HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	トドマツ造林木の材質と利用：第2報 厚賀産トドマツの生長と基礎材質
Author(s)	宮島, 寛
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 38(2), 305-321
Issue Date	1981-09
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/21062
Type	bulletin (article)
File Information	38(2)_P305-321.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

トドマツ造林木の材質と利用

第2報　厚賀産トドマツの生長と基礎材質*

宮　島　　寛**

Quality and Utilization of Plantation-Grown Todo-Fir Wood

Report 2. Growth and Wood Quality of Todo-Fir Grown in Atsuga District*

By

Hiroshi MIYAJIMA**

目　　次

1. 緒　　言 …… 305
2. 材料および方法 …… 306
3. 結果および考察 …… 307
3.1 生長経過 …… 307
3.2 平均年輪幅，生材含水率および容積密度数 …… 309
3.3 収縮率 …… 313
3.4 力学的性質 …… 315
3.5 平均年輪幅と諸性質との関係 …… 316
3.6 容積密度数と力学的性質との関係 …… 317
3.7 ヤング係数と強度との関係 …… 319
4. 結　　言 …… 319
文　　献 …… 320
Summary …… 320

1. 緒　　言

さきに恵庭営林署管内の昭和10年植栽，林齢44年のトドマツ造林木の生長経過と基礎材質についての研究結果を報告し[1]，同地方に植栽されたカラマツに比べて，材積生長劣り，かつ容積密度数が小さいので，重量生長はさらに劣ること，また水食い材が多いことなどを指摘した。トドマツは周知のように北海道における国有林の最も重要な造林木であるので，このよう

* 1981年2月28日受理　Received February 28, 1981.
** 北海道大学農学部林産学科木材加工学教室
Laboratory of Wood Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

に水食い材が多い場合には，その将来に大きな不安がある。このため各地に植栽されたトドマツの生長経過と材質の究明を続けて行う計画をたて，今回は北海道営林局厚賀営林署管内のトドマツ造林木（昭和25年植栽，林齢30年）について前回と同様の研究を行ったので，ここに報告する次第である。また，この恵庭と厚賀両産材から製材した204材についての枠組材としての評価は次報で行う予定である。

この研究を行うに当り，北海道営林局技術開発室・川崎舜平企画官（現青森営林局），同・山川技官，厚賀営林署田畑一郎署長はじめ署員各位に毎木調査，供試木選定，供試材の搬出，運搬などで大変お世話になった。また，各測定，試験においては当木材加工学講座専攻学生の松村司・佐野善昭両君の熱心な協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

2.　材料および方法

供試木採取地として北海道営林局厚賀営林署厚賀事業区145ろ林小班の昭和25年トドマツ植栽地（2.42 ha）を選んだ。厚賀営林署によるこの林分内に設定した50×50 m＝0.25 haの標準地における供試木選定直前の毎木調査の結果は表-1に示すとおりで，胸高直径6 cmから26 cmの範囲にあり，平均14.9 cmで，22 cm以下が97％を占める。ha当たり1,188本，158 m^3である。この林分では1979年秋に4列目ごとを伐倒する列状間伐（1列伐，3列残）が行われたので，この間伐直前にはha当り1,580本，200 m^3程度の蓄積があったものと推定される。前回の恵庭の場合は林齢44年で，ha当り1,158本，221 m^3，年平均生長量5.0 m^3であったので，厚賀（年平均生長量6.7 m^3—間伐直前）の方が材積生長量が優れているといえる。表-1における胸高直径の分布を参考にして，この林分から同12，14，16，18，20および22 cmの樹幹ほぼ通直な標準的な立木を各1本，計6本を供試木として選んだ。伐倒は昭和55年8月27日である。

これらについて立木時に隣接木を含めて樹冠投影図（図-1）を作成し，地上高0.3 mに印をつけて伐倒し，地上高0.0，0.3，1.3，3.3，5.3 m…以後2 mおきに繊維方向約35 mmの円板を採取した。各供試木の樹齢

表—1　標準地毎木調査結果

Table 1. Results of diameter measurement in a sample plot (50×50 m area)

胸高直径 Diameter at breast height (cm)	本数 Number of trees (n)	単木幹材積 Stem vol. of a tree (m^3)	合計幹材積 Total volume (m^3)
6	29	0.01	0.29
8	17	0.03	0.51
10	23	0.05	1.51
12	42	0.06	2.52
14	35	0.09	3.15
16	36	0.13	4.68
18	30	0.18	5.40
20	50	0.23	11.50
22	27	0.27	7.29
24	5	0.34	1.70
26	3	0.42	1.26
Total	297		39.45

(注　Remarks) 1188 trees/ha, 158 m^3/ha.

は0.0 mmの位置における年輪数とした。円板についてはかんな仕上げを行い，樹幹析解の方法で，4半径について5年ごとの年輪幅を測定し，のちこの4半径方向から板目方向約25 mm，半径方向5～30 mm（辺・心材および年輪幅の広狭により分割をきめた），繊維方向25～30 mmに丸鋸盤で分割し，ブロックをつくり，これらについて平均年輪幅，容積密度数（R：全乾重量/生材体積 kg/m^3）および含水率（u：全乾重量に基づく値）を測定した。

つぎに，円板採取後の地上高0.3～1.3 mの丸太の上部から板目およびまさ目方向ならびに繊維方向の収縮率測定用試片をつくり，JIS Z 2103にもとづく収縮率測定を行い，平均収縮率（含水率15%時の寸法にもとづく含水率1%減少に対する収縮率），気乾（含水率15%）までの収縮率および全収縮率（生材から全乾状態までの収縮率）を求めた。

また，樹高0.3 mから1.3 m間の丸太から生材状態で40×40×600 mmの試験片を作製し，スパン56 cm（材せいの14倍）として中央集中荷重による曲げ試験を行い，その終了後，非破壊部分から長さ80 mmの試験体を採取し，縦圧縮試験を行った。この縦圧縮試験体採取時に含水率測定用の小片も採取し，試験時の含水率を求めた。この強度試験では生材状態における曲げヤング係数，曲げ比例限度，曲げ強さおよび縦圧縮強さを求めた。

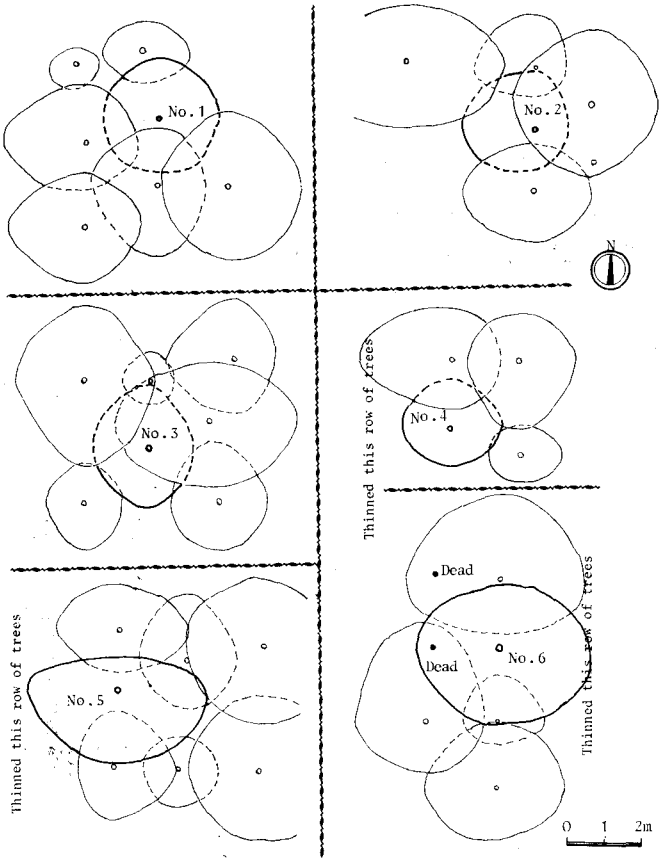
3. 結果および考察

3.1 生長経過

供試木の概要は表-2に示すとおりである。この採取地はNW 5°のゆるやかな傾斜地であったが，ほとんどの樹幹は通直であった。樹高は10～14 m程度であったが，No. 3のように胸高直径の割にその低いものもあった。枝下高は主な生き枝までの高さを示したが，枝打ちが行われていないので，この下に枯れ枝が多く付いていた。年輪数は0.0 m（植栽時より若干上部と思われる）の位置における測定数としたが，すべて30年で，苗木の年数がみられなかった。材積（樹幹析解による計算値）は0.05～0.25 m^{3}であった。

この林分は図-1の樹冠投影図からわかるように，この調査時の10カ月前に4列目ごとの列状間伐が行われたのみであるので，樹冠は混み合い，多くの被圧木が生じている。6本の供試木のうちNo. 1～3は被圧木といえる。したがって，これらは生長悪く，植栽後30年で0.05～0.1 m^{3}の材積しかない。このように列状間伐後においてもなお被圧木が数多くみられるのは間伐不足であり，かつ列状間伐ではなく，選木による真の間伐が必要である，と痛感する。

ここで比較的生長のよいNo. 5と6の樹冠の平均の大きさは図-1によれば4.5×3.3 mである。この大きさの樹冠を重らないように1 haに配置すれば本数は660本程度となる。早い時期にこの程度の本数に除・間伐を行い，かつ残存木がNo. 5～6程度に生長したとすればha当りの総材積は0.227 m^3(No. 5と6の平均材積)×660≒150 m^{3}となり，表-1に示す毎木調査結果の158 m^{3}とほぼ同じ値であるが，その列状間伐前よりはかなり少ない値で，ほぼ75%と推定される。このように植栽後早い時期に除・間伐を行い，かつ残存木が期待どおりの生長をし



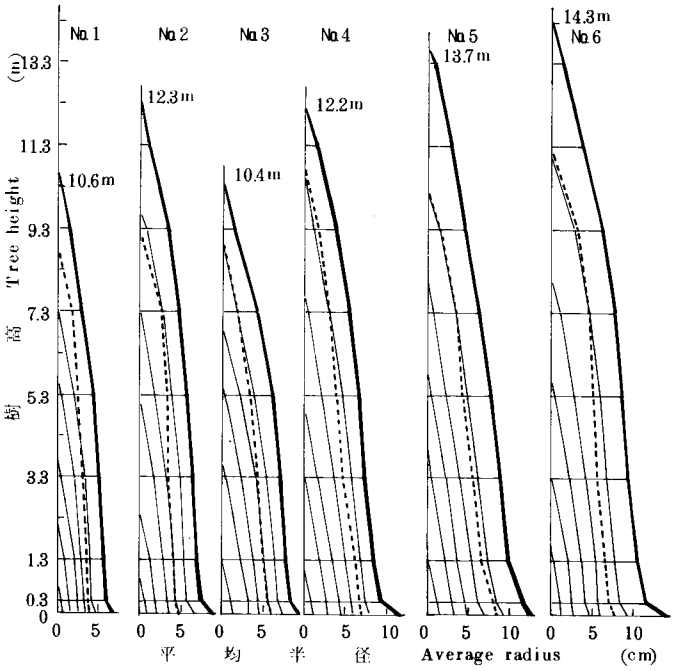
図—1 樹 冠 投 影 図

Fig. 1. Crown projections of sample trees.

表—2 供 試 木

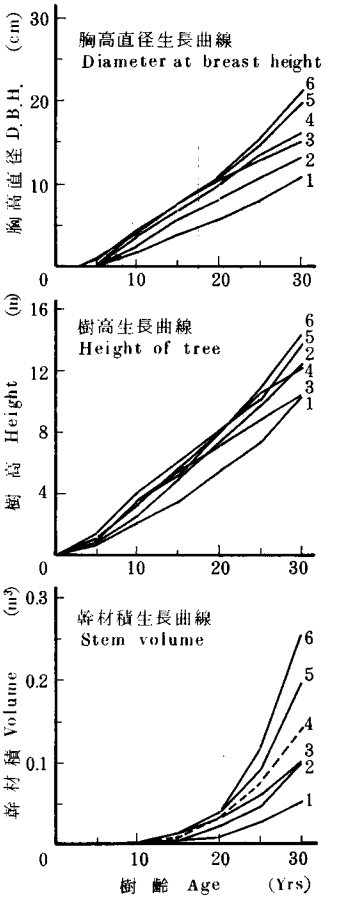
Table 2. Sample trees

供試木 Tree No.	胸高直径 D.B.H. (cm)	樹高 Height of tree (m)	枝下高 Height up to main branch (m)	年輪数 No. of rings	幹材積 Volume of stem (m)
1	12	10.6	4.5	30	0.0527
2	14	12.3	5.8	30	0.0977
3	16	10.4	3.4	30	0.1065
4	18	12.2	5.1	30	0.1417
5	20	13.7	4.6	30	0.1992
6	22	14.3	5.4	30	0.2550



図—2 樹幹析解図

Fig. 2. Basic stem-growth diagrams.



図—3 生長曲線

Fig. 3. Growth curves.

ても，ha 当りの総材積は除・間伐を行わない場合より減ずるであろう。しかし，胸高直径，材積の平均値はかなり増加し，早い時期に径級の大きな材をうることができよう。

供試木の生長経過を図-2と3に示す。図-2の樹幹析解図からは No. 1～2 は幼齢時から生長が他のものに劣っていたことがわかる。したがって，これらは除・間伐の対象となるものである。図-3の材積生長曲線にみられるように，各供試木とも 25～30 年の 5 年間に全材積のほぼ半分に相当する量の生長をしている。とくに，No. 5～6 は残存されていたとすれば，その材積生長量は今後とも急激に増大するものと推定される。

この林分の生長量は前述のように，列状間伐前，ha 当り年平均生長量 6.7 m^3 である。これに後述の容積密度数の平均値 309 kg/m^3 を乗ずれば木材実質の生産量は 2.07 t となり，前回の恵庭産トドマツの 1.60 t より約 3 割大である。しかし，野幌産トドマツ（加納[2]）の 3.28 t よりかなり小さく，その 63% である。

3.2 平均年輪幅，生材含水率および容積密度数

円板から採取したブロックについて測定した平均年輪幅は表-3 に示すように，各供試木の平均値は 3.4～5.4 mm で，全体で 4.3 mm である。前回の恵庭産材では 1.8～4.1 mm，全平均 3.1 mm であったので，厚賀産材の方が肥大生長がよかったことがわかる。辺・心材別では No.

表—3 平均年輪幅，生材含水率および容積密度数

Table 3. Average width of annual rings, moisture content in green condition and basic density

供試木 Tree No.		測定数 n	平均年輪幅 Av. ring width R_W (mm)					含水率 Moisture content u (%)					容積密度数 Basic density R (kg/m)^3				
			平均値 Av.	最大値 Max.	最小値 Min.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V. (%)	平均値 Av.	最大値 Max.	最小値 Min.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V. (%)	平均値 Av.	最大値 Max.	最小値 Min.	標準偏差 S.D.	変化係数 C.V. (%)
1	辺材 S	22	4.2	6.3	2.7	1.3	32	239	281	206	17	7	293	320	260	15	5
	心材 H	17	2.4	4.3	1.5	1.1	47	89	157	37	35	40	338	386	275	31	9
	全体 All	39	3.4	6.3	1.5	1.4	42	174	281	37	80	46	312	386	260	32	10
2	辺材 S	25	3.9	6.6	2.3	1.2	31	232	282	182	20	8	300	340	267	17	6
	心材 H	22	3.6	5.9	2.2	1.1	31	78	140	36	23	29	326	442	257	42	13
	全体 All	47	3.7	6.6	2.2	1.2	31	162	282	36	80	50	312	442	257	33	11
3	辺材 S	21	3.5	6.3	1.4	1.2	35	252	306	174	41	16	272	303	247	17	6
	心材 H	24	3.8	5.7	2.4	0.9	25	46	68	30	11	25	304	377	256	29	10
	全体 All	45	3.6	6.3	1.4	1.1	30	139	306	30	112	80	289	377	247	29	10
4	辺材 S	25	4.0	6.6	2.1	1.2	29	200	228	161	19	10	326	349	273	16	5
	心材 H	31	4.0	5.8	2.8	0.9	23	83	181	43	33	40	338	375	295	22	6
	全体 All	56	4.0	6.6	2.1	1.0	26	135	228	43	65	48	332	375	273	20	6
5	辺材 S	26	5.4	7.3	3.0	1.1	20	236	276	158	23	10	299	324	264	13	4
	心材 H	34	4.3	7.0	2.8	0.9	22	57	96	37	14	24	332	454	287	34	10
	全体 All	60	4.8	7.3	2.8	1.1	24	134	276	37	91	68	317	454	264	31	10
6	辺材 S	29	6.0	9.8	4.0	1.3	21	241	282	181	27	11	279	319	264	14	5
	心材 H	35	4.9	7.6	2.1	1.5	31	77	138	48	25	33	303	354	269	22	7
	全体 All	64	5.4	9.8	2.1	1.5	28	151	282	48	86	57	292	354	264	23	8
全体 All		311	4.3	9.8	1.4	1.4	34	148	306	30	86	58	309	454	247	32	10

(Remarks) n: Number of measurements, S: sapwood, H: heartwood.

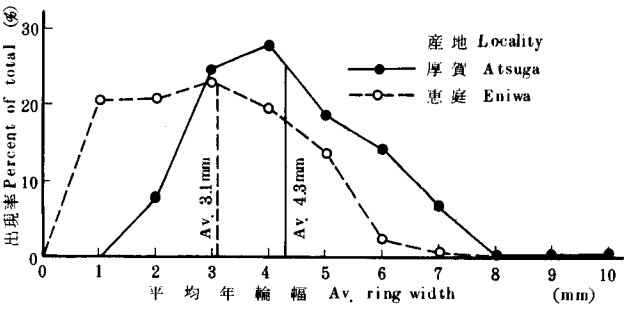
3以外はいずれも辺材の方の年輪幅が広くなっており，これは最近の肥大生長がよくなっていることを示す。No. 1 の心材の値は 2.4 mm で，他のものと比べ，肥大生長は幼齢時から劣っていたことを示す。最大値は No. 1 でも 6.3 mm (辺材) を示し，No. 6 には 9.8 mm という非常に大きな値がある。全体で標準偏差 1.4 mm，変化係数 34% である。恵庭産材ではそれぞれ 1.25 mm および 40.4% であったので，ばらつきには両地方産材にあまり大きな差はないといえる。

このブロックについて測定した平均年輪幅の出現率を恵庭産材と比べると，図-4 に示すようになり，厚賀産材の方が値の大きい方の位置にあることがわかる。なお，前報[1] では円板における 5 年輪ごとの平均年輪幅の出現率を示したので，この図とは若干異なる。

生材含水率は表-3 に示すように，平均値は辺材で 200～252%，心材は 46～89% である。辺材では 158～306% の間にあり，すべてが高含水率であるが，心材は 30～181% という極めて広い範囲にあって，この場合も水食い材が No. 1, 2, 4 および 6 にみられた。全体で標準偏差 86%，変化係数 58% で，含水率のばらつきが非常に大きいといえる。恵庭産材の場合，心材部 200% 前後以上の部分が 6 供試木のうち 5 本にみられたので，厚賀産材の水食い材の程度はこれよりやや低いといえる。

表-4 に示すように，この含水率の地上高による変化は上部に行くにしたがって含水率が高くなる傾向がみられる。また，心材の高含水率部は No. 1, 2, 4, 6 のほぼ全体にみられる。この心材部の高含水率については多くの齢級の造林木について調査を行い，とくに大径木になってからの凍裂との関係を究明しておく必要がある。凍裂木は製材用原木にはならないので，パルプ材として扱われ，材価は非常に低い。トドマツ育林には晩霜害のような寒さに対する問題もあるが，この水食い材も極めて重要な問題で，育種学的な研究により，この水食い材をなくするようにしなければ，トドマツの造林には将来に大きな不安を残すことになる。

容積密度数の辺・心材別平均値は各供試木について，辺材で 279～326 kg/m^3，心材で 303～338 kg/m^3 で，いずれも心材の値が若干高い。これは年輪幅が心材の方が辺材よりやや狭いことも関係していると思われる。全体的で平均値 309 kg/m^3，標準偏差 32 kg/m^3，変化係数 10%



図—4 平均年輪幅の出現率

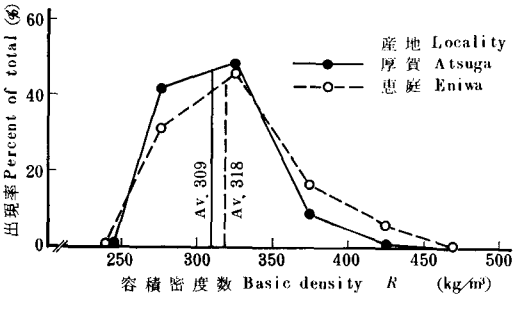
Fig. 4. Frequency curves of average width of annual rings.

表—4 辺心材・地上高別含水率 (u: %)

Table 4. Variation of moisture content in sap-and heatwood with height

地上高 Height above ground (m)	辺材 Sapwood			心材 Heartwood			辺材 Sapwood			心材 Heartwood		
	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.
			No. 1						No. 2			
0.3	232	243	223	57	98	37	216	239	182	58	102	36
1.3	234	256	217	75	119	59	232	244	218	89	103	75
3.3	245	251	236	133	157	111	230	248	221	86	140	68
5.3	242	259	223	96	105	87	247	246	225	78	86	69
7.3	240	281	206	—	—	—	222	234	209	81	90	69
9.3	248	—	—	—	—	—	245	260	215	81	—	—
11.3							282	—	—	—	—	—
			No. 3						No. 4			
0.3	197	211	174	33	37	30	190	198	184	92	181	43
1.3	220	236	206	44	52	38	196	215	163	80	133	54
3.3	263	271	253	54	59	49	182	196	161	83	106	74
5.3	289	305	279	71	68	53	206	223	193	82	125	69
7.3	299	306	283	59	—	—	223	228	213	65	71	60
9.3	228	—	—	—	—	—	197	213	177	88	—	—
			No. 5						No. 6			
0.3	235	245	220	57	78	38	257	282	242	70	138	49
1.3	249	256	245	52	61	42	259	264	244	74	104	49
3.3	241	277	213	56	88	45	240	262	189	83	112	65
5.3	238	248	226	54	66	45	256	237	236	73	119	52
7.3	244	254	237	56	59	51	243	253	235	60	71	52
9.3	239	249	229	85	96	74	240	253	220	107	122	78
11.3	158	—	—	—	—	—	190	208	181	—	—	—
13.3	185	—	—	—	—	—	237	—	—	—	—	—

でばらつきは少ない方である。ここで最大値にみられる440～450 kg/m³ という値はいずれもあて材によるものである。一方，部分的には247 kg/m³ という小さい値もあった。各供試木別の平均値をみると，No. 3と6では300 kg/m³ 以下となり，いずれも構造材として容積密度数が若干不足と思われる。構造材としてはヤング係数，各種の強度のほか容積密度数または比重も重要な因子である。その小さいものは釘の保持力，めり込み耐力などが劣るので，この値の大きい



図—5 容積密度数の出現率

Fig. 5. Frequency curves of basic density.

もの(あて材でないことを確かめる必要あり)を育てていくようにせねばならない。トドマツ天然木 (厚田産, 加納・蕪木[3]) 68 本の総平均値 342 kg/m³ に比べ, 厚賀産はその 90% の値である。また, 恵庭産材の全平均値 318 kg/m³ より約 3% 小さい。これは厚賀産材の方の年輪幅が広いことによると思われる。両地方産材の容積密度数の出現状態は 図-5 に示すように, あまり大きな差はない。

容積密度数の地上高別の値 (表-5) では一般に下部が大で, 上部が小さい傾向がみられる。

表—5 地上高別容積密度数 (R: kg/m³)

Table 5. Variation of basic density with height above ground

地上高 Height (m)	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.	平均 Av.	最大 Max.	最小 Min.
		No. 1			No. 2	
0.3	343	386	305	331	379	300
1.3	322	356	285	325	442	295
3.3	309	338	291	317	393	257
5.3	290	308	275	285	300	267
7.3	276	290	260	315	338	299
9.3	277	—	—	282	300	273
11.3	—	—	—	289	—	—
		No. 3			No. 4	
0.3	323	377	283	350	375	333
1.3	291	313	268	336	358	323
3.3	285	301	265	342	361	327
5.3	265	287	254	320	337	309
7.3	263	300	247	309	330	295
9.3	248	—	—	330	350	305
11.3				273	—	—
		No. 5			No. 6	
0.3	349	454	294	312	354	264
1.3	324	360	293	300	341	276
3.3	320	360	290	299	319	275
5.3	306	328	287	283	306	266
7.3	298	316	287	270	279	264
9.3	292	306	283	282	294	273
11.3	324	—	—	281	290	276
13.3	264	—	—	331	—	—

3.3 収 縮 率

結果を 表-6 に示す。試験片のなかにあて材が含まれていたので, これを除外して別に平均値を求めた。板目, まさ目および繊維方向で, 正常材の場合, 平均収縮率の平均値は 0.32, 0.12 および 0.010% で, 板目とまさ目の比は 2.7 : 1 である。繊維方向はほとんど 0 とみてよい。あ

表—6　収　縮　率

Table 6.　Shrinkage

(1)　板目およびまさ目方向 Tangential and radial directions

項目 Items		平均年輪幅 R_W (mm)	容積密度数 R (kg/m³)	平均収縮率 板目 $\beta_{t\text{-av}}$ (%)	平均収縮率 まさ目 $\beta_{r\text{-av}}$ (%)	15%までの収縮率 板目 $\beta_{t\text{-15}}$ (%)	15%までの収縮率 まさ目 $\beta_{r\text{-15}}$ (%)	全収縮率 板目 $\beta_{t\text{-0}}$ (%)	全収縮率 まさ目 $\beta_{r\text{-0}}$ (%)	全収縮率 体積 $\beta_{v\text{-0}}$ (%)
正常材 Normal wood (n=50)	平均値 Av.	3.6	321	0.32	0.12	3.86	0.97	8.41	2.72	10.89
	最大値 Max.	5.8	372	0.58	0.20	6.02	1.91	11.05	4.64	13.64
	最小値 Min.	1.5	262	0.21	0.06	2.08	0.16	5.33	1.40	6.74
	標準偏差 S.D.	1.1	28	0.06	0.03	0.93	0.31	1.30	0.55	1.57
	変化係数 C.V. (%)	32.2	9	20.3	23.9	24.1	32.4	15.41	20.2	14.43
あて材 Compression wood (n=2)	平均値 Av.	4.0	365	0.24	0.08		0.50	6.55	1.69	8.13
	最大値 Max.	4.0	367	0.24	0.09		0.56	6.59	1.83	8.22
	最小値 Min.	4.0	362	0.23	0.07		0.43	6.51	1.55	8.04

(2)　繊維方向 Longitudinal direction

項目 Items		平均年輪幅 R_W (mm)	容積密度数 R (kg/m³)	平均収縮率 $\beta_{l\text{-av}}$ (%)	15%までの収縮率 $\beta_{l\text{-15}}$ (%)	全収縮率 $\beta_{l\text{-0}}$ (%)
正常材 Normal wood (n=35)	平均値 Av.	3.5	327	0.010	−0.032	0.112
	最大値 Max.	7.0	383	0.021	0.180	0.301
	最小値 Min.	1.7	272	0.001	−0.214	−0.033
	標準偏差 S.D.	1.2	29	0.003	0.073	0.078
	変化係数 C.V (%)	34.9	9	38.2	−227	69.8
あて材 Compression wood (n=9)	平均値 Av.	4.3	366	0.019	0.162	0.456
	最大値 Max.	5.4	450	0.037	0.369	0.923
	最小値 Min.	3.3	311	0.008	0.013	0.183

(Remarks) n: No. of specimens, R_W: average ring width, R: basic density, β: shrinkage in percent, t: tangential, r: radial, v: volume, l: longitudinal, av: shrinkage due to 1 percent-moisture content decreasing, 15: from green to 15 percent-moisture content, O: from green to ovendry.

て材は試片数が非常に少ないが，それぞれ 0.24, 0.08 および 0.019% で，正常材に比べ，板目およびまさ目は小さく，それぞれ 3/4 および 2/3 で，繊維方向は逆に大きく約 2 倍である。生材から含水率 15% までの収縮率はそれぞれ 3.86, 0.97 および −0.032% で，板目とまさ目の比はほぼ 4:1 で，平均収縮率より両者の差が大きい。繊維方向では生材時より気乾時の方が長さがわずかながら大きいものが多く，収縮率は－となった。これはマイクロメーターによる測定において軟い生材と比較的硬い気乾材では同一圧力による測定部と材との接触状態に差が生じたためかも知れない。この測定において，正常材の場合，生材から気乾材までほとんどの試片において，0 か増加が見られたが，気乾材から全乾材まででは全試片が明らかに収縮していた。

生材から全乾材にいたる全収縮率の平均値は正常材で，それぞれ 8.41, 2.72 および 0.112%

で，その比は 75 : 24 : 1 である。ここで板目とまさ目の比は 3 : 1 である。板目とまさ目の比が含水率の状態で異なるのは板目とまさ目方向で収縮の経過の違いによると思われる。すなわち板目方向では全収縮率 8.41% のうち，気乾状態 (15%) までにその 46% に相当する 3.86% 収縮するに対し，まさ目方向では 2.72%の 36% に相当する 0.97% 収縮するのみである。このように，板目方向は気乾から全乾状態までの収縮の割合が減じ，まさ目方向では逆に多くなる傾向となる。また，繊維方向では上述のように，生材から気乾材までは収縮率は 0 とみてよいが，気乾から全乾までは明らかに収縮し，その収縮率は正常材で 0.14%，あて材では平均で約 2 倍の 0.29%，大きいものでは 0.5% に達する。

このトドマツ材の用途を構造材とする場合は生材から気乾状態までの収縮率を考慮すればよい。この値は正常材で板目方向 4%，まさ目方向 1%，繊維方向 0% とみておけばよいであろう。あて材の場合，板目とまさ目方向はこれより少ないが，繊維方向で 0.16% あり，生材状態での使用に問題がある。とくにあて材の程度の強いものでは気乾状態までに 0.4% 近く収縮するので，あて材の生材状態での使用は乾燥により大きな狂いを生ずる原因となるので避けるべきである。

3.4 力学的性質

生材状態における試験結果の総括を表-7 に示す。試験体数は 43 である。これらの平均年輪幅は 3.6 mm で，前述の円板についての平均値 4.3 mm よりかなり小であった。容積密度数の

表—7 強度試験結果

Table 7. Mechanical properties

項目	平均年輪幅 R_W (mm)	容積密度数 R (kg/m³)	含水率 u (%)	ヤング係数 E (10^3 kg/cm²)	曲げ比例限度 σ_{bp} (kg/cm²)	曲げ強さ σ_b (kg/cm²)	縦圧縮強さ σ_c (kg/cm²)
平均値	3.6	329	99	70.1	168	297	177
最大値	5.7	376	224	92.2	222	377	313
最小値	1.9	272	35	43.2	116	192	143
標準偏差	0.9	22	47	9.3	23	40	17
変化係数 (%)	25.8	7	48	13.3	14	14	10

Items	Average ring width R_W (mm)	Basic density R (kg/m³)	Moisture content u (%)	Modulus of elasticity E (GPa)	Stress at p.l. σ_{bp} (MPa)	Modulus of rupture σ_b (MPa)	Max. crushing strength σ_c (MPa)
Av.	3.6	329	99	6.97	16.7	29.1	17.4
Max.	5.7	376	224	9.05	21.8	37.0	20.9
Min.	1.9	272	35	4.23	11.4	18.8	14.0
S.D.	0.9	22	47	9.11	2.3	3.9	1.7
C.V. (%)	25.8	7	48	13.32	13.7	13.6	9.8

(注 Remarks) 試験体数 Number of specimens : 43.

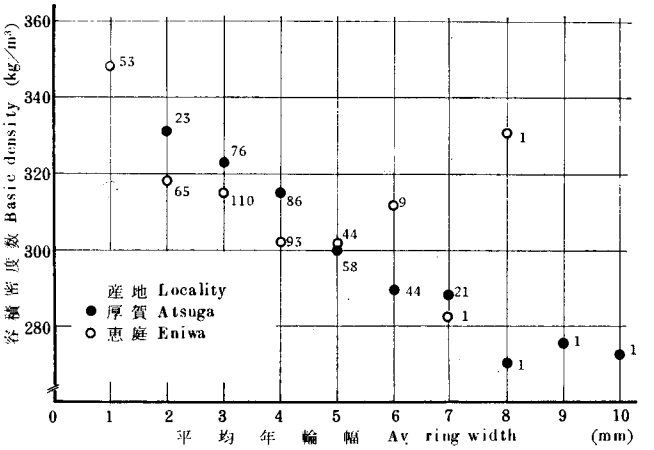
平均値は329 kg/m³で，円板の平均値309 kg/m³より大であった。これは試験体が地上高0.3～1.3 mの間からとられたため，表-5に示すようにこれらの部分の密度が高かったことによるものである。含水率は35%以上で，平均99%あり，生材状態といえる。ヤング係数は平均値が70.5×10³ kg/cm²で，恵庭産材の75.3×10³ kg/cm²よりわずかながら小であった。また，最小値が43.2×10³ kg/cm²のように，非常に小さいものもあり，これらは恵庭産材の場合と同様に髄に近い部分から採取した試験体にみられ，未成熟材によるものである。曲げ変形を重視する場合には，これら未成熟材の性質をよく知っておく必要がある。

曲げ比例限度の平均値は168 kg/cm²で，これも恵庭産材の212 kg/cm²よりかなり低く，その79%，曲げ強さも297 kg/cm²で，同じくその75%，さらに縦圧縮強さは177 kg/cm²で，88%であった。このよう生材状態における力学的性質はすべて恵庭産材より小であった。これは恵庭産材の樹齢が37～44年に対し，厚賀産材が30年で若かったことも原因の一つであると考えられる。曲げ比例限度の最小値116 kg/cm²は建築基準法施行令[4]における短期応力に対する曲げ許容応力度 $_sf_b$=150 kg/cm²より小さい。しかし生材状態であるので，その湿潤状態の値として，その7割をとれば，105 kg/cm²で，これ以上となるが，欠点による比例限度の低減を考慮に入れれば，一般構造材として必要な最低値に若干不足のものが含まれる，と判断される。曲げ強さでは建築基準法施行令における設計上のトドマツ材に対する値225 kg/cm²以下のものが3個あり，ここでも強度不足のものが若干ある，といえる。また，縦圧縮強さにおいても最小値143 kg/cm²は建築基準法施行令の設計上の値180 kg/cm²の7割（湿潤状態）に相当する126 kg/cm²よりわずかに大きいという程度で，生材状態の強度的性質はいずれも最小値の若干の向上が望まれる。一方，この力学的性質のばらつきはあまり大きくなく，変化係数は10～14%であった。

以上のように，生材状態で試験して得られた力学的性質の値はいずれも構造材として利用するには最低ぎりぎりの値を含むので，軸組工法の主要構造材としての使用は適切でないと判断される。これらは小径木でもあり，住宅用構造材としては枠組壁工法のたて枠材（204材—未乾燥材の断面40×90 mm）として使用できるように育てて行くのが妥当であると考えられる。204材としての性能評価については次報で述べる予定である。

3.5　平均年輪幅と諸性質との関係

まず，円板から採取した試片についての平均年輪幅と容積密度数との関係を図-6に示す。ここでは平均年輪幅1 mmごとに区分した試験片の容積密度数の平均値をプロットした。各点の数字は試験片数を示す。ここには前報の恵庭産材についての値も比較のため記入してある。平均的にみれば，平均年輪幅2 mmから8 mmぐらいまでの範囲で，容積密度数は330～280 kg/m³とほぼ直線的に減じているのがわかる。構造材としてみた場合，土台に対する柱のめり込み，梁・根太などの支点におけるめり込み，釘接合部の耐力などに関して材の密度も重要な性質である。木構造設計規準[5]ではトドマツ上級構造材の含水率15%時の比重を0.43以上と



図—6 平均年輪幅と容積密度数との関係

Fig. 6. Relation between average ring width and basic density.

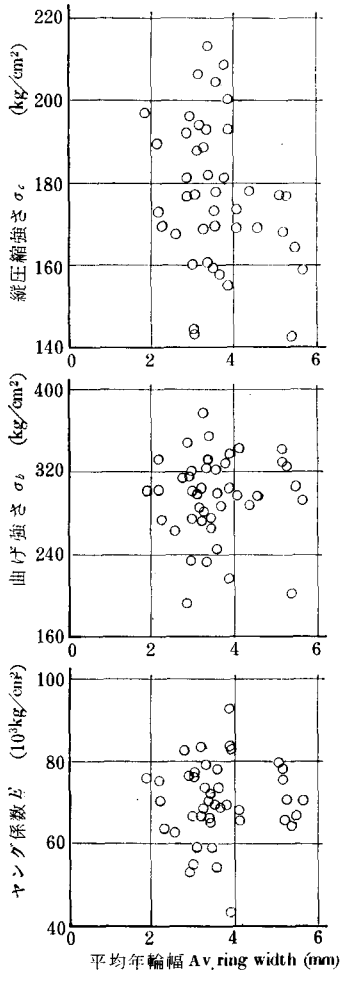
規定している。これは生材から含水率15%までの体積収縮率を4%とすれば,容積密度数に換算して360 kg/m³である。この厚賀産材ではこの値を超えた試片は311個中12個で,3.9%に過ぎない。また,図-6ではこの値以上の位置にプロットされていない。一方,前述の強度試験体においても容積密度数が360 kg/m³以上のは43体中2体のみで,この厚賀産材からは密度に関して上級構造材は得られにくい。普通構造材に対してはとくに比重の値は示されていないが,上述のめり込み,釘接合耐力などに必要な条件を保つには300 kg/m³以上必要であると思われる。図-6によれば,このためには平均年輪幅5 mm (ここでは4.5～5.4 mm) 以内が望ましいことになる。

恵庭産材と比較した場合,年輪幅2～4 mmの範囲では厚賀産材の方が若干容積密度数が大きい。

つぎに,平均年輪幅と生材状態における力学的性質との関係を図-7に示す。ここではヤング係数と曲げ強さには年輪幅との関係が明確にみられない。前述のように,髄に近い部分のヤング係数が小さいので,樹齢の若い樹木からの材ではそれは年輪幅よりも採材位置による影響を大きく受けるものと思われる。曲げ強さでは繊維傾斜,その他の欠点の影響により年輪幅との関係が明確にみられなかったものと思われる。縦圧縮強さにおいては年輪幅が広くなれば低下する傾向がみられる。

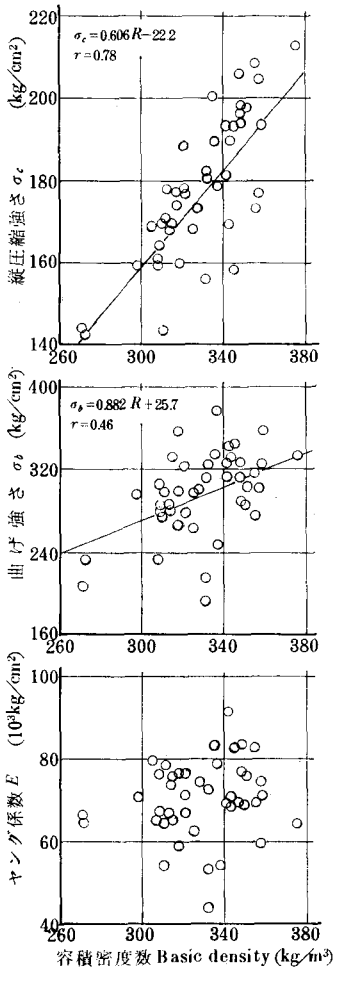
3.6 容積密度数と力学的性質との関係

容積密度数と生材状態における力学的性質との関係を図-8に示す。この場合もヤング係数においては容積密度数との関係は明確でない。これは年輪幅との関係の場合と同じ理由によるものと考えられる。曲げ強さにおいてはあまり明確でないが,密度の増加により,その値が増す傾向がみられる。この範囲で容積密度数 R (kg/m³) と曲げ強さ σ_b (kg/cm²) の関係は



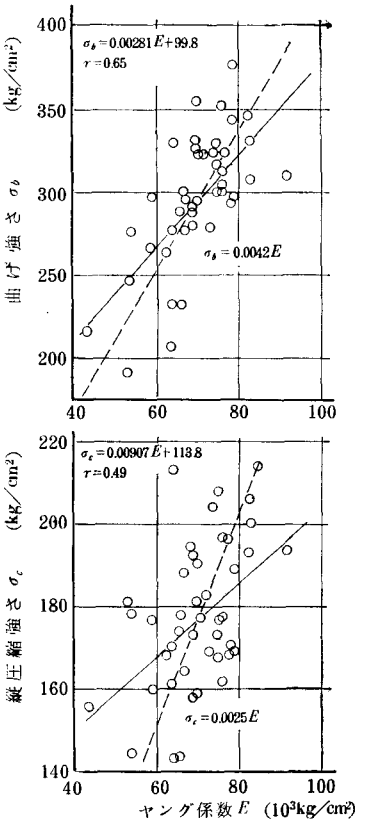
図—7　平均年輪幅と力学的性質との関係

Fig. 7. Relations between average ring width and some mechanical properties in green condition.



図—8　容積密度数と力学的性質との関係

Fig. 8. Relations between basic density and some mechanical properties in green condition.



図—9　ヤング係数と強度との関係

Fig. 9. Relations between modulus of elasticity and strength in green condition.

$$\sigma_b = 0.882R + 25.7 \qquad (\mathrm{kg/cm^2})$$

で表わされるが，相関係数は $r=0.46$ で低い。

縦圧縮強さ σ_c は曲げ強さの場合よりも容積密度数に対する関係は明確になり

$$\sigma_c = 0.606R - 22.2 \qquad (\mathrm{kg/cm^2})$$

で表わされ，$r=0.78$ となる。

以上のように，本試験の場合，容積密度数は縦圧縮強さの推定にはかなり良い指標となるが，曲げ強さにはあまり明確でない。

3.7 ヤング係数と強度との関係

この関係を図-9に示す。若干のばらつきはあるが，ほぼ直線的な関係がみられる。本試験の範囲内ではヤング係数 E と曲げ強さ σ_b の関係は

$$\sigma_b = 0.00281E + 99.8 \quad (\mathrm{kg/cm^2})$$

となり，$r=0.65$ で，容積密度数との関係より相関係数が大である。この直線が原点をとおり，ヤング係数の平均値である $70\times10^3\ \mathrm{kg/cm^2}$ の位置で上式と交わるとすれば

$$\sigma_b = 0.0042E \quad (\mathrm{kg/cm^2})$$

となる。

縦圧縮強さ σ_c に対しては

$$\sigma_c = 0.00907E + 113.8 \quad (\mathrm{kg/cm^2})$$
$$r = 0.49$$

となり，前の関係より相関係数が小さい。原点をとおる場合には

$$\sigma_c = 0.0025E \quad (\mathrm{kg/cm^2})$$

となるが，E の小さい位置では縦圧縮強さを過小に，その高い位置では過大に推定することになる。

このような若齢木の場合，ヤング係数が低い髄に近い部分の材の占める割合が多くなるので，ヤング係数と強度との関係においてばらつきが大きくなると思われる。

4. 結　　言

北海道営林局厚賀営林署管内の1950年植栽のトドマツ造林木について生長経過と基礎材質に関する研究を行った。1980年8月の標準地調査の結果では，胸高直径6 cmから26 cmの範囲にあり，平均14.9 cmで，22 cm以下が97%を占めている。ha当り1,188本，158 $\mathrm{m^3}$ である。このなかから，胸高直径12, 14, 16, 18, 20および22 cmの6本の供試木を選定し，樹幹析解を行い，平均年輪幅，生材含水率および容積密度数の測定，ならびに生材状態における力学的性質の試験を行った。結果はつぎのとおりである。

1) ha当りの年平均生長量は間伐（1979年秋に3列残，1列伐の列状間伐を行った）直前において6.7 $\mathrm{m^3}$ で，恵庭産44年生トドマツの5.0 $\mathrm{m^3}$ より優れている。

2) 樹冠は列状間伐後も混み合っているので，早い時期に劣勢木，低質木の間伐が必要であろう。

3) 樹幹析解用円板から採取したブロックの平均年輪幅の平均値は4.3 mmで，恵庭産材の3.1 mmよりかなり広く，肥大生長がよかったことを示す。

4) 生材含水率において辺材部は158～306%の範囲にあり，すべてが高含水率であった。

心材部は30～181% という非常に広い範囲にあり，供試木6本中4本に水食い材が存在していた。しかしその程度は恵庭産材より小であった。

5) 容積密度数の総平均は309 kg/m³ で，恵庭産材の318 kg/m³ より若干小であった。構造用材の生産を目的とする場合は平均値がこれより数%大きくなることが望ましい。

6) 平均収縮率は正常材において，板目方向0.32，まさ目方向0.12，繊維方向0.010% であった。あて材においてはそれぞれ0.24，0.08および0.019% であった。

7) 生材状態におけるヤング係数は平均70×10³，最小40×10³ kg/cm² で，髄に近い部分の材にその値の小さいものがあった。この値は恵庭産材の93% であったが，強度数値はこれより低く，曲げ比例限度79%，曲げ強さ75%，縦圧縮強さ88% であった。

8) 円板から採取したブロックを平均年輪幅1 mm ごとに分類して容積密度数の平均値を求めた場合，その2～8 mm の範囲で，容積密度数は330～280 kg/m³ とほぼ直線的に低下した。この場合，構造材の生産を目標とするときは300 kg/m³ 以上が望ましいので，そのためには平均年輪幅は5 mm（ここでは4.5～5.4 mm の範囲）以内が適切である。

9) 縦圧縮強さは年輪幅が広くなれば低下する傾向がみられたが，他の力学的性質の年輪幅との関係は不明確であった。

10) 容積密度数が増加すれば縦圧縮強さも増す傾向がみられたが，その他の性質に関しては相関関係は明確でなかった。

11) ヤング係数と曲げ強さの間には比較的明確な直線的関係が認められたが，縦圧縮強さとの相関関係はあまり明確でなかった。

文　献

1) 宮島　寛：トドマツ造林木の材質と利用．第1報 恵庭産トドマツの生長と基礎材質，北大演報，**37** (3), 789–816, 1980.
2) 加納　孟：木材材質の森林生物学的研究．第11報 北海道野幌地方における造林木の材質成長，林試報，90, 37–76, 1956.
3) 加納　孟・蕪木自輔：同第1–10報要旨．第64回 日本林学会大会講演集，1955.
4) 建築基準法施行令の一部を改正する政令 (196) 55. 7. 14 官報第16043号，1980.
5) 木構造設計規準・同解説．日本建築学会，1973.

Summary

Growth and basic wood qualities of plantation-grown 30-year-old Todo-fir trees (*Abies sachalinensis*) from Atsuga district, Hokkaido were investigated in comparison with those from the other sites. Six sample trees were selected from a sample plot (50×50 m) where the diameter measurements for every standing tree had been done. The results are summarized as follows:

1) Number of trees and wood volume to the hectare were 1188 and 158 m³, respectively. The annual increment including the thinned wood in the fall of 1979 was 6.7 m³/ha, and it

was superior to the volume 5.0 m^3/ha for Todo-fir trees (44 years old) in Eniwa district.

2) There were still too many trees in the sample plot in spite of the thinned forest where every fourth row of the trees had been crearly cut in the fall of 1979. Real thinning might be required as soon as possible.

3) The average value of the average ring width measured using the disks obtained for a stem analysis was 4.3 mm, and 1.2 mm wider than that of the material from Eniwa district.

4) The moisture content in the sapwood ranged 158 to 306 percent, and in the heartwood 30 to 181 percent. Wet-heartwood was seen in the trunks of four trees in the six sample ones.

5) The average volume of basic density was 309 kg/m^3 and slightly lower than 318 kg/m^3 for Eniwa trees. The wood having several percent higher density might be desirable for structural lumber.

6) The values of the average shrinkage (shrinkage for one percent moisture content decrease in air-dry condition) for the normal wood were 0.32, 0.12, and 0.010 percent in tangential, radial, and longitudinal directions, respectively. For the compression wood, those were 0.24, 0.08, and 0.019 percent, respectively.

7) In green condition, the average of modulus of elasticity obtained by a static bending test was 6.9 GPa and the minimum was 3.9 GPa. Those very low values were often seen for the specimens with pith or ones obtained from near pith. The average values of modulus of rupture and maximum crushing strength were 75 and 88 percent of those for Eniwa trees, respectively.

8) In the relationship between the average ring width and basic density, the latter decreased from 330 to 280 kg/m^3 as the former increased from 2 to 8 mm. Concerning the silvicultural treatment to produce a reasonable structural lumber, it might be desirable to control the average ring width within 5 mm.

9) It might be seen that the maximum crushing strength had a tendency to decrease as increasing the ring width. Relationships of the other mechanical properties to the ring width were not clear.

10) Relatively high relationship was obtained between the basic density and the maximum crushing strength. The efficients of correlations between the density and the other mechanical properties were not high.

11) Relation of the modulus of rupture to the modulus of elasticity was relatively clear, but that of the maximum crushing strength was not evident.