

オープンソース CAE ツールを用いた FEM 実習

秋田大学 ○学生員 河原 萌
秋田大学大学院 学生員 後藤 文彦
秋田大学大学院 正 員 斉藤 輝

1. はじめに

秋田大学では、3 年次に創造工房実習というもののづくり系の実習科目があり、各教員が学生 7 人程度のグループを担当し、様々な課題で実習を行なっている。この実習の中で、構造解析のスキルを特に持たない学生に対して、フリーの CAE ツールを利用した有限要素解析の演習を行ったので、そのノウハウと教育効果について報告する。

2. 実習環境

使用したパソコン環境は、Linux(Ubuntu 12.04)の OS 上に、CAELinux2013 をインストールしたものである。CAELinux は、Ubuntu をベースにした Linux ディストリビューションであるが、オープンソースの CAE ツール各種が利用できるように調整されている。今回は、それら CAE ツールの中から、3D モデリングやメッシュ生成にプリポスト統合プラットフォームの Salome を用い、有限要素解析ソルバーには、CalculiX を用いた。CAELinux 標準のソルバーとしては Code_Aster があり、Salome とも連動しているが、一方 CalculiX は、入力データが ABAQUS の書式であり、境界条件や荷重条件等の設定がテキストエディタでも行いやすく、入力データをプログラムで整形しやすいため、今回はソルバーに CalculiX を使うこととした。

3. 実習内容

まず、最初の 3 回程度の実習で、学生は、コマンドタミナル上で必要とされる最低限の UNIX コマンド操作、荷重条件・境界条件の設定の際に必要な最低限のプログラム (gfortran) 編集・実行操作等を修得した上で、Salome による簡単な立体モデル

づくりを練習する。Salome 上で簡単な立体モデルを作るのに慣れてきた時点で、10mm×10mm×1m の直方体モデルを四面体要素 (C3D4) でメッシュ分割し、両端から 100mm の下縁を線拘束で単純支持 (スパン 800mm)、上縁中央部に線載荷する問題を解析しながら、要素分割数とたわみの理論値 ($\frac{P\ell^3}{48EI}$) に対する収束性を確認する。

表-1 要素数と相対誤差

要素数	相対誤差 (%)
862	-85.9
4512	-46.4
16414	-22.7
37717	-17.4
462452	-2.9

4. 実習課題

学生が簡単な単純梁モデルの曲げ解析ができるようになった時点で、以下の条件で各自に橋のモデルを作成させ、その比剛性 (剛性/体積) を競うものとした。

- 体積：12000mm³ 以内
- スパン：100mm
- 単純支持中央載荷
- 拘束部：FEM では線拘束だが、たいらな橋台におけること
- 載荷部：FEM では線載荷だが、10mm 程度の紐をかけられること
- ヤング率：2GPa (ポアソン比：0.3)

比剛性で 1 位、2 位、7 位のモデルの例を図-1~3 に示す。各モデルの剛性、比剛性 (Nmm²/mm³) を表-2 に示す。剛性は、1kN を載荷した時の中央部のたわみを理論値 $\frac{P\ell^3}{48EI}$ で割って求めた。

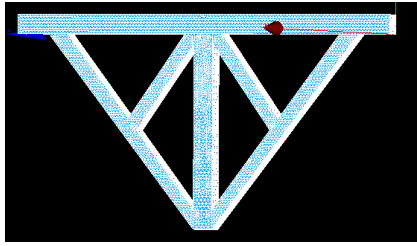


図-1 比剛性 1 位のモデル

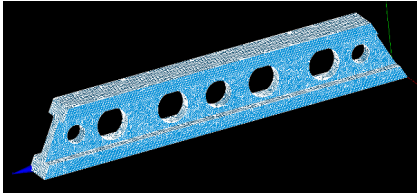


図-2 比剛性 2 位のモデル

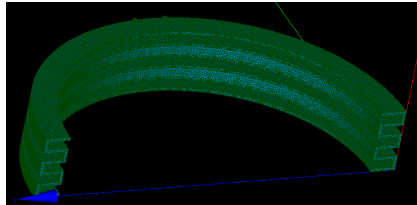


図-3 比剛性 7 位のモデル

四面体要素の要素分割数は、Salome で自動メッシュ分割を行ったため、複雑な細部構造を持つほど分割数が大きくなる傾向があるが、有効数字 3 桁程度の収束値が得られる細かさを目安とした。

表-2 各モデルの比剛性

学生	比剛性 (kN/m)	体積 (mm ³)	要素数
1	759	11778	90489
2	521	11933	146060
7	73	11159	238754

比剛性 1 位のモデルは、キングポストトラスを逆さにした形で、3 点曲げを棒部材になるべく曲げが入らないように、3 本の部材の軸方向引張または圧縮で抵抗するという意味では合理的な構造であろう。比剛性 2 位のモデルは、肉厚な I 形断面で面外方向に対しても剛性を稼ぎ、ウェブ部に孔をあけて材料を節約している。比剛性 7 位のモデルは円弧

アーチである。円弧アーチは、円中心方向の等分布荷重を受けた場合には、部材軸方向の圧縮とつりあうが、3 点曲げでは、曲がり梁に曲げが作用してしまい、必ずしも有利な構造ではない。タイドアーチにすれば、だいぶ剛性は改善されるだろうが、3 点曲げに対して部材軸方向の圧縮とタイの引張でつりあう形は、円弧アーチではなく、キングポストトラスのような三角アーチである。

5. 3D プリント造形モデルによる実験



図-4 3D プリント造形モデルによる試験

比剛性 1 位、2 位のモデルを 3D プリントで造形し、曲げ試験を行なってみた。一般に 3D プリント材料は、クリープが大きくヤング率が安定しないが、比較的クリープの小さい耐熱材料 RGD525 を用いた。引張試験によるヤング率は、2.84GPa、ポアソン比は 0.313 であるが、印刷方向による異方性があり、曲げ方向によってはヤング率が半分程度になる場合もある。3D プリントで造形した模型に対する曲げ試験から求めた比剛性は、比剛性 1 位のモデルが 527kN/m、2 位のモデルが 296kN/m となり、有限要素法では 1 位のモデルが 2 位のモデルの 1.5 倍の剛性なのに対し、模型実験では 1.8 倍の剛性となり、材料の異方性等の影響がある割には、模型実験も有限要素法とほぼ同様の結果となった。

6. まとめ

大学生のものづくり実習として、オープンソースの CAE ツールを用いた有限要素解析の演習を行った。学生にとっては、構造力学等の答えのある演習とは違い、自由度の広い条件下で各種のツールを駆使しながら試行錯誤で最適なモデルを競う演習は、なかなか刺激になり、パソコンツール等のスキルも習得できて、概ね好評だったようである。