

DEXCS2010-ADVENTURE 弾塑性解析用資料 (2010/08/08)

弾塑性解析の例題と検証

ここでは弾塑性解析の例題を通して、その解析基本操作方法を解説する。

I) 解析フォルダの設定

- ① ウィンドウ上部のメニューから「ファイル」→「解析フォルダ設定」を選択する。
- ② 画面左上のアイコン (図 1) をクリックする。

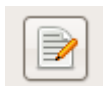


図 1

- ③ 左の「場所」から「デスクトップ」を選択し、上部の場所バーをクリックして、空欄に「test」と入力し、「開く」をクリックする。
- ④ 作成されたフォルダの場所が表示されるので、確認して「OK」をクリックする。
- ⑤ デスクトップに「test」フォルダが表示されたのを確認する。
- ⑥ 作成された「test」フォルダ内の「sample」フォルダに今回使用するモデルである「buhin.blend」と「buhin.pch」をコピーする。

※Windows からコピー、貼り付けでファイルを移動する事ができる。

II) モデルの形状作成

- ① 画面左のタブの「形状作成」をクリックする。
- ② 「実行」をクリックする。
- ③ 「buhin.blend」を選択し、「開く」をクリックすると、Blender が起動する。
- ④ モデルが作成されているのを確認する。モデルはこのまま使用するので、「file」→「Quit Blender」(もしくは Ctrl+Q)で Blender を閉じる。

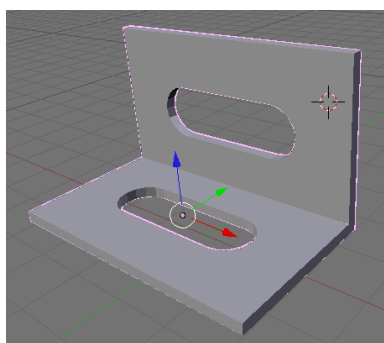


図 2 モデル形状

※Blender 上での操作

- | | | | |
|---|------------------|-----------|---|
| (| ・マウスホイールを手前に回転 ⇒ | 縮小 |) |
| | ・ " を奥に回転 ⇒ | 拡大 | |
| | ・ " を押しながらドラッグ ⇒ | 中心点まわりに回転 | |

Ⅲ) メッシュの作成

- ① 画面左のタブの「メッシュ」をクリックする。
- ② 「pch ファイルの指定」枠内の「pch ファイル参照」をクリック。
ファイル選択画面が表示されるので、

「デスクトップ」 → 「test」 → 「sample」 → 「buhin.pch」

の手順で選択し、「開く」をクリックする。
- ③ 「メッシュ長さ」枠内で、メッシュの長さと二次要素の設定をする。
ここでは、メッシュ長さを「0.2」、二次要素にチェック（図3）を入れる。

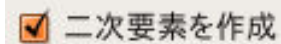


図3 二次要素チェックボックス

- ④ 「メッシュ作成」枠の「実行」をクリックし、作成完了の表示がされるので確認し、「OK」をクリックする。〔節点数：9613 要素数：4844〕
〔 弾塑性・大変形状を知る上では、さらに細かくメッシュを切る必要があるが、ここでは解析時間が膨大となるため粗いメッシュで解析を行う 〕

Ⅳ) 境界条件の設定

- ① 画面左のタブの「境界条件」をクリックする。
- ② 「境界面グループ化」枠で分割数を設定する。（ここではデフォルトの値を用いる）
- ③ 「境界面グループ化」枠の「実行」をクリックする。変換終了の確認が表示されるので、「OK」をクリックする。
- ④ 「境界条件設定」枠の「実行」をクリックすると、モデルが表示される。
- ⑤ 以下の手順で境界条件を設定する。
 - a) 図4に示す面を選択し、「BC」→「Add Displacement」をクリック。
 - b) Displacement(変位)設定画面が表れるので、X・Y・Zの拘束条件を設定する。
例題では全方向拘束するので、XYZとも選択し、値を0に設定する。（図5）

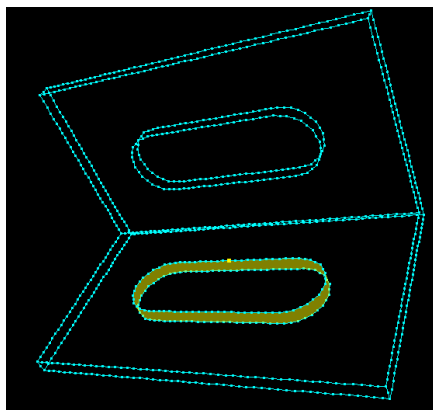


図4 境界条件設定画面

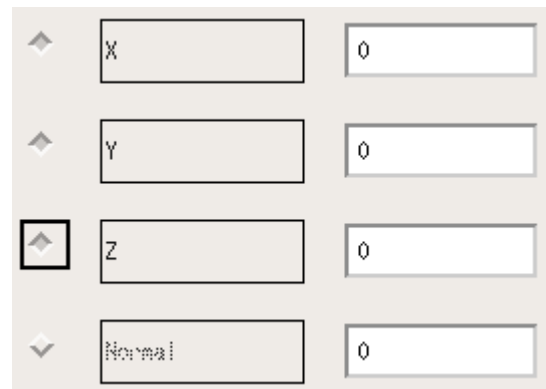


図5 変位設定画面

- c) 図 6 に示す面を選択し、「BC」→「Add Load」をクリック。
- d) Load(荷重)設定画面が表示されるので、X・Y・Z の荷重条件を設定する。例題では Y 方向に「10」の荷重を作用させるような設定をする。(図 7)

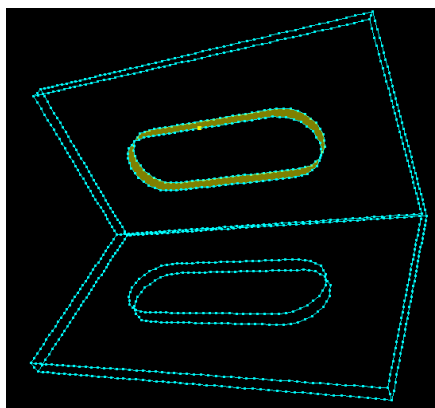


図 6 境界条件設定画面

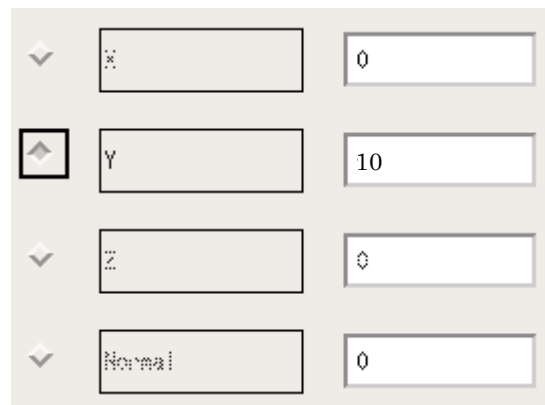


図 7 荷重設定画面

- ⑥ 「File」→「Quit」を選択し、確認ウィンドウが表示されるので「OK」をクリックして bcGUI ウィンドウを閉じる


V) 物性値の設定

- ① 画面左のタブ「物性値」をクリックする。
- ② ヤング率、ポアソン比、加工硬化係数、初期降伏応力を設定する。
ここでは、 $\left[\begin{array}{ll} \text{ヤング率} & : 200000 \quad \text{ポアソン比} & : 0.3 \\ \text{加工硬化係数} & : 10000 \quad \text{初期降伏応力} & : 300 \end{array} \right]$ を入力
- ③ 「保存」枠内の「実行」をクリックし、保存を確認が表示されるので「OK」をクリックする。

VI) 計算実行

- ① 「ソルバーの種類」、「分割数」はデフォルトの値とする。
- ② 「大変形問題の解法」を「UpdateLagrange 法」に設定する。
- ③ 「増分解析ステップ数」を「20」に設定する。
- ④ 「解析実行」枠内の「実行」をクリックする。10 分程度待つと解析終了確認が表示されるので「OK」をクリックする。

VII) 可視化

- ① 画面左のタグから「可視化」をクリックする。
- ② 「結果可視化」枠の「実行」をクリックする。
- ③ 暫く待つと自動的に最終ステップの **vtk** ファイルが読み込まれるので、「Apply」をクリックして結果を表示する。
- ④ 変形モデルを表示するため、画面中央の  アイコンをクリックする。
- ⑤ **Scale Factor** (変形倍率) 「5」に設定し「Apply」をクリックすると、モデルの変形図 (図 8) が表示される。

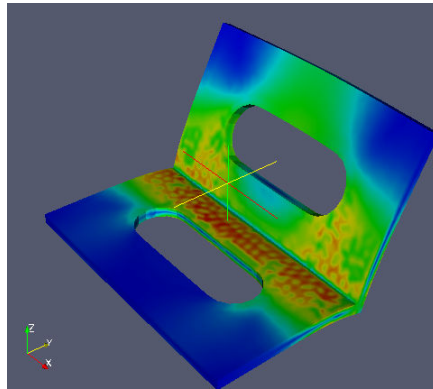




図 8 解析結果可視化

- ⑥ 各ステップの変形をアニメーションとして表示するには、「File」→「Open」をクリックする。ファイルの指定画面が出るので「result_..vtk」を指定し、「開く」をクリックする。(図 9)



図 9 アニメーション用指定ファイル

- ⑦ 左中央部にある「PipelineBrowser」枠の「WarpVector1」の左にある  アイコンをクリックし、モデルを非表示にする。
- ⑧ 「Apply」をクリックするとモデルが表示され、画面上部の  アイコンをクリックするとアニメーションが開始する。
- ⑨ **ParaView** ウィンドウ上部のメニューから「File→Exit」を選択し、**ParaView** を閉じる。

メッシュ作成が出来ない場合の処理

今回は単一表面の Triangles で問題があった場合のパッチ修正の手順を説明する。形状作成は Blender ではなく、外部の 3D-cad から出力した STL データを用いる。3D-cad によって出力される STL が異なる為、同様の手順ではできない場合がある。

メッシュ作成時にパッチ形状の不具合により、メッシュ作成ができない場合がある。メッシュ作成ができない例として以下の様な場合が考えられる。

- ・ パッチに穴がある
- ・ 異常に細長い三角形パッチがある
- ・ 節点が二重に存在している
- ・ 面同士が交差している
- ・ 面が捻じれている
- ・ モデル内部に面等が存在している（一部除く）

面同士が交差している、捻じれている、モデル内部に面等が存在している場合はモデル自体を修正する必要がある。

この場合はパッチを修正する必要があるが、手作業で修正するには手間がかかる。そこで check raw 7 でパッチの確認、gmsht、netgen でパッチ形状の修正を行う。パッチ修正の全体フローチャートは以下の通りになる。

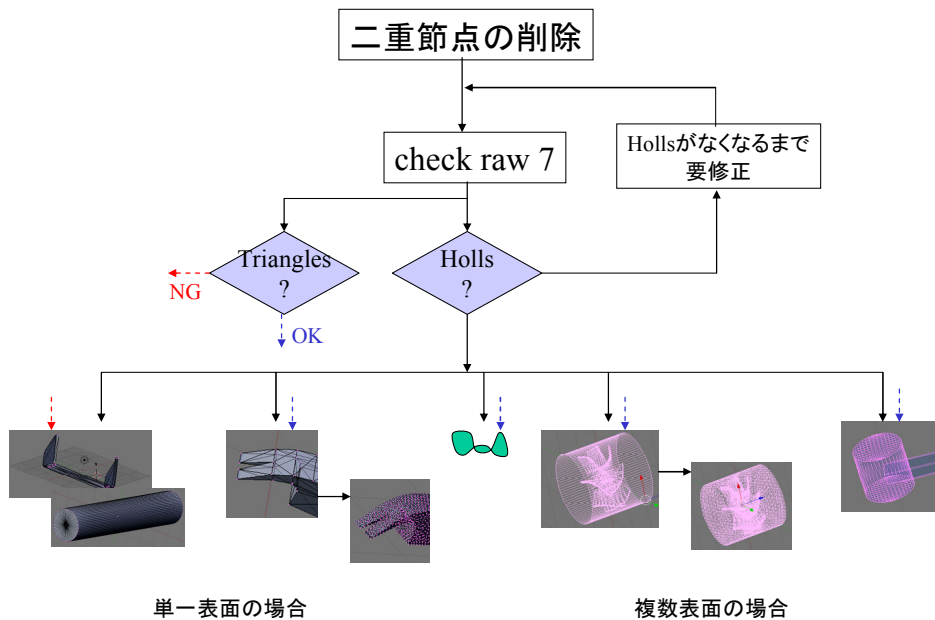


図1 パッチ修正のフローチャート

DEXCS2010 による STL データを用いたパッチ修正方法

1. Ubuntu を起動し、ランチャーを起動させる。
2. 「ファイル」→「解析フォルダ設定」を選択し、解析フォルダを設定する。
3. STL データ (model10.stl) を解析フォルダの「sample」フォルダに入れる。
※Windows からコピー、貼り付けでファイルを移動する事ができる。
4. 「形状作成」タブから Blender 枠の「実行」をクリックする
ここでは「○○.blend」(Blender ファイル) しか開く事ができないので、「Hsteel.blend」を開く。
5. Blender 起動後、「Delete」キーをうち、初期モデルを消去する。「Flie」→「Import」→「STL...」を選択し、STL データ (model10.stl) を選択する。
6. STL データのパッチ確認、修正する。「Object Mode」から「Edit Mode」に変更して、以下のカーソルの位置 (上下矢印に変わる場所) で右クリックをし、「Split Area」をクリックする。

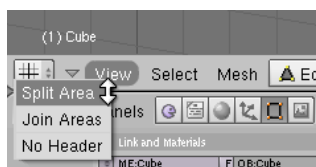


図 2 画面分割方法

画面の 3 分の 2 程度の位置で左クリックすると、画面が 2 つに分かれる。

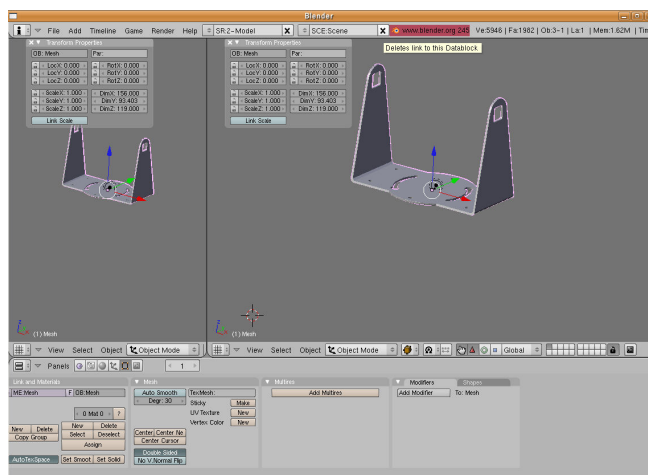


図 3 画面分割後

7. 分割した左側画面の Window type を「3D View」から「Script Window」に変更する。
右側画面はそのまま (Window type は 3D View) にする。

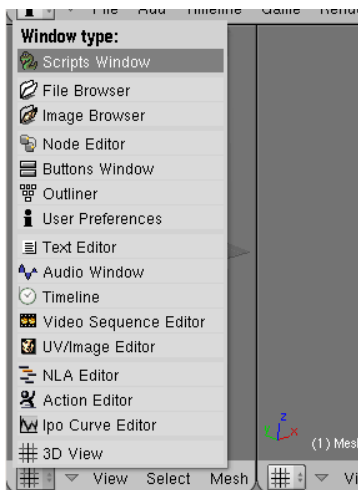


図 4 Window type 選択

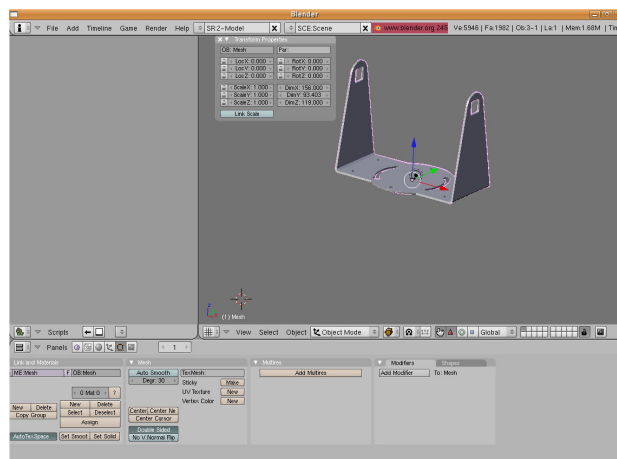


図 5 Window type 変更後

8. 「Scripts」 → 「Add」 → 「check raw 7」 を選択する。

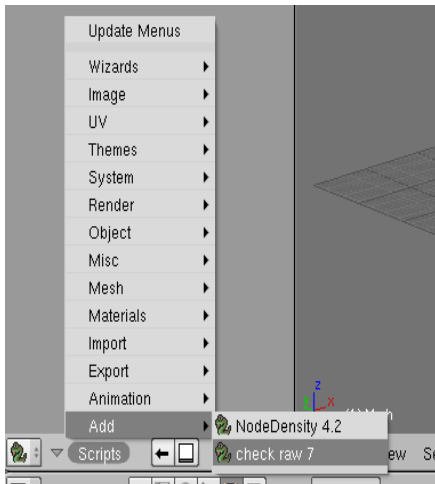


図 6 スクリプト選択

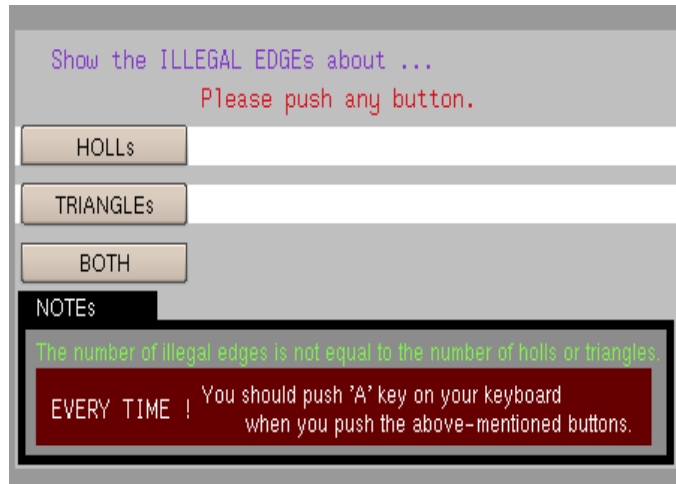


図 7 check raw 7 ウィンドウ

check raw 7 ウィンドウの「HOLLs」はパッチの穴開きを、「TRIANGLEs」はパッチの形状を確認する。「BOTH」は「HOLLs」と「TRIANGLEs」の両方を確認する。

9. モデルの選択を解除する。「A」キーをうち、節点等の選択が解除された状態にする。選択箇所を線、面の場合は、選択箇所を点に変更する。この時必ずパッチ形状が三角形になっている事を確認する。

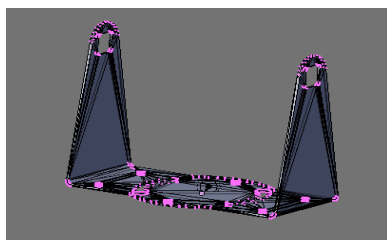


図 8 選択解除時のモデル



図 9 選択箇所変更

10. 左側画面の「HOLLs」をクリックする。この時選択された節点部分がパッチの穴開きを示す。このパッチの穴開きの原因は以下の3つがある。

- I. 二重節点が存在する為、線、面同士が接合されていない場合
- II. 選択された3節点箇所に面が作成されていない場合
- III. モデル内部に面が作成されている場合

以下にこれらの対処法を説明する。状況が分からない場合はIから順に対処する。

10-I. 二重節点が存在する場合

- ① 「HOLLs」クリック後に節点を選択された状態で、下図の箇所を確認する。「Limit」の値より近い距離の節点は全て統一される為、注意が必要である。この値を確認後「Rem Double」をクリックすると、「Removed ○○」と表示され二重節点が統一される。

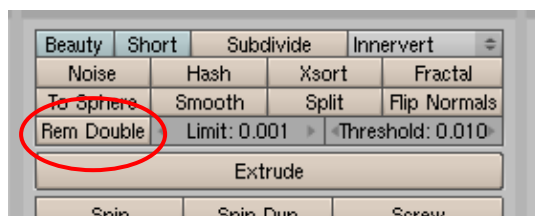


図 10 二重節点の削除ボタン

- ②モデルの選択を解除して、再び左側画面の「HOLLs」をクリックする。
今回は二重節点の削除でパッチの穴あき「HOLLs」が0となったため、11に進む。
なお、この作業でも「HOLLs」がなくならない場合は10-IIに進む。

10-II. 面が作成されていない場合

- ①複数の面が作成されていない場合は、一箇所ずつ処理する。3つの節点を選択した状態で、「F」キーをうつつと面が作成される。
- ②モデルの選択を解除して、再び左側画面の「HOLLs」をクリックする。
ここで節点を選択されない場合は11に進む。選択された場合は面が作成されていない箇所が無い事を確認して10-IIIに進む。

10-III. モデル内部に面が作成されている場合

- ①モデル内部を見易くする為、右側画面の Draw type を「Wireframe」に変更する。

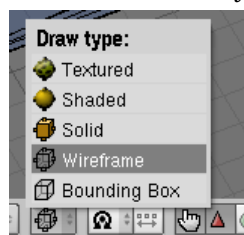


図 11 Draw type 選択

- ②モデル内部に作成されている線、面を削除する。最も簡単な削除方法はモデル内部に存在する線を選択し、「Delete」キーをうつ。ここで「Edges & Faces」を選択するとパッチを削除される事無くモデルを修正する事ができる。
- ③モデルの選択を解除して、再び左側画面の「HOLLs」をクリックする。
 ここまで行くと「HOLLs」をクリックしても、節点を選択されず、左側画面に「Found no illegal edge about holls」と表示される。

11. 左側画面の「TRIANGLEs」をクリックすると以下の図 12 のように表示される。この時選択されたパッチが形状の不良を示す。この数が多すぎるとエラーが発生する。しかし「TRIANGLEs」で選択されてもメッシュが作成される場合がある。

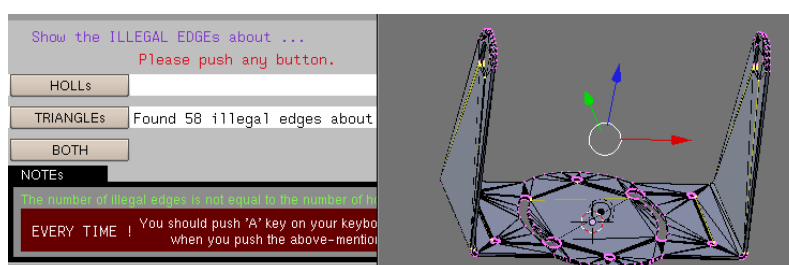


図 12 TRIANGLEs 表示画面（修正前）

ここで以下の手順を行う。

- ・「Edit Mode」から「Object Mode」に変更する。
- ・「Modifiers」の「Add Modifier」を「Decimate」に変更する。
- ・出た画面の「Ratio」の値を 0.7 に変更し「Apply」をクリックする。
- ・「Object Mode」から「Edit Mode」に変更する。
- ・左側の画面の「TRIANGLEs」をクリックすると以下の図 13 ように表示される。

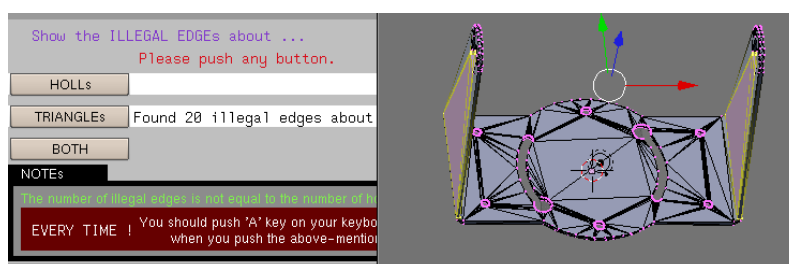


図 13 TRIANGLEs 表示画面（修正後）

先程よりも問題箇所数が減少しているのが分かる。

今回のモデルの場合は、この作業を行えばメッシュ作成が可能になるのだが、その他のモデルの場合、不良三角形パッチが残っているとメッシュ作成が出来ない場合があるため、次に進む。

12. パッチ修正後、データの保存を行う。「File」→「Export」→「STL ...」でデータを STL 形式で保存する。(ファイル名を `sample.stl` とする) そして Blender を終了する。
13. Ubuntu のメニューバーの「アプリケーション」→「アクセサリ」→「端末」で端末を起動させる。
14. 端末で、

`$ gmsht`

と実行すると `gmsht` が起動します。図 14 の左側にモデルウィンドウ、右側がメニューウィンドウになります。この `gmsht` ではバイナリーの STL データをアスキーに変換するために用います。

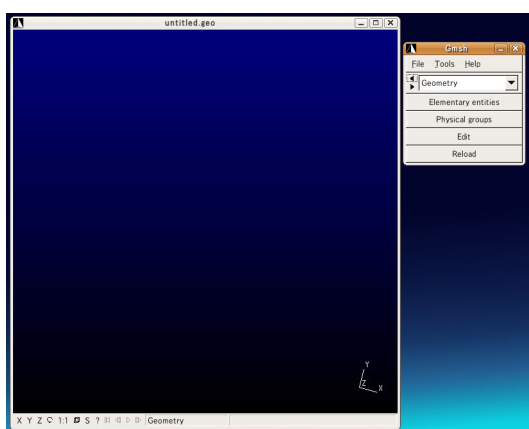


図 14 `gmsht` 起動時のウィンドウ

15. 「File」→「Open」から先程保存した STL データ (`sample.stl`) を読み込みます。するとモデルウィンドウにその形状が表示されます。

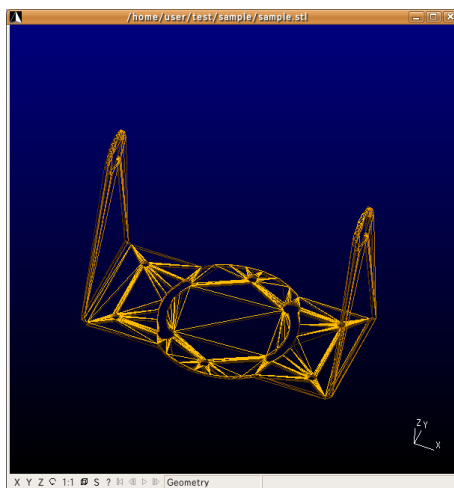


図 15 モデル表示

16. ここでは作業する事無く、データを保存します。
「File」→「Save As」から解析フォルダに STL 形式でデータを保存します。(ファイル名を `sample2.stl` とします) 別名に設定して「OK」をクリックします。この時名前の最後に「.stl」を追加してください。

17. STL Options ウィンドウが開きます。Format が「ASCII」になっているのを確認して「OK」をクリックします。

18. 「File」→「Quit」で gmsih を終了させます。

19. 端末で、

```
$ netgen
```

と実行すると図 16 の netgen が起動する。この netgen では STL データのパッチを自動で修正を行う。

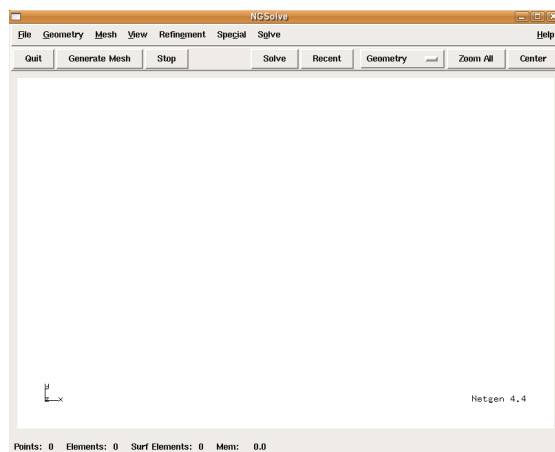


図 16 netgen 起動画面

20. 「File」→「Load Geometry」を選択し、先程保存した STL データ (sample.stl) を読み込む。

21. 解析モデルであることを確認し、「Mesh」→「Generate Mesh」を選択するとパッチ作成が開始する。

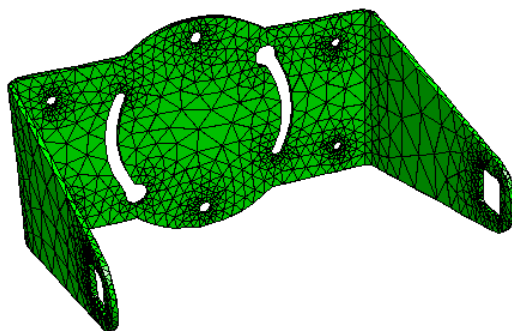


図 17 Generate Mesh 後のパッチ

曲面があるモデルの場合は表面に凹凸が生じやすくなる。その場合は「Mesh」→「Meshing Options」を選択し、「STL Charts」のパラメータを設定すると曲面のパッチを作成できる。

※図 17 のモデルを用いる場合、「Meshing Options」→「General」のタブを選択し、「Mesh granularity」の項目を「very fine」にすると、細かい表面パッチが生成される。

22. 「File」 → 「Export Filetype」 から 「STL Format」 を選択する。
23. 「File」 → 「Export Mesh」 を選択し、別名で STL 形式にして保存する。(ファイル名を sample3.stl とする)
24. 「File」 → 「Quit」 で netgen を終了する。
25. データ形式を再度変換する。「形状作成」 タブに移動し、Blender 枠の「実行」 をクリックして Blender を実行する。
26. Blender 起動後、「Delete」 キーをうち、初期モデルを消去する。「File」 → 「Import」 → 「STL...」 から先程保存したデータ (sample3.stl) を読み込む。
27. ここで二重節点が再び作成されている為、再び同様の手順で二重節点の削除を行う。
28. また、「TRIANGLEs」を確認すると、不良三角形パッチがなくなっていることが確認できる。
29. パッチ形状が変わっている事を確認後、データの保存を行う。「File」 → 「Export」 か → 「PCH file(.pch) 1.1」 で pch ファイルに保存する。(ファイル名を sample.pch とする)
30. 「File」 → 「Quit Blender」 で Blender を終了する。

以後通常通り解析を行う。