

トンネル周辺の塑性領域の推定法

神戸大学工学部 正 桜井春輔 正 清水則一 学○松室圭介

1. まえがき

トンネル掘削によって生じる塑性領域を事前に推定することは、適切な解析モデルを設定し材料定数など入力すべきデータを与えれば理論的には可能である。しかし、トンネル掘削地点における材料定数の見積りを事前に行うことは困難であるため事前解析によって推定する塑性領域の信頼性は低いものとなる。したがって、工事に行う現場計測結果に基づいて塑性領域の推定を行い、この結果より事前解析のチェック、さらに施工へ反映させることが望ましい。本研究はトンネル掘削時に計測される変位に基づく塑性領域の推定法を考案するものである。なお、地山はモール・クーロンの降伏基準に従う等方等質の完全弾塑性体とみなし、平面ひずみ問題として解析する。

2. 塑性領域の推定法

本研究で提案する推定法の概要は以下のとおりである¹⁾。

(1) 計測される変位（掘削によって生じる全変位）より直接逆解析法（DBAP）²⁾を用いて初期応力パラメータ（初期応力を地山のヤング係数で除した量）を求める。

(2) 初期応力の鉛直成分を土被り圧に等しいと仮定し、初期応力パラメータよりヤング係数 E^* および初期応力の最大主応力 $\bar{\sigma}_1^0$ を求める。なお、DBAP は地山を弾性体とみなした解析法であるため、ここで得た E^* および $\bar{\sigma}_1^0$ は塑性変形も含めて求めたトンネル周辺地山の平均的な値である。

(3) 地山のヤング係数 E は E^* から次の式によって求める。

$$E = \frac{E^* \sin \phi}{\left[\left(\frac{2p_0}{\varepsilon_0 E} - 1 \right) \sin \phi + 1 \right] - \frac{1 - \sin \phi}{\sin \phi} - \frac{\varepsilon_0 E^* (1 - \sin \phi)}{2p_0}} \quad (1)$$

ただし、 $p_0 = \bar{\sigma}_1^0$ 、 ϕ および ε_0 はそれぞれ地山の内部摩擦角および限界ひずみ³⁾でありインプットデータとして与える。

(4) 限界せん断ひずみ γ_c を次の式を用いて求める。

$$\gamma_c = 2(1+\nu) \frac{p_0}{E} \sin \phi + (1+\nu)(1 - \sin \phi) \varepsilon_0 \quad (2)$$

ただし、 ν はポアソン比であり DBAP 実行の際に仮定した値を用いる。

(5) DBAPによる逆解析の結果より最大せん断ひずみ $\gamma_{\max}$ を求め、最大せん断ひずみの等高線の中から $\gamma_{\max} = \gamma_c$ の線を求めるとそれが弾塑性境界となる。したがって、その内部を塑性領域とみなす。ただし、

$$\gamma_{\max} = \{(\bar{\epsilon}_1^0 - \bar{\epsilon}_3^0)^2 + (\Delta\epsilon_1 - \Delta\epsilon_3)^2 + 2(\bar{\epsilon}_1^0 - \bar{\epsilon}_3^0)(\Delta\epsilon_1 - \Delta\epsilon_3)\cos 2\theta\}^{1/2} \quad (3)$$

である。 $\Delta\epsilon_1$ および $\Delta\epsilon_3$ はそれぞれ掘削によって生じる最大および最小主ひずみ、また、 $\bar{\epsilon}_1^0$ および $\bar{\epsilon}_3^0$ はそれぞれ DBAP より求めた初期応力に対応する初期ひずみの最大および最小主ひずみである。なお、 θ は主ひずみ $\Delta\epsilon_1$ と $\bar{\epsilon}_1^0$ の軸のなす角である。

(6) さらに、次の式を用いれば地山のせん断強度を求めることができる。

$$C = \frac{1 - \sin\phi}{2\cos\phi} \epsilon_0 E \quad (4)$$

3. 数値計算例

次に示す手順で計算機によるシミュレーションを行う。

(a) 図-1 に示すような初期応力状態にある馬蹄形トンネルの掘削問題を弾塑性 FEM によって解析し、その変位解を"計測変位"とする。ただし、 $E = 10000 \text{ kg/cm}^2$, $\nu = 0.3$, $c = 5 \text{ kg/cm}^2$, $\phi = 30^\circ$ ($\epsilon_0 = 0.17\%$) とする。

(b) 内空変位と地中変位が計測されたとして(図-1 参照)、2. に示した方法により塑性領域を推定し、(a) で求められている塑性領域と比較する。なお、 ν , ϕ , ϵ_0 には正解を与える。

シミュレーションの結果を図-2 および表-1 に示す。これより本推定法により塑性領域を精度良く推定できることが明らかである。

4. むすび

現場計測結果に基づくトンネル周辺の塑性領域の推定法を提案し、数値シミュレーションによってその妥当性を示した。

【参考文献】1) 桜井, 清水, 松室, 第6回岩の力学シンポジウム, pp.263, 1984 ・2) 桜井, 武内, 土学論, No.337, pp.137, 1983 ・3) 桜井, 土学論, No.317, pp.93, 1982

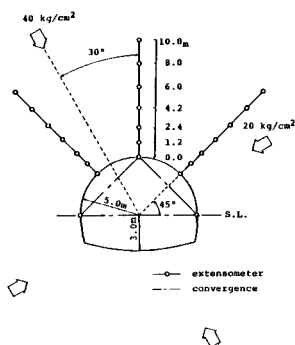


図-1 馬蹄形トンネルと計測パターン

表-1 計算結果

normalized initial stress		E^*	
$\bar{\sigma}_x^0/E^*$	0.592E-02	$\bar{\sigma}_1^0$	6240 kg/cm ²
$\bar{\sigma}_y^0/E^*$	0.561E-02	E	10400 kg/cm ²
$\bar{\tau}_{xy}^0/E^*$	-0.966E-03	c	5.20 kg/cm ²
		γ_c	0.61 %

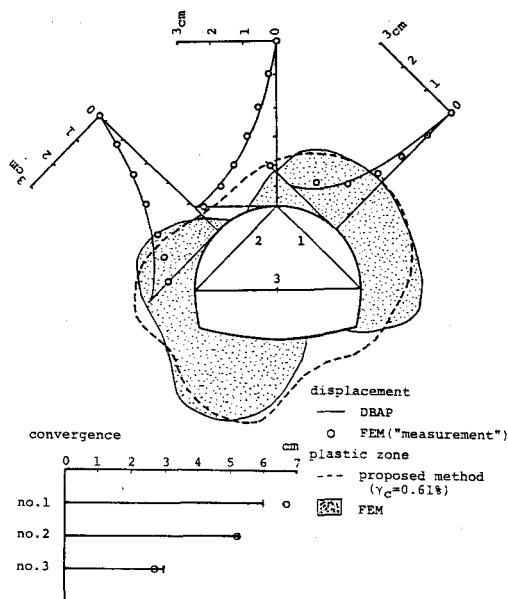


図-2 本法によって推定した塑性領域