

SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり)

信頼性課 藤井 09/5/2

SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり)  
すべりあり、摩擦あり  
(SalomeMeca 2009.1)

## 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 (摩擦なしの場合)
  - 3-1. Code\_Asterの作成
  - 3-2. Code\_Asterの修正 (摩擦なしの設定)
  - 3-3. 実行
  - 3-4. 結果の確認
4. 解析 (摩擦ありの場合)
  - 4-1. Code\_Asterの修正 (摩擦ありの設定)
  - 4-2. 実行
  - 4-3. 結果の確認
5. まとめ

## 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、前章 6.0 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。(負荷とともに接触面積が変化していく。)

この問題は、Code\_Aster マニュアルの「V6.04.127」と例題「contact.tar.gz」

(/opt/helpers/docs/example/contact.tar.gz) を参考にした。

尚、この解析は、Salome-Meca-2009.1-GPL で作成してみる。

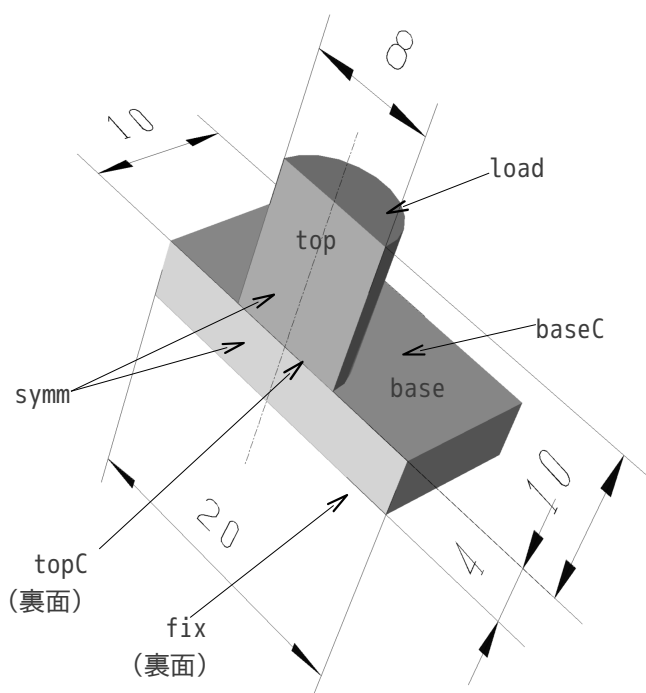
## 2. モデルの作成

## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり)

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。

### 2-1. Solid モデルの作成

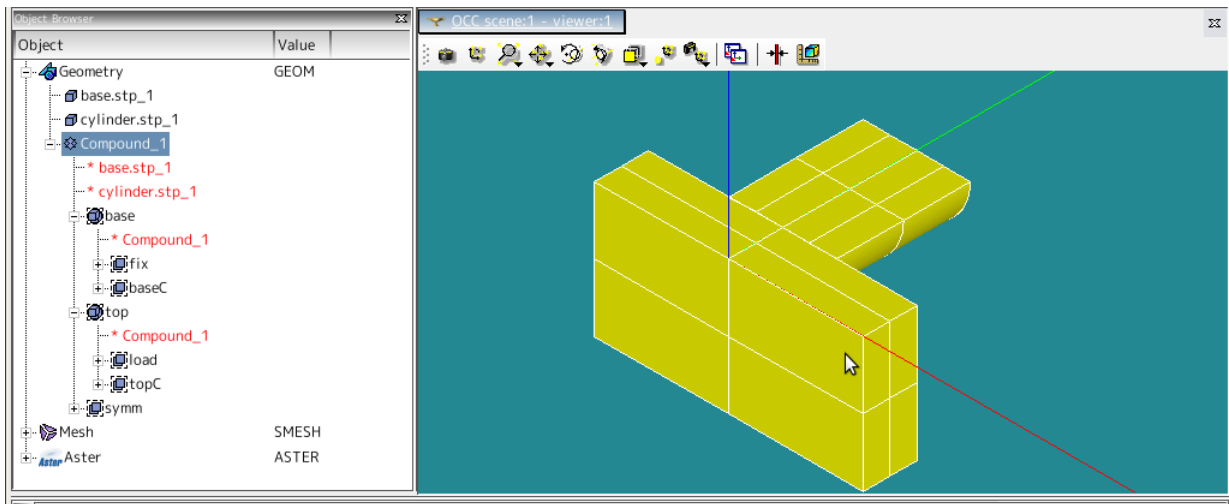
前記した様なモデルを Graphite0ne で作成した。モデルは、立方体の base と円柱上の cylinder の 2 ヶをそれぞれ 1 ヶづつ作成している。下図参照。立方体の base 上に円柱の top が接触するモデル。



### 2-2. Geometry、Entity の作成

作成したモデルを、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。

## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり)

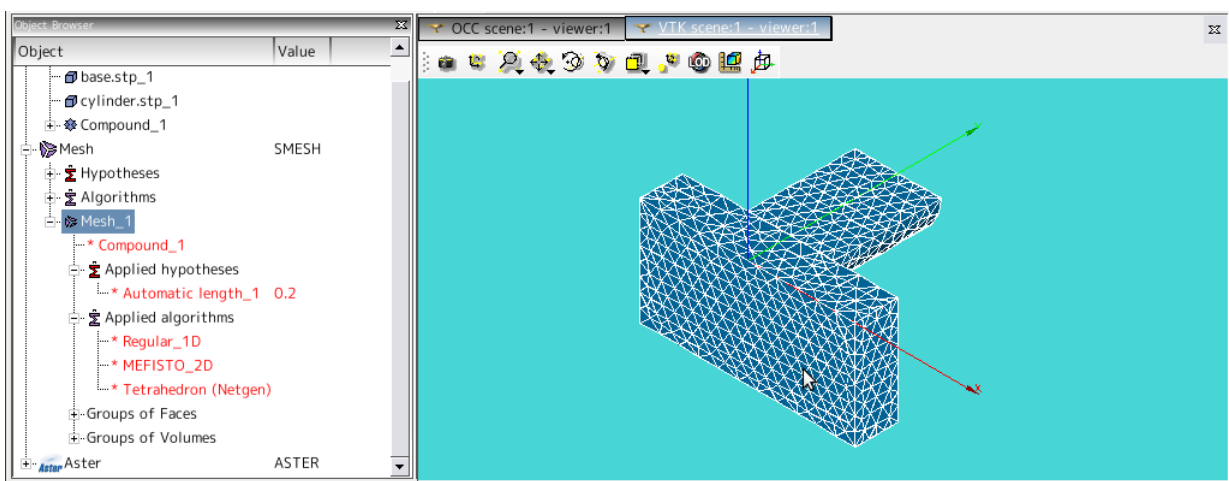


接触面は、baseC と topC が接触することになる。

|            |   |
|------------|---|
| Compound_1 | 読み込んだ base と cylinder を合わせて新しい entity を作成 |
| base       |   |
| fix        | 固定面                                       |
| baseC      | top との接触面                                 |
| top        |   |
| load       | 荷重を付加する部分                                 |
| topC       | base との接触面                                |
| symm       | base と top の対称面                           |

## 2-3.. メッシュの作成

メッシュは、Automatic Length 0.2 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)

### 3. 解析

作成したモデルを使って、接触モデルを解いてみる。

#### 3-1. Code\_Aster の作成

Code\_Aster 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、以下で作成した。

```

ヤング率：      130300 MPa
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、後で修正するので適当で構わない。

#### 3-2. Code\_Aster の修正 (摩擦なしの設定)

できあがった Code\_Aster を修正する。

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 (MPa) | ポアソン比 |
|----------|------------|-------|
| Aluminum | 70600      | 0.345 |
| Steel    | 212000     | 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              70600
    NU             0.345
DEFI_MATERIAU      steel
  ELAS
    E              212000
    NU             0.293

```

## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり)

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_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

```

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。尚、オリジナルの PRES\_REP は、削除する。

```

AFFE_CHAR_MECA     CHAR
MODELE             MODE
DDL_IMPO_1
  GROUP_MA         fix
  DY               0
  DZ               0
DDL_IMPO_2
  GROUP_MA         load
  DX               0
  DY               -0.5
  DZ               0
DDL_IMPO_3
  GROUP_MA         symm
  DZ               0

```

次に、接触の境界条件を設定する。修正した AFFE\_CHAR\_MECA の次に、以下の AFFE\_CHAR\_MECA を追加する。まず摩擦なしの状態を設定する。(前章の解析と同じ)

```

AFFE_CHAR_MECA     contact

```

## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり)

```

MODELE          MODE
CONTACT
METHODE         CONTRAINTE
b_dist_struct
b_notxfem              接触面を定義
  GROUP_MA_MAIT    topC
  GROUP_MA_ESCL    baseC
b_active

```

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
MODELE          MODE
DDL_IMPO
  GROUP_MA      fix
  DX            0.5

```

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。

```

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

```

次に、Solver 部分を設定する。オリジナルの MECA\_STATIQUE の次に以下を作成する。作成後、オリジナルを削除しておく。

```

STAT_NON_LINE  RESU
MODELE         MODE
CHAM_MATER     MATE
EXCIT

```

SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり)

```

EXCIT_1
  CHARGE          CHAR
EXCIT_2
  CHARGE          contact
EXCIT_3
  CHARGE          loadP
  FONC_MULT       ramp
COMP_ELAS
  RELATION        ELAS
  DEFORMATION     PETIT
  TOUT            OUI
b_not_reuse
INCREMENT
  LIST_INST       inst
  b_subd_unif
NEWTON
  REAC_INCR       1
  MATRICE         TANGENTE
  REAC_ITER       1
CONVERGENCE
  ITER_GLOB_MAXI  30
ARCHIVAGE
  PAS_ARCH        1

```

上記を追加した後、オリジナルの MECA\_STATIQUE を削除する。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

```

## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり)

```

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。

### 3-3. 実行

以上で Code\_Aster ができあがったので、このコードを実行する。

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、「LinearStatics\_3DMesh\_1」を右クリックして、「Edit Code\_Aster Case」を選択して、編集する。

現れた画面上でまず、Name を「CaseContFric」に変えておく。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、「Parameters」タグをクリックして、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

```

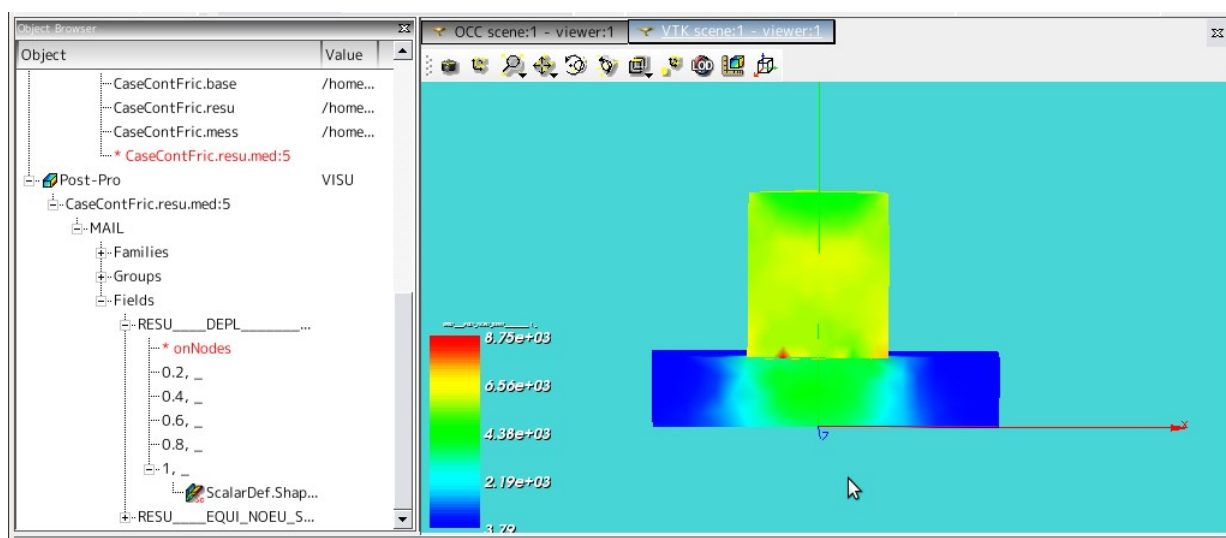
Case を編集後、「CaseContFric」を右クリックして、「Solve Code\_Aster Case」をクリックして実行する。警告は発生するもののエラーなく終了。実行時間は、1分26秒 (CPU時間 58秒) で終了。

### 3-4. 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）



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。

### 4. 解析（摩擦ありの場合）

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。

#### 4-1. Code\_Aster の修正（摩擦ありの設定）

Salome を「Aster」モードに設定して、Eficas を起動して、コードを修正する。修正箇所は、「AFFE\_CHAR\_MECA contact」の部分修正する。接触面 (Al と Steel) の摩擦係数は

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

として計算してみる。コードは以下の様に作成した。

```

AFFE_CHAR_MECA      contact
MODELE               MODE
CONTACT
  METHODE            PENALISATION      ペナルティ法に変更
  APPARIEMENT        MAIT_ESCL
  b_dist_struct

```

## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり)

|                |         |                         |
|----------------|---------|-------------------------|
| b_notxfem      |         |                         |
| GROUP_MA_MAIT  | topC    |                         |
| GROUP_MA_ESCL  | baseC   |                         |
| b_penalisation |         |                         |
| E_N            | 70000   | 接触面に働く荷重 F を発生させる為のバネ定数 |
| FROTTEMENT     | COULOMB | クーロン摩擦を定義               |
| b_frottement   |         |                         |
| COULOMB        | 1.5     | 摩擦係数 $\mu$              |
| E_T            | 7000    | 摩擦力を発生させるためのバネ定数        |

ここで、摩擦係数以外に、E\_N、E\_T のバネ定数を定義している。このバネ定数は、以下の様に定義されている。(ユーザマニュアル U2.04.04 による。)

- E\_N** 接触面の変位によって生じる荷重 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。  
またペナルティ法を使っている為、この定数を設定する必要がある。
- E\_T** 摩擦力のため、荷重がかかっていない場合は、摩擦力 (荷重の反力) は、発生していない。摩擦で静止している為、加える荷重による変位に対してどの程度の摩擦力を発生させるかのバネ定数を「E\_T」に設定。ただし、摩擦力の最大値は、 $\mu F$  を越えない。  
この変数もペナルティ法を使うと設定する必要がある。

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。

ペナルティ法でなくラグランジ法を使うと摩擦係数 (COULOMB) のみ入力すれば計算するが、どうも収束しにくかったので、ペナルティ法にした。

ペナルティ法でも、E\_T のバネ定数を大きくすると収束しなくなる。収束させるうまい方法があれば、ラグランジ法が望ましいと思うが現段階では難しい。

ペナルティ法で接触面の材料のヤング率の 1/10 の値 (今回は、Aluminum の 1/10) を E\_T に設定することで、うまく収束させることができたので、この方法にした。

### 4-2. 実行

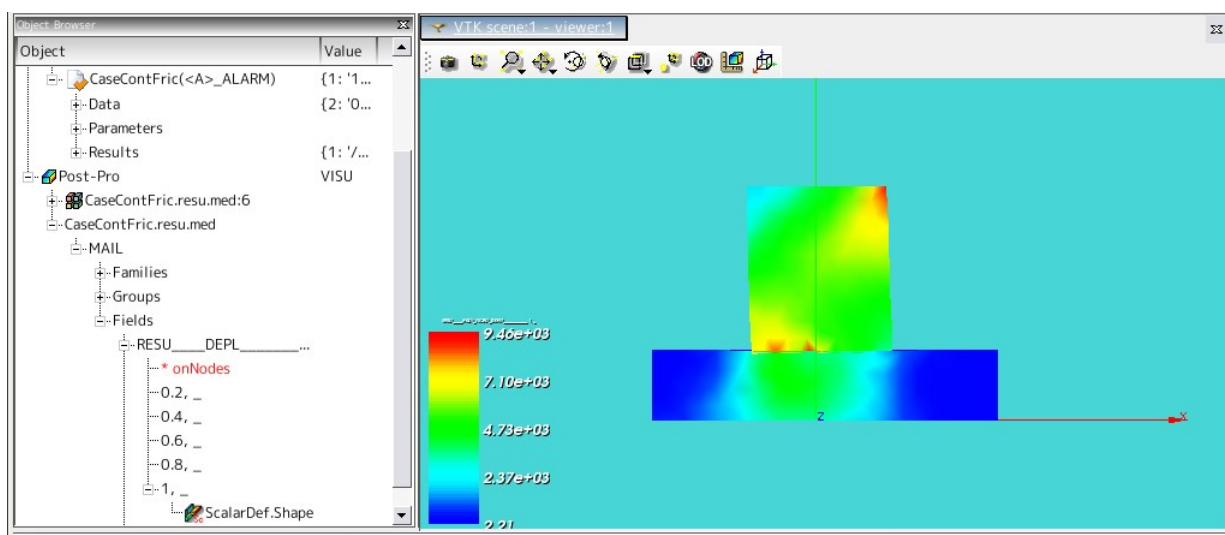
Code\_Aster の修正ができたので、これを実行する。

実行は、2 分 41 秒 (CPU 時間 124 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。

## SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり)

### 4-3. 結果の確認

結果を確認すると以下の様に確認できる。



境界条件は、円柱を base に押し付け、base を X 軸方向に 0.5mm 変位させる条件に設定している。この為、摩擦力により、円柱が曲がるはずだが、計算結果は、この様な結果になっている。

上図は、変位の倍率を 1 倍で描いている。

尚、エラーなく計算が終了したはずなのに、結果が「PostPro」に保存されていない場合があるが、計算が正しく終了していれば、

```
<CaseName>.resu.med
```

のファイルが Current Directry に保存されているので、これを PostPro モードで、import すれば、結果が表示される。

### 5. まとめ

今回の方法を使うことで、接触面の摩擦を考慮した解析ができるようになった。しかし、解を収束させる事が難しい。今の段階では、摩擦のバネ定数 (E\_T) を材料のバネ定数の 1/10 程度に設定する事で、解を収束させることができる。

### 6. Code\_Aste のソースコード

SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり)

-----pressFric.comm (摩擦あり) の内容-----

```
DEBUT();
```

```
aluminum=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=70600.0,  
                                NU=0.345,)),);
```

```
steel=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=212000.0,  
                                NU=0.293,)),);
```

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

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

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

```
MATE=AFPE_MATERIAU(MAILLAGE=MAIL,  
                  AFPE=( _F(GROUP_MA='top',  
                            MATER=aluminum,)  
                        _F(GROUP_MA='base',  
                            MATER=steel,)),),);
```

```
CHAR=AFPE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,  
                    DDL_IMPO=( _F(GROUP_MA='fix',  
                                    DY=0.0,  
                                    DZ=0.0,)  
                                _F(GROUP_MA='load',  
                                    DX=0.0,  
                                    DY=-0.5,  
                                    DZ=0.0,)  
                                _F(GROUP_MA='symm',  
                                    DZ=0.0,)),),);
```

SalomeMeca の使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり)

```
loadP=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,  
                      DDL_IMPO=_F(GROUP_MA='fix',  
                                   DX=0.5,)),);  
  
contact=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,  
                        CONTACT=_F(METHODE='PENALISATION',  
                                   APPARIEMENT='MAIT_ESCL',  
                                   GROUP_MA_MAIT='topC',  
                                   GROUP_MA_ESCL='baseC',  
                                   E_N=70000,  
                                   FROTTEMENT='COULOMB',  
                                   COULOMB=1.5,  
                                   E_T=7000,)),);  
  
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=contact, ),  
                           _F(CHARGE=loadP,  
                               FONC_MULT=ramp,)),),  
                   COMP_ELAS=_F(RELATION='ELAS',  
                                 DEFORMATION='PETIT',  
                                 TOUT='OUI', ),  
                   INCREMENT=_F(LIST_INST=inst, ),  
                   NEWTON=_F(REAC_INCR=1,  
                              MATRICE='TANGENTE',  
                              REAC_ITER=1, ),  
                   CONVERGENCE=_F(ITER_GLOB_MAXI=30, ),  
                   ARCHIVAGE=_F(PAS_ARCH=1, ),));
```

SalomeMecaの使いかた -- 6.1 接触 (摩擦あり)

```
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,  
                NOM_CHAM=('SIGM_NOEU_DEPL', 'EQUI_NOEU_SIGM', 'DEPL',),),);  
  
FIN();  
-----ここまで-----
```