

## SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

信頼性課 藤井 08/5/24

### SalomeMeca の使い方 -- 8.0 塑性と接触 (SalomeMeca 2008.1)

#### 目次

1. はじめに
2. 単純モデルの場合
  - 2-1. モデルの読み込み
  - 2-2. メッシュの作成
  - 2-3. ASTK ファイルの作成
  - 2-4. Code\_Aster の編集
  - 2-5. 計算開始
  - 2-6. 再計算
3. かしめのモデルの場合
  - 3-1. 解析方法
  - 3-2. モデルの読み込み
  - 3-3. メッシュの作成
  - 3-4. ASTK ファイルの作成
  - 3-5. Code\_Aster の編集
  - 3-6. 塑性変形のみ確認
  - 3-7. 塑性と接触の確認
  - 3-8. 結果の確認
4. 治具によるかしめのモデルの場合
  - 4-1. 解析方法
  - 4-2. モデルの読み込み
  - 4-3. メッシュの作成
  - 4-4. ASTK ファイルの作成
  - 4-5. Code\_Aster の編集
  - 4-6. 計算開始
  - 4-7. メッシュの再作成
  - 4-8. 再計算開始
  - 4-9. 結果の確認
  - 4-10. 追記
5. Code\_Aster

#### 1. はじめに

塑性問題を扱う中で、加工（かしめ加工やプレス加工）を考えると、接触と塑性の解析が必要になってくる。例えば、プレス加工を考えたとき、パンチが材料を押し潰し、塑性変形させて加工する。パンチと材料は接触して、パンチが材料を塑性変形させる。塑性変形と接触の2つの非線形問題を考える必要がある。この為、ここで塑性と接触問題を考えてみる。

#### 2. 単純モデルの場合

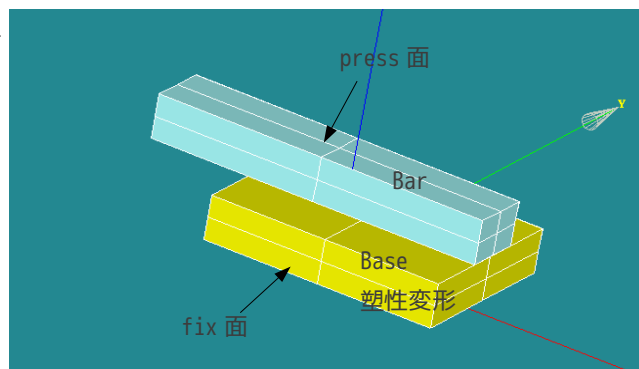
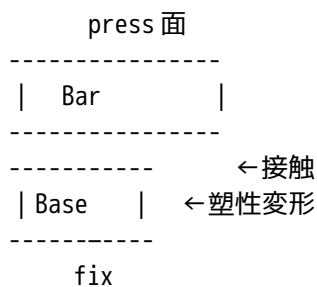
「接触」問題で解析したモデルを使用し、Bar を強い材質（塑性変形しない）で Base を軟らかい材質（塑性

## SalomeMecaの使いかた -- 8.0 塑性と接触

変形する) に設定し、Bar 上面 (press 面) を変位させる。 → Bar が Base を押し潰す。

### 2-1. モデルの読み込み

Salome を起動し、接触問題で使用したモデル「multi-bar-1.stp」を読み込む。



### 2-2. メッシュの作成

基本的に接触問題で扱ったものと同じ方法をとる。非線形解析であるため、メッシュは1次メッシュとしている。

ツリーの構造は下記。メッシュのグループ化も行っておく。メッシュの大きさは、接触問題を解析したときよりも1段細かくしている。

当初、接触問題の時と同じメッシュの粗さ (0.2:クリック2回分) で解いていたが、どうしても変位 0.8mm 近辺のところまで解が収束しなかった。メッシュを細かくしたところ、1mm まで変位させることができたので、メッシュの荒さは 0.3 としている。

Mesh

Hypotheses

Algorithms

Mesh\_1

\*multi-bar-1.stp\_1

Applied hypotheses

\*Automatic length 0.3

\*Length From Edges(2D H...

Applied algorithms

\*Wire discretisation

\*Triangle (Mefisto)

\*Tetrahedron (Netgen)

Group of Faces

fix

press

contBase

Base 側の接触面

ContBar

Bar 側の接触面

Group of Volume

Base

Bar

## SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

### 2-3. ASTK ファイルの作成

Base Directoryとなるフォルダを作成する。(フォルダ名「plastic-contact-ASTK」とした) この中に、Salome で作成したメッシュを Importしておく。(ファイル名「multi-bar-1.med」とした) 基本となる comm ファイルは、接触問題で使用した「contact-bar.comm」を使用する。PCメニューから NEW FE Study を起動して、ASTK ファイルを作成する。

```
Project Name:      multi-bar-pl
Base Directory:    /CAD-model/plastic-contact-ASTK
MED Mesh File:    /CAD-model/plastic-contact-ASTK/multi-bar-1.med
Template File:     /CAD-model/contact-bar/contact-bar.comm
```

### 2-4. Code\_Aster の編集

ASTK を起動して EFICAS を起動し、Code\_Aster を編集する。修正箇所は、材料定数と解を収束させる条件設定の部分、出力項目を変更する。

まず、材料定数は、Bar を硬い材料（塑性変形しない材料）、Base を軟らかい材料（塑性変形する材料）として定義し設定する。

材料の定義は、解析に使用する全ての材料の応力-歪線図を定義する。これをしないとエラーになる。従って、塑性変形させない材料の降伏点は、充分大きな値に設定して入力する。

```
DEFI_FONCTION      elast_pl      軟らかい材料の応力-歪線図を定義
  NOM_PARA          EPSI
  NOM_RESU          SIGM
  VALE              (0.0015,105,0.05,200,0.2,300,2,1000)

DEFI_FONCTION      elast_ma      硬い材料の応力-歪線図を定義
  NOM_PARA          EPSI          塑性変形させない為、定義する必要は無いが、定義しないと、
  NOM_RESU          SIGM          エラーが発生するので、使用する材料全てを定義する。
  VALE              (1,130300,2,160000)

DEFI_MATERIAU      MA            硬い材料
  ELAS
  E                 1303000
  NU                0.343
  TRACTION
  SIGM              elast_ma      降伏点：130300MPa 塑性変形しないよう降伏点を大きな値に設定。

DEFI_MATERIAU      A6000        軟らかい材料
  ELAS
  E                 70000
  NU                0.3
  TRACTION
  SIGM              elast_pl      降伏点：105MPa

AFFE_MATERIAU      MATE
  AFFE
  AFFE_1
  GROUP_MA          Base          Base を A6000 に設定
```

## SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

```

MATER          A6000
AFFE_1
GROUP_MA      Bar          Bar を MA に設定
MATER          MA

```

解を収束させる為の設定を変更する。当初の接触解析の時は、弾性解析だった為、これを塑性変形（大変形）用に修正する。

変更箇所は、「COMP\_INCR」、「NEWTON」の箇所を変更。

```

STAT_NON_LINE  RESU
MODELE         MODE
CHAM_MATER     MATE
EXCIT
  EXCIT_1
    CHARGE      CHAR
  EXCIT_2
    CHARGE      loadP      loadP（変位）を ramp で定義した方法で変化させる
    FONC_MULT   ramp
  EXCIT_3
    CHARGE      contact    接触の条件
COMP_INCR      当初の接触解析で使用した COMP_ELAS を COMP_INCR に変える
RELATION       VMIS_ISOT_TRAC  塑性解析の等方硬化則を使用
DEFORMATION    SIMO_MIEHE     大変形で解析
TOUT           OUI
b_not_reuse
INCREMENT
LIST_INST      inst          inst で定義した間隔で計算
NEWTON
REAC_INC       1
PREDICTION     TANGENTE     追加（これを追加しないと収束しなかった）
MATRICE        TANGENTE
REAC_ITER      1
CONVERGENCE
ITER_GLOB_MAXI 30          イタレーション最大回数 30 回まで
ARCHIVAGE
PAS_ARCH       1

```

出力項目は、「塑性 結果の検証」と同じ設定とした。（DEPL、EQUI\_NOEU\_EPSI、EQUI\_NOEU\_SIGM の 3 項目を出力）

### 2-5. 計算開始

loadP の変位は、当初設定していた、-0.3mm で計算開始。うまく計算する。

loadP の変位を -1.0mm に増やして確認する。計算できる。

今度は、Bar を -1mm 下げた後、+1mm の位置まで上昇させて、Base から完全に離し、Base 側の塑性変形の程度を確認する。

この解析の為、下記の様に Code\_Aster 変更する。

```
AFFE_CHAR_MECA      loadP
```

## SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

MODELE	MODE	
DDL_IMPO		
GROUP_MA	press	press 面を -1mm まで下げる。
DZ	-1	
DEFI_FONCTION	ramp	負荷変動の方法を定義
NOM_PARA	INST	
VALE	(0,0,1,1,2,-1)	原点から 1mm 下げ、+1mm の位置まで上昇させる
DEFI_LIST_REEL	inst	計算する間隔を定義
DEBUT	0.0	
INTERVALLE		
INTERVALLE_1		
JUSQU_A	1	~1 まで 5 分割
NOMBRE	5	
INTERVALLE_2		
JUSQU_A	1.01	~1.01 まで 2 分割
NOMBRE	2	
INTERVALLE_3		
JUSQU_A	2	~2 まで 5 分割
NOMBRE	5	

### 2-6. 再計算

再計算させ、結果を Salome で確認する。

変位 (DEPL) は、Base と Bar が離れており、Base が塑性変形している (形状が元に戻っていない) 事がよくわかる。変位は、倍率を 1 に設定し確認する。弾性変形は、変位が小さいので、倍率をあげないと確認できないが、塑性変形の場合は、変位が大きいため、倍率は、1 倍にするのが最も確認しやすい。

相当歪 (EQUI\_NOEU\_EPSI) は、最大で、0.231 に達している。降伏点は、(0.0015, 105MPa) なので、完全に塑性領域に入っている。

相当応力 (EQUI\_NOEU\_SIGM) は、290MPa の残留応力が発生している。

### 3. かしめのモデルの場合

かしめを想定したモデルに変えて、「塑性と接触」を解析してみる。

モデルは、実際に則したモデルを考える。リベットの足をつぶして、リングをかしめるモデルを考える。

#### 3-1. 解析方法

リベットは、軸対称なので、1/4 のモデルで解析する。リベットの頭 (fix) を固定し、リベットの足 (press 面) を 2.2mm 下げて、リングをかしめる方法をとる。

#### 3-2. モデルの読み込み

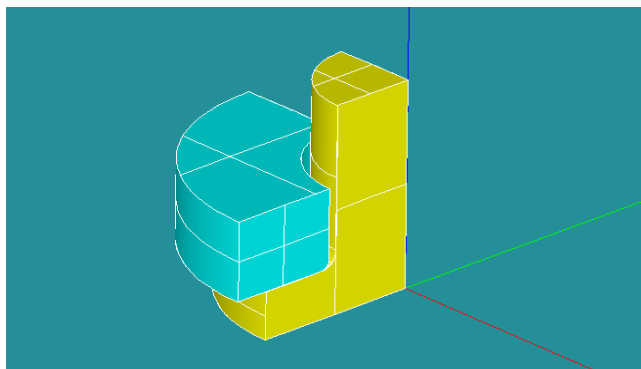
モデルは、「pole-ring-1.stp」を読み込む。

## SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

このモデルは、1/4 になっているので、それぞれのカット面をそれぞれの面に対して垂直方向に固定する必要がある。

### 3-3. メッシュの作成

必要な Volume や Face をグループ化しておく。メッシュは、1 回クリック分とした。  
ツリーの構造は下記。



#### Mesh

Hypotheses

Algorithms

Mesh\_1

pole-ring-1.stp\_1

Applied hypotheses

\*Automatic Length 0.1 1 回クリック分

\*Length From Edges(2D H...

Applied algorithms

\*Wire discretisation

\*Triangle(Mefisto) 三角形の 1 次メッシュ

\*Tetrahedron(Netgen)

Group of Faces

fix 固定面 (Pole の下面)

press 変位させる面 (Pole の最上面)

contPole Pole 側の接触面 (水平面、R 部、円筒面)

Contring Ring 側の接触面 (水平面、R 部、円筒面)

fixOut Ring の外周面 (全固定)

fixXP Pole 側のカット面 (X 軸方向拘束)

fixXR Ring 側のカット面 (X 軸方向拘束)

fixYP Pole 側のカット面 (Y 軸方向拘束)

fixYR Ring 側のカット面 (Y 軸方向拘束)

Group of Volumes

Pole

Ring

### 3-4. ASTK ファイルの作成

Base Directory は同じ場所とする。メッシュファイルを Base Directory 内に「pole-ring1.med」として Export する。

comm ファイルは、2 項で作成した comm ファイルを使う事にする。

PC メニューから NEW FE Study を起動して下記内容を入力する。

```
Project Name:      pole-ring-pl
Base Directory:    /CAD-model/plastic-contact-ASTK
MED Mesh File:     /CAD-model/plastic-contact-ASTK/pole-ring1.med
Template File:     /CAD-model/plastic-contact-ASTK/multi-bar-pl/multi-bar-pl.comm
```

## SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

### 3-5. Code\_Aster の編集

Volume 名、Face 名を変えているので、これを修正する。

AFFE_MATERIAU	MATE	
GROUP_MA	Base	→ Pole に変更
GROUP_MA	Bar	→ Ring に変更
AFFECHAR_MECA	contact	
CONTACT		
GROUP_MA_MAIT	contBase	→ contPole に変更
GROUP_MA_ESCL	contBar	→ contRing に変更

境界条件は、カット面の固定も Y 軸方向に拘束するので、これも追加する。

AFFE_CHAR_MECA	CHAR	
DDL_IMPO_1		
GROUP_MA	(fix,fixOut)	Pole 底面、Ring の外周面を固定
DX	0	
DY	0	
DZ	0	
DDL_IMPO_2		修正せず (そのまま)
GROUP_MA	press	
DX	0	
DY	0	
DDL_IMPO_3		
GROUP_MA	(fixYP,fixYR)	Pole、Ring の Y 軸カット面を Y 軸固定
DY	0	
DDL_IMPO_4		
GROUP_MA	(fixXP,fixXR)	Pole、Ring の X 軸カット面を X 軸固定
DX	0	

さらに、press 面を 2.2mm 下げることになるのでここも変更する。

AFFE_CHAR_MECA	loadP	
DDL_IMPO		
GROUP_MA	press	
DZ	-2.2	-2.2mm に変更

計算する間隔も -2.2mm だけに設定しておく。( -2.2mm 下げた後、上昇させない。) INTERVALLE\_2, INTERVALLE\_3 を削除。

DEFI_LIST_REEL	inst
INTERVALLE	
JUSQU_A	1
NOMBRE	5

また、STAT\_NON\_LIN コマンド内での、境界条件中の接触に関する条件は除いておき、塑性変形のみでまず計算してみる。以下のように「EXCIT\_3 contact」を削除しておく。

## SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

```

STAT_NON_LIN      RESU
  EXCIT
    EXCIT_1
      CHARGE      CHAR
    EXCIT_2
      CHARGE      loadP
    FONC_MULT     ramp

```

以上を変更後、保存して EFICAS を終了する。

### 3-6. 塑性変形のみ確認

「Run」ボタンをクリックして、計算開始してみる。初めが収束せずエラーになる。この為、計算間隔を細かくする。以下の様に、変更した。

```

DEFI_LIST_REEL    RESU
  DEBUT           0
  INTERVALLE
    INTERVALLE_1
      JUSQU_A     0.05
      NOMBRE      5
    INTERVALLE_2
      JUSQU_A     1
      NOMBRE      5

```

ここを追加。かなり細かくした。

上記の様に、初めをかなり細かくした。こうしないと、収束しなかった。弾性域と塑性域は、大きな変曲点があるので、いきなり塑性域まで変形させると、収束しないのかもしれない。初めは、弾性域までの変形にとどめておく。

「Run」ボタンをクリックして、計算開始させると、塑性変形だけは、うまく計算する。Pole の円筒部が膨らみ、外側の Ring に食い込んでいるのがわかる。（接触判定させていないので、Ring 側は、変形していない。）

### 3-7. 塑性と接触の確認

「STAT\_NON\_LIN」コマンドに接触コマンドを追加して、再計算する。（削除した EXCIT コマンドを追加する。）

今度はうまく接触と塑性が計算できる。

境界条件の「press」面を 2.2mm 下げる事については、どうも 2.2mm を超えると収束しなかった為、2.2mm にとどめている。また、モデルも、当初 1/2 にカットしたモデルで計算していたが、収束が難しかった（計算に時間が掛かる。）ので、最終的に 1/4 にカットしたモデルでメッシュの細かさも、程々（0.1：クリック 1 回分）に設定して計算した。もっとメッシュを細かくすると 2.2mm 以上も計算できるかもしれない。しかし、メッシュを細かくする＝時間がかかる事になり、結果を出すのに苦労する。

また、変位が大き過ぎて、メッシュがいびつになり、計算ができなくなってしまった可能性もある。この場合は、メッシュを切り直して計算させる必要がある。いずれにしても、確認に時間が掛かるので、変位 2.2 mm にとどめている。

### 3-8. 結果の確認



## SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

結果ファイル「pole-ring-plres.med」を Salome で読み込み、確認する。変位の確認は、倍率を 1 に設定して確認する。

通常のかしめの様に、円筒部が膨らみ、リベットの足がつぶれて、かしまっていることが分かる。

もっと計算間隔を細かくすると、かしめの途中経過も確認できるが、今回は 5 分割にしたので、大まかにしか分からないが、約 1mm つぶしたところで、リングに接触し始める。1.8mm つぶしでは、R 部にまだ隙間がある。2.2mm つぶしでは、R 部も埋まっている。

最大歪は、0.56 であり、かなり変形している。

最大応力は、Ring の上面で、約 3200MPa 発生している。

### 4. 治具によるかしめのモデルの場合

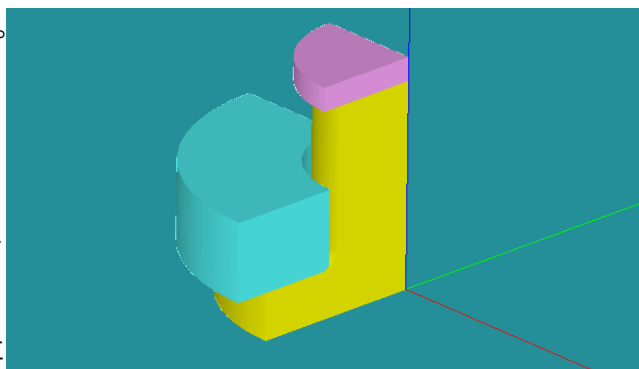
前項は、リベットの足を変位させて、リベットをかしめるモデルを考えたが、ここでは、治具（パンチ）でリベットの足をつぶして、かしめるモデルを考える。→より実際に則したモデル

#### 4-1. 解析方法

3 項のモデルに治具（パンチ）を追加したモデルを考え、治具を変位させて、リベットをかしめる。治具とリベットは接触しており、接触により荷重が伝わっていく。リベットの足（Pole）は、つぶれにより膨らんで、Ring と接触し、接触により荷重が伝わっていく。

#### 4-2. モデルの読み込み

治具を含むモデル「pole-ring-jig.stp」を読み込む。  
3 項のモデルに治具を追加したモデル。



#### 4-3. メッシュの作成

必要な Volume や Face をグループ化しておく。ツリー構造は下記。

接触は、Jig-Pole 間と Pole-Ring 間の 2 箇所接触する。この為、接触を 2 種類作って実行したところエラーが発生。この為、接触は 1 種類にまとめた。

Pole 側の接触面 (contP)	Jig と Ring が接触する面をグループ化
Jig、Ring の接触面 (contJR)	Pole が接触する面をグループ化

contP と contJR が接触するのみ。この接触の関係で、Jig-Pole 間と Pole-Ring 間の 2 箇所の接触を定義する。

Jig と接触する Pole の上面を contPT としてグループ化している。（この面は、contP の一部でもあり、ダブルで定義している。）この面は、通常摩擦があるので、XY 方向には変化しない。この拘束を作るために単独で面を定義する。

Mesh

Hypotheses

Algorithms

## SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

```

Mesh_1
  *pole-ring-jig.stp_1
  Applied hypotheses
    *Automatic length      0.1   クリック 1 回分
    *Length From Edges (2D...
  Applied algorithms
    *Wire discretisation
    *Triangle (Mefisto)      三角形の 1 次メッシュ
    *Tetrahedron (Netgen)
  Group of Faces
    fix                      Pole の底面 (全固定)
    press                    治具 (パンチ) の上面 変位させる平面
    fixOut                   Ring の外周面 (全固定)
    fixYP                    Pole のカット面 (Y 軸固定)
    fixYR                    Ring のカット面 (Y 軸固定)
    fixYJ                    Jig のカット面 (Y 軸固定)
    fixXP                    Pole のカット面 (X 軸固定)
    fixXR                    Ring のカット面 (X 軸固定)
    fixXJ                    Jig のカット面 (X 軸固定)
    contPT                   Pole の上面 (Jig と接触する面)
    contP                    Jig、Ring と接触する Pole 側の面 (contPT 含む)
    contJR                   Pole と接触する Jig、Ring 側の面
  Group of Volumes
    Pole                     リベット
    Ring                     Ring
    Jig                      治具 (パンチ)

```

### 4-4. ASTK ファイルの作成

Base Directory は、3 項と同じ場所とする。comm ファイルは、3 項で作成した comm ファイルを使う。最終的に NEW FE Study の入力内容は、下記。

```

Project Name:      pole-ring-jig-pl
Base Directory:   /CAD-model/plastic-contact-ASTK
MED Mesh File:    /CAD-model/plastic-contact-ASTK/pole-ring-jig.med
Template File:    /CAD-model/plastic-contact-ASTK/pole-ring-pl/pole-ring-pl.comm

```

### 4-5. Code\_Aster の編集

Jig が追加されていることと、接触面の名前が変わっているので修正する。ツリーの構造は下記。

```

AFFE_MATERIAU      MATE          材料の設定
  MAILLAGE          MAIL
  AFFE
    AFFE_1
      GROUP_MA      Pole          Pole を軟らかい A6000 に設定
      MATER          A6000
    AFFE_2

```

## SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

GROUP_MA MATER	(Ring,Jig)	Ring,Jig を硬い MA に設定 MA
AFFE_CHAR_MECA MODELE	CHAR MODE	
DDL_IMPO		
DDE_IMPO_1		
GROUP_MA	(fix,fixOut)	全方向固定
DX	0	
DY	0	
DZ	0	
DDL_OMPO_2		
GROUP_MA	(press,contPT)	XY 方向固定、Z 方向のみ変位させる
DX	0	
DY	0	
DDL_IMPO_3		
GROUP_MA	(fixYP,fixYR,fixYJ)	
DY	0	
DDL_IMPO_4		
GROUP_MA	(fixXP,fixXR,fixXJ)	
DX	0	
AFFE_CHAR_MECA MODELE	loadP MODE	
DDL_IMPO		
GROUP_MA	press	
DZ	-2.2	とりあえず-2.2mm に設定
AFFE_CHAR_MECA MODELE	contact MODE	
CONTACT		
METHODE	LAGLANGIEN	
APPARIEMENT	MAIT_ESCL	
RECHERCHE	NOEUD_BOUCLE	
PROJECTION	QUADRATIQUE	
b_notxfem		
GROUP_MA_MAIT	contJR	接触面を定義
GROUP_MA_ESCL	contP	
b_lagrangien		
DEFI_FONCTION	ramp	
NOM_PARA	INST	
VALE	(0,0,1,1)	
DEFI_LIST_REEL	inst	
DEBUT	0.0	
INTERVALLE		
INTERVALLE_1		初めを細かく計算する
JUSQU_A	0.02	
NOMBRE	2	

## SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

```
INTERVALLE_2
  JUSQU_A      1
  NOMBRE      5
```

### 4-6. 計算開始

計算させると、ステップ0.8 (-1.75mm) までは、うまく計算するが、それ以上は、発散して収束しない。3項との違いは、治具（パンチ）を追加しただけの為、治具（Jig）との接触面の塑性変形がうまく計算できていない。（接触面の塑性歪の分布が均一でなく、この計算がうまくできていない？）  
Jigとの接触面のメッシュが荒すぎて塑性歪の分布がうまく表現（計算）できていない事が原因か。

### 4-7. メッシュの再作成

Pole 側の Jig との接触面のみ、メッシュを一段細かくしてみる。  
Salome を起動し、Mesh 画面に移って、メッシュを表示させる。この後、ツリー上の「Mesh\_1」を選択し、メニューバー上の「Mesh」「Create Sub-mesh」で Create sub-mesh 画面を表示させ、Geometry に contPT（Jig との接触面）を選んで、一段細かいメッシュ（クリック 2 回分）をきる。  
メッシュのツリー構造は、下記。

```
Mesh
  Hypotheses
  Algorithms
  Mesh_1
    *pole-ring-jig.stp_1
    Applied hypotheses
    Applied algorithms
    SubMeshes on Face          この部分を追加
      SubMesh_1
        *contPT
        Applied hypotheses
          *Automatic length    0.24   クリック 2 回分
          *Length From Edg...
        Applied algorithms
          *Wire discretisation
          *Triangle (Mefisto)
      Group of Faces
      Group of Volumes
```

今回作成したメッシュを前回の分と置き換える。メッシュを Export する場所は、/home/juser/Desktop/CAE-model/plastic-contact-ASTK/pole-ring-jig のフォルダ内にある「pole-ring-jig-plmesh.med」のファイルと置き換える。（ファイル名は変えずに同じ名前でも Export する。）

### 4-8. 再計算開始

メッシュの置き換えが終わったので、ASTK を起動して、「Run」ボタンをクリックして計算開始させる。今度は、うまく計算する。  
3項では、-2.2mm までしか計算できなかった。（-2.2mm を超えると解が発散し収束しなかった。）ここでも

## SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

-2.2mm を目標につぶしてみた。この結果、部分的にメッシュを細かくすることで解が収束しうまく計算できた。従って、解を収束させるためには、収束しない原因（箇所）をつかみ、その部分のメッシュを細かくする等の方法で解を収束させることができる。もちろん、計算間隔を細かくしても収束を早めることができる。（メッシュを細かくし、計算間隔を細かくすると言う事は、計算時間が指数関数的に長くなってしまふ。要注意！）

次に、-2.2mm 下げた治具を+2.2mm まで上げて、Pole の塑性変形の程度を確認する。一旦下げた治具を上げる為に、Code\_Aster を以下の様に編集する。

編集後再トライすると、うまく計算する。治具を下げてつぶした後、治具を上昇させるときの計算間隔は、トライ&エラーで何回か繰り返した後、決定している。最初は細かくする必要がある。

```
DEFI_FONCTION      ramp
NOM_PARA           INST
VALE               (0,0,1,1,2,-1)      -2.2mm まで下げた後、初期位置よりも+2.2mm まで上げる
```

```
DEFI_LIST_REEL     inst      計算間隔
DEBUT              0.0
INTERVALLE
INTERVALLE_1
  JUSQU_A          0.02      ~0.02step までを
  NOMBRE           2         2 分割
INTERVALLE_2
  JUSQU_A          1         ~1step までを   (-2.2mm つぶす)
  NOMBRE           5         5 分割
INTERVALLE_3
  JUSQU_A          1.01     ~1.01step までを
  NOMBRE           4         4 分割
INTERVALLE_4
  JUSQU_A          1.1      ~1.1step までを
  NOMBRE           5         5 分割
INTERVALLE_5
  JUSQU_A          2         ~2step までを   (+2.2mm まで上げる)
  NOMBRE           5         5 分割
```

### 4-9. 結果の確認

結果ファイル「pole-ring-plres.med」を Salome で読み込み、確認する。

最大歪は、Pole の円周上部（治具と接触する近辺）で 0.70。最大応力は、Ring 上面の Pole と接触する近辺で 2150MPa。

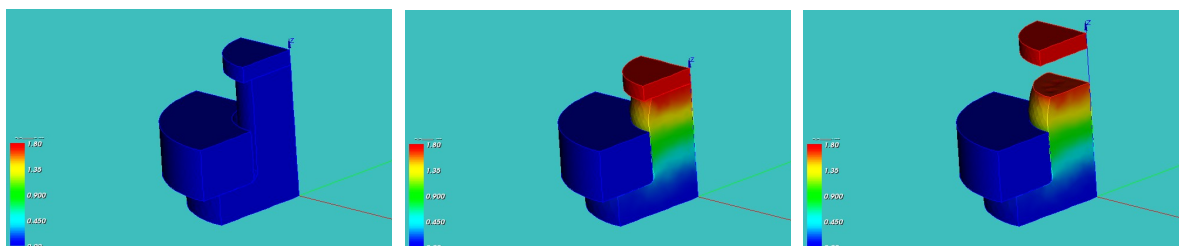
3 項の結果と比較すると、歪が大きくなり、応力が下がっている。3 項の方法は、Pole 上面を無理矢理変位させる方法の為、荷重が内部に伝わりやすいが、今回の方法は、治具を変位させて Pole をつぶすため、Pole は自然に変形する。（Pole の上面が部分的にへこんでいる。）この為、Pole 上部の歪が大きくなり、Ring の応力が下がった様に思える・・・。

初期

治具下死点

治具上昇

## SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触



## 4-10. 追記

当初、解が収束しなかったが、メッシュを細かくすることで解が収束した。メッシュを細かくする前に、収束しない原因が定義した A6000 の応力-歪線図で降伏点前後でヤング率が極端に変わりすぎる為ではないかと思ひ、降伏点前後でデータを多数入力し、極力変曲点が表れないようにしてみた。しかし、結果は同じで収束しなかった。

データを細かく入力することで、収束するステップ数（イタレーション No.）は少なくなり、各ステップでの収束する時間は早くなったが、収束する限界点は変わらなかった。

## 5. Code\_Aster

以下に今回解析したコードを示した。非線形が 2 ケ（接触、塑性）あるので、解を収束させるのに苦労する。途中でかなりコードをいじくっているのので、最終的なコードを以下に添付している。

----- multi-bar-pl.comm のコード -----

```
DEBUT();
```

```
elast_pl=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='EPSI',NOM_RESU='SIGM',VALE=(0.0015,105,
                    0.05,200,
                    0.2,300,
                    2,1000,
                    ),);
```

```
elast_ma=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='EPSI',NOM_RESU='SIGM',VALE=(1,130300,
                    2,160000,
                    ),);
```

```
MA=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=130300,
                    NU=0.343,),
                    TRACTION=_F(SIGM=elast_ma,,));
```

```
A6000=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=70000,
                    NU=0.3,),
                    TRACTION=_F(SIGM=elast_pl,,));
```

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

```
MODE=AFFE_MODELE(MAILLAGE=MAIL,
                    AFFE=_F(TOUT='OUI',
```

SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

```
PHENOMENE='MECANIQUE',
MODELISATION='3D',,);
```

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

```
MATE=AFPE_MATERIAU(MAILLAGE=MAIL,
  AFPE=( _F(GROUP_MA='Base',
    MATER=A6000,),
    _F(GROUP_MA='Bar',
    MATER=MA,)),);
```

```
CHAR=AFPE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
  DDL_IMPO=( _F(GROUP_MA='fix',
    DX=0,
    DY=0,
    DZ=0,),
    _F(GROUP_MA='press',
    DX=0,
    DY=0,)),);
```

```
loadP=AFPE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
  DDL_IMPO=_F(GROUP_MA='press',
    DZ=-1,));
```

```
contact=AFPE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
  CONTACT=_F(METHODE='CONTRAINT',
    APPARIEMENT='MAIT_ESCL',
    RECHERCHE='NOEUD_BOUCLE',
    PROJECTION='LINEAIRE',
    GROUP_MA_MAIT='contBase',
    GROUP_MA_ESCL='contBar',,));
```

```
ramp=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='INST', VALE=(0,0,
  1,1,
  2,-1,
),);
```

```
inst=DEFI_LIST_REEL(DEBUT=0.0,
  INTERVALLE=( _F(JUSQU_A=1,
    NOMBRE=5,),
    _F(JUSQU_A=1.01,
    NOMBRE=2,),
    _F(JUSQU_A=2,
    NOMBRE=5,)),);
```

```
RESU=STAT_NON_LINE(MODELE=MODE,
  CHAM_MATER=MATE,
  EXCIT=( _F(CHARGE=CHAR,),
```

SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

```

    _F(CHARGE=loadP,
        FONC_MULT=ramp, ),
    _F(CHARGE=contact, ), ),
COMP_INCR=_F(RELATION='VMIS_ISOT_TRAC',
    DEFORMATION='SIMO_MIEHE',
    TOUT='OUI', ),
INCREMENT=_F(LIST_INST=inst, ),
NEWTON=_F(REAC_INCR=1,
    PREDICTION='TANGENTE',
    MATRICE='TANGENTE',
    REAC_ITER=1, ),
CONVERGENCE=_F(ITER_GLOB_MAXI=30, ),
ARCHIVAGE=_F(PAS_ARCH=1, ), );

```

```

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

```

```

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

```

```

IMPR_RESU(FORMAT='MED',
    UNITE=80,
    RESU=( _F(MAILLAGE=MAIL,
        RESULTAT=RESU,
        NOM_CHAM='DEPL',
        NOM_CMP=('DX', 'DY', 'DZ', ), ),
        _F(MAILLAGE=MAIL,
            RESULTAT=RESU,
            NOM_CHAM='EQUI_NOEU_EPSI', ),
        _F(MAILLAGE=MAIL,
            RESULTAT=RESU,
            NOM_CHAM='EQUI_NOEU_SIGM',
            NOM_CMP='VMIS', ), ), );

```

```
FIN();
```

----- pole-ring-pl.comm のコード -----

```
DEBUT();
```

```

elast_pl=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='EPSI', NOM_RESU='SIGM', VALE=(0.0015, 105,
    0.05, 200,
    0.2, 300,
    2, 1000,

```



SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

```

),);

elast_ma=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='EPSI',NOM_RESU='SIGM',VALE=(1,130300,
                    2,160000,
                    ),);

MA=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=130300,
                    NU=0.343,),
                TRACTION=_F(SIGM=elast_ma,),);

A6000=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=70000,
                    NU=0.3,),
                TRACTION=_F(SIGM=elast_pl,),);

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

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

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

MATE=AFFE_MATERIAU(MAILLAGE=MAIL,
                AFFE=( _F(GROUP_MA='Pole',
                    MATER=A6000,),
                    _F(GROUP_MA='Ring',
                    MATER=MA,)),);

CHAR=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
                DDL_IMPO=( _F(GROUP_MA=('fix','fixOut',),
                    DX=0,
                    DY=0,
                    DZ=0,),
                    _F(GROUP_MA='press',
                    DX=0,
                    DY=0,),
                    _F(GROUP_MA=('fixYP','fixYR',),
                    DY=0,),
                    _F(GROUP_MA=('fixXP','fixXR',),
                    DX=0,)),);

loadP=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
                DDL_IMPO=_F(GROUP_MA='press',
                    DZ=-2.2,));

contact=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
                CONTACT=_F(METHODE='LAGRANGIEN',

```

SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

```

APPARIEMENT='MAIT_ESCL',
RECHERCHE='NOEUD_BOUCLE',
PROJECTION='QUADRATIQUE',
GROUP_MA_MAIT='contPole',
GROUP_MA_ESCL='contRing',),,);

```

```

ramp=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='INST',VALE=(0,0,
          1,1,
          2,-1,
          ),,);

```

```

inst=DEFI_LIST_REEL(DEBUT=0.0,
          INTERVALLE=( _F(JUSQU_A=0.05,
          NOMBRE=5,),
          _F(JUSQU_A=1,
          NOMBRE=5,),),,);

```

```

RESU=STAT_NON_LINE(MODELE=MODE,
          CHAM_MATER=MATE,
          EXCIT=( _F(CHARGE=CHAR,),
          _F(CHARGE=loadP,
          FONC_MULT=ramp,),
          _F(CHARGE=contact,),),
          COMP_INCR=_F(RELATION='VMIS_ISOT_TRAC',
          DEFORMATION='SIMO_MIEHE',
          TOUT='OUI',),
          INCREMENT=_F(LIST_INST=inst,),
          NEWTON=_F(REAC_INCR=1,
          PREDICTION='TANGENTE',
          MATRICE='TANGENTE',
          REAC_ITER=1,),
          CONVERGENCE=_F(ITER_GLOB_MAXI=50,),
          ARCHIVAGE=_F(PAS_ARCH=1,),,);

```

```

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

```

```

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

```

```

IMPR_RESU(FORMAT='MED',
          UNITE=80,
          RESU=( _F(MAILLAGE=MAIL,
          RESULTAT=RESU,
          NOM_CHAM='DEPL',
          NOM_CMP=('DX', 'DY', 'DZ',),),),

```

SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

```

_F(MAILLAGE=MAIL,
  RESULTAT=RESU,
  NOM_CHAM='EQUI_NOEU_EPSI',),
_F(MAILLAGE=MAIL,
  RESULTAT=RESU,
  NOM_CHAM='EQUI_NOEU_SIGM',
  NOM_CMP='VMIS',),),);

```

```
FIN();
```

```
----- pole-ring-jig-pl.comm のコード -----
```

```
DEBUT();
```

```

elast_pl=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='EPSI',NOM_RESU='SIGM',VALE=(0.0015,105,
  0.002,113,
  0.003,117,
  0.004,120,
  0.005,122,
  0.01,135,
  0.02,155,
  0.03,172,
  0.04,186,
  0.05,198,
  0.2,286,
  2,1000,
),);

```

```

elast_ma=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='EPSI',NOM_RESU='SIGM',VALE=(1,130300,
  2,160000,
),);

```

```

MA=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=130300,
  NU=0.343,),
  TRACTION=_F(SIGM=elast_ma,));

```

```

A6000=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=70000,
  NU=0.3,),
  TRACTION=_F(SIGM=elast_pl,));

```

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

```

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

```

```

MAIL=MODI_MAILLAGE(reuse =MAIL,
  MAILLAGE=MAIL,

```

SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

```
ORIE_PEAU_3D=_F(GROUP_MA='press',),);
```

```
MATE=AFFE_MATERIAU(MAILLAGE=MAIL,
  AFFE=( _F(GROUP_MA='Pole',
    MATER=A6000,),
    _F(GROUP_MA=('Ring','Jig',),
      MATER=MA,),),);
```

```
CHAR=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
  DDL_IMPO=( _F(GROUP_MA=('fix','fixOut',),
    DX=0,
    DY=0,
    DZ=0,),
    _F(GROUP_MA=('press','contPT',),
    DX=0,
    DY=0,),
    _F(GROUP_MA=('fixYP','fixYR','fixYJ',),
    DY=0,),
    _F(GROUP_MA=('fixXP','fixXR','fixXJ',),
    DX=0,),),);
```

```
loadP=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
  DDL_IMPO=_F(GROUP_MA='press',
    DZ=-2.2,),);
```

```
contact=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
  CONTACT=_F(METHODE='LAGRANGIEN',
    APPARIEMENT='MAIT_ESCL',
    RECHERCHE='NOEUD_BOUCLE',
    PROJECTION='QUADRATIQUE',
    GROUP_MA_MAIT='contJR',
    GROUP_MA_ESCL='contP',),);
```

```
ramp=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='INST',VALE=(0,0,
  1,1,
  2,-1,
),);
```

```
inst=DEFI_LIST_REEL(DEBUT=0.0,
  INTERVALLE=( _F(JUSQU_A=0.02,
    NOMBRE=2,),
    _F(JUSQU_A=1,
    NOMBRE=5,),
    _F(JUSQU_A=1.01,
    NOMBRE=4,),
    _F(JUSQU_A=1.1,
    NOMBRE=5,),
    _F(JUSQU_A=2,
    NOMBRE=5,),),);
```

SalomeMeca の使いかた -- 8.0 塑性と接触

```

RESU=STAT_NON_LINE(MODELE=MODE,
                    CHAM_MATER=MATE,
                    EXCIT=(_F(CHARGE=CHAR,),
                            _F(CHARGE=loadP,
                                FONC_MULT=ramp,)),
                    _F(CHARGE=contact,)),
                    COMP_INCR=_F(RELATION='VMIS_ISOT_TRAC',
                                    DEFORMATION='SIMO_MIEHE',
                                    TOUT='OUI',),
                    INCREMENT=_F(LIST_INST=inst,)),
                    NEWTON=_F(REAC_INCR=1,
                                PREDICTION='TANGENTE',
                                MATRICE='TANGENTE',
                                REAC_ITER=1,)),
                    CONVERGENCE=_F(ITER_GLOB_MAXI=50,)),
                    ARCHIVAGE=_F(PAS_ARCH=1,));

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

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

IMPR_RESU(FORMAT='MED',
           UNITE=80,
           RESU=(_F(MAILLAGE=MAIL,
                    RESULTAT=RESU,
                    NOM_CHAM='DEPL',
                    NOM_CMP=('DX', 'DY', 'DZ',)),),
           _F(MAILLAGE=MAIL,
              RESULTAT=RESU,
              NOM_CHAM='EQUI_NOEU_EPSI',),
           _F(MAILLAGE=MAIL,
              RESULTAT=RESU,
              NOM_CHAM='EQUI_NOEU_SIGM',
              NOM_CMP='VMIS',)),);

FIN();

```