

# 精英樹の強度等特性に関する研究

1995年度～1997年度（県単）

豊嶋 勲 浅岡郁雄<sup>\*1</sup> 近藤和幸 大林育志  
池田 敦<sup>\*2</sup> 柳田浩二 原田直勝 仲田健夫

## 要 旨

25年生のスギ精英樹について足助町、鳳来町の次代検定林で14クローン、在来実生、計15系統について林分調査、円盤調査、丸太調査、無欠点小試験体の曲げ試験を行った。

- ・円盤調査による平均年輪幅測定では、6～10年輪を含む部分を除き、針葉樹構造用製材のJAS規格1級の品質基準（6mm以下）を満たす製材品が得られると考えられた。
- ・丸太の動的ヤング率は4.7～8.7GPaで平均値7.3GPaであったが、鳳来町塩瀬検定林は足助町川面検定林よりも高い値となる傾向があった。
- ・無欠点小試験体の曲げ試験結果では、分散分析によると、曲げヤング率、曲げ強度ともに1%水準で有意な差が見られ、クローンすべてにおいて在来実生種に比して変動係数は小さかった。
- ・曲げヤング率は、平均値で在来実生が最も高かったが、クローンでは東加茂2号が最も高く生長量、通直性にも優れた結果が得られた。

## I. 目的

県内には精英樹の選抜を目的として数カ所に次代検定林が設定されている。25年生のスギを用いて強度等の材質の把握を目的に試験を行った。

精英樹はこれまで生長量、通直性、真円性など外観的な要因により選抜が行われてきており、県内の精英樹はそれらの観点から東加茂3号（ハブスギ）、北設楽2号（キヨサクスギ）の2種がみがき丸太生産品種として推奨されている。しかし、今後スギ材は集成材のラミナなど建築部材として梁、柱に利用されることも多くなることが予想され、精英樹の持つ強度的な特性についても把握し、

強度性能の面で安定したバラツキの少ない性質の選抜も必要であると考えられる。そこで愛知県では平成9年度より林木育種センターの指導により「次代検定林の材質調査」が実施されている。本研究はそれらの調査結果に無欠点小試験体による強度性能試験結果を加えて報告した。

## II. 試料と方法

### 1. 調査林分の概況

調査林分は県内の足助町川面と鳳来町塩瀬のスギ精英樹次代検定林であり、その所在地を図-1に示した。調査地の立地条件は表-1に示したよ

Isao Toyoshima, Ikuo Asaoka, Kazuyuki Kondo, Yasuyuki Obayashi, Atsushi Ikeda, Koji Yanagida

Naokatsu Harada, Keno Nakata : Strength quality of planted plus tree \*1 現新城事務所 \*2 現足助事務所

表-1 検定林の概況

検定林	所在地	標高(m)	方位	傾斜(°)	立木密度(本/ha)	土壌型
関愛1号	東加茂郡足助町川面	500	S	30	—	B <sub>D</sub>
関愛5号	南設楽郡鳳来町塩瀬	170	NNW	37	2300	B <sub>D</sub>

うに、両検定林ともに土壌型はB<sub>D</sub>で、下層植生はアオキ、キジノオシダ、フユイチゴ、ムラサキシキブが優占していた。

検定林はA, B, Cの反復ブロックが設けられており、各クローンごとに列状に植栽されている。立木密度は鳳来町塩瀬で2300本/ha、足助町川面では伐採時の立木密度は未測定である。



図-1 調査検定林の所在地

2. 試料

供試したスギクローンは、北設楽1(鳳来町塩瀬検定林のみ)、2、3、5、7、9、10号、東加茂2、3、10号、南設楽6、7号、額田3号(足助町検定林のみ)の14種であった。それらに実生在来1系統を加えて調査・試験した。試験用の伐倒木本数は足助川面検定林で14本、鳳来町塩瀬検定林で126本であった。また試料木について胸高直径、樹高、枝下高、根元曲がり、幹曲がりについて毎木調査した結果を表-2に示した。なお根本曲がり、幹曲がりにつ

いては1、3、5の3段階の指数を用いて評価し、数字の大きいものほど優良であることを表している。

表-2 試料木の形質

検定林	精英樹クローン	胸高直径(cm)	樹高(m)	枝下高(m)	根元曲り(指数)	幹曲り(指数)
関愛1号 足助町川面	北設楽2号	18.0	13.0	7.0	5.0	5.0
	北設楽3号	18.3	13.3	6.7	5.0	4.8
	北設楽5号	16.8	12.6	6.8	5.0	4.9
	北設楽6号	15.2	11.4	5.6	5.0	5.0
	北設楽7号	13.9	10.6	5.2	4.9	4.9
	北設楽9号	18.0	13.4	7.2	5.0	5.0
	北設楽10号	14.1	11.2	6.2	4.9	5.0
	東加茂2号	19.8	14.4	7.7	5.0	5.0
	東加茂3号	21.1	15.5	7.8	5.0	5.0
	東加茂10号	19.2	13.3	6.7	5.0	5.0
	南設楽6号	16.8	12.8	6.7	5.0	4.9
	南設楽7号	17.9	13.0	6.8	5.0	4.9
	額田3号	19.6	13.8	7.2	5.0	5.0
	在来	21.9	14.5	7.5	4.7	4.9
平均値		17.9	13.1	6.8	5.0	4.9
変動係数		13.4	10.2	10.8	1.7	1.1
関愛5号 鳳来町塩瀬	北設楽1号	14.9	15.0	9.3	4.3	5.0
	北設楽2号	16.1	15.9	8.0	4.8	5.0
	北設楽3号	13.9	15.3	8.1	5.0	5.0
	北設楽5号	13.5	13.9	8.0	3.8	5.0
	北設楽6号	13.4	14.2	9.1	4.9	5.0
	北設楽7号	16.5	17.9	10.2	4.8	5.0
	北設楽9号	14.7	14.8	9.0	4.9	5.0
	北設楽10号	14.6	15.1	9.6	5.0	5.0
	東加茂2号	16.4	17.1	10.2	4.6	5.0
	東加茂3号	17.6	16.7	8.8	5.0	5.0
	東加茂10号	14.2	15.2	9.4	4.2	5.0
	南設楽6号	15.7	15.8	8.7	4.0	4.9
	南設楽7号	16.0	16.1	9.5	4.4	4.8
	在来	17.0	17.0	10.1	4.8	4.6
平均値		15.4	15.8	9.1	4.6	4.9
変動係数		8.7	7.2	8.4	8.4	2.3

3. 円盤調査

地際から1m離して1.5mの丸太を採材し、その元口から10~20cmの部位における10cm厚の円盤を採取した。平均年輪幅は伐採直後の生材状態で円盤の樹心を中心に短径方向、長径方向に直行線を引き、欠点のない2方向について樹心から5年輪ごとに測定を行った。

4. 丸太の調査

1.5m長の丸太を生材状態で元口、末口直径、重量を測定した後、動的ヤング率を縦振動法により測定した。

計算式は  $Ef=4l^2f^2w \times 10^{-7}/V$  [GPa] である。

( $l$  [cm] : 長さ、 $f$  [Hz] : 周波数、 $w$  [kgf] : 重量、 $V$  [cm<sup>3</sup>] : 体積)

5. 無欠点小試験体による曲げ試験

打撃法によるヤング率測定を行った1.2mの丸太の辺材部から図-2のように角材を採取し含水率約15%になるように調湿した後、平均年輪幅と全乾法による密度を測定した。試験体は2×2×32cmの無節で2方柱となるように作成後、JISの試験法に従って曲げ試験を行った。加重方式は中央集中加重で、加重面は柢目面とした。試験体数は足助町川面検定林176本、鳳来町塩瀬検定林838本で、合計1014本であった。

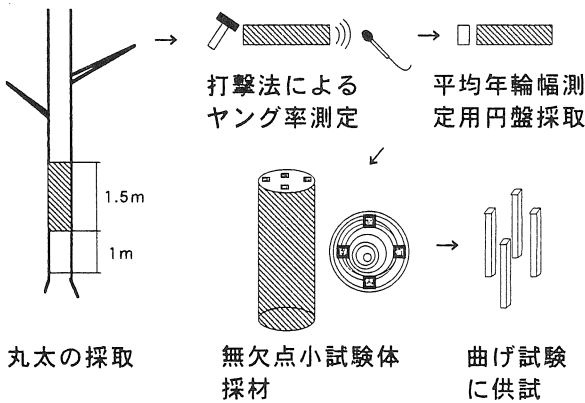


図-2 供試材料の採取

III. 結果と考察

1. 円盤調査

5年輪ごとの平均年輪幅の測定結果を表-3に示した。足助町川面検定林では平均年輪幅の出現範囲は1.0~9.0mmで、平均値は0~5年輪で4.8mm、6~10年輪で6.1mm、11~15年輪で4.3mm、16~20年輪で3.3mm、21~年輪で2.6mm、全体で4.3mmとなり、6~10年輪でJAS規格の構造用製材の1級の基準値を下回った。鳳来町塩瀬検定林では出現範囲0.9~6.1mmで、平均値は0~5年輪で4.4mm、6~10年輪では4.4mm、11~15年輪では2.9mm、16~20年輪では2.2mm、21~年輪では1.6mmとなり、最も大き

かったのは0~5、6~10年輪で4.4mmとなり、足助町川面検定林よりも小さい値であった。これは、塩瀬の検定林が北側斜面であり、やや肥大成長が抑えられた結果であることが示唆された。また両検定林ともに0~5年輪を除き、外側に向かう方向で小さくなる傾向があった。

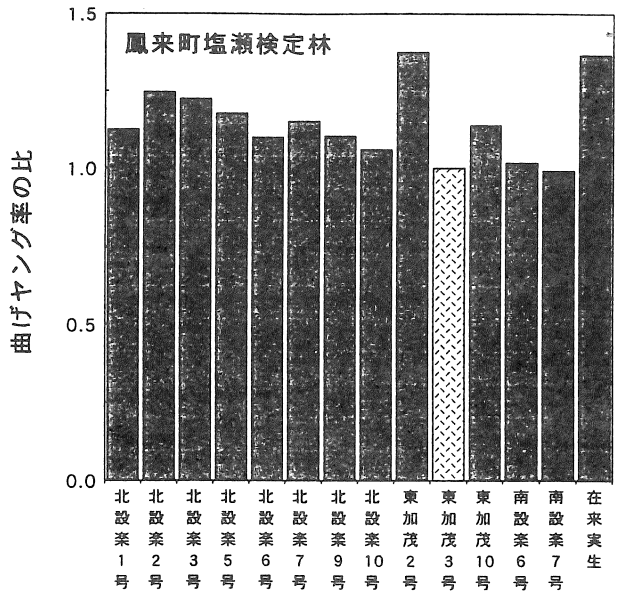
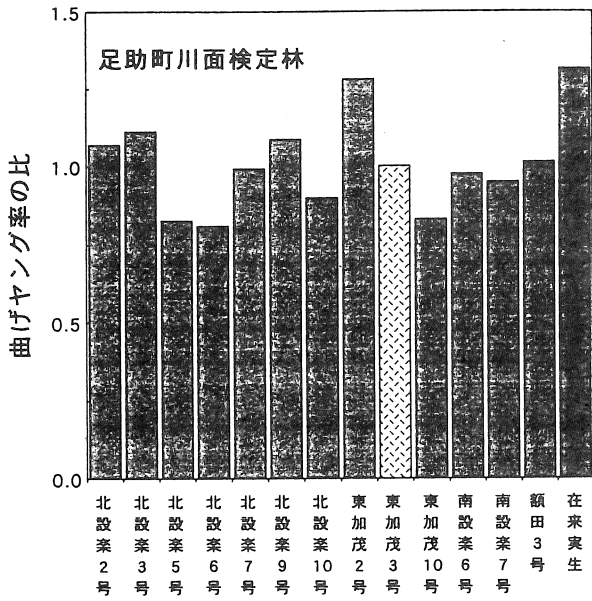
足助町川面検定林の変動係数は全体で20.8%、鳳来町塩瀬検定林は全体で9.0%であり、検定林間で大きな差が見られる傾向にあったが、川面検定林では試験体数が少ないこともありバラツキが大きくなったものと考えられた。

表-3 円盤調査による平均年輪幅

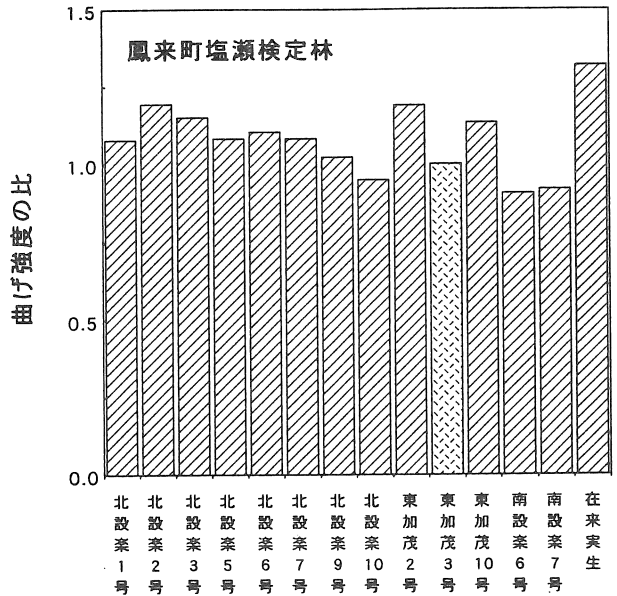
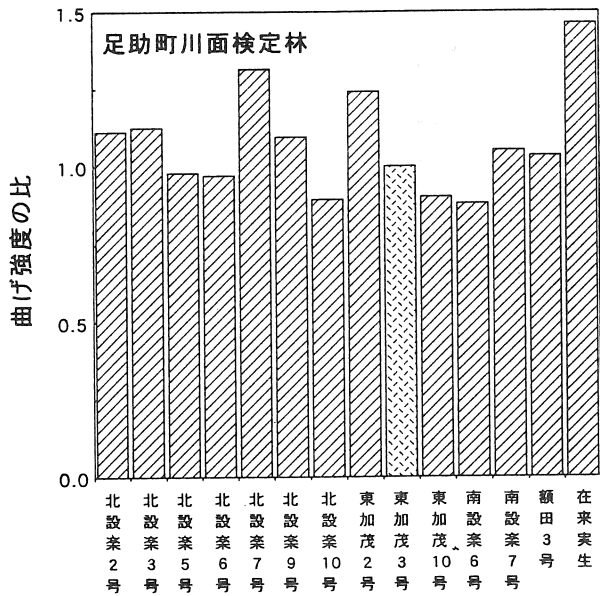
検定林	精英樹 クローン	平均年輪幅 (mm)					
		0~5	6~10	11~15	16~20	21~	全体
足助町 川面	北股薬2号	4.2	5.7	3.1	2.2	2.3	3.5
	北股薬3号	7.7	7.6	4.2	3.7	2.6	5.3
	北股薬5号	3.5	6.8	5.0	3.1	2.6	4.1
	北股薬6号	3.0	3.8	3.9	4.2	3.3	3.6
	北股薬7号	2.4	4.5	3.0	2.1	1.8	2.8
	北股薬9号	2.8	4.7	3.3	1.8	1.0	3.0
	北股薬10号	4.7	6.7	3.2	2.9	1.9	4.0
	東加茂2号	5.3	5.9	4.7	3.9	3.2	4.7
	東加茂3号	3.9	6.1	4.2	2.7	2.4	3.9
	東加茂10号	5.8	7.1	5.2	4.0	4.1	5.4
	南股薬6号	5.3	6.3	5.8	3.3	2.5	4.7
	南股薬7号	4.4	5.1	4.0	3.5	2.3	3.9
	額田3号	6.1	9.0	5.9	4.6	4.4	6.0
	在来	7.0	5.5	3.0	2.6	2.2	4.2
平均	4.8	6.1	4.3	3.3	2.6	4.3	
変動係数	33.0	22.2	22.6	24.5	33.8	20.8	
鳳来町 塩瀬	北股薬1号	6.1	4.8	2.6	1.6	1.3	3.2
	北股薬2号	4.1	3.9	3.2	2.8	2.6	3.4
	北股薬3号	4.3	4.0	2.5	2.0	1.4	3.0
	北股薬5号	3.5	3.8	2.5	1.8	1.3	2.7
	北股薬6号	3.6	4.5	2.5	1.5	1.1	2.8
	北股薬7号	5.2	5.0	2.7	2.2	1.8	3.5
	北股薬9号	4.3	4.7	2.7	2.0	1.2	3.1
	北股薬10号	3.8	4.1	3.1	2.2	1.6	3.1
	東加茂2号	4.5	4.5	3.2	2.5	1.9	3.5
	東加茂3号	4.6	4.4	3.4	3.2	2.5	3.7
	東加茂10号	4.2	4.5	3.0	1.7	0.9	3.0
	南股薬6号	4.3	4.9	3.1	2.1	1.5	3.3
	南股薬7号	4.3	4.6	3.1	2.8	1.9	3.4
	在来	6.2	4.9	2.6	2.0	1.5	3.5
平均値	4.4	4.4	2.9	2.2	1.6	3.2	
変動係数	15.3	8.3	10.5	21.0	29.1	9.0	

2. 丸太の動的ヤング率の測定

丸太の打撃法により測定した動的ヤング率の測定結果を表-4に示した。足助町川面検定林では、ヤング率の出現範囲は4.7~7.3GPa、平均値は5.9GPa、鳳来町塩瀬検定林では、5.5~8.7GPa、平均値7.5GPaとなり、両検定林間で大きな差が見られた。これは末口径の値の差でもわかるように、南側斜面である川面検定林のほう生長量が大きく、16.3cmとなり、肥大成長における成長量に差があ

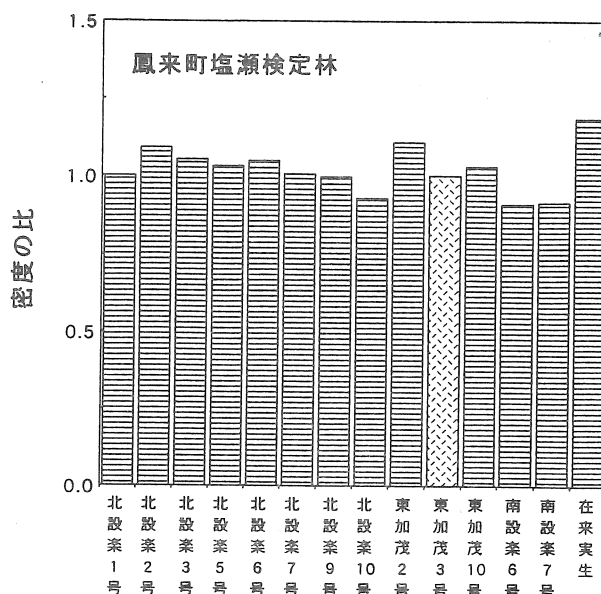
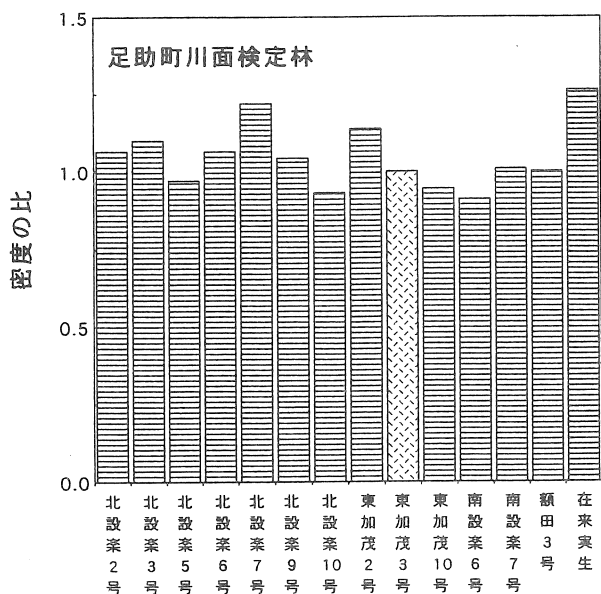


(a) 曲げヤング率

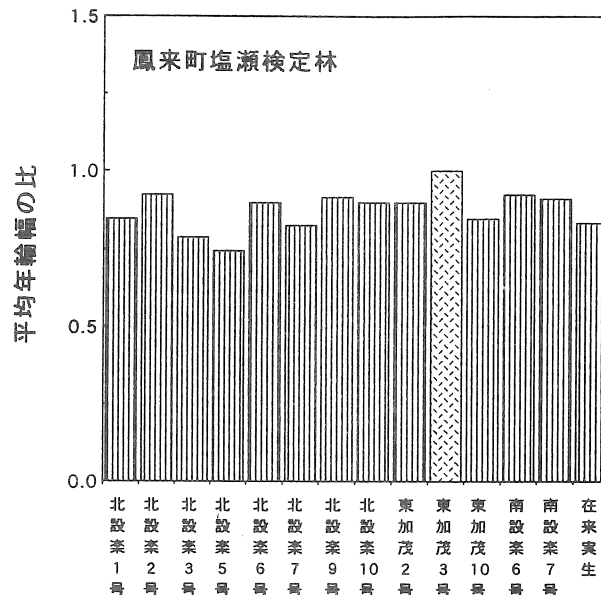
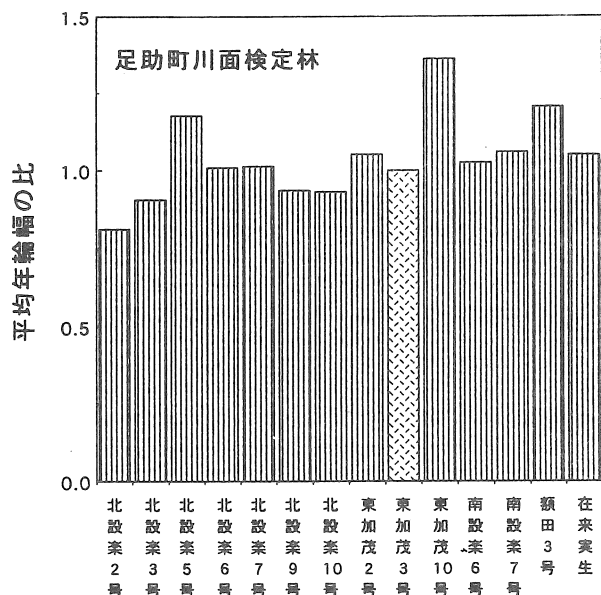


(b) 曲げ強度

図-3 精英樹、在来実生の諸性質比較



(c) 気乾密度



(d) 平均年輪幅

ることに起因すると思われる。しかし川面検定林の試験個体数が少なく単純な比較ができないため、今後多くの検定林で同様な調査を重ね、この差の要因について検討していかなければならない

表-4 縦振動法による丸太のヤング率

検定林	精英樹 クローン	末口径 (cm)	元口径 (cm)	測定時密度 (g/cm <sup>3</sup> )	ヤング率 (GPa)
関愛1号 足助町 川面	北設楽2号	14.5	18.4	0.83	6.1
	北設楽3号	19.9	25.0	0.87	6.0
	北設楽5号	15.3	21.1	0.74	4.7
	北設楽6号	14.0	17.9	0.81	5.6
	北設楽7号	10.8	14.0	0.80	6.6
	北設楽9号	11.8	14.9	0.86	6.3
	北設楽10号	14.6	18.8	0.80	5.4
	東加茂2号	18.2	23.2	0.83	7.3
	東加茂3号	16.2	19.9	0.77	6.0
	東加茂10号	19.8	25.7	0.77	4.9
	南設楽6号	17.3	23.2	0.79	6.1
	南設楽7号	15.0	19.2	0.81	5.4
	額田3号	22.4	29.8	0.73	5.7
	在来	16.9	21.0	0.82	6.5
	平均值	16.3	21.1	0.80	5.9
変動係数	19.3	20.0	5.0	11.6	
関愛5号 鳳来町 塩瀬	北設楽1号	13.9	15.2	0.85	7.3
	北設楽2号	15.2	16.3	0.87	7.8
	北設楽3号	13.1	14.2	0.88	8.4
	北設楽5号	11.7	12.8	0.90	7.9
	北設楽6号	12.6	13.7	0.86	7.5
	北設楽7号	15.5	16.8	0.84	7.4
	北設楽9号	13.9	15.1	0.92	7.7
	北設楽10号	13.6	14.9	0.89	7.5
	東加茂2号	15.5	16.7	0.89	8.7
	東加茂3号	16.6	18.0	0.87	6.0
	東加茂10号	13.3	14.5	0.87	7.6
	南設楽6号	14.5	15.8	0.86	7.1
	南設楽7号	15.2	16.2	0.82	5.5
	在来	16.3	17.1	0.90	8.1
	平均值	14.4	15.5	0.88	7.5
変動係数	9.8	9.3	2.8	11.5	

3. 無欠点小試験体による曲げ性能試験

曲げ試験の結果を表-5に示した。この測定結果は曲げヤング率、曲げ強度についてASTMD2915により含水率15%時の値にすべて換算した値である。

また図-3に県内でみがき丸太生産に適する推奨品種である東加茂3号(ハブスギ)を基準にした曲げヤング率、曲げ強度、気乾密度、平均年輪幅の比を示した。足助町川面検定林では曲げヤング率は平均値6.0GPa、鳳来町塩瀬検定林では、7.3GPaとなり動的ヤング率と同様に両検定林間で大きな差が見られた。クローン、実生種別に見ると、両検定林ともに、東加茂2号、在来実生種が1、2の順位を占めた。逆に低いものでは川面検定林で

は北設楽5号と東加茂10号、塩瀬検定林では東加茂3号、南設楽7号であり、傾向の違いが見られた。

表-5 無欠点小試験体による曲げ試験結果

検定林	精英樹 クローン	曲げヤング率* (GPa)	曲げ強度* (MPa)	密度* (g/cm <sup>3</sup> )	平均年輪幅 (mm)
関愛1号 足助町 川面	北設楽2号	6.3	48.9	0.34	2.7
	北設楽3号	6.6	48.6	0.35	3.0
	北設楽5号	4.9	42.3	0.31	4.0
	北設楽6号	5.1	41.9	0.34	3.4
	北設楽7号	5.9	56.7	0.39	3.4
	北設楽9号	6.5	47.3	0.34	3.2
	北設楽10号	5.3	38.6	0.30	3.1
	東加茂2号	7.6	53.6	0.37	3.5
	東加茂3号	5.9	43.2	0.32	3.4
	東加茂10号	4.9	40.0	0.30	4.6
	南設楽6号	5.8	38.0	0.29	3.4
	南設楽7号	5.6	45.4	0.33	3.6
	額田3号	6.0	44.7	0.32	4.1
	在来	7.8	63.1	0.41	3.5
	平均值	6.0	46.2	0.34	3.5
変動係数	16.1	16.1	10.0	19.7	
関愛5号 鳳来町 塩瀬	北設楽1号	7.2	54.7	0.35	2.7
	北設楽2号	7.9	60.5	0.39	3.0
	北設楽3号	7.8	58.5	0.37	2.5
	北設楽5号	7.5	55.0	0.36	2.4
	北設楽6号	7.0	56.1	0.37	2.9
	北設楽7号	7.3	55.0	0.36	2.7
	北設楽9号	7.0	51.8	0.35	2.9
	北設楽10号	6.8	48.1	0.33	2.9
	東加茂2号	8.8	60.5	0.39	2.9
	東加茂3号	6.4	50.7	0.35	3.2
	東加茂10号	7.3	57.6	0.36	2.7
	南設楽6号	6.5	46.1	0.32	3.0
	南設楽7号	6.3	46.6	0.32	2.9
	在来	8.7	66.9	0.42	2.7
	平均值	7.3	54.9	0.36	2.8
変動係数	13.9	13.3	9.7	19.4	

\*含水率15%に換算した値

特に東加茂10号は塩瀬検定林では6番目に属する中間クラスであるのに対し、川面検定林では13番目となったことは、今後川面検定林からの試験体数を追加し、さらに検討する必要がある。また無欠点小試験体基準値である70tf/cm<sup>2</sup>を上回ったのは全体で東加茂2号と在来実生種のみであった。東加茂2号、在来実生種の変動係数がそれぞれ6.1%、12.3%であることを考慮すれば、バラツキは少なくかつ曲げヤング率の高い種は東加茂2号となる。

曲げ強度はヤング率との相関は図-4に示したように0.839、回帰式はY=6.04x+10.67であった。一般的に曲げ強度は密度に依存し、曲げヤング率はMf傾角に依存することが指摘されているが、本結果でも曲げヤング率と密度の相関は0.816であり、曲げ強度と密度の相関は0.917となり、曲げ強度の方がより密度依存が高いことがわかった。

このことは図-4、5に示したように重量あたりの比を求めると曲げヤング率では比は1.000~1.238となったのに対し、曲げ強度では0.995~1.110であり重量あたりではほぼ一定の強度を示すことから明らかである。東加茂2号のように曲げヤング率由来実生に比して高くても曲げ強度は由来実生より低いことから曲げヤング率は密度とそれ以外のM f 傾角などの別の依存因子が示唆された。

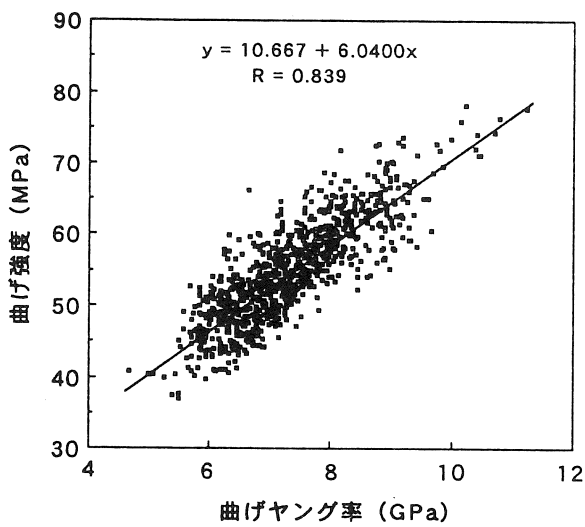


図-4 曲げヤング率と曲げ強度の関係

破壊形態については、最大荷重で曲げ破壊が起こった後も荷重-変位曲線が山を描き緩やかに荷重が減少する粘りのある系統と破壊直後に真っ二つに折れるため、一気に荷重が減少する粘りのない系統が存在することが観察された。粘りのある系統は北設楽9号、10号、由来実生であった。一方、粘りのない系統は北設楽1号、東加茂2号、3号、10号、南設楽6号、7号であったことから、曲げヤング率、曲げ強度に優れた系統が必ずしも粘りのある性質を持つとは限らないことも明らかとなった。

気乾密度は川面検定林で平均値0.34g/cm<sup>3</sup>、塩瀬検定林で0.36g/cm<sup>3</sup>となり塩瀬がやや上回った

が、川面検定林の試料木が少なく比較はできないが、川面検定林の方が生長が良好であることに起因していると考えられた。しかし年輪幅と密度との相関は0.167と低く、必ずしも生長量だけでこの差を説明することはできない。

クローン、由来実生を含めた系統間の比較では、東加茂3号は気乾密度0.35g/cm<sup>3</sup>と平均クラスであるものの、同程度かまたはそれ以下の気乾密度を持つ北設楽1号、北設楽9号、北設楽10号よりも曲げヤング率は低い値で分散分析では1%水準で有意な差が検出されている。さらに、曲げヤング率の

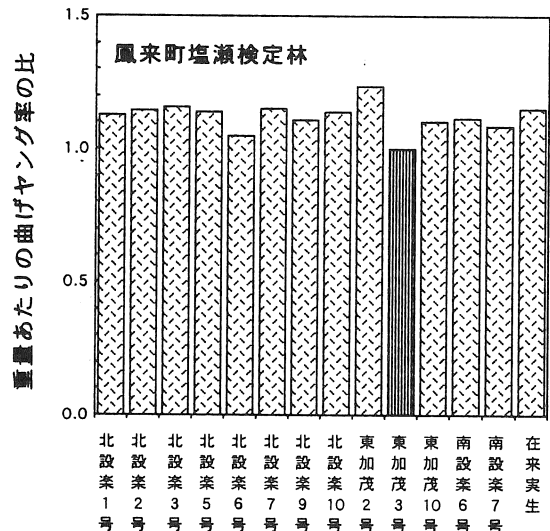


図-5 重量あたりの曲げヤング率の比

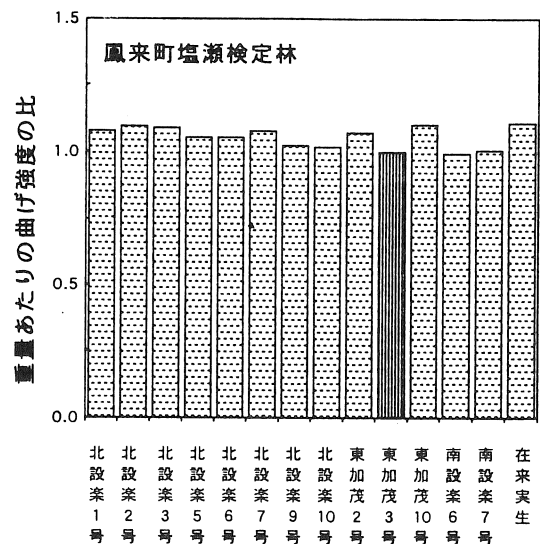


図-6 重量あたりの曲げ強度の比

最も高かった東加茂2号と在来実生のように曲げヤング率と曲げ強度の関係が逆転しているものについては、M f 傾角などその他の因子について今後とも調査が必要である。

#### IV. おわりに

県内ではこれまでスギ造林において主にみがき丸太生産用の優良品種として東加茂3号（ハブスギ）北設楽2号（キヨサキスギ）を推奨してきた。特に東加茂3号はヤング率、強度ともに14クローンの中では低いクラスに属し、みがき丸太としては全く問題ないが、強度を求められる梁等の建築部材、集成材のラミナなどには適当とは言い難い。

スギ材は強度が低く、バラツキが大きくかつ柔らかいため表面が傷つきやすいなどの欠点が指摘されている。強度性能に優れた、バラツキの少ないスギ精英樹の選抜も必要であると思われるが、強度性能に優れた品種の単一造林は、耐陰性、耐病虫性などその他の優劣の因子の検討についても必要であり、単純には推奨品種を結論づけることは困難である。

#### V. 参考文献

- 1) A S T M D2915 (1987)
- 2) J A S 規格針葉樹構造用製材 (1996)
- 3) 富山県林業技術センター研究報告 No. 4 (1991)