(Ⅲ－12)　　層状性円形介在物を有する多孔質弾性体の準三次元解析


山梨大学大学院　○学生会員　遠藤 洋
山梨大学工学部　正会員　平島健一
(株) 竹中土木　市川晃央


## 1. 目 的

岩石の応力-ひずみ-間隙圧の相互の関係は、媒体が線形弾性であると仮定した場合には多孔質弾性パラメータを用いて記述することができる。ところで、土質力学では、固体部分や間隙流体を非圧縮性であると仮定して取り扱うことが多いが、岩石では泥岩のような軟岩のような場合には特に圧縮性として取り扱いが必要であるとされており、そのためにはBoitの三次元圧密理論を起点として発達してきた多孔質体の固体部分や間隙流体を圧縮性材料として取り扱うことができる多孔質弾性理論 (Theory of Poroelasticity) を適用すれば便利である。

そこで本論文では、多孔質弾性理論を用い、媒体(例えば岩盤)は等方性の多孔質弾性体として理想化し、層状性円形介在物の材料はそれぞれの層を等方性の完全弾性体であると考え、さらに媒体と層状性円形介在物のそれぞれの層の結合条件は完全接合と完全滑りの二つを仮定し、円形孔の軸が遠方原位置主応力の作用軸に対して任意に傾斜している準三次元下での解析を行う。したがって、本論文は任意の傾斜して埋設された十分に長い層状性円形介在物のそれぞれの層と多孔質弾性体(岩盤)の間の相互作用などについての時間依存の解析と、接合条件(完全結合・完全滑り)の違いによる各物理量の比較を行うことを目的としている。

## 2. 解析方法

### 2-1 境界条件

遠方から作用する主応力の軸に対して、傾斜掘削孔の軸が傾いた状態で掘削されるものとする。すなわち、原位置三軸応力の主軸に一致するように$x'$-$y'$-$z'$のデカルト座標系を設け、それぞれの原位置の三軸主応力を$S_{x'}, S_{y'}, S_{z'}$と表示する。また、掘削孔はその軸が$z$軸に一致するように設けた任意の$x$-$y$-$z$座標系により定義されるものとする。その位置づけは、$z'$軸について$\varphi_{z'}$の方向角をもつ回転、$x$軸に向かって$\varphi_y$の天頂角をもつ傾斜によって示される (Fig1-(a)参照)。また、解析の便宜上、任意の (掘削孔の) $x$-$y$-$z$座標についての解析領域は、Fig1-(b)に示されている。

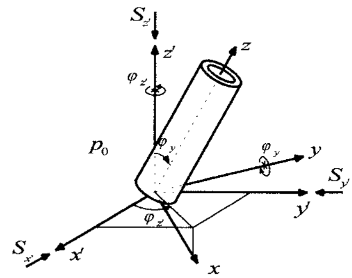


Fig 1-(a) Schimatic Diagram of Inclined Circular Inclusion

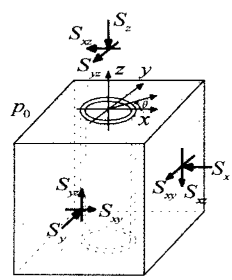


Fig 1-(b) Circular Inclusion and Applied Three Dimensional Stresses

Fig 1 Problem definition

遠方の原位置主応力$\{S_{x'}, S_{y'}, S_{z'}\}$は、任意座標軸における値$\{S_x, S_y, S_z, S_{xy}, S_{yz}, S_{xz}\}$へ変換することができる。

また、遠方場 ($r\to\infty$) での応力は

$$\left.\begin{aligned}&\sigma_{xx}=-S_x,\ \sigma_{yy}=-S_y,\ \sigma_{zz}=-S_z,\ \sigma_{xy}=-S_{xy},\\&\sigma_{yz}=-S_{yz},\ \sigma_{xz}=-S_{xz},\ p=p_0.\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(1)$$

となり、掘削孔壁と層状性円形介在物の境界 ($r=R_2$) における境界条件として、完全結合状態を仮定すれば次式で与えられる。

$$\sigma_{rr}=\sigma_{rr}^{l2},\quad \sigma_{r\theta}=\sigma_{r\theta}^{l2},\quad \sigma_{rz}=\sigma_{rz}^{l2},\quad \frac{\partial p}{\partial r}=0.\quad\cdots(2)$$

また、層状性円形介在物のそれぞれの層の境界 ($r=R_1$) における境界条件として、完全結合状態を仮定すれば次式で与えられる。

$$\sigma_{rr}^{l1}=\sigma_{rr}^{l2},\quad \sigma_{r\theta}^{l1}=\sigma_{r\theta}^{l2},\quad \sigma_{rz}^{l1}=\sigma_{rz}^{l2}.\quad\cdots(3)$$


キーワード：多孔質弾性体 、層状性円形介在物 、ラプラス変換


連絡先：山梨県甲府市武田4-3-11　山梨大学工学部土木環境工学科平嶋研究室

2-2 解析解の重ね合わせ

支配方程式の線形性により、遠方場および円形の掘削孔壁と層状性円形介在物のそれぞれの層の境界条件(完全結合・完全滑り)を便宜的に次の3つの問題に分割することができる。

Problem Ⅰ (多孔質弾性平面ひずみ問題)

Problem Ⅱ (弾性一軸問題)

Problem Ⅲ (弾性面外せん断問題)

これらの問題の解析解を重ね合わせることにより所期の目的の一般解が得られることになる。

3. 数値計算例

時間領域における数値解は解析解を近似 Laplace 逆変換 (Stehfest の方法) を適用することによって得ることができる。$S_x = -1.0Mpa/m$ すなわち $\sigma_{x'x'} = 1.0Mpa/m$ のみ作用したときの数値計算例を示す。Fig. 2 と Fig. 3 は各層での境界条件を完全接合であると仮定し、$E:E^{l2}:E^{l1} = 1:2:4$ の t=0.001(day)、t=1000.0(day)に対する最大せん断応力 $\tau_{max}/p_0$ を示したものである。時間経過により等高線が変化していくことが分かる。

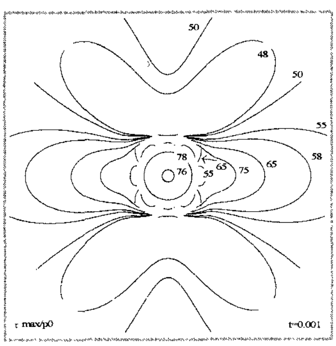


Fig. 2　$E:E^{l2}:E^{l1} = 1:2:4$ および t=0.001(day)の最大せん断応力 $\tau_{max}/p_0$ (完全接合)

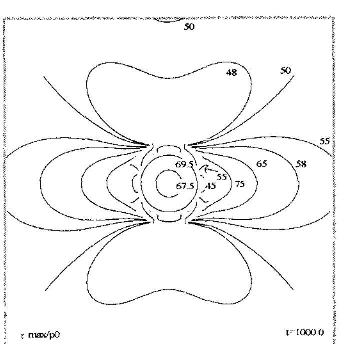


Fig. 3 $E:E^{l2}:E^{l1} = 1:2:4$ および t=1000.0(day)の最大せん断応力 $\tau_{max}/p_0$ (完全接合)

また、Fig. 5 と Fig. 6 は各層の境界条件を完全滑りであるとと仮定し、$E:E^{l2}:E^{l1} = 1:2:4$ の t=0.001(day)、t=1000.0(day)に対する最大せん断応力 $\tau_{max}/p_0$ を示したものである。時間経過により等高線が変化していくことが分かる。

4．結言

本論文は、層状性介在物の軸が遠方原位置主応力の作用軸に対して任意に傾斜している準三次元過重下での理論解析を提示した。ここでの取り扱いでは、媒体は多孔質弾性体であるとし、また層状性介在物は弾性体であるとして理想化した。ここに各接合境界の条件には完全結合と完全滑りを仮定した。このようにして得られた解析解により時間の変化や接合条件の相違にともなう各物理量の変化を数値計算により把握することが可能となる。

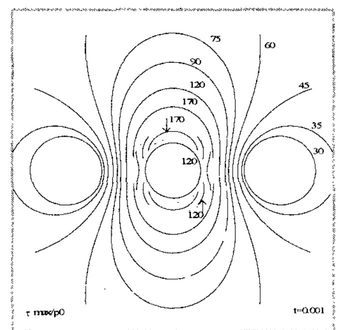


Fig. 4　$E:E^{l2}:E^{l1} = 1:2:4$ および t=0.001(day)の最大せん断応力 $\tau_{max}/p_0$ (完全滑り)

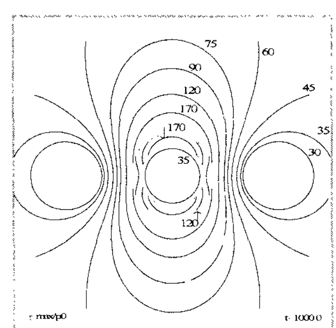


Fig. 5　$E:E^{l2}:E^{l1} = 1:2:4$ および t=1000.0(day)の最大せん断応力 $\tau_{max}/p_0$ (完全滑り)