

# スギ間伐材の梱包用材としての適性

中山 義雄\*・山崎 憲輔\*\*  
(農学部 林産学研究室)

## Aptitude for Crating Timber in Thinned Wood of Sugi

Yoshio NAKAYAMA\*, Kensuke YAMASAKI\*\*

\* Laboratory of Forest Products, Faculty of Agriculture;  
\*\* Kochi Prefecture

**Abstract** : The purpose of this paper is to investigate the aptitude for crating timber in thinned wood of Sugi (juvenile wood of *Cryptomeria japonica*).

For this purpose, compressive strength, bending strength, impact bending energy and nail holding power are compared Sugi with Nyuji (mature wood of *pinus radiata*), the latter is used extensively for crating timber.

These strengths, specific compressive strength, specific bending strength and strength of frame of Sugi are always resulted in a weaker strength than those of Nyuji, but specific impact bending energy and specific nail holding power of Sugi are equal or stronger strength than those of Nyuji.

It was estimated that the specific strength of crating timber of Sugi is about 70 % of the specific strength of crating timber of Nyuji.

### 緒 言

戦後の拡大造林の結果、最近間伐材の生産量が急増し、今後ますます増大する状態である。従来これらの間伐材は主として土木、建築用の足場丸太として利用されて来たが、強度信頼性、耐腐性などの安全および経済性などから合板足場板や鉄製パイプなどにとって代わられてきた結果、間伐材の需給バランスがくずれつつあり、これら間伐材の利用開発は緊急の問題となっている。

20~25年生位で間伐される材は大部分が材質的に劣る未成熟材部で構成されており、外観的にも節の出現その他利用上の問題が多い。この未成熟材<sup>1)~4)</sup>については比較的ミクロな研究が多く、高知県においてとくに問題となるスギ未成熟材部における各種強度値についての報告はほとんどみあたらない。

一方、高知県には須崎地区に全国的な仕組梱包材を生産する製材産地が存在する立地条件も考慮し、スギ間伐材の梱包材への適性をみるために実用的な見地から、外観的には節の出現頻度、材質的にはまずその基礎的数値を得るため各種強度値、釘引抜抵抗値などについて現在すでに最も多く利用されているニュージーランドマツとの比較試験を行なうことによって検討し、ついで実際の木箱に枠組みしその単位構造部分毎に破壊試験を実施して比較検討した。

### 実 験

**試験体** 樹種は高知県産スギ間伐材 (未成熟材) (Juvenile wood of *Cryptomeria japonica* D. DON) および輸入材のニュージーランドマツ (成熟材) (Mature wood of *Pinus radiata* D. DON) とした。

含水状態はスギについては丸太を剥皮した後2ヶ月間屋外で天然乾燥させて製材し、さらに1ヶ月間実験室内で乾燥させて気乾状態とした。ニュージーランドマツについては製材後実験室内で2

ヶ月間乾燥させた気乾材である。寸法は両樹種ともそれぞれの試験ごとに日本工業規格に準拠して次のとおりとした。

Specimen for compression test ; 20 mm×20 mm×40 mm

Specimen for bending test ; 20 mm×20 mm×300 mm

Specimen for impact bending test ; 20 mm×20 mm×300 mm

Specimen for nail holding power test ; 50 mm×50 mm×120 mm

Specimen for nail joint test of frame ; 12 mm×45 mm×300 mm (See Fig. 1)

装置 圧縮、曲げ、釘引抜抵抗および枠組みしたものものの破壊試験にはオルセン式万能試験機（森試験機製作所製。最大能力 5 ton）を、衝撃曲げ試験にはシャルピー型衝撃試験機（森試験機製作所製。CAPACITY 10 kg.m）を用いた。

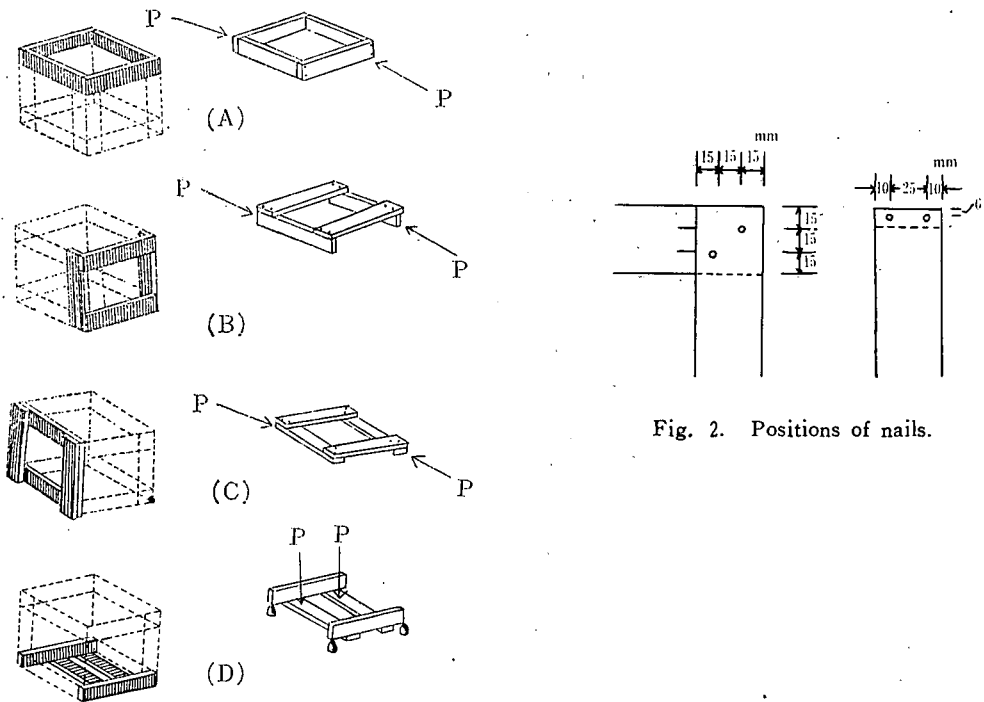


Fig. 2. Positions of nails.

Fig. 1. Direction of load in the case of 4 frames.

方法 圧縮試験は JIS Z 2111, 曲げ試験は JIS Z 2113 および衝撃曲げ試験は JIS Z 2116 に準拠しておこなった。釘引抜抵抗試験も JIS Z 2121 に準拠して釘は JIS A 5508 (鉄丸クギ) に規定する N45 (長さ ; 45mm, 径 2.41mm) を使用し, 打ち込み本数は一つの試験体に桁目, 板目のそれぞれに 2 本, 両木口に 1 本ずつ合計 6 本とした。釘は試験面に直角に全長の  $\frac{3}{4}$  (30mm) を重量 350g のハンマーで 7~9 回の打ち込み回数で打ち込んだ。平均引抜荷重速度はおよそ 40kg/min とした。

枠組み試験片の釘着方法は釘引抜抵抗試験に用いたのと同じ N45 の釘で Fig. 2 に示したとおり釘着し, 破壊試験ではそれぞれの枠組みを Fig. 1 に示した方向から負荷した。

それぞれの強度値は次式によって算出した。

$$\text{Compressive strength (parallel to grain)} \sigma_c = \frac{P}{bh} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$\text{Bending strength } \sigma_b = \frac{Pl_1}{4Z} (\text{kg/cm}^2)$$

$$\text{Absorbed energy in impact bending } u = \frac{Q}{bh} (\text{kg}\cdot\text{m/cm}^2)$$

$$\text{Nail holding power } n = \frac{P}{l_2} (\text{kg/cm})$$

where ;  $P$  = maximum load (kg)

$b$  = breadth of specimen (cm)

$h$  = height of specimen (cm)

$l_1$  = span of specimen in bending

$Z$  = section modulus (cm<sup>3</sup>)

$Q = M(h_1 - h_2) = M \cdot l_3 (\cos \theta_2 - \cos \theta_1)$

$M$  = weight of hammer

$h_1$  = height of hammer before downright blow

$h_2$  = height of hammer after knocking specimen

$\theta_1$  = corresponding angle with  $h_1$

$\theta_2$  = corresponding angle with  $h_2$

$l_3$  = arm length of hammer

$l_2$  = hammer length of nail

## 記 号

ここに用いた記号のうち、主なもの (Symbols) :

$\sigma_c$  : 縦圧縮強さ (Compressive strength parallel to grain)

$\sigma_b$  : 曲げ強さ (Bending strength)

$u$  : 衝撃曲げ吸収エネルギー (Absorbed energy in impact bending)

$n_R$  : 釘引抜抵抗 (柁目面) [Nail holding power (radial section)]

$n_T$  : 釘引抜抵抗 (板目面) [ do. (tangential section)]

$n_C$  : 釘引抜抵抗 (木口面) [ do. (cross section)]

$\rho$  : 比重 (Specific gravity)

$\sigma_c/\rho$  : 比縦圧縮強さ (Specific compressive strength parallel to grain)

$\sigma_b/\rho$  : 比曲げ強さ (Specific bending strength)

$u/P^2$  : 比衝撃曲げ吸収エネルギー (Specific absorbed energy in impact bending)

$n_R/\rho$  : 比釘引抜抵抗 (柁目面) [Specific nail holding power (radial section)]

$n_T/\rho$  : 比釘引抜抵抗 (板目面) [ do. (tangential section)]

$n_C/\rho$  : 比釘引抜抵抗 (木口面) [ do. (cross section)]

Sugi : スギ試験体 (未成熟材) (Specimen of juvenile wood of *cryptmeria japonica*)

Nyuji : ニューゼーランドマツ試験体 (成熟材) (Specimen of mature wood of *pinus radiata*)

## 結果および考察

### スギ間伐材の節の出現数

節は木材にとってきけられないものであるが、梱包材として使用する場合、外観上からは美的感

覚をそこなうことから欠点とされることはもちろん、強度低減因子として重大な欠点となる。

節の木材強度に及ぼす影響については森等<sup>5)~7)</sup>の報告があるが、その節の種類(生き節, 死節, 腐れ節)大きさ, 出現数とその強度値に影響をおよぼし, さらに節のまわりの繊維の傾斜あるいは節の存在位置によっては繊維の目切れなどがあり, その影響は非常に複雑である。そこで, 木構造設計規準で木材の許容応力度を算出する場合には無欠点小型試験体の基準強度に比例限度係数, 荷重時間の影響係数を乗じ, さらに欠点係数を乗じて算出しており, また欠点材の弾性率を求めてこれから力学的等級区分を非破壊で推定する研究<sup>8)</sup>もおこなわれている。ともあれ, 梱包材としてスギ造林木を使用する場合には, 強度上重大な低減因子である節を避けて使用することはできないので, この実験に使用した間伐木の節出現数を測定した。節の出現数の表わし方を心もち正角のまわし挽き木取りをおこなったとき, 角材の材長1mの範囲にあらわれてくる節の数で表わすと, 間伐

Table 1. Frequency of knots in the range of 1 meter of Sugi

length from bottom and to top end. (m)		
0 ~ 1	1 ~ 2	2 ~ 3
4.6	4.7	4.9

丸太の元口から1mごとに区分し, 10本の試験木を平均した結果は Table 1 のようになり, 加納等が実施した西川, 吉野, 勿来および肥沃産の節数<sup>9)</sup> 4~5個とほぼ同様の傾斜となり, 間伐木における出現数は産地による差は認められず, この実験で用いた枠組み試験体の一部材(12×45×300mm)に表われる節数は平均1.5個程度の節が表われることとなる。また節の種

類は大部分が生節であった。

#### 強度値の比較

針葉樹における未成熟材の特徴として, 木材実質量の指標として密度の変動についてみると, 髓における早晚材の密度の差は少なく髓から外方にむかうと早材は密度を減じ, 晩材部は密度を増しておよそ10~15年輪から早晚材ともに密度がほぼ安定し, つぎに木材の主成分の指標としてセルロースとリグニンの含有量については, セルロースは髓に近い木部で含有量が最少で外方へむかうと次第に増加して, リグニンは髓の近くで最大で外方へむかうとわずかに減る傾向があり, とともに10~15年輪くらいからほぼ一定となり, セルロースの結晶度は髓で最低, 外方へむかうとともに結晶度は高くなり, およそ15年位からほぼ安定する。また, 繊維の主体をなす仮道管の構造の指標として二次膜中層のフィブリル傾斜角の変動は早晚材ともに髓で最大で外方へ向かうとともに傾斜角が小さくなり10~15年輪位からほぼ一定する<sup>1)</sup>。

これらの未成熟材のミクロ的な構造成分の差異は当然構造成分としての材質に影響するはずであり, 材質的には未成熟材部は成熟材部と母集団を異にすると解釈するべきであり, 筆者のうちの一人がスギ造林木について実験した動的弾性率についての別の資料でもほぼ10~15年までは弾性率も低く, 比重と弾性率との関係も多少不安定で, およそ15年位から安定する。

以上のようなことから, スギの場合髓から10~15年輪までが未成熟材部であるといえる。したがって, 間伐木から梱包用材を製材すれば, その大部分が未成熟材となる。

そこで, 試験木のスギ未成熟材部の材質をとらえる目的で, とくに梱包材として受ける負荷の形式を考慮して, 圧縮, 曲げおよび衝撃曲げ吸収エネルギーについても実験し, これと比較するためニュージーランドマツ成熟材部についても実験した。

木材の強度と最も関係の深い品質指標としての比重と圧縮強さとの関係を Fig. 3 に, 曲げ強さとの関係を Fig. 4 に, 衝撃曲げ吸収エネルギーとの関係を Fig. 5 に示した。圧縮強さおよび曲げ強さと比重との間にはスギ未成熟材, ニュージーランドマツ成熟材ともに, 正の直線関係が認められ, パラツキによって程度に差はあるが, いずれもその回帰式および相関係数は次のようになった。

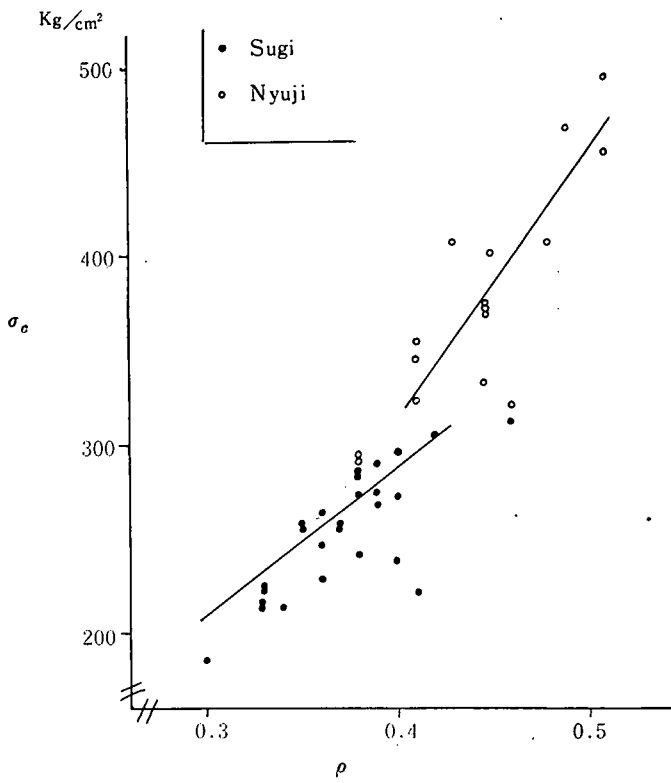


Fig. 3. Relationship between  $\rho$  and  $\sigma_c$ .

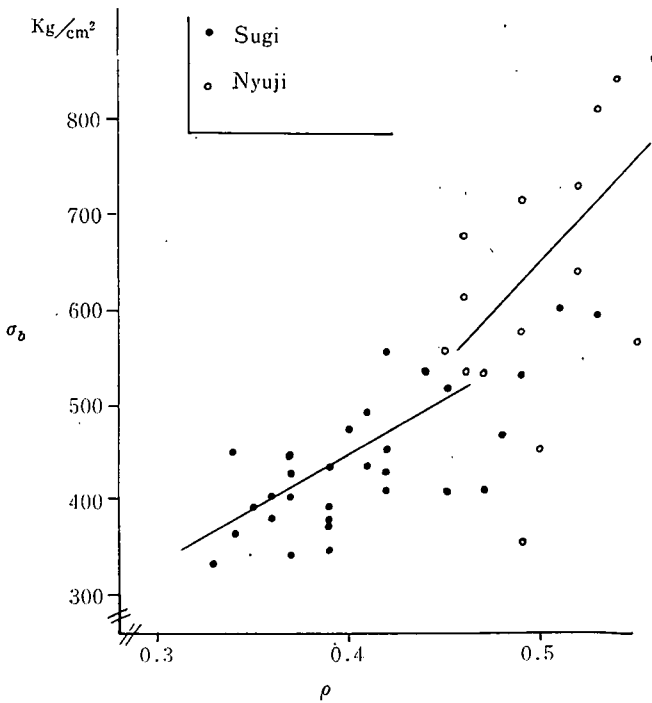


Fig. 4. Relationship between  $\rho$  and  $\sigma_b$ .

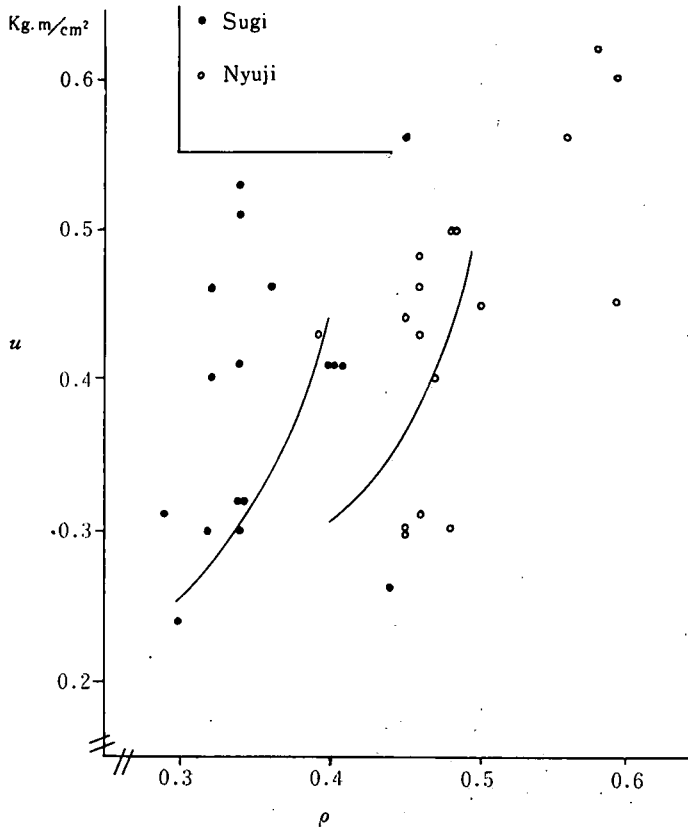


Fig. 5. Relationship between  $\rho$  and  $u$ .

Compression Sugi  $\sigma_c = 692.4650\rho - 0.5184 \quad r=0.8360$

Nyuji  $\sigma_c = 1319.6192\rho - 210.4632 \quad r=0.8543$

Bending Sugi  $\sigma_b = 1002.6599\rho + 31.8158 \quad r=0.7396$

Nyuji  $\sigma_b = 2044.5640\rho - 382.5122 \quad r=0.5153$

このように、両樹種ともに比重との相関性が強いので、両試験体のすべてについて比重と強度値との直線回帰式および相関係数を求めると次のようになる。

Compression Sugi+Nyuji  $\sigma_c = 1254.1003\rho - 202.5557 \quad r=0.8883$

Bending Sugi+Nyuji  $\sigma_b = 1660.8334\rho - 221.3518 \quad r=0.7757$

また、それぞれの試験結果の平均値および比重とそれらのバラツキの程度をみるために変動係数を Table 2 に示した。圧縮強さ、曲げ強さともにニュージーランドマツの方が大で、スギ未成熟

Table 2. Average of strengthes in compression, bending and impact bending test.

	Compression					bending					impact bending				
	$\rho$	$v$ of $\rho$ %	$\sigma_c$ kg/cmf	$v$ of $\sigma_c$ %	$n$	$\rho$	$v$ of $\rho$ %	$\sigma_b$ kg/cmf	$v$ of $\sigma_b$ %	$n$	$\rho$	$v$ of $\rho$ %	$u$ kg·m/cmf	$v$ of $u$ %	$n$
Sugi	0.38	9.5	261.2	11.6	30	0.41	12.4	440.5	15.9	30	0.35	13.2	0.3863	24.9	17
Nyuji	0.45	8.3	379.9	14.9	15	0.50	6.9	638.4	21.5	15	0.49	11.4	0.4484	20.9	17

\*  $v$  ; coefficient of variation.  
 $n$  ; number of specimen.

材に対し圧縮強さ、曲げ強さともに約70%であり、実験値の平均値からのバラツキの程度についてはニュージーランドマツ成熟材よりもスギ未成熟の方が小さいが、この程度の試験体数の場合、結論的なことは云えない。しかし、試験体個々の材質の変動は実質的には同じ程度と解釈してよいであろう。衝撃曲げ吸収エネルギーについては、その値を算出する場合、断面を  $bh^2$  で計算する方が合理的であるとの考えもあるが、ここではスギとニュージーランドマツとの比較を目的としており、その寸法を同一としているので、日本工業規格の算出法に準じた。

衝撃曲げ吸収エネルギーと比重との関係は比重が大になれば大体二次曲線を示しながら吸収エネルギーが増加することが知られているので本実験でもこの考えに従って実験式を次に求めた。

Sugi  $u = 2.8728 \rho^2$

Nyuji  $u = 1.8989 \rho^2$

衝撃曲げ吸収エネルギーを比較すると、スギはニュージーランドマツの約85%で、衝撃に対しては圧縮、曲げよりも大きい割合を示す。

釘引抜抵抗値について柁目面、板目面および木口面における引抜抵抗値と比重との関係をそれぞれ Fig. 6, Fig. 7 および Fig. 8 に示す。これも比重との関係で回帰式を求めると、スギについては高い相関関係が認められるが、ニュージーランドマツでは認められない。スギの回帰式、相関係数およびニュージーランドマツの相関係数を次に示す。

Sugi  $n_R = 119.8743 \rho - 19.4961$   $r = 0.7099$

$n_T = 114.6048 \rho - 16.0622$   $r = 0.8288$

$n_C = 117.3080 \rho - 23.8276$   $r = 0.7939$

Nyuji  $n_R :$   $r = 0.1420$

$n_T :$   $r = 0.3756$

$u_C :$   $r = 0.2724$

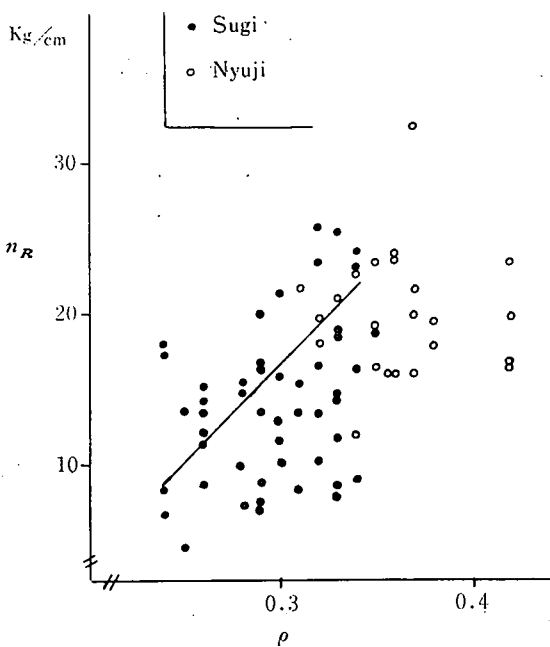


Fig. 6. Relationship between  $\rho$  and  $n_R$ .

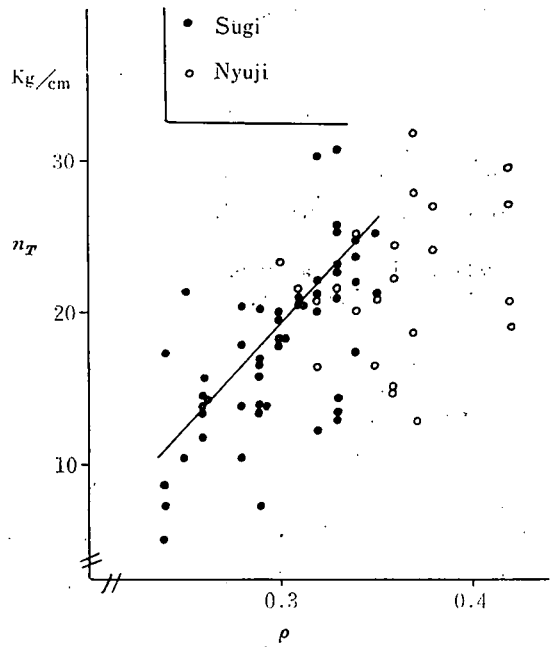
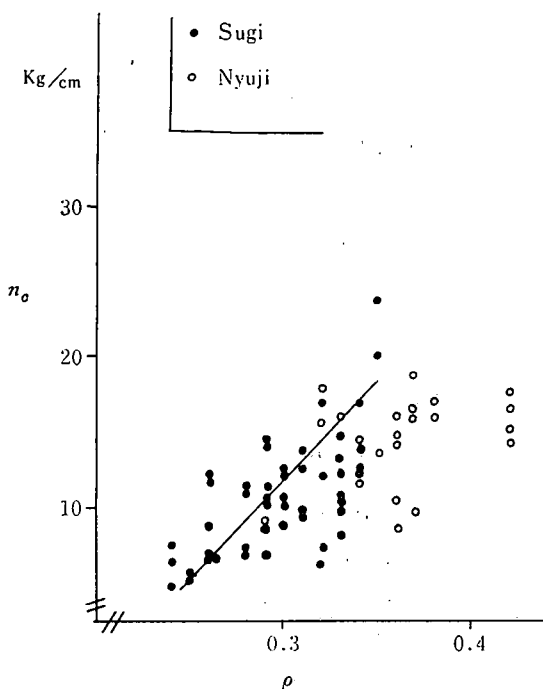


Fig. 7. Relationship between  $\rho$  and  $n_T$ .

Fig. 8. Relationship between  $\rho$  and  $n_0$ .

また、試験体の比重と各断面における引抜抵抗値の平均値および変動係数を Table 3 に示す。引抜抵抗値はとくにスギにおいて変動係数が大であるが、その平均値をそれぞれの断面ごとに比較するとスギはニュージーランドマツの柁目面では89%、板目面では88%、木口面では81%とおよそ

Table 3. Average of nail holding power in three sections.

			radial section			tangential section			cross section		
	$\rho$	$v$ of $\rho$	$n_R$	$v$ of $n_R$	$n$	$n_T$	$v$ of $n_T$	$n$	$n_0$	$v$ of $n_0$	$n$
Sugi	0.30	13.7	17.0	40.9	30	18.9	30.1	30	11.9	51.1	30
Nyuji	0.37	25.9	19.2	13.0	10	21.6	20.5	10	14.7	14.0	10

$v$ ; coefficient of variation.

$n$ ; number of specimen.

80~90%程度となり、圧縮、曲げ強さほどの差異は認められない。

#### 形質商の比較

以上、材質指標の一つである比重との関係で検討してきた結果、大部分の試験において比重と良い相関性が認められた。梱包材としてその適性を検討する場合に、強度の絶対値が大きいたることが必要であることはいうまでもないが梱包材の場合はその材料の重量に対する強度値すなわち形質商との関係がより重要である。そこで、上述の実験値を形質商であらわし検討を加える。ここで衝撃曲げ吸収エネルギーの形質商を求めるには吸収エネルギー  $u$  を比重  $\rho$  の二乗で割って求めた。それぞれの形質商を Table 4 に示した。スギ未成熟材の比強度における圧縮および曲げ強さをニュージーランドマツ成熟材に対する値と比較するとそれぞれ87%および85%となり、比衝撃曲げ吸収



Table 4. Average of specific strength in copression, bending, impact bending and nail holding power test.

		$\sigma_c/\rho$	$\sigma_b/\rho$	$u/\rho$	$n_R/\rho$	$n_T/\rho$	$n_O/\rho$
Sugi	value	690.8	1081.6	3.1626	54.98	60.98	38.1
	$v$ %	6.4	10.6	27.6	30.7	21.0	32.3
Nyuji	value	845.4	1275.2	1.8983	52.14	58.62	40.0
	$v$ %	8.7	18.5	21.5	48.3	48.8	48.3

$v$  ; coefficient of variation.

エネルギーはスギの方が大きく、比釘引抜抵抗値にはほとんど差異は認められず同等とみなして良い。これらのことを総合して検討すると、スギ未成熟材の場合、抵抗性にすぐれており、その梱包材の重量に対する値としてはニュージーランドマツ成熟材の約80%程度の強度値が期待できる。

#### 枠組み部材の強度値

Fig. 1 に示した枠組み試験によって木箱の各構成部分の強度値を求めた結果を Table 5 に示した。これらの強度値は梱包材の材質および釘着の両面から支配されるものであり、上述の各試験値

Table 5. Maximam rapture strength of various frames. (A~D, See Fig. 1.)

		A	B	C	D
		(kg)			
Sugi (A)	average	5.04	11.05	32.27	80.12
	max	6.0	13.0	40.0	98.0
	min	4.5	9.0	26.5	59.5
Nyuii (B)	average	7.59	16.86	33.14	97.5
	max	7.0	24.0	40.0	134.5
	min	8.0	13.5	25.0	77.0
$\frac{A}{B} \times 100$ (%)	%	66.4	65.5	97.4	82.2

が複雑に影響しあっており、これらを理論的に分析するのは困難である。ここでは実用的な見地から部材の強度値について比較すると、スギ未成熟材の枠組み部材はニュージーランドマツ成熟材のそれに対して最小65%で最大では97%となった。このことから前節で検討したように、その木箱の重量との割合すなわち形質商で考慮すると、スギ未成熟材ではニュージーランドマツのほぼ70%程度の強度値が期待できること、また、衝撃および釘引抜抵抗に優れていることなどから梱包材は軽量の箱材として使用できるし、また、断面の寸法を考慮すれば充分使用に供せるといえる。

## 要 約

スギ間伐木(未成熟材)の梱包用材としての適性について現在広く梱包材として使用されているニュージーランドマツ(成熟材)と比較することによって検討した。梱包材として使用される場合の主な負荷の形式を考慮して圧縮、曲げ、衝撃曲げ吸収エネルギーおよび試験体の各断面毎の釘引抜抵抗値を求めた。これらのものの大部分が比重と相関性があり、比重の小さいスギがニュージー

ランドマツより小さい値となった。比重との関係から、これらのすべての値の形質商について検討した結果、比圧縮、比曲げ強さはスギがニュージーランドマツより小さいが、比衝撃吸収曲げエネルギーはスギが大きく、比釘引抜抵抗値はほとんど同等の結果を得た。また、枠組み部材の破壊試験結果とあわせて検討すると、箱の重量の割合、すなわち比強度としてはスギ梱包材はニュージーランドマツのほぼ70%の強度値が得られた。

#### 文 献

- 1) 渡辺治人, 樹幹丸太の特性, p. 1~33, 九大農木材理学教室, 福岡 (1967)
- 2) 渡辺治人・堤 寿一・小島敬吾, 未成熟材に関する研究 (I), 木材学会誌, 9, 225 (1963)
- 3) 大田貞明・渡辺治人・松本 勲・堤 寿一, 未成熟材の力学的特性に関する研究, 木材学会誌, 14, 261 (1968)
- 4) Pearson R. G. and Gilmore R. C., Characterization of the strength of juvenile wood of Loblolly Pine, *Forest Prod. J.*, 21, No. 1, 23-31 (1971)
- 5) 森 徹, 木材の圧縮強度に及ぼす節の影響に関する研究, 建築学会論文集, 5, 1-10 (1937)
- 6) 中村徳孫, 南九州産材からのひき枚の強度等級に関する研究, 宮崎大農演報, 6, 36-48 (1972)
- 7) 中山義雄, 節材 (スギ) の動的弾性率と曲げ強さについて, 木材学会大会要旨集, 21, 117 (1971)
- 8) 加納 孟, 森林の取扱いかたによる材質, 日本林業技術協会, 30 (1969)

(昭和47年 9月30日受理)