

クリープ挙動を考慮したトンネル逆解析プログラムの開発

鹿島建設(株) 正会員○田部井 和人

鹿島建設(株) 正会員 森川 誠司

1. はじめに

時間の経過とともに変形が増加するクリープ挙動は、トンネルの安定性に影響を与える可能性がある。そこで、クリープ挙動が予想されるトンネルでは、ある時点までの計測値に基づき、地盤の物性パラメータを逆解析し、その結果に基づいて将来の挙動を予測する必要がある。今回、2次および3次クリープが表現可能な非線形粘弾性構成式を用いたトンネル逆解析プログラムを開発した。本報文では、その概要と実測データを用いた検討解析例を紹介する。

2. パラメータ同定手法

パラメータの同定には統計手法の一種である実験計画法¹⁾を用いた。これは膨大な実験条件の中から精度の高い結果が効率的に得られるような実験条件を選択する手法である。図-1は実験計画法によるパラメータの探索イメージを示したものである。パラメータを組み合わせた解析結果(▲)に基づき、次の探索範囲(黄線)を決定する。これを4回繰返し、正解値(●)に向けて範囲が絞り込まれる様子が分かる。

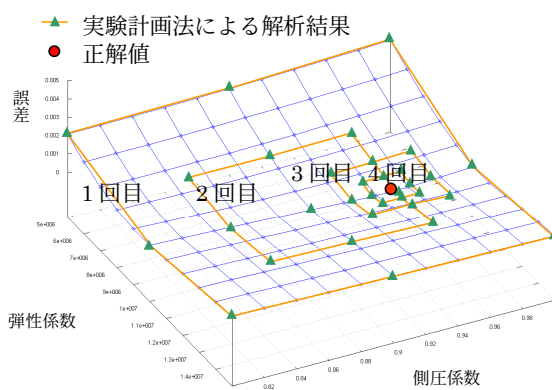


図-1 実験計画法によるパラメータの探索イメージ

3. 非線形粘弾性モデル

地山の2次クリープや3次クリープを表現する構成式は、逐次掘削や支保工の設置を考慮するため、(1)式に示す大久保らによる割線型の非線形粘弾性構成式²⁾を接線型に拡張した構成式³⁾を用いる。

$$\frac{d\lambda^*}{dt} = a \cdot (\sigma^*)^{n_0} \cdot (\lambda^*)^m \quad (1)$$

ここで、 λ^* :コンプライアンス λ (変形係数の逆数)を初期値 λ_0 で基準化した値、 t :時間、 a :強度を表すパラメータ、 σ^* :破壊接近度、 n_0 :時間依存性を表すパラメータ、 m :延性の程度を表すパラメータである。

4. 検討解析例

検討解析の対象としたのは秋田県の鉱山試験坑道である。坑道は高さ3.3m、幅4.5mのアーチ形の形状で、坑道周辺の地質は主に石膏であり、坑道掘削直後から過大なクリープが生じた。なお、支保工としてI型鋼が施工されていたが、支保工と岩盤の間に30～50cmの隙間があるため、逆解析では支保工をモデル化しない。解析に用いた物性値を表-1に示す。このうち、初期ポアソン比、一軸圧縮強度、一軸引張強度は、岩石試験結果⁴⁾を参考に設定したものである。今回開発したプログラムによって初期コンプライアンスを $0.002 \sim 0.01 \text{MPa}^{-1}$ 、 m を1～4の範囲でパラメータを同定し、計測結果と整合する値を逆算できるか検討した。

表-1 解析用物性

パラメータ	設定値
初期コンプライアンス	同定対象
初期ポアソン比	0.2
m	同定対象
n_0	10
一軸圧縮強度	6.0MPa
一軸引張強度	0.9MPa

キーワード 実験計画法、非線形粘弾性、有限要素法、クリープ、逆解析、トンネル

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂6-5-30 KIビル 鹿島建設(株)土木設計本部 田部井 和人 TEL03-6229-6795

試験坑道の天端位置における壁面から岩盤内 1m 位置の変位と側壁部の内空変位の計測値(掘削直後から 100 日間)を用いてパラメータの同定を行った。天端部の岩盤内変位の計測結果と同定したパラメータを用いた解析結果を比較したものを図-2 に、坑道の内空変位の計測結果と解析結果を比較したものを図-3 に示す。100 日間の変形量に関しては、岩盤内変位、内空変位ともに計測結果と比較的整合する結果が得られた。特に、岩盤内変位は、等速度に変位が増加する 2 次クリープ的な計測結果と整合する結果が得られた。

次に、本解析プログラムにおいて支保工が確実に考慮できるかの検証の意味もあり、I 型鋼の支保工(I125@1m)が岩盤に密着していると仮定した場合の解析を今回同定したパラメータを用いて実施し、支保工の有無が解析結果に与える影響について検討した。図-4 は支保工の有無による岩盤内変位の経時変化を比較したものである。支保工により、トンネルのクリープ変位は大幅に低減できる事が分かる。図-5 に掘削後 100 日後のコンプライアンス比(初期変形係数を当該時点の変形係数で除した値)を示す。本図からも、支保工の効果で天端付近の変形係数の低減が抑制されている事が分かる。

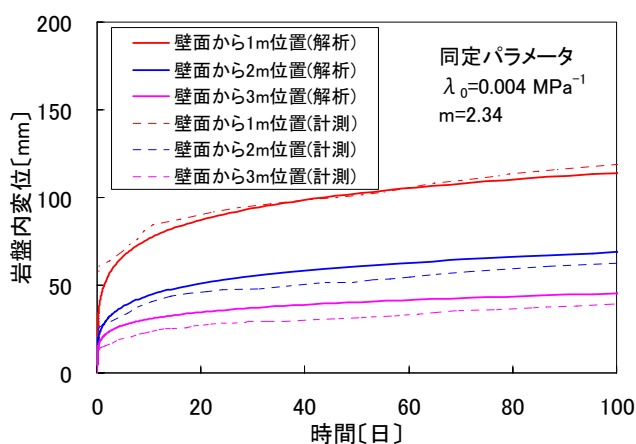


図-2 天端部の岩盤内変位の計測と解析結果の比較

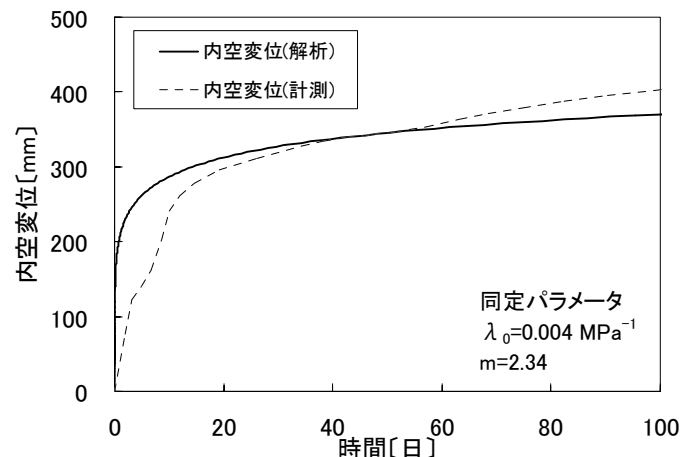


図-3 内空変位の計測と解析結果の比較

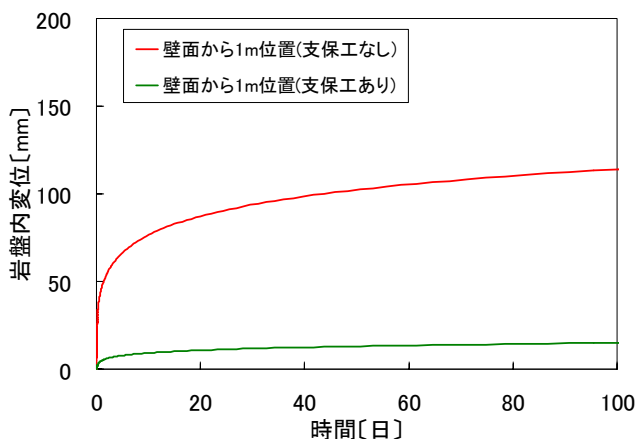


図-4 支保工の有無による天端部の岩盤内変位の比較

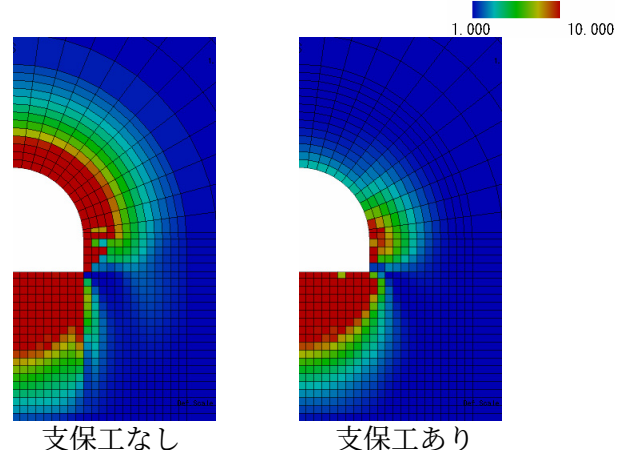


図-5 支保工の有無によるコンプライアンス比分布の比較

5. おわりに

地山のクリープ挙動を考慮したトンネル掘削解析のパラメータの同定を行った。100 日間の変形量に関しては、岩盤内変位、内空変位ともに計測結果と比較的整合する結果が得られた。ただし、内空変位に関しては、計測変位の経時変化を十分には表す事は出来ていない。今後は、逆解析パラメータの見直しを行うほか、逆解析方法の精度の向上を図る予定である。

参考文献

- 1) 田口玄一: 実験計画法, 丸善, 1976
- 2) 大久保他: コンプライアンス可変型構成方程式の解析的検討, 資源・素材学会誌, Vol. 108, pp. 601-606, 1992
- 3) 宮野前俊一 他: 岩盤の時間依存性挙動と施工過程を考慮した掘削解析手法の提案, 土木学会論文集, Vol. 791/VI-67, pp. 97-109, 2005
- 4) 緒方ら: 粘弾性的挙動を示す岩盤の坑道掘削に伴う時間依存性変形のシミュレーション, 資源と素材, Vol. 110, pp. 1082-1088, 1994