

神戸大学工学部 学生員 ○村上 浩次
 神戸大学工学部 学生員 吉田 千
 神戸大学工学部 正会員 芥川 真一

1. はじめに

近年、都市部の土被りの浅い土砂地山においても施工技術等の進歩により本来山岳トンネル工法であった NATM 工法が適用されるようになってきた。わが国の都市部の大部分は沖積・洪積平野に位置することからも、土被りの小さい土砂トンネルの力学的挙動、土砂トンネルにおける吹き付けコンクリートやロックボルトなどの支保工の効果を把握する必要がある¹⁾。

2. NATM の支保

都市 NATM 工法においては、地山自身の支保機能を利用するというその基本的な考え方から様々な支保が存在する¹⁾。その中でトンネル上部に作用する各工法は、どのトンネルにおいてもさほど大きな差異は見られない。しかし脚部補強に関してはその剛性や断面積などの条件が大きく違うことも多い。そこで脚部補強工の剛性、脚部補強の断面積、そして土被り比の条件の差によってトンネルがどう変形し、どのような挙動をとるのかをひずみ軟化解析^{2),3),4)}を用いた数値実験を行い考察する。

3. 解析概要

今回の解析においては、土被り 0.5D, 1D, 2D (D はトンネル直径) の 3 種のメッシュを用い、上辺は自由表面とし、左右辺では水平変位を、下辺では鉛直変位を拘束するものとした。図-1 に土被り 1D の上半掘削時のものを示す。掘削については 5 段階で、上・下半ともに切羽の接近を表わす応力の 30% 開放と実際の掘削を表わす 70% 開放を設定した。地山の物性および支保の物性はある都市 NATM トンネルの物を用いている。またこの解析においてパラメータとして用いたのは、脚部補強工の断面積、脚部補強注入剤の物性、仮インパートの有無である。断面積については側壁補強工をも簡略にシミュレートするため通常のものより大きめに設定している。

4. 解析結果

図-2 に土被り 1D の地山特性曲線を示す。これは横軸にトンネル天端の沈下量を、縦軸に掘削ステップを置き、掘削ステップは上・下半ともに 50 ステップずつ計 100 ステップ、各ステップ 2% の応力開放をシミュレートしている。素掘りではステップ 40 の時点でひずみの増加が止まらなくなり、崩壊したとみなすことができる。脚部補強のない場合は、ステップ 57 においてひずみの増加が止まらなくなった。脚部補強工各ケースにおいては、大小はあるものの、沈下量の増加は止まっている。これは土被り 0.5D, 2D でも同様であった。すなわち、ある一定の支保剛性と脚部補強工断面積があれば、足元のひずみの増大等問題はあるものの天端沈下を大幅に抑制できるといえる。

5. 支保の変位抑制効果の評価

図-3 に示すように、素掘りの地山特性曲線上の点 P_1 , P_2 と横軸上の点 P_3 , P_5 で囲まれる領域の面積を S_0 とする。ここで P_2 は、崩壊したと思われるステップの直前のステップにおける値を用いている。また評価の対象となるケースの地山特性曲線が横軸を交わる点を P_4 として、 P_1 P_2 P_5 P_4 で囲まれる領域の面積を S とする。 $\omega = 100 \times S/S_0$ で求められる指標を評価に用いる。つまり、支保工が地山挙動を一切許さない場合の ω が 100 となり、無支保の場合の ω が 0 となる。次に式-1 を用いて ξ (脚部補強の程度を表す指標) を算出する。

$$\xi = \frac{\text{脚部補強工断面積} \times \text{脚部注入材ヤング率}}{\text{トンネル断面積} \times \text{地山ヤング率}} \quad (\text{式-1})$$

この ω と ξ の関係をあらわしたものが図-4 に示す ω - ξ 関係図である。この図により、トンネルの目標とする ω によって必要となる ξ を決定し、脚部補強工の断面積と注入剤の物性を選択でき、また施工中のトンネルにおける脚部補強工の状態についても、判断の基準とする。

6. まとめ

支保の中でも特に脚部補強工に注目し解析を行った結果、ある程度以上の支保の剛性と脚部補強工断面積があれば、足元のひずみの増大等問題はあるものの天端沈下を大幅に抑制できるとの結論に至った。また ω - ξ 関係図が、設計時における脚部補強工の選定、また施工途中における脚部補強工の評価の基準となりうることを示した。なお、今回の ω - ξ 関係図はまだプロット数が少ないため、今後さらに数多くのデータを用いてより精密に作製することが必要であると思われる。

参考文献

- 1) 櫻井 春輔, 足立 紀尚: 都市トンネルにおける NATM, 鹿島出版会 1988.
- 2) Sakurai, S, Hiraoka, A and hori, K: Strain-Induced Damage of Rocks, International Conference on Mechanics of Jointed and Faulted Rock, Vienna, pp21-27, 1998.
- 3) 奥田 庸, 阿部 敏夫, 櫻井 春輔: 土被りの浅い未固結地山の非線形解析, 土木学会論文集, No638/III-49, pp.383-388, 1999.
- 4) Sterpi, D.: An analysis of geotechnical problems involving strain softening effects, *Int. J. Numer. Anal. Meth Geomech*, 23, pp.1427-1454, 1999.

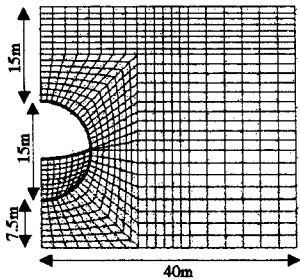


図-1 土被り 1D(15m)メッシュ

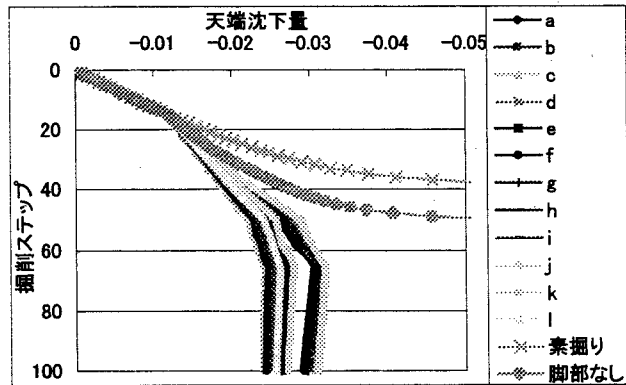


図-2 土被り 1D 地山特性曲線

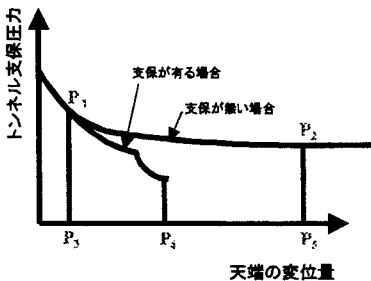


図-3 ω 計算用地山特性曲線概略図

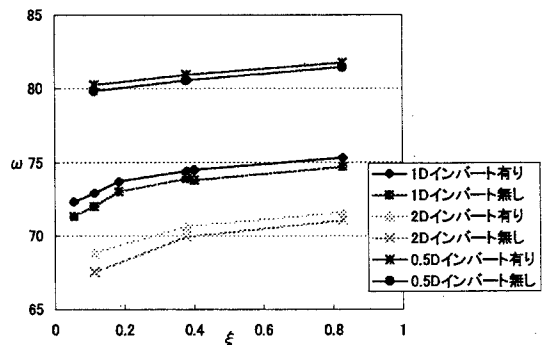


図-4 ω - ξ 関係図