近畿大学 正会員 久武勝保

近畿大学大学院 学生会員〇崎紘一郎

1. 緒論

トンネルの掘削方法は、地盤の状況,断面形状,工 期,費用等を考慮し、シールド工法や NATM 工法な どの中から選択される。しかしどの工法においても、 トンネル掘削によって地盤は変位し、場合によって は限界ひずみを超過するひずみが発生する場合もあ る。当然のことながら,トンネルを安定に保つと共に トンネル周辺地盤の構造物に有害な影響を与えては ならない。

本研究は、トンネル掘削時におけるトンネル近辺の 数少ない計測変位から、トンネル建設の影響を受け る広範囲の地盤の変位と最大せん断ひずみを逆解析 により一度に求める手法を提案し、その精度を検討す る事を目的とする。手法の基本は著者の一人がすで に開発した、覆工安定性評価手法<sup>1),2)</sup>と同様の手法で ある.従来の地盤の逆解析では、鉛直、水平、せん断の 3 応力と地盤の力学定数が求められるが、トンネルが 浅いところに建設される場合や地層が複雑な場合に は、このような3応力によってトンネル周辺地盤の 挙動を表現する事は困難である。そこで、本手法で はこのような条件は設けず、一般的な状況を想定して 掘削解放力や変位、ひずみ、応力が求められる。

2. 逆解析手法の FEM 定式化(外力自乗和最小化法)

本逆解析法では、建設現場で日常的に行われる A 計測の変位,あるいはトンネル抗外の地盤任意点に おける計測変位が利用される。

今,*u*,*f*,KをFEMの節点変位,節点力,剛性マトリ ックスとして地山の剛性方程式を以下のように表す。

	$f^*$		$\int K_{11}$	$K_{12}$	$K_{13}\left[u^*\right]$	
<	$f_i$	> =	<i>K</i> <sub>21</sub>	$K_{22}$	$K_{23} \left  \left\{ u_i \right\} \cdots $	1)
	$f_0$		$K_{31}$	$K_{32}$	$K_{33} \rfloor \lfloor u_0 \rfloor$	

ここに,添え字\*,*i*,0は以下の通りである,

\* :変位が計測される節点、(u\*=既知, f\*=0),

*i*:外力の作用しない節点(ただし上記節点を含まない)(*u<sub>i</sub>*=未知, *f<sub>i</sub>*=0),

 $H_{13} = [K_{13} - K_{12}K_{22}^{-1}K_{23}], F_1 * = [K_{11} - K_{12}K_{22}^{-1}K_{21}]u *$ 

H<sub>33</sub>=[K<sub>33</sub>-K<sub>32</sub>K<sub>22</sub><sup>-1</sup>K<sub>23</sub>],F<sub>3</sub>\*=[K<sub>31</sub>-K<sub>32</sub>K<sub>21</sub><sup>-1</sup>K<sub>21</sub>]u\* 式(2)を満足させる u<sub>0</sub>の組合せの内,外力の自乗和が 最小になる組み合わせを求めるには,変数 u<sub>0</sub>, λ (未定 係数)に関する次式の F<sup>2</sup>を最小にすればよい。

 $F^{2} = f_{0}^{T} f_{0} - \lambda^{T} \{H_{13}u_{0} + F_{1}^{*}\} \cdots \cdots \cdots (4)$ すなわち,式(3)の  $f_{0}$ を上式に代入した後,これを $u_{0}$ ,  $\lambda$ でそれぞれ偏微分して 0 と置いて次式を得る

 $u_0 = -A_{33}^{-1} b_3 + A_{33}^{-1} H_{13}^T [H_{13} A_{33}^{-1} H_{13}^T]^{-1}$ 

 $\{H_{13}A_{33}^{-1}b_3 - F_1^*\} \cdots (5)$  $\lambda = 2[H_{13}A_{33}^{-1}H_{13}^T]^{-1}\{H_{13}A_{33}^{-1}b_3 - F_1^*\} \cdots \cdots \cdots (6)$  $z = C, A_{33} = H_{33}^TH_{33}, \quad b_3 = H_{33}^TF_3^*$ 

式(5)を式(3)に代入することにより地山に作用する 節点外力が求められる。また,式(1)の第2式を変形し て得られる式に式(5)を代入して*u<sup>i</sup>*が得られる。以上 より,全ての変位が既知となったので,ひずみ-変位 関係式,応力-ひずみ関係式から,地山のひずみ,応力 が算出される。

## 4. 解析結果と考察

解析条件を表・1 に示す。解析手法の妥当性を検証 するために図・1 に示すトンネルを順解析により予め 解析しておく.次に、トンネルのクラウン、両側壁、 下盤の4点の変位を入力して逆解析を行い、地盤

キーワード:順解析,逆解析,FEM,最大せん断ひずみ,計測変位

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 TEL06-6730-5880ext4673

の沈下と最大せん断ひずみを求め,これと順解析の 値と比較・考察する。

トンネル半径(m)	7.5
地表面からトンネルまでの深さ(m)	20
領域幅(m)	80
領域深さ(m)	65
弹性係数(tf/m²)	$1.00 * 10^4$
ポアソン比	0.3





図-2 は解析モデルの地表面での順解析と逆解析の 沈下について比較して示したものである。全体的に 順解析と逆解析の結果はよく対応しているといえ る。

図・3 は解析モデルの地表面から 3 層目の順解析と 逆解析の最大せん断ひずみについて比較して示した ものである。また、図・4 はトンネル側壁の両測点を通 る水平面上の要素の最大せん断ひずみについて同様 の比較を行なったものである。両図から,精度の高い 逆解析結果が得られているのが確認できる。

## 5. 結論

少ない計測変位を用いて地山全体を逆解析するこ とにより、変位および最大せん断ひずみを精度よく 推定できることが確認できた。



参考文献

1)久武 勝保・村上 敏夫:トンネルの A 計測変位を
用いた覆工応力推定法:土木学会論文集,NO.457/Ⅲ
-21,pp79~86,1992.12

2) 久武 勝保・村上 譲二・土岐 晃生・村上 敏夫:ト ンネル覆工の簡易安定性評価法とその現場適用:土木 学会論文集,NO.505/III-29,pp249~256,1994.12

-143-