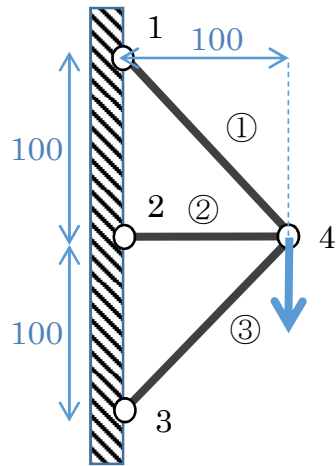


多部材からなるトラス構造の解析

解析モデル

今回は多数の部材からなるトラス構造の解析プログラムを作成する。プログラムは前回の2要素プログラムと同じ部分が多い。

MATLABを立ち上げ，下図のモデルに対するデータを入力する。



```
1 - nnode=4; nelm=3;
2 - x=[0 0 0 100];
3 - y=[200 100 0 100];
4 - A=[200 200 200];
5 - E=[2000 2000 2000];
6 - f=zeros(nnode*2,1); f(8)=100;
7 - fix=[1 2 3 4 5 6];
8 - ne=[1 4; 2 4; 3 4];
```

1. nnode 全節点数 nelm 全要素数
2. 節点のx座標
3. 節点のy座標
4. 要素の断面積
5. 要素のヤング率
6. 荷重ベクトルの作成
7. 拘束自由度ベクトル
8. 要素コネクティビティデータ, すなわち
要素1は節点1,4から
要素2は節点2,4から
要素3は節点3,4から構成されている
ことを表す

ヤング率 どの部材も $E=2000 \text{ N/mm}^2$
部材の断面積 どの部材も $A=200 \text{ mm}^2$

全体剛性行列の作成

続けて全体剛性行列を作り，拘束条件を考慮して解くプログラムを入力する。
2部材のプログラムとほとんど同じ（9行目の全体剛性行列の大きさのみ異なる）

```
9 - K=zeros(2*nnode);
10 - for i=1:nelm
11 -     i1=ne(i,1);i2=ne(i,2) ;
12 -     map=[2*i1-1 2*i1 2*i2-1 2*i2];
13 -     L(i)=( (x(i2)-x(i1))^2+(y(i2)-y(i1))^2 )^0.5;
14 -     s(i)=(y(i2)-y(i1))/L(i);
15 -     c(i)=(x(i2)-x(i1))/L(i);
16 -     e=[c(i) s(i)] ;
17 -     T=e'*e ;
18 -     ke= (A(i)*E(i))/L(i)*[T -T;-T T];
19 -     K(map,map)=K(map,map)+ke;
20 - end
21 - free=setdiff([1:2*nnode],fix);
22 - u=zeros(2*nnode,1);
23 - u(free)=(K(free,free))\f(free)
```

9. 全体剛性行列 の準備

10. 要素番号 i のループ

11. もし要素番号が 1 なら

12. 要素を構成する節点は1と2, 要素自由度番号は 1 2 3 4

13. もし要素番号が 2 なら

14. 要素を構成する節点は3と2, 要素自由度番号は 3 4 5 6

15. if文の終了

16. 要素長さ L の計算

17. 方向余弦の s の計算

18. 方向余弦の c の計算

19. 方向余弦ベクトルの定義

20. $[T]$ の計算

21. 要素剛性行列の計算

22. 全体剛性行列の指定された位置に要素剛性行列を加える

23. 要素ループの終了

デバッグ

ここまで入力したらデバッグをしてみよう。赤いマーク  を20行目にうち、実行  してデータが次の値になっていることを確認する。

要素1の剛性行列ke

```
ke: 4x4 double =  
  
1.0e+03 *  
  
 1.4142  -1.4142  -1.4142   1.4142  
-1.4142   1.4142   1.4142  -1.4142  
-1.4142   1.4142   1.4142  -1.4142  
 1.4142  -1.4142  -1.4142   1.4142
```

要素2の剛性行列ke

```
ke: 4x4 double =  
  
 4000      0    -4000      0  
      0      0       0      0  
-4000      0     4000      0  
      0      0       0      0
```

要素3の剛性行列ke

```
<e: 4x4 double =  
  
1.0e+03 *  
  
 1.4142   1.4142  -1.4142  -1.4142  
 1.4142   1.4142  -1.4142  -1.4142  
-1.4142  -1.4142   1.4142   1.4142  
-1.4142  -1.4142   1.4142   1.4142
```

3要素分を加えた全体剛性行列 K

```
K: 8x8 double =  
  
1.0e+03 *  
  
 1.4142  -1.4142      0      0      0      0  -1.4142   1.4142  
-1.4142   1.4142      0      0      0      0   1.4142  -1.4142  
      0      0  4.0000      0      0      0  -4.0000      0  
      0      0      0      0      0      0       0      0  
      0      0      0      0  1.4142  1.4142  -1.4142  -1.4142  
      0      0      0      0  1.4142  1.4142  -1.4142  -1.4142  
-1.4142   1.4142  -4.0000      0  -1.4142  -1.4142   6.8284      0  
 1.4142  -1.4142      0      0  -1.4142  -1.4142      0   2.8284
```

デバッグ#2

- 最後の行まで計算を進め変位uが以下の値になっていることを確認する。

```
u: 8x1 double =  
  0  
  0  
  0  
  0  
  0  
  0  
  0  
  0  
 0.0354
```

応力の計算と変形図の出力

応力の計算をして変形図を描画するプログラムを以下のように入力する。2部材のプログラムと部材数が多い点以外はほぼ一致する。

24 -	for i=1:nelm	24. 要素番号 i のループ
25 -	i1=ne(i,1);i2=ne(i,2) ;	25. 要素を構成する2節点の番号をi1,i2として読み出す
26 -	map=[2*i1-1 2*i1 2*i2-1 2*i2];	26. u1,v1,u2,v2の自由度番号をmapというベクトルとして定義する
27 -	e=[c(i) s(i)] ;	27. 方向余弦ベクトルの定義
28 -	dl=[-e e]*u(map);	28. $dl=u2'-u1'$ で要素の伸びdlを計算する
29 -	stress(i)=E(i)*(dl/L(i));	29. $\sigma=E*dl/L$ で応力の計算をする
30 -	end	30. 要素番号ループの終了
31 -	stress	31. 応力のコマンドウィンドウへの出力
32 -	uu=reshape(u,2,nnode);	32. 変位ベクトルuを行列uuに変更 (1行目はx方向変位, 2行目はy方向変位になる)
33 -	scale=200;	33. 拡大倍率の定義
34 -	xx=x+scale*uu(1,:);	34. xx 変形後の節点x座標
35 -	yy=y+scale*uu(2,:);	35. yy 変形後の節点y座標
36 -	for i=1:nelm;	36.
37 -	in=ne(i,:);	37.
38 -	plot(x(in),y(in),'-bo');hold on;	38. 変形前のトラスを青線で描く
39 -	end	39.
40 -	for i=1:nelm;	40.
41 -	in=ne(i,:);	41.
42 -	plot(xx(in),yy(in),'-ro');hold on;	42. 変形後のトラスを赤線で描く
43 -	end	

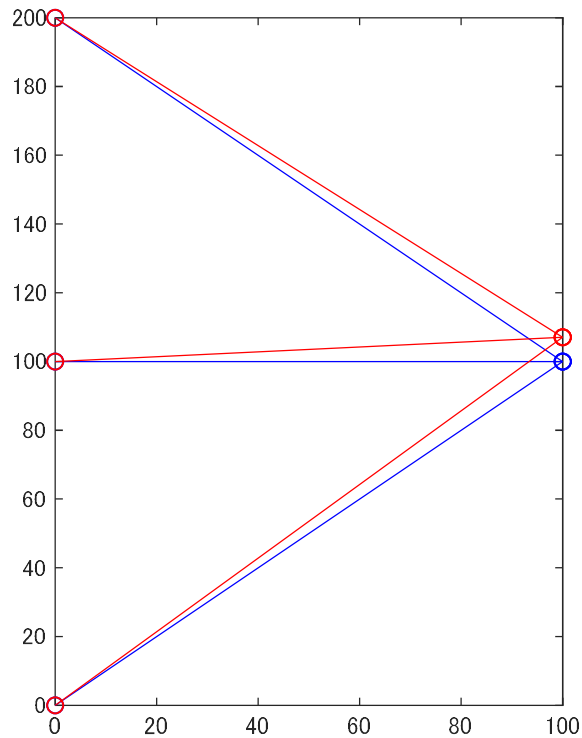
実行

最後まで実行すると応力として以下の値がコマンドウィンドウに出力される

```
stress =
```

```
    -0.3536         0         0.3536
```

これより要素②は荷重をまったく負担していないことがわかる。
また、変形前後のトラス形状が次のように描画される。



課題1 (breakout 15分)

今回のモデルでは拘束条件を考慮すると連立方程式はどのような形になるのか。
連立方程式を

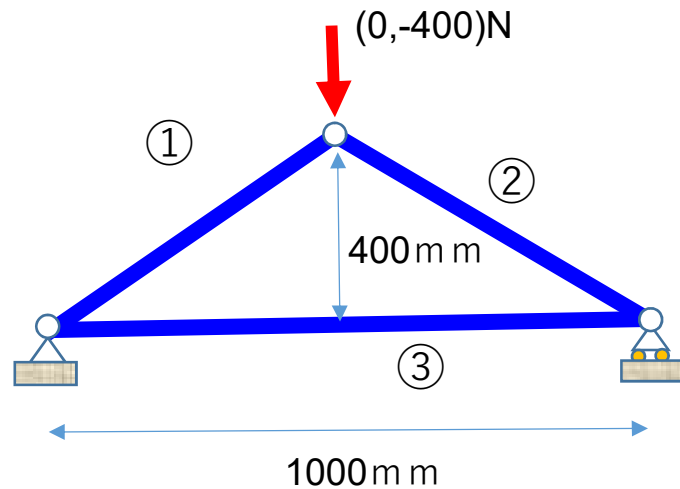
$$[\mathbf{k}]\{\mathbf{u}\} = \{\mathbf{f}\}$$

と表すとき係数行列 $[\mathbf{k}]$ と右辺ベクトル $\{\mathbf{f}\}$ の具体形 (数値) を示しなさい。

課題2 (breakout 15分)

作成したプログラムを利用して下図の構造の各部材の応力を求めなさい。

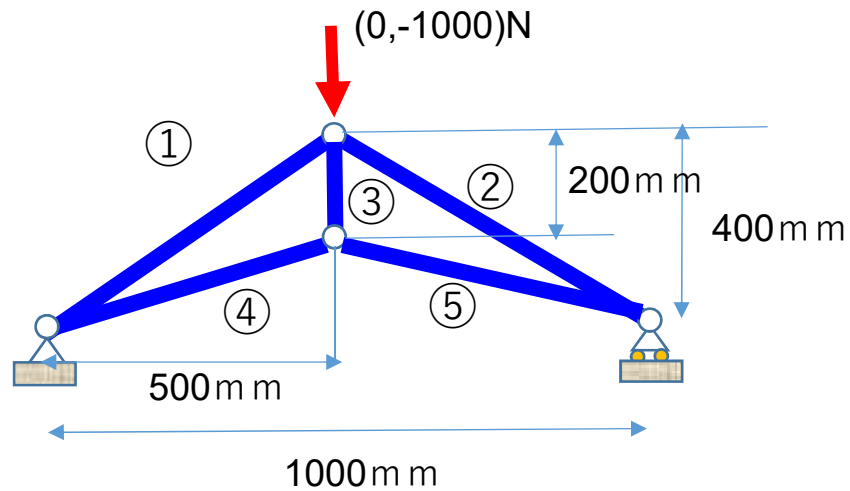
なお、一番右下の節点がローラー支持（垂直方向の変位は拘束されるが水平方向の移動は可能）



断面積	全ての部材	400mm^2
ヤング率	全ての部材	2000 N/mm^2

課題3

1. 作成したプログラムを利用して下図の構造の各部材の応力を求めなさい。
2. 部材の応力が全て 1N/mm^2 以下になるためには部材の断面積をいくつにすればよいか
(断面積は全ての部材で同じ値とする)



断面積	全ての部材	400 mm^2
ヤング率	全ての部材	20000 N/mm^2