

III-285

トンネル掘削における岩盤内の圧縮気体の影響(その3)

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

前報までに、高圧ガスを含む岩盤のモデル化の方法を示し、そのような地山の非排気条件でのトンネル掘削に伴う変形、応力、ガス圧の変化を求める簡単な数値シミュレーションを行った。そして(軸対称平面ひずみ条件下の)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された。

本報では、トンネル変状を抑止するための対策工として薬液注入を行なった場合の効果について、同様のモデルで検討を行なった。その結果、適切な注入により掘削時のトンネル変形をかなり抑止できることがわかった。なお、ここで注入の効果は地山の粘着力を増大することでモデル化している。

2. 地山のモデル化と解析手法

前報で紹介したように、図-1(a)なる2相系モデルを考える。ここに、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が外力とつりあっている。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)のように全体の体積を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 の変化により生じる。 n を間隙率とするととき次式が成立する。

$$p = \frac{n_0}{n_0 - \varepsilon_v} p_0 \quad (1)$$

ここで、添字0はそれぞれの初期値を示す。これは、ガスが移動しない(非排気条件)場合の気体圧と全体体積ひずみの関係を定める式であり、本モデルの特徴を表わしている。

初期間隙率 $n_0 = 0.3$ とし、構造骨格の応力(有効応力)がヤング率(2000kgf/cm²)、ポアソン比(0.333)、粘着力 c 、内部摩擦角 $\phi (= 30)$ を有するモール・クーロン型の弾塑性材料として地山をモデル化する。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(1)を微分した関係を代入すると増分型の全応力-ひずみ関係式を得る。増分型のつりあい式を順次解くことにより体積ひずみ ε_v が計算され、それを式(1)に代入して気体圧 p が求まる。

3. 解析結果

軸対称平面ひずみ条件とし、トンネル半径3m、解析領域の外周30mとする。初期全応力は一様(300kgf/cm²)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、注入を考えない場合の、初期気体圧 p_0 と掘削に伴うトンネル半径方向の変位(コンバージェンス) u_r の関係を示している。粘着力 c をパラメータとしているが、とくに c の小さいとき、 p_0 の変化による u_r の増大が著しいことがわかる。このことは逆にいえば、地山の粘着力を少しでも補強することにより、トンネル変位を抑止できることを意味している。そこで図-3は、 $p_0 = 15\text{kgf/cm}^2$ 、 $c = 1\text{kgf/cm}^2$ の場合において、トンネル周辺のある領域までの粘着力を増大させたときの変位の減少の傾向を示したものである。すなわち注入により地山の粘着力を2.5、5.0、7.5あるいは10倍にできると仮定したうえで、注入半径 r_g を拡大したときのトンネル変位 u_r の低減の様を描いたものである。 $r_g = 3\text{m}$ (トンネル半径)は注入しない場合を指す。また、注入半径を徐々に拡大していくと、それが塑性半径 r_p を越えて弾性域にまで注入することになるが、これ以上の注入は変位抑制という観点からは無意味である。図-3の○印は $r_g = r_p$ となったことを表わしている。図-4は注入半径 r_g と塑性半径 r_p の関係を示している。ここでいう塑性半径とはトンネルからもっとも離れた塑性域の外周の半径である。図中 $r_g = r_p$ 線の付近で r_p が増大しているが、これは注入域と非注入域のそれぞれに塑性域が

現れ、後者の外周を r_p と定義したことによる。図-3, 4からわずかの注入によってトンネル変位が効果的に抑制されるのがわかる。また、図-4から注入半径の適切な大きさも予想することができる。

4. まとめ

注入により粘着力を増大させることができると仮定した場合、注入による圧縮気体を含む岩盤内のトンネル変位抑制効果につき検討した。数値シミュレーションの結果、注入は変位抑制に効果的であることがわかった。

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.
- 2) 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(その2), 第45回土木学会年次学術講演会講演概要集第3部門, pp.576-578, 1990.
- 3) T.Adachi, T.Tamura & Y.Do: A Numerical Simulation of Rock Mass with High Pressured Gas, 第7回地盤力学数値解析国際会議, 1991(予定).

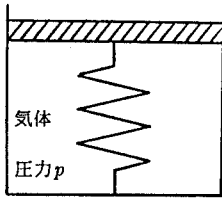


図-1(a)

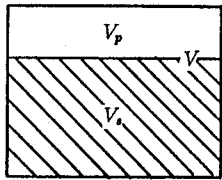


図-1(b)

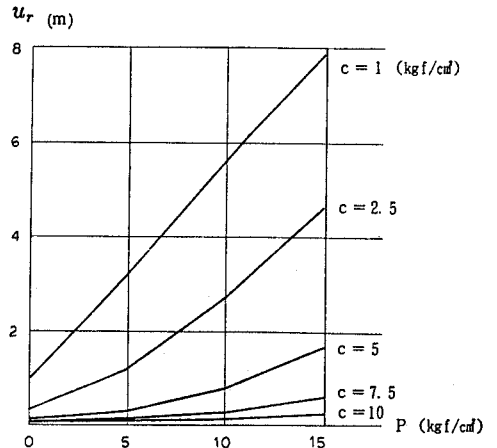


図-2

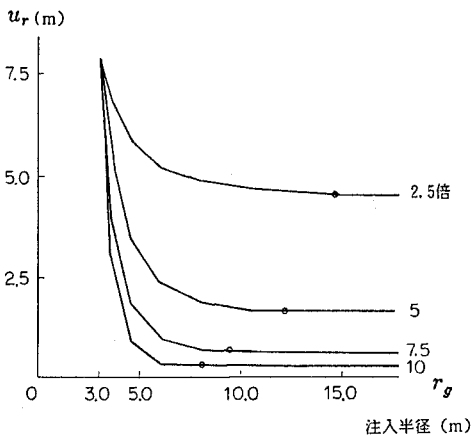


図-3

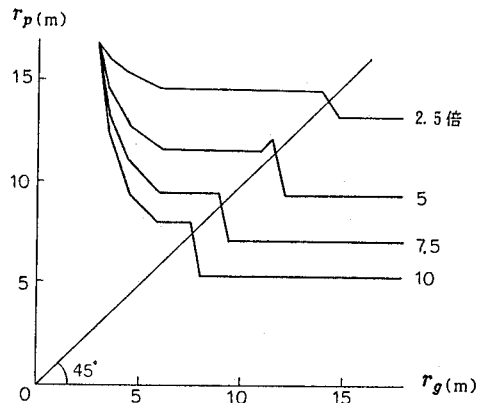


図-4