

三次元内空変位計測を利用した前方地山状況の予測法

山口大学大学院

パシフィックコンサルタント（株）

山口大学大学院

学生会員 ○岡部康成

正会員 小松原渉

正会員 進士正人

1. はじめに

山岳トンネルでは、近年光波測定儀を用いて、トンネル壁面の変位を三次元で計測する機器が一般的に普及しているにもかかわらず、計測結果の活用としては従来の天端沈下量と内空変位に代表される、いわゆる二次元断面内の現場計測データが用いられている。そこで、本研究はせっかく計測されている三次元内空変位計測データを利用して、前方地山状況予測する方法を開発する。

2. 地山モデルの決定

現実の地山は極めて不均質である。そこで本研究ではもっとも単純な不均質モデルとして 図-1 に示すような左右非対称モデルを用いてトンネル掘削シミュレーション解析を行うことにした。地山モデルは高さ 70m・横幅 70m・奥行き 180mであり、その中央に直径 10mの馬蹄形トンネルを掘削。また、奥行き方向の中央にあたる 90m地点に境界面を設置する。境界面までは均一な地山層を想定しているが、境界面に達すると掘削断面にかかる一部の物性値を 図-2 に示すように変化させた左右非対称な地山層を想定している。左右非対称パターンとしては「上部・下部・上下部」に違いが現れる計 3 パターンを想定する。物性値は西日本地域でもっとも標準的な CII 地山相当のものを入力し、境界面に対して掘削方向前方の非対称となる部分には、より軟らかいあるいはより硬い、DII あるいは B 地山相当となるように弾性係数のみを 0.1 倍、5 倍として想定する。計測面については、1 断面に 5 点の計測点を設置することにした。計測点 L-3 と R-3 は、天端と Spring Line との中間位置肩部に設置するものとする。なお、支保物性値は、単位体積重量 $24\text{KN}/\text{m}^3$ 、弾性係数 4000MPa 、ポアソン比 0.2 である。

3. 解析結果の整理方法

既往の研究より、境界面より掘削方向 20m 手前付近から奥側の地山の弾性係数の影響を受け始めると言われている¹⁾。そこで、ケース 3 において、不均質な部分が下部における境界面から 20m 手前のトンネル壁面変位を 図-3 に示す。図より、天端部における Z 方向挙動が他の計測点より挙動量も大きいことがわかる。これまで天端部 Y 方向変位を利用した前方地山状況予測が行われていることを踏まえ、地山の左右部分における弾性係数の違いを予測しやすいと考えられる X 方向、地山予測に利用しやすい Y 方向のふたつの成分を組み合わせた天端部 XY 面における変位挙動に着目した前方地山の挙動予測法を検討する。この方法は Schubert が提案している方法とも一部類似している²⁾。

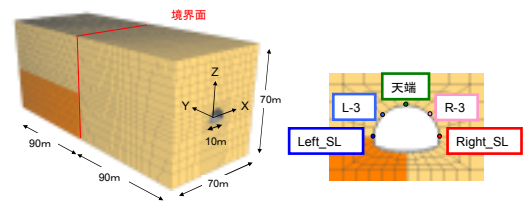


図-1 解析モデル

図-2 計測点位置

表-1 地山物性値

ケース	単位体積重量	弾性係数	ポアソン比	粘着力	内部摩擦角
1	$23\text{ KN}/\text{m}^3$	1000 MPa	0.3	1000 KPa	40°
2	$23\text{ KN}/\text{m}^3$	100 MPa	0.3	1000 KPa	40°
3	$23\text{ KN}/\text{m}^3$	5000 GPa	0.3	1000 KPa	40°

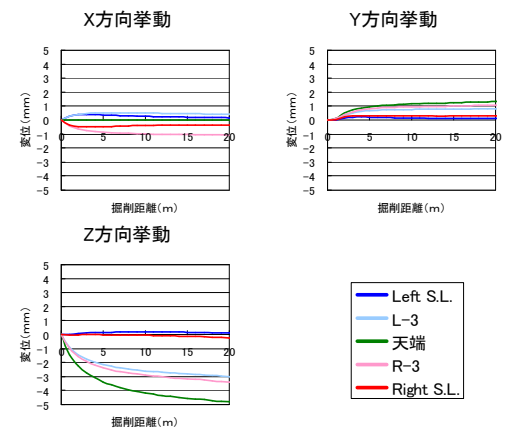


図-3 境界面 20m 手前からのトンネル壁面挙動

ケース 3

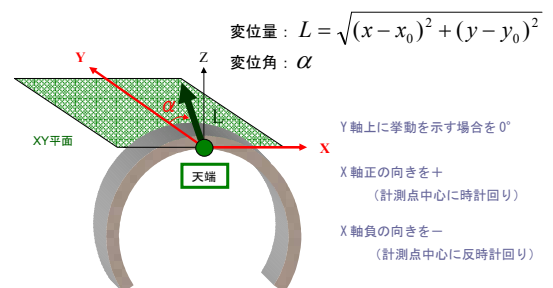


図-4 変位量と変位角の定義

3. 1 天端の変位挙動

境界面から 20m手前の計測点の切羽進行に伴う変位に着目する。着目量は「変位量」と「変位角」の 2 種類とする。変位量および変位角の定義は 図-4 に示す通りである。例えば「X 方向に+1mm, Y 方向に+1mm」と表記していたものを「変位角 $\alpha = 45^\circ$ 変位量 $L = \sqrt{2}$ mm」と表記することにし、これを XY 面での挙動として定義する。

3. 2 変位結果の整理

「変位量」「変位角」をパラメーターとし、計測点から境界面まで 5～20m区間での変位挙動を 図-5 に示す。図-5 より、変位量は青系統で表す前方に硬い地山層があると大きく、また軟らかい地山層があると小さな挙動となる。また変位角は前方に硬い地山層があると負の方向に、軟らかい地山層があると正の方向を示す。変位角については、掘削が進むにつれてその絶対値が大きくなっていく傾向にあり、軟らかい地山の影響を受けやすい。この挙動の変化を利用して前方地山方法の予測法を提案する。

4. 前方地山状況予測方法

図-6 は、前方の物性値が変化した時の天端部における XY 方向の挙動を、計測点から境界面までの 20m区間を 1m掘削ごとプロットした図である。掘削距離 5mまでの挙動を「×」マークで、20mの境界面まで切羽が到達するまでを図の右に示すマークで表す。前方に硬い地山層が存在する場合は、その層の存在する方向に向かって挙動を示し、掘削が進むにつれて計測点 (X=0, Y=0) を中心に XY 平面状を反時計回りに挙動する。前方に軟らかい地山層が存在する場合は、その層の存在しない方向に向かって挙動を示し、掘削が進むにつれて XY 平面状を時計回りに挙動する。計測点から 5m掘削した段階ではどのモデルも掘削方向に向かって挙動を示すが、それ以降に関しては、前方地山の硬軟によって地山挙動が異なっていることが図からみてとれる。以上のことを踏まえて前方状況予測法をまとめたフローチャートを 図-7 に示す。

5. まとめ

天端部におけるトンネル壁面挙動を XY 平面上で捉えることにより、前方地山状況を予測する方法を確立した。その結果、切羽前方の地山変化は従来まで無視されている天端部における XY 方向変位に表れることがわかった。以上のことから、今後の研究により現場計測に与える影響がより詳しく正確に把握できるようになった場合、切羽前方の地山状況の予測が施工しながらでき、より安全で経済的にトンネル施工ができると考える。

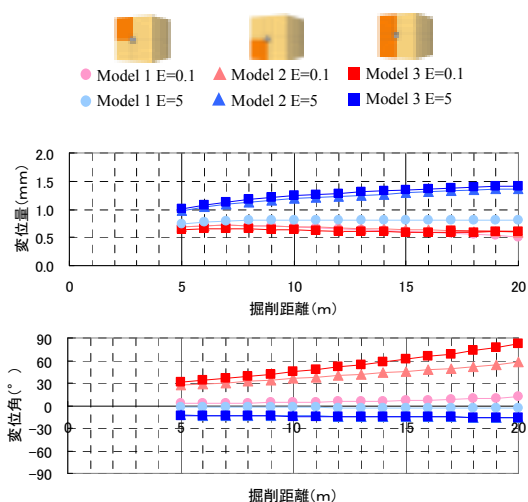


図-5 変位量と変位角

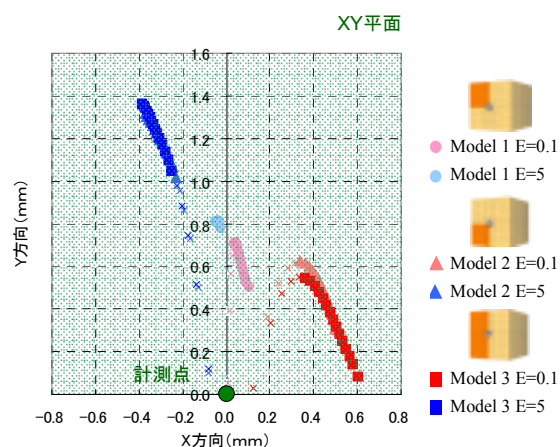


図-6 XY 方向における挙動

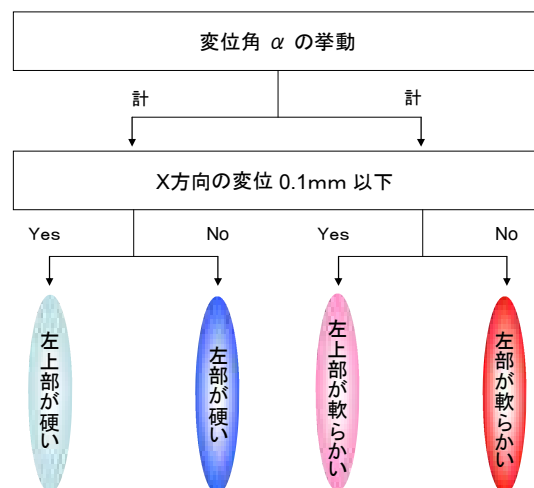


図-7 前方地山状況予測フローチャート

参考文献 1) 小松原 渉: 三次元内空変位計測結果のより有効な活用法について, 土木学会, トンネル工学研究会報告集 第 17 巻 p.183, 2007, 11

2) W.SCHUBERT: THE ROLE OF ON-SITE ENGINEERING IN UNDERGROUND PROJECTS

Rock Mechanics in Underground Construction, p.74~78, 2006