

Short Report

岩手県大槌町産スギの成長と材質

足立幸司¹, 佐々木貴信¹, 瀧誠志郎^{1,2}, 高田克彦¹, 渡辺千明¹¹ 秋田県立大学木材高度加工研究所² 国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所

木材高度加工研究所では、東日本大震災の最大被災地のひとつである岩手県大槌町と平成 24 年 5 月に復興支援に関する連携協定を締結し、復興支援を進めてきた。本研究では、地域の林業・林産業の持続的発展に向けて、人工林としての植栽面積の多いスギの特性を評価した。大槌町吉里吉里地区で伐採された 35～50 年生のスギを対象に、気乾密度 ρ 、平均年輪幅および曲げ性能を測定した。2m の丸太をだら挽きした実大試験体では、 ρ と曲げ弾性係数 E_m 、曲げ強度 f_b はそれぞれ、0.422/cm³、9.2GPa、58.7MPa であった。 ρ および E_m は、既報の岩手県沿岸域の平均値より高かったため、新たに町内 5 箇所にて伐採されたスギの成熟材を対象に材質を評価した。 E_m の平均値は 7.9GPa であった一方で、ヒストグラムによる最頻値は 11GPa であった。高い E_m は建築構造用途に適しているため、地域材としての特色が強められる可能性が示唆された。今後の課題として、調査地域の拡大や調査個体数の増加による本成果の精査や、 E_m の高いスギの活用法の検討が抽出された。

キーワード：スギ，物性，強度，組織

木材高度加工研究所（木高研）では、東日本大震災の最大被災地のひとつである岩手県大槌町と平成 24 年 5 月に復興支援に関する連携協定を締結し、これまでに、大槌町産材（町産材）と木高研の研究成果を活かした独自の復興支援を進め、これまでに、仮設住宅団地への木橋架設（佐々木，2013）や木杭利用（佐々木ら，2015，2016）、ウッドチップ舗装等の取り組みを進めてきた。近年は、地域における森林・木材利用への関心の喚起を通じた林業・林産業との連携強化を目的として、地元の小中学生を対象とした木製ベンチ製作ワークショップ等を進めている。大槌町では中・大規模木造建築として、平成 28 年 9 月に義務教育学校（大槌学園）、平成 30 年 6 月に文化交流センター（おしゃっち）が完成し、地域住民に愛される拠点施設として、構造部材や内装に町産材も積極的に利用されており、木材利用の活性化が期待される。

大槌町の主要産業である漁業に深く関連する鮭や

大槌町の指定天然記念物であるイトヨにも森林管理は密接に関連している。町内を流れる大槌川・小鏡川は、鮭が遡上する清流であること、また、イトヨは水温が一定で湧き水が豊富な場所にしか生息しない環境変化に敏感な希少魚であることから、豊かな水環境を育む森林の適正管理が重要な課題となる。

震災後の大槌町の森林は、国有林 9,018ha、民有林 8,801ha（岩手県，2017）とほぼ同規模であり、民有林は戦後植林されたスギとアカマツの人工林が約 4 割を占め、半数が伐期を迎えている。アカマツ利用に関しては、佐々木ら（2015,2016）が木杭としての町産材の利用可能性を検討した。

町産材の用途が多様化する中で、地域の林業・林産業が持続的に発展するためには、特に、量的な優位性の確保が困難な場合は、地域ならではの木材利用のあり方（質的な優位性）の確立が重要となる。本研究では、これまで明らかとされていない大槌町のスギの材質を評価し、その特性を明らかにし、町

の林産業の発展や森林環境整備の推進のための基礎的知見の蓄積に貢献する。

実験方法

材質試験スギ試験体の調製

岩手県大槌町吉里吉里地区の樹齢 50 年生のスギ材 3 個体の一番玉丸太 (4m) から上部約 2m を切り出し、年輪解析および実大強度試験に供した。さらに、樹齢 30~50 年生のスギ材 30 個体の一番玉丸太の末口付近から長さ 0.5m の丸太を採取し、成熟材の曲げ試験に供した。

軟 X 線デンシトメトリー

3 本の試験丸太 (No.1~3) の木口からそれぞれ、厚さ約 30mm(繊維方向, L)の円盤を採取し、髄を含む幅 30mm(接線方向, T) × 厚さ 2mm(L) の長小片を製材した。瀧ら (2013) の方法に従い、得られた長小片は気乾状態に調製後、密度が既知の光学クサビと共に軟 X 線測定装置で撮影した。得られた軟 X 線画像の濃度をデンシトメーター及び年輪解析プログラム (WinDENDRO) に読み込み (図 1)、画像濃度を密度値に変換し、1 年輪毎の平均密度および年輪幅を算出した。

実大材の強度試験

軟 X 線デンシトメトリーの試験体を採取した 3 本の丸太を、図 2 に示すように a~e に丸挽き (だら挽き) し、内 b, c, d の部分から厚さ約 45 mm の挽き板の試験体を調製した。c 試験体は心持ち材, b および d 試験体は心去り材となる。得られた試験体の寸法、密度および曲げ試験時の含水率を表 1 に示す。

長さ方向中央部で水平に支持した試験体の木口面をハンマーで打撃し、発生した音の 1 次固有振動数 f (Hz) を FFT (Fast Fourier Transform) スペクトルアナライザーで測定し、(1) 式によって動的ヤング係数 E_{fr} を求めた。

$$E_{fr} = (2fl)^2 \rho \quad (1)$$

ここで、 f : 一次固有振動数 (Hz), l : 試験体長さ (m), ρ : 試験体密度 (kg/m^3)。

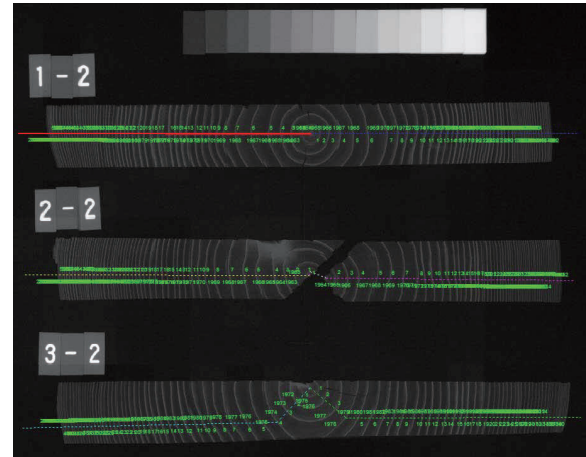


図 1 軟 X 線デンシトメトリーによる長小片の解析

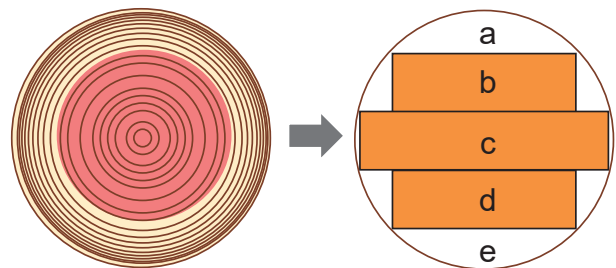


図 2 丸太からの挽き板の木取り

表 1 実大曲げ試験体の寸法、密度および含水率

丸太番号	部位番号	厚さ (mm)	幅 (mm)	長さ (mm)	密度 (kg/m^3)	含水率 (%)
1	b	44	159	1995	459	13.8
	c	44	191	1997	441	14.0
	d	43	150	1998	472	13.2
2	b	44	146	1977	413	12.8
	c	44	206	1975	407	13.1
	d	43	161	1974	427	12.8
3	b	44	180	1976	402	13.0
	c	44	207	1975	395	12.6
	d	44	162	1978	378	12.4
平均					422	13.1

E_{fr} を求めた後の試験体を、支点間距離 1,800 mm とした三等分四点曲げ試験に供した。たわみは、支間中央の試験体両側面の高さ 1/2 点の鉛直変位を変位計で計測し、荷重は万能試験機のクロスヘッドに設置したロードセルで計測した。試験で得られた最大荷重 P_{max} から曲げ強さ f_b を (2) 式より求めた。また、荷重変位関係の比例域における荷重と支間中央たわみの関係から曲げヤング係数 E_m を (2) 式より求めた。

$$f_b = \frac{3P_{\max} \times s}{bh^2} \quad (2)$$

$$E_m = \frac{\Delta P \times s(3L^2 - 4s^2)}{\Delta \delta \times 4bh^3} \quad (3)$$

ここで、 P_{\max} : 最大荷重、 L : スパン、 s : 支点から荷重点までの距離 ($s=600\text{mm}$)、 b : 試験体の幅 (mm)、 h : 試験体の高さ (mm)、 ΔP : 最大荷重の 10~40%までの荷重増分、 $\Delta \delta$: ΔP に対応するスパン中央たわみ δ の増分。

成熟材の強度試験

大槌町内の 5 箇所のスギ人工林から、樹齢 30~50 年生の長さ 0.5m のスギ丸太 30 個体から髓を含む厚さ 20 mm (T) の柁目板を切り出し、気乾状態まで天然乾燥した。天然乾燥後の平均含水率は 12.2%であった。その後、柁目板の成熟材部 (20 年輪以降) から幅 50 mm (放射方向, R) × 厚さ 15 mm (T) × 長さ 350 mm (L) の板材を調製し、3 等分 4 点曲げ試験に供し、式(2)および式(3)を用いて同様に曲げ強度 f_b および曲げヤング係数 E_m を求めた。

結果と考察

年輪幅および密度の半径方向変動

図 3 に軟 X 線デンシトメトリーによる年輪幅の半径方向変動を示す。試験体は 40~52 年輪であった、全ての試験体に共通する挙動として、樹幹中心部の

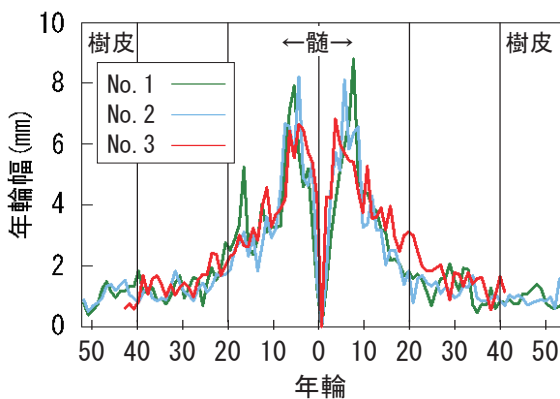


図 3 年輪幅の半径方向変動

髓付近から外側の年輪に行くほど、年輪幅が狭くなる傾向にあった。これは、植栽直後で日射を遮る上層の草木がなく順調に成長する時期から、周囲の別個体との競争の中で日照不足等により成長が抑制される時期を経るという林内の樹木成長の典型が認められた。また、年輪幅の変動は 20 年輪付近で緩やかとなった。全試験体の平均年輪幅は 2.4 mm であった。年輪形成年次でみると、1~20 年輪および 21 年輪以降の平均年輪幅は、それぞれ 3.93 mm、1.26 mm であった。これら値を 35~60 年生のスギ材を対象にまとめられた、産地別の髓からの年輪形成年次と年輪幅の関係性に関する既往の報告 (太田貞昭, 1991) の中で位置づけると、1~20 年輪では飢肥産 (宮崎県) > 大槌町産 (岩手県) ≒ 吉野産 (奈良県) > 西川産 (埼玉県) > 勿来産 (福島県)、であり、21 年輪以降では飢肥産 > 勿来産 > 吉野産 > 大槌町産 > 西川産、であった。

表 1 に示すように、気乾状態における町産材の平均密度は 422 kg/m^3 であった。これは、他地方産のスギ材の値と比較して高い傾向であった。各試験体の平均気乾密度を 1 としたときの年輪毎の半径方向の相対密度 (当該年輪の密度/個体の平均気乾密度) 変動を図 4 に示す。ここでは、試験体 3 個体の全てで得られる 40 年輪までの値の平均値を示した。相対密度は髓付近でもっとも高くなり、外周に向かってほぼ一定となる傾向であった。一般的にスギは、髓周辺部の未成熟材部が成熟材部より密度が高くなる傾向にある。表 1 の b, c, d 試験体のうち、未成熟材部の体積分率が高い c の密度が特に高い傾向にもな

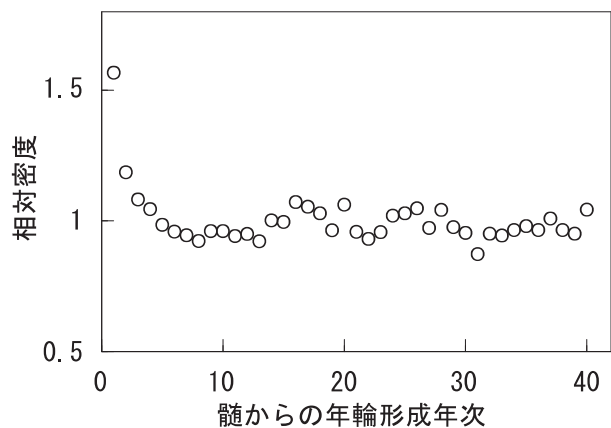


図 4 年輪毎の相対密度の半径方向変動

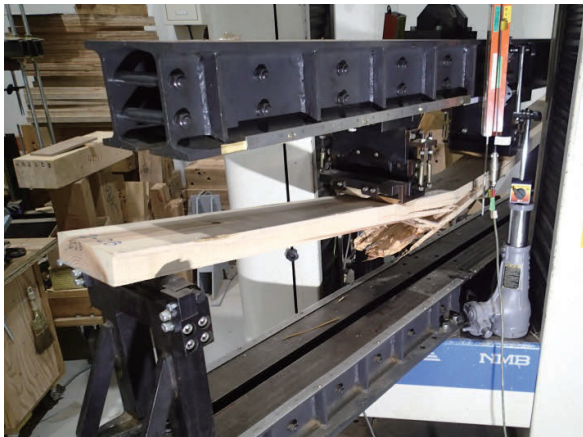


図5 実大曲げ試験の破壊性状の一例 (2-b)

表2 実大試験体の強度性能

丸太番号	部位番号	ρ (g/cm ³)	E _{fr} (GPa)	E _m (GPa)	f _b (MPa)	E _m / ρ (GPa/ ρ)
1	b	0.459	10.8	10.0	49.1	21.7
	c	0.441	8.9	8.3	52.4	18.9
	d	0.472	10.6	10.0	71.2	21.2
2	b	0.413	10.7	9.8	57.6	23.8
	c	0.407	8.9	8.5	57.9	20.8
	d	0.427	11.1	10.5	68.9	24.6
3	b	0.402	9.7	8.9	52.6	22.0
	c	0.395	8.4	7.9	52.5	20.0
	d	0.378	9.7	9.3	66.5	24.5
平均		0.422	9.9	9.2	58.7	21.9

いことから推察されるように、本試験においては明確な傾向は確認されなかった。

表2に実大試験体の強度性能を示す。図5に実大曲げ試験の破壊性状の一例を示す。E_{fr}はE_mと比較して平均で約8.6%高い傾向を示した。動的縦弾性率と静的曲げヤング係数では、前者の数値が高くなる傾向があり(池田と木野, 2000)、本研究も同様であった。試験体各部位b,c,d材のE_{fr}およびE_mを見ると、いずれの試験体もc材が最も低かった。c材は、細胞壁二次壁中層のマイクロフィブリル傾角が大きく、比縦弾性率 E/ ρ (縦弾性率 E を比重 ρ で除した値)が成熟材部に対して小さくなる未成熟材部の体積分率が高いため(山下ら, 2000)と考えられる。ここで、実大試験体の E_m/ ρ は 21.9GPa/ ρ であった。また、f_bは平均で 58.7MPa であり、E_{fr}やE_mのようにb,c,dの部位による傾向が認められなかった。これは、細胞構造の本質的な強度よりも、節や目切れ等の欠点の出現頻度や部位が最終強度に大きく影響したためと考えられる。岩手県内のスギ材(平均末口径

表3 伐採地毎の成熟材の諸物性

地点	樹齡 (年)	個体数 (本)	年輪幅 (mm)	密度 (g/cm ³)	E _m (GPa)	f _r (MPa)
A	35~50	9	1.7	0.36	9.2	72.9
B	35~50	5	2.6	0.32	4.8	55.9
C	35~45	4	2.7	0.37	8.2	72.0
D	40~50	4	2.1	0.32	6.8	60.2
E	40~45	8	1.6	0.40	8.7	74.8
平均			2.0	0.36	7.9	68.8

47.5cm, 心去り正角材および平角材)の強度性能に関して、県北、沿岸、県南地域を3地域では、 ρ が0.32, 0.30, 0.31g/cm³, E_mが7.50, 7.44, 7.67 GPaと報告されている(宮崎県木材協同組合連合会, 2016)。本報での ρ とE_mは、岩手県内のいずれの代表地域(沿岸地域は大槌町ではない)よりも明らかに高かった。

成熟材の強度性能

大槌町吉里吉里地区の異なる5箇所の林地から伐採した丸太30本を対象に、成熟材の柁目材の強度性能を検討した。表3に伐採地毎の樹齡、成熟材部の平均年輪幅、気乾密度および曲げ性能を示す。AからEの5地点の平均年輪幅および密度はそれぞれ1.6~2.7 mm, 0.32~0.40g/cm³であった。実大試験体では、2.2~2.9 mm, 0.38~0.47g/cm³に対して、平均年輪幅と密度ともに小さい傾向にあった。曲げ性能として、E_mおよびf_rは4.8~9.2 GPaおよび55.9~74.8 MPaであった。B地点のE_mおよびf_rが極端に低い傾向を示し、類似の樹齡であるA地点に対してE_mは約52%, f_rは約76%であった。樹木は品種等の遺伝要因や、植栽条件や施業条件等の環境要因によって

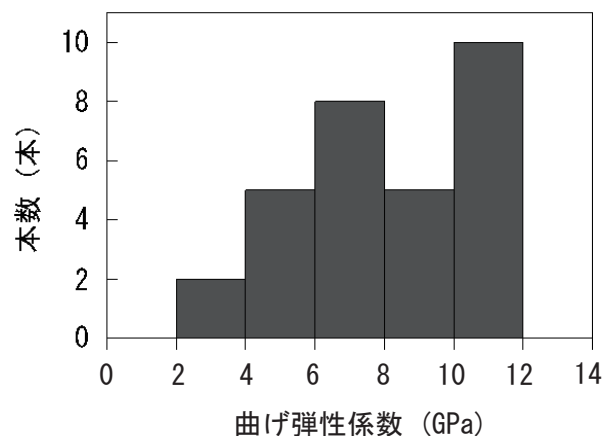


図6 成熟材の曲げ弾性係数のヒストグラム

材質に差が生じるため（伊東ら，1980），本報による同地区内の同一樹種においても，このような差が生じたと考えられる．図 6 に全地点で成熟材の E_m のヒストグラムを示す．階級値 11 GPa の出現頻度が最も高かった．次いで高いのは 7 GPa で，宮崎県木材協同組合連合会（2016）で報告された沿岸地域の E_m 7.44 GPa を考慮すると適当な頻度であることが理解される．出現分布形状は，木材の強度分布で一般的に認められる正規分布ではないため，試験地点の追加による今後のデータ蓄積の必要性が認められる．最頻値 11 GPa は，スギの強度性能としては高い部類に入るため，本報のように，比較的多数の個体が得られた要因を，組織構造的観点から検討する余地はある．仮に，生育環境が影響しているのならば，地域材の特徴として位置づけていることが可能となる．

まとめ

大槌町で伐採された 35～50 年生スギの材質調査の結果， ρ が高く，かつ， E_m の高い傾向のあることが示唆された．2m の丸太をだら挽きした実大試験体では， ρ と曲げ弾性係数 E_m ，曲げ強度 f_b はそれぞれ， $0.422/\text{cm}^3$ ，9.2GPa，58.7MPa であった． ρ および E_m は，既報の岩手県沿岸域の平均値より高かったため，新たに町内 5 箇所にて伐採されたスギの成熟材を対象に材質を評価した．結果として， E_m の平均値は 7.9GPa であった一方で，ヒストグラムによる最頻値は 11GPa であった．高い E_m は建築構造用途に適しているため，地域材としての特色が強められる可能性が示唆された．岩手県釜石市および大槌町の山林を所管する釜石地方森林組合が林業の担い手育成や建築構法の開発，地域材を活用した家具の開発など，先進的で独自の取り組みを進めており，地域に根ざした林業および林産物の発展が今後ますます期待される．今後の課題として，調査地域の拡大や調査個体数の増加による本成果の精査や， E_m の高いスギの活用法の検討が挙げられる．

文献

- 池田潔彦，木野直樹（2000）．「応力波伝播速度による立木材質の評価と適用(第1報) スギ立木含水率の季節変動と応力波伝播速度による評価」『木材学会誌』46 (3), 181-188.
- 伊東隆夫，山口和穂，黒田宏之，島地謙，角谷和男（1980）．「ヒノキおよびスギの材質におよぼす植栽密度の影響」『木材研究・資料』15, 45-60.
- 岩手県（2017）．「平成 26 年度岩手県林業の指標」
<http://www.pref.iwate.jp/nourinsuisan/toukei/23237/054035.html>
- 太田貞昭（1991）．「木材の科学と利用技術 II 5.スギ」『日本木材学会研究分科会報告書』p14.
- 佐々木貴信（2013）．「大槌町における震災復興への取り組み」『木材工業』68 (3), 115-118.
- 佐々木貴信，渡辺千明，永吉武志，中村博，上田康広，芳賀正彦（2015）．「大槌町の木材資源を活用した復興支援 復興住宅基礎地盤への木杭利用の提案」『秋田県立大学ウェブジャーナル B』2, 203-208.
- 佐々木貴信，渡辺千明，永吉武志，矢治幸夫，水谷洋介，中村博（2016）．「復興住宅基礎地盤への木杭利用の可能性」『秋田県立大学ウェブジャーナル B』3, 257-261.
- 瀧誠志郎，野堀喜裕，Lopez Caceres Maximo Larry，武田一夫（2013）．「海岸クロマツ林における林齢別 Y-N 曲線を組み込んだ重量値による収量-密度図の構築」『日本森林学会誌』95, 206-213.
- 宮崎県木材産業協同組合（2016），『スギ大径材の共同調査研究委員会事業成果報告書』平成 26 年度補正林野庁事業，木材需要拡大緊急対策事業，CLT 等新たな木質部材・工法の開発等支援事業
- 山下香菜，平川泰彦，藤澤義武，中田了五（2000）．「スギ 18 品種の丸太ヤング率の品種間差に及ぼすマイクロフィブリル傾角と密度の影響」『木材学会誌』46 (6), 510-522.

〔平成 30 年 6 月 30 日受付〕
〔平成 30 年 7 月 10 日受理〕

Growth and physical properties of *sugi* lumber in Otsuchi, Iwate prefecture

Koji Adachi¹, Takanobu Sasaki², Seishiro Taki^{1,2}, Katsuhiko Takata¹, Chiaki Watanabe¹

¹ *Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University*

² *Forestry and Forest Products Research Institute*

Since the institution of the Otsuchi-IWT partnership agreement for the support of reconstruction efforts in the aftermath of the Great East Japan Earthquake in 2012, the Institute of Wood Technology (IWT) has assisted Otsuchi in the Iwate prefecture in the effective utilization of locally grown woody material. In this study, the authors measured the air-dried density ρ , average annual ring width, modulus of elasticity E_m , and bending strength f_b of *sugi* lumber harvested in Otsuchi. The ρ , E_m , and f_b in a full-scale test specimen were found to be 0.422/cm³, 9.2 GPa, and 58.7 MPa, respectively. The ρ and E_m were higher than the average values previously reported for the coastal area of Iwate Prefecture. In addition, the researchers measured the physical properties of *sugi*, which was classified as mature wood and was harvested at five locations in Otsuchi. The average value of E_m was 7.9 GPa, while the mode value by the histogram was 11 GPa. Since high E_m is suitable for architectural and structural applications, it is suggested that the characteristics of *sugi* as a local wood material may be strengthened.

Keywords: *sugi*, Japanese cedar, physical property, bending strength, annual ring width