

チャックのつめ結合部の剛性に関する基礎研究 —チャッキングの基礎研究 (第11報) —

門 脇 義 次・斎 藤 輝 雄・佐 藤 欣 也・清 水 武 史

Basic Study on Joint Stiffness on Chuck Jaw —Basic Study on Chucking (11th Report)—

Yoshitsugu KADOWAKI, Teruo SAITO,
Kinya SATO, Takesi SIMIZU

(昭和62年10月31日受理)

Workpiece chucking device is bottle neck in machining system. In the case of lathe chuck, the self turning or jaw changing must be performed to fit chucking surface of jaw to workpiece diameter. When jaw is changed, top jaw must be fixed to master jaw by means of jaw bolt or another fixing method through contact surface. In this case, stiffness of the joint must be considered and the knowledge of joint stiffness becomes important because new jaw changing systems has been developed. In the present study, an inspecting device of jaw stiffness is developed and effects of joint surface and jaw bolt on the stiffness are studied.

1. はじめに

近年、工場の自動化、機械加工のシステム化等が広く浸透していくなかで、工作物取付具のみは依然として機械加工システムの隘路の一つのまま取り残されているように見受けられる。このようなことから、高速切削への対応、柔軟性を考慮した工作物自動着脱への対応など、工作物取付具の新たな見直しが求められている。

工作物自動着脱に限らず、旋盤作業では工作物取付部分の剛性を増すためにチャックのつめの把握面を工作物直径と等しくする必要があり、つめの中ぐり切削またはつめの交換が必要である。このため、FMS (フレキシブル生産システム) に関連して、つめの自動交換を経済的に行なうための研究開発がその機構の研究を中心として盛んに行なわれている¹⁾。ところで、こうして交換されるつめはなんらかの結合部を介してチャック本体に取り付けられるわけで、この結合部分に起因する剛性の低下が予想される。このような、いわゆる結合部剛性に関しては有限要素法による研究²⁾、工作機械結合部についての系統的な研究がある³⁾。いっぽう、これまでのつめチャックの研究例では、マスタージョウとトップジョウは一体としており⁴⁾、この部分の結合部剛性

を取扱った研究例は見受けられないようである。

本報では、従来の手動によるつめの交換に際してはもちろん、今後開発が予想される新しいつめの交換機構にも活用できるような、つめ結合のための基礎資料を提示することを目的として、つめの剛性を実験的に求める方法を提案し、この方法によって得られる、つめの結合条件とつめ全体の剛性との関連を明らかにしている。

2. 実験装置および方法

図1は三つづめスクロールチャックに工作物を把握した状態を示している。図1のように、トップジョウは結合面Aを介して2本のつめボルトによりマスタージョウに取り付けられている。いま、垂直方向に位置するつめに注目すると、工作物の把握によってつめには把握力に相当する下向きの力Fが作用することになる。以下では、このように垂直下方にあるつめに注目してモデル化を行ない、図1のように、つめの先端のB点における水平方向ならびに垂直方向変位が測定されている。

図2は実験装置の概念図である。チャックのつめの状態を再現するため、図2においてもトップジョウは結合面Aを介して、コラムと一体に作られたマ

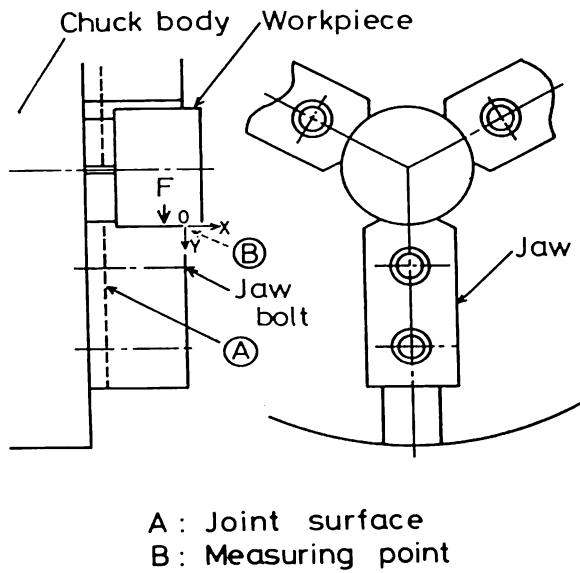


図1 チャックのつめにおける結合部と変位の測定点

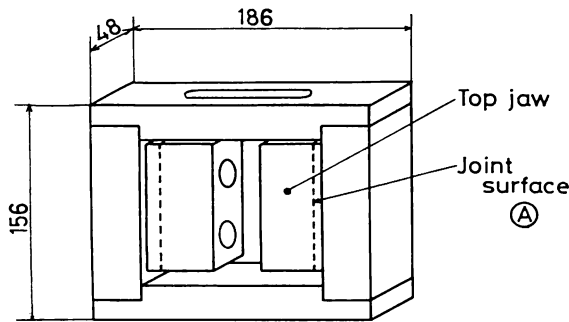


図2 実験装置の概略図

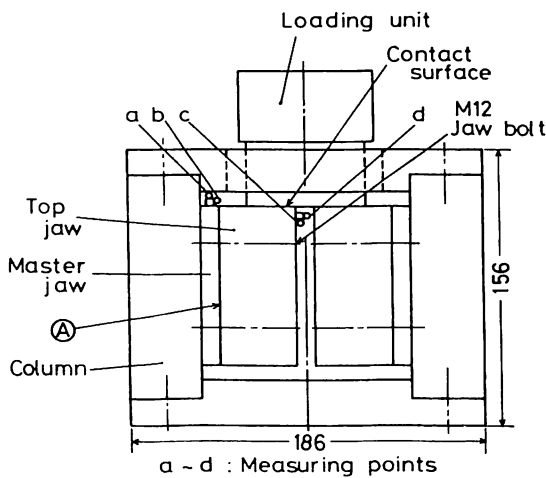
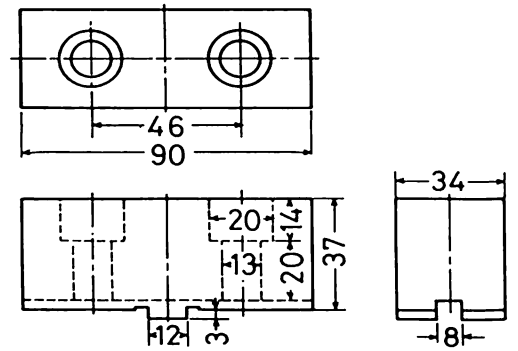
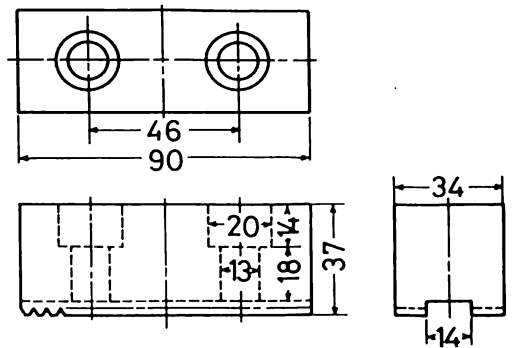


図3 実験装置の詳細図



a) Key type joint



b) Serrated type joint

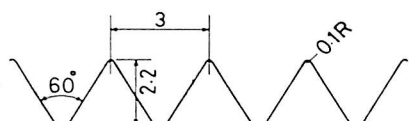
図4 供試結合面（トップジョウ）

スタージョウに2本のつめボルトにより取付けられる。この取付状態を一定とするため、つめボルトのひずみによって引張力が測定される。図2に示されるように同じ条件でトップジョウを取付けた2個のつめを向い合せ、トップビームとベースにより一体化した門型構造にする。荷重を加えるには、図3に詳細を示すように、トップビームの中央に明けた長穴を通して板状の荷重片が差し込まれる。この荷重片を2個のつめをまたぐように2個のつめの上端に接触させ、つめの把握力に相当する荷重を加える。負荷の方法は万能試験機を用いた圧縮試験と同様である。

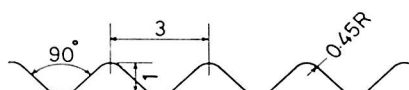
図3に示されるように2個のトップジョウが対称に配置されて、つめの取付条件を等しくしてあるため、つめの変形も対称であると考えられる。したがって、荷重のためつめが傾斜して、口開きが生じた場合でも、荷重片は傾斜せず水平が保たれるはずである。このことはチャックに工作物を把握する際工作物の傾斜がない理想の把握状態に相当している。また、つめの変形はつめ先端の垂直および水平方向変

表 1 供試結合面

名称	記号	寸法	備考
キー	Key	長さ12, 高さ3, 幅26	生づめと一体構造
セレーション	Ser.60	山角60, ピッチ3.0, 高さ2.2	マスタージョウに直接取付
〃	Ser.90	〃90, 〃 3.0, 〃 1.0	〃
〃	Ser.60T	〃60 〃 3.0 〃 2.2	T ナット使用による取付
〃	Ser.90T	〃90, 〃 3.0, 〃 1.0	〃



a) Serration 60°



b) Serration 90°

図 5 供試セレーション形状

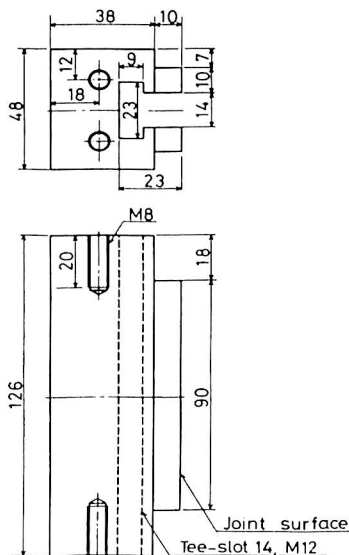
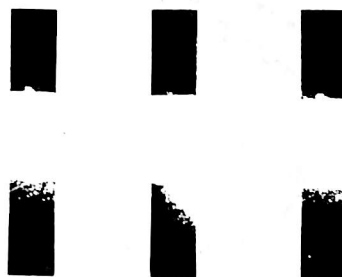


図 6 供試 Tee スロット

位として、てこ式電気マイクロメータにより測定される。

図 4, および表 1 に供試結合面の種類を示している。すなわち, a) 三つづめスクロールチャックに用いられるキー (Key) と b) パワーチャックに用いられるセレーション (Serration) である。ここで, セレーションは山の角度によって欧米で使用されてい



No.1 No.2 No.3

Ser.90

Traction force in jaw bolt : 12 KN
Load : 30 KN

図 7 つめと荷重片の接触状態

る 90 度と日本で使用されている 60 度の 2 種類, さらに, セレーションはマスタージョウに直接ボルト締めされる場合 (Ser. 60 および Ser. 90) と Tee ボルトを介して締められる場合 (Ser. 60T および Ser. 90T) である。図 5 は供試セレーション形状の比較, 図 6 は供試 Tee スロットの形状を示している。

これら一般のつめ結合面との比較のため, キーもセレーションもない平面同志が接触する場合 (Flat), およびマスタージョウとトップジョウの間に結合面のない一体形 (Solid) についても同様に実験している。

3. 実験結果と考察

まず, トップジョウと荷重片との接触状態を検討する。図 7 は感圧紙法によりつめと荷重片の接触状態を見たものである。つめ先端の圧力が若干低くなっているものの, 両方のつめの接触状態はほぼ等しく, 本装置の目的の一つである対称なつめの接触が得られている。

図 8 は負荷一除荷曲線の一例である。すなわち, つめあたりの荷重を横軸とし, 垂直方向ならびに水

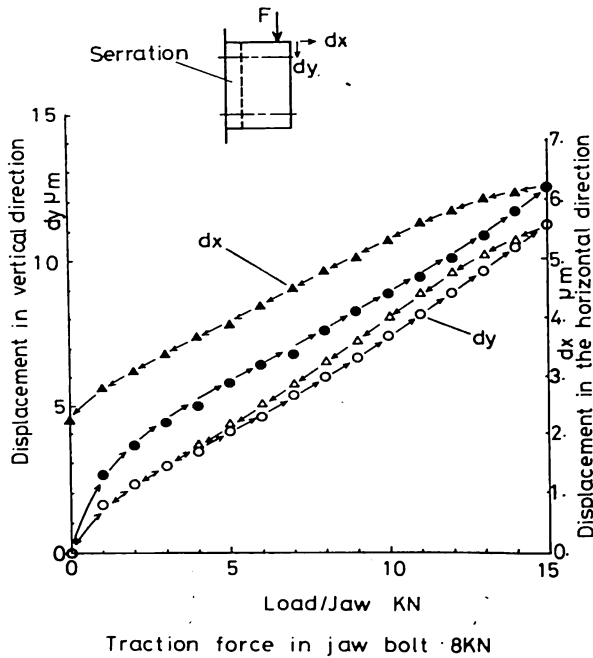


図8 負荷—除荷曲線の一例

平方方向の変位を縦軸として、荷重を増していく過程と減少していく過程を変位によって示す。図によれば、負荷の過程と除荷の過程には若干の差があり、いわゆるヒステリシスがみられる。

3・1 要因実験 本実験に先立ち、つめの剛性に対する取付条件の大略の影響を知り、以後の実験の方針を立てるために実験計画法による要因実験を行なった。この際の実験要因は、表2(a)に示す4要因である。すなわち、結合部をキーとセレーション(山角60)、つめ取付ボルトの引張り力を8KN、16KNとした。また表2(a)においてつめの番号となっているのは、つめが対称に2個配置されていることから、同時に2個の測定結果を得るが、この際のばらつきを調べるために、つめのそれぞれを番号によって区別したものである。また試験機の左右とあるのは、圧縮試験に用いられる万能試験機そのものの実験誤差に対する影響を知るための要因である。したがって表2(a)における下の2要因は実験誤差の影響を示すと考えてよい。なお、この要因実験における測定項目はつめあたり荷重を15KNとした把握力方向のつめの変位であり、図8における最高荷重に対応する変位でもある。

表2(b)は、以上の各要因を組合せた実験条件のもとで測定を行ないこれをこれをデータとしてYatesの方法によって分散分析した結果である。表2(b)において、各要因ごとのF値にれば、実験誤差に比較して、結合部の種類、ボルト締付け力の影響は明ら

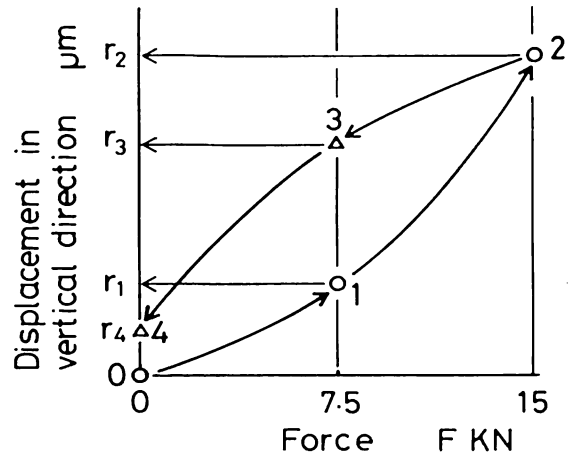


図9 負荷—除荷曲線の概略図

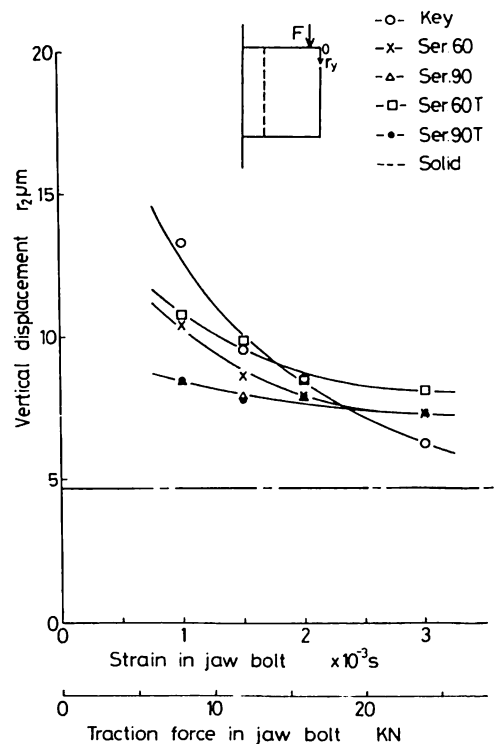


図10 垂直方向変位

かに大きい。

3・2 垂直方向変位におよぼす結合部の種類とボルト締付け力の影響 図9は負荷—除荷曲線の概念図であり、各測定ごとに一定荷重まで負荷することにし、負荷過程の中間(7.5KN)、最高荷重(15KN)および除荷過程の中間(7.5KN)、さらに除荷後の変位をそれぞれ図示のように r_1 , r_2 , r_3 , r_4 , と名づける。以下においては、最高荷重によって生ずる変位 r_2 、ヒステリシス差 $r_3 - r_1$ 、および除荷後の残留変位 r_4 を求める。

表 2 要因実験

(a) 実験計画

	要 因	0	1
A	結合部の種類	Key	Ser.60
B	ボルト引張力	8KN	16KN
C	つめの番号	No 1	No 2
D	試験機上の右左	左	右

(b) 垂直方向変位の Yates の計算法による分散分析

1. 演算

条 件 A B C D	DATA μm	(1)	(2)	(3)	(4)	(4) ²	(4) ² /16	効 果
0 0 0 0	16.3	26.4	45.7	93.0	192.6	37094.76	2318.42	CT
1 0 0 0	10.1	19.3	47.3	99.6	- 29.6	876.16	54.76	A
0 1 0 0	11.8	26.6	48.3	- 17.2	- 26.8	718.24	44.89	B
1 1 0 0	7.5	20.7	51.3	- 12.4	11.0	121.00	7.56	A×B
0 0 1 0	16.0	28.1	- 10.5	- 13.0	4.6	21.16	1.32	C
1 0 1 0	10.6	20.2	- 6.7	- 13.8	4.0	16.00	1.00	A×C
0 1 1 0	11.0	28.6	- 6.3	6.0	3.2	10.24	0.64	B×C
1 1 1 0	9.7	22.7	- 6.1	5.0	7.4	54.76	3.42	A×B×C
0 0 0 1	15.6	- 6.2	- 7.1	1.6	6.6	43.56	2.72	D
1 0 0 1	12.5	- 4.3	- 5.9	3.0	4.8	23.04	1.44	A×D
0 1 0 1	11.7	- 5.4	- 7.9	3.8	- 0.8	0.64	0.04	B×D
1 1 0 1	8.5	- 1.3	- 5.9	0.2	- 1.0	1.00	0.06	A×B×D
0 0 1 1	17.1	- 3.1	1.9	1.2	1.4	1.96	0.12	C×D
1 0 1 1	11.5	- 3.2	4.1	2.0	- 3.6	12.96	0.81	A×C×D
0 1 1 1	11.6	- 5.6	- 0.1	2.2	0.8	0.64	0.04	B×C×D
1 1 1 1	11.1	- 0.5	5.1	5.2	3.0	9.00	0.56	A×B×C×D

2. 分散分析表

要 因	S	φ	V	F ₀	F(0.05)	F(0.01)
A	54.76	1	54.76	167.98	5.59	12.20
B	44.89	1	44.89	137.70	"	"
C	1.32	1	1.32	4.05	"	"
D	2.72	1	2.72	8.34	"	"
A×B	7.56	1	7.56	23.19	"	"
A×B×C	3.42	1	3.42	10.49	"	"
A×D	1.44	1	1.44	4.42	"	"
A×C	1.00	1	1.00	3.07	"	"
E	2.28	7	0.326		"	"
計		15				

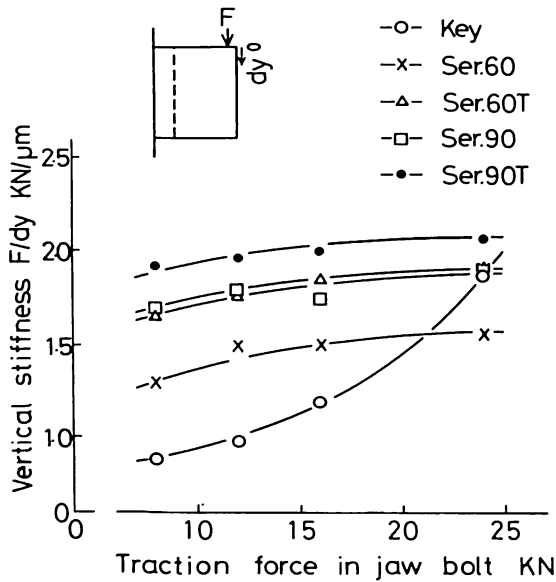


図11 ボルト締付力と垂直方向剛性

図10はつめ取付ボルトの締付けの強さと荷重(F)を15KNとしたつめ先端の垂直方向変位(図9の r_2)との関係を示している。また、図11は変位の代りに剛性によってこれを表現したものである。なお両図ではつめの結合部の種類をパラメータにしている。

図10によれば、変位は6~14 μm であり、ボルトの締付け力が高くなるにつれてつめの変位は減少している。いっぽう図11によれば、ボルト締付け力とともに剛性が向上し、結合部の無い一体形の剛性に近づくことがわかる。つぎに、各結合面ごとの剛性をみると、セレーションでは締付け力が小さい範囲で、キーよりも剛性が高いが、締付け力20KN前後で逆転し、それ以上の締付け力では、キーの剛性がセレーションのそれを上回っている。このように、セレーションでは剛性の頭打ち状態が見られ、これ以上ボルト締付け力を大きくしても、一体形に近づけることは困難であるが、キーの場合はボルト締付け力を増すことで、一体形の剛性に近づけることができる。また、二つのセレーションSer60とSer90の剛性を比較すると、Ser90の方が高い。これはTスロット付きの場合(Ser60TおよびSer90T)も同様である。また、Tスロットが有る場合と無い場合(Ser60とSer60TまたはSer90とSer90Tの比較)では有為な差が認められない。

図12は、図9に示される垂直方向変位-荷重曲線に現れるヒステリシス差として、負荷-除荷過程の中央における読みの差(図9中の r_3-r_1)を求め、こ

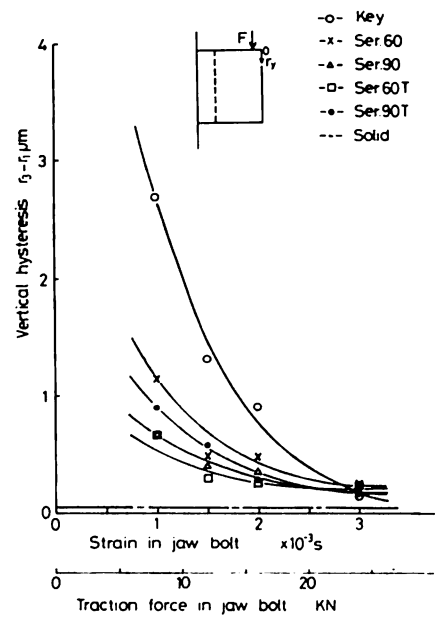


図12 垂直方向ヒステリシス

れを改めて、ヒステリシスと名づけ、各ボルト締付け力ごと、また、各結合面の種類ごとに示したものである。図12によれば、ヒステリシスはボルト締付け力を増すにつれて減少しているが、その減少の割合は、キーの場合が急であり、セレーションの場合は緩やかである。これより、ヒステリシスは図10に示される、つめの先端の垂直方向変位(r_2)の場合と同様の傾向である。また図12によれば、ボルト締付け力3KNでは、結合面の種類によらず、ほぼ一定のヒステリシスを示している。

3.3 水平方向変位におよぼす結合部の種類とボルト締付け力の影響 図13では、垂直方向の場合と同様にボルト締付け力と水平方向変位との関係が示され、各種結合面の水平方向変位への影響も比較されている。また図14は同様の関係を剛性によって示したものである。図13によれば、同じ条件の場合、水平方向変位は垂直方向変位に比較して小さく、ほぼ1/3程度である。また、図13、図14によれば、つめボルトの引張り力を増すにつれて、つめの水平方向変位は減少して、剛性は向上している。ここで、セレーションの場合は、山角の影響も大きく、60度よりも90度のほうが大きな剛性となっている。また、Teeボルトの使用によってもつめの剛性に差を生じ、60度、90度のいずれの山角の場合にもTeeボルトを使用する場合に水平方向剛性が高くなる。このことはマスタージョウに直接ボルト締めの場合、トップジョウのボルト穴間隔とマスタージョウのめ

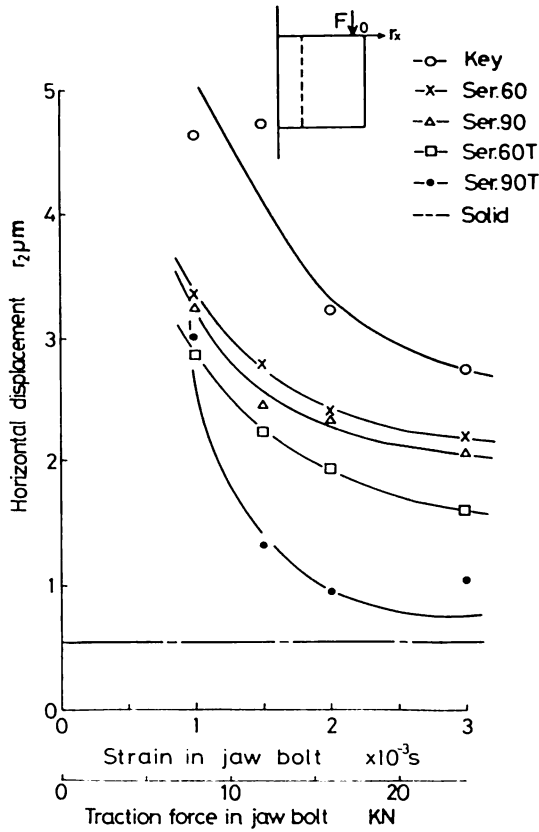


図13 水平方向変位

ねじ間隔とに差を生じ、ボルト座面の均等な接触が得られないためと考えられる。いっぽう、Teeボルト使用の場合はトップジョウのボルト穴間隔とTeeボルトの間隔が一致し、ボルト座面に均等な当りを生ずる結果、剛性は高いと考えられる。なお、ここではマスタージョウの変形を差引いてあり、Teeボルト使用のセレーションが見かけ上高い剛性を示しているが、マスタージョウがTeeスロットを有する場合は、このTeeスロットの変形のためにつめ全体の剛性が下がり、セレーション使用のつめの剛性が低くなることは予想できる。このような観点から今後Teeスロット単独の剛性を検討する必要がある。

図15は、水平方向ヒステリシスを示し、ボルトの締付けを強くするにつれヒステリシスは減少している。いっぽう、結合面の影響は図12に示される垂直方向の場合と異なり、セレーションでしかもTeeボルト使用の場合全体的に大きくなっている。

4. まとめ

チャックのつめにおいて、トップジョウとマス

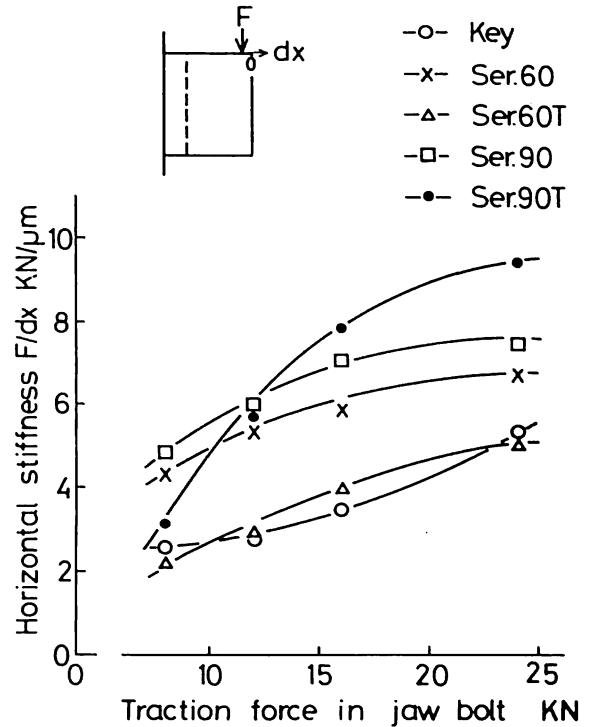


図14 ボルト締付力と水平方向剛性

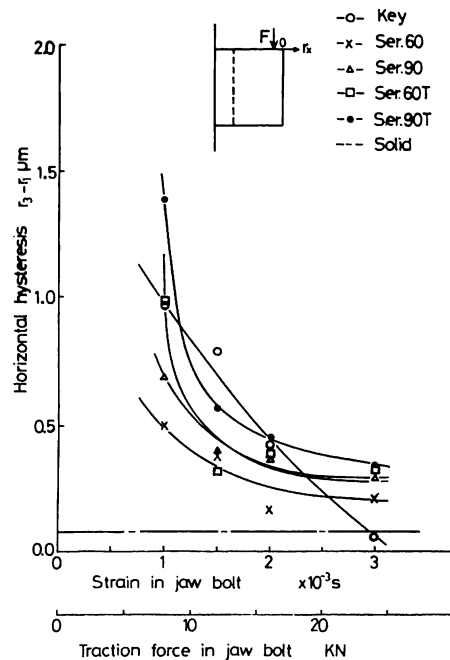


図15 水平方向ヒステリシス

タージョウの結合条件と剛性の関連を明らかにするための実験装置を試作した。この装置を用いて実験の結果、チャックのつめの場合、結合面の種類とつめ取付けボルトの締付け強さによって剛性の変わる

ことが明らかとなった。ここでは、三つづめスクロールチャックに使用されているキーとパワーチャックに使用されているセレーションを検討したが、キーの場合はホルトの締付け強さを増すことによって、一体形の剛性に近づけることが出来るのに対し、セレーションの場合はある限界を越えて強く締付けてもあまり剛性の向上が期待できないことが明らかとなった。

終りに、本研究は日本工作機械工業会のご支援により行なわれたものであり、同会チャック研究分科

会主査、東京工業大学工学部伊東誼教授を始め、関係各位に心から感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Spur, G. und Weiser, W. ZwF75, (1985-5), 191.
- 2) 蔦, 山地. 機誌, 76-651 (昭48), 40.
- 3) 伊東, 益子. 機論, 36-292 (昭48), 2143.
- 4) Thronley, R. H., and Willson, B. The Prod. Eng., 51-3 (1972), 87.