

# 数値解析からみた押し出し性地山におけるトンネル掘削挙動に関する研究

(株)大広エンジニアリング 正会員 〇古谷 綾子  
 住友建設(株) 正会員 高橋 浩  
 山口大学 正会員 中川 浩二

## 1. はじめに

激しい押し出し性土圧が発生する地山において、切羽面や壁面が大きく押し出され、支保部材が変状をきたして縫返しを余儀なくされるなどトンネル掘削が困難になった場合、中央先進導坑を採用してうまくいった事例がある。導坑先進工法は、予め地山を挙動させる“いなし”の効果があるとされている。“いなし”とは、先行して掘削する導坑によって応力が解放され、切り抜け掘削時の応力解放を低減し、本坑支保工に作用する荷重が低減される効果をいう。その他、導坑導入により地質確認、水抜き効果、切り抜け切羽の安定効果などがあるとされている。しかし、工期、工費からみて規模が大きいために採用例が少なく、効果も漠然としたまま定説化されていないのが現状である。本研究では、実測データを参考に導坑の効果を検討し、3次元有限差分コードFLAC-3Dを用いて中央先進導坑の数値解析を行い、数値解析の立場から押し出し性地山でのトンネル掘削時の地山の挙動を考える。

## 2. 押し出し性地山について

国際用語では“膨張性”と“押し出し性”が明確に区別されているが、我が国でいう膨張性トンネルは、メカニズムを問わずスウェリングも含めた現象そのものを表す。このような地山強度比の非常に小さい泥岩地山にトンネルを掘削した場合、地山は断層や褶曲作用により掘削前に既に完全軟化状態になっていれば、過圧密とこう結作用による弾性的性質は失われ、正のダイレンタンシー特性もなくなっている<sup>1)</sup>。

## 3. 中央先進導坑の施工及び変形挙動

押し出し性地山に用いる掘削工法は、基本的に早期に断面の閉合が可能なものとする必要がある。従って、標準的にはショートベンチカット工法やミニベンチカット工法等のベンチ長を短くした掘削工法を採用することが多いが、近年は先進中央導坑が用いられることがある(図1参照)。導坑を先進させたときの本坑位置の変位量を $dx_1$ とする。次に、切り抜けを行うと、先の変位量 $dx_1$ に相当する地山は切り取られてしまう。従って、実測で得られる変形量のデータは切り抜け時の地山境界の変位量 $dx_2$ である。 $dx_1$ は $dx_1$ と $dx_2$ を足し合わせたものとなり、これが地山の総変形量である。従って導坑なしで最初から全断面掘削を行ったときの本坑支保の担う荷重は $dx_2$ に対するものであるが、導坑のある場合には本坑の支保が担う荷重は先進導坑時のものは含まれないので、 $dx_2$ 分のみとなる(図2参照)。

## 4. 実測データの検討

### 4.1. 地山状況

本研究で検討するトンネルは、上信越自動車道の日暮山トンネルである。対象区間の地山状況は、暗灰色を呈する泥岩で、ところによって砂質シルト岩等の比較的硬質部を含むが、全般にせん断性の網目状亀裂が発達した破碎質な泥岩が主体である。地山強度比は区間の大半が1.0~2.0を占める。一つの判断基準として、スキーズイングは境界値1.6~2.0以下で起こるとされている<sup>2)</sup>。スキーズイングの速さは地山強度に依存し地山強度比が小さいほどその押し出す速度は大きい。この押し出し性泥岩区間では、円形及び馬蹄形導坑先進工法で機械による掘削が行われた。図1に円形導坑導入時の支保パターン図を示す。

### 4.2. 実測データ分析

表1に施工種類と施工内容を示す。導坑があり、スパンが長いと掘進が早く、断面の閉合にかかる日数も短い。全断面掘削の場合は、導坑導入時に比べてベンチ長が長く、閉合日数も倍以上かかっている。図3は断面閉合前、閉合後のそれぞれの値を示している。多少のばらつきはあるが、導坑がある場合は、閉合前と閉合後

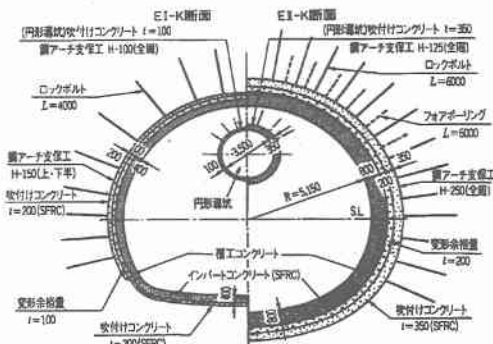


図1円形導坑導入時の支保パターン図



図2いなしのイメージ図

の値がおおよそ同程度であるのに対し、全断面掘削の場合は値も然り、閉合前の変位量が天端、内空共に多い。

これらの結果から、実測データからは、(1)閉合が遅いことと、ベンチが長いことが変位の増加に起因している。(2)先進導坑距離を長くするとにより断面閉合日数が若干短くなり、それに伴い変位量も減少するが、目立つほどの差異はない。(3)切り上げ時に導坑の形(円形・馬蹄形)の違いによる影響はあまりみられない。(4)全断面掘削と、導坑導入の施工を比べると、導坑による変位量の抑制効果があるように思われる、等が得られた。

## 5. FLAC-3D を用いた導坑の効果に関する数値解析

### 5.1. 解析条件

図4に、解析領域及びメッシュ図を示す。解析領域は105m×60m×120mであり、トンネル掘削径D=10mである。土被りは100mを想定している。側圧係数については、領域一様で1とする。先進導坑径はd=3mの円形と馬蹄形で、先進距離は30mと10m、導坑の位置は上部を設定し、切り上げは上・下半同時掘削の全断面5m逐次掘削を行った。2. で述べたように、押出し性を示す地山は完全ひずみ軟化状態にあると考えられる。従って、モデル作成にあたって、塑性流動を起こすような地山を、塑性領域を発生させることによって想定する。弾塑性解析は、モル・クーロンの破壊条件に従い、塑性後は体積ひずみを伴わない。

### 5.2. 解析結果

図5に、数値解析により得られた施工種類別の本坑1～5Dの変位量を示す。工法番号は表1と合わせている。③の全断面では、実測値のような大変形は得られなかった。先進導坑距離の長い円形導坑①、同じく長い馬蹄形導坑⑤、先進距離の短い馬蹄形導坑④について、数値解析ではあまり差異がなく、同程度の値を示した。つまり、先進導坑の距離や導坑の形にあまり影響を受けていない。

## 6. 結論

本研究では、押出し性地山に施工される導坑の効果について、数値解析の立場から検討を行った。先進距離による導坑の効果に差異はあまり現れず、導坑掘削断面の形の違いによる差異もほとんど得られなかった。これらの傾向は、実施工データと類似した結果を得た。

### 参考文献

- 1) 仲野良紀, 地質と調査, 膨張性トンネルの吸水膨張説再考 - 限界状態の土質力学の観点より -, 1995
- 2) Omer AYDAN・川本眺万, (40)日本におけるスクィーズングトンネルの実態

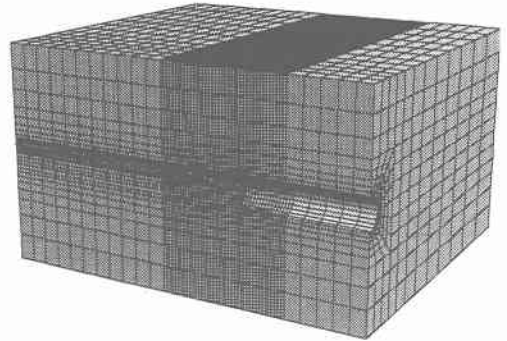
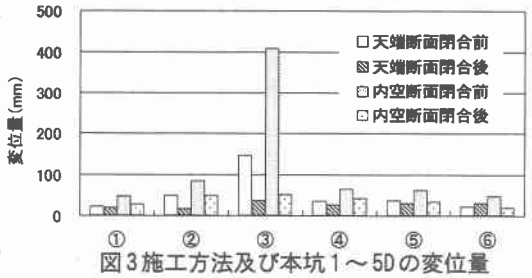


図4解析領域及びメッシュ図

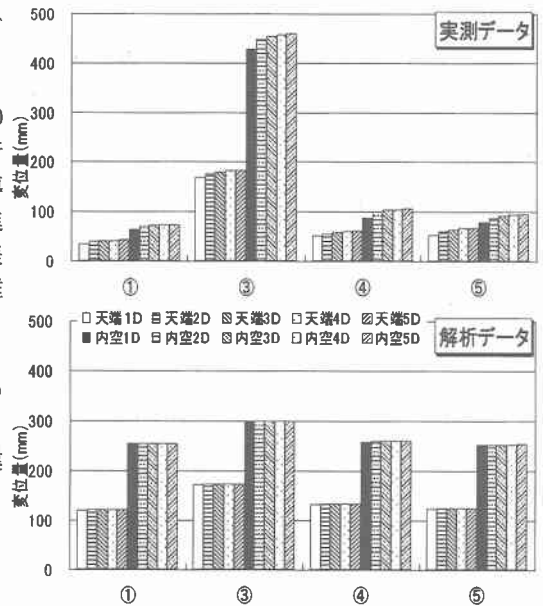


図5 施工種類別の本坑1～5Dの変位量

表1 施工種類及び施工内容

|             | ①円形導坑 | ②導坑+AGF | ③全断面+AGF | ④馬蹄形ショート(吹付厚350mm) | ⑤馬蹄形ロング | ⑥馬蹄形ショート(吹付厚=250、変形金枠=200) | ⑦馬蹄形ショート(吹付厚=250、変形金枠=100) |
|-------------|-------|---------|----------|--------------------|---------|----------------------------|----------------------------|
| 施工距離(m)     | 75    | 27      | 46       | 19                 | 27      | 50                         | 60～                        |
| 導坑先進距離(m)   | 62    | 40      |          | 7                  | 30      | 7                          | 7                          |
| 日進(本坑)(m/日) | 1～2   | 1       | 0～1      | 2～4                | 3～5     | 2～4                        | 2～4                        |
| ベンチ長(m)     | 4～7   | 4～7     | 6～11     | 3～5                | 3～5     | 3～5                        | 3～5                        |
| 閉合日数(日)     | 2～3   | 6～8     | 11～18    | 3～6                | 3～4     | 3～5                        | 3～5                        |