

第 部門

軟岩地山における弾性波速度・比抵抗のジョイントインバージョンによる定量的評価法

関西大学大学院 学生員 ○高橋 康隆
 関西大学工学部 フェロー 楠見 晴重
 中央復建コンサルタンツ 正会員 山岡 武司

1. はじめに

近年、トンネル建設時の地質調査として、弾性波探査や電気探査が行われることが多いが、これら単独での探査結果では、不十分な点が残されることが多い。一方、設計・施工において、地質不良箇所・湧水箇所等の地質情報を正確に把握することは、安全面や経済面からも重要である。ここでは、弾性波および比抵抗の測定結果をジョイントインバージョンし、設計・施工時の有効な指標になると考えられる間隙率と体積含水率に変換するシステムを変換解析と称して提案している。本研究では、堆積軟岩地山におけるトンネル施工において、事前調査として行われた弾性波探査と電気探査の結果を用いた変換解析を行い、変換結果をトンネル施工実績と比較することで、軟岩地山への適用性について検証した。

2. 変換解析概要

弾性波速度と比抵抗は異なる物理量であるが、それぞれ有効間隙率と飽和度と密接な関係を有することから、有効間隙率と飽和度をパラメータとして関連付けることができる。変換解析とは、これらの関係を利用して、原位置での弾性波速度と比抵抗測定結果を用い、有効間隙率と飽和度を求めるジョイントインバージョン手法である。変換解析に用いる関係式として、弾性波速度は、Wyllie²⁾が提案した次式を用いた。

$$\frac{1}{V_p} = \frac{(1-\phi)}{V_m} + \frac{\phi \cdot S_r}{V_f} + \frac{\phi \cdot (1-S_r)}{V_a} \quad (1)$$

V_p : 岩盤の弾性波速度, V_m : テストピースの弾性波速度,

V_f : 間隙水の弾性波速度, V_a : 間隙空気の弾性波速度, ϕ : 間隙率, S_r : 飽和度

また、比抵抗については、本研究から得られた実験式を用いた。

$$\rho = m \cdot S_r^{-B} \cdot \phi^{-n} \quad (2)$$

ρ : 比抵抗値, m, n, B : 地質の違いによる係数

このように、式(1)および式(2)において、変換パラメータの決定が行われれば、弾性波速度および比抵抗が既知であれば、飽和度と有効間隙率を含む2変数の連立方程式となり、岩石要素ごとに解析的に解くことで有効間隙率と飽和度を求めることができる。

3. 変換パラメータの設定

表.1 変換パラメータ

岩 種		砂岩	泥岩
変換パラメータ	m	4.1425	2.0354
	n	1.3643	1.4957
	B	3.36	5.5946
岩石実質部の弾性波速度	V_m	3300m/s	2500m/s
間隙水の弾性波速度	V_f	1500m/s	
空気の弾性波速度	V_a	330m/s	

比抵抗と弾性波速度それぞれの関係式における変換パラメータは、原位置でのボーリング供試体を用いた室内実験により設定する。具体的には、ボーリング供試体を飽和させた後に、自然乾燥をさせながら、比抵抗値と弾性波速度を測定することにより設定する。比抵抗は小型デジタルスタッキング式比抵抗計を用いて測定し、弾性波速度は、透過式超音波速度測定装置を用いて測定した。比抵抗の関係式は、室内実験の測定結果から比抵抗と飽和度の関係式、比抵抗と有効間隙率の関係式をそれぞれ求め、二つの関係式を結びつけることにより導いた式である。弾性波速度の関係式における変換パラメータは、室内実験により得られた弾性波速度の値をプロットした点と、Wyllieの式より求めた理論曲線に良い相関性があることから設定することができる。

表.1には、砂岩・泥岩の供試体を用いて設定した変換パラメータを示す。トンネル地山は、砂岩、泥岩、礫岩が

分布していたことから、本来ならば、礫岩供試体を用いたパラメータ設定を行うべきであるが、断層による破砕により供試体が得られなかった。このため、礫岩地帯には、砂岩の変換パラメータで代用した。

4. 対象トンネル概要

今回対象としたトンネルは、延長 380m の 2 車線道路トンネルである。最大土被り約 70m で、左坑口から約 150m 地点では約 15m の低土被りとなる。トンネル地山は、新生代新第三紀の砂岩優勢層、泥岩優勢層、礫岩優勢層が分布している堆積軟岩地山である。両坑口部の 2 箇所には断層が分布する。図.1 は、トンネル軸での地質区分を示している。

5. 間隙率分布と切羽状態評価点の比較

トンネル軸における間隙率分布とトンネル切羽観察記録における切羽状態評価点との比較を行った。ここで切羽状態評価点とは、目視観察によって切羽の安定性を評価するもので、1～5 の段階で評価されている。安定性が低いほど高い点数となる。図.2 は、トンネル軸における間隙率分布と切羽状態評価点の比較を示したグラフである。比較した結果、左坑口から 85m 地点より右側の間隙率分布は、切羽状態評価点とのよい一致が示された。しかし、左坑口から 80m の区間は、あまりよい一致が示されなかった。この原因としては、礫岩優勢層に砂岩の変換パラメータを使用したからだと考えられる。複雑な地山を対象とする場合には、地質区分に適した変換パラメータを使用する必要があると考えられる。

6. 間隙率分布と支保実施パターンの比較

トンネル軸における間隙率分布とトンネル支保実施パターンの比較を行った。図.3 は、間隙率分布と支保実施パターンを比較した図である。右坑口付近においては、間隙率が大きくなるにしたがって、より強固な支保パターンが用いられていることが確認でき、よい一致が示されたといえる。しかし、その他の地点においては、あまりよい一致が示されなかった。これは、支保パターンは地山状況に加えて、低土被り等の地形条件も考慮して設定されたためである。

7. まとめ

今回対象とした堆積軟岩地山は、3 種類の地層と断層が入り混じった複雑な地山であった。このため、トンネル軸での地質分布に応じて、2 つの変換パラメータによる変換解析を試みた。結果としては、間隙率分布と実施支保パターン・切羽状態評価点の比較において、右坑口付近でのよい一致が確認された。特に、切羽状態評価点との比較では、左坑口から 80m 地点より右側の範囲で、大方一致したことが確認され、軟岩地山における変換解析の適用性が示されたといえる。

【参考文献】

- 1) Wyllie, M.R., Gregory, A.R. and Gardner, L.W.: Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media. Geophysics, 21(1), pp.41-70, 1956.
- 2) 楠見晴重・他: 様々な岩石の比抵抗特性に及ぼす飽和度、間隙率の影響とそれを利用した岩盤物性の評価法、亀裂性岩盤の浸透問題に関するシンポジウム論文集、地盤工学会、pp.187-194, 2001.11.

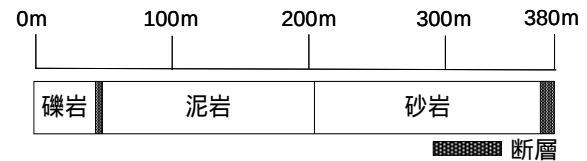


図.1 トンネル軸における地質区分

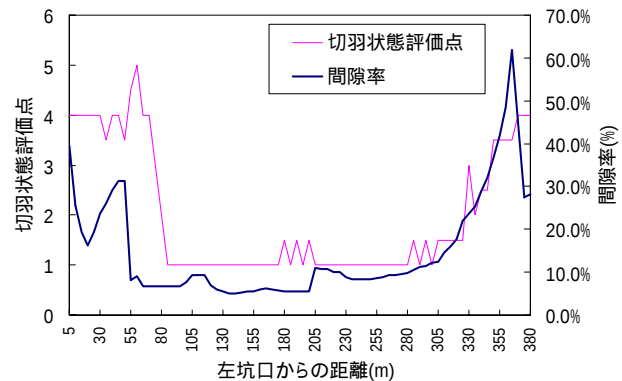


図.2 間隙率分布と切羽状態評価点の比較

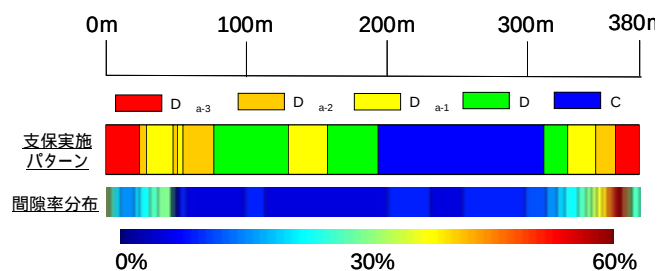


図.3 間隙率分布と実施支保パターンの比較