ルゲージNにて測定する事によつて結合度を判定する事にして第4の缺點を除く事にした。

この喰込量 d が結合度に関し、如何なる物理的意味を持つて居るかに就ては第4報に於て詳細に論ずる事にして、唯今はこの d の値を以つて結合度を比較する事にした。

又ビットが砥粒を削り取る時の速度の影響に就ては第2報に於て詳細に述べる積りである。

圖9は本原理を應用して設計試作された試験機第1號であり、圖10は同じく砥石を研削盤に取附けたまゝで測定の出来る様に設計試作された可搬型試験機第1號である。

これ等の試験機の構造は、その後の試験機設計基準を求める豫備實驗で、多少變更されたのでその詳細なる説明は省略する。

(1952, 1月12日受付)

鋼球の轉り摩擦の研究(第1報) 539.622:621.822.71

正會員 久田 太郎*・津川 浩造*

On the Rolling Friction of Steel Ball (1)

Taro Hisada & Kozo Tsugawa

Formerly we researched the general characteristics of the rolling friction by using rollers and bearings made of steel and glass, and found that the moment of dynamical solid friction M_f , within the elastic limit and when the surface roughness was less than 1μ , was proportional to the contact area given by Hertz's contact theory.

But this time we have measured the rolling friction of steel ball (in steel and glass bearings) by gravitational pendulum method. And the results newly obtained are all the same with the general characteristics of friction of roller, and are as follows.

- 1) Within the elastic limit and if surface is very smooth, M_f is proportional to the contact area and is given by the following formula.

$$M_f = cSr_1 \text{ (dyne-cm)}$$

where, c : the frictional force per unit area (dyne/cm²)

S : the contact area given by Hertz's contact theory (cm²)

r_1 : radius of ball (cm)

From our experiment, the value of c was 33.27×10^3 dyne/cm².

- 2) However, in case the small ball is loaded by comparatively heavy load (within the elastic limit), M_f increases deviating from the above-mentioned relation, and it is not yet clear whether this phenomenon is due to the strain at the contact part, the surface roughness, or due to other causes.
- 3) It is considered that beyond the elastic limit M_f is proportional to $P^{3/2}$ (P : total load) and independent of radius of ball.

I. 緒 言

我々は先に鋼及び硝子製の轉子及び受を試片として轉り摩擦の研究を行つたが¹⁾、今回は同様の實驗を鋼球について行い、轉子の場合と比較考察して見た。以下その概要を述べる。

II. 實 驗 方 法

圖1に示す如く2個の球を支點とする重力振

子を用い、その自由振動の減衰状況を光學的に測定して摩擦モーメントを求めた。實驗結果より、振子に働く抵抗は大凡そ速度に無關係な固體摩擦と、速度に比例した流體摩擦とから成り立つていてと考えられるが、今回はそのうち固體摩擦のみについて論ずることとする。實驗に使用した鋼球は市販の一級品、受にはA級のブロックゲージ及オプチカルフラットを用いた。實驗に際しては試片は石油ペンジンで注意深く洗滌して後乾燥して用いた。尙試片の表面粗さ

* 工業技術庁機械試驗所名古屋支所

は 1μ 以下であつた。

図1 実験装置

III. 実験結果とその考察

本実験は軽荷重で、總て弾性限内に於ける結果である。

1. 荷重 P と固体摩擦モーメント M_f .

図2に示す様に、 M_f は P の増加と共に増大するが、その増加の割合は各球とも $P^{2/3}$ に比例している。然しながら $r_1=1/8''$ 及び $3/32''$ の球は荷重 500 g 前後より大なる荷重に對し、この関係より離れて更に大となる。

図2 P - M_f 曲線

2. 球の曲率半径 r_1 と M_f .

図3に示す如く、前述の $r_1=1/8''$ 及び $3/32''$ の一部を除き M_f は $r_1^{5/3}$ に比例する。

図3 r_1 - M_f 曲線

図4 E の影響

3. 弾性係数 E と M_f . 弾性係数 E の影響を調べるため、硝子面上で実験してみた。その結果と鋼上で行つた結果とを比較すると図4の如くであり、 M_f は $E^{2/3}$ に逆比例している。但しこの場合 $\frac{1}{E} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)$ で E_1 及び E_2 は夫々球及び受のヤング係数で、本実験の場合は $E_1=2.1 \times 10^9$ g/cm²、 $E_2=0.6672 \times 10^9$ g/cm² である。

以上の結果を総合すると、摩擦モーメント M_f は弾性限内では次式で表わされる。

$$M_f \propto \sqrt[3]{\frac{P^2 r_1^5}{E^2}} \\ \propto \sqrt[3]{\frac{P^2 r_1^2}{E^2} r_1} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{但し } \frac{1}{E} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) \Bigg|$$

Hertz の公式²⁾によれば、半径 r_1 (cm) の球が圧力 P (g) で平面に壓着される場合に生ずる接觸圓の半径 a は次式で與えられる。

$$a = \sqrt[3]{\frac{3}{4} \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right) P r_1} \quad (\text{cm})$$

但し、 ν_1, ν_2 は夫々球及び受のポアソン比然るに一般金属及び硝子のポアソン比は大體一定 (略 0.3) であるから、 $\nu = \nu_1 = \nu_2$ とおけば

$$\begin{aligned} a &= \sqrt[3]{\frac{3}{4} (1-\nu^2) \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) P r_1} \\ &= \sqrt[3]{\frac{3}{2} (1-\nu^2) \frac{P r_1}{E}} \\ \therefore a &\propto \sqrt[3]{\frac{P r_1}{E}} \end{aligned}$$

故に接觸面積 S は次の如くなる。

$$S \propto \sqrt[3]{\frac{P^2 r_1^2}{E^2}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

(2) を (1) に代入すれば

$$\begin{aligned} M &\propto S \cdot r_1 \\ \therefore M &= c \cdot S \cdot r_1 \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

なる關係が得られる。茲に比例常数 c は單位面積當りの摩擦力であり、實驗結果より 33.327 g/cm² が得られた。先に行つた轉子の場合¹⁾には $c = 4.38$ g/cm² であり、之に較べると約 7.6 倍の値となつた。この原因理由等は目下検討中である。

尙前述せる如く、 $r_1 = 1/8''$ 及び $3/32''$ の球が比較的大きな荷重を受けると上述の關係より離れて大きくなる原因としては目下の處では不明であるが、大凡そ次の様な事が考えられる。

a) 荷重による歪の割合が大徑の球に比して大なる爲接觸部に働く滑り摩擦の影響が顯著に現われるのではないか。

b) 表面の粗さが轉子や大徑の球等に較べて微妙な影響を及ぼすのではないか。

等であるが詳細については現在検討中である。

尙彈性限突破後如何なる關係で變化するかは實驗結果がなく、想像に過ぎないが、大凡そ次の様になるのではないかと考えられる。焼入鋼が彈性限内にて耐え得る最大壓縮應力を 3.226

$\times 10^4$ kg/cm² として、彈性限内に於ける最大荷重 P_e を求めると $P_e = 131 r_1^2$ となる。従つて彈性限荷重 P_e に於ける摩擦モーメント M_{fe} は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} M_{fe} &\propto P_e^{2/3} r_1^{5/3} \\ &\propto P_e^{2/3} P_e^{1/2 \times 5/3} \\ &\propto P_e^{3/2} \end{aligned}$$

即ち M_{fe} は $P_e^{3/2}$ に比例する。Goodman の球軸受に関する實驗結果³⁾によれば、 M_f は最初 $P^{2/3}$ に比例し、或荷重より上では $P^{3/2}$ に比例している。従つて轉子の場合と全く同様の考えにより、彈性限突破後は圖 5 の如く、 r_1 に関係なく $M_f \propto P^{3/2}$ の關係があるのではないかと考えられる。

圖 5 彈性限の内外を通ずる P - M_f 曲線

IV. 結 語

以上鋼球が平面上で轉動する際の主として彈性限内に於ける固體摩擦モーメントについて述べたが、之を要約すると、

a) 小徑のものゝ一部を除き、動的固體摩擦モーメント M_f は彈性限内に於ては接觸面積 S に比例し、

$$M_f = c \cdot S \cdot r_1$$

で表わされ、比例常数 c は 33.327 g/cm² であり、これは轉子の場合の約 7.6 倍であつた。

b) 球徑が小となり、荷重が大きくなると、接觸部の歪の影響か、表面粗さの影響か、又その何れが大きい役割を果しているか等は現在の處不明であるが、上述の關係を離

れて大きくなる。

- c) 弾性限突破後は r_1 に関係なく $M_f \propto P^{3/2}$ の関係があるのではないかと想像される。

尚今後は潤滑油を與えて滑りの影響を、又真空中で実験を行つて流體摩擦項を明らかにして行きたいと考えている。(1951, 12月4日受付)

文 献

- 1) 久田太郎, 津川浩造:「転り摩擦の研究」機械試験所々報 2巻2号~4巻2号.
久田太郎:「転り摩擦の研究」機械試験所報告第3号(昭25年6月).
久田太郎:「転り摩擦の研究」精密機械 17巻2号(昭26年2月).
- 2) 小野鑑正:「材料力学」(昭23), p. 586.
- 3) 磯江道夫:「球軸受, ころ軸受」, (岩波機械工学 昭16), p. 32~34.

620, 1000, 178., 621-288

硬度測定値に及ぼす表面粗さの影響¹⁾(第1報)

正 會 員 安 藤 善 司²⁾

I. 緒 言

金属材料の硬度を測定する場合に、表面の仕上程度が異なる爲に硬度の測定値に差異を生ずることは當然考えられる事である。しかも實際に工場等で硬度を測定する場合に、必ずしも十分に面を仕上げてから測定してゐるとは限らない。例えば素材の硬さを仕上げないで其の儘測定したり、或ひは焼入した儘で測定する様な場合が多い。そこで最も普通によく用ひられるショア硬度、ヴィッカース硬度、ロックウェル硬度を測定する場合に、表面の粗さがどの様に之等の硬度の測定値に影響するかを研究し、之等硬度の正確な値を測定する爲の参考とし、出来得れば其の條件を見出そうとした。尚、ブリネル硬度は上記の硬度と共に普通よく用ひられるのであるが、壓子として直径 10mm の鋼球を用ひる爲に壓痕が大きく、粗さの影響は極めて小さいか或ひは殆ど現れないことが當然豫想されるので、実験の對象から除外した。

II. 實 験 方 法

試料としてはショア硬度 28.5 のもの(以下

試料Aと稱す)と 81.5 のもの(以下試料Bと稱す)の二種類を使用した。試料Aは直径 25 mm の炭素鋼丸棒を厚さ 25 mm に切斷して適當な焼鈍を行つて組織を均一にした後、ラップ仕上、ペーパー仕上、研削、鏤仕上及び旋削で端面を加工した。試験片は 11 個作り一通り試験した後、試験片を任意にとつてその裏面に上述の加工を表の面とは違ふ様にえらんで施して再び試験をし、材料の硬度のむらに依る影響を除く様にした。試料Bは 75.5×25×25 mm の長方形の硬度基準片を使用した。その儘の面(ラップ仕上)、各種ペーパー仕上及び研削を施して9種類の粗さの面を得た。硬度の測定回数はA, B 共にショア硬度は 30 個の、ヴィッカース、ロックウェル硬度は夫々 15 個の測定値をとりこれ等の算術平均値及び算術平均値からの各測定値の自乗平均誤差を計算して、表面の粗さによる算術平均値の變化及び測定値のばらつきの程度をしらべた。表面を鏤又はペーパーで仕上げるときは一定の方向のみに傷痕がつく様に注意して加工し、粗さの測定はすべて加工方向に直角に行つた。仕上面の粗さは日本光學の表面検査機により、擴大率は縦送りが 1000 倍、横送り 50 倍で測定した。表面のあらさは凸凹の最大の高さで表はし、 μ を以て單位とした。面のどここの形状は試料Aに於ける唯一つの例を

- 1) 昭和 26 年 9 月 21 日 日本機械学会, 精機学会, 応力学会連合北陸地方講演会に於て講演.
- 2) 岐阜県立大学工学部