

発破プレ・ボルティング法のための基礎研究

鳥取大学大学院 学生員 ○中島 憲啓
 鳥取大学工学部 正会員 木山 英郎
 鳥取大学工学部 正会員 藤村 尚
 鳥取大学工学部 正会員 西村 強

1. まえがき

地山の発破掘削と同時にロックボルトを打設して事前補強する新しい施工法¹⁾が考案されている。その特徴は、発破孔の孔尻を利用し、従来の 1/4～1/6 の長さのロックボルトを従来工法の 2～3 倍の本数を打ち込み、掘削面を均一に拘束することにより発破掘削地山の事前補強を施す点にある。そこで、本研究ではこの短尺・多数打設のシステムボルティングの有効性を検討するために、トンネル切羽近傍の応力状態を FEM を用いて詳細に検討することにした。

2. 解析方法

円形トンネルを仮定し、E. L. Wilson (1965) による軸対称 FEM によって解析するとして、任意の 3 次元初期応力状態を表現するためには、通常 6 種の基本載荷状態を解析する必要がある。そこで、変位関数から要素剛性マトリックス、全体剛性マトリックスあるいは最終の応力やひずみマトリックスまでを通じ、できるだけ簡単で一般性のある要素単位の部分マトリックスで構成しておくのが便利である。そのため本解析に際しては、O. C. Zienkiewicz の 2 次元 FEM とほとんど同形式の軸対称 FEM 表示式を新たに誘導した。(その詳細は紙面の都合で割愛する。)

物体内の任意点 (r, θ, z) に作用する荷重成分および変位成分を次のように記す。

$$f = \begin{Bmatrix} f_r \\ f_\theta \\ f_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_{rn} \cos n\theta \\ f_{\theta n} \sin n\theta \\ f_{zn} \cos n\theta \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$d = \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u_n \cos n\theta \\ v_n \sin n\theta \\ w_n \cos n\theta \end{Bmatrix} \quad (2)$$

ここで、たとえば $f_{rn} \cos n\theta$ は n に関する単項あるいは総和を表わすものとする。

三角形断面 $\triangle ijk$ で厚さ $ds = r d\theta$ の要素を考えて、仮想仕事の原理を適用すると次式ようになる。

$$r f_e = K_e(\theta) d_e \quad (3)$$

ここで、 f_e は要素の節点力、 $K_e(\theta)$ は要素の剛性マトリックス、 d_e は要素の節点変位である。また全体剛性マトリックス $K(\theta)$ の作成は、各要素毎に求めた $K_e(\theta)$ を重ね合わせることによってなされる。このとき式 (3) は以下になる。

$$r f_e = K(\theta) d_e \quad (4)$$

通常の平面問題との相違は節点力 f_e 、節点変位 d_e が $\cos n\theta$ あるいは $\sin n\theta$ を含んでいること、および剛性マトリックス $K(\theta)$ が θ の関数であることの 2 点である。このことと、任意の断面 θ

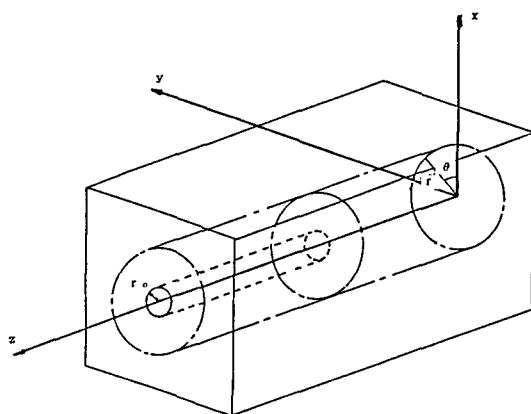


図-1 解析モデル

の解を得ることを同時に満足するには、節点力の振幅と節点変位の振幅の対応 $f_{en} \sim d_{en}$ を求めることである。そのためには $\theta = \pi/4n$ の断面を選び、 $\cos n\theta = \sin n\theta = 1/\sqrt{2}$ 、 $\tan n\theta = \cot n\theta = 1$ とすると計算が簡単となる。このとき、式(4)は

$$r f_{en} = K(\theta) d_{en} \quad (5)$$

となり、 $f_{en} \sim d_{en}$ の関係が決定できる。そして、この d_{en} から任意断面 θ 上でひずみ ϵ および応力 σ が決定される。

いま、ボアホール底面およびその近傍の応力状態を解析するために図-1に示すような形をした均質等方弾性体のモデルを考え、2種類の座標系 (x, y, z) 、 (r, θ, z) を設定する。ボアホールの半径は r_0 とする。また図-2に示すように節点数278、要素数489に分割し、ボアソン比 $\nu = 0.25$ とした。拘束条件としては、 $r=0$ の節点では z 方向に可動な移動支点とし、 $z=0$ と $z=6r_0$ の節点では r 方向に可動な移動支点とした。

3. 解析結果および考察

岩盤応力 σ_x のみが作用した場合の応力図を図-3と図-4に示す。図-3は $\theta=0^\circ$ の断面の応力図であり、図-4は $\theta=90^\circ$ の断面の応力図である。これらからわかることは、ボアホール底面およびその近傍に比較的大きな応力が発生していることである。しかも応力集中は小範囲である。これらのことから短いロックボルトを用いて、発破掘削地山の事前補強の効果が十分に期待できる。現在、他の5種の載荷状態について同様な解析を進めている。

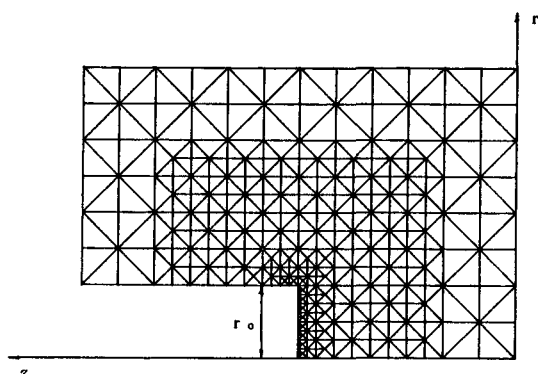


図-2 要素分割図

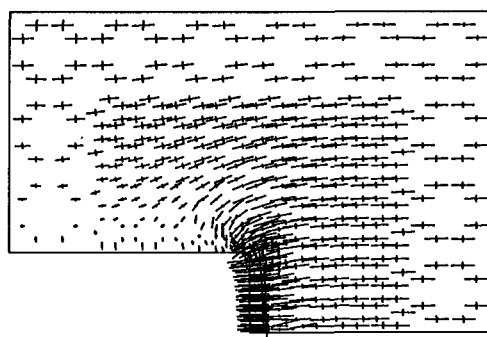


図-3 $\theta=0^\circ$ の応力図

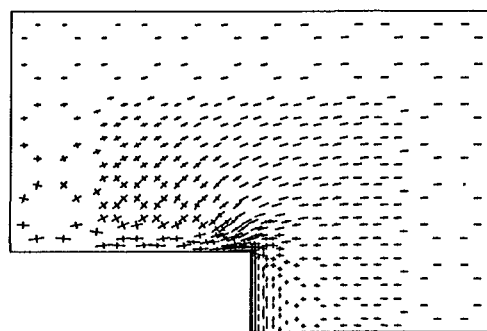


図-4 $\theta=90^\circ$ の応力図

参考文献

- 1) 木山他：発破掘削のロックボルトによる事前補強施工法，公開特許公報，昭61-175500, 1986