No.64

ISSN 2187-2708

August, 2022

ANNUAL REPORT
OF
OITA PREFECTURAL AGRICULTURE,
FORESTRY AND FISHERIES RESEARCH CENTER
FORESTRY RESEARCH DIVISION
Arita, Hita ,Oita, Japan

令和３年度

林業研究部年報

第64号

大分県農林水産研究指導センター林業研究部

大分県日田市大字有田字佐寺原35

目　次

Ⅰ　試験研究

〔育種・育林の技術開発〕

疎植造林による育林施業体系の開発 ---------- 2
－ 超疎植モデル林における特定母樹の初期成長調査 －

疎植造林による育林施業体系の開発 ---------- 5
－ スギシステム収穫表による施業モデルの検討 －

スギ・ヒノキさし木苗の生産性向上に関する研究 ---------- 10
－ 効率的な苗木生産方法の開発 －

スギ・ヒノキさし木苗の生産性向上に関する研究 ---------- 14
－ ヒノキ少花粉品種の成長比較 －

大分県に適した早生樹の苗木生産・育林技術の開発 ---------- 16
－ コウヨウザンとスギのツリーシェルターによる成長動態 －

大分県に適した早生樹の苗木生産・育林技術の開発 ---------- 20
－ ２代林のコウヨウザンの曲げ強度試験 －

〔県産材の需要拡大〕

県産スギ大径材の有効利用技術の開発 ---------- 22
－ ９丁取りした正角材の強度と４丁取りした正角材の乾燥試験 －

長大スパンに対応する接着重ね材の開発 ---------- 28

大径材の多様な利活用に向けた乾燥技術の開発 ---------- 33
－ スギ心去り材の高周波減圧乾燥試験 －

大径材の多様な利活用に向けた乾燥技術の開発 ---------- 41
－ スギ心去り平割材の乾燥条件の検討 －

大径材の多様な利活用に向けた乾燥技術の開発 ---------- 45
－ スギ大断面正角材の天然乾燥試験 －

低コスト造林施業推進に向けたスギ優良品種の材質特性の解明 ---------- 47

Ⅱ　関連事業

成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発
（戦略的プロジェクト研究推進事業） ---------- 54

エリートツリーの原種増産技術の開発事業のための調査等
委託業務（受託） ---------- 56

スギ花粉発生源地域推定事業（受託） ---------- 58

種子発芽鑑定調査事業 ---------- 60

県営採種園・採穂園管理事業 ---------- 62

標本見本園並びに構内維持管理事業 ---------- 62

Ⅲ　研究成果の公表 ---------- 63

Ⅳ　研修・普及等 ---------- 64

Ⅴ　技術指導・支援等の活動 ---------- 66

Ⅵ　予算 ---------- 67

Ⅶ　職員配置 ---------- 68

和暦			西暦
平成	30	年	2018 年
平成	31	年	2019 年
令和	元	年	〃
令和	2	年	2020 年
令和	3	年	2021 年
令和	4	年	2022 年

Ⅰ　試験研究

疎植造林による育林施業体系の開発

－ 超疎植モデル林における特定母樹の初期成長調査 －

令和２年度～令和６年度
森林チーム　松本　純

1. 目　的

近年、造林や育林の低コスト・省力化が求められており、本県では低コスト化に向け、従来主流だった植栽密度（2,500～3,000 本/ha）を 2,000 本/ha 程度にまで減らすことで造林経費を削減する取り組みを進めてきた。現在は更なる低コスト化に向けて、より低密度の植栽についても検討しているところであるが、2,000 本/ha 以下の造林（以下、疎植造林と記す）に関しては全国的にも事例が少なく、樹冠閉鎖の遅れによる植栽木及び競合植生への影響について不明な点も多い。本研究では、植栽本数の低密度化による影響を明らかにすることを目的として試験を実施したので報告する。

2. 調査地及び方法

特定母樹等を密度別（1,000、1,500、2,000 本/ha）に植栽したモデル林（以下、超疎植モデル林と記す）における基礎データの収集を行った。モデル林は標高 350m、杵築市大字船部に位置する県有林に設定した。令和２年２月 25 日にスギ（在来品種、精英樹、エリートツリー、計 18 品種）とヒノキ（在来品種、計３品種）を、図-１に示すＡ～Ｄの植栽区に植栽した。植栽した品種は表-１のとおりである。樹高及び根元径の測定は、令和３年 11 月（Ｂ，Ｃ）並びに令和４年１月（Ａ，Ｄ）に実施した。

3. 結果及び考察

図-２にスギ及びヒノキの代表的な品種における植栽区別の成長を示す。スギ、ヒノキ共に植栽区Ｄでの成長が最も良かった。一般的に、植栽木の成長は密度の影響をほとんど受けないため、今回の植栽区別の成長差は地位による影響であると考えられた。将来、植栽密度別の成長比較を行う際は地位の違いにも考慮する必要がある。

図-３に品種別の平均樹高を示す。全品種の比較では西臼杵４号の成長が最も良かった。一方で九育 2-203 は最も平均樹高が低かった。当品種は成長に優れた品種であると言われている[1)]が、今回はそれに反する結果となった。当該品種が植栽地に合わなかった可能性に加え、植栽本数が少なく（表-１）データに偏りがあること、植栽時の樹高が低かったことが原因として考えられた。

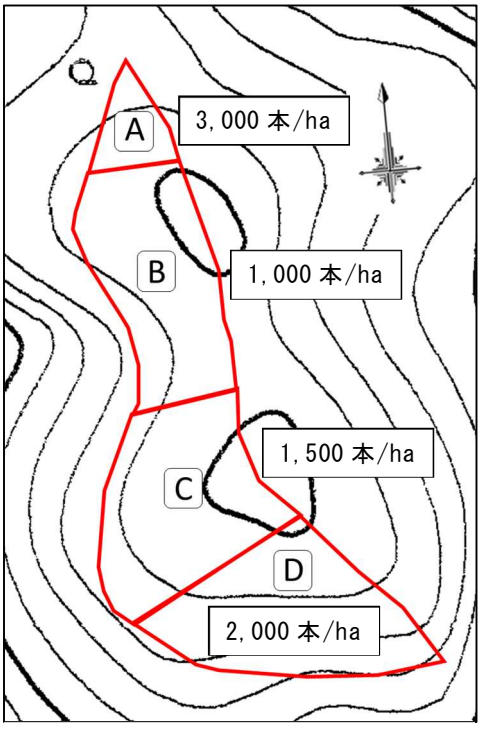


図-１　試験地配置図

表-１　モデル林植栽品種と調査結果の概要

樹種	品種区分	品種	植栽区	測定本数（本）	平均樹高±SD（cm）	平均根元径±SD（mm）	平均形状比
スギ	在来品種	シャカイン	B,C,D	60	119.8 ± 26.9	18.9 ± 6.2	66.0
		アオシマアラカワ	B,C,D	46	142.7 ± 27.4	27.1 ± 10.1	57.0
		タノアカ	B,C,D	60	147.9 ± 23.5	26.5 ± 9.9	61.2
	精英樹	藤津14号	B,C,D	51	93.0 ± 15.3	21.5 ± 7.6	46.4
		佐伯13号	B,C,D	47	122.2 ± 27.3	23.2 ± 9.9	58.3
		高岡署1号	B,C,D	24	126.5 ± 25.1	25.7 ± 8.1	51.7
		佐伯6号	B,C,D	38	130.1 ± 33.4	30.7 ± 11.7	46.7
		日田15号	B,C,D	44	151.4 ± 32.0	25.8 ± 8.5	61.1
		西臼杵4号	B,C,D	40	181.9 ± 39.2	32.8 ± 10.2	57.6
	エリートツリー	九育2-203	D	2	77.5 ± 12.5	8.9 ± 1.4	87.2
		九育2-122	D	6	108.5 ± 26.0	13.4 ± 4.7	84.2
		九育2-136	B,C,D	68	132.9 ± 25.3	21.3 ± 7.0	65.7
		九育2-103	D	10	133.7 ± 29.4	19.2 ± 6.6	72.9
		九育2-177	D	3	140.3 ± 40.3	22.0 ± 7.3	64.8
		九育2-161	B,C,D	21	155.1 ± 41.8	24.6 ± 10.5	67.5
ヒノキ	在来品種	ナンゴウヒ	A,C,D	44	123.5 ± 29.9	17.8 ± 4.5	70.9
		大林2号	A,C,D	43	142.1 ± 27.3	18.4 ± 4.9	79.0
		神光2号	A,C,D	44	150.1 ± 29.1	16.8 ± 4.4	91.5

※SD は標準偏差を示す。

スギにおける品種区分（在来品種、精英樹、エリートツリー）間の比較では、各区分における品種間の成長にばらつきがあり、世代が進むほど成長が良くなる傾向は確認されなかった。ヒノキは１年目の調査結果と同様、スギと同程度の成長だった。当該試験地が尾根地形のヒノキ適地だったことに加え、植栽時の樹高が高かったことが原因として考えられた。

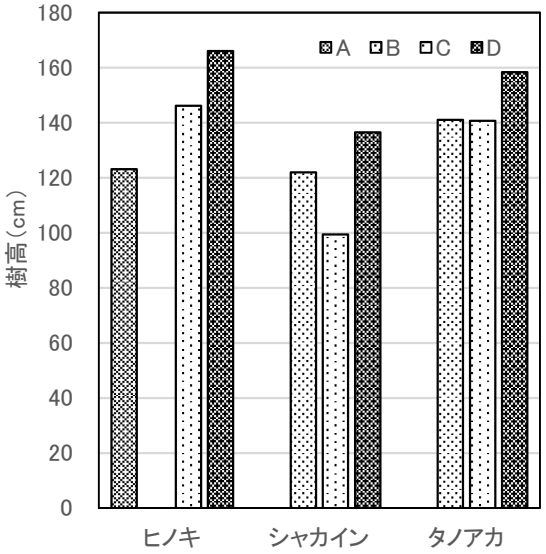


図-２　植栽区別平均樹高

図-４に品種別の形状比を示す。一般的に、スギの形状比は樹高が成長するに従い一定の数字（50～70程度）に収束する傾向があるが、今回植栽した品種でも同様の傾向が見られた。一部の形状比が 80 を超える品種はまだ樹高が低く、形状比が収束する段階に至っていないと考えられた。ヒノキはスギと比べて形状比が高めの傾向を示した。竹内らの論文[2)]において、林地に植栽したヒノキの形状比は林齢に従い低下するものの６年生でも形状比が 100 を超える林分があった。このため、ヒノキの形状比はスギとは異なる挙動を示す可能性が示唆された。

植栽１年目の結果では品種別の樹高の差が小さかったが、今回（２年目）は品種別の成長に関する傾向が見えつつある。令和４年度以降も調査を継続し品種別の成長比較並びに密度効果の検証を行っていきたい。

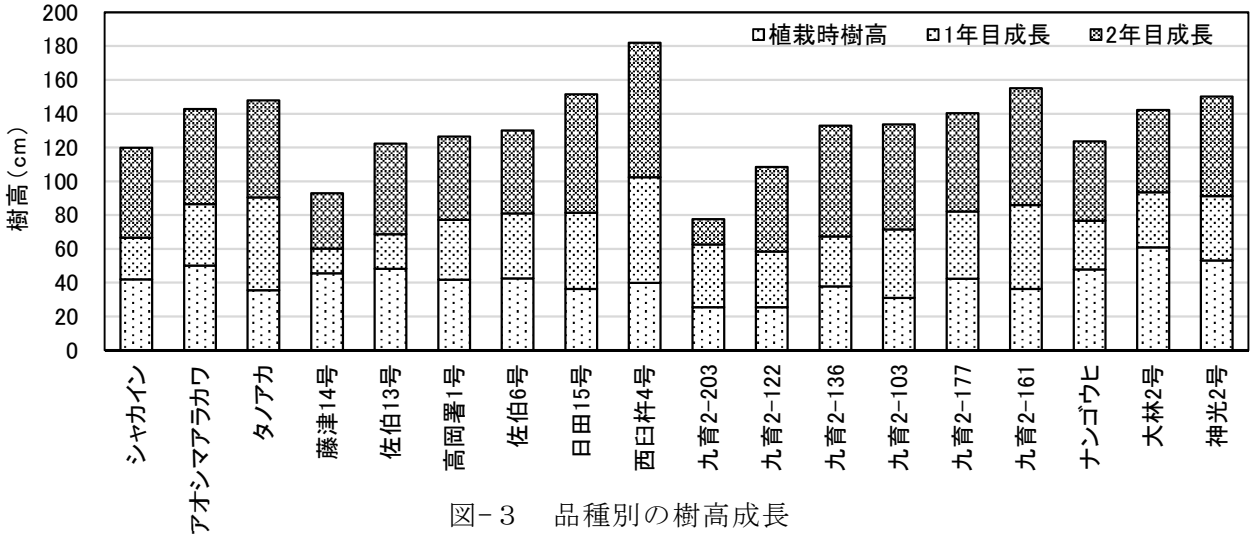


図-３　品種別の樹高成長

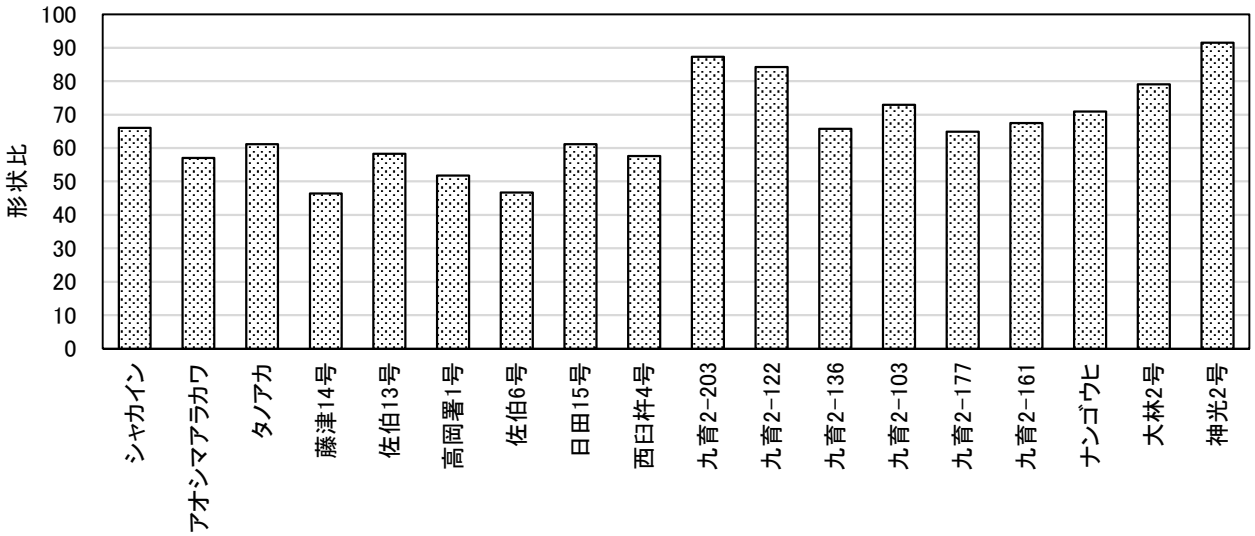


図-４　品種別の形状比

参考文献

１）佐藤英章：九州育種場内の見どころ－特定母樹スギ九育 2-203 と屋久翁－，九州育種場だより Vol.37,1（平成 30 年）

２）竹内郁雄・川崎達郎・森茂太：ヒノキ若齢人工林における形状比の変化，日本森林学会誌 Vol.79 No.3,137～142（平成９年）

疎植造林による育林施業体系の開発

－ スギシステム収穫表による施業モデルの検討 －

令和２年度～令和６年度
森林チーム　松本　純

1. 目　的

近年、造林や育林の低コスト・省力化が求められており、本県では低コスト化に向け、従来主流だった植栽密度（2,500～3,000 本/ha）を 2,000 本/ha 程度にまで減らすことで造林経費を削減する取り組みを進めてきた。現在は更なる低コスト化に向けて、より低密度の植栽についても検討しているところであるが、2,000 本/ha 以下の造林（以下、疎植造林と記す）に関しては全国的にも事例が少なく、樹冠閉鎖の遅れによる植栽木及び競合植生への影響について不明な点も多い。本研究では、大分県の収穫予想表（以下、収穫表と記す）を用いて植栽本数の低密度化による影響を推定したので報告する。

2. 調査地及び方法

1)収穫表を用いた樹冠の推定及び精度の検証

収穫表は、平均樹高と密度から材積を推定する式（１）と、林齢と地位から樹高を推定する式（２）（３）から成る[1)]。林分密度及び（２）（３）で得られた平均樹高から樹冠幅、樹冠長の推定を試みた。

$$V=\left(0.04986H^{-1.30705}+\frac{2467.3792H^{-2.65424}}{N}\right)^{-1} \quad \cdots(1)$$

$$H=33.3296\{1-0.91313\mathrm{EXP}(-0.02695T+0.10594)\}^{1.09513} \quad \cdots(2)$$

$$\sigma H=\frac{3.65906}{1+\mathrm{EXP}(-0.07624T+1.38995)} \quad \cdots(3)$$

V：ha あたり材積、H：平均樹高、σH：平均樹高の標準偏差、N：ha あたり本数、T：林齢

竹下による論文[2)]では林木の成長に応じた林冠の動態について簡易なモデル化を試みており、以下の関係式が示されている。

$$Cr=\alpha Cl^{0.5} \quad \cdots(4) \qquad \alpha=\sqrt{\frac{C_cSrH^2}{\pi Cl}} \quad \cdots(5) \qquad Sr=\frac{10^2}{\sqrt{NH^2}} \quad \cdots(6)$$

$0.375 \leqq \mathrm{Sr}$ のとき　$Cl=H$ 　…（７）

$0 < \mathrm{Sr} < 0.375$ のとき　$Cl=(2.125-3Sr)\left\{(H+1)^{\left(\frac{Sr}{0.375}\right)^{0.7}}-1\right\}$ 　…（８）

Cr：樹冠幅、α：樹冠拡張係数、Sr：相対幹距比、Cl：樹冠長、H：平均樹高、N：ha あたり本数、C_c：林冠被覆率

なお同文献において、C_cは以下のとおり林分の生育段階（樹高）によって区分されている。

$H \leqq 5.5$ のとき　　$C_c = 0.8\left(\frac{H}{5.5}\right)^2$　　・・・（９）

$5.5 \leqq H \leqq 7.5$ のとき　　$C_c = 0.8 + \frac{H - 5.5}{10}$　　・・・（10）

$7.5 \leqq H \leqq 12.5$ のとき　　$C_c = 1.0$　　・・・（11）

$12.5 \leqq H$ のとき　　$C_c = 1 - \frac{(H - 12.5)}{100}$　　・・・（12）

樹冠の構成要素（Cl、Cr）の推定について、（２）（３）から得られた平均樹高を式（５）～（12）に、林分密度を式（６）に代入することで Cl、α、Sr、C_cを得た。Cl、αを式（４）に代入して Crを求めた。

上記により得られた樹冠長、樹冠幅について推定精度の検証を行った。表-１に精度検証を目的として調査を実施した林分の概要を示す。調査は令和３年９月下旬～12 月に大分県内の 11 林分にて行った。本研究では疎植林分における施業モデルの検討を目的としていることから、主として植栽密度 2,000 本/ha 以下の林分を対象とした。また、No. ６～11 はネルダーの系統的配置[3)]による密度試験林分である。調査では樹高、生枝下高、樹冠幅（十字に２方向）を測定し、樹高と生枝下高の差を樹冠長とした。得られた樹冠長及び樹冠幅の平均値を先述の方法で推定した樹冠長、樹冠幅と比較した。

表-１　精度検証を行った林分の概要

No.	所在地	林齢（年生）	平均樹高（m）	地位	植栽密度（本/ha）	推定樹冠長（m）	実測樹冠長（m）	樹冠長誤差（m）	推定樹冠幅（m）	実測樹冠幅（m）	樹冠幅誤差（m）
1	別府市	23	13.6	2.15	1600	6.7	5.7	1.0	2.9	2.3	0.6
2	佐伯市	9	8.2	0.56	1500	7.3	7.1	0.2	2.9	2.4	0.5
3	臼杵市	18	7.0	3.81	1000	7.0	6.1	0.9	2.5	2.4	0.1
4	日田市	43	28.5	0.44	1000	6.1	8.3	-2.2	3.4	2.9	0.5
5	日田市	58	27.2	1.67	1200	5.7	8.2	-2.5	3.1	2.9	0.2
6	中津市	14	12.2	0.46	698	10.3	10.3	0.1	4.3	2.7	1.6
7	中津市	14	12.2	0.46	1006	8.6	10.4	-1.7	3.6	2.7	0.9
8	中津市	14	12.2	0.46	1448	7.2	9.0	-1.8	3.0	2.2	0.8
9	中津市	14	12.2	0.46	2086	6.1	7.7	-1.6	2.6	2.0	0.6
10	中津市	14	12.2	0.46	3003	5.2	6.6	-1.5	2.2	1.7	0.5
11	中津市	14	12.2	0.46	4325	4.4	5.6	-1.1	1.9	1.5	0.4

※樹冠長並びに樹冠幅の実測値は林分調査の平均値を示す。

2)施業モデルの検討

大分県のシステム収穫表[4)]と竹下による樹冠推定の関係式[2)]を組み合わせることで、主要な地位・植栽密度における林齢ごとの樹冠長・樹冠幅の動態を推定した。なお、下刈り実施期間（５年生程度まで）は樹冠閉鎖前の段階で光環境は密度によらず良好であり、密度効果は極めて軽微であると考えられることから、植栽密度に応じて下刈り回数が変動しないと言われている[5)]。このため下刈り終了期間は密度によらず５年間とした。樹冠閉鎖林齢は林冠被覆率が 0.8 を超えたときの林齢とした。地位 2.0、収量比数 Ry=0.75 を超えた年に Ry=0.65 に間伐する条件で推定した疎植造林（2,000、1,500、1,000 本/ha）における樹冠閉鎖時期並びに間伐回数について 2,500 本/ha の場合と比較を行った。

3. 結果及び考察

1)収穫表を用いた樹冠の推定及び精度の検証

調査結果を表-１に示す。推定した樹冠長と実測値を比較した結果、No.４，５を除き誤差は２m 以内に収まっていた。一般的に樹高が高くなるほどバラツキも大きくなるため、No.４，５の誤差が高かった要因として、他の林分と比べて高齢で平均樹高が高いことが考えられた。

推定した樹冠幅と実測値を比較した結果、誤差は概ね 0.5m 程度だったが、全体的に過大傾向にあり、特に No.６～８で誤差が大きかった。その原因として、①密度試験林分（No.６-11）では円形プロットの接線方向と放射方向に測定したため長辺を取ってない可能性があること、②No.６～８は枯れ上がりの発生直後であり、上側に位置する短い生枝で樹冠幅を測定したこと、③当該林分が樹形が細めのオビスギ林分であるため品種による影響が発生したことが考えられた。また、樹冠幅の推定値に影響を及ぼす変数である林冠被覆率は最大 1.0 を取ることとしているが、今回調査林分全てにおいて推定値が過大だったことは、樹冠閉鎖段階において林冠被覆率が 1.0 に届かないことを示唆するため、条件設定について検討の余地がある。

今回の推定における誤差は樹冠長は樹冠が閉鎖する若齢林分では２m 未満、樹冠幅はほとんどの林分で 0.5m 程度と一定の精度が認められたが、利用したモデル式の性質上、間伐直後の樹冠の動態について推定することができない。更なる精度の向上のためには、他のモデル式との比較検討や今回使用した数式の改良についても検討する必要がある。

2)施業モデルの検討

大分県のシステム収穫表に樹冠に係る要素の関係式を組込むことで、間伐時期に加えて林齢別の樹冠幅から樹冠閉鎖の時期を推定可能となったため施業モデルを作成した。

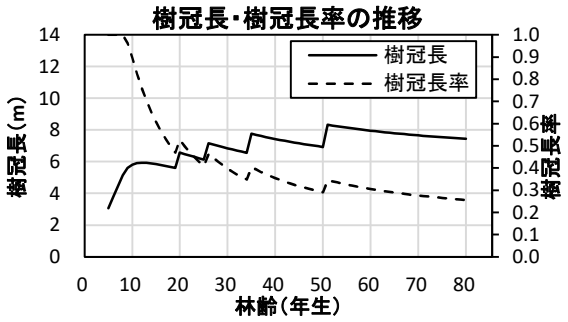
作成した施業モデルの一例を図-１に示す。樹冠閉鎖は除伐・つる伐りを終了する目安の一つであるが、2,500 本/ha では下刈り終了から４年で樹冠が閉鎖する一方、2,000 本/ha では５年、1,500 本/ha では７年、1,000 本/ha では 11 年を要し、樹冠閉鎖の時期は 2,500 本/ha と比較して 2,000、1,500、1,000 本/ha ではそれぞれ１年、３年、７年遅れると推定された。下刈りや除伐の終了時期は下層植生のタイプ等の条件によっても異なる[6)7)]が、植栽密度を低くすると樹冠閉鎖の時期が遅れるため除伐回数が増える可能性がある。また、樹冠閉鎖が遅れると枝の枯れ上がりが遅れるため、節が残りやすくなると考えられる。強度については 1,000 本/ha までは大きな問題がないという報告がある[8)]ものの、材の見た目に影響を及ぼす可能性がある。

条件：地位2.0（大分県の平均）、Ry=0.75を超えた年にRy=0.65まで間伐、50年生で主伐

2500本/ha（植栽間隔2.0m）

下刈終了	5年生
樹冠閉鎖	9年生
第1回間伐	19年生
第2回間伐	25年生
第3回間伐	34年生
主伐	50年生

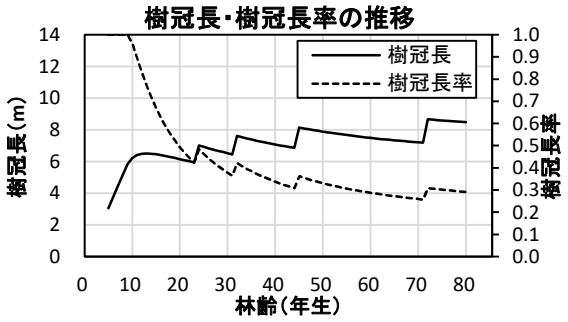
50年生までの間伐回数:3回



2000本/ha（植栽間隔2.2m）

下刈終了	5年生
樹冠閉鎖	10年生
第1回間伐	23年生
第2回間伐	31年生
第3回間伐	44年生（省略可）
主伐	50年生

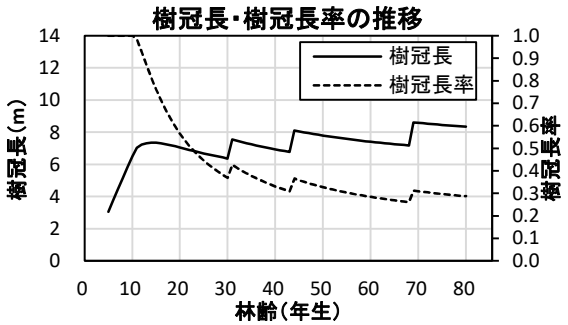
50年生までの間伐回数:2～3回



1500本/ha（植栽間隔2.6m）

下刈終了	5年生
樹冠閉鎖	12年生
第1回間伐	30年生
第2回間伐	43年生（省略可）
主伐	50年生

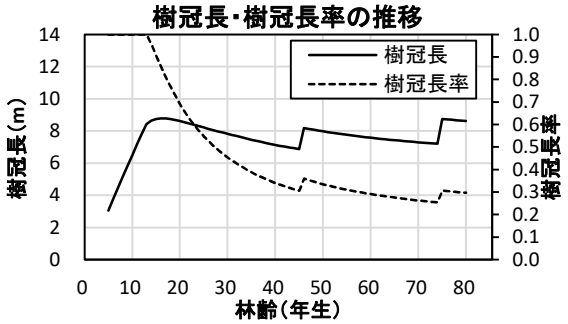
50年生までの間伐回数:1～2回



1000本/ha（植栽間隔3.2m）

下刈終了	5年生
樹冠閉鎖	16年生
第1回間伐	47年生（省略可）
主伐	50年生

50年生までの間伐回数:0～1回



※伐期齢から10年内の間伐については間伐の目的も踏まえて省略可能とした。

図-1　疎植造林施業モデルの一例

一方、間伐回数については、50年で主伐を行う場合、2,500本/haでは３回必要だが、2,000本/haでは２～３回、1,500本/haでは１～２回、1,000本/haでは０～１回となり低密度ほど間伐コストの削減が見込まれた。疎植では植栽密度を下げるほど間伐コストを大きく削減することができる一方で、除伐・つる切りや枝打ちが増える可能性があるため、材の利用目的を検討しながら植栽密度並びに必要な施業を選択する必要がある。

4. まとめ

今回、疎植造林における施業モデルの作成を目的として、既存のシステム収穫表に樹冠のモデル式を組み込むことで、材積成長や間伐時期に加えて樹冠の動態を予測することができるようになった。今回の施業モデルでは、説明上一例を紹介する形としたが、システム収穫表内で動かしているため、地位及び間伐する収量比数などについて容易に条件変更を行うことができる。また、樹冠長率の推移を予測することも可能で（図-４）、樹冠長率が判断の目安となっている長伐期施業への移行や災害に強い森林づくり等の検討材料としての活用も見込まれる。今後は精度の向上に向けた検証及び修正を行っていきたい。

謝辞

表-１No.６～11 の調査にあたり、（国研）森林総合研究所九州支所山川博美主任研究員にご協力いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

１）松本純ほか：大分県収穫表改訂調査報告書,大分県HP（平成31年）
２）竹下敬司：パラボラ樹冠形モデルによるスギ林の構造解析，九州大学農学部演習林報告,55,55～104（昭和60年）
３）Nelder J.A. ：New kind of systematic designs for spacing experiments. Biometrics Vol.18 ,283-324（昭和37年）
４）松本純：大分県簡易収穫表等の見直しについて,大分県HP（平成31年）
５）林野庁：スギ・ヒノキ・カラマツにおける低密度植栽のための技術指針（令和２年）
６）山川博美ほか：スギ植栽木の樹高成長に及ぼす期首サイズと周辺雑草木の影響,日本森林学会誌 Vol.98 ,241-246（平成28年）
７）鶴崎幸ほか：競合植生によって異なるスギ造林地の下刈り要否の判断基準,日本森林学会誌 Vol.102, 225-231（令和２年）
８）近畿中国森林管理局・広島森林管理署：低密度植栽で造成されたスギ・ヒノキの標準伐期齢を超えた林分の林分構造及び材質（幹形・強度）調査結果について,国有林野事業業務研究発表会（平成28年）

スギ・ヒノキさし木苗の生産性向上に関する研究

－ 効率的な苗木生産方法の開発 －

令和３年度～令和５年度
森林チーム　安部　暖美

1. 目　的

当県では、森林資源の充実により主伐が増加し、再造林にかかる苗木の需要が高まっている。しかしながら、県内のスギ苗木自給率は約６割にとどまり、今後も慢性的な苗木の供給不足が懸念されている。また、ヒノキ苗においては未だ実生による生産方法が主流であり、再造林に向けた苗木増産にあたっては、性質のばらつきが少ないさし木苗生産方法の開発が急務である。

本研究では、スギ及びヒノキさし木苗の生産性向上を目的とし、今年度は、効率的な苗木生産に向けた育苗条件を検討したので報告する。

2. 試験方法

1)スギコンテナ直ざし試験

用土を充填したマルチキャビティコンテナ容器(JFA-150、以下、MC コンテナと記す)にスギを直接さし付ける方法(以下、コンテナ直ざしと記す)における、各種調査を行った。用土はスギ、ヒノキの粉砕樹皮（以下、バークと記す）とパーライトを体積ベースで７：３で配合したものを用いた。

(1)ミニ穂に関する調査

台木あたりの採穂量の増加が見込まれるミニ穂(20cm 穂、通常の穂木の半分の長さ)を用いて、以下の調査を行った。

①さし付け時期別、施肥量別成長量調査

毎月 20 日前後に、スギの在来品種であるシャカインの６年生の母樹から、普通枝または萌芽枝を採穂し、毎月１から２のコンテナに各 40 本さし付けを行った。各月のさし付け日とさし付けコンテナ数を表－１に示す。この際、MC コンテナの半分(20 穴)の用土には、元肥として、用土１Ｌ当たり５ｇの緩効性被覆肥料(商品名：スーパーエコロング 413－180（Ｎ：Ｐ：Ｋ＝14：11：13）、全農)を予め混合した。

穂木は、20cm で切り揃え、枝葉の調整と楕円切り返し処理を行い、一昼夜吸水させた後、MC コンテナへ５cm の深さでさし付け、ガラス室内でミスト灌水により育苗した。さし付け直後及び翌月から月に１回、根元径及び苗高を測定するとともに、コンテナ底面からの発根を目視で確認し、発根率を算出した。

また、ガラス室内及び培地中に温湿度計(RTR-500DC、株式会社ティアンドデイ及びハイ

表-１　さし付け時期別、施肥量別試験区の概要

試験区	さし付け日	コンテナ数	元肥	さし付け本数
8月	令和3年8月24日	1	無	20
			有	20
9月	令和3年9月21日	1	無	20
			有	20
10月	令和3年10月21日	2	無	40
			有	40
11月	令和3年11月19日	2	無	40
			有	40
12月	令和3年12月23日	2	無	40
			有	40
1月	令和4年1月19日	2	無	40
			有	40
2月	令和4年2月22日	2	無	40
			有	40

グロクロン、KN ラボラトリーズ)を設置し、１時間ごとの温湿度の計測を行った。

②品種別成長量調査

令和３年 10 月及び令和４年２月に、スギの特定母樹６品種(県佐伯６号、県佐伯 13 号、県姶良 20 号、県高岡署１号、県日田 15 号、県西臼杵４号)の 17 年生の母樹から、普通枝または萌芽枝を採穂し、1 つの MC コンテナに各品種を 10 本ずつ、合計で３コンテナにさし付けを行った。

穂木は、20cm で切り揃え、枝葉の調整と楕円切り返し処理を行い、一昼夜吸水させた後、MC コンテナへ５cm の深さでさし付け、ガラス室内でミスト灌水により育苗した。さし付け直後及び翌月から月に１度、根元径及び苗高を測定するとともに、コンテナ底面を目視し発根率を算出した。

調査①と同様に、ガラス室内及び培地中に温湿度計を設置し、１時間ごとの温湿度の計測を行った。

表-２　品種別成長量調査区の概要

品種	さし付け時期	さし付け本数
県佐伯6号	令和3年10月	30
	令和4年2月	30
県佐伯13号	令和3年10月	30
	令和4年2月	30
県姶良20号	令和3年10月	30
	令和4年2月	30
県高岡署1号	令和3年10月	30
	令和4年2月	30
県日田15号	令和3年10月	30
	令和4年2月	30
県西臼杵4号	令和3年10月	30
	令和4年2月	30

③吸水期間別枯死率調査

令和３年 10 月に、スギの在来品種であるタノアカの 10 年生の母樹から、普通枝または萌芽枝を２種類の穂長(20cm 及び 40 cm)で各 60 本ずつ採穂し、枝葉の調整と楕円切り返し処理を行った後、各穂長 15 本ずつ、４パターンの吸水期間(０日、１日、３日、７日)に分けそれぞれ処理を行った。その後、吸期間別に MC コンテナに５cm の深さでさし付け(計４コンテナ、１コンテナあたり２穂長×15 本＝30 本)を行い、ガラス室内でミスト灌水により育苗し、発根前に枯死した個体数を調査した。

表-３　吸水期間別枯死率調査区の概要

吸水期間	品種	穂長(cm)	さし付け本数
0日	タノアカ	20	15
		40	15
1日		20	15
		40	15
3日		20	15
		40	15
7日		20	15
		40	15

2)ヒノキコンテナ直ざし試験

令和３年９月及び令和４年２月に、ヒノキ２品種(大林１号、浮羽 14 号)の 20 年生母樹から、普通枝を採穂し、1 つの MC コンテナに各品種を 40 本ずつさし付けた。

穂木は、20cm で切り揃え、枝葉の調整と楕円切り返し処理を行い、一昼夜吸水させた後、MC コンテナへ５cm の深さでさし付け、ガラス室内でミスト灌水により育苗し、コンテナ底面からの発根を目視で確認することで、発根率を算出した。

また、ガラス室内及び培地中に温湿度計を設置し、１時間ごとの温湿度の計測を行った。

3)スギ及びヒノキエアざし実証

令和３年２月に、スギ７品種(県佐伯６号、県佐伯 13 号、県日田 15 号、県姶良 20 号、県西臼杵 4 号、県高岡署 1 号、スギ九育 2-203)、ヒノキ２品種(大林１号、県浮羽 14 号)を各 20 本ずつ採穂し、20cm で切り揃え、枝葉の調整と楕円切り返し処理を行った後、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター九州育種場の「用土を用いない空中さし木法によるスギさし木コンテナ苗マニュアル」[1)]に基づき、ハウス内に設置した５cm角の網にさし付け育苗し、目視にて発根率を算出した。

3. まとめ

試験は全て継続中であり、今後も調査を続け考察を進める計画である。

令和４年２月末時点での途中経過を以下に記す。

1)スギコンテナ直ざし試験

(1)ミニ穂に関する調査

①さし付け時期別、施肥量別成長量調査

枯死率、発根率を表４に示す。８月ざし試験区において、元肥有り・無しの両試験区ともに、早い個体で 11 月から発根が確認され、発根率は 50%となった。枯死については、８月ざし、９月ざしで観察され、特に９月ざし元肥有り試験区において枯死率が高くなった。

８月末から 10 月末までの約２か月間は、24 時間に占める平均気温 15℃以上の時間割合がほとんどの日で 100%を超えていた(図１)。温度が 15℃になると、発根能力を備えたさし穂である限り、その多くは発根活動が可能な状態となる[2)]ことから、８月ざしの一部の個体では、発根に必要となる温度が期間内に確保できたため発根に至ったと考えられる。

表-４　さし付け時期別、施肥量別成長量調査途中経過

試験区	元肥	令和3年2月末時点		
		枯死率(%)	発根率(%)	初回発根確認時期
8月	無	0.0	50.0	11月中旬
	有	15.0	50.0	11月上旬
9月	無	10.0	0.0	－
	有	55.0	0.0	－
10月	無	0.0	0.0	－
	有	0.0	0.0	－
11月	無	0.0	0.0	－
	有	0.0	0.0	－
12月	無	0.0	0.0	－
	有	0.0	0.0	－
1月	無	0.0	0.0	－
	有	0.0	0.0	－
2月	無	0.0	0.0	－
	有	0.0	0.0	－

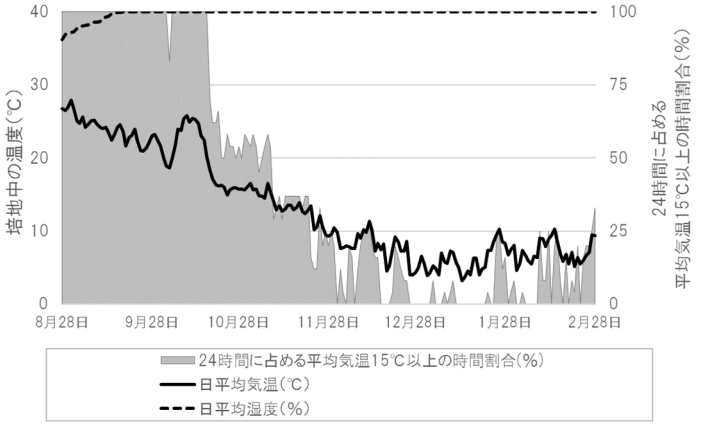


図-１　培地中の温湿度

②品種別成長量調査

品種による枯死率、発根率の違いは観察されていない。

③吸水期間別調査

全ての試験区において発根は観察されていない。また、枯死については吸水 0 日 20 ㎝穂長区の 1 本のみであった。

2)ヒノキコンテナ直ざし試験

品種による枯死率、発根率の違いは観察されていない。

3)スギ及びヒノキエアざし実証

令和４年度２月末時点で、発根は確認されていない。

謝辞

今回の試験においては、大分県樹苗生産農業協同組合の有限会社サン・グリーン、諫本信義氏、九州林産株式会社にご協力いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

1）国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター九州育種場：用土を用いない空中さし木法によるスギさし木コンテナ苗生産マニュアル Ver.1.1，４pp（令和３年）

2）森下義郎、大山浪雄：造園木の手引 さし木の理論と実際，162pp（昭和 47 年）

スギ・ヒノキさし木苗の生産性向上に関する研究

－ ヒノキ少花粉品種の成長比較 －

令和３年度～令和５年度
森林チーム　松本　純

１．目　的

林野庁は花粉発生源対策の技術的助言等をまとめた「スギ花粉発生源対策推進方針」の中で、令和 14 年度までに花粉症対策に資するスギ苗木の年間生産量に占める割合を約７割に増加させることを目標としている。また、ヒノキについても花粉の少ない森林への転換等の推進に際して本方針を参考に取り組むものとしており、成長データ等の継続的な情報収集が求められる。

本研究部ではヒノキ少花粉品種の増殖を目的とした採穂園内の品種について成長量調査を実施したので今回報告する。

２．調査地及び方法

調査対象は、林業研究部内の採穂園に平成 31 年３月に植栽したヒノキ 17 品種（接ぎ木苗）である（表-１）。４年生における調査は令和４年１月に実施し、樹高と根元径を測定した。

３．結　果

４年生の平均樹高は姶良 45 号が最も高かった（図-１）。形状比の平均値は樹高によらず 60 程度の品種が多く（図-２）、成長のよい品種での徒長は確認されなかった。

今回、樹高成長に品種間差がある傾向が認められたが、各品種の調査本数が少ないことに加え、接ぎ木苗という性質上、根元径の成長並びに根系が品種本来のものと異なることから詳細について引き続き検証を進める予定である。

表-１　４年生ヒノキ少花粉品種の概要及び調査結果

品種	測定本数（本）	平均樹高±SD（cm）	樹高最大値（cm）	樹高最小値（cm）	平均根元径±SD（mm）	平均形状比
南高来2号	3	91.3±7.4	101	83	11.3±1.0	80.9
阿蘇6号	4	96.3±27.9	140	70	17.1±5.8	57.7
阿蘇3号	3	102.0±20.5	131	86	13.7±0.8	74.2
九育2-150	14	102.3±25.7	146	62	15.9±3.5	64.0
諫早1号	8	107.8±33.1	164	62	18.7±7.4	60.7
東臼杵3号	3	112.5±36.0	163	82	18.7±5.2	59.8
姶良29号	2	116.5±14.5	131	102	18.0±2.2	64.7
南高来10号	4	125.8±24.4	158	91	16.7±5.3	79.1
浮羽14号	5	131.8±21.2	154	103	18.6±3.1	71.3
藤津4号	3	136.3±32.4	181	105	23.1±6.7	59.8
阿蘇11号	5	137.2±30.0	182	95	25.9±7.8	55.2
藤津3号	5	138.0±28.3	179	105	22.8±6.1	62.1
北諸方2号	4	140.3±27.6	163	93	24.3±4.7	57.8
姶良4号	4	150.8±20.8	169	116	24.2±5.3	63.6
遠賀1号	3	157.0±29.2	186	117	25.2±5.0	62.6
中津10号	5	160.0±38.0	205	103	25.3±9.8	68.1
姶良45号	5	200.6±47.0	270	138	33.4±8.9	60.9

※SD は標準偏差を示す。

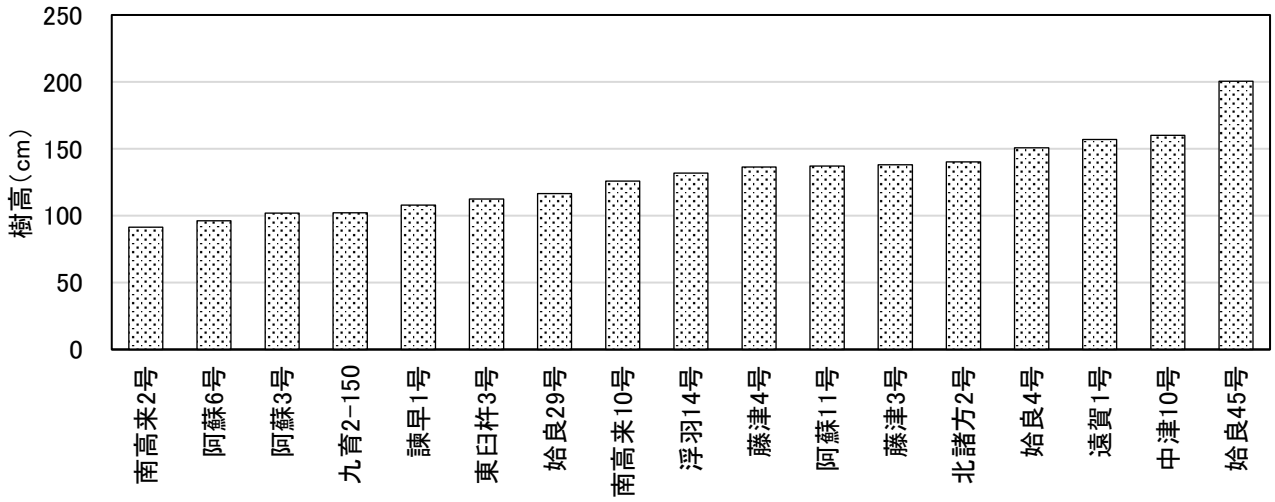


図-１　４年生ヒノキ少花粉品種の平均樹高

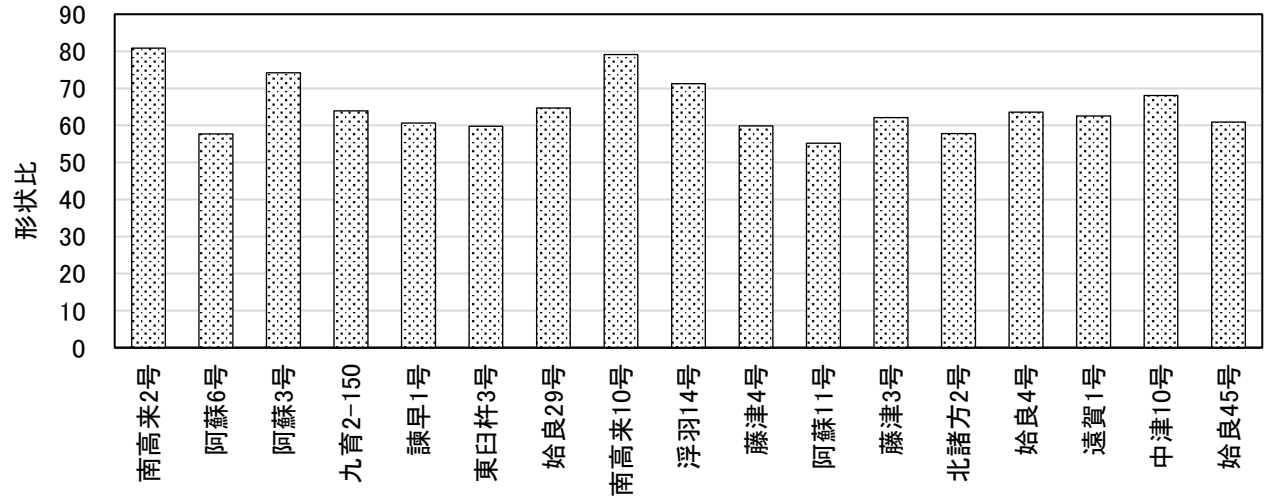


図-２　４年生ヒノキ少花粉品種の形状比

写真　姶良 45 号

大分県に適した早生樹の苗木生産・育林技術の開発

－ コウヨウザンとスギのツリーシェルターによる成長動態 －

令和３年度～令和５年度
森林チーム　青田　勝

1. 目　的

近年、主伐・再造林が増加しているが、高齢級の伐採が敬遠される等、齢級構成に偏りがあり、将来的には利用できる資源がなくなることから、次世代に森林資源を確保していくことが求められている。そこで、大分県では、成長が早く強度もスギと同等であるコウヨウザンに注目し、建築用材やバイオマスの原料等、様々な用途として利用することを検討している。

しかし、本県でのコウヨウザンの苗木生産や育林技術の知見は少なく、今後に向けた取組みが必要である。

本研究では、大分県に適した早生樹の苗木生産・育林技術を開発することを目的に、臼杵市有林においてコウヨウザンとスギの成長比較やツリーシェルター（以下、ＴＳと記す）を途中で撤去した場合の成長動態を検証したので報告する。

2. 試験方法

平成 31 年３月に、コウヨウザン（0.18ha、270 本）とスギ（(県藤津 14 号）0.14ha、200 本）を臼杵市有林に 1,500 本/ha で植栽した。試験地は臼杵市野津町で、標高 120ｍから 140ｍ、東向斜面、傾斜 20 度、過去 30 年間の平年降水量は 1883.2㎜[1)]で、土質は褐色森林土である。

試験地の全景は写真-１のとおりである。試験地①から③はコウヨウザン、④と⑤はスギを植栽した。植栽本数は①は４本で、②～⑤は順に 30 本、33 本、31 本、32 本である。①の周囲にはシカネットを設置し、②から⑤はＴＳを設置した。その後、③と⑤はＴＳの有無による成長の影響を検証するため、令和２年５月にＴＳを撤去し、代わりに防護柵を設置した。

調査項目は、樹高と直径（根元径）で、令和２年５月、同年９月、令和３年 10 月の３回調査を行った。

また、尾根側から斜面下側まで植栽木を測定した結果を元に、斜面位置別で樹種別で成長の違いがあるかを検証した。

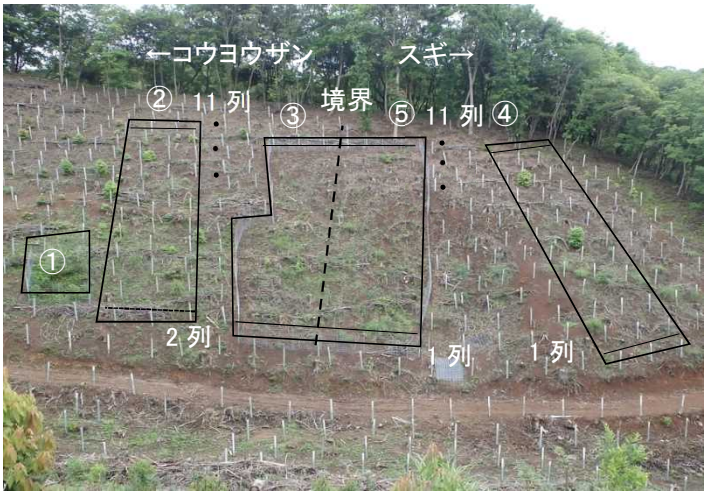


写真-１　試験地の全景

3. 結果及び考察

1)平均樹高及び平均直径(根元径)

図-１のとおり、植栽から３成長期を経過したコウヨウザンとスギの成長量は、コウヨウザンの方が良好であった。また、コウヨウザンとスギの両方とも、ＴＳ有の方が途中で撤去した方のものより良好であった。ＴＳは適切に施工されれば植栽木の初期樹高成長の促進

に有効とあり[2)]、ＴＳが初期の樹高成長を促進するのではないかと考えられた。

一方、ＴＳ無のコウヨウザンは、ＴＳ有のコウヨウザンよりも平均樹高は低いものの、直近の樹高成長量は良好であった。

平均直径（根元径）は、コウヨウザンではＴＳ無が最も大きく、ＴＳ有も良好であった。一方、スギについては、ＴＳ有の方がＴＳ撤去のものより大きかったが、ＴＳ有よりＴＳ撤去のものの方が、直近の成長量は大きかった（図-２）。

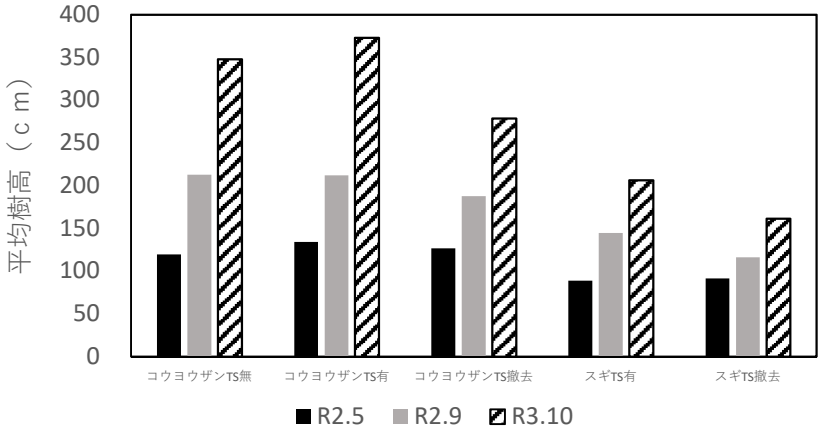


図-１　条件別の平均樹高

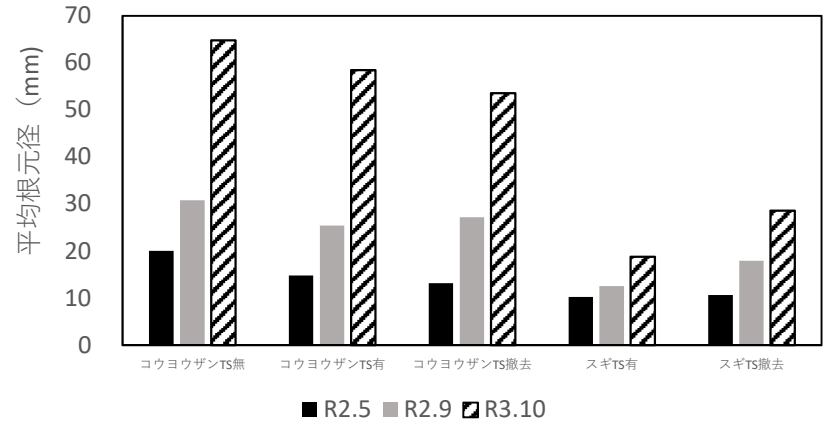


図-２　条件別の平均根元径

写真-２のとおり、樹高は２ｍ以上あり、中には４ｍ以上のコウヨウザンも多数見られた。一方、ＴＳ撤去したものは、ＴＳ有より樹高が低かったものの、３ｍ以上のコウヨウザンも多数見られた（写真-３）。

スギについては、ＴＳ有は樹高が２ｍ以上のものが大半を占め、ＴＳ撤去のものは、２ｍ以上のスギも数本見られた（写真-４、５）。

写真-２　ＴＳ有のコウヨウザンの状況

写真-３　ＴＳを撤去したコウヨウザンの状況

写真-４　ＴＳ有のスギの状況

写真-５　ＴＳを撤去したスギの状況

形状比の経年変化について、図-３に示す。ここでの形状比は植栽木の（樹高）／（幹本部直径）の比で、形状比が高いと徒長していることを示す[3)]。また、形状比が80を超えると気象害に対して弱い樹形だとされている[4)]。

令和２年５月時点では、コウヨウザンＴＳ無の形状比は 60で、値が低いことから幹が安定していた。他の条件のものは、85から 95 前後の高い値であった。

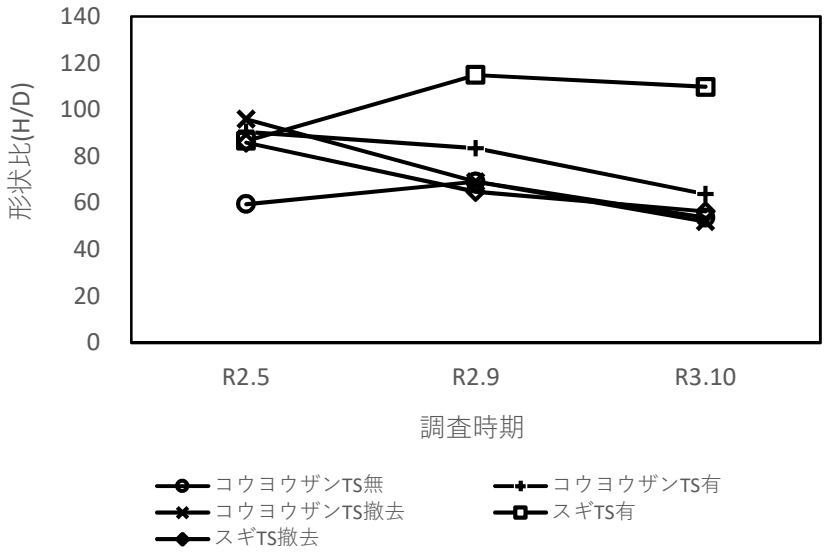


図-３　形状比の経年変化

次に、ＴＳを撤去した令和２年９月時点では、コウヨウザンＴＳ有の形状比は微減であったが、撤去したものは 70 まで減少していた。一方、スギのＴＳ有は形状比が 114 まで増加したが、撤去したものは 65 まで減少していた。

さらに、令和３年 10 月時点では、ＴＳ有で比較すると、コウヨウザンは減少しているが、スギのＴ

Ｓ有は横ばいであった。これは、コウヨウザンの樹高がＴＳ高を超えており、ＴＳ高を超えた頃(150cm)から風で幹が折れないようにしなくてはならないため、樹高成長を犠牲にして肥大成長を促進しなければならず[4)]、これにより形状比が減少したと考えられた。

一方でスギにおいても、今後樹高がＴＳを大きくなるにつれて形状比が減少することが想定された。

また、コウヨウザン及びスギのＴＳ撤去のものは、令和２年９月時点からさらに減少した。ＴＳが撤去されたことで、肥大成長が促進され、幹が安定すると考えられた。

2)斜面位置別の樹高

斜面位置別で樹高を検証した結果を図-４に示す。

スギは尾根側に従って平均樹高が低くなったが、コウヨウザンでは明確には認められなかった。コウヨウザンは比較的水分条件が厳しい尾根付近でも、ある程度の成長が期待できると考えられたが、本研究の一事例の結果であるため、さらに他の植栽地での成実績が必要であると考えられた。

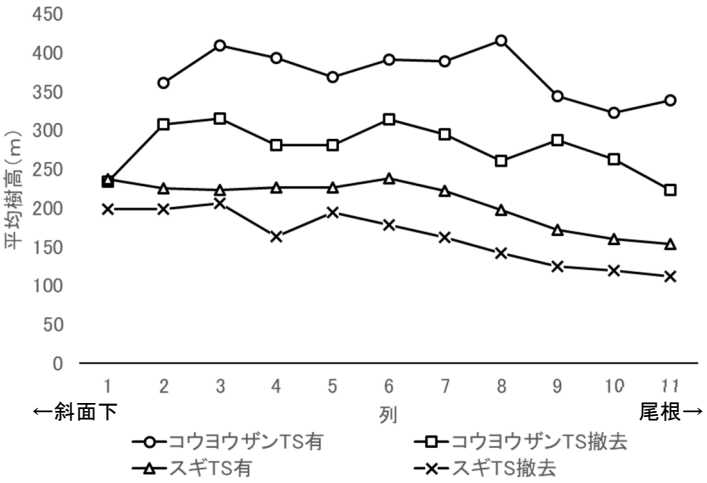


図-４　斜面位置別の樹高の推移

4. まとめ

植栽から３成長期を経過したコウヨウザンとスギの樹高成長を比較すると、コウヨウザンの方が良好であった。ＴＳ高から梢端部が突出していない段階で、ＴＳを撤去することで形状比が減少した。これは、ＴＳの撤去により、肥大成長が促進されて樹幹が太くなり安定するのではないかと考えられた。

一方で、ＴＳ設置の場合でも、梢端部がＴＳ高（150cm）以上になると、風で樹幹が折損しないようにすることで根元径が大きくなり、形状比が減少すると想定された。

また、斜面位置別の樹高については、今回調査した尾根側から斜面側にかけて、コウヨウザンの樹高成長の低下が見られなかった。コウヨウザンの適地はスギと同等と考えられるが、比較的水分条件の厳しい尾根付近でも、ある程度の成長が期待できると考えられたが、さらなる検討が必要である。

参考文献

１）国土交通省気象庁：ホームページ各種データ・資料　過去の気象データ検索（令和２年）

２）八木 貴信：日本森林学会大会発表データベース，132(0)，335（令和３年）

３）４）国立研究開発法人　森林研究・整備機構　森林総合研究所九州支所：西日本の若齢造林地におけるシカ被害対策選択のポイント～防鹿柵・単木保護・大苗植栽～，39（令和３年）

５）林野庁：令和３年度森林総合監理士（フォレスター）基本テキスト，298（令和３年）

大分県に適した早生樹の苗木生産・育林技術の開発

－ ２代林のコウヨウザンの曲げ強度試験 －

令和３年度～令和５年度
森林チーム　青田　勝

1. 目　的

大分県では、早生樹の中でもコウヨウザンに注目し、建築用材やバイオマスの原料等、様々な用途として利用することを検討している。コウヨウザンは伐根から萌芽するため、植栽をせずに更新が可能となるが、本研究では、これまでに事例が少ない萌芽後のコウヨウザンの材質試験を行うことを目的に、今年度は、当研究部内で伐根から萌芽後 15 年経過したコウヨウザンの曲げ強度試験を実施したので報告する。

2. 試験方法

1)供試材

令和３年５月に、コウヨウザンの伐根から萌芽した15年生の立木(①樹高11.8m、胸高直径21.0cm、②樹高 10.7m、胸高直径 19.5cm）を伐採し、それらを試験材とした。ただし、どちらとも梢端部は折損していた。伐採後、地上高約２ｍごとに円盤を採取した後、含水率を測定した。また、縦振動周波数の測定は、ポータブル FFT アナライザーAD-3527 型（(株)エー・アンド・デイ製）を用いて行い、縦振動ヤング係数（以下、E_{fr} と記す）を調べた。

次に、丸太から随及び中心を含む厚さ６cm のまさ目板に加工した後、60℃一定で含水率が 12%程度になるまで乾燥し、板から曲げ試験用の無欠点小試験体を作成した。試験材寸法は(20mm×20mm×280mm)とした。

2)曲げ強度試験

曲げ強度試験は、日本工業規格（JIS）の木材試験方法に基づき実施した。測定には、万能試験機 AG-100kNAR(株式会社島津製作所製)を用いた。20mm 角、材長 280mm の試験体に対し、スパンは材せいの 12 倍（240mm)、載荷速度は 5mm/min の条件で、まさ目面荷重、３点曲げ試験方法で実施した。荷重とたわみはロードセルとクロスヘッドの移動量で測定し、最大荷重まで記録した。試験終了後には、試験材を全乾法により含水率を求めた。さらに、荷重－たわみ曲線から曲げ強さ（以下、MOR と記す）及び曲げヤング係数（以下、MOE と記す）を求めた。

3. まとめ

1)供試材

強度試験に供した材平均の測定結果を表-１に示す。

表-１　強度試験に供試した材平均の測定結果

試験体	本数	材長(mm)	末口径(mm)	元口径(mm)	密度(kg/m^3)	縦振動周波数(Hz)	E_{fr}(GPa)
①	4	190.50	56.53	74.04	850.43	745.63	6.86
②	3	203.33	83.86	96.60	754.97	812.50	7.53

試験体２本の平均の密度はおおよそ 754～850kg/m^3、E_{fr} は 6.86～7.53GPa であった。
また、含水率は①164.59%、②133.49%であった。

2)曲げ強度試験

曲げ強度試験の結果を表-２に示す。

表-２　曲げ強度試験の結果

試験体		試験体(本)	幅(mm)	厚さ(mm)	材長(mm)	含水率(%)	MOR(MPa)	MOE(GPa)
①	平均値	14	20.21	20.23	2800	12.6	69.29	8.96
	最大		20.30	20.37	2800	14.4	85.93	9.94
	最小		20.16	20.05	2800	10.7	57.09	7.15
	標準偏差		0.04	0.10	0	1.1	7.63	0.80
②	平均値	20	20.24	20.14	2800	11.5	67.42	9.59
	最大		20.50	20.31	2800	13.5	86.49	10.71
	最小		19.95	19.91	2800	10.0	49.39	8.45
	標準偏差		0.14	0.08	0	0.9	9.02	0.47

試験体①及び②の MOR の平均値は 67.42～69.29MPa で、MOE の平均値は 8.96～9.59GPa であった。また、全乾含水率は 11.5～12.6%であった。以前、本研究部で試験した結果 [1] で、54 年生の供試木からは、MOR が 74MPa、MOE が 7GPa であり、それらと比較すると MOR は低く、MOE は高かった。MOE については、ヒノキと同等の結果となった。MOR と MOE との間には、常に正の相関関係が見られる [2] とあるが、今回の試験体では、②のみ相関関係が見られた（図-１）。これは①の方の比較的随に近い試験体が、MOE に対して MOR の値が低い結果であったことから、MOR と MOE に相関関係が見られなかった。

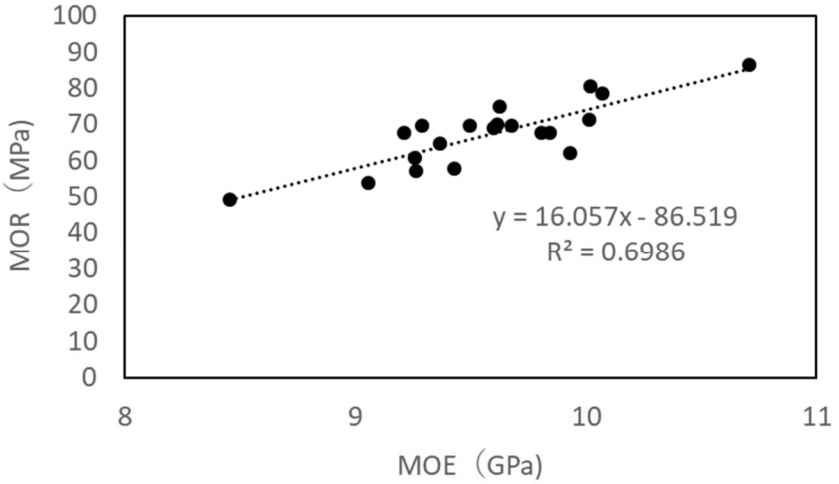


図-１　試験体②の MOR と MOE との関係

参考文献

１）大分県農林水産研究指導センター林業研究部：早生樹を用いた短伐期林業の手引き（コウヨウザン、チャンチンモドキ編），14（平成 27 年）
２）劉元，中山義雄：木材学会誌 Vol.44，No６，387-394（平成 10 年）

県産スギ大径材の有効利用技術の開発

－ ９丁取りした正角材の強度と４丁取りした正角材の乾燥試験 －

令和元年度～令和３年度
木材チーム　古曳　博也

1. 目　的

大分県における 10 齢級以上のスギ人工林は、面積及び蓄積量ともに約７割を占めることから、今後大径材の供給量が増すものと予想される。大径材から複数本の正角材や平角材が採材される場合、材質や性能に不明な点も多く、明らかにすることが求められる。

初年度は、１本の大径材から９本採材した正角材（以下、９丁取り正角材と記す）について、採材位置ごとに性状を調査[1)]した。昨年度は、採材位置ごとの強度試験や人工乾燥試験[2)]を行った。今年度は、昨年度人工乾燥した９丁取り正角材を用いて性状調査と曲げ強度試験を、さらに１本の大径材から４本採材した正角材（以下、４丁取り正角材と記す）の人工乾燥試験を行ったので報告する。

2. 試験方法

1）乾燥した9丁取り正角材の性状調査と曲げ強度試験

(1）供試材

昨年度人工乾燥試験[2)]に供した材長約３m の試験体を用いた。人工乾燥後、室内にて５か月以上養生した。その後、モルダー加工機を用いて一辺が 90mm の正角材に仕上げた。

(2）性状調査

仕上げ加工前後に、正角材の寸法、重量、含水率、曲がり及び縦振動ヤング係数（以下、E_{fr} と記す）を、仕上げ加工後に内部割れ、節数及び節径を調べた。含水率は、高周波木材水分計 HM-520 型（株式会社ケツト科学研究所製）を用いて、元口から材長 500、1,500、2,500mm の位置の４面を測定した。縦振動周波数の測定は、ポータブル FFT アナライザーAD-3527 型（株式会社エー･アンド･デイ製）を用いた。内部割れは、元口から材長 100、2,000、2,900mm の位置で長さ約 25mm の小片を切断し（図-１）、木口面に生じた割れの個数、長さを測定した（高温２、高温３、中温乾燥の試験体のみ[2)]）。

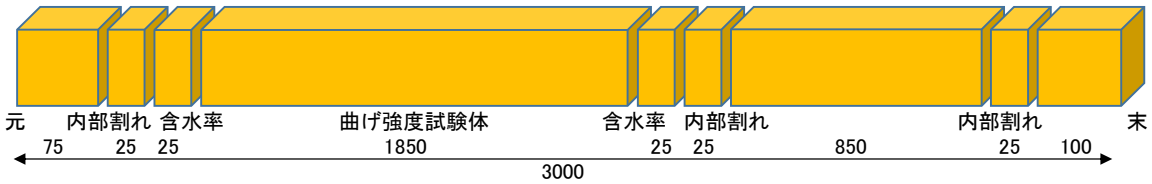


図-１　強度試験体の採取方法模式図（数字は長さ(mm)を示す）

(3）曲げ強度試験

曲げ強度試験体は、図-１のように切り出した。試験体の両端からは長さ約 25 mmの小片を切断し、平均年輪幅及び含水率を全乾法で求めた（高温２、高温３、中温乾燥[2)]）。曲げ強度試験は、万能試験機 AG-100kNAR(株式会社島津製作所製)を用い、「構造用木材の強度試験マニュアル」[3)]に従って実施した。スパンは材せいの 18 倍（1,620 mm）、３等分点４点荷重方式により、載荷速度 10mm/min の

条件で木表側から加圧した。曲げ強さ(以下、MOR と記す)及び曲げヤング係数(以下、MOE と記す)を求めた。

2)4丁取り正角材の人工乾燥試験

(1)供試材

県西部地区から調達した材長約４m、末口径 40 cm以上の丸太９本について、末口径、元口径、材長、重量、年輪数、E_{fr} 及び材長中央部における曲がりを測定した。

(2)4丁取り正角材の採材工程及び性状調査

送材車付き帯鋸盤を用い、図-２に示す工程で採材した。周辺部から①～⑧の順に厚さ約 30 ㎜程度の背板を採材した後、中央部から正角材４本を⑨～⑭の順に採材した。正角材の寸法は、表-６に示す原木のうち、末口径 44 cm以上の丸太からは一辺が 135 ㎜の正角材を、末口径 42 cm以下の丸太からは一辺が 120 ㎜の正角材を採材した。芯の抜き幅は 25 ㎜程度、鋸入れ後の修正挽きは行わなかった。図-３に正角材の採材位置と年輪の模式図を、表-１に正角材のグループ分けを示す。正角材の性状について、寸法、重量、含水率、曲がり及び E_{fr} を測定した。

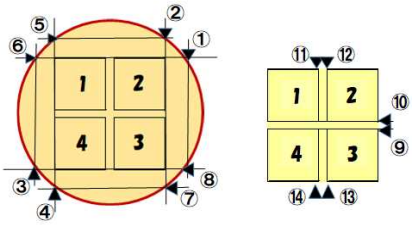


図-２　４丁取り正角材の採材工程

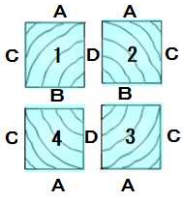


図-３　正角材の採材位置と模式図

表-１　グループ分け

面	摘要
A面、C面	木表側
B面、D面	木裏側

(3)乾燥試験の方法

図-４に示すように、中央部から材長約３m に切り出し試験体とした。試験体の両端からは長さ約 25 ㎜の小片を採取し、全乾法により含水率を求めた。試験体の寸法、重量、含水率（元口から 500、1,500、2,500 ㎜の位置の４面）、曲がり及び E_{fr} を調べた後、表-２に示す３条件のスケジュールで乾燥した。

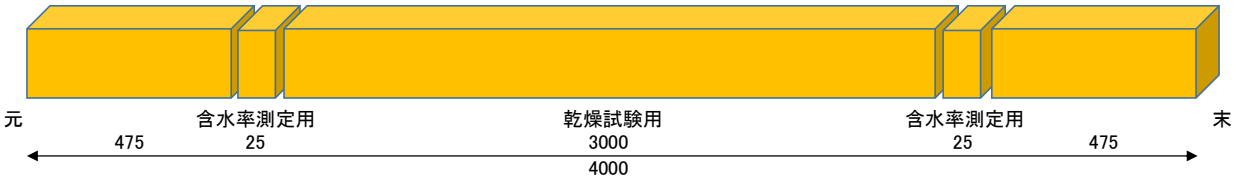


図-４　乾燥試験体の採取方法模式図（数字は長さ(㎜)を示す）

表-２　４丁取り正角材の乾燥スケジュール

乾燥条件 No.		項目	蒸煮 乾球98-湿球98(℃) 時間(h)		中温乾燥 乾球90-湿球60(℃) 時間(h)		降温 乾球30-湿球20(℃) 時間(h)
1					60		
2		中温	8	→	120	→	24
3	※				132		

※ 条件3は、条件1の終了後に中温乾燥をさらに 72 時間追加したスケジュール

写真-１　試験体の設置とベルト圧締

乾燥機は、大分県立日田林工高等学校の高周波・蒸気複合乾燥機 MDW-２SD 型（山本ビニター株式会社製）を用い、曲がりの向きが下向きになるように設置した。乾燥時の載荷は、中２段に位置する計８体の試験体のみ、ラチェット荷載機にて材長方向５か所を圧締した（以下、ベルト圧締と記す。写真-１）。乾燥終了後に再び、寸法、重量、含水率、曲がり及び E_{fr} を測定し乾燥前後の変化を調べた。

3. 結果及び考察

1)乾燥した9丁取り正角材の性状調査と曲げ強度試験

(1)供試材

昨年度に人工乾燥[2)]した試験体について、仕上げ加工前後の測定結果を表-３に示す。４方まさ及び２方まさは、どの試験体も含水率 20%以下を示していた。一方、心持ち材は 20%以上の含水率を示すものが多かった。同一の乾燥スケジュールでこのような差が生じたことから、心持ち材に比べて４方まさ及び２方まさは、乾燥しやすい材であることが分かった。E_{fr} の値は、仕上げ加工の前後で差異は生じなかった。含水率及び密度に変化がなかったためと判断できる。

表-３　仕上げ加工前後の測定結果

項目		試験体	含水率 (%)		密度 (kg/m³)		E_{fr} (GPa)	
		(本)	仕上げ前	仕上げ後	仕上げ前	仕上げ後	仕上げ前	仕上げ後
高温 1	４方まさ	5	15.1	15.2	369	373	6.41	6.40
	２方まさ	3	19.7	17.6	386	390	6.28	6.25
	心持ち材	9	22.5	25.5	475	490	8.01	7.69
高温 2	４方まさ	5	17.2	14.7	388	392	5.46	5.91
	２方まさ	3	15.1	12.8	356	357	5.43	5.34
	心持ち材	9	21.7	20.1	466	479	7.39	7.39
高温 3	４方まさ	5	16.1	15.4	402	403	6.54	6.26
	２方まさ	3	10.8	10.4	346	347	5.78	5.81
	心持ち材	9	19.4	19.3	465	474	8.01	7.38
高温 4	４方まさ	10	12.0	9.9	368	375	6.83	7.01
	２方まさ	8	12.6	10.2	362	368	6.99	7.14
	心持ち材	28	22.6	19.3	492	512	9.18	8.71
中温	４方まさ	12	15.1	15.0	352	355	5.31	5.37
	２方まさ	12	14.6	14.6	353	355	5.24	5.17
	心持ち材	7	23.0	24.9	487	480	8.58	7.75

(2)曲がり

仕上げ加工前後の試験体の曲がりの状況を図-５に示す。記載の数値は、４面における矢高の平均値を示す。数字のみの記載は、製材の日本農林規格[4)]（以下、規格と記す）の甲種Ⅱの１級の曲がりに該当することを、丸数字は規格の２級の曲がりに該当することを意味する。

仕上げ加工前後で、矢高の値に大きな変化は生じなかった。材表面を削る際に、応力緩和が起きな

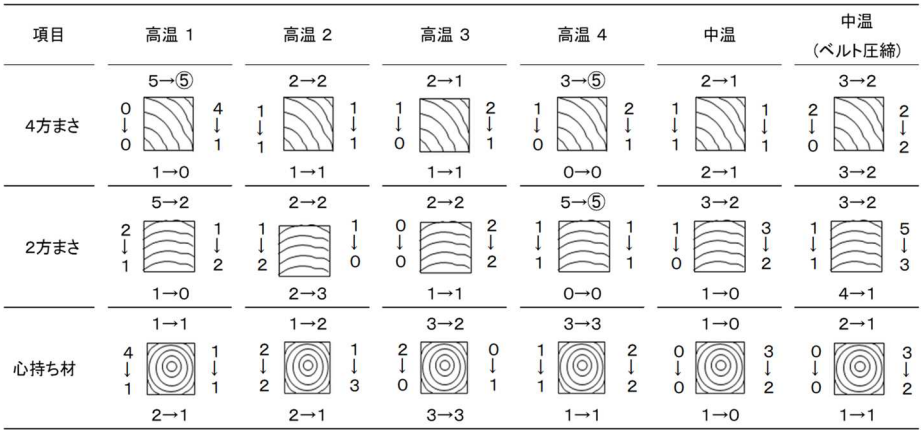


図-５　仕上げ加工前後の矢高の平均値（単位：㎜、仕上げ前→仕上げ後）

かったものと推察される。ただ規格において、仕上げ材の曲がりは、挽き材の 1/2 程度であることが求められるため、採材及び乾燥工程を通じて曲がり抑制を図ることが必要となる。

(3)内部割れ

内部割れの状況を図-６に示す。３条件の乾燥スケジュール（高温２、高温３、中温乾燥[2)]）について、元口から 2,000 ㎜の位置の内部割れ個数、長さを表している。中温乾燥で乾燥した試験体は良好な結果を示し、２方まさの試験体は、内部割れの発生がわずかに確認される程度、４方まさの試験体には全く確認されなかった。中温乾燥の条件は、表層部と内部との含水率傾斜が小さい状態で乾燥することができるため、内部において引張応力が働きにくくなったものと考えられる。

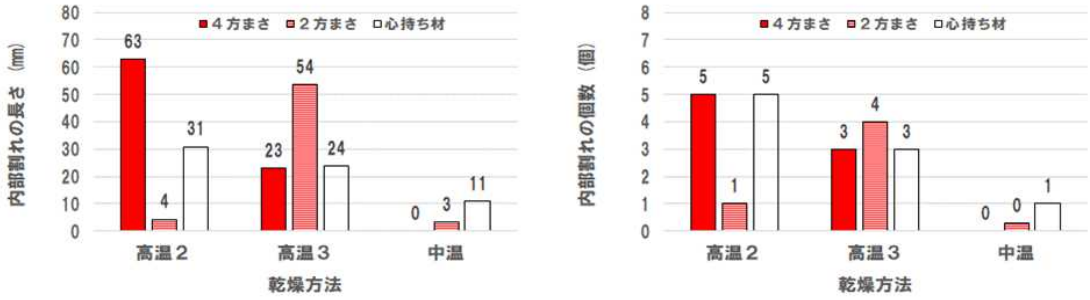


図-６　元口から 2,000 ㎜の位置における内部割れの個数と長さ

(4)節

試験体の節の状況を図-７に示す。心持ち材は、４面に多くの節が確認されたのに対し、４方まさ及び２方まさは、木表側で少なくなる傾向を示した。節径は、４方まさの木表側が最も小さかった。しかし、２方まさの側面（まさ目面）には、節の縦断面が見える大きな流れ節が存在した。

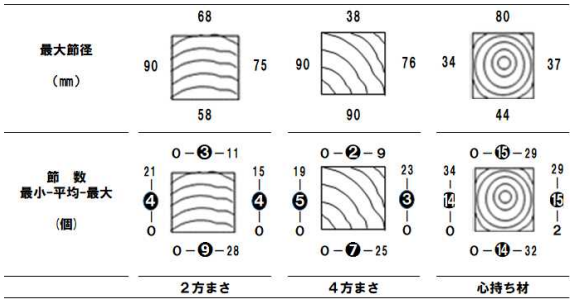


図-７　節の状況

(5)曲げ強度試験

曲げ強度試験の結果を表-４、図-８及び図-９に示す。MOR の平均値は、４方まさが 35.7MPa、２方まさが 30.3MPa を示した。両者の間に危険率５％で有意差が認められることから、２方まさ＜４方まさの関係があるものと考える。MOE の平均値は、４方まさが 5.77GPa、２方まさが 5.51GPa を、E_{fr} の平均値は、４方まさが 5.98GPa、２方まさが 5.70GPa を示した。MOE 及び E_{fr} は、４方まさ及び２方まさの間に有意差がないことから、４方まさ≒２方まさの関係があるものと考える。また、図-８において MOE と E_{fr} の間には相関が見られた。

表-４　曲げ強度試験の結果

		試験体（本）	含水率（%）	密度（kg/m³）	MOR（MPa）	MOE（GPa）	E_{fr}（GPa）
４方まさ	平均値	20	14.0	376.4	35.7	5.77	5.98
	最大		17.9	433.4	46.9	7.88	8.46
	最小		12.0	338.0	18.3	4.14	4.76
	標準偏差		1.7	27.0	8.5	1.17	1.10
２方まさ	平均値	16	13.7	349.9	30.3	5.51	5.70
	最大		16.6	388.6	43.6	7.94	7.92
	最小		11.8	290.5	18.1	3.94	4.12
	標準偏差		1.4	27.1	7.5	1.22	1.23
心持ち材	平均値	23	16.6	467.3	46.9	8.12	7.66
	最大		39.9	591.3	62.2	11.65	11.53
	最小		11.8	388.4	32.4	4.09	4.11
	標準偏差		6.2	49.3	7.4	1.49	1.46

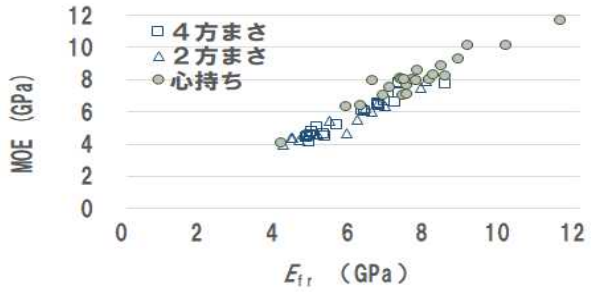


図-８　MOE と E_{fr} の関係

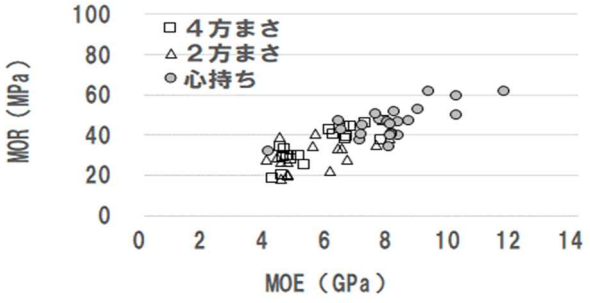


図-９　MOR と MOE の関係

2)4丁取り正角材の人工乾燥試験

(1)供試材

末口径 40 ㎝以上の丸太９本の測定結果を表-５に示す。９本の材の密度は 620～999kg/m^3、E_{fr} は 4.58～8.02GPa、曲がり（矢高）は 3.6～11.5 ㎝であった。

４丁取り正角材の採材後の測定結果を表-６、図-10 に示す。含水率の平均値は、一辺 135 ㎜の正角材が 126.0%、一辺 120 ㎜の正角材が 156.2%であった。採材後の曲がりは、木表側に生じた。

表-５　供試丸太の測定結果

番号	末口径 (cm)	元口径 (cm)	密度 (kg/m^3)	曲がり矢高 (cm)	元口年輪数 (年)	E_{fr} (GPa)	素材JAS[5)]
1	46	58	673	3.8	35	4.58	Ef 50
2	48	55	620	4.6	69	4.79	Ef 50
3	42	57	883	5.8	53	5.39	Ef 50
4	40	56	884	11.5	53	6.27	Ef 70
5	42	58	834	3.6	54	6.74	Ef 70
6	40	53	767	3.5	51	6.76	Ef 70
7	42	55	900	4.6	52	7.22	Ef 70
8	44	54	999	4.1	51	7.75	Ef 70
9	45	53	847	5.2	71	8.02	Ef 90
平均	43	55	823	5.2	54	6.39	

表-６　４丁取り正角材の採材後の測定結果

採材寸法	試験体	本数 (本)	幅 (㎜)	厚さ (㎜)	材長 (㎜)	重量 (kg)	含水率 (%)	密度 (kg/m^3)	曲がり最大矢高 (㎜)	E_{fr} (GPa)
一辺135㎜	4方まさ	16	136.19	135.53	4150	53.23	126.0	695	15	6.57
一辺120㎜	4方まさ	8	122.04	120.39	4108	48.54	156.2	804	18	6.47

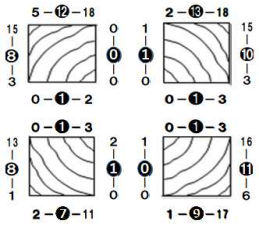


図-10　採材後の最大矢高
（単位：㎜　最小－平均－最大）

(2)含水率

乾燥前後の含水率を図-11 に示す。図中の横太線は、目標含水率の 20%を示す。60 時間の乾燥では、乾燥前含水率 80%程度の材料については、含水率 30%程度までしか乾燥できなかった。しかし、さらに 72 時間延長し合計 132 時間乾燥させた場合、概ね 20%以下に乾燥できることが分かった。

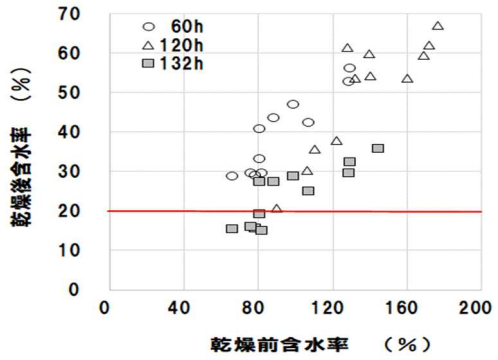


図-11　乾燥前後の含水率変化

(3)曲がり

乾燥前後の正角材の曲がりの変化を図-12 に示す。記載の数値は、４面における矢高の最大値を示す。側面に位置する木表面の曲がりは、ベルト圧締無しの場合、矢高が微増したのに対し、ベルト圧締した場合は、矢高が減少する傾向を示した。ベルトについては、条件１では 60 時間乾燥後には緩んでいた。締め直して、さらに 72 時間乾燥を追加した条件３では、極端なベルトの緩みはなかった。圧締が確実に実施されていたことが曲がり抑制につながったのではないかと推察される。

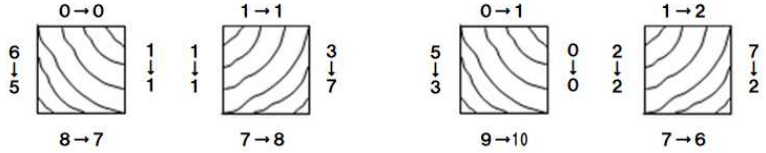


図-12　乾燥前後の矢高の最大値　（単位：㎜ 、乾燥前→乾燥後）
左２つ：ベルト圧締無し　右２つ：ベルト圧締有り

4. まとめ

1)９丁取り正角材の性状調査と曲げ強度試験

人工乾燥後に十分養生した９丁取り正角材について、以下のことが明らかになった。

・仕上げ加工前後で、矢高に大きな変化は生じなかった。

・中温乾燥で乾燥した場合、４方まさ及び２方まさにおいて内部割れの発生は少量であった。

・MOR に、２方まさ＜４方まさの関係が示された。

・MOE と E_{fr} の間に、相関が見られた。両者に、４方まさ≒２方まさの関係が示された。

2)４丁取り正角材の人工乾燥試験

４丁取り正角材について、以下のことが明らかになった。

・４丁取り正角材を採材した直後は、木表面で材長方向に凹型に曲がる傾向を示した。

・中温乾燥 60 時間では、乾燥前含水率 80%程度の材料が、30%程度までしか乾燥できなかった。

・中温乾燥 132 時間では、乾燥前含水率 80%程度の材料が、概ね 20%以下に乾燥できた。

・乾燥時の圧締によって、矢高の増加が防げた。ベルト圧締の場合、緩まないことが条件となった。

謝辞

今回の乾燥試験では、大分県立日田林工高等学校並びに同校の林業科教諭　後藤英次郎氏、江田雅之氏には、同校所有の高周波・蒸気複合乾燥機を使用させていただく際に多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

１）古曳博也：令和元年度大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報，24-29（令和２年）

２）古曳博也：令和２年度大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報，20-27（令和３年）

３）（公財）日本住宅・木材技術センター：構造用木材の強度試験マニュアル，５-17（平成 23 年）

４）製材の日本農林規格：平成19年８月29日農林水産省告示第1083号

５）素材の日本農林規格：平成28年８月30日農林水産省告示第1641号

長大スパンに対応する接着重ね材の開発

令和２年度～令和４年度
木材チーム　山本　幸雄

1. 目　的

平成 22 年の「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」により、非住宅分野建築物の木造化が促進されている。これら非住宅分野の建築物では大きな空間が必要なため、長大スパンに対応できる大断面集成材が使用されることが多いが、県内にはそれを製造できる工場はない。

このような中、平成 31 年１月に接着重ね材の日本農林規格[1)](以下、JAS と記す)が制定された。接着重ね材とは、構造用に使用する断面が 105～150㎜の製材(以下、製材ラミナと記す)を、その繊維方向を互いにほぼ平行にして厚さ方向に２～５層積層接着した構造用木材である。これにより集成材とほぼ同様な、長辺が最大で 750㎜の構造材を、一般に流通している寸法の製材で製造できるようになった。また接着重ね材には、集成材に比べ接着剤の使用量が少なく、圧締するための設備と養生を行うための施設のみの少ない投資で製作が可能といった利点が挙げられる。

しかし、JAS には製材ラミナのたて継ぎに関する規定がなく、接着重ね材の長さは一般的に流通している製材品の長さに制約を受けることになり、４メートルを超えるスパンへの対応は困難である。そこで本年度は、より長大スパンへの対応を目標に、大分県産スギ製材品をフィンガージョイント（以下、FJ と記す）でたて継ぎした製材ラミナで接着重ね材を試作し、曲げ試験を行い、その性能を検討したので報告する。

2. 試験方法

1)たて継ぎ製材ラミナの引張試験

たて継ぎしたスギ製材ラミナで接着重ね材を試作するにあたり、FJ と節との間隔を検討するため、たて継ぎした製材ラミナの引張試験を行った。

(1)供試材

はじめに、大分県内の大分方式乾燥材認証工場で製材、乾燥（含水率 15%以下）された断面寸法が 105×105㎜で長さ４ｍのスギ製材７本を準備し、寸法、重量、縦振動ヤング係数（以下、E_{fr}と記す）、最大節径、集中節径等を測定した。次いで、７本のうち５本について、長さを２ｍ に切断し二つのグループに分け、寸法、重量、E_{fr}を測定した。その後、一方のグループは FJ と節との間隔が、材長方向で測定した節径の１倍になる位置で切断・FJ 接合し、試験体を作製した（以下、１ｄグループと記す）。もう一方のグループは、FJ と節との間隔が３倍になるようにした（以下、３ｄグループと記す）。残りの２本について、片方を１d、他方を３ｄとした。FJ の成形には、フィンガーシェイパー（飯田工業株式会社製　FJS-252T）を、圧締には、フィンガーコンポーザー（飯田工業株式会社製　FJP-8ET）を用いた。

(2)引張試験

試験には、木材引張試験機（飯田工業株式会社製　NET-401G）を用いた。

2)FJ たて継ぎ製材ラミナを用いた接着重ね材の試作

FJ でたて継ぎした製材ラミナについて、長さ３ｍの製材２本を FJ でたて継ぎし６ｍにした製材ラミナ（以下、FJ3-3 製材ラミナと記す）と、長さ３ｍの製材の両木口に 1.5m 材を FJ でたて継ぎし６ｍにした製材ラミナ（以下、FJ1.5-3-1.5 製材ラミナと記す）、長さ４ｍの製材の両木口に１ｍ材を FJ でたて継ぎし６ｍにした製材ラミナ（以下、FJ1-4-1 製材ラミナと記す）の３種類を作製した。

また、試作した接着重ね材は、FJ3-3 製材ラミナと FJ1.5-3-1.5 製材ラミナを組み合わせた A タイプと、FJ1-4-1 製材ラミナと FJ3-3 製材ラミナを組み合わせた B タイプの２種類とした。図-１に組み合わせ方を示す。

接着重ね材の種類について、たて継ぎ製材ラミナの E_{fr} をもとに試験体構成の検討を行った。構成は JAS に準拠し、非対称異等級構成を基本とし、一部対称異等級構成とした。

たて継ぎ製材ラミナを用いた接着重ね材作製のため、大分県内の製材所で製材、乾燥された断面寸法が 105×105mm で長さ３ｍのスギ製材 21 本と、断面寸法が 105×105mm で長さ４ｍのスギ製材７本を準備し、寸法、重量、E_{fr}、最大節径、集中節径等を測定した。

A タイプの接着重ね材に使用した FJ3-3 製材ラミナについて、準備した長さ３ｍ の製材 21 本のうち、木口を FJ したとき、FJ から節までの距離が節径の３倍以上になる材 18 本を選び、E_{fr} の高い材から 12 本を E_{fr} の高い順に２本を組み合わせ、FJ でたて継ぎし、FJ3-3 製材ラミナ６本を作製した。FJ1.5-3-1.5 製材ラミナについては、FJ から節までの距離が節径の３倍以上になる材 18 本のうちの残り６本を E_{fr} の高い順に２本を組み合わせ、組み合わせた２本のうち E_{fr} の高いほうを 1.5m に切断し、他方の３ｍ製材の両木口に FJ し、FJ1.5-3-1.5 製材ラミナ３本を作製した。FJ3-3 製材ラミナの E_{fr} の高い順に、A タイプ接着重ね材１体目の外層引張側、外層圧縮側、２体目の外層引張側、外層圧縮側、３体目の外層引張側、外層圧縮側に、FJ1.5-3-1.5 製材ラミナの E_{fr} の高い順に、A タイプ接着重ね材１体目の内層、２体目の内層、３体目の内層に配置し、A タイプの接着重ね材を作製した。

B タイプの接着重ね材に使用した FJ1-4-1 製材ラミナについて、準備した長さ４ｍの製材の E_{fr} が高いほうから３番目の材を長さ１ｍに切断し、E_{fr} が高いほうから１番目と２番目の両木口に FJ し、FJ1-4-1 製材ラミナを２本作製した。次に、長さ４ｍの製材の E_{fr} が低いほうから１番目と２番目の材をそれぞれ３ｍと１ｍに切り、それぞれの３ｍ材を FJ し FJ3-3 製材ラミナを１本、切ったそれぞれの１ｍ材を長さ４ｍの製材の E_{fr} が高いほうから４番目の材の両木口に FJ でたて継ぎし、FJ1-4-1 製材ラミナを１本作製した。A タイプの接着積層材に使用しなかった３ｍ製材のうち E_{fr} が最も低いものを１ｍに切り、そのうちの２本を長さ４ｍの製材の E_{fr} が高いほうから５番目の材の両木口に FJ でたて継ぎし、

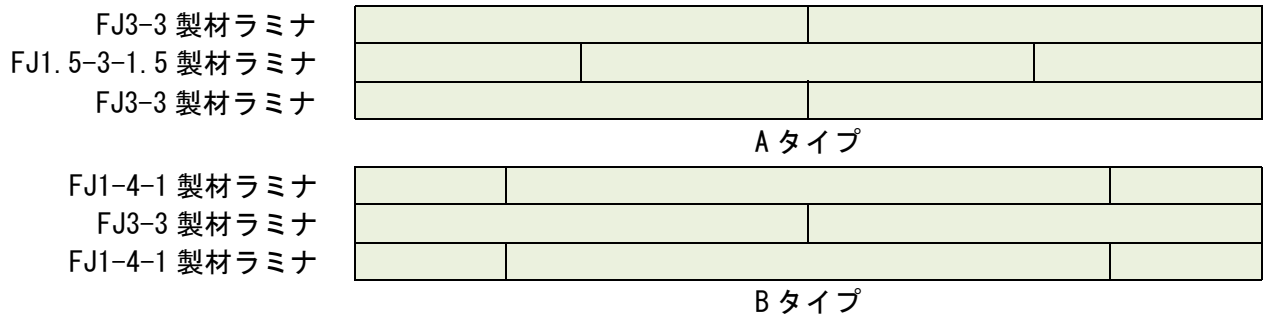


図-１　FJ 製材ラミナの組み合わせ方

FJ1-4-1 製材ラミナを１本作製した。A タイプの接着積層材に使用しなかった３m 製材のうち、残りの２本を FJ し FJ3-3 製材ラミナを１本作製した。作製した FJ1-4-1 製材ラミナを引張又は圧縮側に、FJ3-3 製材ラミナを内層に配置し、B タイプの接着重ね材を作製した。

FJ の成形には、フィンガーシェイパー（飯田工業株式会社製　FJS-252T）を用いた。また FJ の接着には、水性高分子-イソシアネート系木材接着剤（株式会社オーシカ製　鹿印ピーアイボンド　TP-111（主剤：TP-111、架橋剤：H-3M））を用いた。重量部で、主剤 100 部に対し架橋剤を 15 部の割合で調合し、0.4MPa で圧締した。

積層接着には、TP-111 を用いた。重量部で、主剤 100 部に対し架橋剤を 15 部の割合で調合し、調合後ハンドローラーを用いて積層面に対し約 300g/m^2 の割合で両面塗布した。その後、通直湾曲集成材製造装置（小林機械工業製　M-RS）により圧締し 60 分以上養生した。圧締圧力は 0.8MPa とし、トルクレンチを用いてボルトの締め付けを管理した。その後、各試験体の寸法、重量、E_{fr} を測定した。

3)曲げ試験

試験には、木材実大強度試験機（株式会社　島津製作所製　UH-1000kNAR）を用いた。スパンは 5,400mm とした。加力点間距離はスパンの 4/18 倍である 1,200mm とした。

加力速度は 10mm/min とした。加力及び支持点の一端をピン支持、他端をピンローラー支持とした。

変位は、ストレインゲージ式変位計（株式会社　東京測器研究所製　SDP-200D 及び SDP-100CT）を用いてスパン中央及び加力点で測定した。

また、JAS に準じ、曲げ強さ（以下、σ_b と記す）と曲げヤング係数（以下、E_b と記す）を求めた。E_b は最大荷重の 10%と 40%時の変位差と荷重差を用い求めた。ただし、試験体のめり込み変形は考慮しなかった。

また、曲げ剛性（以下、E_bI と記す）及び FJ 製材ラミナの E_{fr} を用いた等価断面法[2)]による剛性（以下、EI_e と記す）も求めた。試験の様子を写真-１に示す。

写真-１　曲げ試験の様子

3. 結果及び考察

1)たて継ぎ製材ラミナの引張試験

１d グループと３d グループの密度と E_{fr}、引張強度の平均値と標準偏差、５%下限値[3)]を表-１に示す。引張強度の平均値の検定の結果１d と３d に差は認められなかった（p=0.05）が、１d の５%下限値が 14.7MPa に対し３d のそれは 22.9MPa と 1.5 倍高い値を示した。そこで、以降の FJ たて継ぎ製材ラミナでは、FJ と節との間隔が３倍になるようにした。

表-１　たて継ぎ製材ラミナの引張試験結果

FJ と節の間隔	密度(kg/m^3)		E_{fr}(GPa)		引張強さ(MPa)		
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	5%下限値
1d	471	39.2	8.2	1.2	29.2	6.20	14.7
3d	472	54.9	8.6	1.1	31.7	3.77	22.9

2)FJ たて継ぎ製材ラミナを用いた接着重ね材の試作と曲げ試験

試作した接着重ね材の強度等級、E_{fr}、最大荷重、σ_b、E_b、E_bI、EI_eを表-２に示す。

σ_bについて､すべての試験体でJASの基準値を上回った。図-２に、JASに規定されるσ_bの基準値とσ_bの関係を示す。

JASのE_bの基準値と、E_{fr}、E_bの関係を図-３に示す。JASのE_bの基準値と、E_{fr} 及びE_bの間には強い正の相関がみられた。

EI_eとE_bIの関係を図-４に示す。EI_eとE_bIの間には強い正の相関があることが分かったが、E_bIはEI_eの0.94倍程度という結果になった。これはE_bを求める際、支持点のめり込み変形を考慮しなかったためと考えられる。

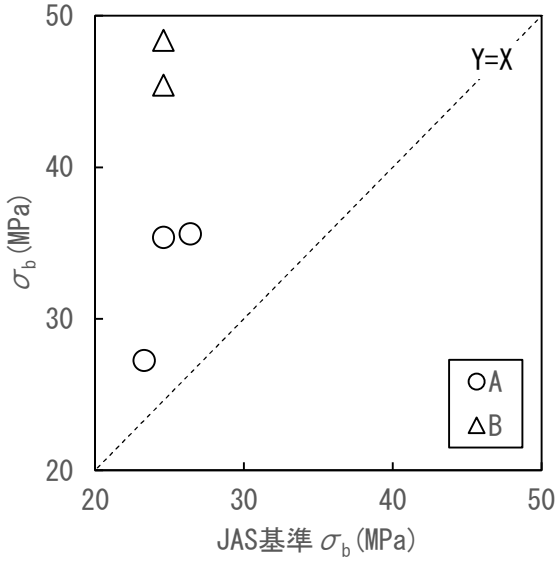


図-２　σ_bの関係

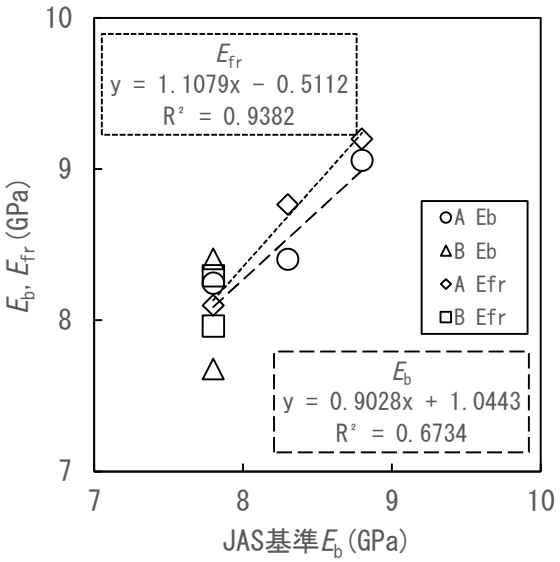


図-３　ヤング係数の関係

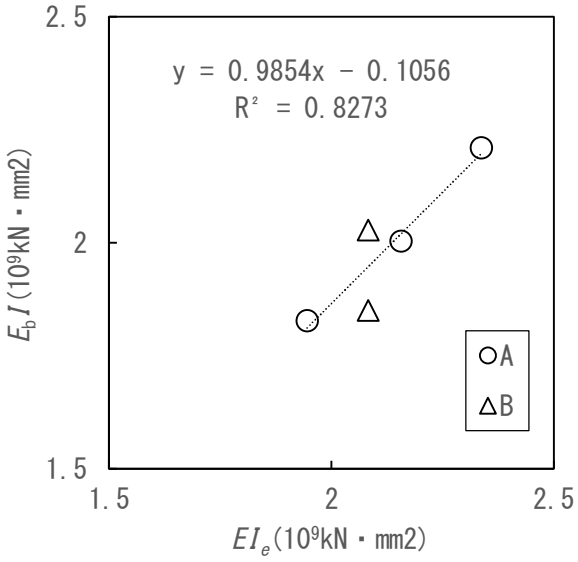


図-４　EI_eとE_bIの関係

表-２　試作した接着重ね材の性状

種類	番号	強度等級	E_{fr} (GPa)	最大荷重 (kN)	σ_b (MPa)	E_{fr} (GPa)	E_bI (10^9kN・mm^2)	EI_e (10^9kN・mm^2)
A	1	E80-F240	8.1	51.01	35.4	8.2	1.83	1.95
	2	E85-F230	8.8	41.29	27.3	8.4	2.00	2.16
	3	E90-F260	9.2	54.71	35.6	9.1	2.21	2.34
B	1	E80-F240	8.3	69.22	45.4	7.7	1.85	2.08
	2	E80-F240	8.0	73.72	48.4	8.4	2.03	2.08

4. まとめ

大分県内で製材されたスギ FJ 製材ラミナを用いた接着重ね材を JAS に準じ試作し、曲げ試験を行った結果、以下のことが分かった。

・FJ でたて継ぎした製材ラミナについて、FJ と節との間隔は節径の３倍必要。

・試作した接着重ね材は、JAS の基準値を満足した。

謝辞

今回の試験では、大分大学理工学部創生工学科/建築学コース 木質構造研究室准教授　田中　圭氏及び同研究室の学生の方々に、多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

１）　接着重ね材の日本農林規格（JAS 0006），平成31年1月

２）　日本木材学会 木材強度・木質構造研究会編：ティンバーメカニクス　木材の力学理論と応用 183-192，2015年

３）　財団法人日本建築学会編：木質構造設計基準・同解説　－許容応力度・許容耐力設計法－ 153，2006年