

熊谷組技術研究所 正員 大塚本夫
〇上野正高

1. まえざき トンネル荷重を算定する方法は数多く研究されている。著者等は、トンネル周辺応力も変形もトンネル荷重の関連性について研究中である。トンネル形状を関数で表現してトンネル周辺応力を解析する方法を提案し、実験結果によって実用的に問題のないことを立証されたことを報告するものである。

2. トンネル周辺応力 トンネルの形状を表現する一般式は、(1), $w(z) = z + \sum_{n=1}^m \frac{a_n}{z^n}$
 $\bar{w}(\bar{z}) = \bar{z} + \sum_{n=1}^m \frac{a_n}{\bar{z}^n}$ }(1)

応力関数中でトンネル周辺応力を表示すると、(2),

(2)式を書き改めて、(3), $\frac{\partial w}{\partial z} = 1 + \frac{\partial a z}{\partial z}$, $\frac{\partial a z}{\partial z} = a z'$,

$$\frac{\partial z}{\partial w} = \frac{1}{1+a z'}, \quad \frac{\partial \bar{z}}{\partial \bar{w}} = \frac{1}{1+a \bar{z}'}, \quad \frac{\partial F(z)}{\partial z} = F'(z) \text{ として (3) 式 } \sigma_z + \sigma_y = \sigma_\theta + \sigma_r = 4 \frac{\partial^2 \phi}{\partial w \partial \bar{w}} \text{(2)}$$

に代入して、(4). 応力関数 ϕ はトンネルを振たくされる以前の応力関数 ϕ_0 と振たく後の応力関数 ϕ_1 との合成であるので

$$\sigma_\theta + \sigma_r = 4 \frac{\partial^2 \phi}{\partial w \partial \bar{w}} = 4 \left(\frac{\partial F(z)}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial w} + \frac{\partial \bar{F}(\bar{z})}{\partial \bar{z}} \frac{\partial \bar{z}}{\partial \bar{w}} \right) \text{(3)}$$

(5). 外力を全て応力に変換されることから、(6). (6)式の Y, X は(7)で示される。結果としてトンネル周辺応力は

$$\sigma_\theta + \sigma_r = 4 \left(\frac{F'(z)}{1+a z'} + \frac{\bar{F}'(\bar{z})}{1+a \bar{z}'} \right) \text{(4)}$$

(8). 正方形、長方形の半分と半円形を合成すると種々の形状の馬蹄形を表現できる。さらに Evans による馬蹄形トンネルの写像関数についても適用してみた。結果の検証として、光弾性実験結果と比較検討をした。

$$\phi = \phi_0 + \phi_1 \text{(5)}$$

$$z \frac{\partial \phi}{\partial w} = Y - i X \text{(6)}$$

$$\left. \begin{aligned} Y &= P(x+ix) = \frac{P}{z} (w + \bar{w}) \\ X &= \lambda P(y+iy) = \frac{\lambda P}{z\lambda} (w - \bar{w}) \end{aligned} \right\} \text{(7)}$$

$$\begin{aligned} \sigma_\theta + \sigma_r &= (\sigma_\theta^0 + \sigma_r^0) + (\sigma_{\theta 1} + \sigma_{r 1}) + (\sigma_{\theta 2} + \sigma_{r 2}) \\ &= P(1+\lambda) + 2P(1-\lambda) \left(\frac{z^2}{1+a z'} \right) \\ &\quad - 2P(1+\lambda) \left(\frac{a z'}{1+a z'} \right) \text{(8)} \end{aligned}$$

3. トンネル周辺応力と変形

変形は次式で計算される。

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{P}{4g} \left\{ (1+\lambda)(x-aeax) + (1-\lambda)(ax-ax) \right\} \\ v &= \frac{P}{4g} \left\{ (1+\lambda)(y-aeay) + (1-\lambda)(ay-ay) \right\} \end{aligned} \right\} \text{(9)}$$

4. トンネル荷重

トンネル荷重は地山を Kelvin 体と考へ、スプリングとダッシュポットの变形を等しいと置いて、

$$P(t) = \frac{E}{\eta} \cdot P \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{E}{\eta} t\right) \right\} \text{(10)}$$

(10)式は $\frac{E}{\eta}$ を実験で求めるか実測によって与えるものである。

ただし上記トンネル周辺応力と変形より $\frac{E}{\eta}$ を求めることもできる。

5. 結論

トンネル荷重計算方法と上記の手順で求める方法を提案する。

馬蹄形トンネル周辺応力 表-1

θ	理論値(P)	実験値(P)	理論値(θ)	実験値(θ)
0°	3.444	3.0	-1.0	-1.0
15°	3.086	3.0	-0.707	-0.92
30°	2.158	2.2	0.053	-0.38
45°	1.0	0.9	1.0	0.33
60°	-0.048	-0.6	1.857	1.17
75°	-0.753	-1.5	2.435	2.25
90°	-0.999	-1.7	2.636	2.5
0°	3.444	3.0	-1.0	-1.0
-15°	3.601	2.8	-0.726	-0.83
-30°	3.699	1.1	0.333	0.42
-45°	2.429	-0.4	1.857	1.75
-60°	0.246	-1.0	2.439	2.1
-75°	-0.588	-1.0	1.820	-
-90°	-0.999	-1.0	1.667	1.67

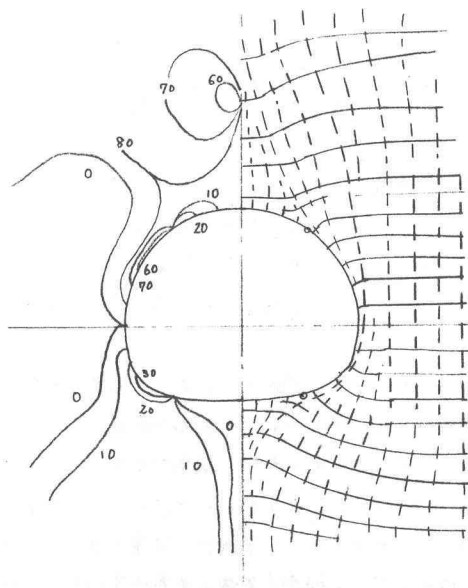


図-1. 主応力線及び等傾線

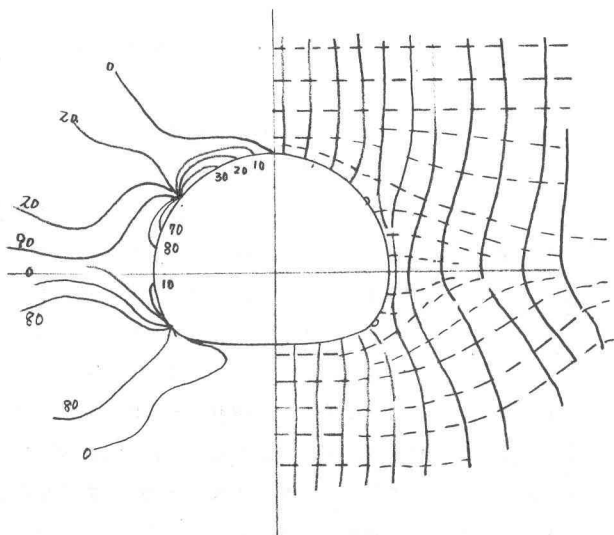


図-2. 主応力線及び等傾線

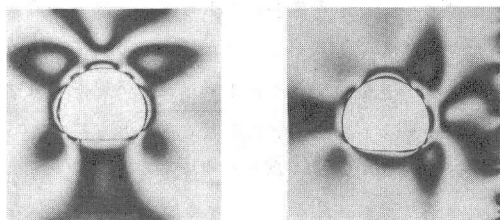


写真-1 光弾性実験

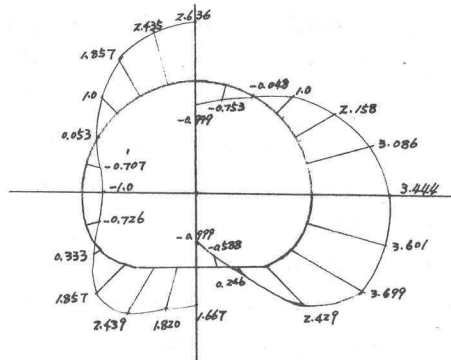


図-3. 応力分布図

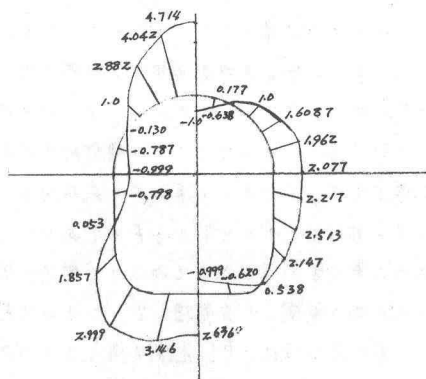


図-4. 応力分布図

応力スケール: 0 1 2 3 4 5 P

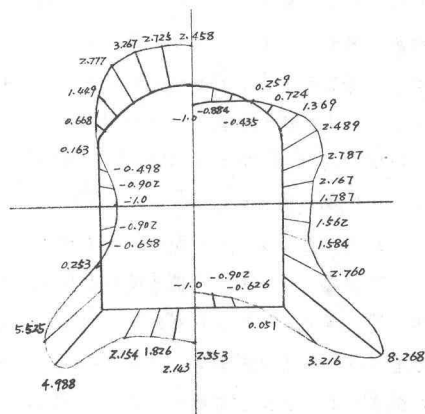


図-5. Eras による馬蹄形トネル応力分布図