

カラマツの成長と材質

——手良沢山演習林産材の年輪構造, 収縮率, 曲げ強度——

中野達夫 朱建軍* 徳本守彦 武田孝志

信州大学農学部 森林科学科

1. はじめに

カラマツは寒冷地の主要な造林樹種として長野県、北海道、岩手県などで大面積にわたって造林が行われているが、造林の歴史が浅く、森林の取り扱い方と材質の関係が必ずしも明らかでない。そのため、カラマツ林業家の中には、暗中摸索しながら育林している例が見られる。このような林業家の育林上の指針を得るため、成長の良否と材質との関係を検討することとした。ここでは信州大学農学部附属手良沢山演習林産材カラマツ材について、年輪構造、収縮率、曲げ強さについて調べたが、その結果を報告する。なお、年輪構造の結果の一部については木材学会誌(英文)に報告した¹⁾。

2. 材料と方法

信州大学農学部手良沢山演習林から成長の異なる供試木6本を採取した(Table 1)。これらの供試木から地上高1.2m, 4.2m, 7.2m...以下3mの丸太を玉切りし、これらの丸太の元口側から年輪構造解析用、収縮率測定用、強度測定用の試験体を順に採取した。年輪構造解析用の試験体は厚さ(材軸方向)5mm, 幅(接線方向)30mm, 長さは丸太の直径(髄を含む山側と谷側の2方向)である。また、収縮率測定用及び強度測定用の試験体は、丸太の山側と谷側の2方向から、JISに定められた形状の試験体¹⁾を樹心から外側に連続して木取った。年輪

Table 1 Basic information for sample trees

Sample Tree No	Age(year)	DBH(cm)	Height(m)	Clear Length (m)
1	70	43	24.8	14.0
2	70	24	24.8	13.9
3	45	40	32.8	12.7
4	45	40	29.0	19.6
6	45	28	29.0	19.6
7	45	24	29.4	24.1

* 信州大学農学部 農学研究科森林科学専攻

構造の測定はソフトX線写真をデンストメーターで解析する方法²⁾で行った。また収縮率及び曲げ強さはJISに準じて測定した²⁾。

3. 結果と考察

本研究では、上記の供試木の概要(Table 1)の胸高直径でも明らかなように、70年生、45年生のいずれの供試木も、成長の良いものと良くないものとをそれぞれ選んでいる。これは成長の良い供試木には年輪幅の広い材が、また、成長の良くない供試木では年輪幅の狭い材がそれぞれで出現する割合が高く、広い範囲の年輪幅の材が得られるよう配慮したためである。一方、以下のとりまとめにあたっては、年輪幅を基準に年輪構造、収縮率、曲げ強さ等の材質指標との関係を検討しているが、このことにより、成長の良否に伴う材質評価が可能なものと考えたためである。

3.1 年輪構造

年輪構造解析の例として、供試木No.1, 地上高4.2m, 樹心から10年輪までの密度パターンをFig.1に、また同じ供試木, 地上高で樹心からの年輪数31~51年輪までの密度パターンをFig.2に示す。図の縦軸の単位は kg/m^3 , 横軸は長さの測定位置のプロット数で係数をかけることにより長さに換算できる。また、晩材と早材の区分は密度 550kg/m^3 で行っている。Fig.1に含まれる年輪はいわゆる未成熟材といわれる材部の年輪で、年輪幅、早材幅が広く、晩材幅が狭くかつ早材から晩材への密度の移行が緩やかなものがほとんどである。これに対しFig.2に含まれる年輪は成熟材といわれる材部の年輪で、年輪幅、早材幅が狭く、晩材幅が比較的広くかつ早材から晩材への密度の移行が急激なものがほとんどである。Fig.2の年輪にみられる密度パターンが成熟したカラマツ材本来のものと考えられる。

各供試木の胸高円盤について、一年輪の平均密度の樹心からの年輪数に伴う変動をFig.3に示す。供試木によって明らかでない場合もあるが、平均密度は樹心から15~20年までは増加する傾向がみられる。

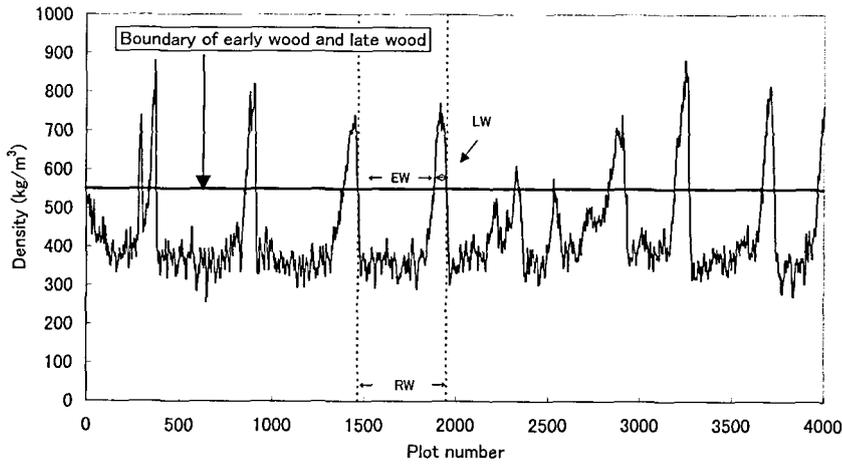


Fig.1. The example of density pattern for annual ring (1-10 rings from pith)
(Remarks)
LW: late wood width, EW: early wood width, RW: ring width

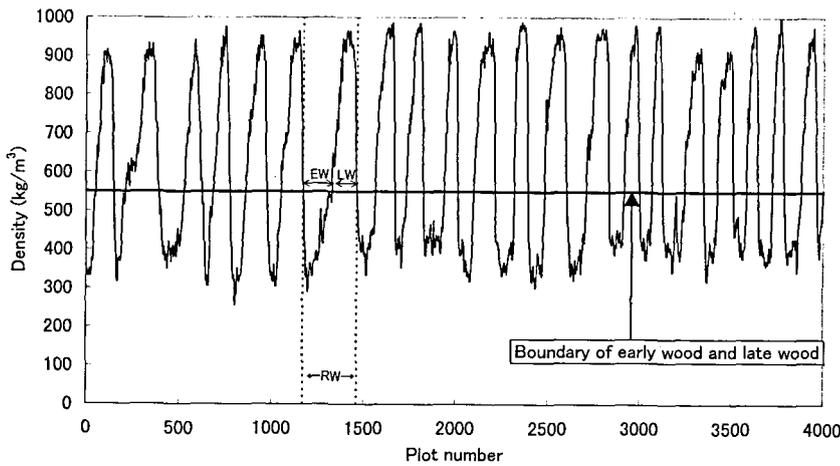


Fig.2. The example of density pattern for annual ring (31-51 rings from pith)
(Remarks)
LW: late wood width, EW: early wood width, RW: ring width

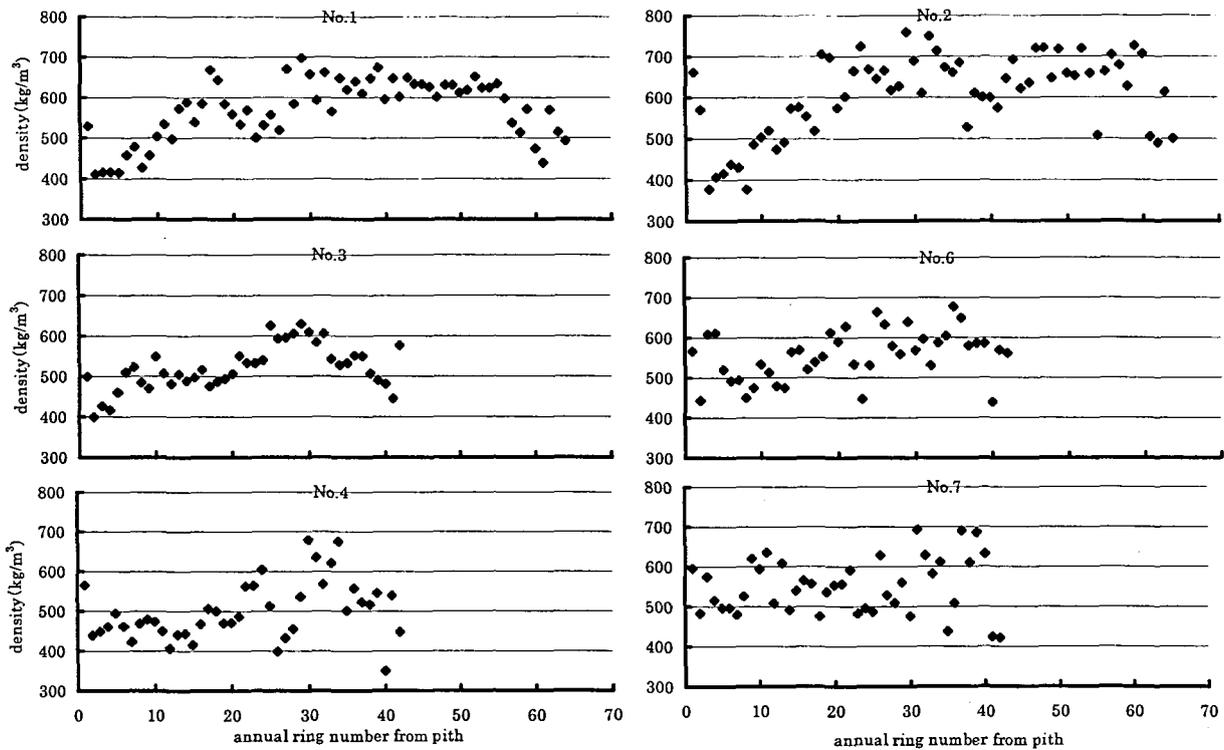


Fig.3. The density variation with annual ring number from pith

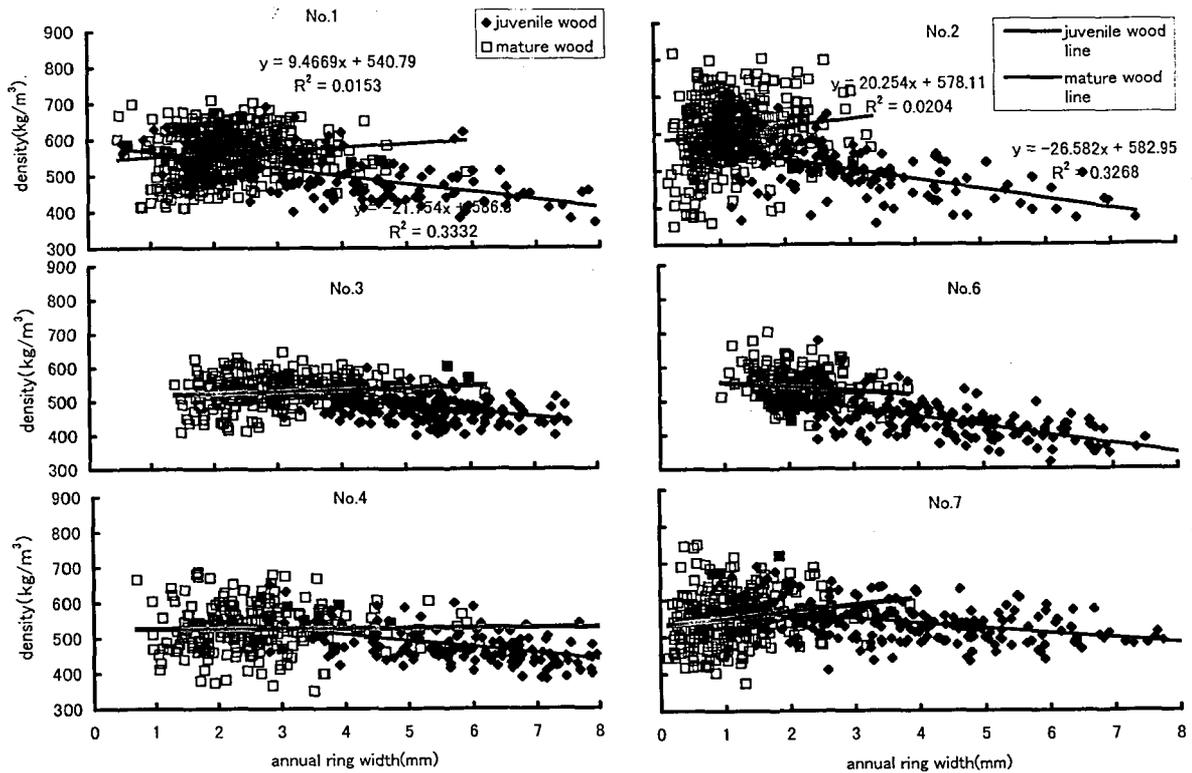


Fig.4. Relation between annual ring width and density

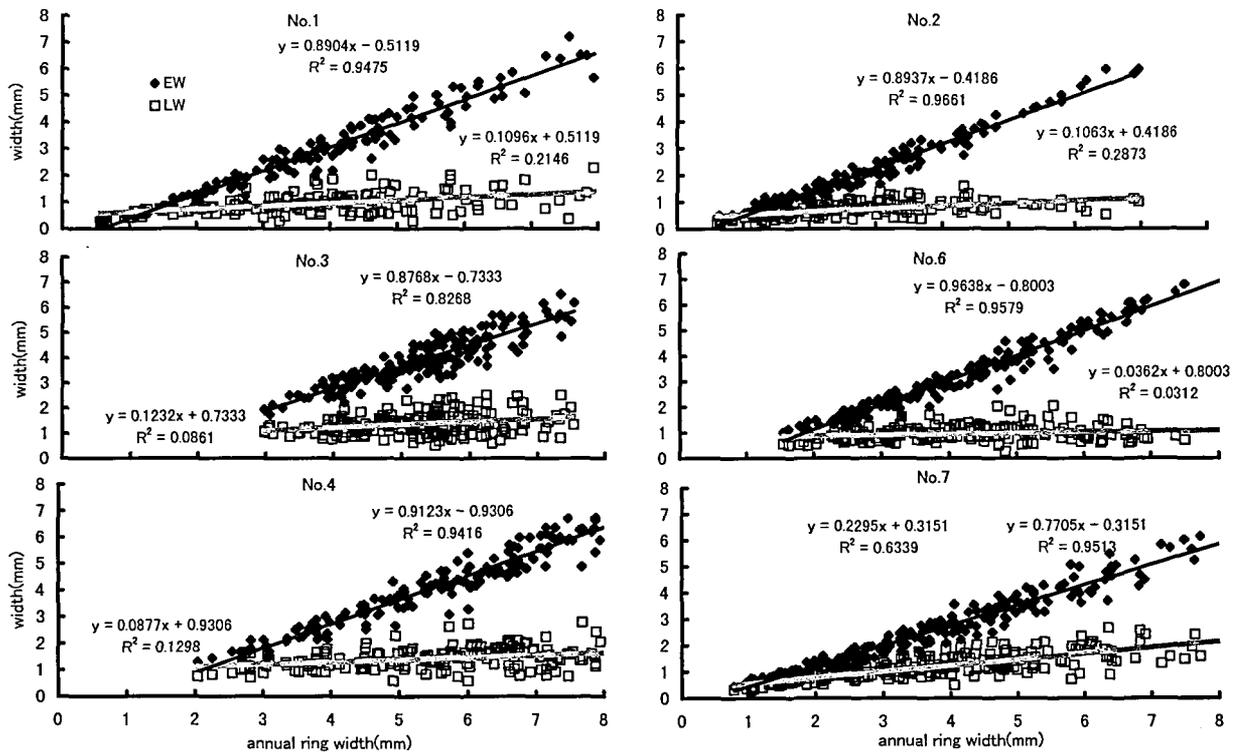


Fig.5. Relation between annual ring width and earlywood width, latewood width in juvenile wood

カラマツの造林木において未成熟材が樹心から何年輪目で成熟材に移行するかについては、仮道管長について多くの測定が行われているが、3000本/ha植栽の場合、おおよそ15年と考えられている⁹⁾。そこで、試料を樹心から15年輪までとそれより外側の年

輪とで、未成熟材部と成熟材部に便宜的に区分し、年輪幅と密度、晩材率などの関係を調べることとした。

年輪の平均密度と年輪幅との関係を未成熟材部と成熟材部に分けて Fig.4 に示す。これによると、未

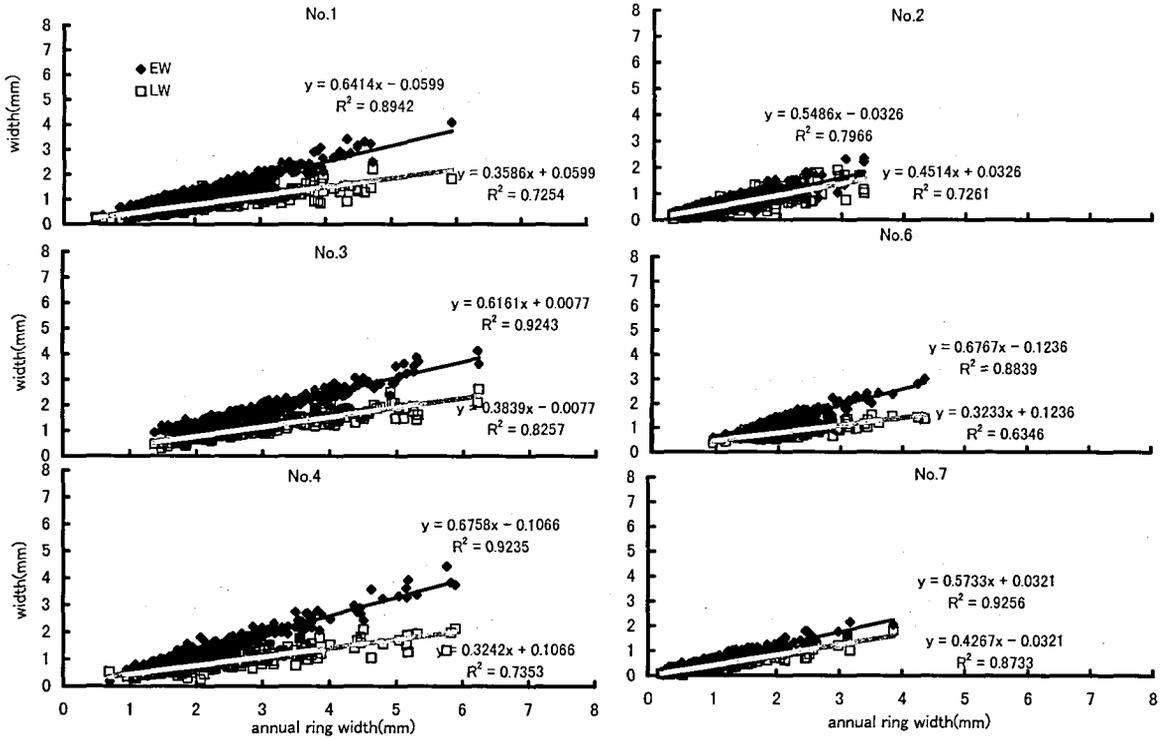


Fig.6. Relation between annual ring width and earlywood width, latewood width in mature wood

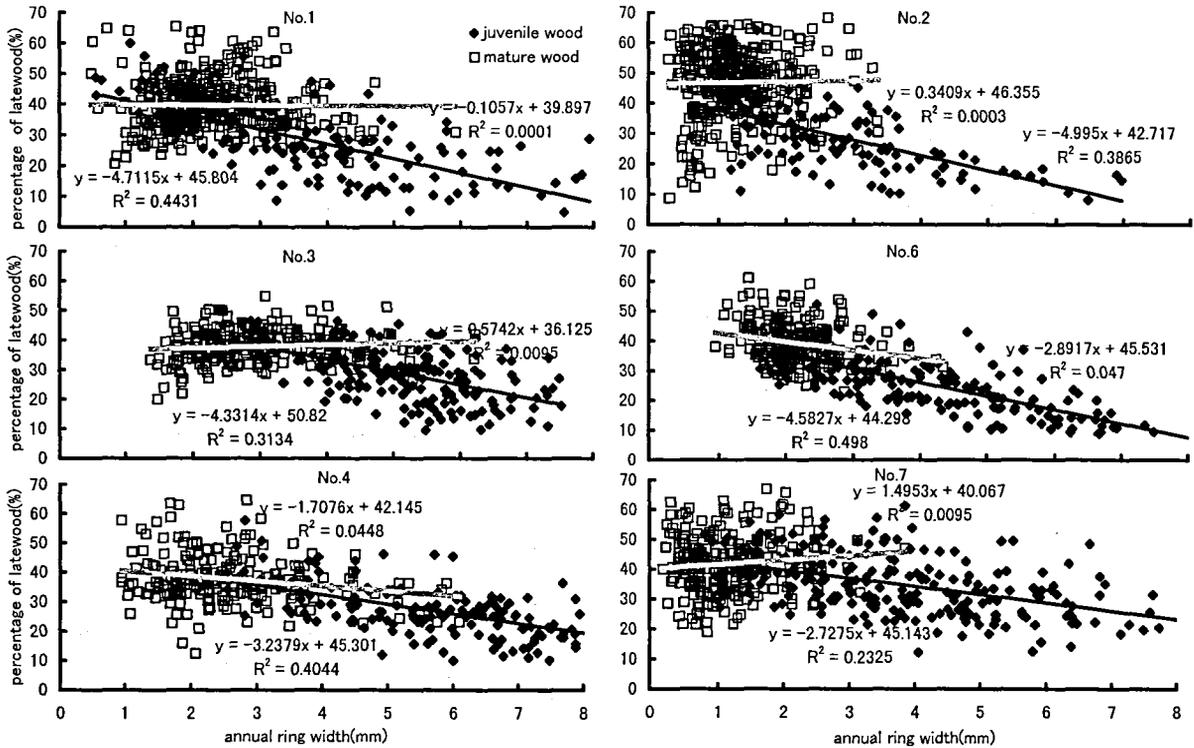


Fig.7. Relation between annual ring width and percentage of latewood

成熟材部ではいずれの供試木でも年輪幅の増加に伴って密度は減少する傾向が認められるが、成熟材部では年輪幅は未成熟材ほど広くはないが、ほとんどの供試木で年輪幅が増加しても密度は減少しなかった。

次に、年輪幅と早、晩材幅との関係を未成熟材については Fig.5 に、また成熟材については Fig.6 に示す。これらによると、早材幅は両材部とも年輪幅の増加に伴って増加するが、増加の割合は成熟材より未成熟材で大きかった。これに対し、晩材幅は未

成熟材部では年輪幅の増加に伴いほとんど変化しなかったが、成熟材部ではかなり増加した。このため晩材率は未成熟材部では年輪幅の増加に伴い減少するが、成熟材部ではほとんど減少しなかった (Fig. 7)。一年輪内の材の最大密度及び最小密度は年輪幅の増加に伴いほとんど変化せず一定値を示すことから (Fig.1,2), 上記両材部の密度が、年輪幅の変化に伴って生ずる傾向的变化は、晩材形成の差異に基づくことが明らかになった。また、晩材率と平均密度との間には顕著な相関があることは良く知られており、前述の密度と年輪幅との関係 (Fig.4) と晩材率と年輪幅との関係 (Fig.7) が極めて類似していることによっても両者の関係が緊密であること

が明らかである。

以上の結果、年輪幅に伴う密度の差異について次のことがいえる。①未成熟材の早材幅は年輪幅の増加に伴い増加するが、晩材幅は増加せずほぼ一定の値を示し、この結果、晩材率は年輪幅の増加に伴い減少する。一方、②成熟材では、早、晩材幅とも年輪幅の増加に伴い増加し、この結果、晩材率は年輪幅の増加に伴い、ほぼ一定かやや減少の傾向を示す。③晩材率と密度との関連性は大きく、晩材率の変動に伴って密度も変動していく。この結果、密度は未成熟材では年輪幅の増加とともに減少するが、成熟材では年輪幅の増加に伴いほぼ一定かやや減少する。

3.2 収縮率

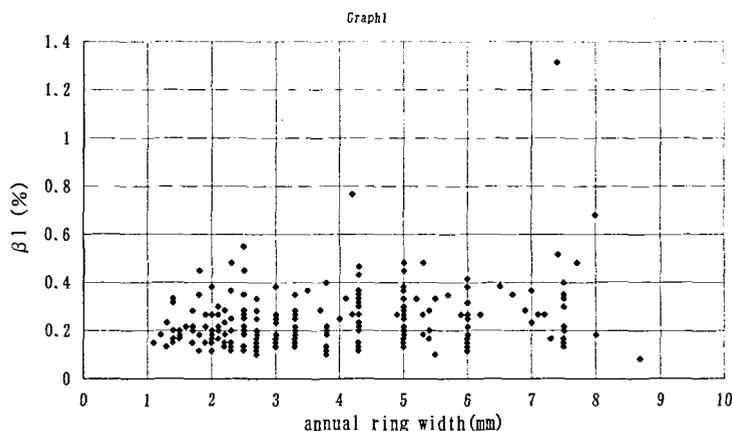


Fig.8. Relation between annual ring width and longitudinal shrinkage (whole samples)

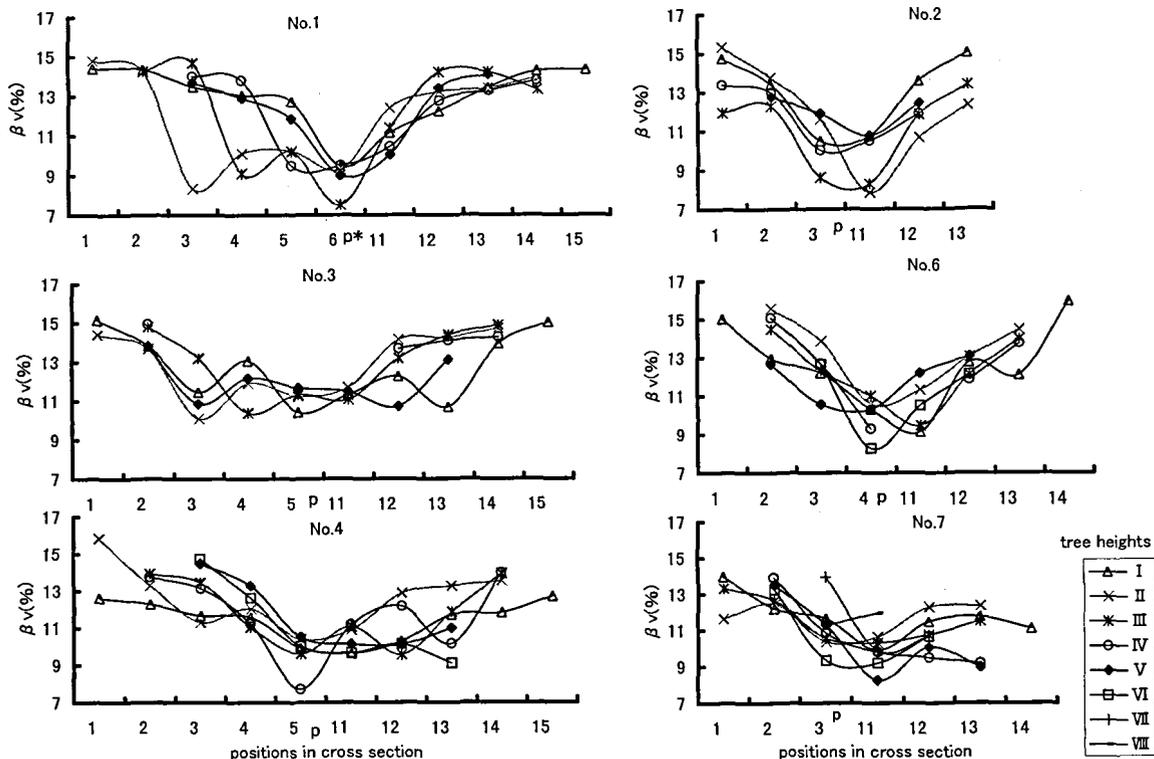


Fig.9. The distribution of total volumetric shrinkage in the bole

*p:pith

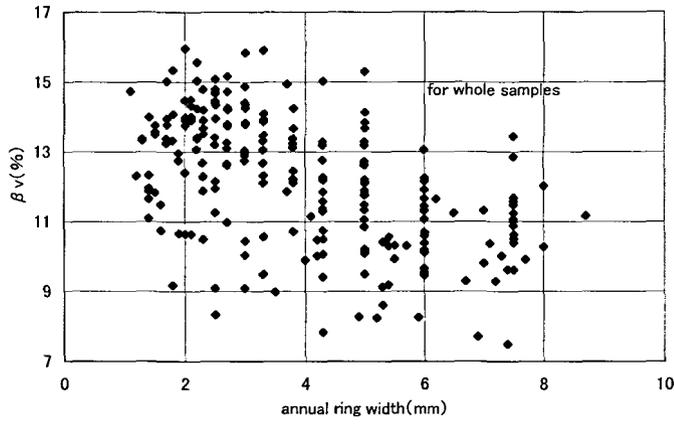


Fig.10. Relation between annual ring width and volumetric shrinkage (β_v)

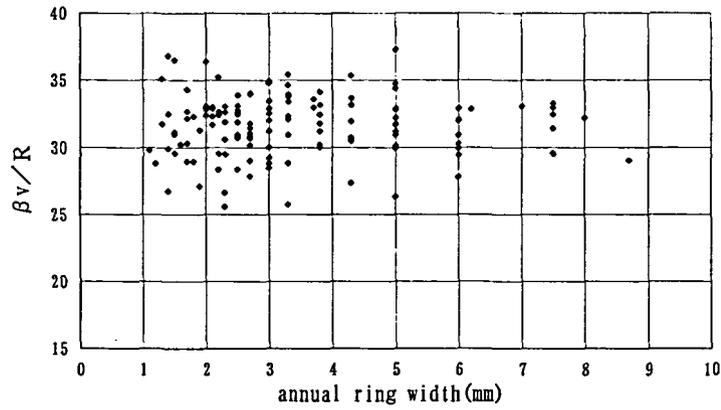
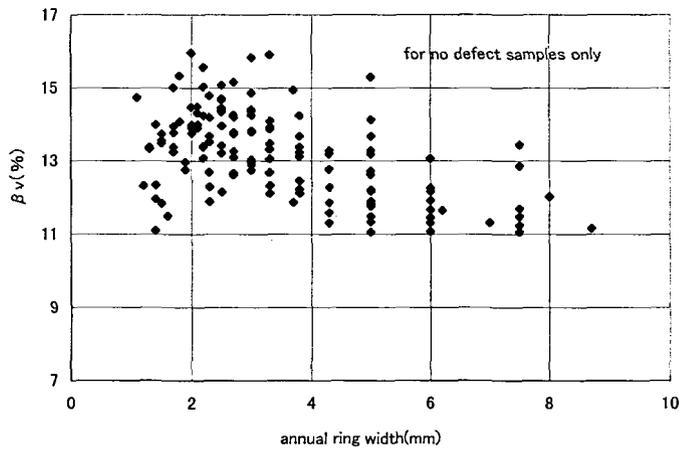


Fig.11. Relation between annual ring width and relative volumetric shrinkage (β_v/R)

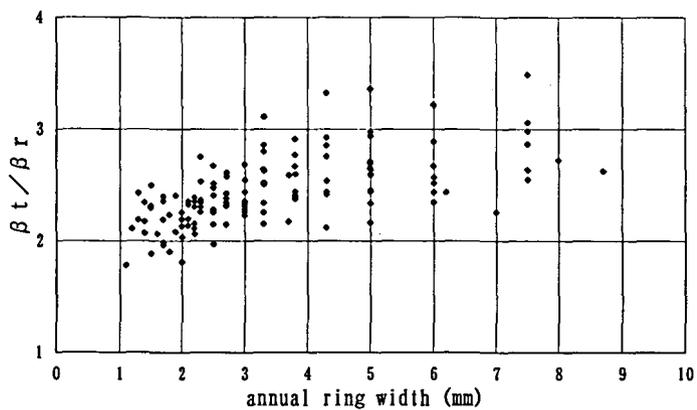


Fig.12. Relation between annual ring width and transverse anisotropic shrinkage (β_t/β_r)

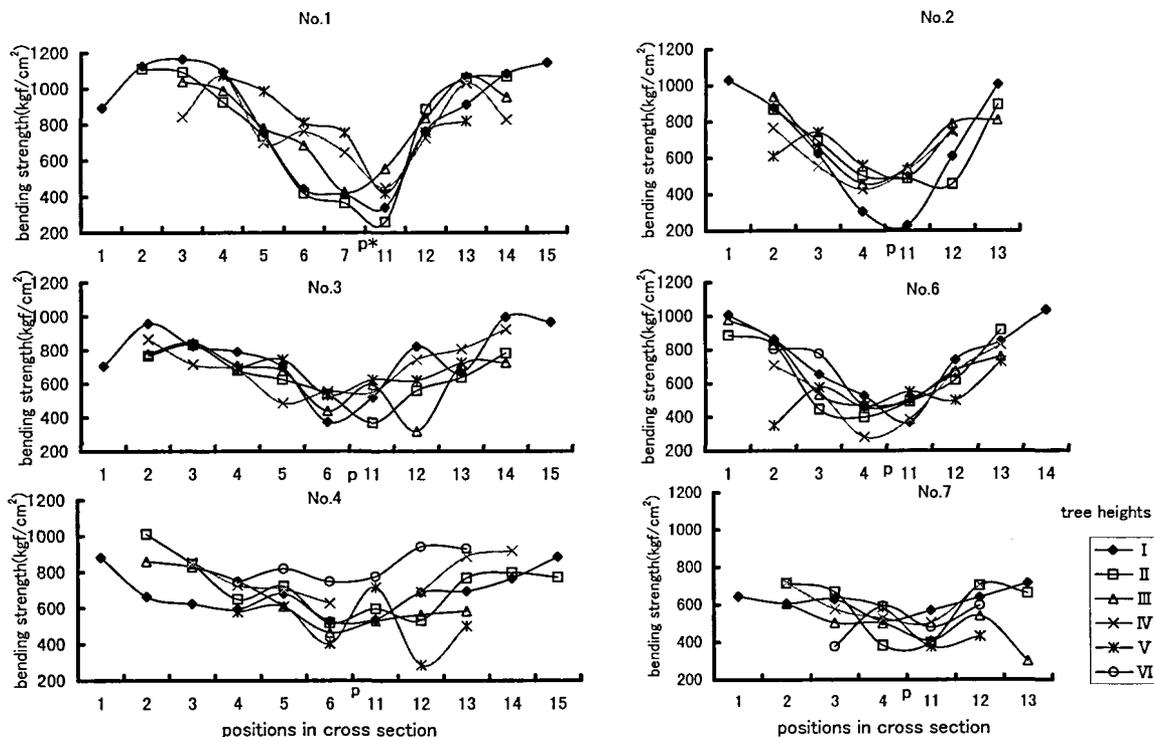


Fig.13. The distribution of bending strength in the bole

*p:pith

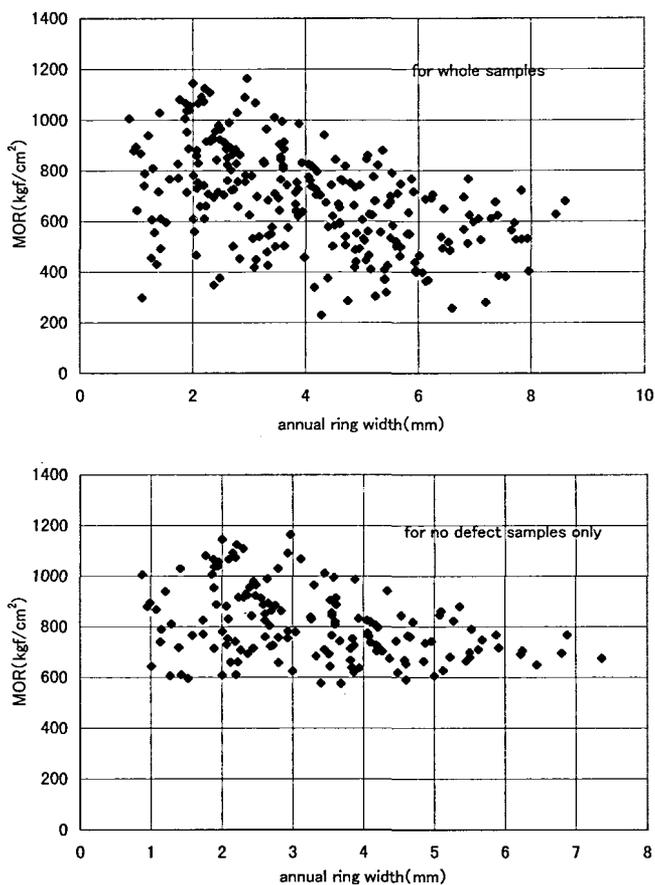


Fig.14. Relation between annual ring width and modulus of rupture (MOR)

全試料について求めた繊維方向の収縮率 (β_1) は0.08~1.31%で著しい変動幅を示す。この β_1 が0.3%以上を示すものについて見ると、あての年輪を含んでいたり、節の影響で繊維が蛇行している場合などの欠点をともなうほか、樹心に近い材であった。また β_1 と年輪幅との関係によると (Fig.8), β_1 が0.3%以上を示すものは年輪幅に関係なく出現していることがわかる。また、全試料について求めた容積収縮率 (β_v) は7.14~15.93%の範囲で β_1 と同様に著しい変動幅を示す。 β_v の樹幹内分布を Fig.9 に示したが、 β_v が小さい値を示すものは樹心部のほか供試木や地上高によっては外側にも出現している。一般に β_v が小さい値を示すものは樹心部の材のほかあてなどの欠点を含む材である。従って、 β_v が11%未満のものは未成熟材か何らかの欠点を含むものと考えた。これらの結果から、各種収縮率と年輪幅との関係を検討するにあたっては、全試料と β_1 が0.3%以上及び β_v が11%未満に該当する試験体は除外した無欠点試料とについて行うこととした。

年輪幅と容積収縮率との関係を全試料と無欠点試料について Fig.10 に示す。これによると、無欠点試料の容積収縮率は年輪幅の増加に伴い、著しい変動を伴いながら減少する傾向を示す。

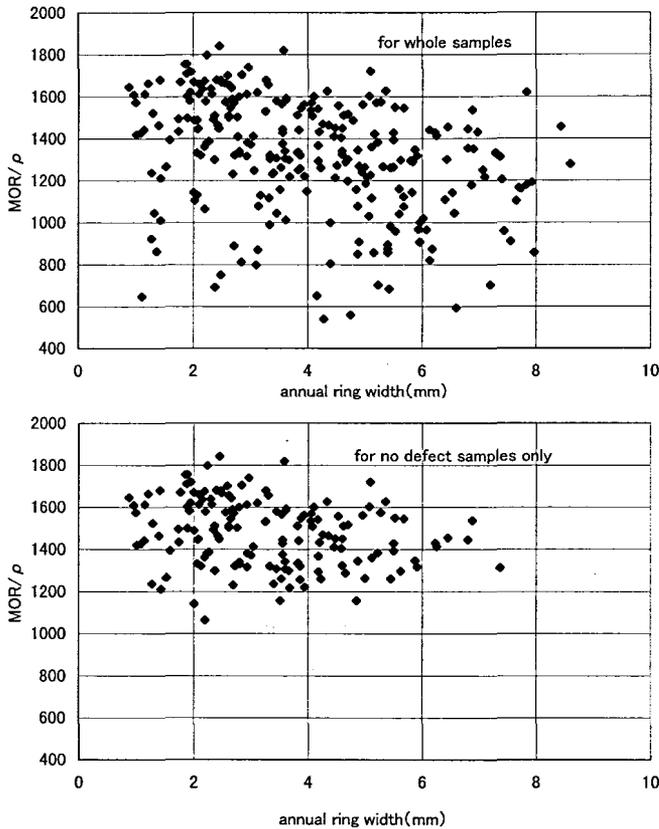


Fig.15. Relation between annual ring width and MOR/ρ

これに対し無欠点試料の容積収縮率は年輪幅 2～4 mmの範囲で最も大きい値を示し、この範囲より年輪幅が広がっても狭くなくてもやや減少する傾向を示す。次に、無欠点材について、年輪幅と比容積収縮率（容積収縮率（ βv ）と容積密度（ R ）との比で、容積収縮率に対する密度の影響をなくしている）の関係を Fig.11 に示す。これによると、 $\beta v / R$ は年輪幅にかかわらずほぼ一定の値を示す。更に、無欠点材について、年輪幅と収縮異方度（接線方向（ βt ）と半径方向（ βr ）の収縮率の比で乾燥に伴う反りや割れの指標になる）との関係を Fig.12 に示す。これによると $\beta t / \beta r$ は年輪幅の増加にとともに年輪幅約 3 mmまでやや増加し、それ以上の年輪幅ではほぼ一定の傾向が認められる。

以上の結果、年輪幅に伴う収縮性能の差異について以下のことがいえる。

- ①繊維方向収縮率は0.3%以上の大きな値を示す未成熟材やあて材などの欠点材を除けば年輪幅に関わりなくほぼ一定の値を示す。
- ②容積収縮率は本質的には密度との関連性が大きく、密度の変動に従って容積収縮率も変動していく。その結果比容積収縮率は年輪幅に関係なく一定の値を示す。
- ③乾燥により生じる反りや割れの指標となる収縮異方度は年輪幅

3 mm以下でやや小さくなる傾向を示す。

3.3 曲げ強さ

6本の供試木について求めた曲げ強さ（ δb ）の樹幹内分布を Fig.13 に示す。これによると、曲げ強さは外周部に比べ樹心部周辺で著しく低いほか、樹心部周辺以外でもかなり低い値を示すものがあるなど、著しい変動を示す。これらの試験片について破壊形を調べると、樹心部周辺の未成熟材部は脆性破壊し、分離してしまうもの（Photo.－1）がほとんどであり、また、外周部の成熟材部でも節や繊維の傾斜などの影響で目切れして分離してしまうもの（Photo.－2）が見られる。そこで、全試料を脆性破壊し分離しているもの及び目切れして分離しているものと正常な破壊形のもの（Photo.－3）とに区分し、曲げ強さと年輪幅との関係は全試料と正常な破壊形のものについて検討することとした。

年輪幅と曲げ強さとの関係を全試料と正常な破壊形の試料について、Fig.14 に示す。これによると、全試料についての曲げ強さは著しい変動幅を持ちながらも年輪幅の増加に伴いやや減少する傾向を示す。また正常な破壊形の試料についての曲げ強さは年輪幅 2～3 mmの範囲で高い値を示し、これより年輪幅が広がってもまた狭くなくてもやや低下する傾向を示す。

次に、年輪幅と比曲げ強さ（曲げ強さを密度で除した値、 $\delta b / \rho$ ）との関係を全試料と正常な破壊形の試料について、Fig.15 に示す。これによると、全試料についての比曲げ強さは著しい変動幅を持つが、年輪幅が増加してもほぼ一定の傾向を示す。また正常な破壊形の試料についての比曲げ強さは全試料に比べ変動幅が小さくなり、年輪幅に関わりなくほぼ一定の値を示す。

以上の結果、年輪幅に伴う曲げ強さの差異について以下のことがいえる。

- ①曲げ強さは、主として未成熟材部にみられる脆性破壊して分離している試料や、旋回木理や節の影響でみられる目切れして分離している試料を除けば、年輪幅 2～3 mmの範囲で高い値を示し、これより年輪幅が広がってもまた狭くなくてもやや低下する傾向を示す。
- ②曲げ強さは本質的には密度との関連性が大きく、密度の変動に従って曲げ強さも変動していく。その結果、比曲げ強さは年輪幅に関係なくほぼ一定の値を示す。

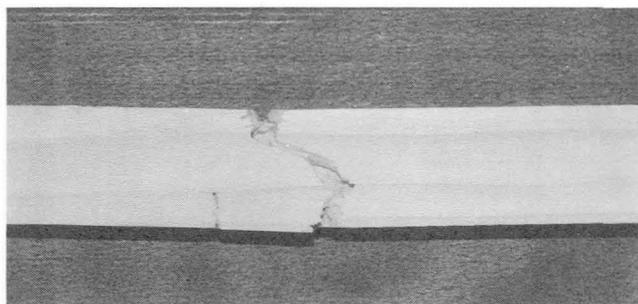


Photo 1 脆性破壊 Brittle failure

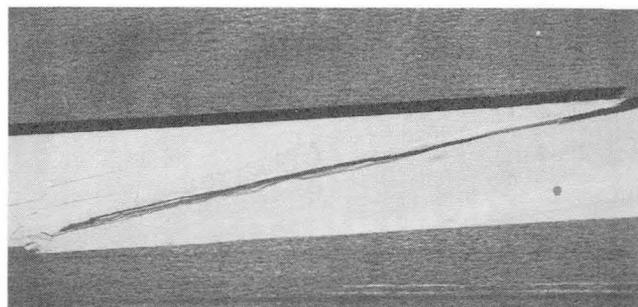


Photo 2 目切れ破壊 Crossgrain failure

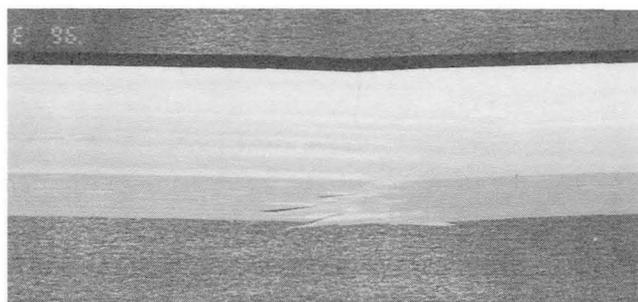


Photo 3 正常破壊 Normal failure

4. むすび

現在の施業法では、カラマツ造林木は初期成長が著しく、従って年輪幅も著しく広いが、その後年々狭くなっていく。これに対し晩材幅は成長初期の未成熟材部ではほぼ一定で、その後成熟材部では年輪幅に比例した広さになる。この結果晩材率は初め著しく小さく、その後年々大きくなり、15年程度でほぼ一定になる。このようなカラマツの成長習性から、未成熟材で認められるような年輪幅の増加に伴う晩材率の低下が、成熟材ではさほど認められないことになる。実験の結果も、成熟材部では密度、収縮率、曲げ強さとも、年輪幅が増加しても著しい低下は認められない。一般の林地から得られるカラマツの成熟材の年輪幅は未成熟材のように広くなく、広いものでもせいぜい4、5mm程度である。この程度までなら成長を促進しても材質的な低下はさほど大きくなることが予想される。

ここで行った結果は一カ所に育ったわずか6本の供試木についてのものであり、より確かな結果を得るためには今後より多くの産地材について検討する必要がある。また、本実験はいわゆる基礎材質について行ったものであるが、カラマツ材がより高価値材として認められるためには、所定の寸法の材が樹心部の低質な材部を避けて採材できることや、その材部に節が少ないことなどが要求されよう。これらの点についてもさらに検討を加える必要がある。

文 献

- 1) Zhu J, Nakano T etc: Effect of growth on wood properties for Japanese larch: Differences of annual ring structure between corewood and outerwood, J Wood Sci44: 392-396 (1998)
- 2) JIS Z 2101: 木材の試験方法, 日本規格協会 (1994)
- 3) 太田貞明: 軟X線・デンストメーターによる木材密度の測定, 木材工業, 276 (1978)
- 4) 塩倉高義: 針葉樹幹材における未成熟材の区分とその範囲, 木材学会誌, 28,2 (1982)
- 5) 重松頼生: カラマツ造林木の材質, とくに生長と関連して (I) -カラマツ造林木の材質形成-, 木材工業, 45,10 (1990)
- 6) 中川伸策: 産地別試験地におけるカラマツの基礎材質について, 林試研報, 148 (1963)
- 7) 小泉章夫ほか: カラマツ間伐材の力学的性質, 北大農演報, 44,1 (1987)
- 8) 木材強度・木質構造研究会編: The ★カラマツ—育林から建築まで—日本木材学会木材強度・木質構造研究会秋季シンポジウム資料 (1989)
- 9) 長野営林局: カラマツの材質に関する調査報告書 I (1982)
- 10) 加納孟: カラマツ材の材質の特徴とその利用上の問題点, 林業技術, 250 (1988)
- 11) 半沢道郎, 沢田稔共編: カラマツ材の性質と利用, 北方林業叢書41 (1969)
- 12) 古賀伸也ほか: カラマツの容積密度数と仮導管長に及ぼす間伐の影響, 木材学会誌, 42,6 (1996)

**The Growth and Wood Quality of Karamatsu
Annual Ring Structure, Shrinkage, and Bending Strength of
Karamatsu From Terasawayama University Forest**

Tatsuo NAKANO, Jianjun ZHU, Morihiko TOKUMOTO, Takashi TAKEDA

Summary

Based on current forest management practices, planting trees of karamatsu grow significantly fast in early stages, therefore, annual rings are extremely wide in early growth period, and after that, they are getting narrow gradually. Latewood width is constant in juvenile wood, and gets wide proportionally with ring width in mature wood. As the result, the percentage of latewood is very low at first, and becomes higher and higher gradually after that, and reaches stable at about 15 years. For this reason, the reduction of percentage of latewood with the increase of ring width appeared in juvenile wood can not be found in mature wood. From experimental results, it also can be found that the significant reduction of wood density, shrinkage, and bending strength with the increase of ring width did not appear in mature wood. The ring width of mature wood obtained from usual karamatsu plantation is not as wide as the ring width of juvenile wood, and even for the wider one, it is about 4~5 mm. Under this condition, it can be sure that increasing the growth rate can not decrease wood quality largely.

The results presented here are only from 6 sample trees of the same site. In order to obtain more reliable results, it is necessary to study the wood from various districts. Moreover, the research here is only concerned to basic wood quality, and in order to be recognized as valuable wood for karamatsu, the subject of wood cutting, such as avoiding the low quality wood near pith according to demanded size as well as keeping less knots, are also needed to be further studied.