

Ⅲ－B130

3 次元弾粘塑性モデルによるトンネル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
 長岡技術科学大学大学院 影山 心

1. はじめに

近年、トンネルを合理的に施工するために、現場における各種の計測結果を分析し迅速に設計・施工に反映させる情報化施工が普及している。これまでも、計測結果を設計・施工に反映させる手法が各種提案されているが、トンネルの挙動は地山性状に大きく左右されるため、地山性状をより正確に表現できる手法が必要である。また、一部の軟岩地山におけるトンネル掘削時の地山挙動は時間依存性を示し、この時間依存性を表す地山の物性値をいかに求めるかが問題となる。一方、トンネル掘削解析は、計算コストなどの問題により2次元解析が行われるが、この場合には掘削開放率が仮定されるので、得られる結果はこの仮定の影響を大きく受けることになる。そこで本研究では、トンネル内空変位計測結果を3次元弾粘塑性FEMに適用し、軟岩地山の時間依存性を含む地山物性値を推定する逆解析手法を開発した。

2. 解析手法

2.1 逆解析対象物性値

本研究では、地山の変形に与える影響を考慮し、次の3つを逆解析対象の地山物性値に選んだ。

- ① 弾性係数 E
- ② 粘着力 C
- ③ 流動性パラメータ γ

ここで、流動性パラメータは地山の時間依存性を支配するパラメータの一つで、粘塑性ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{vp}$ と次式で関連づけられる²⁾。

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

2.2 逆解析における目的関数

本研究では、トンネル内空変位計測データより地山物性値を逆解析するので、目的関数は次式で与えられる重み付きの残差二乗和 S である。

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

ここで、 u_i^* はトンネル内空変位計測値、 u_i は3次元弾粘塑性FEMによって得られるトンネル内空変位の計算値、 w_{ii} は重みで、本研究では内空変位の計測時間間隔が一定でないことを考慮するために、計測時間間隔の二乗に比例する対角行列を重み行列 $\mathbf{W}$ に用いている。また、 n は計測データ数で87個である。

2.3 解析手順

本研究における解析手順を図-1に示す。

3. 実問題への本解析手法の適用

3.1 概要

本研究で用いた内空変位計測データは、北陸自動車道山王トンネルⅡ期線工事³⁾において計測されたものである。計測地点は坑口より約330m掘削が進んだ地点で、土被り厚は約90mである。地質は新第三紀中新世の泥岩が主体で、

キーワード：トンネル、3次元、逆解析、時間依存性 連絡先：〒951-8061 新潟市西堀通2番町 778-205 tel 025-227-3522

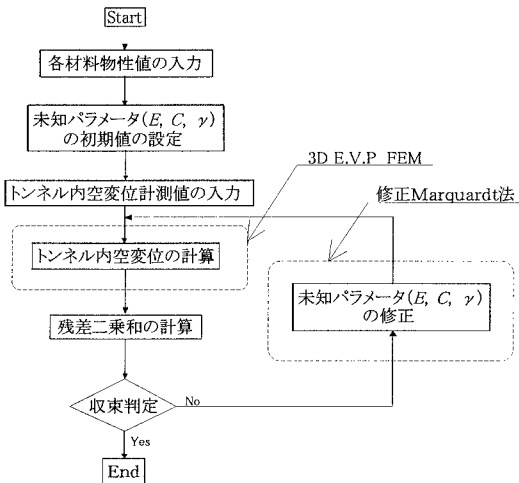


図-1 地山物性値逆解析手法の解析手順

亀裂の少ない均質な地山であり、湧水もほとんどない。

3.2 解析条件

(1) 解析モデル

解析モデルは、トンネル軸に対称な $60m \times 28m \times 40m$ を解析領域にとり、図-2 のように有限要素分割をした。また、地山は弾粘塑性体の 20 節点立体要素、吹付けコンクリートは線形弾性体の 8 節点平面応力要素でモデル化した。

(2) 解析ステップ

解析ステップは、初期応力解析を含め、掘削と吹付けコンクリート打設を繰り返す計 21 ステップとした。

(3) 入力データ

解析に用いた各材料物性値は、表-1 に示す通りで試料試験結果と過去の解析事例を参考に設定した。また、内空変位計測データには天端沈下、水平変位、および斜め測線の変位を用いた。

3.3 解析結果および考察

逆解析により得られた物性値を表-1 に示す。逆解析においては各パラメータとも 4, 5 回の反復計算で一定値に収束した。逆解析結果は、弾性係数は地山試料試験結果 ($310 \sim 4,300 \text{ MPa}$) の範囲内であるが、粘着力は試験結果 ($0.8 \sim 1.37 \text{ MPa}$) よりやや小さな値となった。これは、試験時の荷重時間が短いこと、また、本解析で用いた力学モデルでは粘塑性ひずみのみが時間依存性を示し、時間依存性挙動が卓越する場合には、それに相応する塑性域が発生する必要があることが原因と考える。流動性パラメータに関しては試験結果がないため、得られた物性値を用いて順解析を行い求めた計算値と計測値の比較をした。この結果を図-3 に示す。この図より、計算値が計測値をよく表現しており、本解析手法で得られた地山物性値がおおむね妥当であると考えられる。

4. 結論

本研究では、3 次元弾粘塑性 FEM を適用した逆解析手法により、内空変位計測値から時間依存性を含む地山物性値を求め、その妥当性を確認した。掘削開放率の仮定なくトンネル掘削時の挙動をよく表現できる、3 次元解析の有用性が確認された。

参考文献

- 1) 桜沢雅志・杉本光隆・有木靖隆：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, 第 42 回地盤工学シンポジウム, pp.59-64, 1998.
- 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) 田名瀬寛之：高速道路の新技术・新工法 軟岩トンネルの高速掘削をめざして, 土木技術, Vol.52, No.3, pp.83-94, 1994

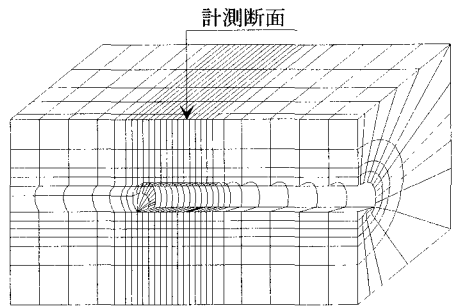


図-2 解析領域の有限要素分割

表-1 入力物性値と逆解析結果

材料	物性値	
地山	弾性係数*	841 MPa
	ポアソン比	0.25
	単位体積重量	22.5 kN/m ³
	粘着力*	0.472 MPa
	内部摩擦角	20.0 °
	流動性パラメータ*	0.0218 /day
吹付け コンクリート	弾性係数	2,000 MPa
	ポアソン比	0.20
	板厚	0.10 m

注) *は逆解析で得られた値

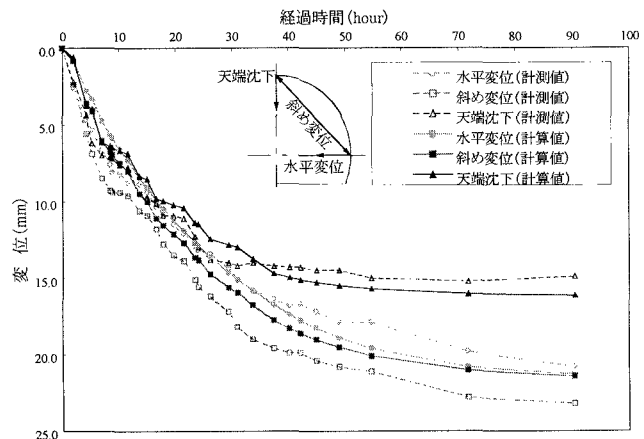


図-3 トンネル内空変位の計算値と計測値