

グイマツ雑種 F_1 の乾燥特性と強度性能

根井 三貴
藤本 高明

安久津 久
土橋 英亮*¹

Drying and Strength Properties of Hybrid Larch F_1

Miki NEI

Hisashi AKUTSU

Takaaki FUJIMOTO

Hideaki TSUCHIHASHI

We compared stem crookedness, drying and strength properties of hybrid larch (*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L.leptolepis*) F_1 with those of *L.leptolepis* and *L. gmelinii* var. *japonica*. The trees (29 years old) were cultivated in Hokkaido Forest Research Institute, Bibai. We found the following results.

- 1) The modulus of elasticity of the hybrid, measured by the tapping method in green condition, was 11.6GPa that between that of *L.leptolepis* and that of *L. gmelinii* var. *japonica*.
- 2) After drying, the change in shape of the hybrid was similar to that of *L.leptolepis*.
- 3) In the bending test of 2 × 4 samples, the results for the hybrid were higher than the standard strength of *L.leptolepis*.

Key words: hybrid larch F_1 , stem crookedness, change in shape, 2 × 4, bending strength
グイマツ雑種 F_1 , 幹曲り, 形状変化, 204材, 曲げ強さ

北海道立林業試験場(美唄市)に植栽された29年生のグイマツ雑種 F_1 について, 素材調査, 乾燥試験, 強度試験を行った。カラマツ, グイマツについても同様に調査を行い, 比較を行った。結果は以下のとおりである。

- 1) 素材のヤング係数では, グイマツ雑種 F_1 の平均値は11.6GPaであり, これはカラマツとグイマツの中間の値であった。
- 2) 乾燥による形状変化はカラマツと同程度であった。
- 3) 204材の曲げ強度試験の結果, グイマツ雑種 F_1 の値はカラマツの基準材料強度を上回った。

1. はじめに

カラマツは北海道の主要造林樹種であるが, 野鼠などの食害を受けやすく, その対策が重要な課題であった。この問題を克服するために, カラマツ類の

育種事業の中で生み出されたのがグイマツ雑種 F_1 である。グイマツ雑種 F_1 は, グイマツを母樹, カラマツを花粉親とした種間交雑種であり, カラマツに比べて野鼠などの諸被害に強く, 通直性や, 密度, 強

度などの材質に優れることが報告されている¹⁻³⁾。しかし、グイマツ雑種 F₁ は造林の歴史が浅く、これまで試験に供された材は若齢であり、実大での試験は行われていなかった。そこで、利用径級に達した材が多量に産出される前に、実大材における諸性質を検証する必要がある。今回は、29年生のグイマツ雑種 F₁ を用い、実大材の評価を目的として、素材調査、乾燥による形状変化の測定、強度試験を行った。比較として、同林齢のカラマツおよびグイマツについても同様の調査を行った。なお、本報告の一部は第53回日本林学会北海道支部大会（2004年11月、札幌）で発表した。

2. 供試木

供試木は、美唄市光珠内にある道立林業試験場グイマツ雑種次代検定林より採取した。同検定林は1974年春に造成され、2002年秋に毎木調査を行い、20%の定性間伐を実施した。間伐時の林齢は29年生で、供試木の平均胸高直径は23.3cm（13.8～31.0cm）であった。

立木の伐採本数は151本で、それぞれ地際から1番玉は材長1.8m、それより上の部位からは材長3.7mの素材を2番玉から最大で5番玉まで得た。採取した素材の本数は514本であった。供試木の概要を第1表に示す。家系数は、グイマツ母樹5クローン、カラマツ母樹7クローンからなる30家系であった。

3. 試験項目と試験方法

3.1 幹曲りの調査

採取した素材514本について曲りの調査を行った。曲りの測定は、素材の日本農林規格（JAS）に基づき、素材の最大矢高を末口径で除して求めた。

3.2 ヤング係数の測定

曲り同様、素材514本についてヤング係数の測定を行った。素材のヤング係数の測定は、木口面を打撃し、FFTアナライザ（小野測器CF-1200）を用いてその周波数を得るタッピング法で行った。素材のヤング係数は次式から求めた。

$$E = 4L^2 f^2 \rho$$

ここで、 E はヤング係数（Pa）、 L は材長（m）、 f

第1表 供試木の概要

Table 1. Description of the sample trees.

記号 Sign	品種 Group	家系数 Number of family	試験体数 Number of sample
GG	グイマツ <i>Larix gmelinii</i> var. <i>japonica</i>	3	34
LL	カラマツ <i>L.leptolepis</i>	3	31
GL	グイマツ×カラマツ <i>L. gmelinii</i> var. <i>japonica</i> × <i>L.leptolepis</i>	20	365
LG	カラマツ×グイマツ <i>L.leptolepis</i> × <i>L. gmelinii</i> var. <i>japonica</i>	4	84

は基本振動数（Hz）、 ρ は密度（kg/m³）を表す。素材の密度は末口と元口の径の平均、長さ、および重量から算出した。

3.3 乾燥試験

GLの素材のうち、径級16cmのもの30本から心持ち正角材（製材寸法115×115×3,650mm）を1本ずつ製材した。材は栈木接触圧力21.6×10⁴Paで圧縮し、高温乾燥スケジュールを適用して人工乾燥を行った。なお、その中の2本は乾燥経過を見るサンプル材とした。

GLの素材75本から204材（製材寸法45×96×2,500mm）を104本製材した。材は栈木接触圧力16.7×10⁴Paで圧縮し、中温乾燥スケジュールを適用して人工乾燥を行った。

乾燥終了後、正角材は全数、204材は46本を選び形状変化を測定した。204材については枠組壁工法構造用製材のJASに基づき目視等級区分を行った。

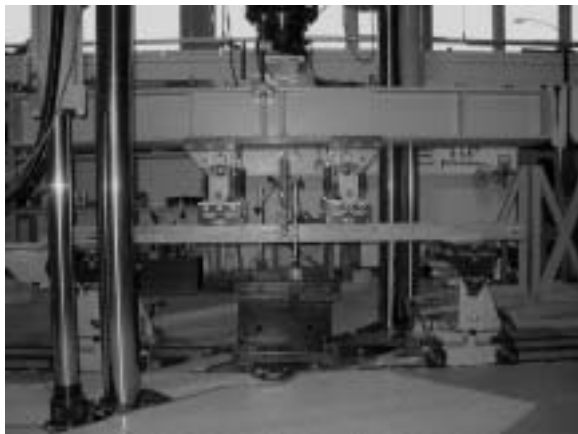
3.4 204材の強度試験

204材の等級区分で2級以上になったものから、ヤング係数が均等に分散するように50本を選び出し、実大の曲げ強度試験を行った。

曲げ試験は東京衡機製造所製木材実大強度試験機WU1000（曲げ容量200kN）を用い、スパン2,100mmの3等分点4点荷重方式で行った（第1図）。次式により曲げヤング係数 E_m と曲げ強さ f_m を算出した。

$$E_m = \frac{a(3L^2 - 4a^2)\Delta F}{48I\Delta w}$$

$$f_m = \frac{aF_{\max}}{2Z}$$



第1図 204材の曲げ強度試験
Fig.1. Bending test of 2 × 4s .

ここで a は支点から荷重点までの距離 ($=L/3$) , F_{max} は最大荷重, Z は断面係数 ($=bh^2/6$, b は材幅, h は材せい), L はスパン, F は荷重 - たわみ曲線の直線部分における荷重の増分, I は断面2次モーメント ($=bh^3/12$), w は F に対応するたわみの増分を示す。

曲げ破壊後直ちに、試験体中央部から長さ50mmの木片を切り出し、試験時の密度、木口面の平均年輪幅、含水率をそれぞれ求めた。

曲げ強さの値は、建設省告示第1452号の基準材料強度の値と照合した。また、得られた値を用いて、素材と製材との相関関係、各要因の関連性を調べた。

なお、幹曲りの調査、素材のヤング係数は4品種すべてについて、乾燥による形状変化の測定、曲げ強度試験はGLについてのみ行った。

4. 結果と考察

4.1 幹曲り

供試木の素材の径級は11~28cmであり、そのうち末口径が14cm未満の木の素材は85本、14cm以上30cm未満の中の素材は429本であった。木の素材は1等(曲り25%以下)の割合が77.6%、2等(同25%を超える)が22.4%であった。中の素材では1等(同10%以下)が18.6%で、2等(同30%以下)が70.9%、3等(同30%を超える)が10.5%であった。全個体の曲りの平均は18.0%であった。

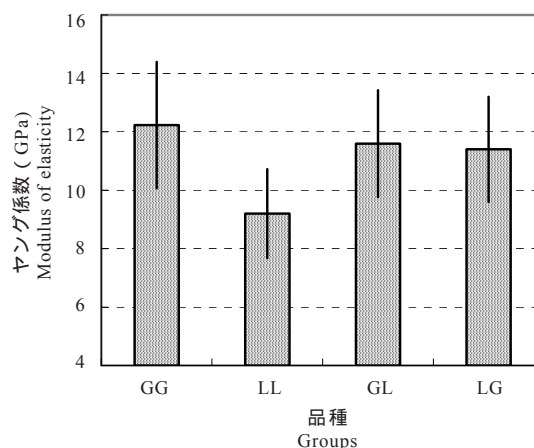
品種ごとの曲りの平均値と標準偏差はGGが21.8%(12.2%), LL 16.6%(8.6%), GL 17.7%(11.2%), LG 18.4%(11.3%)であった。バラツキが大きく、分

散分析を行った結果では品種による有意な差は認められなかった。大島の報告⁴⁾では、15年生の中の素材で2等以上にランクされるのは、育種が行われていないカラマツで約30%、選抜を行った育種カラマツで約45%、グイマツ雑種F₁で70%程度としている。今回の供試材のうち中の素材(GG 23本, LL 27本, GL 314本, LG 65本)で2等以上の出現割合を調べると、いずれの品種も2等以上の割合が80%を越えており、大島の報告に比べて曲りは小さかった。今回の供試材が29年生であることから、樹齢が増し、径が大きくなるに従って、全体的に曲りが小さくなる傾向があることが示唆された。

4.2 素材のヤング係数

ヤング係数の品種別比較を第2図に示す。ヤング係数の平均値はGGが12.2GPa, LLが9.2GPa, GLが11.6GPa, LGが11.4GPaとなり、標準偏差は1.5~2.2であった。分散分析の結果ではLLとその他の品種の間で有意な差が認められた。

高田⁵⁾は、針葉樹類上級構造用木材に相当するヤング係数9.0GPaを、優良系統を評価する上で基準となる値としており、カラマツの精英樹候補木75クローンを用いてヤング係数を測定した結果では、約半数がこの値をクリアしていたと報告している。本試験の結果ではGLのうち90.1%が9.0GPaを超えていた。LGでは89.2%、GGでは91.2%、LLでは51.6%がこの値を上回っており、LLと他3品種では値に差



第2図 ヤング係数の品種別比較

*1) 線は標準偏差を示す
*2) GG, LL, GL, LGは第1表参照

Fig.2. Comparison of MOE among groups.

*1) Bars show the standard deviation .
*2) GG, LL, GL, LG : See Table 1.

第2表 乾燥後の測定結果(正角材)

Table 2. The change in shape caused by drying (square post) .

			GL ^{*1)}	カラマツ ^{*2)} <i>L.leptolepis</i>
試験体数(本) Number of specimens			28	9
曲り矢高 (mm/3,650mm) Crook	av. (range)		3.7 (0.5 ~ 15.9)	4.8 (1.0 ~ 9.5)
ねじれ角度 (°/3,650mm) Twist	av. (range)		3.8 (2.1 ~ 6.9)	3.4 (1.4 ~ 6.2)
割れ面積 (cm ² /本) Check area (cm ² /specimen)	表面 Surface	av. (range)	8.8 (0.0 ~ 80.4)	
	木口 Cross section	av. (range)	2.4 (0.0 ~ 18.8)	

*1) 第1表参照

*2) 未発表データ

*1) See Table 1

*2) Unpublished data

第3表 乾燥後の測定結果(204材)

Table 3. The change in shape caused by drying (2 × 4) .

			GL ^{*2)}	トドマツ ^{*3)} <i>Abies sachalinensis</i>
試験体数(本) Number of specimens	心持ち ^{*1)} With pith		19	15
	心去り Without pith		18	30
曲り矢高 (mm/2,450mm) Crook	心持ち With pith	av. (range)	3.5 (0.0 ~ 13.5)	1.2 (0.0 ~ 3.1)
	心去り Without pith	av. (range)	2.2 (0.0 ~ 6.3)	0.9 (0.0 ~ 2.0)
縦反り矢高 (mm/2,450mm) Bow	心持ち With pith	av. (range)	5.9 (0.0 ~ 12.5)	0.9 (0.0 ~ 2.7)
	心去り Without pith	av. (range)	6.7 (0.0 ~ 19.8)	1.4 (0.0 ~ 5.8)
幅反り矢高 (mm/スパン89mm) Cup	心持ち With pith	av. (range)	1.54 (0.26 ~ 2.75)	0.67 (0.06 ~ 1.73)
	心去り Without pith	av. (range)	1.64 (0.59 ~ 2.95)	0.72 (0.21 ~ 1.26)
ねじれ角度 (°/2,450mm) Twist	心持ち With pith	av. (range)	7.3 (3.6 ~ 15.7)	5.4 (3.8 ~ 7.9)
	心去り Without pith	av. (range)	3.6 (0.2 ~ 9.6)	1.8 (0.1 ~ 4.0)

*1) 少なくとも一方の木口に髄を含む材を心持ち材とした。

*2) 第1表参照

*3) 文献6)

*1) It had at least some pith .

*2) See Table 1

*3) Citation 6)

第4表 204材の等級区分

Table 4. Grading of 2 × 4.

	特・1級 First	2級 Second	3級 Third	格外 Irregular	総数 Total
心持ち With pith	16	9	2	0	27
心去り Without pith	35	18	1	1	55

が見られた。以上のことから、交雑種であるGL, LGのヤング係数はGGに匹敵し、カラマツを上回る強度を有している材料であるといえる。

4.3 乾燥による形状変化

GLの115mm正角材28本の測定結果と、過去に林産試験場で行ったカラマツの乾燥試験結果を第2表に示した。平均値で見ると、曲りについてはGLの方がやや小さく、ねじれについてはカラマツの方がやや小さいものの、分散分析ではいずれも有意差は認められなかった。

GLの204材104本のうち、心持ち材が27本、心去り材が55本、心割材が14本、心掛材が8本であった。また、形状変化を測定した46本のうち心持ち材は19本、心去り材は18本、心割材は2本、心掛材は7本であった。第3表に形状変化の測定結果と、同じ道産材ですでに204材として利用されているトドマツについて乾燥試験の結果⁶⁾を示した。等級区分の結果は第4表のとおりであった。

形状変化をトドマツと比べると、全体的に大きな値を示し、特に縦反りの値が大きかった。製材の等級区分は、縦反りまたはねじれが決定要因になっている材が多く、特に心持ち材では、27本中16本がねじれにより等級が決定した。また、心去り材では縦反りが等級決定要因になった材が最も多かった。なお、材面の割れは軽微で、これが等級決定要因となった材はなかった。

4.4 204材の強度試験

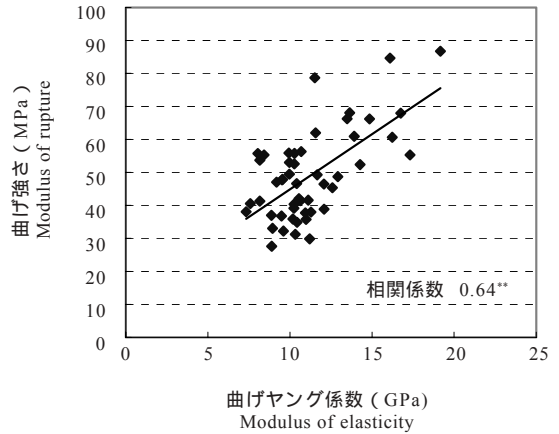
曲げ試験の結果を第5表に示す。試験体50本のうち、目視による等級区分の内訳は、特級が4本、1級が29本、2級が17本であった。曲げ強さの平均は

第5表 曲げ強度試験結果

Table 5. Results of bending tests.

	最小 min.	平均 av.	最大 max.
曲げ強さ (MPa) Modulus of rupture	27.6	49.0	86.7
曲げヤング係数 (GPa) Modulus of elasticity	7.3	11.2	19.2
密度 (g/cm ³) Density	0.40	0.51	0.64
年輪幅 (mm) Annual ring width	3.3	6.5	10.6

*) 含水率 : 10.2 ~ 11.6%
*) Moisture content: 10.2-11.6%

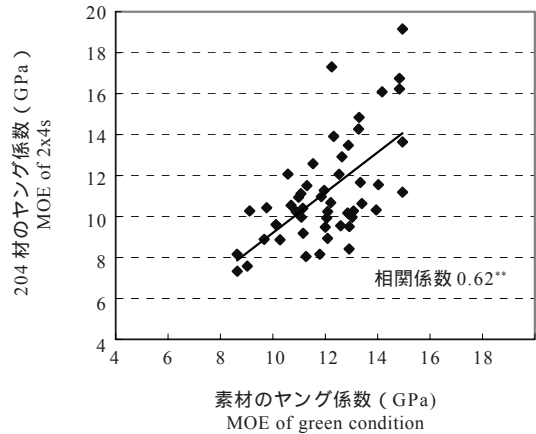


第3図 曲げ強さと曲げヤング係数の関係

**) 1% 有意を示す。

Fig. 3. Relationship between MOR and MOE .

**) Significant at the 1% level.

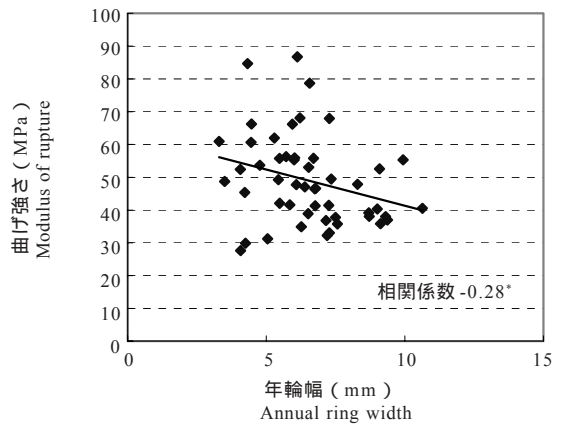


第4図 素材と204材の曲げヤング係数の関係

**) 1% 有意を示す。

Fig. 4. Relationship between MOE of green condition and MOE of 2 × 4s .

**) Significant at the 1% level.



第5図 年輪幅と曲げ強さの関係

*) 5% 有意を示す。

Fig. 5. Relationship between MOR and annual ring width .

*) Significant at the 5% level.

49.0MPaであった。JASの目視等級製材の繊維方向特性値では、カラマツの属する樹種グループSI Hem-Tamの基準材料強度は、それぞれ特級が29.4MPa、1級が18.0MPa、2級が13.8MPaとなっている。今回の試験は、どの等級の試験体もこの値を上回った。

曲げ強度試験結果について、それぞれの要因の相関関係を調べた(第3~5図)。曲げ強さと曲げヤング係数は、相関係数0.64であり、正の相関が認められた。また、素材のヤング係数と204材の曲げヤング係数では、相関係数0.62であり、こちらも正の相関が認められた。このことから、ヤング係数の値が大きいものほど曲げ強さも大きく、素材のヤング係数からおおよその製材の強度を推測することが可能といえる。これは、既往の知見と矛盾しない。

年輪幅と曲げ強さの相関関係を求めたところ、相関係数は-0.28であった。値のバラツキが大きく、相関はほとんど見られなかった。この結果から、強度は年輪幅に必ずしも左右されないと推測される。

おわりに

今回、29年生のグイマツ雑種F₁について、素材調査、乾燥、強度試験を行った。素材の幹曲りは、若齢時の値と比べると全体的に小さく、カラマツ、グイマツも含めた品種間の差は見られなかった。乾燥試験では、形状変化はカラマツと類似しており、縦反りやねじれが大きい傾向が見られた。ヤング係数の測定と強度試験の結果からは、グイマツ雑種F₁はカラマツを上回る強度性能を有することがわかった。

グイマツ雑種F₁は新たな造林面積が限られており、今すぐに材が大量に産出される状況にはない。しかし、苗木の供給量が年々増加しているほか、利

用径級に達した間伐材も次第に出材が可能となる。グイマツ雑種F₁は優れた強度性能を持つと考えられることから、この性質を生かし、構造材や集成材の外層などの用途が考えられる。

グイマツ雑種F₁はカラマツ類の用途を広げる品種として期待されている。今回の成果を、グイマツ雑種F₁材の普及と利用拡大のために役立てていきたいと考える。

謝 辞

今回の研究は、道立林業試験場、道央木材生産協同組合の協力を得て行った。深く謝意を表する。

文 献

- 1) 安久津久ほか3名：カラマツ類品種の材質(第2報), 林産試験報, 4(6), 10-20(1990)
- 2) 安久津久ほか3名：カラマツ類品種の材質(第3報), 林産試験報, 5(3), 34-45(1991)
- 3) 千葉茂：カラマツ属の育種に関する研究(1)-野兎鼠害に対する樹種間の差異-, 日林北支講第12号, 109-113(1964)
- 4) 大島紹朗：カラマツ類の育種成果とその利用, 季報No.100 北海道カラマツ・トドマツ人工林材対策協議会編, 16-25(2000)
- 5) 高田克彦：“林木の材質検定法とその実際”, 林木育種協会編, 63-72(2001)
- 6) 山崎亨史, 成澤直人, 窪田純一：トドマツによる枠組壁工法用材の生産(第1報), 林産試験報, 13(1), 16-22(1999)

- 利用部 材質科 -

- * 1 : 技術部 製材乾燥科 -

(原稿受理: 04.12.13)