

III-252 トンネルA計測による地山初期応力の推定

近畿大学理工学部 正会員 久武勝保
株式会社浅沼組 正会員 土岐晃生
株式会社浅沼組 正会員 ○村上譲二

1. はじめに

トンネル等の地下構造物の建設において、荷重条件である地山の初期応力を、施工以前に精度良く推定するのは容易でない。このため最近では、現場計測結果をもとに初期応力の推定をおこない、安全かつ合理的に施工管理する方法が開発されている。しかし、この様な手法が有効に機能するためには、現場計測結果を迅速に評価し、これが設計、施工への確にフィードバックされる必要がある。

本研究では、三次元有限要素法による順解析をあらかじめ3回おこない、これより得られる結果と、トンネル内でおこなわれるA計測実測結果とを組み合わせ、地山の最大主応力、最小主応力及びそれらの方向を現場でただちに推定する手法を示す。また本手法を用いて、掘削過程を考慮した数値シミュレーションをおこない、本手法の妥当性について検討したので、その結果を報告する。

2. 解析手法の概略

本手法はトンネル掘削位置付近の幾何学条件を考慮し、三次元弾性解析をおこなうことにより、地山の初期応力を求める手法である。地山の鉛直応力 σ_v が土被り圧 γh （ γ ：地山の単位体積重量 h ：トンネル深さ）に一致するとすれば、 $\sigma_h = K_h \cdot \sigma_v$ $\sigma_{vh} = K_{vh} \cdot \sigma_v$ (1)と表すことができる。ここに σ_h 、 σ_{vh} はそれぞれ水平応力、せん断応力であり、 K_h 、 K_{vh} は共に未知係数である。トンネル内では、通常A計測がおこなわれるので、図-1のA計測値（測線a,b,c）から直接 K_h 、 K_{vh} を求めることができれば、式(1)より σ_v 、 σ_{vh} を求めることができる。

そこで以下では、 K_h 、 K_{vh} を求める手法について述べる。

地山の初期応力が図-2のように作用していると仮定し、切羽掘削に起因する実測A計測ひずみを

$A = \Delta a / a$ 、 $B = \Delta b / b$ 、 $C = \Delta c / c$ とする。これら実測値は、 σ_v 、 σ_h 、 σ_{vh} がそれぞれ単独に、

単位初期応力だけ作用している地山において、切羽掘削に

と方向によって生じるA計測解析ひずみを重ね合わせることに、以下のように近似的に表現できる。

$$\frac{B}{A} = \frac{b_v + K_h \cdot b_h + K_{vh} \cdot b_{vh}}{a_v + K_h \cdot a_h + K_{vh} \cdot a_{vh}} \quad \frac{B}{C} = \frac{b_v + K_h \cdot b_h + K_{vh} \cdot b_{vh}}{c_v + K_h \cdot c_h + K_{vh} \cdot c_{vh}} \quad (2)$$

ここで $a_v, b_v, c_v, a_h, b_h, c_h, a_{vh}, b_{vh}, c_{vh}$ は $\sigma_v, \sigma_h, \sigma_{vh}$ がそれぞれ単独に、単位初期応力だけ作用している地山において、切羽掘削に起因して生じるA測線の解析ひずみである。

式(2)を K_h 、 K_{vh} について解き、式(1)に適用すると、地山の初期応力が推定できる。

以上により求められた初期応力の値から、地山の σ_1, σ_3 及び θ は式(3)により容易にもとめられる。

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_v + \sigma_h}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_v - \sigma_h)^2 + 4\sigma_{vh}^2} \quad \theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2\sigma_{vh}}{\sigma_v - \sigma_h} \right)$$

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_v + \sigma_h}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_v - \sigma_h)^2 + 4\sigma_{vh}^2} \quad (3)$$

3. 提案法の妥当性の検証

提案法の妥当性を検証するために、地山を弾性体と仮定し、数値シミュレーションをおこなう。

まず、表-1の条件の下で、地山の弾性係数を大きめに仮定して($E=500000.0 \text{ tf/m}^2$)順解析をおこない $\sigma_v, \sigma_h, \sigma_{vh}$ がそれぞれ単独に単位初期応力だけ作用している地山の、A計測ひずみを求める。これを影響係数とする。次に同じく表-1の解析条件で表-2に示す初期応力が作用している地山のA計測ひずみを求め、これを現場で計測された実測A計測ひずみ(A、B、C)とする。この値と影響係数から地山の最大、最小主応力(σ_1, σ_3)及びその方向(θ)を求める。そしてこの逆解析された($\sigma_1, \sigma_3, \theta$)と真の値を比較検討する。また切羽掘削と覆工の建設という施工手順を考慮した場合と考慮しない場合についても精度の検討をおこなう。

4. 結果及び考察

表-3に $\sigma_1, \sigma_3, \theta$ の真の値と、1回掘削の影響係数と3回掘削の実測A計測ひずみとで逆解

析したもの(1-3)と、3回掘削の影響係数と3回掘削の実測A計測ひずみとで逆解析したもの(3-3)を表す

表-3 真値と逆解析結果の比較

	真の値	(1-3)	(3-3)
最大主応力 $\sigma_1 \text{ tf/m}^2$	228.078	219.579	228.890
最小主応力 $\sigma_3 \text{ tf/m}^2$	21.923	40.117	35.490
θ	52.018°	54.714°	54.722°

解析で仮定したEは実際の E_r の10倍と異なっているが、表-3の結果から求められた最大、最小主応力、及び θ は真の値と比較して、精度良く求められている。また逆解析で組み合わせる影響係数は、切羽進行を考慮して求める必要があるが、表-3の結果から、切羽進行を考慮しない値を用いても工学的に十分な精度が得られることがわかる。

5. 結論

本研究により、下記に示す成果が得られた。

1) 三次元順解析を3回おこなって求めたトンネルA計測解析ひずみと、現場A計測実測ひずみからトンネル横断面内の二主応力及びそれらの方向を逆解析する手法が提案され、工学上十分な精度で結果が得られることが示された。

2) 影響係数を求めるに当たり、地山弾性係数Eをあらかじめ仮定する必要があるが、しかし実際のE値よりも大なる値を仮定しておけばよい。

3) 本逆解析において、施工手順を考慮せずに求めた影響係数を用いても十分満足な解が得られることが検証された。

以上により、実際のトンネルについて、三次元解析によりA計測ひずみをあらかじめ求めておけば、実測A計測ひずみから、現場で直ちに、地山の応力状態を求めることができ、トンネルの施工管理に大いに役立つものと思われる。

表-1 解析条件

地山の弾性係数	$E_r = 50000.0 \text{ tf/m}^2$
地山のポアソン比	$\nu_r = 0.3$
覆工の弾性係数	$E_i = 800000.0 \text{ tf/m}^2$
覆工のポアソン比	$\nu_i = 0.15$
吹き付け厚	0.2m
トンネル高さ	5.6m
トンネル幅	5.6m
一間掘削長	1.5m

表-2 地山初期応力

地山の初期鉛直応力	$\sigma_v = 100 \text{ tf/m}^2$
地山の初期水平応力	$\sigma_h = 150 \text{ tf/m}^2$
地山の初期せん断応力	$\sigma_{vh} = 100 \text{ tf/m}^2$