

先進ボーリング孔沿いの連続的なひずみ量によるトンネル変位量の試算と実変位量の比較例

土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○岡崎健治・倉橋稔幸
 深田地質研究所 正会員 亀村勝美
 フジタ 正会員 村山秀幸

1. はじめに

トンネルの施工時には、切羽面から前方の地山方向へ水平ボーリング調査（以下、先進ボーリング）が行われる場合があり、そのコアによる室内試験、孔内での原位置試験の結果から地山等級が見直しされている¹⁾。このようなトンネル掘削前の調査試験から、より精度良い地山分類や施工のための情報の取得が重要といえる。コアの室内試験では、一軸圧縮強さ、ポアソン比、湿潤密度および超音波伝播速度試験によるP波とS波速度が測定される。一方、孔内の原位置試験では、速度検層による切羽前方のP波速度 (V_{ph})、水平載荷試験による変形係数が測定される。ここで、切羽前方におけるボーリング孔に沿った連続的な原位置の弾性係数 (E_h) は、 V_{ph} ならびに、コアのP波とS波速度から切羽前方のS波速度を求め、そのS波速度、湿潤密度およびポアソン比から計算することができる。さらに、この E_h と一軸圧縮強さの関係から切羽前方の地山のひずみ量 (ϵ_h) を計算することでトンネルの掘削に伴う応力解放前の変位量を計算することができる。

これまで筆者らは、北海道の火山岩と火山砕屑岩を地山とする国道トンネル建設時の先進ボーリングデータから E_h を求めるとともに、ボーリング孔内で実施された水平載荷試験による変形係数との関係を分析し、 E_h による変形係数の地山分類における適用範囲を示した²⁾。本稿では、同データを用いて、 E_h と一軸圧縮強さの関係から ϵ_h を求め、その ϵ_h に基づいたトンネル掘削に伴う変位量を試算し、実際のトンネル掘削後に計測された変位量（天端沈下量と内空変位量の1/2）との関係を比較分析したので、その結果について述べる。

2. 分析概要

本分析では、これまで NATM で建設された北海道の国道 11 トンネルの先進ボーリング 63 孔での V_{ph} 、コア 400 個の P 波と S 波速度、湿潤密度、ポアソン比および一軸圧縮強さを用いた。 V_{ph} はコンクリート吹付けされた切羽面からのダウンホール法、コアの P 波と S 波速度はコアの超音波伝播速度試験により測定した。なお、岩種は、安山岩、石英安山岩、溶岩、凝灰角礫岩、火山角礫岩である。ただし、ここでは岩種を区別せずに、これらのデータから以下のとおり E_h を求め、 E_h と一軸圧縮強さの関係から ϵ_h を計算した。

2. 1 ボーリング孔沿いの連続的な弾性係数とひずみ量

E_h は、 V_{ph} 、コアの P 波と S 波速度をもとにボーリング孔に沿った S 波速度を計算後、湿潤密度との積から動せん断弾性係数を計算し、その動せん断弾性係数とポアソン比から求めた。ここで、 E_h はコアと原位置の亀裂の違いによる影響が考慮されており地山に近い状態を反映するといえる。また、 ϵ_h は、 V_{ph} と一軸圧縮強さの関係式から推定した一軸圧縮強さを E_h で割ることで求めた。

2. 2 ボーリング孔沿いの連続的なひずみ量に基づくトンネルの変位量

ボーリング孔沿いの連続的なひずみ量に基づくトンネルの変位量は、 ϵ_h に支保パターンに応じたトンネル半径を掛けることで、 ϵ_h に基づく変位量（以下、 U_h ）として求めた。また、この U_h と実際のトンネルの掘削に伴う変位量（天端沈下量と内空変位量の1/2）の関係を比較することで U_h を検証した。なお、この U_h は掘削前の値であることから、掘削に伴う応力解放率を 40% として試算した。検証に用いたモデルトンネルは、延長 963m、最大土被り厚さ 228m の安山岩、水冷破碎岩および土石流堆積物を主体とする地山に建設されたトンネルであり 9 孔の先進ボーリングが実施され、コアの室内試験ならびに速度検層が実施されている。ただし、速度検層は孔壁が崩れた一部の区間で未実施である。

キーワード トンネル、先進ボーリング調査、弾性係数、ひずみ、変位量

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34 TEL 011-841-1775

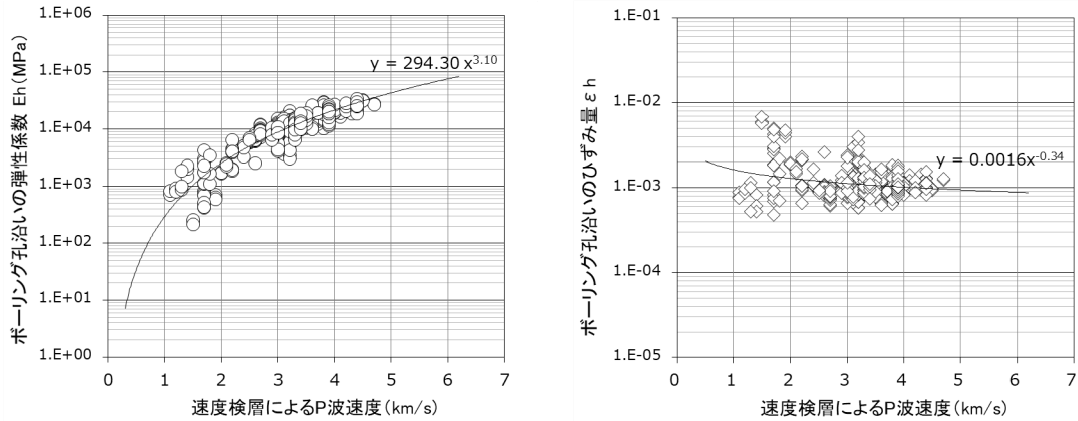


図-1 速度検層による P 波速度と先進ボーリング孔沿いの弾性係数とひずみ量

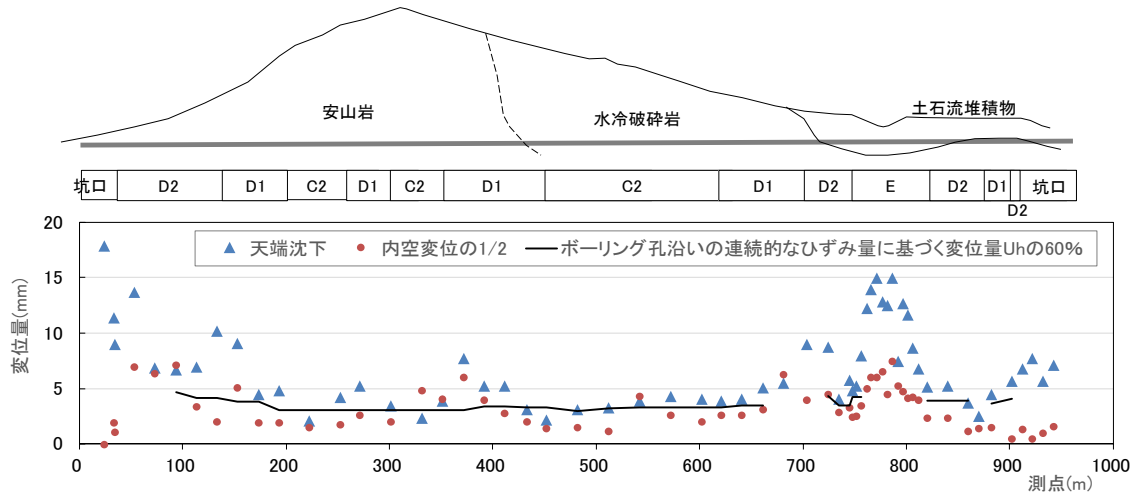


図-2 ボーリング孔沿いの連続的なひずみ量に基づく変位量と実変位量の比較

3. 試験結果

3. 1 ボーリング孔沿いの連続的な弾性係数とひずみ量

図-1 に V_{ph} と E_h , V_{ph} と ϵ_h の関係を示す。 E_h は速度検層による P 波速度との相関の高い傾向がみられる。一方、 ϵ_h と速度検層による P 波速度の関係は、バラツキを有するが速度検層による P 波速度が大きいと ϵ_h は小さくなる傾向がみられる。

3. 2 ボーリング孔沿いの連続的なひずみ量に基づくトンネル変位量と実変位量の比較検証

図-2 にモデルトンネルの掘削で生じた変位量と U_h の関係を示す。トンネルの掘削に伴う変位量は、起点側坑口周辺や測点 750~800 付近で 15mm 以上を示すが、その他の区間では概ね 5mm 程度であり、 U_h はトンネルの掘削に伴う変位量と同等に得られる傾向にあることが確認できる。なお、 U_h は速度検層自体が実施できない区間で求められない、また、 V_{ph} はある程度まとまった区間の値として測定されることから、部分的に大きな変位が生じる状況（例えば、測点 350~400 付近での変位量）には対応できていないが、トンネル掘削前の切羽前方における地山の力学的な情報を事前にある程度把握することができる。

4. おわりに

本分析では、火山岩と火山砕屑岩を地山とする国道トンネルの先進ボーリング調査時に測定した速度検層の P 波速度、室内試験によるコアの P 波と S 波速度、湿潤密度、ポアソン比および一軸圧縮強さをもとに、原位置での弾性係数とひずみ量を推定し、トンネル掘削に伴う変位量を試算するとともに、実際に生じた変位量との対応を示した。分析データを提供頂いた国土交通省北海道開発局の関係各位に記して厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局：道路設計要領，第 4 集トンネル，pp. 13-29. 2018.
- 2) 岡崎健治・倉橋稔幸・山崎秀策：トンネル切羽前方の水平ボーリング孔内で測定した P 波速度とコアの室内試験結果を用いた地山弾性係数について，物理探査学会第 139 回学術講演会論文集，pp. 67-68, 2018.