

Ⅲ-B84

トンネル掘削における時間依存性を考慮した地山物性値の逆解析

福田組建設本部技術部 正会員 桜沢 雅志
長岡技術科学大学工学部 正会員 杉本 光隆
東京電力 有木 靖隆

1 はじめに

近年,有限要素法などの数値解析手法がトンネルの設計・施工において積極的に活用されてきているが,地山とトンネルの挙動と安全性を正確に予測するためには,地山初期応力の設定,解析に用いる物性値の評価,適切な地山とトンネルのモデル化,などの課題がある。¹⁾一方,一部の軟岩地山におけるトンネル掘削時の挙動は,時間依存性を示すことが知られているが,入力パラメータの設定が困難であったり,計算時間が膨大であるなどの理由から,地山材料の時間依存性を表現するモデルの適用例は多くない。そこで本研究では,トンネル周辺地山挙動の定量的評価を可能とするため,現場での内空変位の実測データを2次元平面ひずみ弾粘塑性モデルに適用した逆解析により,時間依存性を含めた地山物性値を推定する解析手法を開発することを目的とする。

2 解析手法

2.1 逆解析対象地山物性値

逆解析の対象とする地山物性値は,地山の变形に与える影響を考慮して,以下の3つを設定した。

- ① 変形(弾性)係数 E
- ② 粘着力 c
- ③ 流動性パラメータ $\gamma (=1/\mu)$

ここで,流動性パラメータとは,粘塑性状態の応力とひずみの時間依存関係において,次式で示される粘塑性流れ速度 $\dot{\epsilon}_p$ を支配するものである。²⁾

$$\dot{\epsilon}_p = \gamma \langle \Phi(F) \rangle \frac{\partial F}{\partial \sigma} = \gamma \langle \Phi \rangle a$$

2.2 逆解析における目的関数

本研究では,有限要素解析に基づく逆解析手法により,トンネル内空変位の計測値より地山物性値を求めることとしているので,目的関数は次式の残差二乗和 S で与えられる。³⁾

$$S = v^T W v = \sum_{i=1}^n w_{ii} (u_i^* - u_i)^2$$

ここで, u_i は2次元弾粘塑性有限要素解析によって得られるトンネル内空変位の計算値, u_i^* はトンネル内空変位の計測値であり, n は計測データ数である。また,計測データは等精度であるが,計測間隔が不ぞろいなため,計測間隔に比例した対角の重み行列 W を付加している。

この目的関数 S を最小にする地山物性値を,非線形最適化手法の修正 Marquardt 法を用いて求めた。⁴⁾

2.3 解析手順

本研究における地山物性値の逆解析手順を図-1に示す。

3 実際のトンネルにおける地山物性値の逆解析

3.1 概要

本研究で解析対象としたトンネルは,北陸自動車道山王トンネル工事(Ⅱ期線)であり,多機能型全断面掘削機(TWS)で施工されている。また,トンネル周辺の地質は,新第三期中新世の泥岩層が主体である。

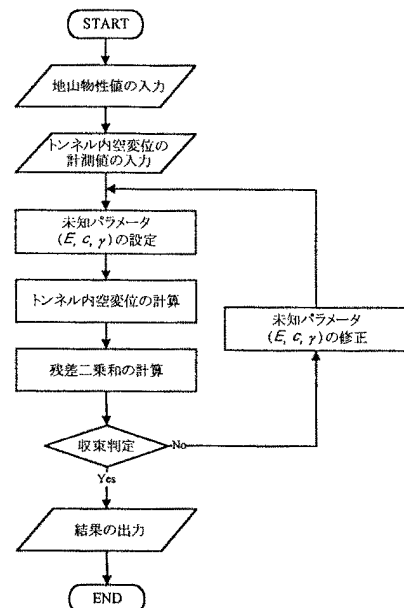


図-1 地山物性値の逆解析手順

表-1 入力物性値と逆解析結果

材料	物性値	
地山	弾性係数 *	79,800 tf/m ²
	ポアソン比	0.25
	単位体積重量	2.3 tf/m ³
	粘着力 *	49.8 tf/m ²
	内部摩擦角	25.0°
	流動性パラメータ *	0.627 /day
	側圧係数	0.5
吹付け	弾性係数	200,000 tf/m ²
コンクリート	断面積	0.20 m ²

注) 地山物性値の*印は逆解析により得られた値

3.2 解析モデルの設定

解析モデルは、2次元平面ひずみ状態で、トンネル中心軸を対称軸とする $50m \times 34m$ の半断面を図-2のように要素分割し、地山を8節点平面ひずみ要素、吹付けコンクリートを3節点棒要素でモデル化した。吹付けコンクリートのほかに、斜め前方へのロックボルトも施工されているが、今回の解析では省略している。

また、解析に用いた材料物性値は、トンネル工事での各種試験結果と、過去の解析例等を参考にして表-1のように設定した。

3.3 解析ステップの設定

トンネル掘削の施工過程を解析に反映させるため、計測断面の掘削完了後に吹付けコンクリート部材を追加し、それ以後は、掘削作業時間に併せて順次掘削相当外力を作用させた。

3.4 内空変位計測データ

逆解析に用いた実測データは、図-3の凡例に示すように、天端沈下、水平変位、および斜め測線の変位である。ただし、斜め測線は左右同程度の変位であることから、その平均値を使用した。

3.5 解析結果および考察

地山物性値の逆解析で、各パラメータは7回ほどの繰返しで収束した。逆解析の結果、弾性係数 E は地山試料試験結果の範囲内にあるが、粘着力 c は試験結果に比べて小さな値となった。

これは、塑性域のみが粘性を示すため、時間依存性の挙動が卓越する場合には、相当の塑性域が発生しなければならないためであると考えられる。流動性パラメータについては、試験結果等の具体的な指標はないが、図-3の逆解析で求めた地山物性値による順解析結果から、おおむね妥当な値であると判断される。

4 おわりに

本解析手法で、トンネル掘削時の内空変位より地山物性値が逆解析できることが確認された。しかしながら、本解析では2次元平面ひずみモデルを用いているため、計測された内空変位に含まれる、切羽進行に伴う変位と塑性ひずみ速度による変位を分離することはできず、仮定した掘削開放率に対する流動性パラメータとなっている。

今後は、高精度で情報量も多い地中変位計測データを逆解析に利用するとともに、地山の粘性のモデル化、逆解析の対象とする地山物性値について、検討を行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 地盤工学における数値解析の実務編集委員会：地盤工学における数値解析の実務，土質工学会，1986。
- 2) D.R.J.Owen・E.Hinton，山田嘉昭ら訳：塑性の有限要素法，科学技術出版社，1988。
- 3) 桜井春輔：地盤工学における逆解析 11. トンネル，土と基礎，Vol.44，3月号，pp.69-74，1996。
- 4) 中川 徹・小柳義夫：最小二乗法による実験データ解析，東京大学出版会，1986。

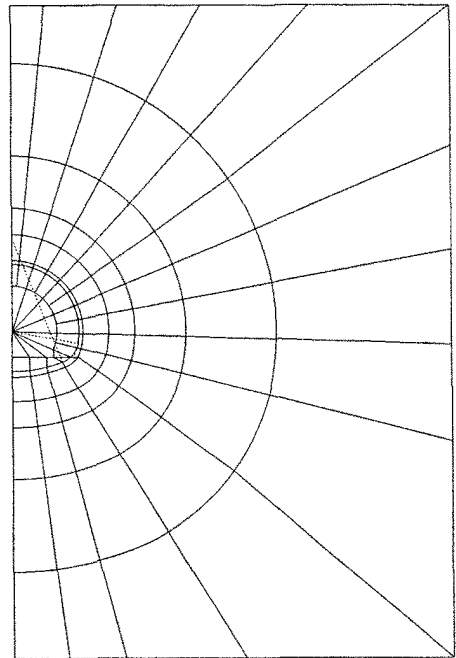


図-2 解析対象領域の有限要素分割

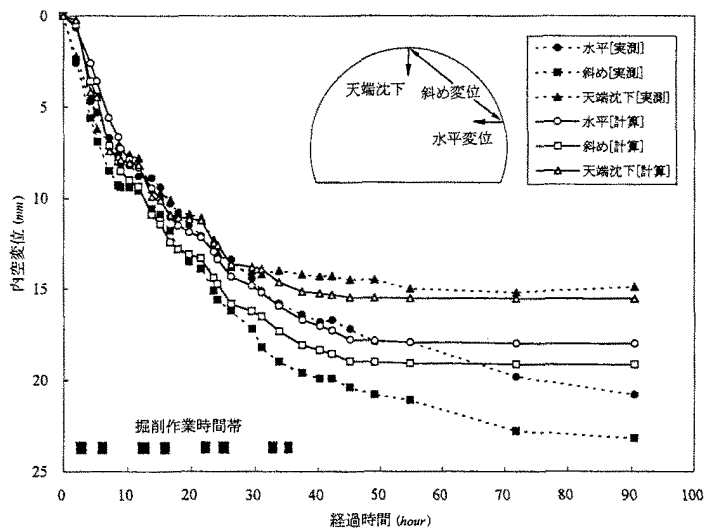


図-3 トンネル内空変位の計測値と計算値