**********　　2023年 3月
*　「部材３次元体解析K」の紹介　　*　　［著者］黒田 英夫
****

＜プログラム開発環境＞

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

言語：Visual Basic 2022 (Visual Studio 2022 Community)

＜プログラムと本書の著作権＞

フリーソフトで、著作権を開放します

****

汎用的な部材３次元体構造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、部材を組み合わせた３次元体弾性問題を解くものです。ここで、３次元体とはトラス（節点が回転自由接続）、ラーメン（節点が固定接続）、およびトラス・ラーメン混合を指します。

また、材料の断面物性データは、「円・正方形物性」の計算機能の他、算生会の「２次元捩り解析K」ソフトの結果を取り込むこともできます。

[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

＜目次＞

	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	15
第3章 構造データの作り方	18
第4章 「データ」処理プログラム	23
第5章 「計算」プログラム	46
第6章 「後処理」プログラム	60
第7章 大変形・後変形問題の計算例	71
第8章 複合梁の計算例	75
第9章 サンブナンの捩り定数	82
［参考文献］	84

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に示す線分２節点要素を使用します。この線分２節点要素は、１つの部材に相当し、後述のように軸直角断面に形状物性を持ちます。同図に示すように、線分の両端に２つの節点があり、線分要素どうしは、節点を共有して連結されます。

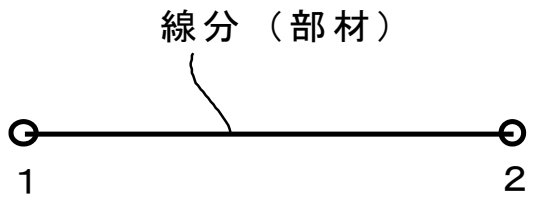


図1-1　線分２節点要素

1.2 トラスの有限要素法解析

トラスとは、部材間の節点が回転自由に接続されている構造のことです。この３次元トラスを解析する場合の線分２節点要素を図1-2に示します。

図1-2において、全体座標系を右手系でx、y、zで表わします。部材座標系は、部材の節点1から節点2に向かう向きにx_B軸、節点1において断面中心から直角2方向にy_B軸とz_B軸を設定します。そして、部材座標と全体座標の関係については、部材の各座標軸毎に全体座標のx、y、z軸への方向余弦で表わします。また、各座標軸方向の変位をそれぞれu、v、wとし、部材座標においてはそれぞれ添え字Bを付して表わします。

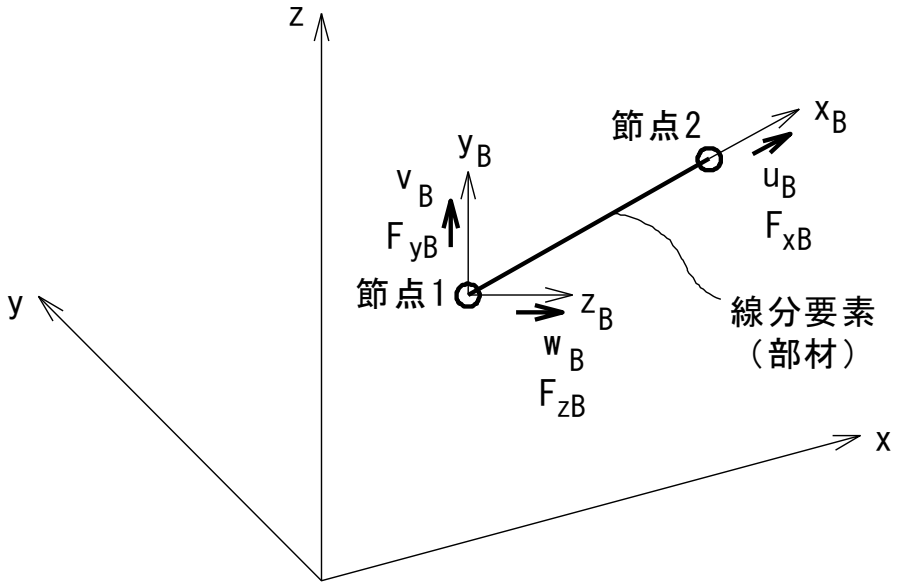
ここで、部材の物性値として次のように記号を設定します。

E：ヤング率

γ：比重量（重力）

A：断面積

L：長さ・・・部材両端の節点座標から自動計算



x、y、z：全体座標系

各方向変位と力をu、v、wとF_x、F_y、F_zとする。

x_B、y_B、z_B：部材座標系

部材軸方向をx_Bとする。

各方向変位、力等は上記変数に添え字Bを付して表わす。

線分要素の物性

E：ヤング率

γ：比重量（重力）、　A：断面積、　L：長さ

図1-2　３次元トラス用の線分要素

次に、以下の公式により、ベクトル$\{U_{eB}\}$、$\{U_e\}$、$\{F_{eB}\}$、$\{F_e\}$を定義します。

$$\{U_{eB}\}=\begin{bmatrix} u_{B1} \\ v_{B1} \\ w_{B1} \\ u_{B2} \\ v_{B2} \\ w_{B2} \end{bmatrix} \tag{1-1}$$

$$\{U_e\}=\begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ w_2 \end{bmatrix} \tag{1-2}$$

$$\{F_{eB}\}=\begin{bmatrix} F_{xB1} \\ F_{yB1} \\ F_{zB1} \\ F_{xB2} \\ F_{yB2} \\ F_{zB2} \end{bmatrix} \tag{1-3}$$

$$\{F_{e}\}=\begin{bmatrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ F_{z1} \\ F_{x2} \\ F_{y2} \\ F_{z2} \end{bmatrix} \tag{1-4}$$

部材における力と変位の関係式は次のようになります。[C12)]

$$\{F_{eB}\}=[K_{eB}]\{U_{eB}\} \tag{1-5}$$

ただし、$[K_{eB}]$：部材座標系の部材剛性マトリックス

$$[K_{eB}]=\begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{1-6}$$

しかるに、部材座標と全体座標との間には次の関係式が成立します。

$$\{U_{eB}\}=[T]\{U_{e}\} \tag{1-7}$$

$$\{F_{eB}\}=[T]\{F_{e}\} \tag{1-8}$$

ここで、$[T]$：座標変換マトリックス。

部材x_B軸の全体xyz軸に対する方向余弦を(a_x, a_y, a_z)、同じくy_B軸の方向余弦を(b_x, b_y, b_z)、z_B軸の方向余弦(c_x, c_y, c_{xz})と置くと、次式で表わされます。

$$[T]=\begin{bmatrix} a_x & a_y & a_z & 0 & 0 & 0 \\ b_x & b_y & b_z & 0 & 0 & 0 \\ c_x & c_y & c_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_x & a_y & a_z \\ 0 & 0 & 0 & b_x & b_y & b_z \\ 0 & 0 & 0 & c_x & c_y & c_z \end{bmatrix} \qquad (1\text{-}9)$$

(1-7)式、(1-8)式を(1-5)式に代入すると次式となります。

$$[T]\{F_e\}=[K_{eB}][T]\{U_e\} \qquad (1\text{-}10)$$

(1-10)式の両辺に[T]の逆行列[T]'（これはTの転置行列に同じ）を掛けると、[T]'[T]が単位行列になるので、次式が得られます。

$$\{F_e\}=[T]'[K_{eB}][T]\{U_e\} \qquad (1\text{-}11)$$

従って、全体座標系における要素の剛性マトリックスは次式で表わされます。

$$[K_e]=[T]'[K_{eB}][T] \qquad (1\text{-}12)$$

上記の各要素の計算式を全要素について合わせると、全体の方程式は次の(1-13)式となります。この(1-13)式を解くことにより、節点変位｛U｝が求まります。その後で、(1-7)式、(1-5)式により各線分要素の軸力、剪断力を算出します。

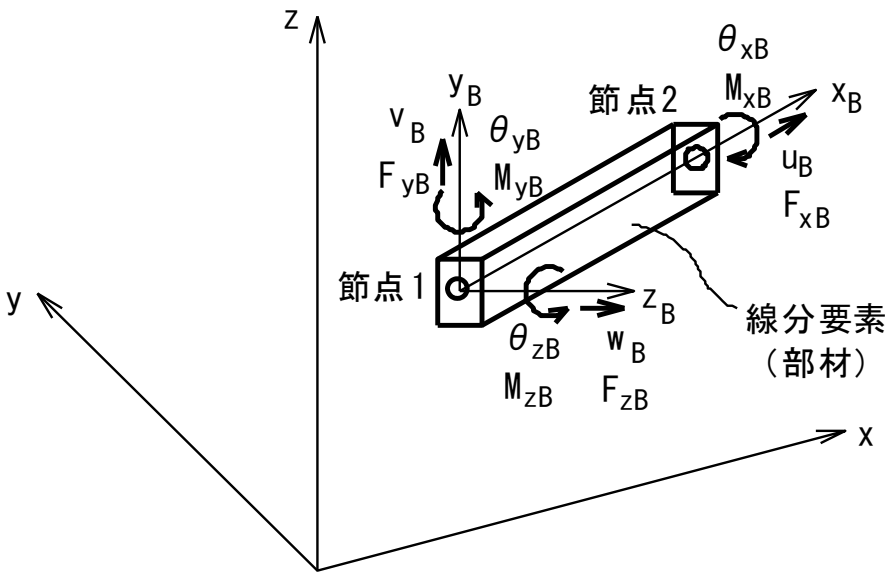
$$[K]\{U\}=\{F\} \qquad (1\text{-}13)$$

ただし、[K]：全体剛性マトリックス。
本行列は、対角部要素以外が０のバンドマトリックス形となり、
バンドマトリックス計算手法により解きます。
{U}：節点変位ベクトル
{F}：右辺ベクトル。荷重条件によって決まります（1.5節参照）。

1.3 ラーメンの有限要素法解析

ラーメンとは、部材間の節点が固定接続されている構造のことです。この３次元ラーメンを解析する場合の線分２節点要素を図1-3に示します。

図1-3において、全体座標系を右手系でx、y、zで表わします。部材座標系は、部材の節点1から節点2に向かう向きにx_B軸、節点1において断面中心から直角2方向にy_B軸とz_B軸を設定します。そして、部材座標と全体座標の関係については、部材の各座標軸毎に全体座標のx、y、z軸への方向余弦で表わします。また、各座標軸方向の変位をそれぞれu、v、w、座標軸回りの回転変位をθ_x、θ_y、θ_zとし、部材座標においてはそれぞれ添え字Bを付して表わします。各回転変位の正の向きは、各座標軸の向きに対して右回りです。同様に各変位に対応する力をF_x、F_y、F_z、回転変位に対応するモーメンントをM_x、M_y、M_zで表わします。



x、y、z：全体座標系

各方向変位と力をu、v、wとF_x、F_y、F_zとする。
各方向の回転変位をθ_x、θ_y、θ_z、とモーメントを
M_x、M_y、M_zとする（右回りが正）。

x_B、y_B、z_B：部材座標系

部材軸方向をx_Bとする。
各方向変位、力等は上記変数に添え字Bを付して表わす。

線分要素の物性

E：ヤング率、　　ν：ポアソン比
γ：比重量（重力）、　　A：断面積、　　L：長さ
I_{yB}：y_B軸回りの断面2次モーメント
I_{zB}：z_B軸回りの断面2次モーメント
K：サンブナン捩り定数

図1-3　　３次元ラーメン用の線分要素

ここで、部材の物性値として次のように記号を設定します。
E：ヤング率、　　ν：ポアソン比
剪断弾性係数Gは次式で表わされます。

$$G=\frac{E}{2(1+\nu)} \tag{1-14}$$

γ：比重量（重力）

A：断面積

L：長さ・・・部材両端の節点座標から自動計算

I_{yB}：y_B軸回りの断面2次モーメント

I_{zB}：z_B軸回りの断面2次モーメント

K：サンブナンの捩り定数・・・第9章を参照

次に、以下の公式により、ベクトル$\{U_{eB}\}$、$\{U_e\}$、$\{F_{eB}\}$、$\{F_e\}$を定義します。

$$\{U_{eB}\}=\begin{Bmatrix} U_{eB1} \\ U_{eB2} \end{Bmatrix} \tag{1-15}$$

$$\{U_{eBi}\}=\begin{bmatrix} u_{Bi} \\ v_{Bi} \\ w_{Bi} \\ \theta_{xBi} \\ \theta_{yBi} \\ \theta_{zBi} \end{bmatrix} \qquad i=1,2 \tag{1-15a}$$

$$\{U_e\}=\begin{Bmatrix} U_{e1} \\ U_{e2} \end{Bmatrix} \tag{1-16}$$

$$\{U_{ei}\}=\begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \\ \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \\ \theta_{zi} \end{bmatrix} \qquad i=1,2 \tag{1-16a}$$

$$\{F_{eB}\}=\begin{Bmatrix} F_{eB1} \\ F_{eB2} \end{Bmatrix} \tag{1-17}$$

$$\{F_{eBi}\}=\begin{bmatrix} F_{xBi} \\ F_{yBi} \\ F_{zBi} \\ M_{xBi} \\ M_{yBi} \\ M_{zBi} \end{bmatrix} \qquad i=1,2 \tag{1-17a}$$

$$\{F_e\}=\begin{Bmatrix} F_{e1} \\ F_{e2} \end{Bmatrix} \tag{1-18}$$

$$\{F_{ei}\}=\begin{bmatrix} F_{xi} \\ F_{yi} \\ F_{zi} \\ M_{xi} \\ M_{yi} \\ M_{zi} \end{bmatrix} \qquad i=1,2 \tag{1-18a}$$

部材における力と変位の関係式は次のようになります。[C12)]

$$\{F_{eB}\}=[K_{eB}]\{U_{eB}\} \tag{1-19}$$

ただし、$[K_{eB}]$：部材座標系の部材剛性マトリックス

$$[K_{eB}]=\begin{bmatrix} K_{eB1} \\ K_{eB2} \end{bmatrix} \tag{1-20}$$

$$[K_{eB1}]=\begin{bmatrix}
\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & \frac{12EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_{zB}}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_{zB}}{L^2} \\
0 & 0 & \frac{12EI_{yB}}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_{yB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_{yB}}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_{yB}}{L^2} & 0 \\
0 & 0 & 0 & \frac{GK}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GK}{L} & 0 & 0 \\
0 & 0 & -\frac{6EI_{yB}}{L^2} & 0 & \frac{4EI_{yB}}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_{yB}}{L^2} & 0 & \frac{2EI_{yB}}{L} & 0 \\
0 & \frac{6EI_{zB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_{zB}}{L} & 0 & -\frac{6EI_{zB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_{zB}}{L}
\end{bmatrix} \tag{1-20a}$$

$$[K_{eB2}]=\begin{bmatrix}
-\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & -\frac{12EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_{zB}}{L^2} & 0 & \frac{12EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_{zB}}{L^2} \\
0 & 0 & -\frac{12EI_{yB}}{L^3} & 0 & \frac{6EI_{yB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_{yB}}{L^3} & 0 & \frac{6EI_{yB}}{L^2} & 0 \\
0 & 0 & 0 & -\frac{GK}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GK}{L} & 0 & 0 \\
0 & 0 & -\frac{6EI_{yB}}{L^2} & 0 & \frac{2EI_{yB}}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_{yB}}{L^2} & 0 & \frac{4EI_{yB}}{L} & 0 \\
0 & \frac{6EI_{zB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_{zB}}{L} & 0 & -\frac{6EI_{zB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_{zB}}{L}
\end{bmatrix} \tag{1-20b}$$

これらの定義により、トラスと同様に、(1-7)、(1-8)式が成立します。ただし、各ベクトルや行列の要素数、内容は異なります。また、座標変換マトリックスは次のようになります。

［T］：座標変換マトリックス。

部材x_B軸の全体xyz軸に対する方向余弦を(a_x, a_y, a_z)、同じくy_B軸の方向余弦を(b_x, b_y, b_z)、z_B軸の方向余弦(c_x, c_y, c_{xz})と置くと、次式で表わされます。

$$
[T]=\begin{bmatrix}
a_x & a_y & a_z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
b_x & b_y & b_z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
c_x & c_y & c_z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & a_x & a_y & a_z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & b_x & b_y & b_z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & c_x & c_y & c_z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_x & a_y & a_z & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_x & b_y & b_z & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_x & c_y & c_z & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_x & a_y & a_z \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_x & b_y & b_z \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_x & c_y & c_z
\end{bmatrix} \qquad (1\text{-}21)
$$

そして、トラスと同様に(1-10)～(1-13)式が成立します。この(1-13)式を解くことにより、節点変位｛U｝が求まります。その後で、(1-7)式、(1-5)式により各線分要素の 軸力、剪断力、モーメントを算出します。

1.4 トラス・ラーメン混合の有限要素法解析

トラス・ラーメン混合とは、トラス要素やラーメン要素が組み合わさった構造のことで、す。さらに、本ソフトでは、以下に示す２種類の特殊要素も使用することができます。

1)左端回転自由・右端固定の要素（要素種類３）

図1-4に示すように、節点１は回転自由（トラス相当）、節点２は固定（ラーメン相当）の要素です。

本要素の剛性マトリックスは次式で表わされます。

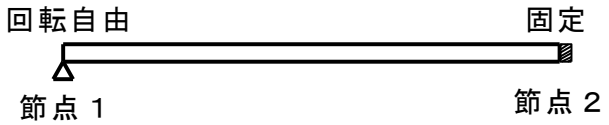


図1-4　左端回転自由・右端固定の要素

$$
[K_{eB1}]=\begin{bmatrix}
\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & \frac{3EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_{zB}}{L^2} \\
0 & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_{yB}}{L^3} & 0 & -\frac{3EI_{yB}}{L^2} & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
-\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & -\frac{3EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_{zB}}{L^2} \\
0 & 0 & -\frac{3EI_{yB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L^3} & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L^2} & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & -\frac{3EI_{yB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L^2} & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L} & 0 \\
0 & \frac{3EI_{zB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_{zB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_{zB}}{L}
\end{bmatrix} \qquad (1\text{-}22a)
$$

$$
[K_{eB2}]=\begin{bmatrix}
\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & \frac{3EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_{zB}}{L^2} \\
0 & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_{yB}}{L^3} & 0 & -\frac{3EI_{yB}}{L^2} & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
-\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & -\frac{3EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_{zB}}{L^2} \\
0 & 0 & -\frac{3EI_{yB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L^3} & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L^2} & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & -\frac{3EI_{yB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L^2} & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L} & 0 \\
0 & \frac{3EI_{zB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_{zB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_{zB}}{L}
\end{bmatrix}
$$

(1-22b)

2)左端固定・右端回転自由の要素（要素種類４）

図1-5に示すように、節点１は固定（ラーメン相当）、節点２は回転自由（トラス相当）の要素です。

本要素の剛性マトリックスは次式で表わされます。

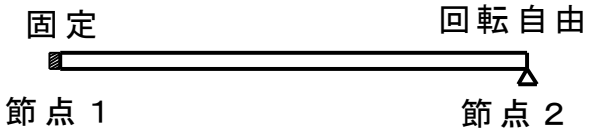


図1-5　左端固定・右端回転自由の要素

$$[K_{eB1}]=\begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_{zB}}{L^2} & 0 & -\frac{3EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L^3} & 0 & -\frac{3EI_{yB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_{yB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{3EI_{yB}}{L^2} & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3EI_{zB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_{zB}}{L} & 0 & -\frac{3EI_{zB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1\text{-}23a)$$

$$[K_{eB2}]=\begin{bmatrix} -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{3EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{3EI_{zB}}{L^2} & 0 & \frac{3EI_{zB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{3EI_{yB}}{L^3} & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{3EI_{yB}}{L^3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(1-23b)

1.5 荷重条件

荷重条件は、節点荷重、分布荷重および自重の３種類があります。

①節点荷重

節点荷重は、各節点において全体座標の各座標軸方向に与えます。各軸回りのモーメントも付加できます。

②分布荷重

図1-6に分布荷重の種類と向きを示します。同図のように、線分要素への部材y_B軸、z_B軸方向の垂直分布荷重、および接線分布荷重の３種類を与えることができます。これ

らの分布荷重は、両節点の集中荷重に分配し、かつ曲げモーメントにも変換します（ソフト内で自動計算）。

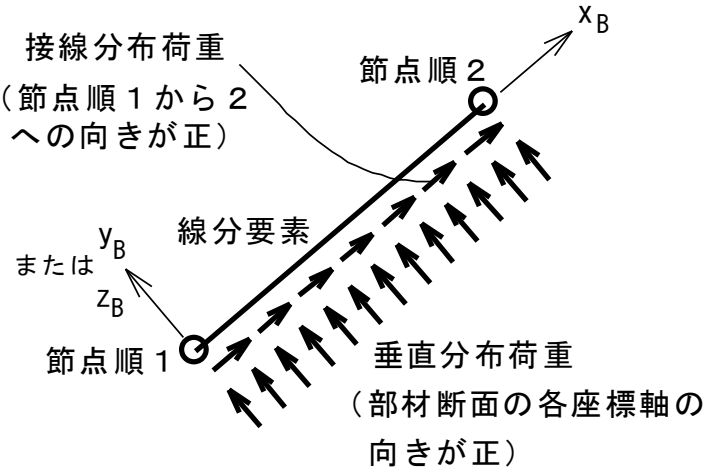


図1-6　　分布荷重の種類と向き

図1-7～10に各要素種類について垂直分布荷重の節点への振り替えを示します。

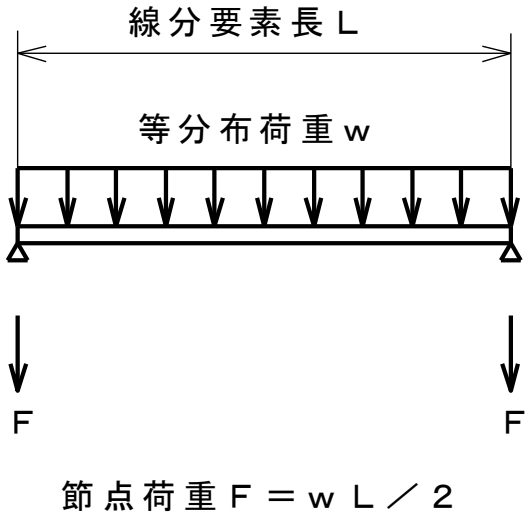


図1-7　　トラスにおける等分布荷重の節点への振り替え

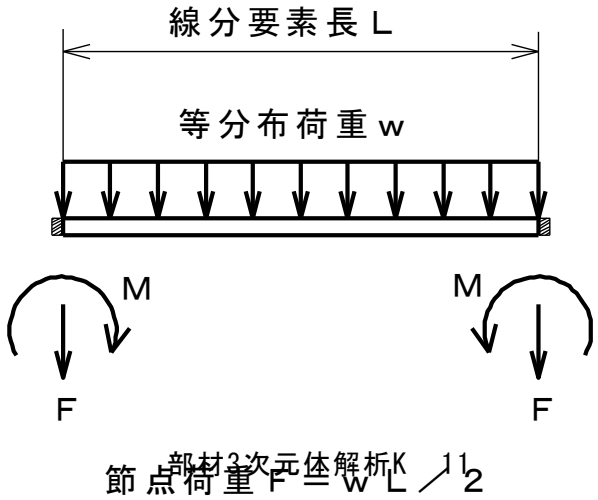
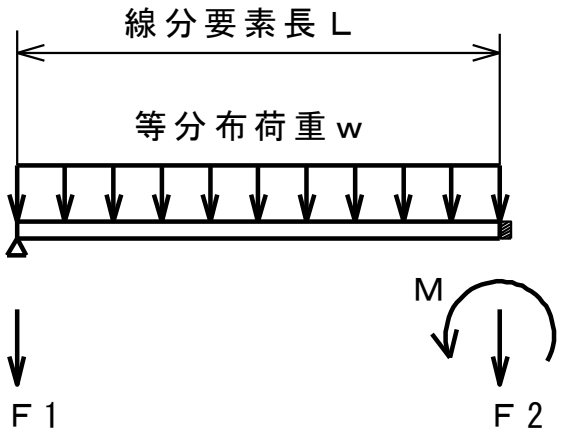


図1-8　　ラーメンにおける等分布荷重の節点への振り替え

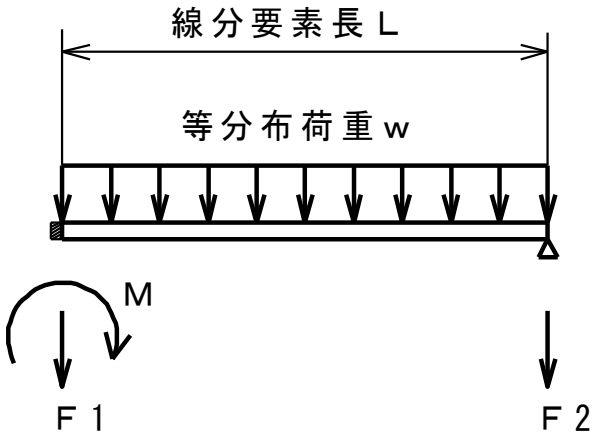


節点荷重　Ｆ1＝３ｗＬ／８

Ｆ2＝５ｗＬ／８

節点モーメントＭ＝ｗＬ^2／８

図1-9　要素種類３（左端回転自由・右端固定）における等分布荷重の節点への振り替え



節点荷重　Ｆ１＝５ｗＬ／８

Ｆ２＝３ｗＬ／８

節点モーメントＭ＝ｗＬ^2／８

図1-10　要素種類４（左端回転自由・右端固定）における等分布荷重の節点への振り替え

③自重（地震荷重を含む）

自重については、材料物性の比重量を用いて、各線分要素毎に計算します。その際、重量を線分要素の垂直分布荷重と接線分布荷重に分け、②の分布荷重と同様に、両節点の集中荷重に等分し、かつ曲げモーメントにも変換します（ソフト内で自動計算）。

自重は、x,y,z方向に任意の自重倍率を設定できます。従って、その自重倍率により、地震荷重を与えることもできます。

1.6 応力の計算

要素節点の断面において、次の各応力が計算されます。ただし、トラスには、曲げ応力、合計応力、捩り応力が含まれません。

σ_f：軸力に対する軸応力

σ_{bU}、σ_{bL}：曲げ応力の最大値、最小値

◇この曲げ応力はy_B軸回りとz_B軸回りを加算したものです。これは長方形断面に当てはまるもので、楕円形断面に対しては少し過大な値になります。

σ_{AU}、σ_{AL}：合計応力の最大値、最小値

◇σ_{bU}、σ_{bL}にσ_fを加算したもの。

τ_A：合成剪断応力

◇y_B軸方向とz_B軸方向を合成した剪断応力。

τ_p：捩り応力

◇捩りモーメント ／捩り断面係数Z_p により算出されます。

y_B軸回りとz_B軸回りの曲げ応力の計算に用いられる曲げ断面係数、およびy_B軸方向とz_B軸方向の剪断応力の計算に用いられる剪断係数の記号定義を図1-11に示します。

◇曲げの断面係数の添え字iについては、1が座標軸の右側、2が左側になるので、注意してください。対称断面の場合は両者が同一値ですが、非対称断面では異なる値をどちらに取るかで計算結果が違ってきます。

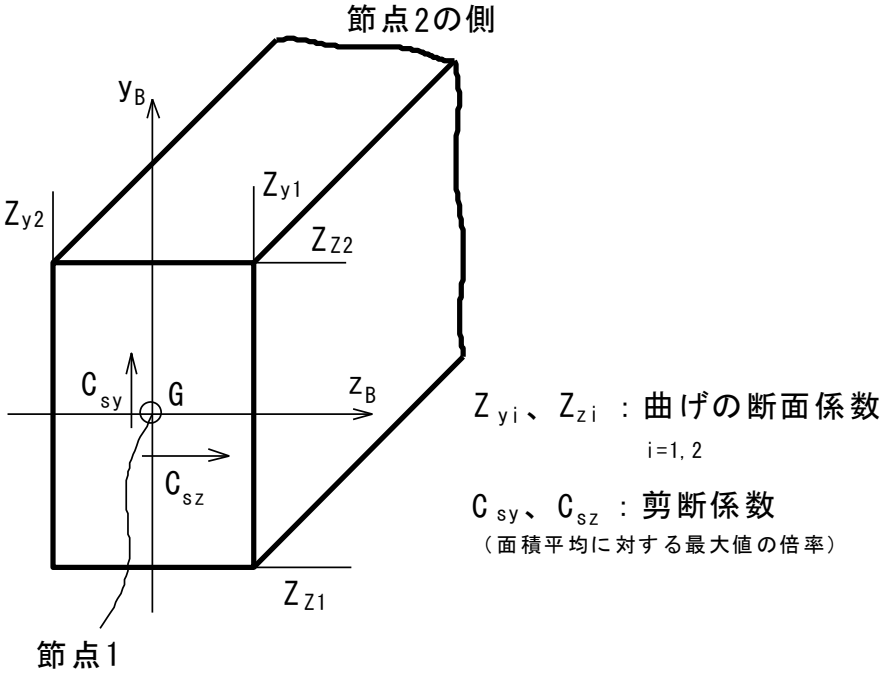


図1-11　　断面定数の記号定義（曲げ、剪断）

1.7 断面定数の計算ソフト

本解析に必要な断面定数のすべてが、算生会「２次元振り解析K」ソフトにより算出できますので、ぜひご利用ください。

◇必要な断面定数が幾種類もありますので、文献等を参照して手計算するのは面倒で、計算ミスの恐れもあります。

［備考］円と正方形の断面については、本ソフト「部材３次元体解析K」の入力データ画面で断面定数を計算設定できます。

第2章 プログラムの機能・構成

［ＶＢプロジェクト名］Ｂａｒｓ３Ｄ

表2-1に本ソフトの解析機能を示します。同表のように、トラス、ラーメン、両者混合の３種類の問題タイプに対応できます。また、各タイプで大変形問題にも対応できます。

表2-1　「Ｂａｒｓ３Ｄ」解析機能

問題タイプ	内　容
1) トラス	３次元で、節点は回転自由に接続
2) ラーメン	３次元で、節点は固定接続
3) トラス・ラーメン混合	３次元で、節点は回転自由か固定接続か任意

注）いずれも弾性変形内とし、また初期歪みは扱わない。

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「データ」、「計算」、「後処理」、「終了」の４つです。「データ」メニューでは入力データを作成し、「計算」メニューでは解析計算を実行し、「後処理」メニューでは計算結果の図を作画します。そして、ソフトを終了させる際は、「終了」をクリックします。なお、「計算」メニューには体積計算の補助機能もあります。

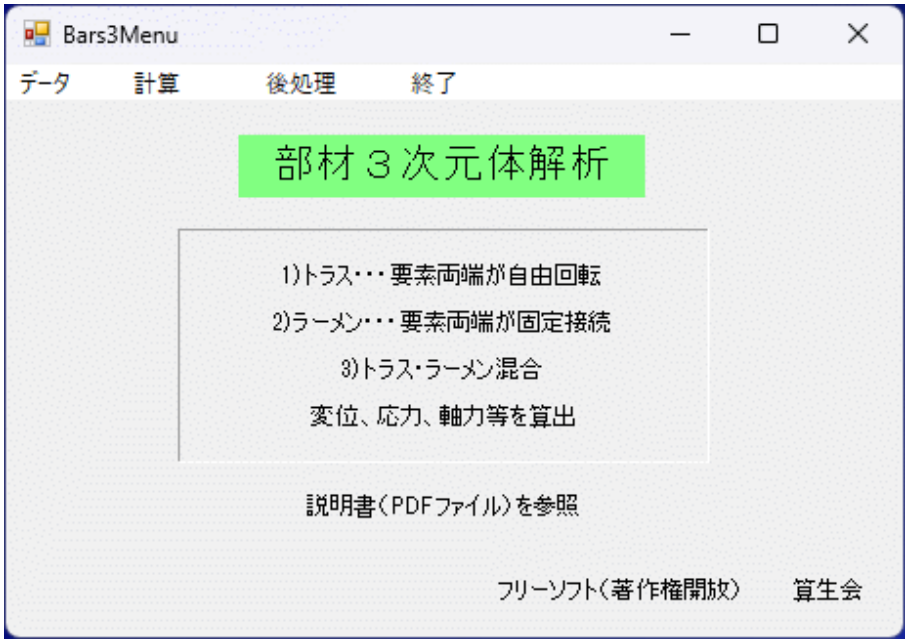


図2-1　「Ｒａｈｍｅｎ３Ｄ」メニュー画面

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Bars3Menuモジュール* で制御し、その下に「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。

データファイルは、「入力データファイル」と「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、一部で一時記憶ファイルも使用しています。これらデータファイルはいずれもテキスト形式であり、エディターや表計算ソフトで閲覧・印刷することができます。

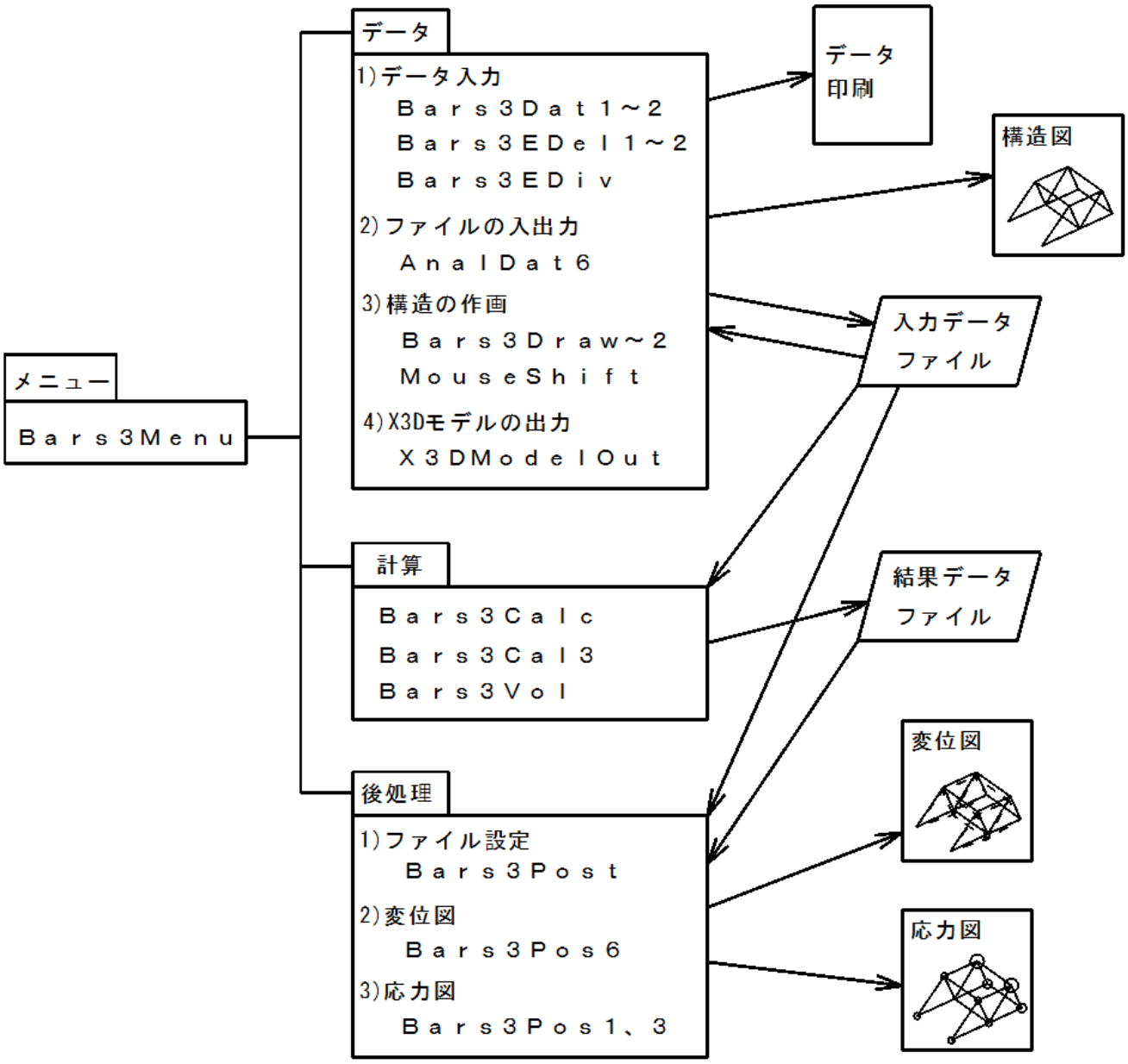


図2-2　　「Ｂａｒｓ３Ｄ」ソフトのプログラム構成

表2-2に本ソフトのファイルリストを示します。同表で、［データ］のBars3Dat1とBars3Dat2は、各種データを画面入力するためのものです。特に、Bars3Dat2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2-2　　「Ｂａｒｓ３Ｄ」ソフトのファイルリスト

［全般］

ファイル名	内　容
Bars3Com.vb	共通変数の宣言とサブルーチンの定義
Bars3Menu.vb	メニューの提示･選択

［データ］

ファイル名	内　容
Bars3Dat1.vb	データ仕様の入力
Bars3Dat2.vb	各データの入力
AnalDat6.vb	データファイルの入出力
Bars3Draw.vb	構造の作画
Bars3Draw1.vb	構造図で入力データ項目の選択
Bars3Draw2.vb	構造図でデータの入力
Bars3EDel1.vb	要素の削除数の入力と削除の実行
Bars3EDel2.vb	要素削除の要素指定
Bars3EDiv.vb	要素の分割
MouseShift.vb	マウス回転操作の説明（各３次元図に共通）
X3DModelOut.vb	X3Dモデルの出力

［計算］

ファイル名	内　容
Bars3Calc.vb	計算に使用するファイルの設定
Bars3Cal3.vb	解析計算の実行
Bars3Vol.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
Bars3Post.vb	後処理に使用するファイルの設定
Bars3Pos1.vb	応力図の指定
Bars3Pos3.vb	応力図の作画
Bars3Pos6.vb	変位図の作画

第3章 構造データの作り方

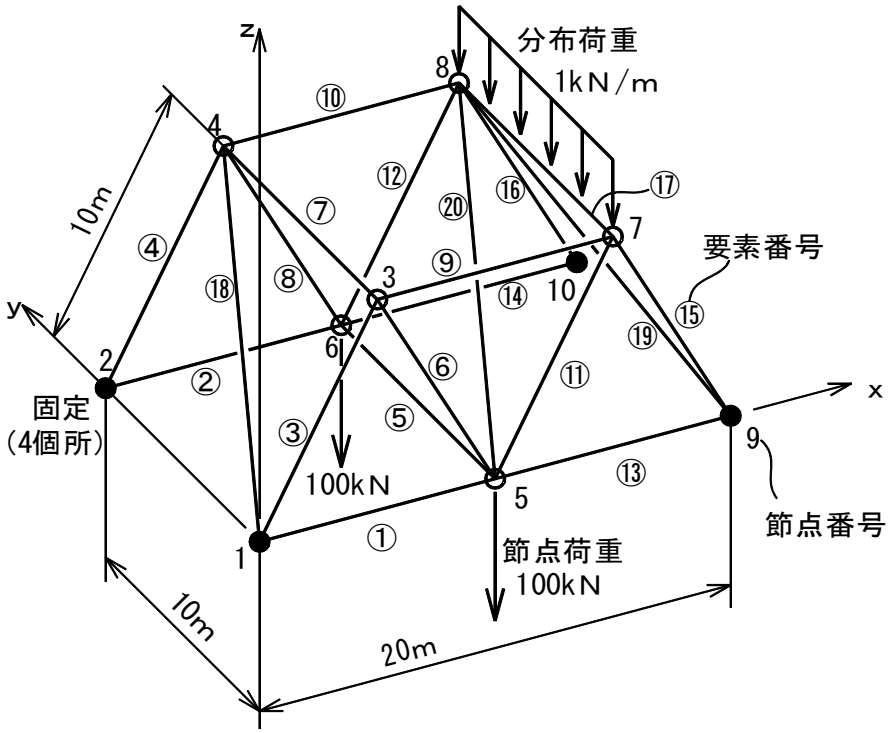
構造データはトラス、ラーメン、両者混合の各問題タイプでわずかに異なるだけです。従って、各タイプに共通な形で説明し、タイプにより異なる所はその都度 補足説明します。

図3-1にトラス構造モデルの例、図3-2にラーメン構造モデル（初期データ用）の例を示します。以降では、これらを参考にして、構造データ作成の手順に沿って説明します。

図3-1のトラス構造モデルは、①～⑳の同一材料の部材20個で構成され、10個の節点があります。そして、節点5と節点6の2個所に下向きの節点荷重、および要素⑰に-z方向の分布荷重が作用します。また、各部材には比重量があり、-z方向に重力が作用します。

図3-2のラーメン構造モデルは、①～⑰の同一の部材17個で構成され、10個の節点があります。そして、節点5と節点6の2個所に下向きの節点荷重、および要素⑰に-z方向の分布荷重が作用します。また、各部材には比重量があり、-z方向に重力が作用します。ただし、本構造は初期データ用で、各要素を４等分したデータを解析計算に使用します。

注）トラス・ラーメン混合タイプの例（初期データ用）は、図3-2において、節点７を回転自由とし、要素⑪をトラス要素にします（要素⑨、⑮、⑰は特殊要素）。



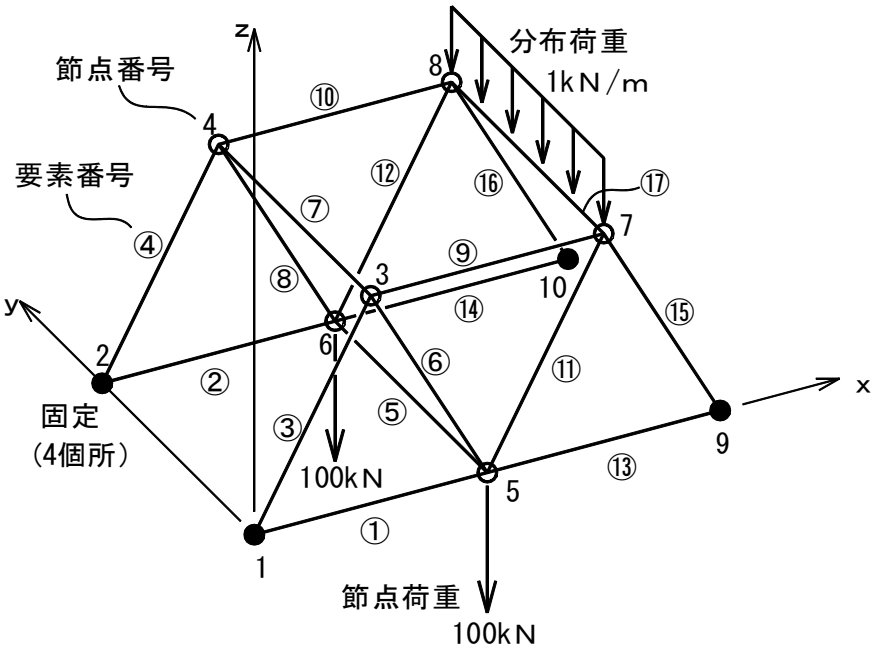
［部材条件］全部材共通

ヤング率：2.1×10^5 MPa

比重量：78kN/m^3

断面積：0.0112m^2

図3-1　　トラス構造テストモデル



［部材条件］全部材共通

ヤング率：2.1×10^{5}MPa　　ポアソン比：0.3

比重量：78kN/m^3

断面積：0.0112m^2　　長さ：10m

断面2次モーメント（第1軸）：2.22×10^{-4} m^4

（第2軸）：3.57×10^{-6} m^4

サンブナン捩り定数：1.52×10^{-6} m^4

図3-2　　ラーメン構造テストモデル（初期データ用）

1)先ず構造を略図に描きます。

３次元ですので、適当な角度から見た斜視図で表わすのがわかりやすいです。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。そして、全体座標のx軸、y軸、z軸も明記しておきます。

2)構造を線分要素に分割します。

構造すべてを線分２節点要素に分割します。図3-1では各線分要素が部材と１対１で対応していますが、部材断面が変化したり、部材の途中に荷重が作用する場合には１つの部材を複数の線分要素に分割することもできます。なお、当然のことながら、１つの要素は同一材料（含断面積等の断面データ）でなければなりません。

3)各線分要素に節点を設けます。

各線分要素について、両端に節点を設けます。

注）構造図には、節点位置に〇印等の記号を付けるとわかりやすいです。

4)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)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。この節点番号の付け方は各線分要素の節点番号差が大きくならないように、順序よく付番すると良いです。その理由は、バンドマトリックスのバンド幅が各要素の節点番号差の最大値で決まるからです。バンド幅の小さい方が記憶容量や計算時間が少なくてすみます。

本解析では、バンドマトリックスが対称ですので、ハーフバンド幅を使用し、次式で表わされます（ラーメン・トラス混合タイプは別）。

バンド幅＝((全要素で要素内の最大節点番号差)＋1)×変位自由度　　(3-1)

ただし、変位自由度：トラス構造では3

ラーメン構造では6

図3-1、3-2の例題では、要素①の節点1と5の番号差が4で最大となります（他の要素でも同一差有り）。従って、バンド幅は次のようになります。

トラスの場合　　バンド幅＝(4＋1)×3＝15　　(3-2)

ラーメンの場合　バンド幅＝(4＋1)×6＝30　　(3-3)

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、上記の節点番号について特に注意しなくて構いません。

6)節点座標を算出しておきます。

すべての節点の座標を求めておきます。なお、節点が斜めや円弧などの位置にある場合は、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)各要素の断面定数はあらかじめ算出しておきます。なお、算生会「２次元捩り解析」ソフトを利用すれば、すべての断面定数データが得られます。

◇断面y_B軸方向の角度も定めておきます。

すべての要素について、節点順1における部材断面のy_B軸方向を決め、断面の最も上向き方向y_T軸からの角度ϕ_{yB}を求めておきます。ただし、通常はy_B軸を傾けないので、角度ϕ_{yB}は0となります。Y_B軸を傾ける場合にのみ角度ϕ_{yB}を設定してください。

図3-3に断面y_B軸方向の角度の説明図を示します。同図のように、断面の最も上向き方向をy_T軸とし、y_T軸から左回りにy_B軸の角度ϕ_{yB}を設定します。なお、要素が 垂直（全体座標のZ軸に平行）の場合は、断面の最も上向き方向が不定なので、図3-4のように最も上向き方向y_T軸は全体座標のx軸方向に取ることにします。

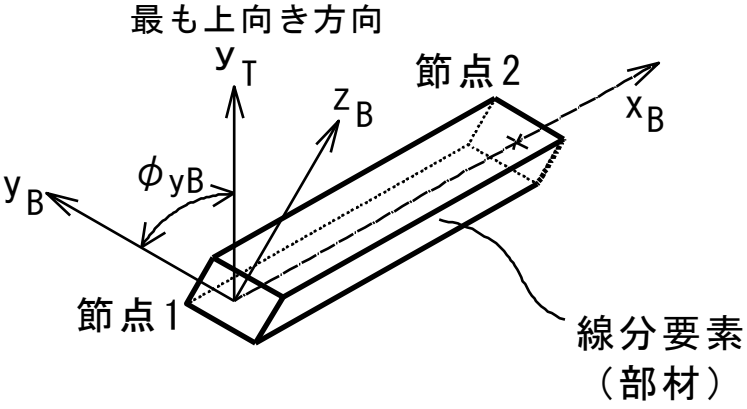


図3-3　断面y_B軸方向の角度

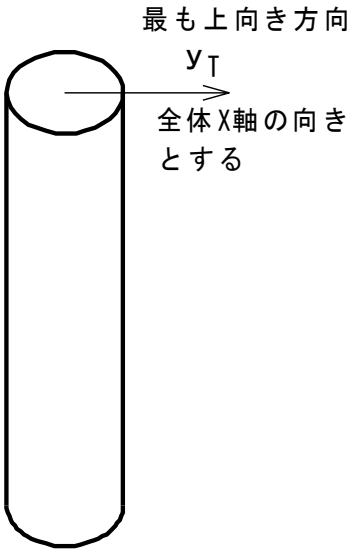


図3-4　要素が垂直の場合

8)拘束条件（支持点および境界）を決めます。

拘束条件は節点の各変位方向に規定します。従って、最初に要素分割する際、拘束する節点を考慮して分割する必要があります。変位の指定量を0以外にすると、その量の強制変位となります。

9)荷重条件を決めます。

表3-1に荷重の種類を示します。節点以外の所に荷重があるような場合には、適宜節点荷重として割り振ります。なお、荷重はすべてまとめて計算しますので、荷重条件を分けて計算したい場合は別のデータファイルとします。この別のデータファイルは、元のデータを修正して容易に作成できます。

表3-1　荷重の種類

節点荷重	分布荷重	自重（含地震荷重）
x軸方向の力	y_B軸方向の垂直分布荷重	各座標軸方向に任意倍率
y軸方向の力	z_B軸方向の垂直分布荷重	〃
z軸方向の力	x_B軸方向の接線分布荷重	〃
x軸回りのモーメント		
y軸回りのモーメント		
z軸回りのモーメント		

注）分布荷重については図1-6を参照のこと。

10)バネ支持の条件があれば付加します。

節点をバネ支持する場合には、その条件を付加します。バネ支持には次の２種類があります。

①単一節点のバネ

その節点単独のバネで、バネ支持の条件は各変位の座標軸（板の場合は回転を含む）方向に与えます。

１つの座標軸方向において、バネ支持は次式で表わされます。

$$f = k \cdot u + f_s \qquad (3\text{-}4)$$

ただし、f：座標軸正方向のバネ力

k：バネ定数（座標軸正方向の単位変位当たりの力で負数）

u：バネ変位（節点変位と同じ）

f_s：初期バネ力。これは、節点変位が0、すなわち節点が構造モデル定義位置にあるときのバネ力を表わします。

上式のkとf_sを決める必要があります。なお、バネが座標軸に平行でない場合は、各座標軸の方向余弦を掛けて分配します。

②節点間のバネ

２つの節点間に設けるバネで、どちらか片方を第１節点とします。バネの力の方向は２節点を結ぶ直線方向になり、その方向のみに(3-4)式と同様にkとf_sを設定します。また、２節点共、8)項の拘束設定をしてはなりません（拘束設定するとバネ支持が無効となります）。

◇ 初期バネ力f_sは、第１節点において、第２節点へ向く力の向きを正とします。

11)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3-2に単位系の例を示しておきます。

表3-2　　単位系の例

データ項目	ＳＩ単位系	工業単位系
長さ	m	mm
ヤング率	Pa (=N/m^2)	kgf/mm^2
比重量	N/m^3	kgf/mm^3
力	N	kgf
モーメント	N･m	kgf･mm
応力	Pa (=N/m^2)	kgf/mm^2
バネ定数	N/m	kgf/mm

第4章　「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「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、11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」では、２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。同じく「材料別色分け」のチェックを外すと、構造図等が全要素一色で作画されます。

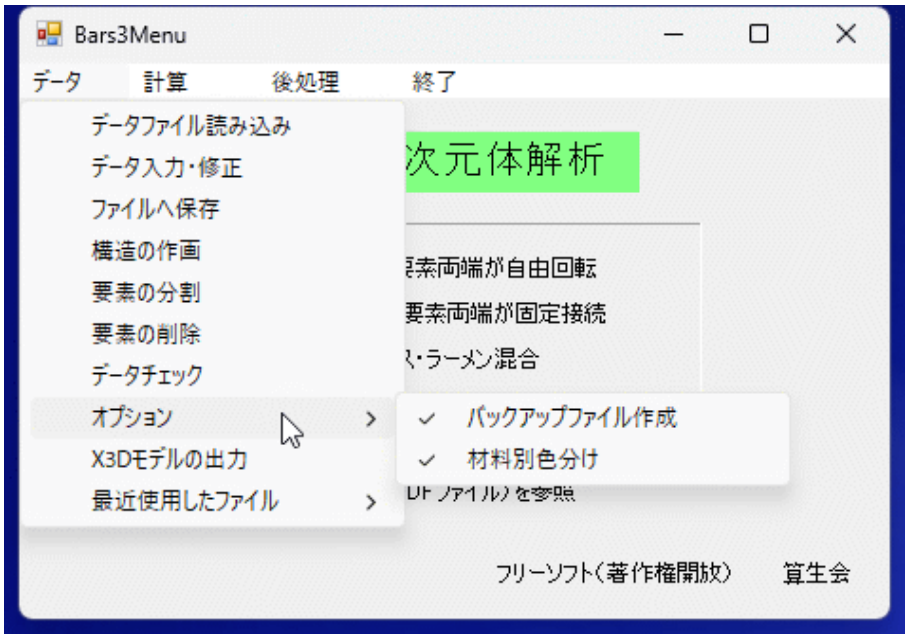


図4-1　　「データ」サブメニュー画面

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ールトの拡張子は、「.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。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の画面の入力について、以下に補足説明します。

①タイトルは、任意の題名を入力します。

②問題のタイプは、同図のタイプ種別の番号1～3を入力します。

◇回転自由節点と固定接続節点が混合するものは、トラス要素の有無に拘らず、タイプ種別3（トラス・ラーメン混合）になります。

③節点数～バネ支持個数は、各構造モデルに応じた数を入力します。なお、拘束のない構造は存在しないので、拘束節点数は1以上でなければなりません。

④自重の有無について、「なし」か「有り」を選択します。そして、自重「有り」を選択した場合は、各座標軸方向の自重倍率を入力します。

◇座標軸の負方向の荷重であれば、自重倍率も負となります。

◇単なる自重の場合は、自重倍率は自重方向の各座標軸方向に対する方向余弦と同じです。

◇地震荷重の場合は、各座標軸方向の荷重を自重の倍率で入力します。

⑤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。

⑥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。

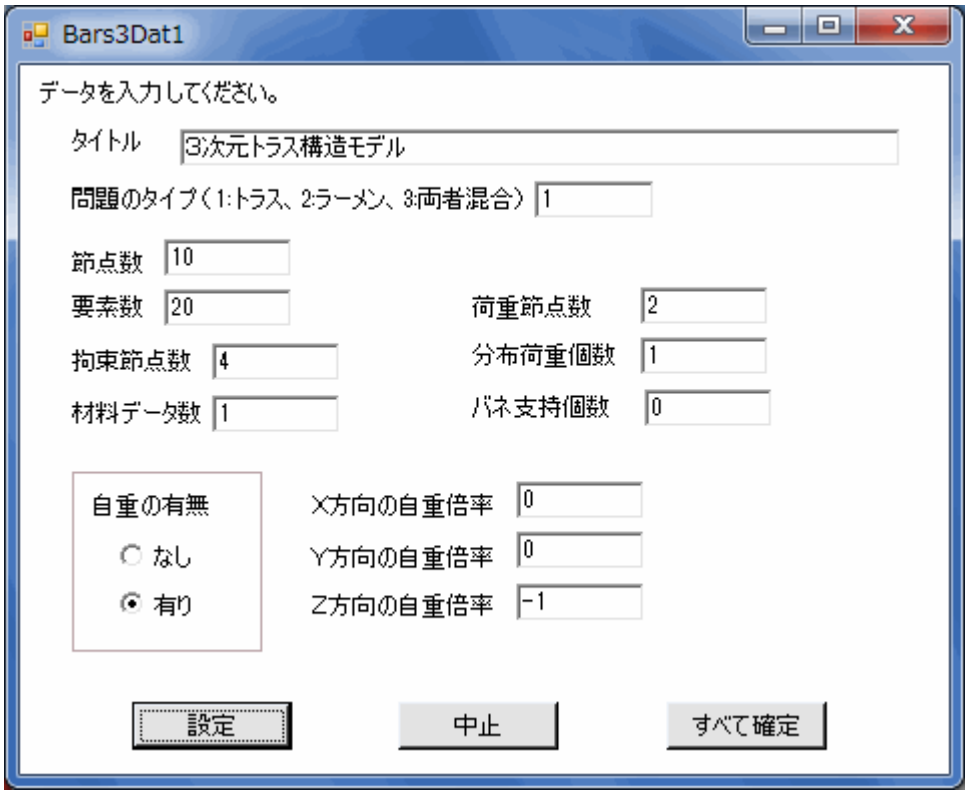


図4-2　　データ仕様入力画面

4.4 要素データ入力画面

図4-3にトラスとラーメンの要素データ入力画面を示します。ただし、トラスとラーメンのテストモデルでは、要素数が異なります。

①材料番号は、材料データ数に応じた番号を入力します。

②節点順1と節点順2には、各要素の節点番号２個を入力します。２個の節点番号を入力する順序はいずれが先であっても構いません（部材座標の方向は異なる）。

③φyBに部材断面y_B軸（画面では断面Y軸と注記）方向の角度を入力します。

◇φyBは、断面の最も上向き方向に対する断面y_B軸の左回り角度（°）です。φyBに関しては第3章 7)項を参照してください。

④「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。

⑤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。

	要素番号	材料番号	節点順 1	節点順 2	φyB
▶	1	1	1	5	0
	2	1	2	6	0
	3	1	1	3	0
	4	1	2	4	0
	5	1	5	6	0
	6	1	3	5	0
	7	1	3	4	0
	8	1	4	6	0
	9	1	3	7	0
	10	1	4	8	0
	11	1	5	7	0
	12	1	6	8	0
	13	1	5	9	0
	14	1	6	10	0
	15	1	7	9	0

図4-3　　要素データ入力画面（トラス、ラーメン）

また、図4-4にトラス・ラーメン混合の要素データ入力画面を示します。図4-3との違いは、要素種類番号が入っていることです。

［要素種類番号］1:トラス、　　2:ラーメン

3:左端回転自由・右端固定接続（第1章 1.4の1)を参照）

4:左端固定接続・右端回転自由（第1章 1.4の2)を参照）

要素番号	要素種類	材料番号	節点順 1	節点順 2	φyB
1	2	1	1	11	0
2	2	1	2	14	0
3	2	1	1	17	0
4	2	1	2	20	0
5	2	1	5	23	0
6	2	1	3	26	0
7	2	1	3	29	0
8	2	1	4	32	0
9	2	1	3	35	0
10	2	1	4	38	0
11	3	1	5	41	0
12	2	1	6	44	0
13	2	1	5	47	0
14	2	1	6	50	0
15	3	1	7	53	0

図4-4　　要素データ入力画面（トラス・ラーメン混合）

4.5 節点データ入力画面

図4-5に節点データ入力画面を示します。

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拘束節点データ入力画面に移ります。

4.6 拘束節点データ入力画面

図4-6に拘束節点データ入力画面を示します。

①拘束節点数の分だけ拘束番号が表示されているので、それぞれ節点番号と各座標軸方向の拘束区分、拘束量を入力します。

◇ラーメンまたは固定接続（混合構造）の場合は、各軸回り回転角（θxなど、単位はラジアン）もあります。

◇拘束区分（X拘束など）は、固定（強制変位を含む）する場合に1を入力し、さらに拘束量（δXなど）を設定します。通常は拘束量は0にして節点を固定しますが、拘束量（δXなど）に0以外の数値を入力するとその量だけの強制変位となります。

◇拘束区分（X拘束など）が自由の0である場合は、拘束量（δXなど）は無視されます。

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。

③すべての拘束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材料データ入力画面に移ります。

図4-5　　節点データ入力画面

図4-6　　拘束条件データ入力画面（トラス）

4.7 材料データ入力画面

図4-7に材料データ入力画面を示します。

①材料のE（ヤング率）、ν（ポアソン比）、γ（比重量）、A（断面積）、I_{yB}（y_B軸回りの断面2次モーメント）、I_{zB}（z_B軸回りの断面2次モーメント）、K（サンブナン捩り定数）、Z_{y1}（y_B軸右側の曲げ断面係数）、Z_{y2}（y_B軸左側の曲げ断面係数）、Z_{z1}（z_B軸右側の曲げ断面係数）、Z_{z2}（z_B軸左側の曲げ断面係数）、C_{sy}（y_B軸方向の剪断係数）、C_{sz}（z_B軸方向の剪断係数）、Z_p（捩り断面係数）を入力します。

◇トラスの場合、ν、I_{yB}、I_{zB}、K、Z_{y1}、Z_{y2}、Z_{z1}、Z_{z2}、Z_pを入力しなくてもよいです。

◇比重量は、自重有りの場合に有効となります。自重なしの場合に比重量を入力しても無視され、後で0に変換されます。

②円と正方形の断面の場合、「円・正方形物性」ボタンをクリックすると、図4-8の指定入力画面が表示されます。

◇図4-8の画面で、材料番号、形状種別、寸法を入力すると、物性が計算されます。

◇正方形の物性計算は、要素データのφyBが0でなければなりません。

③「２次元捩り解析結果読み込み」ボタンをクリックすると、「２次元捩り解析」の結果ファイルから断面物性データを読み込んで使用できます。

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画面に移ります。

材料番号	E	ν	γ	A	IyB	IzB	K	Zy1	Zy2	Zz1	Zz2	Csy	Csz	Zp
1	2.1E+11	.3	78000	.0112	3.57E-06	.000222	1.52E-06	7.15E-05	7.15E-05	.00111	.00111	1.77	1.27	4.99E-05

図4-7　　材料データ入力画面

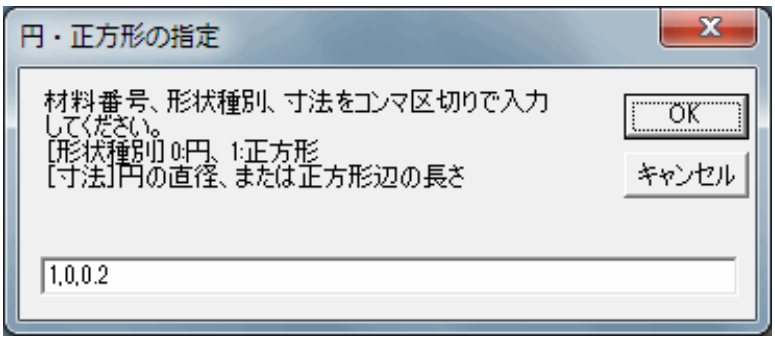


図4-8　　円・正方形物性の指定入力画面

4.8 節点荷重データ入力画面

本入力は、節点荷重がある場合（荷重節点数が1以上）にのみ実施します。図4-9に節点荷重データ入力画面（トラス）を示します。

①荷重節点数の分だけ荷重番号が表示されているので、それぞれ節点番号と各軸方向の荷重（含モーメント）を入力します。なお。ラーメンの場合は各軸回りのモーメントも入力できます。

◇荷重は、すべて全体座標のx軸、y軸、z軸方向の力、およびそれら各軸回りのモーメントです。

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。

③すべての節点荷重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。

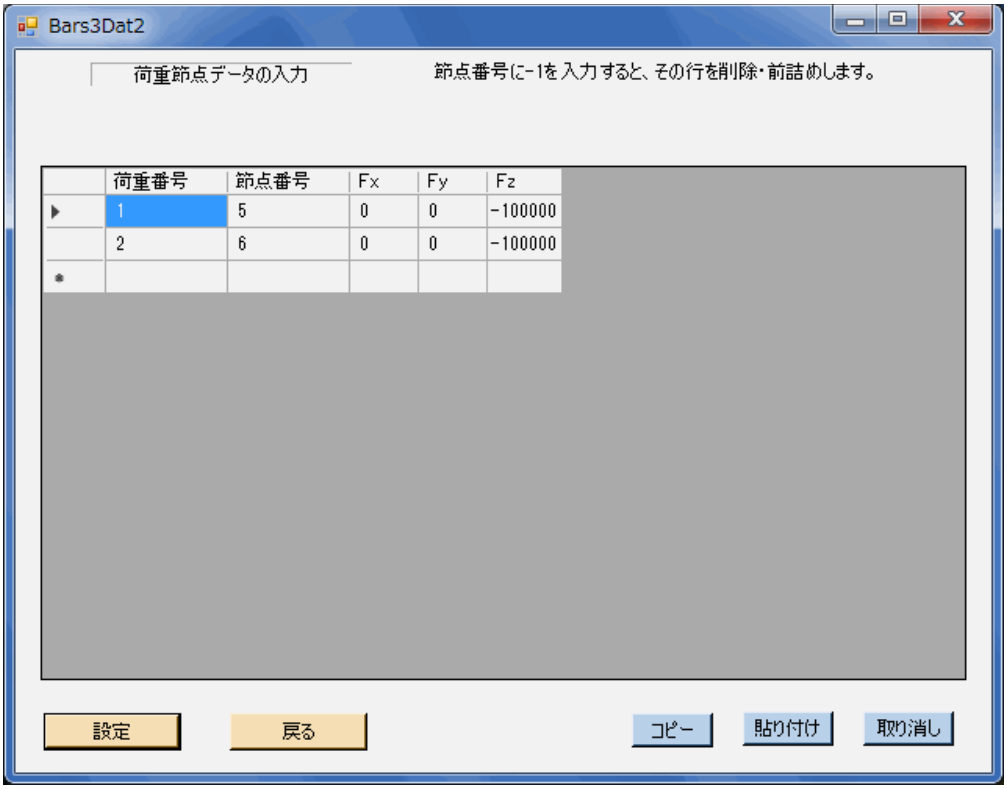


図4-9　　節点荷重データ入力画面（トラス）

4.9 分布荷重データ入力画面

本入力は、分布荷重がある場合（分布荷重個数が1以上）にのみ実施します。図4-10に分布荷重データ入力画面を示します。

①分布荷重個数だけ荷重番号が表示されているので、それぞれ部材y_B軸方向、z_B軸方向の垂直分布荷重、および接線分布荷重を入力します。

◇線分要素の節点番号２個を入力する順に対して、分布荷重の正負は、図1-6に示すように定義されます。

◇垂直分布荷重と接線分布荷重はいずれも単位長さ当りの力を入力します。

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すべての分布荷重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。

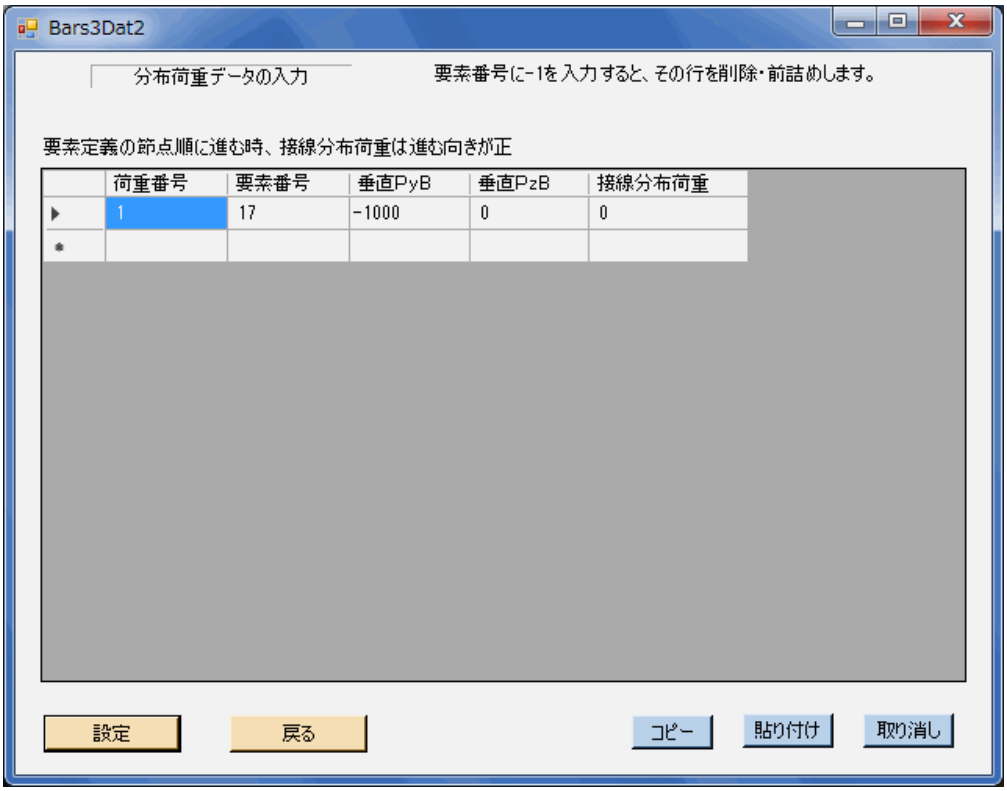


図4-10　　分布荷重データ入力画面

4.10 バネ支持データ入力画面

本入力は、バネ支持がある場合（バネ支持個数が1以上）にのみ実施します。図4-11にバネ支持データ入力画面を示します。

①バネ支持個数だけNo.が表示されているので、それぞれ節点番号1、節点番号2および各軸方向のバネ定数（負数）と初期バネ力を入力します。もちろん、バネ支持のない軸方向は入力不要です。

◇節点番号2は節点間バネの場合にのみ入力します。

◇バネ定数と初期バネ力については、第3章の(3-4)式を参照してください。ただし、節点間バネの場合は、２節点を結ぶ直線方向のデータを、最初の座標軸方向欄に

入力します（初期バネ力は節点番号1において節点番号2への向きが正）。

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。

③すべてのバネ支持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4-2のデータ仕様入力画面に戻ります。

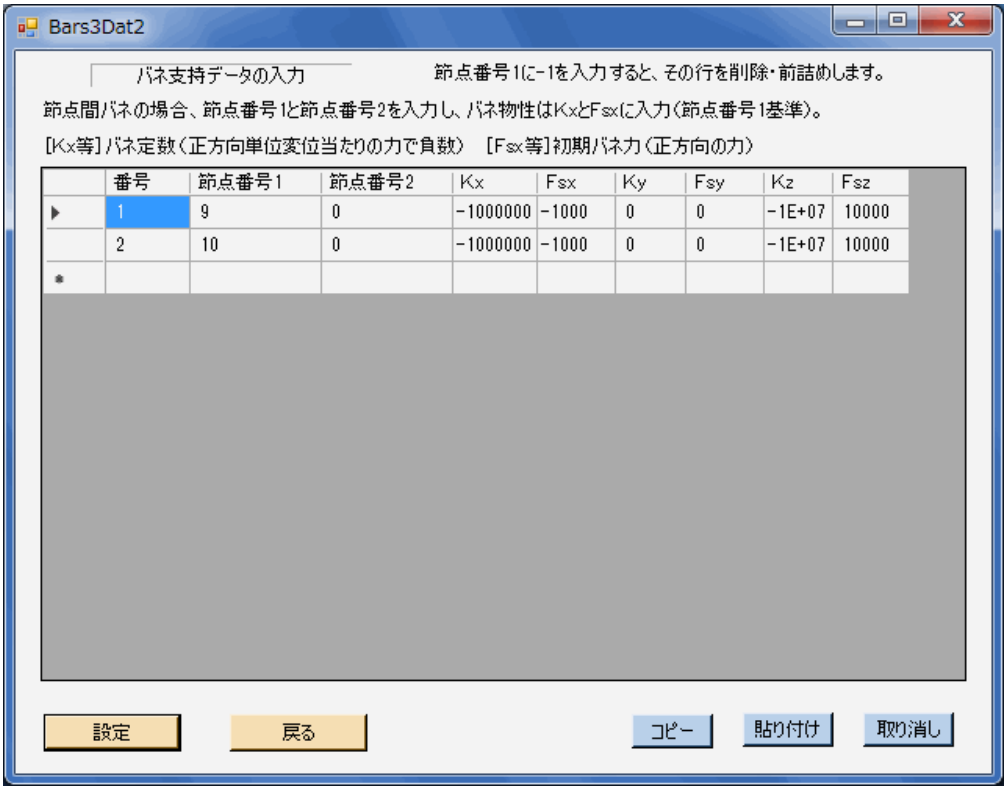


図4-11　　バネ支持節点荷重データ入力画面

4.11 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4-12に入力データファイル例（トラス）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,Bars3D
３次元トラス構造モデル
問題のタイプ, 1
節点数, 10
要素数, 20
拘束節点数, 4
材料データ数, 1
荷重節点数, 2
分布荷重個数, 1
バネ支持個数, 0
自重の有無（0:なし、1:あり）, 1
１節点当りの変数の数, 3
材料データの成分数, 14
要素データ（要素番号、材料番号、2節点番号、断面Y軸の角度）
 1,    1,    1,    5,    0
 2,    1,    2,    6,    0
 3,    1,    1,    3,    0
 4,    1,    2,    4,    0
 5,    1,    5,    6,    0
 6,    1,    3,    5,    0
 7,    1,    3,    4,    0
 8,    1,    4,    6,    0
 9,    1,    3,    7,    0
 10,    1,    4,    8,    0
 11,    1,    5,    7,    0
 12,    1,    6,    8,    0
 13,    1,    5,    9,    0
 14,    1,    6,    10,    0
 15,    1,    7,    9,    0
 16,    1,    8,    10,    0
 17,    1,    7,    8,    0
 18,    1,    1,    4,    0
 19,    1,    8,    9,    0
 20,    1,    5,    8,    0
節点データ（節点番号、X、Y、Z）
 1,    0,    0,    0
 2,    0,    10,    0
 3,    5,    0,    8.66
 4,    5,    10,    8.66
 5,    10,    0,    0
 6,    10,    10,    0
 7,    15,    0,    8.66
 8,    15,    10,    8.66
```

図4-12（1/2）　　入力データファイル例（トラス）

```
 9,    20,    0,    0
 10,    20,    10,    0
拘束節点データ（拘束No.、節点番号、X拘束・値、Y拘束・値、Z拘束・値）
 1, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0
 2, 2, 1, 0, 1, 0, 1, 0
 3, 9, 1, 0, 1, 0, 1, 0
 4, 10, 1, 0, 1, 0, 1, 0
材料データ（材料No.、E、ν、γ、A、ＩyB、ＩzB、K、　　Ｚy1、Ｚy2、Ｚz1、Ｚz2、Ｃsy、
Ｃsz、Ｚp）
 1,    2.1E+11,    .3,    78000,    .0112,    3.57E-06,    .000222,    1.52E-06,
7.15E-05,    7.15E-05,    .00111,    .00111,    1.77,    1.27,    4.99E-05
荷重節点（荷重番号、節点番号、Ｆx、Ｆy、Ｆz）
 1,    5,    0,    0,   -100000
 2,    6,    0,    0,   -100000
表面分布荷重（荷重番号、要素番号、部材Y､Z軸方向垂直分布荷重、接線分布荷重）
 1,    17,   -1000,    0,    0
自重のX､Y､Z軸方向の倍率
 0,    0,   -1
```

図4-12（2/2）　　入力データファイル例（トラス）

4.12 構造の作画

サブメニューの「構造の作画」を選択すると、要素連結した３次元構造の透視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4-13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各線分要素は材料別の色付きで表示され、異材料の要素間では遠近判別表示されます。なお、材料が同じでも別の材料番号を設定して色分けすることが可能です。

注）以下の構造図等を含め、例題の３次元トラス構造モデルについては、同一材料で材料番号を３つ設定しています。

②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。

③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。

④「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。

⑤「番号表示の項目」は、「要素番号」、「節点番号」、「材料番号」の内、表示したい項目を重複選択できます。

◇「番号表示の文字サイズ」は任意の値に設定できます。

⑥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。

⑦「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4-14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4-14と同じ説明図が表示されます。

⑧「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。

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構造全体が作画された後、マウスドラッグにより、構造図の一部分を拡大できます。

◇マウスドラッグは、拡大したい部分の左上隅にマウスを移動し、そこでマウスの左ボタンを押し、その左ボタンを押した状態で拡大部分の右下隅までマウスを移動させ、そこで左ボタンを離します。そうしますと、図4-15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、要素全長（両節点）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4-15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4-16に示します。

⑫「条件設定部の表示」は、「拘束節点（緑色）」、「荷重部分（赤色）」、「バネ支持（青色）」の内、表示したい項目を重複選択できます。ただし、自重については除外しています。

◇選択した項目がカラーで表示されます。図4-17に「拘束節点（緑色）」と「荷重部分（赤色）」を表示した構造図を示します。

⑬トラス・ラーメン混合タイプの場合は、図4-18のように回転自由節点の側にシアン色の〇印が表示されます。

⑭「節点順1の側の〇印表示」を選択して「再描画」させると、図4-19のように、各要素

定義の節点順1の側に薄紅色の〇印が表示されます。

◇これは、後述の「データ設定モード」の表面分布荷重入力画面で、分布荷重の正負を決めるのに利用できます。

⑮任意の要素を右クリックすると、図4-20のように当該要素の各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。

⑯「データ設定モード」を選択して、任意の要素を右クリックすると図4-21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入力・変更を実施できます。

◇図4-21において、データ項目「材料番号」は、トラス・ラーメン混合タイプの場合には「要素種類・材料」と表示されます。

◇図4-21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、要素の削除の場合は確認メッセージの後で削除処理が実行され、その他の場合は図4-22のデータ入力画面に移ります。同図は拘束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、「拘束節点」、「バネ指示」、「節点分布荷重」、「表面分布荷重」の本画面では、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4-22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。

◇「要素の追加」を選択した場合のデータ入力画面を図4-23に示します。同画面で、先ず既存節点を入力し、順位2の節点は既存節点か新設節点を入力します。新設節点の場合、節点番号は0とし、そのX,Y,Z座標を入力します。

注）既存節点の場合は座標入力は不要です。

⑰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。

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。

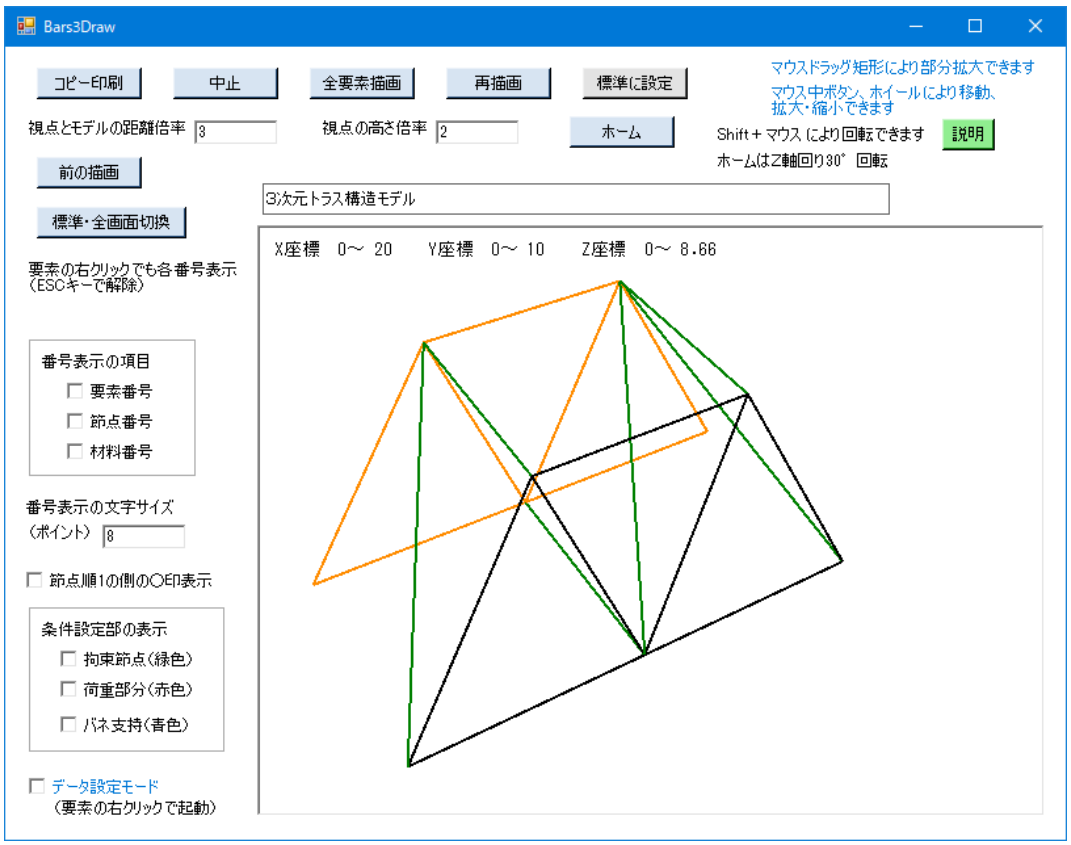


図4-13　　構造作画の画面例

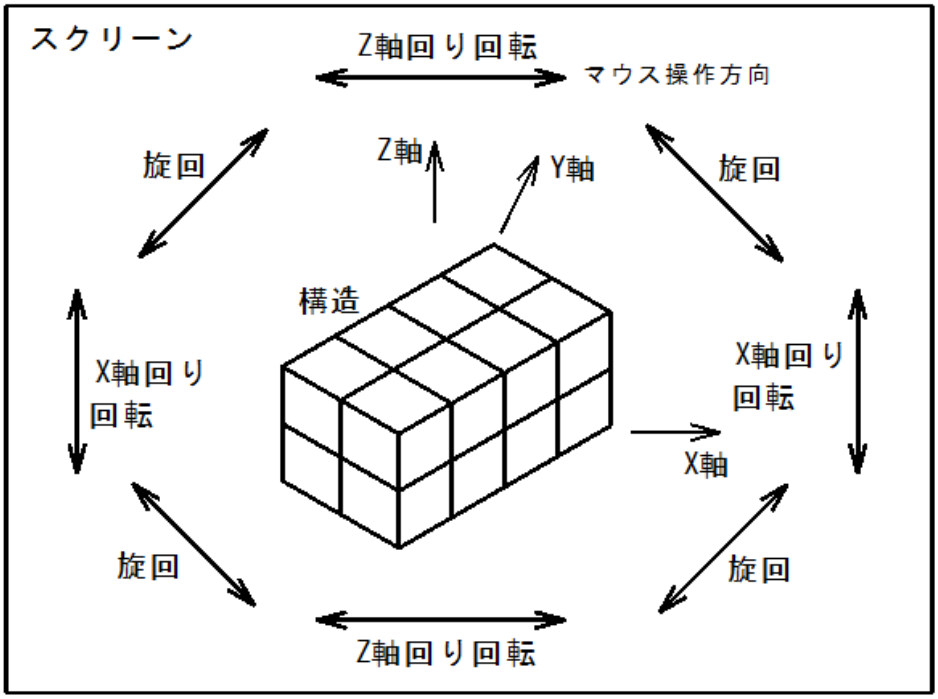


図4-14　　マウスの移動方向と回転方向との関係（Shiftキー併用）

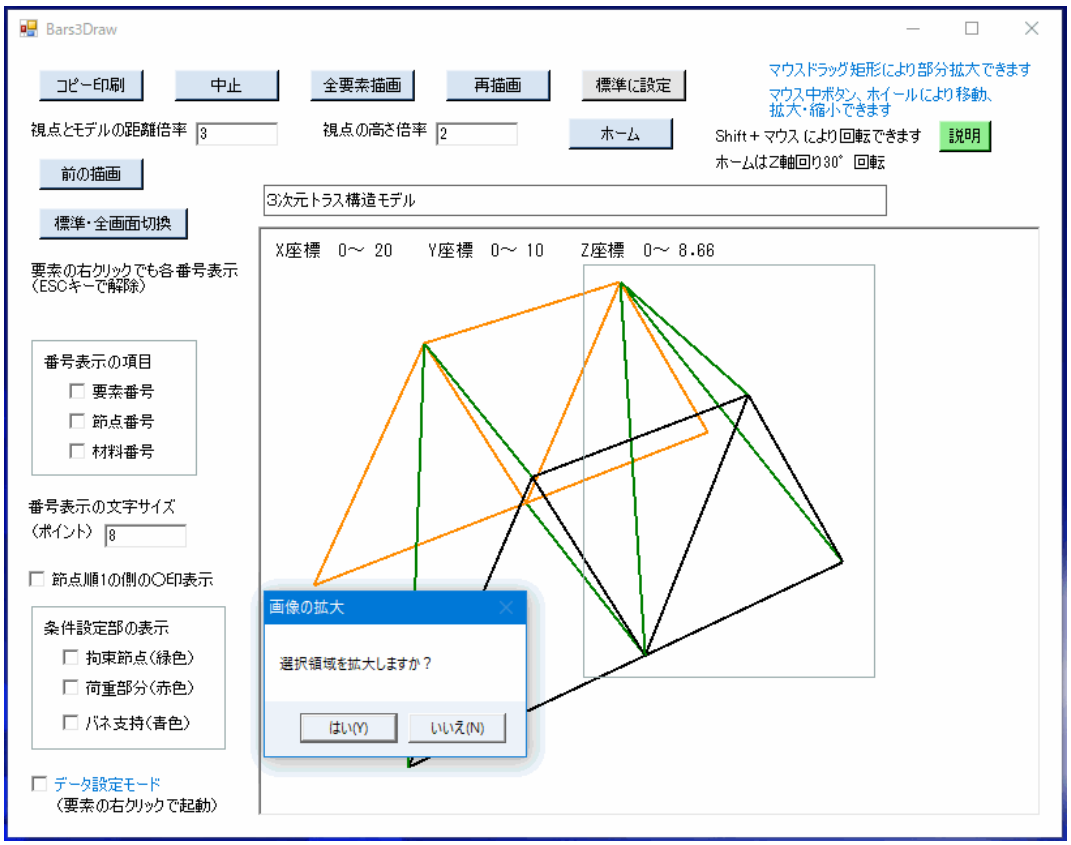


図4-15　　構造作画における拡大領域選択例

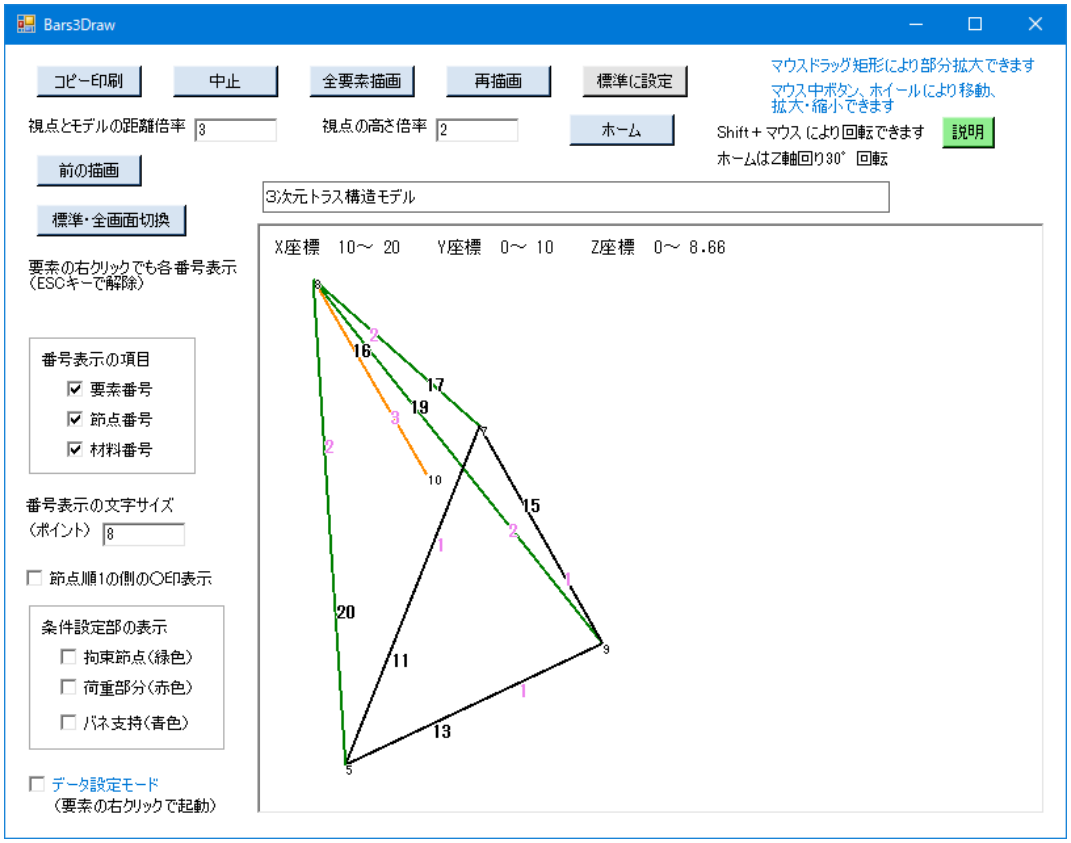


図4-16　　構造作画の部分拡大例

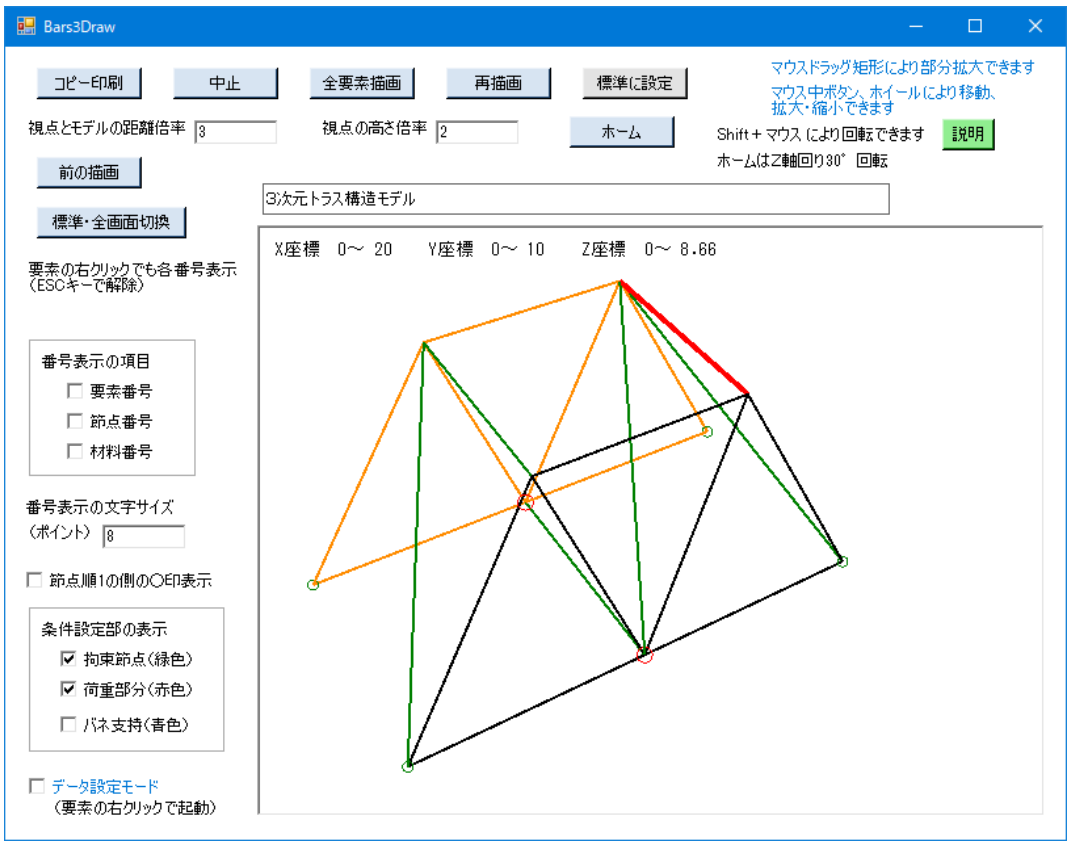


図4-17　　構造作画の条件設定部表示有りの画面例

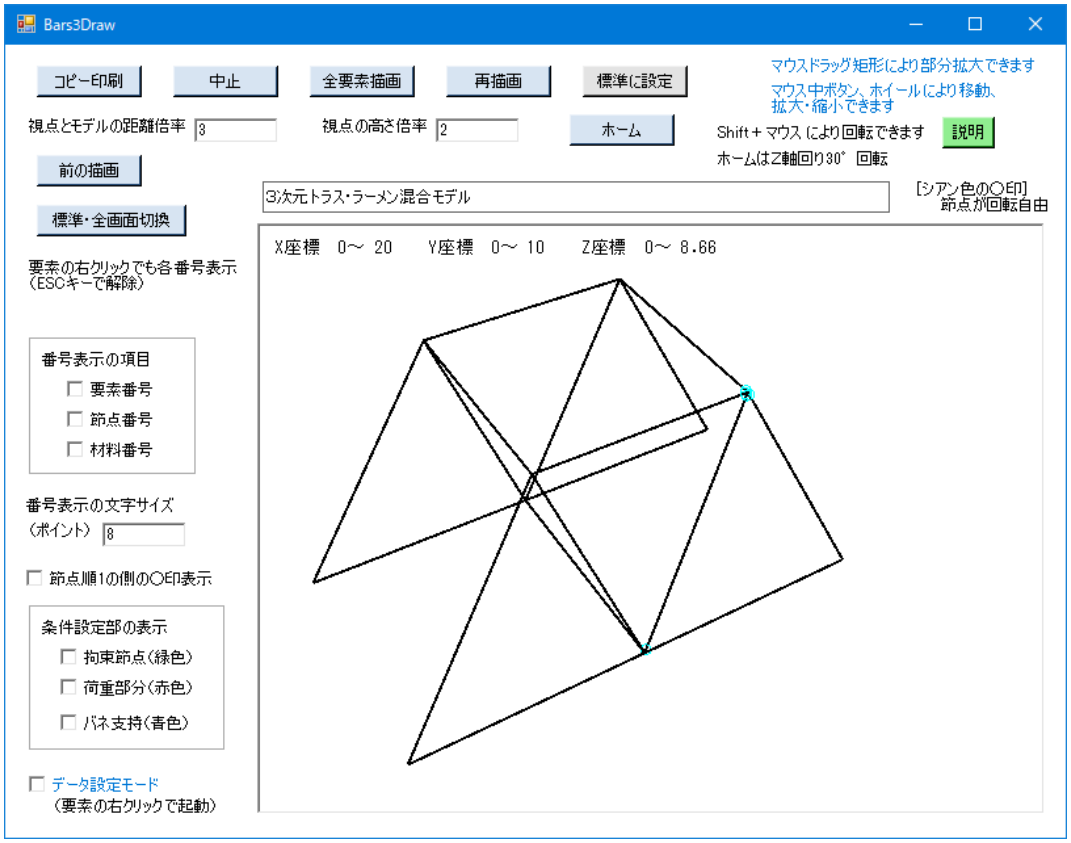


図4-18　　構造作画のトラス・ラーメン混合モデル画面例

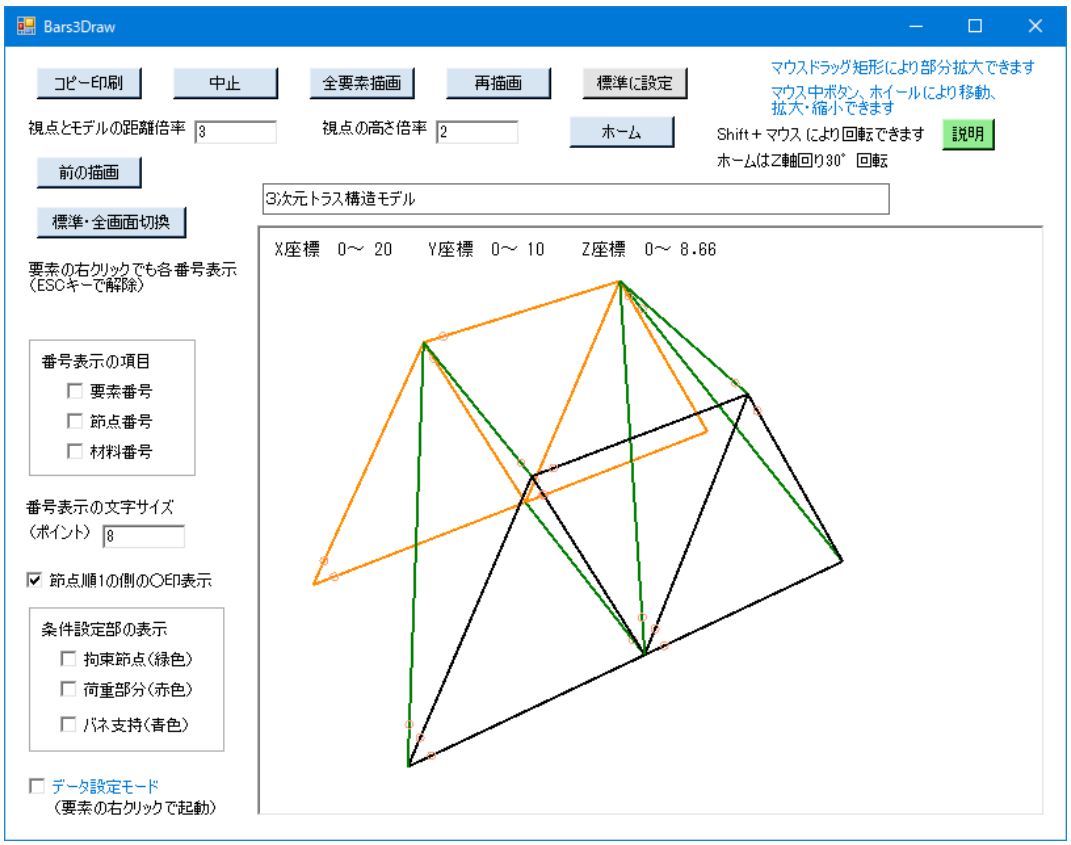


図4-19　　構造作画の節点順1の○印表示有りの画面例

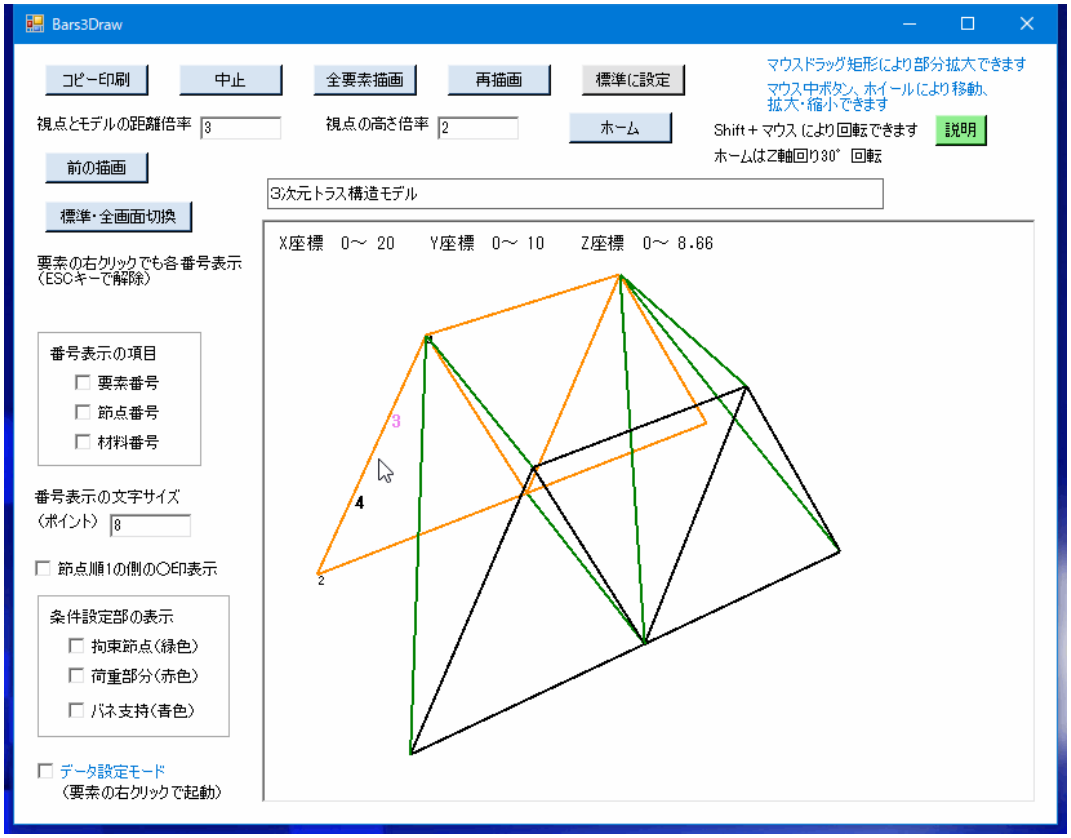


図4-20　　構造作画における要素右クリック画面例

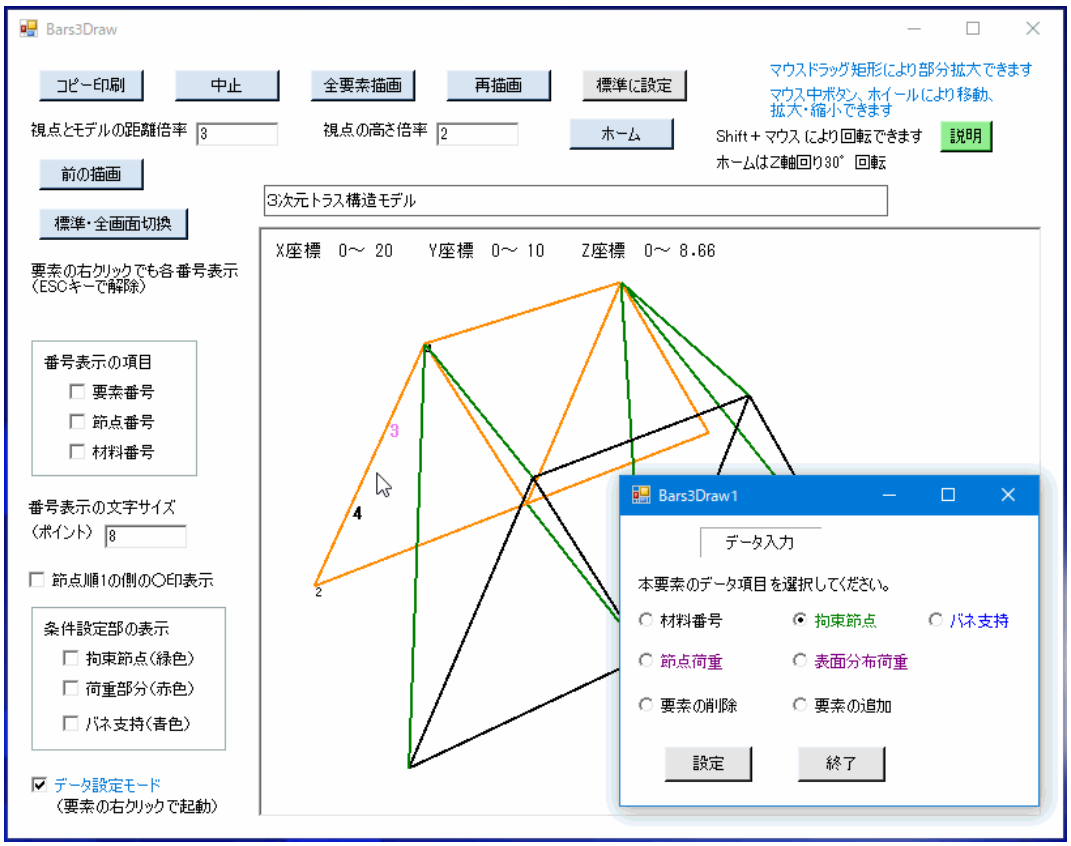


図4-21　　構造作画のデータ設定モードにおけるデータ項目選択画面

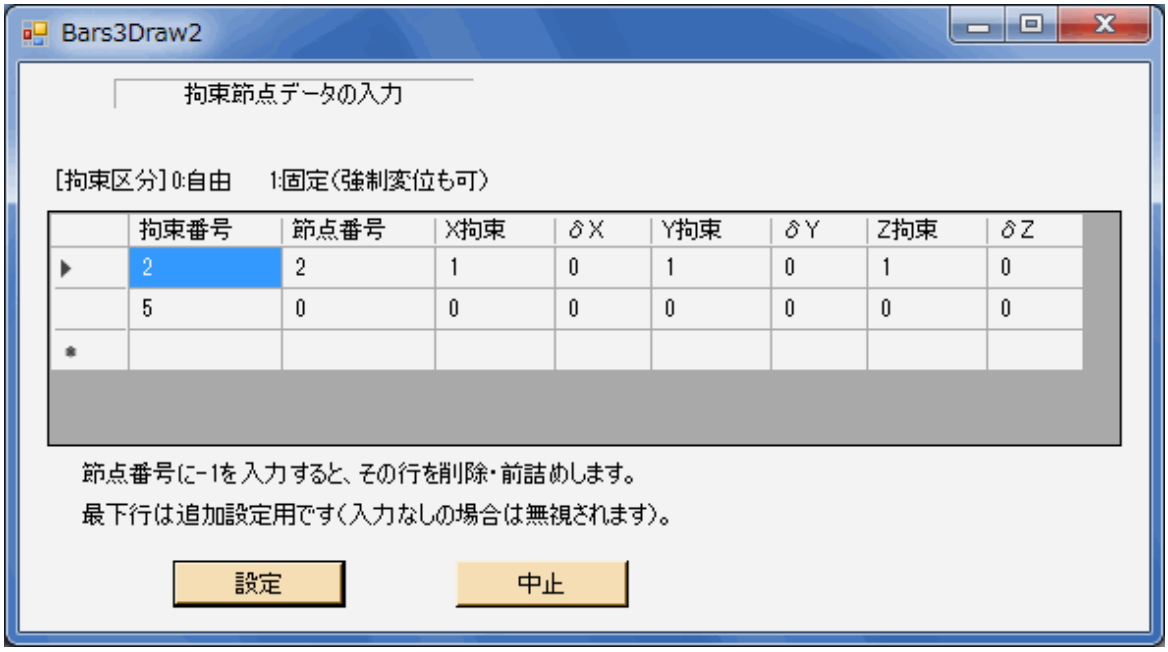


図4-22　　構造作画におけるデータ入力画面例（拘束節点の場合）

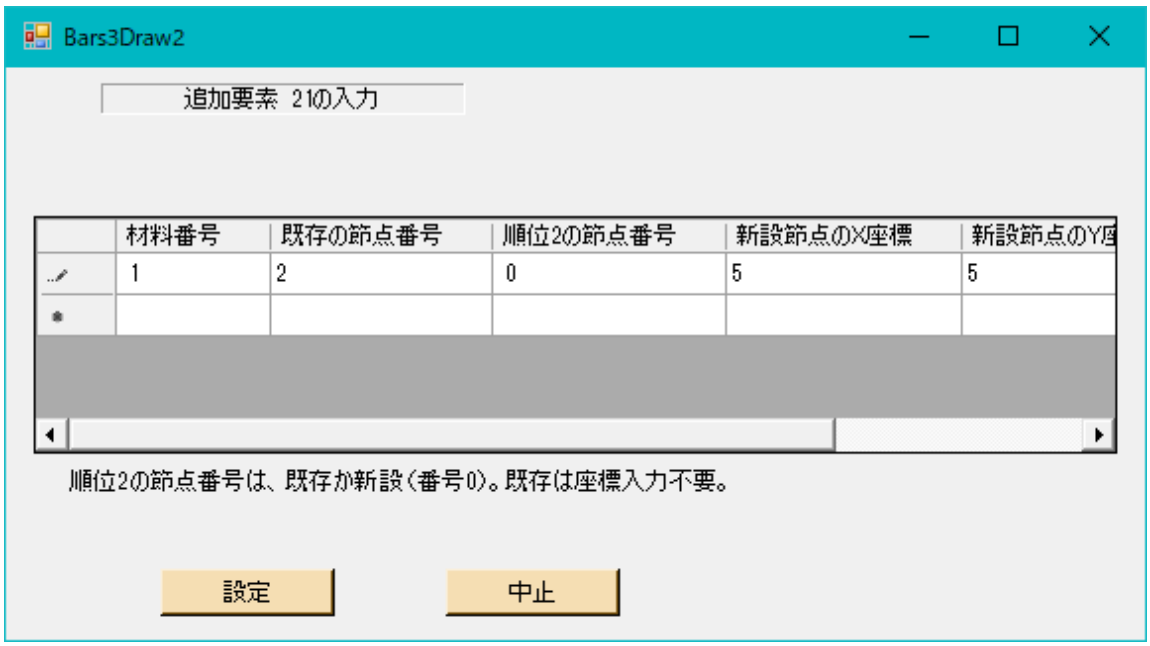


図4-23　　構造作画におけるデータ入力画面例（要素の追加の場合）

また、図4-24に節点間バネの構造作画の画面例を示します。同図では、「条件設定部の表示」の「バネ支持（青色）」が選択され、バネ支持の節点は、青色の二重丸で表示されています。そして、節点間バネの２節点は青色の直線で結ばれます。

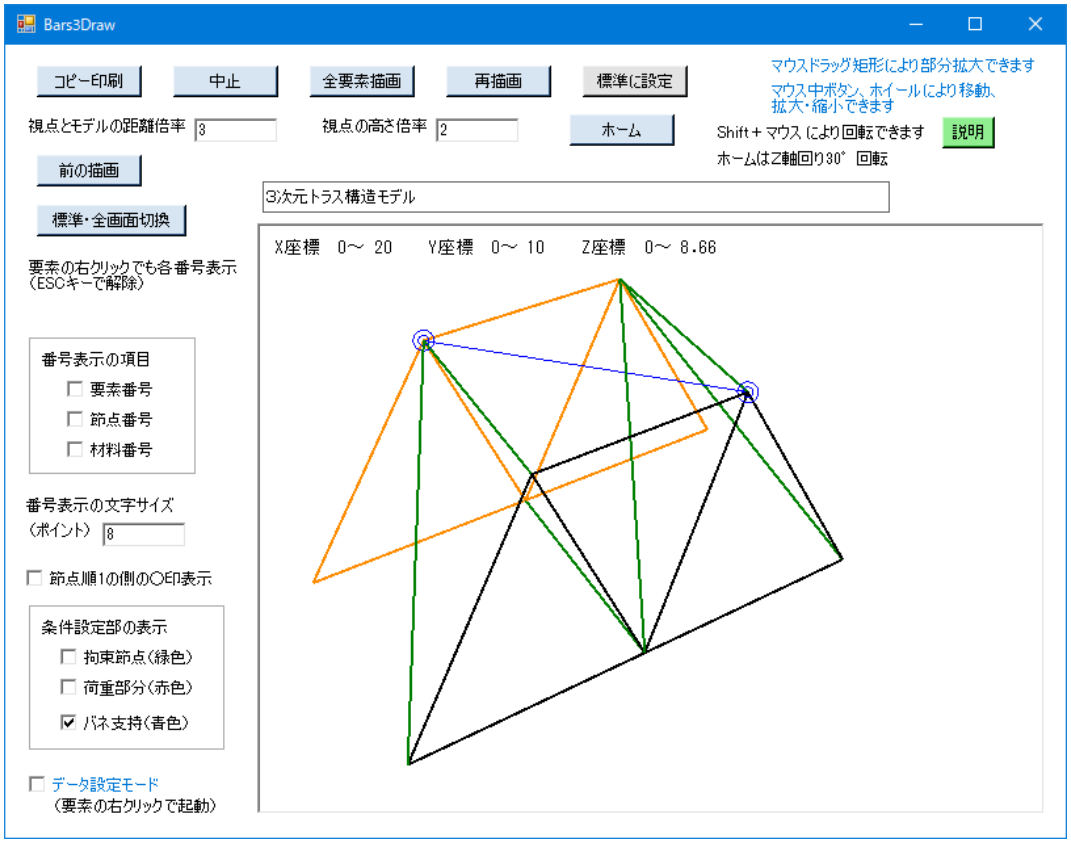


図4-24　　節点間バネの構造作画の画面例

4.13 要素の分割

サブメニューの「要素の分割」を選択すると、図4-25の要素分割データ入力画面となります。ただし、赤字の部分は問題タイプがトラスの場合にのみ表示されます。この要素分割の機能は、初期データの要素をさらに細かく分割したい場合に利用します。１つの部材は2～10分割することが望ましいです（トラス構造のままなら分割なしで可）。

①本画面で、開始要素番号、終了要素番号、分割数を入力します。

◇元の要素番号は、節点順1の側に引き継がれます。

◇要素の分割により生じた要素について、材料番号等は元の要素と同じになります。

◇拘束条件や荷重条件は元の構造が引き継がれます（処置不要）。必要があれば後でデータ修正を実施してください。

②本画面の「設定」ボタンをクリックすると、要素の分割が実行されます。

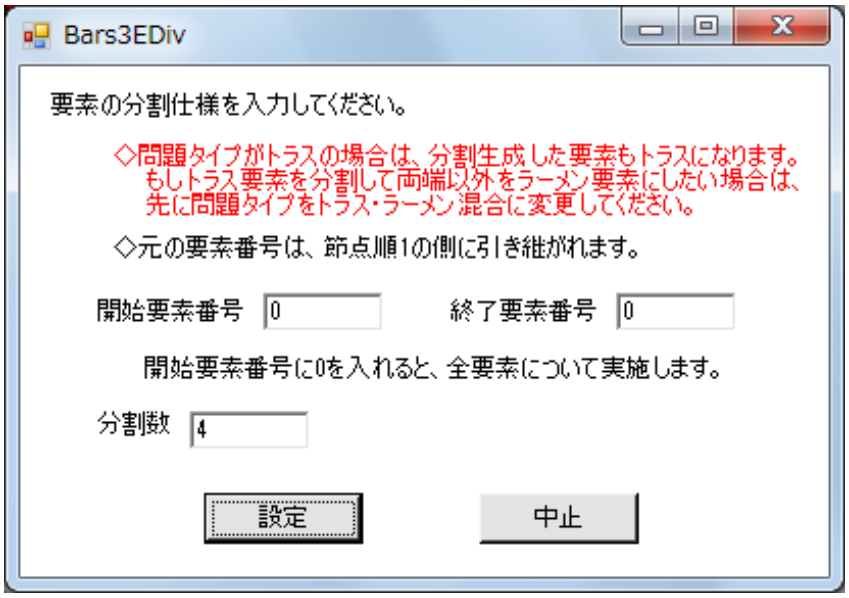


図4-25　　要素分割のデータ入力画面

4.14 要素の削除

サブメニューの「要素の削除」を選択すると、図4-26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4-27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。

◇拘束節点や荷重節点・要素は、要素削除による番号変更に自動追随します。

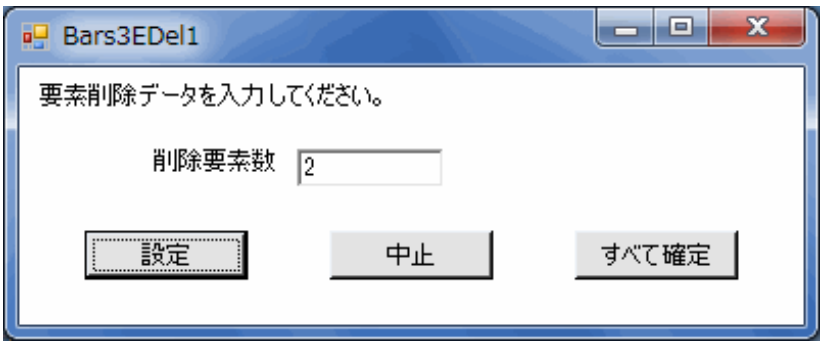


図4-26　　削除要素数の入力画面

図4-27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。

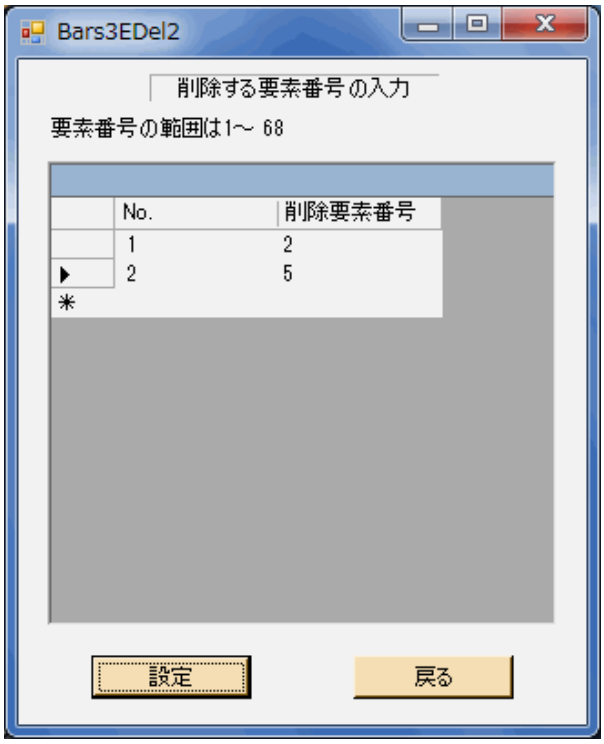


図4-27　　削除要素番号の入力画面

4.15 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、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。

4.16 X3Dモデルの出力

サブメニューの「X3Dモデルの出力」を選択すると、図4-28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モデルがファイル出力されます。

1)構造データの各節点は半径一定の球として、また各線分要素は半径一定の円柱としてモデル化されます。

◇線分要素の材料別色分けは、一部の材料で構造図とは異なる色となります。

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。

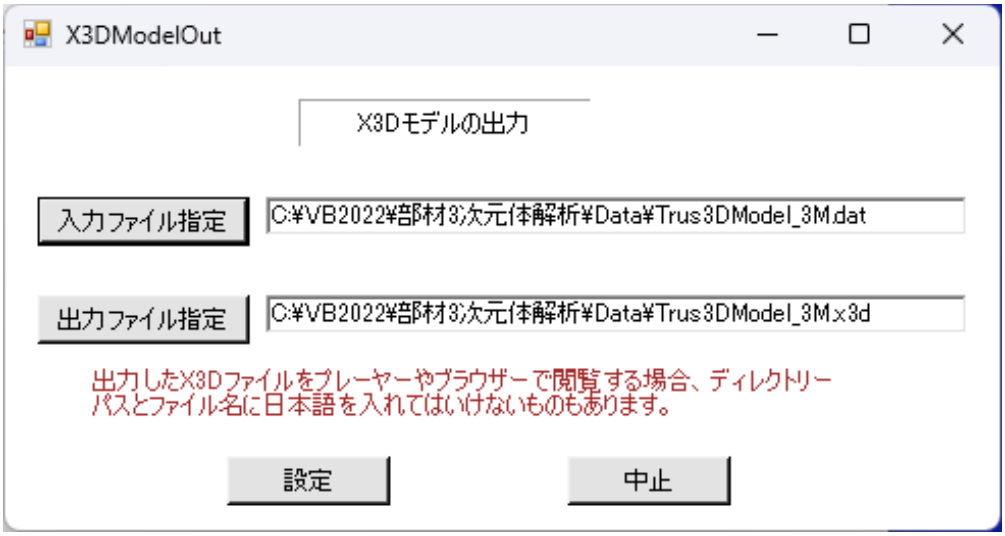


図4-28　　X3Dモデルの出力ファイル設定画面

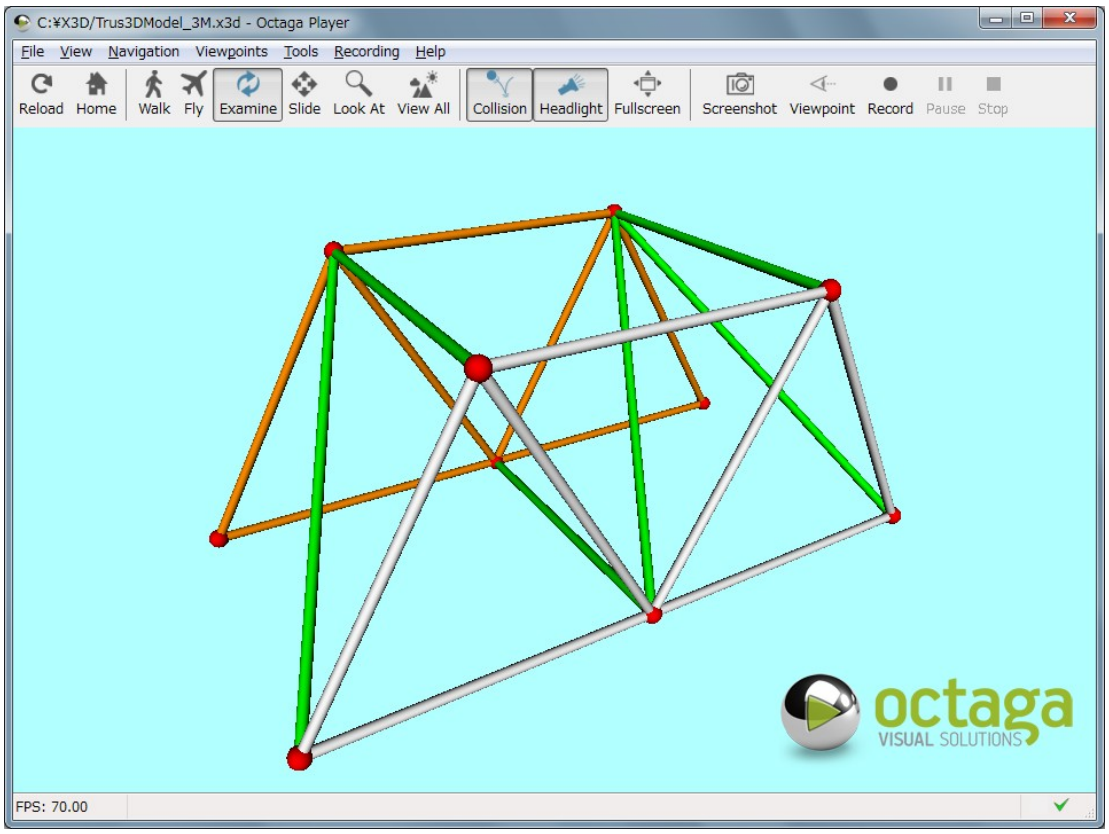


図4-29　　X3Dプレーヤーの画面例

4.17 最近使用したファイルの選択

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

注）新版ソフトでファイルが使用されないとリスト表示されません。

第5章 「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。サブメニューは「構造解析の実行」と「体積計算の実行」の２つがあります。「構造解析の実行」をクリックすると、次の「計算」ファイル設定画面に移ります。また、「体積計算の実行」は補助機能であり、5.7節で説明します。

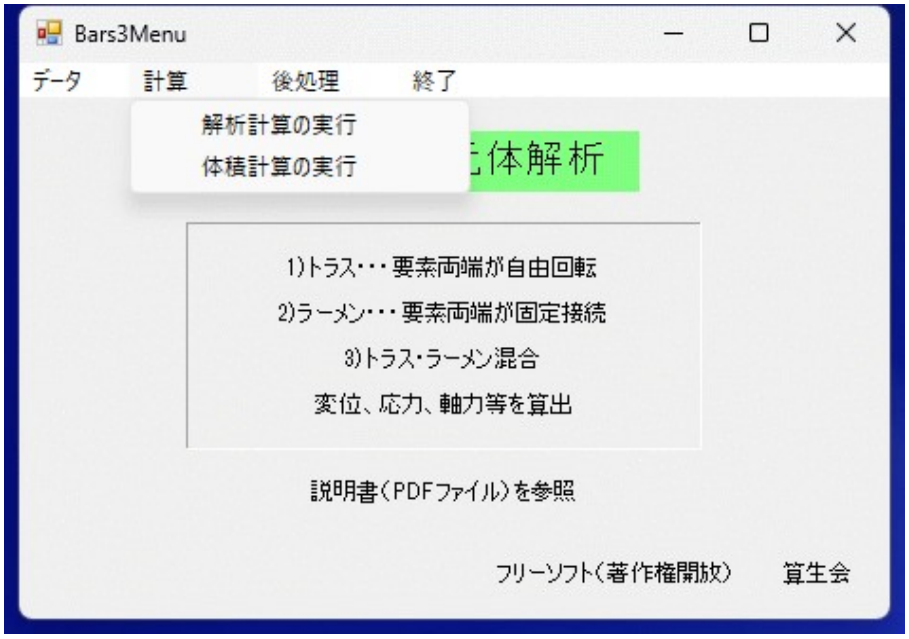


図5-1　　「計算」サブメニュー画面

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。

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、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。

②変形区分で「小変形」、「大変形」、「後変形」のいずれかを選択できます。「大変形」 を選択すると 図5-3の画面となり、「後変形」も同様です。

◇通常は「小変形」のままで問題ありません。「大変形」は長柱の座屈問題のように変形による荷重増加を生じる場合、「後変形」は変形後の荷重により変位減少が生じる場合に選択します。

◇図5-3の画面では、最大繰返し計算回数と収束基準誤差率を入力します。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、デフォールトは「大変形」の場合に20、「後変形」場合に200になっています。

注）「大変形」の計算で収束しないことがあります。その原因は荷重が大きく

て変形が大き過ぎるからであり、荷重を減らして再計算してください。

◇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。この基準誤差率とは、各回の繰返し計算において、全節点の変位の最大変化量を最大変位で割ったものです。収束基準誤差率はデフォールトで0.005になっています。

◇最大繰返し計算回数や収束基準誤差率は、必要に応じて変更してください。なお、収束基準誤差率を小さくすると、繰返し計算回数が増えます。

③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。

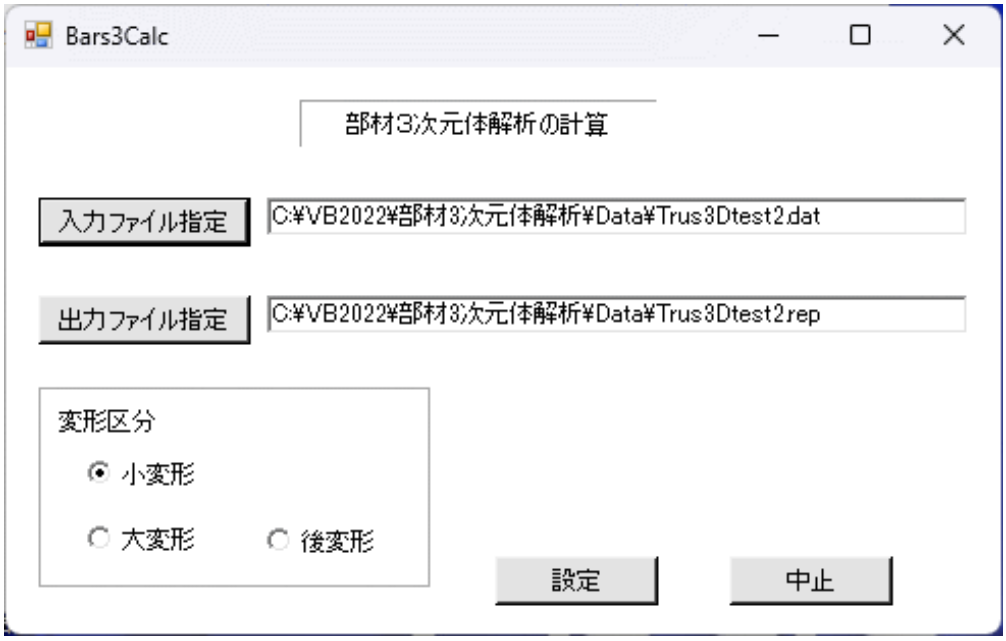


図5-2　　「計算」ファイル設定画面

図5-3　　「計算」ファイル設定画面（大変形を選択した場合）

5.3 計算終了

図5-4に計算終了画面、図5-5に計算確認ダイアログ画面を示します。図5-4では、かかった計算時間も表示されますが、本テスト構造モデルでは0sとなっており、1s未満で終了しています。また、図5-5の計算確認ダイアログ画面では、最大値等データも表示されます。本画面で「ＯＫ」ボタンをクリックすると、立ち上げ時のメニュー画面に戻ります。

図5-4　　計算終了画面

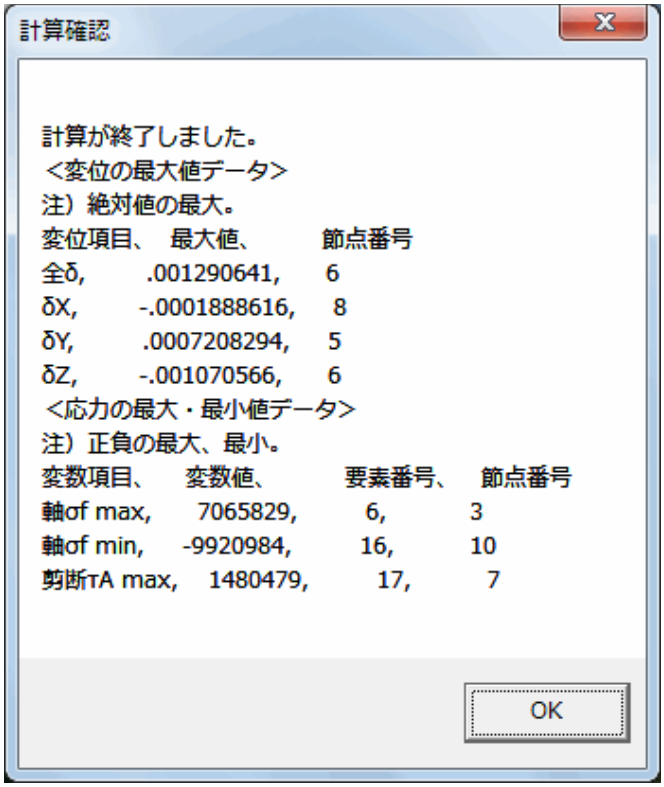


図5-5　　計算確認ダイアログ画面（トラスの場合）

5.4 計算結果（トラス）

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5-6にトラス構造の結果ファイルへの出力例を示します。同図の〇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15と出力されています。

②保存配列のインデックス数が321と出力されています。このインデックス数は、ＦＥＭ行列（ハーフバンド）の要素の内、実際に保存された個数を意味します。

③変位等の出力では、すべての節点について、各変位（δX、δY、δZ）が出力されています。

④変位の最大値データが出力されています。

◇全δは、δX、δY、δZを合成した変位です。

◇本例では、全δは節点番号6における0.00129mが最大です。

⑤次に応力・軸力等の出力では、要素No.、節点No.、軸応力σf、軸力、剪断FyB、FzB、および合成剪断応力τAが出力されています。

◇軸応力と軸力は、引張を正、圧縮を負としています。

⑥応力・軸力等の最大値、最小値データが出力されています。

◇各変数の最大値、最小値と要素番号、節点番号が出力されています。

◇本例では、軸σf maxは要素番号6の節点番号3において7.066MPa（引張）、σfminは要素番号16の節点番号10において-9.921MPa（圧縮）になっています。

⑦全節点の荷重が出力されています。これらは、自重も含め、外部から作用する力を示しています。前述のように、分布荷重と自重は、節点に等分されています。

⑧節点番号5においては、節点荷重100kＮが加わり、Ｆzが－128000Ｎ（－ｚ方向）になっています。

⑨拘束節点の反力が出力されています。

⑩支点（節点番号）1の反力では、Ｆzが97640Ｎになっています。

⑪他方の支点（節点番号）10の反力は、Ｆzが101690Ｎになっています。また、Ｆxが－52050Ｎで、これは支点2と反対向きの同値となっています。

⑫最後に計算時間も出力されます（本例では0s）。

```
<<部材３次元体の構造解析結果>>トラス
３次元トラス構造モデル
［入力データファイル］,C:¥VB2022¥部材3次元体解析¥Data¥Trus3Dtest2.dat
--------------------------------------------------
＊＊＊ 計算結果 ＊＊＊
バンド幅, 15                                                    ①
保存配列のインデックス数, 321                                    ②
--------------------------------------------------
＊＊ 変位等の出力 ＊＊
<節点番号, δX、δY、δZ>                                          ③
 1,    0,    0,    0
 2,    0,    0,    0
 3,    .0001801067,    .0004288889,    -.000572977
 4,    .0001820022,    .0004288889,    -.0006003349
 5,   -3.068491E-06,    .0007208294,    -.00104868
 6,   -6.859437E-06,    .0007208294,    -.001070566
 7,   -.0001831752,    .0004563248,    -.0005889209
 8,   -.0001888616,    .0004563248,    -.0006359765
 9,    0,    0,    0
 10,    0,    0,    0
--------------------------------------------------
<変位の最大値データ>                                             ④
注）絶対値の最大。
変位項目、    最大値、          節点番号
全δ,          .001290641,       6
δX,          -.0001888616,      8
δY,           .0007208294,      5
δZ,          -.001070566,       6
--------------------------------------------------
＊＊ 応力・軸力等の出力 ＊＊                                      ⑤
<要素No.、節点No.、σf、軸力、ＦyB、ＦzB、   τA>
 1,    1,   -64438.31,   -721.709,    4368,    0,    690300
 1,    5,   -64438.31,   -721.709,    4368,    0,    690300
 2,    2,   -144048.2,   -1613.34,    4368,    0,    690300
 2,    6,   -144048.2,   -1613.34,    4368,    0,    690300
 3,    1,   -8867155,   -99312.13,    2184,    0,    345150
 3,    3,   -8191675,   -91746.76,    2184,    0,    345150
 4,    2,   -9344804,   -104661.8,    2184,    0,    345150
 4,    4,   -8669324,   -97096.42,    2184,    0,    345150
 5,    5,    0,    0,    4368,    0,    690300
 5,    6,    0,    0,    4368,    0,    690300
 6,    3,    7065829,    79137.28,    2184,    .0006162917,    345150
 6,    5,    6390349,    71571.91,    2184,    .0006162917,    345150
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
 16,    8,   -9245504,   -103549.6,    2184,    .0006162917,    345150
 16,    10,   -9920984,   -111115,    2184,    .0006162917,    345150
 17,    7,    1.299278E-09,    1.455192E-11,    9368,    0,    1480479
 17,    8,    1.299278E-09,    1.455192E-11,    9368,    0,    1480479
 18,    1,   -337740,   -3782.688,    4883.572,   -.0001301765,    771778.9
 18,    4,    337740,    3782.688,    4883.572,   -.0001301765,    771778.9
```

図5-6（1/2）　　結果ファイルへの出力例（トラス）

```
 19,    8,    337740,    3782.688,    4883.572,    .001171589,    771778.8
 19,    9,   -337740,   -3782.688,    4883.572,    .001171589,    771778.8
 20,    5,   -337740,   -3782.688,    4883.572,   -.0001301765,    771778.9
 20,    8,    337740,    3782.688,    4883.572,   -.0001301765,    771778.9
-----------------------------------------------------
<応力・軸力等の最大・最小値データ>                                    ⑥
注）正負の最大、最小。
変数項目、      変数値、          要素番号、     節点番号
軸σf max,       7065829,          6,             3
軸σf min,      -9920984,          16,            10
軸力 max,       79137.28,         6,             3
軸力 min,      -111115,           16,            10
剪断ＦyB max,   9368,             17,            7
剪断ＦyB min,   2184,             3,             1
剪断ＦzB max,   .001171589,       19,            8
剪断ＦzB min,  -.0001301765,      18,            1
剪断τA max,     1480479,          17,            7
-----------------------------------------------------
＊＊ 全節点の荷重出力 ＊＊                                            ⑦
<節点番号, Ｆx、Ｆy、Ｆz>
 1,    9.851672E-05,   -4.662251E-05,   -14913.12
 2,    .000121828,    0,   -8735.903
 3,   -1.527951E-10,   -1.455192E-11,   -17471.81
 4,   -2.33114E-05,   -4.662253E-05,   -23649.02
 5,   -2.331142E-05,   -4.662255E-05,   -128017                      ⑧
 6,   -1.255103E-10,    0,   -121839.8
 7,   -1.527951E-10,   -1.455192E-11,   -22471.81
 8,   -2.619345E-10,   -9.324483E-05,   -34826.24
 9,   -9.851697E-05,   -4.662237E-05,   -14913.12
 10,   -.0001218281,   -6.998506E-12,   -8735.903
-----------------------------------------------------
＊＊ 拘束節点の反力 ＊＊                                              ⑨
<節点番号, Ｆx、Ｆy、Ｆz>
 1,    48487.48,    9.324505E-05,    97643.44                        ⑩
 2,    52054,    0,    96099.13
 9,   -48487.48,    .0001864898,    100143.4
 10,   -52054,    6.998506E-12,    101687.7                          ⑪
END    0h 0min 0s                                                   ⑫
```

図5-6（2/2）　　結果ファイルへの出力例（トラス）

5.5 計算結果（ラーメン）

ラーメン構造の解析結果を図5-7に示します。ただし、図3-2の構造のデータファイルを作成した後、各要素を４等分したデータファイルを作成して解析に使用しています。

特にトラスと異なる点について、図5-7の〇印を付した数字の部分を補足説明します。

①変位等の出力では、すべての節点について、各変位（δX、δY、δZ、θx、θy、θz）が出力されています。

②次に応力・軸力等の出力では、要素No.、節点No.、軸応力σf_f、軸力、剪断FyB、FzB、捩りモーメントMxB、曲げモーメントMyB、MzB、曲げ応力σbU、σbL、合計応力σAU、σAL、合成剪断応力τA、および捩り応力τpが出力されています。

◇軸応力と軸力は、引張を正、圧縮を負としています。

◇曲げ応力と合計応力は、添え字U、Lが最大値、最小値を意味します。

③応力・軸力等の最大値、最小値データも、上記②項に対応しています。

```
<<部材３次元体の構造解析結果>>ラーメン
３次元ラーメンのテストモデル
［入力データファイル］,C:¥VB2022¥部材3次元体解析¥Data¥Rahm3Dtest2S.dat
---------------------------------------------------
＊＊＊ 計算結果 ＊＊＊
バンド幅, 66
保存配列のインデックス数, 11793
---------------------------------------------------
＊＊ 変位等の出力 ＊＊
<節点番号, δX、δY、δZ、θx、θy、θz>                                ①
 1,    0,    0,    0,    0,    0,    0
 2,    0,    0,    0,    0,    0,    0
 3,    .000172895,    1.86321E-07,   -.0005490729,
-.0007369492,    .0002049547,    .0001101266
 4,    .000172895,   -1.820491E-07,   -.0005490729,    .0007369492,    .0002049548,
-.0001101264
 5,   -3.049127E-06,   -3.040196E-07,   -.001000906,   -.0007181258,    2.36578E-07,
-6.524949E-05
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
 57,   -7.676244E-05,    .001784488,   -.0002806692,   -.0001333838,   -1.430799E-05,
-.0004827403
 58,   -4.334002E-05,    .0006691939,   -.0001443583,   -.0002985182,   -5.846899E-
05,   -.000375219
 59,    2.156824E-05,    1.554361E-07,   -.004130851,   -.001107892,   -.0002036559,
-5.265297E-05
  60,        8.738392E-05,       -4.459742E-09,       -.005581127,         6.115331E-12,
-.0002036559,    3.330299E-10
 61,    2.156699E-05,   -1.643556E-07,   -.004130851,    .001107892,   -.0002036558,
5.265313E-05
---------------------------------------------------
```

図5-7（1/3）　　結果ファイルへの出力例（ラーメン）

```
＜変位の最大値データ＞
注）絶対値の最大。
変位項目、　最大値、　　節点番号
全δ,　　.005581812,　　60
δX,　　-.0003459636,　　33
δY,　　-.002007459,　　53
δZ,　　-.005581127,　　60
θx,　　-.001587834,　　7
θy,　　-.0002590722,　　52
θz,　　-.0008021443,　　42
-----------------------------------------------
＊＊ 応力・軸力等の出力 ＊＊
＜要素No.、節点No.、σf、軸力、ＦyB、ＦzB、MxB、MyB、MzB、
σbU、σbL、σAU、σAL、τA、τp＞　　②
 1,   1,  -64031.68,  -717.1548,   4927.285,   2.932317,   8.816375,  -9.769833,
10077.53,      9215494,  -9215494,   9151462,  -9279526,   778556.3,   176680.9
 1,   11,  -64031.68,  -717.1548,  -2743.285,  -2.932317,  -8.816375,   2.439039,  -
489.3151,      474936.8,  -474936.8,   410905.2,  -538968.5,   433406.5,   176680.9
 2,   2,  -64031.73,  -717.1553,   4927.285,  -2.932368,  -8.816375,   9.770087,
10077.53,      9215497,  -9215497,   9151465,  -9279529,   778556.3,   176680.9
 2,   14,  -64031.73,  -717.1553,  -2743.284,   2.932368,   8.816375,  -2.439168,  -
489.3149,      474938.5,  -474938.5,   410906.8,  -538970.2,   433406.4,   176680.9
 3,   1,  -8508142,  -95291.2,   1848.046,  -31.18466,   3.353036,   103.9438,
2915.709,      4080524,  -4080524,  -4427618,  -1.258867E+07,   290729.7,   67195.1
 3,   17,  -8339273,  -93399.85,  -756.0464,   31.18466,  -3.353036,  -25.98385,
339.3357,      669118.4,  -669118.4,  -7670154,  -9008391,   118245.8,   67195.1
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
 67,   60,  -13431.25,  -150.43,  -7.590016E-05,   5.980644E-05,  -2.827416E-06,  -
15.7896,  -22611.63,      2.059167E+07,  -2.059167E+07,   2.057824E+07,  -2.06051E+07,
.01337007,   .05666164
 67,   61,  -13431.25,  -150.43,   4684,  -5.980644E-05,   2.827416E-06,   15.78945,
16756.63,      1.531689E+07,  -1.531689E+07,   1.530346E+07,  -1.533032E+07,   740239.3,
.05666164
 68,   61,  -13431.25,  -150.43,  -4684,   5.980644E-05,  -2.827416E-06,  -15.78945,  -
16756.63,      1.531689E+07,  -1.531689E+07,   1.530346E+07,  -1.533032E+07,   740239.3,
.05666164
 68,   8,  -13431.25,  -150.43,   9368,  -5.980644E-05,   2.827416E-06,   15.7893,  -
808.3719,      949092.3,  -949092.3,   935661.1,  -962523.6,
1480479,   .05666164-----------------------------------------------
＜応力・軸力等の最大・最小値データ＞　　③
注）正負の最大、最小。
変数項目、　変数値、　　要素番号、　節点番号
軸σf max,　　6707635,　　6,　　3
軸σf min,　　-8765737,　　62,　　9
軸力 max,　　75125.51,　　6,　　3
軸力 min,　　-98176.25,　　65,　　10
```

図5-7（2/3）　　結果ファイルへの出力例（ラーメン）

```
剪断ＦyB max,    9368,            17,          7
剪断ＦyB min,   -4684,            17,          59
剪断ＦzB max,    85.99142,        11,          41
剪断ＦzB min,   -85.99142,        11,          5
捩りＭxB max,    10.44624,        9,           3
捩りＭxB min,   -10.44624,        9,           35
曲げＭyB max,    484.9135,        50,          7
曲げＭyB min,   -484.9135,        53,          8
曲げＭzB max,    22611.63,        66,          60
曲げＭzB min,   -22611.63,        67,          60
曲げσb max,      2.059167E+07,    66,          60
曲げσb min,     -2.059167E+07,    66,          60
合計σA max,      2.057824E+07,    66,          60
合計σA min,     -2.06051E+07,     66,          60
剪断τA max,      1480479,         17,          7
捩りτp max,      209343.5,        9,           3
--------------------------------------------------
＊＊ 全節点の荷重出力 ＊＊
＜節点番号, Ｆx、Ｆy、Ｆz、Ｍx、Ｍy、Ｍz＞
 1,   3.045699E-05,   0,  -2183.976,   0,   682.495,   0
 2,   3.045699E-05,   0,  -2183.976,   0,   682.495,   0
 3,  -3.45608E-11,  -1.477929E-12,  -4367.952,  -455,   455,  -5.684342E-14
 4,  -4.183676E-11,  -1.818989E-12,  -4367.952,   455,   455,  -1.705303E-13
 5,   6.230039E-11,  -1.8332E-12,  -105460,  -455,   1.455192E-11,   2.131628E-
13
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
 57,  -6.091416E-05,  -2.810979E-12,  -2183.952,  -4.279234E-13,   1.818989E-
12,  -5.405634E-14
 58,  -6.091405E-05,  -3.669263E-12,  -2183.952,  -1.275528E-13,   7.275958E-
12,  -7.431479E-14
 59,  -1.705303E-13,  -3.410605E-13,  -4684,   3.274181E-11,   5.329071E-15,
3.126388E-13
 60,   9.592327E-14,  -1.421085E-13,  -4684,   5.820766E-11,  -3.552714E-15,  -
1.065814E-14
 61,   1.278977E-13,   6.82121E-13,  -4684,   1.091394E-10,  -1.776357E-15,   0
--------------------------------------------------
＊＊ 拘束節点の反力 ＊＊
＜節点番号, Ｆx、Ｆy、Ｆz、Ｍx、Ｍy、Ｍz＞
 1,   46763.36,   28.25235,   88375.31,  -79.52438,  -12993.24,   45.10701
 2,   46763.36,  -28.25233,   88375.31,   79.52453,  -12993.23,  -45.10684
 9,  -46763.36,   67.16068,   90879.91,  -172.2558,   13039.22,  -124.3047
 10,  -46763.36,  -67.16071,   90879.91,   172.2557,   13039.21,   124.3044
END    0h 0min 0s
```

図5-7（3/3）　　結果ファイルへの出力例（ラーメン）

5.6 計算結果（トラス・ラーメン混合）

上記と同様の構造で、トラス・ラーメン混合とした場合の解析結果を図5-8に示します。本例の場合も初期の構造データに対して、各要素を４等分したデータファイルを作成して解析に使用しています。

解析結果の形式はラーメンの場合とほとんど同じです。ただし、応力・軸力等の出力において、トラス要素の節点では、捩りモーメントMxB、曲げモーメントMyB、MzB、曲げ応力σbU、σbL、合計応力σAU、AL、および捩り応力τpはすべて0が出力されます。

```
<<部材３次元体の構造解析結果>>トラス・ラーメン混合
３次元トラス・ラーメン混合モデル
［入力データファイル］,C:¥VB2022¥部材3次元体解析¥Data¥BarsC3Dtest2S.dat
----------------------------------------------------
＊＊＊ 計算結果 ＊＊＊
バンド幅, 66
保存配列のインデックス数, 11793
----------------------------------------------------
＊＊ 変位等の出力 ＊＊
<節点番号, δX、δY、δZ、θx、θy、θz>
 1,    0,    0,    0,    0,    0,    0
 2,    0,    0,    0,    0,    0,    0
 3,    .0001775183,   -.0008327733,   -.0005503311,   -.0007344507,    .0002735996,   -
1.681754E-05
 4,    .000172991,   -.0008331548,   -.0005490692,    .0007404827,    .0002049905,
-.0003103956
 5,   -1.157442E-06,    .0004120327,   -.000997538,   -.0007485372,   -9.113543E-05,
.0001845318
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
 57,   -7.674695E-05,   -.001307284,   -.0002807527,    .0007322567,   -1.43157E-05,
-.0001520487
 58,   -4.332811E-05,   -.0003048229,   -.0001443977,    .0003432673,   -5.847557E-05,
-8.922358E-05
 59,   -.0004019657,   -.005932966,   -.00425808,   -.001140913,   -.0002038576,
8.145959E-05
 60,   -.0005441328,   -.005932993,   -.005745192,    2.736964E-06,   -.0002037882,
2.596881E-05
 61,   -.0005002831,   -.00593302,   -.004248478,    .001141489,   -.0002037188,   -
6.735391E-05
----------------------------------------------------
<変位の最大値データ>
注）絶対値の最大。
変位項目、   最大値、          節点番号
全δ,          .008276697,       60
δX,           .0009645295,      42
δY,          -.005933047,       8
δZ,          -.005745192,       60
θx,           .001647393,       8
θy,           .0003627521,      35
θz,          -.0008384226,      42
----------------------------------------------------
```

図5-8（1/3）　　結果ファイルへの出力例（トラス・ラーメン混合）

```
＊＊ 応力・軸力等の出力 ＊＊
＜ 要 素 No. 、 節 点 No. 、 σf 、 軸 力 、 F yB 、 F zB 、 M xB 、 M yB 、 M zB 、
σbU、σbL、σAU、σAL、τA、τp＞
 1,   1,  -24306.29,  -272.2304,   5180.986,  -4.593799,   9.189734,   9.134645,
10920.06,      9965649,  -9965649,   9941343,  -9989955,   818576.4,   184163
 1,   11,  -24306.29,  -272.2304,  -2996.987,   4.593799,  -9.189734,   2.349852,  -
697.5933,      661327.5,  -661327.5,   637021.2,  -685633.8,   473426.7,   184163
 2,   2,  -64525.44,  -722.6849,   4927.37,   6.413331,  -9.172813,  -27.56044,
10077.9,      9464653,  -9464653,   9400128,  -9529178,   778415.3,   183823.9
 2,   14,  -64525.44,  -722.6849,  -2743.37,  -6.413331,   9.172813,   11.52711,  -
489.4775,      602189.2,  -602189.2,   537663.8,  -666714.6,   433266.1,   183823.9
 3,   1,  -8482479,  -95003.76,   1658.616,  -35.72617,   4.687405,   131.5718,
2288.61,      3901975,  -3901975,  -4580504,  -1.238445E+07,   260619.8,   93935.96
 3,   17,  -8313609,  -93112.41,  -566.6165,   35.72617,  -4.687405,  -42.25831,
492.8705,      1035053,  -1035053,  -7278556,  -9348662,   88220.16,   93935.96
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
 67,   60,  -2263.919,  -25.35589,  -36.53851,   4.538018,  -.003407616,   22.3131,  -
23232.79,      2.124251E+07,  -2.124251E+07,   2.124025E+07,  -2.124478E+07,   5637.161,
68.28889
 67,   61,  -2263.919,  -25.35589,   4720.539,  -4.538018,   .003407616,  -33.65814,
17286.44,      1.604412E+07,  -1.604412E+07,   1.604185E+07,  -1.604638E+07,   745811.6,
68.28889
 68,   61,  -2263.919,  -25.35589,  -4720.539,   4.538018,  -.003407616,   33.65814,  -
17286.44,      1.604412E+07,  -1.604412E+07,   1.604185E+07,  -1.604638E+07,   745811.6,
68.28889
 68,   8,  -2263.919,  -25.35589,   9404.538,  -4.538018,   .003407616,  -45.00319,  -
369.9041,      962662.1,  -962662.1,   960398.2,  -964926.1,   1486051,   68.28889
-----------------------------------------------------
＜応力・軸力等の最大・最小値データ＞
注）正負の最大、最小。
変数項目、      変数値、          要素番号、    節点番号
軸σf max,       6708225,          8,            4
軸σf min,      -8769100,          65,           10
軸力 max,       75132.11,          8,            4
軸力 min,      -98213.91,          65,           10
剪断ＦyB max,   9404.538,          68,           8
剪断ＦyB min,  -4720.539,          68,           61
剪断ＦzB max,   65.20055,          6,            3
剪断ＦzB min,  -65.20025,          6,            26
捩りMxB max,    12.2235,           16,           8
捩りMxB min,   -12.2235,           16,           56
曲げMyB max,    225.6821,          26,           3
曲げMyB min,   -332.6269,          6,            3
曲げMzB max,    23232.79,          66,           60
曲げMzB min,   -23232.79,          67,           60
曲げσb max,     2.124251E+07,      66,           60
曲げσb min,    -2.124251E+07,      66,           60
合計σA max,     2.124025E+07,      66,           60
合計σA min,    -2.124478E+07,      66,           60
剪断τA max,     1486051,           68,           8
捩りτp max,     244960,            16,           8
-----------------------------------------------------
```

図5-8（2/3）　　結果ファイルへの出力例（トラス・ラーメン混合）

```
＊＊ 全節点の荷重出力 ＊＊
＜節点番号, Ｆx、Ｆy、Ｆz、Ｍx、Ｍy、Ｍz＞
 1,   3.045699E-05,   0,  -2183.976,   0,   682.495,   0
 2,   3.045699E-05,   0,  -2183.976,   0,   682.495,   0
 3,  -2.546585E-11,   1.621174E-10,  -4367.952,  -455,   455,  -3.410605E-13
 4,  -6.730261E-11,   3.12923E-11,  -4367.952,   455,   455,  -1.136868E-13
 5,  -118.0934,   3.807088E-11,  -105391.8,  -455,  -227.2675,   0
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
 57,  -6.091403E-05,  -3.398794E-12,  -2183.952,   2.507518E-13,   1.068656E-11,  -
1.1302E-13
 58,  -6.091402E-05,  -3.802115E-12,  -2183.952,   1.600989E-13,   8.185452E-12,
1.081787E-13
 59,  -1.634248E-13,  -9.313226E-10,  -5268.915,   487.4288,  -3.694961E-15,
3.552714E-14
 60,   0,   9.313226E-10,  -4684,   5.820766E-11,   3.552714E-15,   1.705303E-13
 61,  -1.278977E-13,  -2.793968E-09,  -4684,  -4.001777E-11,  -3.552714E-15,
3.979039E-13
--------------------------------------------------
＊＊ 拘束節点の反力 ＊＊
＜節点番号, Ｆx、Ｆy、Ｆz、Ｍx、Ｍy、Ｍz＞
 1,   46338.76,   40.31997,   88285.38,  -102.4102,  -13208.67,   78.98137
 2,   46762.91,  -34.74599,   88364.94,   61.17233,  -12993.5,  -69.61351
 9,  -46325.05,   1.764912,   90947.56,  -107.5946,   15260.85,  -21.25943
 10,  -46776.63,  -7.338901,   90912.58,  -74.048,   13039.56,  -13.80663
END   0h 0min 0s
```

図5-8（3/3）　　結果ファイルへの出力例（トラス・ラーメン混合）

5.7 体積計算

サブメニュー「体積計算の実行」をクリックすると、図5-9の画面に移ります。同図ではテスト用構造モデルで材料を２種類に変更したデータを使用しています。

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。

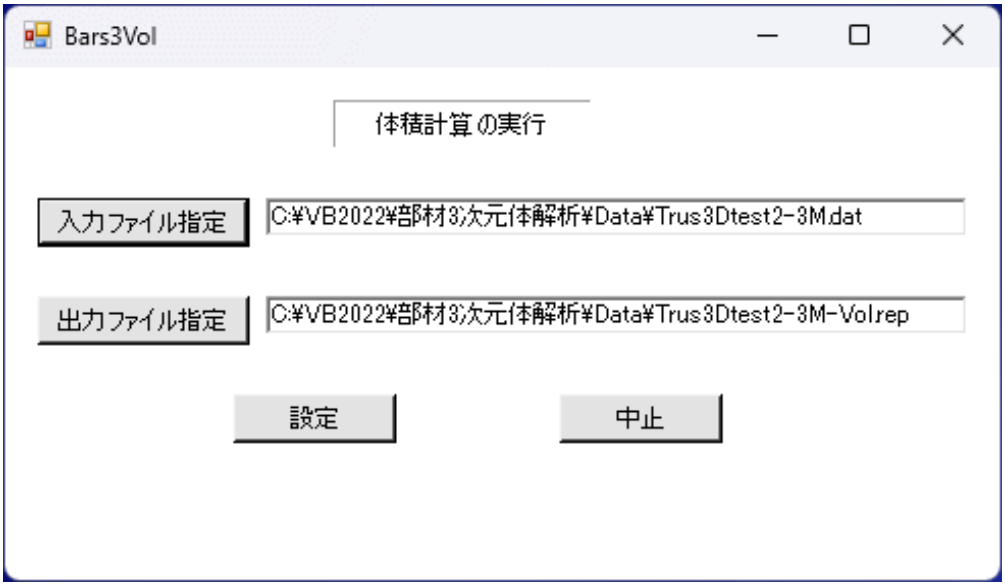


図5-9　　体積計算の実行画面

図5-10に計算終了画面を示します。同図のように、材料番号毎に体積が表示されます。

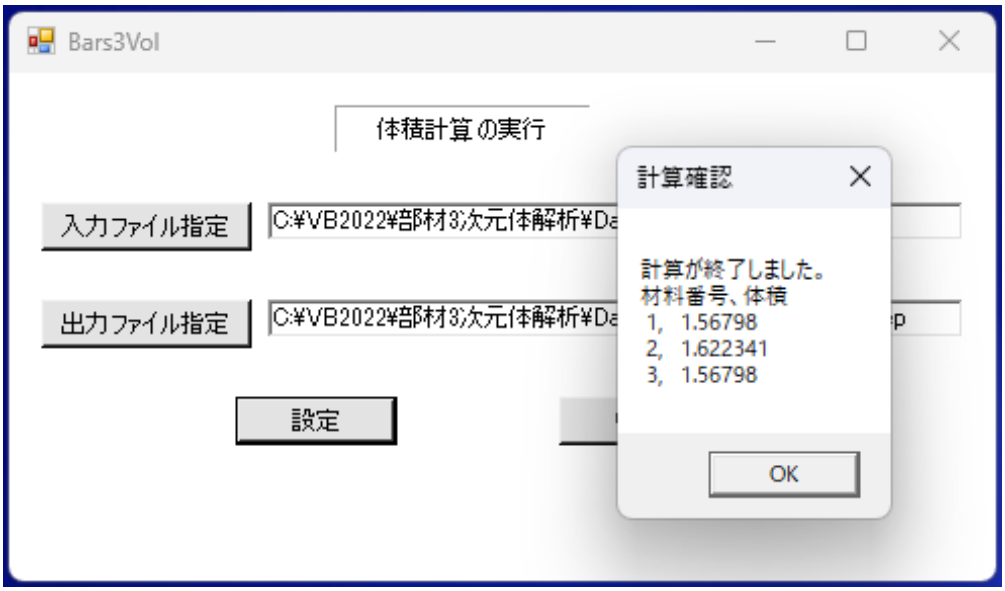


図5-10　　体積計算の終了画面

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5-11に計算結果例を示します。同図で〇印を付した数字の部分について補足説明します。

①材料番号、体積、重量が出力されています。

◇比重量が入力されている場合（自重有り）のみ、重量が出力されます。

②材料数が2以上の場合のみ、合計が出力されます。

③重心の座標が出力されています。

◇材料数が2以上の場合は、比重量が入力されている場合（自重有り）のみ、重心の座標が出力されます。

```
<<体積の計算結果>>
３次元トラス構造モデル・・・材料数３
［入力データファイル］,C:¥VB2022¥部材3次元体解析¥Data¥Trus3Dtest2-3M.dat
-----------------------------------------------
材料番号、体積、重量                                    ①
 1,    1.56798,    122302.4
 2,    1.622341,    126542.6
 3,    1.56798,    122302.4
合計,    4.758301,    371147.5                          ②
重心のX座標、Y座標、Z座標                               ③
 5.083218,    2.5,    2.063081
END
```

図5-11　　体積計算の結果ファイルへの出力例

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４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。

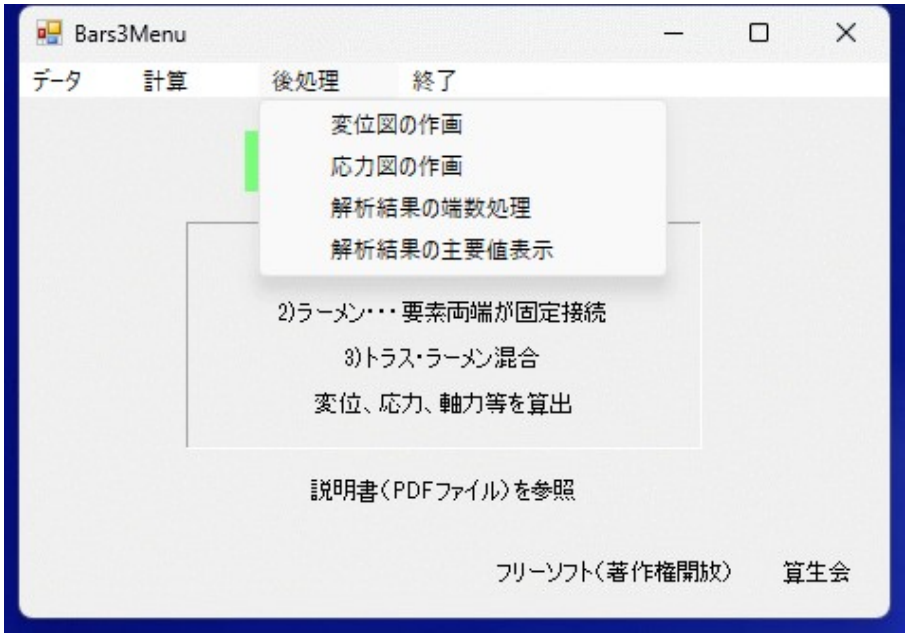


図6-1　　「後処理」サブメニュー画面

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「変位図の作成」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、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、変位図の場合は作画画面に移り、応力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。

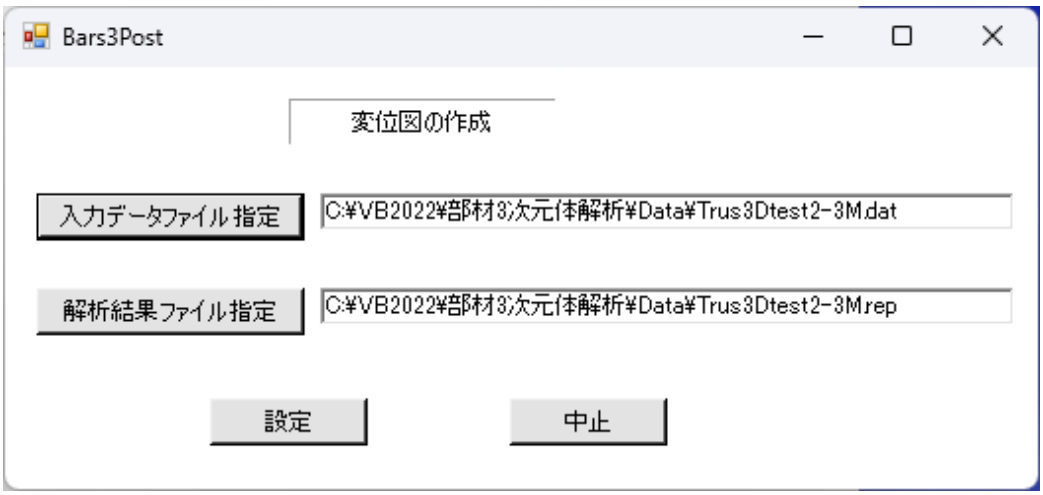


図6-2　　使用ファイル設定画面

6.3 変位図の作画画面

図6-3にトラスの変位図の作画画面を示します。

①同画面のように、元の構造図に対して、青色で変位図が表示されています。

◇回転変位θ_x, θ_y, θ_zは除外しています。

②本画面の左側の「変位作画の倍率」は、構造寸法に対する変位の作画倍率を示します。本数値を任意に変更して「更新」ボタンをクリックすると、変更が反映されます。

③本画面の左側に「変位線の幅」のパラメーターを表示してあり、それを変更できます。変更した後は、「再描画」ボタンをクリックすると作画画面が変更されます。

◇「変位線の幅」は1～3が可能で、初期値は1にしてあります。

④本画面の左下側の「構造図消去」ボタンをクリックすると、図6-4のように構造図なしの変位図だけになります。同図で「構造図作画」ボタンをクリックすると元の画面に戻ります。

⑤本画面の上側と左側に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。

◇図6-5に部分拡大の画面例を示します。同図では要素番号と節点番号を表示しています。

◇変位図の「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。

⑥マウス右クリックで任意の節点を選択すると、図6-5のように同節点の変位値が表示されます。

◇本機能を使用中は、描画保存がありません（描画のさかのぼりが無効）。

◇ESCキーを押すと節点選択が解除されます。

⑦「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。

⑧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。

⑨マウスドラッグ矩形により、変位図の一部分を拡大できます。操作方法は4.12節の構造図と同じです。

⑩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。

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、「中止」ボタンをクリックします。

また、図6-7にラーメン、図6-8にトラス・ラーメン混合の変位図を示します。画面内容は上述のトラスと同様です。

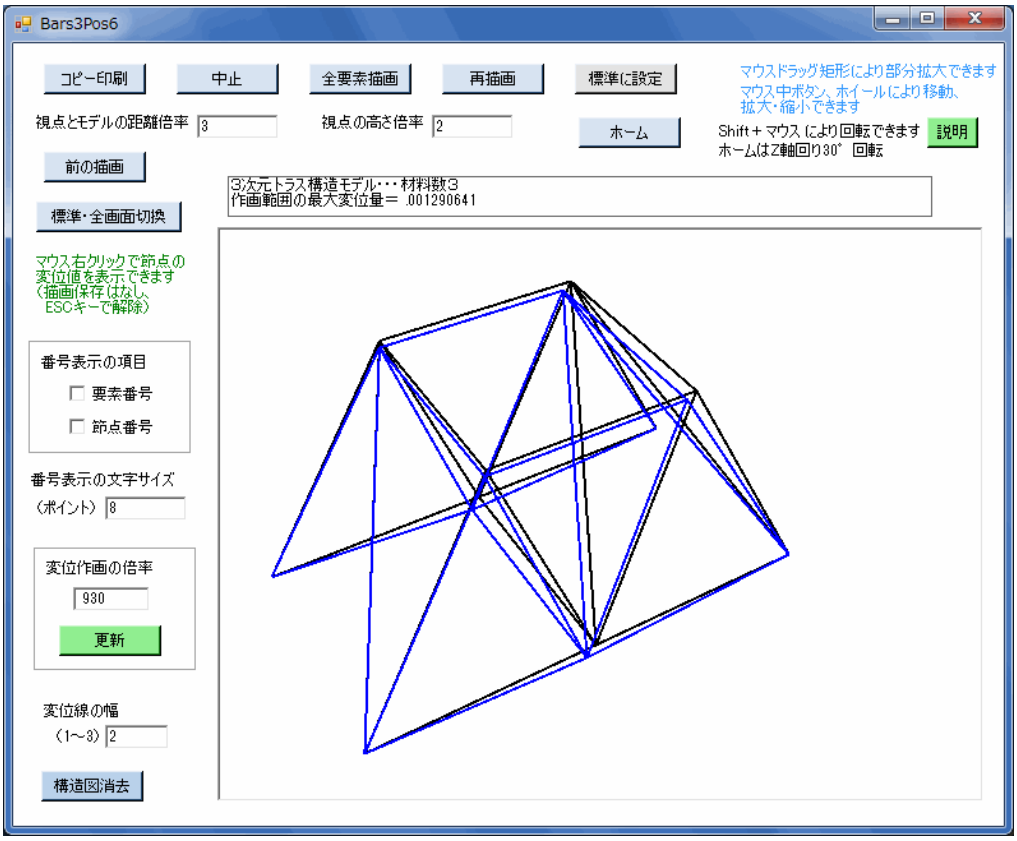


図6-3　　変位図の作画画面（トラス）

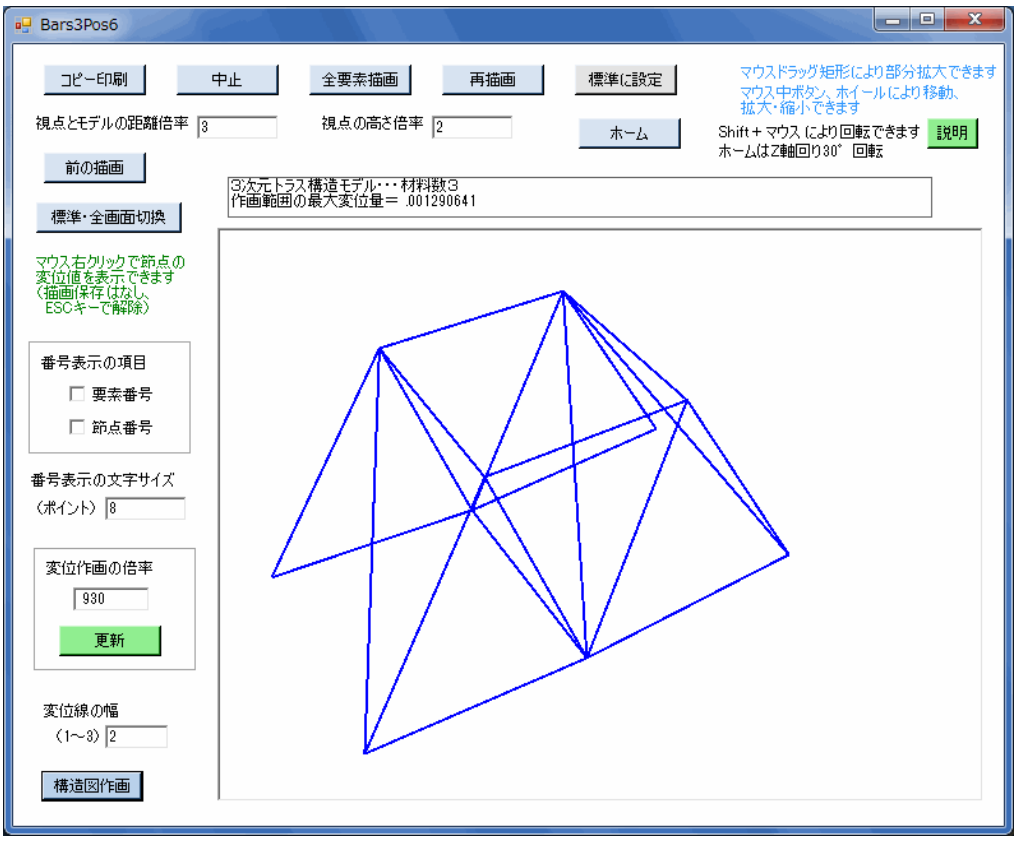


図6-4　　変位図の作画画面（トラス、構造図消去）

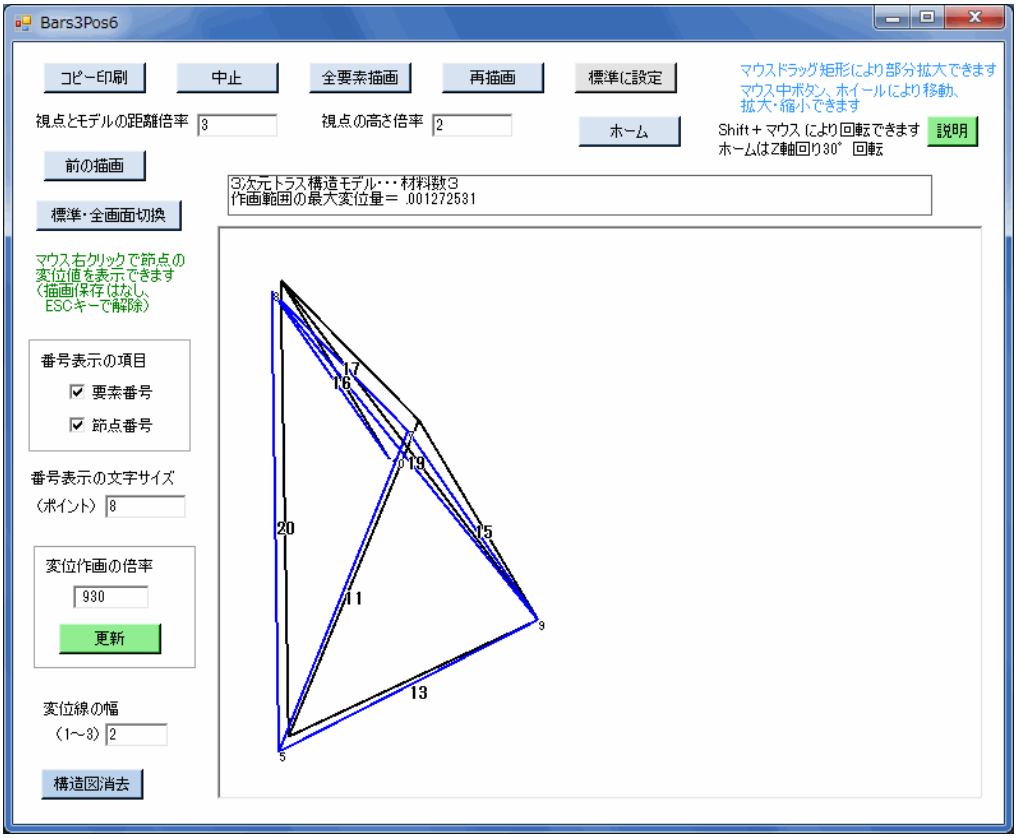


図6-5　　変位図の部分拡大例（トラス）

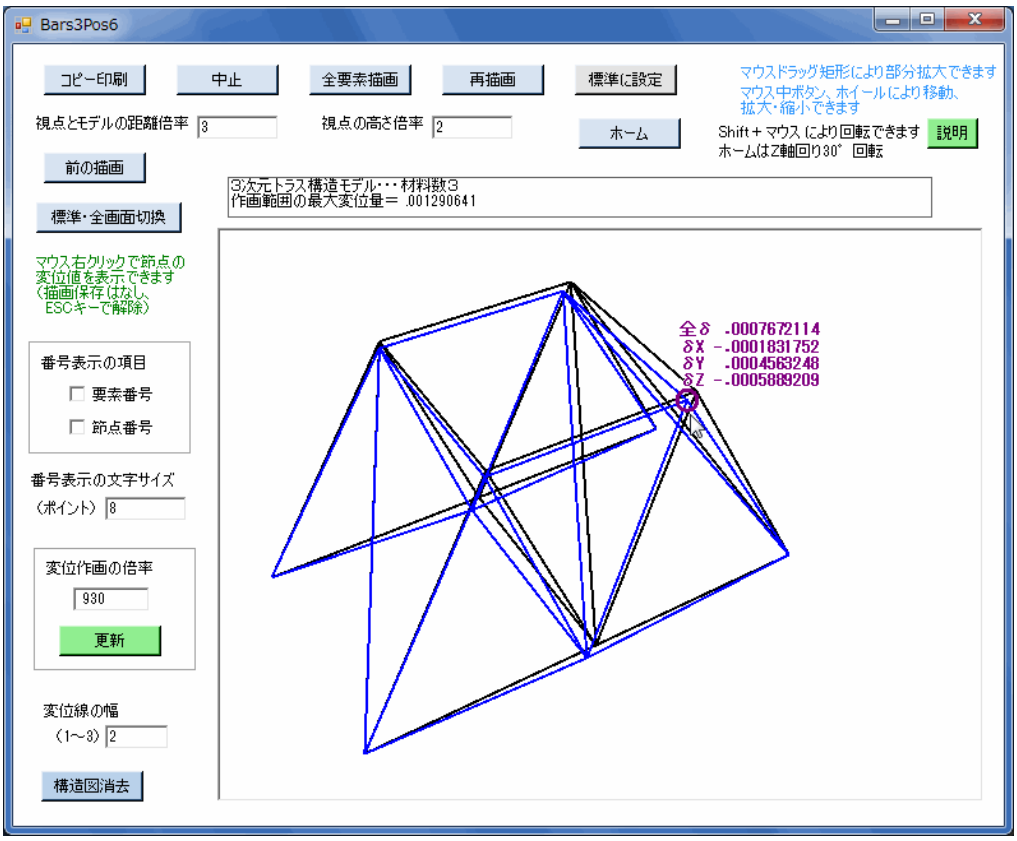


図6-6　　変位図の作画画面（トラス、マウス右クリックの節点の変位値表示）

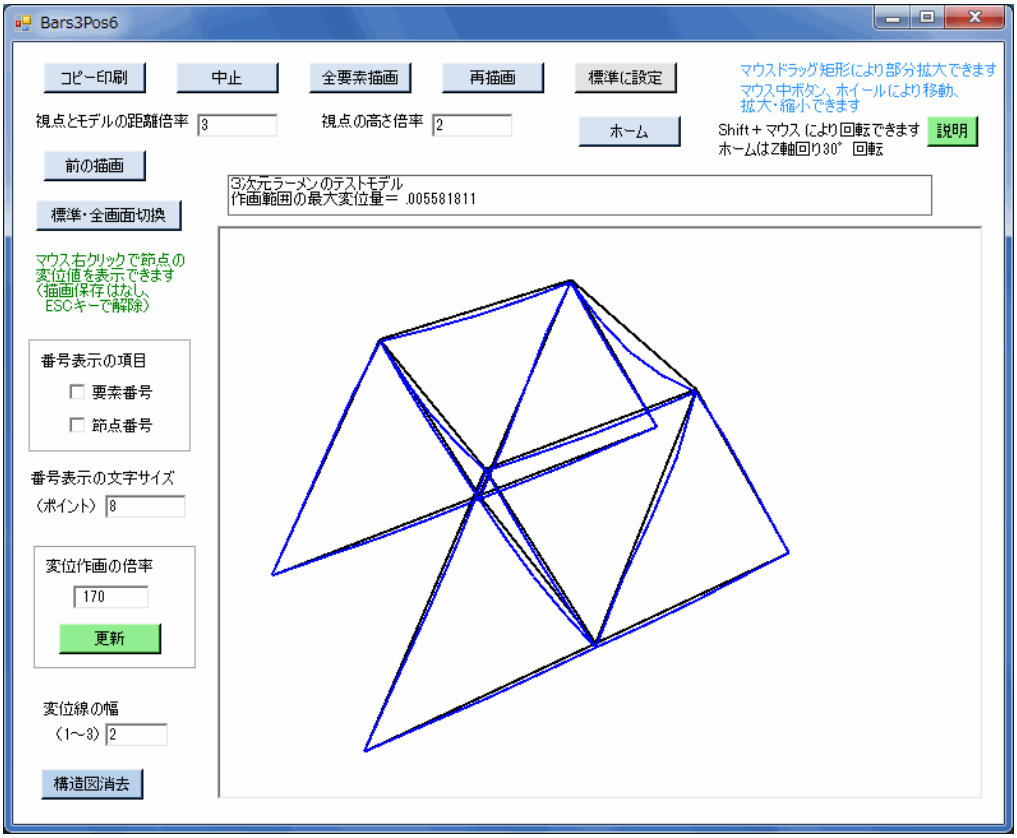


図6-7　　変位図の作画画面（ラーメン）

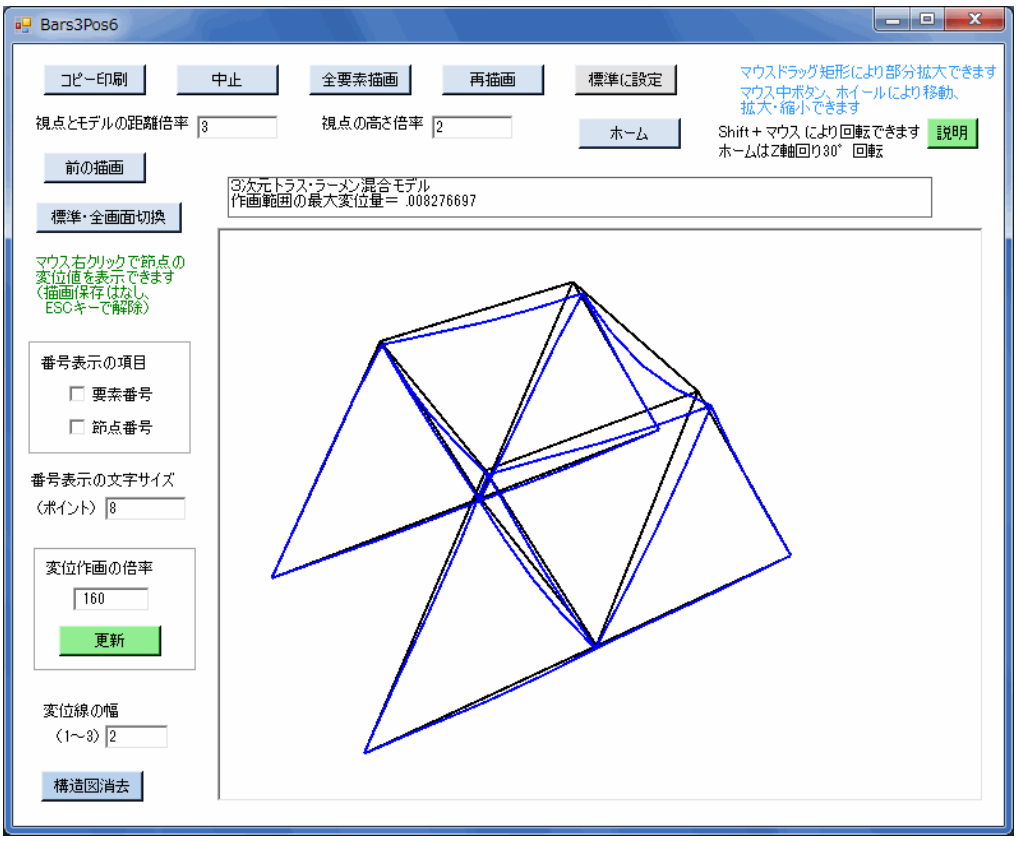


図6-8　　変位図の作画画面（トラス・ラーメン混合）

6.4 応力図の指定画面

図6-9、6-10に応力図指定画面を示します。図6-9はトラスの場合、図6-10はラーメンとトラス・ラーメン混合の場合です。

①これらの画面で、指定したい変数項目を選択します。

◇σfは軸荷重による軸応力、σbは曲げ応力、σAは合計応力で、正負（正：引張、負：圧縮）があります。

◇τAは合計剪断応力、τpは捩り応力で、正符号（絶対値）のみです。

②本画面で、「最大・最小値データ」のボタンをクリックすると、最大・最小値データが表示されます。

◇図6-11にラーメンの最大・最小値データの表示例を示します。

③本画面で、「設定」ボタンをクリックすると応力図の作画画面に移ります。

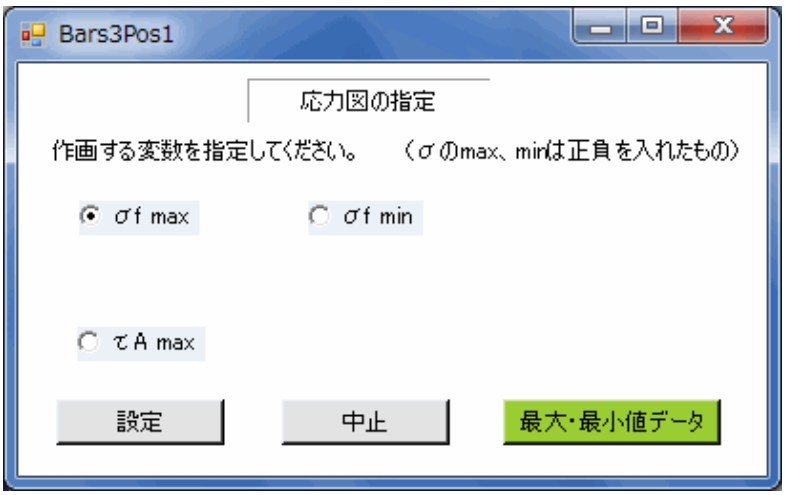


図6-9　　応力図指定画面（トラスの場合）

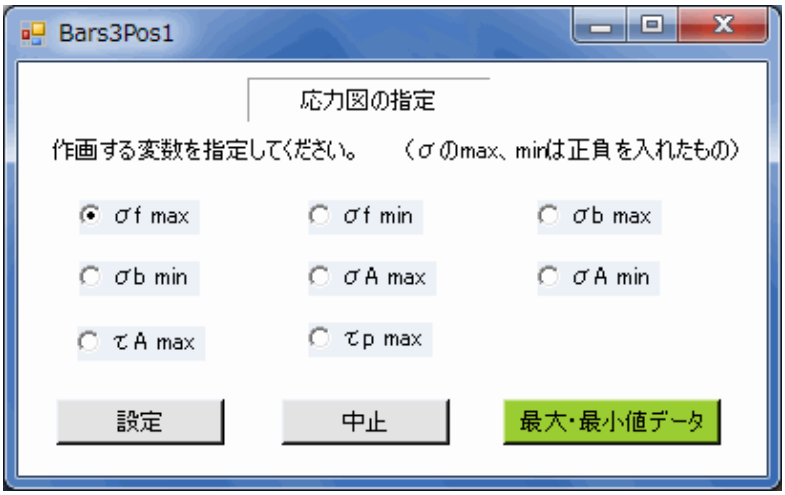


図6-10　　応力図指定画面（ラーメンとトラス・ラーメン混合の場合）

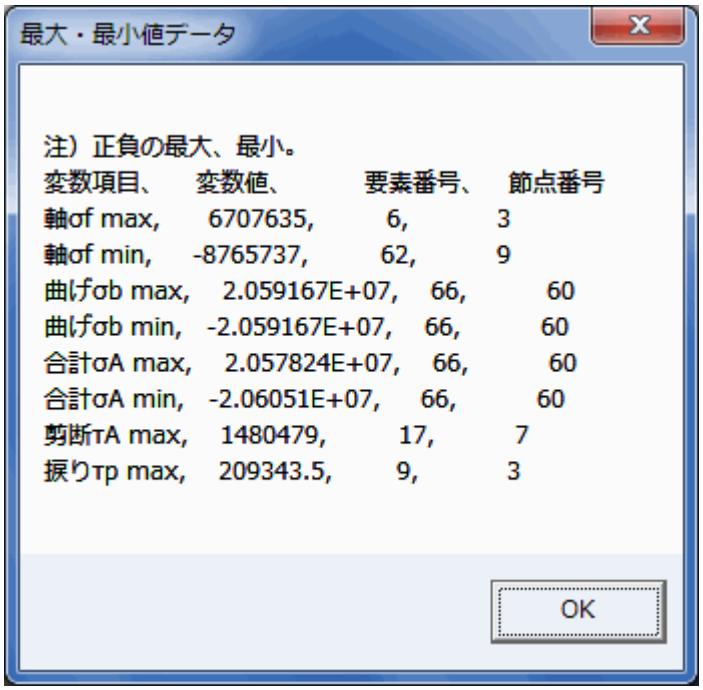


図6-11　　最大・最小値データの表示例（ラーメンの場合）

6.5 応力図の作画画面

図6-12にトラスの応力図の作画画面を示します。

①同図のように、変形後の図上に各節点の応力の大きさが円で表示されています。また、応力の最大値と最小値が円の上部に表示されます。

◇σの場合は、正が赤色、負が青色の円で表わされます。τは赤色のみです。

◇表示された応力が生じる線分要素の端部を、薄緑色の太線で示しています。

②本画面の左側の「変位作画の倍率」は、構造寸法に対する変位の作画倍率を示します。本数値を任意に変更して「更新」ボタンをクリックすると、変更が反映されます。

◇0を設定すると、変位なしで応力図が作画されます。

③本画面の上側と左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。

◇応力図の「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ただし、「応力円の作画倍率」と「全節点の応力値表示」のパラメーターが追加になっています。

◇「応力円の作画倍率」は、応力円の大きさを調整するもので、倍率を大きくすると円も大きくなります。

◇「全節点の応力値表示」のチェックを入れると、全節点の応力値が表示されます。

◇「表示の文字サイズ」は、応力値、要素番号、節点番号に共通の文字サイズで、自由に変更できます。

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、応力図の一部分を拡大できます。操作方法は4.12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。

⑩本画面を終了するには、「戻る」ボタンをクリックして、応力図指定画面に戻ります。

また、図6-13にラーメン、図6-14にトラス・ラーメン混合の応力図を示します。画面内容は上述のトラスと同様です。

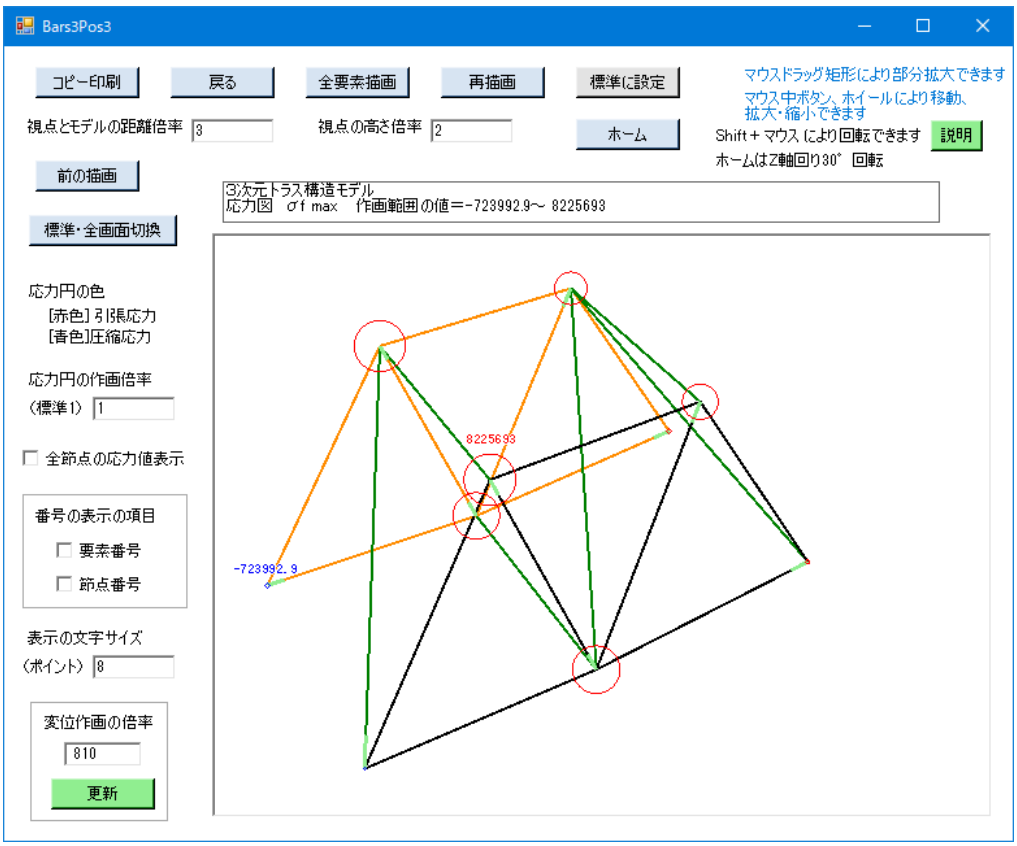


図6-12　　応力図の作画画面（トラス）

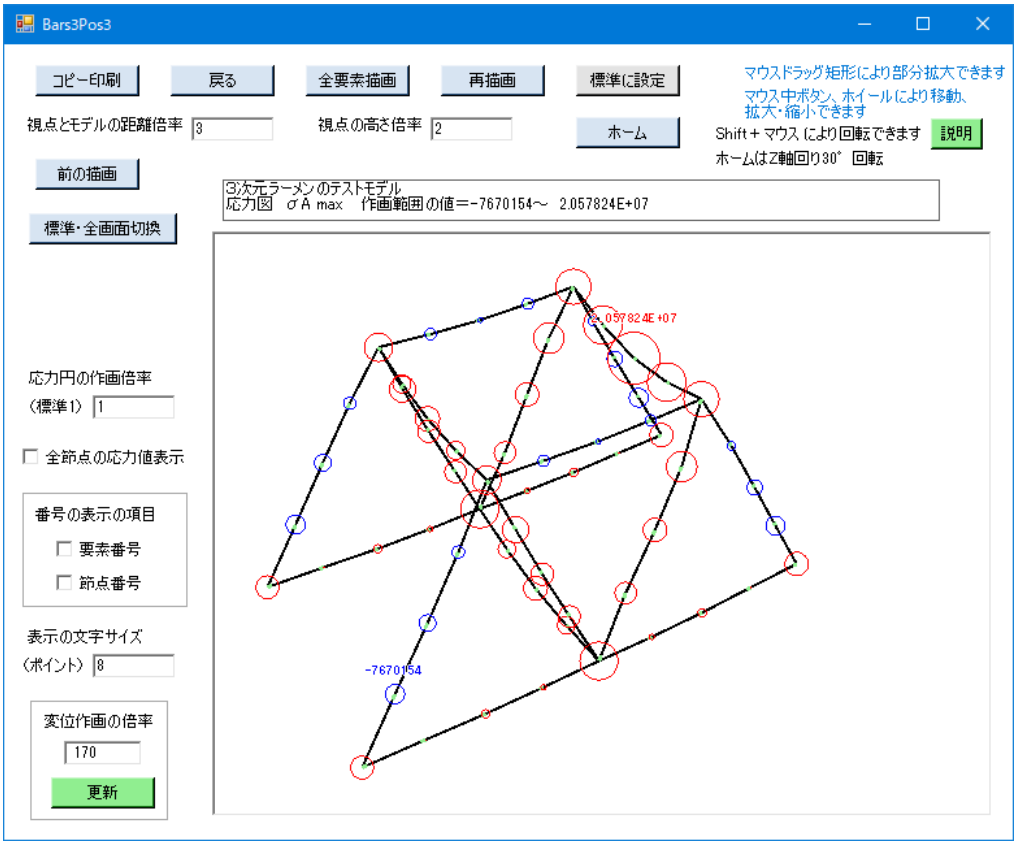


図6-13　　応力図の作画画面（ラーメン）

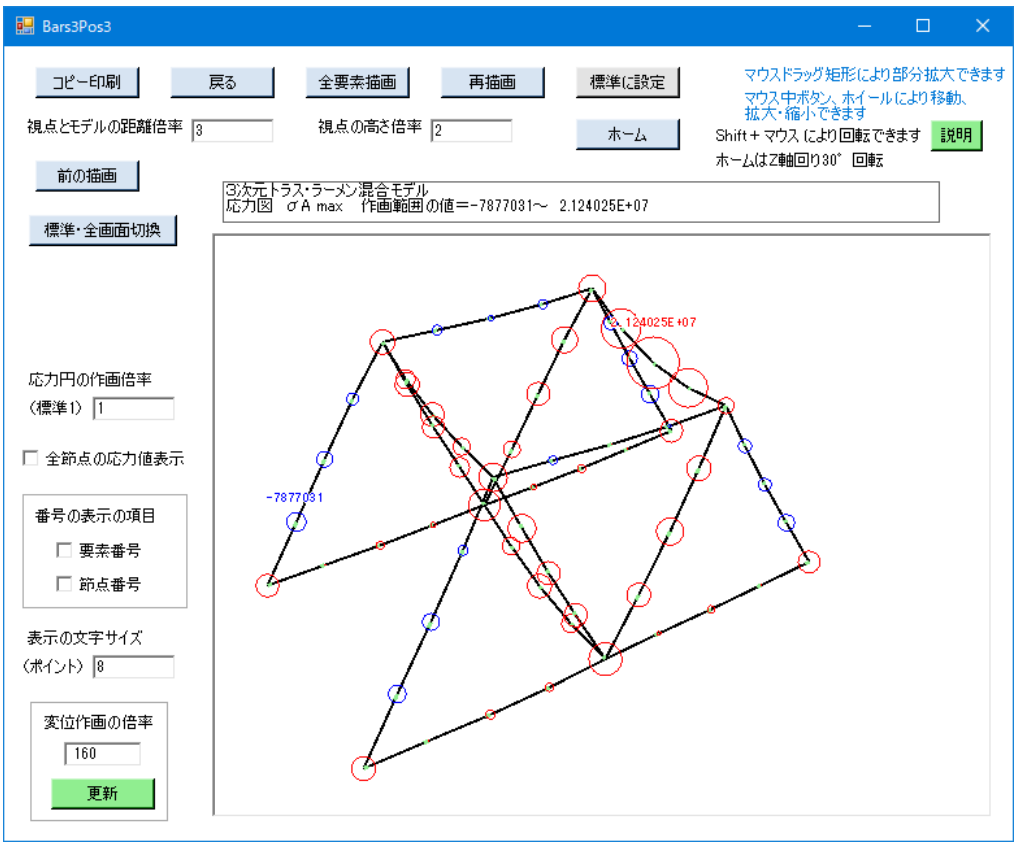


図6-14　　応力図の作画画面（トラス・ラーメン混合）

6.6 解析結果の主要値表示

図6-15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。

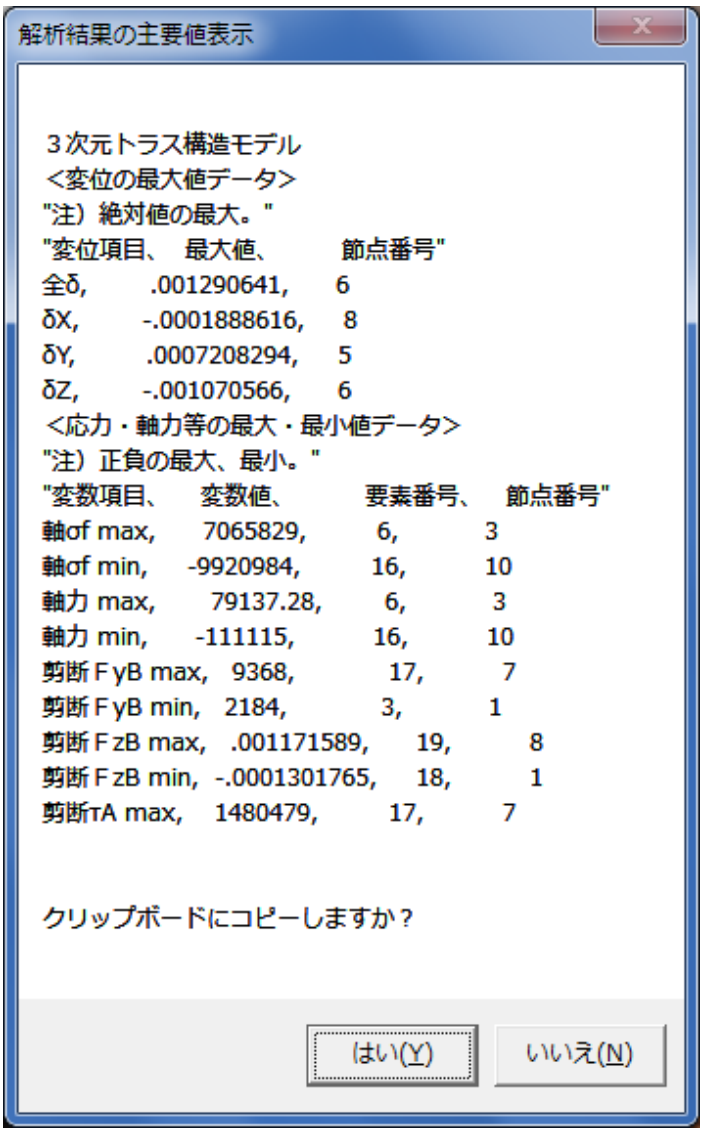


図6-15　　解析結果の主要値表示の画面（トラスの場合）

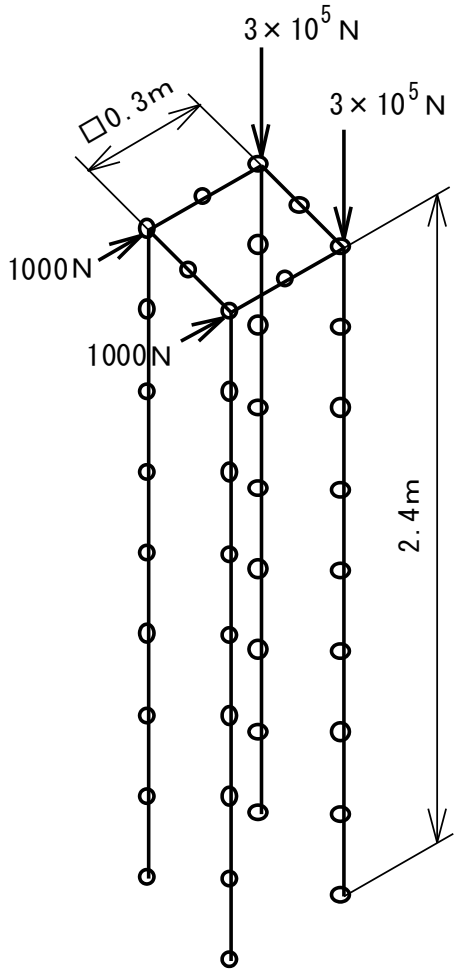
第7章 大変形・後変形問題の計算例

7.1 大変形問題の計算例

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、４本長柱ラーメン構造で上端の２点に垂直下向き方向の大きな荷重、別の２点に水平方向の荷重が作用します。

注）大変形方式の計算では、変位の分だけ分布荷重の向きが変わります。従って、液体圧力の場合は問題ありませんが、一般外力については分布荷重でなく節点荷重で与えた方がよいです。



［材料］ヤング率：2.1×10^{5}MPa
断面積：2.83×10^{-3} m^2
断面2次ﾓｰﾒﾝﾄ：6.36×10^{-7} m^4
（第1、2軸共）
サンブナン捩り定数：1.27×10^{-6} m^4

図7-1　　４本長柱ラーメンの構造モデル図

2)計算結果（大変形方式）

図7-2に変位図、図7-3に合計応力σA minの応力図を示します。ただし、応力図では、応力値の表示は外してあります（文字が重なるため）。

なお、計算時間は0s（1s未満）でした。

3)小変形方式との比較

上記の同一モデルについて、小変形方式の計算結果との比較を図7-4に示します。それ

らの図から、両者で大きな差があることがわかります。従って、長柱ラーメンの場合は大変形方式で計算する必要があります。

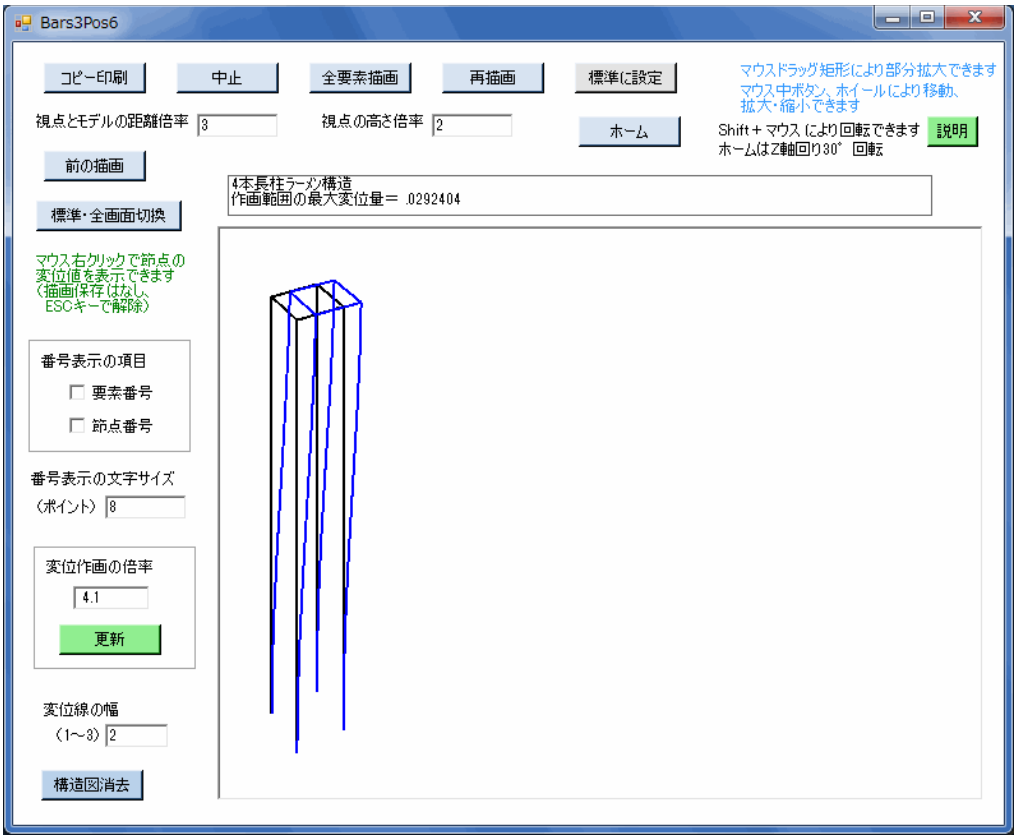


図7-2　　４本長柱ラーメンの変位図

図7-3　　４本長柱ラーメンの応力図（σA min）

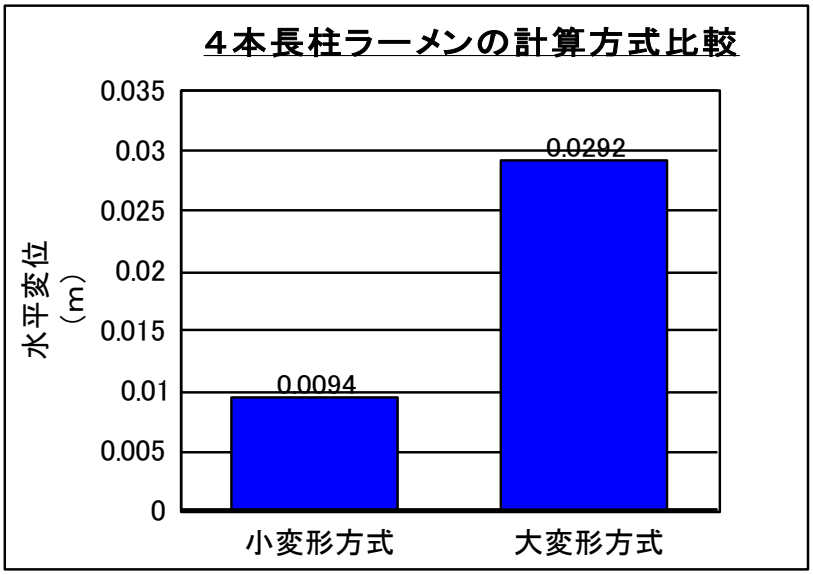


図7-4　　４本長柱ラーメンの変位の比較

7.2 後変形問題の計算例

1)構造モデル

図7-5にモデル図を示します。同図のように単純な片持ち梁で、下方に分布荷重と自重が作用し、右端に軸引張荷重が作用します。同図上側の変形前では、軸引張荷重は撓みには無関係で、同図下側の初回変形後の撓みが生じます。その結果、初回変形後の撓みにより軸引張荷重が撓み低減の作用を及ぼし、次回計算では撓みが減少します。従って、繰返し計算により収束させる必要があります。

2)計算結果の比較

小変形方式と後変形方式で計算した撓みの比較グラフを図7-6に示します。同図から両者の撓みに大きな差があることがわかります。従って、軸引張単純梁の場合は、後変形方式で計算する必要があります。

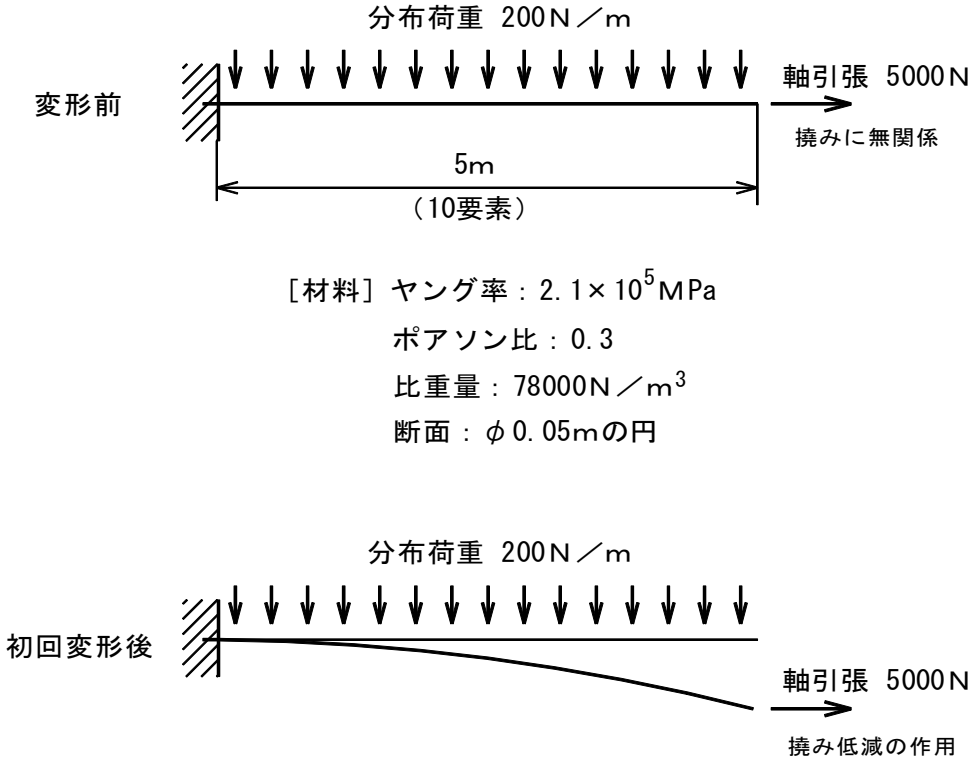


図7-5　　軸引張片持ち梁のモデル図

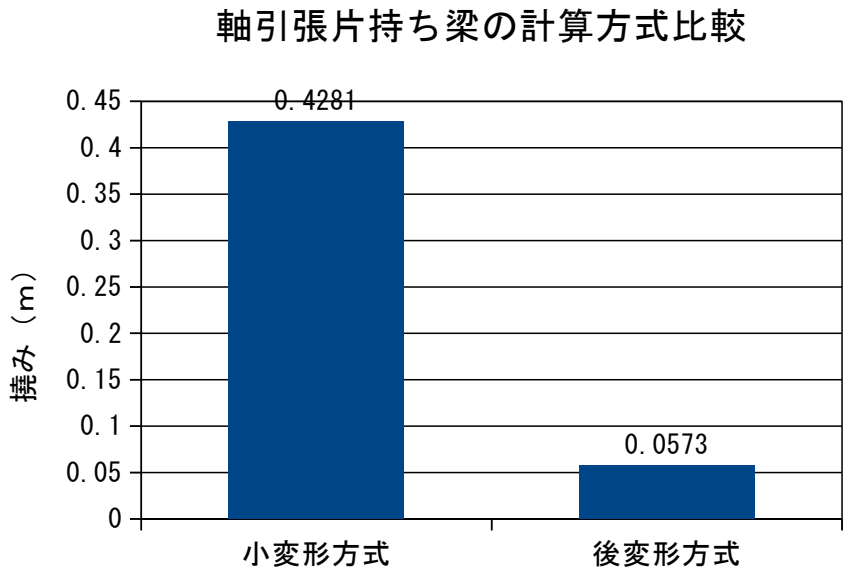


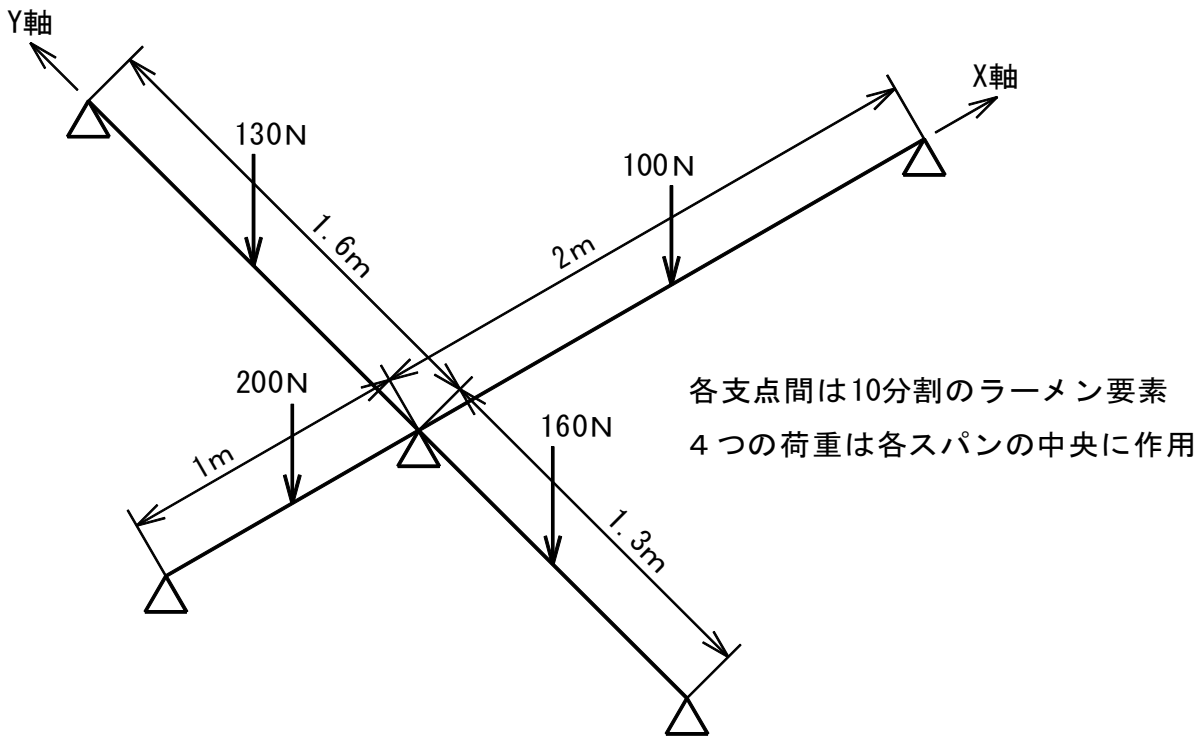
図7-6　　軸引張片持ち梁の撓みの比較

第8章 複合梁の計算例

8.1 構造モデル

図8-1にモデル図を示します。同図のようにX方向の梁とY方向の梁が十字状に交わり、十字交差点と末端点の５点で単純支持された４個の梁から成ります。荷重は、自重による等分布荷重と各支点間中心の集中荷重が作用します。そして、各支点間はそれぞれ10個のラーメン要素にします。

注）支点間は複数に分割しないと、支点間の撓みが計算されません。



［部材条件］ヤング率：2.1×10^{11}Pa　　ポアソン比：0.3

比重量：78000N／m^3

断面：幅0.1m、厚さ0.01mの矩形

［各支点の拘束条件］X,Y,Z方向の変位0、回転拘束なし

図8-1　　複合梁の構造モデル

8.2 入力データ

図8-2に入力データファイルを示します。

```
プログラム名,Bars3D
複合梁モデル
問題のタイプ, 2
節点数, 41
要素数, 40
拘束節点数, 5
材料データ数, 1
荷重節点数, 4
分布荷重個数, 0
バネ支持個数, 0
自重の有無（0:なし、1:あり）, 1
１節点当りの変数の数, 6
材料データの成分数, 14
要素データ（要素番号、材料番号、2節点番号、断面Y軸の角度）
 1,   1,   1,   2,   0
 2,   1,   2,   3,   0
 3,   1,   3,   4,   0
 4,   1,   4,   5,   0
 5,   1,   5,   6,   0
 6,   1,   6,   7,   0
 7,   1,   7,   8,   0
・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・
 34,   1,   34,   35,   0
 35,   1,   35,   36,   0
 36,   1,   36,   37,   0
 37,   1,   37,   38,   0
 38,   1,   38,   39,   0
 39,   1,   39,   40,   0
 40,   1,   40,   41,   0
節点データ（節点番号、X、Y、Z）
 1,  -1,   0,   0
 2,  -.9,   0,   0
 3,  -.8,   0,   0
 4,  -.7,   0,   0
 5,  -.6,   0,   0
 6,  -.5,   0,   0
 7,  -.4,   0,   0
・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・
 35,   0,   .64,   0
 36,   0,   .8,   0
 37,   0,   .96,   0
 38,   0,   1.12,   0
 39,   0,   1.28,   0
 40,   0,   1.44,   0
 41,   0,   1.6,   0
```

図8-2（1/2）　　複合梁の入力データファイル

```
拘束節点データ（拘束No.、節点番号、X拘束・値、Y拘束・値、Z拘束・値θx拘束・値、θy拘束・値、θz拘束・値）
 1, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
 2, 11, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
 3, 21, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
 4, 22, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
 5, 41, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
材料データ（材料No.、E、ν、γ、A、ＩyB、ＩzB、K、　　Ｚy1、Ｚy2、Ｚz1、Ｚz2、Ｃsy、Ｃsz、Ｚp）
 1,   2.1E+11,   .3,   78000,   .001,   8.33E-07,   8.33E-09,   3.123E-08,
1.67E-05,   1.67E-05,   1.67E-06,   1.67E-06,   1.5,   1.5,   3.123E-06
荷重節点（荷重番号、節点番号、Ｆx、Ｆy、Ｆz、Ｍx、Ｍy、Ｍz）
 1,   6,   0,   0,   -200,   0,   0,   0
 2,   16,   0,   0,   -100,   0,   0,   0
 3,   27,   0,   0,   -160,   0,   0,   0
 4,   36,   0,   0,   -130,   0,   0,   0
自重のX、Y、Z軸方向の倍率
 0,   0,   -1
```

図8-2（2/2）　　複合梁の入力データファイル

8.3 計算結果データ

図8-3に結果データファイルを示します。同図で〇印を付した数字の部分について補足説明します。

①最大撓みは、節点17において0.00929ｍです。

②最大引張応力（合計応力σA max）は、要素10の節点11側における39.97MPaです。

③拘束節点の反力（各支点のY方向の力）が出力されています。

```
<<部材３次元体の構造解析結果>>ラーメン
複合梁モデル
［入力データファイル］,C:¥VB2022¥部材3次元体解析¥Data¥CompBeam.dat
---------------------------------------------------
＊＊＊ 計算結果 ＊＊＊
バンド幅, 72
保存配列のインデックス数, 2985
---------------------------------------------------
＊＊ 変位等の出力 ＊＊
<節点番号, δX、δY、δZ、θx、θy、θz>
 1,    0,    0,    0,  -.001159322,    .002643915,    0
 2,    0,    0,  -.0002576936,  -.001159322,    .002444835,    0
 3,    0,    0,  -.0004766859,  -.001159322,    .001877322,    0
 4,    0,    0,  -.0006223632,  -.001159322,    .0009859656,    0
 5,    0,    0,  -.0006645706,  -.001159322,  -.000184645,    0
 6,    0,    0,  -.000577612,  -.001159322,  -.001589922,    0
 7,    0,    0,  -.0003593056,  -.001159322,  -.002613617,    0
 8,    0,    0,  -8.814955E-05,  -.001159322,  -.002639484,    0
 9,    0,    0,    .000133844,  -.001159322,  -.001622935,    0
 10,    0,    0,    .0002002039,  -.001159322,    .0004806209,    0
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
 32,    0,    0,  -.0005625034,  -.005484748,    .003715772,    0
 33,    0,    0,  -.001636078,  -.007578154,    .003715772,    0
 34,    0,    0,  -.002878212,  -.007622179,    .003715772,    0
 35,    0,    0,  -.003975615,  -.005799459,    .003715772,    0
 36,    0,    0,  -.00464422,  -.002292631,    .003715772,    0
 37,    0,    0,  -.004679912,    .001764426,    .003715772,    0
 38,    0,    0,  -.004110731,    .005237842,    .003715772,    0
 39,    0,    0,  -.003044671,    .007944975,    .003715772,    0
 40,    0,    0,  -.001618948,    .00970319,    .003715772,    0
 41,    0,    0,    0,    .01032985,    .003715772,    0
---------------------------------------------------
<変位の最大値データ>
注）絶対値の最大。
変位項目、   最大値、          節点番号
全δ,          .009293165,       17
δX,           0,                1
δY,           0,                1
δZ,          -.009293165,       17                                  ①
θx,           .01032985,        41
θy,          -.01643515,        21
θz,           0,                1
```

図8-3（1/3）　　複合梁の計算結果データファイル

―――
＊＊ 応力・軸力等の出力 ＊＊
＜要素No.、節点No.、σf、軸力、ＦyB、ＦzB、ＭxB、ＭyB、ＭzB、σbU、σbL、σAU、σAL、τA、τp＞
1, 1, 0, 0, 72.25, 0, 0, 0, 3.472223E-14, 2.079175E-08, -2.079175E-08, 2.079175E-08, -2.079175E-08, 108375, 0
1, 2, 0, 0, -64.45, 0, 0, 0, 6.835001, 4092816, -4092816, 4092816, -4092816, 96674.99, 0
2, 2, 0, 0, 64.45, 0, 7.105427E-15, 0, -6.835001, 4092816, -4092816, 4092816, -4092816, 96674.99, 2.275193E-09
2, 3, 0, 0, -56.65, 0, -7.105427E-15, 0, 12.89, 7718563, -7718563, 7718563, -7718563, 84975, 2.275193E-09
3, 3, 0, 0, 56.65, 0, 1.065814E-14, 0, -12.89, 7718563, -7718563, 7718563, -7718563, 84975, 3.412789E-09
3, 4, 0, 0, -48.85, 0, -1.065814E-14, 0, 18.165, 1.087725E+07, -1.087725E+07, 1.087725E+07, -1.087725E+07, 73274.99, 3.412789E-09
4, 4, 0, 0, 48.85, 0, 1.065814E-14, 0, -18.165, 1.087725E+07, -1.087725E+07, 1.087725E+07, -1.087725E+07, 73274.99, 3.412789E-09
4, 5, 0, 0, -41.05, 0, -1.065814E-14, 0, 22.66, 1.356886E+07, -1.356886E+07, 1.356886E+07, -1.356886E+07, 61575, 3.412789E-09
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
37, 37, 0, 0, -39.88156, 0, 0, 0, -41.4986, 2.484946E+07, -2.484946E+07, 2.484946E+07, -2.484946E+07, 59822.34, 0
37, 38, 0, 0, 52.36156, 0, 0, 0, 34.11915, 2.043063E+07, -2.043063E+07, 2.043063E+07, -2.043063E+07, 78542.34, 0
38, 38, 0, 0, -52.36156, 0, -7.105427E-15, 0, -34.11915, 2.043063E+07, -2.043063E+07, 2.043063E+07, -2.043063E+07, 78542.34, 2.275193E-09
38, 39, 0, 0, 64.84156, 0, 7.105427E-15, 0, 24.7429, 1.481611E+07, -1.481611E+07, 1.481611E+07, -1.481611E+07, 97262.34, 2.275193E-09
39, 39, 0, 0, -64.84156, 0, -7.105427E-15, 0, -24.7429, 1.481611E+07, -1.481611E+07, 1.481611E+07, -1.481611E+07, 97262.34, 2.275193E-09
39, 40, 0, 0, 77.32157, 0, 7.105427E-15, 0, 13.36985, 8005897, -8005897, 8005897, -8005897, 115982.3, 2.275193E-09
40, 40, 0, 0, -77.32157, 0, 0, 0, -13.36985, 8005897, -8005897, 8005897, -8005897, 115982.3, 0
40, 41, 0, 0, 89.80157, 0, 0, 0, -4.232725E-14, 2.534566E-08, -2.534566E-08, 2.534566E-08, -2.534566E-08, 134702.3, 0
―――
＜応力・軸力等の最大・最小値データ＞
注）正負の最大、最小。

変数項目、	変数値、	要素番号、	節点番号
軸σf max,	0,	1,	1
軸σf min,	0,	1,	1
軸力 max,	0,	1,	1
軸力 min,	0,	1,	1
剪断ＦyB max,	205.75,	10,	11

図9-3（2/3）　複合梁の計算結果データファイル

```
剪断ＦyB min,  -197.95,          10,           10
剪断ＦzB max,   0,               1,            1
剪断ＦzB min,   0,               1,            1
振りMxB max,   2.131628E-14,    33,           34
振りMxB min,  -2.131628E-14,    33,           33
曲げMyB max,   0,               1,            1
曲げMyB min,   0,               1,            1
曲げMzB max,   66.75,           11,           11
曲げMzB min,  -66.75,           10,           11
曲げσb max,    3.997006E+07,    10,           11
曲げσb min,   -3.997006E+07,    10,           11
合計σA max,    3.997006E+07,    10,           11                          ②
合計σA min,   -3.997006E+07,    10,           11
剪断τA max,    308625,          10,           11
振りτp max,    6.825579E-09,    33,           33
--------------------------------------------------
＊＊ 全節点の荷重出力 ＊＊
＜節点番号, Ｆx、Ｆy、Ｆz、Mx、My、Mz＞
 1,   0,   0,  -3.900001,   0,   .06500003,   0
 2,   0,   0,  -7.8,   3.552714E-15,  -7.748616E-08,   0
 3,   0,   0,  -7.8,   0,   7.748599E-08,   0
 4,   0,   0,  -7.8,  -3.552714E-15,  -7.748588E-08,   0
 5,   0,   0,  -7.8,   0,   7.748599E-08,   0
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
 37,   0,   0,  -12.48,  -1.239775E-07,   7.105427E-15,   0
 38,   0,   0,  -12.48,   1.239778E-07,  -7.105427E-15,   0
 39,   0,   0,  -12.48,  -2.479553E-07,   0,   0
 40,   0,   0,  -12.48,   2.479551E-07,   7.105427E-15,   0
 41,   0,   0,  -6.239999,   .1663999,   0,   0
--------------------------------------------------
＊＊ 拘束節点の反力 ＊＊                                                   ③
＜節点番号, Ｆx、Ｆy、Ｆz、Mx、My、Mz＞
 1,   0,   0,   72.25,   0,   0,   0
 11,   0,   0,   709.0984,   0,   0,   0
 21,   0,   0,   94.625,   0,   0,   0
 22,   0,   0,   84.425,   0,   0,   0
 41,   0,   0,   89.80157,   0,   0,   0
END    0h 0min 0s
```

図8-3（3/3）　　複合梁の計算結果データファイル

8.4 変位図

図8-4に計算結果の変位図を示します。

8.5 応力図

図8-5に合計応力σA maxの応力図を示します。

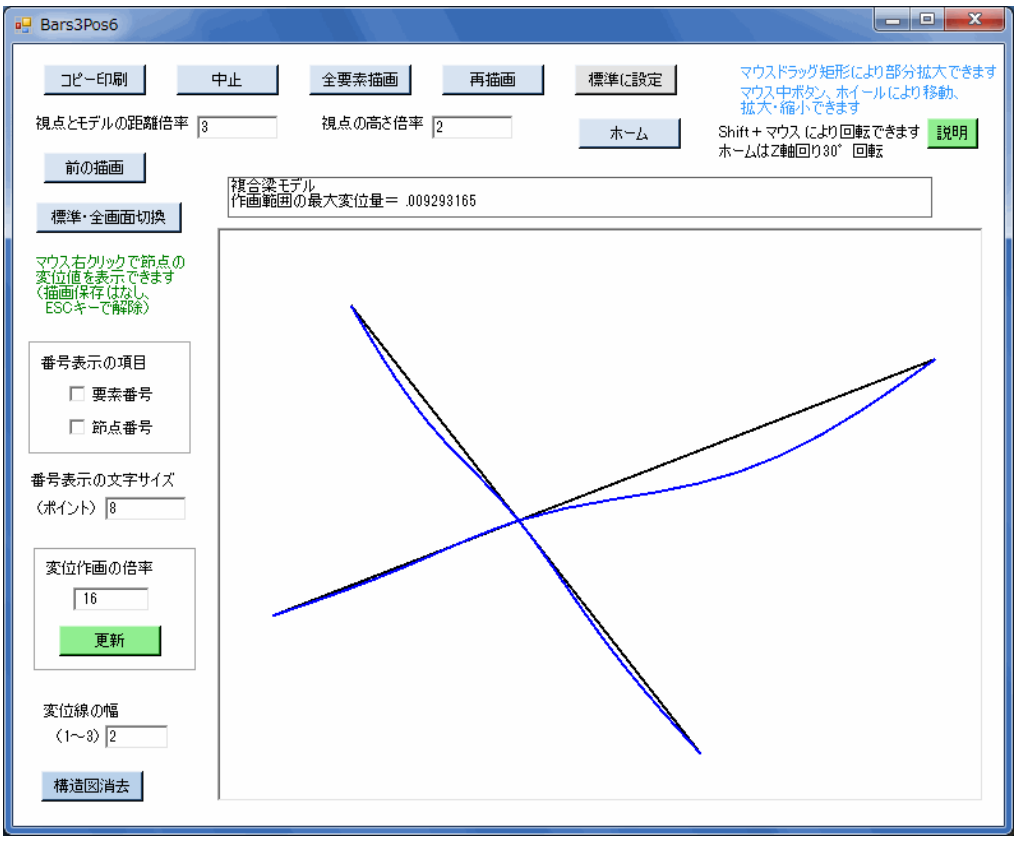


図8-4　　複合梁の変位図

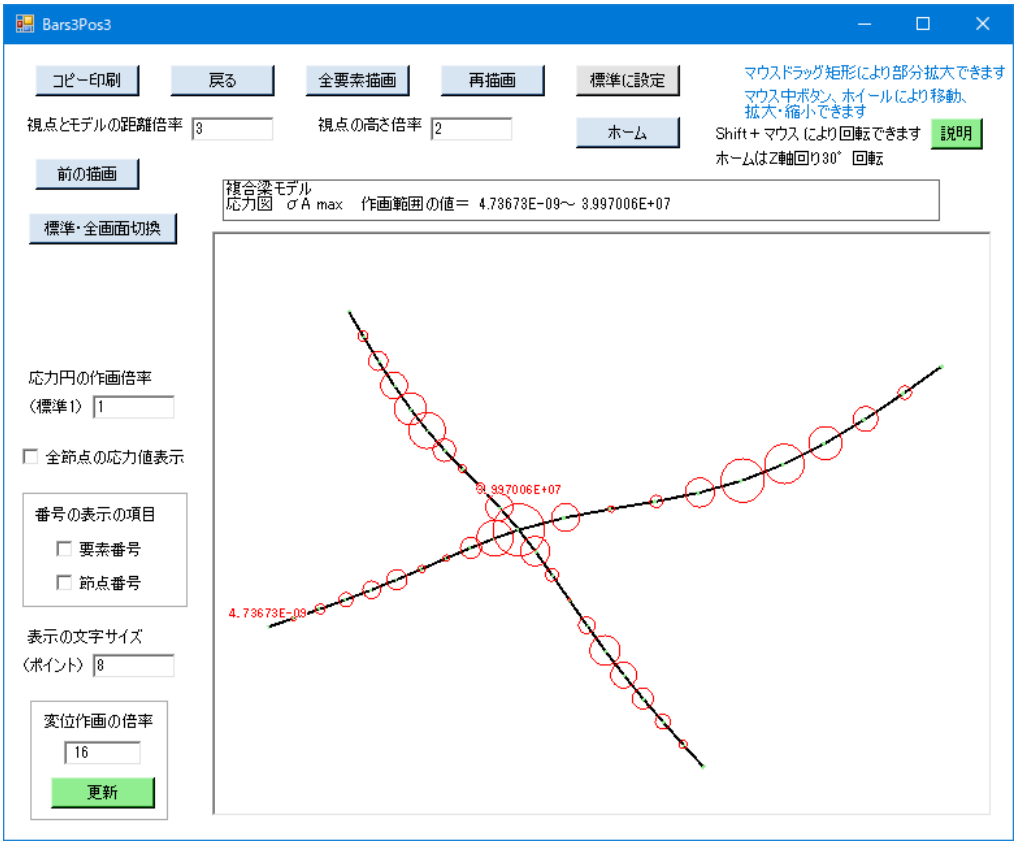
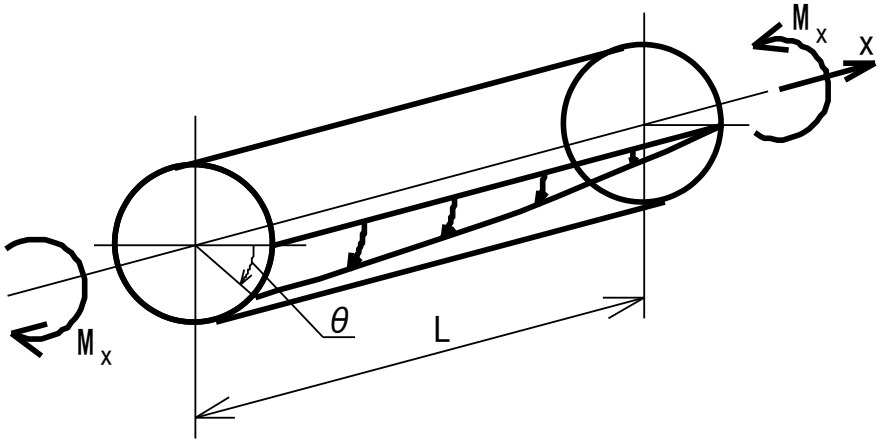


図8-5　　複合梁の応力図（σA max）

第9章 サンブナンの振り定数

図9-1に振りの説明図を示します。 ただし、ここでは部材の座標軸を表わす添え字Bを省略しています。



［振りの式］ $M_x = GK\dfrac{d\theta}{dx} = GK\dfrac{\theta}{L}$

M_x：振りモーメント
G：剪断弾性係数
K：サンブナンの振り定数

図9-1　　振りの説明図

図9-1のように、部材の振りの計算式は次のように表わされます。

$$M_x = GK\frac{d\theta}{dx} = GK\frac{\theta}{L} \qquad (9\text{-}1)$$

(9-1)式のように表わした場合に、同式のKがサンブナンの振り定数です。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、(9-1)式のKにまとめて使用することができます。

参考までに、円形断面、矩形断面、Ｉ形断面の場合のサンブナン振り定数Kを下記に示します。ただし、断面の物性データとして、y,z軸に関する断面２次モーメントも必要ですので、他の断面形状を含め、文献などを参照して計算してください。また、算生会の「２次元振り解析」ソフトでは、任意形状の断面について、サンブナン振り定数Kを含む各種断面定数を計算できます。

1)円形断面

$$K = \frac{\pi}{32}d^4 \qquad (9\text{-}2)$$

ただし、d：円の直径

［備考］振り断面係数 $Z_P = \dfrac{\pi}{16}d^3$ (9-3)

2)矩形断面

$K = k_1 a b^3$ (9-4)

ただし、a：長辺の長さ、　b:短辺の長さ

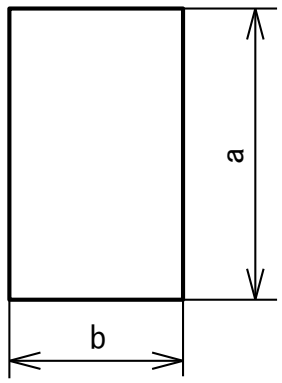
k_1:表9-1に示す数値

［備考］捩り断面係数 $Z_P = k_1 a b^2$ (9-5)

表9-1　矩形断面の捩りのk_1

a/b	k_1
1.0	0.1406
1.1	0.1540
1.2	0.1661
1.3	0.1771
1.4	0.1869
1.5	0.1958
1.6	0.2037
1.8	0.2174
2.0	0.2287
2.5	0.2494

a/b	k_1
3.0	0.2633
3.5	0.2733
4.0	0.2808
5.0	0.2913
6.0	0.2983
7.0	0.3033
8.0	0.3071
9.0	0.3100
10.0	0.3123
20.0	0.3228
∞	0.3333



3) I 形断面

$$K = \frac{1}{3}(ac^3 + 2bt^3) \quad (9\text{-}6)$$

ただし、a、b、c、tは図9-2によります。

［備考］捩り断面係数 $Z_P = \dfrac{ac^3 + 2bt^3}{3c}$ (9-7)

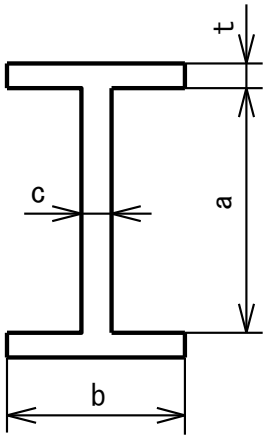


図9-2　I 形断面の略図

［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」、ｽﾋﾟｰｹﾞﾙ 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
B6)「Visual Basicによる数値解析プログラム」、黒田 英夫、
ＣＱ出版社、2002
B7)「Web用3D-CG言語 X3D XML版」、赤間 世紀、
工学社、2007

＜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)「The Finite Element Method (Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis」、Thomas J.R.Hughes、 Dover Publications、2000
C7)「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
C8)機械工学便覧A5「材料力学」、日本機械学会編、日本機械学会、2001
C9)「The Finite Element Method in Electromagnetics」、Jianming Jin John Wiley & Sons、 2002