

応力・時間依存性を考慮したクリープ解析による支保効果の検討

鉄建建設 技術センター 正会員 ○土井 至朗
同 上 正会員 松岡 茂

1. 目的

トンネル掘削後、変位が長時間継続するようなトンネル施工では、覆工の早期閉合や増しロックボルトなどの対策が経験的に有効であることが知られているが、その効果を定量的に評価する手法は確立していない。このような膨張性地山の変形挙動については、國村ら¹⁾が地山の時間依存性のみでなく応力依存性を考慮した解析モデルが有効であることを報告している。そこで、時間依存性のみでなく応力依存性を考慮したクリープ特性を考慮した解析モデルを用いて、トンネル支保の効果について検討を行った。

2. 計算モデル

一般に岩石のクリープ特性は、載荷直後に発生する一次クリープと、時間の経過に伴って徐々にひずみが増加する二次クリープ、急激にひずみが増大して破壊に至る三次クリープに分けられる。しかしながら、トンネル周辺地山の岩盤が三次クリープに達すると、急激にトンネルの安定が損なわれると考えられることから、本検討では二次クリープまでを取り扱うものとした。したがって、トンネル周辺地山のクリープ特性は下記の式のように応力・時間の関数で表されるものとした。

$$\bar{\varepsilon}_c = A \cdot \bar{\sigma}^n \cdot t^m$$

ここに、 $\bar{\varepsilon}_c$ ：クリープひずみ、 A ：定数 (1.146×10^{-5})、 $\bar{\sigma}$ ：

相当応力、 n ：相当応力に関わる係数 (2.0072)、 t ：時間、 m ：時間に関わる係数 (0.1569) である（カッコ内は計算に用いた値）。上式の各係数については、トンネル掘削後に変位が長時間継続したトンネルから採集した岩石試験結果に基づいて定めた。また、相当応力についてはフォン・ミーゼスの破壊規準により定めた。この式により、算定された周辺岩盤のクリープ特性は、図-1に示すように相当応力の大きさ、つまり拘束圧

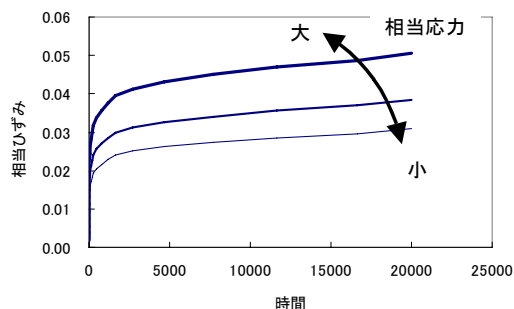


図-1 周辺岩盤のクリープ特性

に依存している。したがって、トンネル掘削後に施工される支保の内圧効果により、周辺地山への拘束圧が増加することがクリープ変位の増加を防止すると考えられる。そこで、トンネル掘削に伴うクリープ変位と支保の関係について、二次元モデルで計算を行った。

3. 計算結果

図-2にトンネル覆工の施工時期をパラメータとした場合の計算結果を示す。覆工を施工しない無支保の場合に較べて、覆工を施工したものは変位量が小さくなっている。特に、掘削直後（掘削相当外力 40%解放時）に覆工を施工

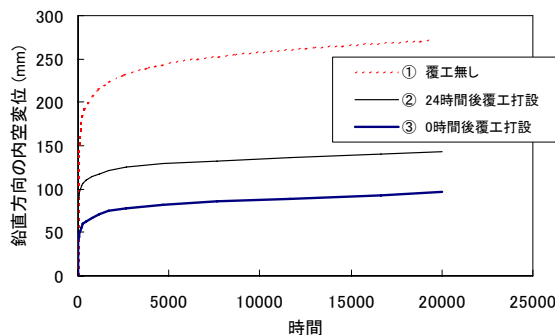
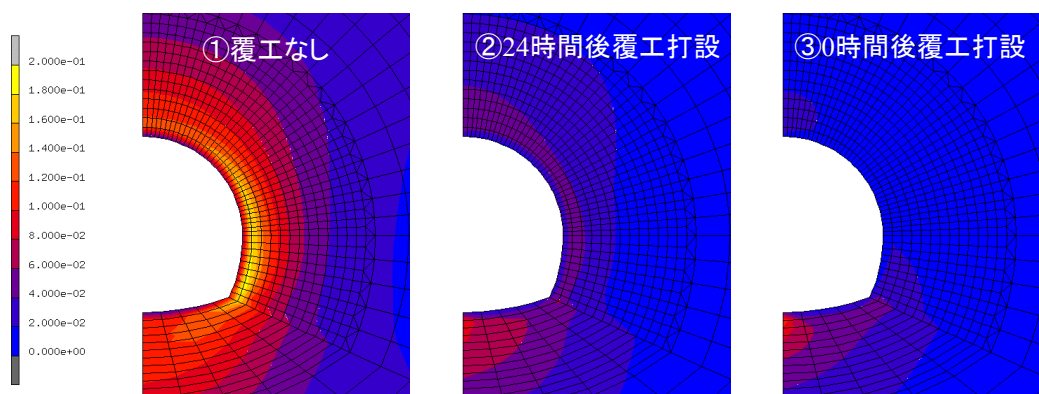


図-2 覆工打設時期による内空変位量の違い

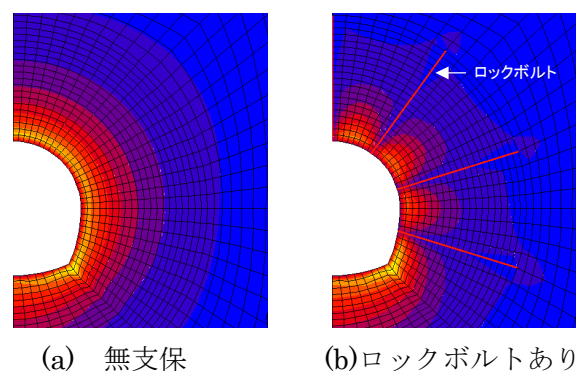
キーワード トンネル、クリープ、支保効果

連絡先 〒286-0825 千葉県成田市新泉 9-1 鉄建建設 技術センター TEL. 0476-36-2357

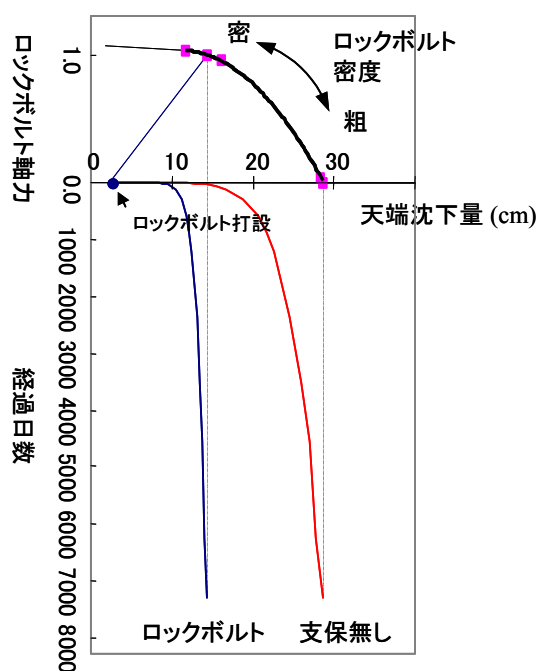


図－3 掘削 20000 時間後のひずみ分布

した場合の変位量が小さくなっており、膨張性地山については早期閉合が変位を抑制する上で有効である。また、掘削 20000 時間（約 830day）経過したひずみ分布についても、図－3に示すように覆工を早期に施工するほどトンネル周辺に生じるひずみが小さくなっており、覆工の早期閉合がクリープひずみの増大に対して有効であることが判明した。ただし、覆工部材に発生する断面力は、変位量が少ない掘削直後に覆工を施工した場合の方が大きくなっている。次に、ロックボルトの本数をパラメータとして計算を行った。図－4にロックボルトの有無による掘削後 20000 時間後のトンネル周辺のひずみ分布を示す。ロックボルトを打設することにより、ロックボルトから地山に支保内圧が伝達されるため、図－4に示すようにロックボルト近傍のひずみは小さくなっている。その結果として、トンネル掘削後の変位量が低下する。図－5にロックボルト軸力、変位の経時変化の関係を示す。なお、ロックボルト軸力については、ロックボルトを7本（トンネル軸方向 1m 当たり）打設した場合に発生する軸力の総和で無次元化している。計算結果によると、ロックボルトの打設本数を増加させるほど変位量は少なくなるが、ロックボルト軸力は増加する傾向を示す。



図－4 ロックボルトの有無による違い



図－5 ロックボルト本数と支保効果

4. まとめ

応力・時間依存性を考慮した解析モデルを用いてトンネル支保効果について検討を行った。その結果、早期閉合および増しロックボルトはクリープによる変位を抑制する効果があることが明らかになった。この特性は、膨張性地山で経験的に得られた知見とも一致しており、提案した解析モデルは膨張性地山の支保を検討する上で有効であると思われる。ただし、クリープによる変位を支保で抑制した場合には、支保に発生する断面力あるいはロックボルト軸力などは大きくなるため、ボルト破断などの支保の損傷に注意が必要である。

参考文献

1) 國村ら：軟岩地山におけるトンネル支保効果の解析的検討，土木学会年次学術講演会概要集 vol.52, pp.156-157, 1997.