

トンネル事前設計における弾性波速度評価に関する研究

岡山県
山口大学工学部
日本道路公団試験研究所
山口大学大学院

正会員
正会員
正会員
正会員

○三宅和志
河原幸弘 中川浩二
赤木 渉
保岡哲治

1. はじめに

山岳トンネルの計画・設計は、トンネルが山地部の地中深部を線状構造により連結することから事前の計画段階においては、いかに地中内部の地山条件を精度良く把握し実施工に反映するかが重要である。しかし、これまでの詳細設計においては地質状態を正しく捉えられておらず、その精度は必ずしも高くないのが現状である。その理由としては、①詳細設計段階での地質調査の技術的限界、②経済的理由などによる地質調査数量の不足、③地質技術者の地山解釈に関する対人依存性、④調査、設計、施工における各技術者のトンネル建設に関する地質評価の相違などが挙げられる。そこで本研究では、計測された弾性波速度がどの程度実際の地山を捉えているか、また岩種による技術的限界はどのような場合に生じるのかを把握し、今後の事前設計における弾性波速度評価の解釈に資することを目的とする。このため、日本道路公団（以下 JH という）が発注した 58 トンネルのデータ（前概要を参照）を集積し、上記課題点のうち「①詳細設計段階での地質調査の技術的限界」に着目した地質調査の評価分析を行う。

2. 事前弾性波探査の推定度評価方法

本研究では、弾性波速度による地山評価（設計時の推定切羽観察記録の作成）と切羽観察記録（切羽面の施工実績データ）との比較を行い、弾性波探査による事前切羽推定について検討する。これまでの弾性波速度から補助工法の採用状況や地質状況、設計および土木技術者の設計に対する考え方を考慮することは不確定な要因が多く困難であり、現時点での弾性波速度の推定度を評価する上では、切羽面の地質状況のみを記述した切羽観察記録を利用することが有効であると考えられる。切羽観察記録とは、日常の施工管理において施工時の切羽状況や岩盤状況を主とした観察の記録である。表-1に、切羽観察記録における切羽観察項目を示す。この A～I の 9 項目について地山の状態を良好な状態から不良な状態にかけて 1～4 の 4 段階評価を行っている。

弾性波速度は、実験データにより（圧縮強度：C 項目）および（風化変質：D 項目）と関連していることが示されている¹⁾。そこで、C、D 項目の推定方法として、JH の地山分類表²⁾に基づき事前設計に採用される弾性波速度を判別し、それぞれの弾性波速度に相当する 1) ハンマー打撃による割れ方を C 項目、2) 地質状況から D 項目を類推し、適切な値（1～4）を配分するものとする。表-2に、弾性波速度と切羽観察 C、D 項目の対応表を示す。

ここで、各支保パターンにおける弾性波速度の範囲が同様と考えられる片岩（a 岩種）、粘板岩（b 岩種）、についてはタイプⅠとし、花崗岩（c 岩種）はタイプⅡ、凝灰角礫岩、砂岩頁岩、泥岩（d 岩種）はタイプⅢに岩種を分類した。以上の分類をまとめて表-3に示す。

図-1に、この表によって求められる推定（C + D）の最大値と最小値を、実際の切羽観察記録により求められる（C + D）値と測点

表-1 切羽観察項目

項目	評価内容
A	切羽の状態
B	索掘り面の状態
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

表-2 観察項目に対応させた地山分類表

タイプ	弾性波速度 (Vp, km/s)	切羽観察：C、D 項目			該当地山等級
		圧縮強度：C	風化変質：D	C+D 値の合計	
Ⅰ	5.0～	1～2	1～2	2～4	A
Ⅱ	4.9～				
Ⅲ	3.5～				
Ⅰ	3.8～5.0	2～3	2	4～5	B
Ⅱ	3.6～4.9				
Ⅲ	3.0～3.5				
Ⅰ	3.3～3.8	2～3	2～3	4～6	CⅠ, CⅡ
Ⅱ	3.1～3.6				
Ⅲ	2.0～3.0				
Ⅰ	2.6～3.3	3	3～4	6～7	DⅠ
Ⅱ	2.6～3.1				
Ⅲ	1.5～2.0				
Ⅰ	～2.6	3～4	4	7～8	DⅡ, E
Ⅱ	～2.6				
Ⅲ	～1.5				

表-3 岩種による分類

タイプ	岩種
Ⅰ	片岩（a 岩種）、粘板岩（b 岩種）
Ⅱ	花崗岩（c 岩種）
Ⅲ	凝灰角礫岩、砂岩頁岩、泥岩（d 岩種）

ごとに比較した一例を示す。また、図-2に設計時と施工時の支保パターンを測点ごとに比較した一例を示す。

3. 弾性波速度の推定度評価に関する結果

推定C+D値と実切羽C+D値との関係を把握するため、次式により求めた値を岩種別に整理し、図-3に示す。図-3において求めた数値が、

“(推定切羽観察記録C+D値) - (実切羽観察記録C+D値)”

= (+) の場合；弾性波速度で推定した切羽面状態よりも実切羽の状態の方が良い（上位側に分類）、

= (0) の場合；弾性波速度で推定した切羽面状態に実切羽の状態が当てはまる（一致に分類）、

= (-) の場合；弾性波速度で推定した切羽面状態よりも実切羽の状態の方が悪い（下位側に分類）、

と判断できるタイプで実施工において推移していると考えられる。

この図より、弾性波速度の推定精度は、高い順に並べると、1. 泥岩 75%、2. 粘板岩 57%、3. 花崗岩 55%、4. 凝灰角礫岩 54%、5. 片岩 46%、6. 砂岩頁岩 38%であり、全体的に推定精度は約50%程度である。この中で、泥岩の推定精度が比較的高かったのは、比較的新しい年代の地質であり低い速度となるためではないかと考えられる。

さらに、(C+D) 項目から弾性波速度の推定度を把握するため、岩種別に土被り厚毎の(C+D) 項目の推定度を図-4に整理し示す。以下に、岩種毎の評価に関する考察を列記する。

(1)花崗岩地山においては、土被りが坑口から50mまでは(C+D) 項目の推定度は減少し、土被りが50mを超えると推定度は上昇する。

(2)片岩、砂岩頁岩は、土被りが厚くなる程、推定度は低下する。

(3)粘板岩は、土被りが50m付近で推定度が40%に下がり土被り80m付近で推定度約70%と上昇する。この原因としては、対象区間において異なる岩種の混在が考えられる。

(4)凝灰角礫岩は、健全部と脆弱部が互層状態になっていることが多く土被りに関わらず、推定度は一様となったと考えられる。

(5)泥岩では、地質年代が新しく均質な性状を示し、推定度も全体的に高く表れるが、逆に坑口部等の被りの浅い所では風化や劣化しやすいため極端に推定度が低くなる。

4. おわりに

本研究では、事前に評価される弾性波速度について(C+D) 項目から推定度を判別できた。これらの結果は、今後各岩種において適切な調査計画を行うための有益な情報となると考えられる。

<参考文献>

- 1) 三木幸蔵：岩盤力学入門，pp.193～196，1986.11
- 2) 日本道路公団：設計要領第三集第9編トンネル，pp.32～36，1985.10

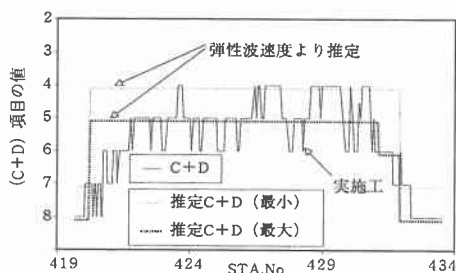


図-1 弾性波速度による推定と実切羽の比較

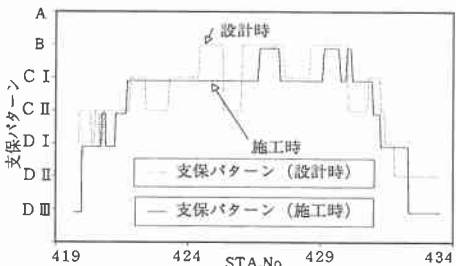


図-2 設計時と施工時の支保パターンの比較

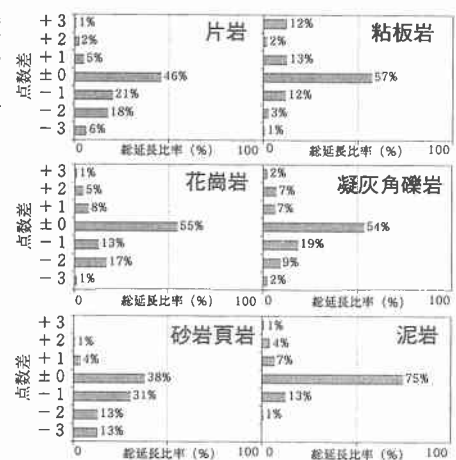


図-3 推定と実切羽でのC+D値の差

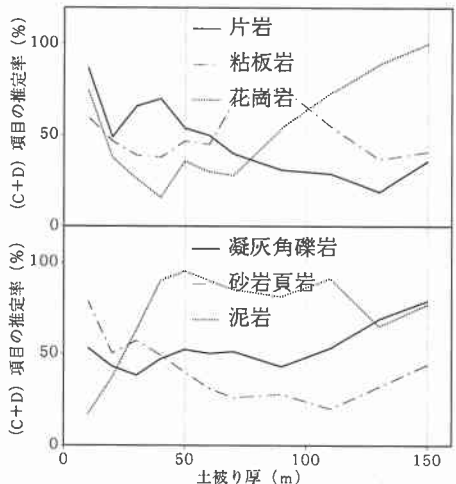


図-4 土被り厚からみた弾性波速度の推定度