

SalomeMecaの使い方 -- 7.2 塑性 - 結果の検証

信頼性課 藤井 08/5/17

SalomeMecaの使い方 -- 7.2 塑性 - 結果の検証 (SalomeMeca 2008.1)

目次

1. はじめに
2. 確認方法
3. モデルの読み込み
4. Entityの作成
5. ASTKの起動
6. Code_Asterの編集
7. エラー確認
8. 出力項目の編集
9. 計算開始、結果の確認

1. はじめに

弾塑性解析では、塑性領域まで負荷を掛けた後で負荷を取り除いた時、塑性変形が残ったままになる。この解析方法について、「塑性 - 負荷を変化させる」で方法を確認した。実際にこの方法で理論通り変形しているかどうかをここで確認する。

2. 確認方法

単純な立方体のモデルを使って、引っ張りと圧縮の荷重を連続して掛けて、ひずみがどの様に変化していくかを確認する。

3. モデルの読み込み

Salomeを起動して、モデルを読み込む。モデルは、検証を簡単にする為に単純な立方体のモデルとした。この立方体(1辺10mm)のモデル「cubic.stp」を読み込む。(寸法は、10x10x10mm)

4. Entityの作成

解析としては、単純な解析とする為に、拘束はZ軸方向のみ(XY軸方向は自由に変形する)とする。この解析ができる様にグループ化してメッシュを切る。下記ツリー参照。

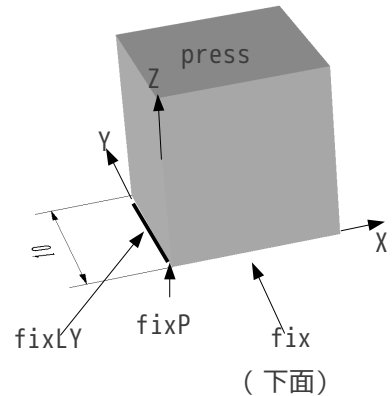
Mesh

Hypotheses

Algorithms

SalomeMecaの使い方 -- 7.2 塑性 - 結果の検証

Mesh_1		
*cubic.stp_1		
Applied hypotheses		
*Automatic length	0.2	クリック 2 回分
*Length From Edges		
Applied algorithms		
*Wire discretisation		
*Triangle(mefisto)		
*Tetrahedron(Netgen)		
Group of Nodes		
fixP		XYZ 方向を拘束 (原点)
Group of Edges		
fixLY		XZ 軸方向を拘束 (Y 軸に平行な線)
Group of Face		
fix		Z 軸方向を拘束
press		荷重を掛ける面 (Z 軸方向に荷重を掛ける)



できあがったメッシュは、適当なフォルダ (plastic-anaとした) を作成し、この中にメッシュファイルを適当なファイル名 (cubic10.medとした) をつけて Export しておく。

5. ASTK の起動

New FE Study で Project Name などを以下のように設定して、ASTK を起動する。
Template File は、「塑性 - 荷重を変化させる」で作成した Code_Aster ファイルを使う。

```
Project Name:      analyze-cubic
Base Directory:   /home/caeuser/CAE/plastic-ana
MED Mesh File:   /home/caeuser/CAE/plastic-ana/cubic10.med
Template File:    /home/caeuser/CAE/plastic-pole-reload/pole-reload-force/pole-reload-force.c
omm
```

6. Code_Aster の編集

Code_Aster の変更箇所は、材料定数、境界条件、荷重変動の幅となる。
材料定数は、前回のデータよりも自然なデータとするように変更する。(自然なデータとするだけで、正しい値ではない。)

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

境界条件は、下記のように修正。

```
AFFE_CAR_MECA      CHR          拘束条件
```

SalomeMecaの使い方 -- 7.2 塑性 - 結果の検証

MODELE	MODE	
DDL_IMPO		
DDL_IMPO_1		
GROUP_MA	fix	fix 面 : Z 軸方向のみ拘束
DZ	0	
DDL_IMPO_2		
GROUP_MA	fixLY	fixLY 線 : XZ 軸方向を拘束
DX	0	
DZ	0	
DDL_IMPO_3		
GROUP_NO	fixP	fixP 点 : XYZ 方向全て拘束
DX	0	
DY	0	
DZ	0	
AFFE_CHAR_MECA	chr_no	変動させる負荷条件
MODELE	MODE	
FORCE_FACE		
GROUP_MA	press	press 面に
FZ	200	Z 軸方向に 200Mpa 相当の荷重を負荷させる

負荷変動させる方法は、下記のように修正。

DEFI_FONCTION	depl_imp	
NOM_PARA	INST	
VALE	(0,0,	
	1,0.8,	引っ張り側の最大荷重
	2,0,	
	3,-1,	圧縮側の最大荷重
	4,0)	
DEFI_LIST_REEL	pas	
DEBUT	0	
INTERVALLE		
INTERVALLE_1		
JUSQU_A	1	~1 まで 5 分割
NOMBRE	5	+200MPa
INTERVALLE_2		
JUSQU_A	1.02	~1.02 まで 2 分割
NOMBRE	2	
INTERVALLE_3		
JUSQU_A	2	~2 まで 5 分割
NOMBRE	5	0MPa
INTERVALLE_4		
JUSQU_A	2.02	~2.02 まで 2 分割
NOMBRE	2	
INTERVALLE_5		
JUSQU_A	3	~3 まで 5 分割
NOMBRE	5	-200MPa
INTERVALLE_6		

SalomeMecaの使い方 -- 7.2 塑性 - 結果の検証

JUSQU_A	3.02	~3.02 まで 2 分割
NOMBRE	2	
INTERVALLE_7		
JUSQU_A	4	~4 まで 5 分割
NOMBRE	5	0MPa

以上を修正し、保存する。

荷重は、以下のように掛けている。引っ張り 160MPa を掛けた後、圧縮 200MPa 掛けている。

step	Vale	荷重	
0	0	0	
1	0.8	160	
2	0	0	
3	-1	-200	圧縮側を大きめに設定
4	0	0	

7. エラー確認

修正した Code_Aster を実行して、エラーを確認する。うまくいくので、後は出力内容を編集する。

「DEFI_FONCTION dep_l_imp」と「DEFI_LIST_REEL pas」の値が合っていないと途中でエラーが発生するので注意。特に変曲点のところ荒い設定になっているとエラーが発生する。

8. 出力項目の編集

再び EFICAS を起動して、出力項目を編集する。出力は変位、相当応力、相当歪の 3 項目を出力させる様にする。

出力は、要素解を求めて節点解を求め、それを出力項目に指定している。この為、この順番で設定する。まず、要素解は、下記のように修正する。

```

CALC_ELEM          RESU
MODELE             MODE
CHAM_MATER         MATE
RESULTAT           RESU
b_noil
  b_toutes
    OPTION          (EPSI_ELNO_DEPL,
                    EQUI_ELNO_SIGM,
                    EQUI_ELNO_EPSI)

```

節点解は、下記のように修正

```

CALC_NO           RESU
RESULTAT          RESU
OPTION            (EPSI_NOEU_DEPL,
                  EQUI_NOEU_SIGM,
                  EQUI_NOEU_EPSI)

```

出力項目の指定を下記のように指定する。

SalomeMecaの使い方 -- 7.2 塑性 - 結果の検証

```

IMPR_RESU
  FORMAT          MED
  b_format_med
  UNITE          80
  RESU
    RESU_1          変位を指定
      MAILLAGE      MAIL
      RESULTAT      RESU
      b_info_med
      b_sensibilite
      b_extrac
      NOM_CHAM      DEPL          変位
      b_cmp
      NOM_CMP      (DX,DY,DZ)    XYZ 各方向
      b_topologie
    RESU_2          相当歪を指定
      MAILLAGE      MAIL
      RESULTAT      RESU
      b_info_med
      b_sensibilite
      b_extrac
      NOM_CHAM      EQUI_NOEU_EPSI 相当歪
      b_cmp          指定せず (計算結果がそのまま残っている為)
      b_topologie
    RESU_3          相当応力を指定
      MAILLAGE      MAIL
      RESULTAT      RESU
      b_info_med
      b_sensibilite
      b_extrac
      NOM_CHAM      EQUI_NOEU_SIGM 相当応力
      b_cmp
      NOM_CMP      VMIS          フォンミーゼス応力 (ファンクションで定義した応力)
      b_topologie

```

相当応力は、ファンクション `elast_pl` で定義した式で計算される。(歪から応力を求めている。) 上記で「VMIS」を指定しているが、この指定をしないと、ファンクションで計算せずに、ヤング率 70000MPa から相当応力を求めてしまうので、「VMIS」の指定は、必要。

9. 計算開始、結果の確認

エラーなく終了すると、Project 名のフォルダ内に、結果のファイル (`analyze-cubicres.med`) ができあがっているので、このファイルを Salome の Pre-Post で Import する。
各ステップ毎に、結果ファイルができあがっている。
各ステップ毎に最大変位量を求めた結果が下表となる。

Step	最大変位(mm)	Force(MPa)
0	0.0	0.0

SalomeMecaの使い方 -- 7.2 塑性 - 結果の検証

0.2	0.00497	32.00	
0.4	0.00994	64.00	
0.6	0.0149	96.00	ここまで弾性変形
0.8	0.170	128.00	
1	0.391	160.00	引っ張り側の最大荷重
1.216	0.385	125.44	
1.412	0.380	94.08	
1.608	0.375	62.72	
1.804	0.370	31.36	
2	0.365	0.0	荷重を取り除く
2.216	0.358	-43.20	
2.412	0.352	-82.40	
2.608	0.346	-121.6	
2.804	0.339	-160.80	ここではまだ塑性変形に至らず
3	0.0918	-200.00	圧縮側の最大荷重
3.216	0.0984	-156.80	
3.412	0.104	-117.60	
3.608	0.110	-78.40	
3.804	0.116	-39.20	
4	0.122	0.0	荷重を取り除く

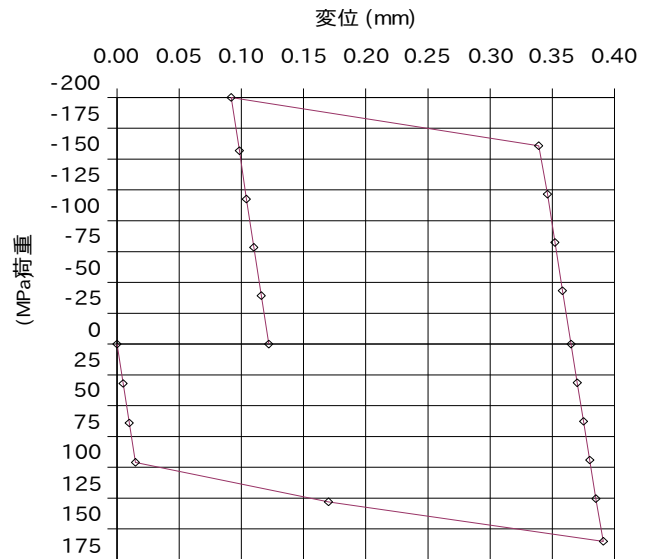
最大変位を横軸で Force を縦軸でグラフを書くと、
等方硬化則に沿ったデータとなっている。

塑性変形（硬化）したものに再度荷重を掛けた時、
塑性変形させた荷重以内（圧縮、引っ張りとも）で
は、弾性変形するが、その荷重を越えた段階で再度
塑性変形する。今回のデータでは、160MPaの引っ張
り荷重で塑性変形させているため、再度塑性変形さ
せる為には、-160MPa以上の圧縮荷重が必要であり、
結果は-160MPaで塑性変形しているので、その通り
になっている。

蛇足だが、計算させると、どうも2.8step近辺で発
散が起こり、エラーで停止していた。これは、2.8st
epが丁度塑性変形開始し始めるstepであった事に
起因しているようだ。→ 発散し始めるstep近辺
はstepを細かくする事が必要。

また、出力させた相当応力と相当歪のデータをまと
めると、下記の様になる。Step2以降は、圧縮側に
なるので、意識的にSIGMの符号をマイナスにしている。

Step	EPSI	SIGM(MPa)	
0	0.	0.0	
0.2	0.000441	32.0	
0.4	0.000883	64.0	
0.6	0.00132	96.1	ここまで弾性変形
0.8	0.0168	130.0	
1	0.0386	165.0	引っ張り側の最大荷重
1.216	0.0381	129.0	
1.412	0.0377	97.0	
1.608	0.0372	64.6	



SalomeMecaの使い方 -- 7.2 塑性 - 結果の検証

1.804	0.0368	32.3	
2	0.0363	0.0	荷重を取り除く
2.216	0.0357	-44.5	
2.412	0.0352	-84.4	
2.608	0.0346	-125.0	
2.804	0.0340	-165.0	ここまで弾性変形
3	0.00947	-202.0	圧縮側の最大荷重
3.216	0.0101	-158.0	
3.412	0.0106	-119.0	
3.608	0.0111	-79.1	
3.804	0.0117	-39.6	
4	0.0122	0.0	荷重を取り除く

応力-歪線図をファンクションで定義しているが、このファンクションでは、 $(0.0015, 105)$ が降伏点になっている。計算結果も歪が 0.0015 を超えてから塑性変形が始まっており、その通りになっている。また、計算した歪 (EPSI) を 10 倍 (1 辺 10mm) するとほぼ変位に等しくなっている。また、計算した相当応力 (SIGM) も加えた荷重とほぼ等しくなっている事からも、計算結果は理論通りの結果になっていることがわかる。

