進行波によるトンネルの過渡応力状態について

京都大学　工博　丹羽義次
〃　工博　小林昭一
建設省　工修　○松本忠章

1、はじめに

近年、大規模な地下発電所や長大トンネルのような重要な地中構造物がつぎつぎと作られつつあるが、これとともに、こういった構造物の静的ならびに動的な応力状態をより的確に把握することが必要となると思われる。ところが、静的な場合はともかく、動的な応力状態の解析で、境界条件や材料特性が複雑になると、理論的な解析はまず不可能である。こういった問題の解析にあたっては、逐次的な数値解析法、たとえば、差分法や動的有限要素法が非常に有効であり、任意の境界形や任意の入力波形が扱えるばかりでなく、さらに増分法を利用することによって、地盤や岩盤が非線形の材料特性を有する場合にも解析が可能である。

この研究は、G. Maenchen と S. Sack による"TENSOR CODE"に示された数値解析手法を少し修正して利用し、非線形材料特性を有する岩盤中の任意形状トンネルに波が入射した場合について解析を行ったものである。問題はすべて平面歪とする。

2、数値解析手法

"TENSOR CODE"は Euler 座標系で書かれている運動方程式や歪の定義式を Lagrange 座標系で表示し、これを Lagrange 座標の格子点間の差分で近似した近似計算式を用いて計算を進めてゆくが、従来の差分法にはない次のような特点がある。

(1) 大変形の問題を解きうる。

(2) 変位（変位増分）、加速度を格子点で、歪（歪増分）応力（応力増分）を四角形の格子の中央で定義する。

(3) 塑性、その他の非線形な材料特性を含めた計算が容易にできる。

(4) 境界条件を容易に定めうる。これは、格子の分割をレギュラーにする必要がないためであるが、これによって、任意形状の境界の問題を解きうる。

などである。

また材料特性は、次の2つの降伏条件に従う完全弾塑性体を考えた。

von Mises の降伏条件　：　$\sqrt{J_2} - k_m = 0$　……(1)

Drucker-Prager　〃　：　$\alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k_d = 0$　……(2)

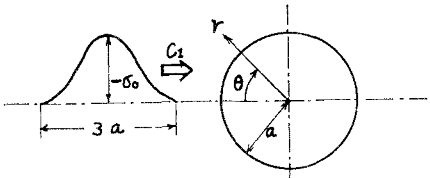
この式中、I_1は応力テンソルの1次不変量、J_2は偏差応力テンソルの2次不変量であり、(1)式のk_mは材料のせん断強度である。また(2)式は平面歪状態では Mohr-Coulomb の降伏条件と相似となり、岩盤材料の粘着力 C，内部まさつ角 φ を用いて

$$\alpha = \frac{2 \sin \phi}{\sqrt{3}\,(3-\sin \phi)} \quad , \qquad k_d = \frac{6C \cos \phi}{\sqrt{3}\,(3-\sin \phi)} \quad \cdots\cdots (3)$$

と表わすことができる。

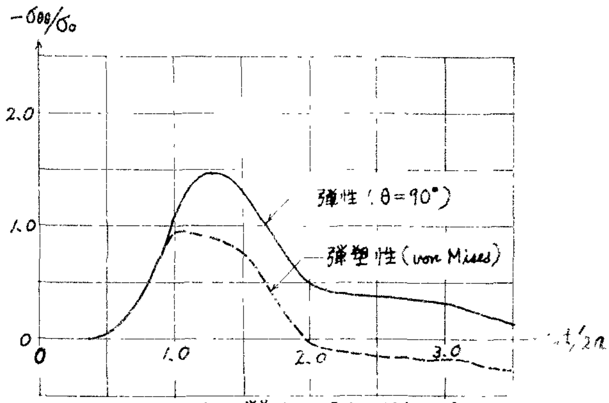
3、数値解析例

計算に必要な材料定数は $E=50000\,kg/cm^2$, $\nu=0.3$, $\rho=2.2g/cm^3$ を用いた。縦波、横波の伝播速度はそれぞれ、$C_1=1732m/sec$, $C_2=926m/sec$ である。



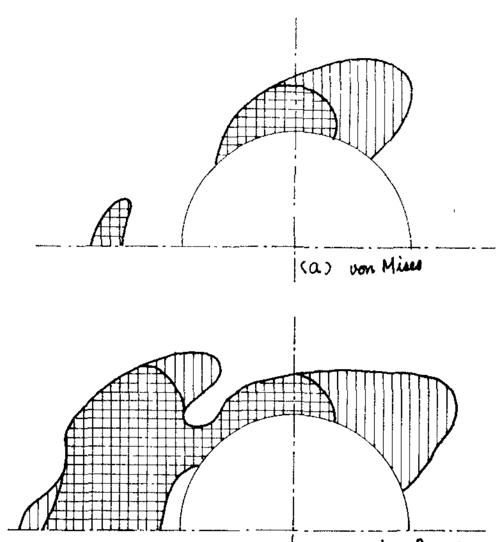
図−1　円形トンネルと入力波

まず半径が $a=5m$ である円形トンネルに、図−1に示すような bell 型の単一平面波（圧縮波）が入射する問題を解析した。図の波長はトンネルの半径の3倍とする。岩盤材料が(1)式の $k_m=0.4\sigma_0$ とした von Mises の降伏条件に従うものとして計算した。図−2はトンネルの縁応力を示したものである。（"TENSOR CODE"では格子の中央で応力を計算するので真の縁応力ではない。）図−3 (a), (b) は降伏領域の包絡線である。(b)は Drucker-Prager の降伏条件を適用した場合で、(3)式の $C=0.2\sigma_0$ $\phi=40°$ で計算して得られたものである。この条件ではトンネル面から反射された引っ張り波による降伏領域が大きくなる。



図−2　von Mises 弾塑性の場合の縁応力の変化

馬蹄形トンネルに対する解析を含めた結果の詳細は当日発表する予定である。



図−3　降伏領域の包絡線

（参考文献）

Maenchen G. and S. Sack : "The tensor code," Method of Computational Physics. (1964)