

\*\*\*\*\*

\* 「3次元振動解析K」の紹介 \*

[著者] 黒田 英夫

\*\*\*\*\*

## &lt;プログラム開発環境&gt;

OS : Windows 11 . . . .NET Framework 4.8が必要

言語 : Visual Basic 2022 (Visual Studio 2022 Community)

## &lt;プログラムと本書の著作権&gt;

フリーソフトで、著作権を開放します

\*\*\*\*\*

「3次元構造解析K (FEM3D)」の構造データを用いて、自由振動の解析を行なうソフトを提供します。本ソフトは、上記構造解析のデータから振動解析用のデータを作成し、その振動解析用データについて固有値および固有ベクトルを算出するものです。また、計算結果の後処理として、変位モード図を作画できます。なお、本ソフトでは、MK型およびMCK型のいずれの固有値問題も計算できます。

注) ①「3次元構造解析K (FEM3D)」は算生会の有限要素法ソフトです。同ソフトに関しては、その説明書を参照してください。

②MK型およびMCK型の各行列の意味は次の通りです。

M行列 : 質量マトリックス

C行列 : 減衰マトリックス

K行列 : 剛性マトリックス (構造解析のものと同じ)

③MK型およびMCK型の振動固有値問題の計算方法については、算生会ソフト

「振動固有値解析 (V i b E i g e n)」の説明書を参照してください。

[備考] 本書の解析事例の計算時間は、下記仕様のパソコンによります。

CPU : 3GHz (64bit、4コア) RAM : 16GB

## &lt;目次&gt;

|                             | ページ |
|-----------------------------|-----|
| 第1章 振動解析の計算方法 -----         | 2   |
| 第2章 プログラムの機能・構成 -----       | 8   |
| 第3章 例題 -----                | 13  |
| 第4章 「FEM3Dデータ」処理プログラム ----- | 14  |
| 第5章 「データ」処理プログラム -----      | 17  |
| 第6章 「計算」プログラム -----         | 27  |
| 第7章 「後処理」プログラム -----        | 44  |
| [参考文献] -----                | 56  |

## 第1章 振動解析の計算方法

本ソフトでは、3次元構造について、以下のMK型およびMCK型の自由振動固有値問題を解析します。一般のMK型およびMCK型の振動固有値問題としての計算方法については、参考文献B8)等によります。

### 1.1 MK型

慣性力だけが作用する場合の方程式は次式で示されます。

$$K u = -M \frac{d^2 u}{dt^2} \quad (1-1)$$

ただし、K：剛性マトリックス（対称）

M：質量マトリックス（対称、正定値）・・・慣性力に相当

u：変位ベクトル

t：時間

本問題の一般解は次式で表わされます。

$$u = (a \sin \omega t + b \cos \omega t) x \quad (1-2)$$

ただし、x：固有ベクトル・・・変位

$\omega$ ：固有角速度（ $2\pi$ で割ると固有振動数）

a、b：任意定数

(1-2)式を(1-1)式に代入することにより次の行列方程式が得られます。

$$K x = \lambda M x \quad (1-3)$$

ただし、 $\lambda$ ：固有値

$$\lambda = \omega^2 \quad (1-4)$$

すなわち、(1-3)式の固有値 $\lambda$ と固有ベクトルxを算出できれば、(1-2)式の解ベクトルuが得られます。このように慣性力だけが作用する場合の振動固有値問題をMK型と呼びます。

### 1.2 MCK型

慣性力他に減衰力が加わる場合の方程式は次式で示されます。

$$K u = -M \frac{d^2 u}{dt^2} - C \frac{du}{dt} \quad (1-5)$$

ただし、C：減衰マトリックス（対称）

本問題の基本解は次式で表わされます。

$$u = e^{\mu t} z \quad (1-6)$$

ただし、 $\mu$ ：固有値（複素数）

$$\mu = \alpha + i \beta \quad (1-7)$$

$\alpha$ 、 $\beta$ ：実数      i：虚数記号（以下同じ）

z：固有ベクトル（複素数）

$$z = x + i y \quad (1-8)$$

x、y：実数ベクトル

(1-6)式を(1-5)式に代入すると、次式が得られます。

$$\mu^2 M z + \mu C z + K z = 0 \quad (1-9)$$

すなわち、(1-9)式の固有値  $\mu$  と固有ベクトル  $z$  を算出できれば、(1-6)式の解ベクトル  $u$  が得られます。このように慣性力と減衰力が作用する場合の振動固有値問題をMCK型と呼びます。

上記の固有値  $\mu$  と固有ベクトル  $z$  については、それらが複素数の場合は、必ず共役複素数の  $\bar{\mu}$  と  $\bar{z}$  が対の解となるので、(6)式のかわりに次式を作成します。

$$u = e^{\mu t} z + e^{\bar{\mu} t} \bar{z} \quad (1-10)$$

(1-10)式に(1-7)式、(1-8)式を代入して整理すると、次式が得られます。

$$u = e^{\alpha t} (\cos \beta t \cdot x - \sin \beta t \cdot y) \quad (1-11)$$

MCK型の特別なケースとして、比例減衰の場合があります。比例減衰とは次式のように、減衰マトリックスCが質量マトリックスMと剛性マトリックスKに比例した式で表わされるものです。

$$C = aM + bK \quad (1-12)$$

ただし、 $a, b$  : 比例定数

(1-12)式を(1-9)式に代入し、ベクトル  $z$  のかわりに  $x$  とおくと次式となります。

$$\mu^2 M x + \mu (aM + bK) x + K x = 0 \quad (1-13)$$

$$\therefore (\mu^2 + a\mu) M x + (b\mu + 1) K x = 0 \quad (1-14)$$

$$\therefore K x = -\{(\mu^2 + a\mu) / (b\mu + 1)\} M x \quad (1-15)$$

$$\therefore K x = \lambda M x \quad (1-16)$$

$$\text{ただし、} \lambda = -(\mu^2 + a\mu) / (b\mu + 1) \quad (1-17)$$

すなわち、(1-16)式のMK型振動固有値問題に帰着します。そして、同式の実数固有値  $\lambda$  が求まったら、(1-17)式を次のように  $\mu$  の2次方程式に展開してMCK型としての固有値  $\mu$  を算出します。

$$\mu^2 + (a + b\lambda) \mu + \lambda = 0 \quad (1-18)$$

$$\therefore \mu = \frac{-(a + b\lambda) \pm \sqrt{(a + b\lambda)^2 - 4\lambda}}{2} \quad (1-19)$$

なお、(1-19)式で  $\mu$  は根号内の正負により実数または複素数となります。

### <比例減衰の臨界減衰係数>

振動を生じなくなる限界の減衰係数を臨界減衰係数と呼びます。比例減衰の場合は、(1-19)式の平方根内が0の条件が当てはまります。従って、質量比例だけの場合、または剛性比例だけの場合に、下記のように臨界減衰条件を表わせます。ただし、 $\lambda$  はMK型の最小固有値を使用します。

$$[\text{質量比例の臨界減衰条件}] \quad a = 2\sqrt{\lambda} \quad (1-20)$$

臨界減衰係数は  $C = aM$  に(1-20)式を代入したものとなる。

$$\text{[剛性比例の臨界減衰条件]} \quad b = \frac{2}{\sqrt{\lambda}} \quad (1-21)$$

臨界減衰係数は  $C = bM$  に (1-21) 式を代入したものとなる。

### 1.3 ダンパーの付加

MCK型では、ダンパーを付加することもできます。ダンパーの説明図を図1-1に示します。同図のように、2つの節点間にダンパーを設け、減衰係数  $C_d$  を設定できます。減衰力は、(1-5) 式の減衰マトリックス  $C$  と同様、速度比例となります。なお、節点2には任意の外部点を用いることもできます。

◇節点2に外部点を用いる場合は、外部点のXYZ座標が必要です。

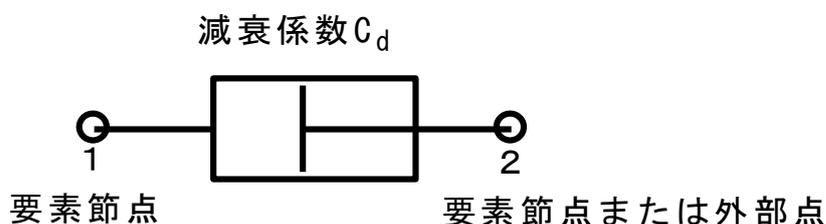


図1-1 ダンパーの説明図

### 1.4 構造解析との関係

3次元構造解析 (FEM3D) と本振動解析では同じ構造モデルを使用します。構造解析および振動解析の有限要素法においては、図1-2の六面体2次要素 (20節点) を使用します。同要素の詳しい説明は、構造解析の説明書を参照してください。要素の各節点の変位は  $u$  (X軸方向)、 $v$  (Y軸方向)、 $w$  (Z軸方向) の3つで、上述の変位ベクトル  $u$  は、各節点のこれらの変位要素から成ります。

注)  $u$ 、 $v$ 、 $w$  の代わりに  $\delta_x$ 、 $\delta_y$ 、 $\delta_z$  の記号を用いることもあります。

振動解析では、構造解析用入力データを利用しますが、構造解析の荷重とは無関係です。また、振動解析用の剛性マトリックス  $K$  は、構造解析において計算されるものと同じです。ただし、振動解析では、固定された (0である) 変位を除いて固有値計算を行なうので、その分だけ行列  $K$  の次数は減少したものとなります (他の行列も同様)。

- ① 3次元構造解析では強制変位も可能としていますが、本振動解析では強制変位を固定変位0に変換して処理します。
- ② バネ支持については、バネ定数は剛性マトリックス  $K$  に組み込まれますが、初期バネ力は無視されます。

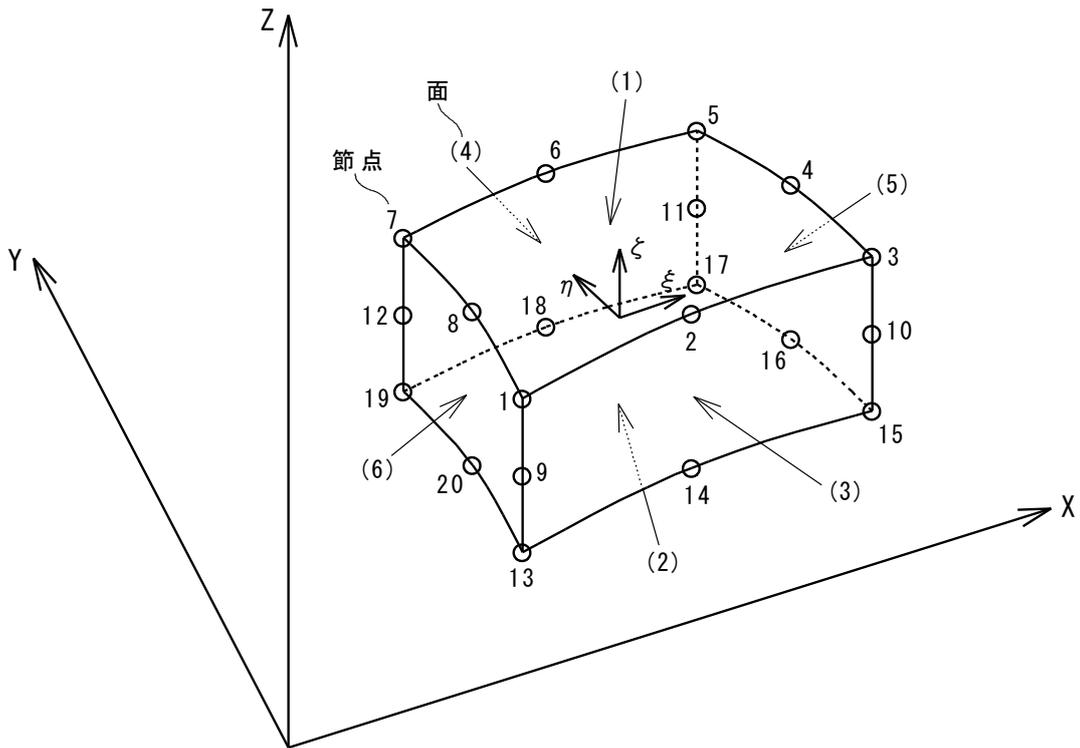


図1-2 六面体2次要素

### 1.5 質量マトリックス

質量マトリックスは、要素の材料物性として密度 $\rho$ を与えて計算します。なお、質量マトリックスを計算した後で、節点に慣性質量を追加することもできます。

質量マトリックスの計算方法としては、LM (Lumped Mass Matrix) 法とCM (Consistent Mass Matrix) 法があります。LM法は節点集中質量を設定するもので、質量マトリックスが対角要素のみとなります。他方、CM法は有限要素法マトリックスに合わせて質量分配するもので、対角要素以外にも数値が入った質量マトリックスとなります。本ソフトではLM法を採用しており、以下にその内容を説明します。

注) LM法の採用理由は、第一にCM法と比べてみて計算結果にほとんど差がないこと、第二に計算時間や入力データファイル容量を低減できることです。

図1-1の六面体20節点要素においては、頂点節点で負の質量が生じることを避けるため、特殊LM法<sup>(11)</sup>を用います。すなわち、各要素において、次式により節点換算質量を計算します。

$$m_i = \alpha \int \rho N_i^2 dV \quad (i=1, 2, \dots, 20) \quad (1-22)$$

ただし、 $m_i$  : 節点への換算質量

$\alpha$  : 要素質量補正比率

$$\alpha = \frac{\int \rho dV}{\sum_{i=1}^{20} \int \rho N_i^2 dV} \quad (1-23)$$

$\rho$  : 密度、  $N_i$  : 形状関数、  $dV$  : 積分体積

$$dV = |J| d\xi d\eta d\zeta$$

ここで、 $\xi, \eta, \zeta$  : 要素の局所座標

$|J|$  : 次式のヤコビアンマトリックスの行列式の値

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial X}{\partial \xi} & \frac{\partial Y}{\partial \xi} & \frac{\partial Z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial X}{\partial \eta} & \frac{\partial Y}{\partial \eta} & \frac{\partial Z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial X}{\partial \zeta} & \frac{\partial Y}{\partial \zeta} & \frac{\partial Z}{\partial \zeta} \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^{20} \begin{pmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} X_i & \frac{\partial N_i}{\partial \xi} Y_i & \frac{\partial N_i}{\partial \xi} Z_i \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} X_i & \frac{\partial N_i}{\partial \eta} Y_i & \frac{\partial N_i}{\partial \eta} Z_i \\ \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} X_i & \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} Y_i & \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} Z_i \end{pmatrix} \quad (1-24)$$

$$\begin{aligned} \therefore |J| &= \frac{\partial X}{\partial \xi} \left( \frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} - \frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} \right) + \frac{\partial Y}{\partial \xi} \left( \frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \zeta} - \frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} \right) \\ &+ \frac{\partial Z}{\partial \xi} \left( \frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} - \frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \zeta} \right) \end{aligned} \quad (1-25)$$

また、ヤコビアンマトリックスの逆行列は次式で表わされます。

$$J^{-1} = \frac{1}{|J|} \begin{pmatrix} \frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} - \frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} & \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} - \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} & \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \eta} - \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \eta} \\ \frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \zeta} - \frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} & \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} - \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \zeta} & \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \eta} - \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} - \frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \zeta} & \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \zeta} - \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} & \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \eta} - \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \eta} \end{pmatrix} \quad (1-26)$$

## 1.6 減衰マトリックス

個別設定の減衰マトリックスCは、実際の減衰構造に応じて各節点の変位毎に、個別に入力設定します。また、比例減衰の場合は、一括して質量比例および剛性比例の減衰係数を入力設定します。

## 1.7 使用メモリー容量と計算改良

### 1) 使用メモリー容量

固有値計算では、フルマトリックスを使用するため、使用メモリー容量が非常に大きくなります。本ソフトでは計算方法の改良により、MK型およびMCK型とも使用メモ

リー容量を低減しています。以下にフルマトリックスのメモリー容量を示しますが、計算全体のメモリー容量は、概略5割増程度を目安にしてください。

<MK型のフルマトリックス>

$$\text{使用メモリー容量} = \{3(\text{変位数}) \times \text{節点数}\}^2 \times 8 \text{ (Byte)} \quad (1-27)$$

例) 節点数2000の場合、

$$\text{使用メモリー容量} = \{3 \times 2000\}^2 \times 8 = 288 \text{ MB}$$

<MCK型のフルマトリックス>

$$\text{使用メモリー容量} = 2 \times \{3(\text{変位数}) \times \text{節点数}\}^2 \times 8 \text{ (Byte)} \quad (1-28)$$

例) 節点数2000の場合、

$$\text{使用メモリー容量} = 2 \times \{3 \times 2000\}^2 \times 8 = 576 \text{ MB}$$

注) 厳密には、固定変位の数を除いた容量となります。

## 2) MCK型の固有ベクトル計算方法

算生会ソフト「振動固有値解析」の説明書P19に示すように、次の計算式となります。

$$\{(\alpha^2 - \beta^2)M + \alpha C + K\} \mathbf{x} + (-2\alpha\beta M - \beta C) \mathbf{y} = 0 \quad (1-29)$$

$$(2\alpha\beta M + \beta C) \mathbf{x} + \{(\alpha^2 - \beta^2)M + \alpha C + K\} \mathbf{y} = 0 \quad (1-30)$$

ただし、 $\alpha$  : 固有値実数部、 $\beta$  : 固有値虚数部

$\mathbf{x}$  : 固有ベクトル実数部、 $\mathbf{y}$  : 固有ベクトル虚数部

本ソフトでは、使用メモリー容量を低減するため、先ず $\mathbf{x}$ を算出し、後で $\mathbf{y}$ を算出しています。すなわち、(1-29)式、(1-30)式を次のように変形します。

$$C_1 \mathbf{x} - C_2 \mathbf{y} = 0 \quad (1-31)$$

$$C_2 \mathbf{x} + C_1 \mathbf{y} = 0 \quad (1-32)$$

$$\text{ただし、} C_1 = (\alpha^2 - \beta^2)M + \alpha C + K \quad (1-33)$$

$$C_2 = 2\alpha\beta M + \beta C \quad (1-34)$$

(1-32)式より

$$\mathbf{y} = -C_1^{-1} C_2 \mathbf{x} \quad (1-35)$$

(1-35)式を(1-31)式に代入して整理すると、

$$\{C_1 + C_2 C_1^{-1} C_2\} \mathbf{x} = 0 \quad (1-36)$$

従って、(1-36)式より $\mathbf{x}$ を算出し、その $\mathbf{x}$ を(1-35)式に代入して $\mathbf{y}$ を算出します。

## 第2章 プログラムの機能・構成

[VBプロジェクト名] FEM3Vib

表2-1に本ソフトの解析機能を示します。同表のように、MK型とMCK型の2種類の振動方程式に対応しています。また、MCK型の減衰係数は、比例減衰と個別設定を選択できます。さらに、MCK型ではダンパーを付加できます。

表2-1 「FEM3Vib」解析機能

| 振動方程式の種類 |         | 内 容   |
|----------|---------|---|
| 1. MK型   |         | ◇質量マトリックスと剛性マトリックスから構成される自由振動の固有値計算<br>◇固有値、固有ベクトルとも実数  |
| 2. MCK型  | 1) 比例減衰 | ◇質量マトリックス、剛性マトリックス、およびそれらに比例する減衰係数から構成される自由振動の固有値計算<br>◇固有値は複素数または実数<br>固有ベクトルは実数<br>◇ダンパーを付加できる（固有値は次項「2) 個別設定」の形態になる） |
|          | 2) 個別設定 | ◇質量マトリックス、減衰マトリックスおよび剛性マトリックスから構成される自由振動の固有値計算<br>◇固有値、固有ベクトルとも複素数または実数<br>◇ダンパーを付加できる                                  |

注) 3次元構造に対応。

本ソフトの立ち上げ画面は、図2-1のメニュー画面です。同図のように、基本メニューは「FEM3Dデータ」、「データ」、「計算」、「後処理」、「終了」の5つです。「FEM3Dデータ」メニューでは「3次元構造解析（FEM3D）」ソフトの構造解析用データを使用して、マトリックスデータ計算を行ない、振動解析用データを生成するものです。「データ」メニューでは振動解析用の入力データを作成し、「計算」メニューでは解析計算を実行し、「後処理」メニューでは計算結果の図を作画します。そして、ソフトを終了させる際は、「終了」をクリックします。

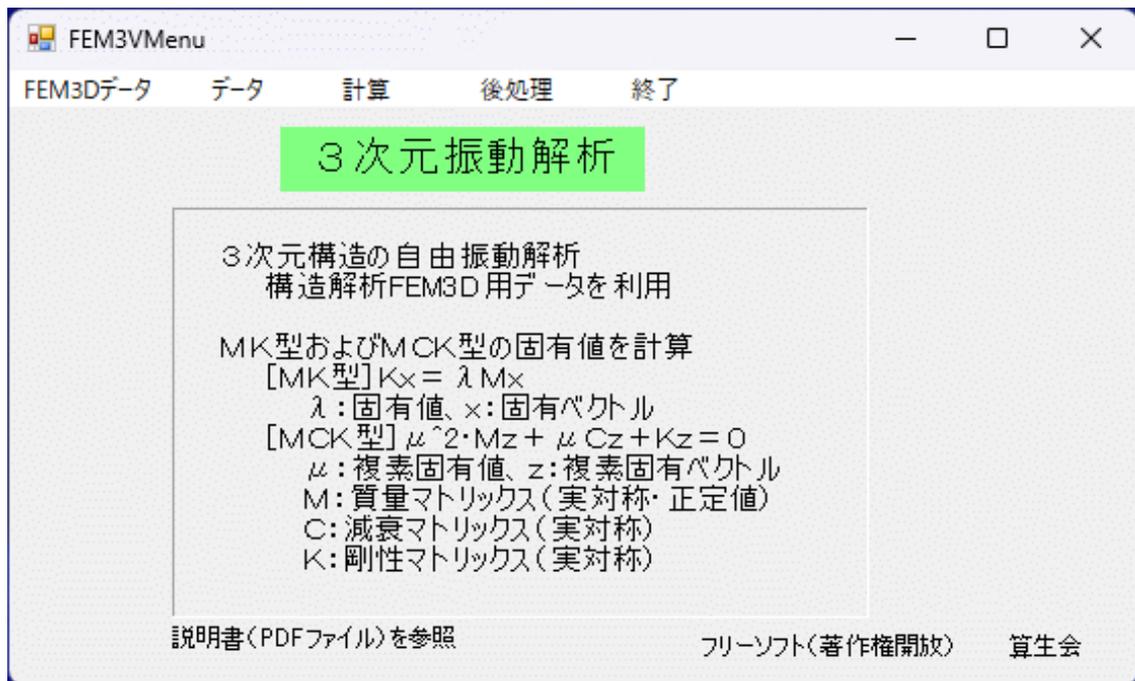


図2-1 「FEM3Vib」メニュー画面

次に、図2-2にプログラム構成を示します。同図のように、全体を「メニュー」のFEM3VMenuモジュール\*で制御し、その下に「FEM3Dデータ」、「データ」、「計算」、「後処理」の4つのプログラム群に分かれています。

注) \*モジュール名と各フォーム名は、ファイル名と名前を一致させてあります。

データファイルは、「構造データファイル」、「入力データファイル」、「結果データファイル」の3種類を使用しています。ただし、本図には示していませんが、「計算」および「後処理」の部分で一時記憶ファイルも使用しています。これらデータファイルはいずれもテキスト形式であり、エディターや表計算ソフトで閲覧・印刷することができます。

「構造データファイル」は、「3次元構造解析(FEM3D)」により作成されたもので、この3次元振動解析で出力するデータファイルとは別のディレクトリーにあっても構いません。しかし、この振動解析用にデータのディレクトリーを作成し、そこへ「構造データファイル」をコピーして入れておく方が扱いやすいと思います。

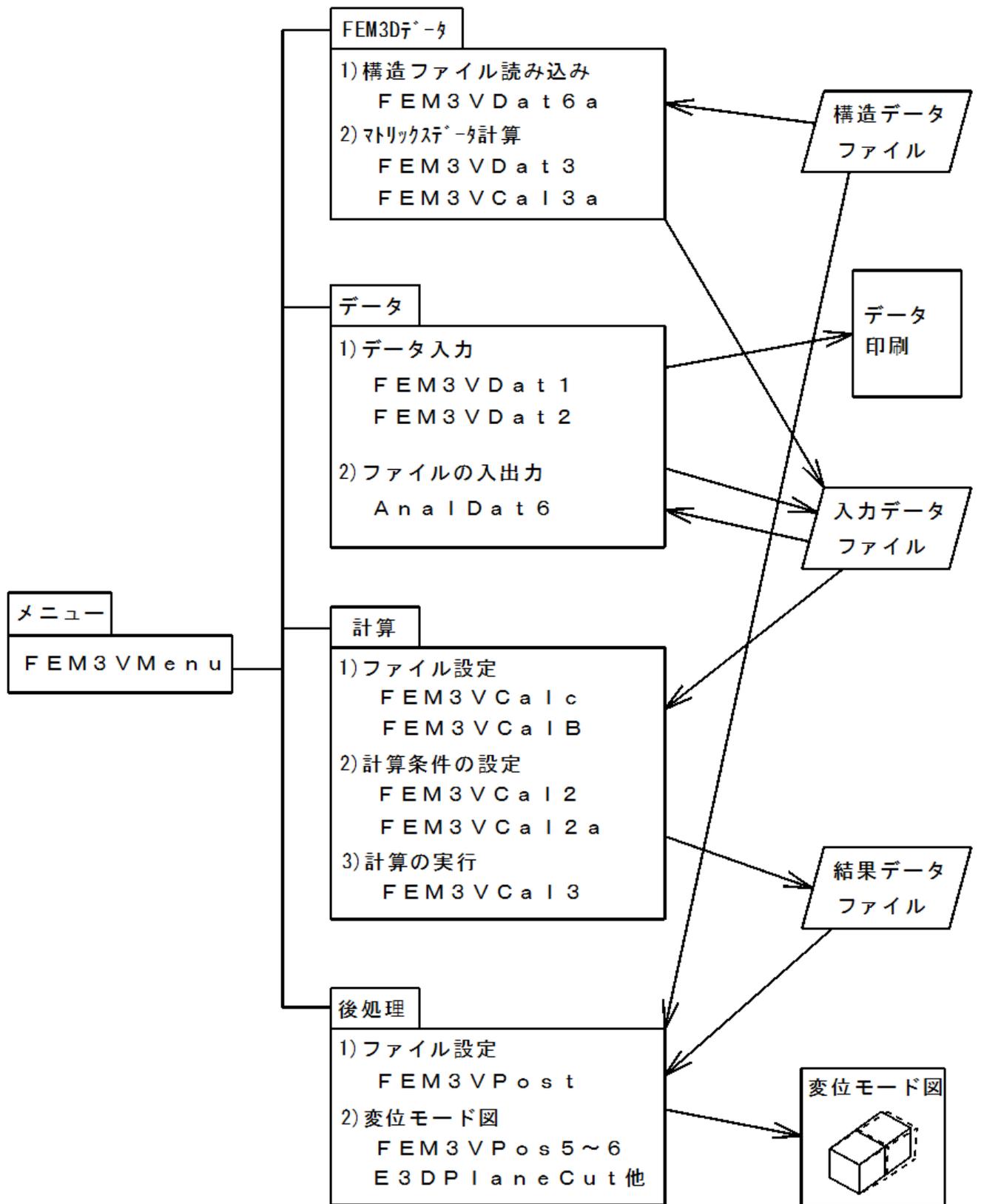


図2-2 「FEM3Vib」ソフトのプログラム構成

表2-2に本ソフトのファイルリストを示します。同表で、[データ]のFEM3Vdat1およびFEM3Vdat2は、振動解析用の各種データを画面入力するためのものです。特に、FEM3Vdat2では各行列データをグリッド入力できるようにしています。

表2-2 「FEM3Vib」ソフトのファイルリスト

[全般]

| ファイル名         | 内容                |
|---------------|-------------------|
| FEM3VCom. vb  | 共通変数の宣言とサブルーチンの定義 |
| FEM3VMenu. vb | メニューの提示・選択        |

[FEM3Dデータ]

| ファイル名          | 内容                |
|----------------|-------------------|
| FEM3VCal3a. vb | 質量マトリックスの計算       |
| FEM3Vdat3. vb  | 密度データの入力          |
| FEM3Vdat6a. vb | 構造解析用データファイルの読み込み |

[データ]

| ファイル名         | 内容                 |
|---------------|--------------------|
| FEM3Vdat1. vb | データ仕様の入力           |
| FEM3Vdat2. vb | 密度データの表示と各行列データの入力 |
| AnalDat6. vb  | データファイルの読み込み・書き出し  |

[計算]

| ファイル名          | 内容              |
|----------------|-----------------|
| FEM3VCalc. vb  | 計算に使用するファイルの設定  |
| FEM3VCal2. vb  | 固有値計算条件の設定      |
| FEM3VCal2a. vb | パラメーター条件のユーザー設定 |
| FEM3VCal3. vb  | 固有値計算の実行        |
| FEM3VCalB. vb  | 固有値計算のバッチ処理     |

[後処理]

| ファイル名           | 内容              |
|-----------------|-----------------|
| FEM3VPost. vb   | 後処理に使用するファイルの設定 |
| FEM3VPos5. vb   | 変位モード図の仕様設定     |
| FEM3VPos6. vb   | 変位モード図の作画実行     |
| E3DPlaneCut. vb | 3次元構造の面切断の設定    |
| MouseShift. vb  | マウス回転操作の説明      |

また、表2-3にパラメーター条件の項目を示します。パラメーター条件は自動設定かユーザー設定かを選択でき、ユーザー設定を選択した場合に表2-3の項目の数値を変更設定することができます。同表で⑤「消去計算実施の基準比率（対打ちり誤差率）」とは、QR複合方式で上三角行列に変換する消去計算を行なう際に、消去を実施するかどうかの基準比率で、収束判定の④「計算打ちり誤差率」に対する比を設定します。この2つの設定項目を設けている理由は、消去計算実施の基準比率を収束判定の計算打ちり誤差率より小さく設定するためです。

表2-3 パラメーター条件の項目

| 項 目                  | 対 称 行 列 |        | 非対称 行列 |
|----------------------|---------|--------|--------|
|                      | ヤコビ法    | ランチョス法 | アールデイ法 |
| ①バランス処理1回当たりのループ計算回数 | ○       | ○      | ○      |
| ②初期のバランス処理の有無        | ○       | ○      | ○      |
| ③繰り返し計算の最大回数         | ○       |        | ○      |
| ④計算打ちり誤差率            | ○       | ○      | ○      |
| ⑤消去計算実施の基準比率(対打ちり比率) |         |        | ○      |
| ⑥小行列の最大次数            |         | ○      | ○      |
| ⑦小行列のバランス処理回数        |         |        | ○      |
| ⑧ベクトル再直交化の基準比率       |         | ○      |        |

注) ○：設定対象

「③繰り返し計算の最大回数」は、非対称行列の場合はQR法に適用

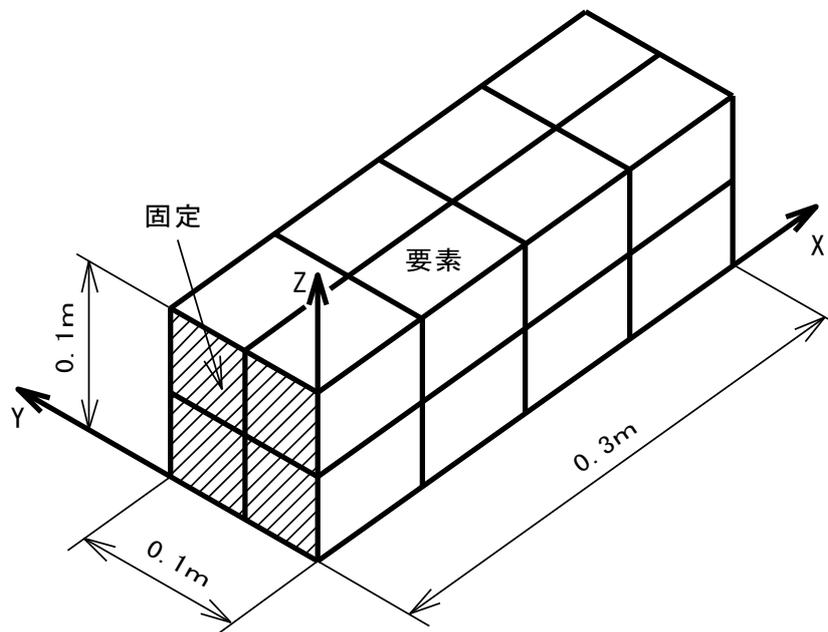
### 第3章 例題

本書では、図3-1に示す正方形棒モデルを例題として用います。本モデルについて、先に「3次元構造解析（FEM3D）」により構造データファイルが作成されているものとします。なお、外力荷重は振動解析には入れないため省略してあります。

注）作成済みの構造データファイルでは、要素数16、節点数141となっています。

なお、本例の数値はS I単位を使用していますが、材料の密度の値を用いて質量マトリックスを計算するため、単位系の統一には特に注意する必要があります。

また、MCK型の振動解析で使用する減衰マトリックスについては、後で行列の要素数値を適宜設定するものとし、ここでの例示は省略します。



[材料] ヤング率： $2.1 \times 10^5$  MPa      ポアソン比：0.3  
密度： $7800 \text{ kg/m}^3$

図3-1 正方形棒の構造モデル（振動解析用）

## 第4章 「FEM3Dデータ」処理プログラム

### 4.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「FEM3Dデータ」のサブメニュー選択画面を図4-1に示します。ここで使用する構造データファイルは、あらかじめ「3次元構造解析K（FEM3D）」で作成しておかねばなりません。同図に示すように、4つのサブメニューがあります。まず最初に「構造ファイル読み込み」を実施し、次に「マトリックスデータ計算」を選択します。算出したマトリックスデータは同計算後のダイアログ画面によりファイルへ保存できますが、サブメニューの「振動解析用ファイルへ保存」を選択して保存することもできます。

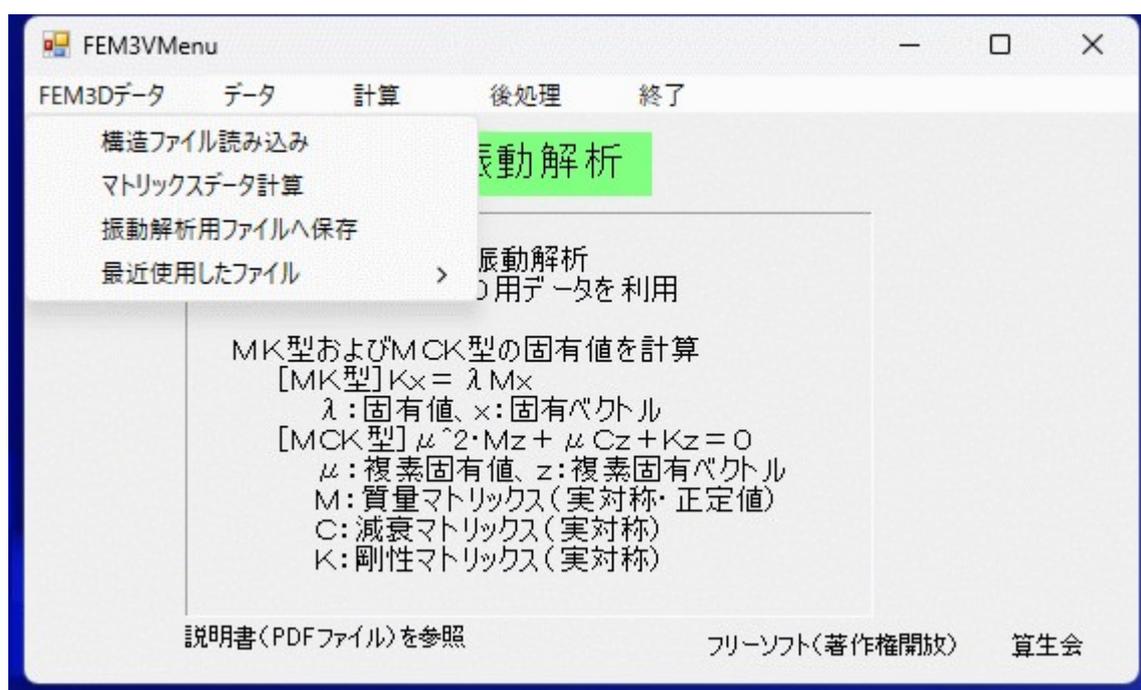


図4-1 「FEM3Dデータ」サブメニュー画面

### 4.2 構造ファイル読み込み

サブメニューの「構造ファイル読み込み」を選択すると、コモンダイアログでファイルを開く画面となり、構造データファイルを選定して読み込みます。なお、構造データファイルのデフォルトの拡張子は、「.dat」です。

### 4.3 マトリックスデータ計算

サブメニューの「マトリックスデータ計算」を選択すると、先ず図4-2の密度データ入力画面となります。

- ①本画面では材料の密度を入力します。
- ②「コピー」、「貼り付け」ボタンにより、通常のクリップボード利用ができます。
  - ◇「取り消し」ボタンを押すと直前の貼り付けを取り消せます。
- ③密度を入力後、「設定」ボタンをクリックすると、図4-3の計算開始のダイアログボックスが出ます。そのダイアログボックスで「はい」をクリックすると、質量マトリッ

クスの計算が実行され、計算終了後に図4-4のファイル保存のダイアログボックスが出ます。そのダイアログボックスで「はい」をクリックすると、コモンダイアログでファイルを保存する画面となり、振動解析用データファイルを設定するとデータが書き出されます。なお、ファイルへの保存は、後でサブメニュー選択でも実施できます。



図4-2 密度データ入力画面



図4-3 マトリクスデータ計算開始のダイアログボックス

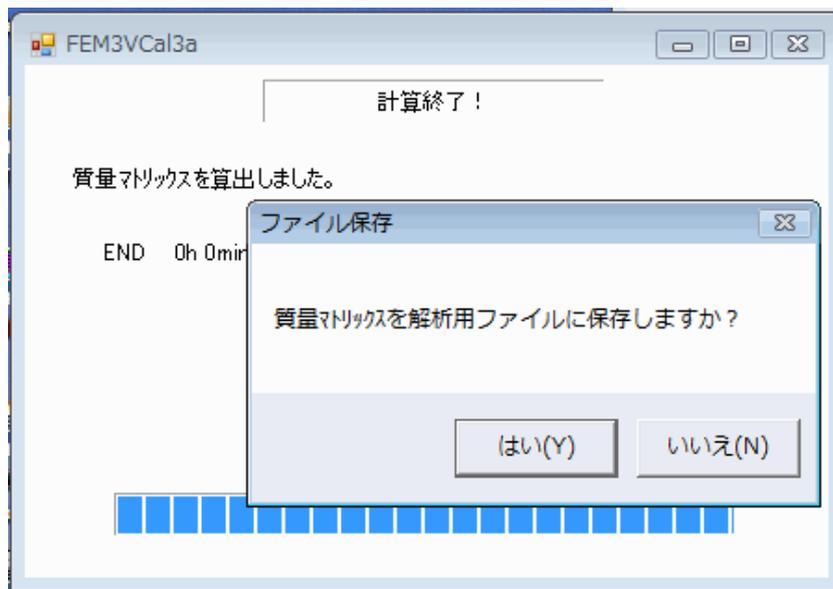


図4-4 マトリックスデータのファイル保存のダイアログボックス

#### 4.4 振動解析用ファイルへ保存

サブメニュー「振動解析用ファイルへ保存」を選択すると、コマンドダイアログでファイルを保存する画面となり、振動解析用データファイルを設定するとデータが書き出されます。デフォルトのファイル名は、構造解析用データファイルのベース名（拡張子を削除した部分）の後に「V」が付加されたもので、拡張子は同じ「.dat」となります。もちろん、他のファイル名に変更しても構いません。

この振動解析用データファイルの内容は、減衰マトリックスを含まないこと以外は、後述の「データ」処理におけるファイル内容と同じですので、ここでは例示を省略します。

#### 4.5 最近使用したファイルの選択

サブメニュー「最近使用したファイル」のポップアップで、ファイルリストから選択できます。

注) 新版ソフトでファイルが使用されないとリスト表示されません。

## 第5章 「データ」処理プログラム

### 5.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「データ」のサブメニュー選択画面を図5-1に示します。同図に示すように、5つのサブメニューがあります。まず「ファイル読み込み」を選択して、前項の「FEM3Dデータ」処理で作成済の振動解析用データファイルを読み込みます。次に「データ入力・修正」を選択して、必要なデータ修正を行ないます。

また、「オプション」→「バックアップファイル作成」にチェックを入れると、データ読み込み時にバックアップファイル(.bak)が自動作成されます。チェックを外すと作成されなくなります。

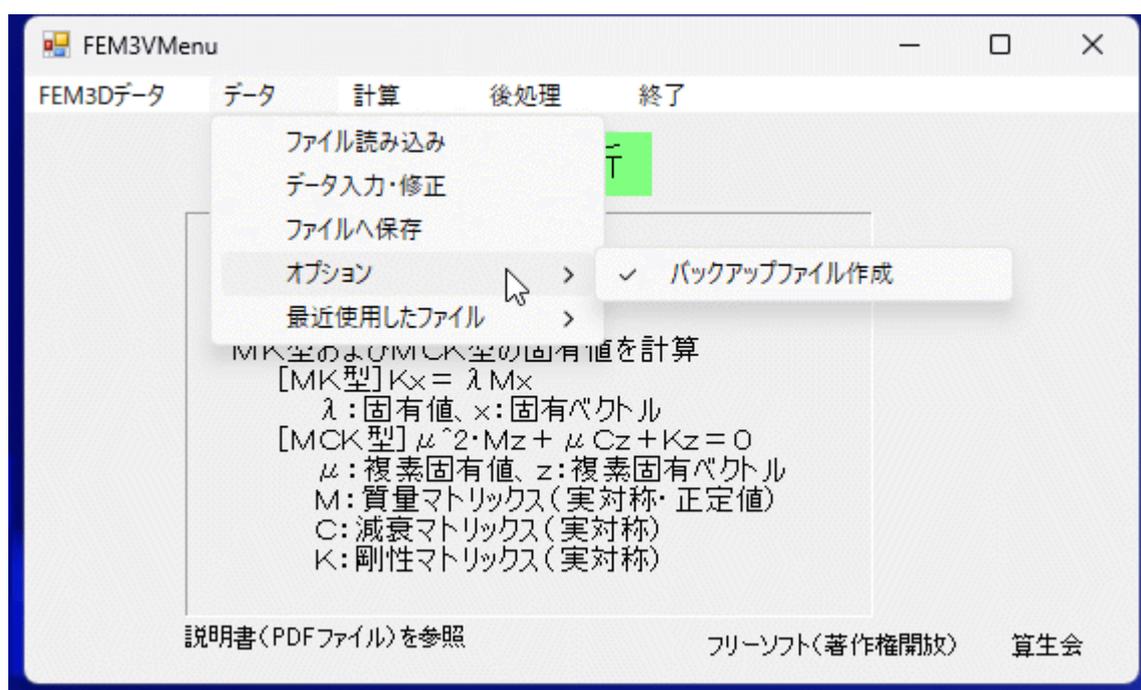


図5-1 「データ」サブメニュー画面

### 5.2 ファイル読み込み

サブメニューの「ファイル読み込み」を選択すると、コマンドダイアログでファイルを開く画面となり、入力データファイルを選定して読み込みます。なお、入力データファイルのデフォルトの拡張子は、「.dat」です。

### 5.3 データ入力・修正

サブメニューの「データ入力・修正」を選択すると、図5-2～5-4のデータ仕様入力画面となります。本画面の入力について、以下に補足説明します。

- ①タイトルは、任意の題名を入力します。
- ②方程式種類として、MK型またはMCK型を選択します。
- ③MCK型の場合は、図5-3～5-4のように、減衰設定区分として比例減衰または個別設定を選択します。それらの図では、ダンパー数の入力部分も表示されます。

◇MCK型で比例減衰を選択した場合の画面を図5-3に示します。同図のように質量比例の減衰係数と剛性比例の減衰係数を入力することができます。

◇MCK型で減衰設定区分の個別設定を選択した場合の画面を図5-4に示します。

この場合のみ、後掲の行列データ入力画面でC行列を入力できます。

④MCK型でダンパーを付加する場合は、図5-3～5-4の画面でダンパー数を入力します。

◇ダンパーの減衰係数は、行列データ入力画面のC行列とは別に付加されます。

⑤本画面の「設定」ボタンをクリックすると、次の各データの入力画面に移ります。

⑥各データ入力終了すると本画面に戻るので、そこで「すべて確定」ボタンをクリックすると入力データが確定します。

The screenshot shows a window titled 'FEM3VDat1' with a close button. The text inside reads: 'データを入力してください。' followed by the file path '[構造ファイル] C:\VB2022\3次元振動解析\Data\FEM3Test4A.dat'. The title field contains '3次元振動テストモデル(口0.1m×0.3m長)'. Below it, '行列次数: 360' is displayed. A group box labeled '方程式種類' contains two radio buttons: 'MK型' (selected) and 'MCK型'. At the bottom, there are three buttons: '設定', '中止', and 'すべて確定'.

図5-2 データ仕様入力画面 (MK型)

The screenshot shows a window titled 'FEM3VDat1' with a close button. The text inside reads: 'データを入力してください。' followed by the file path '[構造ファイル] C:\VB2022\3次元振動解析\Data\FEM3Test4A.dat'. The title field contains '3次元振動テストモデル(口0.1m×0.3m長)比例減衰有り'. Below it, '行列次数: 360' is displayed. There are three group boxes: '方程式種類' with 'MK型' and 'MCK型' (selected); '減衰設定区分' with '比例減衰' (selected) and '個別設定'; and three input fields: '質量比例の減衰係数' (value: 1), '剛性比例の減衰係数' (value: 1E-09), and 'ダンパー数' (value: 0). At the bottom, there are three buttons: '設定', '中止', and 'すべて確定'.

図5-3 データ仕様入力画面 (MCK型、比例減衰)

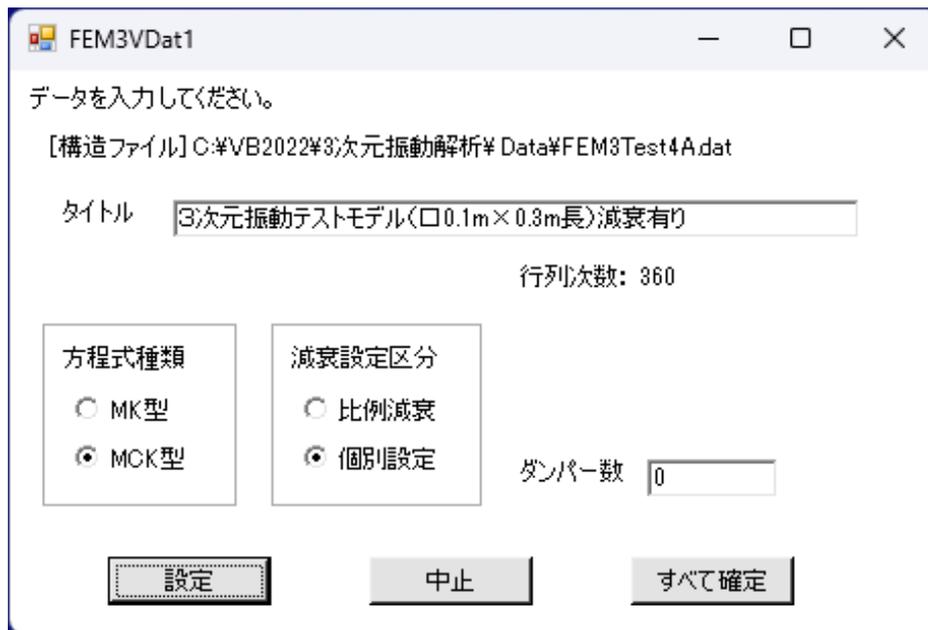


図5-4 データ仕様入力画面（MCK型、減衰個別設定）

#### 5.4 密度データ一覧画面

図5-5に密度データ一覧画面を示します。本画面は「FEM3Dデータ」処理の質量マトリックス計算に使用した密度データを参考までに表示するもので、データ修正はできません。本画面で「次へ」ボタンをクリックすると、行列データ入力画面に移ります。

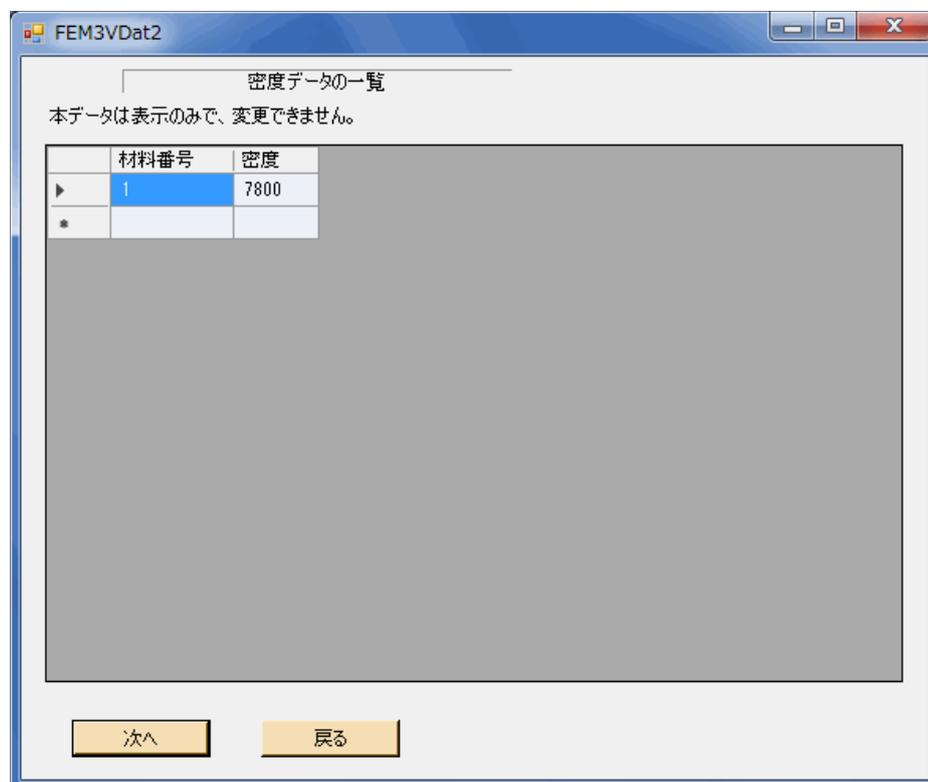


図5-5 密度データ一覧画面

## 5.5 行列データ入力画面

図5-6、図5-7に行列データ入力画面を示します。図5-6はMK型および比例減衰のMCK型の場合、図5-7は減衰個別設定のMCK型の場合です。いずれの場合でも、各行列の対角要素のみを示します。

①各行列の対角要素の値を入力します。

◇M行列は「FEM3データ」処理で算出された質量マトリックス（対角行列）なので、通常はそのままで構いません。もし節点に質量を追加したい場合には、該当の行の要素を変更します。

◇図5-7のC行列は、減衰個別設定のMCK型の場合に、各行の要素を入力します。ただし、ダンパー付加がある場合は、C行列に入力がなくても構いません。要素が0の項は、計算時に自動的に微小値が設定されます。従って、減衰係数のない変数項は入力しなくても構いません。

なお、同画面で「C行列一括設定」ボタンをクリックして、同一値の減衰係数をまとめて入力することができます。

注) K行列は解析計算時に算出するため、本画面には表示していません。また、比例減衰のC行列も同様です。

②「コピー」、「貼り付け」ボタンにより、通常のクリップボード利用ができます。これは以降の画面でも同様です。

◇「取り消し」ボタンを押すと直前の貼り付けを取り消せます。

③すべての行列要素データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして次の画面に移ります。

◇ダンパーなしの場合は、図5-2～5-4のデータ仕様入力画面に戻ります。



図5-6 行列データ入力画面（MK型、比例減衰のMCK型）



図5-7 行列データ入力画面（減衰個別設定のMCK型）

## 5.6 ダンパーデータ入力画面（MCK型）

本入力はダンパー付加がある場合（ダンパー数が1以上）にのみ実施します。図5-8にダンパーデータ入力画面を示します。

- ①ダンパー数の分だけNo.が表示されているので、それぞれ節点番号1、2以下のデータを入力します。
  - ◇節点番号1は、有限要素の節点番号を入力しなければなりません。
  - ◇節点番号2は、有限要素の節点番号を入力するか、または0として次項の外部点を使用します。
- ②節点番号2に外部点を使用する場合は、番号を0とし、外部点のX, Y, Z座標を入力します。
- ③そして、各ダンパーデータの最後に減衰係数を入力します。
  - ◇ダンパーの減衰係数は、解析計算時に上記のC行列に付加されます。
- ④すべてのダンパーデータを入力し終わったなら、「設定」ボタンをクリックして図5-3～5-4のデータ仕様入力画面に戻ります。



図5-8 ダンパーデータ入力画面

## 5.7 ファイルへの保存

サブメニューの「ファイルへの保存」を選択すると、コマンドダイアログでファイルを保存する画面となり、入力データファイルを設定するとデータが書き出されます。新たなファイル名を入力すると新ファイルが作成されます。先に入力データファイルを読み込んだる場合に、同ファイルを選定すると上書きとなります。

図5-9に入力データファイル例を示します。同図は減衰個別設定のMCK型のデータですが、MK型の場合の行列データはC行列がないだけで他は同じです。

◇保存ファイルの文字コードはUTF-8です。

◇1行内の複数データは、「,」（コンマ）で区切られます。

図5-9の○印を付した数字の部分について補足説明します。

- ①構造解析のファイル名を示しています。
- ②構造データの節点数は141です。
- ③方程式種類は、MCK型の相当番号1となっています。
- ④MCK型では減衰設定区分が表示され、本例では個別設定の相当番号1となっています。
- ⑤同じくMCK型ではダンパー数が表示され、本例では0となっています。
- ⑥材料の密度を示しています。
- ⑦変位が固定されていないものについて、行列の変数番号、構造の節点番号および変位方向を示しています。変位方向は、1がX方向、2がY方向、3がZ方向です。
- ⑧質量マトリックスは各行の対角要素だけを示しています。
- ⑨減衰マトリックスは各行の対角要素だけを示しています。

◇比例減衰のMCK型の場合は、対角要素以外もありますが、解析計算時に算出するため、ファイルには出力されません。

|   |   |
|---|---|
| プログラム名, FEM3Vib                                       |   |
| [FEM3D構造ファイル], C:\¥VB2022¥3次元振動解析¥Data¥FEM3Test4A.dat | ① |
| 3次元振動テストモデル (□0.1m×0.3m長) 減衰有り                        |   |
| 節点数, 141  | ② |
| 方程式種類 (0:MK型、1:MCK型), 1                               | ③ |
| 減衰設定区分 (0:比例減衰、1:個別設定), 1                             | ④ |
| ダンパー数, 0  | ⑤ |
| 行列の次数, 360  |   |
| 材料データ数, 1   |   |
| <材料の密度> 材料番号、密度                                       | ⑥ |
| 1, 7800   |   |
| <行列の変数番号対応> 変数番号、節点番号、変位方向                            | ⑦ |
| 1, 22, 1  |   |
| 2, 22, 2  |   |
| 3, 22, 3  |   |
| 4, 23, 1  |   |
| 5, 23, 2  |   |
| 6, 23, 3  |   |
| 7, 24, 1  |   |
| 8, 24, 2  |   |
| 9, 24, 3  |   |
| 10, 25, 1   |   |
| 11, 25, 2   |   |
| 12, 25, 3   |   |
| 13, 26, 1   |   |
| 14, 26, 2   |   |
| 15, 26, 3   |   |
| .....   |   |
| .....   |   |
| 351, 138, 3   |   |
| 352, 139, 1   |   |
| 353, 139, 2   |   |
| 354, 139, 3   |   |
| 355, 140, 1   |   |
| 356, 140, 2   |   |
| 357, 140, 3   |   |
| 358, 141, 1   |   |
| 359, 141, 2   |   |
| 360, 141, 3   |   |

図5-9 (1/2) 入力データファイル例 (MCK型、減衰個別設定)

|                        |           |   |
|------------------------|-----------|---|
| <M行列（質量マトリックス）>行番号、各要素 |           | ⑧ |
| 1,                     | .09435482 |   |
| 2,                     | .09435482 |   |
| 3,                     | .09435482 |   |
| 4,                     | .1887096  |   |
| 5,                     | .1887096  |   |
| 6,                     | .1887096  |   |
| 7,                     | .0943548  |   |
| 8,                     | .0943548  |   |
| 9,                     | .0943548  |   |
| 10,                    | .1887096  |   |
| 11,                    | .1887096  |   |
| 12,                    | .1887096  |   |
| 13,                    | .3774192  |   |
| 14,                    | .3774192  |   |
| 15,                    | .3774192  |   |
| .....                  |           |   |
| .....                  |           |   |
| 351,                   | .09435486 |   |
| 352,                   | .08256049 |   |
| 353,                   | .08256049 |   |
| 354,                   | .08256049 |   |
| 355,                   | .09435487 |   |
| 356,                   | .09435487 |   |
| 357,                   | .09435487 |   |
| 358,                   | .04128024 |   |
| 359,                   | .04128024 |   |
| 360,                   | .04128024 |   |
| <C行列（減衰マトリックス）>行番号、各要素 |           | ⑨ |
| 1,                     | 10        |   |
| 2,                     | 10        |   |
| 3,                     | 10        |   |
| 4,                     | 10        |   |
| 5,                     | 10        |   |
| 6,                     | 10        |   |
| 7,                     | 10        |   |
| 8,                     | 10        |   |
| .....                  |           |   |
| .....                  |           |   |
| 356,                   | 10        |   |
| 357,                   | 10        |   |
| 358,                   | 10        |   |
| 359,                   | 10        |   |
| 360,                   | 10        |   |

図5-9 (2/2) 入力データファイル例（MCK型、減衰個別設定）

また、図5-10に減衰個別設定のMCK型で、ダンパー有りの場合の入力データファイル例を示します。上記データとの相違点のみ、同図で○印を付した数字の部分について補足説明します。

- ①ダンパー数は2になっています。
- ②2つのダンパーのデータを示しています。

```

プログラム名, FEM3Vib
[FEM3D構造ファイル], C:\¥VB2022¥3次元振動解析¥Data¥SpecialModel.dat
特殊構造モデル (ダンパー 2 個)
節点数, 561
方程式種類 (0:MK型、1:MCK型), 1
減衰設定区分 (0:比例減衰、1:個別設定), 1
ダンパー数, 2
行列の次数, 1620
材料データ数, 1
<ダンパーデータ> No.、節点番号1、節点番号2、外部点X、Y、Z、減衰係数
1, 334, 330, 0, 0, 0, 400
2, 249, 0, .15, .025, -.06, 200
<材料の密度> 材料番号、密度
1, 7800
<行列の変数番号対応> 変数番号、節点番号、変位方向
1, 22, 1
2, 22, 2
3, 22, 3
. . . . .
. . . . .
1618, 561, 1
1619, 561, 2
1620, 561, 3
<M行列 (質量マトリックス)> 行番号、各要素
1, .002830646
2, .002830646
3, .002830646
. . . . .
. . . . .
1618, .001238407
1619, .001238407
1620, .001238407
<C行列 (減衰マトリックス)> 行番号、各要素
1, 0
2, 0
3, 0
. . . . .
. . . . .
1618, 0
1619, 0
1620, 0

```

図5-10 入力データファイル例 (MCK型、減衰個別設定、ダンパー有り)

## 5.8 最近使用したファイルの選択

サブメニュー「最近使用したファイル」のポップアップで、ファイルリストから選択できます。

注) 新版ソフトでファイルが使用されないとリスト表示されません。

## 第6章 「計算」プログラム

### 6.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「計算」のサブメニュー画面を図6-1に示します。サブメニューは「固有値計算の実行」と「固有値計算のバッチ処理」の2つがあります。

「固有値計算の実行」をクリックすると、次の「計算」ファイル設定画面に移ります。また、「固有値計算のバッチ処理」は6.9節で説明します。

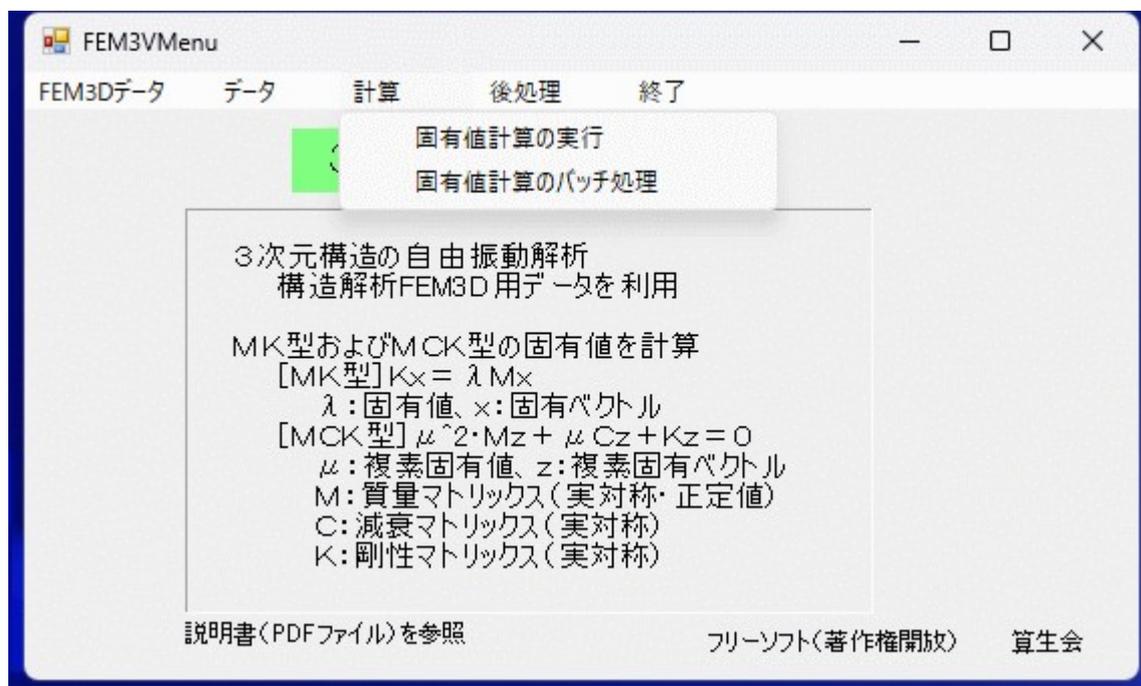


図6-1 「計算」サブメニュー画面

### 6.2 「計算」ファイル設定

図6-2に「計算」ファイル設定画面を示します。

- ①「入力ファイル指定」ボタンをクリックすると、コマンドダイアログで入力データファイルを選定できます。そして、再び「計算」ファイル設定画面に戻ると、「入力ファイル指定」のテキストボックスには選定済み入力ファイル名が、また「出力ファイル指定」の方には入力ファイル名の拡張子を「.rep」に変更したファイル名が表示されます。もし、他のファイル名に変更したい場合は、テキストボックスで修正します。
- ②中間ファイルについては、不使用、読み込み、書き出しのいずれかを選択します。
  - ◇中間ファイルは、固有値計算の前段階で、処理・作成した対象行列をファイルに出力したものです。最初の計算で中間ファイルを「書き出し」、次回以降に「読み込み」で再利用できます。中間ファイルを再利用すれば、大規模構造の計算時間は大幅に短縮できます。
  - ◇中間ファイルは、次節の条件入力画面で下記のそれぞれを指定した場合は使用できません（計算時間短縮の効果がないためで、注意確認の画面が出ます）。
    - a. ヤコビ法
    - b. ランチョス法または通常のMCK型で、固有値の計算順序が大きい順

◇中間ファイル名は、入力ファイルのベースファイル名（拡張子の、以下を削除したもの）に「-Mid.txt」を付加した名に自動設定されます。

◇中間ファイルのサイズは非常に大きくなりますので、用済みになれば「後処理」の「中間ファイルの削除」により削除するか、ファイル圧縮したものだけ残すことをお奨めします。

③「設定」ボタンをクリックすると、次の固有値計算条件入力画面に移ります。

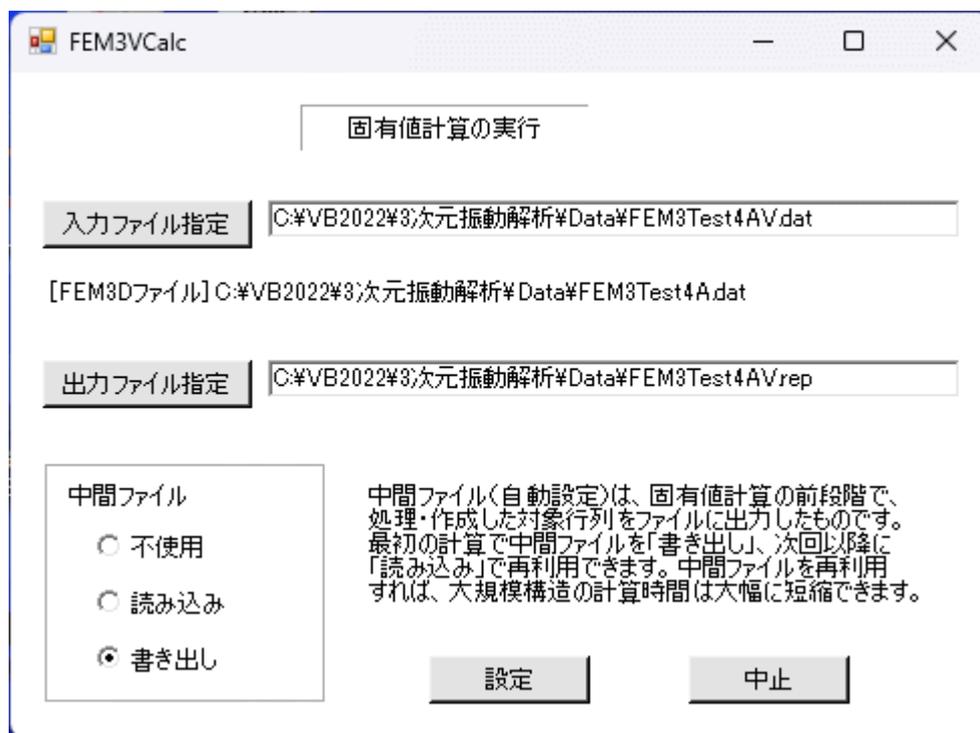


図6-2 「計算」ファイル設定画面

### 6.3 固有値計算の条件入力画面

図6-3にMK型の固有値計算条件入力画面を示します。

①まず、計算方法として、ヤコビ法かランチョス法かを選択します。

◇行列次数が大きくなると、ヤコビ法では計算時間がかかりすぎますので、ランチョス法を選択します。その区分の行列次数の目安は200ぐらいです。

②次に、固有値の計算順序として、大きい順か小さい順かを選択します。

③次に、算出する固有値の数を入力します。

◇任意に個数を増減できます。ただし、行列次数の大きい行列に対するランチョス法では、端の1~2個の固有値は容易に精度良く求まりますが、個数を増やす場合にパラメーター条件の調整を要することがあります。その場合、通常は3~5個ぐらい可能ですが、端の1個しか精度が出ないこともあります。なお、個数を増やす場合は、固有ベクトルの計算時間の増大にも注意してください。

④最後に、パラメーター条件について、自動設定かユーザー設定かを選択します。

◇まず自動設定のままで計算してください。もし問題があれば、ユーザー設定を選択してパラメーター条件を適宜変更してください。

- ⑤本画面で「設定」ボタンをクリックすると、パラメーター条件が自動設定の場合は、直ちに計算が開始されます。もしパラメーター条件がユーザー設定の場合は、後掲のパラメーター条件入力画面に移ります。

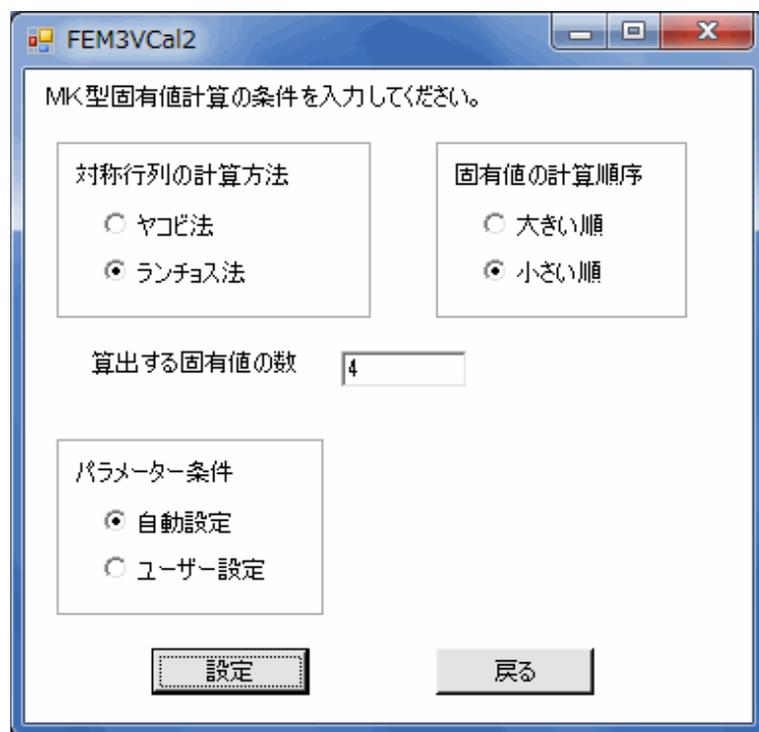


図6-3 固有値計算の条件入力画面（MK型）

次に、図6-4に比例減衰のMCK型でダンパーなしの場合について、固有値計算の条件入力画面を示します。図6-3のMK型と異なる点について説明します。

◇算出する固有値対の数を入力します。

MCK型の場合は、固有値が複素数となりますので、共役固有値の対の数を入力します。

また、図6-5に通常のMCK型について、固有値計算の条件入力画面を示します。ここで通常のMCK型とは、比例減衰のMCK型でダンパー有りの場合、および減衰個別設定のMCK型が当てはまります。図6-3のMK型の場合と異なる点について説明します。

◇算出する固有値対の数を入力します。

MCK型の場合は、固有値が複素数となりますので、共役固有値の対の数を入力します。算出する固有値対の数は任意に設定できます。ただし、行列次数の大きい行列に対応するアーノルディ法では、端の1~2対の固有値は容易に精度良く求まりますが、対の数を増やす場合にパラメーター条件の調整を要することがあります。その場合、通常は3~5対ぐらい可能ですが、端の1対しか精度が出ないこともあります。なお、対の数を増やす場合は、固有ベクトルの計算時間の増大にも注意してください。

注) 計算方法はアーノルディ法だけですので、計算方法の選択はありません。

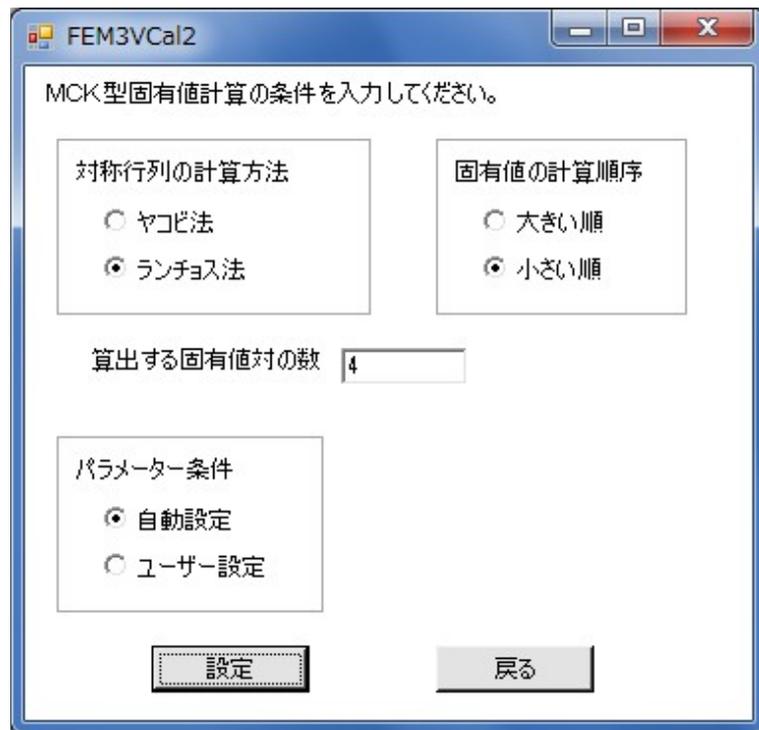


図6-4 固有値計算の条件入力画面（比例減衰のMCK型、ダンパーなし）

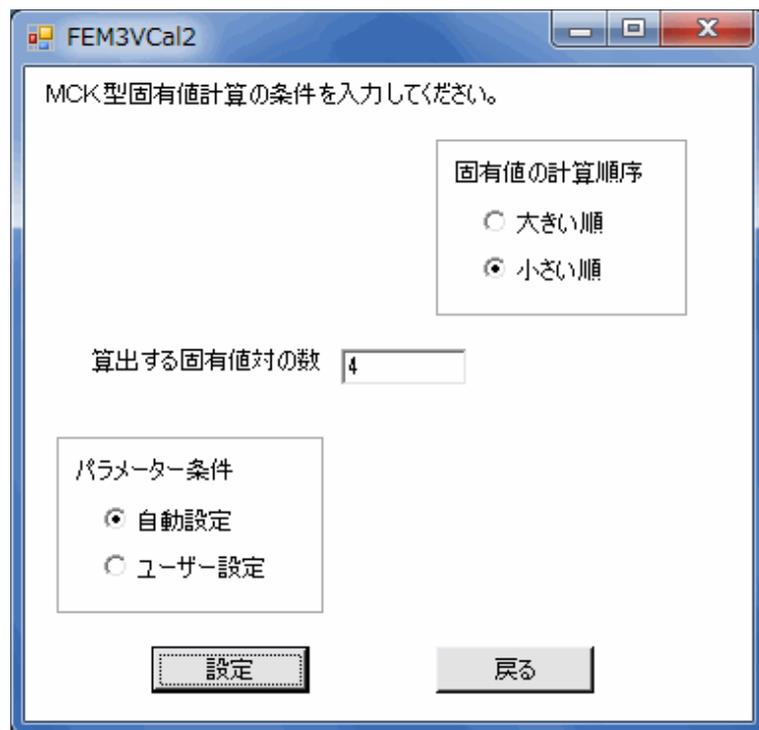


図6-5 固有値計算の条件入力画面（通常のMCK型）

#### 6.4 パラメーター条件の入力画面（ユーザー設定）

図6-6にヤコビ法、図6-7にランチョス法のパラメーター条件入力画面を示します。本画面は、前項でユーザー設定を選択した場合にのみ表示されます。本画面で変更したいパラメーター項目の値を入力し直します。パラメーター項目は、計算方法により異なりますので、表2-3の項目リストを参照してください。本画面で「設定」ボタンをクリックすると、

計算が開始されます。

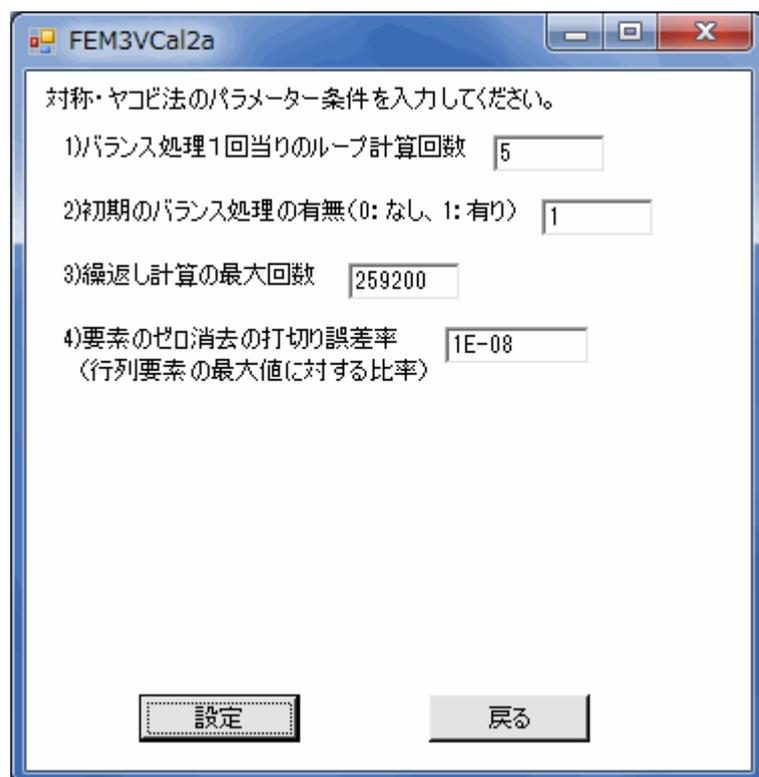


図6-6 パラメーター条件の入力画面 (対称・ヤコビ法)

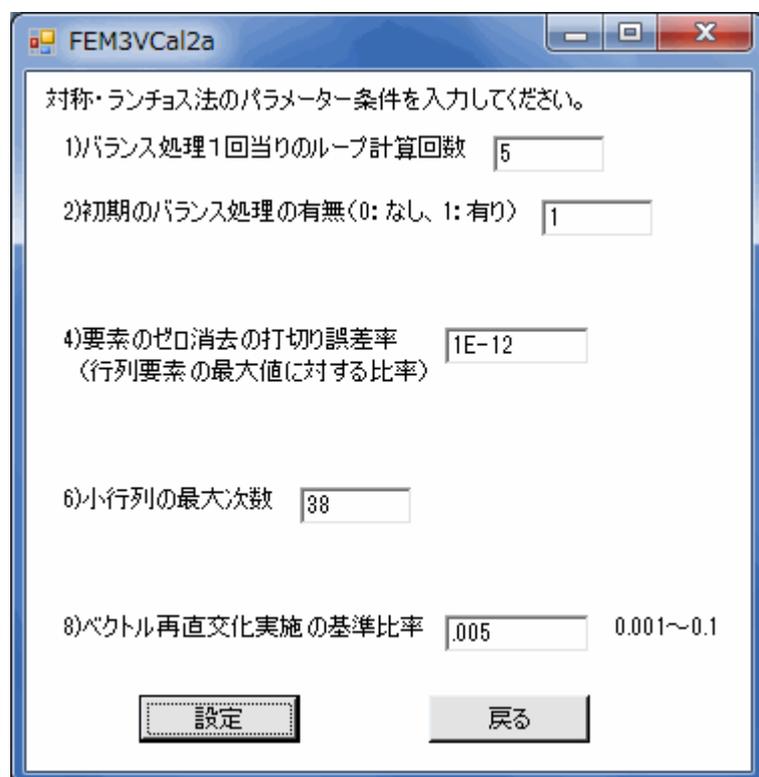


図6-7 パラメーター条件の入力画面 (対称・ランチョス法)

## 6.5 計算終了

図6-8に計算終了画面、図6-9に計算確認ダイアログ画面を示します。図6-8では、かかった計算時間（本例では2s）と空きメモリ容量も表示されます。また、図6-9の計算確認ダイアログ画面では、固有振動数等データも表示されます。本画面で「OK」ボタンをクリックすると、立ち上げ時のメニュー画面に戻ります。

図6-9について補足説明します。

①検証誤差比とは、固有ベクトルを用いて行列方程式の第1行の計算を実施した時、右辺0との誤差を基準要素絶対値で割った比率です。

◇基準要素絶対値とは、第1行要素の最大絶対値を指します。

◇ヤコビ法では、固有値と固有ベクトルが同時に算出されており、検算を行列方程式の第1行で実施しているにすぎません。ヤコビ法以外の計算方法では、固有ベクトルを算出する際に行列方程式の第1行については方程式計算を実施していないので、誤差が生じます。

◇参考として、検証誤差比による固有値信頼度の概略基準を表6-1に示します。同表のように、検証誤差比が $10^{-5}$ 以下であれば、固有値の信頼度は良好と判断できます。

②表示される固有振動数等の数は最大10個です。

③本画面で、計算確認ダイアログの「OK」ボタンをクリックすると、立ち上げ時のメニュー画面に戻ります。

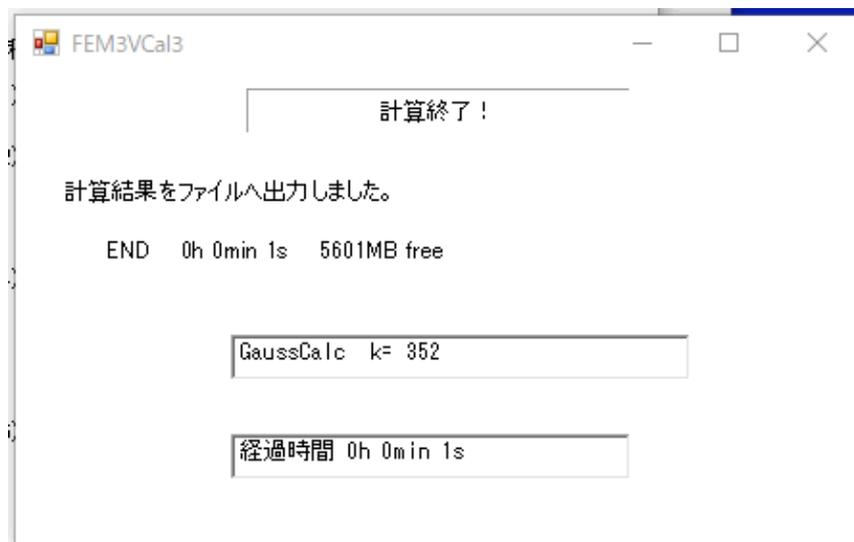


図6-8 計算終了画面

表6-1 検証誤差比による固有値信頼度の概略基準

| 検証誤差比  | $10^{-5}$ 以下 | $10^{-5} \sim 10^{-3}$ | $10^{-3}$ 以上 |
|--------|--------------|------------------------|--------------|
| 固有値信頼度 | ○            | △                      | ×            |

注) ○：良、 △：注意（ケースによって実用可能）、 ×：不可



図6-9 計算確認ダイアログ画面

## 6.6 計算結果（正方形棒、MK型）

上記6.2節で指定した出力ファイルに計算結果が書き出されます。図6-10に例題でMK型の場合の計算結果ファイルへの出力を示します。同図で○印を付した数字の部分について補足説明します。

- ①振動解析用の入力データファイルを示しています。
- ②計算方法はランチョス法を使用しています。
- ③固有値の小さい順の数は4を指定しています。
- ④パラメータ条件はユーザー指定で、その次の行以下の内容となっています。
- ⑤ベクトル再直交化の基準比率を0.001に設定しています。
- ⑥各行列要素の最大値を出力しています。

◇比例減衰のMCK型で比例減衰係数を検討する際は、先ずMK型で解析計算を行ない、M、K行列要素の最大値を参考にしてください。

- ⑦算出された固有値と固有振動数を小さい順に4個出力しています。

◇固有振動数は866、866、2190、3778Hzとなっています。また、図6-11にそれらから作成した棒グラフを示します（表計算ソフト使用）。

- ⑧先ず、固有値のNo. 1に対する固有ベクトルを出力しています。
- ⑨検証誤差比と基準要素絶対値を示します。

◇意味等については、6.5節の①を参照してください。

- ⑩固有ベクトルの各変数値として、各節点順位毎に $\delta X$ 、 $\delta Y$ 、 $\delta Z$ を示しています。

◇変数値が0のものは、変位を固定されたものです。なお、固有ベクトルの各変数値は相対値であり、全体を任意倍数だけ増減できます（以下同様）。

- ⑪以降に他のすべての固有ベクトルを順次出力しています。
- ⑫計算時間（本例では1s）と空きメモリー容量も出力されます。

|  |               |             |            |   |
|--|---------------|-------------|------------|---|
| <<MK型固有値解析の結果>>                                      |               |             |            |   |
| 3次元振動テストモデル (□0.1m×0.3m長)                            |               |             |            |   |
| [入力データファイル], C:\¥VB2022¥3次元振動解析¥Data¥FEM3Test4AV.dat |               |             |            | ① |
| 計算方法: ランチョス法   |               |             |            | ② |
| 固有値の小さい順の数, 4  |               |             |            | ③ |
| <パラメータ条件>ユーザー指定                                      |               |             |            | ④ |
| バランス処理 1回当たりのループ回数, 5                                |               |             |            |   |
| 初期のバランス処理の有無, 1                                      |               |             |            |   |
| 要素のゼロ消去の打切り誤差率, 1E-12                                |               |             |            |   |
| 小行列の最大次数, 38   |               |             |            |   |
| ベクトル再直交化の基準比率, .001                                  |               |             |            | ⑤ |
| -----  |               |             |            |   |
| M行列要素の最大値, .3774194                                  |               |             |            | ⑥ |
| K行列要素の最大値, 5.647866E+10                              |               |             |            |   |
| -----  |               |             |            |   |
| <固有値>  |               |             |            | ⑦ |
| No.、   | 固有値、          | 固有振動数       |            |   |
| 1,   | 2.957564E+07, | 865.5401    |            |   |
| 2,   | 2.957606E+07, | 865.5463    |            |   |
| 3,   | 1.894143E+08, | 2190.416    |            |   |
| 4,   | 5.635882E+08, | 3778.34     |            |   |
| -----  |               |             |            |   |
| <固有ベクトル> No., 1                                      |               |             |            | ⑧ |
| 検証誤差比、基準要素絶対値  |               |             |            | ⑨ |
| 4.147238E-12, 7.735103E+09                           |               |             |            |   |
| 節点番号、  | δX、           | δY、         | δZ         | ⑩ |
| 1,   | 0,            | 0,          | 0          |   |
| 2,   | 0,            | 0,          | 0          |   |
| .....  |               |             |            |   |
| .....  |               |             |            |   |
| 140,   | -.03198965,   | -.08783098, | .1211556   |   |
| 141,   | -.04516066,   | -.08783651, | .1212255   |   |
| -----  |               |             |            |   |
| <固有ベクトル> No., 2                                      |               |             |            | ⑪ |
| 検証誤差比、基準要素絶対値  |               |             |            |   |
| -1.273926E-10, 7.735103E+09                          |               |             |            |   |
| 節点番号、  | δX、           | δY、         | δZ         |   |
| 1,   | 0,            | 0,          | 0          |   |
| 2,   | 0,            | 0,          | 0          |   |
| .....  |               |             |            |   |
| .....  |               |             |            |   |
| 140,   | -.01679818,   | -.1211897,  | -.0878733  |   |
| 141,   | -.007203208,  | -.1213447,  | -.08799914 |   |
| -----  |               |             |            |   |

図6-10 (1/2) 結果ファイルへの出力例 (正方形棒、MK型)

<固有ベクトル> No. , 3  
 検証誤差比、基準要素絶対値  
 -3.194047E-09, 7.720022E+09  
 節点番号、  $\delta X$ 、  $\delta Y$ 、  $\delta Z$   
 1, 0, 0, 0  
 2, 0, 0, 0  
 .....  
 .....  
 140, .0005018781, .05572888, .1116714  
 141, -2.689002E-07, .1126424, .1126437

<固有ベクトル> No. , 4  
 検証誤差比、基準要素絶対値  
 3.075638E-05, 7.684717E+09  
 節点番号、  $\delta X$ 、  $\delta Y$ 、  $\delta Z$   
 1, 0, 0, 0  
 2, 0, 0, 0  
 .....  
 .....  
 140, .09358694, .0800228, -.08108198  
 141, .1281188, .08066805, -.08272344

END 0h 0min 1s 5601MB free

⑫

図6-10 (2/2) 結果ファイルへの出力例 (正方形棒、MK型)

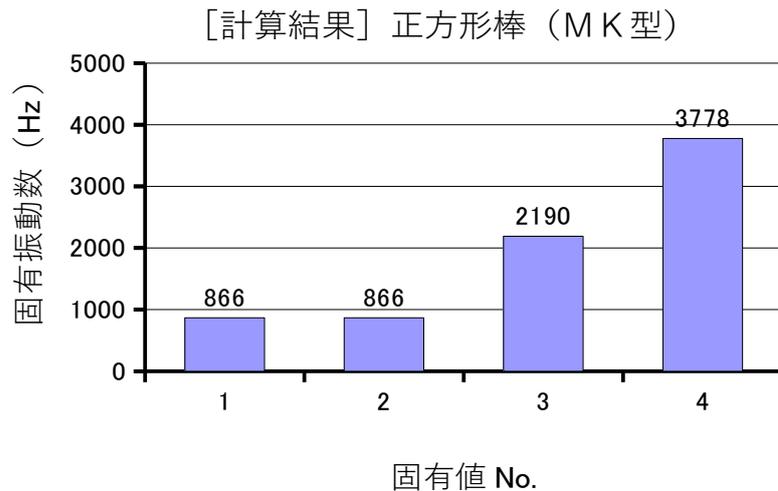


図6-11 算出した固有振動数のグラフ (正方形棒、MK型)  
 注) LibreOffice Calc 使用

## 6.7 計算結果（正方形棒、比例減衰のMCK型）

上記と同じ正方形棒モデルで、比例減衰のMCK型の場合について、計算結果を図6-12に示します。ただし、質量比例の減衰係数は1、剛性比例の減衰係数は $10^{-9}$ です。同図で○印を付した数字の部分について補足説明します。

- ①振動解析用の入力データファイルを示しています。
- ②計算方法はランチョス法を使用しています。
- ③固有値の小さい順の対の数は4を指定しています。
- ④パラメーター条件はユーザー指定で、その次の行以下の内容となっています。
- ⑤ベクトル再直交化の基準比率を0.001に設定しています。
- ⑥各行列要素の最大値を出力しています。
- ⑦算出された固有値と固有振動数を小さい順に4対出力しています。

◇本例では、上記の固有値対の指定数が4なので、複素固有値の総数は8個となっています。各固有値は、実数部、虚数部、大きさ、固有振動数のリスト表示となっています。固有値の大きさは、実数部と虚数部の2乗和の平方根です（以下同様）。本例ではすべての固有値が複素数ですが、もし実数の固有値の場合は虚数部と固有振動数が0となります。

◇本例の固有振動数は、各固有値対毎に866、866、2190、3778Hzとなっています。

また、図6-13にそれらから作成した棒グラフを示します（表計算ソフト使用）。

- ⑧先ず、固有値のNo. 1に対する固有ベクトルを出力しています。
- ⑨検証誤差比と基準要素絶対値を示します。

◇意味等については、6.5節の①を参照してください。
- ⑩固有ベクトルの各変数値として、各節点順位毎に $\delta X$ 、 $\delta Y$ 、 $\delta Z$ を示しています。

◇変数値が0のものは、変位を固定されたものです。なお、固有ベクトルの各変数値は相対値であり、全体を任意倍数だけ増減できます（以下同様）。
- ⑪固有ベクトルのNo. 2はNo. 1と同じです。

◇比例減衰のMCK型（ダンパーなし）では、固有ベクトルはすべて1対ずつ同一で、かつすべて実数となります。また、すべてMK型の固有ベクトルと同じ値です。
- ⑫以降に他のすべての固有ベクトルを順次出力しています。
- ⑬計算時間（本例では1s）と空きメモリー容量も出力されます。

<<MCK型固有値解析の結果>>

3次元振動テストモデル (□0.1m×0.3m長) 比例減衰有り

[入力データファイル], C:¥VB2022¥3次元振動解析¥Data¥FEM3Test4AVc1. dat

計算方法: ランチョス法

固有値の小さい順の対の数, 4

<パラメータ条件>ユーザー指定

バランス処理1回当たりのループ回数, 5

初期のバランス処理の有無, 1

要素のゼロ消去の打ち切り誤差率, 1E-12

小行列の最大次数, 38

ベクトル再直交化の基準比率, .001

①

②

③

④

M行列要素の最大値, .3774194

C行列要素の最大値, 56.85608

K行列要素の最大値, 5.647866E+10

⑤

⑥

<固有値>

| No.、 | 実数部、       | 虚数部、       | 大きさ、      | 固有振動数    |
|------|------------|------------|-----------|----------|
| 1,   | -.5147878, | 5438.349,  | 5438.349, | 865.5401 |
| 2,   | -.5147878, | -5438.349, | 5438.349, | 865.5401 |
| 3,   | -.514788,  | 5438.387,  | 5438.387, | 865.5463 |
| 4,   | -.514788,  | -5438.387, | 5438.387, | 865.5463 |
| 5,   | -.5947071, | 13762.79,  | 13762.79, | 2190.416 |
| 6,   | -.5947071, | -13762.79, | 13762.79, | 2190.416 |
| 7,   | -.7817941, | 23740.01,  | 23740.01, | 3778.34  |
| 8,   | -.7817941, | -23740.01, | 23740.01, | 3778.34  |

⑦

<固有ベクトル> No., 1

検証誤差比、基準要素絶対値

4.147238E-12, 7.735103E+09

節点番号、 δ X、 δ Y、 δ Z

|       |             |             |          |
|-------|-------------|-------------|----------|
| 1,    | 0,          | 0,          | 0        |
| 2,    | 0,          | 0,          | 0        |
| ..... |             |             |          |
| ..... |             |             |          |
| 140,  | -.03198965, | -.08783098, | .1211556 |
| 141,  | -.04516066, | -.08783651, | .1212255 |

⑧

⑨

⑩

<固有ベクトル> No., 2

前記ベクトルと同じ

⑪

<固有ベクトル> No., 3

検証誤差比、基準要素絶対値

-1.273926E-10, 7.735103E+09

節点番号、 δ X、 δ Y、 δ Z

|       |              |            |            |
|-------|--------------|------------|------------|
| 1,    | 0,           | 0,         | 0          |
| 2,    | 0,           | 0,         | 0          |
| ..... |              |            |            |
| ..... |              |            |            |
| 140,  | -.01679818,  | -.1211897, | -.0878733  |
| 141,  | -.007203208, | -.1213447, | -.08799914 |

⑫

<固有ベクトル> No., 4

前記ベクトルと同じ

図6-12 (1/2) 結果ファイルへの出力例 (正方形棒、比例減衰のMCK型)

|                             |                |              |            |
|-----------------------------|----------------|--------------|------------|
| -----                       |                |              |            |
| <固有ベクトル> No. , 5            |                |              |            |
| 検証誤差比、基準要素絶対値               |                |              |            |
| -3.194047E-09, 7.720022E+09 |                |              |            |
| 節点番号、                       | $\delta X$ 、   | $\delta Y$ 、 | $\delta Z$ |
| 1,                          | 0,             | 0,           | 0          |
| 2,                          | 0,             | 0,           | 0          |
| .....                       |                |              |            |
| .....                       |                |              |            |
| 140,                        | .0005018781,   | .05572888,   | .1116714   |
| 141,                        | -2.689002E-07, | .1126424,    | .1126437   |
| -----                       |                |              |            |
| <固有ベクトル> No. , 6            |                |              |            |
| 前記ベクトルと同じ                   |                |              |            |
| -----                       |                |              |            |
| <固有ベクトル> No. , 7            |                |              |            |
| 検証誤差比、基準要素絶対値               |                |              |            |
| 3.075638E-05, 7.684717E+09  |                |              |            |
| 節点番号、                       | $\delta X$ 、   | $\delta Y$ 、 | $\delta Z$ |
| 1,                          | 0,             | 0,           | 0          |
| 2,                          | 0,             | 0,           | 0          |
| .....                       |                |              |            |
| .....                       |                |              |            |
| 140,                        | .09358694,     | .0800228,    | -.08108198 |
| 141,                        | .1281188,      | .08066805,   | -.08272344 |
| -----                       |                |              |            |
| <固有ベクトル> No. , 8            |                |              |            |
| 前記ベクトルと同じ                   |                |              |            |
| -----                       |                |              |            |
| END                         | 0h 0min 1s     | 5579MB free  | ⑬          |

図6-12 (2/2) 結果ファイルへの出力例 (正方形棒、比例減衰のMCK型)

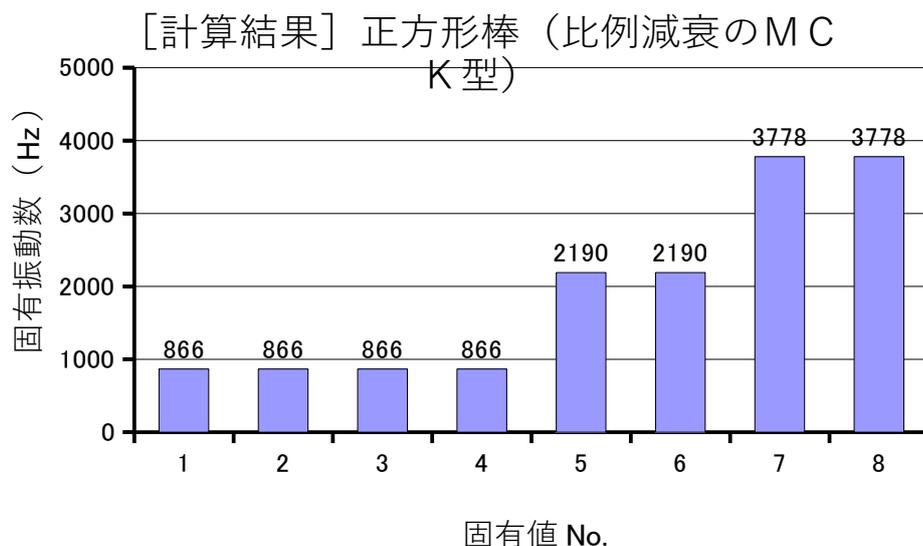


図6-13 算出した固有振動数のグラフ (正方形棒、比例減衰のMCK型)  
注) LibreOffice Calc 使用

## 6.8 計算結果（正方形棒、通常のMCK型）

上記と同じ正方形棒モデルで、減衰個別設定のMCK型について、計算結果を図6-14に示します。同図で○印を付した数字の部分について補足説明します。

- ①振動解析用の入力データファイルを示しています。
- ②計算方法はアーノルディ法を使用しています。
- ③固有値の小さい順の対の数は4を指定しています。
- ④パラメータ条件はユーザー指定で、その次の行以下の内容となっています。
- ⑤要素のゼロ消去の打切り誤差率を $1E-16$ に設定しています。
- ⑥消去計算実施の基準比率（対打切り誤差率）を0.002に設定しています。
- ⑦各行列要素の最大値を出力しています。

- ⑧固有値と固有振動数を、固有値の小さい順に4対出力しています。

◇本例では、上記の固有値対の指定数は4なので、複素固有値の総数は8個となっています。出力項目等は前項の比例減衰のMCK型と同じです。

◇本例の固有振動数は、各固有値対毎に866、866、2190、3778Hzとなっています。

また、図6-15にそれらから作成した棒グラフを示します（表計算ソフト使用）。

- ⑨先ず、固有値のNo. 1に対する固有ベクトルを出力しています。

- ⑩検証誤差比と基準要素絶対値を示します。

◇意味等については、6.5節の①を参照してください。

- ⑪固有ベクトルの各変数値を示します。

◇固有値が複素数のため、固有ベクトルも複素数となっています。変位番号は、変位方向を数字で示したものです。複素数の各変数は、実数部、虚数部、大きさに分けて表示されています。変数値が0のものは、変位を固定されたものです。なお、固有ベクトルの各変数値は相対値であり、全体を任意倍数だけ増減できます（以下同様）。

◇固有値が実数の場合は、固有ベクトルも実数となり、ベクトルの各変数は実数1つだけが表示されます。

- ⑫固有ベクトルのNo. 2はNo. 1と共役ですので、数値表示は省略しています。

- ⑬以降に他のすべての固有ベクトルを順次出力しています。

- ⑭計算時間（本例では17s）と空きメモリー容量も出力されます。

|   |             |               |           |          |   |
|---|-------------|---------------|-----------|----------|---|
| <<MCK型固有値解析の結果>>  |             |               |           |          |   |
| 3次元振動テストモデル (□0.1m×0.3m長) 減衰有り                          |             |               |           |          |   |
| [入力データファイル], C:\¥VB2022¥3次元振動解析¥Data¥FEM3Test4AVc2. dat |             |               |           |          | ① |
| 計算方法: アーノルディ法   |             |               |           |          | ② |
| 固有値の小さい順の対の数, 4   |             |               |           |          | ③ |
| <パラメータ条件>ユーザー指定   |             |               |           |          | ④ |
| バランス処理 1回当たりのループ回数, 5                                   |             |               |           |          |   |
| 初期のバランス処理の有無, 1   |             |               |           |          |   |
| 繰り返し計算の最大回数, 20   |             |               |           |          |   |
| 要素のゼロ消去の打切り誤差率, 1E-16                                   |             |               |           |          | ⑤ |
| 消去計算実施の基準比率 (対打切り誤差率), .002                             |             |               |           |          | ⑥ |
| 小行列の最大次数, 54  |             |               |           |          |   |
| 小行列のバランス処理回数, 3   |             |               |           |          |   |
| -----   |             |               |           |          |   |
| M行列要素の最大値, .3774194                                     |             |               |           |          | ⑦ |
| C行列要素の最大値, 10   |             |               |           |          |   |
| K行列要素の最大値, 5.647866E+10                                 |             |               |           |          |   |
| -----   |             |               |           |          |   |
| <固有値>   |             |               |           |          | ⑧ |
| No.、  | 実数部、        | 虚数部、          | 大きさ、      | 固有振動数    |   |
| 1,  | -34.19821,  | -5438.243,    | 5438.35,  | 865.5233 |   |
| 2,  | -34.19821,  | 5438.243,     | 5438.35,  | 865.5233 |   |
| 3,  | -34.19821,  | -5438.281,    | 5438.389, | 865.5294 |   |
| 4,  | -34.19821,  | 5438.281,     | 5438.389, | 865.5294 |   |
| 5,  | -40.21863,  | -13762.73,    | 13762.79, | 2190.406 |   |
| 6,  | -40.21863,  | 13762.73,     | 13762.79, | 2190.406 |   |
| 7,  | -33.14001,  | -23740.87,    | 23740.89, | 3778.477 |   |
| 8,  | -33.14001,  | 23740.87,     | 23740.89, | 3778.477 |   |
| -----   |             |               |           |          |   |
| <固有ベクトル> No. 1  |             |               |           |          | ⑨ |
| 検証誤差比、基準要素絶対値   |             |               |           |          | ⑩ |
| -9.554838E-11, 7.735103E+09                             |             |               |           |          |   |
| 節点番号、変位No. (1~3: δX~Z)、                                 | 実数部、        | 虚数部、          | 大きさ       |          | ⑪ |
| 1, 1,   | 0,          | 0,            | 0         |          |   |
| 1, 2,   | 0,          | 0,            | 0         |          |   |
| 1, 3,   | 0,          | 0,            | 0         |          |   |
| 2, 1,   | 0,          | 0,            | 0         |          |   |
| .....   |             |               |           |          |   |
| .....   |             |               |           |          |   |
| 140, 3,   | .1211497,   | .001402962,   | .1211578  |          |   |
| 141, 1,   | -.04515736, | -.0005438033, | .04516064 |          |   |
| 141, 2,   | -.08782768, | -.001028193,  | .0878337  |          |   |
| 141, 3,   | .1212195,   | .001406189,   | .1212276  |          |   |
| -----   |             |               |           |          |   |
| <固有ベクトル> No. 2  |             |               |           |          | ⑫ |
| 前記ベクトルの虚数部の符号を反転させたもの                                   |             |               |           |          |   |
| -----   |             |               |           |          |   |
| <固有ベクトル> No. 3  |             |               |           |          | ⑬ |
| 検証誤差比、基準要素絶対値   |             |               |           |          |   |
| -1.744081E-09, 7.735103E+09                             |             |               |           |          |   |

図6-14 (1/2) 結果ファイルへの出力例 (正方形棒、減衰個別設定のMCK型)

| 節点番号、変位No. (1~3: δ X~Z)、実数部、 |             | 虚数部、          | 大きさ           |              |
|------------------------------|-------------|---------------|---------------|--------------|
| 1,                           | 1,          | 0,            | 0             |              |
| 1,                           | 2,          | 0,            | 0             |              |
| 1,                           | 3,          | 0,            | 0             |              |
| 2,                           | 1,          | 0,            | 0             |              |
| .....                        |             |               |               |              |
| .....                        |             |               |               |              |
| 140,                         | 3,          | .1496517,     | .001844792,   | .149663      |
| 141,                         | 1,          | -.03203873,   | -.0004084225, | .03204133    |
| 141,                         | 2,          | .001465696,   | 1.86567E-05,  | .001465815   |
| 141,                         | 3,          | .1497825,     | .001850442,   | .149794      |
| -----                        |             |               |               |              |
| <固有ベクトル> No., 4              |             |               |               |              |
| 前記ベクトルの虚数部の符号を反転させたもの        |             |               |               |              |
| -----                        |             |               |               |              |
| <固有ベクトル> No., 5              |             |               |               |              |
| 検証誤差比、基準要素絶対値                |             |               |               |              |
| 6.843869E-05, 7.720022E+09   |             |               |               |              |
| 節点番号、変位No. (1~3: δ X~Z)、実数部、 |             | 虚数部、          | 大きさ           |              |
| 1,                           | 1,          | 0,            | 0             |              |
| 1,                           | 2,          | 0,            | 0             |              |
| 1,                           | 3,          | 0,            | 0             |              |
| 2,                           | 1,          | 0,            | 0             |              |
| .....                        |             |               |               |              |
| .....                        |             |               |               |              |
| 140,                         | 3,          | .111622,      | .0006627712,  | .111624      |
| 141,                         | 1,          | 5.179938E-05, | 5.243085E-09, | 5.179938E-05 |
| 141,                         | 2,          | .1126882,     | .0006776836,  | .1126902     |
| 141,                         | 3,          | .112594,      | .0006776769,  | .1125961     |
| -----                        |             |               |               |              |
| <固有ベクトル> No., 6              |             |               |               |              |
| 前記ベクトルの虚数部の符号を反転させたもの        |             |               |               |              |
| -----                        |             |               |               |              |
| <固有ベクトル> No., 7              |             |               |               |              |
| 検証誤差比、基準要素絶対値                |             |               |               |              |
| 1.516893E-09, 7.684712E+09   |             |               |               |              |
| 節点番号、変位No. (1~3: δ X~Z)、実数部、 |             | 虚数部、          | 大きさ           |              |
| 1,                           | 1,          | 0,            | 0             |              |
| 1,                           | 2,          | 0,            | 0             |              |
| 1,                           | 3,          | 0,            | 0             |              |
| 2,                           | 1,          | 0,            | 0             |              |
| .....                        |             |               |               |              |
| .....                        |             |               |               |              |
| 140,                         | 3,          | -.1095141,    | .02786937,    | .1130046     |
| 141,                         | 1,          | .09257519,    | -.02343539,   | .09549546    |
| 141,                         | 2,          | .006059531,   | -.001497278,  | .006241775   |
| 141,                         | 3,          | -.1119926,    | .02848291,    | .1155579     |
| -----                        |             |               |               |              |
| <固有ベクトル> No., 8              |             |               |               |              |
| 前記ベクトルの虚数部の符号を反転させたもの        |             |               |               |              |
| -----                        |             |               |               |              |
| END                          | 0h 0min 17s | 5623MB free   | ⑭             |              |

図6-14 (2/2) 結果ファイルへの出力例 (正方形棒、減衰個別設定のMCK型)

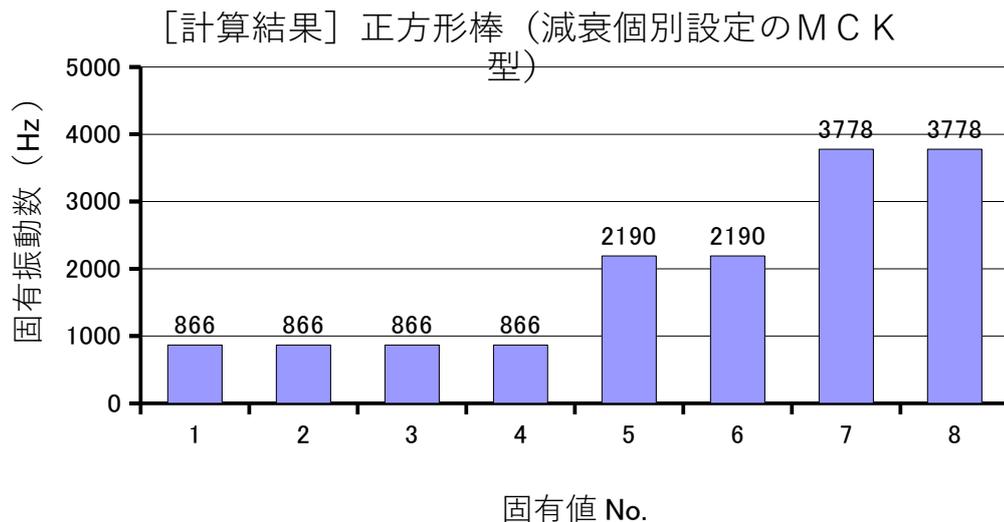


図6-15 算出した固有振動数のグラフ（正方形棒、減衰個別設定のM C K型）  
注) LibreOffice Calc 使用

## 6.9 バッチ処理

バッチ処理は1つのディレクトリーに入っている入力データファイル(.dat)について、順次すべての解析計算を行なうものです。従って、あらかじめバッチ処理用のディレクトリーを作成し、対象の入力データファイル一式を入れておかねばなりません。ただし、構造解析FEM3Dの入力データファイルは別のディレクトリーでなければなりません。また、6.2節で説明した中間ファイルは使用できません。

◇入力データファイルの拡張子は「.dat」に限定されます。その先頭行には、図5-9のようにプログラム名の「FEM3Vib」が入っていないといけません。もしプログラム名のない旧形式のものは、「データ」メニューの「ファイルへ保存」で保存し直してください。

◇計算結果データファイルの拡張子はすべて「.rep」になります。

◇構造解析FEM3Dの入力データファイルが混ざっているとエラーになります。

サブメニュー「解析計算のバッチ処理」をクリックすると、図6-16の画面に移ります。

①「入力ファイルのディレクトリー指定」ボタンをクリックすると、コモンダイアログ入力データファイルを1つ選定できます。そして、本画面に戻ると、テキストボックスにそのディレクトリー名が表示されます。

◇テキストボックスにディレクトリー名（フルパス）を直接入力しても構いません。

②本画面で「実行」ボタンをクリックすると、計算条件入力画面に移るので、そこで計算条件を設定します。その計算条件設定は最初の1ケースだけで、後のケースは同じ計算条件になります。

◇計算条件の異なるケースは実行できませんので注意してください。

③バッチ処理が完了すると、図6-17の終了画面になります。

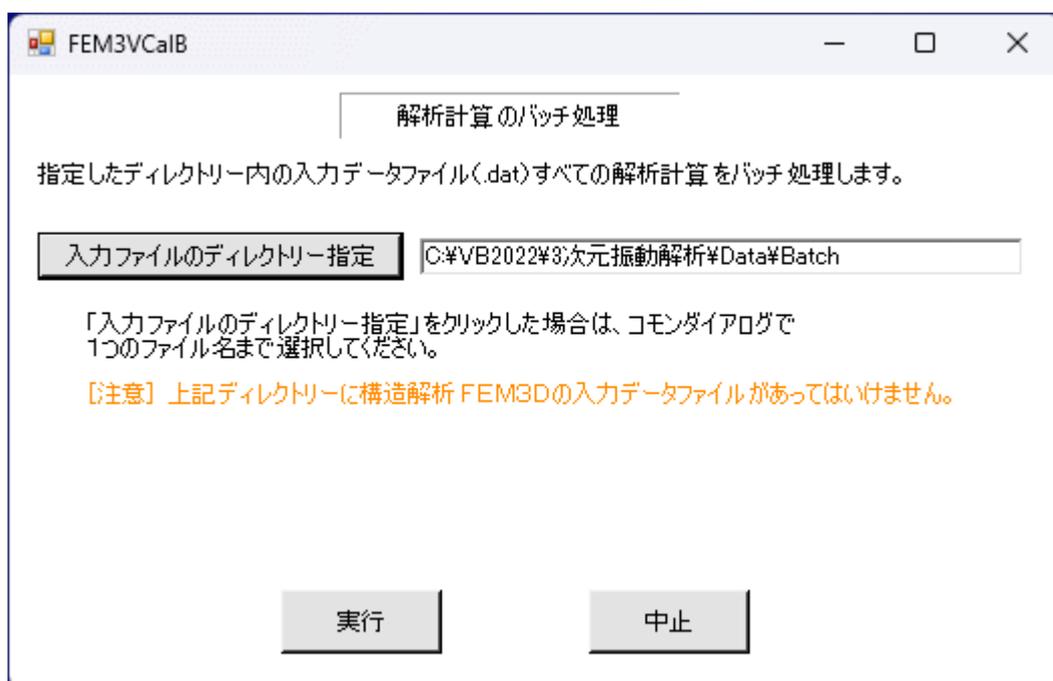


図6-16 バッチ処理の実行画面

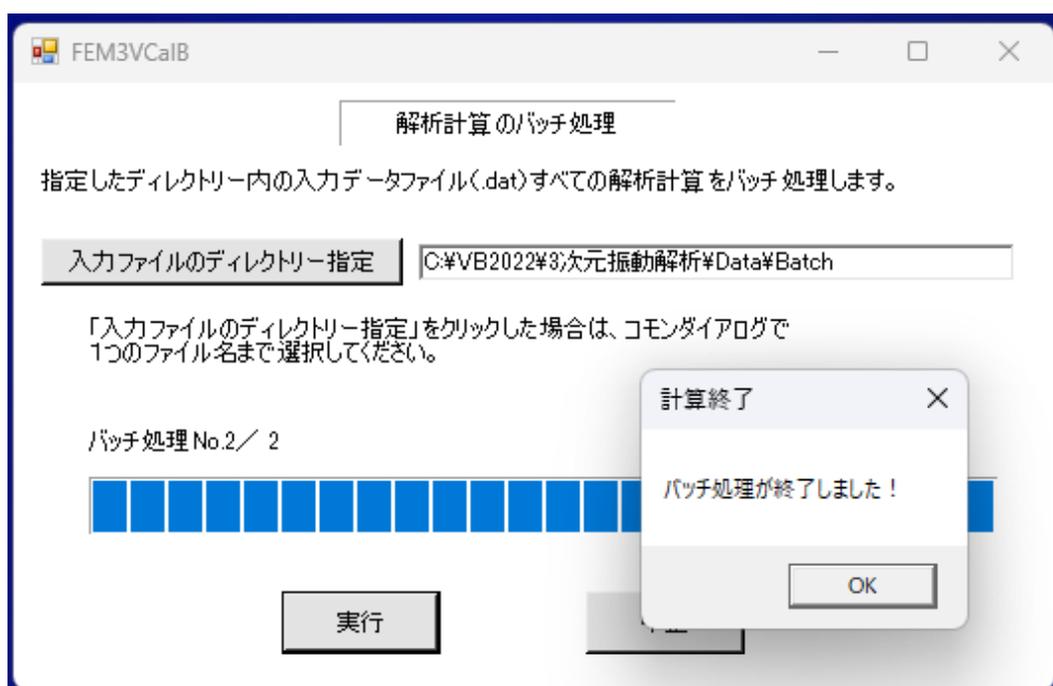


図6-17 バッチ処理の終了画面

## 第7章 「後処理」プログラム

### 7.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「後処理」のサブメニュー画面を図7-1に示します。サブメニューは「変位モード図の作画」、「中間ファイルの削除」、「解析結果の主要値表示」の3つがあります。いずれのサブメニューをクリックしても、次の使用ファイル設定画面となります。

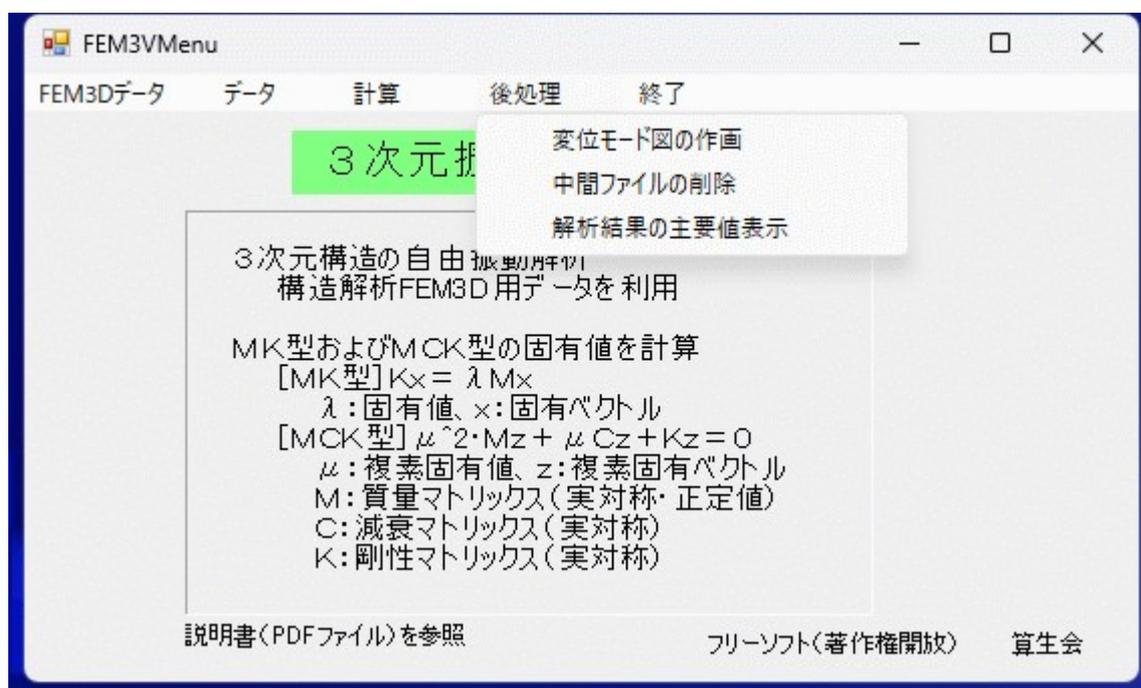


図7-1 「後処理」サブメニュー画面

### 7.2 使用ファイルの設定

図7-2に使用ファイル設定画面を示します。同画面で表題が「変位モード図の作画」になっていますが、他のサブメニューの場合は表題が入れ替わります。

- ①本画面で、「入力データファイル指定」ボタンをクリックすると、コモンダイアログで入力データファイルを選定できます。そして再び使用ファイル設定画面に戻ると、「入力データファイル指定」のテキストボックスには選定済み入力ファイル名が、また「解析結果ファイル指定」の方には入力ファイル名の拡張子を「.rep」に変更したファイル名が表示されます。もし、結果ファイル名が他の名前であった場合は、「解析結果ファイル指定」ボタンにより選択、またはテキストボックスで修正します。

注)「中間ファイルの削除」では、「解析結果ファイル指定」の部分は表示されません。

- ②「設定」ボタンをクリックすると、「変位モード図の作画」では変位モード図の仕様設定画面に移ります。また、「中間ファイルの削除」では処理が実行されます。さらに、解析結果の主要値表示の場合は、すぐに表示が実行されます。

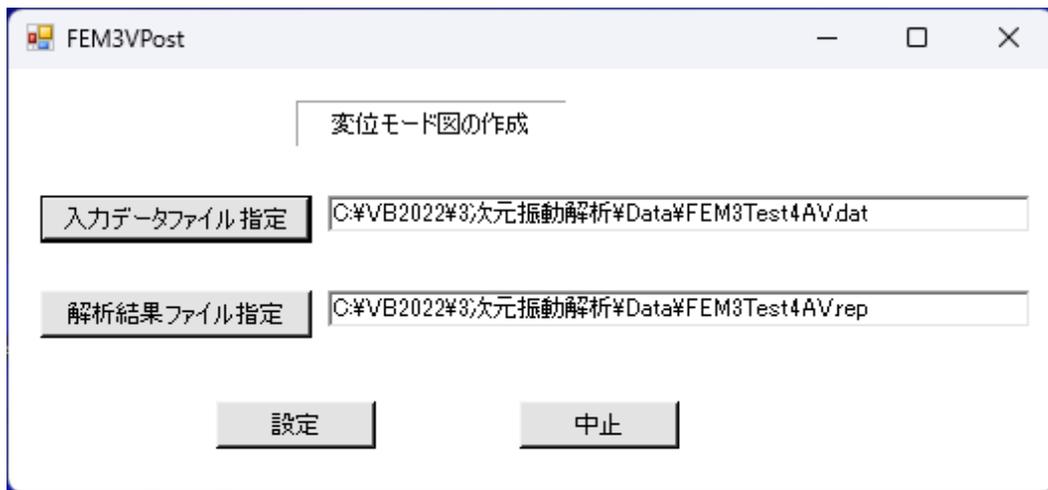


図7-2 使用ファイル設定画面

### 7.3 変位モード図の仕様設定画面

図7-3に変位モード図の仕様設定画面を示します。

- ①本画面では、出力対象の固有値番号を入力します。
- ②本画面で、「固有値データ」ボタンをクリックすると、固有値データが表示されます。  
◇図7-4に固有値データの表示例を示します。
- ③本画面で、「設定」ボタンをクリックすると、次の変位モード図作画画面に移ります。

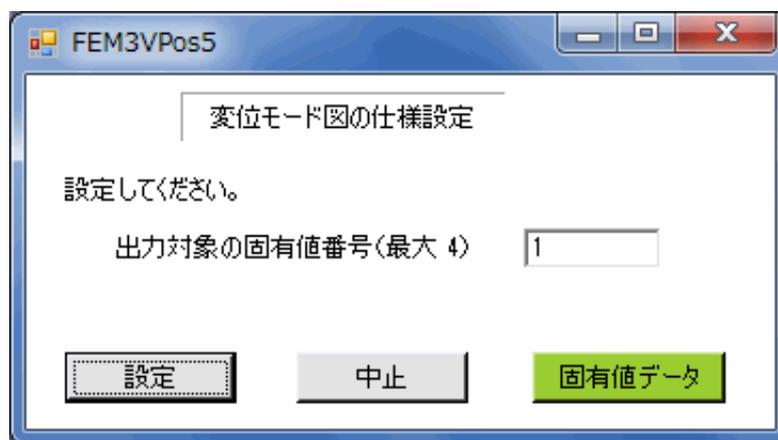


図7-3 変位モード図の仕様設定画面

| No. | 固有値           | 固有振動数    |
|-----|---------------|----------|
| 1,  | 2.957556E+07, | 865.5389 |
| 2,  | 2.957628E+07, | 865.5495 |
| 3,  | 1.894142E+08, | 2190.415 |
| 4,  | 5.633245E+08, | 3777.457 |

図7-4 固有値データの表示例

#### 7.4 変位モード図の作画画面

図7-5に変位モード図の作画画面（正方形棒、MK型）を示します。

- ①本図では、元の構造図に対して、青色で固有ベクトルに相当する変位モード図が表示されています。
  - ◇MK型の場合は、固有値と固有ベクトル（変位）は共に実数です。
  - ◇固有ベクトルは全要素の符号が反転してもよいので、変位が各節点に対して対称となる正反対のモード図も存在します。これは、MCK型の場合でも同じです。
- ②本画面の左側の「変位作画の倍率」は、構造寸法に対する変位の作画倍率を示します。本数値を任意に変更して「更新」ボタンをクリックすると、変更が反映されます。
  - ◇変位モードの変位値は相対値なので、構造に対する変位基準長を決め、それを標準の倍率1にしています。
- ③本画面の左側に「変位線の幅」のパラメータを表示してあり、それを変更できます。変更した後は、「再描画」ボタンをクリックすると作画画面が変更されます。
  - ◇「変位線の幅」は1~3が可能で、初期値は1にしています。
- ④本画面の左下側の「構造図消去」ボタンをクリックすると、図7-6のように構造図なしの変位モード図だけになります。同図で「構造図作画」ボタンをクリックすると元の画面に戻ります。
- ⑤本画面の上側と左側に、作画の種々のパラメータを表示してあり、それらを変更することができます。変更した後は、「再描画」ボタンをクリックすると、新しいパラメータ条件による作画画面に変更されます。
  - a)パラメータの「視点とモデルの距離倍率」は、透視変換の度合を調整するもので、小さくすると中心投影に近づき、大きくすると平行投影に近づきます。
  - b)「視点の高さ倍率」は、透視の視点の高さを調整するもので、小さくすると視点が下がり、大きくすると上がります。
- ⑥「隠面処理」は、「有り」か「なし」を選択できます。
  - ◇図7-5のように標準条件では隠面処理「有り」です。
  - ◇隠面処理の「なし」を選択して再描画すると図7-7のようになります。

- ⑦以上のパラメーターを変更した後、最初の状態に戻すには、「標準条件に設定」ボタンをクリックします。
- ⑧マウス右クリックで任意の節点を選択すると、図7-8のように同節点の変位値が表示されます。
- ◇本機能を使用中は、描画保存がありません（描画のさかのぼりが無効）。
  - ◇ESCキーを押すと節点選択が解除されます。
- ⑨「Shift+マウス」により構造を回転することができます。
- ◇変位モードの任意の場所で、Shiftキーとマウス左ボタンを押したまま、回転したい方向へマウスを移動させ、そこでマウスボタンを離します。そうしますと、回転が実行されます。
  - ◇図7-9にマウスの操作方向と回転方向の関係を示します。同図のように、スクリーンの場所により、Z軸回り、X軸回りの各回転、または構造中心回りの旋回が実施されます。
  - ◇変位モード図の「説明」ボタンをクリックすると、図7-9と同じ説明図が表示されます。
- ⑩「ホーム」ボタンをクリックすると、初期の回転位置に戻ります。
- ⑪「材料の指定番号」は、作画する材料を選択したい場合に材料番号を入力します。
- ◇全材料を指定する場合は0を入力します。
  - ◇「-」付きで材料番号を入力すると、その材料だけ除外して作画します。
  - ◇一旦、ある材料番号で作画した後、他の材料番号を選択した場合は、「再描画」ボタンでなく、「全要素描画ボタン」をクリックします。
- ⑫マウス中ボタン、ホイールにより移動、拡大・縮小を行なうことができます。中ボタンを押したまま動かせば図形を移動できます。また、ホイールの回転により拡大・縮小ができます。
- ⑬マウスドラッグ矩形により、変位モード図の一部分を拡大できます。
- ◇マウスドラッグは、拡大したい部分の左上隅にマウスを移動し、そこでマウスの左ボタンを押し、その左ボタンを押した状態で拡大部分の右下隅までマウスを移動させ、そこで左ボタンを離します。そうしますと、図7-9のようにマウスドラッグ範囲の矩形が表示され、コモンダイアログで「選択領域を拡大しますか？」と問ってきます。そこで、「はい」を選択すると、図7-10のように選択領域が拡大されて表示されます。
  - ◇上記の選択領域に関しては、要素全体（全節点）が選択領域に入っている要素だけがすべて拡大の対象となります。
  - ◇拡大操作を行なった後、元の全体構造図に戻りたい場合は、「全要素描画」ボタンをクリックします。
- ⑭外側表面で背後にある隠面は、モデルを適当に回転させることにより、画面表示できます。また、六面体要素どうしが接する共通面は、全要素描画では隠面となりますが、マウスドラッグによりどちらかの要素だけを領域選択すれば、画面表示できます。
- ⑮繰り返して描画を実施した場合、「前の描画」ボタンをクリックすると1つずつ前の

描画にさかのぼることができます。

◇さかのぼれる描画の数は最大8つです。

◇回転操作があっても無視され、初期の回転位置で描画されます。

- ⑩「面切断設定」ボタンをクリックすると、図7-12の面切断設定の画面に移り、面切断の仕方を設定できます。この面切断とは、座標軸に直角な平面で構造を切断し、2分割されたいずれかの構造図を描くものです。図7-12の画面では次のように操作します。
- a) 座標軸としてX、Y、Zのいずれかを選択し、その座標値と許容誤差を入力します。
  - b) さらに、その平面の正側か負側かを選択します。
  - c) 「設定」ボタンをクリックすると面分割された構造部分が選択されて、変位モード図に戻ります。

- ⑪「変位反転」ボタンをクリックすると、各節点変位の正負を反転させた変位モード図が作画されます。図7-5において「変位反転」を実施した変位モード図を図7-13に示します。

◇対象構造は、元の変位モード図と反転の変位モード図の間を振動します。

- ⑫本画面で「コピー印刷」ボタンをクリックすると、プリンターで画面コピーを印刷できます。

- ⑬本画面を終了するには、「戻る」ボタンをクリックして、仕様設定画面に戻ります。また、他の固有値番号のものに変更したい場合は、「戻る」ボタンで仕様設定画面に戻って仕様変更し、再度、変位モード図を作画することができます。

- ⑭「標準・全画面切換」ボタンをクリックすると、標準画面と全画面を切り換えることができます。また、画面Formの右下コーナー等をマウสดラッグすることにより、標準画面と全画面の間で自由に拡大・縮小できます。

◇「コピー印刷」ボタンにより印刷した場合は、「通常画面」の作画が印刷されます。

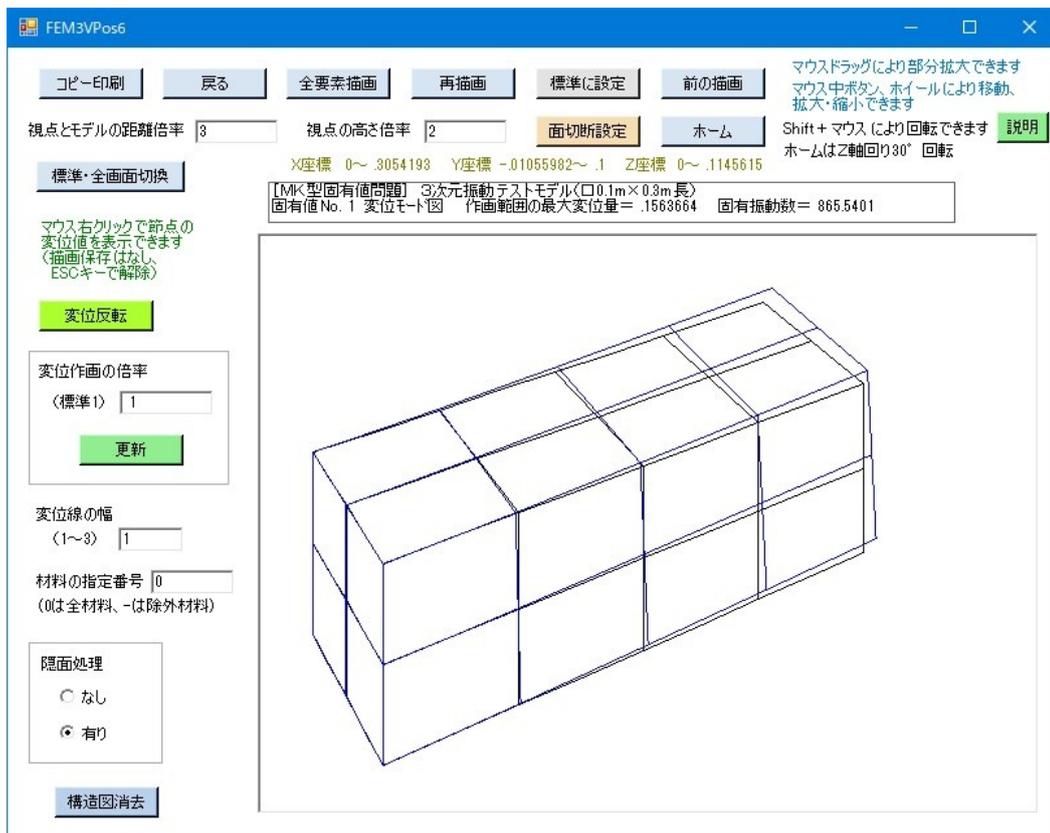


図7-5 変位モード図の作画画面の初期状態（正方形棒、MK型）

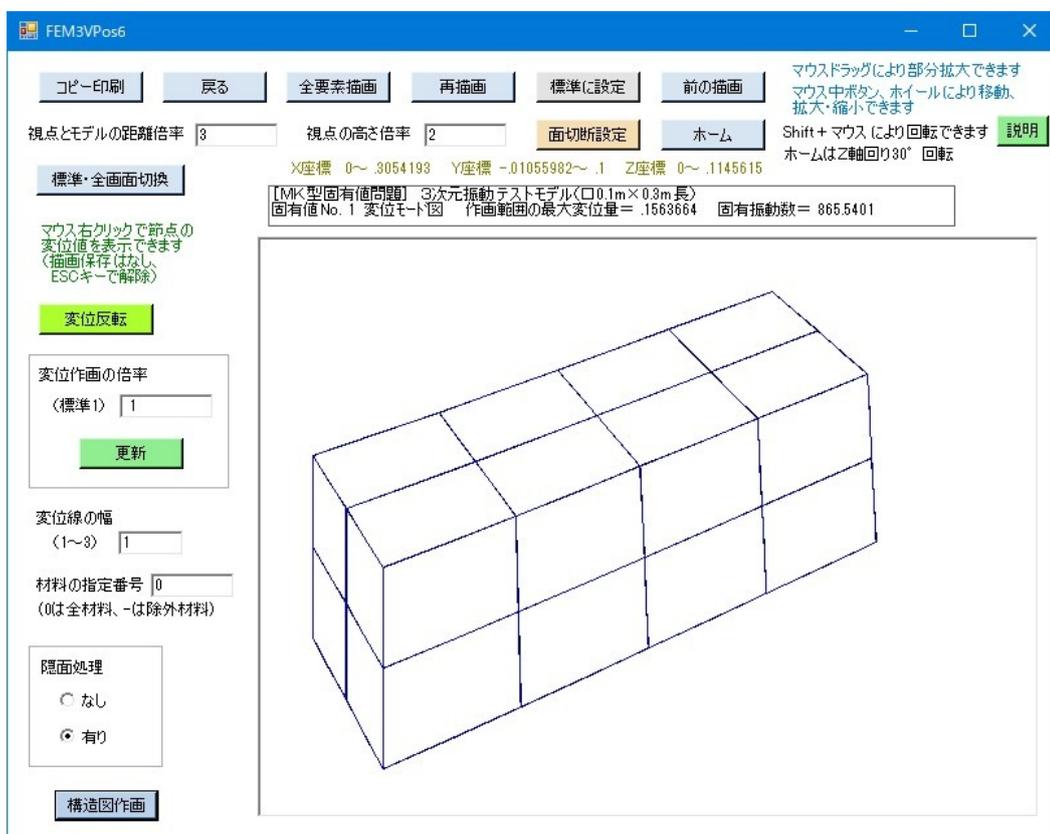


図7-6 変位モード図の作画画面の初期状態（正方形棒、MK型、構造図消去）

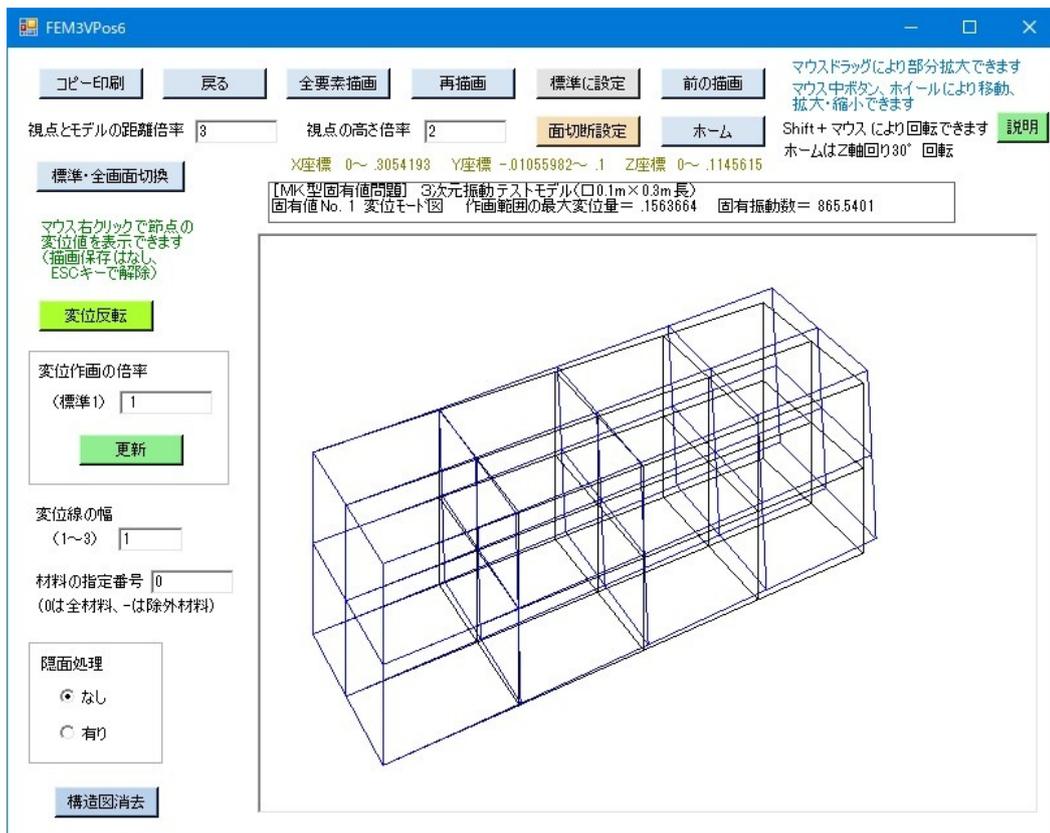


図7-7 変位モード図の隠面処理なしの作画画面（正方形棒、MK型）

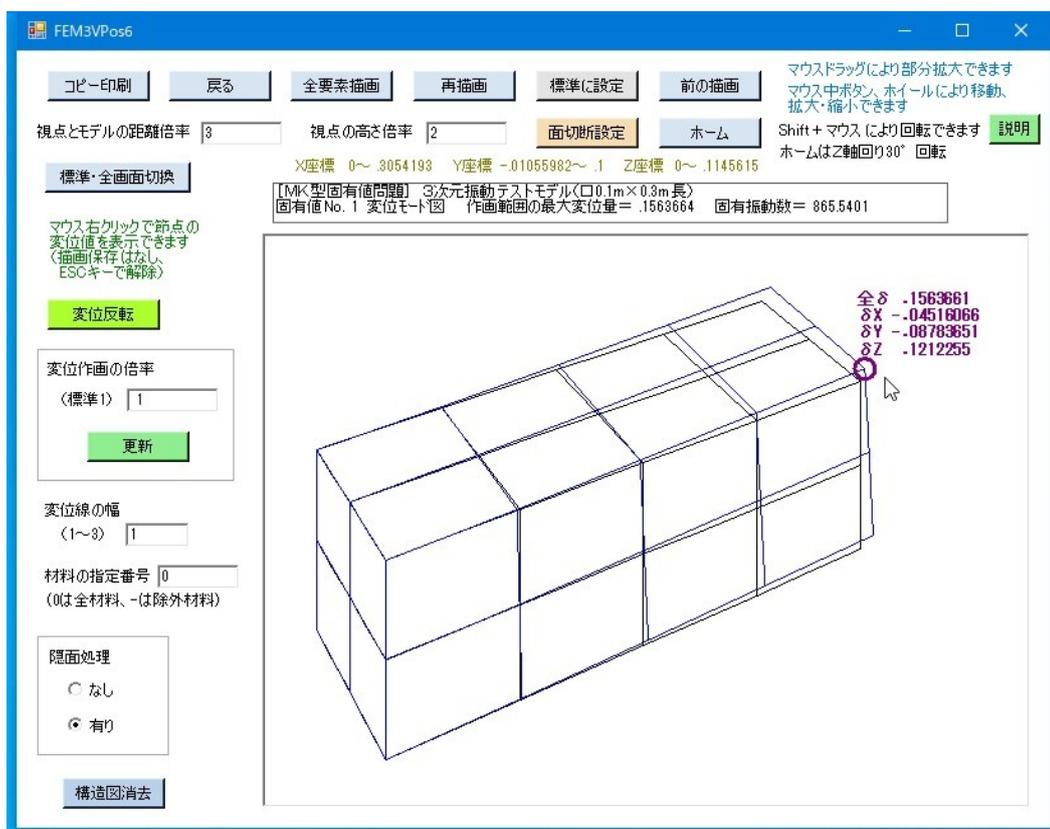


図7-8 変位モード図の作画画面（正方形棒、MK型、マウス右クリックの節点の変位値表示）

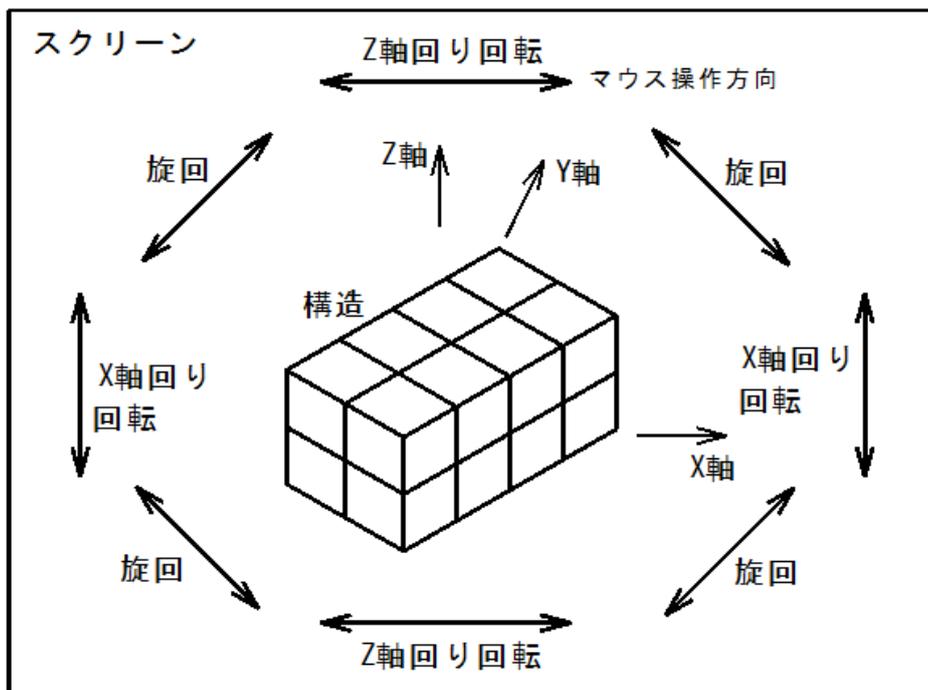


図7-9 マウスの移動方向と回転方向との関係 (Shiftキー併用)

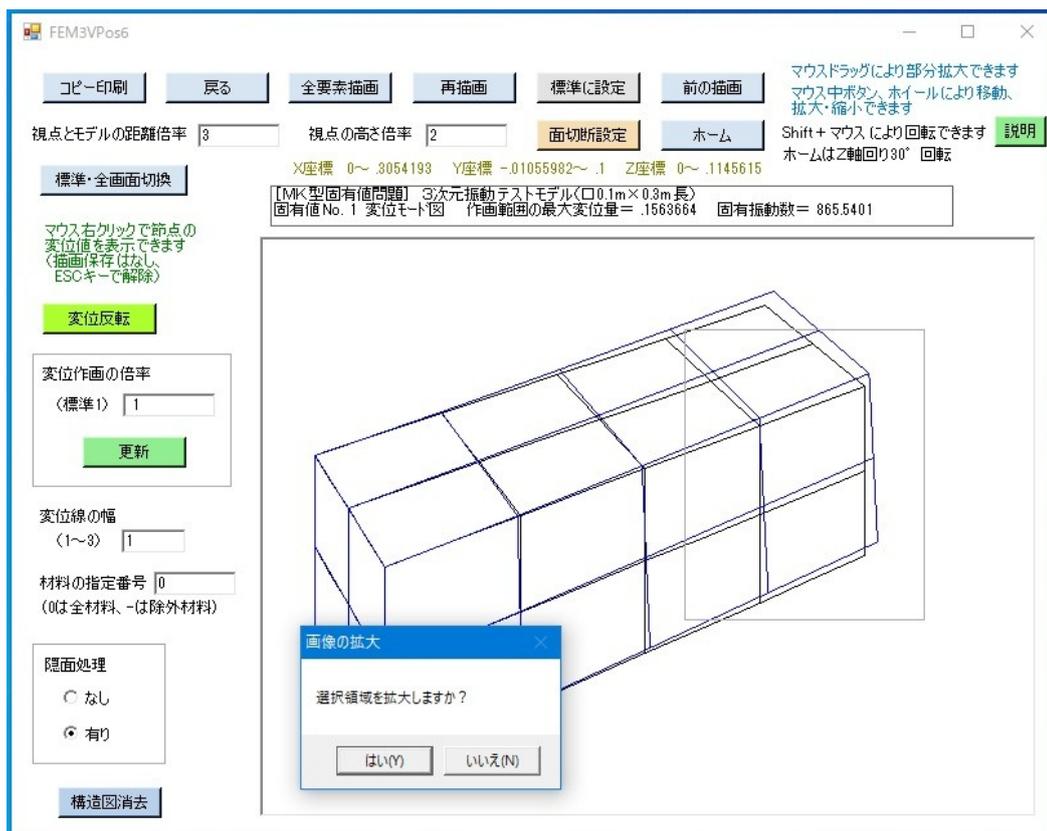


図7-10 変位モード図作画における拡大領域選択例 (正方形棒、MK型)

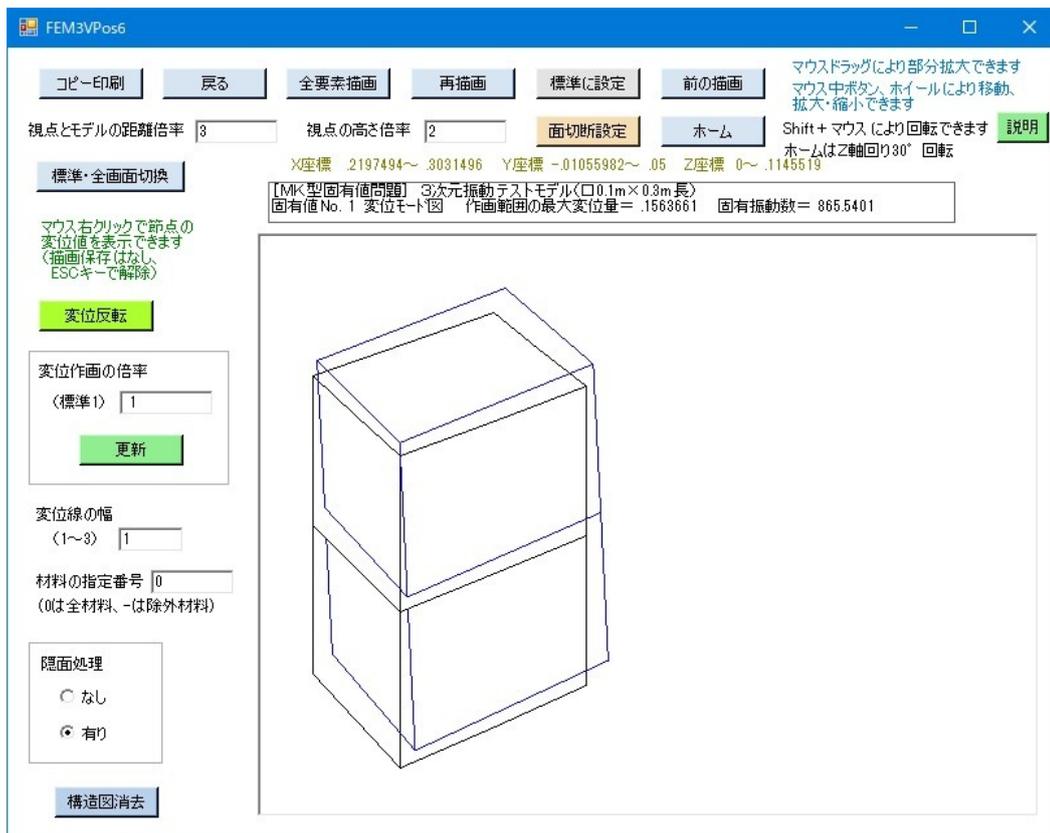


図7-11 変位モード図作画における部分拡大例（正方形棒、MK型）

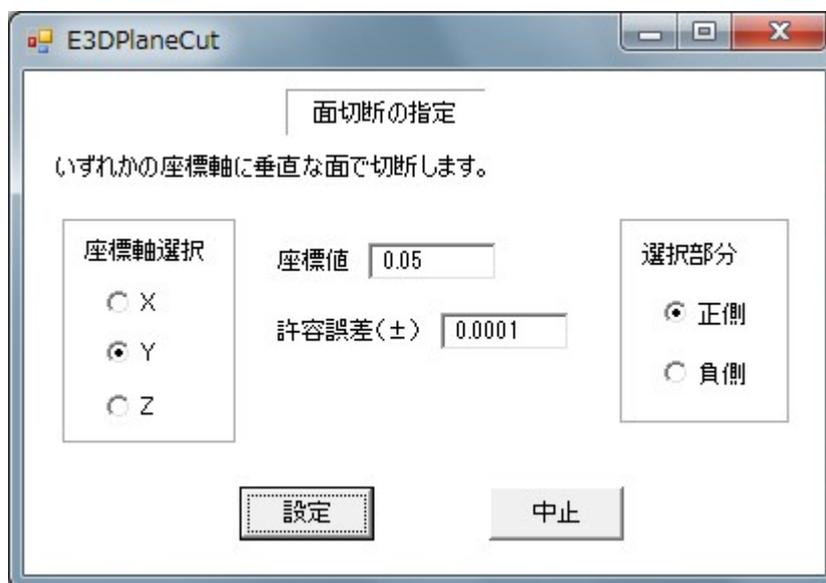


図7-12 面切断設定の画面

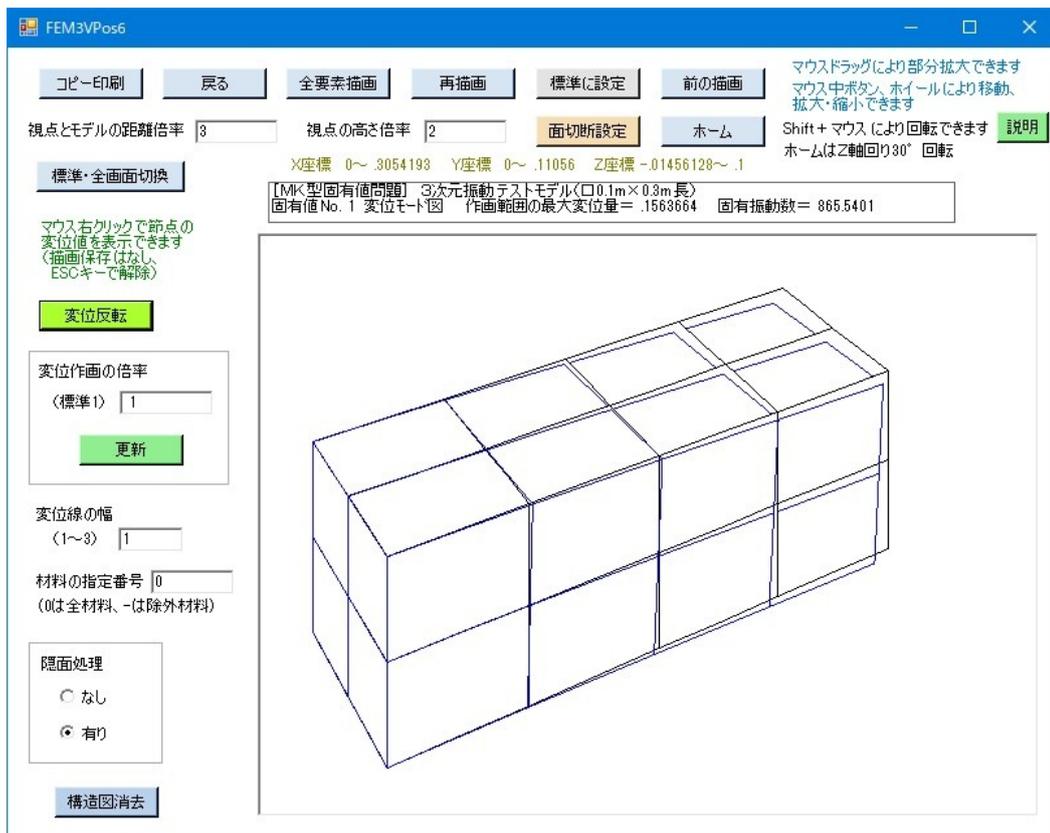


図7-13 変位モード図の作画画面（正方形棒、MK型、変位反転）

また、図7-14と図7-15に、MK型でない場合の変位モード図の画面例を示します。

- 1) 図7-14は比例減衰のMCK型の場合で、固有値は複素数ですが、固有ベクトルは実数です。ただし、比例減衰のMCK型の固有ベクトルはMK型と同じですので、同図では2対目の固有ベクトルに相当する変位モードを示しています。
- 2) 図7-15は減衰個別設定のMCK型の場合で、固有値と固有ベクトルは共に複素数です。同図では3対目の固有ベクトルに相当する変位モードを示しています。

◇固有ベクトルが複素数のときは、固有ベクトルに相当する各変位量（大きさ）の出現する時点が異なります。本ソフトでは、各節点の全変位量（3軸の変位を合成したもの）の内、最大値を有する節点でその最大値が生じる時点进行計算し、その時点における各節点の変位を算出して変位モードを表示しています。

注) 上記の時点とは、(1-11)式における $\beta t$ を意味します。また、(1-11)式の $e^{\alpha t}$ は、すべての変位にかかるので、省略しています。

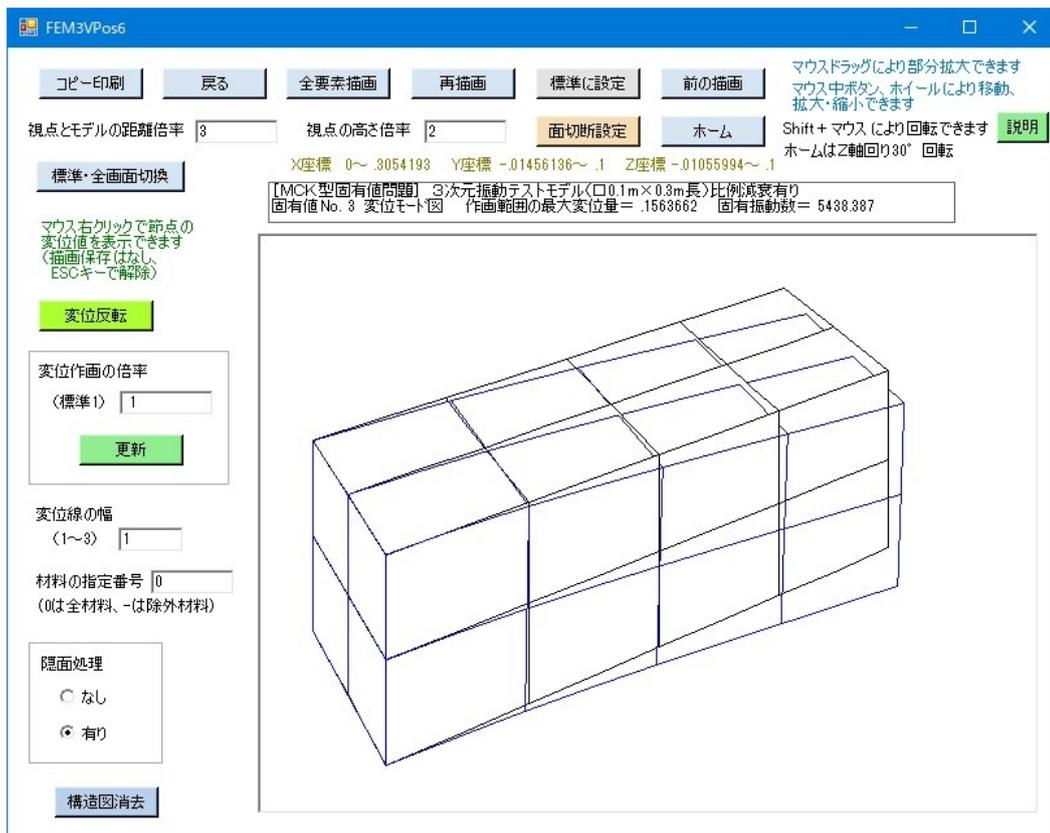


図7-14 変位モード図の作画画面（正方形棒、比例減衰のMCK型）

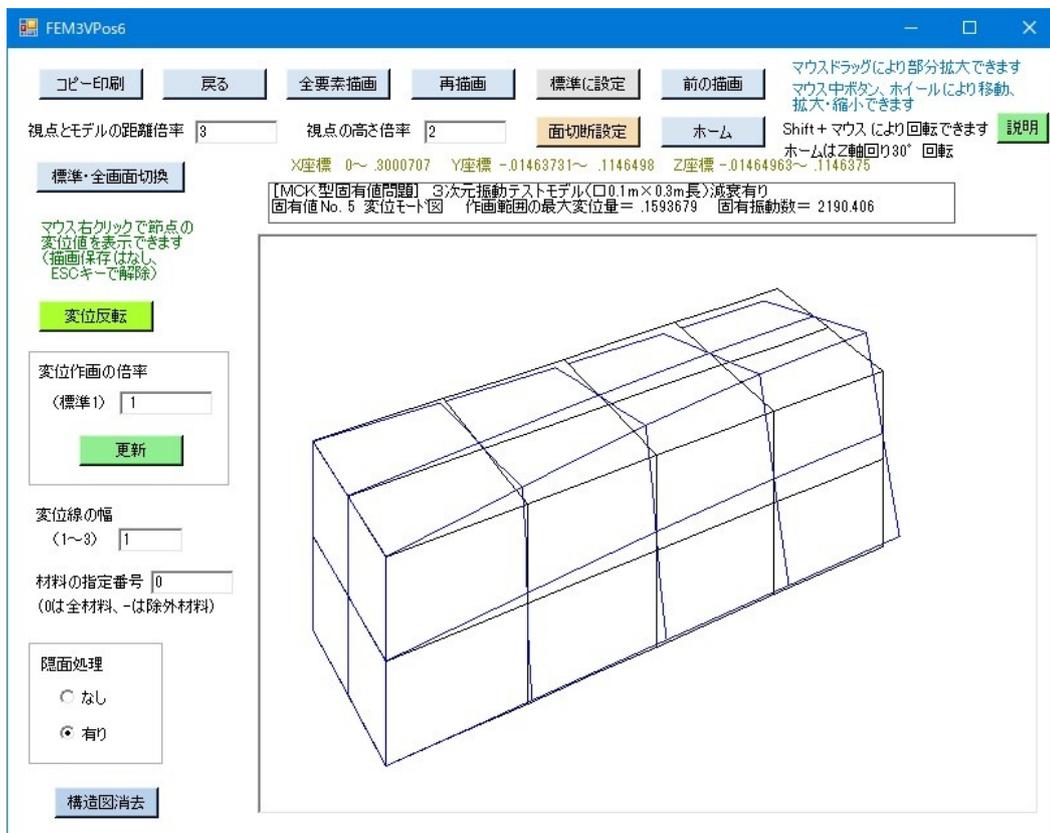


図7-15 変位モード図の作画画面（正方形棒、減衰個別設定のMCK型）

## 7.5 解析結果の主要値表示

図7-16に主要値表示の画面を示します。主要値データをクリップボードにコピーするかどうかは、「はい」または「いいえ」をクリックします。その後は立ち上げ時のメニュー画面に戻ります。

◇クリップボードにコピーされたデータは、他のソフトで貼り付け利用できます。

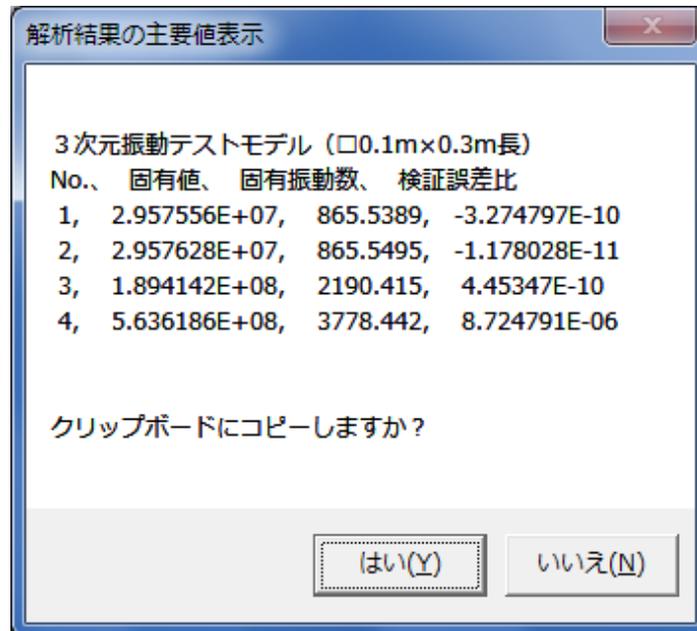


図7-16 解析結果の主要値表示の画面 (MK型)

[参考文献]

<A> BASIC言語

- A1) 「Microsoft Visual Basic プログラミング ガイド」、  
マイクロソフト (株)、1997
- A2) 「実力アップ Visual Basic.NET 基礎編」、川口 輝久、  
(株) 技術評論社、2003
- A3) 「Visual Basic 応用プログラミング」、林 晴比古、  
ソフトバンク (株)、1997
- A4) 「Visual Basic for Windows プログラミング・パーツ」、河西 朝雄、  
(株) ナツメ社、1994
- A5) 「かんたんプログラミング Visual Basic.NET 応用編」、田中 亨、  
(株) オーム社、2002
- A6) 「Visual Basic リファレンス・ブック」、相沢 文雄、  
(株) ナツメ社、1994
- A7) 「プログラミング Visual Basic.Net Vol.2 活用編」、Francesco Balena、  
(株) ドキュメントシステム 訳、日経BPソフトプレス、2002
- A8) 「Visual Basic 2005 [実践]プログラミングテクニック」、谷尻 かおり、  
技術評論社、2007

<B> 数値計算・統計解析・グラフィックス

- B1) 「数値計算プログラム BASIC」、J.ハイルホーツ 編、大矢 建正 訳、  
(株) マグロウヒル好学社、1982
- B2) 「数値解析とその応用」、名取 亮、  
コロナ社、1992
- B3) 「線形計算」、名取 亮、  
朝倉書店、1993
- B4) 「コンピュータグラフィックス講義」、青木 由直、  
コロナ社、2000
- B5) 「Templates for the Solution of Algebraic Eigenvalue Problems」、Zhaojun Bai他、  
Society for Industrial and Applied Mathematics、2000
- B6) 「Visual Basicによる工学計算プログラム」、黒田 英夫、  
CQ出版社、2001
- B7) 「Visual Basicによる数値解析プログラム」、黒田 英夫、  
CQ出版社、2002
- B8) 「Visual Basicによる固有値計算&振動解析プログラム」、黒田 英夫、  
CQ出版社、2003
- B9) 「Blender 3DCG パーフェクトバイブル2013」、近藤 一貴、  
(株) 晋遊舎、2013
- B10) 「基礎からのFreeCAD」、坪田 遼、  
工学社、2016

<C> 有限要素法・差分法・工学一般

- C1) 「マトリックス有限要素法」、O. C. Zienkiewicz 他、吉識 雅夫 監訳、  
(株) 培風館、1970
- C2) 「有限要素プログラミング」、E. Hinton 他、川井 忠彦 監訳、

- 丸善（株）、1981
- C3) 「マイコンによる有限要素解析」、戸川 隼人、  
（株）培風館、1982
- C4) 「流れと熱伝導の有限要素法入門」、矢川 元基、  
（株）培風館、1983
- C5) 「有限要素法による熱応力・クリープ・熱伝導解析」、矢川 元基 他、  
（株）サイエンス社、1987
- C6) 「有限要素法による振動解析」、戸川 隼人、  
サイエンス社、1997
- C7) 「The Finite Element Method (Linear Static and Dynamic Finite Element  
Analysis)」、Thomas J.R. Hughes、Dover Publications、2000
- C8) 機械工学便覧A5「材料力学」、日本機械学会編、  
日本機械学会、2001
- C9) 「The Finite Element Method in Electromagnetics」、Jianming Jin  
John Wiley & Sons、2002
- C10) 「Visual Basicによる3次元熱伝導解析プログラム」、黒田 英夫、  
CQ出版社、2003
- C11) 「弾塑性力学の基礎」、吉田 総仁、  
共立出版（株）、2005
- C12) 「基本からわかる有限要素法」、邵 長城、  
森北出版（株）、2008