研 究

ブロックゲージの引張力の解析*

—ブロックゲージの密着力に関する研究 (第3報)—

津村 喜代治** 藤 井 康 治***

Analysis of Tensile Strength of Block Gauges

—Study on Wringing Force of Block Gauges (Report 3)—

Kiyoji Tsumura, Yasuharu Fujii

When block gauges wrung together are pulled from each other in the direction perpendicular to the wringing surface, the maximum force required to separate them is termed tensile strength. Although there are reports on qualitative study of this strength, these seems to be none that deals with its theoretical analysis.

This report gives analysis of tensile strength and presents the causes of this strength. The findings are summarized as follows:

1. Tensile strength is considered attributable to viscosity and surface tension of oil trapped between the wringing surfaces.
2. Tensile strength is not suitable as a force for evaluating wringing force as it is greatly influenced by oil distribution between the wringing surfaces.

1. ま え が き

図1 引張力

ブロックゲージを密着させ図1に示すように密着面に対して垂直に引張って、密着をはずすに必要な力を一般に引張力と呼んでいる。この引張力には力を作用させると同時に密着のはずれるときの力と一定速度で力をしだいに増加させて、密着がはずれるときの力の最大値で表示する2種類が考えられる。前者は Hardy ら¹⁾が報告し、後

者は一般の概念として採用されている力である。

この引張力については Bowden ら²⁾の研究がある。密着現象を理論的に解析しているが、実験値と計算値とは大きな差が認められる。またこの力については多くの実験者による報告があるが、同じ油を使用した条件でも $4 \sim 60 \text{ kg/cm}^2$ と広範囲にわたっている。

このため諸国家のブロックゲージの規格について密着に関する項目はほとんど定性的な規定にとどまっているようである。

第1報³⁾において従来密着力として一般に表わされている引張力には付着力が含まれているものであることを明らかにした。この報では引張力から付着力を減じた力

を動的付着力と呼ぶことにし、この力は密着面間に介在する油の粘性抵抗によるものと考えられることを明らかにした。

2. 引張力の解析

2.1 引張力の定義

厚さ h の油膜をはさんで1組のブロックゲージを上下に置き、上のブロックゲージを上方に引張り、下のブロックゲージに作用する力を抵抗線ひずみ計を利用した荷重変換器により測定した結果を図2に示してある。

区間ABは h の油膜の厚さに対する付着力を指示している。

点Bは急に上のブロックゲージを上方へ引張った点で力は急激に増加する。

区間BDは上のブロックゲージを上方へ引張っているときで、力はC点でピークになった後しだいに減少する。

図2 引張力の定義

*原稿受付 昭和45年9月25日。昭和45年度精機学会春季大会学術講演会(昭和45年4月3日)にて発表。

**正 会 員 東洋工業(株)(広島市外府中町)

***正 会 員 東北大学工学部(仙台市荒巻青葉)

D点は油膜の厚さ h' において上のブロックゲージを停止した点である。

区間DEは油膜の厚さ h' に対する付着力を指示している。

ピークの力は従来引張力とよばれているもので、付着力が含まれていることがわかる。この引張力と付着力との差を動的付着力と呼ぶことにし、この力について解析を行なう。

2.2 動的付着力の解析

ブロックゲージの密着面間に油の介在している状態および上のブロックゲージを上方へ引張り、油膜の変形した状態を仮定して図3に示してある。ブロックゲージを上方へ引張ると油膜は矢印のように油膜の中心へ移動する。この油の流れには粘性による抵抗が伴うと考えられ、動的付着力はこの抵抗に起因するものと仮定して、理論的にその大きさを解析してみる。

上下のブロックゲージの細隙に介在する油が矢印の方向へ移動する状態および動的付着力を解析するために必要な諸元を図4に示してある。この図において油の粘性係数を η 、密着面に垂直な方向の速度こう配を dv/dx 、粘性により伴う抵抗力を F_1 とすれば、 F_1 は式(1)で与えられる。

$$F_1 = 2bdl\eta \frac{dv}{dx} \quad (1)$$

他方油膜AB, CDの両側面間の圧力差を Δp とし、この圧力差により生ずる力を F_2 とすれば、 F_2 は

図3 油の挙動の説明図

図4 油膜の移動の抵抗力の解析図

$$F_2 = 2bx\Delta p \quad (2)$$

となる。

dv/dx は負であるから、 F_1 と F_2 との静的釣合は

$$-2bdl\eta \frac{dv}{dx} = 2bx\Delta p$$

となる。ゆえに

$$dv = -\frac{\Delta p}{\eta dl} x dx$$

となる。この式を積分し、境界条件 $x = \pm h/2$ のとき $v = 0$ を代入すると、 v は

$$v = \frac{\Delta p}{2\eta dl} \left(\frac{h^2}{4} - x^2 \right)$$

となる。 $x=0$ のときの v の値を v_0 とすれば、 v_0 は

$$v_0 = \frac{\Delta p h^2}{8\eta dl} \quad (3)$$

となる。

図4を参照すれば、圧力差 Δp は

$$\Delta p = p - \left[p + \left(\frac{dp}{dl} \right) dl \right] = - \left(\frac{dp}{dl} \right) dl$$

となる。 Δp を式(3)に代入すれば、 v_0 は式(4)になる。

$$v_0 = -\frac{h^2 dp}{8\eta dl} \quad (4)$$

油膜の断面形状を円形と仮定すると、図5を参照して dp/dr は正であるから、 v_0 は

$$v_0 = \frac{h^2 dp}{8\eta dr}$$

となる。ゆえに

$$dp = \frac{8\eta v_0}{h^2} dr$$

となる。この式を積分し、 $r=R$ のとき $p=0$ であるから流体圧力 p は

$$p = \frac{8\eta v_0}{h^2} (r - R)$$

となる。この流体圧力 p の平均値を p_m とすれば、 p_m は

$$p_m = -\frac{8\eta v_0}{3h^2} R$$

となる。全油膜面積に対する力を F とすれば、この F が

図5 油膜の移動速度の解析図

図 6 密着面の油の挙動についての仮定

ブロックゲージを上方に引張るときの抵抗力となると考えられる。ゆえに F は

$$F = \pi R^2 p_m = -\frac{8\pi\eta v_0 R^3}{3h^2} \quad (5)$$

となる。

上のブロックゲージを上方に引張り、密着のはずれたときの密着面を観測した結果、油の挙動を推測して模式的に図 6 に示してある。部分的に集合した油膜の形状、大きさはおおの等しいと仮定し、油膜の厚さ h_1 から h_2 に引張ったとき、油膜は r だけのおおの移動して部分的に集合したとする。このときの所要時間を t とする。

$v_0 = dr/dt$ であらわすと、 dr/dt は負であるから式 (5) は

$$dt = \frac{8\pi\eta R^3}{3h^2 F} dr$$

となる。ゆえに

$$t = \frac{8\pi\eta R^3}{3h^2 F} \int_0^r dr = \frac{8\pi\eta R^3 r}{3h^2 F}$$

となる。ゆえに動的付着力 F を重量単位であらわし、力の絶対単位との係数を求めると、 F は

$$F = \frac{8\pi\eta R^3 r}{3h^2 t} \times 10^{-6} \quad (\text{kg}) \quad (6)$$

となる。

- ここに η は油の粘性係数 (poise)
 R は密着したときの油膜の半径 (cm)
 r は密着のはずれるまでの油の最大移動距離 (cm)
 h は密着したときの油膜の厚さ (cm)
 t は密着のはずれるまでの時間 (s)

である。

2.3 引張力

付着力³⁾と動的付着力が合成された力が引張力であるので、この引張力を F_t とすれば、 F_t は

$$F_t = \left(\frac{2\pi R^2 \sigma \cos \theta}{h} + \frac{8\pi\eta R^3 r}{3h^2 t} \right) \times 10^{-6} \quad (7)$$

となる。

- ここに σ は表面張力 (dyn/cm)

θ は接触角

(度)

である。

粘性係数 η は補正粘性係数を採用する必要がある⁴⁾と思われるので、補正係数を α とすれば F_t は

$$F_t = \left(\frac{2\pi R^2 \sigma \cos \theta}{h} + \frac{8\pi\alpha\eta R^3 r}{3h^2 t} \right) \times 10^{-6} \quad (8)$$

となる。

3. 引張力の解析の裏付基礎実験

ブロックゲージを密着した場合油膜の厚さ、油膜の分布半径などを正確に測定することは困難である。ゆえにこれらが高精度に測定できる領域すなわち油膜の厚さ 20μ 以上の条件において実験を行ない、引張力の解析を裏付けてみる。

3.1 基礎実験装置と方法

基礎実験に使用した装置は図 7 にまた写真は図 8 に示してある。図において右側のブロックゲージは心押台側の測定子に取付けてある。荷重変換器は測定スピンドルの先端に固定され、左側のブロックゲージはこの変換器のロッドに取付けてある。

油膜の厚さは測定スピンドルの移動量を読取る測微顕微鏡により測定し、油膜の分布半径は測定テーブルの上に図に示するような顕微鏡を別に固定し、この顕微鏡とテーブルの移動量を読取るマイクロメータヘッドとを併用して測定した。

測定スピンドルは電動機により一定速度で移動させる。実験に使用した装置の仕様は表 1 に示してある。使

図 7 基礎実験装置

図 8 基礎実験装置の写真

用したブロックゲージは呼び寸法 5 mm で、密着面の精度は JIS B 7506 A 級に相当するものである。密着に使用した油の種類と特性は表 2 に示してある。

3.2 基礎実験の結果

油膜の厚さを 30μ から 10μ とびに段階的に一定速度で変化させて、引張力を測定したときの油膜の厚さと引張力との関係の実験結果は図 9, 10 に示してある。

この図において式(7)に実験の諸条件を代入して求めた計算値を示してあるが、実験値とほぼ一致していることが認められる。しかしこの計算値は接触角 θ を 85° と仮定している³⁾。また油膜の分布半径 R は引張りはじめに引張力の極大値のあらわれる点までは変化しないことが観測されたので、引張りはじめに測定した値を採用した。

4. 実用条件の実験

油膜の厚さ 20μ 以上の密着条件で行なった実験結果と計算値とはほぼ一致することが認められた。ここでは油膜の厚さ $0.02\sim 0.05\mu$ 程度の密着の実用条件におい

表 1 実験装置の仕様

品 名	製 作 所	型 式
荷重変換器	共 和 電 業(株)	120T 2000A
増 幅 器	〃	DPM-1
記 録 計	シチズン時計(株)	TRE 5
測 長 機	Carl Zeiss	U.H.M
測微顕微鏡	東 京 光 学(株)	MM

表 2 実験に使用した油の特性

	表面張力 (dyn/cm)	粘性係数 (poise)
グリセリン	63.4	1.2
エチレングリコール	47.7	0.2
スピンドル油	31.1	0.2
ひまし油	36.5	4.3
さび止め油	34.0	3.5

図 9 油膜の厚さと引張力との関係 (さび止め油)

図 10 油膜の厚さと引張力との関係 (ひまし油)

図 11 引張試験機の構造

図 12 ブロックゲージ, ホルダ形状

て、実験値と計算値とが一致するか否か確認してみた。

4.1 実験装置および方法

この実験は材料試験機を利用した。この試験機の構造を模式的に図 11 に示してある。

この図において送りねじの回転によりクロスヘッドを矢印の方向に移動させ、ブロックゲージを引張り、この時の力をロードセルにより測定する。

実験に使用したブロックゲージは式(8)において断面形状を円形として解析している関係から図 12 に示すような形状のものを使用した。ブロックゲージの円形状密着面の反対側は T 形の形状をしている。またブロックゲージを保持するホルダは T 形のみぞがあり、ブロックゲージをこのみぞにさし込む方式とし、締付けにより密着面平面が変形する可能性のある機械的締付方法をさけた。

油膜の厚さは第 2 報⁴⁾において述べた方法により測定

表 3 引張力の実験結果
(さび止め油)

計算値 (kg)	実験値 (kg)
18.4	21.0
14.5	20.3
16.5	21.0
20.2	13.5

表 4 引張力の実験結果
(ひまし油)

計算値 (kg)	実験値 (kg)
20.5	20.0
36.5	14.5
22.6	18.5
26.0	18.5

示した第2項の動的付着力は油膜の分布半径の3乗、油膜の厚さの2乗に関係してくる。このため実験の条件と計算した条件との差が大きく影響してくる。また実験中の微小振動、密着面に対して完全に直角に引張っているかなどすなわち折離力が働き、引張力の測定値を低下させる要因があるため⁵⁾、ばらつきを生ずるものと考えられる。

した。

油膜の最大移動距離すなわち式(8)の r は密着のはずれたときの密着面に付着している油の分布状態を位相差顕微鏡により観測して求めた。

4.2 実験結果

実験の記録例および密着のはずれたときの密着面に分布した油膜の状態をおのおの図13(a), (b), 14(a), (b)に示してある。この図から図6に示した油膜の最大移動距離 r を求め、密着したときの油膜の分布半径 R は試料の密着面全面に均一に分布していると仮定して、試料半径の値を採用した。またその他の実験の諸条件を式(8)に代入して求めた計算値と実験値とは表3, 4に示してある。この表から見るとかなり一致しているものも、相違しているものも認められる。

この原因についてはつぎのように考えられる。式(8)に

5. 油膜の厚さと引張力との関係

断面形状が長方形のブロックゲージにより油膜の厚さと引張力との関係を 実験により求めた 結果を図15~17に示してある。

この図から見て明らかなように同じ油膜の厚さでも引張力の値はかなりのばらつきが認められる。このためこの力は密着性を評価する力としては不適當であると考えられる。

6. 結 論

引張力について検討した結果つぎのことが考えられる。

(1) 引張力は密着面

図 13 (a) 実験記録例 (さび止め油)

図 13 (b) 密着面の油の分布状態 (さび止め油)
 $\times 500$ $R=0.9$ cm, $r=2$ μ , $h=0.05$ μ

図 15 油膜の厚さと引張力との関係
(さび止め油)

図 16 油膜の厚さと引張力との関係
(ひまし油)

図 14 (a) 実験記録例 (ひまし油)

図 14 (b) 密着面の油の分布状態 (ひまし油)
 $\times 500$ $R=0.9$ cm, $r=4$ μ , $h=0.05$ μ

図 17 油膜の厚さと引張力との関係
(スピンドル油)

間に介在する油の表面張力と粘性によるものと考
えられ、この力は式(8)で近似的に評価することが
できる。

- (2) 引張力は密着面に介在する油の分布条件、力の
測定条件などに大きく影響されるため、密着性を
評価する力としては不適當である。

文 献

- 1) W.B. Hardy, M. Nottage: Studies in Adhesion I,

Proceedings of Royal Society of London, (Sec. A),
112 (1926) 606.

- 2) F.P. Bowden, D. Tabor: Friction and Lubrication
of Solids, Oxford at the Clarendon Press, (1954)
304.
3) 藤井, 津村: ブロックゲージの付着力について, 精密機械,
37, 7 (1971) 33.
4) 藤井, 津村: ブロックゲージの接線抵抗力について, 精密
機械, 37, 10 (1971) 15.
5) 津村: ブロックゲージの密着に関する研究 (第2報), 精
機学会東北支部講演会前刷 (1967).

—表紙写真説明—

H 45 円筒研削盤 高速研削仕様シリーズ

30 m/s から 45 m/s ヘスピードアップ

**H 45 高速研削仕様シリーズは生産性を高め、
加工精度を向上させます。**

大隈の新シリーズ円筒研削盤は、低温度上昇の新形砥
石軸の採用、大重量砥石の高速運転にも十分耐える剛性
の高い砥石台、ベッドの構造により、標準形円筒研削盤
と同一ベースマシンを用い、ブロックビルド方式にて全
機種高速研削仕様とすることができます。

仕様の概略説明

- 1 大隈の円筒研削盤はすべて H 45 高速研削仕様シリー
ズとすることができます (表参照)。
- 2 研削液の種類 (水溶性または不水溶性) ならびに供給
量、圧力により高速研削作業の成果が大きく左右され
ます。
- 3 H 45 A 仕様は砥石周速のみを 45 m/s の仕様とした
もので、その他は標準仕様であります。水溶性研削液
を用い、一般的に砥石周速を高めて、研削作業の能率
をあげることを目的としたものであります。
- 4 H 45 B, H 45 P 仕様は、単一部品多量生産作業の高能
率化を計るためのものであり、砥石周速は 45 m/s
であります。適用研削液は H 45 B 仕様が水溶性、H
45 P 仕様が不水溶性と 2 種類の仕様があります。
- 5 取りしろ 1 mmφ 程度までの場合には、いずれの仕様
も使用できますが、精度が重点になる場合には水溶性

研削液を用いる H 45 B 仕様が適しております。0.5
mmφ 程度までの普通取りしろの場合にはこの仕様で
もかなりの成果を期待できます。

- 6 高取りしろ作業に高度な高能率を期待する場合には H
45 P 仕様が適します。
- 7 主軸台は機種により各種形式のものがあります。
- 8 H 45 高速研削仕様シリーズ用の砥石は当該工作物にお
ける従来の砥石納入メーカに対し、作業内容目的など
をご指示のうえ、砥石製造の可否を、お打合わせされ
て直接ご購入ください。
- 9 砥石モータ出力は作業内容に合わせて決めさせていた
できます。

H 45 高速研削仕様シリーズ適用機種

分 類	機 種		駆動 方式	適用可能な H 45 高 速研削仕様シリーズ		
				H 45 A	H 45 B	H 45 P
万 能 形	G U	30	油圧	○	—	—
	G U	33, 40, 55	油圧	○	—	—
標準円筒形	G P	30	油圧	○	—	—
	G C	30	油圧	○	○	○
	G P	33, 40, 55	油圧	○	○	○
ブ ッ ト ン 専 用 機	円筒形	G C	33, 40, 55	電気	○	○
	アス形 イン グ ラ イ ド	G C A	30	油圧	○	○
		G C A	33, 40, 55	電気	○	○

株式
会社

大 隈 鐵 工 所

本 社 名 古 屋 市 北 区 辻 町 1 丁 目
東京支店 東京都千代田区丸ノ内1丁目 東京海上ビル新館7階
大阪支店 大阪市東区北浜3丁目 和光証券ビル8階
名古屋支店 名古屋市中村区広井町3丁目 大名古屋ビル4階

〒 462 電話 <052> 911-4111 (大代表)
〒 100 電話 <0 3> 213-4611 (代表)
〒 541 電話 <0 6> 231-0071 (代表)
〒 450 電話 <052> 561-5571 (代表)