

# 地山のソフトニングを考慮したスクィーズイングロックにおけるトンネルの変形挙動の 予測法について

東海大学

同上

同上

正会員

○ 野沢 尚

古賀 耕人

アイダン・オメル

## 1. まえがき

日本の約3分1は軟岩で構成され、このような地山で掘削されるトンネルの大変形した例は数多く報告されている。その変形挙動を予測するためにAydanらは予測法を提案している。しかし、その予測法では地山のソフトニング挙動（軟化挙動）が考慮されていない。本研究では、地山のソフトニング挙動を考慮したAydanらの方法を拡張した予測法を提案し、その妥当性を検証する。

## 2. 理論

### 2.1 構成則

スクィーズイングロックの応力-ひずみ曲線は、一般的に図-1のように表せる。軸対称問題において、図-1に示した応力・ひずみの関係は各領域に対して次のように与えられる。

弾性領域

$$\begin{Bmatrix} \sigma_3 \\ \sigma_1 \end{Bmatrix} = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{1+\nu} \\ \frac{\nu}{1+\nu} & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_3 \\ \varepsilon_1 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここに  $E$  は弾性係数、 $\nu$  はポアソン比である。

完全塑性領域

$$\sigma_1 = q_p \sigma_3 + \sigma_c^p, \quad \varepsilon_3 = -f_p \varepsilon_1, \quad q_p = \frac{1 + \sin \phi_p}{1 - \sin \phi_p} \quad (2)$$

ソフトニング（軟化）領域

$$\sigma_1 = q_s \sigma_3 + \sigma_c^s, \quad \varepsilon_3 = -f_s \varepsilon_1 \quad (3)$$

ここに

$$\sigma_c^s = \sigma_c^p - \frac{\sigma_c^p - \sigma_c^r}{\varepsilon_1^r - \varepsilon_1^s} \varepsilon_1, \quad q_s = q_p - \frac{q_p - q_r}{\varepsilon_1^r - \varepsilon_1^s} \varepsilon_1 \quad (4)$$

流動領域

$$\sigma_1 = q_r \sigma_3 + \sigma_c^r, \quad \varepsilon_3 = -f_r \varepsilon_1, \quad q_r = \frac{1 + \sin \phi_r}{1 - \sin \phi_r} \quad (5)$$

### 2.2 静水圧状態における円形トンネルへの適用

図-2に示したような静水圧状態における円形トンネルの応力場に対するつり合い方程式は次式で与えられる。

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (6)$$

$\sigma_r$  は半径応力、 $\sigma_\theta$  は接線応力、 $r$  はトンネル中心からの距離である。

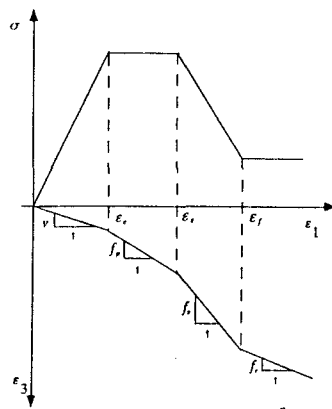


Fig. 1 Idealised behaviour of squeezing rocks

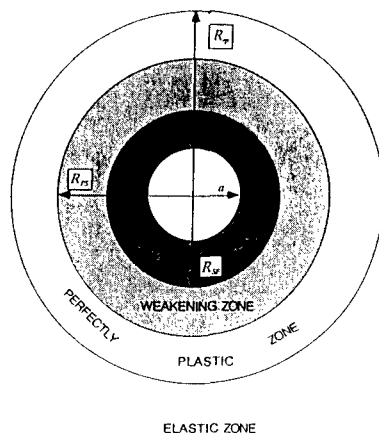


Fig. 2 Zones around a circular tunnel

また、ひずみ場に対する適合条件は次のように与えられる。

$$\frac{d\varepsilon_\theta}{dr} + \frac{\varepsilon_\theta - \varepsilon_r}{r} = 0, \quad \varepsilon_\theta = \frac{u}{r}, \quad \varepsilon_r = \frac{du}{dr} \quad (7)$$

周辺岩盤に図-2に示した様な四つの領域が発生したと仮定し、各領域で前節で与えられた構成則をつりあい方程式(6)に構成則を代入する。境界条件として  $r=a$  で  $\sigma_r = p_i$ 、 $r=\infty$  で  $\sigma_r = p_o$  と半径方向の変位と半径応力の連続性を利用して、各領域における応力・ひずみ・変位場に対する解が求められる。

### 3. 適用例と考察

今回の適用例を、Aydan らの提案している地山のソフトニング(軟化)挙動を考慮していない解との比較に限定する。行った解析を図-3および図-4に示す。利用した物性値は図-3に示された通りである。図-3は地山特性曲線を表している。両厳密解より得られる特性曲線がほぼ一致しているが軟化開始から軟化終了の間に多少の差が生じていると言える。図-4はトンネル周辺の応力場を示している。予測されるように、軟化を考慮している場合としていない場合の解析結果より接線応力に顕著な差異が見られる。しかし、半径応力にはそれほど差異は見られない。

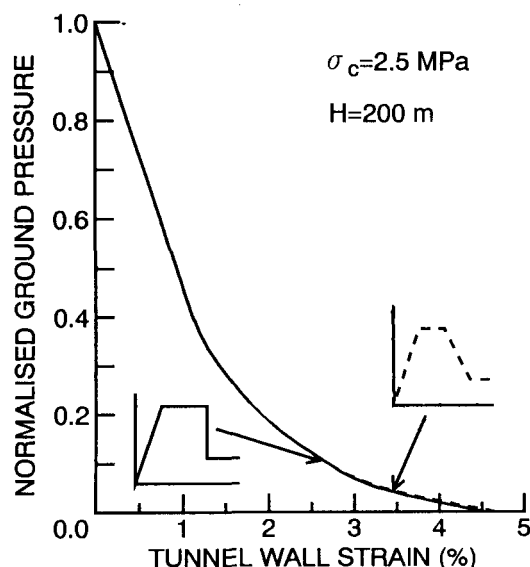


Fig. 3 Comparison of ground response curves

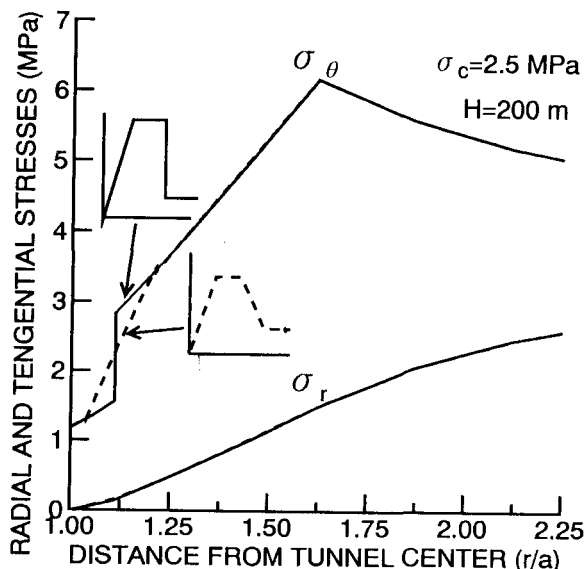


Fig. 4 Comparison of stress states

### 参考文献

- 1) Aydan, Ö: The stabilisation of rock engineering structures by rockbolts. PhD Thesis, Nagoya University, 1989.
- 2) Aydan, Ö., 赤木知之, 伊東孝, 川本眺万 (1992). スクィーズィング地山におけるトンネルの変形挙動とその予測方法について. 土木学会論文集, 448/III-19, 73-82.
- 4) Ö. Aydan, T. Akagi and T. Kawamoto (1993). Squeezing potential of rocks around tunnels; theory and prediction. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 26(2), 137-163.