

## SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

新規作成 藤井 11/10/22

### SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

(SalomeMeca 2010.2)

#### 目次

1. はじめに
2. モデルの作成
  - 2-1. Solidモデルの作成
  - 2-2. Geometry、Entityの作成
  - 2-3. メッシュの作成
3. 解析
  - 3-1. 変位拘束の接触解析（摩擦なし）
    - 3-1-1. 解析コードの作成、編集
    - 3-1-2. 実行
    - 3-1-3. 結果の確認
  - 3-2. 変位拘束の接触解析（摩擦あり）－ ペナルティ法
    - 3-2-1. 解析コードの編集
    - 3-2-2. 実行、結果の確認
  - 3-3. 荷重拘束の接触解析（摩擦あり）－ ペナルティ法
    - 3-3-1. 弱いバネを追加する場所のグループ化
    - 3-3-2. 解析コードの編集
    - 3-3-3. 実行、結果の確認
  - 3-4. 荷重拘束の接触解析（摩擦あり）－ ラグランジュ法
    - 3-4-1. 解析コードの編集
    - 3-4-2. 実行、結果の確認
4. まとめ
5. ソースコード

#### 1. はじめに

接触問題を解くに当たって、通常はその接触面に摩擦が働く。この為、ここで接触面にすべりが発生し、摩擦力も働くものとして、接触問題を解いてみる。接触問題は、「6.0 接触-基本」でも述べているように、非線形解析となるため、負荷を少しずつかけていくことになる。また、摩擦を考慮するということは、すべりが発生しないと摩擦の影響は殆ど無いので、モデルはすべりが発生するモデルを考える。さらに、変位拘

## SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

束と、荷重拘束の2種類を考えてみる。

この摩擦ありの接触問題は「6.1 接触（摩擦あり）」をSalomeMeca2010.2で作成し直し、さらに荷重拘束を追加したものである。

### 2. モデルの作成

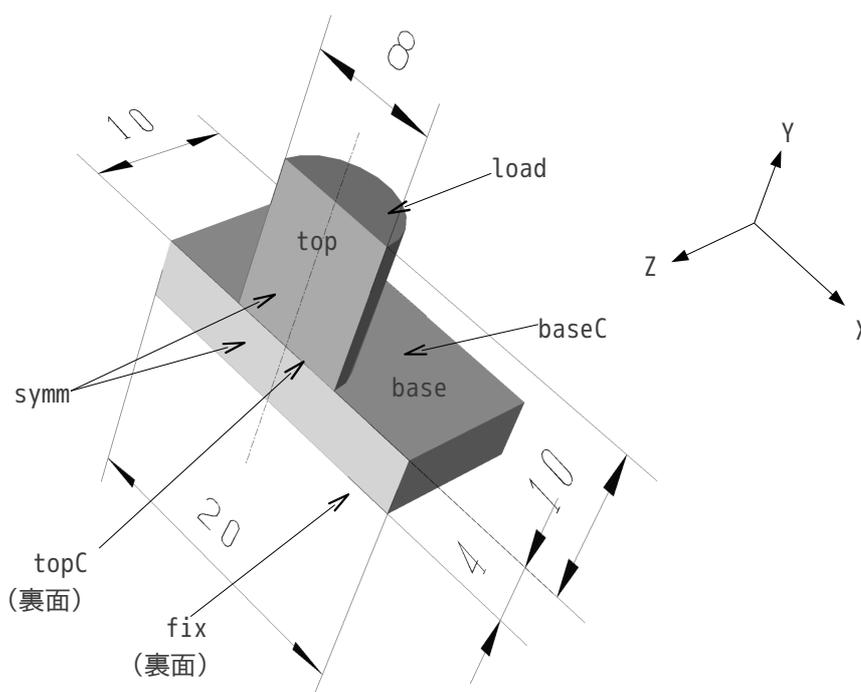
モデルは、硬いbase上に柔らかい円柱を設置して、baseに押し付け、baseをスライド（X方向に変位）させる問題を考えてみる。

この問題は、Code\_Aster マニュアルの「V6.04.127」とCAELinuxの例題「contact.tar.gz」を参考にした。

#### 2-1. Solidモデルの作成

前記した様なモデル「baseTop-1.stp」を読み込む。モデルは、直方体のbaseと円柱のtopの2ヶをそれぞれ1ヶずつ作成している。下図参照。直方体のbase上に円柱のtopが接触するモデル。

この問題は、対称なので、対称面でカットした1/2モデルを作成している。このモデルで、変位拘束と荷重拘束の2種類で解析してみる。また、接触解析もペナルティ法とラグランジュ法の2種類で解析してみる。

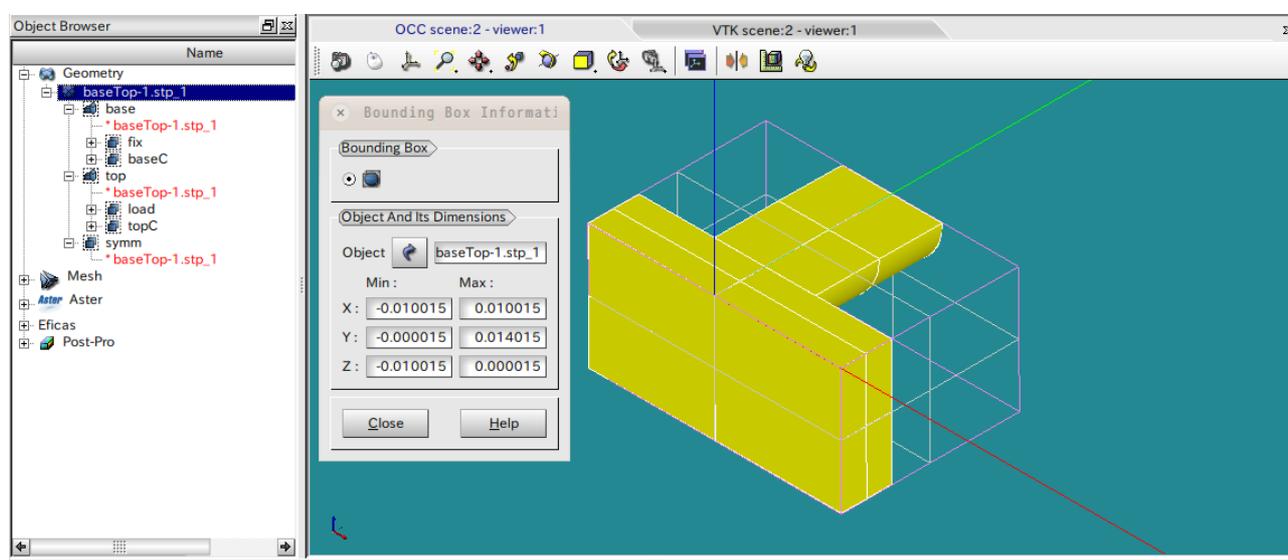


## SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

### 2-2. Geometry、Entityの作成

作成したモデル「baseTop-1.stp」を、Salomeで読み込み、必要部分をグループ化する。以下が、Salomeで読み込み、グループ化した結果となる。

尚、モデルを読み込んだ後は、「Measures」>「Dimensions」>「Bounding box」でモデルサイズを確認しておく。（モデルがメートル単位なのかミリメートル単位なのかを確認する）今回の場合は、下図のようにメートル単位で作成されている事が判る。



接触面は、baseCとtopCが接触することになる。

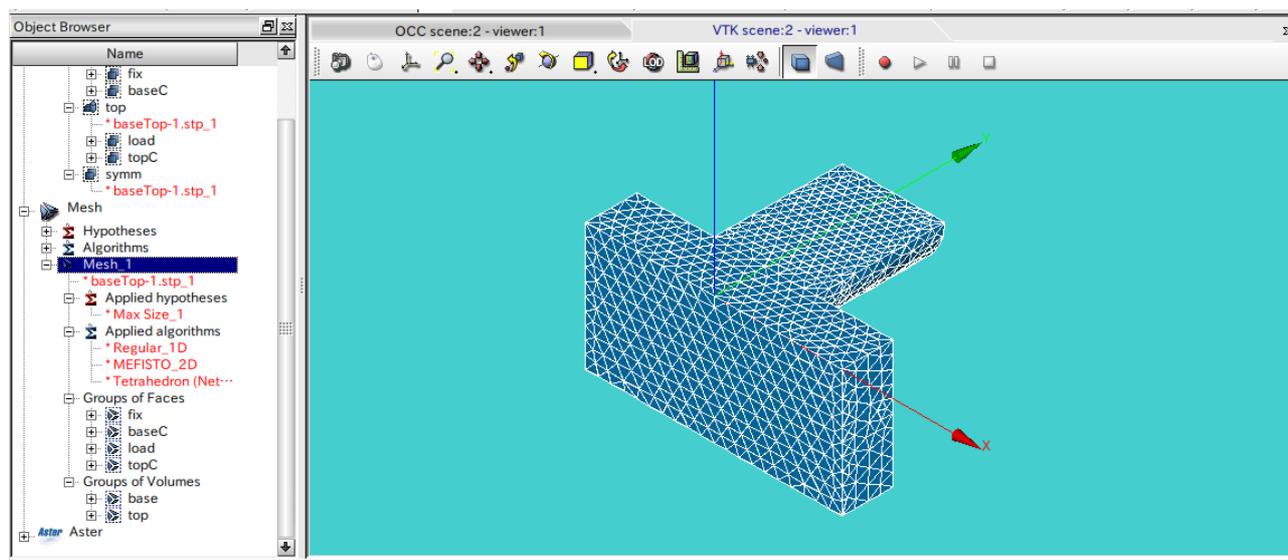
グループ化は、以下の様に実施している。

base	volume	
fix	face	固定面
baseC	face	topとの接触面
top	volume	
load	face	荷重を付加する部分
topC	face	baseとの接触面
symm	face	baseとtopの対称面

### 2-3. メッシュの作成

メッシュは、Automatic Tetrahedralization maxSize 0.001 (1mm) で作成している。下図参照。

## SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)



## 3. 解析

メッシュができあがったので、このメッシュを使って、接触解析する。

## 3-1. 変位拘束の接触解析（摩擦なし）

できあがったメッシュを使って、load面を変位（Y方向に-0.5mm）させ、かつbaseをスライド（X方向に0.5mm）させる解析を行なってみる。解析に当たって、まずは、摩擦なしで解析してみる。

## 3-1-1. 解析コードの作成、編集

SalomeをAsterモジュールに設定する。この後、Code\_Asterの解析コードを作成する為に、Wizerdを使って基本となるコードを作成する。作成するに当たって、入力したデータは、以下で作成した。

ヤング率：	2.1e11	(Pa)	
ポアソン比：	0.343		
fix：	0 0 0		固定面
load：	1	(N)	荷重を負荷

上記は、次で修正するので適当で構わない。

Eficasを起動して、できあがったCode\_Asterの解析コードを以下の様に修正する。

<材料の物性値の定義>

## SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

まず、材料を定義する。円柱を Aluminum、base を Steel に設定してみる。各材料定数は、以下。

材料	ヤング率 (Pa)	ポアソン比
Aluminum	0.706e11	0.345
Steel	2.12e11	0.293

オリジナルの DEFI\_MATERIAU の後に以下を追加し、オリジナルの DEFI\_MATERIAU を削除しておく。

```
DEFI_MATERIAU      aluminum
ELAS
  E                 0.706e11
  NU                0.345
DEFI_MATERIAU      steel
ELAS
  E                 2.12e11
  NU                0.293
```

### <物性値の適用>

オリジナルの DEFI\_MATERIAU を削除すると、AFFE\_MATERIAU にエラーが発生するので、ここを修正する。以下の様に修正。

```
AFFE_MATERIAU      MATE
MAILLAGE           MAIL
AFFE
  AFFE_1
    GROUP_MA        top           top を aluminum に設定
    MATER            aluminum
  AFFE_2
    GROUP_MA        base          base を steel に設定
    MATER            steel
```

### <接触の定義>

次に摩擦なしの接触を定義する。ここでは、SalomeMeca2010 より新たに追加されたコマンド

「DEFI\_CONTACT」を使って定義する。

今回のモデルの接触は、

```
baseC  base 側の接触面
topC   top 側の接触面
```

になるので、これを「AFFE\_MATERIAU」の次に「DEFI\_CONTACT」を追加して、この中で接触を定義する。以下の様に設定した。base、top の接触面を定義したのみで、後はデフォルトの設定のまま。摩擦係数を設定していないので、摩擦なしの定義になる。

```
DEFI_CONTACT      contact
```

## SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

```

MODELE          MODE
FORMULATION     DISCRET
b_contact
b_affe_discret
  ZONE          ここで接触面を定義
    GROUP_MA_MAIT baseC    bace側の接触面
    GROUP_MA_ESCL topC     top側の接触面
  ALGO_CONT     CONTRAINTE
  b_active

```

### <境界条件の設定>

次に境界条件を設定する。AFFE\_CHAR\_MECAを修正する。

境界条件は、

fix YZ方向固定（X方向にスライドさせる為、X方向はここでは規定しない。）

symm Z方向固定（対称面）

load XZ方向固定、Y方向に-0.5mm変位

を設定する。以下の様に修正した。モデルは、メートル単位なので、変位データの値に注意する。

尚、オリジナルのPRES\_REPは、削除する。

```

AFFE_CHAR_MECA CHAR
MODELE          MODE
DDL_IMPO
  DDL_IMPO_1
    GROUP_MA     fix
    DY           0
    DZ           0
  DDL_IMPO_2
    GROUP_MA     load
    DX           0
    DY           -0.0005    Y方向に-0.5mm変位させる
    DZ           0
  DDL_IMPO_3
    GROUP_MA     symm
    DZ           0

```

### <接触解析の為の設定>

さらに再度、AFFE\_CHAR\_MECAを追加して、徐々に負荷をかける部分を定義する。ここでは、fix面をX方向に0.5mmスライドする設定とした。以下の様に作成する。

```

AFFE_CHAR_MECA loadP

```

## SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

```

MODELE          MODE
DDL_IMPO
  GROUP_MA      fix
  DX            0.0005      X方向に0.5mm変位させる

```

次に、上記負荷を徐々に負荷させる為の方法を設定する。この為にファンクションの定義と徐々に負荷させる（何分割するか）方法を定義する。以下の様に設定した。

```

DEFI_FONCTION   ramp          ファンクションを定義
  NOM_PARA      INST
  VALE          (0.0, 0.0
                1.0, 1.0)
DEFI_LIST_REEL  inst          分割方法を定義
  DEBUT         0.0
  INTERVALLE
  JUSQU_A       1.0          0~1.0までを5分割する。
  NOMBRE        5

```

### < solver の設定 >

オリジナルの MECA\_STATIQUE の次に「STAT\_NON\_LINE」を以下の様に作成する。SalomeMeca2010以降は、solver 内に「CONTACT」コマンドが追加されているので、これを追加している。

作成後、オリジナルの MECA\_STATIQUE を削除しておく。

```

STAT_NON_LINE   RESU
MODELE          MODE
CHAM_MATER      MATE
EXCIT
  EXCIT_1
    CHARGE       CHAR
  EXCIT_2
    CHARGE       loadP      徐々に負荷する条件
    FONC_MULT    ramp
CONTACT         contact     接触を読み込む
COMP_ELAS
  RELATION       ELAS
b_not_reuse
INCREMENT
  LIST_INST      inst
b_mesh_newton

```

## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

<Post 処理の修正>

上記を追加した後、オリジナルの MECA\_STATIQUE を削除するが、削除後は、CALCELEM と CALC\_NO、IMPR\_RESU がエラーとなるので、これを修正する。（元に戻す。）

CALC_ELEM	RESU	
MODELE	MODE	
CHAM_MATER	MATE	
RESULTAT	RESU	
b_prec_rela		
b_noil		
b_toutes		
OPTION	EQUI_ELNO_SIGM	再度入力
CALC_NO	RESU	
RESULTAT	RESU	設定
b_prec_rela		
OPTION	(EQUI_NOEU_DEPL, EQUI_NOEU_SIGM)	
IMPR_RESU		
FORMAT	MED	
b_foamat_med		
UNITE	80	
RESU		
MAILLAGE	MAIL	
RESULTAT	RESU	設定
b_info_med		
b_sensibilite		
b_partie		
b_extrac		
b_cmp		
b_topologie		

以上で全ての修正が終了。ここまでは、摩擦のない状態の設定の為、前章「6.0」と同じ。

### 3-1-2. 実行

以上で Code\_Aster の解析コードができあがったので実行する。

実行に当たって、解析 Case を編集しておく。編集は、Salome の Object Browser 上の、「LinearStatic」を右クリックして、「Edit」を選択して、編集する。現れた画面上でまず、Name を「CaseContFric」に変え

## SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

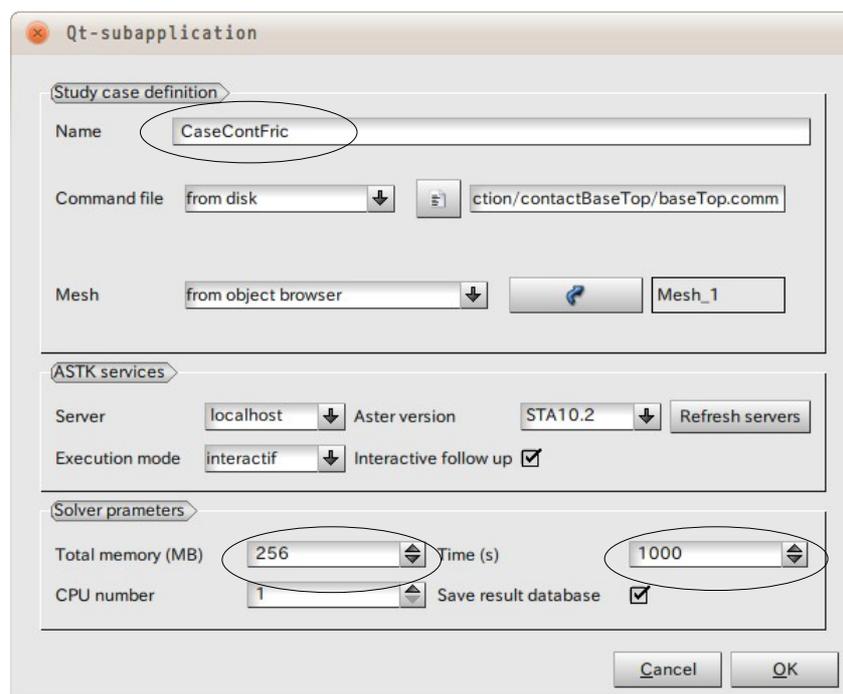
ておく。特に変更の必要性はないが、名前が長すぎるので短くする事と、解析の意味が判るような名前に変更する。

名前の変更後は、MemoryとTimeを修正しておく。（非接触の解析のため、計算時間がかかる為。）

Memory           256 MB

Time               1000 s

下図○内を修正。



Caseを編集後、object browser上にできあがった「CaseContFric」を右クリックして、「Solve Code\_Aster Case」をクリックして実行する。

警告は発生するもののエラーなく終了。実行時間は、約1分（CPU時間32秒）で終了。SalomeMeca2009では、同じマシンで、1分26秒（CPU時間58秒）掛かっていたので、今回のSalomeMeca2010の方が早くなっている。

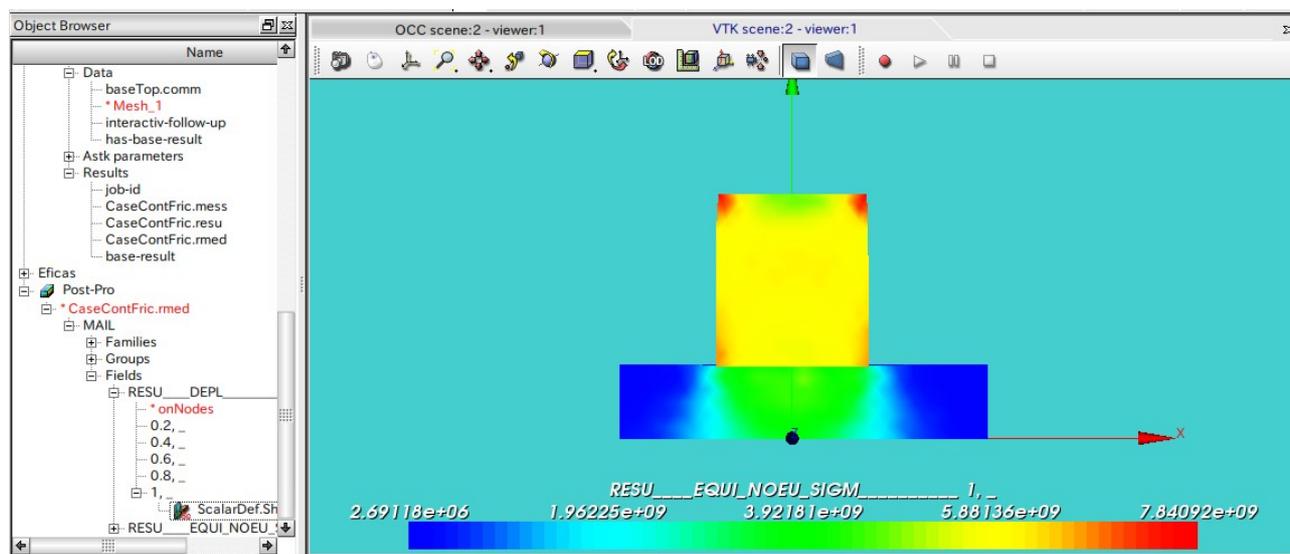
実行に当たって、警告が発生していたので、STAT\_NON\_LINEに以下を追加して、再計算させた。これは追加しなくても計算はしてくれる。

```
STAT_NON_LINE       RESU
SOLVEUR
SYME                OUI       これを追加
```

### 3-1-3. 結果の確認

変形形状に相当応力をマッピングしたコンタ図を作成した結果が、下図となる。

## SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)



境界条件は、円柱を Base に押し付けた後、base を X 軸方向に 0.5mm 変位させる条件のため、摩擦があれば、円柱の応力は左右非対称となり、少し曲がることになる。しかし、今回の解析は摩擦がない状態のため、応力は、左右対称になっている。

## 3-2. 変位拘束の接触解析（摩擦あり）－ ペナルティ法

前項で摩擦なしの解析を行った。ここでは、上記で作成したコードを修正して、摩擦ありの解析を行う。

## 3-2-1. 解析コードの編集

Salome を「Aster」モジュールに設定して、Eficas を起動し、解析コードを編集する。修正箇所は、「DEFI\_CONTACT」の部分を修正する。接触面（Aluminum と Steel の接触面）の摩擦係数は

$$\mu = 1.5 \quad \text{この値は適当な値なので注意。 (大きめの値に設定)}$$

として計算してみる。修正箇所を少なくする為に、できるだけデフォルトの状態で行ってみる。コードは以下の様に作成した。

```
DEFI_CONTACT      contact
MODELE            MODE
FORMULATION       DISCRETE
FROTTEMENT        COULOMB      追加
b_contact
```

## SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

```

b_affe_discret
  ZONE
    GROUP_MA_MAIT  baseC
    GROUP_MA_ESCL  topC
    ALGO_CONT      PENALISATION      ペナルティ法で設定（デフォルトの設定）
  b_penal_contact
    E_N            0.7e11             aluminumと同じヤング率（注）
  b_frottement
    COULOMB        1.5                摩擦係数  $\mu=1.5$  を設定
    ALGO_FROT      PENALISATION      ペナルティ法で設定
  b_penal_frot
    E_T            0.7e10             aluminumの1/10のヤング率（注）

```

デフォルトの設定では、接触解析をペナルティ法で解析することになっている。ペナルティ法で計算させる為には、 $E_N$ 、 $E_T$ のバネ定数を定義する必要がある。このバネ定数は、以下の考え方で設定する  
 両バネ定数とも、材料で決まってくるので、本来入力する必要はないが、ペナルティ法を使う限りは設定する必要がある。ペナルティ法は、接触部の食い込みを想定して、その食い込み量に応じた接触荷重を設定し、接触問題を解く為、接触荷重を作り出すバネ定数を設定する必要がある。このバネ定数を $E_N$ としている。  
 摩擦力 $\mu F$ を作り出すバネ定数 $E_T$ も同様な考え方で設定する必要がある。今回の場合、 $E_T$ を小さめ（Aluminumの1/10）の値に設定することで、収束させる事ができた。  
 ペナルティ法でなくラグランジュ法を使うと摩擦係数（COULOMB）のみ入力すれば計算するので設定は楽になる。ラグランジュ法については、2-5項参照。

（注） $E_N$ 、 $E_T$ のバネ定数の設定方法（ユーザマニュアルU2.04.04による。）

$E_N$  法線荷重 $F$ を作り出すバネ定数

接触面の変位（食い込み量）によって生じる法線方向の荷重 $F$ を作り出すバネ定数。

このバネ定数は、接触面の材料のバネ定数（ヤング率）に設定する。接触面の材料が違っている場合には、小さい方のヤング率に設定する。ユーザマニュアルには *smallest yang module* と記載があるので、小さい方のヤング率に設定した。

このバネ定数は、理想的には、食い込み「0」にするのが望ましいが、これは、バネ定数が $E_N=\infty$  となるため解けない。従って、 $E_N$ は、大きい程望ましいが、大きすぎると収束しにくくなる。小さすぎると、前記した様に食い込みが大きくなってしまうので、材料のヤング率に設定しておく。

$E_T$  摩擦力 $\mu F$ を作り出すバネ定数

摩擦力のため、荷重 $F$ がかかっていない場合は、摩擦力 $\mu F$ は発生しない。

荷重 $F$ が掛かっている場合は、加えた荷重 $F$ に対して、その垂直方向（滑り方向）にどの程度の摩擦力 $\mu F$ を発生させるか のバネ定数を「 $E_T$ 」に設定。このバネ定数は、滑り方向の変位に応じた荷重（摩擦力）を作り出す為のバネ定数。

## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

ただし、摩擦力の最大値は、 $\mu F$  を越えない。

$E_T$  の値も  $E_N$  と同様な考え方 (smallest yang module) で設定する。

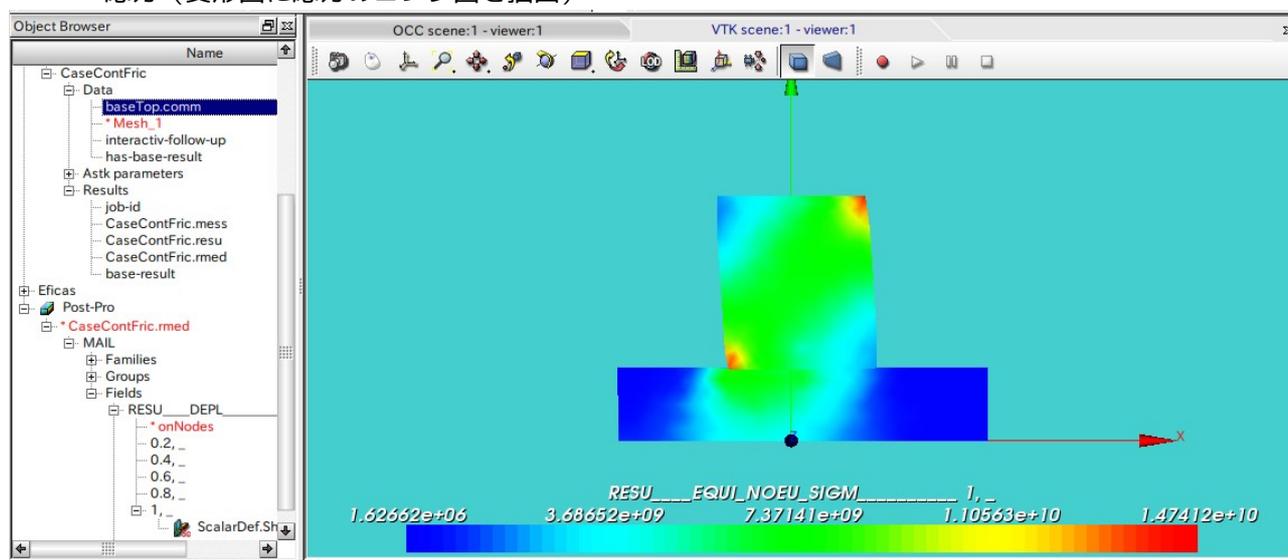
### 3-2-2. 実行、結果の確認

解析コードの修正ができたので、これを実行する。尚、実行に当たって、イタレーションの回数が増えたので、solver の CONVERGENSE の ITER\_GLOB\_MAXI=30 に設定して計算させた。

実行は、約3分 (CPU時間 127秒) かかっている。摩擦のない状態の約2倍の時間がかかっている。

結果は以下になる。摩擦があるので、base を X 方向に移動させた時、top は、斜めに変形している。

応力（変形図に応力のコンタ図を描画）



### 3-3. 荷重拘束の接触解析（摩擦あり）－ ペナルティ法

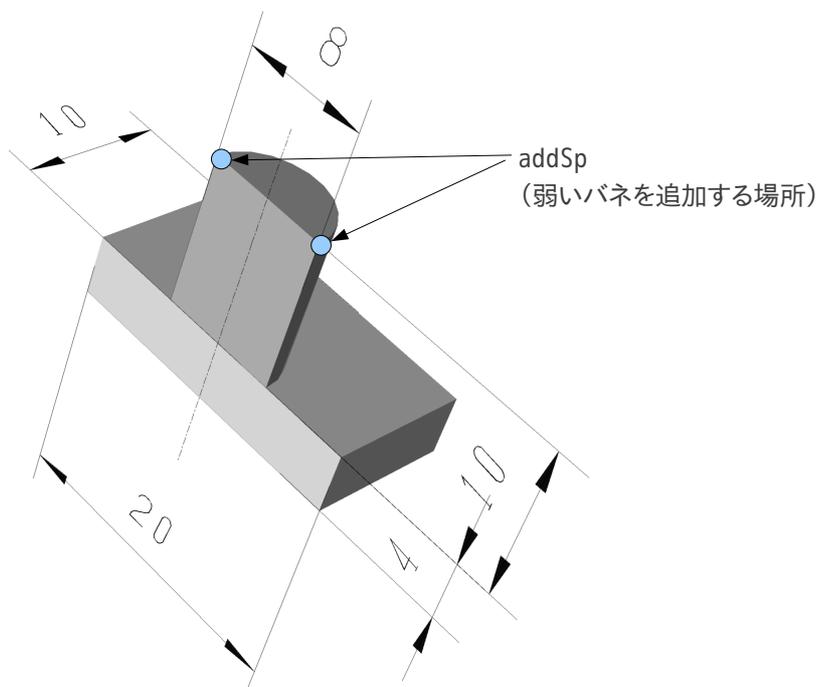
変位拘束の解析ができたので、荷重拘束の解析を行なってみる。境界条件は、load 面に  $1e6$  Pa の圧力を印加し、base をスライドさせる。この時、円柱 (top) は、変位拘束されていないので位置が定まらず、剛体移動が発生する。この為、top に弱いバネを追加して解析する。

また、この接触解析は、前項と同様なペナルティ法を使って解析してみる。さらに、base を  $0.5\text{mm}$  動かす為の荷重が摩擦力  $\mu F$  に等しくなっているのかも確認してみる。

#### 3-3-1. 弱いバネを追加する場所のグループ化

## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

剛体移動が発生する top に弱いバネを追加するが、このバネを追加する場所をグループ化する。追加する場所は、以下とした。



この為、グループ化は以下になる。

base	volume	
fix	face	固定面
baseC	face	topとの接触面
top	volume	
load	face	荷重を付加する部分
topC	face	baseとの接触面
addSp	point	弱いバネを追加する場所 ← 新たに追加
symm	face	baseとtopの対称面

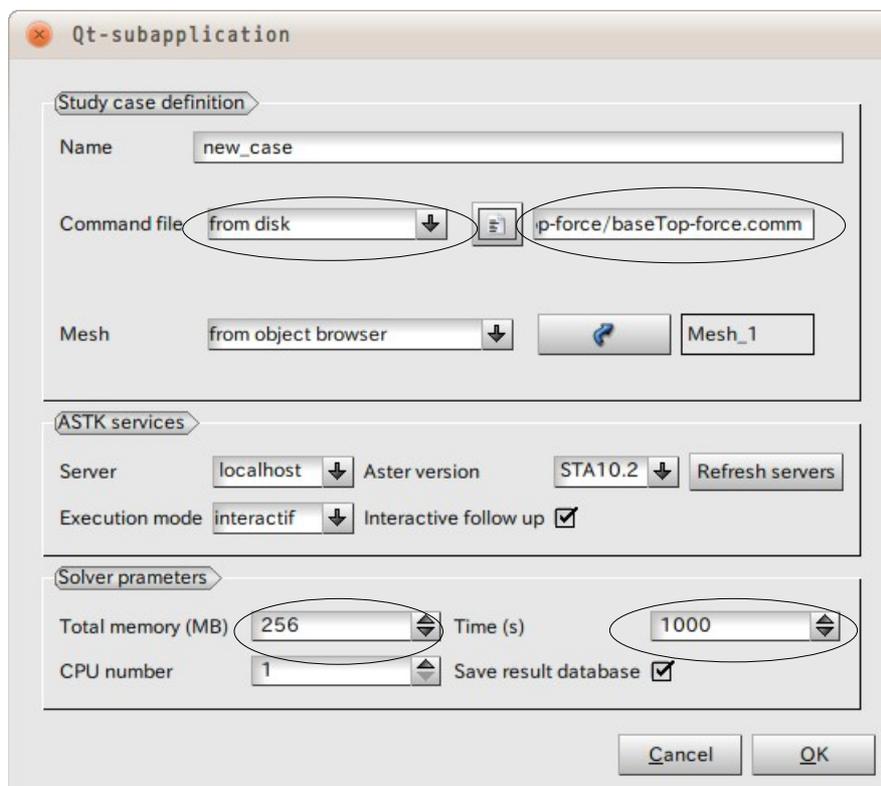
addSp のグループを追加した後、mesh モジュールでメッシュモデルに、addSp が追加されていることを確認しておく。

### 3-3-2. 解析コードの編集

2-2 項で作成した comm ファイルをコピーして、新たな comm ファイル「baseTop-force.comm」を作成する。この comm ファイル「baseTop-force.comm」を新しい解析 Case に適用させる為、Salome を Aster モジュール

## SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

に設定し、メニューバーの「Aster」>「Add study case」で現れたダイアログウィンド上で、commファイルとメッシュを適用させ、メモリと解析時間を修正しておく。下図○内を修正。



解析 Case を適用させた後は、新しい解析 Case 「new\_case」 ができあがるので、Object Browser 上で「new\_case」>「Data」>「baseTop-force.comm」を選択し、右クリックで「Run Eficas」を選択して Eficas を起動して、解析コードを編集する。

<メッシュに弱いバネの要素を追加>

メッシュを読み込んだ後（MODI\_MALLAGE の後）に CREA\_MALLAGE コマンドを追加する。

CREA_MALLAGE	newMesh	
MALLAGE	MAIL	
CREA_POI1		POI1 の要素を
NOM_GROUP_MA	spElmt	要素名「spElmt」として
GROUP_NO	addSp	addSp に追加する。

<newMesh をモデルに適用>

次のコマンドを修正する。

AFFE_MODELE	MODE	
MAILLAGE	newMesh	ここを修正
AFFE		

## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり) (2)

```

AFFE_1
  TOUT          OUI
  PHENOMENE     MECANIQUE
  b_mecanique
  MODELISATION 3D
AFFE_2          これ以降追加
  GROUP_MA      spElmt
  PHENOMENE     MECANIQUE
  b_mecanique
  MODELISATION DIS_T

```

### <材料を適用するメッシュを変更>

弱いバネを追加したメッシュ (newMesh) に材料を適用する。

```

AFFE_MATERIAU  MATE
  MAILLAGE      newMesh      ここを修正
AFFE
  AFFE_1
    GROUP_MA     top
    MATER        aluminum
  AFFE_2
    GROUP_MA     base
    MATER        steel

```

### <追加した要素にバネ定数を設定>

バネ定数を設定する。解析するモデルのヤング率から弱いバネとして、 $1e5$  N/mの値を設定する。

```

AFFE_CARA_ELEM  softSp
  MODELE        MODE
  DISCRET
    b_CARA       K_D_T_N
    b_AK_T_D_N
    GROUP_MA     spElmt
    VALE         1e5,1e5,1e5

```

### <solver に弱いバネを認識>

solver 「STAT\_NON\_LINE」 に弱いバネを認識させる。ここまでで、弱いバネ追加に関する修正は、終了。

```

STAT_NON_LINE   RESU
  MODELE        MODE
  CHAM_MTTTER    MATE

```

## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

```
CARA_ELEM      softSp      追加する
:
```

### <境界条件の修正>

境界条件を変位拘束から荷重拘束に変更する。load 面は、X 軸方向の変位を拘束して荷重拘束に変更する。load 面の荷重拘束だけでは、base と一緒に top が移動していくので、load の X 軸方向の変位拘束を残している。

```
AFFE_CHAR_MECA      CHAR
MODELE              MODE
DDL_IMPO
  DDL_IMPO_1
    GROUP_MA        fix
    DY              0.0
    DZ              0.0
  DDL_IMPO_2
    GROUP_MA        symm
    DZ              0.0
  DDL_IMPO_3
    GROUP_MA        load      load 面の X 方向を拘束
    DX              0.0
  PRES_REP          変更：load 面を荷重拘束に変更
    GROUP_MA        load
    PRES            1e6      1e6Pa を印加する
```

### <節点荷重を計算させる>

base の fix 面を強制変位させて base を 0.5mm 移動させる解析を行なっているので、fix 面に働いている節点荷重を計算させる。この節点荷重の合力が摩擦力  $\mu F$  と釣り合っているはずなので、節点荷重の計算結果を出力し、確認する。

```
CALC_NO          RESU
RESULTAT         RESU
b_prec_rela
  OPTION          (EQUI_NOEU_DEPL,
                  EQUI_NOEU_SIGM,
                  FORC_NODA)      追加：節点荷重を計算
```

### <節点荷重を出力させる>

上記で計算させた節点荷重を節点毎にリスト形式で出力させる為、「IMPR\_RES」コマンドの後に再度「IMPR\_RESU」コマンドを追加する。

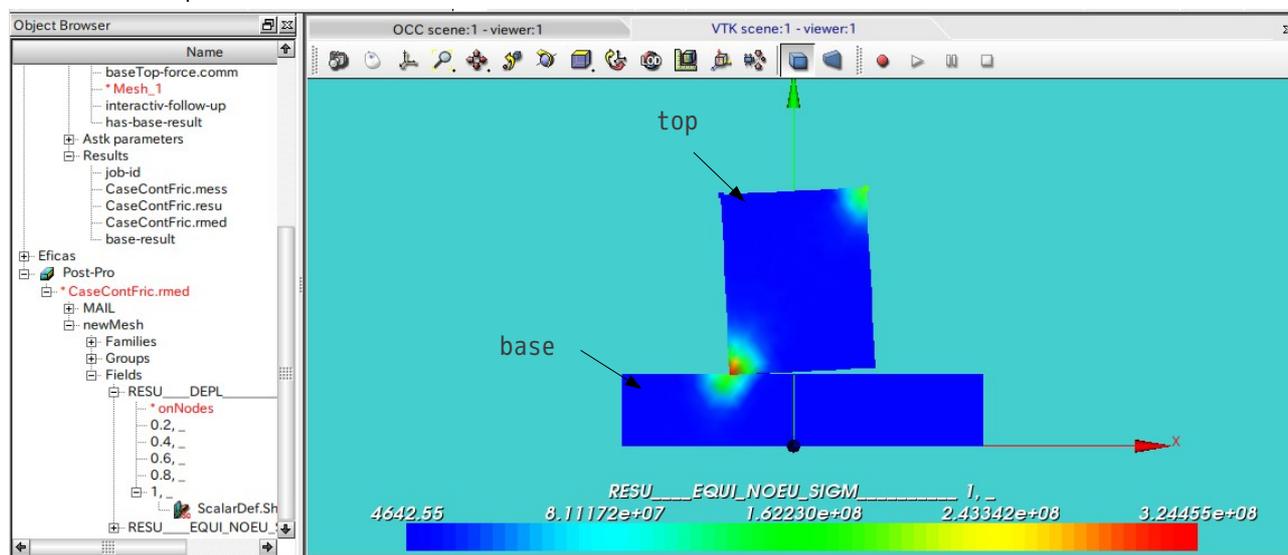
## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

IMPR_RESU			追加
b_foamat_resultat			
RESU			
RESULTAT	RESU		設定
b_sensibilite			
b_extrac			
NOM_CHAM	FORC_NODA		節点荷重を出力
b_cmp			
b_topologie			
GROUP_MA	fix		fix 面を指定して節点荷重を出力
b_valeurs			

## 3-3-3. 実行、結果の確認

解析コードの編集が終了したので、計算開始させる。下図が計算結果になる。

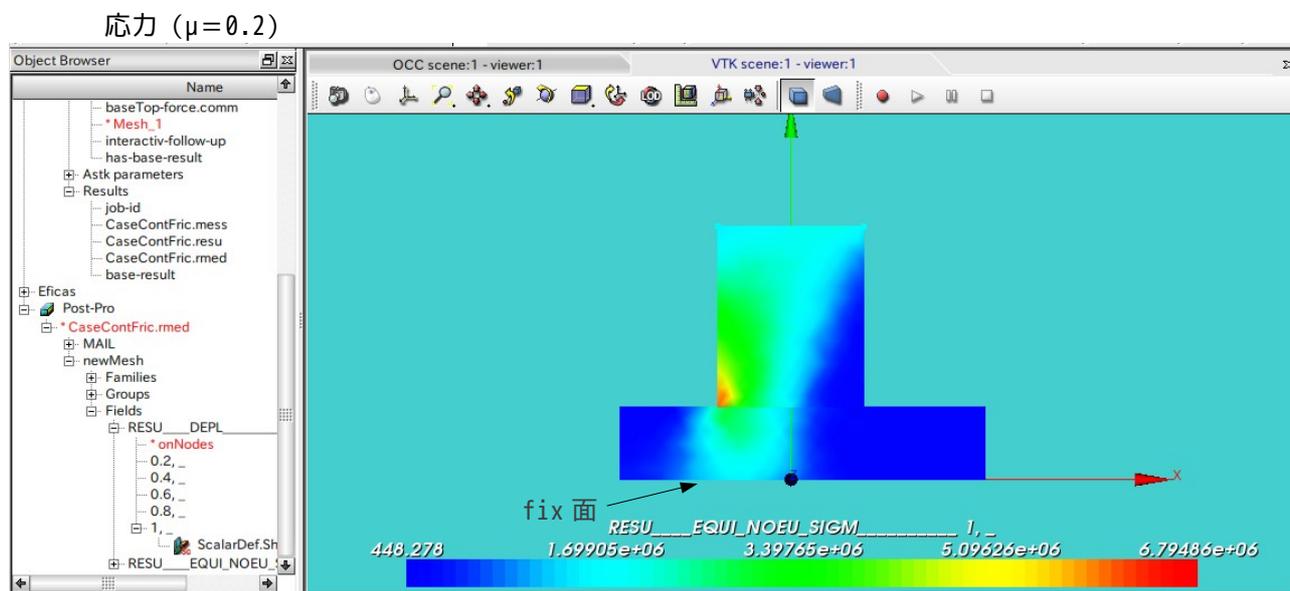
応力 ( $\mu=1.5$ )



今回は、摩擦係数  $\mu=1.5$  に設定したので、押さえつける荷重よりも大きな摩擦力が発生している事になり、円柱状の top が滑らずに回転している。また、top のコーナ部の応力が高くなっているが、これは弱いバネが強すぎたかもしれない。top の回転により変位が大きくなり、弱いバネの影響があったかもしれない。摩擦力が大き過ぎて、top が滑らず回転しているので、摩擦係数を小さく（実際に有り得る値）して top が滑るかどうかを確認した。下図は、摩擦係数  $\mu=0.2$  で再計算した結果になるが、この場合は、top が回転せず、base 上を滑る結果になっている。この時の実行時間は、約 4 分（CPU 時間 221 秒）掛かった。やはり、

## SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

変位拘束よりも時間が掛かっている。



また、今回は、前項で fix 面の節点荷重を出力する様に設定しているのので、この節点荷重を確認してみる。この結果は、「CaseContFric.resu」ファイルに出力されている。

この出力内容は、各ステップ毎に出力されているので、最終ステップの内容を確認する。以下が最終ステップの出力結果になる。

-----最終ステップの出力結果-----

----->

CHAMP AUX NOEUDS DE NOM SYMBOLIQUE FORC\_NODA

NUMERO D'ORDRE: 5 INST: 1.00000E+00

NOEUD	DX	DY	DZ
N5	3.59388E-02	6.04889E-02	-1.10548E-02
N8	1.97807E-03	-4.20713E-03	9.44788E-04
N10	7.99622E-04	-2.57315E-03	-8.97939E-04
N12	8.05840E-03	2.54705E-02	9.54333E-03
N94	4.67352E-02	3.30108E-02	-7.17013E-03
N95	7.67404E-02	5.76056E-02	-2.25613E-02
N96	1.16041E-01	1.10624E-01	-2.43619E-02
N97	1.47797E-01	2.15472E-01	-5.26149E-02
N98	1.36668E-01	3.43423E-01	-7.46498E-02
N99	1.22276E-01	4.42438E-01	-1.15135E-01
N100	2.86366E-02	4.64828E-01	-1.18747E-01
N101	-4.07875E-02	4.05103E-01	-1.19296E-01
N102	-6.12866E-02	3.12641E-01	-7.24852E-02

## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

```
N103    -5.34301E-02  1.22034E-01 -7.66238E-02
N104    -5.82634E-02  1.33546E-01 -3.56703E-02
N105    -3.81155E-02  6.04456E-02 -1.39850E-02
N106    -1.95569E-02  2.11989E-02 -4.92805E-03
N107    -9.57639E-03  4.30596E-03 -6.71666E-04
```

:

base を X 方向に移動させているので、X 方向の節点荷重の合計を確認すると、

```
X 方向の節点荷重の合計      4.972831075 N
```

になる。

この荷重は、摩擦力  $\mu F$  と釣り合っているはずなので、摩擦力  $\mu F$  を計算してみる。圧力は top 上面 (load 面) に  $1e6$  Pa 掛けているが、1/2 モデルにしているので、load 面の面積は半円の面積になる。

$$\text{摩擦力} = \mu F = 0.2 \times 1e6 \text{Pa} \times (3.14 \times 0.008^2 / 4) / 2 = 5.024 \text{ N}$$

であり、ほぼ一致している。

### 3-4. 荷重拘束の接触解析（摩擦あり）－ ラグランジュ法

今回のモデルをラグランジュ法で計算してみる。ラグランジュ法は、接触面に直接荷重を定義し、接触面の食い込みを無くして接触問題を解く方法。一般的には、安定性が悪く、収束し難いと言われている。解析は、2-4 項で作成したモデルや解析コードをそのまま使って、解析する。

#### 3-4-1. 解析コードの編集

2-4-2 項で作成した解析コード baseTop-force.comm をコピーして新たな comm ファイル「baseTop-force-test.comm」を作成しておく。comm ファイル作成後は、2-4-2 項と同様な方法で新しい解析 Case を作成しておく。

作成後は、Eficas を起動して、解析コードを編集する。

#### <接触定義の修正>

修正箇所は、「PENALISATION」を「LAGRANGIEN」置き換えるのみ。該当箇所は 2 ヶ所ある。ラグランジュ法は、バネ定数の設定が不要なので記述がシンプルになる。

## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

```

DEFI_CONTACT      contact
MODELE            MODE
FORMULATION       DISCRETE
FROTTEMENT       COULOMB
b_contact
b_affe_discret
ZONE
  GROUP_MA_MAIT   baseC
  GROUP_MA_ESCL   topC
  ALGO_CONT       LAGRANGIEN      ラグランジュ法に変更
  b_frottement
    COULOMB       0.2
    ALGO_FROT     LAGRANGIEN      ラグランジュ法に変更

```

### <ステップ数の修正>

ペナルティ法は、収束計算をさせる為に fix 面の移動量 (0.5mm) を 5 分割して計算させたが、ラグランジュ法は、ここを分割せず 1 回で 0.5mm 移動させる設定に替える。どうもラグランジュ法は、分割すると 2 ステップ目でエラーが発生するので、分割しない設定にした。その代わりに、solver のイタレーション回数を多めに設定した。

```

DEFI_LIST_REEL    inst
DEBUT             0.0
INTERVALLE
  JUSQU_A         1.0
  NOMBRE          1              ここを「1」に変更

```

### < solver の修正 >

収束させるためのイタレーション回数を倍の 60 回に変更する。

```

STAT_NON_LINE    RESU
MODELE           MODE
CHAM_MATER       MATE
CARA_ELEM        softSp
EXCIT
CONTACT          contact
COMP_ELAS
b_not_reuse
INCREMENT
b_mesh_newton
CONVERGENCE

```

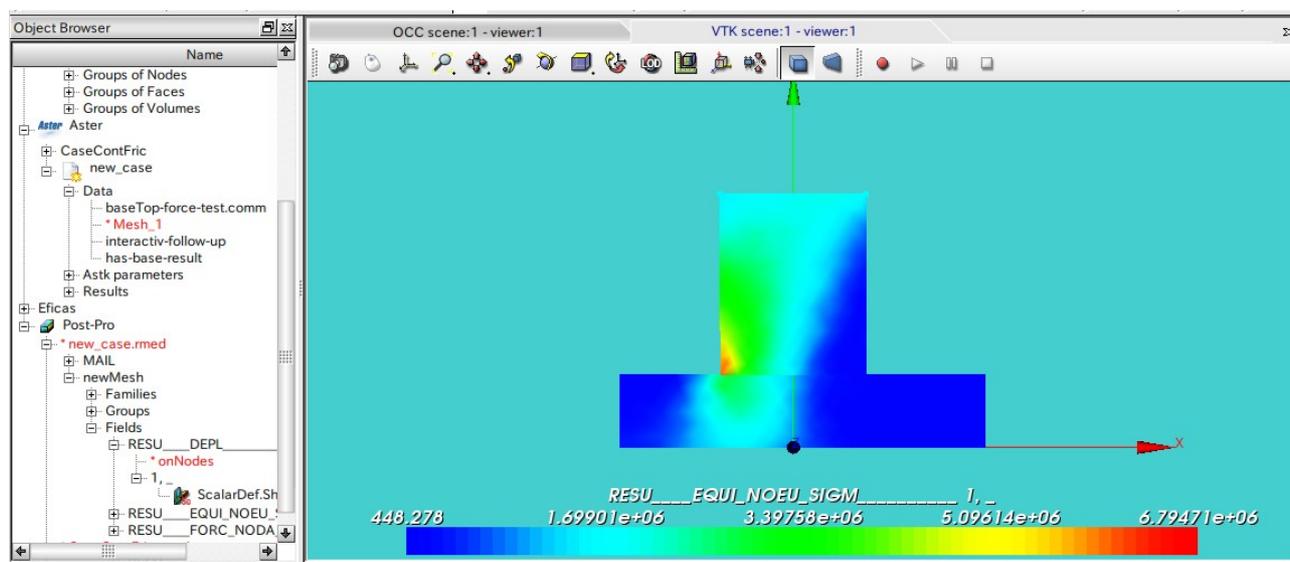
## SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

ITER\_GLOB\_MAXI 60  
SOLVEUR

ここを多めに設定

## 3-4-2. 実行、結果の確認

解析コードの編集が終了したので、計算開始させる。下図がこの結果になる。



応力分布、最大応力とも、殆どペナルティ法と結果が変わらない。（殆ど同じ値。）

この解析の実行時間は、約2分（CPU時間80秒）であり早い。今回の場合、1ステップで0.5mm移動させているので、その分実行時間が短くなっている。

また、fix面の節点荷重も出力されているので、これを確認すると以下になる。

-----最終ステップの出力結果-----

----->

```

CHAMP AUX NOEUDS DE NOM SYMBOLIQUE  FORC_NODA
NUMERO D'ORDRE: 1 INST:  1.00000E+00
NOEUD      DX          DY          DZ
N5         3.59388E-02  6.04889E-02 -1.10548E-02
N8         1.97807E-03 -4.20713E-03  9.44786E-04
N10        7.99642E-04 -2.57319E-03 -8.97948E-04
N12        8.05841E-03  2.54706E-02  9.54336E-03
N94        4.67352E-02  3.30106E-02 -7.17009E-03
N95        7.67403E-02  5.76052E-02 -2.25612E-02
N96        1.16042E-01  1.10624E-01 -2.43618E-02
N97        1.47798E-01  2.15471E-01 -5.26148E-02

```

## SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

```

N98      1.36670E-01  3.43423E-01 -7.46500E-02
N99      1.22279E-01  4.42440E-01 -1.15136E-01
N100     2.86374E-02  4.64832E-01 -1.18749E-01
N101     -4.07896E-02  4.05104E-01 -1.19299E-01
N102     -6.12888E-02  3.12641E-01 -7.24857E-02
N103     -5.34316E-02  1.22033E-01 -7.66234E-02
N104     -5.82636E-02  1.33542E-01 -3.56695E-02
N105     -3.81150E-02  6.04424E-02 -1.39844E-02
N106     -1.95562E-02  2.11969E-02 -4.92763E-03
N107     -9.57578E-03  4.30493E-03 -6.71458E-04

```

:

-----

X方向の節点荷重の合計を確認すると、

X方向の節点荷重の合計      4.97286729380 N

となり、ペナルティ法と5桁まで数字が一致している。また、この値は摩擦力  $\mu F = 5.024\text{N}$  に近い値になっている。

#### 4. まとめ

今回、摩擦を考慮した接触解析を行なったが、前述した様に、解析する事ができる。実際の接触部には、すべりが発生し、摩擦も働くので、今回の解析がより実際に近い解析なる。

また、剛体移動が発生し易い荷重拘束の場合も、弱いバネを追加することで、解析できる。感触的には、変位拘束の解析ができていれば（変位拘束で収束させることができていれば）、荷重拘束+弱いバネで、解析する（収束させる）事ができる様だ。

実行時間は、同じモデルを使って、摩擦なし < 摩擦あり（変位拘束） < 摩擦あり（荷重拘束）の順番で、時間が掛かっている。

また、解析方法もペナルティ法とラグランジュ法で確認したが、今回の場合、結果に殆ど差は出ていない。

#### 5. ソースコード

----- beseTop.comm（変位拘束：摩擦あり）の内容-----

SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり) (2)

```
DEBUT();

aluminum=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=0.706e11,
                                NU=0.345,)),);

steel=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=2.12e11,
                                NU=0.293,)),);

MAIL=LIRE_MAILLAGE(FORMAT='MED',);

MAIL=MODI_MAILLAGE(reuse =MAIL,
                   MAILLAGE=MAIL,
                   ORIE_PEAU_3D=_F(GROUP_MA='load',)),);

MODE=AFFE_MODELE(MAILLAGE=MAIL,
                 AFFE=_F(TOUT='OUI',
                         PHENOMENE='MECANIQUE',
                         MODELISATION='3D',)),);

MATE=AFFE_MATERIAU(MAILLAGE=MAIL,
                   AFFE=( _F(GROUP_MA='top',
                               MATER=aluminum,),
                          _F(GROUP_MA='base',
                               MATER=steel,)),),);

contact=DEFI_CONTACT(MODELE=MODE,
                     FORMULATION='DISCRETE',
                     FROTTEMENT='COULOMB',
                     ZONE=_F(GROUP_MA_MAIT='baseC',
                               GROUP_MA_ESCL='topC',
                               ALGO_CONT='PENALISATION',
                               E_N=0.7e11,
                               COULOMB=1.5,
                               ALGO_FROT='PENALISATION',
                               E_T=0.7e10,)),);

CHAR=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
                    DDL_IMPO=( _F(GROUP_MA='fix',
```

SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

```

        DY=0.0,
        DZ=0.0,),
    _F(GROUP_MA='load',
        DX=0.0,
        DY=-0.0005,),
    _F(GROUP_MA='symm',
        DZ=0.0,),),);

```

```

loadP=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
    DDL_IMPO=_F(GROUP_MA='fix',
        DX=0.0005,),);

```

```

ramp=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='INST',VALE=(0.0,0.0,
    1.0,1.0,
),);

```

```

inst=DEFI_LIST_REEL(DEBUT=0.0,
    INTERVALLE=_F(JUSQU_A=1.0,
        NOMBRE=5,),);

```

```

RESU=STAT_NON_LINE(MODELE=MODE,
    CHAM_MATER=MATE,
    EXCIT=( _F(CHARGE=CHAR,),
        _F(CHARGE=loadP,
            FONC_MULT=ramp,)),
    CONTACT=contact,
    COMP_ELAS=_F(ITER_INTE_MAXI=10,
        RELATION='ELAS',),
    INCREMENT=_F(LIST_INST=inst,),
    NEWTON=_F(REAC_ITER=1,),
    CONVERGENCE=_F(ITER_GLOB_MAXI=30,),
    SOLVEUR=_F(SYME='NON',),);

```

```

RESU=CALC_ELEM(reuse =RESU,
    MODELE=MODE,
    CHAM_MATER=MATE,
    RESULTAT=RESU,
    OPTION='EQUI_ELNO_SIGM',);

```

SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり) (2)

```

RESU=CALC_NO(reuse =RESU,
             RESULTAT=RESU,
             OPTION=('SIGM_NOEU_DEPL', 'EQUI_NOEU_SIGM',),,);

IMPR_RESU(FORMAT='MED',
          UNITE=80,
          RESU=_F(MAILLAGE=MAIL,
                 RESULTAT=RESU,
                 NOM_CHAM=('SIGM_NOEU_DEPL', 'EQUI_NOEU_SIGM', 'DEPL',),,));

FIN();
-----ここまで-----

----- beseTop-force.comm (荷重拘束：摩擦あり：ペナルティ法) の内容-----
DEBUT();

aluminum=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=0.706e11,
                               NU=0.345,),,);

steel=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=2.12e11,
                             NU=0.293,),,);

MAIL=LIRE_MAILLAGE(FORMAT='MED',);

MAIL=MODI_MAILLAGE(reuse =MAIL,
                  MAILLAGE=MAIL,
                  ORIE_PEAU_3D=_F(GROUP_MA='load',),,);

newMesh=CREA_MAILLAGE(MAILLAGE=MAIL,
                     CREA_POI1=_F(NOM_GROUP_MA='spElmt',
                                   GROUP_NO='addSp',),,);

MODE=AFFE_MODELE(MAILLAGE=newMesh,
                 AFFE=( _F(TOUT='OUI',
                           PHENOMENE='MECANIQUE',
                           MODELISATION='3D',),
                       _F(GROUP_MA='spElmt',

```

SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

```
PHENOMENE='MECANIQUE',
MODELISATION='DIS_T',,);
```

```
MATE=AFFE_MATERIAU(MAILLAGE=newMesh,
  AFFE=(_F(GROUP_MA='top',
    MATER=aluminum,),
    _F(GROUP_MA='base',
    MATER=steel,)),);
```

```
softSp=AFFE_CARA_ELEM(MODELE=MODE,
  DISCRET=_F(CARA='K_T_D_N',
    GROUP_MA='spElmt',
    VALE=(100000,100000,100000,)),);
```

```
contact=DEFI_CONTACT(MODELE=MODE,
  FORMULATION='DISCRETE',
  FROTTEMENT='COULOMB',
  ZONE=_F(GROUP_MA_MAIT='baseC',
    GROUP_MA_ESCL='topC',
    ALGO_CONT='PENALISATION',
    E_N=0.7e11,
    COULOMB=1.5,
    ALGO_FROT='PENALISATION',
    E_T=0.7e10,)),);
```

```
CHAR=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
  DDL_IMPO=(_F(GROUP_MA='fix',
    DY=0.0,
    DZ=0.0,),
    _F(GROUP_MA='symm',
    DZ=0.0,),
    _F(GROUP_MA='load',
    DX=0.0,)),),
  PRES_REP=_F(GROUP_MA='load',
    PRES=1e6,)),);
```

```
loadP=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
  DDL_IMPO=_F(GROUP_MA='fix',
```

SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり) (2)

```
DX=0.0005,));
```

```
ramp=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='INST',VALE=(0.0,0.0,  
1.0,1.0,  
),);
```

```
inst=DEFI_LIST_REEL(DEBUT=0.0,  
INTERVALLE=_F(JUSQU_A=1.0,  
NOMBRE=5,));
```

```
RESU=STAT_NON_LINE(MODELE=MODE,  
CHAM_MATER=MATE,  
CARA_ELEM=softSp,  
EXCIT=(_F(CHARGE=CHAR,)  
_F(CHARGE=loadP,  
FONC_MULT=ramp,)),  
CONTACT=contact,  
COMP_ELAS=_F(ITER_INTE_MAXI=10,  
RELATION='ELAS',),  
INCREMENT=_F(LIST_INST=inst,),  
NEWTON=_F(REAC_ITER=1,),  
CONVERGENCE=_F(ITER_GLOB_MAXI=30,),  
SOLVEUR=_F(SYME='NON',));
```

```
RESU=CALC_ELEM(reuse =RESU,  
MODELE=MODE,  
CHAM_MATER=MATE,  
RESULTAT=RESU,  
OPTION='EQUI_ELNO_SIGM',);
```

```
RESU=CALC_NO(reuse =RESU,  
RESULTAT=RESU,  
OPTION=('SIGM_NOEU_DEPL','EQUI_NOEU_SIGM',));
```

```
IMPR_RESU(FORMAT='MED',  
UNITE=80,  
RESU=_F(MAILLAGE=MAIL,  
RESULTAT=RESU,
```

SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

```
NOM_CHAM=('SIGM_NOEU_DEPL','EQUI_NOEU_SIGM','DEPL',),),),);
```

```
FIN();
```

```
-----ここまで-----
```

```
----- beseTop-force-test.comm（荷重拘束：摩擦あり：ラグランジュ法）の内容 -----
```

```
DEBUT();
```

```
aluminum=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=0.706e11,
                                NU=0.345,)),);
```

```
steel=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=2.12e11,
                                NU=0.293,)),);
```

```
MAIL=LIRE_MAILLAGE(FORMAT='MED',);
```

```
MAIL=MODI_MAILLAGE(reuse =MAIL,
                    MAILLAGE=MAIL,
                    ORIE_PEAU_3D=_F(GROUP_MA='load',),),);
```

```
newMesh=CREA_MAILLAGE(MAILLAGE=MAIL,
                       CREA_POI1=_F(NOM_GROUP_MA='spElmt',
                                       GROUP_NO='addSp',),),);
```

```
MODE=AFFE_MODELE(MAILLAGE=newMesh,
                  AFFE=( _F(TOUT='OUI',
                             PHENOMENE='MECANIQUE',
                             MODELISATION='3D',),
                        _F(GROUP_MA='spElmt',
                             PHENOMENE='MECANIQUE',
                             MODELISATION='DIS_T',),),),);
```

```
MATE=AFFE_MATERIAU(MAILLAGE=newMesh,
                    AFFE=( _F(GROUP_MA='top',
                                MATER=aluminum,),
                          _F(GROUP_MA='base',
                                MATER=steel,),),),);
```

SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

```
softSp=AFFE_CARA_ELEM(MODELE=MODE,
                      DISCRET=_F(CARA='K_T_D_N',
                                   GROUP_MA='spElmt',
                                   VALE=(100000,100000,100000),),),);
```

```
contact=DEFI_CONTACT(MODELE=MODE,
                     FORMULATION='DISCRETE',
                     FROTTEMENT='COULOMB',
                     ZONE=_F(GROUP_MA_MAII='baseC',
                               GROUP_MA_ESCL='topC',
                               ALGO_CONT='LAGRANGIEN',
                               COULOMB=0.2,
                               ALGO_FROT='LAGRANGIEN',),),);
```

```
CHAR=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
                    DDL_IMPO=( _F(GROUP_MA='fix',
                                   DY=0.0,
                                   DZ=0.0),
                               _F(GROUP_MA='symm',
                                   DZ=0.0),
                               _F(GROUP_MA='load',
                                   DX=0.0),),),
                    PRES_REP=_F(GROUP_MA='load',
                                   PRES=1e6),),);
```

```
loadP=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
                    DDL_IMPO=_F(GROUP_MA='fix',
                                   DX=0.0005),),);
```

```
ramp=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='INST',VALE=(0.0,0.0,
                                           1.0,1.0,
                                           ),),);
```

```
inst=DEFI_LIST_REEL(DEBUT=0.0,
                   INTERVALLE=_F(JUSQU_A=1.0,
                                   NOMBRE=1),),);
```

```
RESU=STAT_NON_LINE(MODELE=MODE,
```

SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触（摩擦あり）(2)

```

CHAM_MATER=MATE,
CARA_ELEM=softSp,
EXCIT=( _F(CHARGE=CHAR, ),
        _F(CHARGE=loadP,
            FONC_MULT=ramp, ), ),
CONTACT=contact,
COMP_ELAS=_F(ITER_INTE_MAXI=10,
              RELATION='ELAS', ),
INCREMENT=_F(LIST_INST=inst, ),
NEWTON=_F(REAC_ITER=1, ),
CONVERGENCE=_F(ITER_GLOB_MAXI=60, ),
SOLVEUR=_F(SYME='OUI', ), );

```

```

RESU=CALC_ELEM(reuse =RESU,
              MODELE=MODE,
              CHAM_MATER=MATE,
              RESULTAT=RESU,
              OPTION='EQUI_ELNO_SIGM', );

```

```

RESU=CALC_NO(reuse =RESU,
             RESULTAT=RESU,
             OPTION=('SIGM_NOEU_DEPL', 'EQUI_NOEU_SIGM', 'FORC_NODA', ), );

```

```

IMPR_RESU(FORMAT='MED',
          UNITE=80,
          RESU=_F(MAILLAGE=MAIL,
                 RESULTAT=RESU,
                 NOM_CHAM=('SIGM_NOEU_DEPL', 'EQUI_NOEU_SIGM', 'DEPL', 'FORC_NODA', ), ), );

```

```

IMPR_RESU(RESU=_F(RESULTAT=RESU,
                  NOM_CHAM='FORC_NODA',
                  GROUP_MA='fix', ), );

```

```

FIN();

```

-----ここまで-----