

軟岩トンネルの非線形挙動に関する考察

近畿大学理工学部 久武 勝保
奥村組土木興業 南側 晃一
奥村組土木興業 ○笠屋 裕廉

1. 緒 論

地山強度比が小である軟岩中のトンネルは、たとえ地山材料が時間依存性を有しない場合でも、膨張性を呈しやすい。本研究は、軟岩トンネルの膨張特性を力学的に解明するために、以下の材料特性を考慮した非線形理論解¹⁾によりパラメトリックスタデーを行ない、考察を加えたものである。

- 1) 応力-ひずみ関係が非線形性を示す。
- 2) 応力-ひずみ曲線の初期接線係数は拘束圧と共に増大する。
- 3) 初期接線係数と強度の比は拘束圧の影響を受けない。
- 4) 降伏条件式が非線形性を示す。

2. 非線形理論解¹⁾

等方初期応力P下の二次元平面ひずみ円形トンネル周辺地盤の応力(σ)、半径方向変位(u)の理論解は、以下の通りである。

$$\sigma_r = P - \frac{\sqrt{(P m \sigma_o + s \sigma_o^2)}}{2 R_f} \cdot \ln \left\{ (\exp(\alpha) - 1) \left(\frac{r_i}{r} \right)^2 + 1 \right\} + \frac{m \cdot \sigma_o}{16 R_f^2} \left[\ln \left\{ (\exp(\alpha) - 1) \cdot (r_i/r)^2 + 1 \right\} \right]^2 \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \sigma_r + \frac{\sqrt{(m \sigma_o \sigma_r + s \sigma_o^2)}}{R_f} \cdot \frac{(\exp(\alpha) - 1) \cdot (r_i/r)^2}{1 + (\exp(\alpha) - 1) \cdot (r_i/r)^2} \quad (2)$$

$$u = \frac{\sqrt{6}}{4 R_f} \cdot \frac{\tau_{oct, f}}{G_i} \cdot (\exp(\alpha) - 1) \cdot r_i^2 / r \quad (3)$$

ここに、 $\alpha = 4 R_f \{ \sqrt{(P m \sigma_o + s \sigma_o^2)} - \sqrt{(p_i m \sigma_o + s \sigma_o^2)} \} / (m \sigma_o)$

ただし、地山の構成関係は図-1に示すKondnerの双曲線式が、また降伏条件は以下に示すHoekとBrownの提案式、

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{(m \sigma_o \sigma_3 + s \sigma_o^2)}$$

が用いられている。

ここに、 p_i はトンネル壁面に作用する内圧、 r_i はトンネル半径、 r, θ は、トンネルの半径方向、円周方向の座標を示す。 τ_{oct}, γ_{oct} はそれぞれ八面体平面上のせん断応力とせん断ひずみ、 $G_i, \tau_{oct, f}$ は任意の拘束下における初期接

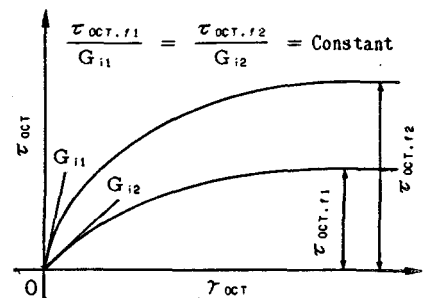


図-1 非線形応力-ひずみ関係

Masayasu HISATAKE, Koichi MINAMIGAWA, Hiroyuki KASAYA

線せん断弾性係数と測定される最大応力、 $\tau_{oct,ult}$ は双曲線モデルでの終局最大応力、 $R_f = \tau_{oct,r} / \tau_{oct,ult}$ 、 σ_c は一軸圧縮強度、 σ_1 、 σ_3 は最大、最小主応力であり、 s と m は岩の特性に応じて決まる材料定数である。

3. 考 察

図-2は、トンネル壁面変位に及ぼす σ_c/P と R_f の影響を示したものである。ここに、 R_f は、0と1の間の値をとり、1に近いほど非線形性が強い。これから、当然の事ながら、地山強度比が小なる程、又非線形性が大なる程、変位は大である。例えば、 σ_c/P が0.1の場合、 R_f が0.001と0.8の無次元変位を比較すると、約30倍程度異なるが、 σ_c/P が10以上ではほぼ等しい。これより、たとえ同一の地山強度比、及び $\tau_{oct,r}/G_i$ であっても、非線形性の違いにより、トンネル変位は大きく異なり、したがって、膨張性を表示するパラメータとして、地山強度比だけでは不十分であることが理解できる。

図-3は、トンネル壁面変位に及ぼす内圧の影響を示したものである。これから、変位拘束効果は内圧比が大なる程、また地山強度比が小なるほど大である。例えば、 σ_c/P が0.1及び0.5の地山において、初期応力のわずか5%の内圧($p_i/P=0.05$)を作用させる事により、トンネル壁面変位は、素掘り時変位のそれぞれ約1/2、4/5となり、地山強度比が小なるほど、内圧による変位拘束効果が大きいことが理解できる。

そこで、図-4は、地山強度比の種々異なる地山において、トンネル内壁の変位拘束効果に及ぼす内圧の影響を見た図である。ここで、変位拘束効果とは素掘り時変位と内圧作用時変位の差を素掘り時変位で除したものである。変位拘束効果は、同一内圧下において、 σ_c/P が大なる程小であり、 $\sigma_c/P \geq 10$ では図中の破線で示す、弾性解析結果と一致する。すなわち、非線形性を呈する地山でも、 $\sigma_c/P \geq 10$ であれば、内圧の変位拘束効果は、弾性地山程度であることがわかる。また、非線形性を示し σ_c/P の小なる軟岩トンネルにおいて、吹き付けコンクリートの変位拘束効果を、Kastnerの弾塑性解析では説明できない。

参考文献

- 1) 久武・伊藤・朝倉: 軟岩の非線形力学特性を考慮したトンネル理論解析、土木学会論文集、第400号、1988年12月。

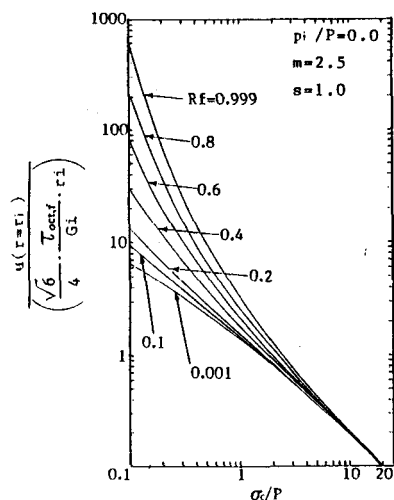


図-2 壁面変位に及ぼす σ_c/P と R_f の影響

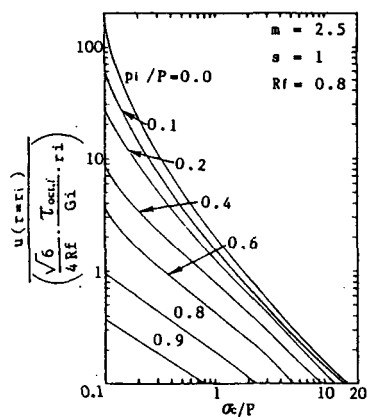


図-3 壁面変位に及ぼす p_i/P と σ_c/P の影響

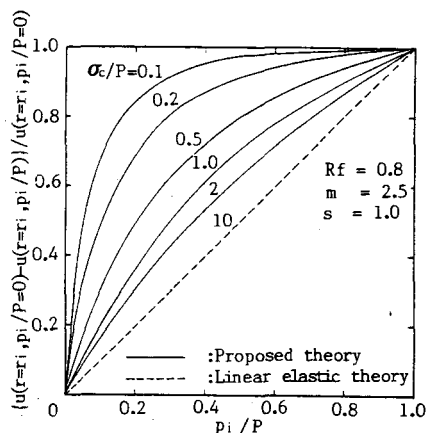


図-4 トンネル壁面の変位拘束効果に及ぼす内圧比 p_i/P と地山強度比 σ_c/P の影響