

(株) 熊谷組技術研究所 正会員 大塚本夫  
同 上 同上 上野正高

### 1. はじめに

手計算でトンネル周辺の弾塑性問題を解析する場合に二次元の軸対称問題として取扱われる。したがって解析結果の意味は、トンネル周辺の応力が静水圧分布状態である。軸対称形問題として解かれた解析結果と現実の挙動を比較すると、必ずしも一致しない。この隔たりの生ずる大きな原因として考えられることは、応力分布状態の相違以前の問題として、地山の欠陥(節理、亀裂の方向性、層理、断層等)及び異方性等がある。ここでは、軸対称問題の弾塑性解析の基準となるトンネル周辺応力として円形トンネルの無支保の状態のトンネル壁面の応力が $2P$ として取扱うものに対して、掘削によって乱されたトンネル壁面の凹凸状態が応力状態にどのような影響を与えるかについて考察するものである。この影響を考察することによって将来手計算で解かれた円形トンネルの弾塑性問題の解析結果を補正して現実により歩み寄りを期待すると同時に、トンネル壁面の凹凸に対する吹付けコンクリートの施工効果に対しても検討可能であると考えらる。

### 2. 凹凸面を有する円形トンネルの形状

凹凸面を有する円形トンネルの形状を考える場合に次式を用いる。

$$W(z) = Z + m \frac{1}{z^{k-1}} \quad \text{----- (1)}$$

(1)式でオ一項は円形を表現し、オ二項は、円形を基準とするトンネル壁面の凹凸を表現するもので $m$ は凹凸の深さを定めるものである。 $k$ は、トンネル壁面に生ずる凹凸の個数を表現するもので $k-1$ はその場合の応力の対称性を考慮したものである。したがって(1)式は、円形に微小の増減を加えることにより凹凸面を有する円形トンネルを考えることが出来るので次式と書き改める。

$$W(z) = Z + \Delta Z \quad \text{----- (2)}$$

(1)式における $x, y$ 成分は、

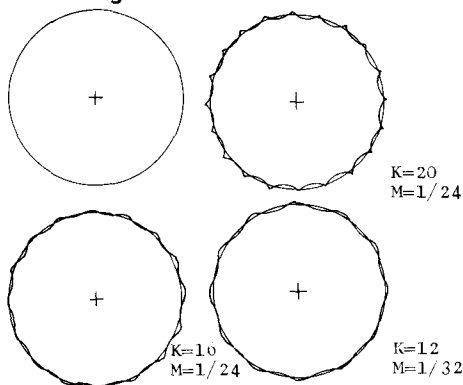
$$\left. \begin{aligned} x &= r \cos \theta + m r^{(1-k)} \cos(k-1)\theta = r \{ \cos \theta + m r^{-k} \cos(k-1)\theta \} \\ y &= r \sin \theta - m r^{(1-k)} \sin(k-1)\theta = r \{ \sin \theta - m r^{-k} \sin(k-1)\theta \} \end{aligned} \right\} \quad \text{----- (3)}$$

(3)式を(4)式に改める。

$$\left. \begin{aligned} x &= r \{ \cos \theta + A \cos(k-1)\theta \} \\ y &= r \{ \sin \theta - A \sin(k-1)\theta \} \end{aligned} \right\} \quad \text{----- (4)}$$

ただし、 $A = m r^{-k}$  これ等らの形状はFig-1に示されるものである。

Fig-1 トンネル形状



### 3. 応力と応力関数

応力関数の一般式は、(5) 式で示される。

$$\Phi = \bar{\omega} \varphi(z) + \omega \bar{\varphi}(\bar{z}) + \psi(z) + \bar{\psi}(\bar{z}) \quad \text{--- (5)}$$

(5) 式を用いて応力を求めると、

$$\sigma_{\theta} + \sigma_r = 4 \frac{d^2 \Phi}{d\omega d\bar{\omega}} = 4 \left( \frac{d\varphi}{dz} \cdot \frac{dz}{d\omega} + \frac{d\bar{\varphi}}{d\bar{z}} \cdot \frac{d\bar{z}}{d\bar{\omega}} \right) \quad \text{--- (6)}$$

(6) 式にて無限遠の条件と、静水圧分布と単軸状態の応力分布についてそれぞれ求める。

i) 無限遠の条件

$$\sigma_{\theta}^{\infty} + \sigma_r^{\infty} = P(1 + \lambda) \quad \text{--- (7)}$$

ii) 静水圧分布の条件 ( $\lambda = 1$ )

$$\sigma_{\theta}' + \sigma_r' = -(1 + \lambda) P \left\{ \frac{\Delta z'}{1 + \Delta z'} + \frac{\Delta \bar{z}'}{1 + \Delta \bar{z}'} \right\} \quad \text{--- (8)}$$

iii) 単軸の条件 ( $\lambda = -1$ )

$$\sigma_{\theta}'' + \sigma_r'' = (1 - \lambda) P \left\{ \frac{1}{z^2 \{1 + \Delta z'\}} + \frac{1}{\bar{z}^2 \{1 + \Delta \bar{z}'\}} \right\} \quad \text{--- (9)}$$

実際のもの (7) (8) (9) を加えるので、

$$\sigma_{\theta} + \sigma_r = (\sigma_{\theta}^{\infty} + \sigma_r^{\infty}) + (\sigma_{\theta}' + \sigma_r') + (\sigma_{\theta}'' + \sigma_r'') \quad \text{--- (10)}$$

(10) 式においてトンネル壁面では、 $r = a$ 、 $\sigma_r = 0$  になるので、接線方向応力  $\sigma_{\theta}$  は求められる。

表-1 応力集中係数

| $\theta$ | X    | Y    | $\sigma_{\theta}$ |
|----------|------|------|-------------------|
| 0        | 1.06 | 0.00 | 1.080             |
| 10       | 0.96 | 0.11 | 0.49              |
| 20       | 0.89 | 0.38 | 0.49              |
| 30       | 0.92 | 0.53 | 1.080             |
| 40       | 0.77 | 0.58 | 0.49              |
| 50       | 0.58 | 0.78 | 0.49              |
| 60       | 0.53 | 0.92 | 1.080             |
| 70       | 0.38 | 0.89 | 0.49              |
| 80       | 0.11 | 0.96 | 0.49              |
| 90       | 0.0  | 1.06 | 1.08              |

A = 0.0625 凹凸の数 = 12 個

### 4. 計算結果

表-1 に表わすものは  $A = 0.0625$ 、凹凸の個数が 12 個、 $\lambda = 1$  の場合の  $X$ 、 $Y$  座標と応力集中係数を示す。Fig-2 は、この場合の  $\lambda$  をそれぞれ変化させ比較したものである。

### 5. 結論

実際に生ずると思われるトンネル壁面に生ずる凹凸面の個数と凹凸の深さを考察すると、軸対称の手計算で考えられるものの数倍大きくなることが推察される。

したがって、軸対称の手計算で解かれたもので弾塑性解析を行なうトンネル周辺の塑性領域を推定する場合に現実よりも数分の 1 小さくなるはずである。これ等の現実と理論解の歩み寄りを行うために凹凸面の考慮をしに補正が必要である。

変形特性についても考察中であるが、次の機会に発表する予定である。

