

## Simply supported beam modeled with two dimensional solid elements

この例で固体動力学の簡単な問題に取り組みます。

構造は、2次元固体要素（四角形要素）としてモデル化された単純支持はりです。

梁は、静的負荷（2つの節点荷重）が作用させ。そして、静的負荷を除去することで自由振動が引き起こされます。

梁の自由振動は、解析結果がグラフィカルに表示されます。

四角形要素の3つの種類：[クワッド要素](#)、[bbarQuad 要素](#)、および [enhancedQuad 要素](#)での解析し、その結果を比較します。

図 1 は、梁と静的負荷のジオメトリを示しています。

単位は kips 、インチ 、秒

図 2 はグローバル座標系で有限要素メッシュを示しています。

8 × 2 要素に分割するメッシュが生成します。

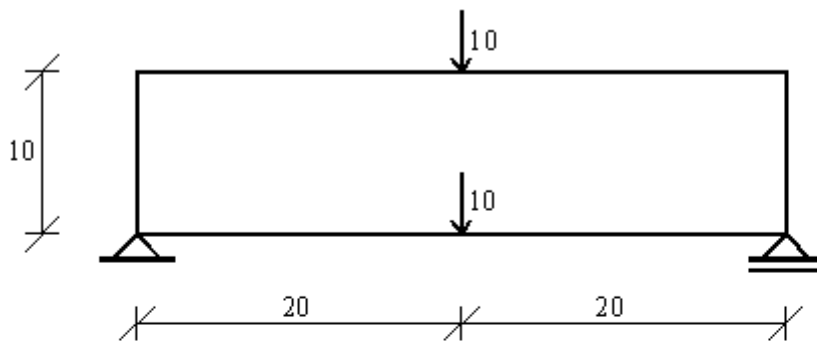


Fig. 1 Geometry and static loads

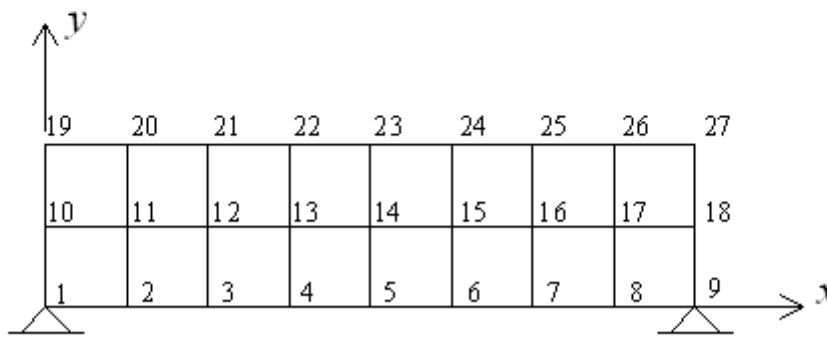


Fig. 2 Finite element mesh and node numbering

## 実行する方法

以下のファイルをダウンロードして実行してください

[DynAnal\\_BeamWithQuadElements.tcl](#)

ダウンロードしたファイルは `OpenSees.exe` と同じディレクトリに 配置します。

`OpenSees.exe` を起動し、

「`source Example6_4.tcl`」と入力し `enter`。

```
# Units: kips, in, sec
wipe; # clear opensees model
file mkdir Data; # create data directory
```

モデルを作成します。

次元数と節点の自由度を、`model` コマンドを使用して定義します。

二次元解析では、典型的な固体要素は 2 次元空間のボリュームとして定義されます。

この例では 2D モデルの各節点で 2 つの自由度があります。

これは、次のように定義します。

```
# Create ModelBuilder with 2 dimensions and 2 DOF/node
model BasicBuilder -ndm 2 -ndf 2
```

梁のジオメトリを定義し、`bloc2D` コマンドを使用して四角形要素のメッシュを生成します。

このコマンドは、分析に使用する四角形要素の種類も指定します。四角形の要素を定義するために [NDmaterial](#) を最初に作成する必要があります。

この例では [ElasticIsotropic material](#) が使用されます。ヤング率は 1000 (ksi=kilo psi =68947.57hpa) 、ポアソン比 0.25、質量密度は 6.75 kips/cu in(キュービックインチ)

```
# create the material
nDMaterial ElasticIsotropic 1 1000 0.25 3.0
```

分析に使用する四角形の要素の型を選択します。

```
# set type of quadrilateral element (uncomment one of the three options)
set Quad quad
#set Quad bbarQuad
#set Quad enhancedQuad
※上3つのうちどれかを使う。
```

3つの四角形の要素の種類を考慮し、引数を定義します。

3つの要素すべてで、平面応力材料挙動をモデルします。

```
# set up the arguments for the three considered elements
if {$Quad == "enhancedQuad"} {
    set eleArgs "PlaneStress2D 1"
}
if {$Quad == "quad"} {
    set eleArgs "1 PlaneStress2D 1"
}
if {$Quad == "bbarQuad"} {
    set eleArgs "1"
}
```

X および Y 方向の部材の数を設定する。

```
# set up the number of elements in x (nx) and y (ny) direction
set nx 16; # NOTE: nx MUST BE EVEN FOR THIS EXAMPLE
set ny 4
```

これらの値を変更することで、細かいメッシュや粗いメッシュを作成できます。

X 方向の部材の数が変更されても、力は梁の中心に適用されます。

節点、部材を定義するのに使用しているのは、[block2D コマンド](#)。

```
# create the nodes and elements using the block2D command
block2D $nx $ny 1 1 $Quad $eleArgs {
    1 0 0 #左下の座標
    2 40 0 #右下の座標
    3 40 10 #右上の座標
    4 0 10 #左上の座標
    一つのメッシュの各座標
}
```

1つのメッシュの大きさを決める。

メッシュを  $nx$  と  $ny$  の値を変更するだけで変更できるようにするには、

右側の支点の節点番号 ( $bn$ )

負荷をかける節点の各番号を( $l1$  と  $l2$ )として

次のように定義されます。

```
set bn [expr $nx + 1]      #右側の支点の節点番号
set l1 [expr $nx/2 + 1]    #下の荷重点の節点番号
set l2 [expr $l1 + $ny*($nx+1)]  #上の荷重点の節点番号
```

境界条件を決める。1 が固定、0 が自由。

```
# define boundary conditions
```

```
fix 1 1 1
```

```
fix $bn 0 1
```

レコーダーを定義します。

梁の中心の垂直方向の変位は、`noderecorder` を使用して記録します。

出力されたファイル `Node.out` には 2 つの列があります。

1 列目は時間、 2 列目は静的と過渡解析からの梁の垂直変位。

```
# define the recorder
```

```
#-----
```

```
recorder Node -file Data/Node.out -time -node $l1 -dof 2 disp
```

静的分析を作成し、実行する

静的負荷を適用する。

```
# define load pattern
```

```
#-----
```

```
pattern Plain 1 Linear {
```

```
load $l1 0.0 -1.0
```

```
load $l2 0.0 -1.0
```

```
}
```

分析オブジェクトが定義され、10 の手順で解析します。

アルゴリズムの型はニュートンラフソン法を使用します。解法アルゴリズムの収束確認は [energy increment](#) ベクトルのノルムで行います。

```
# Load control with variable load steps
```

```
#           init Jd min max
```

```
integrator LoadControl 1.0  1 1.0 10.0
```

```
# Convergence test
```

```
#           tolerance maxIter displayCode
```

```
test EnergyIncr 1.0e-12  10  0
```

```
# Solution algorithm
```

```
algorithm Newton
```

```
# DOF numberer
```

```
numberer RCM
```

```
# Cosntraint handler
```

```
constraints Plain
```

```
# System of equations solver
```

```
system ProfileSPD
```

```
# Type of analysis analysis
```

```
analysis Static
```

```
# Perform the analysis
```

```
analyze 10
```

**非定常解析の結果を表示します。**

結果の表示は、レコーダーの表示コマンドを使用して作成します。

この例題ではウィンドウのタイトルを("Simply supported Beam") と指定しています。

ウィンドウの位置と大きさを指定します。

位置はウィンドウの左上の  $x$  と  $y$ 、大きさはウィンドウの縦と横を指定する。

プロジェクターの参照ポイント (**prp**) は次に定義されます。このポイント (視聴者の目) の投影の中心を定義します (詳細: [Viewpoint Projections and Specifications](#))。)

通常、図は、オブジェクトの中心に表示されます。この例では、構造物の中心は (20,5) である (図 1)。次に、view-up (vup) vector を定義する必要があります。それは (0,1,0) です。ウィンドウの表示は、viewWindow コマンドを使用して定義します。

4 つの座標 (-x, x, y, y) で prp を基準に表示ウィンドウのサイズを定義します。この例では、viewWindow -30 30 -10 10 とすることで、左右に 10、上下に 5 ずつのスペースを持たせている。最後に、display コマンドを使用して解析中の梁の変位を表示します。display コマンドの最初の引数で、応答をプロットする種類を指定します。2 番目の引数は節点の表示の拡大係数、3 番目の引数で応答量の表示の拡大係数です。

```
#                $windowTitle      $xLoc $yLoc $xPixels $yPixels
recorder display "Simply Supported Beam" 10    10    1600    400    -wipe
prp 20 5.0 1.0;                                     # projection reference point
(prp); defines the center of projection (viewer eye)
vup 0 1 0;                                         # view-up vector (vup)
vpn 0 0 1;                                         # view-plane normal (vpn)
viewWindow -30 30 -10 10;                          # coordiantes of the window
relative to prp
display 10 0 5;                                     # the 1st arg. is the tag for
display mode                                       # the 2nd arg. is
                                                    # the 3rd arg. is
magnification factor for nodes, the 3rd arg. is magnif. factor of deformed shape
```

### 梁 - 過渡解析の自由振動

静的解析を行った後、wipeAnalysis コマンドを使用して、静的解析を分析オブジェクトを削除します。時間がゼロにリセットされ、remove loadPatern command を使用して節点荷重を消去し、新しい解析オブジェクトを作成します。節点変位は変更しません。構造物にかかる外力を取りのぞくと静的平衡ではなくなる。

```
# Remove the static analysis & reset the time to 0.0
```

```
#静的解析のオブジェクトを削除し、時間を 0.0 にリセットする。
```

```
wipeAnalysis
```

```
setTime 0.0
```

```
# Now remove the loads and let the beam vibrate
```

```
#荷重を取り除き、梁の振動を設定する。
```

```
remove loadPattern 1
```

梁要素の減衰は次のように定義します。

梁要素の減衰は第 1 モードに基づいた剛性比の[レーリー減衰](#)です。最初のモード減衰比 2 % に設定します。

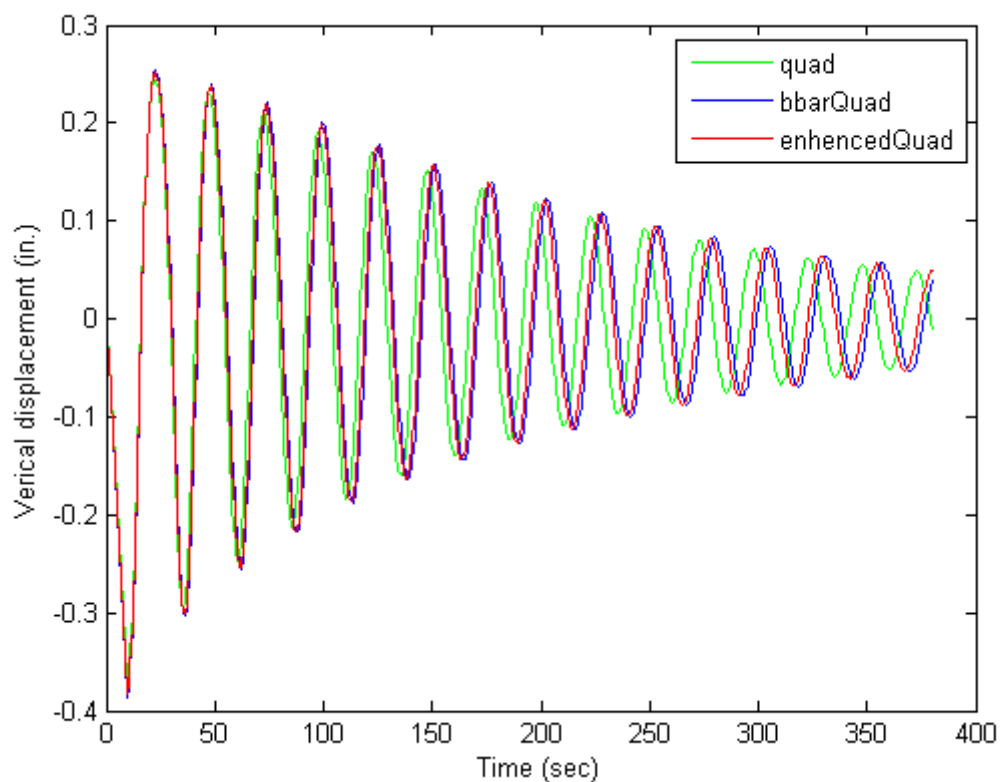
```
#define damping  
rayleigh 0. 0. 0. [expr 2*0.02/sqrt([eigen 1])];
```

非定常解析オブジェクトは、次のように定義します。動的解析のためのインテグレーターは[Newmark](#)法です。この方法は 1 つの時間ステップの一定の平均加速度を考慮している。 $\gamma = 0.5$  と  $\beta = 0.25$ 。この選択は、無条件で安定し、線形の問題のためのエネルギーの節約になる。さらに、このインテグレーターは線形と非線形の問題で線形および角度の運動量を節約できます。動的解析の時間ステップは 1500、1 ステップの増加量は  $\delta t = 0.5$ 。

```
# Create the transient analysis  
test EnergyIncr 1.0e-12 10 0  
algorithm Newton  
numberer RCM  
constraints Plain  
integrator Newmark 0.5 0.25  
system BandGeneral  
analysis Transient  
  
# Perform the transient analysis (50 sec)  
analyze 1500 0.5
```

## 検索結果

次の図は、四角形要素の 3 つの異なる種類の梁中心の垂直方向の変位を示します。図の最初の 10 秒は静的荷重を作用させた時の梁の応答を示し、応答の残りの部分は、静的荷重を取り除くことによって発生する振動を示している。



「[Http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/Simply\\_supported\\_beam\\_modeled\\_with\\_two\\_dimensional\\_solid\\_elements](http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/Simply_supported_beam_modeled_with_two_dimensional_solid_elements)からの取得”

# OpenSees Example: Simple supported beam modeled with 2D solid elements