

日本国土開発(株) 正会員 菊地慎二
 山梨大学工学部 正会員 平島健一
 山梨大学大学院 学生員 ○ 沢田正雄

1. はじめに

従来までの応力回復法、応力解放法などの初期地圧計測法の他に、1980年代前後から、採取したコアを用いた地圧計測法が開発され、いくつかの総括的な報告や研究が最近活発に進められつつある^{1),3)}。

本論文では、地山岩盤を線形粘弾性体と仮定して、応力解放法によって初期地圧の計測を実施するための解析理論を提示する。なお、Overcoring 径の大きさは計測器の径に比較して十分遠方であるとし、埋設計測装置としては円柱型 (solid)、接合面の条件としては完全接合とする (Fig.1 参照)。

2. 解析理論

2-1. 弾性岩盤に対する解析理論

ここで対象とする問題は岩盤部分 (Matrix) および円形計測器部分 (Inclusion) から構成され、ともに等方性弾性体であるとし、紙面の都合上、面外問題に限定した式の提示を行う。複素変数 $z = x + iy = re^{i\theta}$ の解析関数 $\varphi_k(z)$, ($k = 1, 2$) により各部分の応力、変位の計算式は次の式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \tau_{rz}^{(k)} - i\tau_{\theta z}^{(k)} &= (\tau_{xz}^{(k)} - i\tau_{yz}^{(k)})e^{i\theta} = \varphi_k'(z)e^{i\theta}, \\ G_k u_z^{(k)} &= Re[\varphi_k(z)], \quad \varphi_k(z) = A_k z + B_k z^{-1}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

上式の下添字および上添字のカッコ内の k は、 $k = 1$ のとき Matrix 側、 $k = 2$ のとき Inclusion 側を表す。また、 Re は実部を示す記号である。複素係数 A_k, B_k , ($k = 1, 2$) は境界条件を考えることにより具体的な形で求められ、たとえば Matrix 側の応力、変位は次式ようになる。

$$\left. \begin{aligned} \tau_{rz}^{(1)} &= \left\{ 1 - \left(\frac{R_0}{r} \right)^2 \frac{\Gamma_1 - 1}{\Gamma_1 + 1} \right\} (\tau_{xz}^\infty \cos \theta + \tau_{yz}^\infty \sin \theta), \\ \tau_{\theta z}^{(1)} &= - \left\{ 1 + \left(\frac{R_0}{r} \right)^2 \frac{\Gamma_1 - 1}{\Gamma_1 + 1} \right\} (\tau_{xz}^\infty \sin \theta - \tau_{yz}^\infty \cos \theta). \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (2)$$

$$u_z^{(1)} = \frac{r}{G_1} \left\{ 1 + \left(\frac{R_0}{r} \right)^2 \frac{\Gamma_1 - 1}{\Gamma_1 + 1} \right\} (\tau_{xz}^\infty \cos \theta + \tau_{yz}^\infty \sin \theta). \quad \dots\dots (3)$$

$$\Gamma_1 = \frac{G_1}{G_2}. \quad \dots\dots (4)$$

ここに、 $\tau_{xz}^\infty, \tau_{yz}^\infty$ は岩盤に働く初期面外応力、 R_0 は計測

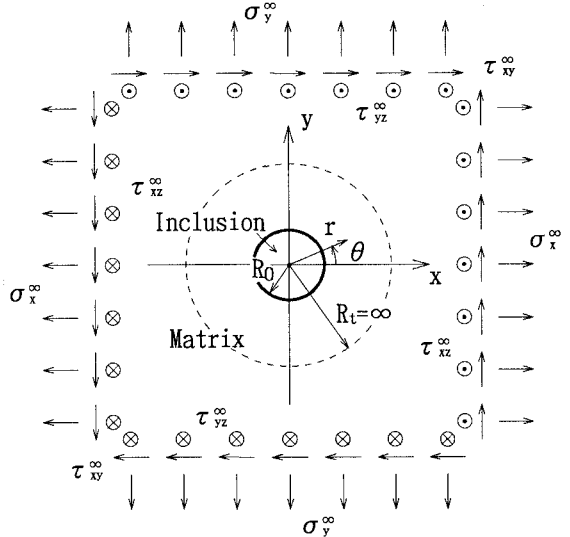


Fig.1 Geometry of solid inclusion and rock under applied initial stresses at infinity.

器の半径である。なお、面内問題に関する応力、変位の式も同様の解析理論によって、すでに求められている²⁾。

2-2. 粘弾性体に対する解析理論

前節に示した弾性問題の基本解をもとに、弾性問題と線形粘弾性問題の間に成立する対応原理を利用すれば、一般的な線形粘弾性モデルに対する閉じた型の解析解が得られることになる。すなわち、例えば、面外問題の場合には、式 (2)~(4) の G_k に関連した係数と作用荷重の時間的荷荷状態に応じた Laplace 変換ならびにその逆変換によって所要の粘弾性解が閉じた型の厳密な解析解として得られる。Burgers タイプの粘弾性モデルの場合、 G_k に関する Laplace 変換公式は次のようになる。

$$\mathcal{L}[G_k] = \bar{G}_k = \mu_2^k \frac{s(s + 1/\tau_1^k)}{s^2 + a_k s + b_k}. \quad (k = 1, 2) \quad \dots\dots (5)$$

$$a_k = \frac{\tau_1^k + \tau_2^k + \eta_2^k/\mu_1^k}{\tau_1^k \tau_2^k}, \quad b_k = \frac{1}{\tau_1^k \tau_2^k}, \quad \tau_j^k = \frac{\eta_j^k}{\mu_j^k}. \quad \dots\dots (6)$$

式(6)中の μ_k^i, η_k^i はMatrix ($k=1$)またはInclusion ($k=2$)に対する Burgers モデルの力学定数を表わす。粘弾性体としたときの応力、変位を求める式中に現れる力学定数の Laplace 変換の代表的なものは次のようになる。

$$\mathcal{L} \left[\frac{G_1}{G_2} \cdot H(t) \right] = \frac{1}{s} \cdot \frac{\sum_{n=0}^3 Q_n s^n}{\sum_{n=0}^3 P_n s^n} \dots\dots\dots(7)$$

それらに対する Laplace 逆変換は通常の数学公式集を用いて陽な形で求めることができるのでここでは、具体的な時間依存の解の提示は省略する。

3. 数値計算例

接合面 ($i, e, r = R_0$) における応力および変位に関する数値計算結果を示す。なお、岩盤部分 (Matrix) および円形計測器部分 (Inclusion) の力学定数は

Matrix 側

$$\begin{aligned} \mu_1^1 &= 2.07 \times 10^{14} (\text{kg/cm}^2), & \mu_2^1 &= 6.90 \times 10^4 (\text{kg/cm}^2) \\ \eta_1^1 &= 4.83 \times 10^{17} (\text{kg/cm}^2 \cdot \text{min}) \\ \eta_2^1 &= 5.73 \times 10^{19} (\text{kg/cm}^2 \cdot \text{min}) \end{aligned}$$

Inclusion 側

$$\begin{aligned} \mu_1^2 &= 2.07 \times 10^{15} (\text{kg/cm}^2), & \mu_2^2 &= 3.45 \times 10^3 (\text{kg/cm}^2) \\ \eta_1^2 &= 4.83 \times 10^{-2} (\text{kg/cm}^2 \cdot \text{min}) \\ \eta_2^2 &= 5.73 \times 10^{20} (\text{kg/cm}^2 \cdot \text{min}) \end{aligned}$$

とする。すなわち、岩盤部分 (Matrix) については、Burgers モデルの粘弾性体と仮定し、円形計測器部分 (Inclusion) については、弾性体と仮定した。また、岩盤部分 (Matrix) を Standard モデルと仮定したのも同時に計算した。Fig.2 は、単純に τ_{zz}^∞ のみが作用する場合の計測

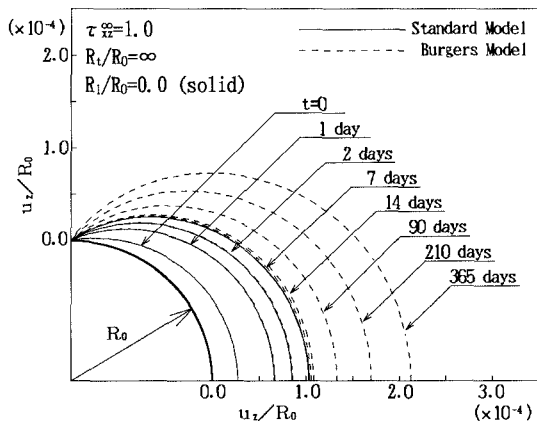


Fig.2 Time variations of displacement u_z around the boundary at $r = R_0$ under applied stress τ_{zz}^∞ .

器周縁における θ 方向の変化に伴う変位 u_z の分布を示したものである。Standard モデルと Burgers モデルを比較すると、Standard モデルでは7日目まで一定値に漸近し、変位は収束するが、Burgers モデルの方ではその後とも時間経過に伴ない変位が進行していくことが観察さ

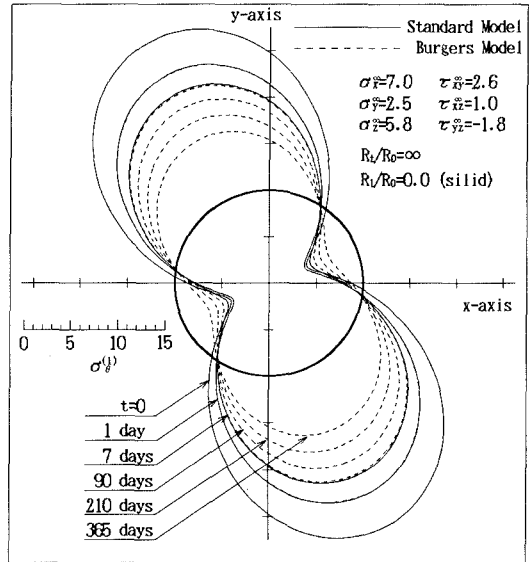


Fig.3 Time variations of displacement $\sigma_\theta^{(1)}$ around the boundary at $r = R_0$ under applied initial stresses at infinity.

れる。Fig.3 は、面内・面外荷重 ($i, e, 3$ 次元初期応力) が作用する場合で接合面で $\sigma_\theta^{(1)}$ の分布であり、3次元応力下での粘弾性解の変化が観察される。

4. おわりに

本論文では地山岩盤を線形粘弾性体と仮定し、Borehole 内に埋設設置された円形状計測装置を同心円上に応力解放して得られたコアを用いて、時間経過に伴う応力、変位の変動量から3次元初期地圧を計測するための理論的側面について検討した。

参考文献

- 1) 例えば、「コアを用いた地圧計測ワークショップ論文集」、資源・素材学会、1~87、(1991)
- 2) 菊地慎二・佐久間彰三・平島健一・松田武：土木学会論文集、No430/ III-15、143~152、(1991)
- 3) 松木浩二：資源・素材学会誌、108、41~45、(1992)