

トンネルの相対変位計測結果の評価法

神戸大学工学部 学生員 谷本 篤則
大森組 正会員 武内 邦文
神戸大学工学部 正会員 桜井 春輔

① はじめに

トンネル工事においては、各種の現場計測が行なわれる。そのときの現場計測として、内空変位は最も容易に測定することができる。そこで、本研究では、内空変位のみを用いて地山内部のひずみ分布を求めようとするものである。

変位が求まれば、応力・ひずみ関係を用いることなく、変位は容易にひずみに変換できるため、ひずみにより安全性の評価ができるためである。

② 地山内部の変位の推定法¹⁾

まず、地山を等方等質の弾性体とみなすことで、有限要素法により次のように、地山の初期地圧・弾性係数を求めることができる。なお、ポアソン比は仮定し、平面ひずみ問題として考える。有限要素法の剛性方程式は、

$$\{P\} = [K] \{u\} \quad (1) \quad \{P\}: \text{節点力}, [K]: \text{剛性マトリクス}, \{u\}: \text{節点変位}$$

これより、F.E.M.モデルの固定点の変位及び未計測点の変位を消去して、

$$\{u\} = [F] \{\sigma^*\} \quad (2) \quad \{\sigma^*\}^T = [\sigma_{x0}/E, \sigma_{y0}/E, \tau_{xy0}/E] \quad \sigma_{x0}, \sigma_{y0}, \tau_{xy0} \text{は初期地圧}$$

ここで $\{u\}$ は絶対変位である。内空変位は、2点間の相対変位であるから、これを相対変位に変換する必要がある。図-1を参照にして、1-2間の測線方向の相対変位は、次のように与えられる。

$$u_{r2} - u_{r1} = \begin{bmatrix} -\cos\theta & -\sin\theta & \cos\theta & \sin\theta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{x1} \\ u_{y1} \\ u_{x2} \\ u_{y2} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

(3)式を用いて(2)式に $[T]$ なる変換マトリックスを乗ずることで、相対変位 $\{\Delta u\}$ で表わした次の方程式を得る。

$$\{\Delta u\} = [F'] \{\sigma^*\} \quad (4) \quad [F'] = [T][F]$$

いま(4)式では、未知数は $\sigma_{x0}/E, \sigma_{y0}/E, \tau_{xy0}/E$ の3つに対して、方程式は相対変位の数だけあり、一般に方程式の方が多くなる。そこで、最小自乗法を用いて次式のようなになる。

$$\{\sigma^*\} = ([F']^T [F'])^{-1} [F']^T \{\Delta u\} \quad (5)$$

また、吹付けコンクリートのある場合についても、コンクリートと地山の弾性係数の比 R なるパラメータを用いて、簡単な繰り返し計算により容易に $\{\sigma^*\}$ を求めることができる¹⁾。このように、変位を用いて、初期地圧・弾性係数を求めようとする方法は、通常の解析の逆を行なうもので、逆解析と呼ばれている。以上のようにして、地山の初期地圧と弾性係数の比がわかれば、通常のF.E.M.計算によって、地盤内部の変位及びひずみ分布を求めることができる。

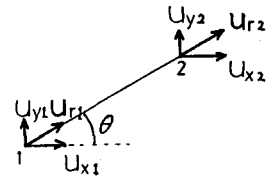


図-1 相対変位への変換

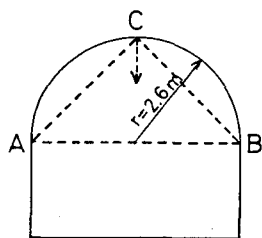


図-2 計測位置

表-1 計測変位

計測位置	変位 (cm)
G~A	0.402
C~B	0.686
A~B	0.804
天端沈下	1.960

(縮みを正)

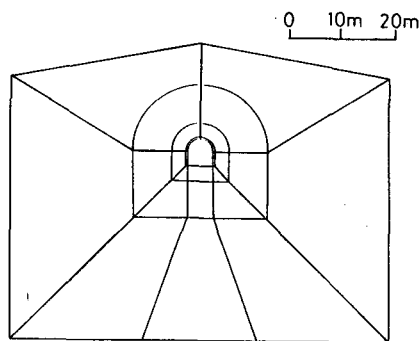


図-2 解析モデル

[3] 解析例及び考察

上で述べた手法を用いて、Sトンネルでの相対変位計測結果を使って、解析を行なった。計測位置及び計測結果を、図-2、表-1に示す。用いた解析モデルは、図-3に示すとおりで、4角形8節点アイソパラメトリック要素を使った。また、吹付けコンクリートの弾性係数は50000kg/cm²、ポアソン比は0.2とし、厚さは10cmである。吹付けコンクリートと地山の弾性係数の比Rの初期値としてR=30とした。

表-2 逆解析結果

σ_x	2.00
σ_y	4.69
τ_{xy}	0.30
E	330

(圧縮を正)

単位: kg/cm²

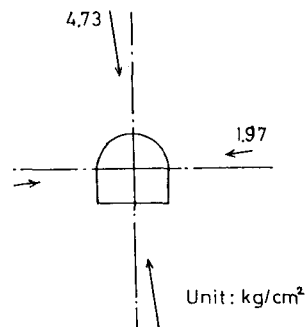


図-3 主軸方向

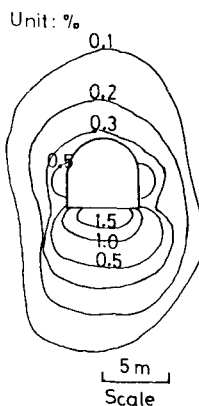


図-5 軸差ひずみ分布

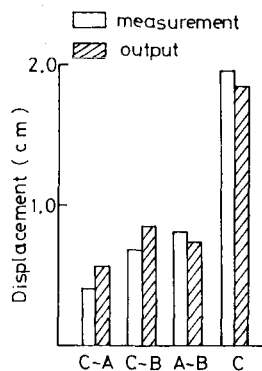


図-4 変位の比較

逆解析の結果より、 σ_y を土かぶり圧として、初期地圧・弾性係数を求めると、表-2のようになる。なお、土かぶり深さは20.4m、土の単位体積重量は2.38/cm³とした。そのときの主軸方向を図-4に図す。主軸は、6°傾いている。次に、求めた初期地圧・弾性係数を使って、通常のF.E.M.で計算された変位を計測結果と比較して図-5に示す。図-5をみると、誤差はC-A間の40%を最高に10%~40%の範囲におさまっており、よく一致していると言える。これらの結果を用いて軸差ひずみ分布を求めると図-6のようになる。

[4] むすびに

ここで述べたように、内空変位を用いて、地中のひずみ分布を求めることができ、それを許容ひずみと比較することで、トンネルの安全性の評価が可能である。

<参考文献>

- 1) 桜井春輔, 武内邦文: トンネル掘削時における変位計測結果の逆解析(投稿中)