

ひずみゲージによる接触圧力の測定法

門 脇 義 次・奈 良 勝 敏・新 目 宏 行*・佐 藤 明**

Measurement of Contact Pressure with Strain Gauge

Yoshitsugu KADOWAKI, Katsutoshi NARA,
Hiroyuki ARATAME, Akira SATO

(昭和56年10月31日受理)

Contact pressure measurements have been studied by pressing a strain gauge with other object. The results show that a short gauge has high sensitivity compared with a long gauge, linearity depends on the materials of gauge base and is influenced by drying method of the gauge stuck on the metal. The results obtained by using this method to the chuck jaw for measuring the distribution of interface pressure can be explained in term of the difference from other method.

1. 緒 言

二体の接触面におけるいわゆる接触圧力の測定法としては、以前より各種の方法が考案され、また研究が重ねられて、現在実用に供せられているものも数多い。しかし、例えば感圧紙法のように、二接触面間に挿入する方法では、接触面間に異物が介在することとなって、接触面間の性質を変えてしまうために、真実の接触面圧力を測定しているとは言い難いものも数多い。

最近、伊東らは超音波法をボルト結合部に適用して、真実接触圧力を測定している¹⁾。これは、接触部に対して、上記の外乱を与えないという点で、この分野に大きく貢献した例である。

著者の一人が、チャックのツメと被把握物との接触圧力を測定する方法として採用しているのは、接触面から離れた点のひずみを用い、間接的に接触圧力を測定しようとするものである²⁾。この場合は何らかの方法により、実際の接触面の圧力との間に較正曲線を求めておく必要がある。このとき、採用した方法の一つは、ひずみゲージをその厚みの方向に押しつぶす方法であった。

このひずみゲージを押しつぶす方法は、感圧紙法等と同様に、接触面間にストレンゲージが介在する

ために、真実の接触圧力が測定出来ないという欠点は依然として改良されてはいないものの、感圧紙法に較べ、可逆的であるために動的な測定も可能であること、普通のゲージおよび計測器が使えるため、極めて簡便であること等の利点が考えられる。

本報告では、市販のストレンゲージを用い、一般の使用法とは異なるが、ストレンゲージの厚み方向に力を加えて、このときの電気抵抗変化によって、接触圧力を測定することを考える。すなわち、この方法による接触圧力測定の可能性を実験的に確かめ、さらに、チャッキングの際の接触圧力分布の測定例について述べる。

2. 実験方法ならびに予備実験

ストレンゲージを普通の使用法と同様に貼付けたものを、絶縁物を介してその厚み方向に押しつぶす。このとき、一般のひずみ測定法と同様に、ブリッジを構成し、その出力を増巾器を通して、ペンレコーダに記録する。この実験方法を図1に示す。

条件を種々に変えて行った予備実験の結果、「加圧力に対する抵抗変化の小さ過ぎると考えられるも

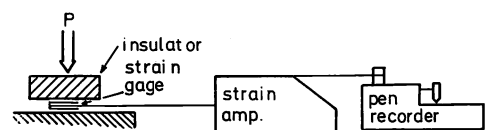
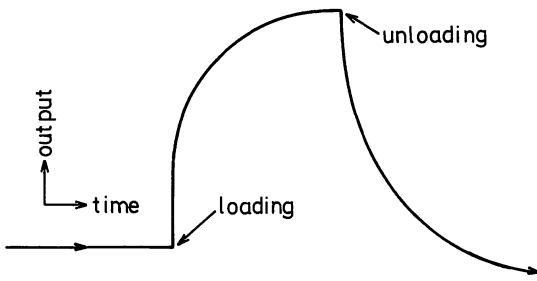


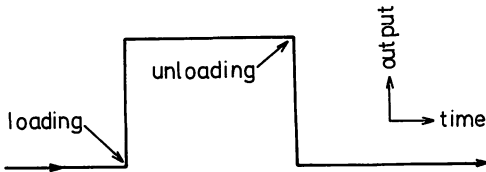
図1 実験方法

*松下電器産業株式会社

**三菱重工業株式会社



(b) 測定方法として理想的な例



(a) 測定方法として不適当な例

図 2 押しつぶしによる記録例

の」、「立ち上がりの悪いもの」、「一定の圧力を加えたままのとき、時間と共に出力が変化する度合の大き過ぎるもの」などが多く、定量的にはもちろん、定性的な測定法としても不適当と見なされる場合がほとんどであった。しかし、中には図2(b)のように記録される例が見られた。

3. 実験結果ならびに考察

1) 要因実験 接触圧力測定法として確立するためには、上記の予備実験において得られた感度ならびに精度について、図2(b)のような理想の形に近づくような条件を捜す必要がある。そこで、実験条件として選択の出来る種々の要因の中から、感度ならびに精度に対して特に影響があると予想されるものを試行錯誤を選んで、2⁴型要因実験を行った。

要因ならびにその水準を表1に示す。ここで、記号Aのゲージ長とは、ゲージメーカーの提示するゲージ箔の長さであり、1mmと2mmとする。Bの接着剤

表 1 2⁴型要因実験条件

要 因	－	＋
A ゲージ長	1 mm	2 mm
B 接 着 剤	ポリエステル	エポキシ
C ベース	フェステル	ポリイミド
D 乾 燥	加熱あり	自然乾燥

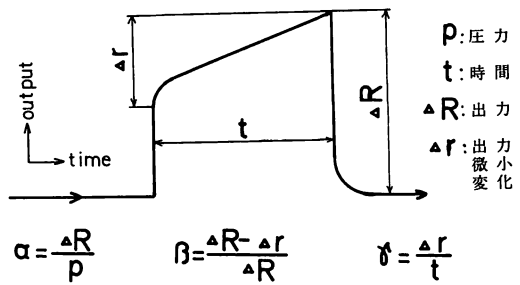


図 3 評価の方法

は、同じくゲージメーカーの指定するゲージ用接着剤の中から、ポリエステル系とエポキシ系を選び、Cのベースとは、市販のストレージの中から、フェステルとポリイミドをベースとするものを選んだもので、Dの乾燥とは、ゲージメーカーの指示する標準の乾燥方法のうち、ゲージ貼付け後80℃の電気炉内に1時間保持したものを「加熱あり」とし、貼付け後、常温で24時間以上放置しただけのものを「自然乾燥」と称した。

2) 実験結果の整理方法、次にペンレコーダに記録された測定結果を数値化し、測定法としての優劣を評価する必要がある。このための評価関数としては、次の三個を選んだ。すなわち、「加圧力の大きさに対する出力の大きさ」、これは感度と考えられる。「出力とその微小変化の割合」、「時間に対する出力の微小変化の割合」、これらは精度を表わすと考えられる。そしてこれらがいずれも測定法として好都合な場合ほど大きな値となるように数値化する。これを図3および次式に示す。

$$\alpha = \frac{\Delta R}{P} = \frac{\text{出力の変化}}{\text{出力}}$$

$$\beta = \frac{\Delta R - \Delta r}{\Delta R} = \frac{\text{出力の変化} - \text{微小な出力の変化}}{\text{出力の変化}}$$

$$\gamma = \frac{\Delta r}{t} = \frac{\text{微小な出力の変化}}{\text{時間}}$$

3) 要因実験結果ならびに考察 測定記録より、上の評価関数の値を求め、2⁴型計画による分散分析法の一つである F. Yetes の系統的表示法を用いて解析する。一例として、βに関するものを表2に示す。作表の手順はまずそれぞれの条件による評点を左に記入する。次に右に向けて順次欄を満たせば、目的の数値を得る。

このような、α、β、γに関する計算結果について、有意性検定 (F 検定) を行い、有意水準が99%を越

ひずみゲージによる接触圧力の測定法

表2 F. Yates の方法による計算例

効 果	ΔR	Δr	評点	(1)	(2)	(3)	(4)	(4) ²	(4) ² /16	V	F ₀
C T	19.5	0.5	9.7	19.7	41.5	81.8	146.0	21316.0	1332.3		
A	5.0	0.0	10.0	21.8	40.3	64.2	2.1	4.4	0.3	0.3	0.3
B	-11.0	0.5	10.5	20.4	35.8	7.3	-6.2	38.4	2.4	2.4	2.0
A B	-4.0	0.5	11.3	19.9	28.4	-5.2	8.5	72.3	4.5		
C	20.0	1.0	9.5	19.5	1.1	1.6	-8.6	74.0	4.6	4.6	3.8
A C	16.2	-1.0	10.6	16.3	6.2	-7.8	0.3	0.1	0.0		
B C	121.0	31.0	7.4	16.5	-0.2	4.5	4.0	16.0	1.0		
A B C	-4.0	1.0	12.5	11.9	-5.0	4.0	1.9	3.6	0.2		
D	-10.5	0.5	10.5	0.3	2.1	-1.2	-17.6	309.8	19.4	19.4	16.2
A D	10.1	-1.0	9.0	0.8	-0.5	-7.4	-12.5	156.3	9.8	9.8	8.2
B D	6.0	1.5	7.5	1.1	-3.2	5.1	-9.4	88.4	5.5	5.5	4.6
A B D	4.0	0.5	8.8	5.1	-4.6	-4.8	-0.5	0.3	0.0		
C D	20.0	0.5	9.8	-1.5	0.5	-2.6	-6.2	38.4	2.4		
A C D	3.0	1.0	6.7	1.3	4.0	-1.4	-9.9	98.0	6.1	6.1	5.1
B C D	22.5	-7.0	6.9	-3.1	2.8	3.5	1.2	1.4	0.1		
A B C D	1.0	0.5	5.0	-1.9	-1.2	-1.6	-5.1	26.0	1.6		

$$\phi = 8 \quad E = 9.8 \quad F(0.05) = 5.32 \quad F(0.01) = 11.3$$

えるものを◎, 95%を超えるものを○で示した。これを整理したものが表3である。

この結果, 出力に対する出力変化(α)については, ゲージ長1mmが優れていることを示し, 出力とその微小変化の割合(β)については, 加熱あり, すなわち, 炉内80℃に一時間保持することが有効であることが示される。さらに時間に対する出力の微小変化の割合(γ)についてはフェステルベースの方が近いことを示している。しかし, 接着剤の種類によって

表3 計 算 結 果

要 因	α	β	γ
A ゲージ長	◎ (-)	(+)	(+)
B 接 着 剤			
C ベ ー ス	○ (+)	(-)	◎ (-)
D 乾 燥	(-)	◎ (-)	○ (+)
A × C	○		
A × D D		○	
A × C × D			○

○ 有意水準95%以上 (+) 水準+が大
◎ 有意水準99%以上 (-) 水準-が大

は, あまり大きな影響は受けないことになる。

ここで, 具体的に実験条件を選定する観点からすれば, ゲージ長2mmは1mmに比べ感度(α)は低いと考えられるが, 変換器や記録器の増巾率を増すことでカバーすることとし, 精度(β), (γ)の良いことを生かして使用の方が有利と考えられる。

したがって, 本実験の範囲内では, ゲージ長2mm, フェステルベース, ゲージ貼付後80℃の炉内で加熱したものを使用すれば, 接触圧力にほぼ比例した出力(抵抗値の変化)が得られると予想される。これより, 以下の実験では上記の条件によって測定を行うことにする。

4) チャックのツメと被把握物との接触圧力測定例 ここでは, 要因実験の結果をもとに, 実際の圧力センサーを作り, 三ツツメスクロールチャックの把握部分に生ずる圧力分布を測定する方法について考えている。

今回試作した測定ツメの概要は図4および図5に示す通りである。すなわち, ツメと被把握物との接触部分を5個に分割した接触子におき換える。そして, それぞれの接触子には, 前述の条件を満たすようなゲージが各一枚貼付けてあり, これが, ツメ本体との間に絶縁物を介してはさまれ, 被把握物を把握したとき, ゲージが押しつぶされるようになって

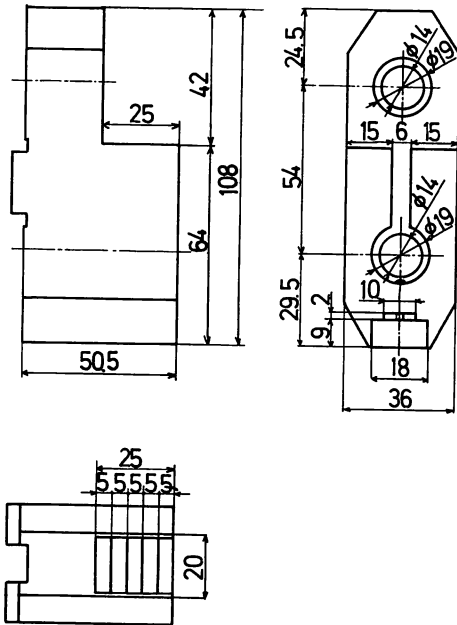


図4 供試チャックのツメ

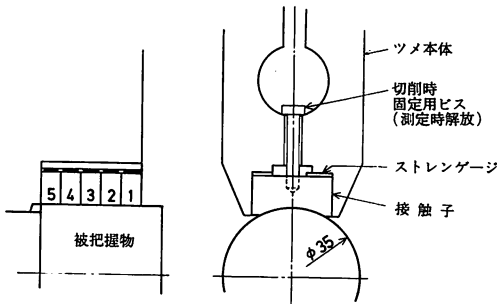


図5 ツメの接触部付近

いる。これを通常一枚ゲージによるひずみ測定の方法と同様に結線して、加圧による出力（抵抗）変化の測定を行った。なお、一個の接触子の長さは5 mmであり、接触子と本体とは、図5に示すように、ツメの接触面の研削に際してはビスで固定し、測定時にはこれを解放するようにした。

○測定ツメの製作 実際の測定ツメの製作に当たっては、上記の他にもさまざまな問題点のあることが分った。その一つは、図6に示すような、ゲージと直接々触する相手側、つまり、ツメ本体に貼付ける絶縁物の材質である。これは初め雲母板を用いたが、極めて薄いために、面粗さの影響を受け、くり返し精度の点で良い結果が得られなかった。そこで、各種の材質について検討し、硬質塩化ビニールを採用

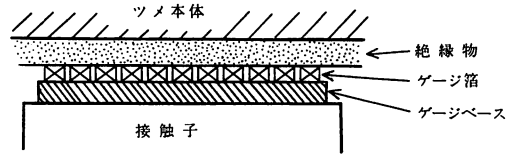


図6 ゲージ貼付部断面

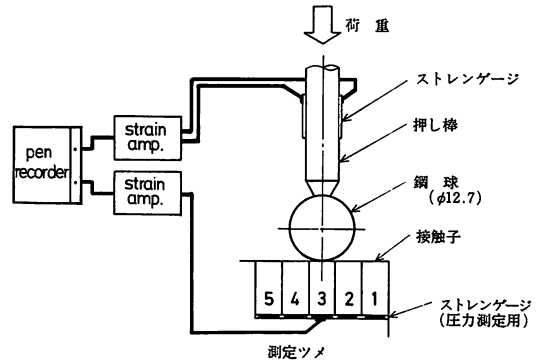


図7 較正方法

して解決した。

他の問題点は、ツメの研削後、測定のためにビスを開放すると、5個に分割した接触子の高さにふぞろいが生じ、当たりの小さな接触子が出来ることである。これは、測定ツメの把握部分を研削する時と測定を行う時とでは、接触状態が違うことに起因すると考えられたので、ビスの締付けや研削条件を変えるなどの方法で一応解決した。

このような試行錯誤の結果、その性能は実際の測定に應用出来る程度にまで向上した。しかし、工作上的誤差や本体絶縁物の表面状態にわずかの差があり、感度にはばらつきがあるため、個々の接触子について較正曲線を求めておく必要がある。

較正曲線は図7に示すように、個々の接触子を球で押し付け、その時の押棒による荷重と、ゲージによる出力変化との関係により求めた。較正曲線の一例を図8に示す。

このように、個々の接触子に感度差はあるが、一個一個の接触子について較正曲線を求めたことにより、測定は一応可能となった。

○測定結果 接触圧力の測定は三ツツメスクロールチャックの三個のツメのうちの一個を図5の測定ツメに取り替えて行った。ここで、ツメの把握部分の内径は $\phi 35$ に研削し、それに $\phi 35$ の、これも研削した丸棒を被把握物として締付けた。そして、測定ツ

ひずみゲージによる接触圧力の測定法

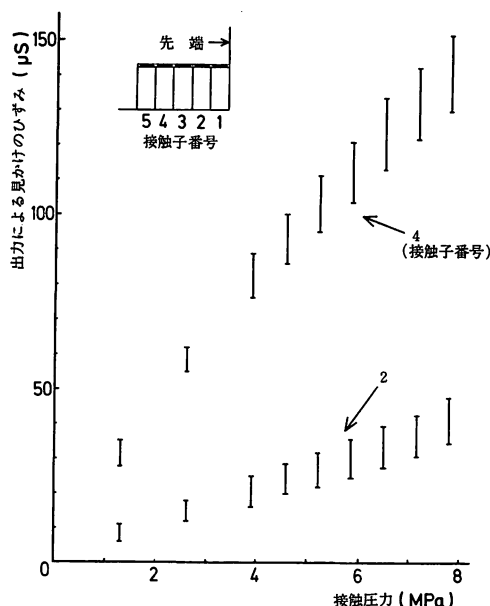


図8 校正曲線

メに貼付けたゲージからの出力は、図1と同様に、ストレインアンプを通してペンレコーダに接続した。いっぽう、締付けトルクについても、チャックハンドルにストレインゲージを貼付けたものを用い、これも同じくペンレコーダに接続し記録した。

締付けトルクを加え、一回ごとにゆるめながら、10.7Nm、21.3Nm、32.0Nmの締付けトルクを加えた。こうして得られた測定値は予め求めておいた校正曲線によって、圧力に換算した。この結果を図9に示す。また、比較のために感圧紙によっても測定した。これを図10に示す。

○考察 ツメの接触部における圧力分布は、被把握物を締付けることにより、種々の原因によって、ツメの先端が開くと考えられ、そのため、接触部の奥の方の圧力が大きくなるものと予想された。しかし、図9に示す測定結果によれば、ツメの接触部分の中央付近での圧力が最も高くなっており、締付けトルクを増すと共にこの部分の圧力が大きく上昇している。いっぽう、感圧紙による測定結果からは、この傾向が顕著ではなく、ほぼ一様であるといえる。また、感圧紙より得られたおよその圧力値と測定ツメから得られた圧力値とでは、10数%程度の差であり、測定ツメが一応正常に作動していることが判る。

ひずみゲージを押しつぶす場合と感圧紙による場合との差の原因と考えられるものは、例えば、接触子⑤の側面とツメ本体との摩擦の問題などである。

今後これらの問題を何らかの方法で解決すると共に、個々の接触子の性能を高め、測定条件を確立することによって、精度よく測定出来る可能性がある。

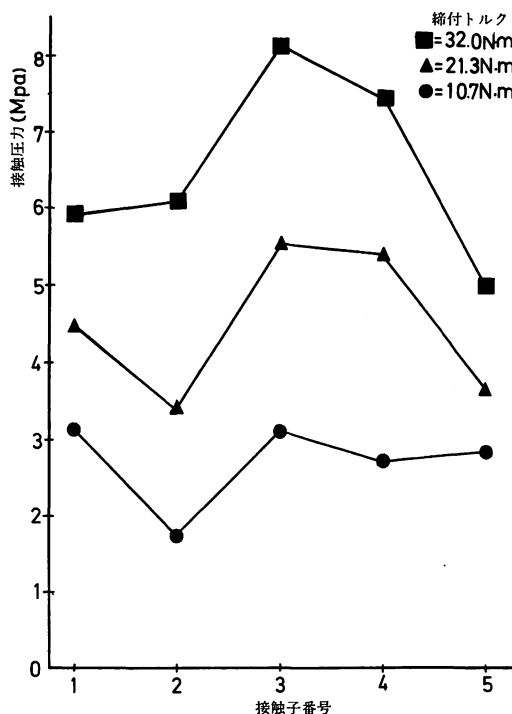


図9 ツメの接触圧力分布

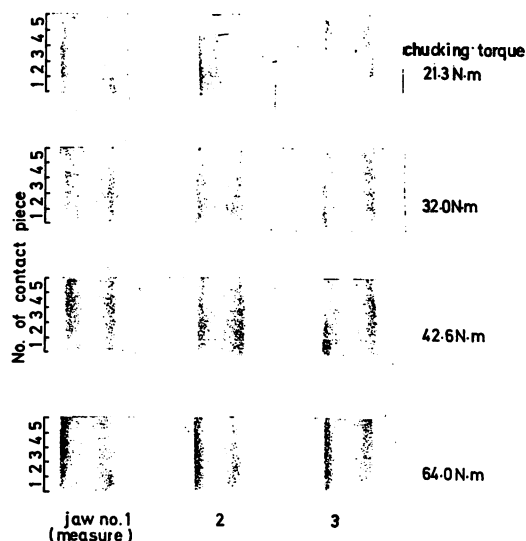


図10 感圧紙による測定結果

4. 結 言

三ツツメスクロールチャックを用いた丸棒の把握において、丸棒とツメとの接触部分における圧力分布の測定を目的として、ひずみゲージを押しつぶし、これによる電気抵抗の変化から接触圧力を測定しようとした。その結果、本実験の範囲内で、

1. ゲージ長の短い方が感度が高い。
2. ポリイミドベースに較べ、フェステルベースの方が精度は良い。
3. 接着剤の種類によらず、自然乾燥よりも、加熱乾燥の方が精度が良い。
4. ゲージを押しつける際、直接々触する絶縁物の選択も重要である。
5. ひずみゲージを押しつける面の傾むきによって、感度、精度共に左右される。
6. ツメと丸棒との接触面の圧力は、口先から奥にかけて単調に変化せず、中央付近の高い分布となった。

したがって、ひずみゲージを押しつぶすことにより、圧力を測定する方法は、改良の余地は残るものの、圧力センサーとして充分使用可能である。

謝 辞

本研究に関し多くの御教示を受けた東京工業大学伊東誼助教授に心から感謝申し上げます。

また、本研究を遂行するに当たり協力戴きました本校実習系の諸氏に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 伊東誼, 非破壊検査, 第25巻, 第10号, P 669
Y. ITO, J. TOYODA & S. NAGATA, Trans. ASME, Journal of Mechanical Design, Vol. 101, 1979 330—337
- 2) 門脇義次, 安藤正昭, 秋田高専研究紀要, 第15号, S 55年 2 月, P 6—10