スリット光源によるこの平面度検査法*

宮 沢 二 郎** 藤 本 定 正**

Flatness Test of Hand-saw by Slit Source of Light

Jiro MIYAZAWA, Yasumasa FUJIMOTO

The flatness test on a hand-saw is studied on the basis of Snell's law. A face of the saw is illuminated by a slit source of light and the image is observed. In case of the face with a sinusoidal distortion, three images are seen at a large amplitude. But the number of images is reduced to two when the amplitude becomes smaller, and one when it becomes smaller than a certain value F_d . In case of three or two images, the distortion of the face is recognized, and the face is evaluated as perfect surface in case of one image. The amplitude F_d is theoretically calculated by a ray-tracing procedure. In the next place, the theoretical results are confirmed by experiment with the slit light source. F_d becomes small as the pitch of distortion T is reduced, and decreases linearly with increase in the incident angle θ . The measuring accuracy of the test is $F_d=0.02$ mm in case of $T=75$ mm and $\theta=89^\circ$. The accuracy is sufficient to evaluate the performance of the saw.

1. 緒 言

手引きのこは素材の製造工程の履歴と熱処理等によって1枚1枚そのゆがみが異なる。この刃元部は中央部に比べて内部応力が大きく、中央部はゆるみを入れるといて寸法が刃元部より長手方向に伸びた状態に仕上げられている。この効果は木材を切るときの切削熱により刃元部が長手方向に伸びて中央部のゆるみが解消し、この全体として使用時に平面度が最良の状態になる。このような内部応力の適度な不均衡が切味のよいこの一つの条件である。

ゆがみは4つに分けられて、それぞれ矯正方法が異なる¹⁾。

(1) 横むら: 表面の凹凸である。刃づちで凹部を軽くたたいて刃型のくさびを打ち込むと表面が伸びる。凹部は表面の伸びによって浮き上がって平滑になる。

(2) 伸びとつまり: 内部応力の不均衡をいう。網づちで内部応力のある部分をたたいて少しずつ延ばし、この全体としては刃元部に比べて中央部がわずかに長手方向に伸びている状態にする。この作業は腰入れといわれ、最近では腰入れロールが多く使用されている。

(3) 縦むら: のこが樋のように彎曲している。横むらと同様な方法で矯正する。

(4) ねじれ: のこがねじれていることである。刃づ

ちのたたいた跡がこの中心線に対して右または左に約45°になるように刃づちを使用して矯正する。

ゆがみは、まず横むらから直して、次に伸びとつまり、縦むらおよびねじれの順に矯正する。

現在行われている平面度の観測系は光源、のこおよび観測点の順に配列されている。光源は工作室の外部に面した窓で、スリガラスが使われている。直射日光が当たる光の強い場所は具合が悪く、北側の窓がよい。このような状態でのこ面を見ると、光源が広い面光源であるためのこ面が真平面であれば、その表面は一様に明るく観察される。適当な光の入射角と反射角の下では、もしのこ面の一部が凹になっていると、その部分からの反射光が消えて暗くなる。平面度はこの暗い部分の存在の有無および分布により検査される。横むらは暗い部分が丸く、縦むらはのこの長手方向に線となっている。ねじれは中心線に対して右又は左に暗い部分と明るい部分がある。伸びとつまりは反射光の状態だけでは識別できない。

従来法の光源は面光源であるため、反射光は広がりを持った光源からのある範囲の入射角群の光となる。ゆがみは反射光の明暗で判定されるが、線光源にすると一つの入射角になるため、明暗が明確に判断されて、不確定要素が消去される。そこで光源にスリットを使用し、観測点に絞りを置いて観測する。横むら、縦むらおよびねじれはこの形状に原因しているため、反射光により判定できる。問題を単純化するために横むらを取り上げて、のこの長手方向断面、すなわち真直度について検討した。

* 原稿受付 昭和53年6月26日。精機学会・日本機械学会山梨地方講演会(昭和52年11月5日)にて発表。

** 正 会 員 長野県精密工業試験場(岡谷市9959番地)

図1 スリット光源によるゆがみの観察

図2 のこ面による結像座標系

この研究では、光源を点光源、この面の長手方向断面曲線を正弦曲線と仮定して反射の法則により像を求め、ゆがみが探知できる最小の真直度を求めた。次に、スリット光源を用いて実験を行い、理論結果と比較検討を行った。その結果、スリット光源による平面度検査法の特性とゆがみの探知できる最小の平面度を明らかにすることができた。

2. 理論的考察

2.1 スリット光源によるこの面の観察

図1はスリット光源による平面度の観測状態である。このは反射角が非常に大きい位置で観測しているので、長手方向に縮小されている。上の輝線が光源で、この面に2本、柄の部分に2本の像が観察される。もしこの面が真平面であるなら、像は1本だけ見えるはずである。2本の像が見えるということは、2本の像を結像する反射の条件を備えた形状が存在していることを意味している。

2.2 この面による光の反射

横むらをスリット光源により観測すると図1のようになるので、このこの長手方向に垂直方向のゆがみが小さいとして、スリット光源を点光源に、この面をその断面曲線におきかえて考察しても本質を損なうことはない。それで、図2に示すように、 x, y 軸の直交座標で考察する。 x 軸はこの面上長手方向にとり、光源、このおよびカメラを配置する。A(O, Y)より出たこの面B(x, y)で反射して観測点C(X', Y')に到達する光線を光線追跡法により求め、平面度Fと得られる像D($\bar{x}$, $\bar{y}$)との関係を検討

するための数式を導く。

入射光ベクトル、反射光ベクトルおよびこの面の法線ベクトルをそれぞれ S, S' および N とすると、光の反射の法則は次式で表される²⁾。

$$S \times N = S' \times N \quad (1)$$

式(1)より、 Γ をスカラの定数とすると、

$$S = S' + \Gamma N \quad (2)$$

の関係がある。

S, S' および N の方向余弦をそれぞれ (l, m) , (l', m') および (α, β) とすれば、式(2)は x, y 成分に対応して、

$$l = l' + \Gamma \alpha, \quad m = m' + \Gamma \beta \quad (3)$$

となる。式(3)より Γ は

$$\Gamma = -2a \quad (4)$$

となる。ただし、 $a = l'\alpha + m'\beta$ である。

図2において、 $\overline{BC} \equiv K$ とすると、 S' の方向余弦 (l', m') は

$$l' = \frac{x - X'}{K}, \quad m' = \frac{y - Y'}{K} \quad (5)$$

である。

図1のこの面をモアレ法により観察すると、この面形状はゆるやかな正弦状曲線となっている。それで、ゆがみを正弦曲線で表示しても本質的な誤りはないと考えて、 N の方向余弦 (α, β) を求める。このこの長手方向断面曲線を次式で表す。

$$y = \frac{F}{2} + \frac{F}{2} \sin\left(\frac{2\pi x}{T}\right) \quad (6)$$

ただし、 F : 平面度、 T : ゆがみピッチである。この表面上の1点B(x, y)の接線が x 軸となす角 γ の正接は

$$\tan \gamma = \frac{F\pi}{T} \cos\left(\frac{2\pi x}{T}\right) \quad (7)$$

となり、これより N の方向余弦は

$$\alpha = -\sin \gamma, \quad \beta = \cos \gamma \quad (8)$$

で、式(8)に式(7)の γ を代入することによって求められる。

式(4)、(5)および(8)を式(3)に代入することにより、 S の方向余弦 (l, m) が求まる。一方、図2において、 $\overline{AB} \equiv J$ とすると、 S の方向余弦 (l, m) は

$$l = -\frac{x}{J}, \quad m = \frac{Y - y}{J} \quad (9)$$

である。この2式より

$$Y = y - \frac{mx}{l} \quad (10)$$

となり、観測点Cに到達する光線の光源面での位置が求まる。

光線追跡によりこの Y が光源の位置に合致するよう

表1 D₀の計算条件

C点		B ₀ 点	この形状	
X' (mm)	反射角 (度)	x ₀ (mm)	T (mm)	F (mm)
2750.0	87	2092.5	90.0	0.1

図3 のこ面による結像

な x を求めれば, $C(X', Y')$ と $B(x, y)$ を結ぶ線の延長上光源面に光源 $A(O, Y)$ の像 $D(O, \bar{y})$ が結像する. $\overline{BD} \equiv I$ とすると, S' の方向余弦 (l', m') は

$$l' = -\frac{x}{I}, \quad m' = \frac{\bar{y}-y}{I} \quad (11)$$

となる. この2式より $D(O, \bar{y})$ は

$$\bar{y} = y - \frac{mx}{l'} \quad (12)$$

となる. このようにして初期値 X', x, γ, T および F を規定すると D が求まる.

2.3 数値計算およびその検討

以上の光線追跡法に現場で実施している観測系の各定数を適用して, 平面度 F と得られる像との関係を検討する.

まず, ある一定の光学系を設定するために表1のような初期値を規定する. 図3において, C点は反射角 87° になる位置にとり, B₀点は正弦曲線の山で $\gamma=0^\circ$ の位置にとる. このときの光源Aの位置が式(3)~(10)により求まる. このようにして求まったA, B₀およびC点が基準光学系で, この光学系により結像された反射像を基準反射像D₀とする.

次に, 表2に示すように, A点はスリットの加工しやすさを考慮して幅を1mmとし, Yに ± 0.5 mmの範囲を設けた. C点はそのままである. B点は1周期を0.5mmごとに設けて, A点を出てB点で反射しC点に到達する光線を計算して反射像を求める. 検討した範囲は T が30.0~120.0mmで, 入射角 $85^\circ \sim 89^\circ$ である. $T=90.0$ mmの場合の計算例は図3に示すとおりである.

図2において, AおよびCを一定に保つと, のこ面が真平面であるなら光源像は図3に示すD₀のみである.

表2 D₁およびD₂の計算条件

C点		B点	A点
X' (mm)	反射角 (度)	x (mm)	Y (mm)
2750.0	87	1周期を0.5ごと	$Y_0 \pm 0.5$

図4 Faに及ぼすゆがみピッチの効果

図3のように, ゆがみを正弦曲線と考えると, 光がB₁とB₂点で反射してC点に到達し, Aの二つの像D₁とD₂を結ぶ. F が順次小さくなるとD₁とD₂は互いに近づいてD'となる. このときの F を F_u とする. 更に小さくするとD'は消えてD₀だけとなる. このD'の消えるときの F を F_a とする. D'に対応する正弦曲線上の反射点B'はB₁とB₂の中間にあって, 正弦曲線の一つの変曲点の近傍にある.

図4は $\theta=87^\circ$, $T=30.0 \sim 120.0$ mmについて, F_u と F_a を記録したものである. 白丸を連ねる実線はD'が存在する上限の F_u で, それより F の大きい領域ではD₀, D₁およびD₂の三つの像が観察される. この領域をIIIの領域と名付ける. 黒丸を連ねる実線はD'が存在する下限の F_a で, 白丸と黒丸を連ねる実線の間領域ではD'とD₀の二つの像が観察される. この領域をIIの領域と名付ける. 黒丸を連ねる実線より F の小さい領域でD'は消えてD₀だけが観察される. この領域をIの領域と名付ける. Iの領域はD₀のみとなるので, ゆがみは探知できず, 真平面と判定される. IIの領域の幅 $F_u - F_a$ は $T=30.0$ mmで2 μ m, $T=120.0$ mmで9 μ mである. 図4から T が小さい程小さい平面度まで探知できる.

入射角が変わると F_a の値は変化する. $\theta=89^\circ$ の場合を図4の中で×印と一点鎖線で示す. F_a は $\theta=87^\circ$ の場合の1/3になる. F_a に及ぼす入射角の効果を図5に示す. F_a は θ が大きい程小さくなり, F_a と θ はこの範囲内では直線関係にあり, その勾配は T により異なっている.

図5 F_d に及ぼす入射角の効果

図6 実験装置

3. 実験

3.1 実験方法

以上の理論的考察は実在のこのについてそのゆがみを正弦曲線において解析した結果である。この結果を定量的に確かめるための実験を行った。試料としてはこの方法により平面と見なされる程度のこのを用意し、これを強制的に変形させて既知のゆがみを与えたときのスリット像の観測を行った。

測定装置は図6に示す。二つの支持台 M_1 と M_2 が間隔 S を保って置かれ、マイクロメータは支持台 M_1 の両端に固定された二つの片持ちり L の上に固定されている。支持台 M_2 は M_1 とマイクロメータに固定されおらず、定盤上に置かれているのみである。間隔 S の変更は M_2 を動かすことにより行う。このは二つの片持ちり L の間におかれている。光源は幅 1.0 mm、長さ 400.0 mm のスリットを蛍光灯により照明したもので、入射角は約 87° に設定した。観測点には $\phi 0.5$ mm の絞りを反射角約 87° におき、絞りを通してのこのを観測する。

測定は、まずマイクロメータがこの面に接触する位置

(a) 領域I

(b) 領域II

(c) 領域III

図7 平面度の各領域におけるスリット像の観測

a を読み取り、次にマイクロメータによりのこの面を押し曲げる。このとき、スリット像を見ていて、 D' が見え始める位置の目盛 b を読み取る。 F_d は $a-b$ として求められる。マイクロメータにより更にこの面を押し曲げると、スリット像 D_1 と D_2 が現れるが、 D_1 と D_2 が現れる寸前の D' を観測して、この位置の目盛 c を読む。 F_u は $a-c$ として求められる。

次に二つの支持台 M_1 と M_2 の間隔 S は 90.0 mm と一定に保ち、スリットの位置を変えることにより、入射角を変えて F_d の測定を行った。

3.2 実験結果

この配置を図1と同様にしたときのスリット像の観測状況を図7に示す。図7(a)はマイクロメータがこの面に接しておらず、この面は平面となっている。上部の輝線がスリット光源で、下部がスリット像である。中央の像の切れているのはマイクロメータスピンドルの影で

図8 M_1 と M_2 の間隔 S を変えた場合の F_u, F_d の測定値

図9 入射角を変えたときの F_d の測定値

ある。スリット像は1本であるので、平面度は図4の領域Iに属している。図7(b)は領域IIに属しており、像は下から上に D_0, D' と並んでいる。図7(c)は領域IIIに属し、やはり下から上に D_0, D_1 および D_2 とスリット像が配列している。図8はこのようにして実測した F_u と F_d である。図4と同様に白丸を連ねる実線は F_u を表し、黒丸を連ねる実線は F_d を表している。ゆがみピッチ T と二つの支持台 M_1 と M_2 の間隔 S は一致せず $T > S$ の関係にあるが、定量的には不明である。図4の計算された F_d と図8の実測された F_d を比較すると、実測された F_d は $T = S + 16.0$ にとると図4の黒丸を連ねた実線の理論値と大体一致する。

図9は F_d に及ぼす入射角の効果を測定したものである。実測値は図5で理論的に推定したように、 F_d は θ と直線関係にあり、 θ の増大と共に小さくなる。実測値の勾配が図5の $T = 90.0$ mm の勾配と異なるが、これは S と T が等しくないことによると考える。

4. 検 討

図6において、支持台 M_1, M_2 およびマイクロメータによって形成されるこの断面形状はA, B, C および D を支持点とするはりの形状から推定できる。はりの長手方向を x 軸とし、たわみを y 軸にとると、 y は x の3次式となる。 M_1 と M_2 の間隔 S を 90.0 mm、たわみを 0.1 mm にとったとき、ゆがみピッチ T は 123.8 mm である。 $F = 0.1$ mm および $T = 123.8$ mm のときは正弦曲線とこのたわみ曲線を比べると、山と谷の部分で相違しているが、正弦曲線の変曲点を中心とするその他の部分の勾配はほぼ一致している。両曲線の相違は変曲点の近傍で $x = 6 \mu\text{m}$ 、 $y = 7 \mu\text{m}$ である。この実験では、 $S = 30.0 \sim 120.0$ mm、 $F \leq 0.2$ mm の範囲が扱われている。光学系の配置精度と比較して、このたわみ曲線は正弦曲線とよい一致を示しているということが出来る。図8の測定値は横軸に S をとっているのに、図4の理論値と一致していないが、傾向はよい一致を示している。

図4および図8から、 F_d は T によって異なり、 T が小さい程 F の小さいところまで探知できる。この平面度検査法では T を知ることが非常に重要なことである。 T の大略の値は次のようにして求めることができる。図3において、 B_0 は正弦曲線の頂上にあり、 B' は B_1 と B_2 の中間で、正弦曲線の変曲点の近傍にある。 B_0 と B' の x 座標をそれぞれ x_0 と x' とすると、 $x_0 - x'$ は $(3/4)T$ であるので、 T は $(x_0 - x') \cdot 4/3$ である。 $x_0 - x'$ は D_0 と D' を観察して、のこ面上で B_0 と B' の間隔をスケールで測定する。こうして求めた T を図4の横軸にあてはめることにより、結像されたスリット像の数から平面度が知られる。

F および T がそれぞれ異なる7枚ののこにより、 F を評価項目とする一対比較による官能検査を実施して、従来の平面度検査法の精度を検討したところ、 0.04 mm であった。官能検査は二つののこのゆがみが識別できて、どちらのゆがみが大きいのかという判定は感度が悪い。しかし、真平面とゆがみのある平面との比較はかなりよい判定をする。これに対して、スリット光源による平面度検査法は T によって異なるが、 $T = 50$ mm で、 $\theta = 89^\circ$ のとき $F = 0.01$ mm である。

この検査法はスリット像が3本、2本あるいは1本かを観察してゆがみの存在を判断する。この検査法により F を定量的に検査することはむずかしい。スリット像の数と F との関係が定量的に明らかであるのは F_d と F_u だけである。又、 T の測定が非常にむずかしいという三つの理由による。しかし、ゆがみの検査は熟練を要する

検査であるが、スリット光源を用いることにより素人でも明確にゆがみの存在を検査できる。測定精度は肉眼観察により $T \leq 50 \text{ mm}$ で、 $F \leq 0.01 \text{ mm}$ という高い精度で検査が可能である。このことがこの検査法の利点である。

5. 結 論

手引きのこのゆがみのスリット光源による平面度検査法を光の反射の法則に基づいて検討した。得られた結果は次のとおりである。

- (1) ゆがみの観測系の光源をスリット光源に改良してゆがみを観測しやすくした。検査はスリット光源のこの面によって結像されるスリット像が1本であれば真平面、2本又は3本であればゆがみが存在するのように、像の数によって判断される。そのためこの観測系により素人でもゆがみの検査が可能である。

- (2) この面の長手方向断面を正弦曲線でおきかえ、その面によって結像される光源像を計算して、ゆがみの存在が識別できる最小の平面度 F_d を検討した。 F_d はゆがみピッチ T と光線の入射角 θ に関係して、 T が小さい程小さく、 θ の増大と共に直線的に小さくなる。
- (3) この平面度検査法の精度は $T \leq 50 \text{ mm}$ のとき、 $\theta = 89^\circ$ で観測して $F \leq 0.01 \text{ mm}$ であり、 $T \leq 75 \text{ mm}$ のとき $F \leq 0.02 \text{ mm}$ である。この測定精度はこの性能を評価するのに十分な精度である。

参 考 文 献

- 1) 白井寅次：三条鋸の沿革，三条鋸工業振興会（1968.12）109.
- 2) 藤本定正：精密旋削面の虹むら，精密機械，41, 12（1975）9.

情 報

53年の工作機械受注

日本工作機械工業会（会長・富田環氏）は、このほど会員68社の53年（1～12月）の工作機械年間受注実績をまとめた。これによると一般機械業界向けを中心とする内需の好調に加え輸出も円高下にもかかわらず順調な伸びを示したことから、総受注額は前年比13%増の3029億円と3000億円の大台を突破、過去最高を記録した。中でも数値制御（NC）工作機械は需要の主体がユーザ業界の合理化投資によることを反映して1091億円と前の年に比べ33%の大幅増となり、初の1000億円台乗せを実現。この結果受注ベースでの工作機械のNC化率は前年の30.6%から36%へと急伸している。

受注動向を需要業種別にみると鉄鋼・非鉄金属、金属製品、官公需・学校向けが減少し、自動車向けが横ばいとなったほかは一般機械業界向けを中心にすべて増加し、需要業界の景気および設備投資意欲の状況が反映されている。

このうち一般機械向けが目立った伸びを示したのは、自動車、電気などの末端下請加工業者の元請先からのコストダウン要求に伴う工作機械の設備更新が盛んであったことによるとみられている。

一方、輸出は商社・代理店経由のものを含め総じて堅調だったが、円高下でのこうした輸出の伸びは、①米国

が空前の工作機械ブームで多少の値上げにもかかわらず日本製品も良く売れた、②各社の輸出市場多様化努力で欧州などでの受注が増えた、③共産圏向けにも引き続き活発だった——などの事情が考えられる。

また、これを機種別にみるとNC化率の高い旋盤と金型業界向けが活発だったフライス盤および中ぐり盤、それに放電加工機やマシニングセンタが含まれている「その他工作機械」が伸びた半面、研削盤、ボール盤、専用機、歯車加工機、平削り盤などは52年に比べ減少、機種ごとの跛行現象が目立つ。中でも伸び率の高いのは放電加工機を中心とした「その他工作機械」で44.3%、これにフライス盤の27%が続く、旋盤は13.5%となっている。これらから53年の工作機械受注は金型業界などの中小企業向けフライス盤、旋盤、放電加工機などが非常に活発だった半面、大型機や大企業向け機種は依然低迷が続いているといえよう。

また53年の年間販売額は2945億円で前年比22.4%の増加となった。これは主に旋盤（寄与率36.8%）、中ぐり盤（同25.7%）、フライス盤（同11.4%）、その他工作機械（同24%）などが好調だったことによる。ただこの販売額より受注額が上回ったため、53年12月末の受注残は前年末より5.4%、76億円増加し、1482億円となった。（服部 敏夫）