

## 第24回 皿ばね

日本発条(株) 北村 好一

皿ばねとは、円盤の中心に穴をあけたリングを円錐状に成形した、文字通り皿形をしたばねである。

ばねの使い方は、外周と内周に荷重を加えて円錐高さを低くする方向にたわませ、ばね作用を得ている。

### 1. 皿ばねの特徴と用途

#### 1.1 皿ばねの特徴

- \*荷重方向には比較的小さなスペースで大きな負荷容量が得られる。
- \*有効高さ(h)／板厚(t)を適当に選択することにより、様々な荷重特性が得られる(図1.1参照)。
- \*並列・直列など複数の皿ばねを組み合わせることで、広範囲の荷重特性が得られる(図1.2参照)。

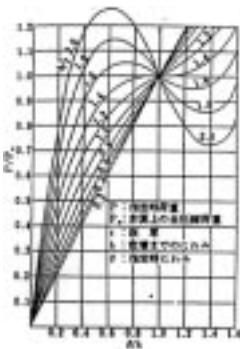


図1.1 荷重特性

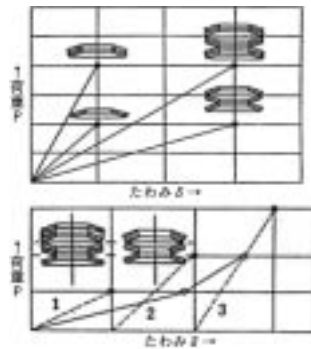


図1.2 組み合わせによる特性

#### 1.2 皿ばねの用途

- \*自動車クラッチ・ATミッションなどの、加圧・予圧・クッション用(動的・静的使用)
- \*油圧ピストンなどの復元用リターンコイル(動的使用)
- \*ビル・橋などの振動・衝撃吸収用(静的使用)
- \*ボルト用座金などの軸回り(静的使用)

### 2. 皿ばねの設計

#### 2.1 皿ばねの材質

用途により様々な材料が使われるが、加工性・強度・入手性・価格などの面から、SK-5.SUP等の炭素鋼が最も一般的である。

耐食性・耐熱性等を要求される場合は、SUS301・304・631、インコネル材なども使用されるが、ステンレス鋼は材料の異方性のため、加工精度を出しにくいので注意を要する。

#### 2.2 荷重特性

##### (1) h/tによる特性

皿ばねは板厚tと有効高さhとの比h/tにより荷重特性が変化する(図1.1参照)。

h/tが約1.4で荷重が一定になる定荷重型の特性が得られ、それ以下(h/t<1.4)では直線的、それ以上(h/t>1.4)では放物線の特性となる。

h/t>2.5以上では、反転現象を起こす可能性があるため注意が必要である。

##### (2) 組み合わせによる特性

皿ばねは組み合わせの方法により、いろいろな荷重特性を得ることが出来る(図1.2参照)。

- ①並列；単体と比較すると、同じたわみに対して荷重がn倍となり、同じ荷重に対しては、たわみが1/n倍となる。
- ②直列；単体と比較すると、同じたわみに対して荷重が1/n倍となり、同じ荷重に対しては、たわみがn倍となる。
- ③直列・並列組み合わせを併用することも可能である。

##### (3) 組み合わせ設計時の注意事項

- ①組み合わせで使用する場合、皿ばね同士の軸がずれないように内径あるいは外径側にガイドが必要である。ガイドの寸法は、出来る限りクリアランスの小さい方が望ましいが、皿ばねはたわむ際に内外径が変化するので干渉しないよう設計する必要がある。
- ②直列使用の場合、h/t>1.4のものを重ねると、個々の皿ばねの荷重特性のばらつきにより、弱いばねが強いばねに負けてジャンピング現象を起こすことがある。
- ③並列使用の場合、個々の皿ばね同士の板間摩擦により大きなヒステリシスを生じる。このヒステリシスは並列枚数が多いほど顕著に出る。

また、直列使用の場合でも大きくはないが、ガイドとの摺動があるため、やはりヒステリシスを生じる。

ヒステリシスを軽減する方法として、固体潤滑等の表面処理を採用することもある。

#### 2.3 皿ばねの許容応力

皿ばねは断面4隅に最大応力が発生する。

たわみが小さいうちは、内外周上縁に圧縮応力、内外周下縁に引張応力が働くが、形状・使用方法などにより、引張・圧縮の向きは異なる。また、応力はたわみに対して、直線的には変化せず引張・圧縮の向きも変化するので注意が必要である。

##### (1) 静的使用の場合の許容応力

静的使用の場合、「へたり」を考慮し応力を設定すればよい。

一般に圧縮応力は1,800N/mm<sup>2</sup>以下、引張応力は降伏点以下に抑えればよい。ただし、へたり規格がある場合は、使用環境・へたり規格により個々に設定する必要がある。

##### (2) 動的使用の場合の許容応力

動的に使用する場合は、静的に使用する場合とは異なって「疲労特性」を考慮する必要がある。ばねの一般的なS-N線図と同じく引張り側の平均応力・応力振幅が問題になる。

皿ばねの応力はたわみに対して直線的には変化しないので、使用範囲で平均応力・応力振幅とも変わり、疲労特性も大きく異なってくる。また形状によって、たとえばスリットのある皿ばねなどはレバーの影響などにより、実応力との誤差がでるため一概には評価できない。したがって、疲労特性が問題になる場合には安全率を見きわめる実評価が必要である。

図2.1に一般的な皿ばねの1×10<sup>6</sup>回の疲労限度を示す。

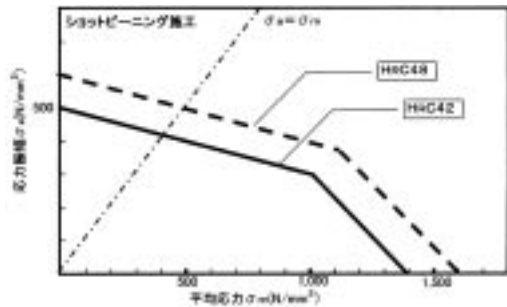


図2.1 1×10<sup>6</sup>回疲労限度線図

(3) 応力を考える上での注意事項

① 皿ばねの応力変化は、たわみに対して複雑であり動的に使用する場合はとくに、使用範囲全体にわたり計算確認が必要である。使用範囲の両端のみで応力を判断するのは危険である。できれば安全を見て両側に余裕をとって計算確認のこと。

② 寿命に関しては、ドイツ規格(DIN)などに板厚別に疲労限度線図が明記されているが、応力の集中する端部の処理、スリットの有無、ショットピーニングの有無などにより大きく異なるため十分な注意が必要である。

硬さをUPさせることも、寿命向上の一方策であるが、欠陥に対して敏感になるので、工程設定・製造工程の管理に十分な注意が必要になる。

③ 寿命・へたりに対しては、通常のばねに有効な向上対策はすべて皿ばねにも有効である。

へたりの量は、材質・締付け応力・温度・時間等により大きく異なり、必ず現物での評価確認が必要である。図2.2にへたりの(有効高さの損失)と温度の一例を示す。

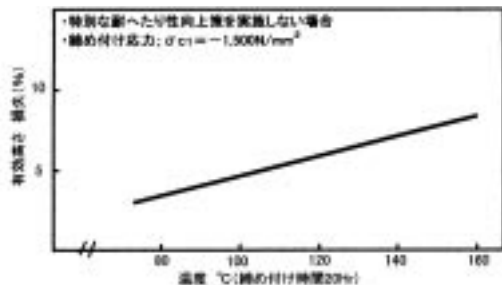


図2.2 へたりの(有効高さの損失)と温度

2.4 皿ばねの荷重計算式

一般には、下記のようにアルメン・ラロスの近似式が使用される(図2.3 参照)。

- 仮定条件；(a) 断面の変位角φは小さい。  
 (b) たわみを生じた場合でも断面形状は変化しない。  
 (c) 負荷および支持は円周上一様な分布で行われる。

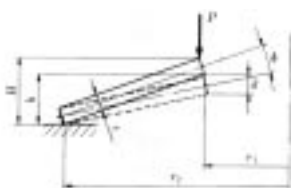


図2.3 皿ばねの形状

(1) 皿ばねの荷重計算式

$$P = \frac{C_1 C E t^4}{r_2^2}$$

$$C = \left( \frac{\alpha + 1}{\alpha - 1} - \frac{2}{\log \alpha} \right) \pi \left( \frac{\alpha}{\alpha - 1} \right)^2, \quad \alpha = \frac{r_2}{r_1}$$

$$C_1 = \frac{\delta}{(1 - \nu^2)t} \left\{ \left( \frac{h}{t} - \frac{\delta}{t} \right) \left( \frac{h}{t} - \frac{\delta}{2t} \right) + 1 \right\}, \quad \nu: \text{ポアソン比}$$

(2) 皿ばねの応力計算式

内周上縁接線方向の応力  $\sigma_{c1} = -K_{c1} \frac{E t^2}{r_2^2}$  (通常圧縮応力)

外周上縁接線方向の応力  $\sigma_{c2} = -K_{c2} \frac{E t^2}{r_2^2}$  (通常圧縮応力)

内周下縁接線方向の応力  $\sigma_{t1} = -K_{t1} \frac{E t^2}{r_2^2}$  (通常引張応力)

外周下縁接線方向の応力  $\sigma_{t2} = -K_{t2} \frac{E t^2}{r_2^2}$  (通常引張応力)

$$K_{c1} = \frac{C \delta}{(1 - \nu^2)t} \left\{ C_2 \left( \frac{h}{t} - \frac{\delta}{2t} \right) + C_3 \right\}$$

$$K_{c2} = \frac{C \delta}{(1 - \nu^2)t} \left\{ C_4 \left( \frac{h}{t} - \frac{\delta}{2t} \right) + C_5 \right\}$$

$$K_{t1} = -\frac{C \delta}{(1 - \nu^2)t} \left\{ C_2 \left( \frac{h}{t} - \frac{\delta}{2t} \right) - C_3 \right\}$$

$$K_{t2} = -\frac{C \delta}{(1 - \nu^2)t} \left\{ C_4 \left( \frac{h}{t} - \frac{\delta}{2t} \right) - C_5 \right\}$$

$$C_2 = \left( \frac{\alpha - 1}{\log \alpha} - 1 \right) \frac{6}{\pi \log \alpha}, \quad C_3 = \frac{3(\alpha - 1)}{\pi \log \alpha}$$

$$C_4 = \left( \frac{\alpha - 1}{\log \alpha} - \alpha \right) \frac{6}{\alpha \pi \log \alpha}, \quad C_5 = \frac{3(\alpha - 1)}{\alpha \pi \log \alpha}$$

実際の皿ばねは、プレス加工で製造されることが多く、計算値と実測値に差が出るがよくある。この差を小さくするために、打抜きによるダレ・抜きテーパやパレルでの丸みを加味し、計算する必要がある。

3. 皿ばねの使用例

3.1 自動車クラッチに使用される皿ばね

自動車用クラッチとはエンジンの回転トルクを変速機に伝えたり、遮断したりする装置である。近年では、AT車が多くなり、クラッチのある乗用車は減少しているが、乗用車に最も多く用いられているクラッチが皿ばねを使用した乾式単板ダイヤフラム式である。

皿ばねは、小さいスペースで大きな力を出すことができ、1枚で圧力板全体に均一な荷重を付加することができる。また、円形のため高速回転時にもバランスや強度面でも有利である。

3.2 熱膨張・収縮を吸収する組み合わせ座金

自動車エンジンまわりなど、熱履歴がかかる環境で部品同士をボルトで締結した場合、ボルトと部品の熱膨張の差によって緩みが発生することがある。通常の座金ではストロークが足りず緩みが発生してしまうが、直列3枚の皿ばねを採用することによりストロークを稼ぎ、熱膨張による緩み防止をした例などがある。

皿ばねが使用される理由としては、限られたスペースで大きな荷重が得られることが挙げられる。

(参考文献)

ばね；日本発条株式会社 編