

徳島大学工学部 正員 小田 英一
 同上 正員 〇 堀田 政國
 徳島大学大学院 学員 笠井 敬正

1. まえがき

新しいトンネル工法として注目をあびている NATM においては、トンネル施工中の地山の応力と変位の測定が重要な位置を占めている。それら測定値を検討し、新しい設計条件を決定してゆくためにはトンネル周辺に生ずる塑性域内の応力-変形挙動についての研究が必要である。著者らは軟弱な地山中の素掘円形トンネル周辺に塑性域が発生した場合の応力分布およびスベリ線形状の研究を行ってきたが、さらにダイレクシー角の概念を導入することにより塑性域内の変形解析手法を提案している。

今回の研究においては、軟弱地山材料のダイレクシー角について検討するとともに、トンネル模型実験結果と本解析により得られた変位とを比較検討している。

2. 塑性域に与けた変位の基礎方程式(極座標表示)

ダイレクシー角の概念を導入することにより極座標 (r, θ) に与けた変位に関する連立偏微分方程式は、次のように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{\cot 2\eta}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} - \cot 2\eta \frac{\partial w}{\partial r} - \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} + \frac{w}{r} \cot 2\eta - \frac{u}{r} &= 0 \\ \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{\sin \omega \cdot \operatorname{cosec} 2\eta}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \sin \omega \cdot \operatorname{cosec} 2\eta \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} + \frac{u}{r} - \frac{w}{r} \sin \omega \cdot \operatorname{cosec} 2\eta &= 0 \end{aligned} \right\} (1)$$

ここに、 u : 半径方向変位増分、 w : 接線方向変位増分である。また、 η は図-1(a)に示すように最大主ひずみ増分 $\dot{\epsilon}_1$ の方向から反時計まわりに測った微小要素の半径方向までの角度である。また、 ω はダイレクシー角であり、平面ひずみ状態では、

$$\omega = -\sin^{-1} \frac{\dot{\epsilon}_1 + \dot{\epsilon}_2}{\dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_2} \quad (2)$$

として定義される。ここに、 $\dot{\epsilon}_1, \dot{\epsilon}_2$ はそれぞれ最大および最小主ひずみ増分であり、ともに圧縮を正としている。このダイレクシー角 ω は図-1(b)で示すようにモールのひずみ増分円により簡単に表し得る。

(1) 式を特異帯理論にもとづき差分解を求めると、塑性域内の変位 u, w を決定することができた。

3. 素掘円形トンネル周辺塑性域の変形解析

今回図-2に示す素掘円形トンネルモデルに対し変形解析を行い、実験値との比較検討を行った。

まず、土質定数を求めるために地山に相当する圧縮された粘土試料の排水三軸圧縮試験を行った。この粘土試料は先行圧密荷重が $1.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ で圧縮されたものである。図-3にはこの場合の応力-ひずみ曲線および体積ひずみ曲線を示している。

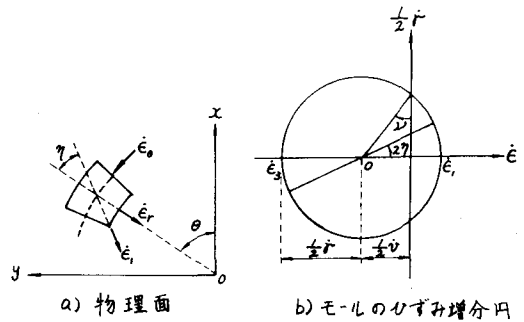


図-1.

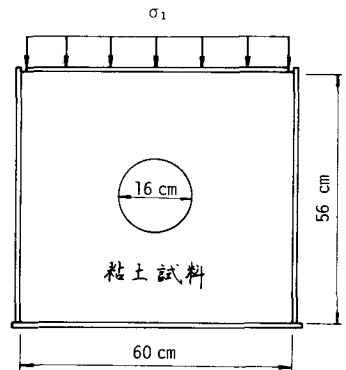


図-2 トンネルモデル

これより求めたモールの応力円は図-4となり、この試料の粘着力 $C_d = 0.0 \text{ kg/cm}^2$ 、内部摩擦角 $\phi_d = 32^\circ$ を得た。また、ダイレクシ-角 ψ' は

$$\psi' = -\sin^{-1} \frac{\dot{\epsilon}_v}{\dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_3} \quad \text{----- (3)}$$

として求めた。ここで、 $\dot{\epsilon}_v$ は体積ひずみ増分である。この三軸状態のダイレクシ-角を破壊時の間げき比に対してプロットしたのが図-5の○印である。同図において△印は三軸状態の ψ を平面ひずみ状態のダイレクシ-角 ψ に次式により補正したものである。

$$\psi = -\sin^{-1} \frac{3 \cdot \sin \psi'}{\sin \psi' - 2} \quad \text{----- (4)}$$

今回の解析にはこの ψ の平均値として $\psi = -6.7^\circ$ を用いた。

以上の結果をもとに、(1)式にもとづいて図-2に示したトンネルモデルの変形解析を行った。その結果の変位分布を図-6(a)に示している。また、図-6(b)には模型実験より実測された変位を剛体変位補正したものをあげている。変位量は解析値のほうが少し小さくであり、円孔上下部で実測値の0.9倍、側壁部で0.7倍程度となっているが、両者の変形形状はよく一致している。

4. あとがき

本研究はダイレクシ-角を導入した塑性域内の変位解析法をトンネルモデルに適用し、その妥当性を示したものである。しかし、地盤材料の変形定数としてのダイレクシ-角については、まだ資料不足であり、今後の研究課題として残すものである。

参考文献

- 1) 小田, 堀田, 笠井 "軟弱地山中の素掘円形トンネル周辺に生ずる塑性域内の変位について," 第15回土質工学研究発表概要集, 1980.
- 2) Atkinson, J.H. and D.M.Potts "Calculation of stress and deformations around shallow circular tunnels in soft ground by the method of associated fields," Thomas Telford Ltd., pp.61-84, 1978.

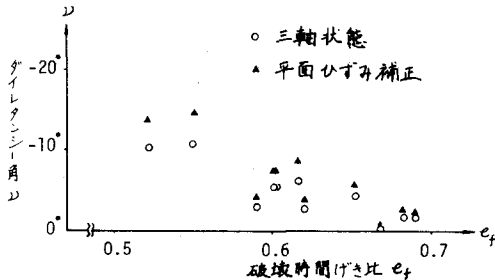


図-5 $\psi - e_f$ 関係図

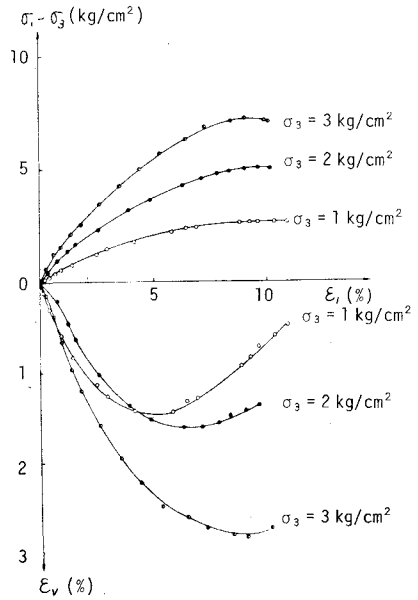


図-3 応力-ひずみ曲線

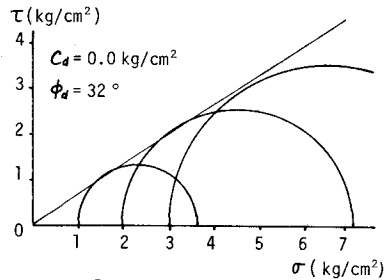
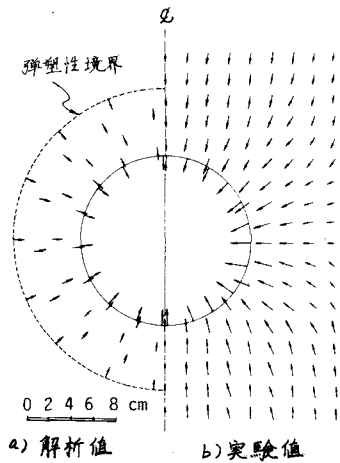


図-4 モールの応力円



a) 解析値 b) 実験値

図-6 変位分布図