密着したブロックゲージの実質接触面積の 測定とその密着力に及ぼす影響*

加 藤 敬** 桜 井 好 正**

Measurement of Real Contact Area of Wrung Gauge Block
and Effect of the Area on Wringing Force

Takashi KATO, Yoshimasa SAKURAI

This paper describes the experimental result on the relation between real contact area and wringing force of gauge block. The real contact area of wrung gauge blocks is measured by means of the application of the total reflection method which was already developed by Y. Sakurai, one of the authors. A polarized parallel light beam is projected on the hypotenuse plane of a rectangular glass prism beneath which a gauge block is wrung, and polarizers are adjusted so as to intercept the reflecting light from the metal surface. Thus, the contact parts are observed as dark images in light back ground. The total contact area is measured by a photoelectric method. The wringing force is measured by torque to make slide for wringing off the gauge block from the plate. It is clarified that the real contact area is approximately in proportion to the wringing force. Moreover, the measuring error of the contact area caused by an obscurity of the images accompanied by total reflection is discussed.

1. 緒 言

現在のブロックゲージの密着の定義はきわめて概念的であり、ガラス定盤を用いてブロックゲージを光波干渉測定するさいの密着の良否は、素手による手ごたえや定盤裏面よりの視覚などにより判定されている。また実際の密着作業でも時には裸眼で良い密着と判断されても密着力の弱いものがあったり、またその逆の場合も起こる。

このような判定基準のあいまいさや複雑な挙動を明らかにする立場から、すでにいくつかの研究が行われている。筆者もブロックゲージをガラス定盤上に密着した場合の密着力（密着トルク）とブロックゲージの寸法との関係を調べ、密着を繰り返した場合、密着力が大きい時ほど二つの密着面がより接近することを知り、これを報告¹⁾²⁾した。

ブロックゲージの面のおうとつの状態から考えれば、密着の場合、二つの面の重なった全面にわたって完全に接触しているとは考えられず、数多くのきわめて小さい面で離散的に接触しているものと思われる。密着力はこの実質的な接触面積の大きさに関係すると思われるが、いままでブロックゲージの密着がこのような観点から調

べられたことがない。本報はそれらの関係を実験的に調べたものである。

2. 接触面積の測定装置

接触面積の測定には電気抵抗を使った方法³⁾もあるが、ここでは図1に示すような全反射を応用した測定法を用いることにした。これは以前に全反射式仕上面検査機⁴⁾として開発され、今回その一部分を改良して利用したものである。この方法にも後で述べるようなかなりの誤差が予想されるが、接触面積に対する密着力の大きさの関係を知るにはこの方法で十分であると考えられる。

直流安定化電源により点灯された白熱球からの光は、コリメータで平行光線となり、偏光板(a)と4分の1波長板を通り、入射角 α で直角プリズムの斜面に入射し全反射する。反射光は偏光板(b)を通り、さらに顕微鏡に入射する。いまプリズムの斜面に図のように金属面（たとえば鋼球）が接触すると、その部分だけが金属面の反射となる。ここで金属面からの反射光が直線偏光になる

図1 接触面積測定装置の光学系

* 原稿受付 昭和51年10月8日。昭和47年度精機学会秋季大会学術講演会（昭和47年10月30日）にて発表。

** 正会員 計量研究所（東京都板橋区加賀1-10-4）

図2 鋼球が接触した時の視野

図3 密着したブロックゲージ面の反射と全反射との対比

ように偏光板(a)と4分の1波長板を調整し、さらにこの直線偏光が遮断されるように偏光板(b)の角度を調整する。この場合、金属面が接触しない部分すなわちガラス面からの全反射光は、一般に楕円偏光となり偏光板(b)を通過する。したがって鋼球が接触している場合、顕微鏡の視野では図2のように明るい背景に鋼球の接触部分の暗黒の像が見える。顕微鏡の実像が結ぶ面に光電素子を置き、その出力を記録する。光電素子はシリコン光検出ダイオードを用い、特にタンダステンランプと分光感度特性が良く似たものを選び、且つ入力に対する起電力特性の直線部分を使用した。

鋼球のかわりにブロックゲージ(JIS A級, $R_{\max}$ 0.02 μm 程度)を密着した場合には、図3に示すように全面に多数の微小な暗い接触部分が散在したような視野となる。図の視野が円形であるのは顕微鏡の対物レンズの前方に置かれた円形絞りによるもので、物体面で直径約4 mmに相当する。この範囲内で焦点むらはほとんど認められなかった。

いま、視野全体からの光の強度を I_x 、試料面がガラス面に全く接触しないときの光の強度を I_n とすれば、全面に接触するときは視野は全く暗くなるはずであるから、試料の見かけの接触面積に対する実質的な接触面積の比(以下接触面積比と呼ぶことにする)は

$$(I_n - I_x) / I_n$$

で与えられる。全面で接触した状態で完全に暗くなるかどうかを調べるためには、そのような接触状態を作り出

す必要がある。しかし巨視的にはもとより微視的にも全面で接触できるような平面を作ることとはほとんど不可能なので、ここでは屈折率がガラスとほぼ等しいセダー油を測定面に塗布し、二つの面の間隙をセダー油で満たすように密着した。このような状態は光学的には全面で接触した状態とほぼ同一であり、上記の光学系で観測すれば全面暗くなるはずである。しかし実際には光学系のフレヤなどのためと思われるが光電素子の出力はゼロとはならなかった。したがってここでは全面接触した状態はセダー油で満たして得られた値で表した。

この実験装置では光源と試料の位置が固定され、顕微鏡だけが図4に示すように試料を密着したプリズムの稜線と平行に移動し、測定点を変えられる構造になっている。したがってこの場合、照明むらの影響を避けるため顕微鏡の位置に応じて得られた値を基に補正值を決めた。

この測定法には原理的にある程度の誤差が含まれることが知られている⁴⁾。すなわち試料面同士が完全に接触しなくても波長の数分の1程度まで接近すれば金属面反射の傾向があらわれ、面が接近するに従ってこの傾向がますます強まる現象がある。したがって接触面は実際にはやや大きく測定されるはずである。このような誤差は入射角が大きい程小さい。肉眼観測の場合にはすでにこの大きさが測定されており、入射角が比較的大きく且つ接触面を観測しやすい55~60°の場合、約0.02 μm まで接近すれば接触しているように見えることが知られている⁴⁾⁵⁾。さらにこの測定法で0.01 μm オーダの2面の距離を論ずる場合、微視的な表面の定義の問題とともに洗浄を丁寧に行っても微視的な谷間などに油が残留したり水蒸気が付着したりし、これが接触面積比に影響を与えることが推定される。その意味で本来の金属接触ではないかもしれないが、この場合本来の金属接触が増えれば油などの影響も増えるはずであるから、実験結果は十分に接触面積の目安になると考えられる。

3. 接 触 面 積 比

前章で述べた方法によれば接触面積が実際より大きく観測されるが、その程度は入射角が大きくなればなる程小さくなり、真実の面積に近づくことはすでに述べた。そこで図4に示すようにブロックゲージの長手方向が直角プリズムの稜線と平行且つ斜面の中央に位置するように密着し、入射角を45~60°の範囲で変えて接触面積比を測定した。測定試料はJIS A級で、製作者、製作年の組合せの異なる7種類のブロックゲージであり、このうち代表的な3試料の結果を図5に示す。プロットされた

図4 密着方法と測定位置

図5 密着面積比の入射角による影響

値はブロックゲージ面の中央および両端の3か所の平均値である。入射角の増加とともに接触面積比は減少し一定値に収束する傾向があり、この値が真の接触面積比と考えることができる。接触面積比が小さいもの程収束が悪い傾向を示すが、入射角 55° を選ばば誤差はきわめて小さいことがわかる。この実験結果も残留油の影響を受けているはずで問題はあるが、以後の実験では入射角を 55° とすることにした。この角度で光電素子がとらえる顕微鏡視野での有効面積は、図4にも示したようにブロックゲージ面上で約 7×4 mm の楕円となる。また、7種類の試料の $R_{\max}$ 、単位長さ当たりの山数、平面度を求め、それぞれ接触面積比との関係を調べたが、明快な結果は得られなかった。しかし接触面積比は密着トルクとほぼ比例する傾向がみられた。

なお、この測定結果による接触面積比の反復のばらつきは2%以内である。

4. 密着トルクの測定

密着力の測定は図6に示す密着トルク測定装置¹⁾を利用した。これは密着している直角プリズムとブロックゲージを、図に示すようにそれぞれの取付部のみぞにはめ込む方法でセットし、プリズム取付部を回転させて密着がはずれた瞬間のトルク（以下密着トルク）を、りん青銅棒に設置したひずみゲージで検出、記録するものであ

図6 密着トルク測定装置の構造

る。この測定装置の反復によるばらつきは0.5%以内である。

5. 実験試料

ブロックゲージは銅製で寸法は10 mm、測定面にきずなどが少なく、製作者、製作年の異なる4面を選んだ。直角プリズムは2個使用したが、いずれも密着面の平面度 $0.03 \mu\text{m}$ 、材質 BK-7 ではほぼ同一の性能のものである。

6. 実験条件および手順

1反復の測定は次の条件および手順に沿って行った。

- (1) 試料の密着面を石油ベンジンなどを使用して良く洗浄する（日常の光波干渉測定の際とはほぼ同じ）。
- (2) 密着トルク測定装置を利用して垂直荷重 2 kgf をかけ、図4に示すような位置に密着する。
- (3) 約5 minの温度ならしの後、密着面積比を測る。
- (4) 密着トルクを測る。

密着状態は密着ごとに異なるので1反復の測定を各試料について10回以上行い、測定値を統計的に処理して接触面積比と密着トルクの関係を求めた。

なお、既報¹⁾の結果では、密着トルクの大きい程2面の間隙が狭くなり、ブロックゲージの光波干渉測定を行う場合 $10 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ 以上の密着トルクがのぞましく、 $5 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ 以下は測定に不適当な密着である。しかし、ここでは実験的な興味として $5 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ 以下の密着トルクも含めて評価した。

7. 実験結果および検討

図7(a)~(d)は実験結果である。横軸に密着トルク、縦軸に接触面積比をとり、4面それぞれについて行った反復測定データをプロットしたものである。実線は、最

図7 密着トルクと接触面積比の関係

小自乗法によるあてはめ計算で1次から順次次数を上げ回帰分析で5%有意となる次数の回帰式を表す。両側の破線は95%信頼限界である。

この結果、まず密着トルクが大きくなると接触面積比は1次または2次関数的に増加することが明らかとなった。すなわち強く密着するとき程2面間の接触面積が大きく、このことは密着トルクが大きい程密着面が互いに接近しているという既報¹⁾の結果を裏付けている。全体的に見ると、密着トルクが6~7 kgf·cmより大きい部分では測定点のばらつきが比較的小さく、勾配のきわめて小さい直線回帰であるが、密着トルクがそれより小さい部分では2次回帰あるいは勾配のやや大きい直線回帰も見られるなど挙動は明確ではない。

図7(a)~(d)を比較して、各試料の密着トルクの範囲が不ぞろいなことも一つの特徴である。本来密着には対象となる2面のなじみにより生ずる素質のようなものがあり、垂直荷重を大きくしても密着の質にはあまり効果なく、2面の特性ではほぼ密着トルクの上限が決まる性質がある。また同一面でありながら密着の反復により律し切れない外乱などの影響で、良くない密着の状態である下限もほぼ決まる。したがって各試料のデータはほぼこの区間内に限られることになる。

次に、試料の微視的な形状の条件と接触面積比および回帰線の勾配、次数との間には、3章でもその一部を述べたように明快な関係は得られなかった。

これらブロックゲージとガラス面を用いた結果から推定して、ブロックゲージ同志を密着した際の密着トルクおよび接触面積比は次のように考えられる。密着トルクは、既報²⁾でブロックゲージとブロックゲージ相当の銅製定盤との密着トルクがガラス定盤とのそれより小さいことを報告したが、これとほぼ同様の結果が得られると思われる。接触面積比は、一般論として鋼製のブロックゲージ面はガラス面と比較して表面粗さその他微視的な

形状があらく、ここでの結果より減少すると推定される。したがって、接触面積比と密着トルクとの間には、図7(a)~(d)のデータの座標を減少、つまり左下方へ移動し、勾配を少し増大した図形が得られると考えられる。

8. 結 論

光電的な接触面積比に関する実験を行い、ガラス定盤に密着されたブロックゲージの裏面からの反射光による密着評価法は可能性が確かめられた。すなわち接触面積が大きくなる程密着力も増加することがわかった。これは“密着面が互いに接近する場合密着力が増加する”という既報¹⁾の結論を裏書きするものであるが、しかし定量的に論ずるにはさらに多くの問題が残されているものと思われる。

終わりに、本研究のデータ処理にご援助願った計量研究所石田一技官に謝意を表す。

文 献

- 1) 加藤 敬: ブロックゲージの密着力と寸法誤差, 精密機械, **39**, 4 (1973) 455.
- 2) 加藤 敬: ブロックゲージの密着力と寸法誤差(続報), 精密機械, **40**, 2 (1974) 189.
- 3) F.P. Bowden and Taber: The Friction and Lubrication of Solid, Oxford Press, (1950) 31.
- 4) 桜井好正: 接触面積測定に関する研究, 機械試験所報, **6**, 16 (1952) 215.
- 5) 桜井好正: 全反射法による加工面の評価について, 精密機械, **21**, 3 (1955) 89.