項目はどのような項目なのかを明らかにし、今後の事前設計の精度向上に向けた資料を作成することを目的とする。

2. 対象トンネルデータの概要

本研究で対象とするのは、日本道路公団によって発注された高速道路トンネルであり、データ分析および考察にあたっては、岩種別にトンネルをグループ化し、変成岩、堆積岩、火成岩を代表して、片岩、粘板岩、花崗岩の3岩種を選択し分析を行った。また、本研究でのデータのとりまとめは、日本道路公団の定める支保パターン（A、B、CⅠ、CⅡ、DⅠ、DⅡ、DⅢで、AからDⅢに順次して支保の剛性が高くなる。）に従い実施した。

3. 支保パターンの変更状況

支保パターンは、設計時と施工時でしばしば異なることがある。そこで、岩種ごとに支保パターンの変更状況について考察を行う。図-1に岩種ごとの設計・施工支保パターンの切羽数構成区分布を示す。この図から、3岩種に共通して、設計時から施工時にかけてBパターンの減少が顕著であり、また逆にCⅡパターンが片岩、花崗岩において施工時にかなり増加し、粘板岩においてはDⅠが増加していることが分かる。次に、設計時と施工時の支保パターンの変更状況を分析するために、支保パターンのAからDⅢを1から7の値に置き換え、“（設計支保パターン）—（施工支保パターン）”の値を岩種別に求めたものを、図-2に示す。図-2において求めた数値が、正ならば上位側（軽い支保への変更）、0ならば一致（支保の変更なし）、負ならば下位側（重い支保への変更）として集積データをまとめた。この図から、3岩種ともおおむね施工時には重い支保パターンが採用されていることが分かる。また、各岩種についての支保パターン一致率は、片岩が33%、粘板岩が53%、花崗岩が44%であり、一致率は高い順に、粘板岩、花崗岩、片岩であることが分かった。特に、片岩については、2ランク下位側のデータが29%で、一致の33%の次に多いことがわかる。つまり、片岩の事前設計は他の2岩種に比べ、施工実績と一致しにくいことが



図-1 岩種別支保パターン構成率

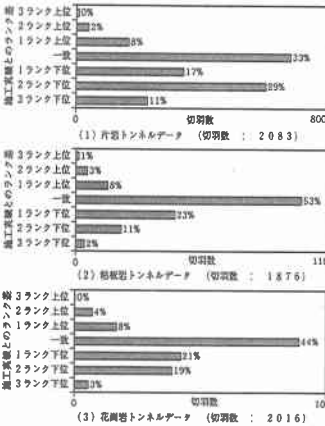


図-2 支保パターンランク差（設計施工比較）

表-1 切羽観察記録項目

項目	評価内容
A	切羽の状態
B	素掘り面の状態
C	圧縮強度
D	風化変質
E	割れ目の頻度
F	割れ目の状態
G	割れ目の形態
H	湧水
I	水による劣化

明らかになった。

4. 弾性波速度による地山評価と切羽観察記録との比較

本節では、設計時と施工時の切羽状態について比較するためトンネル全線で実施される弾性波探査に着目し、日本道路公団の地山分類表を基にした弾性波速度値（以下、 V_p とする）による切羽推定を行う。その評価基準として用いられる切羽観察記録の評価項目を表-1に示す。設計時と施工時の切羽状態の比較方法として、事前調査の V_p から切羽観察項目C+Dの値を推定する。C、D項目の推定方法として、地山分類表を用い、事前設計に採用される V_p から、その V_p に対応する、1)ハンマー打撃による割れ方、2)地質状況、を求め、切羽観察項目1)C項目、2)D項目のおおよその値に対応させる。 V_p から推定された(C+D)の最大値と最小値を、実際の切羽観察記録から求められる(C+D)値と測点ごとに比較した一例を図3に示す。また、事前設計と施工実績の支保パターンを測点ごとに比較した一例を図4に示す。ここで、図-3において、“(実C+D値) — (推定C+D値)”の値を岩種別に求めたものを、図-5に示す。図-5において求めた数値が、仮想C+D最大値より大きく正ならば上位側、仮想C+Dの最大値と最小値の間ならば一致、仮想C+D最小値より小さく負ならば下位側として切羽観察データをまとめた。また、その切羽観察項目の集積データの下に、設計時と施工時の支保パターンの比較を表すために、“(設計時) — (施工時)”の値を求め、同様にまとめた。以下にこの図から分かる3つの傾向を示す。(1)C+D値および支保パターンデータの一致率は、同様の傾向を示し、一番高い一致率を示したのは粘板岩であり、次に花崗岩、一番低い一致率を示したのは片岩であった。(2)下位側データについては、C+D値および支保パターンデータともに、多い方から、片岩、花崗岩、粘板岩の順であった。(3)上位側データについては、各岩種とも同じような数値であった。この3つの傾向から、各岩種とも明らかに安全側の設計を行っていることが分かった。また、 V_p を基にした切羽推定でC+D値の一致率の低い片岩は、支保パターンの一致率も低いことが分かった。

次に、実C+D値が推定C+D値の最大値と最小値の間に存在するデータを抽出し、同様な方法で、 V_p から切羽観察E+F値（割れ目）を推定した。さらに、E+F枠内にあるデータを抽出しH+I値（湧水）を推定した。各岩種における切羽観察項目の地山推定度を図-6に示す。3岩種に共通して、割れ目情報の推定度が他項目よりも比較的高いことが分かった。このことから、事前調査における弾性波探査は、割れ目情報の推定に対して有効であると考えられる。しかしながら、湧水情報は、粘板岩を除いて推定しにくいことが分かった。最後に、データ抽出による支保パターン一致率の変化を図-7に示す。粘板岩、片岩において、C+D枠抽出では、片岩で約20%、粘板岩で約10%一致率が上昇し、E+F枠抽出では、片岩、粘板岩ともに約20%の支保パターン一致率上昇が見られた。この2岩種において、 V_p が正しく測定され割れ目の情報が事前調査段階で推定できれば、事前設計における設計精度の向上は可能だと考えられる。

5. おわりに

本研究では、事前調査としてトンネル全線で実施されている弾性波探査に着目し、その地山推定度について岩種別にデータ分析を行った。その結果として、弾性波速度が正しく測定されることによって設計時と施工時の支保パターンの一致率が上昇することを明らかにした。

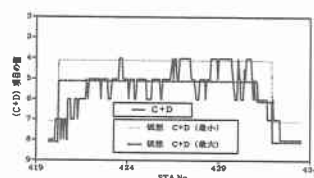


図-3 推定C+D値と実測C+D値の比較

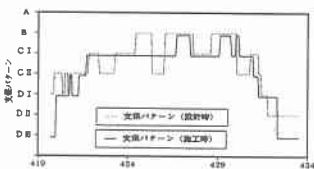


図-4 設計時と施工時の実測パターン

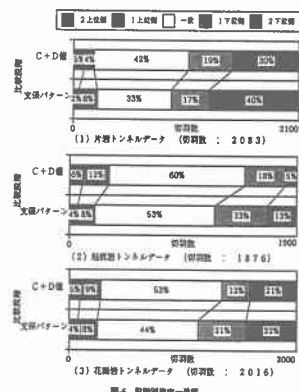


図-5 岩種別推定一致率

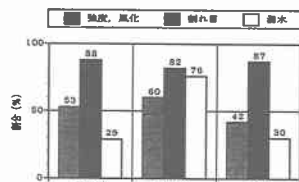


図-6 項目別推定一致率

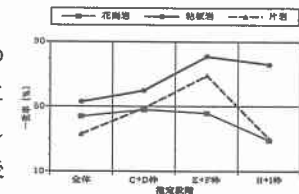


図-7 岩種別支保パターン一致率