

発破プレ・ボルディング法のための基礎研究

鳥取市水道局 正 員 ○中島 憲啓
鳥取大学工学部 正 員 木山 英郎
鳥取大学工学部 正 員 藤村 尚
鳥取大学大学院 学生員 植村 宏二

1. まえがき

ロックボルトによる発破掘削地山事前補強施工法の従来法は、2発破掘削長に相当するロックボルトが適用されている。一方、ここで提案する発破プレボルディング法¹⁾では、1発破掘削長より短いロックボルトを多数打ち込むことで事前補強を行う。そこで、本研究ではこの短尺・多数打設のシステムボルディングの力学的有効性を検討するために、種々の初期応力状態におけるトンネル切羽近傍の応力の状態を3次元FEMによって解析することにした。

2. トンネル切羽近傍の基本載荷状態の解析

解析は2次元問題の拡張として3次元モデルを扱うことは従来の解析法と変わらない。通常の平面問題との相違は、剛性マトリックスが θ の関数であり、sine、cosineを分離できるような部分マトリックスで定式化を行い、簡便化を図ったことにある。

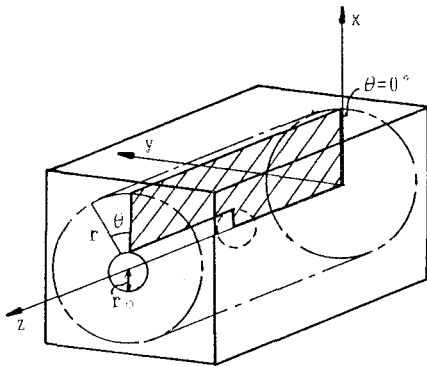


図-1 解析モデル

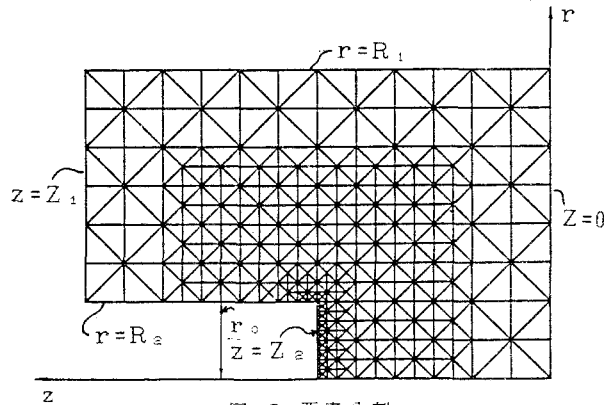


図-2 要素分割

さて、任意の3次元初期応力状態を表現するためには、一般に6種類の基本載荷状態を解析する必要がある。円形トンネルに対しては、それらは σ_x のみ作用するとき、 σ_z のみ作用するとき、 τ_{xz} のみ作用するときの3種類となし得る。これら基本載荷状態のもとでトンネル切羽周辺の応力の状態を解析するために、図-1に示すような形の均質等方弾性体のモデルを考える。このモデルで2種類の座標系 (x, y, z) と (r, θ, z) を設定する。ただし、トンネルの半径は r_0 とする。また、図-2に示すような断面を三角形のメッシュで要素分割を行う。このメッシュの節点数は278、要素数は489である。次に荷重条件を以下のように考える。

σ_x のみが作用するとき

$$\left. \begin{aligned} r = R_1 \text{において} \\ f_r = \sigma_r = (1/2 + \cos 2\theta/2) \sigma_x \\ f_\theta = \tau_{r\theta} = (-\sin 2\theta/2) \sigma_x \\ f_z = \tau_{rz} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

σ_z のみが作用するとき

$$r = R_1 \text{において}$$

$z = Z_1$ ならびに $z = 0$ において

$$\left. \begin{aligned} f_r = \tau_{rz} = 0 \\ f_\theta = \tau_{\theta z} = 0 \\ f_z = \sigma_z = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$z = Z_1$ ならびに $z = 0$ において

$$\left. \begin{aligned} f_r = \dot{t}_{rz} = 0 \\ f_\theta = \dot{t}_{r\theta} = 0 \\ f_z = \dot{t}_{rz} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$\dot{t}_{xz}$ のみが作用するとき

$r = R_1$ において

$$\left. \begin{aligned} f_r = \dot{t}_{rz} = 0 \\ f_\theta = \dot{t}_{r\theta} = 0 \\ f_z = \dot{t}_{rz} = \dot{t}_{xz} \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} f_r = \dot{t}_{rz} = 0 \\ f_\theta = \dot{t}_{r\theta} = 0 \\ f_z = \dot{t}_{rz} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$z = Z_1$ ならびに $z = 0$ において

$$\left. \begin{aligned} f_r = \dot{t}_{rz} = \dot{t}_{xz} \cos \theta \\ f_\theta = \dot{t}_{r\theta} = -\dot{t}_{xz} \sin \theta \\ f_z = \dot{t}_{rz} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

さらに、境界における拘束は $\dot{t}_{xz}$ のみが作用する場合は $r = 0$ で z 方向のみに可動な支点とし、 $z = 0$ および $z = Z_1$ では r 方向のみに可動な支点とする。 $\dot{t}_{xz}$ のみが作用する場合は $r = 0$ で z 方向のみに可動な支点とし、 $z = Z_1$ では r 方向のみに可動な支点とする。 $\dot{t}_{xz}$ のみが作用する場合は $r = 0$ で z 方向のみに可動な支点とする。

3. 解析結果および考察

図-3の(a)~(c)にそれぞれ $\dot{t}_{xz}$ のみ作用する場合、 $\dot{t}_{xz}$ のみ作用する場合、 $\dot{t}_{xz}$ のみ作用する場合の $\theta = 0^\circ$ 断面の主応力図を示す。また図-4の(a)~(c)にそれぞれ $\dot{t}_{xz}$ のみ作用する場合、 $\dot{t}_{xz}$ のみ作用する場合、 $\dot{t}_{xz}$ のみ作用する場合の $z = Z_1$ 周辺の主応力図を示す。これらの図より、トンネル切羽近傍では局部的な応力集中が生じていることがわかる。特に、天端で最大の主応力が生じている。

これら基本載荷状態を組み合わせることにより、任意の地山応力のもとで任意の θ 断面の変位ならびに応力を求めることが可能である。現在、種々の地山応力状態に対し、トンネル近傍の応力、変位分布をもとに発破ブレボルティング法が力学的に有効であるかどうか検討をすすめている。

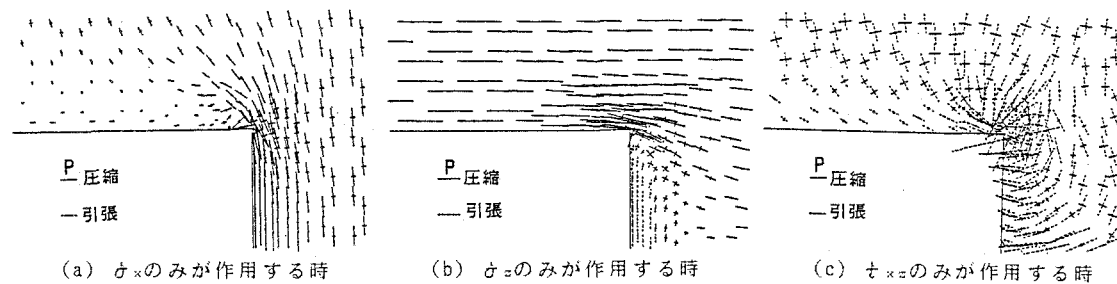


図-3 $\theta = 0^\circ$ 断面の主応力図

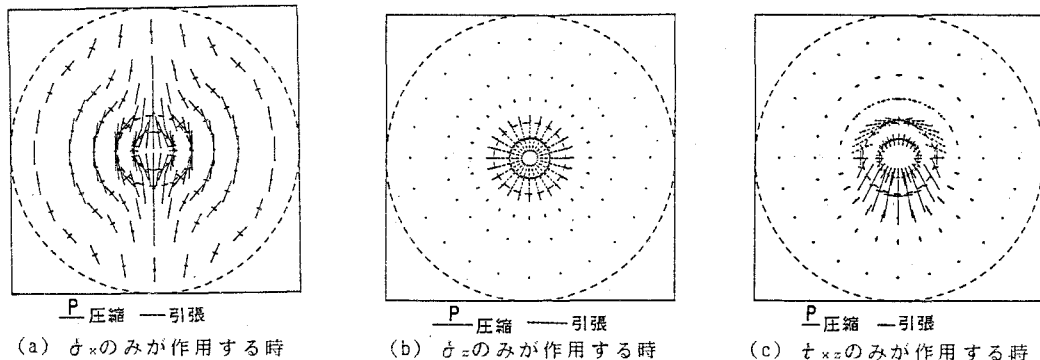


図-4 $z = Z_1$ 周辺の主応力図

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