

Ⅲ-B78

軟岩地山におけるトンネル支保効果の解析的検討

(株) 青木建設 正会員 國村省吾
 東京大学 正会員 Petr Kabele
 東京大学 正会員 堀井秀之

1. はじめに

泥岩等の軟岩地山では、トンネル掘削後長期間にわたり内空変位が生じる現象が見られる。このようなトンネルに対して、吹き付けコンクリート等の支保を行うと内空変位等の変状が収束する場合があることが知られている。トンネル変状が長期間継続する大きな原因の一つとして、地山のクリープ現象が考えられる。一般的にトンネルにおける地山クリープは、時間のみに依存するものとして検討される例が多いが、吹き付けコンクリート等の支保を行うことによりトンネルの変状が収束したり、変位速度が変化することは地山のクリープは時間だけでなく応力状態にも影響を受けるものと考えられる。そこでトンネル支保の効果を時間・応力に依存する地山モデルを考慮した粘弾塑性解析により検討を行った。

2. 地山のモデル化

南大沢トンネル工事の際にブロックサンプリングにより採取した上総層群粘性土(固結シルト)試料で室内三軸クリープ実験が行われた。実験条件は、側圧を1, 3, 5 kgf/cm²の3種類と主応力差と三軸圧縮実験から得られた最大強度に対する比率を0.4と0.7の2種類である。主応力差と三軸圧縮実験から得られた最大強度に対する比が0.4の場合は側圧の大きさによりその変形挙動に違いが見られるが実験時間内には破壊には至らなかった。しかし、主応力差と三軸圧縮実験から得られた最大強度に対する比が0.7の場合にはクリープ破壊に至った。実験結果から、変形挙動は拘束圧および時間に依存することが明らかになった。

その変形挙動の拘束圧および時間依存性を次のように表すことにした。

$$\bar{\epsilon}^c = A \cdot \bar{\sigma}^n \cdot t^m$$

ここで、 $\bar{\epsilon}^c$: 相当クリープひずみ, $\bar{\sigma}$: 相当応力, t : 時間, A, n, m : 係数である。
 また、相当応力は、次式に従うものとした。

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\cos 2\phi} [\sigma_{\max}(1 + \sin \phi) - \sigma_{\min}(1 - \sin \phi)]$$

ここで、 $\sigma_{\max}$: 最大主応力, $\sigma_{\min}$: 最小主応力, ϕ : 内部摩擦角である。

一般にクリープは、一次、二次クリープおよび三次クリープと分けられる。三次クリープになると地山は急激に変位が増大し破壊に至ることから解析モデルでは二次クリープまでとしている。

なお、実験結果から各係数は次のように設定した。

$$\phi = \pi/15, A = 8.73 \times 10^5, n = 6.63, m = 0.3$$

クリープ実験結果と上記の係数による実験結果のシュミレーション結果を、図1には主応力差と三軸圧縮実験から得られた最大強度に対する比が0.4の場合、図2には主応力差と三軸圧縮実験から得られた最大強度に対する比が0.7の場合を示す。

キーワード: トンネル支保, 軟岩地山, クリープ解析

〒300-26 茨城県つくば市要36-1 TEL: 0298-77-1115 FAX: 0298-77-1136

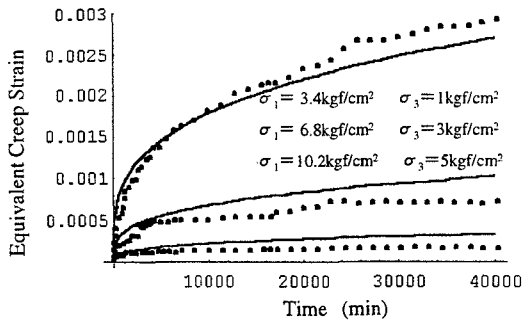


図1 クリープひずみ曲線

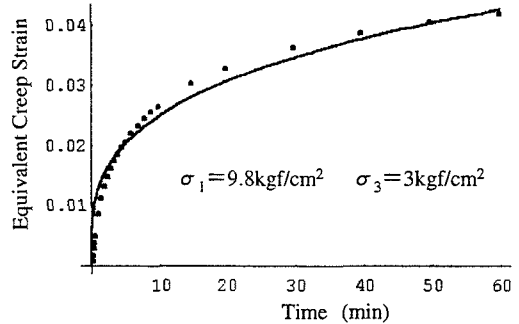


図2 クリープ破壊した試験のクリープひずみ曲線

3. トンネルへの適用例

トンネル支保の効果を解析的に検討する第一段階として、吹き付けコンクリート厚さの違いが及ぼす影響を調べることにした。解析プログラムは、汎用 FEM プログラムの MARC を使用し、時間および応力に依存する地山モデルを利用できるようにサブルーチンとして組み込んだ。今回の解析において吹き付けコンクリートの厚さは、無し、2, 4, 6, 8, 10cm の6種類で行った。トンネル形状は円形とし、吹き付けコンクリートは BEAM 要素でモデル化した。時間および応力に依存する地山モデルを用いて、図3に示すように 1/4 断面で、2次元平面ひずみ状態でクリープ解析を行った。

図4に解析により得られた相当クリープひずみ、図5に側壁部の変位を示す。吹き付けコンクリートにより変位および相当クリープひずみが収束するようになる。吹き付けコンクリート厚さが違うことにより、変形挙動の違いが現れることがわかる。

4. おわりに

軟岩地山においてトンネル掘削によるクリープ挙動は、時間および応力状態に依存することが、室内クリープ実験から明らかとなった。さらに、地山モデルを時間および応力状態に依存するモデルにより吹き付けコンクリートの効果を確認できた。

今後の課題としては、吹き付けコンクリートの強度・変形特性の時間依存性、ロックボルト、トンネル形状やトンネル掘進速度などの影響を考慮できるように実験および現場での計測結果を検討していきたい。

最後に、今回の解析を行うにあたり南大沢トンネルでの室内クリープ試験結果を提供していただいた清水建設（株）に深く感謝いたします。

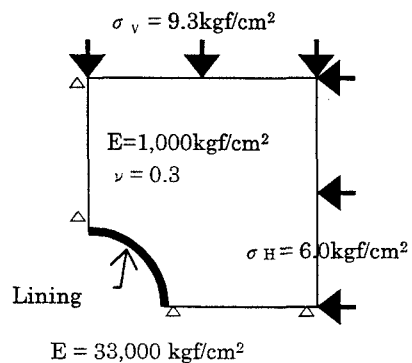


図3 解析モデル

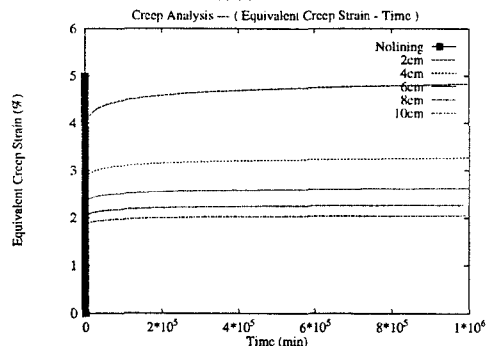


図4 相当クリープひずみ図

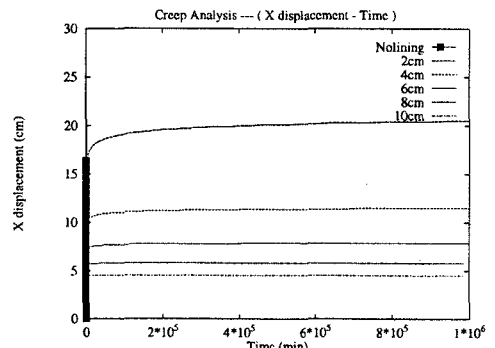


図5 側壁部変位