

勾配のある層理面を持つ地山におけるトンネル天端部の3次元挙動

首都大学東京大学院都市環境科学研究科
山口大学大学院理工学研究科
山口大学大学院理工学研究科

学生会員
学生会員
正会員

中川 恵一
○竹村いずみ
進士 正人

1. はじめに

日本の地質状況は非常に複雑であり、その状況でトンネルのような地下構造物を安全で、かつ経済的に施工するためには、詳細な地質状況の事前把握が不可欠となる。施工中のトンネル周辺の地山状況の把握方法としては切羽観察、内空変位計測があげられる。特に内空変位計測は、現在3次元での変位計測が可能であるにもかかわらず、天端沈下や内空変位計測結果の断面内変位のみが利用され、掘削方向のような断面外変位は利用されていない(以下掘削方向変位と呼ぶ)。しかし、既往の研究により、切羽前方の地山の弾性係数の変化が掘削方向変位に現れることがわかり、その変位挙動を基にした前方地山予測手法が提案されている。本研究では、より一般的なモデルとして勾配を持つ層理面を検討した3次元モデルを作成し数値解析を行う。その結果から、トンネル天端部の掘削方向変位を把握し、境界面が傾斜した物性値が変化するモデルのトンネル掘削面の掘削方向変位に与える影響を明らかにし、既往の研究の提案手法について汎用性を検討する。

2. 既往研究での計測点挙動

既往研究¹⁾²⁾において解析に用いた3次元モデルを図-1に示す。図に示す通り物性値が変化する境界面の傾斜は垂直である。このモデルは表-1に示すように解析物性値を変化させた。そして坑口から50m地点の領域①内のトンネル天端部に計測点を設置し、逐次掘削にともなう計測点の掘削方向変位に着目した。ここで掘削進行方向に計測点の変位した場合を正、坑口方向に計測点の変位した場合を負として、変化に伴う計測点の掘削方向変位挙動にまとめ変位図を作成した。作成した変位図(図-2)より、前方物性値の硬軟によって計測点の掘削方向変位が異なる挙動を示すことがわかる。既往研究では、このトンネル天端部に設置した計測点の挙動が異なることに着目した地山前方予測法を提案している。

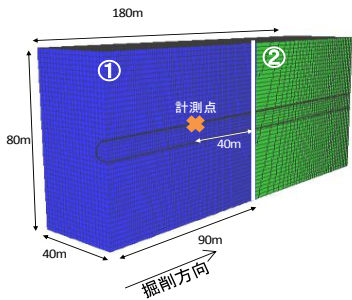


図-1 モデルⅠ

表-1 解析物性値

	①		②	
	E	0.1E	1.0E	10E
前方地山状態		軟らかい	変化する	硬い
弾性係数(MPa)	150	15	150	1500
単位体積重量(kN/m ³)	2100			
ポアソン比	0.35			

3. 物性値を斜めに变化させた3次元モデルを用いた解析

3. 1 3次元モデルおよび解析物性値

実際の地山の多くは勾配のある層理面を持つため、物性値変化の境界面が傾斜したモデルにおいて掘削方向変位挙動に与える影響を検討する。そのために図-3及び図-4に示す中央部90m地点の天端部において、角度を±45°変化させた3次元モデルを作成し数値解析を行った。領域②の物性値は0.1E(前方が軟らかい)とした。また坑口から50m地点の領域①内のトンネル天端部に計測点を設置し、既往の研究同様、掘削方向変位挙動との違いを調べた。

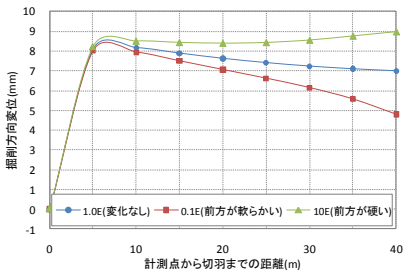


図-2 計測点の掘削方向変位

3. 2 解析結果

解析結果を図-5に示す。モデルⅠ(垂直モデル■)とモデルⅡ(⊕)の計測点変位を比較すると、両者の挙動及び変位値は類似した挙動を示すことがわかる。次にモデルⅠ(■)とモデルⅢ(□)を比較すると、モデルⅢ(□)はモデルⅠ(■)に比べ変位が小さ

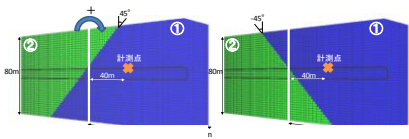


図-3 モデルⅡ

図-4 モデルⅢ

くなることがわかる。また、10m~40m 区間の変位挙動の傾きは、モデルⅠ(■)よりも大きく傾いている。解析結果より、物性値の変化は同等でも、境界が傾斜することによって挙動及び変位量に違いが生じることがわかった。このことから、既往の研究では挙動のみに注目していたが、前方状況を詳細に把握するためには変位量そのものにも注目し、検討する必要があることがわかる。

4. 現場データとの比較

ここでは現場データと同様の層理面の勾配を考慮したモデルを作成し、解析結果の検証を行う。比較に用いたモデルはAトンネルの現場計測データである。Aトンネルは前方予測の検討を行うため、各計測点の設置から計測まで丁寧な内空変位計測が行われた。また、図-6に示すようにAトンネルには、層構造が明確な境界面が勾配を持った地山状況であった。そこで、現場データと合わせて、坑口より787m~1027m区間のモデルを作成し、その間の弾性係数の算出、土被りの検討を行い3次元モデルを作成した。また本研究では垂直モデルは物性値変化の境界面を垂直に、斜めモデルは現場状況を再現し角度を25°傾け2つのケースの解析を行い比較した。計測点はAトンネルでの実施状況に合わせ835m地点に設置し掘削方向変位挙動を調べた。なお計測点設置後から10mはどのモデルの挙動も類似すること、40m掘削後以降は変位値が収束することから、10~40m区間の変位のみを比較の対象とした。モデル図を図-7、解析物性値を表-2に示す。解析は1m逐次掘削を行う。また、掘削に伴い1m後方に支保工、インバートを設置する。計測点挙動解析結果を図-8に示す。図に示すように斜めモデルと現場データを比較すると二つの掘削方向変位量はほぼ一致している。しかし垂直モデルは全体として大きな変位量を示す。また、垂直モデルの変位値のみが正の値となっている、これは計測点が掘削進行方向に変位しているということより、前方地山の状況が良くなることを意味し現場状況を再現できていないと言いきにくい。しかし斜めモデルは、変位量が負の値を示し、現場状況をよく表している。現場の層理面方向を考慮することで、より現場に近い前方予測モデルが再現できるといえる。

5. まとめ

本研究では、層理面の勾配を考慮してモデルを作成し、トンネル天端計測点挙動に着目し解析を行い掘削方向変位挙動の変化を求めた。また結果と現場データとの比較を行い現場の再現性を検証し、前方地山予測手法の検討を行った。その結果より、モデル境界を傾斜させることで、天端部の挙動だけでなく変位値にも違いが生じることがわかった。また実際の現場データを用いて既往の研究との比較を行い、既往の垂直モデルでは現場状況を正確に再現できていないこと、及び再現するためには地山状況に合わせ層理面の勾配の考慮することを明らかにした。また、詳細な前方地質を予測するためには挙動だけでなく、変位値にも注目する必要があることがわかった。今後は既往の研究での予測法に本研究の結果を踏まえ、より正確な予測が可能となるよう研究を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 小松原渉:三次元内空変位計測データを用いた前方地山評価 平成20年度 修士論文
 2) 竹村いずみ:3次元内空変位計測結果に基づく前方地山予測法 平成21年度 卒業論文

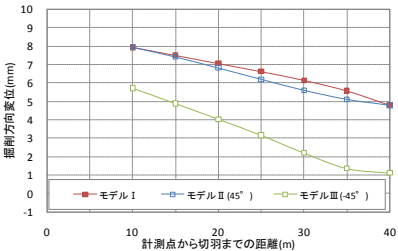


図-5 計測点の掘削方向変位の比較

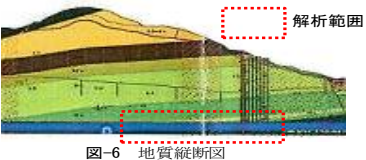


図-6 地質縦断面図

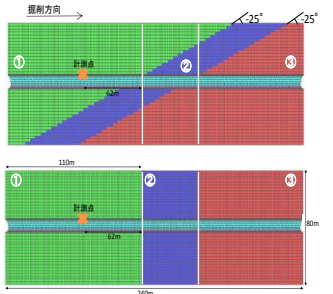


図-7 上: 斜めモデル 下: 垂直モデル

表-2 解析物性値

	①	②	③	支保工	インバート
弾性係数(MPa)	900	10	250	4000	4000
単位体積重量(kN/m³)		2100		4000	2400
ポアソン比		0.35			0.2

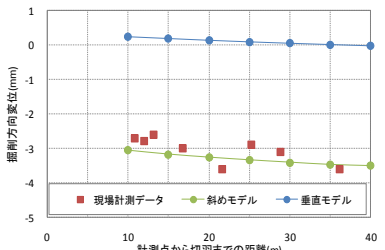


図-8 解析結果と現場データの比較