

高真空中における二硫化モリブデンの摩擦の研究

Studies on Friction of Molybdenum Disulphide in High Vacuum

—第 9 報, 摩擦再開後の摩擦係数の推移 (その 1)—

—9th Report, Transition of Friction after Reopening (part 1)—

松 永 正 久*・星 本 健 一**

Masahisa MATSUNAGA and Ken-ichi HOSHIMOTO

1. 緒 言

既報¹⁾ のように二硫化モリブデン (以下化学式を用いて MoS_2 と記載する) の高真空中の摩擦においては摩擦中断後の再開第 1 回目の摩擦係数は停止前の定常摩擦係数に比べて大きく変化するが, その後の摩擦にともなうて徐々に定常値に復帰する. このような定常値への復帰については, 摩擦面の温度上昇・停止中に応力緩和した圧粉体の充てん状態の定常化などの因子も考えられるが, 既報告¹⁾ および前報²⁾ において考察したように摩擦係数の変化に寄与している主要な因子は摩擦面における不純物濃度の変化と考えられる.

前の計算²⁾ では無視したが, 潤滑剤被膜中の不純物は拡散の効果によって摩擦面近傍では大きな濃度勾配を有することが考えられる. そして摩擦再開後は潤滑剤被膜の摩耗によって次々と新生面が現われ, その新生面における不純物濃度は摩耗前の摩擦面の不純物濃度とはちがっている. 深さ x まで摩耗したときの摩擦係数 $\mu(x)$ を一般に

$$\mu(x) = f\{c(x)\} \quad (19)$$

と表わす. ここで $c(x)$ は基準面すなわち第 1 回目の摩擦面からの深さ x における不純物濃度である. この式には未知の因子として摩耗深さ x , 不純物濃度 c および関数形 f を含んでいるが, 以下にいくつかの仮定をおいて摩擦係数 μ の推移を評価する.

2. $c(x)$ の 評 価

不純物の拡散・蒸発による濃度変化は Fick の方程式

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (20)$$

を解くことによって得られる. ここで D は拡散係数である. 式 (20) は一般の条件下で解くと級数解が得られるが, 拡散係数 D や摩耗深さ x などの多くの未知定数を含むため, 実験値との比較がむずかしい. そこで次の仮定をおく.

(i) 摩擦の定常状態では潤滑剤被膜中の不純物濃度

は一様とする.

(ii) 摩擦停止の瞬間から試料表面からの不純物の蒸発・放出または再汚染によって, 潤滑剤被膜表面から深さ方向への不純物の濃度勾配ができる.

(iii) 被膜表面の不純物濃度は停止中に時々刻々変化してゆくものではあるが, 計算の上では被膜内部とは異なる濃度 c_1 に一定に保たれているものとする.

(iv) 潤滑剤被膜を半無限体と仮定する.

停止の瞬間における不純物濃度を c_0 とし, そのときの試料表面を $x=0$ にとれば, 以上の仮定から式 (20) の解は次のような形となる.

$$\frac{c(x, t) - c_1}{c_0 - c_1} = \text{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (21)$$

3. 深さ x の 評 価

1 回の摩擦によって潤滑剤被膜は厚さ一様に摩擦すると仮定し, n 回目の摩擦における摩耗量を ω_n とすれば, 摩擦再開後 N 回目の摩擦における摩擦面の基準面から測った深さ x_N は

$$x_N = \sum_{n=1}^{N-1} \omega_n \quad (22)$$

と書くことができる. 既報告¹⁾ の考察より試料中の不純物濃度が高いと摩耗速度が大きいかつ摩擦係数も高いと考えられるので, ここでは摩擦係数と摩耗速度とが比例すると仮定する. すなわち

$$\omega_n = a\mu_n \quad (23)$$

すなわち

$$x_N = a \sum_{n=1}^{N-1} \mu_n \quad (24)$$

4. 関数 f の 評 価

摩擦面の不純物濃度と摩擦係数との関係は前報²⁾ 式 (1) によって表わされる. とところで文献 1) の図 4 に見られるように停止時間効果は定常摩擦係数 μ_s が最大値をすぎた頃より顕著となり, この段階では前報²⁾ 図 3 に示すように多層吸着, すなわち γ の寄与は僅小と考えられるのでこれを無視すれば,

$$\mu = \mu_1 + (\mu_2 - \mu_1)\beta \quad (25)$$

* 東京大学生産技術研究所, 第 2 部

** 科学技術庁, 金属材料技術研究所

研究速報
となり、ここで β と c とは比例関係にあると考えられるので、

$$\beta = bc \tag{26}$$

とおけば、式 (25) は次のようになる。

$$\mu = \mu_1 + b(\mu_2 - \mu_1)c \tag{27}$$

以上を総合すると次の関係式が得られる。

$$\frac{\mu_N - \mu_i}{\mu_s - \mu_i} = \text{erf} \left(\frac{1}{2\sqrt{D^*t}} \sum_1^{N-1} \mu_n \right) \tag{28}$$

ここで

μ_N : 摩擦再開後 N 回目の摩擦における摩擦係数

μ_s : 定常摩擦係数

μ_i : 摩擦再開後第 1 回目の摩擦係数

$$\frac{1}{\sqrt{D^*}} = \frac{a}{\sqrt{D}}$$

式 (28) において D^* はあいかわらず未知数として残るが、この式を実験結果と比較する。

5. 実験結果との比較 (減少型の場合)

MoS₂ の高真空中の摩擦実験としては既報¹⁾ の銅板および、銅めつきした球上へ作った被膜による実験のほか金属下地による影響を除くために、MoS₂ 粉末を型につめて、80 kg/mm² の圧力で圧縮したものを用いた。MoS₂ 粉末をこのていどの圧力で圧縮した場合、ペレットの比重は 4.2 ていどになり、これは完全な MoS₂ の結晶よりも 10% ほど小さいが、これ以上圧力を増加させても比重はきわめて僅かしか変化しないことが報告されている³⁾。

ペレット同志の摩擦試験において、総摩擦回数 7,000 ないし 9,000 回付近における停止および再開後の摩擦係数の推移は図 1 に示す。この実験とここに求めた理論とを比較するために、式 (28) の左辺の形で摩擦係数の推移を整理すると図 2 となる。この実験結果には減少型と増加型の効果が混っているが、純粋に減少型の効果を検

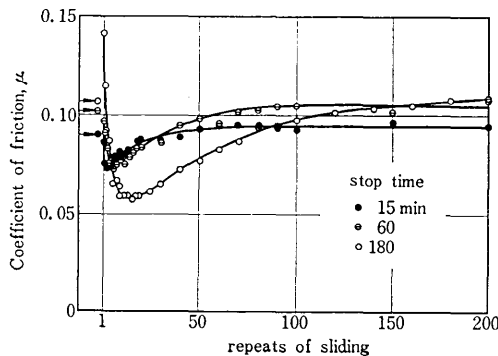


図 1 ペレット同志の摩擦試験において、総摩擦回数 7,000 ないし 9,000 回付近における停止再開後の摩擦係数の推移: 真空度 2×10^{-7} Torr.

討するために右上りの曲線を $N=1$ まで外挿することによって μ_i を求めた。さらにこの結果を式 (28) の形で整理すると図 3 および図 4 となる。図 3 に対する μ_i と

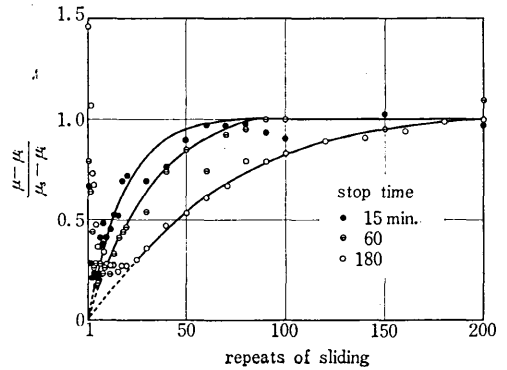


図 2 図 1 を式 (28) の左辺の形で整理した曲線

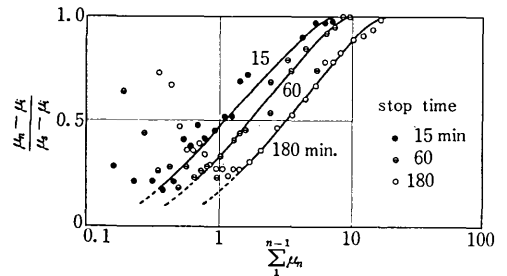


図 3 図 2 における実験結果の $(\mu_N - \mu_i)/(\mu_s - \mu_i)$ と $\sum_{n=1}^{N-1} \mu_n$ との関係

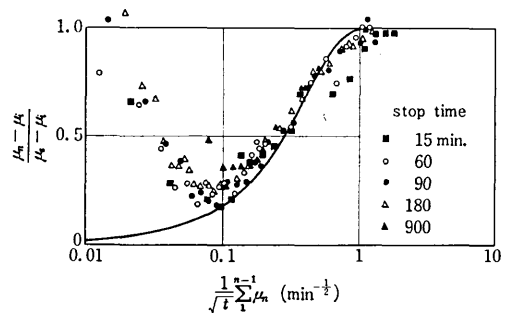


図 4 ペレットによる実験における総摩擦回数 7,000 ないし 10,000 回付近に現われる減少型の停止効果と式 (28) との比較、実線は $D^* = 0.084 \text{ min}^{-1}$ としたときの式 (28) の曲線

表 1 図 4 における μ_i と μ_s の値

Stop time (min)	μ_i	μ_s
15	0.067	0.096
60	0.066	0.105
90	0.067	0.112
180	0.040	0.110
900	0.032	0.108

するとき、日本の現状は、幸いにもまだまだその傾向がおだやかである。ここで日本の工業が今後、欧米のそれとは異なる道をあゆむのか、それとも単に時間がずれているだけで本の工学もいつかは同様な不況時代を経験しなければならないのかということ、工学にたづさわる者の一人として大いに気になることである。たしかに日本の工学は、これまで欧米のそれに比して財政的に恵まれてはいなかったこともあって、構造的に不況に強い面を持っているから打撃は小さいかもしれない。しかし一方、たとえば明治以後日本の産業発展が欧米のそれをひとつひとつたどるかたちで進んできたこともよく指摘されていることである。十数年前、筆者が留学したときあたかも文明の本質的なちがいであるかのように思われたことのうち、多くのことが時間のづれにすぎなかったことを、帰国したときに留守中の日本の変化から発見したことを思いだす。工学の行方も同じでないといきれない。とすると昔とちがいが、欧米との時間のづれは縮まっていると考えられるから、この問題は日本としては先のはなしであるとして楽観しているわけにはゆかないように思われる。

欧米で工学が不振になった原因はひとつではないだろう。そのなかには競争者たる日本の工業躍進の影響も当然含まれていよう。しかし、なんといっても公害問題が大きな原因となっていることは否定できないであろう。昨年、英国滞在先だて訪問した米国では行ったさきざきで環境問題の展示会や講演会がひらかれていた。環境保護の運動は欧米では汚染問題だけでなく、資源の枯渇、人口増加などの問題も含めたもので後進国に対する先進国の利己的主張というニオイがしないでもなかったが、この運動が日本にくらべたらずっと条件のよいとこ

ろでおこなわれていることを考えるとき、最も危い国がノンビリしているという批判を私達はまぬがれないようにおもった。現在、経済進出などで欧米の対日感情がむかしとくらべずっときびしくなっていることを私達は忘れるべきでない。

限られた留学中の印象から工学の今後の動向について結論をひきだすことはいましめなければならないであろうが、公害問題を契機として工業が今後環境保全を必要条件とした社会的な性格のものに転換しなければならないことは明らかで、これに対応して工学も、これまでのような経済性を優先するものから社会的なものに質向転換することが必要と感ぜられた。

この転換はみかけほど容易でないと思う。個々の研究者の発想を根本的にかえなければいけないからである。たとえば日常の研究活動において私達はほとんど無意識にその経済的価値を検討する習慣がついているが、公害の可能性についてキメ細かに検討する態勢はできていない。ひとくちに公害源といってもいろいろな種類のもので考えられるので、個々の研究者の手に負えないということもある。このためには、ひろい分野の研究者を含んだチームで検討することが必要である。

この種のチームを組むには、本所のように各分野の壁がうすいことは協力体制をくむうえでは有利である。しかし、従来の工学諸分野だけでは、この種の研究には不十分で、医学、生物学の諸分野、すくなくとも環境学(エコロジー)がこのチームに加わるべきであろう。工学教育の面でも環境学を必修にするなど、新しい工学への転換をめざして、カリキュラムをかえていく必要があると思われる。

(1972年9月25日受理)

(p. 30 よりつづく)

μ_s との値は表に示してある。また図3は本稿の理論によれば試料中の不純物濃度に対応するものである。さらにこれらの曲線は変数として $(1/\sqrt{t}) \sum \mu_s$ をとることによって、停止時間によらず一定の曲線を描くことになり、実際図4に示すとおり各実験結果はきわめて良い一致を示した。

謝 辞

この研究を遂行するにあたり、実験に協力された本所

技官 加藤武、金沢大学工学部講師 内山吉隆の両氏ならびに種々有益な御討議を賜った機械技術研究所 津谷裕子技官に感謝します。

(1972年10月4日受理)

参 考 文 献

- 1) 松永・星本・内山: 潤滑, 16, 192, 1971
- 2) 松永・星本: 生産研究, 24, 481, 1972
- 3) J. k. Tyler and P. M. Ku: ASLE Trans. 10, 28, 1967