

Salome-Meca の使いかた

6.0 接触解析の基本（変位拘束）

(Salome-Meca 2019)

作成：FS 氏、修正：龍野 潤

2020 年 11 月 28 日

目次

1	はじめに	2
2	モデルの読み込み	2
3	Entity の作成	2
4	メッシュの作成	3
5	解析コードの作成	4
6	解析コードの編集	4
6.1	境界条件の編集	4
6.2	接触の為のコード追加	5
6.3	非線形解析方法の設定	6
6.4	Post 処理の追加	6
6.5	結果出力の修正	7
7	解析の開始	7
8	計算結果の確認	7
9	接触面積が増加するモデルの場合	8
9.1	モデルの読み込み	8
9.2	Entity の作成	8
9.3	メッシュの作成	8
9.4	解析コードの作成	9
9.5	解析開始	9
9.6	結果の確認	10

10	接触面積が減少するモデルの場合	10
10.1	モデルの読み込み	10
10.2	Entity の作成	10
10.3	メッシュの作成	11
10.4	解析コードの作成	11
10.5	計算	12
11	ソースコード	12

1 はじめに

接触解析において、*Salome-Meca 2010.1* 以降から *Code_Aster* のコマンド体系が変更され、従来の解析コードそのままでは、エラーが発生し、接触解析の計算ができなくなっている。この為、新しいコマンド体系で接触解析を試みる。

2 部品同士を変位拘束（1 部品を固定、1 部品を変位させる）したときの接触解析を行なってみる。この場合は、1 部品とも変位拘束されているので、剛体移動は発生せず、普通に解ける。この問題は、接触面の状態が安定（変形と共に接触位置や面積が変化しない）している場合は、Solid 同士を連結させて解析することと同じになる。しかし、実際は、接触面ですべりが生じたり、変形と共に接触位置が変わっていく。

このような問題を解くためには、負荷（荷重や変位）を少しずつ掛けていき、その都度、解を求めて最終的な解を求める方法をとる。→ 非線形解析ここでの問題は、接触面の摩擦がなく、すべりが発生する問題を考えている。

接触判定（接触しているかどうかの判定）は、Tolerance を確認した結果、デフォルトで「5e-3」に設定されていた。つまり 5 μ m 以下で接触していると判定する。

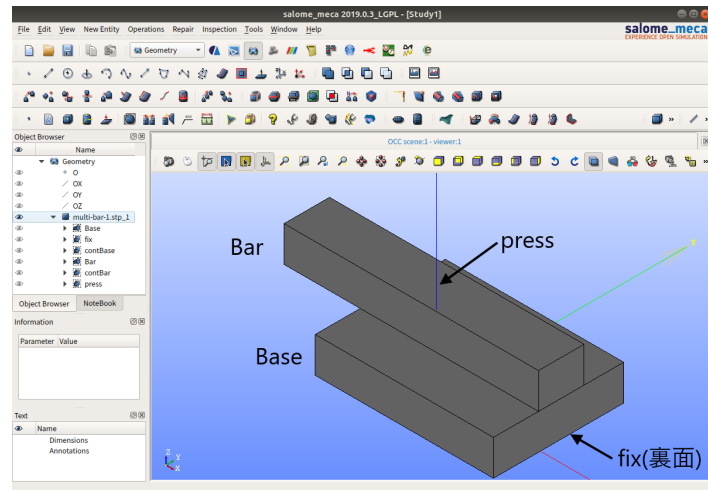
2 モデルの読み込み

モデルは、連結問題で使ったモデルをそのまま使う。「multi-bar-1.stp」を mm 単位で読み込む。モデルを読み込んだ後は、モデルサイズを **Inspection** **Dimensions** **Bounding Box** で確認しておく。解析は、Bar の上面（press 面）を -0.2mmZ 方向に変位させる接触問題として解析してみる。解析は、~/CAE/contact-bar/ というフォルダーを作り、この中で解析する。

3 Entity の作成

連結問題と同様に解析で使用する Volume や Face をグループ化しておく。ツリーの構造は下記。また、前項でモデルサイズを確認しており、モデルは mm 単位で作成されているので、変位の境界条件は、mm 単位で入力することになる。

グループ名	備考
Base	Solid1(Base)
fix	固定面
contBase	Base の接触面
Bar	Solid2(Bar)
contBar	Bar の接触面
press	荷重を負荷する面



4 メッシュの作成

連結問題と同じ方法でメッシュを切る。ツリーは、下記。六面体の2次メッシュとし、ジオメトリからグループを作成する。

Mesh_1

*multi-bar-1.stp_1

Applied hypotheses

*Automatic Length_1 0.2

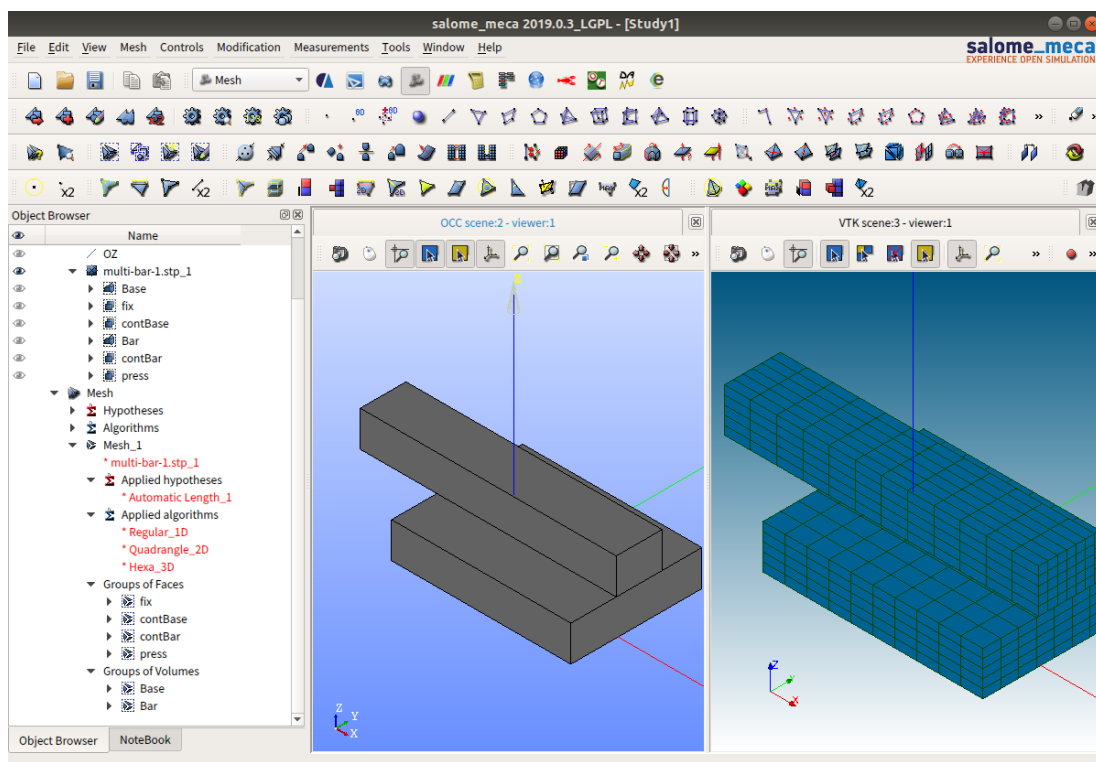
Applied algorithms

*Regular_1D

*Quadrangle_2D

*Hexa_3D

六面体のメッシュ



5 解析コードの作成

画面を *AsterStudy* モジュールに変えて、アシスタント(ウィザード)を使って、通常通り *Code_Aster* の解析コードを作成する。このとき、固定面は fix 面 ($X=Y=Z=0$)、荷重面は press 面で 0.1MPa としておく。

材料定数は、ベリ銅の値をそのまま使用。

- ヤング率：130,300MPa
- ポアソン比：0.343

Code_Aster の結果ファイルは、フォルダー~/CAE/contact-bar/内に「multi-bar.rmed」として保存されるようにする。

6 解析コードの編集

AsterStudy モジュールを使って、作成された解析コードを接触問題が解けるように編集する。従来までの *Code_Aster* は、接触のコマンドが境界条件を設定する *AFFE_CHAR_MECA* コマンドの下に *Contact* コマンドがあったが、*Salome-Meca 2010* からは、最上位に *DEFL_CONTACT* コマンドが準備されるようになった。

6.1 境界条件の編集

境界条件は、

1. 通常の境界条件
2. 負荷を少しずつ変化させる条件

の2種類の条件に分けて設定する。以下に各々の境界条件設定法方について示す。

6.1.1 通常の境界条件

通常の境界条件は、fix 面を固定する条件となる。この境界条件は、アシスタント(ウィザード)が作成した境界条件を編集して、作成する。

press 面を Z 方向に-0.2mm 変位させるが、XY 方向の拘束がないので、XY 方向も拘束する必要がある。ここで XY 方向を拘束 ($X=Y=0$) する。下記参照。

Code 1: 拘束条件

```

1 mecabc = AFFE_CHAR_MECA(DDLIMPO=( _F(DX=0.0,
2                                     DY=0.0,
3                                     DZ=0.0,
4                                     GROUP_MA=('fix', )),      # 固定する面(
    fix)を固定
5                                     _F(DX=0.0,
6                                     DY=0.0,
7                                     GROUP_MA=('press', )),    # 負荷をかける
    面(press)のXY方向を固定

```

8

MODELE=model)

6.1.2 少しずつ負荷させる境界条件作成

press 面を Z 方向に-0.2mm 変位させるが、この変位が接触面に直接影響を与えるので、この変位を少しずつ変化させていくようにする必要がある。このため、この境界条件を独立させて定義する。また、アシスタント（ウィザード）で入力した圧力の条件を削除する。現在設定されている *AFFE_CHAR_MECA* の後に、以下を追加する。DZ は、モデルの大きさに合わせて、設定する。今回のモデルは、mm 単位で作成されていたので、変位 DZ は、-0.2 に設定している。

Code 2: 荷重条件

```
1 mecach = AFFE_CHAR_MECA(DDL_IMPO=_F(DZ=-0.2, # Z方向に-0.2
    mm変位させる
2                                     GROUP_MA=('press',)), # 負荷をかける
    面(press)を
3                                     MODELE=model)
```

6.1.3 接触の定義

ここは、*Salome-Meca 2010* で新しく設定されたコマンドになる。従来は、境界条件 (*AFFE_CHAR_MECA*) 内で設定していた。この接触の定義を *DEFL_CONTACT* で追加する、この内容を以下で作成した。(ほとんどデフォルトのまま)

Code 3: 接触条件

```
1 contact = DEFL_CONTACT(FORMULATION='CONTINUE', # 拡張ラグラン
    ジュ法(摩擦接触に対しては安定しており、推奨設定)
2                                     MODELE=model,
3                                     ZONE=_F(CONTACT_INIT='OUI', # 接触想定領域
    、初期条件
4                                     GROUP_MA_ESCL=('contBase',)), # スレイブ面
5                                     GROUP_MA_MAIT=('contBar',))) # マスター面
```

6.2 接触の為のコード追加

引き続き、次の行に、接触問題を解くためのコードを追加する。

press 面の変位を 0 から 0.2mm まで徐々に変位させていく方法を取るため、0~0.2mm までの中間の値をどのように設定するか（線形 or 非線形で回帰）を設定する。普通に線形で回帰させる（ramp 制御）方法とする。

このためのファンクションを下記のように定義する。

値は、倍率を表しており、「1」は、-0.2mm を示している。

座標の入力は、X,Y の形式で XY のペアで入力する。

Code 4: 増分関数

```
1 func = DEFLFONCTION(NOMPARA='INST', # 名称は任意で可。
    NOMPARAは「INST(Time)」を選択。変数は、VALEで入力
```

```

2      VALE=(0.0, 0.0, 1.0, 1.0)) # 原点(0,0)から(1,1)までを
      線形で回帰する

```

次に 1.0 (1.0 倍) までを何分割して解析するのかを定義する。下記参照。

Code 5: 増分定義

```

1  listr = DEFLIST_REEL(DEBUT=0.0,          # 初期値を設定
2      INTERVALLE=_F(JUSQU_A=1.0, # 0~1秒までを
3      PAS=0.2))      # 0.2秒毎に5分割する。

```

6.3 非線形解析方法の設定

ここで今までに設定した条件、ファンクションを使って、非線形（接触）問題を解く方法を設定する。

アシスタント（ウィザード）で設定した *MECA_STATIQUE* は削除する。

Salome-Meca 2010 では、solver (*STAT_NON_LINE*) 内に contact コマンドが追加されているので、以下の様に追記した。（必要最小限の変更にした。）

以下のコードが *STAT_NON_LINE* の内容。

Code 6: 非線形解析方法

```

1  resnonl = STAT_NON_LINE(CHAMMATER=materfl,          # 材料を指定
2      CONTACT=contact,          # 接触を読み込む
3      EXCIT=( _F(CHARGE=mecabc), # 通常の境界条件
4      _F(CHARGE=mecach,        # 少しずつ負荷させる
      条件
5      FONCMULT=func)),          # 中間の変位を線形で
      求める
6      INCREMENT=_F(LIST_INST=listr), # 0.2秒ずつ増える
7      MODELE=model,                # モデルを指定
8      NEWTON=_F(REAC_ITER=1))      # 接線剛性を更新する
      「ニュートン・ラブソン法」を指定

```

6.4 Post 処理の追加

Post 処理を追加する。*CALC_CHAMP* の名前は、*STAT_NON_LINE* で指定した名前を再利用する。

Code 7: Post 処理

```

1  resnonl = CALC_CHAMP(reuse=resnonl,
2      CONTRAINTE=('SIGM_ELNO', 'SIGM_NOEU'), #
      CONTRAINTE (応力)
3      CRITERES=('SIEQ_ELNO', 'SIEQ_NOEU'),   #
      CRITERES (基準)
4      MODELE=model,
5      RESULTAT=resnonl)

```

6.5 結果出力の修正

MECA_STATIQUE を削除したとき、これにリンクされている結果出力側 (*IMPR_RESU*) がエラーになるので、この再設定が必要になる。追加した Post 処理で再設定を行う。

Code 8: 結果出力

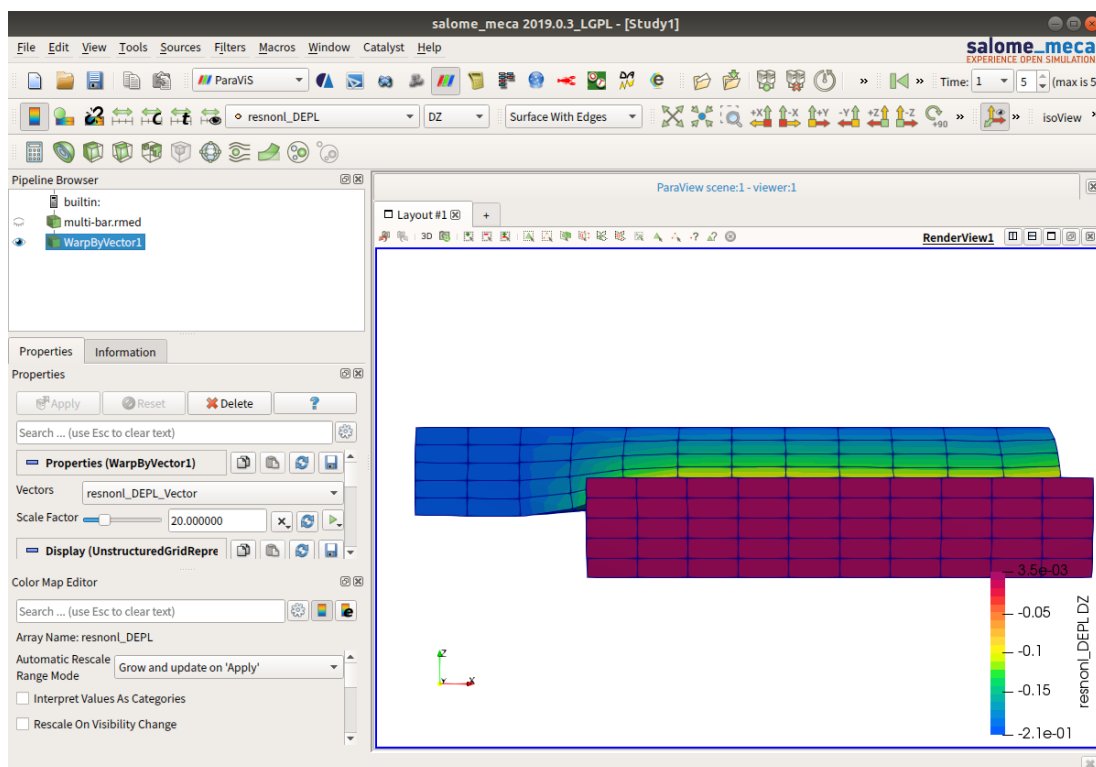
```
1 IMPR_RESU (FORMAT= 'MED' ,                                # 出力するバイナリ形式にMED形式を指定
2     RESU=_F (NOMCHAM=( 'DEPL' , 'SIEQ_NOEU' , 'SIGM_NOEU' ) , #
3     DEPL (変位置) 、SIEQ_NOEU (等価応力 (節点)) 、SIGM_NOEU (応力 (節点))
4     RESULTAT=resnonl) , # 論理ユニット番号
5     UNITE=80)
```

7 解析の開始

通常通り、解析をスタートさせる。

8 計算結果の確認

計算が終了したので、結果を確認する。以下が確認した結果になる。うまく計算できている。



9 接触面積が増加するモデルの場合

前記のモデルは、接触するものが四角柱のため、変形しても接触面積は変化しない。このため、接触面のエッジに R 面取りを施し、変形と共に接触面積が増加するモデルを作って解析してみる。

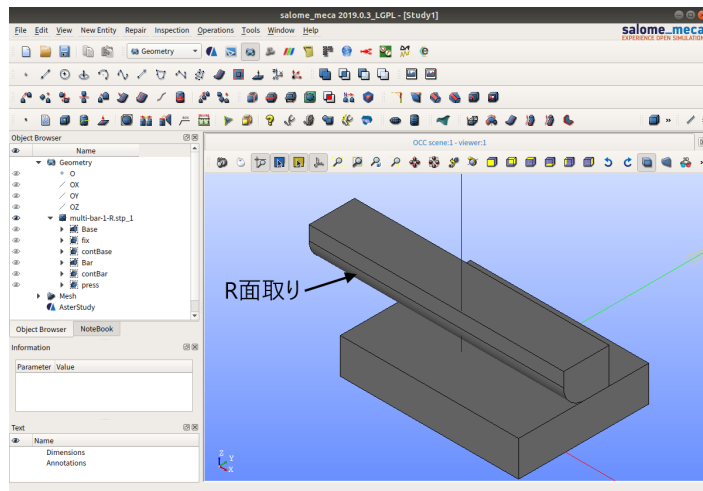
9.1 モデルの読み込み

モデルは、「multi-bar-1-R.stp」を読み込む。接触面のエッジを R 面取りしたモデル。解析は、~/CAE/contacr-R/のフォルダーを作り、この中で解析する。

9.2 Entity の作成

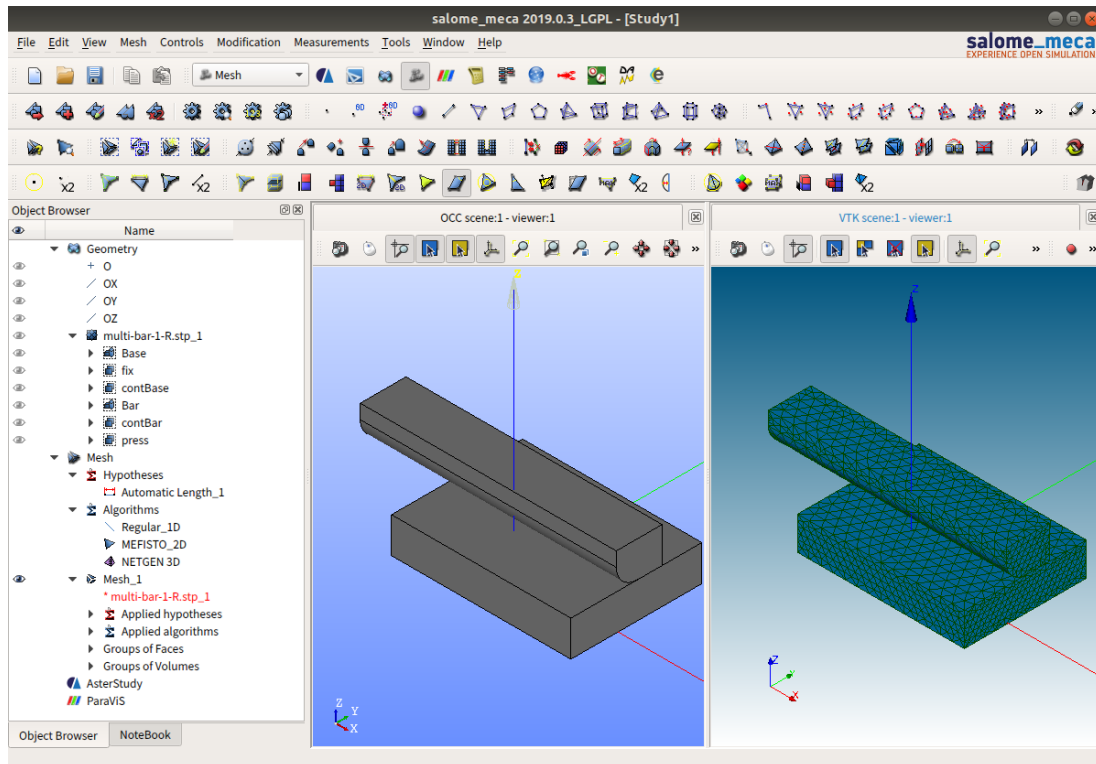
グループ化は、まったく同じように実施。ただし、Bar の接触面（contBar）は、接触する平面と変形と共に R 面にも接触することになるので、平面 + R 面を contBar としている。

グループ名	備考
Base	Solid1(Base)
fix	固定面
contBase	Base の接触面
Bar	Solid2(Bar)
contBar	Bar の接触面
press	荷重を負荷する面



9.3 メッシュの作成

メッシュは、六面体だと、エラーが発生し、メッシュが切れなかったの、四面体の 2 次メッシュとし、Automatic Length = 0.2 とした。次図参照。



9.4 解析コードの作成

同じ方法で作成。

9.5 解析開始

通常通り、解析をスタートさせる。エラーが発生し、解析が終了する。

メッセージファイルを確認すると、ニュートン法の最大繰り返し回数で収束しなかったために停止している。

ニュートン法の最大繰り返し回数を増やして再計算を実行する。

Code 9: 非線形解析を修正

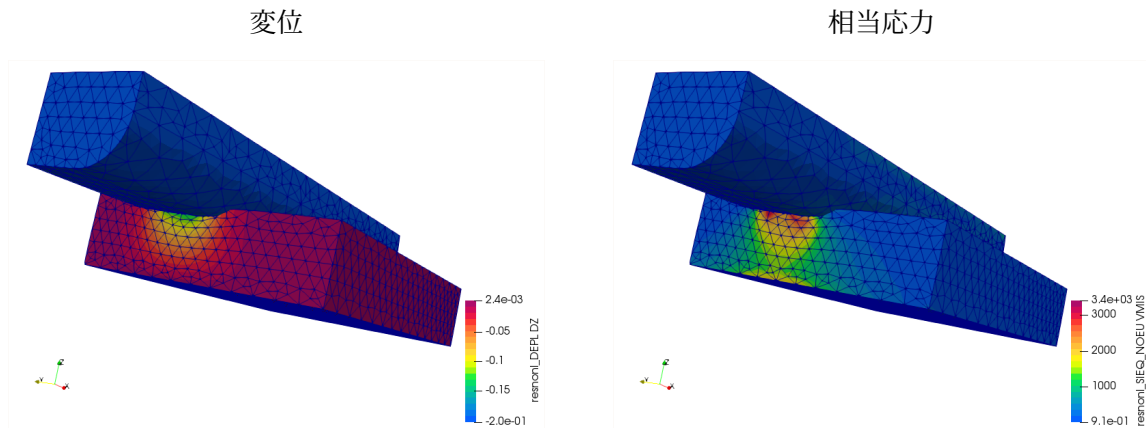
```

1 resnonl = STAT_NONLINE(CHAMMATER=materfl,
2                         CONTACT=contact,
3                         CONVERGENCE=_F(ITER_GLOB_MAXI=30), # ニュートン法の
4                         最大繰り返し回数を追加（デフォルト値は10）
5                         EXCIT=( _F(CHARGE=mecabc),
6                               _F(CHARGE=mecach,
7                                   FONCMULT=func)),
8                         INCREMENT=_F(LIST_INST=listr),
9                         MODELE=model,
                          NEWTON=_F(REAC_ITER=1))

```

9.6 結果の確認

最大応力は、3,400MPa で R の根元部で発生。変形の様子を確認すると、R 面に沿って Base 側が変形していることがわかる。（変形と共に接触面積が増える。→ 非線型になっている。）



10 接触面積が減少するモデルの場合

変形と共に接触面積が減少していくモデルを考える。下記のように変形と共に Plate の両端が持ち上がり、接触面積が減少していく場合を考える。

下記モデルで解析し、Plate の両端が持ち上がっている（接触面積が減少する）かどうかを確認する。

10.1 モデルの読み込み

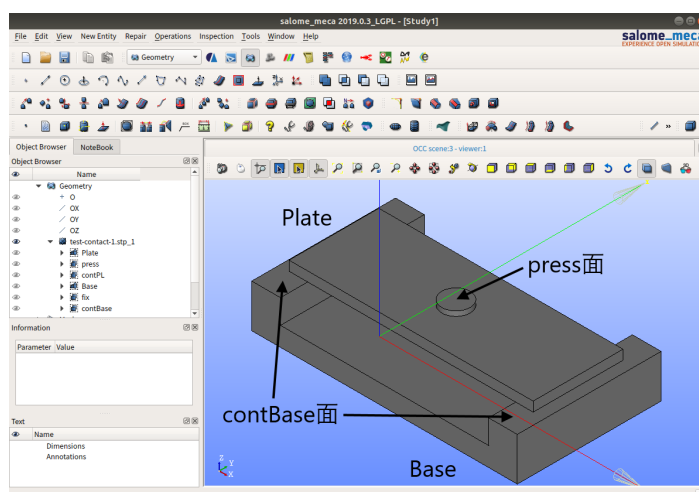
モデルは、「test-contact-1.stp」を読み込む*1。~/CAE/contact-plate/というフォルダーを作りこの中で解析する。

10.2 Entity の作成

基本的には、前記したモデルと同じ。違いは、contBase が 2 ヶ所ある（2 平面をグループ化して contBase とした）ことと、press 面は Plate 中央の円柱の上面としていること。

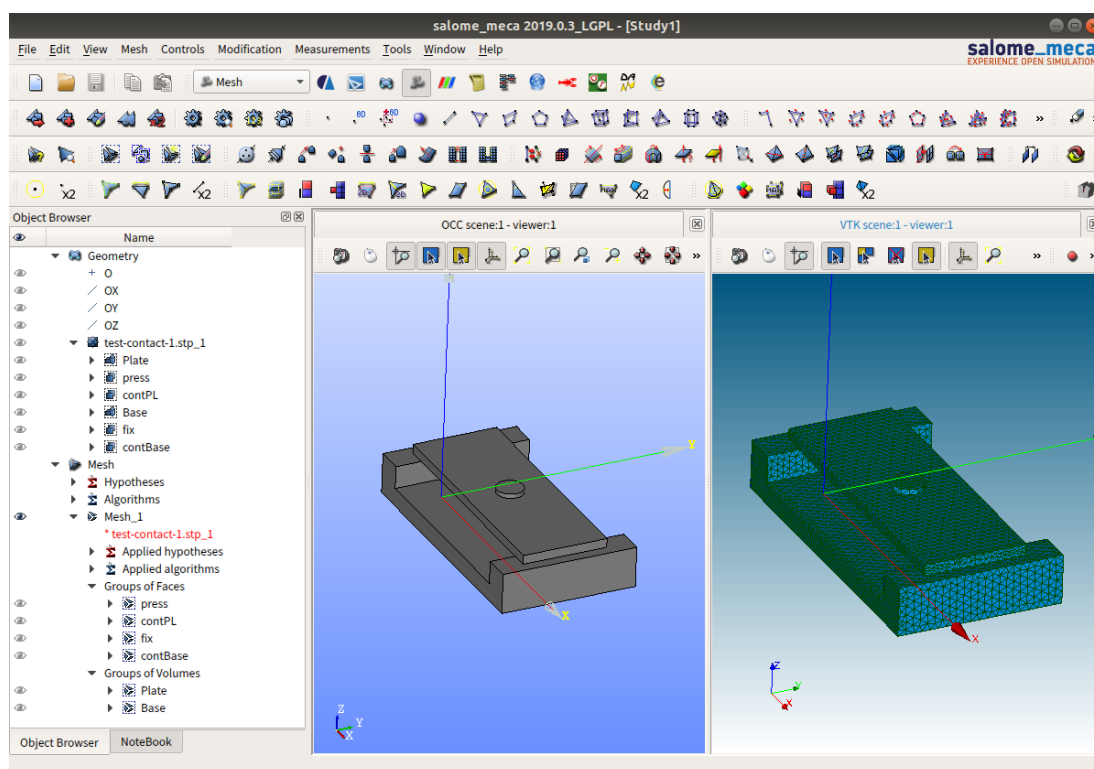
*1 モデルを読み込むと、モデルの上下方向が Y 軸方向となっているので、**Operations** > **Transformation** > **Rotation** で、OX 軸に対して 90 度回転させている。

グループ名	備考
Base	Solid1(Base)
fix	固定面
contBase	Base の接触面
Plate	Solid2(Plate)
contPL	Plate の接触面
press	荷重を負荷する面



10.3 メッシュの作成

四面体の2次メッシュとした。細かさは、AutomaticLength = 0.1。
形状が複雑な分、メッシュが細かい。

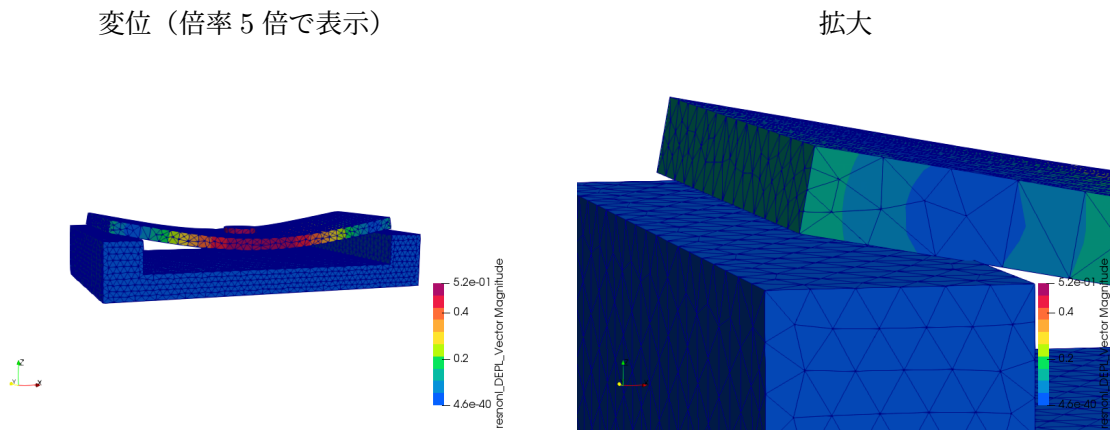


10.4 解析コードの作成

コード自体は、ほとんど同じ。press 面の変位は、持ち上がりが確認できるように、大きな値（Y 方向に-0.5mm）に設定。

10.5 計算

形状が複雑な分メッシュが多くなってしまっているので、計算時間は、長くなる。変位の結果を確認すると、Plate の両端が持ち上がっているのが確認できる。（下図参照。）正しく接触判定をして、計算している。



11 ソースコード

Code 10: multi-bar.comm の場合

```

1 DEBUT(LANG= 'EN' )
2
3 mesh = LIRE_MALLAGE(FORMAT= 'MED' ,
4                     UNITE=20)
5
6 model = AFFE_MODELE(AFFE=_F (MODELISATION=( '3D' , ) ,
7                               PHENOMENE= 'MECANIQUE' ,
8                               TOUT= 'OUI' ) ,
9                     MAILLAGE=mesh)
10
11 mater = DEFI_MATERIAU(ELAS=_F (E=130300.0 ,
12                                NU=0.343))
13
14 materfl = AFFE_MATERIAU(AFFE=_F (MATER=(mater , ) ,
15                                   TOUT= 'OUI' ) ,
16                             MODELE=model)
17
18 func = DEFI_FONCTION(NOMPARA= 'INST' ,
19                       VALE=(0.0 , 0.0 , 1.0 , 1.0))
20
21 listr = DEFI_LIST_REEL(DEBUT=0.0 ,
22                         INTERVALLE=_F (JUSQU_A=1.0 ,
23                                         PAS=0.2))
24
25 mecabc = AFFE_CHAR_MECA(DDL_IMPO=( _F (DX=0.0 ,

```

```
26             DY=0.0,
27             DZ=0.0,
28             GROUP_MA=('fix',)),
29         _F(DX=0.0,
30            DY=0.0,
31            GROUP_MA=('press',))),
32         MODELE=model)
33
34 mecach = AFFE_CHAR_MECA(DDL_IMPO=_F(DZ=-0.2,
35                                     GROUP_MA=('press',)),
36                         MODELE=model)
37
38 contact = DEFI_CONTACT(FORMULATION='CONTINUE',
39                        MODELE=model,
40                        ZONE=_F(CONTACT_INIT='OUI',
41                              GROUP_MA_ESCL=('contBase',),
42                              GROUP_MA_MAIT=('contBar',)))
43
44 resnonl = STAT_NON_LINE(CHAMMATER=materfl,
45                        CONTACT=contact,
46                        EXCIT=(_F(CHARGE=mecabc),
47                              _F(CHARGE=mecach,
48                                FONCMULT=func)),
49                        INCREMENT=_F(LIST_INST=listr),
50                        MODELE=model,
51                        NEWTON=_F(REAC_ITER=1))
52
53 resnonl = CALC_CHAMP(reuse=resnonl,
54                     CONTRAINTE=('SIGM_ELNO', 'SIGM_NOEU'),
55                     CRITERES=('SIEQ_ELNO', 'SIEQ_NOEU'),
56                     MODELE=model,
57                     RESULTAT=resnonl)
58
59 IMPR_RESU(FORMAT='MED',
60           RESU=_F(NOMCHAM=('DEPL', 'SIEQ_NOEU', 'SIGM_NOEU'),
61                 RESULTAT=resnonl),
62           UNITE=80)
63
64 FIN()
```

Code 11: multi-bar-R.comm の場合

```
1 DEBUT(LANG='EN')
2
3 mesh = LIRE_MALLAGE(FORMAT='MED',
4                    UNITE=20)
5
6 model = AFFE_MODELE(AFFE=_F(MODELISATION=('3D',),
7                              PHENOMENE='MECANIQUE',
8                              TOUT='OUI'),
9                    MAILLAGE=mesh)
```

```

10
11 mater = DEFLMATERIAU(ELAS=_F(E=130300.0,
12                               NU=0.343))
13
14 materfl = AFFEMATERIAU(AFFE=_F(MATER=(mater, ),
15                                   TOUT='OUI'),
16                           MODELE=model)
17
18 func = DEFLFONCTION(NOMPARA='INST',
19                      VALE=(0.0, 0.0, 1.0, 1.0))
20
21 listr = DEFLLIST_REEL(DEBUT=0.0,
22                       INTERVALLE=_F(JUSQU_A=1.0,
23                                       PAS=0.2))
24
25 mecabc = AFFECHARMECA(DDL_IMPO=_F(DX=0.0,
26                                     DY=0.0,
27                                     DZ=0.0,
28                                     GROUP_MA=('fix', )),
29                        _F(DX=0.0,
30                            DY=0.0,
31                            GROUP_MA=('press', )),
32                        MODELE=model)
33
34 mecach = AFFECHARMECA(DDL_IMPO=_F(DZ=-0.2,
35                                     GROUP_MA=('press', )),
36                        MODELE=model)
37
38 contact = DEFLCONTACT(FORMULATION='CONTINUE',
39                       MODELE=model,
40                       ZONE=_F(CONTACT_INIT='OUI',
41                               GROUP_MA_ESCL=('contBase', ),
42                               GROUP_MA_MAIT=('contBar', )))
43
44 resnonl = STAT_NON_LINE(CHAMMATER=materfl,
45                         CONTACT=contact,
46                         CONVERGENCE=_F(ITER_GLOB_MAXI=30),
47                         EXCIT=( _F(CHARGE=mecabc),
48                                _F(CHARGE=mecach,
49                                    FONCMULT=func)),
50                         INCREMENT=_F(LIST_INST=listr),
51                         MODELE=model,
52                         NEWTON=_F(REAC_ITER=1))
53
54 resnonl = CALC_CHAMP(reuse=resnonl,
55                      CONTRAINTE=('SIGM_ELNO', 'SIGM_NOEU'),
56                      CRITERES=('SIEQ_ELNO', 'SIEQ_NOEU'),
57                      MODELE=model,
58                      RESULTAT=resnonl)
59

```

```
60 IMPR_RESU(FORMAT='MED',
61           RESU=_F(NOMCHAM=('DEPL', 'SIEQ_NOEU', 'SIGM_NOEU'),
62                 RESULTAT=resnonl),
63           UNITE=80)
64
65 FIN()
```

Code 12: contact-plate.comm (R 面取りしたモデル) 場合

```
1 DEBUT(LANG='EN')
2
3 mesh = LIRE_MALLAGE(FORMAT='MED',
4                   UNITE=20)
5
6 model = AFFE_MODELE(AFFE=_F(MODELISATION=('3D', ),
7                             PHENOMENE='MECANIQUE',
8                             TOUT='OUI'),
9                   MAILLAGE=mesh)
10
11 mater = DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=130300.0,
12                               NU=0.343))
13
14 materfl = AFFE_MATERIAU(AFFE=_F(MATER=(mater, ),
15                                  TOUT='OUI'),
16                          MODELE=model)
17
18 func = DEFI_FONCTION(NOMPARA='INST',
19                      VALE=(0.0, 0.0, 1.0, 1.0))
20
21 listr = DEFI_LIST_REEL(DEBUT=0.0,
22                       INTERVALLE=_F(JUSQU_A=1.0,
23                                      PAS=0.2))
24
25 mecabc = AFFE_CHAR_MECA(DDL_IMPO=_F(DX=0.0,
26                                       DY=0.0,
27                                       DZ=0.0,
28                                       GROUP_MA=('fix', )),
29                          _F(DX=0.0,
30                             DY=0.0,
31                             GROUP_MA=('press', )),
32                          MODELE=model)
33
34 mecach = AFFE_CHAR_MECA(DDL_IMPO=_F(DZ=-0.2,
35                                       GROUP_MA=('press', )),
36                          MODELE=model)
37
38 contact = DEFI_CONTACT(FORMULATION='CONTINUE',
39                        MODELE=model,
40                        ZONE=_F(CONTACT_INIT='OUI',
41                                GROUP_MA_ESCL=('contBase', ),
42                                GROUP_MA_MAIT=('contPL', )))
```

```
43
44 resnonl = STAT_NON_LINE(CHAMMATER=materfl ,
45                          CONTACT=contact ,
46                          CONVERGENCE=_F (ITER_GLOB_MAXI=30) ,
47                          EXCIT=( _F (CHARGE=mecabc) ,
48                                _F (CHARGE=mecach ,
49                                  FONCMULT=func)) ,
50                          INCREMENT=_F (LIST_INST=listr) ,
51                          MODELE=model ,
52                          NEWTON=_F (REAC_ITER=1))
53
54 resnonl = CALC_CHAMP(reuse=resnonl ,
55                      CONTRAINTE=( 'SIGM_ELNO' , 'SIGM_NOEU' ) ,
56                      CRITERES=( 'SIEQ_ELNO' , 'SIEQ_NOEU' ) ,
57                      MODELE=model ,
58                      RESULTAT=resnonl)
59
60 IMPR_RESU (FORMAT= 'MED' ,
61            RESU=_F (NOMCHAM=( 'DEPL' , 'SIEQ_NOEU' , 'SIGM_NOEU' ) ,
62                    RESULTAT=resnonl) ,
63            UNITE=80)
64
65 FIN ()
```
