III-273　円形トンネルにおける吹付コンクリートの施工効果

(株)熊谷組　正員　北原　正一
(株)熊谷組技術研究所　正員　大塚　本夫
同　上　正員○上野　正高

1. はじめに

吹付コンクリートの施工効果として，種々の要因が考察される。ここでは，トンネル壁面に生ずる凹凸面の応力集中を減少させることが，吹付コンクリートの施工効果の主目的と考える。したがって，凹凸面に生ずる応力集中の特性について考察し，凹凸面を吹付コンクリートによって埋めることにより応力集中がどれだけ減少するかについて考察するものである。

2. 凹凸面を有する円形トンネルの形状

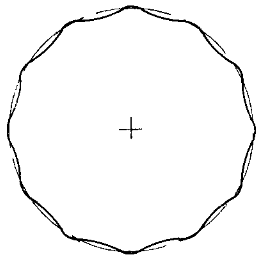
凹凸面を有する円形トンネルの形状を表現する式として(1)式を用いる。

$$z = \zeta + m\frac{1}{\zeta^{n-1}} \quad \text{----------- (1)}$$

(1)式は，z平面で n個の多角形を表わすもので，mは凹凸の深さを表わすもので ζ平面では，単位円に写像されるものである。

z平面における x，y成分は (2)式で示される。

$$\left.\begin{aligned} x &= r\{\cos\theta + m\cos(n-1)\theta\} \\ y &= r\{\sin\theta - m\sin(n-1)\theta\} \end{aligned}\right\} \quad \text{----------- (2)}$$



N = 12
M = 1/32
Fig.-1

トンネル形状としては，Fig.-1に示されるようなものを考える。実際面では，トンネル半径5mに対して，余掘面が30cmの12個の凹凸面がある場合を考え，吹付コンクリートを15cm施工する場合を仮定する。ただし，吹付コンクリートを施工しても，凹凸面の余掘面が埋まるだけで，凹凸面の個数は変化しないものとする。

3. 応力と応力関数

応力関数は，無限遠の条件と，トンネル壁面の境界条件より求められる(3)及び(4)式で示される。

$$\varphi(\zeta) = A\zeta - Am\frac{1}{\zeta^{n-1}} - 2B\frac{1}{\zeta} - 2Bm\frac{1}{\zeta^{n-3}} \quad \text{----------- (3)}$$

$$\psi(\zeta) = 2B\zeta - 2B\frac{1}{\zeta^{3}} - 2Bm(n-3)\frac{1}{\zeta^{n-1}} - 2A\frac{1}{\zeta} - Am(n-1)\frac{1}{\zeta^{n+1}}$$
$$-Am^2(n-1)\frac{1}{\zeta} \quad \text{----------- (4)}$$

(3), (4)式のA, 2Bはトンネル周辺の初期応力条件を示すものとして，

$$A=\frac{1}{4}(1+\lambda)P\ ,\qquad 2B=\frac{1}{2}(1-\lambda)P$$

である。

トンネル壁面では，$\sigma_r=\tau_{r\theta}=0$ であるので，σ_θを求めるにあたり(5)式を用いる。

$$\sigma_\theta=\sigma_r=4R\varphi'(z)$$

$$=\frac{(1+\lambda)P+m(n-1)(1+\lambda)P\frac{1}{\zeta^n}+2(1-\lambda)P\frac{1}{\zeta^2}+2(1-\lambda)Pm(n-3)\frac{1}{\zeta^{n-2}}}{1-m(n-1)\frac{1}{\zeta^n}}$$

---------- (5)

4. 変位

トンネル壁面の変位は，(6)式より求められる。

$$\left.\begin{aligned}u_x&=\frac{1+\nu}{E}R\left\{\frac{3-\nu}{1+\nu}\varphi(z)-\bar{z}\varphi'(z)-\psi'(z)\right\}\\u_y&=\frac{1+\nu}{E}I\left\{\frac{3-\nu}{1+\nu}\varphi(z)+\bar{z}\varphi'(z)+\psi'(z)\right\}\end{aligned}\right\}\text{----------}(6)$$

(6)式に

$$\varphi(z)=\varphi(\zeta),\quad \bar{z}=\left(\frac{1}{\zeta}+m\zeta^{n-1}\right),\ \varphi'(z)=\frac{\varphi(\zeta)}{1-m(n-1)\zeta},\ \psi'(z)=\frac{\psi'(\zeta)}{1-m(n-1)\zeta}$$

をそれぞれ代入すると変位が求められる。

5. 数値計算結果

応力集中係数

	円形トンネル	凹凸 $n=12$ $m=\frac{1}{16}$	凹凸 $n=12$ $m=\frac{1}{32}$
$\lambda=1$	$2P$	$10.8P$	$4.07P$
$\lambda=0$ $\theta=0°$	$3P$	$15.4P$	$5.89P$
$\lambda=0$ $\theta=90°$	$-P$	$-3.9P$	$-1.82P$

変位

	円形トンネル	凹凸 $n=12$ $m=\frac{1}{16}$	凹凸 $n=12$ $m=\frac{1}{32}$
$\lambda=1$	$\frac{2Pr}{E}$	$\frac{3.23Pr}{E}$	$\frac{2.27Pr}{E}$
$\lambda=0$ $\theta=0°$	$-\frac{Pr}{E}$	$-\frac{2.11Pr}{E}$	$-\frac{1.29Pr}{E}$
$\lambda=0$ $\theta=90°$	$\frac{2.35Pr}{E}$	$\frac{2.63Pr}{E}$	$\frac{2.46Pr}{E}$

6. 結論

1) 応力集中に対して，半径5m，余掘30cmの凹凸面を吹付けコンクリートで15cm施工することにより，応力集中を半分以下に減少させる効果が考えられる。

2) 上記の条件下では，変位に対して5〜30%程度の減少が考えられる。