

トンネル掘削時の前方地山状況予測手法の適用性に関する検討

山口大学大学院理工学研究科
防衛省
山口大学大学院理工学研究科

学生会員 ○辻岡高志
武内秀頼
正会員 進士正人

1. はじめに

山岳トンネルは、施工中の地山状況を把握するために光波測距儀を用いた3次元変位計測が実施されている。しかし、その利用方法は従来の天端沈下や内空変位などの断面内変位にのみ着目されている。著者らは、既往研究¹⁾において通常利用されていない3次元変位計測のうちのトンネル軸方向変位(断面外変位)を利用した前方地山状況予測手法(以下、「PS-Tad」と呼ぶ)を提案した。本研究は、PS-Tadを北の峰トンネル(仮称)の施工変位計測データに適用することで、予測手法の適用性を明らかにし、必要に応じて修正を検討した。

2. 既往研究

既往研究で用いた数値解析モデル、解析物性値を図-1、表-1に示す。既往研究ではモデルの弾性係数を前後に変化させ、地山の硬軟を表現している。トンネル掘削はその中央部に1m逐次掘削とし、トンネル天端部に計測断面を設け、坑口から10~60m地点を10m間隔で、計測断面から切羽離れ10mでの軸方向変位を0とした時の10~30mの軸方向変位の変化量(以下「相対軸方向変位」と呼ぶ)を図示した。その結果を図-2に示す。図より前方地山の硬軟の違いにより相対軸方向変位の挙動が異なることがわかる。「PS-Tad」とはこの結果を「Tad-Chart」として相対軸方向変位を発生領域ごとに色別した図で、現場計測で得られた相対軸方向変位を切羽離れ10~30mまで5m間隔でTad-Chart内にプロットすることで、プロットされた領域から前方地山の硬軟を予測する。

3. PS-Tadの実測データへの適用

3-1 前方地山の判断指標

数値解析では弾性係数を変化させることで地山の硬軟を表現したが、トンネル施工現場では地山の弾性係数は不明である。そこで、本研究では地山強度の指標として天端最大沈下に着目し、沈下量が小さくなる箇所を地山が硬くなる箇所、逆に沈下量が大きくなる箇所を地山が軟らかくなる箇所、沈下量があり変わらない箇所を地山が変化しない箇所として適用性を検討した。

3-2 適用結果の検討

図-3、図-4に北の峰トンネルの計測点位置 TD142m、TD342mの相対軸方向変位の適用結果および最大天端沈下を示す。◆で示すTD142mの場合、ほぼ切羽よりすぐに前方が硬くなる領域に分布しており、Tad-Chartでは『地山状況はすぐ良好になる』と予想される。実際に、最大天端沈下は減少しており、前方地山は徐々に改善されていると判断できる。しかし、TD342mの場合はTD142mと同様にほぼ切羽よりすぐに前方が硬くなる領域に分布しているにもかかわらず、最大天端沈下はあまり変わらず、前方地山が良好になるとは判断できない。従来のTad-Chartを北の峰トンネルに適用したところ、前方地山予測が一致したデータ数は98データ中42データであり、

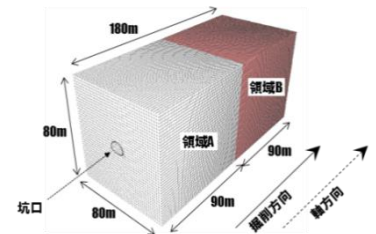


図-1 数値解析モデル

表-1 解析物性値

モデル名	弾性係数(MPa)	単位体積質量(kg/m ³)	ポアソン比	前方地山状況のイメージ
model I	150			変化しない
model II	15	2100	0.35	脆弱になる
model III	1500			良好になる

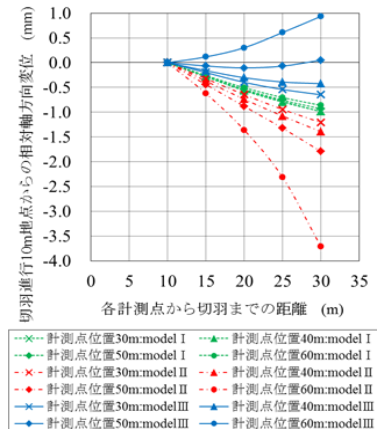


図-2 各計測点の軸方向変位

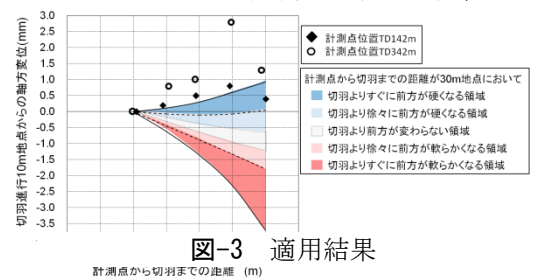


図-3 適用結果

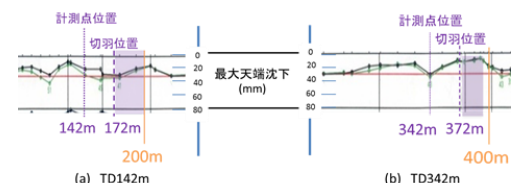


図-4 最大天端沈下

約 43%のデータで適用性が確認できた。

4. PS-Tad の修正

PS-Tad による前方地山予測が北の峰トンネルの地山状況と一致しなかった原因のひとつは、このトンネルが既往研究の地山想定より、より脆弱な地山に施工されているためと考えられた。そこで、旧日本道路公団の解析物性値事例²⁾を参考に、支保パターンごとに領域 A、B の解析物性値を再設定し数値解析を行い軸方向変位の発生状況を調べた。一例として領域 A の支保パターンを D I とした時の解析物性値の一覧を表-2 に示す。解析モデルは既往研究と同じものを使用し、解析条件は 5m 逐次掘削で、坑口から 10~70m 地点まで 10m 間隔で計測点を設けた以外は、既往研究と同様の方法で行った。この結果を図-5 に示す。図より、全体的に相対軸方向変位は小さくなり、領域 A の弾性係数の大きさにより相対軸方向変位挙動が変化することがわかった。さらに領域 A の支保パターンが C II 以上である場合、相対軸方向変位はほぼ 0 となり、相対軸方向変位も前方地山の硬軟による影響を受けにくくなることがわかった。すなわち、PS-Tad 適用範囲は評価する領域の支保パターンが D I 程度以下の場合に限定されると考えられる。

5. 修正後の PS-Tad の実測データへの適用

TD342m の相対軸方向変位を領域 A の支保パターンが D II とした時の Tad-Chart にあてはめた結果を図-6 に示す。図からわかるように TD342m の相対軸方向変位挙動から、Tad-Chart では『前方地山がすぐに良好になる』と予測される。実際に図-4 (b) に示すように計測点から切羽までに最大天端沈下は大きく減少し、切羽より前方の最大天端沈下はあまり変化していないことがわかり、前方地山予測結果はよく一致する。この Tad-Chart の修正を行ったことにより、前方地山予測が一致したデータ数は 82 データ中 45 データであり、従来の Tad-Chart と比べ適用率が約 10%向上した。

6. 結論

本研究では、既往研究で提案された PS-Tad の適用性の検討と修正を行った。その結果、Tad-Chart には適用範囲があり、支保パターンによって Tad-Chart を使い分ける必要があることがわかった。しかし、本研究では現場変位計測データでは前方地山の予測ができない箇所も存在した。これは現場での計測精度も影響していると考えられる。加えて施工現場では湧水が発生しており、そのため、材料のスレーキング等により軸方向変位が大きくなったことも原因と考えられる。今後は、様々な条件下でも適用できるように Tad-Chart の修正を行うことに加え、Tad-Chart の縦軸の再検討を行い、支保パターンごとに分けた Tad-Chart を一つにまとめ、より汎用性を高めることが課題と考えている。

謝辞

本研究の遂行にあたり、施工および計測記録の提供を頂いた北海道開発局旭川開発建設部 富良野道路事務所ならびに北の峰トンネル JV 工事事務所に深く感謝します。

参考文献

1) 竹村いずみ, 進士正人, 鬼頭夏樹, 千々和辰則, 石山宏二: 坑内の軸方向変位を用いた前方地山状況の予測手法の提案, 土木学会トンネル工学論文集, 報告 I - 1, 第 21 号, pp.115-120, 2012.
2) 土木学会: 山岳工法における模型実験と数値解析の実務, p152, 2006

表-2 解析物性値の一例

支保パターン	(C) D I ⇒ ? の解析物性値		単位体積重量(kg /m3)	ポアソン比	前方地山状況のイメージ
	領域A	領域B			
D I ⇒ D I	500	500	2100	0.35	変化しない
D I ⇒ E		80			軟らかくなる
D I ⇒ D II		150			若干軟らかくなる
D I ⇒ C II		1000			若干硬くなる
D I ⇒ C I		2000			硬くなる
D I ⇒ B		5000			かなり硬くなる

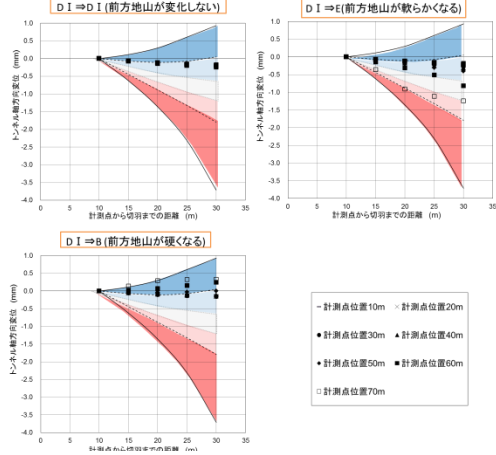


図-5 解析結果の一例

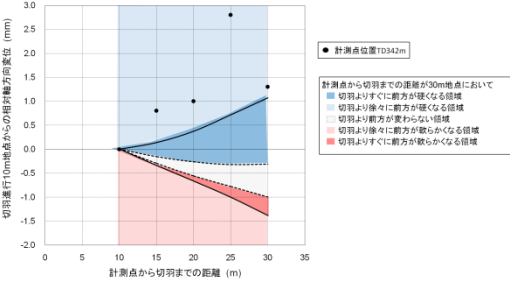


図-6 領域 A が D II の時の Tad-Chart