

氏 名(本籍)	津 村 喜 代 治(広島県)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 第 1 1 4 号
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 4 5 年 9 月 1 6 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
最 終 学 歴	昭 和 2 3 年 3 月 早稲田大学専門部工科機械科卒業
学 位 論 文 題 目	ブ ロ ッ ク ゲ ー ジ の 結 合 精 度 に 関 す る 研 究

(主査)

論 文 審 査 委 員	教 授 藤 井 康 治	教 授 佐 藤 健 児
	教 授 萱 場 孝 雄	教 授 松 井 正 己

論 文 内 容 要 旨

1 総 論

ブロックゲージは寸法精度の高いこと、密着結合により希望する寸法が自由に求められること、また密着結合の場合にも個々のブロックゲージの寸法の和と同一程度の寸法精度が保持されることなどの大きな特長をもっている。このため機械工場はもちろんのことその他の分野においても長さの標準として広く使用されるに至っている。

ブロックゲージの寸法は J I S B 7 5 0 6 においてつぎのように規定されている。すなわち周縁 1 mm を除き、測定面上のある点におけるブロックゲージの寸法とは、その点から他の測定面に密着させた同一材質、同一表面状態の定盤に降ろした垂線の長さをいう。ブロックゲージ寸法のこの定義はブロックゲージ自体の寸法と密着したときの油膜の厚さを含むものである。

ブロックゲージの寸法は光波干渉法によれば 0.001μ 程度まで測定することが可能である。しかし、この測定においてはブロックゲージを基準プレートに密着結合しなければならないため、密着結合精度が測定精度に大きな影響を及ぼす。

実際の使用の面からみても、ブロックゲージは単体で使用される頻度よりも密着結合して使用される場合が多い。このため密着結合精度は非常に重要な問題となっている。

ブロックゲージの密着現象の生じる原因については、H. M. Bugett, F. H. Rolfeなどの研究がある。それは密着面間に介在する油の表面張力、粘性、凝集力に起因するものと一般に考えられているが、これを裏付ける理論解析の公表されたものはいまだ見当たらない。

密着結合に関係のある力としては、引張力、接線抵抗力が従来考察されているが、ブロックゲージの密着結合力の概念を明確にし、はっきり定義づけたものはないように思われる。

寸法基準としてのブロックゲージ本来の目的において最も重要な問題である密着結合力と密着結合精度との関係についても、公表された実験結果はまだ十分とはいえないように思われる。

この研究はブロックゲージに関する上記の諸問題を理論解析および実験によって解明しようとしたもので

- 1) . 油膜による密着結合
- 2) . 機械的方法による結合
- 3) . 結合精度の解析
- 4) . 密着結合に関する工業的考慮

の各章からなっている。

2 油膜による密着結合力の解析

ブロックゲージの密着結合に関係のある力として、付着力、引張力、接線抵抗力、密着トルクおよび折離モーメントが考えられる。著者はこれらのそれぞれについて、その概念を定義し検討および実験を行なった。

ブロックゲージを密着結合したとき密着面に対して垂直な力が作用する。この力は図1に示す矢印のようにブロックゲージがたがいに付着しようとする力で付着力と呼ぶことにする。

ブロックゲージを密着させ図2に示すように密着面に対して垂直に引張って、密着結合をはずすのに必要な力を引張力と呼ぶことにする。

密着結合したブロックゲージに密着面に平行な力を働かせ、図3に示すように上のブロックゲージをしゅう動させる。この時必要とされる力を接線抵抗力と呼ぶことにする。

ブロックゲージをたがいに直角に交差させてから回転し密着結合させる作業を図4のように行

なうとき、この回転に必要なトルクを密着トルクと呼ぶことにする。このトルクに注目して密着結合性を研究した例は今までのところ見当たらない。

密着結合したブロックゲージの結合をはずすには、図. 5 に示す矢印のように折る力を与える。この方法で密着結合をはずすに必要な力のモーメントを折離モーメントと呼ぶことにする。過去においてこの折離モーメントに注目して密着結合性を研究した例は見当たらない。

2.1 付着力 付着力をブロックゲージの密着面間に介在する油の表面張力に起因するものと仮定して解析し、計算値と実験値とを比較し、両者がよく一致することを確

認した。またこの仮定の裏付けとして密着結合したブロックゲージを油の中に浸液して、付着力の消滅することを確認した。

この結果付着力は式(1)で十分正確に評価されることが判った。

$$F = \frac{2 A \sigma \cos \theta}{h} \cdot 1.01972 \times 10^{-6} \dots \dots \dots (1)$$

ここに F は付着力 (kg) θ は接触角 (度)
 A は油の分布面積 (cm²) h は油膜の厚さ (cm)
 σ は油の表面張力 (dyn/cm)

である。

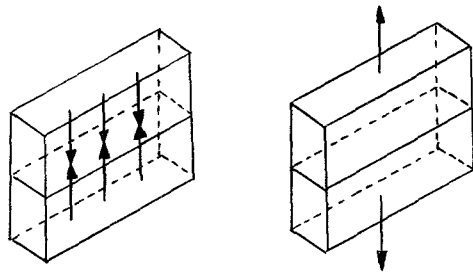


図. 1 付着力

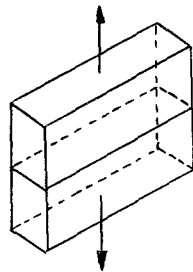


図. 2 引張力

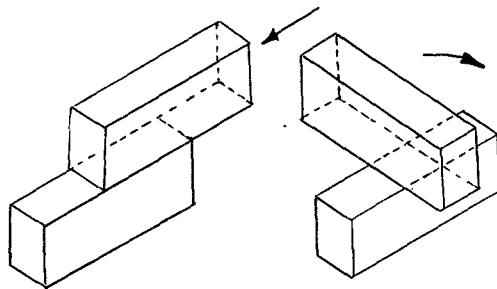


図. 3 接線抵抗力

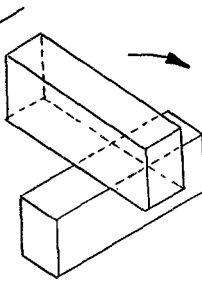


図. 4 密着トルク

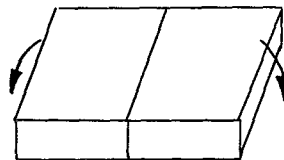


図. 5 折離モーメント

2.2 接線抵抗力 接線抵抗力は静的接線抵抗力と動的接線抵抗力との2つに分けて考える必要がある。付着力と静的接線抵抗力の間にはCoulombの法則が成立つと仮定し、また動的接線抵抗力は密着面に介在する油の粘性抵抗によるものと考えて解析を行なった。

接線抵抗力を S (Kg) とすれば、は式(2)であらわされる。

$$S = \mu \left(\frac{2 A \sigma \cos \theta}{h} \times 1.01972 \times 10^{-6} + P \right) + \eta' \frac{A v}{h} \cdot 1.01972 \times 10^{-6} \quad (2)$$

ここに μ は付着係数 θ は接触角 (度)
 A は油の分布面積 (cm^2) h は油膜の厚さ (cm)
 σ は油の表面張力 (dyn/cm) P は押付力 (Kg)
 v はしゅう動速度 (cm/sec) η' は補正粘性係数 (poise)

である。

付着係数 μ は 0.15 ~ 0.20 程度である。また粘性係数は通常の測定方法による値 η ではなく、 $\eta' = \alpha \eta$ なる補正を必要とし、補正係数 α と粘性係数 η との関係は $\alpha = -3\eta + 16.6$ であらわされることが判つた。

2.3 密着トルク 密着トルクも静的密着トルクと動的密着トルクの2つに分けて考える必要がある。

静的密着トルクは付着力と比例関係にあり、付着係数は静的接線抵抗力と付着力との比に等しい。また動的密着トルクは油の粘性に関係があるが粘性係数は動的接線抵抗力と同様な補正を必要とする。密着トルクを T ($Kg \cdot cm$) とすれば、それは式(3)で正確に評価される。

$$T = \mu \left(\frac{2 \sigma \cos \theta}{h} \times 1.01972 \times 10^{-6} + P \right) \left\{ \left(\frac{\pi}{12} - \frac{1}{6} \cos^{-1} \frac{b}{\ell} \right) \cdot \ell^3 + \frac{b \ell}{12} \sqrt{\ell^2 - b^2} \right. \\ \left. + \frac{1}{12} b^3 \log \frac{2}{b} \left(\frac{\ell}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\ell^2 - b^2} \right) \right\} + \frac{\pi}{360} \alpha \eta \frac{n}{h} b \ell (\ell^2 + b^2) \\ \times 1.01972 \times 10^{-6} \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに μ は付着係数 α は補正係数
 σ は表面張力 (dyn/cm) n は回転速度 (r.p.m.)
 θ は接触角 (度) ℓ は長手方面の寸法 (cm)
 P は押付力 (Kg/cm^2) b は短手方向の寸法 (cm)
 η は粘性係数 (poise)

である。

密着面の表面あらさ，平面度，密着後の経過時間，油膜の厚さなどと密着トルクとの関係を実験より求め，これらの関係を明らかにした。この結果密着結合性を密着トルクを目安として評価することが可能であり，工業的にも採用できることが判った。

2.4 折離モーメント 密着したブロックゲージに折離力を作用させた場合の油膜挙動は非常に複雑である。また折離モーメントは油膜の厚さとの間に比例関係が認められないため，密着結合力を評価するための量としては不適當である。油膜により密着結合したブロックゲージをエアリ一点で支持した場合に，密着結合の安定限界は結合長さに左右される。この限界をこえる場合には結合は機械的結合方法によらなければならない。

2.5 引張力 Bowdenらは引張力を密着面に介在する油の粘性によるものとして解析している。しかし彼の誘導した式により求めた計算値は実験値を大きく上まわっている。この不一致の原因は，密着結合したブロックゲージに引張力が働き油膜の厚さが変化しても密着面間に介在する油は密着面全体に常に一様に分布しているという仮定により解析がなされているためと考えられる。

引張力は密着面間に介在する油の粘性によるものと仮定し，さらに油の分布面積が密着面間の距離により変化すると考えて解析した結果密着結合したブロックゲージを引き離すに必要な力を評価する式として式(4)を得た。

$$F = \left(\frac{2 A \sigma \cos \theta}{h} + \frac{8 \pi \alpha \eta R^2 r}{3 h^2 t} \right) \cdot 1.01972 \times 10^{-6} \dots \dots \dots (4)$$

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| ここに Fは密着結合をはなす力 (Kg) | Rは試料半径 (cm) |
| α は補正係数 | rは油膜の移動距離 (cm) |
| η は粘性係数 (Poise) | Aは油の分布面積 (cm ²) |
| hは油膜の厚さ (cm) | σ は油の表面張力 (dyn/cm) |
| tは密着のはずれる時間 (sec) | θ は接触角 (度) |

である。

この式によれば引張力は油の分布半径の3乗に比例し，油膜の厚さの2乗に逆比例するため，密着結合したときの油の分布状態に大きく左右されることが明らかであり，密着結合性を評価する量としては不適當であることが判る。

3 機械的方法による結合

長尺ブロックゲージを油膜により密着結合する場合に密着作業が困難であること，また密着結合されても2.4の折離モーメントにより密着結合面が不安定であることなどにより，機械的結合方

法がしだいに採用されつつある。この機械的結合方法の一例を図・6に模型的に示してある。この機械的結合方法によると締付力によりブロックゲージが収縮し、寸法精度を悪化させることが考えられる。著者は締付力と収縮量との関係を解析して寸法精度を補正する方法について検討し、さらに精密測定用および現場用の締付具を試作して補正の実用性を確認した。

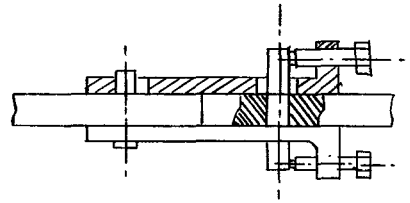


図 6

実験の結果つぎの点が明らかになった。

収縮量と荷重との関係は式(5)により評価される。

$$\epsilon = \frac{P L}{E A} \dots \dots \dots (5)$$

ここに ϵ は収縮量 (mm) E は弾性係数 (Kg/mm^2)
 P は締付力 (Kg) A は断面積 (mm^2)
 L は締付部分の長さ (mm)

である。

また現場用締付具による結合精度は $\pm 0.1 \mu$ 程度で工業的に十分応用できることがわかった。使用面においては、機械的締付具を使用して横に置く場合、従来からいわれているエアリー一点で支持する代りに修正エアリー一点を採用しなければならないことが明らかになった。

4 密着結合精度の解析

ブロックゲージを密着結合したときの密着面の表面あらさ、平面度の挙動についての研究は定性的な報告のみしか見当たらないようである。

著者は密着結合したときのそれらの挙動を解明し、密着結合性および密着結合精度の向上について検討した。また密着結合精度が密着作業者の熟練度、密着結合個数に影響される度合を確認した。

4.1 密着面のミクロ的挙動 ブロックゲージを密着結合した場合の密着面の表面のあらさがどのような挙動を行なうか実験により解析した。

この結果密着面は密着結合したとき弾性変形を生じ、この変形量は付着力に相当する外力が働いた条件下で、Hertzの弾性接近の理論に従うと考えたことがわかった。また密着結合したブロックゲージとこれと同一の寸法の単体ブロックゲージとは外力を与えて圧縮したとき、その収縮量

には差が認められないこと、しかし密着結合の不十分なブロックゲージの収縮量は密着結合したブロックゲージの収縮量より大であることがわかった。

4.2 密着面のマクロ的挙動 呼び寸法1mmから2mmのブロックゲージの平面度を実測した結果、その値はJIS B 7506の寸法精度と比較するとかなり大きな値であることがわかった。

呼び寸法の大きなブロックゲージに呼び寸法の小さいブロックゲージを密着結合させると、後者は前者の平面度に追従することが経験的に知られている。この追従が不完全な場合には密着結合精度を悪化させる原因となる。この追従現象を2.1において述べた付着力によるものと仮定して、この追従性とブロックゲージの呼び寸法および平面度との関係を解析し完全に追従するブロックゲージの呼び寸法と平面度の限界値との関係を求めた。

この結果平面度の追従現象は付着力に関係することが明らかになった。またBS4311(1968)の平面度の規格は部分的に不適當であることがわかった。

4.3 油膜による密着結合寸法の確実性 ブロックゲージを密着結合するとき、密着個数や作業者の熟練度により密着結合の精度が左右されることが考えられる。このためこれらを実験により確認した。この結果密着精度は密着個数、熟練度にある程度左右されるが、しかし密着結合の誤差はJIS B 7506の寸法精度規格のAA級と比較して十分小さいことがわかった。

5 密着結合に関する工業的考慮

5.1 密着トルクの工業的応用として著者は、現場密着トルク試験機を製作しブロックゲージの密着トルクを製作工程中において管理することにより、密着結合性を保証する手段とした。この結果密着結合性の向上に大きな効果が認められた。

5.2 密着結合性の簡易判別法として、著者は密着結合力を専用試験機によらず付着力を評価する式を用い、油膜の分布面積を測長機と測微頭微鏡により測定し密着性を評価することを検討した。この方法で著者は材質と密着結合性との関係、表面あらさと密着結合性との関係を調べ、とくにICIの含有量の多い材料は密着結合性が低下することを確認した。

5.3 従来習慣的に採用されているブロックゲージの標準組合わせの内容を検討し、集中摩耗の防止、使用の便利さの向上について、使用条件を考慮してより望ましい組合わせ内容のセットがありうることを見出した。

5.4 密着結合力上の手段の一つとしての表面あらさに対する対策に関して著者は、現在ブロックゲージ材として採用されている特殊鋼のうち、耐摩耗性の最もすぐれているSKD材のラップ材のラップ仕上条件について検討した。この結果SKD材をラップ仕上するには砥粒のかたさはモースかたさ9以上のものを使用することが必要であることがわかった。

審査結果の要旨

ブロックゲージは長方形の断面をもつ端度器である。寸法精度の高いこと、組合わせによって、任意の寸法がえられることなどの特長によってそれは機械工業における長さの標準として広く使用されている。

ブロックゲージにおいては密着結合の精度は非常に重要な問題である。それにもかかわらず密着の場合の寸法精度、密着による変形、密着性の評価、油膜の影響などの問題を工学的に追求した論文はほとんど見当たらないのが現状である。本論文はこれらの問題を実験および理論によって解明しブロックゲージの信頼性を向上し、その製造および使用に寄与したもので、全編7章より成る。

第1章は諸論である

第2章において著者は密着に関する従来の理論および実験の結果を検討し、それら相互の間にある不一致を密着性の評価基準のあいまいさに起因すると考え、密着性評価の基準として考えうる諸種の量を提示している。

第3章で著者はブロックゲージの材料、油膜の物質を変え、うすい液膜が介在する場合、液中に浸漬した場合、真空中においた場合などについて密着力の挙動、その時間的変化、表面あらさや平面度の影響を調べた結果について述べ、静的な釣合のみならず時間的変化をも考えた理論によってそれらを裏づけ、併せて密着に関する諸種の量が密着性評価の基準として適当か否かを論じている。

長尺ブロックゲージにおいては油膜による密着結合は不安定となり、機械的方法による結合が必要となる。著者は第4章で、締付力を測定しうる締具を考案製作して締付けによる寸法変化を調べた結果を述べ、その評価式を導いている。

第5章において著者は密着結合における密着面の変形を調べ、うすいブロックゲージの密着追従性について論じている。

第6章において著者は密着トルクを密着性の指標として用いることを提案し、考案試作した密着トルク測定器を品質管理に応用した実績について述べている。また密着性向上のための材質の選択、ラップ剤の選択等へのその応用の結果についても述べている。

第7章は総括である。

以上要するに本論文はブロックゲージの製作および使用の際に最も問題となる結合精度をその機構にまで立入って究明し、精度と信頼性の向上をはかったもので、精密工学および精密工業に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。