

2. スラウェシー産材の物理特性 Physical Properties of Sulawesi Woods

2・1 収 縮 特 性

金 川 靖, 服 部 芳 明

Shrinkage Property

Yasushi KANAGAWA and Yoshiaki HATTORI

2・1・1 はじめに

本報告では、収縮特性について検討した。本研究の特徴は、1) 比較的ゆるやかな乾燥条件の下で詳細に収縮経過を求め分類したこと、2) 収縮特性を把握するポイントとして従来から求められてきた全収縮率、気乾までの収縮率及び含水率1%当りの平均収縮率の3収縮特性値に、含水率30%までの収縮率を乾燥に伴う細胞の落ち込みの指標として加えたこと、3) 樹幹内半径方向における収縮特性の分布を求めたこと、4) 乾燥温度22℃及び60℃における収縮挙動の変化から温度係数を求めたこと、および5) 各樹種について基準収縮経過を求め、細胞の落ち込みに及ぼす樹幹内半径方向部位および乾燥温度の影響について検討したことである。

2・1・2 測定方法および条件

(1) 供試樹種

収縮特性を検討した樹種は入手した24科38属のうち表1に示す19科28属41個体について行った。供試した各樹種は図1に示すように他産材での容積密度の出現頻度¹⁾と比較して、特に偏

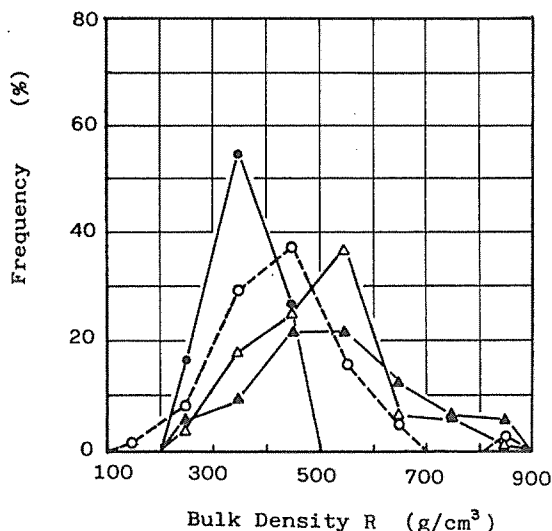


Fig. 1. Frequency in levels of bulk density.
○ : Sulawesian woods
● : Japanese conifer woods
△ : Japanese broadleaf woods
▲ : Other tropical woods

りはない。生材状態の確認は非常に難しいため、入手時の含水率を生材含水率とみなし、この状態を基準に収縮率を算出した。

(2) 測定方法

収縮率の測定は径接両方向のみに限って行ない、試験片寸法はJIS-Z 2103に従って $30 \times 30 \times 5$ mm (T×R×L)とした。乾燥に伴う径接両方向の寸法および重量の変化はそれぞれマイクロメーター (精度 $\pm 1/100$ mm)、自動化学天秤 (精度 $\pm 1/10$ mg)によって測定し、収縮率0.01%、含水率0.1%の精度で測定結果を得ている。これまでの測定経験から、繊維方向に連続する試験片での収縮率のバラツキは非常に少ないことが明らかであるため、同一条件での試験片個数は基本的には1個とした。収縮経過を追って測定しているため、寸法・重量の測定値のチェックは容易で、また、収縮経過曲線の型や収縮特性値から再試験が必要と判断された樹種では複数試験片で追加測定を繰り返した。しかし、この再試験で第1回目測定の結果を大巾に変更したものはわずか3条件で、また、複数試験片の測定結果のバラツキは収縮率0.3%以内であった。したがって、本測定結果を樹種、樹幹内部位の代表値とみなした。

基準収縮経過の測定は以下の手順によって行なった。1) 生材試験片を液体チッ素中に浸漬し、急冷・凍結した後、常温下で真空乾燥する。この際、含水率20%程度までは凍結状態を保つ必要があるため、適宜取り出して液体チッ素中で再凍結を繰り返す。2) 全乾状態附近まで乾燥した後、各種飽和塩水溶液で調湿されたデシケーター中で段階的に吸湿膨潤させる。この膨潤経過を追って重量および径接両方向の寸法変化を測定する。3) 以上の経過を生材状態を基準として計算し、収縮経過として表わす。測定は室温(22℃)の下で行なった。以上の方法によって細胞の落ち込みを発生させることなく乾燥することができ^{2),4)}、細胞壁の収縮のみによる収縮経過が得られる。これを基準収縮経過および基準収縮率と呼ぶ。

径接両方向の基準収縮経過は全乾及び収縮率0%附近以外は直線で表わすことができるため、この2直線から得られる収縮率0%時の含水率の平均値を求め、繊維飽和点とした。

(3) 乾燥条件

本研究では収縮経過を、1) 常温(22℃)において樹幹内各部位から得た試験片について、2) 60℃において辺材に近い心材部分について求めた。また、乾燥温度の影響が著しいものについては、さらに40、80℃の乾燥温度でも測定した。

室温(22℃)における収縮経過の測定は、生材から含水率30%までの乾燥時間を約40時間となるよう、また、乾燥経過がより直線的になるよう、関係湿度を各種飽和塩水溶液等で調整しながら行なった。乾燥温度40～80℃における測定は恒温恒湿槽を用いて行なった。乾燥条件は各温度条件とも初期乾湿球温度差2℃とし、乾燥経過に伴って順次乾湿球温度差を開き、関係湿度を下げながら行なった。これらの温度条件においても、細胞の落ち込みが明確に現われるように、生材から含水率30%までの乾燥時間30～40時間²⁾を期したが、乾燥温度80℃では25～30時間であった。

2・1・3 試験結果と考察

(1) 収縮経過

木材の収縮経過は既に報告した²⁾ように、乾燥に伴って生ずる細胞の落ち込みやその回復の程度によって図2に示すように4つのタイプに分けられる。即ち、細胞の落ち込みが認められず、繊維飽和点附近から収縮が急に始まる本邦産アカマツ材で代表されるタイプⅠと細胞の落ち込みが認められるタイプⅡとに大別できる。さらにこのタイプⅡは、細胞の落ち込みとその回復の程度によって、収縮経過曲線の収縮の立ち上りがなだらかな北米産ヘムロック材でみられるタイプⅡ-1、細胞の落ち込みが顕著で乾燥と同時に収縮が始まり、繊維飽和点附近まで乾燥が進むと落ち込み変形した細胞が回復するため収縮経過曲線にピークないし明瞭な肩を持つ東南アジア産レッドメランチ、アルモン材などでみられるタイプⅡ-2および細胞の落ち込みが顕著で、しかも回復がほとんど起らない本邦産シラカシ材でみられるタイプⅡ-3に分けられる。タイプⅡ-1はタイプⅠとの区別が難しい場合があるが、乾燥温度を上げるなど細胞の落ち込みの発生し易い条件の下で乾燥させるとタイプⅡ-2になるなど、なだらかな収縮経過曲線の立ち上りを試験片内の含水率ムラだけに帰すことができないものである。先の報告²⁾でのタイプ分けでタイプⅢと称していたものがタイプⅡ-1である。

乾燥温度 22℃における樹幹内半径方向各部位の接線方向収縮経過を辺材部、辺材に近い心材部および樹心に近い心材部に分けて分類し表1に示す。ここではタイプⅠの基準として従来細胞の落ち

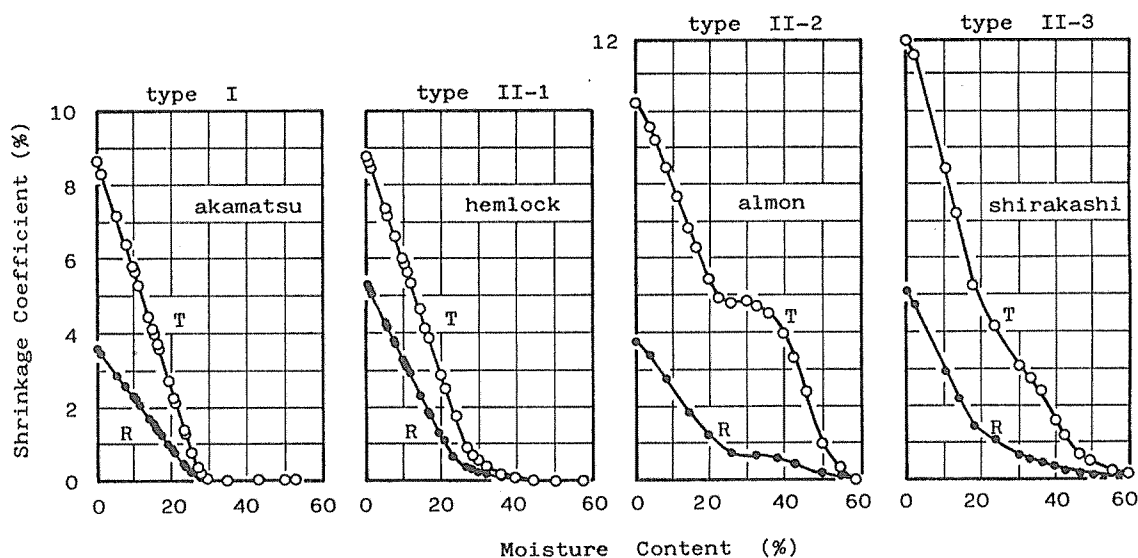


Fig. 2. Classification on patterns of shrinkage curve
Drying temperature: 22°C
T: Tangential direction.
R: Radial direction

Table 1. Shrinkage properties of Sulawesi woods

Family	Genus	Type of collapse shrinkage		relative position from pith (%)	heart wood bulk density	$\alpha = a \times (\text{m.c.}) + b$				fiber saturation point (%)	heart wood (standard position) maximum collapse (%)	influence of drying temperature at 60°C		coefficient of thermal effect $\times 10^{-2}$	ratio of collapse recovery at 60°C at 22°C
		sap	heart			tangential	radial	a	b			type of shrink.	maximum shrink. (%)		
Anacardiaceae	<i>Dracontomelon</i> sp.	I	I	65.6	0.53	7.92	0.325	4.62	0.195	24.5	20.9	II	1.99	0.28	0.86
"	<i>Koordersiodendron</i> sp. (1)	I	I	60.7	0.60	9.95	0.330	6.50	0.227	29.8	25.7	II	5.43	2.90	6.1
"	<i>Spondias</i> sp.	II	II	68.5	0.42	5.95	0.242	4.83	0.196	25.0	24.5	II	0.77	0.23	1.46
Burseraceae	<i>Canarium</i> sp. (1)	I	III	62.3	0.50	7.56	0.300	4.81	0.196	25.2	24.7	II	1.67	0.65	1.7
"	<i>Canarium</i> sp. (2)	I	I	39.3	0.45	7.94	0.272	4.77	0.174	28.5	25.7	I	1.24	0.0	2.26
"	<i>Sanitaria</i> sp. (1)	I	II	74.6	0.46	6.37	0.251	4.87	0.200	25.4	28.9	I	1.82	0.68	1.26
"	<i>Sanitaria</i> sp. (2)	I	II	64.2	0.52	6.28	0.251	4.52	0.192	24.7	23.7	II	1.43	0.60	1.02
Celastraceae	<i>Lophopetalum</i> sp.	I	I	55.2	0.42	7.18	0.268	5.10	0.197	26.5	26.5	I	1.36	0.06	1.0
Combretaceae	<i>Terminalia</i> sp. (1)	II	II	51.1	0.40	6.21	0.258	4.01	0.166	24.6	30.5	I	1.28	0.86	0.96
"	" (2)	I	II	67.8	0.36	5.82	0.230	3.52	0.147	24.9	25.3	II	1.07	0.22	0.9
"	" (3)	I	III	34.0	0.60	7.42	0.312	5.20	0.218	24.1	23.2	II	2.25	1.38	2.2
"	" (4)	I	I	48.1	0.45	7.10	0.265	4.25	0.167	26.2	23.9	I	1.46	0.12	1.4
Datiaceae	<i>Ocoteles</i> sp.	II	II	45.2	0.29	5.08	0.183	3.14	0.116	27.6	32.0	II	4.28	1.95	3.5
Euphorbiaceae	<i>Sapium</i> sp. (1)	I	I	72.0	0.37	5.79	0.237	3.00	0.127	24.4	22.7	II	1.86	0.30	1.9
Gonystylaceae	<i>Gonystylus</i> sp.	I	I	53.3	0.50	9.68	0.386	3.85	0.162	24.7	23.8	II	2.52	0.77	2.0
Guttiferae	<i>Calophyllum</i> sp. (1)	III	III	52.0	0.40	7.02	0.273	3.90	0.158	25.6	27.2	II	2.30	1.17	2.7
Lauraceae	<i>Litsea</i> sp. (1)	II	II	59.6	0.39	6.25	0.260	2.89	0.125	23.8	22.1	II	1.59	1.04	0.8
"	" (2)	II	II	36.7	0.39	5.95	0.253	3.79	0.165	23.4	27.4	II	1.03	0.0	3.89
"	" (3)	I	I	56.7	0.45	6.88	0.269	4.83	0.190	25.6	21.5	I	0.38	0.0	-0.2
Meliaceae	<i>Aglaia</i> sp. (1)	III	III	68.9	0.50	7.19	0.277	5.52	0.215	26.2	32.8	II	4.90	3.76	2.2
"	<i>Dysoxylum</i> sp.	I	I	63.6	0.49	8.00	0.320	4.73	0.196	25.0	24.6	I	1.64	0.0	1.3
"	<i>Sandoricum</i> sp. (1)	II	III	69.8	0.36	5.90	0.240	2.93	0.122	25.0	23.4	II	1.90	1.24	3.0
Moraceae	<i>Artocarpus</i> sp.	II	II	55.2	0.24	6.94	0.255	3.20	0.114	27.6	48.1	II	6.32	3.28	4.6
"	<i>Ficus</i> sp. (1)	I	I	69.3	0.47	8.00	0.322	4.34	0.179	24.8	24.4	I	1.00	0.0	1.2
"	" (2)	II	II	62.2	0.33	9.15	0.326	3.76	0.137	27.9	37.6	I	1.34	0.0	0.2
Myristicaceae (1)	<i>Eugenia</i> sp.	II	II	56.7	0.40	8.29	0.290	4.21	0.151	28.3	40.8	II	7.87	4.86	1.1
Myrtaceae	<i>Podocarpus</i> sp. (1)	II	II	50.0	0.59	10.23	0.326	6.48	0.227	30.7	33.5	II	8.02	5.76	3.9
Podocarpaceae	<i>Pometia</i> sp. (1)	I	I	44.4	0.43	9.60	0.343	4.86	0.181	27.7	29.7	I	0.65	0.0	0.3
Sapotaceae	<i>Madhuca</i> sp.	I	III	56.7	0.55	9.14	0.198	7.70	0.264	30.4	30.7	II	2.90	1.68	1.1
"	<i>Palaquium</i> sp. (1)	I	I	68.2	0.88	10.54	0.418	7.84	0.264	24.9	19.4	II	1.96	0.45	2.2
"	" (2)	II	II	68.3	0.39	6.05	0.250	3.45	0.146	24.3	30.4	II	1.69	1.08	-1.1
"	" (3)	II	II	55.6	0.47	7.47	0.267	3.85	0.143	27.5	34.0	II	3.50	1.52	3.0
Simarubaceae	<i>Ailanthus</i> sp. (1)	II	III	69.1	0.35	6.50	0.250	4.50	0.181	25.6	24.3	II	9.52	0.80	-0.2
"	" (2)	I	II	45.8	0.32	7.64	0.221	5.55	0.168	33.8	41.8	II	2.80	0.95	0.2
Sonneratiaceae	<i>Duabanga</i> sp. (1)	II	III	59.6	0.35	4.90	0.208	3.09	0.138	23.5	26.1	II	0.59	0.32	0.6
"	" (2)	I	II	70.6	0.40	7.26	0.290	4.63	0.191	25.1	24.4	II	0.41	0.10	0.4
"	" (3)	I	III	62.3	0.38	6.70	0.259	4.88	0.199	25.4	28.5	II	0.78	0.13	0.7
Sterculiaceae	<i>Heritiera</i> sp. (1)	I	II	61.2	0.50	6.93	0.293	5.20	0.216	24.4	32.6	II	2.30	1.32	1.79
"	" (2)	I	II	37.5	0.45	7.56	0.297	4.68	0.190	25.4	27.0	II	2.63	0.82	1.6
"	<i>Sterculia</i> sp. (1)	II	II	57.8	0.27	6.98	0.260	3.02	0.120	26.6	56.4	II	2.00	1.16	0.9
"	" (2)	I	II	75.5	0.35	7.75	0.268	4.39	0.169	29.9	40.2	II	1.82	0.50	-0.6

込みが認められないといわれている *Gonystylus* sp. (ラミン材) 辺材の収縮経過 (図3) を採用し、図3に示される程度の収縮の立ち上りは、前述の乾燥条件ではさけられない試験片内の含水率ムラによるものと判断した。

辺材部の収縮経過がタイプIとみなし得るのは、*Gonystylus* sp. 以外では *Dracontomelon* sp., *Spondias* sp., *Canarium* sp., *Ficus* sp. (1), *Eugenia* sp., *Duabanga* sp (2) および *Duabanga* sp (3) の7樹種である。一般に辺材部では細胞の落ち込みは生じ難いといわれているが、本試験の結果から細胞の落ち込みが明確に認められるタイプII-2の収縮経過を示すものは、*Lophopetalum* sp., *Octomeles* sp., *Sapium* sp (1), *Aglaia* sp (1), *Dysoxylum* sp., *Sandoricum* sp (1), *Artocarpus* sp., *Myristicaceae* (1), *Madhuca* sp. および *Duabanga* sp (1) の10樹種であり、残りの23樹種の辺材はタイプII-1に属し、辺材においてさえ大部分の樹種で何らかの細胞の落ち込みが生じている。したがって、乾燥に伴う一般に「落ち込み」と呼ばれている材表面での波打ちや糸巻状の木口変形などに限定せずに「細胞の落ち込み」を脱水に伴う細胞の変形としてとらえた場合には、この現象は「異常収縮」ではなく、極く少数の樹種を除けば、その程度には大きな差はあるものの、生材から乾燥する場合は常に発生すると考えるべきであろう。

辺材に近い心材部は、樹幹内において最も実用に供されることが多く、また、材質的にもその樹種の平均的な特徴を現わしている。この部分での細胞の落ち込みの程度は人工乾燥スケジュールを決定する主要な因子の1つになるなど実用上でも重要な問題である。樹幹内半径方向の相対位置50~80%の辺材に近い心材部分の収縮経過をみると、*Spondias* sp., *Gonystylus* sp., *Ficus* sp (1), *Duabanga* sp (2) および *Duabanga* sp (3) の5樹種は辺材部と同様にタイプIに属する。しかし、これらの試料を乾燥温度60℃で乾燥した場合は *Gonystylus* sp. と *Duabanga* sp (2) を除くとタイプII-1になり、乾燥温度が高いと細胞の落ち込みが発生するため、人工乾燥の際にはタイプIIのものと同様に乾燥温度を上げ過ぎないなどの配慮が必要であろう。*Canarium* sp., *Lisea* sp (2), *Lisea* sp (3) および *Podocarpus* sp. の4樹種はタイプII-1を示し、*Aglaia* sp., *Pometia* sp (1) の2樹種はタイプII-3を示す。他の30樹種は典型的な細胞の落ち込みを示すタイプII-2に属する。

樹心に近い部分では、一般に落ち込みが顕著に現われる。この部分は未成熟材あるいは脆心材と呼ばれる材質を持つ可能性があり、細胞の落ち込み発生³⁾の諸条件の中で、細胞内に生ずるLiquid tension に比べて材の強度的性質が低いために細胞の落ち込みが生じ易いものと推測できる。樹心から約30%の相対位置の試料についてみると、他の部位に比べ細胞の落ち込みが顕著に増大するのは、*Gonystylus* sp., *Pometia* sp., *Palaquium* sp (1), *Ailanthus* sp. (1) および *Duabanga* sp (3) の5試料である。この内 *Gonystylus* sp. および *Duabanga* sp (3) は辺・心材の収縮経過で示したように他の部位では細胞の落ち込みが認められず、この部位のみがタイプII-1を示したためであり、他の4試料とは意味が若干異なることに注意する必要がある。上記の2樹種以外で辺材に近い心材部分で細胞の落ち込みを示さなかった *Spondias* sp., *Ficus* sp (1) および *Duabanga* sp (2) は樹心からの相対位置がそれぞれ47, 27, 16%の部位で細胞の落ち込みが認められず (タイプI), 常温 (22℃) においてはこれらの樹種は樹幹全体を通して細胞の落ち込みが発生せず極め

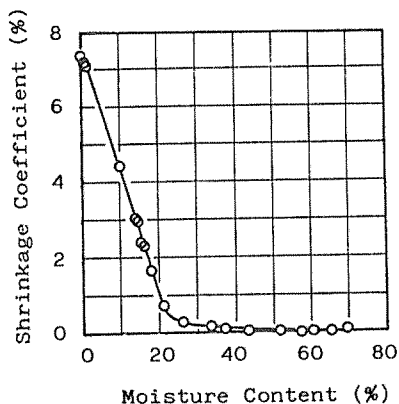


Fig. 3. Shrinkage curve of *Gonystylus* sp.
tangential direction.
Drying temperature: 22°C

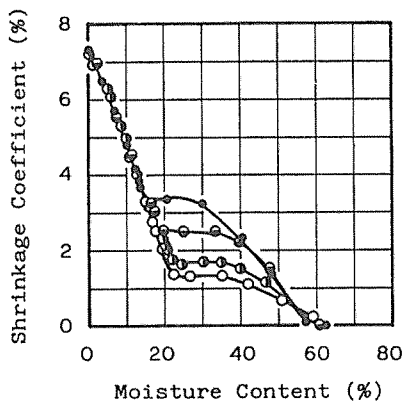


Fig. 4. Influence of drying temperature on shrinkage curve
of *Koordersiodendron* sp.

Tangential direction
drying temperature

- : 22°C
- : 40°C
- ◐ : 60°C
- : 80°C

Fig. 5. Influence of drying temperature on shrinkage curve
of *Calophyllum* sp.

Tangential direction
drying temperature

- : 22°C
- : 40°C
- ◐ : 60°C
- : 80°C

て安定していると判断できる。この3樹種を除く38樹種では細胞の落ち込みを示すタイプⅡのいずれかに属している。

半径方向の収縮経過については、全ての部位でタイプⅡ-2を示す樹種は *Koordersiodendron* sp., *Octomeles* sp., *Aglaia* sp (1), *Sandoricum* sp (1), *Myristicaceae* (1) および *Madhuca* sp で、樹心に近い部分のみタイプⅡ-2の樹種は *Canarium* sp (2), *Artocarpus* sp., *Ficus* sp (2), *Eugenia* sp. および *Ailanthus* sp (2) であり、特に *Ficus* sp (2) においては年輪状に配列する軸方向柔細胞の落ち込みが著しく、半径方向において典型的なタイプⅡ-2の収縮経過を示す。半径方向においては、タイプⅠとタイプⅡ-1の区別が非常に難しく、他の30樹種はそのいずれかに属している。

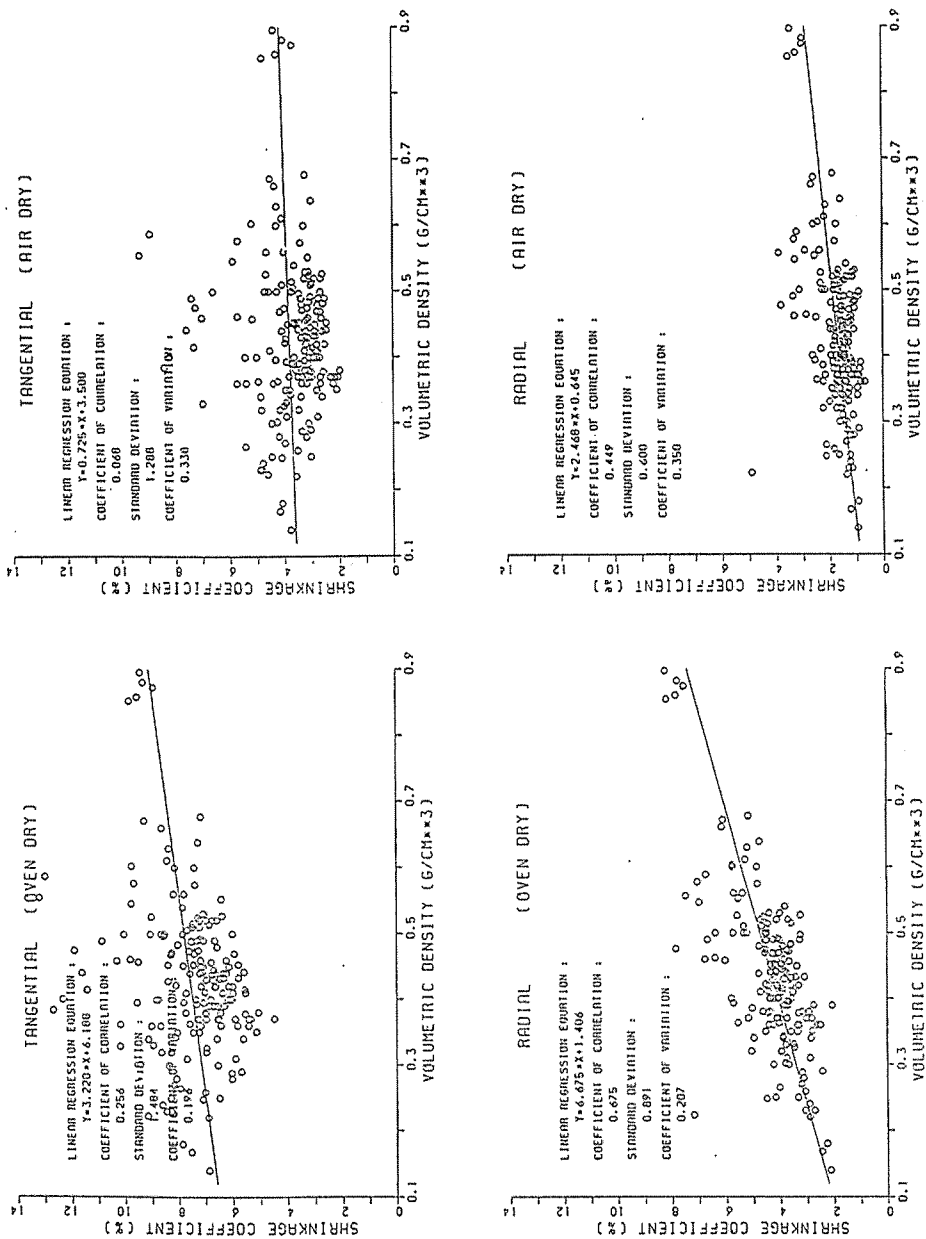


Fig. 6-1. Linear regression of some properties.

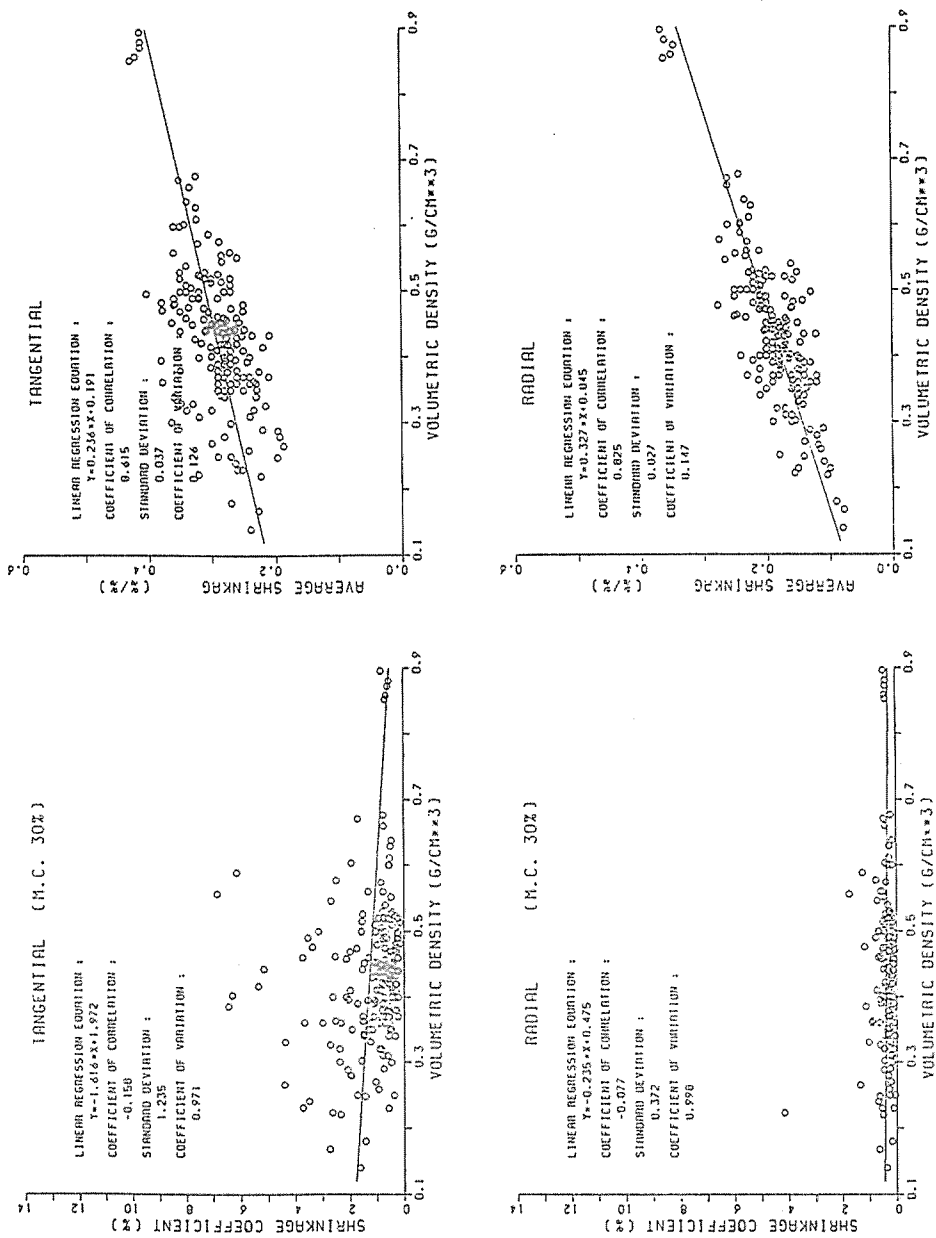


Fig. 6-2. Linear regression of some properties.

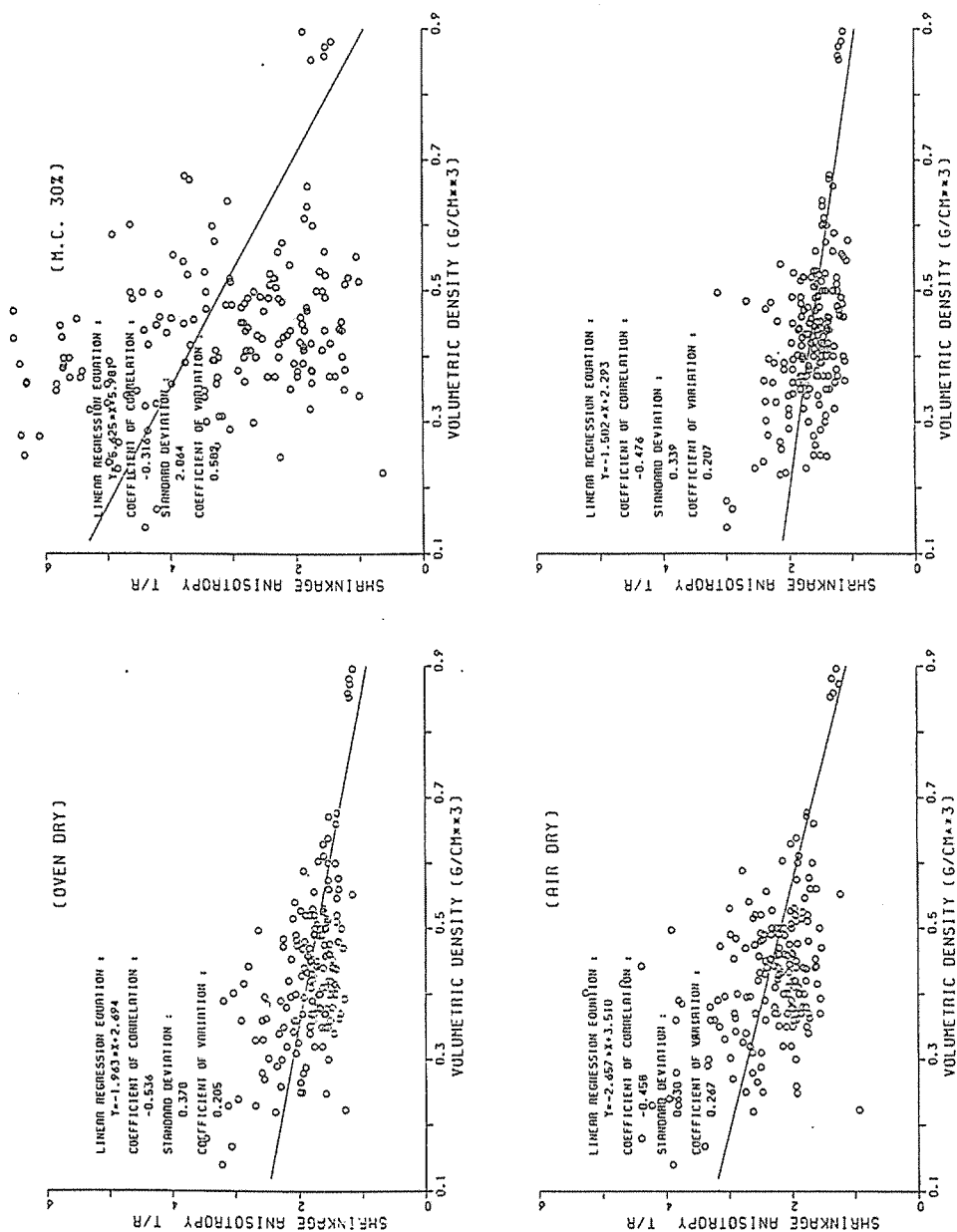


Fig. 6-3. Linear regression of some properties.

(2) 収縮特性値

木材の収縮特性を表わす数値として、JIS-Z 2103では含水率1%に対する平均収縮率、気乾までの収縮率（気乾収縮率と呼ぶ）および全収縮率を求めることを規定している。以上の3特性値によって乾燥材の収縮特性は評価できるが、さらに乾燥経過中に生ずる細胞の変形による収縮、即ち細胞の落ち込み収縮を評価するために含水率30%における収縮率を求め収縮特性値に加える。この値は細胞の落ち込みの程度と良い相関関係が認められる。以上の4特性値によって、樹幹内半径方向の部位の影響および乾燥温度の影響について調べる。

(a) 樹幹内半径方向部位の影響

表1中に示す接線方向全収縮率の変動率（樹心からの相対位置80%の値に対する相対位置20%の値の比）から半径方向に均一な収縮特性を持つものは、*Canarium* sp (2), *Santiria* sp (1), *Lophopetalum* sp, *Terminalia* sp (2), *Terminalia* sp (3), *Sapium* sp (1), *Litsea* sp (1), *Litsea* sp (2), *Artocarpus* sp, *Ficus* sp (1), *Madhuca* sp, *Ailanthus* sp (1), *Duabanga* sp (2) および *Sterculia* sp (2) の14樹種であり、反対に変動の大きいのは、*Canarium* sp (1), *Calophyllum* sp (1), *Sandoricum* sp (1), *Eugenia* sp, *Pometia* sp (1), *Palaquium* sp (1), *Duabanga* sp (1) および *Duabanga* sp (3) の8樹種である。

樹心部附近は未成熟材であったり脆心材であったりする樹種があり、収縮率に関しては樹心に近づくにつれて増大することが多い。そこで接線方向気乾収縮率の半径方向での変動を調べ、その出現頻度を求めると、樹心に近づく程増大するものは20樹種、48.8%、ほぼ一定のもの8樹種、19.5%、不規則に変化するもの11樹種、26.8%、樹心に近づく程低下するもの2樹種、4.9%となる。脆心部分が認められた樹種との対応をみると、脆心部分を持つ24樹種中で接線方向気乾収縮率が樹心に近づく程増大するものの出現頻は13樹種54.2%であり、全体での頻度よりわずかに高いもののその差は極くわずかである。また、これらの樹種の中でも *Octomeles* sp. および *Litsea* sp (3) は全く逆の傾向を示すなど、脆心部分の存在と収縮率の増大との相関関係は認められないようである。

(3) 乾燥温度の影響

一般に、乾燥温度が高い程細胞の落ち込みが増大するため収縮は大きくなるといわれている。これまでの研究によって細胞の落ち込みは乾燥温度40～50℃を境に顕著になる²⁾ことが明らかとなったため、本報では室温（22℃）と60℃における収縮経過を求めた。測定した試料はその樹種の代表的な部位である辺材寄りの心材（相対位置50～80%）を用いている。両温度での特性値の比率 α_{60}/α_{20} を求め、表1に併せて示す。

収縮経過曲線のタイプ分けは前述のように *Gonystylus* sp. と *Duabanga* sp. (2) 以外は細胞の落ち込みの発生を示すタイプIIであるが、全乾収縮率、気乾収縮率は必ずしも乾燥温度が高い程大きな値になるとはいえない。 α_{60}/α_{20} 値は1.51～0.76に分布するものの1.0以上の樹種はわずかに半数を超えるだけである。図4に示す *Koordersiodendron* sp. (1) の例は、従来レッドメランチ材やアルモン材で認められているように細胞の落ち込みは乾燥温度の上昇に伴って増大し、しかも、全乾・気乾収縮率も増大する傾向を示している。同様の傾向を示す樹種は他に、*Octomeles* sp.,

Artocarpus sp., Myristicaceae (1), Eugenia sp, Madhuca sp. および Palaquium sp. (2) のみである。他のほとんどの樹種は、図 5 に Calophyllum sp. の典型的な例を示すように、乾燥温度の上昇に伴って繊維飽和点以上の細胞の落ち込みによる収縮は増大するものの含水率 20 % 以下では乾燥温度によらずほぼ一定の収縮経過を示し、あたかも乾燥温度の影響が無いかのようにふるまう。さらには、Santiria sp. (1) および Sandoricum sp. (1) においては逆に乾燥温度の上昇に伴って細胞の落ち込みは減少している。

22℃, 60℃ の 2 条件のみの測定を行なった樹種についてはより詳細な測定結果を待つべきであるが、この結果の範囲内では、細胞の落ち込みを示す材であっても、含水率 20 % 以下では常温 (22℃) 下と同様な収縮挙動を示し、高い乾燥温度の履歴をほとんど残さない樹種が多いといえよう。

Table 2. Relationship between shrinkage characteristic values and bulk density.

variable of X variables of Y		bulk density (g/cm ³)		
		A	B	r
Ave. shrinkage (α_δ)	R	0.027	0.355	0.888 **
	T	0.179	0.256	0.679 **
	V	0.206	0.610	0.879 **
Oven dry shrinkage (α_0)	R	1.560	6.607	0.679 **
	T	6.815	2.829	0.244 *
	V	8.375	9.436	0.509 **
Air dry shrinkage (α_{15})	R	0.802	2.328	0.443 **
	T	3.891	0.481	0.048
	V	4.693	2.808	0.208
30% m.c. shrinkage (α_{30})	R	0.765	-0.648	-0.193
	T	2.813	-2.579	-0.251 *
	V	3.578	-3.227	-0.262
Anisotropy in shrinkage	α_δ	2.324	-1.458	-0.501 **
	α_0	2.675	-1.777	-0.560 **
	α_{15}	3.411	-2.298	-0.441 **
	α_{30}	5.683	-4.342	-0.292 **

Note 1) A, B : Constants of a linear regression equation.

$$Y = Ax + B$$

r : Correlation coefficient.

R, T, V : Shrinkage in radial and tangential direction, and volume respectively.

** : Significant on 1% level.

* : Significant on 5% level.

(4) 容積密度と収縮特性値との相関関係

収縮特性値は容積密度と良い相関関係があるといわれている。供試樹種について容積密度と特性値との関係を図6に示す。体積収縮率も含めて、回帰直線式、相関係数および有意水準を表2に示す。

以上の関係をまとめると、細胞の落ち込みが介在し難い特性値については容積密度と良い相関が得られている。即ち、平均収縮率、半径方向収縮率、体積収縮率、接線方向収縮率の順にその有意水準が低下する。相関の良い接線方向平均収縮率を既存の報告結果と合せて示すと図7となり、スラウェシー産材の特徴は認められない。

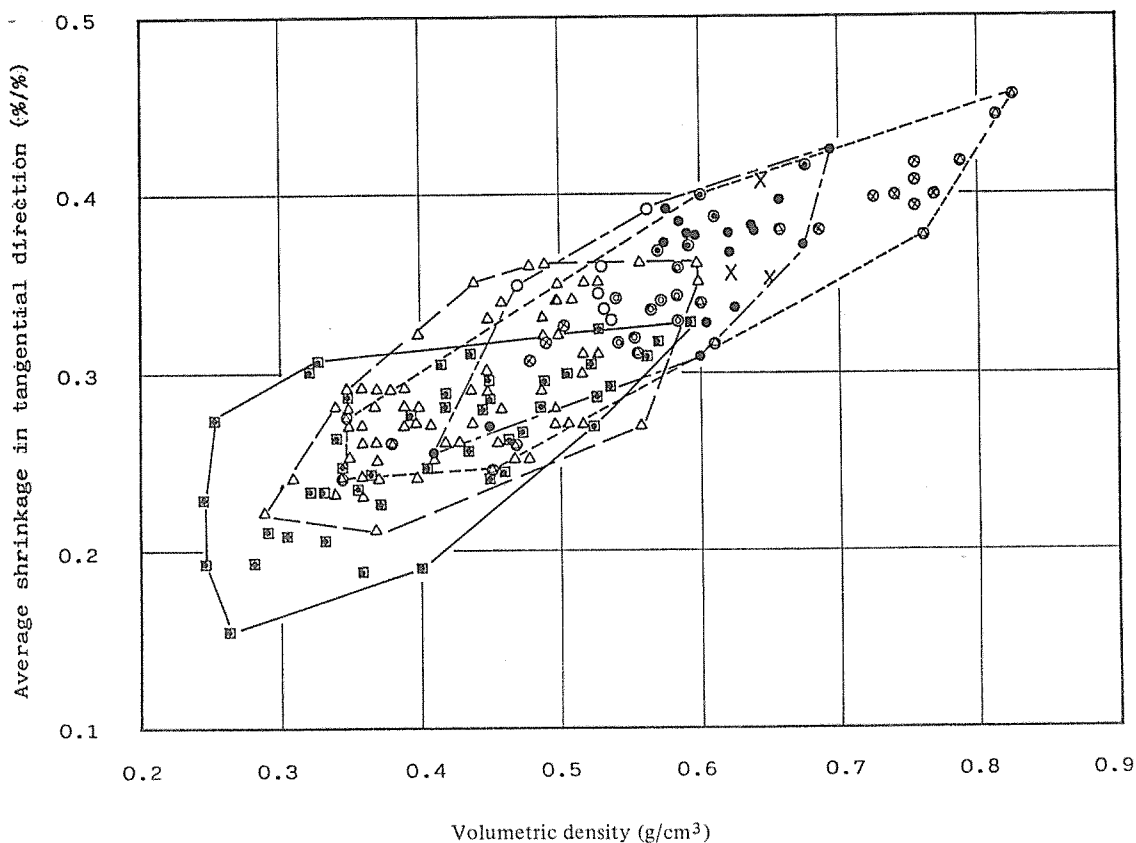


Fig. 7. Frequency of various properties.

- ▲ : from other tropical area,
- : domestic soft wood,
- : from Sulawesi,
- : domestic hard wood

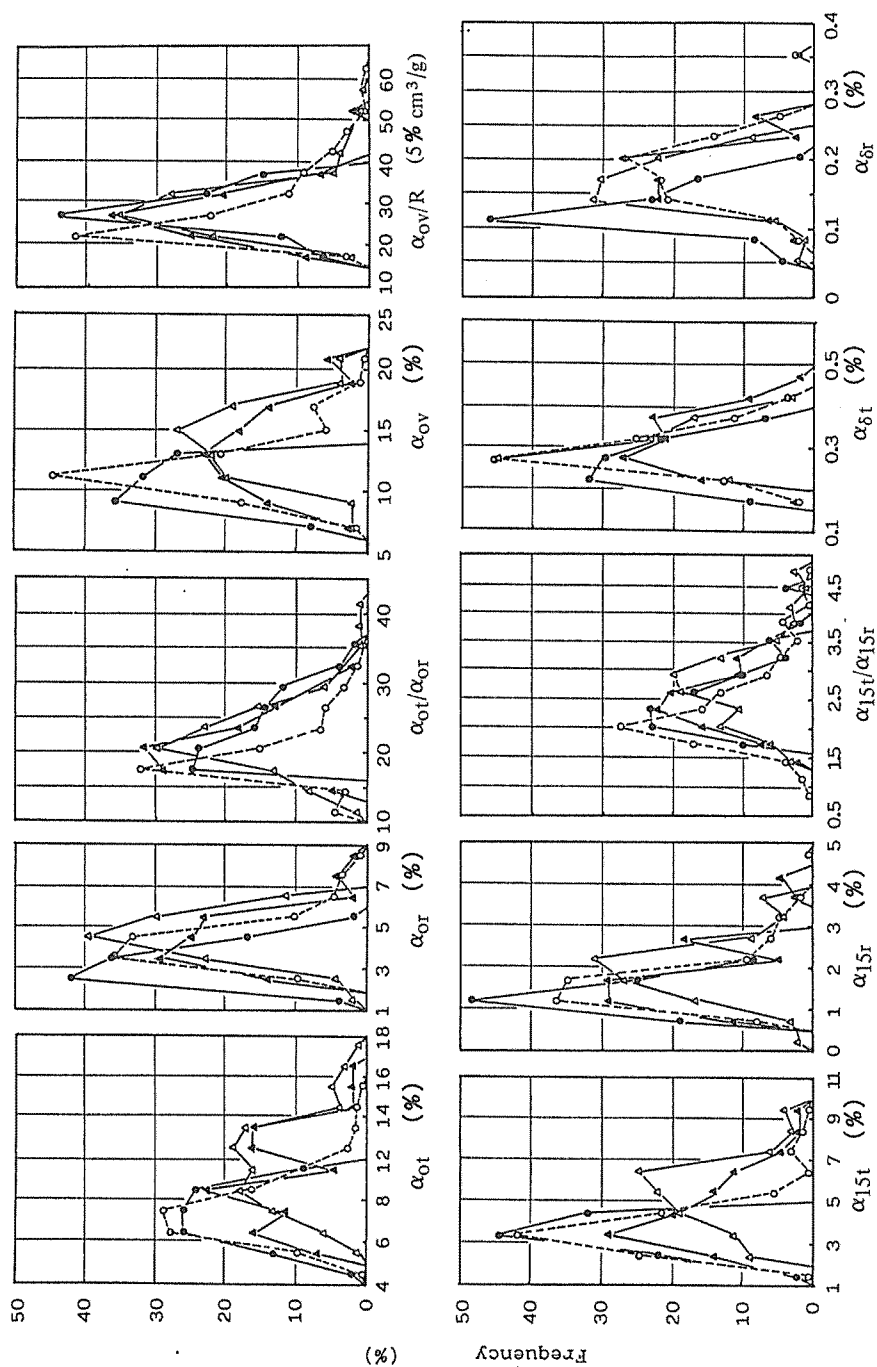


Fig. 8. Comparison of native land in relation between average shrinkage and volumetric density.

----- : from Kalimantan,
 ----- : from other tropical
 ----- : domestic

Symbols; α : shrinkage, R: volumetric density

Suffix; o: oven dry, 15: 15% mc, t: tangential direction,

r: radial direction, v: volume, δ : average shrinkage.

(5) 収縮特性の評価と他産材との比較

スラウェシー産材の各収縮特性値および中野により収録された南洋材 44 樹種、本邦産針葉樹 24 樹種および広葉樹 47 樹種のそれぞれと全体との平均値および標準偏差を表 3 に示す。

収縮特性を評価する方法の一つに平均値および平均値に標準偏差を加減した 3 つの境界値によって 4 つのランク分けをする場合があるが、本報告では特性値を 8～15 に区分しその範囲内での出現頻度を求めて、他産材との比較の便を計った。結果を図 8 に示す。全乾状態の収縮率をみると、他産材との比較において接線方向では収縮率は小さい方に多く分布し、半径方向では中庸、したがって、体積収縮率は小さい方に多く分布し、その分布の範囲は本邦産針葉樹と類似している。気乾状態の収縮率、平均収縮率についても同様な傾向が認められ、その結果として各含水率状態における異方度も他産材に比べ低いものが多いことが認められる。他産材の含水率 30 % までの収縮率が得

Table 3. Average values and standard deviations.

		Average Shrinkage (%)			Shrinkage (%) at M.C. 0%				Shrinkage (%) at M.C. 15%			No. of species
		T	R	T/R	V	T	R	T/R	T	R	T/R	
from Sulawesi	\bar{X} σ	0.293 0.047	0.187 0.048	1.64 0.386	11.88 2.45	7.58 1.54	4.30 1.21	1.84 0.448	3.81 1.54	1.71 1.21	2.36 0.709	41 (Sample: 182)
from other tropical	\bar{X} σ	0.315 0.070	0.184 0.048	1.77 0.285	13.50 3.23	9.09 2.25	4.53 1.45	2.08 0.342	4.57 1.70	1.86 0.86	2.63 0.660	44
domestic soft wood	\bar{X} σ	0.270 0.051	0.128 0.031	2.23 0.489	10.59 1.78	7.36 1.23	3.27 0.77	2.32 0.489	3.45 0.69	1.39 0.40	2.56 0.654	24
domestic hard wood	\bar{X} σ	0.300 0.048	0.169 0.036	1.85 0.405	14.20 2.81	9.72 2.10	4.55 1.13	2.21 0.487	5.47 1.70	2.07 0.73	2.77 0.762	47
total	\bar{X} σ	0.298 0.056	0.172 0.046	1.83 0.431	12.84 3.00	8.62 2.12	4.28 1.29	2.09 0.485	4.47 1.72	1.78 1.01	2.59 0.723	156

られないため、全体を通しての位置付けは明らかではないが、乾燥温度の上昇に伴う細胞の落ち込みの増大の程度は特に低いとはいえず、ほぼ他産材と同程度と思われる。しかしながら、先にも述べたように、細胞の落ち込み変形の回復は、他産材に比べて良いものが多いといえよう。

(6) 基準収縮経過

Sandoricum sp. (1) 接線方向を例に樹幹内半径方向各部位における基準収縮経過の変動を図 9 に示す。それぞれの全乾基準収縮率を比較すると、樹心に近づくに従って極くわずかに増大する傾向があるが、その変化巾は約 0.3 % と非常に小さい。この樹種における気乾比重の半径方向分布はほぼ一定である。したがって、本報告では $\pm 0.2\%$ 程度の誤差を見込んで樹心からの相対位置 50～80 % での試験片の基準収縮経過をその樹種の代表値として採用し、以降の検討の基準とした。

温度の上昇に伴って繊維飽和点はわずかに低下するといわれているが、20～80℃の温度範囲

Table 4. Type of shrinkage curve and thermal coefficients

Family	Genus	Type of Shrinkage Curve						Ratio of Variation	Thermal Coefficient on Shrinkage							
		Sap		Heart near sap		Heart near pith			Oven dry		Air dry		30% m.c.			
		T	R	T	R	T	R		T	R	T	R	T	R	T	R
Anacardiaceae	<i>Dracontomelon</i> sp.	I	**	II-2	**	II-2	**	1.19	1.07	1.00	1.09	1.15	2.14	2.81	0.83	0.88
	"	II-1	II-2	II-2	II-2	II-2	II-2	1.07	1.28	1.11	1.51	1.28	3.40	3.45	0.79	0.90
	<i>Koordersiodendron</i> sp. (1)	I	**	I	**	I	**	0.84	0.95	0.92	0.91	0.91	2.23	2.06	0.80	0.78
Burseraceae	<i>Spondias</i> sp.	I	**	II-1	**	II-2	**	1.29	0.98	0.92	0.91	0.85	2.61	2.65	0.82	0.72
	<i>Canarium</i> sp. (1)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	0.97	0.98	0.99	0.96	1.03	1.79	1.76	0.97	0.86
	<i>Canarium</i> sp. (2)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	1.02	1.06	1.14	1.04	1.24	1.15	1.83	0.85	0.97
Celastraceae	<i>Sanitaria</i> sp. (1)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	1.23	1.02	0.92	0.92	0.79	1.41	1.28	0.92	0.85
	<i>Sanitaria</i> sp. (2)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	1.05	1.04	1.07	1.15	1.27	1.92	4.14	1.01	0.99
	<i>Lophopetalum</i> sp.	II-2	**	II-2	**	II-2	**	1.16	0.97	0.99	0.98	1.33	1.83	2.81	0.84	0.78
Combretaceae	<i>Terminalia</i> sp. (1)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	0.95	1.01	0.98	0.96	0.85	1.77	3.80	0.92	0.97
	" (2)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	1.05	1.04	0.86	1.10	0.90	3.42	1.82	0.91	0.80
	" (3)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	0.89	1.04	0.94	1.05	0.83	2.23	1.29	0.95	0.89
Datiaceae	" (4)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	0.89	1.04	0.94	1.05	0.83	2.23	1.29	0.93	0.97
	<i>Ocoteles</i> sp.	II-2	**	II-2	**	II-2	II-2	0.78	1.18	1.16	1.27	1.35	1.83	2.29	0.93	0.97
	<i>Sapium</i> sp. (1)	II-2	**	II-2	**	II-2	**	1.04	1.06	0.88	1.09	0.90	2.55	1.22	0.74	0.76
Euphorbiaceae	<i>Gonystylus</i> sp.	I	**	I	**	I	**	1.11	1.02	0.96	1.32	1.31	7.56	4.67	1.16	0.95
	<i>Calophyllum</i> sp. (1)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	1.28	1.05	1.03	1.12	1.15	1.79	2.81	0.97	0.93
	<i>Guttifera</i>	II-1	**	II-2	**	II-2	**	1.01	1.06	0.95	1.14	1.13	3.44	4.00	0.72	0.75
Laureaceae	<i>Litsea</i> sp. (1)	II-1	**	II-1	**	II-2	**	1.02	0.99	0.96	0.94	0.89	1.82	1.45	0.89	0.89
	" (2)	II-1	**	II-1	**	II-2	**	0.89	1.02	0.98	0.95	0.85	0.89	0.94	1.05	0.92
	" (3)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	0.82	1.01	0.99	1.08	1.02	1.41	1.57	0.73	0.89
Meliaceae	<i>Aglaia</i> sp. (1)	II-2	**	II-3	II-2	II-2	II-2	1.14	0.99	0.96	0.82	1.06	2.10	3.97	0.85	0.71
	<i>Dysoxylum</i> sp.	II-2	**	II-2	**	II-2	II-2	1.60	0.93	0.88	0.93	0.81	0.65	1.46	0.81	0.80
	<i>Sandoricum</i> sp. (1)	II-2	**	II-2	II-2	II-2	II-2	1.03	1.17	1.19	1.37	1.51	1.83	2.31	0.80	0.82
Moraceae	<i>Artocarpus</i> sp.	II-2	**	II-2	**	II-2	II-2	0.97	0.98	0.95	0.87	0.86	5.00	3.00	0.79	0.79
	<i>Ficus</i> sp. (1)	I	**	I	**	I	**	0.92	0.92	0.94	0.89	0.87	1.14	0.76	0.95	0.84
	" (2)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	0.92	0.95	0.94	1.06	1.18	1.34	2.19	0.83	0.92
Myristicaceae (1)	<i>Eugenia</i> sp.	II-2	II-2	II-2	II-2	II-2	II-2	1.12	1.17	1.13	1.26	1.29	1.50	2.03	0.75	0.89
	<i>Myrtaceae</i>	I	**	II-2	**	II-2	II-2	1.55	1.06	1.05	1.06	1.30	1.33	0.98	0.91	0.91
	<i>Podocarpus</i> sp. (1)	II-1	**	II-1	**	II-2	**	0.85	0.99	0.93	0.94	0.86	1.30	1.73	0.94	0.90
Sapindaceae	<i>Pometia</i> sp. (1)	II-1	**	II-3	**	II-3	**	1.64	1.07	1.05	1.08	1.01	1.30	1.73	0.96	0.99
	<i>Madhuca</i> sp.	II-2	II-2	II-2	II-2	II-2	II-2	1.32	1.11	1.04	1.10	0.97	2.86	1.68	0.96	0.99
	<i>Palaquium</i> sp. (1)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	1.08	1.17	1.06	1.25	1.17	2.20	2.02	0.93	0.93
Sapotaceae	" (2)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	1.34	1.01	0.89	0.97	0.76	1.48	0.70	0.78	0.81
	<i>Alantulus</i> sp. (1)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	1.16	0.94	0.88	0.95	0.83	1.30	0.94	0.88	0.89
	" (2)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	0.96	1.01	0.98	1.02	1.01	1.13	1.09	0.98	0.97
Sinarubaceae	<i>Diabanga</i> sp. (1)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	1.52	0.91	0.85	0.83	0.77	1.14	0.63	0.87	0.86
	" (2)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	1.02	0.90	0.88	0.89	1.06	0.83	--	0.88	0.91
	" (3)	I	**	I	**	I	**	1.33	0.95	0.95	0.94	0.95	1.60	1.13	0.90	0.83
Sonneratiaceae	"	II-1	**	II-2	**	II-2	**	1.37	0.91	1.14	0.89	0.94	1.10	1.10	0.82	0.65
	<i>Heritiera</i> sp. (1)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	0.94	1.03	0.96	1.04	0.94	1.43	1.36	0.85	0.83
	" (2)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	0.87	1.00	0.93	1.04	1.03	2.50	2.35	0.89	0.91
Sterculiaceae	<i>Sterculia</i> sp. (1)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	0.96	1.01	1.05	1.06	1.16	1.28	1.05	0.89	0.90
	" (2)	II-1	**	II-2	**	II-2	**	0.96	1.01	1.05	1.06	1.16	1.28	1.05	0.89	0.90

Note: *, This species has some brittle heart.

**, This symbol is showing a type of (I) or (II-1).

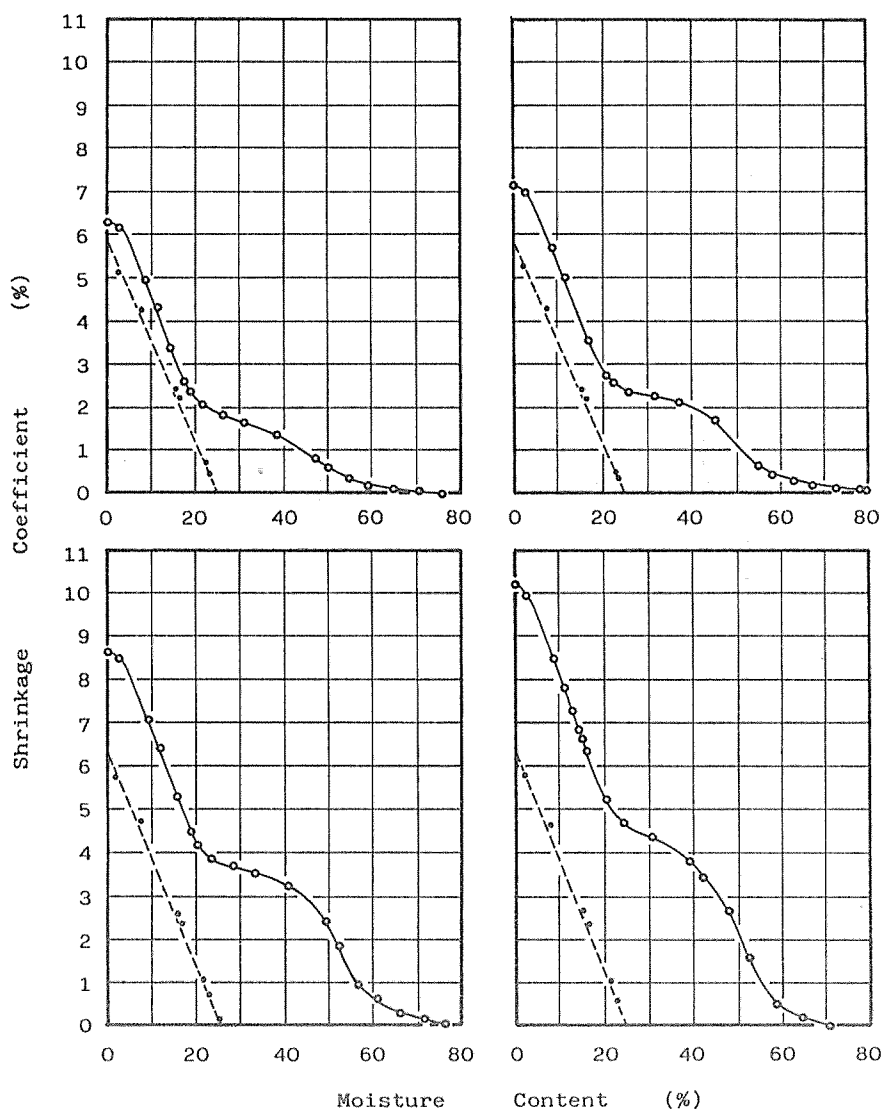


Fig. 9. Influence of positions in radial direction on observed and standard shrinkage curve of *Sandoricum* sp.

Drying temperature: 22°C

○ : observed shrinkage curve

● : standard shrinkage

で基準収縮経過を調べると、乾燥温度による顕著な差は認められない。したがって、乾燥温度の影響を検討する際にも上記の常温（22°C）での基準収縮経過を基準とした。図10に *Koordersiodendron* sp. (1) を例に接線方向の基準収縮経過と各乾燥温度における収縮経過の比較を示す。

一般に、樹心に近づくに従い、また、乾燥温度が高くなるに従って収縮率は増大するといわれている。供試41樹種中約9%は容積密度の半径方向分布がほぼ一定ないし樹心に近づくにつれて低下するにも関わらず収縮率は樹心に近づくに従って増大する。また、乾燥温度が高いと、全乾・気乾

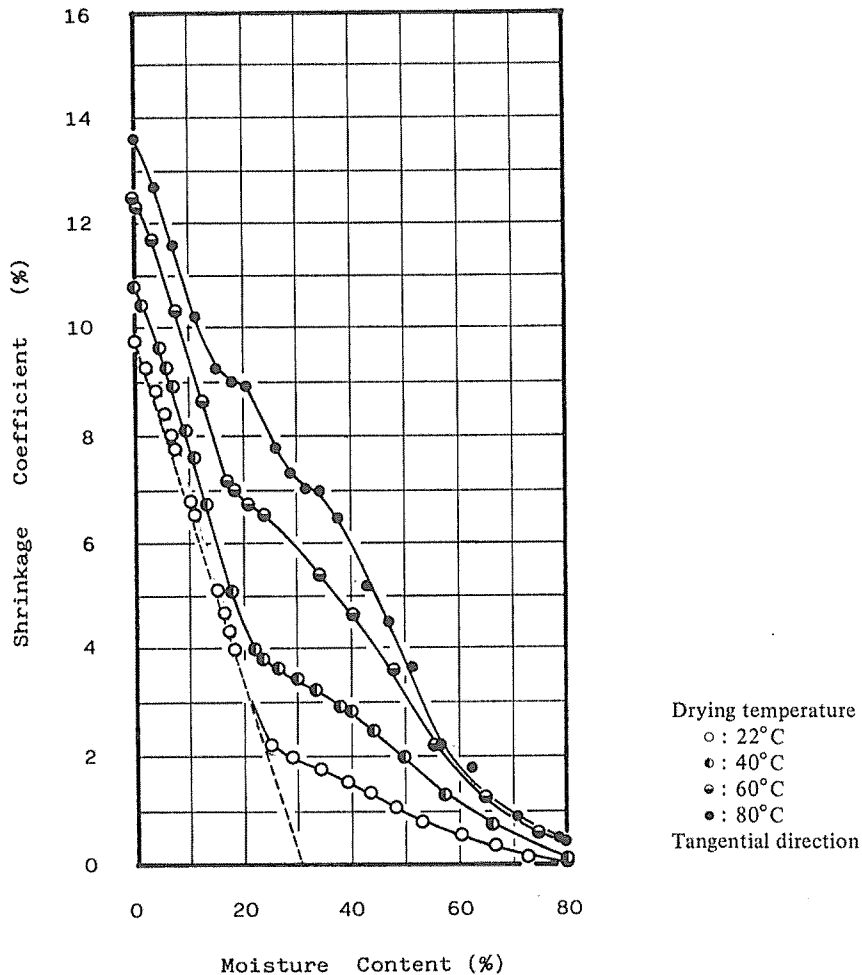


Fig. 10. Influence of drying temperature on shrinkage curve of *Koordersiodendron* sp. (1)

収縮率には顕著な増大は認められないが、含水率 30 % までの収縮率はほとんどの樹種で増大する。したがって、図 9, 図 10 に示したように、樹心に近い部分や乾燥温度が高い場合の収縮率の増大は細胞の落ち込みの増大によると結論できる。

表 4 に各樹種の接線方向における基準全乾収縮率および基準平均収縮率を示す。これらの値は、それぞれ基準収縮経過を直線で近似したときの切片と勾配から求めている。また、径接両方向の基準収縮経過直線の収縮率 0 % 時の含水率の平均値を繊維飽和点とみなし、表 1 に示している。

全乾容積収縮率 (α_{vo}) と容積密度 (R) との比 α_{vo}/R は樹種によって異なり、容積密度の増大に伴って減少する傾向を示しながら 15 ~ 35 の値となる。また、この値を繊維飽和点とみなす場合もある。しかしながら、図 9 に典型的な例を示したように、通常測定される全乾収縮率には落ち込みによる細胞の変形量が含まれる。細胞壁のみの収縮挙動を示していると考えられる基準収縮経過から得られる全乾容積収縮率 (A_{vo}) 容積密度との関係を図 11 に示す。 A_{vo}/R 値は 20 ~ 40 と

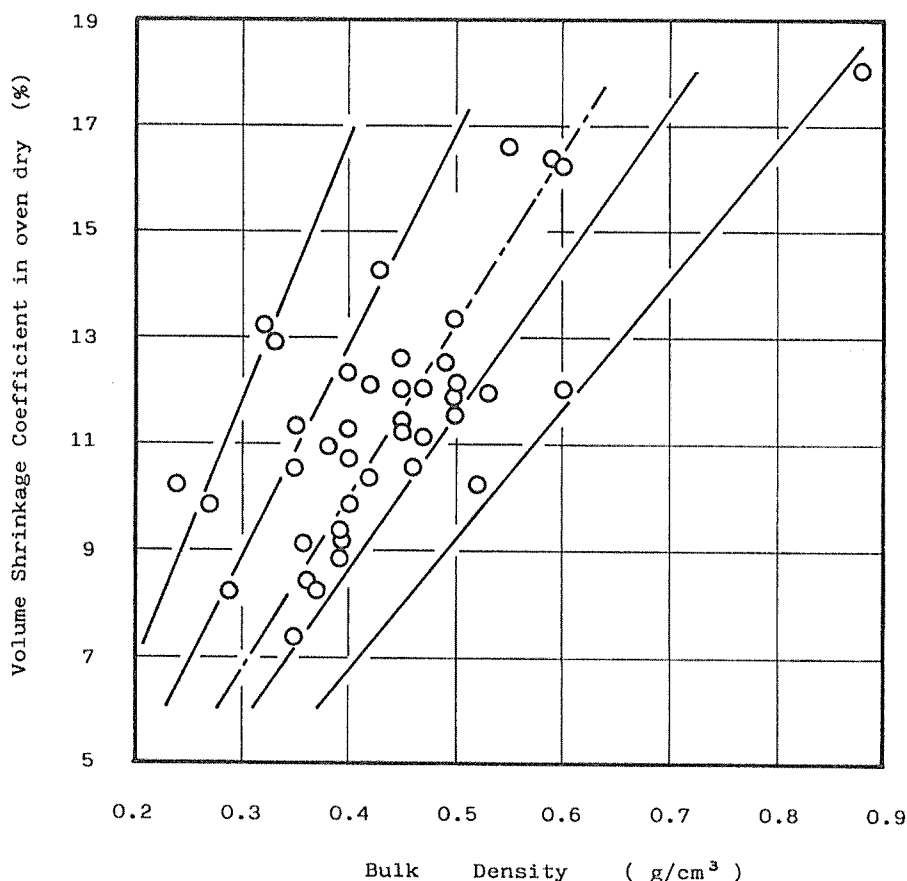


Fig. 11. Relationship between volume shrinkage in oven dry and bulk density.

大きなバラツキを示す。容積密度の高い *Madhuca* sp., *Terminalia* sp. (3) および *Santiria* sp. (2) では 20.1, 容積密度の低い *Artocarpus* sp., *Sterculia* sp. (1), *Ailanthus* sp. (2) および *Ficus* sp. (2) では 40.0 となり, これらの樹種は他の樹種群と区別できる。残りの 34 樹種は 33.8~23.1 の範囲にあり, 平均値は 26.1 となる。この 34 樹種について, A_{vo}/R 値と繊維飽和点との関係を図 12 に示す。両者に正の相関関係は認められるもののバラツキは大きく, A_{vo}/R 値をそのまま繊維飽和点とみなすことはできない。また, 通常測定される α_{vo}/R 値では細胞の落ち込みの影響が含まれるため, 繊維飽和点との関連性はさらに低くなる。

(7) 落ち込み収縮経過

各樹種の収縮経過は, 基準収縮経過と落ち込みに伴う細胞の変形によって生ずる収縮経過の和として測定されている。したがって, 各条件の下での細胞の落ち込みのみによる収縮経過 (落ち込み収縮経過と呼ぶ) を求めることができる。図 13 に *Palaquium* sp. を例に乾燥温度 22, 60℃における収縮経過, 基準収縮経過および落ち込み収縮経過との関係を示す。前報で細胞の落ち込みが生じない収縮経過を示した *Gonystylus* sp. でもわずかながら落ち込み収縮が認められる。しかしな

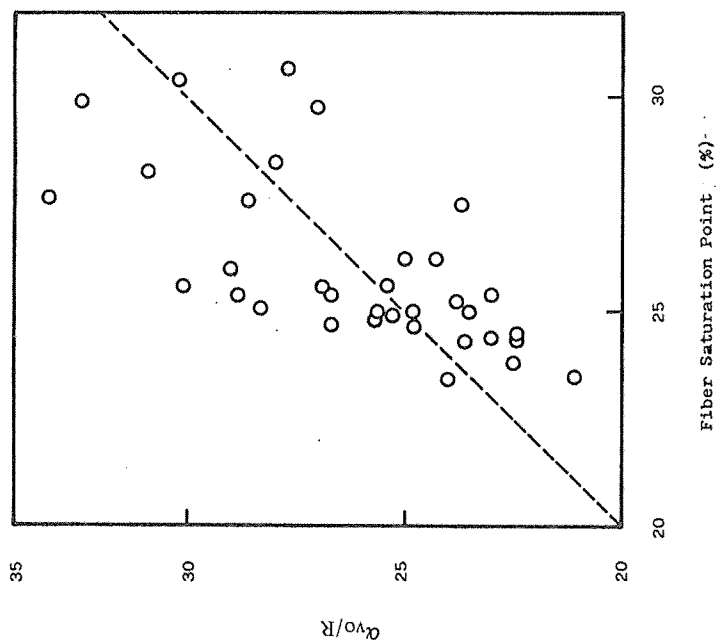


Fig. 12. Relationship between fiber saturation point and α_{vo}/R .

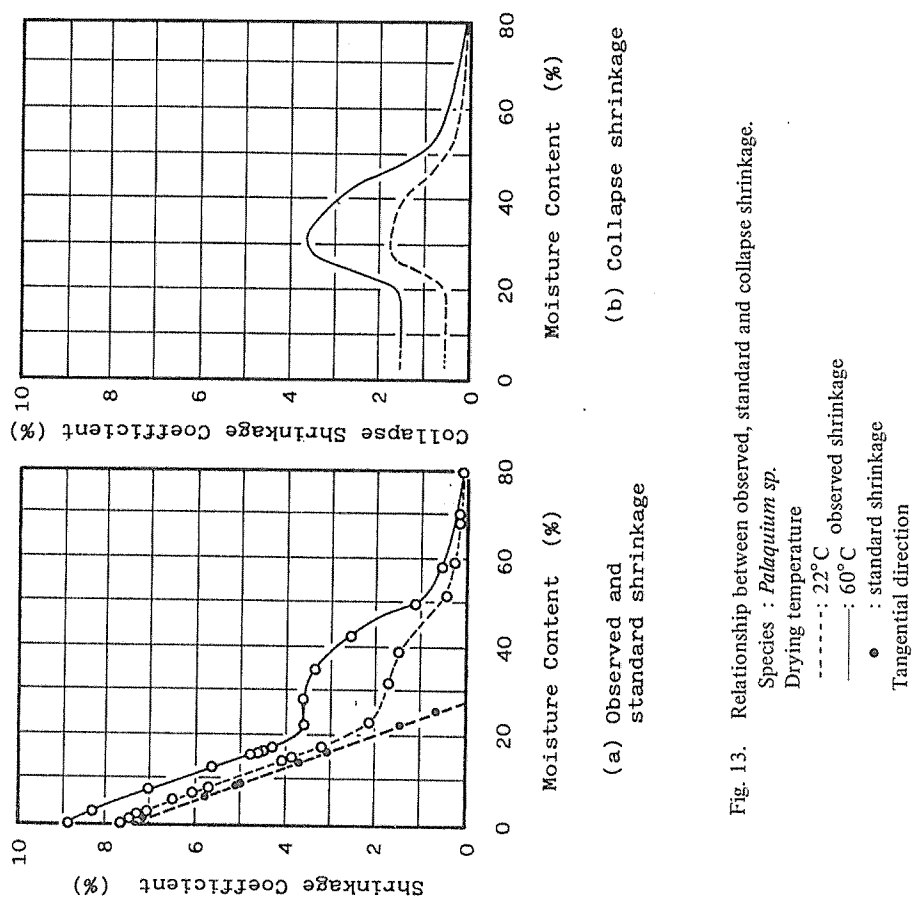


Fig. 13. Relationship between observed, standard and collapse shrinkage.

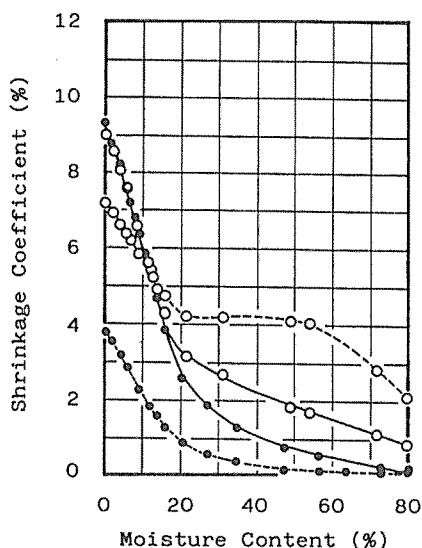


Fig. 14. Influence of temperature and direction on shrinkage curve of *Ficus* sp. (2).

Direction
 —: tangential
 ----: radial
 Drying temperature
 ● : 22°C
 ○ : 60°C

がら、この結果は基準収縮経過を全ての吸湿範囲にわたって直線で近似したために生じたものと考えられるため、本報告では、*Gonystylus* sp. を基準にして最大落ち込み収縮率が 0.5 % 以下のものは細胞の落ち込みは発生していないと判断した。

細胞の落ち込みの影響が顕著に現われるのは接線方向であるため、接線方向に限って検討する。一般に半径方向の収縮率に及ぼす細胞の落ち込みの影響は小さく、落ち込みの顕著な樹種では、細胞の落ち込みの程度が増大するにつれて、含水率 20 % 以下の収縮率は逆に低下する傾向さえある。ただし、図 14 に示すように *Ficus* sp. (2) の樹心附近については、半径方向の落ち込みによる収縮率の増大は接線方向に比べ大きく、特異な傾向を示す。これは接線方向に 3 ~ 8 細胞幅で規則的に配列する帯状の軸方向柔細胞の落ち込み変形によるものである。

落ち込み収縮経過のタイプ分けを図 15 に示す。細胞の落ち込み変形の回復と残留の程度によって、回復が良く残留がほとんど認められないタイプ I、ある程度回復するタイプ II および全く回復が認められないタイプ III の 3 つに分類した。表 1 に各樹種の乾燥温度 22°C における辺材、樹心からの相対位置 50 ~ 80 % の心材（代表位置と呼ぶ）および樹心附近の 3 部位、また、乾燥温度 60°C における代表位置での落ち込み収縮経過のタイプ分けおよび収縮特性値を示す。

細胞の落ち込み収縮の特性値と他の性質とを比較すると、容積密度との相関は認められず、また、他の特性との相関も極めて低い。全樹種を通じて細胞の落ち込みに規則的に関与する物性は見い出せない。したがって、細胞の落ち込みの程度はそれぞれの樹種の組織的な特徴によって決まると考えるべきである。しかしながら、類似の組織を持つ同属の樹種間でもその程度は異なるため、細胞構成だけでなく、内容物の存否や壁孔の実質的な大きさ等も考慮しなくてはならない。落ち込み収縮率の大きな樹種を顕微鏡下で観察すると、細胞の変形が顕著に認められるのは柔組織、特に放射柔組織である。約半数の供試樹種について板目面上での放射組織率および接線方向における放射組織の占める割合（放射組織幅率と呼ぶ）を求め検討した。放射組織率と放射組織幅率との相関は良

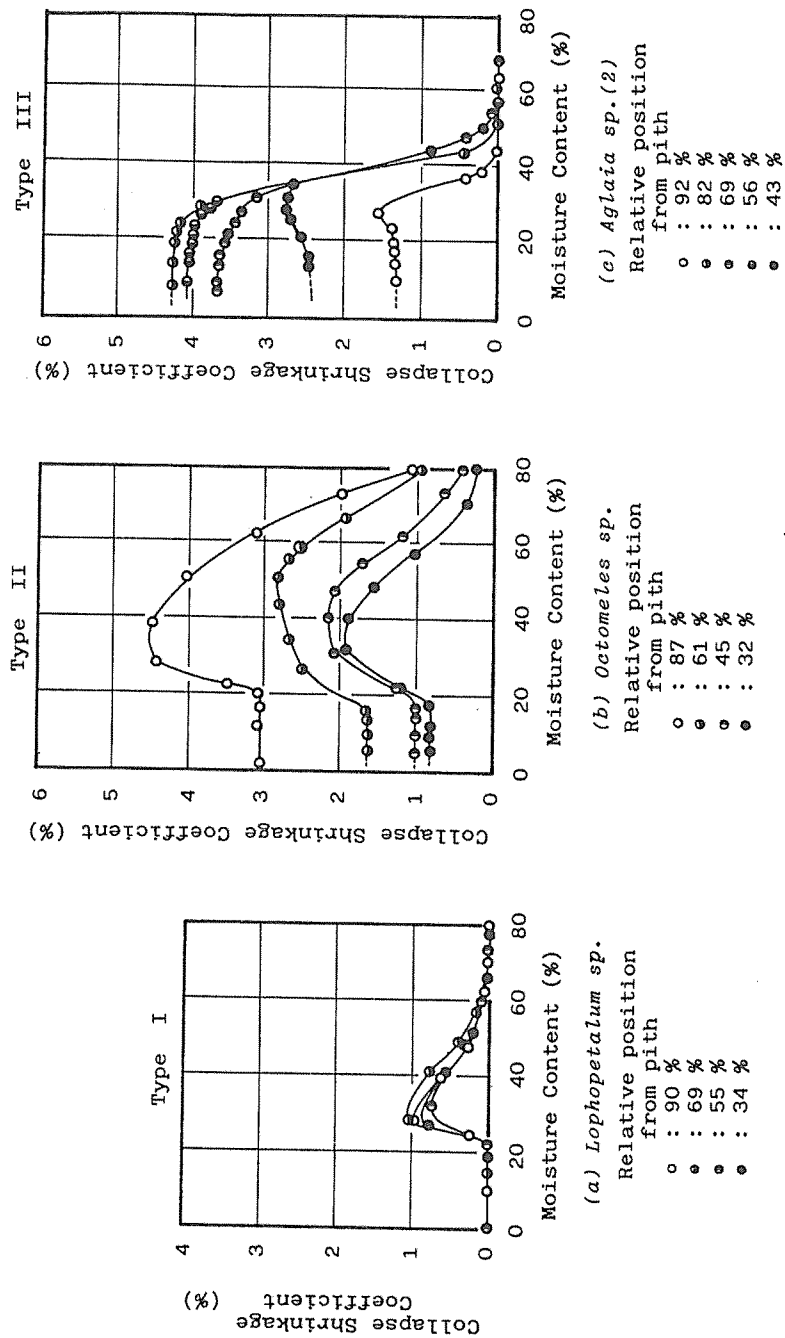


Fig. 15. Influence of position on collapse shrinkage.
tangential direction
drying temperature: 22°C

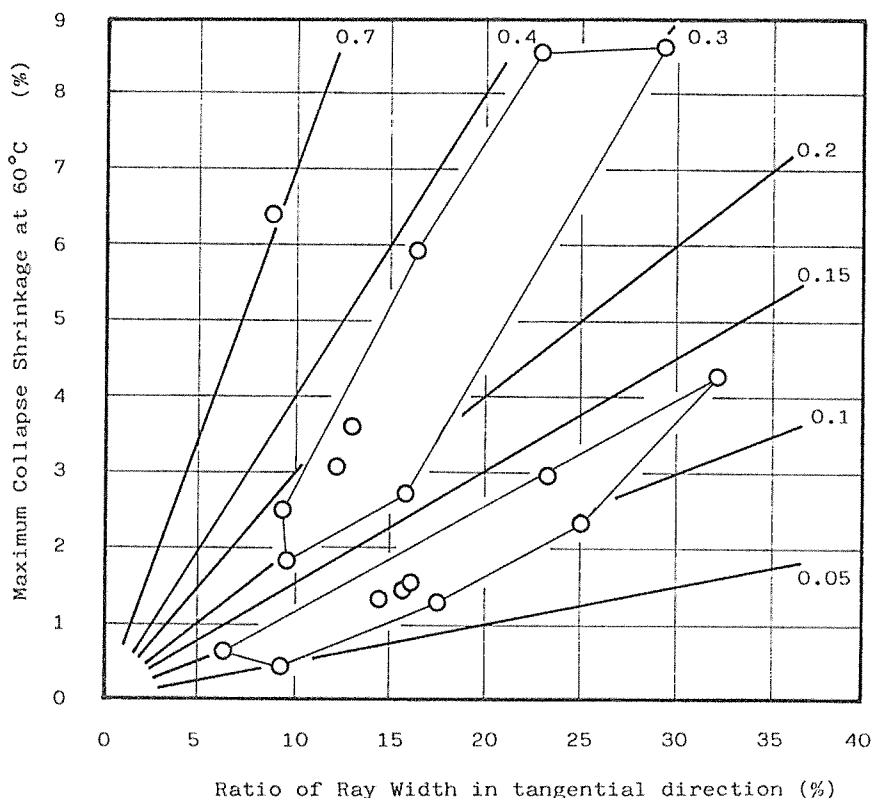


Fig. 16. Relationship between ratio of ray width and maximum collapse shrinkage at 60°C.

い。放射組織幅率 (Rw) と乾燥温度 60°C における接線方向の最大落ち込み収縮率 (Atmax) との関係を図 16 に示す。落ち込みの生ずる細胞は放射柔細胞のみで、しかも、細胞の変形は各細胞で同時に進行すると仮定すると、細胞内腔の占める割合を考慮すれば放射組織巾率は接線方向の落ち込みの最大限度を意味する。

最大落ち込み収縮率と放射組織幅率との全体としての相関は認められず、細胞の落ち込みの程度は、細胞構成、特に放射柔組織の割合やその幅等には関係しない。したがって、個々の放射柔細胞が落ち込みの発生条件をどの程度満足しているか、あるいは、落ち込み変形の進行状態や回復の程度などの他の因子を考慮しなければならない。Atmax/Rw 値は個々の放射柔組織の落ち込みによる変形の程度を表わす。Artocarpus sp. の放射組織の接線方向の内腔率は 60~70% である。したがって、この樹種での Atmax/Rw 値 0.7 は落ち込みによって放射組織の内腔のほとんどがつぶれると共に他の細胞、特に軸方向柔細胞の落ち込みが生じていることを示唆している。放射柔組織の細胞内腔の約 50% がつぶれていると判断される Atmax/Rw 値 0.2~0.4 の樹種は Myristicaceae (1), Eugenia sp., Koordersiodendron sp., Palaquium sp. (2), Pometia sp. (1), Calophyllum sp. (1), Heritiera sp. (2) および Dysoxylum sp. である。以上の樹種は、板目面ミクローム切片での観察において、Myristicaceae (1) を除く全ての樹種で放射柔細胞内に顕著な内容物が認め

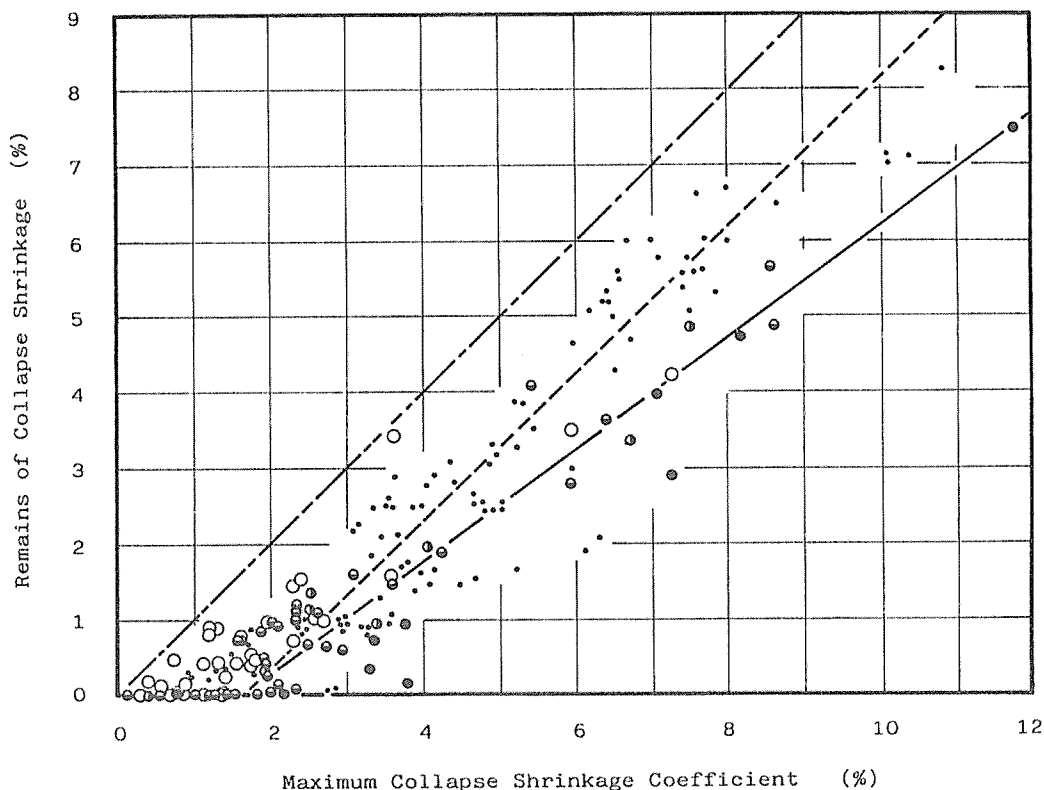


Fig. 17. Relationship between remains of collapse shrinkage and maximum collapse shrinkage at various temperature.

Drying temperature

- : 22°C, ◐ : 40°C, ● : 60°C, ● : 80°C
- : results in the previous studies

られる。放射柔細胞の落ち込み変形が軽微な樹種 (At_{max}/R_w 値 0.5~1.5) は, *Octomeles* sp., *Ailanthus* sp. (2), *Madhuca* sp., *Terminalia* sp. (4), *Lophopetalum* sp., *Ficus* sp. (2), *Lisea* sp. (3) および *Podocarpus* sp. (1) である。以上の結果から放射柔細胞の落ち込み変形を顕著にする要因として内容物の存在があげられる。ただし, At_{max}/R_w 値約 0.1 の *Lophopetalum* sp., *Terminalia* sp. (2) の放射柔細胞内にも内容物が一部認められることから, 内容物の有無だけでなく量や存在形態も重要な要因にあげられる。この内容物は柔細胞の内壁や壁孔部に沈着し, 細胞壁の細孔をさらに小さくするよう作用することが想像できる。

各乾燥温度における接線方向の最大落ち込み収縮率と残留した落ち込み収縮率との関係を図 17 に示す。図中にこれまでに得られたレッドメランヒ, アルモン, マカンバ, ミズナラ等 9 樹種の結果²⁾も併せて示す。図中一点破線は全く回復が生じない場合である。本邦産を含む 9 樹種の結果は破線で示すように, 一点破線にほぼ平行となる。これは落ち込み収縮率の回復量が最大落ち込み収縮率に関係なく一定であることを意味している。しかし, 本報告で調べたスラウェシー産材では上記の傾向に一致しない。即ち, 最大落ち込み収縮率が大きい程回復量も大きくなる。また, 乾燥温

度 80℃ の場合、22～60℃ の結果に比べ最大落ち込み収縮率は増大するにもかかわらず残留量は小さく、回復が大きいことを示している。図から明らかなように、回復量は樹種、乾燥温度にかかわらず、ほぼ 2～3 % の範囲である。

2・1・4 結 論

今回入手し得た樹種は実際に利用する目的である種の選別がすでになされていたと考えるべきで、得られる結果からスラウェシー州産の特性を論ずることはできない。しかしながら、今回の試験結果の範囲内で次の結論を得た。

- 1) 細胞の落ち込みは異常収縮と呼ばれてきたが、60℃での収縮経過をみるとこの現象はむしろ一般的に起る正常な収縮であり、本邦産アカマツ、熱帯材ラミンなど極く限られた樹種でのみこの現象が現れない。
- 2) 樹心に近づくに従って収縮率は増大すると云われることが多いが、この傾向を示す樹種は全体の 49 % 程度で、一概には樹心部の収縮率が高いとはいえない。また、脆心部の存在と収縮率の増大との間にも相関関係は薄い。
- 3) 乾燥温度の上昇によってほとんどの樹種において収縮率、特に含水率 30 % までの収縮率が増大する。これは落ち込みによる細胞の変形が増大するためである。一方、気乾収縮率でみるとその温度係数はほぼ 1.0 の値を示し、いわゆるラワン・メランチ類の樹種と大きく異なる傾向が認められた。
- 4) 他産材との比較において、接線方向収縮率は小さく、半径方向で中庸であり、容積密度に比べて体積収縮率は小さい方に多く分布しており、収縮率の値は本邦産針葉樹と類似している。
- 5) 基準収縮経過から得られる全乾体積収縮率と容積密度との比 (A_{vo}/R 値) は、細胞の落ち込みの影響を除外しても 20～40 と大きなバラツキを示し、実測の繊維飽和点との比較において、 A_{vo}/R 値をそのまま繊維飽和点と考えることはできない。
- 6) 細胞の落ち込みによる収縮率の増大と他の材質との相関は極めて低い。放射組織幅率 R_w と接線方向の最大落ち込み収縮率 A_{tmax} の関係を求めると、全体としては相関関係は認められない。 A_{tmax}/R_w 値に注目して、便宜的に 0.7, 0.2～0.4 および 0.5～1.5 の 3 つのグループに分けると、 A_{tmax}/R_w 値 0.7 と非常に大きな値を示す *Artocarpus* sp. の放射組織の内腔の大部分は落ち込みによってつぶれ、さらに軸方向柔細胞の落ち込みも生じていると判断される。 A_{tmax}/R_w 値が 0.2～0.4 を示すほとんどの樹種の放射柔細胞に内容物が認められ、これら内容物が壁孔部に沈着するなど細胞の落ち込みが生じ易くなる方向に作用しているものと想像される。
- 7) 残留した落ち込み収縮率と最大落ち込み収縮率の間には正の相関関係があり、また、回復可能な収縮率は樹種、乾燥温度によらず 2～3 % とほぼ一定の値を示す。

引 用 文 献

- (1) 中野達夫, 「木材の収縮特性の樹種べつ評価に関する研究」, 学位論文, 1976
- (2) 金川 靖・服部芳明; 木材誌, 24, 441 (1978)
- (3) 林 和男・寺沢 真; 木材工業, 30, 439 (1975)
- (4) 服部芳明・金川 靖; 木材誌, 25, 191 (1979)

2.1.5 Summary

Shrinkage Properties

In this paper, shrinkage properties of some Sulawesian woods were investigated. The shrinkage behavior consisted the shrinkage in cell wall thickness below the fiber saturation point and the cell deformation, so-called "Cell Collapse", caused by liquid tension above the fiber saturation point. Cell collapse was generally understood as "abnormal shrinkage of wood". However, in this study and other works, cell collapse was not so abnormal phenomenon in the shrinkage of wood. To make clear this fact, shrinkage procedures of woods from Sulawesi were measured in detail, specially in moisture content range of 20 – 40 %. Because, in this range, cells were collapsed by liquid tension and then tended to recover to its original forms. This phenomenon was observed in ray cells typically. Furthermore, cell collapse was depended on the drying temperature. Therefore, measurement of shrinkage was carried out under two drying conditions of room temperature (22°C) and about 70 %RH, and of 60°C in dry bulb temperature and depression of wet bulb temperature of 2°C.

As mention above, shrinkage phenomenon was observed as sum of shrinkage in cell wall thickness and cell deformation. Therefore, in order to estimate the cell collapse only, basic shrinkage procedures were measured in following manners. At first, a wood specimen in green condition was freezed in liquid nitrogen and then dried under vacuum. Furthermore, after reaching near oven dry condition, it was moistened and swelled in a seasoning chamber step by step. Then dimensions of specimen measured in radial and tangential direction were converted to shrinkage coefficients. These values were meaning the shrinkage of specimen caused by the shrinkage in cell wall thickness only, not by cell deformation. Therefore, the amount of shrinkage caused by cell deformation (collapse) could be estimated by the subtraction of normal and basic shrinkage.

Results obtained were as follows;

- (1) All of shrinkage curves was classified into four groups by degree of cell collapse in drying. The degree of cell collapse was estimated by a shape of shrinkage curve and a shrinkage coefficient at 30 %MC from green condition. The class I was meaning the cell collapse free species, and the class II was cell collapse species. Furthermore, the class II was classified into three groups, i.e. species in class II-1 showed a slight cell collapse, in class II-2, a typical cell collapse was observed and in class II-3, a recovery of cell deformation by collapse was not recognized (see table 1).
- (2) Comparing to Japanese, North American and other tropical species, shrinkage coefficient of species from Sulawesi had lower values in tangential and almost same in radial. And a average of the balk density was slightly higher than Japanese species and a average of the shrinkage coefficient was almost same to Japanese species.
- (3) Generally it was said that the shrinkage in near parts to pith showed higher value than in sap wood. However, about half of species measured was not showed above tendency. And also, it was not recognized a higher corelationship between existence of brittle heart in pith parts and a high value in the shrinkage coefficient.
- (4) The cell collapse phenomenon was observed in almost species at drying temperature of 60°C. Only *Gonystylus sp.* and *Duabanga sp.* (2) were not observed cell collapse in both parts of sap and heart wood (class I). Cell deformations caused by the collapse were found in ray tissue typically and it was observed as increment of shrinkage coefficient at 30 %MC. Therefore, it was found that the shrinkage coefficient at 30 %MC was a good indicator for the degree of cell collapse (see Fig. 10 and Table 4).