

トンネル変状予測のための合理的レオロジーモデルの検討と適用

長崎大学工学部 学生員 ○廣門 未来 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
 長崎大学工学部 フェロー 棚橋 由彦 長崎大学大学院 学生員 関 振長

1.はじめに

トンネルはその周辺地山条件が複雑に変化するため、供用されてから変状が生じる。しかし一方で、岩盤レオロジー値の得られにくさから、精度の高い変状予測解析が行われることは少なかった。本研究では、トンネル供用後の変状メカニズムを究明するために、時間依存性モデル (Burger-MC 劣化モデル) と逆解析によるパラメータの算出法を提案し、トンネル変状の予測を行う。これより、変状予測値と計測データを比較・検討し、提案モデルの有用性と逆解析によるパラメータ決定法の確認を行うことを目的とする (図-1)。

2.強度低下時間依存性モデルの概要

トンネル変状は、周辺地山の経年劣化が原因の 1 つであると考えられるため、時間の経過に伴い岩盤強度が低下するモデルを本研究では用いる。各要素は Kelvin モデル、Maxwell モデル、MC モデルから成り、Kelvin モデルと Maxwell モデルの直列を Burger モデルと呼ぶ。Burger-MC モデル中の MC モデルの粘着力 c と摩擦角 ϕ を時間と共に低下させ、岩盤の強度劣化を考慮することが出来るように修正したモデルを、Burger-MC 劣化モデルとして図-2 に示す。構成式は以下のように表される¹⁾。

$$\frac{dc}{dt} = -\omega_c R \quad (1) \quad \frac{d\phi}{dt} = -\omega_\phi R \quad (2) \quad (R \geq R_{thr})$$

ここに、 R_{thr} は岩盤の応力状態限界係数であり、応力状態係数 R が R_{thr} 値を超えると劣化を始める。 ω_c 、 ω_ϕ は粘着力と内部摩擦角の劣化率であり、両者の経時的変化は R に比例する。

3.Burger-MC劣化モデルを用いたトンネル変状解析

長崎自動車道うれしのトンネル²⁾I期線は、建設中から変状が発生し、応急対策工を要した。1990 年完成後も変状は恒常的に進行し、1995 年以降には沈静化の傾向も見られたが収束には至らなかった。本研究では Burger-MC 劣化モデルを用いて、供用後 5 年の同スパンでの計測結果と変状予測を比較するために、有限差分法解析による天端の変位 u_c とインバートの変位 u_i のトンネル変状予測を行う。

3.1 変状特徴

まず、レオロジーモデルの基本的な変状特徴を確認する。各モデルを用いて組み合わせたモデルでは、指数・線形・発散といった変状特徴が挙げられる²⁾。これより、3 つのモデルを連結させた Burger-MC 劣化モデルの変状特徴は、3 つの変状特徴を組み合わせた階段形状となることが予想される。

実際にうれしのトンネルに関する資料を参考に各モデルのレオロジー値を変化させて決定した計 40 ケースのモデルを順解析する。その解析モデルのうち粘弾塑性すべてのレオロジー値を変化させたケース c のうち 3

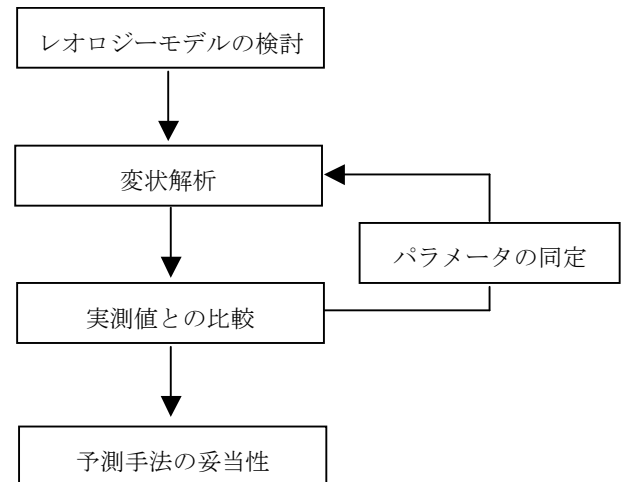


図-1 検討のフローチャート

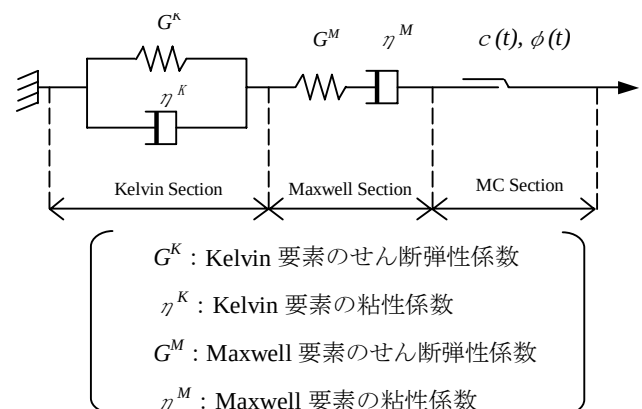


図-2 Burger-MC 劣化モデル

ケースのレオロジー値を表-1 に、また、この解析結果を図-3 に示す。トンネル変位量が経時的階段状に増加していることが図の計測データと解析結果から確認できる。

3.2 レオロジーモデルパラメータの同定

レオロジー値を既知として変状予測を行う方法を順解析、変状値からレオロジー値を求める方法を逆解析という。本研究では加重平均法を用い、得られにくいとされる岩盤レオロジー値を同定する³⁾。まずは、トンネルの天端とインバートの予測変状値 u_c , u_i と各部の実測変状値 u_c^{real} , u_i^{real} から各々の変状誤差 e_{uc} , e_{ui} を求める。

次に重み係数 w を式 3 により算出する。重み係数とは各項の持つ加重値のことであり、ある複数値に対してウェイトを付加した平均値である。こうして、トンネルのレオロジー値を逆解析により算出することができる(式 4)。

$$w^j = \frac{2}{\frac{e_{uc}^j + e_{ui}^j}{\sum_{j=1}^{10} \frac{2}{e_{uc}^j + e_{ui}^j}}} (1 \leq j \leq 20) \quad (3)$$

$$\bar{c}^{00} = \sum_{j=1}^{10} w^j \bar{c}^j (1 \leq j \leq 20) \quad (4)$$

この逆解析により同定して求めたレオロジー値 $c00$ (表-2)から順解析を行い、変状値と計測データの比較を図-4 に示す。図から、両者には誤差があまり見られないため、本研究の提案モデルは精度が高いと思われる。

4.おわりに

本論文では、トンネル変状予測のための合理的レオロジーモデルとして粘弾塑性を考慮した **Burger-MC 劣化モデル** を提案し、うれしのトンネルの計測結果と比較検討を行った。また、逆解析により同定して得たパラメータによる変状予測では、計測結果と同量関係となり、整合性を有していた。よって、**Burger-MC 劣化モデル** が変状予測を行うために有効であり、逆解析によるパラメータの算出法も妥当であるといえる。これより、供用後の変状予測において、本解析手法を用いて行うことができると考えられる。

【参考文献】

- 1) 里優ほか：強度の時間依存性に着目した岩盤の解析，第 18 回土質工学研究発表会論文概要集，pp.817-820，1983
- 2) 土木学会：トンネルの変状メカニズム，土木学会，2003
- 3) Pichler, B. Lackner, R and Mang, H. :Back analysis of model parameters in geotechnical engineering by means of soft computing. Int. J. Numer. Meth. Engng. 57(14), pp.1943-1978,2003.

表-1 岩盤物性値

ケース	c01	c09	c20
$G^K (Pa)$	8.0×10^8	4.0×10^8	9.97×10^8
$\eta^K (Pa \cdot s)$	3.0×10^{16}	6.0×10^{16}	1.06×10^{16}
$\eta^M (Pa \cdot s)$	8.0×10^{17}	8.0×10^{17}	5.1×10^{17}
R_{thr}	0.2	0.5	0.266
$\omega_c (Pa/年)$	8.0×10^4	5.0×10^4	2.58×10^4
$\omega_\phi (^\circ/年)$	4.0	2.5	2.574

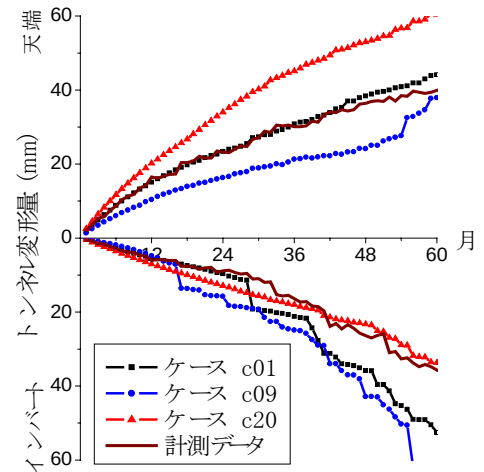


図-3 Burger-MC 劣化モデル変状特徴

表-2 逆解析結果

ケース	c00
$G^K (Pa)$	6.12×10^8
$\eta^K (Pa \cdot s)$	4.90×10^{16}
$\eta^M (Pa \cdot s)$	5.73×10^{17}
R_{thr}	0.572
$\omega_c (Pa/年)$	4.74×10^4
$\omega_\phi (^\circ/年)$	2.88

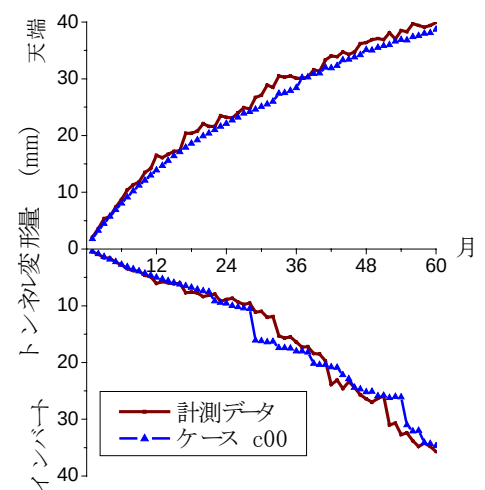


図-4 実測値と逆解析結果の比較