を用いてピント合わせを行うことが必要になる。このような装置を持つことはこの測定機としては必要条件となる場合が多いので実際上は θ_3 による制限は考えなくてもよからう。ただ顕微鏡のピント合わせの微動装置の送りの真直度は測定精度に等しいかこれより小さい値にとつておかなければならない。

9. オートコリメータとの比較

普通の $1'$ よみのオートコリメータの対物レンズの焦点距離は約 300mm, 接眼レンズの倍率は $\times 10$, 程度のものが多い。このようなオートコリメータで直径 1mm の小面積の平面を観測する場合コリメータレンズの有効直径は 1mm となる。この場合点光源から出た光の回折縞の第 1 次の暗環の半径は明視の距離において $1.22 \times 6 \times 10^{-4} \times 300 \times 10 = 2.2\text{mm}$ となる。またこの場合 $1'$ の目盛は明視の距離において $2 \times 2.9 \times 10^{-4} \times 300 \times 10 = 1.7\text{mm}$ である。この状態では $1'$ の精度で角度の定測を行うには問題がある。

一方顕微鏡系を用いた方法では $m=10$, $n=3$ とすれば, $\Delta(\theta=1')=0.011\text{mm}$, 分解能を E として $10mE=0.12\text{mm}$ となる。この値は明視の距離におけるものであり, 肉眼の最小分解角 $\omega=2'$ より小さくなる。すなわち像のボケは肉眼ではみとめられない。

以上の計算から微小平面の角度測定においては普通のオートコリメータでは本文にのべた方法より精度がおちることになる。

10. 結 言

顕微鏡光学系を用いて微小平面の法線方向の検出を行い, あるいは微小な角度の偏差測定を行う方法を考案しこれによる測定の種々の制限条件について考えた。この結果微小平面を $1'$ 程度の精度で角度測定を行う場合には相当好結果が得られることが明らかとなった。この方法はビッカースダイヤモンド圧子の形状測定に用いるつもりで行ったものである。実際の応用については次報にゆづることとする。(1959, 3月24日 受付)

ミニチュア球軸受について

—— 鋼球ラッピングにおける切削抵抗 (2)* ——

井 戸 守** 羽 地 務**

On the Miniature Ball Bearing

—— On Cutting Resistance in Lapping Steel Balls (Part 2) ——

Mamoru Ido & Tutomu HAZI

In this paper continued from part 1, we made an experiment on the effect of lapping pressure, lapped quantity, sphericity of balls used and supplying interval of lapping compound upon cutting resistance when the radius of steel balls was about 1 mm.

Then we found following results,

- (1) in the case of cast iron lap, there were limits in suitable lapping pressure according to the ball size, and the supplying interval of lapping compound had no influence on them,
- (2) in the case of suitable lapping condition, the cutting resistance was proportional to lapping pressure or the lapped quantity, and its proportional constant was different according to lap materials,
- (3) in the case of nylon lap, lapped quantity was not much connected with lapping pressure, but sphericity was proportional to lapping pressure,
- (4) in the case of cast iron and nylon lap, variation of the cutting resistance was comparatively small, and the sphericity increased when cutting resistance decreased gradually.

1. 緒 言

前報¹⁾では切削抵抗がラッピング条件によつて変化する状態を調べ、これと関連するラップ量、真球度および砥粒あるいは切屑の状態などから切削抵抗の性状について研究した。そしてラップ量および真球度はラップ剤の状態と切削抵抗との観察結果から、切削抵抗の変化状態によつてその良否が判定できることが判明した。

ここではこれらの結果をもとに、ラップ圧あるいはラップ剤の補給、またはラップなどによつてラップ量、真球度の変化する状態を切削抵抗の測定、砥粒あるいは切屑の顕微鏡観察などの実験結果から考察し、このときの最適のラッピング条件について研究した結果を報告する。

2. 実験の方法

使用したラッピング装置および測定装置は前報と同じであるが、ラッピング条件が下記の点で異なっている。

ラップはショア硬度 32 の普通鑄鉄のほかにはポリアミド樹脂(ナイロン 66)を使用し、鑄鉄ラップとの接触の状態、機械的性質などの相違から生ずる変化を比較検討した。なおナイロンラップは前報²⁾のごとく、鋼球ラッピングでは相当有効なラップであることが判明している。

またラップ剤の補給方法は、その相違による結果の変化を明らかにするために、WA 600 # と石油との容積混合比が 1:4 のラップ剤を、5 分と 20 分間隔の 2 種類について実験した。ただし 20 分間隔補給の場合は 15~16 秒に 1 滴(約 40mg) ずつの石油を滴下した。そしてラップの回転数はいずれも 58rpm であり、ラッピング時間は 1 時間である。

供試資料は前報同様に 700°C で焼鈍した高炭素クローム鋼を仕上げたもので、表 1 のごとく 19 種の資料についてラップ圧およびラップ剤の補給方法を変化させて実験した。表中の N 符号はナイロンラップを使用した場合であり、このときのラップ量を考察するために別にラップ液のみによる 60g/個のラッピングも行なつた。なお各種別の鋼球数は各々 103 個からなっている。

3. 実験結果と考察

3.1 ラップ圧とラップ量および真球度との関係

図 1 はラップ圧に対するラップ量変化の実験結果であ

* 昭和 33 年 5 月 16 日 精機学会春季講演会で一部発表, 昭和 33 年 10 月 9 日 精機学会秋季講演会で発表

** 大阪府立大学工業短期大学部 正会員

表 1 対ラップ圧用資料

資 料	荷 重 (g)	ラップ剤 補給間隔 (分)	平均直径 (mm)	標準偏差 (μ)
1	100	5	2.0780	4.08
2		20	2.0775	3.95
3	80	5	2.0816	5.17
4		20	2.0771	4.72
5	60	5	2.0777	4.45
6		20	2.0775	3.95
7	40	5	2.0820	5.09
8		20	2.0834	5.10
9	20	5	2.0774	4.26
10		20	2.0775	3.70
1 N	30	5	2.0732	3.25
2 N		20	2.0752	3.75
3 N	60	5	2.0793	4.06
4 N		20	2.0725	3.75
5 N	90	5	2.0780	4.12
6 N		20	2.0760	3.55
7 N	30	油ラッピング	2.0740	3.17
8 N	60	〃	2.0728	3.01
9 N	90	〃	2.0719	3.23

図 1 ラップ圧によるラップ量の変化

り、ラップ量は直径の減少量として表わしたものであ

図 2 ラップ圧による仕上率の変化

る。また図 2 はこのときの真球度の変化状態で、各鋼球の 3 方向の直径測定結果から全鋼球についての標準偏差を求め、標準偏差の減少割合としての仕上率を縦軸にとつた。図中 0LN は砥粒を用いずにナイロンラップ液のみを前記同様に滴下したときの結果である。

一般的傾向としては前報³⁾と同様であり、鑄鉄ラップのときのラップ量は、ラップと鋼球の直接接触の割合、砥粒の切削能の変化とラップの加工硬化、ラップ剤の量または濃度などに関連して 40~70g/個の範囲では一様な比例状態から僅かながら減少している。そして低压部では 20 分間隔補給、高压部では 5 分間隔補給の場合はラップ量がより大きいのは、ラップ剤の切削有効時間の差が表われているものと思われる。しかしながらラップ剤の補給が 5 分間隔というのは、ラップ板の回転に伴ってその周辺から排出されるラップ剤の状態からも、また常識的にも明らかに補給過多であり、20 分間隔は前報⁴⁾の図 5 あるいは図 6 から判定すれば、ラップ量に対しては比較的有効に砥粒の働く時間である。図 3 は卓上投影機 (120 倍) による各補給間隔の場合のラップ剤の状態であり、切屑は適当に排除されており、平均した切削抵抗の差は後述のごとく少ないが、砥粒の状態は相当異なっている。従ってラップ圧が 60~80g/個の範囲では、その補給方法には関係なくラップ量がほぼ一定になることが推定され、鋼球の直径が異なればこの圧力範囲も変移するものと思われる。このことからこの圧力範囲以下の圧力で

図 3 鑄鉄ラップにおいて補給間隔を変えた場合
($\times 120 \times \frac{1}{2}$)

はさらに補給間隔を長くすればより有効なラッピングが行なわれ、この圧力以上の圧力ではその補給間隔をさらに短くするか、またはラップ剤の濃度を考慮すればより有効なラッピングとなる可能性が考えられる。従つてこの最適の圧力範囲は鋼球直径とラップ剤の濃度によつて異なることが予想され、この圧力では砥粒は有効に働き、図 2 から判るごとく真球度にも好結果をもたらすことになる。

ナイロンラップでは砥粒の破砕が少く、ナイロン対鋼の磨耗特性⁵⁾から低压部ではむしろ鑄鉄ラップよりも若干多いが、高压になるに従つて増加割合が少くなる。そして油ラッピングのラップ量からみれば、ラップ量の増加割合に対する砥粒の効果は非常に少ないことが考えられる。しかしながら真球度に対してはラップ剤の同一補給間隔でも圧力の増加に比例して上昇しているから、砥粒などの埋込みによる見掛け上の表面硬化は圧力の増加に対して徐々に増加し、接触面積も当然大きくなるから、ラップ剤の補給間隔あるいはラップ圧による相違が表われているものと思われる。このように見掛け上の表面硬化に伴つて、特に真球度に対しては好影響をもたらすということは、油ラッピングの場合のラップ量と真球度とがラップ圧に対して相反するという結果の事実からも推定されることであり、前報⁶⁾における仕上率への解釈の一つの裏付けといえる。

3.2 ラップ圧と切削抵抗との関係

ラップ剤の各補給間隔に対する各ラップ圧の場合の切削抵抗の変化は図 4 および図 5 である。図の左下の各値は砥粒を加えないときの抵抗であり、鑄鉄ラップでは砥

図4 切削抵抗の時間的変化 (1)

図5 切削抵抗の時間的変化 (2)

抗がラップ圧に比例しない原因は、主として真球度の相違による衝撃抵抗の差が出ていることは表1からも明らかである。またナイロンラップでは真球度の如何にかかわらずほぼラップ圧に比例し、しかもその抵抗が鑄鉄の場合よりもはるかに大きいのは、その弾性による衝撃抵抗が少く、接触面積と摩擦特性が原因である。

ラップ圧に対する切削抵抗は、鑄鉄ラップとナイロン

では定量的にも定性的にも多少異なっている。すなわち鑄鉄ラップでは補給方法の如何にかかわらずほぼ圧力に比例した切削抵抗を示し、補給前後の差が特に20分間隔では大きい。そしてこのときの衝撃抵抗の差が砥粒のない場合ほどには現われず、5分間隔ではよりこの傾向が顕著である。これは真球度の早急な変化を意味していないことは、前報⁷⁾の図7、図8に示した時間的な仕上率の変化と切削抵抗との比較からも明らかであり、砥粒がある種類の緩衝作用を行なっているものと思われる。そして砥粒の濃度とかラップの弾性によつて変化することは、ナイロンラップのときの切削抵抗の変化からも明らかである。

すなわちナイロンではラップ圧が90gでもラップ剤の補給前後の差が、鑄鉄ラップの40gぐらいに相当し、砥粒のない場合の抵抗に比して切削抵抗が極端に大きくはならない。これには図6に示す砥粒の状態も多少の影響のあることが考えられるが、図3と比較したときの切削抵抗の結果からは少ないものと思われる。

(a) 30g ナイロン58rpm
5分毎1時間(c) 30g ナイロン58rpm
20分毎1時間 (b) 90g ナイロン58rpm
5分毎1時間(d) 90g ナイロン58rpm
20分毎1時間図6 ナイロンラップにおいて補給間隔を変えた場合
($\times 120 \times 1/2$)

図7はラップ圧と切削抵抗との関係である。図4および図5から求めた切削抵抗は、抵抗の時間的な変化の状態と前記の原因から、5分間隔補給の場合には補給前の抵抗の平均値、20分間隔では補給前と中間の10分における抵抗との平均値を採用した。

この結果によれば補給方法による相異は少く、ラップ材質によるその傾向の変化が明瞭に現われている。そしていずれもほぼ直線に近い比例関係をしていることが判

図 7 ラップ圧による切削抵抗の変化

図 8 切削抵抗によるラップ量の変化

る。

一般のころがり摩擦とはその機構または条件も根本的に異なり、砥粒の存在のほかにも機構的にも spinning が生ずるが、巨視的な転り摩擦として切削抵抗をみれば、圧力との関係はタイヤの転り抵抗⁹⁾に近似しており、この場合のラップはその機械的性質が相当異なるけれども、抵抗の速度項が硬度によつて変つてくる⁹⁾ということを考慮すれば、普通の転り摩擦と同傾向を示していると言える。しかしこの定量的な結論はなお多くの資料にまたねばならない。

3.3 切削抵抗とラップ量との関係

図 8 に示すように、切削抵抗はラッピング条件が同一のときはほぼラップ量に直線的な比例をする。そしてこの関係は補給方法またはラップの種類によつて比例常数が異なる。

ナイロンラップでは油ラッピングと 20 分間隔補給とでは、その増加割合がほとんど同じであり、本実験の圧力範囲内では圧力の増加に対して砥粒の影響はほとんど変わらない。従つてラップ量に対する効率からは、ラップ剤の濃度をもつと増加せしめるとか、ナイロン成形の際に砥粒を混入するというのも一つの方法である。

4. 結 論

ラップ剤の補給方法およびラップの種類を変化させて、砥粒あるいは切屑の状態をも考慮して切削抵抗とラップ圧との関係を求め、切屑の排出が適当に行なわれる

ようなラッピングにおける最適ラッピング条件などについて考察した。

(1) 鑄鉄ラップによる鋼球ラッピングでは、その鋼球の直径に適応したラップ圧のある範囲があり、この圧力範囲では砥粒は有効に働き、真球度にも最もよい影響を与える。そして本実験におけるラッピング条件のこの圧力では補給方法には関係なく、鋼球径が異なれば圧力範囲も変移し、この圧力以外ではラップ剤または補給間隔を考慮すればより有効なラッピングが行なわれる。

(2) 適当な同一ラッピング条件では、ラップ圧と切削抵抗またはラップ量と切削抵抗はほぼ直線的な比例関係にあり、ラップの材質によつてこの比例常数が異なり、ラップ圧に対する切削抵抗は通常の圧力と摩擦抵抗との関係に近いものとなる。

(3) ナイロンラップにおけるラップ量に寄与する砥粒の影響は、ラップ圧の変化に対してはほとんど認められないが、真球度はラップ圧に比例して上昇する。

(4) ラップが鑄鉄とナイロンだけの切削抵抗の結果からは、抵抗の振動と変化そのものが比較的少く、しかも抵抗が漸減する場合は結果的によく、ラップ材質が軟いものでは砥粒の支持力と破碎との関係から、より高压の場合が好影響をもたらす。(1958, 12月26日 受付)

参 考 文 献

- 1) 井戸, 羽地: ミニアチュア球軸受について (鋼球ラッピングにおける切削抵抗 I), 精密機械,

Vol. 25, No. 7.

- 2) 井戸, 羽地: ミニチュア球軸受について, 精密機械, Vol. 24, No. 5, (1958) p. 254.
- 3) 井戸, 羽地: 前出 (2)
- 4) 井戸, 羽地: 前出 (1)
- 5) Wall: Nylon in Bearing & Gear, Prod. Engg., Vol. 21, No. 7, (1950) p. 102.

松原: 最近の摩耗理論とその応用, 機械の研究, Vol. 4, No. 2, (1953) p. 127.

- 6) 井戸, 羽地: 前出 (2)
- 7) 井戸, 羽地: 前出 (1)
- 8) 前田外: 自動車, 機械学会, (昭28) 55.
- 9) 久田: 転り摩擦の研究, 機械試験所報告, 3 (1950) 13.

干渉縞計数方式による長さの測定について (IV)

—— 試作された干渉縞計数装置について ——

桜 井 好 正*

Length Measurement by Fringe Counting (IV)

Y. SAKURAI.

In order to measure the length by counting the number of interference fringes observed in a field of interferometer, the counting apparatus was made on trial. This apparatus is composed of the phototubes to pick up the interference fringes, reversible electronic and mechanical counter, and cathode ray tube to read the fringe fractions. Counting rates in excess of 10KC have been achieved with this apparatus.

1. 干渉縞計数装置の構成

光波干渉計で一つの反射鏡を固定し, 他方の反射鏡を測定すべき長さだけ移動したとき, 視野にあらわれる干渉縞は反射鏡が波長の半分だけ移動する毎に, 1 つずつ移動することはすでに知られている。したがって干渉縞の移動数をその端数も含めて数えれば 長さが測定できるわけである。このような方法で長さを測定するには, 2 光線の等厚干渉を利用した マイケルソン型干渉計が最も適当である。特にその反射鏡に直角プリズムあるいは 3 面直角プリズムを使つたものは, 干渉縞を光電管で取出す場合に, 光電管に十分な光量を与えることができ, また精度の点でも最も優れたものである。干渉縞の計数装置を製作する場合には, 次の諸点を考慮する必要がある。

i) 干渉縞が正確に数えられ, かつその端数まで測定されること。

ii) 計数が可逆的であること。

iii) 計数速度が 0 サイクルから 10 キロサイクル以上に

及ぶこと。

iv) 干渉縞の鮮明度の変化に対して応じうること。

等である。光波干渉法で長さを測定する場合に使用する波長は, 普通 0.4μ 以上である。干渉縞は反射鏡が $\frac{1}{2}$ 波長移動する毎に, 1 つずつ送られるから, 0.1μ あるいはそれ以上の精度で測定する場合には, 干渉縞の計数に間違いが絶対ないことは勿論, その端数も必要な精度で知らなければならない。また 1 つの長さを測定する場合, その両端での位置ぎめ操作は, 一般に一度で完了することは少なく, 再三合せ直した後正しい位置に合せられることが多い。また振動等で反射鏡が 1 つの位置を往復する場合もおこりうる。このような場合にも正確な計数を行うには, 正負弁別できる計数装置が必要である。また位置ぎめされた場合には, 反射鏡はその位置で停止するから, 計数速度の下限は 0 サイクルでなければならない。またその上限は速い程測定時間を短縮するが, 10 キロサイクル程度あれば十分である。最後にスペクトル線は一般に波長幅を持つているから, 干渉縞の鮮明度は光路差の増大と共に低下する。したがって反射鏡を移動するときの光電管からの交流出力の振幅は次第に小さくなるわけである。このように出力振幅が変化しても計数

* 中央計量検定所 正会員