

静岡県で生育したスラッシュマツの樹幹内における材質変動[†]

稲葉大地¹⁾・長瀬 亘¹⁾・山田晋也¹⁾・池田潔彦²⁾

¹⁾農林技術研究所森林・林業研究センター, ²⁾農林環境専門職大学

Within-stem Variation of Wood Properties of *Pinus Elliottii* Grown in Shizuoka Prefecture, Japan

Daichi Inaba¹⁾, Ko Nagase¹⁾, Shinya Yamada¹⁾ and Kiyohiko Ikeda²⁾

¹⁾ Forestry and Forest Research Center / Shizuoka Res. Inst. of Agri. and Forest.,

²⁾ Shizuoka Professional Univ. of Agri.

Abstract

To elucidate the wood properties of *Pinus elliottii*, we observed within-stem variations in the average ring width, moisture content, wood density, dynamic Young's modulus, latewood rate, and wood warping of *P. elliottii* in Shizuoka Prefecture. The annual ring width measured from the disc split test piece was 4.0 ± 2.3 mm (mean $\pm$ standard deviation), the heartwood was 5.7 ± 1.9 mm, and the sapwood was 2.3 ± 1.1 mm. In the radial direction, more than 90% of the annual rings from the pith were less than 2 mm when the number of annual rings from the pith was 20 or more. In the vertical direction, the change in the mean annual ring width was minimal. The moisture content was $74.9 \pm 32.0\%$, $51.7 \pm 21.8\%$, and $97.7 \pm 22.9\%$ for entire lumber, heartwood, and sapwood, respectively. The moisture content was higher in the sapwood than in the heartwood, which is consistent with trends observed in other pine species. The oven-dry density was 476 ± 78 kg/m³, 454 ± 69 kg/m³, and 498 ± 81 kg/m³ for entire lumber, heartwood, and sapwood, respectively. The difference in oven-dry density between heartwood and sapwood was 44 kg/m³. In the radial direction, the oven-dry density increased from the pith to the outermost layer of the wood. The dynamic Young's modulus of kiln-dried lumber was 12.8 ± 3.2 GPa. In the radial direction, the dynamic Young's modulus increased with the number of annual rings from the pith. It increased linearly from the pith to the outermost layer, and it was not possible to distinguish a clear boundary between immature and mature wood. Assuming a cutting age of 30 years, the dynamic Young's modulus of slash pine planks less than 30 years old in this survey was 12.1 ± 2.6 GPa. This corresponds to L110 in the strength performance standard of laminars specified in JAS. More than 90% of the test pieces met the JAS standards for cups and twists.

キーワード：含水率，スラッシュマツ，全乾密度，早生樹，動的ヤング係数

I 緒 言

静岡県の人工林の9割以上が木材として利用可能な40年生を超えており¹⁾、県では森林資源を循環利用するため、と再造林を推進している。しかし、林業経営の採算性の低

下から、本県をはじめ、全国的にも再造林率は30～40%と低位にある¹⁾。政府は、従来の造林樹種と比較して短伐期で収穫ができる早生樹の普及・利用拡大に向けた研究開発を推進しており²⁾、静岡県においても生育環境や建築等の需要に則した早生樹種の選定が望まれている。一方、大手住宅メーカーの木造軸組住宅における部材別の木材の使用

[†]日本木材加工技術協会年次大会(2023.9,九州大学,口頭発表)

割合のうち、横架材については高い曲げヤング係数や多様な寸法が求められるため、ベイマツ製材やヨーロッパアカマツ集成材等の輸入材が 90% を占めており¹⁾、国産材の利用が進んでいない状況にある。高い曲げヤング係数や多様な寸法に対応できる国産材製品の開発によって、横架材における国産材需要の拡大が見込める。

国内で優良な生育を示すマツ属としては、先行研究において、上賀茂試験地（京都市）に植栽された 25 年生のアカマツ（*Pinus densiflora*）、クロマツ（*Pinus thunbergii*）に比べて、同地に植栽された 51 種類の外国産マツのうちスラッシュマツ（*Pinus eliottii*）、テーダマツ（*Pinus taeda*）、ストロブマツ（*Pinus strobus*）の成長が良好とされた事例がある⁴⁾。また、松枯れによる被害を受けている日本原産のクロマツやアカマツに代わる用材として、スラッシュマツ及びテーダマツが含まれる *Australes* 亜節がマツ材線虫病に対する抵抗性が高いとされており³⁾、植栽候補樹種として関心が高まっている。これらのことから、本研究ではスラッシュマツの早生樹としての利用について着目した。

スラッシュマツは、マツ科マツ属の米南東部原産の樹種で、ロングリーフパイン（*Pinus palustris*）、ショートリーフパイン（*Pinus echinata*）、テーダマツなどとともに、サザンパインとも呼ばれている。サザンパインの材の特徴は、辺材が黄白色で心材が赤褐色であり、年輪幅は成長条件にもよるが若い時期には非常に広く、成熟すると狭くなることが挙げられる。強度は比較的高く、衝撃に対する抵抗が強く、北米では大型の構造物の支柱、梁、桁、土台、根太、パルプ、チップなどとして幅広く用いられている¹⁰⁾。

これまで、スラッシュマツの材質や強度性能に関する主な調査・研究の多くは北米で行われ、製材品等の品質性能がまとめられている¹⁰⁾。我が国においては、立木の成長に関する調査報告が散見される。一方、材質については、宮崎県で植栽されたスラッシュマツの年輪形成と晩材率に関する報告¹⁾があるが、調査事例は少ない。そこで本研究では、静岡県内に植栽されたスラッシュマツの成長と製材品の物理的特性との関係を把握するため、平均年輪幅及び密度の樹幹内変動と人工乾燥したスラッシュマツ板材の動的ヤング係数や狂いについて調査した。

Ⅱ 材料及び方法

1 立木の成長形質及び丸太の材質調査

静岡県浜松市浜名区三ヶ日町の上尾奈国有林内に生育する林齢 55 年生スラッシュマツ林分（0.9ha）を試験木伐採の対象地とした。樹高は、超音波樹高測定器（Vertex、ス

ウェーデン王国ハグロフ社製）を、胸高直径は直径巻尺を用いて測定し、応力波伝播速度は応力波伝播速度測定器（Fakopp、ハンガリー国アルナス社製）を用い、応力波が入力側のセンサから出力側のセンサまで（1m）に到達するまでの時間を測定し、この逆数として算出した。立木のヤング係数 $E_{ws}(\text{GPa})$ は、式(1)を用いて算出した。

$$E_{ws} = v^2 \rho_r \quad \dots (1)$$

ここで、 v : 応力波伝播速度(m/s)、 ρ_r : 生材密度(kg/m³)

試験対象木は作業道際に生育する個体のうち樹高及び胸高直径が平均から大きく逸脱しない範囲で立木 6 個体を選木し、2022 年 7 月に伐採を行った。

伐採木は、根元から 2.0m 毎に玉切りした。玉切りした丸太は、直径、長さ、重量を測定した上で、縦振動法による動的ヤング係数²⁾の測定を行った。動的ヤング係数の測定には FFT アナライザ（CF-1200、小野測器製）を用いて、1 次固有振動数を測定し、式(2)によって動的ヤング係数 $E_d(\text{Pa})$ を得た。丸太のみかけの密度 $\rho(\text{kg/m}^3)$ は、測定した重量(kg)を体積(m³)で除して算出した。丸太のみかけの密度の計算に用いた丸太の体積は、丸太を円錐台と仮定して直径と長さから算出した。

$$E_d = (2fl)^2 \rho \quad \dots (2)$$

ここで、 f : 1 次固有振動数(Hz)、 l : 試験体の長さ(m)

2 円板及び乾燥板材の材質調査

試験片採取までの流れを図 1 に示す。立木 6 本中 3 本については、丸太の末口より厚さおよそ 50mm の円板を採取した。髓から外周部にかけておよそ 20mm 間隔で直方体の試験片を半径方向に採材して、それらの最外層の髓からの年輪数を計測後、全乾密度 $\rho_0(\text{kg/m}^3)$ を式(3)によって計測した。

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad \dots (3)$$

ここで、 V_0 : 全乾状態における試験片の体積(m³)、 m_0 : 全乾状態における試験片の重量(kg)

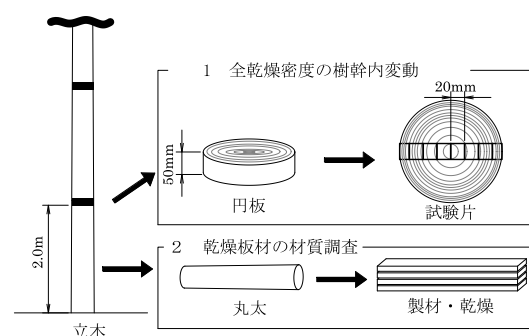


図 1 試験片採取までの流れ

伐採した丸太は図 2 に示す木取りで板材 (35×130×2000mm) に製材し, 板材 338 体を得た. 半径方向に採材した板材は最外層の髄からの年輪数を計測した. 板材 338 体は, 県内の製材工場で人工乾燥を行った. 人工乾燥から約 1 年後に木口の両端から厚さおよそ 20mm の試験片を採取してそれらの最外層の髄からの年輪数を計測後, 全乾法 8) による含水率 $u(\%)$ (ドライベース) を式 (4) によって計測した.

$$u = \frac{m_u - m_0}{m_0} \times 100 \quad \dots (4)$$

ここで, m_u : 試験片の質量(kg), m_0 : 全乾質量(kg)

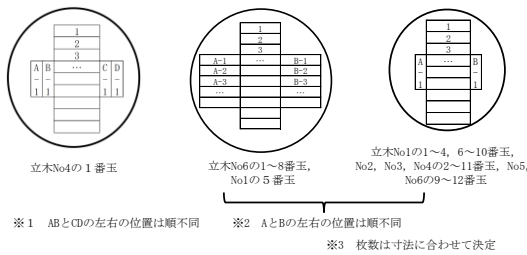


図 2 板材の木取り

乾燥前の板材の含水率 $u_k(\%)$ は, 試験片の含水率を用いて式(5)によって乾燥後板材の全乾重量 $m_{k0}(\text{kg})$, を推定したのちに, 式(6)によって推定した.

$$m_{k0} = \frac{m_k}{(1-u/100)} \quad \dots (5)$$

$$u_r = \frac{m_r - m_{k0}}{m_{k0}} \times 100 \quad \dots (6)$$

ここで, m_k : 乾燥後板材重量(kg), m_r : 乾燥前板材重量(kg)

半径方向に採材した板材の末口側の試験片について, 髄から外周にかけて年輪幅と晩材幅を計測し, 式(7)によって晩材率 $b(\%)$ を計測した.

$$b = \frac{w_l}{w_a} \times 100 \quad \dots (7)$$

ここで, w_l : 晩材幅(mm), w_a : 年輪幅(mm)

乾燥スケジュールは, 初期蒸煮 (乾球温度 85℃, 乾湿球温度差 0℃, 8 時間), 乾燥 (乾球温度 70~80℃, 乾湿球温度差 5~20℃, 144 時間), 調湿 (乾球温度 80℃, 乾湿球温度差 4℃, 18 時間) の順に実施した. 板材は製材後と乾燥後及び, 養生後 (乾燥から約 3 か月後) に寸法, 重量を計測し, 養生後については縦振動法による動的ヤング係数及び狂い (幅反り, 縦反り, 曲がり及びねじれ) を計測した. 狂いのうち, 幅反りは, 最大矢高の測定値とし, 縦反り及び曲がりは, 最大矢高に対し長さを除した値とした. ねじれは, 3 つの隅角部を平面上へ押し付けた際の残り 1 つの隅角部の浮き上がり量を測定し, 得られた値から式(8)によってねじれの角度 θ_t を求めた⁸⁾.

$$\theta_t = \sin^{-1}(h/w) \quad \dots (8)$$

ここで, h : 3 つの隅角部を平面上へ押し付けた際の残り 1 つの隅角部の浮き上がり量(mm), w : 試験体の幅(mm)

III 結果 及 び 考 察

1 立木の成長形質及び丸太の材質

試験対象地の立木の樹高, 胸高直径及び応力波伝播速度を表 1 に示す. 樹高は, 22±4m (平均±標準偏差), 胸高直径は 36±12cm であった. 応力波伝播速度は 4.63±0.35 km/sec であり, 式(1)を用いて, 生材密度を 800kg/m³ と仮定して算出した立木のヤング係数は 17.1GPa となった.

玉切り後の丸太の末口径, 末口心材径, みかけの密度及び動的ヤング係数 E_k を表 2 に示す. 立木 No4 については, 心材が不明瞭なため, 心材径が測定できなかった. みかけの密度は, 993±94kg/m³, 動的ヤング係数は, 11.4±1.6GPa であった. 立木のヤング係数とは 5.7GPa の差があった. これは立木の応力波伝播速度は樹皮に近い最縁部の材で計測しているため, 高い値を示したと考えられる. 立木ごとに切り出した丸太のみかけの密度は 895~1044kg/m³ と個体間の差は最大 149kg/m³ であった. また, この動的ヤング係数は, 10.0~13.0GPa で, 個体間の差は最大 3.0GPa であった.

表 1 立木の樹高, 胸高直径及び応力波伝播速度

立木No	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	応力波伝播速度 (km/sec)
1	22	32	4.89
2	23	30	5.09
3	18	30	4.65
4	28	60	4.09
5	19	26	4.60
6	21	38	4.43
平均	22 (4)	36 (12)	4.63 (0.35)

注: () 内は標準偏差

表 2 丸太の末口径, みかけの密度及び動的ヤング係数 (E_k)

立木No	玉切り数	末口径(cm)	末口心材径(cm)	みかけの密度(kg/m ³)	E_k (GPa)
1	10	15.5~29.9	6.3~16.5	957 (64)	12.3 (1.6)
2	5	24.8~28.0	13.0~16.3	895 (61)	13.0 (0.9)
3	7	17.8~27.5	8.0~12.0	967 (63)	10.0 (1.8)
4	12	21.2~51.3	-	1044 (72)	10.7 (1.3)
5	4	17.3~22.3	8.0~10.5	981 (50)	11.0 (0.8)
6	11	14.5~32.3	1.9~16.4	1038 (130)	11.8 (1.5)
平均		27.2 (8.2)	12.6 (4.5)	993 (94)	11.4 (1.6)

注1: () 内は標準偏差

注2: 立木No4の心材径は不明瞭のため計測できなかった

2 円板分割試片による材質の樹幹内変動

平均年輪幅及び全乾密度の測定結果を表3に示す。平均年輪幅の全体の平均は、 $4.0 \pm 2.3\text{mm}$ で、心材の平均が $5.7 \pm 1.9\text{mm}$ 、辺材の平均が $2.3 \pm 1.1\text{mm}$ であった。平均年輪幅の樹幹内変動を図3に示す。半径方向では、髄からの年輪数が多くなるほど平均年輪幅が小さくなる傾向を示しており（ピアソンの積率相関係数、 $p < 0.05$ ）、髄からの年輪数が20以上になると9割以上が2mm未満で推移していた。平均年輪幅の樹高方向の変動を図4に示す。樹高方向では、平均年輪幅の変化は小さく、全体平均の約4mmで推移していた。

表3 平均年輪幅及び全乾密度

立木No	平均年輪幅(mm)	全乾密度(kg/m^3)
1	4.4 (2.3)	494 (73)
2	4.2 (2.5)	468 (79)
3	3.4 (1.9)	455 (79)
平均	4.0 (2.3)	476 (78)
辺材	2.3 (1.1)	498 (81)
心材	5.7 (1.9)	454 (69)
最大	10.3	737
最小	0.9	343

注：()内は標準偏差

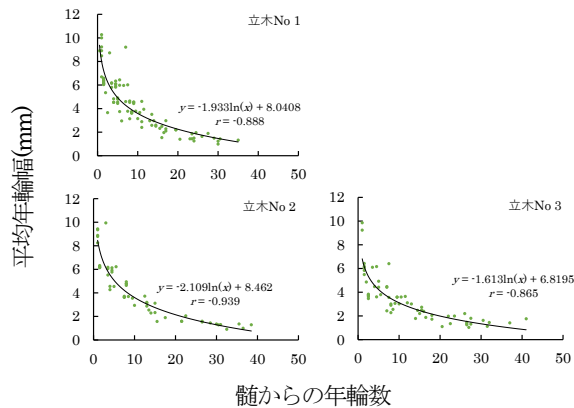
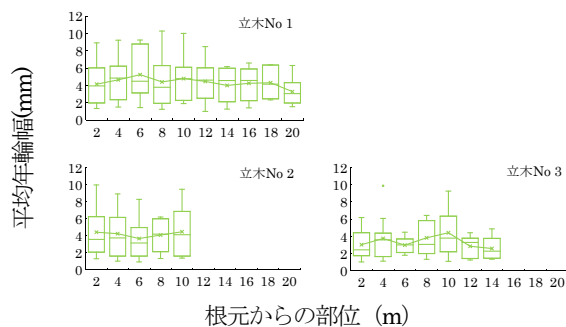


図3 平均年輪幅の半径方向の樹幹内変動



注1：ひげの上端は最大値，下端は最小値を表す。
注2：図中の×は平均値を表す。

図4 平均年輪幅の樹高方向の樹幹内変動

全乾密度は、全体で $476 \pm 78\text{kg}/\text{m}^3$ 、心材で $454 \pm 69\text{kg}/\text{m}^3$ 、辺材で $498 \pm 81\text{kg}/\text{m}^3$ となり、心材と辺材との差は $44\text{kg}/\text{m}^3$ であった。本研究の全乾密度の平均から仮に含水率12%時の密度を膨潤による寸法変化が無い場合で概算（1.12を乗ずる）すると気乾密度は $533\text{kg}/\text{m}^3$ となる。Wood Handbook¹⁹⁾では、気乾密度は含水率12%時で $416 \sim 817\text{kg}/\text{m}^3$ の範囲をとることが示されており、本調査地のスラッシュマツはその範囲内であった。全乾密度の樹幹内変動を図5に示す。No3を除いて、半径方向では、髄から木部最外層に向けて増加する傾向にあった（ピアソンの積率相関係数、 $p < 0.05$ ）。この傾向は南九州で調査されたスラッシュマツの傾向と類似していた¹⁾。全乾密度の樹高方向の変動を図6に示す。樹高方向では、全乾密度の変化は小さく、全体平均の $500\text{kg}/\text{m}^3$ 付近で推移していた。

これらのことから、平均年輪幅が小さくなるほど全乾密度が大きくなる傾向にあり、半径方向の肥大成長の大きさが密度の増加に影響していると考えられる。また、樹高方向については、平均年輪幅の変化が小さいため、全乾密度の変化も小さいと考えられる。

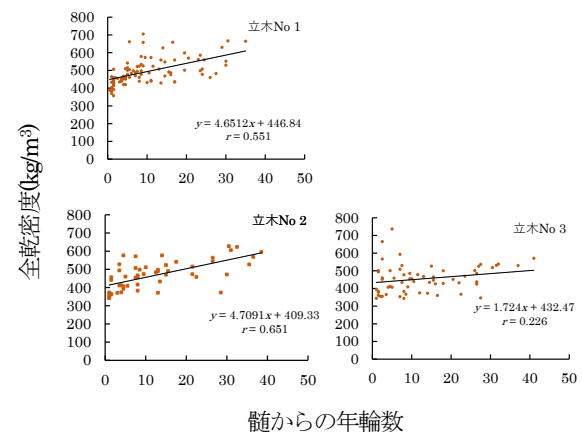
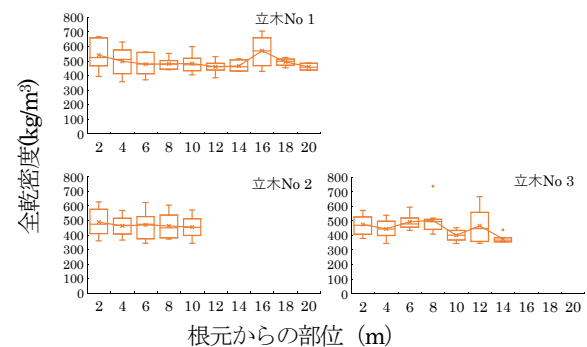


図5 全乾密度の半径方向の樹幹内変動



注1：ひげの上端は最大値，下端は最小値を表す。
注2：図中の×は平均値を表す。

図6 全乾密度の樹高方向の樹幹内変動

3 板材試片による材質の樹幹内変動

人工乾燥前の含水率、みかけの密度の測定結果を表 4 に、人工乾燥後の含水率、みかけの密度、動的ヤング係数の測定結果を表 5 に示す。

表 4 乾燥前板材の含水率（ドライベース）及び密度

立木No	枚数		乾燥前含水率 (%)		乾燥前密度 (kg/m ³)	
	全体	30年生未満	全体	30年生未満	全体	30年生未満
1	44	42	72.7 (28.7)	72.3 (29.3)	788 (141)	779 (138)
2	26	23	58.4 (27.7)	53.0 (24.3)	685 (170)	652 (151)
3	28	24	90.1 (31.5)	85.3 (30.4)	819 (132)	787 (114)
4	103	81	77.3 (34.0)	78.6 (30.7)	924 (154)	887 (153)
5	12	12	73.8 (15.2)	81.2 (38.8)	857 (73)	857 (73)
6	55	44	72.7 (31.4)	78.6 (30.7)	841 (157)	793 (138)
平均	268	226	74.9 (32.0)	73.3 (31.7)	847 (167)	1109 (480)
辺材 ^{注2)}	65	26	97.7 (22.9)	83.2 (31.9)	970 (108)	943 (111)
心材 ^{注2)}	132	132	51.7 (21.8)	66.3 (29.9)	721 (115)	720 (114)
最大値	268	226	148.8	148.8	1109	1109
最小値			26.6	26.6	480	480

注 1 : () 内は標準偏差

注 2 : 1 枚の板に辺材と心材の両方を含む場合は除外する

表 4 によると、乾燥前含水率の全体の平均は $74.9 \pm 32.0\%$ で、心材は $51.7 \pm 21.8\%$ 、辺材は $97.7 \pm 22.9\%$ であった。心材と辺材の含水率の差は、 46% であった。Wood Handbook¹⁵⁾では、マツ属の心材と辺材の含水率はそれぞれ $31 \sim 98\%$ 、 $110 \sim 219\%$ で差は $75 \sim 121\%$ とされている。これらのことから、今回の板材の含水率は心材で高く、辺材で低い点では同様であったが、含水率の差は小さかった。表 5 によると人工乾燥直後の含水率の平均は $10.1 \pm 1.0\%$ で、養生後の含水率の全体の平均は $8.4 \pm 0.8\%$ であった。これは集成材の JAS (Japanese Agricultural Standards)⁹⁾ に規

定されている含水率の基準 (15%) よりも低い値であったため、今回のスケジュールでは乾燥を十分に行うことができた。一方、生材はヤニが多かった。また、一部の板には青変菌の侵入がみられた。このことから、伐採後早期の人工乾燥が望ましいと考えられる。

乾燥前含水率の樹幹内変動を図 7 に示す。No 5 を除いて半径方向では、髄からの年輪数が大きくなるほど含水率が大きくなる傾向を示しており（ピアソンの積率相関係数、 $p < 0.05$ ）、これは、最外層に向けて辺材の割合が大きくなることが原因と考えられる。

乾燥前含水率の樹高方向の変動を図 8 に示す。立木 No 1、No 3 では、10m 以上の部位、No 4 では 16m 以上の部位、No 6 では 12m 以上の部位で含水率が増加する傾向にあり、低い部位と高い部位では 50% 以上の差があった。また、根元から高い部位では、最大値と最小値の差が小さくなっているが、これは樹高が高くなるほど採れる板の枚数が減り、変動が抑えられていたためと考えられる。

表 4 によると、乾燥前のみかけの密度は、 $847 \pm 167 \text{ kg/m}^3$ であった。表 5 によると、養生後のみかけの密度は $570 \pm 66 \text{ kg/m}^3$ であった。

表 5 によると、養生後の動的ヤング係数は $12.8 \pm 3.2 \text{ GPa}$ であった。木造住宅の横架材に使われるアカマツ、クロマツ、ベイマツの基準ヤング係数は、それぞれ 8.0、8.0、10.0 GPa であり⁷⁾、本調査地のスラッシュマツはそれらより高い値であった。本県の地域森林計画書¹³⁾にはテーダマツの標準伐期齢は 30 年と定められており、これに相当する本調査の板の最外層年輪数が 30 年未満のスラッシュマツ板材の動的ヤング係数は $12.1 \pm 2.6 \text{ GPa}$ であった。これは集成材の JAS⁹⁾に規定されている等級区分機による区分ラミナの強度性能の基準では L110 (曲げヤング係数の平均 11.0 GPa 以上、下限値 9.5 GPa 以上) に相当する。また、

表 5 乾燥板材の含水率（ドライベース）、密度及び 動的ヤング係数 (E_d)

立木No	枚数		乾燥直後含水率 (%)		養生後含水率 (%)		養生後密度 (kg/m ³)		養生後 E_d (GPa)	
	全体	30年生未満	全体	30年生未満	全体	30年生未満	全体	30年生未満	全体	30年生未満
1	44	42	10.4 (0.8)	10.3 (0.8)	8.5 (0.8)	8.5 (0.8)	548 (54)	542 (49)	13.7 (3.4)	13.3 (3.0)
2	26	23	10.3 (0.8)	10.0 (0.8)	8.2 (0.7)	8.2 (0.7)	505 (59)	496 (52)	12.6 (3.6)	11.9 (3.0)
3	28	24	10.7 (0.7)	10.5 (0.7)	8.5 (0.6)	8.5 (0.6)	510 (51)	502 (48)	11.8 (2.8)	11.0 (2.0)
4	103	81	10.4 (0.8)	10.2 (0.9)	8.4 (0.8)	8.4 (0.6)	606 (47)	600 (48)	12.6 (3.0)	11.6 (1.9)
5	12	12	9.9 (0.4)	9.3 (1.0)	8.2 (0.5)	8.2 (0.7)	587 (36)	587 (36)	12.8 (1.5)	12.8 (1.5)
6	55	44	9.8 (1.1)	9.5 (1.2)	8.5 (0.7)	8.5 (0.9)	578 (69)	562 (55)	13.3 (3.4)	12.3 (2.8)
平均	268	226	10.1 (1.0)	10.1 (1.0)	8.4 (0.8)	8.4 (0.8)	570 (66)	570 (420)	12.8 (3.2)	12.1 (2.6)
辺材 ^{注2)}	65	26	10.6 (0.9)	10.2 (1.0)	8.7 (0.8)	8.5 (0.8)	581 (64)	562 (57)	14.1 (3.5)	12.9 (2.8)
心材 ^{注2)}	132	132	9.6 (0.9)	9.9 (1.0)	8.2 (0.6)	8.3 (0.7)	559 (67)	559 (67)	11.5 (2.3)	11.5 (2.3)
最大値	268	226	12.3	12.3	11.6	11.6	767	730	23.0	23.0
最小値			7.1	7.1	6.8	6.8	420	420	6.3	6.3

注 1 : () 内は標準偏差

注 2 : 1 枚の板に辺材と心材の両方を含む場合は除外する

この値は全体の動的ヤング係数の平均値(12.8GPa)の94.5%であった。また、30年生未満の板の枚数(226枚)は、半径方向で採材した枚数と比べると全体(268枚)の84.3%であった。このことから30年生未満でも55年生と比較して動的ヤング係数と採材できる板の数に大きな差はなく利用できると考えられる。

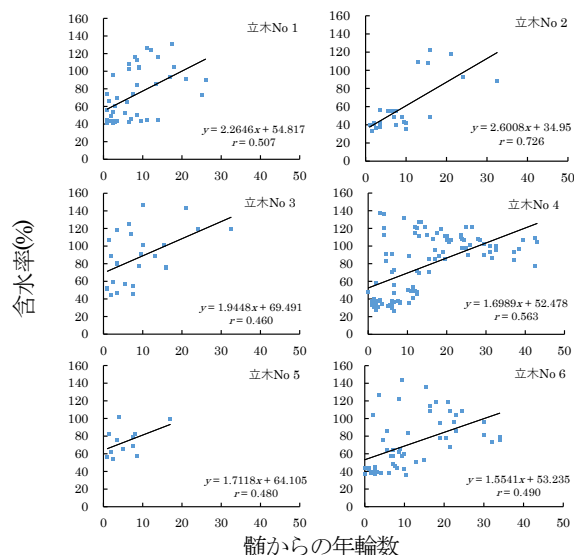
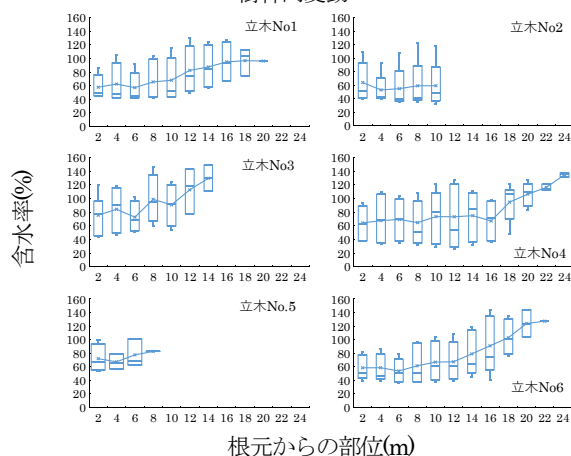


図7 乾燥前含水率(ドライベース)の半径方向の樹幹内変動



注1: ひげの上端は最大値, 下端は最小値を表す。
注2: 図中の×は平均値を表す。

図8 乾燥前含水率(ドライベース)の樹高方向の樹幹内変動

動的ヤング係数の樹幹内変動を図9に示す。半径方向では、髄からの年輪数が大きくなるほど動的ヤング係数は大きくなる傾向であった(ピアソンの積率相関係数, $p < 0.05$)。髄付近が約10GPaで、No5を除き、最外層に向けて5~10GPa増加していた。1年輪当たりの動的ヤング係数の上昇幅は、0.19~0.39GPaであった。これはウルグアイで調査された25年生のスラッシュマツの傾向と一致していた⁵⁾。髄から最外層に向けて直線的に増加しており、未成熟材と成熟材の明確な境界は判断できなかった。

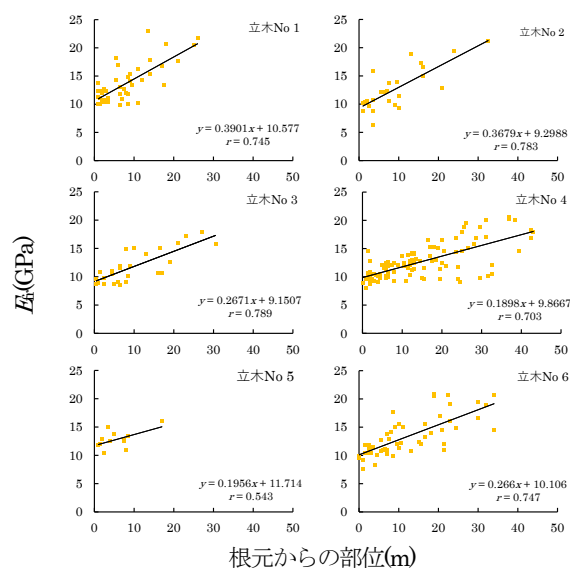


図9 動的ヤング係数(E_d)の半径方向の樹幹内変動

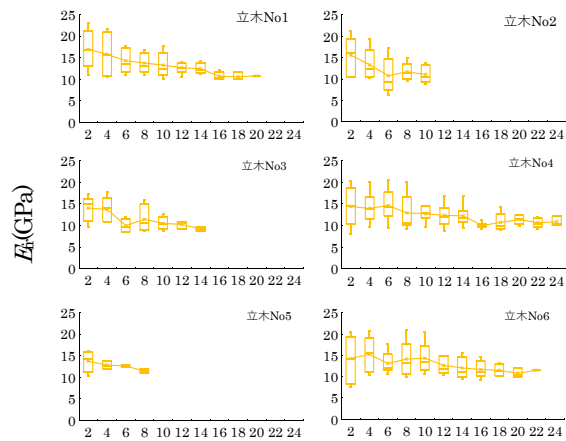
動的ヤング係数の樹高方向の変動を図10に示す。動的ヤング係数は、根元からの部位が高くなるほど、減少する傾向がみられた。元玉付近と一番樹高が高い部位では、約5GPa低くなっていた。

晩材率の半径方向の樹幹内変動を図11に示す。No5を除く立木で正の相関がみられた。No5は20年未満の若齢だったため、傾向が明確でなかったと考えられる。

晩材率と動的ヤング係数の関係を図12に示す。相関係数 r は、0.411~0.735であり、正の相関がみられた。

晩材率と気乾密度の関係を図13に示す。相関係数 r は、0.312~0.803であり、正の相関がみられた。晩材は、夏以降の成長の遅くなる時期にできた材であり、早材よりも密度が高い。これらのことから、髄から最外層に向けて年輪が密になり、晩材率が増加したことで板材自体の密度が増加したため動的ヤング係数が増加したと考えられる。

人工乾燥後の板材の狂いの測定結果を表6に示す。幅反りの全体の平均は $0.7 \pm 0.6\text{mm}$ 、縦反りは $0.1 \pm 0.2\%$ 、曲がりは $0.1 \pm 0.1\%$ 、ねじれは $2.2 \pm 1.1^\circ$ であった。今回調査した板材の断面寸法に近い構造用途の206材で長さ2.0mの場合、JASに規定されている仕上げ材の反りの最大矢高の基準値は3.0mmである¹⁰⁾。この値を許容値として評価すると、本調査の未仕上げ材では縦反りと曲がりそれぞれ67.2%、73.5%が基準値を満たしていた。同規格の幅反りの最大矢高の基準値は、2mmである。今回の計測方法では小数点以下の幅反りは測定できなかったが、幅反りの矢高が2mm以下は、99.6%であった。同規格のねじれの基準値は、10mmである。本調査のねじれの10mm以下は92.3%であった。これらの結果から本調査地のスラッシュマツは、幅反りとねじれについて、9割以上が構造用途206材のJASの基準値を満たしていた。



根元からの部位(m)

注1: ひげの上端は最大値, 下端は最小値を表す.

注2: 図中の×は平均値を表す.

図10 動的ヤング係数 (E_d) の樹高方向の樹幹内変動

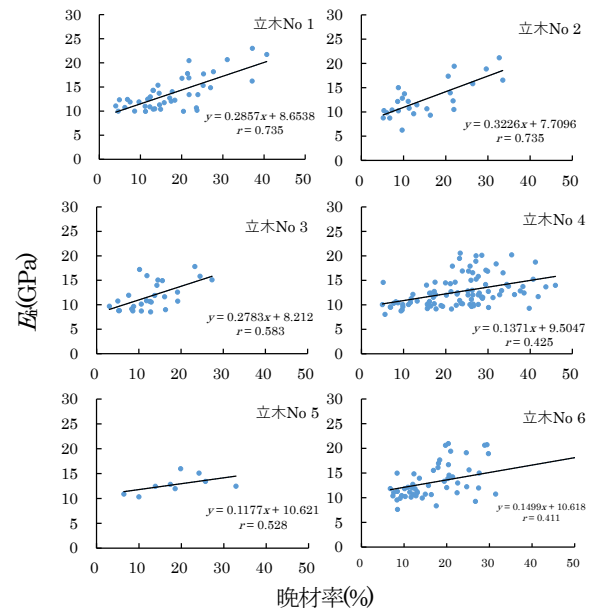


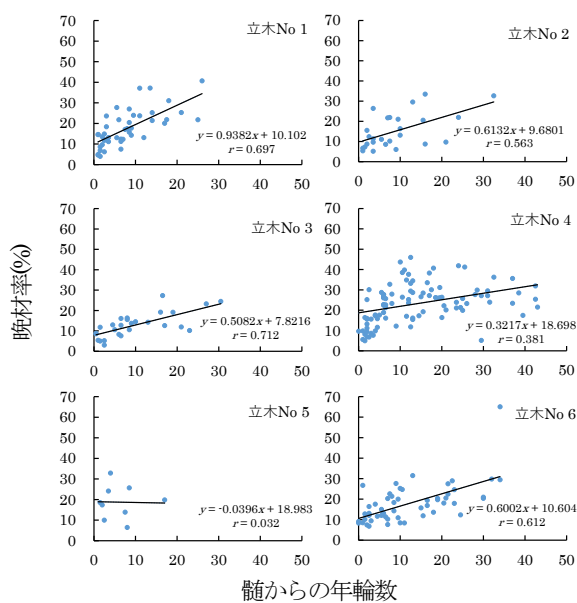
図12 晩材率と動的ヤング係数 (E_d) の関係

表6 板材の狂い

立木No	枚数	幅反り (mm)	縦反り (%)	曲がり (%)	ねじれ (deg.)
1	44	1.0	0.1	0.1	2.2
2	26	0.8	0.1	0.1	2.5
3	28	0.9	0.1	0.2	1.5
4	103	0.6	0.1	0.1	2.4
5	12	0.8	0.1	0.1	2.0
6	55	0.6	0.2	0.2	1.9
平均		0.7 (0.6)	0.1 (0.2)	0.1 (0.1)	2.2 (1.1)
狂い発生数		178	249	252	265
発生率 (%)		66.4	92.9	94.0	98.9

注1: ()内は標準偏差

注2: 狂い発生数は狂いが観測された板の枚数を示す



髄からの年輪数

図11 晩材率の半径方向の樹幹内変動

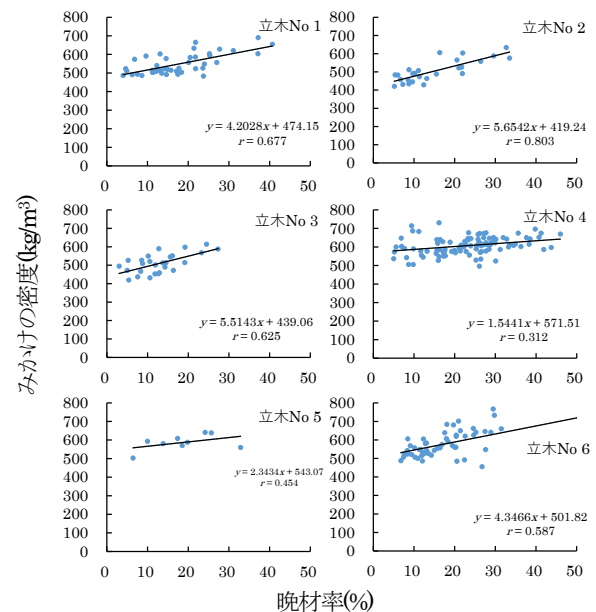


図13 晩材率とみかけの密度の関係

IV 摘 要

静岡県で生育したスラッシュマツの平均年輪幅及び全乾密度と含水率の樹幹内変動と乾燥した板材の動的ヤング係数、晩材率及び狂いについて調査し、以下の知見が得られた。

- 1 円板分割試片から計測した平均年輪幅の全体は、 $4.0 \pm 2.3\text{mm}$ で心材の平均が $5.7 \pm 1.9\text{mm}$ 、辺材の平均が $2.3 \pm 1.1\text{mm}$ であった。半径方向では、髄からの年輪数が 20 以上になると 9 割以上が 2mm 未満で推移していた。樹高方向では、平均年輪幅の変化は小さかった。
- 2 円板分割試片から計測した全乾密度は、全体で $476 \pm 78\text{kg/m}^3$ (平均±標準偏差)、心材で $454 \pm 69\text{kg/m}^3$ 、辺材で $498 \pm 81\text{kg/m}^3$ であった。心材と辺材との差は 44kg/m^3 であった。半径方向では、髄から木部最外層に向けて全乾密度が増加する傾向があり、樹高方向では、変動は小さかった。
- 3 含水率について、乾燥前含水率の全体は $74.9 \pm 32.0\%$ で、心材は $51.7 \pm 21.8\%$ 、辺材は $97.7 \pm 22.9\%$ であった。心材より辺材の値が高いマツ属の傾向と類似していた。人工乾燥直後の含水率は $10.1 \pm 1.0\%$ であった。板材の乾燥は今回のスケジュールで十分に行うことができた。
- 4 人工乾燥後の動的ヤング係数は $12.8 \pm 3.2\text{GPa}$ であった。半径方向では、髄からの年輪数が大きくなるほど動的ヤング係数は大きくなる傾向であった。No5 を除き、髄から最外層に向けて $5 \sim 10\text{GPa}$ 増加していた。髄から最外層に向けて直線的に増加しており、未成熟材と成熟材の明確な境界は判断できなかった。
- 5 伐期を 30 年と想定して本調査の 30 年未満のスラッシュマツ板材の動的ヤング係数は $12.1 \pm 2.6\text{GPa}$ であった。これは JAS に規定されているラミナの強度性能の基準では L110 に相当する。
- 6 人工乾燥後の板材の狂いは、幅反りとねじれについては 9 割以上が JAS の仕上げ材の基準値を満たしていた。

謝 辞

本研究に際して、試験体の作成及び測定に協力いただいた農林技術研究所林業分室の山田宗二郎氏、静岡県農林環境専門職大学生産環境経営学部の石毛晴丞氏、試験体を提供いただいた天竜森林管理署、乾燥について助言をいただいた国立研究開発法人森林総合研究所の齋藤周逸氏に深甚なる謝意を表す。

引 用 文 献

- 1) 雉子谷佳男・高田克彦・伊藤 哲・小川雅子・永峰正教・久保田 要・坪村美代子・北原龍士(2011): 南九州で生育した slash pine の年輪形成と木材材質。木材学会誌, Vol.57, No6, 340-349
- 2) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター(2011): 構造用木材の強度試験マニュアル. 60-63
- 3) 黒田宏之(1999): マツ枯損防止のための新戦略構築。木材研究・資料, No35, 32-46
- 4) 京都大学農学部付属演習林上賀茂試験地マツ属研究グループ(1992): 京都大学農学部演習林集報, No. 23, 90-104
- 5) Laura Moya, Maria F. Laguarda, Matias Cagno, Andrea Cardoso, Francisco Gatto, Hugo O' Neill (2013): Physical and Mechanical Properties of Loblolly and Slash Pine Wood from Uruguayan Plantations, Forest Products Society 2013. Forest Prod. J. 63(3/4):128-137
- 6) 内閣府(2019): 未来投資戦略 2018. 74
- 7) 日本建築学会(2003): 木質構造設計基準・同解説。丸善, 339
- 8) 日本木材学会(2000): 木質科学実験マニュアル。文栄堂出版株式会社, 164-171
- 9) 農林水産省(2020): 集成材. 9, 16
- 10) 農林水産省(2020): 枠組壁工法構造用製材及び枠組み壁工法構造用たて継ぎ材. 34-37
- 11) 林野庁編(2024): 令和 5 年版森林・林業白書。全国林業改良普及協会, 46, 96, 131
- 12) 静岡県経済産業部森林・林業局・静岡県くらし・環境部環境局(2022): 静岡県森林共生基本計画 2022-2025. 51-64
- 13) 静岡県経済産業部森林・林業局森林計画課(2024): 地域森林計画書(各森林計画共通編). 27
- 14) 須藤彰司(1987): 北米の木材。日本木材加工技術協会, 24-29
- 15) United States Department of Agriculture, Forest Products Laboratory (2021): Wood Handbook Wood as an Engineering Material. 2-11, 4-2, 5-6