

『毛抜き』の最適形状

機械電気工学科 5年 9番 岡本卓也

21番 正下哲司

1. 緒言

現在、多くの美容グッズが出ている中で「毛抜き」は値段も安く、その割に使い勝手が良いときて、ひとときわ輝いている存在である。しかし、「安かろう、悪かろう」はあたっていたりもする。多くの安価である「毛抜き」は強度的に弱いものも多く、すぐに曲がってしまうこともしばしばである。そこで、この有限要素解析のテーマとし、「安く・強く」を実現した「毛抜き」はいったいどんな形状なのか吟味してみることにした。

解析方法としては、(1)～(5)の形状の、「毛抜き」のモデルを用いて、どこにどのような応力がかかるか有限要素解析を行い、最適な形状～先端に応力が最もかかり、なるべく変形の少ない形状～はどのような物かを検討する。

2. 解析条件

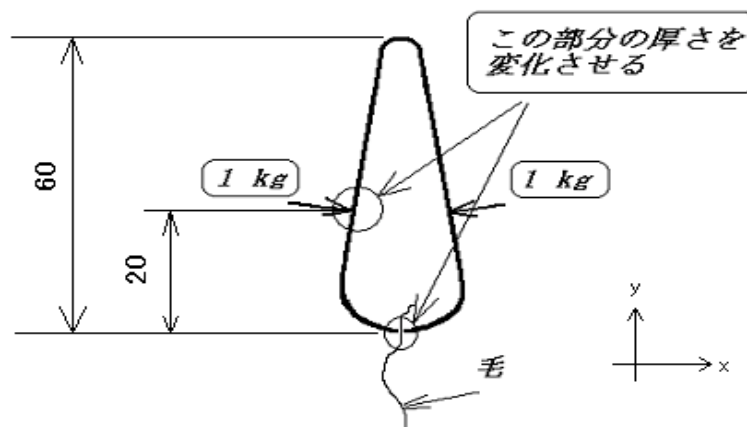


図1 毛抜きの基本モデル

荷重 : 親指と人差し指での力 **2 kg** をかけ、掴めると仮定する。
片指 **1kg** で解析上の問題により、各方向に以下の集中荷重とする。
荷重をかける位置は「毛抜き」の上下の比が **2 : 1** の接点である。

X 方向 : **0.984 kg**

Y 方向 : **0.173 kg**

材質 : **SUS 材** — ステンレス鋼 —
(ヤング率 : **21000kg/mm²** ポアソン比 : **0.3**)

また、この形状は左右対称であるので、左半分だけで解析を行う。
拘束する場所は上端の X、Y 方向、下端の X 方向である。

3、解析モデル

以下に、解析モデル①～⑤を示す。

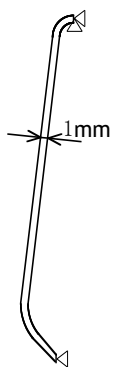


図 2 解析モデル①

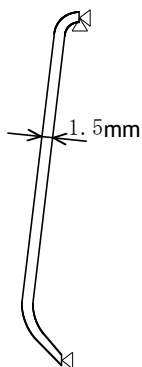


図 3 解析モデル②

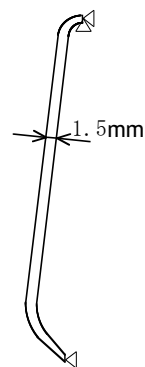


図 4 解析モデル③

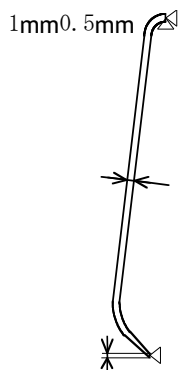


図 5 解析モデル④

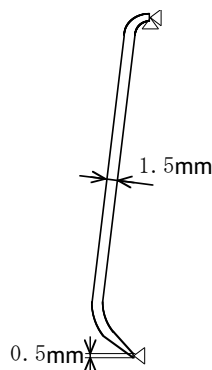


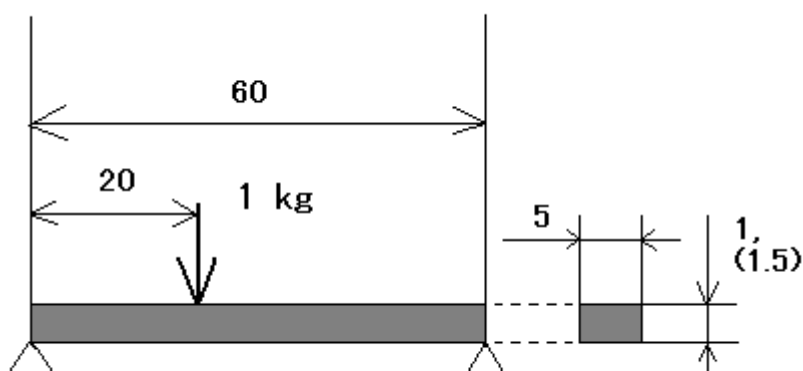
図 6 解析モデル⑤

※ 注意・・・奥行きはすべて **5 mm**、平面ひずみでの計算とする。

- 図 2 解析モデル ① : 全体の厚さが「1mm」である基本となるモデル
- 図 3 解析モデル ② : 全体の厚さが「1.5mm」のモデル
- 図 4 解析モデル ③ : 作用点が「1.5mm」のモデル
- 図 5 解析モデル ④ : 毛抜きの先端が「0.5mm」のモデル
- 図 6 解析モデル ⑤ : 作用点が「1.5mm」先端が「0.5mm」のモデル

4、解析結果

a). 理論値の算出



図：理論値のモデル

上のモデルで近似して、「毛抜き」の最大たわみの理論値を導く。
最大たわみは (1) 式で表される。

$$\delta_{\max} = \frac{Pl^3}{48EI} \cdot \frac{16}{3\sqrt{3}} \cdot \frac{b}{l} \cdot \frac{b^3}{l^2} \quad [\text{mm}] \dots (1)$$

ここで、

$$P = 1[\text{kgf}]$$

$$E = 21000[\text{kgf} / \text{mm}^2]$$

$$l = 60[\text{mm}]$$

$$b = 60 \square 20 = 40[\text{mm}]$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = 0.417(1.41)[\text{mm}^4]$$

であるから、(1) 式に代入すると

※注意－上式の () 内の数字は板厚 1.5mm 時

解析モデル① (板圧が 1mm) の場合 $\omega_{\max} = 0.0437$ [mm]
 解析モデル⑤ (板圧が 1.5mm.) の場合 $\omega_{\max} = 0.0129$ [mm]

という結果が得られる。

b). 理論値と解析値

表 1 に示すように、解析モデル①・⑤の理論値と解析値を荷重点の最大たわみについて比較してみた。

表 1 : 理論値と解析値との比較

解析モデル	理論値 [mm]	解析値 [mm]
①	0.0437	0.0493
⑤	0.0129	0.0171

表 1 を見てみると、理論値と解析値との値がほぼ等しい（解析値の方が理論値より若干大きい）ことから、この解析値は信頼できるのではないかと考える。以上から、他のモデルについても正しい解析値が出ていると考えられる。

※注 等応力線図についてはどのモデルでも、モデルの中央部分においてはまったく σ_x σ_y に変化がなかったため、端部のみの部分図を示すようにした。（変位図は全体図のまま）

・ 解析モデル①

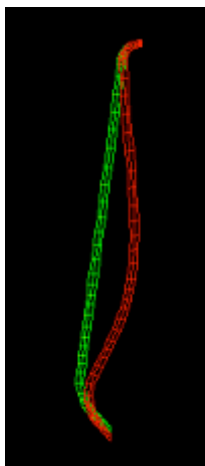


図 7 (a) 変位図

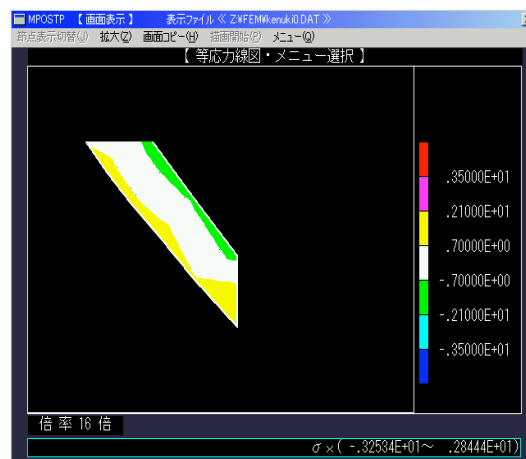


図 7 (b) 先端の等応力線図

これが「毛抜き」の基本モデルである。図 7 (a)・(b) が示す変位図、応力図の数値がこの後のモデルと比較する材料になる。

・解析モデル②

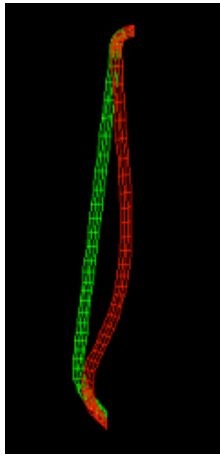


図 8 (a) 変位図

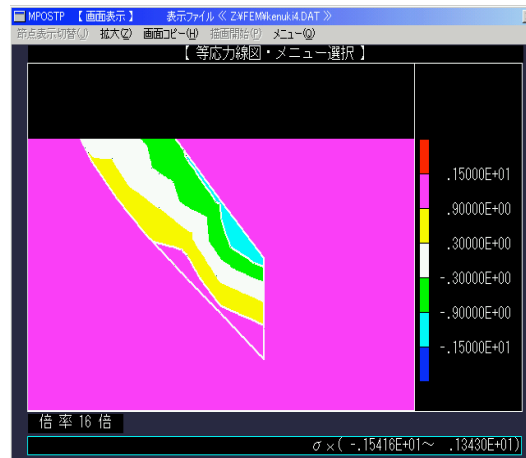


図 8 (b) 先端の等応力線図

図 8 (a) が示すように、「毛抜き」の太さが厚くなると、変形量は少なくなる。しかし、図 8 (b) が示すように応力面から見ると、「毛抜き」の内側には圧縮応力がかかるが、外側には逆に引張り応力がかかってしまう。その分、「毛抜き」としては優れていない。

・解析モデル③

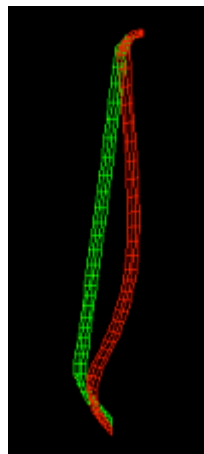


図 9 (a) 変位図

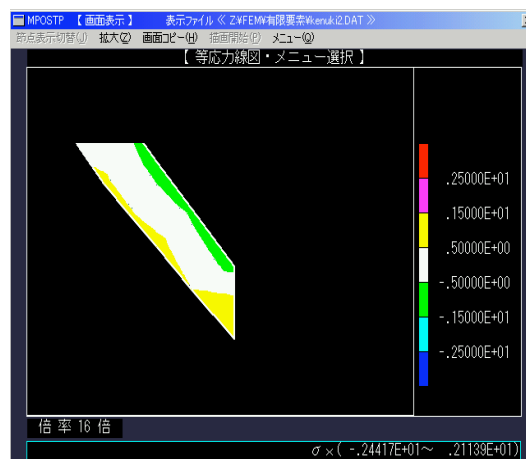


図 9 (b) 先端の等応力線図

このモデルは、荷重のかかる作用点のみを太くし、その他は変化させていないモデルである。図 9 (a) が示すように、作用点を太くしたために全体の変位

量は少しずつ減っているが、図 9 (b) を見ればわかるように、先端にかかる圧縮応力は内側のみとあまりかかっていないため、まだまだ「毛抜き」の最適形状とはいえない。

・解析モデル④

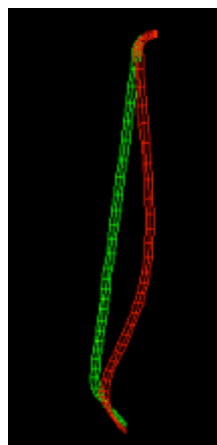


図 10 (a) 変位図

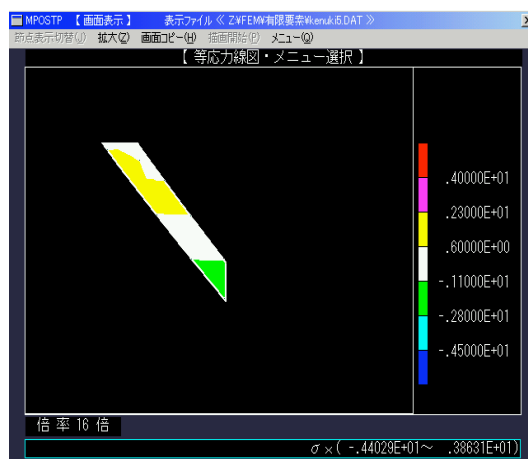


図 10 (b) 先端の等応力線図

このモデルは先端のみを細くし、その他はそのままにしたモデルである。図 10 (a) のように、先端を細くするとなぜか変位量はかなり大きくなってしまった。しかし、図 10 (b) が示すように先端にかかる圧縮応力はほぼ先端全域に渡って大きな値がかかっているのがわかる。

・解析モデル⑤

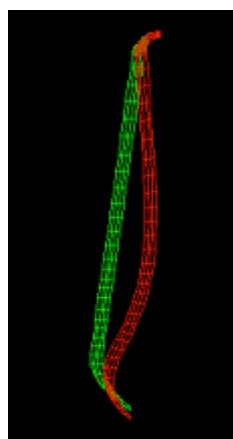


図 11 (a) 変位図

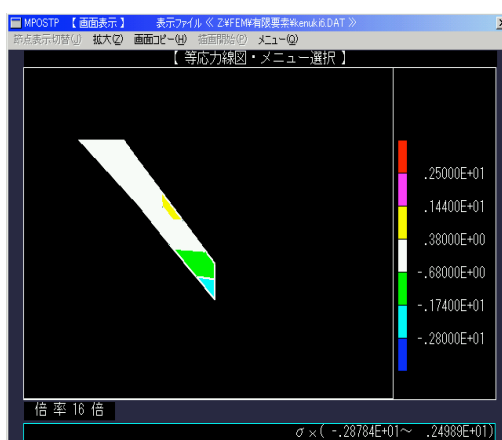


図 11 (b) 先端の等応力線図

この図は、今までのモデル①～④までのことを踏まえ、作成した「毛抜き」の最適形状に最も近いモデルである。荷重のかかる作用点を太くし、変位量をへらし、先端を細くすることで、圧縮応力がほぼ全域にかかるようにしてある。それは、図 11 (a) (b) から見ても明白であり、この形を煮詰めていくことで、「毛抜き」の最適形状が得られるのではないかとと思われる。

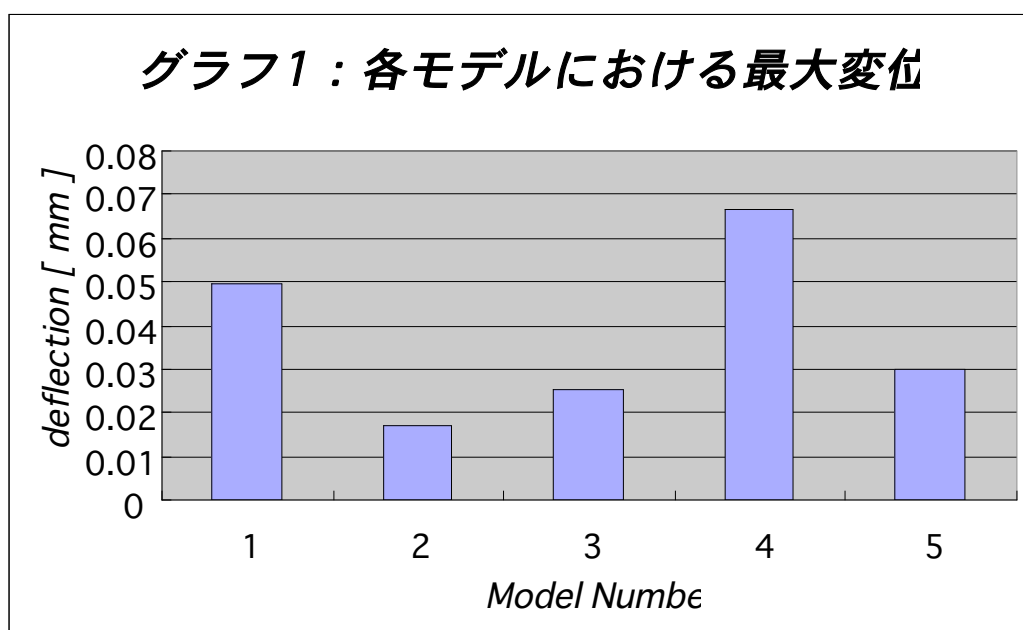
ここで、各モデルの解析値を表にしてみる。

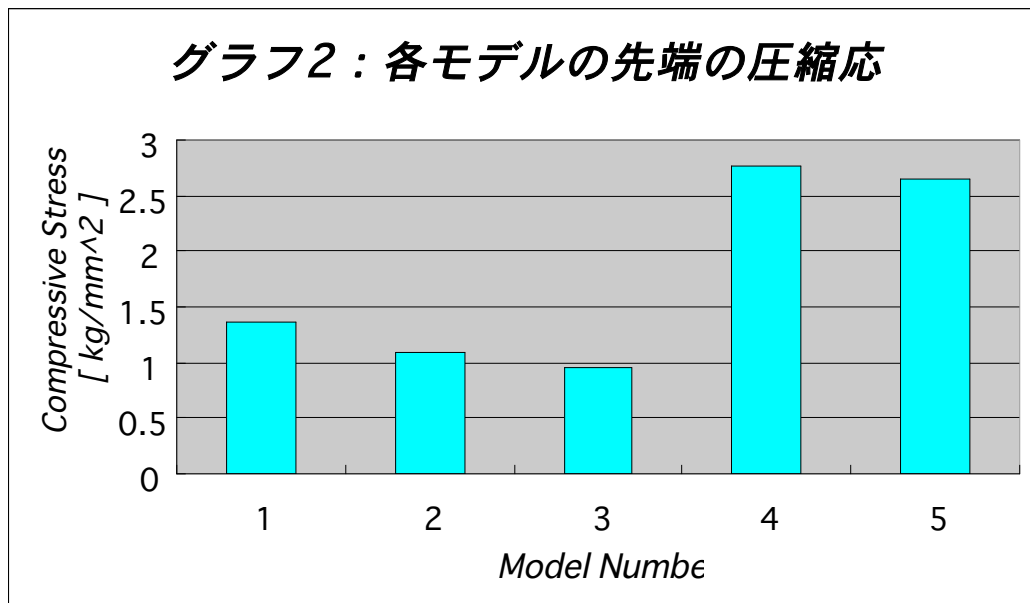
表 2：各モデルの最大撓みと先端にかかる最大引張・圧縮応力

	最大撓み[mm]	最大引張応力[kg/mm]	最大圧縮応力[kg/mm]
解析①	0.0493	2.84	3.25
解析②	0.0171	1.34	1.54
解析③	0.0252	2.11	2.44
解析④	0.0667	3.86	4.40
解析⑤	0.0298	2.49	2.50

表 2 を基にして、作用点における最大たわみ、先端における最大圧縮応力を各モデルごとにグラフにして比較してみた。

★ 解析結果の総括・まとめ





基本的に理想形状の「毛抜き」は荷重点における最大変位量が少なく、なおかつ先端における圧縮応力が大きいものであると考える。そのため、二つのグラフを照らし合わせ、グラフ1の値が小さく、グラフ2の値が大きいものが理想的な形状に近いものというわけである。

今回の解析モデルの中では、解析モデル②が最も変位量は少なく、解析モデル④が最も圧縮応力は大きい。しかし、二つのバランスが最も良いのは解析モデル⑤ということが読み取れる。

5、考察

まず、解析モデル①・②について考察してみる。この「毛抜き」の形状は、最も普及しているオーソドックスな形であるが、力をかけた時の直線部分の変形量は①の方が大きく、②の方が小さい。しかし、先端にかかる圧縮応力は、厚みの薄い①の方が②に比べ大きい。

これを部分的に調べてみようと思い作成したのが解析モデル③・④である。解析結果は思ったとおり、力をかけた作用点の部分を厚くした③は変形量が少なく、「毛抜き」の先端の板厚を薄くした④では、先端の部分にかかる圧縮応力が大きくなった。

これらを、総合的にまとめたものが解析モデル⑤であり、理想的な「毛抜き」に今回のモデルの中で最も近いモデルでもある。他のモデルに比べて、先端に

応力が集中し、変形が少ないというバランスが取れている。

よって、結論としては、作用点（力をかける部分）の板厚を厚くし、毛をはさむ場所、いわゆる「毛抜き」の先端の部分は板厚を薄くしたものが理想的な形状であることが分かった。

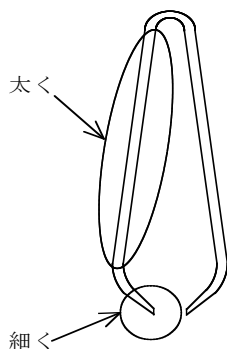


図 12 理論上の最適形状

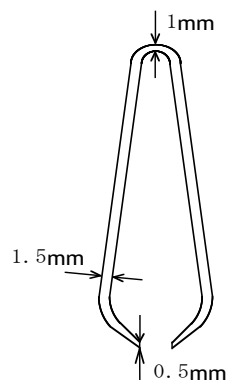


図 13 解析モデル中での最適形状

6、結言

今回、「毛抜き」の応力解析を行って「毛抜き」にどのような力が加わっているのか少し理解することができた。しかし、今回の実験では二次元ということもあり、現実には立体である「毛抜き」の解析は、「力のかけ具合」、「奥行き」など仮定による部分が大きく、必ずしも正確に近い値は算出できていないと考えられる。

それにしても、「毛抜き」にかぎらず、身近なもので理論値を導きにくい物体を近似して、解析できる有限要素法のおもしろさ、すごさを知ることができ、それを体験したことはとてもいい経験であると思う。

本当に有意義な授業であった。