

原木形状の自動計測法に関する研究 (第3報)

—光切断法による丸太形状の3次元計測—

黒田紀雄・勝田幸秀・奥村正悟
服部順昭・杉原彦一

Automatization of Log Scaling (III)

—Three-dimensional measurement of log shapes
by means of light section method—

Norio KURODA, Yukihide KATSUTA, Shogo OKUMURA
Nobuaki HATTORI and Hikoichi SUGIHARA

要 旨

丸太の3次元形状を自動計測するため、定速で移動している丸太の横断面(円と仮定)を光切断法を用いた計測ビデオシステムによって一定間隔毎に求める方法を開発し、その計測精度、問題点等について検討した。

表面が比較的平滑で断面が円に近い丸太については、軸方向における径の変化、曲がり、材積等を十分把握することができた。しかし断面が楕円状の場合や節などによる表面の凹凸が著しい場合には、断面全周のうちの約150°の範囲の輪郭のみから全断面に適合する円を推定する本方法では誤差が大きくなる。

1. はじめに

原木丸太形状の計測は現在ほとんど手作業で行われているが、原木の検量や製材木取り作業の能率向上・省力化をはかるためには原木の自動計測法の開発が望まれるところである¹⁾。

我々は計測ビデオシステムを用いた原木計測の自動化を目指し、二三の基礎的な検討を進めてきた。まず外材原木丸太の形状について調査し、材種や樹種ごとの末口最小径の分布、材長の分布、軸比の分布などを明らかにし、この結果をもとにして丸太を自動計測する適切な方法、計測装置に必要とされる最大計測能力などについて検討した²⁾。次いで、丸太の任意の断面形状が比較的容易に計測できることから、光切断法を用いた計測ビデオシステムを自動計測に利用することを試み、その具体的方法、最適計測条件、計測精度等について検討した³⁾。その結果、一定の条件さえ満足させれば十分な実用性のある計測方法であることが明らかになった。そこで本報では、実際の現場における丸太の自動計測を想定し、定速で移動している丸太について光切断法による断面形状の計測を繰り返すことにより、材長、材積、曲がり、完満度等の3次元形状を自動計測することを試みた。

なお本研究の概要は第33回日本木材学会大会(昭和58年3, 4月, 京都)において展示発表した。また本研究の一部は昭和55, 56年度文部省科学研究費補助金(試験研究2, 研究代表者: 杉

原彦一) によった。

2. 計測方法

用いた計測システムを Fig. 1 に示すが、その装置構成および光切断曲線の計測原理は前報³⁾の場合と同様である。また計測手順の概要は流れ図として Fig. 2 に示した。

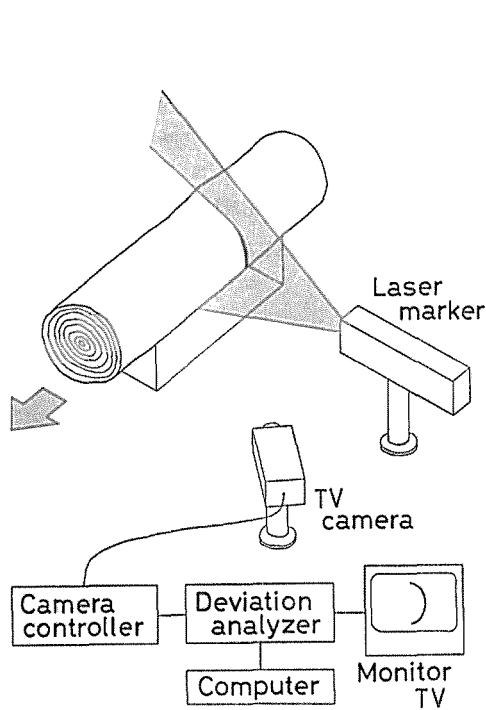


Fig. 1 Schematic diagrams of measuring system.

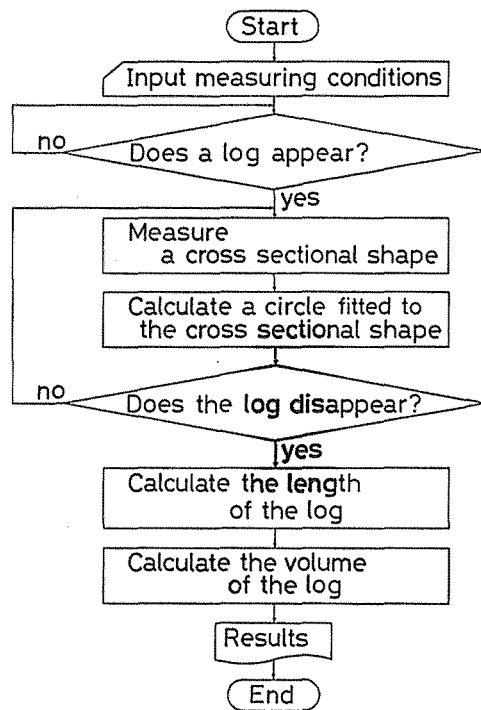


Fig. 2 Functional flow chart of measuring procedure.

送り装置に載せられて定速で移動する丸太がレーザースリット光の位置まで進むと (Fig. 1), レーザーの反射光 (光切断曲線像) がテレビカメラで捕えられ、その瞬間から計測がスタートする。光切断曲線の形状計測は、丸太がレーザ光の位置を通り過ぎて光切断曲線像がカメラの視野から消えるまで一定時間ごとに繰り返され、その都度丸太断面 (円または楕円と仮定。後述) の特性値が算出される。計測終了後、求めた各断面をつなぎ合わせることによって丸太の3次元形状、長さ、体積等を求め、これらの結果をX-Yプロッタなどで図形化する。

なお計測の制御と演算処理はマイクロコンピュータ (ソード M223 mark III) で行った。またデベエーションアナライザからの計測データの取り込み部分はアセンブラで、他は BASIC でプログラムを組んだが、演算の高速化のため一連のプログラムはコンパイルしてから実行した。

2.1 断面形状の計測

テレビカメラで捕えられた光切断曲線像の計測では、まず画面上に現れた曲線像の上端と下端の位置を2等分探索により探し出し、両端のY座標値 (画面上での縦方向座標値) を求める。次にこの座標値の間を10分割し、両端を含めた11個のY座標位置における光切断曲線のX座標値

(画面上での横方向座標値)をデビエーションアナライザで計測し、コンピュータへ読み込む。このときの座標値の読み込みは10ビットデジタル値として行った。なおX座標値の計測は2度繰り返し、相互の値を比較することにより計測ミスの発生を防いだ。

こうして得た11個の座標値はカメラ距離とカメラ角度を考慮して変換し³⁾、丸太の一つの断面における形状計測値とした。なお本実験では丸太が計測中も常に移動しているため、求めた形状計測値は厳密には一断面のものでなく、ある幅をもった領域の平均的な断面についての値となる。

2.2 計測値からの断面形状の推定

前報³⁾でも指摘したように、前節の光切断法で得られる丸太断面の輪郭は、断面全周のうちのレーザー光側の約150°の範囲のものであり、丸太の裏側(レーザー光の反対側)の形はわからない。また丸太表面の凹凸などによって、測定した座標値は必ずしも滑らかな曲線上にない。従って丸太の裏側も含めた全断面の形を確定するためには、丸太の断面を比較的簡単な幾何学形状と仮定し、限られた範囲の形状計測値から何らかの方法で全断面を推定する必要がある。

ところで一般に丸太の断面は円とみなす場合が多く、扁平な丸太でも楕円とみなせば十分の場合が多い²⁾。そこで本実験では丸太の断面を円または楕円と仮定し、計測で得た値(11個の座標値)に最もよく適合する円または楕円を最小2乗法により求め、これを断面の形とすることにした。

円と楕円の一般式は、 A, B, \dots, H を定数としてそれぞれ次のように表せる。

$$x^2 + Ax + y^2 + By + C = 0 \quad (1)$$

$$x^2 + Dxy + Ey^2 + Fx + Gy + H = 0 \quad (2)$$

いま x と y について n 組の測定値があれば、これを(1)または(2)式に代入して次の観測方程式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} x_1^2 + y_1^2 &= -(Ax_1 + By_1 + C) \\ x_2^2 + y_2^2 &= -(Ax_2 + By_2 + C) \\ \dots\dots\dots \\ x_n^2 + y_n^2 &= -(Ax_n + By_n + C) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} x_1^2 &= -(Dx_1y_1 + Ey_1^2 + Fx_1 + Gy_1 + H) \\ x_2^2 &= -(Dx_2y_2 + Ey_2^2 + Fx_2 + Gy_2 + H) \\ \dots\dots\dots \\ x_n^2 &= -(Dx_ny_n + Ey_n^2 + Fx_n + Gy_n + H) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

この(3)または(4)式をもとに、 A, B, \dots, H の最確値を最小2乗法により求めた⁴⁾。

Fig. 3は軸比0.85の楕円上の点(10°間隔, 36点)から連続した16点(黒丸印)を抜き出し、これらの座標値に最小2乗法を適用して求めた円と楕円を示す。楕円として求めた場合(実線)には、当然のことではあるが元の楕円とよく一致していることがわかる。

2.3 材長と材積の計測

丸太の長さは、丸太の送りを定速としたため、丸太がスリット光の位置を通過するのに要した時間に送り速度を乗じることにより求められる。また材積は、一定間隔で計測した丸太の断面積(円または楕円の面積)が各計測点間で一定であるとみなし、各計測点における断面積と計測間隔の積の総和として求めた。

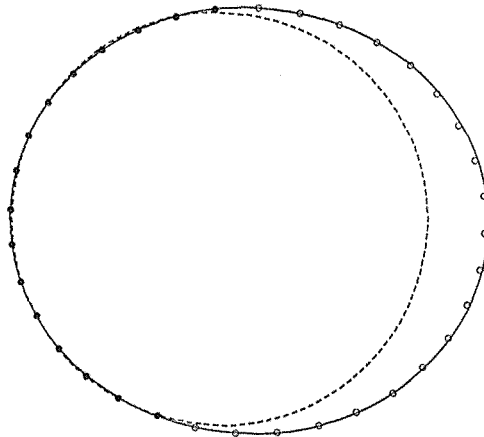


Fig. 3 Circle (dotted line) and ellipse (solid line) fitted to the selected points (●) on a given ellipse (○) by the least squares method.

3. 実 験

3.1 丸太断面への円と楕円のあてはめ

前述の最小2乗法を用いれば、与えた座標値群に最もよく適合する円または楕円を求めることができる。しかし実際の丸太の断面は必ずしも理想的な円や楕円とは限らず、また節や割れなどによる輪郭の凹凸があるため、断面全周の半分以下である約150°の範囲の計測値から推定した断面が実際と食い違うことも予想される。そのため実際の丸太について、前述の方法でどの程度正確に元の断面が推定できるかを調べた。

軸比が1~0.9の米材丸太の木口端面の写真上で、木口の輪郭線上の36点(10°間隔)の座標値を読み取り、これらの座標値から木口の面積(実測値)、軸比、長径の方向を求めた。一方この36点から150°分の輪郭に相当する16点を3通りの方法(長径、短径、両者の中間の方向をそれぞれ中心とする16点)で抜き出し、最小2乗法によって円または楕円を求めた。円と楕円の面積は

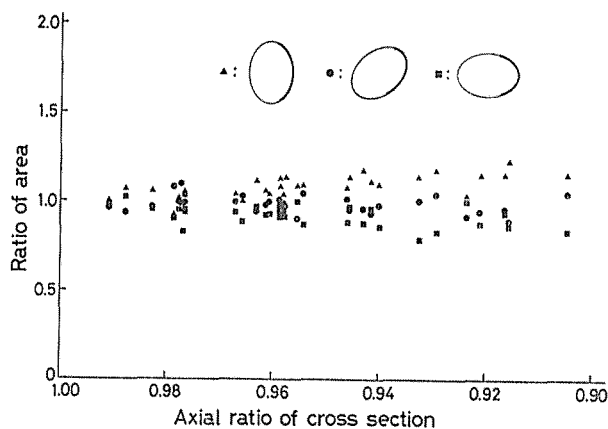


Fig. 4 Ratio of the area of the fitted circle to the real area of the end of the log.

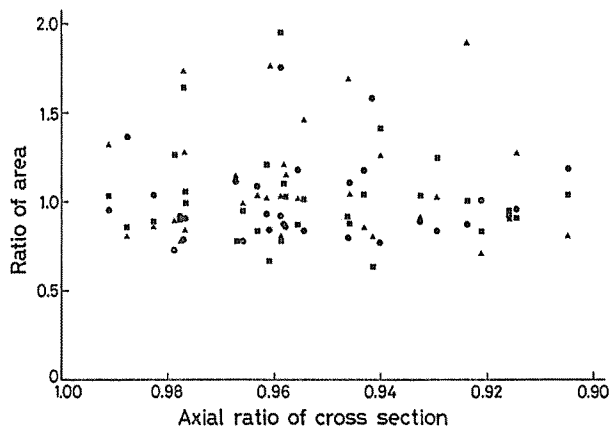


Fig. 5 Ratio of the area of the fitted ellipse to the real area of the end of the log. Symbols are the same as in Fig. 4.

実測値に対する比で表し、丸太の軸比に対してプロットした (Fig. 4, 5)。

丸太の木口を円と仮定した場合 (Fig. 4) は、丸太の軸比が 1 に近いほど求めた円の面積が実測値に近く、軸比 1 ~ 0.9 の丸太であれば $\pm 20\%$ 以下の誤差で木口面積が推定できる。一方楕円と仮定した場合には (Fig. 5)、丸太の軸比にかかわらず求めた楕円の面積が実測値と 50 % 以上も異なる場合がしばしば認められる。その具体例を Fig. 6 に示すが、円として求めた場合は実際

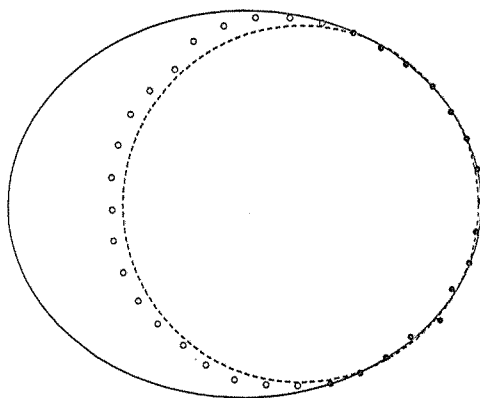


Fig. 6 Circle (dotted line) and ellipse (solid line) fitted to the selected points (●) on the outline of a given log (○), showing that the ellipse misfits the cross section of the log.

の木口の形状に近いものが求まっているが、楕円の場合には実形から大きくそれていることがわかる。

以上のことから、以下の自動計測では丸太の断面を円と仮定し、計測値に最もよく適合する円を最小 2 乗法により求めることにした。

3.2 丸太の計測例

丸太の計測例を Fig. 7 ~ 10 に示す。各図の左下は丸太の正面図 (レーザー光側から見た形)、左上は平面図、右は角度をつけて立体的に表した投影図である。また各図には、ノギスによる手

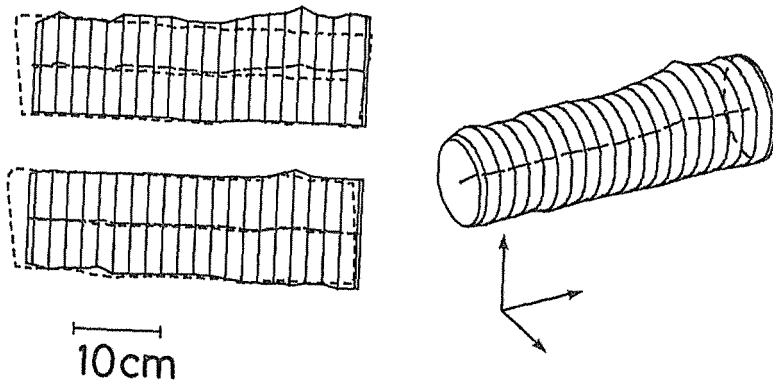


Fig. 7 Reconstructed shapes (solid line) of the log by the present measuring system. Dotted lines show the real shapes of the log. Upper left: plan. Lower left: front view. Right: anisometric view. (Log No. 1)

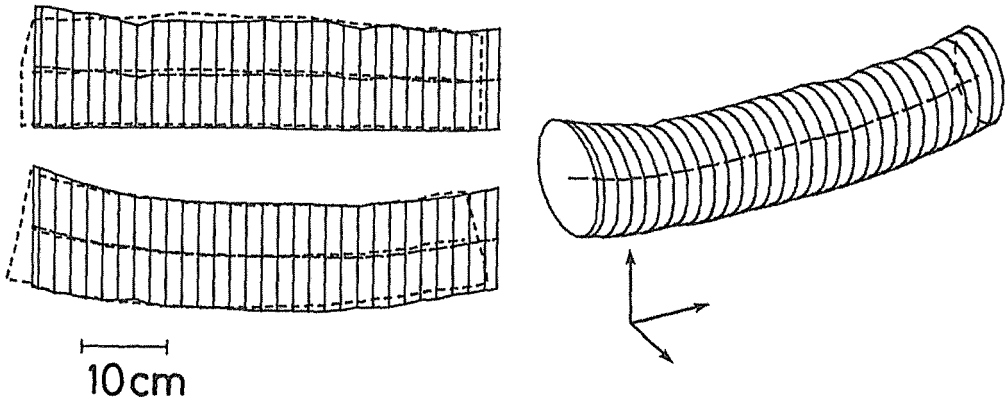


Fig. 8 The same as Fig. 7. (Log No. 2)

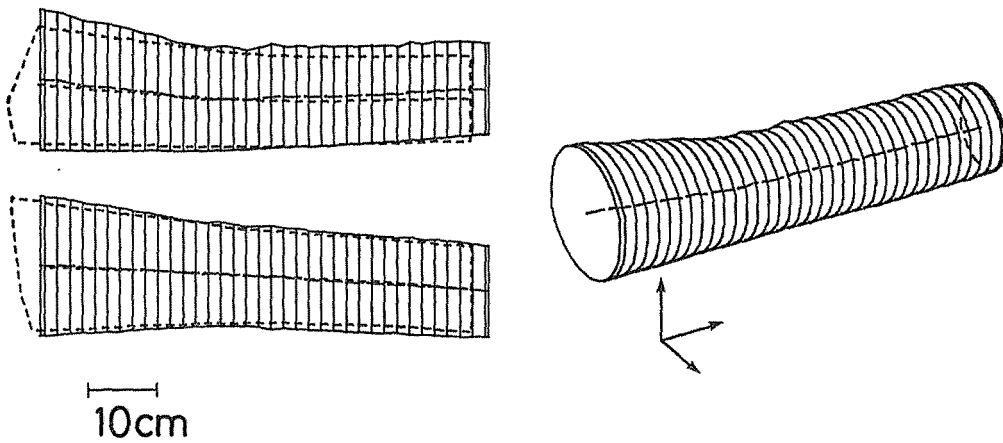


Fig. 9 The same as Fig. 7. (Log No. 3)

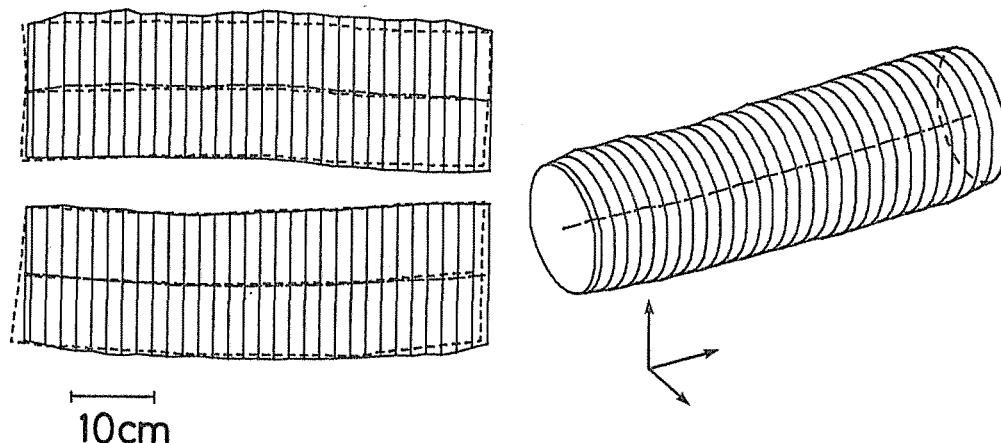


Fig. 10 The same as Fig. 7. (Log No. 4)

計測で求めた値をもとにした丸太の輪郭を破線で示した。計測した丸太は、表面に節の多いNo. 1, 曲がりの大きいNo. 2, 両端の直径差が大きいNo. 3, 3次元的な曲がりを有するNo. 4の4本で、長さは40~65cmで直径は20cm以下である。計測では、丸太の送り速度を0.47cm/sec, 計測間隔4秒, カメラ角度42°とした。なお自動計測で求めた4本の丸太の長さや材積を、手計測で求めた値に対する比として Table に示す。同表には各丸太の断面の直径方向(A)と短径方向(B)から計測した両方の場合の結果を示した。

Table Length and volume of logs obtained by the automatic measurement*

Log No.	Length		Volume	
	A**	B**	A**	B**
1	1.03	1.03	1.13	0.91
2	1.07	1.04	1.11	0.99
3	1.04	1.04	1.26	0.97
4	1.01	1.02	1.14	1.00

* Length and volume are the ratios of the value measured automatically to that measured precisely by a ruler or a special calliper.

** A and B, respectively, refer to the measuring directions A and B illustrated below.

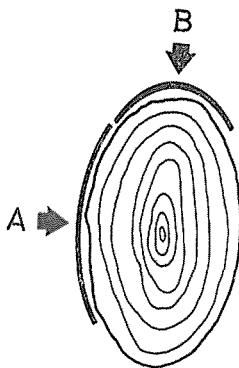


Fig. 7~10からわかるように、丸太の長さ方向の輪郭は計測した側（平面図の下側）では実形とよく一致しているが、計測していない裏側（平面図の上側）の輪郭は、丸太断面を表側の計測値のみから求めているため、実形とはかなり食い違っている場合もある。丸太の曲がりについては比較的良好に把握できており、通常の針葉樹のように断面が円に近い丸太であれば、本実験の方法でも丸太の3次元形状を十分に把握できるものと考えられる。

自動計測で得られた材長は手計測の場合よりもやや長くなっているが（Table）、これは丸太の両木口が斜めに切断されている場合に手計測では両木口間の最短距離を材長としたのに対して、自動計測では丸太がレーザー光の位置を通過するのに要した時間から材長を求めたためである。また当然の結果ではあるが、丸太断面の短径方向から計測した場合の材積は手計測の値よりも大きく、長径方向から計測した場合には逆に小さくなっている。

本実験に用いた計測方法では、一つの断面の形状計測に1秒、形状計測値から最小2乗法によって円を求めるのに2秒余りの時間が必要である。従って一つの断面を計測して次の断面を計測するまでの間に円を求めるためには、計測間隔を計測例の場合のように4秒以上とらねばならない。しかし断面の形状計測と円を求める計算を分離し、形状計測のみをまず行い、必要なときに3次元形状を求める方式にすれば、プログラムの工夫により計測間隔を0.5秒以下にすることが可能である。また本実験では極めて遅い送り速度を用い、丸太の長さ方向約2cm毎に断面を求めたが、上記の形状計測のみを続ける方式を採用し、断面を求める間隔を必要とする精度の許す限り大きくとれば、かなりの程度まで送り速度を高めることも可能である。

4. おわりに

以上のように、1方向のみからの光切断を利用した自動計測によって、断面が円に近い丸太の場合には、径の長さ方向の変化や曲がりなどの3次元形状を良好に把握することができた。しかし丸太の断面がかなり強度の楕円であったり、節などによる表面の凹凸が著しい場合には、求めた形状や材積が実際とかなり食い違う場合もあった。この最大の原因は、断面の計測範囲が丸太全周のうちの150°に限られていたことにある。従ってより正確に丸太の形状を把握しようとするれば、裏側をも含めた150°よりも広い範囲を同様の方法（例えば2方向からの光切断）で計測し、その計測値に適合する円または楕円を求める必要がある。

引用文献

- 1) 杉原彦一外8名：港湾における外材原木処理のシステム化に関する研究，木材研究・資料，No.15, 81-140 (1980)
- 2) 杉原彦一外4名：原木計測の自動化（I）外材原木丸太の形状について，木材工業，37, 14-19 (1982)
- 3) 杉原彦一外5名：原木形状の自動計測法に関する研究（第2報）光切断法による断面形状の計測，京大農演報，No.54, 227-235 (1982)
- 4) 本間 仁，春日屋伸昌：“応用数学講座第5巻 次元解析・最小2乗法と実験式”，コロナ社，p.144-148 (1957)

Résumé

A new method was developed to measure automatically the three-dimensional shape of a log. The cross-sectional shape of a log was assumed to be circular, and the diameter

and the coordinate of the center of the circle were measured by the light section method using the measuring video system at a constant interval along the log axis (Figs. 1 and 2).

When a log had a relatively smooth surface and its cross section could be considered to be circular, the three dimensional characteristics of the log such as the volume, the curvature, the deviation in diameter along the axis, etc, were well grasped by the present method (Figs. 7-10, Table). The accuracy of the measurement, however, decreased when the cross section of the log was rather oval than circular or the surface of the log was noticeably rough, e. g. due to a lot of knots, because in the present method the log was measured from only one direction (Fig. 1).