

第17回 空気ばね

三菱製鋼(株) 早坂 善広

1. はじめに

空気ばねは1847年にアメリカで考案され、第二次世界大戦中に実用化された。日本で実用化されたのは1950年代のことで、当時は産業機械用が主であった。その後エア制御システムの発展とともに、高級乗用車や特殊な貨物を運送するトラックのサスペンションや鉄道車輛用の枕ばねとして用途が次第に拡大していった。また産業用としてもその特性の優位性から各種プレス、半導体の生産ラインの防振装置やコンピュータの免震装置などに使用されている。

2. 基本構造と種類

空気ばねはゴム膜とそれを取り付ける金具から構成されており、取付金具は圧力容器の一部としての役割をすると同時に上下のゴム膜を取り付ける機能もある。図1はゴム膜の構造を示しており、内側から内層ゴム、強力なナイロン繊維で補強された中間補強繊維層（通常2層）、そして外層ゴムおよび上下金具に固定される端部にビードワイヤからなっている。

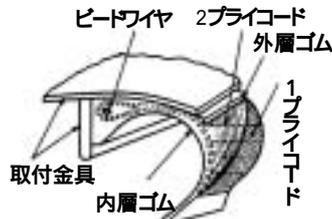


図1 空気ばねの構造

また、種類としてはゴム膜と取付金具の形状により、ローリングローブタイプ（図2、ダイヤフラムタイプ含む）とベローズタイプ（図3）に大別される。

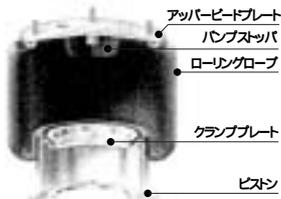


図2 ローリングローブタイプ

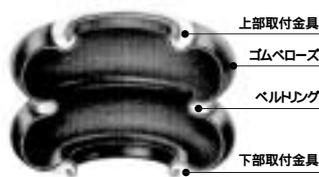


図3 ベローズタイプ

ローリングローブタイプは上部取付金具（アッパービードプレート）、下部取付金具（ピストン）からなり、上下運動したときゴム膜を巻き込みローリングするのが特徴である。ピストンの形状を変えることにより上下方向では種々のばね特性が得られ、コイルばねや板ばねでは得られない特性を出すことも可能である。水平方向のばね特性は直線的で、鉄道車輛用空気ばねはこの特徴を有効に利用した例といえる。またゴム膜の外径側を拘束してないため、ストロークを大きく取れ、かつ水平方向にゴム膜が自由に運動できることから、上下方向の円弧運動（ニーアクション）が可能となるため自動車に多く使用されている。ダイヤ

フラムタイプはローリングローブタイプの外径側を拘束したものである。

一方ベローズタイプは、上下を覆う面板または取付金具とベローズの谷の部分にはめられた中間のベルトリングとから構成されている。山数は1山から4山が一般的で、上下運動で圧縮時に受圧面積が増加し、伸長時に減少する性質があるためばね定数は比較的硬めとなる。山数を増やすことでばね定数を軟らかくできるが、座屈しやすくなるためおのずと限界がある。水平方向のばね定数はゴム膜の剛性に依存するため、この方向の耐久性はあまりよくないが、上下方向の伸縮に対してゴムに無理のない形のため、ゴムが疲労せず耐久性に優れ、一般的には普通の機械の寿命と同じとみなせるほど長い耐久性をもつ。また直径、山数もいろいろのサイズがあり、空気ばね1個で最大20トン以上の荷重を支えることができるものもある。そのため汎用性があることから、空気ばね以外にアクチュエータとしても使用される。

3. 特性と評価試験

空気ばねの特性は内容積 V 、内圧 P 、ピストン形状により決まる。図4は空気ばねに荷重 F が作用した状態を表している。

空気ばねに圧縮空気を封入し荷重 F を支えるとき、上下方向の釣合いから計算上便宜的に使用する面積 A を有効受圧面積といい、1式のように表される。またその直径を有効受圧面積直径 d_w といい、概ねの空気ばねのサイズが決定される。

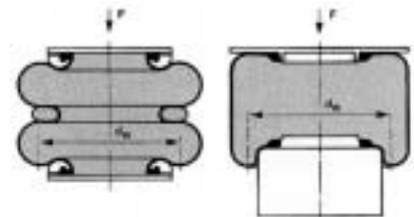


図4 有効受圧面積直径

$$F = pA = p \left(\frac{\pi d_w^2}{4} \right)$$

ばね定数 K は内圧、有効受圧面積 A に比例し、内容積 V に反比例する。そのため空気ばねの圧縮、伸長によりばね定数のパラメータであるこれらの数値が増減するため、様々な荷重 - たわみ特性が得られる。例えばピストンの形状を変えることで有効受圧面積が変化するため、図5のように荷重特性を変更することが可能である。

評価試験はJIS D 4101(空気ばね用ゴムベローズ試験方法) 製品による試験に関してはJASO C 613 - 87(自動車規格トラック・バス用空気ばね) JIE 4206(鉄道車輛両ばね装置)に規格化されている。

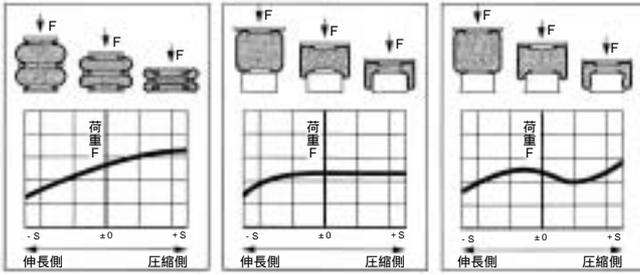


図5 ピストン形状と荷重特性

4. 特徴

空気ばねの主な特徴を以下に示す。

- (1) 空気ばねの設計に際して、ばね高さ、荷重、ばね定数が各々独立して選定できる。空気の容積を調整することでばね定数を変えることができ、内圧によって荷重、ばねたわみが調整できる。
- (2) ばね定数を比較的軟らかくすることができ、固有振動数は一般的に0.7～3.5Hzが可能である。
- (3) 荷重使用範囲を大きく取れる。空気ばねの内圧を変えることで負荷能力を変えることができ、一般的には最大使用可能内圧は7bar程度までとれる。
- (4) 空気ばねの配管に絞りを設けることで、かなりの減衰性が得られる。
- (5) 上下金具のほかに、空気とゴム膜で構成されているため高周波振動を絶縁でき防音効果も優れている。
- (6) 使用例で説明するが、エア制御システムとの組み合わせにより様々な制御が可能である。

5. 劣化と耐久性

空気ばねはゴム製品のためオゾン劣化する(図6)。そのためゴム膜は耐オゾン性を考慮してCr系のゴムを使用しているが、その劣化を防止することはできない。オゾンにより発生した小さな亀裂はその後成長して、内層ゴムまで損傷すると空気もれを引き起こす(図7)。また自動車のサスペンションに使用



図6 オゾンクラック



図7 空気もれ

される場合、足回り故に土砂が取付金具とゴム膜の間隙に侵入し、それが研磨材となりゴム膜を損傷する。前者の対策としては耐オゾン劣化防止剤を塗布し、後者の場合は土砂の侵入を防止するためゴム膜保護用のゴムカバーを取り付ける場合があるが、いずれにしても空気もれが発生する前に定期的に交換することが必要である。

6. 使用代表例

(1) エアサスペンション

図8は大型トラック用エアサスペンションであるが以下にその特徴を述べる。

板ばねに比べて固有振動数を大幅に低減でき、乗り心地向上や荷痛みを防止できる。

エア制御により車高を常時一定に保持できるため、荷箱容量を許容値まで取れ積載効率がよくなる。

停車時に荷台を上下できるため、荷役作業の軽減となるなどの使用者側のメリットが非常に多いため、近年急激に伸長しているが、板ばねが減少している。

(2) リフトアクスル

リフトアクスルとは空気ばねの反力を利用してテコの原理でトラックやトレーラーのアクスルを持ち上げることをいう。リフトされる軸は非駆動軸でかつエアサスペンションでなければならない。また前提条件としては、リフトした場合に軸重オーバーとならないよう車両が空車に近い状態であることが必要である。図9はトレーラーの場合で、日本の高速道路の料金体系からリフトすることで料金が安くなるなどのメリットがある。



図8 エアサスペンション

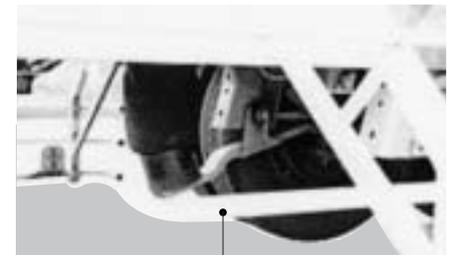


図9 リフトアクスル

い。また前提条件としては、リフトした場合に軸重オーバーとならないよう車両が空車に近い状態であることが必要である。図9はトレーラーの場合で、日本の高速道路の料金体系からリフトすることで料金が安くなるなどのメリットがある。

(3) 鉄道車輛用枕ばね

日本では新幹線で初めて使用され、その優れた特性から現在はほとんどの台車に使用されている。図10はその例で、ゴム球をつぶしたような形状をしており、上下左右いずれの方向のショックも吸収する。

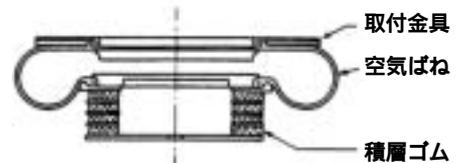


図10 鉄道車輛用空気ばね

7. おわりに

欧米、日本で急激に使用量が増えている空気ばねは、今後BRICsや中近東での伸長が期待されている。今後の課題としては長寿命化である。先にも述べたが空気ばねの弱点は金属ばね以上に環境に弱いということである。最近ではオゾンに強いゴム膜も製品化されており今後が期待される。余談だが、空気ばねに圧力センサーを取り付ければ過積載の防止にもなるのである。