

坑内変位を用いた切羽前方地山予測に関する数値解析

大成建設株式会社 正会員 坂井 一雄 青木 智幸
 東海大学 正会員 清水 賀之
 東海大学 非会員 北澤 翔平 山中 誠一

1. 背景と目的

山岳トンネル工事では、日常の施工管理および情報化施工の目的で坑内変位計測を実施する。一般的な計測項目は天端沈下や内空変位などのトンネル横断面内の二次元的な変形挙動である。Schubert と Budil¹⁾は、これらの計測結果にトンネル軸方向変位を加味して分析することにより、切羽前方の地山状況を予測する手法を考案した。この手法は、トンネル軸方向変位(L)と天端沈下(S)の比(L/S)が切羽前方の地山条件により変化することを利用するものであり、オーストリアの Inntal トンネルや Galgenberg トンネルなどで適用され、その有効性が確認されている¹⁾。日本国内でも、米子自動車道二川トンネルで試験的に適用し、予測可能性を確認した²⁾。

これまでに、切羽前方地山の硬軟がL/Sに与える影響を分析するため、境界要素法を用いた数値解析が実施されている¹⁾。しかし、簡易な円形断面モデルを用いた三次元解析であり、一般的な道路トンネルの馬蹄形断面の掘削形状を考慮していない。また、掘削に伴うトンネル周辺の地山の挙動がどのように軸方向変位を含む坑内変位に影響を与えるのかは詳細に考察されていない。このような背景を踏まえ、本研究では、坑内変位を用いた切羽前方地山予測手法の馬蹄形断面トンネルへの適用性を確認すること、ならびにトンネル周辺地山の挙動と坑内変位の関連性を明確化することを目的に三次元解析を実施した。

2. 解析条件

硬質層の前方に軟弱層が存在する地山条件で、土被り100mのトンネル掘削を模擬した三次元解析を実施した。解析には有限差分法解析コードFLAC3D ver3.1を使用した。

解析対象のトンネルは、標準的な2車線道路トンネルであり、馬蹄形断面で掘削幅は11.2mである。解析モデルを図1に示す。地山の応力-ひずみ関係は線形弾性モデルで表現し、硬質層を地山等級D1、軟弱層を地山等級D2相当とした。表1に解析に用いた地山物性値を示す。一次支保はモデル化せず、掘削は上下半同時に1mずつ行うものとした。

3. 解析結果と考察

図2に地層境界を中心として-3D(D:トンネル掘削幅)から3Dの範囲における天端沈下(S)および天端の軸方向変位(L)を示す。横軸が地層境界から変位算出位置までの距離である。両変位は、各算出位置での切羽離れ1D時の値であり、初期値は切羽離れ1mである。ただし、軸方向変位は切羽側に向かう変位を正、坑口側に向かう変位を負と考える。

天端沈下量は、地層境界の十分手前の位置では、約13mm程度でほぼ一定である。-1Dから前方に存在する軟弱層の影響を受けて徐々に天端沈下量が大きくなり、軟弱層側では天端沈下量が急激に増大する。

軸方向変位は-3Dの位置では、約2mmでほぼ一定であるが、切羽が地層境界に近づくにつれて、徐々に減少する。軟弱

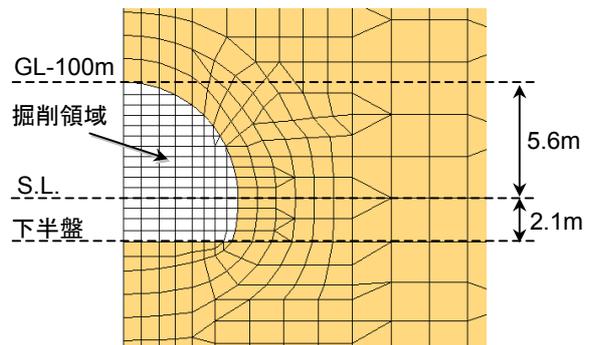
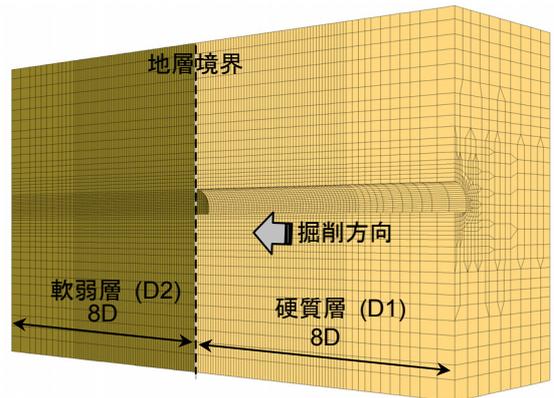


図1 解析モデル(上:鳥瞰図,下:横断面拡大図)

表1 地山物性値

	弾性係数 (MPa)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m ³)
硬質層 (D1)	500	0.35	21
軟弱層 (D2)	150	0.35	21

キーワード 坑内変位 切羽前方地山予測 三次元解析 トンネル軸方向変位 天端沈下 L/S
 連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター TEL 045-814-7236

層側に入ると、硬質層と同様に正の値となり、3D の位置では約 7.5mm でほぼ一定値となる．軸方向変位がこのような挙動をする原因は以下のように考えられる．

ある変位算出位置から見れば、切羽の進行に伴い、変位算出位置の前方で地山の応力が解放される．そのため、前後の地山条件が同一の場合、切羽離れ 1m を初期値とした変位の増分は切羽側に向かって生じる．したがって、図3に示すように 地層境界から十分に離れた位置では、硬質層・軟弱層ともに切羽側に向かう変位ベクトルとなり、正の軸方向変位が生じる．

しかし、切羽の前方に軟弱層が存在する場合、掘削に伴う切羽前方地山での応力集中により坑口側へ向かう地山の変形が大きくなる．例として、切羽が-0.5Dにある場合の地層境界部の変位と硬質層均一の場合における地山の変位を図4に示す．このように、軟弱層が坑口側に向かって押し出すように変形する影響を受けて、軸方向変位は地層境界手前で減少すると考えられる．

次に、図2の天端沈下と軸方向変位を比較すると、天端沈下は-1D(切羽は地層境界)まで、ほとんど軟弱層の影響を受けないが、軸方向変位は-2D(切羽は-1D)から影響を受けることがわかる．すなわち、軸方向変位は切羽前方の軟弱層に対して、天端沈下より「鋭敏に」反応するといえる．この傾向は天端の変位ベクトルの傾きであるL/Sを算出することにより、定量的に表現できる．

図5にL/Sの変化を示す．L/Sは-2Dの位置から徐々に増加し、地層境界部で最大値となった後、軟弱層側に入ると減少し、2Dの位置でほぼ一定値となる．このように、切羽が地層境界に達する前からL/Sは軟弱層の影響を受けて変化するため、L/Sを評価することで、切羽前方の地山状況を予測することが可能である．この結果は、別途実施した円形断面による三次元解析とほぼ同様の結果であり、馬蹄形断面のトンネルでも坑内変位を用いた切羽前方地山予測手法は適用可能であるといえる．

4. まとめと今後の課題

本研究では、三次元解析により、坑内変位を用いた切羽前方地山予測手法の馬蹄形断面トンネルへの適用性を確認し、トンネル周辺地山の挙動と坑内変位の関連性について明確にした．今後は一次支保や地表面形状などの影響を考慮した検討を進める所存である．

参考文献

- 1) Schubert,W. and Budil,A. :The importance of Longitudinal Deformation in Tunnel Excavation. Proc. of 8th Int. Congress on Rock Mechanics (ISRM), Tokyo, 3, pp.1411-1414, 1995
- 2) 青木智幸, 今中晶紹, 板垣賢, 領家邦泰, 金尾剣一, 櫻井春輔: トンネル坑内変位計測による切羽前方地山予測, 第39回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.387-392, 2010

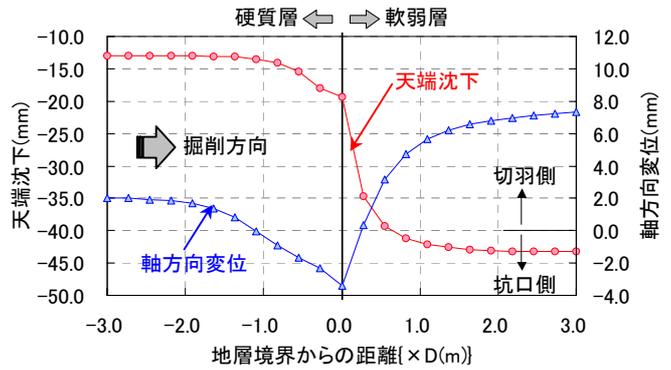


図2 天端沈下と軸方向変位

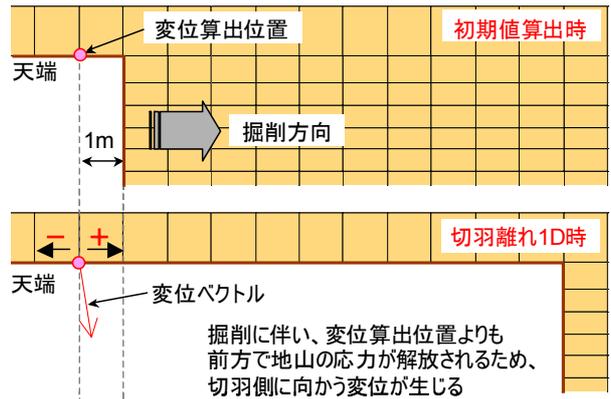


図3 切羽離れ1D時の天端の変位ベクトル

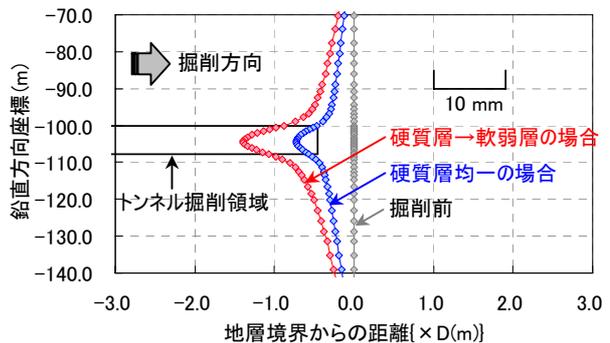


図4 地層境界部の地山の変位

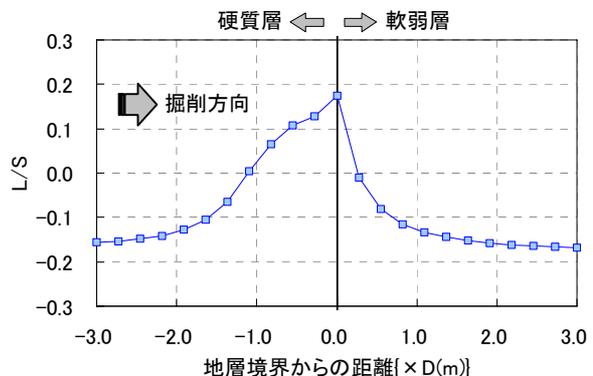


図5 L/S