

III-241 三次元逆解析法の時間依存性トンネルへの適用

近畿大学理工学部 正員 久武 勝保
(株)東洋情報システム 正員 ○加藤 茂樹

1. 緒論

岩盤の力学特性は、岩石の物性そのものとはもとより、節理などの不連続面の影響を強く受け、例えば、岩盤の強度が岩石供試体の約1割にしか過ぎなかった、という極端な例¹⁾もある。また、上記と同様のことが、変形特性についても言える。さらに、荷重の増加と減少のどの過程にあるかによっても、変形特性は異なる。すなわち、トンネルのスケールに対応して、また、トンネル掘削という応力解放条件の載荷過程に対応して、力学定数を求めるべきである。言いかえれば、ボーリング供試体を用いて実験室内で求めた弾性係数 E や、高々数10cmの載荷スケールで上記載荷過程をシュミレートしていないトンネル内での平板載荷試験の E 値は、実際と相当異なることを覚悟すべきである。

本研究では、トンネル掘削を一つの現場実験と見立て、スケール効果、載荷過程を考慮するために、A計測結果からトンネル周辺地盤の巨視的、平均的な力学定数を推定する3次元逆解析法を、時間依存性トンネル現場に適用し、その妥当性を検討したものである。

2. 最適化手法による逆解析の概要

今、トンネル掘削前の地山の鉛直応力 σ_v 、水平応力 σ_h を次のように仮定する。 $\sigma_v = \gamma h$, $\sigma_h = K\sigma_v$ (1) ここで、 γ は地山の単位体積重量、 h は土かぶり厚さ、 K は初期応力比を表している。ただし、トンネル変状がトンネル縦断面に対して非対称であれば、地山のせん断成分も考慮すべきである。以下では、時間依存性地山を線形粘弾性体と仮定し、軟岩トンネルに対する従来の逆解析結果²⁾を考慮し、地山のクリープ関数 $\phi(t)$ を以下の対数関数で近似する。

$$\phi(t) = 1/E_1 + \ln(1+t)/E_2 \quad (2)$$

さて、切羽1掘削後、時間 t だけ経過した時のA計測実測変位を $u^*(t)$ 、切羽掘削をシュミレートした3次元弾性解析から求められる変位を u とすると、地山のみかけ上の弾性係数 $\bar{E}(t)$ 、ポアソン比 ν 、 K は、以下の目的関数 J を最小化して求められる。

$$J = \sum (u_i - u_i^*)^2 \quad (3)$$

ところで、最適化解析では、計算時間、費用が問題となるので、これらを小とするためのくふうが必要となる。そこで、解析結果に及ぼす ν の影響は大きくないことから、これは任意の値(例えば、 $\nu = 0.3$)を与え、また、計測変位特性からおよその K の値をいくつか仮定し、 J の最小値 J_{min} と K との関係を描いて最適な K 値を求めることができる。

また、式(2)に含まれる E_1, E_2 の値は、 $t = t_1$ と t_2 での逆解析結果から求められる $\bar{E}(t_1), \bar{E}(t_2)$ を用いて算出される³⁾。

$$E_1 = \frac{E(t_1)\bar{E}(t_2)\ln\{(1+t_2)/(1+t_1)\}}{\bar{E}(t_1)\ln\{(1+t_2)/(1+t_1)\} + \bar{E}(t_1) - \bar{E}(t_2)}, \quad E_2 = \frac{E(t_1)\bar{E}(t_2)\ln\{(1+t_2)/(1+t_1)\}}{\bar{E}(t_1) - \bar{E}(t_2)} \quad (4)$$

Table 1 Executive condition

Tunnel radius	5.1m
Number of rock bolts in a cross section	15
Rock bolt length	4m
E of rock bolt	$2.1 \times 10^7 \text{ t/m}^2$
Cross section area of rock bolt	$5.07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
E of steel support (H-200)	$2.1 \times 10^7 \text{ t/m}^2$
Cross section area of steel support	$63.53 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Thickness of shotcrete	20cm
Overburden	8.5m
Unit weight of the ground	2.46 t/m^3
Excavation length at the tunnel face	1.25m

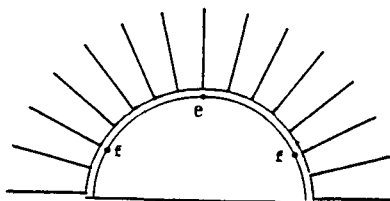


Fig.1 Tunnel cross section

a	b	c	d	e
$E_a^s = 1,451,000 \text{ t/m}^2$				
$E_b^s = 1,827,000 \text{ t/m}^2$				
$E_c^s = 2,052,000 \text{ t/m}^2$				
$E_d^s = 2,189,000 \text{ t/m}^2$				
$E_e^s = 2,359,000 \text{ t/m}^2$				

Fig.2 Modulus of elasticity of shotcrete

3. 考察

Table-1は、本現場の施工条件、Fig.1は、本トンネル横断面図であり、図中e、fは変位計測点である。吹付けコンクリートの弾性係数Eは、経過時間と共に増大するので、本解析ではFig.2に示す値を用いた。

Table-2は逆解析に用いた実測変位である。Fig.3は、本解析において $t=t_1$ の計測値を入力データとした時のKと J_{min} との関係を示したものであり、図より J_{min} を最小にするKの値は、 $K=1.3$ と予測することができる。

Fig.4は、 $t=t_1$ の計測変位を入力値とし、 $K=1.3$ とした時の $(\bar{E}(t_1), J)$ の収束状況を示したものであり、これと $t=t_2$ での類似の結果及び式(4)からクリープ関数は容易に決定される。

以上のようにしてK値及びクリープ関数が決定されたので、これらを用いて通常の粘弾性解析を行いe点（天端）の変位について解析結果と実測値との比較を行ったのがFig.5である。図より、解析結果と計測値とは比較的良く一致しており本手法が現場に十分適用できることが確認できる。

4. 結論

本研究により得られた結論を列挙すれば以下の通りである。

- 1) 最適化手法を用いた三次元粘弾性逆解析により、初期応力比及びクリープ関数を、覆工内面の計測変位から求めることができる。
- 2) 逆解析結果を用いて行った通常の順解析結果と実測結果は良く一致していることから、本手法は時間依存性トンネル現場に十分適用できる。即ち本手法によって得られた諸定数を用いることによって合理的なトンネルの施工条件を決定することが可能である。

参考文献

- 1) 君島：岩盤の破壊特性に関する現地試験について、岩の力学国内シンポジウム、pp66-77、1964。
- 2) Ito & Hisatake: Analytical study of NATM, Proc. 10th ICSMFE, Vol. 1, Section 2, pp. 311-314, 1981。
- 3) Hisatake & Ito: Back analysis for tunnels by optimization method, proc. 5th Int. Conf. on Numeri. Meth. in Geomech., Vol. 2, pp. 1301-1307, 1985。

Table 2 Measured displacements at crown(e) and side wall(f)

	$t_1=1\text{day}$	$t_2=2\text{days}$
$u_{e,v}$	1.0	1.58
$u_{f,h}$	1.5	2.38

(Unit:mm)

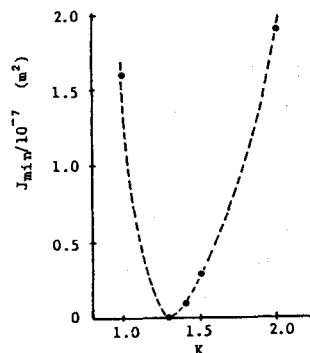


Fig.3 Relation between J_{min} and K

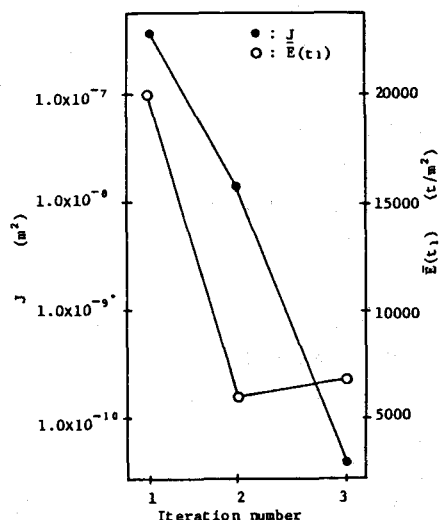


Fig.4 Convergence characteristics of J and $\bar{E}(t_1)$

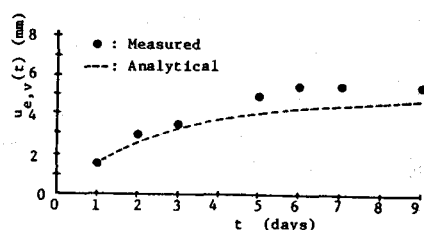


Fig.5 Comparison of displacements