

有限要素法によるチャックの爪の剛性解析 (続)

— チャッキングの基礎研究 (第3報) —

門 脇 義 次

Analysis of Static Deformation of Chuck Jaws
by Finite Element Method (2nd)

— Basic Study of Chucking (3rd report) —

Yoshitsugu KADOWAKI

(昭和51年10月29日受理)

1. 緒 言

前報¹⁾では、生爪スクロールチャックを主軸に取付けた状態で、主軸中心線に直交する面によって生爪を切断したものとし、この断面での剛性を二次元的に検討した。

本報では、生爪を片持ばりとして取扱う。すなわち、スクロールチャックの直径方向から生爪を見ると、爪受台を固定壁とし、締付けてある工作物からの反力を荷重としたごく短い片持ばりと見なすことができる。

短い片持ばりに関して、小林ら²⁾は境界条件をフーリエ級数で表わした基礎方程式による、一般の解法では計算上の誤差として、自由境界上に微細な垂直応力が生じ、短い片持ばりでは、内部の応力分布の計算結果に大きな誤差を与えることに着目し、これを改善した場合の数値計算例をあげている。

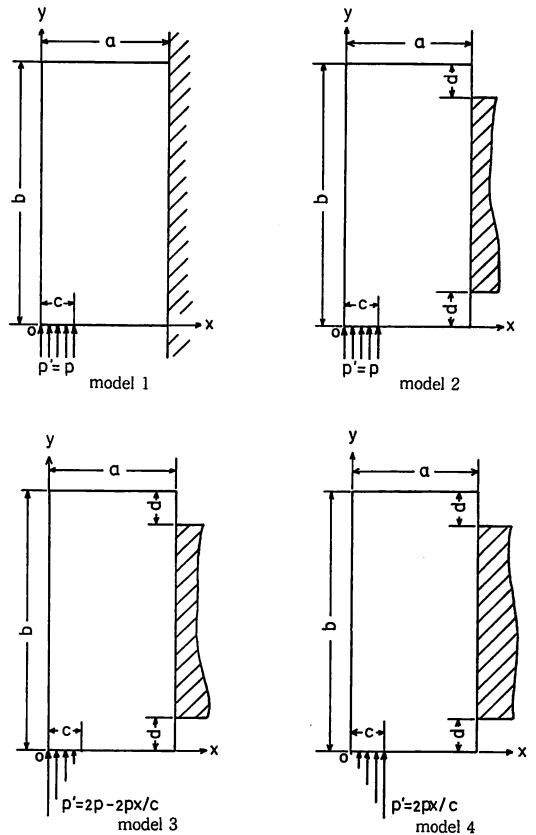
本報では、実際の生爪スクロールチャックの生爪と相似な、小林らの数値計算例よりもさらに短いモデルについて、有限要素法により、平面応力問題として、その剛性を検討する。尚、実際の生爪の場合には固定の状態と、荷重の状態とが一般の片持ばりの場合と異なるのでこれらを考慮したモデルについても、同様に検討する。

2. 問題の設定

前報¹⁾における model 1 と同様に、生爪の一つをスクロールチャックの直径方向から見ると、高さの一部を固定してある一端を固定端とする片持ばりと考えられる。この一部固定の影響を明らかにするためには、高さの全部を固定してある一端を固定端とする一般の片持ばりと比較する必要がある。また、工作物を締付ける際、爪受台とスクロールとのクリアランスによって口開きの生ずる場合とか、締付けてある工作物に曲げが作用する場合などには、生爪と工作物との全接触面積にわたる一様な

接触圧力分布は期待できない。

以上のことを考慮して、図1に示す四個のモデルを設定した。尚、図1では分布荷重の表示に便利のように座標軸を定め、長さは無次元表示してある。



$$a=0.472b, c=0.272a, d=0.128b, p \text{ 平均荷重}$$

図1 解析に供したモデル

model 1 はりの高さの全長を固定した固定端を有し、はりの長さを a とするとき、自由端から $0.272a$ の長さにおいて等分布荷重が作用する場合である。（前報における model 1 に同じ）

model 2 荷重の状態は model 1 と同じであるが、高さの一部を固定した固定端を有する場合である。

model 3 model 2 と同じ固定端を有するが、荷重の状態は自由端で最大となる $2p-2px/c$ の三角形分布荷重の作用する場合である。（ここで、 c は生爪と工作

物との接触長さ、 p は荷重の総和を接触面積で割った値である。以下同様）

model 4 model 3 と同じ固定端を有するが、荷重については、model 3 とは逆に自由端で最少となる $2px/c$ の三角形分布荷重の作用する場合である。

3. 計算結果と考察

上記の各モデルについて、平面応力状態を仮定して、有限要素法によって計算した結果を図2～図5に示す。

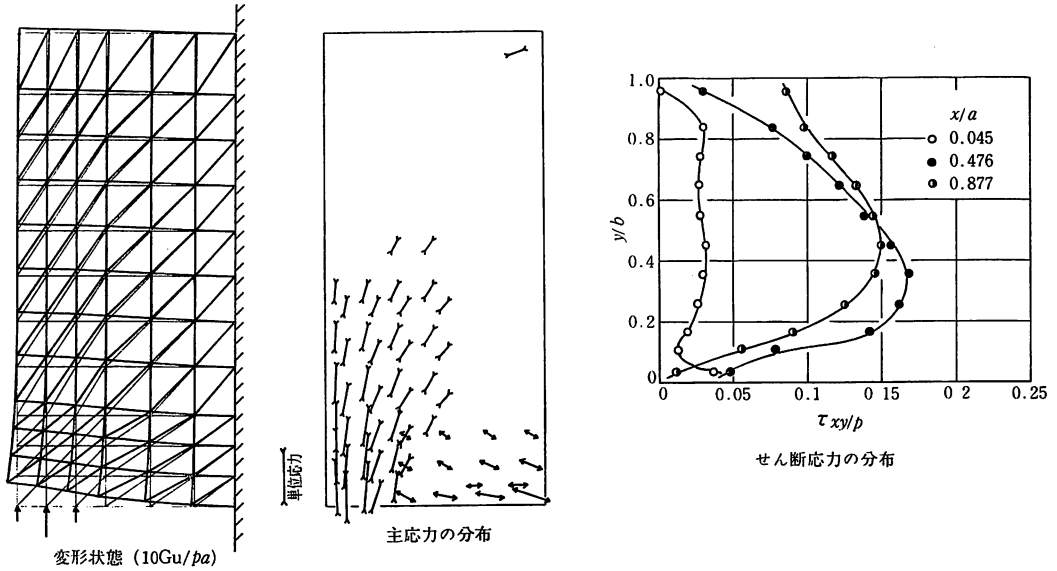


図2 model 1 の場合

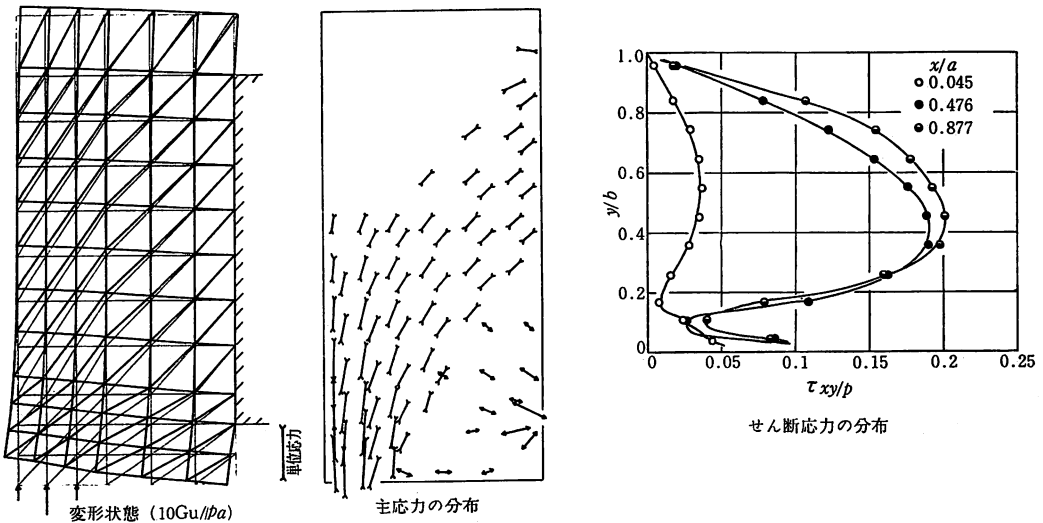


図3 model 2 の場合

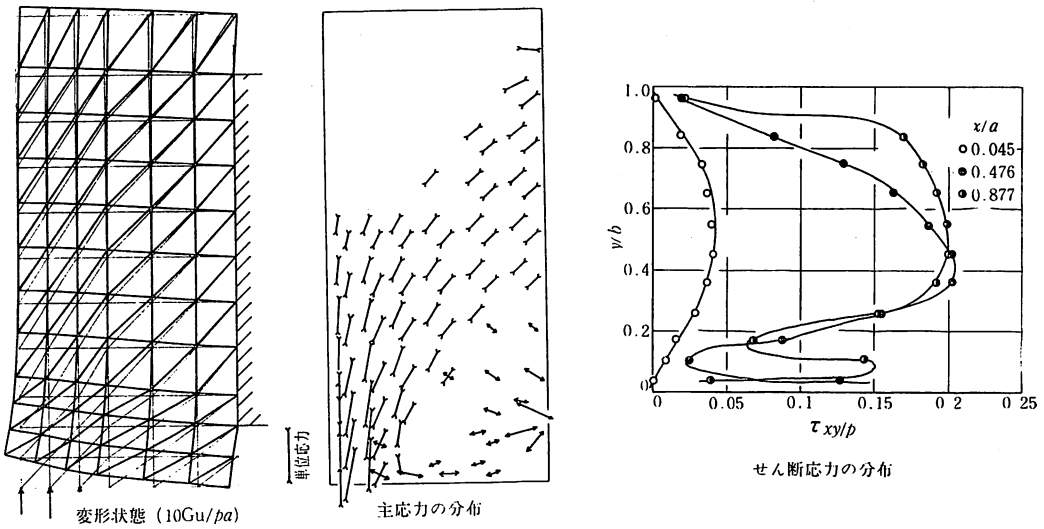


図 4 model 3 の場合

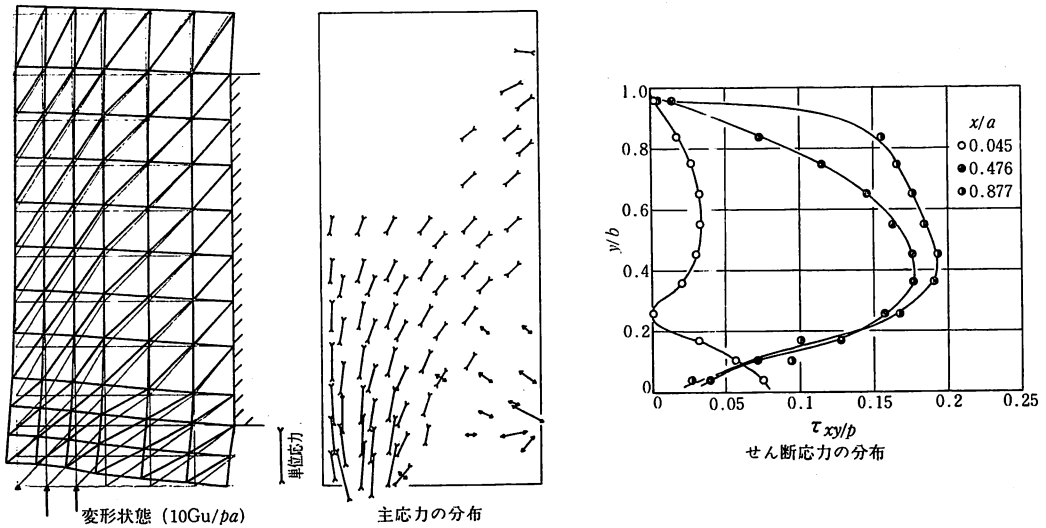


図 5 model 4 の場合

図において、変位及び応力を無次元化するため、それぞれ、 $10Gu/pa$ 、 $10Gv/pa$ 及び σ/p 、 τ_{xy}/p によって示す。ここで、 G は横弾性係数、 u 、 v は x 方向及び y 方向への変位、 a ははりの長さ、 σ は主応力、 p は荷重の総和を分布荷重が作用する面積で割った値である。尚、有限要素法では分布荷重を境界上の節点に作用する集中荷重として扱うため、計算に際しては、各モデルに作用する分布荷重を左図に示す矢印の長さの比を有する集中

荷重に置き換えてある³⁾。

変位について model 1 と model 2 を比較すれば、固定端の相違による、各点の変位の相違を知ることが出来る。これから、固定端を全高さにわたって固定した場合に比較して、一部を固定した場合の方が、荷重方向の変位 (y 方向変位) 及びこれに直交する方向の変位 (x 方向変位) 共に大きいことが分かる。

model 2, 3, 4 を比較すれば、分布荷重の相違による、

各点での変位の相違を知ることが出来るが、自由端付近での変位は自由端で最大となるような三角形分布荷重のもとで最大を示し、等分布荷重の場合、自由端で最少となるような三角形分布荷重の場合の順に小さくなっていることが分かる。このことから、旋削中の工作物には切削抵抗に起因する曲げが掛かり、爪の一つには締付けによる初めの荷重の他に、model 2, 3, 4 に近い状態の荷重が次、次に加わるので、それぞれに相当する爪の変形が週期的に生じ、工作物の切削点での変位は一樣でない。これが振動の強制力となり、さらに加工精度劣化の原因となることが予想される。

主応力の分布について 各三角形要素内の平均応力から求められる主応力の無次元表示した値が0.25以上のものについて図示してある。model 1 と model 2 を比較することによって固定端の相違による応力分布の相違を見ると、一部を固定した場合には、全高さを固定した場合に比べ、大きな主応力の及ぶ範囲が広がっている。また、前者の場合、荷重の作用する側の外表面付近での引張応力がきわめて小さく、一般の片持ばりと異なるので、前報¹⁾で検討したように、生爪の、工作物と接する側にはりつけたストレンゲージによって、締付荷重等を間接測定するときには低感度となることが予想される。

model 2, 3, 4 を比較することによって、荷重の分布状態が相違するものを比較すると、自由端付近での応力は model 3 が最大、model 4 が最小であり、自由端で最大となるような三角形分布荷重が作用するとき、最も大きな圧縮応力を生じている。

せん断応力の分布について 自由端付近($x/a=0.045$) はりの長さの中央付近($x/a=0.476$)、固定端付近($x/a=0.877$)における τ_{xy}/p によって示す。いずれのモデルについても自由端付近では τ_{xy} が小さく、はりの長さの中央付近と固定端付近とは、ほぼ同じ程度の τ_{xy} を

示し、しかも、はりの高さの中央付近にピークを有する分布であることが分かる。

model 1 と model 2 を比較することにより、固定端の状態が相違するものを比較すると、全高さを固定した固定端を有するとき、 τ_{xy} は一様に小さくなり、はりの高さの中央付近でのピークは分布荷重の作用する外表面に近い。また、この外表面の近くで変曲点が見られない。さらに、長さの中央付近と固定端付近での τ_{xy} の大きさについては、分布荷重の作用する外表面の近くでは長さの中央付近で大きくなり、これと反対の外表面の近くでは固定端付近での τ_{xy} が大きくなっている。この入れ替わっている点は、全高さを固定とした固定端を有するときの方が分布荷重の作用しない側の外表面にやや近づく傾向にある。尚、固定端で一部を固定してある場合には分布荷重が作用する外表面付近での、はりの長さの中央付近と固定端付近での τ_{xy} の差は小さい。

model 2, 3, 4 を比較することにより、荷重の分布状態が相違するものを比較すると、model 3 の場合のみが分布荷重が作用する外表面付近での τ_{xy} に関して、はりの長さの中央付近と固定端付近とで逆の傾向を有し、model 2, 4 と異なっている。一方、分布荷重の作用しない外表面付近での τ_{xy} は固定端の相違には依らず、等分布荷重の場合には類似した値を示すが、三角形分布荷重の場合にはかけ離れた値を示している。

外表面付近の応力分布について 自由端のごく近く、($x/a=0.031$)に重心を有する三角形要素内の σ_y/p の平均値、及び分布荷重の作用する外表面のごく近く、($x/a=0.021$)に重心を有する三角形要素内の σ_y/p の平均値を各モデル毎にプロットしたものが図6及び図7である。図6において、model 1 と model 2 とから、固定端の状態が相違するものを比較すると、高さの中央付近でいくぶん相違する他、ほとんど差がない。これから、 σ_y に対する固定端の状態の影響はごく少ないと言

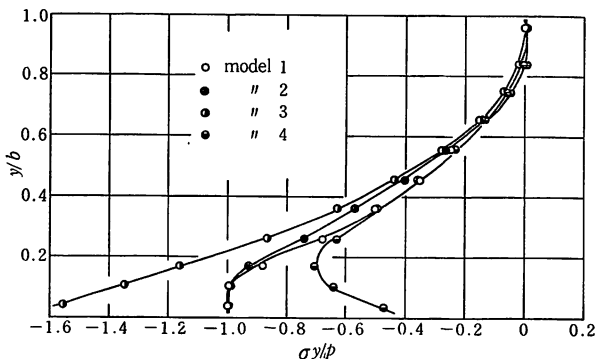


図6 σ_y の比較 ($x/a=0.045$)

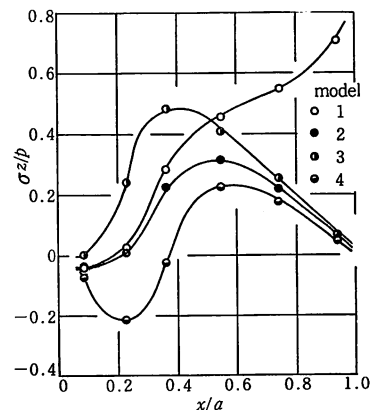


図7 σ_x の比較 ($y/b=0.021$)

える。次に model 2, 3, 4 を比較することによって、荷重の分布状態が相違するものを比較すると、分布荷重の作用する外表面の近くでは σ_y に大きな差があること、等分布荷重が作用するときは二種の三角形分布荷重が作用する場合の中間の σ_y となることなどが顕著である。しかし、荷重が作用する外表面から離れるにつれて、急にこれらは一致する傾向にある。

図7において、model 1 と model 2 によって、固定端の状態が相違する場合の σ_x/p を比較すると、自由端ではほとんど差がないが、固定端に近づくにつれ、その差は大きくなっていく、すなわち、全高さを固定した固定端を有する一般の片持ばりにおいて、引張側外表面での応力は固定端で最大値を示すのに、一部を固定した固定端を有する生爪の場合には、固定端でゼロとなる。

model 2, 3, 4 によって、荷重の分布状態が相違するものを比較すると、等分布荷重が作用するとき、各点での σ_x/p は二種の三角形分布荷重が作用するときの値の平均値となっていることが分かる。

4. 結 言

本報告は、生爪スクロールチャックに工作物を締付けた状態で、生爪の一つに着目すれば、ごく短い片持ばりとなすことが出来ることから、長方形断面を有する、ごく短い片持ばりの剛性について、有限要素法により、二次元的に検討を加えたものである。しかし、生爪の場合には一部を固定した固定端を有すること、工作物に加わる曲げ及び爪の口開きなどによって、荷重の分布状態が変動すること、などの特色を有しているので、これらの点についても検討を加え、得られた結果をまと

めると次の通りである。

- 1) 片持ばりにおいて、固定端の状態が、全高さにわたり固定した場合と、一部分固定した場合とでは、
 - a) 自由端での荷重方向への変位は後者の方が大きい。
 - b) 大応力の及ぶ範囲が後者の方が広い。などのことから、生爪の場合には一般の短い片持ばりに比べ、より剛性の不足な状態にあることになる。
- 2) 固定端で部分的に固定し、荷重の分布状態を変えると、荷重の総和は一定であっても、各点での変位や応力分布などが変化する。この変化は自由端の近く及び固定端の近くで著しい。尚、変位量や大応力の及ぶ範囲などは、自由端で小さな三角形分布荷重、等分布荷重、自由端で大きな三角形分布荷重、の作用するときの順に大きい。

本研究を行うに当たり、本校電気工学科 菅原英一氏には、プログラム相談等で大変お世話になりました。また、数値計算、図面の作成等については、東北大学大型計算機センターによったものであることを付記します。

文 献

- 1) 秋田高専研究紀要 第10巻 (1975. 1), P.14
" 第11巻 (1976. 2), P.11
- 2) 小林・ほか2名, 機論, 42-357 (昭51-5), 1355
- 3) 三木茂夫・吉村信敏, 有限要素法による構造解析プログラム, コンピューターによる構造工学講座 I-1-B, 培風館, P. 222