

\*\*\*\*\*

\* 「2次元振り解析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2次元振り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、一様断面軸の振り弾性問題を解くものです。解析結果として、振りによる剪断応力を出し、その等高線図も作画できます。併せて、各種の断面定数も出力します。また、入力データの自動メッシュについては、別途、算生会の「FEM断面データK」ソフトが必要です。

[備考]本書の解析事例の計算時間は、下記仕様のパソコンによります。

CPU : 3GHz (64bit、4コア) RAM : 16GB

## &lt;目次&gt;

	ページ
第1章 有限要素法 -----	2
第2章 プログラムの機能・構成 -----	8
第3章 自動メッシュのデータの作り方 -----	11
第4章 構造データの作り方 -----	12
第5章 「解析データ」処理プログラム -----	14
第6章 「計算」プログラム -----	27
第7章 「後処理」プログラム -----	31
第8章 計算事例 -----	38
[参考文献] -----	45

## 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、本書ソフトでは図1-1に示す四角形8節点のアイソパラメトリック2次要素を使用します。同図で節点2、4、6、8は各辺の midpoint にあり、中間節点と呼ばれます。各辺は直線でも曲線（円弧）でも構いません。ガウス積分点は図の9点を使用します。なお、同図では平面問題として全体座標をXY座標で示していますが、軸対称問題ではRZ座標となります（以下同様）。

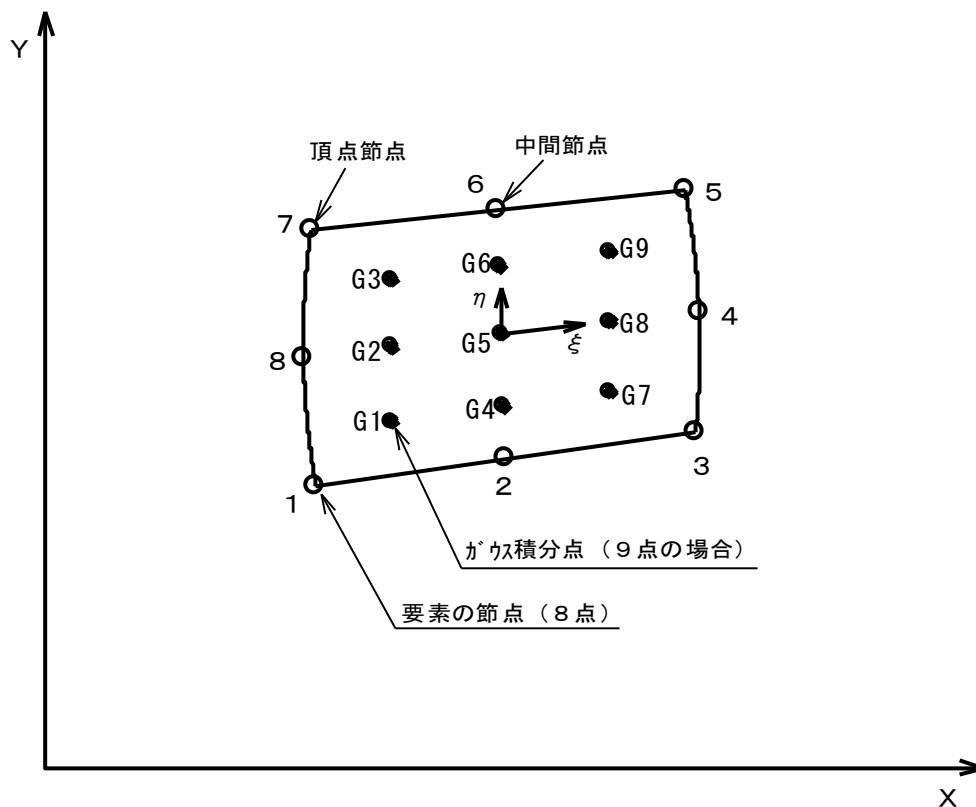


図1-1 四角形8節点要素

アイソパラメトリック2次要素は、三角形や四角形の1次要素（頂点のみに節点を持つ要素）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 $\xi$   $\eta$ を用いて、8節点の形状関数が下記のように定義されます。そして、要素内の任意位置の変数値が、8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]  $N_1 = -(1-\xi)(1-\eta)(1+\xi+\eta)/4$

$$N_2 = (1-\xi^2)(1-\eta)/2$$

$$N_3 = (1+\xi)(1-\eta)(\xi-\eta-1)/4$$

$$N_4 = (1+\xi)(1-\eta^2)/2$$

$$N_5 = (1+\xi)(1+\eta)(\xi+\eta-1)/4$$

$$N_6 = (1-\xi^2)(1+\eta)/2$$

$$N_7 = (1-\xi)(1+\eta)(-\xi+\eta-1)/4$$

$$N_8 = (1-\xi)(1-\eta^2)/2$$

以上 (1-1)

ただし、 $\xi$ 、 $\eta$ の変域は、それぞれ-1~1

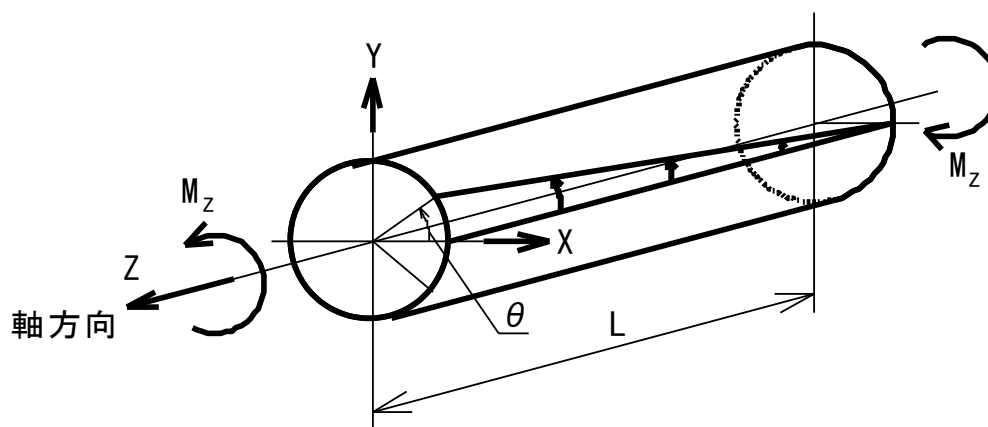
[要素内の変数値] 局所座標( $\xi$ ,  $\eta$ )における値

$$H = \sum_{i=1}^8 N_i H_i \quad (1-2)$$

ただし、 $H_i$ は節点における変数値

## 1.2 軸振りの有限要素法

図1-2に振りの説明図を示します。同図の軸断面は円形となっていますが、軸長方向に一樣な断面であれば任意形状に対応できます。また、穴を有する断面でも構いません。



[振りの式]  $M_z = GK \frac{\theta}{L}$

$M_z$  : 振りモーメント

$G$  : 剪断弾性係数

$K$  : サンプナンの振り定数

図1-2 振りの説明図

図1-2のように、断面のXY座標を設定し、軸方向にZ軸を取ります。そして、軸の振りの

計算式は次のように表わされます。

$$M_z = GK \frac{d\theta}{dz} = GK \frac{\theta}{L} \quad (1-3)$$

(1-3) 式のように表わした場合に、同式のKがサンブナンの捩り定数です。材料力学の文献によっては、Kを使用せずに違った形で表現しているものもありますが、(1-3) 式のKにまとめて使用することができます。

捩りにおいては、円形断面以外は断面のゆがみ（Z軸方向の変位分布）が生じます。そのため、ゆがみ関数 $\omega$ を導入します。ゆがみ関数は次の式で表わされます。

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial Y^2} = 0 \quad (1-4)$$

断面境界線上で、

$$\frac{\partial \omega}{\partial n} = (Y - Y_G) n_x - (X - X_G) n_y \quad (1-5)$$

ただし、 $X_G$ 、 $Y_G$ ：断面の重心位置

$n$ ：法線方向座標

$n_x$ 、 $n_y$ ：法線方向のX、Y軸への方向余弦

(1-4) 式はいわゆるラプラス方程式であり、(1-5) 式を境界条件として、通常の有限要素法により解くことができます。

ゆがみ関数 $\omega$ がわかれば、捩り定数Kは、次式の積分により計算できます。ただし、積分は全有限要素について合計します。

$$K = \int \left[ \left\{ \frac{\partial \omega}{\partial X} - (Y - Y_G) \right\}^2 + \left\{ \frac{\partial \omega}{\partial Y} + (X - X_G) \right\}^2 \right] dX dY \quad (1-6)$$

各有限要素の捩り定数 $K_e$ は、(1-6) 式を局所座標 $\xi$   $\eta$ によって表わし、次式のようになります。

$$K_e = \int \left[ \left\{ \frac{\partial \omega}{\partial X} - (Y - Y_G) \right\}^2 + \left\{ \frac{\partial \omega}{\partial Y} + (X - X_G) \right\}^2 \right] |J| d\xi d\eta \quad (1-7)$$

ただし、 $|J|$ ：ヤコビアンマトリックスの行列式の値

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial X}{\partial \xi} & \frac{\partial Y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial X}{\partial \eta} & \frac{\partial Y}{\partial \eta} \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^8 \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} X_i & \frac{\partial N_i}{\partial \xi} Y_i \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} X_i & \frac{\partial N_i}{\partial \eta} Y_i \end{bmatrix} \quad (1-8)$$

また、(1-7) 式の  $\frac{\partial \omega}{\partial X}$  および  $\frac{\partial \omega}{\partial Y}$  は下記のように表わされます。

$$\frac{\partial \omega}{\partial X} = \sum_{i=1}^8 \frac{\partial N_i}{\partial X} \omega_i \quad (1-9)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial Y} = \sum_{i=1}^8 \frac{\partial N_i}{\partial Y} \omega_i \quad (1-10)$$

振りの剪断応力  $\tau_x$ 、 $\tau_y$  および合成剪断応力  $\tau_{\max}$  は下記のように表わされます。これらの計算は、各有限要素毎に行ないます。ただし、添え字  $x$ 、 $y$  は、各座標軸方向を意味します。

$$\tau_x = G \frac{\theta}{L} \left\{ \frac{\partial \omega}{\partial X} - (Y - Y_G) \right\} \quad (1-11)$$

$$\tau_y = G \frac{\theta}{L} \left\{ \frac{\partial \omega}{\partial Y} + (X - X_G) \right\} \quad (1-12)$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} \quad (1-13)$$

ここで、

$$G \frac{\theta}{L} = \frac{M_z}{K} \quad (1-14)$$

### 1.3 断面の重心の計算式

以下の各節では、それぞれの断面定数の計算式を示します。

図1-3に断面の説明図を示します。同図において、 $XY$ 座標で断面を定義し、断面の重心を  $G$  とします。そして、重心の座標を  $(X_G, Y_G)$  とし、重心を原点とした  $X'Y'$  座標を設定します。本ソフトにおける  $X, Y$  軸回り断面2次モーメント、回転半径、振り定数等の各断面定数は、重心原点の  $X'Y'$  座標に関するものです。従って、最初に重心位置を算出する必要があります。

重心位置  $X_G, Y_G$  を求めるために、元の  $XY$  座標において、 $X, Y$  軸回りの断面1次モーメント  $S_x, S_y$  を下記のように積分計算します。

$$S_x = \int Y \, dXdY \quad (1-15)$$

$$S_y = \int X \, dXdY \quad (1-16)$$

また、断面の面積  $A$  は次式で計算します。

$$A = \int dXdY \quad (1-17)$$

そして、重心位置は次式により算出します。

$$X_G = S_y / A \quad (1-18)$$

$$Y_G = S_x / A \quad (1-19)$$

### 1.4 断面2次モーメントの計算式

重心原点の  $X, Y$  軸回り断面2次モーメント  $I_x, I_y$  は、次式により計算します。

$$I_x = \int (Y - Y_G)^2 dXdY \quad (1-20)$$

$$I_y = \int (X - X_G)^2 dXdY \quad (1-21)$$

$X, Y$  軸に関する曲げ断面定数  $Z$  は、下記のように表わされます。

$$Z_{xR} = I_x / (Y_G - Y_a) \quad (1-22)$$

$$Z_{xL} = I_x / (Y_b - Y_G) \quad (1-23)$$

$$Z_{yR} = I_y / (X_b - X_G) \quad (1-24)$$

$$Z_{yL} = I_y / (X_G - X_a) \quad (1-25)$$

ただし、添え字R、Lは各座標軸回りの右側、左側、  
a、bは各座標軸の最小値、最大値を示す。

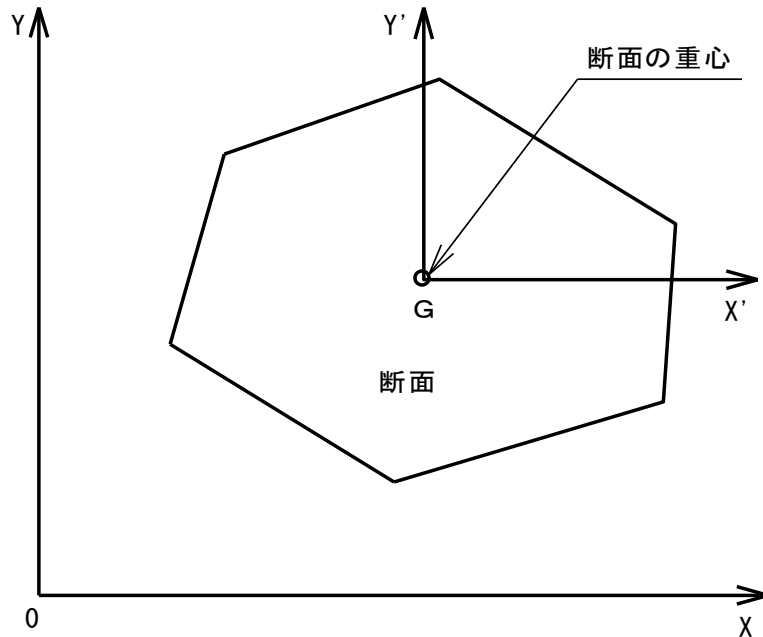


図1-3 断面の説明図

### 1.5 剪断係数の計算式

図1-4に説明用の断面図を示します。同図でX' 軸、Y' 軸は断面の中立軸で、Y' 軸から下端までの距離をe、X' 軸の断面内の長さをb<sub>0</sub>とします。

ここで剪断係数C<sub>sy</sub>、C<sub>sx</sub>とします。X' 軸方向もY' 軸方向も同様なので、以下にはY' 軸方向で説明します。C<sub>sy</sub>を次式で定義します。

$$\tau_{yN} = C_{sy} \tau_{ya} \quad (1-26)$$

ただし、 $\tau_{yN}$  : Y' 軸方向剪断の中立X' 軸上の応力値（最大値）

注）非対称断面では最大値にならないこともあるが、近似的に最大値と見なす。

$\tau_{ya}$  : Y' 軸方向剪断の断面積平均応力値。

剪断力をF<sub>sy</sub>とすると、次式で表わされる。

$$\tau_{ya} = F_{sy} / A \quad (1-27)$$

$$\therefore \tau_{yN} = C_{sy} \cdot F_{sy} / A \quad (1-28)$$

他方、 $\tau_{yN}$  は次式で計算されます。

$$\tau_{yN} = F_{sy} S_{sy} / (b_0 I_y) \quad (1-29)$$

$$\text{ただし、} S_{sy} = \int_{-e}^0 (-y) b dy \quad (1-30)$$

(1-28) 式と (1-29) 式から次式が得られます。

$$C_{sy} = AS_{sy} / (b_0 I_y) \quad (1-31)$$

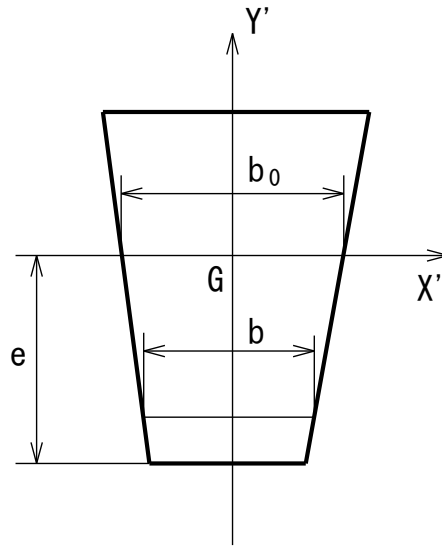


図1-4 剪断係数計算の説明図

#### 1.6 回転半径の計算式

回転半径とは、慣性モーメントを質量×(半径)<sup>2</sup>で表わしたときの半径を言います。ここでは断面の重心を中心とする回転半径を $R_r$ とします。まず、慣性モーメント $I_m$ （単位厚さ、単位密度の場合）を次式で計算します。

$$\begin{aligned} I_m &= \int r^2 dX dY \\ &= \int \{ (X - X_G)^2 + (Y - Y_G)^2 \} dX dY \end{aligned} \quad (1-32)$$

そして、次式により回転半径 $R_r$ を算出できます。

$$R_r = \sqrt{\frac{I_m}{A}} \quad (1-33)$$

#### 1.7 振り断面係数の計算式

(1-11) ～ (1-13) 式による振り剪断応力 $\tau_{max}$ について、断面最大値を $\tau_P$ とします。そして、振り断面係数 $Z_P$ は次式で計算します。

$$Z_P = M_z / \tau_P \quad (1-34)$$

## 第2章 プログラムの機能・構成

[VBプロジェクト名] T o r s i o n 2 D

本ソフトでは、任意形状の一樣断面の軸捩り解析を行ないます。また、下記の断面定数も出力します。

[断面定数の項目]

- ①重心位置            ②断面積            ③重心原点X、Y軸回り2次モーメント
- ④X軸回り曲げ断面係数（右側と左側）および対象点位置
- ⑤Y軸回り曲げ断面係数（右側と左側）および対象点位置
- ⑥X軸方向剪断応力係数            ⑦Y軸方向剪断応力係数
- ⑧回転半径            ⑨サンブナンの捩り定数
- ⑩捩り断面係数および対象点位置

注) 捩りとは関係のない項目も含まれています。

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断面データ」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。また、「計算」メニューでは解析計算を実行し、「後処理」メニューでは計算結果の図を作画します。そして、ソフトを終了させる際は、「終了」をクリックします。

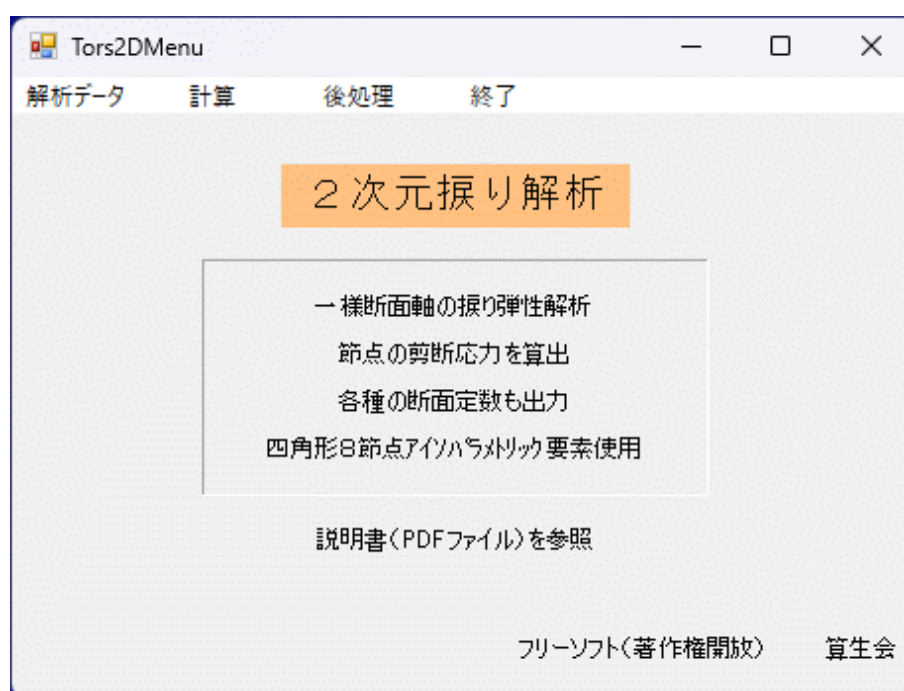


図2-1 「T o r s i o n 2 D」ソフトのメニュー画面

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Tors2DMenu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) \*モジュール名と各フォーム名は、ファイル名と名前を一致させてあります。



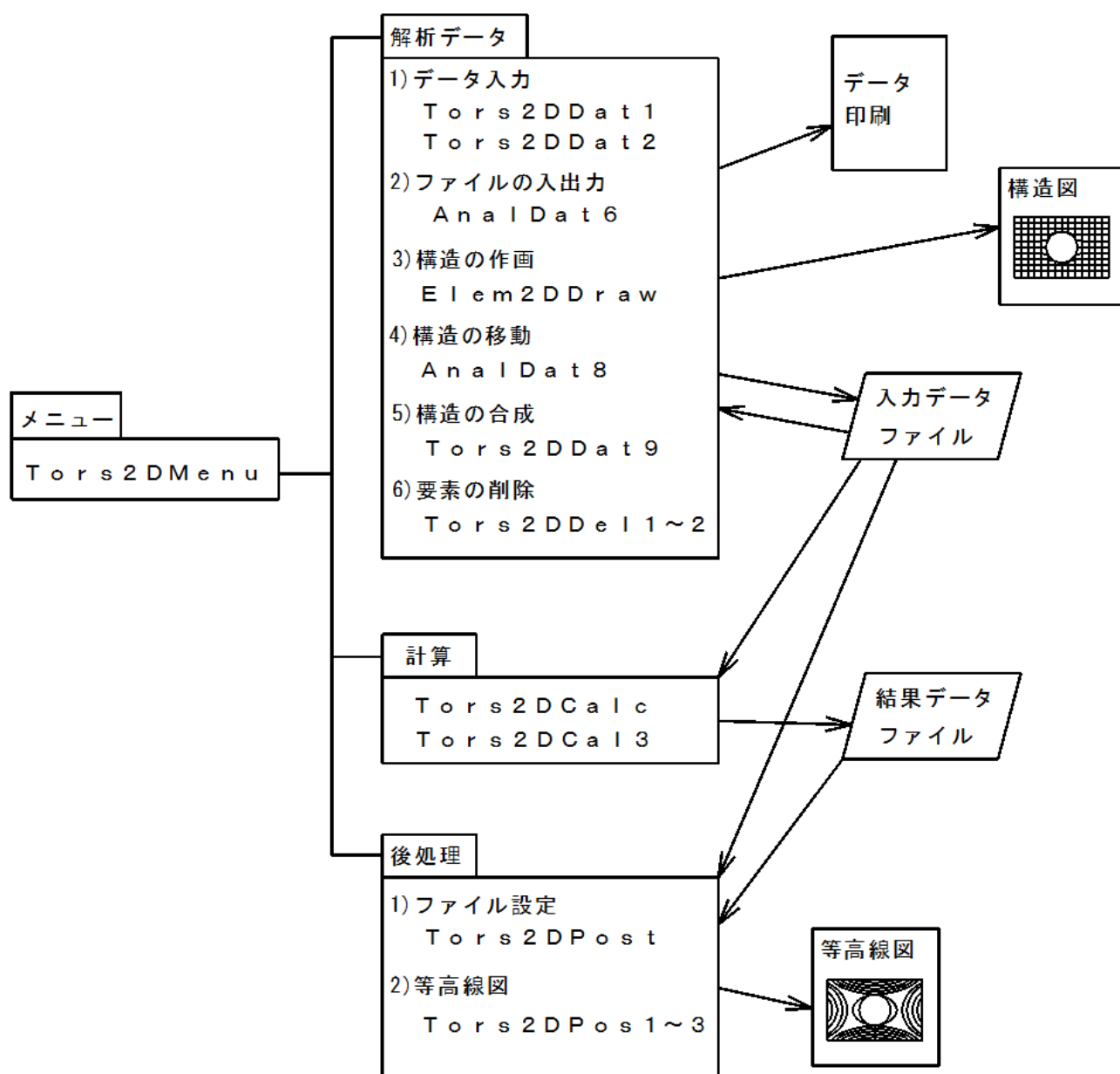


図2-2 「Torsion 2D」ソフトのプログラム構成

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2-1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Tors2DDat1とTors2DDat2は、各種データを画面入力するためのものです。特にTors2DDat2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り替えにより入力できるようにしています。

表2-1 「T o r s i o n 2 D」ソフトのファイルリスト

[全般]

ファイル名	内 容
Tors2DCom. vb	共通変数の宣言とサブルーチンの定義
Tors2DMenu. vb	メニューの提示・選択

[解析データ]

ファイル名	内 容
Tors2DDat1. vb	データ仕様の入力
Tors2DDat2. vb	各種データの入力
AnalDat6. vb	データファイルの入出力
AnalDat8. vb	構造の移動
Tors2DDat9. vb	構造の合成
Elem2DDraw. vb	構造の作画
Tors2DDe11. vb	要素の削除数の入力と削除の実行
Tors2DDe12. vb	要素削除の要素指定

[計算]

ファイル名	内 容
Tors2DCalc. vb	計算に使用するファイルの設定
Tors2DCal3. vb	解析計算の実行

[後処理]

ファイル名	内 容
Tors2DPost. vb	後処理に使用するファイルの設定
Tors2DPos1. vb	等高線作画の変数の指定
Tors2DPos2. vb	等高線図の仕様設定
Tors2DPos3. vb	等高線図の作画実行

### 第3章 自動メッシュのデータの作り方

本章は「FEM断面データK」ソフトに属するものですが、参考のため、重複して説明します。

自動メッシュでは、最初に断面形状の元データを作成します。元データとは、形状を規定するデータのことです。この元データは、断面内のXY座標で設定します。座標軸の向きは、X軸が右方向、Y軸が上方向となる一般座標系です。また、軸対称体の場合は、R、Z軸をX、Y軸に当てはめます。

断面形状は外形と穴によって規定され、元データはそれらを構成する各線分によって表わします。本ソフトでは、各線分は直線線分か円弧線分の2種類を使用します。また、円弧線分は半円以下に限定しており、それ以上の円弧や全円は、2つの円弧線分に分割します。直線線分は両端の2点で、円弧線分は片方の端点、中間点、他方の端点の計3点で定義します。ただし、円弧の中間点は、円弧のある側を示す目的なので、中央点でなくても構いません。

具体例として、図3-1に示す簡単な形状で説明します。同図では、外形が長方形になっており、①～④の4つの線分で表わされます。そして、たとえば線分①は点1と点2で定義します。他方、中央に円形の穴が空いており、その円は、2つの円弧（半円）⑤と⑥で表わします。そして、たとえば円弧⑤は点5、点6、点7で定義します。線分や点の番号は任意に付番してよいですが、欠番があってはなりません。なお、外形線分の定義点（円弧の中間点を除く）は、自動メッシュ生成の際、優先的に節点として選択されます。それ故、外形の特定の点を荷重点などに設定したい場合は、同点を線分定義点とし、1つの線分を複数線分に分けても構いません。

〔備考〕①自動メッシュによらず、人手で要素分割を行なって次節の構造データを作成することもできます。

②複雑な断面形状で自動メッシュではうまく行かないことがあれば、適宜メッシュデータを修正するか、断面を複数に分割してメッシュ生成してください。

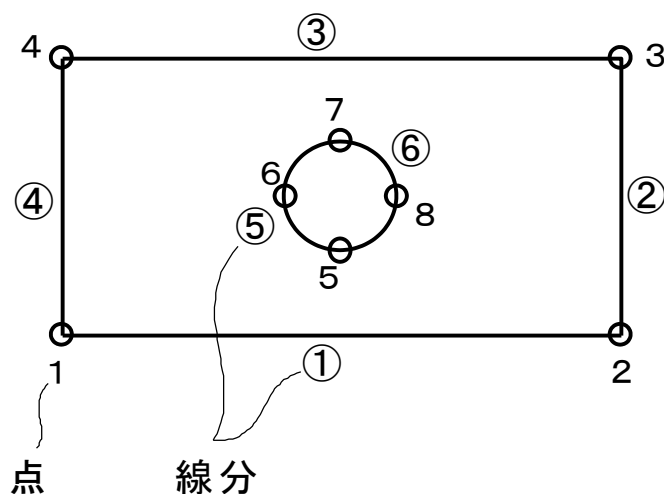


図3-1 線分による形状定義例

## 第4章 構造データの作り方

一般には前節の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、構造データについてよく理解しておかねばなりません。大半は、「FEM断面データ」ソフトと同じですので、ここでは補足事項だけを説明します。

### 1) 構造データは、断面全体でなければなりません。

一般の構造解析では、対称形状の場合は一対称部分のみを用いることができますが、振り解析では必ず断面全体を使用します。

### 2) 自動メッシュでに場合、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。

節点番号は、規則正しく、短い構造形状（すなわち要素の少ない）方向に入力するのがコツです。そうすれば、バンド幅を最小することができます。

なお、本ソフトでは解析計算実行時に、節点順序の改良を実施してバンド幅を低減する処理を行なっています。従って、上記の節点順序の入力について特に注意しなくて構いません。

### 3) 振りの荷重は、モーメントだけを設定します。

軸を振るモーメント荷重を決めます。これは、断面全体にかかるので、荷重の作用場所等の設定は不要です。

### 4) データの単位系

本ソフトでは、データの単位系は何でもよいですが、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4-1に単位系の例を示しておきます。

表4-1 単位系の例

データ項目	S I 単位系	工業単位系
長さ	m	mm
剪断弾性係数	Pa (=N/m <sup>2</sup> )	kgf/mm <sup>2</sup>
力	N	kgf
モーメント	N・m	kgf・mm
応力	Pa (=N/m <sup>2</sup> )	kgf/mm <sup>2</sup>

### 5) 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。

## 6) 構造モデルの移動

本ソフトでは、一旦作成した構造モデルを、原点回りに回転したり、X、Y軸方向に平行移動することができます。従って、最初はなるべく座標軸に平行でわかりやすい外形位置でモデルを作成し、その後で本来の位置に移動させたり、次項の構造の合成に利用すると便利です。

## 7) 構造の合成

本ソフトでは1つの構造モデルに別の構造モデルを合成して、新たな構造モデルを生成することができます。また、この操作を繰り返して、いくつでも構造モデルを合成することができます。これは、「FEM断面データ」ソフトと同様です。

図4-1に構造の合成の説明図を示します。同図で、構造1と構造2を合わせて、右側の合成構造を生成するものとします。その際、構造1と構造2の結合境界では、節点数および寸法が同一でなくてはなりません。もし自動メッシュにより構造1や構造2を生成する場合は、結合境界で要素どうしが正しく接続されるようにメッシュ数等を設定しておきます。もし自動メッシュだけではうまく行かないときは、後で結合境界の要素について人手で調整する必要があります。

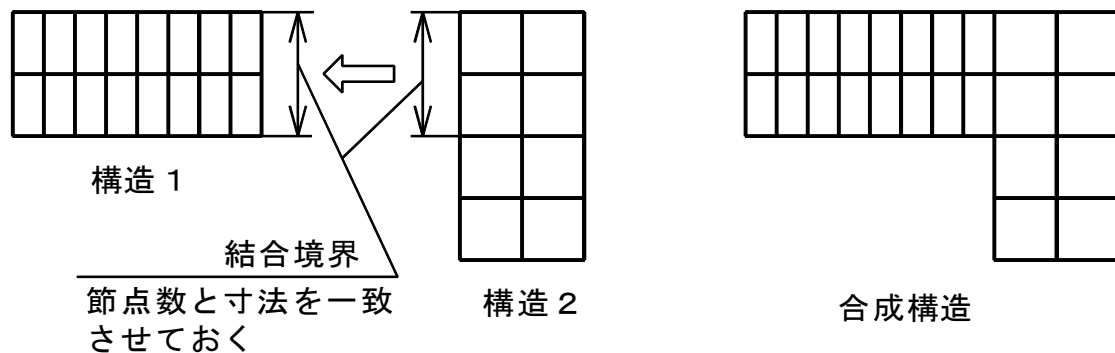


図4-1 構造の合成の説明図

## 第5章 「解析データ」処理プログラム

以降では、図5-1のテストモデルを例にとって説明します。同図のように、本モデルは1辺が0.2mの正方形断面で、要素メッシュは縦横とも10分割とします。

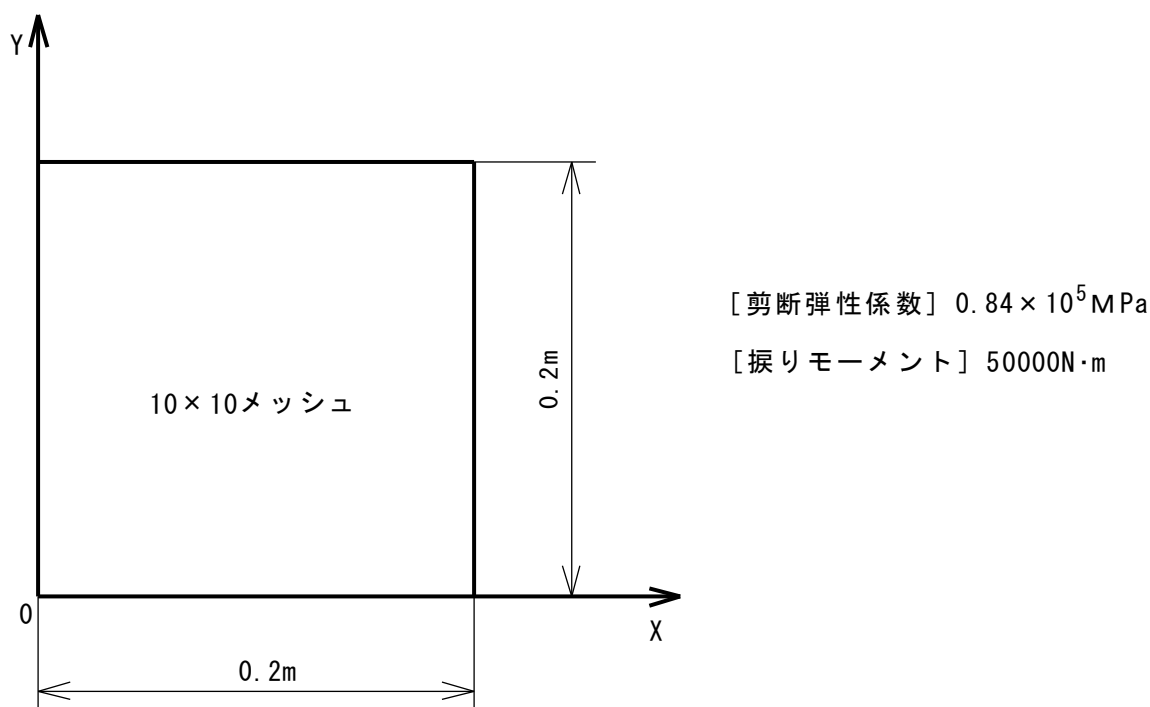


図5-1 テストモデル（正方形断面）

### 5.1 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5-2に示します。同図に示すように、10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。

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

◇「FEM断面データ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。

### 5.2 ファイル読み込み

サブメニューの「ファイル読み込み」を選択すると、コ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。

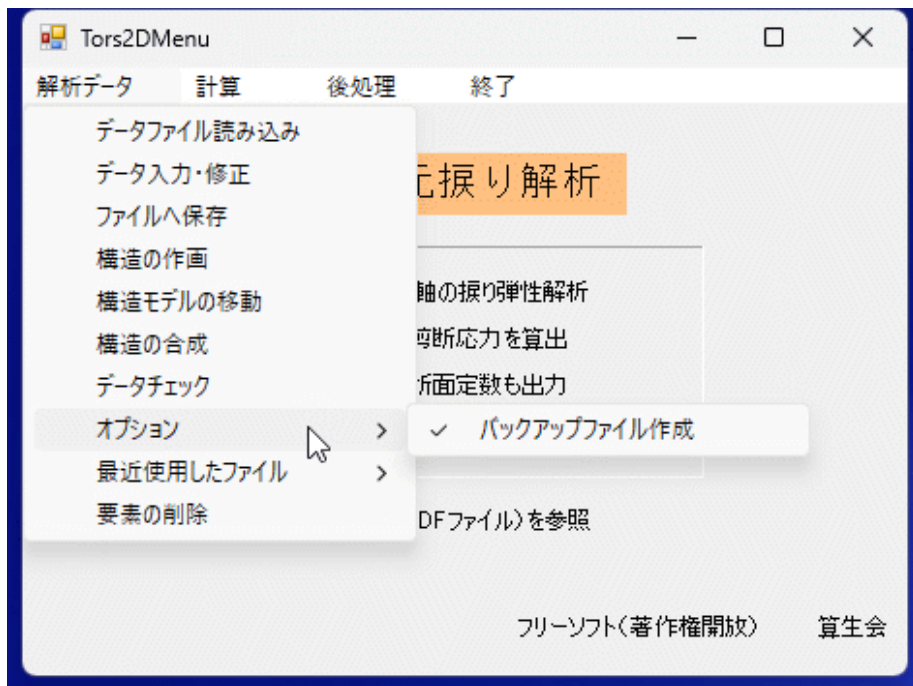


図5-2 「解析データ」サブメニュー画面

### 5.3 データ入力・修正

サブメニューの「データ入力・修正」を選択すると、図5-3のデータ仕様入力画面となります。同図では図5-1の例題を取り上げており、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節点数と要素数は、各構造モデルに応じた数を入力します。
- ③剪断弾性係数と振りモーメントは、対象構造の材料と荷重に応じた値を入力します。
- ④本画面の「設定」ボタンをクリックすると、要素データ入力画面に移ります。
- ⑤各データ入力が終了すると、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。

注) 自動メッシュによるデータだけの場合は、本画面で剪断弾性係数と振りモーメントを入力後、直ちに「すべて確定」ボタンをクリックして構いません。

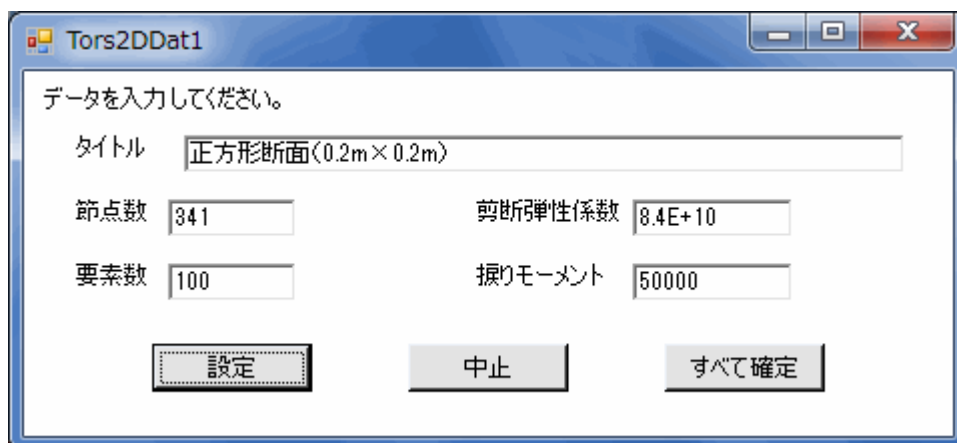


図5-3 データ仕様入力画面

## 5.4 要素データ入力画面

図5-4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から節点順8までは、各要素の節点番号8個を、必ず頂点節点を最初に、かつ左回りの順に（節点の入力順に辺を進んだ時いつも左側に要素があるように）入力します。

例）図5-4の入力順は、1、4、6、7、8、5、3、2（どの頂点が先頭でも可）

◇オプションで節点番号表示を省略できます。

- 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。

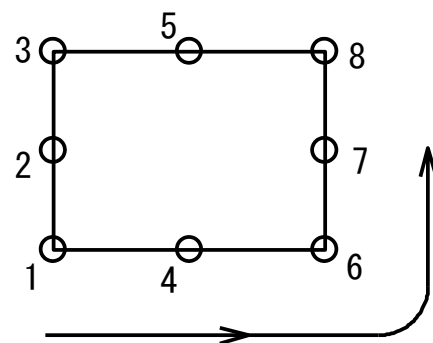


図5-5 要素の節点番号の入力順序（左周り）

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
1	1	22	33	34	35	23
2	3	23	35	36	37	24
3	5	24	37	38	39	25
4	7	25	39	40	41	26
5	9	26	41	42	43	27
6	11	27	43	44	45	28
7	13	28	45	46	47	29
8	15	29	47	48	49	30
9	17	30	49	50	51	31
10	19	31	51	52	53	32
11	33	54	65	66	67	55
12	35	55	67	68	69	56
13	37	56	69	70	71	57
14	39	57	71	72	73	58
15	41	58	73	74	75	59

図5-4 要素データ入力画面



## 5.5 節点データ入力画面

図5-6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。
- ②四角形要素辺の中間節点は、辺が直線ならば、後で「中間節点自動計算」を実施できるので、座標を入力しなくても構いません。ただし、辺が円弧等の曲線の場合は、「中間節点自動計算」の後で、本画面で中間節点座標を修正します。
- ③「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。

- ④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、図5-3のデータ仕様入力画面に戻ります。

図5-6 節点データ入力画面

## 5.6 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。

◇保存ファイルの文字コードはUTF-8です。

◇1行内の複数データは、「,」（コンマ）で区切られます。

図5-7に入力データファイル例を示します。

```

プログラム名, Torsion2D
正方形断面 (0.2m×0.2m)
節点数, 341
要素数, 100
剪断弾性係数, 8.4E+10
捩りモーメント, 50000
ガウス積分点数, 3
1節点当り変数の数, 1
要素データ (要素番号、8節点番号)
1, 1, 22, 33, 34, 35, 23, 3, 2
2, 3, 23, 35, 36, 37, 24, 5, 4
3, 5, 24, 37, 38, 39, 25, 7, 6
4, 7, 25, 39, 40, 41, 26, 9, 8
5, 9, 26, 41, 42, 43, 27, 11, 10
6, 11, 27, 43, 44, 45, 28, 13, 12
7, 13, 28, 45, 46, 47, 29, 15, 14
8, 15, 29, 47, 48, 49, 30, 17, 16
. . . . .
. . . . .
96, 299, 315, 331, 332, 333, 316, 301, 300
97, 301, 316, 333, 334, 335, 317, 303, 302
98, 303, 317, 335, 336, 337, 318, 305, 304
99, 305, 318, 337, 338, 339, 319, 307, 306
100, 307, 319, 339, 340, 341, 320, 309, 308
節点データ (節点番号、X座標、Y座標)
1, 0, 0
2, 0, .01
3, 0, .02
4, 0, .03
5, 0, .04
6, 0, .05
7, 0, .06
8, 0, .07
. . . . .
. . . . .
337, .2, .16
338, .2, .17
339, .2, .18
340, .2, .19
341, .2, .2

```

図5-7 入力データファイル例

## 5.7 構造の作画

サブメニューの「構造の作画」を選択すると、構造図が画面に作画されます。構造の作画は、入力データにミスがないかチェックする上で必須です。要素データや節点データにミスがあると、要素連結した構造図に異常が現われます。従って、この構造図で異常がなくなるまでデータをデバッグすることが肝要です。

図5-8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本画面の左側に、「要素番号・節点番号」のパラメーターを表示してあります。そ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。
- ②「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。
- ③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。
- ④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。

◇マウスドラッグ矩形は、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5-9のようにマウスドラッグ範囲の矩形が表示され、コモンダイアログで「選択領域を拡大しますか？」と問うてきます。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（8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。

- ⑤「要素番号・節点番号」は、「表示しない」か「表示する」を選択できます。

◇「表示する」を選択した場合に、「番号表示の文字サイズ」の設定値が有効になります。

◇「要素番号・節点番号」の「表示する」を選択して、「再描画」させた部分拡大画面を図5-10に示します。ただし、本画面では、「番号表示の文字サイズ」を10に変更してあります。

- ⑥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。

- 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。

◇「通常画面」の作画が印刷されます。

⑧本画面を終了するには、「中止」ボタンをクリックします。

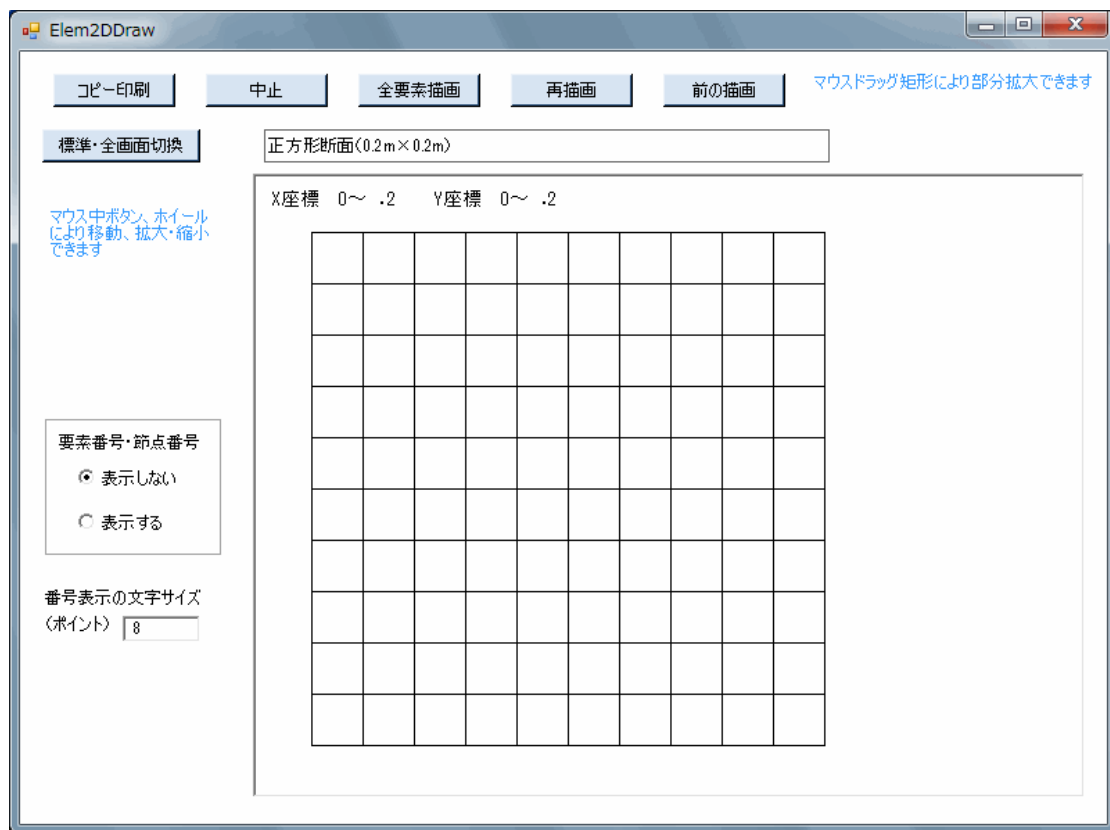


図5-8 構造作画の画面例

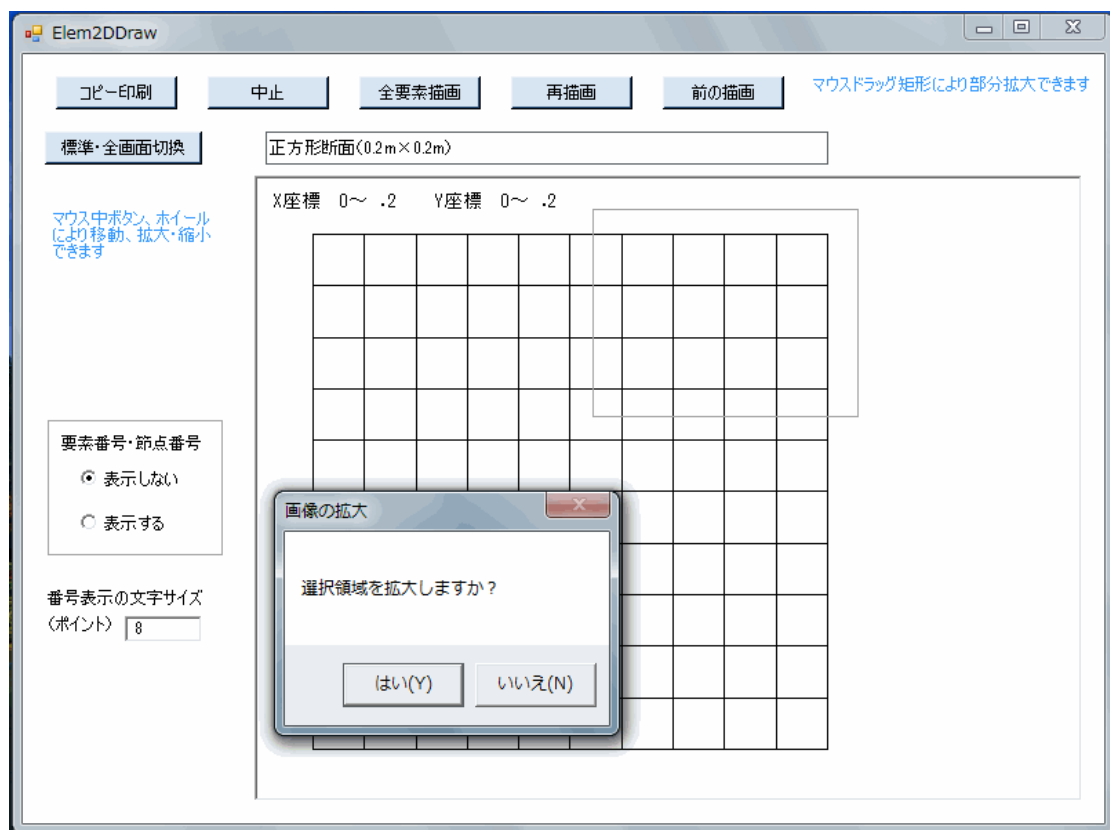


図5-9 構造作画における拡大領域選択例



図5-10 構造作画における部分拡大例

## 5.8 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5-11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、および原点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、原点回りの回転、次にX, Y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、繰り返し途中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。

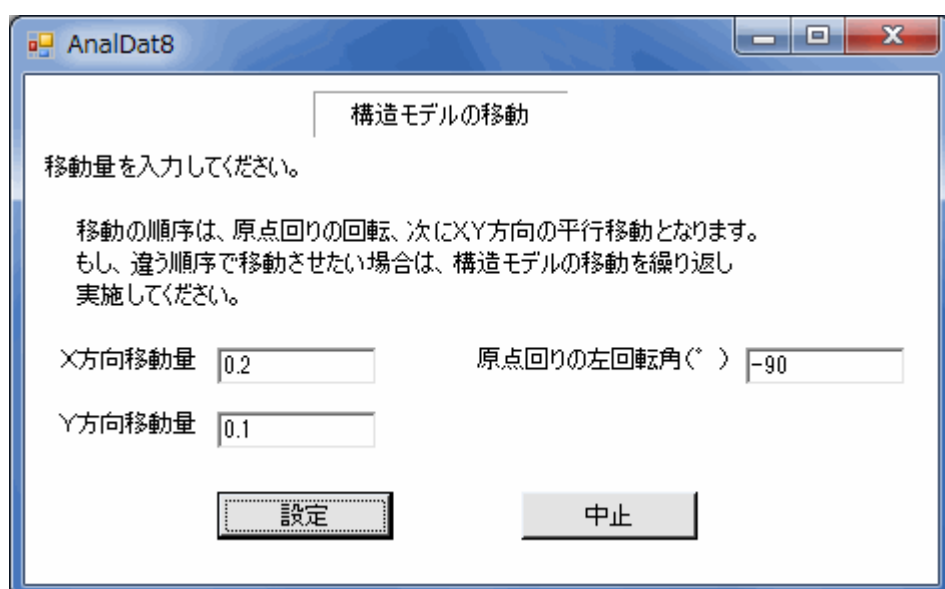


図5-11 構造モデルの移動量入力画面

## 5.9 構造の合成

1) サブメニューの「構造の合成」を選択すると、図5-12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（入力データファイルに同じ）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（回転なし）」、「結合点2個所指定（回転有り）」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第1結合点で行ないます（図5-13参照）。

◇「結合点2個所指定（回転有り）」とは、追加構造を平行・回転移動して2個所の指定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第1結合点と第2結合点で行ないます（図5-13参照）。

2) 図5-12の画面で「作画」ボタンをクリックすると、図5-13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5-13のように指定節点が赤丸と青丸で表示されます。

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5-14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。

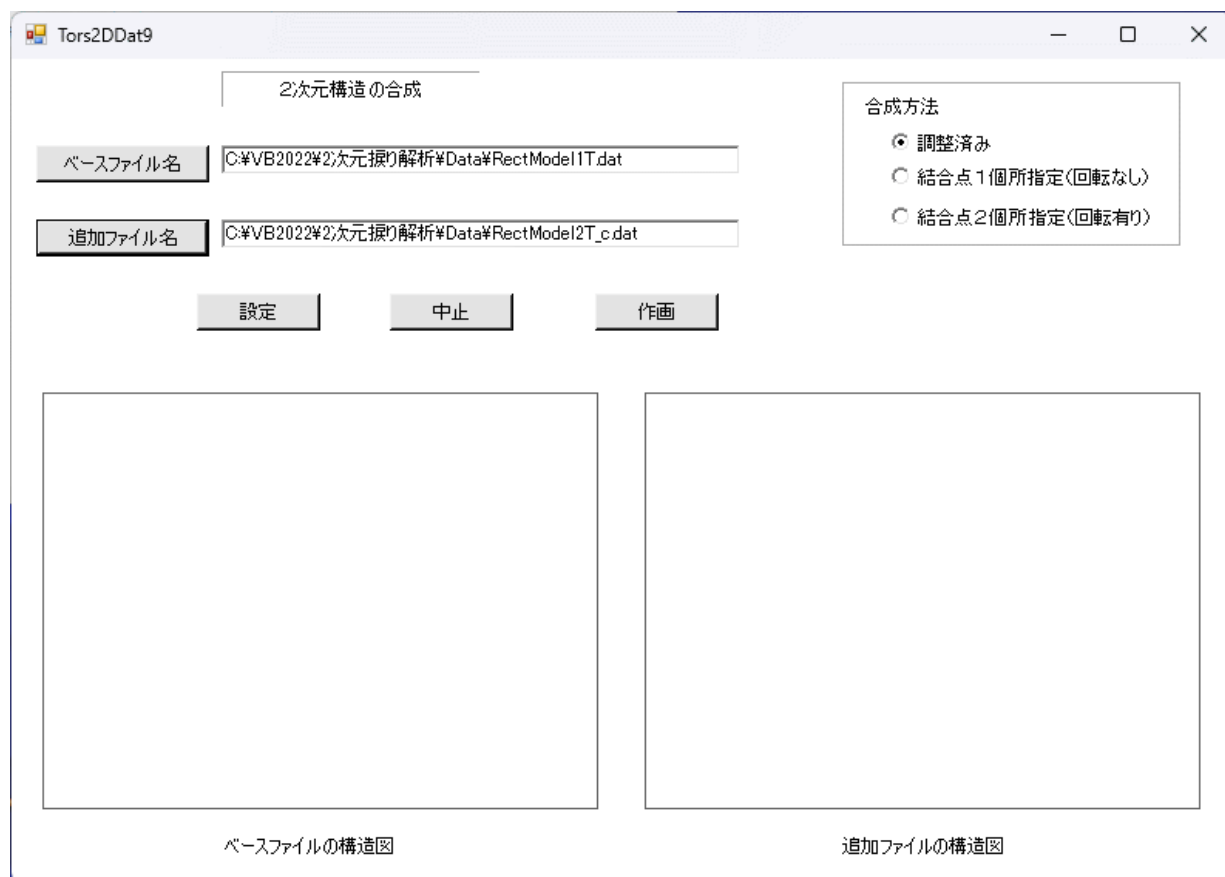


図5-12 合成ファイル設定画面（作画前）

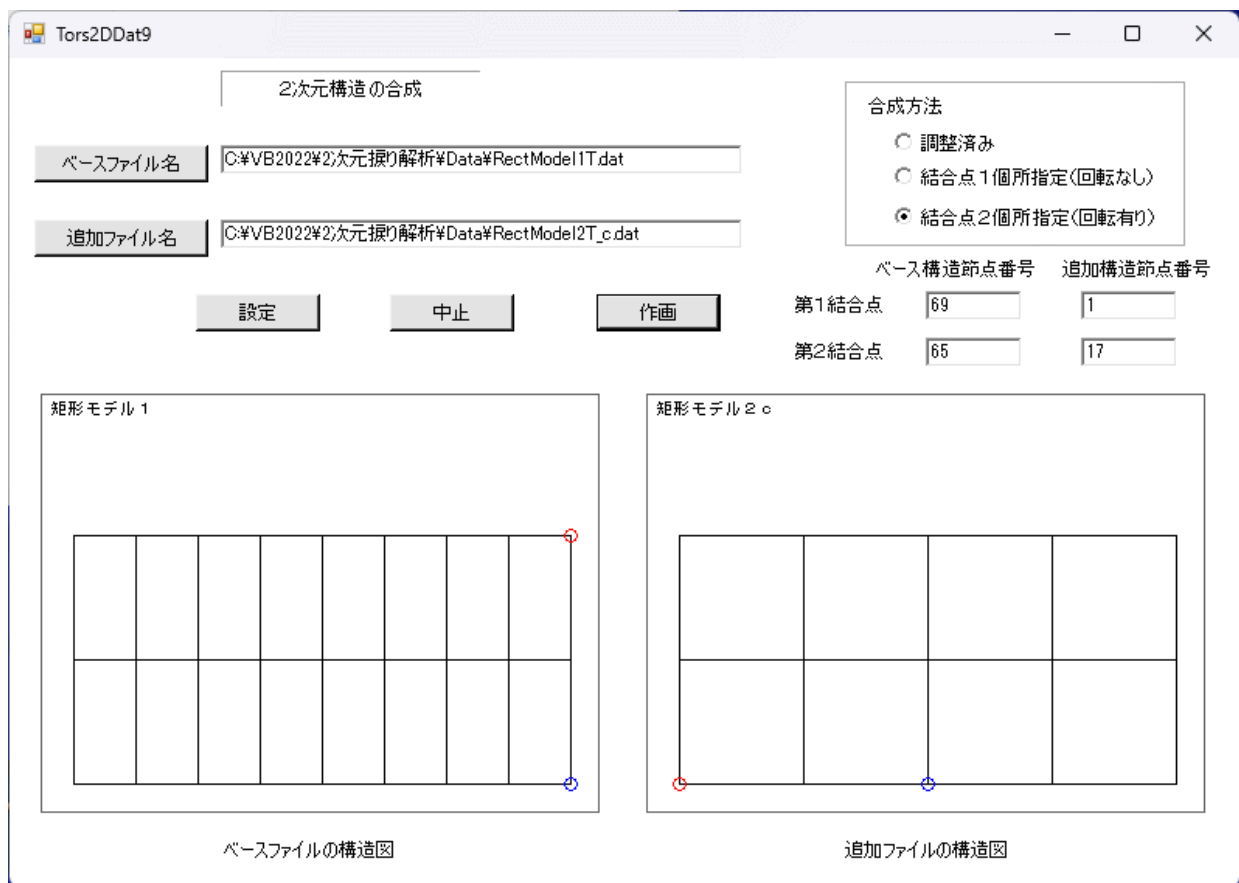


図5-13 合成ファイル設定画面（作画有り）



図5-14 合成されたモデルの構造図の画面例



## 5.10 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、振り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。

## 5.11 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。

## 5.12 要素の削除

サブメニューの「要素の削除」を選択すると、図5-15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、図5-16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、本画面に戻るのので、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。

図5-16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5-15 削除要素数の入力画面

Tors2DDel2

削除する要素番号の入力

要素番号の範囲は1～ 100

No.	削除要素番号
1	70
2	80
3	90
▶ 4	100
※	

設定 戻る

図5-16 削除要素番号の入力画面

## 第6章 「計算」プログラム

### 6.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「計算」のサブメニュー画面を図6-1に示します。サブメニュー「解析計算の実行」をクリックすると、次の「計算」ファイル設定画面に移ります。

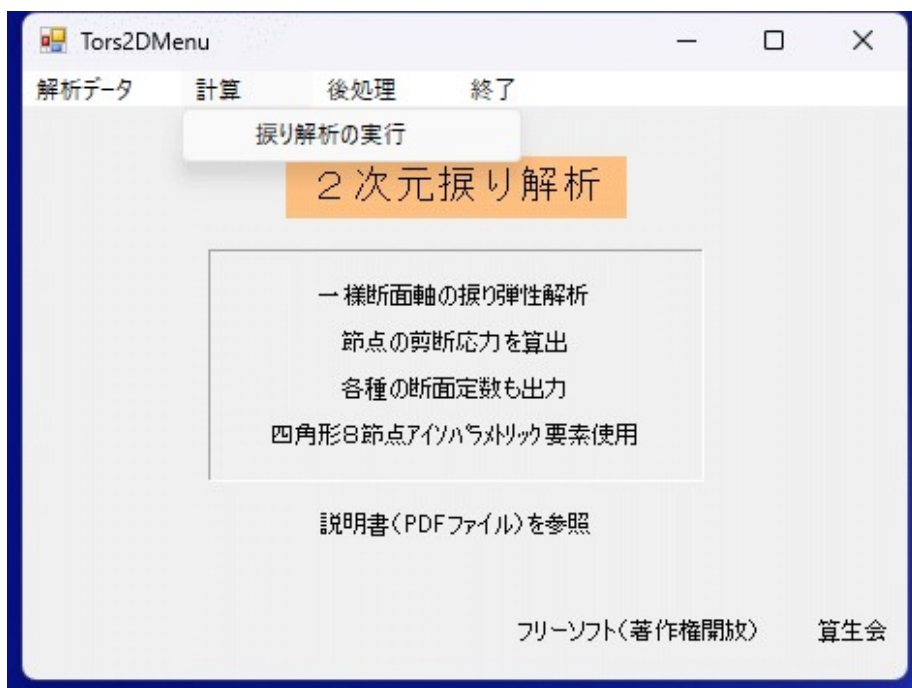


図6-1 「計算」サブメニュー画面

### 6.2 「計算」ファイル設定

図6-2に「計算」ファイル設定画面を示します。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、計算が開始されます。

### 6.3 計算終了

図6-3に計算終了画面を示します。同図では、かかった計算時間も表示されますが、本例では0sとなっており、1s未満で終了しています。また、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。

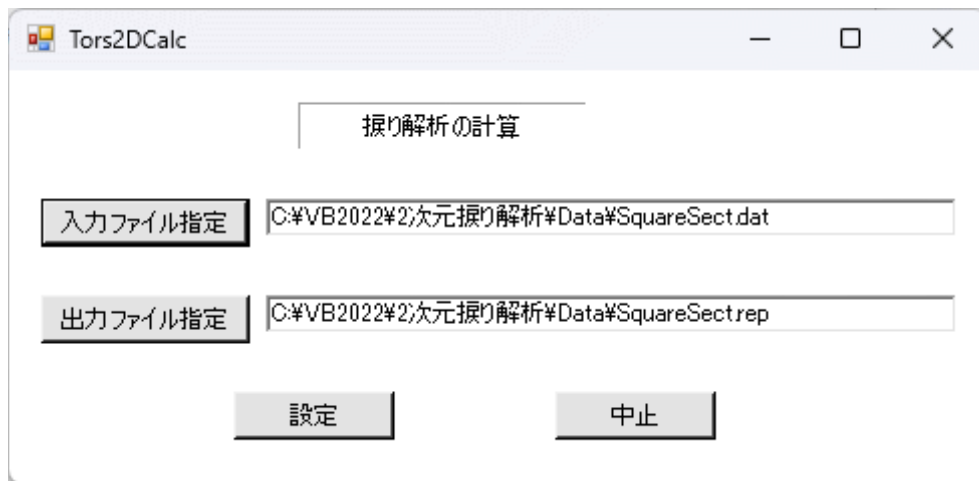


図6-2 「計算」 ファイル設定画面

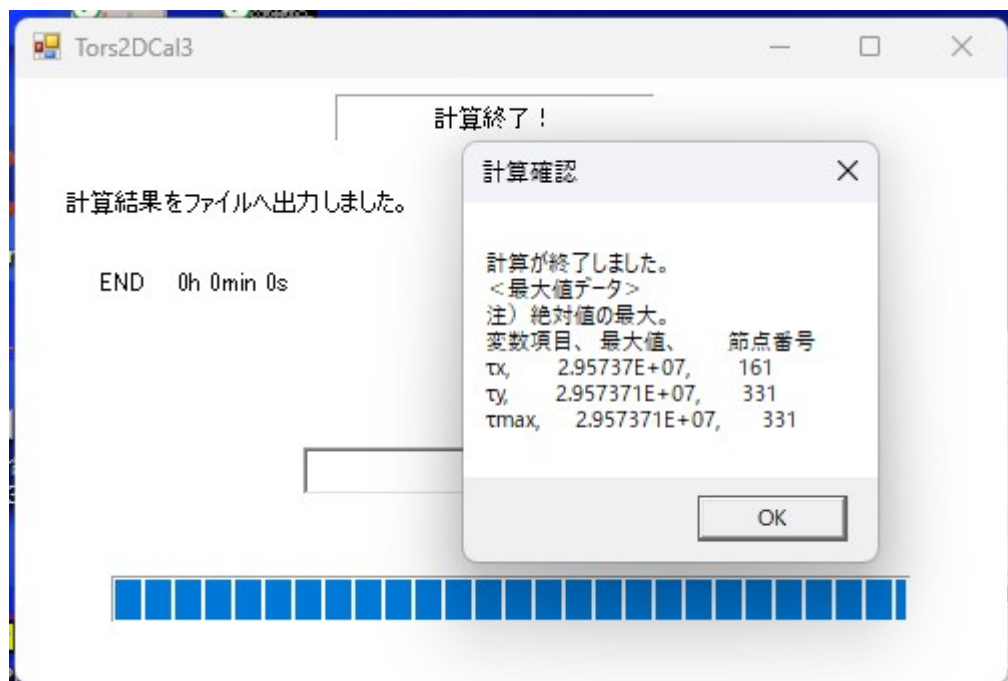


図6-3 計算終了画面

#### 6.4 計算結果

上記6.2節で指定した出力ファイルに計算結果が書き出されます。図6-4に結果ファイルへの出力例を示します。同図の○印を付した数字の部分について補足説明します。

- ①バンド幅が35と出力されています。
- ②断面定数の出力では、次行以下に各種の断面定数等が出力されています。
- ③軸の単位長さ当たりの捩れ角が $0.1516^\circ$ と出力されています。
- ④剪断応力の出力では、全節点について $\tau_x$ 、 $\tau_y$ 、 $\tau_{max}$ が出力されています。
- ⑤最大値データとして、各剪断応力について最大値、節点番号が出力されています。
- ⑥最後に計算時間も出力されます（本例では0s）。

<< 2次元振り解析の計算結果 >>

正方形断面 (0.2m×0.2m)

[入力データファイル], C:\¥VB2022¥2次元振り解析¥Data¥SquareSect. dat

\*\*\* 計算結果 \*\*\*

バンド幅, 35

①

\*\*\* 断面定数 \*\*\*

②

重心位置のX、Y座標, .1000003, .1000005

断面積, .03999986

重心原点X軸回り2次モーメント, .000133333

重心原点Y軸回り2次モーメント, .000133338

X軸回り曲げ断面係数(X軸右側), .001333327

上記対象点のX、Y座標, 0, 0

X軸回り曲げ断面係数(X軸左側), .00133334

上記対象点のX、Y座標, .02, .2

Y軸回り曲げ断面係数(Y軸右側), .001333342

上記対象点のX、Y座標, .2, 0

Y軸回り曲げ断面係数(Y軸左側), .001333334

上記対象点のX、Y座標, 0, 0

X軸方向剪断係数, 1.499999

Y軸方向剪断係数, 1.50001

回転半径, .08164985

サンプナンの振り定数, .0002249321

振り断面係数, .001690691

上記対象点のX、Y座標, .2, .09999999

軸の単位長さ当たりの振れ角 (°), .1516219

③

\*\*\* 剪断応力 \*\*\*

④

<節点番号、 $\tau_x$ 、 $\tau_y$ 、 $\tau_{max}$ >

1, 3428524, -3428535, 4848673

2, 1632305, -8750856, 8901792

3, 1146495, -1.497151E+07, 1.501534E+07

4, 809505.2, -1.872341E+07, 1.87409E+07

5, 672174.8, -2.215913E+07, 2.216933E+07

6, 492639.5, -2.443513E+07, 2.444009E+07

7, 382456.8, -2.647958E+07, 2.648234E+07

8, 264293.1, -2.774655E+07, 2.774781E+07

9, 177696.2, -2.882705E+07, 2.88276E+07

10, 84411.78, -2.928245E+07, 2.928257E+07

11, 20.57291, -2.957368E+07, 2.957368E+07

12, -84434.34, -2.928245E+07, 2.928257E+07

13, -177642.8, -2.882703E+07, 2.882758E+07

14, -264322.1, -2.774653E+07, 2.774779E+07

.....

.....

327, 382463.1, 2.64797E+07, 2.648246E+07

328, 264356.8, 2.774656E+07, 2.774782E+07

329, 177653.7, 2.882698E+07, 2.882752E+07

330, 84375.97, 2.928236E+07, 2.928248E+07

331, 16.07016, 2.957361E+07, 2.957361E+07

332, -84365.62, 2.928234E+07, 2.928246E+07

333, -177682.5, 2.882693E+07, 2.882748E+07

334, -264302.2, 2.774651E+07, 2.774777E+07

図6-4 (1/2) 結果ファイルへの出力例

335,	-382455. 6,	2. 647955E+07,	2. 648231E+07	
336,	-492669. 3,	2. 443506E+07,	2. 444003E+07	
337,	-672235. 7,	2. 215914E+07,	2. 216933E+07	
338,	-809488. 3,	1. 87234E+07,	1. 874089E+07	
339,	-1146471,	1. 497153E+07,	1. 501536E+07	
340,	-1632307,	8750885,	8901820	
341,	-3428553,	3428570,	4848718	
-----				
<最大値データ>				⑤
注) 絶対値の最大。				
変数項目、	最大値、	節点番号		
$\tau x$ ,	2. 95737E+07,	161		
$\tau y$ ,	2. 957371E+07,	331		
$\tau max$ ,	2. 957371E+07,	331		
END	0h 0min 0s			⑥

図6-4 (2/2) 結果ファイルへの出力例

## 第7章 「後処理」プログラム

### 7.1 サブメニュー画面

「メニュー」プログラムにおける「後処理」のサブメニュー画面を図7-1に示します。同図のように3つ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。

「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。

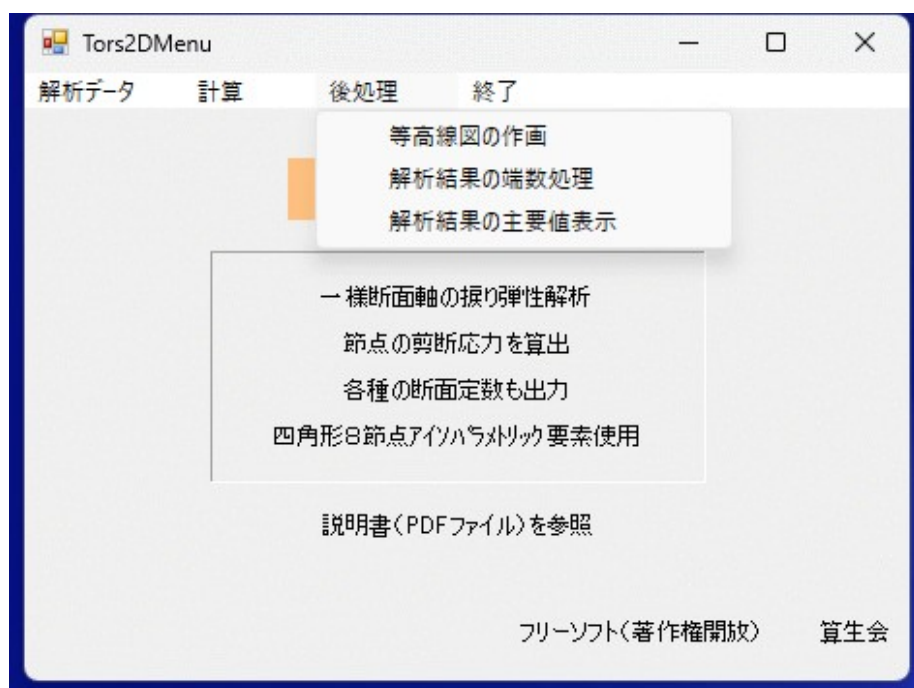


図7-1 「後処理」サブメニュー画面

### 7.2 使用ファイルの設定

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

本画面で、「入力データファイル指定」ボタンをクリックすると、コモンダイアログで入力データファイルを選定できます。そして、再び使用ファイル設定画面に戻ると、「入力データファイル指定」のテキストボックスには選定済み入力ファイル名が、また「解析結果ファイル指定」の方には入力ファイル名の拡張子を「.rep」に変更したファイル名が表示されます。もし、結果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できます。

本画面で、「設定」ボタンをクリックすると、等高線図の場合は同図の指定画面に移ります。また、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。さらに、解析結果の主要値表示の場合は、すぐに表示が実行されます。



図7-2 使用ファイル設定画面

### 7.3 等高線の指定画面

図7-3に等高線指定画面を示します。

- ①本画面で、作画したい変数項目を選択します。同図のように、変数項目は  $\tau_x$ 、 $\tau_y$ 、 $\tau_{max}$  の3つがあります。

◇「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7-4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。

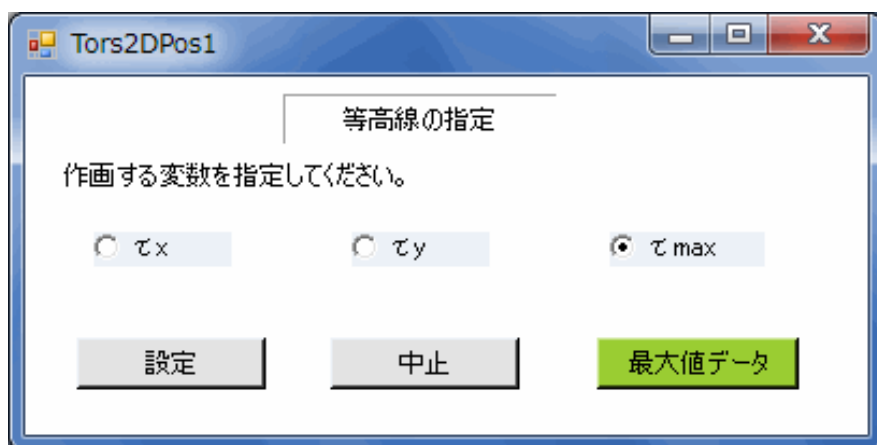


図7-3 等高線指定画面



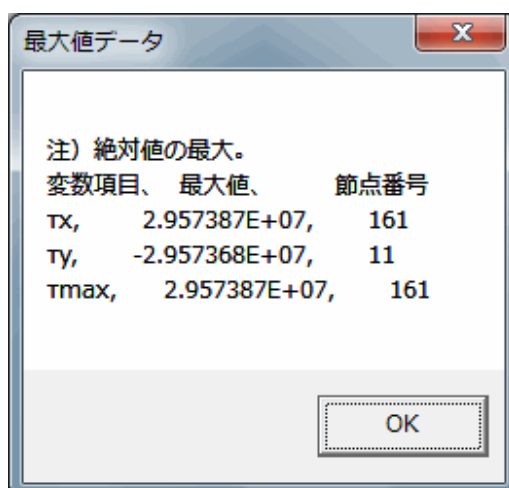


図7-4 最大値データの表示例

#### 7.4 等高線の仕様設定画面

図7-5に等高線の仕様設定画面を示します。本画面の入力について、以下に補足説明します。

- ①まず、等高線の表示変数について、等高線の表示MIN、MAX、分割数を入力します。  
 その際、入力の便のため、解析結果データの最小値と最大値を画面表示しています。  
 ◇分割数を21以上とすると、自動的にグラデーションとなります。グラデーションはカラー256階調で作画されます。なお、グラデーションの作画は処理時間が1桁増加しますので注意してください。
- ②また、チェックボックスで「カラーフィル」、「場所・数値表示」を指定できます。  
 ◇初期設定では両者とも指定されています。  
 ◇「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。

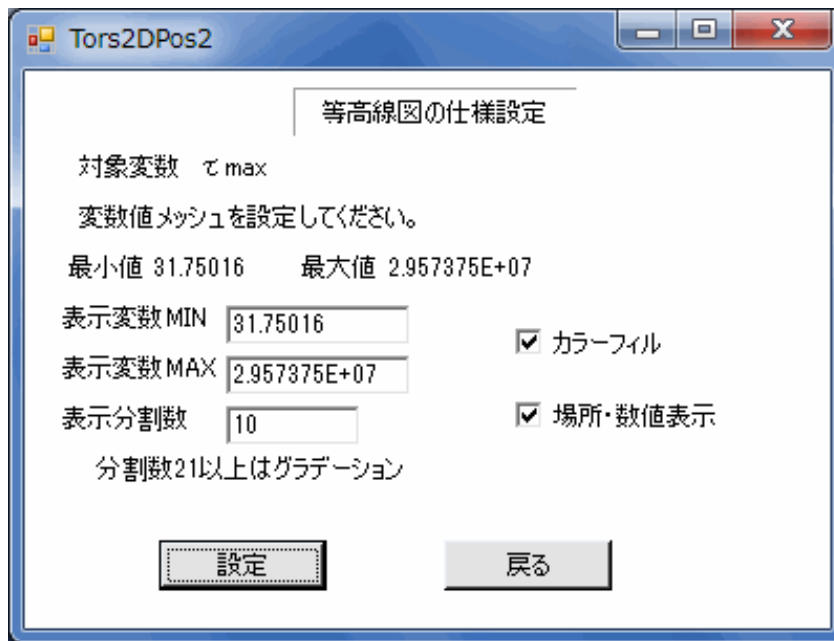


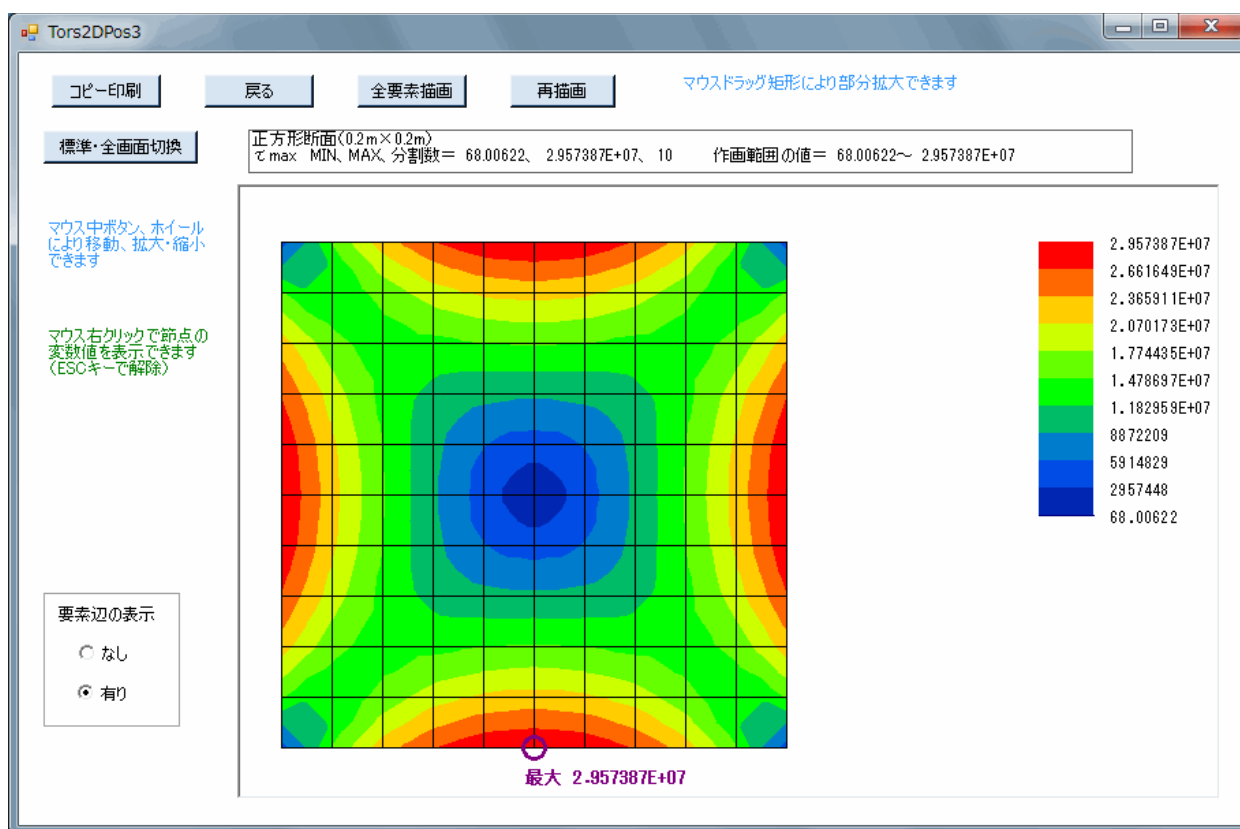
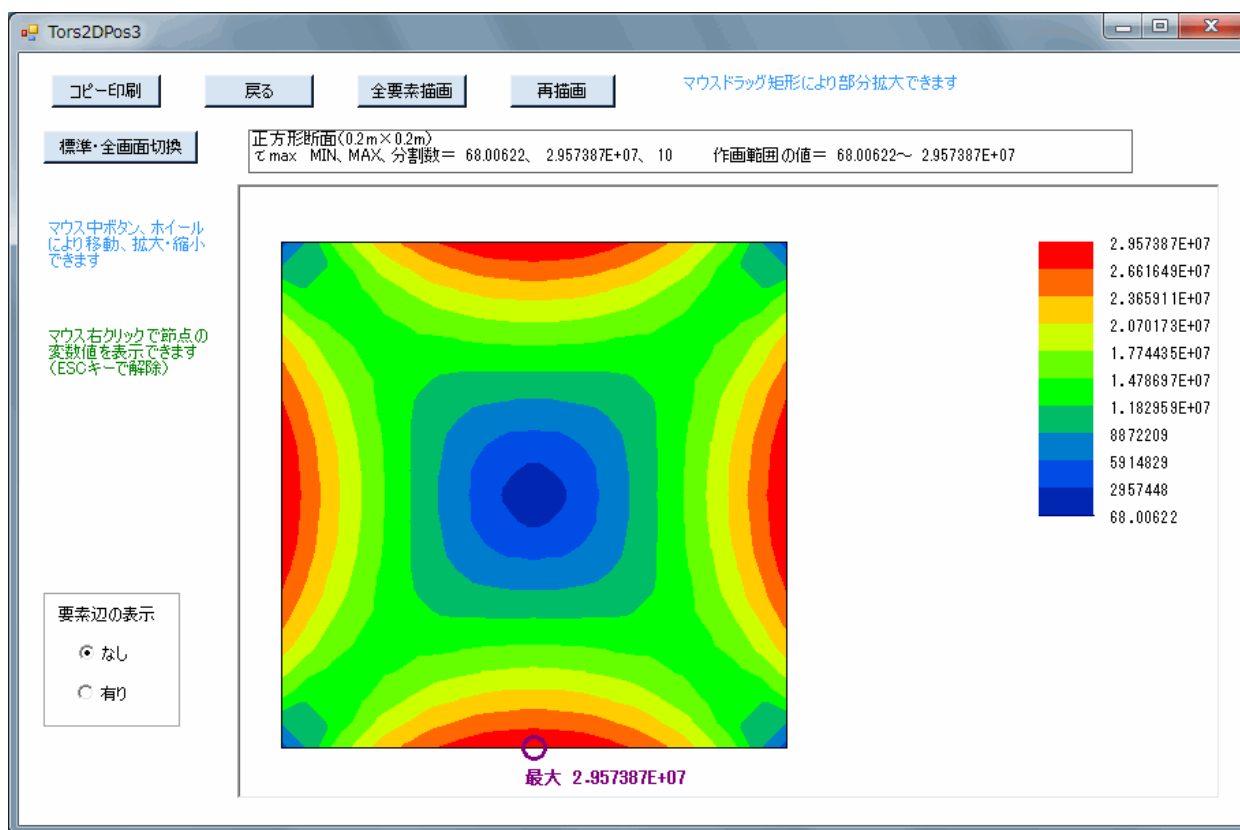
図7-5 等高線図の仕様設定画面

## 7.5 等高線図の作画画面

図7-6に等高線図の作画画面を示します。

- ①同図面のように、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。
- ②本画面の左側の「要素辺の表示」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。  
◇「要素辺の表示」が「有り」の等高線図を図7-7に示します。同図では、各要素の辺がすべて表示されています。
- ③マウス右クリックで任意の節点を選択すると、図7-8のように同節点の変数値が表示されます。  
◇ESCキーを押すと節点選択が解除されます。
- ④「標準・全画面切換」ボタンをクリックすると、標準画面と全画面を切り換えることができます。また、画面Formの右下コーナー等をマウสดラッグすることにより、標準画面と全画面の間で自由に拡大・縮小できます。
- ⑤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。
- ⑥マウสด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5.7節の構造図と同じです。
- 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。  
◇「通常画面」の作画が印刷されます。
- ⑧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。



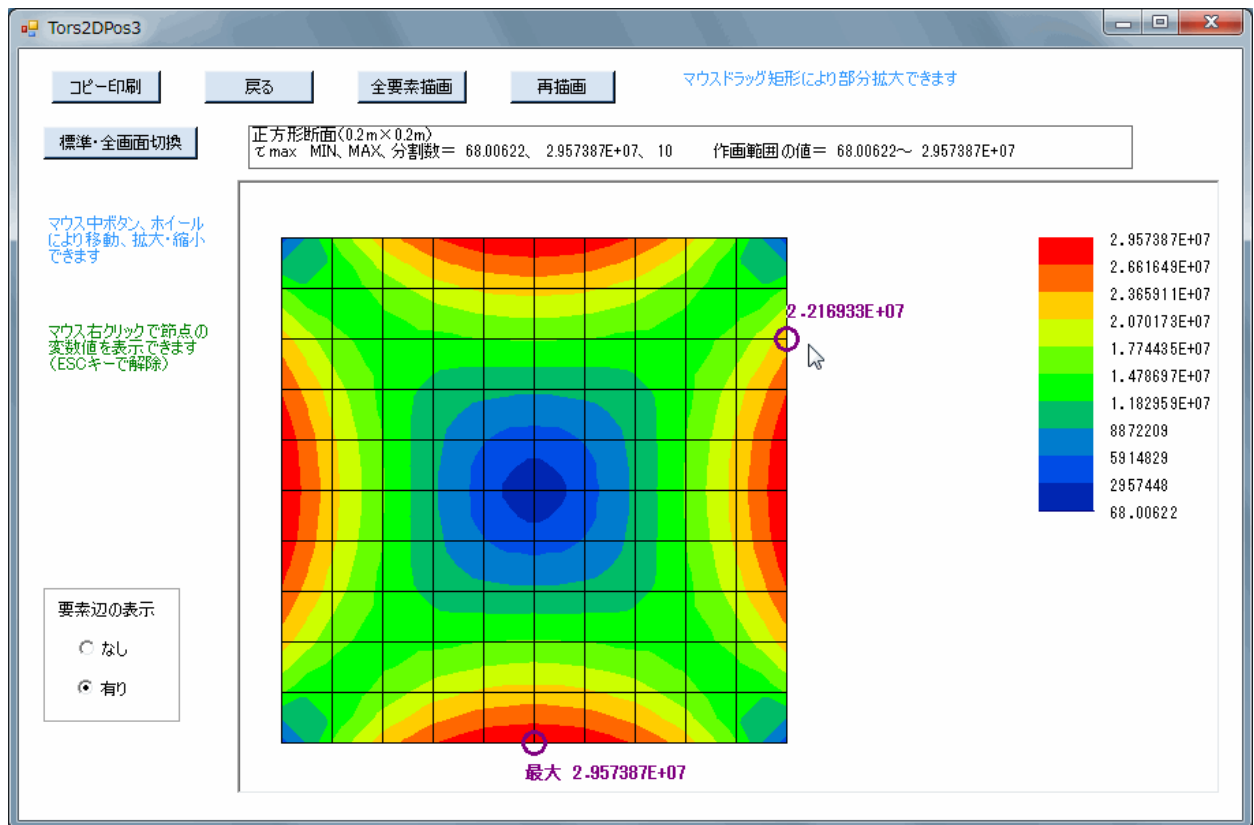


図7-8 等高線図の作画画面（マウス右クリックの節点の変数値表示）

また、図7-9にグラデーションの等高線図の画面例を示します。グラデーションの場合、画面右側のカラーゲージに4等分した5つの変数値が示されます。

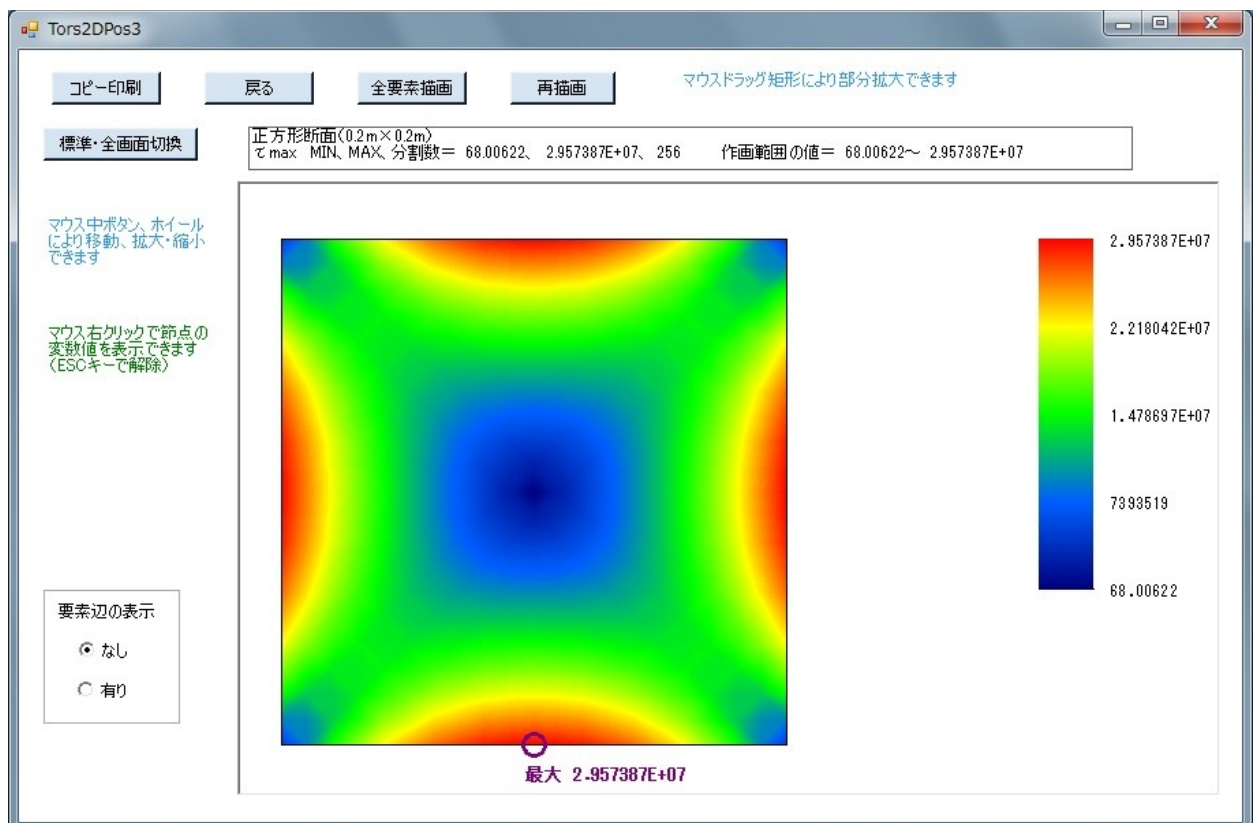


図7-9 等高線図の作画画面（グラデーション）

## 7.6 解析結果の主要値表示

図7-10に主要値表示の画面を示します。主要値データをクリップボードにコピーするかどうかは、「はい」または「いいえ」をクリックします。その後は立ち上げ時のメニュー画面に戻ります。

◇クリップボードにコピーされたデータは、他のソフトで貼り付け利用できます。

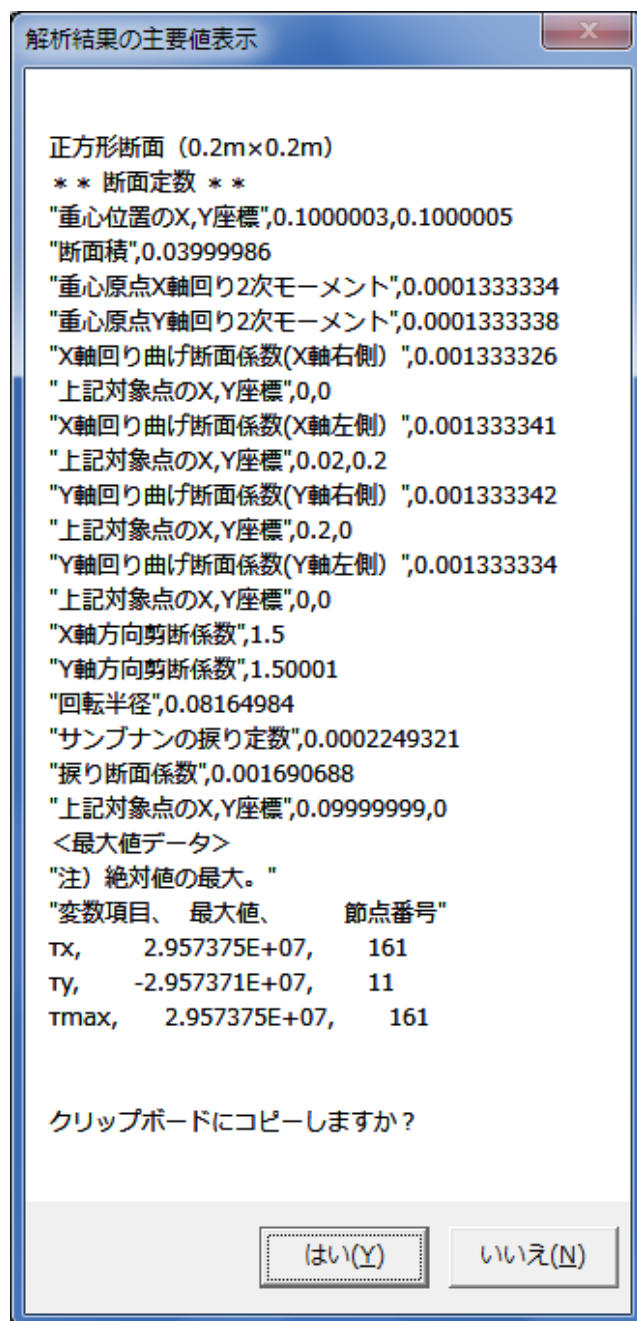


図7-10 解析結果の主要値表示の画面

## 第8章 計算事例

### 8.1 穴明き長方形断面

図8-1にモデル図を示します。同図のように、中央に穴の明いた長方形断面です。

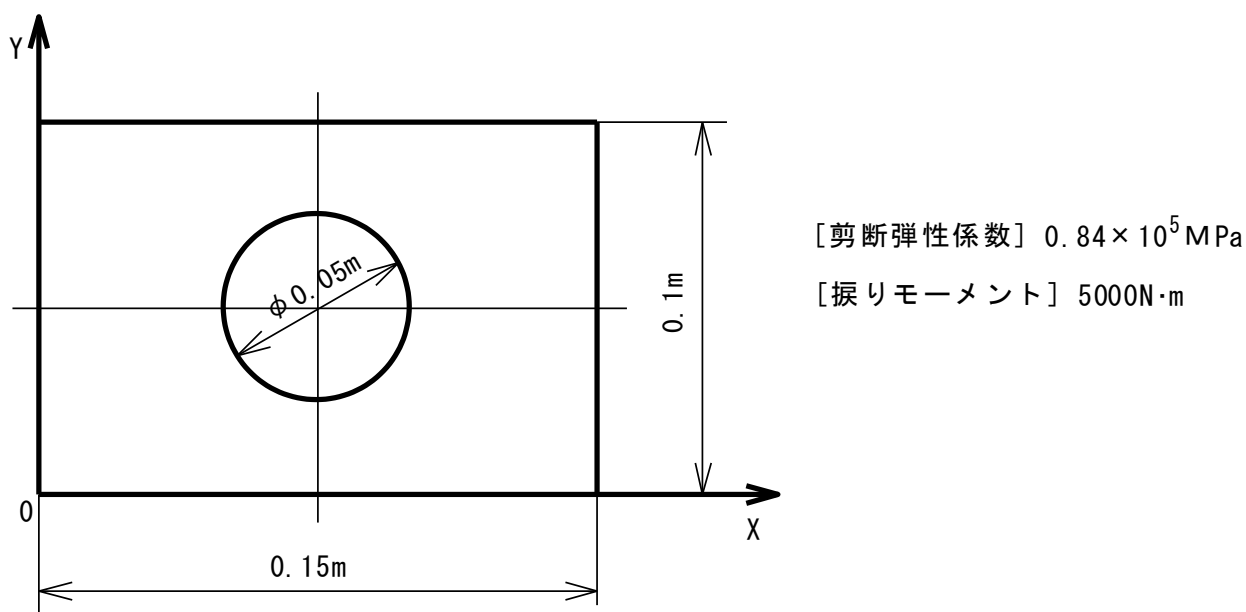


図8-1 穴明き長方形断面のモデル図

次に図8-2に断面の要素メッシュ図を示します。

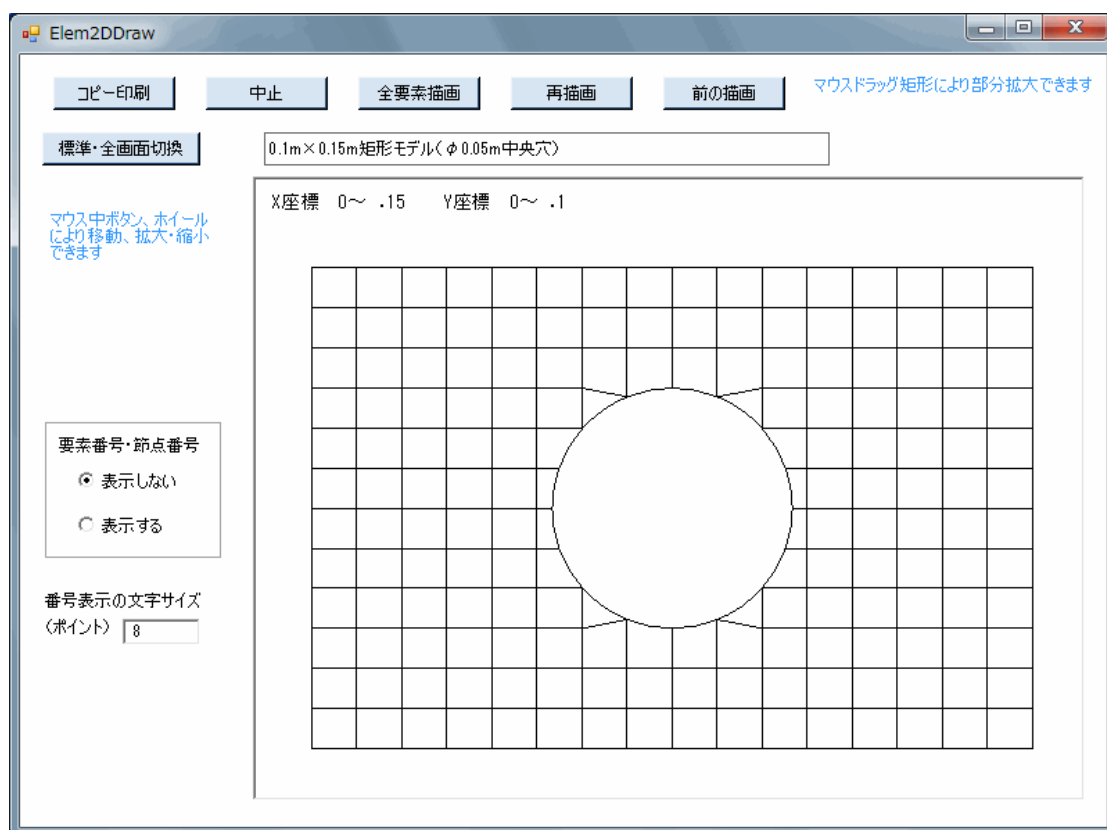


図8-2 穴明き長方形断面の要素メッシュ図

図8-3に計算結果データファイルの内容を示します。また、図8-4に  $\tau_{\max}$  の等高線図を示します。

```
<< 2次元振り解析の計算結果 >>
0.1m×0.15m矩形モデル (φ0.05m中央穴)
[入力データファイル], G:¥VB2022¥2次元振り解析¥Data¥RectModelH.dat

-----
*** 計算結果 ***
バンド幅, 48

-----
** 断面定数 **
重心位置のX、Y座標, .07499989, .05000008
断面積, .01303655
重心原点X軸回り2次モーメント, 1.219319E-05
重心原点Y軸回り2次モーメント, 2.781822E-05
X軸回り曲げ断面係数(X軸右側), .0002438634
上記対象点のX、Y座標, 0, 0
X軸回り曲げ断面係数(X軸左側), .0002438641
上記対象点のX、Y座標, .009375, .1
Y軸回り曲げ断面係数(Y軸右側), .000370909
上記対象点のX、Y座標, .15, 0
Y軸回り曲げ断面係数(Y軸左側), .0003709101
上記対象点のX、Y座標, 0, 0
X軸方向剪断係数, 2.538426
Y軸方向剪断係数, 1.893324
回転半径, .05540012
サンプナンの振り定数, 2.840396E-05
振り断面係数, .0003251808
上記対象点のX、Y座標, .075, .1

-----
軸の単位長さ当たりの捩れ角 (°), .12007
** 剪断応力 **
<節点番号、 $\tau_x$ 、 $\tau_y$ 、 $\tau_{\max}$ >
1, 1308011, -1199485, 1774727
2, 692388.5, -3150025, 3225222
3, 493588.3, -5459562, 5481829
4, 367310.3, -6960791, 6970476
5, 315073.2, -8350130, 8356072
6, 246248.1, -9346053, 9349297
7, 203015.8, -1.026289E+07, 1.02649E+07
8, 156961.4, -1.091182E+07, 1.091295E+07
9, 124317.1, -1.149642E+07, 1.149709E+07
10, 88350.53, -1.187028E+07, 1.187061E+07
11, 59111.32, -1.218998E+07, 1.219012E+07
12, 28471.22, -1.232669E+07, 1.232672E+07
13, .0409856, -1.241387E+07, 1.241387E+07
14, -28471.22, -1.232669E+07, 1.232672E+07
. . . . .
. . . . .
```

図8-3 (1/2) 穴明き長方形断面の計算結果データファイル

```

582, -59110.34, 1.218997E+07, 1.219011E+07
583, -88346.6, 1.187027E+07, 1.18706E+07
584, -124319.9, 1.149642E+07, 1.149709E+07
585, -156948.6, 1.091182E+07, 1.091295E+07
586, -203011.4, 1.02629E+07, 1.026491E+07
587, -246246.1, 9346043, 9349287
588, -315066.8, 8350124, 8356066
589, -367307.1, 6960771, 6970455
590, -493585.7, 5459564, 5481831
591, -692390.4, 3150020, 3225218
592, -1308012, 1199467, 1774716

```

#### <最大値データ>

注) 絶対値の最大。

変数項目、	最大値、	節点番号
$\tau_x$ ,	-1.537606E+07,	303
$\tau_y$ ,	-1.241387E+07,	13
$\tau_{max}$ ,	1.537606E+07,	303
END	0h 0min 0s	

図8-3 (2/2) 穴明き長方形断面の計算結果データファイル

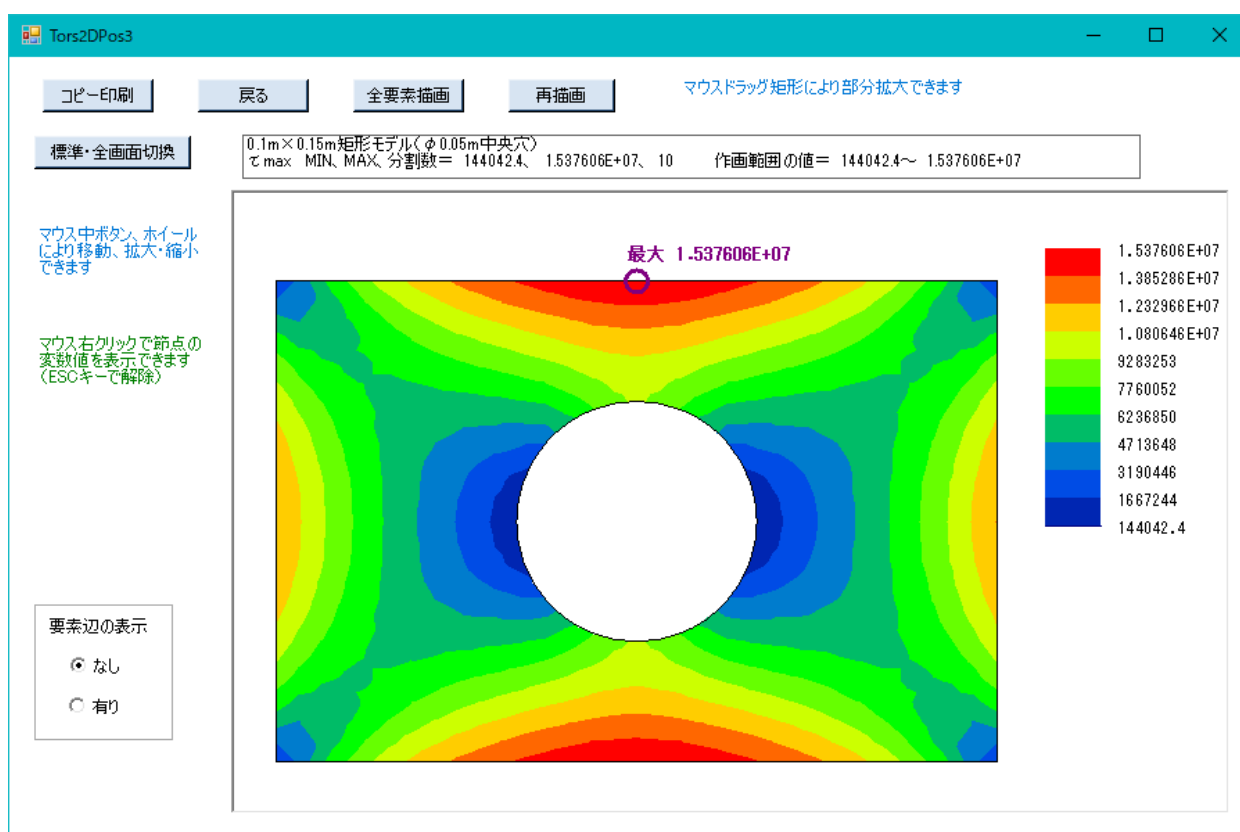


図8-4 穴明き長方形断面の  $\tau_{max}$  等高線図



## 8.2 非対称フランジ断面

図8-5にモデル図を示します。同図のように、上側が片フランジ、下側が両フランジの非対称断面です。

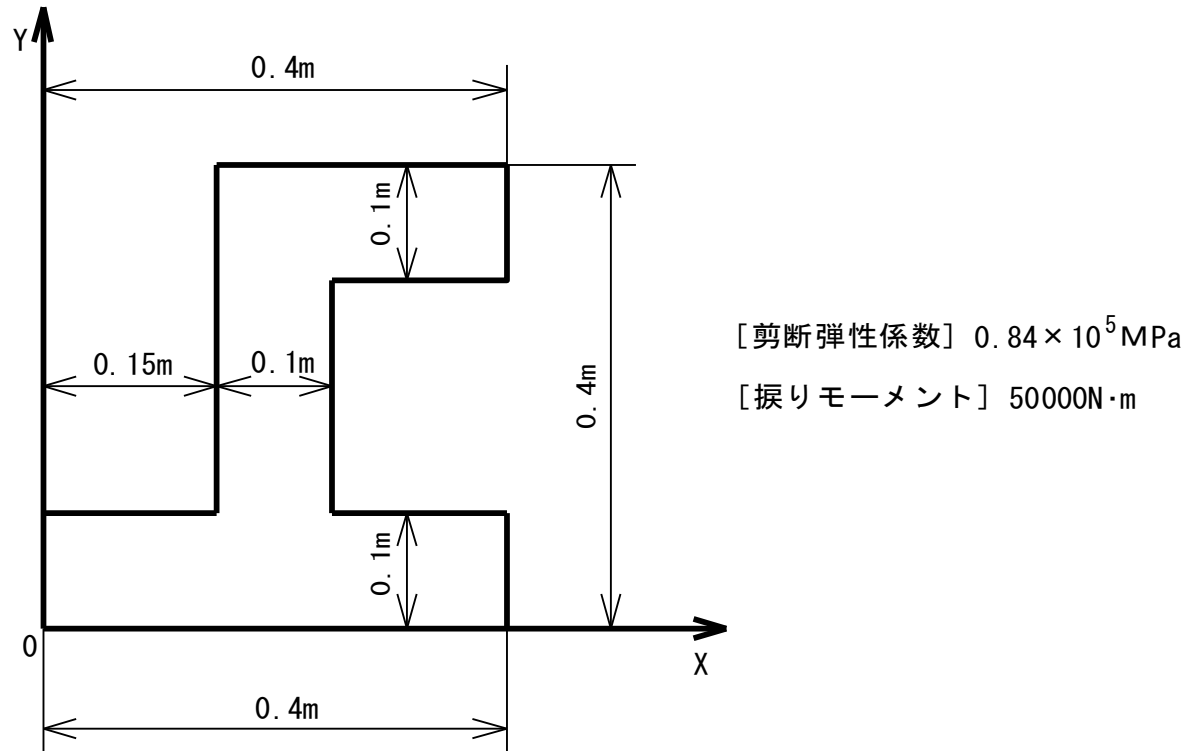


図8-5 非対称フランジ断面のモデル図

次に図8-6に断面の要素メッシュ図を示します。

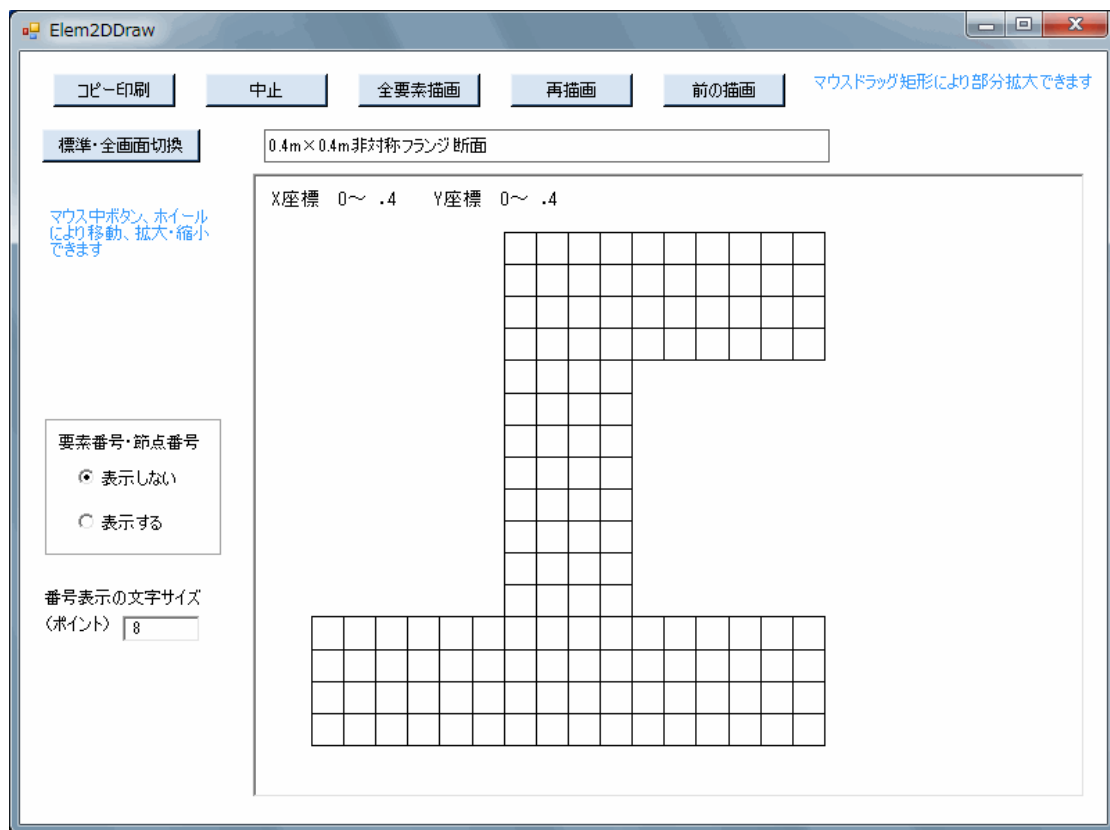


図8-6 非対称フランジ断面の要素メッシュ図

図8-7に計算結果データファイルの内容を示します。また、図8-8に  $\tau_{\max}$  の等高線図を示します。

<< 2次元振り解析の計算結果 >>

0.4m×0.4m非対称フランジ断面

[入力データファイル], C:\¥VB2022¥2次元振り解析¥Data¥UnsymFlange.dat

\*\*\* 計算結果 \*\*\*

バンド幅, 53

\*\* 断面定数 \*\*

重心位置のX、Y座標, .2220589, .1735295

断面積, .08499993

重心原点X軸回り2次モーメント, .001523775

重心原点Y軸回り2次モーメント, .0007794722

X軸回り曲げ断面係数(X軸右側), .008781073

上記対象点のX、Y座標, 0, 0

X軸回り曲げ断面係数(X軸左側), .00672836

上記対象点のX、Y座標, .175, .4

Y軸回り曲げ断面係数(Y軸右側), .004380507

上記対象点のX、Y座標, .4, 0

Y軸回り曲げ断面係数(Y軸左側), .003510205

上記対象点のX、Y座標, 0, 0

X軸方向剪断係数, 1.109473

Y軸方向剪断係数, 2.907045

回転半径, .1646118

サンブナンの振り定数, .0002895294

振り断面係数, .001904706

上記対象点のX、Y座標, .15, .1

軸の単位長さ当たりの振れ角 (°), .1177933

\*\* 剪断応力 \*\*

<節点番号、 $\tau_x$ 、 $\tau_y$ 、 $\tau_{max}$ >

1, 2852672, -2888920, 4060000

2, 1117394, -6438505, 6534747

3, 600453.1, -1.038891E+07, 1.040625E+07

4, 240787.5, -1.168499E+07, 1.168747E+07

5, -2.573341, -1.258025E+07, 1.258025E+07

6, -240926.5, -1.168617E+07, 1.168865E+07

7, -600352.8, -1.038998E+07, 1.040731E+07

8, -1118236, -6439514, 6535885

9, -2852288, -2890814, 4061078

10, 6484336, -1133745, 6582704

11, 2269409, -7154396, 7505704

12, 404.0146, -9214386, 9214386

13, -2269329, -7156248, 7507446

.....

.....

475, -1118293, 6439534, 6535914

476, -2852573, 2890403, 4060985

477, 2850881, 2887392, 4057654

478, 1115945, 6430785, 6526893

479, 598744.4, 1.037417E+07, 1.039143E+07

図8-7 (1/2) 非対称フランジ断面の計算結果データファイル

480,	239747.9,	1.166553E+07,	1.1668E+07
481,	-46.32014,	1.255738E+07,	1.255738E+07
482,	-239989.8,	1.166508E+07,	1.166755E+07
483,	-599053.3,	1.037355E+07,	1.039083E+07
484,	-1115235,	6430558,	6526548
485,	-2850711,	2887207,	4057403

#### <最大値データ>

注) 絶対値の最大。

変数項目、	最大値、	節点番号
$\tau_x$ ,	-2.424169E+07,	84
$\tau_y$ ,	-2.499269E+07,	94
$\tau_{max}$ ,	2.625078E+07,	93

END 0h 0min 0s

図8-7 (2/2) 非対称フランジ断面の計算結果データファイル

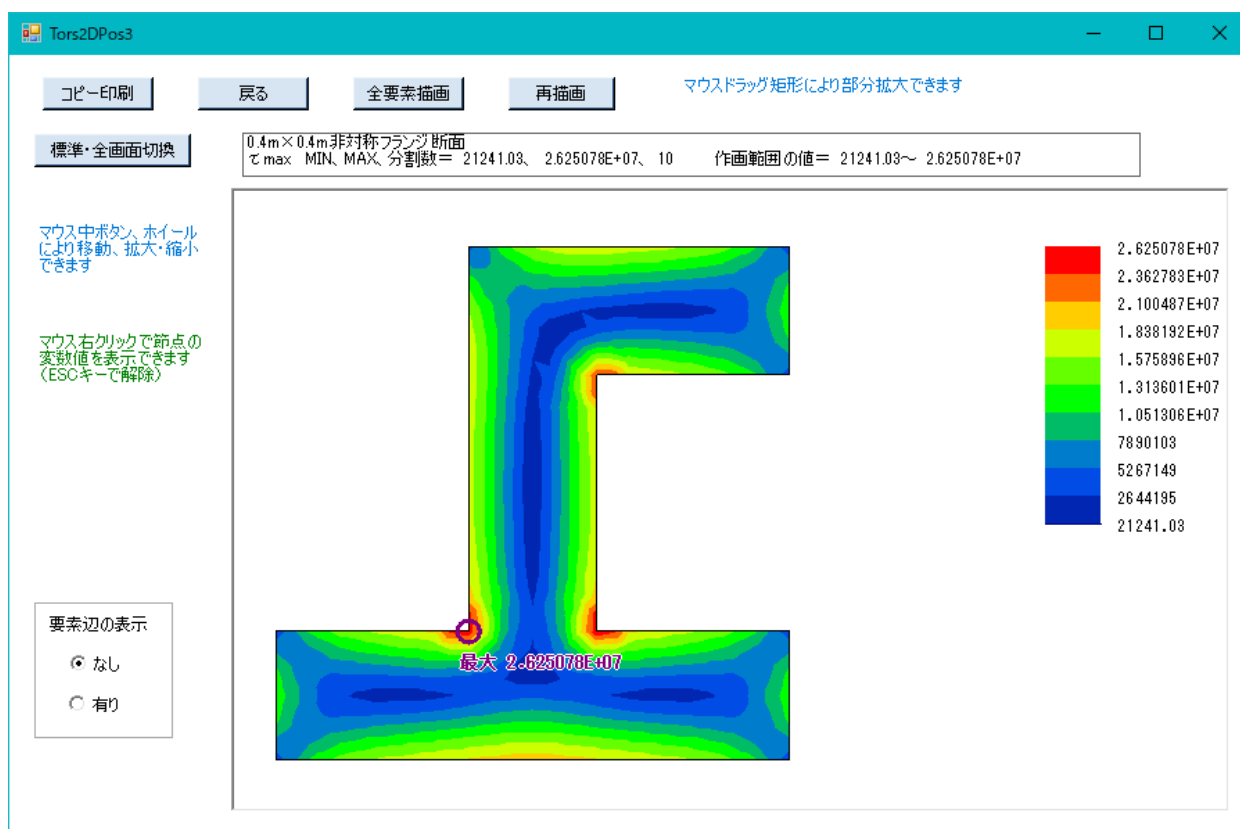


図8-8 非対称フランジ断面の  $\tau_{max}$  等高線図

[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」、スピーゲル 著、氏家 勝巳 訳、  
マグロウヒル ブック (株)、1984
- B2) 「数値解析とその応用」、名取 亮、  
コロナ社、1992
- B3) 「線形計算」、名取 亮、  
朝倉書店、1993
- B4) 「コンピュータグラフィックス講義」、青木 由直、  
コロナ社、2000
- B5) 「Visual Basicによる工学計算プログラム」、黒田 英夫、  
CQ出版社、2001

<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.G.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) 「薄肉はり構造解析」、藤谷 義信、  
培風館、1990
- C7) 「The Finite Element Method (Linear Static and Dynamic Finite Element  
Analysis)」、Thomas J.R.Hughes、Dover Publications、2000

- C8)「パソコンで解く骨組の静的・動的・弾塑性解析」、藤谷 義信 他  
丸善（株）、2001
- C9)機械工学便覧A5「材料力学」、日本機械学会編、  
日本機械学会、2001
- C10)「応用弾性学」、大久保 肇、  
朝倉書店、2002