

大土被り条件下を想定した変位制御型段階式二重支保工の適用性に関する考察

鹿島建設(株) 正会員 ○村上浩次 北村義宜 宇津野衛

1. はじめに

著者らはこれまでに欧州の大土被りトンネルでの施工事例を参考にして¹⁾、土被りが1,000mを超えるような国内で経験したことのない大きな地圧条件下において、一部に可縮部材を持つ柔な支保構造によるトンネル施工の成立性について検討を行ってきた²⁾。本文では、施工の途中段階において可縮部材の可縮機能を停止する構造の適用性について検討したので、その結果を報告する。

2. 可縮機構と変位制御の概略

ここでは、通常の支保の途中に配置する周辺より剛性が小さい部材のことを可縮部材あるいは可縮要素と呼ぶ。海外の大土被りトンネルでは、材料の特性値として段階的に剛性が変化する材料が適用されている³⁾。また最近では、国内でも同様の開発が行われている⁴⁾。著者らは、固有の特性を持つ材料の開発と並行して、図-1に示した応力-ひずみ曲線のように、施工の途中段階で任意に剛性を高くする構造も検討している。具体的な部材については現在開発中であるが、収縮できる長さ(以後、可縮長と呼ぶ)は、鋼製支保工の部材高さと同程を想定しており、本検討では20cmとする。収縮過程で剛性を変化させる方法としては、多孔質な材料を可縮部材として配置しておき、施工の任意の段階でセメント系の材料を充填する方法を想定している(図-2)。本文では、極めて大きな土被り条件下における可縮部材の配置と、可縮機能の停止によって生じる支保応力について検討を行う。

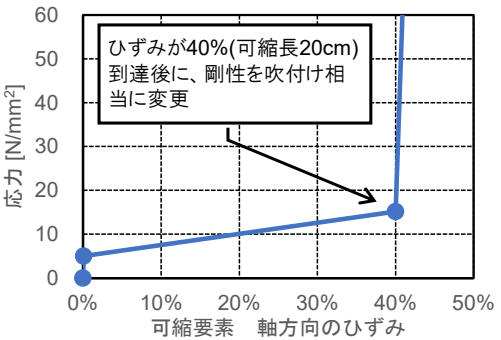


図-1 可縮要素の応力ひずみ曲線

表-1 入力物性

項目	入力値
土被り	1,400m
初期側圧係数	1.0
単位体積重量	23 kN/m³
変形係数	1,000×10³ kN/m²
粘着力	1,000 kN/m²
内部摩擦角	45°
ポアソン比	0.3

3. 比較解析の条件

本検討では、可縮要素が可縮長を使い切ったあとに支保剛性を大きくして、最終段階まで施工をした場合の支保応力を解析により確かめる。解析には有限差分法プログラムFLAC3D Ver-6.0を使用する。地山は等方弾塑性体でMohr-Coulombの破壊基準に従うものとする。検討に用いる地山物性値を表-1に示す。解析モデルは図-3に示す奥行き1mの3次元モデルを用いて、掘削は解放率で制御している。吹付けコンクリートはシェル要素、鋼製支保工はビーム要素でモデル化し、可縮要素の挙動はFISHを用いて実装している。また、可縮要素は図-4に示すようにアーチに6箇所、インバートに4箇所配置する。

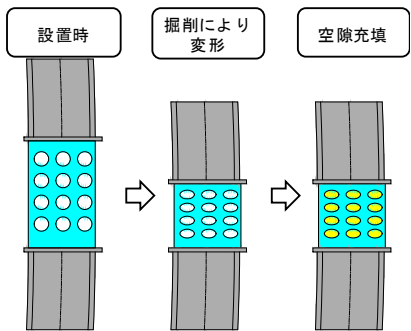


図-2 可縮部材のイメージ

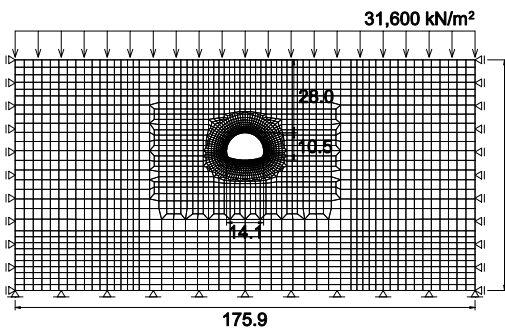


図-3 解析モデル

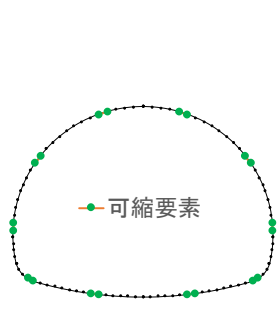


図-4 可縮要素配置

キーワード 大土被り, 可縮支保, 二重支保, 変位制御,
連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株)土木設計本部 TEL03-6229-6588

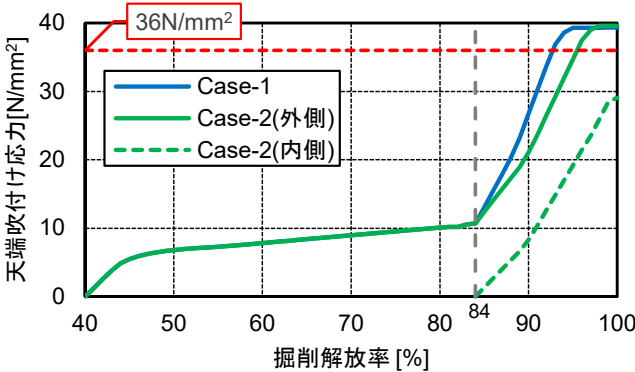
本検討では、支保の層数の違いで2 ケース解析を実施している（表－2）. 初期地圧状態から応力を 40%解放し、可縮要素を含んだ支保を設置した後、さらに 48%の応力を解放するまでは両ケース共通である. Case-1 はそのタイミングで可縮要素の剛性を高めるのみであるが、Case-2 では、内側にもう一層の支保を巻きたて二重支保としている.

4. 解析結果の考察

2つの解析ケースの最終ステップにおける吹付けコンクリート応力の分布図と変位ベクトル図を表－3に、また天端の吹付けコンクリート応力の変化を図－5に示す. 可縮要素のひずみが 40%に達する解放率 84%までは、支保全体の応力増加が抑えられているが、その後、剛性が高くなるにともない応力が急増する. 支保が一重の Case-1 では、16%分の応力の増加を負担することができず、応力解放率 95%の時点で、吹付けコンクリートの応力が 36N/mm² に到達する. 一方、可縮要素の剛性上昇と同時に内側に二重支保を構築した Case-2 では、吹付け厚が 2 倍になるため、応力の上昇が Case-1 より緩やかになり、後で設置した内側（二次）の吹付けコンクリートは設定した強度（36N/mm²）以下に収まることが確認できる.

表－2 解析ケース

	Case-1	Case-2
支保1層目 (外側)	設置時期[40%解放後] 鋼製支保工: H200 吹付けCON: 250mm 可縮部材: 10箇所	設置時期[40%解放後] 鋼製支保工: H200 吹付けCON: 250mm 可縮部材: 10箇所
支保2層目 (内側)	なし	設置時期[84%解放後] 鋼製支保工: H200 吹付けCON: 250mm 可縮部材: 無し



図－5 吹付け応力の変化

表－3 解析結果

Case-1		Case-2	
吹付けコンクリート 応力分布図 [N/mm ²]	変位ベクトル図(u_x, u_y) [mm]	吹付けコンクリート 応力分布図 [N/mm ²]	変位ベクトル図(u_x, u_y) [mm]

5. まとめ

土被りが大きく支保に過大な荷重がかかる条件下では、可縮要素を設置した一次支保により変位を制御しながら、地山の応力を解放し、最終的にはそれら可縮部の剛性を高めたうえで、内側に最終の支保を巻きたてる工法が有効であることを解析により確認した. 今後は、二次元問題で扱う場合の掘削解放率、支保剛性・強度の時間と応力依存性についても検討を行い、実際の施工条件下での施工方法の確立に努めたい.

参考文献

1) M. Bonini et al.:The Saint Martin La Porte access adit (Lyon–Turin Base Tunnel) revisited, Tunnelling and Underground Space Technology, No.30, 2012 2) 北村ら：大土被りトンネルにおける変位制御型段階式二重支保工の開発, 土木学会トンネル工学報告集, 第 29 巻, I-37, 2019 3) K. Kovári et al.: Design Methods with Yielding Support in Squeezing and Swelling Rocks, World Tunnel Congress, 2009 4) 小原ら：山岳トンネルにおける可縮支保工の設計と適用可能性検討, 第 45 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, No.18, 2018