

(株)熊谷組技術研究所 正員 大塚 本天
 同上 正員 上野 正高
 (株)熊谷組 正員 畔高 伸一

1. はじめに

円形トンネルのショートベンチの掘削により、トンネル壁面の応力と変形特性がどのように変化するかについて、弾性論を用いて考察するものである。

ショートベンチの掘削に伴う応力と変形は、主にトンネルの形状、切羽の移動、支保の剛性、施工順序等により影響を受ける。さらに変形といっても、弾性変形ばかりではなく、塑性変形及び粘弾性も生じることがよく知られている。ここでは、弾性変形がすべての変形の源になっていることを考え、弾性変形について考察するものである。

2. 形状と施工順序

Fig-1に示されるものは、円形トンネルをショートベンチで掘削する場合の施工順序と形状を示すものである。最終形状は円形であるが、施工過程として掘削I、IIの形状の過程を経て最終形状に施工される。

掘削I、IIの形状は、(1)に示す一般式で示される。

$$Z = 5 - C \frac{1}{5} + D \frac{1}{5} \text{ ----- (1)}$$

$$X = (1-C) \cos \theta + D \cos 2\theta \text{ -- (2)}$$

$$Y = (1+C) \sin \theta - D \sin 2\theta$$

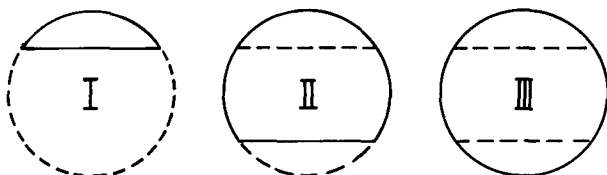


Fig-1 掘削段階

掘削Iの形状は(2)式のC、Dの係数をC=0.44、D=0.1として表現される。この係数を用いて掘削Iを表現してみると、(掘削段階IIの時はC=0.2、D=0.1)

$$X = 0.56 \cos \theta + 0.1 \cos 2\theta$$

$$Y = 1.44 \sin \theta - 0.1 \sin 2\theta \text{ より}$$

これを計算し、図示してみるとTable-1、Fig-2の様になり、掘削Iの表現がうまくなされる。

尚、 $5 = \frac{r}{a} e^{i\theta}$ で示される。

Table-1

θ	X	Y
0	0.66	0
22.5	0.588	0.48
45	0.396	0.918
67.5	0.144	1.26
90	-0.1	1.44
112.5	-0.285	1.401
135	-0.396	1.118
157.5	-0.447	0.622
180	-0.46	0

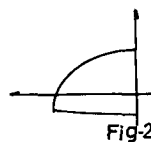


Fig-2 掘削-Iの形状

掘削-IのX、Y座標

3. 応力及び応力関数

応力関数は、(1)式より(3)(4)式で示される。

$$\varphi(z) = A5 - (-C \frac{1}{5} + D \frac{1}{5}) A - 2B \frac{1}{5} \text{ --- (3)}$$

$$\psi(z) = 2B5 + 2BC \frac{1}{5} - 2B \frac{1}{5} - 2A \frac{1}{5} - AC \frac{1}{5} + 2AD \frac{1}{5} - 2AD \frac{1}{5} + AC \frac{1}{5} - 2AD \frac{1}{5} - 2BD + ADC \text{ -- (4)}$$

$$\sigma_{\theta} + \sigma_r = \frac{(1+\lambda)P - (1+\lambda)PC \frac{1}{5} + 2(1+\lambda)PD \frac{1}{5} + 2(\lambda-1)P \frac{1}{5}}{1+C \frac{1}{5} - 2D \frac{1}{5}} \text{ ----- (5)}$$

掘削I、IIにおける $\lambda = 1$ の時の応力分布は、Table-2、及びFig-3に示す。

4. トンネル壁面の变形

トンネル壁面の变形成分をそれぞれ

u_x, u_y とすると(6)式で示される。

$$u_x = \frac{1+\nu}{E} \operatorname{Re} \left\{ \frac{3-\nu}{1+\nu} \varphi(z) - \bar{z} \varphi'(z) - \psi'(z) \right\} \quad (6)$$

$$u_y = \frac{1+\nu}{E} \operatorname{Im} \left\{ \frac{3-\nu}{1+\nu} \varphi(z) + \bar{z} \varphi'(z) + \psi'(z) \right\}$$

(6)式に

$$\varphi(z) = \varphi(\zeta)$$

$$\bar{z} = \left(\frac{1}{\zeta} - C\zeta + D\zeta^2 \right)$$

$$\varphi'(z) = \frac{\frac{1}{4}(1+\lambda)P - \frac{1}{4}(1+\lambda)PC\frac{1}{\zeta} + \frac{1}{2}(1+\lambda)PD\frac{1}{\zeta} + \frac{1}{2}(1-\lambda)\frac{1}{\zeta}}{1 + C\frac{1}{\zeta} - 2D\frac{1}{\zeta}}$$

Tabel-2		
θ	I	II
0	123	4.67
225	124	311
45	150	150
67.5	258	102
90	514	133
112.5	610	218
135	266	266
157.5	0.84	239
180	0.44	20

応力計算結果

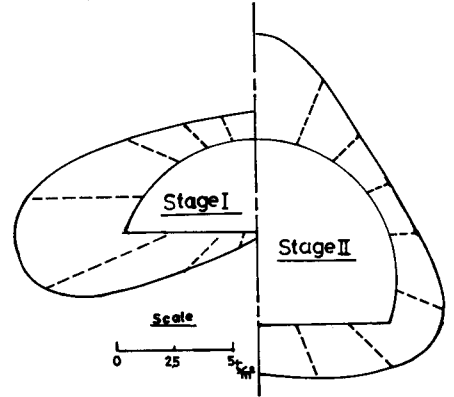


Fig-3 応力分布図

$$\varphi'(z) = \frac{\frac{1}{2}(\lambda-1)P\zeta + \frac{1}{2}(\lambda-1)PC\frac{1}{\zeta} - \frac{1}{2}(\lambda-1)P\frac{1}{\zeta} - \frac{1}{2}(1+\lambda)P\frac{1}{\zeta} - \frac{1}{4}(1+\lambda)PC\frac{1}{\zeta} - \frac{1}{2}(\lambda-1)PD + \frac{1}{4}(1+\lambda)PDC}{1 + C\frac{1}{\zeta} - 2D\frac{1}{\zeta}} - \frac{\frac{1}{2}(1+\lambda)PD\frac{1}{\zeta} + \frac{1}{2}(1+\lambda)PCD\frac{1}{\zeta} + \frac{1}{4}(1+\lambda)PC\frac{1}{\zeta} - \frac{1}{2}(1+\lambda)PD\frac{1}{\zeta}}{1 + C\frac{1}{\zeta} - 2D\frac{1}{\zeta}}$$

を代入し、 $P=1$ としてそれぞれの掘削段階の係数を代入すると、掘削I、IIの変位成分はFig-4,5に示される。

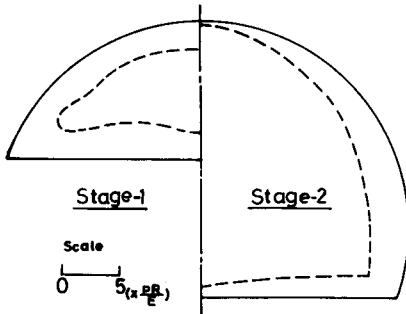


Fig-4 変位成分

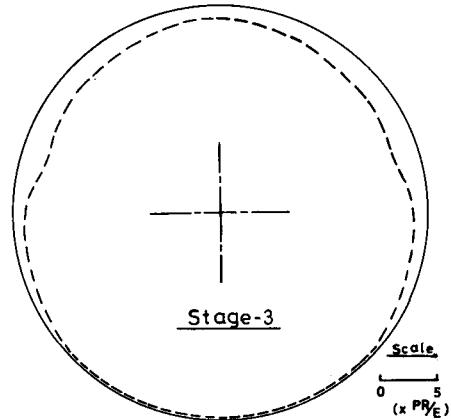


Fig-5 変位成分

5. 結論

式(6)を用いて $P=50 \text{ kg/cm}^2$, $R=4.0 \text{ M}$ のトンネルにおいて、天端の沈下を 40 cm と仮定した時の弾性係数を推定してみると $E=322 \text{ kg/cm}^2$ となる。そしてこれらの値を用いて各段階の天端及び側壁の変位を求めてみるとTabel-3のようになる。これは、充分現実において計測される結果と近似している。しかし、今後の課題として、実測値の集積を行ない、計算の信ぴょう性を高める必要があると思われる。

Tabel-3 変位

	stage1	stage2	stage3
天端	22.8cm	27.6	40.0
側壁	—	44.1	56.6
インバート	—	—	12.4