

低切断荷重はさみの切断荷重の推定*

飯村 崇**、長嶋宏之***、井上研司****、
井山俊郎*****、本村 貢*****

医療用や理美容用のはさみは一般的なはさみと比べて、切断に対する要求が非常に厳しい。具体的にはその切断荷重が、他のはさみと比べて非常に小さくなっている。その結果、荷重に影響する因子の推定が難しい。そこで、本報告では、最終目的であるはさみの切断機構の理論化のため、空切り荷重の推定を試みた。空切りとは何も切断せずにはさみを開閉する動作を指す。その結果、形状の測定値を元にいくつかの仮定を盛り込んだ数値計算を行うことで、空切り荷重の推定が可能となった。また、この結果から、空切りの開閉感に影響を及ぼす因子が明らかになった。

キーワード：はさみ、切断荷重

Estimation of Cutting-Load with Low Cutting-Load Scissors

IIMURA Takashi, NAGASHIMA Hiroyuki, INOUE Kenji,
IYAMA Toshirou and MOTOMURA Mitsugu

Cutting Load of Hair-Cutting Scissors and Medical Scissors is lower than other Scissors, and it is difficult to estimate effective factors on cutting-load. Therefore, the method to estimate cutting-load of Low Cutting-Load scissors without cutting (only closing) is proposed in this paper. This investigation is the first step to form a theory of cutting with scissors. As a result, cutting-load (only closing) was able to estimate by numerical calculation based on measuring shape of scissors. Effective factors on cutting-load were clarified by use of this method.

key words: Hair-Cutting Scissors, Cutting-Load

1 緒 言

これまでのはさみの良否判定や、はさみ設計の簡便化を目的として、切断荷重を計算から推定する試みが多く行われてきた。代表的なものとしては大阪工業奨励館の藤原らの一連の報告や、岐阜県製品技術研究所の竹腰らの報告がある。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾しかし上述の藤原らの報告においては基本的にはラシャ切はさみ等切断荷重の大きなはさみを対象にしており、竹腰らの報告においても金属板や径の大きな棒材を切断するような状況を想定している。ところが医療用や理美容用の切断荷重が低いはさみ（以後、低切断荷重はさみと呼ぶ）では、扱う切断荷重が非常に小さく、刃やワッシャで起こる摩擦等が大きく影響を及ぼすと考えられることから、ラシャ切りはさみ等と比べ荷重に影響する因子

の推定が難しい。

そこで、本報告では、最終目的であるはさみの切断機構を理論化するための切断荷重推定の第一歩として、低切断荷重はさみの何も切断せずにはさみを開閉する際の荷重（以後、空切り荷重と呼ぶ）の推定を試みた。この空切り荷重は、刃線上の交点及び触点部分での摩擦抵抗とはさみの自重による抵抗の合力となるのが過去の研究においても既に明らかにされているが、低切断荷重はさみの場合、切断荷重が微小であるため、これに加えてネジ部での摩擦抵抗も考慮する必要がある。また、摩擦力は垂直荷重と摩擦係数によって計算されるが、この垂直荷重ははさみ全体のたわみ、樹脂ワッシャの変形及び刃先端微小部分の変形と、刃のおがみ形状から決定できると考えられる。しかし、この

* 都市エリア産学官連携促進事業発展型「MRI 対応医療用はさみの開発」

** 電子機械技術部（現 材料技術部）

*** 企画デザイン部

**** (株) 東光舎

***** 岩手大学 工学部 機械工学専攻

***** 早稲田大学 基幹理工学部 機械科学航空科学 機械科学専攻

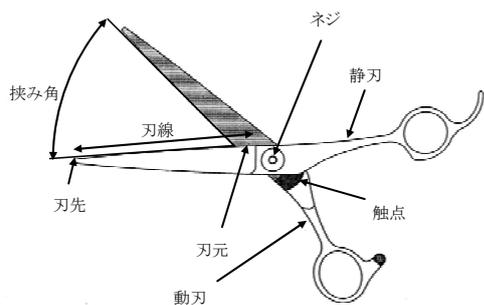


図1 はさみ各部の名称

垂直荷重を、測定したおがみ形状のみから計算で求めた例は無い。そこで本報告では、測定可能な刃のおがみ形状から刃にかかる垂直荷重を計算で推定すること及び、得られた垂直荷重から空切り荷重を推定することを目標とした。また、得られた推定方法を用いて、それぞれの変形がどのくらいの割合で荷重に作用しているかなども推定したので報告する。

2 空切り開閉荷重の推定

図2に使用する記号を、以下にそれぞれの記号の意味を示す。

L: ネジ～力点の距離 / F: 開閉荷重 / θ : 開き角 / l_1 : ネジ～刃線上の交点の距離 / f_1 : 刃線上の交点での摩擦抵抗 / f_1' : 刃線上の交点での垂直荷重 / μ_1 : 刃及び触点の摩擦係数 / l_2 : ネジ～触点の距離 / f_2 : 触点での摩擦抵抗 / f_2' : 触点での垂直荷重 / l_3 : ネジ～動刃の重心の距離 / M: 動刃の重さ(gf) / g: 重力加速度 / f_3 : 動刃の重さによる抵抗の回転方向成分 / f_3' : 動刃の重さによる抵抗 / f_4 : ネジ部での摩擦抵抗 / f_4' : ネジ部での垂直荷重 / l_4 : ネジの半径(ネジの摩擦力) / μ_2 : ネジ部の(樹脂との)摩擦係数 / y: おがみ量(刃先端の垂直荷重を調整するために刃に付けられている曲がり量) / λ_1 : 垂直荷重 f_1' による刃全体のたわみ量 / λ_2 : 垂直荷重 f_1' によるネジ部樹脂ワッシャの変形による刃先端の変位量 / λ_3 : 垂直荷重 f_1' による刃の交差部分の微小変形量

2-1 空切り開閉荷重

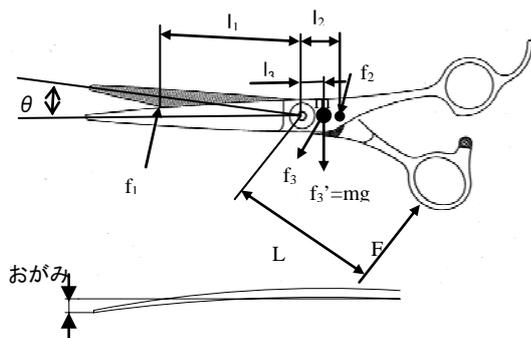


図2 理美容はさみにかかる力と記号

開閉荷重 F は、四つの力の合力と考えられ式(1)の様に示すことができる。

$$F \times L = f_1 \times l_1 + f_2 \times l_2 + f_3 \times l_3 + f_4 \times l_4 \quad (1)$$

ここで、 f_1 は f_1' を用いて次のように表すことができる。

$$f_1 = f_1' \times \mu_1 \quad (2)$$

f_2' 、 f_4' は、 f_1' に釣り合う力なので、 f_2 、 f_4 はネジからの距離を用いて (3)・(4)式で表すことができる。

$$f_2 = f_2' \times \mu_1 = f_1' \times (l_1/l_2) \times \mu_1 \quad (3)$$

$$f_4 = f_4' \times \mu_2 = f_1' \times (1+l_1/l_2) \times \mu_2 \quad (4)$$

f_3 については開き角によって方向が変化するので、(5)式となる。

$$f_3 = f_3' \cdot \cos \theta = M \cdot \cos \theta \quad (5)$$

(2)・(3)・(4)・(5)式を(1)式に代入して、(6)式が得られる。

$$F = f_1' \times [l_1 \times \mu_1 + l_1 \times \mu_1 + (1+l_1/l_2) \times l_4 \times \mu_2] + M \times l_3 \times \cos \theta \quad (6)$$

このことから、垂直荷重 f_1' を求めることができれば、空切り荷重 F を計算により推定することが可能である。

2-2 交差部分の垂直荷重

垂直荷重 f_1' を推定する。単純化のため、以下の近似を導入する。なお、図3はこの近似前後の形状を示した図である。

- はさみ形状のうち大きな曲線で構成される部分は直線で近似
- 刃の断面形状は単純な三角形と近似
- ネジ穴部分での変形はないと考え、穴は無視
- 円形の樹脂ワッシャを、直線で近似
- 刃先端の変形は刃の断面を幅 $B=1\text{mm}$ の片持ち梁と近似して考慮

はじめに、はさみ全体のたわみについて検討を行う。はさみは、図3に示すように先端からの距離 a により、断面形状が変化する一端固定梁と考える。そうした場合、垂直荷重 f_1' によるはさみのたわみ量は、次の(7)式で求められる。

$$\lambda_1 = \frac{f_1'}{E} \iint \frac{x-a}{I_z} dx dx \quad (7)$$

$$I_z = \frac{b_x h_x^3}{12} \quad (8)$$

ここで、 b_x 、 h_x は x の一次式で、はさみの幅や厚みにより傾きと切片が変化する。

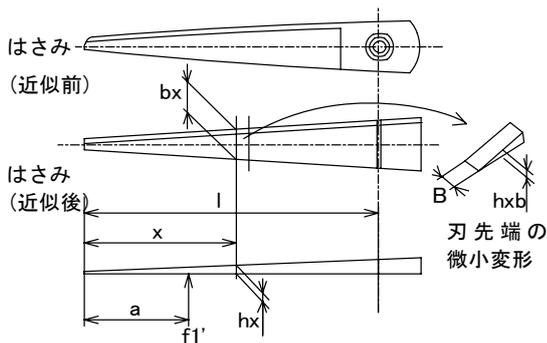


図3 単純化のための近似

次に、図4に示すネジ部ワッシャの変形による刃の長手方向の傾きを検討する。ワッシャの変形量は物質の単純圧縮で求めることができ、刃先端の荷重 f_1' での変形量を λ_2' とすると、ワッシャ変形による刃先端の変形量 λ_2 は(9)式で表すことができる。

$$\lambda_2 = \lambda_2' \times \frac{l_1 + l_2}{l_2} \quad (9)$$

$$\lambda_2' = f_1' \cdot \frac{l_1 + l_2}{l_2} \cdot \frac{1}{E} \int \frac{1}{A_t} dt \quad (10)$$

はさみがワッシャに対し片当たりするため、ワッシャの変形は、図4の下の方のようにワッシャ全体ではなく片側から部分的に起こり、徐々に全体に広がっていく。このような当たり方を近似するために、ワッシャの断面形状を図5に示すように二次曲線とした。これに

より、はじめは小さい面積で軽く当たり、次第に広い範囲で当たるようになる様子を近似することができる。

また、刃の先端は薄く変形しやすいため、刃先端微小部の変形も考え合わせる必要がある。これについては、図3の矢印で抜き出した部分の様に刃の一部を先端が薄い、幅Bの梁と近似して、その変形量 λ_3 を求める。

$$\lambda_3 = \frac{f_1'}{EB} \iint \frac{b}{h_{x^3}} db db \quad (11)$$

これら3つの変形量を合わせた値が、はさみのおがみ量と一致する。つまり、垂直荷重 f_1' に対するおがみ量 y は f_1' とその他の部分 $H(x)$ の積で、(12)式で表すことができる。

$$y = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = f_1' \times H(x) \quad (12)$$

従って、おがみ量 y がわかっているときの垂直荷重 f_1' は(13)式となる。

$$f_1' = \frac{y}{H(x)} \quad (13)$$

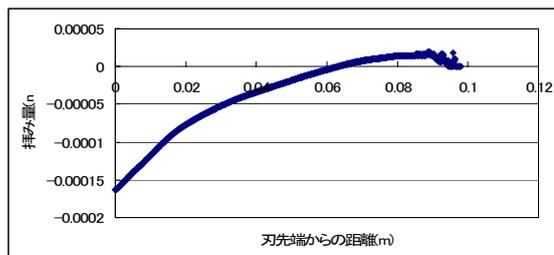


図6 おがみ量実測値

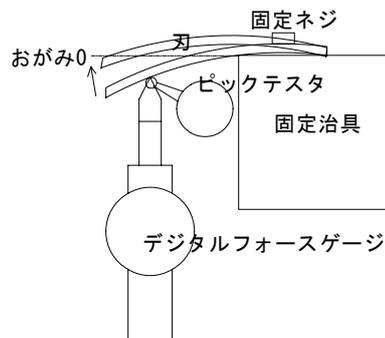


図7 刃自体のたわみによる垂直荷重測定方法



図8 垂直荷重測定の様子

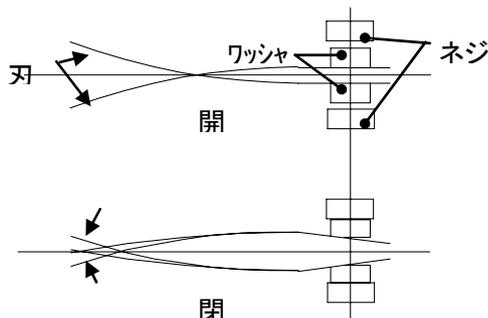


図4 開閉時の刃と樹脂ワッシャの変形

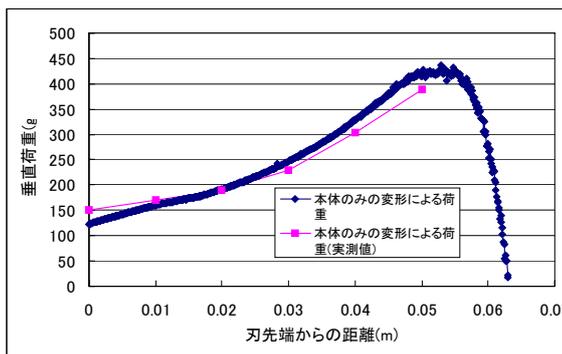


図9 刃自体のたわみによる垂直荷重の比較

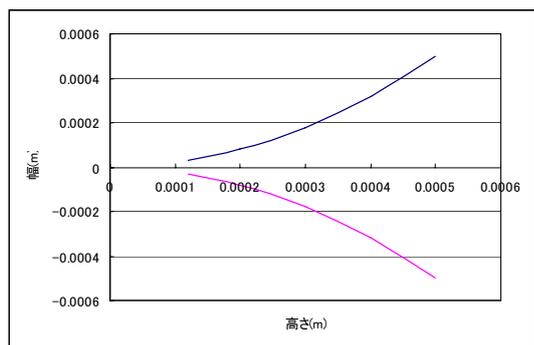


図5 ワッシャの近似形状

このようにして得られた f_1 を(6)式に代入することにより、空切り開閉荷重 F を得ることができる。

3 推定方法の検証

今回の手法を検証するため、先ず、はさみのおがみ形状を測定した(図6)。測定にはレーザ三次元測定器(三鷹光機 NH-3SP)を使用した。この値を元に、各種の計算値を求め、実測値との比較により検証を行う。

3-1 はさみ全体のたわみ

図6のおがみ量実測値から、(7)式で求められるはさみ全体のたわみについて、発生する垂直荷重の計算値を求め、実測値と比較を行う。実測値は、先端から0, 10, 20, 30, 40, 50mmの6点について求めた。測定方法は、測定点にピックテスタを当て、そのごく近傍をおがみ量が0になるまでデジタルフォースゲージ(イマダ DPS-5)で加重し、その時のデジタルフォースゲージの示す値を読み取る。図9は比較を行った結果である。刃先端(横軸が0)で若干のずれがあるが、これは、近似a)で示したように、刃の形状を単純に直線で近

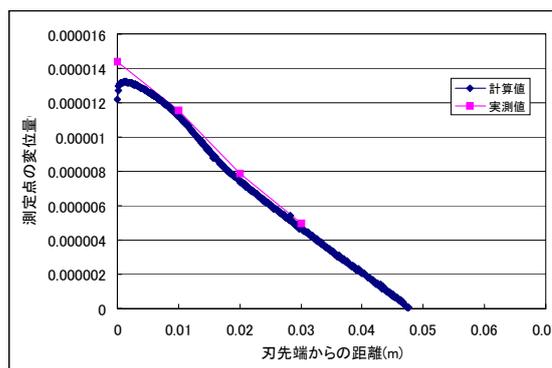


図12 測定点の変位量(刃先端より50mm)

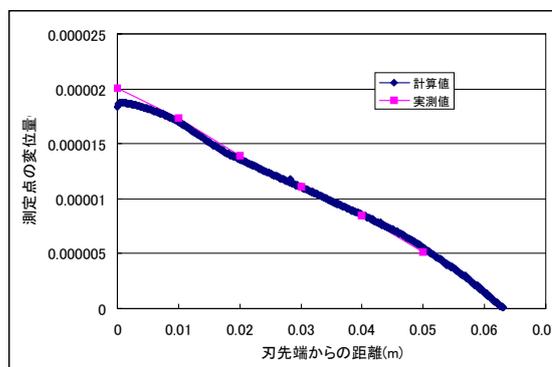


図13 測定点の変位量(刃先端より65mm)

似したことが原因であると考えられる。それ以外は、おおむねよく一致しており、はさみ全体のたわみによる垂直荷重は、今回の近似とそれをベースにした計算から求めることができることを確認した。

3-2 ワッシャの変形

低切断荷重はさみの切断荷重の推定

ワッシャの変形に関する部分を検証するために、はさみを一定の位置まで開閉させたときの、ネジ近傍の高さの変化を計算値と測定値で比較することとした。

(刃を開閉させるのは、図10の右の図のように、刃同士の接触点をずらして、刃の傾きを変えるためである。ここで、静刃の柄が固定されているので、静場の触点近傍は動刃を動かしても傾きが変化しない。) 3-1で、はさみ全体のたわみについて計算で求めることができることを確認したので、これに、ワッシャの変形量計算値を合わせ、ネジ近傍の高さ変化を求める。測定にはレーザ三次元測定機(三鷹光機 NH-3SP)を使用する。高さの測定に先立ち、固定している静刃の3点(図10の基準1, 2, 3)を測定して測定の基準平面を作った。以後の測定は、それを元に高さ方向の測定を行っているので、固定の仕方や刃のねじれ、お

がみ等に起因する傾きはキャンセルできている。図12、13は計算値と測定値の比較を行ったグラフである。図12は先端から50mmの所で刃が当たり始めるようにセッティングした場合、図13は先端から65mmのところ刃が当たり始めるようにセッティングした場合である。いずれも計算値と実測値がよく一致している。ただし、先ほど同様、先端部分については近似のずれが原因と考えられる、誤差が発生している。

おがみをキャンセルする要素として今回は、はさみ全体のたわみ・ワッシャの変形・刃先端の微小変形の3つを考えているが、刃先端の微小変形については、変形量が非常に小さく、測定が困難であるため今回は検証を割愛する。

3-3 空切り荷重の推定

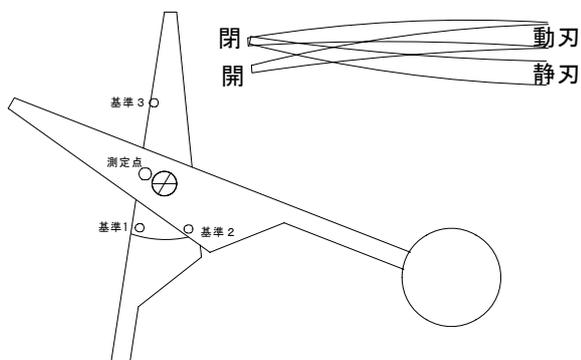


図10 傾き測定の測定点と測定基準点



図11 傾き測定の様子

3-1, 3-2で、今回用いた近似および計算方法を個別に確認し、垂直荷重を精度よく求めることが可能であることを確認した。これを用いて、はさみ全体の垂直荷重を計算により求めたのが図14, 15, 16である。それぞれ先端から75mm, 65mm, 50mmの所で動刃と静刃が接触し始める様にネジの調整を行っている。次に、図14, 15, 16で得られた値を元に、荷重を計算式(13)より求めた値を図17, 18, 19に示す。計算値と実測値がおおむねよく一致している。ただし、図19では接触が緩い部分での値が、若干ずれており、例えばガタがあるために発生するはさみの傾きにより、余分な摩擦抵抗などが発生しているのではないかと考えられる。

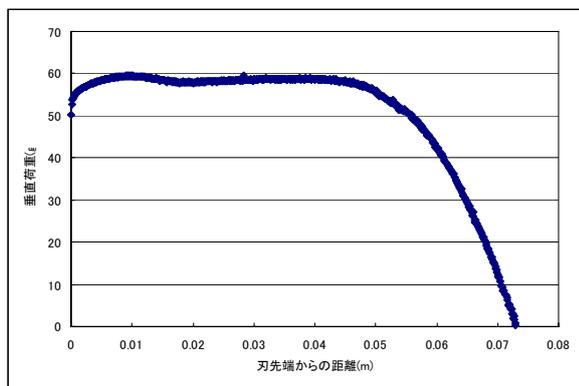


図14 垂直荷重計算値(調整値75mm)

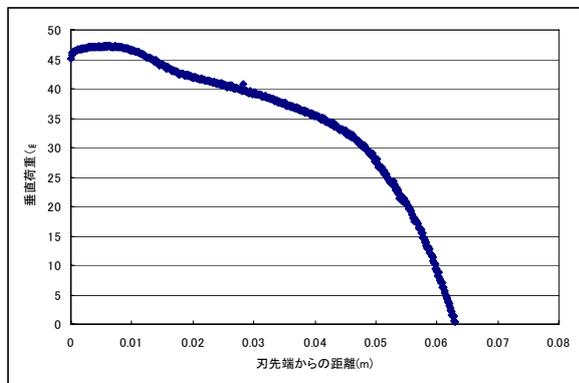


図15 垂直荷重計算値(調整値65mm)

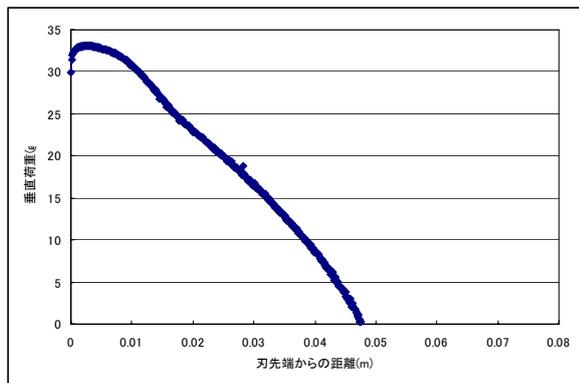


図16 垂直荷重計算値(調整値50mm)

また図20は、計算により求めたはさみ全体のたわみ、ワッシャの変形、刃先端微小部の変形の各要素が全体のたわみに占める割合を示している。ワッシャ変形の割合が全般的に高く、次いで根元の部分では刃先端微小部の変形が、先端部分でははさみ全体のたわみが大きな割合を占めていることがわかる。このことから、

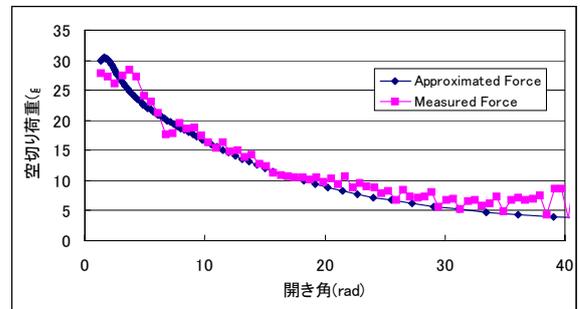


図17 空切り荷重(調整値75mm)

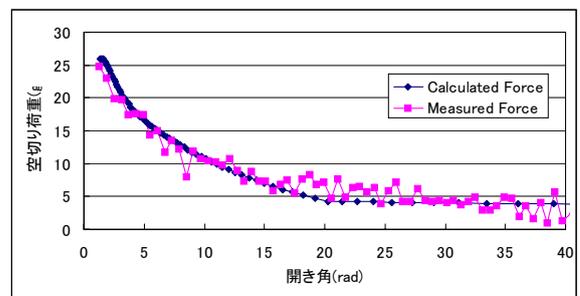


図18 空切り荷重(調整値65mm)

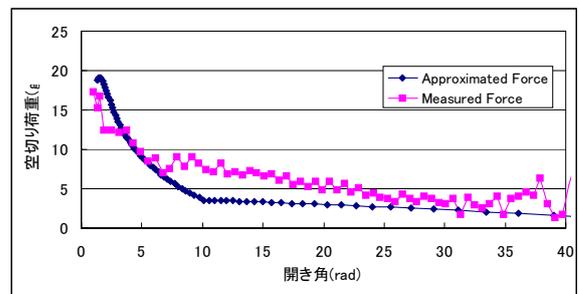


図19 空切り荷重(調整値50mm)

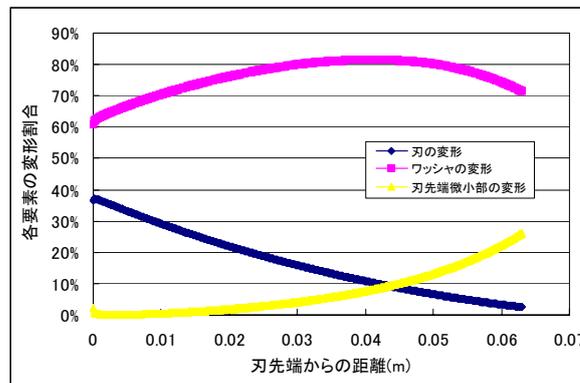


図20 各要素が変形に占める割合

低切断荷重はさみの切断荷重の推定

例えば簡単に開閉感をコントロールするには、ワッシャの形状や材質の変更が効果的であること、先端を柔らかくするには刃の断面積を小さくするのが効果的であること、刃元を柔らかくするには刃角度を小さくして刃先端微小部の変形が起りやすくすると効果的であること等、空切り時のはさみの微小な挙動が予測可能になった。なお、今回の計算においては、ワッシャを断面積が二次関数的に変化する形状に仮定することで、実測値とよく一致した結果が得られているが、これは、閉じる動作の初期の段階でワッシャとはさみが片当たりして、閉じて行くに従い次第に接触面積が増えていくためと考えられる。これについては今後検討を行い、精度を上げていく予定である。

4 結 言

今回の研究から、はさみの空切り荷重を計算により求めることが可能となった。

- 1) はさみの空切り荷重には大きく分けて、刃と触点の摩擦、動刃の自重及びネジ部の摩擦が作用する。
- 2) 摩擦を左右する最大の要因である刃にかかる垂直荷重は、はさみ全体のたわみ、ワッシャの変形、刃先端の微小変形により発生しており、おがみ形状から計算で求めることができる。
- 3) 1)、2) を元に計算で空切り荷重を推定するこ

とが可能である。ただし、ゆるめに調整した場合は、さらに刃のガタによる傾きなども影響してくることが予想される。

また、空切り荷重が推定可能になったことにより、荷重に影響を及ぼすと考えられる各要素の影響度合いが明らかになり、空切り時のはさみの微小な挙動が予想可能になった。今回検討した、垂直荷重に影響を及ぼす3つの要素のうち、最も影響の大きいのがワッシャの変形、次いで刃先でははさみ全体のたわみ、刃元では刃先端微小部の変形であった。さらに、ワッシャ形状に盛り込んだ仮定から、空切り時のワッシャの作用の仕方などもある程度予想可能となっているが、これについては来年度更なる検討が必要である。

文 献

- 1) 藤原：大阪府立工業奨励館報告、40(1966)、79-85
- 2) 藤原：大阪府立工業奨励館報告、43(1967)、48-55
- 3) 竹腰：岐阜県金属試験場業務報告、(1978)、36-38
- 4) 竹腰：岐阜県金属試験場業務報告、(1979)、26-88
- 5) 竹腰：岐阜県金属試験場業務報告、(1980)、21-25
- 6) 井上ら：第55回塑加連講論、(2004)