

送りねじの耐久性向上に関する研究

—ねじ面接触状態について—

(昭和46年4月27日 原稿受理)

機械工学教室 坂 本 正 史

A Study on Durability of Lead Screws
—Screw Thread Contact—

by Masafumi SAKAMOTO

In order to find out contacts of screw thread in working conditions, experiments and analyses were carried out. It is very difficult to obtain contact along the whole thread length, and the load is supported only a fraction of the total thread area.

If the contact is heavy at the inlet side of nut, lubricant is scraped away and metal contact is apt to occur at the rear contact point.

1. 緒 言

送りねじは摩耗が多いということで、最近ではボールねじを用いたり静圧ねじの研究が行なわれている。しかし従来からの送りねじ(ここでは滑りねじと呼ぶことにする)は最も安価であるというばかりでなく、クレーンの引込装置用のねじとか分塊圧延機圧下ねじのように滑りねじでなければならぬものもある。また送りねじの性能が向上すればわざわざボールねじに変えなくてよいものも多い。

送りねじの耐久性を向上させる研究は皆無に等しい有様で、ねじを設計する際にねじ面許容面圧をどの程度に選べばよいかということさえはっきりしていない。

ねじ面許容面圧としては機械工学便覧¹⁾、ねじ

便覧²⁾ はじめほとんどすべての文献が平均面圧として 1.00 kg/mm^2 の値を示している。ただねじ便覧には前記の値の他に滑り速度を考慮した値も示している。そこでこのすべり速度と許容面圧の

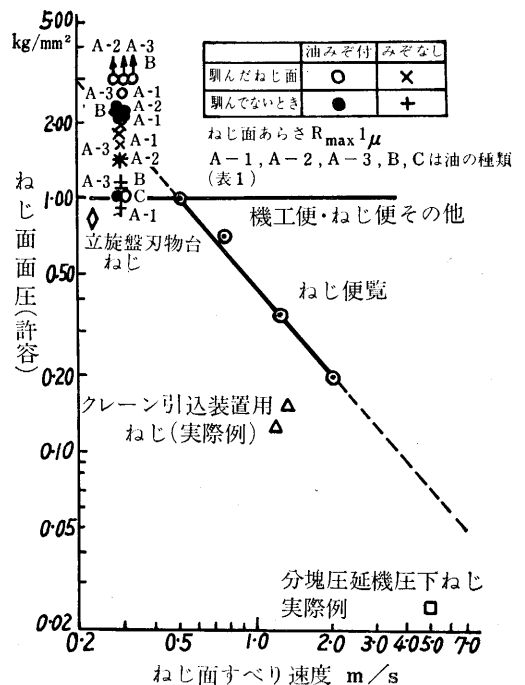


図1 ねじ面許容面圧の比較

表1 実験に使用した潤滑油

潤滑油の記号	A-1	A-2	A-3	B	C
種類または添加剤	鉱油(基油)	A-1 + 油脂 重合油 10%	A-2 + りん 系摩耗 防止剤	鉱油+ 鉛石け ん+S- P 添加 剤	120 マ シン油
粘度 37.8°C	478.3	432.9	395.2	256.3	56
cst 98.9°C	29.16	30.17	28.10	21.21	6.4

関係を両対数グラフにプロットしてみると図1のようにほぼ直線状になった。

この許容値の妥当性を調べるために、この図の中にリード角0のねじ、即ち円筒端面試験で求めた焼付面圧を記入した。この実験は試験面が全面一様に接触しているのを確かめて実験を行っている。したがって実験の値はねじ面全面が一様に当たっている理想的な接触状態の値である。斜の直線より上に現われたのは油みぞをつけ、接触面に良い潤滑油が充分に入った場合であったから、ねじ便覧の値は潤滑条件が良くねじ面接触状態が理想的な場合の面圧と考えた方がよさそうである。

実際の送りねじの例としてクレーン引込装置ねじと分塊圧延機圧下ねじの平均面圧を計算してみるとねじ便覧の1/2~1/3の面圧になっている。しかもこの設計例のねじでもしばしば事故を起している。これはねじの加工精度、温度変化、荷重のかかり具合などによってねじ面の接触状態が著しく変わったためと思われる。送りねじの駆動性能を向上させるためにはねじ面がどのように接触しているかを知る必要がある。しかしねじの接触状態を直接調べることもむづかしく、その他適当な接触状態推定法もなかった。そこでねじ面接触状態の推定法を考え、この方法を用いて実際のねじについて求めた結果について報告する。

2. ねじ面接触状態を知るためのナットピッチ測定法

より強く当たった部分はより多く摩耗すると思われるので、ナットのピッチ精度を正確に測定し、駆動前後のピッチ誤差曲線の変化からねじ面接触状態を推定することを試みた。

ナットを製作する場合にはまず内径を削り、この内径を基準にして切込量を決めねじ切りを行っている。そこで内径基準によるピッチおよびリード測定法を開発した³⁾。しかしこの測定法はナットの内径にぴったりはまるマンドレルが必要であったので、もしナットが変わればマンドレルがはまらなかつたり、ナット内径面との間に隙間ができすぎて正しい測定が行われない恐れがある。そこでマンドレル径とナット内径が違って正しい測定が行える方法を考えた。図2がその説明図で

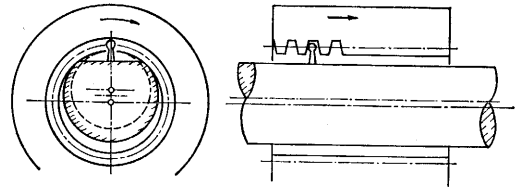


図2 ねじリード測定法（ナット回転方式）

ある。マンドレルは図中点線で示すようにナット内径より小さいものを用いる。マンドレルを回すかわりにナットを回転させれば、ナットはナットの中心を中心として回転する。したがってフィラーはめねじ面と常に同じねじ筋上で接触するので、めねじのリードを正しく測定することができる。ただマンドレルとナットはナット内径面とただ1個所でしか接触していないので、測定位置が安定しない恐れがある。そこでマンドレルの上面を平たく削り落とし、二点でナットを支えるようにした。このようにすれば位置がはっきり定まる。フィラーとねじ面が確実に接触するようにナットは軸方向に押しつけながら回転させる。

このようにしてナットを正しく回転あるいは適当な角度回転してナットの軸方向移動量を正確に測定すれば、めねじのピッチあるいはリードを測定できる。

本研究では工具顕微鏡のセンタ台に上面を平にしたマンドレルをとりつけ、これにナットをとりつけた。ナットの移動量はナット外面にけがいたけがき線を顕微鏡で読むことにより測定する。

マンドレル上面のかどを基準にしてめねじの内径面が接触して滑るので、この面が測定方向に正しくセットされていることが必要である。これが傾いていた場合、あるいはナット内径面がテーパに仕上がっていたときは、みかけ上の誤差があらわれる。マンドレル上面がナットの長さ L に対して δ だけ傾いていたとするとこのために現われるみかけ上のピッチ誤差は

$$\Delta p = \delta / L \cdot \tan \alpha \quad (1)$$

となる。ここの α はフランク角である。ナットの内径がテーパに仕上がっていて、図3に示すようにナット的一端が Δr だけ大きいものとする、ナットが傾く量 δ は Δr より大きくなる。

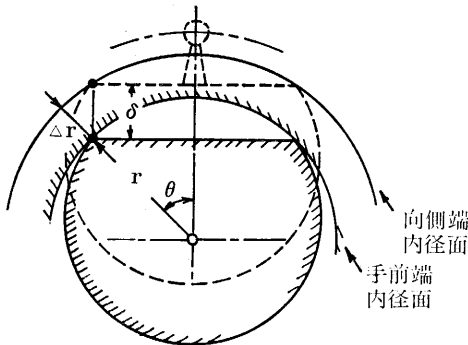


図3 ナットの内径面がテーパの場合の誤差

$$\delta = \Delta r / \cos\theta \quad (2)$$

θ は図3からわかるようにフィラーが接触している点とマンドレルとナットの接触点のなす角である。 θ が小さい方が δ は小さくなるが、ナットの安定が悪くなる。したがって $\sec\theta$ の曲線から考えて $\theta=30^\circ$ 程度にするのがよいと思われる。

今 $L=50\text{ mm}$, $\alpha=30^\circ$ とすれば $\delta=0.1\text{ mm}$ でも Δp は 0.001 mm 程度である。 δ を 0.1 mm 程度におさえることはそれほど困難ではないのでこの誤差はそれほど問題にしなくてもよい。

この測定法はピッチは正しく簡単に測定できるが、リードを測定するにはナットの外周にけがいたけがき線を用いて一定角度割出ながら測定しなければならない。そのためにこのけがき作業の手間と、けがき線の割出精度が測定誤差となる欠点がある。

本方法を用いる場合には、めねじ内径面と同時に仕上げた外周基準面を作り、この基準面上にけがき線を入れればよい。もしこのような基準面を作っていない場合に、めねじ内径面とナット外周が e だけ偏心した円筒であったとすると、 ΔL だけリードが狂ったように測定される。

$$\Delta L_e = \frac{l \cdot e}{2\pi R} \quad (3)$$

l =リード=6.35 mm, R =ナットの外半径=32.5 mm, $e=0.01\text{ mm}$ とすれば、 $\Delta L_e=0.3\mu$ となる。この ΔL_e は誤差として累積されないのでこの程度の偏心ならば問題にしなくてもよい。

本測定法は非常に簡便でしかも正確に測定できるのであるが、ナットを回転させることのできな

い場合や外形が複雑なナットには使用できない。そのようなナットにはどうしても先に発表したマンドレル回転方式を用いなければならない。

図4は普通旋盤で普通に製作したナットのリードを測定した例である。同じ位置を2回測定したが、良い再現性を示している。測定は 20°C の恒温室でおこなった。

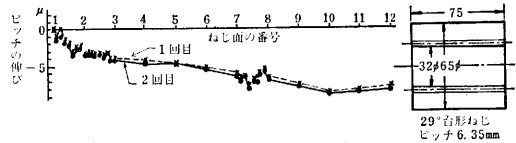


図4 めねじリード測定例(1)

図5は送りねじの専門メーカーに特に注文し、作ったナットを測定した結果である。このナットとかみあうおねじは $\pm 5\mu/300\text{ mm}$ の精度である。

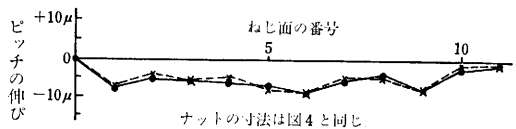


図5 めねじのピッチ測定例(2)

3. ねじ面接触状態

実際のねじにはピッチ誤差がある。この誤差の状態ではねじ面の接触状態はいろいろ変わってくる。おねじよりめねじのピッチが縮んでおれば、図6のように負荷側のねじ山が強くあたる。その反対に伸びておれば負荷側と反対側のねじ山があたる。強くあたったねじ面は他のねじ面よりより摩耗するであろうから、ナットのピッチ誤差曲線がどのように変わるかを調べれば、負荷状態でのねじ面接触状態を推定できるはずである。

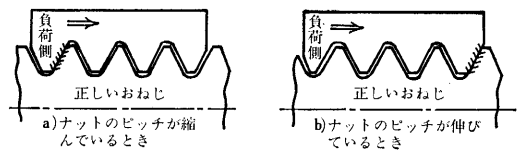


図6 ピッチの狂ったナットの接触状態

もし負荷側のねじ面が強くあたれば、図7(a)に示すようにナットのピッチは次第に伸びてくる。これに対して負荷側と反対のねじ面が強くあつ

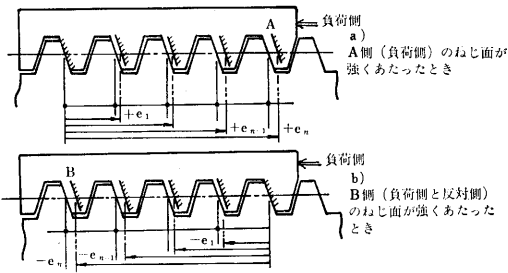


図7 ねじ面の摩耗と累積ピッチ誤差の関係

たならば図7(b)のようにピッチは縮んでくる。
 誤差のある送りねじを駆動して、そのピッチ誤差曲線の変化を調べたものが図8である。ナットをはやく摩耗させるためと、摩耗熱による温度上昇を少なくするために、90度ごとに軸方向の溝をつけたおねじを作り、潤滑油を多量にかけながらこれとかみ合わせた。軸方向荷重は約600kg、回転数は55r.p.mで試験している。

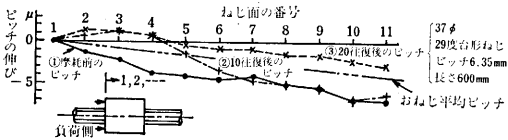


図8 摩耗したナットの累積ピッチ誤差曲線

試験前①のようなピッチであったナットが②のように変っている。おねじに対してナットが縮んでいるので負荷側のねじ山が強くあたり、ねじ面番号2, 3, 4, 5という部分が摩耗したと思われる。更にこのまま摩耗させると、③のような曲線になり、使用したおねじとほぼ同じピッチの縮みになった。ナットのピッチが縮んでいると負荷側の2~3山のみで荷重を受け、他の6~7山はほとんど遊んでいることがわかる。ねじ面は焼付かないようにうまく馴染めると、接触面積が次第に増して行ってほぼ全面であたるようになる。1番のねじ山は端のために不完全なねじ山であったので、ねじ山が変位によって逃げて摩耗しなかったのであろう。

図9は±5μ/300mmのピッチ誤差をもつおねじと図中の①の状態のナットを組合わせて駆動した例である。送りねじにはトルク1.14kg-mを与え、二硫化モリブデン(G. RAPID SPRAY)

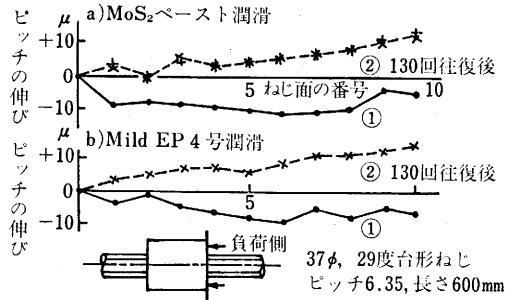


図9 ナットピッチ誤差曲線

を吹付けて駆動した。130回往復させた後のピッチ誤差曲線は②のようになった。ねじの回転数は83r.p.mである。駆動前ほぼ正しかつナットのピッチが、②では伸びた値となった。ねじ面が摩耗してピッチが伸びてきているから、このナットは負荷側のねじ面がより強くあたっていたことになる。この寸法のねじでこの試験荷重(軸方向荷重800kg, 平均面圧25kg/cm²)であれば、1μもねじ面が摩耗すればそのねじ面はあたらなくなる。したがってこの実験例のように13~14μも摩耗するまで負荷側のねじ面があたるためには、ナットがおねじに対してかなり縮んでいなければならない。しかしおねじおよびナットの精度からはそれほど縮んでいるとは考えられない。

実験に使用した送りねじのピッチ精度が前述の精度であるのは20°Cにおいてである。実験を行ったときのナットの温度が低い場合、例えば0°C、ナットの長さ70mmであったとすると、おねじに対してナットは8.5μ縮む。したがってこの実験結果程度のピッチの伸びは起り得る。この実験は0°Cに近い室温で行っているので、このよう

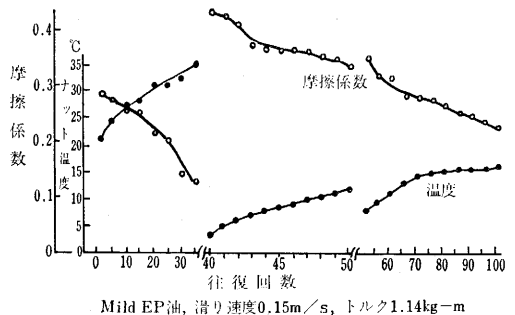
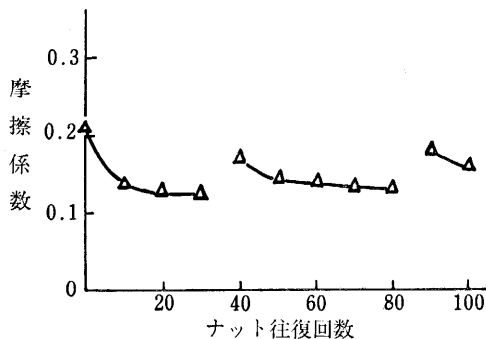


図10 ナットの温度と摩擦係数

な結果が得られたものと思われる。そこでナットの温度を測定しながら図9の(a)と同じ実験を行った結果が図9(b)である。ただ潤滑剤はマイルドEP4号を使用した。図10はその時のナット温度とねじ面摩擦係数の測定結果である。ナット温度が高くなると例えば35°Cでは摩擦係数は最も小さい。ナット温度が低いと摩擦係数は異状に大きくなっている。

温度が高くなると、ナットのピッチがおねじのピッチに対して伸びて図6(b)のようになる。摩擦係数の測定は負荷がかかっている方向へ送って測定しているので、入口隙間ができて摩擦係数が小さくなったと考えられる。これに対して温度が低いと、ナットのピッチが縮み負荷側ねじ面が強くなるので、油の入口を完全に塞ぎ溶着気味になっていたのではなからうか。

入口隙間の必要でない二硫化モリブデン潤滑においては、図11のように摩擦係数はほぼ一定の値である。この結果からわかるようにねじの接触状態によって、特に潤滑油を使用した場合には油の入口隙間ができるかどうかで駆動性能が著しく



MoS₂ペースト、滑り速度0.15m/s、トルク1.0kg-m

図11 二硫化モリブデンを用いた場合の摩擦係数

影響されることがわかる。

4. む す び

送りねじの耐久性を向上させるためには、どのような状態で2つのねじ面が接触しているかを知りたい。そしてこのねじ面の接触状態からどうすればおねじとめねじをより広い面積で接触させ、また接触部に油が引込まれやすいようにできるかを考えたい。

そこで内径を基準にしためねじリード測定法を考案し、リード誤差曲線の変化からねじの接触状態を知ることを試みた。

本報で報告した測定法は、固定したマンドレル上でナットを回し、マンドレルにつけたフィルターでナットを軸方向に移動させ、この移動量を測定してピッチを知る方法である。この方法は簡便でしかも正確にナットピッチを測定することができる。

この測定法を用いてめねじのピッチ誤差曲線を求め、この誤差曲線の変化からねじの接触状態の推定を行った。ねじ摩擦係数から考えられる接触状態と、誤差曲線から推定したそれが一致した。このことからめねじのピッチ誤差の変化を知れば、送りねじの接触状態を推定できることがわかった。

本研究は文部省科学研究補助金による研究の一部である。

文 献

- 1) 機械工学便覧(機械の要素)。(昭45), 7-87, 日本機械学会。
- 2) ねじ便覧。(昭41), 199, 日刊工業新聞社。
- 3) 坂本: 九大工学集報. 40-1, (昭42-3), 120.