

|                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| 女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料 |                   |
| 資料番号                  | 02-工-B-22-0089_改0 |
| 提出年月日                 | 2021年9月8日         |

VI-5-82 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・StrainCom3

2021年9月  
東北電力株式会社

## 目 次

|   |    |
|---|----|
| 1. はじめに .....                               | 1  |
| 1.1 使用状況一覧 .....                            | 2  |
| 2. 解析コードの概要 .....                           | 3  |
| 3. StrainCom3 の解析手法について .....               | 4  |
| 3.1 一般事項 .....                              | 4  |
| 3.2 解析コードの特徴 .....                          | 4  |
| 3.3 解析手法 .....                              | 4  |
| 3.4 解析フローチャート .....                         | 6  |
| 3.5 検証(Verification)と妥当性確認(Validation)..... | 7  |
| 3.5.1 検証(Verification) .....                | 7  |
| 3.5.2 妥当性確認(Validation).....                | 7  |
| 3.5.3 まとめ .....                             | 12 |

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）StrainCom3 について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

| 使用添付書類        |                        | バージョン             |
|---------------|------------------------|-------------------|
| VI-2-2-8      | 海水ポンプ室の耐震性についての計算書     | Ver. 2021. 01. 26 |
| VI-2-2-10     | 第3号機海水ポンプ室の耐震性についての計算書 | Ver. 2021. 01. 26 |
| VI-2-10-4-3   | 取水口の耐震性についての計算書        | Ver. 2021. 01. 26 |
| VI-2-10-4-4-2 | 取水路（標準部）の耐震性についての計算書   | Ver. 2021. 01. 26 |

## 2. 解析コードの概要

|   |  |
|---|--|
| 項目 \ コード名   | StrainCom3   |
| 使用目的  | 圧縮縁ひずみの算定  |
| 開発機関  | 前田建設工業株式会社   |
| 開発時期  | 2019年  |
| 使用したバージョン   | Ver. 2021. 01. 26  |
| コードの概要  | StrainCom3（以下「本解析コード」という。）は、解析コード COM3 より得られる各節点の変位から圧縮縁ひずみを算出する解析コードである。  |
| 検証<br>(Verification)<br>及び<br>妥当性確認<br>(Validation) | <p><b>【検証(Verification)】</b><br/>           本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b><br/>           本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードで算出した圧縮縁ひずみが、理論解と一致していることを確認している。</li> <li>・本工事計画における用途及び適用範囲が、上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul> |

### 3. StrainCom3 の解析手法について

#### 3.1 一般事項

本解析コードは、前田建設工業株式会社で開発された、解析コード COM3 により得られた節点変位から圧縮縁ひずみを算出する解析コードである。

本解析コードは、解析コード COM3 により 3 次元静的材料非線形解析を行っている海水ポンプ室、第 3 号機海水ポンプ室、取水口及び取水路（標準部）の圧縮縁ひずみの算定に使用している。

#### 3.2 解析コードの特徴

要素を構成する各節点の変位を用いて、圧縮縁ひずみを算定することができる。

#### 3.3 解析手法

要素面上に局所座標系を設定し、局所座標系における変位を節点ごとに計算する。要素表面上の局所座標系を図 3-1 に示す。全体座標 XYZ 軸の変位から局所座標 xyz 軸の応力への変換式を式(3.1)に示す。

$$\begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{Bmatrix} = [C] \begin{Bmatrix} u_X \\ u_Y \\ u_Z \end{Bmatrix} \dots \dots \dots \text{式(3.1)}$$

ここで、[C]：局所座標xyz軸の方向余弦からなる座標変換行列

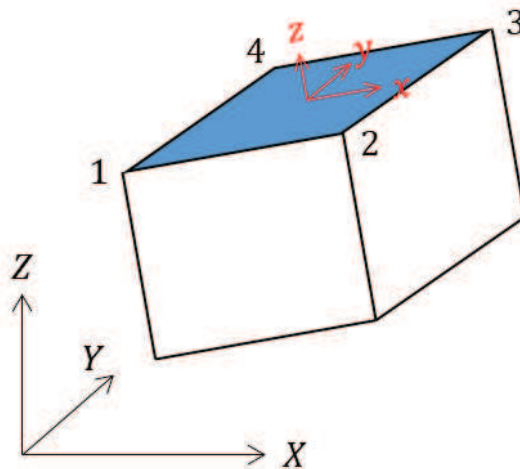


図 3-1 要素表面の局所座標系

座標変換を行った節点変位に対して、式(3.2)に示す変位ひずみ関係式により要素面上の局所座標における面内ひずみを算定する。

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = [B]\{U\} = \begin{bmatrix} \partial/\partial x & 0 \\ 0 & \partial/\partial y \\ \partial/\partial y & \partial/\partial x \end{bmatrix} [N]\{U\} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\{U\} = \{u_{1x} \quad u_{1y} \quad u_{2x} \quad u_{2y} \quad u_{3x} \quad u_{3y} \quad u_{4x} \quad u_{4y}\}^T$$

ここで、 $[B]$  : 2次元平面要素のひずみ変位マトリックス  
 $[N]$  : 形状関数のマトリックス  
 $\{U\}$  : 要素面を構成する節点1～4の局所変位の面内成分の列ベクトル

ここで、表面ひずみを算定する要素面が図3-2に示すように局所座標系に平行な長方形の場合は、式(3.2)は式(3.3)および式(3.4)のように展開できる。

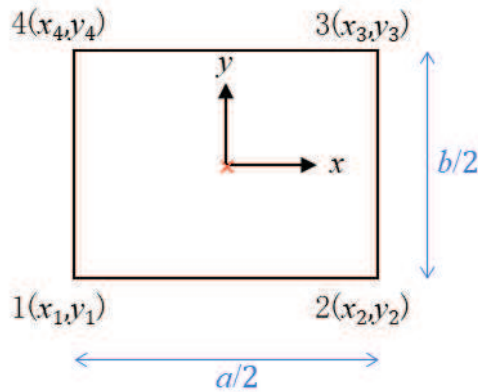


図3-2 長方形の要素表面

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{-1}{a} & 0 & \frac{+1}{a} & 0 & \frac{+1}{a} & 0 & \frac{-1}{a} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{b} & 0 & \frac{-1}{b} & 0 & \frac{+1}{b} & 0 & \frac{+1}{b} \\ \frac{-1}{b} & \frac{-1}{a} & \frac{-1}{b} & \frac{+1}{a} & \frac{+1}{b} & \frac{+1}{a} & \frac{+1}{b} & \frac{-1}{a} \end{bmatrix} \dots \dots \dots \text{式(3.3)}$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = [B] \{U\} = \begin{Bmatrix} \frac{(u_{2x}+u_{3x})-(u_{1x}+u_{4x})}{a} \\ \frac{(u_{3y}+u_{4y})-(u_{1y}+u_{2y})}{b} \\ \frac{(u_{3x}+u_{4x})-(u_{1x}+u_{2x})}{b} + \frac{(u_{2y}+u_{3y})-(u_{1y}+u_{4y})}{a} \end{Bmatrix} \dots \dots \dots \text{式(3.4)}$$

ここで、 $a = (x_2+x_3) - (x_1+x_4)$   
 $b = (y_3+y_4) - (y_1+y_2)$

式(3.5)により、面内ひずみの主ひずみ  $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$  を算定し、最小主ひずみ  $\varepsilon_2$  を圧縮縁ひずみとする。

$$\begin{matrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{matrix} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2}\right)^2} \dots \dots \dots \text{式(3.5)}$$

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図3-3に示す。

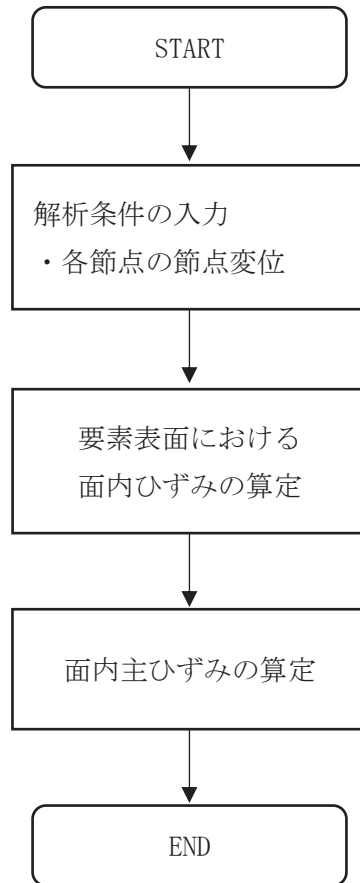


図3-3 解析フローチャート



### 3.5 検証(Verification)と妥当性確認(Validation)

#### 3.5.1 検証(Verification)

本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。

#### 3.5.2 妥当性確認(Validation)

解析コード COM3 により出力された節点変位を用いて本解析コード及び理論解との比較を行う。本解析コードは、どの部材においても一律に同じ式を使用して圧縮縁ひずみを算出するため、海水ポンプ室の導流壁を代表として検証を行う。

##### (1) 検証箇所

海水ポンプ室の導流壁の断面図及び検証箇所を図 3-4 及び図 3-5 に示す。また、本検証で圧縮縁ひずみを算定する要素表面を図 3-6 に示す。

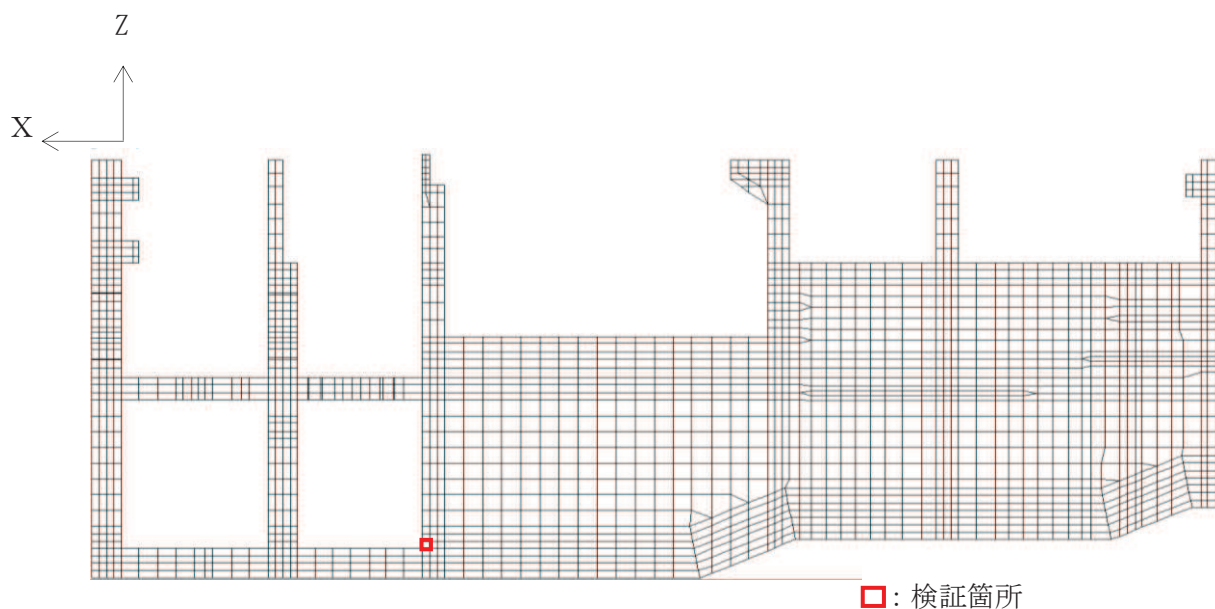


図 3-4 海水ポンプ室 縦断図

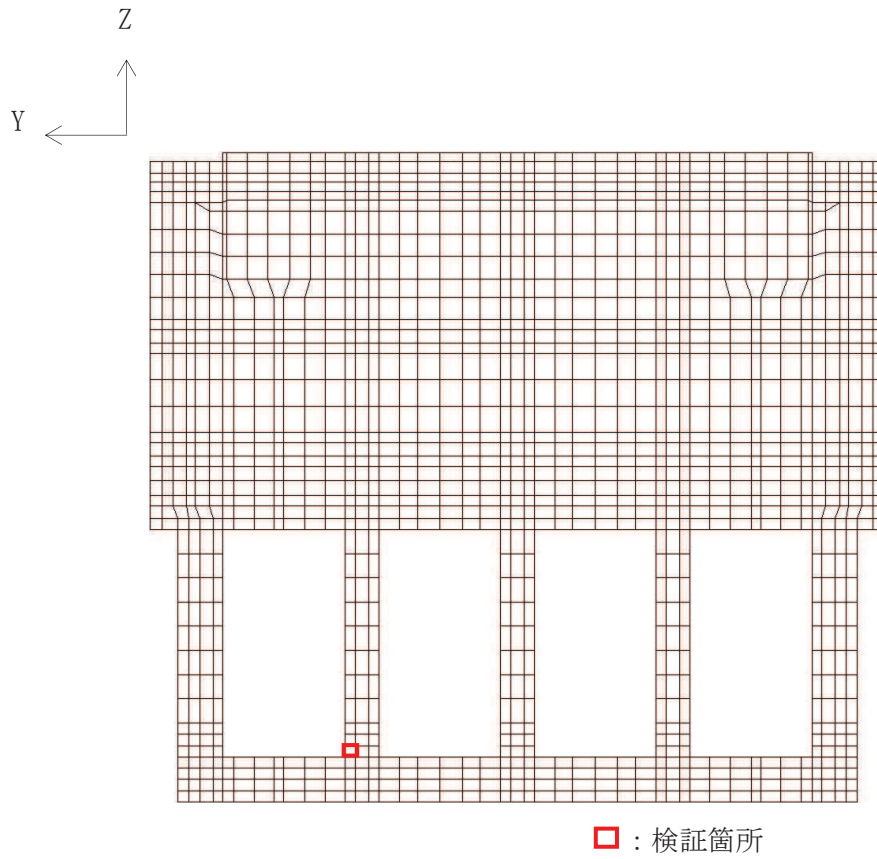


図 3-5 海水ポンプ室 横断図

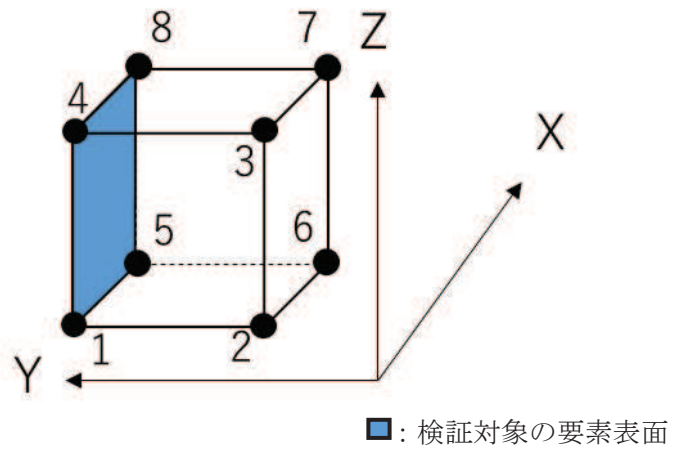


図 3-6 検証対象の要素表面

検証対象の要素の構成節点の座標と、各節点において解析コード COM3 により算出された節点変位を表 3-1 に示す。

表 3-1 検証要素の節点座標，節点変位

| 節点番号 | X 座標 [m] | Y 座標 [m] | Z 座標 [m] | $u_x$ [m]  | $u_y$ [m] | $u_z$ [m]  |
|------|----------|----------|----------|------------|-----------|------------|
| 1    | 54.04    | 7.65     | -11.40   | -0.0020443 | 0.0027374 | -0.0082602 |
| 2    | 54.04    | 7.19     | -11.40   | -0.0020100 | 0.0027397 | -0.0081512 |
| 3    | 54.04    | 7.19     | -10.94   | -0.0020072 | 0.0030542 | -0.0081957 |
| 4    | 54.04    | 7.65     | -10.94   | -0.0020181 | 0.0031158 | -0.0086052 |
| 5    | 54.50    | 7.65     | -11.40   | -0.0020543 | 0.0027533 | -0.0081076 |
| 6    | 54.50    | 7.19     | -11.40   | -0.0020219 | 0.0027635 | -0.0080792 |
| 7    | 54.50    | 7.19     | -10.94   | -0.0019951 | 0.0030394 | -0.0081923 |
| 8    | 54.50    | 7.65     | -10.94   | -0.0019273 | 0.0031056 | -0.0085960 |

(2) 要素表面のひずみの算定

表 3-1 の節点変位を用いて、式(3.4)に基づき要素表面のひずみを算定する。ここで、図 3-6 に示した要素表面は全体座標系に平行な辺で構成された長方形であり、全体座標系と同じ局所座標系に設定できるため、式(3.1)による座標変換は省略する。要素表面における X 方向のひずみを  $\varepsilon_x$ 、Z 方向のひずみを  $\varepsilon_z$  とすると、

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial X} = \frac{(u_{5X} + u_{8X}) - (u_{1X} + u_{4X})}{(X_5 + X_8) - (X_1 + X_4)}$$

$$= 0.000088$$

$$\varepsilon_z = \frac{\partial u_z}{\partial Z} = \frac{(u_{4Z} + u_{8Z}) - (u_{1Z} + u_{5Z})}{(Z_4 + Z_8) - (Z_1 + Z_5)}$$

$$= -0.000906$$

$$\gamma_{xz} = \frac{\partial u_x}{\partial Z} + \frac{\partial u_z}{\partial X} = \frac{(u_{4X} + u_{8X}) - (u_{1X} + u_{5X})}{(Z_4 + Z_8) - (Z_1 + Z_5)} + \frac{(u_{5Z} + u_{8Z}) - (u_{1Z} + u_{4Z})}{(X_5 + X_8) - (X_1 + X_4)}$$

$$= 0.000342$$

上記のひずみを用いて、主ひずみが以下の通り算定される。最小主ひずみに構造解析係数  $\gamma_a=1.2$  を乗じて少数第 7 位を切り上げることで、照査用圧縮縁ひずみを算定する。

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2}\right)^2}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2}\right)^2}$$

$$= 0.000116$$

$$= -0.000935$$

圧縮縁ひずみ  $\gamma_a \varepsilon_2 = -1122 \mu$

(3) 解析結果

表 3-2 に示すとおり，本解析コードで算出した圧縮縁ひずみは，理論解と一致することを確認した。

表 3-2 解析結果の比較

| ひずみ値   | StrainCom3  | 理論解         |
|--------|-------------|-------------|
| 圧縮縁ひずみ | $-1122 \mu$ | $-1122 \mu$ |

### 3.5.3 まとめ

以上のとおり、本解析コードについては、理論解との比較を行い、解析結果が理論解と一致することを確認した。したがって、解析コード COM3 より得られる各要素のひずみから圧縮縁ひずみを算定するため本解析コードを使用することは、妥当である。