

寶石の摩擦

宮川行雄・深谷敏夫

The Sliding Friction of Jewels

By Yukio Miyakawa and Toshio Fukaya

ABSTRACT : The sliding friction of jewels was studied under dry and thin-film conditions. The jewels used as the plates were artificial sapphire, ruby, quartz, obsidian and glass. The sliders were prepared from various metals, such as steel, brass, Cu, Al and Sn as well as from the above mentioned jewels. The coefficient of friction varied conspicuously as the hardness of the slider varied. In dry states, artificial sapphire or ruby used as the plate showed the coefficient of friction of about 0.2 for almost all sliders, but about 0.6 for Al and Sn sliders. Quartz, obsidian and glass showed large coefficients of friction ranging from 0.7 to 1.0 when used with sliders of the same jewels as the plates or sliders of steel, Al or Sn, but showed small values of about 0.3 for brass and Cu sliders. Examining the tracks on the plates due to friction, we gave an interpretation to these results. In general, the coefficient of friction dropped to about 0.2 when clock oil, spindle oil or castor oil was used as lubricant.

(1949年5月26日受理)

寶石は時計や電気計器の軸受として広く用いられているが、かかる寶石類について、そのすり摩擦特性を求めた実験は殆んどない。

寶石類のすり摩擦は金属に比較して一般に非常に小さいと考えられているが、果していかなる摩擦特性を示すか、更に油の潤滑効果はいかに示されるかについて実験を行った。

実験

実験の装置、方法は以前の理工研報告¹⁾に報告したものと同一である。

使用せる寶石は人造サファイヤ、人造ルビー、水晶で、その他黒曜石、ガラスについても実験を行った。

摩擦棒は各摩擦板の石と同一の石、球軸受用の直径1/8"のクロム鋼球、直径4mm尖端半球状の眞鍮棒、銅棒、アルミニウム棒である。

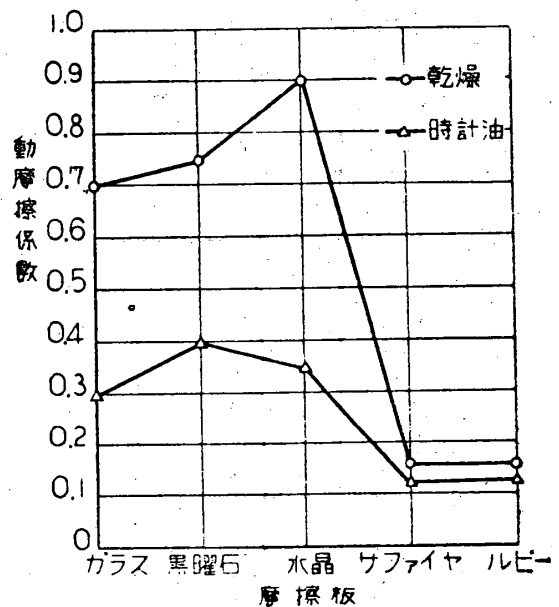
水晶はピエゾに使用せるもので電気軸に垂直な面を摩擦面として用い、黒曜石は縞状構造をなしたもので縞に沿って切斷した面で摩擦を測定した。

ガラスは鏡の破片を用いたが成分は不明である。

摩擦条件としては、すり速度は0.05 mm/s、荷重は零荷重から1kgまでで荷重をこの範囲で連続的に變化しその間の平均動摩擦係数を求めた。

実験結果

第1圖より第4圖まではサファイヤ、ルビー、水晶、黒曜石、ガラスの各摩擦板についてえた結果で、摩擦棒には各摩擦板と同一の石、球軸受用の直径1/8"のクロム鋼球、直径4mmの眞鍮棒、銅棒を用いた場

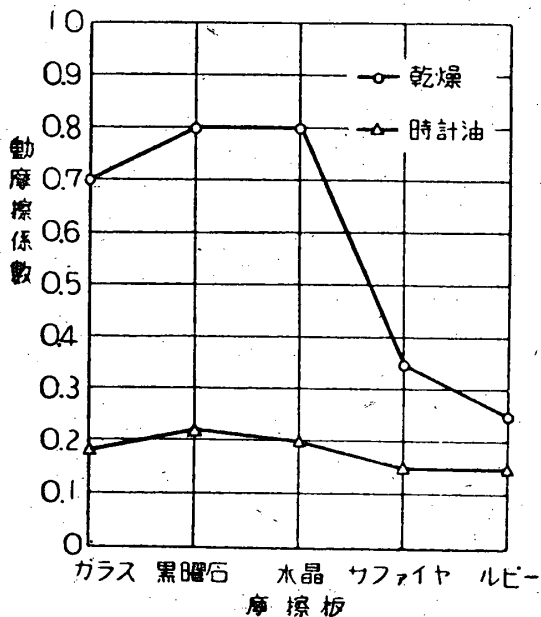


第1圖 摩擦棒に夫々の摩擦板と同一の石を用いた場合

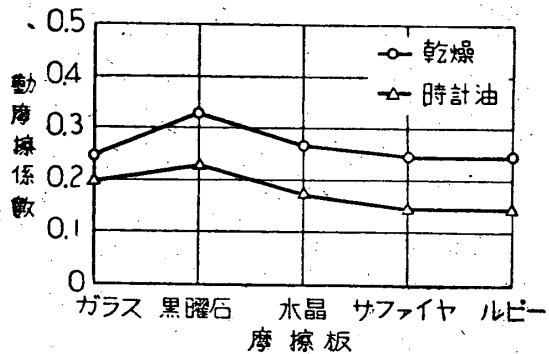
合である。

なお stick-slip (附着-り) の摩擦特性を示すものはまえにのべたように平均の動摩擦係数で示してある²⁾。

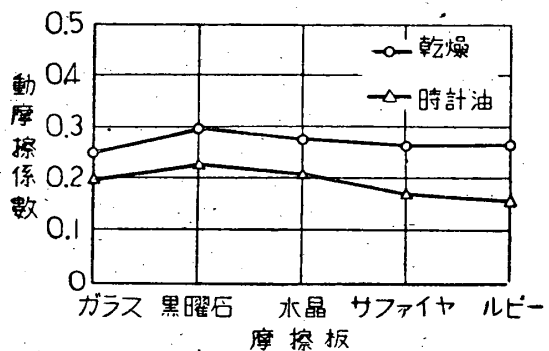
又不整摩擦特性を示して摩擦力が幾分変動する場合も同様に平均の動摩擦係数で示した。



第2圖 摩擦棒に球軸受用の直径 1/8" のクロム鋼球を用いた場合



第3圖 摩擦棒に直径 4 mm の真鍮棒を用いた場合



第4圖 摩擦棒に直径 4 mm の銅棒を用いた場合

第1圖の同種の石の組合せの結果をみると特異な事として水晶/水晶, 黒曜石/黒曜石, ガラス/ガラスの組合せに於いては純金属の合金のときと同じく殆んど1に近い非常に大きい動摩擦係数を示しており部分的に「附着-り」の摩擦特性を示しているが, 純金属の合金のときと同じく不整摩擦の特性もあらわれている。

サファイヤ/サファイヤ, ルビー/ルビーでは動摩擦係数は約 0.15 で連続りの摩擦特性を示している。

第2圖の直径 1/8" の球軸受用クロム鋼球を摩擦棒として用いたときは, サファイヤ, ルビーでは動摩擦係数 0.2~0.3 は約で連続りの摩擦特性を示している。

一般に石のり摩擦は非常に小さい事が豫想されるのであるが, 水晶, 黒曜石, ガラスの動摩擦係数は非常に大きく 0.7~0.8 を示している。

第3圖, 第4圖は摩擦棒に直径 4 mm 尖端半球状の真鍮棒, 銅棒を用いたときの各石についての動摩擦係数を示したものである。その値はいずれも 0.25 程度で比較的小さい。

従つて石のり摩擦は一般に考えられる如く必ずしも小さい摩擦を示すものでなく摩擦面の組合せによつては著しく大きいり摩擦を示す場合のある事が判る。なおこれについては後の討論の所で更に詳細のべよう。

以上の結果はいずれも乾燥状態についてであるが, 時計油で潤滑した場合は同じく第1圖から第4圖に示した。なおスピンドル油, カストル油のときも殆んど同程度の動摩擦係数を示したが圖には省略してある。

第1圖の同種の石の組合せに於いて, 特に水晶/水晶, 黒曜石/黒曜石, ガラス/ガラスの場合には油の効果は顯著で, 固体摩擦の不整摩擦特性は「附着-り」特性に變じ, 動摩擦係数も半分以下に減じている。

サファイヤ/サファイヤ, ルビー/ルビーの場合は固体摩擦の大きさが小さいので油による摩擦の低下は著しくないが, 幾分の減少を示している。

第2圖のクロム鋼球/水晶, クロム鋼球/黒曜石, クロム鋼球/ガラスの場合には固体摩擦の 0.7~0.8 から 0.2 位に減少し, 摩擦特性も固体摩擦の「附着-り」から連続りに變じている。

クロム鋼球/サファイヤでは 0.2, クロム鋼球/ルビーでは 0.1 の減少がみられる。

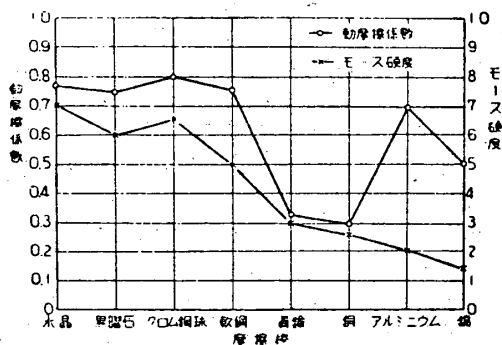
第3圖, 第4圖の真鍮棒銅棒, の場合はいずれも 0.1 位の減少が示されている。

討 論

前述の如く同種の石の組合せではサファイヤ、ルビーの場合を除いていずれもその送り摩擦は大きく、又クロム鋼球との組合せに於いても水晶、黒曜石、ガラスでは同じく大きい値を示し、眞鍮棒、銅棒との組合せではいずれも 0.3 位の小さい値を示す。

同種の石の組合せに於いて送り摩擦の大きい場合のある事は同種純金属の細合せに於ける送り摩擦と対照して容易に考え得られるのであるが、クロム鋼球の場合と眞鍮棒、銅棒との間にかくも送り摩擦の大きさに相異のある事は金属の送り摩擦の場合に比して納得しがたい事である。

更にこの點を明らかにするために、かかる特性を示す水晶、黒曜石、ガラスについて他の金属の摩擦棒によつて實驗を試みた。その一例として黒曜石について摩擦棒の種類と動摩擦係数との關係を第5圖に示した。



第5圖 摩擦板に黒曜石を用いた場合

第5圖から摩擦棒の相異によりいかに送り摩擦の大きさが變化するかわかる。なお圖に各摩擦棒のモース硬度も合せて示してあるが、摩擦棒のモース硬度の大きい程動摩擦係数は大であり、大體モース硬度の大小に比例している。そしてモース硬度の小さいアルミニウム、錫では逆に増大している。

以上の關係は各摩擦板(石)の表面についた摩擦痕を調らべる事によつても明らかにされた。

即ち種々の組合せで先ずサファイヤ、ルビーの場合についてみると、サファイヤ/サファイヤ、ルビー/ルビー、クロム鋼球/サファイヤ、クロム鋼球/ルビー、眞鍮/サファイヤ、眞鍮/ルビー等の各組合せに於いては明瞭な摩擦痕は認められず、部分的に摩擦棒によつて傷つけられたらしい痕跡がみえた程度である。

次に水晶/水晶、黒曜石/黒曜石、ガラス/ガラスでは摩擦痕に著しい荒れを示しえぐりとられた跡がみつらなつていた。

クロム鋼球/水晶、クロム鋼球/黒曜石、クロム鋼球/ガラスでは、摩擦痕の中に幾條かの引揺傷が入つてお

り同種の石の組合せのとき程には摩擦痕は荒れていないが、更に圓弧状なした割れ目が大體規則的に、かつ荷重の高くなるほど大きく間隔も短く入つて來ている。この現象はガラスよりも水晶、黒曜石の場合にとくに明瞭で、たとえば黒曜石の場合には荷重 500 g で割れ目の間隔は約 0.03 mm である。

軟鋼棒/水晶、軟鋼棒/黒曜石、軟鋼棒/ガラスでは、クロム鋼球のときの如く摩擦痕に割れ目は認められないが一面に荒れており石の破碎した跡がみつらなつていた。眞鍮棒/水晶、眞鍮棒/黒曜石、眞鍮棒/ガラスでは幾條かの引揺傷及び部分的な面の破碎を生じており更に眞鍮が石にこすりついているような形跡もみられた。

銅棒/水晶、銅棒/黒曜石、銅棒/ガラスでは摩擦痕はあまり明瞭についておらず、適當な照明の下で肉眼で銅のこすつた痕が認め得る程度であつた。

アルミニウム棒/水晶、アルミニウム棒/黒曜石、アルミニウム棒/ガラス、更に錫棒/水晶、錫棒/黒曜石、錫棒/ガラスでは石の表面にこれらの金属が附着していた。

従つてサファイヤ、ルビー及同種の石の組合せの場合を除いて、送り摩擦の著しく大きい場合は硬い摩擦棒を用いて摩擦痕に割れ目を生じているか、或いは表面の破碎により痕に荒れを呈しているとき、更に軟い摩擦棒でその金属が石の表面に附着している場合である。

先ず金属に於いては見られなかつた割れ目はいかにして生ずるかを考えてみると、石は硬度大で緻密であるが脆弱で、金属と異つて弾性變形から塑性變形をへず急激に破碎するものと考えられる。今の場合クロム鋼球は石と或る面積で接觸しておりこの附近の石の内部にその抗壓強度よりも大きい應力面ができたとすれば、この面から破碎し恐らく圓弧状の割れ目を生ずることが考えられる。又石は一定方向に送つている。故に或る間隔をおいて規則的に、即ち割れ目を生ずる抗壓強度まで摩擦仕事の蓄積が行われると先ず割れ目を生じ、更に再び摩擦仕事の蓄積が行われて割れ目を生ずるといふ具合に規則的に繰返されて行くのであろう場合によつては割れ目の代りに表面の連続した破碎を生ずる事も有りうるわけでその時の條件によつて異つてくるであらう。

参考のために石の表面についた摩擦痕の幅を求めてこの幅を直径とする圓で摩擦棒が石と接觸しているものと考えてその接觸壓力を求めると第1表の如くなる。

第 1 表

摩擦棒	摩擦板	荷重 kg	接觸壓力 kg/mm ²
クロム鋼球	水晶	1	400
クロム鋼球	黒曜石	0.5	220
クロム鋼球	黒曜石	1	170
眞鍮棒	黒曜石	1	100
アルミニウム	黒曜石	0.5	18
アルミニウム	黒曜石	1	9
アルミニウム	水晶	0.5	16
アルミニウム	水晶	1	11

無論ここに示せる値はおよそのもので、特に眞鍮の場合は摩擦痕もはつきりしておらず大體の値であつて實際の接觸壓力は表の値よりも大きいであろう。ガラス(黒曜石でも同様であろう)の抗壓強度は 60~126 kg/mm²、水晶の抗壓強度は 160 kg/mm² 位で摩擦棒にクロム鋼球を用いたときは第1表に示される如くその接觸壓力は水晶、黒曜石、ガラスの抗壓強度を遙るかに上廻つてゐる。

従つて硬度大で接觸壓力の著しく高い組合せでは、割れ目の生成、或いは表面の破碎を生じたり摩擦の増大するのは當然である。

サファイヤ、ルビーではいかなる摩擦組合せに対しても殆んど摩擦痕はつかずその動摩擦係数は水晶、黒曜石、ガラスに比較して著しく小であるが、これはサファイヤ、ルビーの抗壓強度が著しく大きいと考へられる。サファイヤ、ルビーについて抗壓強度の値は見當らなかつたがこれらの抗壓強度は 1000 kg/mm² という非常に大きい値であろう。これは V. Stott³⁾ のピボット軸受の實驗に於いても示されている。

今クロム鋼球/サファイヤの場合について、Hertzの式により接觸壓力を求めると最大の最高接觸壓力は荷重 1kg に對して 350 kg/mm² となる。但しサファイヤの彈性係数が不明なので式中この項を除いて計算を行つた。従つてこの實驗に用いた荷重 (1kg) の程度では、その接觸壓力はサファイヤ、ルビーの抗壓強度よりも著しく小で表面の割れ、破碎を生ずるには不十分である。従つてサファイヤ、ルビーの如きなめらかな表面を摩擦せる場合と、水晶、黒曜石、ガラスの如く面に割れ目を生じ、或いは破碎しながら摩擦して行く場合とでは後者の方が遙るかにたり摩擦は大きいのは當然である。

尙同種の石の組合せの場合でも同じ事が成立するであろう。即ち水晶、黒曜石、ガラスでは接觸壓力によ

り兩接觸部の破碎を生じ動摩擦係数は著しく大きくなるが、サファイヤ、ルビーでは接觸壓力が破碎を生ずるは低くすぎ、従つて前者に比して小となる。

眞鍮棒、銅棒との組合せの場合には、クロム鋼球に比して硬度の低い事による接觸面積の増大、従つて接觸壓力の低下は當然起り得る所で、かかる傾向は第1表にも示されている。眞鍮棒/黒曜石で荷重 1kg のとき接觸壓力は 100 kg/mm² で黒曜石の抗壓強度にほぼ對應する大きさである。銅棒のときは更に接觸壓力は低くなるであろう。従つて眞鍮棒、銅棒のときはクロム鋼球の場合に比して著しく接觸部に於ける破碎の程度を減じ動摩擦係数の低下を來たす事は容易に考へ得られる。

尙これに關連して注目すべき事は、アルミニウム棒、錫棒の場合であつてこのときは第1表に示す如く硬度の小なる事により接觸壓力の著しい低下を來たすが、一方兩金屬は石の表面に附着しておりアルミニウム棒、錫棒でたり摩擦の大きい事はこの金屬の附着によるものと考えられる。

従つて眞鍮棒、銅棒の場合は硬いクロム鋼球の如く石に著しい摩擦痕をつけてたり摩擦の大きい場合と、アルミニウム棒、錫棒の如く石の表面に金屬を附着してたり摩擦の大きい場合の兩反對現象の中間、更に嚴密に云へば眞鍮には石を傷つける作用もかなり入つており銅の場合が丁度中間にあたりこれが動摩擦係数最小の位置にあたるわけである。

即ち摩擦棒の硬度並びに金屬の性質がたり摩擦の大小に非常に關係しているわけで、要約すれば硬度が適當に小で従つて接觸壓力が小さく石に附着しがたい金屬を摩擦棒として用いたときたり摩擦は低いといえる。これは容易に推察し得る所である、なお金屬の組合せのたり摩擦の場合も同様であろうが、石の場合は石の脆弱性から摩擦棒の硬度の影響が明瞭に現はれるのであろう。

總 括

本實驗の結果をまとめてみると次の通りである。

(1) 同種の石の組合せで摩擦せるときサファイヤ、ルビーでは動摩擦係数 0.15 程度の低い値を示すが、水晶、黒曜石、ガラスでは同種純金屬の合金のときと同じくたり摩擦は著しく大きく 0.7~0.9 で摩擦痕に著しい荒れを示している。

(2) サファイヤ、ルビーをクロム鋼球、眞鍮棒、銅棒に組合せると動摩擦係数 0.15~0.3 の低い値を示し摩擦痕も殆んどつかない。

(3) 水晶、黒曜石、ガラスでは硬い摩擦棒(クロム鋼球、軟鋼等)で摩擦したときは、摩擦痕に割れ目或いは破碎を生じ動摩擦係数 0.7~0.8 に達する。

一方軟い摩擦棒(アルミニウム、錫)では逆に石の表面に金属が附着する事により同じく動摩擦係数は大である。摩擦棒が眞鍮、銅のとき、とくに銅に於いては石の表面に摩擦痕をつける事も、又金属が附着する事も少く迂り摩擦は極め小で動摩擦係数 0.3 を示し、クロム鋼球、アルミニウム棒の場合の半分以下になっている。

(4) 時計油、スピンドル油等の潤滑効果は顯著で水晶/水晶、黒曜石/黒曜石、ガラス/ガラス及び摩擦棒にクロム鋼球を用いた場合の固體摩擦は 0.7~0.9

から 0.2~0.3 に減少する。

眞鍮棒、銅棒を摩擦棒に用いたとき、及びサファイヤ、ルビーの各種組合せではあまり顯著ではないが、0.1 程度動摩擦係数を減じており、油による潤滑効果はいずれの場合にも明瞭に示されている。

本実験に際してはシチズン時計會社の堀切氏に試料及び面の研磨について種々御便宜を頂いた。こゝに厚く感謝の意を表します。

文 献

- (1) 曾田、宮川、理工研報告、2. (1948), 23.
- (2) 同上
- (3) V. Stott : J. Inst. Elect. Eng., 69(1931), 751.

蒸気エゼクターの熱力學的計算

甲 藤 好 郎

A Thermodynamical Calculation of Steam Ejectors

By Yoshiro Katto

ABSTRACT : Although steam-ejectors have long been used in practice, there is no theory of practical use for calculating and designing ejectors even now. Most of the designers have hitherto been obliged to depend upon their experiences. Concerning the theories of steam-ejectors, nearly all the text-books mention a theory similar to that of Stodola described in his famous book. His theory, however, is too simple to be useful for the design in practice. G. Fluegel attempted to solve the problem more completely by hydrodynamics, but his theory is, on the contrary, too complex to be of practical use.

In this paper, therefore, was introduced a constant called "ejector constant" for the convenience of calculating steam-ejectors, so that the dimensions of steam-ejectors could be determined theoretically. The cause of the so-called hysteresis phenomena of steam-ejectors was also discussed.

(1949年4月15日受理)

エゼクターは相當以前から實用に供せられ⁽²⁾、しかも表面上はいかにも簡単な構造を持つものであるにかゝらず、いまだ實際的に有効な計算法は得られていない。まして空氣を蒸気で吸引するがごとき被抽出媒質と駆動媒質とが異なる場合については取り扱われた例が少ない。これはエゼクターを支配している現象が複雑であつて、この現象を理論的に解明することがかなり困難であるからであるが、以後述べる方法も噴流装置の一般的な機構を嚴密に解明することを目的とするものではない。むしろこの方法は以上に述べたごとき複

雑な現象に對して非常に簡易な計算で済ますことを目的としたために、かなり人爲的な、從つて純理論的な見地からは餘り興味のない手段を使用している。しかしながら最近になつて廣く使用されている型の蒸気エゼクターについて本方法は相當に有效な結果をあたえるものと思う。

1. 單 位

正確を期すために使用する單位について一言しておく。以下すべて、長さの單位としては m, 重量には