

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——

杉原 彦一・黒田 紀雄・奥村 正悟
服部 順昭・藤井 禧雄・喜多山 繁

Automatization of log scaling (II)
——Automatic measurement of log shapes
by means of light section method——

Hikoichi SUGIHARA, Norio KURODA, Shogo OKUMURA
Nobuaki HATTORI, Yoshio FUJII and Shigeru KITAYAMA

要 旨

原木の任意の位置の断面形状を知り、その3次元形状を把握する方法として、光切断法を用いた計測ビデオシステムの利用を試み、その基礎的実験を実施し、これに関する具体的方法、最適条件、精度について考察した。

円筒を用いてこのシステムを試みた結果から、半円180°のうちの150°程度の輪郭形状が計測により得られること、最適のカメラ角度 (Fig. 1 中の θ) は30~50°であり、また測定可能な原木の径は小さくなるが、カメラ距離 (Fig. 1 中の L) が小さいほど計測精度が高くなることがわかった。

また、スギ丸太の実物について計測を試みた結果から、実用の可能性のあることが明らかになった。

1. は じ め に

原木の検量、あるいは製材木取りを決定する際に必要な原木丸太形状の計測は、従来専ら人力でなされてきた。しかしながら木材資源の枯渇により大径木が減少し、かわりに小径木など低質材が増えてきた現在では、これらの作業は、質的にも量的にも困難の度を増しつつある。従って、この煩雑な丸太形状の計測を自動化し、省力化をはかる必要性が今後高まっていく、と考えられる¹⁾²⁾。

すでに欧米では、光電的方法等による種々の原木形状計測システムが考案され、一部は製材工程でも実用化されている¹⁾²⁾³⁾。しかしこのような計測システムの多くは、一方向あるいは二方向から原木の直径を測定するのみであり、その断面の形や節、あるいは曲がり等の詳細な形状を把握し得ない。従って我国のように小径木が多く、作業者が一本一本の原木の特徴をみて木取りを行い、高い歩止まりを得ている場合には、このような計測システムでは、製材工程等へ実際に導入するには不十分であり、原木形状をより詳細に計測しうるシステムでなければならない。

従来、任意の位置における物体の断面形状、さらにその3次元形状を知る手段として、光切断法が用いられてきた⁴⁾。そこで我々は、この光切断法を用いた計測ビデオシステムにより原木丸太を計測し、より詳細な形状データを得ることを試みた。

ここでは、この計測ビデオシステムによる形状計測の方法、その最適条件、精度、問題点等について検討した。

2. 計測システム

この、光切断法による原木丸太形状の計測システムを Fig. 1 に示す。

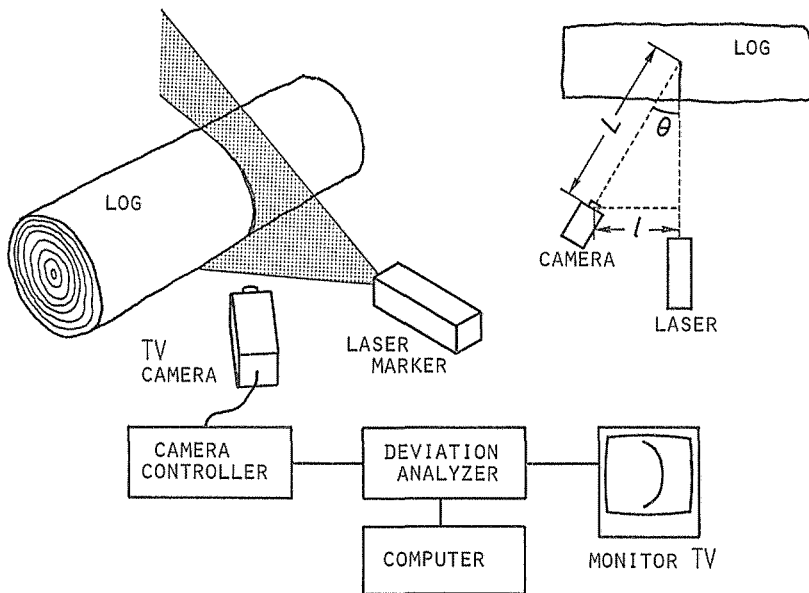


Fig. 1 Schematic diagram of the measuring system using light section method.

このシステムは、レーザー発振器、テレビカメラ及びカメラコントロールユニット、テレビ画像上の物体の位置と幅を計測するデビエーションアナライザー、計測の制御と処理を行うコンピューター、そしてモニターテレビから構成されている。

原木の断面形状の計測は、レーザースリット光を原木に対して直角に投射し、その反射光（光切断曲線）をテレビカメラで斜め側方から撮影し、この画像をデビエーションアナライザーで計測することにより行う。こうして得た光切断曲線の形状データに、後に示すカメラ距離（L）とカメラ角度（ θ ）を考慮した変換を行うことにより、原木丸太の断面形状を再構成する。

レーザー、原木、テレビカメラは同一平面上に置き、カメラ距離（L）は Fig. 1 に示した原木の中心からカメラ前端までの距離とした。また、カメラ角度（ θ ）はレーザー光とカメラ光軸のなす角度で、その大きさは図中の l と L から、 $\sin\theta = l/L$ により求めた。

実際に原木にレーザースリット光を投射し、その反射光をテレビカメラで撮影すると、Fig. 2 の左側のような光切断曲線像を得る。ここで原木表面の法線とレーザー光の投射方向とがなす角は、原木の中央部で最も小さく、上下端面に近づくほど大きくなり、また、この法線とテレビカメラの撮影方向とがなす角も、同様に上下端面に近づくほど大きくなる。その結果、撮影された光切断曲線画像は中央部が最も明るく、上下端に向って次第に暗く、幅も狭くなる三日月状の像

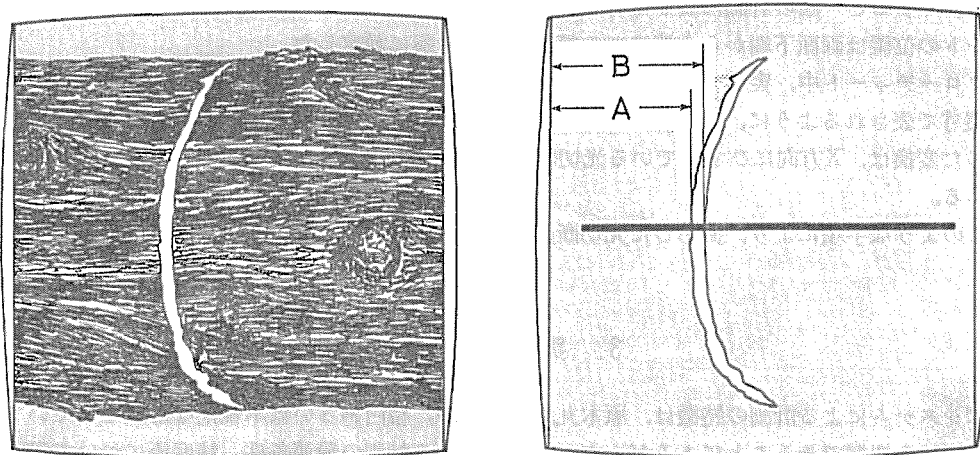


Fig. 2 Processing of video picture and measurement value

となる。

この画像から、デビエーションアナライザーにより光切断曲線形状を計測するために、まず、画像から背景を消去し、計測すべき対象のみを残す、いわゆる二値化処理を行う。この処理は、外部から明るさのしきい値 (threshold value) を与え、画像上の各点の明るさがこの値を越えた場合を「明」、それ以下の場合を「暗」とするもので、この処理により、レーザー光による原木の光切断曲線像のみを、計測対象として画像上に残す。(Fig. 2 右図)

デビエーションアナライザーの撮像視野内には、外部から 0～5 V の電圧を加えることにより、画面下端から上端までの任意の走査線位置に設定可能な計測ゲートがあり、このゲート上で、画像が最初に暗から明へ変わる点の X 座標値が A 値、最後に明から暗へ変わる点の X 座標値が B 値として、それぞれ画面 X 方向の全長をフルスケール 1024 とする 0～1024 の整数値で表示される。(従って分解能は全視野に対し 1/1024 となる。)

そこでコンピューター側から 0～5 V の電圧を段階的にアナライザーへ与えてこの計測ゲートの位置を画面下端から上端まで段階的に移動させ、そのつどこの A 値、B 値を 0～10 V の電圧値に変換してコンピューターに読み込むことにより、上述の光切断曲線形状を数値データとして得る。

この計測の手順を示すフローチャートを Fig. 3 に示す。計測ゲートの位置は走査線の本数 (512 本) だけ設定が可能であるが、コンピューターで制御できる電圧値の間隔がある限度以上に細くならないこと、及び設定

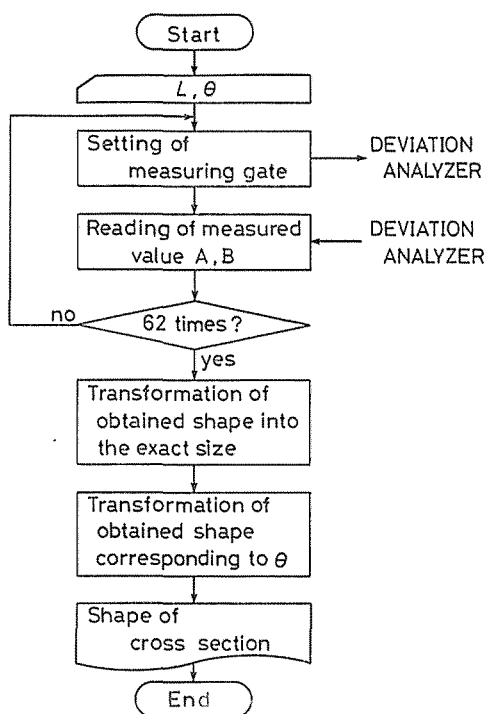


Fig. 3 Functional flow chart

数を多くすると一回の計測に要する時間が長くなること等の理由により、今回の実験では、計測ゲートの位置は画面下端から上端までの等間隔な62ヶ所に設定した。

フローチャート中、実寸への変換は、カメラ距離 (L) が変化しても得られた形状データが常に実寸で表されるように、 L と撮影倍率を考慮して行うものである。また、カメラ角度 (θ) に応じた変換は、 X 方向にひずんでいる光切断曲線から、もとの断面形状曲線を求めるためのものである。

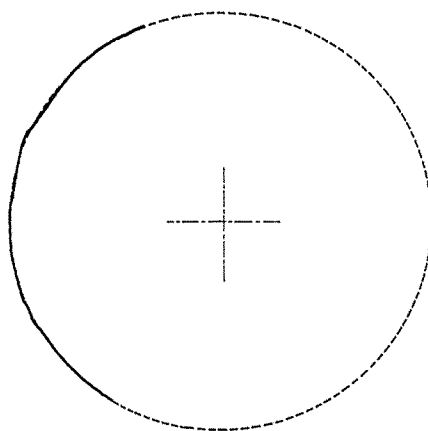
このような手順により、撮影した光切断曲線画像から断面形状を再構成し、以下の実験を行った。

3. 実 験

本システムによる計測の特徴は、原木丸太の断面が、楕円あるいは不規則な形状をしていてもその形状を把握できることにあるが、本システムによる計測の最適条件、精度等について考察するために、はじめに断面の形が単純な円筒管を用いて断面形状の計測を行い、カメラ角度やカメラ距離が計測に及ぼす影響を調べた。

3-1 実験方法及び評価の方法

実験に用いた3本の円筒管は半径がそれぞれ5.7 cm, 10.9 cm, 15.2 cmであり、その表面に白い紙を巻いてレーザー光の反射率を高めた。実験は、種々のカメラ角度、カメラ距離でこの円筒の断面形状を計測し、得られた断面曲線がもとの円筒断面 (円) にどの程度近いのか、を調べることにより行った。具体的には、得られた断面曲線 (Fig. 4 実線) 上の、上端付近、中央付近、下端付近の3点の座標値を用いて、この3点を通る円の中心座標と半径を求め (Fig. 4 点線)、この計算で求めた半径 (r) と実際の円筒の半径 (r_0) との比 (r/r_0) をとり、また円の中心から断面曲線上の各座標点までの距離の平均値と標準偏差よりその変動係数 (C. V.) を求め、断面がどの程度正確に再構成できたか、またどの程度実際の断面 (円) からそれたか、の評価手段とし



$$\begin{aligned} r &= 5.81 \text{ cm} & r_0 &= 5.73 \text{ cm} \\ r/r_0 &= 1.014 \\ \text{c.v.} &= 0.0073 \\ (L &= 170.5 \text{ cm} \quad \theta = 42.4^\circ) \end{aligned}$$

Fig. 4 An example of a contour line of a cylinder obtained from this measuring system

てこの r/r_0 及びC. V. を用いた。 r/r_0 が1に近いほど、またC. V. が小さいほど断面形状の計測が正確に行えたことになる。

なお計測の際の画像の二値化を容易にするために実験はすべて暗黒下で行った。

4. 結果及び考察

4-1 計測可能範囲

本システムにより円筒の計測を行った場合、円筒の光切断曲線像は上下端に近いほど細く暗くなり、背景との区別が付きにくくなったため、この上下端付近の形状を計測するのは困難であった。この場合計測可能な円筒面は、Fig. 4でもわかるように、半円180°のうちの150°程度であった。

4-2 カメラ角度

Fig. 5に、カメラ距離を90cm一定とし、半径5.7cmの円筒を計測した場合の半径比(r/r_0)及び変動係数(C. V.)を示す。ここでA値(光切断曲線像の左側輪郭)のみで断面曲線を求め半径を計算した場合と、B値(光切断曲線像の右側輪郭)のみで計算した場合とを別々に示した。

左図 r/r_0 のグラフより、カメラ角度が小さくなるに従い計測で求めた半径が円筒の半径からそれていくことがわかる。即ちA値から求めた半径は過小、逆にB値から求めた半径は過大となり、このA値とB値の平均値が円筒の半径に近い。また右図C. V. のグラフでは、カメラ角度20°以下で変動係数が急激に大きくなっている。これは、カメラ角度が小さい場合、撮影された光切断曲線像は左右方向に圧縮されて直線状となるため、その上下端と中央部との計測値の差が小さく、断面曲線を再構成する際にX座標値にかける係数が大きいため、結果として計測時に生じたわずかな誤差が大きく拡大されることによる。一方カメラ角度が30°以上の場合はおおむね変動係数が0.5%前後であり、十分な精度で計測が可能であると考えられる。しかし、カメラ角度を余

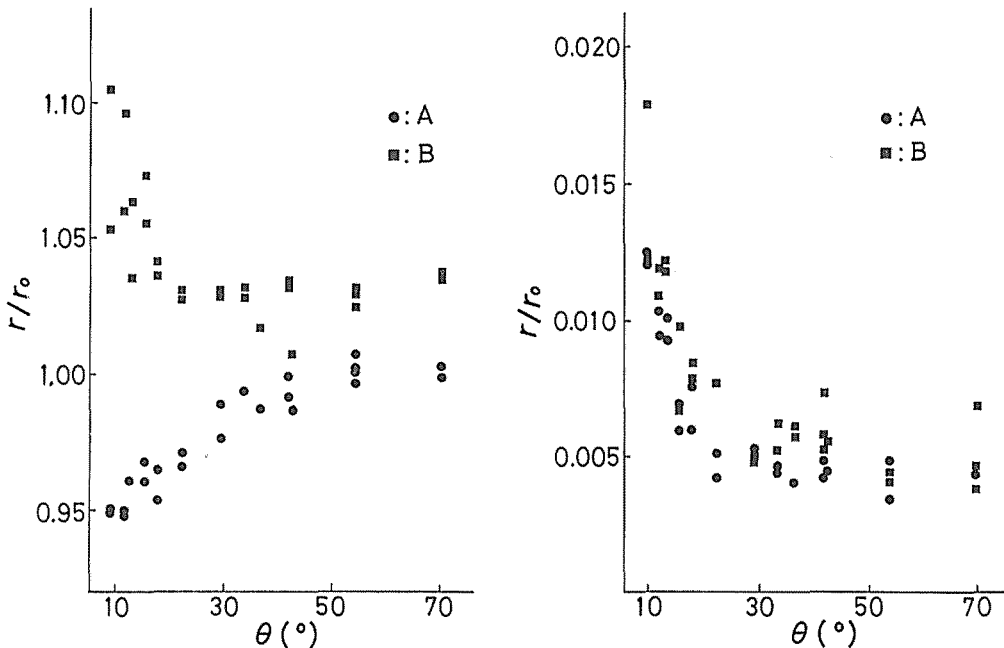


Fig. 5 Effect of camera angle (θ) on the accuracy of the measurement

り大きくするとレーザー反射光が弱くなり計測が困難となったり、後に触れるように表面に凹凸のある物体を計測する場合には、光切断曲線が途切れるなどの問題が生じる。従って計測に最適なカメラ角度はおおよそ 30° ～ 50° の範囲である。

4-3 カメラ距離

Fig. 6 は、カメラ角度 30° 、 40° 、 60° の各条件で半径5.7cmの円筒をカメラ距離を変えて計測し、半径比(r/r_0)をプロットしたものである。なお断面曲線の再構成にはA値とB値の平均値を用いた。図から明らかなようにカメラ距離が小さい時は精度よく半径が求まるが、カメラ距離が大きくなるに従い計測で求めた半径は過大となり、また同一距離における半径値のばらつきも大きくなった。この傾向は角度 60° の場合にやや顕著であり、これは距離や角度が大きくなると光切断曲線の明るさが弱くなり、背景との境界が不明瞭かつ不安定となって計測値がばらつくためだと考えられる。

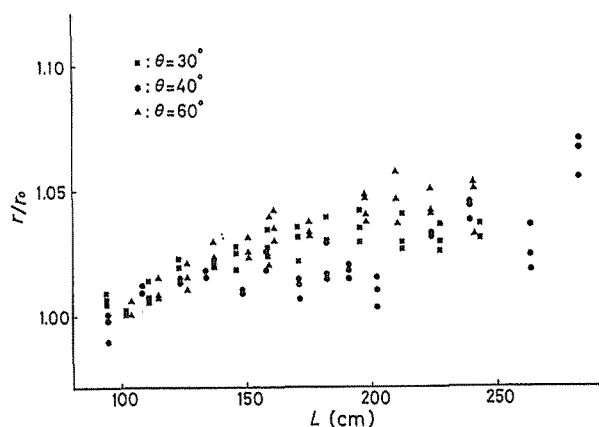


Fig. 6 Effect of camera distance (L) on the accuracy of measurement

Fig. 7 はカメラ角度を 40° に保ち、半径の異なる円筒を5段階のカメラ距離でそれぞれ12回ずつ計測した結果である。断面曲線から求めた半径比(r/r_0)の平均値と、ばらつきの目安として $\pm 2\sigma_{n-1}$ の区間とを示した。Fig. 6 の場合と同様、カメラ距離が大きくなると共に計測で求めた半径が過大となる傾向が認められ、特に小円筒においてこの傾向が顕著であった。この原因は明確ではないが、本来光切断曲線像を二値化して得た三日月状画像は、カメラ距離が変わってもその大きさのみが変化し、相似形を保つべきであるのに、実際には距離が大きくなるとレーザー反射光が弱くなり、背景との境界が不明瞭になる等の理由から相似形を保たない。これがこの誤差の原因の一つとして関係しているであろう。

また、同一のカメラ距離で計測した場合には本来同じ計測値が得られるはずであるが、実際にはFig. 7に示すように計測値がばらつく。このばらつきもカメラ距離が大きくなるに従い増大している。これは二値化した光切断曲線画像の境界のゆらぎ、及びアナライザーの計測誤差に起因すると考えられる。

以上の結果から、カメラ距離は小さいほど、また同一のカメラ距離では径の大きな円筒ほど良好に断面形状の計測ができることになる。従って実際の計測にあたっては、対象原木径に応じてカメラ距離を変化させることが最適であるが、そのためにはその都度それに応じた変換を行わねばならないわずらわしさがある。一方、カメラ距離を余裕をみて(最大原木径をあらかじめ仮定して)定めておけば測定は簡便であるが、小さい径の原木に対しては精度が低下することになる。

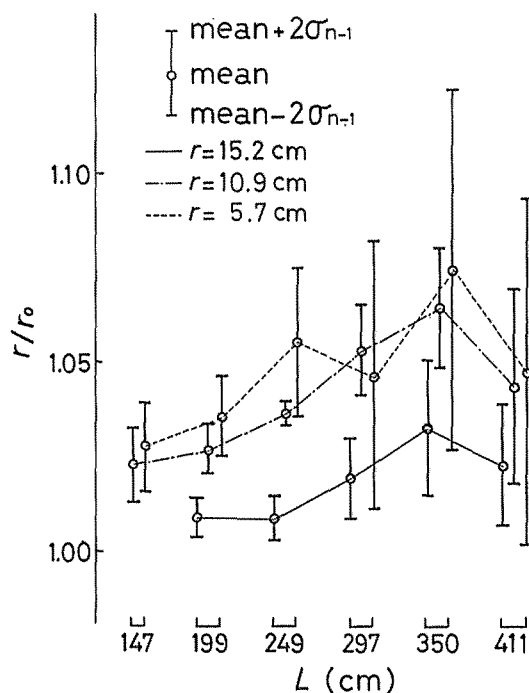


Fig. 7 Effect of camera distance (L) on the accuracy of the measurement

いずれにせよ、上述のカメラ距離の増大に従って計測で求めた半径が過大となる、という系統誤差が除去できれば、たとえばカメラ角度を 40° 、カメラ距離を 350cm に保つことにより、半径 6 cm~35cm (画面いっぱいに映る大きさである) の円筒の半径が、およそ ± 0.3 cm ($\pm 2\sigma_{n-1}$ の区間) の精度で求められるので、原木丸太の計測には十分な精度だと考えられる。

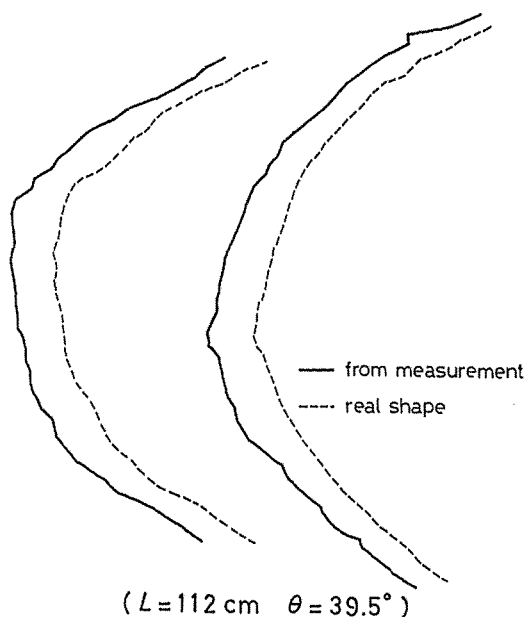


Fig. 8 Examples of measurements of logs (1)

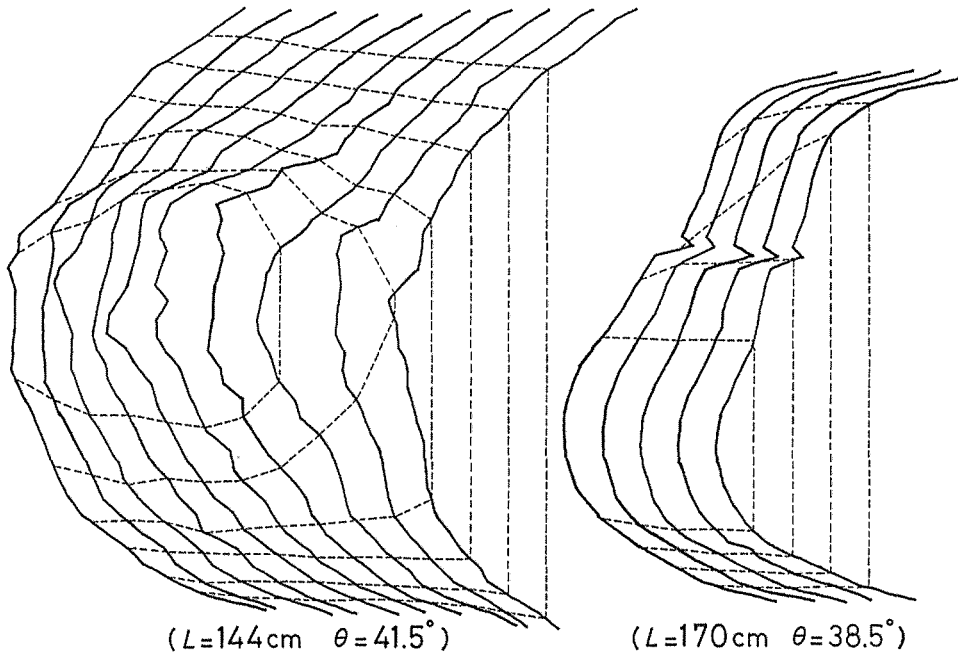


Fig. 9 Examples of measurements of logs (2)
(knot (left) and check (right))

4-4 原木丸太の計測例

次にこのシステムにより、スギ丸太の断面形状を計測した例を示す。

Fig. 8 は、樹皮がついたままの丸太を計測し得られた断面形状と、実際の丸太の輪郭の概形とを比較したもので、両者はよく一致している。また Fig. 9 は、丸太の計測位置を少しずつ移動させながら計測を繰り返したもので、左図は節、右図は割れの部分である。

このように丸太を計測する場合の問題点としては、樹皮のついた丸太の場合にはその表面が黒っぽくレーザー反射光が弱くなるため、計測がやや困難であること、及び丸太の表面には凹凸があるため、カメラ角度が大きい場合には光切断曲線が途切れ、計測できない部分が生じる、の2点であった。

5. 結 論

以上、光切断法を用いた原木丸太の断面形状計測システムについて種々の実験を行った結果、計測可能な原木の最大径はカメラ距離とレンズの広角度とで定まるから、それらとのかねあいが制限因子となるが、カメラ距離は小さいほど、またカメラ角度は $30 \sim 50^\circ$ の場合に良好に断面形状の計測ができ、また計測精度も高くなることがわかった。

但し計測環境が明るい場合にはレーザー反射光と背景との境界がはっきりせず、計測が困難でその精度も低下するため、実際に現場で原木丸太を計測する場合には、周囲をしゃ閉して暗くするか、あるいはより強く鋭い光束の得られる光源を用いることが必要である。

また、今後検討していかなければならない問題としては、

- 1, この光切断法で一方向から計測した場合丸太全周の40%の輪郭形状しか得られない。従ってどのようにして丸太全周の形状を推定、あるいは測定するか。

2. 計測ゲートの設定数を多くすれば断面形状がより詳細に計測できるが、逆に計測に要する時間が長くなる。この両者のかねあいから計測ゲートの設定数を何本とするか。
3. 水面にある丸太をこの方法でどのようにして計測するか。
4. 得られた形状データから、実際に検量や製材時に必要な情報をどのようにして得るか。等があげられる。

本研究は昭和55年度、昭和56年度、文部省科学研究費補助金（試験研究(2)）を受けて行った⁶⁾。

引 用 文 献

- 1) H. U. Mündler : Elektronische Meßeinrichtungen zur Erfassung von Länge, Durchmesser und Volumen von Rundhölzern, Holz als Roh-und Werkstoff, **29**, 456 - 461 (1971)
- 2) R.Szymani : Technology of optoelectric scanning in sawmilling, Proc. of 6th Wood Machin. Semin., Richmond, 119 - 138 (1979)
- 3) G. B. Harpole, H. Hallock : Investment Opportunity; Best Opening Face Sawing, USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 291 (1977)
- 4) 土井康弘、河辺峻：レーザー光切断法による3D物体の認識、計測自動制御学会論文集, **9**, 1, 16-21 (1973)
- 5) 杉原外 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, **15**, 81 - 140 (1980)
- 6) 杉原外 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**, 480 - 485 (1982)

Résumé

In order to obtain any cross section of logs or 3-dimensional shapes of logs, a video measuring system by means of light section method was tested, and the best condition for this system and the accuracy of this measurement were investigated.

In case of measuring a cylinder, the presentable extent of the profile of circumference is about 150° corresponding a semicircle as 180° , and the suitable conditions for accurate measurement were as follows; the angle between the laser slit light and the optical axis of TV-camera (θ in Fig. 1) was $30 \sim 50^\circ$, and the distance between the log and the camera (L in Fig.1) was the shorter the better, although the maximum measuring range of the size of log became small.

And from the attempt to measure a real log by this system, it was proved that this system can be practically applicated.