

温度変化を受ける柔軟折れ板構造の応力特性

秋田大学 ○ 学生員 小林さやか
秋田大学 正 員 後藤文彦
秋田大学 学生員 工藤康広

1. はじめに

人工衛星などの宇宙構造物は、地上構造物に比べて外力レベルが非常に低いため、部材断面を小さくし軽量化した薄板を組み合わせた折れ板構造が利用される。また、ロケットによる運搬負荷を削減する目的からもマグネシウム合金やチタン合金などの軽量だが、鋼などの地上構造物に比べると剛性の低い材料が多用される。このため、100K以上の激しい温度変化にさらされる宇宙構造物においては、柔軟・軽量であることが、熱座屈や温度応力の繰り返し変化を受けることによる継ぎ手疲労などを起こす危険性がある。そこで、本研究では、人工衛星に多用される薄い折れ板からなる柔軟な多角柱が温度変化を受けた場合の応力や座屈の挙動を、多角柱の角数や開口部の拘束条件を変えて数値解析してみる。

2. 解析方法

解析モデルは、人工衛星の構体を模した4, 6, 8角柱の折れ板構造とし、解析にはGPLライセンスの3D有限要素解析ツール CalculiX¹⁾を用いる。解析結果は CalculiX のオプションソフト CalculixGraphix を用いて可視化する。解析モデルの材料は人工衛星の構体によく用いられているマグネシウム合金 AZ31 を用いる。材料諸元は表-1 に示す。拘束条件は、

- 1) 人工衛星が輸送などの際に固定されているとした時を想定し、上下の開口辺まわりの回転と開口平面の面内並進を拘束する場合
 - 2) 両端の開口部と蓋が柔軟に連結されている状態を想定し、1) の開口辺まわりの回転を自由とする場合
- の2つを比較する(表-2)。ただし、軸圧縮による座屈を解析する場合には上部開口端の軸方向(z)の変位は自由とする。

要素は6節点3角形シェル要素を用い、図-1のように要素分割は、高さ方向に10分割、周方向は1辺が2~4分割になるようなメッシュとした。ちなみに、要素数は4, 6, 8角柱でそれぞれ480, 720, 960となっている(図-1)。

3. 座屈解析

まず、解析モデルが軸方向圧縮を受ける場合の座屈について解析する。載荷は、前述したように上部開口端の軸方

表-1 材料諸元

熱膨張率 α	26 [$10^{-6}/\text{K}$]
ヤング率 E	45 [GPa]
ポアソン比 ε	0.35
温度変化 ΔT	300[K]
厚み	5 [mm]
高さ	1.5 [m]

表-2 上下開口部の拘束条件

	拘束
1)	上下開口部 $x, y, z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$
2)	上下開口部 x, y, z

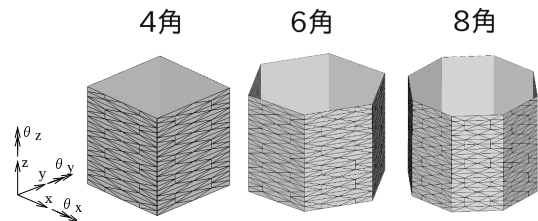


図-1 形状

向変位を自由とし、上部開口端の全節点に軸方向荷重を分散させて載荷する。座屈時の軸方向圧縮応力 σ_{zz} の分布を図-2 に示す。色の濃い部分がより高い圧縮応力を受ける部分となっている。いずれの角柱も上下端部には、おそらく載荷と拘束による多少の応力集中が見られるものの、側面にはほぼ一様の応力が分布している。この時の、高さ方向の中央位置における σ_{zz} の値を後述する図-6, 図-7 内に併記する。4, 6, 8角柱の座屈モードを図-3 に示す。4, 6角柱は、側面が高さ方向に1次のモードで隣り合う側面ごとに互い違いに座屈しているように見受けられるが、8角柱は、側面が縦長になっているため、高さ方向に2次のモードで隣り合う側面ごとに互い違いに座屈している。

また、側面が開口辺まわりに回転できる 2) の拘束条件の場合には図-5 のように、側面が開口辺まわりにたわみ角を発生させて変形しているが、側面が開口辺まわりに回転できない 1) の拘束条件の場合には、図-4 のように座屈長が小さくなるため、座屈応力もその分 1~2 割程度高めとなる。

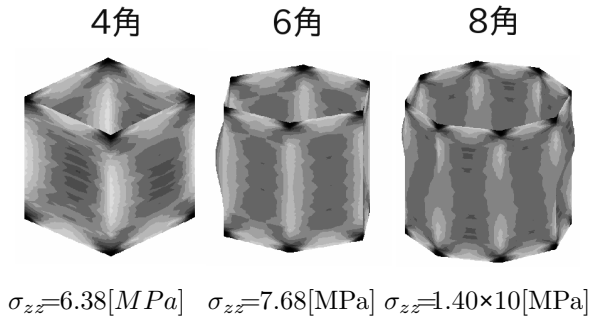


図-2 軸圧縮応力の分布

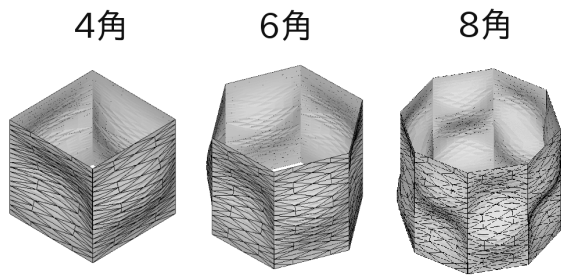


図-3 座屈形状

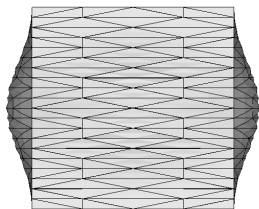


図-4 拘束 1)

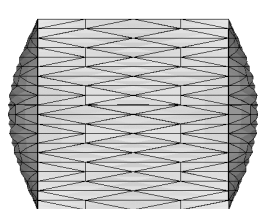


図-5 拘束 2)

4. 温度解析

次に、4・6・8 角柱それぞれに一樣な温度変化を与えた場合の側面高さ方向中央部の軸方向応力 σ_{zz} を求めてみる。具体的には、熱膨張係数を与えられた要素が、上下開口端の軸方向変位を拘束され、与えられた温度変化に対して一樣に膨張することにより発生する応力である。1), 2) の境界条件に対して求めたこの側面中央部の温度応力を、

前章で求めた軸圧縮による座屈応力と併せて図-6, 図-7 に示す。前章で求めた角柱の座屈応力は、角柱の角数が多いほど大きくなり、特に 8 角柱ではモードが 2 次モードに移行するために 4, 6 角柱よりも 2 倍程度大きくなるが、一定の温度変化に対する温度応力は角柱の角数が多いほど小さくなる。このため、角数の少ない角柱ほど座屈しやすく、例えば、拘束条件 1) の場合、4 角柱は 4[K] 程度で座屈するが、8 角柱は 10[K] 程度で座屈する。

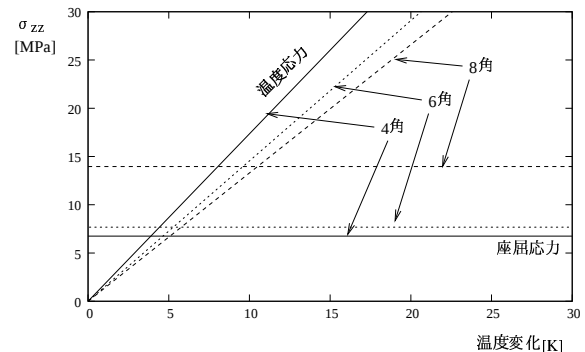


図-6 温度応力 (拘束: 1)

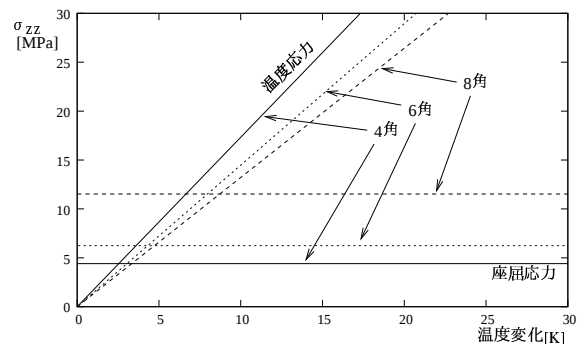


図-7 温度応力 (拘束: 2)

5. まとめ

人工衛星の構体に多用されるマグネシウム合金を用いた多角柱に対して、上下開口部の軸方向相対変位が可能な拘束条件の下で軸圧縮による座屈応力を求め、次に軸方向相対変位を拘束して一樣な温度変化を与え、このときの温度応力と前述の座屈応力とを比較することで座屈特性を調べた。角柱の周と高さを一定とした今回の解析では、4, 6 角柱よりも 8 角柱が座屈しにくいという結果が得られたが、このような角柱構造では、角柱の角数や拘束条件の違いが座屈モードや温度応力に影響することが分かった。

参考文献

1) <http://www.calculix.de/>