

III-93 トンネル切羽周辺の応力解析

名古屋大学 工学部 正員 ○斎藤敏明

名古屋大学 工学部 正員 川本脱石

1. まえがき

トンネル切羽周辺の応力解析は、応力測定などの必要上、ボアホール孔底の応力解析として、光弾性実験などを用いて弾性解析が行われてきた。しかし、その結果は、各実験者によってかなりのばらつきがあるのが現状である。¹⁾ また、三次元的な解析は、まだほとんど行われていない。著者らは、この問題を回転体の非対称荷重の問題として、有限要素法を用いて解析を行ったので、その結果を報告する。

2. 有限要素法による回転体の非対称荷重問題の解析²⁾

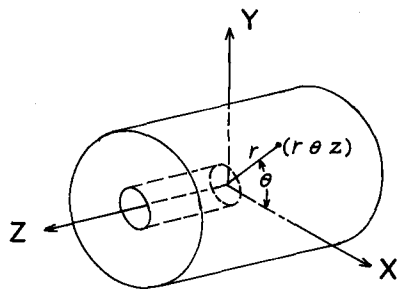
いま、 σ_1 図に示すように、円筒座標 (r, θ, z) とする。非対称荷重の解析にあたっては、まず、荷重は次式のように三角函数を用いて表わされるものとする。

$$F_r = \sum f_{rn} \cos n\theta, \quad F_\theta = \sum f_{\theta n} \sin n\theta, \quad F_z = \sum f_{zn} \cos n\theta \quad (1)$$

この場合、これらの各項に対する解が求まれば、それらの解を重ね合わせることによって目的とする非対称荷重に対する解が求められる。

また、(1) 式の一一般項に対して変位も次のような分布を考えると考えることができる。

$$\begin{aligned} U_r &= u_{rn} \cos n\theta \\ U_\theta &= u_{\theta n} \sin n\theta \\ U_z &= u_{zn} \cos n\theta \end{aligned} \quad (2)$$



第 1 図

さらに、(1)、(2) 式は各有限要素 (リングエレメント)

の節点荷重、節点変位についても成立する。そこで、適当な θ の値を代入することにより、次式のような変位-力の関係を得ることができる。

$$r \{ f_n \} = [K_n] \{ u_n \} \quad (3)$$

すなわち、(3) 式を与えられた荷重のピーク値を用いて解けば、変位のピーク値を決定することができる。

3. 三次元解析のための境界での荷重条件

σ_1 図のように、円形トンネルの切羽周辺を考え、 (x, y, z) 、 (r, θ, z) 座標をとる。たとえば、無限遠で $\sigma_z^* = p$ 、他の応力成分はすべて零の場合の境界における荷重条件は次のようになる。坑道半径 a にくらべ充分大きな r をとれば、 (r, θ, z) 座標に関し $(1, 0, 0)$ 面で、

$$F_r = \frac{p}{2}(1 - \cos 2\theta), \quad F_\theta = \frac{p}{2} \sin 2\theta, \quad F_z = 0 \quad (4)$$

それゆえ、 $n=0$ で、 $f_{r0} = p/2$ 、 $f_{\theta 0} = f_{z0} = 0$ と、 $n=2$ で、 $f_{r2} = -p/2$ 、 $f_{\theta 2} = p/2$ 、 $f_{z2} = 0$ の場合を解くことによって、この非軸対称荷重に対する解が求められる。

また、剪断応力 $\tau_{zx}^* = p$ のみが作用する場合も

$$(1, 0, 0) \text{ 面で, } F_r = F_\theta = 0, F_z = p \cos \theta \quad (5)$$

$$(0, 0, -1) \text{ 面で, } F_r = -p \cos \theta, F_\theta = p \sin \theta, F_z = 0$$

などの境界における荷重条件と、他の境界において適当な節点変位の拘束条件を設けることにより解くことができる。

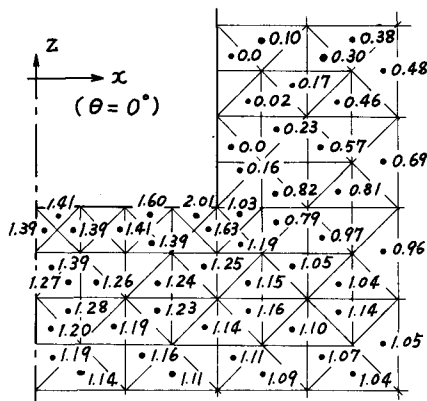
4. 計算結果

節点数179、要素数311の回転体モデルについて計算を試みたので、その結果の一例を第2～4図に示す。なお、これらの結果は、ポアソン比 $\nu = 0.25$ とし、弾性計算したものである。第2図は $\sigma_z^* = 1$ のみが作用したときの $\theta = 0^\circ$ 面内の σ_r (σ_x) の切羽近傍の応力分布である。切羽面中央での応力集中は約1.4倍となった。第3図は同じく、 $\sigma_z^* = 1$ のみが作用した場合の、 $\theta = 90^\circ$ 面内の σ_θ (σ_z) の応力分布である。これらの図から、切羽面から坑道半径ほど離れると、切羽の影響はほぼ消滅することがわかる。第4図には、 $\sigma_z^* = 1$ のみが作用したときの σ_z の応力分布を示した。この場合は軸対称荷重であるため θ には無関係となっている。また、切羽中央附近では σ_r , σ_θ は、 -0.6 , -0.57 程度となった。このほか、剪断力による影響や、非楕円問題に対する検討を行っている。

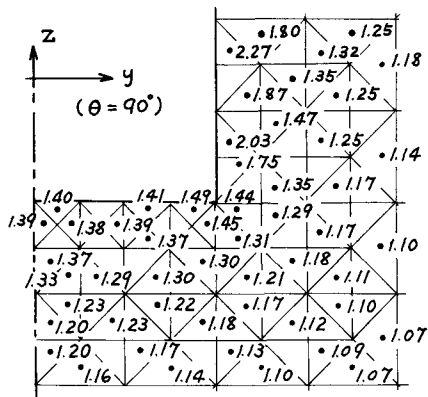
参考文献

1) H.S. WORD: STRESSES AROUND BOTTOM OF A BORE HOLE, S.E.S.A. PROCEEDING VOL. XVII, NO. 2, P113 ~ 120

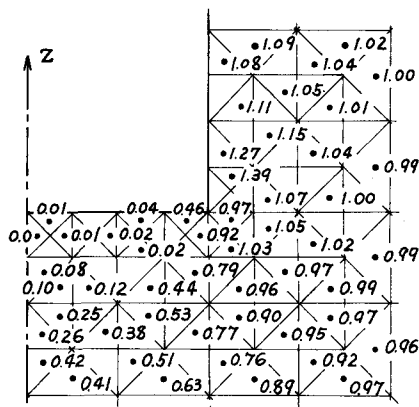
2) 川股重也: Finite Element Method による回転体の非軸対称問題の解析, コンピュータ-使用によるマトリクス構造解析, 日本鋼構造協会, P242 ~ 256



第2図 σ_z^* のみが作用した場合の σ_r ($\theta = 0^\circ$) の応力分布



第3図 σ_z^* のみが作用した場合の σ_θ ($\theta = 90^\circ$) の応力分布



第4図 σ_z^* のみが作用した場合の σ_z の応力分布