HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	日高産アオダモ材の生長と基礎材質
Author(s)	宮島, 寛; MIYAJIMA, Hiroshi
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 36(2), 421-450
Issue Date	1979-07
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21008
Type	departmental bulletin paper
File Information	36(2)_P421-450.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

日高産アオダモ材の生長と基礎材質*

宮　島　　寛**

Growth and Wood Quality of Aodamo (Japanese Ash Tree) Grown in Hidaka District, Hokkaido*

By

Hiroshi MIYAJIMA**

目　　次

1. 緒　　言 …… 422
2. 材料および方法 …… 423
3. 結果および考察 …… 424
3.1 アオダモ供試木の生長経過 …… 424
3.2 平均年輪幅，容積密度数および生材含水率 …… 426
3.3 収縮率 …… 428
3.4 力学的性質 …… 429
3.4.1 縦圧縮強さ …… 429
3.4.2 静的曲げ性能 …… 430
3.4.3 ヤング係数およびせん断弾性係数 …… 432
3.4.4 衝撃曲げ性能 …… 433
3.4.5 縦引張強さ …… 434
3.4.6 せん断強さ …… 434
3.4.7 かたさ …… 436
3.5 材質指標と諸性質との関係 …… 436
3.5.1 平均年輪幅と諸性質との関係 …… 438
3.5.2 比重と諸性質との関係 …… 440
3.5.3 ヤング係数と諸性質との関係 …… 443
4. 結　　言 …… 446
文　　献 …… 448
Summary …… 448

* 昭和53年7月31日受理
本研究は1978年4月3日第28回日本木材学会大会（名古屋）で発表された。

** 北海道大学農学部林産学科木材加工学講座

* This paper was presented at the 28th Meeting of Japan Wood Research Society, Apr. 3, 1978, in Nagoya.

** Lab. of Wood and Wood Products Engineering, Institute of Forest Products, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

1. 緒 言

アオダモ材は力学的性質，とくに曲げにおける粘り，対衝撃性などに優れ，運動用具，各種機具の柄などに使用されて来た。その比較的大きな樹木があった当時はスキー用材として貴重材として扱われていた。近年になり，繊維の通った長尺材の生産はほとんど不可能となり，またスキーの材料，製法も全く異ってしまった現在，スキー用材としては一般的には用いられていない。現在の最大の用途は野球用バット材である。しかし，バットも昭和47年から高等学校選手権試合において金属バットの使用が認められ，その分だけ木製バットの生産が減少している。

全日本バット協会資料[2]によると昭和51年度にわが国で生産された木製バットはプロ野球用2万本，大学・社会人用7万本，高校用1万本，軟式用240万本，合計250万本であり，金属バットは高校用5万本，軟式用75万本，合計80万本である。一方，プロ野球選手1人当りの年間平均使用量は30本で，うち60% (18本) がアオダモ，20% (6本) がヤチダモ，10% (3本) がトネリコ，その他10% (3本) である。このように，プロ野球選手はアオダモ材バットを最も多く使用している。

これら木製バットの材料はすべて北海道内で生産され，その区域も浦河地方 (昭和51年度アオダモ8万本，セン・ヤチダモ13万本，合計21万本) と釧路・帯広地方 (アオダモ2万本，セン・ヤチダモ222万本，その他5万本，合計229万本) に限られている (全日本バット協会資料[2])。アオダモは日高地方が圧倒的に多い。一方，浦河地方のバット材の出荷量 (日高支庁林務課調べ) は昭和46年16万3千本，翌47年は高校野球の金属バット使用により前年比66% の10万7千本に減少し，以後，漸増し，50年17万本，51年21万本となっている。

このように，アオダモ材はその優れた力学的性質がバット材として最も優れた材料とされているが，その力学的性質に関しては少数の資料しかない。札幌営林局・浦河営林署からの要望もあり，その協力を得て，今回浦河営林署管内のアオダモ材に関し，その生長経過ならびに基礎材質について研究を行ったので，ここに報告する次第である。このアオダモは非常に更新がよく，浦河営林署管内では生立木の23.6% を占め，隣接する道有林 (浦河林務署) でもほぼ同様という[2]。これらを優良木に育て，有効に利用する上で本報告が参考となれば幸いである。

本研究を行うに当り，その機会を与えられ，ご協力いただいた札幌営林局および浦河営林署の方々，とくに計画を直接世話された渡辺惇氏ならびに現地作業および各種資料収集に尽力された西田厚生氏に厚くお礼申し上げる。また，本研究において現地作業から各種測定，試験片作製，試験に当教室沢田稔教授，上田恒司・生田晴家両教官のご指導とご協力をえた。ここに記して感謝の意を表する。さらに，本研究を卒業論文として行った当教室専攻学生甲斐秀一 (現・大建工業(株)) および橋本松吾 (現・博報堂) 両君の協力にも感謝の意を表する。

2. 材料および方法

本試験の材料採取は昭和52年4月27日に札幌営林局浦河営林署管内第139林班で行った。この報告の対象としたのは表-1に示すヤチダモ1本を含む4本の供試木で，このうちアオダモA1とA2は互いに隣接して傾斜約30°のほぼ南面する傾斜地に，A3はその上の平坦な場所に，ヤチダモは最下部の道路に近いところに，それぞれ生育していたものである。この地帯のアオダモはほとんどがダケカンバ，ミズナラ，ハリギリなどの大径木の下で生育していたもので，現在でも傾斜地の上部にはそれらの大径木が存在していた。下草にはこの伐採時にカタクリの花が満開であった。

表—1　供試木
Table 1. Trees tested

供試木 Tree No.	胸高直径 D. B. H. (cm)	樹高 Height (m)	枝下高 Clear length (m)	伐採高 Stump height (m)	伐根年輪数 No. of rings on stump	幹材積 Volume of stem (m^3)
A1	14	16.8	4.7	0.20	93	0.138
A2	16	17.3	8.0	0.26	86	0.156
A3	22	17.2	4.3	0.26	88	0.245
Y	28	22.3	14.3	0.28	100	0.753

(注) A1～A3：アオダモ，Y：ヤチダモ
(Remarks) A1～A3: Aodamo (*Fraxinus lanuginosa*), Y: Yachidamo *F. mandshurica* var. *japonica*)

これらのアオダモ供試木について，生立木時に，立地条件，胸高直径を調査した後伐採し，地上高0.3 mから1 mおきに厚さ約3 cmの円板を採取し，残りの幹材を強度試験用材料とした。一般の樹幹析解[1]では1.3 m以上では2 mおきに円板を採取しているが，本供試木は小径木であるので，精度を高めるため1 mおきに円板を採取した。樹幹析解の方式[1]にならい，円板の4半径について，5年ごとの生長量を測定後，この4半径を半径方向について2～3 cmごとに分割し，平均年輪幅，容積密度数および生材含水率を測定した。

幹材については長さ約45 cmに分割し，生材および気乾材試験用とした。一方，JIS Z 2103の収縮率測定用試片も採取した。強度試験はJIS Z 2111（縦圧縮），Z 2112（縦引張），Z 2113（曲げ，断面2×2 cm，スパン28 cm），Z 2114（せん断），Z 2116（衝撃曲げ），Z 2117（かたさ）により行った。静的曲げおよび衝撃曲げ試験ともに破壊試験の前に曲げ剛性試験により，ヤング係数を求めた。破壊試験においては，それぞれ約半数ずつ荷重面をまさ目および板目とした。破壊試験終了後，縦圧縮試験体をすべての試験体の非破損部から，せん断試験体を静的曲げ試験体から採取し，それぞれ試験した。せん断試験では約半数ずつをまさ目面と板目面せん断となるようにした。縦引張試験体では曲面加工前の等断面材について曲げ剛性試験によりヤング係数を測定した。ただし，アオダモ生材試験体についてはこれを測定していない。

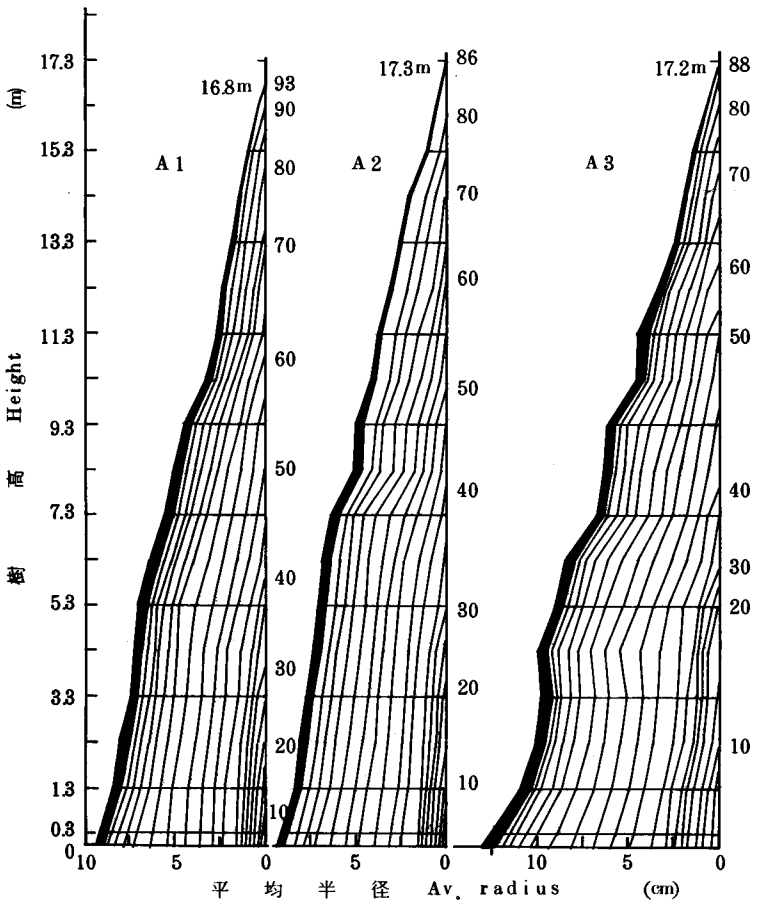
静的曲げ試験および衝撃曲げ試験用試験体の一部について，破壊試験前にねじり剛性試験を行い，せん断弾性係数 G を求めた。

以上の試験には森試験機製5トン，2トンおよび250 kgの万能試験機ならび前川試験機製200 kg·cm木材ねじり試験機の4台をそれぞれの試験目的に応じて使用した。

3. 結果および考察

3.1 アオダモ供試木の生長経過

供試木は表-1に示すように胸高直径14～22 cm，樹高17 m前後の，この地域においては樹幹の通直性もよく，欠点の少ないものである。径級は野球用バット材として適切なものである。このうち，最も径級の大きいA3の樹幹の下部には着色心材（ブナの偽心材に似ている）があり，これはバット材として欠点となる。バット材では着色心材を含むことにより等級が下げられる。一般に，アオダモでは径級の大きいものにはこの着色心材のあるものが多く，採材



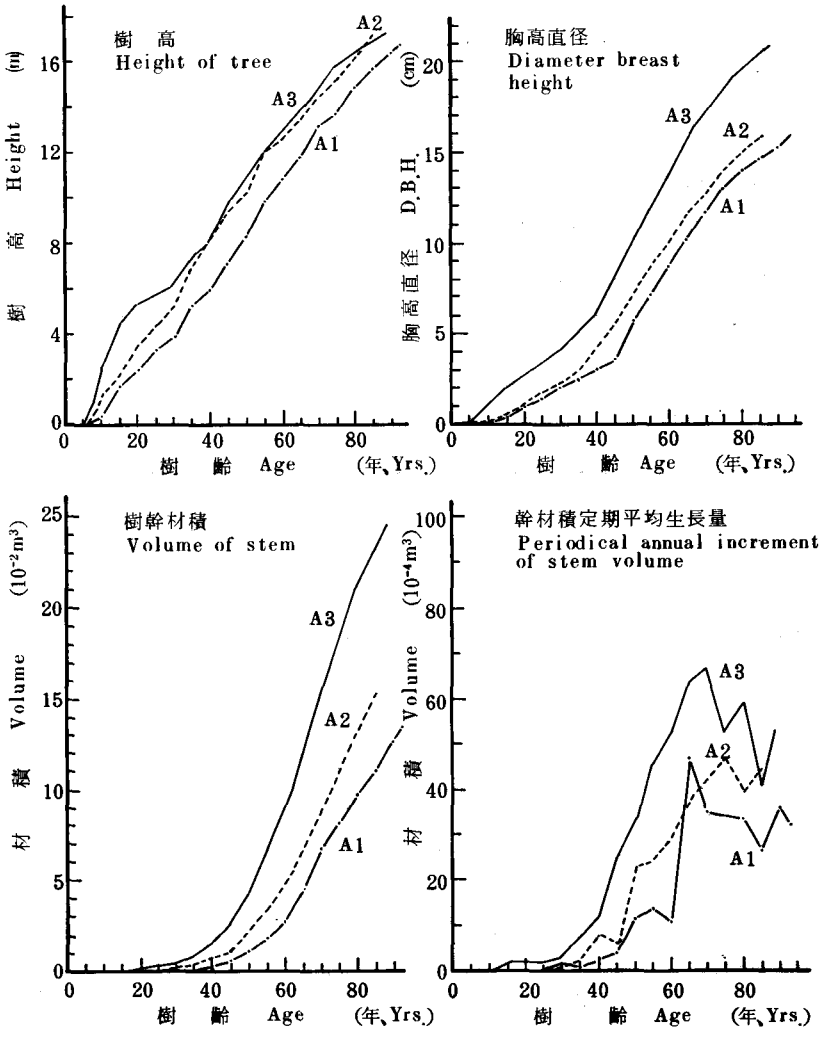
図—1　アオダモ供試木の樹幹析解図

Fig. 1.　Stem analysis of Aodamo trees.

にあたってこれを避けるため，歩止りは低下する。バット材は7.2×7.2×100 cmの角材で出荷される。径級と歩止りの間には密接な関係があり，浦河営林署の調査[2]では胸高直径18 cmのものの利用率が最も高い。

一方，ここに試験したヤチダモは樹幹が極めて通直で，樹心もほぼ中心にあり，枝下高も高く，枝下材には外観的には欠点はみられず，材質的に優れたものである。バット材としては生長がよく(年輪幅が広く)，辺材幅の広いものが好まれる。辺材部から7.2 cm角材(二方まさ)が採材でき，かつその年輪数が16個(平均年輪幅4.5 mm)のものが最高級品という評価をうけ，プラスチック圧入処理による表面加工を行い，有名選手に使用されている。

樹齢は予想以上にいずれも高く，アオダモで約90年，ヤチダモは100年以上であった。



図—2 生長曲線

Fig. 2. Growth curves.

樹幹析解図を図-1に示す。5年ごとの生長経過を示すが，いずれの樹幹においても樹齢約40年までは極めて生長が悪く，被圧されていたことがわかる。さらに，図-2の生長曲線における幹材積の生長経過ではこれがより明確となる。A1の樹齢40年における幹材積はわずか0.0024 m^3 である。幹材積定期平均生長量ではA1～A3において60～70年が最大を示している。いずれにしても，育成林業という立場に立てば，幼時からよく陽光があたるようにして，生長を促進させ，かつ樹幹が曲らないような育成方法をとることが必要である。札幌市内の街路樹のアオダモでは年間7～8 mmの肥大生長をするものが多いことからも，30～40年で有効に利用できる樹木に育成する方法を確立する必要がある，と考えられる。

3.2 平均年輪幅，容積密度数および生材含水率

樹幹の地上高0.3 mから1 mおきに採取した円板の4半径方向を分割した試片について測定した平均年輪幅，容積密度数および生材含水率の値を表-2に示す。平均年輪幅はアオダモ材で0.7～3.2 mmの間にあり，平均1.3 mmで，前述のように生長はあまりよくない。標準偏差も0.27～0.49 mmで，平均年輪幅にあまり大きな変動のないことを示す。ヤチダモでは1.1～2.2 mm，平均1.6 mmで，アオダモのなかで最も生長のよかったA3よりも広い。しかもその範囲からわかるように，変動が極めて少なく，標準偏差も0.25 mmである。

容積密度数はA1とA2がほぼ同じで，平均値はそれぞれ619および623 kg/m^3 である。A3はこれより約5%小さい。ヤチダモはこれらより約10%小さい。変動はいずれも少なく，

表—2 平均年輪幅，容積密度数および生材含水率

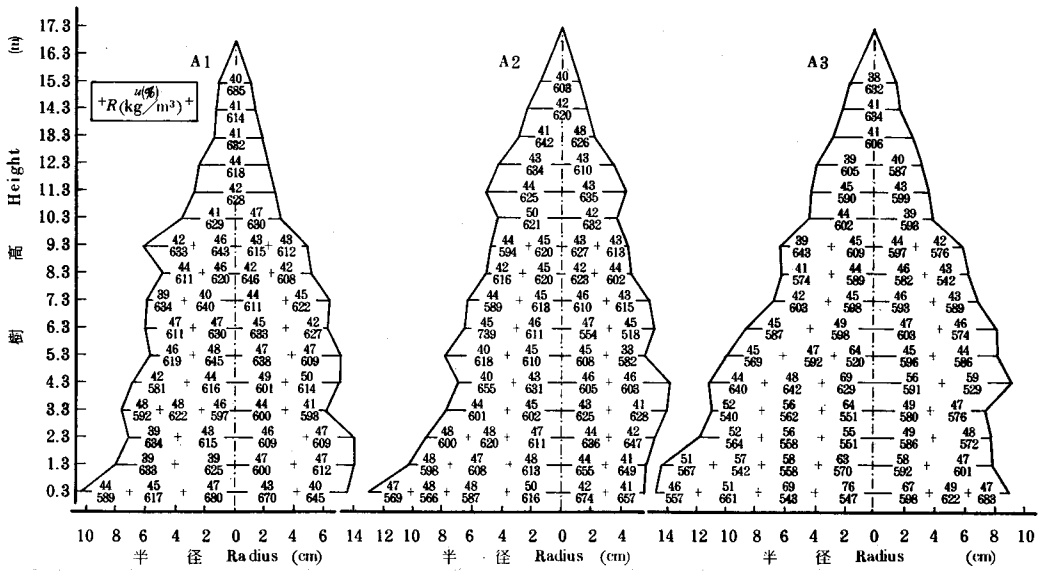
Table 2. Av. width of annual rings, density and moisture content in green condition

	供試木 Tree	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	標準偏差 S. D.	変化係数 C. V. (%)
平均年輪幅 Av. ring width R_w (mm)	A1	1.2	2.1	0.7	0.27	22
	A2	1.3	3.2	0.7	0.38	29
	A3	1.4	3.0	0.7	0.49	35
	A1～3	1.3	3.2	0.7	0.42	32
	Y	1.6	2.2	1.1	0.25	16
容積密度数 Density R (kg/m^3)	A1	619	680	581	37	6
	A2	623	754	554	31	5
	A3	585	683	492	32	6
	A1～3	608	754	492	34	6
	Y	542	583	499	24	4
含水率 Moisture content u (%)	A1	44.3	49.5	38.8	2.6	6
	A2	43.7	50.0	32.2	3.1	7
	A3	49.3	76.1	39.0	7.6	16
	A1～3	45.9	76.1	32.2	5.7	13
	Y	72.0	94.3	38.1	18.7	26

(注 Remarks) 試験片数 No. of specimens: A1=78, A2=84, A3=94, A1～A3=256, Y=19.

変化係数は4～6% である。この容積密度数の樹幹内変動を円板の1直径方向についてみると図-3に示すようになる。この図では上段が生材含水率，下段が容積密度数である。これによれば，容積密度数の樹幹内変動については半径方向，樹高方向とも明らかな傾向はみられない。

生材含水率はアオダモでは32～76，平均46% で，その変動もあまり大きくない。これに対し，ヤチダモは38～94，平均72% で，前者よりかなり大きく，また変動も大きい。アオダモ樹幹内の含水率の変動は図-3 (上段の数値) に示すように，半径方向においてはとくに明らかな傾向はみられない。ただし，A3の下部の着色心材では若干高くなっている。樹高方向では上部が若干少ない傾向にある。しかし，以前に調査したヤチダモ樹幹では辺材部が心材部より



図—3 生材含水率 (u) および容積密度数 (R) の樹幹内分布

Fig. 3. Variations of moisture content (u) in green condition and density (R) in stem.

表—3 辺材および心材の生材含水率

Table 3. Moisture content of sapwood and heartwood in green condition

供試木 Tree No.	辺材 Sapwood		心材 Heartwood	
	試片数 No. of specimens	含水率 M. C. (%)	試片数 No. of specimens	含水率 M. C. (%)
A 1	24	43.9	26	45.8
A 2	25	42.3	27	43.8
A 3	28	47.4	38	55.0
A 1～3	77	44.7	91	49.0
Y	4	39.0	15	80.8

明らかに含水率が少なく，樹高方向では上方に向い段階的に含水率が減少していた[3),4)]。このように，アオダモとヤチダモは同属であるが，含水率分布の傾向は異なる。心・辺材*別の含水率は表-3に示すように，アオダモ材ではA3の心材部が辺材部よりやや大きいが，他は心・辺材の間にほとんど差がない。これに対し，ヤチダモでは心材部は辺材部の約2倍の含水率があり，これは以前のヤチダモ樹幹内の含水率調査[3),4)]の場合と，数値，傾向ともにほぼ一致する。

3.3 収縮率

JIS Z 2103に基づいて測定したが，その試験片の諸性質を表-4に，測定結果を表-5に示す。平均収縮率についてみると，アオダモA2が板目方向で若干大きく，0.37%，他は0.30%である。まさ目方向ではほとんど差がなく，平均0.17%である。縦方向は0.02～0.03%である。これに対し，ヤチダモでは板目・まさ目方向ともにアオダモより大きいが，縦方向は明らかに小さい。これはヤチダモの繊維の通直性がよいことを示すものである。15%の含水率までの収縮率は板目方向では全収縮率の半分かそれ以上であるが，まさ目方向ではヤチダモを除き半分以下である。これは板目方向とまさ目方向では含水率減少による収縮の仕方が異なるためである，と考えられる。このことはSTEVENS (1938—KOLLMANN & CÔTÉ[5)]による) のブナ材についての収縮率の測定結果にもみられる。全収縮率は板目方向で，アオダモ平均9.1%，ヤチダモ12.7%，まさ目方向でそれぞれ4.2%および6.0%，縦方向で0.44%および0.18%であり，樹種的な特徴としてはアオダモが横方向の収縮が少なく，ヤチダモが縦方向の収縮が少ない，といえる。このヤチダモの平均収縮率（板目方向0.34%，まさ目方向0.19%）は木材工業ハンドブック[6)]の値（それぞれ0.31および0.17%）より若干大きい。また，3方向の収縮率から体

表—4　収縮率試験片の性質（平均値）

Table 4. Properties of specimens for measuring shrinkage (average)

	供試木 Tree No.	試片数 No. of specimens n	平均年輪幅 Av. ring width R_w (mm)	容積密度数 Density R (kg/m³)	生材含水率 M. C. at green u_g (%)	気乾含水率 M. C. at air-dry u (%)
板目・まさ目方向用 For tang. and rad.	A1	8	1.3	625	41.8	14.6
	A2	10	1.5	600	41.6	14.0
	A3	16	1.8	576	44.7	14.0
	A1～3	34	1.6	595	43.1	14.2
	Y	12	1.6	549	64.1	17.1
縦方向用 For longitudinal	A1	11	1.4	662	35.2	14.3
	A2	14	1.3	646	39.0	14.0
	A3	14	1.5	623	44.6	13.9
	A1～3	39	1.4	642	39.9	14.0
	Y	12	1.6	586	63.8	14.0

* アオダモの場合，生材時に外周部が内部より，わずかに白色を呈しているので，この部分を辺材とした。乾燥すれば，その色の差はみられなくなる。着色心材はさらにこの心材部の内側にある。

表—5　収　縮　率

Table 5. Shrinkage

	供試木 Tree No.	板目方向 β_t (%) Tangential 平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	まさ目方向 β_r (%) Radial 平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	縦方向 β_l (%) Longitudinal 平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.
平均収縮率 For 1% M.C. change	A1	0.30	0.32	0.26	0.18	0.20	0.14	0.03	0.03	0.02
	A2	0.37	0.56	0.28	0.16	0.18	0.14	0.02	0.03	0.00
	A3	0.30	0.32	0.27	0.18	0.20	0.16	0.02	0.09	0.01
	A1～3	0.32	0.56	0.26	0.17	0.20	0.14	0.02	0.09	0.00
	Y	0.34	0.37	0.27	0.19	0.21	0.15	0.01	0.03	0.00
気乾までの値 Green to 15% M.C.	A1	5.3	8.1	3.4	2.0	3.4	1.1	0.16	0.23	0.05
	A2	4.1	5.5	2.2	1.4	2.1	1.0	0.11	0.20	0.01
	A3	4.7	5.8	3.9	1.9	2.2	1.5	0.13	0.23	0.03
	A1～3	4.6	8.1	2.2	1.7	3.4	1.0	0.13	0.23	0.01
	Y	8.0	9.5	4.3	3.3	3.8	2.4	0.03	0.07	0.00
全収縮率 Green to ovendry	A1	9.6	11.8	7.9	4.6	6.5	3.2	0.53	0.61	0.38
	A2	9.2	10.9	7.9	3.7	4.4	3.3	0.37	0.62	0.05
	A3	8.8	10.2	5.9	4.4	5.0	3.6	0.42	0.68	0.17
	A1～3	9.1	11.8	5.9	4.2	6.5	3.2	0.44	0.68	0.05
	Y	12.7	14.0	8.9	6.0	6.9	4.5	0.18	0.46	0.03

積収縮率（全収縮率）を求めるとアオダモの平均が13.3%，ヤチダモが18.1%となり，ヤチダモの方がかなり大きい。一方，米国のAsh類[7]の全収縮率の値は板目方向で6.5～8.1%，まさ目方向で3.7～5.0%，体積で11.7～15.2%である。これに比べるとここに試験したアオダモは板目方向の収縮率がやや大きいが，まさ目方向・体積ともほぼそれらの中間の値である。一方ヤチダモは米国のAsh類よりもすべての値がかなり大きい，といえる。

収縮に関してはアオダモの縦方向の値が無視できないことに留意すべきである。

3.4　力学的性質

3.4.1　縦圧縮強さ

結果を表-6に示す。生材状態の縦圧縮強さはアオダモA3が最も小さく262 kg/cm² (平均)で，A1～A2が289 kg/cm²で，総平均277 kg/cm²である。これに対し，ヤチダモ材は平均305 kg/cm²で約10%大きい。その試験体の比重はヤチダモの方が小さいにもかかわらず，強さが大きいのはヤチダモの繊維の通直性がよいことによる。最小値はアオダモで215 kg/cm²，ヤチダモで182 kg/cm²で，その変動もあまり大きくない。気乾材（含水率11.4～12.0%）は生材の約2.1倍の強度を示し，最小値も501 kg/cm²という極めて高い値である。変化係数は生材時よりも小さくなっている。このようにアオダモ・ヤチダモ両材ともに無欠点部では高い縦圧縮強さを示し，かつ値が安定している。木材工業ハンドブック[6]によるヤチダモ(15%)の平均値440，下限値330 kg/cm²に比べ，含水率を考慮しても，ここに試験したヤチダモの強度はかなり大きい，といえる。

表—6 縦圧縮試験結果

Table 6. Test results of compression parallel to grain

条件 Condition	供試木 Tree No.	平均年輪幅 R_w (mm)	比重 r, r_u	含水率 u (%)	ヤング係数 E (10^3kg/cm^2)	縦圧縮強さ Max. Crushing strength σ_c 平均 Av. (kg/cm^2)	最大 Max.	最小 Min.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V. (%)	試験体数 No. of specimens
生材 Green	A1	1.2	0.60	41.6	120	289	359	252	25.3	8.8	34
	A2	1.5	0.61	42.2	114	289	367	247	36.1	12.5	37
	A3	1.8	0.57	47.6	96	262	331	215	32.2	12.3	71
	A1～3	1.5	0.59	43.8	106	277	395	215	35.7	12.9	142
	Y	1.6	0.55	63.0	126	305	393	182	52.9	17.4	61
気乾材 Air-dry	A1	1.2	0.75	11.7	140	608	695	534	41.4	6.8	39
	A2	1.3	0.74	12.0	136	607	701	533	45.1	7.4	38
	A3	1.7	0.72	11.6	110	559	636	501	37.1	6.6	60
	A1～3	1.4	0.73	11.8	126	585	701	501	46.3	7.9	137
	Y	1.6	0.66	11.4	166	698	837	539	70.0	10.0	61

(Remarks) R_w: Av. ring width, r: specific gravity for green wood based on ovendry weight and green volume, r_u: that for air-dry wood based on air-dry weight and volume, u: moisture content based on ovendry weight, E: modulus of elasticity measured by static bending test before the specimens to be used for the compression test were obtained.

3.4.2 静的曲げ性能

試験結果を表-7～8に示す。

まず，表-7の生材の値をみると，アオダモのなかではA3が縦圧縮強さ同様，値が低い。同A1～2とヤチダモYはほぼ同じ値である。曲げ強さの平均値は637～708 kg/cm^{2}という高い値で，上質のエゾマツ気乾材に匹敵する。気乾材ではさらに強度は高く，比例限度でアオダモ446～452 kg/cm^2，ヤチダモ625 kg/cm^{2}あり，曲げ強さは最小値がそれぞれ937および1158 kg/cm^2，平均値はアオダモ1200～1406 kg/cm^2，ヤチダモ1605 kg/cm^{2}という極めて高い値である。木材工業ハンドブック[6]のヤチダモの曲げ強さは平均値950，下限値500 kg/cm^{2}であるので，ここに試験したアオダモ，ヤチダモともに曲げ性能において優れている，といえる。とくに，ヤチダモ材の強度が大であった。また，ヤチダモ材は比重がアオダモ材より低いにもかかわらず，大きな強度を示した。

一方，米国産Ash類[7]の曲げ強さは生材で442～675 kg/cm^2，含水率12%材で886～1083 kg/cm^{2}であるので，ここに試験したアオダモ・ヤチダモともにこれらより優れている，といえる。

また，荷重面を板目面とまさ目面にした場合の曲げ強さの差は表-8に示すように，明らかではなかった。

表—7 静的曲げ試験結果

Table 7. Results of static bending test

供試木 Tree No.	生材 Green 平均年輪幅 R_w (mm)	比重 r	含水率 u (%)	ヤング係数 E (10^3kg/cm^2)	試験体数 No. of specimens	気乾材 Air-dry 平均年輪幅 R_w (mm)	比重 r_u	含水率 u (%)	ヤング係数 E (10^3kg/cm^2)	試験体数 No. of specimens
A1	1.2	0.61	42.3	120	17	1.2	0.74	11.4	142	19
A2	1.5	0.61	40.4	114	19	1.4	0.74	11.4	144	19
A3	1.7	0.57	46.5	98	35	1.8	0.72	12.1	132	31
A1～3	1.5	0.60	43.1	107	71	1.5	0.73	11.9	140	69
Y	1.6	0.55	63.7	123	37	1.5	0.70	11.2	176	32

	供試木 Tree No.	生材 Green 平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V.(%)	気乾材 Air-dry 平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V.(%)
曲げ比例限度 Stress at P.L. σ_{bp} (kg/cm^2)	A1	305	384	203	39.2	12.9	446	642	331	89.7	20.1
	A2	326	416	263	43.3	13.2	450	611	346	78.3	17.3
	A3	272	374	186	47.4	17.4	452	578	360	60.1	13.4
	A1～3	295	416	186	52.2	17.7	451	642	331	73.4	16.3
	Y	312	414	177	61.5	19.7	625	811	357	137.6	22.0
曲げ強さ M.O.R. σ_b (kg/cm^2)	A1	708	799	639	40.5	5.7	1195	1406	1036	103.3	8.6
	A2	701	865	621	70.2	10.0	1206	1294	1058	59.8	5.0
	A3	637	765	514	66.3	10.4	1086	1200	937	61.8	5.7
	A1～3	674	865	514	78.7	11.7	1149	1406	937	93.9	8.2
	Y	707	874	479	94.3	13.3	1352	1605	1158	135.8	10.0

表—8 板目面とまさ目荷重の場合の曲げ強さの比較

Table 8. Comparison of bending strength obtained by loading on the tangential surface with that on the radial surface

条件 Condition	供試木 Tree No.	荷重面 Surface loaded	試験体数 No. of specimens	ヤング係数 M.O.E. E (10^3 kg/cm^2) 平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	比例限度 Stress at P.L. σ_{bp} (kg/cm^2) 平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	曲げ強さ M.O.R. σ_b (kg/cm^2) 平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.
生材 Green	A1	R	7	119	140	105	317	362	280	715	758	669
		T	10	120	131	102	297	384	203	699	799	639
	A2	R	8	116	125	107	328	416	265	698	865	621
		T	11	113	127	82	325	394	263	709	839	645
	A3	R	17	99	113	90	284	374	213	640	765	546
		T	18	96	110	86	260	320	186	634	722	544
	Y	R	20	130	156	80	291	414	79	716	874	452
		T	17	115	156	83	309	412	104	663	778	396
気乾材 Air-dry	A1	R	11	137	160	120	410	527	331	1229	1406	1035
		T	8	148	167	124	483	642	351	1150	1341	1086
	A2	R	9	146	154	135	440	538	346	1232	1399	1157
		T	10	142	155	128	450	611	346	1202	1287	1058
	A3	R	16	111	138	92	444	578	360	1087	1151	1019
		T	15	113	141	89	460	551	369	1087	1200	939
	Y	R	16	174	204	127	641	805	373	1381	1605	1168
		T	16	178	204	136	625	811	455	1323	1462	1158

(注) R：まさ目面，T：板目面 (Remarks) R: radial surface, T: tangential.

3.4.3 ヤング係数とせん断弾性係数

生材および気乾材について，曲げ剛性試験によって求めたヤング係数を表-9に示す。アオダモ生材で75～142，平均95～120×10^3 kg/cm^{2}で，ここでもA3の値が小さい。繊維の通直性のよいヤチダモは130×10^3 kg/cm^{2}で，アオダモの平均値より20%以上大きい。気乾材ではアオダモ116～139，平均126×10^3 kg/cm^2，ヤチダモは166×10^3 kg/cm^{2}という値である。木材工業ハンドブック[6]のヤチダモの値は平均値95，下限値70×10^3 kg/cm^{2}であるので，ここに試験した両樹種はこの値よりかなり大きい。とくに，ヤチダモでは最大値204×10^3 kg/cm^{2}を示し，非常に高い値である。このヤチダモ材のヤング係数は米国産Ash類気乾材（96～122×10^3 kg/cm^2）[7]に比べても大きい。

表—9 曲げヤング係数

Table 9. Modulus of elasticity obtained by flexural rigidity test (E: 10^3kg/cm^2)

供試木 Tree No.	生材 Green					気乾材 Air-dry				
	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V.(%)	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V.(%)
A1	120	142	102	9.1	7.6	139	171	113	14.1	10.1
A2	112	129	82	10.2	9.2	135	155	98	13.8	10.2
A3	95	113	75	8.5	9.0	116	141	86	14.2	12.8
A1～3	106	142	75	14.1	13.4	126	171	86	19.0	15.1
Y	130	156	80	18.6	14.4	166	204	119	22.2	13.4

(Remarks) The values of av. width of rings, specific gravity, moisture contents and number of specimens are the same as those in Table 6.

表—10 せん断弾性係数およびE/G

Table 10. Modulus of rigidity (G) and E/G

条件 Condition	供試木 Tree No.	試験体数 No. of specimens	せん断弾性係数 G			E/G		
			平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.
			(10^3 kg/cm^2)					
生材 Green	A1	10	8.1	8.9	6.2	15.2	23.0	12.2
	A2	10	9.1	12.1	6.8	12.0	16.0	7.3
	A3	10	8.5	10.0	7.3	11.3	14.2	8.0
	A1～3	30	8.6	12.1	6.2	12.6	23.0	7.3
	Y	15	5.8	6.8	4.8	22.7	28.0	16.6
気乾材 Air-dry	A1	10	10.4	12.0	9.3	13.4	15.9	10.6
	A2	10	11.6	13.0	9.1	11.3	14.6	7.6
	A3	10	9.9	12.4	8.7	11.2	14.1	8.5
	A1～3	30	10.6	13.0	8.7	12.0	15.9	7.6
	Y	15	7.9	9.5	7.2	18.9	24.0	15.3

(Remarks) G-values were obtained by a torsional rigidity test.

つぎに，ねじり剛性試験によって求めたせん断弾性係数を表-10に示す。アオダモ材では生材で供試木ごとの平均が8.1～9.1，総平均8.6，気乾材で9.9～11.6，同10.6×10^3 kg/cm^{2}であり，ヤチダモではこれらよりかなり低く，それぞれ5.8および7.9×10^3 kg/cm^{2}である。これらの値は広葉樹材としてはアオダモ材で高い方に，ヤチダモ材では中庸の値といえよう。エゾマツ材に対してはアオダモ材は2倍以上，ヤチダモ材は約6割大きい値である。

はりの変形で重要な因子となるヤング係数とせん断弾性係数の比(E/G)についてみると，アオダモ材では平均値で11.3～15.2 (生材)，11.2～13.4 (気乾材)，ヤチダモ材ではそれぞれ22.7および18.9で，アオダモ材の値はかなり低い。ヤチダモ材はエゾマツ材に近い値である。これは繊維の通直性と関連があり，上述の性能と同様に，ヤチダモのそれがよいことを示すものである。

3.4.4 衝撃曲げ性能

試験結果を表-11，12に示す。衝撃曲げ試験における吸収エネルギの値はアオダモでは生材で1.46～1.98，気乾材で0.70～1.27 kg·m/cm^{2}であった。総平均では1.71 : 0.91≒1 : 0.53で，乾燥により，その値は大きく減じた。これに対し，ヤチダモ材では1.25 : 1.37≒1 : 1.1で，気乾材ではわずかに高い。したがって，生材ではアオダモ材の値が大きいが，気乾材は逆になり，ヤチダモ材の方が大きい。

表—11 衝撃曲げ試験結果

Table 11. Results of toughness test

供試木 Tree No.	生材 Green					気乾材 Air-dry				
	平均年輪幅 R_w (mm)	比重 r	含水率 u (%)	ヤング係数 E (10^3kg/cm^2)	試験体数 No. of specimens	平均年輪幅 R_w (mm)	比重 r_u	含水率 u (%)	ヤング係数 E (10^3kg/cm^2)	試験体数 No. of specimens
A1	1.1	0.59	40.9	120	17	1.1	0.74	10.1	137	19
A2	1.4	0.60	44.0	114	19	1.3	0.75	10.0	127	19
A3	1.9	0.56	48.6	94	36	1.7	0.71	11.5	108	29
A1～3	1.5	0.58	44.5	105	72	1.4	0.73	10.6	122	67
Y	1.5	0.54	62.2	129	30	1.4	0.71	11.8	156	27

	供試木 Tree No.	生材 Green					気乾材 Air-dry				
		平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	標準偏差 S. D.	変化係数 C. V. (%)	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	標準偏差 S. D.	変化係数 C. V. (%)
衝撃吸収エネルギ Absorbed shock energy T (kg·m/cm^2)	A1	1.98	2.21	1.56	0.24	12.2	1.27	1.11	0.64	0.50	39.7
	A2	1.95	2.31	1.06	0.37	18.8	0.87	1.41	0.58	0.22	25.5
	A3	1.46	2.29	0.68	0.40	27.1	0.70	0.98	0.46	0.14	20.1
	A1～3	1.71	2.31	0.68	0.43	25.3	0.91	1.99	0.46	0.38	41.3
	Y	1.25	1.71	0.96	0.21	17.0	1.37	2.23	0.73	0.39	28.7

(Remarks) Toughness is represented by absorbed shock energy when a specimen with a 2×2 cm cross-section and a 24 cm span is impactly fractured by a pendulum having 10 kg·m energy.

表—12 板目面とまさ目面荷重の場合の衝撃吸収エネルギの比較

Table 12. Comparison of toughness obtained by loading on the tangential surface with that on the radial surface

条件 Condition	供試木 Tree No.	荷重面 Surface loaded	試験体数 No. of specimens	ヤング係数 M.O.E. E (10^3 kg/cm^2) 平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	吸収エネルギ Toughness T (kg·m/cm) 平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.
生材 Green	A1	R	7	126	142	115	1.94	2.21	1.56
		T	10	119	125	104	2.00	2.21	1.59
	A2	R	10	105	125	86	1.98	2.31	1.06
		T	9	113	129	99	1.92	2.24	1.41
	A3	R	17	91	105	80	1.34	2.18	0.94
		T	19	96	111	75	1.57	2.29	0.68
	Y	R	15	128	149	95	1.23	1.60	1.04
		T	15	130	152	101	1.27	1.71	0.96
気乾材 Air-dry	A1	R	8	139	171	113	1.41	1.99	0.64
		T	11	136	150	122	1.16	1.93	0.65
	A2	R	11	127	152	106	0.81	1.41	0.58
		T	8	126	136	98	0.95	1.36	0.72
	A3	R	16	108	128	86	0.64	0.95	0.46
		T	13	108	136	88	0.78	0.98	0.60
	Y	R	13	156	184	129	1.13	1.44	0.73
		T	14	156	179	119	1.57	2.23	0.76

木材工業ハンドブック[6]のヤチダモ気乾材の平均値は0.90 kg·m/cm^{2}で，ここに試験したアオダモ材とほぼ同じ値で，ヤチダモ材はその約5割増の値である。

また，衝撃荷重の負荷面による吸収エネルギの差は表-12に示すように，明確ではない。ヤチダモ気乾材の場合のみ板目面負荷の場合の値がまさ目面の約4割増であった。

3.4.5 縦引張強さ

試験結果を表-13に示す。縦引張強さにおいても他の性能と同様，非常に大きな値である。とくに，アオダモA1生材では平均値が2000 kg/cm^{2}という極めて高い値であった。これに対し，他の性能もアオダモ供試木のなかで1番劣っていたA3では約半分の1094 kg/cm^{2}で，材質のちがいによる影響が大きく出ている。気乾材ではこの差は減少し，1316～1670 kg/cm^{2}となる。また，A1の気乾材の値は生材時より小さい。ヤチダモは生材で1284，気乾材で1848 kg/cm^2(平均値)で，非常に高い値である。木材工業ハンドブック[6]におけるヤチダモの平均値は1200 kg/cm^{2}であるので，ここに試験したヤチダモはこれの5割増の強度があり，アオダモでもその1～4割増の値を示す。

3.4.6 せん断強さ

表-14に示すように，せん断強さはアオダモの方がヤチダモより明らかに大きい。アオダモ生材の平均値は板目面で107～111，まさ目面で104～108 kg/cm^{2}で，その差はほとんどない。気乾材においても170～176および173～176 kg/cm^{2}で同様である。これに対し，ヤチダモではそれぞれ73, 88および122, 156 kg/cm^{2}であり，いずれの場合もまさ目面の方が2割程

表—13　縦引張試験結果

Table 13. Test results of tension parallel to grain

供試木 Tree No.	生材 Green				気乾材 Air-dry			
	平均年輪幅 R_w (mm)	含水率 u (%)	ヤング係数 E (10^3kg/cm^2)	試験体数 No. of specimens	平均年輪幅 R_w (mm)	含水率 u (%)	ヤング係数 E (10^3kg/cm^2)	試験体数 No. of specimens
A1	1.2	36.4	—	10	1.1	10.2	144	12
A2	1.3	40.4	—	11	1.1	11.3	133	12
A3	1.4	44.5	—	23	1.3	10.0	105	14
A1～3	1.3	40.4	—	44	1.2	10.5	127	38
Y	1.6	57.1	151	22	1.4	11.5	173	23

	供試木 Tree No.	生材 Green					気乾材 Air-dry				
		平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V. (%)	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V. (%)
縦引張強さ Tensile strength σ_t (kg/cm^2)	A1	2000	2277	1439	295	14.8	1670	2423	1259	313	18.8
	A2	1204	1500	881	222	18.4	1501	1770	1012	232	15.5
	A3	1094	1309	738	132	12.1	1316	1598	1023	169	12.8
	A1～3	1327	2277	738	420	31.7	1486	2423	1012	277	18.7
	Y	1284	2027	729	276	21.5	1848	2494	1024	396	21.4

表—14　せん断試験結果

Table 14. Results of shear test

		供試木 Tree No.	生材 Green					気乾材 Air-dry				
			平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V. (%)	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V. (%)
せん断強さ Shearing strength	板目面 tangential τ_T (kg/cm^2)	A1	110	124	103	6.8	6.2	176	194	149	14.3	8.1
		A2	111	121	102	6.3	5.7	170	207	80	21.4	12.6
		A3	107	135	91	12.1	11.3	173	199	155	12.4	7.2
		A1～3	109	135	91	9.6	8.8	173	207	80	15.7	9.1
		Y	73	95	55	10.4	14.2	122	142	107	10.2	8.3
	まさ目面 radial τ_R (kg/cm^2)	A1	105	113	93	6.4	6.1	176	204	165	12.6	7.2
		A2	108	128	93	14.2	13.2	173	183	163	6.6	3.8
		A3	104	126	89	12.9	12.4	175	204	118	20.0	11.5
		A1～3	105	128	89	11.9	11.3	175	204	118	15.2	8.7
		Y	88	102	63	12.1	13.7	156	179	129	13.4	8.6

(Remarks) These specimens were taken from the undamaged parts of the static bending specimens after the bending test was carried out.

度高い。これは両樹種における孔圏の道管の大きさと数の差，とくに後者に支配される性能の差によるものである。参考のためアオダモA1とヤチダモの地上高0.3 mの円板のなかで，半径方向5 mmに3年輪がはいる部分について，5×5 mmの面積における道管の大きさと数を測

定したところ，大きさはアオダモで (180～220) μ (半径方向)×(150～180) μ (切線方向)，ヤチダモ (220～250)×(200～220) μ で，アオダモの方がやや小さく，数は切線方向5mmについて，それぞれ20～25および56～57で，アオダモでは非常に少ない。道管の配列もヤチダモでは道管と道管とが直接接触して，2～4列に並ぶが，アオダモではそれらがほとんど離れ，1列，ときどき2列に並ぶ。このため板目面ではヤチダモの場合，道管のみの面が多いので，せん断強さが低下するものである。アオダモでは道管のみの面は板目面においてもあらわれず，このためせん断強さの値が大きく，かつ，まさ目面との差もほとんどない。

野球用バットでは使用することによって，年輪層から剝離することが多いが，上述の理由により，これはヤチダモ製品に多く，アオダモ製品には少ない。したがって，バット材としてはせん断性能からはヤチダモよりもアオダの方が優れている，といえる。

3.4.7 かたさ

試験結果を表-15に示す。木材のかたさは材の比重と含水率の影響を大きく受ける[8]。ここでは生材の場合，まさ目面を除きアオダモ，ヤチダモ両材間にあまり差はない。気乾材ではヤチダモ材の含水率が少し多いが，それを考慮に入れてもアオダモ材のかたさが大きい，といえよう。とくに，バットではまさ目面で打球するので，まさ目面のかたさが大きいアオダモ材が有利である。

表—15　かたさ試験結果

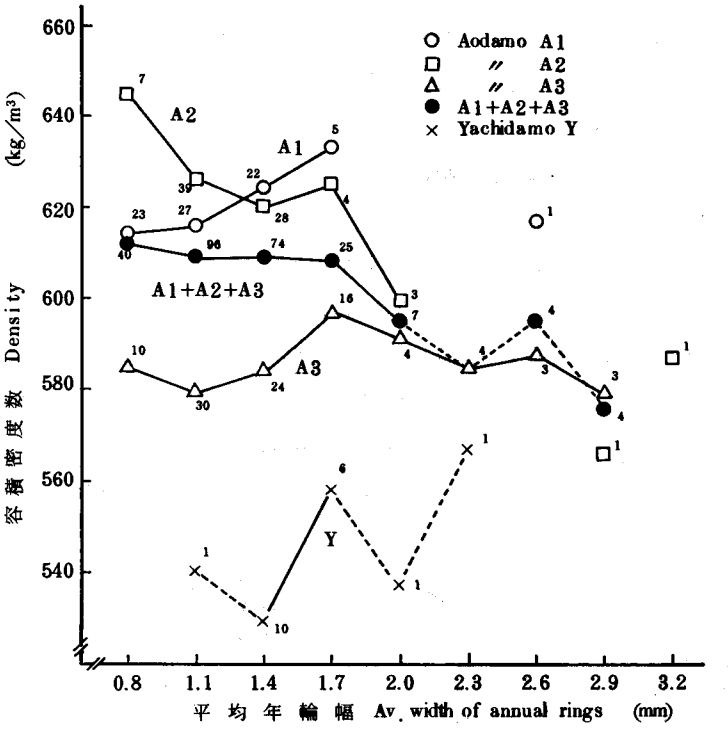
Table 15. Results of hardness test

条件 Condition	供試木 Tree No.	試験体数 No. of specimens	木口 End H_E (kg/mm²) 平均 Av.	木口 End H_E (kg/mm²) 最大 Max.	木口 End H_E (kg/mm²) 最小 Min.	板目 Tangential H_T (kg/mm²) 平均 Av.	板目 Tangential H_T (kg/mm²) 最大 Max.	板目 Tangential H_T (kg/mm²) 最小 Min.	まさ目 Radial H_R (kg/mm²) 平均 Av.	まさ目 Radial H_R (kg/mm²) 最大 Max.	まさ目 Radial H_R (kg/mm²) 最小 Min.
生材 Green	A1	7	3.3	3.7	2.8	1.4	1.7	1.2	1.4	1.6	1.1
	A2	8	3.2	3.7	2.8	1.5	1.7	1.1	1.3	1.5	1.1
	A3	12	3.3	4.0	2.8	1.4	1.9	1.1	1.5	1.9	1.1
	A1～3	27	3.3	4.0	2.8	1.4	1.9	1.1	1.4	1.9	1.1
	Y	5	3.5	3.8	3.3	1.4	1.6	1.2	0.9	1.0	0.7
気乾材 Air-dry	A1	7	6.8	7.4	6.3	2.3	3.1	1.8	2.5	2.9	1.9
	A2	8	7.2	8.0	6.1	2.8	3.3	2.6	3.2	4.0	2.7
	A3	9	6.5	7.1	5.5	2.6	3.1	2.1	3.0	3.5	2.0
	A1～3	24	6.8	8.0	5.5	2.6	3.3	1.8	2.9	4.0	1.9
	Y	6	5.9	6.7	5.2	1.7	2.3	1.5	2.2	2.5	1.9

(Remarks) Average moisture content of the specimens in air-dry condition from A1, A2, A3 and Y trees were 10.7, 11.2, 11.1 and 14.8 percent, respectively.

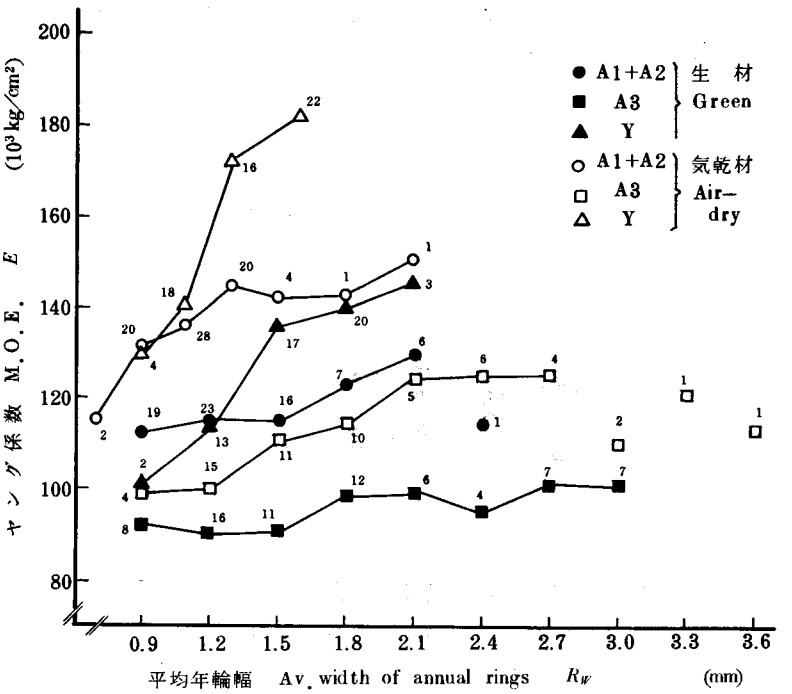
3.5 材質指標と諸性質との関係

木材の諸性質には変動が大きいので，構造材として使用する場合には，下限値(全体の95%を含む値) を基準にして許容応力度が与えられている。材料の性能を予測できれば，より有効に木材を使用することが可能となる。生長の遅速が材質に影響する針葉樹材および環孔材では



図—4 平均年輪幅と容積密係数との関係

Fig. 4. Relation between average width of annual rings and density.



図—5 平均年輪幅とヤング係数の関係

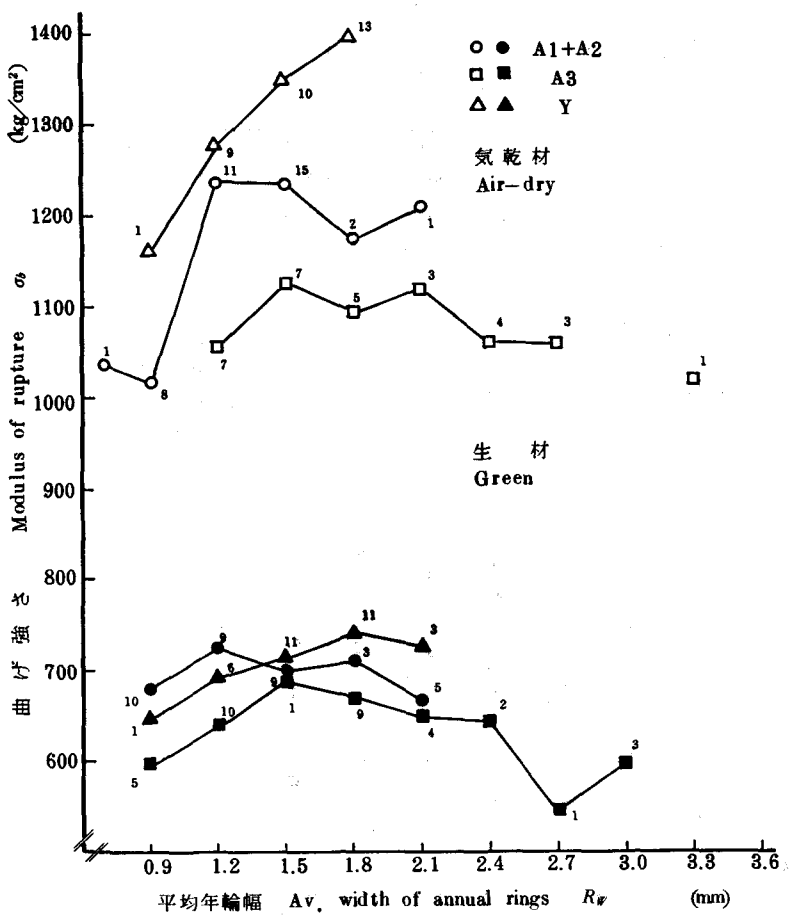
Fig. 5. Relation between average width of annual rings and modulus of elasticity.

平均年輪幅が材質指標となりうるし，比重，曲げヤング係数の測定も関連する諸性質を予測するために行われている。ここではこれらが材質指標となりうるかどうかを確かめるために，それらと諸性質との関連をしらべてみた。

3.5.1　平均年輪幅と諸性質との関係

これらの関係を図-4～8に示す。

まず，地上高0.3 mから1 mおきに採取した円板について測定した値についての平均年輪幅と容積密度数との関係は図-4に示すように供試木ごとに異なる。アオダモA1では年輪幅が広くなれば容積密度数が増加する傾向がみられるが，A2では逆となり，A3では同一年輪幅のA1およびA2材に比べて，容積密度数が低い。また両者の関係もあまり明確でない。A1～A3を合体すれば図示のように，この程度の年輪幅の範囲内では容積密度数はあまり変化しない，といえる。これは前述のように，アオダモでは孔圏の道管の数が少ないことによるも



図—6　平均年輪幅と曲げ強さの関係

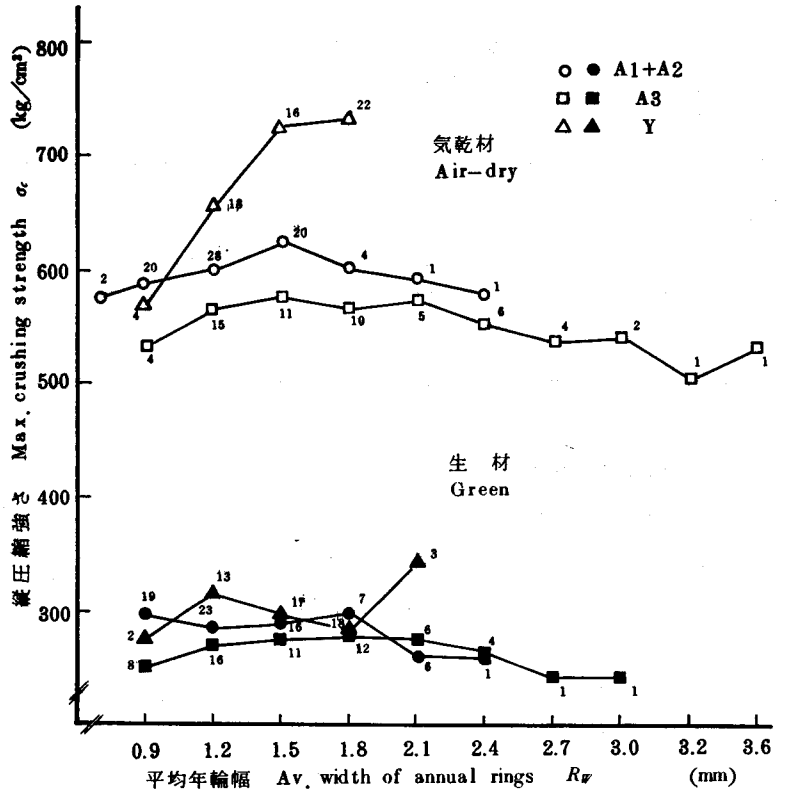
Fig. 6.　Relation between average width of annual rings and modulus of rupture.

のである。ヤチダモでは年輪幅の範囲が極めて狭い範囲に限られていたので，明らかな関係はわからないが，年輪幅 1.4 mm と 1.7 mm では後者の容積密度数がかなり大であった。また，同一年輪幅の場合，ヤチダモの容積密度数はアオダモのそれよりかなり小さい。ドイツ産の *Fraxinus excelsior*[5] では年輪幅の増加による容積密度数の増加が明確にみられ，年輪幅 1.5 mm 付近の値はここに試験したヤチダモとほぼ同じである。

つぎに，平均年輪幅とヤング係数の関係（図-5）であるが，アオダモ A 1 と A 2 は材質的に似ていたので，両者を合体して関係を求めた（以下同じ）。ここではアオダモ A 3 生材ではあまり明確でないが，ほかでは平均年輪幅の増加により，曲げヤング係数は増す傾向がみられ，とくにヤチダモ材ではその急激な増加がみられる。

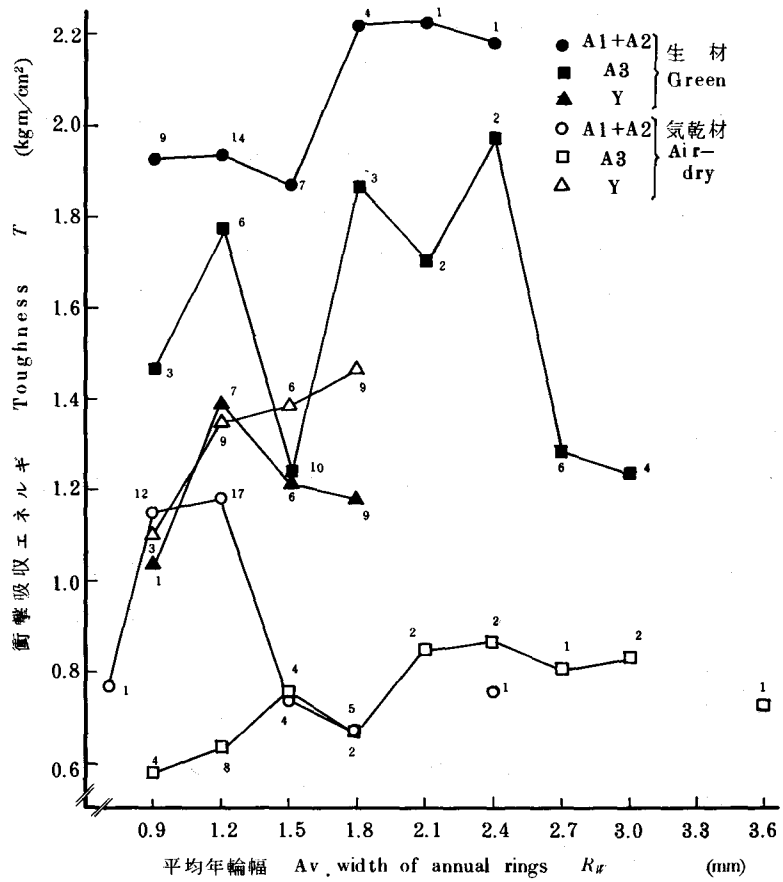
年輪幅と曲げ強さの関係は図-6 に示すように，アオダモ材ではあまり明確でないが，ヤチダモでは明らかに年輪幅の増加により，曲げ強さは増加している。縦圧縮強さ（図-7）および衝撃曲げにおける吸収エネルギ（図-8）においてもほぼ同様である。

以上のように，平均年輪幅と諸性質の関係においては，年輪幅の増加による諸性質の増加はアオダモ材ではわずかか，明確でない程度であるが，ヤチダモ材では明確である。これにつ



図—7　平均年輪幅と縦圧縮強さの関係

Fig. 7. Relation between average width of annual rings and maximum crushing strength.



図—8 平均年輪幅と衝撃吸収エネルギの関係

Fig. 8. Relation between average width of annual rings and toughness (absorbed shock energy).

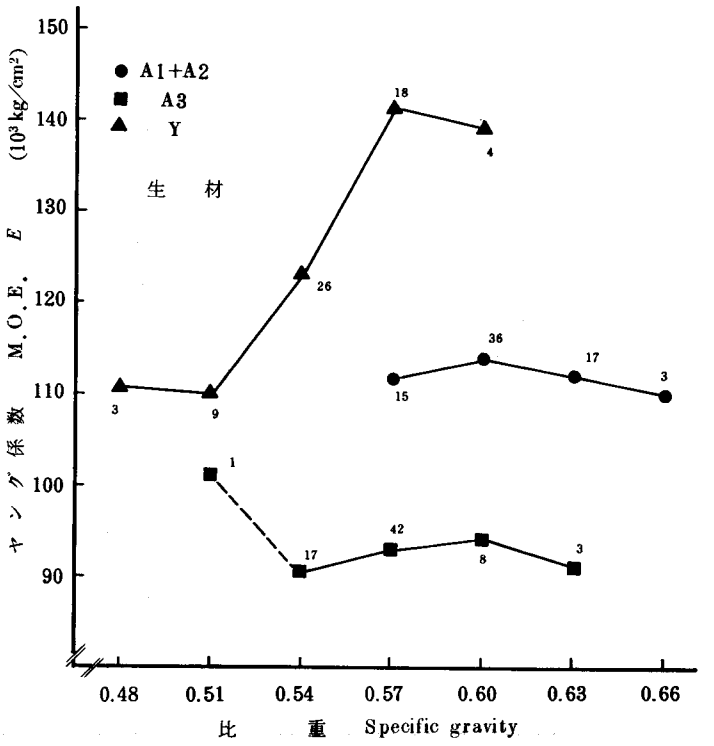
いてはアオダモ材においては年輪幅の比較的狭いものでも材質はあまり劣っていない，ともいえる。

3.5.2 比重と諸性質との関係

比重とヤング係数の関係は図-9, 10に示すように，アオダモでは生材・気乾材ともにあまり明確ではないが，ヤチダモ材では比重の増加により，ヤング係数は明らかに増加している。また，同一比重ではアオダモA3のヤング係数が最も低く，ついでアオダモA1+A2で，ヤチダモ材が最も大である。

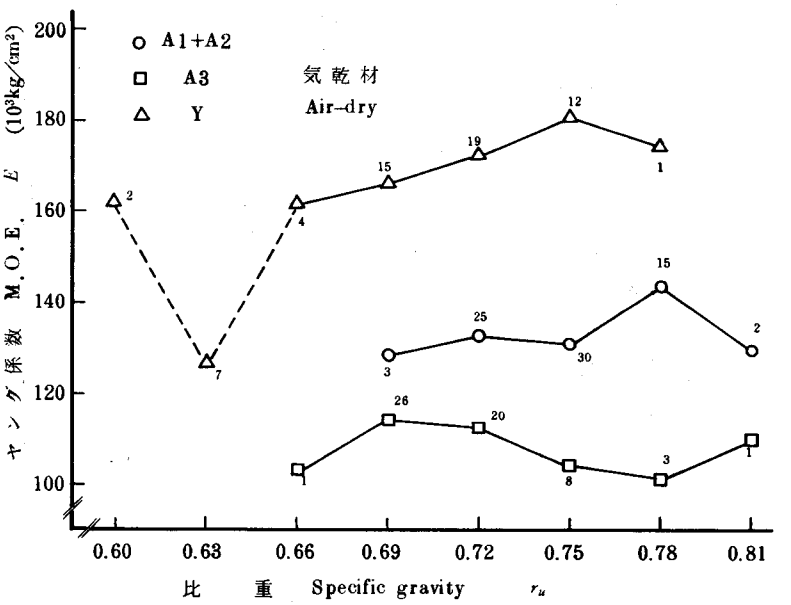
縦圧縮強さおよび曲げ強さの比重に対する関係は図-11, 12に示すように，いずれも比重の増加により，強さが増す傾向が認められる。ここでも同一比重の場合，ヤチダモ材の強さが最も大きい。

衝撃吸収エネルギの比重に対する関係（図-13, 14）は上述の場合と若干異なり，生材では比重の増加により，アオダモ材ではその値は増加するが，ヤチダモ材では明確でなく，かつ同



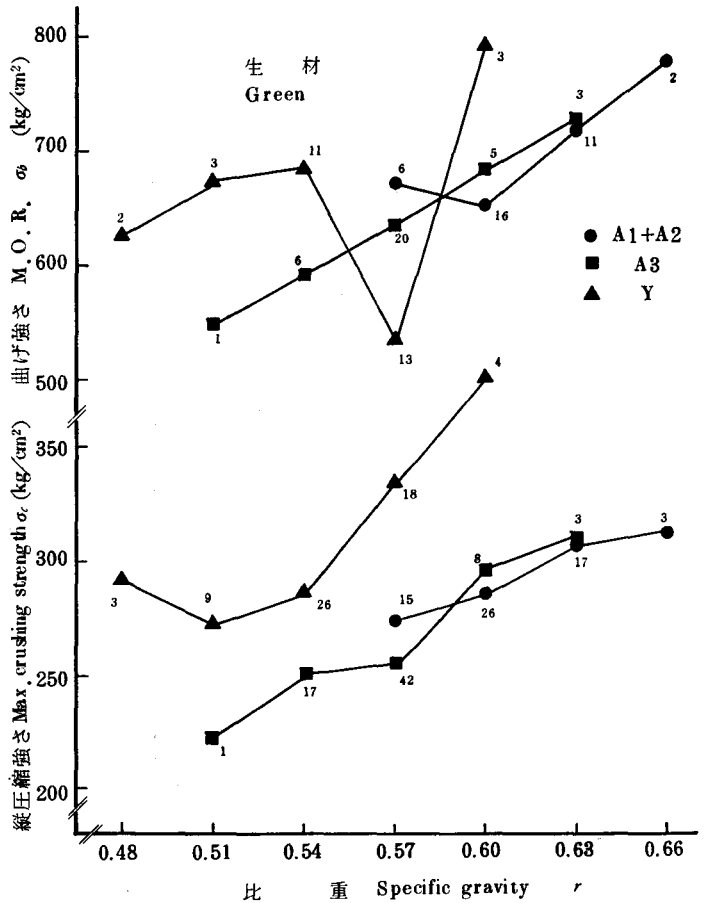
図—9 比重とヤング係数の関係 (生材)

Fig. 9. Relation between specific gravity and modulus of elasticity in green wood.



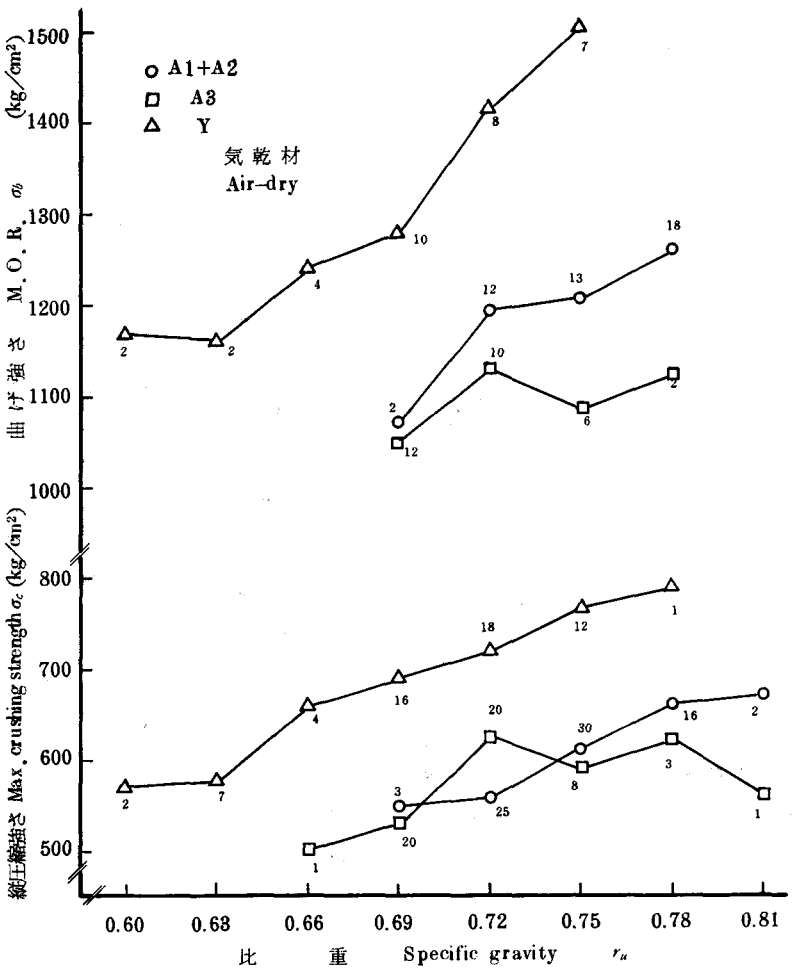
図—10 比重とヤング係数の関係 (気乾材)

Fig. 10. Relation between specific gravity and modulus of elasticity in air-dry wood.



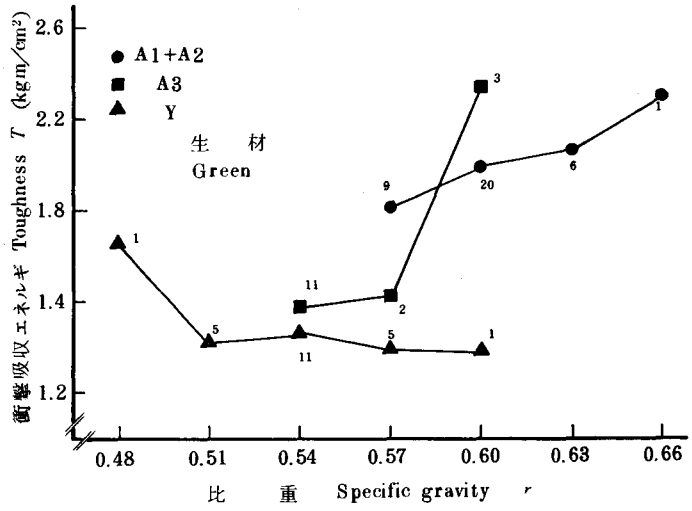
図—11　比重と縦圧縮強さおよび曲げ強さとの関係（生材）

Fig. 11. Relations of maximum crushing strength and modulus of rupture to specific gravity in green wood.



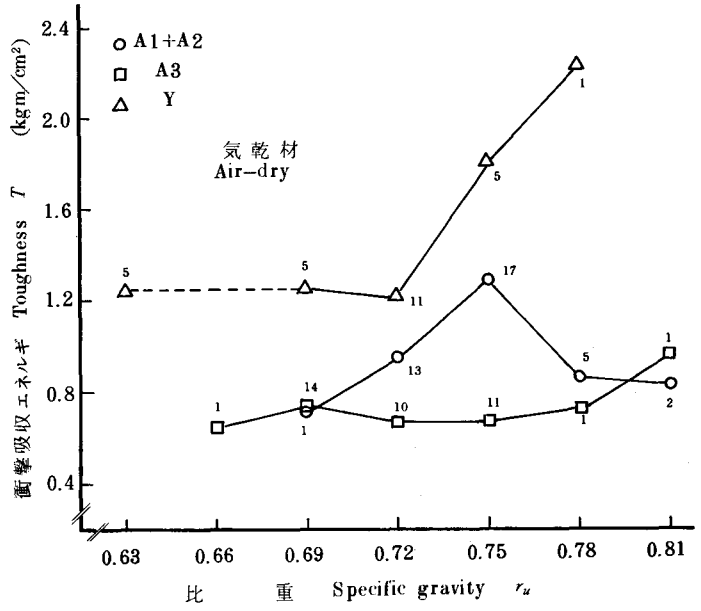
図—12　比重と縦圧縮強さおよび曲げ強さとの関係（気乾材）

Fig. 12. Relations of maximum crushing strength and modulus of rupture to specific gravity in air-dry wood.



図—13　比重と衝撃吸収エネルギとの関係（生材）

Fig. 13. Relation between specific gravity and toughness in green wood.



図—14　比重と衝撃吸収エネルギの関係（気乾材）

Fig. 14. Relation between specific gravity and toughness in air-dry wood.

一比重の場合，ヤチダモ材の値が最も低い。これに対し気乾材ではヤチダモ材の方が明確な傾向と高い価を示した。

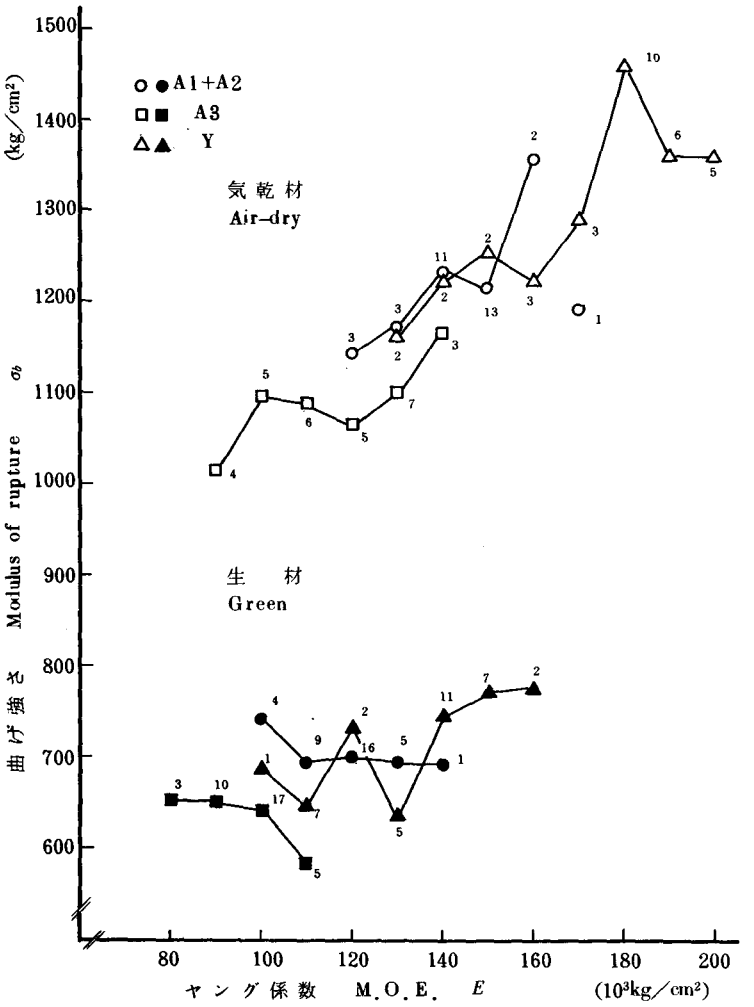
3.5.3　ヤング係数と諸性質との関係

ヤング係数と曲げ強さおよび縦圧縮強さの関係は図-15, 16に示すように，生材の場合あまり明確ではないが，気乾材ではヤング係数の増大により，それらの強さも増すことがわかり

かつ，同一ヤング係数の場合，樹種間，供試木間に強さにはあまり大きな差はないようである。したがって，ヤング係数を測定することによって，およその曲げ強さおよび縦圧縮強さの推定ができることになる。

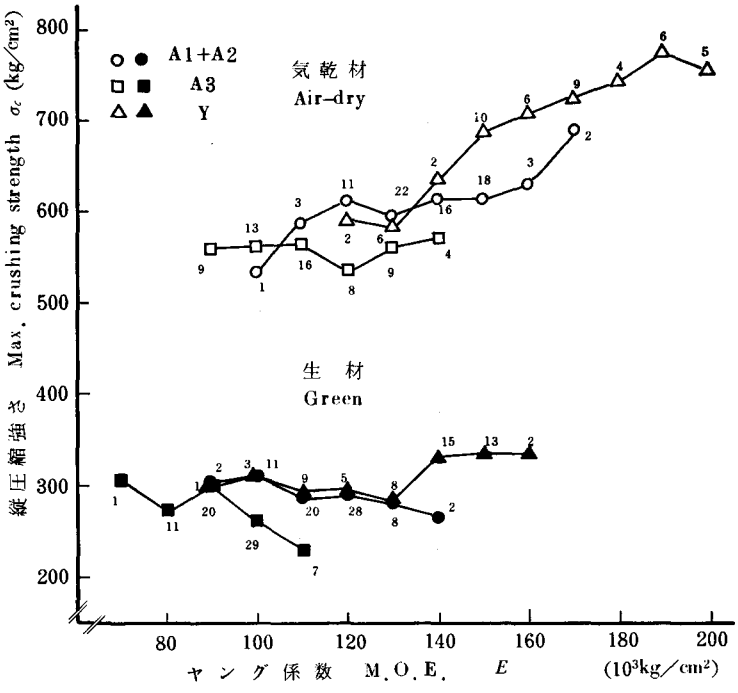
衝撃吸収エネルギ (図-17) は生材においてはヤング係数との関係があまり明白でないが，気乾材ではヤング係数との間に明らかな関係がみられる。したがって，衝撃曲げに強い材料を選択するにはヤング係数を測定し，その価の大きなものを選べばよい。

せん断強さにおいてはヤング係数との間に明確な関係はみとめられない (図-18)。



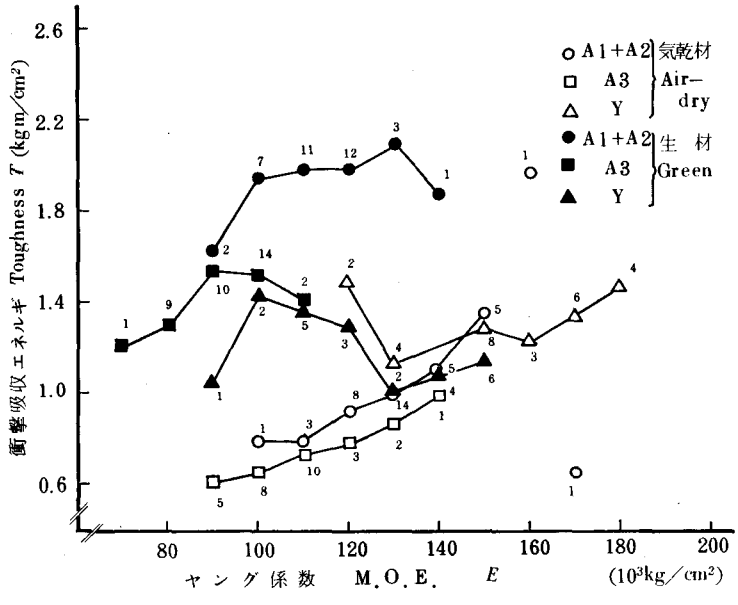
図—15　ヤング係数と曲げ強さの関係

Fig. 15. Relation between modulus of elasticity and modulus of rupture.



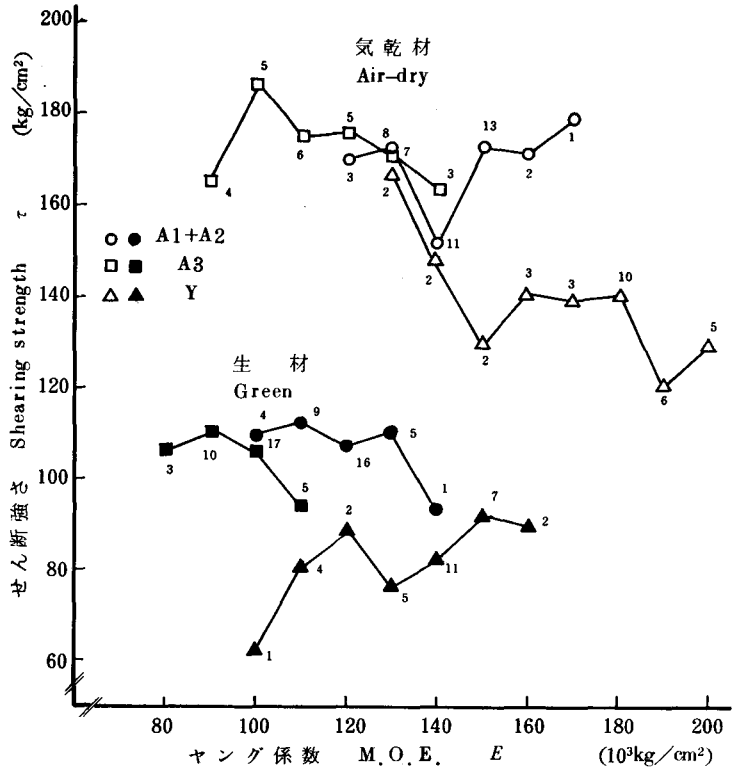
図—16 ヤング係数と縦圧縮強さの関係

Fig. 16. Relation between modulus of elasticity and maximum crushing strength.



図—17 ヤング係数と衝撃吸収エネルギの関係

Fig. 17. Relation between modulus of elasticity and toughness.



図—18　ヤング係数とせん断強さの関係

Fig. 18. Relation between modulus of elasticity and shearing strength.

4. 結　　言

日高産アオダモ材について，野球用バット材という用途を考慮に入れて，生長経過ならびに基礎材質について研究した。この結果はつぎのように要約される。

1) 胸高直径14～22 cm，樹高17 m前後のアオダモ供試木3本について，樹幹析解により生長経過を調べたが，いずれも樹齢40年ぐらいまで被圧されて生長が極めて悪く，後年輪幅が2 mm近い生長をしていた。樹齢は約90年で径級の割には樹齢が予想外に高かった。アオダモの育成林業を考えるならば幼時の生長を促進させる育林法を確立する必要がある。

2) 容積密度数は供試木の平均値が585～623 kg/m³で，同一地域のヤチダモの542 kg/m³より8～15%大であった。また，その樹幹内分布には一定の傾向はみられなかった。

3) 生材含水率は供試木ごとの平均で44～49%であったが，辺・心材部の間に明確な差はなかった。しかし，着色心材部は若干大であった。樹幹内では半径方向における変化の傾向はみられず，樹高方向では上部が低い傾向がみられた。ヤチダモ円板では全体的に含水率が高く，かつ心材のそれは辺材の約2倍であった。

4) 平均収縮率は板目方向で0.32%，まさ目方向で0.17%，繊維方向で0.02%であり，全

収縮率はそれぞれ 9.1, 4.2 および 0.44% であった。これに対し，ヤチダモ材ではそれぞれ 0.34, 0.19 および 0.01 ならびに 12.7, 6.0 および 0.18% であった。アオダモ材の収縮率は横方向ではヤチダモ材より小さいが，縦方向ではかなり大であった。これはヤチダモの繊維の通直性がよいことによるものである。

5) 強度試験結果の総括を表-16 に示す。アオダモ材の力学的性質はいずれも高い価を示す。しかし，同時に試験したヤチダモ材は同材として非常に強度性能の優れたもので，とくに繊維の通直性が影響するヤング係数，縦圧縮強さ，縦引張強さ（気乾材），曲げ強さ，衝撃曲げ吸収エネルギ（気乾材）の価はアオダモ材より大であった。しかし，せん断弾性係数，せん断強さおよびかたさはアオダモ材の方が大で，とくにバットの耐久性に影響するせん断強さおよび打球面であるまさ目面かたさが大きいことがアオダモ材の特徴である。

6) 材質指標としての平均年輪幅と諸性質の関係ではヤチダモ材では年輪幅の増加により

表—16　強度試験結果の総括（平均値）

条件 Condition	供試木 Tree No.	平均年輪幅 R_w (mm)	比重 r, r_u	含水率 u (%)	ヤング係数 E (10^3 kg/cm²)	せん断弾性係数 G (10^3 kg/cm²)	曲げ比例限度 σ_{bp} (kg/cm²)	曲げ強さ σ_b (kg/cm²)
生材 Green	A1	1.2	0.60	41.6	120	8.1	305	708
	A2	1.5	0.61	42.2	114	9.1	326	701
	A3	1.8	0.57	47.6	96	8.5	272	637
	A1～3	1.6	0.59	43.8	106	8.6	295	674
	Y	1.5	0.55	63.0	126	5.8	312	707
気乾材 Air-dry	A1	1.2	0.75	11.7	140	10.4	446	1195
	A2	1.3	0.74	12.0	136	11.6	450	1206
	A3	1.7	0.72	11.6	110	9.9	452	1086
	A1～3	1.4	0.73	11.8	126	10.6	451	1149
	Y	1.6	0.66	11.4	166	7.9	625	1352

条件 Condition	供試木 Tree No.	縦圧縮強さ σ_c (kg/cm²)	縦引張強さ σ_t (kg/cm²)	衝撃吸収エネルギ T (kg/cm²)	せん断強さ 板目 τ_T (kg/cm²)	せん断強さ まさ目 τ_R (kg/cm²)	かたさ 木口 H_E (kg/mm²)	かたさ 板目 H_T (kg/mm²)	かたさ まさ目 H_R (kg/mm²)
生材 Green	A1	289	2000	1.98	110	105	3.3	1.4	1.4
	A2	289	1204	1.95	111	108	3.2	1.5	1.3
	A3	262	1094	1.46	107	104	3.3	1.4	1.5
	A1～3	277	1327	1.71	109	105	3.3	1.4	1.4
	Y	305	1284	1.25	73	88	3.5	1.4	0.9
気乾材 Air-dry	A1	608	1670	1.27	176	176	6.8	2.3	2.5
	A2	607	1501	0.87	170	173	7.2	2.8	3.2
	A3	559	1316	0.70	173	175	6.5	2.6	3.0
	A1～3	585	1486	0.91	173	175	6.8	2.6	2.9
	Y	698	1848	1.37	122	156	5.9	1.7	2.2

諸性能が高くなる傾向がみられるが，アオダモ材ではあまり明確ではなかった。これは孔圏における道管数が少ないことに帰因する。このためアオダモ材では年輪幅が比較的狭いものでも強度性能の低下はあまりみられなかった。

7) 比重の増加により曲げ強さ，縦圧縮強さが増す傾向がみられた。同一比重の場合にはヤチダモ材の強さの方が大であった。

8) 気乾材においてヤング係数の増加により曲げ強さ，縦圧縮強さ，衝撃曲げ吸収エネルギの価が増す傾向がみられた。したがって，これらの強度性能の高い材料を選ぶには，角材時において曲げヤング係数を測定するのが有効である。

文　献

1) 中島広吉 (1931): 樹幹析解. 柴田書房.
2) 西田厚生 (1978): アオダモ材の有効利用. 札幌営林局研究発表会要旨.
3) 矢沢亀吉・石田茂雄・宮島 寛 (1965): 数種広葉樹の多湿心材について (第1報) (英文), 木材誌, **11**-3, 71-75.
4) YAZAWA, K. and ISHIDA, S. (1965): On the wet-heartwood of some broad-leaved trees grown in Japan. II. Jour. Fac. Agr., Hokkaido Univ., **54**-2, 121-136.
5) KOLLMANN F. F. P. and CÔTÉ, Jr., W. A. (1968): Principles of wood science and technology. I. Soild wood. Springer-Verlag.
6) 林業試験場編 (1973): 新版木材工業ハンドブック. 丸善.
7) F. P. L. (1974): Wood handbook. Agr. Handbook No. 72.
8) 宮島 寛 (1963): 木材の硬さに関する研究. 北大演報, **22**-2, 539-608.

Summary

Aodamo (*Fraxinus lanuginosa*) is easily regenerated and found growing most commonly in the southern part of Hokkaido, especially in Hidaka district. It is a small- to medium-sized tree with a slightly straight and round trunk. The wood is yellowish white in color, and the sapwood is not distinctly separated from the heartwood but may be lighter in color in green condition. The brown fault heartwood which may be a defect for general uses exists sometimes in trunk of slightly large-sized tree.

The wood of Aodamo is heavy, strong, hard, stiff and has high resistance to shock. Because of these qualities such tough, Aodamo wood is used principally for handles, oars and some sporting and athletic goods, especially for baseball bats.

From the national forest managed by the Urakawa district forest office, three Aodamo trees were selected as materials for analyzing the stems and for studying some physical and mechanical properties of the wood. The properties were compared with Yachidamo wood (*Fraxinus mandshurica* var. *japonica*) taken from the same forest. Yachidamo growing widely in Hokkaido has a typical straight and round trunk in general, and has white sapwood and light brown heartwood. It is very important commercially. Because of high quality and beautiful figures, the wood is widely used for handles, furniture, plywood, interior materials of houses and some sporting goods. It is commercially called that a 7.2 cm-squared bar having 16 annual rings and consisting entirely of the sapwood of second growth Yachidamo tree is the best material for a baseball bat to be impregnated with a kind of plastics.

The measurements of growth of Aodamo trees were carried out according to Nakashima's method of stem analysis and the tests of mechanical properties were performed based on Japanese Industrial Standard (JIS).

The results are summarized as follows:

1) The width of annual rings of Aodamo wood was very narrow, especially for the first 30 or 40 years. These trees might be growing under big high trees such as oak, birch, sen and basswood for the early time.

2) The average values of wood density of each Aodamo trees were 585 to 623 kg/m^3 and 8 to 15 percent larger than Yachidamo wood having density of 542 kg/m^3 averaged. It might not be seen any tendency in the density distribution pattern in Aodamo trunks.

3) The average moisture contents of Aodamo wood were 44 to 49 percent and the difference between the sapwood and heartwood was not clear, but the colored fault heartwood

Table 16. Summary of mechanical properties (average values)

Condition	Tree No.	Av. width of annual rings R_W (mm)	Specific gravity r	Modulus of elasticity E (10^2 Megapascals)	Modulus of rigidity G (10^2 Megapascals)	Modulus of rupture σ_b (10^2 Kilopascals)	Maximum crushing strength σ_c (10^2 Kilopascals)
Green	A1	1.2	0.60	118	7.9	694	283
	A2	1.5	9.61	112	8.9	687	283
	A3	1.8	0.57	94	8.3	625	257
	A1~3	1.6	0.59	104	8.4	861	272
	Y	1.5	0.55	124	5.7	693	299
Air-dry	A1	1.2	0.63	137	10.2	1172	596
	A2	1.3	0.66	133	11.4	1183	595
	A3	1.7	0.65	108	9.7	1065	548
	A1~3	1.4	0.65	124	10.4	1127	574
	Y	1.6	0.59	163	7.7	1326	685

Condition	Tree No.	Maximum tensile strength σ_t (10^2 Kilopascals)	Toughness (Absorbed energy) T (J/cm^2)	Shearing strength Tangential τ_T (10^2 Kilopascals)	Shearing strength Radial τ_R (10^2 Kilopascals)	Brinell hardness End H_E (Megapascals)	Brinell hardness Tang. H_T (Megapascals)	Brinell hardness Radial H_R (Megapascals)
Green	A1	1961	19.4	108	103	32	14	14
	A2	1181	19.1	109	106	31	16	13
	A3	1073	14.3	105	102	32	14	15
	A1~3	1301	16.8	107	103	32	14	13
	Y	1259	12.3	72	86	34	14	9
Air-dry	A1	1638	12.5	173	173	67	23	25
	A2	1472	8.5	167	170	71	27	31
	A3	1291	6.9	170	172	64	25	29
	A1~3	1457	8.9	170	172	67	25	28
	Y	1812	13.4	120	153	58	16	22

(Remarks) Specific gravity is based on weight when ovendry and volume at the time of test. Moisture contents of air-dried wood were 11.4 to 12.0 percent of the ovendry weight. A1~A3: Aodamo, Y: Yachidamo.

had clearly high moisture content. Yachidamo wood has generally much higher moisture content than Aodamo wood. In the wood tested, moisture content of the heartwood was 80.8 percent and it was about twice as much as the value of 39.0 percent of the sapwood.

4) The average values of shrinkage in green to ovendry condition of Aodamo wood were 9.1, 4.2 and 0.44 percent in tangential, radial and longitudinal directions, respectively, while 12.7, 6.0 and 0.18 percent for Yachidamo wood. The longitudinal shrinkage of Yachidamo wood was very little by comparison with that of Aodamo wood, because of superior straight grain of Yachidamo wood.

5) Summary of the mechanical properties is shown in table 16. They showed very high values, especially in modulus of elasticity, modulus of rupture, maximum crushing strength, maximum tensile strength (air-dry wood) and absorbed shock energy in toughness test (air-dry wood) for Yachidamo wood, and in modulus of rigidity, shearing strength parallel to grain and side hardness for Aodamo wood.

6) In Aodamo wood, the relation between the width of annual rings and some physical and mechanical properties might be not clear, because of smaller sized and fewer vessels than those of Yachidamo.

7) The values of modulus of rupture and maximum crushing strength increased with increasing the specific gravity of wood. The values of Yachidamo wood were higher than those of Aodamo having the same specific gravity.

8) In air-dry condition, it might be seen that the values of modulus of rupture, maximum crushing strength and toughness increased proportionally to modulus of elasticity. The modulus of elasticity measured non-destructively may be suggusted as a measure of such strength and toughness.