

鉛直免震用円筒ばねの圧縮力—たわみ履歴曲線

崇城大学工学部 片山 拓朗

1. はじめに

筆者は、鉛直免震支承に用いるばね要素として、内側円筒、内側円筒の両端部の外側に摺動嵌合する外側円筒、及び内側円筒と外側円筒の間に形成される可変容積空間に隙間なく押し込まれる中間円筒から成る円筒ばねを提案した¹⁾。可変容積空間の形状は4つの支圧面で囲まれる充実部と空虚部が逆転した中空円筒形である。中間円筒は可変容積空間の支圧面を形成する材料に比べて弾性係数が小さい材料を主要材料として形成されて、中間円筒の表面と可変容積空間の支圧面とが摺接する状態として可変容積空間の中に置かれる。ここでは、縮尺1/10の円筒ばねの試験体を用いた静的圧縮試験により得られた圧縮力—たわみ履歴曲線を報告する。

2. 円筒ばねの基本構成

図-1を用いて円筒ばねの基本構成を説明する。図中の先頭が数字の記号は部材等の照合記号である。本文中では部材等の名称の直後に対応する照合記号を示す。

円筒ばね1は、円環状の内側座面2Aを備える鋼製の内側円筒2、軸8と直交する方向に内側円筒を外側から囲むように在り且つ円環状の外側座面4Aを備える鋼製の外側円筒4、及び内側円筒と外側円筒の間に在る中間円筒3を備える。中間円筒3は外側摺動部材5、ゴム製の円筒6及び内側摺動部材7を備える。内側座面と外側座面はそれぞれ上部構造及び下部構造に接続する。

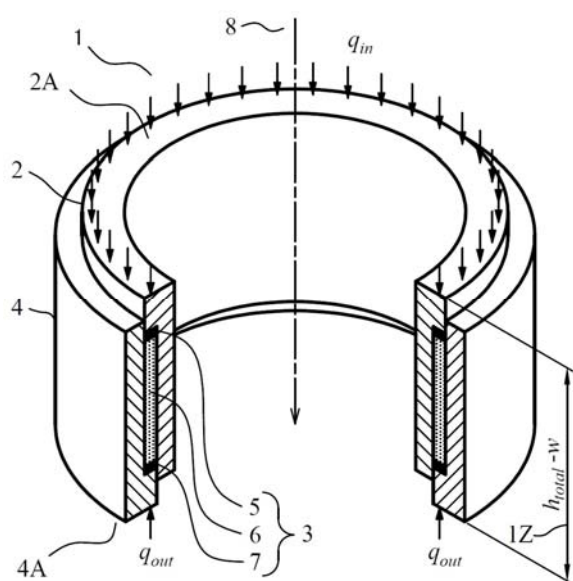


図-1 円筒ばねの立体図

内側円筒はそれぞれ外側に円環状の内側受動支圧面及び円柱面状の内側主働支圧面と内側案内面を有する。外側円筒はそれぞれ内側に円環状の外側受働支圧面及び円孔面状の外側主働支圧面と外側案内面を備える。

内側座面と外側座面にそれぞれ q_{in} と q_{out} の軸対称の等分布支圧応力が作用し、内側座面と外側座面とに軸と平行な方向の相対変位が生じると仮定する。この相対変位を円筒ばねのたわみと呼ぶ。等分布支圧応力が作用しないときの円筒ばねの高さを h_{total} とし、等分布支圧応力が作用するときの円筒ばねの高さ $1Z$ を $h_{total} - w$ とする。ここに、 w は円筒ばねのたわみであり、たわみの正負符号は円筒ばねの高さが減少する場合を正符号とする。 q_{in} の合力と q_{out} の合力を共に圧縮力 Q とする。円筒ばねは $Q > 0$ なる圧縮力に対して $w > 0$ なるたわみを発現する。

3. 試験体の諸元

図-2は円筒ばねの基本寸法を示す。内側円筒の内面の半径、内側主働支圧面の半径、外側主働支圧面の半径及び外側円筒の外面の半径をそれぞれ r_0, r_1, r_2 及び r_3 とする。内側案内面と外側案内面の半径をそれぞれ r_{2g} と r_{1g} とする。内側円筒、外側円筒、中間円筒及び円筒のそれぞれの高さを h_{in} , h_{out} , h_m 及び h とする。図中の寸法 w_l と w_u の小さい方を幾何限界たわみと呼ぶ。括弧()内の数値は縮尺1/10の円筒ばねの試験体の寸法である。

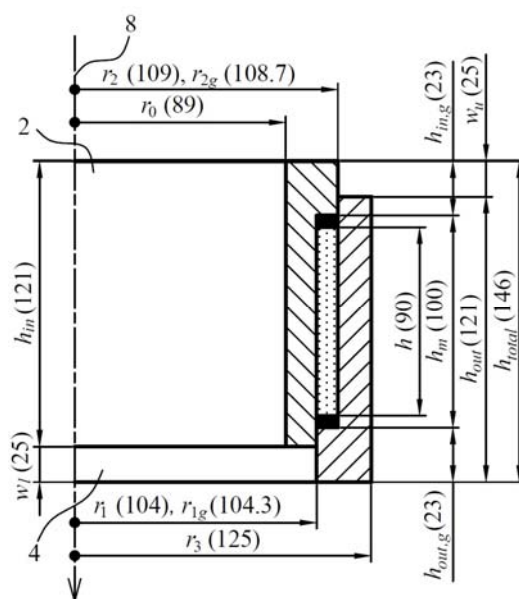


図-2 円筒ばねの基本寸法

キーワード 鉛直免震、円筒ばね、ゴム製円筒、鋼製円筒、圧縮試験

連絡先 〒860-0082 熊本市西区池田4-22-1, 崇城大学工学部, E-mail: katayama@mec.sojo-u.ac.jp

内側円筒と外側円筒，外側摺動部材と内側摺動部材及び円筒のそれぞれの材料は機械構造用炭素鋼鋼材（S45C）相当の鋼管，ポリアセタール樹脂（POM）及びクロロブレンゴム・硬度 65（CR-A65）とした。

写真-1 は円筒ばねの試験体の外観である。外側円筒の外表面及び内側円筒の内面には円周ひずみを計測するためにそれぞれ 4 枚のひずみゲージを貼り付けた。

4. 圧縮力—たわみ履歴曲線

試験体の圧縮力とたわみの関係を知るために往復 6 サイクルの静的圧縮試験を実施した。図-3 は圧縮試験で得られた最大たわみ 5 mm の圧縮力—たわみ履歴曲線である。第 2 サイクルから第 6 サイクルの履歴曲線はいかに近接して図上での違いが視認できないため，第 1 サイクルと第 4 サイクルの二つの履歴曲線を示す。第 4 サイクルの履歴曲線の最大たわみは $w_{max} = 4.95$ mm であり，変形前の円筒の高さは $h = 90$ mm であるから，円筒の最大軸ひずみは $w_{max}/h = 0.055$ である。最大圧縮力は $Q_{max} = 135$ kN である。

図-4 は図-3 の第 4 サイクルの圧縮力—たわみ履歴曲線に対応する内側円筒の内面 2E と外側円筒の外表面 4E にお



写真-1 試験体の外観

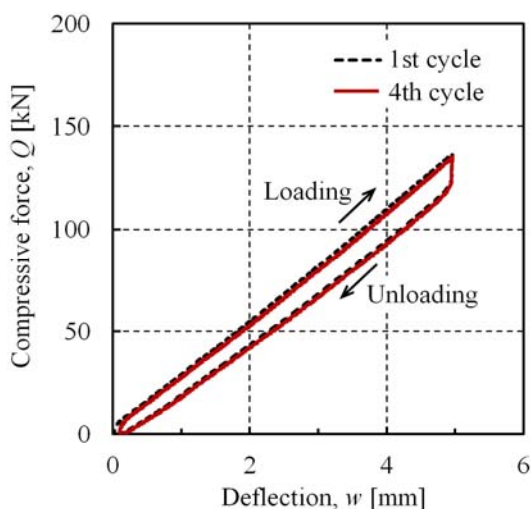


図-3 圧縮力—たわみ履歴曲線

ける円周ひずみ—たわみ履歴曲線である。図中の 2E-I3 の履歴曲線は内面 2E に設置した 4 つのひずみゲージの内照合記号 I3 のひずみゲージで計測した円周ひずみを示し，4E-O2 の履歴曲線は外面 4E に設置した 4 個のひずみゲージの内照合記号 O2 のひずみゲージで計測した円周ひずみを示す。

4. まとめ

図-3 と図-4 の履歴曲線より確認される円筒ばねの試験体の特徴を以下にまとめる。

- 1) 圧縮力の増加に連れて，たわみは単調に増加し，且つたわみの増加の割合が小さくなる。
- 2) 圧縮力の減少に連れて，たわみは単調に減少し，且つたわみの減少の割合が大きくなり，且つたわみは元に戻る。
- 3) 圧縮力—たわみ履歴曲線においては，荷重過程と除荷過程の反転部で階段状に圧縮力が変化する。
- 4) 圧縮力—たわみの履歴によって力学的エネルギーの履歴損失が生じる。
- 5) 円周ひずみ—たわみ履歴曲線においては，荷重過程の曲線と除荷過程の曲線は概ね重なる。
- 6) たわみの増加に連れて，円周ひずみは単調に増加し，且つ円周ひずみの増加の割合は大きくなる。
- 7) 圧縮力—たわみ履歴曲線に比べて，力学的エネルギーの履歴損失は小さい。
- 8) 荷重過程と除荷過程の反転部に現れる階段状の圧縮力の変化は，中間円筒と内側円筒及び中間円筒と外側円筒の接触面に発生する摩擦力で生じたと推定される。

参考文献

- 1) 片山拓朗：鉛直免震支承用ばね要素，特願 2022-110210，令和 4 年 7 月 8 日。

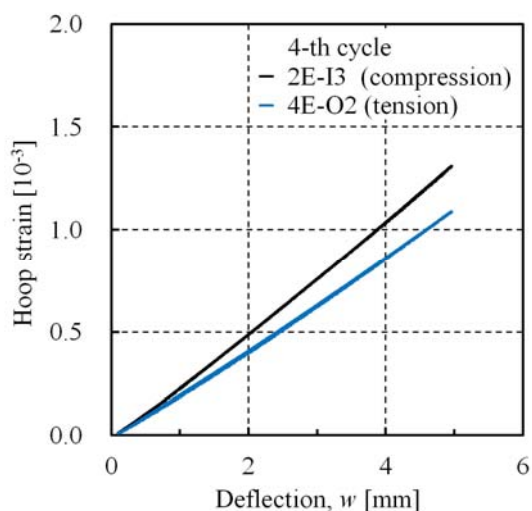


図-4 円周ひずみ—たわみ履歴曲線