

# 平面ラーメンエディター (Ver.1.00) の使用法について

2025.09

## 1. 本プログラムの概要

本プログラム Rm2DEditor100.exe は、別に提供している有限要素法 (FEM) による平面ラーメン解析プログラム rm2dg105.exe のために必要な入力データを GUI (Graphical User Interface) を用いて作成するものである。作成されたデータはファイルとして保存することができ、この保存データを、有限要素法による平面ラーメン解析プログラムに読み込ませて FEM 解析を行うことができる。

なお、本プログラムは VB2022 により作成され、Windows11 のもとで動作確認をしている。

本プログラムの概要を図 1 に示す。

基本的には、本プログラムは

1. ファイルから DataGridView (表形式のデータを扱う VB のコントロール) へのデータの読み込み、あるいは DataGridView への直接入力。
2. DataGridView の節点、要素データをもとに、描画域 (PictureBox1) 上にフィットするよう、スケールやオフセットを決定し、作図する。
3. マウス操作プログラムにより、図形の拡大・縮小、移動のイベントに対応する。
4. 平面ラーメン FEM 解析プログラムに適合した形で、作成データをファイル出力。

という処理を行っている。

## 2. ユーザーが準備すべきデータ

本プログラムが必要とするデータは以下の通りである。

入力データの構成 (( ) 内の記号はプログラムで用いている変数名)

### (1) 基本データ (1 行)

総節点数(np), 総要素数(ne), 材料数(nm), 拘束節点数(nb), 荷重節点数(nf)

### (2) 節点データ (np 行)

節点番号,  $x$  座標,  $y$  座標

### (3) 要素データ (ne 行)

要素番号, 要素端点の節点番号, もう一方の端点の節点番号, 材料番号

### (4) 材料データ (nm 行)

材料番号, 縦弾性係数, 断面積, 断面 2 次モーメント

### (5) 節点拘束データ (nb 行)

拘束節点番号,  $x$  方向の拘束の有無 (0 拘束なし, 1 拘束あり),

$x$  方向の拘束量 (拘束がない場合は 0.0 を与える),

$y$  方向の拘束の有無 (0 拘束なし, 1 拘束あり),

$y$  方向の拘束量 (拘束がない場合は 0.0 を与える),

たわみ角の拘束の有無 (0 拘束なし, 1 拘束あり),

接合強さ (半剛接の強さ  $\lambda_\theta$  ( $0 \leq \lambda_\theta \leq 1$ ) を与える。  $\lambda_\theta=0$  のときピン支持, 1 の場合は剛接,

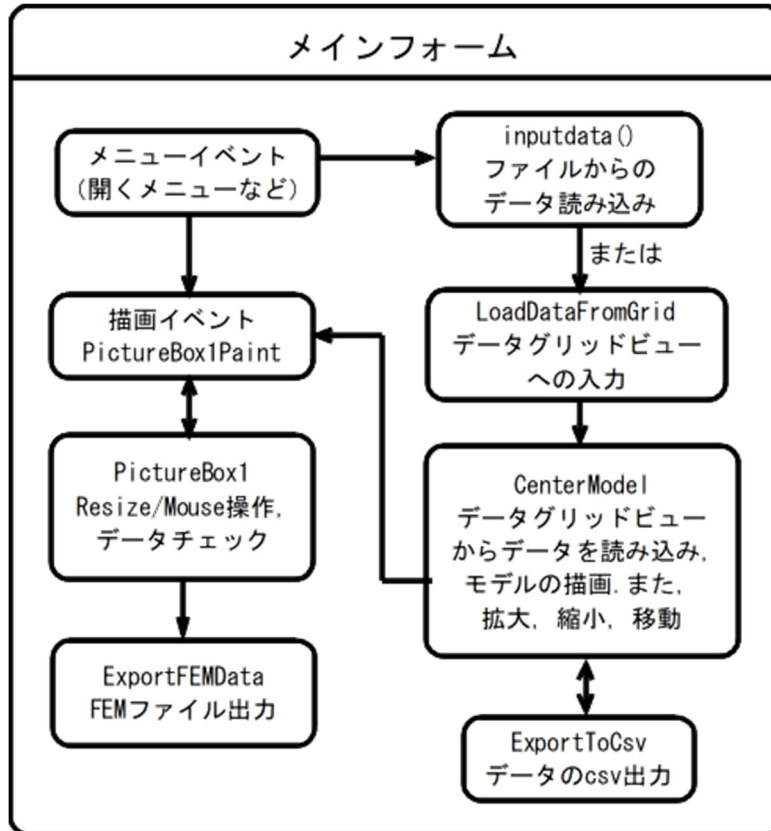


図1 本プログラムの概要

その間の値の場合は半剛接となる)

(6) 荷重データ (nf 行) (nf=0 のときには不要)

荷重をかけた節点番号,  $x$  方向の荷重の大きさ,  $y$  方向の荷重の大きさ, 曲げモーメントの大きさ

(7) 名前など, 問題への注釈 (1 行)

Rm2DData (U-ShapedFrame.dat)

以下に, 具体的な例題を通じてこれらのデータを準備する手順を述べる.

## 2.1 例1 (たとえば, ファイル名を U-ShapedFrame.dat とする)

図2のような, 門型ラーメン (文献1) の p.111 の例) を取り上げて, 準備すべきデータについて説明する. 本例では長さの単位として mm を用いる. 門型ラーメンのすべての要素の縦弾性係数は  $E=206 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ , 断面積  $A=400 \text{ mm}^2$ , 断面二次モーメント  $I=1.3333 \times 10^4 \text{ mm}^2$  である. また, 水平部材の節点3に負荷した垂直荷重の大きさは,  $P=980 \text{ N}$  とする. より詳しく内容を知りたい場合には参考文献1)を参照してほしい.

はじめに, 原点と平面座標系を設定し, その座標に基づいて, ラーメン要素の端点 (一般に**節点** (node) という) 位置を  $(x, y)$  座標で求める. ここでは, 節点に対して1から始まる番号を設定し, 図2

では5個の節点があるから1から5までの番号づけをする．節点の位置を[mm]の単位で表すと，節点データは，節点番号およびその  $x, y$  座標から構成され，節点1を座標原点として

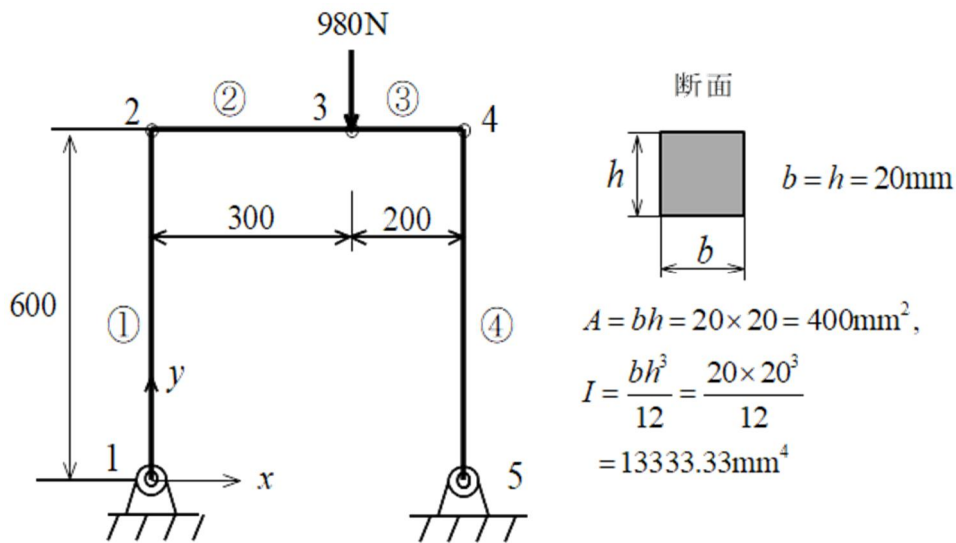


図2 門型ラーメンの例題

```
1, 0.0, 0.0
2, 0.0, 600.0
3, 300.0, 600.0
4, 500.0, 600.0
5, 500.0, 0.0
```

と表される．このとき，データを区切るためにデータの間にコンマを入れる．また，節点番号は整数， $x, y$  座標は実数（小数点付きの数値）で記述し，数字，コンマおよび空白などはすべて半角とする．

つぎに，要素（element）データを作成する．図2では，節点番号と区別するために要素番号を○で囲んで表示している．本プログラムでは，節点だけに荷重が負荷できるようにしているので上辺の水平部材を2要素に分ける．これより，全要素数は4個となり，各要素に番号を1から4までつけ（番号のつけ方は任意），その両端の節点番号をメモする．次に，各要素の縦弾性係数（ヤング率） $E$ ，断面積  $A$ （節点座標にミリメートル mm の単位を用いた場合は，断面積を  $\text{mm}^2$  で表す）および断面2次モーメント  $I$   $\text{mm}^4$  を設定し，これらに対して要素番号（1からはじめる）を与える．たとえば，図2の要素番号1の要素は，両端点の節点番号は1と2である．さらに， $E=206 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ ， $A=400\text{mm}^2$ ， $I=13333.33\text{mm}^4$  とし，すべての要素が同一材料であるものと考えると，要素データは，要素番号を1として

```
1, 1, 2, 1
2, 2, 3, 1
3, 3, 4, 1
4, 4, 5, 1
```

となる。(異なる材料の要素がある場合には、材料番号を 2, 3, ... とすればよい)

次に材料データを設定する。本問題では、すべての要素に対して、同一材料、同一断面 ( $E=206 \times 10^3$  N/mm<sup>2</sup>,  $A=400$ mm<sup>2</sup>,  $I=13333.33$ mm<sup>4</sup>) が与えられているものとする。材料データは、材料番号、縦弾性係数 (ヤング率)、断面積、断面 2 次モーメントから構成され、本問題では

1, 206.0e3, 400.0, 13333.33

と表される。

次に、**拘束データ**を考える。本プログラムでは、**半剛接** (semi-rigid support) という特別な拘束条件も扱えるようになっているので、拘束の扱いについて、以下、詳しく述べる。

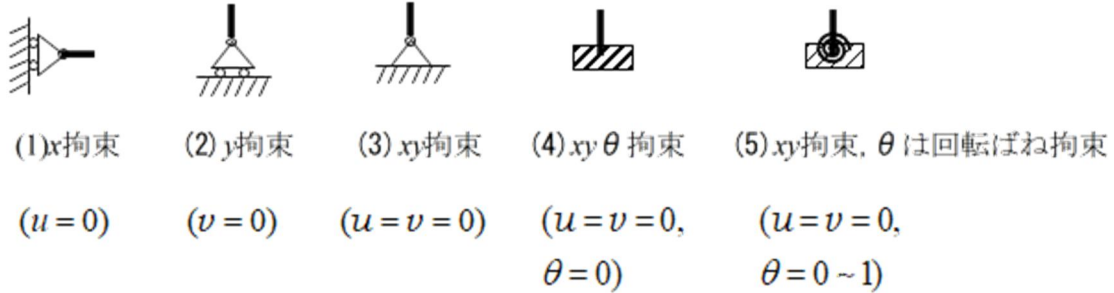


図3 拘束の種類と半剛接

図3に、平面ラーメンにおける拘束の種類を示す。(1)から(3)までは、 $x, y$ 変位の拘束(回転支持端、滑接ともいう)を示し、(4)は、 $x, y$ 変位のほかに角度( $\theta$ )の拘束も与える場合(完全固定、剛接)を示す。さらに、(5)は、 $x, y$ 変位を拘束する一方で、ある大きさの角変位を許容するという拘束であり、一般に**半剛接**(文献1, 文献3))とよばれている。半剛接は、いわば、滑接と剛接との中間的な支持法と考えられ、支点の回転について回転ばね定数 $k_\theta$ のばねによって支えられているという考えに基づく。無次元パラメータ $\lambda_\theta$  ( $0 \leq \lambda_\theta \leq 1$ )を導入し、 $k_\theta$ を回転剛性(Nm/rad)の基準量 $6EI/l$ および $\lambda_\theta$ を用いて

$$k_\theta = \frac{\lambda_\theta}{1 - \lambda_\theta} \frac{6EI}{l} \quad (1)$$

と表す。ここで、 $EI$ は曲げ剛性、 $l$ は要素の長さである。これは

$$\lambda_\theta = \frac{k_\theta}{k_\theta + \frac{6EI}{l}} \quad (2)$$

とも表される。これより $\lambda_\theta = 0$ は $k_\theta = 0$ 、すなわち滑接(ピン接合)に相当し、 $\lambda_\theta = 1$ は $k_\theta = \infty$ 、すなわち剛接に相当する(文献1)参照)。

一般に、有限要素法では節点に拘束を与えないと、剛体変位や剛体回転が生じて問題そのものが解析できない。本問題では、節点1, 5の $x, y$ 方向変位を固定( $x, y$ 方向への移動を0.0に拘束する)する。ただし、節点1, 5の回転は自由である。

節点の $x, y$ 方向別の拘束ありを1、拘束なしを0で表し、同時に、その拘束量を与える。なお、この

拘束量は強制変位として考えることができる。また、回転の拘束の拘束量については、式 (2) の  $\lambda_\theta$  の値を用いる。

たとえば、節点 1 は、 $x, y$  方向に拘束が与えられ、その拘束量はそれぞれ 0.0 である。また、節点 1 の回転拘束については、回転拘束ありとし、 $\lambda_\theta$  に対してゼロを与える。（または、回転拘束なしとして、その拘束量を 0.0 としてもよい）。節点 5 に対しても同様な条件を与えると、拘束データは

1, 1, 0.0, 1, 0.0, 1, 0.0 （ただし、1, 1, 0.0, 1, 0.0, 0, 0.0 も可）  
5, 1, 0.0, 1, 0.0, 1, 0.0 （同様に、5, 1, 0.0, 1, 0.0, 0, 0.0 も可）

と表す。ここで、拘束の有無を表す 0, 1 は整数、拘束量は実数とする。

最後は**荷重データ**である。図 2 では、節点 3 の  $y$  軸の負の方向に 980 N が作用するものとする。縦弾性係数  $E$  を与えた際の力の単位は N（ニュートン）であったから、荷重も N 単位で与える必要がある。この荷重データを、節点番号、 $x$  方向荷重、 $y$  方向荷重、曲げモーメントの順で与えるものとして

3, 0.0, -980.0, 0.0

と与える。ここで、荷重節点番号は整数、荷重値は実数とする。

以上では、総節点数が 5、総要素数が 4、材料数が 1、拘束節点数が 2、荷重節点数が 1 であり、これらを**基本データ**と名付ける。

以上の説明に基づいて、図 2 の問題に関して、ユーザーが用意すべきデータは

```
5, 4, 1, 2, 1
1, 0.0, 0.0
2, 0.0, 600.0
3, 300.0, 600.0
4, 500.0, 600.0
5, 500.0, 0.0
1, 1, 2, 1
2, 2, 3, 1
3, 3, 4, 1
4, 4, 5, 1
1, 206.0e3, 400.0, 13333.33
1, 1, 0.0, 1, 0.0, 1, 0.0
5, 1, 0.0, 1, 0.0, 1, 0.0
3, 0.0, -980.0, 0.0
2DFrame Data (U-ShapedFrame.dat)
```

である。最後の行の 2DFrame Data (U-ShapedFrame.dat) は、問題へのコメントであり、任意のメモを書き添えるようにしている。

## 2. 2 起動画面

2.1 節では、平面ラーメンの FEM 解析のために必要なデータの概要を述べた。そこで、著者はこれらのデータを生成するために、VB2022 によるプログラムを作成した。以下では、このプログラム (Rm2DEditor100.exe) の操作法を示す。

本プログラムの起動直後の画面は図 4 のようになっている。

- ① ツールメニューは、「ファイル」、「FEM ファイル」、「再描画」、「Version」から構成される。
- ② データグリッドビューには 5 種類のタブがあり、「節点データ」、「要素データ」、「材料データ」、「拘束データ」および「荷重データ」のタブからなる。
- ③ 描画域は、平面ラーメンの描画を行う。図は、マウスを用いて、拡大・縮小、および移動を自由に行うことができる。

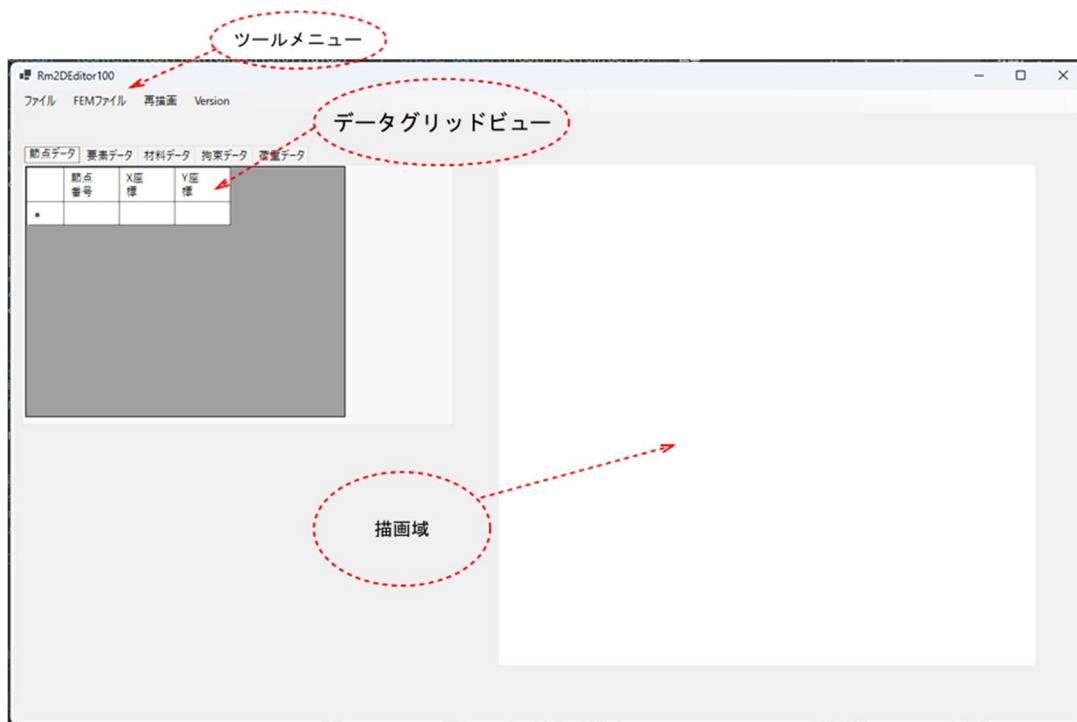


図 4 プログラム起動直後の画面

## 2. 3 節点、要素、材料、拘束および荷重データ入力

### (a)新規にデータを作成する場合

図 5(a)に示すように、データグリッドビューの「節点データ」タブをクリックし、そこに、2.1 節に示した節点データを入力する。なお、節点データ入力中に、節点が描画域に描かれる。

同様に、図 5(b)に示すように、データグリッドビューの「要素データ」タブをクリックし、そこに、先に示した要素データを入力する。なお、データグリッドビューのセルに関してはコピー、ペーストが利用できるようにプログラムしている。すなわち、似たようなデータが続く場合には、データグリッドビューのコピー (CTRL+C) とペースト (CTRL+V) 機能を利用して入力してもよい。

図 5(c)～(e)は材料データ、拘束データおよび荷重データをデータグリッドビューに入力した様子を示している。拘束データ入力に際して、セルのコピー・ペーストを活用している。

以上で、FEM 解析に必要なデータをすべて入力したので、入力データを csv 形式でセーブしておく。  
これには、ツールメニューの

「ファイル」→「書き出し」

とすればよく、ファイルのダイアログボックスに、たとえば「U-ShapedFrame.csv」と入力する。なお、このデータは、あくまでも、平面ラーメンエディタのためのデータであり、FEM プログラムのためのデータではないことを注意しておく。

節点データ	要素データ	材料データ	拘束データ	荷重データ
節点番号	X座標	Y座標		
▶ 1	0	0		
2	0	600		
3	300	600		
4	500	600		
5	500	0		
*				

(a) 節点データ

節点データ	要素データ	材料データ	拘束データ	荷重データ
要素番号	節点i	節点j	材料番号	
▶ 1	1	2	1	
2	2	3	1	
3	3	4	1	
4	4	5	1	

(b) 要素データ

節点データ	要素データ	材料データ	拘束データ	荷重データ
材料番号	縦弾性係数	断面積	断面2次モーメント	
▶ 1	206e3	400	1.3333e4	
*				

(c) 材料データ

節点データ 要素データ 材料データ 拘束データ 荷重データ							
	節点 番号	X拘束	X拘束 量	Y拘束	Y拘束 量	θ拘束	θ拘束 量
▶	1	1	0	1	0	0	0
	5	1	0	1	0	0	0
●							

(d) 拘束データ

節点データ	要素データ	材料データ	拘束データ	荷重データ
節点番号	X荷重	Y荷重	モーメント	
▶ 3	0	-980	0	
*				

(e) 荷重データ

図 5 節点データ，要素データ，材料データ，拘束データおよび荷重データの入力

入力データの確認のために、描画された平面ラーメンの図の確認を行う。図 6 は、その様子を示したもので、フォームの右側の描画域 (PictureBox) に拘束記号や荷重ベクトルとともに平面ラーメンの図が描かれている。なお、描画域においては、

- 1) マウスのセンターボタンによって図の拡大・縮小を行うことができる。
- 2) マウスの左ボタンのドラッグによって図を自在に移動することができる。

といった、Google Map と同様な操作が可能である。

この図 6 に基づいて入力データに誤りがないことを確認し、その後に、ツールメニューの「FEM ファイル」→「保存」とたどり、ファイルダイアログボックスにファイル名(たとえば、「U-ShapedFrame.dat」)を入力すれば、平面ラーメンの有限要素解析のためのデータとして保存することができる。なお、データは保存時に 拡張子を「\*.dat」などとすれば、FEM 解析プログラムとの連携がスムーズになる。

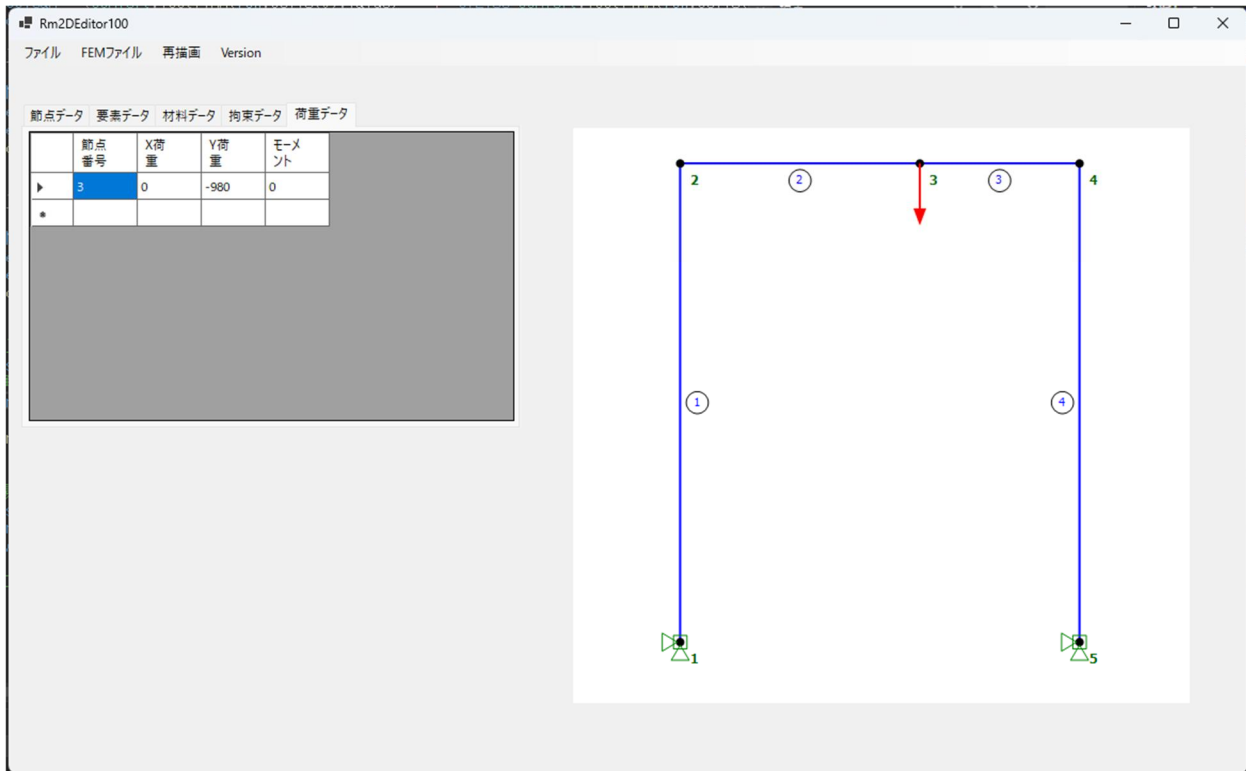


図 6 入力データに基づく作図

#### (b)既存のデータを利用する場合

このとき、ツールメニューの「ファイル」→「開く」でファイルを読み込む。たとえば、前節で保存したファイル U-ShapedFrame.csv を開くとすると、セーブした各データが、データグリッドビューに取り込まれ、図 4 と同様な画面が得られる。

必要があれば、このあとに、データの編集作業を続けて行えばよい。

## 2. 6 有限要素解析プログラム (rm2dg105.exe) との連携

以上においては、平面ラーメン問題のためのデータ作成手順を示した。平面ラーメンの有限要素解析プログラム rm2dg105.exe も別途作成しているので、本プログラムで作成したデータを即座に FEM プログラムに読み込ませれば、シームレスに平面ラーメンの有限要素解析を実行できる。

参考までに、図 4 に示したトラスのデータを立体トラスの有限要素解析プログラム rm2dg105.exe に読み込ませ、FEM 解析を行って得られた変形図および曲げモーメント図を図 7 に示す。



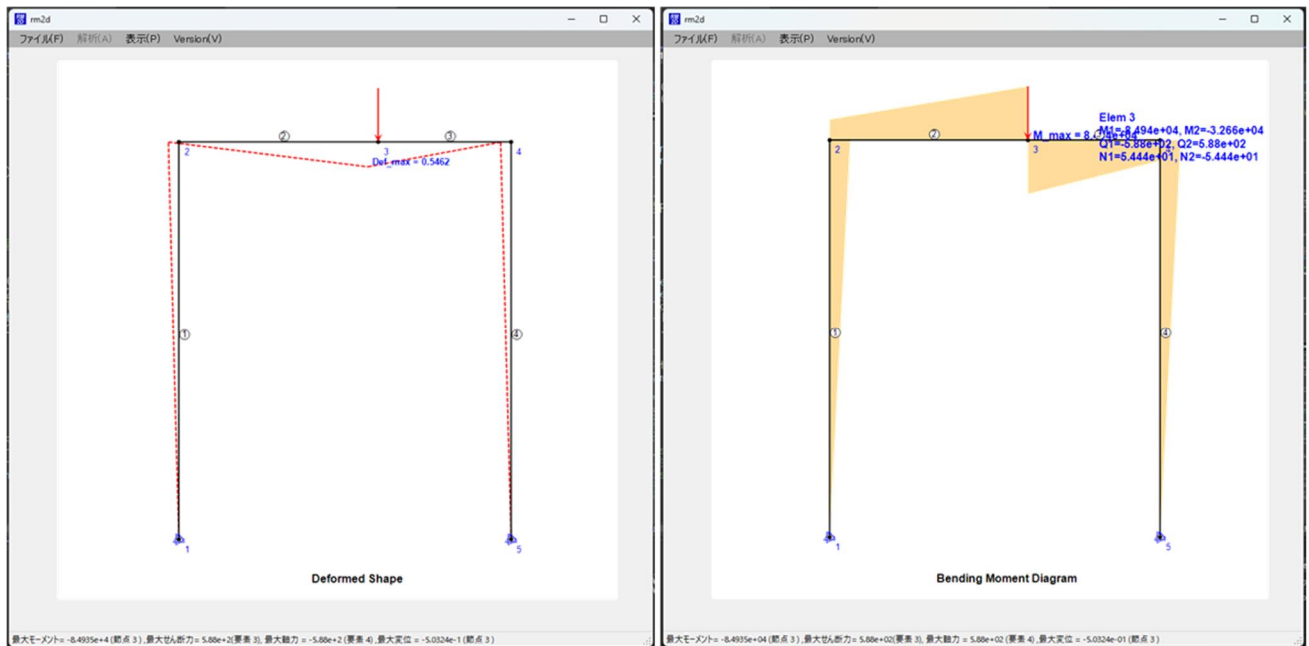


図 7 門型ラーメンの変形図および曲げモーメント図

### 3. 練習問題

#### 【問題 1】

図 8 のようなひし形構造を作成し，FEM のためのデータファイルを作成しよう．各節点の座標は，mm で表し

- 1, -250.0, 0.0
- 2, 0.0, 250.0
- 3, 250.0, 0.0
- 4, 0.0, -250.0

とする．（実数型変数であることを明示するために，座標には小数点をつけて実数表示する．）

なお，本例では長さの単位を mm で入力する．

縦弾性係数  $E$  は  $\text{N/mm}^2$  を単位として

$$E=206 \times 10^3 \text{ N/mm}^2,$$

断面積  $A$ ，断面 2 次モーメント  $I$  は

$$A = b \times h = 10 \times 10 = 100 \text{ mm}^2, \quad I = \frac{bh^3}{12} = \frac{10 \times 10^3}{12} = 833.333 \text{ mm}^4$$

とする．また，節点 1, 3 は， $y$  方向変位拘束，節点 2, 4 は， $x$  方向変位拘束とする．これらの変位の拘束は，拘束と呼ぶよりは，結果的にその方向の変位がゼロになっているということを意味している．

節点 1 には  $f_x = -98 \text{ N}$  の荷重を，節点 3 には  $f_x = 98 \text{ N}$  の荷重を負荷する．

(与えた図にとらわれずに，節点番号，要素番号は任意に付与してもよい．図は参考程度に考えてよい．)

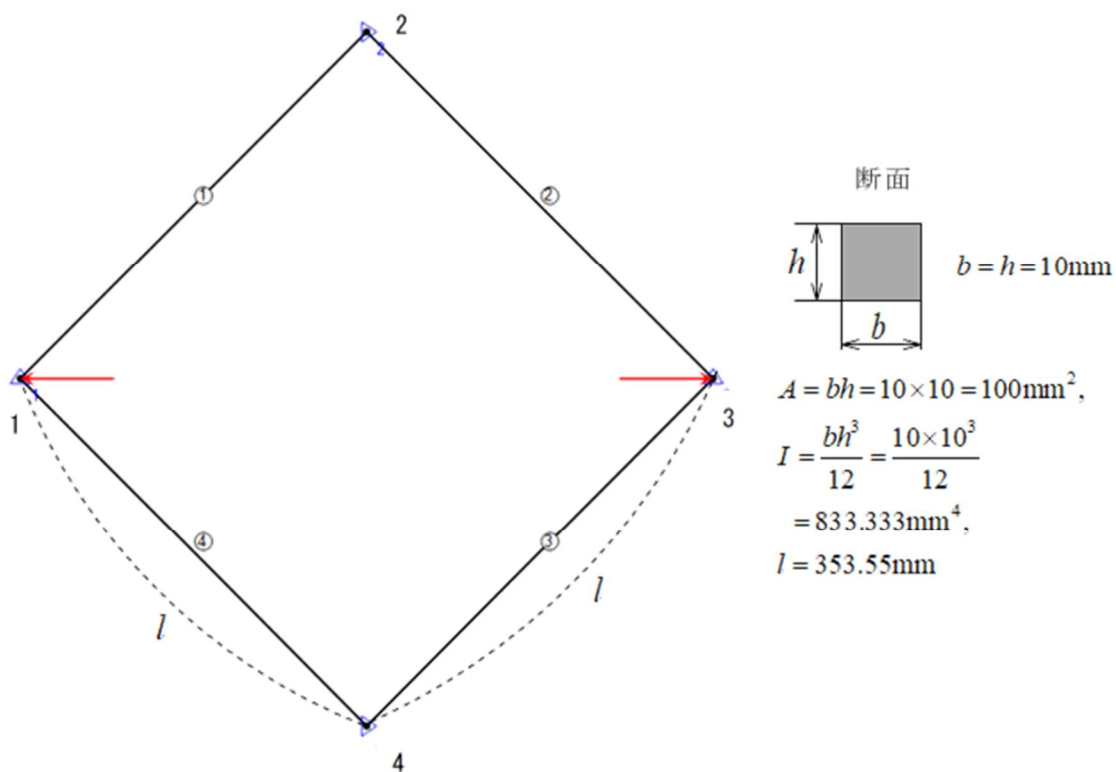


図 8 ひし形構造の問題

【解】(実数型変数に対して，べき指数 e+00 表現を用いた)

```

4, 4, 1, 4, 2
1, -2.5000e+02, 0.0000e+00
2, 0.0000e+00, 2.5000e+02
3, 2.5000e+02, 0.0000e+00
4, 0.0000e+00, -2.5000e+02
1, 1, 2, 1
2, 2, 3, 1
3, 3, 4, 1
4, 4, 1, 1
1, 2.0600e+05, 1.0000e+02, 8.3333e+02
1, 0, 0.0, 1, 0.0, 0, 0.0
2, 1, 0.0, 0, 0.0, 0, 0.0
3, 0, 0.0, 1, 0.0, 0, 0.0
4, 1, 0.0, 0, 0.0, 0, 0.0
1, -9.8000e+01, 0.0000e+00, 0.0000e+00

```

```
3, 9.8000e+1, 0.0000e+0, 0.0000e+0
2DFrameData (RhombicFrame.dat)
```

#### 4. そのほかの作成例

本プログラムにより作成した平面ラーメンのデータの例を，以下の図9（L字型はり）および図10（2層ラーメン）に示す。

【作成例1】L字型はり（3節点，2要素，節点1は完全固定）

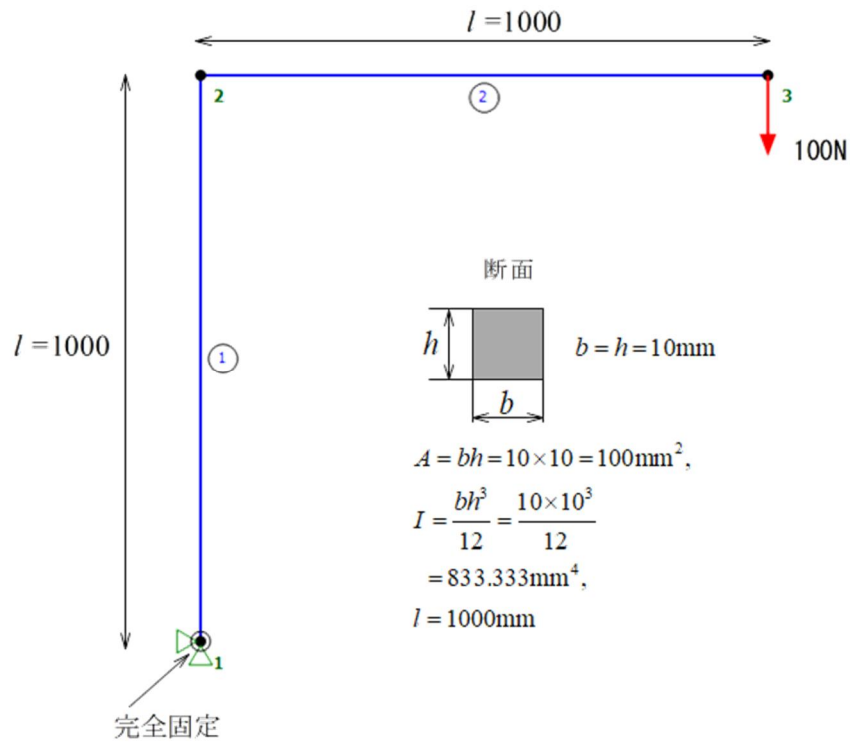


図9 L字型はりの例題

【データ】

```
3, 2, 1, 1, 1
1, 0.0, 0.0
2, 0.0, 1000.0
3, 1000.0, 1000.0
1, 1, 2, 1
2, 2, 3, 1
1, 206000.0, 100.0, 833.333
1, 1, 0.0, 1, 0.0, 1, 1.0
3, 0, -100.0, 0
Rm2DProblem( L-ShapedFrame.dat )
```

【作成例2】2層ラーメン（7節点，7要素）

図 10 の寸法の 2 層ラーメンに、2 個の水平荷重と 1 個の垂直荷重を作用させた例である。  
図 10 の下方にそのデータ例を示す。

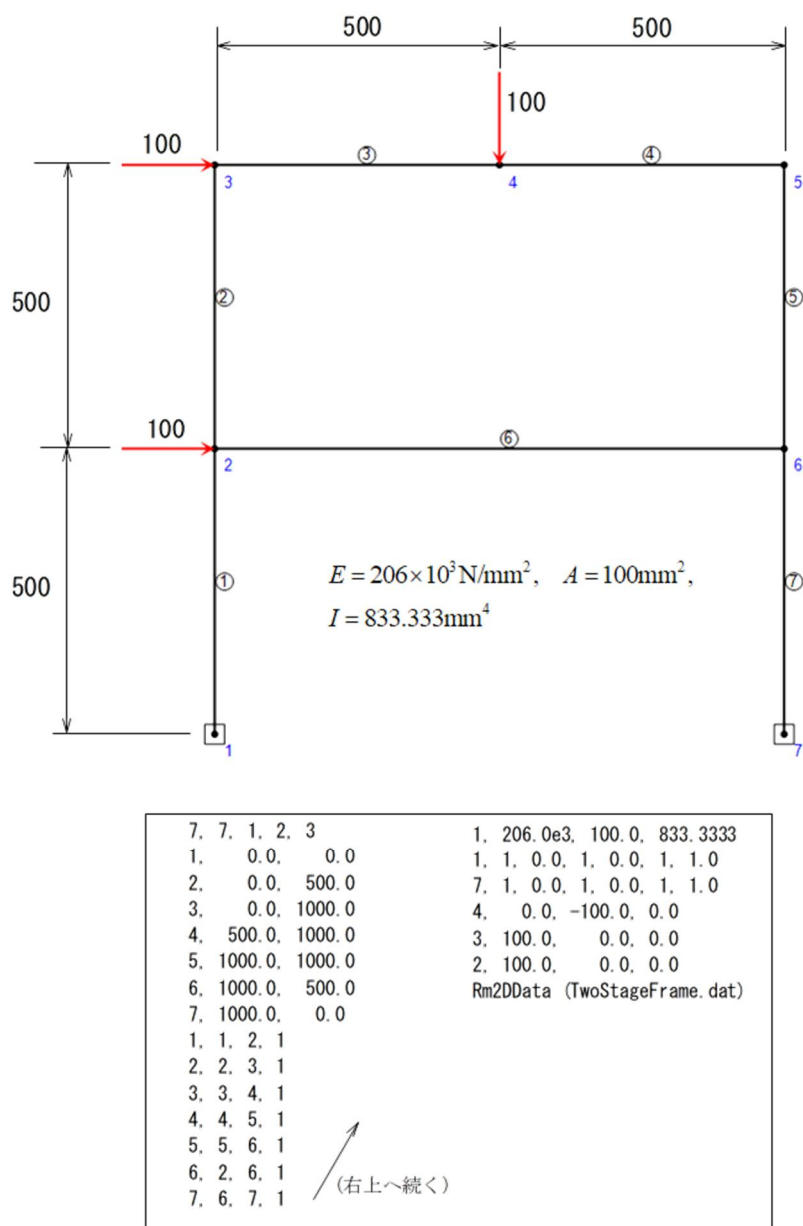


図 10 2 層ラーメンの例題

## 6. 利用上の注意, 著作権ほか

本プログラムは、基本的には、FEM の教育用に開発したものであり、一般的な実務での利用は意図していない。このため、演習の目的以外の利用での結果については保証できない。

また、本プログラムの著作権は著者にあり、無断複製や第三者への無断配布などは控えていただきたい。本プログラムには、まだ、改善すべき点やバグなどがあるように思う。その際は、作成者までに連絡をいただけるとありがたい。(連絡先: tadashihoribe@gmail.com)

## 参考文献

- 1) 堀辺, Visual Basic でわかるやさしい有限要素解析, 森北出版 (2008).
- 2) 戸川, 有限要素法概論, 培風館 (1980).
- 3) 藤井, パソコンで解く骨組の力学, 丸善 (1995).
- 4) 朝井, 3 ステップでしっかり学ぶ Visual Basic 入門, 技術評論社 (2024).