

第21回 竹の子ばね

東海パネ工業(株) 志水 友之

1. はじめに

竹の子ばねとは、長方形断面の板を円すい状に巻いたもので竹の子のような形状をしたばねである。板厚1mm以下のものから厚いもので32mm程度のもので、大小様々である。荷重は大きいもので500kNのものまである。



図1 竹の子ばね

2. 竹の子ばねの特徴

(1) 荷重特性は円すいコイルばねのように非線形で圧縮すると、あるポイントまでのばね特性は直線となるが、途中より有効コイル部が支持面に接着し始め、有効巻数が減少することにより、ばね定数が増大する。

(2) 竹の子ばねは他のばねと比較して、占める空間容積に対して大幅に大きな荷重、吸収エネルギーを得ることができる。そのため、様々な衝撃荷重緩衝装置用として適したばねである。

(3) 取付が容易という形状的なメリットがあるばねである。一般的に内径に軸が入り、下部外径にガイドが入り機器に組み込まれる。

3. 使用例

衝撃エネルギーの吸収装置や、高荷重の保持を必要とする様々な産業機械装置に竹の子ばねが使用されている。

(1) ばね式ストッパー（重量物搬送時ストッパー装置）

製鋼メーカーなどでは、何トンもの重量物が速いスピードで各工程間を搬送されます。速いスピードで搬送された重量物を到達時に止めるばね式ストッパーに、竹の子ばねがその利点を生かして多く使用されている。

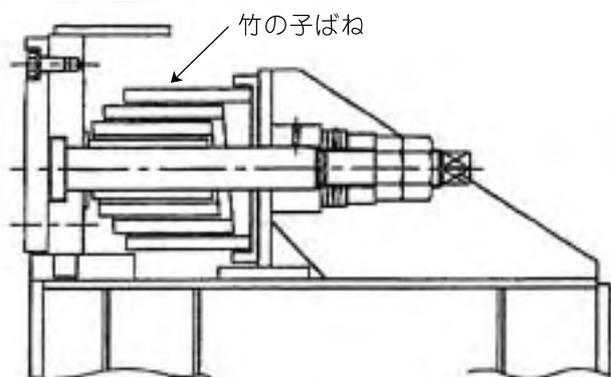


図2 ばね式ストッパーの一例

(2) コンベア保護装置

製鋼、建設土木関係などコンベアで重量物を搬送時に搬送物の衝突エネルギー吸収装置や、コンベアよりの落下物のエネルギー吸収装置に使用されたり、図3のようにシフトブルコンベアの車輪締結装置に竹の子ばねの高荷重保持力を利用して使用されたりする。

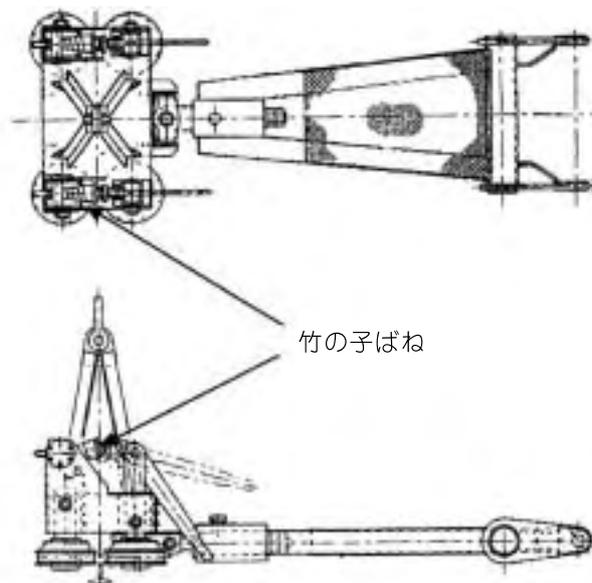


図3 コンベアの車輪締結装置

(3) 巨大クレーン

製鋼所では巨大製鋼クレーンで鋼塊や銑鉄などの重量物を搬送する。そのような巨大クレーンには緩衝装置や強力な挟み装置がついている。それらの装置には図4のように板厚30mm程度の巨大竹の子ばねが複数個取り付けられて、衝撃荷重などの緩和や重量物を強力に把握するなどの目的で使用されている。



図4 巨大クレーン竹の子ばね装着部分

4.設計のポイント

(1)ばね定数、応力の求め方

図5の記号を参考に、 α :ピッチ角、 ξ :修正係数、 H_f :自由高さ、 Na :有効巻数、 G :横弾性係数、 R_1 :有効コイルの最小平均半径、 R_2 :有効コイルの最大平均半径、 P :荷重、 δ :たわみ、などを定義すると、

$$\alpha = \frac{H_f - b}{Na \cdot \pi (R_1 + R_2)} \quad \xi = \frac{1}{3} \left(1 - 0.63 \frac{t}{b} \right) \text{ となり、}$$

接着開始時までのばね定数 k は、

$$k = \frac{2G \cdot b \cdot t^3 \xi}{Na \cdot \pi (R_1^2 + R_2^2) (R_1 + R_2)}$$

接着開始後のばね特性は、

$$Rs = \sqrt{\frac{\xi \cdot G \cdot b \cdot t^3 \cdot \alpha}{P}}$$

$$\delta = \frac{Na \cdot \pi}{(R_2 - R_1)} \left\{ (R_2^2 - Rs^2) \alpha + \frac{Rs^2 - R_1^4}{2G \cdot b \cdot t^3 \xi} P \right\}$$

$$\text{応力 } \tau = \left(1 + \frac{t}{2Rs} \right) \frac{Rs \cdot P}{\xi \cdot b \cdot t^2} \text{ と表される}$$

通常、セッチング応力は1000~1200N/mm²で設定する。

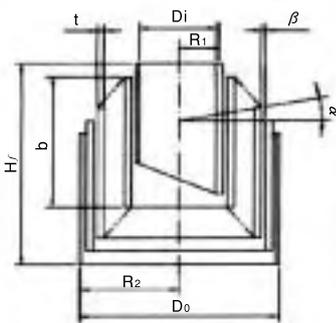


図5 各部の記号

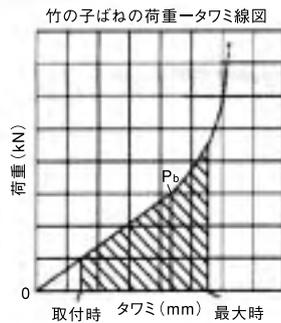


図6 ばね特性

(2)材質

板厚が薄いものはSK材、板厚が厚いものはSUP材を使用する。板間隙 β は $1+0.1t$ 以上必要である(t :板厚)。内径側、外径側端部の板の厚みは約 $0.25t$ とする。

(3)用途別設計

荷重特性は図6のように、あるポイントよりばね定数が増大していく特性を有効に利用する。

①緩衝装置用

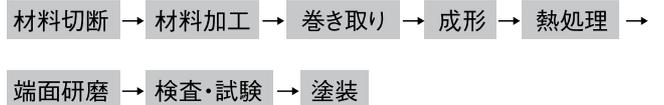
図6の斜線部の面積(kN・mm)がばねの取付時~最大時の吸収エネルギーとなる。ばね特性が直線となるところから接着開始(P_b)までの特性を利用し、コンパクトな緩衝装置を実現する。

②高荷重作動装置用

与えられたスペース内で高荷重が必要な装置類に使用する場合では、竹の子ばねの高荷重が増大する接着開始後のばね特性を利用し、竹の子ばねの性能を最大限引き出す。

5.製造のポイント

オーダーメイドの受注生産品、熱間巻き取り品製作については、自動機で量産のできないばねであるため、職人の匠のわざの製造技術に依存している。製造工程は以下ようになる。



(1)材料加工

竹の子ばねの材料展開図は図7の通りでA部、B部はばねの座面となる。内端、外端座巻部C部は図のように鍛造または機械加工によってテーパ状に加工する。

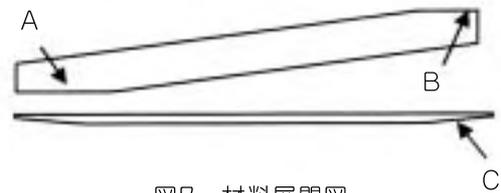


図7 材料展開図

竹の子ばねの板間の隙間が小さい場合および板幅が広い場合は、巻き取り時に反りが生じ、緩衝装置用として使用する場合にエネルギー吸収の障害となるので、この対策として巻き取り時に反る方向と逆方向に、鍛造時に反りをつけておき、巻き取りの反りを相殺させる。

(2)巻き取り

芯金式コイル機で熱間巻き取りする。内径側端部を完全な円弧に成形するため、内径側になる方の端から1/3程先に巻き込みを行った後、先曲げ治具を取り外し、巻き取り用治具で残りの巻き取りを行う。

板間ピッチが広い設計の場合は、巻き取り時に木の板や砂などを一緒に巻き付けて広いピッチに成形する。

6.おわりに

竹の子ばねは日本の製鋼メーカーなど重機械工業の設備機械に据え付けられて日本の産業の発展の一翼を担ってきており、今後も必要なばねである。

設計技術は確立されているが、製作については材料の加工も含め、自動機械で製作できないばねである。職人の技術に依存している手作り品で、その製造技術の継承を現在重要なポイントとして取り組んでいる。