

送りねじ潤滑の基礎的研究

上野 拓
坂本 正史

Basic Study on Lubrication of Lead and Power Screw.

Taku UENO & Masafumi SAKAMOTO

For the reason of difficulty of lubrication, the wear of lead and power screws which were used in heavy duty is very large.

In order to know how can wear of the nut be reduced, experiments of lubrication with screw which has zero lead angle were carried out. The screws and nuts were made of high carbon steel (S55C) and phosphor bronze (PBB-2). As lubricant, some commercial worm gear oil and molybdenum disulphide are examined. In very severe lubricating conditions as power screw, effects of the kind of oil on the wear is little. For the sake of oil enter into contact surface, it is necessary to give oil grooves on the flank of nut and screw. And running in of the screw is very important too. Molybdenum disulphide is very effective as the lubricant of the screw, if it is used well.

1. 緒言

圧延機の圧下ねじとか工作機械の送りねじのうち、高速でしかも大きな力の加わるねじはナットの摩耗が著るしく、ナットは消耗品であるとさえ考えてどんどん取替え使用している例すらもある。これはねじ面が非常に苛酷な状態で使用されているからである。即ちすべり方向に長い面が接触して滑り、起動停止を繰返して、しかもこの二つの面はねじ面なので全面でぴったりと当てて荷重を受けさせるように工作することはむづかしい。またたとえ非常に正しいねじを作ったとしても、荷重や温度変化によっても当りが不平均になり易いのである。したがって潤滑油をやっても入口側で強く当ればその後の方では油切れの状態になる。

このように送りねじの潤滑条件は非常に悪い。この対策として潤滑油剤によるものは a) 粘度の高い油を使う。b) EP 剤や油性剤の入った油を使う。c) 二硫化モリブデン等の固体潤滑剤を使う方法が考えられる。そこで油による a), b) 及び c) の二硫化モリブデンについて実験を行っ

た。

ねじに近い状態で摩擦試験を行うために、リード角 0 のねじ即ちねじ面に相当する円筒端面を用いて実験を行った。リード角 0 のねじであれば当りの状態を簡単に観察することができ、しかもほぼ全面で当るように工作することができる。また荷重や温度変化によっても当りがほとんど変わらない。即ち理想的な当りの状態であるが、この状態においてねじ面あらさ、硬さ、潤滑油剤の影響について調べた。更に油みぞをつけた場合の効果についても検討した。

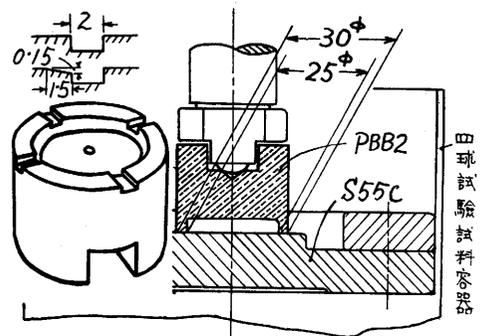


図1 試験片とその形状

2. 実験装置および実験方法

実験には曾田式四球試験機を一部改造して使用した。試験機のボールが入る部分に図1のような試料をとりつけた。めねじに相当する円筒を焼青銅 (PBB-2, Hs31, Hmax 0.6 μ) で作り、これをおねじに相当する平面 (S 55C, Hs 31) に押しつけてトルクを測定した。接触面の面積はみぞを付けないものは 2.16cm² である。試験片の表面は平面研削盤で平面度を出し、エメリーペーパーで Hmax=0.2~5 μ のあらさに仕上げた (網目状に研磨)、試験機にとりつけた状態で試験片は全面で均一に当たった。おねじに相当する鋼は硬度

を変え (Hs31, 45, 60, 75) その影響をも調べた。

試験機の回転数は 200rpm (28.8cm/s) で一定であったが、無段変速機を取付けてその他に 15rpm (2.16cm/s), 30rpm (4.32cm/s), 40rpm (5.76 cm/s), 60 rpm (8.65 cm/s), 120 rpm (17.2cm/s) でも実験した。

荷重は 40~520kg (18.5~240kg/cm²) で実験を行った。試験機の油圧 p と荷重 P の関係は $P = 50.2p - 8.6kg$ である。

実験に使用した潤滑油剤は表1に示すもので、一回に使用する油量は 25cc (MOS₂ は除く) である。

表 1 実験に用いた潤滑剤

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	A - 2 + 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
cst	98.9°C	29.16	30.17	28.10	21.21
				256.3	56
				21.21	6.4

二硫化モリブデン剤
ベントナイト系グリース (混和ちょう度 330~350) + 二硫化モリブデン
スプレイ式ペースト

3. 実験結果 I (潤滑油の場合)

3.1 あらさの影響 ねじはほとんど境界潤滑状態で使用されていると考えられるが、ねじ

面のわずかなうねり等で場合によっては流体潤滑状態にもなり得るのではないかと考え、摩擦面あらさを変えて調べてみた。軸受の場合と同様に $\frac{\eta vb}{P}$ (η ; 油の粘度 kg \cdot s/cm², v ; ねじ面の平均すべり速度 cm/s, b ; ねじ面幅 cm, P ; 荷重 kg) で整理したものが図2である。あらさのあらいものは $\frac{\eta vb}{P}$ に対して摩擦係数がほとんど変

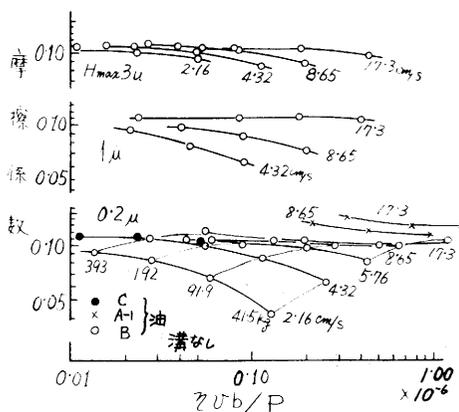


図2 油みぞを付けない場合の潤滑特性

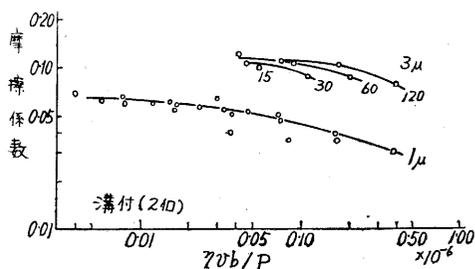


図3 油みぞを2個付けた場合の潤滑特性

らないが、あらかさが良くなると $\frac{\eta vb}{P}$ が大きい領域で摩擦係数はばらついてくる。

図3のように油みぞをつけ(幅2mmのみぞ2個), あらかさを良くした場合(1 μ)は $\frac{\eta vb}{P}$ —摩擦係数曲線はほぼ一本の線で整理できるが、あらかさがあらい場合とかみぞを付けない場合には一本の線で整理できず荷重及び速度によってそれぞれ別の曲線が得られた。この原因の一つは摩擦面温度のかわりに油槽の温度を代表として考えてこの温度の η を計算したが、油膜が非常に薄い状態では実際の摩擦面温度はPあるいは v によってかなり変わっていて油槽の温度では代表し得なかったためではなかろうか。そこで参考のために Pv 値で整理してみたものが図4である。特に油の入り易さを考慮していない場合にはほぼ Pv 値で整理できることがわかる。

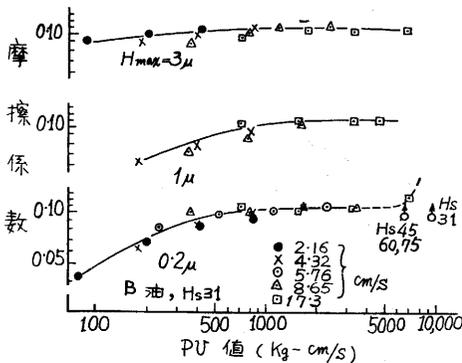


図4 図2を Pv 値で整理した結果

油みぞをつけない場合、あまりあらかさを小さくしすぎるとかえって摩擦係数が大きくなっている。ある程度あらかさがあられれば、この凹凸が油だまりの役目をするようになるのであろう。しかしあらすぎるのは良くない。

油みぞをつけても面のあらかさがあらいと粘性油膜による摩擦係数の減少は期待できない。面あらかさをできるだけ良くして油みぞをつけるべきである。

図2中の A-1 油は摩擦係数が大きい、これは基油であるので境界膜ができにくいためであろう。

P あるいは v が大きくなると摩擦係数も大きく

なり 0.10~0.11 になる。このことは油膜がP又は v によってだんだん薄くなってついには最小油膜だけになっていることを示している。高井¹⁾は燐青銅—鋼の境界油膜のみによる摩擦係数を0.10(0.11鋼—鋼)であると報告しているが、本実験でもほぼ同じ値になっている。

3.2 硬さの影響 めねじの材質は一定のままにしておいて、おねじの硬度を種々変えて耐圧を調べたものが図5である。Hmax1 μ のものを

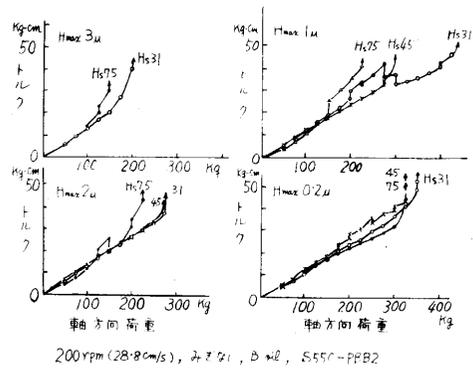


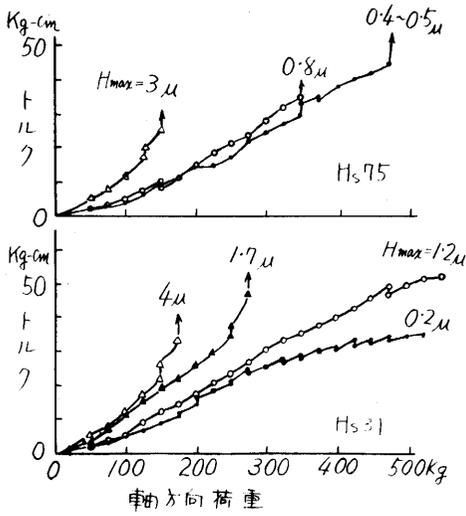
図5 硬さの影響(みぞのない場合)

除くとおねじの硬さによって許容荷重はほとんど変わらない。おねじのあらかさが良い 0.2 μ のものは特に差が全然ないと云って良い。

ねじ面あらかさが 1 μ である場合硬さが一番軟かくめねじの硬度と同じである Hs31 が最も大きい荷重まで耐えている。これは馴みの影響と考える。試験片は十分に全面で当ることを確認して実験を行ったのであるが、あらかさなどのために真実接触面積は見かけの面積よりかなり小さい。Hs31 の場合は軟らかいので接触面積がうまく広がったものと思われる。

あらかさがあらい場合でも軟らかいものの方が大きい荷重まで耐える傾向があるが、これも接触面積が広がりかけたためであろう。しかしあらかさがあらいので馴むのに時間がかかり、負荷能力が増す前に焼付に至ったものと思われる。また面が良くなり過ぎると面の凹部にたまっている油も少く、また油みぞがないので油が新しく補給され得なくなってしまうのではなかろうか。

みぞをつけた試験片で実験を行った図6をみると、この考えがほぼ正しいであろうと思われる。

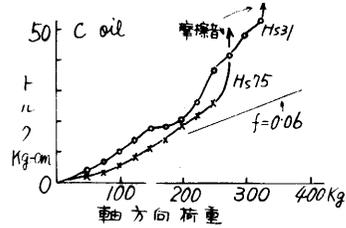
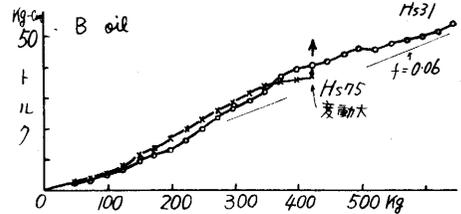
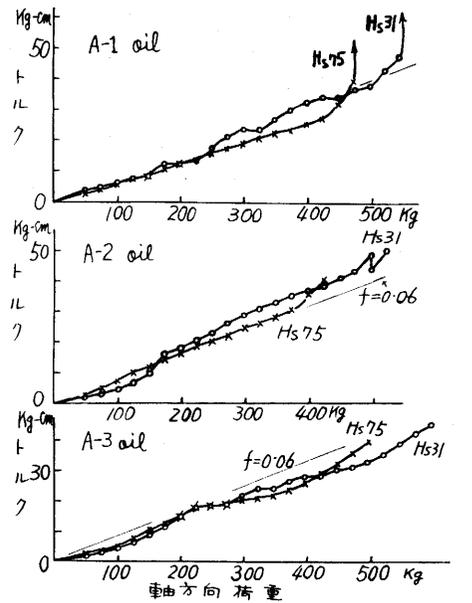


200rpm (28.8cm/s), Bail,
みぞ 2個, S55C-PBB2

図6 硬さの影響 (みぞを2個付けた場合)

図において曲線がだんだんねてくるのは面が馴んで来て摩擦係数が小さくなって来たことを表す。Hs31の方はあらさが良くなると馴んで来るのに対して Hs75 では馴まないことがわかる。

3・3 潤滑油の影響 圧延機圧下ねじではウォームギヤ潤滑油と共通の油を使用している場合が多い。そこでウォームギヤで成績の良かった油と、これと比較のためにその他2~3の油について焼付限界荷重を求めた。図7は油みぞのない場合、図8は油みぞを2個付けた場合の荷重—トルク曲線である。油みぞがない場合は潤滑油によるちがいがほとんどない。高級な油よりむしろ添加

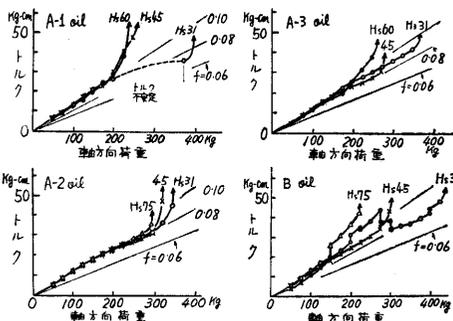


200 rpm (28.8 cm/s)
Hmax = 1μ
みぞ 2個 (2mm 幅)

図8 潤滑油の影響 (みぞを2個付けた場合)

剤の入っていない A-1 油や、B油のように粘度の低い油の方が Hs31 のものなど馴みの効果が現れて耐圧は大きくなった。これに対してすべり方向に直角なみぞを2個つけた図8では油の種類による違いも少々現れ、また全体的に耐圧はかなり増加している。ウォームギヤで非常に良かった A-3 油が摩擦係数も小さく良い。

A-1 油と B油の耐圧がかなり大きいのは馴みの影響が入っているためであろう。



200rpm (28.8cm/s), Hmax=1μ, S55C-PBB2

図7 潤滑油の影響 (みぞの無い場合)

ねじのように潤滑条件の悪い場合には潤滑油の種類より摩擦面に油が入るかどうかと云うことがまず問題であることがわかる。また馴みも大切で、割合に粘度のうすい油などで馴み運転をした後に添加剤などが入り、しかも粘度の高い油を使用すると良いと思われる。

4. 実験結果Ⅱ (二硫化モリブデンの場合)

図9は油圧を $0.5\text{kg/cm}^2\text{-1min}$ ごとに増加させて耐圧を調べたものである。比較のために市販ウォームギヤ油 (B油) の場合も併記した。

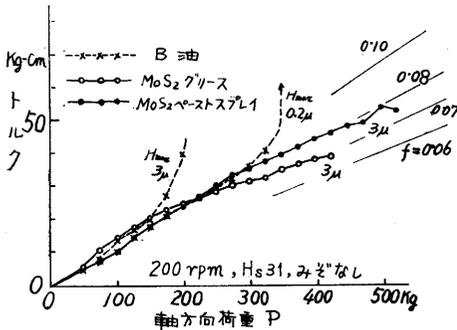


図9 二硫化モリブデンの耐圧

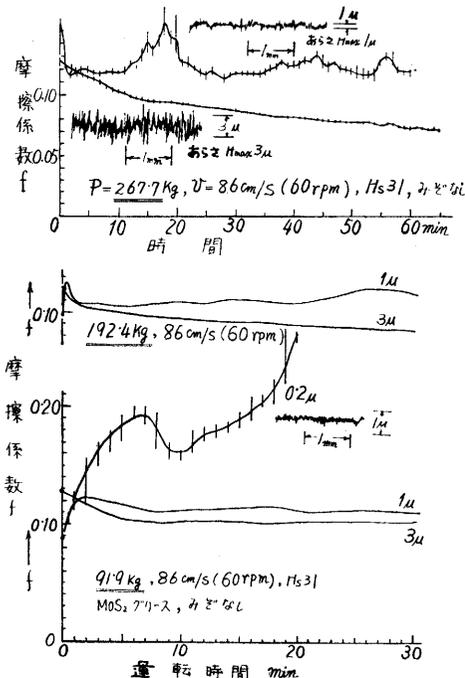


図10 二硫化モリブデンを用いたときのあらさの影響

MOS₂ を用いると耐圧はかなり増した。上手に使用すればかなり有効ではないかと思われる。

4・1 あらさの影響 図10はおねじ面のあらさを変えたときの摩擦係数である。面があらい 3μ のものは荷重が大きいほどまた時間の経過と共に摩擦係数は下った。大きい荷重の 267.7kg (124kg/cm^2) は油では焼付が起り易い荷重であるが (図9), 面あらさを 3μ にして MOS₂ を用いれば充分耐え得ることがわかる。

3種の荷重のうち 1μ のものを比較すると、 267.7kg では摩擦係数も大きく少々焼付気味であったが、荷重が小さくなってくると摩擦係数は 3μ のものとほとんど変わらない。あらさが更に小さくなると荷重が小さくても焼付く。

滑り速度に対しても同様で、 3μ の面あらさでは速度の大きい方が摩擦係数は小さいが、これよりあらさが更に小さくなると高速ほど焼付易い。あらさが小さいと始動時の摩擦係数は小さいがすぐ大きくなる。摩擦面がなめらかであると MOS₂ が摩擦面から押し除かれて金属接触を起す様になることを示している。表面に適当な凹凸があれば MOS₂ のたまりになるのであろう。MOS₂ 乾燥被膜の寿命は摩擦面あらさが $Hrms20\sim 25\mu\text{in}$ のとき最も長い²⁾と云われるが、本実験でも $Hmax 2\sim 3\mu$ が良かった。

4・2 荷重・すべり速度の影響 あらさ $Hmax 3\mu$ 一定として荷重・速度を変えた結果が図11である。荷重・速度の小さいものは早く一定の摩擦係数に落着くが、大きいものはいつまでも下ってかなり小さな摩擦係数になる。MOS₂ の摩擦係数

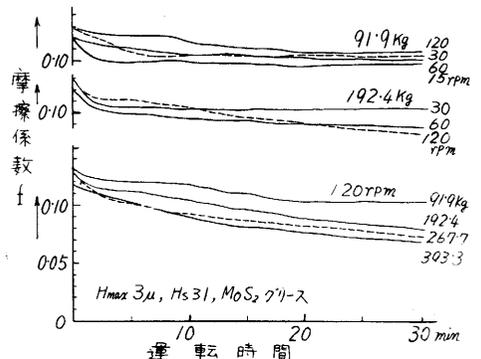


図11 荷重・すべり速度の影響

は温度が低いと小さくなるが、^{3) 4)} この結果からもそのことがわかる。即ち荷重・速度及び運転時間が増すと摩擦面温度が上昇して MOS₂ 膜の水分が少くなり摩擦係数が下ったものと思われる。したがって摩擦部分に MOS₂ がありさえすれば、荷重・速度が大きいほど摩擦係数は低くなる。

4・3 みぞの影響 図12は油圧を 0.5kg/cm² づつ1分間隔で増していったときのトルク変化である。同じように硬さ Hs75 で実験を行った結果が図 13 である。みぞがないと荷重の増加と共に摩擦係数は下るが、みぞをつけると摩擦係数はほとんど変わらずしたがってトルクは直線状に増加している。

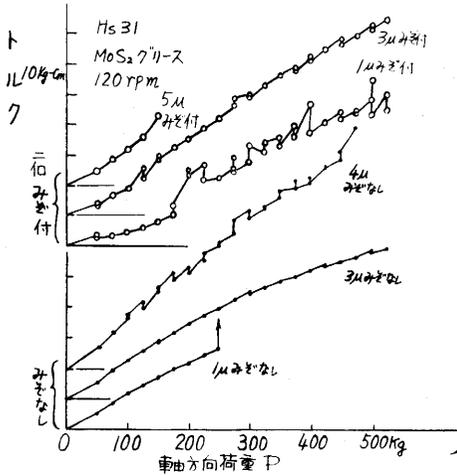


図12 みぞの影響 (二硫化モリブデン)

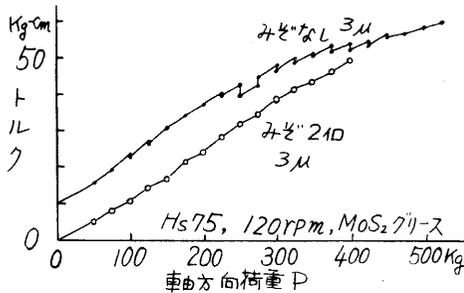


図13 みぞの影響 (硬い場合)

みぞをつけるるとたとえ摩擦面に MOS₂ が入っても、摩擦方向の距離が短くなり摩擦面に付着する前にみぞの中に押出されてなかなか摩擦部分に膜を作り得ない。これに対してみぞがなければ

MOS₂ はどこかで凸部に引かかりそこで強く付着する。こうして MOS₂ 膜ができれば摩擦係数が急に下ってくるものと思われる。面あらしの良いものは一度焼付かかると急に摩擦係数が下ることが多かったが、これも焼付気味になって面があればそこに MOS₂ がひっかかり繰返し摩擦で膜が作られるからではなからうか。

みぞがある場合であらしが良いとトルク変動は大きい摩擦係数は小さく焼付も割合に起らない。あらしが良いと摩擦部分から MOS₂ が押出されてしまうが、みぞにある MOS₂ で少々は補給される。しかしすべり方向に分割されているから安定した MOS₂ 膜がしっかり付着する前に MOS₂ が再び押出される。そのためにトルクが変動したものと思われる。みぞをつけない場合のトルクはほとんど変動しないのに対して、みぞを付けるといずれの場合もトルクがかなり変動する。

MOS₂ を使用する場合は摩擦部分に MOS₂ を入れ、この MOS₂ をねじ面に付着させることの2つが必要である。油の場合と違って滑り方向に細分割することは逆効果となる。しかしみぞに入口隙間を付けて MOS₂ がより多く摩擦面に入るようにすると確かに焼付かなくなる。(図15) 入口隙間については更に詳しく調べる予定である。

4・4 硬さの影響 図12の 3μのものと同図13を比較すると、みぞのあるものもみぞのないものも、ともに各々きれいに重ることがわかる。即ちおねじの硬さそのものの影響はないことがわかる。また本実験では再現性が割合にあったが、これはそれを示す一例でもある。

4・5 耐久性 17.3cm/s (120rpm), 267.7

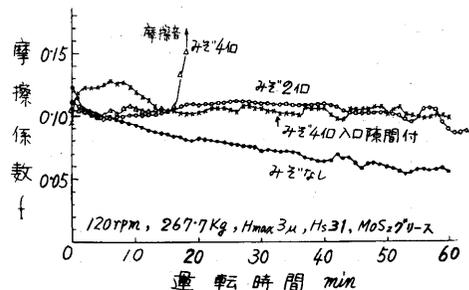


図14 二硫化モリブデンの耐久性

kg で60分以上運転した結果が図14である。みぞがあると運転時間が増しても摩擦係数は減少しない。みぞから新しい MOS_2 が供給され、摩擦面の MOS_2 の水分が減少しないためであろう。みぞを4個つけると焼付いた。

みぞのないものは MOS_2 膜ができて摩擦係数はかなり下り、60分以上運転しても膜が破れていない。実際のねじではめねじがおねじの上をすべっていくので、120rpm で60分と云うのは7200回転することになる。即ち始めに MOS_2 グリースを塗っただけでその後5日間 MOS_2 を全然供給せず1分毎にめねじを左あるいは右に連続して動かしたことに相当する。 MOS_2 を摩擦面に引込みやすいようなめねじを作り、おねじ全面に MOS_2 グリースを塗っておけば、焼付や異状摩擦を起さずかなり長時間運転できるのではなかろうか。あらさが良くてもみぞがあれば前述のように摩擦係数は小さいが、寿命は短くなる(図15)。

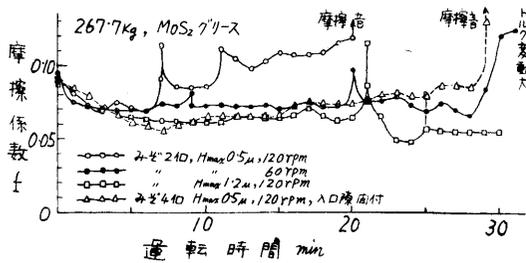


図15 面あらさが良く、みぞを付けた場合の耐久性

この場合 1μ 程度のあらさになると摩擦係数は大きくなってもすぐもとに回復する。

面あらさが割合に良いときは小さな荷重あるいは速度からだんだん上げて行くと MOS_2 が押し除けられずに良いようである。

5. 結 び

市販ウォームギヤ油及び二硫化モリブデングリースを用いて送りねじ潤滑の基礎試験を行い次のようなことがわかった。

(1) 潤滑油の非常に入りにくい状態では粘性油膜による摩擦の軽減はなかなか期待できない。ねじ面はすべり方向に直角な油みぞを付けるなどできるだけすべり方向に分割し、面あらさもできるだけ良くする必要がある。

(2) 油の非常に入りにくい状態では潤滑油の種類の影響はそれほど顕著ではない。油の種類よりむしろ油が摩擦面に入るかどうかの問題である。

(3) 馴みの影響はかなり大きい。おねじとめねじを少々粘度の低い油などで十分に馴ませた後に高級な油を使うようにすべきである。

(4) 二硫化モリブデンは上手に使うとねじの潤滑剤としてかなり有効のようである。摩擦係数は大きいが耐圧が大である。

(5) 二硫化モリブデンを潤滑剤として使うときは摩擦面から MOS_2 が押出されてしまわないように面あらさを $H_{max}=2\sim 3\mu$ にすると良い。

(6) すべり方向に摩擦面が短かすぎると、 MOS_2 が面に付着する前にみぞに押出されるので良くない。油の場合とは逆にすべり方向に細分しない方がよい。

(7) MOS_2 が摩擦面に供給されるように入口隙間をつけると効果がありそうである。

参 考 文 献

- 1) 豊口, 高井; 潤滑10—1 (1965)
- 2) 福ノ上; 機械設計, 10—11 (1966)
- 3) H.F. Barry, J.P. Binkelman; Lub. Eng. (1966-4)
- 4) 赤岡; 機械学会誌, 71—590 (1968-3)