

材質改良に関する研究（第1報） 材質改良の基礎としての木材の材質について

堀 岡 邦 典*

目 次

I 緒 言	15
II 本邦産主要樹種の材質	16
1. 材質試験法	17
1. 供試材	17
2. 試験片	19
3. 試験機および測定具	19
4. 測定および試験事項	19
5. 試験測定値の標準含水率（15%）に対する換算	20
2. 材質試験結果	23
1. 強度試験	23
2. 収縮試験	23
3. 品質指標	26
III 本邦産主要樹種の解剖的性質	30
IV プナ材の異方性	30
V 摘要および考察	37
VI 参考文献	52
Résumé	54

I 緒 言

木材において幾多の優点，例えば比重が小，加工が容易，比重に比して強度が大という特性がある反面次のごとき欠点がある。

（1）強度の不均一性

木材強度は樹種を異にする場合にはもちろん，同一樹種においても一定するものでなく，その生長状態，樹齢，産地，立地条件により異なり，また同一樹木においても，その部分により比重，含水率，辺心材により，また木取りおよび種々なる欠点の程度により著しく相違している。

（2）材質の異方性

木材は方向により強度，その他の性質が著しく異なるため，材料として使用する際に種々の

* 木材部材質改良科長

困難がともなう。

(3) 吸湿性並びに形状の変化性

木材の含水率は空気中の湿度変化にともなつて変化し、含水率の増減は木材の強度に変化を生じ、さらにそれにより木材の膨脹、収縮を起し、しかもその膨脹、収縮が形状の変化、割裂、反りおよび振れの現象を起す。

(4) 腐朽性および燃焼性

木材使用上腐朽性および燃焼性は大きな欠点となつてゐる。

材質改良の問題は以上の欠点を除去或いは尠少ならしめ、さらに強度、弾性の向上にあるが、そのためにまず第一に木材の材質を明らかにしなければ十分に目的を達することが困難である。その解明のために従来から多数の研究者によつて、研究が行われているが、だんだんと測定法⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾に不備があることが判明し、サンプリングの仕方⁽³²⁾⁽³³⁾に対する統計的な進歩のため、全部の資料が整備されるまでにはなお相当の年月を要すると思料せられるので、ここに当面材質改良の指標をうるために現行の木材試験法に基きしかもサンプリングの仕方に幾らか問題はあつたが、

(1) 本邦産主要樹種 35 樹種 (ほかに台湾産 1 樹種) の無欠点材について現行の木材試験方法 (日本建築規格 JES 建築 3107) により強度試験、収縮膨脹率の測定を行い、その結果を取纏め材質改良の基礎たらしめ、

(2) 各樹種の圧縮試験を行つた試験片を用いておもなる解剖的性質を調査し、材質改良、特に注入、接着、圧縮、均質合成材等の研究の基礎とせんとし、

(3) 材質の異方性を改良する方法を検討するため、わが国において最も資源の豊富かつ散孔材で材質改良に適しているブナ素材の異方性を調査研究した。

本研究を実施するにあたり終始指導を賜りました斎藤木材部長および、元東大教授 現日本木材加工技術協会々長 三好東一博士、解剖的性質の項について指示を与えられた東大倉田助教授、研究遂行上種々示唆を与えられた中村源一、沢田稔および山井良三郎各技官、実験の補助をされた星沢、中込、梶および棕代各技官、試験片の作製および測定の補助を行つた峰尾および榎本助手、田中氏等に対し謝意を表する次第である。

Ⅱ 本邦産主要樹種の材質

木材の材質改良化をはかるために、木材の具備する性質特に圧縮強度、曲げ破壊係数、曲げヤング係数、引張強度、引張ヤング係数、衝撃曲げ強度、剪断強度および収縮率を本邦産主要樹種 35 種、別に台湾産 1 種について測定し、比重と各種強度との関係を明らかにし、さらに品質を判定する指標として静力学的品質指標および動力学的品質指標の 2 種の基準を定めて本邦産主要樹種を区分した。

1. 材質試験法

1. 供試材

樹種および産地の選択は形質ともに優良にして、かつまた胸高直径 40 cm 以上の大径木を集团的に保有する森林分布地域において、既設の運材設備により搬出し利用可能と認められる有用樹種に重点をおいたもので、その樹種名および産地は第1表に示すごとくである。

各供試材は上記地域において形質ともに優良なるものを採取し、それぞれ樹種名、産地を明記して当场に輸送し、到着のうへは挽材となし長期間室内乾燥をほどこした後、所定の供試材片を作製し瑕疵を包蔵しないものについて試験したものである。

第 1 表 供試木の樹種と産地

Table 1. Species of test tree and place of growth

(1) Coniferous wood				
樹種番号 Species No.	樹種 Species (Common name)	学名 Botanical name	供試木の生育地 Place of growth of material tested	供試本数 Trees tested
1	モミ Momi	<i>Abies firma</i> Siebold et Zuccarini	長野営林局 飯原営林署管内国有林 National forest within the boundary of Yabuhara District Forest Office, Nagano Regional Forest Office.	4
2	トドマツ Todomatsu	<i>Abies sachalinensis</i> Fr. Schmidt	札幌営林局 札幌営林署 " National forest within the boundary of Sapporo D. F. O., Sapporo R. F. O.	3
3	シラベ Sirabe	<i>Abies Veitchii</i> Lindley	長野営林局 諏訪営林署 " National forest within the boundary of Suwa D. F. O., Nagano R. F. O.	2
4	タイワン ヒノキ Taiwan hinoki	<i>Chamaecyparis formosensis</i> Matsumura	台湾産 Taiwan (Formosa)	2
5	ヒノキ Hinoki	<i>Chamaecyparis obtusa</i> Endlicher	長野営林局 王滝営林署および名古屋営林局 下呂営林署管内国有林 National forest within the boundary of Otaki D. F. O., Nagano R. F. O.	2
			National forest within the boundary of Gero D. F. O., Nagoya R. F. O.	2
6	サワラ Sawara	<i>Chamaecyparis pisiifera</i> Endlicher	長野営林局 王滝および野尻営林署 " National forest within the boundary of Otaki D. F. O., Nagano R. F. O.	2
			National forest within the boundary of Noziri D. F. O., Nagano R. F. O.	2
7	スギ Sugi	<i>Cryptomeria japonica</i> D. Don	秋田営林局 能代営林署 " National forest within the boundary of Noshiro D. F. O., Akita R. F. O.	2
8	カラマツ Karamatsu	<i>Larix Kaempferi</i> Sargent	長野営林局 諏訪営林署 " National forest within the boundary of Suwa D. F. O., Nagano R. F. O.	2
9	エゾマツ Ezomatsu	<i>Picea jezoensis</i> Carrière	旭川営林局 上川営林署 " National forest within the boundary of Kamikawa D. F. O., Asahikawa R. F. O.	2
10	トウヒ Tōhi	<i>Picea jezoensis</i> Carrière, var. <i>hondoensis</i> Rehder	長野営林局 飯原および福島営林署 " National forest within the boundary of Yabuhara D. F. O., Nagano R. F. O.	2
			National forest within the boundary of Hukusima D. F. O., Nagano R. F. O.	2
11	アカマツ Akamatsu	<i>Pinus densiflora</i> Siebold et Zuccarini	東京営林局 甲府営林署 " National forest within the boundary of Kōfu D. F. O., Tokyo R. F. O.	2
12	ヒメコマツ Himekomatsu	<i>Pinus pentaphylla</i> Mayr	長野営林局 上松営林署 " National forest within the boundary of Agematsu D. F. O., Nagano R. F. O.	2

第 1 表

(1) Coniferous wood (続)

樹種番号 Species No.	樹 種 Species (Common name)	学 名 Botanical name	供 試 木 の 生 育 地 Place of growth of material tested	供試本数 Trees tested
13	クロマツ Kuromatsu	<i>Pinus Thunbergii</i> Parlatore	東京営林局 千葉営林署管内国有林 National forest within the boundary of Tiba D. F. O., Tokyo R. F. O.	2
14	ヒバ (アスナロ) Hiba (Asunaro)	<i>Thujopsis dolabrata</i> Siebold et Zuccarini	長野営林局 王滝および野尻営林署 " National forest within the boundary of Otaki D. F. O., Nagano R. F. O. National forest within the boundary of Noziri D. F. O., Nagano R. F. O.	2 2
15	ツガ Tuga	<i>Tsuga Sieboldii</i> Carriere	長野営林局敷原, 諏訪および奈良井営林署 " National forest within the boundary of Yabuhara D. F. O., Nagano R. F. O. National forest within the boundary of Suwa D. F. O., Nagano R. F. O. National forest within the boundary of Narai D. F. O., Nagano R. F. O.	2 2 2

(2) Dicotyledonous wood

樹種番号 Species No.	樹 種 Species	学 名 Botanical name	供 試 木 の 生 育 地 Place of growth of material tested	供試本数 Trees tested
16	イタヤカエデ Itayakaede	<i>Acer mono</i> Maximowicz	旭川営林局 旭川営林署管内国有林 National forest within the boundary of Asahikawa District Forest Office, Asahi- kawa Regional Forest Office.	2
17	トチノキ Totinoki	<i>Aesculus turbinata</i> Blume	東京営林局 高崎営林署 " National forest within the boundary of Takasaki D. F. O., Tokyo R. F. O.	2
18	ミズメ Mizume	<i>Betula grossa</i> Siebold et Zuccarini	長野営林局 王滝営林署 " National forest within the boundary of Otaki D. F. O., Nagano R. F. O.	2
19	マカバ Makaba	<i>Betula Maximowicziana</i> Regel	札幌営林局 岩見沢営林署 " National forest within the boundary of Iwamizawa D. F. O., Sapporo R. F. O.	2
20	カツラ Katura	<i>Cercidiphyllum</i> japonicum Siebold et Zuccarini	長野営林局 上松営林署 " National forest within the boundary of Agematu D. F. O., Nagano R. F. O.	2
21	クスノキ Kusunoki	<i>Cinnamomum Camphora</i> Nees et Ebem	熊本営林局 都城営林署 " National forest within the boundary of Miyakonojyo D. F. O., Kumamoto R. F. O.	2
22	イスノキ Isunoki	<i>Destylium rocemosum</i> Siebold et Zuccarini	熊本営林局 鹿兒島営林署 " National forest within the boundary of Kagosima D. F. O., Kumamoto R. F. O.	2
23	ブナ Buna	<i>Fagus crenata</i> Blume	前橋営林局 福島営林署 " National forest within the boundary of Fukushima D. F. O., Maebasi R. F. O.	2
24	オニグルミ Onigurumi	<i>Juglans Allardiana</i> Don var. <i>acuta</i> Koidzumi	札幌営林局 上芦別営林署 " National forest within the boundary of Kamiasibetu D. F. O., Sapporo R. F. O.	2
25	タブ Tabu	<i>Machilus Thunbergii</i> Siebold et Zuccarini	熊本営林局 都城営林署 " National forest within the boundary of Miyakonojyo D. F. O., Kumamoto R. F. O.	2
26	ホホノキ Hohonoki	<i>Magnolia obovata</i> Thunberg	札幌営林局 札幌営林署 " National forest within the boundary of Sapporo D. F. O., Sapporo R. F. O.	2
27	ドロノキ Doronoki	<i>Populus suaveolens</i> Fischer	旭川営林局 一ノ橋営林署 " National forest within the boundary of Itinohasi D. F. O., Asahikawa R. F. O.	2
28	シナノキ Sinanoki	<i>Tilia japonica</i> Simonkai	札幌営林局 岩見沢営林署 " National forest within the boundary of Iwamizawa D. F. O., Sapporo R. F. O.	2

第 1 表

(2) Dicotyledonous wood (続)

樹種番号 Species No.	樹 種 Species	学 名 Botanical name	供 試 木 の 生 育 地 Place of growth of material tested	供試本数 Trees tested
29	ヤチダモ Yatidamo	Fraxinus mandshurica Ruprecht	札幌営林局 上芦別営林署管内国有林 National forest within the boundary of Kamiasibetu D. F. O., Sapporo R. F. O.	2
30	ハリギリ (セン) Harigiri (Sen)	Kalopanax pictum Nakai	札幌営林局 岩見沢営林署 " National forest within the boundary of Iwamizawa D. F. O., Sapporo R. F. O.	2
31	キ リ Kiri	Paulownia tomentosa Steudel	東京農工大学演習林 Tokyo-Nōkō College Forests	2
32	ミズナラ Mizunara	Quercus crispula Blume	札幌営林局 上芦別営林署管内国有林 National forest within the boundary of Kamiasibetu D. F. O., Sapporo R. F. O.	2
33	ハルニレ Harunire	Ulmus Davidiana Planchon var. japonica Nakai	旭川営林局 旭川営林署 " National forest within the boundary of Asahikawa D. F. O., Asahikawa R. F. O.	2
34	ケ ヤ キ Keyaki	Zelkova serrata Makino	長野営林局 湯舟沢営林署 " National forest within the boundary of Yubunezawa D. F. O., Nagano R. F. O.	2
35	アカガシ Akagasi	Cyclobalanopsis acuta Oersted	熊本営林局 都城営林署 " National forest within the boundary of Miyakonojyo D.F.O., Kumamoto R.F.O.	2
36	スダジイ Sudazii	Castanopsis cuspidata var. Sieboldi Nakai	熊本営林局 都城営林署 " National forest within the boundary of Miyakonojyo D.F.O., Kumamoto R.F.O.	2

2. 試験片

試験片は気乾状態に達した材より、日本建築規格、木材試験法 (JES 建築 3107, 昭和 24 年 1 月 20 日決定) に示された無欠点の標準試験片を採用した。

3. 試験機および測定具

試験機はアムスラー型 4,000 kg の木材万能試験機を使用し、長さの測定には 1/20 mm まで読みうるキャリパーを用いた。

変形量の測定にはダイヤルゲージ 1/100 mm およびマルテンス精密歪計を用いた。

4. 測定および試験事項

各事項とその方法は次のとおりで前記日本標準規格の木材試験法によつた。

測定事項

各試験ごとに全試験材片について、次の三事項を測定した。

平均年輪巾, 含水率, 比重

試験事項

圧縮試験, 曲げ試験, 剪断試験, 衝撃曲げ試験, 引張試験, 収縮試験。

4.1 平均年輪巾測定

両木口面の平均年輪巾をもつて表わした。

4.2 含水率測定

含水率は全乾重量に対する乾燥前の重量と、全乾重量との差の百分率をもつて表わした。す

なわち次式によつて求めた。

$$\text{含水率 (M)} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

ただし W_1 = 乾燥前の重量 (gr), W_2 = 全乾重量 (gr)

なお、重量測定にあたり静的曲げおよび衝撃曲げ試験材片は実験直後破壊部に近き部分より 2 cm 立方体の材片を取り、その他の試験材片はそのまま重量を測定した。

4.3 比重測定

気乾比重はなるべく試験直前に測定した、気乾状態の試験材片の重量をその容積にて除した値 ($\times 100$) をもつて表わす。

4.4 圧縮試験

20×20×40 mm の試験材片について繊維に平行に平均荷重速度を毎分約 200 kg/cm² 以下として圧縮した。

4.5 曲げ試験

試験機は荷重点および支点の丸味の直径 3 cm のものを用い、三点荷重法により 20×20×300 mm の試験材片について、支点距離を 240 mm とし木表より平均荷重速度を毎分約 300 kg/cm² 以下として加圧した。

4.6 引張試験

標準寸法の試験片を用い平均荷重速度を毎分約 400 kg/cm² 以下にして試験した。

4.7 衝撃曲げ試験

アムスラー型 10 kgm 衝撃試験機により静的曲げ試片と同一寸法のものについて、その中央部を木表より衝撃した。

4.8 剪断試験

試験片の剪断面はすべて追柢とし、平均荷重速度を毎分約 40 kg/cm² 以下で行つた。

4.9 収縮試験

気乾状態に達した材より 30×30×10 mm の二方柢方盤に木取つた試験材片を湿度の高い箇所において含水率を 20% 以上にした後、木口面の両心線の長さ l_1 を測定し、これを含水率約 15% および 10% まで乾燥して各含水率における長さ l_2 および l_3 を測定し、試験数値は次式によつて求めた。

なお、厚さは 1/100 mm の精度を有するダイヤルゲージによつて測定した。

$$\text{平均収縮率 } S_1 = \frac{l_2 - l_3}{l} \times 100(\%) \dots\dots\dots (2)$$

ただし $n=l_2$ および l_3 を測定した時の含水率の差

l = 含水率 15% における長さで l_2 および l_3 より比例的に算出した長さ

5. 試験測定値の標準含水率 (15%) に対する換算

第2表 本邦産針葉樹材の強度および関連する性質
Table 2. Strength and related properties of coniferous woods grown in Japan

樹種番号 Species No.	樹種 (和名および学名) Species (Botanical and common name)	供試木の生育地 Place of growth of material tested	供試木数 Trees tested	平均年輪幅 Mean rate of growth	含水率15%時の比重 Specific gravity at moisture content 15%				圧縮 Compression				静的曲げ Static bending				繊維に平行の引張 Tension parallel to grain				衝撃曲げ Impact bending				繊維に平行の剪断 Shear parallel to grain				含水率1%に対する平均収縮率 Mean shrinkage for 1% moisture content																																																																																																																																																																																																																																																																																				
					最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	試験箇數 specimens tested	最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	試験箇數 Specimens tested	曲げ破壊係數 Modulus of rupture				試験箇數 Specimens tested	引張強度 Tensile strength				試験箇數 Specimens tested	含水率 Moisture content	気乾比重 Air dry specific gravity	衝撃曲げ強度 Impact strength				試験箇數 Specimens tested	剪断強度 Shearing strength				試験箇數 Specimens tested	径目方向 Radial	試験箇數 Specimens tested	板目方向 Tangential																																																																																																																																																																																																																																																																												
													最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	試験箇數 Specimens tested		最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	試験箇數 Specimens tested				最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	試験箇數 Specimens tested		最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	試験箇數 Specimens tested					最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	試験箇數 Specimens tested	最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	試験箇數 Specimens tested	最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	試験箇數 Specimens tested	径目方向 Radial	試験箇數 Specimens tested	板目方向 Tangential																																																																																																																																																																																																																																																													
																																																					(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×10 ³)	(×1

第3表 木邦産広葉樹材の強度および関連する性質
Table 3. Strength and related properties of dicotyledonous woods grown in Japan

樹種番号 Species No.	樹 種 (和名および学名) Species (Botanical and common name)	供試木の生育地 Place of growth of material tested	供試本数 Trees tested	平 均 年輪巾 Mean rate of growth	含水率15%時の比重 Specific gravity at moisture content 15%			圧 縮 Compression			静 的 曲 げ Static bending			繊維に平行の引張 Tension parallel to grain						衝 撃 曲 げ Impact bending			繊維に平行の剪断 Shear parallel to grain			含水率1%の変化に対する平均収縮率 Mean shrinkage for 1% moisture content													
					最 大 Max.	最 小 Min.	平 均 Mean	試験箇數 Specimens tested	最 大 Max.	最 小 Min.	平 均 Mean	試験箇數 Specimens tested	曲げ破壊係數 Modulus of rupture			曲げヤング係數 Youngs modulus			試験箇數 Specimens tested	引 張 強 度 Tensile strength	引張ヤング係數 Tensile Young's modulus			試験箇數 Specimens tested	含 水 率 Moisture content	気乾比重 Air dry specific gravity	衝撃曲げ強度 Impact strength			試験箇數 Specimens tested	剪 断 強 度 Shearing strength			試験箇數 Specimens tested	延目方向 Radial	試験箇數 Specimens tested	板目方向 Tangential		
													最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean			最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean				最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean		最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean					最大 Max.	最小 Min.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
16	イタヤカニデ Itayakaede Acer mono Maximowicz	Hokkaido	2	mm 1.6	g/cm ³ 0.67	g/cm ³ 0.60	g/cm ³ 0.64	23	kg/cm ² 578	kg/cm ² 448	kg/cm ² 528	38	kg/cm ² 1073	kg/cm ² 880	kg/cm ² 936	(×10 ³) 115.5	(×10 ³) 88.8	(×10 ³) 105.0	20	kg/cm ² 1921	kg/cm ² 858	kg/cm ² 1416	(×10 ³) 164.3	(×10 ³) 98.4	(×10 ³) 134.4	20	% 12.9	0.63	kgM/cm ² 1.65	kgM/cm ² 0.87	kgM/cm ² 1.32	20	kg/cm ² 159.3	kg/cm ² 105.5	kg/cm ² 132.0	10	% 0.162	10	% 0.307
17	トチノキ Totinoki Aesculus turbinata Blume	Gunma	2	1.0	0.55	0.49	0.52	20	519	310	410	18	866	659	767	88.3	68.2	81.3	10	1150	882	951	148.4	101.2	121.4	19	12.8	0.51	1.01	0.63	0.86	20	124.0	55.3	96.9	10	0.127	10	0.197
18	ミズメ Mizume Betula grossa Siebold et Zuccarini	Nagano	2	1.6	0.78	0.74	0.77	40	721	596	646	24	1506	1240	1381	155.4	121.8	141.6	14	1930	880	1530	191.4	135.1	158.2	19	14.7	0.77	1.70	0.94	1.47	19	190.8	118.7	159.0	10	0.187	10	0.338
19	マカバ Makaba Betula Maximowicziana Regel	Hokkaido	2	2.0	0.80	0.60	0.70	40	769	469	611	38	1337	994	1158	149.0	109.7	127.7	18	1890	1357	1475	208.0	163.2	197.8	19	15.5	0.70	1.43	0.63	1.12	38	171.5	105.3	139.6	10	0.165	10	0.285
20	カツラ Katura Cercidiphyllum japonicum Siebold et Zuccarini	Nagano	2	1.4	0.56	0.43	0.50	39	624	354	403	30	878	558	844	120.0	73.2	87.0	14	1333	737	1033	210.5	108.7	155.4	20	11.2	0.49	0.95	0.70	0.81	20	164.2	97.1	124.6	10	0.173	10	0.294
21	クスノキ Kusunoki Cinnamomum Camphora Nees et Eberm	Kumamoto	2	5.9	0.57	0.48	0.54	50	496	322	384	28	780	604	716	101.9	70.2	85.8	8	1322	771	1017	114.5	103.4	109.9	20	13.9	0.54	1.04	0.48	0.75	20	108.5	85.5	97.6	10	0.185	10	0.320
22	イスノキ Isunoki Destylium roemosum Siebold et Zuccarini	Kagosima	2	1.8	0.92	0.85	0.88	32	693	537	673	25	1490	1275	1386	158.3	132.7	140.4	10	2168	1430	1737	191.7	153.0	177.9	20	13.8	0.83	1.94	1.09	1.62	18	220.4	156.8	181.3	10	0.215	10	0.418
23	ブナ Buna Fagus crenata Blume	Fukusima	2	2.6	0.73	0.63	0.67	30	612	388	521	38	1157	874	1014	111.9	88.2	99.7	16	1434	934	1288	157.4	120.0	134.9	20	13.7	0.67	2.46	0.66	1.23	40	192.5	125.9	158.8	10	0.192	10	0.395
24	オニグルミ Onigurumi Juglans Allardiana Done var. acuta Koidzumi	Hokkaido	2	2.2	0.53	0.44	0.48	24	493	363	414	24	815	638	717	114.9	91.6	102.9	11	1221	697	1210	180.0	111.4	159.2	20	14.3	0.48	1.12	0.57	0.80	28	145.8	90.6	115.6	10	0.181	10	0.342
25	タブ Tabu Machilus Thunbergii Siebold et Zuccarini	Kumamoto	2	2.6	0.33	0.69	0.75	36	724	586	623	20	1162	819	1040	123.5	99.3	108.4	10	1960	1069	1403	193.2	108.7	160.7	15	14.2	0.75	2.01	1.09	1.45	18	173.8	147.5	160.2	8	0.198	8	0.420
26	ホホノキ Hohonoki Magnolia obovata Thunberg	Hokkaido	2	1.5	0.58	0.44	0.50	40	536	315	422	30	714	555	624	110.2	70.1	92.1	15	1634	775	1167	163.3	117.0	136.5	15	15.1	0.50	0.80	0.68	0.75	17	140.3	78.2	96.0	10	0.151	10	0.248
27	ドロノキ Doronoki Populus suaveolens Fischer	Hokkaido	2	4.6	0.44	0.41	0.42	20	343	227	270	18	508	428	465	78.6	65.1	70.9	8	761	576	653	95.2	65.5	76.7	20	14.4	0.42	1.09	0.50	0.76	20	80.9	66.5	71.6	10	0.189	10	0.362
28	シナノキ Sinanoki Tilia japonica Simonkai	Hokkaido	2	1.3	0.49	0.39	0.44	28	397	309	353	30	685	436	548	84.5	58.7	76.5	10	865	547	720	91.7	71.1	79.1	20	13.0	0.43	0.68	0.23	0.47	19	82.3	31.4	55.6	10	0.155	10	0.249
29	ヤチダモ Yatidamo Fraxinus mandshurica Ruprecht	Hokkaido	2	2.2	0.77	0.56	0.64	58	563	312	462	22	1159	735	980	136.4	91.3	116.0	11	2006	947	1482	197.5	101.0	149.6	20	15.7	0.64	1.05	0.83	0.92	23	174.7	77.7	126.1	10	0.172	10	0.311
30	ハリギリ Harigiri Kalopanax pictum Nakai	Hokkaido	2	1.9	0.66	0.43	0.52	40	559	241	370	32	880	583	720	104.5	65.9	89.6	10	1576	941	1296	167.1	123.1	144.6	20	15.7	0.52	0.91	0.56	0.73	19	129.4	82.1	105.7	10	0.163	10	0.306
31	(セキ) Kiri Paulownia tomentosa Steudel	Tokyo	2	14.6	0.26	0.19	0.22	20	260	145	178	8	313	256	308	82.4	53.7	60.5	10	790	542	620	92.3	63.7	70.8	15	14.1	0.22	0.70	0.36	0.42	18	72.5	49.3	60.2	10	0.105	10	0.190
32	ミズナラ Mizunara Quercus crispula Blume	Hokkaido	2	0.8	0.73	0.52	0.65	38	638	338	486	20	1105	786	964	123.2	88.1	108.0	12	1692	1039	1463	218.8	154.0	187.5	15	15.2	0.65	1.04	0.80	0.92	19	148.0	105.3	126.3	10	0.186	10	0.349
33	ハルニレ Harunire Ulmus Davidiana Planchon Var. japonica Nakai	Hokkaido	2	1.3	0.58	0.42	0.49	40	439	226	331	28	936	619	787	115.6	83.9	95.3	12	1214	576	1087	132.0	182.1	120.5	20	14.4	0.49	1.10	0.31	0.66	19	127.3	58.2	89.3	10	0.182	10	0.365
34	ケヤキ Keyaki Zelkova serrata Makino	Nagano	2	2.6	0.81	0.57	0.61	28	709	457	559	40	1202	801	1034	143.5	109.6	125.0	10	1459	1100	1209	153.4	98.7	139.7	20	13.7	0.61	1.06	0.70	0.87	20	163.7	94.8	144.1	10	0.166	10	0.297
35	アカガシ Akagasi Cyclobalanopsis acuta Oersted	Kumamoto	2	1.8	0.99	0.93	0.97	37	861	728	790	30	1590	1085	1365	198.6	110.6	143.0	12	2263	1476	1780	227.9	144.9	192.8	20	12.3	0.96	2.16	1.35	1.72	20	283.7	226.0	258.1	10	0.205	10	0.413
36	スダジイ Sudazii Castanopsis cuspidata Var. Sieboldi (Makino) Nakai	Kumamoto	2	2.5	0.58	0.51	0.54	49	490	380	455	28	887	588	775	108.0	78.5	90.9	10	1253	903	1082	147.4	107.6	115.7	14	14.6	0.54	0.99	0.61	0.79	18	146.9	89.6	115.3	10	0.210	10	0.403

衝撃曲げ試験を除く強度試験の成績はすべて次の換算方法による標準含水率 (15%) に対する数値をもつて表わすこととする。

比重の換算は次式⁽³⁶⁾による。

$$\gamma_{15} = \gamma_u - 0.0037(u - 15) \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 u = 測定時の含水率 γ_{15} = 標準含水率 (15%) の比重 γ_u = 測定時の比重

強度の換算⁽³¹⁾は圧縮強度および曲げ破壊係数試験時の含水率が標準含水率 15% に比し 1% の増減に対し強度を 5% 減増し、剪断強度はおよび引張ヤング係数は 1% の増減に対し強度およびヤング係数を 3% 減増し、曲げヤング係数は 1% の増減に対し 2% 減増し、さらに引張強度は 1% の増減に対し 1% 減増した。なお、衝撃曲げ強度は含水率の増減による補正を行うことなく試験時の含水率を併記した。

2. 材質試験結果

1. 強度試験

試験の結果は第2表および第3表のとおりにして、各強度は従来発表された結果より相当大なる値を示しているが、これは供試材の選定、試験片の製作にあたって注意を払い、瑕瑾を含まない材片を厳選して試験を行つた結果であつて成績の数値はほぼ樹種固有の性質と見做すことができるものと思われる。

この成績より比重と強度との関係を図示すれば第1, 2, 3, 4, 5, 6図および第7図のとおりであつて、その関係がほぼ直線または指数曲線と見做しうるため最小自乗法により強度と比重の関係を求めれば次のとおりである。

(a) 圧縮強度 σ_c と比重 γ_{15} との関係 $\sigma_c = 844.5\gamma_{15} [\text{kg/cm}^2] \dots \dots \dots (3)$

(b) 曲げ破壊係数 σ_B と比重 γ_{15} との関係 $\sigma_B = 1,600\gamma_{15}^{1.21} [\text{kg/cm}^2] \dots \dots \dots (4)$

(c) 曲げヤング係数 E_B と比重 γ_{15} との関係 $E_B = 177,000\gamma_{15} [\text{kg/cm}^2] \dots \dots \dots (5)$

(d) 引張強度 σ_T と比重 γ_{15} との関係 $\sigma_T = 1,890\gamma_{15} [\text{kg/cm}^2] \dots \dots \dots (6)$

(e) 引張ヤング係数 E_T と比重 γ_{15} との関係 $E_T = 248,000\gamma_{15} [\text{kg/cm}^2] \dots \dots \dots (7)$

(f) 衝撃曲げ強度 σ_I と比重 $\gamma_{air\ dry}$ との関係 $\sigma_I = 1.9\gamma_{air\ dry}^{1.23} [\text{kgM/cm}^2] \dots \dots \dots (8)$

(g) 剪断強度 σ_s と比重 γ_{15} との関係 $\sigma_s = 244\gamma_{15} [\text{kg/cm}^2] \dots \dots \dots (9)$

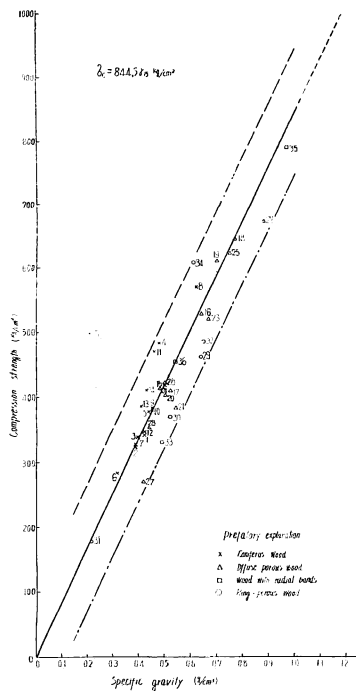
2. 収縮試験

柾目および板目方向の含水率 1% の変化に対する平均収縮率の測定結果は第2表および第3表に示し、本邦産材各樹種の収縮率と比重の関係は第8図および第9図に示すようにかなりの分散は見られるが、大体の傾向として収縮率は比重と正比例的関係にあることが認められ、次の実験式で表示される。すなわち、

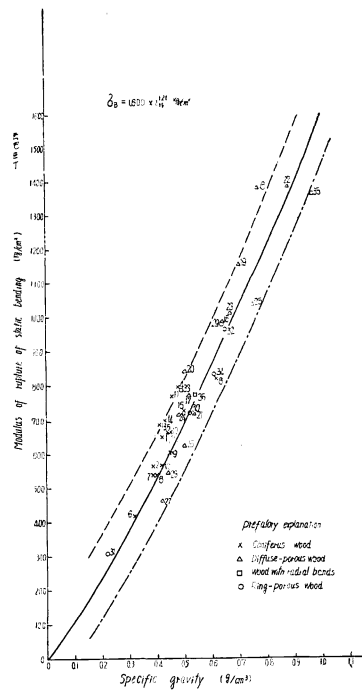
板目面における含水率 1% の変化に対する収縮率 $\alpha_T = 0.53\gamma_{15} [\%] \dots \dots \dots (10)$

柾目面における含水率 1% の変化に対する収縮率 $\alpha_R = 0.30\gamma_{15} [\%] \dots \dots \dots (11)$

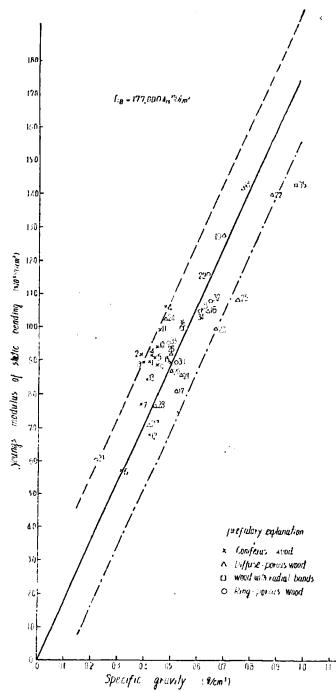
上式より $\alpha_T/\alpha_R = 0.53/0.30 = 1.77$ であり全樹種を通じて、一般に云われているように板



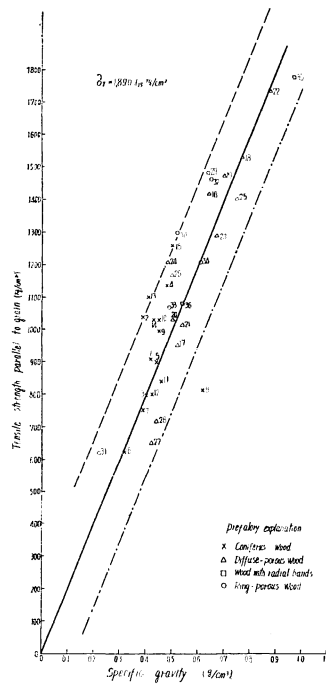
第 1 図 圧縮強度 σ_c と比重 γ_{15} との関係
Fig. 1 Compression strength σ_c —
Specific gravity γ_{15}



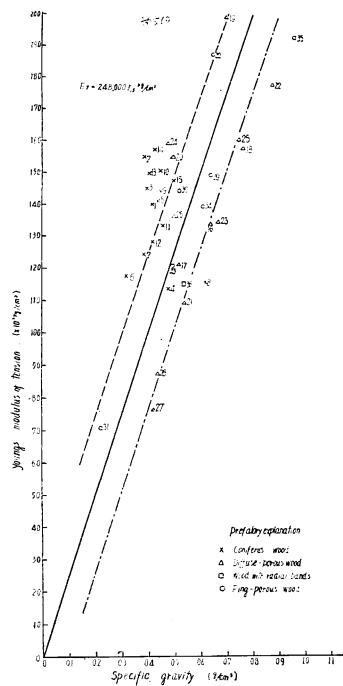
第 2 図 曲げ破壊係数 σ_B と比重 γ_{15} との関係
Fig. 2 Modulus of rupture of static bending
 σ_B —Specific gravity γ_{15}



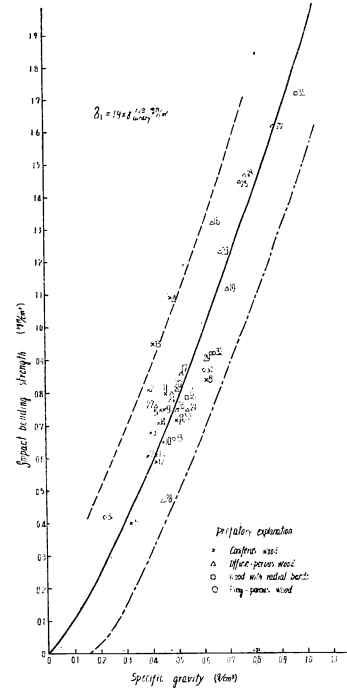
第 3 図 曲げヤング係数 E_B と比重 γ_{15} との関係
Fig. 3 Young's modulus of static bending
 E_B —Specific gravity γ_{15}



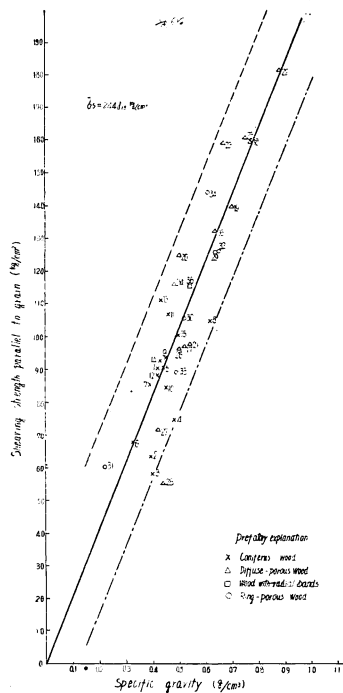
第 4 図 引張強度 σ_T と比重 γ_{15} との関係
Fig. 4 Tensile strength σ_T —Specific
gravity γ_{15}



第5図 引張ヤング係数 E_T と比重 γ_{15} との関係
Fig. 5 Young's modulus of tension E_T —
Specific gravity γ_{15}



第6図 衝撃曲げ強度 σ_I と比重 $\gamma_{air\ dry}$ との関係
Fig. 6 Impact bending strength σ_I —
Specific gravity $\gamma_{air\ dry}$



第7図 剪断強度 σ_S と比重 γ_{15} との関係
Fig. 7 Shearing strength σ_S —
Specific gravity γ_{15}

目収縮率は柁目のその約 1.77 倍 (大約 2 倍) である。

また Newline および Wilson⁽²⁶⁾ による米国産材数十種類の同様の実験によれば

$$\alpha_T = 17\gamma' \dots\dots\dots(12)$$

$$\alpha_R = 9.5\gamma' \dots\dots\dots(13)$$

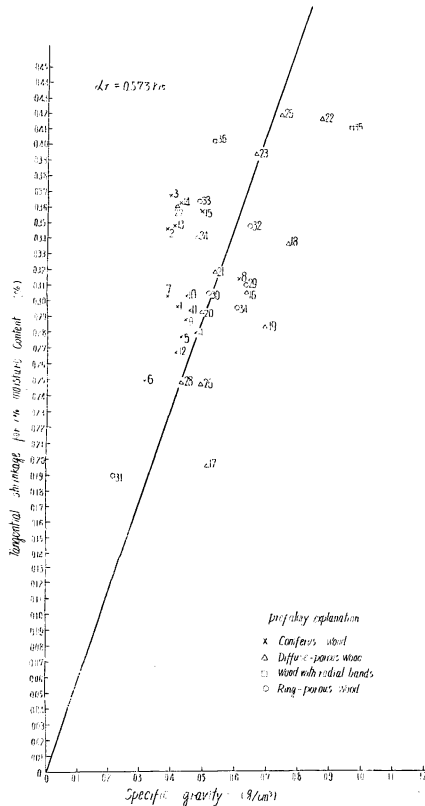
の実験式をえている。ただし、この場合比重は絶乾時重量に対する 気乾時重量 (含水率 15%) の比で表示してあり、また収縮率は繊維飽和点 (28%) より絶乾時に至る値であるため、本実験と比較するため、同一条件に換算すると次のようである。

含水率の定義により 15% と絶乾時の重量は

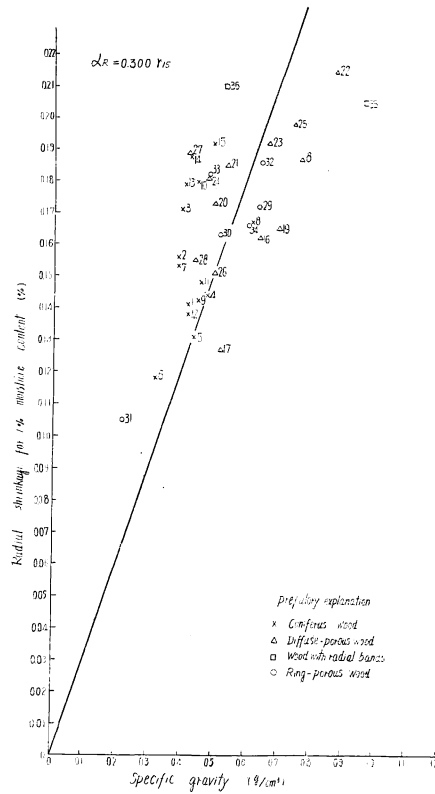
$$g_{15} = 1.15g_0$$

の関係があり、また

$$\gamma' = \frac{g_0}{v_{15}} = \frac{g_{15}}{1.15v_{15}} = 0.87\gamma_{15} \dots\dots(14)$$



第 8 図 板目面における含水率 1% の変化に対する収縮率 α_T と比重 γ_{15} との関係
Fig. 8 Tangential shrinkage for 1% moisture content α_T —Specific gravity γ_{15}



第 9 図 柁目面における含水率 1% の変化に対する収縮率 α_R と比重 γ_{15} との関係
Fig. 9 Radial shrinkage for 1% moisture content α_R —Specific gravity γ_{15}

の関係があるなら (12) 式を (13) 式に代入し、かつ含水率 1% に対する収縮率とするために 28 (%) で割ると

$$\alpha_T = 17 \times 0.87 \times \frac{\gamma_{15}}{28} = 0.528 \gamma_{15} \dots \dots \dots (15)$$

$$\alpha_R = 9.8 \times 0.87 \times \frac{\gamma_{15}}{28} = 0.295 \gamma_{15} \dots \dots \dots (16)$$

この結果によれば米国産材における結果は本実験の結果における本邦産材の実験と全く一致した結果がえられ、樹種、産地を問わず木材の収縮率は大体の傾向として比重に正比例すると云いうる。

3. 品質指標

フランスの M. Monnin⁽²³⁾ および渡辺治人⁽²³⁾ は軽量構造、特に航空機用木材の強度に関する品質を判定するため木材の強度に関する品質指標を提案し、これには静力学的品質指標 (Statics index of quality) と動力学的品質指標 (Kinetecs index of quality) の 2 種があり、前者によつて静力学的応力を受ける部材、後者によつて動力学的応力を受ける軽量構造用

第4表 木材の強度的性能に関する品質指標

Table 4. The index of quality relative to the strength of wood

樹 種 Kind of wood	静 的 指 標 Statics index of quality				動的指標 Kinetics index of quality $I_1 = \frac{\sigma_f}{\gamma^2}$ dry	品 質 Quality
	Light (<0.4)	Few hard (0.4~0.7)	Hard (0.7~1.0)	Very hard (>1.0)		
針葉樹材 Coniferus wood	<8 8~9.5 >9.5	<7 7~8.5 >8.5	<6 6~7.5 >7.5	— — —	Bad Medium Excellent	Bad Medium Excellent
広葉樹材 Dicotyledonous wood	<7 7~8 >8	<6 6~7 >7	<6 6~7 >7	<7 7~8 >8	Bad Medium Excellent	Bad Medium Excellent

木材の品質を判定するのである。

私は M. Monnin および渡辺治人の研究を参考として最近再び問題となつてゐる航空機、車輛その他軽量構造に対しては、静力学的指標と動力学的指標とを第4表のごとく提案することが妥当ではないかと思われる。

第4表の木材の強度的性能に関する品質指標により第5表および第6表の動力学的および静力学的品質指標の数値は次のごとく区分される。

(1) 静力学的および動力学的品質指標 (Statics and kinetics index of quality) ..優

針葉樹材 ヒノキ Hinoki, エゾマツ Ezomatu, (タイワンヒノキ Taiwan-hinoki),
アカマツ Akamatu, クロマツ Kuromatu, ヒバ Hiba.

広葉樹材 なし

(2) 静力学的品質指標 (Statics index of quality)優

動力学的品質指標 (Kinetics index of quality)普通

針葉樹材 シラベ Sirabe, カラマツ Karamatu

広葉樹材 マカバ Makaba, ミズメ Mizume, トチノキ Totinoki, カツラ Katura,
クスノキ Kusunoki, ブナ Buna, オニグルミ Onigurumi, タブ Tabu,
ホホノキ Hohonoki, シナノキ Sinanoki, ヤチダモ Yatidamo, ハリギリ
Harigiri, ミズナラ Mizunara, ケヤキ Keyaki, スタジイ Sudazii.

(3) 静力学的品質指標 (Statics index of quality)普通

動力学的品質指標 (Kinetics index of quality)優

針葉樹材 モミ Momi, トドマツ Todomatu, サワラ Sawara, スギ Sugi

広葉樹材 ドロノキ Doronoki, キリ Kiri.

(4) 静力学的および動力学的品質指標 (Statics and kinetics index of quality) ..普通

針葉樹材 ヒメコマツ Himekomatu, ツガ Tuga, トウヒ Tōhi.

広葉樹材 イタヤカエデ Itayakaede, イスノキ Isunoki, ハルニレ Harunire.

第 5 表 針葉樹材の品質の静的および動的指標ならびに曲げ比強度，引張比強度および剪断比強度
Table 5. Statics and kinetics index of quality, quality quotient of σ_B , σ_T and σ_S of coniferous wood

樹種番号 Species No.	樹種 (和名および学名) Species (Botanical and common name)	品質の静的指標 Statics index of quality			品質の動的指標 Kinetic index of quality				曲げ比強度 Quality quotient of σ_B		引張比強度 Quality quotient of σ_T		剪断比強度 Quality quotient of σ_S	
		100 γ_{15}	σ_c	$\sigma_c/100\gamma_{15}$	γ_{airdry}	γ_{airdry}^2	σ_I	σ_I/γ_{airdry}	σ_B	$\sigma_B/100\gamma_{15}$	σ_T	$\sigma_T/100\gamma_{15}$	σ_S	$\sigma_S/100\gamma_{15}$
1	モミ Momi <i>Abies firma</i> Sieb. et Zucc.	42	342	8.14	0.42	0.176	0.61	3.74	650	15.4	910	21.7	90.1	2.15
2	トドマツ Todomatu <i>Abies sachalinensis</i> Fr. Schmidt	39	324	8.31	0.33	0.144	0.81	5.63	562	14.4	1043	26.7	64.2	1.65
3	シラベ Sirabe <i>Abies Veitchii</i> Lindley	40	339	8.47	0.39	0.152	0.68	4.47	539	13.5	798	20.0	58.3	1.46
4	タイワンヒノキ Taiwan-hinoki <i>Chamaecyparis formosensis</i> Matsum	43	483	10.06	0.48	0.230	1.09	4.73	798	16.6	1138	23.7	74.5	1.55
5	ヒノキ Hinoki <i>Chamaecyparis obtusa</i> Endlicher	44	378	8.60	0.44	0.194	0.75	3.87	663	15.1	900	20.5	90.4	2.05
6	サワラ Sawara <i>Chamaecyparis pisifera</i> Endlicher	32	283	8.84	0.32	0.102	0.40	3.92	418	13.1	625	19.5	68.2	2.13
7	スギ Sugi <i>Cryptomeria japonica</i> D. Don	39	349	8.95	0.38	0.144	0.61	4.24	541	13.9	756	19.4	85.4	2.19
8	カラマツ Karamatu <i>Larix Kaempferi</i> Sargent	62	570	9.19	0.61	0.372	0.84	2.26	823	13.3	812	13.1	104.3	1.68
9	エゾマツ Ezomatu <i>Picea jezoensis</i> Carriere	45	383	8.52	0.45	0.203	0.75	3.69	602	13.4	997	22.2	93.3	2.07
10	トウヒ Tôhi <i>Picea jezoensis</i> Carriere var. <i>hondoensis</i> Rehder	45	381	8.47	0.45	0.203	0.65	3.20	665	14.8	1030	22.9	84.3	1.87
11	アカマツ Akamatu <i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc.	46	470	10.21	0.46	0.212	0.80	3.77	770	16.7	841	18.3	106.5	2.31
12	ヒメコマツ Himekomatu <i>Pinus pentaphylla</i> Mayr	42	347	8.26	0.42	0.176	0.59	3.35	566	13.5	801	19.1	88.0	2.10
13	クロマツ Kuromatu <i>Pinus Thunbergii</i> Parlatore	41	396	9.41	0.41	0.168	0.95	5.65	690	16.8	1101	26.9	110.8	2.70
14	ヒバ Hiba (Asunaro) <i>Thujopsis dolabrata</i> Sieb. et Zucc.	43	410	9.53	0.43	0.185	0.71	3.84	699	16.3	1030	24.0	92.4	2.15
15	ツガ Tuga <i>Tsuga Sieboldii</i> Carriere	50	419	8.38	0.50	0.250	0.72	2.88	724	14.5	1260	25.2	100.3	2.00

第 6 表 広葉樹材の品質の静的および動的指標ならびに曲げ比強度、引張比強度および剪断比強度

Table 6. Statics and kinetics index of quality specific strength of dicotyledonous wood

樹種番号 Species No.	樹種 (和名及び学名) Species (Botanical and common name)	品質の静的指標 Statics index of quality			品質の動的指標 Kinetic index of quality				曲げ比強度 Quality quotient of σ_B		引張比強度 Quality quotient of σ_T		剪断比強度 Quality quotient of σ_S	
		$100\gamma_{15}$	σ_c	$\sigma_c/100\gamma_{15}$	γ_{airdry}	γ_{airdry}^2	σ_f	σ_f/γ_{airdry}	σ_B	$\sigma_B/100\gamma_{15}$	σ_T	$\sigma_T/100\gamma_{15}$	σ_S	$\sigma_S/100\gamma_{15}$
16	イタヤカエデ Itayakaede Acer mon Maximowicz	64	523	8.25	0.63	0.397	1.32	3.33	986	15.4	1416	22.1	132.0	2.06
17	トチノキ Totino'ki Aesculus turbinata Blume	52	410	7.88	0.51	0.260	0.86	3.31	767	14.8	951	18.3	96.9	1.86
18	ミズメ Mizume Betula grossa Sieb. et Zucc.	77	646	8.39	0.77	0.593	1.47	2.48	1381	17.9	1530	19.9	159.0	2.06
19	マカバ Makaba Betula Maximowicziana Regel	70	611	8.73	0.70	0.490	1.12	2.29	1158	16.6	1475	21.1	139.6	2.00
20	カツラ Katura Cercidiphyllum japonicum Sieb. et Zucc.	50	403	8.06	0.49	0.240	0.81	3.38	844	16.9	1033	20.7	124.6	2.49
21	クスノキ Kusunoki Cinnamomum Camphora N. et E.	54	384	7.11	0.54	0.292	0.75	2.57	716	13.3	1017	18.8	97.6	1.81
22	イスノキ Isunoki Destylium rocemosum Sicd. et Zucc.	88	673	7.65	0.88	0.774	1.62	2.09	1386	15.8	1737	19.7	181.3	2.06
23	ブナ Buna Fagus crenata Blume	67	521	7.78	0.67	0.449	1.23	2.74	1014	15.1	1288	19.2	158.8	2.37
24	オニグルミ Onigurumi Juglans Allardiana Done var. acuta Koidzumi	48	414	8.63	0.48	0.230	0.80	3.48	717	14.9	1210	25.2	115.6	2.41
25	タブ Tabu Machilus Thunbergii Sieb. et Zucc.	75	623	8.31	0.75	0.563	1.45	2.58	1040	13.9	1403	18.7	160.2	2.14
26	ホホノキ Hohonoki Magnolia obovata Thumberg	50	422	8.44	0.50	0.250	0.75	3.00	624	12.5	1167	23.3	96.0	1.92
27	ドロノキ Doronoki Populus suaveolens Fischer	42	270	6.43	0.42	0.176	0.76	4.32	465	11.1	653	15.5	71.6	1.70
28	シナノキ Sinanoki Tilia japonica Simonkai	44	353	8.02	0.43	0.185	0.47	2.54	548	12.5	720	16.4	55.6	1.26
29	ヤチダモ Yatidamo Fraxinus mandshurica Ruprecht	64	462	7.22	0.64	0.410	0.92	2.24	980	15.3	1482	23.2	126.1	1.97
30	ハリギリ Harigiri Kalopanax pictum Nakai	52	370	7.12	0.52	0.270	0.73	2.70	720	13.8	1296	24.9	105.7	2.03
31	キリ Kiri Paulownia tomentosa Steudel	22	178	8.09	0.22	0.048	0.42	8.75	308	14.0	620	28.2	60.2	2.74
32	ミズナラ Mizunara Quercus crispula Blume	65	486	7.48	0.65	0.423	0.92	2.17	964	14.8	1463	22.5	126.3	1.94
33	ハルニレ Harunire Ulmus Davidiana planchon var. japonica Nakai	49	331	6.76	0.49	0.240	0.66	2.75	787	16.1	1087	22.2	89.3	1.82
34	ケヤキ Keyaki Zelkova serrata Makino	61	559	9.16	0.61	0.372	0.87	2.34	1034	17.0	1209	19.8	144.1	2.36
35	アカガシ Akagasi Cyclobalanopsis acuta Oersted	97	790	8.14	0.96	0.922	1.72	1.87	1365	14.1	1780	18.4	258.1	2.66
36	スダジイ Sudazii Castanopsis cuspidata var. Sieboldi Nakai	54	455	8.43	0.54	0.292	0.79	2.71	775	14.4	1082	20.0	115.3	2.14

材質改良の基礎としての木材の材質について (細間)

- (5) 静力学的品質指標 (Statics index of quality) 普通
 動力学的品質指標 (Kinetics index of quality) 不良
 広葉樹材 アカガシ Akagasi

Ⅲ 本邦産主要樹種の解剖的性質

圧縮強度を求めた各樹種の試験片から常法により Schulze's maceration して針葉樹材の仮導管の長さ、広葉樹材の木繊維の長さおよび導管の長さを測定し、また木口、板目および柾目のプレパラートを作製して次の項目を測定した。

なお各測定箇数は 500 を標準とした。

- (1) 木口面 (a) 仮導管の直径, (b) 仮導管の細胞膜の厚さ, (c) 木繊維の直径,
 (d) 木繊維の細胞膜の厚さ, (e) 導管の直径, (f) 導管の密度
 (2) 柾目面 (a) 髓線の長さ
 (3) 板目面 (a) 髓線の直径, (b) 髓線の細胞高

測定結果は第 7, 8, 9, 10 および 11 表にして細胞膜の厚さ (針葉樹材は仮導管, 広葉樹材は木繊維) と圧縮強度および剪断強度との関係は第 12 表, 第 13 表および第 10 図, 第 11 図のとおりである。

Ⅳ ブナ材の異方性

繊維方向を変えて接着する方法, 注入或いは圧縮等により木材の異方性 (Anisotropic properties) を改良する方法があるが, それに先立つて木材, 特に資源の豊富であり, かつ散孔材であるブナ材の異方性を研究した。

1. 試験方法

第 1 表に記載した産地より Ⅱ 章の 2 記載の試験材と別の材料より板目材を木取り, 繊維走向度を 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° および 90° の試験片を作製して, Ⅱ 章と同じ方法により試験を行った。

2. 異方性の試験結果

その試験結果は第 14 表のとおりにして, 比重, 圧縮強度, 曲げ破壊係数, 引張強度および剪断強度はいずれも含水率 15% の場合にして, 換算率は Ⅱ 章のとおりである。

なお, 衝撃曲げ強度のみは気乾の値を示した。

繊維走向度と強度との間には Hankinson の式

$$\sigma_{\gamma} = \frac{\sigma_{\parallel} \sigma_{\perp}}{\sigma_{\parallel} \sin^2 \gamma + \sigma_{\perp} \cos^2 \gamma}$$

がほぼあてはまり, その結果は第 15, 16, 17, 18 図および第 19 図に示すとおりである。

第7表 針葉樹材の仮導管の性質

Table 7. The nature of tracheid of coniferous wood

樹種番号 Species No.	樹種 (和名および学名) Species (Botanical and common name)	仮導管の直径 Diameter of tracheid (μ)										長さ Length (μ)	細胞膜の厚さ Thickness of cell wall (μ)									
		径目 Radial					板目 Tangential						春材 Spring wood			秋材 Summer wood						
		平均最大最小			平均最大最小			平均最大最小			平均最大最小			平均最大最小			平均最大最小					
		mean	max.	min.	mean	max.	min.	mean	max.	min.	mean	max.	min.	mean	max.	min.	mean	max.	min.	mean	max.	min.
1	モミ Momi <i>Abies firma</i> Sieb. et Zucc.	59	78	41	20	41	9	43	55	32	37	46	23	4042	5312	1660	2.5	3.1	1.9	6.3	8.1	3.1
2	トドマツ Todomatu <i>Abies sachalinensis</i> Fr Schmidt	38	51	28	15	28	7	35	46	23	31	41	18	3594	4731	2822	1.8	2.5	1.3	4.5	5.6	3.1
3	シラベ Sirabe <i>Abies Veitchii</i> Lindley	43	51	32	22	37	9	32	46	14	25	32	14	3450	4316	2075	2.7	3.1	1.9	5.3	6.3	4.4
4	タイワンヒノキ Taiwanhinoki <i>Chamaecyparis formosensis</i> Matsumura	41	51	32	20	23	14	30	41	13	25	32	18	3362	4482	1909	2.8	3.1	1.9	5.0	5.6	4.4
5	ヒノキ Hinoki <i>Chamaecyparis obtusa</i> Endlicher	41	55	32	17	32	7	38	55	14	35	46	14	3403	3901	2983	2.3	2.5	1.9	3.7	4.4	2.5
6	サワラ Sawara <i>Chamaecyparis pisifera</i> Endlicher	79	115	46	32	51	18	74	101	51	76	92	60	3237	3984	2739	2.0	2.5	1.3	4.7	6.3	3.1
7	スギ Sugi <i>Cryptomeria japonica</i> D. Don.	44	60	23	18	23	14	41	55	23	36	45	14	4192	4980	3496	2.2	2.5	1.9	6.1	8.1	4.4
8	カラマツ Karamatu <i>Larix Kaempferi</i> Sargent	74	85	60	28	50	13	36	50	20	23	50	15	2971	4150	2075	2.5	3.1	1.9	8.7	9.4	8.1
9	エゾマツ Ezomatu <i>Picea jezoensis</i> Carriere	42	55	32	17	28	7	33	46	18	26	41	12	3577	4399	2490	2.3	3.1	1.9	3.8	4.4	3.1
10	トウヒ Tōhi <i>Picea jezoensis</i> Carriere var. hondoensis Rehder	40	55	23	17	30	5	36	46	23	32	46	18	3768	4731	2241	2.3	3.1	1.9	3.5	5.0	2.5
11	アカマツ Akamatsu <i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc.	52	69	37	21	32	9	38	55	14	35	46	14	3196	4980	1162	2.5	3.8	1.9	5.9	7.5	4.4
12	ヒメコマツ Himekomatu <i>Pinus pentaphylla</i> Mayr	41	46	37	18	28	9	35	46	28	34	46	18	3612	3652	2075	3.4	6.3	1.3	5.0	6.3	3.1
13	クロマツ Kuromatu <i>Pinus Thunbergii</i> Parlatore	52	74	46	20	28	14	30	37	23	23	37	23	3345	4150	2656	3.0	3.5	1.9	4.4	5.6	3.1
14	ヒバ(アスナロ)Hiba (Asunaro) <i>Thujopsis dolabrata</i> Sieb. et Zucc.	94	129	64	38	60	23	78	106	51	66	106	37	4582	3818	1743	2.4	3.1	1.9	4.3	5.6	3.1
15	ツガ Tuga <i>Tsuga Sieboldii</i> Carriere	35	46	28	17	28	9	26	37	14	24	32	9	3076	3735	2075	1.9	2.5	1.3	4.0	6.3	2.5

材質改良の基礎としての木材の材質について (堀岡)

第 8 表 針 葉 樹 材 の 髓 線

Table 8. Wood ray of coniferous wood

樹種番号 Species No.	樹種 (和名および学名) Species (Botanical and common name)	髓 線 の 直 径 Diameter of wood ray (μ)						髓線の長さ Length of wood ray (μ)			髓線の細胞高 Height of wood ray		
		水平方向 Horizontal			垂直方向 Vertical								
		平均 Mean	最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	最大 Max.	最小 Min.
1	モ ミ Momi <i>Abies firma</i> Sieb. et Zucc.	16	17	14	19	22	17	292	245	239	12	22	1
2	ト ド マ ツ Todomatu <i>Abies sachalinensis</i> Fr. Schmidt	10	12	7	18	22	15	274	414	161	15	26	2
3	シ ラ ベ Sirabe <i>Abies Veitchii</i> Lindley	10	12	9	17	19	15	276	437	106	10	22	1
4	タイワンヒノキ Taiwanhinoki <i>Chamaecyparis formosensis</i> Matsumura	13	17	9	21	29	15	287	598	147	9	20	1
5	ヒ ノ キ Hinoki <i>Chamaecyparis obtusa</i> Endlicher	13	17	10	17	19	14	229	276	161	9	17	1
6	サ ワ ラ Sawara <i>Chamaecyparis pisifera</i> Endlicher	11	15	7	17	22	14	219	285	166	6	10	1
7	ス ギ Sugi <i>Cryptomeria japonica</i> D. Don.	3	15	10	18	22	14	222	313	147	10	26	1
8	カ ラ マ ツ Karamatu <i>Larix Kaempferi</i> Sargent	10	15	7	23	27	19	208	276	175	10	19	1
9	エ ズ マ ツ Ezomatu <i>Picea jezoensis</i> Carriere	12	17	9	16	19	10	389	529	276	17	37	2
10	ト ウ ヒ Tōhi <i>Picea jezoensis</i> Carriere var. <i>hondoensis</i> Rehder Tatewaki	12	17	9	17	20	15	314	561	184	14	33	1
11	ア カ マ ツ Akamatu <i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc.	9	14	7	20	27	17	171	202	110	8	17	1
12	ヒ メ コ マ ツ Himekomatu <i>Pinus pentaphylla</i> Mayr	14	17	9	22	29	15	228	299	184	10	22	2
13	ク ロ マ ツ Kuromatu <i>Pinus Thunbergii</i> Parlatore	15	17	14	19	20	17	176	266	116	8	17	4
14	ヒ バ Hiba <i>Thujopsis dolabrata</i> Sieb. et Zucc.	12	14	9	18	22	15	150	221	92	7	16	1
15	ツ ガ Tuga <i>Tsuga Sieboldii</i> Carriere	12	17	10	19	20	17	248	331	184	9	18	1

第 9 表 広 葉 樹 材 の 木 繊 維

Table 9. Wood fiber of dictyledonous wood

樹種番号 Species No.	樹種 (和名および学名) Species (Botanical and common name)	木繊維の直径 Diameter of wood fiber (μ)			木繊維の長さ Length of wood fiber (μ)			細胞膜の厚さ Thickness of cell wall (μ)					
								春 材 Spring wood			秋 材 Summer wood		
		平均 Mean	最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	最大 Max.	最小 Min.
16	イタヤカエデ Itaya'kaede Acer mono Maximowicz	18	25	13	933	1129	1180	2.2	2.5	1.9	—	—	—
17	トチノキ Totinoki Aesculus turbinata Blume	21	25	18	984	1179	764	2.8	3.1	2.5	—	—	—
18	ミズメ Mizume Betula grossa Sieb. et Zucc.	25	34	19	1751	1909	1577	4.5	6.3	3.8	5.2	6.2	4.4
19	マカバ Makaba Betula Maximowicziana Regel	18	25	13	1615	1992	1162	3.0	3.1	2.5	—	—	—
20	カツラ Katura Cercidiphyllum japonicum Sieb. et Zucc.	23	26	20	1786	2158	1328	4.9	6.8	3.4	—	—	—
21	クスノキ Kusunoki Cinnamomum Camphora N. et E.	22	33	13	1065	1262	747	1.3	1.9	0.9	3.1	3.8	2.5
22	イスノキ Isunoki Destylium rocmosum Sieb. et Zucc.	20	23	13	1393	1577	1029	5.3	6.3	3.8	—	—	—
23	ブナ Buna Fagus crenata Blume	19	23	14	1248	1494	1029	4.1	5.0	3.1	4.6	5.0	3.8
24	オニグルミ Onigurumi Juglans Allardiana Done	26	33	18	1077	1494	764	1.8	2.5	1.3	—	—	—
25	Var. acuta Koiozumi	22	28	15	1386	1610	1162	2.2	2.5	1.9	2.8	3.1	2.5
26	タブ Tabu Machilus Thunbergii Sieb. et Zucc.	30	40	19	1590	1909	1361	2.8	3.8	1.9	—	—	—
27	ホホノキ Hohonoki Magnolia obovata Thunberg	24	37	12	1140	1394	913	1.3	2.5	1.9	3.3	3.8	2.5
28	ドロノキ Doronoki Populus suaveolens Fischer	21	25	15	1233	1594	913	1.2	1.3	0.9	—	—	—
29	シナノキ Sinanoki Tilia japonica Simonkai	22	31	15	1217	1511	863	1.8	2.5	1.3	2.9	3.1	2.5
30	ヤチダモ Yatidamo Fraxinus mandshurica Ruprecht	20	24	16	996	1245	764	2.5	3.1	1.9	—	—	—
31	ハリギリ Harigiri Kalopanax pictum Nakai	14	15	13	1160	1411	664	3.2	3.8	2.5	—	—	—
32	キリ Kiri Paulownia tomentosa Steudel	15	17	12	1041	1328	697	4.0	5.0	3.1	—	—	—
33	ミズナラ Mizunara Quercus crispula Blume	15	17	14	1476	1992	996	3.8	4.4	3.1	—	—	—
34	ハルニレ Harunire Ulmus Davidiana Planchon	19	25	14	1308	1660	1029	3.2	3.8	2.5	—	—	—
35	Var. japonica Nakai	19	28	15	1283	1660	813	3.0	3.1	2.5	3.5	3.8	3.1
36	Keyaki Zelkova serrata Makino												
37	アカガシ Akagasi Cyclobalanopsis acuta Oersted												
38	スダジイ Sudazii Castanopsis cuspidata												
39	Var. Sieboldi Nakai												

材質改良の基礎としての木材の材質について (堀岡)

第 11 表 広葉樹材の髄線
Table 11. Wood-ray of dicotyledonous wood

樹種番号 Species No.	樹種 (和名および学名) Species (Botanical and common name)	髄線の細胞高 Height of wood-ray			髄線の細胞列 Rank of wood-ray		
		平均 Mean	最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean	最大 Max.	最小 Min.
16	イタヤカエデ Itayakaede <i>Acer mono</i> Maximowicz	13	31	4	3	6	1
17	トチノキ Totinoki <i>Aesculus turbinata</i> Blume	8	11	4	—	—	—
18	ミズメ Mizume <i>Betula grossa</i> Sieb. et Zucc.	11	20	2	—	—	—
19	マカバ Makaba <i>Betula Maximowicziana</i> Regel	13	29	1	3	4	3
20	カツラ Katura <i>Cercidiphyllum japonicum</i> Sieb. et Zucc.	14	45	2	—	—	—
21	クスノキ Kusunoki <i>Cinnamomum Camphora</i> N. et E.	7	10	4	—	—	—
22	イスノキ Isunoki <i>Destylium rocemosum</i> Sieb. et Zucc.	10	16	2	—	—	—
23	ブナ Buna <i>Fagus crenata</i> Blume	37	113	3	20	26	15
24	オニグルミ Onigurumi <i>Juglans Allardiana</i> Done	12	29	2	2	5	1
25	タブ Tabu <i>Machilus Thunbergii</i> Sieb. et Zucc.	12	26	2	—	—	—
26	ホホノキ Hohonoki <i>Magnolia oborata</i> Thunberg	19	45	5	—	—	—
27	ドロノキ Doronoki <i>Populus suaveolens</i> Fischer	12	17	5	—	—	—
28	シナノキ Sinanoki <i>Tilia japonica</i> Simonkai	22	49	4	3	4	1
29	ヤチダモ Yatidamo <i>Fraxinus mandshurica</i> Ruprecht	9	15	2	2	4	1
30	ハリギリ Harigiri <i>Kalopanax pictum</i> Nakai	20	29	8	4	5	2
31	キリ Kiri <i>Paulownia tomentosa</i> Steudel						
32	ミズナラ Mizunara <i>Quercus crispula</i> Blume	13	39	3	14	17	11
33	ハルニレ Harunire <i>Ulmus Davidiana</i> Planchon	24	56	9	—	—	—
34	ケヤキ Keyaki <i>Zelkova serrata</i> Makino	18	28	2	6	7	5
35	アカガシ Akagasi <i>Cyclobalanopsis acuta</i> Oersted	10	23	3	29	40	20
36	スダジイ Sudazii <i>Castanopsis cuspidata</i> Sieboldi Nakai	10	20	1	—	—	—

第 12 表 針葉樹材の細胞膜の厚さと圧縮強度および剪断強度との関係
Table 12. Thickness of cell-wall compression and shear strength relation of coniferous wood

樹種番号 Species No.	樹種 (和名および学名) Species (Botanical and common name)	細胞膜の厚さ Thickness of cell-wall (Coniferous wood, tracheid of spring wood)	圧縮強度 Compression- strength	剪断強度 Shear- strength
		μ	kg/cm ²	kg/cm ²
1	モミ Momi <i>Abies firma</i> Sieb. et Zucc.	2.5	342	90.1
2	トドマツ Todomatu <i>Abies sachalinensis</i> Fr. Schmidt	1.8	324	64.2
3	シラベ Sirabe <i>Abies Veitchii</i> Lindley	2.7	339	58.3
4	タイワンヒノキ Taiwanhinoki <i>Chamaecyparis formosensis</i> Matsumura	2.8	453	74.5
5	ヒノキ Hinoki <i>Chamaecyparis obtusa</i> Endlicher	2.3	378	90.4
6	サワラ Sawara <i>Chamaecyparis pisifera</i> Endlicher	2.0	283	68.2
7	スギ Sugi <i>Cryptomeria japonica</i> D. Don	2.2	349	85.4
8	カラマツ Karamatu <i>Larix Kaempferi</i> Sargent	2.5	570	104.3
9	エゾマツ Ezomatu <i>Picea jezoensis</i> Carriere	2.3	383	93.3
10	トウヒ Tôhi <i>Picea jezoensis</i> Carriere var. hondoensis Rehder Tatowaki	2.3	381	84.3
11	アカマツ Akamatu <i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc.	2.5	470	106.5
12	ヒメコマツ Himekomatu <i>Pinus pentaphylla</i> Mayr	3.4	347	88.0
13	クロマツ Kuromatu <i>Pinus Thunbergii</i> Parlatore	3.0	386	110.8
14	ヒバ Hiba <i>Thujaopsis dolabrata</i> Sieb. et Zucc.	2.4	410	92.4
15	ツガ Tuga <i>Tsuga Sieboldii</i> Carriere	1.9	419	100.3

第13表 広葉樹材の木繊維の細胞膜厚さと圧縮強度および剪断強度との関係

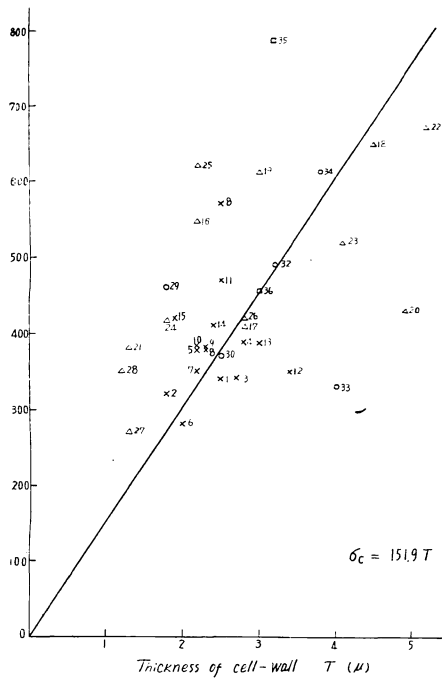
Table 13. Thickness of cell-wall compression and shear strength relation of dicotyledonous wood

樹種番号 Species No.	樹種 (和名および学名) Species (Botanical and common name)	細胞膜の厚さ Thickness of cell wall (Hard wood: wood fiber)	圧縮強度 Compression- strength	剪断強度 Shear- strength
		μ	kg/cm ²	kg/cm ²
16	イタヤカエデ Itayakaede Acer mono Maximowicz	2.2	528	132.0
17	トチノキ Totinoki Aesculus turbinata Blume	2.8	410	96.9
18	ミズメ Mizume Betula grossa Sieb. et Zucc.	4.5	646	159.0
19	マカバ Makaba Betula Maximowicziana Regel	3.0	611	139.6
20	カツラ Katura Cercidiphyllum japonicum Sieb. et Zucc.	4.9	403	124.6
21	クスノキ Kusunoki Cinnamomum Camphora N. et E.	1.3	384	97.6
22	イスノキ Isunoki Destylium rocemosum Sieb. et Zucc.	5.3	673	181.3
23	ブナ Buna Fagus crenata Blume	4.1	521	158.8
24	オニグルミ Onigurumi Juglans Allardiana Done	1.8	414	115.6
25	タブ Tabu Machilus Thunbergii Sieb. et Zucc.	2.2	623	160.2
26	ホホノキ Hohonoki Magnolia obovata Thunberg	2.8	422	96.0
27	ドロノキ Doronoki Populus suaveolens Fischer	1.3	270	71.6
28	シナノキ Sinanoki Tilia japonica Simonkai	1.2	353	55.6
29	ヤチダモ Yatidamo Fraxinus mandshurica Ruprecht	1.8	462	126.1
30	ハリギリ Harigiri Kalopanax pictum Nakai	2.5	370	105.7
31	キリ Kiri Paulownia tomentosa Steudel		178	60.2
32	ミズナラ Mizunara Quercus crispula Blume	3.2	486	126.3
33	ハルニレ Harunire Ulmus Davidiana Planchon	4.0	331	89.3
34	Var. japonica Nakai			
34	ケヤキ Keyaki Zelkova serrata Makino	3.8	559	144.1
35	アカガシ Akagasi Cyclobalanopsis acuta Oersted	3.2	790	258.1
36	スダジイ Sudazii Castanopsis cuspidata	3.0	455	115.3
	var. Sieboldi Nakai			

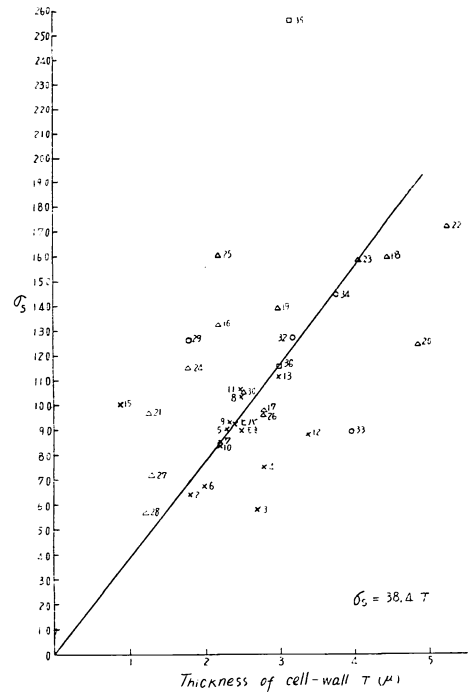
第14表 ブナ材の異方性

Table 14. Anisotropic properties of Buna wood (Fagus crenata Blume)

樹種 Species	繊維走向度 Angle of grain	試験筒数 Specimens tested	比重 Specific gravity			圧縮強度 Compression strength			曲げ破壊係数 Modulus of rupture of static bending		
			最大 max.	最小 min.	平均 mean	最大 max.	最小 min.	平均 mean	最大 max.	最小 min.	平均 mean
			g/cm ³			kg/cm ²			kg/cm ²		
ブナ Buna (Fagus crenata Blume)	0	8	0.666	0.628	0.644	518.1	462.9	498.6	1013.8	712.2	963.8
	15	8	0.667	0.625	0.651	475.8	382.8	450.7	813.1	515.3	670.1
	30	8	0.681	0.613	0.651	421.3	251.5	287.5	453.4	347.9	395.0
	45	8	0.693	0.613	0.642	200.2	141.7	164.3	334.4	236.4	285.1
	60	8	0.667	0.617	0.632	136.9	88.1	102.9	198.1	149.1	168.5
	75	8	0.661	0.636	0.649	90.3	81.7	85.9	136.5	118.5	129.5
	90	8	0.640	0.601	0.634	71.7	63.3	68.6	112.1	90.8	101.8
樹種 Species	繊維走向度 Angle of grain	試験筒数 Specimens tested	引張強度 Tensile strength			衝撃曲げ強度 Impact bending strength			剪断強度 Shearing strength		
			最大 max.	最小 min.	平均 mean	最大 max.	最小 min.	平均 mean	最大 max.	最小 min.	平均 mean
			kg/cm ²			kgM/cm ²			kg/cm ²		
ブナ Buna (Fagus crenata Blume)	0	8	1519.2	1094.6	1332.0	1.248	0.500	1.055	164.6	145.0	155.6
	15	8	1130.6	436.4	622.8	0.815	0.359	0.534	161.2	139.6	150.1
	30	8	343.2	266.1	306.2	0.358	0.179	0.245	157.1	119.1	138.5
	45	8	212.0	130.3	200.6	0.297	0.105	0.200	132.9	96.9	111.3
	60	8	161.2	910.1	136.6	0.272	0.102	0.140	96.9	70.1	79.3
	75	8	125.1	74.0	105.6	0.177	0.071	0.112	71.3	64.6	65.5
	90	8	70.3	50.7	55.9	0.091	0.068	0.079	49.7	43.3	45.6



第 10 図 細胞膜の厚さ T と圧縮強度 σ_c との関係
Fig. 10 Thickness of cell wall T —
Compression strength σ_c



第 11 図 細胞膜の厚さ T と剪断強度 σ_s との関係
Fig. 11 Thickness of cell wall T —
Shear strength σ_s

次に n の値について従来の研究と比較すると次表のとおりである。

強度の種類	K. Horioka	F. Kollmann	強度の種類	K. Horioka	F. Kollmann
圧 縮 強 度	3	2.5	衝 撃 強 度	2.5	1.5~2.0
曲げ破壊係数	2.5	2	剪 断 強 度	3	
引 張 強 度	2.5	1.5~2.0			

V 摘 要 お よ び 考 察

材質改良の目的を達成するための基礎として次の各項目の研究を行つた。

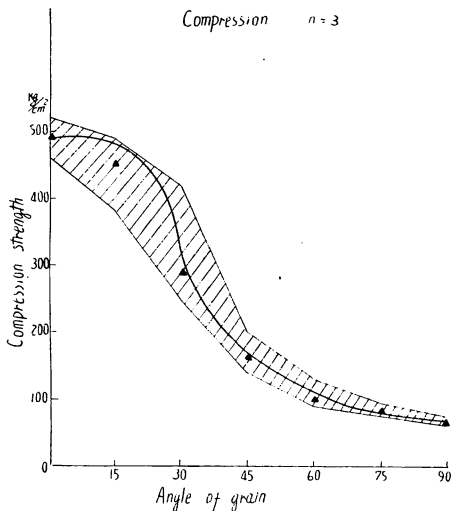
1. 本邦産主要樹種の 35 種 (ほかに台湾産 1 種) において圧縮強度, 曲げ強度, 曲げヤング係数, 引張強度, 引張ヤング係数, 衝撃強度, 剪断強度を測定しその結果は第 2 および第 3 表のとおりにして, 強度—比重の関係は次のとおりであつて, 第 1, 2, 3, 4, 5, 6 図および第 7 図に示す。

$$\begin{aligned} \sigma_c &= 844.5 r_{15} \quad [\text{kg/cm}^2] \dots\dots\dots (3) & E_T &= 248,000 r_{15} \quad [\text{kg/cm}^2] \dots\dots\dots (7) \\ \sigma_B &= 1,600 r_{15}^{1.21} \quad [\text{kg/cm}^2] \dots\dots\dots (4) & \sigma_l &= 1.9 r_{air dry}^{1.23} \quad [\text{kgM/cm}^2] \dots\dots\dots (8) \\ E_B &= 177,000 r_{15} \quad [\text{kg/cm}^2] \dots\dots\dots (5) & \sigma_s &= 244 r_{15} \quad [\text{kg/cm}^2] \dots\dots\dots (9) \\ \sigma_T &= 1,890 r_{15} \quad [\text{kg/cm}^2] \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

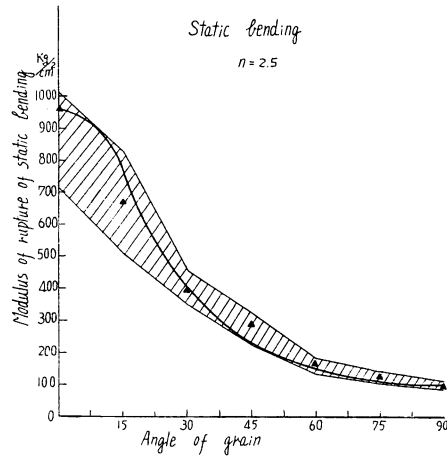
2. 本邦産主要樹種の 35 種（ほかに台湾産 1 種）について柃目面および板目面の含水率 1 % に対する平均収縮率を測定した結果は第 2, 3 表に示し, 平均収縮率と比重との関係は次式のとおりであつて第 8, 9 図に示す。

$$\alpha_T = 0.537r_{15}[\%] \dots \dots \dots (10)$$

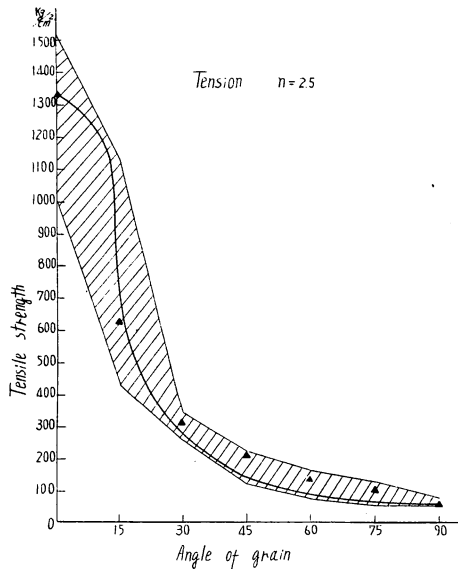
$$\alpha_R = 0.307r_{15}[\%] \dots \dots \dots (11)$$



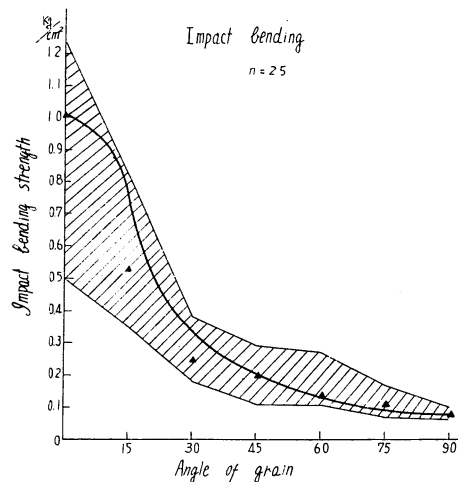
第 12 図 圧縮強度と繊維走向度との関係
Fig. 12 The relation between compression strength and angle of grain



第 13 図 曲げ破壊係数と繊維走向度との関係
Fig. 13 The relation between static bending strength and angle of grain



第 14 図 引張強度と繊維走向度との関係
Fig. 14 The relation between tensile strength and angle of grain



第 15 図 衝撃曲げ強度と繊維走向度との関係
Fig. 15 The relation between impact bending strength and angle of grain

3. 木材の強度に関する軽量構造の品質指標により本邦産主要樹種を次のとおり区分した。

(1) 静力学的および動力学的品質指標
(Statics and kinetics index of quality)

.....優

針葉樹材 ヒノキ Hinoki, エゾマツ
Ezomatu, タイワンヒノキ (Taiwan-
hinoki), アカマツ Akamatu, クロマ
ツ Kuromatu, ヒバ Hiba

広葉樹材 なし

(2) 静力学的品質指標 (Statics index
of quality)優

動力学的品質指標 (Kinetics index of quality)普通

針葉樹材 シラベ Sirabe, カラマツ Karamatu

広葉樹材 マカバ Makaba, ミズメ Mizume, トチノキ Totinoki, カツラ Katura, ク
スノキ Kusunoki, ブナ Buna, オニグルミ Onigurumi, タブ Tabu, ホホノキ Hoho-
noki, シナノキ Sinanoki, ヤチダモ Yatidamo, ハリギリ Harigiri, ミズナラ Mizu-
nara, ケヤキ Keyaki, スダジイ Sudazii

(3) 静力学的品質指標 (Statics index of quality)普通

動力学的品質指標 (Kinetics index of quality)優

針葉樹材 モミ Momi, トドマツ Todomatu, サワラ Sawara, スギ Sugi

広葉樹材 ドロノキ Doronoki, キリ Kiri

(4) 静力学的および動力学的品質指標 (Statics and kinetics index of quality) ..普通

針葉樹材 ヒメコマツ Himekomatu, ツガ Tuga, トウヒ Tōhi

広葉樹材 イタヤカエデ Itayakaede, イスノキ Isunoki, ハルニレ Harunire

(5) 静力学的品質指標 (Statics index of quality)普通

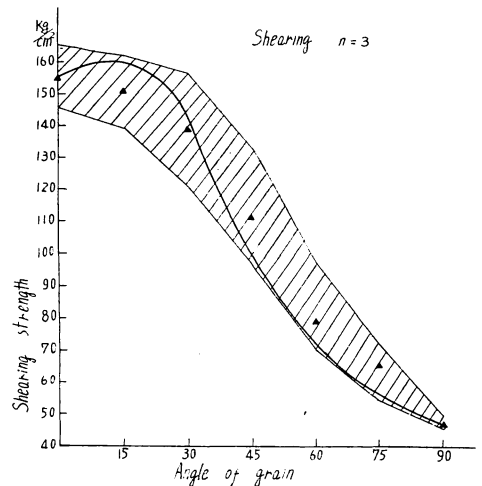
動力学的品質指標 (Kinetics index of quality)不良

広葉樹材 アカガシ Akagasi

4. 本邦産主要樹種の解剖的性質は第7, 8, 9, 10 および11表のとおりにして, 圧縮強度および剪断強度と細胞膜の厚さとの関係は第11 および12図に示す。

圧縮強度——細胞膜の厚さ $\sigma_c = 151.9T$ (17)

剪断強度——細胞膜の厚さ $\sigma_s = 38.4T$ (18)



第16図 剪断強度と繊維走向度との関係
Fig. 16 The relation between shearing strength and angle of grain

5. ブナ材の異方性は第 13 表に示し, Hankinson's の式

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{\parallel} \sigma_{\perp}}{\sigma_{\parallel} \sin^n \gamma + \sigma_{\perp} \cos^n \gamma}$$

との関係は第 12, 13, 14, 15 および 16 図に示し, n を各強度ごとに求めた。

素材の材質を改良する方法はその目的により異なり普遍的手段を断定することは困難であるけれども, 上述の試験結果より次の事項が材質改良を行うための指標となりうるものと思われる。

(1) 形質商 (The quality quotient of strength)

形質商は木材の同樹種または異樹種間における材質評価 (estimation of wood quality) の指標として従来から用いられてきた。材質改良の観点よりも強度絶対値のみを考慮する特殊使用目的以外には, 形質商は 1 つの指標となりうるので, 滲透 (impregnation), 圧縮 (compression) および接着 (adhesion) 等の改良手段により製造されたいわゆる改良木材 (improvement wood) の形質商は, 素材のそれと比較することにより, 改良手段の適否, 製品の材質が明らかにされる。素材における形質商, すなわち強度と容積重の関係は直線的或いは指数曲線的と見做され, またこれらの関係は針広葉樹材別, または容積重の大小により区分されている。第 15 および 16 表に示すような実験結果において, この関係をみると, 異樹種間ではかなりの偏差がみられるが, 針広葉樹の 2 大別にして, 針葉樹材 15 種, 広葉樹材 21 種の平均値をもつて一応本邦産材の平均の比強度と見做されうるものと思われる。すなわち, 材質改良の巨視的考察において, 使用目的による樹種の組合せ, 樹種転換の指標となりまた低比重材の改良強化, 繊維板の製造, 改良木材の品質の目標を与えるものと思われる。

(2) 各強度間の比率

従来の形質商の概念には Specific gravity は各強度の函数であり, 各強度間には一定の比率のなり立つことを前提としておるはずであるが, 後者についてはほとんど公表された文献に乏しい。各強度値がすべて比重の一次函数であるならば, その直線傾斜を与える形質商の比は, 圧縮強度, 引張強度, 曲げ破壊係数, 剪断強度, 曲げおよび引張のヤング係数等の比を示すことになる。便宜上圧縮強度の形質商を 100 とする各形質商との比, すなわち圧縮強度に対する各強度の比率を求めると, 第 17 および 18 表のごとくである。これを針葉樹材, 広葉樹材を通じてみると, 圧縮強度, 曲げ破壊係数, 曲げヤング係数, 引張強度, 引張ヤング係数, 剪断強度および衝撃曲げ強度の比は, $1 : 1.78 : 227 : 2.56 : 330 : 0.24 : 0.00196$ となる。すなわち木材は特に剪断強度, 横圧縮比例限度が他の性質と比較して著しく低く, したがって構造用材料としての欠陥も, これらの強化について, 或いは構造力学的合理的設計または局部的補強を必要とすることはすでに指摘されていることであるが, 本実験においても第 15 表のごとく全樹種にわたり, 剪断強度は圧縮強度の 15~34% であつて, 他材料にみられない欠点であるといふことができる。ブナ材の圧縮強度が第 13 表および第 15 図のごとく, 繊維に対する方向に

第 15 表 主 要 強 度 の 形 質 商 (針葉樹材)

Table 15. The quality quotient of important strength (Coniferous wood)

樹種 番号 Species No.	樹 種 名 Common name	含水率15% 時の比重 Mean specific gravity at 15% γ_{15}	σ_c	$\sigma_c/100\gamma_{15}$	σ_B	$\sigma_B/100\gamma_{15}$	E_B	$E_B/100\gamma_{15}$	σ_T	$\sigma_T/100\gamma_{15}$	E_T	$E_T/100\gamma_{15}$	σ_S	$\sigma_S/100\gamma_{15}$	気乾比重 Mean specific gravity at air dry $\gamma_{air\ dry}$	σ_I	$\sigma_I/100\gamma_{air\ dry}$
1	モ ミ Momi	0.42	342	8.14	650	15.4	89.8	2.14	910	21.7	140.6	3.35	90.1	2.15	0.42	0.61	1.45
2	ト ド マ ツ Todomatu	0.39	324	8.31	562	14.4	91.8	2.35	1043	26.7	155.2	3.98	64.2	1.65	0.38	0.81	2.13
3	シ ラ ベ Sirabe	0.40	339	8.47	539	13.5	89.6	2.24	798	20.0	145.6	3.64	58.3	1.46	0.39	0.68	1.74
4	タイワンヒノキ Taiwanhinoki	0.48	483	10.06	798	16.6	106.4	2.21	1138	23.7	114.3	2.38	74.5	1.55	0.48	1.09	2.27
5	ヒ ノ キ Hinoki	0.44	378	8.60	663	15.1	91.0	2.07	900	20.5	141.4	3.21	90.4	2.05	0.44	0.75	1.70
6	サ ワ ラ Sawara	0.32	283	8.84	418	13.1	57.4	1.79	625	19.5	118.1	3.69	68.2	2.13	0.32	0.40	1.25
7	ス ギ Sugi	0.39	349	8.95	541	13.9	77.1	1.98	756	19.4	125.0	3.21	85.4	2.19	0.38	0.61	1.61
8	カ ラ マ ツ Karamatu	0.62	570	9.19	823	13.3	105.7	1.70	812	13.1	116.2	1.87	104.3	1.68	0.61	0.84	1.38
9	エ ゾ マ ツ Ezomatu	0.45	383	8.52	602	13.4	88.7	1.97	997	22.2	144.5	3.21	93.3	2.07	0.45	0.75	1.67
10	ト ウ ヒ Tōhi	0.45	381	8.47	665	14.8	94.3	2.09	1030	22.9	151.3	3.36	84.3	1.87	0.45	0.65	1.44
11	ア カ マ ツ Akamatu	0.46	470	10.21	770	16.7	98.4	2.14	841	18.3	133.6	2.90	106.5	2.31	0.46	0.80	1.74
12	ヒメコマツ Himekomatu	0.42	347	8.26	566	13.5	68.2	1.62	801	19.1	128.7	3.06	88.0	2.10	0.42	0.59	1.40
13	ク ロ マ ツ Kuromatu	0.41	386	9.41	690	16.8	84.5	2.06	1101	26.9	150.4	3.67	110.8	2.70	0.41	0.95	2.32
14	ヒ バ Hiba	0.43	410	9.53	699	16.3	91.6	2.13	1030	24.0	157.8	3.67	92.4	2.15	0.43	0.71	1.65
15	ツ ガ Tuga	0.50	419	8.38	724	14.5	89.5	1.79	1260	25.2	147.9	2.96	100.3	2.00	0.50	0.72	1.44
	Mean of coniferous wood	0.439	390.9	8.89	647.3	15.1	88.3	2.02	936.1	21.5	138.0	3.21	87.6	2.00	0.44	0.73	1.68

材質改良の基礎としての木材の材質について (細岡)

第16表 主要強度の形質商 (広葉樹材)

Table 16. The quality quotient of important strength (Dicotyledonous wood)

樹種 番号 Species No.	樹 種 名 Common name	含水率15% 時の比重 Mean specific gravity at 15% γ_{15}	σ_c	$\sigma_c/100\gamma_{15}$	σ_B	$\sigma_B/100\gamma_{15}$	E_B	$E_B/100\gamma_{15}$	σ_T	$\sigma_T/100\gamma_{15}$	E_T	$E_T/100\gamma_{15}$	σ_S	$\sigma_S/100\gamma_{15}$	気乾比重 Mean specific gravity at $\gamma_{air\ dry}$	σ_I	$\sigma_I/\gamma_{air\ dry}$
16	イタヤカエデ Itayakaede	0.64	528	8.25	986	15.8	105.0	1.64	1416	22.1	134.4	2.10	132.0	2.06	0.63	1.32	2.10
17	トチノキ Totinoki	0.52	410	7.88	767	14.8	81.3	1.56	951	18.3	121.4	2.33	96.9	1.86	0.51	0.86	1.69
18	ミズメ Mizume	0.77	646	8.39	1381	17.9	141.6	1.84	1530	19.9	158.2	2.05	159.0	2.06	0.77	1.47	1.91
19	マカバ Makaba	0.70	611	8.73	1158	16.6	127.7	1.82	1475	21.1	157.8	2.75	139.6	2.00	0.70	1.12	1.60
20	カツラ Katura	0.50	403	8.06	844	16.9	87.0	1.74	1033	20.7	155.4	3.11	124.6	2.49	0.49	0.81	1.65
21	クスノキ Kusunoki	0.54	384	7.11	716	13.3	85.8	1.59	1017	18.8	109.9	2.04	97.6	1.81	0.54	0.75	1.50
22	イスノキ Isunoki	0.88	673	7.65	1386	15.0	140.4	1.60	1737	19.7	177.9	2.02	181.3	2.06	0.88	1.62	1.85
23	ブナ Buna	0.67	521	7.78	1014	15.1	99.7	1.49	1288	19.2	134.9	2.01	158.8	2.37	0.67	1.23	1.84
24	オニグルミ Onigurumi	0.48	414	8.63	717	14.9	102.9	2.14	1210	25.2	159.2	3.32	115.6	2.41	0.48	0.80	1.67
25	タブ Tabu	0.75	623	8.31	1040	13.9	108.4	1.45	1403	18.7	160.7	2.14	160.2	2.14	0.75	1.45	1.93
26	ホホノキ Hohonoki	0.50	422	8.44	624	12.5	92.1	1.84	1167	23.3	136.5	2.73	96.0	1.92	0.50	0.75	1.50
27	ドロノキ Doronoki	0.42	270	6.43	465	11.1	70.9	1.69	653	15.5	76.7	1.83	71.6	1.70	0.42	0.76	1.81
28	シナノキ Sinanoki	0.44	353	8.02	548	12.5	76.5	1.74	720	16.4	79.1	1.80	55.6	1.26	0.43	0.47	1.09
29	ヤチダモ Yatidamo	0.64	462	7.22	980	15.3	116.0	1.81	1482	23.2	149.1	2.33	126.1	1.97	0.64	0.92	1.44
30	ハリギリ Harigiri	0.52	370	7.12	720	18.3	89.6	1.71	1296	24.9	144.6	2.78	105.7	2.03	0.52	0.73	1.40
31	キリ Kiri	0.22	178	8.09	308	14.0	60.5	2.75	620	28.2	70.8	3.22	60.2	2.74	0.22	0.42	1.91
32	ミズナラ Mizunara	0.65	486	7.48	964	14.8	108.0	1.66	1463	22.5	187.5	2.88	126.3	1.94	0.65	0.92	1.42
33	ハルニレ Harunire	0.49	331	6.76	787	16.1	95.3	1.94	1087	22.2	120.5	2.46	89.3	1.82	0.49	0.66	1.35
34	ケヤキ Keyaki	0.61	559	9.16	1034	17.0	125.0	2.05	1209	19.8	139.7	2.29	144.1	2.36	0.61	0.87	1.43
35	アカガシ Akagasi	0.97	790	8.14	1365	14.1	143.0	1.47	1780	18.4	192.8	1.99	258.1	2.66	0.96	1.72	1.79
36	スダジイ Sudazii	0.54	455	8.43	775	14.4	90.9	1.68	1782	20.0	115.7	2.14	115.3	2.14	0.54	0.79	1.46
	Mean of dicotyledonous wood	0.593	469.5	7.91	884.7	14.8	102.2	1.77	1220.0	20.9	138.9	2.40	124.5	2.09	0.59	0.98	1.64
	Mean of all species	0.529	436.8	8.32	785.8	14.9	96.4	1.87	1101.7	21.1	138.6	2.74	109.1	2.05	0.53	0.87	1.65

第 17 表 曲げ破壊係数, 曲げヤング係数, 引張強度, 引張ヤング係数, 剪断強度および衝撃曲げ強さの圧縮強度に対する比率 (針葉樹材)

Table 17. The ratio of modulus of rupture of bending, young's modulus of bending, tensile strength, young's modulus of tension shear strength and impact bending: Compression strength (Coniferous wood)

樹種 番号 Species No.	樹 種 名 Common name	含水率15% 時の比重 Mean specific gravity γ_{15}	σ_c	σ_B	σ_B/σ_c •100	E_B	E_B/σ_c •100	σ_T	σ_T/σ_c •100	E_T	E_T/σ_c •100	σ_S	σ_S/σ_c •100	σ_f	σ_f/σ_c •100
			kg/cm ²	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kgM/cm ²	%
			($\times 10^3$)	($\times 10^3$)		($\times 10^3$)	($\times 10^3$)			($\times 10^3$)	($\times 10^3$)				
1	モ ミ Momi	0.42	342	650	190.1	89.8	26.3	910	266.1	140.6	41.1	90.1	26.3	0.61	0.18
2	トドマツ Todomatu	0.39	324	562	173.5	91.8	28.3	1043	321.9	155.2	47.9	64.2	19.8	0.81	0.25
3	シラベ Sirabe	0.40	339	539	159.0	89.6	26.4	798	235.4	145.6	43.0	58.3	17.2	0.68	0.20
4	タイワンヒノキ Taiwanhinoki	0.48	483	798	165.2	106.4	22.0	1138	235.6	114.3	23.7	74.5	15.4	1.09	0.23
5	ヒノキ Hinoki	0.44	378	663	175.3	91.0	24.1	900	238.1	141.4	37.4	90.4	23.9	0.75	0.20
6	サワラ Sawara	0.32	283	418	147.8	57.4	20.3	625	220.8	118.1	41.7	68.2	24.1	0.40	0.14
7	スギ Sugi	0.39	349	541	155.0	77.1	22.1	756	216.6	125.0	35.8	85.4	24.5	0.61	0.17
8	カラマツ Karamatu	0.62	570	823	144.4	105.7	18.5	812	142.5	116.2	20.4	104.3	18.3	0.84	0.15
9	エゾマツ Ezomatu	0.45	383	602	157.2	88.7	23.2	997	260.3	144.5	37.7	93.3	24.4	0.75	0.20
10	トウヒ Tôhi	0.45	381	665	174.5	94.3	24.8	1030	270.3	151.3	39.7	84.3	22.1	0.65	0.17
11	アカマツ Akamatu	0.46	470	770	163.8	93.4	20.9	841	178.9	133.6	28.4	106.5	22.7	0.80	0.17
12	ヒメコマツ Himekomatu	0.42	347	566	163.1	63.2	19.7	801	230.8	128.7	37.1	88.0	25.4	0.59	0.17
13	クロマツ Kuromatu	0.41	386	690	178.8	84.5	21.9	1101	285.2	150.4	39.0	110.8	28.7	0.95	0.25
14	ヒバ Hiba	0.43	410	699	170.5	91.6	22.3	1030	251.2	157.8	38.0	92.4	22.5	0.71	0.17
15	ツガ Tuga	0.50	419	724	168.7	89.5	21.4	1260	300.7	147.9	35.3	100.3	24.5	0.72	0.17
	Mean	0.439	390.9	647.3	165.8	88.3	22.8	936.1	243.6	138.0	36.4	87.6	22.7	0.73	0.188
	$\sigma/100\gamma$		8.89	15.1		2.02		21.5		3.21		2.00		1.68	

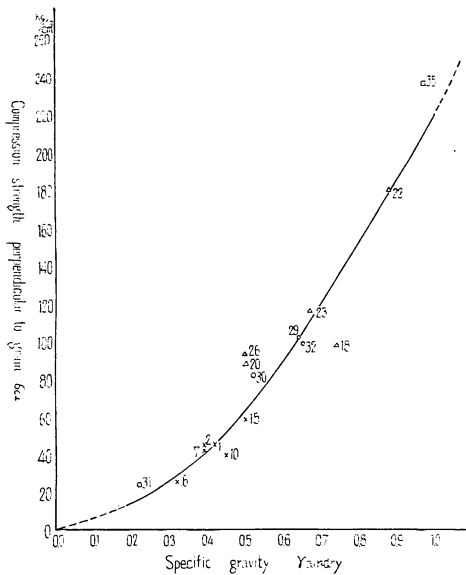
材質改良の基礎としての木材の材質について (畑岡)

第 18 表 曲げ破壊係数, 曲げヤング係数, 引張強度, 引張ヤング係数, 剪断強度および衝撃曲げ強度の圧縮強度に対する比率 (広葉樹材)
 Table 18. The ratio of modulus of rupture of bending, Young's modulus of bending, tensile strength, Young's modulus of tension, shear strength and impact bending: compression strength (Dicotyledonous wood)

樹種 番号 Species No.	樹 種 名 Common name	含水率15% 時の比重 Mean specific gravity γ_{15}	σ_c	σ_R	$\sigma_R/\sigma_c \cdot 100$	E_R	$E_R/\sigma_c \cdot 100$	σ_T	$\sigma_T/\sigma_c \cdot 100$	E_T	$E_T/\sigma_s \cdot 100$	σ_s	$\sigma_s/\sigma_c \cdot 100$	σ_f	$\sigma_f/\sigma_c \cdot 100$
			kg/cm ²	kg/cm ²	%	kg/cm ² ($\times 10^3$)	% ($\times 10^3$)	kg/cm ²	%	kg/cm ² ($\times 10^3$)	% ($\times 10^3$)	kg/cm ²	%	kgM/cm ²	%
16	イタヤカエデ Itayakaede	0.64	528	986	186.7	105.0	202.7	1416	268.8	134.4	25.3	132.0	25.0	1.32	2.50
17	トチノキ Totinoki	0.52	410	767	187.0	81.3	198.2	951	231.9	121.4	29.6	96.9	23.6	0.86	2.09
18	ミズメ Mizume	0.77	646	1381	176.1	141.6	219.1	1530	236.8	158.2	24.4	159.0	24.6	1.47	1.77
19	マカバ Makaba	0.70	611	1158	182.6	127.7	184.5	1475	241.4	197.8	31.5	139.6	22.8	1.12	1.81
20	カツラ Katura	0.50	403	844	209.4	87.0	215.8	1033	273.7	155.4	38.5	124.6	30.9	0.81	2.00
21	クスノキ Kusunoki	0.54	384	716	186.4	85.8	222.3	1017	264.8	109.9	28.6	97.6	25.4	0.75	2.10
22	イスノキ Isunoki	0.88	673	1386	169.1	140.4	208.6	1737	272.6	177.9	26.4	181.3	26.9	1.62	2.40
23	ブナ Buna	0.67	521	1014	194.6	99.7	191.3	1288	247.2	134.9	25.8	158.8	30.4	1.23	2.36
24	オニグルミ Onigurumi	0.48	414	717	173.1	102.9	248.5	1210	292.2	159.2	38.4	115.6	27.9	0.80	1.93
25	タブ Tabu	0.75	623	1040	177.2	108.4	177.9	1403	225.2	160.7	25.7	160.2	25.7	1.45	2.32
26	ホホノキ Hohonoki	0.50	422	624	147.8	92.1	218.2	1167	276.5	136.5	32.3	96.0	22.7	0.75	1.77
27	ドロノキ Doronoki	0.42	270	465	172.2	70.9	107.7	653	241.8	76.7	28.4	71.6	26.2	0.76	2.81
28	シナノキ Sinanoki	0.44	353	548	155.2	76.5	216.7	720	203.9	79.1	22.4	55.6	15.7	0.47	1.33
29	ヤチダモ Yatidamo	0.64	462	980	212.1	116.0	251.0	1482	320.7	149.6	32.2	126.1	27.2	0.92	1.99
30	ハリギリ Harigiri	0.52	370	720	194.5	89.6	240.5	1296	350.7	144.6	39.0	105.7	28.5	0.73	1.97
31	キリ Kiri	0.22	178	308	173.0	60.5	339.8	620	348.2	70.8	39.7	60.2	33.8	0.42	2.35
32	ミズナラ Mizunara	0.65	486	964	198.3	108.0	222.2	1463	301.0	187.5	38.5	126.3	25.9	0.92	1.89
33	ハルニレ Harunire	0.49	331	787	237.7	95.3	287.9	1087	328.3	120.5	36.4	89.3	26.9	0.66	1.99
34	ケヤキ Keyaki	0.61	559	1034	184.9	125.0	223.6	1209	216.2	139.7	24.9	144.1	25.7	0.87	1.55
35	アカガシ Akagasi	0.97	790	1365	172.7	143.0	181.0	1780	225.3	192.8	24.4	258.1	32.6	1.72	2.17
36	スダジイ Sudazii	0.54	455	775	169.9	90.9	199.7	1082	237.8	115.7	25.4	115.3	25.3	0.79	1.73
Mean		0.593	469.5	884.7		102.2		1220.0		138.9		124.5		0.98	
$\sigma/100\gamma$			7.91	14.8		1.77		20.9		2.40		2.09		1.64	
Mean of all species		0.529	436.8	785.8		96.4		1101.7		138.6		109.1		0.87	
$\sigma/100\gamma$			8.32	14.9		1.87		21.1		2.74		2.05		1.65	

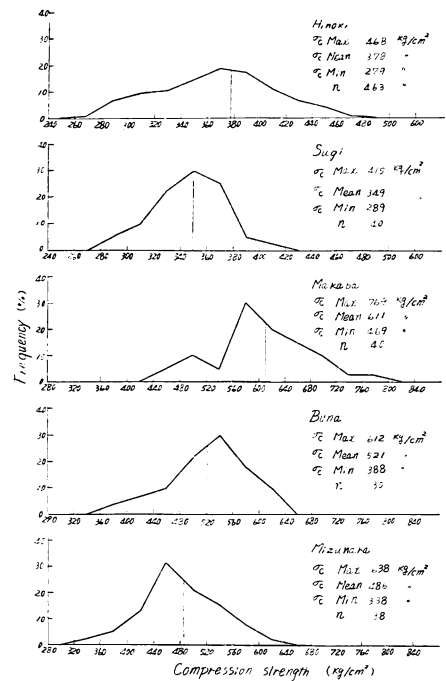
第 19 表 横 圧 縮 比 例 限 度
Table 19. Compression strength perpendicular to grain

樹種番号 Species No.	樹 種 名 Common name	縦 圧 縮 強 度 Compression strength parallel to grain				横圧縮比例限度 Compression strength perpendicular to grain			
		供試片数 Specimens tested	$\sigma_{\parallel}$ (kg/cm ²)			供試片数 Specimens tested	$\sigma_{\perp}$ (kg/cm ²)		
			最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean		最大 Max.	最小 Min.	平均 Mean
1	モ ミ Momi	151	451	247	342	10	56.0	39.0	45.3
2	トドマツ Todomatu	120	418	223	324	10	46.0	42.0	45.0
6	サ ワ ラ Sawara	88	436	212	283	10	28.2	24.2	25.9
7	ス ギ Sugi	40	415	289	349	10	44.8	40.3	42.4
9	エゾマツ Ezomatu	40	419	342	383	10	42.0	36.0	39.8
10	ト ウ ヒ Tōhi	77	497	270	381	10	62.0	51.0	55.9
15	ツ ガ Tuga	220	555	292	419	10	62.0	54.1	59.0
18	ミ ズ メ Mizume	40	721	596	646	10	104.0	92.0	98.4
20	カ ツ ラ Katura	39	624	354	403	10	102.0	69.0	88.6
22	イスノキ Isunoki	30	693	537	673	10	195.2	174.5	180.0
23	ブ ナ Buna	30	612	388	521	20	120.0	114.0	117.0
26	ホホノキ Hohonoki	40	536	315	422	10	99.0	90.0	93.6
29	ヤチダモ Yatidamo	58	563	312	462	10	106.0	94.0	100.2
30	ハリギリ Harigiri	40	559	241	370	10	89.0	80.0	81.8
31	キ リ Kiri	20	260	145	178	10	28.6	24.1	24.8
32	ミズナラ Mizunara	38	638	338	486	10	101.0	96.0	98.8
35	アカガシ Akagasi	37	861	728	790	10	245.0	214.0	232.6



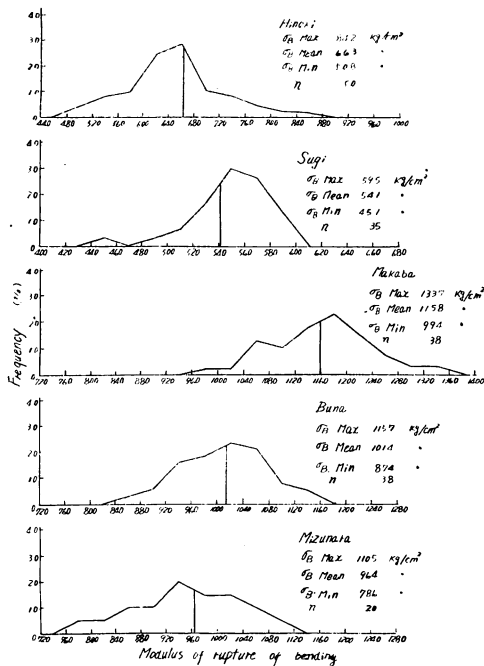
第 17 図

横圧縮比例限度 $\sigma_{\perp}$ と比重 $\gamma_{air\ dry}$ との関係
Fig. 17 Compression strength perpendicular to grain $\sigma_{\perp}$ —Specific gravity $\gamma_{air\ dry}$

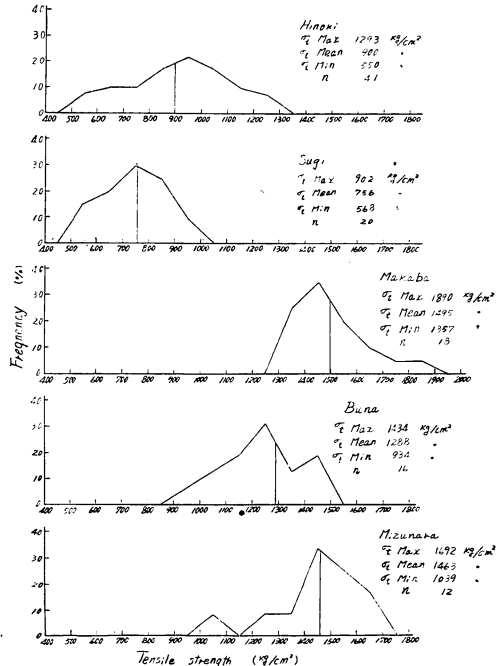


第 18 図 圧縮強度の偏差

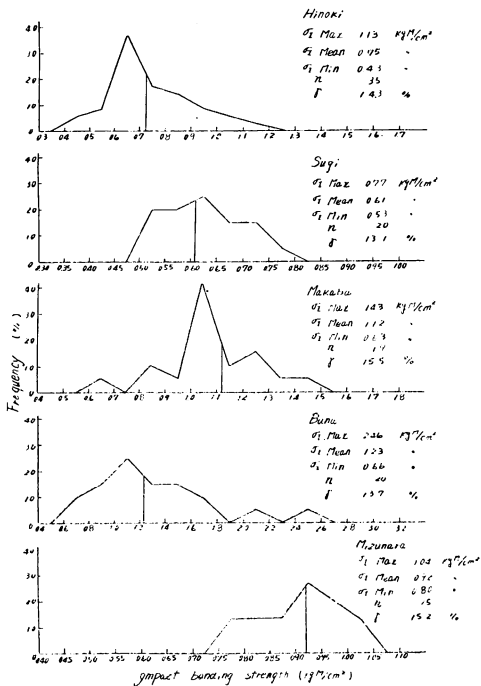
Fig. 18 The deviation of compression strength σ_c



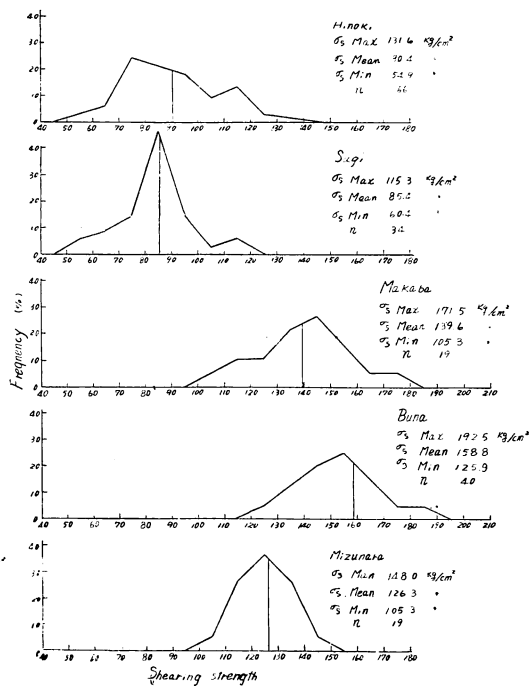
第 19 図 曲げ破壊係数の偏差
 Fig. 19 The deviation of modulus of rupture of bending



第 20 図 引張強度の偏差
 Fig. 20 The deviation of tensile strength



第 21 図 衝撃曲げ強さの偏差
 Fig. 21 The deviation of impact bending strength

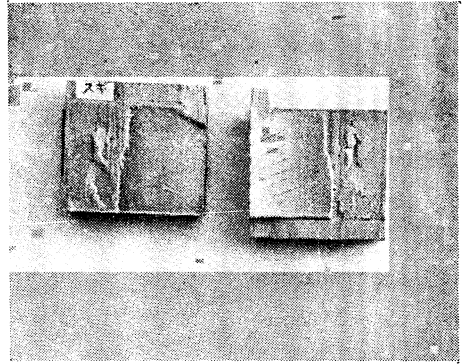


第 22 図 剪断強度の偏差
 Fig. 22 The deviation of shearing strength

より変化し、横圧縮比例限度が、縦圧縮比例限度の24%に止まっている。本邦産主要樹種のうち針葉樹材種および広葉樹材種について、横圧縮比例限度を木材強度試験法規格4章3節の方法により実施した結果は第19表および第17図のとおりである。したがって、木材の改良をかかえる欠点の強化が1つの目標となり、他の強度との連関において改良強化する程度に対する尺度が明確となった。また、曲げヤング係数と曲げ破壊係数に対する比例限度の比率は、従来の破壊応力を基礎とし安率を考慮した、保安荷重の設計に対する示唆を与え、剛性に対する改良の尺度として、役立つものと思われる。

（3）各強度値の偏差

天然産物である木材は、材質の均一性において著しく劣り、かつ、不明の要素により実験値の分散することは周知の欠点である。したがって、強度値の信頼性が乏しく、精密設計に適さ



第23図 スギ材の剪断面に現われる未知の破断線
Fig. 23 The unknown break-line of shearing plane in Sugi-wood (*Cryptomeria japonica* D. Don)

第20表 針葉樹材仮導管の長さ/直径

Table 20. Length/Diameter of tracheid of coniferous wood

樹種番号 Species No.	樹 種 名 Species (Common name)	仮導管の直径 Diameter of tracheid				平均 Mean (D)	長さ Length (L)	長さ/ 直径 (L)/(D)
		目		板 目				
		Radial		Tangential				
		春材 Spring wood	秋材 Summer wood	春材 Spring wood	秋材 Summer wood			
		μ	μ	μ	μ	μ	μ	
1	モ ミ Momi	59	20	43	37	40	4,042	101
2	トドマツ Todomatu	38	15	35	31	30	3,594	120
3	ン ラ ベ Sirabe	43	22	32	25	31	3,450	111
4	タイワンヒノキ Taiwanhinoki	41	20	30	25	29	3,362	116
5	ヒ ノ キ Hinoki	41	17	38	35	33	3,403	103
6	サ ワ ラ Sawara	79	32	74	76	65	3,287	51
7	ス ギ Sugi	44	18	41	36	35	4,192	120
8	カラムツ Karamatu	74	28	36	23	40	2,971	74
9	エゾマツ Ezomatu	42	17	33	26	30	3,577	119
10	ト ウ ヒ Tōhi	40	17	36	32	31	3,768	122
11	アカマツ Akamatu	52	21	38	35	37	3,196	86
12	ヒメコマツ Himekomatu	41	18	35	34	32	3,612	113
13	クロマツ Kuromatu	52	20	30	28	33	3,345	101
14	ヒ バ Hiba	94	38	78	66	69	4,582	66
15	ツ ガ Tuga	35	17	26	24	26	3,076	118
Mean						38	3,564	93.7

第 21 表 広葉樹材木繊維の長さ/直径
Table 21. Length/Diameter of wood fiber of dicotyledonous wood

樹種 番号 Species No.	樹 種 Species (common name)	木繊維の 直径 Diameter of wood fiber (D)	長さ Length (L)	長さ/ 直径 (L)/ (D)	樹種 番号 Species No.	樹 種 Species common name	木繊維の 直径 Diameter of wood fiber (D)	長さ Length (L)	長さ/ 直径 (L)/ (D)
16	イタヤカエデ Itayakaede	18	933	52	27	ドロノキ Doronoki	24	1,140	48
17	トチノキ Totinoki	21	984	47	28	シナノキ Sinanoki	21	1,233	59
18	ミズメ Mizume	25	1,751	70	29	ヤチダモ Yatidamo	22	1,217	55
19	マカバ Makaba	18	1,615	90	30	ハリギリ Harigiri	20	996	50
20	カツラ Katura	23	1,786	78	31	キ リ Kiri			
21	クスノキ Kusunoki	22	1,055	48	32	ミズナラ Mizunara	14	1,160	83
22	イスノキ Isunoki	20	1,393	70	33	ハルニレ Harunire	15	1,041	69
23	ブ ナ Buna	19	1,248	66	34	ケヤキ Keyaki	15	1,476	98
24	オニグルミ Onigurumi	26	1,077	41	35	アカガシ Akagasi	19	1,308	69
25	タブ Tabu	22	1,386	63	36	スダジイ Sudazii	19	1,283	68
26	ホホノキ Hohonoki	30	1,590	53		Mean	21	1,284	61.1

ない。それ故に強度値の偏差を小にし、その分散をなるべく小範囲に止める方法は、けだし意義のあることである。従来の研究においても、この点に留意し実験値の標準偏差等を尊重してきたが、本実験においても、この観点から素材の強度値の偏差はだいたいの範囲内にあるか、また個々の樹種についての偏差傾向に差異があるかどうかを検査するため、供試樹種中次の樹種について検討を試みた。

5 ヒノキ Hinoki

7 スギ Sugi

19 マカバ Makaba

23 ブナ Buna

32 ミズナラ Mizunara

Diffuse porous wood

Ring porous wood

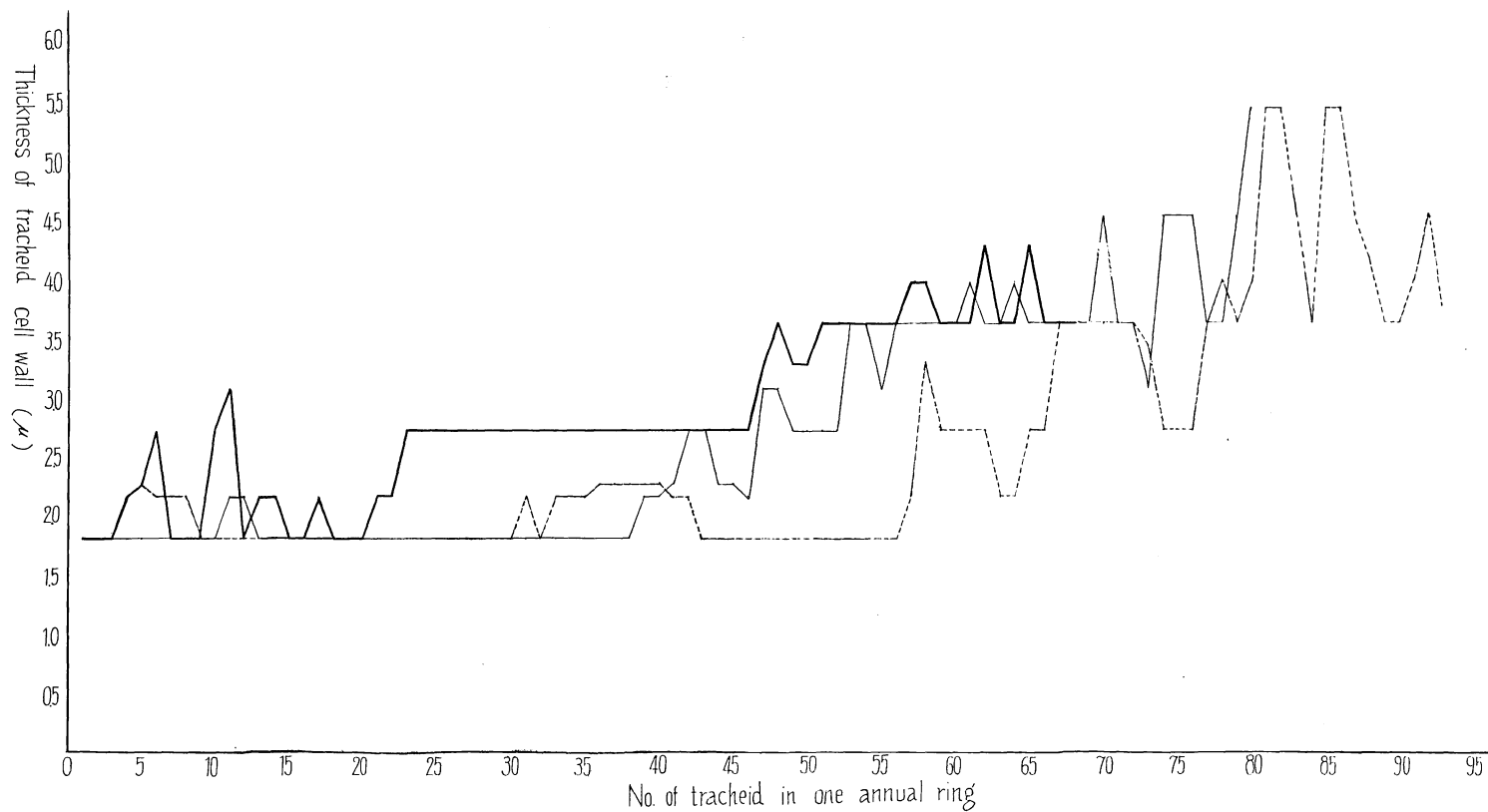
Coniferous wood

Dicotyledonous wood

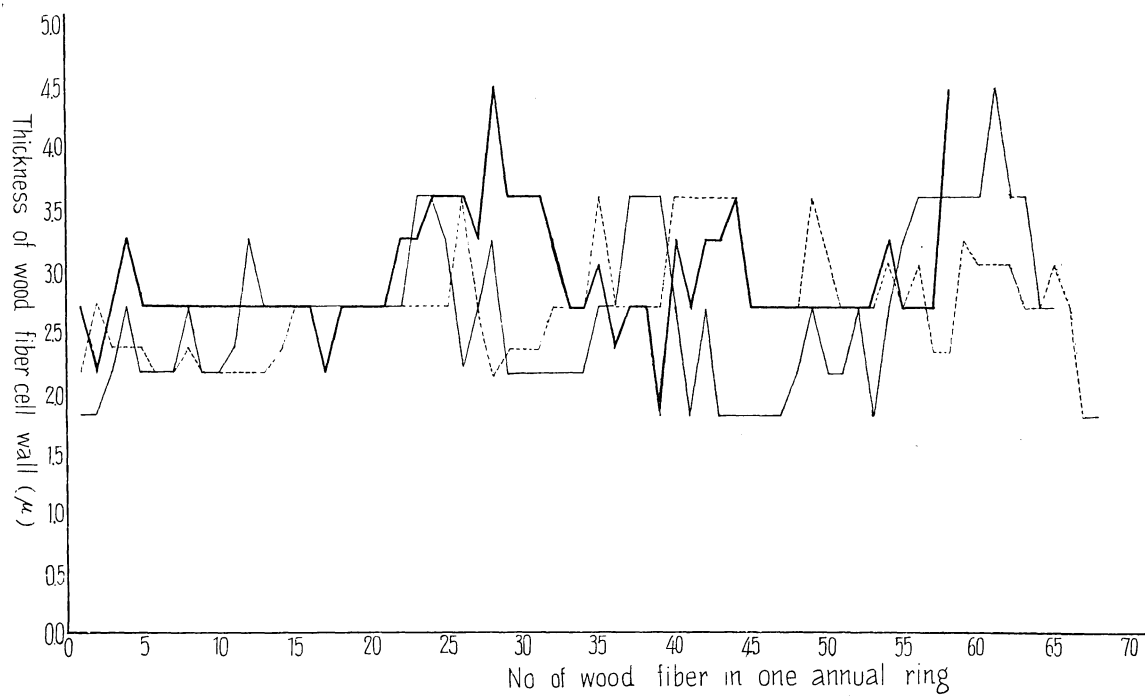
その結果は第 18 図、第 19 図、第 20 図、第 21 図、第 22 図および第 23 図に示すとおりであつて、樹種または強度に偏差の特長は明確には見受けられない。しいていえば、針葉樹材中の Hinoki は産地が 2 カ所である関係から、Sugi に比較して分散している。また Buna の衝撃曲げ強度ははなはだしく分散している。

(4) 解剖的性質

木材はいうまでもなく細長い中空細胞の集合体であるから、上述の比重はいわゆる見掛けの比重であり、比重が各強度やその他の物理的性質と密接なる関係にあることは、細胞膜厚、繊維長、配列の方式、或いは特定細胞の諸元が材質に影響するのであろうことは容易に首肯される。また細胞の諸要素の相違が材質を改良するうえに重要な示唆を与えるものである。



第 24—1 図 スギ材の年輪層中における木繊維細胞膜の厚さの偏異
Fig. 24—1 The deviation of Wood fiber cell wall in one annual ring (Sugi—*Cryptomeria japonica* D. Don)



第 24—2 図 カバ材の年輪層中における木繊維細胞膜の厚さの偏異
 Fig. 24—2 The deviation of Wood fiber cell wall in one annual ring (Makaba—*Betula Maximowicziana* Regel)

第 22 表 α_T/α_R の 関 係Table 22. Relation of α_T/α_R

針葉樹材の別 広葉樹 Coniferous or Dicotyledonous wood	樹種番号 Species No.	樹 種 Species (Common name)	α_T	α_R	α_T/α_R
Coniferous wood	1	モ ミ Momi	0.297	0.141	2.11
	2	ト ド マ ツ Todomatu	0.347	0.156	2.22
	3	シ ラ ベ Sirabe	0.368	0.171	2.15
	4	タイワンヒノキ Taiwanhinoki	0.281	0.144	1.95
	5	ヒ ノ キ Hinoki	0.278	0.131	2.12
	6	サ ワ ラ Sawara	0.250	0.118	2.12
	7	ス ギ Sugi	0.304	0.153	1.99
	8	カ ラ マ ツ Karamatu	0.315	0.167	1.89
	9	エ ゾ マ ツ Ezomatu	0.239	0.142	2.04
	10	ト ウ ヒ Tōhi	0.304	0.130	1.69
	11	ア カ マ ツ Akamatu	0.295	0.143	1.99
	12	ヒ メ コ マ ツ Himekomatu	0.268	0.138	1.94
	13	ク ロ マ ツ Kuromatu	0.349	0.179	1.95
	14	ヒ バ Hiba	0.354	0.153	1.94
	15	ツ ガ Tuga	0.359	0.192	1.87
Dicotyledonous wood		Mean	0.311	0.157	1.86
	16	イ タ ヤ カ エ デ Itayakaede	0.307	0.162	1.90
	17	ト チ ノ キ Totinoki	0.197	0.127	1.55
	18	ミ ズ メ Mizume	0.338	0.187	1.81
	19	マ カ バ Makaba	0.285	0.165	1.73
	20	カ ツ ラ Katura	0.294	0.173	1.70
	21	ク ス ノ キ Kusunoki	0.320	0.185	1.73
	22	イ ス ノ キ Isunoki	0.418	0.215	1.94
	23	ブ ナ Buna	0.395	0.192	2.06
	24	オ ニ グ ル ミ Onigurumi	0.342	0.181	1.89
	25	タ ブ Tabu	0.420	0.193	2.12
	26	ホ ホ ノ キ Hohonoki	0.243	0.151	1.64
	27	ド ロ ノ キ Doronoki	0.362	0.189	1.92
	28	シ ナ ノ キ Sinanoki	0.249	0.155	1.61
	29	ヤ チ ダ モ Yatidamo	0.311	0.172	1.81
	30	ハ リ ギ リ Harigiri	0.306	0.163	1.88
	31	キ リ Kiri	0.190	0.105	1.81
	32	ミ ズ ナ ラ Mizunara	0.349	0.186	1.88
	33	ハ ル ニ レ Harunire	0.365	0.182	2.01
	34	ケ ヤ キ Keyaki	0.297	0.166	1.79
	35	ア カ ガ シ Akagasi	0.413	0.205	2.01
	36	ス ダ ジ イ Sudazii	0.403	0.210	1.92
Mean of all species		Mean	0.324	0.175	1.84
			0.319	0.167	1.85

圧縮処理、滲透処理等の場合に針葉樹材においては春材および秋材の仮導管の直径比が小であることが望ましい場合が多いのでその関係を第 19 表に示す。

圧縮強度および剪断強度と細胞膜の厚さとの関係は、第 13 図、第 14 図および第 13 表に示したとおりで、圧縮処理の際に春秋材の移行度の顕著なものは、その境界面で剪断して材質改良に困難をとまう、剪断試験の際に生ずる境界面の滑脱状態を示すと第 23 図のとおりであつて、その際に滑脱面に原因不明の斜行破断線が見受けられる。

次にその移行度の一例としてスギおよびカバについて数年輪内の柾目および板目方向の仮導管および木繊維の膜厚を測定した結果は第 24 図のとおりである。

Wet process による硬質繊維板製造の際、或いは完全に単繊維とするパルプ工業においては、繊維の長さとの比が問題となるため、ここにその測定結果を示すと第 19 表および第 20 表のとおりである。

(5) 収縮率

木材の欠点である狂い、反り、捩れ等はいずれも水分の吸収、拡散にともなう収縮、膨脹に基因するものであつて、収縮率はそれらの指標であるが、それは比重の函数として第 8 および 9 図および第 15 および 16 式のごとく表現される。この関係から非常に異なる傾向を示す樹種はキリおよびアカガン等である。

狂いは α_T と α_R の比率の大きいものほど大きい傾向にあると考えられるから、 α_T および α_R のそれぞれの平均値の比率は上式の係数の比すなわち、

$$\frac{\alpha_T}{\alpha_R} = 1.77$$

となり樹種別の比較は第 22 表のとおりである。

集成材、合板等の改良木材製造上、木理方向、樹種の組合せ、部材の配置等の改良手段に示唆を与えるものと思われる。

またこの比率は言を換えると、収縮率の異方性を示すことになるが、材質改良を行つて 1.77 以下の値に改良しなければならないという目標を与えることになる。

参 考 文 献

- (1) 渡辺治人、重松将雄：エゾマツ、トドマツ及びグイマツ 原生林の樹幹に於ける容積重の分布に就いて、九大演習林報告、第 13 巻、p. 57~78, (1943)
- (2) 渡辺治人、重松将雄：キリシマアカマツ林の樹幹に於ける容積重の分布に就て、九大演習林報告、第 15 巻、p. 1~18, (1947)
- (3) 渡辺治人、重松将雄：ヒノキ林の樹幹に於ける容積重の分布に就て、九大演習林報告、第 16 巻、p. 1~6, (1948)
- (4) 平井信二：秩父産オウシウトウヒの容積密度分布と重量生長、日本林学会誌、第 31 巻、p. 224~228, (1949)
- (5) 平井左門：樹幹内木材容積重の錯列性（主として落葉松生樹幹に就いて）、北大演習林報告、第 14 巻、p. 124~157, (1948)
- (6) 矢沢亀吉：スギの樹幹及び枝条に於ける辺、心材別の生材比重、気乾比重、生材含水率並びに体積収縮率等に就て、岐阜農林専門学校学術報告、第 68 巻、p. 145~158, (1950)

- (7) 東 巽：杉材の圧縮強度に就ての一考察，日本林学会誌，第 22 卷，p. 687～692，(1940)
- (8) 北村義重：北海道産主要樹種の全乾材に於ける年輪巾と比重並びに圧縮強との関係に就て，北海道林業試験場報告，第 14 号，p. 1～93，(1943)
- (9) 沢田 稔：エゾマツ材の圧縮変形に関する研究，第 1 報，その破壊形態の実験観察，北海道林業試験集報，第 66 号，p. 10～27，(1949)
- (10) 宮城 孝：木材の曲げ弾性率と梁の厚さとの関係，造船協会雑誌，(1943)
- (11) 宮城 孝：木材の曲げ強さに就て，第 1 報，単純曲げの場合，造船協会雑誌，(1943)
- (12) 宮城 孝：木材の曲げ強さに就て，第 2 報，矩形梁の厚さと曲げ強さの関係，造船協会雑誌，p. 220～222，(1943)
- (13) 沢田稔：エゾマツ材の引張，圧縮比較試験，北海道林業試験集報，第 68 号，p. 37～53，(1949)
- (14) 竹山謙三郎：針葉樹材の剪断強度に関する実験的研究，昭和 19 年 4 月，建築学会論文集，
- (15) 梶田茂，中戸莞 (a) 木材の吸湿性に及ぼす二，三抽出処理の影響
(b) 本邦産キリ材の吸湿，吸水性に就て
木材研究，第 2 号，p. 9～40，(1949)
- (16) 小原二郎：こうやまき材の耐水湿的優秀性に就て，木材工業，第 3 巻第 3 号，p. 8～15，(1948)
- (17) 加納 孟：カバ材の伸縮量について，北海道林業試験集報，第 66 号，p. 1～9，(1949)
- (18) 加納 孟：トドマツ材の伸縮性について，北海道林業試験集報，第 68 号，p. 1～22，(1949)
- (19) 渡辺治人：木材の機械的性質の相互関係に就て，九大演習林報告，第 13 号，p. 35～56，(1943)
- (20) 三好東一：ヒノキ材の生態的研究，第 1 報 (1949)，同第 2 報 (1950)，同第 3 報 (1952)
- (21) 蕪木自輔：木材々質の森林生物学的研究，第 1 報，野幌産トドマツ材の生材含水率容積密度数及び収縮変形に関する春秋材部別観察，林業試験場研究報告，No. 46 p. 37～70，(1950)
- (22) 加納 孟：木材々質の森林生物学的研究，第 2 報，トドマツ材の湿气的特性について，林業試験場研究報告，No. 46，p. 71～110，(1950)
- (23) 加納 孟：木材々質の森林生物学的研究，第 3 報，野幌産トドマツ材の年輪巾，秋材率，容積密度数の偏異について，林業試験場研究報告，No. 52，p. 23～52，(1952)
- (24) 三好東一，堀岡邦典：国産航空機用木材に関する資源調査並びに材質試験，第 3 報，(1944)。
- (25) 海軍航空技術廠：航空機用木材の材質に関する研究，(1944)
- (26) Newlin, J. A. & Wilson, T. R. C.: The relation of the shrinkage and strength properties of wood to its specific gravity, U. S. Dept. Agr., Bull 676, (1919)
- (27) Markwardt, L. J. and Wilson, T. R. C.: Strength and related properties of woods grown in U. S. A. Technical Bulletin No. 479, (1935)
- (28) Kollmann, F.: Technologie des Holzes S. 171, 179, (1935)
- (29) 渡辺治人：軽量構造用木材の強度に関する品質指標，日本林学会誌，第 31 卷，p. 228～231，(1949)
- (30) 金平 亮：台湾産主要樹種の解剖的性質，台湾林業試験場報告，第 4 号，(1946)
- (31) Kollmann, F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, S. 668, 747, 808, 852 and 907, (1951)
- (32) Pearson, R. G.: The sampling of timber for standard mechanical test, Australian J. of App. Sci. Vol. 3, No. 1 (1952)
- (33) 増山元三郎：少数例の纏め方と実験計画の立て方 (1947)
- (34) Wangaard, F. F.: The mechanical properties of wood (1950)
- (35) American society for testing material: 1952 Book of A.S.T.M. Standard, Part 4 (1952)
- (36) 森 徹：木材・竹材 p. 23 (1948)

Kunisuke HORTOKA : Research for the improvement of wood (1st Report)

Study on properties of wood with special reference to its improvement

Résumé

CONTENTS

I	Introduction	54
II	Properties of important woods grown in Japan.	56
1.	Methods employed for ascertaining properties of wood.	56
1.	Species of trees tested	56
2.	Test pieces.....	56
3.	Test machines and instruments	56
4.	Main items of measuring either studied or tested	57
5.	Transaction methods of test results	60
2.	Test results of wood properties	61
1.	Tests on strength.....	61
2.	Tests on shrinkage	61
3.	Index of quality relative to the strength of wood	61
III	Anatomical properties of important woods grown in Japan.	62
IV	Anisotropic properties of beech wood.....	63
V	Conclusion.	63
VI	Literature cited.	65

I. Introduction

Wood as construction material has manifold fine qualities over the other materials. Having rather a minor specific gravity it is easy to treat for manufacturing purposes, while it displays a high efficiency in strength in spite of its small specific gravity. With all these fine qualities, however, wood is not without some drawbacks amongst which we can enumerate:

(1) Inequality of strength

The strength of wood of a species of course varies from that of another species, but inequality of strength even occurs among trees belonging to the same category in species subject to the condition of growth, the age of tree, the place of growth and the site condition. Similar inequality of strength is found even in the case of one and the same tree, the strength of one part often being largely different from that of another part of the tree. For this inequality of strength are responsible: (i) The difference in the specific gravity, (ii) the water-content in each part of the tree, (iii) the method of conversion and (iv) defects contained in each part.

(2) Anisotropic properties of wood

The angle of grain is often determinant in settling the strength of wood and other qualities. The anisotropic property of wood is therefore a great drawback which often gives rise to a trouble in an actual work of manufacturing and practical uses.

(3) Absorption of water vapour and unstability of dimension

The water-content in wood, the volume of which is necessarily determined

by the moisture contained in the air, not only affects the strength of wood but also occasions such phenomena as swelling or shrinkage of wood. To make matters worse, swelling or shrinkage of this type often becomes the very cause of dimension changes, shake, warp or twist of wood.

(4) Decay and combustibility

On the use of wood, decay and combustibility are the great drawbacks.

Main tasks now confronting those who attend to wood improvement would be how to remove, altogether or partially, the effect of the preceding drawbacks wood is doomed to suffer, while trying, on the other hand, to promote strength and elasticity of wood. The first thing, then, to be done would be the study of properties of wood without which no work is possible to start.

With a view to contributing something along this line of work I have conducted researches, first of all, upon all the trees of important species in Japan as regards their strength, thereby making clear the relation between specific gravity and strength of wood.

In the second step I inquired into the anatomical properties on wood pieces that were attended to with a compression test. Studies on impregnation and adhesion were at the same time effected with a view to improving wood together with investigation of the relation between the thickness of cell-wall and the strength of wood.

In the third step, I have inquired into the anisotropic properties of beech wood with a view to obtaining some definite theory and means instrumental in decreasing or improving anisotropic nature of wood in general.

In concluding the introduction I feel it my duty to express my profound thanks to Mr. Y. Saito, Director of the Wood Technology Section of this Station, who was good enough to extend from time to time his helping hand especially in guiding me in my study, and to Assistant Prof. S. Kurata of Tokyo University, who has furnished me with a varying suggestions during my study on anatomical properties of wood, and also to three able technicians, Mr. G. Nakamura, Mr. M. Sawada and Mr. R. Yamai, who have given me ungrudgingly invaluable hints concerning my pursuits. My thanks are also due to Mr. M. Hosizawa, Mr. K. Nakagome, Mr. J. Mukudai, Mr. S. Tate, also able technicians, who assisted me in varying tests and experiments, and to my assistant technicians, Mr. R. Mineo, Mr. M. Enomoto, Mr. I. Tanaka and others who have never spared their efforts in assisting me in the preparation of the required test pieces.

Main and most recent researches on properties of important woods grown in Japan are shown in the following:

(1) Distribution of specific gravity of Ezomatu, Todomatu and Guimatu⁽¹⁾, Akamatu grown in Kirisima (Kyūshū)⁽²⁾, Hinoki⁽³⁾ Tōhi grown in Titibu⁽⁴⁾, Karamatu⁽⁵⁾ and Sugi⁽⁶⁾

(2) Compression strength of Sugi⁽⁷⁾, coniferous wood grown in Hokkaido⁽⁸⁾ and Ezomatu⁽⁹⁾

(3) Young's modulus of static bending affected with beam thickness⁽¹⁰⁾

(4) Modulus of rupture of static bending⁽¹¹⁾⁽¹²⁾

(5) Tensile strength of Ezomatu⁽¹³⁾

(6) Impact bending strength

(7) Shearing strength of coniferous wood⁽¹⁴⁾

(8) Shrinkage of wood⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾

(9) Properties of special wood, such as Todomatu, Ezomatu and Guimatu⁽¹⁹⁾, Hinoki⁽²⁰⁾, Todomatu⁽²¹⁾⁽²²⁾⁽²³⁾

(10) Properties of important wood for air-plane construction⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾

II. Properties of important woods grown in Japan

In order to ascertain properties of wood, in particular, compression strength and seven other items, the author has effected tests and experiments upon trees of more important species covering 35 species in Japan and one species native to Taiwan (Formosa), and inquired the relation between specific gravity and strength of wood. The kinds of experiments thus effected include:

- (1) Compression strength
- (2) Modulus of rupture in static bending
- (3) Young's modulus in static bending
- (4) Tensile strength
- (5) Young's modulus in tension
- (6) Work in impact bending
- (7) Shearing strength
- (8) Shrinkage for 1% moisture content

Endeavours were further directed to the classification of quality of wood, a new standard consisting of 2 kinds of statics index of quality and kinetic index of quality having newly been established so as to serve as a standard of determining quality of important wood available in Japan.

1. Methods employed for ascertaining properties of wood

1. Species of trees tested

Care has been exercised in selection of the species as well as the place of growth of trees. The trees used for our purpose have been limited to those possessing a high quality both in quality and shape, with a breast height diameter of over 40 cm in natural forests. These trees were mostly selected and picked up from among trees of useful species growing in the well-known districts boasting dense forests in Japan where full transportation facilities are available. Species and places of growth of trees tested are given in Table 1.

Logs of trees thus picked up were carried to our laboratory each with a label explaining its species and place of growth, so as to avoid any possible defects. After being sawn into lumber some smaller pieces were made out of them and kept indoors for some time before they were made into test pieces. Those pieces of lumber with any defects were left out in our case.

2. Test pieces employed

All the test pieces used in our experiments were prepared out of those lumber pieces treated with the best possible air-drying. As regards the method of preparation, stipulated in the test method of wood, and specified in the standard specification of architectures in Japan, JES Architecture 3107, promulgated Jan. 20, 1949, was adopted so as to make ours come under terms of the standard test piece.

3. Machines used for tests and instruments for measurement

The chief machine employed in my experiments was the Amsler type 4,000 kg. wood universal test machine and Scharpy type impact bending machine, while for measuring length was used "Calliper" which can well determine a difference of 1/20 mm. in length. For measuring strain, Yuasa's extensometer (mirror type) good for determining 1/1000 mm., and the dial-gage good for determining 1/100 mm. was applied.

4. Subjects attended to with measurement or experiments

Items or subjects studied after the Methods stipulated in the test method of wood, specified in the Standard Specification of Architectures in Japan referred to above include:

(A) Items attended with measurement.

These include 3 kinds of measurement, in each case all the test-pieces prepared being measured. The measurement of the 3 descriptions are, (1) The mean rate of growth, (2) The moisture content, and (3) The specific gravity.

(B) Subjects attended to with tests.

These include, (1) Compression test, (2) Static bending test, (3) Shearing test, (4) Impact bending test, (5) Tension test, and (6) Shrinkage test.

(1) Mean rate of growth (Average breadth of annual rings)

The average breadth of annual rings was measured on each test piece. The annual ring breadth of the test piece was indicated by the average value of annual ring breadth on the surface of both ends. The breadth on the surface of one side, as mentioned above, has been determined by the average breadth of perfect annual rings on the line perpendicular to the annual rings.

(2) Measuring of moisture content

Moisture content of given test pieces has been indicated by the average value of water percentage of those test pieces. The moisture content of each test piece was computed by the following formula:

$$\text{Moisture content} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \quad (\%)$$

W_1 = Weight before it is dried (g) W_2 = Oven dry weight (g)

The weight before a test piece is dried was measured as early as possible after a test. Perfect dry weight was indicated by the weight judged to have attained the normal weight when the test piece had been dried in the dryer well ventilated at 100—105°C. But when a low pressure dryer is used, the above mentioned temperature may be lowered. Moisture content had to be measured on the whole test piece. But when it is hard to measure the above mentioned moisture content, a test piece is to be prepared out of the locality as near as possible to the destroyed part, that is, a block approximately 20 mm in length taken from the entire cross section of the wood tested.

(3) Measurement of specific gravity

Specific gravity test has been conducted upon every test piece. In case of absolute necessity, it was denoted by the specific gravity of the wood in question whose value is known. Specific gravity has been computed by the following formula:

$$\text{Specific gravity} = \frac{W}{V}$$

W = Weight of a test piece (g) V = Volume of a test piece (cm³)

(4) Compression test

This test has been conducted when load direction and grain direction run parallel to each other. The test piece consisted of a sectional square perpendicular hexahedron, measuring side length $a=20$ mm and height $h=2a$. The test piece has been so arranged as to have its axis parallel to the fiber direction with the face of each end perpendicular to that of the axis. In this test, for receiving a load the test piece was placed between two steel plates, one of which was equipped with a ball seat of steel.

The average speed of loading shall be less than 200 kg/cm². per minute. The compression strength has been determined by the following formula:

$$\text{Compression strength} = \frac{P}{A} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

P = Maximum load (kg) A = Cross section area (cm^2)

And then the capacity of test machine was 4000 kg. or 2000 kg.

(5) Bending test

This test has been conducted upon test pieces with the grain direction parallel to the axis and perpendicular to the direction of the load weight. The test piece consisted of a pillar of a sectional square, with a side length of $a=20$ mm, and $L=\text{Span}+3a$. The test piece was of straight fiber with no defects. The span between the loading points was 12 times as long as the beam-height, i. e. 24 cm. and the load weight was applied on the middle of the span. The load side was applied to the straight grain. The diameter of a cylindrical or semicylindrical load side was over $1.5a$, or 30 mm. The average load weight speed was less than 300 kg/cm^2 per minute approximately. By this test, following subjects were decided:

$$1. \text{ Bending strength} = \frac{PL}{4z} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$2. \text{ Bending Young's modulus} = \frac{PL L^3}{48 y J} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

P = Maximum load weight (kg) L = Span (cm)

z = Cross section coefficient (cm^3) $P_1 = P/4$ (kg)

y = Strain in the center of span of P_1 (cm)

J = Cross section 2nd moment (cm^4)

And the capacity of test machine was 1,000 kg. or 500 kg.

(6) Tension test

This test has been performed when load and grain direction are parallel to each other. The shape and size of a test piece in case of soft woods are shown in Figure A. In case of hard woods, excepting those with a low specific gravity, affixed material was not employed.

The test pieces used were limited to those having straight grain and straight fiber, especially defects

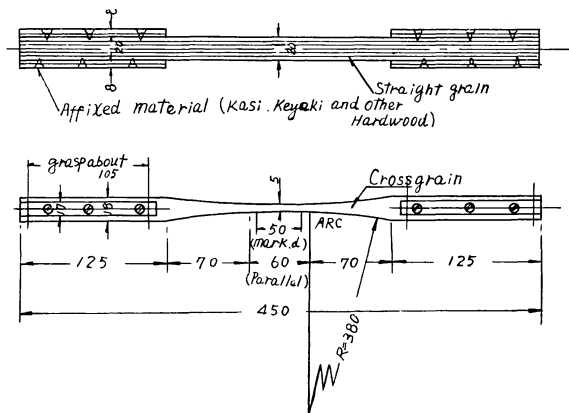


Fig. A The shape of tension test piece

being avoided. The average load weight speed has been conducted upon pieces with less than approximately 400 kg/cm^2 per minute. The following subjects have been introduced in this test.

$$1. \text{ Tension strength} = \frac{P}{A} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$2. \text{ Tension Young's modulus} = \frac{P_1 L}{\Delta LA} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

P = Maximum weight (kg) A = Cross section area (cm^2) $P_1 = P/4$ (kg)

L = Distance of marked point (kg)

Δl = Expansion in the P_1 of load weight (cm)

And the capacity of test machine was 2,000 kg.

(7) Impact bending test

This test was conducted when fiber direction was in parallel to the axis and perpendicular to the direction of load weight. The test piece consisted of a pillar with a square cross section measuring 20 mm in side and 300 mm in length. The test piece must have straight fibers, but as few fissures, as possible, this especially being the case with the tension side. The span was 240 mm and the center of the span was knocked by a hammer possessing 10 kgM impulse energy. The diameter of the support and the semi-cylinder of knocking hammer was 30 mm each. The load weight was applied to the straight grain except in cases it was applied to the cross grain or to the irregular grain. The load weight was applied on the outer surface of wood. By this test, following subject was determined,

$$\text{Impact bending strength} = \frac{W}{A} \quad (\text{kgM/cm}^2)$$

W = Impact bending strength (kgM)

A = Cross section area (cm²)

(8) Shearing test

This test was performed when the direction of shearing load weight and grain direction was parallel to each other. The shape and size of the test piece are shown in Figure B. The test piece was so placed as its axis is in parallel to grain direction, and the test was conducted in a manner as shown in Figure C.

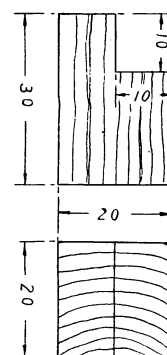


Fig. B The shape of shearing test piece

The shearing section should, as much as possible, be one with straight grain, though in some cases one with cross grain or irregular grain may be replaced. The average load weight speed was less than 40 kg/cm² per minute, and after the test the following subject has been decided:

$$\text{Shearing strength} = \frac{P}{A} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

P = Maximum weight (kg)

A = Shearing area (cm²)

And the capacity of test machine was 1,000 kg. or 2,000 kg.

(9) Shrinkage test

This test has been conducted on the radial and tangential direction of annual rings. The test piece was in the side length 50 mm long and 10 mm in thickness. The test piece has been limited to one having straight grains on either side, and each surface was finished flat and smooth. The test piece which had a moisture content over the saturation point was tested in this way. First the length of the center lines of both radial and tangential directions L_1 on its cross section was examined and it was dried till it showed the moisture content of about 15% and 10% and finally the length of L_2 and L_3 in relation to the moisture content was ascertained. The accuracy required in the measurement of length ought to be one able to find any inaccuracy over 0.01 mm. The following subject has been determined by this test.

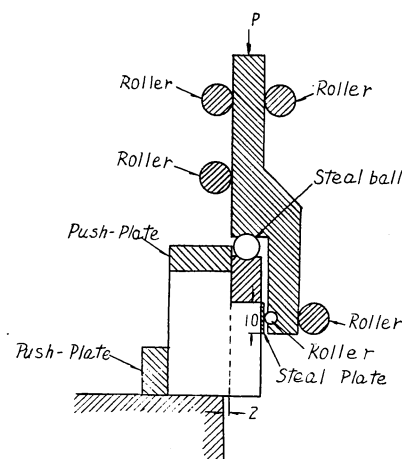


Fig. C The method of shearing test

$$\text{Average shrinkage in relation to moisture content } 1\% = \frac{l_2 - l_3}{n l} \times 100\%$$

n = The difference of moisture content measured as l_2 and l_3

l = Length when moisture content is 15%

l is computed proportionately from l_2 and l_3 .

5. Correction of effects or modulus evidenced by the test according to the standard moisture content (15%)

Except in the case of the impact bending test, the modulus of each test on strength has been corrected by a formula so that it may have its value at the standard moisture content 15%. In the correction of the specific gravity the following formula⁽³²⁾ has been employed.

$$\gamma_{15} = \gamma_u - 0.0037(u - 15) \dots \dots \dots (2)$$

N. B. u = Percentage of moisture content at the time of experiment

γ_{15} = Specific gravity at the standard moisture content 15%

γ_u = Specific gravity with moisture at the time of experiment.

In my case, the modulus obtained by all tests on strength but the impact bending test has been corrected as below:

(1) Compression strength and modulus of rupture of static bending were each increased (or decreased) by 5% of its own strength per 1% moisture content lowering (or raising) the standard moisture content 15%.

(2) Shearing strength and tensile Young's modulus were each increased (or decreased) by 3% of each strength per 1% moisture content lowering (or raising) the standard moisture content 15%.

(3) Young's modulus of static bending was increased (or decreased) by 2% of its own strength per 1% moisture content lowering (or raising) the standard moisture content 15%. Tensile strength was increased (or decreased) by 2% of its own strength per 1% moisture content lowering (or raising) the standard moisture content 15%.

(4) No corection has been applied to impact bending strength.

In this connection I take herewith liberty of referring to the correction employed by Market L. J. and Wilson T. R. C.,⁽²⁷⁾ which runs as follows:

Average increase (or decrease) in value by lowering (or raising) moisture content 1 percent.

Static bending

	percent
Fiber stress at proportional limit	5
Modulus of rupture, or cross-breaking strength	4
Modulus of elasticity or stiffness	2
Work to maximam load or shock-resisting ability	8
Impact bending	
Fiber stress at proportional limit	3
Work to proportional limit	4
Height of drop of hammer causing complete failure	-1/2
Compression perpendicular to grain	
Fiber stress at proportional limit	5 1/2
Hardness, end grain	4
Hardness, side grain	2 1/2
Shrinkage strength parallel to grain	3
Tension perpendicular to grain	1 1/2

2. Test results of wood properties

1. Strength Test.

The results of tests on wood strength are given in Tables 2 and 3. One noteworthy feature in this connection is that in our test the strength recorded shows a higher level than that recorded in the past. For this care was exercised for selection of wood and the preparation of test pieces so as to expell every defect in them is partly responsible but, at the same time, it is undoubtable that such, as a rule, is an original property of wood tested, I think.

The test results so far attained made me clarify the strength-specific gravity relation, which is illustrated in Figures 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10. Now that the strength-specific gravity relation can be expressed by a straight line or an exponential curve I have treated it with the least square method. Then, the strength-specific gravity relation may be expressed in the following expressions:

- (a) Compression strength σ_c —specific gravity γ_{15} relation

$$\sigma_c = 844.5 \gamma_{15} \quad [\text{kg/cm}^2] \dots\dots\dots (3)$$

- (b) Modulus of rupture of static bending σ_B —Specific gravity γ_{15} relation

$$\sigma_B = 1600 \gamma_{15}^{1.21} \quad [\text{kg/cm}^2] \dots\dots\dots (4)$$

- (c) Young's modulus of static bending—Specific gravity γ_{15} relation

$$E_B = 177,000 \gamma_{15} \quad [\text{kg/cm}^2] \dots\dots\dots (5)$$

- (d) Tensile strength σ_T —Specific gravity γ_{15} relation

$$\sigma_T = 1.890 \gamma_{15} \quad [\text{kg/cm}^2] \dots\dots\dots (6)$$

- (e) Young's modulus of tension E_T —Specific gravity γ_{15} relation

$$E_T = 248.000 \gamma_{15} \quad [\text{kg/cm}^2] \dots\dots\dots (7)$$

- (f) Impact bending strength σ_I —Specific gravity γ_{15} relation

$$\sigma_I = 1.9 \gamma_{\text{air, dry}}^{1.23} \quad [\text{kg m/cm}^2] \dots\dots\dots (8)$$

- (g) Shearing strengt σ_s —Specific gravity γ_{15} relation

$$\sigma_s = 244 \gamma_{15} \quad [\text{kg/cm}^2] \dots\dots\dots (9)$$

2. Shrinkage test

The test results for both radial and tangential mean shrinkage per 1% moisture content are given in Tables 2 and 3, and Figures 11 and 12. We have thus ascertained some relation between shrinkage and special gravity, but we saw that the effect one gives to the other is not so conspicuous in the case of strength—specific gravity relation.

3. Index of quality relative to the strength of wood

In order to clarify the strength of wood used for light construction, especially wood used for building airplanes, French expert M. Monnian and H. Watanabe have evealed an index of quality relative to strength of wood. His index consists of two parts, one for showing the static stress and the other kinetic stress of wood under an external shock.

After studying minutely the nature of wood along this line, especeially taking the studies of two experts, M. Monnian and Haruto Watanabe, into consideration, I have determined the index each of static and kinetec strength as follows:

From Table 4 showing the index of quality relative to the strength of wood used for light construction, the static and kinetic index of quality and the specific gravity of main species of trees in Japan may be classified as below:

- (1) Static and kinetic index of quality.....excellent

Coniferous wood Hinoki, Ezomatu, (Taiwan-hinoki), Akamatsu,

TABLE 4 The Index of quality relative to the strength of wood

Kind of wood	Static index of quality $I_e = \frac{\sigma_e}{100 \gamma}$					Kinetic index of quality	
	Light (<0.4)	Few Hard 0.4~0.7	Hard 0.7~1.0	Very hard (>1.0)	quality	$I_1 = \frac{\sigma_1}{\gamma^2}$	quality
Coniferous wood	<8	<7	>6	—	bad	<2.0	bad
	8~9.5	7~8.5	6~7.5	—	medium	2.0~3.5	medium
	>9.5	8.5	>7.5	—	excellent	>3.5	excellent
Dicotyledonous wood	<7	>6	<7	<7	bad	<2.0	bad
	7~8	6~7	7~8	7~8	medium	2.0~3.5	medium
	>8	<7	<8	>8	excellent	>3.5	excellent

Kuromatu, Hiba

Dicotyledonous wood none

(2) Static index of qualityexcellent

Kinetic index of qualitymedium

Coniferous wood Sirabe, Karamatu

Dicotyledonous wood Makaba, Mizume, Totinoki, Katura, Kusunoki, Buna, Onigurumi, Tabu, Hohoki, Sinanoki, Yatidamo, Harigiri, Mizunara, Keyaki, Sudazii

(3) Static index of qualitymedium

Kinetic index of qualityexcellent

Coniferous wood Momi, Todomatu, Sawara, Sugi.

Dicotyledonous wood Doronoki, Kiri

(4) Static and kinetic index of qualitymedium

Coniferous wood Himekomatu, Tuga, Tōhi

Dicotyledonous wood Itayakaede, Isunoki, Harunire

(5) Static index of qualitymedium

Kinetic index of qualitybad

Dicotyledonous wood Akagasi

III. Anatomical Properties of Wood

Test pieces attended with a compression test have been made into the präparat and macerate by Schulze's method. Then, the length of fiber of each piece, that is, the length of tracheid in the case of coniferous wood and of wood fiber and wood vessels in the case of hard wood, was examined. On finishing these we made minute microscopic examinations over "präparat" of thinnest pieces made out of cross, radial or tangential sections of wood of each species. The test pieces thus treated with our microscopic examination amounted to some 500 in number for each subject, and subjects of test covered the following;

(1) Concerning the cross section of wood:

- (a) Diameter of a tracheid
- (b) Thickness of the cell-wall of a tracheid
- (c) Diameter of a wood fiber
- (d) Thickness of the cell-wall of a wood fiber
- (e) Diameter of a vessel
- (f) Density of vessels

(2) Concerning the Radial section

- (a) Length of a wood ray

(3) Concerning the tangential section

- (a) Diameter of a wood ray
- (b) Height of a wood ray
- (c) Rank of a wood ray

The test results of all these examinations are given in Tables 7, 8, 9, 10 and 11, while the relation between thickness of a cell-wall of tracheids in coniferous wood, and wood fibers in hard wood, and the compression as well as shearing strength is illustrated in Tables 12 and 13, and Fig. 13 and 14.

IV. Anisotropic properties of beech wood

We have so far ascertained that anisotropic properties can be improved by artificial means, such as the adhesion of boards and veneers with different angles of grain, impregnation of chemicals or application of external compression, etc. Before entering into the question, however, I wish herewith to refer to the result of my study on the anisotropic properties of wood, especially of those of beech (*Fagus crenata* Blume), which is a diffuse-porous wood most commonly found in our country. The results of tests are as follows;

1. Test method for examining wood properties

I have first prepared some flat boards with the cross grain conversed from trees whose places of growth are given in Table 1, but those only which are different from woods treated of in chapter II. Those test pieces consisted of those having the angle of grain of 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° and 90° and have been tested by methods mostly similar to those mentioned in chapter II.

2. Test results of anisotropic properties

The test results are given in Table 13. In the tables, the value of specific gravity, compression strength, modulus of rupture of static bending, tensile strength or shearing strength has each been represented by that at 15% of moisture content as adjusted by the method shown in Chapter II. The only exception to this rule is the value of impact strength which represents the value of the air-dry piece.

Concerning the relation between the angle of grain and the strength, Hankinson's formula has been proved to be correct in nearly all cases. It runs as follows:

$$\sigma_{\gamma} = \frac{\alpha_{\parallel} \sigma_{\perp}}{\alpha_{\parallel} \sin \gamma + \sigma_{\perp} \cos \gamma}$$

The test results are illustrated in Fig. 15, 16, 17, 18 and 19.

As to the value of N the effect of my examination compares with that hitherts known as below:

Kind of strength	K. Horioka	F. Kollmann
Compression strength	3	2.5
Modulus of rupture of static bending	2.5	2
Tensile strength	2.5	1.5~2.0
Impact bending	2.5	1.5~2.0
Shearing strength	3	

V. Conclusion

The main subjects of my study for improvement of wood properties may be summarized as below:

1. Tests on compression strength, modulus of rupture of static bending, Young's modulus of static bending, tensile strength, tensile Young's modulus,

impact bending strength, and shearing strength have been conducted upon 35 species of commercial and important trees grown in Japan and one species native to Taiwan (Formosa).

Each result of test is given in Tables 2 and 3.

The relation between strength and specific gravity is illustrated in Fig. 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10.

The experimental formulas of the relation are shown in the following;

$$\sigma_C = 844.5 \gamma_{15} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad \sigma_B = 1,600 \gamma_{15}^{1.31} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$E_B = 177,000 \gamma_{15} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad \sigma_T = 1,890 \gamma_{15} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$E_T = 248,000 \gamma_{15} \text{ [kg/cm}^2\text{]} \quad \sigma_I = 1.9 \gamma_{air dry}^{1.23} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_S = 244 \gamma_{15} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

2. Both radial and tangential mean shrinkage per 1% moisture content has been ascertained and its result has been given in Tables 2 and 3.

The mean shrinkage-specific gravity relation is illustrated in Fig. 11 and 12, the experimental formulas of the relation are shown following.

$$\alpha_T = 0.53 \gamma_{15} \text{ [%]} \quad \alpha_R = 0.30 \gamma_{15} \text{ [%]}$$

3. Important woods available in Japan have been classified according to the index of quality relative to the strength of wood

(1) Static and kinetic index of qualityexcellent

Coniferous wood Hinoki, Ezomatu, (Taiwan-hinoki), Akamatu, Kuro-matu, Hiba

Dicotyledonous wood none

(2) Static index of qualityexcellent

Kinetic index of quality.....medium

Coniferous wood Sirabe, Karamatu

Dicotyledonous wood Makaba, Mizume, Totinoki, Katura, Kusunoki, Buna, Onigurumi, Tabu, Hohonoki, Sinanoki, Yatidamo, Harigiri, Mizunara, Keyaki, Sudazii

(3) Static index of qualitymedium

Kinetic index of quality.....excellent

Coniferous wood Momi, Todomatu, Sawara, Sugi

Dicotyledonous wood Doronoki, Kiri

(4) Static and kinetic index of quality.....medium

Coniferous wood Himekomatu, Tuga, Tōhi

Dicotyledonous wood Itayakaede, Isunoki, Harunire

(5) Static index of qualitymedium

Kinetic index of quality.....bad

Dicotyledonous wood Akagasi

4. The effect of study on anatomical properties of important woods in Japan is shown in Tables 7, 8, 9, 10 and 11, the relations between compression strength, shearing strength and the thickness of the cell-wall of wood are given in Fig. 13 and 14.

Strength—thickness of cell wall relation can be expressed in the following expression:

$$\sigma_C = 151.9 T_C$$

And shearing strength-thickness of cell wall relation can be denoted by:

$$\sigma_S = 38.4 T_C$$

5. Effects of study on anisotropic properties of the beech are shown in Table 13, while the relation between the results and Hankinson's formula,

$$\sigma_{\gamma} = \frac{\sigma_{\parallel} \sin \gamma + \sigma_{\perp} \cos \gamma}{\sin \gamma + \cos \gamma}$$

is illustrated in Fig. 15, 16, 17, 18, and 19, the value of n being sought every time each strength is settled.

VI LITERATURE CITED

- (1) Watanabe, H. and Sigematu, M.: Verteilung des Raumgewichtes im Stamm aus dem Urwald von Fichte (*Picea iezoensis* Carr.), Tanne (*Abies sachalinensis* Fr. Schm.) and Lärche (*Larix dahurica* Turcz Var. *japonica* Maxim)
Research Bulletins of the college experiment forests, Kyushu University vol. 13, p. 57—78, (1943)
- (2) Watanabe, H. and Sigematu, M.: On the distribution of density in the stems of Kirishima-Akamats forest
Research Bulletins of the college experiment forests, Kyushu University Vol. 15, p. 1—18, (1947)
- (3) Watanabe, H. and Sigematu, M.: On the distribution of density in the stems of Hinoki forest
Research Bulletins of the college experiment forests, Kyushu University Vol. 16, p. 1—6, (1948)
- (4) Hirai, Sinzi: Distribution of bulk density of wood in the stem of *Picea excelsa* Link of Chichibu district and its weight growth
J. of Japanese Forestry Society Vol. 31, p. 224—228, (1949)
- (5) Hirai, Samon: Studies on the variation in density of woods in the green stem of Japanese-larch
Research Bulletins of the college experiment forest, Hokkaido University Vol. 14, p. 124—157, (1948).
- (6) Yazawa, K.: Specific gravity when green and when oven-dry, moisture content in green condition, volumetric shrinkage of sapwood and heartwood in trunk and branches of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don).
Research bulletin of the Gifu College of Agriculture No. 68, p. 145—158, (1950)
- (7) Azuma, T.: On the compression strength of Sugi wood
J. of Japanese Forestry Society Vol. 22, p. 687—692, (1940).
- (8) Kitamura, Y.: Relative relation between the annual ring breadth, density and compression strength of the oven-dry and more important wood grown Hokkaido
Bulletin of the Hokkaido Forestry Experimental Station Vol. 14, p. 1—93, (1943)
- (9) Sawada, M.: Studies on the deformation of Yezomatsu (*Picea jezoensis* Carr.) under Compression parallel to the grain (1) Investigation of the manner of failure
Bulletin of the Hokkaido Forestry Experimental Station Vol. 66, p. 10—32, (1947)
- (10) Miyagi, T.: The relation between bending Young's modulus of wood and the thickness of beam
J. of Japanese naval architecture society (1943)
- (11) Miyagi, T.: On the bending strength of wood (1). On the simple bending.
J. of Japanese naval architecture society p. 220—222, (1943)
- (12) Miyagi, T.: On the bending strength of wood (2). The relation between the thickness of square beam and modulus of bending rupture
J. of Japanese naval architecture society p. 256—258, (1943)
- (13) Sawada, M.: Comparison of data for tension-parallel to grain test and compression parallel to grain test of Yezomatsu (*Picea jezoensis* carr.) grown in Hokkaido
Bulletin of the Hokkaido Forestry Experimental Station Vol. 68, p. 37—51, (1948)
- (14) Takeyama, K.: Experimental research for the shearing strength of coniferous wood.
Transactions of treatises of Japanese architecture society (1944)
- (15) Kagita, S. and Nakato, K.:
(a) Influence of some extracting treatments on the hygroscopicity of wood.
(b) On the Hygroscopicity of "Kiri" (*Paulownia tomentosa* Steud.) wood.
Bulletin of the wood research institute, Kyoto university vol. 2.

- (16) Ohara, J.: On the superior properties of water-proof and moisture-prevent of Koyamaki (*Sciadopitys Verticillata* S. et Z.)
Wood industry Vol. 3, No. 3, p. 8—15, (1948)
- (17) Kano, T.: On the shrinkage of Todomatu (*Abies Magriana* Miyabe et Kudo)
Bulletin of the Hokkaido Forestry Experimental station Vol. 68, p. 1—22, (1949)
- (18) Kano, T.: On the quantitative relation between the length of materials and their environmenting moisture condition
 1. Makaba (*Betula nikoensis*) wood material
 2. Veneer (rotary cutting)
 3. Plywood
 Bulletin of the Hokkaido Forestry Experimental station Vol. 66, p. 1—9, (1949)
- (19) Watanabe, H.: On the relatives between the various mechanical properties of wood (1). *Abies sachalinensis* Fr. Schm., *Picea jezoensis* Carr., and *Larix daurica* Turcz. Var. *japonica* Maxim.
Research bulletins of the college experiment forests, Kyushu University Vol. 13, p. 35—56, (1943)
- (20) Miyosi, T.: Ecological studies on the qualities of the timber of “Hinoki”, *Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc. (1951).
- (21) Kaburagi, Z.: Forest biological studies on the wood quality. Report 1. On the moisture content, the bulk density of the early- and last-wood of green Todo-fir grown at Nopporo district in Hokkaido and their shrinkage
Bulletin of the government forest experiment station No. 46, p. 37—70, (1950)
- (22) Kano, T.: Forest biological studies on the wood quality. Report. 2. Hygroscopical properties of Todo-fir (*Abies Mayriana* Miyabe et Kudo) lumber
Bulletin of the government forest experiment station No. 46, P. 71—110, (1950)
- (23) Kano, T.: Forest biological studies on the wood quality. Report 3. On the variation to the width of annual rings, summer-wood percents, and the bulk density of green Todo-fir grown at Nopporo district in Hokkaido
Bulletin of the government forest experiment station No. 52, p. 23—78, (1952)
- (24) Miyosi, T. and Horioka, K.: Investigations and researches for the resources and properties of important wood grown in Japan, 3rd report. (1944)
- (25) Navy aeronautics arsenal, Research for the properties of wood for air-plane (1944).
- (26) Newlin, J. A. and Wilson, T. R. C.: The relation of the shrinkage and strength properties of wood to its specific gravity, U. S. Department of Agriculture, Bulletin No. 676
- (27) Markwardt, L. J. and Wilson, T. R. C.: Strength and related properties of woods growth in U. S. A.
Technical bulletin No. 479, (1935)
- (28) Kollmann, F.: Technologie des Holzes S. 171, 179 (1936)
- (29) Watanabe, H.: The index of quality relative to the strength of woods used for the light construction J. of Japanese Forestry Society Vol. 31, p. 228—231, (1949)
- (30) Kanehira, R.: Anatomical characters and identification of important wood of the Japanese Empire (1926)
- (31) Kollmann, F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe S. 667, 747, 808, 852 and 907, (1951)
- (32) Pearson, R. G.: The sampling of timber for standard mechanical test, Australian J. of App. Sic. Vol. 3, No. 1 (1952)
- (33) Masuyama Genzaburō: The method of experiment of minist sample and planing of experiment plan (1950)
- (34) Wangaard, F. F.; The mechanical properties of wood (1950)
- (35) American society for testing material: 1952 Book of A. S. T. M. Standard, Part 4 (1952)
- (36) Mori Tōru: Wood and bamboo, p. 23 (1948)