

木材表面の物理的性質に関する研究 I

木材および他材料の表面の感触と皮膚の模型
によるすべり摩擦係数との関係鈴木 正 治⁽¹⁾Masaharu SUZUKI: Studies on Physical Properties of Wooden Surface I
Relationship between feeling of touch of fingers
and frictional coefficient by sliding the models of human
skin on surface of wood and other materials

要 旨: 居住環境材料として, 木材が他材料と競合できる性能の一つに素材表面の感触の特性がある。本報は感触の中のすべりやすさ(なめらかさ), かたさをとりあげ, 感触の定量化とこれに関連する物理量との関係を次の各場合について検討した。木材, 各種の無機, 有機材料に対する鋼球, 人造皮膚などのすべり摩擦係数の値は木材が最小となり, 1 対比較法による官能試験の結果とよく一致する。針葉樹材では表面に現われる組織の種類にて摩擦係数が異なり, 摩擦係数が早材より晩材が小さい原因は接触面積より説明できる。試料表面の含水率と鋼球による摩擦係数の関係は早材が晩材より影響を受けやすく, 含水率の増加によって摩擦係数も増大する。温度も高いほど摩擦係数は大きくなり, 試料表面の経年変化による摩擦係数の変動も現われる。表面のかたさの官能試験と鋼球によるかたさ試験の結果とは密接な関係があり, 試料木材表面の細胞の直径と相関がみとめられる。

は じ め に

和風建築の内装で, 柱, 敷居, 障子, 窓わく, 廊下, 雨戸などは手足に触れる位置にあり, 木材が素地面のまま使われている。この木材は針葉樹が多く, 居住適性材料とされる理由の一つは, 簡素な木目と淡白な色調などの視感的特性に加えて感触の特性があげられる。材料の最終評価はなんといってもこのような感覚(官能量)であるが, これまでこの特性は感覚的な表現のみで科学性が欠如していた。したがって, 本報では感触の定量化をおこなうことと, 感触とアナロジーの物理量との対応を考える。特に感触の中で「すべりやすさ, なめらかさ」をとりあげ, 「ねばり, ざらつき」と対比し, 物理量はすべりの摩擦係数を測定する。

本研究は官能量の定量法について, 一部, 慶応大学心理学科 印東先生のご教示を受け, 官能試験の被験者のひとり, 明治大学の田中 智氏の助力を受けた。実験に便宜を与えられた上村部長, 加納部長, 山井科長, 農工大学の蕪木教授をはじめ, 物理研究室の諸氏にもお世話になった。以上の方々に厚く謝意を表する。

I 感 触 の 良 さ

手指が内装材料, 室内ユニットに触れたときの感触の良さの内容を調べると,

1969年12月26日受理

(1) 木 材 部

- 1) 表面がざらざらせず、なめらかですべりやすいこと、
- 2) 表面があまり堅ろうさを有せず、いく分柔軟で、比重もあまり大でないこと、
- 3) 表面が乾燥していたり、逆に水分を多量含まず、適量の吸着水分があり、吸湿性であること、
- 4) 手指からの熱伝達、熱伝導も大きいものでなく、熱絶縁性が比較的大きいこと、

などがあげられる。

これらを見ると表面がきわめて平滑で、硬度も大きいことは、内装材料として必ずしも合格品ではなく、被服の着心地の良さに通ずるところの特性を具備していることが望ましい。1)~4)の項目を木材について比較、外観すると、木材は多角的にこれらを兼備しているようであり、その確認のため次の調査をおこなった。

II すべり摩擦係数の測定法

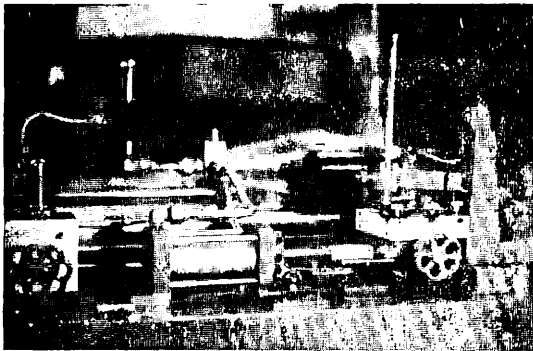


Photo. 1 ボーデン・レーベン式摩擦試験機
Apparatus of Bowden and
LEBEN's system.

すべりやすさの感覚尺度値の正しさを確証するため、手指の接点現象をモデル実験する必要がある。手指を物体にのせて軽くすべらせる過程で、すべりの感覚が生起するから、実験的にすべりやすさ、すなわち、摩擦係数を求めるためには、すべり過程で生ずる物体間の摩擦力が必要となる。実験法を検討した結果、摩擦力は、1) BOWDEN-LEBEN 型の摩擦試験機 (Photo. 1) と 2) 顕微牽引法によった。

II-1. BOWDEN-LEBEN 型摩擦試験機

試料台は動圧シリンダーに連結され、可逆電動機による油圧ポンプの圧変化から試料台を移動させる。移動速度は指先がすべりを感じやすい程度 1.25 cm/sec とした。試料を台上に固定して、これに摩擦子を接触させる。摩擦子は Table 1 のごとく、鋼球、指先をモデル化した人造皮膚などである。摩擦子を片持りのアームにとりつけ、片持りに電気抵抗線ひずみ計をはりつけ、これから摩擦力を検出する。摩擦子にはおもに垂直荷重 50 g を与え、摩擦力を連続自記させる。

II-2. 顕微牽引法

静止した物体を牽引することによって静止摩擦係数が求められるが、実際のすべり摩擦係数はこれより小さいものと考えられる。いま摩擦子の 1 つのパラフィンに軽荷重をかけ、水平に牽引して、すべり過程を低倍率の顕微鏡で観察すると、微小なすべりが連続して生起しているのが見られる。本法は、このような微小なすべりの測定が可能で、牽引力は特性の石英スプリングに摩擦子をつけてはかり、スプリングの伸びと試料の移動はコンパレーター (精度 1/1,000mm) を利用した。

II-3. 摩擦子の種類

摩擦子は BOWDEN-LEBEN 用と牽引用の種類があり、Table 1 に示す。摩擦子は鋼製のもの以外は人間の指、皮膚に近い性質のものを選んだ。すなわち、ゴム状 (B-3), (D-3), 革状 (B-4), (D-4), スポンジ状 (B-5), 指紋+脂質状 (D-1), (D-2) など人間の皮膚と類似点が多い。

パラフィンによる指先のレプリカの方法は次のようにおこなった。ガラス板上に固定したアセチルセル

Table 1. 試験法と摩擦子
Methods of frictional test and frictional elements

試験法 Methods of test	様式 Type	摩擦子 Frictional elements
ボーデン・レーベン法 BOWDEN- LEBEN'S system	B-1	直径 8 mm の鋼球, 垂直荷重 50g Steel ball of the diameter: 8 mm. Vertical load: 50g
	B-2	直径 6 mm の薄い鋼円柱 Thin steel column of the diameter: 6 mm
	B-3	直径 12 mm, 高さ 6 mm の回転性の鋼円板に直径 8.6 mm, 高さ 4 mm のゴム栓を接着。ゴム栓には人造皮膚をかぶせる。 Adhering a rubber stopper to the rotary steel column of the diameter: 12 mm and the height: 6 mm, the rubber stopper (diameter: 8.6 mm) is covered with artificial skin.
	B-4	B-3 と同じ方式で, ゴム栓に革をかぶせる。 Same type of B-3. The rubber stopper is covered with leather.
	B-5	B-3 と同じ方式で, ゴム栓にウレタンフォームをかぶせる。 Same type of B-3. The rubber stopper is covered with foamed poly-urethane.
顕微鏡引法 Micro- scopic draw system	D-1	指先の指紋をレプリカした直径 6 mm のパラフィンに直径 13 mm の円環をつける。 Replica of finger-print of finger-tip by paraffin of the diameter: 6 mm. The steel ring of the diameter: 13 mm is put on the replicated paraffin.
	D-2	ガラスをパラフィンにレプリカする以外は D-1 と同じ方式。 Same type of D-1, except for replica of glass by paraffin of the diameter: 6 mm.
	D-3	5.45 mm の直径の消しゴムに人造皮膚をかぶせ, その上に直径 13 mm の円環をのせる。 Eraser (diameter: 5.45 mm) is covered with artificial skin. Steel ring of the diameter: 13 mm is put on the eraser.
	D-4	消しゴムに革をかぶせる以外は D-3 と同じ。 Same type of D-3, except the eraser is covered with leather.
	D-5	鏡面仕上げをした直径 6 mm, 高さ 6 mm の鋼柱。 Steel column polished like mirror. The diameter: 6 mm and the height: 6 mm.

コース膜に, アセトンに浸した指先を軽く圧着させ, 約 1~2 分後に指を膜から静かにはずす。膜上に外径 13 mm, 内径 6 mm の円環をのせ, その内径側に溶融パラフィンを流し込む。パラフィンが固化してから, アセチルセルロース膜を剥離させる。パラフィンを少し押し出して円環に固定する。

B-3, D-3 の人造皮膚とはゴム製の外科用手袋の一種で, 一般のゴム栓, ゴムチューブよりもはるかに皮膚感覚を与える。

上記の試験法および 5 種の摩擦子を用いて木材, 他材料あわせて 18 種の表面のすべり摩擦係数 (木材では繊維方向に摩擦) を求めた。この結果は III の官能試験と対比させて IV で記述する。

III 各種材料のすべりの官能試験

木材、紙、プラスチック、塗料、ガラス、陶磁器、金属など18種類を用いて、おもに中指、くすり指の先（指紋側）を軽く接してすべらせた場合（木材は繊維方向）の感覚を次のように分けた。

抵抗が少なく、なめらかな、すべりやすい感触（必ずしも平滑そのものではない）を与えるものと、ざらざらしたり、軽微な付着性を感じたり、すべりに対してなにかの抵抗感を与えるものとの対比させる。前者をすべりやすい、後者をすべりにくいと判断する。

このさい注意すべきは、ガラスのような、いわゆる平滑な面のものに対して、木材面は内腔、組織の構成による不均質性、場合によっては切削のため現われた非平滑さを伴うから、両者を比較、対比するのは次元が異なるように思われる。しかし、指先を木材の繊維方向とガラス上を滑走させるとき、上記したいくつかの感覚の判断は被験者3名とも可能であった。この原因については、根本的には皮膚組織内での触覚、圧覚、痛覚の分布密度とシナプス構造に関係するであろうが¹⁾、指先と材料の接触の状況が十分でない。たとえば、小道管による木材表面のへこみを皮膚感覚で明りように検知できないほどであるから、このへこみが繊維方向のすべりやすさを左右するきめ手にならないものと考えられる。

木材（気乾状態）は柁目面を飽仕上げ、Powder brush がけ、真空吸引したもの、他材料はアルコールガーゼふき、真空吸引したものについて、Bowden-LEBEN 法（擦摩子は D-1 の鋼球）によって摩擦係数を測定した。この結果摩擦係数の大→小の順に No. 1（大）→No. 18（小）の番号をつけておく。No. 1 は物理的にはすべりにくく、No. 18 はすべりやすいことになる。18種の材料から、番号の近いもの、番号の遠いものを交互に2個ずつとり出し、1対比較法によって比較判断する。たとえば、後で説明する Table 5 では筆者のスギについての第1回目の試行であり、主対角線に対して右上の判定結果を説明すると、行（J）が列（K）に対して、すべりやすい場合に 1、すべりにくい場合に 0 と記してある。

この試験では、1.5 か月の間に合計10回、同じ試行をおこない、すべりやすさを確率であらわしたのが Table 2 である。1対比較より確率計算まで理論的には次の意味をもつ²⁾。

18種の材料（対象）を…… $R_J R_K$ ……とおけば、その比較判断によって終局的には、 R_J についてある感覚上の尺度 S が形成されたとする。すなわち、ある時間 t における S を S_{Jt} 、 S_{Kt} とし、全試行の終了によって、平均値 $\bar{S}$ 、標準偏差 σ であらわされる正規分布 N になるとすれば、

$$S_{Jt} : N(\bar{S}_J, \sigma_J^2) \dots\dots\dots (1)$$

$$S_{Kt} : N(\bar{S}_K, \sigma_K^2) \dots\dots\dots (2)$$

$S_{JKt} = (S_{Jt} - S_{Kt}) > 0$ 、または < 0 によって、 S_{Jt} と S_{Kt} の尺度上の上・下位が定まる。この S_{JKt} も確率変数で、平均値と標準偏差は

$$S_{JKt} : N\{(S_J - S_K), \sigma_{JK}^2\} \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma_{JK}^2 = \sigma_J^2 + \sigma_K^2 - 2\rho_{JK}\sigma_J\sigma_K$$

ここに ρ_{JK} は S_J と S_K との相関係数、 R_J 、 R_K の比較判断によって、 $S_{JKt} > 0$ となる確率を P_{JK} とすれば

$$P_{JK} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{JK}} \int_0^\infty e^{-\frac{\{S_{JK} - (\bar{S}_J - \bar{S}_K)\}^2}{2\sigma_{JK}^2}} dS_{JK} \dots\dots\dots (4)$$

Table 2. P_{JK}

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		0.2	0.3	0.8	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0
2	0.8		0.5	0.9	0.4	0.6	0.1	0.3	0.1	0	0.3	0.4	0.2	0	0.2	0	0	0
3	0.7	0.5		0.4	0.1	0.7	0.4	0.3	0.3	0.2	0.5	0.1	0	0	0.1	0	0	0
4	0.2	0.1	0.6		0.1	0.4	0.1	0.3	0.1	0	0.4	0.1	0.1	0	0	0	0	0
5	0.9	0.6	0.9	0.9		0.9	0.3	0.3	0.2	0	0.5	0.2	0.2	0	0.1	0	0	0
6	0.5	0.4	0.3	0.6	0.1		0.2	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0
7	0.7	0.9	0.6	0.9	0.7	0.8		0.5	0.3	0.2	0.6	0.7	0.3	0.1	0.3	0	0	0
8	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	1	0.5		0.3	0.2	0.5	0.4	0.2	0	0.2	0	0	0
9	0.7	0.9	0.7	0.9	0.8	1	0.7	0.7		0	0.7	0.6	0.1	0	0.4	0	0	0
10	1	1	0.8	1	1	1	0.8	0.8	1		0.7	0.9	0.8	0.5	0.6	0.4	0.4	0.3
11	0.6	0.7	0.5	0.6	0.5	1	0.4	0.5	0.3	0.3		0.2	0.3	0	0.4	0	0	0
12	1	0.6	0.9	0.9	0.8	0.9	0.3	0.6	0.4	0.1	0.8		0.2	0.3	0.4	0	0.2	0
13	1	0.8	1	0.9	0.8	1	0.7	0.8	0.9	0.2	0.7	0.8		0.4	0.4	0.2	0.1	0
14	1	1	1	1	1	1	0.9	1	1	0.5	1	0.7	0.6		0.4	0.1	0.4	0
15	1	0.8	0.9	1	0.9	1	0.7	0.8	0.6	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6		0.2	0.2	0
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.6	1	1	0.8	0.9	0.8		0.7	0.2
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.6	1	0.8	0.9	0.4	0.8	0.3		0
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.7	1	1	1	1	1	0.8	1	

Note : 試料番号 No. 1 → No. 18 は Table 4 参照。

Number 1 → 18 of samples refer to Table 4.

Table 3. X_{JK}

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		0.84	0.52-0.84	1.28	0	0.52	1.28	0.52	3.10	0.25	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10
2	0.84		0-1.28	0.25-0.25	1.28	0.52	1.28	3.10	0.52	0.25	0.84	3.10	0.84	3.10	0.84	3.10	3.10	3.10
3	-0.52	0		0.25	1.28-0.52	0.25	0.52	0.52	0.84		0	1.28	3.10	3.10	1.28	3.10	3.10	3.10
4	0.84	1.28	-0.25		1.28	0.25	1.28	0.52	1.28	3.10	0.25	1.28	1.28	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10
5	-1.28-0.25	-1.28-1.28		-1.28	0.52	0.52	0.84	3.10		0	0.84	0.84	3.10	1.28	3.10	3.10	3.10	3.10
6	0	0.25	0.52-0.25	1.28		0.84	3.10	3.10	3.10	3.10	1.28	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10
7	-0.52-1.28	-0.25-1.28	-0.52-0.84		0	0.52	0.84	-0.25-0.52	0.52	1.28	0.52	1.28	0.52	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10
8	-1.28-0.52	-0.52-0.52	-0.52-3.10	0		0.52	0.84		0	0.25	0.84	3.10	0.84	3.10	0.84	3.10	3.10	3.10
9	-0.52-1.28	-0.52-1.28	-0.84-3.10	-0.52-0.52	3.10	-0.52-0.25	1.28	3.10	0.25	3.10	0.25	3.10	0.25	3.10	0.25	3.10	3.10	3.10
10	-3.10-3.10	-0.84-3.10	-3.10-3.10	-0.84-0.84	-3.10		-0.52-1.28	0.84	0	-0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.52
11	-0.25-0.52	0	-0.25	0	-3.10	0.25	0	0.52	0.52		0.84	0.52	3.10	0.25	3.10	3.10	3.10	3.10
12	-3.10-0.25	-1.28-1.28	-0.84-1.28	+0.52-0.25	0.25	1.28	-0.84		0.84	0.52	3.10	0.25	3.10	0.84	3.10	0.84	3.10	3.10
13	-0.25-0.84	-3.10-1.28	-0.84-3.10	-0.52-0.84	-1.28-0.84	-0.52-0.84		-0.52-0.84	0.25	0.25	0.84	1.28	3.10	0.25	0.84	1.28	3.10	3.10
14	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-1.28-3.10	-3.10	0	-3.10-0.52	-0.25		0.25	1.28	0.25	3.10	0.25	3.10	0.25	3.10	3.10
15	-3.10-0.84	-1.28-3.10	-1.28-3.10	-0.52-0.84	-0.25	0.25	-0.25-0.25	-0.25-0.25		0.84	0.84	3.10	0.84	3.10	0.84	3.10	0.84	3.10
16	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10
17	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10
18	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10	-3.10-3.10
X	-29.17	-18.91	-20.68	-27.82	-14.97	-34.92	-7.52	-9.23	-7.68	21.31	-11.18	-1.58	11.38	25.07	10.28	36.99	30.84	47.86
Y	-1.62	-1.05	-1.15	-1.55	-0.83	-1.94	-0.42	-0.51	-0.43	1.18	-0.62	-0.09	0.63	1.39	0.57	2.66	1.71	2.66

Note : 試料番号 No. 1 → No. 18 は Table 4 参照。

Number 1 → 18 of samples refer to Table 4.

$$X : \sum_{j=1}^n X_{JK} \quad Y : \bar{S}_K (\text{or } \bar{S})$$

$S_{JK} - (\bar{S}_J - \bar{S}_K) / \sigma_{JK} = x$ とおけば, (4)式の積分の下限は0であるから, $S_{JK} = x \cdot \sigma_{JK} + (\bar{S}_J - \bar{S}_K) = 0$ となり,

$$x = x_{JK} = -\frac{\bar{S}_J - \bar{S}_K}{\sigma_{JK}} \dots\dots\dots (5)$$

これより(4)式は

$$P_{JK} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x_{JK}}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \dots\dots\dots (6)$$

Table 2 は実験的に求められた P_{JK} であるから, 正規分布表より x_{JK} を求め Table 3 に示す。(3)および(5)式にて, x_J , x_K の分布が一樣で, $\sigma_{JK} = \text{一定} = \sigma$ とすれば

$$\bar{S}_K - \bar{S}_J = \sqrt{2} \sigma x_{JK} \dots\dots\dots (7)$$

(7)式より尺度の単位を $\sqrt{2}\sigma$ とすれば, $\bar{S}_K - \bar{S}_J$ はその x_{JK} 倍になる。 $\sqrt{2}\sigma$ を基本単位 1 とすれば, $x_{JK} = \bar{S}_K - \bar{S}_J$ が尺度となる。実測の X_{JK} より $\bar{S}$ を求めるには

$$Q = \sum_{J=1}^n \sum_{K=1}^n (X_{JK} - \bar{S}_K + \bar{S}_J)^2 \dots\dots\dots (8)$$

Q が最小になるよう $\bar{S}$ を定めればよい。 $\bar{S}_K$ について微分すると,

$$\frac{\partial Q}{\partial \bar{S}_K} = -2 \sum_{J=1}^n (X_{JK} - \bar{S}_K + \bar{S}_J) = 0 \dots\dots\dots (9)$$

S_J の平均 $\bar{S}_J$ が原点であれば,

$$\bar{S}_K = \frac{1}{n} \sum_{J=1}^n X_{JK} \dots\dots\dots (10)$$

$\bar{S}_K$ すなわち, 一般的に $\bar{S}$ が求められる。Table 3 では列平均して, $\bar{S}$ を最下段に示す。

IV すべり摩擦係数とすべりの官能尺度値の対応

Fig. 1 の横軸は前述のごとく鋼球によるすべり摩擦係数 μ_{N-1} を大→小の順, No. 1→No. 18に並べた。 μ_{N-1} の値は同図(I)に示す。同図(II)は Table 3 の列平均 $\bar{S}$ を示す。 $\bar{S}$ の値が大きいほど, すべりやすさの程度が大きいことをあらわす。

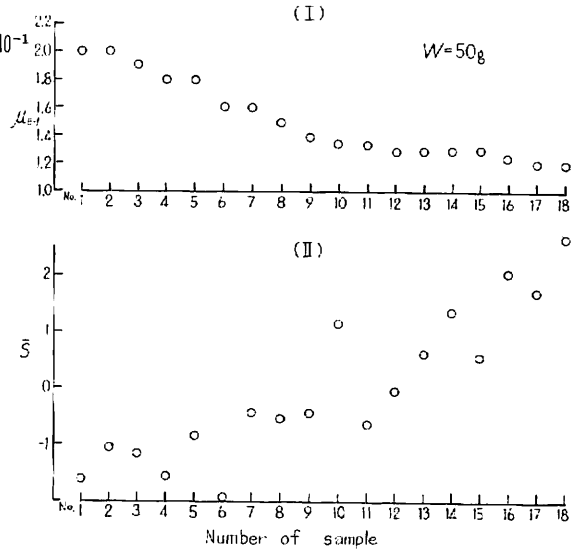
μ_{N-1} は主として木材グループが小さく, カツラ, カバ, ケヤキ, ヒノキ, カエデ, ミズナラ, カヤ等はほとんど同じ値になる。キリ, プナはこれより大きい。 μ_{N-1} と $\bar{S}$ の対応性は図から明らかなごとく, 両者のすべりやすさの大小の傾向は大体一致している。ガラスの $\bar{S}$ は小さく, その表面の平滑さ以外に, 付着, 粘性的な感触を与える。紙は名刺よりやや繊維の乱れた 130 μ 厚の白紙であるが, 紙上に小さな凹凸の感触がある。これと類似したものに塗装材(アミノアルキッド樹脂, 下地チーク, 壁体用)があり, 塗膜表面を十分仕上げていないため微小な凹凸が感ぜられる。 $\bar{S}$ はステンレス, 磁器, メラミン樹脂オーバーレイではほぼ同じであるのに対して, μ_{N-1} は相違している。着色アミノアルキッド塗装合板(油性顔料入り, アミノアルキッド樹脂)の $\bar{S}$ は著しく大きくなる。硬質塩化ビニル(表面光沢仕上げ, 着色剤入り)の μ_{N-1} は他の合成樹脂のそれより小さい。しかし透明な塩化ビニルの中には $\mu_{N-1}=0.19$ のものもあり, 表面の状態によって相違してくる。カツラ, カバ, ケヤキ, ヒノキに対して, ミズナラ, カヤの μ_{N-1} , $\bar{S}$ は明りように異なる。

Fig. 2 の I, II は B-3, B-4 の方式で垂直荷重は 50 g の場合である。各方式によって得た摩擦係数 μ_{N-3} , μ_{N-4} はかなりその傾向が類似していることがわかる。木材と白紙のグループでは, μ_{N-3} , μ_{N-4} は

ともに小さいが、尿素樹脂、ガラス、メラ×10⁻¹ミン樹脂オーバーレイ板、着色アミノアルキッド塗装合板、硬質塩化ビニルなど主として合成高分子物の μ_{R-3} , μ_{R-4} は大きくなる。塗装材、ステンレス、磁器の μ_{R-3} は中位であるが、 μ_{R-4} では大きくなる。 μ_{R-3} の人造皮膚の場合、平滑な合成樹脂では、接触して微弱な附着性をあらわす。

Fig. 3 はD-1の方式で、この μ_{D-1} と Fig. 1 の $\bar{S}$ の関係を調べると、尿素樹脂よりブナまでは両者の対応性がよく、次のステンレスより着色アミノアルキッド塗装合板までは μ_{D-1} が小さく、その値はケヤキ、ヒノキ、カエデ、ミズナラに相当している。硬質塩化ビニルよりカヤまでは、

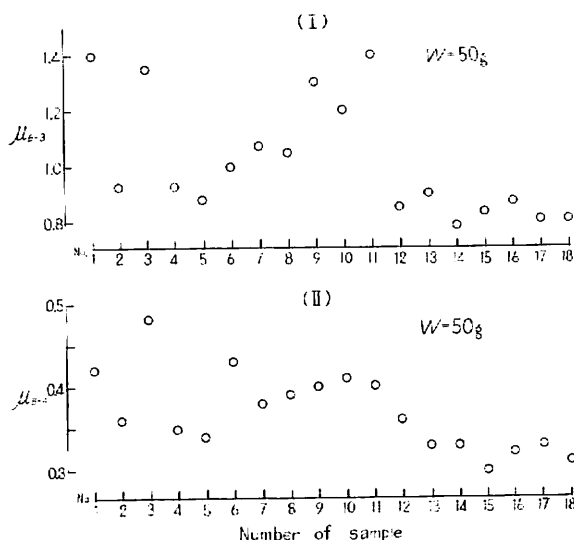
μ_{D-1} , μ_{R-1} と $\bar{S}$ との対応性がよい。 μ_{D-1} はステンレス、磁器を除くと、 μ_{R-3} , μ_{R-4} よりも μ_{R-1} と類似



Note: W は垂直荷重 W denote vertical load.
すべりやすさの官能尺度値 $\bar{S}$ と鋼球による摩擦係数 μ_{R-1} の関係
Relationship between sensory values of smoothness $\bar{S}$ and frictional coefficient by slide of steel ball μ_{R-1} .

Table 4. Figs. 1~3 に使われた試料
Samples used for tests of Figs. 1~3

試料番号 Number of sample	試 料 Samples	
1	尿 素 樹 脂	Urea resin
2	白 紙	White paper
3	ガ ラ ス	Glass
4	キ リ	<i>Paulownia tomentosa</i> STEUDEL
5	ブ ナ	<i>Fagus crenata</i> BLUME
6	アミノアルキッド塗装 チーク材	Teak wood coated with amino-alkyd resin paint
7	ステンレス・スチール	Stainless steel
8	磁 器	Ceramics
9	メラミン樹脂 オーバーレイ板	Melamine resin sheet overlaid
10	着色アミノアルキッド 塗装合板	Plywood coated with amino-alkyd colour paint
11	硬質塩化ビニル板	Polyvinyl chloride
12	カ ツ ラ	<i>Cercidiphyllum japonicum</i> SIEB. et ZUCC.
13	マ カ ソ バ	<i>Betula Maximowicziana</i> REGEL
14	ケ ヤ キ	<i>Zelkova serrata</i> MAKINO
15	ヒ ノ キ	<i>Chamaecyparis obtusa</i> ENDLICHER
16	イ タ ヤ カ エ デ	<i>Acer mono</i> MAXIMOWICZ
17	ミ ズ ナ ラ	<i>Quercus crispula</i> BLUME
18	カ ヤ	<i>Torreya nucifera</i> SIEB. et ZUCC.



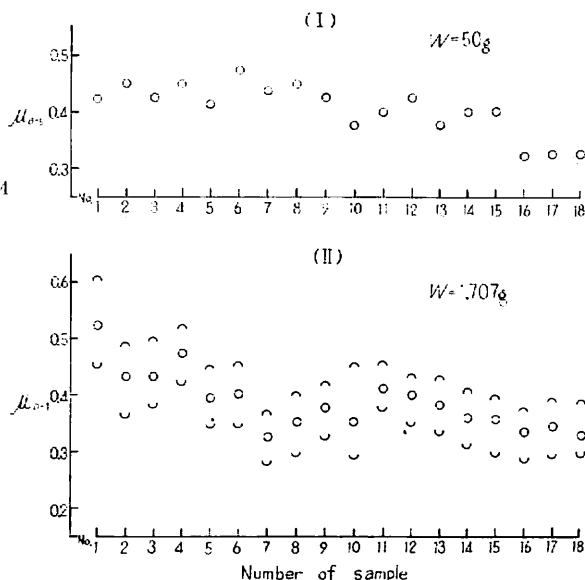
Note: W は垂直荷重。
 W denote vertical load.
 試料番号は Table 4 参照。
 No. of sample refers to Table 4

Fig. 2 (I) 人造皮膚による摩擦係数 μ_{B-3}

(II) 革による摩擦係数 μ_{B-4}
 (I) Frictional coefficient by slide of artificial skin μ_{B-3} .
 (II) Frictional coefficient by slide of leather μ_{B-4} .

Note: W は垂直荷重。
 W denote vertical load.
 試料番号は Table 4 参照。
 No. of sample refers to Table 4

Fig. 3 (I) ウレタンフォームによる摩擦係数 μ_{B-5} (II) 指の皮膚をレプリカしたパラフィンによる摩擦係数 μ_{D-1}
 (I) Frictional coefficient by slide of foamed polyurethane μ_{B-5} .
 (II) Frictional coefficient by slide of paraffin replicated by skin of forefinger μ_{D-1} .



している。

既述のように、 μ_{B-3} 、 μ_{B-4} では摩擦子と被摩擦体の相互関係のちがいで、ガラス、合成高分子に対して木材、紙は顕著な相違を生じた。パラフィンのように指紋を転写したところの、潤滑性のある摩擦子では、ガラスと人造皮膚の摩擦にみられた密着性を示さない。われわれの手指は人造皮膚、革に近いとしても、ときには水分その他の分泌物でパラフィンのような性質に近くなり、指のやわらかさと指紋は物理的にはスポンジの性質に類似してくる (Fig. 3-I)。

以上の各測定を通じて、木材素地面の、キリからカヤまでの順位は大きな相違を示さないこと、比較的小さい摩擦係数で、すべりの官能試験の結果とも対応性がよいなどの特性を示す。現実的には、プラスチック、ガラス、金属などが、手指の表面状態のちがによって、異なった感触を与えることがある。これは物理的には摩擦子の相違のためとして説明を加えたいが、木材素地面の場合、手指の状態に関せず、比較的すべりやすい一定の傾向を示す。

無機質材料について $\mu n-1$ を調べると、測定値がばらつくものも多く、表面の平滑性の影響がつよい。

Fig. 1 以外の試料の結果とあわせて下に示す。ただし $\mu n-1$ 測定のための垂直荷重は 50g とした。

{	コンクリート	0.25	{	せともの	0.14
	石 綿 板	0.30		木	0.24
	レ ン ガ	0.31			
{	塩化ビニル樹脂	0.16~0.19			
	エポキシ樹脂	0.18			
	ポリエステル樹脂	0.15			

これらの結果、木材素地面は他材料よりすべりやすいことがわかる。和風の建築には針葉樹の内装材料が多いから、次に針葉樹材についてさらに詳しく吟味する。

V 針葉樹材の年輪内の表面変化とすべり特性

V-1. 試 料

針葉樹としてスギ、トドマツを選び、内装材表面には種々の年輪構造が現われることから、年輪内の早

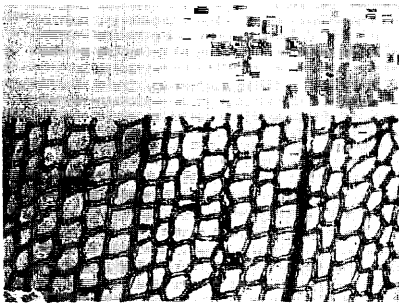


Photo. 2 スギ31年輪の早材表面（接線面）の横断面
Cross section of tangential surface of early wood of No.31 annual ring of *Cryptomeria japonica* D. Don ($\times 85$).

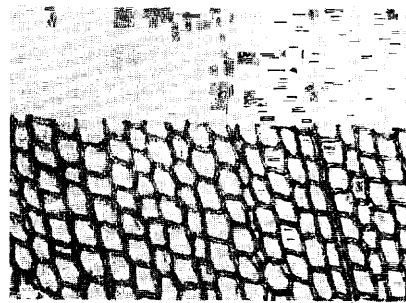


Photo. 3 スギ31年輪の早材表面（接線面）の横断面
Cross section of tangential surface of early wood of No.31 annual ring of *Cryptomeria japonica* D. Don ($\times 85$).

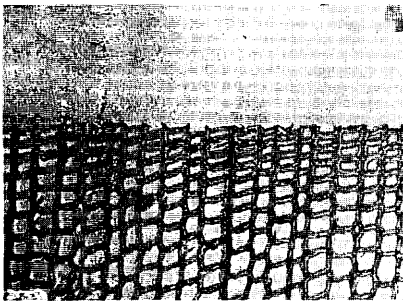


Photo. 4 スギ31年輪の晩材表面（接線面）の横断面
Cross section of tangential surface of late wood of No.31 annual ring of *Cryptomeria japonica* D. Don ($\times 85$).

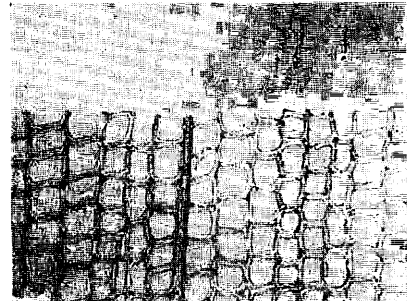


Photo. 5 トドマツ60年輪の早材表面（接線面）の横断面
Cross section of tangential surface of early wood of No.60 annual ring of *A. Mayriana* Miyabe et Kudo ($\times 85$).

材より晩材にかけて、それらの各面が表面に現われるような試料を作成した。すなわち、接線方向15mm×繊維方向30mm×半径方向20mmのブロックを同じ年輪部位から多数作り、ある特定年輪について、No. 1のブロックは早材初期……No. 11は晩材が表面(板目面)に出るようにマイクロームで切り出す。切り出された面の横断の顕微鏡写真を Photo. 2～5 に示す。写真より明らかなごとく、板目面は組織細胞による凹凸が主で、木材ではこれ以上の平滑さは期待しにくいものと考えられる。試料は測定前に1週間以上、RH 65%のデシケーターに保存する。測定時含水率は9.6～10.4%であった。

測定方法は、IIで記述した BOWDEN-LEBEN の装置による方法および顕微牽引法で、使用した摩擦子は Table 1 に示す。物理測定と平行しておこなった官能試験はIIIとやや異なる不完備行列を使った。V-3にその方法と結果を示す。

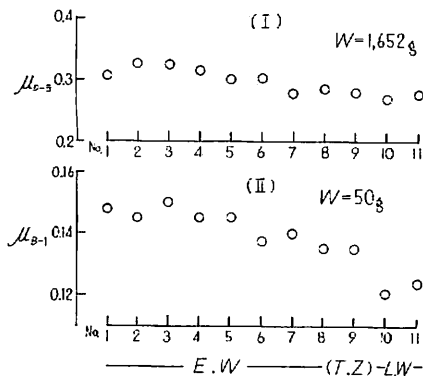
V-2. すべり摩擦係数の測定結果

Fig. 4～11はスギ31年輪の年輪内の移行を試料番号として横軸に示す。E.Wは早材部で、初期から後期までの間にいくつかの試料が存在する。L.Wは晩材で、E.Wとの境界が移行領域(T.Z)に相当する。縦軸は Table 1 の各摩擦子による摩擦係数を示す。

Fig. 4は鋼の接触の場合で、鋼球による摩擦係数は他の摩擦子より小さい。しかし、早・晩材表面による差は μ_{D-5} より明りようである。

Fig. 5は繊維方向と接線方向について μ_{D-1} を調べたもので、直角方向でも早材後期ではその値が顕著に低下する。Fig. 6は13年輪(心材)の μ_{D-1} で、早材の中期で最大を示す。

Fig. 7は心材(13年輪)と辺材(31年輪)の場合の μ_{D-3} で、摩擦子が人造皮膚であると、摩擦係数が最も大きく1以上の値になることが多い。これは人造皮膚がゴム質のため密着性がよいためと考えられ、

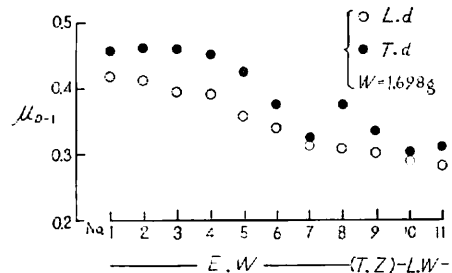


Note: E.Wは早材表面, T.Zは移行域表面, L.Wは晩材表面。スギ辺材31年輪内の成長過程, 年輪幅3mm。
E.W, T.Z, L.W denote every tangential surface of early wood, transitional zone, late wood.
Growth process within No. 31 annual ring of SUGI-sapwood. Width of annual ring 3mm.

Fig. 4 (I) 鋼柱による摩擦係数 μ_{D-5} , (II) 鋼球による摩擦係数 μ_{D-1} (繊維方向に滑走)

(I) Frictional coefficient by slide of steel column μ_{D-5} .

(II) Frictional coefficient by slide of steel ball μ_{D-1} (Slide along longitudinal direction).



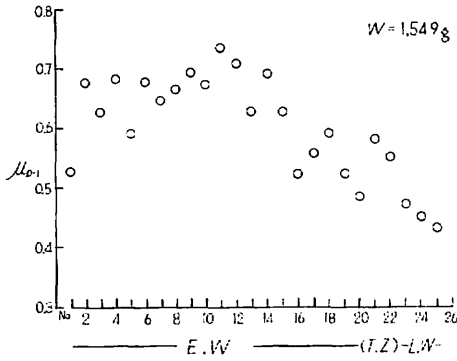
Note: L.dは繊維方向に滑走, T.dは接線方向に滑走。E.W, T.Z, L.WはFig. 4参照。

L.d denote the slide along longitudinal direction.

T.d denote the slide along tangential direction.

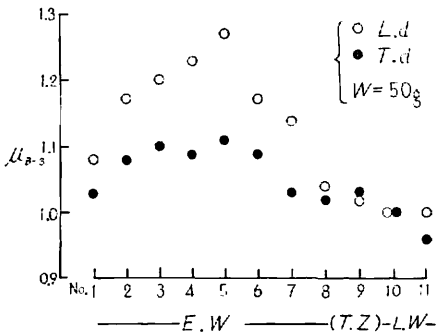
E.W, T.Z, L.W refer to Fig. 4.

Fig. 5 指の皮膚をレプリカしたパラフィンによる摩擦係数 μ_{D-1}
Frictional coefficient by slide of paraffin replicated by skin of forefinger μ_{D-1} .



Note: E.W 早材表面, T.Z 移行域表面, L.W 晩材表面。
スギ心材13年輪内の成長過程。年輪幅5.4mm。
E.W, T.Z, L.W denote every tangential
surface of early wood, transitional zone,
late wood. Growth process within No. 13
annual ring of SUGI-heartwood. Width of
annual ring 5.4mm.

Fig. 6 指の皮膚をレプリカしたパラフィンに
よる摩擦係数 μ_{D-1} (繊維方向に滑走)
Frictional coefficient by slide of paraf-
fin replicated by skin of forefinger
 μ_{D-1} (Slide along longitudinal direction).



Note: E.W, T.Z, L.W および L.d, T.d は Fig. 4, Fig.
5 参照。
E.W, T.Z, L.W, L.d, T.d refer to Fig. 4
and Fig 5.

Fig. 8 人造皮膚による摩擦係数 μ_{R-3}
Frictional coefficient by slide of arti-
ficial skin μ_{R-3} .

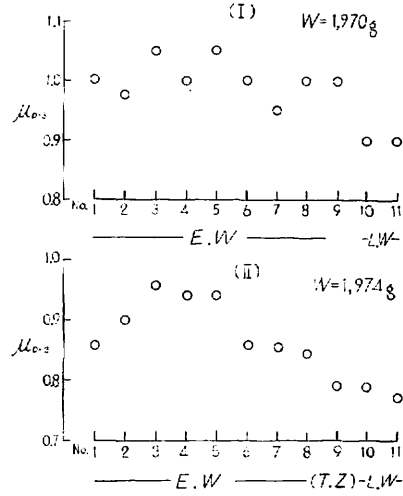
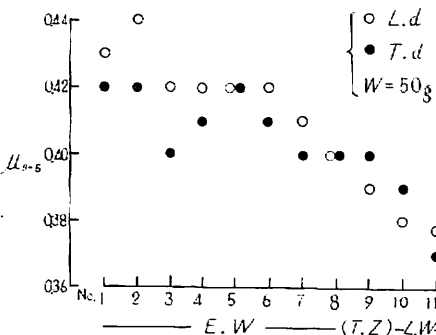
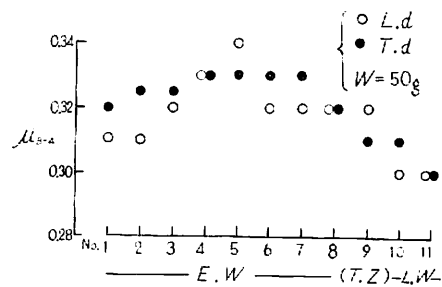


Fig. 7 人造皮膚による摩擦係数 μ_{D-3} (繊維方
向に滑走)

Frictional coefficient by slide of
artificial skin (Slide along longit.
direction).

- (I) スギ心材 13年輪 年輪幅 5.4mm。
(II) スギ辺材 31年輪 年輪幅 3mm。
(I) Heartwood of SUGI. No. 13
annual ring. Width of annual ring
5.4mm.
(II) Sapwood of SUGI. No. 31
annual ring. Width of annual ring 3mm.



Note: E.W, T.Z, L.W および L.d, T.d は Fig. 4, Fig.
5 参照。
E.W, T.Z, L.W, L.d, T.d refer to Fig. 4 and
Fig. 5.

Fig. 9 革による摩擦係数 μ_{R-4}
Frictional coefficient by slide of leather
 μ_{R-4} .

←Note: E.W, T.Z, L.W, L.d, T.d は Fig. 4, Fig. 5
参照。
E.W, T.Z, L.W, L.d, T.d refer to Fig. 4 and
Fig 5.

Fig. 10 ウレタンフォームによる摩擦係数 μ_{R-5}
Frictional coefficient by slide of foam-
ed polyurethane μ_{R-5} .

Fig. 8 の人造皮膚を使った μ_{B-3} でも、 μ_{B-3} の値はほとんど 1 以上で、測定法が異なるが、E. W. の No. 3 ～ 5 で最大値をもつのは Fig. 7 の傾向とよく一致している。

Fig. 9 の革、Fig. 10 のウレタンフォームの両者とも Fig. 8 と同じ測定法ではあるが、 μ_{B-4} 、 μ_{B-5} の値は小さく、牽引法と同じ程度になる。 μ_{B-4} は Fig. 8 の μ_{B-3} の変動と類似したところがあり、 μ_{B-5} は Fig. 4 と Fig. 5 と類似してくる。

以上の種々の摩擦子を使った場合でも、早材の摩擦係数は晩材より大きいことがわかったので、次の官能試験をおこない、その関係を調べた。

V-3. すべりの官能試験と早材・晩材の表面特性

材料が極端に異なる（例：木材対レンガ）場合の官能試験では、その判定はきわめて容易であった。しかし、板目面における針葉樹の年輪内変移の官能検査では、予備実験では判定に困難をとまなう場合があり、試行回数、1 回の試行で指の滑走回数を多くする必要がある。

試料表面（板目面）：早材 No. 1 ～ 8，移行領域 No. 9，晩材 No. 10, 11 の計 11 個のなかから任意にとり出して 1 対比較をおこなう。1 回の 1 対比較で、中指またはくすり指を最低 5 回は滑走させる。1 回の試行で 1 つの試料は $5 \times 10 = 50$ 回以上表面がこすられる。全部で 15 回の試行をおこなうとすれば、 $15 \times 50 = 750$ 回となる。予備実験で、1 個の試料表面を約 500 回こするように触れた場合、若干の着色が現われ、手ざわりも変化して実験上問題が生じたので、比較判断が常に一定のもの（たとえば、No. 2 と No. 11 では常に No. 11 の方がすべりやすいと判断できる）は比較を省略することにした。これによると 1 回の試行で $5 \times 5 = 25$ 回、全部で $15 \times 25 = 375$ 回となり、変質がほとんど認められなかった。

被験者は筆者以外は木材と直接関係のない一般人（大学生、女性）とし、繊維方向にそっておのおの 5 回の試行によって、計 15 回実施した。

Table 5 は 1 対比較の 1 例（この場合は完備行列）を示す。 J 行の要素に対して K 列の要素を比較して、後者がすべりやすい場合は 0、すべりにくい場合は 1 と判定記述する。Table 5 以外の試行は空白部分がある不完備行列であるので、確率は Table 6、 X_{JK} は Table 7 のようになる。 K 列にある X_{JK} の数を n_K とすれば、(9)式は²⁾、

$$\sum_J^{n_K} (X_{JK} - \bar{S}_K + \bar{S}_J) = 0 \quad \cdots \cdots \cdots (11)$$

$$\sum_J^{n_K} X_{JK} = n_K \bar{S}_K - \sum_J \bar{S}_J \quad \cdots \cdots \cdots (12)$$

いま

$$Z = \begin{pmatrix} \sum_J^{n_1} x_{J1} \\ \sum_J^{n_2} x_{J2} \\ \vdots \\ \sum_J^{n_n} x_{Jn} \end{pmatrix} \quad S = \begin{pmatrix} \bar{S}_1 \\ \bar{S}_2 \\ \vdots \\ \bar{S}_n \end{pmatrix} \quad \cdots \cdots \cdots (13)$$

とおけば

$$Z = MS \quad \cdots \cdots \cdots (14)$$

Table 5. S_{JK}

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
2	0		0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1		1	1	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	1		0	1	0	0	0	0
6	0	1	0	1	1		1	0	1	0	0
7	1	1	1	1	0	0		0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0
9	1	1	1	1	1	0	1	1		0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

① ①→⑪ : 試料番号, スギ辺材31年輪内の成長過程, 年輪幅 3 mm.

Number of sample. Growth process within No. 31 annual ring of SUGI-sapwood.

② ①→⑧ : 早材表面 Tang. surface of early wood.

⑨ : 移行域表面 Tang. surface of transitional zone.

⑩→⑪ : 晩材表面 Tang. surface of late wood.

Table 6. P_{JK}

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		0.733	0.733	0.666	0.600	0.333					
2	0.267		0.400	0.333	0.266	0.200					
3	0.267	0.600		0.400	0.400	0.266	0.133				
4	0.334	0.667	0.600		0.333	0.266	0.200	0.133			
5	0.400	0.734	0.600	0.667		0.333	0.333	0.133	0.066		
6	0.667	0.800	0.734	0.734	0.667		0.400	0.200	0.036	0.066	0.066
7			0.867	0.800	0.667	0.600		0.333	0.266	0.200	0.066
8				0.867	0.867	0.800	0.667		0.266	0.133	0.066
9					0.934	0.964	0.734	0.734		0.200	0.200
10						0.934	0.800	0.867	0.800		0.400
11							0.934	0.934	0.800	0.600	

Table 7. X_{JK}

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		-0.620	-0.620	-0.430	-0.250	0.430					
2	0.620		0.250	0.430	0.620	0.840					
3	0.620	-0.250		0.250	0.250	0.620	1.110				
4	0.430	-0.430	-0.250		0.430	0.620	0.840	1.110			
5	0.250	-0.620	-0.250	-0.430		0.430	0.430	1.110	1.510		
6	-0.430	-0.840	-0.620	-0.620	-0.430		0.250	0.840	1.510	1.510	1.510
7			-1.110	-0.840	-0.430	-0.250		0.430	0.620	0.840	1.510
8				-1.110	-1.110	-0.840	-0.430		0.620	1.110	1.510
9					-1.510	-1.510	-0.620	-0.620		0.840	0.840
10						-1.510	-0.840	-1.110	-0.840		0.250
11						-1.510	-1.510	-1.510	-0.840	-0.250	
$Z = \sum_j X_{JK}$	1.49	-2.76	-2.60	-2.75	-2.43	-2.68	-0.77	0.25	2.58	4.05	5.62

Table 8. Matrix M

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	5	-1	-1	-1	-1	-1					
2	-1	5	-1	-1	-1	-1					
3	-1	-1	6	-1	-1	-1	-1				
4	-1	-1	-1	7	-1	-1	-1	-1			
5	-1	-1	-1	-1	8	-1	-1	-1	-1		
6	-1	-1	-1	-1	-1	10	-1	-1	-1	-1	-1
7			-1	-1	-1	-1	8	-1	-1	-1	-1
8				-1	-1	-1	-1	7	-1	-1	-1
9					-1	-1	-1	-1	6	-1	-1
10						-1	-1	-1	-1	5	-1
11						-1	-1	-1	-1	-1	5

Table 9. Matrix L

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1					
2	1	1	1	1	1	1					
3	1	1	1	1	1	1	1				
4	1	1	1	1	1	1	1	1			
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7			1	1	1	1	1	1	1	1	1
8				1	1	1	1	1	1	1	1
9					1	1	1	1	1	1	1
10						1	1	1	1	1	1
11						1	1	1	1	1	1

Table 10. Matrix N

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.167	0	0	0	0	0					
2	0	0.167	0	0	0	0					
3	0	0	0.143	0	0	0	0				
4	0	0	0	0.125	0	0	0	0			
5	0	0	0	0	0.111	0	0	0	0		
6	0	0	0	0	0	0.091	0	0	0	0	0
7			0	0	0	0	0.111	0	0	0	0
8				0	0	0	0	0.125	0	0	0
9					0	0	0	0	0.143	0	0
10						0	0	0	0	0.167	0
11						0	0	0	0	0	0.167

M は Table 8 のような対称行列で、主対角線には n_K 、それ以外の X_{JK} の存在するところには -1 、存在しないところは 0 となる。14 式より S を求める場合、近似計算として次の手順で求めていく。

- (1) 行列 M 、前述の方法による (Table 8)。
- (2) 行列 L 、行列 M にて 0 の要素は 0 、その他は 1 の行列 (Table 9)。
- (3) 行列 N 、主対角線には $1/n_K + 1$ 、他は 0 の行列 (Table 10)。
- (4) 行列 LN 、(2) の L と (3) の N をかける (Table 11)。
- (5) 行列 $N(I + LN)$ 、(4) の LN に行列 I を加える。 I は主対角線には 1 、他は 0 の行列で $(I + LN)$ を得る。これに行列 N をかける (Table 12)。
- (6) $\bar{S}_J$ に対する推定値を T_1 として Table 13 に示す。
- (7) MT_1 、 MT_1 は行列 M と列ベクトル T_1 から計算する。たとえば M 行列の 1 行では $(5 \times 0) +$

Table 11. Matrix LN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.167	0.167	0.143	0.125	0.111	0.091					
2	0.167	0.167	0.143	0.125	0.111	0.091					
3	0.167	0.167	0.143	0.125	0.111	0.091	0.111				
4	0.167	0.167	0.143	0.125	0.111	0.091	0.111	0.125			
5	0.167	0.167	0.143	0.125	0.111	0.091	0.111	0.125	0.143		
6	0.167	0.167	0.143	0.125	0.111	0.091	0.111	0.125	0.143	0.167	0.167
7				0.125	0.111	0.091	0.111	0.125	0.143	0.167	0.167
8				0.125	0.111	0.091	0.111	0.125	0.143	0.167	0.167
9					0.111	0.091	0.111	0.125	0.143	0.167	0.167
10						0.091	0.111	0.125	0.143	0.167	0.167
11						0.091	0.111	0.125	0.143	0.167	0.167

Table 12. Matrix $N(I+LN)$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.1949	0.0279	0.0239	0.0209	0.0185	0.0152					
2	0.0279	0.1949	0.0239	0.0209	0.0185	0.0152					
3	0.0239	0.0239	0.1634	0.0179	0.0159	0.0130	0.0159				
4	0.0209	0.0209	0.0179	0.1406	0.0139	0.0114	0.0139	0.0159			
5	0.0185	0.0185	0.0159	0.0139	0.1233	0.0101	0.0123	0.0139	0.0159		
6	0.0152	0.0152	0.0130	0.0114	0.0101	0.0993	0.0101	0.0114	0.0130	0.0152	0.0152
7			0.0159	0.0139	0.0123	0.0101	0.1233	0.0139	0.0159	0.0185	0.0185
8				0.0159	0.0139	0.0114	0.0139	0.1406	0.0179	0.0209	0.0209
9					0.0159	0.0130	0.0159	0.0179	0.1634	0.0239	0.0239
10						0.0152	0.0185	0.0209	0.0239	0.1949	0.0279
11						0.0152	0.0185	0.0209	0.0239	0.0279	0.1949

Table 13. すべりやすさの官能尺度値 $\bar{S}$ Sensory values of smoothness $\bar{S}$

No. of sample	Z	Z^2	T_1	MT_1	MT_1^2	aMT_1	ME_1	aT_1	C	$\bar{S}$
1	1.49	2.220	0	-15	225	-5.298	6.788	0	1.782	0
2	-2.76	7.617	1	-9	81	-3.178	5.938	0.353	1.641	0.212
3	-2.60	6.760	2	-7	49	-2.472	5.072	0.706	1.293	0.217
4	-2.75	7.562	3	-4	16	-1.412	4.162	1.059	1.033	0.310
5	-2.43	5.904	4	0	0	0	2.430	1.412	0.696	0.370
6	-2.68	7.182	5	0	0	0	2.680	1.766	0.612	0.595
7	-0.77	0.592	6	0	0	0	0.770	2.119	0.298	0.635
8	0.25	0.062	7	4	16	1.412	-1.162	2.472	0.005	0.695
9	2.58	6.656	8	7	49	2.472	0.107	2.825	0.111	1.154
10	4.05	16.402	9	9	81	3.178	0.871	3.178	0.212	1.608
11	5.62	31.584	10	15	225	5.298	0.322	3.532	0.120	1.870

$(-1 \times 1) + (-1 \times 2) + (-1 \times 3) + (-1 \times 4) + (-1 \times 5) + 0 = -15$ を得る (Table 13)。

(8) a , a を次式から計算する。

$$a = \sqrt{\sum(Z)^2 / \sum(MT_1)^2} \quad Z = \sum_j X_{jk}$$

$$\sum Z^2 = 92.546, \quad \sum MT_1^2 = 742 \quad \therefore a = 0.3532$$

(9) ME_1 , $ME_1 = Z - aMT_1$ として計算 (Table 13)。

(10) $N(I+LN) \cdot ME_1$, $N(I+LN)$ と ME_1 をかけて C を得る。例, No. 1 の試料では

$$(6.7880 \times 0.1949) + (5.9388 \times 0.0279) + (5.0724 \times 0.0239) + (4.1628 \times 0.0209) + (2.430 \times 0.0185) \\ + (2.680 \times 0.0152) = 1.7824 \text{ となる (Table 13)。}$$

(11) $\bar{S}, \bar{S} = aT_1 + C - C_1$, ただし C_1 は試料 No. 1 の C 値 (Table 13)。

Table 13 の $\bar{S}$ を Fig. 11 に示す。尺度値 $\bar{S}$ が大きいほどすべりやすいことをあらわす。 $\bar{S}$ の変化をみると移行領域および晩材は明りょうに早材と異なり、物理測定とも部分的には良好に対応している。たとえば $\bar{S}$ の晩材における急増は、Fig. 4-II の鋼球、Fig. 7 の人造皮膚、Fig. 9 の革、Fig. 10 のウレタンフォームなどによる摩擦係数の減少と対応している。いずれの場合も、晩材表面は早材表面より摩擦係数が小さく、感触の尺度値も大になってすべりやすい感覚を与える。この原因が表面の状態とすれば、Photo. 2~5 で明らかなように、切削による「きず」、「凹凸」は多くのセクションで調べた結果ほとんど見出し得なかった。ただ晩材表面では、切断面が接線膜であることも多く、膜面にきわめて小さいはく離が散在する場合があった。

Photo. 2~5 の試料表面に接眼ミクロメータのスケールをあわせ、目盛の端と接触している細胞膜量を 2.5μ の精度で読み、測定全長に対するパーセントで示すと、スギ辺材では Fig. 12 のようになる。早材表面と晩材表面にかけて調べると、たとえば No. 3 と No. 10 では、後者は前者の約 2 倍に達する。すなわち、指先が板面を滑走して、その膜実質と多く接する晩材の方がすべりやすく感ずることになる。そして、

測定された摩擦係数も小さい。

すでに示した図の中で、垂直荷重が小さいもので、接触面積が大きいと推定できるもの（摩擦面が平滑な鋼柱の Fig. 4-I）、これに対して接触面積が小さいと推定できるもの（Fig. 6、その接触割合 P は Fig. 13 に示され、各測定値は Fig. 12 より小さい）を比較すると、前者は後者より摩擦係数が小さい。真実の接触面積の量を決定したり、その量を正確に増減させるのはむずかしいが、いま垂直荷重を増加させる場合を考える。荷重の増加は、接触点における接触面積の増加、さらには増加した荷重によって新しい接触点、接触面積の増大をもたらす。

Fig. 14 はパラフィンの指、ガラスのレプリカの場合で、後者の方が摩擦係数が小さく、垂直荷重を増加

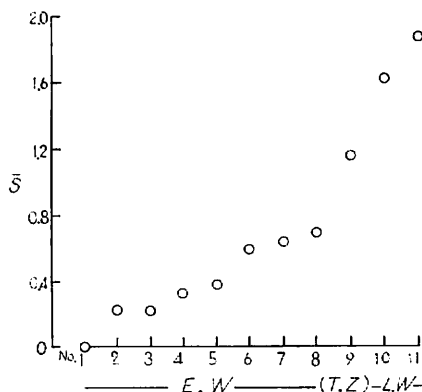
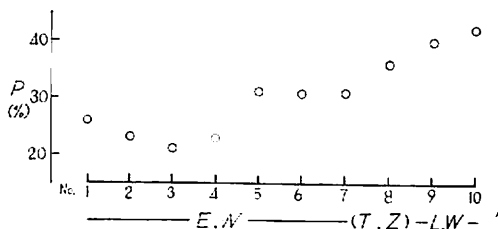


Fig. 11 すべりやすさの官能尺度値 $\bar{S}$ と早材 → 晩材表面（繊維方向に滑走）
Sensory values of smoothness $\bar{S}$ vs. each tangential surface of early wood, transitional zone and late wood (Slide along longit. direction).

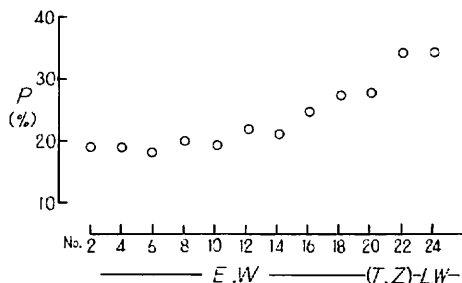


Note: E. W, T. Z, L. W は Fig. 4 参照。

E. W, T. Z, L. W refer to Fig. 4.

Fig. 12 接触面積率の指標 P

Index of percent of contact area P .



Note: E. W, T. Z, L. W は Fig. 6 参照。

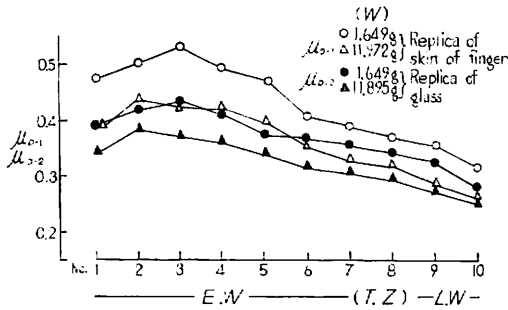
E. W, T. Z, L. W refer to Fig. 6.

Fig. 13 接触面積率の指標 P

Index of percent of contact area P .

させるとさらに小さくなる。この現象は早材表面、晩材表面で共通して現われる。一方、Fig. 15 の心材では垂直荷重が 1.05g (ガラスのレプリカ) を除くと、晩材表面でやや低下する以外は平坦な傾向を示す。しかし、垂直荷重の増加またはガラスのレプリカによって、それぞれ摩擦係数は減少していく。

Fig. 16 は人造皮膚の場合で、垂直荷重の増加によって、早、晩材表面の摩擦係数は減少していく。



Note: E. W, T. Z, L. W は Fig. 4 参照。
E. W, T. Z, L. W refer to Fig. 4.

Fig. 14 垂直荷重 W の摩擦係数 μ_{D-1} , μ_{D-2} に及ぼす影響(繊維方向に滑走)
Effect of vertical load W on frictional coefficient μ_{D-1} , μ_{D-2} (Slide along longitudinal direction).

いずれの摩擦子についても共通的に摩擦係数の減少は、接触面積の増加となり、早材表面と晩材表面における接触面積の相違と次のように関係づけられる。

一般に、弾性体、粘弾性体における摩擦の基本式として、(15)、(16) 式が認められている³⁾⁻⁵⁾。

$$F = aW^n \dots \dots \dots (15)$$

$$A = bW^m \dots \dots \dots (16)$$

ここに F : 摩擦力, A : 真実接触面積, W : 垂直荷重, a , n , b , m : 定数で正数となる。

摩擦係数を μ とすると

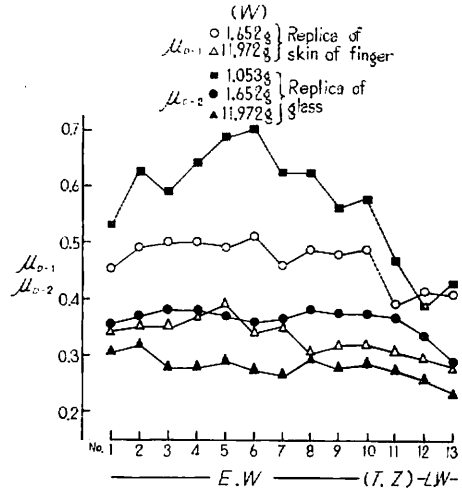
$$\mu = aW^{n-1} \dots \dots \dots (17)$$

$$d\mu = a(n-1)W^{n-2}dW \dots \dots \dots (18)$$

$$dA = bmW^{m-1}dW \dots \dots \dots (19)$$

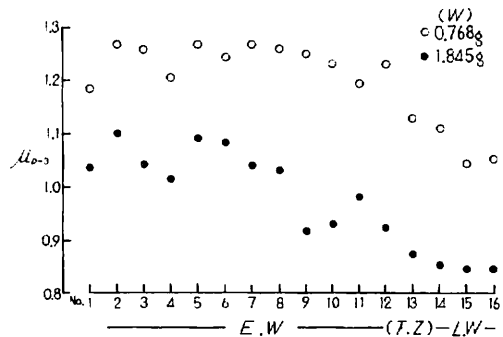
(18), (19) 式より

$$d\mu = \frac{a(n-1)}{bm} W^{n-m-1} dA \dots \dots \dots (20)$$



Note: E. W, T. Z, L. W, は Fig. 6 参照。
E. W, T. Z, L. W refer to Fig. 6.

Fig. 15 垂直荷重 W の摩擦係数 μ_{D-1} , μ_{D-2} に及ぼす影響(繊維方向に滑走)
Effect of vertical load W on frictional coefficient μ_{D-1} , μ_{D-2} (Slide along longitudinal direction).



Note: E. W 早材表面, T. Z 移行域表面, L. W 晩材表面, トドマツ 60 年輪内の成長過程, 年輪幅 2.9mm。
E. W, T. Z, L. W denote every tangential surface of early wood, transitional zone, late wood. Growth process within No. 60 annual ring of TODOMATSU. Width of annual ring 2.9mm.

Fig. 16 垂直荷重 W の人造皮膚による摩擦係数 μ_{D-3} に及ぼす影響 (繊維方向に滑走)
Effect of vertical load W on frictional coefficient by slide of artificial skin μ_{D-3} (Slide along longitudinal direction).

Table 14. Fig.14 (指およびガラスのレプリカの摩擦) から計算された
 (15) 式の n および a
 n and a of eq. 15 calculated from Fig. 14 (Friction of replica
 of finger and glass)

試料表面 Tang. surfaces of samples	人差指表皮のレプリカ Replica of surface skin of forefinger		ガラスのレプリカ Replica of glass	
	n	a	n	a
早材 Early wood No. 2	0.927	0.522	0.949	0.431
" 4	0.917	0.516	0.934	0.424
" 6	0.927	0.425	0.911	0.387
移行領域 Transitional zone 8	0.919	0.385	0.920	0.354
晩材 Late wood 10	0.911	0.324	0.943	0.288

Table 15. Fig. 16 (人造皮膚の摩擦) から計算された(15)式の n および a
 n and a of eq. 15 calculated from Fig. 16 (Friction of artificial
 skin)

試料表面 Tang. surfaces of samples	n of eq. 15	a of eq. 15
早材 Early wood No. 2	0.837	1.216
" 4	0.805	1.144
" 6	0.838	1.193
" 8	0.771	1.186
" 10	0.681	1.131
移行領域 Transitional zone 13	0.709	1.047
晩材 Late wood 14	0.703	1.026
" 16	0.747	1.014

Table 16. Fig.18 (弾性的接触円) と Fig.12 (接触面積率) より近似值的
 に計算した (16) 式の m, b
 m and b of eq. 16 calculated from Fig. 18 (Elastic contact circle)
 and Fig. 12 (Percent of contact area). m and b are approximation

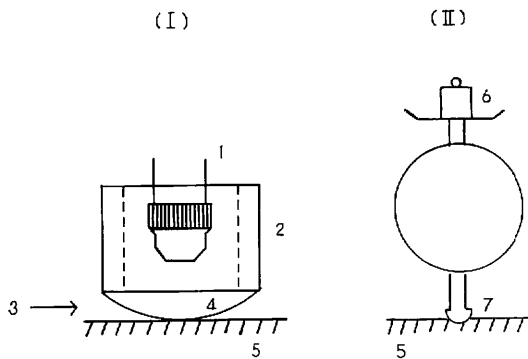
試料表面 Tang. surfaces of samples	m	b ($\times 10^{-3}$)
早材 Early wood No. 2	1.00	2.21
" 4	0.916	2.31
" 6	0.719	7.65
移行領域 Transitional zone 8	0.819	4.92
晩材 Late wood 10	0.867	3.21

(20)式で増分 dA によって $d\mu$ が負になるには、 $n-1 < 0$ であればよい。

Fig. 14, 16の各場合について、(15)式の n , a を求めると Table 14, 15になる。すなわち、 $n < 1$ であるから、 A の増加によって μ が減少すること、早材表面と晩材表面における摩擦係数の相違を説明することができる。後述する Fig. 18 の接触円と Fig. 12 の P を用いて、近似的に(16)式の A を計算し、定数 b , m を算出したのが Table 16 である。

VI かたさの実測値と官能尺度値

一般に手指が物体に触れる場合、すべりのほかに圧することが含まれている。物体の表面をすべっていく場合でも、圧する作用が含まれている。ここでは感覚的なかたさについて調べる。指先あるいはつめ先を球体でモデル化するため、Fig. 17-I のように曲率半径 61mm の半球体に荷重をかけ、接触による弾性変形量を読取顕微鏡で測定した。このさいの垂直荷重は 190.5~283.5 g で、接触円の直径は側方から投光して、接触部の陰影から求められる。とくにつめ先による圧痕は Fig. 17-II の実験方法で対比させた。曲率半径 4 mm の半鋼球に 283.4 g の荷重をかけ、約 1 分放置したのち除重して、木材表面に残った塑性変形量の直径を測定する。Fig. 18 はスギ辺材 31 年輪、Fig. 19 は心材 13 年



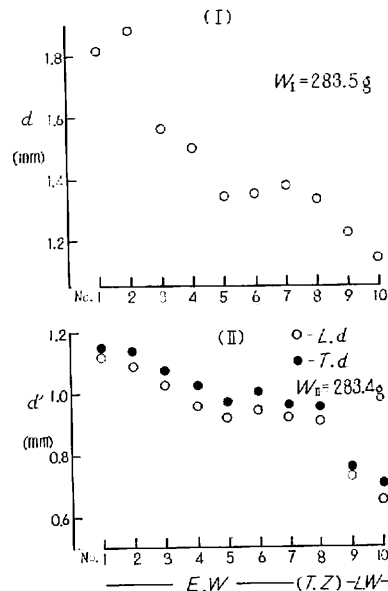
Note: ① Travelling microscope, ②⑥ Weight, ③ Light, ④ Glass hemisphere, ⑤ Wood sample, ⑦ Steel hemisphere.

Fig. 17 (I) 弾性的接触円、曲率半径 61mm のガラス半球体の接触

Elastic contact circle. Contact of a glass hemisphere of radius of curvature 61mm.

(II) 塑性的接触円、曲率半径 4 mm の鋼半球体の接触

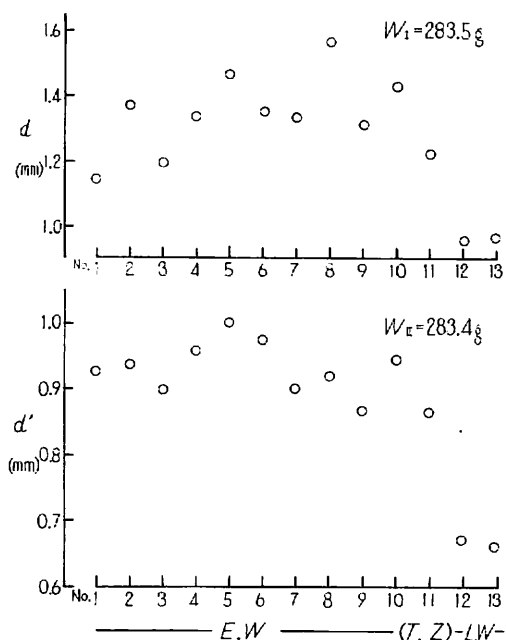
Plastic contact circle. Contact of a steel hemisphere of radius of curvature 4 mm.



Note: W_1 , W_2 は Fig. 17 の ②, ⑥, E , W , T , Z , L , W は Fig. 4 参照, L , d , T , d は繊維方向、接線方向の直径。

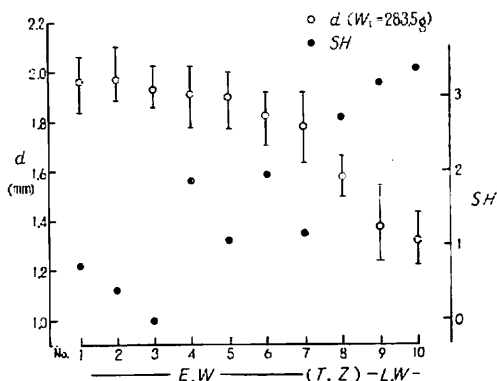
W_1 , W_2 indicate ②, ⑥ of Fig. 17. E , W , T , Z , L , W refer to Fig. 4, L , d or T , d denote the diameter of longitudinal or tangential direction.

Fig. 18 (I) 弾性的、(II) 塑性的接触円の直径 d , d' と早材→晩材表面 Diameter of (I) elastic or (II) plastic contact circle d , d' vs. each tangential surface of early wood, transitional zone and late wood.



Note: W_1 , W_2 は Fig. 17 の②, ⑥. $E.W$, $T.Z$, $L.W$ は Fig. 6 参照。 W_1 , W_2 indicate ②, ⑥ of Fig. 17. $E.W$, $T.Z$, $L.W$ refer to Fig. 6.

Fig. 19 (I) 弾性的, (II) 塑性的接触円の直径 d , d' と早材→晩材表面
Diameter of (I) elastic or (II) plastic contact circle d , d' vs. each tangential surface of early wood, transitional zone and late wood.



Note: W_1 は Fig. 17 の②, $E.W$, $T.Z$, $L.W$ は Fig. 4 参照。
 W_1 indicate ② of Fig. 17. $E.W$, $T.Z$, $L.W$ refer to Fig. 4.

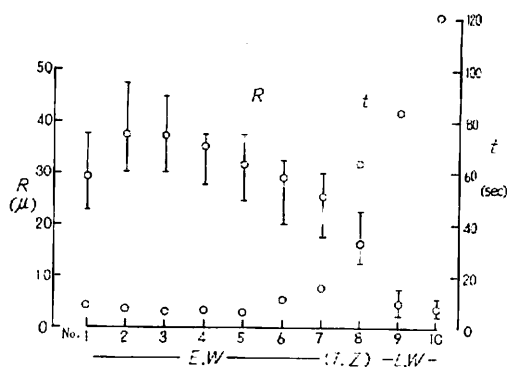
Fig. 20 かたさの官能尺度値 SH と弾性的接触円の直径 d
Sensory value of hardness SH vs. diameter of elastic contact circle d .

輪の d (弾性接触円), d' (円形圧痕, 塑性変形) を示す。辺材では早材表面から晩材表面へ直径の漸減が現われ, これに対して心材では, 早材表面と晩材表面の相違のみが明確となる。

本実験の官能試験ではつめ先を用いて調べたもので Fig. 20 のごとくなる。

早材表面と晩材表面で d , d' が相違するのは Fig. 21 から推定できる。これは表面細胞の内腔の半径方向の直径を調査したもので, Fig. 20 と対比させることができる。Fig. 21 の t は一定容量 (0.009cc) の n -butyl alcohols の液滴を試料表面より 10mm の高さから滴下し, 液滴が材表面から完全に消失 (材中へ吸収) するまでの時間を収着時間としてあらわす。この大きさは表面の内腔の直径の大きさ, 細胞膜のぬれやすさなどによるが, 多孔性の指標値になる。晩材表面では, 収着時間が著しく大きくなる。

Fig. 18, 19 の場合, 垂直荷重が一定であるから, 得られた d の逆数は圧縮弾性率に比例する。圧縮弾性率は内腔の直径に反比例するとみられるから, d と R が比例的に変動するのが理解できる。



Note: $E.W$, $T.Z$, $L.W$ は Fig. 4 参照。
 $E.W$, $T.Z$, $L.W$ refer to Fig. 4.

Fig. 21 表面細胞の内腔の半径 R と n -ブチルアルコールの木材中への収着時間 t
Radial diameter of lumen of surface cell R vs. sorption time of n -butyl alcohols by wood t .

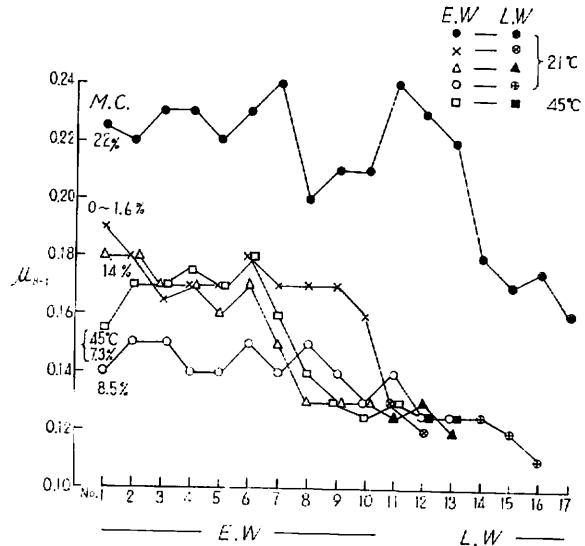
VII すべり摩擦係数に及ぼす含水率と温度の影響

Fig. 22 はトドマツについて、19°Cで含水率が0~1.6%, 8.5%, 14%, 22%と45°Cで含水率が7.3%の場合について μ_{B-1} の測定結果を示す。

含水率の影響は22%の場合を除くと早材で顕著な影響があり、0~1.6%よりも8.5%の場合の方が小さくなる。しかし晩材では、0~1.6%, 7.3% (45°C), 8.5%, 14% の各場合ほとんど同じになる。19°Cと45°Cを比較した場合、早材では温度が高いほど μ_{B-1} は大きくなる。

含水率が高い場合、摩擦係数は著しく増大する。

スギ辺材の年輪内試料 No. 1~16を奇数と偶数に分け、偶数番号を湿度100%のデシケーターへ入れ、奇数番号を65%のデシケーターで保存し、適時とり出して1対比較試験 (No. 1: No. 2).....(No. 15: No. 16) を実施する。10回の反復によって得られた確率を Table 17 に示す。官能試験によっても、繊維方向、直角方向ともに気乾材の方がすべりやすい結果になり、Fig. 22 の傾向と一致する。

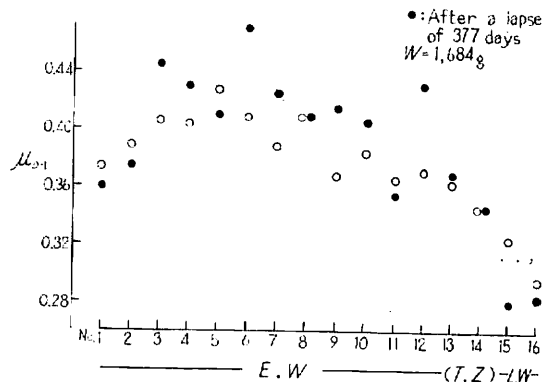


Note: E.W, L.W は Fig. 16 参照。E.W, L.W refer to Fig. 16.

Fig. 22 含水率 (M. C.), 温度が鋼球による摩擦係数 μ_{B-1} に及ぼす影響 (繊維方向に滑走)
Effect of moisture content (M. C.) and temperature on frictional coefficient by slide of steel ball μ_{B-1} (Slide along longitudinal direction).

VIII すべり摩擦係数とすべりの官能尺度値の経年変化

トドマツについて μ_{D-1} を測定した後、関係湿度65%のデシケーター中で377日間保存する。このデシケーターは直射日光をうけないが、窓ぎわの明るい場所におく。このような経時変化を受けた材では、その材表面は白色からうすい茶かっ色にかわる。試料にトドマツを選んだのは、切削直後、きわめて白色度が高く、変色した場合の判定が正確であるからである。この着色試料の μ_{D-1} を測定すると Fig. 23 の



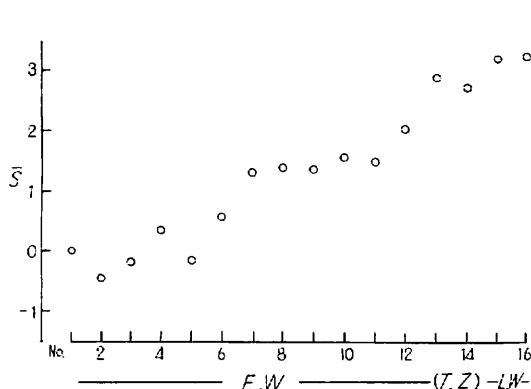
Note: E.W, T.Z, L.W は Fig 16 参照。E.W, T.Z, L.W refer to Fig. 16.

Fig. 23 指の皮膚をレプリカしたパラフィンによる摩擦係数 μ_{D-1} (377日後の値と比較、繊維方向に滑走)
Frictional coefficient by slide of paraffin replicated by skin of forefinger μ_{D-1} (Compared with the data after a lapse of 377 days. Slide along longitudinal direction).

Table 17. すべりやすさの感覚に及ぼす含水率の影響
Effect of moisture content on probability of feeling of smoothness
(偶数番号が奇数番号よりすべりやすい確率 Probability of smoothness of even number compared with odd number)

試料表面 試料番号 Moisture content: 8~9%	Surfaces of samples No. of samples	早 材 E.W						移行域 T.Z	晩 材 L.W
		No. 2	4	6	8	10	12	14	16
すべりやすさの確率 Probability of smoothness	$f \parallel$	0.7	0.9	0.8	0.9	0.6	0.8	0.7	0.8
	$f \perp$	0.8	0.5	0.6	0.8	0.6	0.9	0.6	0.6
試料番号 Moisture content: 18~20%	No. of samples	No. 1	3	5	7	9	11	13	15

Note: $f \parallel$ $f \perp$ は指を繊維に平行または直角方向に滑走。Sliding a finger parallel or perpendicular to fiber axis. E.W. T.Z. L.W は Fig. 16 参照。E.W. T.Z. L.W refer to Fig. 16



Note: E.W. T.Z. L.W は Fig. 16 参照。

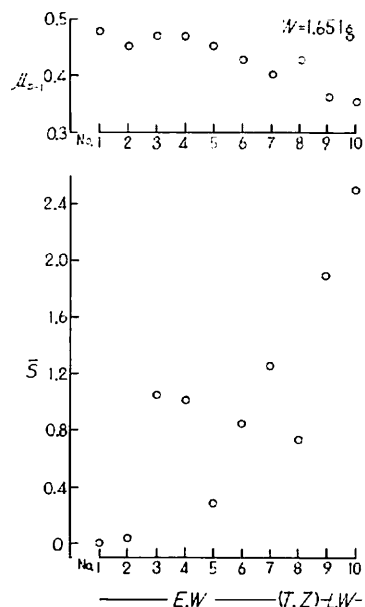
E.W. T.Z. L.W refer to Fig. 16.

Fig. 24 377日経過後の表面のすべりやすさの官能尺度値 $\bar{S}$ (繊維方向に滑走)

Sensory values of smoothness $\bar{S}$ of surface after a lapse of 377 days (Slide along longit. direction).

ように約1年前とはほとんどかわらず、その官能試験の結果は Fig. 24 のように Fig. 23 と対応性がよい。

上記と同じ条件で、767日間経時変化させたスギ表面は茶かっ色に変色し、その官能試験では、早材 No.1, 2 は晩材 No.9, 10 と明りように相違したが、他の早材表面は判定に困難なものもあった。



Note: E.W. T.Z. L.W は Fig. 4 参照。

E.W. T.Z. L.W refer to Fig. 4.

Fig. 25 767日経過後の表面の指の皮膚レプリカしたパラフィンの摩擦係数 μ_{D-1} とすべりやすさの官能尺度値 $\bar{S}$
Frictional coefficient by slide of paraffin replicated by skin of forefinger μ_{D-1} and sensory values of smoothness $\bar{S}$ of surface after a lapse of 767 days (Slide along longit. direction).

概 要

住居の内装として木材は他材料と十分競争できる性能をもつ。この性能は木材の表面に関連するものも多く、その内容がまだ不明りようであった。ここではその1つの感触について検討した。

(1) IIの実験法により、鋼球を木材素地面、鋼、ガラス、合成樹脂、磁器、紙などの上をすべらせると、すべりの摩擦係数は、木材素地面が他材料より小さくなる。

これと同じ試料を用い、試料表面のすべりやすさ、なめらかさの官能試験を1対比較法により調べ、比較値の定量化、すなわち官能尺度値を構成した(Fig. 1)。これと物理量(摩擦子が鋼球または指先レプリカのパラフィンによる摩擦係数)と対比させると両者は比較的よい一致をみせる。摩擦子に人造皮膚を使うと、摩擦係数は著しく増大する。この場合でも木材の摩擦係数は他材料より小さい。

(2) 和風建築では針葉樹材の内装が多い。針葉樹は年輪内の変動が著しいから、その製品表面への出現の割合によって摩擦や感触的性質がかわる。試料表面(板目面)が早材……晩材(年輪内変移)のものを作り、Table 1に示す各摩擦子を用いて摩擦係数を調べると、早材より晩材の方が小さく、晩材に向かって漸減していく。摩擦係数の大きさは、摩擦子が鋼球の場合最も小さく、人造皮膚で最大になる。

不完備行列の1対比較によるすべりやすさの官能試験では、Fig. 11のように晩材に向かって官能尺度値は増加(すべりやすいこと)していく。

早材……晩材の表面の顕微鏡観察から、表面の凹凸は細胞内腔と切断された膜壁の状態が関係する(Photo. 2~5)。この材面に平面物体が接触する理想的な場合の接触割合はFig. 12, 13である。すべりやすい感触をあらわし、摩擦係数の小さい晩材表面の接触割合は早材表面のそれより大きい。摩擦係数の小さい原因の一つに接触点の増加が考えられ、(20)式について垂直荷重を増加した場合を考え、その関係を明らかにした。

(3) 手指が物体に触れる場合、すべらせる場合と軽く圧する場合がある。後者の場合として、平凸レンズによる弾性的接触円、鋼球による円形圧痕を調べると、木材表面では早材より晩材への変移によって各直径は減少していく。同じ試料を用いた「かたさ」の官能試験でも、早材と晩材が差があり、試料表面の細胞の内腔の直径の変化やFig. 21に示すような n -ブチルアルコールの液滴の収着速度などの多孔性の指標値とも密接に関係づけられる。

(4) 試料表面の含水率の多少は早材表面の摩擦係数に影響する。早材表面では、たとえば含水率が8.5%程度の状態が最小で、含水率の増加によって摩擦係数も増大する。晩材表面では繊維飽和点に近くなつてはじめて増大がみとめられる。温度の影響は高温になるほど摩擦係数を大にならしめる。

(5) 木材素地面は経時変化を受けやすく、切削直後と1~2年経過した場合についての摩擦係数、官能試験の変化は、1年の経過ではほとんど認められず、2年目で早材表面に影響が現われた。色調は白色から茶かつ色に変じた。

文 献

- 1) EM新書刊行会：生理学新書，金芳堂，p. 131，(1969)
- 2) 日科技連官能検査委員会：工業における官能検査ハンドブック，日科技連，p. 377，(1962)
- 3) 上野 弥：高分子材料のすべり摩擦，高分子，15，p. 970，(1966)
- 4) 曾田範宗：固体の摩擦と潤滑，丸善，p. 9，(1965)
- 5) 高分子学会編：高分子の物理学，地人書館，p. 266，(1963)

Studies on Physical Properties of Wooden Surface I

Relationship between feeling of touch of fingers and frictional coefficient by sliding the models of human skin on surface of wood and other materials

Masaharu SUZUKI ⁽¹⁾

Summary

In order to ascertain the surface characteristics of wood as related to amenities of the wooden dwelling house, it is important to study more the psychological characteristics of feeling of sliding touch to wood and other internal architectural materials with relation to physical measurements of sliding friction. And it is desired to quantificate feeling (impression) of sliding touch in comparison with frictional coefficient by slide of the models of finger tip on wood and other materials.

(1) Methods of physical measurement of friction were BOWDEN-LEBEN'S system (Photo. 1) and microscopic drawing system. As illustrated by Photo. 1, sample is clamped on the stage and this stage moves with piston-like strokes. The frictional force between sample and frictional element (Table 1) is detected by the strain gauge of cantilever and automatically recorded.

Microscopic drawing system is a method for observation of micro slip of frictional element by travelling microscope.

In this experiment the direction of slide is along the longitudinal axis of wood and the surface of wood is quartersawn.

(2) When steel ball (B-1) is slid on surfaces of wood and other materials, frictional coefficient of wood is smaller than that of steel, synthetic resin, glass, paper, and ceramics as shown on Fig. 1.

Sensory test comparison of a pair of samples was conducted to get sensory values of smoothness of wooden surface and other materials. The results obtained are shown in Fig. 1-(II) and Table 3 and increase of $\bar{S}$ (sensory values) indicate increase of smoothness.

Frictional coefficients between the above-mentioned samples and the paraffin replicated by finger print are similar to that of steel ball (Fig. 3-(II)), but frictional coefficients of samples slid by artificial skin are considerably larger.

From these results, approximately, there is good agreement between sensory values and frictional coefficients of every measurement.

(3) Frictional properties and sensory response of touch of soft wood are influenced by surface structures within an annual ring.

Axes of abscisses of Figs. 4~10 show growth variations from the surface of early wood to that of late wood within an annual ring of *Cryptomeria japonica*, and axes of ordinates show frictional coefficient measured by various kinds of frictional elements as the model of human skin. Each figure presents decreasing tendency of frictional coefficients with change from early wood to late wood. Frictional coefficients slid by steel ball are smaller than others, and those of artificial skin are nearly equal to 1.

The tendencies of decrease from early wood to late wood of the group of Figs. 7, 8 and 9 are a little different from those of the group of Figs. 4, 5 and 10.

Received December 25, 1969

(1) Wood Technology Division

The result of sensory test of same samples is shown in Fig. 11. The sensory values of the surface of late wood are larger than those of early wood.

From the microscopical observation of cross section of wooden surface, the percentage of wooden surface area which can be contacted without deformation, is estimated as shown in Figs. 12 and 13. The percentage of late wood surface contacted increases to twice early wood surface. From this result, both feeling of smoothness by sliding finger and the difference of frictional coefficients between the surface of early wood and that of late wood, give a meaningful correlation with percentage of contact area.

Generally, frictional force F and true contact area A between two bodies are given by,

$$F = aW^n$$

$$A = bW^m$$

from above equation,

$$\mu = aW^{n-1} \dots\dots\dots (1)$$

$$d\mu = \frac{a(n-1)}{bm} W^{n-m+1} dA \dots\dots\dots (2)$$

where W : vertical load, a, n, b, m : constant, μ : frictional coefficient. If $n-1 < 0$ and differential increment dA is taking place, then $d\mu < 0$.

Figs. 14~16 show the decrease of frictional coefficient caused by vertical load on three frictional elements and from these, n and a were calculated as Tables 13 and 14 and we can confirm that $n < 1$. This relationship between increased load and μ can be made available for explaining the difference of frictional coefficient between the surface of early wood and that of late wood.

(4) If we touch an object with the fingers, two actions appear on that object: one is sliding, the other is compressing. As for the experiment of compressing, the diameter of contact circle between a glass hemisphere (or steel ball) and wooden surfaces is measured by the method of Fig. 17. In the case of a glass hemisphere, the deformation of wooden surface is elastic and in the case of a steel ball, the diameter of plastic deformation is measured.

The diameter of contact circle (Figs. 18 and 19) decreases with change from the surface of early wood to that of late wood. Fig. 20 shows the sensory test of hardness of wooden surface and the sensory value of the surface of late wood is larger than that of early wood, indicating hard surface.

Variation of radial diameter of cell lumen of surface of each wood sample and sorption time of constant amount of *n*-butyl alcohols are shown in Fig. 21. There is a good relationship between hardness and porosity of wooden surface.

(5) Frictional coefficient increases with increase of moisture content (Fig. 22); but frictional coefficient in dried surface is obviously larger than that of 8.5 percent of moisture content. Frictional coefficients of the surface of late wood are not influenced by moisture content under 16 percent.

The rise of temperature increases frictional coefficient of the surface of early wood.

(6) Wood samples were placed in the desiccator (relative humidity 65 percent) near the window and after the lapse of time of ca. two years, frictional coefficient and sensory values of smoothness varied considerably (Fig. 25).