

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-22-0087_改0
提出年月日	2021年6月16日

## VI-5-80 計算機プログラム（解析コード）の概要

・Com3EvalSh

## 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. Com3EvalSh 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 .....	7
3.5 検証(Verification)と妥当性確認(Validation).....	8
3.5.1 検証(Verification) .....	8
3.5.2 妥当性確認(Validation).....	8
3.5.3 まとめ .....	12
4. 引用文献 .....	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）Com3EvalSh 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. 27
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. 27
VI-2-10-4-3	取水口の耐震性についての計算書	Ver. 2021. 01. 27
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. 27

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	Com3EvalSh
使用目的	断面力算定
開発機関	前田建設工業株式会社
開発時期	2020年
使用したバージョン	Ver. 2021. 01. 27
コードの概要	Com3EvalSh (以下「本解析コード」という。) は、日本コンクリート協会のガイドライン (引用文献 (1) 参照) に基づき、解析コード COM3 より得られる各要素の応力から断面力を算出する解析コードである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b>          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>          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断面力が、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. Com3EvalSh の解析手法について

#### 3.1 一般事項

Com3EvalSh は、前田建設工業株式会社で開発された、解析コード COM3 により得られた要素応力を部材の厚さ方向で集計することにより断面力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）の断面力算定に使用している。

#### 3.2 解析コードの特徴

日本コンクリート協会のガイドライン（引用文献（1）参照）に基づき、要素応力（要素図心応力またはガウス積分点応力）を部材断面の図心軸周りに積分することで断面力を算定することができる。

#### 3.3 解析手法

解析コード COM3 を用いた静的解析では部材の断面力を直接得られないため、要素応力（要素図心応力またはガウス積分点応力）から断面力を算出するには、要素応力を部材断面の図心回りに積分することで求められる（図 3-1 参照）。

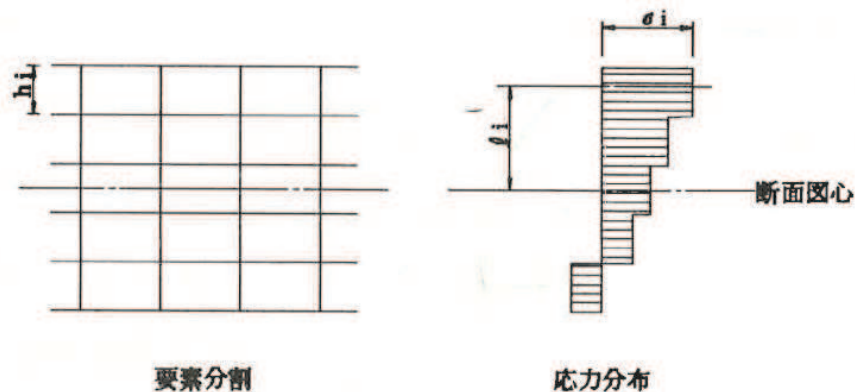


図 3-1 応力分布から断面力に変換する方法

（コンクリート構造物の設計に FEM 解析を適用するためのガイドラインより引用）

まず、解析コード COM3 により出力される応力は全体座標系で表示されており、局所座標  $x y$  軸方向の断面力を算出するため、局所座標系の要素応力に変換する必要がある。全体座標  $XYZ$  軸の応力から局所座標  $xyz$  軸の応力への変換式を式(3.1)に示す。

$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} \sigma_X & \tau_{XY} & \tau_{XZ} \\ \tau_{YX} & \sigma_Y & \tau_{YZ} \\ \tau_{ZX} & \tau_{ZY} & \sigma_Z \end{bmatrix} [C]^T \dots \dots \dots (3.1)$$

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

座標変換を行った応力に対して断面力を算定する。局所座標  $x$ ,  $y$  軸方向の単位幅あたりの断面力の算定式を式(3.2)～式(3.7)に、各要素の応力の方向を図 3-3 に、断面力の方向を図 3-4 に示す。

$$M_x = -\sum \sigma_{x(i)} h_i a_i z_i \dots \dots \dots (3.2)$$

$$M_y = -\sum \sigma_{y(i)} h_i b_i z_i \dots \dots \dots (3.3)$$

$$V_x = \sum \tau_{xz(i)} h_i a_i \dots \dots \dots (3.4)$$

$$V_y = \sum \tau_{yz(i)} h_i b_i \dots \dots \dots (3.5)$$

$$N_x = \sum \sigma_{x(i)} h_i a_i \dots \dots \dots (3.6)$$

$$N_y = \sum \sigma_{y(i)} h_i b_i \dots \dots \dots (3.7)$$

ここで、 $a_i$ ：要素番号  $i$  の  $x$  軸に対する要素幅 ( $a_i = 1.0$  m)

$b_i$ ：要素番号  $i$  の  $y$  軸に対する要素幅 ( $b_i = 1.0$  m)

$h_i$ ：要素番号  $i$  の要素の厚さ

$z_i$ ：要素番号  $i$  の要素の中心座標

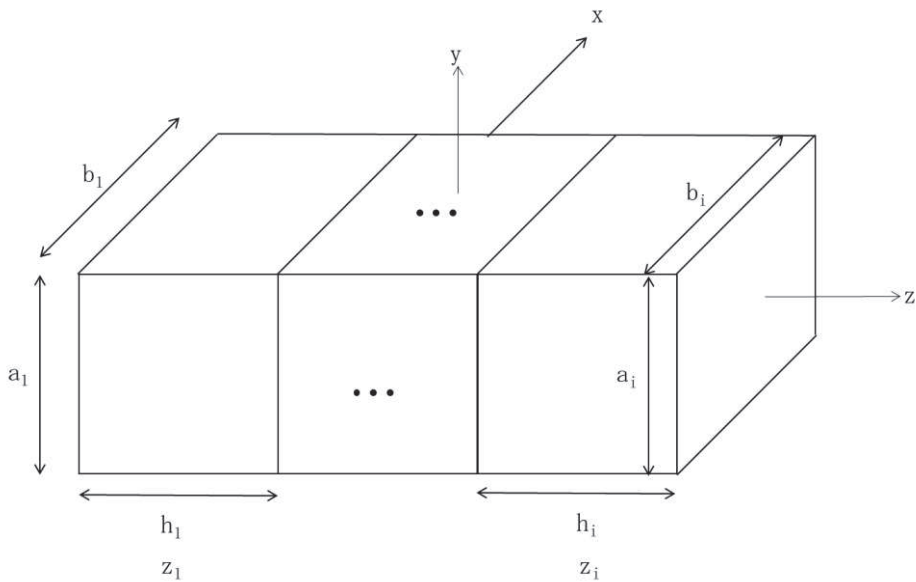


図 3-2 要素の厚さ及び中心座標の正の向き

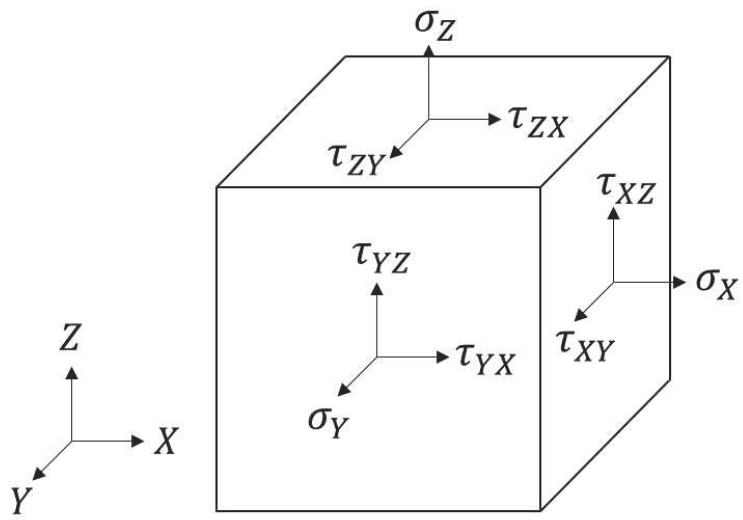
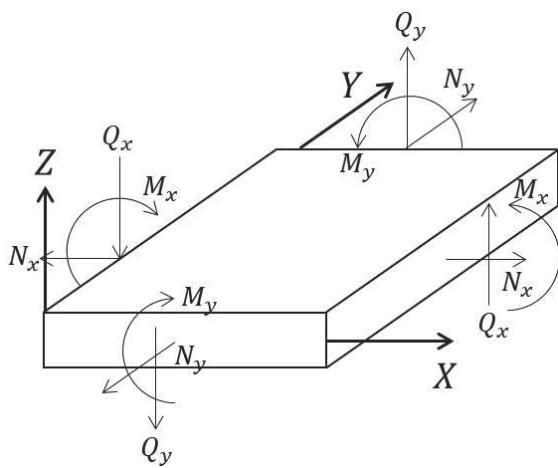


図 3-3 ソリッド要素における応力の方向



$M_x, M_y$  : 曲げモーメント  
 $Q_x, Q_y$  : せん断力  
 $N_x, N_y$  : 軸力

図 3-4 ソリッドにおける断面力の方向



### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-5 に示す。

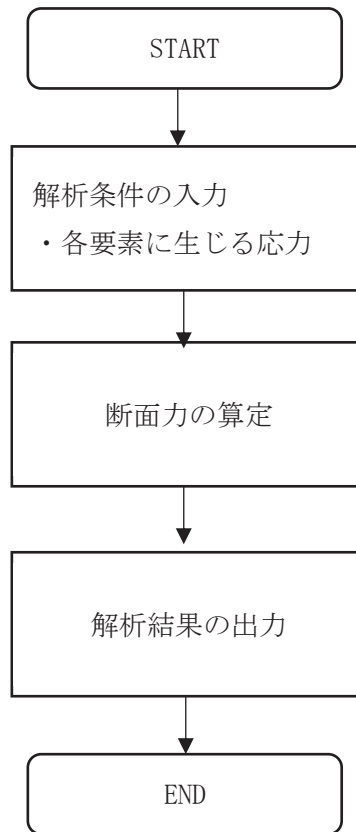


図 3-5 解析フローチャート

### 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 により出力された要素応力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発生応力に対し一律に同じ式を使用して断面力を算出するため、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 3-6 及び図 3-7 に示す。

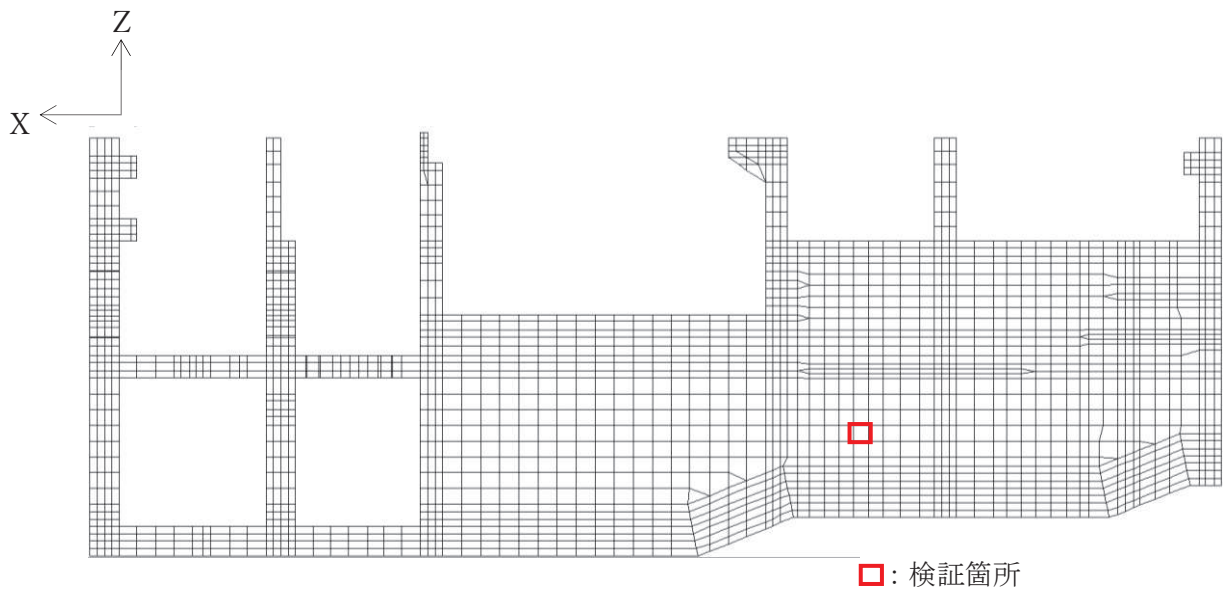
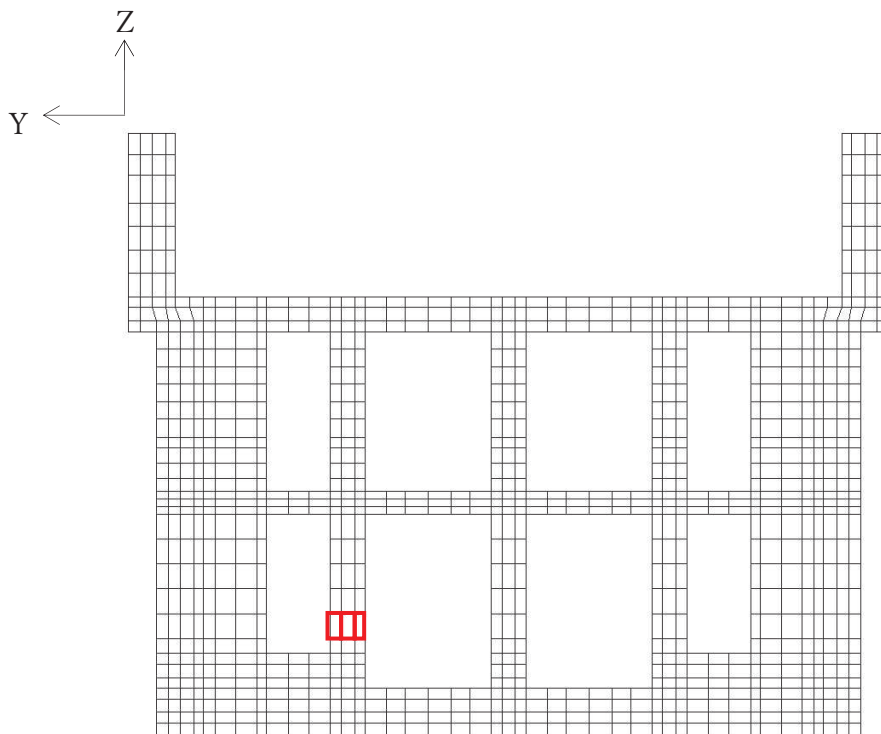


図 3-6 海水ポンプ室 縦断面図



□ : 検証箇所\*

注記\* : 左から要素番号 1, 2 及び 3 とする。

図 3-7 海水ポンプ室 横断図

検証箇所の各要素において，解析コード COM3 により算出された 8 積分点での全体座標系の応力の平均値を式(3.1)に基づき以下に示す。

$$[\sigma_i] = \begin{bmatrix} \sigma_X & \tau_{XY} & \tau_{XZ} \\ \tau_{YX} & \sigma_Y & \tau_{YZ} \\ \tau_{ZX} & \tau_{ZY} & \sigma_Z \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$[\sigma_1] = \begin{bmatrix} 5.430 & -0.091 & -0.932 \\ -0.091 & -0.841 & 1.659 \\ -0.932 & 1.659 & 21.590 \end{bmatrix}$$

$$[\sigma_2] = \begin{bmatrix} -2.058 & -0.273 & -1.732 \\ -0.273 & -3.333 & 11.323 \\ -1.732 & 11.323 & -11.363 \end{bmatrix}$$

$$[\sigma_3] = \begin{bmatrix} -9.999 & -0.192 & -2.322 \\ -0.192 & -0.125 & 6.237 \\ -2.322 & 6.237 & -57.103 \end{bmatrix}$$

(2) 座標変換

導流壁の局所座標系を図 3-8 に示す。全体座標系で示されている要素応力を図 3-5 に基づき、局所座標系へ変換する。

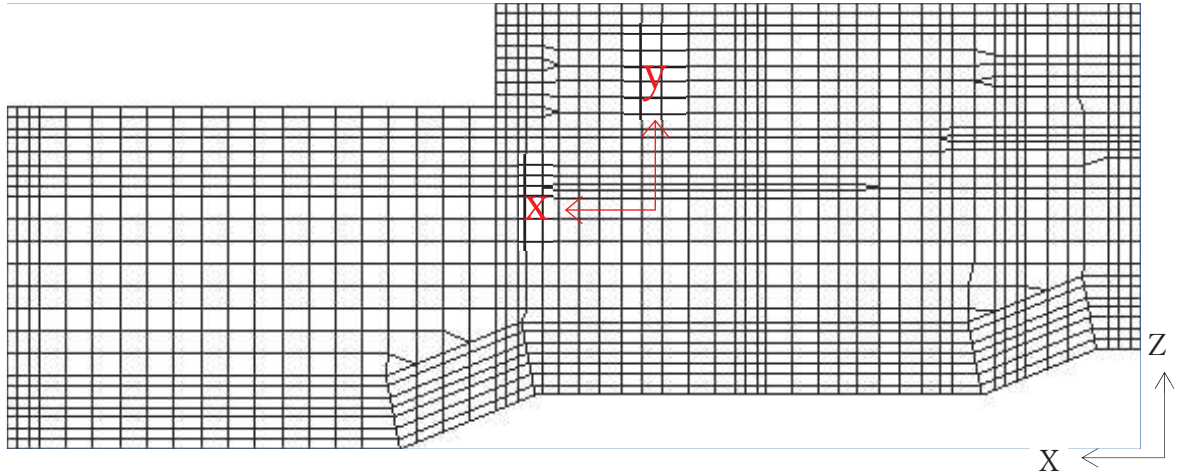


図 3-8 導流壁の局所座標系

$$[C] = \begin{bmatrix} \cos(0^\circ) & \cos(90^\circ) & \cos(90^\circ) \\ \cos(90^\circ) & \cos(90^\circ) & \cos(0^\circ) \\ \cos(90^\circ) & \cos(180^\circ) & \cos(90^\circ) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_X & \tau_{XY} & \tau_{XZ} \\ \tau_{YX} & \sigma_Y & \tau_{YZ} \\ \tau_{ZX} & \tau_{ZY} & \sigma_Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \sigma_X & \tau_{XZ} & -\tau_{XY} \\ \tau_{ZX} & \sigma_Z & -\tau_{ZY} \\ -\tau_{YX} & -\tau_{YZ} & \sigma_Y \end{bmatrix}$$

上記より、各要素において局所座標系に変換した要素応力を以下に示す。

$$[\sigma_1] = \begin{bmatrix} 5.430 & -0.932 & 0.091 \\ -0.932 & 21.590 & -1.659 \\ 0.091 & -1.659 & -0.841 \end{bmatrix}$$

$$[\sigma_2] = \begin{bmatrix} -2.058 & -1.732 & 0.273 \\ -1.732 & -11.363 & -11.323 \\ 0.273 & -11.323 & -3.333 \end{bmatrix}$$

$$[\sigma_3] = \begin{bmatrix} -9.999 & -2.322 & 0.192 \\ -2.322 & -57.103 & -6.237 \\ 0.192 & -6.237 & -0.125 \end{bmatrix}$$

## (3) 解析結果

各要素の要素厚さ、要素中心座標を表 3-1 に示す。

表 3-2 に示すとおり、本解析コードで算出した断面力は、理論解と一致することを確認した。

表 3-1 各要素の厚さと要素中心座標

要素番号	要素の厚さ (cm) * h	要素中心座標 (m)* z
1	46	0.52
2	58	0
3	46	-0.52

表 3-2 解析結果の比較

断面力	Com3EvalSh	理論解
$M_x$ (kN·m)	-361.938	-361.938
$M_y$ (kN·m)	-1845.93	-1845.93
$N_x$ (kN)	-323.183	-323.183
$N_y$ (kN)	-2248.28	-2248.28
$V_x$ (kN)	28.3220	28.3220
$V_y$ (kN)	-1000.17	-1000.17

### 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応力から断面力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。

## 4. 引用文献

- (1) 日本コンクリート工学協会鉄筋コンクリート構造の有限要素解析と設計法研究委員会，コンクリート構造物の設計に FEM 解析を適用するためのガイドライン，日本コンクリート工学協会，pp. 44～45，1989