

木質系内装材の摩耗

鈴木 正 治[Ⓐ]Masaharu SUZUKI : Abrasive Wear of Wood-based Materials
for Interior Finish in Wooden House

要 旨 : 住宅の耐久性に関係する一つの因子に、内装用木質材料の耐摩耗性がある。内装材料の摩耗は、接触の起こるあらゆる表面に、種々の形と程度で現われる。木質材料の耐摩耗性能を定量的に測定でき、住宅内の実際の摩耗を評価できる基礎データを得るため、次の4項目について研究した。すなわち、摩耗試験法の確立、木材の摩耗現象の検討、表面化粧木質材料の耐摩耗性能と WPC による改良、実際の摩耗との関係などである。試験法では、研摩紙(サンドペーパー)によって試料に促進摩耗を生ぜしめる方法によるため、摩耗試験機の組立精度と研摩紙の性能に検討を加えた。木材の摩耗現象では、各番数の研摩紙のと粒による木材面の引っかきと摺り起こしの現象を、木材の不均一性、異方性、容積重などとの関係から追求した。摩耗が容積重の増加によって減少するのを、摩耗抵抗の増加として理論的に表わした。表面化粧木質材料と WPC については、塗装の効果、オーバーレイ材料の種類と摩耗量、WPC では注入効果(耐摩耗性能の改良)と注入樹脂の木材内部の分布と摩耗について実験値が得られた。実際の摩耗との関係では、現在使用されている8種の各面材料の摩耗と本研究の促進試験による摩耗との相関を調べ、実用下の摩耗の進行の予測を試みた。

目 次

1. はじめに	2
2. Taber 摩耗試験法の基礎的検討	2
2.1 Taber 摩耗試験機	2
2.2 試験機と研摩紙の分散分析	3
2.3 連続と断続試験	5
2.4 研摩紙と粒の損耗と摩耗粉	6
2.5 研摩紙と湿度	7
3. Taber 法による木材の摩耗	10
3.1 摩耗ごんん特性	10
3.2 摩耗ごんん内の厚さ摩耗量	10
3.3 木材の厚さ摩耗量	16
3.4 摩耗とと粒の粒径, 垂直荷重	18
3.5 摩 耗 抵 抗	21
3.6 摩耗と容積重の関係	23
3.7 摩耗と含水率の関係	25
4. 表面化粧材料の摩耗	26
4.1 表面光沢の消滅	26
4.2 表面化粧材料の摩耗の進行	26
4.3 積層構造の摩耗	29

5. WPC の耐摩耗性	32
5.1 WPC と末処理材の比較	32
5.2 浸透量の分布と摩耗	33
6. Taber 式摩耗と実際の摩耗との関係	36
7. 摘 要	40
文 献	42
Summary	42
付 表	46

1. はじめに

木造住宅はいうまでもないが、コンクリート系住宅でも内装は木質材料で仕上げる場合が多い。木質系材料の内装では、木地の色調と木目模様的美しさを長く保存させたいのであるが、日常の使用に際して、いろいろな原因による自然のおよび人工的な劣化を生じる。劣化現象の一つに摩耗がある。住宅部材の取り替えは、たとえば、床組みが腐朽して強度が低下したので交換するときとか、床面が摩耗したため交換するときなどに行われる。摩耗は長期にわたるもので、目立った物理現象とはいえないが、住宅の service life に関係して、軽視できないものである。事実、住宅内装の摩耗は、床はいうまでもないが、敷居、かもし、ドア（ドアわく）、壁、家具類など他物と接触するところに生じ、その耐摩耗性が要求される。

木材、木質材料の摩耗の研究は他の分野の研究より少なく、主に、次の文献^{1)~8)}があげられる。しかし、内装材料の摩耗についてはほとんどなく、このため本研究では摩耗の試験法の検討から着手した。内装材料に摩耗が生ずる主な原因は、細かい砂または砂状物質、ほこり、角・エッジ・先細の突端などを有する物体、面状で摩擦を有する物（たとえば、スリッパのようなもの）などの繰り返し接触によるので、実験にはと粒（Abrasives）を用いるのが比較的妥当のようである。これに適した試験機に Taber 型がある。この機械の組立て精度、試験精度について検討を加え、一応の結論を得たので、この試験機によって、木材、木質材料、表面化粧材料、WPC などの摩耗実験を行い、そのデータを解析した。

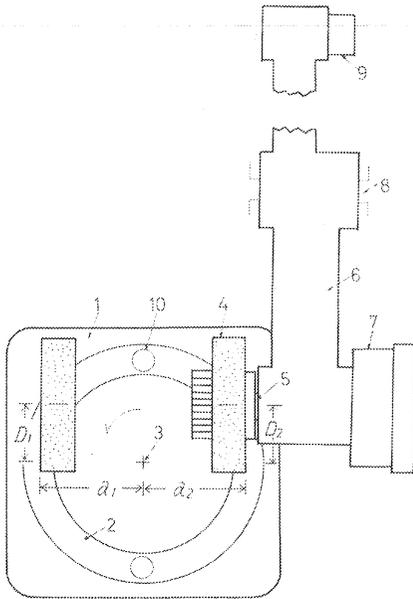
この研究の主要は、第 20 回日本木材学会（1970）において発表した。また、日本工業規格、摩耗試験原案作成委員会でも公表した。実験の遂行に際して、東洋精機製作所、日本床工業株式会社の雨宮、葉梨の両氏、林産化学部の佐野弥三郎氏、村山敏博氏、その他の関係各位のお世話になった。ここに厚く謝意を表する。

2. Taber 摩耗試験法の基礎的検討

2.1 Taber 摩耗試験機

Taber 摩耗試験機の外観を Photo. 1 に示す。その構造と機能の詳細は、建築材料の摩耗試験法 JIS A 1453-1973 に記載されているので、ここでは割愛するが、本文の説明の過程で必要と考えられるものだけを次に述べる。

Taber 摩耗試験機で内装材料の摩耗の促進試験を行う。試片の大きさは $10 \times 10 \times$ 厚さ 0.5 (cm) で、4 すみは $10 R$ 程度の曲率をつけることもある。試験片の中央に 6.5 mm の孔をあけ、これを回転盤の軸にさし込み、試片を固定する。回転盤は試片とともに 60 rpm で水平回転し、回転数は積算指示されてゆ



- | | | |
|---|--------|------------------------------|
| 1 | 試片 | Specimen |
| 2 | 摩耗こん | Annular-abrasion area |
| 3 | 回転盤軸心 | Axis of turntable |
| 4 | 摩耗輪 | Wheel for abrasive wear |
| 5 | 摩耗輪回転軸 | Axle for revolution of wheel |
| 6 | アーム | Arm |
| 7 | 垂直荷重 | Vertical load (おもり) |
| 8 | アーム支持軸 | Axle for supporting arm |
| 9 | バランス点 | Balancing point |

Fig. 1 Taber 摩耗試験機の一部
Parts of Taber abrader.

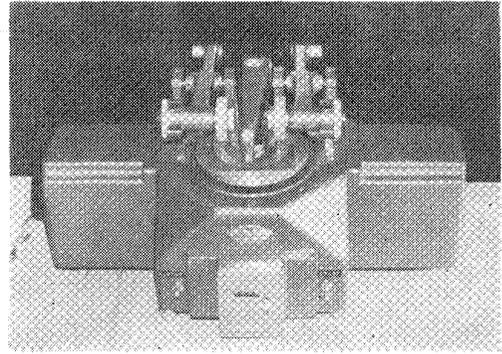


Photo. 1 Taber 摩耗試験機
Taber abrader

く。試験面を摩滅させるのに、直径 51 mm、厚さ 12.7 mm の 2 個の硬質ゴム製の摩耗輪 (Fig. 1 の 4) を用いる。摩耗輪の厚み面には研磨材料 (JIS A 1453 では 180 番の研磨紙) を巻きつける。摩耗輪をアーム (6) の前方端に取り付け、試験面に接触させる。摩耗輪には、おもり (7) によって、一定の垂直荷重が負荷されている。アームは摩擦の少ないアーム支点 (8) によって、つり合いを保つ機構になっている。試片 (1) が矢印の方向に回転すると、2 個の摩耗輪は、

と粒が試験面とかみ合いながら滑るので、摩擦の少ない回転軸 (5) とともに回転し始める。回転数比は、

試片が木材の場合、試片 1 に対して摩耗輪は 1.2 である。回転数が 20~30 回になると、試験面に環状の摩耗こん (2) が明りょうに現われる。摩耗が進むと試片の微粉末が摩耗こんに付着するので、摩耗粉吸い取り装置 (10 の上側) を働かせて吸収する。こうして、一定回転数ごとの試験面の厚さ摩耗量を測定する。

2.2 試験機と研磨紙の分散分析

2.1 の試験機による測定結果は、同種同性能の試験機でも、試験機が同じものでないと、測定値に差を生じる場合が多い。これは、これまで摩耗試験の再現性を低くしていた一つの原因である。この節では、試験機間で寸法、精度が異なるとき、摩耗量に及ぼす影響について検討する。

用いた試験機は A, B, C の 3 台で、A はアメリカ Taber 社製のオリジナル、B は JIS A 1453 に定める性能と諸元を有するもの、C は、在来の国産品の 1 種である。これらの性能はほとんど同じであるが、機械を詳細に調査すると Table 1 の相違点が見出された。アームの感度は支点のベアリングの摩擦と関係し、垂直荷重に影響する。感度は B, C が数グラムであるのに、A は 60 グラムで、感度低下が認められた。両摩耗輪の回転盤軸に対する相対的位置を示す a, D は、B が $a_1 a_2, D_1 D_2$ とともに、ほぼ等しく、機械の組立て精度がよいのに対し、C は両輪のずれが大きかった。

(i) 実 験

研磨紙は Taber Cat. No. S-33 の NEMA Sandpaper を用いた。ロット 15003, 16643 より無作為

Table 1. Taber 摩耗試験機の機差
Differences in size and accuracy of Taber abrader

試験機 Instruments	アームの感度 Sensibility of arm	回転盤の 上下ふれ Vibration of turntable	回転数 Revolution number	a_1 a_2 (Fig. 1)	D_1 D_2 (Fig. 1)	摩耗輪軸の ふれ Deflection of wheel axle
	(g)	(mm)	(r.p.m.)	(mm)	(mm)	(mm)
A	L 60	0.02	60	39.20	19.40	L 0.5
	R 55			38.70	19.30	R 0.5
B	L 1	0.03	60	39.40	19.05	L 0.1
	R 3			39.45	19.16	R 0.3
C	L 3	0.06	70	37.8	19.8	L 0.45
	R 2			36.4	20.4	R 0.55

A テーパー社製品 Original by Taber Co.
 B JIS A 1453 で規定した国産の標準品 Standardizing Taber-type abrader (Home made)
 C 国産品の一種 A kind of Taber-type abrader (Home made)
 L : The left hand, R : The right hand

Table 2. 亜鉛標準板の重量減
Loss in weight of zinc standardization
plate

Taber 型 試験機 Taber-type instruments	500 回転の平均重量減 Avg. weight loss in 500 cycle (mg)			
	Lot No. 15		Lot No. 16	
A	156	147	158	162
B	144	149	156	159
C	158	162	167	172

Table 3. 亜鉛標準板の摩耗面積
Annular-abrasion area of zinc s. plate

Taber 型 試験機 Taber-type instruments	摩耗面積 (cm ²) Annular-abrasion area			m -cal cal ×100
	実 測 Measurement		計 算 Calculation using a and D	
	平 均 Avg.	標準偏差 S. d.		
A	29.600	0.477	26.011	13.8
B	28.557	0.443	26.388	8.2
C	33.322	0.448	24.536	35.8

となり、試験機Cの径が小さく、計算上の摩耗こんの幅もA、Bより小である。しかし、実測値はCが最も大きいことから、 a_1a_2 、 D_1D_2 の各差の大小が摩耗こんの面積に関係するのがわかる。

ここでは、亜鉛標準板の重量摩耗量に及ぼす試験機全体の影響をみるため、試験機と研摩紙の二元配置による分散分析を行った。Table 4 は分析表で、試験機間、研摩紙間で高度に有意となる。しかし、両者の交互作用はない。次に、試験機Cを除いて分析すると、Table 5 のように研摩紙間だけ有意となつて、機差がなくなる。残差変動の自由度がやや小であるので、検出力が低下しているが、ロット15と16の研摩紙は重量摩耗量に影響していることがわかる。

に抽出した。摩耗用試片は同一ロットの亜鉛標準板 (Pb-Cd 合金、硬さ Hv 52、表面粗さ max.-min. 1 μ 以内) を用いた。

試験環境は、22°C、65% RH および 67% RH のもとで、同一者によって試験された。

(ii) 結 果

各試片の500回転後の重量摩耗量を Table 2 に示す。各値は3個の算術平均である。試験面の環状の摩耗こんの面積を実測して Table 3 に示す。この表には、Table 1 の a 、 D の平均値と摩耗輪の幅を 12.7 mm として、摩耗面積を計算から推定し、実測値と比較してある。計算された摩耗こんの外側と内側の半径 (r_1 、 r_2) は単位を mm とすると

試験機	A	B	C
r_1	43.49	43.80	42.19
r_2	32.61	32.83	31.61

この結果、試験機の総合的な精度と実験値との関係についてアウトラインが固まったので、試験機 B を用いて、測定条件と研摩紙について次の検討を加えた。

2.3 連続と断続試験

前節では、亜鉛標準板を 0~500 回転まで連続して摩耗させ、重量減少量を測定した。しかし、500 回転までの途中の重量減少の状態もわかっている方が都合がよく、研摩紙に付着した摩耗粉も取り除くことができる。これに関連した問題も含めて次の実験を行った。

(i) 実験

試験機 B を用いて、22°C、66% RH の環境のもとで、ロット 15 の研摩紙と亜鉛標準板による連続と断続の試験を行った。

連続試験：500 回転まで、試験機を止めずに摩耗させる。

断続試験：100 回転ごとに試験機を止め、亜鉛標準板をひょう量する。

上記の場合、亜鉛板の試験面を前もって予備研摩（100 回）するときとしない場合に分ける。断続試験では、試験機を止めたときに、研摩紙をブラシがけする。

(ii) 結果

測定値を比較して、上記試験法の種類による重量減少量の大小関係が定まったので、代表例を Fig. 2 に示す。断続試験の結果、約 100 回転まではやや上に凸の曲線をなし、予備研摩の有無は比較的明らかな差となって現われる。100~400 回転の間は直線性が認められる。500 回転になると摩耗量が低減する傾向がある。測定数 9 個のうち、2 個が 400 回、6 個が 500 回転目で直線性よりずれる。また、断続に対して連続試験の重量減は 500 回転において平均 12 mg だけ少ない。

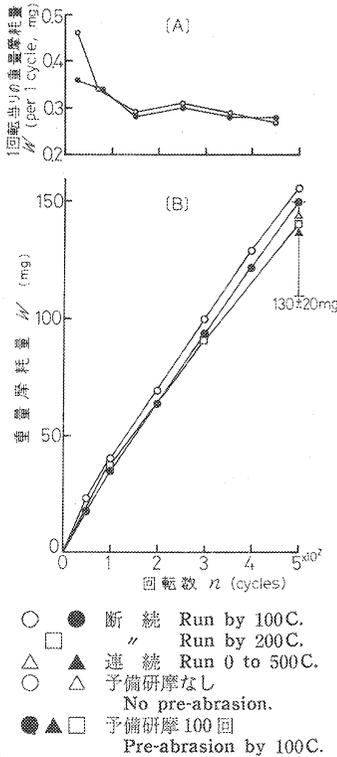
試験面の予備研摩は平滑面を 100 回転だけ研削して、新しい研摩紙に取り替え最初から測定するので、予備研摩のない試験面とでは研摩紙の新しさの点で同じ条件になる。平滑面（予備研なし）は擦傷面（予備研あり）より、と粒の研削能率が有効に作用する。これは粒と試験面の接触状態が関係するように考えられる。したがって、Fig. 2-(A) のように、50 回転目以後では 1 回転当りの重量摩耗量は予備研摩に無関係に一致している。この検討の結果、研摩紙の目づまりを除去する目的も含めて、断続試験で摩耗経過中の重量減を測定するのが適切と考えられる。一方、予備研摩は、試験面を全摩耗過程で一定条件にするという意味から必要な前処理と考える。Fig. 2 に示す 500 回転における重量減の範囲（130±20 mg）は NEMA 規格で定めた S-33 研摩紙の合格のための検定範囲である。上記の理由で、研摩紙の検定には亜

Table 4. Taber 型試験機と研摩紙の分散分析
Analysis of variance on Taber-type instruments and sandpapers

要 因 SV	平方和 SS	自由度 DF	平均平方 MS	F_0	$F(0.01)$
試験機 (Instruments) A・B・C	343.5	2	171.7	15.3**	8.7
研摩紙 (Sandpapers) No. 15, No. 16	280.3	1	280.3	25.0**	11.3
残差 (Residual)	89.2	8	11.2		

Table 5. Taber 型試験機と研摩紙の分散分析
Analysis of variance on Taber-type instruments and sandpapers

要 因 SV	平方和 SS	自由度 DF	平均平方 MS	F_0	$F(0.05)$
試験機 (Instruments) A・B	28.13	1	28.13	2.05	6.61
研摩紙 (Sandpapers) No. 15, No. 16	190.13	1	190.13	13.85*	6.61
残差 (Residual)	68.63	5	13.73		



○ ● 断続 Run by 100C.
 □ △ 連続 Run 0 to 500C.
 ○ ▲ 予備研摩なし
 ● ▲ 予備研摩 100回
 Pre-abrasion by 100C.

Fig. 2 摩耗試験の連続と断続による亜鉛標準板の重量摩耗量 (W) の相違
 Loss in weight (W) of zinc standardization plate by continuous and or discontinuous process of abrasion test.

けた摩耗輪の重量を測定した。研摩紙 1 枚に付着していると粒の重さは

$$5.5 \text{ (mg/cm}^2\text{)} \times 20.18 \text{ cm}^2 = 110.99 \text{ mg}$$

であるから、111 mg に対すると粒の重量減を % で示したのが Fig. 3-(B) である。グラフの点は亜鉛板 5、木材各 3 個の平均値で、上・下限は主に木材の値である。100 回転程度までは、と粒の突出部、表面コート塗料の消失が含まれる。Fig. 3-(A) は 100 回転当りの 3 種の試片の平均重量減で、と粒の重量減よりはるかに大きい。たとえば、亜鉛標準板では 500 回転におけると粒の重量減が 6.2 mg で、亜鉛板は 135 mg であるので、4.6% に過ぎない。

3 試料のそれぞれの損耗率が比較的近い値になることは、と粒の損耗が一律であることと試料によって異なる量の付着摩耗粉がよく除かれたことを意味する。

と粒の損耗は切刃能率が低下することでもある。3.3 で取り上げるが、Fig. 19-[A] のように木材の摩耗では、切刃数の割合は当初より 200 回転程度までは減少して、その後ほぼ一定化するようである。一定化の時点で、当初の 80% 程度の切刃数がある。この結果、研摩紙 S-33 の摩耗実験によると粒の損耗は無視できないが、その値は小さく、かつ、損耗の安定する領域があるので、この領域では試料の摩耗量の

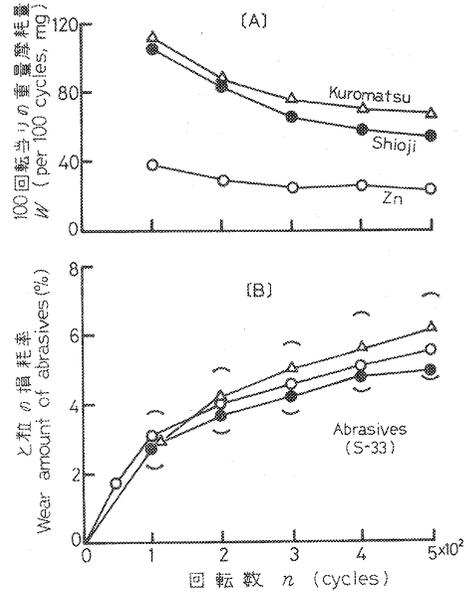


Fig. 3 と粒の損耗率と供試料の摩耗
 Wear amount of abrasives and loss in weight (W) of samples.

鉛標準板の予備研摩を行った方がよく、本報の以下の実験もこれによった。

2.4 研摩紙と粒の損耗と摩耗粉

(i) と粒の損耗の測定

研摩紙が摩耗過程で損耗して、研削能が低下するのをと粒の重量減より調べた。試片 (亜鉛標準板、針・広葉樹材) を 10 回転だけ予備研摩した後、各回転ごとにブラシが

Table 6. 摩耗粉の吸収量と吸込み管との関係
Effect of drawing pipe on removed amount of fine wood flour

試片面と吸込み口の距離 Distance from surface to inlet (mm)	孔径 (Diam. of pipe) = 8 mm		孔径 (Diam. of pipe) = 5.6 mm	
	吸 収 量 Removed amount (mg)	吸収面積 (直径) Diam. of circle taken off (mm)	吸 収 量 Removed amount (mg)	吸収面積 (直径) Diam. of circle taken off (mm)
1	0.1	13.2 ~ 13.8	0.1	12 ~ 13
2	0.2	14.5 ~ 15.0	0.4	14.5
3	0.3	ca. 16	0.6	14 ~ 16
4	0	—	0	—
5	0	—	0	—

定常と再現性は高いと考えてよい。

(ii) 摩耗粉の除去

(i) で記述したように、研削されて生じた摩耗粉は非常に細かく、これを除去しないと研摩紙の目づまりの原因になる。摩耗粉は摩耗こんにも付着するから、風量一定 ($0.5 \pm 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$) の吸い取り装置を用いたときの吸い込み口と試験面との間隔と吸い込み口の孔径を変えて摩耗粉の除去できる能率を調べた。

ヒノキ、マカンバの摩耗粉を等量混合し、ガラス板上に均等に散布した。ガラス板表面と吸い込み口の間隔を 1~5 mm にかえ、吸い取り量を微量天秤 (感度 10^{-2}mg) で測定した。測定結果を Table 6 に示す。摩耗こんの幅は 13 mm 程度であるから、孔径 5.6 mm でも十分吸収できることになる。吸い込み口と試験面の間隔は 3 mm 程度がよいことがわかった。また、吸い込み口は Fig. 1 の 10 で示す 2 か所にある方が摩耗粉の吸収にむらを生じない。

摩耗試験中、摩耗こん上を連続して除じんしていても、研摩紙に付着する摩耗粉は試験機を止めてブラシがけしないこと、3.3 の Fig. 19-(B) のようにと粒面を被ふくすることになる。ブラシがけによって、目づまりを 20~30% にとどめうるが、回転数が増加すると被ふくが進むので注意を要する。

(i), (ii) の検討によって、研摩紙の性能を少なくとも 400 回転までは正常に保ちうるので、材料の摩耗量の評価も厳密にはこの範囲で行うことが望ましい。

2.5 研摩紙と湿度

研摩紙はと粒と基材より出来ているが、と粒を結合させているにかわと基材のクラフト紙は吸湿性に富むので、高湿の環境では研摩紙の腰がしなやかになり過ぎ、低湿の環境ではやや剛直すぎる。これはゴム輪と研摩紙のなじみの良否からくる試料研摩への影響およびと粒の脱落などの問題を引き起こす。ここではトラブルの原因となっている研摩紙の吸湿性と吸湿に伴う腰の変化を曲げやすさから調べ、研摩紙に最適な湿度条件を決定しようとした。

(i) 実 験

供試料は吸湿測定用と動的弾性率測定用の 2 種類とし、Taber 社製 S-33 研摩紙と国産 2 社のものを用いた。供試料の厚さとみかけの密度を Table 7 に示す。厚さはみかけの厚さより投影法によって求めた平均のと粒の高さの 1/2 量だけ差し引き補正した。研摩紙の吸湿量の測定は湿度の異なるデシケータ中で状態調節したものにつき行い、動的弾性率は調湿したデシケータの中で、振動リード法によって測定し

Table 7. 試験用研摩紙
Sandpaper for test

研摩紙 Sandpapers	みかけ密度 Apparent density (g/cm ³)	みかけ厚さ Apparent thickness (mm)	参考図 Refer to the figs.
S-33 (NEMA Sandpaper)	1.16 ~ 1.18	0.32 ~ 0.33	Fig. 4 Fig. 5-[A]
国産品 I Home made I	1.22 ~ 1.23	0.51 ~ 0.52	Fig. 4 Fig. 5-[A]
国産品 II Home made II	1.14 ~ 1.19	0.43 ~ 0.46	

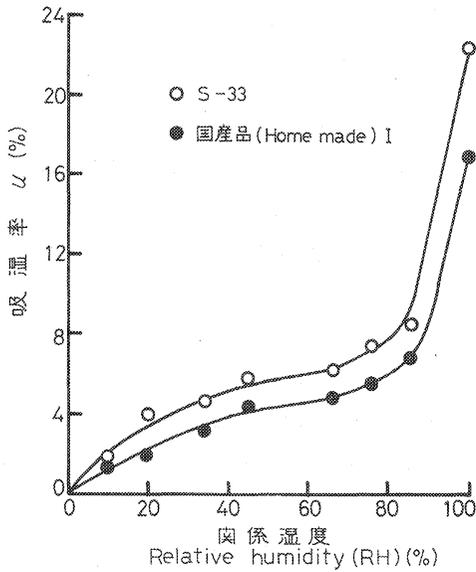


Fig. 4 研摩紙の吸湿率 (u)
Water vapour absorption (u)
by sandpapers.

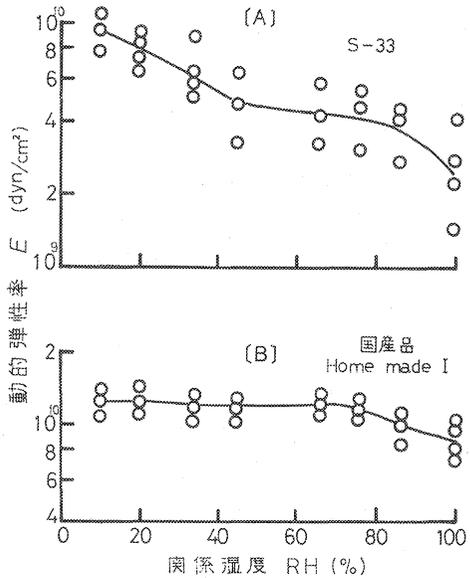


Fig. 5 研摩紙の動的弾性率 (E)
の湿度変化
Change of dynamic elastic modulus
(E) of sandpapers with relative
humidity (RH).

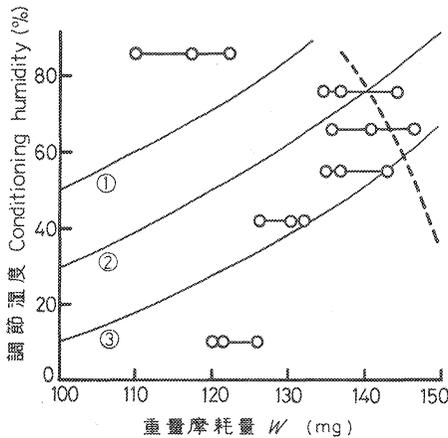


Fig. 6 研摩紙 (S-33) の調節湿度条件
が異なるときの亜鉛標準板の重量摩耗
量 (W)
Loss in weight (W) of zinc s. plate
as to various kinds of conditioning
humidities of S-33.

—— テーバー社の技術資料
Humidity compensation cited from
Taber Co. tech. note.
- - - 山田氏の結果
Obtained by YAMADA.
○—○ 著者の結果
Obtained by author.

た。一方、湿度の異なるデシケータ中で状態調節した研摩紙を用いて、亜鉛標準板の摩耗試験を行い、摩耗量との関係を求めた。

(ii) 結 果

S-33 と国産Ⅰの吸湿率を Fig. 4、動的弾性率を Fig. 5 に示す。両図のように、湿度が約 80% 以上では吸湿量が大きく増加し、動的弾性率も屈曲して低下している。Fig. 6 の摩耗量と比較すると、湿度 80% 以上で摩耗量が減るとの相関がある。これはと粒と基材の結合力が弱められて、研削能が低下したためと考えられる。

100% と 60% の湿度下で状態調節した S-33 研摩紙 1 cm² に、350 g の負荷を与えてスライドガラスに押しつける。負荷を固定してガラスを 15 mm のスパンで前後に 5 回動かせる。はく離したと粒をプレパラートにして検鏡すると、100% RH の研摩紙では、42~57 個（平均 48 個）の脱落したと粒が見出され、60% RH の研摩紙では、脱落と粉はほとんどなく、と粒によって傷つけられたガラス面上の条こんと微粉末が観察された。100% RH の場合ガラス面に条こんがつきにくいのは、にかわの結合力が弱まって、試片との界面で摩擦力が働くと、と粒の逃げが生じるのであろう。

一方、約 40% より低い湿度域で、湿度に比例して吸湿も変化する。動的弾性率は Fig. 5 の [A]、[B] のタイプに分けられる。[A] には S-33 および国産Ⅱが相当し、湿度によってかなり変化する。Fig. 6 では 41% RH における亜鉛標準板の摩耗は 66% RH のそれより少ない。湿度が約 40% 以下になると、研摩紙が幅ざりしてゴム輪とのなじみがわるく、そのため研摩紙と試験面との接触到均等を欠くようである。[B] タイプの研摩紙（国産Ⅰ、耐湿性付与）は広い湿度範囲で安定した性質を示す。この報告で主として用いられるのは S-33 であるから、60% RH 程度の状態調節と試験時の環境が適当と考えられる。

Fig. 6 には Taber 社および山田⁹⁾ の測定結果も合わせて示している（注参照）。T 社のは 3 本の線で、傾向のみを示したが、測定点は曲線の左右に散らばりがある。実線 ①~④ に対して破線は正反対の傾向を示している。筆者の測定値は高い湿度では破線の傾向、低い湿度では実線の傾向にそれぞれ対応する。既述したように、と粒のはく離、湿度の大小による研摩紙の状態（前述）などより、○印で示される傾向が妥当のようである。

なお、上記の実験では亜鉛標準板の表裏について測定した。このためには前もって、亜鉛標準板の表裏の各面が同性能を有するかを検討した。検定に合格した研摩紙を用いて、亜鉛標準板の表裏の各面の 500 回転における重量減少量を測定すると、

表 面	150	128	141	133	
裏 面	133	138	124	130	(各 mg)

このデータより、平均値の差の検定を行うと、危険率 5% で表裏間の有意性は認められなかった。この結果、亜鉛標準板の表面、裏面ともに、研摩紙の検定用に使用してよいと判断した。

以上の実験条件の予備的検討の結果、3 以下の実験を行うとき次の基準を定めた。

摩耗試験機

アーム：摩耗輪なしで 250±3 g でバランスすること、アーム支点：がたがないこと、垂直荷重用おもり：250±0.3 g、摩耗輪取り付け軸の遊び：ベアリングの遊び程度（0.3 mm）、軸には摩耗輪がかたくはまること、摩耗軸幅：12.7±0.05 mm、摩耗輪の回転：面おれなく、試験面によく接触していること、回転盤の上下おれ：外周において 0.05 mm 以内、試験面と吸い込み口の間隔：3 mm 程度、Fig. 1 の

$a_1, a_2 = 39.4 \pm 0.05 \text{ mm}$, $D = 19.0 \pm 0.2 \text{ mm}$ とする。

研摩紙と亜鉛標準板

NEMA Cat. S-33の研摩紙を用い、1ロット(100枚)より検定用に6枚抜き取り、100回予備研摩した亜鉛標準板(NEMA Cat. S-33)を用いて500回の摩耗試験を行う。重量減が3回の試験全部について $130 \pm 20 \text{ mg}$ にあるときこのロットを合格とする。試験環境は、 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\% \text{ RH}$ を原則とする。

3. Taber 法による木材の摩耗

3.1 摩耗ごんの特性

と粒による条ごんは試験面で一様に生じるが、その詳細はこれまで不明であった。亜鉛標準板の条ごんを顕微鏡で観察していると、左右の摩耗輪のと粒によってX字状の交差ができ、それらが約30回転になると重なって光沢が消え、未摩耗面がなくなる。その過程は Fig. 7, 30 によって示される。試片が左回転の場合、右方の摩耗輪 RW のと粒によって、Fig. 7 の①の条ごんを生じる。同様に左の摩耗輪 LW では②の条ごんを生じるから、①と②によって③の交差が現われる。この軌跡は試片の回転が摩耗輪を摩擦によって回転させるため生じた引っかきの傷ごんである。

交角を Fig. 8 の右上に示すように測定する。その方法は Photo. 2 のように、環の幅方向の内より外へ連続して顕微鏡写真を撮り、写真上で順次測角して求められる。この結果、Fig. 8 に示すように、交角は内側ほど大きく、外側に進むにつれて減少する。

3.2 摩耗ごん内の厚さ摩耗量

均一な年輪幅 0.9 mm, ほぼ等しい晩材率 5% よりなるサワラまさ目板(気乾比重 0.39)を用いて、摩耗した環状部分の B 点の厚さ摩耗量および条ごんの繊維軸に対する傾斜角を測定した。Fig. 9 の横軸は、同図右の試験面のごとく繊維軸を $0 \sim 180^\circ$ に一致させ、矢印の方向に測定された各 B 点の位置を表わす角度 θ をとっている。左右の摩耗輪のと粒による条ごんの繊維軸に対する傾斜角 α, β は、同図のごとく一方が増加傾向になると他方は減少傾向になる。傾斜角の和を求めると Δ 印で示す波型の曲線を得

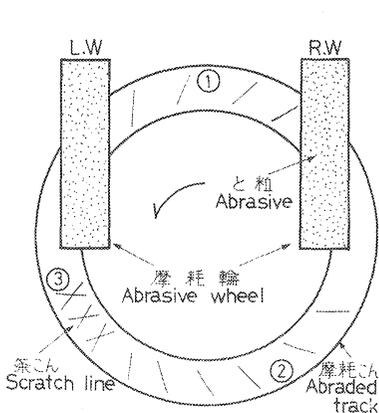
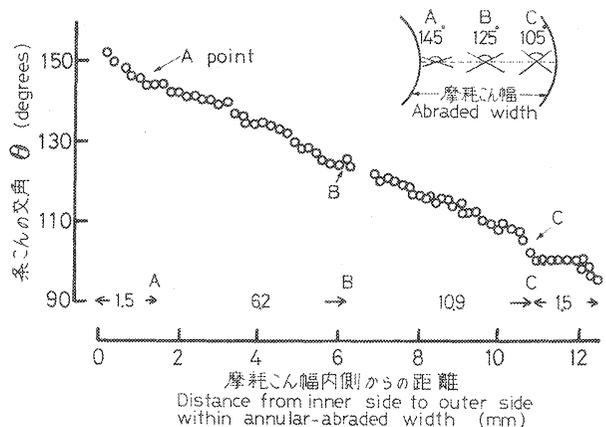
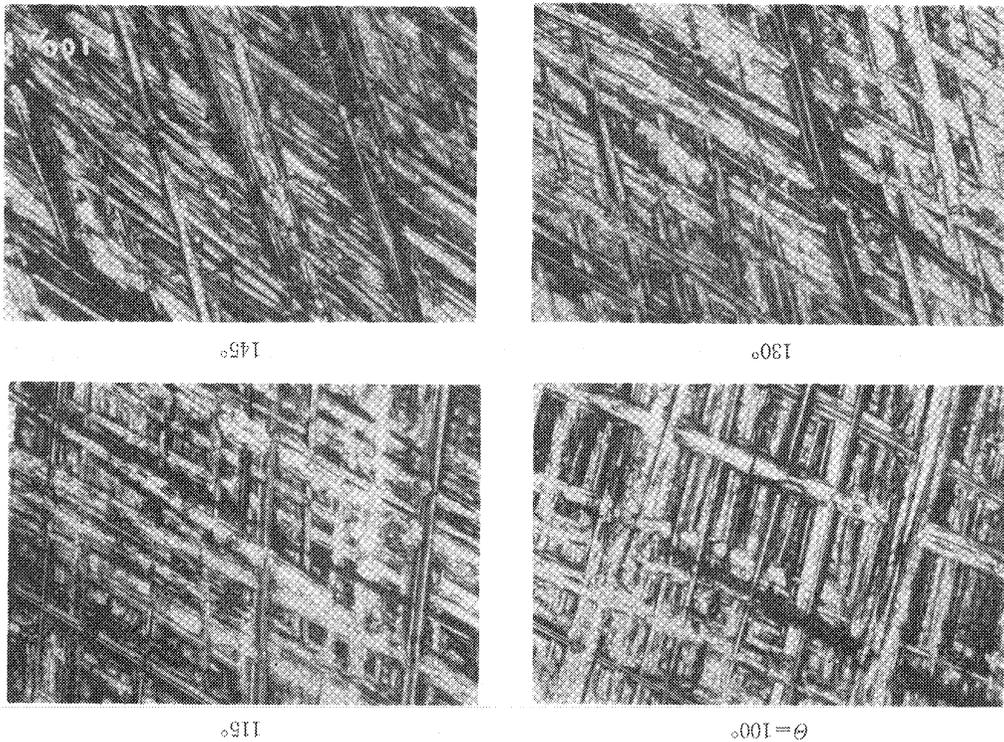


Fig. 7 と粒による条ごん Scratch lines produced by abrasives.



研摩紙 (Sandpaper) : S-33

Fig. 8 摩耗ごん内の条ごんの交角 (θ) の変化 Change of intersection angles (θ) of scratch lines within annular-abraded width.



θ: 交角 Intersected angle

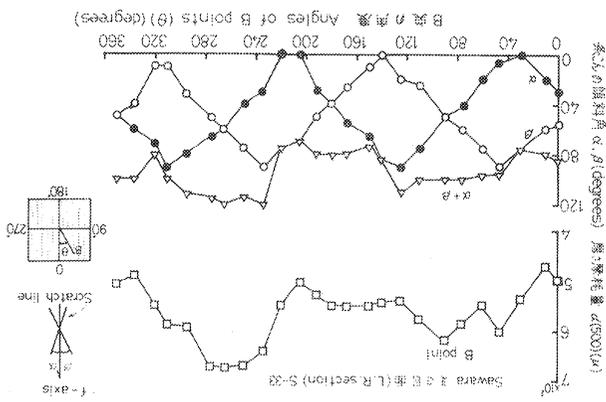
Photo. 2 亜鉛標準板上の条こん

View of scratched lines on zinc standardization plate.

る。注目すべきはこれと500回転における厚さ摩耗量の曲線とが比較的大きく似ていることである。すなわち、Fig. 9の厚さ摩耗量の位置(θ)による変動は偶然あるいは測定誤差に起因するのではなく、傾斜角の和に起因するものでなく、傾斜角の和つまり、木材の繊維方向に対する条こんの傾斜角度と関係すると考えられる。この原因を調べるため、次の実験を行った。摩耗輪の回転を止め、50回転ずつ順摩耗の同じ部分で摩耗させる。と粒による条こんは摩耗輪の回転がないため、回転盤の中心に対して同心円状に生じる。θが0°、180°の位置では傾斜角は90°、θが90°、270°の位置では傾

Fig. 9 サワラ材のB点(θ)における厚さ摩耗量(d(500))と繊維軸に対する条こんの傾斜角(α, β)との関係

Relation between loss in thickness (d(500)) of Sawara and inclination angles (α, β) of scratch line to fiber axis at the points (B, θ).



平均年輪幅
Average width of annual rings: 0.9mm

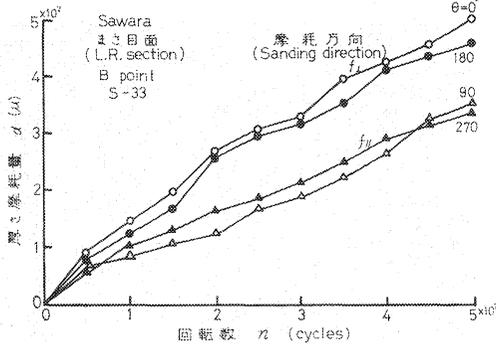
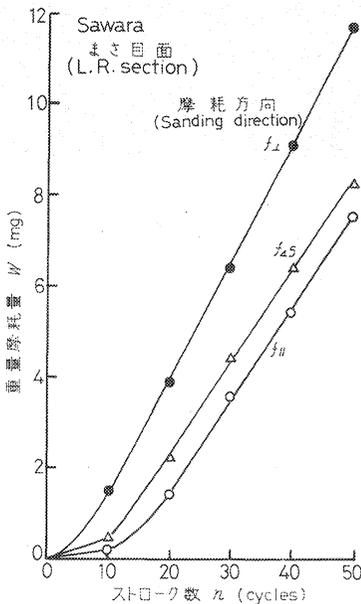


Fig. 10 摩耗こん内の位置 (B, θ) における厚さ摩耗量 (d) 摩耗輪固定
Loss in thickness (d) at the point (B, θ) in annular-abrasion area under fixed wheels.



研摩紙 (Sandpaper) : S-33
垂直荷重 (Vertical load) : 800 g
みかけの接触面積 (Apparent contact area) : 1 cm²
有効接触面積 (Effective contact area) : 0.26 cm²
1回の走行距離 (Distance of one stroke) : 5.0 cm

Fig. 11 摩耗方向が異なる場合の重量摩耗量 (W) とストローク数 (n) の関係
Loss in weight (W) vs. number of strokes (n) under condition of different sanding directions.

斜角は 0° となる。B 点におけるこの4点の厚さ摩耗量を Fig. 10 に示す。図から明らかなように、と粒による条こんが繊維軸に直角に交差する位置の厚さ摩耗量が大きい。

Taber 法による試験とは別に、小面積の研摩紙が、一方向一定距離 (ストローク : 55mm) だけ直線運動する装置を用いて、サワラ材の繊維と平行 (0°), 45° , 直角 (90°) の3方向における重量摩耗量を測定した。この試験法では、研摩紙と試験面とは 1×0.26 (cm) で接し、この部分が試片を摩耗させながら 50 mm 移動する。垂直荷重は 800 g で、研摩紙は 1 ストローク後、新しい面にかわる。Fig. 11 はサワラ材

まさ目面の3方向の重量摩耗量を示す。摩耗量は繊維に直角方向が繊維方向より大きい値になる。Fig. 10, 11 より、と粒による摩耗方向と木材の繊維方向との交角が 0° より 90° へと増大するほど摩耗量が増加するので、Fig. 9 では傾斜角の和 $\alpha + \beta$ が大きいほど、摩耗を促進、増大させると考えられる。この考え方に立つと、Fig. 9 の厚さ摩耗量と傾斜角の和の対応を説明できる。

Fig. 12 の上図に示す位置 A, B, C における傾斜角の和

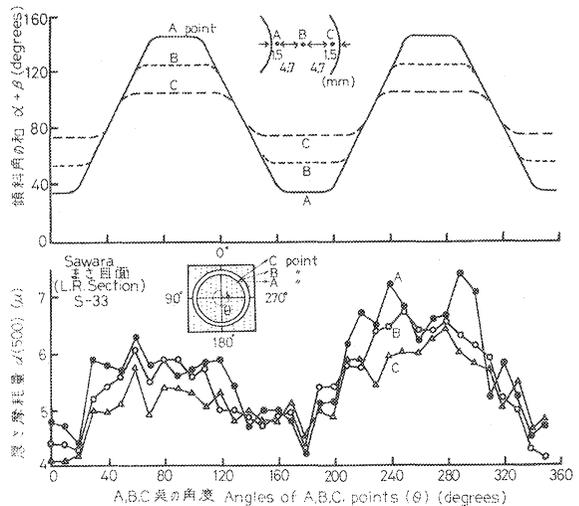


Fig. 12 サワラ材の厚さ摩耗量 ($d(500)$) と傾斜角の和 (計算値) の関係
Relation between loss in thickness ($d(500)$) of Sawara and sum of calculated inclination angles ($\alpha + \beta$) at the point (A·B·C, θ).

を傾斜角 θ に対して幾何学的に求めると、規則性のある波形で表わすことができる。Fig. 12 の上図は A, B, C によって波形に高低があることがわかる。たとえば、A 点では傾斜角の影響が強いところと弱いところの差が大きく、逆に C 点では両者の差は少ないのである。サワラ材 (まさ目) について、A, B, C の厚さ摩耗量 (500 回転) を図示したのが下図である。実測値でも、 $A > B > C$ の傾向がほぼうかがえる。Fig. 12 の上・下図の山型の関係はよく相似している。針葉樹材のカヤ、ヒノキ、トドマツ、トウヒなど、晩材率の少ないものにはこの関係が明りようである。

一方、広葉樹材では Fig. 13 に見られるように、実測による厚さ摩耗量の山谷の高低差は小さくなる。これは材の方向性に対して、容積重が大きくなる効果が優勢になったためと考えられる。しかし、Fig. 14 のように、 α, β が相殺するように働くと、 $\alpha + \beta$ がほぼ一定になるから、厚さ摩耗量の山形も平坦になる実験事実がある。これは摩耗試験機が正常に動いているので、材面の左方で、いくらか繊維傾斜に相違があるためと考えられる。これからの例はこれまで

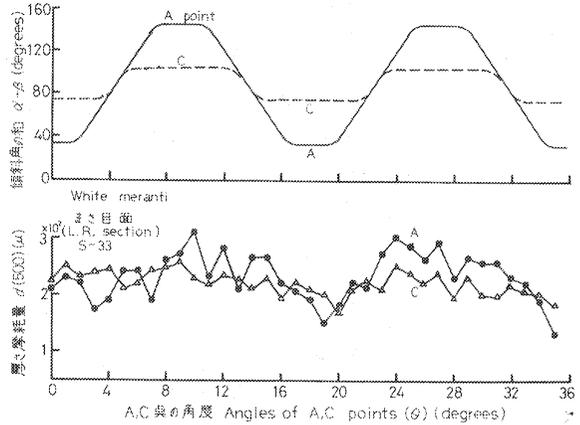


Fig. 13 ホワイトメランティの厚さ摩耗量 ($d(500)$) と傾斜角の和 (計算値) の関係
Relation between loss in thickness ($d(500)$) of White meranti and sum of calculated inclination angles ($\alpha + \beta$) at the point (A·C, θ).

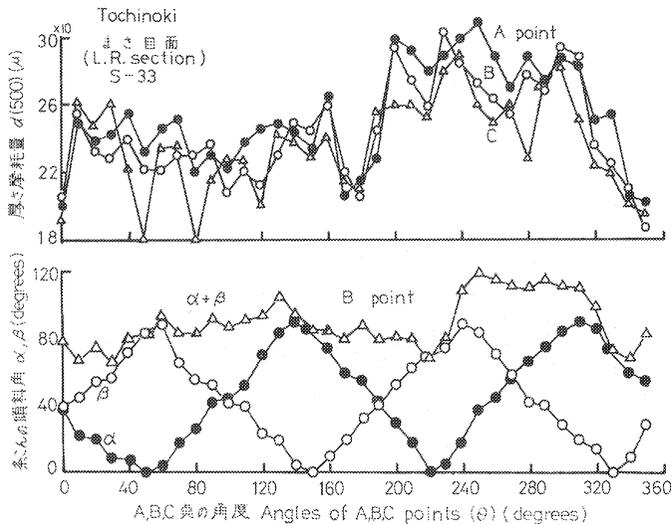
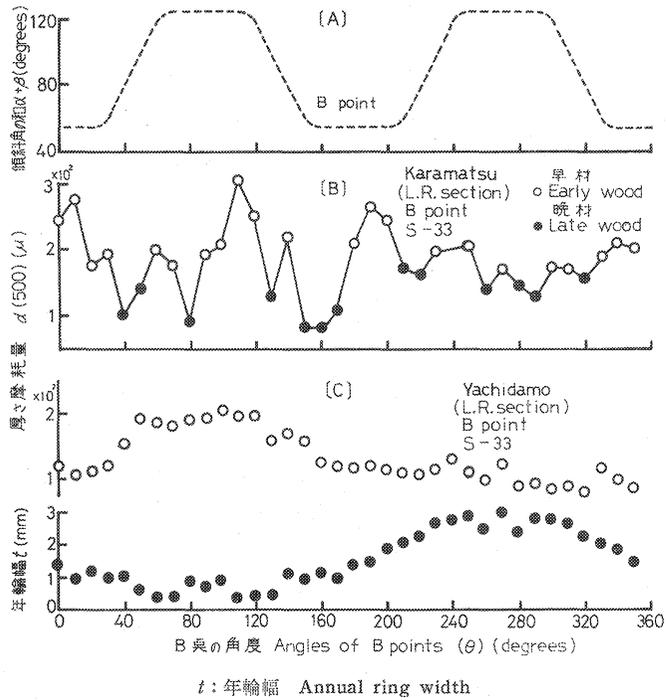
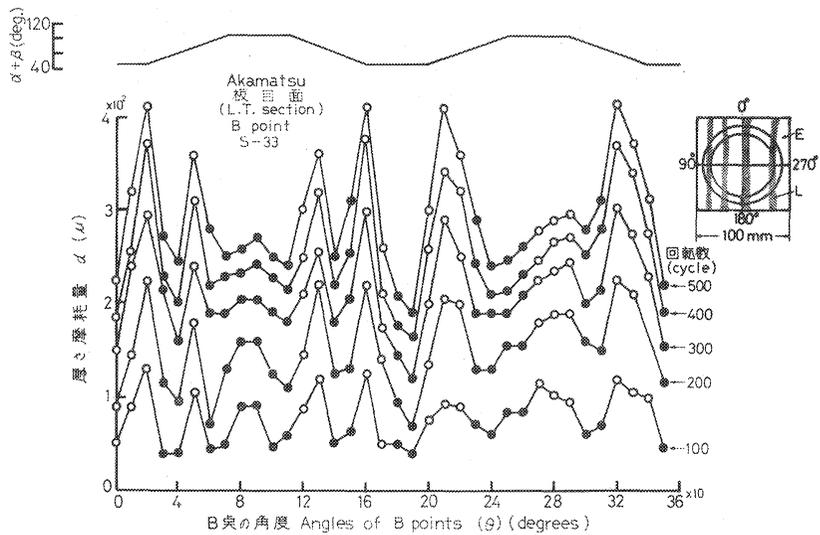


Fig. 14 トチノキの A·B·C 点 (θ) における厚さ摩耗量 ($d(500)$) と繊維軸に対する条こんの傾斜角 (α, β) との関係
Relation between loss in thickness ($d(500)$) of Tochinoki and inclination angles (α, β) of scratch line to fiber axis at the point (A·B·C, θ).



t : 年輪幅 Annual ring width

Fig. 15 カラマツ、ヤチダモの厚さ摩耗量 ($d(500)$) と傾斜角の和 (計算値) の関係
Relation between loss in thickness ($d(500)$) of Karamatsu and Yachidamo and sum of calculated inclination angle ($\alpha + \beta$) at the point (B, θ).



○, E: 早材 (Early wood), ●, L: 晩材 (Late wood)

Fig. 16 回転数とアカマツの厚さ摩耗量 (d)
Loss in thickness (d) of Akamatsu related to cycle number.

の傾斜角の法則が適用しにくい場合である。

Fig. 15-[B] はカラマツのまさ目面の場合で、厚さ摩耗量は一定の傾向を示さない。測定点の材面を早材、晩材別に表わすと、傾斜角の和が最大になる $60\sim 120^\circ$ 、 $240\sim 300^\circ$ でも、測定点が晩材であると摩耗が少ない。また、早材の測定点でも摩耗が顕著でない部分も見出される。この部分の摩耗は隣接する晩材の影響を受ける形跡が認められる。Fig. 15-[C] はヤチダモの場合である。 $\theta=180^\circ$ 以上のところの厚さ摩耗量の山がないのが特徴である。年輪幅が不均一で、 $200\sim 340^\circ$ の領域で大きく、木部繊維の層が発達しており、厚さ摩耗を少なくせしめたのであろう。この事例から、容積重が大きくなると傾斜角の効果をしてい減させ、木材の摩耗の異方性を少なくさせることを示唆している。

まさ目面に対して板目面では、表面の硬軟の差が不規則なものは、その状態を反映して摩耗量が変化する。ここでは、次の1例を紹介するにとどめる。Fig. 16 はアカマツの板目で、右にその材面状態を示す。傾斜角と回転数によって、厚さ摩耗量の変化の様子を表わしたものである。この図の特徴は、100回転目では早材(○)、晩材(●)の摩耗量にとくに大きな差を生じないが、400、500回転になると、両者の差が顕著になるのがわかる。晩材においてたとえ傾斜角の和が最大になる位置でも、厚さ摩耗量が増大しない。早・晩材の差が大きくなるのは、先のカラマツの場合より程度がつよいと判断できる。この原因は板目面の晩材と晩材の間の間隔の大小が関係するように考えられる。間隔の広いアカマツでは、晩材部分の影響がつよくないと推定できる。針葉樹材では、ツガ、モミの板目にこの傾向があり、ヒノキ、サワラ、トドマツの板目はまさ目と同じく傾斜角の影響が規則正しく現われる。広葉樹材の板目では、供試したものに限る場合、まさ目とよく似て容積重の影響が作用して、比較的均一な厚さ摩耗量になる。

摩耗こん上の厚さ摩耗量の分布型をその主となる原因より分類すると、

傾斜角型：傾斜角が原因して、傾斜角に対して厚さ摩耗量に2つの山が現われるもの、軽軟材のまさ目、板目面に多い。例 サワラ、カヤ、シナ、カツラなど。

高比重型：容積重が比較的大きいものは厚さ摩耗量が均一化する。カバのまさ目、板目、カエデの板目など。

不均一型：組織が不均一な構成のため、部分的に硬軟に差があり、年輪に広狭のあるもの、切削の仕方によって材面の不均一度が高くなったもの。カラマツ、ツガのまさ目、板目、ヤチダモ、シオジのまさ目など。

Taber 試験法による摩耗こんは試験面に均一に生じると考えられてきたが、この節の知見より、木材では修正が必要である。この問題を別の実験法で追求したのは後報で扱う。木材に比べて、等方性で均質である亜鉛標準板の測定結果を Fig. 17 に示す。亜鉛標準板の厚さ摩耗量は 10μ までであるので、計器の

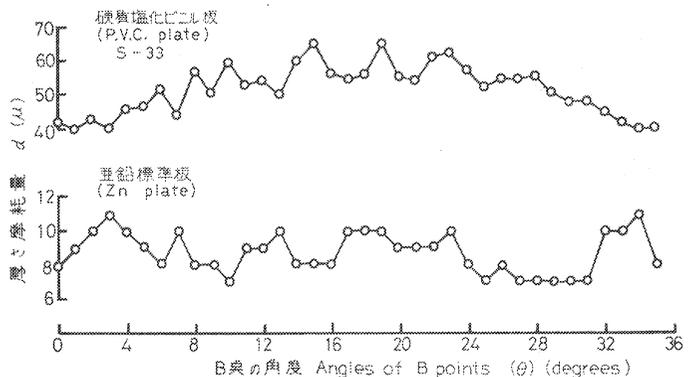


Fig. 17 硬質塩化ビニル板、亜鉛標準板の厚さ摩耗量 (d)
Loss in thickness (d) of Polyvinyl chloride plate
and zinc standardization plate.

測定精度 ($\pm 1\mu$) の関係から、分布の正しい傾向のはあくにはやや難があるが、摩擦は均等とみなしてよい。一方、方向性があるといわれる硬質塩化ビニル板の場合、山形の摩擦の分布を示している。

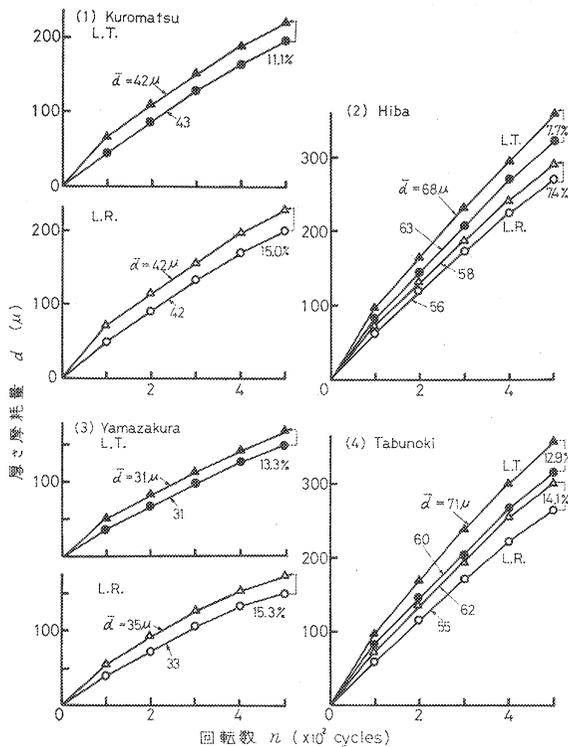
3.3 木材の厚さ摩擦量

木材試片の厚さ摩擦量を求めるには、3.1のように厚さ減少量を実測すると重量減少から計算で求める場合とがある。前者の場合、摩擦こん内の厚さ減りに分布があるので、少なくとも、傾斜角 0° , 90° , 180° , 270° における B 点の厚さを測定して平均すべきである。厚み計の接触子は先細で、計器の最小目盛は 1μ (あるいは 10μ) を用いる。一方、重量減少量 ΔW を測定して、試験時の容積重 r と摩擦こんの面積 S より、厚さ摩擦量 d は

$$d = \frac{\Delta W}{S \cdot r} \quad (1)$$

より算出できる。

試片の摩擦過程を2つの方法(重量法と厚み計法)で測定して Fig. 18 に示す。図の(1)~(4)の各場合で、厚み計による方法が重量法によるよりも、厚さが大きく測定される傾向を示している。そして、両測定に差を生じるのは当初の100回転ですでに明りようになる。(1), (3)は100~400回転の領域で、



—○—●— : 重量減少量より測定 By weight loss
 —△—▲— : 厚み計より測定 By thickness gauge
 研摩紙 (Sandpaper) : S-33

Fig. 18 重量法と厚み計法により求めた厚さ摩擦量 (d)

Loss in thickness (d) obtained from methods of both weighing and thickness gauge.

両測定の関係直線が互いに平行性を示すことが認められる。(2), (3)では、両測定の関係は回転数が増加するにつれて、少しずつ離れる傾向を示す。500回転における両測定の違いを求め、重量法での測定を基準にして%で表わし、各図に示してある。また、各摩擦曲線は、100回転目で摩擦量が多く、100~300回転の領域で直線性が高い。この結果、上記の特徴を考慮して次の量を定義する。

$$d(100) = \frac{W(0) - W(100)}{S \cdot r} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \bar{d} &= \bar{d}(100 \sim 300) \\ &= \frac{W(100) - W(300)}{2 S \cdot r} \quad (3) \end{aligned}$$

$W(0)$, $W(100)$, $W(300)$ は 0, 100, 300 回転における重量, $\bar{d}(100 \sim 300)$ は摩擦の定常領域における100回転当たり厚さ摩擦量である。1~4図の中央の数字は \bar{d} を示す。両測定法で、(1), (3)の \bar{d} は近い値となるが、(4)では12, 18%のずれとなる。

100 回転ごとの試片の重量を測定するとき、研磨紙と試片面のブラシがけを行った。ブラシがけでは試験面の微粉末の木粉が十分除去できず、試験面に残存したまま重量を測定して、(1) 式で d を計算すると、 d は真値よりも小さく算出される。未脱着の木粉を ΔW_c とし、これを含めて測定された重量減を W 、木粉の脱着が完全で、これから計算された厚さを d' とすると

$$\frac{d'}{d} = 1 + \frac{\Delta W_c}{W} \quad (4)$$

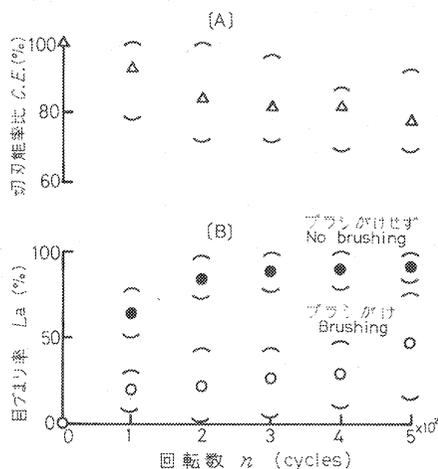
の関係がある。6 種の針・広葉樹材について、 $\Delta W_c/W$ を測定して Table 8 に示す。 d' の測定では、試験面を真空吸引し、ガーゼぶきによって重量減少を求めた。100 回転目で付着量が 3~7% となるので

$$d' = (1.03 \sim 1.07)d \quad (5)$$

となる。200 回転以後では 100 回転より付着量が少なくなる。この結果、 $d' \approx d$ とみなしてよい。100 回転目の重量測定と厚み計による測定結果の相違の原因は、一つには付着木粉量が関係していると考えられる。

摩耗曲線を研磨紙との関係で次に説明する。回転数に対して摩耗曲線がやや下に反曲するのは研磨紙の切刃能率の低下が考えられる。Fig. 19-[A] は S-33 研磨紙を用いてヒノキ材を摩耗させ、100 回転ごとに亜鉛標準板に取り替え、15 回転だけ研削して、亜鉛板上の条こんの顕微鏡写真をとり、単位面積の条こんの数より切刃数を求めた。図では未研磨のときの切刃数を 100 として各回転数の値を比で表わした。切刃数の割合はばらつきが大きい、200 回転程度までの低下が目立つようであり、200~300 回転ではほぼ一定化する。この際、研磨紙のブラシがけは 100 回転ごとに行っている。

一方、[B] ではヒノキ材の 100 回転の摩耗後、研磨紙面をブラシがけする場合としない場合の顕微鏡写真をとり、木材の微粉末によって被ふくされる面積を % で表わした。たとえば、200 回転で 84% が被ふくされるが、ブラシがけすることによって 22% 程度まで除去でき、切刃を 84% 程度に保つことができ



試料木材 Wood sample : Hinoki

Fig. 19 研磨紙 (S-33) の切刃能率比 (C. E.) と目づまり率 (L_a)
Ratio of cutting efficiency (C. E.) of S-33 and percentage of loading area (L_a).

Table 8. $\frac{\Delta W_c}{W}$

樹種 Wood Species	$\frac{\Delta W_c}{W} \times 100$ (per 100 cycles)			
	100	200	300	500
Hinoki	2.8	2.2	1.8	2.0
Akamatsu	3.4	1.9	1.6	1.8
Sugi	4.2	2.1	2.3	1.8
Makanba	6.6	1.6	1.0	0.8
Keyaki	4.6	1.8	1.2	1.5
Katsura	3.8	1.1	0.9	0.8

W : 未脱着の木粉を含む重量摩耗量 (100 回転当り)
Loss in weight (per 100 cycles), containing fine wood flour clinging to abraded area
 ΔW_c : 未脱着の木粉重量 (100 回転当り)
Weight of fine wood flour clinging to abraded area

(4) 式参照 See Eq. 4

る。500 回転目では研磨紙の目づまりが進み、切刃数の低下が生じている。100 回転までは切刃能率、目づまりの変化が大きく、不安定であるが、200~300 回転付近に摩耗の定常性がうかがえる。事実、摩耗曲線は 100 回転目で勾配が大きく、100~300(400) 回転で直線性を示し、400~500 回転で減速するのと対応している。

Taber 法の摩耗試験の結果の表示は、500 回転における重量減少と厚さ摩耗量を用いる例が多いが、筆者は上記の検討を根拠に、(2) 式の $d(100)$ 、(3) 式の $\bar{d}(100\sim300)$ によって表わす方がよいと考えている。いま一つの問題として、厚み計法は 4 点 (場合によっては 8 点) の測定だけでは、平均値としてやや不安であるから、重量法によるべきであろう。しかし、不均一な材料、積層材料では厚み計法によらねばならないことはいうまでもない。

3.4 摩耗とと粒の粒径、垂直荷重

(i) 実 験

研磨紙のと粒の大きさ、と粒の頂角、垂直荷重が異なるとき、それらの摩耗量への影響について調べた。市販の番数の異なる研磨紙 (理研) 9 種を選び、接着剤を弱酸で溶脱させ、と粒 (熔融アルミナ) をてき出した。と粒をスライドガラスのせて、透過光による顕微鏡写真を写し、写真の頂角と投影面積を測定した。投影面積から、と粒の断面を円形に仮定して直径を算出した。垂直荷重は 250, 500, 1,000 g とし、摩耗用試料は個体間で差の少ないカバまさ目板と亜鉛標準板を用いた。

(ii) 結 果

Table 9 に示すごとく、と粒の番数の増加によって、と粒の頂角の平均値は少しずつ小さくなってゆることがわかる。頂角の大きさから、投影体の大まかな形は #60~#100 では 4~6 角形、#120~#180 では 3~5 角形、#240 以上では 3~4 角形となる。番数が大きくなるほど、3 角形の形状が増える。一方、と粒の直径は結局ふるいの大きさに一致したので、表には JIS R 6001 の粒度ふるい 2 と 3 段の範囲を列記した。Table 9 には亜鉛標準板、Table 10 にはカバ材の摩耗量とそれぞれ対応させてある。一般に、粒径の大きいものほど摩耗量が大きくなるが、#80, 100, 320 がやや特徴的である。#80, 100 のと粒の

Table 9. と粒の頂角、粒径と亜鉛標準板の摩耗量との関係
Effect of edge angle and size of grain on loss in weight of zinc s. plate

研 磨 紙 番 数 Grit number of sandpaper	頂 角 Angle of edge (°)	粒 径 Size of grain (JIS R 6001)	重 量 減 Loss in weight (mg)		
			$\bar{W}(100\sim300)$	$W(100)$	$W(500)$
60	112	297 ~ 250	36	44	180
80	107	210 ~ 177	38.5	44.5	187
100	107	149 ~ 125	37.5	44.5	182
120	105	125 ~ 105	31.5	42.5	158
150	104	105 ~ 74	29	32.5	141
180	104	88 ~ 63	28	30.5	137
240	97	87 ~ 73	28	32	133
320	95	62 ~ 52	29.5	32	145
800		22 ~ 18	26	26	124

$\bar{W} = \bar{W}(100\sim300)$ 100 回転当りの重量減 Loss in weight per 100 cycles (100 to 300 cycles)
 $W(100)$ 100 回転目の重量減 Loss in weight at 100 cycle
 $W(500)$ 500 回転目の重量減 Loss in weight at 500 cycle

Table 10. と粒の粒径, 垂直荷重がカバ材の摩耗に及ぼす影響
Effects of grain size and vertical load to wheel on loss in thickness of Makanba wood

研摩紙番数 Grit number of sandpaper	厚さ摩耗量 Loss in thickness (μ)								
	P. 250 g			P. 500 g			P. 1000 g		
	\bar{d}	$d(100)$	$d(500)$	\bar{d}	$d(100)$	$d(500)$	\bar{d}	$d(100)$	$d(500)$
60	13.5	18	72	25	53	124	39	46	195
80	17	19	80	25.5	38	129	43.5	48.5	202
100	14	23.5	75	26	34	128	40	50	193
120	13	21.5	69	24	28	118	36	41.5	179
150	12	20	66	17.5	22.5	94	30	36	148
180	8.5	13	47	17	22.5	86	28	30.5	138
240	9	12	45	16	23	81	20.5	24.5	105
320	8	15	44	15	22	77	19	24	95
800	4	4	18	8.5	10	40	17	12.5	53

試料: カバ心材 (まさ目) 気乾比重 0.79

Sample: Quartersawn board on heart wood of Makanba (birch) Specific gravity 0.79

$\bar{d} = \bar{d}(100 \sim 300)$ 100 回転当りの厚さ摩耗量 Loss in thickness per 100 cycles (100 to 300 cycles)

$d(100)$ 100 回転目の厚さ摩耗量 Loss in thickness at 100 cycle

$d(500)$ 500 回転目の厚さ摩耗量 Loss in thickness at 500 cycle

粒径と頂角では, 被摩耗材との摩擦, 研削 (掘り起こし) に関与する部分が多く, 摩耗量を増加させたのであろう。#150 以上で, 亜鉛標準板の 500 回転における重量摩耗量は, NEMA 規格の研摩紙検定の際の合格範囲 110~150 mg の中に入る。本研究に使われている Taber 社製 S-33 研摩紙については

S-33, 5/0~180 (US, Abrasive Grain PS 8-67)

頂角の平均 105° , 標準偏差 23°

と粒の径 $112 \sim 87 \sim 63 \mu$

#180 では

頂角の平均 104° , 標準偏差 24°

と粒の径 $114 \sim 84 \sim 55 \mu$

となり, S-33 と #180 はほとんど同じとみなしてよい。S-33 のと粒の頂角の分布状態を Fig. 20 に示す。

先の頂角の平均値 Table 9 は正規分布とみなして分布の中心であったが, 細かく見ると 110° , 90° の位置に分離したピークが現われている。この現象は #60, 800 を除くと, 各番数のと粒で, 高い側は $108 \sim 110^\circ$, 低い側は $80 \sim 91^\circ$ に生じている。この結果, 番数が異なっても, 頂角がほぼ同じであるとすれば, 摩耗には頂角の間のりょう線の長さに関係することになる。この結果でも, 摩耗には, と粒と被摩耗材料の接触面積の大小が関係するという考え方へ導くことができる。

Fig. 21 は (1) 式を用いて, と粒が #60, #180, 垂直荷重が 250, 500, 1,000 g の場合のカバまさ目

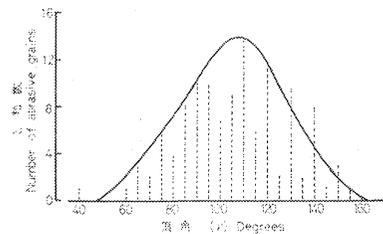
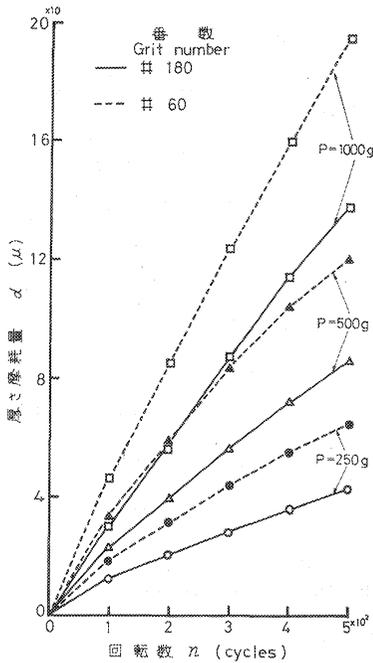


Fig. 20 S-33 と粒の頂角 (γ) の分布
Distribution of edge angle (γ) of abrasive grains of S-33 sandpaper.



P: 垂直荷重 Vertical load
 Fig. 21 カバ(まさ目板)の
 摩耗曲線
 Wear line of Kaba
 (L. R. section).

板の摩耗曲線を示す。厚さ摩耗量 d と回転数 n との関係は、垂直荷重が 500 g の場合と同じく、100~300(400) 回転で番数、垂直荷重の大小に無関係に直線性が成立する。これから 100 回転当りの平均の厚さ摩耗量を求めたのが先の Table 10 である。

Fig. 21 より回転数が 500 回転程度まででは、厚さ摩耗量は回転数、つまり摩擦長に比例していることがわかる。厚さ摩耗量とは粒の粒径、垂直荷重が大きいと増加する。これはと粒の被摩耗面に対する摩擦、掘り起こし作用が増大し、せん断力を大にさせるからである。この事実より、摩耗容積 V は摩擦長 l とせん断力 τ にそれぞれ比例するので

$$V = a \cdot 2\tau \cdot l \quad (6)$$

とおける。ここに a は被摩耗材料の摩耗されやすさを表わす比例定数である。せん断力 τ は摩耗輪と試料面の接触部に働く摩擦力を指すもので、この試験機は両輪を有するため、 2τ にしてある。 $\tau \cdot l$ は材料表面の消耗仕事である。(6) 式の V, l は

$$V = d \cdot S \quad (7)$$

$$l = 2\pi R \cdot n \quad (8)$$

d は厚さ摩耗量、 S は環状の摩耗こんの面積、 R は回転中心より、摩耗こんの中央点 (B) までの距離、 n は回転数である。(6), (7), (8) 式より

$$d = a \cdot 2\tau \cdot \frac{2\pi R}{S} \cdot n \quad (9)$$

(9) 式において、垂直荷重、と粒の種類、材料表面の摩耗性が与えられると τ が決まるので、 d は n の一次関数となる。(9) 式は Fig. 21 の現象を理論化したものといえる。一定回転数 Δn に対する厚さ摩耗量を Δd とおくと、(9) 式は

$$\frac{\Delta d}{\Delta n} = a \cdot \tau \cdot \frac{1}{\Delta R} \quad (10)$$

ΔR は摩耗こんの幅の 1/2 である。(7)~(10) 式の $S, R, \Delta R$ は、垂鉛標準板、プラスチック板などの硬質の表面では、それぞれ 29 cm², 37.5 mm, 6 mm である。しかし木材面では、 $S=30\sim32$ cm², $\Delta R=6.2\sim6.8$ mm になる。これらの定数を代入すると、(9), (10) 式の $d, \Delta d/\Delta n$ は a, τ によって定まることになる。

摩耗輪のと粒は試料面と微視的には歯車のようにかみ合って、転がりながら回転しつつ、試料面を掘り起こし、摩擦し、疲労させてゆく。その摩擦現象は複雑なもので、摩擦係数は転がりを含む摩耗過程の係数である。摩耗輪に加わる垂直荷重を P 、摩擦係数を μ とすると、

$$\tau = \mu \cdot P \quad (11)$$

$$d = a \cdot \mu \cdot \frac{n}{\Delta R} \cdot P \quad (12)$$

$$\frac{\Delta d}{\Delta n} = a \cdot \mu \cdot \frac{P}{\Delta R} \quad (13)$$

と書ける。(12) 式は、 n が一定のとき、 P に比例して d が増加することを示し、その根拠は Table 10 よりうかがわれる。この節で使われた τ , μ , a については 3.5 で詳説する。

3.5 摩 耗 抵 抗

(6) 式より

$$\frac{1}{a} = \frac{2\pi l}{V} \quad (14)$$

と変形できるから、摩耗されやすさを示す a の逆数は摩耗のしにくさを表わしている。 $\pi l/V$ は材料の単位体積を摩滅させるに必要な仕事量を示し、仕事量が多いほど耐摩耗性が大きいことを表わす。ゆえに、 $1/a$ は摩耗に関する抵抗の基準値と定義できるから、容積 V の材料を全て摩滅させるには、 $(1/a) \cdot V$ だけの仕事量が必要となる。

摩耗による重量減少量を W 、密度を ρ とすると

$$\frac{1}{a} = \frac{2\pi \cdot \rho \cdot l}{W} \quad (15)$$

(10), (13) 式および (15) 式より

$$\frac{1}{a} = \frac{\Delta n}{\Delta d} \cdot \frac{\tau}{\Delta R} \quad (16)$$

$$\frac{1}{a} = \frac{\Delta n}{\Delta d} \cdot \frac{\mu P}{\Delta R} \quad (17)$$

$$\frac{1}{a} = \frac{\Delta n}{\Delta W} \cdot 4\pi R \cdot \rho \cdot \tau \quad (18)$$

$$\frac{1}{a} = \frac{\Delta n}{\Delta W} \cdot 4\pi R \cdot \rho \cdot \mu P \quad (19)$$

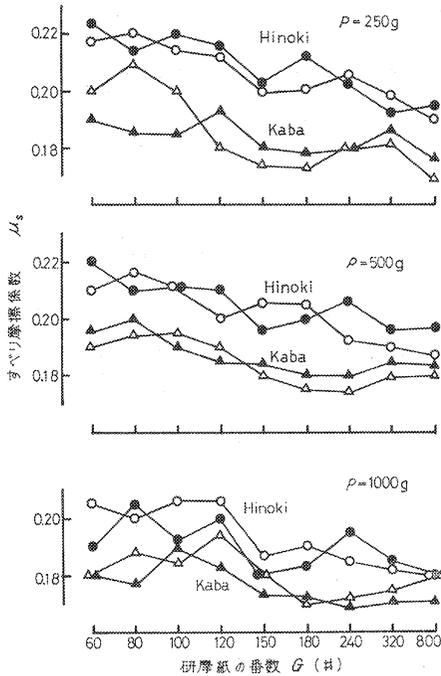
でそれぞれ表わされる。(16) 式に出てくる τ は摩耗過程について、直接測定するのが難しいので、(17)、(19) 式の μ について検討する。前述のごとく、 μ は転がりにすべり、握り起こしの 3 成分をもつ摩擦係数である。そしてこの係数は、転がりの成分がないときに、最大値になると考えられる。この観点から、次の実験を行った。

(i) 実 験

回転盤が回転しても、摩耗輪が静止の状態にある場合の摩擦係数を、Bowden Leben の摩擦係数測定装置を用いて測定した。装置の片持ちばりの一端に回転止めされた摩耗輪を取りつけ、これに所定の垂直荷重を加え、試験面に接触させる。試片 (カバ、ヒノキのまさ目板、 $5 \times 10 \times$ 厚さ 0.5 (cm)) を試料台に固定し、試料台ごと 1.4 cm/sec の速度で水平移動させて、試験面と摩耗輪との接触部の摩擦力をストレインゲージを用いて測定した。測定の温湿度は 20~22°C、50~64% RH (測定日によって変動) であった。

(ii) 結 果

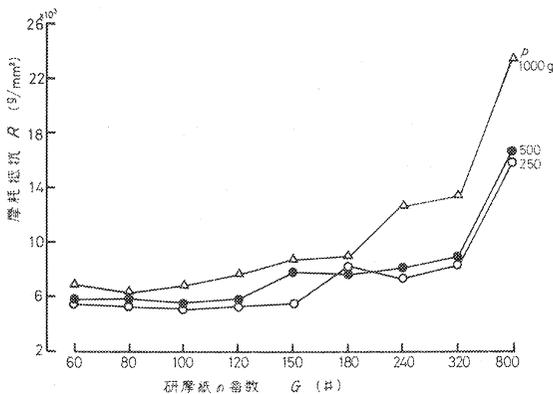
Fig. 22 は研摩紙の番数と垂直荷重が異なるときの、繊維方向および繊維に直角方向の摩擦係数である。摩擦現象の分類によると、この係数はおおむねすべり摩擦係数 μ_s に該当する。垂直荷重が 500 g では、ヒノキ材の μ_s は 0.22~0.19、カバ材の μ_s は 0.20~0.17 の範囲にあり、番数の増加によって、先の範囲内で小さくなってゆく。なお、各プロットは 3~4 個の平均である。Fig. 23 は S-33 研摩紙を用



研摩方向 Sanding direction
 ○ △: 繊維に平行 Parallel to fiber axis
 ● ▲: 繊維に直角 Perpendicular to fiber axis

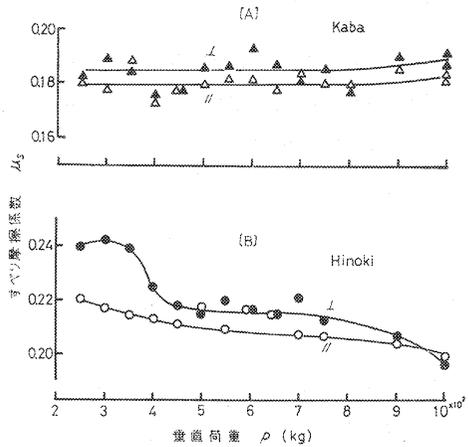
Fig. 22 研摩紙の番数 (G) と垂直荷重 (P) がすべり摩擦係数 (μ_s) に及ぼす影響

Effects of grit numbers (G) of sandpapers and vertical load (P) on sliding frictional coefficient (μ_s).



P : 垂直荷重 Vertical load
 $\varepsilon=0.1$

Fig. 24 研摩紙の番数 (G) とカバ材の摩耗抵抗 (R)
 Abrasion resistance (R) of Kaba vs. grit numbers (G).



(記号: Fig. 22 参照, Symbols refer to Fig. 22)

Fig. 23 垂直荷重 (P) が研摩紙 S-33 によるすべり摩擦係数 (μ_s) に及ぼす効果
 Effect of vertical load (P) on sliding frictional coefficient (μ_s) with S-33 sandpaper.

い、垂直荷重を変えた場合である。荷重に対して、 μ_s はほとんど一定か、やや減少する傾向がうかがえる。繊維に平行方向より直角方向の μ_s の方が大きいと推定できる。

以上の実験結果にもとづき摩擦抵抗を計算する。一般に、転がりの摩擦係数 μ_r は μ_s より小さく、ときには 1/100 程度といわれている。ゆえに、(17), (19) 式の μ は

$$\mu_s > \mu > \mu_r \quad (20)$$

の関係を満足するはずであり、先の実験で用いられた番数、垂直荷重の範囲では下のようにつける

$$\mu = \varepsilon \mu_s = (1 - 0.01) \mu_s \quad (21)$$

カバまき目面の摩耗について、Table 10 の \bar{d} 、Fig. 22 の μ_s (繊維に平行、直角の平均値)、 $\Delta R = 6.8 \text{ mm}$ 、 $\mu = 0.1 \mu_s$ の各値を (17) 式に代入して、摩擦抵抗 R ($= 1/a$) を求めた。これを番数に対して図示すると Fig. 24 となる。図の傾向では、

垂直荷重が 250, 500 g では #60~120, 1,000 g では #60~100 の範囲で摩耗抵抗は一定で、それぞれ番数が大きくなると少しずつ増加し、#800 では急増する。摩耗抵抗 $1/a$ は試料の固有の値であるべきで、と粒や垂直荷重の大きさによって、その値があまり変動しては困るものである。Fig. 24 より、#60~180 の範囲では、大体一定の値となり、妥当なものと考えられる。

3.6 摩耗と容積重の関係

(i) 実験

国産材、熱帯産材のまさ目、板目試片、 $10 \times 10 \times$ 厚さ 0.5 (cm) を用いて、Taber 摩耗試験機 B, C による 500 回転までの摩耗量を測定した。摩耗輪への垂直荷重は 500 g, 研摩紙は検定済の S-33 を用いた。実験は、100, 200, 300, 500 回ごとに重量減少量および B 点 ($\theta=0, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$) における厚み計による厚さ減少量を測定した。なお、厚み計は 1/1,000 まで測ることができ、試験面との接触は先細の接触子を使用した。測定は $22 \sim 23^\circ\text{C}$, 64~68% RH の恒温恒湿室で行った。

(ii) 結果

主な樹種について、重量法と厚み計法による、 $d(100)$, $d(500)$, $\bar{d}(100 \sim 300)$ を算出し、試片 2~4 個の平均値を付表にまとめて示す。この際、100~300 回転における 100 回転当りの重量減少量もあわせて示す。一方、Fig. 25, 26 は \bar{d} と容積重の関係を示す。 \bar{d} は重量法を主にした結果であり、まさ目、板目面ともに容積重に対して、双曲線的に減少の傾向を表わしている。関係曲線の実験式は

$$\begin{aligned} \text{まさ目面} \quad \bar{d} &= 14.30r^{-1.426} & (\mu) & \quad (22) \\ & (\sigma = \pm 6.0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{板目面} \quad \bar{d} &= 13.29r^{-1.756} & (\mu) & \quad (23) \\ & (\sigma = \pm 9.8) \end{aligned}$$

である。図上の破線は標準偏差 σ の推定を示している。容積重が 0.5 以上では、まさ目と板目の実験式は近い値となり、0.5 以下では板目面の摩耗が大きい。実験式での差は、容積重が 0.35 で 15μ , 0.4 で 10μ , 0.45 で 5μ 程度である。試験機 C を用いて、まさ目面のみを測定した結果

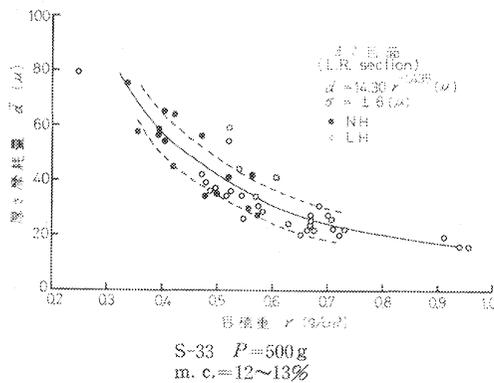


Fig. 25 厚さ摩耗量 (\bar{d} , 重量法) と容積重 (r) の関係
Relation between loss in thickness (\bar{d} , weighing method) and specific gravity (r).

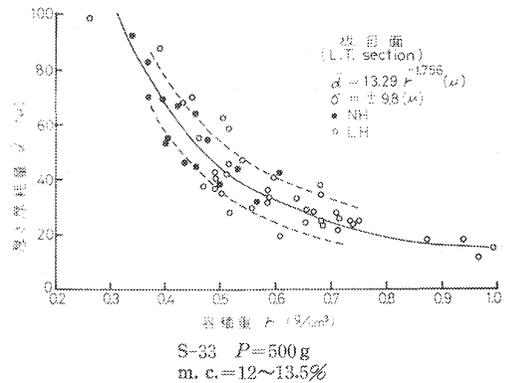


Fig. 26 厚さ摩耗量 (\bar{d} , 重量法) と容積重 (r) の関係
Relation between loss in thickness (\bar{d} , weighing method) and specific gravity (r).

$$\begin{aligned} \text{まさ目面} \quad \bar{d} &= 15.90r^{-1.485} & (\mu) & (24) \\ & (\sigma = \pm 10.8) \end{aligned}$$

を得た。(24)式は(22)式より大きく、容積重0.4で9 μ 、0.6で4 μ 程度の差になる。その差は小さいが、500回転($\bar{d} \times 5$)では、各々5倍になるから、機差の影響は無視できぬことになる。

100回転当りの摩擦による重量減を \bar{W} とすれば

$$\begin{aligned} \text{まさ目面} \quad \bar{W} &= 36.10r^{-0.782} & (\text{mg}) & (25) \\ & (\sigma = \pm 10.9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{板目面} \quad \bar{W} &= 44.0r^{-0.784} & (\text{mg}) & (26) \\ & (\sigma = \pm 13.0) \end{aligned}$$

が得られる。容積重の増加によって、 \bar{W} が減少する傾向は Fig. 25, 26 と同じである。

一方、前述(3.5(i))の方法で、30種の針・広葉樹材のまさ目面、板目面について μ_s を求め、容積重との関係を図示したのが Fig. 27 である。回帰式は

$$\mu_s = -0.068r + 0.233 \quad (27)$$

となる。すでに記述したように、摩擦過程の μ は、

$$\mu = \epsilon \mu_s \quad 0 < \epsilon < 1 \quad (28)$$

(22)~(26), (28)式を用いて、(17), (19)式を書き直すと

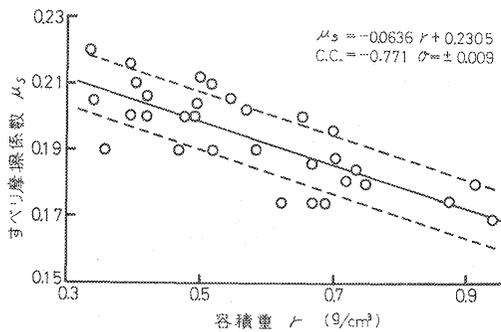
$$\frac{1}{a} = \frac{k_1 \cdot \epsilon \mu_s(r)}{\bar{d}(r) \times 10^{-3}} \quad k_1 = \frac{P \cdot \Delta n}{\Delta R} \quad (29)$$

$$\frac{1}{a} = \frac{k_2 \cdot r \cdot \epsilon \mu_s(r)}{\bar{W}(r) \times 10^{-3}} \quad k_2 = 4\pi R \cdot P \cdot \Delta n \quad (30)$$

1/aの単位(g/mm²)

を得る。これから、容積重がわかると摩擦抵抗が簡単な計算によって求められる。ここに、 $P=500$ g, $\Delta n=100$, $\Delta R=6.5$ mmであるので、 $k_1=7.69 \times 10^8$ となる。 $R=37.5$ mmであるので、 $k_2=2.36 \times 10^7$ である。

\bar{d} , \bar{W} の単位はミクロン(μ), (mg)である。Table 11には、 $\epsilon=0.1$, 0.02 の場合の(29)式より計算した摩擦抵抗を示す。



まさ目面 (L. R. section)
S-33 P=500g
m. c.=11.5~13%

Fig. 27 すべり摩擦係数(μ_s)と容積重(r)の関係
Relation between sliding frictional coefficient (μ_s) and specific gravity (r).

Table 11. 木材の摩擦抵抗
Abrasion resistance of woods P=500g

比重 Specific gravity	まさ目 L. R. section ($\times 10^3$ g/mm ²)		板目 L. T. section ($\times 10^3$ g/mm ²)	
	$\epsilon=0.1$	$\epsilon=0.02$	$\epsilon=0.1$	$\epsilon=0.02$
0.3	1.87	0.37	1.51	0.30
0.4	2.77	0.55	2.32	0.46
0.5	3.64	0.73	3.40	0.68
0.6	4.76	0.95	4.62	0.92
0.7	5.96	1.19	5.72	1.14
0.8	6.88	1.38	7.25	1.45
0.9	7.83	1.57	8.32	1.66

3.7 摩耗と含水率の関係

(i) 実験

ヒノキ, カバ材などのまさ目板を 5~21% の間の数種の含水率に調湿し, 室内湿度が含水率を $\pm 1\%$ 以上変化させない条件下で測定した。測定が長期にわたったため, 室温は 21~26°C であった。

(ii) 結果

500 回転における厚さ摩耗量は Fig. 28 のごとくである。ヒノキ, カバ材ともに低, 高含水率側で摩耗量の変化が大きい。 $d(100)$, $\bar{d}(100 \sim 300)$ を Fig. 29 に示す。ヒノキ板の場合, $d(100)$ の含水率に対する変化がはげしく, 研摩紙に研削力のある初期摩耗には水分の影響が大きいことがわかる。摩耗量の含水率 1% 変動に対する変化が最小になる含水率位置は Table 12 の u_{min} になる。この結果, その他の木材でも, 含水率が 11~13% の範囲で摩耗の含水率変化が小さいと推定でき, この含水率が標準の環境湿度に相当している。

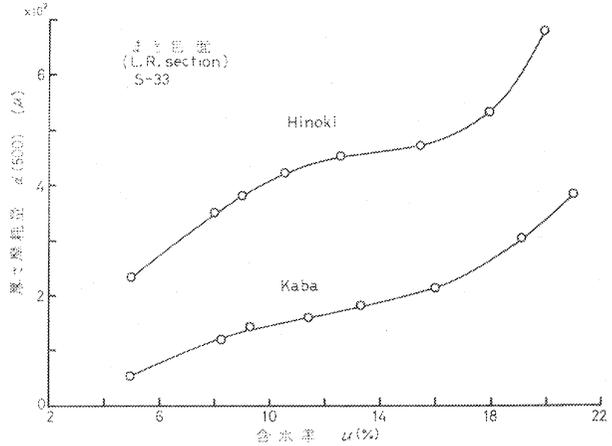


Fig. 28 厚さ摩耗量 ($d(500)$) と含水率 (u) の関係
Relation between loss in thickness ($d(500)$) and moisture content (u).

Table 12. 単位含水率の増加による増加摩耗量の最小値
Minimum of loss in thickness with increase of 1 per cent moisture content

樹種 Wood species	$\frac{\Delta d_{100}(u)}{\Delta u}$ ($u/1\%$)	u_{min} (%)	$\frac{\Delta \bar{d}(u)}{\Delta u}$ ($u/1\%$)	u_{min} (%)
Hinoki	4.5	13	2	15
Akamatsu	4	13	2	12
Kaba	3	11	2	11
Katsura	3.5	12	2	12

u_{min} : $\Delta d/\Delta u$ が最小になる含水率
 u_{min} denotes the moisture content when $\Delta d/\Delta u$ is minimum.

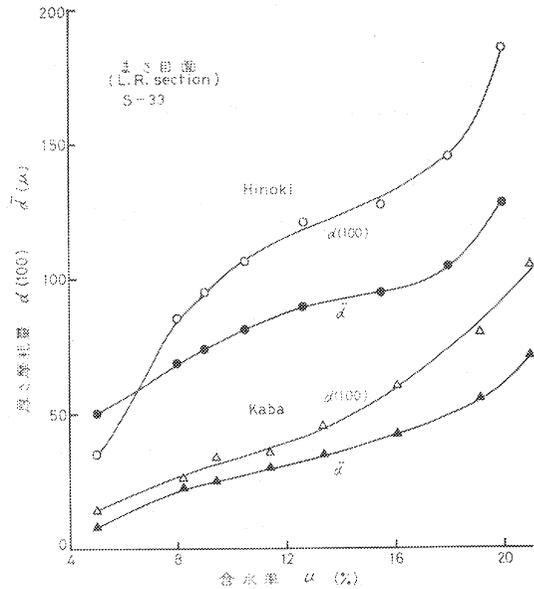


Fig. 29 厚さ摩耗量 ($d(100)$, \bar{d}) と含水率 (u) の関係
Relation between loss in thickness ($d(100)$, \bar{d}) and moisture content (u).

4. 表面化粧材料の摩耗

4.1 表面光沢の消滅

テーブルの天板、内装の壁と床、家具など、その表面材料の光沢あるいは一般的に光の反射具合が損傷や摩耗によって一部分でもわるくなると、製品の価値が低下する。ここでは下記の方法で、化粧表面が摩耗するプロセスを追跡した。

Taber 法による摩耗の各段階で、擦傷面に 45° の入射角で点火源を入射し、反射角 45° で、反射光量を 0.5×1 (mm) のスリットを通して光電管で受け、出力電圧を記録計に描かせた。Fig. 30 は、入射光の照射スポットを摩耗こんの幅 12 mm を横切って走査させたもので、光沢仕上げした硬質塩化ビニル板の摩耗回転数と摩耗こんの反射特性の関係を示す。未処理面では、細かい反射光の凹凸はあるが、光沢は一樣である。回転数 n が 10 程度までは、反射する部分としない部分が混在する。これは肉眼的にはと粒によって生じた条こんがいくつか重なって、当初の光沢が消滅する過程である。 $n=30$ になると、光沢面がなくなって、白色化する。硬質で平滑なプラスチック面の摩滅は回転数で 20~30 回転の範囲にある。

Fig. 31 はカバ板目の塗装材の摩耗こんの B 点付近におけるつやの消滅状態を表わす。塗膜の厚さは約 20~30 μ である。Fig. 30 に比べると反射光の凹凸の差が大きく、粗面としての木材組織の塗装面への影響が現われている。表面が摩滅して光沢が

減じ、一樣化するのは Fig. 30 の場合より回転数が大きくなってからである。なお、Fig. 31 は Fig. 30 より光量を大きくして測定した。

4.2 表面化粧材料の摩耗の進行

ここでは、木材面とそれを被ふくしている他材料を通して、摩耗が進行する過程を記述する。この節ででてくる図を説明すると、C. S. は試料の横断面で、表面からの深さを D で表わす。横軸の回転数 n に対して、摩耗曲線は折線状になる。摩耗には研摩紙 S-33 を用いる場合と CS-17 (Taber 社製で、表面は弾力性のあるやや目の粗いゴム製の摩耗輪) を用いた場合がある。 r は容積重、 \bar{d} は 100 回転当りの厚き摩耗量で、図上にその該当範囲を直線で示す。

Fig. 32 はミズナラ板目面とその塗装の摩耗過程である。素地面 [B] と塗装面 [A] とでは、 $d(100)$ の立上りの状態は明らかに異なる。これには塗膜層が影響しているが、付着塗膜の密度を浸漬法で測定すると 0.78 であった。[A]

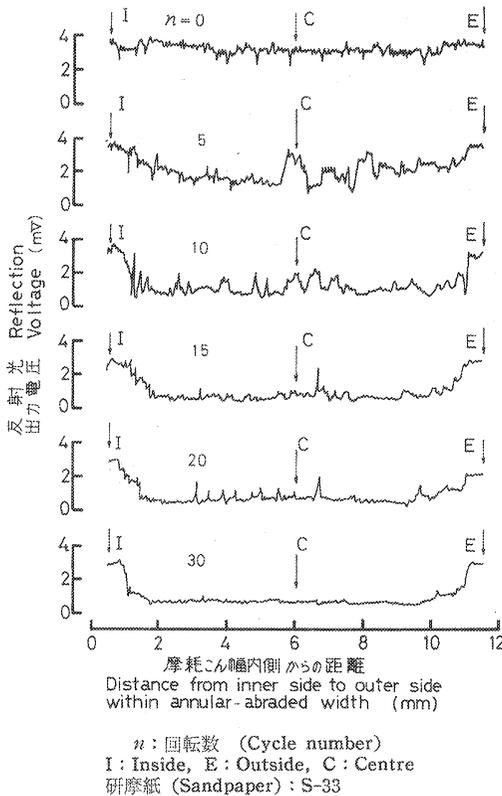


Fig. 30 硬質塩化ビニル光沢面の反射光の減衰
Decrease of reflection of polyvinyl chloride plate with glazed finish.

の S-33 の場合、 n が 150 程度より、塗膜が消失して素地面の摩耗になり、 $n=100\sim 300$ における \bar{d} は 35μ である。これは [B] の $\bar{d}=32\mu$ と比較的よい一致を示している。[A] で $100\sim 300, 300\sim 500$ の各回転領域の \bar{d} かなり差を生ずるのは、同種の他の試片の測定値をあわせて平均したためである。図の下側に示す付図は、S-33 の摩耗輪を静止させ、試片が 3.5(i) の方法で動くときの、と粒と摩耗こん部分との間のせん断力を表わす。[B] のごとく、 $n=0$ で最大で、次第に右下がりに減少する。[A] では塗装面が平滑で硬いため、と粒が滑って、摩耗の原因になる掘り起こし、引っかきが生じにくいことが、 τ の初期の大きさが最大でないことから推定できる。 n

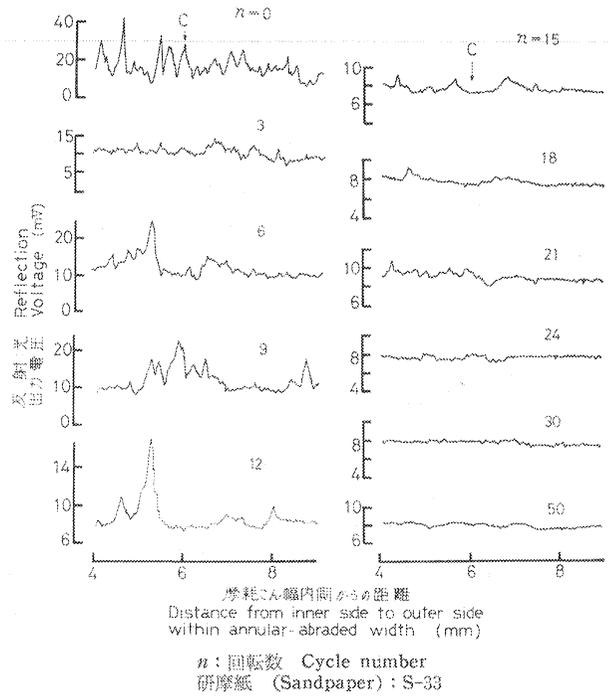
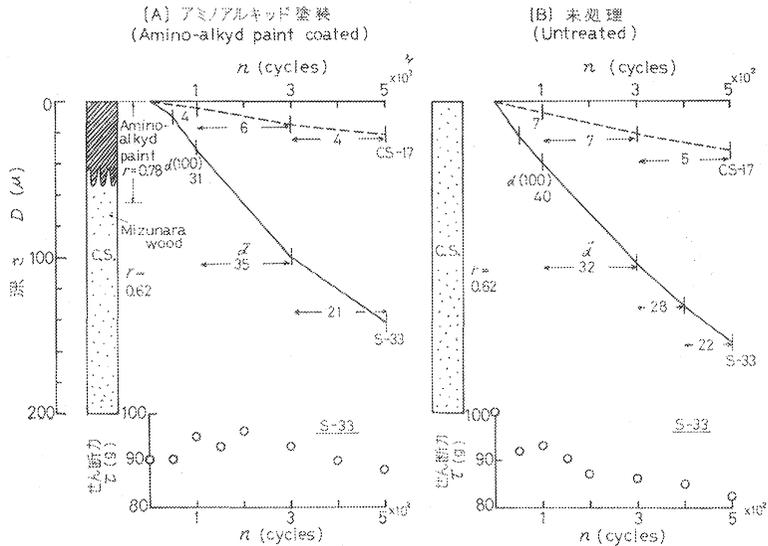


Fig. 31 木材塗装光沢面の反射光の減衰
Decrease of reflection of coated wood with glazed finish.



D: 深さ Depth from surface
C. S.: 試料横断面 Cross section of sample
Solid line: S-33 による Tested with S-33 sandpaper
Broken line: CS-17 による Tested with CS-17 abrasive wheel
Fig. 32 ミズナラ塗装材の摩耗曲線と研摩紙—試料間のせん断力 (τ)
Wear lines of coated wood (Mizunara) and shear stress (τ) of sandpaper-sample.

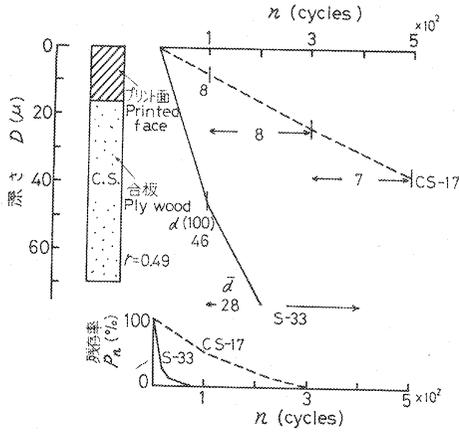


Fig. 33 プリント合板の摩耗曲線とプリント模様の残存率 (P_n)

Wear line of printed plywood and deterioration (P_n) of printed pattern.

下の付図のように、 $n=200$ 付近で消失する。これは紙に合成樹脂の含量が多いと、その微粉末 (白色) が多量に付着して、摩耗を著しく不透明にする。この試料の S-33 による $d(100)$ は 22μ で、厚さ摩耗量が小さいが、摩耗部分がやや不透明になることは一つの欠点といえる。

Fig. 35 はハードボード製造過程で、表面を不透明の塗料で含浸・コートした材料の摩耗の進行を示す。塗料はアミノアルキッドで顔料入りである。表面と内部の容積重の差は、 t 検定の結果 ($t(5, 0.01)$)

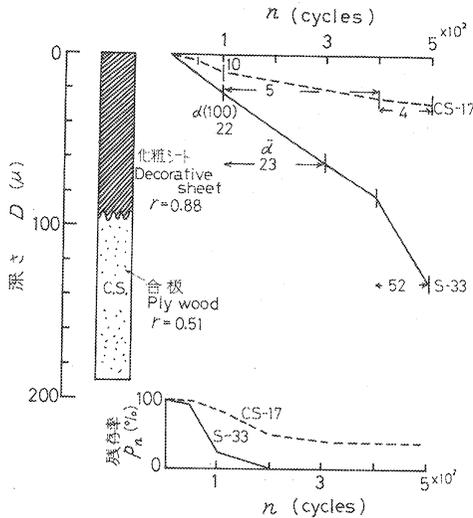


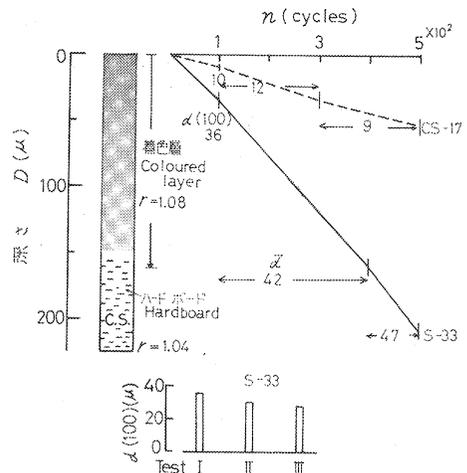
Fig. 34 Dap 樹脂オーバーレイ合板の摩耗曲線と化粧面の残存率 (P_n)

Wear line of plywood overlaid with diallyl phthalate impregnated sheet and deterioration (P_n) of decorative surface.

=100~200の間の、塗料と木材質が混合する部分では、 τ が増加して摩耗が当初より増大するのである。これによって、[A]の摩耗曲線の形の意味が理解できる。

Fig. 33 に示すよう、市販のプリント合板 (木目印刷) の摩耗には、ほとんど表面コートの影響がないことがわかる。適当な回転数ごとに、トレーシング用方眼紙を用いて、印刷された木目模様のはく落面積を求めた。下の付図は $n=0$ を 100 (はく落なし) として、模様の消失過程を表わしている。

Fig. 34 は市販のディアルルフタレート含浸紙オーバーレイ合板について調べたものである。レジシートと合板とでは、折線が明りょうに示すように、摩耗量に明らかな相違が見られる。木目模様は



Test I 新しい研摩紙による With new sandpaper
 II 300回使用したもの Used for 300 cycles
 III 500回使用したもの Used for 500 cycles

Fig. 35 カラーハードボードの摩耗曲線と研摩紙の使用状態による $d(100)$ の相違
 Wear line of coloured hardboard and $d(100)$ related to service of sandpaper.

$=2.02 < t_0 = 3.16$), 有意性が認められた。表層の顕微鏡観察から, 含脂した部分が 100μ 以上に及ぶことがわかった。S-33 の摩耗曲線は図のごとく, 比較的变化が少ないが, と粒の目づまりが多いようであったので, $d(100)$ と \bar{d} の比較には問題がある。いま, 300 回, 500 回まで使用した S-33 を用い, 別の試片の $d(100)$ を測定した。付図の棒グラフはその結果を示す。使用研摩紙の II と III では 30μ , 28μ まで $d(100)$ が低下するので, 表層の耐摩耗性は内部より図示以上に大であるといえる。

以上, 表面を化粧処理した 4 種の摩耗の進行状態を記述した。これらの耐摩耗性は, よくなるもの (Fig. 32), ほとんど変化のないもの (Fig. 33), 非常によくなるが, 問題点もあるもの (Fig. 34), 予測が立てにくい, よくなるもの (Fig. 35) などであった。他の化粧材料の摩耗の進行も上記の系統のどれかに入るので, ここでは省略し, 次節で表にまとめて整理した。

4.3 積層構造の摩耗

積層構造の摩耗は, 積層された材料間の界面で, 材料相互の混合がない場合は, 各材料の摩耗によって表わされる。しかし塗液が浸透している木材質の摩耗抵抗は大きいようであり, この節では先にこの問題について記述する。

ヒノキ, マカンバ, レッドラワンのみさ目板を用い, 希釈した塗液をその上に数回塗布し, 塗膜の内厚が極力つかぬように仕上げた。Table 13 に硬化した木材上の塗膜厚さを示す。一方, 摩耗試験片と同じ大きさの成型枠を作り, 塗料の注型物を作製した。

上記の 3 試料を S-33 で摩耗させると, 摩耗が進むにつれて, 下地木材が部分的に露呈し始める。この回転数を n_1 とする。つづいて, 摩耗こんの全面積で, 塗料が摩滅して下地の摩耗が開始された回転数を n_2 とする。Table 13 で測定された塗膜厚さの範囲の下限値を t_n とすると

$$n_1 = \frac{t_n \cdot 100}{d(100)_p} \quad (31)$$

いま, ヒノキ材にアミノアルキッドを塗装した場合, $t_n = 17\mu$, Table 14 の注型物の 0~100 回転の摩耗量 $d(100)_p = 28\mu$ (上限値を用いた) を代入して, $n_1 = 1,700/28 = 60$ 回を得る。ところで, Table 13 に示すように下地だけの摩耗の開始点 n_2 は 100 回転目であるから, $n_2 - n_1 = 100 - 60 = 40$ 回転の間は, 塗

Table 13. 塗料浸透層の厚さ摩耗量
Loss in thickness of penetrated layer with paint

塗装材 Coated wood		塗膜厚さ Thickness of paint (μ)	厚さ摩耗量 Loss in thickness (μ)			下地の摩耗 開始点 Start of abrasion on wood (cycle)
塗料 Paint	下地木材 Wood		塗膜層 Paint layer $d(100)$	浸透層 Penetrated layer \bar{d}'	下地木材 Wood \bar{d}	
アミノアルキッド塗料 Amino alkyd resin paint	Hinoki	17 ~ 24	40 ~ 43	70	70 ~ 92	100
	Makanba	17 ~ 25	29 ~ 31	26	31 ~ 36	110
	Red lauan	20 ~ 28	37 ~ 39	43	42 ~ 49	120
ポリウレタン塗料 Polyurethane	Hinoki	33 ~ 38	30 ~ 36	80	70 ~ 92	180
	Makanba	32 ~ 35	21 ~ 24	20	31 ~ 36	170
	Red lauan	27 ~ 36	20 ~ 26	21	42 ~ 49	160
ニトロセルロース ラッカー塗料 Nitrocellulose lacquer	Hinoki	14 ~ 18	65 ~ 72	69	70 ~ 92	106
	Makanba	12 ~ 19	28 ~ 32	31	31 ~ 36	118
	Red lauan	8 ~ 11	40 ~ 45	44	42 ~ 49	115

Table 14. 合成樹脂の厚さ摩耗量
Loss in thickness of synthetic resin

合成樹脂 Synthetic resins	厚さ摩耗量 Loss thickness (μ)	
	d (100)	\bar{d}
ニトロセルロース ラッカー Nitrocellulose lacquer	18 ~ 24	16 ~ 22
アミノアルキッド樹脂 Amino alkyd resin (p.)	24 ~ 28	24 ~ 28
ポリエステル樹脂 Polyester resin (p.)	20 ~ 22	20 ~ 22
ポリウレタン樹脂 Polyurethane resin (p.)	21 ~ 23	20 ~ 22
メラミン樹脂 Melamine resin	15 ~ 18	16 ~ 18
スチレン・メチルメタクリレート St-MMA	28 ~ 33	28 ~ 30
エポキシ樹脂 Epoxy resin	23 ~ 25	23 ~ 24

膜に厚さむらがあって、その厚いところ、細胞内こうへ塗料が浸透しているところの摩耗になる。ただし、試料は、前者の影響ができるだけ少ないように作製されている。

塗料の浸透層の100回転当たりの摩耗量を \bar{d}' , n_2 における塗装材の摩耗量を d_{n_2} とすると

$$\bar{d}' = \frac{d_{n_2} - d(100)_p \cdot n_1 \cdot 10^{-10}}{(n_2 - n_1) \cdot 10^{-2}} \quad (32)$$

となるので、先のヒノキ塗装材では

$$\bar{d}' = \frac{45 - 28 \times 60 \times 10^{-2}}{(100 - 60) \times 10^{-2}} = 70 \mu$$

と計算できる。この結果、浸透層の効果が主因である100回転の摩耗は同表に示す下地ヒノキ材の摩耗 $\bar{d} = 70 \sim 92 \mu$ の下限値になっている。しかし、ヒノキ材の平均の $\bar{d} = 81 \mu$ より小さい。マカンバ材にアミノアルキッド塗装したときの同様計算例は、

$$n_1 = \frac{17 \times 100}{28} = 60 \text{ 回}$$

$$\bar{d}' = \frac{30 - 28 \times 60 \times 10^{-2}}{(110 - 60) \times 10^{-2}} = 26 \mu$$

となり、Table 13にあるカバ下地の $\bar{d} = 31 \sim 36 \mu$ より小となる。

各塗装材について、上記の計算を行って、 \bar{d}' を同表にのせてある。この表から、浸透層の \bar{d}' は下地木材の \bar{d} より小さいか、下限に位置する場合が多く、浸透層の耐摩耗性は下地木材より大きいと判断でき

Table 15. 塗装材(市販)の厚さ摩耗量
Loss in thickness of coated wood and wood-based material in commerce

アミノアルキッド 塗装材 Amino alkyd coated	塗膜厚さ Thickness of paint (μ)	厚さ摩耗量 Loss in thickness (μ)					光沢面消失 Disappearing of lustre (cycle)	下地の摩耗 開始点 Start of abrasion on wood (cycle)
		d (50)	d(100)	$\frac{d}{100 \rightarrow 200}$	\bar{d}'	下地木材 Wood \bar{d}		
Teak	14 ~ 15	22	42	—	65	56	22	75
Makanba	16 ~ 23	21	40	—	39	37	20	80
Tabunoki	33 ~ 44	19	35	48	40	54	26	110
Mizunara	35 ~ 55	19	33	31	52	42	28	150
Keyaki	40 ~ 62	17	26	40	55	52	28	160
Plywood	85 ~ 115	20	56	65	—	68	44	150
Printed plywood		22	46	—	—	40	20	70
"		34	90	—	—	104	18	60
Hardboard	85 ~ 125	22	48	44	—	44	46	180
Particleboard	70 ~ 90		25	25	—	32	40	220
"	62 ~ 74		32	34	—	38	35	190

る。

市販の製品（主に床材料）で、着色した下塗りにアミノアルキッドの上塗りをを行ったものについて、同じ実験を行った。塗膜厚さは多数の顕微鏡観察によって求めたものである。Table 15 には塗膜厚さのほか、200回転までの摩耗量（ d ）、塗膜の光沢の消失点（回転数）なども示されている。(32)式によって求めた境界層（顕微鏡的に浸透層が確認できなかったので、下塗り塗料と木材の界面付近を指す）の \bar{d}' は、タブノキを除くと、下地木材の \bar{d} よりやや大きくなった。これは境界層の摩耗抵抗が無視できることを表わす。同表の合板（不透明塗装）以下のものは、 n_1 が下地の摩耗開始点 n_2 になるので、境界層は存在せず、2層からなる積層構造の摩耗になる。

この結果、浸透性のある塗液を素地面に直接用いないときは、 $n_2 \approx n_1$ と考えてさしつかえなさそうである。したがって、接着剤を用いた積層構造の材料の摩耗は、表面より次第に摩耗され、界面の摩耗抵抗を無視して、下地の摩耗へ進行する。これらを式で示すと、摩耗こんの面積を S (mm²)、容積を V (mm³)、厚さ摩耗量を d (mm)とすると

$$V = 4\pi \cdot R \cdot \Delta R \cdot \frac{\bar{d}}{100} \cdot n \cdot 10^{-3} \quad (33)$$

$$V = S \cdot d \quad (34)$$

$R=37.5$ mm, $\Delta R=6.5$ mm, $S \approx 31 \times 10^3$ mm², \bar{d} の単位は μ とすると

$$d = 1 \times 10^{-5} \cdot \bar{d} \cdot n \quad (35)$$

積層構造の各層の厚さを t_i , \bar{d} を \bar{d}_i , n を n_i とすると

$$d = 1 \times 10^{-5} \sum \bar{d}_i \cdot n_i \quad (n_i = \frac{t_i \cdot 100}{\bar{d}_i}) \quad (36)$$

によって、摩耗深さが求められる。この結果、壁、床、家具、天板などの厚さ摩耗量を計算上から、

Table 16. 化粧材料の厚さ摩耗量
Loss in thickness of decorative laminations

化粧材料 Decorative laminations	厚さ Thickness (mm)	密度 Density (g/cm ³)	厚さ摩耗量 Loss in thickness (μ)				
			S-33			CS-17	
			$d(50)$	$d(100)$	\bar{d}	d	\bar{d}
ビニル アスベスト タイル Vinyl asbesto tile	0.90	1.83	52	36		12	6
ソリッド ビニル タイル Solid vinyl tile	0.91	1.73	36	32		5	4
ピユア ビニル シート Pure vinyl sheet	0.50	1.48	12	12		3	3
〃	0.72	2.20	15	12		4	3
〃	0.71	1.61	12	12		3	3
ダブ樹脂含浸紙 Diallyl phthalate r. impregnated paper	0.11		12	22	23	10	5
ポリエステル樹脂含浸紙 Polyester r. impregnated paper	0.22		16	32	30	6	5
フェノール樹脂含浸紙 Phenolic r. impregnated paper	0.20		12	24	18	3~5	2~4
ポリエステル樹脂コート紙 Polyester r. coated paper	0.36		17	35	29	4	5

Table 17. 木質材料の厚さ摩耗量
Loss in thickness of wood-based materials

構 成 Construction	比 重 Specific gravity	厚さ摩耗量 Loss in thickness (μ)			
		S-33		CS-17	
		$d(100)$	\bar{d}	$d(100)$	\bar{d}
Plywood (Red lauan)	0.58	44	42	7	7
" (White meranti)	0.55	50	46	8	6
" (Teak)	0.58	58	48	9	7
" (Walnut)	0.60	36	33	5	5
Hardboard	1.04	50	37	7	6
"	1.0	58	40	8	6
" (Oil temper)	1.12	42	32	5	5
Particleboard (Shirakaba)	0.71	44	16	10	8
" "	0.73	35	28	12	11
" (Sugi and Lauans)	0.60	62	45	20~27	14~17

Table 14, 16, 17 を使って予測することができる。各表の CS-17 の \bar{d} は壁や家具の垂直面のおだやかな促進試験に対応する。

5. WPC の耐摩耗性

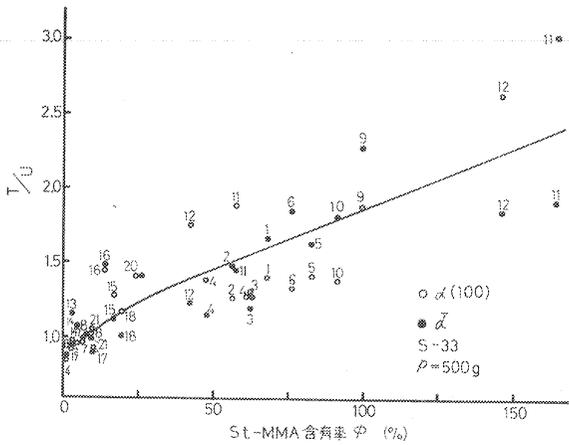
5.1 WPC と未処理材の比較

(i) 実 験

全乾に近い状態にした 12 種の木材摩耗試片をひょう量し、デシケーターの中で 20 分間、約 10^{-2} mmHg の真空下におき、架橋剤を添加した St・MMA を注入して、WPC を作製した。その細部は次のごとくである。真空用のデシケーターの中に注入そうを入れ、その中に試片を固定した。注入そうへのガラスパイプは脱気用、吸気用、注入用があり、コックの開閉によって操作し、内部の真空度も調節する。注入液は St・MMA 90 部、PEG 7 部に TAIC (3 官能の架橋剤) 3 部を添加し、この総量に対して AIBN (アゾビスイソブチルニトリル) 1% を加えた。注入液を注入用コックを開いて滴下後、15 分間は 3 分間隔ごとに真空度を高め、注入を促進させた。数樹種については、注入量を調節するため、注入時間を加減した。注入後はアルミ箔で包み、85~90°C で 6 時間加熱した。試片表面は直接の摩耗面になるので、余分の付着樹脂は微細なものまで除去した。試験片の大きさは $10 \times 10 \times 0.5 \sim 0.55$ (cm) のまさ目、板目板で、供試用樹種の選択は、耐摩耗性のないもの、WPC によく用いられるものなどである。樹脂の硬化後、St・MMA 含有率を測定し、65% RH 下で状態調節した。摩耗試験は、注入処理材と同樹種の未処理材を一組みとし、同じロットより選んだほぼ同じ重量の研摩紙 S-33 を用いて、22°C、66±1% RH の恒温恒湿室で実験した。

(ii) 結 果

St・MMA 含有率と処理 (WPC)/未処理 (素材) : T/U 率の関係を Fig. 36 に示す。○は $d(100)$ で、厚み計法と重量法の平均値、●は \bar{d} で同様な平均値である。WPC の厚さ摩耗量の測定は、重量法が注入の不均一なため、正確に厚さ摩耗量を示すものではないので、厚み計法の測定を加味することにした。



T	注入処理 (St-MMA-treated)
U	未処理 (Untreated)
Kaede	R: No. 1, T: No. 2,
Kaba	R: 3 T: 4,
Buna	R: 5 T: 6,
Keyaki	R: 7 T: 8,
Shina	R: 9 T: 10,
Kiri	R: 11 T: 12,
Sawara	R: 13 T: 14,
Tōhi	R: 15 T: 16,
Karamatsu	R: 17 T: 18,
Teak	R: 19,
White meranti	T: 20,
Walnut	R: 21

Fig. 36 T/U と St-MMA 含有率 (ϕ) の関係
Relation between T/U and per cent of St-MMA loading (ϕ).

同図によると、実験値は広範にばらつくが、St-MMA 含有率 ϕ の増加と共に、T/U 率は増加する傾向を示す。注目すべきは、 ϕ が 10% 以下では WPC の耐摩耗性が未処理より低いものがあり、それらの T/U 率は 1.0 以下になっている。この樹種はカラマツ、ケヤキ、チークなどの注入しにくい木材である。PEG 含有率 10~14% のカラマツのまさ目板の厚さ摩耗量が未処理の 1.06~1.27 倍になることから、注入液の木材への膨潤効果が耐摩耗性低下の一つの原因と考えられる。

5.2 浸透量の分布と摩耗

前節 5.1 の実験後、表面を約 1 mm 程度かんながけし、再び同様な方法で摩耗量を測定した。このようにして表面からの深さ約 2 mm まで測定した結果が Fig. 38~41 である。Fig. 38 のカエデ材に例をとると、未処理材の $d(100)$ は深さ $D=0$ において、厚さ摩耗量だけの長さの棒線で示され、棒線の上側が厚み計、下側が重量法による厚さ摩耗量である。 \bar{d} は D が 0.03~0.1 mm の位置で、同様に棒線で示されている。一方、WPC 処理材はカッコ型の棒線で示す。上記のように上側のカッコが厚み計、下側が重量法で求めた厚さ摩耗量であるのは未処理材と同じである。 $D=0$ で $d(100)$ 、 $D=0.06$ mm 付近が \bar{d} の値になる。 D が 1, 2 mm 付近では、順次かんながけした後の摩耗量の測定値である。

摩耗試験を終わった試片の裏側から、Fig. 37 に示す部位より大きさ 10×22 (mm) の小片を 2 個切りとる。これをアロンアルファで台木に接着し、温水中で軟化後、マイクロームで厚さ方向に厚さ 150~200 μ の薄片を切り出した。これを 65% RH 下で状態調節し、微量天秤と微厚計を用いて、重量と容積を測定し、得られた容積重を下図に示す。Fig. 37 の L 型より得たものは実線、T 型より得たものは破線で示される。また、未処理と処理材の全体の平均的容積重も併記してある。薄切片の容積重は平均的容積重より小さくなる場合が多い。この実験では、微量測定における誤差の補正も試みているが、ここでは表面と中心の容積重の比較にとどめたい。

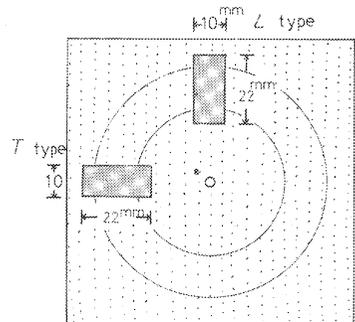
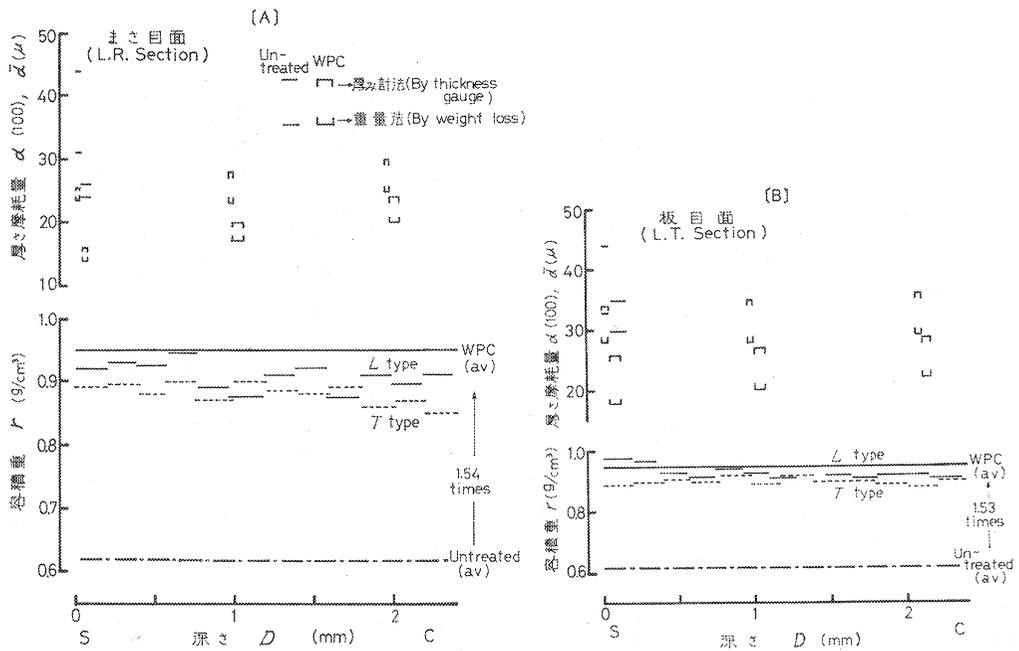


Fig. 37 容積重測定用小試片の採取位置
Small piece for specific gravity-measurement cut off from test specimen.

Fig. 38-(A), (B) は既述のとおり、まさ目と板目板の深さ



D: 表面からの深さ Depth from surface

S: Surface C: Core

S-33 P=500g

Fig. 38 カエデ WPC の厚さ摩耗量 (d) と容積重 (r) の変動
Variation of loss in thickness (d) and specific gravity (r) of Kaede wood-St·MMA composite.

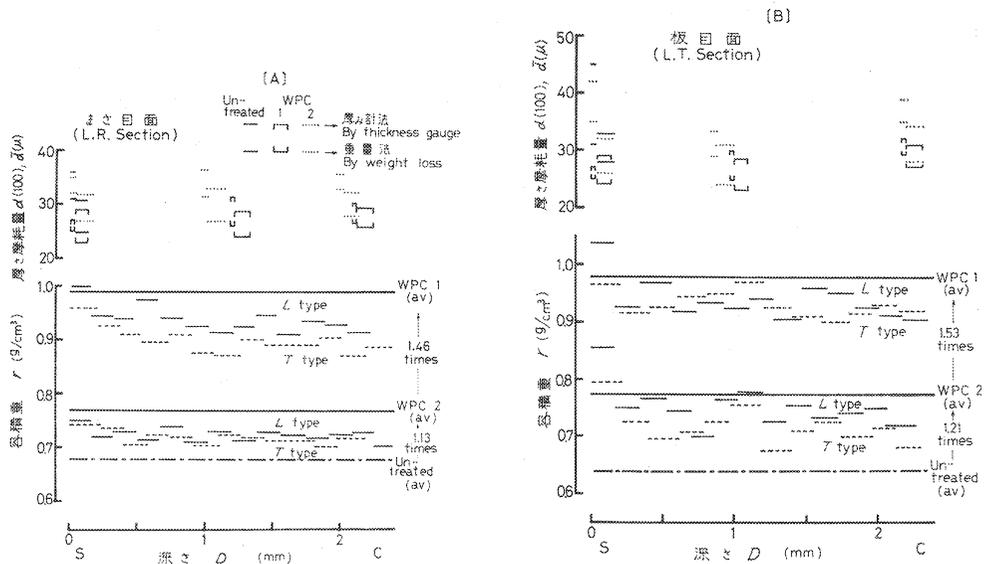


Fig. 39 カバ WPC の厚さ摩耗量 (d) と容積重 (r) の変動
Variation of loss in thickness (d) and specific gravity (r) of Kaba wood-St·MMA composite.

Fig. 40 十井 WPC の厚さ摩耗量 (d) と容積重 (γ) の変動
Variation of loss in thickness (d) and specific gravity (γ)
of Kiri wood-St.MMA composite.

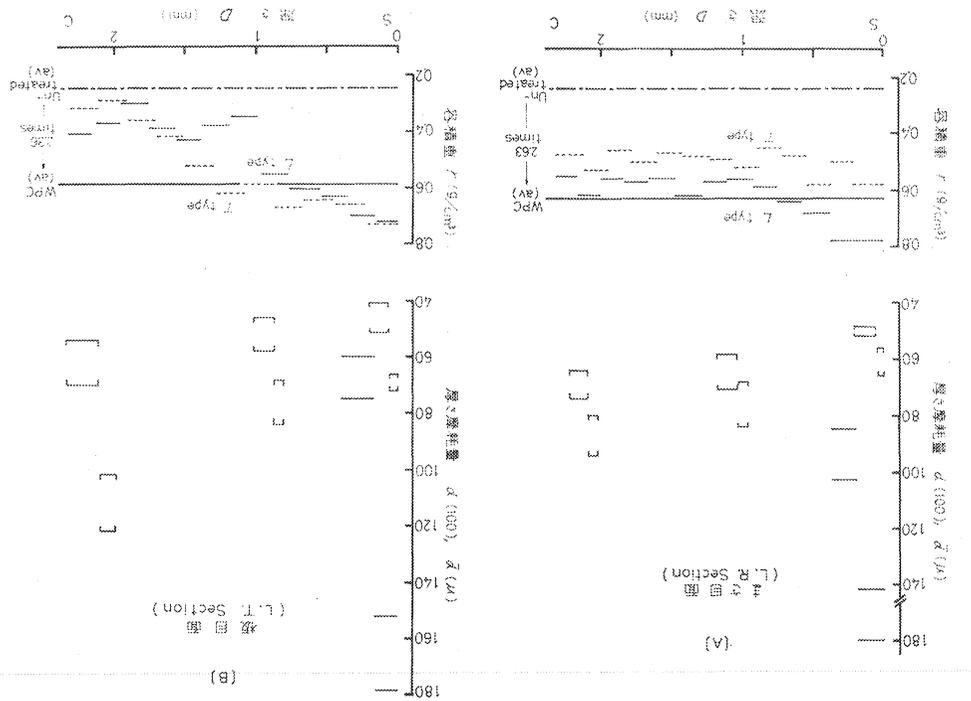
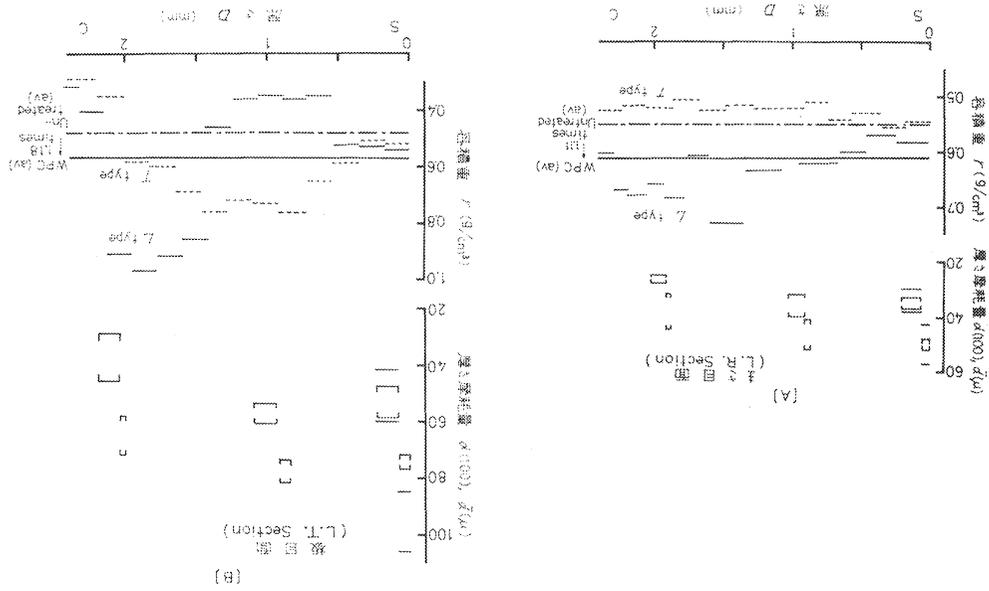


Fig. 41 カラマツ WPC の厚さ摩耗量 (d) と容積重 (γ) の変動
Variation of loss in thickness (d) and specific gravity (γ)
of Karamatsu wood-St.MMA composite.



D と $d(100)$, \bar{d} , 容積重 r の関係である。板目面では r の分布は内部に至るまで変化が小さく, St-MMA の浸透が良好といえる。かつ, 注入によって摩耗量は小さくなる。しかし, 未処理材の \bar{d} と処理材の $d(100)$ は, まさ目, 板目面ともほぼ同じとみなせる。未処理材と処理材の容積重の比が 1:1.5 であることを考慮すると, 注入の効果が少ないようにも見られる。

次に, St-MMA 含有率が異なる例として, Fig. 39 にカバの場合を示す。注入量の少ない WPC-2 (まさ目 13%, 板目 21%) の \bar{d} は未処理の \bar{d} とほぼ同じになる。一方, WPC-1 では $d(100)$ は未処理材の $d(100)$ に比べてかなり小さいが, \bar{d} になるとまさ目, 板目面とも, 処理材の方が少し小さい程度にとどまる。カエデ材に比較すると, カバ材は中心になるほど含有率が少なくなる。そして, $d(100)$, \bar{d} の値も大きく変わってゆく。この事実から, カバの WPC 処理の効果は表層の耐摩耗性だけに明りように現われ, 内部では顕著な改良を認め難い。

これまで, カバ, カエデ材は塗装程度の表面処理で, 床材料としての利用が盛んであるが, 注入量を調節でき, 表層の耐摩耗性向上には期待できる材料である。

Fig. 40 はキリ材の場合で, 注入量はまさ目 163%, 板目 136% である。注入によって $d(100)$ は, 未処理材に比較して, 大幅に減少するのがわかる。板目板の表層より内部にはいるに従って, 容積重は半分近くに減少してゆく。表層に St-MMA 量の含量が多いため, 不均一性が認められる。しかし, $d(100)$, \bar{d} も注入量の多少によって, 小または大となってよい相関が認められる。

Fig. 41-[A] のカラマツまさ目板では, 平均して 11% の注入量であったが, $D=2$ mm 付近で, \bar{d} が小さくなり, 容積重が増加するのが測定できた。板目板の場合も注入の不均一性が現われている。材料の表面での耐摩耗性が重要であるとすれば, Fig. 41-[A] の場合では注入処理の効果が期待できないことになる。

WPC によって木材に耐摩耗性を付与できるが, 個々の樹種をとり上げると, 難浸透性であったり, 含有率に分布があり不均一であることなど多少ずつ問題点が出てくる。筆者の行った注入方法にも改良は必要であるが, 散孔材以外の木材には多くを期待できないと考えられる。

6. Taber 式摩耗と実際の摩耗との関係

摩耗の定常状態で, 1 回転によって摩耗を受ける厚さを \bar{d} とすると, Δn 回転では, $\Delta d = \bar{d} \cdot \Delta n$ となる。住宅内装材料への他物の接触現象は, なでる程度のものより, こする, 引っかくなどの種類がある。ちょうど, 摩耗輪でいえば, 柔軟で弾力性のある CS-10, CS-17, 剛で擦傷の生じる H-18, H-22, S-33 が対応している。したがって, 上記の \bar{d} は摩耗輪の種類につよく依存するものである。各摩耗輪の特性を検討した結果, CS-10 はやや軟弱で再現性に問題があり, H 型は剛でありすぎる。このため, 住宅内での接触は, CS-17 (垂直荷重 500 g) ~ S-33 (同 500 g) と対応させるのが比較的妥当であるので

$$\bar{d} = \bar{d}_{17} \cdot x + \bar{d}_{33} \cdot y \quad (x + y = 1) \quad (37)$$

のように考えてみる。 \bar{d}_{17} は CS-17, \bar{d}_{33} は S-33 による 1 回転当たりの摩耗であり, これまでの測定値を用いることができる。 x , y は例えば, 机・家具類は x が大, 腰板・ドアでは y の成分が増し, 床・敷居は y を主体にすべきである。したがって, 内装の部位によって x , y の割合を適当に選択すべきである。 x , y の推定が困難な場合でも, 摩耗量 $\bar{d} \cdot \Delta n$ の Δn を工夫することによって, 実際の摩耗と関連させることもできる。これに関して次の実験を行った。

(i) 実 験

実際の使用物の摩耗量の測定を行った。この測定対象の選択にはいろいろ困難があり、結果はかなり片寄ったものになったが、Table 18 のごとくである。

Fig. 42 に示す厚さ 4 mm の真ちゅう製枠を用い、A 点を測定対象面付近の摩耗が生じにくかったところに固定し、B, C, D 点を摩耗が深いところ、平均的なところ、浅いところに概略一致するよう配置する。摩耗が生じにくかったところは、使用当初よりその部分にじゅうたんがあったり、他の物品が置かれていたところである。B, C, D 点と摩耗面との間にスペーサー（金属薄片で、10～100 μ の間で各種ある）を挿入することによって、4 点のレベルを水平に調整した。レベルは小型水準器によって確かめた。

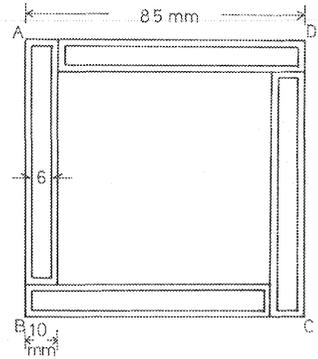


Fig. 42 溶融パラフィンの注入枠
Frame for pouring melt paraffin.

次に、パラフィンを溶融して、図の金属枠内に流し込み、硬化を待って枠ごと取りはずす。摩耗面が凹部を形成するから、金属枠面よりパラフィン面がもり上がる。枠ごと顕微鏡のステージにのせ、反射法で金属面（枠）を基準にしてパラフィン面の焦点のぼりを校正し、校正量を厚さ摩耗量とした。この測定を AB, BC, CD, DA の各方向べつに 5 mm 間隔ごとに行い、摩耗曲線に表わした。

(ii) 結 果

各方向の摩耗曲線より、摩耗面の方程式を次のようにして算出した。AB, BC, CD, DA の 4 方向の摩耗曲線に近似値的に適合するような方程式を 2～3 作り、順次組合わせて適合度のよいものを選び出す方法によった。その結果、 x は AB 方向、 y は AD 方向に A 点よりはかった座標 (Fig. 43) とすると、

Table 18. 実 際 の 摩 耗
Actual wear

調査場所 Measured place	材 料 Materials	摩耗深さの実験式 Empirical formulae on wear depth (unit : mm)	使用期間 Using time (year)	平均摩耗深 Avg. wear depth \bar{d} (mm)	月平均摩耗深 Wear depth per month (μ)
1 机 天 板	Kaba (coated)	$Z = -0.0005x - 0.0032y + 0.222$ $0 \leq x, y \leq 60$ mm	5	0.111	1.8
2 机 天 板	Melamine sheet	$Z = -0.0020x - 0.0024y + 0.308$ $0 \leq x, y \leq 70$ mm	10	0.154	1.3
3 机 天 板	White meranti	$Z = -0.00043x - 0.00185y + 0.16$ $0 \leq x, y \leq 70$ mm	1.5	0.08	4.4
4 実験室床 Floor of laboratory	Buna	$Z = 0.000147x^2 - 0.0118x$ $+ 0.00013y^2 - 0.00914y + 0.30$ $0 \leq x, y \leq 70$ mm	6	0.28	3.9
5 標本展示室床 Floor of show room	Kaba (coated)	$Z = 0.000069x^2 - 0.00526x$ $+ 0.20e^{-0.0218y} + 0.20$ $0 \leq x, y \leq 70$ mm	6	0.169	2.3
6 住宅玄関床 Floor of hall	Lauan	$Z = 4.8 \times 10^{-6}x^2 - 4.8 \times 10^{-3}x$ $+ 0.28e^{-0.0188y} + 0.045$ $0 \leq x, y \leq 70$ mm	5	0.214	3.5
7 ダイニングルーム床 Floor of dining room	Vinyl tile	$Z = 4.4 \times 10^{-6}y^2 - 3.5 \times 10^{-3}y$ $- 1.5 \times 10^{-3}x + 0.180$ $0 \leq x, y \leq 70$ mm	5	0.103	1.7

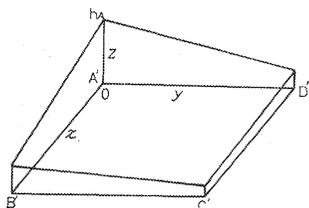


Fig. 43 実際の摩耗面の模型
Some instance of actual wear.

Z_{-xy} で示せる摩耗面 (曲面) は,

$$Z = \Phi(x) + \Psi(y) \quad 0 \leq x, y \leq a \quad (38)$$

となり, Z は基準面 (A'B'C'D') 上の任意点 (x, y) における摩耗面の高さである。摩耗面の平均の高さ h は, 測定面積 $S = a^2$ とすると,

$$h = \frac{1}{S} \int_0^a \int_0^a \{\Phi(x) + \Psi(y)\} dx dy \quad (39)$$

となる。A 点の座表 $(x, y, Z=0, 0, h_A)$, つまり, A 点の高さを h_A とすると, 平均摩耗深さ \bar{d} は

$$\bar{d} = h_A - h \quad (40)$$

によって求められる。

Table 18 には摩耗面の実験式, 平均摩耗深さ, 使用年月などが示されている。これらから, 月平均の摩耗深さを計算した。

一方, 日本床工業 K. K. の雨宮氏らよりご提供いただいた床材料の耐用期間 t_i とそれに対する摩耗深さ: d_i の概略値を Table 19 に示す。耐用期間とは, 材料表面の損耗が肉眼的に明りようになり, 美的観点から交換を必要とする時までをいう。 t_i を用いて月平均摩耗深さが算出されている。床施工者によると, 新しい床が使用され始めて数か月で, 表面の色彩, 形状に急な変化があり, 摩耗量もやはり多いと判断される。既述したように, $d(100)$ が \bar{d} より大きいのと無関係ではない。このように, 厚さ摩耗量が使用年月の経過によって, 漸減すると仮定して, 簡単に数式化すると

$$d = d_i(1 - e^{-at}) \quad (41)$$

Table 19. 実用床の摩耗
Wear of floors in use

床の種類 Floors	材料 Materials	摩耗深さ Wear depth d_i (mm)	耐用期間 Duration time t_i (month)	$\frac{d_i}{t_i}$ $\times 10^{-3}$ (mm/mon)	a (Eq. 41)	$d_i(1 - e^{-a})$ $\times 10^{-3}$ (mm)
1 居間 Living room	Wood assembly	0.2	120	1.6	0.019	3.8
2 会議室 Council room	Wood flooring	0.5	96	5.2	0.024	12.0
3 教室 School room	Wood flooring	0.5	60	8.3	0.038	18.5
4 実験室 Laboratory	Plastic sheet	0.4	120	3.3	0.019	7.6
5 体育館 Gymnasium	Wood flooring	0.5	24	20.8	0.096	46.0
6 体育館 Gymnasium	Coated wood flooring	0.2	24	8.3	0.096	18.4
7 百貨店 Department store	Plastic tile	0.8	24	33.3	0.096	73.6
8 エレベーター Elevator	Plastic tile	1.0	24	41.7	0.096	92.0
9 バス Bus	Wood flooring	1.0	24	41.7	0.096	92.0

Table 20. 実際の摩耗と Taber 試験機による摩耗との関係
Relation between actual wear and abrasive wear by Taber abrader

供 試 料 Samples		\bar{d} の推定値 Estimate of \bar{d} (μ)	回転数*1 Cycle number	備 考 References
	Table 18			
机 天 板	1	30	6	3日に1回, 2~3時間使用
”	2	20	7	2日に1回, 1~2時間使用
”	3	45	10	毎日3~4時間使用
実験室床	4	32	12	6日に1回, 3名ゴム靴で使用
標本展示室床	5	30	8	1月に約1回, 約10名の見学者
住宅玄関床	6	35	10	家族4人, スリッパ使用
ダイニングルーム床	7	25	7	”
	Table 19			
居 間 床	1	35	5, 11	4~5名の家族
会 議 室 床	2	30	17, 40	毎日2回, 数名, ゴム底の靴
教 室 床	3	40	21, 46	小学校上級, ゴム靴
実験室床	4	20	17, 38	理科実験室
体育館床	5	40	52, 115	高校・大学ではげしい運動
”	6	30	28, 61	”
百貨店床	7	25	133, 294	
エレベーター床	8	25	167, 368	百貨店
バス床	9	40	104, 230	かなり込み合う

*1 1月当たりの摩耗 (Table 18 の 6 欄, Table 19 の 5, 7 欄) を生ぜしめる Taber 試験機の回転数
Cycle number of Taber abrader corresponding to wear depth per month (the 6th column in Table 18 and the 5th and the 7th columns in Table 19)

いま, $1 - e^{-at} = 0.9$ とおくと, $at = 2.303$ となる。 at の t を t_i とみなして, α を算出し Table 19 にのせてある。 α が知れると, $t = 1$ (月) の摩耗深さが計算でき, それぞれの床材料について計算して同表に示した。それらは d_i/t_i の 2 倍程度になっている。

Table 20 には, Table 18, 19 の材料の摩耗輪 S-33 による厚さ摩耗量の推定値 \bar{d} を示す。 \bar{d} は 100 回転当たりの厚さ摩耗量 $\bar{d}(\mu)$ と同じものである。 \bar{d} を用いて, Table 18, 19 にある月平均の摩耗を生ぜしめるに必要な回転数を比例計算で求めて Table 20 に示した。なお, 回転数が 2 個示されるものは, 左の数字は Table 19 の d_i/t_i より, 右の数字は $d_i(1 - e^{-\alpha})$ より計算されたものである。

得られた回転数には, 摩耗を生ぜしめたところの備考欄に略記されている使用条件が重要な影響因子になることはいうまでもない。住宅ダイニングルームと住宅居間の回転数がほぼ同じであることは, 別の立場で得られた数値であるだけに, 両者にある程度の信頼がおけるであろう。また, 机天板の回転数が住宅のそれらに匹敵するのは, 机の使用頻度が高いのでであろう。ブナフローリングを使った実験室に対して, 塩ビ系床の一般的実験室の回転数が大きいのは, \bar{d} の大小関係から考えて, 一見, 矛盾している。しかし, 前者の使用頻度が後者の 1/5 程度であるので, むしろこの結果を妥当と考えている。百貨店, エレベーター, バスの床は $d_i(1 - e^{-\alpha})$ による回転数の方が妥当性があるように思われる。この種類の床の回転数は大きく見積っておく方が安全であろう。

使用場所により, 使用条件によって異なる実際の摩耗と促進試験である Taber 式摩耗との関係が, 1

か月の摩耗量という観点で、Taber 法の回転数と対応をつけることができた。この回転数はいずれも 400 回転までだったので、本研究の 2～5 の結果と結びつけるのも容易である。

7. 摘 要

住宅内装の耐久性の一つとして、内装材料の耐摩耗性とその向上のため、Taber 型摩耗試験機の精度と試験法、木材・木質材料・表面化粧材料・WPC などの摩耗量とその解析および改良について検討した。

(1) Taber 摩耗試験機 機差の摩耗量への影響を調べるため、3 台の試験機の組立て精度を調べると、アームの感度、中心軸に対する両摩耗輪の相対的位置に相違が見られた (Table 1)。これらは摩耗量に影響し、試験機間、研磨紙間で分散分析すると、それぞれ有意となった。このため、試験機精度と研磨紙の性能について基準を定めた。

(2) 研磨紙 NEMA S-33 のと粒の損耗は初めの 100 回転で、回転終了数 (500 回転) における損耗量の約 1/2 を生じる。しかし、損耗量は被摩耗材料の種類にあまり支配されず、と粒の全量の約 6% 程度である (Fig. 3)。切刃能率も 200 回転程度まで低下があり、その後はほぼ一定に保たれる。研磨紙の目づまりを木粉の被ふく面積より推定すると、ブラシがけによって被ふく率を 20～30% まで低下できる (Fig. 19)。

研磨紙への湿度の効果は、50% 以下の低湿ではクラフト紙の含有水分が少なく、紙が剛になり、そりを生じる。80% 以上の高湿ではにかわとクラフト紙の吸湿によって、紙が軟弱になりすぎる。この結果摩耗過程で、と粒の脱着、研磨紙とゴム輪、試片とのなじみを不良にし、研削量を低下させる。これから試験湿度は 60～68% が適当である。

(3) 試験条件 500 回転までの摩耗曲線 (回転数—厚さ摩耗量の関係) を求めると、摩耗量は 0～100 回転で多く、400～500 の 100 回転でやや減少する。100～300(400) 回転の領域では直線性がよいので、100 回転当りの平均厚さ摩耗量を材料の摩耗特性値として定義した。予備研磨したもの、連続試験のものでは摩耗量は少ない。試片の摩耗部分に付着する摩耗粉は、真空吸い込み口の高さが約 3 mm のとき、能率よく吸引される。

(4) 試験面上の条こんと摩耗 左右の摩耗輪のと粒による条こんが X 字状に重なって、Photo. 2 に示すように無数の傷を生じ摩耗が進行する。試料が木材の場合、両輪による条こんは繊維方向に対して、それぞれ角度 α 、 β で交差する。一方、木材の摩耗は繊維に直角方向が平行方向より大きくなるから、 $\alpha + \beta$ の大きさに比例して摩耗量が大きくなる。すなわち、環状の摩耗こんの位置 (回転の軸しんからの角度 θ , Fig. 9) によって厚さ摩耗量が異なる。その変化の様子は θ に対して山谷の分布をなす。この考え方の実験的裏づけ (Fig. 9, 12～14) がなされた。このため、厚み計による測定は摩耗こん上の一定位置で、4 点以上であることが必要であり重量法による厚さ摩耗量 (Eq. 2, 3) は一般的に厚み計法よりやや小さくなる。

(5) と粒の粒径と垂直荷重の影響 研磨紙の番数が小 (#60) より大 (#800) になるに従って、切刃の頂角は大 (112°) より小 (95°) となり、と粒の断面形状も多角形より、3, 4 角形に変わる。と粒の粒径も大 (270 μ) より小 (20 μ) に減じる。これに対応して、木材、亜鉛標準板の摩耗量も研磨紙の番数が小さいものが最も大きく、番数が大きくなると減少してくる。粒度の同じ研磨紙を用い、垂直荷重を増大

させると、それに比例して摩耗量も増大する。すなわち、と粒による被摩耗面に対する摩擦と掘り起こし作用が粒径の大小によって増減する。さらに、垂直荷重はせん断力を大して、摩耗容積を大きくする。この関係の1例は Fig. 21 であり、0~100 回転の初期摩耗、100~300(400) 回転の定常摩耗が認められる。定常状態で、厚さ摩耗量 d は下式で表わされる。

$$d = a \cdot \tau \cdot \frac{1}{\Delta R} \cdot n = a \cdot \mu \cdot \frac{P}{\Delta R} \cdot n$$

a : 摩耗されやすさを示す定数, τ : せん断力, ΔR : 摩耗こんの幅の 1/2, μ : 摩擦係数, P : 垂直荷重, n : 回転数。

(6) 木材の摩耗抵抗 一定回転数 Δn に対する厚さ摩耗量を Δd とすれば、摩耗抵抗 $1/a$ は

$$\frac{1}{a} = \mu \cdot \frac{\Delta n}{\Delta d} \cdot \frac{P}{\Delta R}, \quad \mu = (1 \sim 0.01) \mu_s$$

$1/a$ は材料の単位体積を摩滅させるに必要な仕事量である。 μ はころがりやすべり・掘り起こしの要因をもつが、静止と粒の摩擦係数 μ_s より推定を試みた。 \bar{d} (100 回転当りの厚さ摩耗量 μ) は容積重 r に対して双曲線型の関係 (Fig. 25, 26) で与えられ、 μ_s と r の直線関係 (Eq. 27) も求められたので、 $1/a$ は

$$\frac{1}{a} = \frac{k_1 \cdot \varepsilon \cdot \mu_s(r)}{d(r) \times 10^{-8}} \quad k_1 = \frac{P \cdot \Delta n}{\Delta R}$$

となり、 ε (パラメータ) を与えて、任意の容積重の木材の摩耗抵抗が計算できる。

上式は含水率が 12~13% の場合であるが、含水率の変化によって摩耗は顕著に変動する (Fig. 17)。

(7) 表面化粧材料 化粧用の表面の塗膜層、オーバーレイ層は木材質に比べると耐摩耗性がある。したがって、摩耗曲線は単一材料のように直線性を示すものでなく、表面からの深さによって摩耗抵抗が変わるから、摩耗曲線の勾配は変動しやすい (Fig. 32~34)。液状または粘りような物質が硬化の前に木材中に浸透したところの摩耗抵抗は木材質よりやや大きい。しかし、市販の材料の接着層、塗料浸透層の影響は促進試験ではほとんど無視してよい。

(8) WPC 木材に St-MMA を減圧注入して、注入による耐摩耗性向上を調べた。含有量が約 10% までは T/U (T: 処理, U: 未処理) は 0.8~1.2 で、注入処理が有効な効果を与えぬことがある。10% 以上では T/U はほとんど直線的に増加し、50% で 1.46, 100% で 1.87 になる。含有量の木材中の分布は均一なものではなく、材中の含有量の大小によって、摩耗量が変動した (Fig. 40, 41)。耐摩耗性の大きい樹種、難浸透性の樹種の処理効果はあまり期待できず、実用的には散孔材を主体とするものになる。

(9) 実際の摩耗との関係 実験室における促進試験と実際の使用場所における摩耗との関係を求めた。各使用場所の材料について、摩耗深さの実測および耐久年月から、1 か月の厚さ摩耗量を算出し、S-33 を用いた Taber 法による場合の回転数に変換した。その結果の主なものは、住宅玄関 10, 会議室 17, 教室 21, 体育館 28~52, 百貨店 133, エレベーター 167 などの回転数になり、Taber 法から実用床の摩耗をある程度推定することができた。

文 献

- 1) 今泉勝吉：床仕上げ材料に関する研究，建築学会関東支部 23 回研究発表，p. 36, (1953)，建築学会関東支部 24 回研究発表，p. 80, (1958)
- 2) KOLLMANN, F. F. P. and W. A. Côté : Principles of Wood Science and Technology, Springer-Verlag Berlin, p. 409, (1968)
- 3) 松本庸夫・川村二郎・大黒昭夫：表面特殊合板の吸水性，耐摩耗性，耐薬品・耐汚染性試験について，林試研報，162, p. 111, (1964)
- 4) 中村源一・野田 茂：木材の摩耗試験について，木材工業，4, p. 525, (1949)
- 5) 緒方清八：木材の摩耗に関する研究，日林誌，32, p. 174, p. 198, (1950)
- 6) 山田陽保：テーバー式摩耗試験法（研摩紙法）に関する研究，製科研47年研究発表，p. 77, (1972)
- 7) 吉岡 丹：木材の摩耗試験方法に関する実験研究，建築学会論文集，68, p. 7, (1961)
- 8) 床材料摩耗試験委員会：床材料の耐摩耗性，建材試験センター，(1968)

Abrasive Wear of Wood-based Materials

for

Interior Finish in Wooden House

Masaharu Suzuki⁽¹⁾

Summary

Interior finished boards in wooden house are rubbed with various extraneous bodies in the room. As the surface of the interior boards is abraded gradually, the service life of them is shortened compared with the untouched parts. The analysis of abrasive wear on wood-based materials should be conducted and effective protection to reduce it should be made.

Abrasive wear is mainly caused by particles having sharp edges such as sand. Taber instruments have been used to evaluate the abrasive ability on various materials. This method is one of the laboratory tests of abrasion which produces the annular track in shape as in Fig. 7 and considered to be a simulation to actual wear phenomenon.

One of the purpose of this study was to verify the factors influencing accuracy of Taber abrader and test method in detail. And in the strict conditions, abrasion test has been conducted on many wood species and wood-based materials.

1. The construction of three Taber-type abraders was checked and there were some differences among them as listed in Table 1. As a result, the amount of loss in weight of zinc standardization plate by abrasion would be much more influenced by the following factors: the distance from the turntable axis to the wheel, the annular abrasion area of the surface of specimen, and friction of the ball bearing for balancing arms

It is statistically confirmed that the cutting efficiency of sandpaper (NEMA S-33) has a

close relation to the amount of abrasive wear (see Tables 2 and 5). Sharp and jutting cutting edges deteriorate in the first stage (0~100 cycles) of revolution of the turntable. Durable edges remain effective even in the second stage (100~300 (or 400) cycles), in which sandpaper is loaded with the micro-chip separated from specimen. Percentage of loading area can be reduced less than 20~30% with equipment of the vacuum set and brushing as appears in Fig. 19.

Sandpaper is very hard under lower relative humidity than 50 per cent and soft under higher relative humidity than 80 per cent (Figs. 4 and 5), which reduce the abrasive ability as shown in Fig. 6.

On the other hand, loss in weight changes with the experimental conditions as follows: loss in weight measured by discontinuous revolution of the turntable is a little larger than continuous revolution of it, and loss in weight on fresh surface is larger than pre-abraded surface (Fig. 2).

2. Photo. 2 shows the view of many scratched lines on the zinc plate surface produced by abrasive grains. There are lots of intersections of a single line. Abraded volume of wood is increased in proportion to the intersected angle between fiber axis of wood and sanding direction (Figs. 10 and 11). Accordingly, the sum of two angles (α, β) of inclination to fiber axis may be related to the amount of abraded volume. The experimental data of Fig. 9 satisfy this consideration. The larger the sum of α and β , the greater is the volume removed. Therefore, loss in thickness differs in each point in the annular abrasion area as shown in Figs. 9 and 12~14. The amount of loss in thickness measured by the thickness-gauge is a little larger than that by weighing (weight loss) as shown in Fig. 18. Then,

$$d = \frac{W}{S \cdot r} \quad \begin{array}{l} d: \text{calculated loss in thickness} \\ W: \text{weight loss of specimen} \\ S: \text{abrasion area} \\ r: \text{density (specific gravity)} \end{array}$$

(weighing)

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4}{4} \quad \begin{array}{l} d_1 \sim d_4: \text{measured loss in thickness} \\ \text{measuring point} \\ \theta = 0, 90, 180, 270 \text{ (degree)} \end{array}$$

(thickness-gauge)

Wear line of LR section (or LT section) of wood specimen is made up of three regions in cycle number, that is, cycle number 0 to 100 is the first stage (primary abrasion) showing a curved wear line, cycle number 100 to 300 (or 400) is the second stage (abrasion in steady state) showing the linear relation on d versus n , and cycle number 400 to 500 is the third stage showing a deteriorated line. From these behaviors of the wear line, the following equations are derived:

$$\bar{d} = \frac{W(100) - W(300)}{2S \cdot r} \quad (1)$$

and

$$d(100) = \frac{W(0) - W(100)}{S \cdot r} \quad (2)$$

where $W(0)$, $W(100)$ and $W(300)$ denote the weights of specimen at the cycle number of 0, 100 and 300 respectively. Then, \bar{d} and $d(100)$ denote the characteristic values of abrasive wear on wood.

3. The angles of the edges on abrasive grains have a tendency to decrease with increase of grit number (decrease of grain size). Removed volume of wood and zinc plate by abrasion

is increased with increase of both grain size and vertical load to the wheel (Fig. 21 and Table 10). It is caused by increasing shear stress between abrasives and surface of material. This phenomenon is expressed as the following relation

$$d = a \cdot \tau \cdot \frac{1}{\Delta R} \cdot n = a \cdot \mu \cdot \frac{P}{\Delta R} \cdot n \quad (3)$$

where a is a proportional coefficient on abrasion, τ shear stress, ΔR a half of width of annular-abrasion area, n cycle number, μ frictional coefficient on rolling and sliding of the wheel, P vertical load per wheel. Equation 3 signifies the linear function of n in the steady state of abrasive wear.

4. The reciprocal $1/a$ is the amount of energy to produce unit volume removed from material by abrasion. It denotes the resistance to abrasive wear and is given by

$$\frac{1}{a} = \mu \cdot \frac{\Delta n}{\Delta d} \cdot \frac{P}{\Delta R} \quad (4)$$

and

$$\mu = \varepsilon \cdot \mu_s = (1 \sim 0.01) \mu_s$$

where μ_s denotes frictional coefficient of sliding of abrasives under the condition of the fixed wheel and changes with the grit number as shown in Fig. 22. As the points of $\bar{d}(\Delta d/100$ cycles) of each wood lie closely to hyperbolic curve to specific gravity axis (Figs. 25 and 26) and those of μ_s are roughly given by a linear expression in Fig. 27, Equation 4 is rearranged to

$$\frac{1}{a} = \frac{k_1 \cdot \varepsilon \cdot \mu_s(r)}{\bar{d}(r) \cdot 10^3} \quad (5)$$

and

$$k_1 = \frac{P \cdot \Delta n}{\Delta R}$$

where

$$\text{unit: } \frac{1}{a} (\text{g/mm}^2), \bar{d} (\mu), P (\text{g}) \text{ and } \Delta R (\text{mm}).$$

From the Equation 5 and the parameter $\varepsilon = 0.1$ (or 0.02), $1/a$ is calculated at Table 11 and Fig. 24.

Amount of abrasive wear is increased with increasing moisture content. In moisture content higher than 15 per cent, it increases considerably (Fig. 28).

5. The paint layer of coated wood and resin sheet for overlay have high resistance to abrasive wear. The gradients of wear line of wood-based material with decorative surface differ in each layer. Wear line is curved downward to cycle axis in the paint layer on the surface and rises upward in wood layer under it (Figs. 32 and 34). There are no remarkable differences in wear resistance of adhered part or paint-impregnated part against wood. Thereby, abrasive wear of the composite made of laminations may be predicted with those of each layer. The values of \bar{d} and $\bar{d}(100)$ of synthetic resin paint and plastics are tabulated in Tables 14~17.

6. The ratios of abrasive wear of wood-St·MMA composite to untreated wood versus polymer loading are shown in Fig. 36. The points lie exponentially, but percentage of loading of St·MMA in wood is not uniform, and the resistance to wear can not be improved by less than 10 per cent.

The distributions of density in wood-St·MMA composite are shown in Figs. 38~41. At the parts of high amount of St·MMA loading, the specific abrasions (\bar{d} and $\bar{d}(100)$) are reduced.

7. The author investigated a correlation between abrasion by the laboratory instrument

and actual wear. The wear depth in the test area with 7 cm square is measured on various materials in actual use, and can be expressed with the empirical formulae listed in Table 18. Average wear depth \bar{d} is calculated by use of the following equation

$$\bar{d} = h_A - \frac{1}{S} \int_0^a \int_0^a (\Phi(x) + \Psi(y)) dx dy \quad (6)$$

where h_A denotes the height of non-wearing point from the base, $S(=a^2)$ test area and the functions of $\Phi(x)$ and $\Psi(y)$ refer to Table 18. Wear depth per month can be calculated from \bar{d} and service life (same Table). On the other hand, rough approximation of actual wear depth is estimated on various floors, and wear depth per month is calculated (Table 19). The cycle number of Taber abrader corresponding to the wear depth per month is decided and listed in Table 20.

The examples are 10 r. for entrance-hall of residence, 17 r. for council-room, 21 r. for school-room, 28~52 r. for gymnasium, 133 r. for department store, 167 r. for elevator. Therefore, the approximation of actual wear may be predicted with the laboratory test of Taber abrader.

付表 主要木材の摩耗

Abrasive wear of main woods

(S-33 P=500g)

樹種 Wood species (Common name)	学名 Botanical name	試験面 Test plain R:ま さ目面 T: 板目面	比重 Specific gravity	厚さ摩耗量 Loss in thickness (μ)					重量 摩耗量 Loss in weight 平均 (mg)
				d (100)		d (500)		d̄	
				重量法 W. L.	厚み計法 T. G.	重量法 W. L.	重量法 W. L.		
Akamatsu	<i>Pinus densiflora</i> S. et Z.	R	0.477	52	54	34	174	221	54
		T	0.455	57	79	45	207	220	63
Ezomatsu	<i>Picea jezoensis</i> CARR.	R	0.356	79	106	58	275	312	66
		T	0.369	84	84	70	339	322	84
Himekomatsu	<i>Pinus pentaphylla</i> MAYR.	R	0.406	72	106	65	319	383	86
		T	0.369	91	113	83	411	452	104
Hinoki	<i>Chamaecyparis obtusa</i> ENDL.	R	0.394	75	106	58	285	356	74
		T	0.399	92	122	69	357	422	93
Hinokiasunaro	<i>Thujaops dolabrata</i> var. <i>hondai</i> MAKINO	R	0.472	63	73	56	271	290	81
		T	0.455	77	98	64	324	353	95
Ichii	<i>Taxus cuspidata</i> S. et Z.	R	0.500	43	62	35	169	208	56
		T	0.477	57	84	54	258	307	83
Karamatsu	<i>Larix leptolepis</i> GORDON	R	0.574	37	55	28	142	193	47
		T	0.535	62	68	44	215	225	73
Kaya	<i>Torreya nucifera</i> S. et Z.	R	0.517	50	72	41	203	240	68
		T	0.499	49	65	38	190	222	60
Kuromatsu	<i>Pinus thunbergii</i> PARL.	R	0.565	52	70	41	200	231	70
		T	0.608	44	66	43	194	228	79
Momi	<i>Abies firma</i> S. et Z.	R	0.418	46	56	45	195	234	60
		T	0.434	71	86	46	231	307	66
Sawara	<i>Chamaecyparis</i> <i>pisifera</i> ENDL.	R	0.334	88	115	75	379	449	87
		T	0.341	119	170	92	468	610	111
Sugi	<i>Cryptomeria</i> <i>japonica</i> D. DON	R	0.394	74	108	57	275	398	77
		T	0.402	69	83	55	251	286	70
Todomatsu	<i>Abies sachalinensis</i> FR. SCHM.	R	0.417	84	101	64	322	339	90
		T	0.425	90	92	67	335	350	93
Tōhi	<i>Picea jezoensis</i> var. <i>hondoensis</i> REHD.	R	0.405	77	107	54	257	298	67
		T	0.400	77	93	54	263	288	72
Tsuga	<i>Tsuga sieboldii</i> CARR.	R	0.557	36	48	30	145	173	50
		T	0.567	40	42	32	151	180	55
Akagashi	<i>Quercus acuta</i> THUNB.	R	0.939	17	15	16	81	78	44
		T	0.936	21	18	18	91	89	50
Asada	<i>Ostrya japonica</i> SARG.	R	0.720	26	22	20	96	90	41
		T	0.737	27	31	24	113	120	54
Buna	<i>Fagus crenata</i> BL.	R	0.581	39	49	28	137	161	50
		T	0.583	35	36	31	145	168	56
Hannoki	<i>Alnus japonica</i> STEUDEL	R	0.487	41	44	36	171	184	53
		T	0.472	53	70	38	195	228	59
Harigiri	<i>Kalopanax pictus</i> NAKAI	R	0.547	32	32	26	116	117	36
		T	0.517	33	42	28	139	149	46

付表 (つづき) (Continued)

樹種 Wood species (Common name)	学名 Botanical name	試験面 Test plain R: 端面 T: 板面	比重 Specific gravity	厚さ摩耗量 Loss in thickness (μ)					重量 摩耗量 Loss in weight \bar{W} (mg)
				d (100)		\bar{d}	d (500)		
				重量法 W. L.	厚み計法 T. G.	重量法 W. L.	重量法 W. L.	厚み計法 T. G.	
Harunire	<i>Ulmus davidiana</i> PLANCH. var. <i>japonica</i> NAKAI	R	0.525	42	50	36	175	191	56
		T	0.584	39	38	34	164	154	58
Hōnoki	<i>Magnolia obovata</i> THUNB.	R	0.472	57	69	42	213	232	61
		T	0.494	58	80	41	225	275	64
Isunoki	<i>Distylium racemosum</i> S. et Z.	R	0.913	21	28	19	91	113	52
		T	0.875	23	19	18	94	92	47
Itayakaede	<i>Acer mono</i> MAXIM.	R	0.626	27	36	24	116	140	46
		T	0.611	22	30	19	92	98	35
Katsura	<i>Cercidiphyllum japonicum</i> S. et Z.	R	0.482	55	76	39	195	228	58
		T	0.493	59	85	40	203	240	62
Keyaki	<i>Zelkova serrata</i> MAKINO	R	0.656	22	29	20	98	115	38
		T	0.636	27	36	33	144	138	64
Kiri	<i>Paulownia tomentosa</i> STEUD.	R	0.247	121	180	79	370	453	65
		T	0.257	138	181	98	490	540	88
Kusunoki	<i>Cinnamomum camphora</i> S.	R	0.685	33	38	31	155	163	67
		T	0.681	44	44	39	194	204	84
Makanba	<i>Betula maximowicziana</i> REGEL	R	0.704	31	36	26	128	133	56
		T	0.671	24	24	28	125	129	56
Mizume	<i>Betula grossa</i> S. et Z.	R	0.671	27	26	28	130	128	58
		T	0.712	24	30	28	128	136	56
Mizunara	<i>Quercus crispula</i> Bl.	R	0.699	30	37	27	125	137	55
		T	0.750	28	31	25	121	128	56
Shinanoki	<i>Tilia japonica</i> SIMK.	R	0.519	64	71	59	274	307	96
		T	0.516	66	89	58	285	345	188
Shioji	<i>Fraxinus spaethiana</i> LINGELSH.	R	0.544	41	65	34	177	204	56
		T	0.511	53	73	42	200	214	66
Shirakashi	<i>Quercus myrsinaefolia</i> Bl.	R	0.958	16	26	16	77	105	46
		T	0.995	15	23	15	73	90	44
Tabunoki	<i>Machilus thunbergii</i> S. et Z.	R	0.518	62	81	54	263	301	88
		T	0.505	73	98	62	314	360	100
Tochinoki	<i>Aesculus turbinata</i> Bl.	R	0.495	47	55	36	134	168	56
		T	0.505	50	59	35	169	177	55
Yachidamo	<i>Fraxinus mandshurica</i> RUPR.	R	0.678	28	27	22	101	104	45
		T	0.660	34	47	29	138	150	56
Yamazakura	<i>Prunus jamasakura</i> SIEB.	R	0.570	39	54	34	148	174	57
		T	0.557	39	51	30	148	169	52
Apitong	<i>Dipterocarpus gracilis</i> Bl.	R	0.730	25	29	22			51
		T	0.735	28	33	25			58
Jongkong	<i>Dactylocladus stenostachys</i> OLIV.	R	0.517	40	47	35			58
		T	0.517	57	75	46	225	259	78

附表 (つづき) (Continued)

樹種 Wood species (Common name)	学名 Botanical name	試験面 Test plain R: まさ目面 T: 板目面	比重 Specific gravity	厚さ摩耗量 Loss in thickness (μ)					重量摩耗量 Loss in weight \bar{W} (mg)
				d (100)		\bar{d}	d (500)		
				重量法 W. L.	厚み計法 T. G.	重量法 W. L.	重量法 W. L.	厚み計法 T. G.	
Kapur	<i>Dryobalanops</i> spp.	R	0.708	30	34	23			52
		T	0.715	34	42	26			60
Ramin	<i>Gonystylus bancanus</i> KURZ.	R	0.665	31	40	22			48
		T	0.685	30	38	23	112	126	52
Red lauan	<i>Shorea negrosensis</i> FOXW.	R	0.575	37	50	31	153	173	54
		T	0.580	38	47	35			62
Teak	<i>Tectona grandis</i> L. F.	R	0.607	48	58	41	209	226	77
		T	0.595	51	56	41			76
Walnut	<i>Juglans</i> sp.	R	0.670	28	34	25	120	132	51
		T	0.655	25	33	24			49
White meranti	<i>Shorea bracteolata</i> DYER.	R	0.542	51	57	44			75
		T	0.541	55	56	47	232	225	81
Sapele	<i>Entandrophragma cylindricum</i> SPR.	T	0.683	25	27	25	129	157	55
Bayur	<i>Pterospermum</i> spp.	T	0.449	75	91	70	333	370	107
Bubinga	<i>Guibourtia tessmannii</i> J. LEONARD	T	0.968	15	23	12	58	56	34
Dao	<i>Dracontomelom dao</i> MERR. & ROLFE	T	0.680	40	36	35	170	160	77
Mayapis	<i>Shorea squamata</i> DYER	T	0.389	105	133	88	434	440	114
Perupok	<i>Lophopetalum</i> spp.	T	0.489	49	68	37	173	198	60
Pulai	<i>Alstonia</i> spp.	T	0.433	83	95	68	334	349	184
Sepetir	<i>Sindora coriacea</i> PRAIN	T	0.462	64	66	55	265	273	81

R: L. R. section, T: L. T. section, W. L.: Method of weight loss, T. G.: Method of thickness gauge

$d(100)$: 100 回転目の厚さ摩耗量 Loss in thickness at 100 cycle

\bar{d} : 100 回転当たりの厚さ摩耗量 Loss in thickness per 100 cycles

$d(500)$: 500 回転目の厚さ摩耗量 Loss in thickness at 500 cycle

\bar{W} : 100 回転当たりの重量摩耗量 Loss in weight per 100 cycles

厚さ摩耗量の実験式

Empirical formula on loss in thickness (d)

unit: μ

厚さ摩耗量 標準偏差 d (μ) σ (s. d.) (μ)	まさ目 L. R. section		板目 L. T. section	
	重量法 W. L.	厚み計法 T. G.	重量法 W. L.	厚み計法 T. G.
$d(100)$	$14.25 \cdot r^{-1.813}$	$14.38 \cdot r^{-2.062}$	$16.96 \cdot r^{-1.692}$	$17.42 \cdot r^{-1.960}$
σ	± 9	± 14	± 11	± 13
\bar{d}	$14.30 \cdot r^{-1.485}$		$13.29 \cdot r^{-1.756}$	
σ	± 6.0		± 9.8	
$d(500)$	$71.54 \cdot r^{-1.448}$	$74.13 \cdot r^{-1.561}$	$68.47 \cdot r^{-1.698}$	$67.87 \cdot r^{-1.821}$
σ	± 46	± 50	± 47	± 52

r: 比重 Specific gravity