

建築数理工学

第11回 (2009年7月2日)

建築学コース2年次第1学期

担当: 大嶋拓也

本日の内容

- 鉄骨フレームの解析(1): 補強プレートと地震力の無い場合

与える応力を境界rightにおけるx方向の引張り応力10 [kPa]から境界upにおけるy方向の引張り応力10 [kPa]に変更し、解析結果の $(x, y) = (0.5, 0)$ mの点における σ_{yy} について、解析解と比較したときの相対誤差が1.5%以下となるよう改善せよ。

(1) 改善後の設定条件を記述し、メッシュ画像を掲載せよ。

(2) シミュレーション結果は以下を掲載すること。

2.1) 改善後シミュレーション結果の応力分布・変位画像

2.2) 解析解・改善後結果の $y = 0$ における σ_{yy} を、重ねてプロットしたグラフ

2.3) $(x, y) = (0.5, 0)$ mにおける相対誤差の値

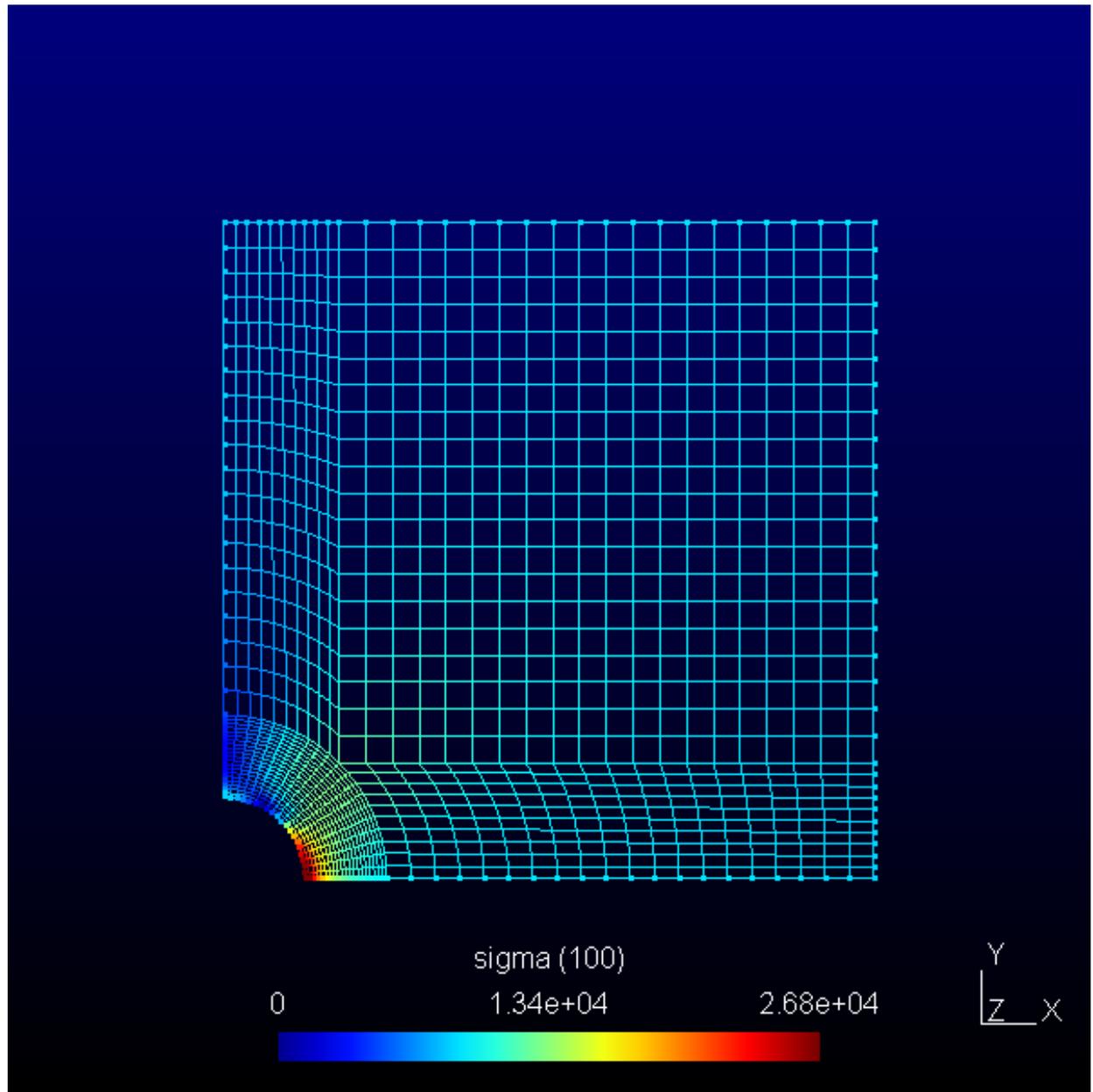
2.4) 考察

注意: 数値の単位、画像・表のキャプション、在籍番号・氏名などを必ず記載すること。

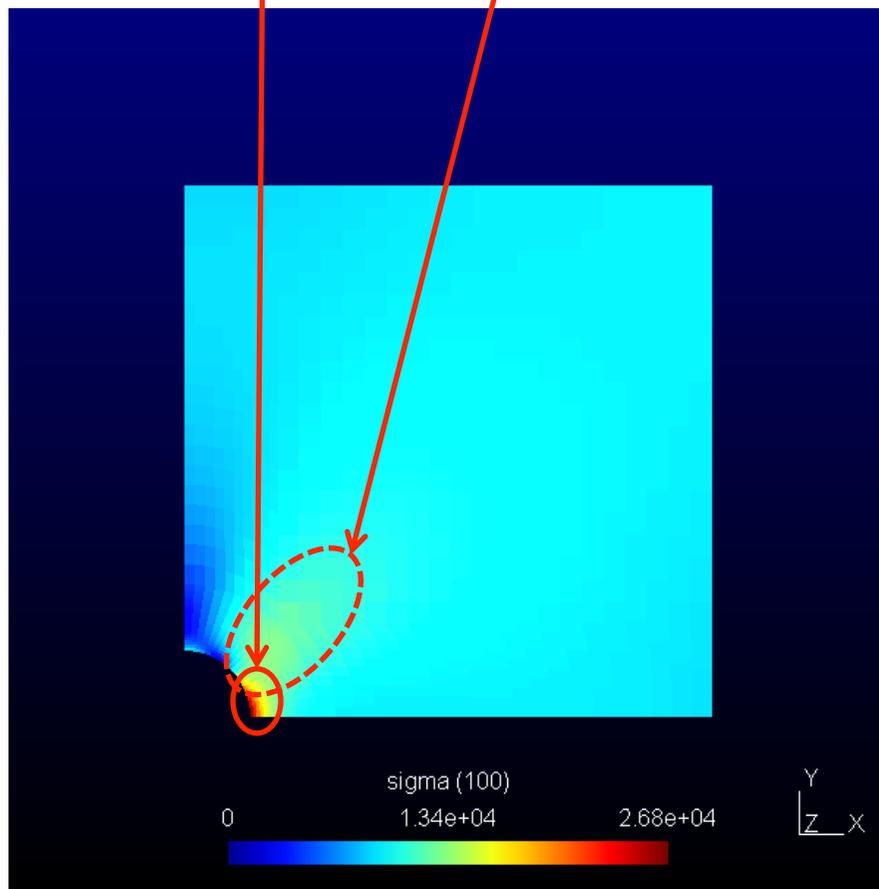
締切: 27日(土) 12:00

(あくまで一例)

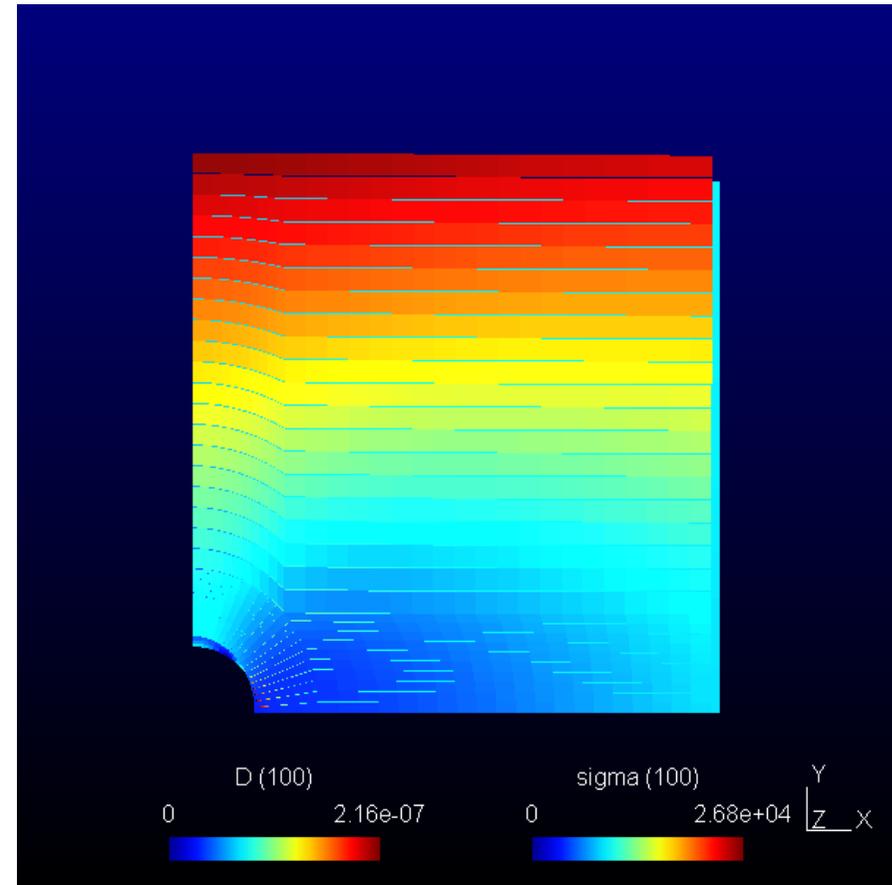
- 板サイズを4 [m]×4 [m]
→ 8 [m]×8 [m]に変更
- 円孔周囲の半径方向のみ20分割に変更、他はそのまま



応力集中 この辺りも若干、応力が高い

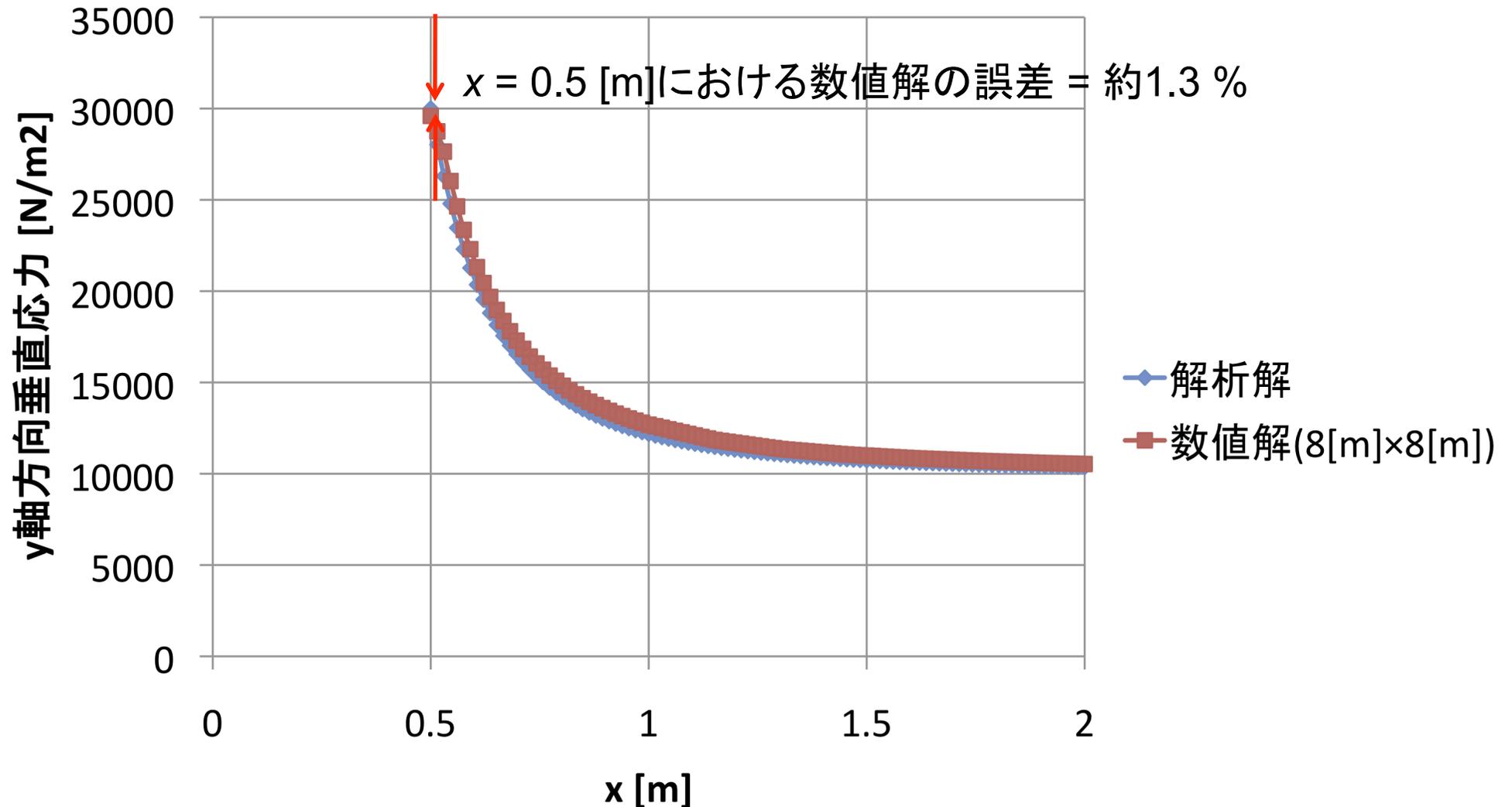


ミセス応力分布(4m×4mの場合)



変位(4m×4mの場合)

解析解と数値解の比較

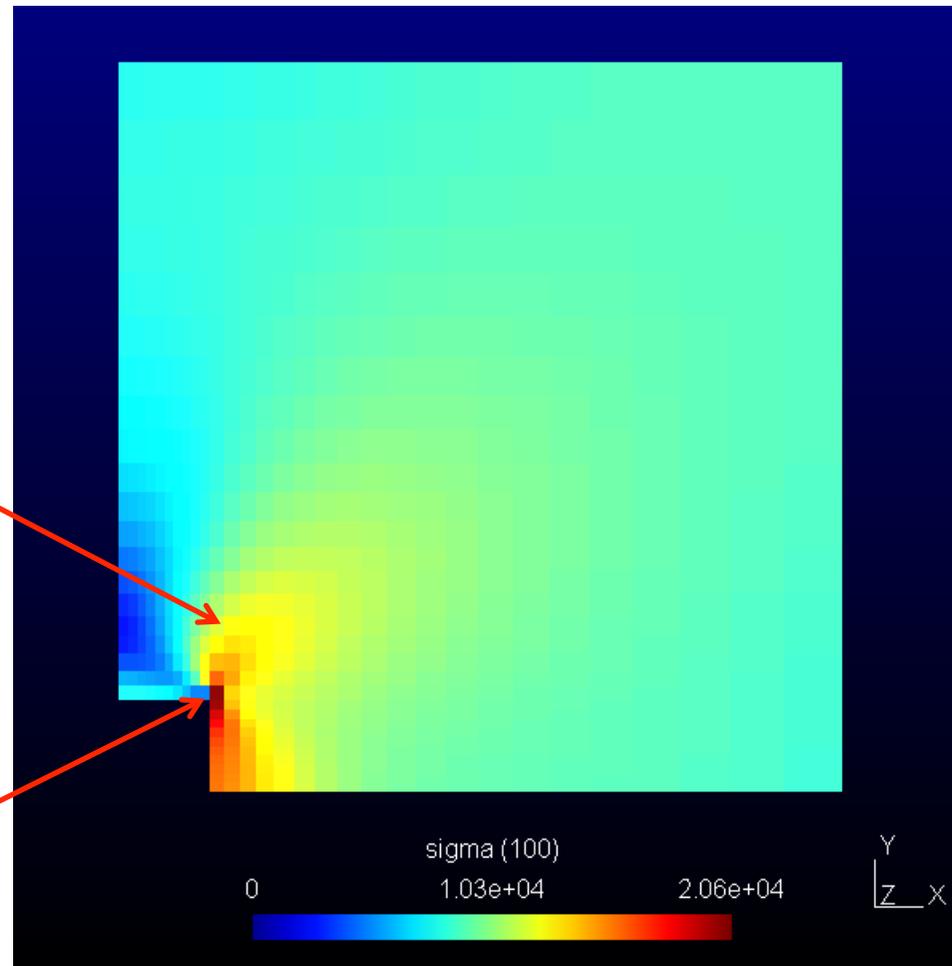


- 応力画像無し(数名)
- 2枚とも応力画像
- $y = 0$ における応力グラフの代わりに応力分布画像
- 応力と変位の画像タイトルが逆
- 誤差の計算間違い(桁が違う)
- メッシュ分割の巧拙(少ない方が良く)で若干の差
- 歪みと変位の違い

- 板サイズ8 [m]×8 [m]、正方形孔の辺長1 [m]、上下方向に10 [kPa]
- ミセス応力分布

この辺りも、応力が大きい

応力集中

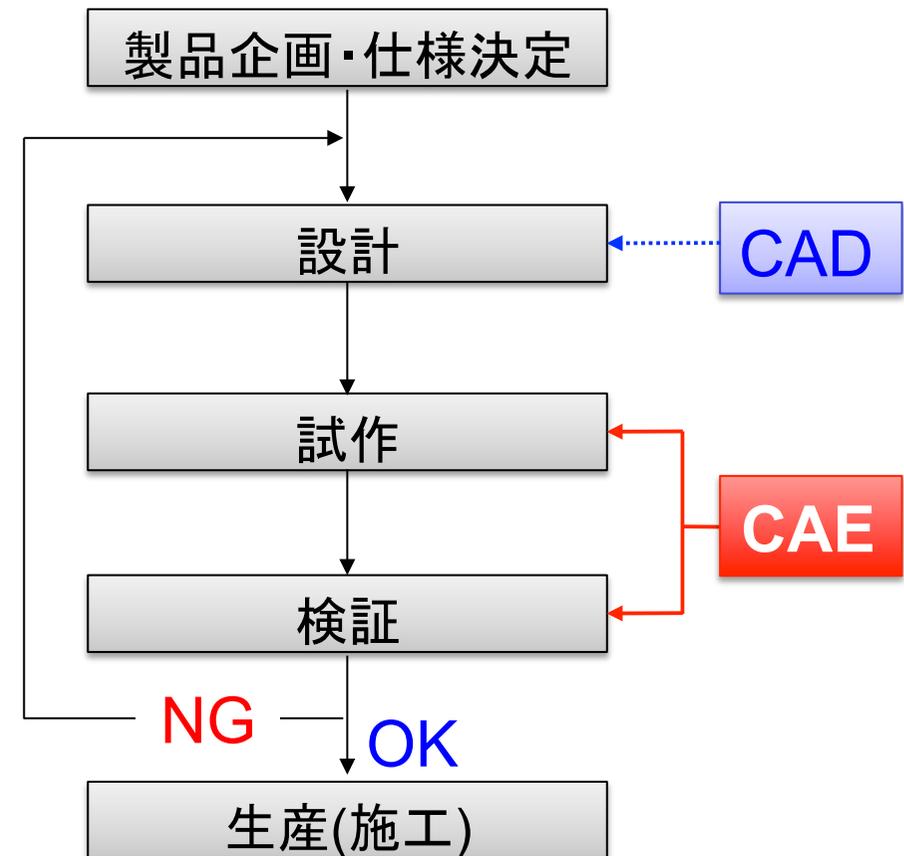


- 適切な条件を与えれば、シミュレーションによって物理現象をよく再現できることは判った。
- ではそのシミュレーション技術を、どう役立てるか？

- 設計における支援ツール(CAE)
- 解析結果を、的確に読み取ることが重要

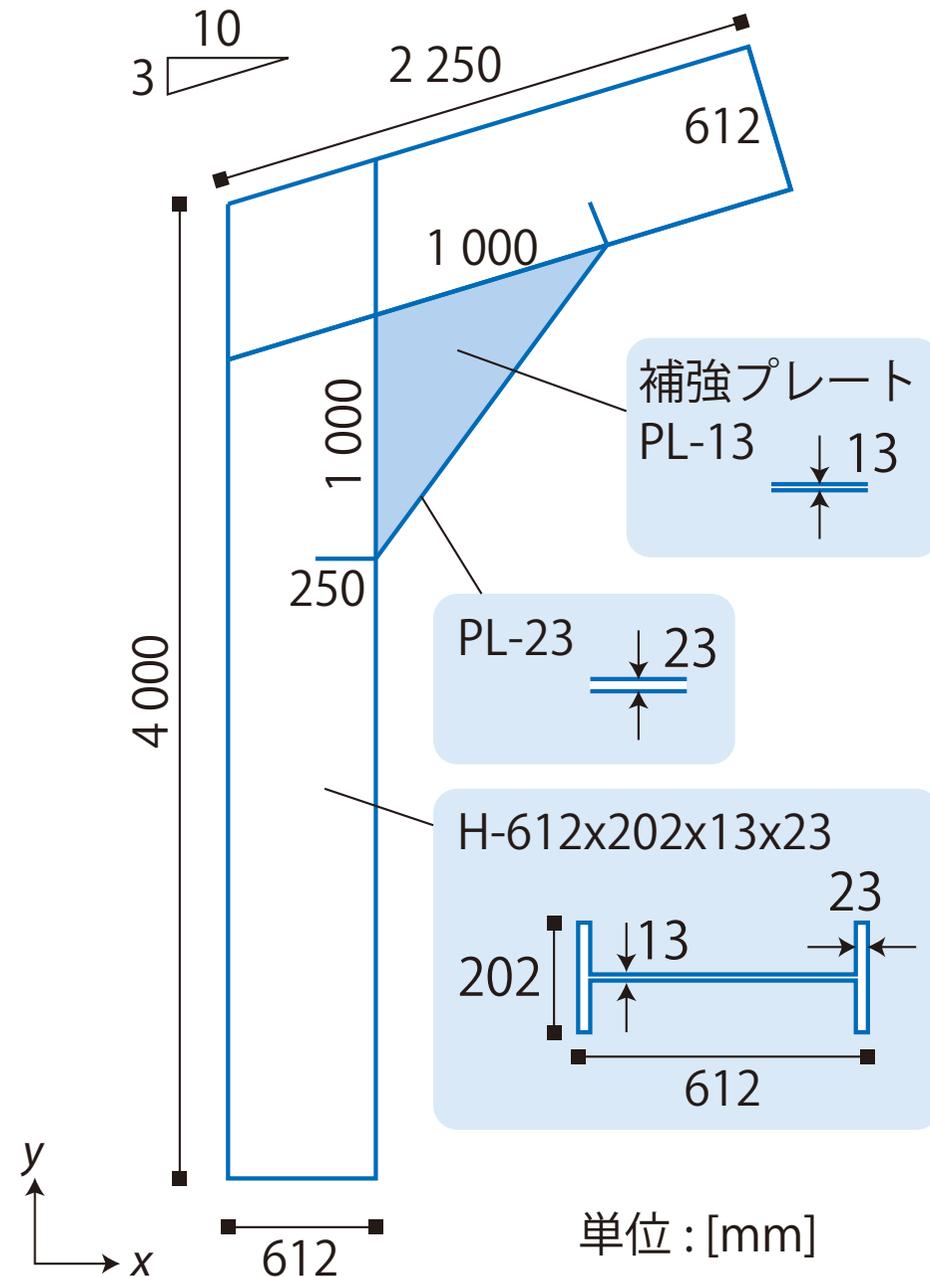
シナリオを設定:

- ある鉄骨建築物の構造設計
- 鉄骨フレームの、あるパーツの必要性を判断する



ケース概要(3): フレーム形状

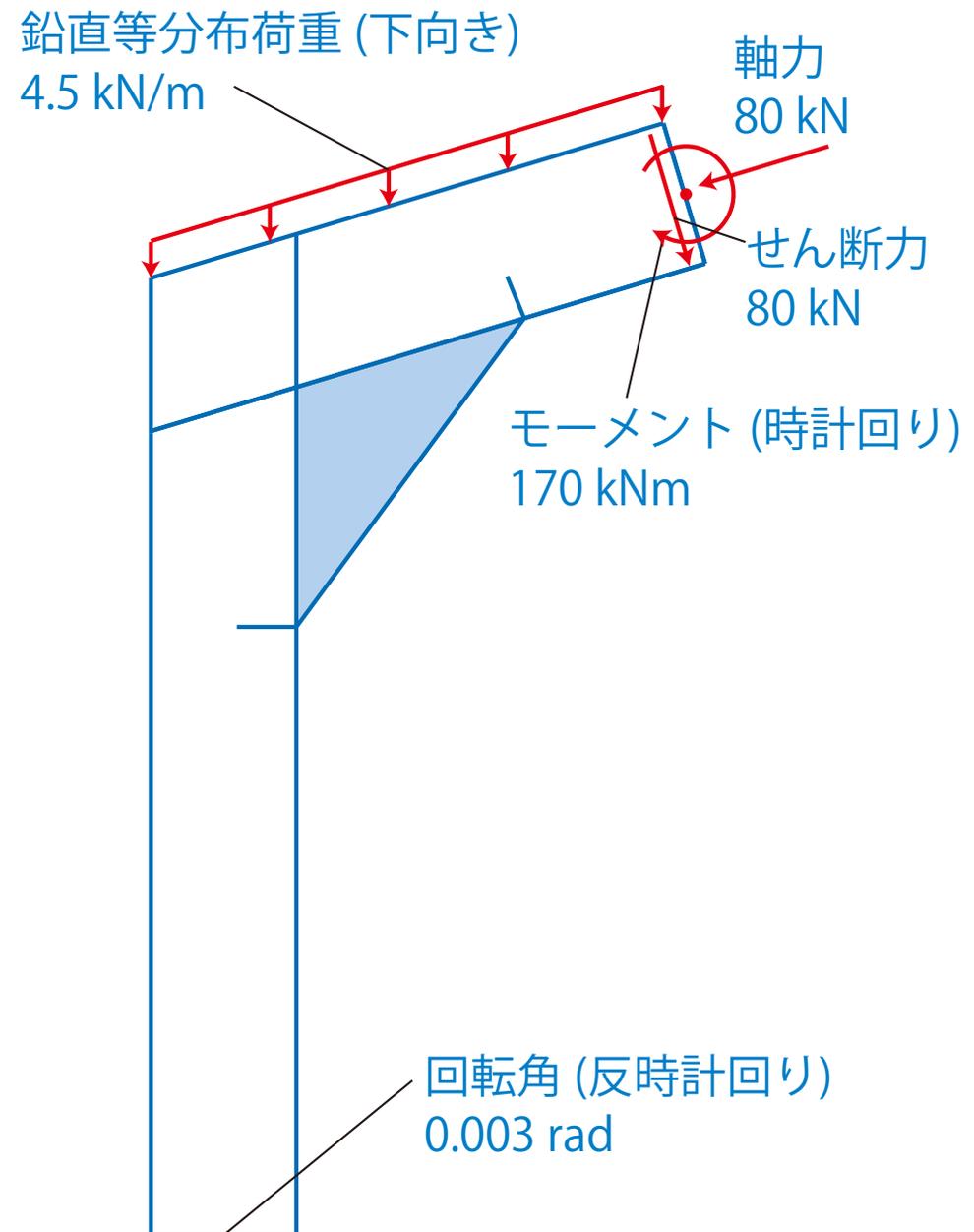
- フレーム寸法(右図)
- H形鋼が交差した部分に、補強プレートが追加された形状
- 鋼材の物性値:
 - ヤング率: 2.058×10^{11} [Pa]
 - ポアソン比: 0.3
 - 密度: 7.854×10^3 [kg/m³]
 - 降伏応力: 235 [MPa]



ケース概要(4): 鉛直荷重

- 鉛直荷重(ただ建っているだけにかかる荷重)
- 軸力・せん断力・モーメント (時計回り)・回転角は、不静定ラーメンの骨組計算によって求めた。
- 降伏応力: 235 [MPa]
- 鉛直荷重時は、降伏応力の1.5分の1に収まるよう設計する。
- 許容応力度: $235/1.5$ [MPa] = 156 [MPa]

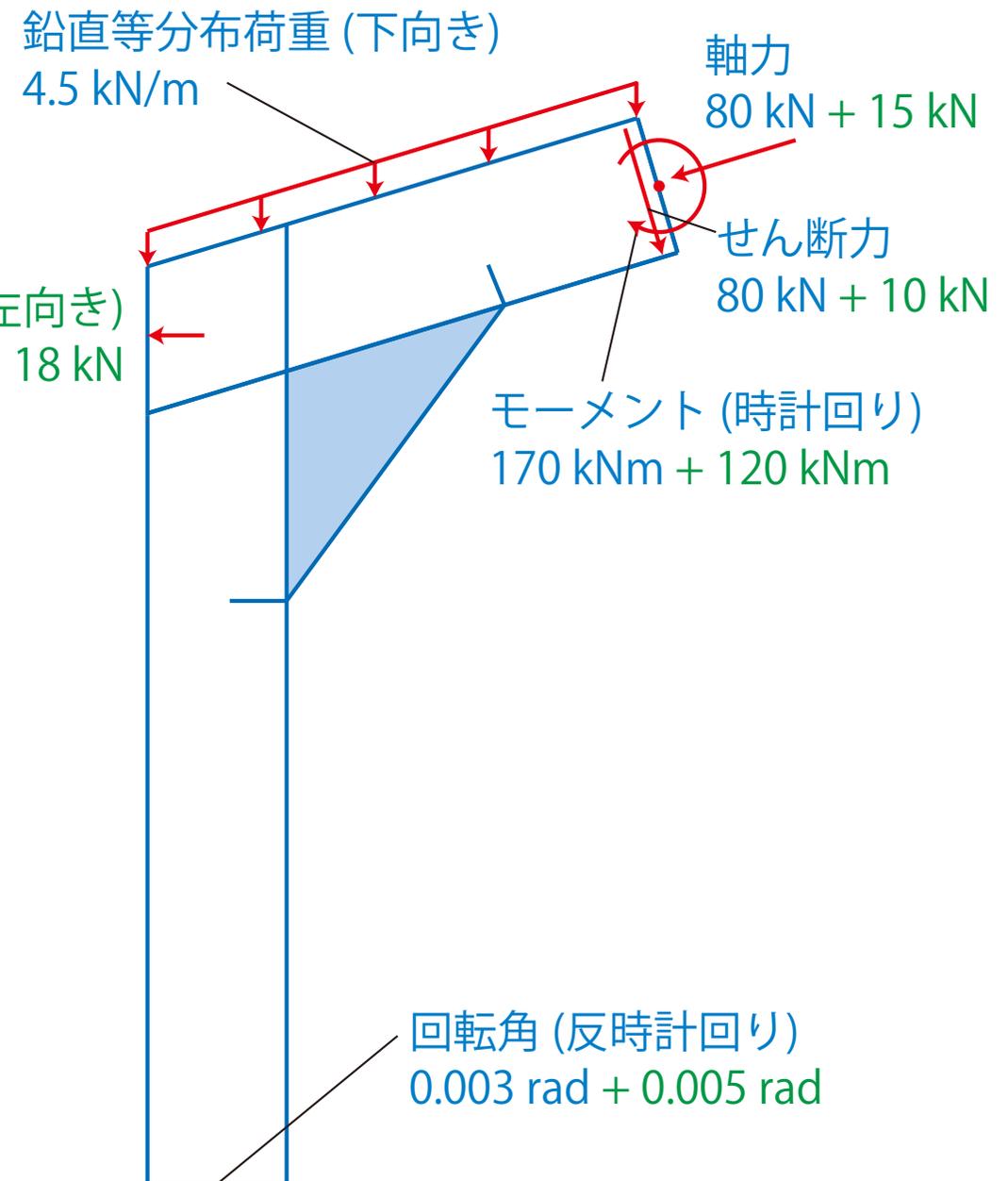
※実際の設計基準はもう少し複雑なので、詳しくは建築構造設計IIの講義で学習されたい。



ケース概要(5): 地震時の荷重

- 地震時の荷重 = 鉛直荷重 + 地震荷重
- 青: 鉛直荷重、緑: 地震荷重
- 水平地震荷重 (左向き) 18 kN
- 地震荷重は、フレームが支持する荷重に地震層せん断力係数を乗じた値として求めた。
- 降伏応力: 235 [MPa]
- 鉛直荷重 + 地震荷重時は、降伏応力いっぱい収まるよう設計する。
- 許容応力度: 235 [MPa]

※実際の設計基準はもう少し複雑なので、詳しくは建築構造設計IIの講義で学習されたい。



- ケース: 補強プレートの有無、地震荷重の有無の組合せで、計4とおり。

	補強プレートなし	補強プレートあり
地震荷重なし	frameJoint	frameJointWithPlate
地震荷重あり	frameJointEarthquake	frameJointWithPlateEarthquake

↓

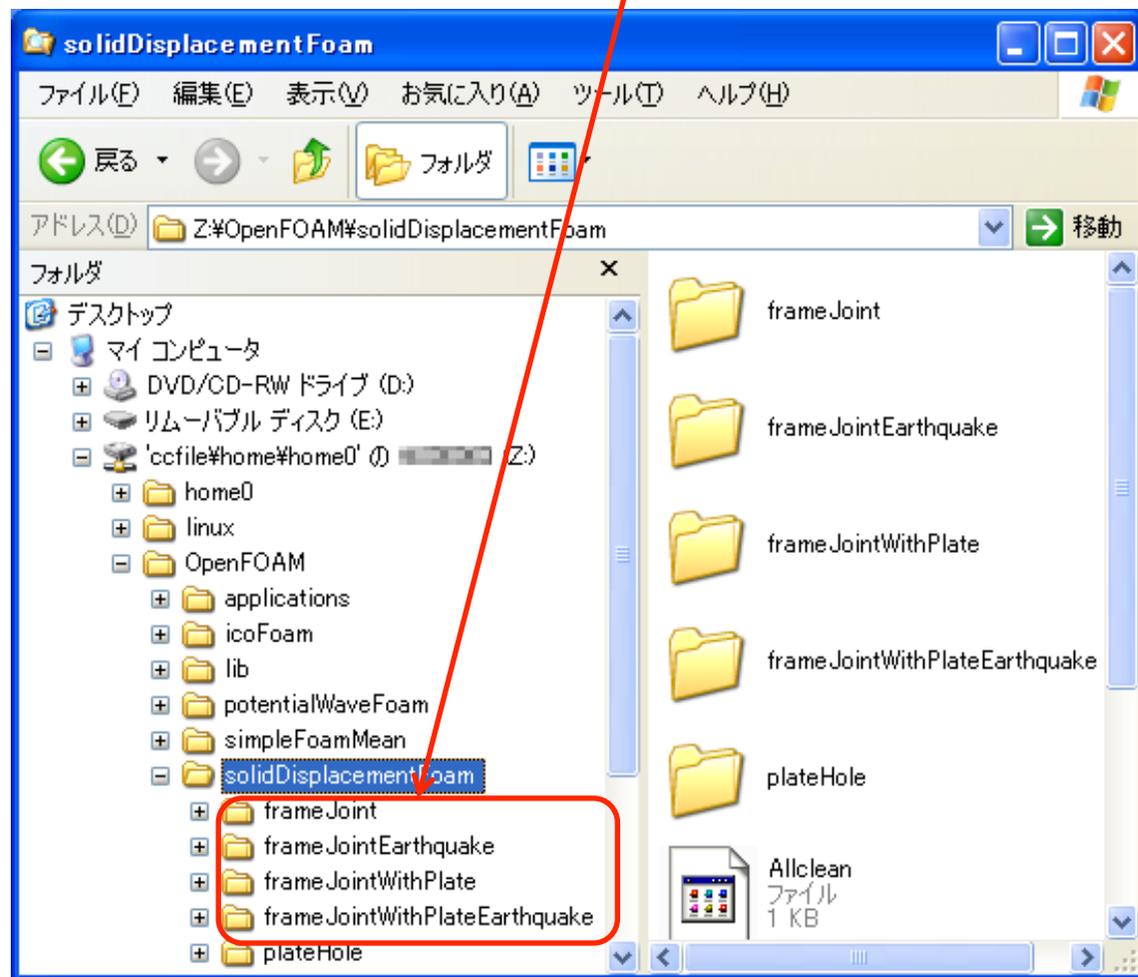
同一のメッシュ

↓

同一のメッシュ

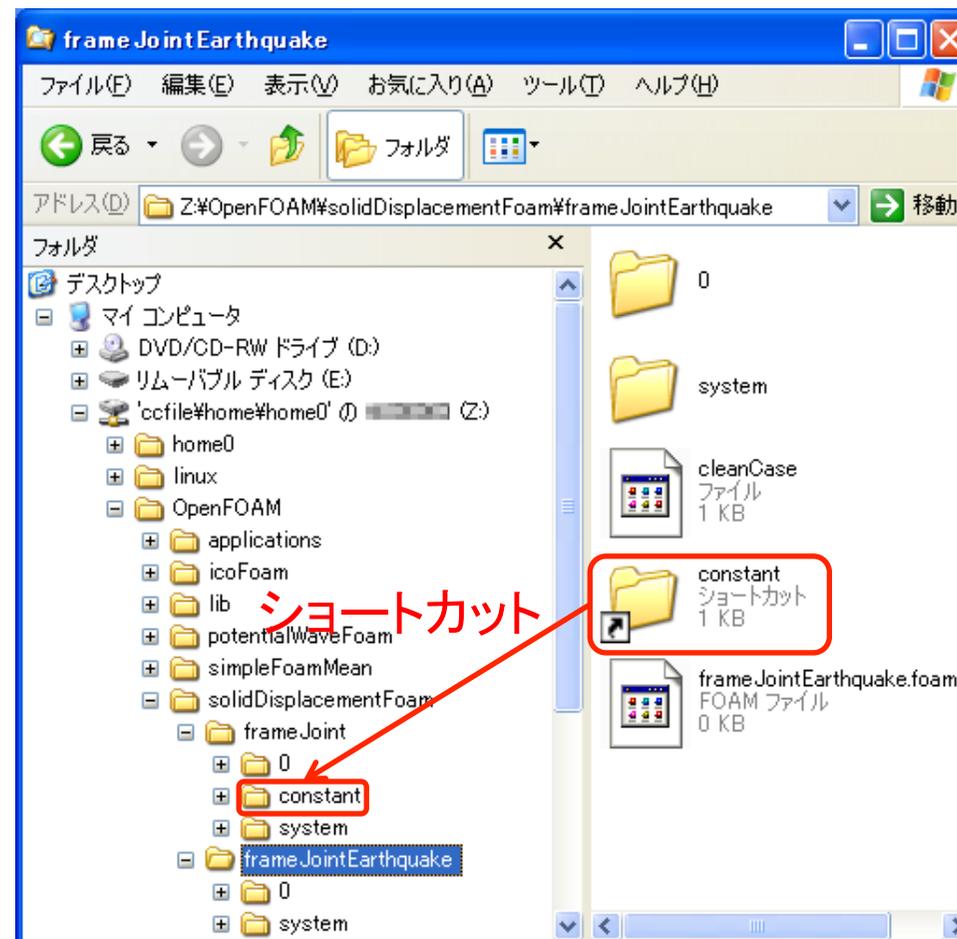
ケース概要(7): ケースフォルダの位置

- 本ケースは全て、コマンド入力で操作する。FoamXは使用しない。
- ケースフォルダはZ:¥OpenFOAM¥solidDisplacementFoam¥ケース名。

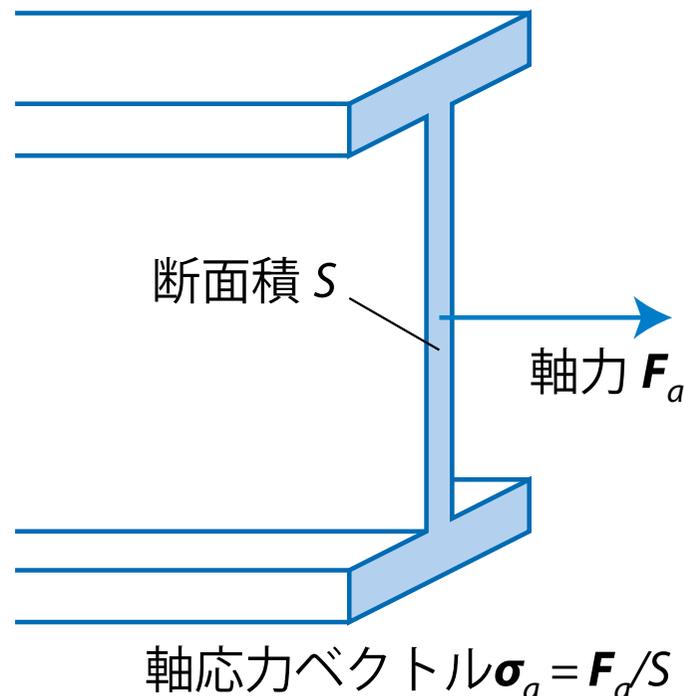


メッシュデータ共有のため、以下のショートカットを設定済み

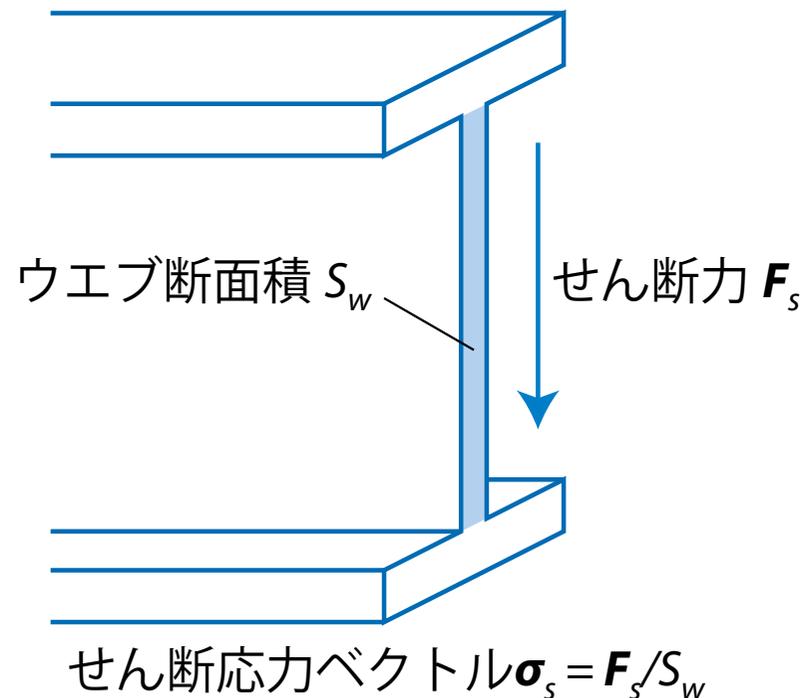
- frameJointEarthquake¥constant → frameJoint¥constant
- frameJointWithPlateEarthquake¥constant → frameJointWithPlate¥constant



- シミュレーションでは軸力・せん断力・モーメント・回転角をそのまま入力することはできないので、応力境界条件または変位境界条件に直す必要がある。
- 境界値の計算詳細は略。z:¥OpenFOAM¥solidDisplacementFoam ¥frameJointsBC.xlsを参照されたい。ここでは原理のみ示す。
- 軸力: H形鋼の断面積で割って、断面法線方向の応力に直せば良い。

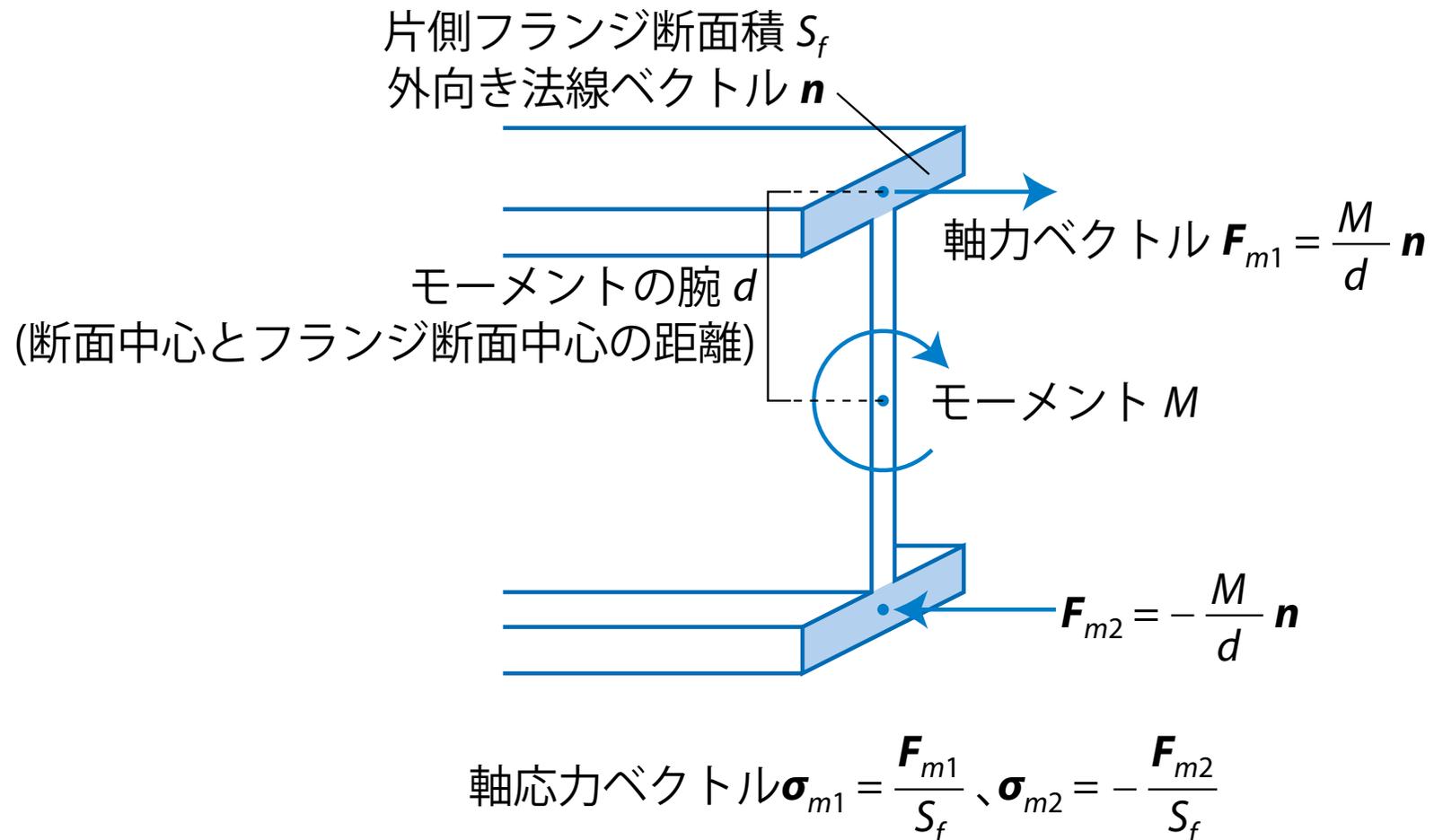


- せん断力: H形鋼のウェブ部分が主に負担するので、せん断力をウェブ部分の断面積で割った大きさで、かつ断面に平行な向きの応力ベクトルとして与える。

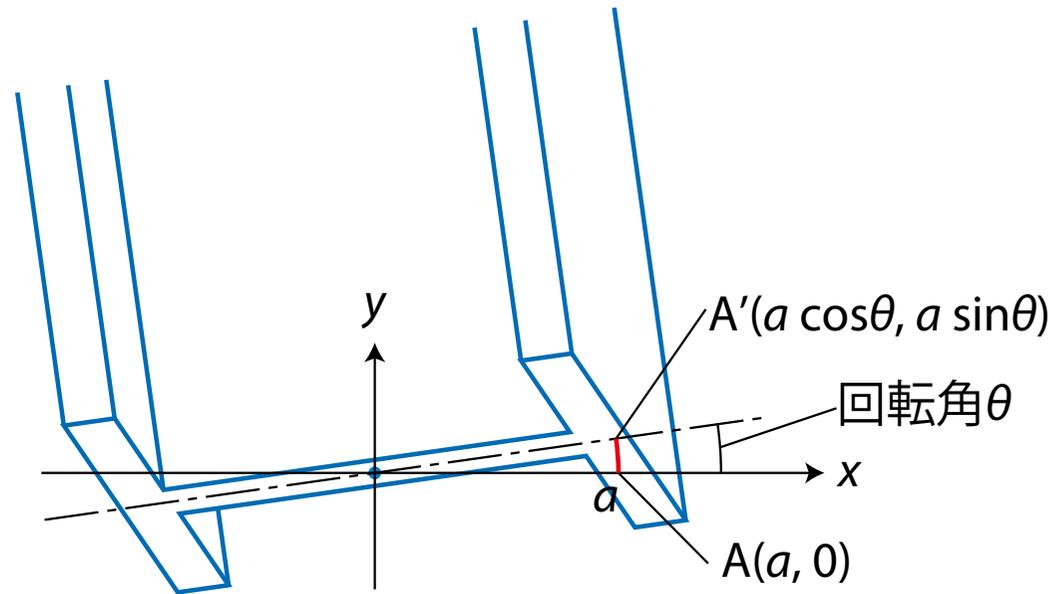


境界条件の設定法 (3): モーメント

- モーメント: フランジ部分が主に負担するので、断面全体の中心とフランジ中心の距離をモーメントの腕と考えると、フランジ部断面での軸方向圧縮・引張り応力に換算する。



- 回転角: 変位に直す。



$$\text{変位 } \mathbf{D} = A' - A = (a \cos \theta - a, a \sin \theta)$$

- まずは、frameJoint (補強プレート・地震荷重ともに無し)ケースを実行してみよう。
- blockMeshでなく、gmshFoamを使って、CADデータからメッシュを生成
- CADデータファイル名: frameJoint.geo

- 「スタート」→「すべてのプログラム」→「OpenFOAM」→「OpenFOAM Terminal」

```
cd OpenFOAM/solidDisplacementFoam/frameJoint
```

frameJointのケースフォルダに移動する。

コマンド名・ファイル名・ピリオド(.)の間は、スペースで区切る。以下同様。

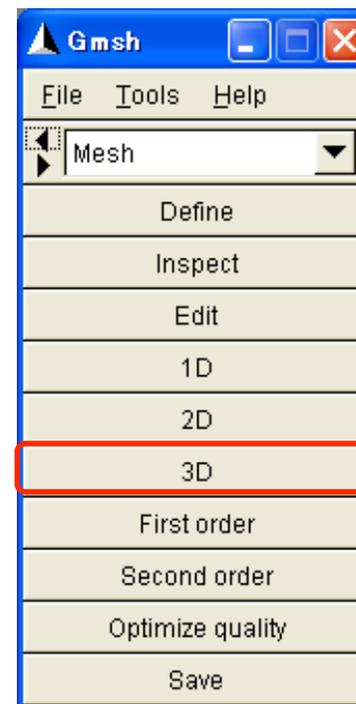
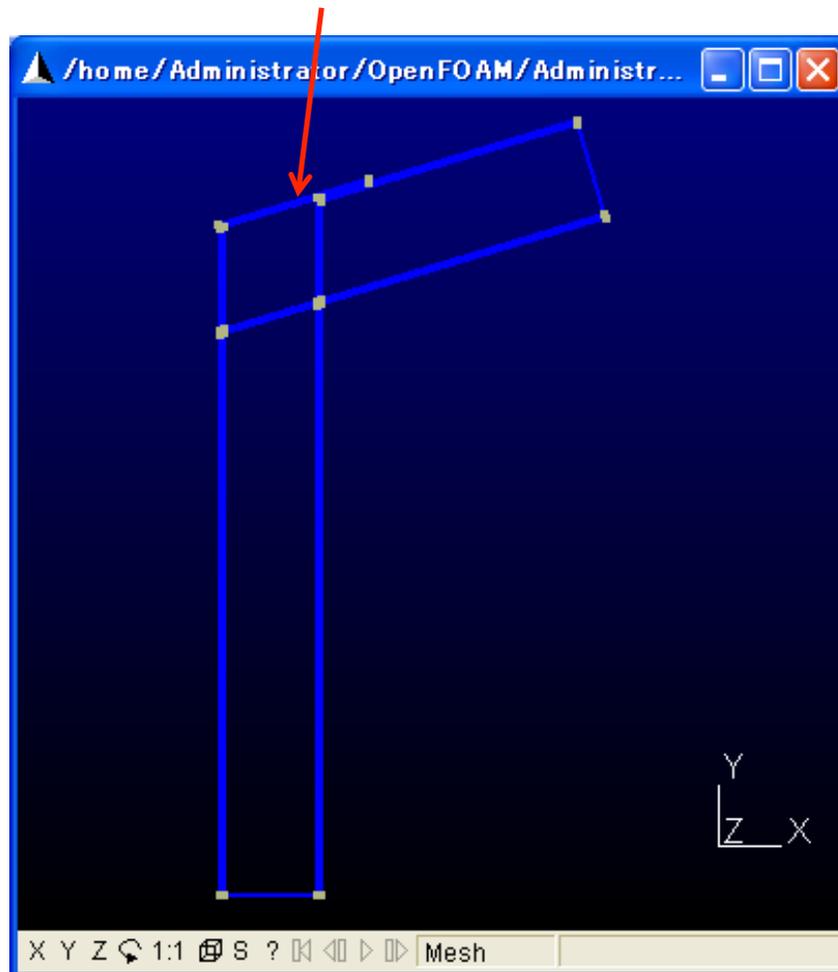
```
gmshFoam . . frameJoint.geo
```

gmshFoamに、frameJoint.geoを読み込む。

※一度入力したコマンドを再度入力したい場合、上向き矢印(↑)キーを押すと入力したコマンドを遡ることができる。入力したいコマンドが見つかったら、Enterキーを押す。

- ・CADデータが表示され、さらに「3D」ボタンを押すとメッシュが生成される。

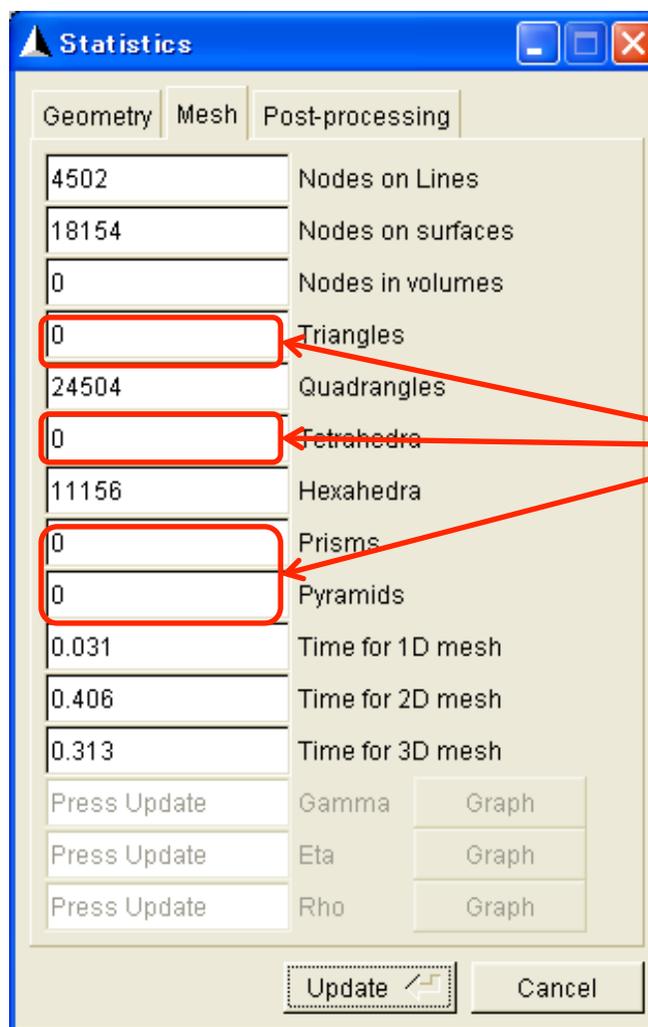
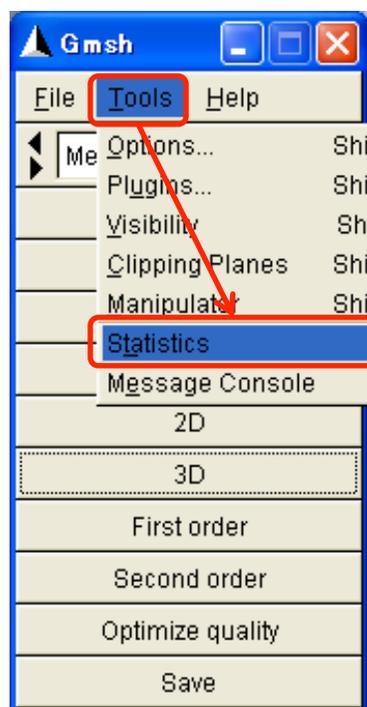
CADデータ



メッシュの生成

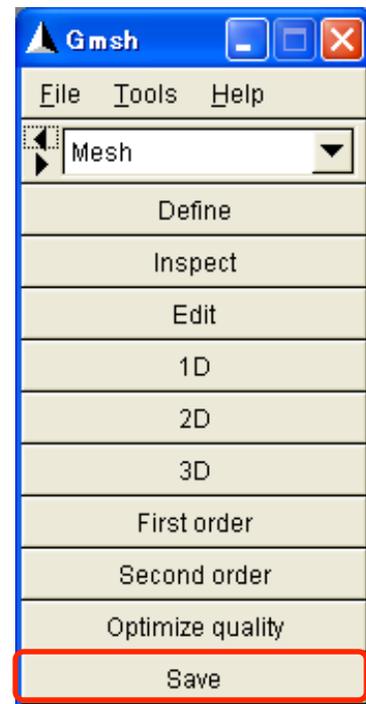
CADデータからのメッシュ生成(3)

- メッシュが全て六面体(Hexahedra)のセルで出来ていることを確認する。
- 六面体以外のセルが存在すると、シミュレーションが正常に実行されない。



全て「0」であることを確認する

- 確認したら、「Save」をクリックしてメッシュを保存
- クリックするだけで、constant¥polyMeshフォルダにメッシュが保存される
- constant¥polyMeshフォルダに、メッシュファイルが保存されていることを確認
- 作成されていたら、gmshFoamを終了



メッシュの保存

- 本来であれば境界条件等の設定が必要だが、本ケースでは既に設定済み。
- 反復回数は500回、100反復ごとにデータを保存

solidDisplacementFoam . .

解析の実行(5~6分かかる)

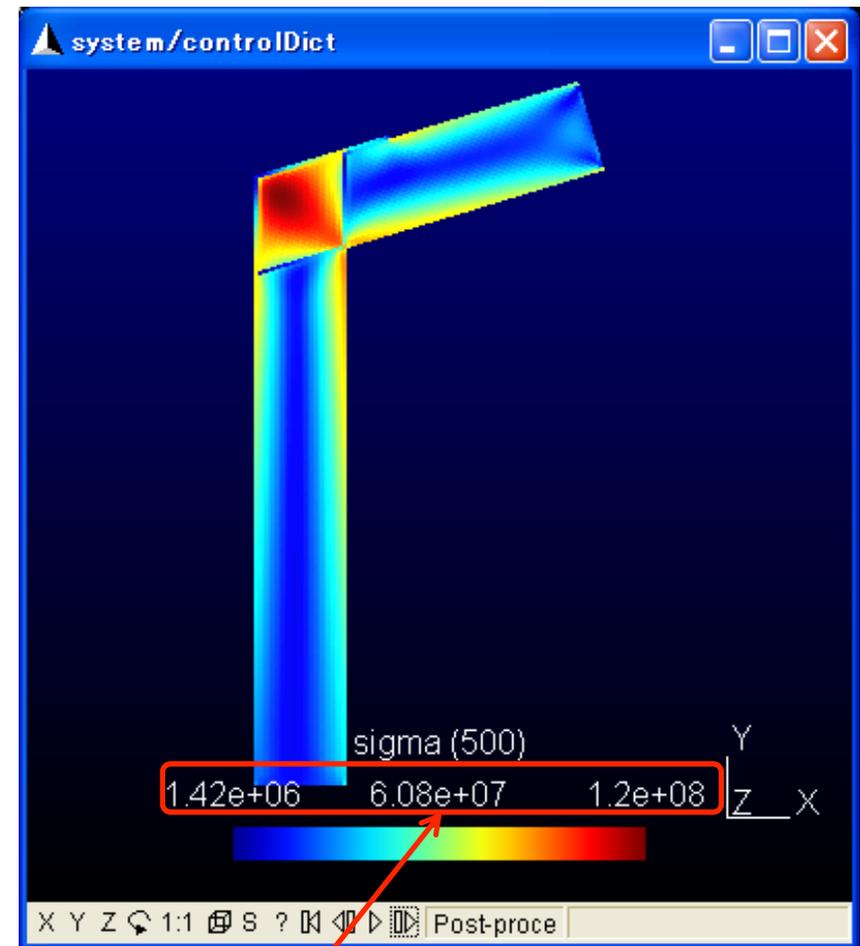
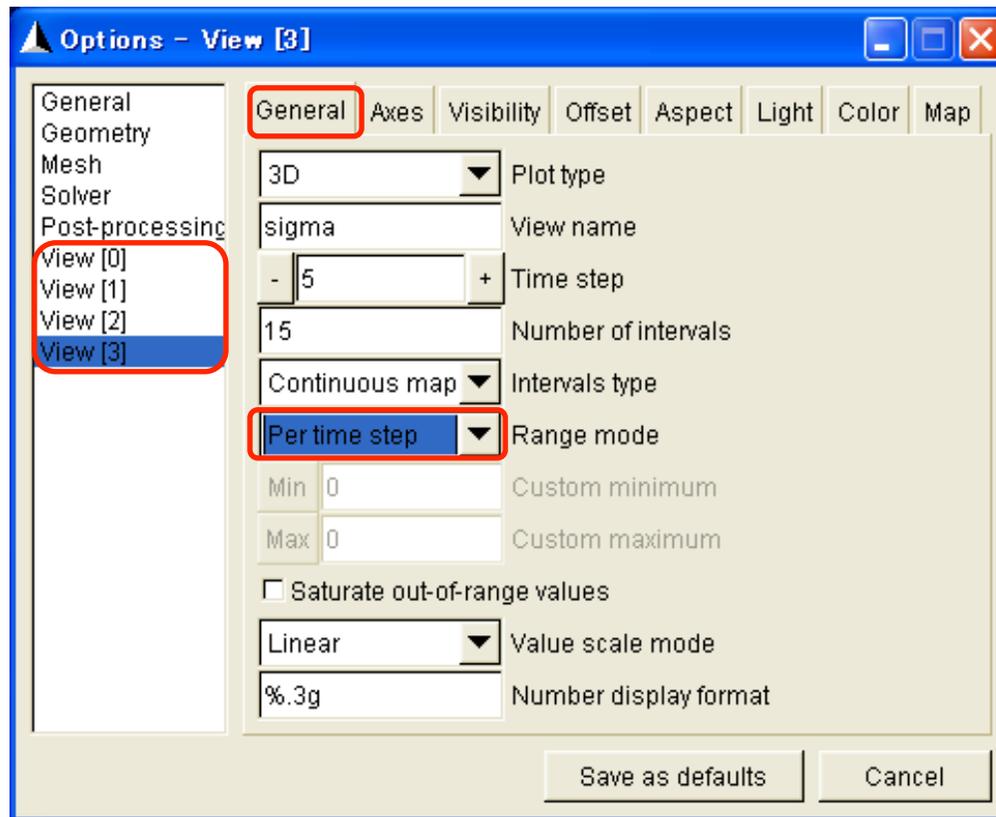
```
gmsHfoam . .
```

結果を可視化する。

- gmsHfoam起動後の操作は、基本的にplateHoleの時と同様

結果の可視化(2)

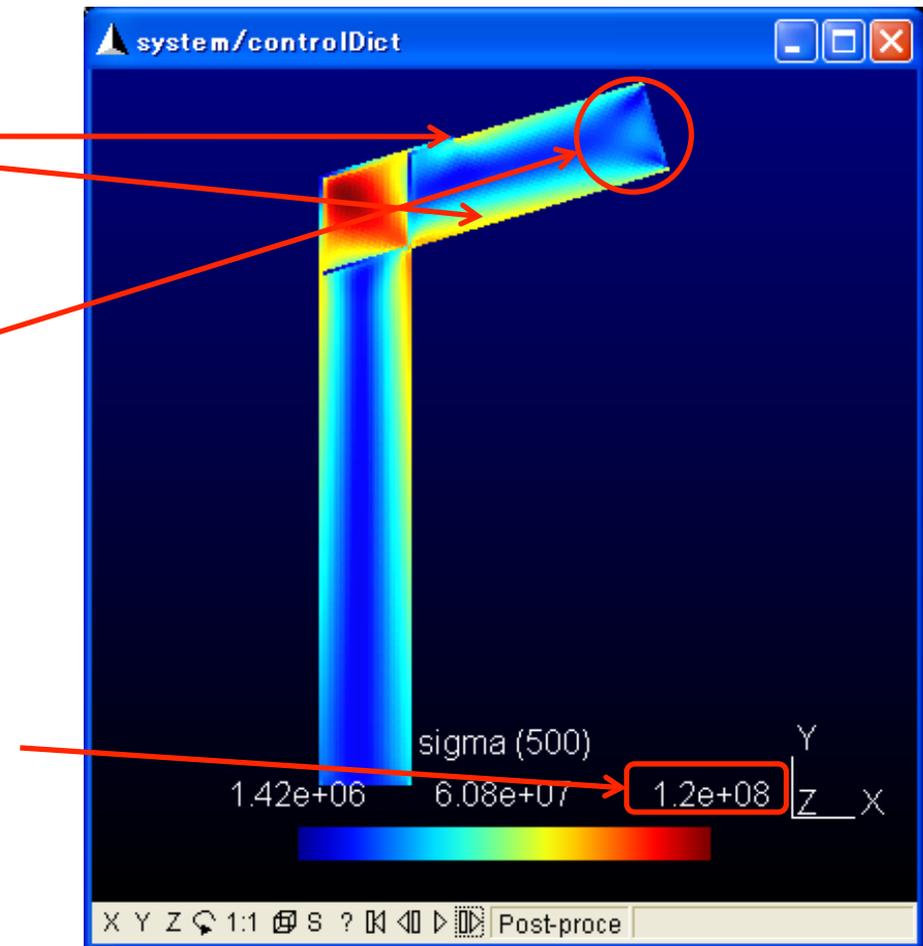
- 凡例の最小値・最大値を反復回ごとに決める (デフォルトでは、全コマ通算で決定)



コマ送り・戻しの度に、この値が変わるようになる

結果の可視化(3)

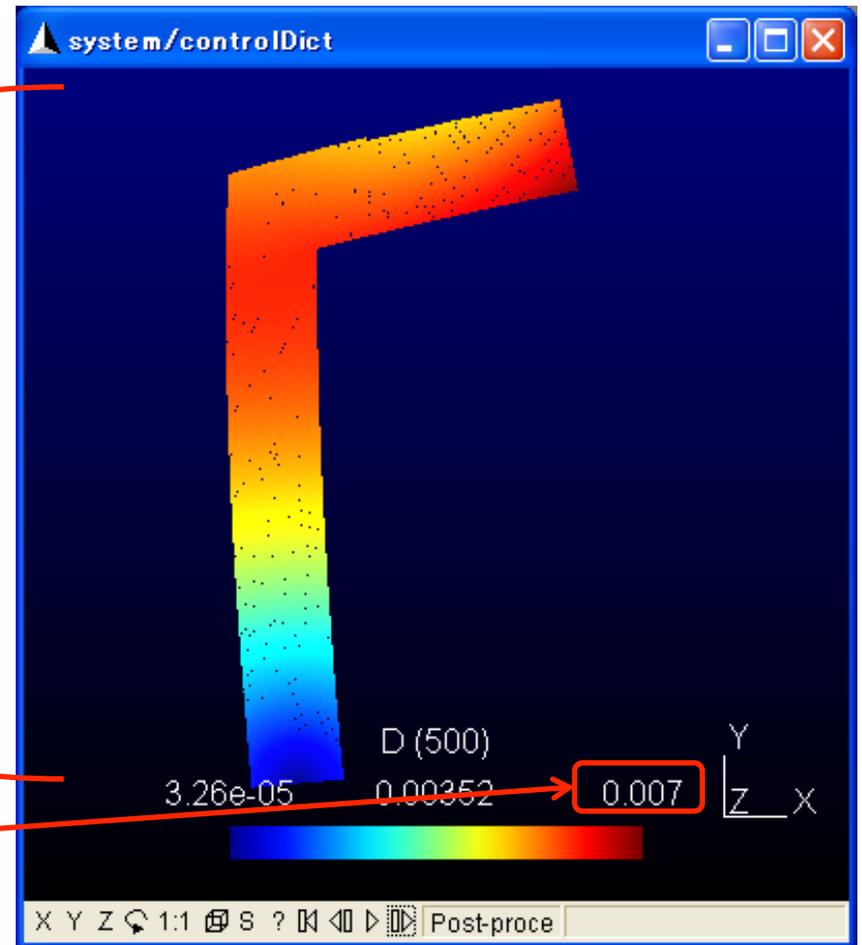
- ミセス応力分布
- フランジの応力が大
→主にモーメントによる応力。
- 圧縮側(下側)応力が大
→圧縮軸力のため。
- 端点の荷重→応力境界条件
換算法の影響。
- 最大応力 1.2×10^8 [Pa] = 120 [MPa]
→許容応力度156 [MPa]より小さいので、許容応力度の基準を満たす。
→降伏応力235 [MPa]より小さいから、降伏は起きない。



- 変位(30倍に拡大)

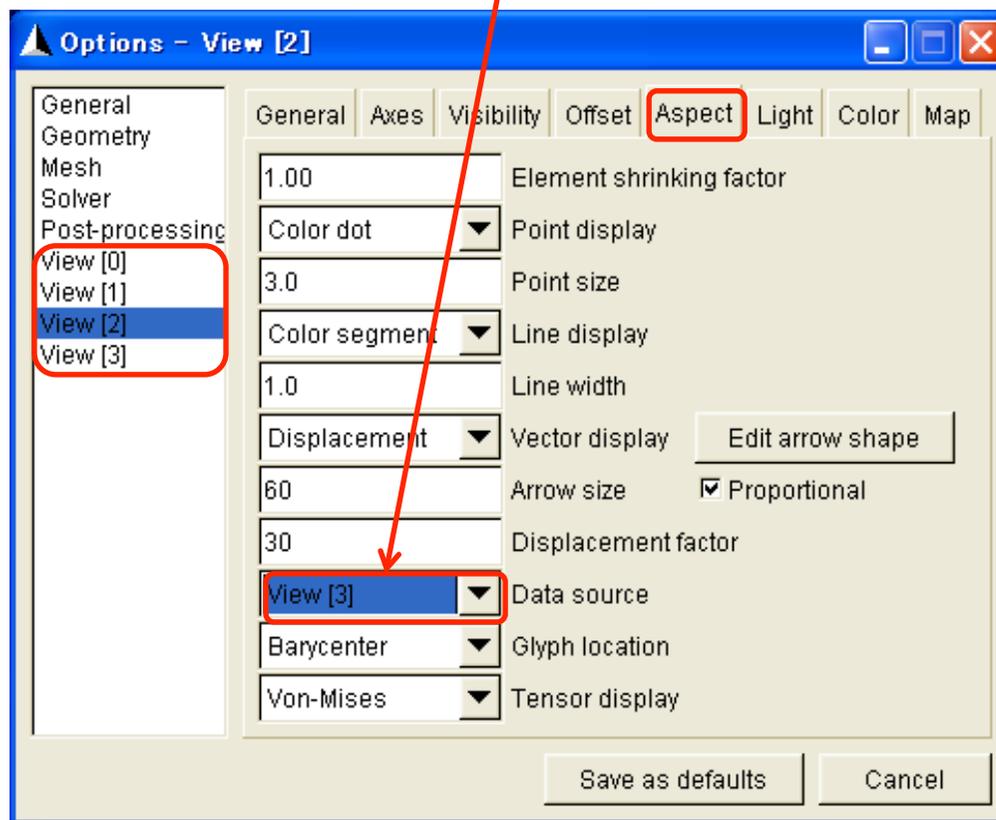
- 上からの鉛直荷重による「たわみ」

- フレームの上下端間で、7 [mm]変形
→ただ「建っているだけ」でも変形

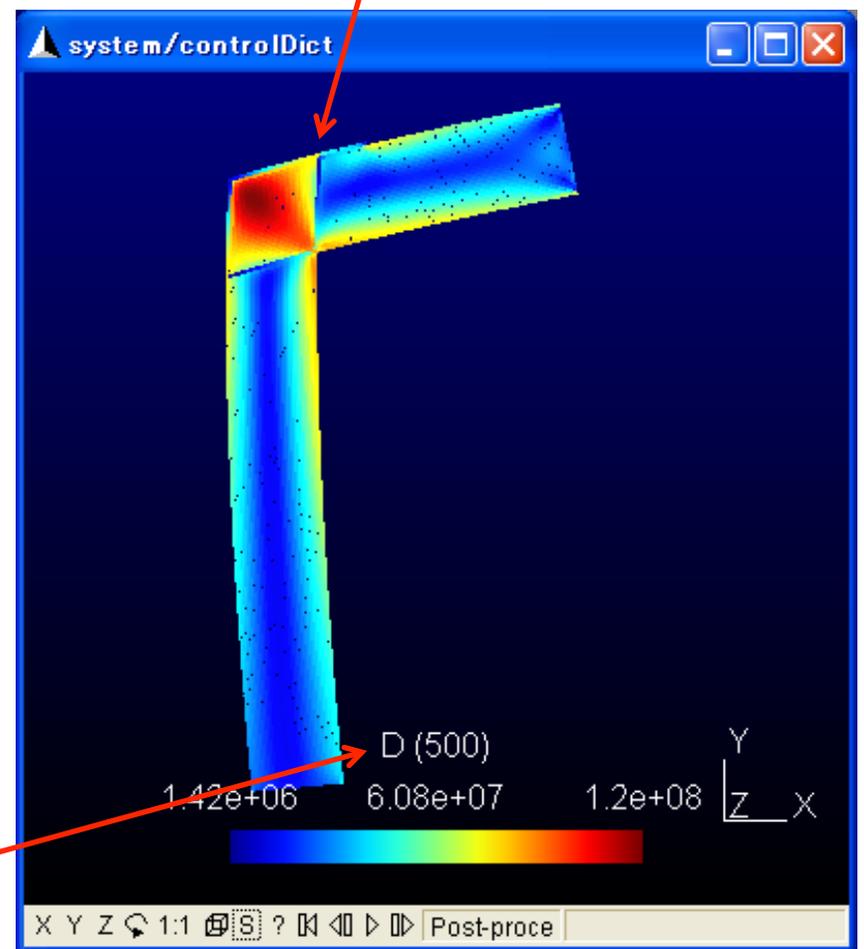


- 変形表示の色を、ミセス応力によって色付けすることも可能

sigmaに対応する番号のViewを選ぶ



ミセス応力による色づけ



凡例は「D」となっているが、実際には sigma の色。