

三次元内空変位計測を利用した左右前方の地山評価

山口大学大学院 学生会員 ○岡部康成 竹村いずみ 正会員 進士正人
西松建設株式会社 正会員 鬼頭夏樹

1. はじめに

山岳トンネルの合理的な工法には、現場計測に基づく安全管理や前方地山予測が極めて重要であり、それを目的に、トンネル掘削に伴うトンネル壁面変位の発現状況を三次元で計測する光波測距儀が従来の内空変位計測や天端沈下計測の代替計測機器として一般的に利用されている(写真-1 参照)。最近では、トンネル天端付近に三次元内空変位計測器を固定することで、施工の妨げにならず、計測精度を向上する工夫もされている(写真-2 参照)。しかし、せっかくの三次元計測であっても、現実には内空変位計測や天端沈下計測以外の方向の計測結果は活用されていないのが現状である。そこで著者らは、従来利用されていないトンネル縦断方向変位に着目し、トンネル掘削に伴う変形挙動からトンネル前方の地山予測法を提案している。本研究は、その研究を一步進めて、トンネル天端部の縦断変位計測結果からトンネル前方の左右の地山状況予測を現場計測結果に基づき検証する。

2. トンネル施工現場における変位挙動の把握

適用性の検証に用いた三次元変位計測結果は、A トンネル(2車線道路トンネル)の計測データである。A トンネルでは、ほぼ中央部付近においてトンネル天端部の一部抜け落ちや、想定を超える変形による縫い返しなどが発生し、ミニベンチ工法や全断面早期閉合に工法を変更している。検証にあたって前方予測を行うデータとしては、天端部における縦断面方向の変位量に着目し、著者らが提案した評価方法¹⁾で検討し、トンネルの切羽評価点(左肩部・天端部・右肩部)と比較した。なお、切羽評価点は高得点なほど良好な地山と考えられている。図-1は、トンネル天端部が大きく変形し一部崩壊が発生した断面番号 No.565 から20m手前の断面番号 No.544 における天端のトンネル掘削に伴う横断面内の水平変位と縦断面内の変位状況を、掘削距離ごとにまとめたものである。この図から明らかなように、水平方向変位は掘削直後に左に20mm変



写真-1 三次元内空変位計測器



写真-2 壁面に固定された三次元内空変位計測器

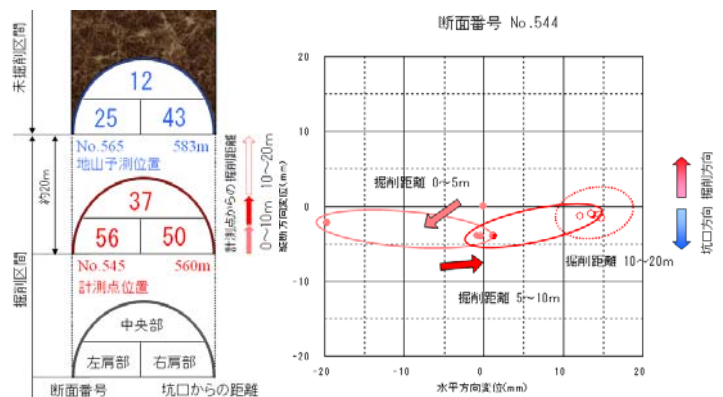


図-1 縦断距離ごとの切羽評価点と計測点での変位挙動

位が生じた後、同日午後の計測までに水平変位は元に戻る。その後、掘削が進みにつれ右側に変位する。縦断面方向は、まず5mm 坑口方向の位置へ推移する。その後、徐々に変形が大きくなるが、最終的に切羽側に変位する。水平方向の最初の左20mmの変位は、計測開始日の午前中に計測されたもののみであり、掘削以外の要因も考えられるため、全体としては水平方向では右方向に縦断面方向では坑口側に変形すると読み取れる。これまでの研究より、横断方向において右方向に変位することは、計測点より右側に地山状況が悪くなると考えられる¹⁾ため、それを検証するため、FLAC3Dによる数値解析シミュレーションで現場地山を再現し再現された地山に対して前方評価法を適用し、検討を行うこととする。

3. 地山モデルの再現

ここでは、実際に天端の抜け落ちの生じた断面番号 No.565 付近の60m区間のモデルを再現する。本研究では、変位挙動に最も大きな影響を有する弾性係数を変

キーワード：前方予測 内空変位 切羽評価点 弾性係数 情報化施工

連絡先：〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学工学部 地盤材料工学研究室 TEL 0836-85-9332

化させた三次元モデルを作成した。表-1 の弾性係数の決定には現場計測データに記載されている天端沈下量から推定した弾性係数²⁾を参考にした。加えて、図-2 に示す3次元モデルにおける弾性係数の変化する領域の決定には、切羽評価点(左肩部・天端部・右肩部)を参考にした。また、現場計測結果から、右側方向に変位が生じるよう、モデル右側に弾性係数の低い、軟らかな地山を想定した層を設けた。トンネル半径5mとし、地山モデル最上部には、切羽観察シートに記載された土被り50~100m相当の等分布荷重を加えることとする。

4. 解析結果

地山予測位置から坑口方向20mの天端部に設置した横断面内の水平分布と縦断面方向の変位発生を、掘削距離ごとにまとめ、図-3 に示す。計測点は、掘削に伴い右肩部へ推移しつつ、坑口方向に変位している。

すなわち0~10m掘削時、まず右4mmの変位が生じる。この結果は、図-1 に示す現場での変位挙動とは若干異なるが、掘削開始直後に現れた左への20mmの変位挙動を除いて比較するとおおむね似た挙動を示す。

現場計測データおよび解析結果から、トンネル前方の左右の地山状況予測についてまとめる。トンネル縦断面方向変位(Y方向)は、弾性係数の高い方向に向かって変位が生じる。しかし、水平方向変位(X方向)は、逆に弾性係数の低い方向に向かって変位が生じるので、それを考慮した三次元モデルの解析結果と実際の変位計測結果は、ほぼ協調関係をしめすことが確かめられた。すなわち、トンネル掘削方向と横断方向では、弾性係数の違いでそれぞれ異なった挙動を示すことがわかった。

5. 結論

トンネル横断方向における変位は、計測点の左右に位置する地山の弾性係数に依存していることが解析結果から改めてわかった。以上より、前方切羽の右肩と左肩の弾性係数そのものを、天端部の挙動から予測することは、現段階では難しいことが再度認識されたが、横断方向の変形の発生状態から、右肩と左肩部の相対な強度比較は可能といえる。今後の課題としては、トンネル天端部の変位以外にも、S.Lで計測される変位データも考慮した結果の整理方法の利用が挙げられる。

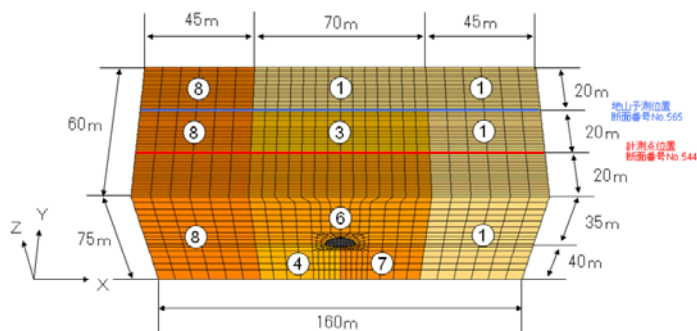


図-2 解析モデル

表-1 物性値

Case	単位体積重量	弾性係数	ポアソン比
①	23 KN/m ³	5MPa	0.35
②	23 KN/m ³	20MPa	0.35
③	23 KN/m ³	150MPa	0.35
④	23 KN/m ³	200MPa	0.35
⑤	23 KN/m ³	250MPa	0.35
⑥	23 KN/m ³	300MPa	0.35
⑦	23 KN/m ³	350MPa	0.35
⑧	23 KN/m ³	800MPa	0.35

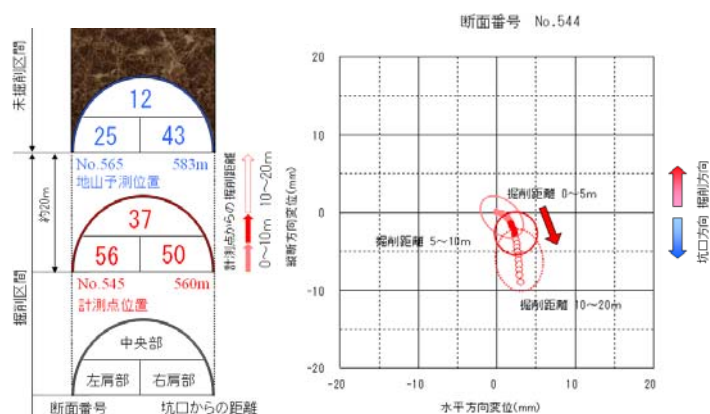


図-3 縦断距離ごとの切羽評価点と解析結果

すなわち、応力解放によって生じる横断方向変位(X方向)は、天端部よりもS.Lのほうが顕著に現れる。左右S.Lそれぞれの変位計測データを扱うことによって、より精度が高い切羽面の右肩および左肩の地山の硬軟を予測できると考える。今後検討していきたい。

参考文献

- 1) 岡部康成：三次元内空変位計測を利用した前方地山状況の予測法，土木学会中国支部，研究発表会発表概要集 2009,6
- 2) 進士正人・岡部幸彦：変位計測結果に基づく地山物性値の推定，応用地質株式会社，応用地質年報 p19-29,1988,2
- 3) W. SCHUBERT：THE ROLE OF ON-SITE ENGINEERING IN UNDERGROUND PROJECTS Rock Mechanics in Underground Construction，p.74~78，2006