

直交異方性弾性地山内の円形トンネル覆工に作用する圧力

神戸大学工学部 正員 桜井春輔
株式会社大林組 正員 吉村佳映

1. はしがき

円形トンネル覆工に作用する圧力について地山を等方性とした場合の解はすでに発表した¹⁾²⁾しかし、地山が層状をなしたり、き裂・節理が、ある方向に卓越する場合にはこれを等価な等質異方性体と考えることができる。したがって、ここでは地山を等質直交異方性体と考え、円形トンネル覆工に作用する圧力の解析を行なう。

解析方法はすでに発表した等方性の場合と同様であり、時間を考慮することなく覆工に作用する終局圧力を求めることができる。

2. 基礎方程式の誘導

基礎方程式の誘導にあたっては、二次元問題として取り扱い、初期応力と弾性主軸の関係および応力・変位の正の方向は、図-1に示すとうりである。

2. 1. トンネル周辺の地山および覆工の変位

図-2に示すように、直交異方性弾性地山に p , $\bar{\sigma}$ なる応力が作用した場合の $r=b$ における変位は、複素解析関数をつぎのようにおくことにより求められる。

$$\psi(z_1) = Bz_1$$

$$\chi(z_2) = (B' + iC')z_2$$

ここで、 B, B', C' は初期応力、弾性主軸の方向等によって定められる実定数である。

また、図-3に示すように円形トンネルを掘削して p , $\bar{\sigma}$ を作用させた時の $r=b$ における変位は、つぎの複素解析関数により求められる。

$$\psi(z_1) = Bz_1 + \psi_0(z_1)$$

$$\chi(z_2) = (B'z_2 + iC')z_2 + \chi_0(z_2)$$

ここで、 $\psi_0(z_1), \chi_0(z_2)$ はトンネルを表わす複素解析関数である。

したがって、トンネル掘削によって生ずる地山の変位 u_n^0, u_0^0 は式(2)によって求まる値から式(1)による値を差し引いて求めることができる。

つぎに、図-4に示すようにフーリエ級数の形で展開されている応力 $\sigma_n(\theta)$, $\tau_{n0}(\theta)$ 、これらは覆工による地山の拘束によって発生するものであるが、これらの応力によって生ずる変位 $\bar{u}_n^0, \bar{u}_0^0$ は、写像関数

$$z_k = \frac{b(1-\mu_k)}{2} \zeta_k + \frac{b(1+\mu_k)}{2} \frac{1}{\zeta_k} \quad (k=1, 2) \quad (3)$$

を用いて、複素解析関数をつぎのようにおくことにより求められる。

$$\begin{aligned} \psi(z_1) &= \frac{1}{\mu_1 - \mu_2} \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\rho}_n - \mu_2 \bar{\alpha}_n) \cdot \zeta_1^{-n} \\ \chi(z_2) &= -\frac{1}{\mu_1 - \mu_2} \sum_{n=1}^{\infty} (\bar{\rho}_n - \mu_1 \bar{\alpha}_n) \cdot \zeta_2^{-n} \end{aligned} \quad (4)$$

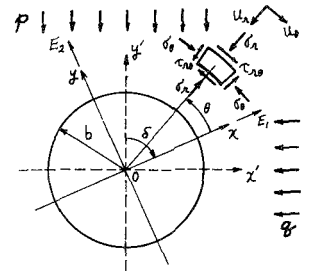
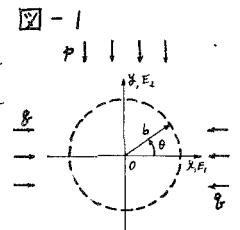
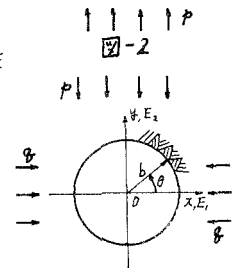


図-1



(1)



(2)

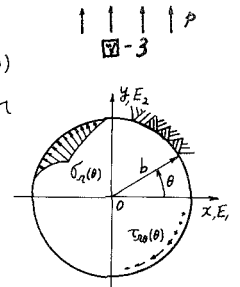


図-4

ここで、 μ_1, μ_2 は地山の力学的定数、 $\bar{a}_n, \bar{b}_n$ は境界条件によって定まる複素定数である。

さらに、図-5に示すように地山の圧力によって生ずる覆工の $r=b$ における変位 u_r^0, u_θ^0 は、つぎの複素応力関数によって与えられることができる。

$$\begin{aligned} \phi(z) &= M \log z + \sum_{n=1}^{\infty} A_n z^n \\ \psi(z) &= N \bar{z} \log \bar{z} + K \log z + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \bar{z}^n \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 M, N, K, A_n, B_n は境界条件によって定まる複素定数である。

2. 2. 地山と覆工の変位の適合条件

$r=b$ における地山と覆工の変位の適合条件は

$$u_r^0 = u_r^s + \bar{u}_r^s, \quad u_\theta^0 = u_\theta^s + \bar{u}_\theta^s \quad (6)$$

となる。以下、誘導を進めてゆくと基礎方程式は、フーリエ級数の係数と未知数とする連立方程式の形で求まるが、ここでは式が長くなるので省略する。

3. 粘弾性論的考察

以上は、地山を弾性体であるとの仮定のもとで解析を進めた。しかし、トンネル覆工に作用する圧力について解析を行なう場合は、たとえポアソン近似としても時間を考慮する必要があると言われている²⁾。これによれば、地山のクリープ関数を $C_1(t) = \frac{1}{E_1}(1 - e^{-t/t_0})$, $C_2(t) = \frac{1}{E_2}(1 - e^{-t/t_0})$ とおく時には、 u_r^0, u_θ^0 を求める場合は主弾性係数に E_1, E_2 を使い、 $\bar{u}_r^s, \bar{u}_\theta^s$ を計算する時には $E_1/e^{-t/t_0}$, $E_2/e^{-t/t_0}$ を用いればよい。ここで、 t_0 はトンネル掘削後、覆工を施すまでの時間である。

4. 数値計算例

計算例として、図-6に示す覆工に対して地山と覆工の境界が滑らない場合(Case I)、滑る場合(Case II)の二つの場合について行ない、フーリエ級数は21項まで取りそれ以降は無視した。なお、計算は京都大学大型計算機センター FACOM 230-60 を用いて行った。

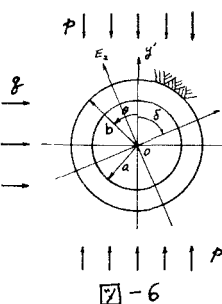


図-6

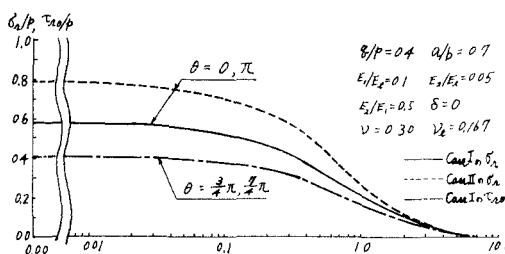


図-7 覆工に作用する圧力と t_0 の関係

参考文献

- 1) 桜井春輔, 吉村佳映: 昭和47年度関西支部年次学術講演概要, III-28
- 2) 桜井春輔, 吉村佳映: 粘弾性地盤内の構造物に作用する圧力の計算法, 土木学会論文報告集 投稿中

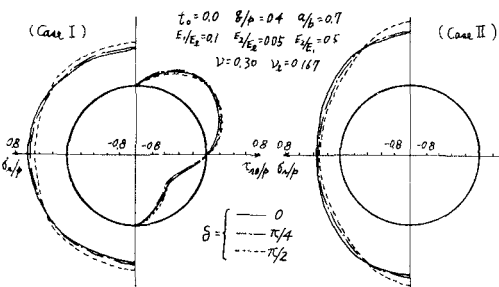


図-8 覆工に作用する圧力と弾性係数比との関係

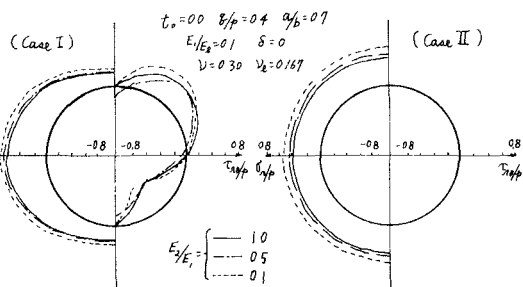


図-9 覆工に作用する圧力と弾性主軸の方向との関係