

III-270 トンネル掘削における岩盤内の圧縮気体の影響(その2)

京都大学工学部 正員 田村 武

京都大学工学部 正員 足立 紀尚

日本鉄道建設公団 正員 土居 則夫

1. はじめに

高圧ガスを含む岩盤のモデル化の1方法を示したあと, そのような地山のトンネル掘削に伴う変形や応力やガス圧の変化を求める数値シミュレーションを行った. 前報ではBiotの考え方を基本にモデル化を行ったが, 個々の定数の物理的意味が必ずしも明確でなかった. そこで本報では, なるべく単純なモデルを作成し, 必要な材料定数の解釈を容易なものになるよう試みた. このモデルによる(軸対象条件下の)弾塑性数値解析の結果から, トンネル内径変位に与える(1)地山のガス圧, (2)強度定数(粘着力)および(3)間隙率の影響が著しいことが明かになった.

2. モデル化

図-1(a)に示すように, 土粒子が作る構造骨格を表わすバネと周囲を埋める気体からなる力学モデルを考える. ただし, 気体の体積 V_p と圧力 p はボイルの法則に従うものとし, また, 図-1(b)のように土粒子と気体に分離したとき, 土粒子の体積 V_s は不変とする. したがって, 全体の体積 V の変化は V_p の変化に等しい. このとき容易にわかるように次式が成立する.

$$\frac{p}{p_0} = \frac{V_{p0}}{V_p} = \frac{V_{p0}}{V_{p0} + (V - V_0)} = \frac{V_{p0}/V_0}{V_{p0}/V_0 + (V/V_0 - 1)} = \frac{n_0}{n_0 - \varepsilon_v} \quad (1)$$

ここで, 添字0はそれぞれの初期値を示す. すなわち

$$p = \frac{n_0}{n_0 - \varepsilon_v} p_0 \quad (2)$$

これは, ガスが移動しない(非排気条件)場合のガス圧を定める式である.

3. 応力増分とひずみ増分の関係

軸対象条件のもとで, 構造骨格の応力(有効応力)がモール・クーロンの降伏規準に従うような弾塑性解析を行う. 全応力は有効応力とガス圧の和であることを考慮しながら, 通常の弾塑性応力ひずみ関係式に式(2)を微分した関係を代入すると次式を得る.

$$\begin{pmatrix} \Delta\sigma_r \\ \Delta\sigma_\theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (\lambda + 2\mu) - \frac{A_1 A_1}{A_1 S_1 + A_2 S_2} + d_p & \lambda - \frac{A_1 A_2}{A_1 S_1 + A_2 S_2} + d_p \\ \lambda - \frac{A_2 A_1}{A_1 S_1 + A_2 S_2} + d_p & (\lambda + 2\mu) - \frac{A_2 A_2}{A_1 S_1 + A_2 S_2} + d_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\varepsilon_r \\ \Delta\varepsilon_\theta \end{pmatrix} \quad (3)$$

ここに λ, μ をラメ定数, c, ϕ を粘着力および内部摩擦角として

$$S_1 = -(1 + \sin \phi), \quad S_2 = (1 - \sin \phi)$$

$$A_1 = (\lambda + 2\mu)S_1 + \lambda S_2, \quad A_2 = \lambda S_1 + (\lambda + 2\mu)S_2$$

$$d_p = \frac{n_0 p_0}{(n_0 - \varepsilon_v)^2}$$

である.

4. 解析結果とまとめ

表-1に解析条件を示す. 初期全応力は一様とする. 半径方向に50個の要素に分割し, FEMを用いて100ステップで掘削を模擬した. 図-2は, $c = 5 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の有効応力 $\sigma'_r, \sigma'_\theta$, ガス圧および変位 u_r の分布を, 初期間隙率 n_0 と初期ガス圧 p_0 の大きさごとに示している. また, 図-3は, トンネル内径におけ

る変位について全体をまとめたものである。横軸は初期のガス圧であるが、粘着力や間隙率の大きさによって、その影響が著しく異なることがわかる。

今後、モデルの妥当性ととも、ガス圧による膨張を安全に抑える手法等について検討してみたい。

参考文献

1) 田村, 足立, 土居: トンネル掘削における岩盤内の圧縮気体の影響, 第44回土木学会年次学術講演会講演概要集第3部門, pp.222-223, 1989.

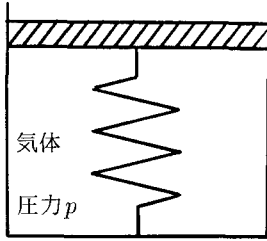


図-1 (a)

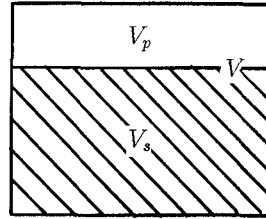


図-1 (b)

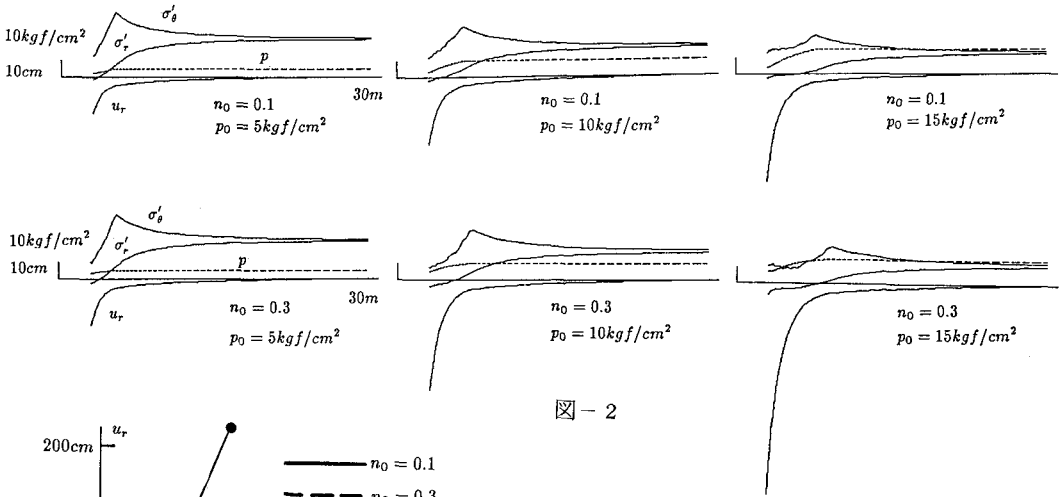


図-2

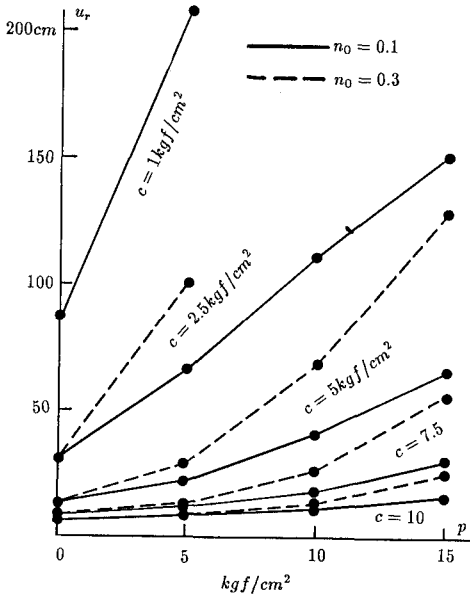


図-3

表-1

外径	a	=	30 m
内径	b	=	3 m
境界条件	外径の境界で変位を拘束 内径の境界で全応力ゼロ		
初期応力		=	30 kgf/cm²
内部摩擦角		=	30°
ヤング率		=	2000 kgf/cm²
ポアソン比		=	0.333