引張コイルばねに与えうる初張力 (I)

Initial Tension able to give to
Helical Tension Spring

——自動コイルリング機による場合の幾何学的検討——

Geometrical Investigation in case of coil Winding
by Automatic Machine

仲 田 実*
M. NAKADA

1. はしがき

一般にばねは自由形あるいは自由長からある変位を受けたときに、その変位に比例した反発力を生じ、またそれに応じたエネルギーを貯え、初等教育では教えられてきている。このことが錯覚あるいは盲点となって、自由におかれた状態では力は必ず0であり、この状態から変位と発生力が比例すると信ぜられることが多い。

引張ばねと言えは代表例としてばね秤を示し、下端にかけられた錘の重力に相当した伸びを示す自由支持がすぐに思い出され、ばね内部の発生応力はどこまでも増大するように思われ勝ちである。しかし機器部品としての実際使用にあつては、自由長のままから使用することは極めて稀であり、一般には必ずや何がしかの力をもつ点が停止点となり、ここにストップをおくことが必要とな

ってくる。このときの変位を δ_1 とする。この状態から他の機構と関連して $\delta_{12} = \delta_2 - \delta_1$ だけ移動を要請されて δ_2 までの変位となり、その後 δ_1 の状態まで復元するという使用法が大部分である。

この点までは圧縮ばねでも引張ばねでも同じであるが、前者の場合には δ の量よりもむしろその際の発生力が問題とされることが多い。これに対して後者の引張ばねにあつては最終に変位した状態においての発生力 P_2 は第二義的であつて、 δ_{12} そのものが問題とされる。すなわち変位 δ_2 に相当する力 P_2 は、 δ_1 のときの P_1 よりも大きい必要はあつても、比例的に発生する P_2 までいるかどうか、これが小さくて済めば、ばねの疲労・騒音等のトラブルが減少することとなる。このような解釈をした文献¹⁾は極めて僅かである。その一対策として前記の停止点に相当する点を、引張ばねの密着状態と合致させて、密着時すなわち伸びを起させない状態を上記の変位の δ_1 とするように、この状態で張力をもたせることによって第一停止点を定めるあるいは節約する設計がある種の機種において、非常に数多く用いられているのを見ることができる。

2. 引張ばねの初張力

2.1 初張力の範囲と文献

初張力, Initial Tension, という言葉が引張ばねに関して言われている。これに対する明確な定義は与えられていない。技術的常識から考えれば、密着状態に製作された引張ばねにおいて、伸びが0の状態あるいは極めて僅か伸ばそうとした状態において発生する力と考えることができる。さらに正確な言い方をすれば、引張ばねの伸びが発生力に比例するとの前提ならびに条件において、極めて僅か伸びた状態における伸びと発生力、さら

図1 引張ばねの使用法

*東京理科大学理工学部, 教授

にながしか伸ばした変位量とその時に生じた発生力とを、僅かも伸ばさなかった状態に還元して発生したであろう力の大きさと定義することができよう。

このような意味における初張力も、筆者の見解によれば、結果的には関連があるにしても、この言葉に2様の意味があるように解釈される。

その1は、例えば JIS²⁾ に述べられているような初張力である。これによれば「密着巻きの場合に冷間成形コイルばねには、初張力 P_i を生ずる」とされている。この種のものを、本論文においては取あえず**第1種の初張力**と名付けることとする。

密着巻きの引張ばねにあっては、本来無荷重の際にも密着しており、線（ワイヤ）間にすきまのないことが要求されている。多数個のばねを製作する場合のばらつきを考慮して、O変位においても密着することとすれば極めて僅かの力の発生を伴う方が安全側であるとの思想から、コイル巻きの際にその方法はともあれ、僅かの張力をもつようにコイル成形を行なうのが普通である。すなわちコイルの製造技術上の必要性から発生した、O変位時における引張力を呼ぶこととする。この意味において「初張力を生ずる」ことがあり、多くの製品はこの傾向をもつ。

このことはコイルの方法によってもその発生力あるいはばらつきを異にし、JIS あるいはその他^{3) 4)} の文

図2 在来の初張力による応力

献の最下部（ねじり応力の）図2に相当するものと考えられ、その理論的根拠は示されていないが、経験的努力の結果がいつれの文献にあってもほぼ類似の傾向に従って、ねじり応力の単位においてかなりの量を示している。

その2は JIS には示されていないが、石原³⁾、Carlson⁴⁾等の文献にある、さらに強力なねじり応力に換算される初張力である。これを仮りに**第2種の初張力**と名付ける。この種の初張力もその加工方法、用途は示されていないが、この一部には手巻きによる特殊工作と断っている所を見ると、原著者等は必要の根拠は知られず、依頼されたことによって苦勞の末に低歩留の加工ではあっても、ようやく工作しうる範囲を示すものと説明している。この種の初張力に対しては「生ずる」という自然発生的ではなく、必要程度に応じて「もたせる」ように工作を行ない、かつ能率的、高歩留であって欲しいものである。

2.2 第2種の初張力をもたせることによる利点

欧州特に西ドイツ、スイス製のもの、あるいは米国製のある種の機器（たとえばタイプライター、計算機等）では、この種の設計によるものが大半であるものがある。その結果として、機器の小形軽量化、速度向上、騒音低下、タッチ（指さわり）の改善等に非常に役立っていると考えられる。

一般の引張ばねにあっては、圧縮ばねの欠点とする両端面の平行度の維持、バックリング防止法、横方向の作用力に対する配慮等が不必要であるが、さらに上記の第2種の初張力をもたせることによって、ばね常数の小さいコイルばねを使用してもばねとしての目的を果しうると同時に、限界された作動範囲に使用する場合には却ってばね内の最大ねじり応力を小さくしうる設計がありうる（本件については別報告とする）。このことは同時にフック部分の破損防止にも役立つものと思われる。

3. 初張力を与えられる程度と巻線法

初張力の与え方は、それ自身あるいはその他の寸法等の精度と共に、コイルの方法によって大きく左右される。

3.1 手巻き法による場合

中少数生産に多く用いられる手動コイル巻機と称される旋盤方式のものにあっては、巻かれる線材は心金の回転軸に垂直でなく、既に巻かれたコイル側に幾分角度をもたせ、心金の外周が線材を引張るに際して線材に張力

与えるように摩擦力を与えるのが普通である。

この方式では回転軸に対して傾けうる角度には限度があり、またコイルの内径を決める力は心金の表面と線材の張力による単なる曲げ作業であるので、加工後のもどりがかって与えられた張力に大いに左右される。張力を与える摩擦力の変動があればまともに寸法精度あるいは初張力に影響を受け、また巻線後心金から取外せば巻始めと巻終り付近には大きなねじりのもどりを生ずる筈である。一般には著者の言う第1種の初張力程度が得られるに過ぎない。

しかしこの方式であっても2.1に述べた Carlson 等³⁾⁴⁾のデータ、あるいは1960年に著者が見学した米国の著名な事務機の大メーカーでの自製コイルばねの例からしても、線材の送出し方式に工夫をすることによって、相当強力なねじり応力を初張力として内蔵する引張ばねが作れないでもない。ただし Carlson も「この範囲はなるべく使用せぬがよい」と述べていることは、精度、歩留りのためと想像せられ、また前記の自製コイルばねは加工後相当大量のものであるが100%の測定、選別を行っており、ばねが生命であるのと釈明している始末であった。

3.2 自動コイル機による場合

在来の自動コイル機による方式であっても、線材の送り込まれ巻き初まる平面内に巻きぐせがつき、これがこれから巻かれようとする線材と隣合うすだけで、

図3 幾何学的解析による
 $\tau_i \cdot t_h = (x/\pi) \cdot (G/c^2)$

条件によっては可成りの初張力が出る筈である。

その値は後章に述べる筆者の幾何学的計算によれば、

$$\tau_i \cdot t_h = (x/\pi) \cdot (G/c^2)$$

で表わされる。この $\tau_i \cdot t_h$ の値はCが小さい場合はもちろんのこと、C=10前後でも25~30 kg/mm² 程度のかなり大きな初張力に相当する応力を示すことになる。図に示せば図3のようになるが、この値はあくまで幾何学的のものであり、現実にはねじりのもどり、線材と送りローラとの間のあそびならびに滑り著しく緩められるものと思われる。その証拠にはすなわち D/d の大きい、比較的弱いばねの場合には Carlson の限界値⁴⁾ とよく一致している。また線の送り込みローラの溝の丸味を線半径とよく一致させたり、コイルピン溝の深さを深目にする⁵⁾ ことが実際の経験の上からも言うことである。

図4 第2種の初張力をもたせる
 送り込みローラ形状(5)

著者はさらにこの思想を広げて、現実には第2種の初張力を増大する方式に対する実験と検討も行なったが、この件に関しても稿を改めて述べたいと思っている。

3.3 密着コイルばねのつる巻き角と線のねじり角

図5について、Aより繰り出された材料の直径(線径) d なる線が、Bにおいてコイルになるように突き当て工具によって曲げられる。なおこの際にコイルとしてはB-E-G……の方向に(以下全部が逆でもよい)巻かれることを期待しつつ、Bにある工具は、この付近にお

図5 つる巻き角とねじり角

いて取りあえず逆の方向B—Cを向くように弾性限界を越えていわゆるくせをつけることも可能であるはずである。その方向を β_1 とする。

B—C間ではB—E—Gとなるように、コイル径Dに対してほぼ πD に近い長さの間に前述のくせのついた線を無理なく弾性的に方向角をもどしたとして、Gに達するとこの弾性力のためにB位置と線が接するようになりうる。この状態になったB—E—Gの方向角を β_0 とする。この位置でコイルの1巻きは P_i/N の初張力をもつ。引続きAから材料をくり出すことによって密着した状態のコイルばねが巻かれてゆく。

一般の巻線法にあっては $\beta_1 = 0$ であるが、正しく線の送られてきた垂直平面内にくせをつけて巻きつけても、巻かれたコイルの先端が送られつつある線に突き当たり、乗り上げてすべり、密着コイルが形成される。このときは $p = \delta'$ となる。

このようにして巻かれたコイルばねが上下方向に伸ばされて、線の方向角が β_2 まで変ってG点がH点まで移動すると、コイルのピッチが p_0 から p まで伸びて、コイルの1巻きは P/N の張力に達する。

$$p - p_0 = p - d = \delta : \text{—コイル1巻きのピッチの伸び量} \\ \delta = (P - P_i) / k \cdot N = P(1 - \varphi) / k \cdot N$$

またつる巻き角 β_0 については、

$$\sin \beta_0 = d / (\pi D) = 1 / [\pi(D/d)] = 1 / (\pi C)$$

しかるに、 $P = k \cdot \delta' = k \cdot p = k(d + \delta)$

$$P_i = k \cdot (\delta' - \delta) = k \cdot d = P \cdot \varphi$$

また $P_i = [\pi d^3 / (8 D)] \cdot \tau_i$ より

$$\tau_i = [8 D / (\pi d^3)] \cdot P_i = [8 D / (\pi d^3)] \cdot P \cdot \varphi \\ = [8 D / (\pi d^3)] \cdot \kappa [(G d^4 \cdot \delta') / (8 D^3)] \cdot [d / \delta']$$

$$= \kappa [G / \pi] \cdot [d^2 / D^2] = (\kappa / \pi) \cdot (G / C^2)$$

すなわち前項3・2で示したような結果が導かれる。

4. む す び

以上述べたように、一般の機械構造、特にある種の機械においては、著者の言う第2種の初張力を相当大きく選ぶことによって、却って発生最大応力を小さくすることが出来る場合がある。これに対して手巻き方式でなく、従来から多数に使用されている自動コイル巻き機械であっても、コイルリング付近の送りローラ、ワイヤガイド、コイルリングポイントあるいはデフレクタ等の溝部分を正確に線径に合致させ、巻かれる線材が勝手にせぬように保持しながらコイル巻きを行なえば、幾何学的検討の上からは在来の初張力より遥かに大きな初張力をもたせることが出来る可能性について報告した次第である。しかし工具の経済性等を考える場合に、上記の方法が有利であるかどうか、他に方法がないか等については項を改めて検討したいと考えている。

文 献

- (1) 前田慎三訳、リヒター・フォス原著、精密機器の要素、II、p 337, 1966, 東京図書
- (2) JIS B 2704-1962円筒コイルばね設計基準ならびに解説、p 11 ほか
- (3) 石原康正、コイルばね、p 228, 昭39, 養賢堂
- (4) H. Carlson, edited by N. P. Chironis, Spring Design & Application, p 74, 1961, Mc Graw Hill
- (5) 惣中俊彦、小型ばねの造製、検査、日本機械学会第231講習会資料、p 25および p 30