

山梨大学工学部

山梨大学工学部

金沢大学大学院

○学生会員 下田 祐介

学生会員 鈴木 拓雄

正会員 平島 健一

1. 緒言

構造物の現有応力・ひずみを測定する方法の1つとして応力解放法(オーバーコアリング法)がある。これは、外力を受ける構造物等の任意点に削孔された小孔径のボーリング孔(パイロットホール)内に計測器を設置し、そのパイロットホールと同心円状にオーバーコアリングを行うことによって構造物等の応力を解放して現有応力・ひずみを測定する方法である。具体的には応力を解放させることによって生じるパイロットホールの形状変化から媒体に作用している応力・ひずみを求めなければならないため、媒体や埋設した計測器の物性、さらには計測器を接着剤などにより固定している場合にはその接着層の物性を考慮した計測理論が必要である。

ところで、これまでに確立されてきたそのような計測理論では、オーバーコアリングの中心と任意点に埋設された円形の計測装置(以下SIセルと称する)は常に同心円かつ同心軸であることが前提とされている。しかし計測機材の寸法精度の問題や掘削方法により、これらを厳密な同心円かつ同心軸とすることは困難である。

そこで、本研究では接着層を含めた計測装置とオーバーコアリングの中心とが偏心している場合に対して3次元有限要素法による数値解析と弾性論に基づいた理論解析を行い、これらが同心円かつ同心軸となっている場合との比較から偏心の影響について検討する。

2. 解析モデル

本研究での解析モデルは、図1で示すように、媒体、接着層およびSIセルの3層から構成されており、オーバーコアリングの中心とSIセルとが同心円かつ同心軸ではない問題を取り扱う。ただし接着層とSIセルは同心円かつ同心軸であるとする。

図1に示すように、媒体、接着層およびSIセルをそれぞれ領域(Ⅰ)、(Ⅱ)および(Ⅲ)とし、また、半径 R_t 、 R_0 および R_i をそれぞれ、オーバーコアリング半径、パイロットホール半径およびSIセル半径であるとする。

ここに、 E_i, ν_i および G_i はそれぞれ縦弾性係数、ポアソン比およびせん断弾性係数であり、 $i=1, 2$ および 3 のときはそれぞれ媒体、接着層およびSIセルの領域であることを示す。また、SIセルおよび接着層の中心をO、オーバーコアリングの中心をO'で表す。

3. 弾性論に基づいた理論解析

3.1 基礎方程式 等方性弾性体の応力、変位は複素応力関数 $\phi_k(z), \psi_k(z)$ および $\phi_k(z)$ を用いることによって(1)のように求められ、この式から各層の任意点での各物理量が求まることになる。ここに、媒体、接着層およびSIセルそれぞれの弾性係数は E_k, G_k, ν_k ($k=1, 2, 3$)であり複素変数は $z = x + iy$ である。

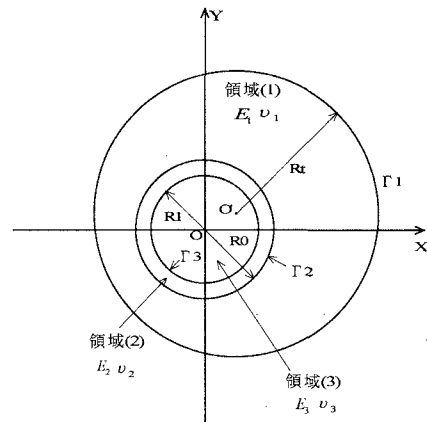
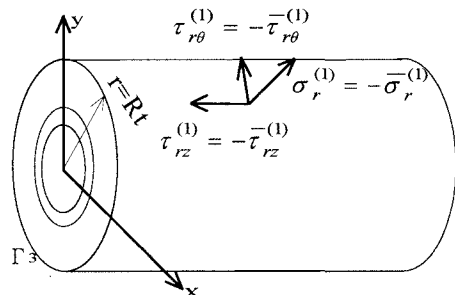


図1 解析モデル断面

図2 オーバーコア位置(境界 Γ_1)での境界条件

キーワード：多層偏心介在物、初期応力、接着層、等方性弾性媒体、無限一様荷重

連絡先：山梨県甲府市武田4-3-11 山梨大学土木環境工学科 平嶋研究室

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r^{(k)} + \sigma_\theta^{(k)} &= 4\text{Re}[\phi_k'(z)], \\ \sigma_r^{(k)} - i\tau_{r\theta}^{(k)} &= 2\text{Re}[\phi_k'(z)] - \{z\phi_k'(z) + \psi'(z)\}e^{i\theta}, \\ \tau_{rz}^{(k)} - i\tau_{\theta z}^{(k)} &= \phi_k'(z) \cdot e^{i\theta}, \\ u_r^{(k)} - iu_\theta^{(k)} &= \frac{1}{2G_k} [\kappa_k \phi_k(z) - \{z\phi_k'(z) + \phi_k'(z)\}e^{i\theta}], \\ u_z^{(k)} &= \frac{1}{G_k} \text{Re}[\phi_k] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、 κ_k は平面ひずみ問題のときには $\kappa_k = 3 - \nu_k$ となり、平面応力問題のとき $\kappa_k = (3 - \nu_k) / (1 + \nu_k)$ の値をとる。また、各複素応力関数は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} \phi_k(z) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n^{(k)} z^n, \\ \psi_k(z) &= K \ln z + \sum_{n=-\infty}^{\infty} B_n^{(k)} z^n, \\ \phi_k(z) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n^{(k)} z^n. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

3.2 境界条件 図1に示した3つの領域の接触境界 Γ_2, Γ_3 において応力変位の連続性が達成されているものとすれば、次の境界条件が成立する。

$$\left. \begin{aligned} u_r^{(n)} - u_\theta^{(n)} &= u_r^{(n-1)} - u_\theta^{(n-1)}, u_z^n = u_z^{(n-1)} \\ \sigma_r^{(n)} - i\tau_{r\theta}^{(n)} &= \sigma_r^{(n-1)} - i\tau_{r\theta}^{(n-1)}, \tau_{rz}^{(n)} = \tau_{rz}^{(n-1)} \end{aligned} \right| \text{at } r \rightarrow Rn-1 \quad (3)$$

($n = 1, 2$)

また、オーバーコアリング位置 Γ_1 における境界条件は図2で示されているように次式で表される。

$$\sigma_r^{(1)} = -\sigma_r^{(1)}, \tau_{r\theta}^{(1)} = -\tau_{r\theta}^{(1)}, \tau_{rz}^{(1)} = -\tau_{rz}^{(1)} \quad \text{at } r \rightarrow Rt \quad (4)$$

境界 Γ_3 でこのような条件を設定するのは次のような理由による。すなわち、オーバーコアリングによって切り離されるセルを含む円柱体の外周面に作用反作用の法則によってオーバーコアリング前の応力場と大きさが同じで向きが反対の表面応力を作用させれば、コア表面をトラクションフリーの状態にすることができるとともに、オーバーコアリング後に生じる SI セル内部のひずみを決定することができるからである。

さらに SI セルの原点 O での応力および変位の有限性の条件を次のように設定する。

$$\sigma_{ij}^{(3)}, u_{ij}^{(3)} : \text{finite values, at } r \rightarrow 0 \quad (5)$$

これらの条件から式(2)に示した各応力関数の未知係数を決定することが可能となる。

4. 有限要素法による解析

4.1 問題設定 有限要素法による数値解析では、次のような2つの偏心モデルを対象とした。

図3(a)に示すようにパイロットホールの孔壁面でオーバーコアリングと接着層および SI セルが同心円であり、一方孔底面ではオーバーコアリングが接着層と SI セルとは偏心した状態となっているもの。

図3(b)に示すようにパイロットホールの孔壁面、孔底面の両側でオーバーコアリングが接着層と SI セルとは偏心した状態となっているもの。

4.2 有限要素モデル 図4に解析モデルを Hexahedral 要素で分割した解析モデルを示す。形状はオーバーコアリング半径 $Rt=35\text{mm}$ 、パイロットホール半径 $R0=10\text{mm}$ 、SI セル半径 $=9\text{mm}$ 、奥行きを 350mm としている。

5. 結言

各層が偏心している場合の解析解の導出ならびに偏心かつ同軸ではない場合についての有限要素解析を行い、様々な条件に対する計算および特別な場合について弾性理論解との比較を行った。具体的な計算結果については講演会当日発表する。

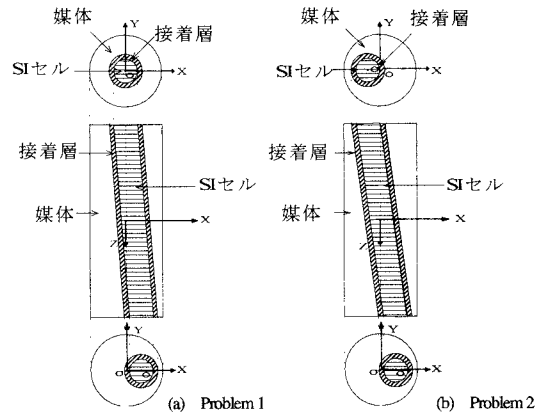


図3 各層の有限要素モデル

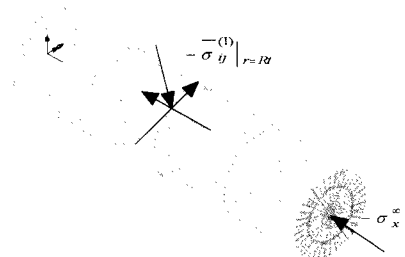


図4 有限要素法による解析モデル。