

\*\*\*\*\*

\* 「3次元流れ解析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

\*\*\*\*\*

汎用的な3次元流れ解析ソフトを提供します。このソフトは、有限要素法により、非圧縮流体の3次元流れ問題を解くものです。解析種類には、非粘性流れ解析（定常のみ）と粘性流れ解析（定常・非定常とも可）の2つがあります。

1. 非粘性流れ解析は、水・空気等でレイノルズ数の大きい流れに適しており、速度ポテンシャルの方程式を解いて、ベルヌーイの式も適用します。
2. 粘性流れ解析は、樹脂・水・空気等で層流域の流れに適しており、ナビア・ストークス方程式を解くものです。流れ解析の安定化のため、独自手法（節点の速度勾配平均化）とPSPG (Pressure Stabilizing/Petrov-Galerkin) 法を適用しています。非ニュートン流および非等温も可能です。
3. 入力データの自動メッシュについては、別途、算生会の「FEM立体データK」ソフトが必要です。
4. 本書で紹介の解析事例は、説明のために有限要素数の少ないものを取り上げていますので、実用に当たっては必要に応じて要素数を増やしてください。
5. 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 有限要素法	2
第2章 プログラムの機能・構成	22
第3章 構造データの作り方	26
第4章 「解析データ」処理プログラム	31
第5章 「計算」プログラム	70
第6章 「後処理」プログラム	87
第7章 非粘性流れの計算例	105
第8章 粘性定常流れの計算例	112
[補足] 中心穴なし軸回転体の注意事項	117
[参考文献]	118

## 第1章 有限要素法

有限要素法は、対象を有限個の要素に分割し、要素毎にその節点変数に関する方程式を作成し、それを合わせて要素全体の方程式として解く解析方法です。ここでは、有限要素法の計算方法について概説します。詳細は、添付ソフトおよび参考文献を参照してください。

### 1.1 使用要素

有限要素法では、種々の形状・節点の要素が使用されていますが、本ソフトでは図1-1の六面体2次要素（20節点）を使用します。同図のように、面(1)～(6)の六面で、頂点節点と中間節点とがあります。各面は平面でも曲面でも構いません。曲面の場合は、辺の3節点が直線上でなく、曲線上の点となります。図1-1の節点の番号は、ちょうど六面体要素を定義する順番に付番しています。この要素定義の節点順序は非常に重要で、必ずこの順序を厳守しなければなりません。

また、面の番号は、六面体要素の定義に必要なはありませんが、変数固定・非固定の境界条件や流束の境界条件を設定する際に使用します。すなわち、六面体要素を定義する節点順序に対して、正しい面番号で境界条件を設定する必要があります。

注) 節点番号はまちまちであってもよく、六面体要素を定義する際に図1-1の節点に付した番号の順序に本来の節点番号を入力するという意味です。また、節点番号、面番号とも構造図画面で表示することができます。

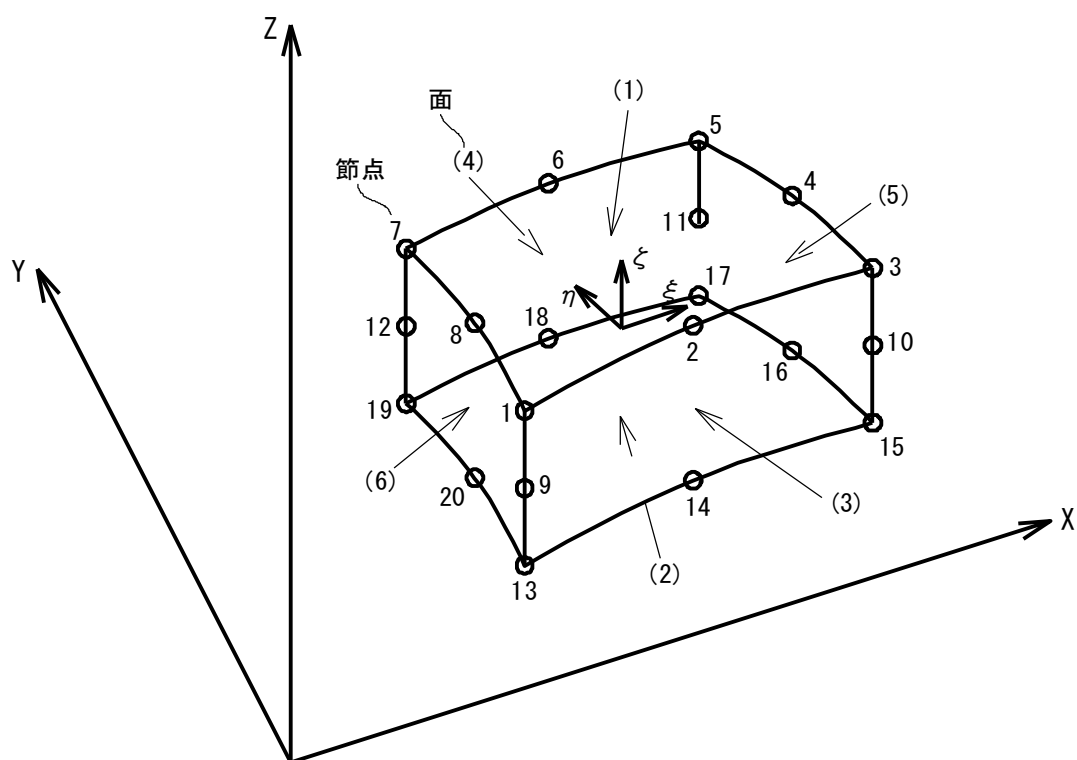


図1-1 六面体2次要素

図1-1のように、全体座標系を右手系のXYZで表わします。そして、六面体要素の中央部に要素の無次元化座標 $\xi$   $\eta$   $\zeta$ を示します。本座標を使用して、各要素の積分を行ないます。その際、本ソフトでのガウス積分点は1軸当り3点を使用し、その3乗の27点が1要素当りの積分点数となります。

アイソパラメトリック要素とは、要素の幾何形状と変量が同一の内挿関数で表わされる要素のことです。図1-1のように各辺に中間節点のある要素は2次要素と呼ばれ、中間節点のない1次要素に比べ、はるかに少ない要素数で精度良く計算できます。図1-1に示す無次元化された局所座標 $\xi$   $\eta$   $\zeta$ を用いて、20節点の形状関数が下記のように定義されます。<sup>C4)</sup>そして、要素内の任意位置の変数値が、20節点の変数値と形状関数の合成式により表わされます。

#### [形状関数]

$$M_1 = (1-\xi)(1-\eta)(1+\zeta)(-\xi-\eta+\zeta-2)/8$$

$$M_2 = (1-\xi^2)(1-\eta)(1+\zeta)/4$$

$$M_3 = (1+\xi)(1-\eta)(1+\zeta)(\xi-\eta+\zeta-2)/8$$

$$M_4 = (1+\xi)(1-\eta^2)(1+\zeta)/4$$

$$M_5 = (1+\xi)(1+\eta)(1+\zeta)(\xi+\eta+\zeta-2)/8$$

$$M_6 = (1-\xi^2)(1+\eta)(1+\zeta)/4$$

$$M_7 = (1-\xi)(1+\eta)(1+\zeta)(-\xi+\eta+\zeta-2)/8$$

$$M_8 = (1-\xi)(1-\eta^2)(1+\zeta)/4$$

$$M_9 = (1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta^2)/4$$

$$M_{10} = (1+\xi)(1-\eta)(1-\zeta^2)/4$$

$$M_{11} = (1+\xi)(1+\eta)(1-\zeta^2)/4$$

$$M_{12} = (1-\xi)(1+\eta)(1-\zeta^2)/4$$

$$M_{13} = (1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta)(-\xi-\eta-\zeta-2)/8$$

$$M_{14} = (1-\xi^2)(1-\eta)(1-\zeta)/4$$

$$M_{15} = (1+\xi)(1-\eta)(1-\zeta)(\xi-\eta-\zeta-2)/8$$

$$M_{16} = (1+\xi)(1-\eta^2)(1-\zeta)/4$$

$$M_{17} = (1+\xi)(1+\eta)(1-\zeta)(\xi+\eta-\zeta-2)/8$$

$$M_{18} = (1-\xi^2)(1+\eta)(1-\zeta)/4$$

$$M_{19} = (1-\xi)(1+\eta)(1-\zeta)(-\xi+\eta-\zeta-2)/8$$

$$M_{20} = (1-\xi)(1-\eta^2)(1-\zeta)/4$$

以上(1-1)

#### [要素内の変数値] 局所座標( $\xi$ , $\eta$ , $\zeta$ )における値

20

$$H = \sum_{i=1}^{20} M_i H_i \quad (1-2)$$

ただし、 $H_i$ は節点における変数値

## 1.2 3次元流れの有限要素法解析（粘性有り）

### 1.2.1 基本方程式

3次元の非定常流れ問題は、以下の方程式で表わされます。

[運動量の方程式（ナビア・ストークス方程式）]

X方向の式

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho \left( u \frac{\partial u}{\partial X} + v \frac{\partial u}{\partial Y} + w \frac{\partial u}{\partial Z} \right) + \frac{\partial p}{\partial X} - \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial Z^2} \right) - f_x = 0 \quad (1-3)$$

Y方向の式

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho \left( u \frac{\partial v}{\partial X} + v \frac{\partial v}{\partial Y} + w \frac{\partial v}{\partial Z} \right) + \frac{\partial p}{\partial Y} - \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial Z^2} \right) - f_y = 0 \quad (1-4)$$

Z方向の式

$$\rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho \left( u \frac{\partial w}{\partial X} + v \frac{\partial w}{\partial Y} + w \frac{\partial w}{\partial Z} \right) + \frac{\partial p}{\partial Z} - \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial Z^2} \right) - f_z = 0 \quad (1-5)$$

上記の各式で、第2項が対流項、第4項が粘性項です。

[連続の式]

$$\frac{\partial u}{\partial X} + \frac{\partial v}{\partial Y} + \frac{\partial w}{\partial Z} = 0 \quad (1-6)$$

ただし、 $u$  : X方向速度、 $v$  : Y方向速度、 $w$  : Z方向速度、 $p$  : 圧力

$X$  : X座標、 $Y$  : Y座標、 $Z$  : Z座標、 $t$  : 時間

$\rho$  : 密度、 $\mu$  : 粘度

$f_x$  : X方向物体力、 $f_y$  : Y方向物体力、 $f_z$  : Z方向物体力

物体力とは重力を意味し、その各座標軸方向成分を与える。

(1-3) ~ (1-6) 式を有限要素法の要素の積分方程式に定式化します。その際、(1-3) ~ (1-5) 式は、左辺の第3項に部分積分公式を用いて変形します。さらに、(1-6) 式には P S P G法の適用項を付加します。ただし、対流項は速度と速度勾配を未知数として含むため、繰返し計算で収束させます。

なお、部分積分公式による変換で生じる境界積分項は、内部境界は隣接要素間で打ち消し合い、外部境界は固定流速付与により、すべて0となるので省略してあります。

また、流速の安定化のため、次の独自手法を採用しています。

[節点の速度勾配平均化]

各有限要素で節点速度からガウス積分点の速度勾配を求め、形状関数の逆行列を用いて節点の速度勾配に変換します。そして、複数の有限要素の共有節点については要素体積の重み付き平均を取ります。このようにして算出した節点の速度勾配は要素積分に使用します。

### 1.2.2 X方向の有限要素法方程式

(1-3) 式は次の積分方程式になります。

$$\begin{aligned}
& \int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta \frac{\partial u_\beta}{\partial t} dV \\
& + \int_{V_e} \rho M_\alpha \left( M_\beta u_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial X} u_\gamma + M_\beta v_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Y} u_\gamma + M_\beta w_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Z} u_\gamma \right) dV \\
& + \int_{V_e} \mu \left( \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} \frac{\partial M_\beta}{\partial X} u_\beta + \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} \frac{\partial M_\beta}{\partial Y} u_\beta + \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} \frac{\partial M_\beta}{\partial Z} u_\beta \right) dV \\
& + \int_{V_e} M_\alpha \frac{\partial M_\beta}{\partial X} p_\beta dV - \int_{V_e} M_\alpha f_x dV = 0 \tag{1-7}
\end{aligned}$$

ただし、 $dV$ ：積分体積

$\alpha, \beta, \gamma = 1 \sim 20 \cdots \alpha$  毎に方程式を作成、 $\beta$  付き変数が未知数。

$\beta, \gamma$  は  $\Sigma$ （合計）を取る。

上式では未知数の  $u_\gamma$  が含まれています。それらを含む式においては、初期速度  $u_\gamma$  を適宜設定し、全体方程式の繰返し計算によって  $u$  等の修正解を求めます。

非定常の場合に、ある時刻  $t$  における速度に添え字  $b$  を付し、微小時間  $\Delta t$  後の変数には添え字を付さないことにします。また、両者の平均として添え字  $m$  を付します。なお、圧力は微小時間  $\Delta t$  後の変数のみ使用します。

先ず、(1-7) 式を時間方向に離散化すると次のようになります。

$$\begin{aligned}
& M \frac{u - u_b}{\Delta t} + A_{uX} \frac{1}{2} (u + u_b) + A_{uY} \frac{1}{2} (v + v_b) \\
& + A_{uZ} \frac{1}{2} (w + w_b) + D \frac{1}{2} (u + u_b) + G_X p = F_{XG} \tag{1-8}
\end{aligned}$$

ここで、

$$M = \int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta dV \tag{1-9}$$

$$A_{uX} = \int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial X} u_{\gamma m} dV \tag{1-10}$$

$$A_{uY} = \int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Y} u_{\gamma m} dV \tag{1-11}$$

$$A_{uZ} = \int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Z} u_{\gamma m} dV \tag{1-12}$$

$$D = \int_{V_e} \mu \left( \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} \frac{\partial M_\beta}{\partial X} + \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} \frac{\partial M_\beta}{\partial Y} + \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} \frac{\partial M_\beta}{\partial Z} \right) dV \tag{1-13}$$

$$G_X = \int_{V_e} M_\alpha \frac{\partial M_\beta}{\partial X} dV \quad (1-14)$$

$$F_{XG} = \int_{V_e} M_\alpha f_X dV \quad (1-15)$$

(1-8)式を整理すると、次のようになります。

$$K_{Xu} u + K_{Xv} v + K_{Xw} w + K_{Xp} p = F_X + F_{XG} \quad (1-16)$$

ここで、

$$K_{Xu} = \frac{1}{\Delta t} M + \frac{1}{2} A_{uX} + \frac{1}{2} D \quad (1-17)$$

$$K_{Xv} = \frac{1}{2} A_{uY} \quad (1-18)$$

$$K_{Xw} = \frac{1}{2} A_{uZ} \quad (1-19)$$

$$K_{Xp} = G_X \quad (1-20)$$

$$F_X = \frac{1}{\Delta t} M u_b - \frac{1}{2} A_{uX} u_b - \frac{1}{2} D u_b - \frac{1}{2} A_{uY} v_b - \frac{1}{2} A_{uZ} w_b \quad (1-21)$$

また、定常解析の場合は、下記のようにになります。

$$K_{Xu} = A_{uX} + D \quad (1-22)$$

$$K_{Xv} = A_{uY} \quad (1-23)$$

$$K_{Xw} = A_{uZ} \quad (1-24)$$

$$K_{Xp} = G_X \quad (1-25)$$

$$F_X = 0 \quad (1-26)$$

### 1.2.3 Y方向の有限要素法方程式

(1-4)式は次の積分方程式になります。

$$\int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta \frac{\partial v_\beta}{\partial t} dV + \int_{V_e} \rho M_\alpha \left( M_\beta u_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial X} v_\gamma + M_\beta v_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Y} v_\gamma + M_\beta w_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Z} v_\gamma \right) dV$$

$$\begin{aligned}
& + \int_{V_e} \mu \left( \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} \frac{\partial M_\beta}{\partial X} v_\beta + \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} \frac{\partial M_\beta}{\partial Y} v_\beta + \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} \frac{\partial M_\beta}{\partial Z} v_\beta \right) dV \\
& + \int_{V_e} M_\alpha \frac{\partial M_\beta}{\partial Y} p_\beta dV - \int_{V_e} M_\alpha f_y dV = 0
\end{aligned} \tag{1-27}$$

上式では未知数の $v_r$ が含まれています。それらを含む式においては、初期速度 $v_r$ を適宜設定し、全体方程式の繰返し計算によって $v$ 等の修正解を求めます。

(1-27) 式を時間方向に離散化すると次のようになります。

$$\begin{aligned}
& M \frac{v - v_b}{\Delta t} + A_{vX} \frac{1}{2} (u + u_b) + A_{vY} \frac{1}{2} (v + v_b) \\
& + A_{vZ} \frac{1}{2} (w + w_b) + D \frac{1}{2} (v + v_b) + G_Y p = F_{YG}
\end{aligned} \tag{1-28}$$

ここで、

$$M = \int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta dV \tag{1-9} \text{再掲}$$

$$A_{vX} = \int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial X} v_{r\gamma} dV \tag{1-29}$$

$$A_{vY} = \int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Y} v_{r\gamma} dV \tag{1-30}$$

$$A_{vZ} = \int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Z} v_{r\gamma} dV \tag{1-31}$$

$$D = \int_{V_e} \mu \left( \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} \frac{\partial M_\beta}{\partial X} + \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} \frac{\partial M_\beta}{\partial Y} + \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} \frac{\partial M_\beta}{\partial Z} \right) dV \tag{1-13} \text{再掲}$$

$$G_Y = \int_{V_e} M_\alpha \frac{\partial M_\beta}{\partial Y} dV \tag{1-32}$$

$$F_{YG} = \int_{V_e} M_\alpha f_Y dV \tag{1-33}$$

(1-28) 式を整理すると、次のようになります。

$$K_{Yu} u + K_{Yv} v + K_{Yw} w + K_{Yp} p = F_Y + F_{YG} \tag{1-34}$$

ここで、

$$K_{Yu} = \frac{1}{2} A_{vX} \tag{1-35}$$

$$K_{YV} = \frac{1}{\Delta t} M + \frac{1}{2} A_{vY} + \frac{1}{2} D \quad (1-36)$$

$$K_{YW} = \frac{1}{2} A_{vZ} \quad (1-37)$$

$$K_{Yp} = G_Y \quad (1-38)$$

$$F_Y = -\frac{1}{2} A_{vX} u_b + \frac{1}{\Delta t} M v_b - \frac{1}{2} A_{vY} v_b - \frac{1}{2} D v_b - \frac{1}{2} A_{vZ} w_b \quad (1-39)$$

また、定常解析の場合は、下記のようになります。

$$K_{Yu} = A_{vX} \quad (1-40)$$

$$K_{YV} = A_{vY} + D \quad (1-41)$$

$$K_{YW} = A_{vZ} \quad (1-42)$$

$$K_{Yp} = G_Y \quad (1-43)$$

$$F_Y = 0 \quad (1-44)$$

#### 1.2.4 Z方向の有限要素法方程式

(1-5)式は次の積分方程式になります。

$$\begin{aligned} & \int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta \frac{\partial w_\beta}{\partial t} dV \\ & \int_{V_e} \rho M_\alpha \left( M_\beta u_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial X} w_\gamma + M_\beta v_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Y} w_\gamma + M_\beta w_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Z} w_\gamma \right) dV \\ & + \int_{V_e} \mu \left( \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} \frac{\partial M_\beta}{\partial X} w_\beta + \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} \frac{\partial M_\beta}{\partial Y} w_\beta + \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} \frac{\partial M_\beta}{\partial Z} w_\beta \right) dV \\ & + \int_{V_e} M_\alpha \frac{\partial M_\beta}{\partial Z} p_\beta dV - \int_{V_e} M_\alpha f_z dV = 0 \end{aligned} \quad (1-45)$$

上式では未知数の $w_\gamma$ が含まれています。それらを含む式においては、初期速度 $w_\gamma$ を適宜設定し、全体方程式の繰返し計算によって $w$ 等の修正解を求めます。

(1-45)式を時間方向に離散化すると次のようになります。

$$M \frac{w - w_b}{\Delta t} + A_{vX} \frac{1}{2} (u + u_b) + A_{vY} \frac{1}{2} (v + v_b)$$

$$+ A_{wZ} \frac{1}{2} (w + w_b) + D \frac{1}{2} (w + w_b) + G_Z p = F_{ZG} \quad (1-46)$$

ここで、

$$M = \int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta dV \quad (1-9) \text{再掲}$$

$$A_{wX} = \int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial X} w_{\gamma m} dV \quad (1-47)$$

$$A_{wY} = \int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Y} w_{\gamma m} dV \quad (1-48)$$

$$A_{wZ} = \int_{V_e} \rho M_\alpha M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Z} w_{\gamma m} dV \quad (1-49)$$

$$D = \int_{V_e} \mu \left( \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} \frac{\partial M_\beta}{\partial X} + \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} \frac{\partial M_\beta}{\partial Y} + \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} \frac{\partial M_\beta}{\partial Z} \right) dV \quad (1-13) \text{再掲}$$

$$G_Z = \int_{V_e} M_\alpha \frac{\partial M_\beta}{\partial Z} dV \quad (1-50)$$

$$F_{ZG} = \int_{V_e} M_\alpha f_Z dV \quad (1-51)$$

(1-46) 式を整理すると、次のようになります。

$$K_{Zu} u + K_{Zv} v + K_{Zw} w + K_{Zp} p = F_Z + F_{ZG} \quad (1-52)$$

ここで、

$$K_{Zu} = \frac{1}{2} A_{wX} \quad (1-53)$$

$$K_{Zv} = \frac{1}{2} A_{wY} \quad (1-54)$$

$$K_{Zw} = \frac{1}{\Delta t} M + \frac{1}{2} A_{wZ} + \frac{1}{2} D \quad (1-55)$$

$$K_{Zp} = G_Z \quad (1-56)$$

$$F_Z = -\frac{1}{2} A_{wX} u_b - \frac{1}{2} A_{wY} v_b + \frac{1}{\Delta t} M w_b - \frac{1}{2} A_{wZ} w_b - \frac{1}{2} D w_b \quad (1-57)$$

また、定常解析の場合は、下記のようになります。

$$K_{Zu} = A_{wX} \quad (1-58)$$

$$K_{Zv} = A_{wY} \quad (1-59)$$

$$K_{Zw} = A_{wZ} + D \quad (1-60)$$

$$K_{Zp} = G_Z \quad (1-61)$$

$$F_Z = 0 \quad (1-62)$$

### 1.2.5 連続の有限要素法方程式

(1-6) 式は次の積分方程式になります。

$$\int_{V_e} M_\alpha \left( \frac{\partial M_\beta}{\partial X} u_\beta + \frac{\partial M_\beta}{\partial Y} v_\beta + \frac{\partial M_\beta}{\partial Z} w_\beta \right) dV + B_{PS} = 0 \quad (1-63)$$

ここで、 $B_{PS}$ はPSPG項で、次式で表わされます。

$$\begin{aligned} B_{PS} = & \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} \left( M_\beta \frac{\partial u_\beta}{\partial t} \right) dV \\ & + \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} \left( M_\beta u_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial X} u_\gamma + M_\beta v_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Y} u_\gamma + M_\beta w_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Z} u_\gamma \right) dV \\ & - \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial X^2} u_\beta + \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial Y^2} u_\beta + \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial Z^2} u_\beta \right) dV \\ & + \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} \frac{1}{\rho} \frac{\partial M_\beta}{\partial X} p_\beta dV - \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} \frac{f_x}{\rho} dV \\ & + \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} \left( M_\beta \frac{\partial v_\beta}{\partial t} \right) dV \\ & + \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} \left( M_\beta u_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial X} v_\gamma + M_\beta v_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Y} v_\gamma + M_\beta w_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Z} v_\gamma \right) dV \\ & - \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial X^2} v_\beta + \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial Y^2} v_\beta + \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial Z^2} v_\beta \right) dV \\ & + \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} \frac{1}{\rho} \frac{\partial M_\beta}{\partial Y} p_\beta dV - \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} \frac{f_y}{\rho} dV \\ & + \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} \left( M_\beta \frac{\partial w_\beta}{\partial t} \right) dV \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} \left( M_\beta u_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial X} w_\gamma + M_\beta v_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Y} w_\gamma + M_\beta w_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Z} w_\gamma \right) dV \\
& - \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial X^2} w_\beta + \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial Y^2} w_\beta + \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial Z^2} w_\beta \right) dV \\
& + \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} \frac{1}{\rho} \frac{\partial M_\beta}{\partial Z} p_\beta dV - \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} \frac{f_z}{\rho} dV
\end{aligned} \tag{1-64}$$

上記の  $\tau_p$  は安定化パラメーターで次式で表わされます。

$$\tau_p = \frac{C_r}{\sqrt{\left(\frac{2}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{2\|c_e\|}{h_e}\right)^2 + \left(\frac{4\nu}{h_e^2}\right)^2}} \tag{1-65}$$

ただし、定常解析の場合は分母の  $\Delta t$  項を削除します。

$\|c_e\|$  : 要素移流速度

$$\|c_e\| = \sqrt{u_e^2 + v_e^2 + w_e^2} \tag{1-66}$$

$h_e$  : 要素長（要素と同じ体積を持つ球の直径とする）

$\nu$  : 動粘度（ $= \mu / \rho$ ）

$C_r$  : 追加係数（筆者独自の手法）。基準は0.005で変更可能。

積分方程式は、 $\tau_p$  の値の如何にかかわらず成立しています。従って、上記のように係数  $C_r$  を付加しても問題はなく、計算を収束させることが大切です。

また、(1-64) 式の計算では次の各式を適用します。

$$\left( \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial X^2} u_\beta + \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial Y^2} u_\beta + \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial Z^2} u_\beta \right) = F_K u_\beta \tag{1-67}$$

$$\left( \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial X^2} v_\beta + \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial Y^2} v_\beta + \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial Z^2} v_\beta \right) = F_K v_\beta \tag{1-68}$$

$$\left( \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial X^2} w_\beta + \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial Y^2} w_\beta + \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial Z^2} w_\beta \right) = F_K w_\beta \tag{1-69}$$

ただし、 $F_K$  は次式によります。

$$F_K = \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial \xi^2} \left\{ \left( \frac{\partial \xi}{\partial X} \right)^2 + \left( \frac{\partial \xi}{\partial Y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \xi}{\partial Z} \right)^2 \right\}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial \eta^2} \left\{ \left( \frac{\partial \eta}{\partial X} \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta}{\partial Y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta}{\partial Z} \right)^2 \right\} \\
& + \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial \xi^2} \left\{ \left( \frac{\partial \xi}{\partial X} \right)^2 + \left( \frac{\partial \xi}{\partial Y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \xi}{\partial Z} \right)^2 \right\} \\
& + 2 \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial \xi \partial \eta} \left\{ \frac{\partial \xi}{\partial X} \frac{\partial \eta}{\partial X} + \frac{\partial \xi}{\partial Y} \frac{\partial \eta}{\partial Y} + \frac{\partial \xi}{\partial Z} \frac{\partial \eta}{\partial Z} \right\} \\
& + 2 \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial \eta \partial \xi} \left\{ \frac{\partial \eta}{\partial X} \frac{\partial \xi}{\partial X} + \frac{\partial \eta}{\partial Y} \frac{\partial \xi}{\partial Y} + \frac{\partial \eta}{\partial Z} \frac{\partial \xi}{\partial Z} \right\} \\
& + 2 \frac{\partial^2 M_\beta}{\partial \xi \partial \xi} \left\{ \frac{\partial \xi}{\partial X} \frac{\partial \xi}{\partial X} + \frac{\partial \xi}{\partial Y} \frac{\partial \xi}{\partial Y} + \frac{\partial \xi}{\partial Z} \frac{\partial \xi}{\partial Z} \right\} \quad (1-70)
\end{aligned}$$

(1-63) 式、(1-64) 式を併せて時間方向に離散化すると次のようになります。

$$\begin{aligned}
& C_X u + C_Y v + C_Z w + M_{Xp} \frac{u - u_b}{\Delta t} + A_{uXp} \frac{1}{2} (u + u_b) + A_{uYp} \frac{1}{2} (v + v_b) \\
& + A_{uZp} \frac{1}{2} (w + w_b) - D_{Xp} \frac{1}{2} (u + u_b) + G_{Xp} p + M_{Yp} \frac{v - v_b}{\Delta t} \\
& + A_{vXp} \frac{1}{2} (u + u_b) + A_{vYp} \frac{1}{2} (v + v_b) + A_{vZp} \frac{1}{2} (w + w_b) - D_{Yp} \frac{1}{2} (v + v_b) \\
& + G_{Yp} p + M_{Zp} \frac{w - w_b}{\Delta t} + A_{wXp} \frac{1}{2} (u + u_b) + A_{wYp} \frac{1}{2} (v + v_b) \\
& + A_{wZp} \frac{1}{2} (w + w_b) - D_{Zp} \frac{1}{2} (w + w_b) + G_{Zp} p = F_{Pg} \quad (1-71)
\end{aligned}$$

ここで、

$$C_X = \int_{V_e} M_\alpha \frac{\partial M_\beta}{\partial X} dV \quad (1-72)$$

$$C_Y = \int_{V_e} M_\alpha \frac{\partial M_\beta}{\partial Y} dV \quad (1-73)$$

$$C_Z = \int_{V_e} M_\alpha \frac{\partial M_\beta}{\partial Z} dV \quad (1-74)$$

$$M_{Xp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} M_\beta dV \quad (1-75)$$

$$M_{Yp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} M_\beta dV \quad (1-76)$$

$$M_{Zp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} M_\beta dV \quad (1-77)$$

$$A_{uXp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial X} u_{\gamma m} dV \quad (1-78)$$

$$A_{uYp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Y} u_{\gamma m} dV \quad (1-79)$$

$$A_{uZp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Z} u_{\gamma m} dV \quad (1-80)$$

$$A_{vXp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial X} v_{\gamma m} dV \quad (1-81)$$

$$A_{vYp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Y} v_{\gamma m} dV \quad (1-82)$$

$$A_{vZp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} M_\beta \frac{\partial M_\gamma}{\partial Z} v_{\gamma m} dV \quad (1-83)$$

$$D_{Xp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} \frac{\mu}{\rho} F_K dV \quad (1-84)$$

$$D_{Yp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} \frac{\mu}{\rho} F_K dV \quad (1-85)$$

$$D_{Zp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} \frac{\mu}{\rho} F_K dV \quad (1-86)$$

$$G_{Xp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} \frac{1}{\rho} \frac{\partial M_\beta}{\partial X} dV \quad (1-87)$$

$$G_{Yp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} \frac{1}{\rho} \frac{\partial M_\beta}{\partial Y} dV \quad (1-88)$$

$$G_{Zp} = \int_{V_e} \tau_p \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} \frac{1}{\rho} \frac{\partial M_\beta}{\partial Z} dV \quad (1-89)$$

$$F_{Pg} = \int_{V_e} \tau_p \left( \frac{\partial M_\alpha}{\partial X} \frac{f_X}{\rho} + \frac{\partial M_\alpha}{\partial Y} \frac{f_Y}{\rho} + \frac{\partial M_\alpha}{\partial Z} \frac{f_Z}{\rho} \right) dV \quad (1-90)$$

(1-71)式を整理すると、次のようになります。

$$K_{Pu} u + K_{Pv} v + K_{Pw} w + K_{Pp} p = F_p + F_{pG} \quad (1-91)$$

ここで、

$$K_{Pu} = C_x + \frac{1}{\Delta t} M_{xp} + \frac{1}{2} (A_{uxp} + A_{vxp} + A_{wxp} - D_{xp}) \quad (1-92)$$

$$K_{Pv} = C_y + \frac{1}{\Delta t} M_{yp} + \frac{1}{2} (A_{uyp} + A_{vyp} + A_{wyp} - D_{yp}) \quad (1-93)$$

$$K_{Pw} = C_z + \frac{1}{\Delta t} M_{zp} + \frac{1}{2} (A_{uzp} + A_{vzp} + A_{wzp} - D_{zp}) \quad (1-94)$$

$$K_{Pp} = G_{xp} + G_{yp} + G_{zp} \quad (1-95)$$

$$\begin{aligned} F_p = & \frac{1}{\Delta t} (M_{xp} u_b + M_{yp} v_b + M_{zp} w_b) \\ & - \frac{1}{2} (A_{uxp} + A_{vxp} + A_{wxp} - D_{xp}) u_b \\ & - \frac{1}{2} (A_{uyp} + A_{vyp} + A_{wyp} - D_{yp}) v_b \\ & - \frac{1}{2} (A_{uzp} + A_{vzp} + A_{wzp} - D_{xp}) w_b \end{aligned} \quad (1-96)$$

また、定常解析の場合は、下記のようになります。

$$K_{Pu} = C_x + A_{uxp} + A_{vxp} + A_{wxp} - D_{xp} \quad (1-97)$$

$$K_{Pv} = C_y + A_{uyp} + A_{vyp} + A_{wyp} - D_{yp} \quad (1-98)$$

$$K_{Pw} = C_z + A_{uzp} + A_{vzp} + A_{wzp} - D_{zp} \quad (1-99)$$

$$K_{Pp} = G_{xp} + G_{yp} + G_{zp} \quad (1-100)$$

$$F_p = 0 \quad (1-101)$$

低粘度流体で反復法を使用する場合（定常解析）、(1-97)～(1-99)式の対流項（各A）その他を既知係数として右辺に移項して繰返し計算させます。この処置により、行列の対角優位を確保でき反復法が収束します。

なお、本プログラムにおいて圧力は正か0のみとし、計算途中で負圧が生じた場合は0に置換しています。負圧を取り扱わない理由は、負圧によって生じる空隙が考慮されていないからです。

上記のマトリックス要素計算において、積分式のdVの部分は、局所座標 $\xi$   $\eta$   $\zeta$ を用い

て次式のように表わされ、実計算は $\xi$   $\eta$   $\zeta$ を用いて行ないます。

$$\int dV = \int |J| d\xi d\eta d\zeta \quad (1-102)$$

ただし、 $|J|$  : ヤコビアンマトリックス $J$ の行列式の値

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial X}{\partial \xi} & \frac{\partial Y}{\partial \xi} & \frac{\partial Z}{\partial \xi} \\ \frac{\partial X}{\partial \eta} & \frac{\partial Y}{\partial \eta} & \frac{\partial Z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial X}{\partial \zeta} & \frac{\partial Y}{\partial \zeta} & \frac{\partial Z}{\partial \zeta} \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^{20} \begin{pmatrix} \frac{\partial M_i}{\partial \xi} X_i & \frac{\partial M_i}{\partial \xi} Y_i & \frac{\partial M_i}{\partial \xi} Z_i \\ \frac{\partial M_i}{\partial \eta} X_i & \frac{\partial M_i}{\partial \eta} Y_i & \frac{\partial M_i}{\partial \eta} Z_i \\ \frac{\partial M_i}{\partial \zeta} X_i & \frac{\partial M_i}{\partial \zeta} Y_i & \frac{\partial M_i}{\partial \zeta} Z_i \end{pmatrix} \quad (1-103)$$

ここで、 $M_i$  : 形状関数式

$$\begin{aligned} \therefore |J| = & \frac{\partial X}{\partial \xi} \left( \frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} - \frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} \right) + \frac{\partial Y}{\partial \xi} \left( \frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \zeta} - \frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} \right) \\ & + \frac{\partial Z}{\partial \xi} \left( \frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} - \frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \zeta} \right) \end{aligned} \quad (1-104)$$

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。

$$J^{-1} = \frac{1}{|J|} \begin{pmatrix} \frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} - \frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} & \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} - \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} & \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \eta} - \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \eta} \\ \frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \zeta} - \frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} & \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \zeta} - \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \zeta} & \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \eta} - \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \eta} \\ \frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} - \frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \zeta} & \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \zeta} - \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \zeta} & \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \eta} - \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \eta} \end{pmatrix} \quad (1-105)$$

(1-16)、(1-34)、(1-52)、(1-91)式について、未知数 $u_\beta$ 、 $v_\beta$ 、 $w_\beta$ 、 $p_\beta$ で整理して方程式を組み立てると次式の行列方程式となります。

$$[K_e] \{G_e\} = \{F_e\} \quad (1-106)$$

ただし、 $[K_e]$  : 要素マトリックス

$\{G_e\}$  : 要素変数ベクトル。図1-1の○印付き節点番号を使用すると、ベクトル要素は、 $u_1$ 、 $v_1$ 、 $w_1$ 、 $p_1$ 、 $u_2$ 、 $v_2$ 、 $w_2$ 、 $p_2$ 、 $\sim u_{20}$ 、 $v_{20}$ 、 $w_{20}$ 、 $p_{20}$  の80変数です。

$\{F_e\}$  : 物体力マトリックス

(1-106)式を全要素についてを合わせると、全体の方程式は次の形となります。

$$[K] \{G\} = \{F\} \quad (1-107)$$

ただし、[K]：全体の流れマトリックス

{G}：全節点の変数ベクトル（各u、v、w、p）

{F}：全節点の物体力ベクトル

従って、(1-107)式は、変数ベクトル{G}について1次方程式となります。そして、これらの方程式の左辺係数行列はフルバンド（非対称）のバンドマトリックス形となります。ただし、上述のように、全体マトリックス[K]の中に未知変数 $u_r$ 、 $v_r$ 、 $w_r$ 等が含まれていますが、それらは既知として繰り返し計算します。また、旧時刻の $u_b$ 、 $v_b$ 、 $w_b$ は既知として扱います。

### 1.3 3次元流れの温度計算

非等温の場合は、流れ計算（粘度が温度の関数となる）と温度計算（発熱項に流れ変数が入る）を交互に収束するまで繰り返します。ただし、定常流れを扱うので、時間の項は入りません。

3次元の温度計算においては、次の熱伝導の方程式を用います。

$$\rho c \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial X} + v \frac{\partial T}{\partial Y} + w \frac{\partial T}{\partial Z} \right) = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right) + \mu \Phi \quad (1-200)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし、} \quad \Phi = & 2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial X} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial Y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial Z} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial v}{\partial X} + \frac{\partial u}{\partial Y} \right)^2 \\ & + \left( \frac{\partial w}{\partial Y} + \frac{\partial v}{\partial Z} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial Z} + \frac{\partial w}{\partial X} \right)^2 \end{aligned} \quad (1-201)$$

$\rho$ ：密度                       $c$ ：比熱                       $\lambda$ ：熱伝導率

$\mu$ ：粘度

$T$ ：温度

速度 $u$ 、 $v$ 、 $w$ は流れ計算により既知。

従って、有限要素法の積分方程式は次のようになります。

$$\int_{V_e} \{M\}' \left[ \rho c \left( u \frac{\partial T}{\partial X} + v \frac{\partial T}{\partial Y} + w \frac{\partial T}{\partial Z} \right) - \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right) - \mu \Phi \right] dV = 0 \quad (1-202)$$

ただし、{M}：形状関数の行ベクトル

右上付きの'は転置を意味します（以下同じ）

(1-30)式の[ ]内第2項に部分積分の公式を適用し、温度固定境界のために0となる積分項を省略し、正負を整理すると、次式が得られます。

$$\int_{V_e} \rho c \{M\}' \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial X} + v \frac{\partial T}{\partial Y} + w \frac{\partial T}{\partial Z} \right) dV$$

$$+ \int_{V_e} \lambda \left( \frac{\partial \{M\}'}{\partial X} \frac{\partial T}{\partial X} + \frac{\partial \{M\}'}{\partial Y} \frac{\partial T}{\partial Y} + \frac{\partial \{M\}'}{\partial Z} \frac{\partial T}{\partial Z} \right) dV = \int_{V_e} \{M\}' \mu \Phi dV$$

(1-203)

非定常の場合に、ある時刻tにおける速度・圧力変数に添え字bを付し、微小時間Δt後の変数には添え字を付さないことにします。また、両者の平均として添え字mを付します。

先ず、(1-203)式を時間方向に離散化すると次のようになります。

$$C_T \frac{T - T_b}{\Delta t} + D_T \frac{1}{2} (T + T_b) = F_\phi$$

(1-204)

ここで、

$$C_T = \int_{V_e} \rho c \{M\}' \{M\} dV$$

(1-205)

$$D_T = \int_{V_e} \rho c \{M\}' \left( u_m \frac{\partial M}{\partial X} + v_m \frac{\partial M}{\partial Y} + w_m \frac{\partial M}{\partial Z} \right) dV$$

$$+ \int_{V_e} \lambda \left( \frac{\partial \{M\}'}{\partial X} \frac{\partial M}{\partial X} + \frac{\partial \{M\}'}{\partial Y} \frac{\partial M}{\partial Y} + \frac{\partial \{M\}'}{\partial Z} \frac{\partial M}{\partial Z} \right) dV$$

(1-206)

$$F_\phi = \int_{V_e} \{M\}' \mu \Phi_m dV$$

(1-207)

(1-204)式を整理すると、次のようになります。

$$K_T T = F_T + F_\phi$$

(1-208)

ここで、

$$K_T = \frac{C_T}{\Delta t} + \frac{D_T}{2}$$

(1-209)

$$F_T = \left( \frac{C_T}{\Delta t} - \frac{D_T}{2} \right) T_b$$

(1-210)

また、定常解析の場合は、下記のようにになります。

$$K_T = D_T$$

(1-211)

$$F_T = 0$$

(1-212)

全要素について(1-208)式を合わせると、全体の方程式は次のようになります。

$$[K] \{T\} = \{F\}$$

(1-213)

ただし、[K]：全体の熱伝導マトリックス

{T}：全節点の温度ベクトル

{F}：全体の右辺ベクトル

上記の(1-213)式を解くことにより節点温度{T}を算出できます。

## 1.4 粘度の式

粘度は一定または粘度式を使用します。粘度式は次の4種類から選択して使用します。これらの式で①～③は非ニュートン流の場合で、④はニュートン流の場合です。そして、各有限要素の対象位置毎に、剪断速度（非ニュートン流）と温度に対応した粘度を算出して、流れ計算に用います。ただし、下記式の記号は次のように定めます。

$\mu$ ：粘度、 $T$ ：温度、 $GD$ ：剪断速度、 $A0 \sim A5$ ：係数

EXP：指数（eのべき乗）、LGT：常用対数（底が10）、LOG：自然対数

### ①パワーローの式

$$\mu = A0 \cdot \text{EXP}(A1 \cdot T) \cdot GD^{A2} \quad (1-214)$$

### ②常用対数2次式

$$\begin{aligned} \text{LGT}(\mu) = & A0 + A1 \cdot \text{LGT}(GD) + A2 \cdot T + A3 \cdot \{\text{LGT}(GD)\}^2 \\ & + A4 \cdot \text{LGT}(GD) \cdot T + A5 \cdot T^2 \end{aligned} \quad (1-215)$$

### ③自然対数2次式

$$\begin{aligned} \text{LOG}(\mu) = & A0 + A1 \cdot \text{LOG}(GD) + A2 \cdot T + A3 \cdot \{\text{LOG}(GD)\}^2 \\ & + A4 \cdot \text{LOG}(GD) \cdot T + A5 \cdot T^2 \end{aligned} \quad (1-216)$$

### ④2次式

$$\mu = A0 + A1 \cdot T + A2 \cdot T^2 \quad (1-217)$$

ここで、 $GD$ は次式により求められます。

$$GD = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right)^2} \quad (1-218)$$

また、剪断応力 $\tau$ は次式で計算されます。

$$\tau = \mu \cdot GD \quad (1-219)$$

## 1.5 要素の積分

### 1) 体積積分

有限要素法では、一般に要素の積分はガウス・ルジャンドルの数値積分（略してガウス積分と呼ぶ）によって行ないます。3次元のガウス積分による要素の体積積分は次式で表わされます。

$$\int F(X, Y, Z) dV = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n F(\xi, \eta, \zeta) W_i W_j W_k |J| d\xi d\eta d\zeta \quad (1-220)$$

ただし、 $F(\ )$ ：任意関数

$X, Y, Z$ ：全体座標

$\xi, \eta, \zeta$ ：要素の無次元化された局所座標（各変化範囲は-1～1）

$|J|$ ：ヤコビアンマトリックスの行列式の値

$n$ ：1軸当りのガウス積分点数

$W_i, W_j, W_k$ ：ガウス積分点の位置 $(\xi, \eta, \zeta)$ における重み係数

1軸当りのガウス積分点数 $n$ が3の場合について、ガウス積分点の位置と重み係数を表1-1に示しておきます。

表1-1 ガウス積分点の位置と重み係数

1軸当りの積分点数 $n$	位置（各 $\xi, \eta, \zeta$ ）	重み係数
3	0.77459667	0.55555556
	0	0.88888889
	-0.77459667	0.55555556

## 2) 面積積分

次に六面体要素の面積積分について説明します。面積積分は、本来の流れ解析では不要ですが、後で流量計算を行なう際に流出入口の面積計算に使用します。図1-1に示した六面体要素の各面の面積積分の式は以下のようになります。<sup>04)</sup> ただし、各式の各偏微分項の計算は、面の8節点を用いて、(1-102)式のヤコビアンマトリックスと同様に計算します。

[面(1)、(2)] 面(1)では $\zeta=1$ 、面(2)では $\zeta=-1$

$$dA = \left[ \left( \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \eta} - \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \eta} \right)^2 + \left( \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \eta} - \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \eta} \right)^2 + \left( \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \eta} - \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \eta} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times d\xi d\eta \quad (1-221)$$

[面(3)、(4)] 面(3)では $\eta=-1$ 、面(4)では $\eta=1$

$$dA = \left[ \left( \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \xi} - \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \xi} \right)^2 + \left( \frac{\partial Z}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \xi} - \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Z}{\partial \xi} \right)^2 + \left( \frac{\partial X}{\partial \xi} \frac{\partial Y}{\partial \xi} - \frac{\partial Y}{\partial \xi} \frac{\partial X}{\partial \xi} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times d\xi d\xi \quad (1-222)$$

[面(5)、(6)] 面(5)では $\xi=1$ 、面(6)では $\xi=-1$

$$dA = \left[ \left( \frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \xi} - \frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \xi} \right)^2 + \left( \frac{\partial Z}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \xi} - \frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Z}{\partial \xi} \right)^2 + \left( \frac{\partial X}{\partial \eta} \frac{\partial Y}{\partial \xi} - \frac{\partial Y}{\partial \eta} \frac{\partial X}{\partial \xi} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times d\eta d\xi \quad (1-223)$$

### 1.6 3次元流れの有限要素法解析（粘性なし）

3次元の非粘性定常流れ問題は、以下の方程式で表わされます。

[運動量の方程式]

X方向の式

$$\rho \left( u \frac{\partial u}{\partial X} + v \frac{\partial u}{\partial Y} + w \frac{\partial u}{\partial Z} \right) + \frac{\partial p}{\partial X} - f_x = 0 \quad (1-300)$$

Y方向の式

$$\rho \left( u \frac{\partial v}{\partial X} + v \frac{\partial v}{\partial Y} + w \frac{\partial v}{\partial Z} \right) + \frac{\partial p}{\partial Y} - f_y = 0 \quad (1-301)$$

Z方向の式

$$\rho \left( u \frac{\partial w}{\partial X} + v \frac{\partial w}{\partial Y} + w \frac{\partial w}{\partial Z} \right) + \frac{\partial p}{\partial Z} - f_z = 0 \quad (1-302)$$

[連続の式]

$$\frac{\partial u}{\partial X} + \frac{\partial v}{\partial Y} + \frac{\partial w}{\partial Z} = 0 \quad (1-303)$$

ただし、 $u$  : X方向速度、 $v$  : Y方向速度、 $w$  : Z方向速度、 $p$  : 圧力

$X$  : X座標、 $Y$  : Y座標、 $Z$  : Z座標、 $t$  : 時間

$\rho$  : 密度

$f_x$  : X方向物体力、 $f_y$  : Y方向物体力、 $f_z$  : Z方向物体力

物体力とは重力を意味し、その各座標軸方向成分を与える。

ここで、速度ポテンシャル $\phi$ を次式で定義します。

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial X} \quad (1-304)$$

$$v = \frac{\partial \phi}{\partial Y} \quad (1-305)$$

$$w = \frac{\partial \phi}{\partial Z} \quad (1-306)$$

(1-304)式～(1-306)式を(1-303)式に代入して整理すると、次のラプラス方程式が得られます。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial Z^2} = 0 \quad (1-307)$$

(1-307)式を有限要素法の要素の積分方程式に定式化し、部分積分公式を適用すると、次式になります。

$$[K_e] \{\phi_e\} = \{F_e\} \quad (1-308)$$

ただし、 $[K_e]$  : 要素のマトリックス

$\{\phi_e\}$  : 要素節点の速度ポテンシャル

$\{F_e\}$  : 右辺ベクトル。境界条件で決まる。

$$[K_e] = - \int \left( \frac{\partial [M]^T}{\partial X} \frac{\partial [M]}{\partial X} + \frac{\partial [M]^T}{\partial Y} \frac{\partial [M]}{\partial Y} + \frac{\partial [M]^T}{\partial Z} \frac{\partial [M]}{\partial Z} \right) dV \quad (1-309)$$

ただし、 $[M]$ ：形状関数の行ベクトル

右上付き文字Tは転置を意味する（以下同じ）。

$dV$ ：積分体積。

(1-309) 式を局所座標  $\xi, \eta, \zeta$  によって表わすと以下ようになります。

$$[K_e] = - \int \left( \frac{\partial [M]^T}{\partial X} \frac{\partial [M]}{\partial X} + \frac{\partial [M]^T}{\partial Y} \frac{\partial [M]}{\partial Y} + \frac{\partial [M]^T}{\partial Z} \frac{\partial [M]}{\partial Z} \right) |J| d\xi d\eta d\zeta \quad (1-310)$$

ただし、 $|J|$ ：ヤコビアンマトリックス  $J$  の行列式の値。(1-103) 式に同じ。

全要素について (1-310) 式を合わせると、全体の方程式は次の形となります。

$$[K]\{\phi\} = \{F\} \quad (1-311)$$

ただし、 $[K]$ ：全体のマトリックス

$\{\phi\}$ ：全節点の速度ポテンシャル

$\{F\}$ ：全体の右辺ベクトル

(1-311) 式は、右辺がすべて既知項であり、1 次方程式となります。この方程式の左辺係数行列はいわゆるバンドマトリックス形となり、通常のソルバー計算により解くことができます。

#### [境界条件]

流出入口では次のいずれかの境界条件を与えます。ただし、どこかで必ず速度ポテンシャル  $\phi$  を設定しなければなりません（ $\phi$  の基準値）。

①速度ポテンシャル  $\phi$

②面垂直流速  $U_n$ ・・・流出方向が正

$$U_n = \frac{\partial \phi}{\partial n} \quad (1-312)$$

ただし、 $n$ ：境界の法線ベクトル

(1-311) 式の  $\{\phi\}$  が得られたら、(1-304) 式～(1-306) 式により流速  $u, v, w$  を算出します。その後、(1-300) 式～(1-302) 式から一般化したベルヌーイの式により圧力  $p$  を算出します。そのベルヌーイの式は次式で表わされます。なお、どこか 1 点の圧力  $p$  を基準圧力として付与します。

$$\frac{1}{2} \rho (u^2 + v^2 + w^2) + p + \rho gH = \text{一定} \quad (1-313)$$

ただし、 $\rho$ ：密度

$g$ ：重力加速度

$H$ ：位置高さ

## 第2章 プログラムの機能・構成

[VBプロジェクト名] F l o w 3 D L i q

本ソフトでは非圧縮流体の3次元流れ解析を行ないます。表2-1に本ソフトの解析機能を示します。同表のように、粘性の有無の2つの解析種類があります。粘性有りの場合は、定常および非定常の解析が可能で、ニュートン流または非ニュートン流、および等温または非等温を選択できます。

表2-1 「F l o w 3 D L i q」解析機能

<粘性なしの場合>

定常のみ。

<粘性有りの場合>

解析種別		流体種別		温度種別	
定常	非定常	ニュートン流	非ニュートン流	等温	非等温
○	○	○	○	○	○

注) ○印：対応。

非ニュートン流の粘度式は、パワーロー、常用対数2次式、または自然対数2次式を選択できます。

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「解析データ」、「計算」、「後処理」、「終了」の4つです。「解析データ」メニューでは、別途「FEM立体データ」ソフトにより作成した解析データファイルを使用します。

「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。なお、「計算」メニューには体積計算の補助機能もあります。

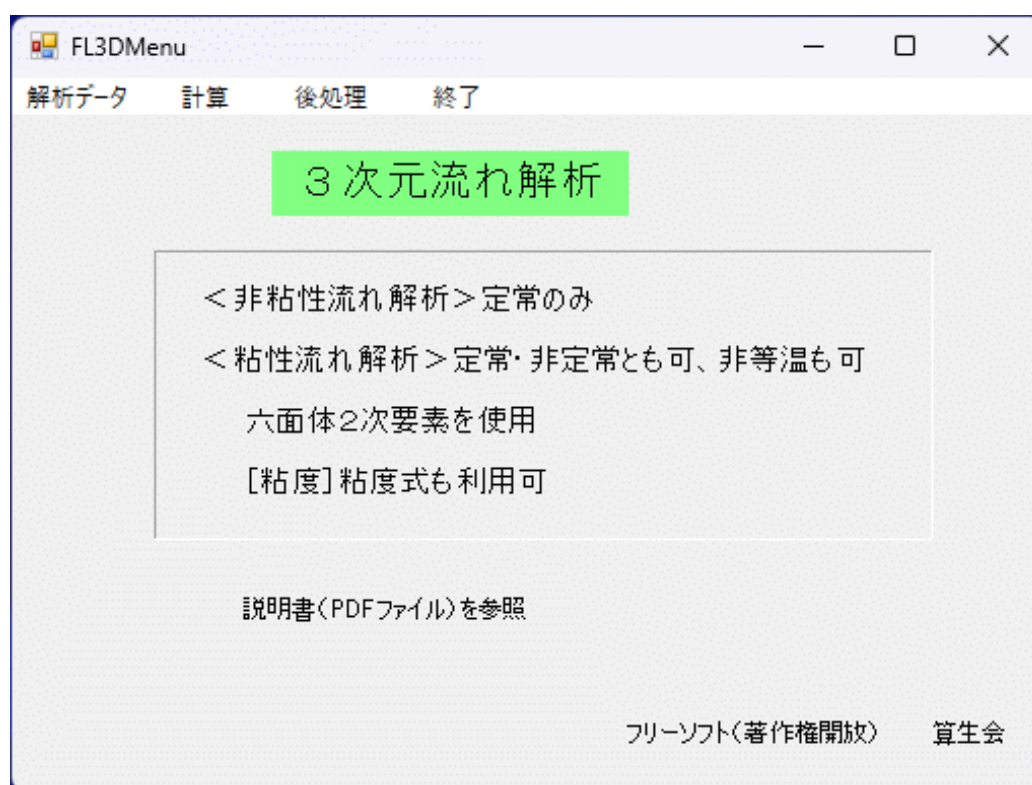


図2-1 「Flow3DLiq」ソフトのメニュー画面

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FL3DMenuモジュール\*で制御し、その下に「解析データ」、「計算」、「後処理」の3つのプログラム群に分かれています。

注) \*モジュール名や各フォーム名は、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、「入力データファイル」、「結果データファイル」の2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、いくつかのプログラム部分で一時記憶ファイル（ファイル拡張子「.tmp」）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。

表2-2に本ソフトのファイルリストを示します。同表で、[解析データ]のFL3DDat1～4は、各種データを画面入力するためのものです。特に、FL3DDat2では1つのフォームモジュールで、複数種類のデータをグリッド切替えにより入力できるようにしています。

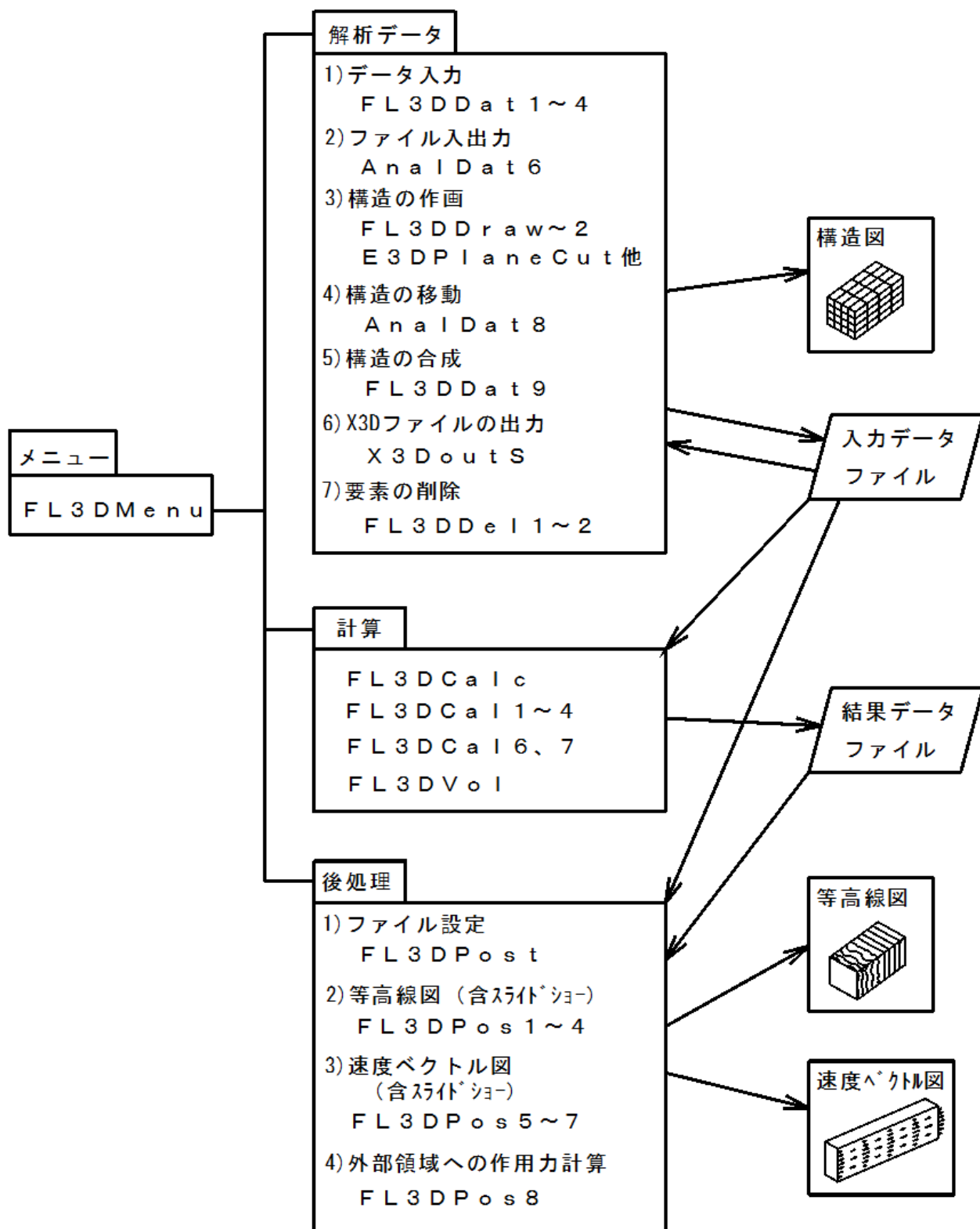


図2-2 「Flow3DLiq」ソフトのプログラム構成

表2-2 「Flow3DLiq」ソフトのファイルリスト

[全般]

ファイル名	内 容
FL3DCom.vb	共通変数の宣言とサブルーチンの定義
FL3DMenu.vb	メニューの提示・選択

[解析データ]

ファイル名	内 容
FL3DDat1.vb	データ仕様の入力
FL3DDat1a.vb	材料データの入力
FL3DDat2.vb	各データの入力
FL3DDat3～3a.vb	境界面の一括設定
FL3DDat4.vb	入口速度・圧力の読み込み
AnalDat6.vb	データファイルの入出力
AnalDat8.vb	構造の移動
FL3DDat9.vb	構造の合成
FL3DDraw～2.vb	構造の作画と構造図でのデータ入力
E3DPlaneCut.vb	3次元構造の面切断の設定（各3次元図に共通）
MouseShift.vb	マウス回転操作の説明（各3次元図に共通）
X3DoutS.vb	X3Dファイルの出力
FL3DDel1～2.vb	要素の削除の設定と実行

[計算]

ファイル名	内 容
FL3DCalc.vb	計算に使用するファイルの設定
FL3DCal1.vb	計算条件の指定(粘性なし)
FL3DCal2.vb	計算条件の指定(粘性有り)
FL3DCal3.vb	解析計算の実行(粘性有り、反復法)
FL3DCal4.vb	解析計算の実行(粘性有り、バンドマトリックス法)
FL3DCal6.vb	解析計算の実行(粘性なし、反復法)
FL3DCal7.vb	解析計算の実行(粘性なし、スカイライン法)
FL3DVol.vb	体積計算のファイル設定と実行

[後処理]

ファイル名	内 容
FL3DPost.vb	後処理に使用するファイルの設定
FL3DPos1.vb	等高線図作画の変数の指定
FL3DPos2.vb	等高線図の仕様設定
FL3DPos3.vb	等高線図の作画実行
FL3DPos4.vb	等高線図スライドショーの作画実行
FL3DPos5.vb	速度ベクトル図の非定常メッシュ指定
FL3DPos6.vb	速度ベクトル図の作画実行
FL3DPos7.vb	速度ベクトル図スライドショーの作画実行
FL3DPos8.vb	外部領域の設定と作用力計算

### 第3章 構造データの作り方

一般には自動メッシュを利用しますので、人手で構造データ全体を作成することは少ないと思われます。しかし、自動メッシュだけでは不十分の場合に、人手でデータ修正する必要があります。そのため、ここでは人手で構造データ全体を作成する方法を説明します。自動メッシュを利用する場合は、その一部を省略できます。

構造データはすべて3次元のXYZ座標を用います。使用する要素は図1-1で示した六面体20節点のアイソパラメトリック要素です。本要素のガウス積分点は27点ですが、入力データの積分点数は1軸当りの3となります（構造全体で一括）。六面体内の積分点位置をすべて図示するのはわかりにくくなるので、要素の局所座標の $\xi$   $\eta$  面における積分点位置を図3-1に示します。 $\xi$   $\zeta$  面や $\eta$   $\zeta$  面でも同様です。面での積分点数は、1軸当り積分点数の2乗の9点です。

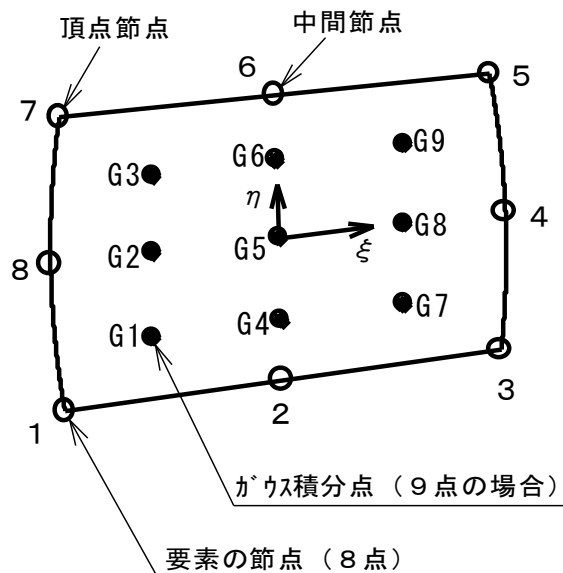


図3-1 要素の1面の積分点位置（ $\xi$   $\eta$  座標面）

以降では、図3-2に示すテスト用構造モデル（矩形管流れ）を例に取り、構造データ作成の手順に沿って説明します。本モデルは要素数が96個あり、あまり簡単なモデルではありませんが、流れ解析の場合は断面内の速度差が大きいため、断面メッシュを粗くできないからです。また、実際には、本モデルの構造データは自動メッシュにより作成しています。

1) 先ず構造を略図に描きます。

略図は図3-2のような斜視図がわかりやすいです。また、略図は、後で要素番号や節点番号を記入できるよう、十分な大きさのものとします。略図には座標軸も明記します。

2) 構造を六面体形要素に分割します。

構造すべてを適当な大きさの六面体に分割します。六面体の面は四角形で、その辺（稜線）は直線でも曲線（円弧）でも構いません。また、面の形状は、三角形であって

も、その三角形のいずれかの辺の midpoint に頂点節点を設けるような変則の四角形も使用できます。

六面体の大きさは、問題により異なり、全体の一部だけを細かくすることもあります。要素分割の際、各要素の頂点などの節点座標が計算しやすいように、なるべく座標軸に平行に分割します。

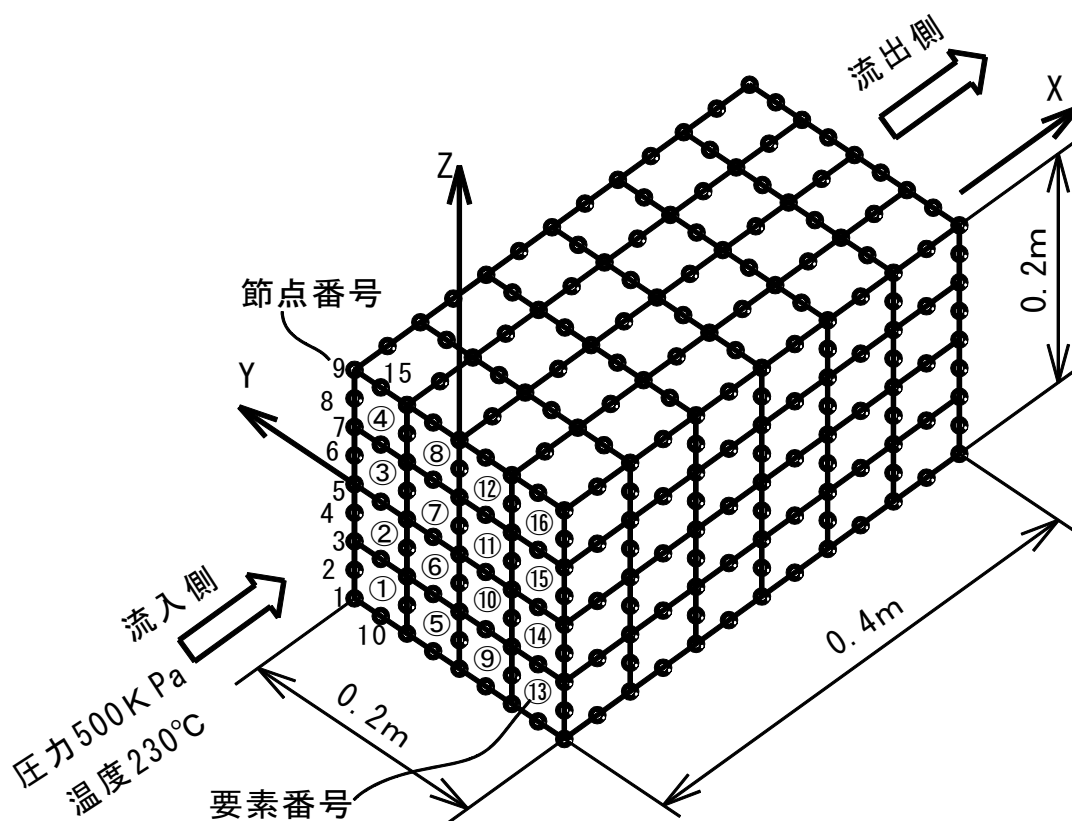


図3-2 テスト用構造モデル（粘性有りの矩形管流れ）

- 3) 自動メッシュでない場合、各要素の節点を設けます。

各六面体要素について、各頂点および各辺の midpoint に節点を設けます。すなわち、1 要素につき20点の節点を取ります。

注) 構造略図には、節点位置に○印等の記号を付けるとわかりやすいです。

- 4) 自動メッシュでない場合、全要素に番号を付けます。

要素番号は1番から欠番なしに付けなければなりません。要素番号の順番はどのようにしても問題ありませんが、規則正しく付番した方がわかりやすいです。

- 5) 自動メッシュでない場合、全節点に番号を付けます。

節点番号は1番から欠番なしに付けなければなりません。節点番号の順番はどのようにしても問題ありませんが、規則正しく付番した方がわかりやすいです。

注) 節点番号の付け方により F E M 行列のバンド幅に差が生じますが、本ソフトで反復法ソルバー (BiCGStab (2) 法) の場合、バンド幅は問題ありません。また、スカイライン法やバンドマトリックス法を選択した場合、解析計算実行時に節点順序の改良を実施しています。

6) 自動メッシュでない場合、節点座標を算出しておきます。

すべての六面体要素の頂点節点の座標を求めておきます。要素の辺が直線の場合、中間節点座標は、自動計算機能があるので求めておかなくても構いません。なお、要素の辺が円弧等の場合、節点座標の算出に表計算ソフトを利用すると便利です。

7) 境界条件を決めます。

表3-1に境界条件の種類を示します。

表3-1 境界条件の種類

<粘性なしの場合>

計算種類	境界節点	境界面
流れ計算	速度ポテンシャル固定	速度ポテンシャル固定、垂直流速

<粘性有りの場合>

計算種類	境界節点	境界面
流れ計算	速度固定 (壁面の自動設定有り) 圧力固定	速度固定 (壁面の自動設定有り) 圧力固定
温度計算 (非等温の場合)	温度固定 (壁面の自動設定有り)	温度固定 (壁面の自動設定有り) 熱流束

《粘性なしの場合》

境界条件は、速度ポテンシャルと垂直流速を組み合わせます。垂直流速の設定なしでも計算できますが、流出入口での速度ポテンシャルは試行錯誤で流速に合わせる必要があります。通常は、流出入口のいずれかで速度ポテンシャルを 0 に固定し、他方で垂直流速を与えます。なお、壁面については何も設定する必要はありません。

◇速度ポテンシャルは上流側が下流側よりも小さくなります。

《粘性有りの場合》

流れ計算の境界条件は、座標 3 方向の速度と圧力を固定するものです。通常は、構造への流入口の圧力を一定値で与え、流出口の圧力を 0 に固定します。流入口で速度分布を与えることもできますが、入口の圧力を一定にしないと、入口で圧力変動が生じます。参考として、下記に圧力損失の理論式を示します。

[圧力損失 $\Delta P$ の理論式（ニュートン流）]

$$\text{円管流れ} \quad \Delta P = \frac{32 \mu V_m L}{D^2} \quad (3-1)$$

$$\text{平板流れ} \quad \Delta P = \frac{12 \mu V_m L}{H^2} \quad (3-2)$$

ただし、 $\mu$ ：粘度、 $V_m$ ：平均流速、 $L$ ：管路長さ  
 $D$ ：円管直径、 $H$ ：平板厚さ

本ソフトでは「入口流速対応の逆解析（定常解析）」の計算ができます。同計算では、入口圧力を仮設定しておき、入口の平均流速が指定の値になる解析結果を得ることができます。

また、本ソフトの境界条件の設定では、節点単位でも要素面単位でも行なうことができます。圧力を固定する場合は、要素面で一定となりますから、要素面単位で行なう方がずっと容易です。

温度計算は非等温の場合に実施し、境界条件は温度固定と熱流束の2種類が可能です。ただし、温度固定と熱流束の両方が設定された境界では温度固定が無効になります。また、温度固定と熱流束のいずれも設定されない境界は断熱となります。

[熱流束] 一定の熱量が流出入するもの

<壁面の自動設定>

本ソフトでは、壁面の自動設定を採用することができます。自動設定を採用した場合は、下記の条件を満たす要素面は壁面と判定し、座標3方向の速度はすべて0となります。従って、下記の条件により壁面と判定されては困る場合は、すべての壁面について要素面の速度固定（座標3方向とも0）を行ない、壁面の自動設定を不採用にしてください。

[要素面を壁面と自動判定する条件]

面の四角形8節点要素について、次の2条件の両方を満たすこと。

- ① 8節点とも、0以外の速度固定がないこと。
- ② 8節点の内、圧力固定されていない節点があること。

注) 3次元の流れ解析では、節点数が多くなり非常に計算時間がかかります。従って、対称構造では、流路の中心軸断面で分割し、1/2の部分や1/4の部分でモデル化すると、計算時間を大幅に短縮できます。そのように1/2や1/4の部分構造を使用した場合は、中心軸断面で断面直角方向の速度を0に固定する必要があります。その際、同断面は強制的に非壁面に設定することにより、壁面の自動設定を採用できます。

8) 非定常解析の初期条件・・・粘性有りのみ

非定常解析の場合は、初期条件が必要です。速度・圧力の初期値を0以外で勝手に与え

ると、解が収束しない恐れがあります。従って、速度・圧力とも0以外の初期値は、ある程度釣り合っている必要があります。また、速度か圧力のどちらかに0以外の初期値を与える際は、圧力で与える方が安定します。

なお、非等温の場合、均一な温度の初期値は解析実行時に設定できます。

#### 9) データの単位系

本ソフトでは、データの単位系は何でも使用できますが、入力データ全体の単位系は統一しておかねばなりません。表3-2にS I 単位系を示しておきます。

表3-2 S I 単位系

データ項目	単位
時間	s
長さ	m
密度	kg/m <sup>3</sup>
比熱	J/kg·deg
熱伝導率	W/m·deg
熱流束	W/m <sup>2</sup>
粘度	Pa·s

データ項目	単位
速度	m/s
加速度	m/s <sup>2</sup>
剪断速度	/s
圧力	Pa (= N/m <sup>2</sup> )
剪断応力	Pa (= N/m <sup>2</sup> )
速度ポテンシャル	m <sup>2</sup> /s

注) deg : °CまたはK

#### 10) 要素の追加変更

作成済の入力データファイルに対して、要素を追加変更する場合は次の点に注意しなければなりません。

- ①要素番号は欠番なしに増加させます。
- ②節点番号も欠番なしに増加させます。
- ③データの修正は、先ず要素数と節点数を正確に修正します。

## 第4章 「解析データ」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「解析データ」のサブメニュー選択画面を図4-1に示します。同図に示すように、14個のサブメニューがあります。全く新たにデータを作成する場合は「データ入力・修正」を選択しますが、既存ファイルを修正して新たなファイルを作成する場合は先に「ファイル読み込み」を行ないます。

◇「FEM立体データK」ソフトによる本解析用データファイルを読み込めます。

また、「オプション」では、3つの項目についてチェックの有無により採否を選択できます。「バックアップファイル作成」は、データ読み込み時にバックアップファイル（.bak）を自動作成するものです。

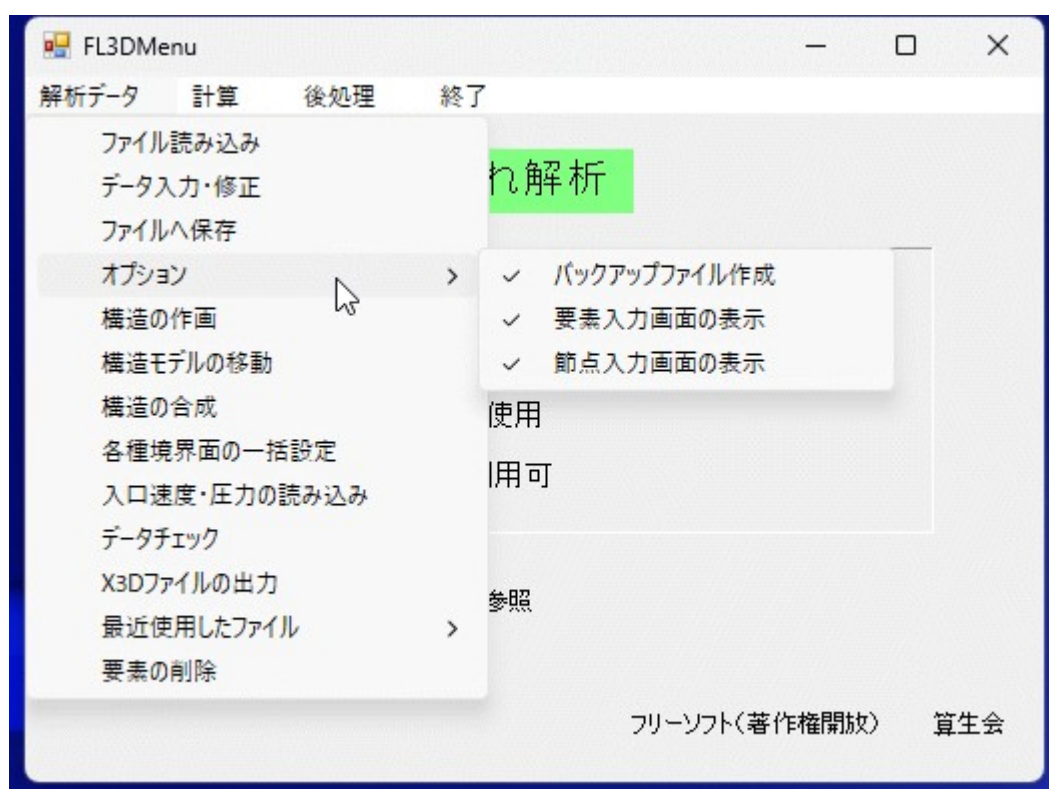


図4-1 「解析データ」サブメニュー画面

### 4.2 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、コモン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。

### 4.3 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4-2のデータ仕様入力画面となります。同図は粘性有りの場合であり、粘性なしの場合は図4-3の画面となります。なお、境界条件等のデータ入力・修正は、構造図の画面でも実施できます。

図4-2では図3-2のテスト用構造モデルを取り上げており、以降も同じです。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、任意の題名を入力できます。

②粘性の有無は、「なし」か「あり」を選択します。

◇水・空気等でレイノルズ数の大きい流れでは、粘性「なし」を選択してください。

◇樹脂・水・空気等で層流域の流れでは、粘性「あり」を選択してください。

◇「なし」を選択すると、図4-3の画面構成になります。

③節点数～速度・圧力固定の面の数は、各構造モデルに応じた数を入力します。

ただし、計算時に「壁面の自動設定」を採用する場合は、壁面についての速度固定（各座標軸方向の速度を0に固定）を省略でき、流出入口だけ速度・圧力固定すれば済みます。

◇「壁面の自動設定」の可能な条件は、第3章の7)を参照してください。

◇速度・圧力固定の境界については、節点毎に設定できます。それ故、速度・圧力を固定する節点について節点の個数を入力できます。しかし、要素の1つの面で全節点を同一値に固定する場合は、面の8節点を個別に固定しなくても、面全体でまとめて設定でき、その方が後の入力操作が楽です。その際は、速度・圧力固定する面について面の個数を入力します。

◇不適切な速度固定を行なうと、圧力が負になるような問題が生じますので、速度分布を与えるよりも流出入口の圧力を与える方をお勧めします。その際、通常は流出口の圧力を0とします。なお、上記のように圧力のみ与えて計算する場合、所定の流量に合わせるには試行錯誤で圧力を変更する必要があります。

◇非定常解析の流出入口は、計算の収束性の点から、なるべく速度でなく圧力固定にしてください。

④温度固定の節点数と面の数は、非等温の解析を行なう場合に使用します。ただし、計算時に「壁面の自動設定」を採用する場合は、もし壁面温度がすべて同一ならば、壁面についての温度固定を省略でき、流入口だけ温度固定すれば済みます。

◇「壁面の自動設定」の可能な条件は、第3章の7)を参照してください。

◇温度固定の境界については、節点毎に設定できます。それ故、温度を固定する節点について節点の個数を入力できます。しかし、要素の1つの面で全節点を同一値に固定する場合は、面の8節点を個別に固定しなくても、面全体でまとめて設定でき、その方が後の入力操作が楽です。その際は、温度固定する面について面の個数を入力します。

⑤熱流束境界の面の数は、非等温の解析を行なう場合に使用できます。

◇「壁面の自動設定」を採用する場合、熱流束境界で温度固定設定のない節点には、温度固定が適用されません。

注) ③項の温度固定の節点と面には、その固定温度が適用されます。

⑥粘度式の種類番号は、同画面の下部に表示してあるものから選択します。粘度式が不必要であれば0を入力します。

◇種類番号1～3は非ニュートン流のものです。

◇種類番号4はニュートン流で非等温に当てはまります。

- ⑦物体力の有無について、区分番号を入力します。物体力とは重力を意味します。  
 ◇物体力がほとんど影響しない場合が多いですが、物体力が影響する場合には物体力有りを指定してください。
- ⑧非定常解析の場合、速度・圧力の初期値の有無（0:なし、1:有り）を入力します。  
 ◇初期値をすべて0にする場合は、初期値無しでも構いません。
- ⑨非定常解析で非等温の場合、温度の初期値の有無（0:なし、1:有り）を入力します。  
 ◇初期値ば均一温度のときは、計算実行時に設定できますので、初期値無しでも構いません。
- ⑩本画面の「設定」ボタンをクリックすると、次の材料データ入力画面に移ります。
- ⑪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。

データを入力してください。

タイトル

節点数  要素数

速度・圧力固定の節点数

速度・圧力固定の面の数

温度固定の節点数 (非等温の場合)

温度固定の面の数 (非等温の場合)

熱流束境界の面の数 (非等温の場合)

粘度式の種類番号

η: 粘度、Temp: 温度、GD: 剪断速度  
 LGT: 底が10の対数(常用対数) LOG: 自然対数

0) 粘度式なし  
 1)  $\eta = A0 * EXP(A1 * Temp) * (GD^A2)$   
 2)  $LGT(\eta) = A0 + A1 * LGT(GD) + A2 * Temp + A3 * (LGT(GD))^2 + A4 * LGT(GD) * Temp + A5 * (Temp^2)$   
 3)  $LOG(\eta) = A0 + A1 * LOG(GD) + A2 * Temp + A3 * (LOG(GD))^2 + A4 * LOG(GD) * Temp + A5 * (Temp^2)$   
 4)  $\mu = A0 + A1 * Temp + A2 * Temp^2$

物体力の有無(0:なし、1:有り)

速度・圧力の初期値の有無(0:なし、1:有り)

温度の初期値の有無(0:なし、1:有り)

粘性の有無  
☐ なし  
☒ 有り

非定常解析の流出入口は、速度でなく圧力固定にしてください。  
 壁面は速度・圧力を固定しなくても、計算時に自動設定できます。

入力データ以外に、計算時に壁面を自動設定して、一定温度にできます。

図4-2 データ仕様入力画面（粘性有りの場合）

図4-3のデータ仕様入力画面（粘性なしの場合）について補足説明します。

- ①速度ポテンシャル固定の節点数、速度ポテンシャル固定の面の数、面垂直流の面の数は、各構造モデルに応じた数を入力します。  
 ◇速度ポテンシャルの基準が必要なため、速度ポテンシャル固定の節点か面は必ず設定しなければなりません。  
 ◇流速がわかっている場合は、面垂直流の面を設定します。

◇通常は、流出入口のいずれかで速度ポテンシャルを0に固定し、他方で面垂直流の面を設定します。面垂直流の面を設定しないと、所望の流速を得るには、速度ポテンシャル固定値を試行錯誤で設定する必要があります。

◇壁面については何も設定しません。

②基準圧力の節点番号と基準圧力の値を入力します。

データを入力してください。

タイトル

節点数  要素数

速度ポテンシャル固定の節点数

速度ポテンシャル固定の面の数  流入・流出口は、速度ポテンシャルか面垂直流のいずれかを設定してください。

面垂直流の面の数  基準圧力の節点番号

基準圧力の値

粘性の有無  
☒ なし  
☐ 有り

物体力の有無(0:なし、1:有り)

図4-3 データ仕様入力画面（粘性なしの場合）

#### 4.4 材料データ入力画面

図4-4に材料データ入力画面を示します。取り扱う流体材料は1種類だけです。

①密度、比熱、熱伝導率、粘度を入力します。

◇本例では、表4-2のS I単位系を使用しています（温度の単位は℃）。

◇粘性なしでは、密度以外の項目は解析計算に使用しません。

②粘性ありで、図4-2のデータ仕様入力画面で粘度式を指定した場合は、粘度式の各係数を入力します。

◇粘性なしでは、粘度式の入力はありません。

③表データについては、「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。

④すべての材料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要素

データ入力画面に移ります。

材料データの入力

密度 950 熱伝導率 .143

比熱 2340 粘度(基準) 717

粘度式の係数

3)  $\text{LOG}(\mu) = A0 + A1 * \text{LOG}(GD) + A2 * \text{Temp} + A3 * (\text{LOG}(GD))^2 + A4 * \text{LOG}(GD) * \text{Temp} + A5 * (\text{Temp})^2$

	A0	A1	A2	A3	A4	A5
▶	23.9	-.7324	-.1021	-.01877	.001553	.0001566
*						

コピー  
貼り付け  
取り消し

設定 戻る

図4-4 材料データ入力画面

#### 4.5 要素データ入力画面（オプションで省略可能）

図4-5に要素データ入力画面を示します。自動メッシュだけで済む場合は変更不要です。

①節点順1から順に各要素の全節点番号（六面体では20個、四面体では10個）を、必ず頂点節点を最初に、かつ図1-1または図1-2の節点番号の順に入力します。

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。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。

◇表計算ソフトからコピーすることも可能です。

③すべての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節点データ入力画面に移ります。

#### 4.6 節点データ入力画面（オプションで省略可能）

図4-6に節点データ入力画面を示します。自動メッシュだけで済む場合は変更不要です。

①各節点の座標を入力します。

②「一括定数掛算」ボタンをクリックして定数値を入力し、全座標に一括掛算することができます。

◇本機能により、座標値の単位を変更したり、構造を拡大・縮小したりできます。

③すべての節点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。

FL3DDat2

要素データの入力

	要素番号	節点順 1	節点順 2	節点順 3	節点順 4	節点順 5	節点順 6	節点順 7	節点順 8	節
▶	1	1	10	15	16	17	11	3	2	6
	2	3	11	17	18	19	12	5	4	6
	3	5	12	19	20	21	13	7	6	6
	4	7	13	21	22	23	14	9	8	6
	5	15	24	29	30	31	25	17	16	7
	6	17	25	31	32	33	26	19	18	7
	7	19	26	33	34	35	27	21	20	7
	8	21	27	35	36	37	28	23	22	7
	9	29	38	43	44	45	39	31	30	7
	10	31	39	45	46	47	40	33	32	7
	11	33	40	47	48	49	41	35	34	7
	12	35	41	49	50	51	42	37	36	7
	13	43	52	57	58	59	53	45	44	8
	14	45	53	59	60	61	54	47	46	8
	15	47	54	61	62	63	55	49	48	8

設定 戻る コピー 貼り付け 取り消し

図4-5 要素データ入力画面

FL3DDat2

節点データの入力

	節点番号	X座標	Y座標	Z座標
▶	1	0	.1	-.1
	2	0	.1	-.075
	3	0	.1	-.05
	4	0	.1	-.025
	5	0	.1	0
	6	0	.1	.025
	7	0	.1	.05
	8	0	.1	.075
	9	0	.1	.1
	10	0	.075	-.1
	11	0	.075	-.05
	12	0	.075	0
	13	0	.075	.05
	14	0	.075	.1
	15	0	.05	-.1
	16	0	.05	-.075

設定 戻る 一括定数掛算 コピー 貼り付け 取り消し

図4-6 節点データ入力画面

#### 4.7 速度・圧力固定の節点データ入力画面（粘性有り）

本入力は、速度・圧力固定の節点数が1以上の場合にのみ実施します。図4-7に速度・圧力固定の節点データ入力画面を示します。ただし、本画面は説明のために作成したもの

で、テスト用構造モデルのデータには使用しません。

- ①速度・圧力固定の節点数の分だけ固定番号が表示されているので、それぞれ節点番号と固定条件を入力します。
- ②固定条件は、座標3方向速度U、V、Wと圧力Pについて入力します。  
◇各変数について、拘束の欄に、固定しない場合は0、固定する場合は1を入力し、固定する場合は、値の欄に固定値を入力します。
- ④節点番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ⑤1つの固定番号のデータを他の固定番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、節点番号はコピーされません。
- ⑥すべての速度・圧力固定の節点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。

	固定番号	節点番号	U拘束	U値	V拘束	V値	W拘束	W値	P拘束	P値
▶	1	11	1	.75	1	0	1	0	0	0
	2	12	1	1.2	1	0	1	0	0	0
	3	13	1	.75	1	0	1	0	0	0
	4	16	1	.75	1	0	1	0	0	0
	5	17	1	1.2	1	0	1	0	0	0
	6	18	1	1.5	1	0	1	0	0	0
	7	19	1	1.8	1	0	1	0	0	0
	8	20	1	1.5	1	0	1	0	0	0
	9	21	1	1.2	1	0	1	0	0	0
	10	22	1	.75	1	0	1	0	0	0
	11	25	1	1.5	1	0	1	0	0	0
	12	26	1	1.95	1	0	1	0	0	0
	13	27	1	1.5	1	0	1	0	0	0
	14	30	1	1.2	1	0	1	0	0	0
	15	31	1	1.8	1	0	1	0	0	0
	16	32	1	1.95	1	0	1	0	0	0

図4-7 速度・圧力固定の節点データ入力画面（粘性有り）

#### 4.8 速度・圧力固定の面データ入力画面（粘性有り）

本入力は、速度・圧力固定の面の数が1以上の場合にのみ実施します。図4-8に速度・圧力固定の面データ入力画面を示します。

- ①速度・圧力固定の面数の分だけ固定番号が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号と固定条件を入力します。  
◇面番号は、要素内の1～6の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-1に示す通りです。この面番号は、構造の作画画面で表示して確認できます。
- ②固定条件は、座標3方向速度U、V、Wと圧力Pについて入力します。

- ◇各変数について、拘束の欄に、固定しない場合は0、固定する場合は1を入力し、固定する場合は、値の欄に固定値を入力します。
- ◇本モデル例では、流入側の圧力を500000Pa、流出側の圧力を0に設定しています。
- ◇強制的に非壁面に設定する場合は、拘束の欄に上記の1の代わりに-1を入力します。強制非壁面は0以外の速度固定がなくても壁面にはしないという指定です。これは、対称流れの解析において、1／2や1／4の部分構造を使用する場合に、対称断面で断面直角方向の速度を0に固定する必要があるために用いるものです。強制非壁面に設定しておけば、壁面の自動設定を採用した場合でも、壁面にはなりません。
- ◇通常、面で0以外の速度で一様になることはありませんので、0以外の速度の固定はほとんど実施されないと思います。流速を生じさせるためには、圧力を与える方が無難です。
- ◇計算時に「壁面の自動設定」を採用しない場合は、すべての壁面について、面の座標3方向速度を0に設定してください。
- ③要素番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ④1つの固定番号のデータを他の固定番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、要素番号はコピーされません。
- ⑤すべての速度・圧力固定の面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。

速度・圧力固定の面データ入力

要素番号に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。

[拘束値] 0: 固定しない、1: 固定する、-1: 固定する(強制非壁面、速度固定のみ)

	固定番号	要素番号	面番号	U拘束	U値	V拘束	V値	W拘束	W値	P拘束	P値
▶	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	2	2	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	3	3	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	4	4	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	5	5	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	6	6	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	7	7	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	8	8	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	9	9	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	10	10	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	11	11	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	12	12	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	13	13	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	14	14	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	15	15	1	0	0	0	0	0	0	1	500000
	16	16	1	0	0	0	0	0	0	1	500000

設定 戻る 一括コピー コピー 貼り付け 取り消し

図4-8 速度・圧力固定の面データ入力画面（粘性有り）

#### 4.9 温度固定の節点データ入力画面（粘性有り）

本入力は、温度固定の節点数が1以上の場合にのみ実施します。図4-9に温度固定の節点データ入力画面を示します。ただし、本画面は説明のために作成したもので、テスト用構造モデルのデータには使用しません。

- ①温度固定の節点数の分だけ固定番号が表示されているので、それぞれ節点番号と温度を入力します。
- ②節点番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ③1つの固定番号のデータを他の固定番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、節点番号はコピーされません。
- ④すべての温度固定の節点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。

図4-9 温度固定の節点データ入力画面（粘性有り）

#### 4.10 温度固定の面データ入力画面（粘性有り）

本入力は、温度固定の面の数が1以上の場合にのみ実施します。図4-10に温度固定の面データ入力画面を示します。

- ①温度固定の面数の分だけ固定番号が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号と固定温度を入力します。  
◇面番号は、要素内の1～6の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-1に示す通りです。この面番号は、構造の作画画面で表示して確認できます。
- ②要素番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。

- ③ 1つの固定番号のデータを他の固定番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、要素番号はコピーされません。
- ④ すべての温度固定の面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。

固定番号	要素番号	面番号	温度
1	1	1	230
2	2	1	230
3	3	1	230
4	4	1	230
5	5	1	230
6	6	1	230
7	7	1	230
8	8	1	230
9	9	1	230
10	10	1	230
11	11	1	230
12	12	1	230
13	13	1	230
14	14	1	230
15	15	1	230
16	16	1	230

図4-10 温度固定の面データ入力画面（粘性有り）

#### 4.11 熱流束データ入力画面（粘性有り）

本入力は、熱流束境界がある場合（熱流束境界の面の数が1以上）にのみ実施します。

図4-11に熱流束データ入力画面を示します。

- ① 熱流束境界の面の数の分だけ番号が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号、熱流束値を入力します。
  - ◇面番号は、要素内の1～6の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-1に示す通りです。この面番号は、構造の作画画面で表示して確認できます。
  - ◇熱流束値は、単位面積当りの熱流量で、要素から熱が流出する向きを正とします。
- ② 要素番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ③ 1つの番号のデータを他の番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、要素番号はコピーされません。
- ④ すべての熱流束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。

FL3DDat2

熱流束境界の入力      要素番号に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。

熱流束は、単位面積当たりの垂直方向（流出が正）の値を入力してください。

	番号	要素番号	面番号	熱流束
▶	1	40	4	100000
*				

設定      戻る      一括コピー      コピー      貼り付け      取り消し

図4-11 熱流束データ入力画面（粘性有り）

#### 4.12 物体力データ入力画面

本入力、物体力有りを指定した場合にのみ実施します。図4-12に物体力データ入力画面を示します。

①各座標軸方向の加速度を入力します。

◇物体力は、質量×加速度で計算されます。物体力は重力を意味しますので、重力の加速度を入力します。

◇物体力の方向が1つの座標軸方向と一致している場合は、その座標軸方向のみ入力します。そうでない場合は、各座標軸方向の成分を入力します。

②すべての物体力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。

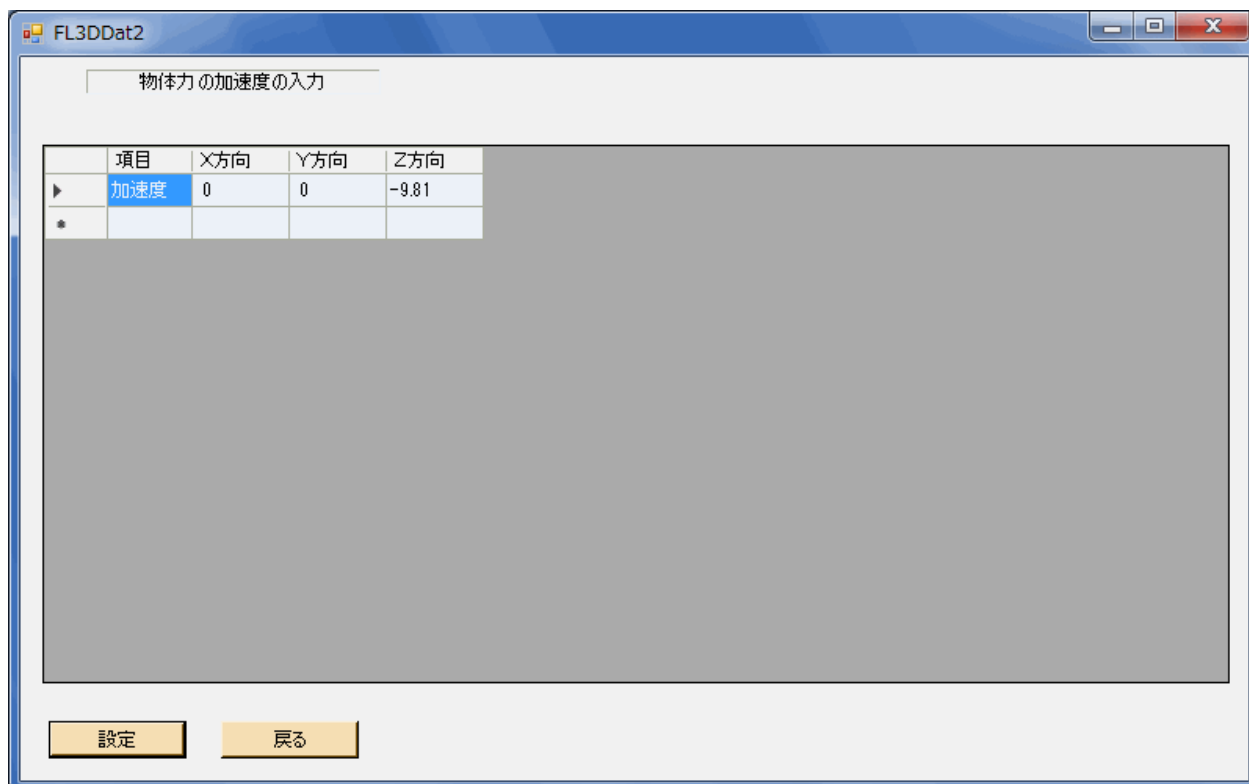


図4-12 物体力データ入力画面

#### 4.13 速度・圧力の初期値データ入力画面（粘性有り）

本入力は、速度・圧力の初期値データがある場合にのみ実施します。初期値は非定常解析の場合に必要となりますが、入力データにおいては、定常・非定常の区別はありません。図4-13に速度・圧力の初期値データ入力画面を示します。

①全節点について、速度・圧力の初期値を入力します。

◇実施済みの結果データを利用する場合は、図4-13で「ファイル読み込み」ボタンをクリックします。そうすると、図4-14のコモンダイアログ画面となりますので、Flow3DLiq結果データファイルを選定して開きます。もし非定常解析の結果データであれば、図4-15の入力画面が出ます。

図4-15の画面では、採用する時間メッシュ番号を入力して「OK」ボタンをクリックします。

◇速度・圧力固定節点においては、速度・圧力の初期値は固定の値に自動設定されます。

②1つの固定番号のデータを他の固定番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、節点番号はコピーされません。

③すべての速度・圧力の初期値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。

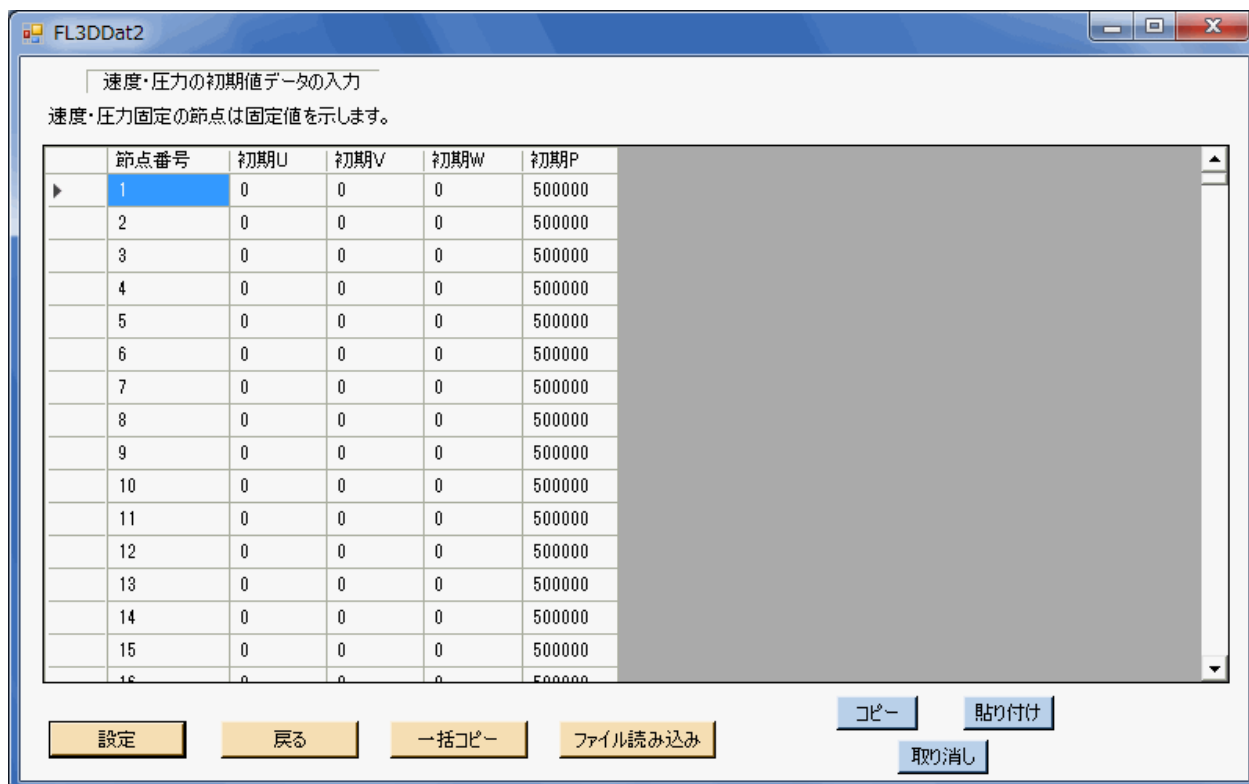


図4-13 速度・圧力の初期値データ入力画面（粘性有り）

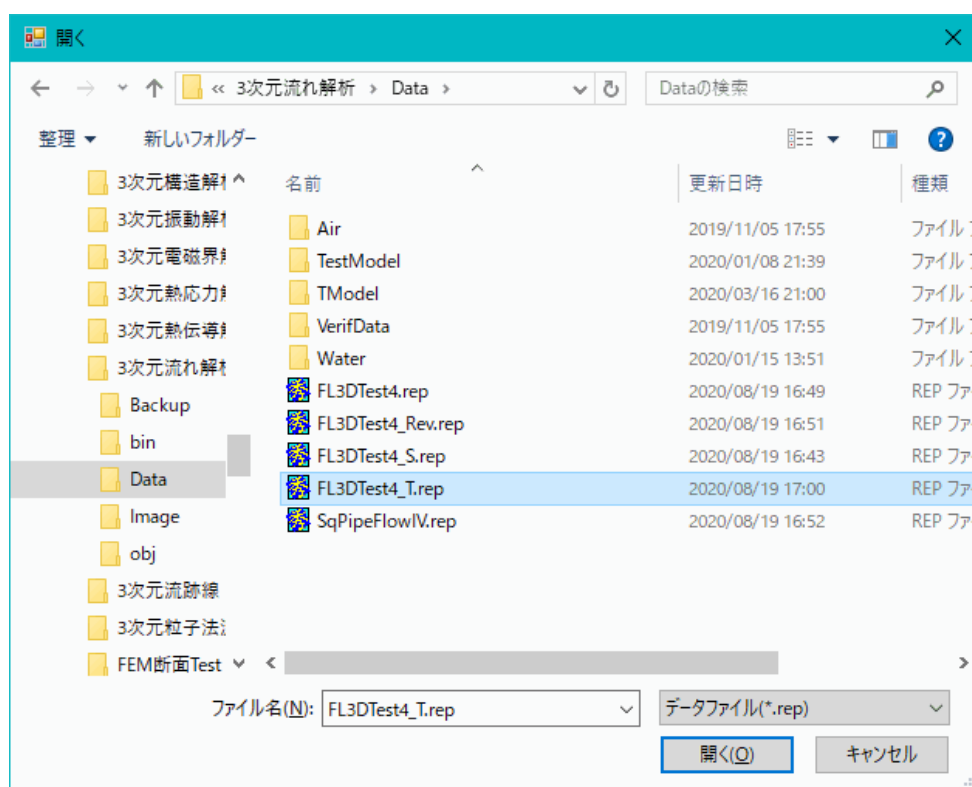


図4-14 Flow3DLiq結果ファイル選択のコモンダイログ画面（粘性有り）

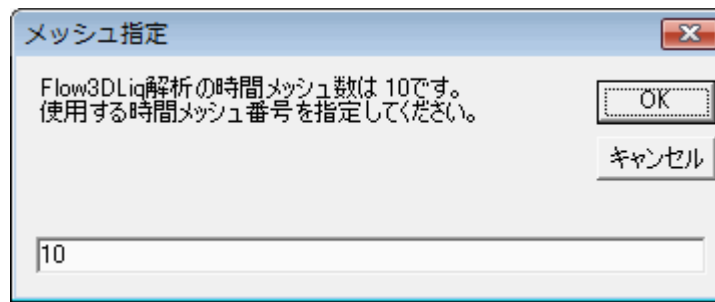


図4-15 非定常流れ解析結果の時間メッシュ指定画面（粘性有り）

#### 4.14 温度の初期値データ入力画面（粘性有り）

本入力は、温度の初期値データがある場合にのみ実施します。初期値は非定常解析の場合に必要となりますが、入力データにおいては、定常・非定常の区別はありません。図4-16に温度の初期値データ入力画面を示します。

##### ①全節点について、初期温度を入力します。

◇全節点で同一温度を設定する場合は、図4-16で「一括設定」ボタンをクリックします。そうすると、図4-17の一括設定温度の入力画面となりますので、一律の温度を入力し、「OK」ボタンをクリックします。

◇実施済みの結果データを利用する場合は、図4-16で「ファイル読み込み」ボタンをクリックします。それ以降は、速度・圧力の初期値データ設定画面と同じです。

◇固定温度節点においては、初期温度は固定温度に自動設定されます。

##### ②すべての初期値データを入力し終ったなら、「設定」ボタンをクリックして、図4-2のデータ仕様入力画面に戻ります。

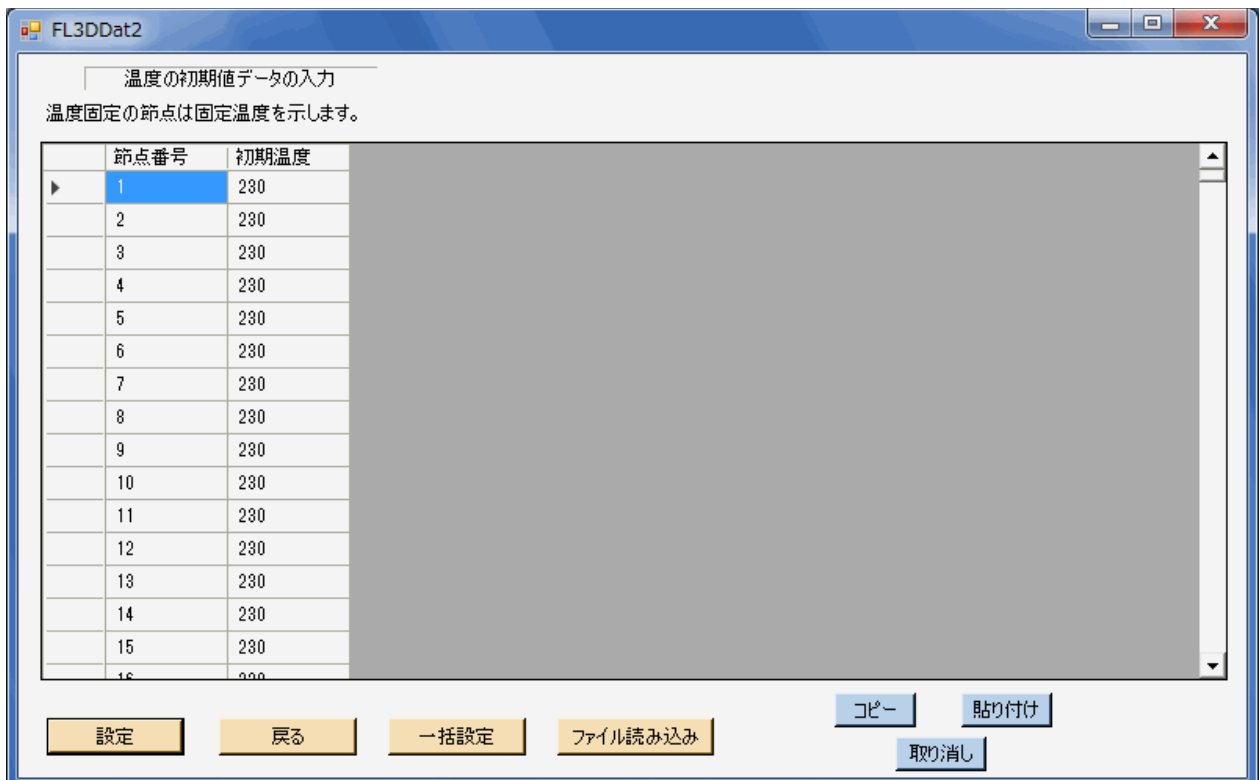


図4-16 温度の初期値データ入力画面（粘性有り）

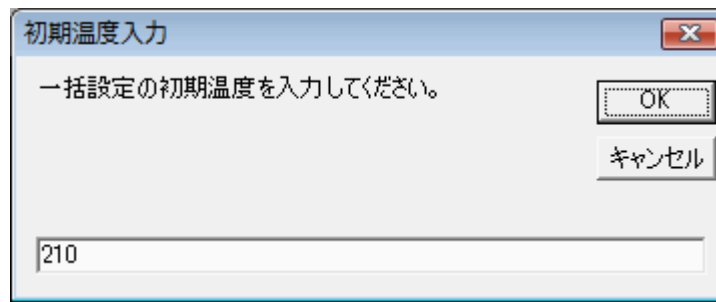


図4-17 一括設定温度の入力画面（粘性有り）

#### 4.15 速度ポテンシャル固定の節点データ入力画面（粘性なし）

本入力は、速度ポテンシャル固定の節点数が1以上の場合にのみ実施します。図4-18に速度ポテンシャル固定の節点データ入力画面を示します。ただし、本画面は説明のために作成したものです。

- ①速度ポテンシャル固定の節点数の分だけ固定番号が表示されているので、それぞれ節点番号と速度ポテンシャル $\phi$ 値を入力します。  
 ◇ $\phi$ 値は流入口か流出口で適当な一定値を設定すればよいです。  
 ◇ $\phi$ 値が小さい方から大きい方へ流れます。本例では流出口で $\phi$ を0に設定していますので、流入口は $\phi$ が負になります。
- ②節点番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ③1つの固定番号のデータを他の固定番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、節点番号はコピーされません。
- ④すべての速度ポテンシャル固定の節点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。

#### 4.16 速度ポテンシャル固定の面データ入力画面（粘性なし）

本入力は、速度ポテンシャル固定の面の数が1以上の場合にのみ実施します。図4-19に速度ポテンシャル固定の面データ入力画面を示します。

- ①速度ポテンシャル定の面数の分だけ固定番号が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号と速度ポテンシャル $\phi$ 値を入力します。  
 ◇面番号は、要素内の1～6の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-1に示す通りです。この面番号は、構造の作画画面で表示して確認できます。  
 ◇ $\phi$ 値は流入口か流出口で適当な一定値を設定すればよいです。  
 ◇ $\phi$ 値が小さい方から大きい方へ流れます。本例では流出口で $\phi$ を0に設定していますので、流入口は $\phi$ が負になります。
- ②要素番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。
- ③1つの固定番号のデータを他の固定番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、要素番号はコピーされません。
- ④すべての速度ポテンシャル固定の面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。

速度ポテンシャル固定の節点の入力 節点番号に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。  
速度ポテンシャルのφ値が小さい方から大きい方へ流れます。

固定番号	節点番号	φ 値
1	721	0
2	722	0
3	723	0
4	724	0
5	725	0
6	726	0
7	727	0
8	728	0
9	729	0
10	730	0
11	731	0
12	732	0
13	733	0
14	734	0
15	735	0
16	736	0

設定 戻る 一括コピー コピー 貼り付け 取り消し

図4-18 速度ポテンシャル固定の節点データ入力画面（粘性なし）

速度ポテンシャル固定の面の入力 要素番号に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。  
速度ポテンシャルのφ値が小さい方から大きい方へ流れます。

固定番号	要素番号	面番号	φ 値
1	81	2	0
2	82	2	0
3	83	2	0
4	84	2	0
5	85	2	0
6	86	2	0
7	87	2	0
8	88	2	0
9	89	2	0
10	90	2	0
11	91	2	0
12	92	2	0
13	93	2	0
14	94	2	0
15	95	2	0
16	96	2	0

設定 戻る 一括コピー コピー 貼り付け 取り消し

図4-19 速度・圧力固定の面データ入力画面（粘性なし）

#### 4.17 面垂直流データ入力画面（粘性なし）

本入力は、面垂直流境界がある場合（面垂直流境界の面の数が1以上）にのみ実施します。  
図4-20に面垂直流データ入力画面を示します。

①面垂直流境界の面の数の分だけ番号が表示されているので、それぞれ要素番号、面番号、流速を入力します。

◇面番号は、要素内の1～6の面番号で、要素の節点番号順との関係は図1-1に示す通りです。この面番号は、構造の作画画面で表示して確認できます。

◇流速は、面に垂直で、流出する向きを正とします。

②要素番号に「-1」を入力すると、その行を削除して前詰めします。

③1つの番号のデータを他の番号範囲へコピーしたい場合は、「一括コピー」ボタンをクリックして、まとめて実施できます。ただし、要素番号はコピーされません。

④すべての面垂直流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。

番号	要素番号	面番号	流速
1	1	1	-1
2	2	1	-1
3	3	1	-1
4	4	1	-1
5	5	1	-1
6	6	1	-1
7	7	1	-1
8	8	1	-1
9	9	1	-1
10	10	1	-1
11	11	1	-1
12	12	1	-1
13	13	1	-1
14	14	1	-1
15	15	1	-1
16	16	1	-1

図4-20 面垂直流データ入力画面（粘性なし）

#### 4.18 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、コモン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である場合に、同ファイルを選定すると上書きとなります。

図4-21に入力データファイル例を示します。

◇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。

```

プログラム名,Flow3DLiq
要素種類 (0:六面体、1:四面体) , 0
矩形管の流れモデル
粘性の有無 (0:なし、1:有り) , 1
節点数, 605
要素数, 96
速度・圧力固定の節点数, 0
速度・圧力固定の面の数, 32
温度固定節点数, 0
温度固定の面の数, 16
熱流束境界の面の数, 0
粘度式の種類, 3
物体力の有無 (0:なし、1:有り) , 1
速度・圧力の初期値データの有無, 1
温度の初期値データの有無, 1
ガウス積分点数, 3
1節点当りの変数の数, 4
要素データ (要素番号、20節点番号)
1, 1, 10, 15, 16, 17, 11, 3, 2, 66, 71
   72, 67, 91, 100, 105, 106, 107, 101, 93, 92
2, 3, 11, 17, 18, 19, 12, 5, 4, 67, 72
   73, 68, 93, 101, 107, 108, 109, 102, 95, 94
3, 5, 12, 19, 20, 21, 13, 7, 6, 68, 73
   74, 69, 95, 102, 109, 110, 111, 103, 97, 96
4, 7, 13, 21, 22, 23, 14, 9, 8, 69, 74
   75, 70, 97, 103, 111, 112, 113, 104, 99, 98
5, 15, 24, 29, 30, 31, 25, 17, 16, 71, 76
   77, 72, 105, 114, 119, 120, 121, 115, 107, 106
. . . . .
. . . . .
93, 493, 502, 507, 508, 509, 503, 495, 494, 531, 536
   537, 532, 583, 592, 597, 598, 599, 593, 585, 584
94, 495, 503, 509, 510, 511, 504, 497, 496, 532, 537
   538, 533, 585, 593, 599, 600, 601, 594, 587, 586
95, 497, 504, 511, 512, 513, 505, 499, 498, 533, 538
   539, 534, 587, 594, 601, 602, 603, 595, 589, 588
96, 499, 505, 513, 514, 515, 506, 501, 500, 534, 539
   540, 535, 589, 595, 603, 604, 605, 596, 591, 590
節点データ (節点番号、X座標、Y座標、Z座標)
1, 0, .1, -.1
2, 0, .1, -.075
3, 0, .1, -.05
4, 0, .1, -.025
5, 0, .1, 0
. . . . .
. . . . .
602, .4, -.1, .025
603, .4, -.1, .05
604, .4, -.1, .075
605, .4, -.1, .1

```

図4-21 (1/2) 入力データファイル例 (粘性有り)

速度・圧力固定の面のデータ

(面固定番号、要素番号、面番号、U拘束、U値、V拘束、V値、W拘束、W値、P拘束、P値)

1,	1,	1,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	1,	500000
2,	2,	1,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	1,	500000
3,	3,	1,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	1,	500000
4,	4,	1,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	1,	500000

.....

29,	93,	2,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	1,	0
30,	94,	2,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	1,	0
31,	95,	2,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	1,	0
32,	96,	2,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	1,	0

温度固定の面のデータ (面固定番号、要素番号、面番号、温度)

1,	1,	1,	230
2,	2,	1,	230
3,	3,	1,	230

.....

.....

14,	14,	1,	230
15,	15,	1,	230
16,	16,	1,	230

材料データ

密度=, 950

比熱=, 2340

熱伝導率=, .143

粘度 (基準) =, 717

粘度式

(3)  $\text{LOG}(\eta) = A0 + A1 * \text{LOG}(GD) + A2 * \text{Temp} + A3 * (\text{LOG}(GD))^2 + A4 * \text{LOG}(GD) * \text{Temp} + A5 * (\text{Temp}^2)$

A0、A1、A2、A3、A4、A5=

23.9, -.7324, -.1021, -.01877, .001553, .0001566

物体力の加速度 (X方向、Y方向、Z方向)

0, 0, -9.81

節点番号、初期速度U、初期速度V、初期速度W、初期圧力P

1,	0,	0,	0,	500000
2,	0,	0,	0,	500000
3,	0,	0,	0,	500000

.....

.....

603,	0,	0,	0,	0
604,	0,	0,	0,	0
605,	0,	0,	0,	0

節点番号、初期温度T

1,	230
2,	230
3,	230

.....

.....

603,	230
604,	230
605,	230

図4-21 (2/2) 入力データファイル例 (粘性有り)

#### 4.19 構造の作画

サブメニューの「構造の作画」を選択すると、全体構造の透視図が画面に作画されます。図4-22に構造作画の画面例を示します。同図は、本画面に移った状態のもので、作画のパラメーターは標準条件になっています。

- 1) 本画面の上側と左側に、作画の種々のパラメーターを表示してあり、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、新しいパラメーター条件による作画画面に変更されます。
- 2) パラメーターの「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。
- 3) 「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。

- 4) 「番号表示の項目」は、「要素番号」、「節点番号」、「面番号」を選択できます。

◇上記のいずれかの番号表示を選択した場合に、「番号表示の文字サイズ」が有効になります。

◇なお、面番号は( )付きの数字で作画されます(後掲の図4-25参照)。

注) 要素番号は、隠面処理有りの場合、隠れて見えないことがあります。

- 5) 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。

- 6) 「Shift+マウス」により構造を回転することができます。

◇構造図の任意の場所で、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4-23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。

◇構造図の「説明」ボタンをクリックすると、図4-23と同じ説明図が表示されます。

- 7) 「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。

- 8) 「要素の指定番号」は、作画する要素1個を指定したい場合に要素番号を入力します。

◇要素を指定しない場合は0を入力します。

- 9) 「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スド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。

- 10) 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。

- 11) マウスドラッグ矩形により、構造図の一部を拡大できます。

◇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4-24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？」と問うてきます。そこで、「はい」を選択すると、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。
- ◇図4-24の選択領域を拡大した後、番号表示の項目をすべて選択して「再描画」した画面を図4-25に示します。
- 12) 「条件設定部の表示」は、「速度・圧力固定部分（緑色）」、「温度固定部分（赤色）」、「熱流束部分（青色）」の内、表示したい項目を重複選択できます。
- ◇選択した項目がカラーで表示されます。図4-26に「速度・圧力固定部分（緑色）」、「温度固定部分（赤色）」を表示した構造図を示します（緑色は赤色で上書きされているため見えません）。
- 13) 任意の要素面を右クリックすると、図4-27のように当該要素面の要素番号・節点番号・面番号が表示されます。
- ◇ESCキーを押すと上記の番号表示が解除されます。
- 14) 「データ設定モード」を選択して、任意の要素面を右クリックすると図4-28のようにデータ項目選択画面が出て、境界条件のデータ入力・変更を実施できます。
- ◇図4-28の画面でいずれかのデータ項目を選択し、「設定」ボタンをクリックすると図4-29のデータ入力画面に移ります。同図は速度・圧力固定節点データの入力画面ですが、他のデータ項目でも同様です。同図でのデータ入力は、前述の「データ入力・修正」サブメニュー以降の各データ入力画面と同様です。なお、表の最下行にデータを追加できるようになっています。図4-29で「設定」ボタンをクリックすると、データ変更が実施されます。
- ◇図4-30に温度固定節点のデータ入力画面を示します。通常の表形式での入力の他に、「要素節点温度一括」ボタンにより要素内の節点温度を一括設定できます。これは、流入口の温度を安定させる場合に使用します。
- 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。
- 16) 「面切断設定」ボタンをクリックすると、図4-31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4-31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、構造図に戻ります。
- 17) 「Ctrlキー+マウス」で矩形ドラッグすると、図4-32のようにデータ項目選択画面が出

て、境界条件等のデータを一括設定できます。矩形の囲む必要範囲は、条件項目により要素面、または節点の任意の領域となります。ただし、要素面は外周の面（穴の面を含む）に限定されます。

◇条件項目に必要な面・節点を選択されていない場合は、エラーメッセージが出ます。

なお、面と節点は隠面に属するものは対象外となります。

◇図4-32の画面でいずれかのデータ項目を選択し、「設定」ボタンをクリックすると図4-33のデータ入力画面に移ります。同図は速度・圧力固定面データの入力画面ですが、他のデータ項目でも同様です。同図でのデータ入力は、一括設定のために番号等の表示が省略されている以外は、前述の「データ入力・修正」サブメニュー以降の各データ入力画面と同様です。ただし、「一括削除」ボタンが追加されています。図4-33で「設定」ボタンをクリックすると、データが一括設定され、図4-34のように構造画面に反映されます。また、「一括削除」ボタンをクリックすると、既存のデータが一括して削除されます。

18) 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。

◇「通常画面」の作画が印刷されます。

19) 本画面を終了するには、「中止」ボタンをクリックします。

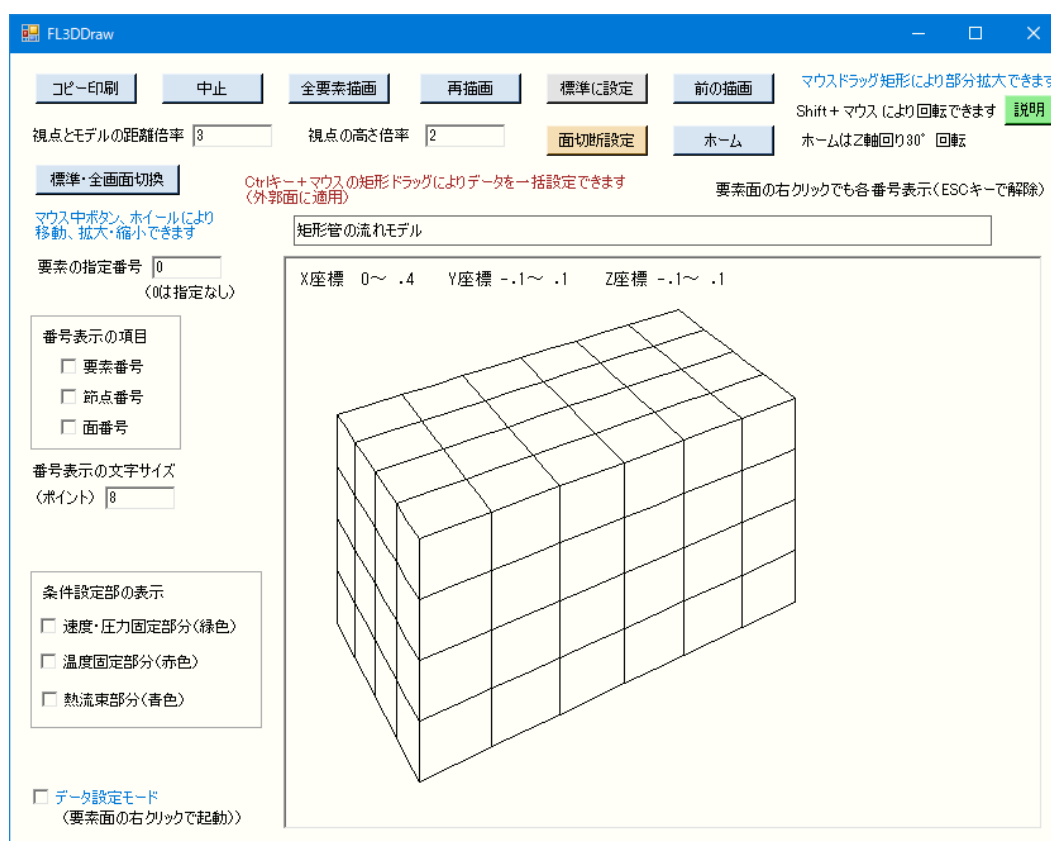


図4-22 構造作画の画面例（粘性有り）

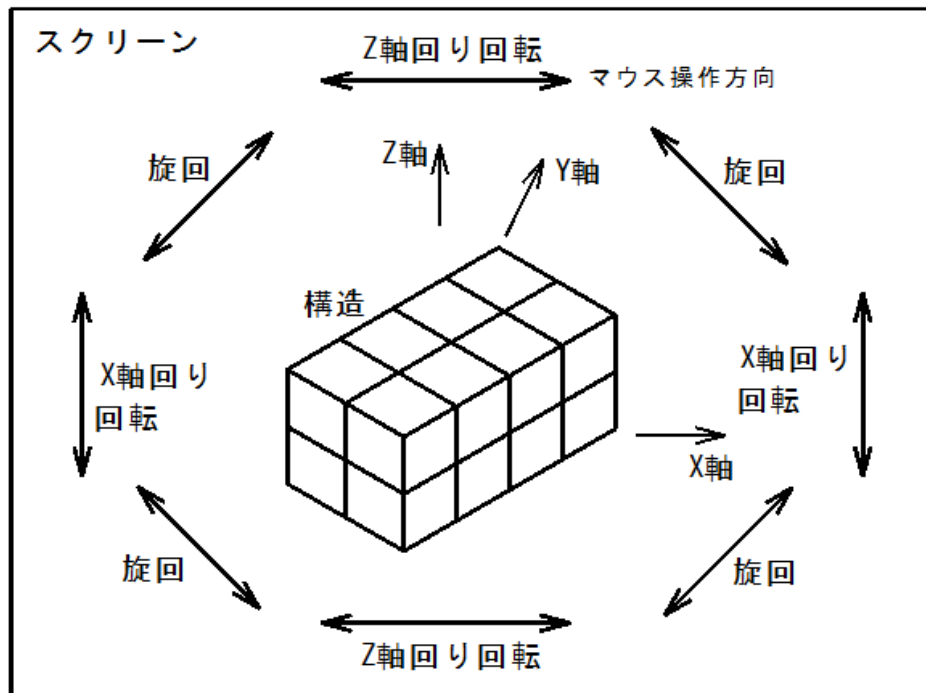


図4-23 マウスの移動方向と回転方向との関係 (Shiftキー併用)



図4-24 構造作画における拡大領域選択例 (粘性有り)

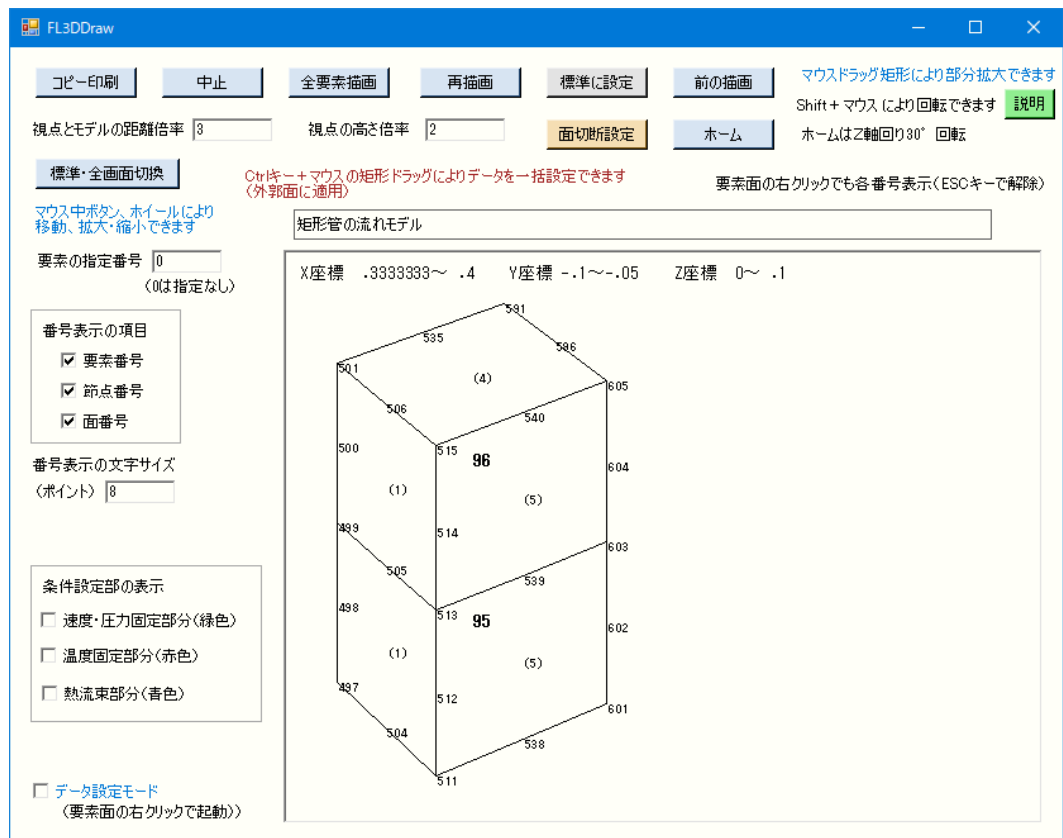


図4-25 構造作画の番号表示有りの部分拡大例（粘性有り）

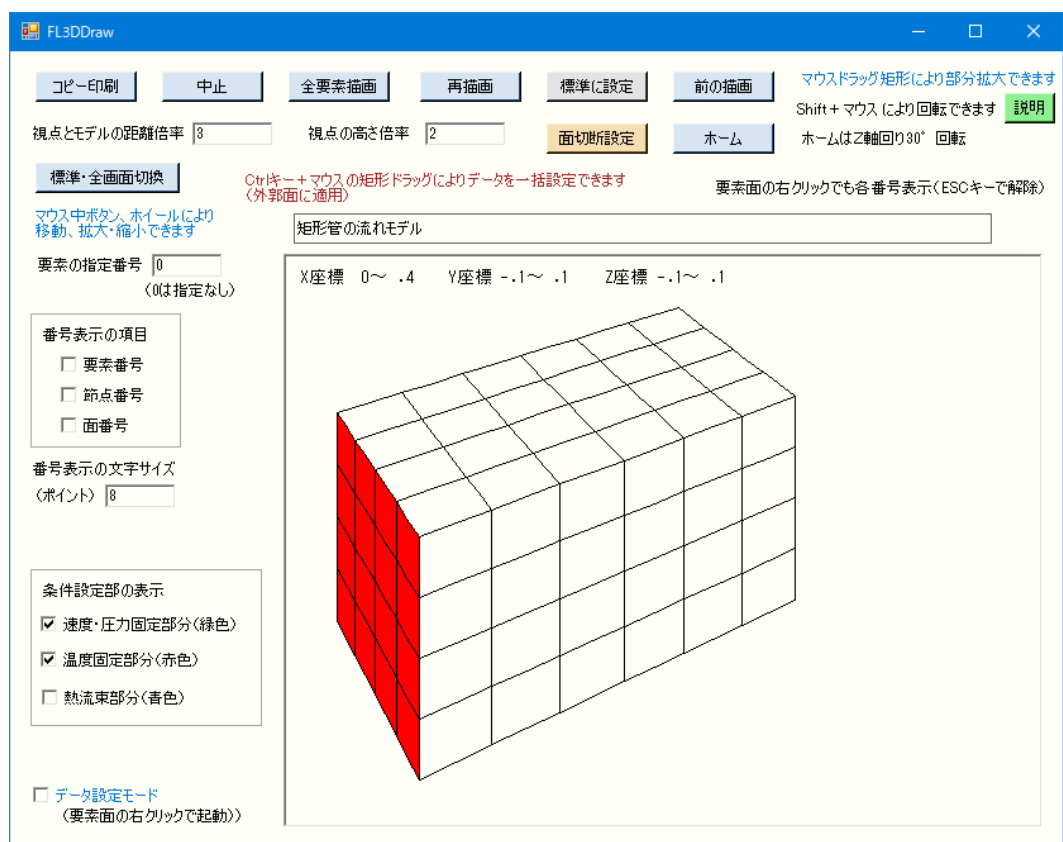


図4-26 構造作画の条件設定部表示有りの作画例（粘性有り）

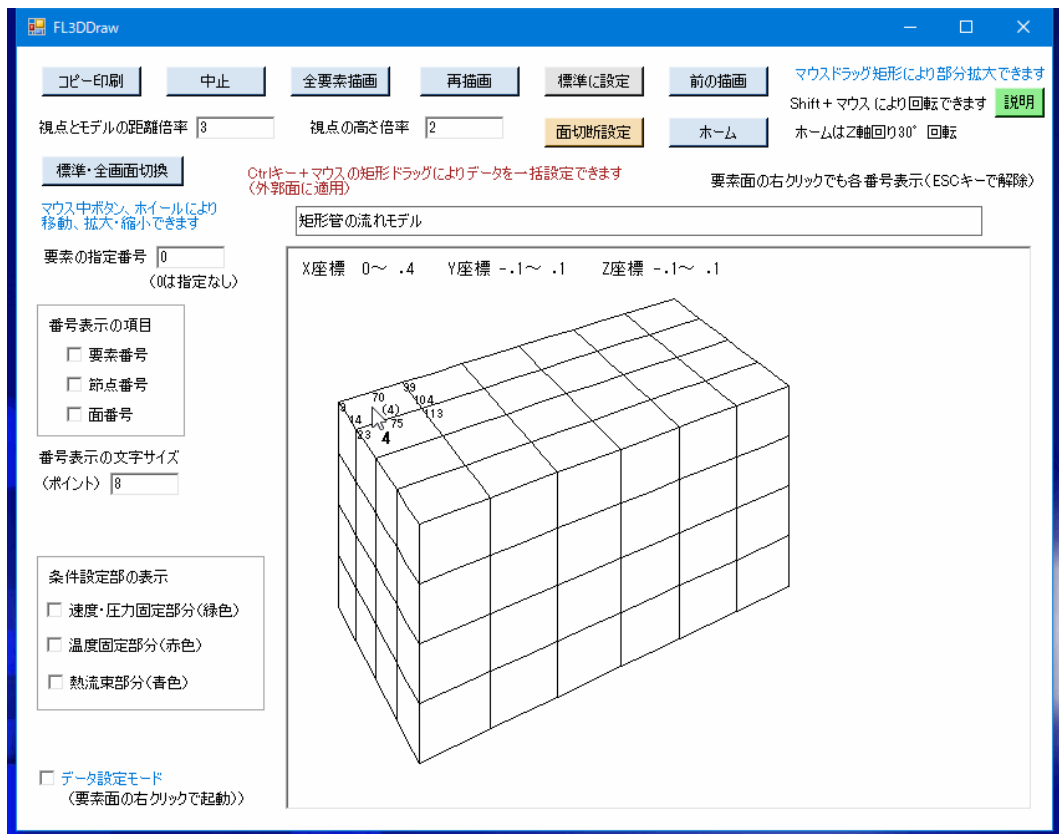


図4-27 構造作画における要素面の右クリック画面例（粘性有り）

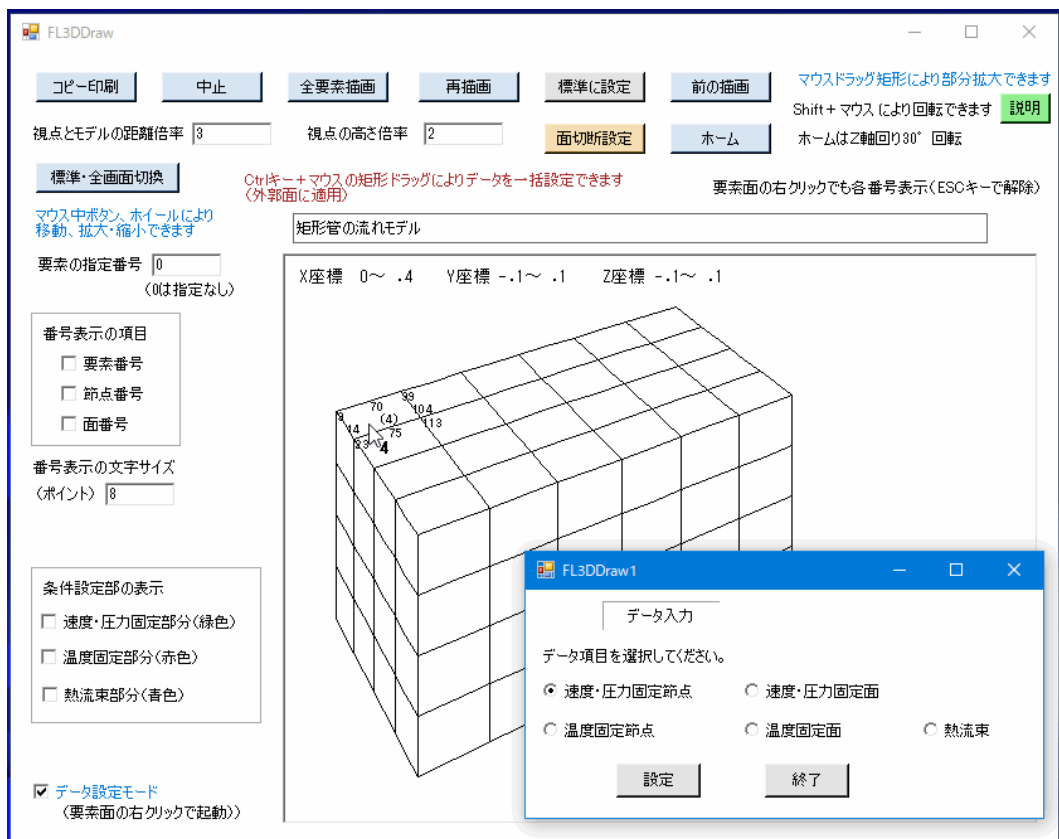


図4-28 構造作画のデータ設定モードにおけるデータ項目選択画面（粘性有り）

FL3DDraw2

速度・圧力固定の面の入力

[拘束値] 0:固定しない、1:固定する、-1:固定する(強制非壁面、速度固定のみ)

	固定番号	要素番号	面番号	U拘束	U値	V拘束	V値	W拘束
▶	4	4	1	0	0	0	0	0
	33	0	0	0	0	0	0	0
*								

要素番号に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。  
最下行は追加設定用です(入力なしの場合は無視されます)。

設定 中止

図4-29 構造作画におけるデータ入力画面例（粘性有り、速度・圧力固定の面の場合）

FL3DDraw2

温度固定の節点の入力

要素節点温度一括

	固定番号	節点番号	温度
▶	1	0	0
*			

節点番号に-1を入力すると、その行を削除・前詰めします。  
最下行は追加設定用です(入力なしの場合は無視されます)。

設定 中止 一括削除

図4-30 構造作画におけるデータ入力画面例（粘性有り、温度固定節点の場合）

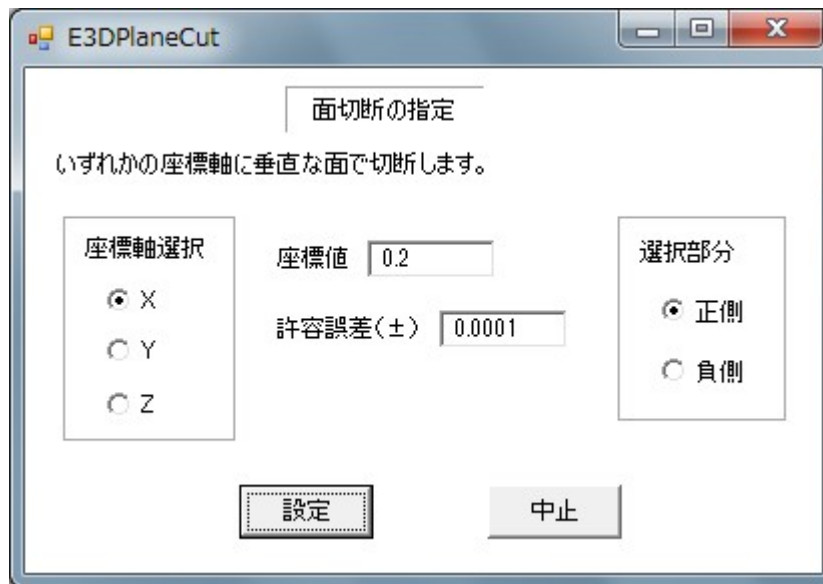


図4-31 面切断設定の画面

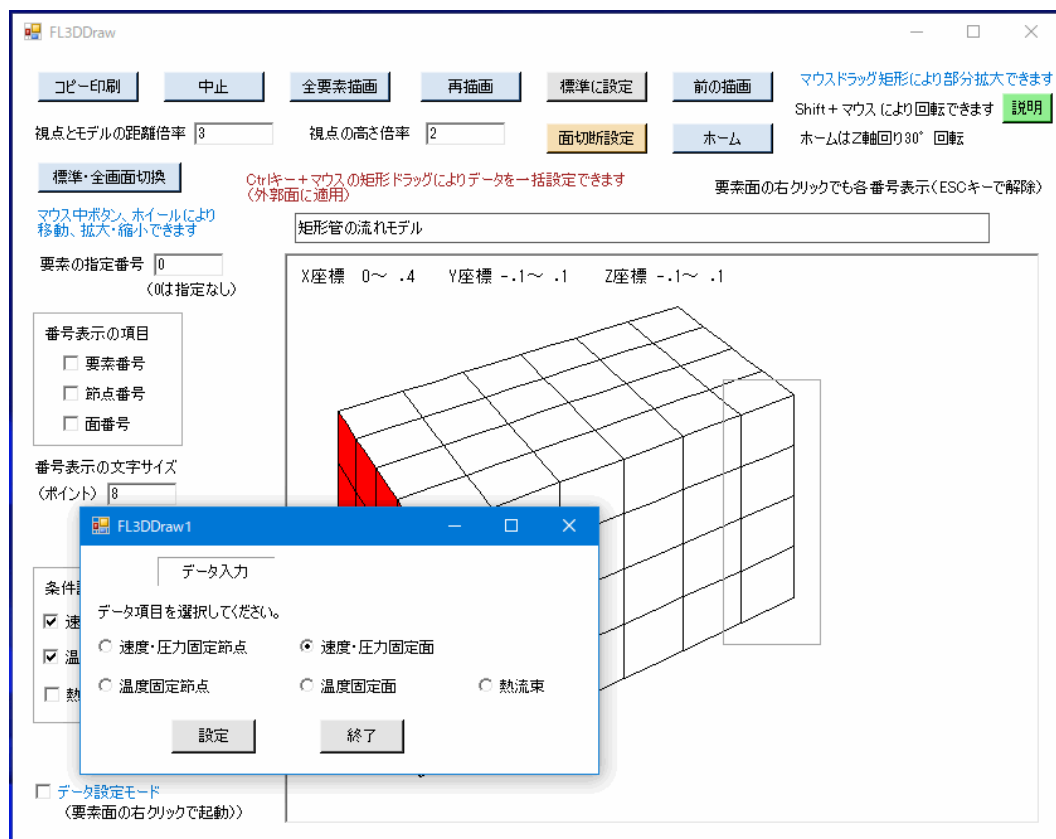


図4-32 構造作画の「Ctrlキー+マウス」ドラッグ矩形によるデータ項目選択画面（粘性有り）

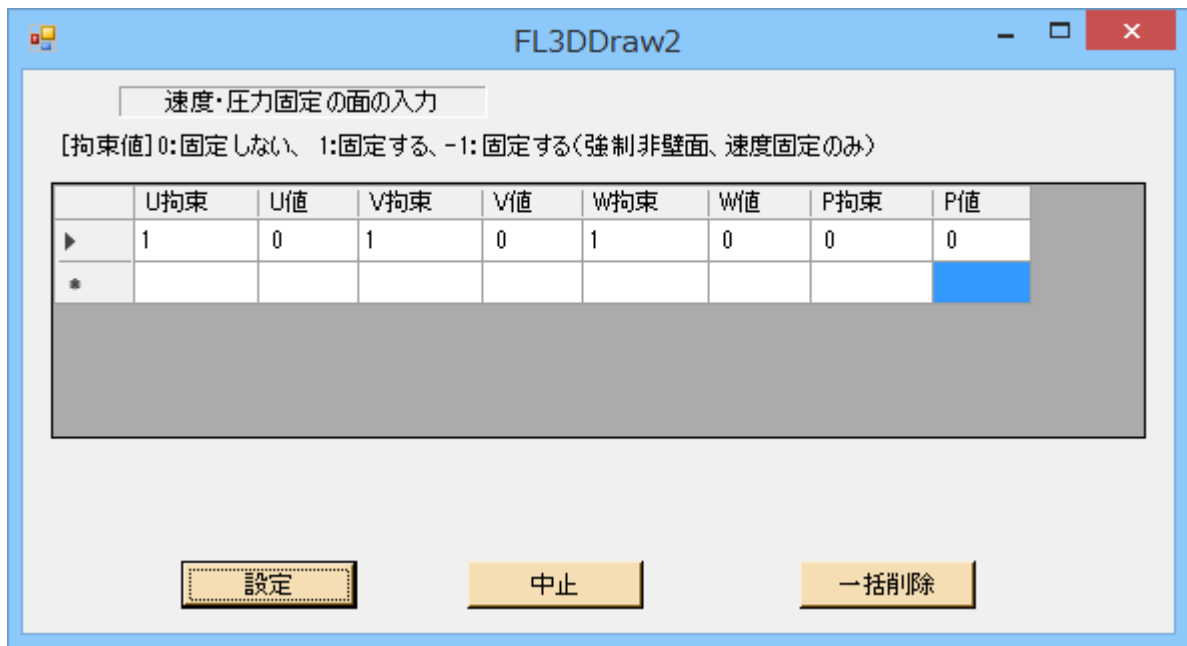


図4-33 構造作画における一括設定データ入力画面例  
(粘性有り、速度・圧力固定面の場合)

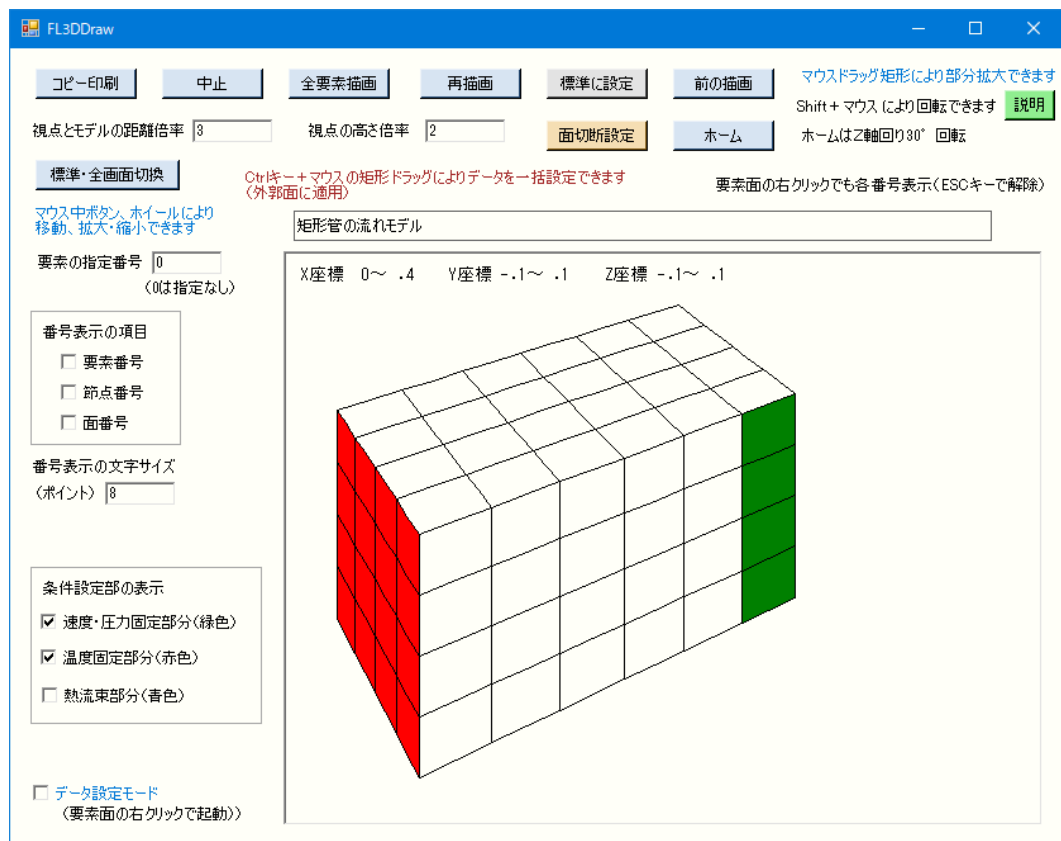


図4-34 一括設定終了後の構造作画の画面例  
(粘性有り、速度・圧力固定面の場合)

注) 右端部に速度・圧力固定面の追加表示(緑色面)

図4-35～38に粘性なしの構造作画の画面例を示します。画面での操作は上記の粘性有りと同様です。「条件設定部の表示」は、「速度ポテンシャルの固定部分(緑色)」と

「面垂直流の面（赤色）」の2項目だけです。

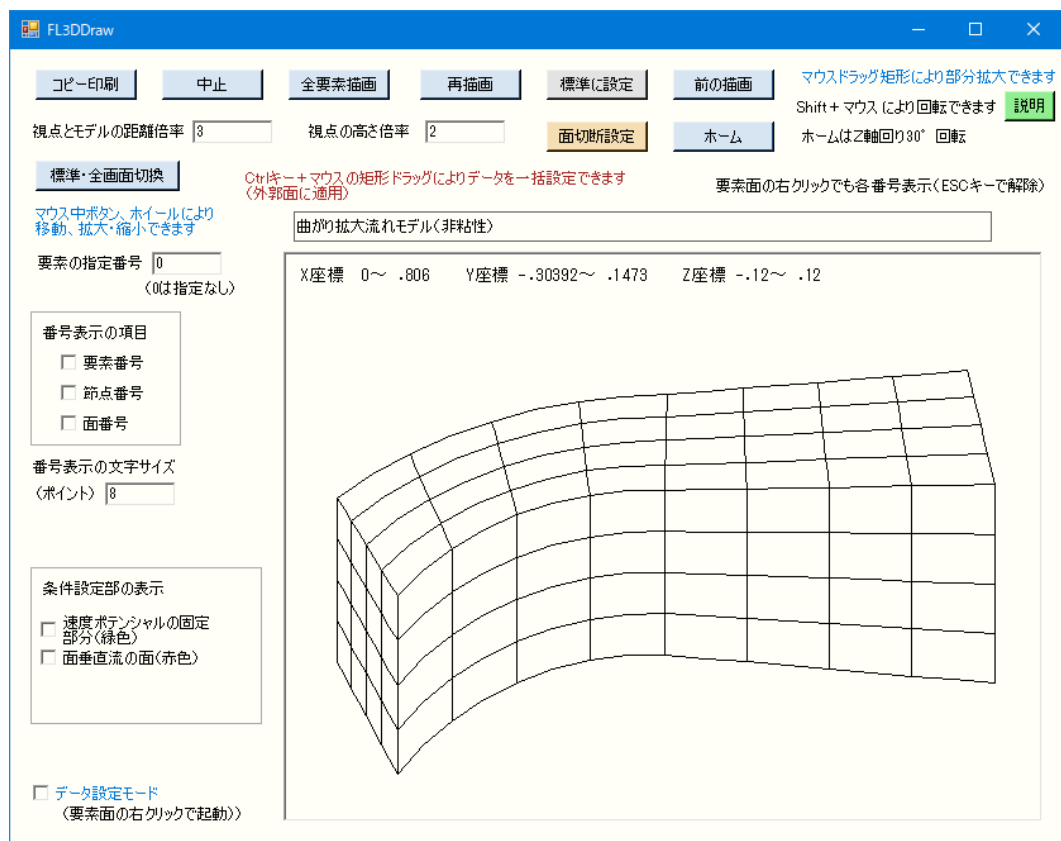


図4-35 構造作画の画面例（粘性なし）

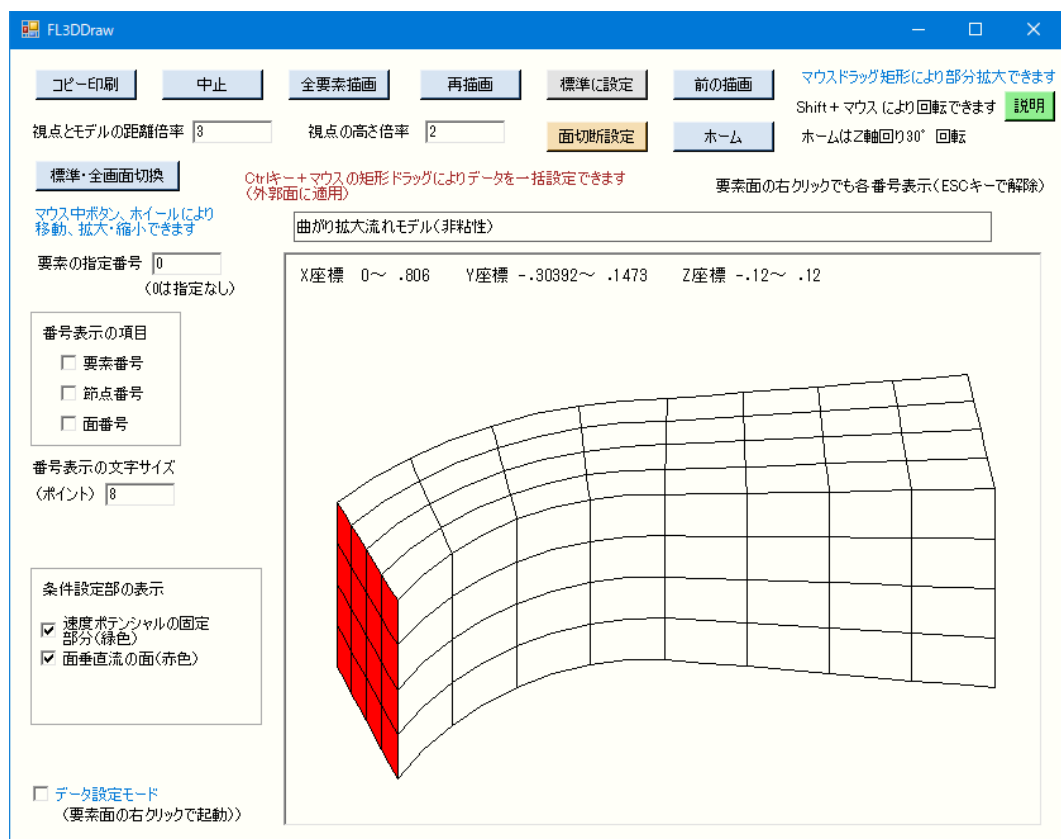
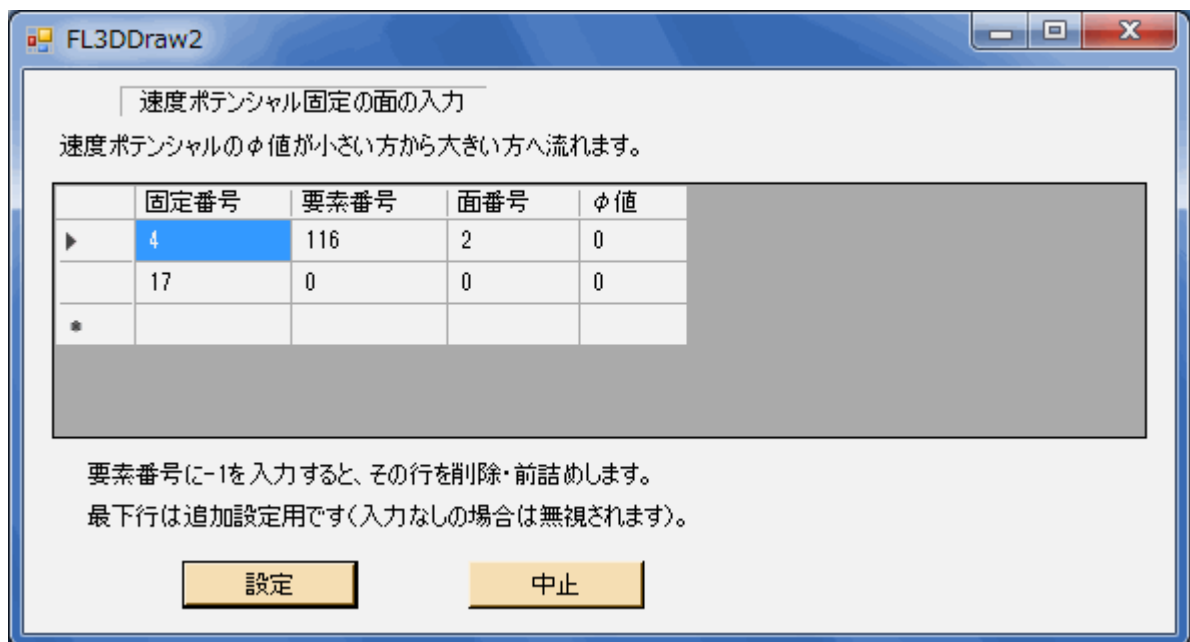
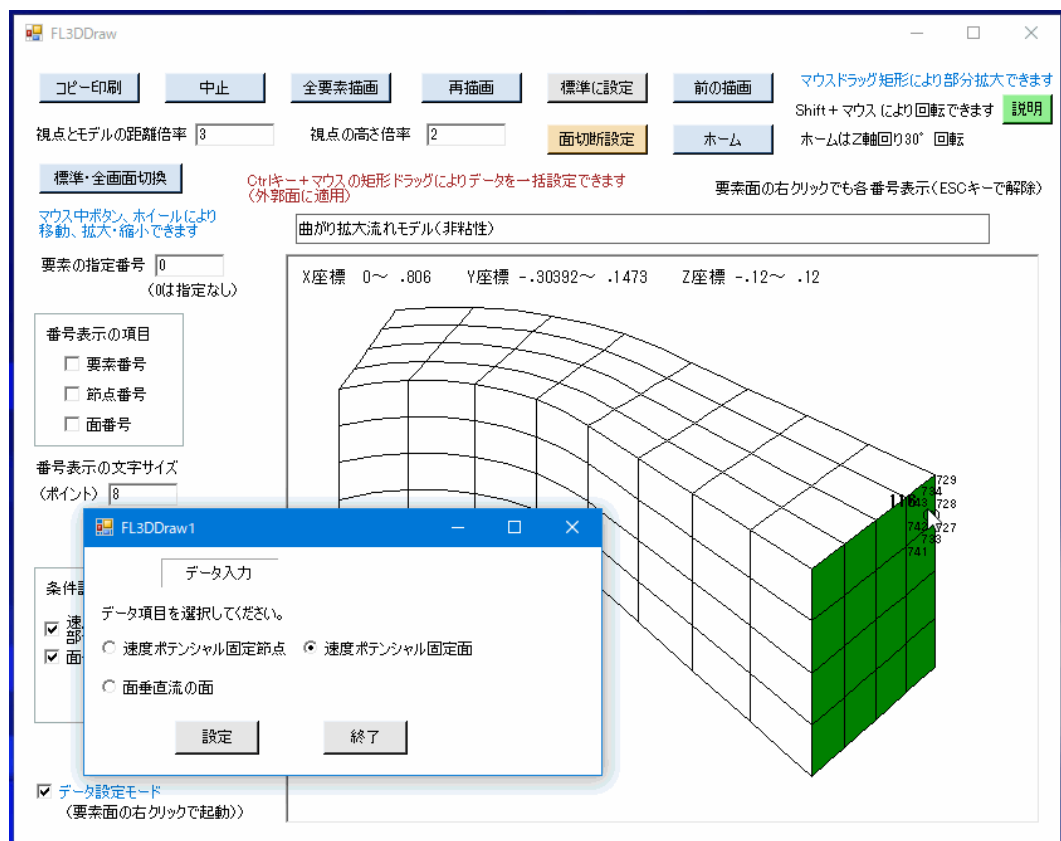


図4-36 構造作画の条件設定部表示有りの作画例（粘性なし）



#### 4.20 構造モデルの移動

サブメニューの「構造モデルの移動」を選択すると、図4-39の移動量入力画面となります。同画面で、平行移動の各座標軸方向の移動量、および回転移動の各座標軸回りの回転角を入力します。同図に示すように、移動の順序は、Z軸回りの回転、Y軸回りの回転、X軸回りの回転、最後にX, Y, Z軸方向の平行移動となります。もし、違う順序で移動させたい場合は、「構造モデルの移動」を繰り返し実施することにより可能です。その際は、各繰り返し毎の生成データをファイルへ保存する必要はなく、最終の生成データのみをファイル保存すればよいです。

本画面の「設定」ボタンをクリックすると、移動計算が実行されます。計算が終了すると、計算終了確認ボックスが出て、入力データファイルへの保存を問うてきますので、ここで「はい」を選択すると、書き出し用のデータファイル設定画面となり、移動されたモデルのデータファイルを出力できます。また、「いいえ」を選んでも、後でサブメニュー「ファイルへ保存」により、同様にファイル出力できます。

図4-39 構造モデルの移動量入力画面

#### 4.21 構造の合成（六面体要素のみ）

1) サブメニューの「構造の合成」を選択すると、図4-40の合成ファイル設定画面となります。

- ① 同画面で、ベースファイルと追加ファイルを設定します。「ベースファイル名」ボタン、または「追加ファイル名」ボタンをクリックすると、コモンダイアログでファイルを開く画面となり、それぞれの構造データファイルを選定して読み込みます。
- ② 合成方法として、「調整済み」、「結合点1個所指定（平行移動）」のいずれかを選択します。

◇「調整済み」とは、結合する境界について、ベース構造と追加構造とで座標値を含めて同じに設定済みということです（節点番号は別）。

◇「結合点1個所指定（回転なし）」とは、追加構造を平行移動して指定の節点どうしで結合するということです。節点の指定は結合方法の下部に表示される結合点で行ないます（図4-40）。

2) 図4-40の画面で「作画」ボタンをクリックすると、図4-41のように2つの構造図が作画された画面となります。本画面により、合成する構造が間違っていないか確かめることができます。

◇結合点を指定した場合は、図4-41のように指定節点が赤丸で表示されます。

3) 本画面の「設定」ボタンをクリックすると、合成計算が実行されます。計算が終了すると、計算終了確認ボックスが出て、入力データファイルへの保存を問うてきますので、ここで「はい」を選択すると、書き出し用のデータファイル設定画面となり、合成されたモデルのデータファイルを出力できます。また、「いいえ」を選んでも、後でサブメニュー「ファイルへ保存」により、同様にファイル出力できます。

◇構造が合成されたデータでは、ベース構造の要素番号や節点番号は保持されますが、追加構造の要素番号や節点番号は自動変更されます。



図4-40 合成ファイル設定画面（作画前）

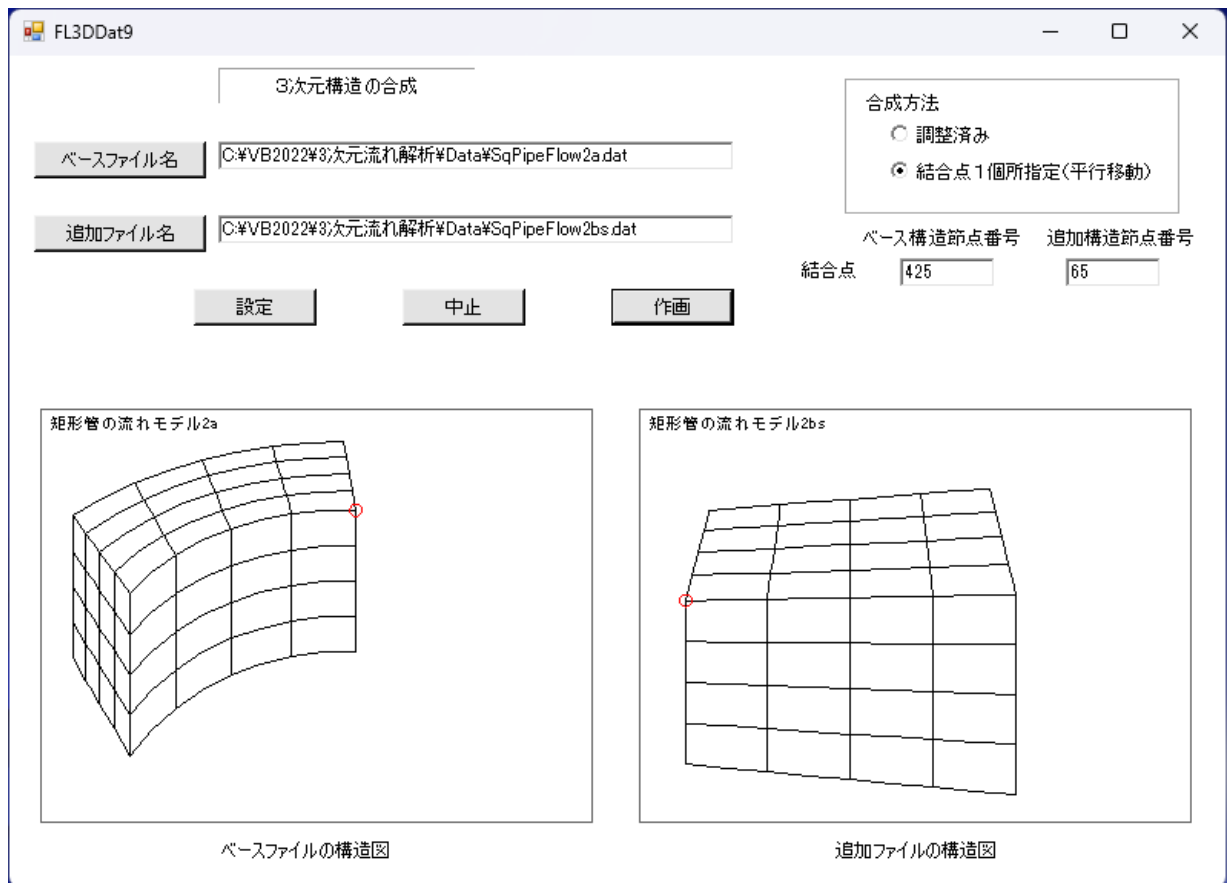


図4-41 合成ファイル設定画面（作画有り）

図4-42に構造が合成されたモデルの構造図の画面例を示します。

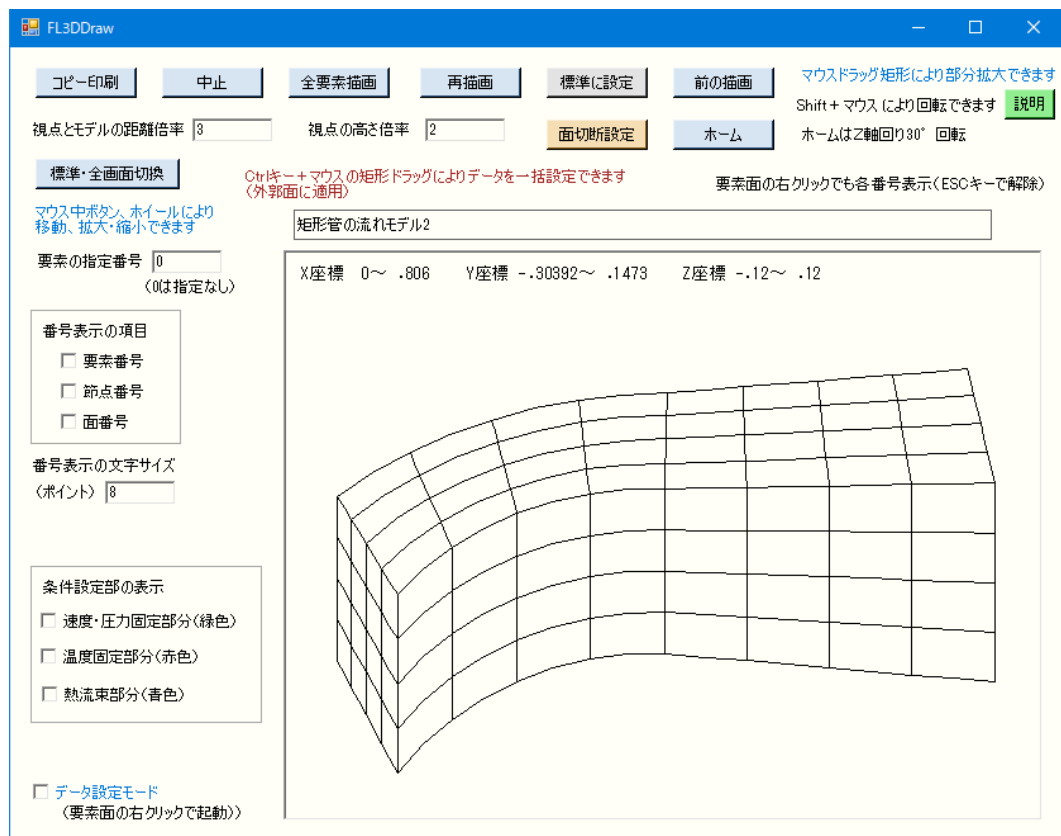


図4-42 合成されたモデルの構造図の画面例

#### 4.22 各種境界面の一括設定

サブメニューの「各種境界面の一括設定」を選択すると、図4-43または図4-44の一括設定の変数値入力画面となります。

図4-43は粘性有りの場合で以下に補足説明します。

- ①まず、境界種別として速度・圧力固定、温度固定、熱流束のいずれかを選択します。
- ②次に、その境界の変数値を入力します。

◇速度・圧力固定の変数値については、4.8節の固定条件と同じです。

- ③本画面の「設定」ボタンをクリックすると、次の境界面一括設定画面に移ります。

図4-43 一括設定の変数値の入力画面（粘性有り）

また、図4-44は粘性なしの場合で以下に補足説明します。

- ①まず、境界種別として速度ポテンシャル固定、面垂直流のいずれかを選択します。
- ②次に、その境界の変数値を入力します。
- ③本画面の「設定」ボタンをクリックすると、次の境界面一括設定画面に移ります。

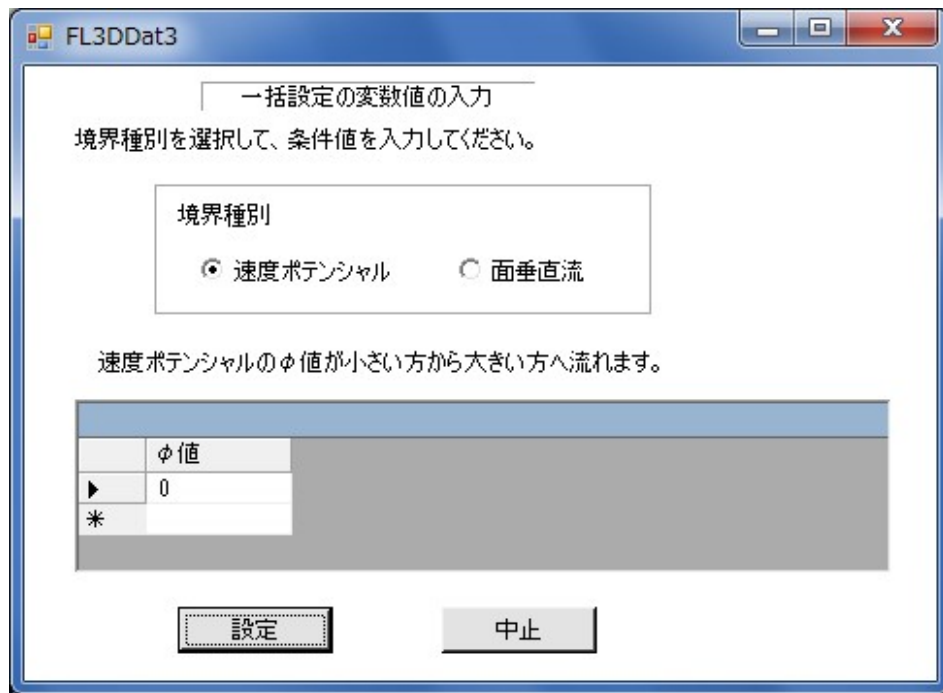


図4-44 一括設定の変数値の入力画面（粘性なし）

図4-45の境界面一括設定画面について説明します。ここで、境界面は要素の外部面が対象で、面の全節点が指定条件に当てはまるすべての外部面に対して上記指定種類の境界面を一括設定できるものです。

- ①X座標範囲、Y座標範囲、Z座標範囲、円筒面範囲について、条件設定したい任意のものをチェック選択します。
- ②X座標範囲、Y座標範囲、Z座標範囲をチェック選択した場合は、各座標の下限と上限を入力します。  
◇座標の下限と上限は、コンピューター誤差等を見込んだ余裕を見て設定します。
- ③円筒面範囲をチェック選択した場合は、同画面で円筒面定義式を1つ選択します。  
そして、円筒面定義式における中心座標A、B、および半径Rの下限、上限を入力します。  
◇Rの下限と上限は、コンピューター誤差等を見込んだ余裕を見て設定します。
- ④本画面の「設定」ボタンをクリックすると、一括設定の計算が実行されます。計算が終了すると、計算終了確認ボックスが出て、入力データファイルへの保存を問うてきますので、ここで「はい」を選択すると、書き出し用のデータファイル設定画面となり、データファイルを出力できます。また、「いいえ」を選んでも、後でサブメニュー「ファイルへ保存」により、同様にファイル出力できます。

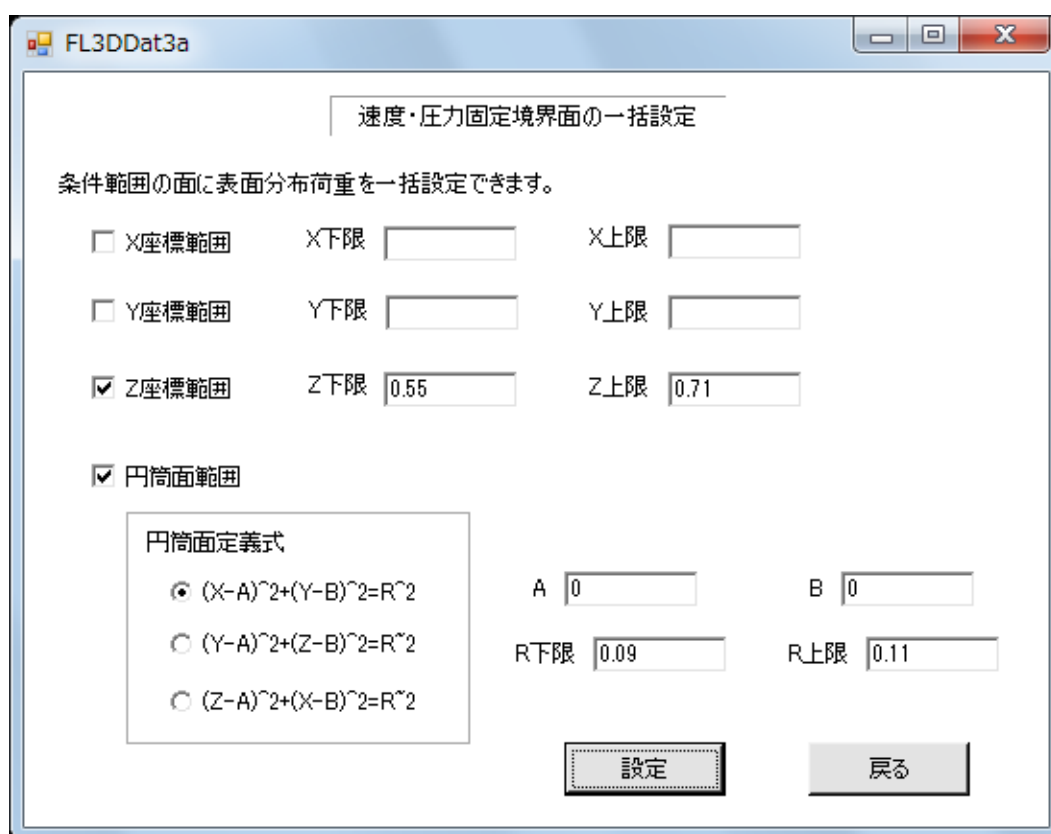


図4-45 境界面の一括設定画面

#### 4.23 入口速度・圧力の読み込み（粘性有り）

本機能は、解析結果のファイルから入口の速度・圧力を読み込み、速度・圧力固定の節点データに変換するものです。入口の速度分布を設定することが目的であり、変換後に固定圧力は任意に変更できます。

サブメニューの「入口速度・圧力の読み込み」を選択すると、図4-46のファイル設定画面となります。

- ①本画面に説明文が表示されています。特に入力データファイルについて説明します。  
 ◇入力データファイルは、現在操作中のものと同じでも別のものでも構いません。  
 ただし、入口の節点構成（各節点の番号と面内座標位置）が全く同一であることが必要です。  
 ◇入力データファイル速度・圧力固定境界は、入口のみが正の圧力固定である必要があります。入口以外の圧力固定境界は、圧力が0でなければなりません。
- ②「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、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できます。
- ③本画面の「設定」ボタンをクリックすると、入口速度・圧力の読み込み処理が実行されます。計算が終了すると、計算終了確認ボックスが出て、入力データファイルへの

保存を問うてきますので、ここで「はい」を選択すると、書き出し用のデータファイル設定画面となり、データファイルを出力できます。また、「いいえ」を選んでも、後でサブメニュー「ファイルへ保存」により、同様にファイル出力できます。

◇処理された入口速度・圧力は、速度・圧力固定の節点データに追加され、使用された入口の速度・圧力固定面データは削除されます。

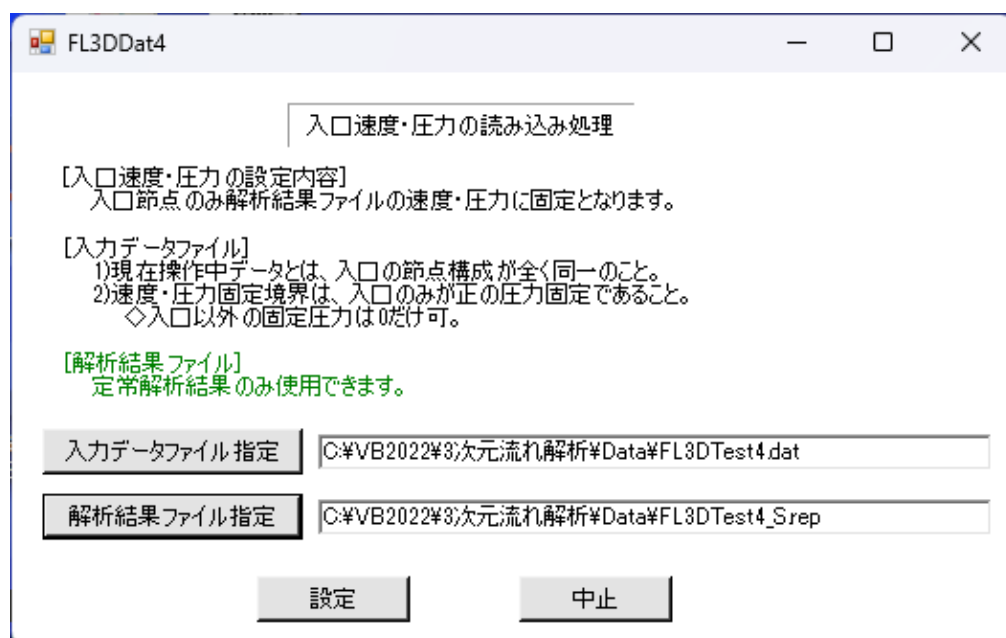


図4-46 入口速度・圧力の読み込みのファイル設定画面（粘性有り）

#### 4.24 データチェック

サブメニューの「データチェック」を選択すると、入力済みデータについてエラーのチェックを行なうことができます。エラーが見つかった場合は、画面にエラー内容が表示されます。ただし、検出可能なエラーは簡単な入力ミスに相当するものだけで、すべてのエラーをチェックできるわけではありません。

なお、流れ解析の計算開始時にデータチェックが自動実行されます。

#### 4.25 X3Dファイルの出力

サブメニューの「X3Dファイルの出力」を選択すると、図4-47のファイル設定画面となります。同画面で、「入力ファイル指定」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「.x3d」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できます。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、X3Dファイルが出力されます。

- 1) サーフェスモデルのデータが出力されます。その際、有限要素の面は三角形に再分割されます。
- 2) 出力したX3DファイルはX3Dプレーヤーで閲覧できます。

◇X3DファイルをX3Dプレーヤーで閲覧する場合、ディレクトリーパスとファイル名に日本語を入れてはいけないものもあります。

◇無料のX3Dプレーヤー例としてOctaga Playerがあり、下記URLで入手できます。

<https://www.octagavs.com/>

3) X3Dファイルは、ファイル変換ソフトにより一般の3次元CAD用に変換できます。

4) X3Dファイルは、無料の3次元CGソフトBlenderで使用できます。その場合は次のようにしてください。

①Blenderを起動し、初期オブジェクト(Cube)を削除してください。

②「File」→「Import」でX3Dを選択し、X3Dファイルを読み込んでください。

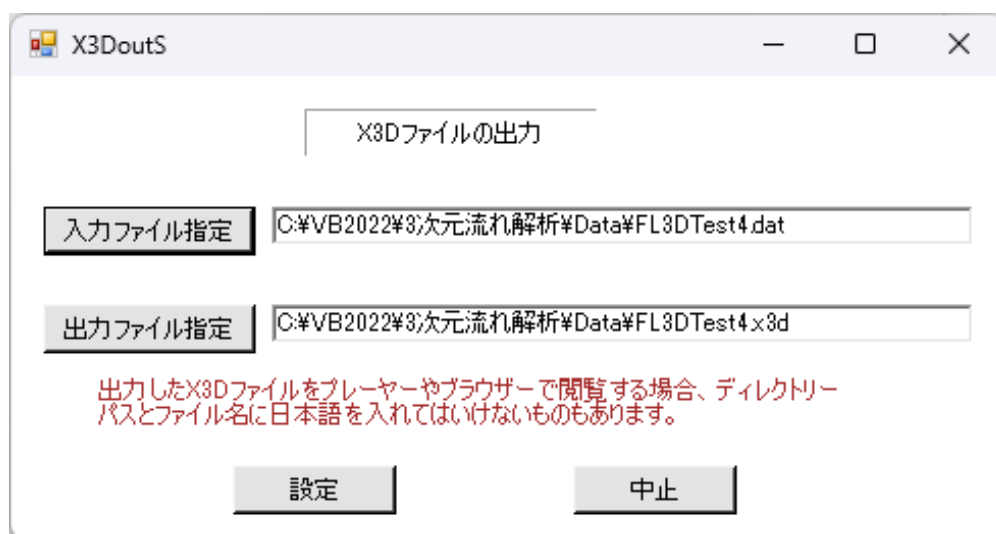


図4-47 X3Dファイル出力のファイル設定画面

#### 4.26 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。

#### 4.27 要素の削除

サブメニューの「要素の削除」を選択すると、図4-48の削除要素数入力画面となります。

①本画面で、削除要素数を入力します。

②本画面の「設定」ボタンをクリックすると、次の削除要素番号入力画面に移ります。

③削除要素番号の入力画面が終了すると、本画面に戻るなので、そこで「すべて確定」ボタンをクリックすると、要素の削除が実行されます。

◇境界条件の節点・面は、要素削除による番号変更にも自動追従します。

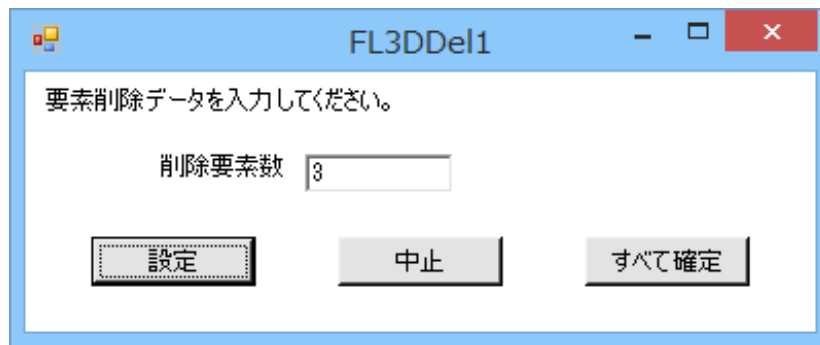


図4-48 削除要素数の入力画面

図4-49の削除要素番号入力画面について補足説明します。

- ①削除要素数の分だけ、削除要素番号を入力します。
- ②すべての削除要素番号を入力し終わったら、「設定」ボタンをクリックして削除要素数入力画面に戻ります。

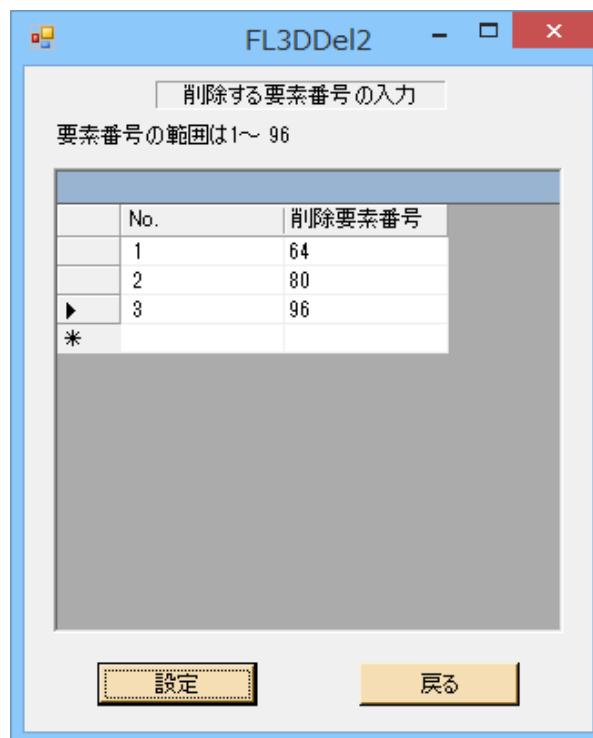


図4-49 削除要素番号の入力画面

## 第5章 「計算」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「計算」のサブメニュー画面を図5-1に示します。同図に示すように、5個のサブメニューがあります。「定常解析」、「非定常解析」、「入口速度対応の逆解析」のいずれかをクリックすると、次の「計算」ファイル設定画面に移ります。ただし、「非定常解析」と「入口速度対応の逆解析」は粘性有りの場合のみです。また、「体積計算」は補助機能であり、5.6節で説明します。さらに、「AI初期化」は、定常解析で安定化  $\tau_p$  の追加係数に関してAIデータを初期化するもので、5.7節で説明します。

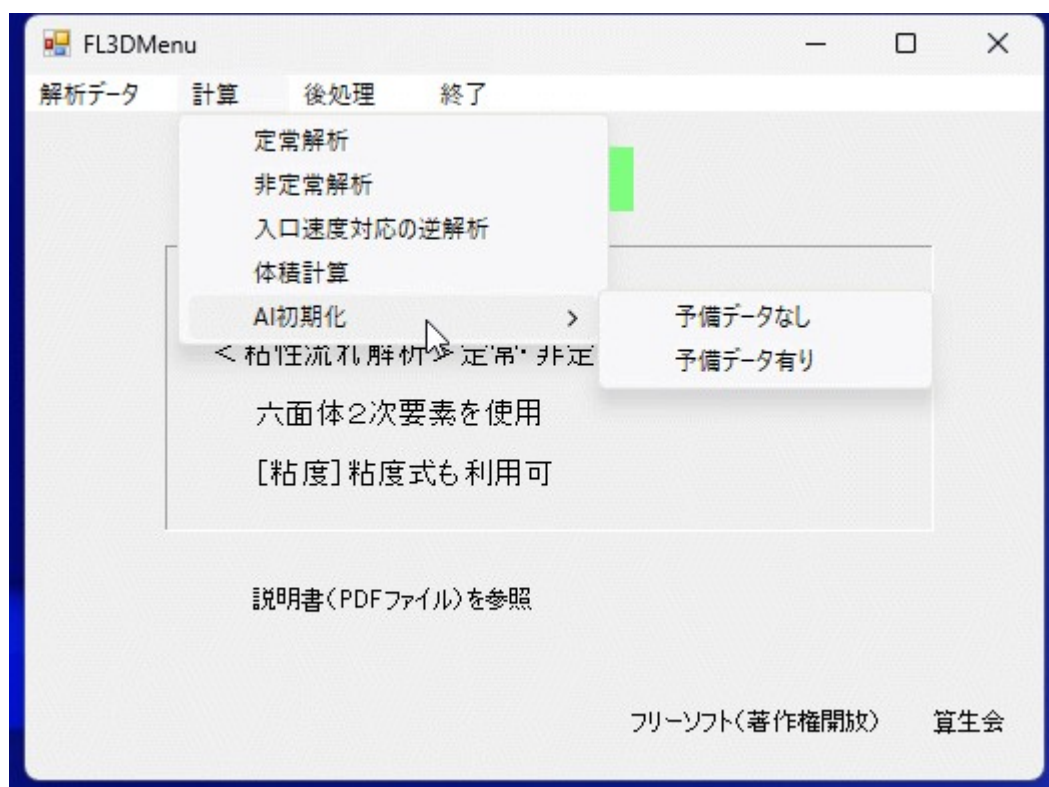


図5-1 「計算」サブメニュー画面

### 5.2 「計算」ファイル設定

図5-2に「計算」ファイル設定画面を示します。同画面で、「入力ファイル指定」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「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できます。

本画面で「設定」ボタンをクリックすると、データチェックの自動実行の後、次の計算条件入力画面に移ります。

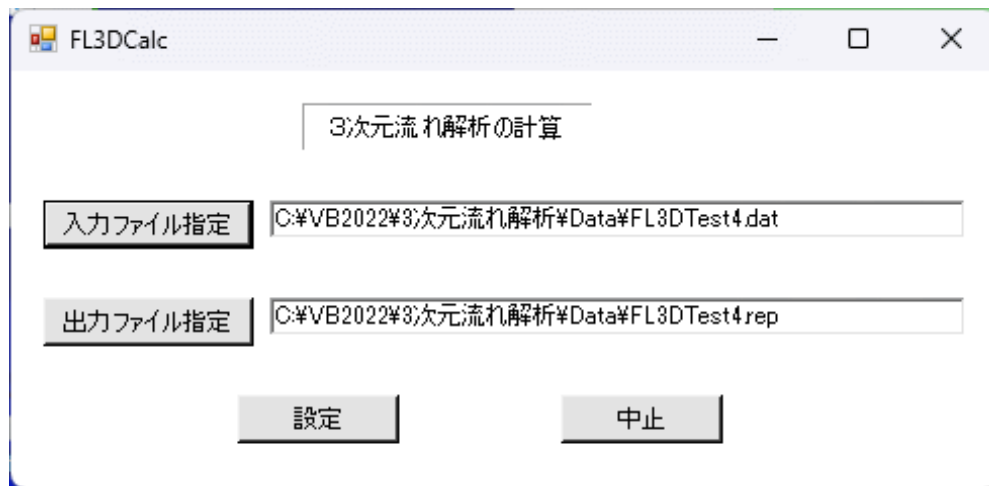


図5-2 「計算」 ファイル設定画面

### 5.3 計算条件入力画面

図5-3～5に粘性有りの計算条件入力画面を示します。図5-3は定常解析の場合、図5-4は非定常解析の場合、図5-5は入口速度対応の逆解析の場合です。先ず、図5-3の定常解析の画面について説明します。

①最初に流体種別で、「ニュートン流」か「非ニュートン流」かを選択します。

◇「ニュートン流」は、剪断速度による粘度変化がありません。他方、「非ニュートン流」は、流体の各部で粘度が変化し、剪断速度による粘度式計算が実施されます。

②温度変化の種別で、「等温」か「非等温」かを選択します。

③「等温」の場合は一定温度を、「非等温」の場合は初期温度を入力します。

④次に、壁面の自動設定について、「採用」か「不採用」を選択します。

◇壁面の自動設定の可能な条件は、第3章の7)を参照してください。

⑤壁面の自動設定を「採用」の場合、「非等温」ならば壁面温度を入力します。

◇壁面の自動設定が「不採用」の場合や「等温」の場合は、壁面温度の部分は表示されません。

⑥粘度の種別は、定常解析の「反復法」の場合に表示され、「高粘度（樹脂等）」か「低粘度（水等）」を選択します。

◇これは、繰返し計算で収束させる際に適切な計算式を使用するためです。

⑦対流項は、「なし」か「有り」を選択します。

◇一般の流れでは対流項「有り」です。流速が遅いクリープ流れの場合は対流項「なし」を選択でき、計算時間を大幅に短縮できます。

⑧最大繰返し計算回数は、収束のための繰返し計算の最大回数を設定するものです。デフォルトは15になっています。

◇5未満を入力しても、5回に自動修正して計算します。

⑨収束基準誤差率は、上記の繰返し計算を終了させるための誤差基準です。この誤差率とは、各回の繰返し計算において、全節点の各方向速度の最大変化量をそれらの最大速度で割ったものです。収束基準誤差率はデフォルトで0.005になっています。

◇収束しない場合は、収束基準誤差率を0.01などに増やしてください。

- ⑩安定化  $\tau_P$  の追加係数は、PSPG法のパラメーターに掛ける追加係数です。ただし、バンドマトリックス法では、対流項「有り」の場合に繰返し計算の2回目以降で、AIにより最適化されます。

◇バンドマトリックス法では、デフォルトは0.01です。解析計算時にAIによる最適化では、0.01～0.1の範囲になります。

◇「低粘度（水等）」の反復法の場合、デフォルトは六面体要素で8です（四面体要素では1）。それ以外のデフォルトは0.01です。通常はそのままで結構ですが、ケースに応じた収束性向上の必要があれば、適宜変更してください。

- ⑪ソルバー選択で、「バンドマトリックス法」か「反復法」を選択します。

◇解析種別および構造モデルの規模に応じてソルバーを選択します。その目安を表5-1に示します。なお、両ソルバー共、流体種別でニュートン流と非ニュートン流の両方で、等温と非等温の温度種別に対応しています。ただし、反復法の場合、流れ解析が反復法で、温度解析はスカイライン法になっています。

◇「低粘度（水等）」の反復法では、レイノルズ数が数千までは収束しますが、1万以上では収束しない恐れがありますので、注意してください。

表5-1 ソルバー種類選択の目安（粘性有り）

ソルバーの種類	解析種別		構造の規模	
	定常	非定常	大	中以下
反復法（BiCGStab(2)法）	○	○	◎	○
バンドマトリックス法 （分割計算有り）	○	○	□	○

注）◎：推奨      ○：可

□：メモリー(RAM)不足の対策

- ⑫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。

#### <備考>

1) 反復法で採用しているBiCGStab(2)法ソルバーは大規模マトリックス対応の高速ソルバーです。しかし、繰返し計算で収束させる解法のため、FEM行列がよくない場合に収束しないことがあります。

2) 「バンドマトリックス法」は節点数の約3乗で計算時間が増えるため、大規模マトリックスでは計算時間が問題になります。しかし、1変数ずつ掃き出し計算を行なうので、確実に解を求めることができます。

また、FEM行列が必要に応じて分割されます。それにより、大規模構造のメモリー不足を解決できます。

3) 使用メモリー容量は、反復法がバンドマトリックス法よりずっと少ないです。

定常解析の計算条件を入力してください。 初期温度、壁面温度は、-1を入れると入力を見無視します。

流体種別  
☐ ニュートン流  
☒ 非ニュートン流

温度変化の種別  
☐ 等温  
☒ 非等温

初期温度

壁面の自動設定  
☒ 採用  
☐ 不採用

壁面温度

粘度の種別  
☒ 高粘度(樹脂等)  
☐ 低粘度(水等)

対流項  
☐ なし  
☒ 有り

最大繰返し計算回数

収束基準誤差率

安定化  $\epsilon_p$  の追加係数

ソルバー選択  
☐ バンドマトリックス法  
☒ 反復法

設定 戻る

対流項なしで試計算し、条件の適否を確認することをお奨めします

図5-3 計算条件入力画面（粘性有り、定常解析）

次に図5-4の非定常解析の画面で、定常解析と異なる部分について説明します。

- ①「非等温」で壁面の自動設定を「採用」し、かつ壁面温度に「-1」を入れた場合は、入力データファイルで壁面を温度固定節点にて設定しなければなりません。  
 ◇入力データファイルで壁面を温度固定節点に設定し忘れると、間違った計算結果になるので、注意してください。
- ②計算打ち切り時間と出力時間メッシュ数を入力します。  
 ◇計算打ち切り時間は、流れの経過時間上限を意味し、本時間まで計算を実行します。もし計算打ち切り時間がはっきりわからなければ、少し短めで任意の時間を設定し、計算結果を見て再計算すればよいです。  
 ◇出力時間メッシュ数は、計算打ち切り時間を何分割して結果出力を行なうかの値です。本メッシュ間隔毎に、その時点の計算結果をファイル出力します。
- ③次に、計算時間間隔の初期値と計算1回当たりの温度変化許容値を入力します。  
 ◇計算時間間隔の初期値とは、最初に計算試行する経過時間長さのことで、小さな値を入れておきます。この値が大きいと計算が発散する恐れがありますので注意してください。  
 ◇計算1回当たりの速度変化許容値は、各時間ステップにおいて許容する速度変化量の上限值です。各時間ステップにおける各節点の速度変化量が本許容値を超えないように、各ステップの時間を自動設定しています。
- ④ソルバー選択は、「バンドマトリックス法」か「反復法」のいずれかを選択します。

FL3DCal2

非定常解析の計算条件を入力してください。 初期温度、壁面温度は、-1を入れると入力を無視します。

<b>流体種別</b> <input type="radio"/> ニュートン流 <input checked="" type="radio"/> 非ニュートン流	<b>温度変化の種別</b> <input type="radio"/> 等温 <input checked="" type="radio"/> 非等温	初期温度 <input type="text" value="230"/>	<b>壁面の自動設定</b> <input checked="" type="radio"/> 採用 <input type="radio"/> 不採用	壁面温度 <input type="text" value="230"/>
---	--	--	--	--

計算打ち切り時間   
 出力時間メッシュ数   
 計算時間間隔の初期値  安定化  $\epsilon_p$  の追加係数   
 計算1回の速度変化許容値

**対流項**  
☐ なし  
☒ 有り

ソルバー選択  
☒ バンドマトリックス法 ☐ 反復法

対流項なしで試計算し、条件の適否を確認することをお奨めします

図5-4 計算条件入力画面（粘性有り、非定常解析）

次に図5-5の入口速度対応の逆解析の画面で、図5-3の定常解析と異なる部分について説明します。なお、この逆解析は定常解析に限定されます。

①入口平均流速の絶対値を入力します。

◇入口平均流速は、流入量を断面積で割った値です。

◇複数の入口がある場合は、複数を合算した平均流速となります。

②次に、平均流速の誤差許容値を入力します。

◇平均流速の誤差許容値とは、入口圧力を修正しながら解析計算を繰り返す際に、繰り返し計算を終了させるための誤差基準です。

FL3DCal2

定常解析の計算条件を入力してください。 初期温度、壁面温度は、-1を入れると入力を見視します。

流体種別

☐ ニュートン流

☒ 非ニュートン流

温度変化の種別

☐ 等温

☒ 非等温

壁面の自動設定

☒ 採用

☐ 不採用

初期温度

壁面温度

対流項

☐ なし

☒ 有り

最大繰返し計算回数

収束基準誤差率

安定化  $\epsilon_p$  の追加係数

入口平均流速の絶対値

平均流速の誤差許容値

対流項なしで試計算し、条件の適否を確認することをお奨めします

ソルバー選択

☒ バンドマトリックス法

☐ 反復法

設定

戻る

図5-5 計算条件入力画面（粘性有り、入口速度対応の逆解析）

また、図5-6に粘性なしの計算条件入力画面を示します。

◇ソルバー選択で、「スカイライン法」か「反復法」を選択します。

◇構造モデルの規模が大きい場合は「反復法」、中規模以下は「スカイライン法」が適しています。

FL3DCal1

非粘性の計算条件を入力してください。

ソルバー選択

☐ スカイライン法

☒ 反復法

設定

戻る

図5-6 計算条件入力画面（粘性なし）

#### 5.4 計算終了

図5-7に計算終了画面、図5-8に計算確認ダイアログ画面を示します。図5-7では、かかった計算時間（本例では5s）と空きメモリー容量も表示されます。また、図5-7の計算確認ダイアログ画面では、最大値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5-8は定常解析の場合で、非定常解析の場合は表示が少し異なります。

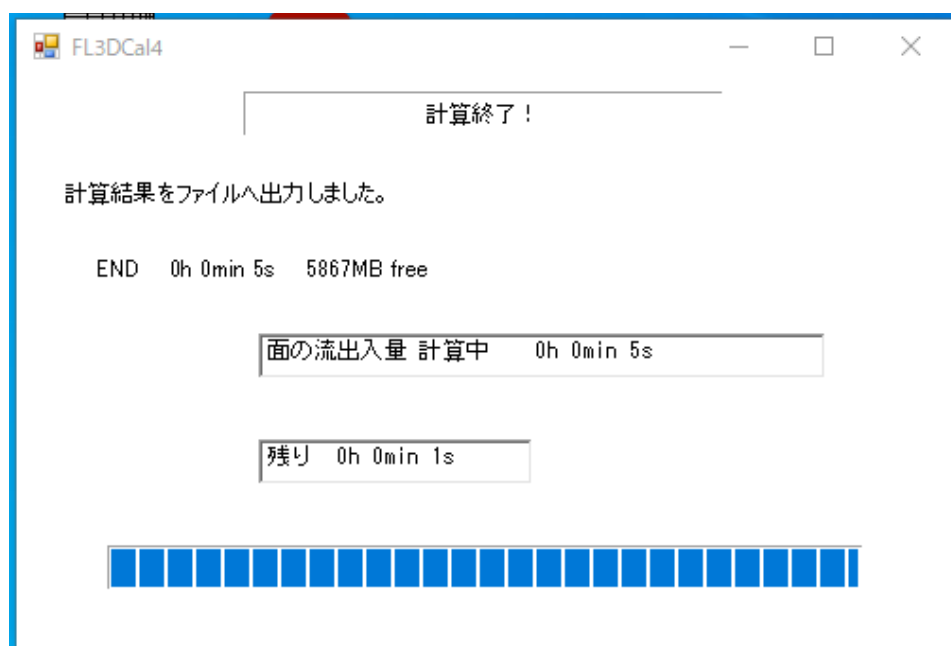


図5-7 計算終了画面

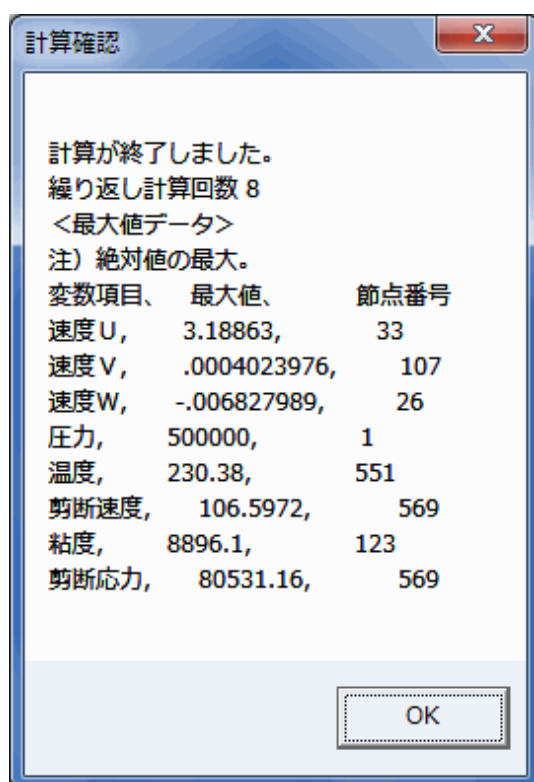


図5-8 計算確認ダイアログ画面（粘性有り、定常解析の場合）

図5-9に粘性なしの計算確認ダイアログ画面を示します。

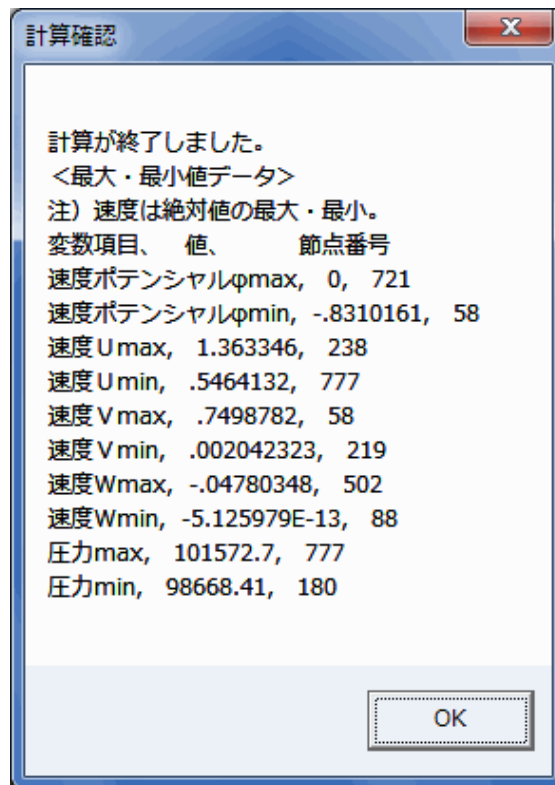


図5-9 計算確認ダイアログ画面（粘性なし）

## 5.5 計算結果

上記5.2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5-8～10に結果ファイルへの出力例を示します。図5-8は定常解析の場合、図5-9は非定常解析の場合、図5-10は入口速度対応の逆解析の場合です。なお、粘性なしの計算結果については、第7章の計算例を参照してください。

図5-8の定常解析の場合について、同図の○印を付した数字の部分に補足説明します。

- ①計算結果の（ ）内にソルバー種類が出力されています。
- ②流れ計算マトリックスの変数個数（縮減後）、バンド幅、保存インデックス数が、それぞれ1395、543、757485と出力されています。  
◇このインデックス数は、FEM行列の要素の内、実際に保存された個数を意味します。ただし、反復法ソルバー（BiCGStab(2)法）では、このインデックス数を持つ配列が2つ使用されます。
- ③温度計算マトリックスの変数個数、バンド幅、保存インデックス数が、それぞれ605、213、128865と出力されています。
- ④計算繰り返し回数が8と出力されています。
- ⑤安定化 $\tau_p$ の追加係数（AI）が0.0417014になっています。これはAIによる最適化の数値です。
- ⑥最大速度誤差が0.01112m/sとなっています。ここで、最大速度誤差とは、繰り返し最終回における全節点の各方向速度の最大変化量です。
- ⑦速度・圧力等の出力では、各節点について、速度U、V、W、圧力、および温度が出力されています。なお、等温の場合は、温度は出力されません。

- ⑧剪断速度等の出力では、各節点について、剪断速度、粘度、剪断応力が出力されています。
- ⑨最大値データとして、各変数について最大値、節点番号が出力されています。
- ◇本例では、最高温度が節点番号570における230.38℃であり、わずかしき温度上昇しません。本例は温度が変化していることを示すことが目的であり、メッシュは粗くなっています。一般に粘性流れの剪断発熱は壁面近くが最大となるので、細かな温度分布を算出するには断面メッシュをもっと細かくする必要があります。
- ⑩要素面の流出入量の出力では、流出入のある各要素面について、要素番号、面番号、面積、流出量、平均流速が出力されています。
- ◇流出量と平均流速は流出の向きを正としています。
- ⑪流入側合計の面積、流量、平均流速が出力されています。流量と平均流速が負になっているのは、流出の向きを正としているからです。
- ⑫流出側合計の面積、流量、平均流速が出力されています。
- ⑬最後にコンピューター計算時間（本例では5s）と空きメモリー容量も出力されます。

また、図5-9の非定常解析の場合について、同図の○印を付した数字の部分を補足説明します。その他は上記の定常解析と同様です。

- ①各時間メッシュ毎に、メッシュ番号と時間が示された後、その時点の計算結果が出力されます。時間メッシュ番号0、時間0は初期を意味します。
- ◇時間メッシュ番号0、時間0の場合は、速度・圧力等の出力のみです。
- ②時間メッシュ1、時間0.1において、一式の計算結果が出力されています。
- ◇速度・圧力等の出力、剪断速度等の出力、要素辺の流出入量の出力その他があります。ただし、最大値データは後掲の全時間において出力されます。
- ③時間メッシュ2、時間0.2以下、同様に計算結果の温度が出力されます。
- ④最大値データが出力されています。
- ⑤コンピューター計算時間（本例では25s）と空きメモリー容量も出力されます。
- ⑥最後に、最終前の計算時間間隔が出力されています。

さらに、図5-10の入口速度対応の逆解析の場合について、同図の○印を付した数字の部分を補足説明します。その他は上記の定常解析と同様です。

- ①標題に（入口速度対応の逆解析）と追記されています。
- ②入口圧力の修正比が出力されています。これは、入力データファイルの入口圧力に対して本修正比を掛けて計算したことを意味します。
- ③流入側の平均流速は-0.9995m/sで、指定の絶対値1 m/sに収束しています。

<< 3次元流れ解析の計算結果 >>

矩形管の流れモデル

[入力データファイル], C:\¥VB2022¥3次元流れ解析¥Data¥FL3DTest4. dat

解析種類 (0:定常、1:非定常), 0

非ニュートン流

非等温流

初期温度, 230

壁面の自動設定有

壁面の一括設定温度, 230

対流項有リ

最大繰り返し計算回数, 15

収束基準誤差率, .005

安定化  $\tau_p$  の追加係数, .01

\*\*\* 計算結果 (バンドマトリックス法) \*\*\*

流れ計算マトリックスの変数個数、バンド幅、保存インデックス数

1395, 543, 757485

温度計算マトリックスの変数個数、バンド幅、保存インデックス数

605, 213, 128865

計算繰り返し回数, 8

安定化  $\tau_p$  の追加係数 (AI), .0417014

最大速度誤差, .01111863

\*\* 速度・圧力等の出力 \*\*

<節点番号、速度U、速度V、速度W、圧力、温度>

1,	0,	0,	0,	500000,	230
2,	0,	0,	0,	500000,	230
3,	0,	0,	0,	500000,	230
4,	0,	0,	0,	500000,	230
5,	0,	0,	0,	500000,	230
6,	0,	0,	0,	500000,	230
7,	0,	0,	0,	500000,	230
8,	0,	0,	0,	500000,	230
9,	0,	0,	0,	500000,	230
10,	0,	0,	0,	500000,	230
11,	1.56643,	.000132274,	-.003897651,	500000,	230

593,	1.582801,	-.000128028,	-.00386111,	0,	230.38
594,	2.035172,	-1.263631E-05,	-.005830988,	0,	230.36
595,	1.567183,	.0001585844,	-.003863503,	0,	230.38

601,	0,	0,	0,	0,	230
602,	0,	0,	0,	0,	230
603,	0,	0,	0,	0,	230
604,	0,	0,	0,	0,	230
605,	0,	0,	0,	0,	230

\*\* 剪断速度等の出力 \*\*

<節点番号、剪断速度、粘度、剪断応力>

1,	3.881205,	2452.705,	9519.45
2,	42.99896,	1214.985,	52243.11
3,	79.81274,	791.7649,	63192.92
4,	95.31636,	776.2092,	73985.44

①

②

③

④

⑤

⑥

⑦

⑧

図5-8 (1/2)

結果ファイルへの出力例 (粘性有リ、定常解析)

5,	105.7111,	755.6225,	79877.7
6,	95.80155,	774.7764,	74224.78
7,	80.80766,	787.2855,	63618.7
8,	43.71264,	1205.993,	52717.14
.....			
.....			
598,	43.67445,	1206.011,	52671.87
599,	80.76713,	788.6411,	63696.27
600,	95.78897,	776.3772,	74368.38
601,	105.7828,	756.0798,	79980.25
602,	95.31401,	777.7682,	74132.2
603,	79.7925,	793.0311,	63277.93
604,	42.97407,	1214.83,	52206.18
605,	3.879179,	2453.055,	9515.838
-----			
<最大値データ>			
注) 絶対値の最大。			
変数項目、	最大値、	節点番号	
速度U,	3.188609,	33	
速度V,	.000323804,	467	
速度W,	-.006843575,	558	
圧力,	500000,	1	
温度,	230.38,	551	
剪断速度,	106.6147,	569	
粘度,	8896.088,	123	
剪断応力,	80543.98,	569	
* * 要素面の流出入量の出力 * *			
<要素番号、面番号、面積、流出量、平均流速>			
1,	1,	.0025,	-.002119962, -.8479846
2,	1,	.0025,	-.004199622, -1.679849
3,	1,	.0025,	-.004215826, -1.68633
4,	1,	.0025,	-.002148996, -.8595982
5,	1,	.0025,	-.004184868, -1.673947
6,	1,	.0025,	-.007405273, -2.962109
7,	1,	.0025,	-.007420867, -2.968346
8,	1,	.0025,	-.004230557, -1.692223
.....			
.....			
90,	2,	.0025,	.007417646, 2.967058
91,	2,	.0025,	.007402602, 2.96104
92,	2,	.0025,	.004186708, 1.674683
93,	2,	.0025,	.002148908, .8595633
94,	2,	.0025,	.004216881, 1.686752
95,	2,	.0025,	.00420109, 1.680436
96,	2,	.0025,	.002120472, .8481889
[流入側合計]			
面積, .04000001			
流量, -.07185192			
平均流速, -1.796298			
[流出側合計]			
面積, .04000001			
流量, .07185047			
平均流速, 1.796261			
END 0h 0min 5s 5867MB free			

図5-8 (2/2) 結果ファイルへの出力例 (粘性有り、定常解析)

<< 3次元流れ解析の計算結果 >>

矩形管の流れモデル

[入力データファイル], C:\¥VB2022¥3次元流れ解析¥Data¥FL3DTest4. dat

解析種類 (0:定常、1:非定常), 1

計算打ち切り時間, 1, 出力時間メッシュ数, 10

計算時間間隔の初期値, .01

計算1回の速度変化許容値, .01

非ニュートン流

非等温流

初期温度, 230

壁面の自動設定有

壁面の一括設定温度, 230

対流項有り

安定化  $\tau_p$  の追加係数, .01

\*\*\* 計算結果 (バンドマトリックス法) \*\*\*

流れ計算マトリックスの変数個数、バンド幅、保存インデックス数

1395, 543, 757485

温度計算マトリックスの変数個数、バンド幅、保存インデックス数

605, 213, 128865

<時間メッシュ番号、時間>, 0, 0

\*\* 速度・圧力等の出力 \*\*

<節点番号、速度U、速度V、速度W、圧力、温度>

1,	0,	0,	0,	500000,	230
2,	0,	0,	0,	500000,	230
3,	0,	0,	0,	500000,	230
4,	0,	0,	0,	500000,	230
5,	0,	0,	0,	500000,	230
6,	0,	0,	0,	500000,	230
7,	0,	0,	0,	500000,	230
8,	0,	0,	0,	500000,	230
9,	0,	0,	0,	500000,	230
10,	0,	0,	0,	500000,	230

.....

596,	0,	0,	0,	0,	230
597,	0,	0,	0,	0,	230
598,	0,	0,	0,	0,	230
599,	0,	0,	0,	0,	230
600,	0,	0,	0,	0,	230
601,	0,	0,	0,	0,	230
602,	0,	0,	0,	0,	230
603,	0,	0,	0,	0,	230
604,	0,	0,	0,	0,	230
605,	0,	0,	0,	0,	230

①

図5-9 (1/3) 結果ファイルへの出力例 (粘性有り、非定常解析)

<時間メッシュ番号、時間>, 1, .1

②

\* \* 速度・圧力等の出力 \* \*

<節点番号、速度U、速度V、速度W、圧力、温度>

```
1, 0, 0, 0, 500000, 230
2, 0, 0, 0, 500000, 230
3, 0, 0, 0, 500000, 230
4, 0, 0, 0, 500000, 230
5, 0, 0, 0, 500000, 230
. . . . .
. . . . .
11, 1.552029, .000169905, -.004019694, 500000, 230
12, 2.016069, -8.835302E-07, -.005886098, 500000, 230
13, 1.567854, -.0001750678, -.004028539, 500000, 230
. . . . .
. . . . .
593, 1.567656, -.0001652749, -.003962438, 0, 230
594, 2.016083, -6.390522E-07, -.005791389, 0, 230.01
595, 1.552229, .000163239, -.003956293, 0, 230
. . . . .
. . . . .
601, 0, 0, 0, 0, 230
602, 0, 0, 0, 0, 230
603, 0, 0, 0, 0, 230
604, 0, 0, 0, 0, 230
605, 0, 0, 0, 0, 230
```

\* \* 剪断速度等の出力 \* \*

<節点番号、剪断速度、粘度、剪断応力>

```
1, 3.846017, 2463.013, 9472.791
2, 42.60876, 1220.648, 52010.28
3, 79.08804, 795.7114, 62931.25
4, 94.43727, 780.2876, 73688.23
5, 104.7889, 759.3451, 79570.91
6, 94.92247, 778.8439, 73929.79
7, 80.07932, 791.1713, 63356.45
8, 43.32285, 1211.554, 52487.98
9, 3.912783, 2439.651, 9545.824
. . . . .
. . . . .
597, 3.911976, 2439.909, 9544.867
598, 43.31437, 1211.661, 52482.33
599, 80.06712, 791.2429, 63352.54
600, 94.91687, 778.8849, 73929.32
601, 104.7898, 759.3631, 79573.53
602, 94.44291, 780.2958, 73693.41
603, 79.09935, 795.6739, 62937.29
604, 42.61651, 1220.542, 52015.22
605, 3.846757, 2462.756, 9473.622
```

図5-9 (2/3) 結果ファイルへの出力例 (粘性有り、非定常解析)

＊ ＊ 要素面の流出入量の出力 ＊ ＊

<要素番号、面番号、面積、流出量、平均流速>

1,	1,	.0025,	-.002100504,	-.8402016
2,	1,	.0025,	-.004160265,	-1.664106
3,	1,	.0025,	-.004176319,	-1.670527
4,	1,	.0025,	-.002129392,	-.8517566
5,	1,	.0025,	-.004145603,	-1.658241
6,	1,	.0025,	-.007333708,	-2.933483
7,	1,	.0025,	-.007348993,	-2.939597

.....

89,	2,	.0025,	.004190372,	1.676149
90,	2,	.0025,	.007348745,	2.939497
91,	2,	.0025,	.007333911,	2.933564
92,	2,	.0025,	.004146208,	1.658483
93,	2,	.0025,	.002129045,	.8516181
94,	2,	.0025,	.004176127,	1.670451
95,	2,	.0025,	.004160482,	1.664192
96,	2,	.0025,	.002100844,	.8403378

[流入側合計]

面積, .04000001

流量, -.07117148

平均流速, -1.779287

[流出側合計]

面積, .04000001

流量, .07117146

平均流速, 1.779286

<時間メッシュ番号、時間>, 2, .2

.....

<時間メッシュ番号、時間>, 10, 1

.....

<最大値データ>

注) 絶対値の最大。

変数項目、	最大値、	節点番号、	時間
速度U,	3.162571,	33,	1
速度V,	-.0003174103,	111,	1
速度W,	-.006923978,	33,	.3
圧力,	500000,	1,	0
温度,	230.08,	462,	1
切断速度,	105.745,	37,	1
粘度,	8886.034,	168,	1
切断応力,	80197.2,	569,	1

END 0h 0min 25s 6005MB free

最終前の計算時間間隔, .02763599

図5-9 (3/3) 結果ファイルへの出力例 (粘性有り、非定常解析)

①

<< 3次元流れ解析の計算結果>> (入口速度対応の逆解析)

矩形管の流れモデル

[入力データファイル], C:\¥VB2022¥3次元流れ解析¥Data¥FL3DTest4. dat

解析種類 (0:定常、1:非定常), 0

非ニュートン流

非等温流

初期温度, 230

壁面の自動設定有

    壁面の一括設定温度, 230

対流項有リ

入口平均流速の絶対値, 1

平均流速の誤差許容値, .01

最大繰り返し計算回数, 15

収束基準誤差率, .005

安定化  $\tau_p$  の追加係数, .01

---

\*\*\* 計算結果 (バンドマトリックス法) \*\*\*

流れ計算マトリックスの変数個数、バンド幅、保存インデックス数

    1395,      543,      757485

温度計算マトリックスの変数個数、バンド幅、保存インデックス数

    605,      213,      128865

計算繰り返し回数, 9

安定化  $\tau_p$  の追加係数 (AI), .04022968

最大速度誤差, .004707578

入口圧力の修正比, .7537104

②

\*\* 速度・圧力等の出力 \*\*

<節点番号、速度U、速度V、速度W、圧力、温度>

1,	0,	0,	0,	376855.6,	230
2,	0,	0,	0,	376855.6,	230
3,	0,	0,	0,	376855.6,	230
4,	0,	0,	0,	376855.6,	230
5,	0,	0,	0,	376855.6,	230
6,	0,	0,	0,	376855.6,	230
7,	0,	0,	0,	376855.6,	230
8,	0,	0,	0,	376855.6,	230
9,	0,	0,	0,	376855.6,	230
10,	0,	0,	0,	376855.6,	230
11,	.8658381,	.0001023817,	-.002879767,	376855.6,	230
12,	1.124226,	5.052118E-06,	-.004356134,	376855.6,	230
.....					
.....					

[流入側合計]

面積, .04000001

流量, -.03997947

平均流速, -.9994864

③

[流出側合計]

面積, .04000001

流量, .03997884

平均流速, .9994709

END      0h 0min 45s      5878MB free

図5-10 結果ファイルへの出力例 (粘性有り、入口速度対応の逆解析)

## 5.6 体積計算

サブメニュー「体積計算」をクリックすると、図5-11の画面に移ります。同図では第7章7.1節の合成構造流れを取り上げています。

- ①「入力ファイル指定」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、本画面に戻ると、「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」の方にはベース名に「-Vol」が加わった名前が付き、拡張子を「.rep」に変更したファイル名が表示されます。また、テキストボックス他のファイル名に変更も可能です。
- ②本画面で「設定」ボタンをクリックすると、計算が実行されます。

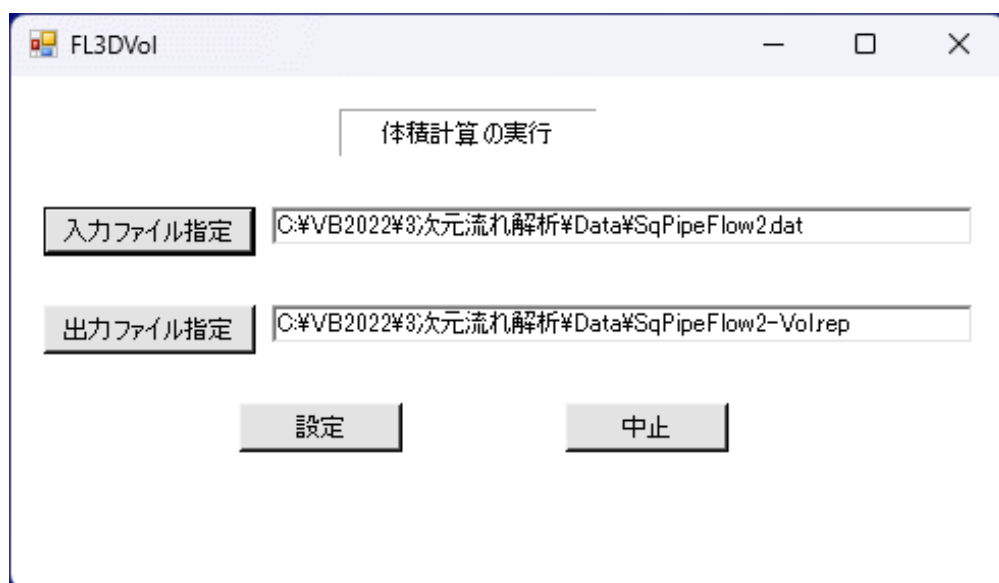


図5-11 体積計算の実行画面

図5-12に計算終了画面を示します。同図のように、体積が表示されます。

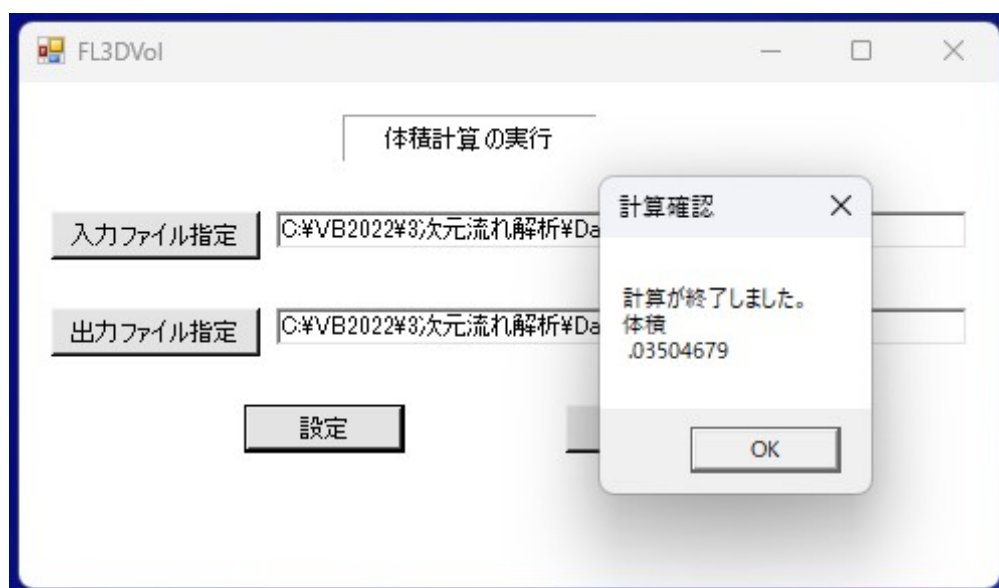


図5-12 体積計算の終了画面

さらに、上記の「出力ファイル指定」のファイルに計算結果が出力されます。図5-13に計算結果例を示します。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体積、質量が出力されています。

②重心の座標が出力されています。

注) 対称構造の部分だけを取り上げた構造データでは、対称を考慮せずに計算します。

```
<<体積の計算結果>>
矩形管の流れモデル2
[入力データファイル] , C:\¥VB2022¥3次元流れ解析¥Data¥SqPipeFlow2.dat
-----
体積、質量                                ①
. 03504679,    33. 29445
重心のX座標、Y座標、Z座標                ②
. 4148944,    -. 04077359,    7. 995556E-12
END
```

図5-13 体積計算の結果ファイルへの出力例

## 5.7 AI初期化

AIの蓄積データを解除したい場合は、「AI初期化」のサブメニュー「予備データなし」か「予備データ有り」をクリックします。

1) 本ソフトの最初の定常解析（バンドマトリックス法）では、プログラム内の予備データを蓄積し、AIを適用します。なお、蓄積データは、等温と非等温の2種類あります。

◇最初の蓄積データは、等温と非等温とも7組です。

◇対流項「有り」の定常解析を実施すると、データが1組ずつ追加されます。

ただし、等温と非等温とも蓄積データ数は最大20組で、それ以上になると古い組から順次削除されます。

2) AI初期化は、等温と非等温の両者同時に実施されます。

3) 「予備データなし」は、一から実績データを蓄積するものです。7組以上のデータが蓄積されて、初めてAIが適用されます。

4) 「予備データ有り」は、予備データを蓄積する初期状態に戻すもので、直ちにAI最適化が実施されます。

## 第6章 「後処理」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「後処理」のサブメニュー画面を図6-1に示します。同図のように、7個のサブメニューがあります。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。ただし、スライドショーは非定常解析についてのみ実施可能です。

「解析結果の端数処理」とは、解析結果ファイルのデータに対して、微小な端数を丸めた実用的な数値に変更してファイル出力するものです。これは必要があれば実施してください。

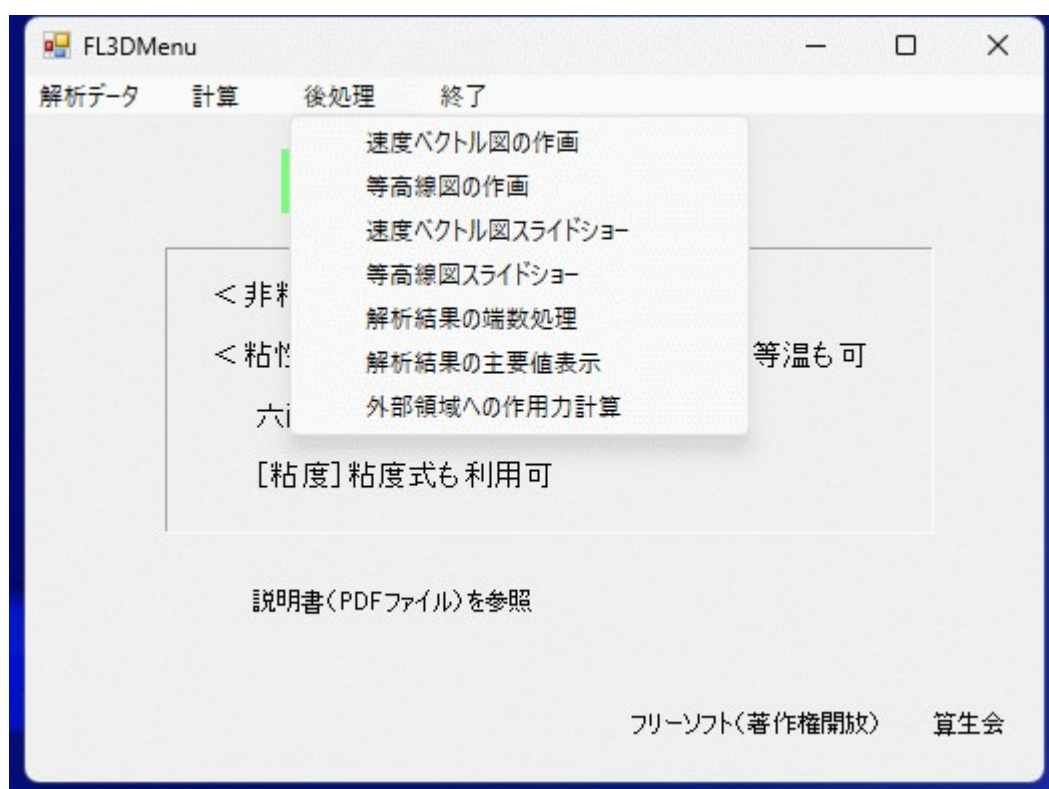


図6-1 「後処理」サブメニュー画面

### 6.2 使用ファイルの設定

図6-2に使用ファイル設定画面を示します。同画面で、表題が「速度ベクトル図の作画」になっていますが、各サブメニューにより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」コマンドをクリックすると、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、結果データファイル名が他の名前であった場合は、テキストボックスで修正します。
- ②速度ベクトル図の場合は、「中間節点の除去」のチェックボックスが表示されます。

チェックを入れると、中間節点は除き、頂点節点のみで速度ベクトル図を作画します。

◇「中間節点の除去」のチェックボックスの目的は、節点が混んでいる場合に速度ベクトルを見やすくするためです。

◇速度ベクトル図以外の場合は、本チェックボックスは表示されません。

③本画面で、「設定」ボタンをクリックすると、次の画面に移ります。

◇解析結果の端数処理の場合は、コモンダイアログで保存ファイル名を設定した後、端数処理が実行されます。

◇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。

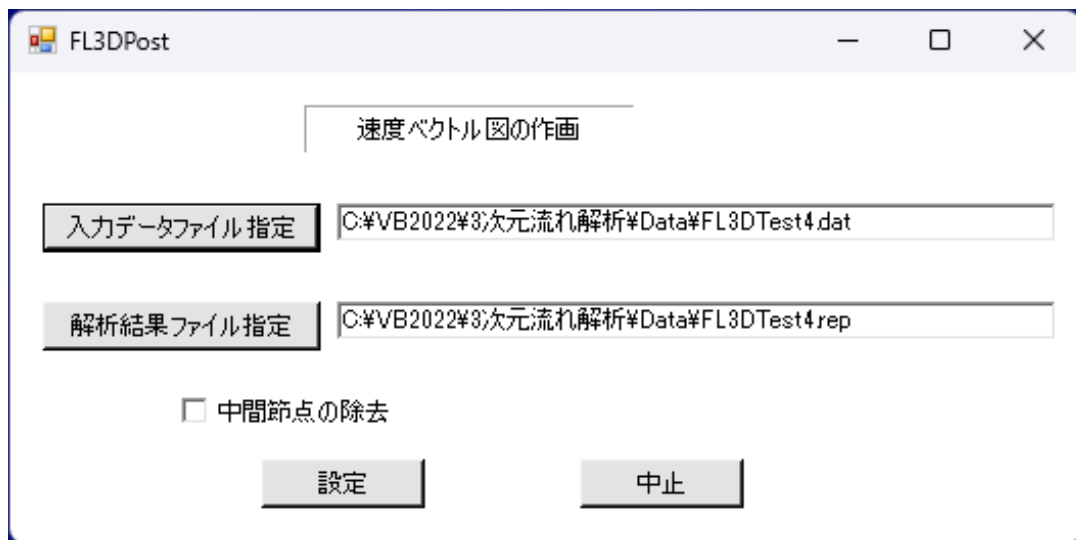


図6-2 使用ファイル設定画面

### 6.3 速度ベクトル図の非定常メッシュ指定画面

図6-3に速度ベクトル図の非定常メッシュ指定画面を示します。本画面は定常解析結果に対しては表示されません。

①出力する時間メッシュ番号を入力します。ここで、時間メッシュ番号を入力後、Returnキーを押すと、その下側に相当時間が表示されます。

②本画面で「設定」ボタンをクリックすると、次の画面に映ります。

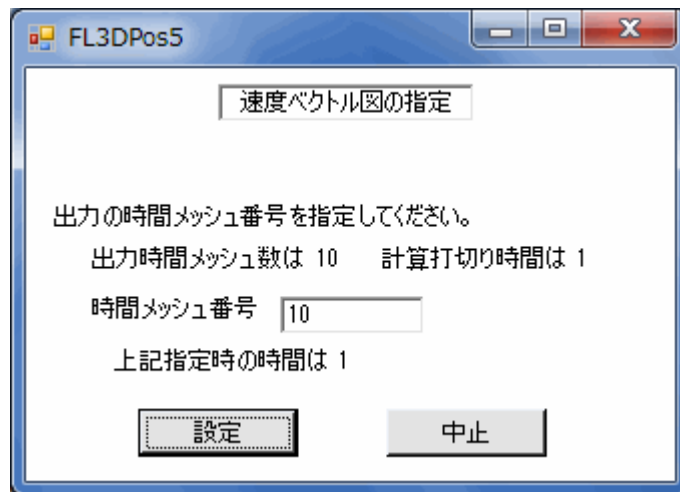


図6-3 非定常解析メッシュ指定画面

#### 6.4 速度ベクトル図の作画画面

図6-4に速度ベクトル図の作画画面を示します。同図は、本画面に移った状態のもので、作画のパラメーターは標準条件になっています。

- ①同画面のように、各節点における速度ベクトルが青色で表示されています。
- ②本画面の左側に、「ベクトルの長さ係数」、「ベクトルの矢印長さ係数」、「ベクトル線の幅」の3つのパラメーターを表示してあります。それらのパラメーター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、新しいパラメーター条件による作画画面に変更されます。
  - ◇「ベクトルの長さ係数」と「矢印長さ係数」の標準値は1にしてあります。実際に作画させてみて適当な値を再設定できます。
  - ◇「ベクトル線の幅」は1～3が可能で、初期値は2にしてあります。
- ③本画面の上側に表示されている作画パラメーター、マウスドラッグによる部分拡大、回転操作等は、構造図の作画と同じです。
  - ◇ただし、番号表示はありません。他方、「共通辺の表示」が追加になっています。
  - ◇「共通辺の表示」は、「有り」か「なし」を選択できます。共通辺とは、要素どうしが共有する辺のことです。

図6-4のように標準条件では共通辺の表示「有り」です。要素の区分線を表示したくないときは、表通辺の表示を「なし」にしてください。後掲の図6-5は共通辺の表示「なし」の速度ベクトル図です。

- ◇「隠面処理」は、「有り」か「なし」を選択できます。

図6-4のように標準条件では隠面処理「有り」です。隠面処理を「なし」にすると、すべての節点の速度ベクトルが作画されますので、マウスドラッグにより一部のみ領域選択して節点数が少ない状態で利用してください。

- ◇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。
- ◇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、「標準モード」でマウスドラッグ矩形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。

◇速度ベクトル図の「説明」ボタンをクリックすると、マウスによる回転操作（Shiftキー併用）の説明図が表示されます。

- ④外側の壁面では速度が0のため速度ベクトルが作画されません。流路内部の速度ベクトル図を表示するには、後述の「部分拡大モード」でマウスドラッグ矩形により対象の領域を選択して、再描画させてください。その際、視点の高さ倍率や座標軸回りの回転度数の作画パラメーターを適宜調整してください。

◇図6-5にテスト用構造モデルの左右対称の中心断面における速度ベクトル図を示します。

- ⑤マウス右クリックで任意の節点を選択すると、図6-6のように同節点の速度ベクトル値が表示されます。

◇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。

- ⑥「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スド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。

- ⑦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。

- ⑧マウスドラッグ矩形により、速度ベクトル図の一部分を拡大できます。操作方法は4.19節の構造図と同じです。

- ⑨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、面切断設定の画面に移り、面切断の仕方を設定できます。操作方法は構造図の作画と同じです。

- ⑪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。

◇「通常画面」の作画が印刷されます。

- ⑫本画面を終了するには、「戻る」ボタンをクリックします。

◇定常解析の場合は「中止」ボタンになります。

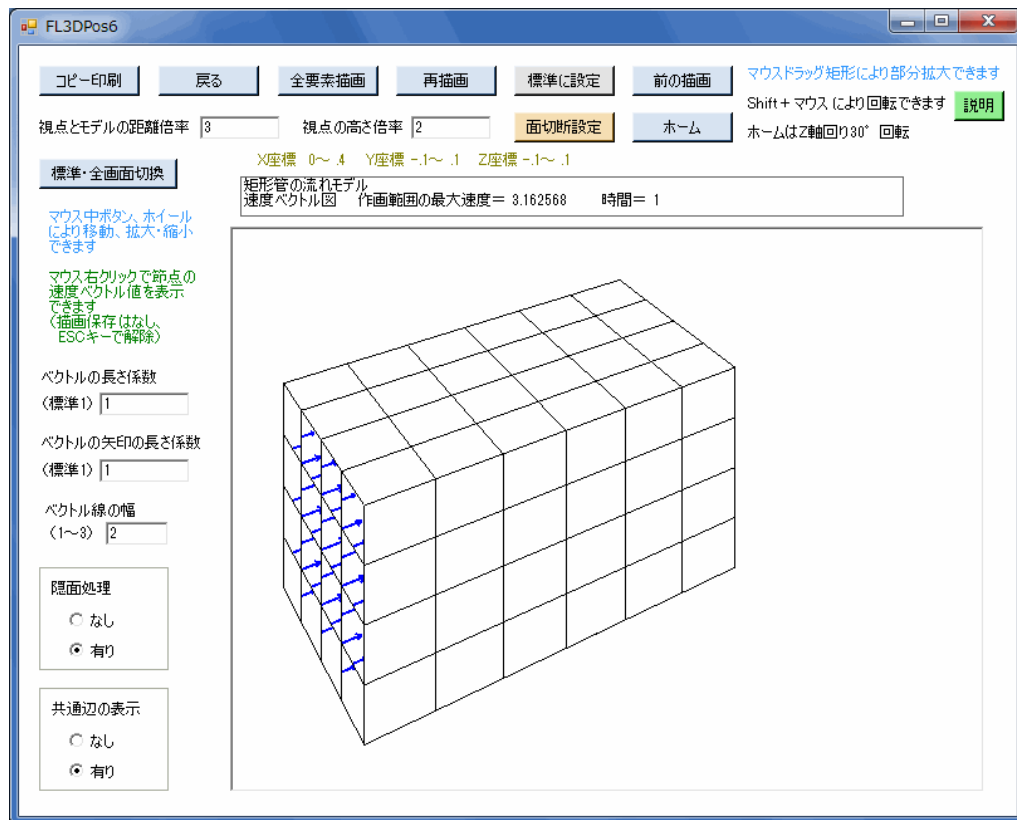


図6-4 速度ベクトル図の作画画面（初期状態）

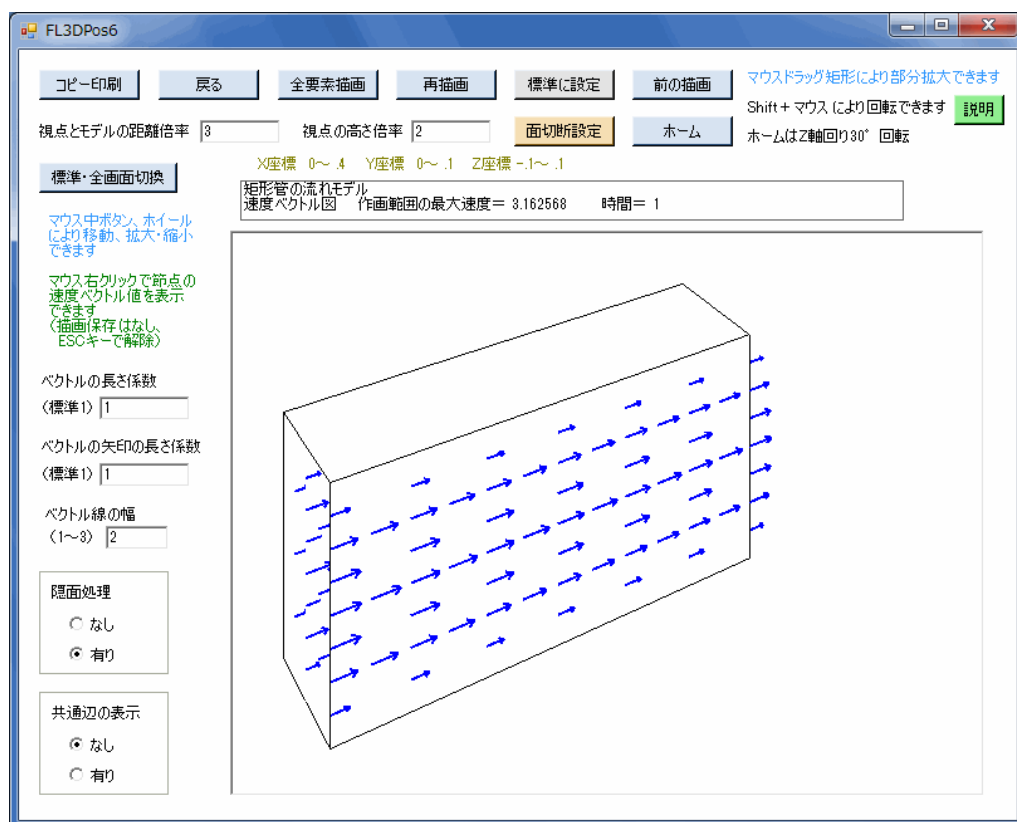


図6-5 速度ベクトル図の作画画面（左右対称の中心断面、共通辺表示なし）

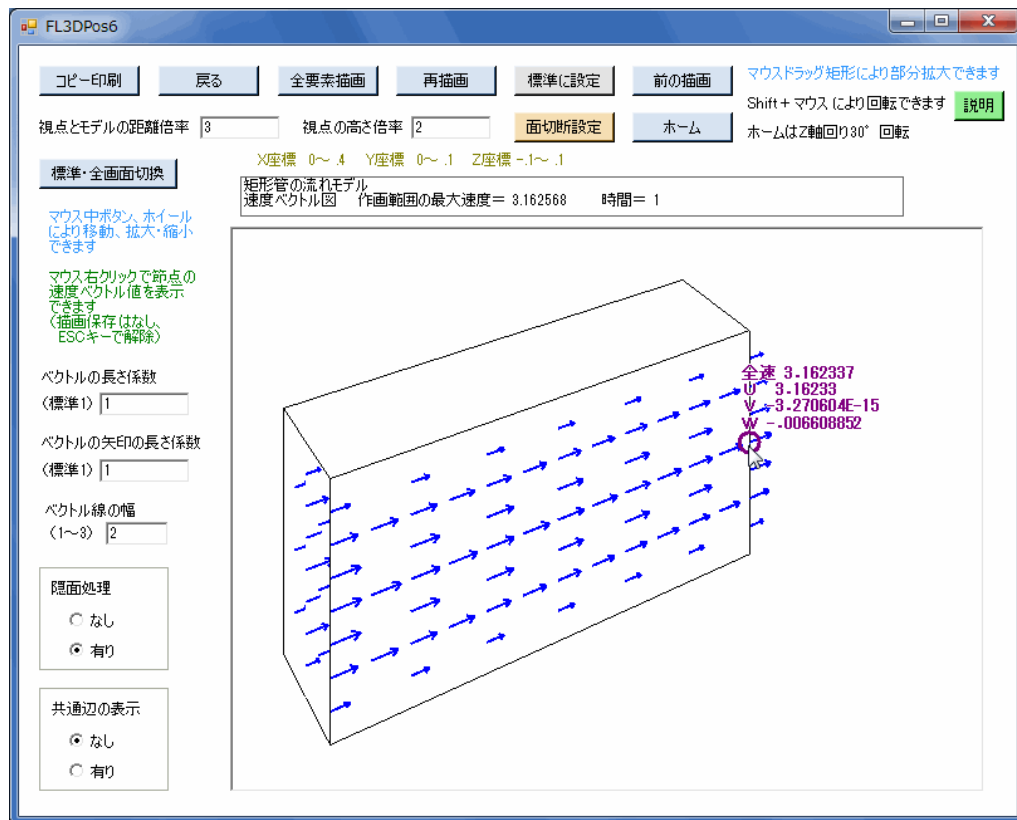


図6-6 速度ベクトル図の作画画面（マウス右クリックの節点の速度ベクトル値表示）

## 6.5 等高線の指定画面

図6-7に等高線指定画面（粘性有り）を示します。

- ①本画面で、作画したい変数項目を選択します。ただし、等温流の場合は、温度は表示されません。

◇「最大値データ」のボタンをクリックすると、最大値データが表示されます。

図6-8に最大値データの表示例を示します。

- ②本画面で、「設定」ボタンをクリックすると、次の仕様設定画面に移ります。

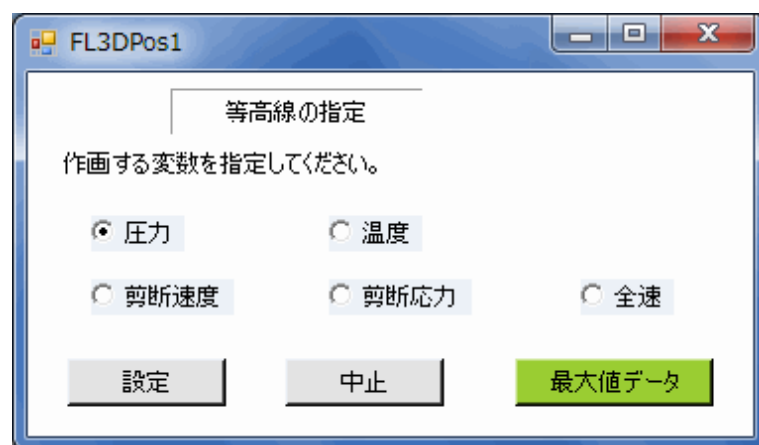


図6-7 等高線指定画面



◇「カラーフィル」を指定すると、各等高線の間が色塗りされ、全面カラー図となります。なお、グラデーションの場合は無条件でカラーフィルになります。

◇「場所・数値表示」を指定すると、対象変数の最大の場所と数値が等高線図に表示されます。

- ③非定常の場合は、出力する時間メッシュ番号を入力します。ここで、時間メッシュ番号を入力後、Returnキーを押すと、その右側に相当時間が表示されます。

◇スライドショーの場合は本入力部分がありません。

- ④本画面で、「設定」ボタンをクリックすると、次の等高線図作画画面に移ります。

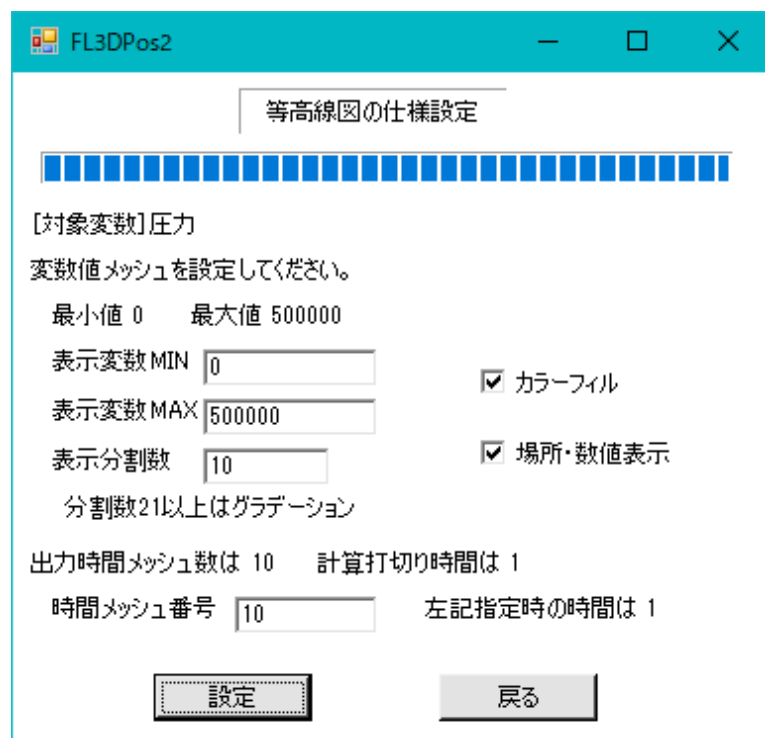


図6-10 等高線図の仕様設定画面

## 6.7 等高線図の作画画面

図6-11～15に等高線図の作画画面を示します。図6-11は圧力の等高線図、図6-12はそのグラデーション、図6-13は切断速度の等高線図、図6-14はその要素辺表示有りの図です。

- ①画面には等高線がカラー表示され、右欄には各等高線における変数値も明示してあります。

◇図6-13のグラデーションの場合は、4等分の5つの変数値が示されます。

- ②本画面左側の「共通辺の表示」は、「なし」か「有り」を選択できます。選択した後に「再描画」ボタンをクリックします。

◇「共通辺の表示」を「有り」にした切断速度等高線図を図6-15に示します。同図では、要素どうし共有する辺が表示されています。

- ③本画面の上側に表示されている作画パラメーター、マウスドラッグによる部分拡大、回転操作等は、構造図の作画と同じです。

◇ただし、本画面では必ず隠面処理を行ない、また番号表示はありません。

◇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。

◇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、「標準モード」でマウスドラッグ矩形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。

◇等高線図の「説明」ボタンをクリックすると、マウスによる回転操作（Shiftキー併用）の説明図が表示されます。

- ④マウス右クリックで任意の節点を選択すると、図6-15のように同節点の変数値が表示されます。

◇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。

- ⑤「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スド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。

- ⑥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。

- ⑦マウスドラッグ矩形により、等高線図の一部を拡大できます。操作方法は4. 19節の構造図と同じです。

- ⑧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。

- ⑨「面切断設定」ボタンをクリックすると、面切断設定の画面に移り、面切断の仕方を設定できます。操作方法是構造図の作画と同じです。

- ⑩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。

◇「通常画面」の作画が印刷されます。

- ⑪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、もし等高線図の出来栄えに不満があれば、「戻る」ボタンで仕様設定画面に戻って仕様変更し、再度、等高線図を作画することができます。

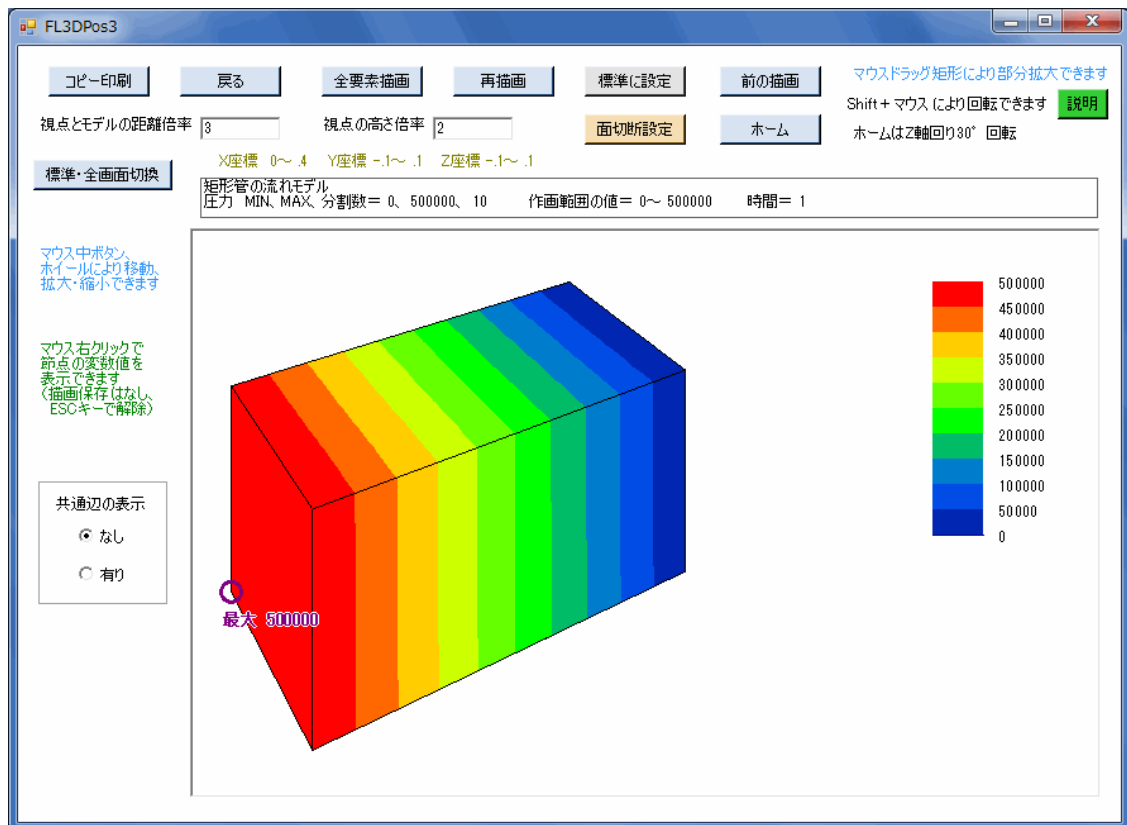


図6-11 等高線図の作画画面（圧力）

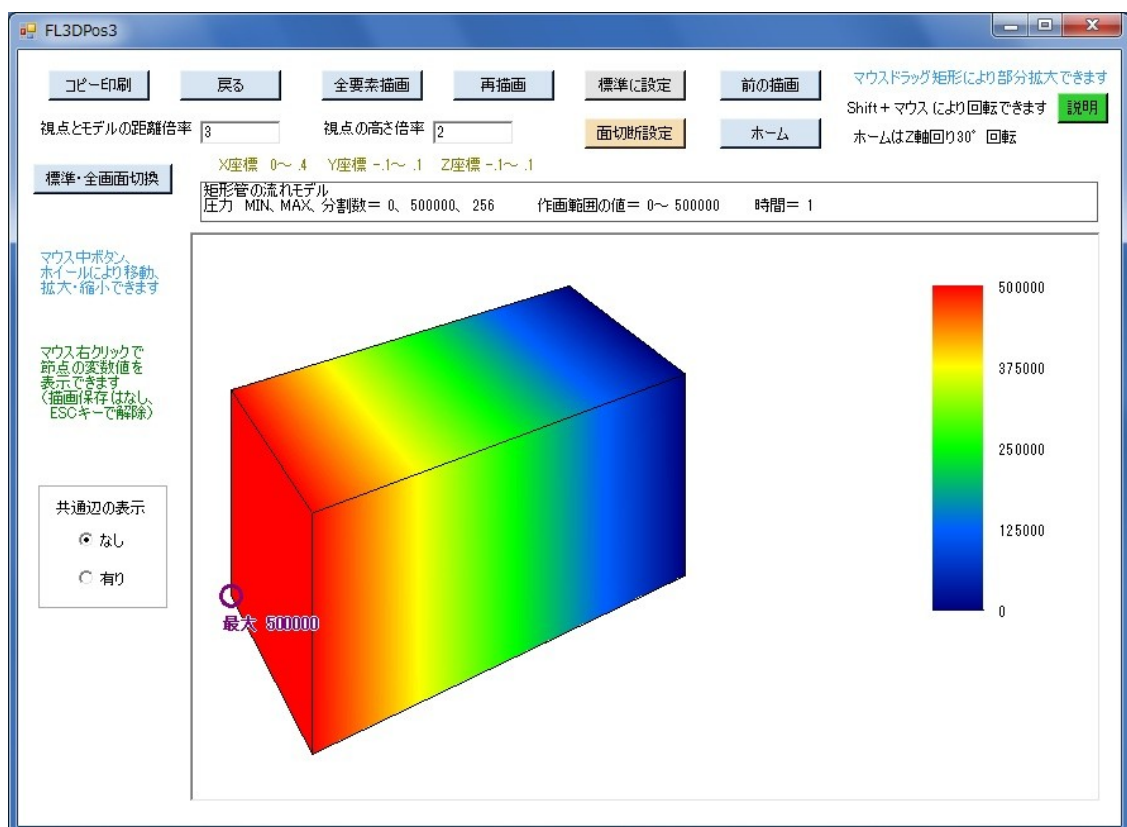


図6-12 等高線図の作画画面（グラデーション、圧力）

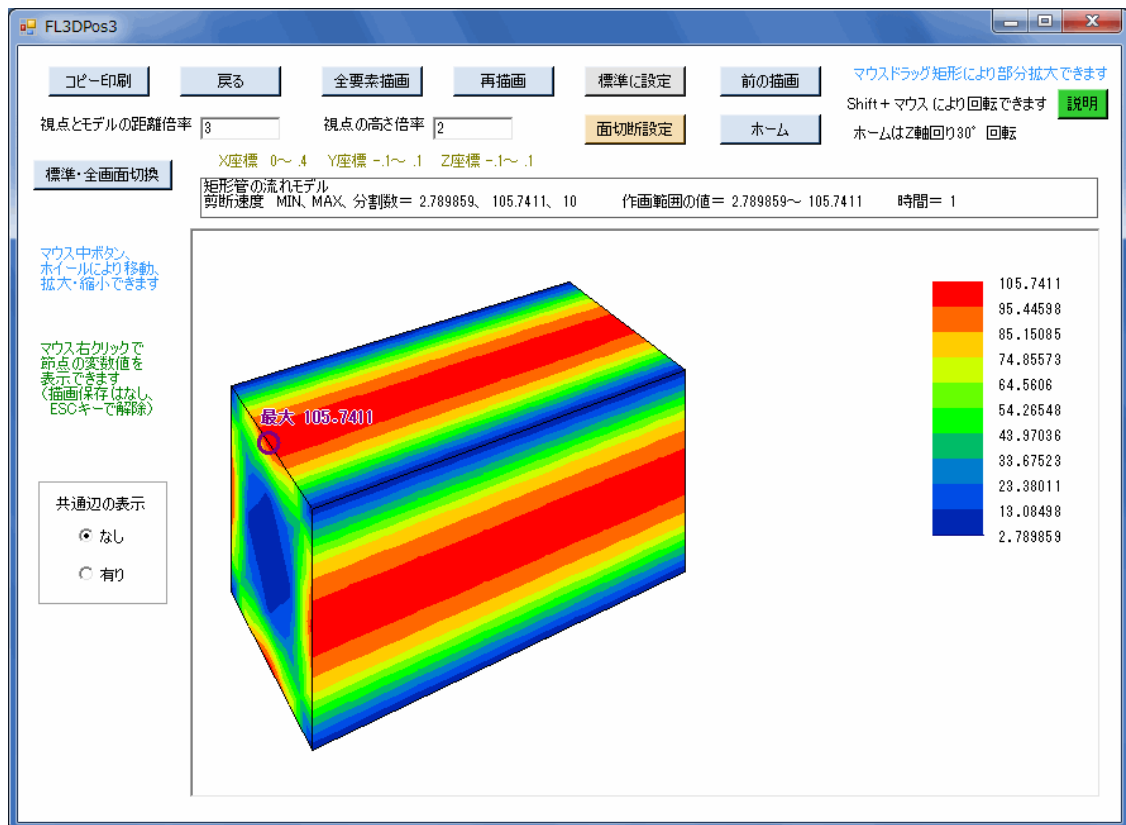


図6-13 等高線図の作画画面（切断速度）

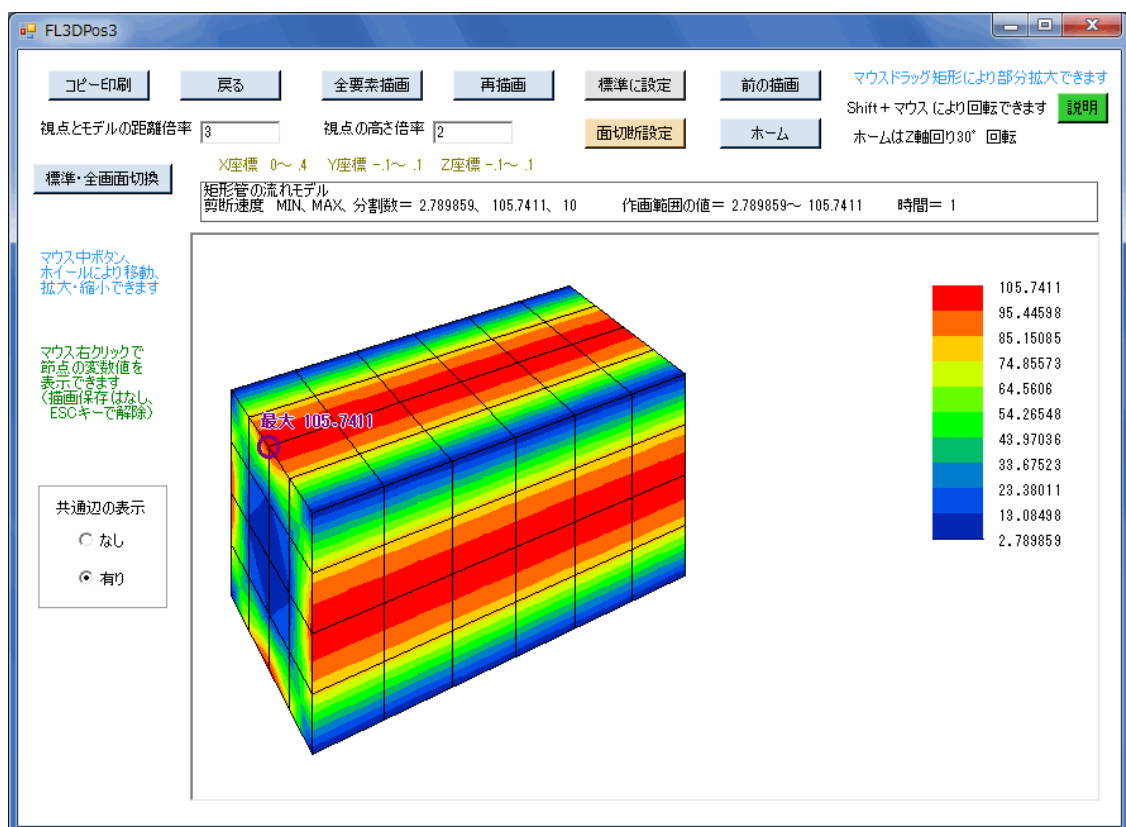


図6-14 等高線図の作画画面（共通辺の表示有り、切断速度）

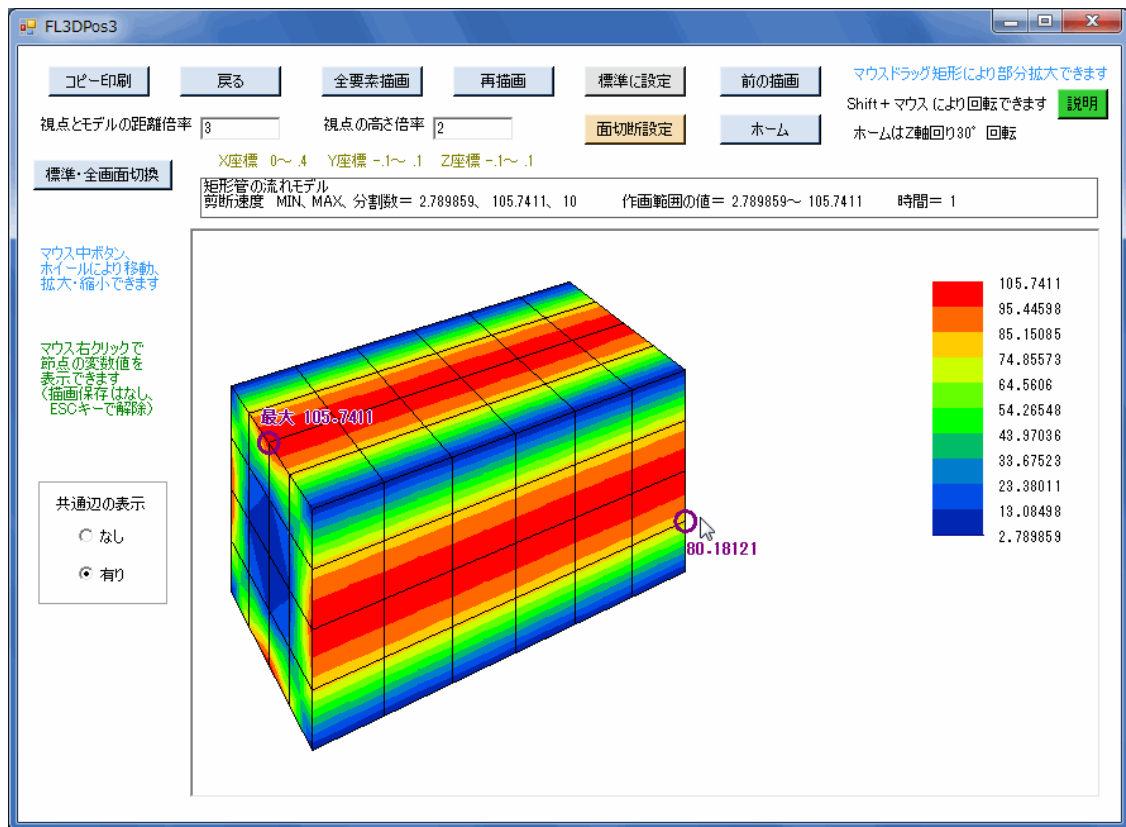


図6-15 等高線図の作画画面（マウス右クリックの節点の変数値表示）

## 6.8 速度ベクトル図スライドショーの画面

図6-16にスライドショーの初期画面を示します。ただし、左右対称の中心断面が表示されるように調整し、また共通辺表示はなしにしています。

- ①「スライド間の待ち時間」は、自動スライドの場合に、各スライド間の待ち時間を秒数で設定するものです。待ち時間を調整する必要がある場合は、適宜変更してください。  
◇デフォルトの待ち時間は1秒となっています。
- ②本画面の左側に、「ベクトルの長さ係数」、「ベクトルの矢印長さ係数」、「ベクトル線の幅」の3つのパラメータを表示してあります。それらのパラメータ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。  
◇「ベクトルの長さ係数」と「矢印長さ係数」の標準値は1にしてあります。実際に作画させてみて適当な値を再設定できます。  
◇「ベクトル線の幅」は1～3が可能で、初期値は2にしてあります。
- ③本画面の上側に表示されている作画パラメータ、マウスドラッグによる部分拡大、回転操作等は、6.4節の速度ベクトル図と同様です。  
◇速度ベクトル図の「説明」ボタンをクリックすると、マウスによる回転操作（Shiftキー併用）の説明図が表示されます。
- ④「面切断設定」ボタンをクリックすると、面切断設定の画面に移り、面切断の仕方を設定できます。操作方法是構造図の作画と同じです。
- ⑤「自動スタート」ボタンをクリックすると、自動スライドとなり、スライドショーが

実演されます。

◇スライドショーが終了すると、図6-17の終了画面となります。同画面の終了確認ダイアログの「OK」ボタンをクリックすると自動スライドの完了となります。

⑥「次スライド」ボタンまたは「前スライド」ボタンをクリックすると、次または前の時間メッシュの速度ベクトル図が作画されます。

⑦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。

⑧速度ベクトル図スライドを一括ファイル保存できます。まず、「保存ファイル設定」ボタンをクリックすると、図6-18のファイル保存コモンダイアログ画面が表示されます。同画面で任意のディレクトリーにjpgファイル名を設定してください。

◇上記の設定ファイル名は初期の速度ベクトル図に適用され、それ以降はベースファイル名に「\_0001～」が順に自動付加されたファイル名になります。

⑨次に、「保存開始」ボタンをクリックすると、ファイル保存が実行されます。

⑩本画面を終了するには、「中止」ボタンをクリックします。

⑪「標準・全画面切替」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スド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。

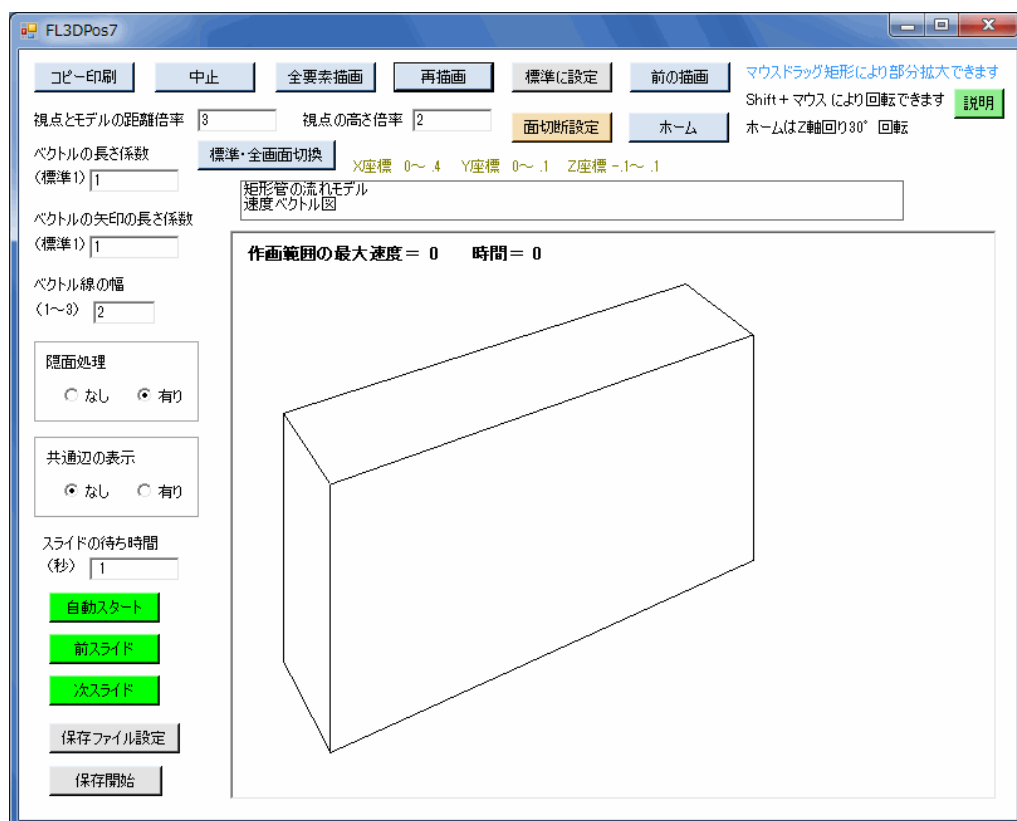


図6-16 速度ベクトル図スライドショーの初期画面

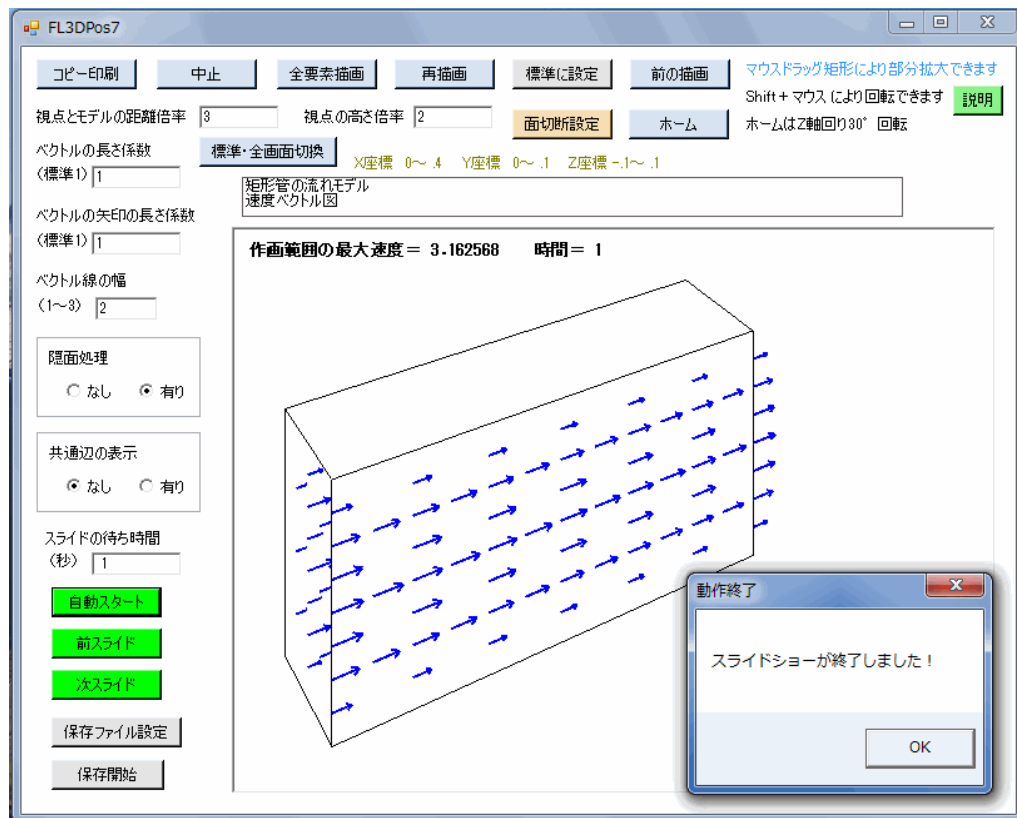


図6-17 速度ベクトル図スライドショーの終了画面

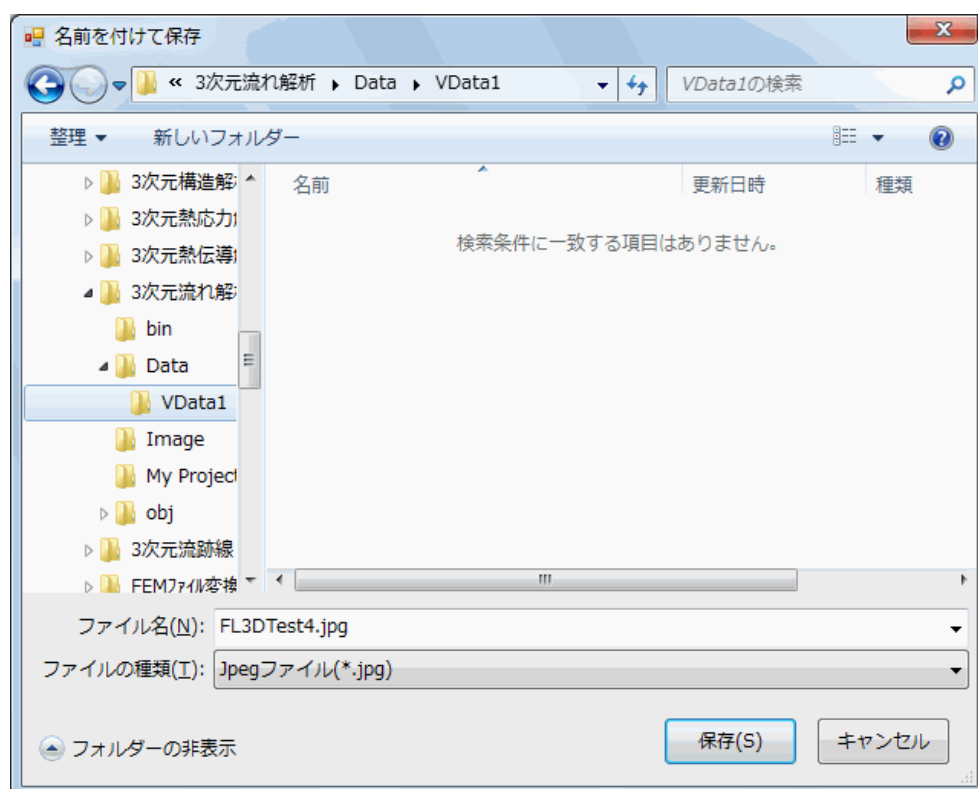


図6-18 ファイル保存コンモンダイアログ画面

## 6.9 等高線図スライドショーの画面

図6-19に等高線図スライドショーの初期画面、図6-20に終了画面を示します。スライドショーの操作は前節の速度ベクトル図スライドショーと同様です。速度ベクトル図と異なる点のみを下記に補足説明します。

- ①本画面の左側の「共通辺の表示」は、「なし」か「有り」を選択できます。選択した後に「再描画」ボタンをクリックします。  
◇前掲の等高線図と全く同様です。
- ②本画面の上側に表示されている作画パラメーター、マウスドラッグによる部分拡大、回転操作等は、6.7節の等高線図と同様です。  
◇等高線図の「説明」ボタンをクリックすると、マウスによる回転操作（Shiftキー併用）の説明図が表示されます。
- ③「面切断設定」ボタンをクリックすると、面切断設定の画面に移り、面切断の仕方を設定できます。操作方法是構造図の作画と同じです。
- ④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、もし等高線図の出来栄えに不満があれば、「戻る」ボタンで仕様設定画面に戻って仕様変更し、再度、等高線図スライドショーを実行できます。

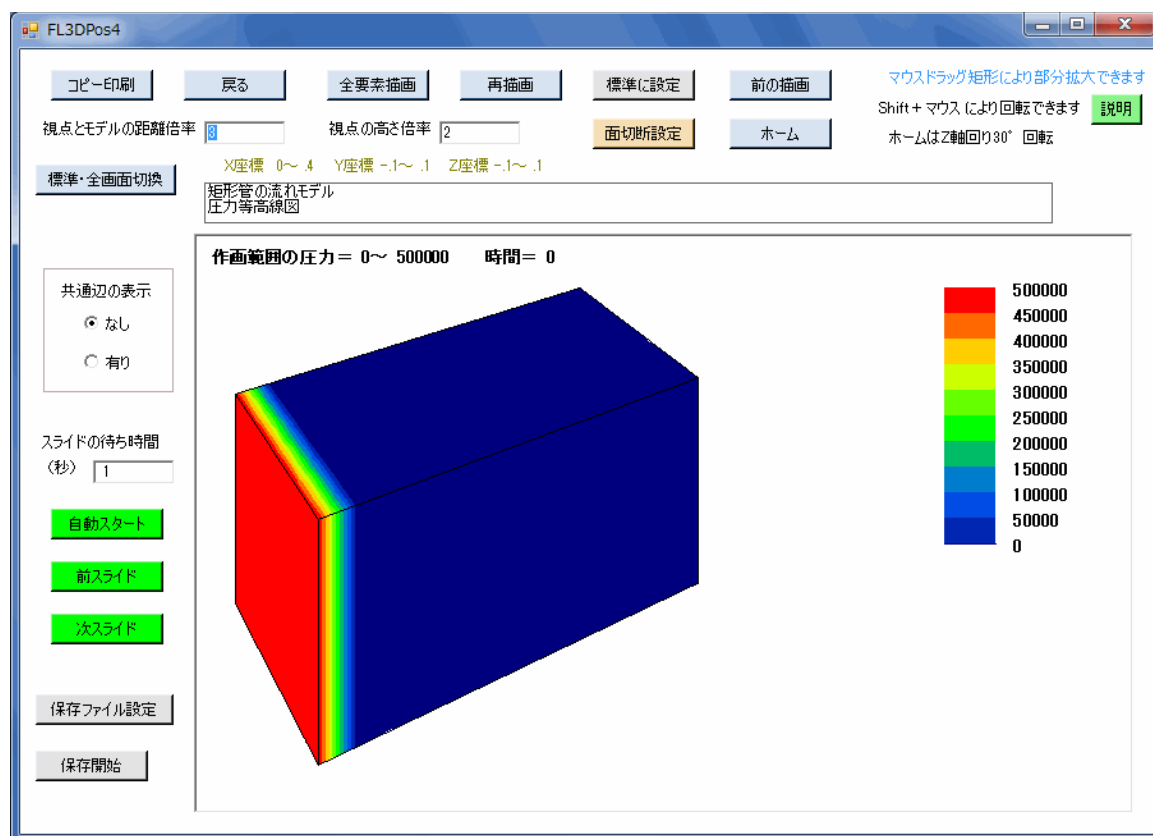


図6-19 等高線図スライドショーの初期画面（圧力）

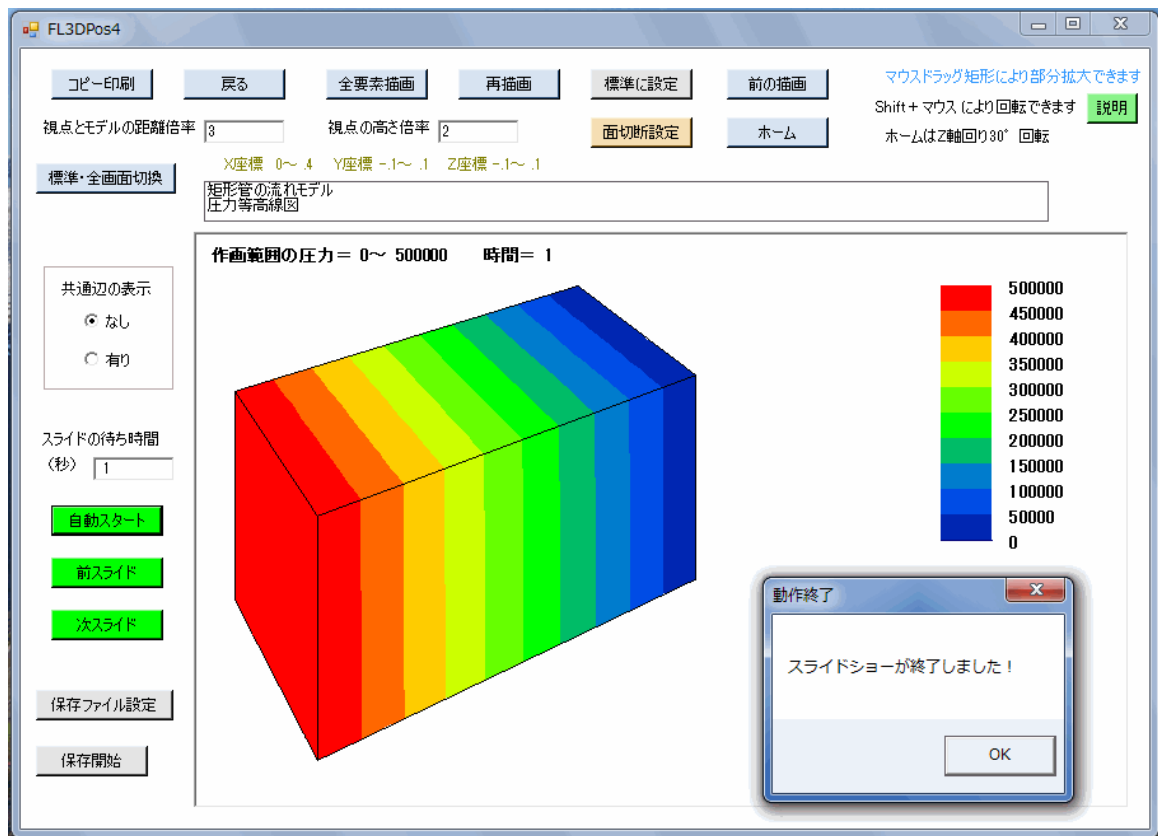


図6-20 等高線図スライドショーの終了画面（圧力）

## 6.10 解析結果の主要値表示

図6-21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。

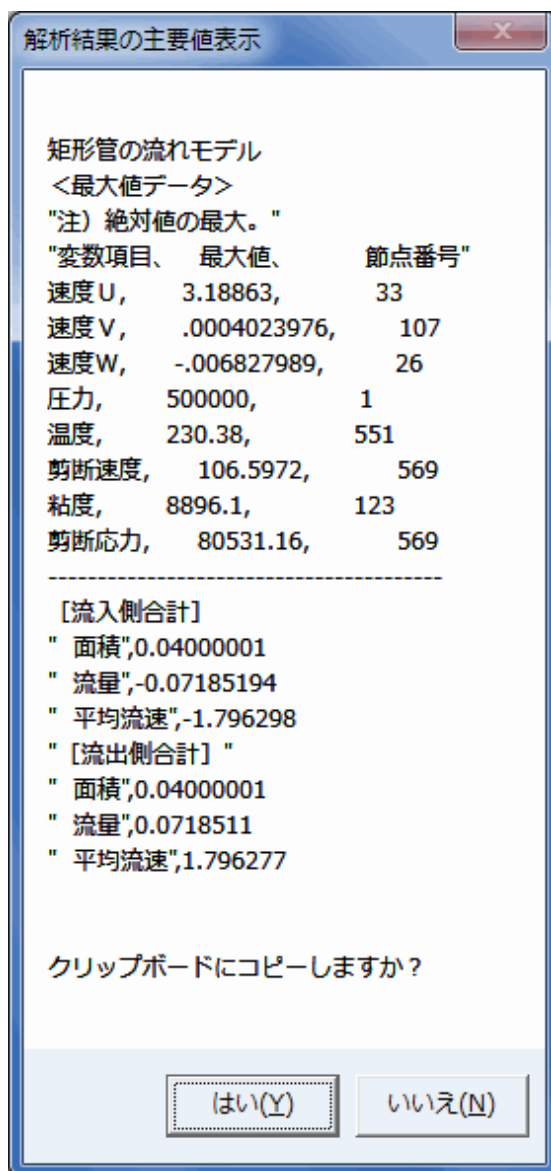


図6-21 解析結果の主要値表示の画面（粘性有り）

## 6.11 外部領域への作用力計算

図6-22のように構造図が表示されますので、Ctrlキーを押しながらマウス矩形により外部面領域を設定します。同図のダイアログ画面で「はい」ボタンをクリックすると、作用力計算が実行され、図6-23のように作用力が左側部分に緑色で表示されます。また、同図のように設定された外部面領域は緑色で描かれます。

◇本構造図の「説明」ボタンをクリックすると、マウスによる回転操作（Shiftキー併用）の説明図が表示されます。

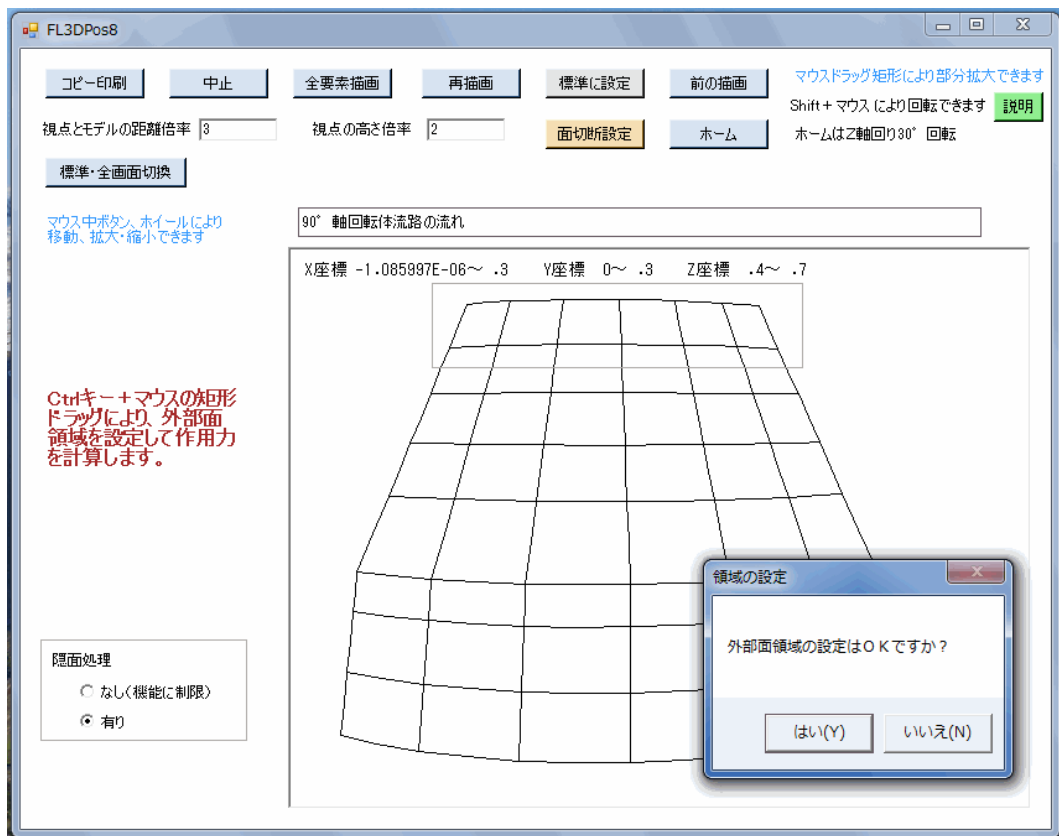


図6-22 外部領域を設定する構造図画面

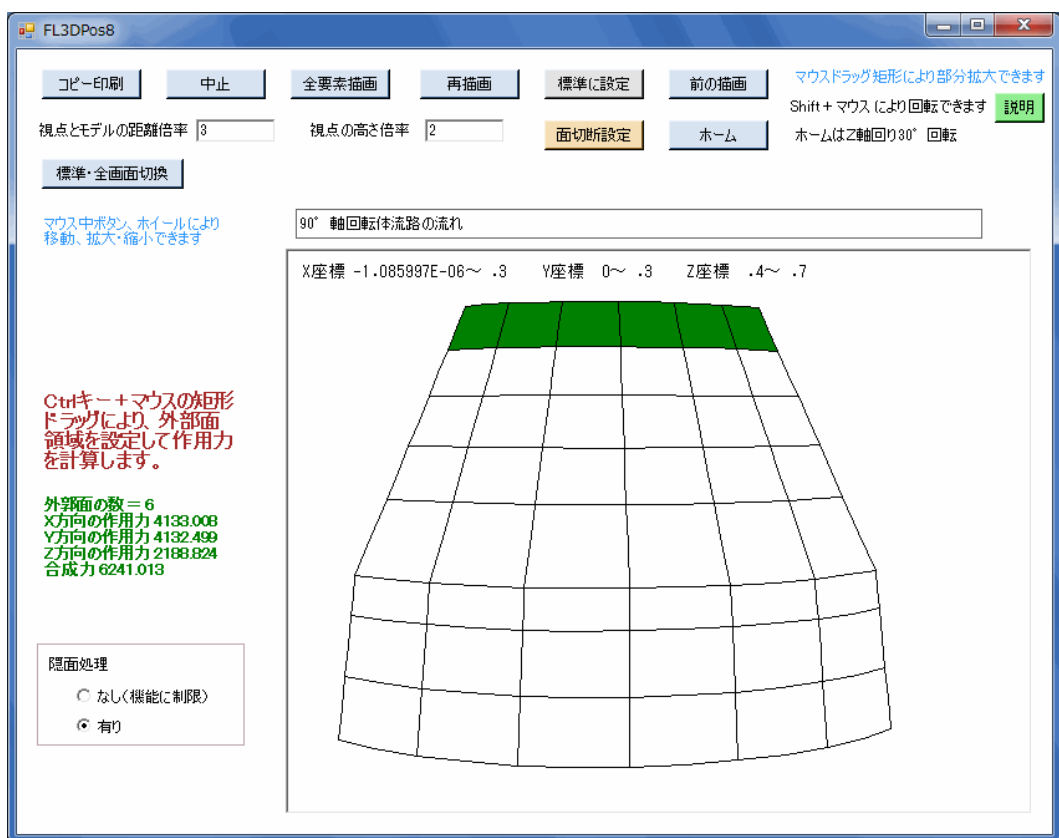


図6-23 外部領域への作用力の計算結果を示す構造図画面

## 第7章 非粘性流れの計算例

### 7.1 構造モデル

図7-1にモデル図を示します。同図のように矩形管で曲がった拡大流路で、流体は水です。右端の流出口で速度ポテンシャル0を設定し、左端の流入口で面垂直流速  $-1\text{ m/s}$ （流出が正）を与えます。なお、流路壁面には何も設定しません。

メッシュ生成した構造図は図4-35を参照してください。

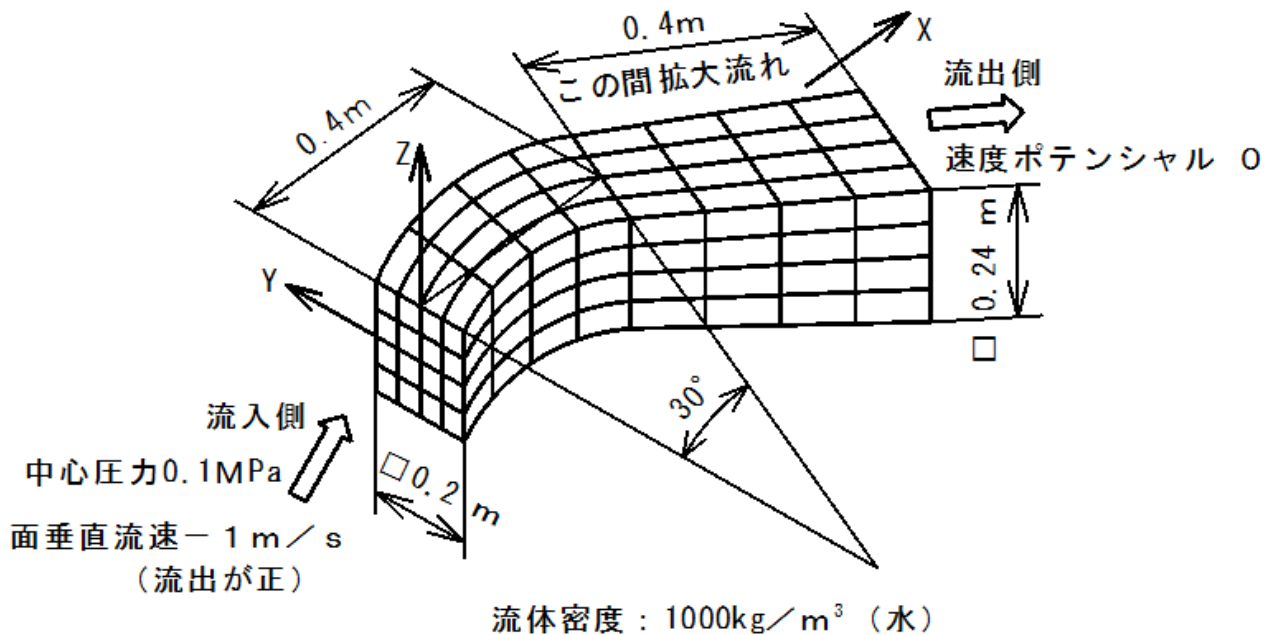


図7-1 曲がり拡大流れの構造モデル

### 7.2 入力データ

図7-2に入力データファイルの内容を示します。

### 7.3 計算結果データ

図7-3に計算結果データを示します。

### 7.4 速度ベクトル図

図7-4に構造中央部の速度ベクトル図を示します。ただし、中間節点の速度ベクトルは除去になっています。

### 7.5 等高線図

図7-5に圧力の等高線図、図7-6に全速の等高線図を示します。

```

プログラム名,Flow3DLiq
要素種類 (0:六面体、1:四面体) , 0
曲がり拡大流れモデル (非粘性)
粘性の有無 (0:なし、1:有り) , 0
節点数, 785
要素数, 128
速度ポテンシャル固定の節点数, 0
速度ポテンシャルの面の数, 16
面垂直流の面の数, 16
物体力の有無 (0:なし、1:有り) , 0
ガウス積分点数, 3
要素データ (要素番号、20節点番号)
1, 1, 10, 15, 16, 17, 11, 3, 2, 66, 71
   72, 67, 91, 100, 105, 106, 107, 101, 93, 92
2, 3, 11, 17, 18, 19, 12, 5, 4, 67, 72
   73, 68, 93, 101, 107, 108, 109, 102, 95, 94
3, 5, 12, 19, 20, 21, 13, 7, 6, 68, 73
   74, 69, 95, 102, 109, 110, 111, 103, 97, 96
4, 7, 13, 21, 22, 23, 14, 9, 8, 69, 74
   75, 70, 97, 103, 111, 112, 113, 104, 99, 98
5, 15, 24, 29, 30, 31, 25, 17, 16, 71, 76
   77, 72, 105, 114, 119, 120, 121, 115, 107, 106
. . . . .
. . . . .
124, 665, 671, 679, 680, 681, 672, 667, 666, 709, 714
   715, 710, 755, 761, 769, 770, 771, 762, 757, 756
125, 673, 682, 687, 688, 689, 683, 675, 674, 711, 716
   717, 712, 763, 772, 777, 778, 779, 773, 765, 764
126, 675, 683, 689, 690, 691, 684, 677, 676, 712, 717
   718, 713, 765, 773, 779, 780, 781, 774, 767, 766
127, 677, 684, 691, 692, 693, 685, 679, 678, 713, 718
   719, 714, 767, 774, 781, 782, 783, 775, 769, 768
128, 679, 685, 693, 694, 695, 686, 681, 680, 714, 719
   720, 715, 769, 775, 783, 784, 785, 776, 771, 770
節点データ (節点番号、X座標、Y座標、Z座標)
1, 0, .1, -.1
2, 0, .1, -.075
3, 0, .1, -.05
4, 0, .1, -.025
5, 0, .1, 0
6, 0, .1, .025
7, 0, .1, .05
8, 0, .1, .075
9, 0, .1, .1
10, 0, .075, -.1
. . . . .
. . . . .

```

図7-2 (1/2) 曲がり拡大流れの入力データファイル

```

776,    .701,   -.27794,    .12
777,    .686,   -.30392,   -.12
778,    .686,   -.30392,   -.09
779,    .686,   -.30392,   -.06
780,    .686,   -.30392,   -.03
781,    .686,   -.30392,    0
782,    .686,   -.30392,    .03
783,    .686,   -.30392,   .06000001
784,    .686,   -.30392,    .09
785,    .686,   -.30392,    .12
速度ポテンシャルの面のデータ
(面固定番号、要素番号、面番号、φ値)
1,     113,    2,      0
2,     114,    2,      0
3,     115,    2,      0
4,     116,    2,      0
5,     117,    2,      0
6,     118,    2,      0
. . . . .
. . . . .
11,    123,    2,      0
12,    124,    2,      0
13,    125,    2,      0
14,    126,    2,      0
15,    127,    2,      0
16,    128,    2,      0
面垂直流データ (設定番号、要素番号、面番号、垂直流速)
1,     1,      1,     -1
2,     2,      1,     -1
3,     3,      1,     -1
4,     4,      1,     -1
5,     5,      1,     -1
6,     6,      1,     -1
. . . . .
. . . . .
11,    11,      1,     -1
12,    12,      1,     -1
13,    13,      1,     -1
14,    14,      1,     -1
15,    15,      1,     -1
16,    16,      1,     -1
基準圧力の節点番号, 33
基準圧力の値, 100000
材料データ
密度 =, 1000
比熱 =, 4190
熱伝導率 =, .6
粘度 (基準) =, .001002

```

図7-2 (2/2) 曲がり拡大流れの入力データファイル

<< 3次元流れ解析の計算結果（非粘性） >>

曲がり拡大流れモデル（非粘性）

[入力データファイル] , C:\¥VB2022¥3次元流れ解析¥Data¥SqPipeFlowIV. dat

\*\*\* 計算結果（スカイライン法） \*\*\*

バンド幅, 428

保存配列のインデックス数, 65769

\*\* 節点の結果出力 \*\*

<節点番号、ポテンシャル $\phi$ 、速度U、速度V、速度W、圧力>

1,	-.7361014,	.9153193,	.4163372,	-6.171953E-05,	100089
2,	-.7361023,	.9153488,	.4163403,	-3.735918E-06,	100089
3,	-.7361016,	.9153239,	.4163331,	8.58929E-06,	100089
4,	-.7361022,	.9153416,	.4163353,	-2.89557E-06,	100089
5,	-.7361018,	.9153239,	.4163329,	1.05709E-12,	100089
6,	-.7361022,	.9153416,	.4163353,	2.89557E-06,	100089
7,	-.7361016,	.9153239,	.4163331,	-8.589291E-06,	100089
8,	-.7361023,	.9153488,	.4163403,	3.735918E-06,	100089
9,	-.7361014,	.9153193,	.4163372,	6.171953E-05,	100089
10,	-.7462162,	.9634143,	.3930698,	-6.716019E-05,	100053.2
.....					
776,	0,	.5644749,	-.3258209,	-7.706889E-05,	100382.2
777,	0,	.5464132,	-.3153927,	7.458597E-05,	100395.5
778,	0,	.5643257,	-.325732,	7.570131E-05,	100382.3
779,	0,	.57886,	-.334121,	4.132124E-05,	100371.2
780,	0,	.583196,	-.3366238,	6.492075E-06,	100367.8
781,	0,	.5850981,	-.3377216,	-1.490389E-10,	100366.4
782,	0,	.583196,	-.3366238,	-6.491703E-06,	100367.8
783,	0,	.57886,	-.334121,	-4.132156E-05,	100371.2
784,	0,	.5643257,	-.325732,	-7.570242E-05,	100382.3
785,	0,	.5464132,	-.3153927,	-7.458476E-05,	100395.5

<最大・最小値データ>

注) 速度は絶対値の最大・最小。

変数項目、 値、 節点番号

速度ポテンシャル $\phi$ max, 0, 721

速度ポテンシャル $\phi$ min, -.8310161, 58

速度Umax, 1.363346, 238

速度Umin, .5464132, 777

速度Vmax, .7498782, 58

速度Vmin, .002042323, 219

速度Wmax, -.04780348, 502

速度Wmin, -5.125979E-13, 88

圧力max, 100395.5, 777

圧力min, 99649.41, 176

図7-3 (1/2)

曲がり拡大流れの計算結果データファイル

```

** 要素面の流出入量の出力 **
<要素番号、面番号、面積、流出量、平均流速>
1, 1, .0025, -.002404796, -.9619184
2, 1, .0025, -.002404781, -.9619123
3, 1, .0025, -.002404781, -.9619123
4, 1, .0025, -.002404796, -.9619184
5, 1, .0025, -.002520578, -1.008231
6, 1, .0025, -.002520561, -1.008224
7, 1, .0025, -.002520561, -1.008224
8, 1, .0025, -.002520578, -1.008231
9, 1, .0025, -.002519749, -1.0079
10, 1, .0025, -.002519728, -1.007891
11, 1, .0025, -.002519728, -1.007891
12, 1, .0025, -.002519749, -1.0079
13, 1, .0025, -.002509895, -1.003958
14, 1, .0025, -.00250987, -1.003948
15, 1, .0025, -.00250987, -1.003948
16, 1, .0025, -.002509895, -1.003958
113, 2, .00359992, .002417848, .6716394
114, 2, .00359992, .002498404, .6940165
115, 2, .003599921, .002498405, .6940166
116, 2, .00359992, .002417848, .6716394
117, 2, .003599922, .002498019, .693909
118, 2, .003599922, .002580312, .7167689
119, 2, .003599923, .002580313, .716769
120, 2, .003599921, .002498018, .6939091
121, 2, .003599921, .002498329, .6939955
122, 2, .003599921, .002580646, .716862
123, 2, .003599921, .002580647, .716862
124, 2, .00359992, .002498328, .6939954
125, 2, .003599921, .002417286, .6714832
126, 2, .003599922, .002497875, .6938692
127, 2, .003599922, .002497875, .6938693
128, 2, .003599921, .002417286, .6714832
[流入側合計]
面積, .04000001
流量, -.03981992
平均流速, -.9954978
[流出側合計]
面積, .05759873
流量, .03997744
平均流速, .694068
END 0h 0min 0s 5513MB free

```

図7-3 (2/2) 曲がり拡大流れの計算結果データファイル

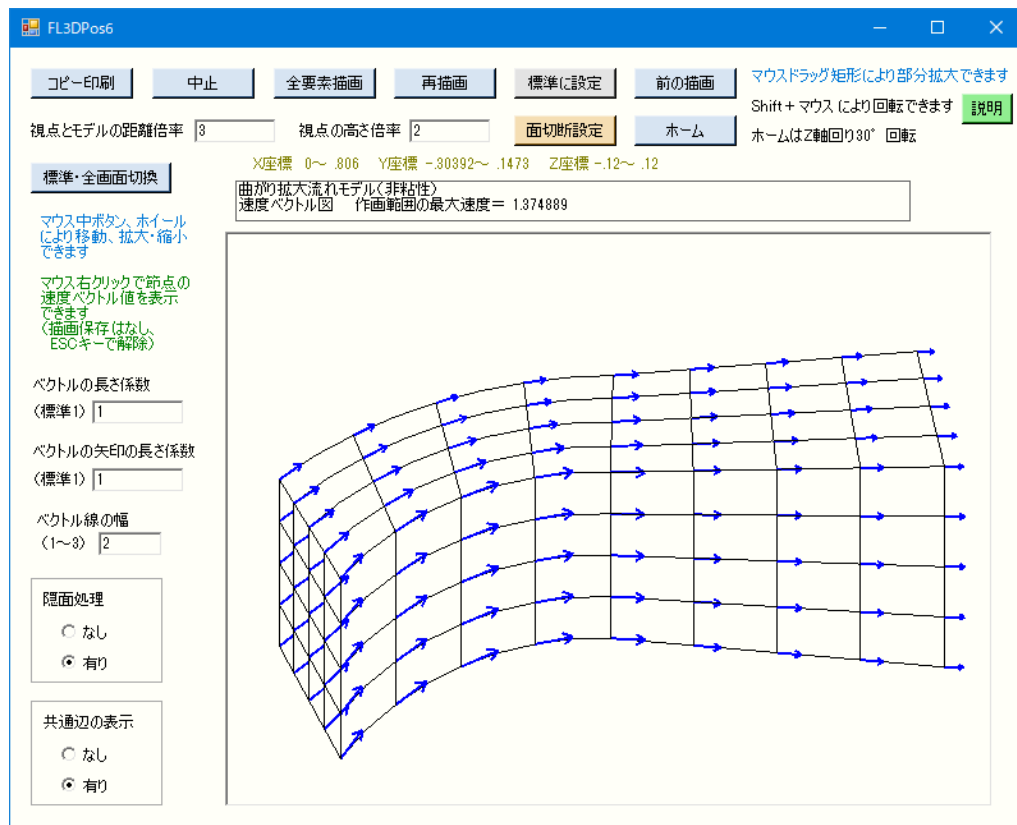


図7-4 曲がり拡大流れの速度ベクトル図（中間節点除去）

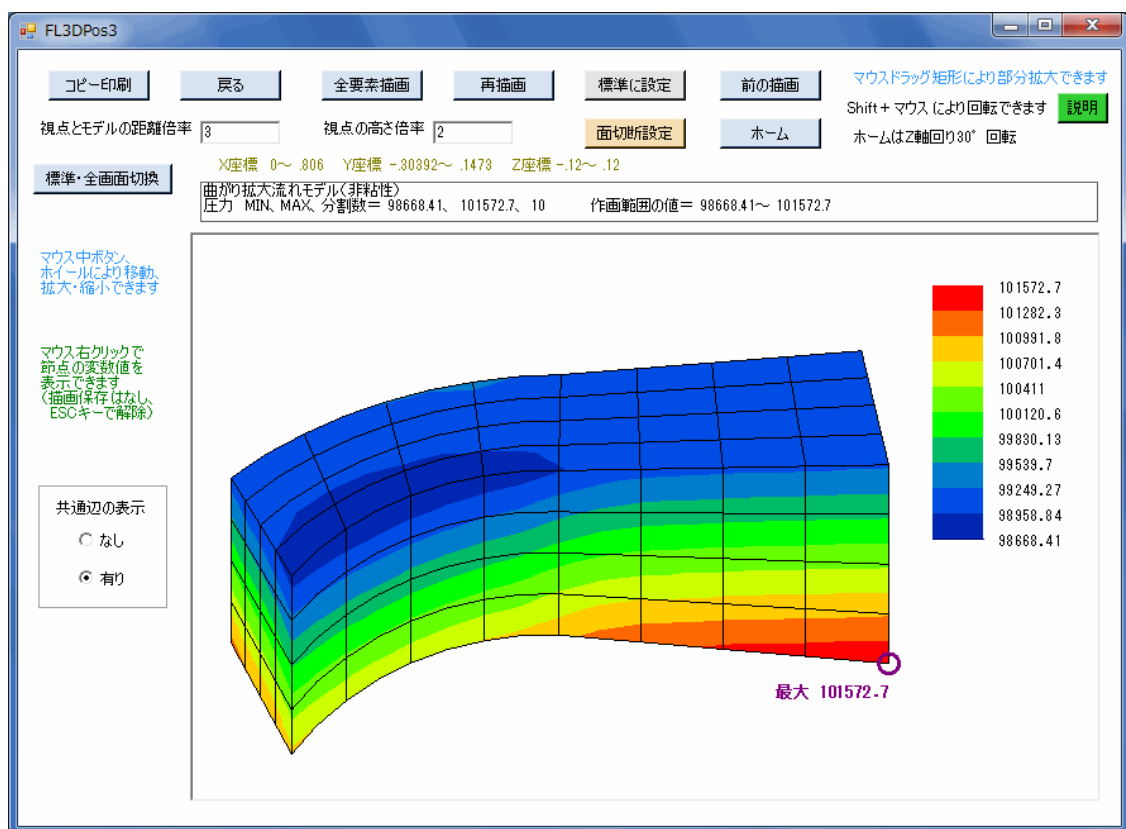


図7-5 曲がり拡大流れの等高線図（圧力）

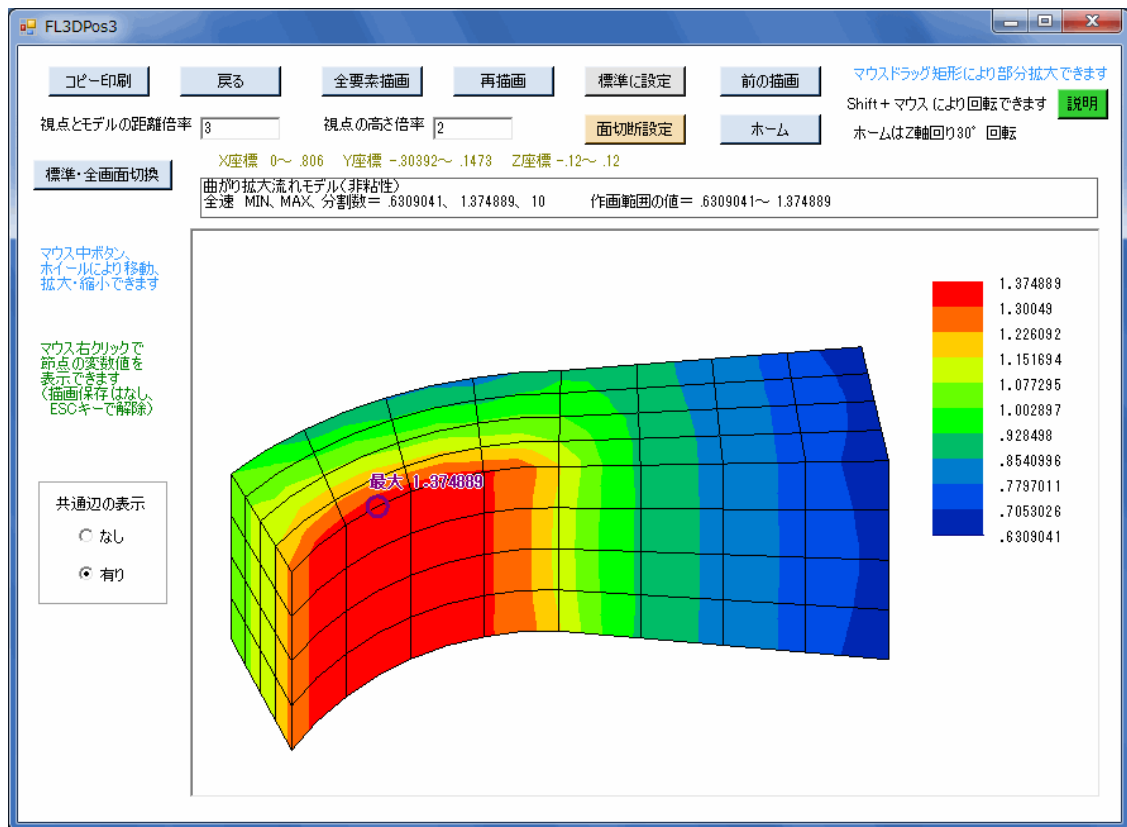


図7-6 曲がり拡大流れの等高線図（全速）

## 第8章 粘性定常流れの計算例

### 8.1 合成構造モデルの定常流れ解析（非ニュートン流・非等温）

図8-1に構造モデル図を示します。同図は図4-43の構造図と同じモデルです。本モデルの解析結果を図8-2の速度ベクトル図、図8-3の等高線図（圧力）、図8-4の等高線図（剪断応力）で示します。なお、計算時間は10sでした（バンドマトリックス法）。

注）本モデルは要素数128、節点数785です。

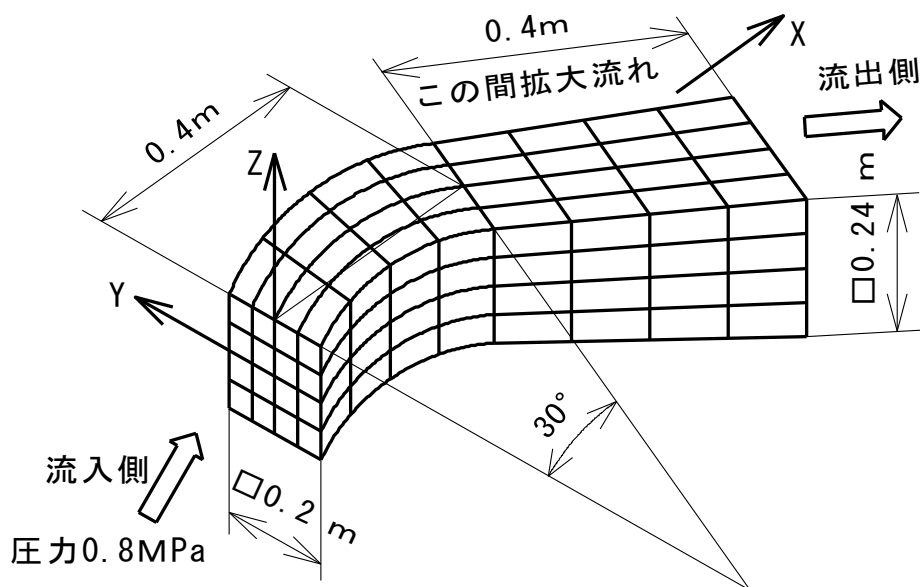


図8-1 合成構造モデル

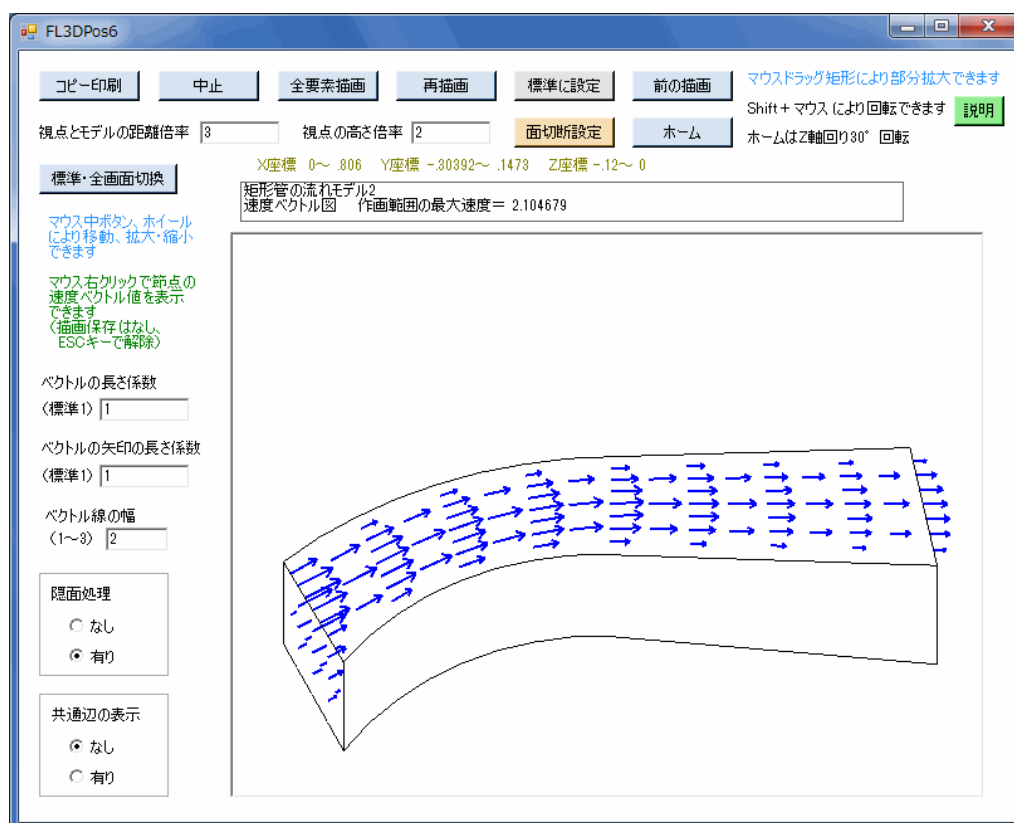


図8-2 合成構造流れの速度ベクトル図（上下対称の中心断面）

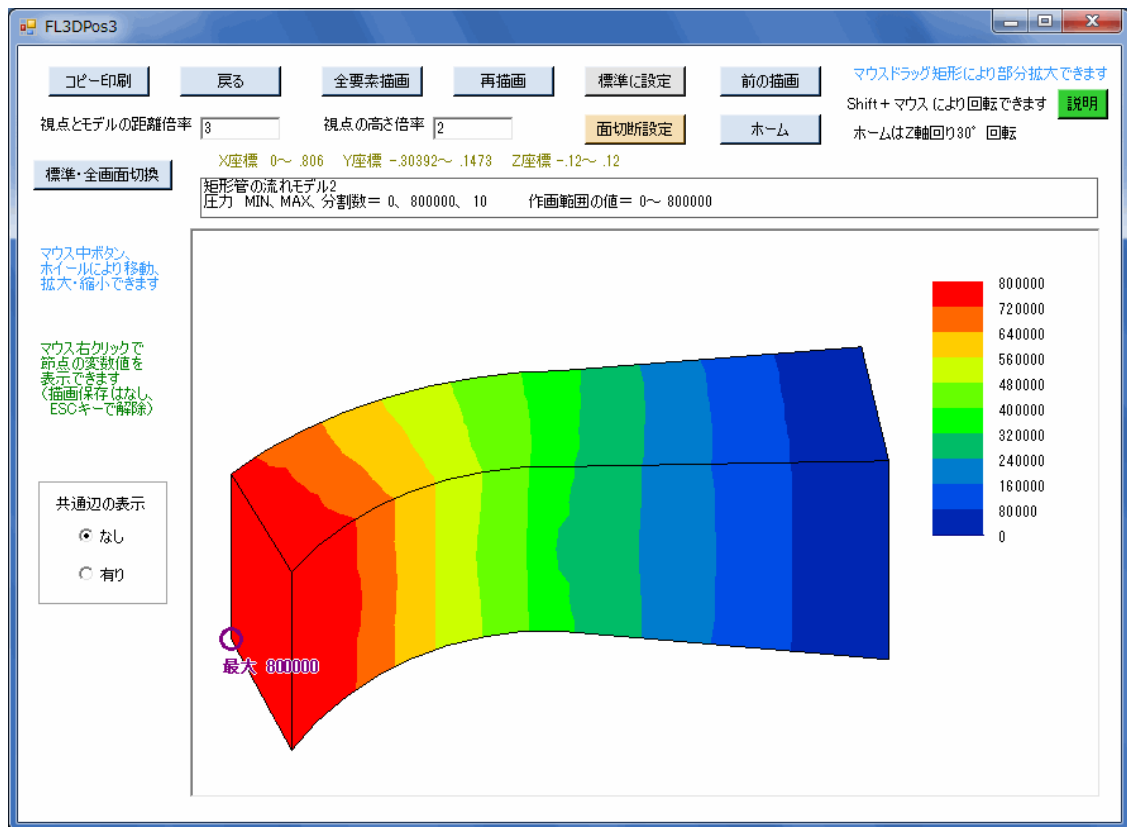


図8-3 合成構造流れの等高線図（圧力）

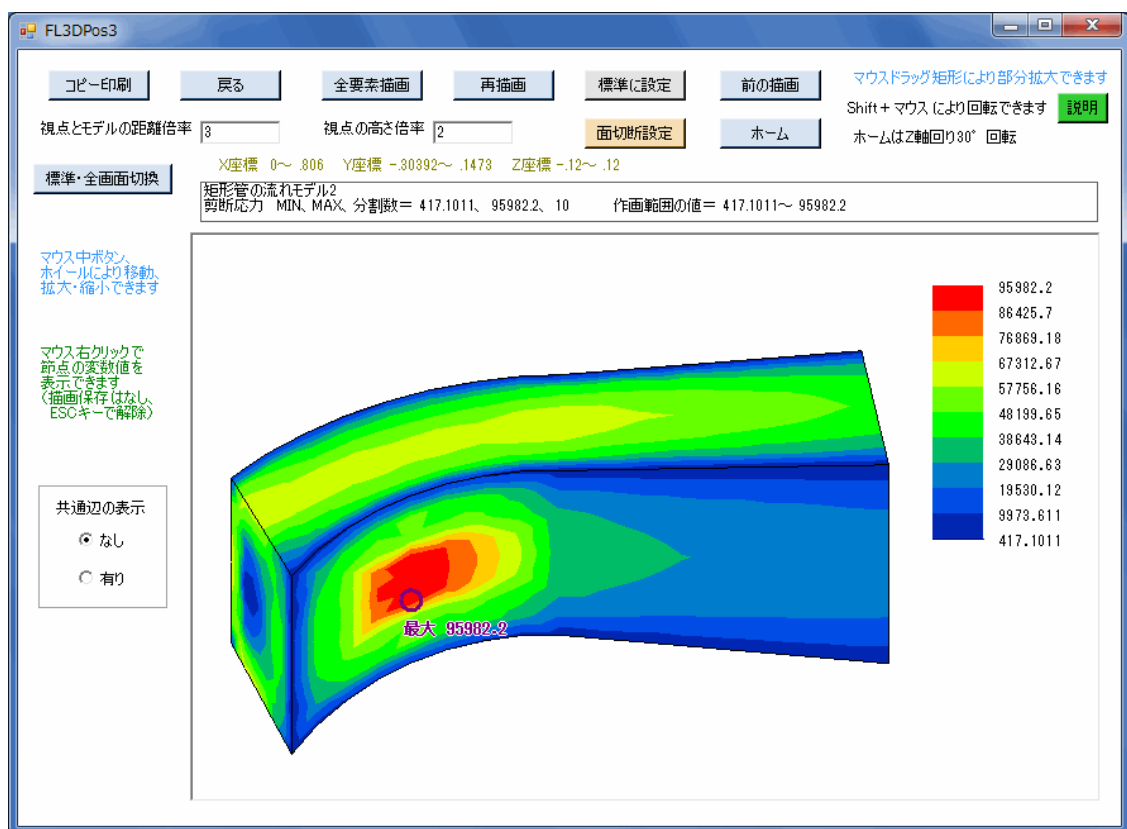


図8-4 合成構造流れの等高線図（剪断応力）

## 8.2 90° 軸回転体構造の定常流れ解析（非ニュートン流・等温）

図8-5に構造モデル略図を示します。

また、図8-6に構造図を示します。

本モデルの解析結果を図8-7の速度ベクトル図、図8-8の等高線図（圧力）、図8-9の等高線図（剪断速度）で示します。なお、計算時間は20sでした（バンドマトリックス法）。

注）本モデルは要素数192、節点数1117です。

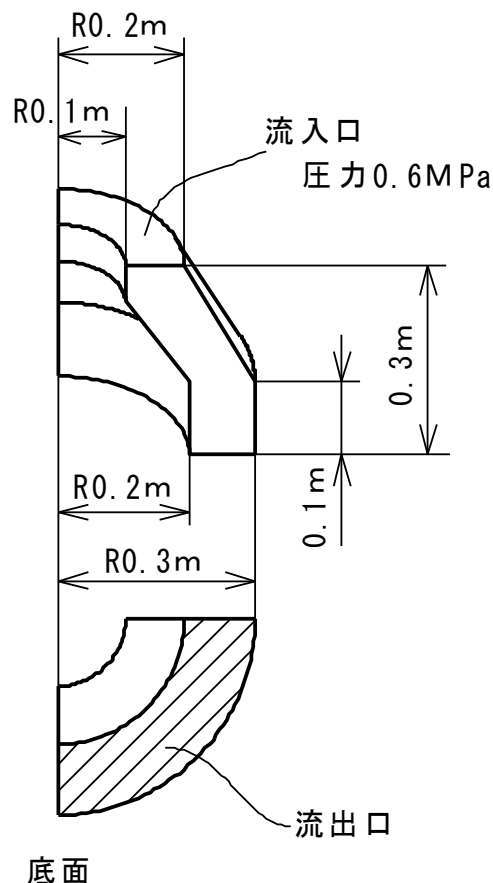


図8-5 90° 軸回転体の構造モデル略図

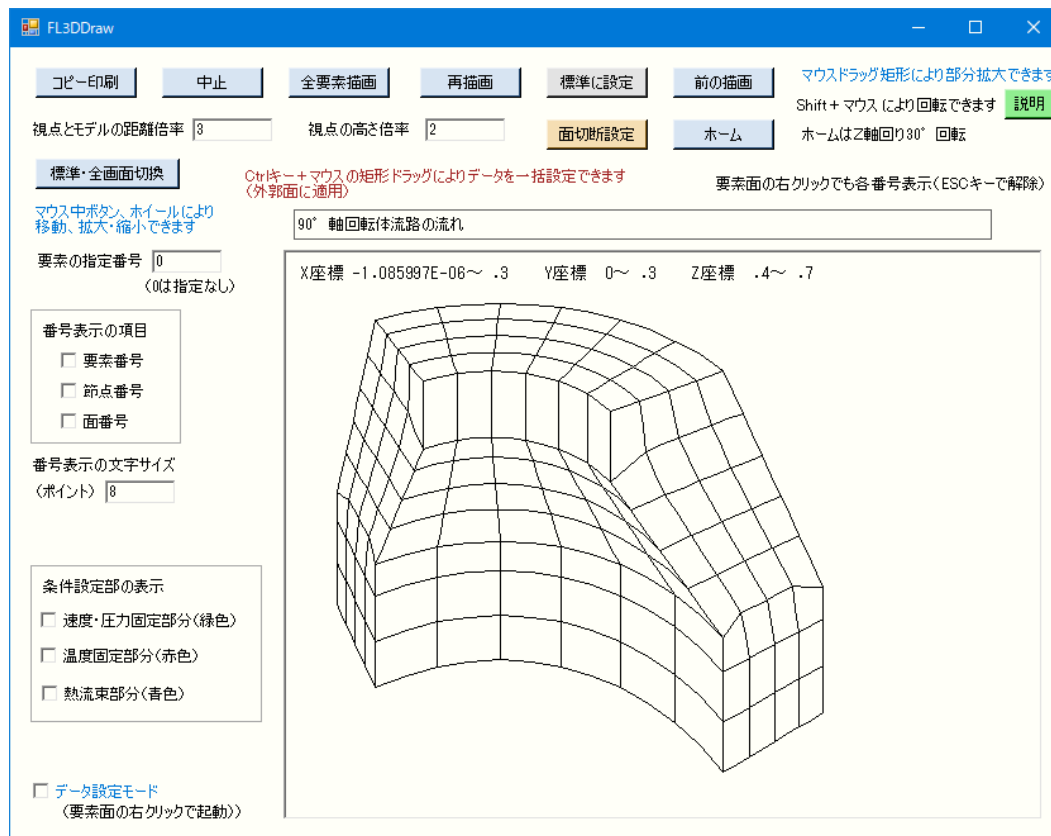


図8-6 90° 軸回転体構造流れの構造図

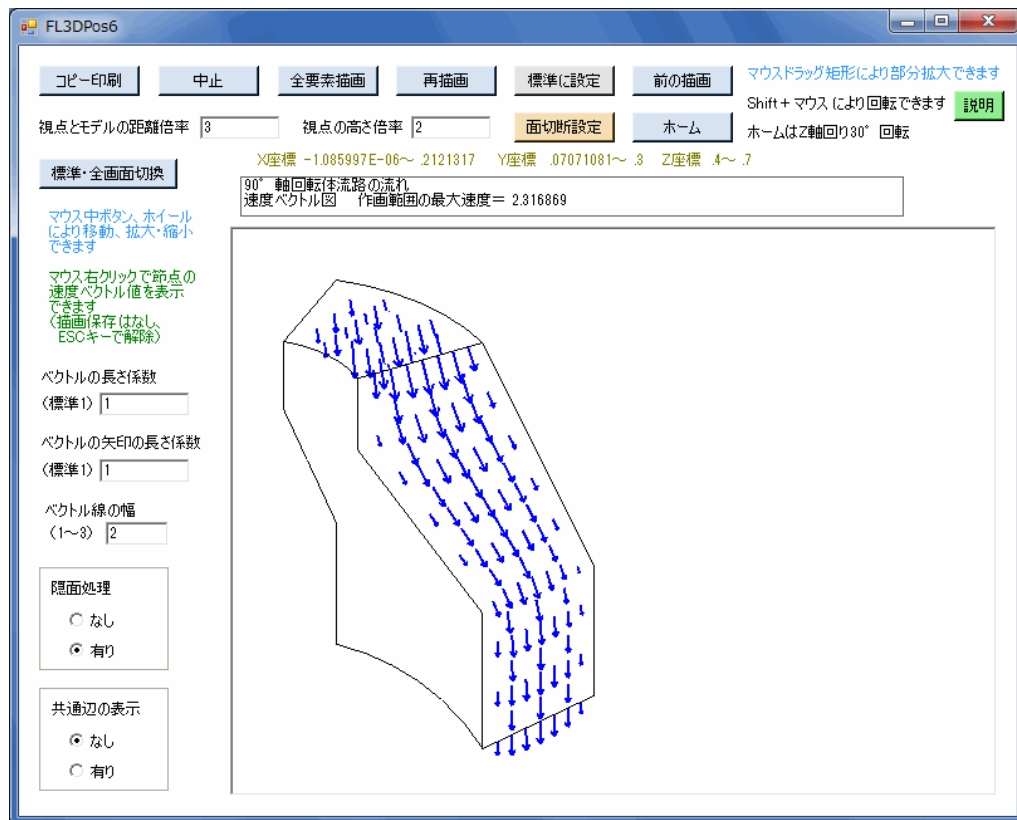


図8-7 90° 軸回転体構造流れの速度ベクトル図（中心分割の片側）

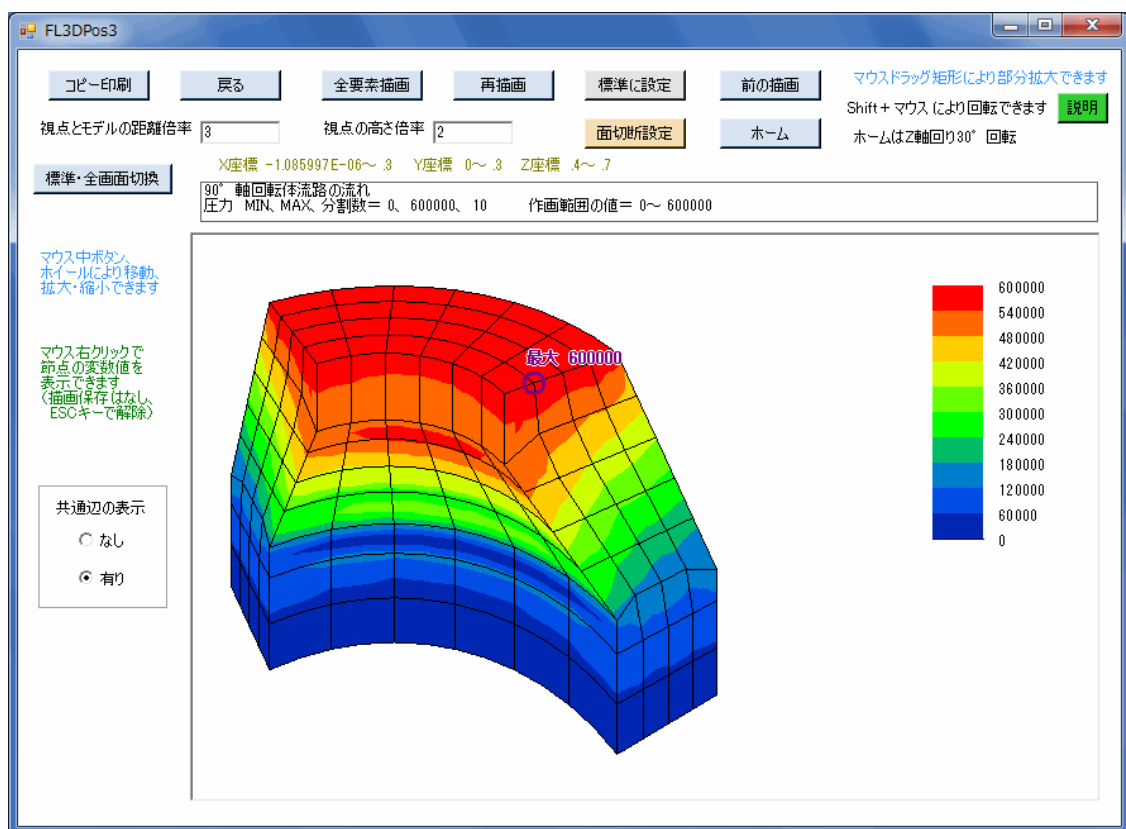


図8-8 90° 軸回転体構造流れの等高線図（圧力）

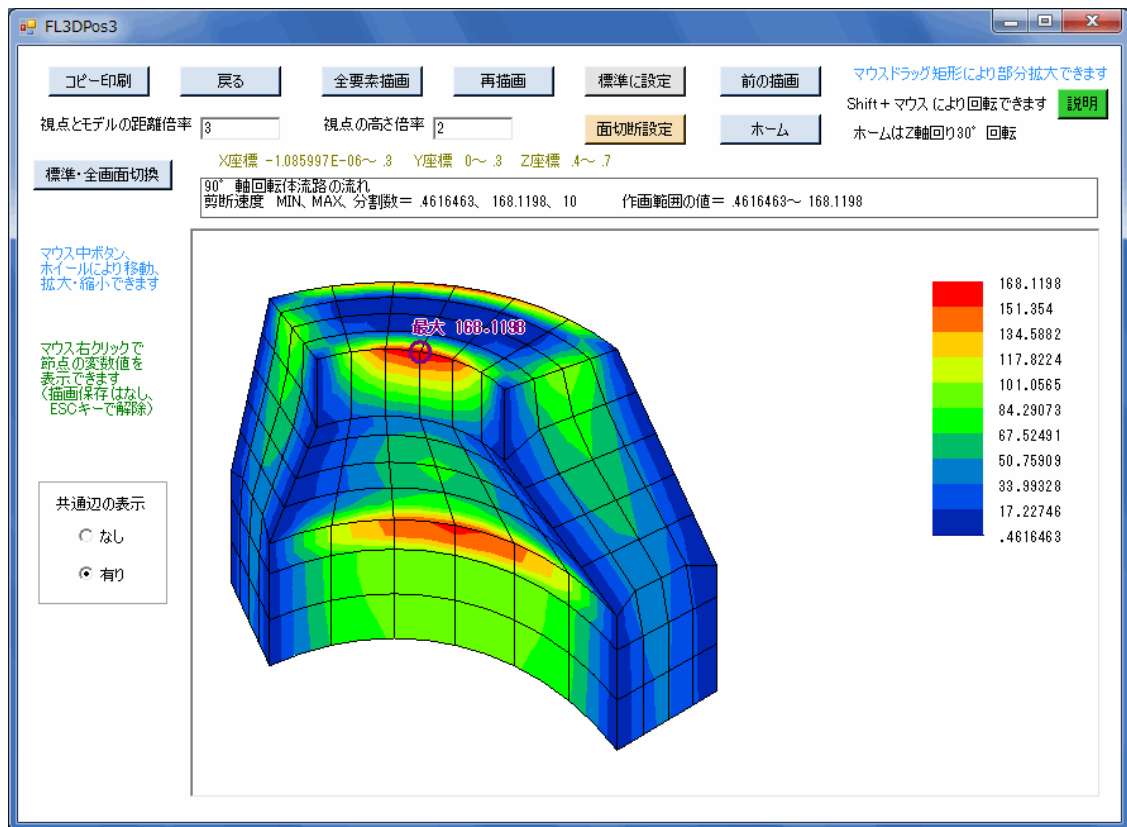
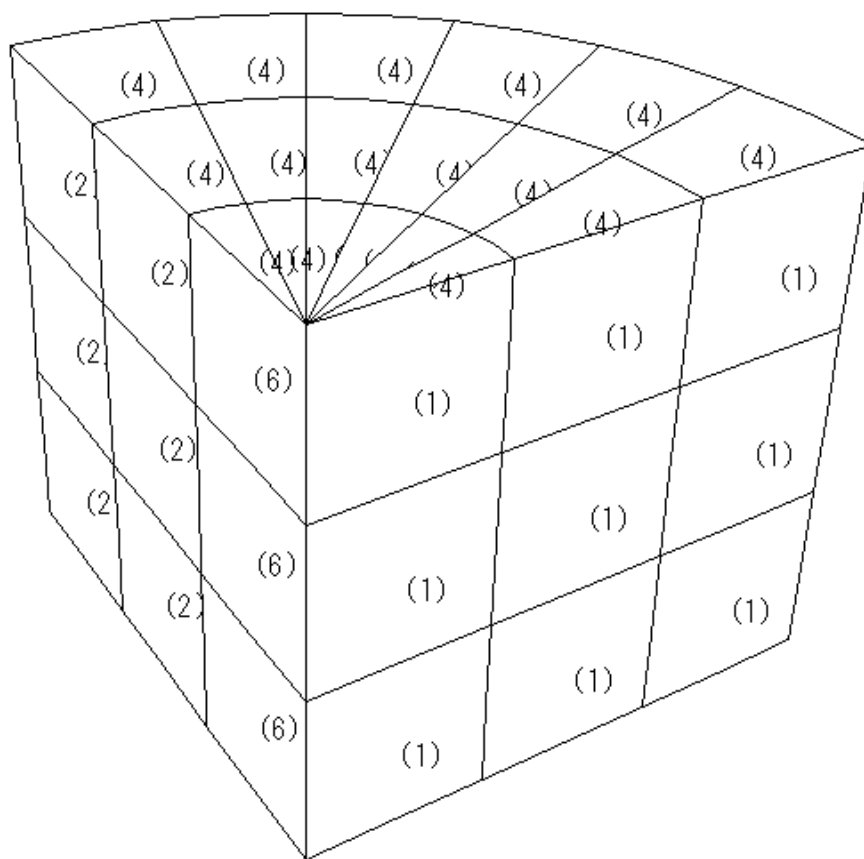


図8-9 90° 軸回転体構造流れの等高線図（剪断速度）

[補足] 中心穴なし軸回転体の注意事項（六面体要素の場合）

回転終了位置において、最内側だけ面番号が異なります。解析の条件設定で面番号を指定する場合には、間違わないように、必ず面番号を確かめるようにしてください。これは、6面体20節点の要素を設定する際、最内側の要素は本来5面しかないため、2要素ずつのペアで6面となるように特殊な処理を行なっているためです。

参考として、1/4 j 軸回転体の面番号の例を下図に示します。同図では、回転終了位置の面番号は、最内側だけが6で、他はすべて2になっています。



注) ( )内は面番号

付図 中心穴なし軸回転体の構造図例（1/4軸回転体）

[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) 「数学公式・数表ハンドブック」、スpeerゲル 著、氏家 勝巳 訳、  
マグローヒル ブック (株)、1984
- B2) 「数値解析とその応用」、名取 亮、  
コロナ社、1992
- B3) 「Visual Basicによる工学計算プログラム」、黒田 英夫、  
CQ出版社、2001
- B4) 「Visual Basicによる数値解析プログラム」、黒田 英夫、  
CQ出版社、2002
- B5) 「コンピュータグラフィックス講義」、青木 由直、  
コロナ社、2000
- B6) 「線形計算」、名取 亮、  
朝倉書店、1993
- B7) 「新数値計算」、福井 義成 他、  
共立出版 (株)、2001
- B8) 「Web用3D-CG言語 X3D XML版」、赤間 世紀、  
工学社、2007
- 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
- B11) 「機械学習と深層学習 <<C言語によるシミュレーション>>」、小高 知宏、  
オーム社、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) 「Fundamentals of Computer Modeling for Polymer Processing」、  
Charles L. Tucker III、Hanser Publishers、1989
- C7) 機械工学便覧A5「流体力学」、日本機械学会編、  
日本機械学会、1986
- C8) 「流体解析への有限要素法の応用」、J. J. Connor 他、奥村 敏恵 監訳、  
サイエンス社、1981
- C9) 「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
- C10) 「続・有限要素法による流れのシミュレーション」、  
日本計算工学会流れの有限要素法研究会編、シュプリンガー・ジャパン、2008
- C11) 「流体・構造連成問題における有限要素と安定化手法の相互関係に関する研究」、澤田 有弘、  
東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境学専攻 人間人工環境コース 修士論文、2003
- C12) 「The Finite Element Method in Electromagnetics」、Jianming Jin  
John Wiley & Sons、2002
- C13) 「基本からわかる有限要素法」、邵 長城、  
森北出版(株)、2008
- C14) 「流体力学 非圧縮性流体の流れ学」、中山 司、  
森北出版(株)、2015