－研究－

北海道産天然エゾマツ・トドマツ無欠点小試験片の曲げ強度性能

堀江　秀夫

Bending Strength Properties of Small Clear Specimen of Natural Tree for Ezomatsu and Todomatsu in Hokkaido

Hideo HORIE

Small clear specimen of natural tree for ezomatsu (*Picea jezoensis*) and todomatsu (*Abies sachalinensis*) in Hokkaido were tested in static bending and impact bending. Bending strength properties of ezomatsu and todomatsu were classified data by the coming results and the past results of the same as the coming test condition.

From the classified data, it was confirmed that there was no problem to consider the two as one and the same thing for bending strength properties of ezomatsu and todomatsu in case of practical use. Moreover, there is a significant difference between automatic-calculated value by computer and hand-calculated value by handwork in modulus of elasticity.

Key words : modulus of elasticity, modulus of rapture, impact absorbed energies
曲げヤング係数，曲げ強さ，衝撃吸収エネルギー

北海道産天然エゾマツ・トドマツから採取した無欠点小試験片の静的曲げ試験と衝撃曲げ試験を行った。さらに，過去に行われた同様の試験結果と併せて，エゾマツ・トドマツの曲げ強度性能を整理した。

この整理結果から，実用上，エゾマツとトドマツの曲げ強度性能を同一樹種として扱って問題は生じないことを確認した。また，過去の手作業による手動算出と現在のコンピュータによる自動算出とで曲げヤング係数に相違が生じていることを確認した。

1．はじめに

北海道では豊富な森林資源を背景に地場産の木材が建築材料として用いられ，特に構造材料としては大径通直な天然のエゾマツとトドマツが利用されてきた。このエゾマツとトドマツは，木材工業ハンドブック[1)]によれば，機械的性質，分布，材色，材質，用途は両樹種ともに似通っており，同一樹種のごとく利用されていることが記述されている。さらに，構造材料としての実用的区分から，これまで両樹種には同一の許容応力度が与えられている。

第１表　曲げ強度試験片数
Table 1. The number of bending strength specimen.

	曲げヤング係数の算出方法 Calculation method of modulus of elasticity	樹種 Species	試験年(年) Date of test (year)	試験片数 The number of specimen 全試験片 For all specimen 静的曲げ Static bending	全試験片 衝撃曲げ Impact bending	二方柾試験片 For rift-cut specimen 静的曲げ Static bending	二方柾試験片 衝撃曲げ Impact bending	参考文献番号 References No.
今回の試験 The coming test	自動算出 Automatic	エゾマツ Ezomatsu	2000	104	104	67	67	
		トドマツ Todomatsu	2000	78	78	27	27	
過去の試験 The past test	手動算出 Hand	エゾマツ Ezomatsu	1976	70				2)
		トドマツ Todomatsu	1976	54				2)
		エゾマツ Ezomatsu	1980		20		20	3)
		エゾマツ Ezomatsu	1985	64		64		4)
		トドマツ Todomatsu	1985	26		26		4)
		エゾマツ Ezomatsu	1987	74				5)
		トドマツ Todomatsu	1987	64		64		5)
		エゾマツ Ezomatsu	1987	46				6)
		トドマツ Todomatsu	1987	45				6)
合計 Total				625	202	184	114	

Note：Ezomatsu：*Picea jezoensis*，　Todomatsu：*Abies sachalinensis*

しかし，エゾマツとトドマツの材質を具体的データに基づいて比較し，実用上の曲げ強度性能を同一樹種のように扱っても良いかを検討した研究は見られない。また，最近の強度試験装置の進歩により，曲げヤング係数の算出方法が，過去の手作業による手動算出から現在のコンピュータによる自動算出へ変化している。この変化により曲げヤング係数値が過去と現在とで異なるのかどうかを調べた研究も見られない。

そこで本研究では，現在北海道内で流通している北海道産天然エゾマツ・トドマツから採取した無欠点小試験片について静的曲げ試験と衝撃曲げ試験を今回行った。さらに過去行われた同じ試験内容の結果[2-6]と併せて，エゾマツ・トドマツの曲げ強度性能を整理した。この整理結果から，エゾマツとトドマツの曲げ強度性能を，実用上，同一樹種と見なして良いのか，また過去の手動算出と現在の自動算出とで曲げヤング係数に相違が生じていないかを検討した。

2．　供試材料と試験方法

今回行った試験と過去行われた試験の試験条件はほぼ同一であるが，曲げヤング係数の算出方法のみが異なっている。

本研究で取扱った曲げ強度試験片数を第1表に示す。全試験片の原材料は北海道産天然木である。すべての試験は，試験片を20℃相対湿度65%の恒温恒湿室内に保管して気乾含水率に調湿したのちに行っている。試験時の含水率は，静的曲げ試験片が平均13.7%（最小9.3～最大16.6%），衝撃曲げ試験片が平均13.1%（最小9.3～最大15.4%）である。

2.1 今回の試験

現在北海道内で流通している製材品から，静的曲げ用（寸法25×25×400mm）と衝撃曲げ用（寸法25×25×300mm）の無欠点小試験片を隣接して採

取した。なお，試験片木口の年輪走向はランダムである（一部は二方柾もある）。

静的曲げ試験は，JIS Z 2101-1994に準拠して行った。インストロン社製強度試験機（容量 9.8kN）を用いて，スパンは試験片高さの14倍，荷重方法は中央集中，荷重速度は 3mm / 分の試験条件である。

曲げヤング係数は，試験機に付属したコンピュータと解析ソフト（ソフト名：シリーズⅨ）を用いて自動的に算出した。これは，コンピュータによる自動算出である。

衝撃曲げ試験は，JIS Z 2101-1994に準拠して行った。シャルピー型衝撃曲げ試験機（衝撃エネルギー98J）を用いてスパン24cmの条件で試験し，衝撃曲げ吸収エネルギーを求めた。

2.2 過去の試験

試験当時に北海道内で流通していた原木または製材品から，静的曲げ用（寸法25×25×400mm～30×30×480mm）または衝撃曲げ用（寸法25×25×300mm）の無欠点小試験片を採取している。なお，試験片木口の年輪走向はランダムである（一部は二方柾もある）。

静的曲げ試験は，JIS Z 2101に準拠して行っている。島津製作所製インストロン型強度試験機（容量49.0kN）を用いて，スパンは試験片高さの14倍，荷重方法は中央集中，荷重速度は2.5mm / 分前後の試験条件である。

曲げヤング係数は，試験機に付属したペンレコーダーで描かれた荷重－たわみ曲線の上から人が定規を当てて直線域の傾きを求め算出している。これは手作業による手動算出である。

衝撃曲げ試験は，今回の試験と同一方法で行っている。

3．試験結果と考察

静的曲げ試験片全数の平均密度はエゾマツ 0.43 g/cm^3，トドマツ 0.40g/cm^3 であり，木材工業ハンドブック[1)]に記述された両樹種の平均気乾比重0.43および0.40と一致している。つまり，本研究で取扱った無欠点小試験片は，北海道産天然エゾマツおよびトドマツを代表していることが分かる。

3.1 曲げ強度性能におけるエゾマツとトドマツの相違

今回行った試験と過去行われた試験の結果を，樹種別に第2表，第1図，第2図に示す。なお，曲げヤング係数は算出方法の影響を受けることが予想されるため算出方法を分けて表示した。また，衝撃曲げ吸収エネルギーは年輪走向の影響を大きく受けるため，安定した強度性能が得られる二方柾試験片（柾目面荷重）のみのデータを表示した。

第2表の統計値と，二つの標本平均の差の検定手法[7,8)]を用いて，樹種別の曲げ強度性能に有意差があるかを検定した結果，静的曲げ試験における各物性値は危険率1%でエゾマツとトドマツに有意差が認められた。一方，衝撃曲げ試験における二方柾試験片については有意差は認められなかった。このように，静的曲げ試験における各物性値には樹種差が認められた。

しかし，比較的強度性能との相関が高い密度に対する曲げ強度性能の関係を示した第1図，および曲げヤング係数に対する曲げ強さの関係を示した第2図でのエゾマツとトドマツのデータの分布をみると，両者の分布は連続かつほとんどが重なっていることが分かる。特に，曲げ強さの予測で重要な曲げヤング係数と曲げ強さの関係では，両樹種のデータを合わせたときの回帰直線の周りにデータが分布しており，曲げヤング係数からの曲げ強さ予測において両樹種を同一視できることを示している。

これらのことから，エゾマツとトドマツは同一樹種のように見なしても曲げ強度性能での実用上の問題はないといえる。

3.2 曲げヤング係数における自動算出値と手動算出値との相違

曲げヤング係数の算出方法において，コンピュータによる自動算出では，プログラムされた方法で荷重－たわみ曲線の直線域の傾きを求め曲げヤング係数を算出するため，恣意（しい）性が働かずバラツキの少ない曲げヤング係数となる傾向がある。

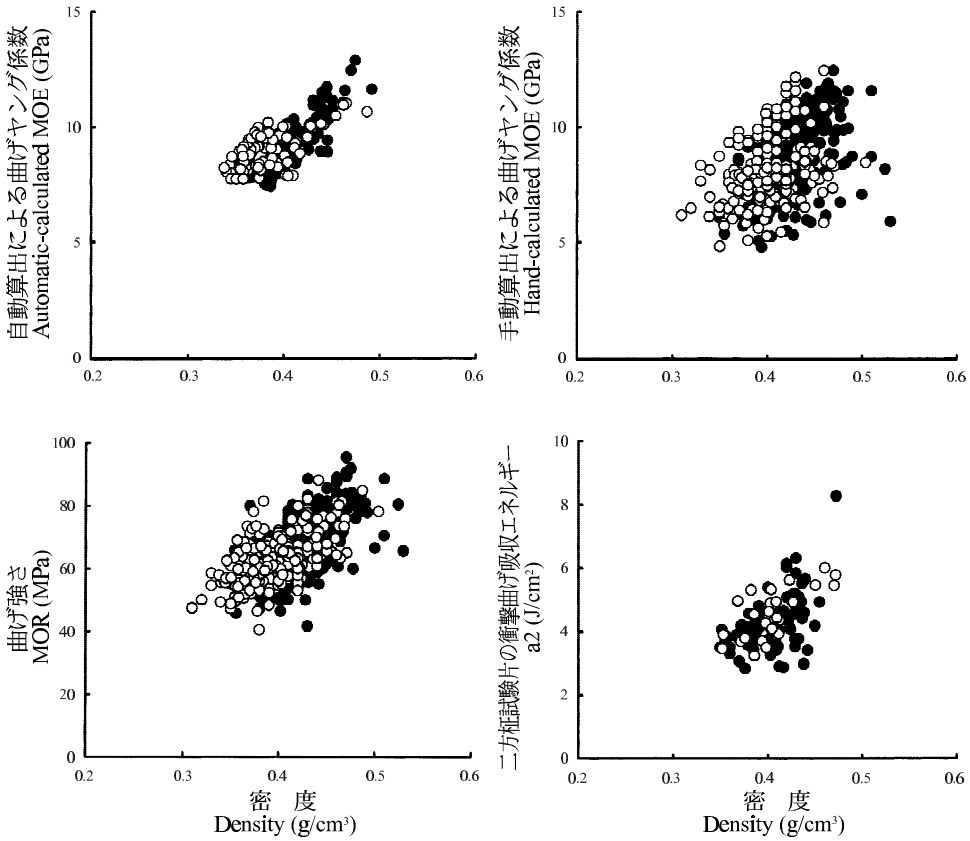
これに対して手作業による手動算出では，チャート紙に描かれた荷重－たわみ曲線にはペン幅があり，また直線域の接線にも鉛筆幅があるため，担当した人間の個人差によりバラツキが多くなる傾向がある。

第２表　樹種別の曲げ強度試験結果
Table 2. Results of bending test for species.

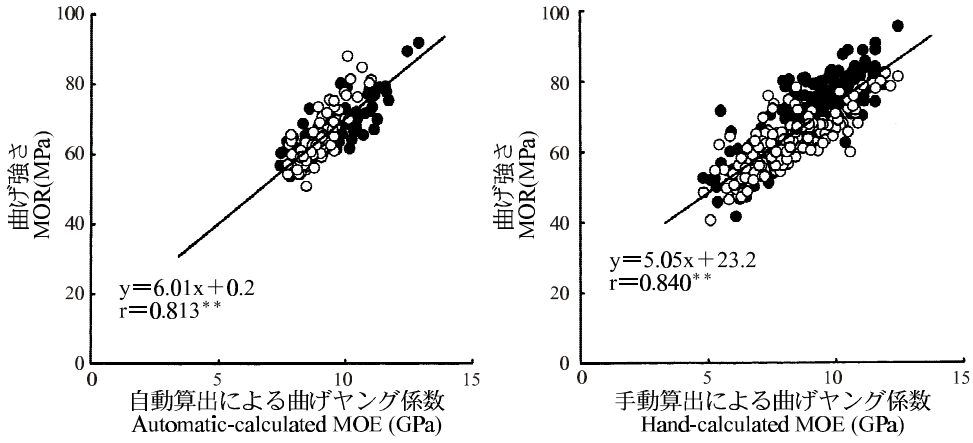
	静的曲げ試験 Static bending test												衝撃曲げ試験 Impact bending test			
	全試験片 For all specimen				曲げヤング係数を自動算出した試験片 For specimen of automatic-calculated MOE				曲げヤング係数を手動算出した試験片 For specimen of hand-calculated MOE				二方柾試験片 For rift-cut specimen			
	密度 Density（g/cm³）		曲げ強さ MOR（MPa）		密度 Density（g/cm³）		曲げヤング係数 MOE（GPa）		密度 Density（g/cm³）		曲げヤング係数 MOE（GPa）		密度 Density（g/cm³）		衝撃曲げ吸収エネルギー a2（J/cm²）	
	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T	E	T
平　均 mean	0.43	0.40	68.2	63.1	0.41	0.38	9.51	8.99	0.43	0.40	8.76	8.08	0.40	0.40	4.34	4.56
最　小 min.	0.35	0.31	41.7	40.6	0.35	0.34	7.42	7.72	0.35	0.31	4.80	4.82	0.35	0.35	2.84	3.25
最　大 max.	0.53	0.50	95.4	88.2	0.49	0.49	12.87	11.00	0.53	0.50	12.45	12.45	0.47	0.47	8.26	6.00
標準偏差 S.D.	0.031	0.033	9.67	7.80	0.030	0.031	1.17	0.80	0.030	0.032	1.68	1.47	0.027	0.031	0.90	0.77
変動係数 C.V.（%）	7.3	8.2	14.2	12.4	7.3	8.0	12.3	8.9	6.9	8.1	19.2	18.2	6.8	7.7	20.7	16.9
不偏分数 U.V.	0.0010	0.0011	93.6	60.8	0.0009	0.0009	1.36	0.64	0.0009	0.0010	2.84	2.17	0.0008	0.0010	0.81	0.59
試験片数 n	358	267	358	267	104	78	104	78	254	189	254	189	87	27	87	27

凡例：E：エゾマツ，T：トドマツ

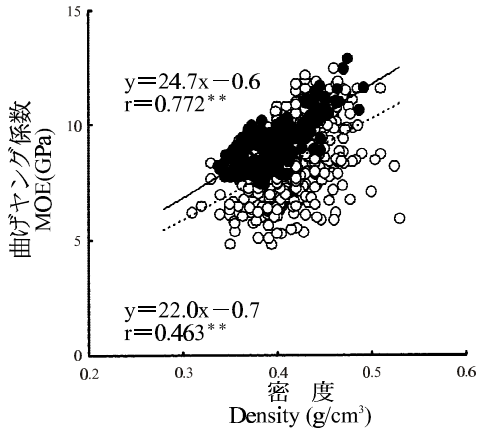
Legend：E：Ezomatsu；T：Todomatsu；a2：Absorbed energies in impact bending；S.D.：Standard deviation；C.V.：Coefficient of variation.；U.V.；Unbiased variance；n：Number



第１図　樹種別の密度と曲げ強度性能の関係
凡例：●：エゾマツ，○：トドマツ
Fig. 1. Relationship between bending strength properties and density for species.
Legend : ● : Ezomatsu ; ○ : Todomatsu ; See Table 2 for a2.



第２図　樹種別の曲げヤング係数と曲げ強さの関係
凡例：●：エゾマツ，○：トドマツ，――：全データに対する回帰直線
Fig. 2. Relationship between MOR and MOE for species.
Legend : ● : Ezomatsu ; ○ : Todomatsu ; —— : Regression line for all data.



第３図　曲げヤング係数算出方法別の密度と曲げヤング係数の関係
凡例：●：自動算出による曲げヤング係数の試験片
○：手動算出による曲げヤング係数の試験片
―：自動算出による曲げヤング係数の試験片の回帰直線
…：手動算出による曲げヤング係数の試験片の回帰直線
Fig. 3. Relationship between density and MOE for calculation method of MOE.
Legend : ● : Specimen of automatic-calculated MOE,
○ : Specimen of hand-calculated MOE ;
— : Regression line for specimen of automatic-calculated MOE ;
… : Regression line for specimen of hand-calculated MOE

さらに，高めの曲げ比例限度荷重を求めようとして直線域の接線の傾きをゆるくし，その結果として曲げヤング係数が小さめに算出される傾向がある。

すなわち，自動算出と手動算出とで同一材でも曲げヤング係数が異なって算出される可能性がある。

前節において，エゾマツとトドマツを実用上同一樹種として扱っても問題が生じないことを確認したため，樹種別ではなく曲げヤング係数の算出方法別の密度と曲げヤング係数の関係を第3図に示す。図から，予想どおり自動算出値と手動算出値の差が明瞭（めいりょう）に現れ，また自動算出値のバラツキが小さくなっているのが分かる。

そこで，今後は自動算出による曲げヤング係数値が蓄積されてゆくことから，手動算出値を自動算出

第３表　エゾマツとトドマツを同一樹種と見なした場合の無欠点小試験片の曲げ強度性能
Table 3. Bending strength properties of small clear spesimen when assuming that ezomatsu and todomatsu are the same species.

	静的曲げ試験 Static bending test			衝撃曲げ試験 Impact bending test			
	全試験片 For all specimen			全試験片 For all specimen		二片柾試験片 For rift-cut specimen	
	密度 Density (g/cm³)	MOE* (GPa)	曲げ強さ MOR (MPa)	密度 Density (g/cm³)	a1 (J/cm²)	密度 Density (g/cm³)	衝撃曲げ吸収エネルギー a2 (J/cm²)
平　均 mean	0.41	9.60	66.0	0.40	4.94	0.40	4.39
最　小 min.	0.31	5.91	40.6	0.33	2.84	0.35	2.84
最　大 max.	0.53	13.85	95.4	0.49	12.93	0.47	8.26
標準偏差 S.D.	0.035	1.53	9.26	0.033	1.42	0.028	0.87
変動係数 C.V.	8.5	16.0	14.0	8.2	28.7	7.0	19.9
不偏分数 U.V.	0.0012	2.35	85.8	0.0011	2.02	0.0008	0.76
試験片数 n	625	625	625	202	202	114	114

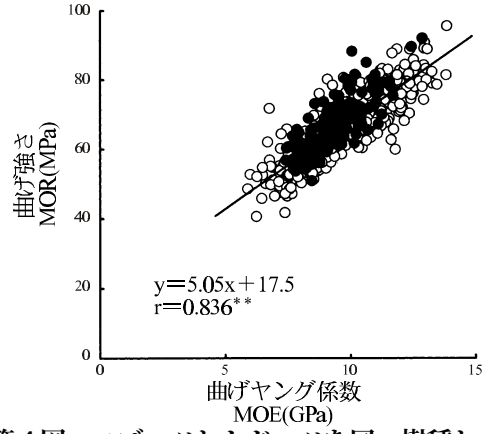
凡例：MOE*：自動算出に統一した曲げヤング係数，a1：全試験片の衝撃曲げ吸収エネルギー

Legend：MOE*：Modulus of elasticity converted hand-calculated value into automatic-calculated value.
a1：Absorbed energies in impact bending for all specimen.
See Table 2 for a2.

値に補正してエゾマツとトドマツの曲げ強度性能を整理した。第３図に示されたエゾマツとトドマツを同一樹種として求めた自動算出値と手動算出値の回帰直線を用いて，手動算出値の回帰直線が自動算出値の回帰直線に重なるように両回帰直線における曲げヤング係数値の差分を手動計算値に加えた。このようにして，手動算出値を自動算出値に補正した曲げヤング係数を第３表に示す。なお，このときの両回帰直線におけるエゾマツとトドマツを合わせた平均密度 0.41g/cm³に対する曲げヤング係数値の差分は 1.24GPa であった。

3.3 エゾマツ・トドマツの曲げ強度性能

エゾマツとトドマツを同一樹種と見なし，曲げヤング係数を自動算出値に統一した場合の曲げ試験結果を第３表および第４図に示す。ここに示された統計値および曲げヤング係数と曲げ強さの関係が，北海道産天然エゾマツとトドマツを同一樹種と見なし



第４図　エゾマツとトドマツを同一樹種と見なした場合の曲げヤング係数と曲げ強さの関係

凡例：●：自動算出による曲げヤング係数の試験片
○：手動算出による曲げヤング係数を自動算出による曲げヤング係数に補正した試験片
―：全データに対する回帰直線

Fig. 4. Relationship between MOR and MOE when assuming that ezomatsu and todomatsu are the same species.

Legend：●：Specimen of automatic-calculated MOE;
○：Specimen converted hand-calculated MOE; into automatic-calculated MOE;
―：Regression line for all data

た場合の無欠点小試験片の曲げ強度性能である。

4. おわりに

エゾマツとトドマツは，従来から同一樹種のごとく利用されてきた。本研究による検討結果からも，曲げ強度性能においてはエゾマツとトドマツを同一樹種と見なしても利用上の問題は生じないことを確認した。

一方，曲げヤング係数は，現在のコンピュータによる自動算出値と過去の手作業による手動算出値とには相違があり，手動算出値は自動算出値よりも小さめとなっていることが確認された。

このことは，たとえば最近の品種改良された人工造林木と過去の天然木の曲げヤング係数を比較するような場合には，その算出方法を確認し，もし算出方法に違いがあるならば，算出方法間の補正について検討すべきことを示している。

文　　献

1) 農林省林業試験場編：“木材工業ハンドブック第5版”，丸善，1967, p.163-169.
2) 倉田久敬　ほか4名：林産試験場研究報告，No. 67, 4-33 (1978).
3) 堀江秀夫，倉田久敬：林産試験場月報，No. 356, 5 - 16 (1981).
4) 川口信隆，高橋政治：林産試験場月報，No. 412, 1-4 (1986).
5) 米田昌世：“JAS2等製材（10.5cm正角）の曲げ強度試験”，未発表資料 (1987).
6) (財)日本住宅・木材技術センター：“建築用木材性能評価事業報告書（Ⅱ）”，1990, p. 43-44.
7) 石川栄助：“実務家のための新統計学”，槙書店，1997，p. 224-228.
8) 大崎紘一，菊地　進，緒方正名：“ベーシック・プログラムによる統計手法”，同文書院，1982, p. 66-69.

－再生利用科－

（原稿受理：01.3.27）