HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	あて材の力学的性質に関する研究：第1報 トドマツ材の弾性定数
Author(s)	上田, 恒司; 飯島, 泰男; 横山, 隆
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 29(2), 327-334
Issue Date	1972-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20909
Type	departmental bulletin paper
File Information	29(2)_P327-334.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

あて材の力学的性質に関する研究

第1報　トドマツ材の弾性定数

上田恒司* 飯島泰男** 横山　隆***

Studies on the Mechanical Properties of Reaction Woods

Report 1. The Elastic Constants of Todomatsu (*Abies* sp.)

By

Koji UEDA, Yasuo IIJIMA and Takashi YOKOYAMA

目　　次

まえがき …… 327
1. 実験方法 …… 328
1.1 試　　料 …… 328
1.2 曲げ試験 …… 328
1.3 捩り試験 …… 328
1.4 圧縮試験 …… 328
2. 結果と考察 …… 329
2.1 比重と年輪幅 …… 329
2.2 ヤング係数 …… 330
2.3 せん断弾性係数 …… 331
2.4 圧縮強度およびポアソン比 …… 332
3. 要　　約 …… 333
文　　献 …… 334
Summary …… 334

まえがき

異常材としてのあて材の性質に関しては，その生成過程，化学組成，組織構造あるいは材質等について各分野で報告がなされており，あて材と正常材の特徴的な相違が解明されてきた。力学的性質に関しては，これまでは主として破壊強度の測定がおこなわれ，弾性的性質特

* 北海道大学農学部　林産学科　木材加工学教室
Loboratory of Wood and Wood Products Engineering, Dept. of Forest Products, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.
** 現在　富山県木材試験場
*** 現在　青森県農林部

にせん断弾性係数に関する研究は殆んどみられない。

この報告ではあて材をもつ丸太から採取した試験片の材質を主として弾性定数によって検討し，これよりあて材の特徴である顕著な曲がりや捩れ等の発生機構を解析するための基礎的知見を得ること，あるいは，正常材に対する異常材を相対的に判別する基準を力学的数値に求めることなどを検討する。

1. 実験方法

1.1 試　料

本報では，雨竜，苫小牧および当別産のトドマツ材を試料とした。苫小牧産のトドマツ材の横断面は偏心生長を示し，肥大生長の大きい部分に顕著な着色が見られることから，この部分をいわゆる圧縮あて材と判断した。雨竜および当別産のトドマツ材は縦挽きされており気乾状態になったものである。

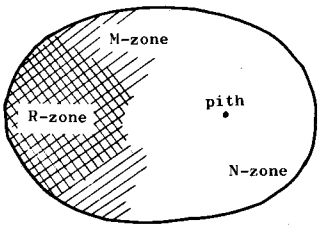

Fig. 1. Cross section of a reaction wood
R-, N- and M-zone include reaction wood, normal wood and intermediate wood respectively.

試験片は Fig. 1. に示すようにあて材部 (R), あてのない部分 (N) およびこれらの中間部 (M) から採取した。

試験片の寸法は曲げおよび捩り試験用のものが断面 2×2 cm，長さ (繊維方向) 34 cm で，圧縮試験用のものは断面 2.5×2.5 cm，長さ 8 cm である。いずれも気乾材で2方柾木取りとし，節あるいは目切れのないもののみをもちいた。

1.2 曲げ試験

曲げ試験はスパン $l=32$ cm とし，12 kg までの中央集中荷重を木表に加えておこなった。撓みは荷重点において精度 1/100 mm のダイヤルゲージをもちいて測定した。なお，このばあいに生じる曲げ応力は約 70 kg/cm^2 であり，これらの試験片はそのまま捩り試験に使用した。

1.3 捩り試験

この試験では試験片の両端に繊維方向を軸とするトルクを作用させ，そのときの棒の捩れ角を測定した。ここでもちいた試験片は2方柾木取りであるため，捩れ角は板目面のせん断弾性係数 G_{LT} および柾目面の G_{LR} により決定されるわけである。しかしこれら2個のせん断弾性係数を分離して求めることは実験的にも，計算的にも非常に煩雑なため，ここでは試験片を等方体とみなして見かけのせん断弾性係数 G を算出した[1]。

試験装置は沢田の報告[2]にあるものと同種のものである。試験片に加えたトルクは 20 kg·cm までで，このときの捩れ角を試験片の中央部 16 cm 区間について測定した。なお，このばあいに生じるせん断応力は約 12 kg/cm^2 以下である。

1.4 圧縮試験

能力 5 ton のオルゼン型試験機により試験片の繊維方向に荷重を加え，このときの繊維方向，接線方向および半径方向の歪みをそれぞれ測定したのち圧縮破壊した。

2. 結果と考察

2.1 比重と年輪幅

結果は Table 1 および Fig. 2. に示した。Table 1 の平均値でみると，あて材を含まない N-zone からの材はいずれの産地のものも比重は約 0.4 である。これに対してあて材部 R-zone から採取した材の比重は 0.5～0.7 とかなり大きい。またこれらの中間部 M-zone の材では，比重もこれらの中間的な値をとっている。

平均年輪幅についてみると，そのばらきの範囲はかなり大きいが，N-zone 材ではいずれ

Table 1. Specific gravity and annual ring width of specimens

Position of Specimen	Region of Growth	Specific Gravity			Annual Ring Width (mm)			Number of Specimen
		min.	av.	max.	min.	av.	max.	
N-zone	Uryû	0.376	**0.394**	0.413	1.83	**2.67**	5.12	12
	Tomakomai	0.314	**0.384**	0.413	1.53	**2.78**	4.58	26
	Tôbetsu	0.377	**0.400**	0.420	2.16	**2.76**	3.73	8
M-zone	Uryû		**0.451**			**3.75**		1
	Tomakomai	0.429	**0.495**	0.651	1.94	**3.23**	4.45	14
	Tôbetsu	0.423	**0.495**	0.539	3.46	**4.22**	5.83	8
R-zone	Tomakomai	0.503	**0.639**	0.705	4.15	**5.44**	7.78	21

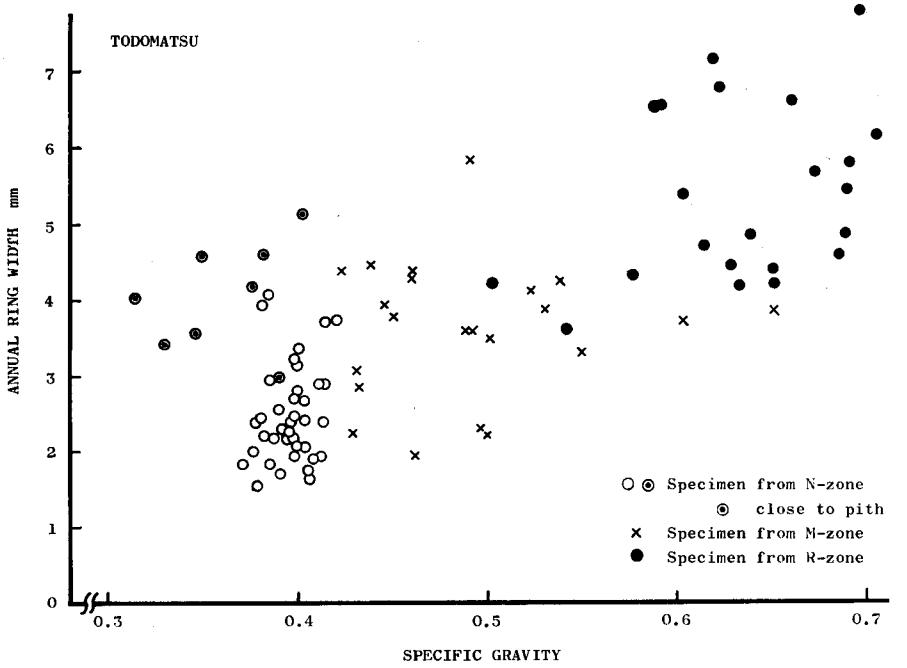

Fig. 2. Relation between specific gravity and annual ring width

も平均で2.7 mm前後であり，M-zoneでは3～4 mm，R-zoneではN-zone材の2倍の5.4 mmまで増加している。なお，比重0.7，平均年輪幅6 mmを示す顕著なあて材部におけるみかけのあて材率は85%ていどである。

Fig. 2. は曲げおよび圧縮試験片の全数90個について比重と平均年輪幅の関係を示したものである。全体の傾向をみると年輪幅は比重が0.38～0.42のあたりで極小となり，これより比重が増加するとともに年輪幅も広くなり，あての程度が著しくなる。一方，比重が小さい試験片でも年輪幅が増加する傾向がみとめられるが，これに該当する材はいずれも心持ち材あるいは髄に近い部分の材であり，未成熟材と考えられる。

Table 1 およびFig. 2. にみられるように，N-zoneから採取した材は未成熟材とみられるものを除いて，いずれの産地のものもほぼ同一の比重範囲 (0.38～0.42) にはいることから，以下ではこれを正常材と考える。

2.2 ヤング係数

ヤング係数と比重の関係はFig. 3. に示すとおりである。曲げおよび圧縮試験より得られるヤング係数は本質的に等しいこと，また産地による相違がみとめられないことから全試験片を一括してプロットした。

一般に木材のヤング係数は比重の増加に伴い大となる傾向がみとめられるが，本実験でこの関係が成立するのは未成熟材と正常材に限られる。すなわち正常材でヤング係数が最も大となり，これより比重が大きくなるとヤング係数は減少する。この関係は比重と年輪幅の関係(Fig. 2)とは逆であるから，年輪幅が大きくなるとヤング係数が減少するという結論が導かれる。

ヤング係数の数値では，最も比重の小さい心持ち材で50×10^3 kg/cm^2，正常材で90×10^3～110×10^3 kg/cm^2，比重が0.6以上の典型的なあて材では60×10^3～80×10^3 kg/cm^{2}でほぼ一定値

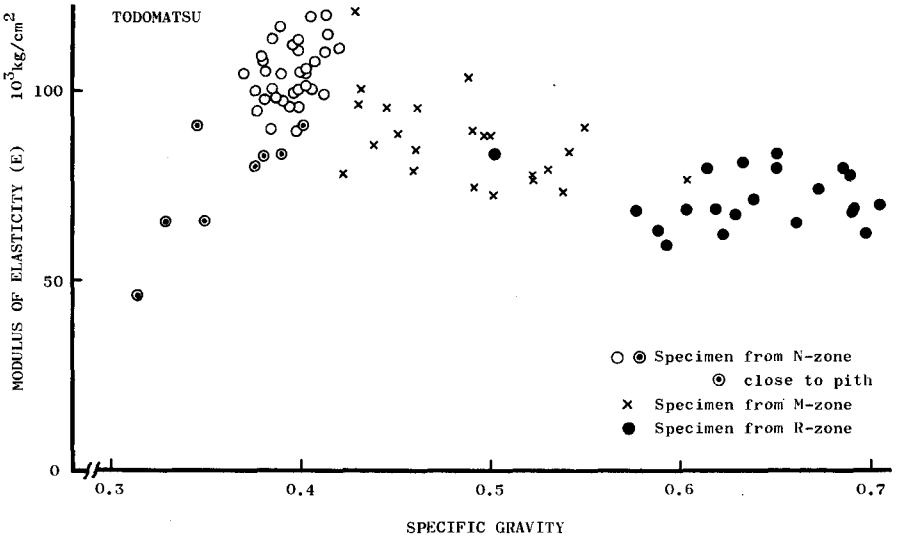

Fig. 3. Relation between specific gravity and modulus of elasticity

をとり，この中間の材のヤング係数は正常材と典型的なあて材の中間的な値をとり比重とは直線的な負の相関関係を示す。

2.3 せん断弾性係数

見かけのせん断弾性係数については，非常に興味のある結果が得られた。すなわち Fig. 4. に示すようにせん断弾性係数はヤング係数とは逆に，比重の増加によって大となる関係をもつことが明らかにされた。比重 0.4 における値をトドマツ正常材の標準値とすると，比重 0.7 のあて材のせん断弾性係数はこの 2.5 倍に達する。ヤング係数のばあいは，比重が 0.6 以上のあて材でほぼ一定値をとるが (Fig. 3)，せん断弾性係数のばあいは比重 0.6 以上でいくらか勾配は緩くなるが，さらに増加の傾向がみられる。

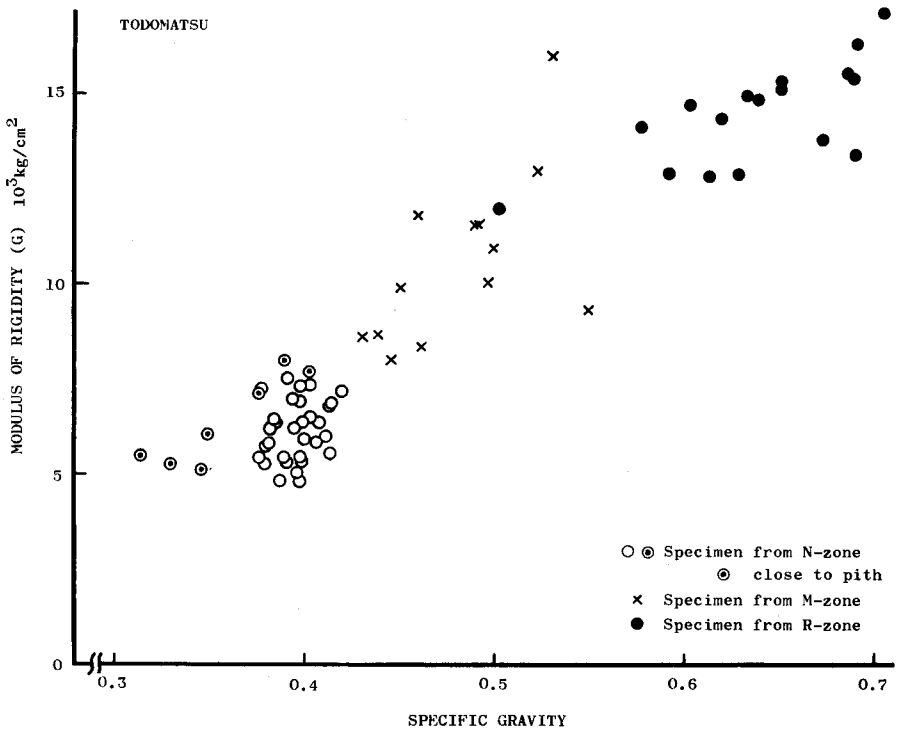

Fig. 4. Relation between specific gravity and modulus of rigidity

また，未成熟材と考えられる材のせん断弾性係数は，比重の小さいことを考慮にいれると，正常材よりも相対的にかなり大きな数値をもつと判断される。

一般に木材を棒状材料として使用するばあい，せん断弾性係数が独立的に力学的挙動に関与するのは棒の長手方向を軸とするトルクが作用するばあいが主で，殆んどのばあい，ヤング係数 E との比の形 (E/G) でせん断付加撓みの項に影響を与える。ここで，曲げおよび捩り試験から得られたヤング係数 E とせん断弾性係数 G の比を比重を横軸にとりグラフにすると Fig. 5. が得られる。すでに述べたように，比重に対するヤング係数とせん断弾性係数の変化状態は

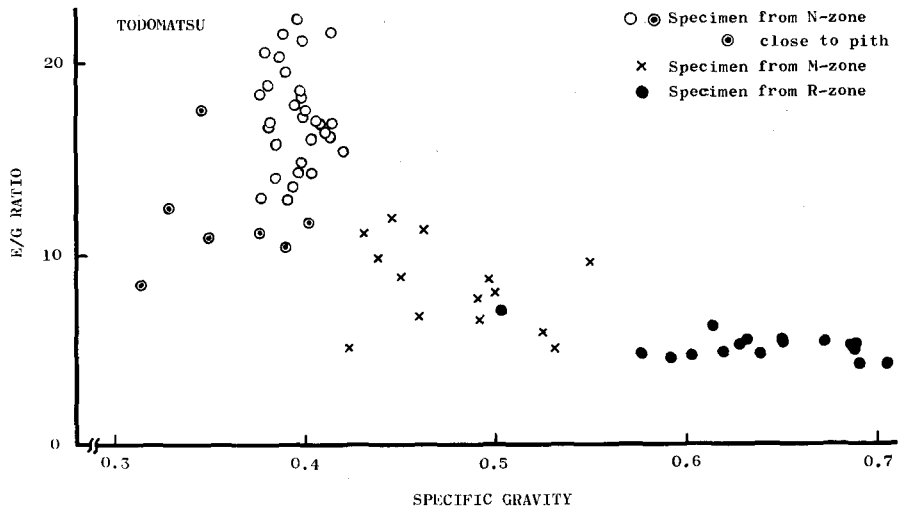

Fig. 5. Relation of E/G ratio to specific gravity

逆であるために E/G 値ではこれらの差がさらに拡大されることになる。

Fig. 5. より，正常材では E/G が 13～22 は範囲にあるが，あて材率が増加し比重が大きくなるにつれて減少し，比重 0.6 以上の典型的なあて材では E/G は 4～6 の範囲にほぼ一定する。また，未成熟材とみなされるものの E/G 値は正常材のそれに比較してかなり小さく，どちらかといえば，軽度のあて材の値に近い。

以上で明らかになったようにトドマツ材では，比重が約 0.4 を越えて増加すると，つまりあての程度が著しくなるとともにヤング係数は減少し，せん断弾性係数は増加する。この理由を考察するためには，細胞の形状，膜層構造，材の構成要素率，あるいは化学成分，特にセルロースとリグニンの含有量や存在部位等を主とする広範囲な研究が必要であろう。ただ，圧縮あて材におけるフィブリルの傾斜が正常材のそれに比較して大きいという事実をとりあげると，あて材におけるヤング係数の低減およびせん断弾性係数の増加すなわち E/G の減少は予想されることであり，同時に未成熟材とみられる部分の E/G もあて材同様に減少することが未成熟材のフィブリル傾角[3]を考慮にいれることによって説明できる。しかしこの点については，広葉樹の引張あて材に関する実験の結果もあわせて検討しなければならないと考える。

2.4 圧縮強度およびポアソン比

正常材に比較してあて材の圧縮強度は大きいが，比例限応力は小さくなる傾向がみられる。しかし，あて材ではヤング係数が小さいため最大比例短縮度 σ_C/E[4] はあて材において正常材の 2 倍となる。これは，正常材とあて材を同時に圧縮するばあい，正常材が先に破壊することを意味しており，実験的にも，あてを含む材の圧縮において春材部にもめが観察される段階においてもあての部分にはこれがまだみとめられないことと一致している。

ポアソン比については，試験片数も少く横歪みの測定値が不安定であったため，数値の大

Table 2. Results of the compressive test

Position of Specimen	Specific Gravity	Modulus of Elasticity (E) $\times 10^3$ kg/cm^2	Stress at Proportional Limit (σ_p) kg/cm^2	Maximum Stress (σ_c) kg/cm^2	Poisson's Ratio μ_{LT}	Poisson's Ratio μ_{LR}	σ_c/E	No. of Specimen
N-zone	0.394	101.8	291	384	0.495	0.351	0.0038	8
M-zone	0.517	88.5	289	453	0.562	0.428	0.0051	9
R-zone	0.643	63.3	253	488	0.612	0.447	0.0077	4

Moisture Content: 12.8～14.6%

きさについては多少問題があるが，相対的な傾向としては μ_{LT} および μ_{LR} ともに正常材よりあて材が大きくなっている (Table 2)。

3. 要　　約

あてをもつトドマツ材の，顕著なあて材部 (R-zone)，あてを含まない部分 (N-zone) およびこれらの中間部 (M-zone) から採取した試験片について比重，年輪幅，曲げおよび圧縮ヤング係数，捩りによる見かけのせん断弾性係数，ポアソン比および圧縮強度を測定した。結果は次のように要約される。

1. 比重の範囲は 0.314～0.705 であるが，N-zoneからの材の比重はすべて 0.420 以下であり，M-zone では 0.423～0.651，R-zone の材は 0.503～0.705 とあての程度が著しい材ほど比重が大となっている。平均年輪幅は 1.53～7.78 mm の範囲にあり比重に比例する傾向があるが，N-zone からの材で心持ち材あるいは髄に近い材は，比重は小さいが年輪幅は広くなっている (Table 1 および Fig. 2)。

2. N-zone 材のヤング係数は比重と直線的に比例し，比重 0.4 前後で 90×10^3～110×10^3 kg/cm^2 となる。これに対して M-zone 材では比重増加とともにヤング係数が減少し，比重が 0.6 以上の R-zone 材では 60×10^3～80×10^3 kg/cm^2 の範囲に一定している (Fig. 3)。このように，年輪幅とヤング係数の現われ方から N-zone 材のうちで髄近辺のものは未成熟材，それ以外のものは正常材であると考えられる。

3. せん断弾性係数は，未成熟材をのぞいて，比重に比例して増加する傾向を示す (Fig. 4)。正常材のせん断弾性係数は平均で約 6×10^3 kg/cm^2 であり，最も比重の大きいあて材ではこの約3倍の 17×10^3 kg/cm^2 に達する。未成熟材では比重が小さいにも拘らず正常材とほぼ同等の値を示す。

4. 曲げ剛性等の材質を評価するばあいにひとつの指標となる E/G 値により，正常材とあてを含む材とが明らかに区別できる。すなわち正常材の E/G は 13 以上であり，あてを含むとこの値よりも低くなり，典型的なあて材では約5となる (Fig. 5)。

5. 未成熟材についての実験は特におこなってはいないが，ヤング係数およびせん断弾性

係数に関するかぎり，いくぶんあて材に近い材質を示すことがみとめられる。

6. ポアソン比 μ_{LT} および μ_{LR} はあて材において正常材よりも大きい (Table 2)。

7. 圧縮強度は正常材に比較してあて材が大きいが，比例限応力ではあて材がいくらか小さい (Table 2)。

文　献

1) TIMOSHENKO, S. and GOODIER, J. N.: Theory of elasticity. McGraw-Hill. など.
2) 沢田　稔・石川知子：木材のセン断弾性係数について．北大演報, 20, 1959.
3) 渡辺治人：樹幹丸太の特性．九州大学農学部木材理学教室 (研究資料 No. 67-1), 1967.
4) 沢田　稔：木材の強度特性に関する研究．林試報, 108, 1958.

Summary

In this paper, the mechanical properties of Todomatsu fir (*Abies* sp.) including reaction wood were investigated. The test specimens were cut out from three different zones of a cross section in air dry condition. The dimension of specimens for bending and torsional tests is 2 by 2 cm in cross section and 34 cm in grain direction. Compressive test parallel to grain was made on specimens 2.5 by 2.5 by 8 cm.

The results of tests are summarized as follows:

1. Specific gravity of all specimens from N-zone were not more than 0.42, while the specimens from M-zone showed comparatively high density (0.423～0.651) and in R-zone, specimens were most dense (0.503～0.705). The relation of annual ring width to specific gravity showed a positive correlation except several specimens close to pith that showed a slight increase in ring width in comparison with their specific gravity. (Fig. 2).

2. Modulus of elasticity (E) of N-zone wood appeared to be related to the specific gravity. The range of modulus of elasticity of normal wood was 90,000～110,000 kg/cm^2. In marked contrast, the M-zone wood dropped slowly in E with increasing specific gravity. In R-zone, E becomes approximately constant, 60,000～80,000 kg/cm^2. (Fig. 3)

3. There was a very close association between the specific gravity and torsional modulus of rigidity (G), providing specimens close to pith were excluded. The mean value of G of normal wood is 6,000 kg/cm^2, while the most dense compression wood (specific gravity: 0.705) shows 17,000 kg/cm^2. In spite of its low density, specimens close to pith showed the similar values of G as the normal wood. (Fig. 4)

4. E/G ratio could be an index for distinguishing compression wood from normal wood, since the compression wood is comparatively low in E/G value (less than 12) than normal wood ($E/G>13$). The above mentioned most dense compression wood has an E/G value of 4. (Fig. 5)

5. From the view of elastic constants, the juvenile wood appears to have some similarities to compression wood.

6. Poisson's ratios μ_{LT} and μ_{LR} become greater to some extent in compression wood. (Table 2)

7. The compressive strength is greater in compression wood than in normal wood. As for proportional limit stress, however, the relation is inversive. (Table 2)