

（株）大林組技術研究所 正○吉岡尚也

同上 正 木村 薫

1. はじめに

膨張性の予測される地山にトンネルを掘削する場合、膨張量・膨張圧といった膨張の程度をあらかじめ予測できれば、設計・施工のときに大いに役立つ。そこでわれわれは、膨張の発生過程が圧密型の式に従うものとして、膨張の程度を解析できるFEM解析手法を示し、その内容を説明するとともに入力定数の推定方法とトンネル掘削に伴う膨張量・膨張圧の経時的変化についての解析例をも提示した。

2. 膨張の考え方

膨張性地圧の原因のうちで、ここで取り扱うのは吸水膨張によるものである。吸水膨張には粘土鉱物の性質が重要な役割を示すが、ここでいう吸水膨張とは、岩石の粒子結合体が水と接触した場合に結合度合いが弱められ、岩石が全体として膨張する図1のようなモデルを意味している。

3. FEM解析のための基礎式

図1に示したモデルにおいて、等方等質な材料を考え、吸水による膨張が2次元圧密理論の式

$$\partial \phi / \partial t = a^2 (\partial^2 \phi / \partial x^2 + \partial^2 \phi / \partial z^2) \quad (1)$$

に支配されるものとする。ここに t は時間を意味し、また圧密理論の間ゲキ水圧にあたる ϕ のことをここでは吸水率と名づけ、圧密係数にあたる a^2 のことを吸水膨張係数と名づけておく。つぎに、吸水膨張による初期ひずみ ϵ_0 は、平面ひずみの場合(1)から求まる吸水率 ϕ を用いて

$$\{\epsilon_0\} = (1+\nu) \{\alpha \phi \quad \alpha \phi \quad 0\}^T \quad (2)$$

のようなベクトルで表わされるものとする。ここに ν はポアソン比を意味し、 α のことを吸水膨張ひずみ係数と呼ぶことにする。したがって、吸水膨張による膨張量 δ および膨張圧 σ は、それぞれよく知られた以下の関係から求めることにする。

$$\{\delta\} = -[K]^{-1} \{F\} \epsilon_0, \quad \{\sigma\} = [D] \{ [B] \{\delta\} - \{\epsilon_0\} \}$$

ここに、 $[K]$ は剛性マトリックス、 $\{F\} \epsilon_0$ は初期膨張ひずみ節点力、 $[D]$ は応力マトリックス、 $[B]$ は形状関数の関数を意味している。

軸対称問題のときも同様にして求められるが、(2)に対応する式は

$$\{\epsilon_0\} = \{\alpha \phi \quad \alpha \phi \quad \alpha \phi \quad 0\}^T \quad (2')$$

のようなベクトルで表わされるものとする。

4. 入力定数（とくに吸水膨張係数 a^2 と吸水膨張ひずみ係数 α ）の推定方法について

試験片の軸方向のみの変位を許せる通常の装置を用いて底面より吸水させ、膨張がとまるまで膨張量を測定する。測定後は膨張ひずみ $-\log t$ 曲線として整理する。その結果は大半が図2のようなS字の傾向を示すので、吸水膨張係数 a^2 は圧密係数を求めるのと同じように

$$a^2 = 0.197 \times H^2 / t_{50} \quad (cm^2 \text{ or } m^2 / \text{hour}) \quad (3)$$

から求める。ここに H は試験片の高さである。一方、吸水膨張ひずみ係数 α については、ここでは軸対称問題になるので(2')から求めることになるが

$$\alpha = \epsilon_{100} / 2\phi \quad (\text{ここに } \epsilon_{100} \text{ は図2の吸水率 } 100\% \text{ のときのひずみ}) \quad (4)$$

として求めた方が、よいシミュレーション結果がえられるようである。

5. シミュレーション

図3(A)の●印は相浦産の泥岩を吸水膨張させたときの膨張ひずみ $-\log t$ 曲線である(5 ϕ ×2 cm の試験片)¹⁾。式(3)から $a^2 = 0.061 (cm^2 / \text{hour})$ 、式(4)から $\alpha = 0.029$ となる。同図の○印がシミュレーション結果である。

(B), (C) にもそれぞれ生駒産の土丹と鴨川産の蛇紋岩の吸水膨張試験結果とシミュレーション結果を図示した。例は少ないが、実験値と計算値の間により一致が見られる。

6. 解析例および考察

一例として膨張性が予測された NATM による某トンネルの解析を行なってみた。本トンネル沿いの地質は凝灰岩からなっており、その強度は $20 \sim 40 \text{ Kg/cm}^2$ 程度である。解析モデルを図 4 に示す (図で黒く塗った所が吹付けコンクリートにあたる)。ただし、掘削は全断面掘削とし、掘削と同時に掘削面から一様に吸水が始まるものとする。さて入力定数であるが、地山の吸水膨張係数 a^2 および吸水膨張ひずみ係数 α は吸水膨張試験結果よりそれぞれ $0.27 \text{ cm}^2/\text{hour}$, 0.005 となった。またヤング率 E は別途実施した一軸試験より 135 Kg/cm^2 とし、ポアソン比 ν は 0.35 を仮定した。

図 5 は素掘り状態におけるトンネル壁面の膨張量の経時変化を図示したものである。吸水による膨張量は無視しえる程度であるが、インバート部の膨張量が天端あるいは側壁のそれに比べて大きいのが特長のようなのである。なお、同図には掘削と同時にトンネル壁面を吹付けコンクリートで覆工したときのトンネル壁面の膨張量の経時変化も図示しているが、天端あるいは側壁の膨張変位は図示できない程度に拘束されてしまう。図 6 は吹付けコンクリート壁に作用する膨張圧の経時変化を図示したものである。

トンネル掘削断面の一岩塊から試験片を作成して吸水膨張試験を行ない、その結果から入力定数を推定して解析したに過ぎないが、ここでの吸水膨張の影響はきわめて小さいと言える。

7. おわりに

今後は現場実測値と比較しながら、上述の解析手法の有意性を検討していきたい。

8. 参考文献

- 1) 平間, 丸山他; 膨潤性軟岩の工学的性状について、大林組技術研究所報, No.19, 1979, PP. 95~99

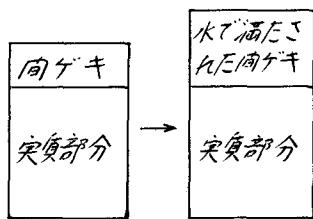


図-1 吸水膨張モデル

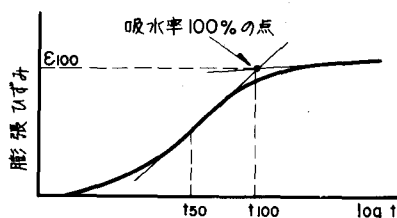


図-2 膨張ひずみ - log t 曲線

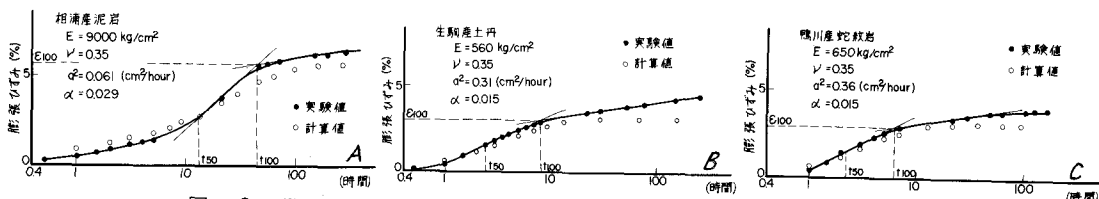


図-3 (A), (B), (C) 吸水膨張試験結果とそのシミュレーション

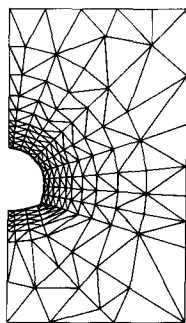


図-4 解析モデル

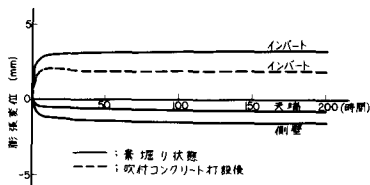


図-5 膨張量の経時変化

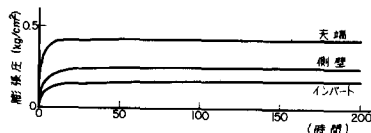


図-6 膨張圧の経時変化

* 吹付けコンクリートの材料特性 ($a^2, \alpha \approx 0, \nu = 0.3$,

$E = 20000 \sim 150000 \text{ Kg/cm}^2$)