帯のこ切削における切削面粗さの推定に関する研究[†]

田 中 千 秋* 中 尾 哲 也*
西 野 吉 彦** 高 橋 徹*

A Method to Calculate the Surface Roughness of Woods by Band Sawing

by

Chiaki TANAKA*, Tetsuya NAKAO*, Yoshihiko NISHINO**
and Akira TAKAHASHI*

A possibility was investigated to calculate the surface roughness of woods by band sawing by using the acoustic emission count rate, the cutting force and the specific gravity of woods. Five different softwoods, four different ring-porous woods and eight different radial- and diffuse-porous woods were used as workpieces. Ripsawing was carried out. The acoustic emission count rate was measured by the ring down method using a measuring system with a microphone. The cutting force in the cutting direction was measured using a load cell attached to the feed table. The surface roughness of a wood measured by a contact instrument with a stylus of 0.25 mm curvature was described by ten point height of irregularities. The results obtained in this study are summarized as follows: The surface roughness of softwoods and ring-porous woods can be calculated by the multiple regression of the specific gravity of woods, and the AE count-rate or the cutting force. The multiple regression using the AE count-rate is more precise than using cutting force for the calculation of softwoods and ring-porous woods. The surface roughness of radial- and diffuse-porous woods can be calculated by the linear regression of the AE count-rate when they are classed by the similar characteristics of their structures. Moreover, it can be calculated by the multiple regression of the specific gravity of woods and the cutting force.

Key words: Surface roughness, Band sawing, Specific gravity of wood, Cutting force, Acoustic emission

1 緒 言

切削面粗さは、被削材の被削性を評価するのに不可欠な検討項目であり、直線、曲線挽きにおける加工歩留り、また製品の仕上げ状態を左右する研磨や塗装などに直接影響するため、切削加工を検討する上で大切な研究対象である。

切削面粗さは触針法、光切断法等により測定¹⁾できるが、木材の場合触針法が常用されており、特定の樹種を用い、いろいろな切削条件に対する切削面粗さの挙動を検討した研究が多く、さまざまな樹種に対する切削面粗さの挙動を検討し、切削面粗さを予測する方法を検討した報告は少ない。これは切削加工により、組織や細胞孔が切削面に表れ、その径孔が樹種によって異なることに起因する²⁾。しかし、切削加工の自動化、省力化が進む今日、切削面粗さを正確に予測する方法を検討することは、機械を自動化する上できわめて大切である。趙らは木工用丸のこ盤の最適化適応制御加工を実施するに当たり、樹種と切削面粗さの関係を加

工時に生ずる AE 計数率と比重を関連させ検討している³⁾。

本報は、木工用帯のこ盤を用い、送り速度を変化させて挽き材し、異なる 17 樹種に生じた切削面粗さを挽き材時の切削力、AE 計数率、および挽き材の比重と関連させて検討する。

2 実 験

2・1 供試機械

挽き材には、長さ 5 m の送材装置を取り付けたのこ車直径 700 mm の木工用帯のこ盤を用いた。この速度および送材速度はパーソナルコンピュータ、D/A 変換器、インバータ、サーボモータにより制御できる。この速度は 400 rpm と一定にし、送材速度は 3, 6, 9 および 12 m/min と変化させた。緊張応力は 36.2 N/mm² とした。

ステライトを溶着した帯のこを用い、その長さ、幅、ピッチ、厚さ、あさり幅、歯高はそれぞれ 4.7 m, 45 mm, 20 mm, 0.8 mm, 1.5 mm および 5 mm である。

[†] 原稿受理 平成 5 年 4 月 30 日 Received Apr. 30, 1993

* 正 会 員 島根大学農学部生物資源科 〒690 松江市西川津町, Dept. of Natural Resource Sci., Shimane Univ., Nishikawatsu-cho, Matsue, 690

** 島根大学農学部附属演習林 〒690 松江市西川津町, Univ. Forests Sci., Shimane Univ., Nishikawatsu-cho, Matsue, 690

Table I. Wood species investigated.

Wood species	Specific gravity	Moisture content (%)	Vessel distribution
Softwoods			
<i>Cryptomeria japonica</i> D. Don.	0.33	8.8	
<i>Picea jezoensis</i> Carr.	0.38	10.0	
<i>Chamaecyparis obtusa</i> Endl.	0.43	9.1	
<i>Tsuga heterophylla</i> Sarg.	0.48	9.1	
<i>Pinus densiflora</i> S. et Z.	0.52	8.8	
<i>Larix leptolepis</i> Gord.	0.70	10.4	
Hardwoods			
<i>Castanea crenata</i> S. et Z.	0.58	8.9	R
<i>Quercus mongolica</i> F. var.	0.78	8.6	R
<i>Quercus serrata</i> Thunb.	0.94	8.8	R
<i>Mongolia obovata</i> Thunb.	0.41	7.6	D
<i>Cornus controversa</i> Hemsl.	0.58	8.4	D
<i>Prunus</i> sp.	0.65	7.4	D
<i>Betula</i> sp.	0.69	8.8	D
<i>Acer</i> sp.	0.74	10.0	D
<i>Carpinus</i> sp.	0.76	8.8	D
<i>Quercus acuta</i> Thunb.	0.82	8.3	RA
<i>Quercus myrsinaefolia</i> Thunb.	0.94	7.5	RA

Legend: D: Diffuse-porous wood.

RA: Radial-porous wood.

R: Ring-porous wood.

あさりの出の平均値は送り装置側（以下＋側と記す）で 0.33 mm、機械側（以下－側と記す）で 0.36 mm、したがってあさりの偏りは－側に平均 0.03 mm ある。あさりの出の最大ばらつきは＋、－側でそれぞれ 0.02 mm である。またにげ角、歯先角はそれぞれ 20°、37°である。上部せりと挽き材上端の間隔は 90 mm、せりとこの身の隙間は 0.25 mm とした。

2.2 供試材

針葉樹 6 種類、広葉樹 11 種類である。それらの挽き材時の気乾比重、含水率および道管の分布状態を Table I に示す。幅および長さがそれぞれ 3.5 cm、50 cm の板目木取り材を縦挽きした。

2.3 測定方法

2.3.1 切削力と AE 計数率 切削力は、圧電結晶式ロードセル（最大荷重 20 kgf）を送材テーブルに Fig. 1 に示すように取付け、帯のこ切削方向の切削力を、変換器用デジタル指示計、ペンレコーダで測定、記録した。アコースティックエミッション（AE）計数率はマイクロホン、増幅器、ハイパスフィルタ、シグナルプロセッサを用い、リングダウン法で 0.04 秒ごとに測定し、切削材長 10 cm に対応する時間ごとの平均値で表示した。マイクロホンは Fig. 1 に示すように、被削材下部より 2 cm 低くし、帯のこ幅方向に対し 45°、歯先から距離 60 cm の場所に設定した。空転時の帯のこや機械が出す雑音の影響を除去するため、ハイパスフィルタを 30 kHz に設定した。また増幅器の測定レベルを 110 dB、シグナルプロセッサの

Fig. 1. Method of measuring cutting force, position of microphone, and measuring positions of surface roughness of sawn wood.

Legend: CF: Cutting force, T₁: Table to measure CF, F_T: Feed table, L: Load-cell, ○: Measuring positions of surface roughness of sawn wood.

ヒステレシスを 300 (0.22 V) に設定し、しきい値とした。本測定装置で測定可能な周波数範囲は 4 Hz～100 kHz である。なおシグナルプロセッサの性能上、送り速度 12 m/min に対する AE 計数率は測定しなかった。

2.3.2 切削面粗さ Fig. 1 に示すように、両あさが同時に作る切削面の粗さを測定した。測定位置は、挽き材一端より等間隔に 10 cm ごと 4 箇所とした。切削面粗さは、表面粗さ形状測定器を用い、基準長さを 25 mm、駆動速度を 0.3 mm/s とし、十点平均粗さ (R_a) 法で測定した。曲率半径 250 μ m の触針子を使用し、その移動は材面に生じたツースマークに直角方向とした。測定位置には、基準長さ内に春秋材が同時に含まれるように選定した。切削力と切削面粗さの関係を検討する場合、両あさが作る粗さの測定値 8 個の平均値を 1 条件の測定値とした。AE 計数率と切削面粗さの場合、4 箇所のでられる 2 個の粗さ値の平均値を測定値とした。

3 結果と考察

切削面粗さを予測する方法を確立する場合、予測を可能とする因子が必要となる。予測因子として、各樹種が持つ物理、強度、加工特性などの樹種特性が考えられ、物理、強度特性としては比重、弾性率等が、加工特性としては切削力、AE 計数率等がある。以下に

Fig. 2. Relationship between specific gravity of wood and surface roughness for 17 wood species.

送り速度を変化させることによって生じた17樹種の切削面粗さと、挽き材の比重の関係および挽き材時に生ずる切削力、AE計数率の関係より、切削面粗さの予測に対するこれらの因子の適否を検討する。

Fig. 2は切削面粗さと比重の関係を示す。切削面粗さは送り速度の増大により粗くなるが、比重が最小のスギで粗さ値が最大になったり、比重差が少ないカラマツ、ミズメ、カエデ、シデの粗さ値がそれぞれ大きく異なったりし、両者の間には定かな傾向は認められない。

Fig. 3, 4はそれぞれ切削力と切削面粗さの関係およびAE計数率と切削面粗さの関係を示す。粗さ値は、切削力、AE計数率の増大にしたがい、大きくなるの

Fig. 3. Relationship between cutting force and surface roughness for 17 wood species on different 4 feed speeds.

Fig. 4. Relationship between AE count-rate and surface roughness for 17 wood species on different 3 feed speeds.

がわかる。切削力(CF)と切削面粗さ(SR)の間には直線回帰式

$$SR = 0.3CF + 122.5 \quad (1)$$

が相関係数(r) 0.49で成立した。またAE計数率(AE)と切削面粗さの間には

$$SR = 0.6AE + 111 \quad (r = 0.53) \quad (2)$$

が成立した。これらのことは、切削面粗さを切削力やAE計数率で予測できる可能性があることを示す。しかし切削力、AE計数率は各樹種に対して固有の値でないため、樹種を判別することができない上に、切削面粗さと両者に対する相関係数は共に小さく、信頼性に乏しい。そこで加工特性値である切削力、AE計数

Fig. 5. Relationship between surface roughness measured and that estimated by the multiple regression of specific gravity of wood and cutting force for 17 wood species.

Fig. 6. Relationship between surface roughness measured and that estimated by the multiple regression of specific gravity of wood and AE count-rate for 17 wood species.

率に、物理特性値であり樹種に対して固有の値を持つ比重の効果を加え検討した。

比重 (ρ)、切削力と切削面粗さの間には、Fig. 2, 3 の関係より

$$SR = 0.5CF - 49.3\rho + 141 \quad (3)$$

が重相関係数 (R) 0.61 で成立した。また比重、AE 計数率と切削面粗さの間には、Fig. 2, 4 の関係より

$$SR = 0.7AE - 19.0\rho + 119 \quad (4)$$

が重相関係数 0.73 で成立した。

Fig. 5 に式 (3) による切削面粗さの推定値と実測値の関係を、Fig. 6 に式 (4) による切削面粗さの推定値と実測値の関係を示す。相関係数はそれぞれ 0.73 および 0.70 である。比重を考慮することにより、切削面粗さを切削力、AE 計数率から予測する精度は向上するが、予測偏差は高い。

つぎに検討した樹種を針葉樹、環孔材、放射孔材と

Fig. 7. Relationship between surface roughness measured and that estimated by the multiple regression of specific gravity of wood and cutting force for softwoods.

Fig. 8. Relationship between surface roughness measured and that estimated by the multiple regression of specific gravity of wood and AE count-rate for softwoods.

散孔材に分類して上述の手法で切削面粗さを予測すると、針葉樹に対しては、

$$SR = 0.8CF - 66.1\rho + 143 \quad (R = 0.69) \quad (5)$$

$$SR = 1.2AE - 56.8\rho + 123 \quad (R = 0.86) \quad (6)$$

が成立した。また環孔材については、

$$SR = 0.5CF - 41.6\rho + 132 \quad (R = 0.82) \quad (7)$$

$$SR = 0.9AE - 2.5\rho + 90 \quad (R = 0.93) \quad (8)$$

が、放射孔材、散孔材については、

$$SR = 0.4CF - 25.5\rho + 129 \quad (R = 0.82) \quad (9)$$

$$SR = 0.4AE + 1.2\rho + 117 \quad (R = 0.51) \quad (10)$$

が成立した。これらのことは針葉樹、環孔材の切削面粗さは、挽き材の比重と加工時に生ずる切削力や AE 計数率により予測でき、環孔材に対する予測精度は針葉樹より高いことがわかる。Fig. 7 に式 (5) による切削面粗さの推定値と実測値の関係を、Fig. 8 に式 (6) による切削面粗さの推定値と実測値の関係を示す。相関係数はそれぞれ 0.69 および 0.86 である。Fig. 9 に式 (7) による切削面粗さの推定値と実測値の関係を、

Fig. 9. Relationship between surface roughness measured and that estimated by the multiple regression of specific gravity of wood and cutting force ring-porous woods.

Fig. 10. Relationship between surface roughness measured and that estimated by the multiple regression of specific gravity of wood and AE count-rate for ring-porous woods.

Fig. 10 に式 (8) による切削面粗さの推定値と実測値の関係を示す。相関係数はそれぞれ 0.82 および 0.93 である。

放射孔材、散孔材については、切削力と比重から切削面粗さを予測することは式 (9) を用いれば可能であるが、AE 計数率と比重から予測することは、式 (10) に対する予測偏差が高いので困難である。そこで切削面における組織構造の類似性⁴⁾で分類し、切削面粗さと AE 計数率の関係を求めると、

第 1 グループ……サクラ、ミズメ

第 2 グループ……シデ、アカガシ、シラカシ

第 3 グループ……ホオノキ、ミズキ

に対してそれぞれ

$$SR = 0.4AE + 118.7 \quad (r = 0.88)$$

$$SR = 0.7AE + 102.0 \quad (r = 0.86)$$

$$SR = 0.8AE + 103.2 \quad (r = 0.87)$$

が成立した。このことは放射孔材、散孔材を組織構造の類似性で分類すると、切削面粗さは各樹種が持つ組織粗さの影響を受けず、切削面の形成のされ方の影響を強く受けることを示す。これは、AE 計数率は送り

速度や切削深さなどの切削条件と密接な関係を持ち、⁵⁾ 切り屑の母材からのはく離のされ方の影響を受けるためと考えられる。

切削面粗さを予測するのに AE 計数率が切削力よりよい加工特性であることは、切削を自動化し一定な切削面粗さを得ることを目的とする木工用帯のこ盤を開発する場合、切削状態を監視し、切削面粗さを推定するモニタとして切削力より AE 計数率が優れていることを示唆する。

4 結 論

木工用帯のこ盤を用い送り速度を変化させ、17 樹種を挽き材し、生じた切削面粗さを挽き材の比重および挽き材時の切削力、AE 計数率と関連させ検討した結果、切削面粗さは、切削条件に密接な関係を持つ AE 計数率や切削力だけでは困難であるが、比重の効果を加えることにより予測することが可能であることがわかった。これは、木材の切削面粗さは各樹種が持つ組織粗さがなければ、切削現象の影響しか受けにくいことすなわち幾何学的粗さと付加的粗さで決定されることを考慮すれば、比重が切削面に生ずる各樹種の持つ組織粗さの影響を少なくし、切削現象の影響が切削面粗さに強く生じた結果といえる。このことは放射孔材および散孔材を、切削面の組織構造の類似性によりグループ化すると、AE 計数率で予測できるという結果に通じるといえる。

参 考 文 献

- 1) 大越 諄, “表面アラサ検査法”, p. 46 (1968) コロナ社
- 2) 梶田 茂編, 杉原彦一, “木材工学”, p. 340 (1961) 養賢堂
- 3) 趙 春瑞, 田中千秋, 中尾哲也, 高橋 徹, 辻井孝文, 木材学会誌, **36**, 169 (1990).
- 4) 古野 毅, 山陰地域研究 (森林資源), **6**, 95 (1990).
- 5) 趙 春瑞, 田中千秋, 中尾哲也, 高橋 徹, 木材学会誌, **37**, 897 (1990).