HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	合板の伸縮性能について
Author(s)	三井, 篤; 沢田, 稔
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 27(1), 113-128
Issue Date	1970-07
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/20874
Type	bulletin (article)
File Information	27(1)_P113-128.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

合板の伸縮性能について

三井 篤* 沢田 稔**

The Shrinkage of Plywood

By

Atsushi MITSUI and Minoru SAWADA

目　次

まえがき …… 113
1. 合板の伸縮率に関する計算式 …… 113
2. 試験方法 …… 116
　2.1 試料 …… 116
　2.2 測定方法 …… 116
3. 試験結果および考察 …… 121
　3.1 基本値について …… 121
　3.2 合板の収縮率 …… 122
むすび …… 127
文献 …… 127
Summary …… 127

まえがき

合板の諸性能のなかで，水分の吸・脱湿による伸縮性能に関する研究はきわめて少ない。しかも実際にはすべてこの種の変形をうけているのであって，木質平面材料の合理的な利用方法をもとめるためにはぜひとも解決しておかなければならない重要な課題の一つであると考えられる。

本研究では，この種の材料が近似的には直交異方性を示すとみられることから，素材（平行合板）の基本値 $\left(k=\dfrac{E_T}{E_L},\ \mu_{LT},\ \alpha_T,\ \alpha_L\right)$ をもちいて合板の伸縮率を理論的にもとめるための計算式を誘導した。つぎに収縮試験をおこない，この計算式の妥当性を検討してみた。その結果は本文中に示されているようにほぼ満足すべきものであることが確められた。今後この種の伸縮変形の解析に加えて，伸縮応力の発生機構などについても実験的検討を加えてゆきたい。

1. 合板の伸縮率に関する計算式

* 北海道大学大学院　農学研究科（林産学専攻）　農学修士
** 北海道大学農学部　林産学科　木材加工学教室　教授　林学博士

合板が吸脱湿により伸縮するばあい，伸縮応力 (σ) と伸縮率 (α) との間の関係が直線比例的であると仮定する。したがって次式が成立つものとする。

$$\sigma = \alpha E \tag{1}$$

ここに，E: ヤング係数

i) 単軸条件

合板の伸縮率をまず単軸条件において誘導してみる。

(1) 式より，素材 (平行合板) においては

$$\left.\begin{aligned}\sigma_L &= \alpha_L E_L \\ \sigma_T &= \alpha_T E_T\end{aligned}\right\} \tag{2}$$

となり，合板においては

$$\left.\begin{aligned}\sigma_1 &= \bar{a}_1 E_1 \\ \sigma_2 &= \bar{a}_2 E_2\end{aligned}\right\} \tag{3}$$

となる。ここで，σ_1 は合板の 1-方向の引張応力に相当すると考えれば (Fig. 1)

$$\sigma_1 \cdot t = \sigma_L \cdot t_{/\!/} + \sigma_T \cdot t_{\perp} \tag{4}$$

となる。同様にして

$$\sigma_2 \cdot t = \sigma_T \cdot t_{/\!/} + \sigma_L \cdot t_{\perp} \tag{5}$$

となる。ここで，$\beta = \dfrac{t_{/\!/}}{t}$ とおけば，(4)・(5) 式は

$$\left.\begin{aligned}\sigma_1 &= \beta\sigma_L + (1-\beta)\sigma_T \\ \sigma_2 &= \beta\sigma_T + (1-\beta)\sigma_L\end{aligned}\right\} \tag{6}$$

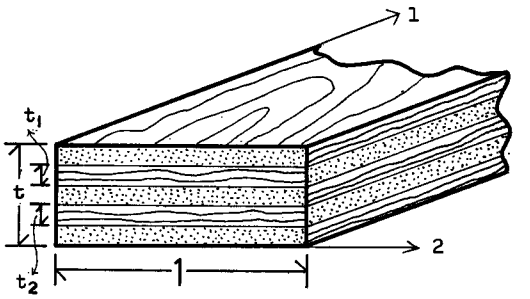

Fig. 1. Cross section of plywood.
$t_{\perp} = t_1 + t_2 + \cdots\cdots$
$t_{/\!/} = t - t_{\perp}$

となる。さらに，$\varphi = \dfrac{1-\beta}{\beta}$ とおき，(2) 式を代入すると次のようになる。

$$\left.\begin{aligned}\sigma_1 &= \beta(E_L\alpha_L + \varphi E_T\alpha_T) \\ \sigma_2 &= \beta(E_T\alpha_T + \varphi E_L\alpha_L)\end{aligned}\right\} \tag{7}$$

ところで，合板にかんしては次なる関係式が成立つ。

$$\left.\begin{aligned}E_1 &= \beta E_L + (1-\beta)E_T = \beta(E_L + \varphi E_T) \\ E_2 &= \beta E_T + (1-\beta)E_L = \beta(E_T + \varphi E_L)\end{aligned}\right\} \tag{8}$$

したがって，(3) 式に (7) 式と (8) 式を代入し，さらに $k = \dfrac{E_T}{E_L}$ とおけば，単軸条件における合板の伸縮率 ($\bar{a}_1$, $\bar{a}_2$) は次のようになる。

$$\left.\begin{aligned}\bar{a}_1 &= \frac{\sigma_1}{E_1} = \frac{\alpha_L + \varphi k \alpha_T}{1 + \varphi k} \\ \bar{a}_2 &= \frac{\sigma_2}{E_2} = \frac{\varphi\alpha_L + k\alpha_T}{\varphi + k}\end{aligned}\right\} \tag{9}$$

ii) 平面条件

実際上，合板は平面条件として使用されるばあいが多い。したがって合板の伸縮も単軸条件としてではなく，平面条件として解かれなければならない。

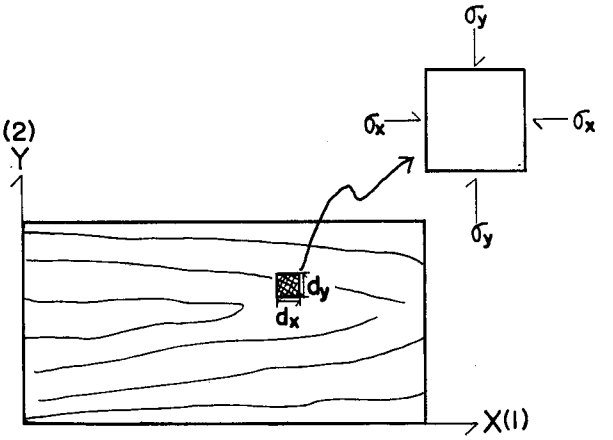

Fig. 2. Co-ordinates of plywood.
$x(1)$: Grain direction of face veneer in plywood
$y(2)$: Direction perpendicular to the $x(1)$ direction

Fig. 2 において，合板の微小部分をとって考えると，伸縮率 (α) と伸縮応力 (σ) との関係は次のようになる。

$$\left.\begin{aligned}\alpha_1 &= S_{11}\sigma_1+S_{12}\sigma_2\\ \alpha_2 &= S_{21}\sigma_1+S_{22}\sigma_2\end{aligned}\right\} \tag{10}$$

ここに，$S_{11}=\dfrac{1}{E_1}$，$S_{22}=\dfrac{1}{E_2}$，$S_{12}=S_{21}=-\dfrac{\mu_{12}}{E_1}$ したがって，(8) 式より

$$\left.\begin{aligned}S_{11} &= \frac{1}{E_1}=\frac{1}{E_L\beta(1+\varphi k)}\\ S_{22} &= \frac{1}{E_2}=\frac{1}{E_L\beta(\varphi+k)}\end{aligned}\right\} \tag{11}$$

となる。さらに，$\mu_{12}E_2=\mu_{LT}E_T$ が成立つものと仮定すると

$$S_{12}=S_{21}=-\frac{\mu_{12}}{E_1}=\frac{-k\mu_{LT}}{E_L\beta^2(1+\varphi k)(\varphi+k)} \tag{12}$$

となる。したがって，(10) 式に (7) 式，(11) 式と (12) 式を代入すると平面条件における合板の伸縮率 (α_1, α_2) は次のようになる。

$$\left.\begin{aligned}\alpha_1 &= \frac{\alpha_L+k\varphi\alpha_T}{1+\varphi k}-\frac{k(1+\varphi)(\varphi\alpha_L+k\alpha_T)\mu_{LT}}{(1+\varphi k)(\varphi+k)}\\ \alpha_2 &= \frac{\varphi\alpha_L+k\alpha_T}{\varphi+k}-\frac{k(1+\varphi)(\alpha_L+k\varphi\alpha_T)\mu_{LT}}{(1+\varphi k)(\varphi+k)}\end{aligned}\right\} \tag{13}$$

また，(9) 式を代入すると

$$\left.\begin{aligned}\alpha_1 &= \bar{\alpha}_1-\bar{\alpha}_2\frac{k(1+\varphi)\mu_{LT}}{1+\varphi k}\\ \alpha_2 &= \bar{\alpha}_2-\bar{\alpha}_1\frac{k(1+\varphi)\mu_{LT}}{\varphi+k}\end{aligned}\right\} \tag{14}$$

となる。

2. 試験方法

2.1 試　料

前速の理論計算の妥当性を検討するために，シナノキ (*Tilia japonica*)，ミズナラ (*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*) およびレッドラワン (*Shorea* sp.) の3樹種から，北海道立林産試験場において，ロータリーレースにより切削した単板（公称厚：シナノキ単板＝2.0 mm，ミズナラ単板＝1.0 mm，ラワン単板＝0.9 mm と 1.64 mm）をもちいて，それぞれ平行合板 (Veneer-laminated wood) および合板 (Plywood) を製造して実験材料とした。ここでいう平行合板とは，それを構成しているすべての単板の繊維方向を平行にそろえて積層接着した木材板を示す名称である。

各樹種単板から，45×45 cm の正方形の単板シートを切取り，次のとおりに製造した。

i) 素材の基本値 $k\left(=\frac{E_T}{E_L}\right)$ および μ_{LT} の測定用として，仕上り厚さが 25 mm 程度となるように単板を積層接着した平行合板。

ii) 素材の基本値 α_T および α_L の測定用として，単板3枚を接着した平行合板。

iii) 合板の収縮率の測定用としての等厚3プライ合板。

製造条件は平行合板，合板ともに同一とし，次のとおりである。

接着剤：大日本インキ製 # HD 1002（メラミン共縮合尿素樹脂接着剤）

配合比：	HD 1002	100
	小麦粉	20
	H_2O	30
	NH_4Cl	0.5

塗布量：片面 13～15 g/(45×45) cm^2

圧締圧：9～10 kg/cm^2

温　度：120°C

時　間：板厚 1 mm につき 50 sec.

2.2 測定方法

i) $k\left(=\frac{E_T}{E_L}\right)$ と μ_{LT} の測定方法

断面が 25×25 mm，高さが 100 mm の縦圧縮試験片と横（T-方向）圧縮試験片を木取り，JIS-Z-2111 に準じて圧縮試験をおこなった。縦圧縮試験において E_L と μ_{LT} を測定し，横圧縮試験において E_T を測定した。歪の測定は鏡式エキステンソメータによりおこなった。各材料の平均比重，平均含水率および試験個数は Table 1 に示すとおりである。

Table 1. Basic properties of the veneer-laminated wood, and number of specimen

Test material	Specific gravity	M. C. (%)	Number of specimen	
			Longitudinal compression	Tangential compression
Shinanoki	0.58	11.2	8	12
Mizunara	0.75	8.3	30	30
Lauan A	0.65	9.6	—	—
Lauan B	0.60	10.4	—	—

Note Lauan A : 0.9 mm Veneer-laminated wood
Lauan B : 1.64 mm Veneer-laminated wood

なお，ラワンにおいては，同一材料にかんして，すでに測定してあった上田[2]のデータを使用した。

ii) α_T と α_L の測定方法

30 (T-方向)×60 mm (L-方向) の試験片を木取り，それぞれの方向に測定基準線 (Fig. 3) を引き，気乾状態から含水率 0% まで乾燥させて，その収縮量を測定した。その測定方法は JIS-Z-2103 に準じ，次のとおりである。

乾燥条件： 40°C で 24hr.→60°C で 24hr.→105°C で全乾。α_T と α_L のもとめ方： 次式をもちいて含水率 1% に対する平均収縮率としてもとめた。

$$\alpha_L \text{ および } \alpha_T(\%) = \frac{l_r - l_0}{nl} \times 100$$

ここに， l_r = 気乾状態のときの基準線の長さ

l_0 = 含水率 0% のときの基準線の長さ

n = 含水率変化量

l = 含水率 15% のときの基準線の長さで，次式により算出

$$l = l_0 + \frac{15(l_r - l_0)}{n}$$

長さの測定精度： $\frac{1}{100}$ mm

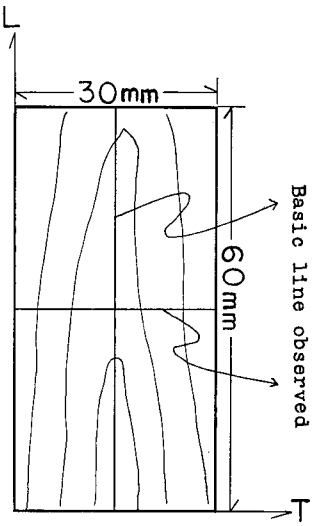

Fig. 3. Details of specimen observed the shrinkage of veneer-laminated wood

各材料の平均比重，平均含水率，厚さ，サイズおよび試験個数は Table 2 に示すとおりである。

iii) 合板の収縮率の測定方法

試験片の形状は樹種によって異り，シナノキは 65×65 mm と 180×180 mm，ミズナラは 400 (1-方向)×200 mm (2-方向)，ラワンは 150×150 mm である。前項と同様に，それぞれの

Table 2. Basic properties and dimension of the veneer-lamminated wood, and number of specimen

Test material	Specific gravity	M. C. (%)	Thickness (mm)	Size of specimen *T*-direction (mm)	Size of specimen *L*-direction (mm)	Number of specimen
Shinanoki	0.57	10.6	5.31	29.78	59.90	27
Mizunara	0.71	10.3	2.91	30.33	60.36	50
Lauan A	0.67	13.8	2.65	29.19	59.31	26
Lauan B	0.63	13.1	4.71	29.30	59.03	26

方向に測定基準線を引き，気乾状態から含水率0%まで乾燥させて，その収縮量を測定した。その方法は次のとおりである。

乾燥条件： 40°C で2日→60°C で2日→105°C で全乾

α_1 と α_2 のもとめ方： 次式をもちいて含水率1%に対する平均収縮率としてもとめた。

$$\alpha_1 \text{ および } \alpha_2(\%) = \frac{l_r - l_0}{n \cdot l_r} \times 100$$

ここに， l_r = 気乾状態のときの基準線の長さ

l_0 = 含水率0%のときの基準線の長さ

n = 含水率変化量

長さの測定精度： $\frac{1}{100}$ mm

各試験片の比重，含水率および寸法は Table 3～5 に示すとおりである。

Table 3. Basic properties and dimension of Shinanoki-plywood specimen

Specimen No.	Specific gravity	M. C. (%)	Thickness (mm)	φ	Size of specimen 1-direction (mm)	Size of specimen 2-direction (mm)
SA- 1	0.55	11.8	5.34	0.509	65.17	64.98
SA- 2	0.55	11.5	5.43	0.508	65.19	65.04
SA- 3	0.54	11.6	5.35	0.551	65.23	65.02
SA- 4	0.57	11.5	5.25	0.615	65.11	65.09
SA- 5	0.56	11.3	5.12	0.497	65.27	64.77
SA- 6	0.55	11.5	5.38	0.474	65.02	64.90
SA- 7	0.57	11.1	5.43	0.496	65.14	64.96
SA- 8	0.56	11.5	5.31	0.557	65.25	65.02
SA- 9	0.53	11.5	5.44	0.528	65.15	64.89
SA-10	0.55	11.2	5.49	0.521	65.03	64.95
SA-11	0.53	9.4	5.36	0.527	65.10	64.81
SA-12	0.55	9.2	5.41	0.511	65.16	64.81
SA-13	0.60	9.2	5.24	0.617	65.10	65.31
SA-14	0.56	9.7	5.39	0.544	65.14	64.99
SA-15	0.59	9.7	5.26	0.619	65.08	64.77
SA-16	0.59	9.6	5.30	0.596	65.11	64.87

Table 3. (continued)

Specimen No.	Specific gravity	M. C. (%)	Thickness (mm)	φ	Size of specimen 1-direction (mm)	Size of specimen 2-direction (mm)
SA-17	0.54	9.8	5.36	0.554	65.11	64.89
SA-18	0.55	9.5	5.30	0.452	65.10	64.76
SA-19	0.55	9.4	5.41	0.515	65.20	64.84
SA-20	0.55	10.0	5.35	0.542	65.17	64.95
SA-21	0.59	9.8	5.05	0.583	65.17	65.00
SA-22	0.57	9.7	5.35	0.551	65.06	64.83
SA-23	0.56	9.8	5.35	0.533	65.01	65.03
SA-24	0.54	9.9	5.30	0.532	65.00	64.81
SA-25	0.55	9.5	5.25	0·558	65.09	65.00
SB- 1	6.56	9.7	5.29	0.516	179.50	179.25
SB- 2	0.55	10.7	5.23	0.547	179.00	179.70
SB- 3	0.57	10.5	5.21	0.506	179.55	179.55
SB- 4	0.57	9.8	5.20	0.499	179.90	179.30
SB- 5	0.55	10.7	5.25	0.479	179.85	179.70
SB- 6	0.55	11.1	5.40	0.460	179.20	179.70
SB- 7	0.55	10.2	5.23	0.482	179.75	179.55
SB- 8	0.53	11.9	5.18	0.459	179.45	179.95

Note SA: Size of specimen = 65×65 mm
SB: Size of specimen = 180×180 mm

Table 4. Basic properties and dimension of Mizunara-plywood specimen

Specimen No.	Specific gravity	M. C. (%)	Thickness (mm)	φ	Size of specimen 1-direction (mm)	Size of specimen 2-direction (mm)
M- 1	0.71	12.3	2.90	0.510	400.6	190.5
M- 2	0.71	13.8	2.89	0.513	400.3	198.7
M- 3	0.71	13.0	2.91	0.508	400.1	199.8
M- 4	0.74	10.7	2.92	0.482	400.3	199.3
M- 5	0.73	11.6	2.90	0.472	400.3	199.1
M- 6	0.71	12.8	2.91	0.485	399.4	200.8
M- 7	0.66	14.1	2.90	0.487	400.0	200.8
M- 8	0.70	14.5	2.86	0.482	399.5	200.2
M- 9	0.67	13.9	2.91	0.485	399.7	199.8
M-10	0.66	14.6	2.95	0.487	399.8	198.0
M-11	0.67	13.9	2.90	0.487	400.4	200.1
M-12	0.68	14.0	2.93	0.480	400.3	199.2
M-13	0.66	13.5	2.91	0.485	400.0	199.0
M-14	0.66	13.2	2.87	0.495	400.0	199.4
M-15	0.68	13.9	2.86	0.497	400.5	199.5
M-16	0.68	13.9	2.86	0.497	399.2	199.0
M-17	0.69	14.9	2.88	0.492	399.3	198.5
M-18	0.70	12.2	2.89	0.529	399.7	200.0
M-19	0.69	14.2	2.89	0.490	400.1	199.1
M-20	0.71	13.6	2.87	0.479	399.8	198.9

Table 5. Basic properties and dimension of Lauan-plywood specimen

Specimen No.	Specific gravity	M. C. (%)	Thickness (mm)	φ	Size of specimen 1-direction (mm)	Size of specimen 2-direction (mm)
LA- 1	0.62	14.3	2.65	0.456	149.60	149.55
LA- 2	0.67	16.0	2.65	0.472	149.90	149.45
LA- 3	0.64	15.2	2.65	0.472	149.90	149.65
LA- 4	0.63	14.0	2.65	0.472	149.00	149.75
LA- 5	0.65	15.1	2.64	0.459	150.05	149.60
LA- 6	0.62	14.2	2.65	0.456	149.90	149.60
LA- 7	0.64	14.5	2.66	0.494	149.80	149.70
LA- 8	0.65	15.3	2.68	0.489	149.35	149.55
LA- 9	0.62	14.4	2.66	0.494	148.90	149.70
LA-10	0.61	14.0	2.75	0.528	149.95	149.60
LA-11	0.62	15.6	2.75	0.487	150.00	149.55
LA-12	0.61	15.5	2.75	0.554	149.55	149.55
LA-13	0.62	15.3	2.75	0.528	149.85	149.45
LA-14	0.64	16.8	2.75	0.554	149.60	149.40
LA-15	0.62	15.8	2.74	0.531	148.90	149.60
LA-16	0.62	14.1	2.75	0.528	149.85	149.60
LA-17	0.62	15.4	2.79	0.541	149.75	149.35
LA-18	0.63	15.3	2.78	0.562	149.80	149.55
LA-19	0.63	15.2	2.65	0.472	149.75	149.55
LA-20	0.64	15.4	2.65	0.497	149.70	149.60
LA-21	0.62	14.8	2.69	0.462	149.50	149.60
LA-22	0.65	15.1	2.66	0.494	149.80	149.65
LA-23	0.65	16.1	2.68	0.465	148.90	149.55
LA-24	0.63	14.7	2.68	0.426	149.30	149.70
LA-25	0.63	13.8	2.63	0.461	149.90	149.65
LA-26	0.63	15.6	2.65	0.432	149.70	149.60
LA-27	0.60	14.1	2.66	0.470	149.35	149.65
LB- 1	0.60	13.5	4.70	0.460	149.80	149.55
LB- 2	0.59	14.7	4.74	0.477	149.65	149.50
LB- 3	0.61	15.0	4.70	0.460	149.70	149.55
LB- 4	0.62	16.0	4.75	0.508	149.80	149.50
LB- 5	0.61	13.8	4.80	0.468	149.65	149.60
LB- 6	0.62	13.8	4.69	0.484	150.00	149.60
LB- 7	0.63	15.2	4.75	0.484	149.85	149.45
LB- 8	0.62	13.3	4.78	0.480	149.80	149.65
LB- 9	0.63	13.3	4.74	0.486	149.90	149.45
LB-10	0.63	14.3	4.78	0.457	149.85	149.55
LB-11	0.61	13.0	4.78	0.471	149.80	149.45
LB-12	0.62	14.1	4.75	0.475	149.90	149.60

Table 5. (continued)

Specimen No.	Specific gravity	M. C. (%)	Thickness (mm)	φ	Size of specimen 1-direction (mm)	Size of specimen 2-direction (mm)
LB-13	0.62	13.9	4.80	0.455	149.75	149.70
LB-14	0.63	15.3	4.79	0.478	149.95	149.55
LB-15	0.60	12.9	4.79	0.478	149.90	149.60
LB-16	0.61	14.4	4.79	0.434	149.90	149.50
LB-17	0.61	13.1	4.79	0.469	149.85	149.85
LB-18	0.58	13.8	4.76	0.483	149.95	149.55
LB-19	0.58	14.2	4.75	2.462	149.95	149.55
LB-20	0.58	12.7	4.76	0.483	149.70	149.60
LB-21	0.59	14.3	4.78	0.471	149.90	149.55
LB-22	0.59	13.7	4.76	0.497	149.55	149.70
LB-23	0.58	13.0	4.79	0.526	148.60	149.60
LB-24	0.58	14.1	4.78	0.518	149.20	149.60
LB-25	0.58	13.1	4.78	0.449	149.80	149.55

Note LA: 0.9 mm veneer-laminated wood
LB: 1.64 mm veneer-laminated wood

3. 試験結果および考察

3.1 基本値について

結果は Table 6 に示すとおりである。このなかで，ミズナラの E_L の値が少々小さいと思われるほかは大体平均的な値であると思われる[4]。また，α_L の値は小さく素材を扱うかぎりにおいては無視することができる。しかし合板の収縮率を計算でもとめるばあいには，この α_L の値が重要な要素となってきいてくる。本実験においては JIS-Z-2103 に準じて測定したわけであるが，その測定精度上において多少の問題が残されていると思われる。また，R. KEYLWERTH[1] は $\alpha_L=k\alpha_T$ と仮定して α_L を推定している。しかし本実験においては k と λ の値は一致しなかった。従って，この k と λ との関係にかんしては今後さらに詳細な実験的検討を加える必要があるものと思われる。

Table 6. Basic values of the veneer-laminated wood

Test material	E_L (t/cm²)	E_T (t/cm²)	$k=\frac{E_T}{E_L}$	μ_{LT}	α_T (%)	α_L (%)	$\lambda=\frac{\alpha_L}{\alpha_T}$	$m=\frac{\lambda}{k}$
Shinanoki	75.4	3.1	0.041	0.413	0.213	0.017	0.080	1.95
Mizunara	86.1	12.2	0.142	0.534	0.297	0.031	0.104	0.73
Lauan A	167.1	5.9	0.035	0.511	0.262	0.014	0.053	1.51
Lauan B	146.4	5.5	0.038	0.556	0.244	0.014	0.057	1.50

3.2 合板の収縮率

結果は Table 7～9 に示すとおりである。その平均的な値をみると，α_1 において，シナノキとラワンは約0.02%，ミズナラは約0.04%，α_2 において，シナノキとラワンは約0.03%，ミズナラは約0.07% である。これらの値をもちいて実大合板 (91×182 cm) の含水率10% 変化に対する収縮量をもとめると，1-方向において，シナノキとラワンは3.6 mm，ミズナラは7.3 mm，2-方向において，シナノキとラワンは2.7 mm，ミズナラは6.4 mm という大きな収縮変形をおこすことになり実際に合板を利用するさいにこのことを充分考慮しなければならないことがわかる。

Table 7. Shrinkage of Shinanoki-plywood

Specimen No.	α_1 (%)					α_2 (%)				
	Exp.	Cal.(9)	Cal.(14)	Exp./Cal.(9)	Exp./Cal.(14)	Exp.	Cal.(9)	Cal.(14)	Exp./Cal.(9)	Exp./Cal.(14)
SA- 1	0.0150	0.0209	0.0201	0.718	0.746	0.0241	0.0314	0.0304	0.768	0.793
SA- 2	0.0193	0.0209	0.0201	0.923	0.960	0.0261	0.0314	0.0304	0.831	0.859
SA- 3	0.0172	0.0213	0.0205	0.808	0.839	0.0311	0.0304	0.0295	1.023	1.054
SA- 4	0.0234	0.0217	0.0209	1.078	1.120	0.0200	0.0291	0.0282	0.687	0.709
SA- 5	0.0197	0.0209	0.0201	0.943	0.980	0.0253	0.0317	0.0307	0.798	0.824
SA- 6	0.0194	0.0207	0.0199	0.937	0.975	0.0275	0.0324	0.0314	0.849	0.876
SA- 7	0.0187	0.0208	0.0200	0.899	0.935	0.0257	0.0317	0.0307	0.811	0.837
SA- 8	0.0193	0.0213	0.0205	0.906	0.941	0.0247	0.0302	0.0293	0.818	0.843
SA- 9	0.0227	0.0211	0.0203	1.076	1.118	0.0268	0.0309	0.0299	0.867	0.896
SA-10	0.0233	0.0210	0.0202	1.110	1.153	0.0234	0.0311	0.0301	0.752	0.777
SA-11	0.0212	0.0211	0.0203	1.005	1.044	0.0386	0.0309	0.0299	1.249	1.291
SA-12	0.0234	0.0210	0.0202	1.114	1.158	0.0436	0.0313	0.0303	1.393	1.439
SA-13	0.0159	0.0218	0.0210	0.729	0.757	0.0200	0.0290	0.0281	0.690	0.712
SA-14	0.0198	0.0212	0.0204	0.934	0.971	0.0270	0.0305	0.0296	0.885	0.912
SA-15	0.0238	0.0218	0.0210	1.092	1.133	0.0239	0.0290	0.0281	0.824	0.851
SA-16	0.0160	0.0216	0.0208	0.741	0.769	0.0177	0.0294	0.0285	0.602	0.621
SA-17	0.0165	0.0213	0.0205	0.775	0.805	0.0236	0.0303	0.0294	0.779	0.803
SA-18	0.0194	0.0205	0.0197	0.946	0.985	0.0358	0.0330	0.0320	1.085	1.119
SA-19	0.0196	0.0210	0.0202	0.933	0.970	0.0345	0.0312	0.0302	1.106	1.142
SA-20	0.0161	0.0212	0.0204	0.759	0.789	0.0261	0.0306	0.0297	0.853	0.879
SA-21	0.0164	0.0215	0.0207	0.763	0.792	0.0212	0.0297	0.0288	0.714	0.736
SA-22	0.0198	0.0213	0.0205	0.930	0.966	0.0247	0.0304	0.0295	0.813	0.837
SA-23	0.0157	0.0211	0.0203	0.744	0.773	0.0275	0.0308	0.0298	0.893	0.923
SA-24	0.0171	0.0211	0.0203	0.810	0.842	0.0288	0.0308	0.0298	0.935	0.966
SA-25	0.0178	0.0213	0.0205	0.836	0.868	0.0405	0.0302	0.0293	1.341	1.382
av.	0.0191	0.0212	0.0204	0.900	0.937	0.0275	0.0307	0.0297	0.895	0.923
SB- 1	0.0172	0.0210	0.0202	0.819	0.851	0.0230	0.0312	0.0302	0.737	0.762
SB- 2	0.0209	0.0212	0.0204	0.986	1.025	0.0234	0.0305	0.0296	0.767	0.791

Table 7. (continued)

Specimen No.	α_1 (%)					α_2 (%)				
	Exp.	Cal.(9)	Cal.(14)	Exp./Cal.(9)	Exp./Cal.(14)	Exp.	Cal.(9)	Cal.(14)	Exp./Cal.(9)	Exp./Cal.(14)
SB- 3	0.0186	0.0209	0.0201	0.890	0.925	0.0265	0.0315	0.0305	0.841	0.869
SB- 4	0.0199	0.0209	0.0201	0.952	0.990	0.0256	0.0317	0.0307	0.808	0.834
SB- 5	0.0207	0.0207	0.0199	1.000	1.040	0.0286	0.0322	0.0312	0.888	0.917
SB- 6	0.0226	0.0206	0.0198	1.097	1.141	0.0351	0.0328	0.0318	1.070	1.104
SB- 7	0.0218	0.0207	0.0199	1.053	1.095	0.0328	0.0321	0.0311	1.022	1.055
SB- 8	0.0211	0.0206	0.0198	1.024	1.066	0.0327	0.0328	0.0318	0.997	1.028
av.	0.0204	0.0208	0.0200	0.978	1.017	0.0285	0.0319	0.0309	0.891	0.920
av.	0.0198	0.0210	0.0202	0.939	0.977	0.0280	0.0313	0.0303	0.893	0.922

Note Cal.(9): The computed value of the plywood shrinkage from Eqs (9)
Cal.(14): The computed value of the plywood shrinkage from Eqs (14)

Table 8. Shrinkage of Mizunara plywood

Specimen No.	α_1 (%)					α_2 (%)				
	Exp.	Cal.(9)	Cal.(14)	Exp./Cal.(9)	Exp./Cal.(14)	Exp.	Cal.(9)	Cal.(14)	Exp./Cal.(9)	Exp./Cal.(14)
M- 1	0.0246	0.0490	0.0388	0.502	0.634	0.0883	0.0889	0.0803	0.993	1.100
M- 2	0.0322	0.0491	0.0396	0.656	0.813	0.0689	0.0887	0.0801	0.777	0.860
M- 3	0.0311	0.0489	0.0394	0.636	0.789	0.0489	0.0891	0.0805	0.549	0.607
M- 4	0.0292	0.0480	0.0384	0.608	0.760	0.0539	0.0915	0.0829	0.589	0.650
M- 5	0.0366	0.0477	0.0380	0.767	0.963	0.0472	0.0925	0.0838	0.510	0.563
M- 6	0.0432	0.0484	0.0388	0.893	1.113	0.0514	0.0912	0.0825	0.564	0.623
M- 7	0.0440	0.0482	0.0386	0.913	1.140	0.0699	0.0911	0.0825	0.767	0.847
M- 8	0.0352	0.0480	0.0384	0.733	0.917	0.0889	0.0915	0.0829	0.972	1.072
M- 9	0.0383	0.0484	0.0388	0.791	0.987	0.0695	0.0912	0.0825	0.762	0.842
M-10	0.0408	0.0485	0.0389	0.841	1.049	0.0647	0.0901	0.0815	0.718	0.794
M-11	0.0351	0.0482	0.0386	0.728	0.909	0.0956	0.0911	0.0825	1.049	1.159
M-12	0.0430	0.0480	0.0384	0.896	1.120	0.0688	0.0917	0.0830	0.750	0.829
M-13	0.0417	0.0484	0.0388	0.862	1.075	0.0830	0.0912	0.0825	0.910	1.006
M-14	0.0453	0.0485	0.0389	0.934	1.165	0.0779	0.0903	0.0817	0.863	0.953
M-15	0.0385	0.0485	0.0389	0.794	0.990	0.0624	0.0901	0.0815	0.693	0.766
M-16	0.0446	0.0485	0.0389	0.920	1.147	0.0719	0.0901	0.0815	0.798	0.882
M-17	0.0253	0.0484	0.0388	0.523	0.652	0.0903	0.0906	0.0820	0.997	1.101
M-18	0.0303	0.0496	0.0402	0.611	0.754	0.0742	0.0873	0.0787	0.850	0.943
M-19	0.0364	0.0483	0.0387	0.754	0.941	0.0842	0.0908	0.0822	0.927	1.024
M-20	0.0386	0.0479	0.0383	0.806	1.008	0.0850	0.0918	0.0831	0.926	1.023
av.	0.0368	0.0484	0.0388	0.760	0.948	0.0722	0.0905	0.0819	0.798	0.882

Table 9. Shrinkage of Lauan plywood

Specimen No.	α_1 (%)					α_2 (%)				
	Exp.	Cal.(9)	Cal.(14)	Exp./Cal.(9)	Exp./Cal.(14)	Exp.	Cal.(9)	Cal.(14)	Exp./Cal.(9)	Exp./Cal.(14)
LA- 1	0.0187	0.0180	0.0172	1.039	1.087	0.0257	0.0322	0.0312	0.798	0.823
LA- 2	0.0146	0.0181	0.0173	0.807	0.843	0.0251	0.0316	0.0307	0.794	0.817
LA- 3	0.0154	0.0181	0.0173	0.851	0.890	0.0286	0.0316	0.0307	0.905	0.931
LA- 4	0.0120	0.0181	0.0173	0.663	0.693	0.0262	0.0316	0.0307	0.829	0.853
LA- 5	0.0199	0.0180	0.0172	1.106	1.156	0.0221	0.0321	0.0311	0.688	0.710
LA- 6	0.0164	0.0180	0.0172	0.911	0.953	0.0259	0.0322	0.0312	0.804	0.830
LA- 7	0.0138	0.0183	0.0175	0.754	0.788	0.0276	0.0309	0.0300	0.893	0.920
LA- 8	0.0153	0.0183	0.0175	0.836	0.874	0.0240	0.0310	0.0301	0.774	0.797
LA- 9	0.0187	0.0183	0.0175	1.022	1.068	0.0325	0.0309	0.0300	1.052	1.083
LA-10	0.0191	0.0186	0.0178	1.027	1.073	0.0263	0.0299	0.0290	0.880	0.906
LA-11	0.0192	0.0183	0.0175	1.049	1.097	0.0236	0.0311	0.0302	0.759	0.781
LA-12	0.0152	0.0188	0.0180	0.803	0.838	0.0237	0.0292	0.0283	0.812	0.837
LA-13	0.0131	0.0186	0.0178	0.704	0.735	0.0219	0.0299	0.0290	0.732	0.755
LA-14	0.0119	0.0188	0.0180	0.633	0.661	0.0199	0.0292	0.0283	0.682	0.703
LA-15	0.0170	0.0187	0.0179	0.909	0.949	0.0190	0.0298	0.0289	0.638	0.657
LA-16	0.0166	0.0186	0.0178	0.892	0.932	0.0237	0.0299	0.0290	0.793	0.817
LA-17	0.0152	0.0187	0.0179	0.813	0.849	0.0261	0.0295	0.0286	0.885	0.912
LA-18	0.0175	0.0189	0.0181	0.926	0.966	0.0219	0.0290	0.0281	0.755	0.779
LA-19	0.0154	0.0181	0.0173	0.851	0.890	0.0242	0.0316	0.0307	0.766	0.788
LA-20	0.0152	0.0184	0.0176	0.826	0.863	0.0195	0.0308	0.0299	0.633	0.652
LA-21	0.0226	0.0181	0.0173	1.249	1.306	0.0248	0.0320	0.0310	0.775	0.800
LA-22	0.0155	0.0183	0.0175	0.847	0.885	0.0288	0.0309	0.0300	0.932	0.960
LA-23	0.0146	0.0181	0.0173	0.807	0.843	0.0228	0.0319	0.0310	0.715	0.735
LA-24	0.0137	0.0177	0.0169	0.774	0.810	0.0227	0.0334	0.0324	0.680	0.700
LA-25	0.0193	0.0180	0.0172	1.072	1.122	0.0242	0.0320	0.0311	0.756	0.778
LA-26	0.0150	0.0178	0.0170	0.843	0.882	0.0193	0.0331	0.0321	0.583	0.601
LA-27	0.0142	0.0181	0.0173	0.785	0.820	0.0261	0.0317	0.0308	0.823	0.847
av.	0.0161	0.0183	0.0175	0.881	0.921	0.0243	0.0311	0.0302	0.783	0.806
LB- 1	0.0198	0.0179	0.0169	1.106	1.172	0.0248	0.0314	0.0303	0.790	0.818
LB- 2	0.0182	0.0181	0.0172	1.006	1.058	0.0250	0.0308	0.0297	0.812	0.841
LB- 3	0.0178	0.0179	0.0169	0.994	1.053	0.0245	0.0314	0.0303	0.780	0.808
LB- 4	0.0188	0.0183	0.0174	1.027	1.080	0.0230	0.0299	0.0288	0.769	0.798
LB- 5	0.0145	0.0180	0.0171	0.806	0.847	0.0218	0.0311	0.0300	0.701	0.726
LB- 6	0.0193	0.0181	0.0172	1.066	1.122	0.0242	0.0306	0.0295	0.791	0.820
LB- 7	0.0198	0.0181	0.0172	1.094	1.151	0.0220	0.0306	0.0295	0.719	0.743
LB- 8	0.0176	0.0181	0.0172	0.972	1.023	0.0276	0.0307	0.0296	0.899	0.938
LB- 9	0.0201	0.0181	0.0172	1.110	1.168	0.0252	0.0305	0.0294	0.826	0.845
LB-10	0.0187	0.0179	0.0169	1.045	1.106	0.0257	0.0315	0.0304	0.816	0.946
LB-11	0.0205	0.0180	0.0171	1.139	1.198	0.0283	0.0310	0.0299	0.913	0.946

Table 9. (continued)

Specimen No.	α_1 (%)					α_2 (%)				
	Exp.	Cal.(9)	Cal.(14)	Exp./Cal.(9)	Exp./Cal.(14)	Exp.	Cal.(9)	Cal.(14)	Exp./Cal.(9)	Exp./Cal.(14)
LB-12	0.0213	0.0180	0.0171	1.183	1.245	0.0284	0.0309	0.0298	0.919	0.953
LB-13	0.0192	0.0179	0.0169	1.073	1.136	0.0264	0.0316	0.0305	0.835	0.865
LB-14	0.0240	0.0181	0.0172	1.326	1.395	0.0240	0.0308	0.0297	0.779	0.808
LB-15	0.0181	0.0181	0.0172	1.000	1.052	0.0259	0.0308	0.0297	0.841	0.872
LB-16	0.0162	0.0177	0.0167	0.915	0.970	0.0232	0.0324	0.0313	0.716	0.741
LB-17	0.0204	0.0180	0.0171	1.133	1.192	0.0382	0.0311	0.0300	1.228	1.273
LB-18	0.0169	0.0181	0.0172	0.934	0.982	0.0266	0.0306	0.0295	0.869	0.901
LB-19	0.0164	0.0179	0.0170	0.916	0.964	0.0259	0.0313	0.0302	0.827	0.857
LB-20	0.0158	0.0181	0.0172	0.873	0.918	0.0263	0.0306	0.0295	0.859	0.891
LB-21	0.0163	0.0180	0.0171	0.906	0.953	0.0234	0.0310	0.0299	0.755	0.782
LB-22	0.0146	0.0182	0.0173	0.802	0.843	0.0293	0.0302	0.0291	0.970	1.006
LB-23	0.0129	0.0185	0.0176	0.697	0.732	0.0257	0.0294	0.0283	0.874	0.908
LB-24	0.0190	0.0184	0.0175	1.033	1.085	0.0284	0.0296	0.0285	0.959	0.996
LB-25	0.0204	0.0178	0.0168	1.146	1.214	0.0255	0.0318	0.0307	0.802	0.830
av.	0.0183	0.0181	0.0171	1.012	1.066	0.0260	0.0309	0.0298	0.842	0.872
av.	0.0172	0.0182	0.0173	0.947	0.994	0.0252	0.0310	0.0300	0.813	0.839

平面条件 (14 式) による計算値と実測値とを比較してみると，α_1 においては，シナノキ＝平均 0.977，ミズナラ＝平均 0.951，ラワン＝平均 0.994 とよく一致し，α_2 においては，シナノキ＝平均 0.922，ミズナラ＝平均 0.884，ラワン＝平均 0.839 と大体一致している。α_2 において実測値の方が 8～16% 程度小さくでた原因としては脱湿過程における水分傾斜の影響によるものと考えられる。また，単軸条件 (9 式) による計算値と実測値とを比較してみると，ミズナラにおいては，α_1＝平均 0.762，α_2＝平均 0.800 と 20% 以上実測値の方が小さくでたが，シナノキとラワンにおいては，α_1＝平均 0.939 (シナノキ)，平均 0.947 (ラワン)，α_2＝平均 0.893 (シナノキ)，平均 0.813 (ラワン) とかなりよく一致しており，複雑な平面条件によって合板の収縮率をもとめなくても，簡単な単軸条件の式をもちいて計算してもさしつかえないように思われる。このことをさらに検討するために，平面条件による計算式 (14 式) と単軸条件による計算式 (9 式) とを比較検討してみた。

(14) 式を (9) 式で割ってみると，α_1 および α_2 にかんして，それぞそつぎのようになる。

$$\left.\begin{aligned}
\alpha_1 \text{ にかんして} \rightarrow \frac{(14)\text{式}}{(9)\text{式}} &= 1-\frac{(\lambda\varphi+k)(1+\varphi)}{(\lambda+k\varphi)(\varphi+k)}k\cdot\mu_{LT} \\
&= 1-\frac{(m\varphi+1)(1+\varphi)}{(m+\varphi)(\varphi+k)}k\cdot\mu_{LT} = 1-\varDelta_1 \\
\alpha_2 \text{ にかんして} \rightarrow \frac{(14)\text{式}}{(9)\text{式}} &= 1-\frac{(\lambda+k\varphi)(1+\varphi)}{(\lambda\varphi+k)(1+k\varphi)}k\mu_{LT} \\
&= 1-\frac{(m+\varphi)(1+\varphi)}{(1+k\varphi)(m\varphi+1)}k\mu_{LT} = 1-\varDelta_2
\end{aligned}\right\} \quad (15)$$

ここに，　$\lambda=\dfrac{\alpha_L}{\alpha_T}$，　$m=\dfrac{\lambda}{k}$，

$$\Delta_1=\frac{(m\varphi+1)(1+\varphi)}{(m+\varphi)(\varphi+k)}k\cdot\mu_{LT}$$

$$\Delta_2=\frac{(m+\varphi)(1+\varphi)}{(m\varphi+1)(1+k\varphi)}k\cdot\mu_{LT}$$

(15) 式からあきらかなように，平面条件で計算した値と単軸条件で計算した値との間の差は Δ_1 および Δ_2 の値の大小，すなわち，k, m, μ_{LT} および φ の値の大小によって影響される。いま仮りに $\varphi=1$ ($t_\perp=t_{/\!/}$ (Fig. 1) の場合。一般の合板の大部分はこの構成割合に近いようである。) のばあいを考えると $\alpha_1=\alpha_2$ となり

$$\Delta=\Delta_1=\Delta_2=\frac{2k}{1+k}\mu_{LT}\qquad(16)$$

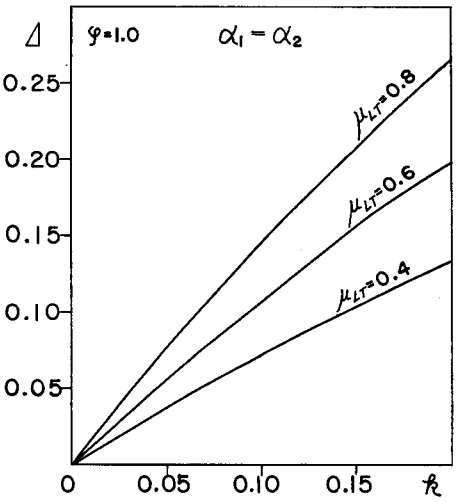

Fig. 4. Relationship between Δ and k for various μ_{LT}.

となる。すなわち，このばあいにおいては，平面条件で計算した値と単軸条件で計算した値との間の差は k および μ_{LT} の値の大小によって影響される。Fig. 4 は $\mu_{LT}=0.4$, 0.6, 0.8 として，その影響をかいたものである。Fig. 4 から，あきらかなように k の値が小さく，μ_{LT} の値も小さいばあいにおいては，合板の収縮率を単軸条件による計算式をもちいて計算してもさしつかえないものと思われる。Fig. 5 は (15) 式において，$\varphi=0.5$, $\mu_{LT}=0.6$ としてその影響を検討してみたものである。Fig. 5 において，m の値が大きくなると，α_1 においてはその影響は小さく，α_2 においては逆にその影響が大になる。しかし，いずれのばあいにおいても k の値が小さいばあいには単軸条件による計算式をもちいて計算してもさしつかえないことがわかる。

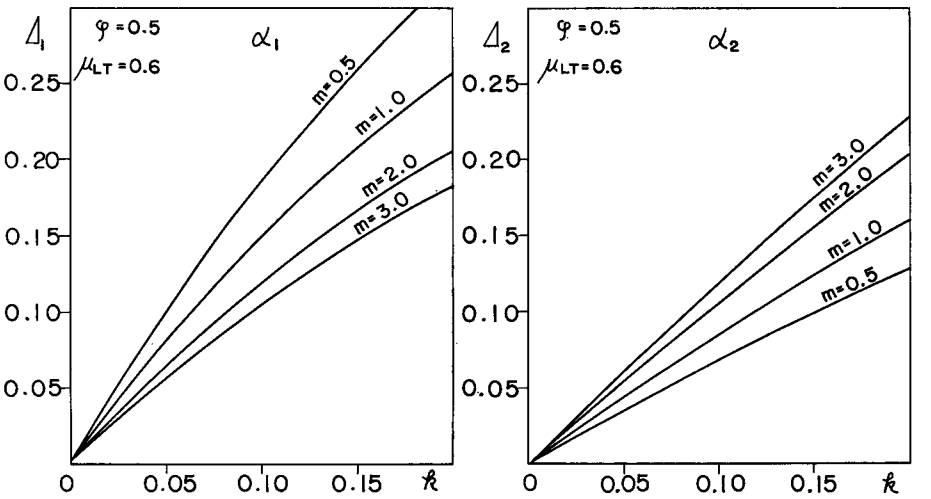

Fig. 5. Relationship between Δ_1 (or Δ_2), and k for various m.

以上のことから，ミズナラにおいては k の値が 0.142 と大きいために単軸条件による計算式では誤差が大きく，シナノキとラワンにおいては k の値がそれぞれ 0.041, 0.035～0.038 と小さいために単軸条件による計算式をもちいて計算してもその誤差は小さい。しかし，実際に合板を利用するさいにその精度が高く要求されるばあいには平面条件で計算しなければならないことはいうまでもない。

む す び

合板の伸縮率を素材 (平行合板) の基本値 $\left(k=\frac{E_T}{E_L},\ \mu_{LT},\ \alpha_T,\ \alpha_L\right)$ から理論的にもとめるための計算式を単軸条件と平面条件において誘導した。この研究では，シナノキ単板 (公称厚 2.0 mm)，ミズナラ単板 (公称厚 1.0 mm)，ラワン単板 (公称厚 0.9 mm と 1.64 mm) をもちい，平行合板 (Veneer-laminated wood) と合板 (Plywood) を製造し，平行合板から基本値を測定し，合板において収縮試験をおこなって次のような結果をえた。

1) ここに誘導した平面条件による計算式は合板の 2-方向 (Fig. 2) の収縮率，(α_2) において実測値の方が 8～16% 程度小さい結果となったが，合板の収縮率の推定においてほぼ妥当なものであると思われる。

2) 素材 (平行合板) 条件での基本値 k の値が小さいばあいには，複雑な平面条件による計算式をもちいなくても，より簡単な単軸条件による計算式をもちいて推定してもさしつかえないことが確められた。しかし，この k の値がかなり大となる樹種を用いたばあいや，実際に合板を利用するさいに，高い精度が要求されるばあいには平面条件による計算式をもちいることが望ましい。

文 献

1) KEYLWERTH, R.: Untersuchungen über freie und behinderte Querllung—Zweite Mitteilung: Holz als Roh-und Werkstoff **20**, 292 (1962).

2) 上田恒司: 木質平面材料の弾性定数に関する研究 (第 I 報). 北大演報, **26**, 143 (1968).

3) 沢田 稔: 木材のポアソン比の 1 測定法. 日本木材学会誌, **2**, 6 (1956).

4) 林業試験場編: 木材工業ハンドブック. 丸善 (1958).

Summary

In this paper, the problems about the shrinkage of plywood caused by moisture changes have been discussed. We derived the theoretical equations for calculating the shrinkage of plywood using the basic values obtained from the veneer-laminated wood. To compare the predicted values from the equations with the observed ones, Shinanoki (*Tilia joponica*), Mizunara (*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*) and Lauan (*Shorea* sp.) plywood specimens as shown in Tables 3 to 5 were prepared for measuring the shrinkage. The test results are shown in Tables 7 to 9 and the predicted values for 1-direction shrinkage (α_1) of plywood from Eq. (14) were considerably close to the observed ones.

The predicted values for 2-direction shrinkage (α_2) of plywood from Eq. (14) were somewhat larger than the observed ones, probably attributable to a consequence of the moisture gradient.

The shrinkage of plywood, when it is used in the plate, should be essentially solved as a two-dimensional problem. In the species that k was very small, as indicated in Figures 4 and 5, the computed values obtained by using Eq. (9) for the shrinkage of plywood were approximately equal to the observed ones. In the case of the species that k is large, or being demanded the higher accurate values for the shrinkage of plywood, it is desirable to predict the shrinkage of plywood from Eq. (14).

Theoretical equations for the shrinkage of plywood are as follows:

1) Uniaxial problem;

$$\left.\begin{aligned} \bar{a}_1 &= \frac{\alpha_L + k\varphi\alpha_T}{1+k\varphi} \\ \bar{a}_2 &= \frac{\varphi\alpha_L + k\alpha_T}{\varphi+k} \end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

2) Two-dimensional problem;

$$\left.\begin{aligned} \alpha_1 &= \bar{a}_1 - \bar{a}_2 \frac{k(1+\varphi)\mu_{LT}}{1+k\varphi} \\ \alpha_2 &= \bar{a}_2 - \bar{a}_1 \frac{k(1+\varphi)\mu_{LT}}{\varphi+k} \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

where: $\bar{a}_1$ = 1-direction shrinkage of plywood for uniaxial problem. (Fig. 1)
$\bar{a}_2$ = 2-direction shrinkage of plywood for uniaxial problem. (Fig. 1)
α_1 = 1-direction shrinkage of plywood for two-dimensional problem. (Fig. 2)
α_2 = 2-direction shrinkage of plywood for two-dimensional problem, (Fig. 2)
α_L = Longitudinal shrinkage of the veneer-laminated wood. (Fig. 3)
α_T = Tangential shrinkage of the veneer-laminated wood. (Fig. 3)
$k = E_T/E_L$
E_L = Modulus of elasticity of the veneer-laminated wood parallel to the grain.
E_T = Modulus of elasticity in the tangential direction of the veneer-laminated wood perpendicular to the grain.
μ_{LT} = Poisson's ratio.
$\varphi = t_\perp/t_\parallel$ (Fig. 1)