

『バネの基礎知識』

1. バネとは

バネとは金属やゴムなどの材料が持っている弾性(弾性限界が高いほど良い)を、より有効に利用できるような形にしたものである。しかも変形を受けても元の形に復元する十分な強さを有している。

バネの機能には次の三つがある。

- ①荷重の増減によってたわみが増える。
- ②エネルギーを吸収・蓄積する。
- ③振動・衝撃を緩和する。

荷重とたわみの関係は、通常の圧縮・引っ張りバネのように荷重を受けた時直線的に変化するものが多い。また、皿バネのように非線形の特徴を示すものもある。

バネは機械の特性に合致するよう自在に設計できるため、必要な機能を満たすため無理な設計仕様になり易い。そのため、バネが高価になったり、トラブルを発生し易くなることもある。本章では、利用頻度の高いコイルバネを中心に解説する。

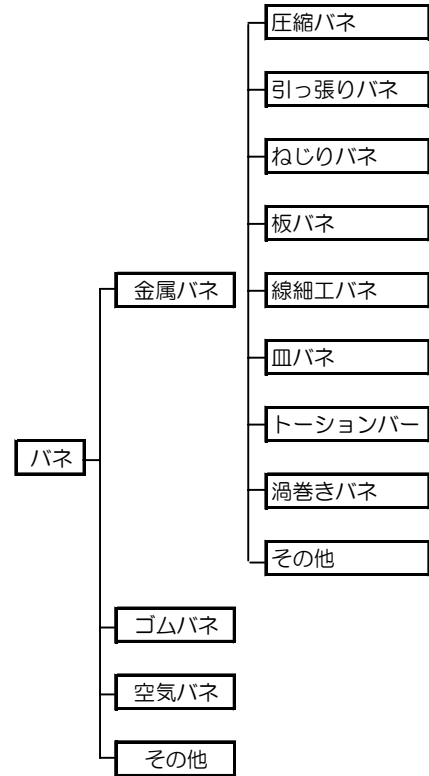
2. バネの種類

バネは使用条件に応じ、必要なバネ定数を与え、使用中起こりうる最大の負荷または繰り返し荷重に対し適当な安全率を見込み、バネの占める空間を考慮しながら形式、大きさ、寸法を決める。

バネの分類方法はいろいろあるが、ここでは形状による分類を[Fig1]に示す。

金属バネの代表格がコイルバネで、圧縮バネ、引っ張りバネ、ねじりバネがある。コイルバネは低価格でコンパクトなどの利点から最も広い用途に使われている。フック部や座巻き部を除いて均等な応力がかかるため、板バネなどより材料の利用効率が高い。

Fig1 バネの一般分類



3. 代表的なバネの特性・特徴

《圧縮バネ》

(特性・特徴)

バネの中では最も機械に多く用いられる。その理由は下記に挙げられる。

- a) 形状が割合小さくまとまり、製作費が安価。
- b) 引っ張りバネと異なり、端末部は応力集中点が無い。
- c) 全圧縮になった状態が起こっても、ある程度自動的にストッパの役目もする。(設計上このような状態にならないよう考慮していたにもかかわらず生じた時)
- d) 折損しても引っ張りバネと異なり、直ちに機能を完全に失わず、折れ方次第では不完全であるが、ある程度急的に耐え被害を少なく出来る。

[Fig2]に圧縮バネを示す。

(使用上の注意事項)

巻き数 有効巻き数は3巻き以上が望ましい。3巻き以下の場合、理論値と誤差が生じ易くなりバネ定数の指定は現実性が無い。また、1.5巻き以下は形状的に不安定になり製作が困難になる。また、荷重の偏心が生じ、局部応力集中による早期折損につながり易い。

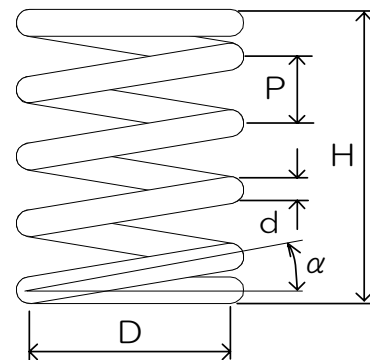
端部の形状 座巻きはクローズエンドが一般的で一巻きが望ましい。3/4巻きや1/2巻きは製作上一定形状にし難く特性が不安定になる。座巻き部の研削が必要かどうかは密着長、傾きなどの使用状態による。 unnecessary grinding is cost high. Generally, for wire diameter 0.5 mm or less, grinding is not performed. For wire diameter 0.5 mm or more, grinding may be unnecessary depending on the index.

密着長 バネの密着高さ以下で荷重指定していないか常に注意する。

巻き方向 バネ製作上右巻きが一般的であるが、傾きを重視して研削を行うバネなどは左巻き有利な場合もある。組み合わせバネはどちらかを反対方向に指定する。

傾き(直角度) 傾きは一般的に3°以下である。しかし、ピッチの粗いバネや縦横比(自由高さ/コイル平均径)が4以上のバネについては3°以下では製作が困難になる。有効巻き数が1.0巻きなどの整数巻きよりは1.0、5巻きのような半巻きの方が直角

Fig2 圧縮バネ



- P : ピッチ
- H : 自由高さ
- d : 線径
- D : コイル径
- α : ピッチ角



バネの基礎知識

版数：00

- ピッチ** 度を安定させ易い。
 ピッチはコイル平均径/2以下が望ましい。ピッチが大きくなるにつれて設計荷重との食い違い、荷重の偏心、圧縮した時に中央部が膨らむなどの問題が生じ易い。ピッチ角は10°以下が良い。
- バネ指数 (D/d)** D/d は製作上4~30程度まで可能であるが、品質安定性の点から考えて8~14の範囲にするのが望ましい。
- 縦横比 (H_f/D)** H_f/D が大きくなるにつれ座屈が生じ易くなるため、一般的に4以下が望ましい。設計上 H_f/D が大きくなる場合は装置上で内径に案内棒を用いるか、外径側にケースを用いた構造にした方がよい。
- 内外径の指定** 圧縮コイルバネは厳密には胴部を絞って製作できる。そのため、径寸法は内径と外径のいずれが管理ポイントであるかを指示すること。単なる中心径Dを指示したのでは意味が無い。

**《引っ張りバネ》
 (特性・特徴)**

引っ張りバネはコイルバネの中では圧縮バネに次いで広く使用される。冷間製造法で製造した場合、初張力を有すること、フック部に応力集中とたわみが発生することである。
 引っ張りバネの特徴としては下記が挙げられる。
 a) 製作費が高い。
 b) 端末の処理が面倒である。
 c) 弾性限界を超えるような過荷重を受け易い。
 d) 破損した時、直ちに機能を失い、被害も大きい。
 [Fig3]に引っ張りバネを示す。

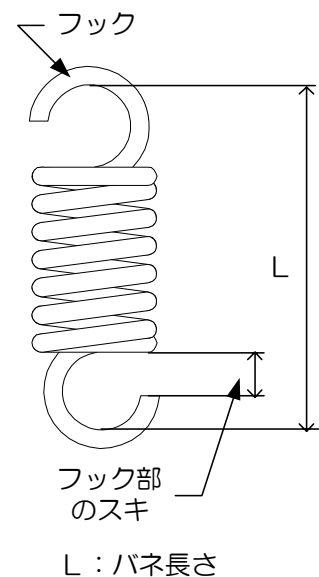
《使用上の注意事項》

- 初張力** 引っ張りバネ特有の項目で、荷重がある値を超えたところから所要のバネ作用を発揮する。この臨界値を初張力と呼んでいる。
 初張力は冷間バネ成形で密着巻きされると、ねじれから密着しようとする力が素線相互に働くため生じる。一般的にバネ指数が大きくなるほど初張力は小さくなるが、ゼロに近いバネの製作は極めて困難であるため、そのような設計はしないこと。逆に初張力を非常に高く設計したバネは「高初張力バネ」として一部のメーカーが製作している。
- 巻き数の指定** 特に巻き数が10巻きより多い場合は、線径許容差により全長に誤差が生じる。したがって、バネの巻き数は参考程度に考えて、バネの全長を重視するのが望ましい。
- フックの形状** フックの形状はJIS B 2704に定められている。複雑な形状にすれば応力集中が生じ、成形時に折損などの問題が起きるので簡単な形状が望ましい。また、フック径を体長部のコイル径より大きくすると、フックにへたりが生じ易い。よって、フック径と体長部径は同一にするのが望ましい。
- フック部のスキ** 設計段階においてフック部にスキを設けるか否かは、後工程のコストに与える影響が大きい。フック部にスキがあるとバネとバネが「からみ」特に量産の場合バネを分離する作業が必要となる。しかし、フックにスキが無いと板金の穴などにフックを引っかける際にフックを変形させて引っかける必要があり、強度上、組立上問題が発生する。この場合は組立部門と調整すべきである。
- 適正たわみ範囲** 引っ張りバネのたわみの範囲は、バネの体長部の2倍までが一般的である。
- フックの位置** 荷重特性を安定させるため、フックはコイル中心に位置するのが良い。

**《ねじりバネ》
 (特性・特徴)**

ねじりバネはバネの軸線上の周りにねじりモーメントを受けるコイルバネである。圧縮・引っ張りバネは主にねじり応力を受けるが、ねじりバネは曲げ応力が主である。素線に曲げ応力を生じるコイルバネでは長方形断面の方が材料効率は良い。但し、円形断面素線の方が入手性に富み、ねじりバネも丸線が標準である。JISでも丸線で設計基準が決められている。

Fig3 引っ張りバネ



(使用上の注意事項)

巻き数 設計値と実際値の食い違いを小さくするため、巻き数を3巻き以上にするのが望ましい。

トルク負荷方向 ねじりバネは巻き込む方向に負荷が加わるように使用する。巻き戻す方向に負荷を加える場合はトルクが設計値より全般に小さくなる傾向がある。さらに、バネ内径側の引っ張り残留応力が加算され、早期折損の要因となる。設計上やむを得ず巻き戻す方向に使用する場合は、低温焼き鈍しを普通より高目の温度で長時間行うようにするのが良い。

負荷によるバネ形の変化 巻き込む方向にトルクを負荷するとコイル径は減少し、巻き数は増加する。このため、内径側にシャフトを使用する場合シャフト径は次式で求められた ΔD を元のコイル中心径 D から引いて得た数値の90%値 $(D - \Delta D) \times 0.9$ にすることが望ましい。 $\Delta D = (\Delta n / n) \times D$
 D : 無負荷のコイル中心径
 ΔD : トルクが負荷された時のコイル中心径の減少量
 n : 無負荷時の有効巻き数
 Δn : トルクが負荷された時の巻き数の増加量

バネ特性 ねじりバネの特性は端部の取り付け方法、内径のシャフト径、コイル間の摩擦などの影響で設計値との差異が大きくなり易い。このため精度の必要なバネの場合、管理ポイントや管理方法についてメーカーと打ち合わせが必要となる。

端部の形状 端部形状は必要に応じて種々の形に設計可能である。しかし、形状がバネの寿命を左右したり、大幅なコストアップになり兼ねないので注意を要する。端末の腕を曲げる場合は出来るだけ大きな内R形状(素材径の2倍以上)にするのが望ましい。

ピッチ巻きと密着巻き ねじりバネの巻き方には大別してピッチ巻きと密着巻きの2種類がある。それぞれの長所と短所を[Table1]に示す。

Table1 ねじりバネの長所・短所

ピッチ巻き	密着巻き
加工が困難	加工容易
軸方向のバラツキ出やすい	軸方向のバラツキ少ない
座屈が起こりやすい	座屈が起こりにくい
トルクが正確に出やすい	摩擦のためトルクの誤差出やすい
作動時に軸方向の長さに変化を与えない	作動時に軸方向の長さに変化が出る
組立時に絡みの原因となる	組立時に絡みの原因が少ない

3. バネ材料の選定

金属バネの主要材料として冷間成形用材料と熱間成形用材料の2種類に大別できる。

熱間成形用材料として一般的にはバネ鋼材(SUP)を用いる。これは、約900℃で赤熱しながら成形し、その後じん性と弾性を付与するための焼き入れ、焼戻しを行う。線径が大きいものが主である。

一方の冷間成形用材料は機械設計者にとって、より使用頻度の高い材料である。熱処理と伸線加工により、高いじん性と弾性を付与してからバネ形状に冷間成形する。

冷間成形用の主な材料について下記に示す。

硬鋼線 低価格で利用頻度は高いが、ピアノ線と比べると含有成分にバラツキがあり、非金属介在物などの不純物も多く品質も劣るため信頼性が低い。硬鋼線の材料記号はSWBとSWCの2種類があり、素線の引張り強さはSWCの方が約245MPa大きい。SWCの方が良く使われ、これを一般に「80カーボン」と呼んでいる。

ピアノ線 寸法精度、機械的性質、表面品位、耐疲労性などが優れており信頼性が高い。材料記号はSWP-AとSWP-Bの2種類があり、素線の引張り強さはB種の方が約245MPa大きい。A種は耐疲労性を重視する動的応力バネに、B種は静的応力バネに用いるのが一般的である。

オイルテンバ線 硬鋼線やピアノ線に比べて比抗張力と耐熱性に優れている。しかし、加工性は劣るのでD/dの小さいバネ(4未満)には不向きである。また、水素脆性防止のためメッキや酸洗いは避けるべきである。

ステンレス鋼線 耐食性、耐熱性に優れる。最も汎用性の高い鋼種はSUS304WP-B(硬質仕上げ)である。引張り強さはSUS304WP-A(1/2硬質仕上げ)より約245MPa大きい。

- ・ SUS304は18-8オーステナイト系で本来非磁性であるが、伸線加工によって高強度化すると同時に弱磁性となる。
- ・ SUS316WP-AはMoを添加して耐食性をより向上させたもので非磁性である。ノイズ対策を考慮する必要がある場合は有効である。非磁性体は周辺の磁場が消失した後で磁性が残らず周辺にノイズ影響を与えることはない。



バネの基礎知識

版数：00

- ・ SUS 631J1WP-C (17-7PH) はアルミニウムを添加した析出硬化型で耐熱性が優れている。強度はステンレス線とピアノ線の間位置し、耐食性、耐熱性と共に強度を必要とする用途に適している。

銅合金線 黄銅線、リン青銅線、洋白線、ベリリウム銅線、チタン銅合金線などがあり、鋼線に比べてコストが高いうえ、バネとして必要な弾性限や弾性係数が低い。しかし、**電気伝導性、非磁性、耐食性、加工性に優れておりこれらの特性を必要とするバネに使用される**。最も一般的な銅合金線はリン青銅線である。

特殊バネ材料

金属被覆線 (プリコーティング線) : 母材 (SW、SWP) にニッケル、亜鉛、Al などなどをプリコートして伸線したものの。バネ成形後のメッキ工程を省力化するのが目的である。また、導電性を付与するために銅を被覆した「CP線」(商品名)がある。

カラーステンレス鋼線 : 類似した数種類のバネを同一ラインで使用する場合色別管理上効果的である。標準色として赤・青・緑・黄・黒がある。

クラッドワイヤ : ステンレス鋼線の中心に銅を配したもので、ステンレス鋼の特徴 (強度、耐食性、耐熱性) と銅の特徴 (導電性) を併せ持つ材料である。前述の銅被覆線の問題になる緑青の発生が無い点は有利であるが、材料コストは高くなる。

耐熱バネ材料 : オイルテンバ線や SUS 304、SUS 631J1 より、さらに耐熱性が必要な場合超合金性の耐熱バネ材料を使う。種類として、Fe (鉄) 系の A286 (SUH660)、Ni (ニッケル) 系の「インコネル X-750」「インコネル 718」、Co (コバルト) 系の「Phynox」などがある。

恒弾性バネ材料 : 一般に弾性係数は温度が上昇するにつれて小さくなる。ところが弾性係数が $-46^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ の温度範囲でほとんど変化しない材料があり、これを恒弾性バネ材料という。精密設計が必要となる場合に用いられる「Ni-span C」(商品名) が代表的な材料である。

一般的には鋼は低温になるほど硬化し、脆くなる。低温域用のバネ設計ではこの低温脆性という現象に注意する必要がある。対策として、オーステナイト系の SUS 304 や、Ni 基配食合金の利用が考えられる。

【参考文献】

- 1) メイテック設計ノウハウデータベース委員会、デザイン A to Z、日経メカニカル (1988 年 11 月 14 日号)
- 2) メイテック設計ノウハウデータベース委員会、デザイン A to Z、日経メカニカル (1988 年 11 月 28 日号)
- 3) 宗 孝、使用実績に基づく機械設計の実用設計、日刊工業新聞社

