

木材の摩耗の標準化試験と摩耗の異方性

鈴木 正 治⁽¹⁾Masaharu SUZUKI: The Standardized Test of the Abrasion
of Wood and its Anisotropy

要 旨: 52種の木材の摩耗量を JIS Z 2141 (標準化法) によって測定し、異方性との関係を調べた。この摩耗の促進試験は、苛酷な条件下の床の耐摩耗性を樹種間で比較でき、実用に供せられる。厚さ摩耗量は木材の比重が大きいほど小になり、繊維に直角方向が平行方向より摩滅されやすい。板目とまさ目では有意な差がない。摩耗面は樹種(組織の種類)によって、特徴のある損傷形態を表わす。損傷のひどい面は、段状または格子状の条痕を生じ、時には、けば立っている。比重の大きい散孔材にはこの欠点は少ない。摩耗材料として、砂粒のほかに、と粒も用いて耐摩耗性を表わす摩耗抵抗を測定した。木材の3方向(繊維に平行, 45度, 直角)については、この順序で摩耗抵抗が減少し、先の厚さ摩耗量と同じ傾向になる。摩耗抵抗は前報で組織の種類ごとに求められているので、これを用いて種々の組織が現れる板目面の厚さ摩耗量の分布を求める計算式を導いた。と粒による摩耗と方向性との関係を解析するため、円錐子、鋼球などによる摩擦係数を調べ、繊維に直角方向の摩耗に円錐子による摩擦機構が含まれることが明らかとなった。

目 次

はじめに	112
I 摩耗の標準化試験	112
1. 摩耗試験の概要	112
2. 促進摩耗の機構	113
(1) 摩擦鋼板の摩耗機構	113
(2) 打撃鋼板のなす仕事	113
(3) 摩擦 プ ラ シ	114
3. 試験結果	114
(1) 摩耗による各樹種の表面の形態的变化	114
i) 針葉樹材	114
ii) 広葉樹材(環孔材)	115
iii) 広葉樹材(散孔材, 放射孔材)	115
(2) 厚さ摩耗量	115
i) 比重の影響	115
ii) 表面の形態変化と厚さ摩耗量	120
iii) 標準化試験による摩耗と摩耗抵抗との関係	121
II 摩耗の異方性	124
1. ざらつき摩耗の異方性	124
2. 摩耗抵抗の異方性	125
(1) 円形接触子による実験	125

(2) 結 果	125
(3) 立方形接触子による実験	127
(4) 結 果	128
3. 摩擦係数の異方性	133
(1) 実 験	133
(2) 結 果	133
4. 摩耗過程における異方性	135
III 摘 要	137
文 献	138
Summary	139
付 表	141

はじめに

既報¹⁾では住宅の木質系内装材, 家具材の摩耗について報告した。そこではプラスチックも含めて, 広い範囲の材料を扱っている。一方, 体育館, 教室, 住宅(廊下・洋室)の床, 階段, 敷居, 腰板などは, 木材がそのまま使われ, 表面の耐摩耗性の高いことが望まれている。木材の摩耗試験法 JIS Z 2141 は樹種間の摩耗を比較したり, 床などの苛烈な条件下の劣化を判定するのに適している。この報告は, 上記の試験法によって, 内・外国産材の摩耗量を測定した結果と, 摩耗と木材の方向性との関係を追求めたものである。方向性については, 他の測定法も併用し, 摩擦係数の挙動も検討した。以上, 得られた結果は, 建築設計の資料および樹種別の耐久性の一つの指標値としても利用できる。

原稿を校閲いただいた, 加納 孟部長, 山井良三郎科長にお礼申し上げます。

I 摩耗の標準化試験

1. 摩耗試験の概要

摩耗の標準化試験のための試験装置については, JIS Z 2141 に記載されているので省略し, 摩耗発生のプロセスだけを説明する。試片の被摩耗面は $5 \times 5 \text{ cm}^2$ の板目面またはまさ目面である。この試験面に, 粒径 $0.3 \sim 0.6 \text{ mm}$ の乾燥ケイ砂 0.5 g を均等に散布する。つづいて 23 kg の重錘を担った鋼板が散布砂の上を一定の速度で摩擦する。このため砂粒は回転・移動し, 材中へめり込みも生じる。鋼板が試験面を通過すると, 木材表面には砂粒の流動痕と圧痕が多数現れてくる。この面へ重さ 2.5 kg の打撃用鋼板を高さ 2 cm より落下させる。試験面上の砂粒はめり込んで, 表面の弱い組織が破壊される。次に, ピアノ線を束ねて作った摩擦ブラシが試験面を引っかく。ブラシには 1.5 kg の負荷が与えられているので, 表面にはさらに引っかきの痕跡が生じる。砂粒散布からブラシまでが 1 サイクルで, これを $1,000$ 回繰り返す。この結果, 木材表面は著しい損傷と摩耗による形状変化を現わす。

装置の使用回数が増えると, 機能の減退と部品の摩耗が目立ってくる。とくに, 砂散布機構とブラシなどの機能低下が著しい。ケイ砂の品質も変動が大きいので, これについて次の検討を行った。

ケイ砂のロットは 5 袋(各 45 kg 入り)に分類できたので, 各袋より砂粒を採取し, 密度測定と顕微鏡写真による長・短径の測定を行った。Fig. 1 にロット 1 のサンプルの粒径の状態を示す。規格による砂粒径の許容範囲 $0.3 \sim 0.6 \text{ mm}$ よりずれるものが含まれるが, 以下の試験はその程度の少ないロット 2 を

用いた。液体浸漬によって実容積を求め、密度を算出すると、 $2.2\sim 2.6\text{ g/cm}^3$ であった。

2. 促進摩耗の機構

1. で記述した試験には3つの促進摩耗の機能がある。それらの木材への影響について考察する。

(1) 摩擦鋼板の摩耗機構

砂粒の平均直径を 0.45 mm として球形を仮定すると、体積は $4.77\times 10^{-5}\text{ cm}^3$ となる。密度を 2.6 g/cm^3 とすると、砂粒1個の平均重量は $1.24\times 10^{-4}\text{ g}$ となる。試験面に 0.6 g が散布されるので、散布個数は $4,830$ 個程度である。摩擦鋼板には 23 kg

の荷重がかけられるから、砂粒1個あたり 4.7 g の荷重がかかる。たとえば全数の $1/10$ の砂粒が有効に荷重を受けつならば、1個につき 47 g となって、この砂粒によって木材面に条痕が生じることになる。

テーバー法では、摩擦輪と試片との接触面積は 31.75 mm^2 で、と粒は 1 mm^2 に平均25個存在するから、接触部のと粒は793個と計算できる。このため、と粒1個につき 0.63 g がかかり、表面を半強制的にせん断破壊させる。この結果、と粒と砂粒を比較すると、後者への荷重が大きく、摩耗作用も強烈である。

鋼板で1回だけ摩擦された木材表面でも無数の条痕が見いだされる。摩耗回数が60回程度の摩耗の初期では、条痕の幅は板目面とまさ目面でやや異なるが、比重が $0.45\sim 0.65$ の木材で $0.05\sim 0.1\text{ mm}$ の範囲になる。120~150回になると、幅は $0.2\sim 1.4\text{ mm}$ と広がる。次の200~300回では、摩耗に対して抵抗性の大きい木部繊維、夏材仮道管などの部分が崩れ始め、木材表面が平坦化する。この付近で、各木材の摩耗に対する特性がよく現れる（後述）。摩擦ブラシの作用の後、砂粒は除じん装置によって吸い取られる。しかし、この時期には微粉化した砂、木粉が木材表面に付着・残留して、条痕を埋め始める。このため、表面の平坦化をより一層助長するのが観察されたので、400回で装置を停止して、表面に付着した微粉をできるだけ除去した。それ以後では、条痕は時々材面に現れるが、その推移はかなり複雑で、判断としない。

(2) 打撃鋼板のなす仕事

重さ 2.5 kg の鋼板が 2 cm の高さから垂直に落下するので、衝突時の速度は 62.6 cm/sec 、鋼板のもつエネルギーは 4.9×10^6 エルグと計算できる。このエネルギーが483個程度の砂粒に分配されるので、1個につき約 1×10^4 エルグのエネルギーが付与される。この力が砂粒を木材中へ打ち込む作用にかわる。くい込む砂粒に抗する木材の抵抗力を R とすれば、砂粒は深さ s まで圧入され、エネルギーを失って停止する。これを式で表わすと

$$R \cdot s = E \quad (1)$$

となる。ここに、 E は1個の砂粒が持っているエネルギーである。

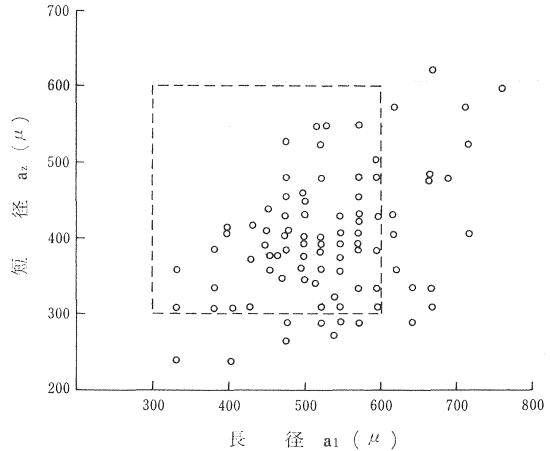


Fig. 1 乾燥ケイ砂の粒径
Size of the sand grain.
(a_1 : Long diam., a_2 : Short diam.)

砂粒 0.6 g を正確に秤量して未摩耗面に散布し、打撃鋼板で 1 回打撃した。砂粒のエッジでできる傷は軽微であるが、その深さを落射照明を用いた、光学顕微鏡の焦点の差から求めると

トウヒの板目面 最大 22 μ , 10 μ 以下が多数

シナノキ板目面 平均 16 μ

マカンバまさ目面 10 μ 以下が多数

などであった。仮に $s=10\mu$ とすると、Eq. 1 より、 $R=10\text{ kg}\cdot F$ となる。トウヒ、ヒノキなどの硬度は 1 kg/mm^2 であるから、粗い計算で R は約 10 倍になっている。力を受けた砂粒は鋼板と木材との間隙で逃げて、エネルギー E' を消耗する。この時、Eq. 1 は

$$R\cdot s + E' = E \quad (2)$$

となり、過大に評価されていた R は小さくなって、硬度値に近いものになる可能性もある。換言すれば、打撃鋼板によって、砂粒の点在する木材面は無数の塑性変形を余儀なくされる。既述したように、この促進試験では表面の劣化に摩擦鋼板の作用が顕著に現れる。しかし、打撃鋼板の作用もそれについて重要であるので、前報²⁾の摩耗の理論的解析には、これらを含めて取り扱っている。

(3) 摩 擦 ブラ シ

摩擦ブラシは、円板に 45 個せん孔し、1 孔あたり 36 本のピアノ線が植毛してある。摩擦ブラシによる摩耗は、1,620 本のピアノ線の突端による引っかき作用で生じる。ピアノ線の突端の曲がり、摩滅状態より、保護板および試片を摩擦するピアノ線の数は 120~180 本、平均して 152 本程度と推定される。円板には 1.5 kg の荷重がかかるので、ピアノ線 1 本につき約 10 g となる。ただ、ピアノ線は、端材の保護板への作用が強く、肝心の試片への引っかき作用が微弱になる欠点がある。

この結果、促進摩耗の機構はある程度摩擦鋼板と打撃鋼板に限って考えることができる。

3. 試 験 結 果

(1) 摩耗による各樹種の表面の形態的变化

摩耗面の微細な点に注意すると、各樹種の摩耗形態は特有で、同じでないが、次の類型に分類することができる。ここで略記号として、「 \diagdown 」は「繊維方向の摩耗」、「 \perp 」は「繊維に直角方向の摩耗」を表わすことにする。

i) 針 葉 樹 材

けば立ち型：まさ目面で著しいのであるが、繊維束が外れて、毛状にけば立つ。年輪と関係なく細い条痕も散見できる。「 \perp 」では、下記の樹種で共通して 180 回程度で、太い繊維束がばらばら離脱する。トドマツ、トウヒ、サワラ、ヒバなどで顕著である。

階段型：「 \diagdown 」のまさ目面では、春材が摩耗を受けて深く掘れ込み、夏材が帯状になって残る。板目面でも夏材が浮きぼりになり、段がつく。「 \perp 」では不明瞭ながら、まさ目面の 1 年輪内で 2~3 段の高低がつく。春材から夏材への移行が不連続的な樹種に多い。クロマツ、アカマツ、カラマツなどで、300 回程度で摩耗抵抗の大きい夏材が崩れ始める。

格子型：「 \perp 」のまさ目面でこの特徴が現れる。春材の初期部分が掘り出されて生じたみぞと摩耗方向のみぞとで格子状になる。200 回を過ぎると平坦になり、その後格子が時々現れる。「 \diagdown 」では板目面で比較的細い条痕が多数並び、まさ目面でも 1 年輪内に 1~4 列並ぶ。スギ、ツガ、エゾマツ、ヒメコマツ、モミなどが該当する。

平坦型：摩耗の初期では、大小の幅をもった条痕が出来るが、200回前後で平坦になり、これを繰り返す。この特徴を表わす樹種はカヤであるが、ヒノキもこれに近い形状を表わす。

ii) 広葉樹材（環孔材）

格子型：まさ目面の環孔部では道管およびその周辺の柔組織が著しく掘れ込む。このため「 \diagup 」では、比較的太い幅の条痕が一つずつ年輪ごとに並ぶ。しかし、200~250回で木部繊維が崩れ始めるので、針葉樹材の階段型の夏材より弱いようである。「 \perp 」では、まさ目面で環孔部が掘りとられると、つづいて木部繊維を横断して生じる条痕が現れ始めて格子状になる。一方、板目に現れる環孔部は非常に弱く、ここが切れ込んで、木部繊維が波状に浮きでる。ヤチダモ、ケヤキ、ミズナラなどに現れる。

網目型：板目面、まさ目面とも細い条痕が多数できるが、180回程度で平坦化する。「 \perp 」では縦横の条痕によって網目状に見える。センが該当するが、微粉化した砂粒が組織の中に充てんしやすい。

iii) 広葉樹材（散孔材、放射孔材）

軽微な格子型：まさ目面の「 \diagup 」、「 \perp 」では、春材で樹種によって異なり、たとえば、ブナでは広く、クスノキではせまい幅の条痕が発生する。したがって、「 \perp 」では繊維を横断する条痕が比較的容易に生じるので、軽微ではあるが格子状に見える。格子は平坦化するが、他の格子型と異なって、たびたび繰り返して現れる。上の樹種では、摩耗量のかなり異なる2つのグループがある。250回程度で格子が明瞭になるものは摩耗量が少なく、ブナ、クス、ヤマザクラ、マカンバ、カエデが相当する。ホオノキ、タブノキ、ハンノキ、ジョウコン、チークなどでは格子が不明瞭で摩耗量が多い。

平坦型：条痕が浅く、平坦になりやすい。アサダ、イスノキ、ミズメ、ウォルナット、ラミン、ホワイトメランチなどである。

けば立ち型：針葉樹材のけば立ちより少ないが大小の条痕ができ始める150回ころより少しずつけば立ちってくる。カツラ、キリ、ホワイトメランチの一部などである。

斑点型：まさ目面の「 \diagup 」、「 \perp 」で見られるのは条痕の長さが短く、斑点状になる。レッドラワン、トチノキが該当する。

凹凸型：ところどころに凹凸があり、幅の広い条痕も時々現れる。アビトン、アカガシ、カプールなどが該当する。

突起型：「 \diagup 」、「 \perp 」とも、摩耗方向に平行に幅のせまい多数の条痕が並び、繊維の突起状のものが現れる。シナノキ、プライに著しい。

以上が摩耗形態の大別であり、それぞれ組織構造との関係が深い。これまで耐摩耗性のすぐれた樹種は摩耗による厚さ減少量が少ないと考えるのが一般的である。しかし、本節で記述したように、表面の形態的变化の現れ方によっては、床材料として欠陥につながることもある。この防止のため、塗装などの保護を行うが、けば立ち型、階段型、つよい格子型に属する樹種は、材面が弱かったり、年輪内で硬軟の差が大きいから、形態的欠点が現れる。この問題は摩耗量とあわせて(2)のii)で考察するが、すぐれた床材料である、マカンバ、ブナ、イタヤカエデなどの樹種は形態的欠点も少ない。

(2) 厚さ摩耗量

i) 比重の影響

Iで略述した試験法で、一連の摩耗作用を1,000回行ったときの厚さ摩耗量を測定した。測定法は同試験片につき、重量法と厚み計法を併用した。前者は摩耗による重量減 ΔW を実測し、比重 ρ と試験面の面

Table 1. 厚さ摩耗量 (重量法)
Loss in thickness by abrasion (Method of weighing) Unit : mm

樹種 Wood species	まさ目面 Rad. section				板目面 Tang. section			
	気乾比重 Specific gravity in air dry	繊維に平行方向 Parallel to fiber direction	気乾比重 Specific gravity in air dry	繊維に直角方向 Perpendicular to fiber direction	気乾比重 Specific gravity in air dry	繊維に平行方向 Parallel to fiber direction	気乾比重 Specific gravity in air dry	繊維に直角方向 Perpendicular to fiber direction
ヒノキ Hinoki	0.393	0.78	0.393	1.05	0.381	0.76	0.380	0.81
サワラ Sawara	0.327	1.50	0.333	1.56	0.332	1.22	0.333	1.69
ヒバ Hiba	0.456	0.89	0.451	1.40	0.455	0.96	0.463	1.38
モミ Momi	0.421	1.04	0.426	1.06	0.460	0.70	0.444	0.98
トドマツ Todomatsu	0.406	0.79	0.410	1.18	0.396	0.74	0.390	0.98
カラマツ Karamatsu	0.545	0.79	0.549	0.82	0.541	0.70	0.540	0.68
エゾマツ Ezomatsu	0.350	0.82	0.350	0.90	0.359	0.80	0.359	0.85
トウヒ Tōhi	0.408	0.77	0.418	1.25	0.387	0.83	0.393	0.88
アカマツ Akamatsu	0.446	0.64	0.455	0.92	0.477	0.58	0.485	0.68
ヒメコマツ Himekomatsu	0.396	1.30	0.391	1.64	0.373	1.13	0.374	1.16
クロマツ Kuromatsu	0.586	0.60	0.579	0.78	0.580	0.46	0.600	0.74
ツガ Tsuga	0.547	0.70	0.553	0.80	0.518	0.56	0.519	0.69
イチイ Ichii	0.485	1.02	0.491	1.25	0.495	0.90	0.504	0.99
カヤ Kaya	0.498	0.84	0.506	1.06	0.490	1.11	0.489	1.11
スギ Sugi	0.402	0.69	0.400	1.13	0.365	0.97	0.372	1.00
イタヤカエデ Itayakaede	0.625	0.49	0.618	0.68	0.614	0.56	0.602	0.66
セン Sen	0.547	0.57	0.558	0.71	0.593	0.62	0.597	0.69
ハンノキ Hannoki	0.510	1.00	0.508	1.18	0.500	0.86	0.492	1.31
ミズメ Mizume	0.651	0.64	0.658	0.66	0.696	0.49	0.679	0.59
マカンバ Makanba	0.732	0.35	0.723	0.49	0.717	0.38	0.725	0.40
アサダ Asada	0.715	0.37	0.718	0.62	0.681	0.47	0.684	0.54
カツラ Katsura	0.505	0.75	0.496	1.00	0.517	0.88	0.516	1.07
ブナ Buna	0.581	0.38	0.599	0.62	0.537	0.50	0.540	0.58
アカガシ Akagashi	0.967	0.30	0.954	0.49	0.915	0.42	0.905	0.50
ミズナラ Mizunara	0.721	0.58	0.703	0.68	0.703	0.54	0.709	0.56
イスノキ Isunoki	0.905	0.38	0.906	0.41	0.853	0.44	0.827	0.46
トチノキ Tochinoki	0.486	0.68	0.494	0.83	0.467	0.80	0.458	1.22
クスノキ Kusunoki	0.679	0.55	0.677	0.70	0.690	0.53	0.688	0.57
タブノキ Tabunoki	0.522	0.89	0.529	1.02	0.506	0.92	0.504	1.02
ホオノキ Hōnoki	0.457	0.75	0.459	1.02	0.442	0.90	0.439	0.99
ヤマグワ Yamaguwa	0.618	0.70	0.616	0.76	0.620	0.66	0.622	0.90
ヤチダモ Yachidamo	0.686	0.42	0.678	0.54	0.692	0.36	0.692	0.40
シオジ Shioji	0.554	0.66	0.544	0.74	0.544	0.46	0.545	0.56
ヤマザクラ Yamazakura	0.586	0.79	0.575	0.77	0.579	0.50	0.579	0.73
キリ Kiri	0.253	0.95	0.251	1.15	0.234	0.91	0.234	1.20
シナノキ Shinanoki	0.512	1.08	0.512	1.26	0.504	1.09	0.503	1.15
ハルニレ Harunire	0.496	1.15	0.495	1.30	0.551	0.90	0.577	1.00
ケヤキ Keyaki	0.642	0.53	0.633	0.60	0.635	0.48	0.623	0.69

Table 1. (つづき) (Continued)

樹種 Wood species	まさ目面 Rad. section				板目面 Tang. section			
	気乾比重 Specific gravity in air dry	繊維に平行方向 Parallel to fiber direction	気乾比重 Specific gravity in air dry	繊維に直角方向 Perpendicular to fiber direction	気乾比重 Specific gravity in air dry	繊維に平行方向 Parallel to fiber direction	気乾比重 Specific gravity in air dry	繊維に直角方向 Perpendicular to fiber direction
ダ オ Dao					0.633	0.50	0.633	0.71
ウォルナット Walnut	0.656	0.51	0.656	0.59	0.647	0.52	0.647	0.63
プ ラ イ Pulai					0.467	0.66	0.467	0.87
ペルポック Perupok					0.510	0.69	0.510	0.85
アピトン Apitong	0.715	0.39	0.715	0.48	0.725	0.43	0.725	0.49
カプール Kapur	0.735	0.43	0.735	0.53	0.736	0.47	0.736	0.55
レッドラワン Red lauan	0.556	0.72	0.556	0.82	0.567	0.70	0.567	0.77
ホワイトメランチ White meranti	0.535	0.81	0.535	0.94	0.538	0.75	0.538	0.94
ラミン Ramin	0.633	0.60	0.633	0.63	0.631	0.61	0.631	0.65
ジョンゴン Jongkong	0.515	0.68	0.515	0.82	0.520	0.63	0.520	0.80
チーク Teak	0.584	0.69	0.584	0.74	0.582	0.70	0.582	0.80
サペリ Sapele					0.654	0.56	0.654	0.60
ブビンガ Bubinga					0.962	0.44	0.962	0.51
セプター Sepetir					0.540	0.84	0.540	1.08

Table 2. 厚さ摩耗量 (TG法)
Loss in thickness by abrasion (Method of thickness gauge) Unit: mm

樹種 Wood species	まさ目面 Rad. section				板目面 Tang. section			
	繊維に平行方向 Parallel to fiber direction	標準偏差 Standard deviation	繊維に直角方向 Perpendicular to fiber direction	標準偏差 Standard deviation	繊維に平行方向 Parallel to fiber direction	標準偏差 Standard deviation	繊維に直角方向 Perpendicular to fiber direction	標準偏差 Standard deviation
ヒノキ Hinoki	1.15	0.070	1.36	0.073	1.09	0.036	1.36	0.046
サワラ Sawara	1.84	0.072	1.86	0.116	1.57	0.107	1.97	0.112
ヒバ Hiba	1.34	0.092	1.86	0.066	1.45	0.135	1.70	0.156
モミ Momi	1.40	0.184	1.36	0.097	1.13	0.197	1.50	0.091
トドマツ Todomatsu	1.40	0.251	1.58	0.245	1.24	0.189	1.40	0.167
カラマツ Karamatsu	0.98	0.108	0.98	0.109	0.85	0.079	0.87	0.103
エゾマツ Ezomatsu	1.15	0.108	1.33	0.091	1.08	0.124	1.24	0.082
トウヒ Tōhi	1.27	0.079	1.29	0.048	1.10	0.052	1.50	0.109
アカマツ Akamatsu	1.08	0.178	1.21	0.094	1.00	0.205	1.20	0.119
ヒメコマツ Himekomatsu	1.65	0.090	1.80	0.156	1.55	0.116	1.53	0.108
クロマツ Kuromatsu	0.94	0.060	1.00	0.048	0.85	0.075	0.95	0.090
ツガ Tsuga	0.83	0.109	1.14	0.049	0.93	0.116	0.98	0.062
イチイ Ichii	1.33	0.106	1.54	0.065	1.23	0.028	1.30	0.056
カヤ Kaya	1.12	0.079	1.32	0.074	1.41	0.112	1.39	0.071
スギ Sugi	1.16	0.051	1.44	0.047	1.47	0.117	1.50	0.073
イタヤカエデ Itayakaede	0.78	0.056	0.80	0.030	0.82	0.048	0.92	0.062

Table 2. (つづき) (Continued)

樹種 Wood species	まさ目面 Rad. section				板目面 Tang. section			
	繊維に 平行方向 Parallel to fiber direc- tion	標準偏差 Stand- ard devia- tion	繊維に 直角方向 Perpen- dicular to fiber direc- tion	標準偏差 Stand- ard devia- tion	繊維に 平行方向 Parallel to fiber direc- tion	標準偏差 Stand- ard devia- tion	繊維に 直角方向 Perpen- dicular to fiber direc- tion	標準偏差 Stand- ard devia- tion
セ　ン　Sen	0.74	0.058	0.99	0.054	0.62	0.067	0.83	0.080
ハンノキ Hannoki	1.36	0.077	1.38	0.062	1.28	0.066	1.62	0.079
ミズメ Mizume	0.88	0.098	0.95	0.054	0.74	0.045	0.87	0.088
マカンバ Makanba	0.56	0.077	0.70	0.053	0.51	0.073	0.60	0.045
アサダ Asada	0.58	0.024	0.86	0.042	0.64	0.051	0.80	0.041
カツラ Katsura	1.28	0.060	1.26	0.054	0.92	0.089	1.20	0.072
ブナ Buna	0.60	0.055	0.86	0.062	0.80	0.055	0.85	0.033
アカガシ Akagashi	0.52	0.035	0.62	0.047	0.64	0.069	0.72	0.039
ミズナラ Mizunara	0.82	0.052	0.92	0.059	0.82	0.049	0.85	0.062
イスノキ Isunoki	0.61	0.036	0.60	0.033	0.66	0.079	0.75	0.053
トチノキ Tochinoki	0.96	0.057	1.09	0.058	1.15	0.091	1.18	0.045
クスノキ Kusunoki	0.92	0.104	1.18	0.116	0.92	0.194	1.04	0.113
タブノキ Tabunoki	1.24	0.090	1.31	0.071	1.20	0.081	1.30	0.093
ホオノキ Hōnoki	1.04	0.101	1.32	0.144	1.30	0.258	1.36	0.076
ヤマグワ Yamaguwa	0.95	0.054	0.98	0.061	0.92	0.077	1.06	0.081
ヤチダモ Yachidamo	0.64	0.049	0.74	0.029	0.49	0.046	0.60	0.045
シオジ Shioji	1.08	0.084	1.14	0.067	0.81	0.068	1.15	0.056
ヤマザクラ Yamazakura	1.10	0.064	0.94	0.047	0.92	0.057	0.84	0.065
キ　リ Kiri	1.37	0.165	1.73	0.103	1.65	0.142	1.68	0.079
シナノキ Shinanoki	1.21	0.135	1.23	0.122	1.47	0.093	1.48	0.154
ハルニレ Harunire	1.52	0.122	1.68	0.128	1.28	0.090	1.30	0.141
ケヤキ Keyaki	0.78	0.029	0.83	0.040	0.70	0.039	0.76	0.042
ダ　オ Dao					0.86	0.052	0.96	0.047
ウォルナット Walnut	0.68	0.054	0.82	0.046	0.69	0.047	0.85	0.048
プ　ラ　イ Pulai					1.04	0.096	1.23	0.103
ペルポック Perupok					1.01	0.093	1.08	0.078
アピトン Apitong	0.50	0.038	0.72	0.046	0.58	0.077	0.68	0.086
カプール Kapur	0.66	0.088	0.79	0.112	0.69	0.097	0.78	0.087
レッドラワン Red lauan	0.93	0.092	1.03	0.093	1.01	0.098	1.07	0.096
ホワイトメランチ White meranti	1.12	0.066	1.18	0.048	0.98	0.057	1.22	0.056
ラ　ミ　ン Ramin	0.74	0.067	0.89	0.077	0.79	0.083	0.87	0.066
ジョンコン Jongkong	0.96	0.124	1.12	0.101	1.02	0.097	1.09	0.137
チ　ー　ク Teak	0.91	0.128	1.03	0.136	0.98	0.107	1.06	0.118
サ　ペ　リ Sapele					0.84	0.122	0.91	0.141
ブビンガ Bubinga					0.65	0.134	0.68	0.106
セプター Sepetir					1.25	0.124	1.33	0.118

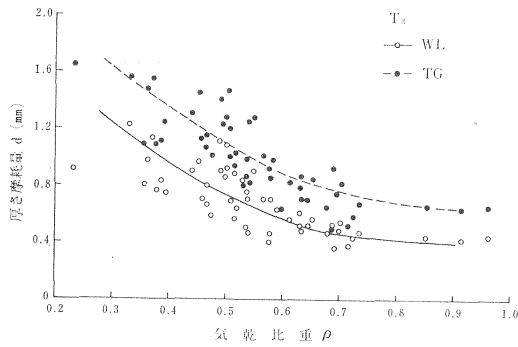


Fig. 2 気乾比重と厚さ摩耗量

Specific gravity in air dry (ρ) vs. loss in thickness (d).

- WL : 重量法
Calculated from loss in thickness
- TG : 厚み計法
Measured by the thickness gauge
- T// : 板目面の繊維に平行方向
Parallel to the fiber direction on the tangential section

Fig. 3 気乾比重と厚さ摩耗量

Specific gravity in air dry (ρ) vs. loss in thickness (d).

- T \perp : 板目面の繊維に直角方向
Perpendicular to the fiber direction on the tangential section

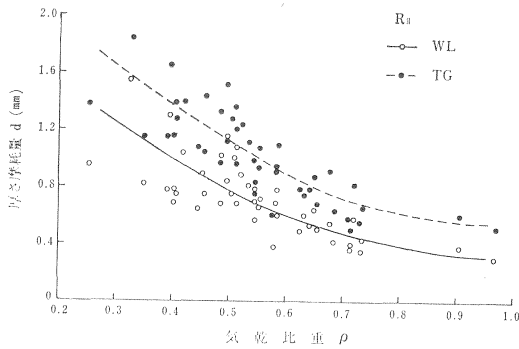
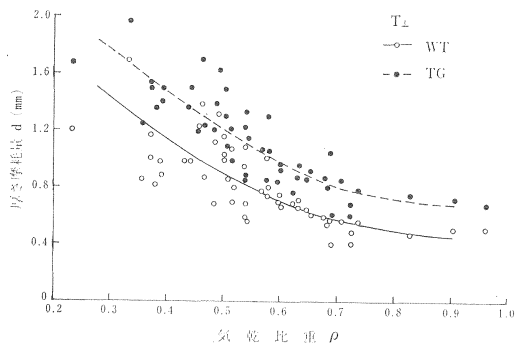


Fig. 4 気乾比重と厚さ摩耗量

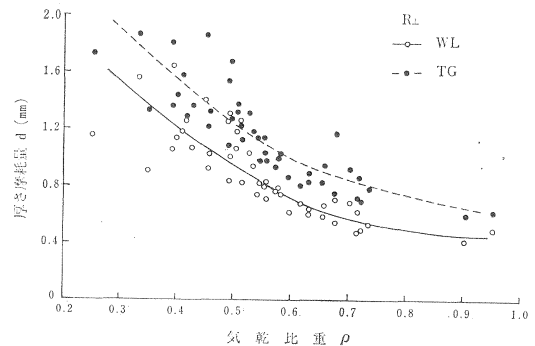
Specific gravity in air dry (ρ) vs. loss in thickness (d).

- R// : まさ目面の繊維に平行方向
Parallel to the fiber direction on the radial section

Fig. 5 気乾比重と厚さ摩耗量

Specific gravity in air dry (ρ) vs. loss in thickness (d).

- R \perp : まさ目面の繊維に直角方向
Perpendicular to the fiber direction on the radial section



積 S から、厚さ摩耗量 d を計算する。

$$d = \frac{\Delta W}{S \cdot \rho} \quad (3)$$

後者 (TG 法) では、試験面上に 9 個の定点を設定し、この点の厚さ減少量を実測する場合と、試験面上の 30~50 個の無作為点を実測する場合の 2 通りを行った。

試験面が板目とまさ目の場合につき、繊維に平行方向と繊維に直角方向の摩耗を Table 1, 2 に示す。また比重との関係を Fig. 2~5 に示す。比重が小さくなるほど厚さ摩耗量は急増し、その関係曲線は 2 次式で表わされる。繊維に直角方向の摩耗は繊維方向の摩耗より各樹種とも大体大きい。また、測定法の相違によって摩耗が異なる。図の TG 法は定点と無作為点における実測値の平均であるが、重量法の結果より全体的に大きい。重量法が小さくなる原因には、砂粒や木材の微粉末が摩耗面に強固に付着して、重量減を少なく測定していることがあげられる。この意味から、TG 法が直接的であるが、測定点が有限個であること、摩耗の深いところの情報になりやすいことなどの欠点もある。したがって、ここでは両者を併記した。それぞれについて曲線式を求めると

重量法

板目面, 繊維に平行 $d = 3.13\rho^2 - 5.08\rho + 2.48 \quad (4)$

板目面, 繊維に直角 $d = 3.13\rho^2 - 5.38\rho + 2.80 \quad (5)$

まさ目面, 繊維に平行 $d = 2.50\rho^2 - 4.50\rho + 2.40 \quad (6)$

まさ目面, 繊維に直角 $d = 3.38\rho^2 - 5.83\rho + 3.00 \quad (7)$

T G 法

板目面, 繊維に平行 $d = 3.50\rho^2 - 5.90\rho + 3.16 \quad (8)$

板目面, 繊維に直角 $d = 4.00\rho^2 - 6.75\rho + 3.56 \quad (9)$

まさ目面, 繊維に平行 $d = 2.88\rho^2 - 5.28\rho + 3.01 \quad (10)$

まさ目面, 繊維に直角 $d = 4.13\rho^2 - 6.98\rho + 3.70 \quad (11)$

ただし、厚さ摩耗量 d の単位は mm、比重 ρ の範囲は 0.3~0.9 である。

実験式から、板目面とまさ目面の摩耗に差はないが、重量法による厚さ摩耗量の大小を板目面 (T) とまさ目面 (R) につき比較すると、 $R_{\perp} > T_{\perp} > R_{\parallel} > T_{\parallel}$ となるのは 12 樹種、 $R_{\perp} > R_{\parallel} > T_{\perp} > T_{\parallel}$ となるのは 10 樹種、 $R_{\perp} > T_{\perp} > T_{\parallel} > R_{\parallel}$ となるのは 10 樹種であった。すなわち、46 樹種のうち、32 樹種で R_{\perp} の摩耗が大きくなる。一方、 $T_{\perp} > R_{\perp} > T_{\parallel} > R_{\parallel}$ となるのは 8 樹種にすぎない。

ii) 表面の形態変化と厚さ摩耗量

Table 1 より、板目面とまさ目面の厚さ摩耗量の樹種ごとの平均を求める。平均した摩耗量の大小によって 5 つのグループに分けると次記のごとくなる。樹種名の次の数字は平均の厚さ摩耗量 (mm) である。カッコ内の略号は、階：階段型、格：格子型、軽格：軽微な格子型、け：けば立ち型、網：網目型、平：平坦型、凹：凹凸型、突：突起型、斑：斑点型、また、略号のないものは形態的分類が困難な樹種である。

① 0.40~0.59 mm の範囲

LH マカンバ 0.41 (軽格)、イスノキ 0.42 (平)、アカガシ 0.43 (凹)、ヤチダモ 0.43 (格)、アサダ 0.50 (平)、ブナ 0.52、ケヤキ 0.58 (格)、ミズナラ 0.59 (格)、クスノキ 0.59 (軽格)、アピトン 0.45

(凹), プビンガ 0.48, カプール 0.50 (凹), ウオルナット 0.56 (平), サベリ 0.58。

② 0.60~0.79 mm の範囲

NH クロマツ 0.65 (階), ツガ 0.69 (格), アカマツ 0.71 (階), カラマツ 0.75 (階)。

LH イタヤカエデ 0.60 (軽格), ミズメ 0.60 (平), シオジ 0.61 (軽格), セン 0.65 (網), ヤマザクラ 0.73 (軽格), ダオ 0.61, ラミン 0.62 (平), ジョンコン 0.73 (平), チーク 0.73 (軽格), レッドラワン 0.75 (斑), プライ 0.77 (突), ベルボック 0.77 (斑)。

③ 0.80~0.99 mm の範囲

NH エゾマツ 0.84 (格), ヒノキ 0.85 (平), トドマツ 0.92 (け), トウヒ 0.93 (け), モミ 0.95 (格), スギ 0.95 (格)。

LH トチノキ 0.88 (斑), ホオノキ 0.92 (軽格), カツラ 0.93 (け), タブノキ 0.96 (軽格), ホワイトメランチ 0.86 (平), セプター 0.96。

④ 1.00~1.19 mm の範囲

NH カヤ 1.03 (平), イチイ 1.04, ヒバ 1.16 (け)。

LH キリ 1.05 (け), ハルニレ 1.09, ハンノキ 1.09 (軽格), シナノキ 1.15 (突)。

⑤ 1.20 mm 以上の範囲

NH ヒメコマツ 1.31 (格), サワラ 1.49 (け)。

既述したように、階段型、つよい格子型、けば立ち型などを表わす樹種は、摩耗量が小でも、床材として不適當である。この立場で、主に、ランク ①、ランク ② から、床・階段・腰板などの適性材料を選ぶと、アサダ、マカンバ、イスノキ、アビトン、カプール、ウオルナット、イタヤカエデ、チーク、ミズメ、ヤマザクラ、ホワイトメランチ、ヒノキなどがあげられる。化粧床板としてよく利用されるセプター、サベリ、プビンガ、または、フローリングボードとして利用度の高いブナ、ミズナラ、ヤチダモなどの樹種はいずれもランク ① に属しているが、欠点を持っている。筆者の見聞したもので、体育館あるいはバスの床に使われた、ヤチダモ、ミズナラの板目の道管周辺はひどく摩滅する。一方、木造住宅の内装（床、内壁）を統一的にヤチダモで仕上げた事例を調べると、10年に近い長期間でもほとんど損傷がなかった。したがって、材料の選択には、使用場所が重要なきめ手になる。

iii) 標準化試験による摩耗と摩耗抵抗との関係

JIS Z 1451 の砂粒のざらつき摩耗では、材面の硬軟、すなわち、組織の種類によって、摩耗のはげしいところとそうでないところを生じる。この現象は板目面で顕著になる。Table 2 の厚さ摩耗量の標準偏差はまさ目面より板目面で大きい傾向を表わす。厚さ摩耗量 d の材面の位置による相違は、各位置の摩耗抵抗の大小によってきまる。小試片（組織）の摩耗抵抗 U が年輪内の位置によって求められたので、 U と d を結びつけることができる。 d の測定を次のように行った。

板目面の厚さ摩耗量の分布状態は、Fig. 6 のように、JIS Z 1451 の摩耗試片で、春材より夏材への推移から求める。測定点を 10 点 (E_1, \dots, E_9, L) ほど選び、先細の接触子を取りつけたダイヤルゲージを用いて、厚さ摩耗量を測定した。一方、 E_1, E_2, \dots, E_9, L と対応する位置の U を図から求め、 d と U を対応させて、グラフに表わした。

針葉樹材の場合、 U に対して d をプロットすると、Fig. 7 の例のごとく直線で近似できるものが多い。左図は板目面の繊維方向の摩耗であり、右図は板目面の繊維に直角方向の摩耗である。直線式の回帰

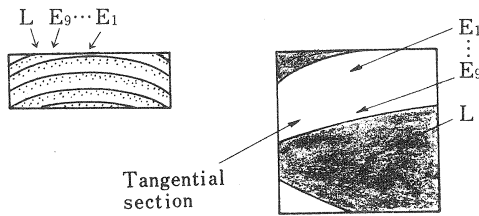


Fig. 6 試験面上の測定点
Measured points on the surface of specimen.

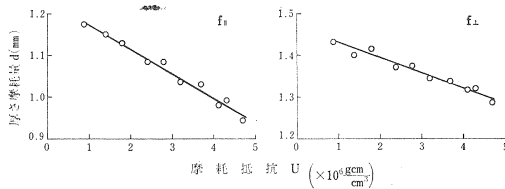


Fig. 7 ヒノキ板目面の厚さ摩耗量と
摩耗抵抗
Loss in thickness (d) vs. abrasive resistance (U) on the tang. section of Hinoki.

Table 3. 針葉樹材の摩耗抵抗から板目面の厚さ摩耗量の計算
Calculation of loss in thickness (d) on the tangential section from abrasive resistance (U) of softwood

樹種 Wood species			回帰係数 ¹⁾ Regression coefficient			d (mm)	
			C_1	C_2	U の範囲 Range of U	計算 ²⁾ Calculation	実測値 Measured loss in thickness
ヒノキ Hinoki	∥	0.055	1.22	0.9 ~ 4.9	1.06	1.09	
	⊥	0.033	1.46	"	1.36	1.36	
サワラ Sawara	∥	0.040	1.76	0.9 ~ 9.3	1.64	1.57	
	⊥	0.039	2.20	"	2.08	1.97	
モミ Momi	∥	0.063	1.47	1.2 ~ 8.3	1.28	1.13	
	⊥	0.068	1.81	"	1.61	1.50	
トドマツ Todomatsu	∥	0.23	1.78	1.0 ~ 3.6	1.59	1.24	
	⊥	0.19	1.89	"	1.32	1.40	
エゾマツ Ezomatsu	∥	0.105	1.83	0.7 ~ 10.6	1.52	1.08	
	⊥	0.053	1.55	"	1.39	1.24	
トウヒ Tōhi	∥	0.147	1.78	3.0 ~ 6.2	1.34	1.10	
	⊥	0.09	1.90	"	1.63	1.50	
アカマツ Akamatsu	∥	0.072	1.42	2.0 ~ 8.6	1.20	1.00	
	⊥	0.053	1.50	"	1.34	1.20	
ヒメコマツ Himekomatsu	∥	0.057	1.79	2.0 ~ 6.0	1.62	1.55	
	⊥	0.085	1.91	"	1.65	1.53	
ツガ Tsuga	∥	0.077	1.18	1.2 ~ 6.0	0.95	0.93	
	⊥	0.048	1.15	"	1.00	0.98	
カヤ Kaya	∥	0.036	1.63	1.6 ~ 13.0	1.52	1.41	
	⊥	0.038	1.61	"	1.49	1.39	
スギ Sugi	∥	0.029	1.65	0.8 ~ 10.5	1.56	1.47	
	⊥	0.038	1.74	"	1.63	1.50	

1) $d = -C_1 \cdot U \cdot 10^{-3} + C_2$ $U: \times 10^8 \frac{\text{kg} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^3}$

2) d (計算) は $U_c = 3 \times 10^8 \frac{\text{kg} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^3}$ における値 d (Cal.) is calculated in case of $U_c = 3 \times 10^8 \frac{\text{kg} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^3}$

Table 4. 広葉樹材の摩耗抵抗から板目面の厚さ摩耗量の計算
Calculation of loss in thickness (d) on the tangential section
from abrasive resistance (U) of hardwood

樹 種 Wood species		回 帰 係 数 ¹⁾ Regression coefficient			d (mm)	
		C_1	C_2	U の 範 囲 Range of U	計 算 ²⁾ Calculation	実 測 値 Measured loss in thickness
イタヤカエデ Itayakaede	∥	0.368	1.320	5.1 ~ 7.3	0.91	0.82
	⊥	0.159	0.569	"	0.96	0.92
セ ン Sen	∥	0.734	2.618	3.4 ~ 8.6	0.80	0.62
	⊥	0.680	2.523	"	1.02	0.83
マカシバ Makanba	∥	1.161	4.391	10.2 ~ 11.2	1.25	0.51
	⊥	0.968	3.688	"	1.28	0.60
アサダ Asada	∥	0.405	1.422	7.1 ~ 11.5	0.84	0.64
	⊥	0.342	1.251	"	0.97	0.80
カツラ Katsura	∥	1.098	3.804	2.8 ~ 3.5	0.55	0.92
	⊥	0.833	2.983	"	0.80	1.20
ブナ Buna	∥	0.216	0.702	3.8 ~ 7.7	0.80	0.80
	⊥	0.169	0.559	"	1.17	0.85
アカガシ Akagashi	∥	1.930	7.541	9.2 ~ 10.7	1.09	0.64
	⊥	1.165	4.531	"	1.67	0.72
ミズナラ Mizunara	∥	0.142	0.461	2.5 ~ 8.5	0.86	0.82
	⊥	0.128	0.412	"	0.87	0.85
トチノキ Tochinoki	∥	0.340	1.311	2.8 ~ 5.7	1.13	1.15
	⊥	0.320	1.253	"	1.17	1.18
クスノキ Kusunoki	∥	0.398	1.380	2.1 ~ 7.2	0.81	0.92
	⊥	0.297	1.080	"	0.96	1.04
ホノノキ Hōnoki	∥	0.607	2.332	4.3 ~ 5.5	1.22	1.30
	⊥	0.635	2.462	"	1.30	1.36
ヤマグワ Yamaguwa	∥	0.501	1.831	3.1 ~ 10.2	0.95	0.92
	⊥	0.523	1.975	"	1.10	1.06
ヤチダモ Yachidamo	∥	0.442	1.440	2.1 ~ 11.3	0.64	0.49
	⊥	0.260	0.780	"	0.66	0.60
シオジ Shioji	∥	0.436	1.586	3.4 ~ 10.8	0.94	0.81
	⊥	0.180	0.753	"	1.22	1.15
キリ Kiri	∥	0.153	0.736	0.8 ~ 3.7	1.48	1.65
	⊥	0.135	0.676	"	1.50	1.68
シナノキ Shinanoki	∥	0.261	1.112	2.8 ~ 5.4	1.40	1.47
	⊥	0.275	1.173	"	1.44	1.48
ハルニレ Harunire	∥	0.244	0.999	3.0 ~ 8.4	1.26	1.28
	⊥	0.253	1.059	"	1.32	1.30
ケヤキ Keyaki	∥	0.299	0.959	2.7 ~ 6.1	0.71	0.70
	⊥	0.275	0.915	"	0.79	0.76

1) $\log d = C_2 - C_1 \cdot \log U$ $U: \times 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^3}$

2) d (計算) は $U_c = 5 \times 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^3}$ における値 d (Cal.) is calculated in case of $U_c = 5 \times 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^3}$.

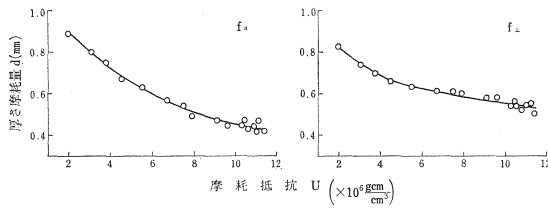


Fig. 8 ヤチダモ板目面の厚さ摩耗量と
摩耗抵抗
Loss in thickness (d) vs. abrasive
resistance (U) on the tang. section
of Yachidamo.

係数は Table 3 の C_1 , C_2 である。同表には、 $U_C=3 \times 10^8$ とおいたときの回帰式から算出した d と JIS Z 1451 による実測値 (Table 2) も併記した。2, 3 の樹種で少し計算値がずれるが、これは U_C を各樹種共通に固定したためである。 C_2 は摩耗されやすいものほど大きい傾向になる。

広葉樹の場合、 d と U の関係は Fig. 8 のように、指数関数的曲線で表わされるものが多い。各樹種について回帰係数を求めて Table 4 に示す。広葉樹材では、 $U_C=5 \times 10^8$ に固定したとき、計算によって求めた d と実測値を比較した。多くの樹種で両者の一致はほぼ認められるが、かなり異なるものはその樹種の U の範囲が片寄って、 $U_C=5 \times 10^8$ よりかなりずれているものである。

以上で d と U の対応がつけられたが、これを利用して木材表面の欠点、弱点部分の摩耗量の近似計算もできる。これには計算しようとする部分が、Table 3, 4 のどの樹種の組織に類似するかを見当つけて、 $d=f(u)$ の計算にはいる。実用的にはこの推定で間に合わすことができよう。

II 摩耗の異方性

1. ざらつき摩耗の異方性

摩耗用材料が砂粒のように被摩耗面を自由に動くとき、研削的な摩耗よりも、実際の摩耗に近い性格が現れてくる。

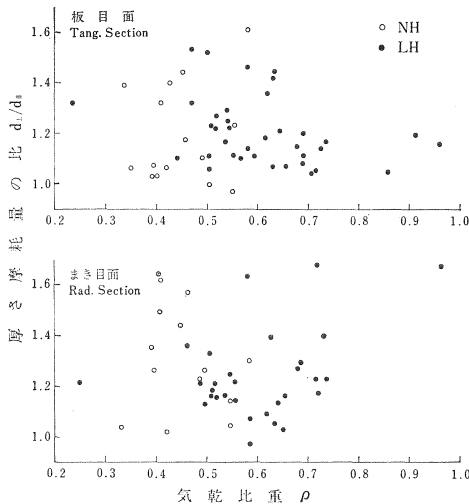


Fig. 9 2方向の厚さ摩耗量の比 (d_{\perp}/d_{\parallel})
と気乾比重

Ratio of loss in thickness of both
directions vs. specific gravity in
air dry.

Table 1, 2 より明らかなように、ほとんどの樹種で、繊維に直角方向の摩耗は平行方向より、厚さ摩耗量が大きい。前記の実験式より、 ρ の 0.3~0.9 の範囲で

$$\text{Eq. 5-Eq. 4 板目面} \\ -0.3\rho + 0.32 > 0 \quad (12)$$

$$\text{Eq. 7-Eq. 6 まさ目面} \\ 0.88\rho^2 - 1.33\rho + 0.60 > 0 \quad (13)$$

となっている。

厚さ摩耗量 (重量法) の平行方向に対する直角方向の比をとり、気乾比重に対して図示すると Fig. 9 になる。板目面では、比重が大きくなるほど、摩耗の異方性がやや少なくなる傾向が見られる。しかし、むしろ実質量の大小よりも、繊維の切断の有無によって、摩耗量の差異 (異方性) が現れるようである。

Table 2 によると、繊維に平行方向の摩耗量のばらつきは直角方向よりも大きい樹種が多い。これは板目、まさ目両面で共通している。次に、異方性をと粒で検討した結果について述べる。

2. 摩耗抵抗の異方性

(1) 円形接触子による実験

前報²⁾ IIIで記述した実験法を用いて、木材の直角方向の摩耗を測定するには、試片の長さ方向に接線方向をとればよい。しかし、木材の繊維に直角方向の強度が弱いため、摩耗終点近くで引張破壊を生じることが多い。この防止のため、円形接触子と試片の間の緩衝用の台紙に試片を接着して補強した。実験は前報の Fig. 2²⁾ の装置を用い、繊維方向の摩耗試験と同じ方法で、接線方向の摩耗部分が完全に消失するまで摩滅させた。測定時の温度は 22~25°C、湿度は 66~72% で、含水率は 13~14% であった。

(2) 結 果

繊維に直角方向の摩耗抵抗の年輪内の状態を 3 例だけ、Fig. 10~12 に示す。キリだけ繊維に平行と直角方向の摩耗が重なるところがあるので測定点をマル印で表わした。各年輪では、直角方向の摩耗抵抗は繊維方向より小さい。針葉樹材の春材や広葉樹材の孔圏部分の繊維に直角方向の摩耗抵抗はかなり小さい。年輪内の摩耗抵抗を平均して Table 5 に示す。

ブナ、イタヤカエデ、ウォルナット、マカンバなどの年輪中央部より試片を作製し、うすい塗液に浸漬

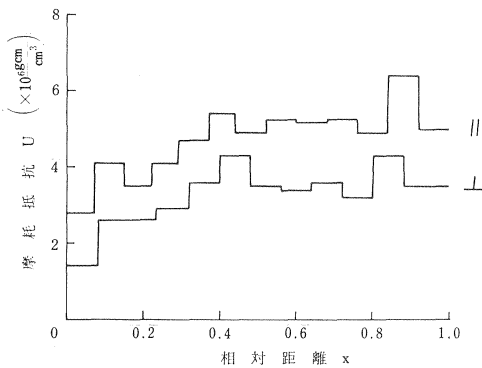


Fig. 10 トチノキの年輪内の摩耗抵抗
Abrasive resistance (U) within
an annual ring (x : relative distance)
of Tochinoki.
年輪幅 Width of an annual ring : 3.2 mm

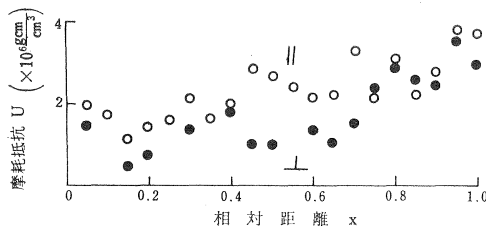


Fig. 12 キリの年輪内の摩耗抵抗
Abrasive resistance (U) within
an annual ring (x : relative distance)
of Kiri.
年輪幅 Width of an annual ring : 3.8 mm

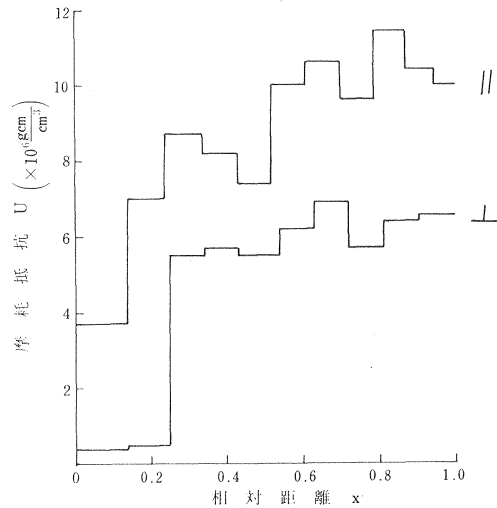


Fig. 11 シオジの年輪内の摩耗抵抗
Abrasive resistance (U) within
an annual ring (x : relative distance)
of Shioji.
年輪幅
Width of an annual ring : 2.7 mm

Table 5. 繊維に平行方向と直角方向の摩耗抵抗
Abrasive resistance parallel to and perpendicular to fiber direction

樹種 Wood species	摩耗抵抗 ($\times 10^6 \frac{\text{g}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^3}$) Abrasive resistance		備考 Refer-ences	樹種 Wood species	摩耗抵抗 ($\times 10^6 \frac{\text{g}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^3}$) Abrasive resistance		備考 Refer-ences
	∥	⊥			∥	⊥	
ヒノキ Hinoki	3.34	2.06	↑方向のみ 孔圏除外	トチノキ Tochinoki	4.71	3.55	↑方向のみ 孔圏除外
ヒバ Hiba	2.26	1.08		シオジ Shioji	8.03	6.16	
エゾマツ Ezomatsu	4.52	2.59		キリ Kiri	2.13	1.96	
アカマツ Akamatsu	4.92	3.61		シナノキ Shinanoki	4.49	2.97	
イタヤカエデ Itayakaede	6.49	4.21		ハルニレ Harunire	6.50	4.63	
セン Sen	6.84	3.87		ケヤキ Keyaki	4.79	4.27	
マカンバ Makanba	10.73	6.94		ウォルナット Walnut	7.07	5.02	
アサダ Asada	8.78	4.83		レッドラワン Red lauan	5.09	3.53	
カツラ Katsura	3.11	1.92		チーク Teak	3.74	3.25	
ブナ Buna	5.15	3.14		マホガニー Mahogany	3.43	2.72	
ミズナラ Mizunara	6.61	5.56					

Table 6. 塗装材の摩耗抵抗
Abrasive resistance of the coated wood

$\times 10^6 \frac{\text{g}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^3}$

樹種 Wood species		未処理 Un-treated	NCラッカー NC lacquer				アミノアルキッド Amino-alkyd resin paint			ポリウレタン Polyurethane resin paint		
		Un	T	VF ¹⁾	T/Un	T	VF ¹⁾	T/Un	T	VF ¹⁾	T/Un	
ブナ Buna	∥	4.8	5.58	0.210	1.16	6.17	0.298	1.28	10.01	0.272	2.08	
	⊥	3.1	3.62	0.151	1.17	4.07	0.200	1.31	7.17	0.260	2.31	
イタヤカエデ Itayakaede	∥	6.7	8.91	0.200	1.33	9.84	0.232	1.46	9.38	0.282	1.40	
	⊥	4.6	5.97	0.139	1.30	6.68	0.240	1.45	6.58	0.188	1.43	
ウォルナット Walnut	∥	7.1	8.65	0.080	1.22	8.63	0.104	1.22	9.22	0.128	1.30	
	⊥	5.1	6.43	0.147	1.26	5.78	0.209	1.13	7.68	0.228	1.50	
マカンバ Makanba	∥	10.1	11.73	0.245	1.16	11.46	0.259	1.13	10.86	0.246	1.08	
	⊥	6.5	7.25	0.200	1.11	7.82	0.210	1.20	8.20	0.210	1.26	

1) 木材に対する塗料の容積分率 Volume fraction of paint to wood.
T/Un: 塗装処理/未処理 Painted/Untreated

した。塗液のある程度の浸透をまって硬化させ、繊維に平行と直角方向の摩耗抵抗を測定した。Table 6は未処理材に対する比として、処理材の摩耗抵抗の増加率を示す。木材に付着した塗料を容積率として、木材の容積に対する硬化ポリマーの容積を分率で表わす。ブナでは塗料が、NC ラッカー、アミノアルキッド、ポリウレタンになるに従って、摩耗抵抗も次第に大きく、ポリウレタンでは2倍になる。イタヤカエデでは、処理によって1.3~1.4倍となり、塗料の差が現れない。ウォルナットでは、繊維方向の試片の塗料の容積率が大きくないが、処理の効果が現れる。マカンバでは、付着量が多いわりに処理の効果が現れにくい。これらの例から、塗装によっても下地木材の摩耗(容積分前参照)まで含めるとき、木材の異方性の影響が摩耗抵抗にそのまま現れている。

環孔材の孔圏部、針葉樹の春材仮道管などの直角方向の摩耗抵抗の測定が精度よく測定できなかったので、次の測定法を案出した。これによると繊維に45°方向も測定可能である。

(3) 立方体接触子による実験

前報²⁾の Fig. 2 の③に Fig. 13 の (a) で示す立方体の接触子を取りつける。この接触子の外周に研磨紙(主に S-33, #180)を巻きつけ、試片の上ののせ、摩擦させる。試料台の駆動は前報のとおりであり、1ストロークは40mmである。接触子には一定負荷を与え、と粒と試片の間で発生する摩擦力を記録させた。垂直荷重は次のようにしてきめた。

$$\frac{\text{垂直荷重}}{\text{接触部の(幅} \times \text{長さ)}} = \text{垂直力 (g/cm}^2\text{)}$$

とすると、立方体接触子の長さ l を 2, 5, 10mm と変えたとき、垂直荷重に対する摩

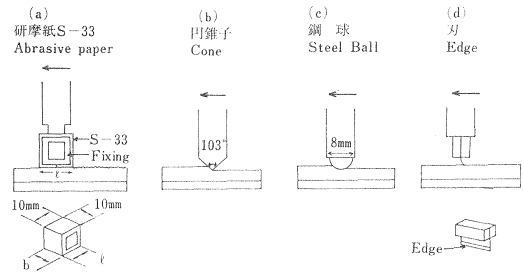


Fig. 13 接触子の種類 Contact elements.

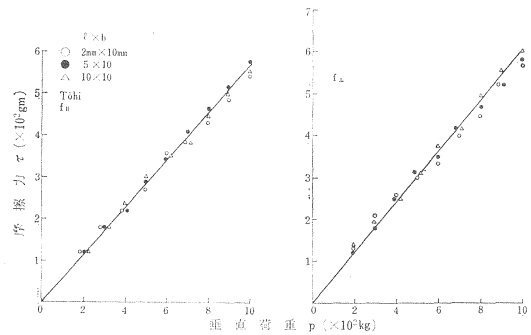


Fig. 14 垂直荷重と摩擦力(みかけの接触面積との関連) Normal load (P) vs. frictional force (τ) related to the apparent contact area.

Table 7. 10 ストロークによる重量減 Loss in weight by 10 strokes

研 磨 紙 Abrasive paper		S-33 Made by USA			#180 国 産 Home made
寸 法 Size (mm)		2×10	5×10	10×10	10×10
重 量 減 Weight loss (mg)	∥	1.5~1.8	1.8~2.3	1.6~2.1	1.7~1.9
	⊥	2.0~2.6	2.4~3.0	2.2~2.7	2.4~3.1

試料：トウヒのまさ目面 Sample: Radial section of Tōhi

擦力を図示すると Fig. 14 になる。また、それぞれの摩擦による重量減は Table 7 のごとくである。これから、研磨紙と試片との有効接触面積は 2 mm 程度であると予想される。10 ストロークにおける摩擦粉の付着状態から、 $l=2.6$ mm、さらに、と粒の突端の摩擦は、その約 1/2 であったので、下の計算をした。

立方形接触子

$$\frac{800(\text{g})}{1 \times 0.26(\text{cm}^2)} \times 0.5 = 1,538 \text{ g/cm}^2$$

この垂直荷重は下記の垂直力とほぼ同じにするため 800 g とした。

$$\text{テーパー摩擦輪} \quad \frac{500(\text{g})}{1.27 \times 0.2(\text{cm}^2)} = 1,574 \text{ g/cm}^2$$

$$\text{前報}^{2)} \text{の円形接触子} \quad \frac{200(\text{g})}{0.7 \times 0.2(\text{cm}^2)} = 1,428 \text{ g/cm}^2$$

と粒は S-33 (# 180) の場合、約 2,500 個/cm² になる。

試片は 3×6 cm² 程度の大きさのまき目面を用いた。摩擦方向は繊維に平行方向、直角方向、45° 方向の 3 方向とし、平行方向の場合、試験面は研磨紙の幅の範囲に 2 年輪以上あるものを選んだ。摩擦が 2～3 回過ぎると、研磨紙に木粉が付着し始める。このため接触子を回転して、順次新しい研磨紙面を用いた。摩擦は 50 ストロークまで行い、10 回ごとに重量減を測定した。試片の気乾比重は Table 8 のごとくで、測定時の含水率は 10～11.4% であり、測定は室温 (17～21°C) で行った。

(4) 結 果

摩擦抵抗 U は前報²⁾の Eq. 16 より

$$U = \rho \frac{\tau \cdot L}{W} = \rho \cdot l \cdot \tau \cdot \frac{n}{W} = \rho \cdot l \cdot P \cdot \mu \cdot \frac{n}{W} \tag{14}$$

ここに、 ρ : 比重、 τ : 摩擦力、 L : 摩擦長、 W : 摩擦の定常状態でストローク数 n に対応する重量減、 l : 1 ストロークの摩擦長、 P : 垂直荷重、 μ : 摩擦係数。

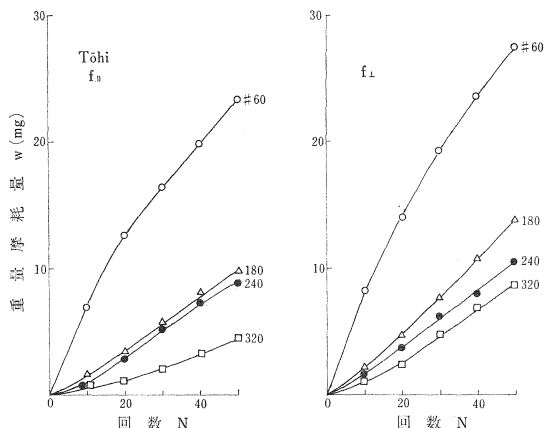


Fig. 15 摩擦回数と重量摩擦量 (研磨紙粒度との関連)

Number of abrasion (N) vs. loss in weight (W) in relation to grit number of the sand papers.

供試した樹種では、と粒の粒度で異なるが、# 180 では 20 回以上で定常摩擦が現れる (Fig. 15)。これから n/W を求め、実験から直接得られた τ を用いて、Eq. 14 より U を算出した。Table 8 に各樹種別の摩擦力、摩擦抵抗などを示す。壊擦力すなわち、と粒と木材表面の間のせん断力は、繊維に直角方向で最も大きく働く。これが原因になると考えられるが、直角方向の摩擦係数 (1 回当たりの重量減) が大きくなり、したがって、Eq. 14 より計算される摩擦抵抗の大小は、 $0^\circ > 45^\circ > 90^\circ$ となる樹種が多い。ただ、 45° と 90° では必ずしも 45° が大きいといえない樹種もある。この表で注意すべきは、 U と先に求め

Table 8. 摩耗の方向による摩耗抵抗
Abrasive resistance in relation to abraded direction

樹種 Wood species	摩耗方向 Abrasive direction θ°	気乾比重 Specific gravity in air dry ρ	摩擦力 Frictional force τ (g)	摩耗係数 Coefficient of abrasion $\frac{W}{n} (\times 10^{-4} \text{g})$	摩耗抵抗 Abrasive resistance $U (\times 10^6 \frac{\text{g cm}}{\text{cm}^3})$
ヒノキ Hinoki	0	0.396	408.2	1.7	3.80
	45	0.406	422.4	1.9	3.61
	90	0.407	437.3	2.2	3.24
サワラ Sawara	0	0.332	408.2	1.9	2.85
	45	0.315	458.1	2.1	2.75
	90	0.325	473.1	2.5	2.46
トドマツ Todomatsu	0	0.406	402.6	1.8	3.63
	45	0.410	405.1	1.8	3.69
	90	0.415	412.7	2.0	3.43
トウヒ Tōhi	0	0.408	440.0	1.8	3.99
	45	0.401	436.7	2.0	3.50
	90	0.405	482.8	2.2	3.55
カラマツ Karamatsu	0	0.546	444.2	1.1	8.82
	45	0.560	466.7	1.4	7.47
	90	0.560	467.0	1.5	6.97
セン Sen	0	0.570	436.7	1.2	8.30
	45	0.576	428.2	1.2	8.22
	90	0.581	438.8	1.6	6.37
ミズナラ Mizunara	0	0.702	438.7	1.5	8.21
	45	0.705	465.6	1.6	8.21
	90	0.711	469.2	2.1	6.35
ヤチダモ Yachidamo	0	0.685	403.5	1.0	11.06
	45	0.685	438.4	1.3	9.24
	90	0.680	453.6	1.5	8.23
イタヤカエデ Itayakaede	0	0.635	437.7	1.4	7.94
	45	0.630	448.4	1.5	7.53
	90	0.622	466.7	1.5	7.74
マカンバ Makanba	0	0.716	466.9	1.4	9.55
	45	0.706	466.5	1.7	7.75
	90	0.704	483.8	1.7	8.01
カツラ Katsura	0	0.510	414.5	1.6	5.28
	45	0.494	422.6	1.8	4.64
	90	0.495	428.8	2.1	4.04
ブナノキ Bunanoki	0	0.588	464.9	1.3	8.41
	45	0.591	466.0	1.4	7.87
	90	0.590	481.0	1.8	6.31

Table 8. (つづき) (Continued)

樹種 Wood species	摩耗方向 Abrasive direction θ°	気乾比重 Specific gravity in air dry ρ	摩擦力 Frictional force τ (g)	摩耗係数 Coefficient of abrasion $\frac{W}{n} (\times 10^{-4}g)$	摩耗抵抗 Abrasive resistance $U (\times 10^6 \frac{g \text{ cm}}{\text{cm}^3})$
トチノキ Tochinoki	0	0.485	442.1	1.1	7.80
	45	0.480	482.3	1.8	5.14
	90	0.480	494.4	1.8	5.27
クスノキ Kusunoki	0	0.682	395.8	1.5	7.20
	45	0.680	437.8	1.8	6.61
	90	0.680	439.1	2.5	4.78
キリ Kiri	0	0.257	448.1	1.5	3.07
	45	0.266	435.6	1.6	2.90
	90	0.268	457.0	1.9	2.58
シナノキ Shinanoki	0	0.512	404.6	1.4	5.92
	45	0.518	432.8	2.5	3.59
	90	0.514	473.6	2.5	3.89
ウォルナット Walnut	0	0.672	433.4	1.2	9.71
	45	0.670	468.1	1.9	6.60
	90	0.685	459.8	1.9	6.63
レッドラワン Red lauan	0	0.575	396.6	1.1	8.29
	45	0.575	417.9	2.0	4.81
	90	0.580	420.1	2.1	4.64
ホワイトメランチ White meranti	0	0.597	461.3	1.4	7.87
	45	0.604	480.0	1.5	7.73
	90	0.601	485.5	1.8	6.48
チーク Teak	0	0.606	406.5	1.2	8.21
	45	0.621	441.5	2.0	5.48
	90	0.618	448.1	2.4	4.61

た年輪内の U の平均 (Table 5) との関係である。いま、若干の樹種につき両者を対応させると、下例のごとくである。

	$U(\//)$			$U(\//)$	
	円形	立方形		円形	立方形
ヒノキ	3.34	3.80	カエデ	6.49	7.94
トドマツ	2.01	3.63	キリ	2.13	3.07
セン	6.84	8.30	ホワイトメランチ	6.78	7.87

このように、立方形接触子での測定値の方が大きい。繊維に直角方向の摩耗になると両測定との差はさらに大きくなる。立方形による摩耗は円形よりも精度が低いので、異方性を表わすための比較値にとどめた。

Eq. 14 より明らかなごとく、 U には ρ , τ (または μ) が比例関係になる。 ρ , W/n , τ の大小関係によっ

て、 U の大きさがきまるようである。たとえば、同一樹種の場合、 ρ ＝一定とみなし、定数を C でまとめると、

$$U = C \cdot \frac{\tau}{W/n} \quad (15)$$

であるから、 τ によって W がどの程度変わるかで U がきまる。 τ は μ によってきまる。摩耗方向が 0° 、 45° 、 90° になるに従って、 μ は増加するが、 W もそれ以上に大きくなって U を減じる傾向が各樹種で共通的に現れる。

次に樹種間では、厚さ摩耗量を d とすると

$$U = \rho \cdot l \cdot \tau \cdot \frac{n}{W} = l \cdot \tau \cdot \frac{n}{4d} \quad (16)$$

となる。 ρ と μ は後出のFig. 19, 20によると、やや正の相関となり、一方、 ρ はFig. 16の d_{10} との関係で示されるごとく逆比例関係になる。結局、 U は ρ に依存した形になる。前述のごとく、 U は τ に依存するが、 τ は μ で表わされるので、 μ の挙動を次に述べる。

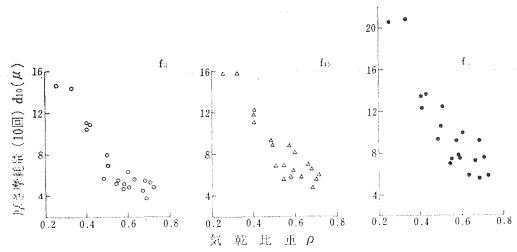


Fig. 16 気乾比重と10ストロークに対する厚さ摩耗量
Specific gravity in air dry (ρ) and loss in thickness to 10 strokes (d_{10}).

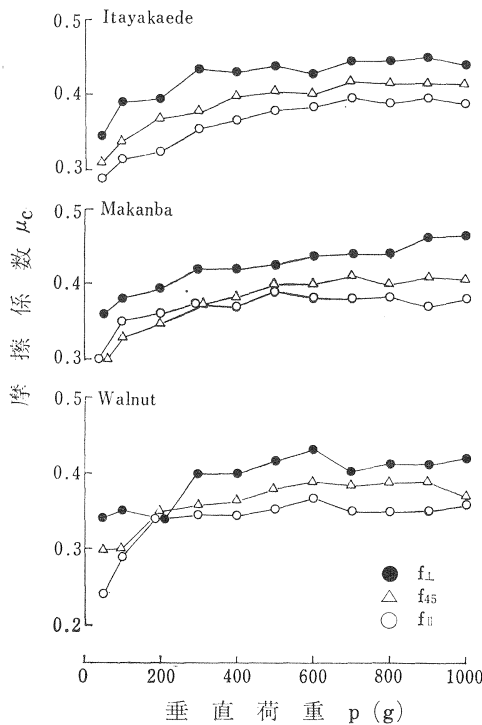


Fig. 17 垂直荷重と円錐子による摩擦係数
Normal load (P) vs. frictional coefficient of the cone (μ_c).

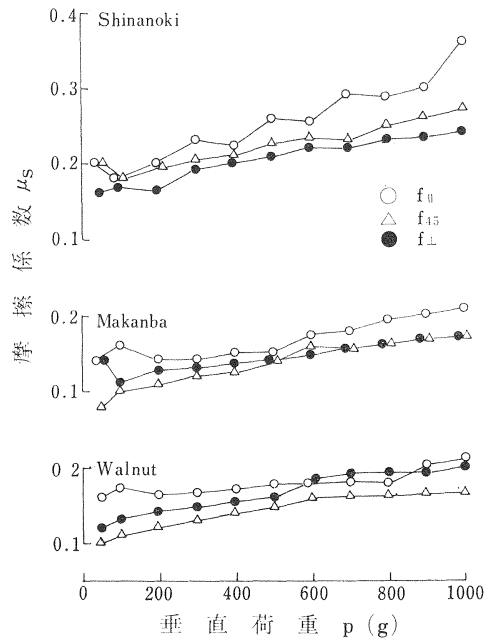


Fig. 18 垂直荷重と鋼球による摩擦係数
Normal load (P) vs. frictional coefficient of the steel ball (μ_s).

Table 9. 接触子が異なるときの摩擦係数
Frictional coefficient in use of different contact elements

樹種 Wood species	摩耗方向 Abrasive direction θ°	気乾比重 Specific gravity in air dry ρ	摩擦係数 μ Frictional coefficient			
			S-33 Abrasive paper #180	円錐 Cone	鋼球 Steel ball	片刃 Edge of razor
ヒノキ Hinoki	0	0.396	0.510	0.440	0.255	0.51
	45	0.406	0.528	0.446	0.220	0.50
	90	0.407	0.547	0.465	0.200	0.53
サワラ Sawara	0	0.332	0.510	0.460	0.325	0.72
	45	0.315	0.572	0.630	0.235	0.65
	90	0.325	0.591	0.700	0.235	0.66
トドマツ Todomatsu	0	0.406	0.503	0.432	0.245	0.68
	45	0.410	0.506	0.467	0.225	0.72
	90	0.415	0.516	0.495	0.230	0.71
トウヒ Tōhi	0	0.408	0.550	0.400	0.170	0.57
	45	0.401	0.546	0.525	0.170	0.60
	90	0.405	0.604	0.460	0.170	0.61
カラマツ Karamatsu	0	0.546	0.555	0.455	0.295	0.45
	45	0.560	0.583	0.490	0.185	0.61
	90	0.560	0.584	0.560	0.295	0.68
セン Sen	0	0.570	0.546	0.400	0.200	0.65
	45	0.576	0.535	0.430	0.180	0.68
	90	0.581	0.549	0.430	0.180	0.68
ミズナラ Mizunara	0	0.702	0.548	0.370	0.180	0.42
	45	0.705	0.582	0.425	0.180	0.44
	90	0.711	0.587	0.475	0.165	0.50
ヤチダモ Yachidamo	0	0.685	0.504	0.390	0.140	0.65
	45	0.685	0.548	0.410	0.170	0.64
	90	0.680	0.566	0.445	0.170	0.67
イタヤカエデ Itayakaede	0	0.635	0.547	0.395	0.180	0.61
	45	0.630	0.583	0.415	0.150	0.66
	90	0.622	0.561	0.445	0.150	0.68
マカンバ Makanba	0	0.716	0.584	0.385	0.165	0.41
	45	0.706	0.583	0.410	0.140	0.41
	90	0.704	0.605	0.450	0.140	0.44
カツラ Katsura	0	0.510	0.518	0.428	0.260	0.58
	45	0.494	0.528	0.437	0.230	0.59
	90	0.495	0.536	0.470	0.225	0.61
ブナノキ Bunanoki	0	0.588	0.581	0.440	0.140	0.60
	45	0.591	0.583	0.440	0.165	0.64
	90	0.590	0.601	0.490	0.190	0.64

樹種 Wood species	摩耗方向 Abrasive direction θ°	気乾比重 Specific gravity in air dry ρ	摩擦係数 μ Frictional coefficient			
			S-33 Abrasive paper #180	円錐 Cone	鋼球 Steel ball	片刃 Edge of razor
トチノキ Tochinoki	0	0.485	0.553	0.420	0.200	0.525
	45	0.480	0.603	0.470	0.190	0.55
	90	0.480	0.618	0.490	0.180	0.54
クスノキ Kusunoki	0	0.682	0.495	0.405	0.180	0.55
	45	0.680	0.547	0.425	0.180	0.58
	90	0.680	0.549	0.475	0.180	0.55
キリ Kiri	0	0.257	0.560	0.445	0.220	0.50
	45	0.266	0.545	0.475	0.195	0.76
	90	0.268	0.571	0.535	0.210	0.90
シナノキ Shinanoki	0	0.512	0.506	0.440	0.250	0.475
	45	0.518	0.541	0.475	0.225	0.51
	90	0.514	0.592	0.500	0.200	0.575
ウォルナット Walnut	0	0.672	0.542	0.355	0.175	0.57
	45	0.670	0.585	0.390	0.145	0.57
	90	0.685	0.575	0.415	0.160	0.55
レッドラワン Red lauan	0	0.575	0.496	0.400	0.185	0.59
	45	0.575	0.522	0.440	0.160	0.61
	90	0.580	0.525	0.455	0.170	0.62
ホワイトメランチ White meranti	0	0.597	0.577	0.400	0.270	0.63
	45	0.604	0.600	0.480	0.170	0.65
	90	0.601	0.607	0.500	0.210	0.69
チーク Teak	0	0.606	0.508	0.385	0.180	0.59
	45	0.621	0.552	0.410	0.180	0.59
	90	0.618	0.560	0.435	0.180	0.62

3. 摩擦係数の異方性

(1) 実験

種々の接触子を用いたときの摩耗係数を測定した。接触子は Fig. 13 の4種で、 b は円錐体（頂角 103° のダイヤモンドつき、垂直荷重 $P=500\sim 1,000$ g）、 C は鋼球（8 mm ϕ 、 $P=500$ g）、 d はカミソリ刃（片刃、 $P=200$ g）などである。装置は摩耗抵抗の測定と同じものである。

(2) 結果

Fig. 17 は円錐子の荷重を 50~1,000 g まで変えたときの摩擦係数 μ の変化を示す。 μ は約 500 g 以上で飽和する形になる。 μ は3樹種とも、 $f_{90} > f_{45} > f_0$ となっている。鋼球の場合、0~1,000 g の荷重範囲で、 μ は Fig. 18 のように荷重に比例して増加する傾向を表わす。ここでは、中央点の $P=500$ g の μ を用いた。鋼球の 90° 方向の μ は 0° 方向より小になる樹種が多い。鋼球を繊維方向にすべらせると、荷重が大であると広い幅の圧痕を生じる。鋼球を繊維に直角方向にすべらせると、1,000 g 程度まででは、

球のくい込みが少なく、材面を容易に滑走するので、 μ が小さい。これに対して円錐体では、突端が、繊維に直角方向でも、繊維を横断して条痕をつけるので、 μ は大きい。カミソリの刃は Fig. 13 の d のごとく、走行によって、刃は材面より 30° 程度傾斜し材面の小さな突起を引っかいてゆく。繊維に直角方向の方が μ は大きい。

Table 9 に樹種別の μ , Fig. 19, 20 に μ と気乾比重の関係を示す。S-33 のと粒の摩耗作用を円錐、球、刃の機能に分化できたと仮定し、S-33 による μ を円錐などの μ で説明するため、重回帰分析を行う。

0° 方向：どの接触子も S-33 の摩擦と関係がうすい。カミソリ刃がやや近いのは、刃による多点接触が S-33 の接触と似ているからである。

45° 方向：鋼球と円錐が S-33 の挙動を説明しやすい。重回帰式も有意で下式となる。

$$\mu(S-33) = 0.355\mu_C - 0.733\mu_S - 0.107\mu_R + 0.614 \quad (R=0.739^{**})$$

ここに、 μ_C , μ_S , μ_R は円錐、鋼球、刃の摩耗係数である。

90° 方向：円錐の作用が比較的良好く S-33 の変化を説明する。重回帰式は 5% 有意に近い。

$$\mu(S-33) = 0.285\mu_C - 0.304\mu_S - 0.085\mu_R + 0.550 \quad (R=0.552)$$

以上のほか、Fig. 19, 20 によると、鋼球、円錐子の μ に比べて、S-33 の μ は大きく、大きい摩擦力

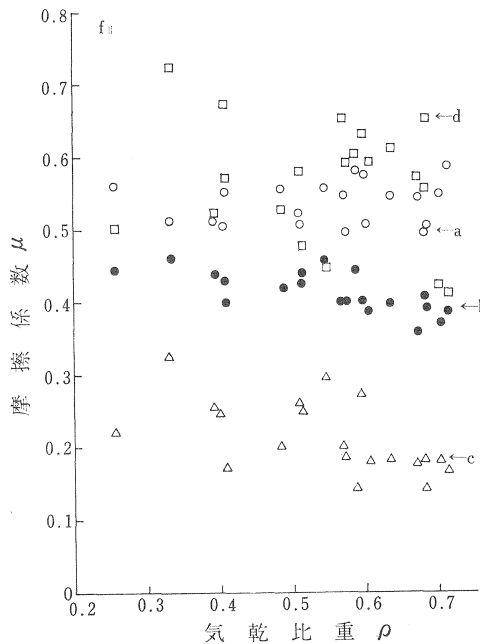


Fig. 19 各種接触子による繊維に平行方向の摩擦係数

Frictional coefficient parallel to fiber direction using every contact element.

- a : 研摩紙 S-33 Abrasive paper
- b : 円錐子 Cone
- c : 鋼球 Steel ball
- d : 刃 Edge

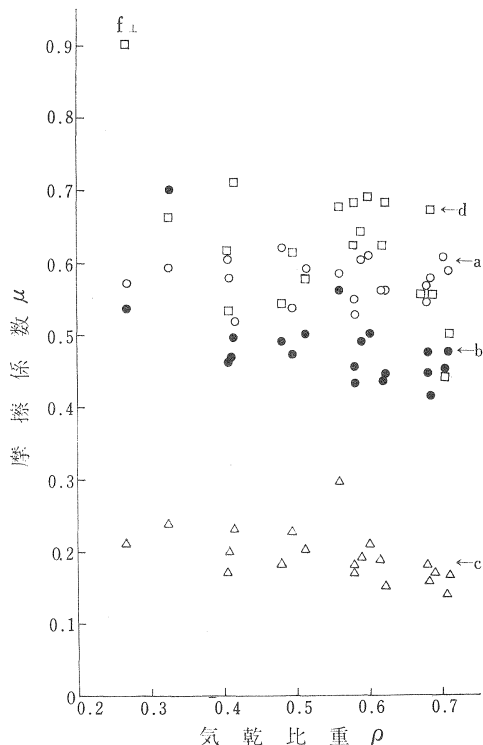


Fig. 20 各種接触子による繊維に直角方向の摩擦係数

Frictional coefficient perpendicular to fiber direction using every contact element.

Table 10. 気乾比重と各種接触子の摩擦係数との相関係数
Correlation coefficient of specific gravity in air dry against
frictional coefficient of various contact elements

摩耗方向 Abrasive direction	円錐 Cone	鋼球 Steel ball	片刃 Edge of blade	研摩紙 Abrasive paper S-33
0°	- 0.535	- 0.566	- 0.208	0.224
45°	- 0.622	- 0.663	- 0.454	0.386
90°	- 0.633	- 0.496	- 0.528	0.049

を有していることがわかる。Table 10 は比重と摩擦係数の単相関係数である。

(4) 摩耗過程における異方性

2. (3) の実験で、50 ストロークの間の各ステップにおける μ を測定した。

μ の摩耗回数に対する変動は、Fig. 21 のサワラ、Fig. 22 のレッドラワン、Fig. 23 のヤチダモの例のごとく、回数に対して右下がりまたは右下がり後一定のタイプが多い。 μ の大きさは、 $f_{90} > f_{45} > f_0$ と

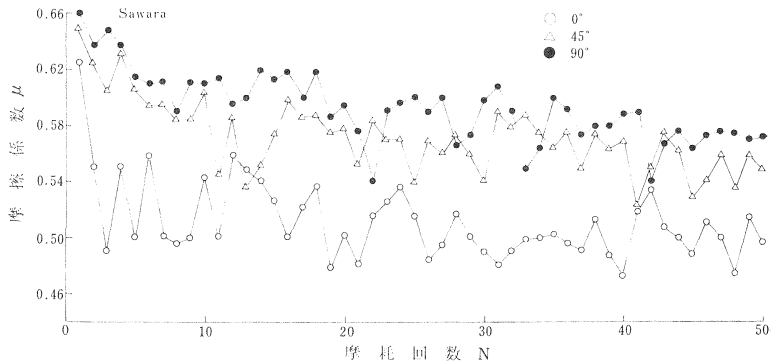


Fig. 21 サワラの摩擦係数の変動
Variation of frictional coefficient (μ) of Sawara.

繊維に対して0°, 45°, 90°の3方向
Three kinds of directions (0°, 45°, 90°) to the fiber
まさ目面の摩耗 Abrasion on the radial section
垂直荷重 Normal load : $P=800$ g
 N : 摩耗回数 Number of abrasion

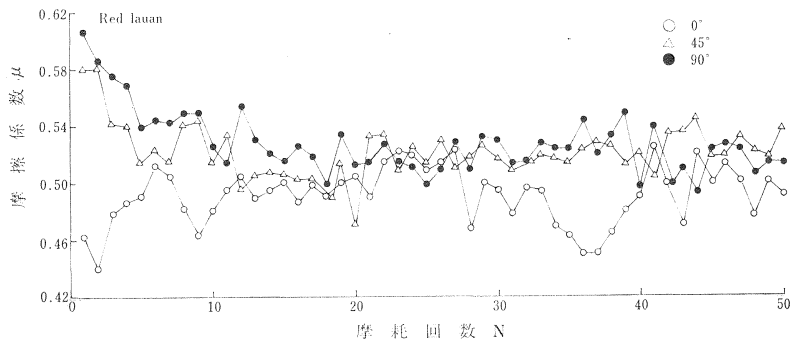


Fig. 22 レッドラワンのまさ目面の摩擦係数 ($P=800$ g)
Frictional coefficient (μ) on the radial section of Red lauan ($P=800$ g).

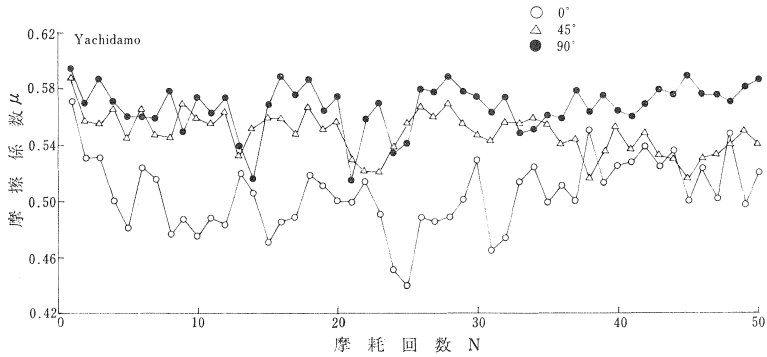


Fig. 23 ヤチダモのまさ目面の摩擦係数 ($P=800\text{ g}$)
Frictional coefficient (μ) on the radial section of Yachidamo ($P=800\text{ g}$).

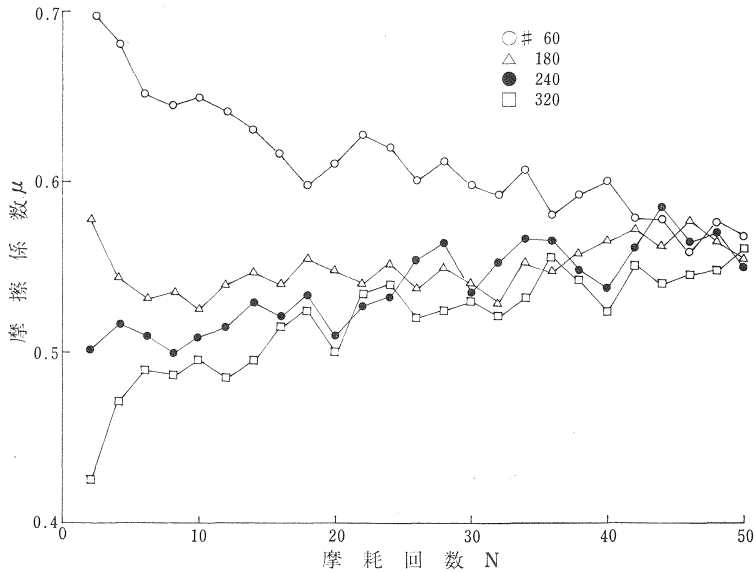


Fig. 24 トウヒのまさ目面の繊維に平行方向の摩擦係数 ($P=800\text{ g}$)
Frictional coefficient (μ) parallel to fiber direction on the radial section of Tōhi ($P=800\text{ g}$).

研摩紙 4 種 Four kinds of abrasive papers

なっている。しかし、Fig. 24, 25 のトウヒのごとく、と粒の番数の影響も顕著である。番数が 240 番以上になると右上がりの傾向を示す。番数が大きくなると、 μ は小さくなる。これに対して、硬質塩化ビニル面、亜鉛面では、Fig. 26 の例のように、番数が大きいと μ も大きい。これらの面が硬質で平滑であるため、と粒がすべりやすく、摩擦力は木材面に比べて大きくなるのであろう。木材面では、と粒の材面へのくい込みと特に直角方向では繊維を横断して、条痕がつけられるので、と粒の粒径が大きいと摩擦係数も増大するようである。

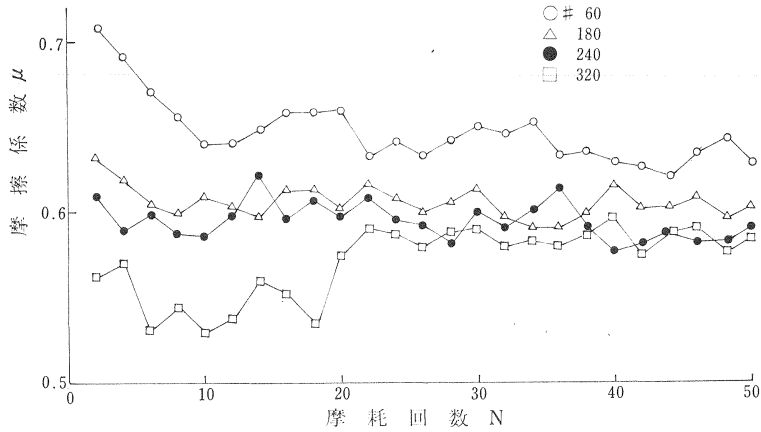


Fig. 25 トウヒのまさ目面の繊維に直角方向の摩擦係数 ($P=800\text{ g}$)
Frictional coefficient (μ) perpendicular to fiber direction
on the radial section of Tōhi ($P=800\text{ g}$).

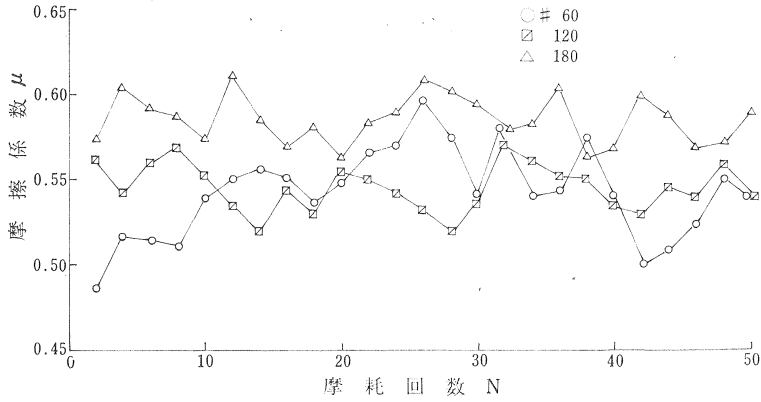


Fig. 26 硬質塩化ビニル面の摩擦係数 ($P=800\text{ g}$)
Frictional coefficient (μ) on polyvinyl chloride plate ($P=800\text{ g}$).
研摩紙3種 Three kinds of abrasive papers

III 摘 要

標準化試験法による52種の木材の摩耗量の測定と木材の方向性との関係を調べた。

(1) 標準化試験には、3つの摩耗の促進機構がある。促進作用を調べると、摩擦鋼板では砂粒への負荷が大きいため、木材表面に著しい条痕が現れる。打撃鋼板が砂粒に与えるエネルギーを推定し、圧痕の生成と摩耗への影響を調べた。

(2) 厚さ摩耗量は比重と関係が深く、比重が大きいほど摩耗量は小さくなる。この関係は2次曲線で定量的に表わせる。摩耗面は各樹種特有の摩耗形態になる。特に、材面がけば立つもの、段状または格子状の痕跡のつくものなどの欠陥樹種は針葉樹材に多く、広葉樹材では環孔材が欠点を持っている。したがって、摩耗量だけで床材料としての適否をきめず、表面の形状変化も合わせて考慮すべきである。

(3) 前報で求めた摩耗抵抗は材面の組織の種類によって異なった。摩耗抵抗と本報で得た厚さ摩耗量と

の関係を実験式で表わした。材面の組織がわかれば、これを摩耗抵抗に変換し、前述の実験式を用いて摩耗抵抗から厚さ摩耗量を計算する。この手順によって標準化試験による摩耗を予測することができる。

(4) Table 1, 2 より、繊維に直角方向の摩耗は平行方向より、ほとんどの樹種で大きい。一方、研磨紙を用いて測定した摩耗抵抗と方向性との関係でも同様な結果となり、摩耗抵抗は繊維に平行方向、 45° の方向、繊維に直角方向の順に小になる。

(5) 木材の方向に対する摩耗作用を基礎的に調べるため、研磨紙を円錐子、鋼球、刃などでおきかえ、摩擦現象を調べた。研磨紙による摩擦は繊維に直角方向、 45° 方向で円錐子と刃による摩擦作用に類似するが、両者の密接な一致は認められない。したがって、摩耗材料が標準化試験の砂粒では、さらに異なった機能を示すことが考えられる。

(6) 摩耗過程の摩擦係数の変化は、研磨紙を用いた場合、初期には大きく、次第に減じて一定となる傾向が多いが、木材の方向、研磨紙の番数で異なる。

(7) 床、階段などの適性材料の選択を本文(2)の ii) で行い、適性樹種として、たとえば、アサダ、マカンバ、イスノキ、アピトン、イタヤカエデ、ヤマザクラなどを示した。選択では、厚さ摩耗量、表面の形状変化、方向性などが少ないものが選ばれたが、実際には、使用場所が重要な要因になる。なお、Table 1, 2 は苛酷な条件下の床、階段などの耐摩耗性を樹種間で比較するのに役立つ。

文 献

- 1) 鈴木正治：木質系内装材の摩耗，林試研報，282，1～48，(1976)
- 2) ————：木材表面の組織構造と摩耗抵抗，林試研報，298，51～110，(1977)
- 3) 上村 武・梅原 誠：日本産主要樹種の性質 試験計画，林試研報，153，1～14，(1963)

The Standardized Test of the Abrasion of Wood and its Anisotropy

Masaharu SUZUKI⁽¹⁾

Summary

The standardized test of the abrasion of wood has been conducted on many wood species, and the abrasive property of wood related to wood anisotropy has been investigated.

The construction of the apparatus for measuring the abrasion of wood is printed in JIS Z 2141. The mechanical action of every part of the machine was checked in detail. Therefore, this test method can be applicable for estimating the resistance to abrasion of wood.

For instance, the sand grains on the surface of wood are struck with the hammer, producing lots of little hollows on the wooden surface. The size of a sand grain is in the range of 0.3 to 0.6 mm. And also, the wooden surface is scratched by the rolling sand grains under a heavy steel-plate for the frictional action. The scratched lines can be numerous observed along the direction of the abrasion and as a result of it, the fuzzy grain is made in some kinds of wood. These actions would be similar phenomena to walking and carrying on the floor.

The abrasion of wood is much more related to specific gravity. Loss in thickness against specific gravity are shown in Figs. 2~5. As the specific gravity is greater, the abraded loss in thickness is more decreased. From the Tables 1 and 2, the abraded loss in thickness perpendicular to fiber direction is larger than parallel to it.

The various changes of the structural features on the testing face are detected during abrasive process and they are directly connected to the wood tissue. The pore zone of the ring porous wood and the spring wood of the softwood are cut into some grooves. Wood used in a wooden floor must be selected with a view from smaller amount of abrasion, and little change of the structural features on the wooden surface.

Loss in thickness is different at each point on the abraded surface of wood. An abraded depth is dependent on the abrasive resistance of wood tissue at that point. Some simplified equations of the abrasive resistance are given for calculating the loss in thickness at each point of the tangential section, and the parameters of the equations are listed in Tables 3 and 4. Figs. 7 and 8 show the relation between loss in thickness and abrasive resistance.

As already mentioned, the abraded loss in thickness is severe in the transverse direction, and it can be confirmed on some wood species that the abrasive resistance parallel to fiber direction is larger than perpendicular to it (Table 5). Figs. 10~12 show the variation of the abrasive resistance in the longitudinal or transverse direction. In addition, it is shown in Table 6 that the abrasive resistances in both directions are remarkably increased by painting.

On the other hand, the loss in thickness and the comparative value of abrasive resistance were measured using the contact element of Fig. 13-(a). The apparatus is outlined in the previous paper²⁾. As shown in Fig. 15, the lines of loss in weight indicate a steady state above 20 strokes. The loss in thickness can be calculated from the steady state of the abra-

Received July, 15 1977

(1) Wood Technology Division

sion and is shown in Fig. 16.

Table 8 indicates the relation between the frictional force and the comparative value of the abrasive resistance against three directions of the wood grain. It will be observed for each wood that the abrasive resistance has a tendency to decrease with increase of the frictional force (the frictional coefficient).

The frictional coefficients of the cone and the steel ball were measured under various loads. The frictional coefficients of the cone in three directions are in the order ($f_{\perp} > f_{45} > f_{\parallel}$) as shown in Fig. 17. These results will suggest the mechanism of the abrasion by the abrasive paper (S-33). The frictional coefficients of the steel ball in each direction are in the order ($f_{\parallel} > f_{45} > f_{\perp}$) as shown in Fig. 18. The transverse frictional coefficient of the steel ball is in contrast to that of the cone. Figs. 19 and 20 indicate the relation between the frictional coefficients of the contact elements (a, b, c, d) and the specific gravity. The frictional coefficients of the cone and the steel ball have a tendency to decrease with increase of the specific gravity. The frictional coefficient of the steel ball is fairly smaller than that of other contact elements. The abrasion induced by the abrasive paper (S-33) is similar to the abrasive behavior of the cone and the edge of the razor, but it is impossible to simulate the repeated friction of the abrasive paper by these contact elements.

The frictional coefficients give significant changes in the profile during abrasive process. They are classified into three different styles as shown in Figs. 21, 23 and 24. The curve of the frictional coefficient steadily increases with small grain size of the abrasive paper. It is supposed from the transverse friction that the coarse surface of wood in the early stage of abrasion would be changed into smooth gradually. The ring porous wood having comparatively high density will be suitable for use as flooring.

付表

Table 11. 試料の採取位置
Positions of samples in the log

樹種 Wood species	学名 Botanical name	供試材番号 ^{*)} Code of sample	板幅 Width of board (cm)	髄からの距離 Distance from pith (cm)
Hinoki	<i>Chamaecyparis obtusa</i> ENDL.	20J33A12	50	13 ~ 18
Sawara	<i>Chamaecyparis pisifera</i> ENDL.			
Hiba	<i>Thuopsis dolabrata</i> var. <i>hondai</i> MAKINO	24F4A1	30	4 ~ 12
Momi	<i>Abies firma</i> S. et Z.	4M1A2	62	15 ~ 27
Todomatsu	<i>Abies sachalinensis</i> FR. SCHM.	7D2-2	35	10 ~ 20
Karamatsu	<i>Larix leptolepis</i> GORDON	9J31A13	26	16 ~ 20
Ezomatsu	<i>Picea jezoensis</i> CARR.			
Tōhi	<i>Picea jezoensis</i> var. <i>hondoensis</i> REHD.	12J2A2	40	10 ~ 17
Akamatsu	<i>Pinus densiflora</i> S. et Z.	15L312A1	39	8 ~ 12
Himekomatsu	<i>Pinus pentaphylla</i> MAYR.	16K3A2	52	9 ~ 22
Kuromatsu	<i>Pinus thunbergii</i> PARL.		35	9 ~ 12
Tsuga	<i>Tsuga sieboldii</i> CARR.	14M2A0	60	15 ~ 27
Ichii	<i>Taxus cuspidata</i> S. et Z.			
Kaya	<i>Torreya nucifera</i> S. et Z.	2N1A11	40	5 ~ 16
Sugi	<i>Cryptomeria japonica</i> D. DON	18N261A1	30	8 ~ 12
Itayakaede	<i>Acer mono</i> MAXIM.	59D3A11	60	10 ~ 22
Sen	<i>Kalopanax pictus</i> NAKAI	64D5A12	30	10 ~ 15
Hannoki	<i>Alnus japonica</i> STEUDEL	74I5A12	28	10 ~ 14
Mizume	<i>Betula grossa</i> S. et Z.	31H(4-1・8-2)	40	10 ~ 20
Makanba	<i>Betula maximowicziana</i> REGEL	33D1A(4・1)	30	10 ~ 12
Asada	<i>Ostrya japonica</i> SARG.			
Katsura	<i>Cercidiphyllum japonicum</i> S. et Z.	50D1A1	52	10 ~ 18
Buna	<i>Fagus crenata</i> BL.	38H8A1	50	13 ~ 18
Akagashi	<i>Quercus acuta</i> THUNB.	40N18A2	50	10 ~ 20
Mizunara	<i>Quercus crispula</i> BL.	45-C12	30	13
Isunoki	<i>Distylium racemosum</i> S. et Z.	54N4D2	36	9 ~ 15
Tochinoki	<i>Aesculus turbinata</i> BL.	60I2A1	46	10 ~ 18
Kusunoki	<i>Cinnamomum camphora</i> S.	52N1A11	45	7 ~ 15
Tabunoki	<i>Machilus thunbergii</i> S. et Z.	53N1A2	40	9 ~ 20
Hōnoki	<i>Magnolia obovata</i> THUNB.	51D5A2	40	9 ~ 15
Yamaguwa	<i>Morus bombycis</i> KOIDZUMI			
Yachidamo	<i>Fraxinus mandshurica</i> RUPR.	67D15A0	30	10 ~ 12
Shioji	<i>Fraxinus spaethiana</i> LINGELSH.	66H2A2	40	10 ~ 23
Yamazakura	<i>Prunus jamasakura</i> SIEB.	55H4A1	25	3 ~ 8
Kiri	<i>Paulownia tomentosa</i> STEUD.	69H4A12	35	10 ~ 15
Shinanoki	<i>Tilia japonica</i> SIMK.	61C5A2	50	10 ~ 20
Harunire	<i>Ulmus davidiana</i> PLANCH. var. <i>japonica</i> NAKAI	47C2A1	38	4 ~ 16
Keyaki	<i>Zelkova serrata</i> MAKINO			

樹種 Wood species	学名 Botanical name	樹種 Wood species	学名 Botanical name
Dao	<i>Dracontomelom dao</i> MERR. & ROLFE	White meranti	<i>Shorea bracteolata</i> DYER.
Walnut	<i>Juglans</i> sp.	Ramin	<i>Gonystylus bancanus</i> KURZ.
Pulai	<i>Alstonia</i> spp.	Jongkong	<i>Dactylocladus stenostachys</i> OLIV.
Perupok	<i>Lophopetalum</i> spp.	Teak	<i>Tectona grandis</i> L. F.
Apitong	<i>Dipterocarpus gracilis</i> BL.	Sapele	<i>Entandrophragma</i> <i>cylindricum</i> SPR.
Kapur	<i>Dryobalanops</i> spp.	Bubinga	<i>Guibourtia tessmannii</i> J. LEONARD
Red lauan	<i>Shorea negrosensis</i> FOXW.	Sepetir	<i>Sindora coriacea</i> PRAIN

