

三次元内空変位計測結果に基づく前方地山状況予測法

山口大学大学院理工学研究科 学生会員 ○竹村 いずみ
山口大学大学院理工学研究科 学生会員 岡 部 康 成
山口大学大学院理工学研究科 正会員 進 士 正 人

1. はじめに

我が国における地質状況は非常に複雑である。その状況でトンネルのような地中構造物を安全に、また経済的に施工していくためには、詳細な地質状況の事前把握が不可欠である。施工中の地山状況の観察・計測としては切羽観察記録表や内空変位計測および天端沈下計測が代表的なものとして挙げられる。これらの計測はトンネル施工中のトンネル壁面の变形挙動を計測するもので、それらの計測結果に基づく情報化施工が一般に実施されている。近年、計測方法が光波測距儀による三次元での絶対変位計測が可能となり、既往の研究では通常、天端や内空変位計測結果として利用されていない掘削方向変位が切羽前方の地山状態により変化することに着目した前方地山の予測手法が提案されている¹⁾。本研究では、この提案手法を実際の施工データに適用し、その適用性を明らかにする。そして、三次元数値解析を用いてトンネル縦断面方向の天端沈下分布に基づいた三次元地山モデルを作成し、既往研究の現場適用性について評価・検討を行う。

2. 掘削方向変位を用いた予測手法

既往の研究の解析方法¹⁾を説明する。解析はFLAC3Dを用い、弾塑性体モデルによる解析を行った。解析に用いたモデルを図-1に示す。図に示す通り、奥行き180m、中央部90mで領域の物性値が変化するモデルを想定し、変化断面より40m手前に計測点Aを設置した。トンネル掘削は1mずつ行い、切羽から1m遅れて支保工・インバートの設置を行った。表-1に解析で用いた物性値の一覧を示す。解析では、表に示すように領域②の弾性係数を0.1E(前方がより軟らかい)、5.0E(前方がより硬い)にそれぞれ変化させた場合の、切羽の進行に伴う計測点Aのトンネル天端部掘削方向変位を図-2に示す。図から前方物性値の違いによってそれぞれ異なった掘削方向変位挙動を示すことが分かる。そして、それぞれの変位分布を線型近似し、傾きを求める。この傾きを平均変位量¹⁾(=掘削方向変位/計測点から切羽までの距離)と定義すると、前方地山が硬い場合(②:5.0E)、平均変位量は正、反対に軟らかい場合(②:0.1E)では負の値をそれぞれ示す。このように、計測点での平均変位量の正負から前方地山の硬軟を予測する手法が提案されている。

3. 予測手法の適用性

3-1. 現場計測データを用いた予測法

掘削方向変位を用いた前方地山予測について、予測法での適用性を検証するために、Aトンネルの坑口より400~820m区間計測データを用いた。なお、Aトンネルの計測データは充分丁寧な計測が実地されており、計測精度の信頼度は高い。まず各計測断面の天端部掘削方向変位を用いて平均変位量をそれぞれ算出した。そして切羽評価点の変化と比較した。図-3にその傾向を示す。坑口からの距離約430~580m、680~780m区間では切羽評価点の変化と平均変位量は似た挙動を示し

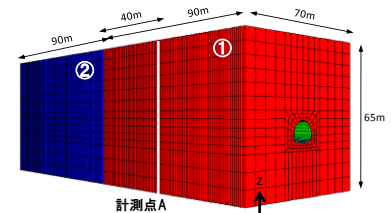


図-1 三次元解析モデル

表-1 解析物性値

	①	②	③	支保工	インバート
E	1000	0.1E	5.0E	4000	4000
弾性係数 (MPa)	1000	100	5000	4000	4000
単位体積質量 (kg/m ³)	2300	2300	2300	2400	2400
ポアソン比	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
粘着力 (MPa)	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0
内部摩擦角 (°)	40	40	40	45	45

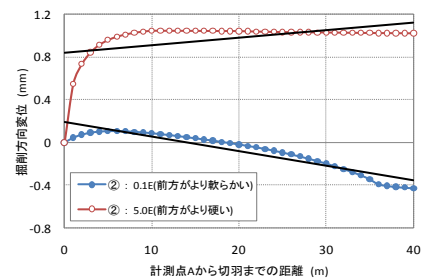


図-2 計測点Aの天端部掘削方向変位

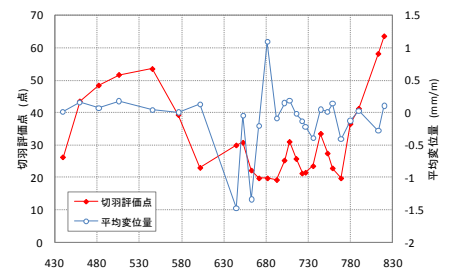


図-3 平均変位量と切羽評価点の比較

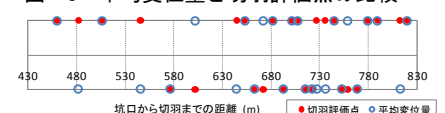


図-4 平均変位量の一致状況

ている．次に，このグラフを用いて各計測点の平均変位量からどれだけ正確に前方予測できているかを検討するために図-4のような整理を行った．すなわち，この図は平均変位量・切羽評価点の各計測点間における傾きに着目した図で，各計測点間の傾きが正であれば上辺に，負であれば下辺にそれぞれプロットしたものである．すなわち，両方の点が重なっていれば平均変位量が正しく前方を予測できていることになる．この図より平均変位量の正答率を算出すると，26 点中 17 点が一致し，現場計測データにより算出した平均変位量の正答率は 65%と考えられる．

3-2. 三次元数値解析による検証

次に，三次元解析モデルによる平均変位量発生を検証を行った．これは地山状態をより現実モデルに近づけることで，平均変位量の出現が現場計測データを用いた場合よりも顕著に表現されることを期待したためである．図-5 に作成した三次元解析モデルを示す．解析では，まず A トンネルの坑口より 400~820m 区間の現場計測データ(天端沈下計測) および土被り高さから地山の二次元円孔の理論解²⁾より，表-2 に示す解析物性値(弾性係数)の比を決定した．そして，モデルをより現実近づけるため，土被り高さが変化し，支保剛性及びトンネル形状を考慮した奥行き 460m の三次元弾塑性体モデルを作成した．検証は其中で 20~440m までの 420m 区間のデータを使用し，これまでと同様に掘削は 1m ずつ行い，切羽から 1m 遅れて支保工・インバートの設置を行った．計測点は現場計測データと比較しやすくするために現場データと同じ箇所に設置した．図-6 に解析モデルから算出した各計測点の平均変位量と評価点の挙動を比較した結果を示す．この図より，三次元モデルによる平均変位量は図-3 に示す実際の平均変位量より滑らかな挙動を示すことがわかる．次に，図-7 に平均変位量の一致状況を示す．この図より平均変位量の正答率を算出すると，26 点中 15 点が一致したので，三次元数値解析による平均変位量の正答率は 58%となる．すなわち，切羽評価点と解析による挙動の相関は，現場計測データを用いた結果ほど得られず，より平均変位量を一致させるには，地山の局所的な変化を表現する必要があることがわかった．

4. まとめ

本研究では，平均変位量による前方地山予測について，現場での計測データを用いた予測法と数値解析を用いた場合についてのそれぞれ適用性の検証を行った．その結果，現場計測データを用いた場合の方が数値解析の場合よりも良い 65%程度の正答率が算出された．この結果から，丁寧な計測が実地されると現場計測データによる前方地山予測はほぼ可能であるといえる．しかし一部，算出した平均変位量と切羽評価点が一致しにくい原因については種々考えられるが，たとえば切羽が停止している時，平均変位量の算出方法などに検討が必要である．加えて地山の不連続挙動を表現できない箇所も存在しているため，それが平均変位量に影響したものと考えられる．また，三次元数値解析から地山の局所的な変化が平均変位量に与える影響は無視できないため，将来，平均変位量を用いて前方地山の局所的な変化を予測する方法について今後，研究を進めていきたい．

参考文献 1) 小松原渉，進士正人：「三次元内空変位計測の有効な活用方法」土木学会第 38 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集 論文番号 40, pp.225-230 2009 年 1 月

2) 応用地質株式会社:応用地質年報 OYO TECHNICAL REPORT NO.10 1988

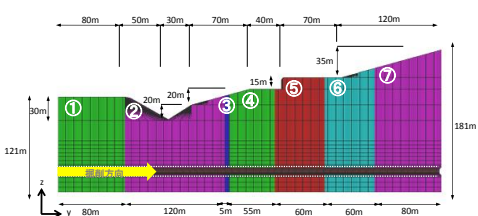


図-5 三次元解析モデル

表-2 解析物性値

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	支保工	インバート
弾性係数 (MPa)	500	1500	50	500	100	800	1500	4000	4000
単位体積質量 (kg/m³)	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2400	2400
ポアソン比	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
粘着力 (MPa)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0
内部摩擦角 (°)	40	40	40	40	40	40	40	45	45

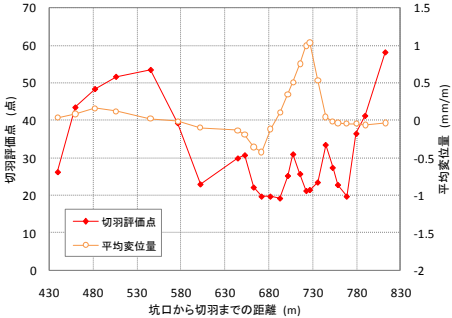


図-6 平均変位量と切羽評価点の比較

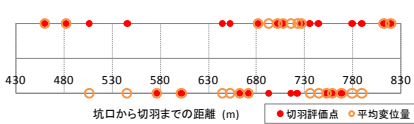


図-7 平均変位量の一致状況