理美容はさみにおける繊維切断位置と切断荷重

井上研司* 本村 貢**
飯村 崇*** 園田哲也***

Relationship between Fiber Cutting Load and Cutting Position by Hair-Cutting Scissors

Kenji INOUE, Mitsugu MOTOMURA,
Takashi IIMURA and Tetsuya SONODA

(Received on August 8, 2005)

The cutting load in the vicinity of the tip of the blade is important for evaluating scissors. Thus, the relationship between the cutting position and the cutting load was investigated. As a result, it is understood that the cutting load increases rapidly in the vicinity of the tip of the blade. This is a phenomenon which could not be explained on the basis of the length of the torque arm. Then, the clearance when the fiber was cut was measured. As a result, it is understood that the clearance when the fiber was cut grows to be positive at the position where the cutting load grows. Moreover, the deformation of the blade measured at the same time indicates that the blade is transformed at this moment. The cutting load increases with due to the increase in clearance. The following two points are suggested as reasons for this observation. One is an increase in the load brought about by an increase in the contact force of the blade due to the transformation of the blade. Another is an increase in the load brought about by the change in the sectional area of fiber due to an increase in the clearance.

Key words: shearing, cut off, clearance, cutting load, cutting position, hair-cutting scissors

1. 緒言

理美容はさみの使用法において一つ特徴的とされるのは、多くの場合、はさみの刃線の刃先から1/3程度の部分しか使用しないということである(Fig.1)。もちろん、直鋏(じかばさみ: 角刈りやスポーツ選手の短いヘアスタイルを作るためのカット技法で、直立した短い髪で連続した面を作るためのはさみの使用方法)や、おかっぱ頭のような髪型を作る場合などのように、刃線全長を使用する場合もある。しかし、例えば類似する用途のペット用のトリミングはさみでは常に全長を用いてカットを行うことと比較すると、理美容はさみは使用する領域が非常に限られているという点で他と異なる。

この理由は、主にカットの際の毛髪の挙動に起因する。毛束を刃元付近でカットしようとする、毛束は全体的に刃先方向へ押し出されながら順にカットされてゆく。これに対して刃先側では、毛髪は理美容師が狙いを付けたその位置で毛束が拘束されてカットされる。従って、刃元付近でカットを行った場合には、切断後に髪を自然に垂らして見ると、刃元側では短く、刃先方向に行くに従って長くなり、ストレートなカットラインを作ることが出来ない。これに対して、刃先付近では先端がまっすぐにそろったカットを行うことが可能である。

このような理由から、理美容では主に刃先付近が使用されるわけであるが、これは切断荷重の面から見ると不利な条件

であるといえる。単純に考えてもトルクアームの長くなる刃先付近では、指にかかる切断荷重も大きくなることが予想できるし、理美容はさみでの切断は切断中にクリアランスが変化しながら行われることが分かっている¹⁾ので、剛性が低下する刃先付近ではクリアランスが増大し、切断荷重に影響する可能性がある。

そこで、本論文においては、まず切断位置と切断荷重との関係を調査し、それぞれの切断位置での切断荷重とクリアランス・刃の剛性などの関係から、切断時の刃部の挙動を推定することを目的とする。

Fig.1 Area frequently used for hair cutting

2. はさみ各部の名称

本論文にて使用するはさみ各部の名称についてFig.1に加えて、Fig.2~4に示す。Fig.1の名称のいくつかは既に文章中で使用したが、刃渡りを理美容はさみでは刃線と呼び、その先端部分を刃先、ねじに近い側を刃元と呼ぶ。薬指を入れる側のパーツを静刃と呼び、親指を入れる側を動刃と呼ぶ。また、刃線に沿った刃先端の粗さを刃先端粗さ²⁾と呼ぶ。

*新潟光舎岩手工場 〒028-4211 岩手県岩手郡岩手町川口11-3

早稲田大学理工学研究科 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1

**早稲田大学理工学部 同上

***岩手県工業技術センタ 〒020-0852 岩手県盛岡市飯岡新田3-35-2

Fig.2には、はさみにおける重要な二つの角度を示した。ねじの中心と刃先の先端部を結ぶ線の成す角である開き角は、はさみの開閉状態を表すのに使用する。刃線同士の交点と刃線の接線との成す角である挟み角は、実際にはさみが被切断物を切る角度になる。刃部に対しての方向を表す表現方法として、刃を閉じた状態で外側に露出する面である刃面と、閉じた状態で隠れる面である裏すき面を用いて、Fig.3に示すように刃面側や、裏すき面側といった表現が用いられる。また、裏すき面の最も柄に近い部分は触点と呼ばれ、表裏の刃部は、この触点及び刃線上の交点でのみ接触している。

Fig.4における刃先部の傾斜角を刃角度と呼ぶ。また、刃先端の丸みを刃先端Rと呼ぶ。はさみの隙間とはFig.3に示す d の寸法を意味する。これは刃先と触点とを結ぶ線(S)と刃線上の刃先端までの距離を意味し、通常はその最大値を指す。

Fig.2 Opening Angle, cutting angle and name of surface

Fig.3 Arched space of the edge

Fig.4 Edge angle and edge R

3. 切断位置と切断荷重との関係

切断荷重と切断位置との関係を調査するために理容はさみのサンプル丁を準備し、Table 1に示すような条件で切断荷重を測定する実験を行った。実験装置をFig.5に示す。なお実験に使用したサンプルはさみの外観は、Fig.1に示したものと同一である。切断には自作した切れ味試験機を使用した。この装置を使用することにより、人の手による切断のばらつきが無いようにした。この試験機には切断荷重測定用のロードセルとロータリエンコーダが取り付けられており、回転角と荷重の測定が可能である。なお、切断荷重は使用者がはさみに加える荷重とした。従って、ロードセルのデータから同じタイミングの空切り開閉荷重を減算した値を切断荷重としてある。実験は同一条件で10回行い平均値を取った。

また、被切断物には $\phi 0.3\text{mm}$ のナイロン繊維を選択した。本

Table 1 Experimental Conditions of cutting load test

	Condition
Scissors	Shape: 7inch barber scissors (Fig.1)
	Material: Stainless steel (SUS440C)
	Edge angle: 0.70 rad (40 deg)
	Maximum size of arched space of edge: 0.05 mm
	Distance from pivot point to tip of blade: 105 mm
	Edge roughness Ra: 0.2 μm
	Edge R: 0.5 μm
	Maximum closing load at nothing to cut: 0.29N
	Closing speed: 2.44 rad/s
	Cutting position: 30, 50, 55, 60, 70mm from screw
Be cut material	$\phi 0.3 \pm 0.005\text{ mm}$ nylon string

Fig.5 Testing machine for hair-cutting scissors

来であれば実際の毛髪を用いて実験を行いたかったが、本論文の主目的である切断時のクリアランス変化が微小になってしまったため、ナイロン繊維をモデル材として使用した。ナイロン繊維をモデル材として使用した理由としては、他の金属製のワイヤと比較した場合、引張強さや伸びなどの物性が人毛に近いためである。Fig.6に人毛(独自の実験と文献³⁾等の値から範囲として表示した)、今回実験に使用したナイロン繊維、及び軟銅線(Cu>99.9wt%)の引張強さと伸びとを記す。

Fig.6 Tensile strength and elongation of materials

伸びの値が若干劣るものの、銅線と比較すると人毛に物性が近く、入手も容易なためナイロン繊維をモデル材とすることとした。但し、市販品のものは一概に $\phi 0.3\text{mm}$ といっても直径で10%程度のばらつきを持っていたので、切断する部分に関しては、個々にマイクロメータにて直径を測定し $\pm 5\mu\text{m}$ のものだけを実験に用いた。

直径0.3mmのナイロン繊維を切断位置を変化させて行った切断荷重の実験の結果をFig.7に示す。結果から、ねじからの距離が50mmを越えたあたりで、切断荷重が急激に上昇を始めていることが分かる。これは、切断位置の変化によるモーメントの腕の長さの変化だけでは説明が出来ない。

これまでの研究から、理美容はさみによる切断では、切断中にクリアランスが変化することが分かっている。そこで、今回もそのクリアランスの状態が切断荷重に影響を与えているものと

Fig.7 Cutting load at different cutting positions

考え、それぞれの切断状態でのクリアランスの測定を行い、切断荷重との関係を調査した。

4. 切断時のクリアランスと刃部のひずみ測定

今回行った実験についての説明に入る前に、理美容はさみでの切断時のクリアランスの状態について整理しておく。

理美容はさみでは、Fig.3に示したように静刃及び動刃はクリアランス方向の隙間をもっている。従って、はさみを刃元部まで開いた状態では刃線同士は刃元部で接触し、クリアランスはゼロになる。空切り(何も切断せずにはさみを開閉する)の場合、手操作の進行に従い接触点(クリアランスゼロ)は逐次刃先側に移動し、最終的に刃先部分で接触する。

無限小厚さの材料を切断する場合、切断点は静刃・動刃の接触点に一致し、ここではクリアランスはゼロとなり、この点は切断の進行に従い、刃元から刃先へ逐次移動する。

厚さのある材料を切断する場合、基本的に、静刃・動刃の接触点(クリアランスゼロ)より、刃先側では負クリアランス、刃元側では正クリアランスとなる。切断位置は切断終了時点近傍を除き、幾何学的にはクリアランスゼロとはならない。

実際には、このクリアランスは被切断物からの切断抵抗により影響を受けて変化するが、その動きは微小かつ高速であり、測定にはレーザドップラ型の振動計を使用するものとした。

測定は動刃・静刃別々に行い、切断位置から刃線に対して垂直方向に2mmの位置を測定点とした。以前は放電加工機を用いて触点に平行な平坦面を加工していたが、刃部の剛性に与える影響を懸念し、今回はφ2.0mmの円筒を刃面に貼り付けて測定面とし、その中央にスポット径φ0.15mmのレーザ光を照射して動きを測定した(Fig.8(a))。

サンプルの刃元部分にはひずみゲージを貼付け(Fig.8(b))切断時の刃部の変形を計測した。また、切断荷重およびモータの回転角も同時に測定した。

Fig.8 Measurement method for movement of the tip of the edge at cutting strings

この実験において使用したサンプルは先の実験と同一のもので、従って、設定条件はTable 1と同一になる。但し、切断位置については切断荷重が変化する、ねじからの距離が50mmの位置を境に、30, 40, 50, 60, 70mmとした。

切断開始は、空切り時と比較して荷重の変化が始まった時点を切断開始点と判断し、最大荷重を切断終了とした。この間の、切断時と空切り時の位置とのずれを0.001秒毎に読み取り、静刃分と動刃分とを合算してクリアランスとした。

先に書いたように、静刃と動刃とのクリアランスを同時に測定出来ないで、それぞれは別々に測定を行い、測定値を合算したものをグラフに示した。測定は空切り時、切断時共に各10回行い平均した。加えてこの時、切断荷重には最大10%程度のばらつきが生じるために、これをキャンセルするため、グラフの縦軸は切断時の最大荷重に対する百分率で表してある。

先に説明したようにクリアランスゼロの点は刃線同士が接する点であるが、Fig.8(c)から分かるように実際の切断開始点ではまだ刃線同士は接していない。従って、この時点では負のクリアランスの位置関係にあるものと考えられる。

実験では切断時の測定点の位置変化を測定するが、値は空切り時との差を用いてデータとする。この時、先に書いたように実際には切断点(測定点)と刃線同士の交点との間には距離があるので、別に測定した隙間形状と挟み角、ナイロン繊維の径から幾何学的に算出した負のクリアランスを値に加味した。

測定結果を、Fig.9に示す。但し、切断位置30~50mmまでは変化の傾向が同様だったため、代表して切断位置50mmのデータのみを示し、30, 40mmは割愛した。

切断開始時は前に書いたようにクリアランスはマイナスを示

Fig.9 Clearance at cutting moment

すはずであるが、切断位置がねじから60mmの時にはプラスの値から切断が始まっているように見える。これは切断の位置の微妙なずれや、測定をそれぞれ別個に行わなければならないことによる誤差が累積したものと考えられる。

切断時には、どの条件でもクリアランスが増減を繰り返しながら切断が進行する。刃元に近い条件では一周期の増減に留まるが、刃先側へ切断位置が移動するにつれてその回数が増加し、測定値全体がプラス側へずれてゆく。増減の幅としてはプラス側には10~15 μm 程度でこれは切断位置に因らない。マイナス側では最大20 μm 程度であるが、切断位置が刃先側に行くに従ってその値はプラス方向にずれてゆく。

以上のような、実験からの考察をまとめ、切断時のクリアランスの変化の様子をFig.10に模式的に表す。

Fig.10 Movement of tip of the edge at cutting string

Fig.9(a)から分かるように、切断荷重が急激に増加を始めるねじからの距離が50mmよりも短い位置では、切断開始時に上下の力の位置のズレ L によって発生するモーメント m によって、一時的にクリアランスは正方向に開かれるが、その後、刃面に受ける反力 f_R によって生じる力 f_R' がこれを上回るとクリアランスは負に転じ、最終的には刃と刃とが接触することによってクリアランスゼロの状態での切断を終了する。このプロセスをFig.10の(a)→(b)→(c)→(e)に示す。

これに対してFig.9(b)の、ねじから60mmの位置では、50mmよりもねじに近い場合と同様に、始めクリアランスが増加し、その後マイナスになる。しかし、先程までの場合と異なり刃部の剛性が低下しているため、刃が繊維内部に入った際に刃線とナイロン糸との接触長が長くなり、切断抵抗が大きくなったときに刃部の変形が始まり、切断が進まずに刃部が変形してクリアランスが広がる。Fig.10の(a)→(b)→(c)→(d)→(e)。

Fig.9(c)のように、更に刃先側に切断位置が移動するとクリアランスはプラスのまま推移するようになり切断荷重は一層大きくなる。Fig.10の(a)→(b)→(d)→(e)。

5. 被切断物の直径を変化させた場合

次に、被切断物の径を変えて、切断荷重とクリアランスの測定を行った。使用したナイロン糸の直径は、0.2, 0.4mmでそれぞれ $\pm 0.005\text{mm}$ の範囲のもののみを使用した。先程と同様、切断は10回行い、その平均値をデータとした。

Fig.11に結果を示す。●はクリアランスの変化がFig.9(a)と、▲はFig.9(b)、×はFig.9(c)と同様であることを示す。

Fig.11 Changing pattern of clearance at each cutting position and diameter of string

このように、被切断物の径が細くなると、クリアランスがプラスに転じる位置は刃先側へ、太くなると刃元側へ移動する。

以上のように、本来はマイナスからゼロの範囲で変化するのはクリアランスは、切断位置、切断材料特性と形状、及びはさみの剛性により増大の傾向となる。この程度は、切断時に静刃及び動刃に働くクリアランス方向の側方力と、はさみの剛性(ばね定数)の兼ね合いにより決まる。前者はクリアランスを大きくする作用を、後者はクリアランスを小さくする作用をする。

従って、切断荷重を低く抑えながら切断を行うためには、クリアランスが大きくならないように刃部の変形を抑えるため、刃部の剛性を上げることが有効であることが分かった。

6. クリアランス増加と切断荷重増加の関連

クリアランスが増加した際に、切断荷重も増加する理由について、以下の二点が考えられる。

- ①切断による刃と刃との押付け圧力の増加によるもの
- ②クリアランスの増加による切断状態の変化によるもの

上記の①に関してはこれまで述べてきたように、クリアランスの増加により刃部がたわむことによる変形に起因する。過去の研究から、理美容はさみの空切り荷重 F は、(a)刃線上の交点での摩擦抵抗、(b)触点部での摩擦抵抗、(c)はさみ自体の自重による抵抗の三つを重ね合わせることで推定できることが分かっている¹⁾。

これを式に表すと、以下ようになる。

$$F = (f_1' \times l_1 \times \mu + f_1' \times l_1 / l_2 \times \mu + l_3 \times m \times g \times \cos \alpha) / l_0 \quad (1)$$

但し、ここで、 l_0 : ねじ〜力点の距離(62mm)、 F : 開閉荷重、 α : 開き角(60mm:0.12rad, 70mm:0.09rad)、 l_1 : ねじ〜刃線上の交点の距離(60mm, 70mm)、 f_1' : 刃線上の交点での垂直力、 μ : 摩擦係数(0.18)、 l_2 : ねじ〜触点の距離(16mm)、 l_3 : ねじ〜動刃の重心の距離(5mm)、 m : 動刃の重さ(24g)、 g : 重力加速度である。但し、 f_1' については、空切り時のひずみの大きさから求めた値を使用する(Fig.12)。

また、切断時の刃部のクリアランス方向への変形量は刃元部

に貼り付けたひずみゲージ(Fig.8(b))の値から、Fig.13に示すようになることが分かった。図から刃部のひずみは、60mmの位置での切断で $8.3\mu\text{m}$ 、70mmの位置での切断で $29.0\mu\text{m}$ である。この値と、別に測定した各切断位置での刃部の剛性(60mm:0.031mm/N, 70mm:0.052mm/N)から、 f_t' の増加は、それぞれ60mmで0.27N, 70mmで0.56Nになる。

この値が、すなわち切断によって発生する接触部の面圧の増加分であり、以上を用いて(1)式から、刃部のひずみによる刃と刃との押付け圧力の増加分に起因する、切断荷重の増加分を計算すると、60mmで0.09N, 70mmで0.19Nとなる。

②に関しては、先の研究から理美容はさみでの切断では最終的に引張力により繊維は分離されることが分かっている¹⁾。

Fig.14に、切断面の模式図を示す。Fig.14(a-1~3)は切断が空切りと同じ刃先端の経路で行われた場合を、単純化して模式的に表したものである。実際はこの時、切断中にはマイナスのクリアランスとなるはずのものであるが、その点については簡略化してクリアランスをゼロとしてある(これをクリアランスゼロの状態と呼ぶ)。これに対して、Fig.14(b-1~3)は実際の切断の状態を模式化したものである。

クリアランスゼロの状態では、静刃と動刃の裏スキ面は同じ面上に存在するため(a-1)、最終的な切断面 Aa も同一面上となる(a-2)。著者らの別の研究⁴⁾からねじの締付強さを変えたとき、クリアランスは変化するが断面に垂直な方向から見た最終的な破断部の面積は、ほとんど変化しないことが分かっている。これにならうと、クリアランスが存在する場合には静刃と動刃の裏スキ面が角度 θ だけずれるため(b-1, b-2)、 Aa よりも Ab の方が面積が大きくなる。

但し、この角度 θ は Ab 面の向きであるので、 Ab 面に垂直な引張力を得るための、切断面での切断荷重 fc は若干小さくなる(a-3, b-3)。

今、切断位置 l をねじから70mmのときについて考えてみる。その時の力点での切断荷重 fc' はFig.7から約3.5Nである。これと、ねじから力点までの距離 l_0 (62mm)を用いると、切断面での切断荷重 fc は以下の式で表すことが出来る。

$$fc = fc' \times l_0 / l_1 \quad (2)$$

Fig.12 Force in virtual direction on the blade

Fig.13 Transformation of blade at cutting moment

また、Fig.6からナイロン糸の引張強さ σ は440N/mm程度であり、これと、クリアランス C 、ナイロン糸の直径 D (最終的に引張りで切断される部分を長方形で近似した時の長辺)、刃角度 γ (0.70rad)を用いた場合に fc は以下の式で表せる。

$$fc = (\sigma \times D \times C / \sin \theta) / (\tan \gamma \times \cos \theta) \quad (3)$$

(2), (3)式から、 $\theta = 0.53\text{rad}$ となる。先にも書いたように、垂直な方向から見た最終的な破断部の面積はほとんど変化しないので、クリアランスゼロでの Aa の面積は $5.19\mu\text{m}^2$ となり、その時の fc' は2.2Nとなる。従って、切断面積の増加による切断荷重の増加分は、先の3.5Nから減算して約1.3Nとなる。

Fig.14 Comparison of section area at different clearance

7. 結 言

- ①切断荷重と、切断位置のねじからの距離とは必ずしも比例しない。切断位置がある位置よりも刃先側に近づくとき、切断荷重は急激に増加する。
- ②これは、切断位置が刃先側に行くことにより刃部の剛性が低下し、刃部が変形することで切断時のクリアランスが変化して、切断荷重に影響を与えるためである。
- ③この時、被切断物の径を変更すると、切断荷重が急激に変化する点も移動する。この実験結果から、切断荷重を低く抑えながら切断を行うためには、クリアランスが大きくなりすぎないように刃部の変形を抑えるため、刃部の剛性を上げることが有効であることが分かった。
- ④刃先付近では、切断時のクリアランスがプラス側に変化する。この時に切断荷重が増加する理由としては、刃部の変形による刃と刃との接触部での接触力の増加によるものと、被切断物の切断面が大きくなることなどが挙げられる。

参考文献

- 1)井上研司・本村貢・飯村崇・園田哲也:第55回塑加連講論, (2004), 419-420.
- 2)井上研司・本村貢・飯村崇:塑性と加工, 45-522 (2004), 540-544.
- 3)鈴木直樹:FRAGRANCE JOURNAL 臨時増刊, 13(1994), 137-144.
- 4)井上研司・本村貢・飯村崇・園田哲也:第55回塑加連講論, (2004), 421-422.