

ケント紙を用いたダイヤカット円筒折り紙構造の圧縮試験

環境構造工学講座 06634 田口 宏一
指導教員 後藤 文彦

1. はじめに

現在、人工衛星を始めとする宇宙構造物には折り紙構造が多く採り入れられている。ロケットもその一つである。ロケットの機体には、地上から宇宙までの急激な気圧変化などにも耐えられる強度が必要である。また、その強度を保ちながら、極限まで軽量化することも求められる。それによって考え出されたのが、ダイヤカット円筒という円筒構造である。三角形を凹凸のかたちにくつも組み合わせてつくるのだが、三角形の大きさによってダイヤカットの分割数は変わってくる。そこで本研究では、ダイヤカット円筒のダイヤパターンが周方向と高さ方向の配置によって、剛性や強度にどのような変化を及ぼすのかを、数値解析とケント紙で作成したダイヤカット円筒の圧縮試験から比較し調べる。

2. 解析手法

紙は種類によってヤング率が様々なので、ケント紙のヤング率がどのくらいなのかを調べる。ばね定数 k を圧縮試験によって求め、 $E = \frac{kh}{A}$ に代入しヤング率を求める。ここで、 A を断面積、 h を高さとし、用い材料は文運堂のコッカケント紙の B-2004 とする。ケント紙で円筒を作成しアクリル板を載せ、写真-1 のように一定時間に重りを載荷していく。その結果、図-1 のようになり、ヤング率 93.7MPa を算出した。

解析モデルは、半径 $r=60\text{mm}$ 、周囲 $s=360\text{mm}$ 、高さ $h=180\text{mm}$ 、厚さ $t=0.23\text{mm}$ 、ヤング率 $E=93.7\text{MPa}$ とし、高さ方向パターン 4 の周方向パターン 7,8,9 と高さ方向パターン 5 の周方向パターン 8 の 4 パターンについて解析する。

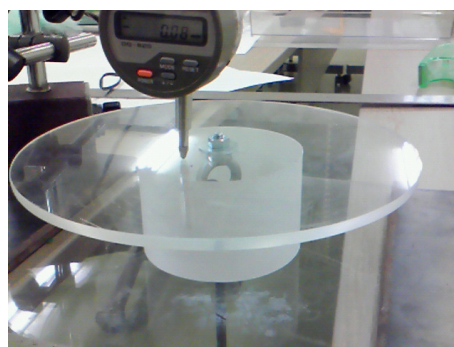


写真-1 ケント紙圧縮試験

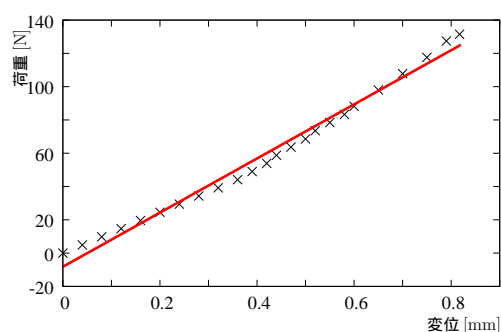


図-1 荷重-変位曲線

解析には、GPL ライセンスの有限要素解析ツール CalculiX¹⁾を用いる。分割については三角形 1 パターンを 6 節点三角形シェル要素で 4 要素に分割して解析する。境界条件はダイヤカット円筒の上端開口部が軸方向にのみ並進変位するように、上端開口部の各節点は x,y 方向の変位を拘束し、下端開口部の各節点は x,y,z 方向の変位を拘束する。

3. 圧縮試験

圧縮が均等に行われるように接着面は斜めにし、決められた三角形を凹凸のかたちに折っていくとダイヤカット円筒を作ることができる。解析と同様に高さ方向パターン 4 の周方向パターン 7,8,9 と高さ方向パターン数 5 の周方向パターン数 8 のダイヤカット円筒を作成し、圧縮試験を行う。

試験はケント紙のヤング率を求めるときと同様に、ダイヤカット円筒にアクリル板を載せ、写真-2のように一定時間に重りを載荷していく。

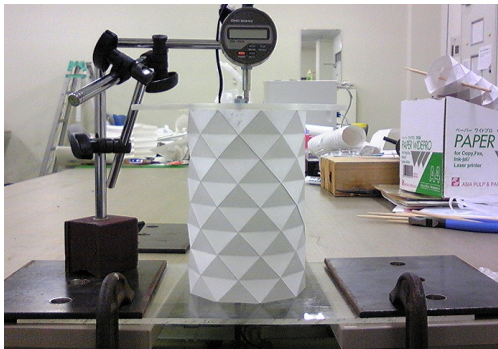


写真-2 ダイヤカット円筒圧縮試験

4. 結果

高さ方向パターン4の周方向パターン7,8,9の試験結果を解析値と合わせて図-2に示す。周方向パターン数が増えると、変位量が小さくなる。

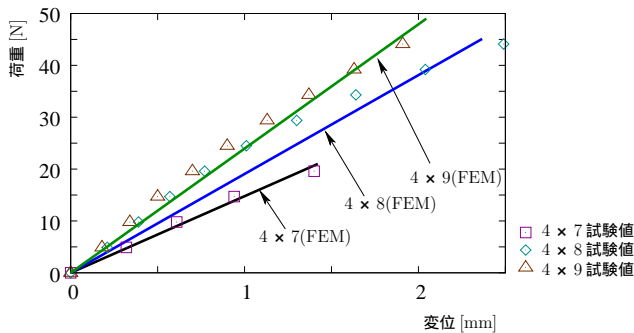


図-2 荷重-変位曲線 (周方向パターン)

高さ方向パターン4と5の周方向パターン8の試験結果を解析値と合わせて図-3に示す。高さ方向パターン数が増えると、変位量が大きくなる。

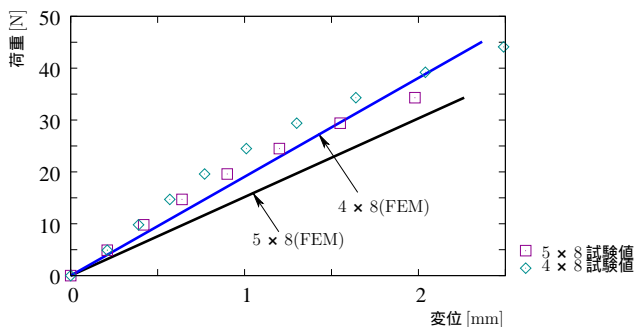


図-3 荷重-変位曲線 (高さ方向パターン)

図-2と図-3において、試験値の荷重が増すごとに変位量が大きくなっていることから、ある程度ダ

イヤカット円筒に荷重をかけると剛性が低くなることがわかった。

試験結果から線形回帰を行い、 P を δ を除すことでばね定数 k を求める。また、 $k_{円} = \frac{EA}{h}$ から $k_{円}$ を求め、 k を $k_{円}$ で除し、ばね定数の無次元化を行った。周方向・高さ方向パターン数を変化させたときの無次元化ばね定数の比較を表-1に示す。また、FEMにより求めたばね定数を周方向・高さ方向パターン数に対して3次元プロットしたものを図-4に示す。

表-1 無次元化ばね定数

	4 × 7	4 × 8	4 × 9	5 × 8
$\frac{k}{k_{円}}$ FEM	0.303	0.391	0.492	0.311
$\frac{k}{k_{円}}$ 圧縮試験	0.278	0.371	0.461	0.366

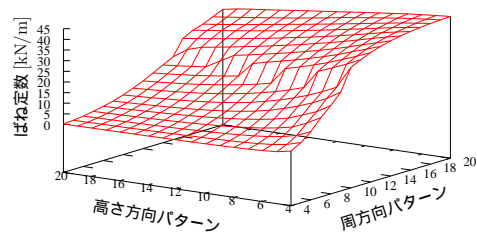


図-4 ダイヤカット円筒のばね定数

高さ方向パターン数が4の場合、FEMから求まるばね定数も、圧縮試験から求めたばね定数ともに、周方向パターンが増えるとともに大きくなる傾向が認められた。なお、周方向パターン数8の円筒で、高さ方向パターン数を4から5に増やすと、FEMによるばね定数も圧縮試験によるばね定数ともに小さくなった。

5. まとめ

数値解析では、周方向パターン数が増えるほど軸方向の圧縮剛性が高くなる一方、一定の周方向パターン数で高さ方向パターン数が増えると軸方向圧縮剛性が低くなる傾向が認められたが、ケント紙による実験でもケース数は限られているものの同様の傾向が認められた。

参考文献

- 1) <http://www.caliculix.de/>