近畿大学	正会員	久武服	券保
(株)地崎工業	正会員	渋谷	卓
近畿大学大学院	学生会員	塹江	譲

吹付けコンクリート

トンネル縦断面図

掘削要す

図1

空洞

### 1. 緒論

本研究は地下空洞建設時における内空変位測定結果から、地山の3次元初期応力と力学定数を逆解析する手法 を提案するものである。ただし、ここでは特殊な逆解析手法は展開されておらず、3次元順解析のみが行われている。 すなわち、通常の3次元順解析を行うプログラムを用い、一間掘削によって発生する測線ひずみを求め、これと実 測ひずみとの差にニュートン・ラフソン法を適用して、上記の応力と定数が求められる。したがって、実務適用上極 めて簡単に逆解析が遂行できる点が本手法の特徴といえる。以下では、トンネルへの適用について説明する。

### 2.本解析の手法

本解析では図1の様にトンネルの建設過程を考慮し、切羽の一間掘削 に起因して発生する図2に示す測線ひずみ $\mathcal{E}_i$ (i=1~6)を用いる。ただし、 トンネル軸方向の初期応力が存在するので、測線ひずみは3次元座標の 関数となる。解析から得られる測線ひずみ $\mathcal{E}_i$ はある弾性係数Eのもとで、 次式のように表現できる、

 $\varepsilon_{k} = \Delta l_{k}/l_{k} = \sigma_{11} \varepsilon_{k}^{11} + \sigma_{12} \varepsilon_{k}^{12} + \sigma_{13} \varepsilon_{k}^{13} + \sigma_{22} \varepsilon_{k}^{22} + \sigma_{23} \varepsilon_{k}^{23} + \sigma_{33} \varepsilon_{k}^{33} \quad (1)$ ここに、 $l_{i}$  は測線 i の長さ、 $\Delta l_{i}$  は $l_{i}$  の変化量、 $\sigma_{ij}$  は地山の初期応力を表 す。また、 $\varepsilon_{k}^{ij}$  は単位の初期応力成分 $\sigma_{ij} = 1.0$ のみが地山に作用している 場合において、掘削に起因して発生する測線 k のひずみである。ところで、

著者の研究<sup>1),2)</sup>によれば、たとえ地山の弾性係数の仮定値が実際と異なっていても、測線のひずみ比の値はそれ程大きく変動しないことが分かっている。そこで、測線ひずみの比を5個とることにより以下のような式が導かれる。



カである。式(2)を解くことにより初期応力が求められるが、しかし地山の E の仮定値が実際と異なれば推定応力の精度が悪くなるので、以下ではニュートン・ラフソン法により繰り返し計算により E と初期応力を求めることとする。 図3

ニュートン・ラフソン法においては、

:まず地山の弾性係数を E = E<sub>1</sub> と仮定し、その時に発生する測線 k のひずみ E<sub>6</sub>(E<sub>1</sub>)を算出する。ここに、真の値 キーワード: 3 次元逆解析、初期応力、弾性係数、ニュートン・ラフソン法 連絡先:〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1 近畿大学理工学部土木工学科 Tel:06-6730-5880ext4673

-144-

 $f(E) = _{6 \times - - 6} (E)$ 



 $\varepsilon_k^*$ とのひずみ差  $f(E_1)$  は以下となる。  $f(E_1)$ 

 $f(E_1) = \varepsilon_6^* - \varepsilon_6(E_1) \cdot \cdot \cdot (3)$ 

:新たな弾性係数を式 $E_2 = E_1/F_1$ によって算定し、解析をする。ただし、 $F_1 = \varepsilon_k^* / \varepsilon_k(E_1)$ 。

:3回目の解析に関しては、図3の様に曲線の傾きを直線として近似する事により弾性係数 E<sub>3</sub>が導かれる。

 $E_{3} = E_{2} - \frac{f(E_{2})}{(f(E_{2}) - f(E_{1}))/E_{2} - E_{1}} = E_{2} - \frac{\varepsilon_{6}^{*} - \varepsilon_{6}(E_{2})}{\varepsilon_{6}(E_{1}) - \varepsilon_{6}(E_{2})} \times (E_{2} - E_{1}) \cdot \cdot \cdot (4) \quad \exists \exists \exists \xi \in \mathcal{F}_{6} - \varepsilon_{6}(E_{2}) = \varepsilon_{6}^{*} - \varepsilon_{6}(E_{2}) = \varepsilon_{6}^{*}$ 

:式(4)を3回目以降の解析に対しても適用すれば、

$$E_{i+1} = E_i - \frac{\varepsilon_6^* - \varepsilon_6(E_i)}{\varepsilon_6(E_{i-1}) - \varepsilon_6(E_i)} \times (E_i - E_{i-1}) \cdot \cdot \cdot (5)$$
  

$$\Box \Box \Box \Box, \quad f(E_i) = \varepsilon_6^* - \varepsilon_6(E_i)$$

### 3.解析結果と考察

解析条件を表1に示す。初期に仮定した地山の弾性係数は真の それの 1/10 として、逐次計算を行った。図4 は弾性係数と繰返 し回数の関係であり、繰返しと共に真の弾性係数が推定される のが確認できる。図5 は初期水平応力 11 と繰返し回数との関係 である。初期弾性係数の仮定値が真の値とかけ離れていたので、 1回目で求められる初期応力は真の値から相当異なったが、2 回目で大幅に改善され、以降繰返し計算を行うにつれて徐々に 精度が改善された。他の初期応力も同様な傾向が確認できた。

本解析では地山のポアソン比の値も仮定する必要がある。そ こで、ポアソン比の値を =0.1 から 0.1 ずつ増やし、0.4 まで仮 定して逆解析を行い、測線ひずみの実測結果と解析結果の誤差 の2乗和 ( i - i\*)<sup>2</sup>を調べると図6が得られた。これより、誤 差の2乗和を最小にするポアソン比として地山のポアソン比 を推定できることが確認できた。当然の事ながら、この場合に おける弾性係数の推定値が最も真の値に近い値となった。

# 4.結論

本解析では3次元順解析の結果にニュートン・ラフソン法 を適用することにより、地山の力学定数と初期応力を十分な 精度で推定する繰り返し3次元逆解析法を提案し、数値解析 を通してその妥当性を示した。

# 参考文献

- Hisatake, M.: Direct estimation of initial stresses of the ground around a tunnel, Proc. 7<sup>th</sup> Int. Conf. on Numerical Models in Geomech., pp.373-377, 1999.
- Hisatake, M.: Reasonable tunnel execution based on a field measurement analysis, Proc. 26<sup>th</sup> ITA World Tunnel Congress, 2000.
- 3) 久武勝保:トンネルにおける3次元逆解析法の開発、土木学会論文集、第376号/-6、pp.259-265,1986.
- 4) Hisatake, M. and Ito, T.: Back analysis for tunnels by optimization method, Proc. 5<sup>th</sup> Int. Conf. on Numerical Methods in Geomech., Vol.2, pp.1301-1307, 1985.

表1 解析条件		
真の地山弾性係数	E=500Mpa	
単位応力時の初期弾性係数	E*=50Mpa	
真の地山のポアソン比	$\nu = 0.30$	
吹付け厚	0.2m	
吹付コンクリートの弾性係数	Es=8,000Mpa	
吹付けコンクリートのポアソン比	νs=0.20	
トンネル高さ	3.6m	
トンネル幅	6.6m	
地山の初期水平応力	$\sigma_{11}$ =1.0Mpa	
地山の初期鉛直応力	$\sigma_{22}=2.0$ Mpa	
地山の初期奥行き応力	$\sigma_{_{33}} = 1.0 M pa$	
地山の初期せん断応力	$\sigma_{12} = \sigma_{13} = \sigma_{23} = 0.5$ Mpa	



図6 誤差の2乗和とポアソン比との関係