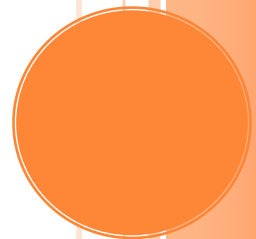


# FEM 基礎課題

emsc


株式会社日本アムスコ 名古屋 CAE 技術室





## 目次

1. FEM 基礎課題の流れ .....	3
2. 課題 .....	4
■課題 1 ブロックの圧縮 .....	4
ブロックへの拘束条件の考え方 .....	5
FEMAP での入力 .....	6
Nastran への書出し (FEMAP) .....	7
Nastran Bulk Data の構成 .....	8
Nastran での計算実行 .....	9
Nastran のエラー確認 .....	10
Nastran 結果の読み込み (FEMAP) .....	11
結果表示 (FEMAP) .....	12
理論値との比較 (材料力学を基に手計算を行う) .....	13
ABAQUS への書出し (FEMAP) .....	15
ABAQUS インプットファイルの構成 .....	17
ABAQUS での計算実行 .....	18
ABAQUS 結果の読み込み (FEMAP) .....	19
■課題 2 板の曲げ (梁モデル) .....	20
■課題 3 板の曲げ (シェルモデル) .....	21
等分布荷重の定義 (エッジ上) .....	22
■課題 4 板の曲げ (ソリッド) .....	23
等分布荷重の定義 (サーフェス上) .....	24
理論値との比較 (材料力学を基に手計算を行う) .....	25
■課題 5 板の曲げ (メッシュサイズ比較) .....	27
結果比較 .....	28
■課題 6 板の引張り .....	29
理論値との比較 (材料力学を基に手計算を行う) .....	30
■課題 7 板のねじり .....	31
剛体要素の作成方法 .....	32
理論値との比較 (材料力学を基に手計算を行う) .....	33

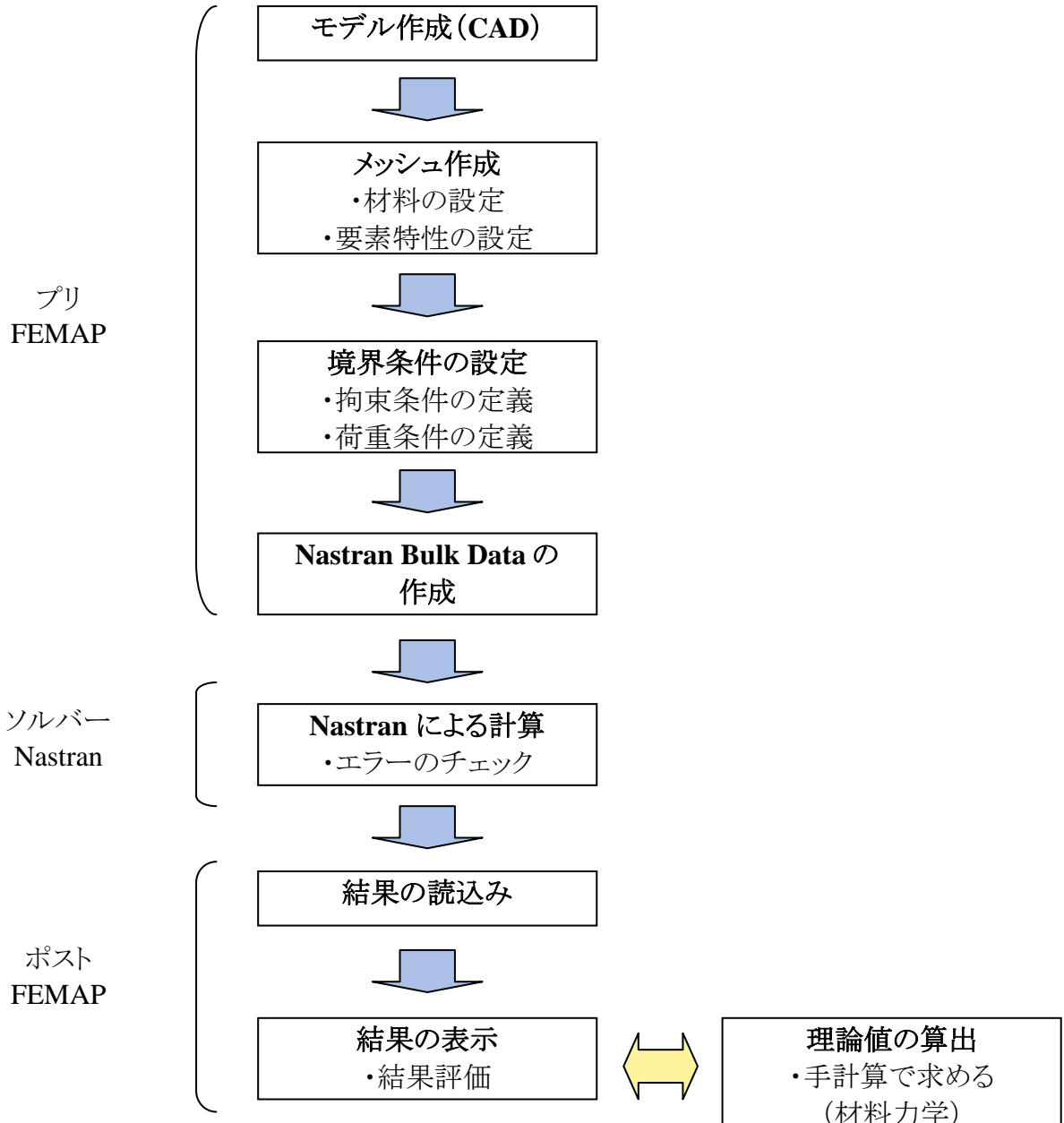


■課題 8 板のせん断 .....	34
理論値との比較（材料力学を基に手計算を行う） .....	35
■演習問題 丸棒のねじり .....	36



# 1. FEM 基礎課題の流れ

FEM 基礎課題は以下の工程に沿って各課題を実施します。



FEM により求めた解を手計算で求めた理論値と比較し、結果の妥当性を判断します。

## 2. 課題

### ■課題1 ブロックの圧縮

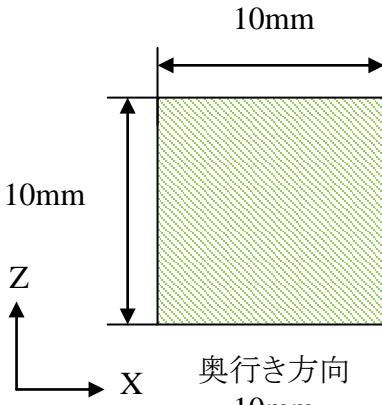
下記のモデルに対し、以下の条件を定義して解析を行います。

- ・ソリッド要素で作成
- ・境界条件として、上面に圧縮荷重、底面に拘束を定義

ソルバーは Nastran、および Abaqus を使用します。

また、材料力学を基に応力値、変形量を求め、FEM の結果と比較してみましょう。

<モデル寸法>



<材料特性>

- ・ヤング率  $E=210000.0[\text{N}/\text{mm}^2]$
- ・ポアソン比  $\nu=0.3$

<要素特性>

ソリッド要素

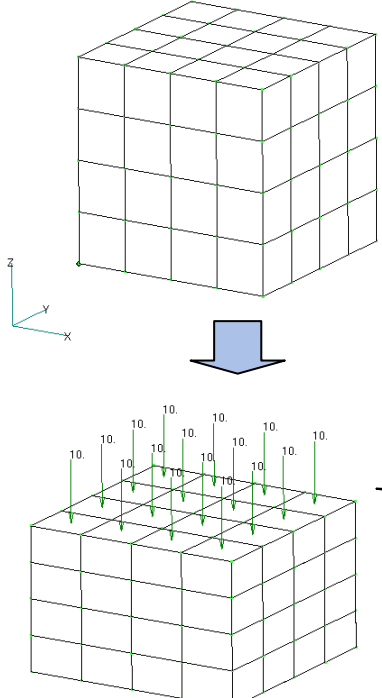
<拘束条件>

圧力によって均等に押し潰される条件を定義

<荷重条件>

上面に  $10[\text{N}/\text{mm}^2]$  の圧力を負荷

<モデルサンプルと変形イメージ>



下面の拘束条件を  
考える

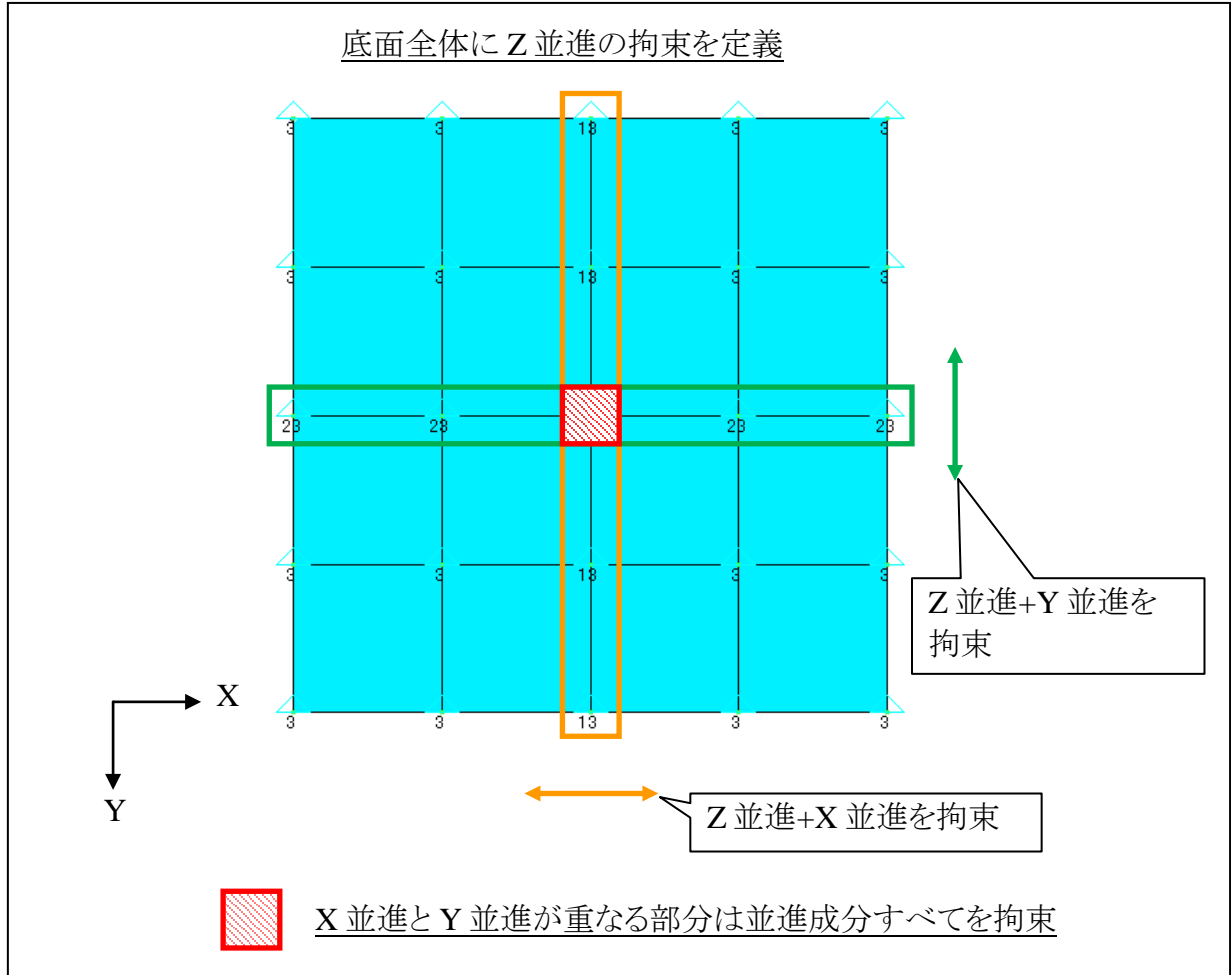
均一に押し潰される



## ブロックへの拘束条件の考え方

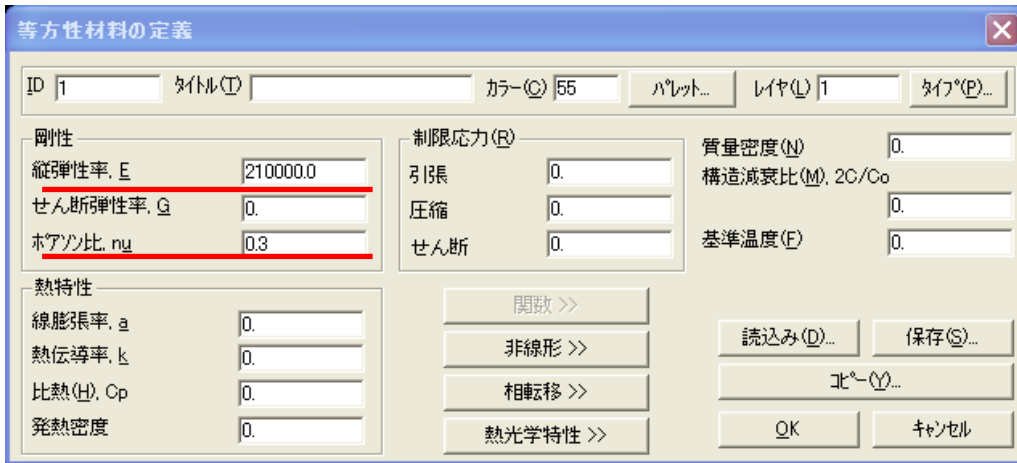
ブロックの底面を完全拘束しては均一に押し潰されるような変形を得ることはできません。

ブロックが均一に押し潰されるような拘束条件は、以下のように定義する必要があります。

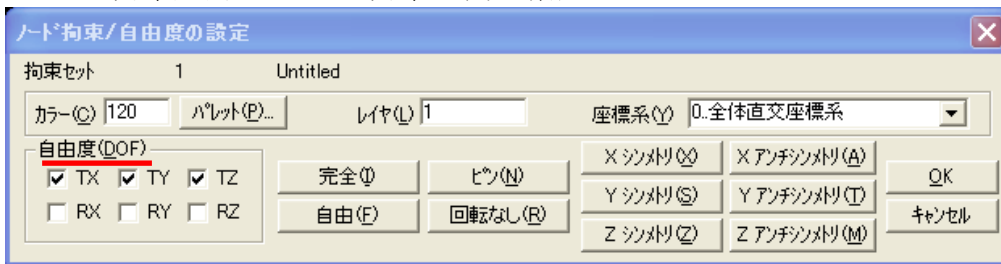


## FEMAPでの入力

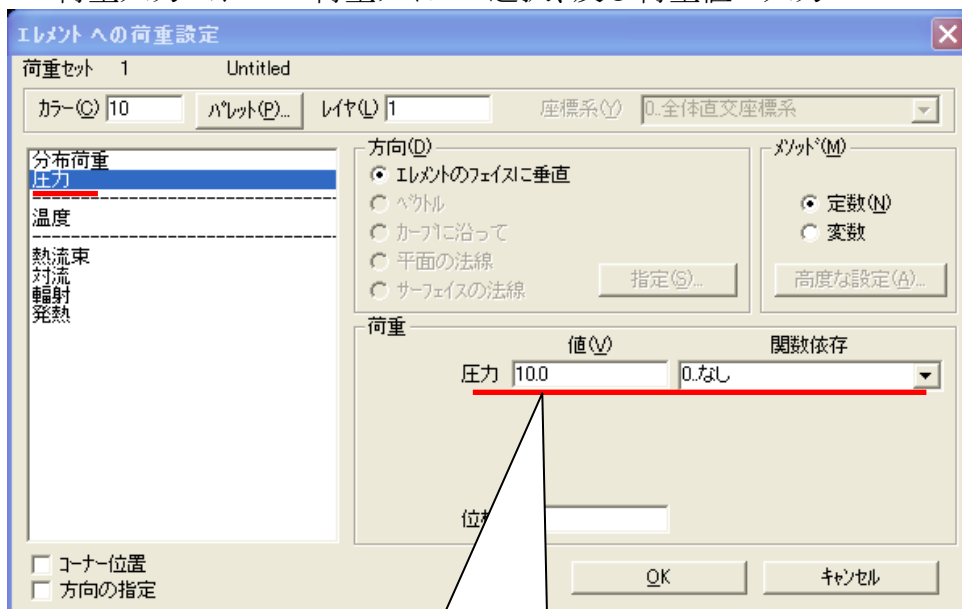
- 材料特性フォーム: ヤング率、ポアソン比を入力



- 拘束入力フォーム: 拘束方向の指定



- 荷重入力フォーム: 荷重タイプの選択、及び荷重値の入力

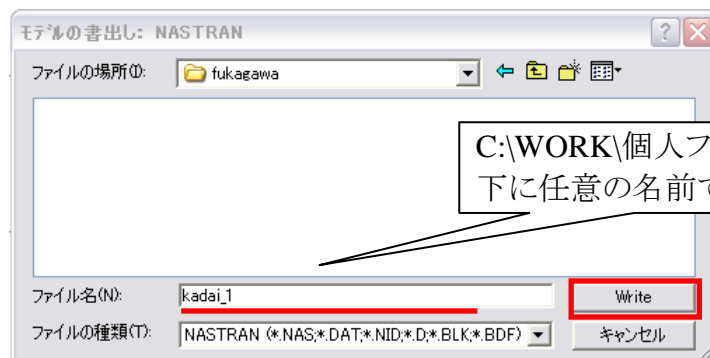
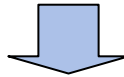
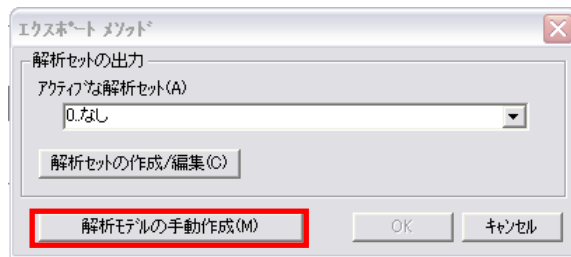


単位面積当たりに加わる力を指定



## Nastran への書出し (FEMAP)

メニューより、「ファイル→エクスポート→解析モデル」を選択。



# emfca

## Nastran Bulk Data の構成

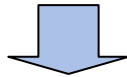
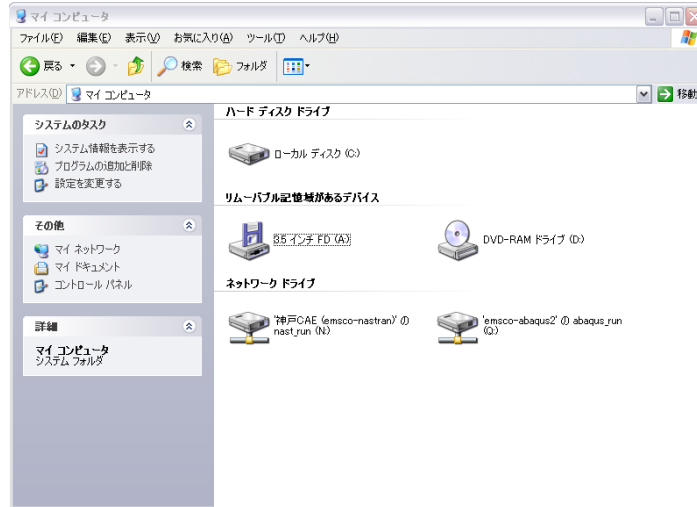
書出した Bulk Data は以下のように構成されます。

<pre>\$ <b>SOL SESTATIC</b> TIME 1000 CEND \$</pre>	<p><b>エグゼクティブコントロール</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SOL…解析タイプの指定 (SOL SESTATIC→静解析)</li> <li>• TIME…CPU 時間の指定</li> </ul>
<pre>\$ ECHO = NONE DISPLACEMENT(PLOT) = ALL SPCFORCE(PLOT) = ALL OLOAD(PLOT) = ALL FORCE(PLOT,CORNER) = ALL STRESS(PLOT,CORNER) = ALL SPC = 1 LOAD = 1 \$</pre>	<p><b>ケースコントロール</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SPC/LOAD 等の境界条件セット ID を指定</li> <li>• DISPLACEMENT 等の出力結果を指定</li> </ul>
<pre>\$ <b>BEGIN BULK</b> \$ PARAM,POST,-1 PARAM,OGEOM,NO PARAM,AUTOSPC,YES PARAM,GRDPNT,0 \$ \$++++++ MODEL DATA ++++++ GRID      1      0 -57.6669  7.80395  50.0000      0 GRID      2      0 -57.6669  7.80395      0.0      0 GRID      3      0  42.3331  7.80395  50.0000      0           (省略) CHEXA     1      1   58   59   60   70   8   9+EL  H +EL  H    10   45 CHEXA     2      1   57   58   70   71   32  8+EL  I +EL  I    45   21           (省略) MAT1       2  210000.    0.3 PSOLID     1      1      0 \$ SPC         1      6  3456  0. SPC         1      8  3456  0. \$ PLOAD4     1      65  10.          133  135 PLOAD4     1      66  10.          132  145 \$ <b>ENDDATA</b></pre>	
<p><b>パラメータ</b></p> <p>計算に必要なパラメータを指定</p>	<p><b>節点/要素</b></p> <p>GRID…節点データ CHEXA…六面体要素 (使用する要素タイプでカードが異なる。)</p>
<p><b>材料/特性(プロパティ)</b></p> <p>MAT1…等方性材料 PSOLID…ソリッド要素の物理特性</p>	<p><b>境界条件</b></p> <p>SPC…拘束条件 1~6 で自由度を指定。 PLOAD4…要素面への圧力荷重</p>
<p><b>バルクデータ</b></p> <p>BEGIN BULK から ENDDATA の間に下記の内容を記述。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• パラメータ</li> <li>• モデルデータ(節点、要素)</li> <li>• 材料/特性(プロパティ)</li> <li>• 境界条件</li> <li>等。</li> </ul>	

# emsc

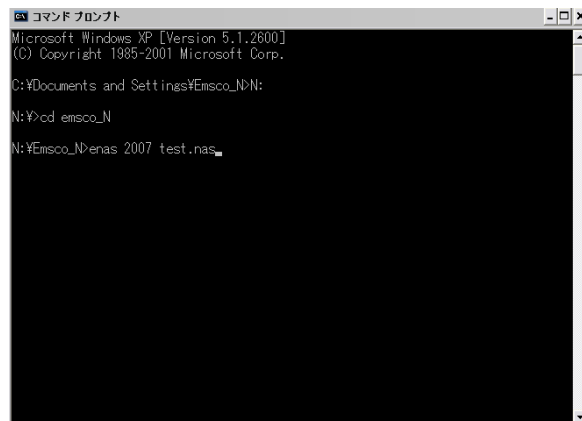
## Nastran での計算実行

スタートより、マイコンピュータを選択。



コマンドプロンプトを起動し、以下のコマンドを実行。

```
N: <Enter>
cd emsco_N <Enter>
enas 2008 ***.nas <Enter>
```



※ JOB キャンセルのコマンドは「enac<Enter>」を実行。  
間違っ**て**他の人が投入したジョブをキャンセルしないよう、注意してください。

計算終了後は、出力された結果ファイル等を速やかに自分のフォルダに移動してください。

※記載している **Nastran** の実行コマンドは、弊社内システムに沿ったものであり、ご使用のシステム環境により異なります。ご了承ください。



## Nastran のエラー確認

計算が終了した時に、\*\*\*.op2、\*\*\*.f06、\*\*\*.f04、\*\*\*.log 等のファイルが出力されます。これらのファイルは計算が正しく行われていない場合でも出力されます。

そこで、計算終了後にエラーの有無を確認する必要があります。  
拡張子\*\*\*.f06 ファイルを開き、エラーを意味する「FATAL」という文字列を検索します。

<エラーがある場合>

```
*** USER FATAL MESSAGE 9050 (SEKRRS)
*** RUN TERMINATED DUE TO EXCESSIVE PIVOT RATIOS IN MATRIX KLL.
*** USER ACTION: CONSTRAIN MECHANISMS WITH SPCI OR SUPORTI ENTRIES OR SPECIFY PARAM,BAILOUT,-1 TO CONTINUE THE RUN WITH MECHANISMS.
```

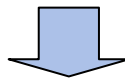
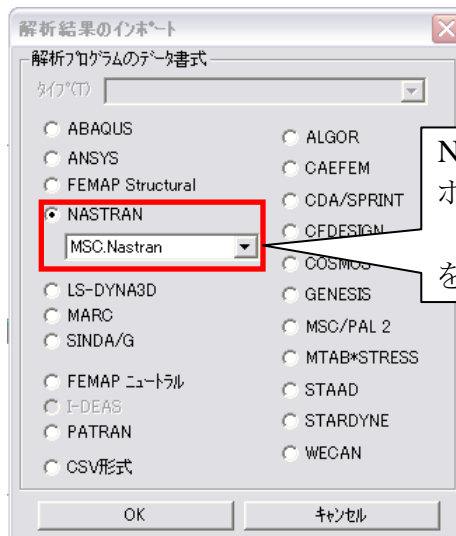
この検索により、「FATAL」が見つからない場合、計算は正常終了したことになります。  
「FATAL」があった場合は、その原因を調べ対処してから再度計算を行います。

計算終了時に出力されるファイルの内容を以下にまとめます。

拡張子	内容	
.f06	解析結果と診断メッセージ	計算時のエラーを検索
.f04	計算実行時間・DB ファイルサイズの記録	
.op2	解析結果	ポストで読み込むデータ
.log	計算内容・計算実行時間の記録	
.DBALL	計算実行の過程で生成されるデータベース	
.MASTER		

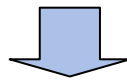
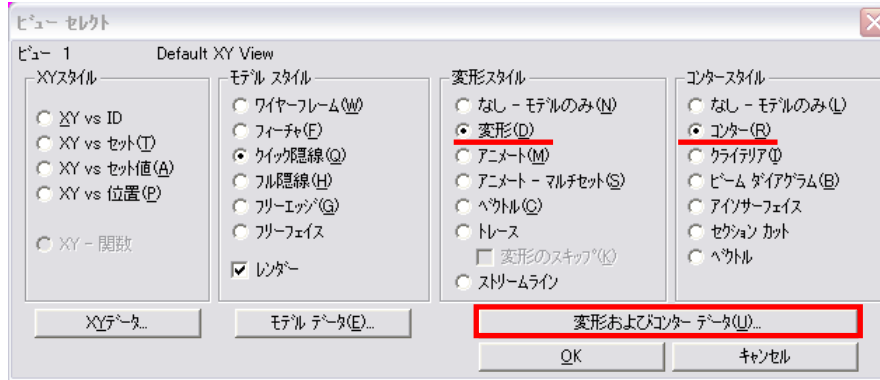
## Nastran 結果の読み込み (FEMAP)

メニューより、「ファイル→インポート→解析結果」を選択。

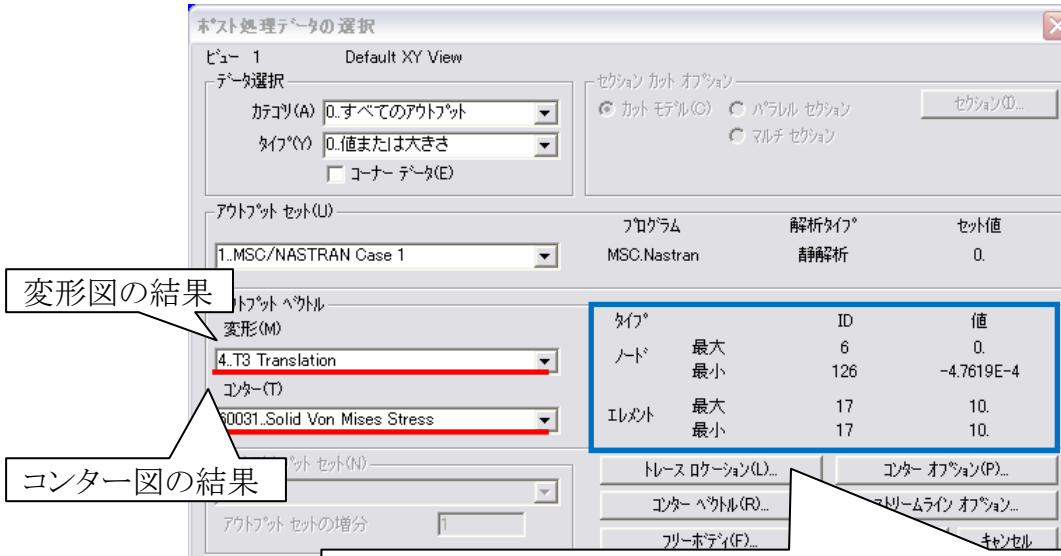


## 結果表示(FEMAP)

ビューセレクト(F5)より結果表示方法を指定し、「変形およびコンタデータ」を選択。



アウトプットベクトルにて、変形、およびコンター表示させたい結果を選択。



左で選択した結果の最大、および最小値が表示される

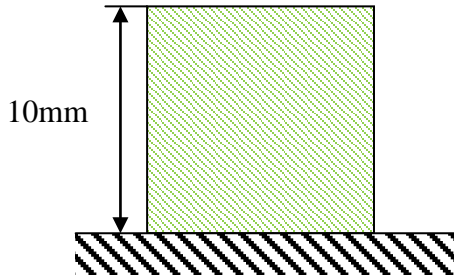
例)

- 変形 T3 Translation → Z方向変位  
最大=+方向  
最小=-方向  
(T1~T3:並進成分、R1~R3:回転成分)
- 応力 Von Mises Stress → ミーゼス応力



## 理論値との比較（材料力学を基に手計算を行う）

ここまでで、FEMによる解析結果を求めることができました。  
では、材料力学の観点からこのブロックの圧縮について考えてみましょう。



- 断面積:  $A=100[\text{mm}^2]$
- 力:  $P=1000[\text{N}]$   
(面積  $100[\text{mm}^2]$  × 圧力  $10[\text{N}/\text{mm}^2]$ )
- ヤング率:  $E=210000.0[\text{N}/\text{mm}^2]$
- ポアソン比:  $\nu=0.3$

### 【応力を求める】-----

$$\sigma (\text{応力}) = P (\text{力}) / A (\text{面積})$$

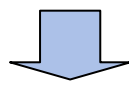
応力は単位面積当りの内力

$$\sigma (\text{垂直応力}) = \frac{1000[\text{N}]}{100[\text{mm}^2]} = 10.0[\text{N}/\text{mm}^2]$$

FEMにより得た  
ミーゼス応力と一致  
(11 ページ参照)

### 【ひずみを求める】-----

$$\sigma (\text{応力}) = E (\text{ヤング率}) \times \epsilon (\text{ひずみ})$$



フックの法則より、左式の関係が成り立つ

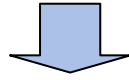
$$\epsilon (\text{ひずみ}) = \sigma (\text{応力}) / E (\text{ヤング率})$$

$$\epsilon (\text{ひずみ}) = \frac{10.0[\text{N}/\text{mm}^2]}{210000.0[\text{N}/\text{mm}^2]} = 4.76 \times 10^{-5}$$

ひずみは変形の比率を表すため、単位はない

### 【垂直方向の変位を求める】-----

$$\epsilon (\text{ひずみ}) = \text{変形量} / \text{元の長さ}$$



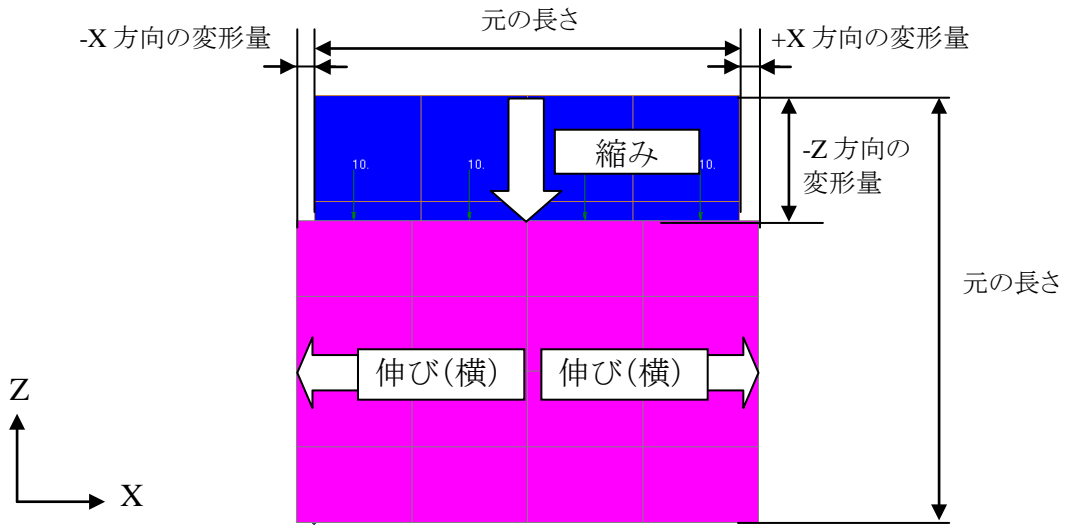
$$\text{変形量} = \epsilon (\text{ひずみ}) \times \text{元の長さ}$$

$$\begin{aligned} \text{変形量} &= 4.76 \times 10^{-5} \times 10[\text{mm}] \\ &= 4.76 \times 10^{-4}[\text{mm}] \end{aligned}$$

FEMにより得た Z 方向の変位量と一致  
(11 ページ参照)



前ページで求めたひずみは荷重方向へのひずみで縦ひずみと言います。  
 ここでは横ひずみ(荷重方向に水平な方向へのひずみ)について求め、その値を用いて横方向(X方向)への変位量求めてみます。

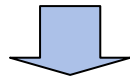


※実際は微小変形ですが、ここでは変形が分かりやすいように表示しています。

【垂直方向の変位を求める】-----

$$\nu \text{ (ポアソン比)} = \frac{\text{横ひずみ}}{\text{縦ひずみ}}$$

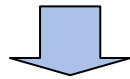
ポアソン比は横ひずみと縦ひずみの比



$$\text{横ひずみ} = \nu \text{ (ポアソン比)} \times \text{縦ひずみ}$$

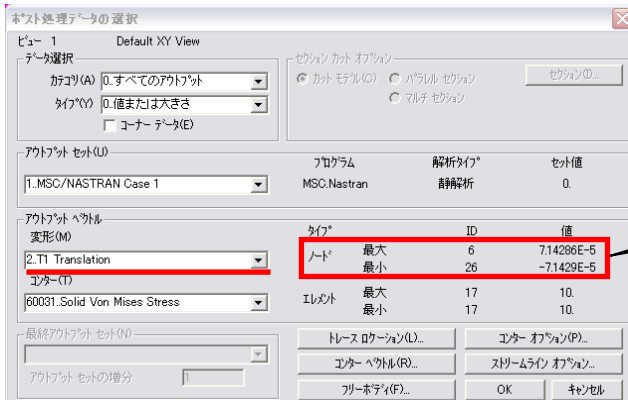
$$\text{横ひずみ} = 4.76 \times 10^{-5} \times 0.3 = 1.43 \times 10^{-5}$$

前ページより、ひずみは変形量/元の長さ



$$\text{変形量} = \text{横ひずみ} \times \text{元の長さ}$$

$$\begin{aligned} \text{変形量} &= 1.43 \times 10^{-5} \times 10[\text{mm}] \\ &= 1.428 \times 10^{-4}[\text{mm}] \end{aligned}$$

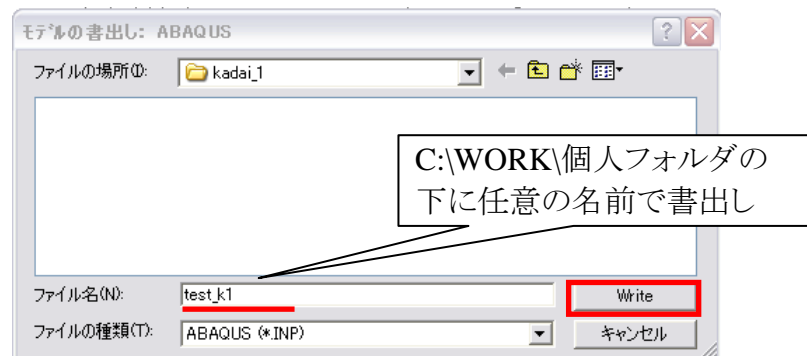
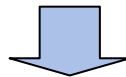
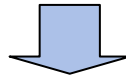
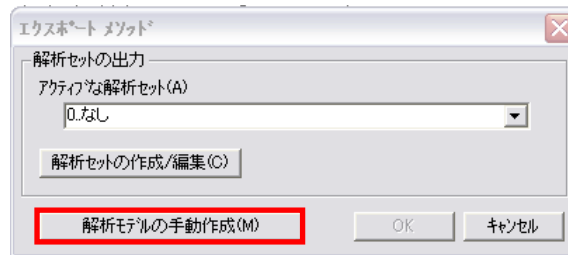


X方向変位の和と一致  
 $7.14286E-5 + |-7.1429E-5|$   
 $= 1.42858E-4$

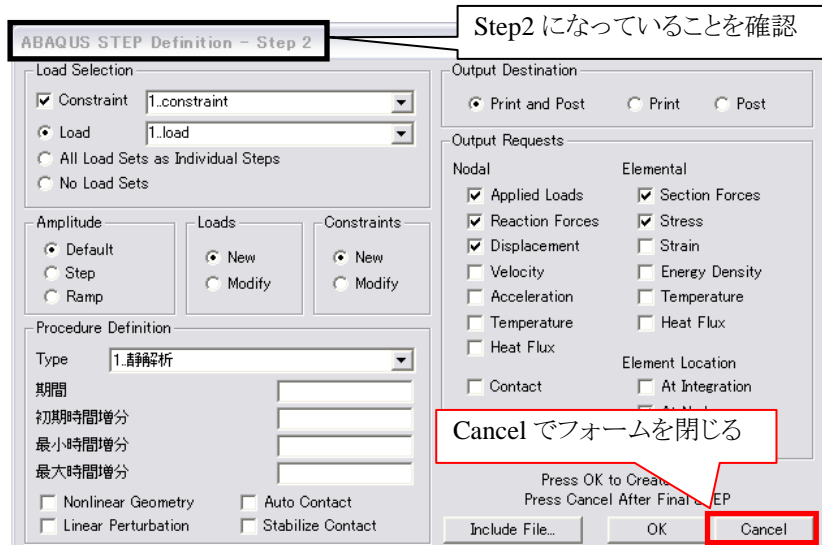
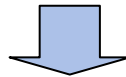
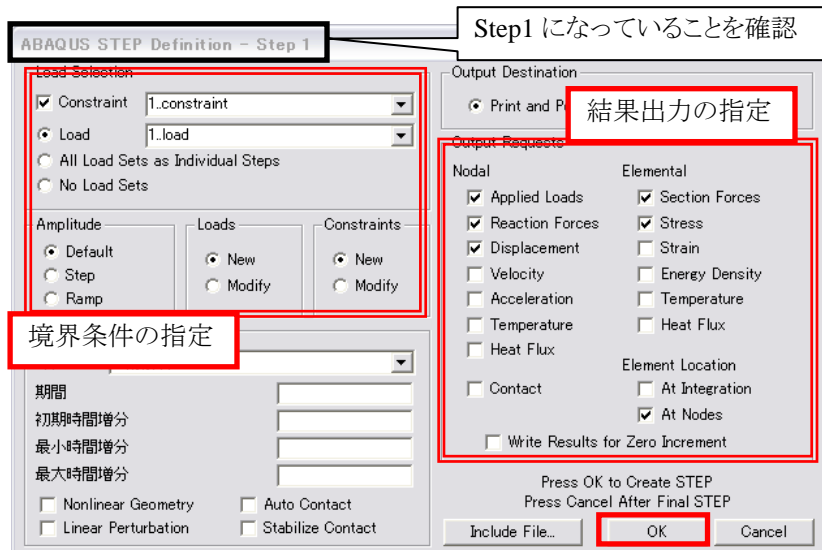
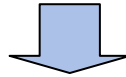
# emfco

## ABAQUS への書出し(FEMAP)

メニューより、「ファイル→エクスポート→解析モデル」を選択。



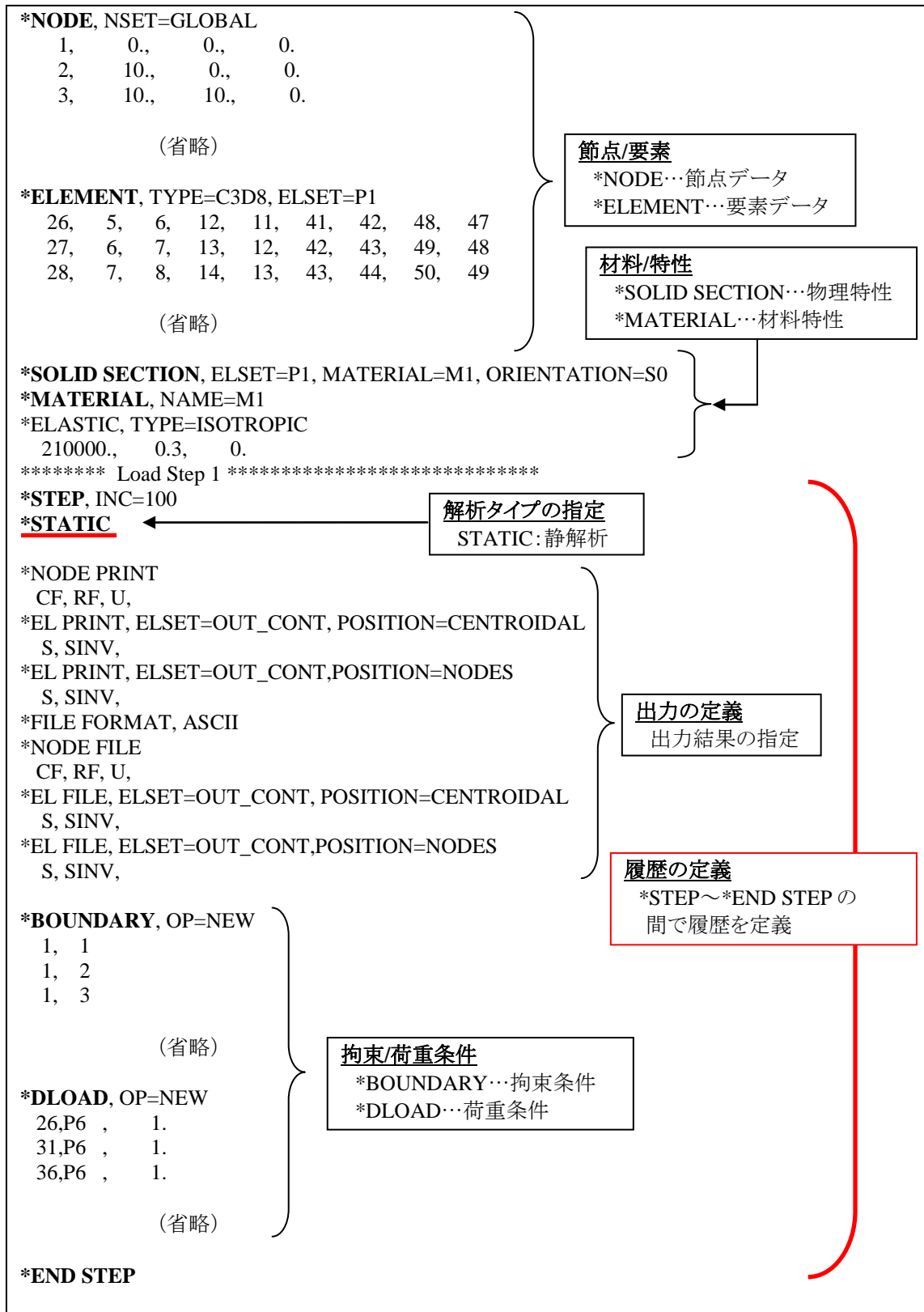
emfco



C:\WORK\個人フォルダの下に指定したファイルが作られます。

## ABAQUS インプットファイルの構成

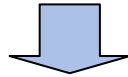
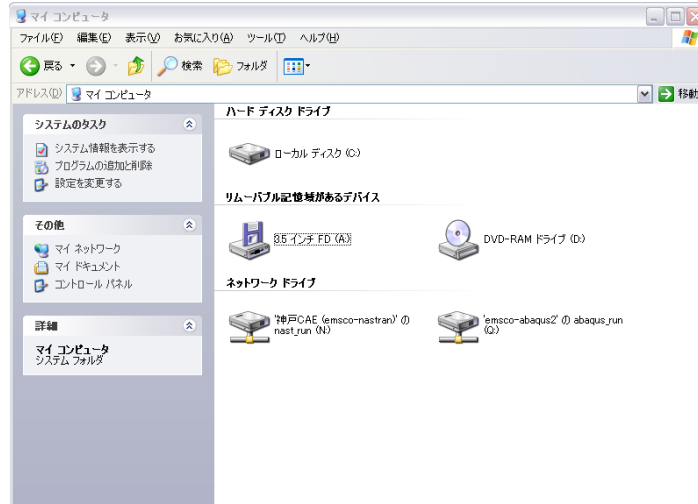
書出したインプットファイルは以下のように構成されます。



# emsc

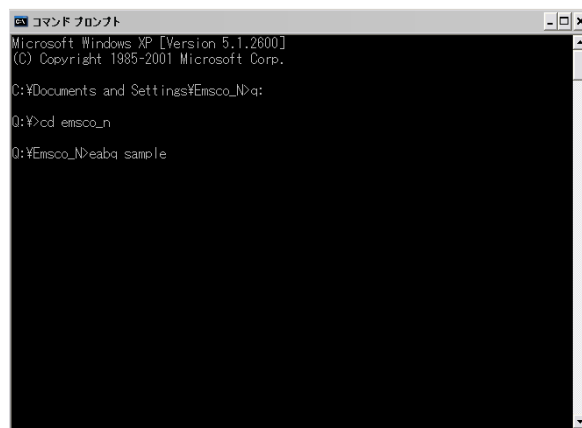
## ABAQUS での計算実行

スタートより、マイコンピュータを選択。



コマンドプロンプトを起動し、以下のコマンドを実行。

```
Q: ←  
cd □ emsc_N ←  
eabq □ ***.inp ←
```



神戸で研修を行う場合は emsc\_K のフォルダを使用してください。

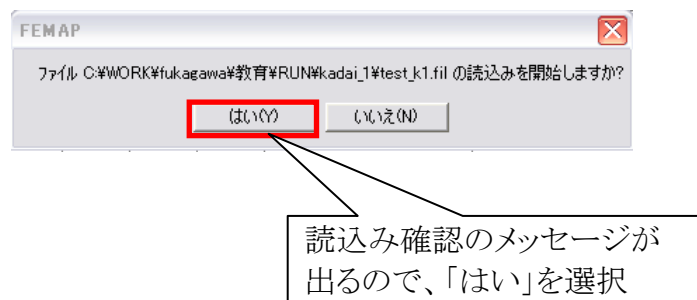
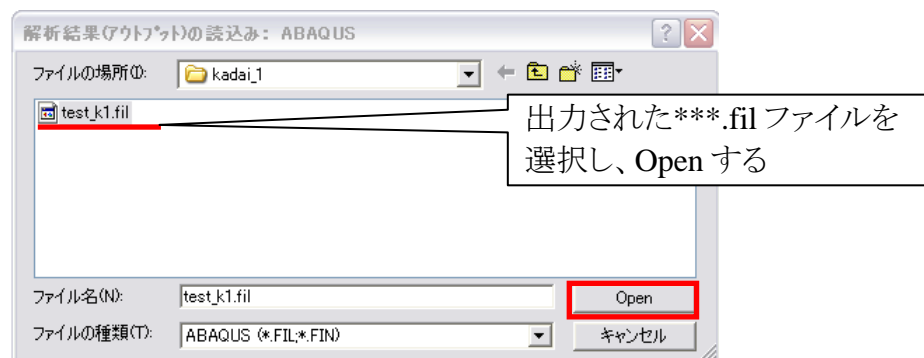
**※ JOB キャンセルのコマンドは「eabc←」を実行。  
間違っ<sup>て</sup>他の人が投入したジョブをキャンセルしないよう、注意してください。**

計算終了後は、出力された結果ファイル等を速やかに自分のフォルダに移動してください。

**※記載している ABAQUS の実行コマンドは、弊社内システムに沿ったものであり、ご使用のシステム環境により異なります。ご了承ください。**

## ABAQUS 結果の読み込み (FEMAP)

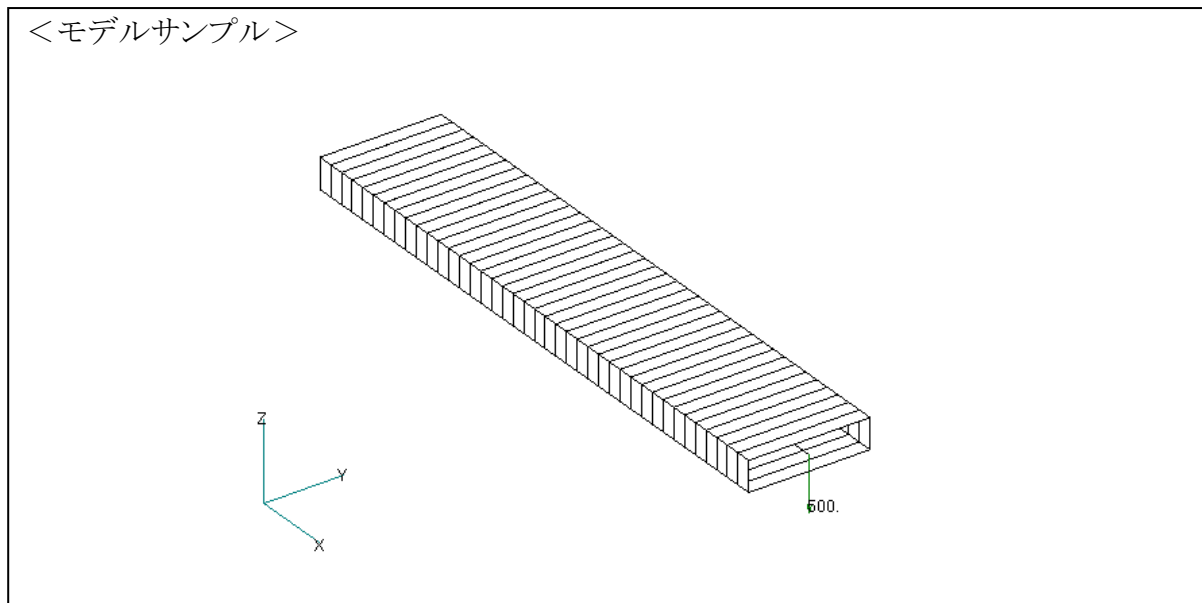
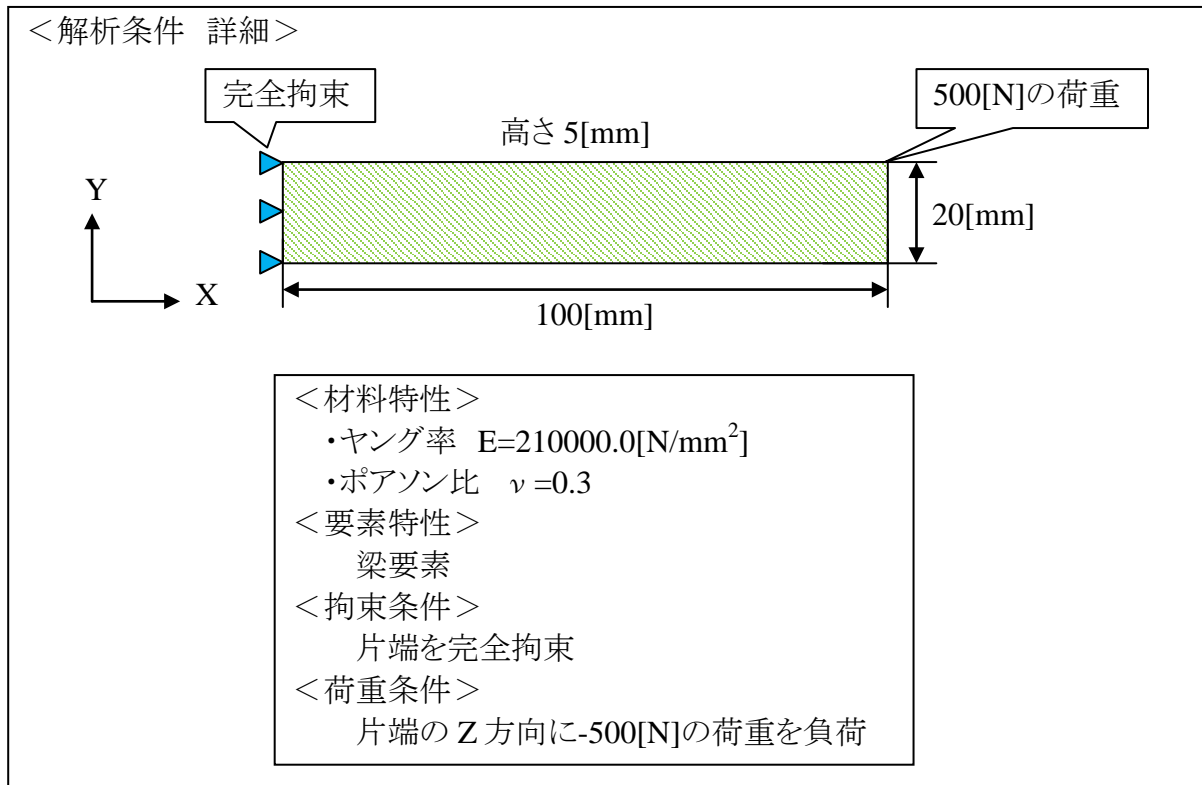
メニューより、「ファイル→インポート→解析結果」を選択。



## ■課題2 板の曲げ(梁モデル)

下記のモデルに対し、以下の条件を定義して解析を行います。

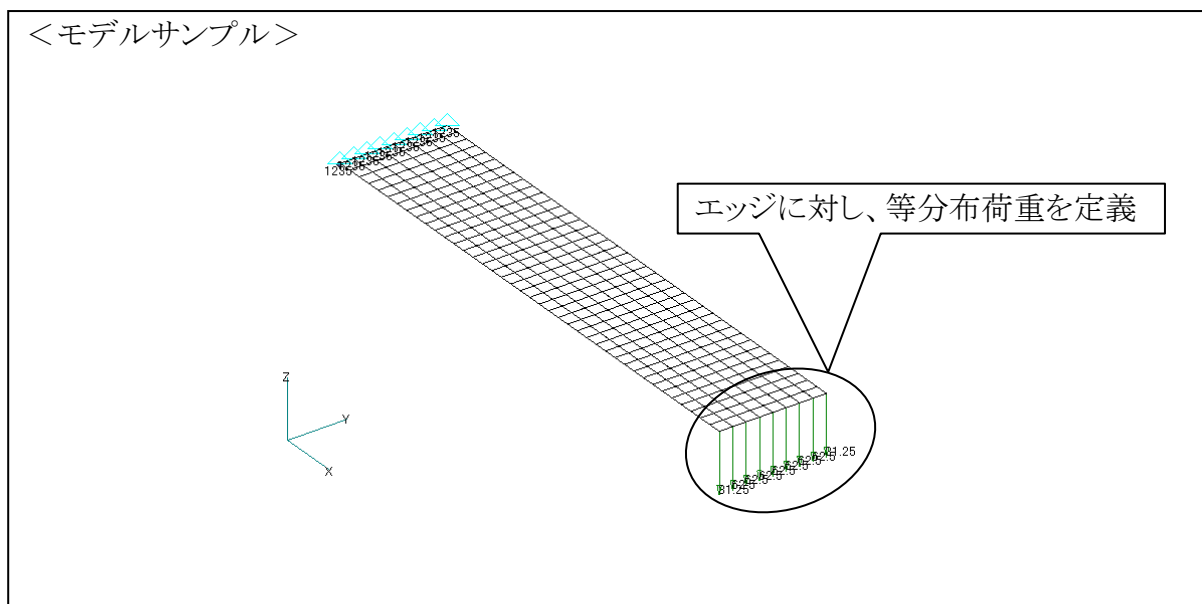
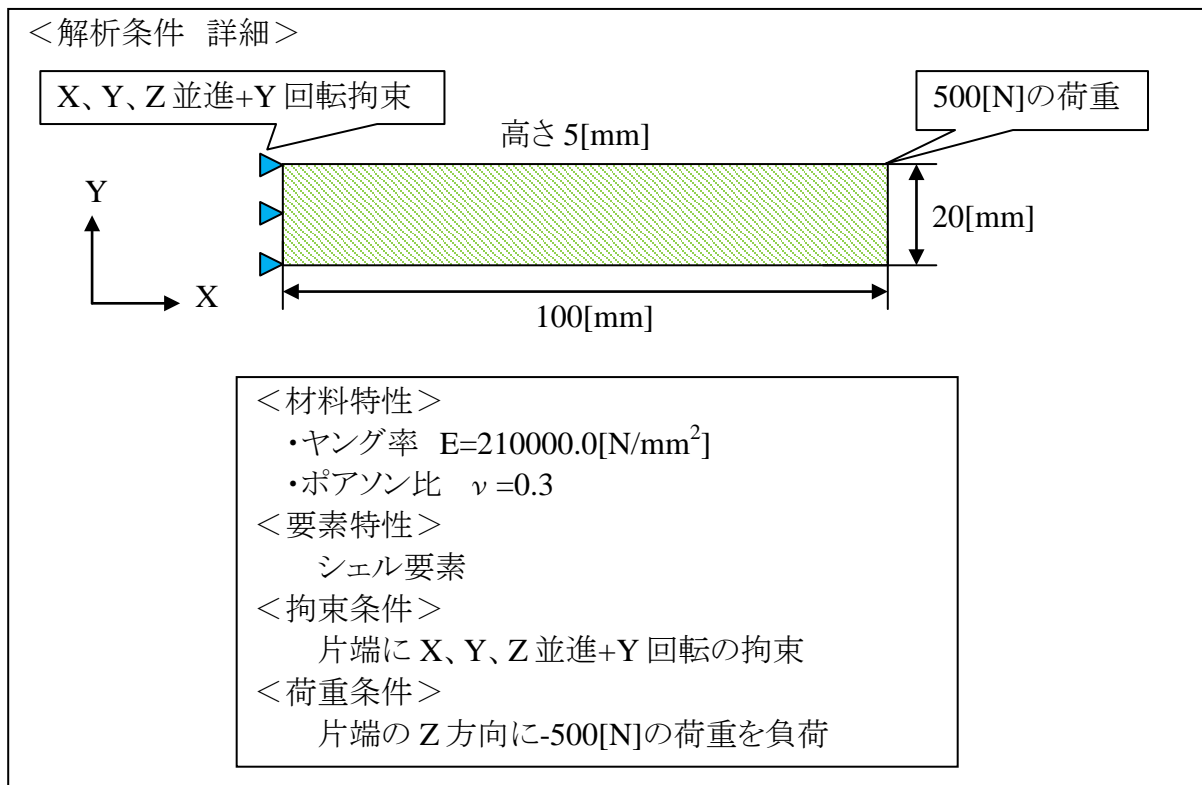
- ・梁要素で作成
  - ・境界条件として、片端に曲げ方向への荷重、もう一端に拘束条件を定義
- ソルバーは Nastran を使用します。



### ■課題3 板の曲げ(シェルモデル)

下記のモデルに対し、以下の条件を定義して解析を行います。

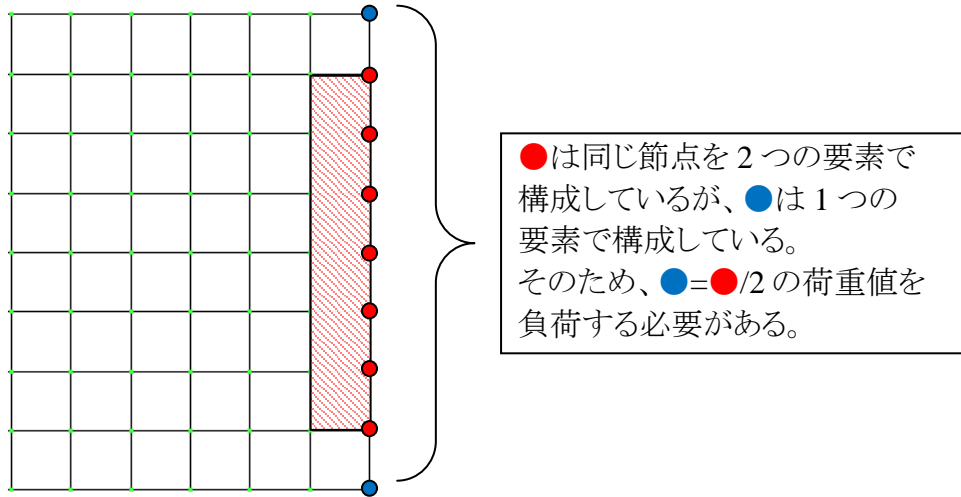
- ・シェル要素で作成
  - ・境界条件として、片端に曲げ方向への荷重、もう一端に拘束条件を定義
- ソルバーは Nastran を使用します。



## 等分布荷重の定義（エッジ上）

エッジに荷重を負荷する場合、「総荷重/節点数」と定義するのではなく、等分布荷重として定義を行う必要があります。

そこで、等分布荷重の定義方法について以下に示します。



そこで、●の節点に負荷する荷重値と●の節点に負荷する荷重値は以下のように求めて定義します。

<各節点の荷重値の求め方>

$$\begin{aligned} \text{●の節点に負荷する荷重値} &= \frac{\text{全体の荷重値}}{\text{●の節点数} + (\text{●の節点数}/2)} \\ &= \frac{500[\text{N}]}{8} = 62.5[\text{N}] \\ \text{●の節点に負荷する荷重値} &= \frac{\text{●の節点に負荷する荷重値}}{2} = 31.25[\text{N}] \end{aligned}$$

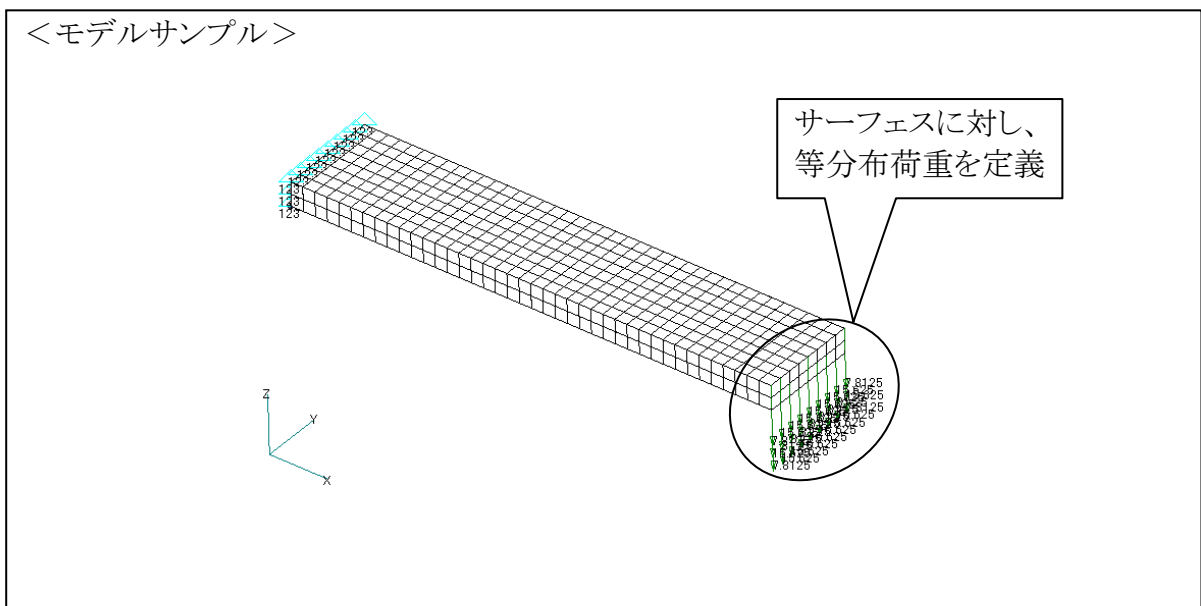
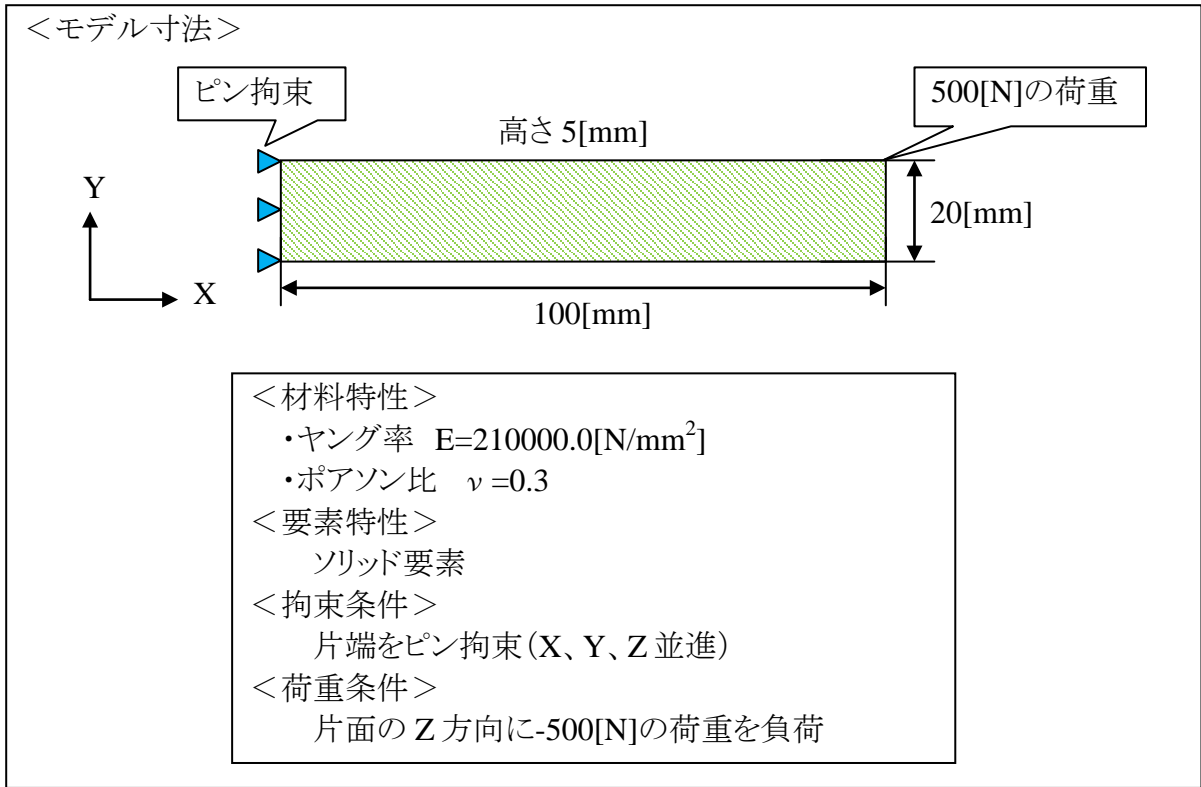
ソフトによってはエッジ(CAD)に定義した荷重値を節点に変換する機能がついている場合があります。  
業務を行う上では使用することは問題ありませんが、どのように荷重値が分配されているかを正しく理解した上で使用しましょう。

## ■課題4 板の曲げ(ソリッド)

下記のモデルに対し、以下の条件を定義して解析を行います。

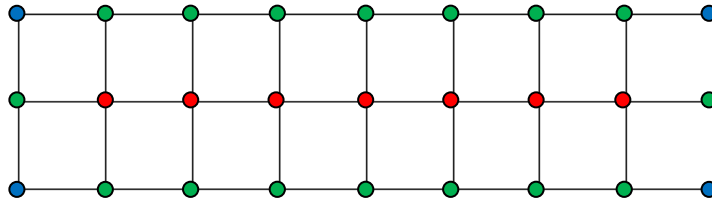
- ・ソリッド要素で作成
  - ・境界条件として、片端に曲げ方向への荷重、もう一端に拘束条件を定義
- ソルバーは Nastran を使用します。

また、梁要素、シェル要素、ソリッド要素すべての解析結果と、材料力学を基に算出した応力値、変形量を比較してみましょう。



## 等分布荷重の定義（サーフェス上）

サーフェスの場合もエッジと同様の考え方で等分布荷重を負荷する必要があります。



エッジの場合と同様に、●の節点は4つの要素で構成されています。  
また、●の要素については1つの要素で構成されています。  
エッジと違う点は●の節点が2つの要素で構成されているということです。

これを踏まえて、各節点に負荷する荷重値を求めてみましょう。

<各節点の荷重値の求め方>

$$\begin{aligned} \text{●の節点に負荷する荷重値} &= \frac{\text{全体の荷重値}}{\text{●の節点数} + (\text{●の節点数}/2) + (\text{●の節点}/4)} \\ &= \frac{500[\text{N}]}{16} = 31.25[\text{N}] \end{aligned}$$

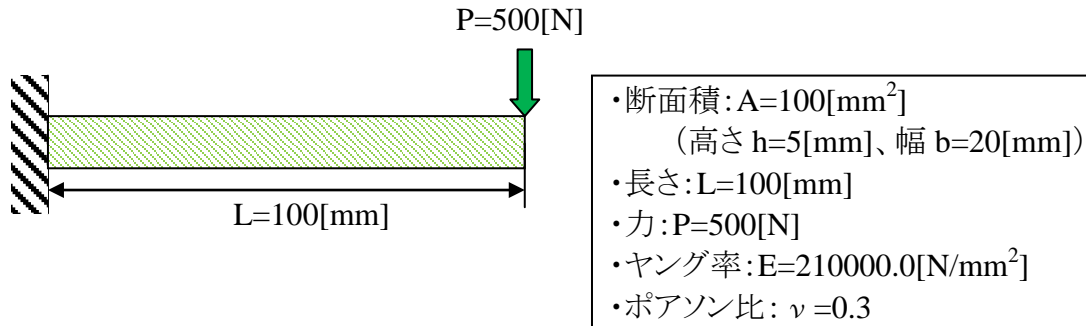
$$\text{●の節点に負荷する荷重値} = \frac{\text{●の節点に負荷する荷重値}}{2} = 15.625[\text{N}]$$

$$\text{●の節点に負荷する荷重値} = \frac{\text{●の節点に負荷する荷重値}}{2} = 7.8125[\text{N}]$$

エッジの場合と同様に、サーフェスについてもソフト上で変換できる場合があります。  
この場合もどのように分配されているかを正しく理解した上で使用しましょう。

## 理論値との比較（材料力学を基に手計算を行う）

ここまでで、板の曲げモデルに対する解析結果を求めることができました。  
では、ブロックと同様に材料力学の観点から考えてみましょう。



### 【応力を求める】-----

最大曲げ応力は以下の式より成り立つ。

$$\sigma (\text{応力}) = M_{\max} (\text{モーメント}) / Z (\text{断面係数})$$

そこで曲げ応力に必要な  $M_{\max}$  (モーメント)、 $Z$  (断面係数) を求める。

$$M_{\max} (\text{モーメント}) = L (\text{長さ}) \times P (\text{力})$$

$$M_{\max} = 100[\text{mm}] \times 500[\text{N}] = 50000[\text{N} \cdot \text{mm}]$$

$$Z (\text{断面係数}) = (b (\text{幅}) \times h^2 (\text{高さ})) / 6$$

$$Z (\text{断面係数}) = \frac{20[\text{mm}] \times 5^2[\text{mm}^2]}{6} = 83.33[\text{mm}^3]$$

よって、応力は以下の通りとなる。

$$\sigma = \frac{50000[\text{N} \cdot \text{mm}]}{83.33[\text{mm}^3]} = 600.00[\text{N} / \text{mm}^2]$$

### 【変位量を求める】-----

$$\delta (\text{変位}) = (P (\text{力}) \times L^3 (\text{長さ})) / (3 \times E (\text{ヤング率}) \times I (\text{断面 2 次モーメント}))$$

ここでも変位に必要な  $I$  (断面 2 次モーメント) を求める。

$$I (\text{断面 2 次モーメント}) = (b (\text{幅}) \times h^3 (\text{高さ})) / 12$$

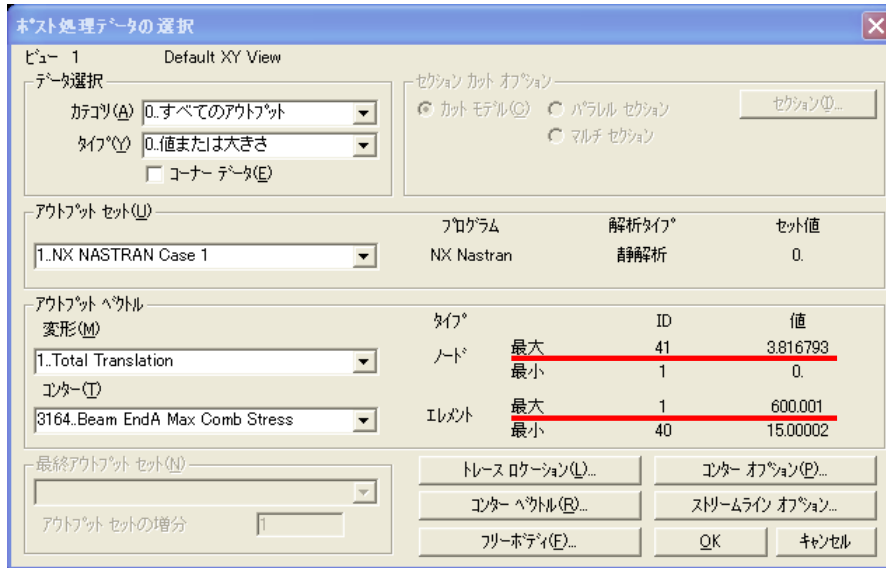
$$I = \frac{20[\text{mm}] \times 5^3[\text{mm}^3]}{12} = 208.33[\text{mm}^4]$$

よって、変位量は以下の通りになる。

$$\delta = \frac{500[\text{N}] \times 100^3[\text{mm}^3]}{3 \times 210000.0[\text{N} / \text{mm}^2] \times 208.33[\text{mm}^4]} = 3.81[\text{mm}]$$

前ページで求めた理論値と梁要素の結果を比較します。

<FEMによる結果(梁要素)>



(※ 応力値は要素単位の結果で比較しています。)

前ページで求めた

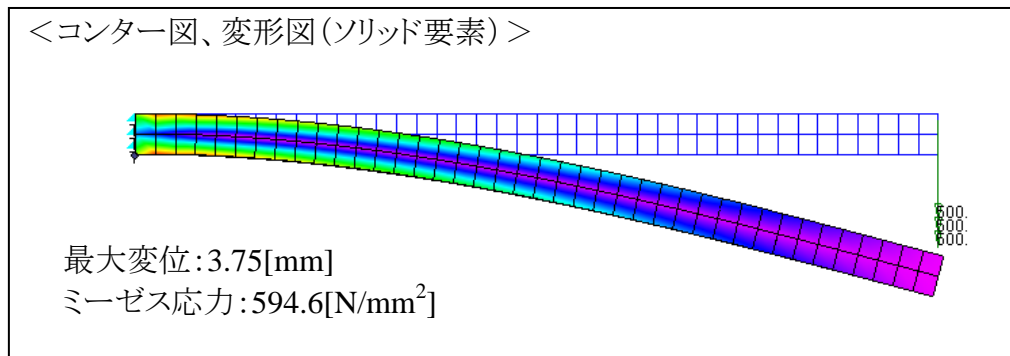
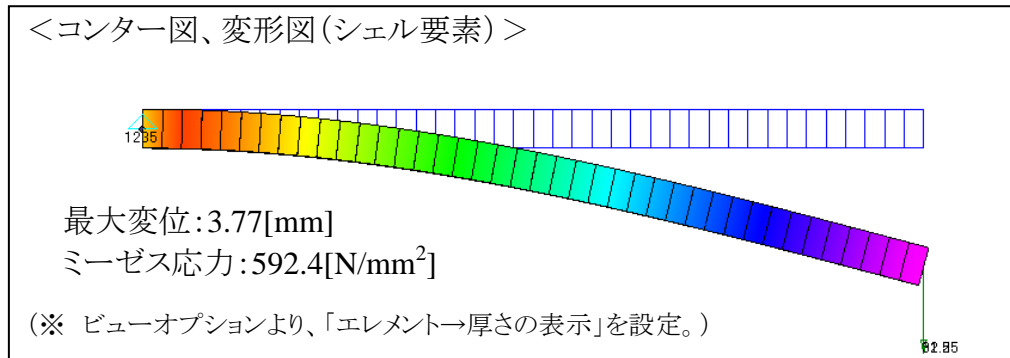
最大曲げ応力  $\sigma = 600.00[\text{N}/\text{mm}^2]$

変位 = 3.81[mm]

と同等の結果が得られていることが確認できます。

続いて、シェル要素、ソリッド要素の結果も比較します。

これらはコンター図と変形図を描いた状態で確認してみましょう。

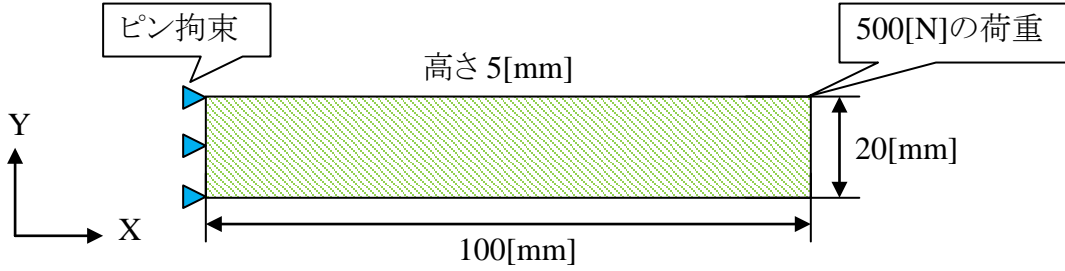


## ■課題5 板の曲げ(メッシュサイズ比較)

課題2～4では、梁、シェル、ソリッド要素において理論値とほぼ同等の応力、変位結果が得られることを確認しました。

ここではソリッド要素に着目し、同モデル、同条件下で、①メッシュサイズを細かくした場合、②メッシュサイズを粗くした場合の解析を行い、メッシュサイズが変わることによる応力値、変位量の比較をしてみましょう。

<モデル寸法>



高さ 5[mm]  
100[mm]  
20[mm]  
500[N]の荷重  
ピン拘束

Y  
X

<材料特性>

- ・ヤング率  $E=210000.0[\text{N}/\text{mm}^2]$
- ・ポアソン比  $\nu=0.3$

<要素特性>

ソリッド要素

<拘束条件>

片端をピン拘束(X、Y、Z並進)

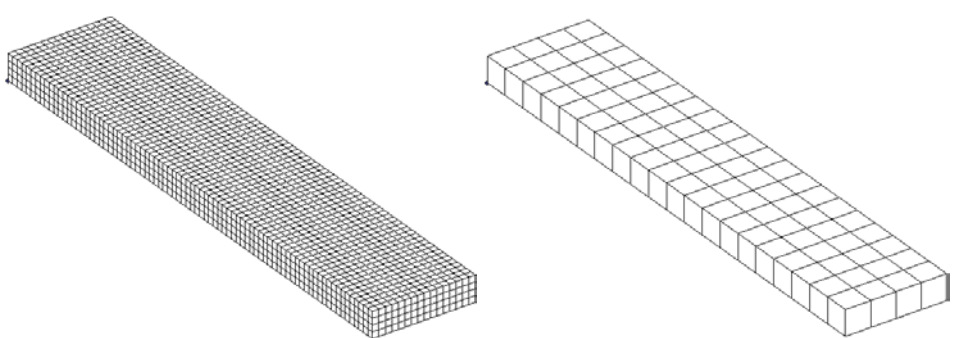
<荷重条件>

片面のZ方向に-500[N]の荷重を負荷

① メッシュサイズが細かい 課題4より1/2倍のメッシュサイズで作成

② メッシュサイズが粗い 課題4より2倍のメッシュサイズで作成

<モデルサンプル>



① メッシュサイズが細かい

② メッシュサイズが粗い

## 結果比較

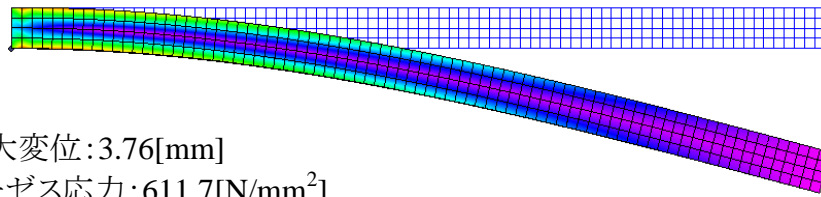
24 ページで求めた理論値と、メッシュサイズ違いによる結果の比較を行います。

### 24 ページで求めた理論値

最大曲げ応力  $\sigma = 600.00[\text{N}/\text{mm}^2]$

変位 = 3.81[mm]

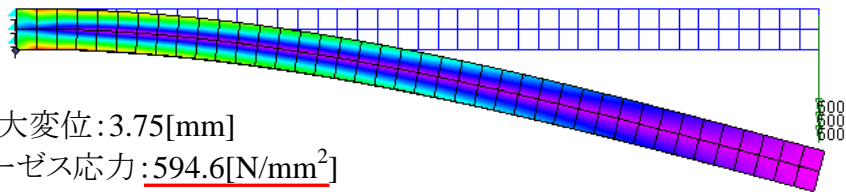
#### ① メッシュサイズが細かい場合の結果



最大変位: 3.76[mm]

ミーゼス応力: 611.7[N/mm<sup>2</sup>]

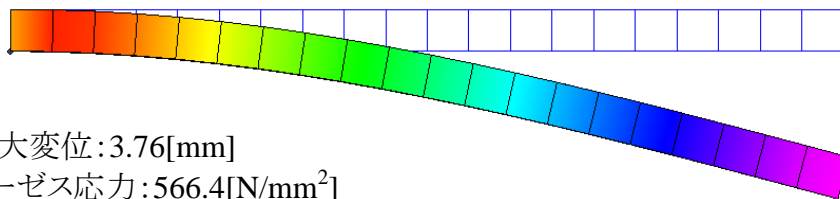
#### 課題 4 の結果



最大変位: 3.75[mm]

ミーゼス応力: 594.6[N/mm<sup>2</sup>]

#### ② メッシュサイズが粗い場合の結果



最大変位: 3.76[mm]

ミーゼス応力: 566.4[N/mm<sup>2</sup>]

いずれのメッシュサイズにおいても、最大変位については理論値との差がほぼ同じだが、応力値についてはメッシュサイズにより異なる。

このことより、メッシュを作成する際には、モデルの大きさなどに適したメッシュサイズを考慮する必要がある。

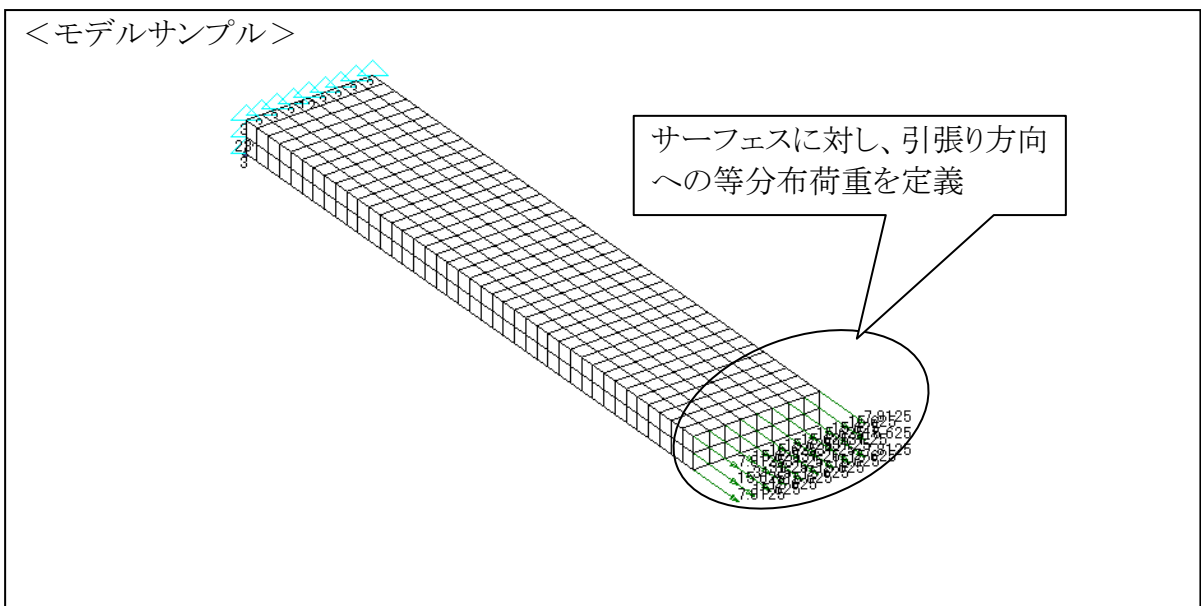
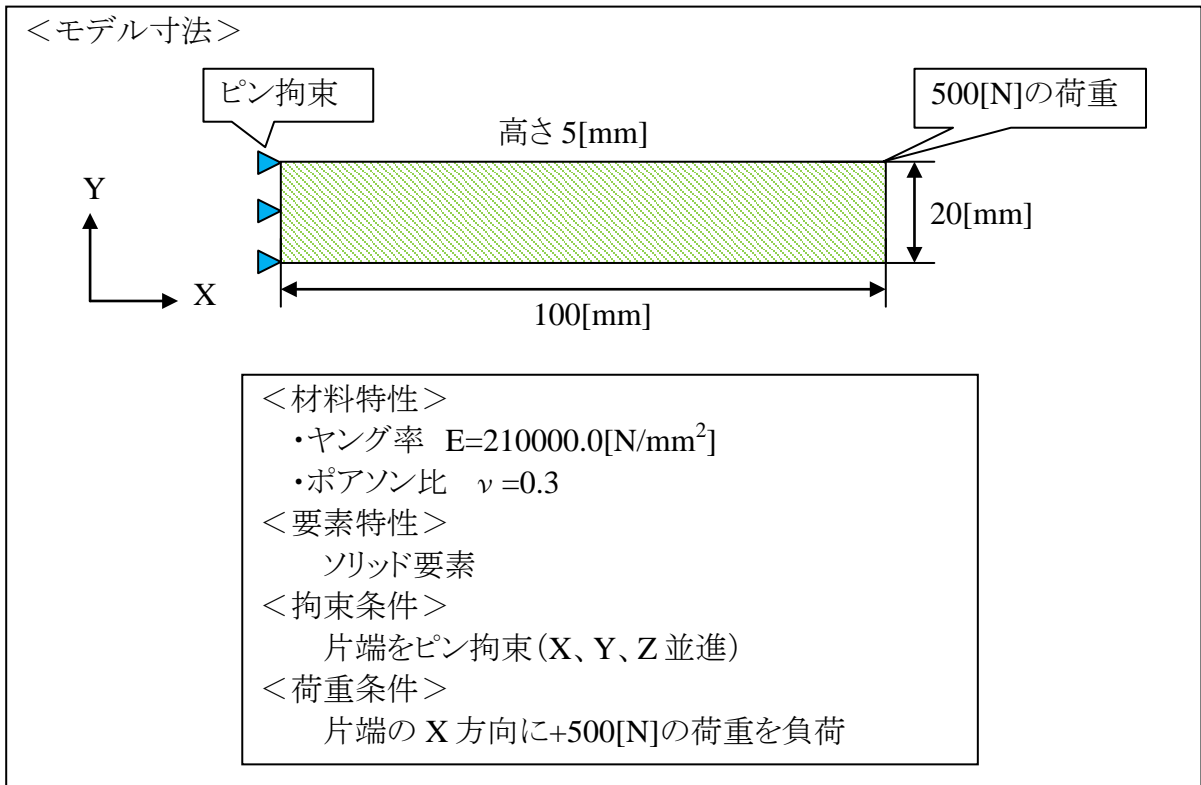
## ■課題6 板の引張り

下記のモデルに対し、以下の条件を定義して解析を行います。

- ・ソリッド要素で作成
- ・境界条件として、片端に引張り方向への荷重、もう一端に拘束条件を定義

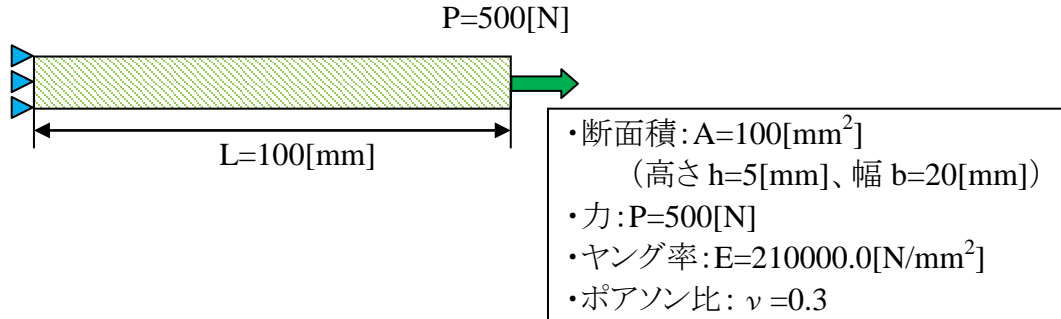
ソルバーは Nastran を使用します。

また、材料力学を基に応力値、変形量を求め、FEM の結果と比較してみましょう。



## 理論値との比較（材料力学を基に手計算を行う）

前ページで求めた解析結果と板に引張り荷重を負荷した場合の応力、変位の理論値を比較してみましょう。



### 【応力を求める】-----

$$\sigma (\text{応力}) = P (\text{力}) / A (\text{断面積})$$

$$\sigma = \frac{500[\text{N}]}{100[\text{mm}^2]} = 5.00[\text{N} / \text{mm}^2]$$

### 【変位量を求める】-----

$$\delta (\text{変位}) = (P (\text{力}) \times L (\text{長さ})) / (A (\text{断面積}) \times E (\text{ヤング率}))$$

$$\delta = \frac{500[\text{N}] \times 100[\text{mm}]}{100[\text{mm}^2] \times 210000.0[\text{N} / \text{mm}^2]} = 2.38 \times 10^{-3}[\text{mm}]$$

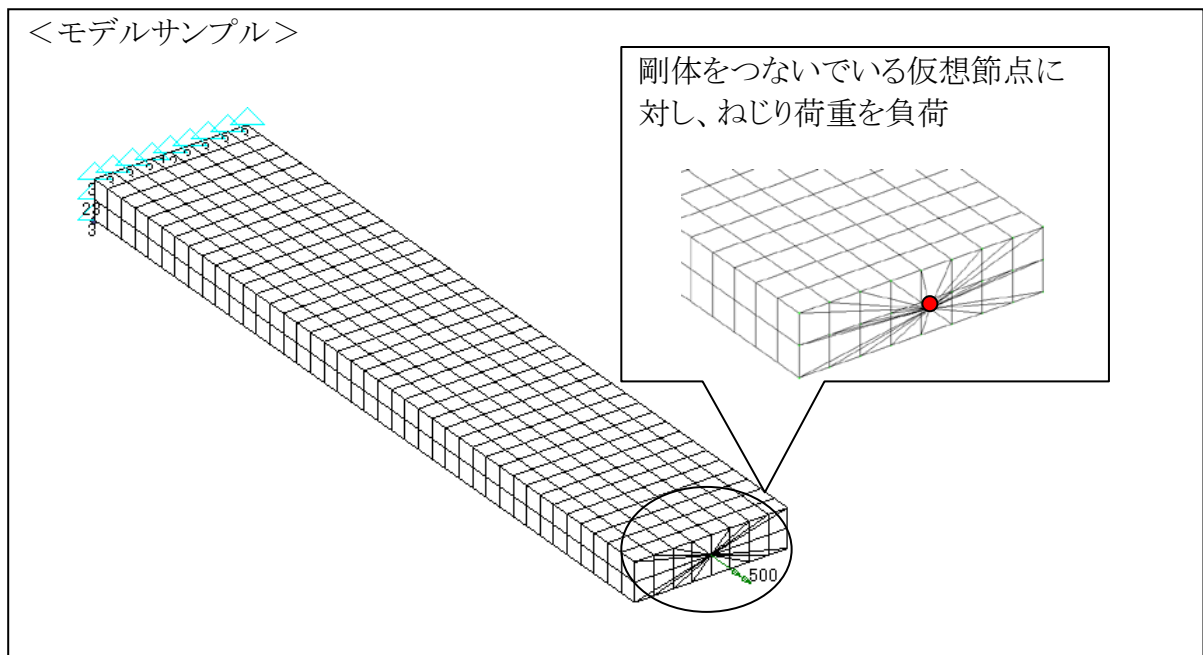
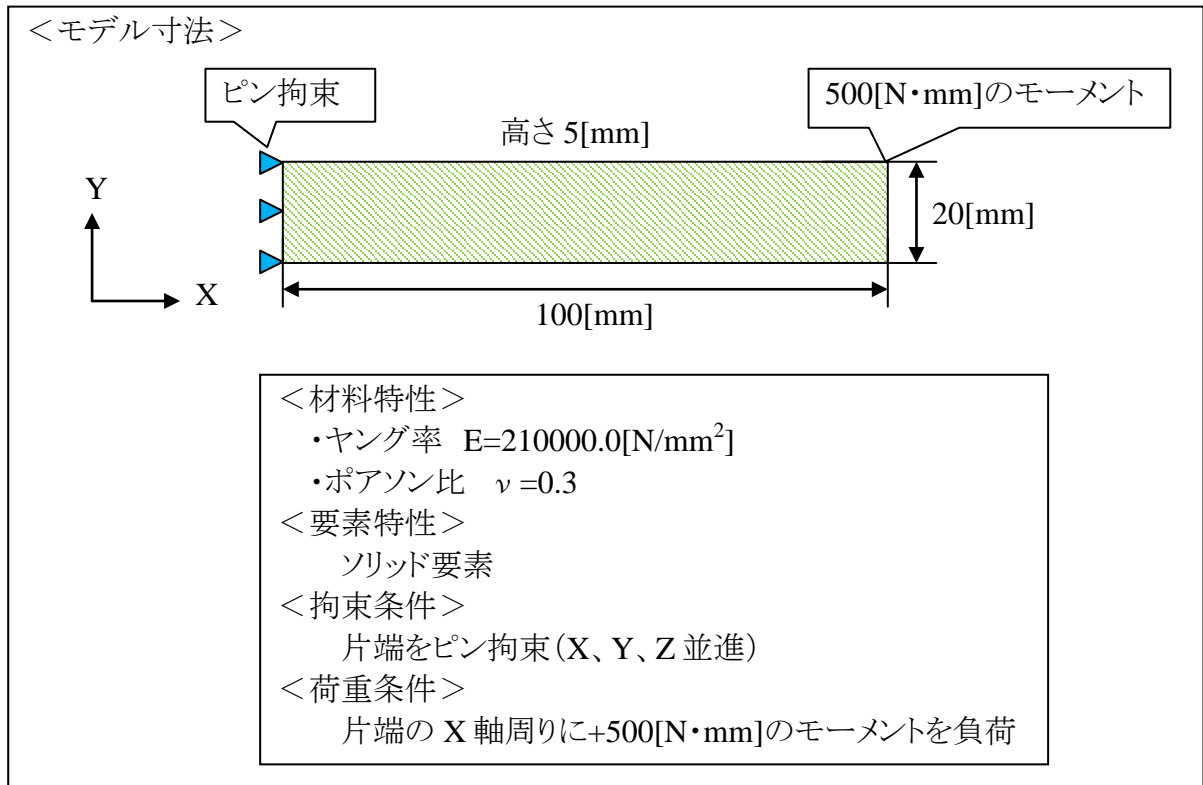
## ■課題 7 板のねじり

下記のモデルに対し、以下の条件を定義して解析を行います。

- ・ソリッド要素で作成
- ・境界条件として、片端にねじり荷重、もう一端に拘束条件を定義

ソルバーは Nastran を使用します。

また、材料力学を基に応力値、変形量を求め、FEM の結果と比較してみましょう。

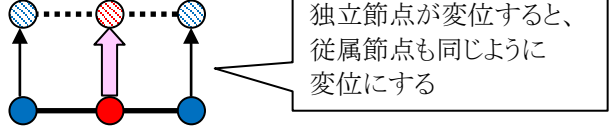


## 剛体要素の作成方法

荷重を負荷するための仮想節点を作成し、仮想節点と荷重点側の節点を剛体要素でつなぎます。

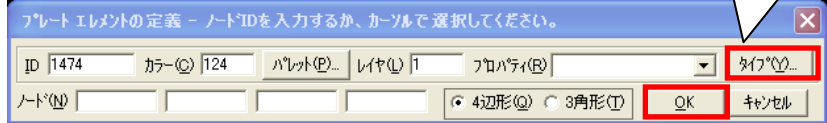
**<剛体要素とは>**  
 独立点(独立自由度を持つ節点)と従属点(その自由度に従属する節点)で構成される非常に硬い要素で、主に接合部で使用される。

— : 剛体要素    ● : 独立点  
                   ● : 従属点

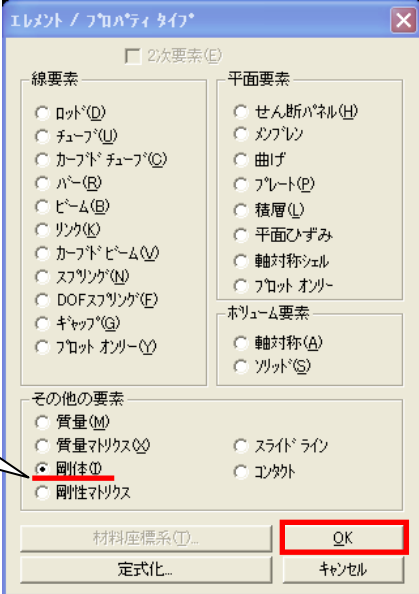


メニューより、「モデル→エレメント」を選択。

タイプを選択

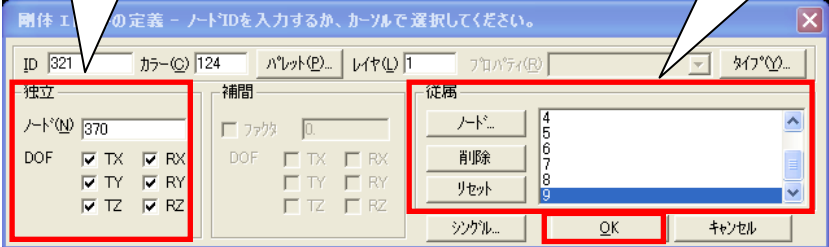


タイプを「剛体」に変更



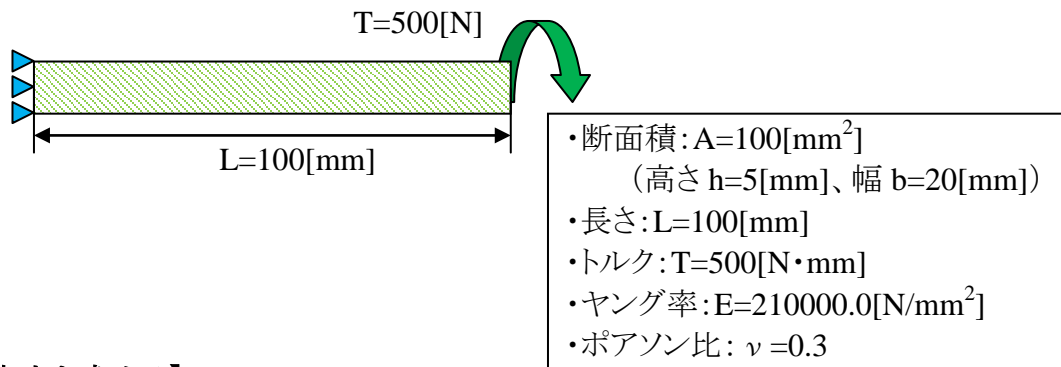
独立節点を選択

従属節点を選択



## 理論値との比較(材料力学を基に手計算を行う)

前ページで求めた解析結果と板にねじり荷重を負荷した場合の応力、変位の理論値を比較してみましょう。



### 【応力を求める】

$$\tau (\text{せん断応力}) = T (\text{トルク}) / (k_1 \times b (\text{幅}) \times h^2 (\text{高さ}))$$

$$\tau = \frac{500[\text{N}\cdot\text{mm}]}{0.282 \times 20[\text{mm}] \times 5^2[\text{mm}^2]} = 3.55[\text{N}/\text{mm}^2] \quad \text{※ } b/h=4.0 \text{ の時、} k_1=0.282$$

### 【ねじり量を求める】

$$y (\text{ねじり量}) = (b (\text{幅}) / 2) \times \sin \theta$$

ここで、ねじり角  $\theta$  を求める必要がある。

$$\theta (\text{ねじり角}) = (T (\text{トルク}) \times L (\text{長さ})) / (k_3 \times b (\text{幅}) \times h^3 (\text{高さ}) \times G (\text{横弾性係数}))$$

横弾性係数については、ヤング率・ポアソン比から求めることができる。

$$\text{※ } b/h=4.0 \text{ の時、} k_3=0.281$$

$$G (\text{横弾性係数}) = E (\text{ヤング率}) / (2 \times (1 + \nu (\text{ポアソン比})))$$

$$G = \frac{210000.0[\text{N}/\text{mm}^2]}{2(1+0.3)} = 80769.23[\text{N}/\text{mm}^2]$$

これより、 $\theta$  (ねじり角) および  $y$  (ねじり量) を求める。

$$\theta = \frac{500[\text{N}\cdot\text{mm}] \times 100[\text{mm}]}{0.281 \times 20[\text{mm}] \times 5^3[\text{mm}^3] \times 80769.23[\text{N}/\text{mm}^2]} = 8.81 \times 10^{-4}[\text{rad}]$$

$$y = \frac{20[\text{mm}]}{2} \cdot \sin \theta = 8.81 \times 10^{-3}[\text{mm}]$$

ここで求めたねじり量は Z 方向変位の最大値となる。

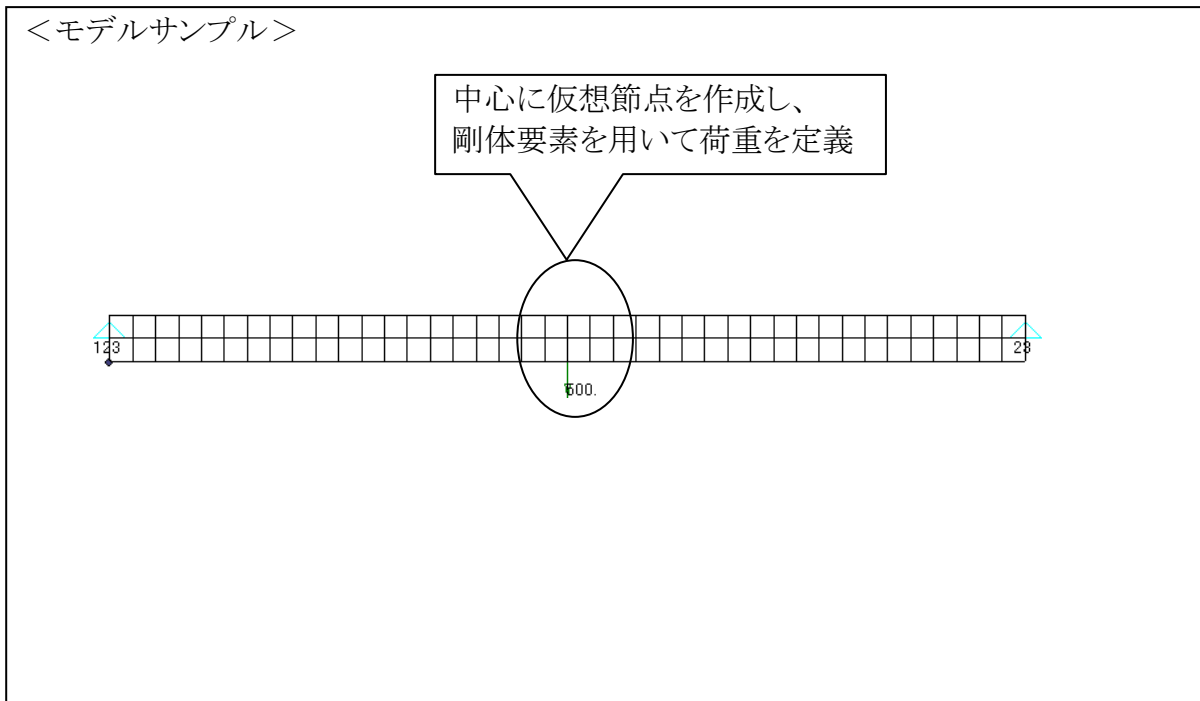
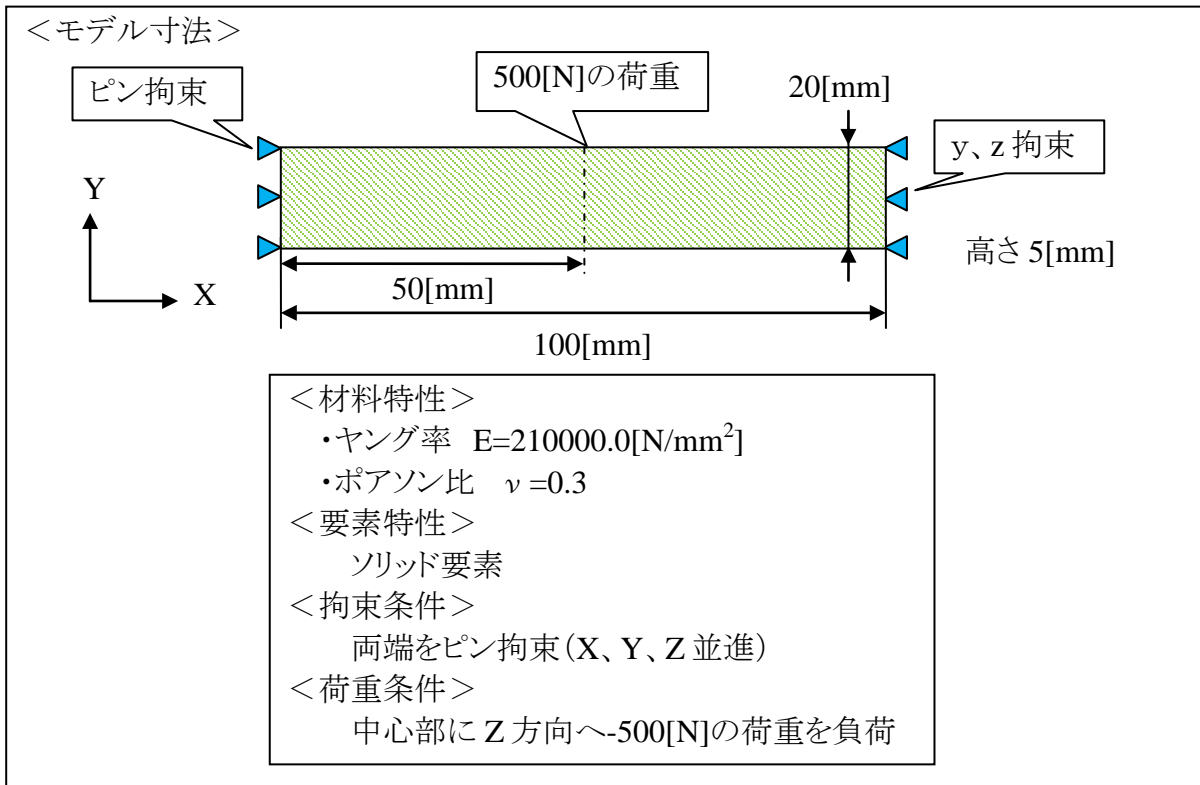
## ■課題 8 板のせん断

下記のモデルに対し、以下の条件を定義して解析を行います。

- ・ソリッド要素で作成
- ・境界条件として、中心部にせん断方向への荷重、両端に拘束条件を定義

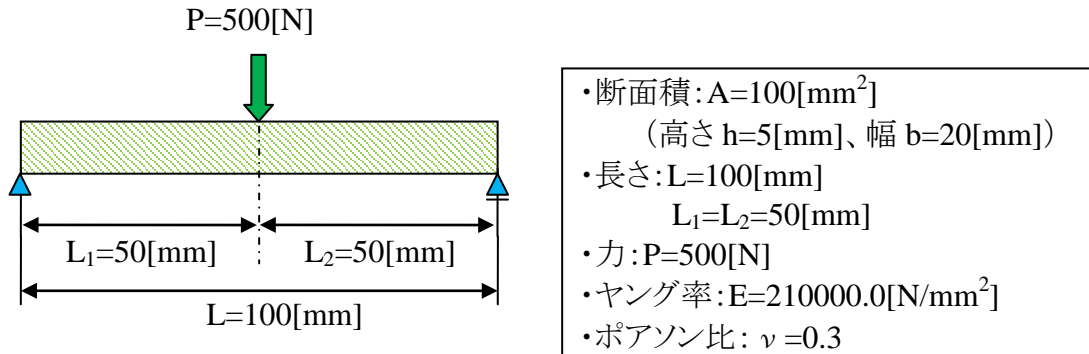
ソルバーは Nastran を使用します。

また、材料力学を基に応力値、変形量を求め、FEM の結果と比較してみましょう。



## 理論値との比較(材料力学を基に手計算を行う)

前ページで求めた解析結果と板にせん断荷重を負荷した場合の応力、変位の理論値を比較してみましょう。



### 【応力を求める】-----

$$\tau (\text{せん断応力}) = \frac{3}{2} \times F (\text{せん断力}) / (b (\text{幅}) \times h (\text{高さ}))$$

ここでまず  $F$ (せん断力)を求める。

$$F (\text{せん断力}) = \frac{P (\text{力}) \times L_2 (\text{長さ})}{L (\text{長さ})}$$

$$F = \frac{500[\text{N}] \times 50[\text{mm}]}{100[\text{mm}]} = 250[\text{N}]$$

$$\tau = \frac{3}{2} \times \frac{250[\text{N}]}{20[\text{mm}] \times 5[\text{mm}]} = 3.75[\text{N}/\text{mm}^2]$$

### 【たわみ量を求める】-----

$$y (\text{たわみ量}) = \frac{P (\text{力}) \times L^3 (\text{長さ})}{48 \times E (\text{ヤング率}) \times I (\text{断面 2 次モーメント})}$$

$I$ (断面 2 次モーメント)は 24 ページで算出しているのので、下記の値となる。

$$I = \frac{20[\text{mm}] \times 5^3[\text{mm}]}{12} = 208.33[\text{mm}^4]$$

よって、せん断荷重を負荷した場合の  $\delta$  (たわみ量)は以下ようになる。

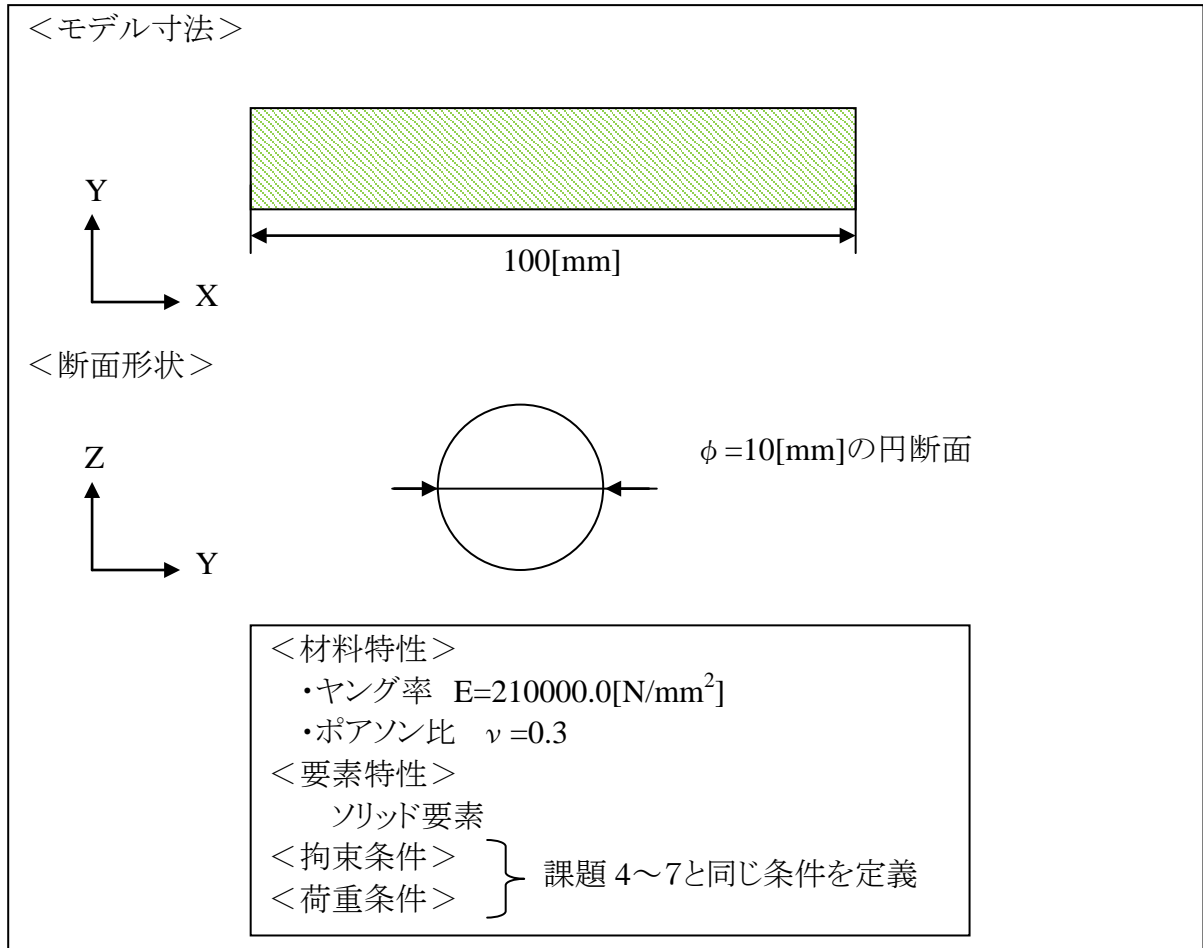
$$y = \frac{500[\text{N}] \times 100^3[\text{mm}^3]}{48 \times 210000.0[\text{N}/\text{mm}^2] \times 208.33[\text{mm}^4]} = 2.38 \times 10^{-1}[\text{mm}]$$

ここで求めたたわみ量は  $Z$  方向変位の最大値となる。

## ■演習問題 丸棒モデル

下記のモデルに対し、曲げ、引張り、ねじり、せん断荷重を負荷した場合の解析を行い、理論値と比較した結果をレポートにまとめてみましょう。

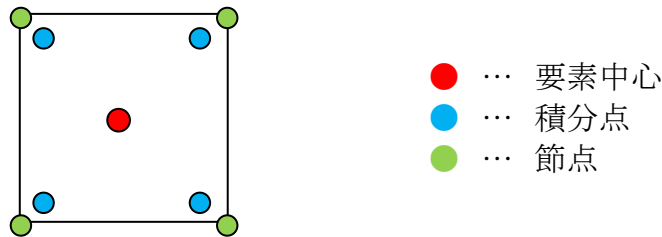
また、曲げについてはメッシュサイズを変更したモデル(①メッシュサイズが細かい場合、②メッシュサイズが粗い場合)についても理論値と比較し、結果をまとめてみましょう。



レポートは Word、Power Point どちらを使用しても構いません。

## 参考資料

解析を行うための入力データで、各結果の出力指定を行います。  
この時、応力結果については指定方法によって下図で示す点の結果を出力することが可能となります。



ただし、ソルバーにより指定できる点が異なります。  
以下に、NastranとABAQUSにおける出力指定についてまとめます。

### ■ Nastran における出力指定

<入力フォーマット>

$$STRESS \left[ \begin{array}{l} [SORT1] \\ [SORT2] \end{array} \right] \left[ \begin{array}{l} [PRINT, PUNCH] \\ [PLOT] \end{array} \right] \left[ \begin{array}{l} [REAL \text{ or } IMAG] \\ [PHASE] \end{array} \right] \left[ \begin{array}{l} [VONMISES] \\ [MAXS \text{ or } SHEAR] \end{array} \right] \left[ \begin{array}{l} CENTER \\ CUBIC \\ SGAGE \\ [CORNER \text{ or } BILIN] \end{array} \right] = \left\{ \begin{array}{l} ALL \\ n \\ NONE \end{array} \right\}$$

出力指定	出力方法	
CENTER	要素中心	デフォルト
CUBIC	要素中心および節点	3次の曲げ補間を用いた ひずみゲージ手法 (CQUAD4 要素応力)
SGAGE		ひずみゲージ手法 (CQUAD4 要素応力)
CORNER or BILIN		双一次外挿 (CQUAD4 要素応力)



## ■ ABAQUS における出力指定

<入力フォーマット>

\*EL FILE, ELSET = 要素集合名, POSITION = 

INTEGRAL POINTS
CENTROIDAL
NODE

出力指定	出力方法	
INTEGRAL POINTS	積分点	
CENTROIDAL	要素中心	デフォルト
NODES	節点	



株式会社日本アムスコ

発行

株式会社日本アムスコ

本社 神戸事業所:

〒650-0044

神戸市中央区東川崎町 1-3-6 LS・KOBÉ 1F

TEL:078-361-0653 FAX:078-361-0655

名古屋事業所:

〒460-0002

名古屋市中区丸の内 3-19-5 FLEZIO LA 6F

TEL:052-959-5775 FAX:052-971-3170

---

お問い合わせ先

E-MAIL: [information@emsco-jp.com](mailto:information@emsco-jp.com)

---

<http://www.emsco-jp.com/>

---

株式会社日本アムスコの許可なく、  
本書の内容を無断転載することを禁じます。