

圧密加工木材の表面物性の評価

辻 直幸* , 金山 公三** , 中山 伸吾* , 岸 久雄* , 木村 哲*

Surface Properties of Compressed Wood

by Naoyuki TSUJI, Kozo KANAYAMA, Shingo NAKAYAMA,
Hisao KISHI and Satoshi KIMURA

To clarify the applicability of a compression forming method to improve the condition of the wood surface, fundamental properties of the compressed wood were examined. The surface roughness (R_y) of compressed wood can be improved to excellent level of $10\mu\text{m}$. With the increase in compressed ratio, the value of R_y decreases remarkably. When the compressed ratio exceeds about 30 %, the coefficient of friction shows a tendency to decrease. But, it is difficult to find a certain relation between the compressed ratio and the coefficient of friction. Compression forming accompanying the treatment with vapour steam leads to the decrease of lightness and the increase of gloss. It is expected that the compression forming method provides a new technical field in surface finishing.

Key Words : compressed wood, surface roughness, colour, coefficient of friction

1. 緒言

スギを始めとする軟・低質な木材の利用範囲は、現在のところ限定されている。このため、木材産業の不況だけでなく、計画的な木材生産や森林経営に支障を来すことになり、森林荒廃等の自然環境の破壊が懸念される。そこで、これらの木材の有効利用を促進することは重要な意義をもつ。そのための工業技術として木材の圧密加工が期待されている。代表的な加工方法として、単軸プレス式のバッチ加工¹⁾をはじめ、ロール²⁾や静水圧³⁾といった各種の方法が実用化に向けて検討されている。しかし、これらの研究は、機械的性質や形状安定性の向上、液体浸透性等の機能的改善を主目的とした検討に留まっている。そして、木材は、視覚的な要素を特徴として重視されることが多いにもかかわらず、圧密加工において直接に外力を受ける材

料表面の変化に関する報告は少ない。表面状態に着目した場合においても単に材色評価に留まっており、その化粧性変化の積極的活用を試みた研究事例はわずかである^{4) 5)}。

一方、木製品製造においては木材の品質保持や表面の美観保護を目的として塗装が行われている。その工程を大別すると、素地調整とその後の塗り工程であるが、多くの研磨作業を必要とする。この作業は労力と時間を要する工程であるため、簡略化が課題とされている。

また、部材の化粧加工技術として、化粧シートやフィルム等の転写が注目されている。しかし、一般に木質系基材は多孔質であり、浸透性があるため、転写シートに対し、基材に密着機能を付与することが課題となる。

そこで本研究では、木材製品の表面仕上げ加工である塗装やフィルム圧着処理等の作業性を改善する手法として、圧密加工による表面加工の可能性について検

* 製品開発グループ

** 名古屋工業技術研究所

討を進めた。なお、圧密処理材に塗装した報告⁶⁾⁷⁾もあるが密着性の評価を主としたものであり、本報告は、より一般的かつ基礎的な検討として表面粗さ、うねり、摩擦係数、色変化などに関する検討を進めたものである。

2. 実験方法

2.1 圧密加工サンプルの調製

三重県産スギ材を用い、長さ300mm、断面80mm(接線方向)×35mm(半径方向)の寸法に板目木取りし、プレーナー加工を行った。基本的な材料特性は気乾比重0.32~0.43、平均年輪幅1.9~3.4mm、含水率14.5~22.5%であった。側面への変形が拘束される金型を用い、板目面に対して半径方向から負荷し、圧密加工を実施した。高温水蒸気を採用したバッチ式による一般的な圧密加工であり、その手順は次のとおりである。

軟化处理(水蒸気処理120℃, 約15min)

プレスにて圧縮

形状固定処理(水蒸気処理180℃, 10min)

開放後冷却(真空, 注水)

取り出し

なお、圧密率は、26~71%の間で変化させた。

2.2 試験方法

2.2.1 表面粗さ

MITUTOYO製の触針式表面粗さ測定機SV-424を使用し、粗さの評価指標値として最大高さRy値を設定した。一般に塗装研磨工程における仕上がり良否の判定は、作業従事者の主観的評価に依存するケースが多いため、評価が難しい。しかし、作業者の官能的粗さは、触針式粗さ測定による最大高さRy値と相関があるので⁸⁾、これを利用した。測定条件は触針先端径5μm(標準型)、レンジ600μm、送り速度1mm/s、カットオフ値2.5mm及び評価長さ12.5mmとした。粗さは、圧密木材及び無処理材の木表面を繊維方向(L)と接線方向(T)について、それぞれ12箇所(両端8, 中央4)測定した。無処理材については、塗装の前工程を想定し、AA種の研磨布を使用して次の3つのタイプの研磨を行い、研磨の前後に表面粗さの測定を行った。

(研磨方法)

: 粒度#180で上下往復100回研磨

: の研磨後、粒度#240で上下往復100回研磨

: の研磨後、粒度#320で上下往復100回研磨

なお、スギ材表面粗さの評価においては、木材の微組織構造に由来するものと、機械加工が原因となつて

いるものとの分離が問題となる。これには、触針先端径の影響が大きい⁹⁾ため、先端径2μmを用いた測定も行った。標準先端径5μm使用の場合との比較も行った。測定はサンプル数16(1個につき4箇所測定)、試験方向をT方向として行った。

2.2.2 うねり状態

MITUTOYO製輪郭測定機CA-41(送り速度1mm/s, 触針先端径25μm)を用い、圧密木材及び無処理材の接線方向のうねりを測定した。木表面と木裏面について各々2箇所測定し、得られた測定チャートにおけるプロフィールの最大高さを、最大うねり量とした。

2.2.3 光学的特性

スガ試験機(株)製の多光源分光測色計MSC-IS-2Dを用い、圧密前後及び圧密木材の表面切削後に測色を行った。測色条件は、スポット径30mm、視野角10°、光源D₆₅とした。測定箇所は、試験片木表面において2点とした。色の表示は、日本工業規格JIS Z 8729及びJIS Z 8730に準拠し、L*a*b*表色系による色差E* (明度・クロマ・色相の色差成分による方法)を採用した。

スガ試験機(株)製のデジタル変角光沢計UGV-5Dを用い、試験片の木表面にて、圧密前後及び圧密木材の表面切削後に光沢測定を行った。測定は、繊維に平行方向及び垂直方向による入射(受)光(85度)によって実施した。

2.2.4 摩擦係数

新東科学(株)製表面性測定機HEIDON-14Sを使用し、垂直荷重200g(分銅)を負荷させた鋼球(φ10mm)圧子が、試験片表面を移動した時の抵抗力を測定した。この抵抗力を摩擦抵抗力F(g)として扱い、次式より摩擦係数μ(便宜的に“摩擦係数”と呼ぶ)を求めた。

$$\mu = F / 200$$

測定条件は圧子移動速度75mm/min、測定距離15mmとした。また測定箇所は、年輪の早晚材の違いによる摩擦係数の差異が存在¹⁰⁾することから、試験片1体につき早材部のみの6箇所とし、測定方向は繊維方向とした。

3. 結果と考察

3.1 表面粗さ

まず、使用した触針の先端径の妥当性について検討を行った。全サンプルのRyの測定値(T方向)を図1に示す。表面粗さRy値の平均値は、2μmの触針の場合に52.21μm(変動係数19.51%:以下“変動係数”を“CV”と略記)、5μmの触針では47.53μm(CV:19.37%)である。なお、L方向では、2μm径の場合が30.49μm(CV:

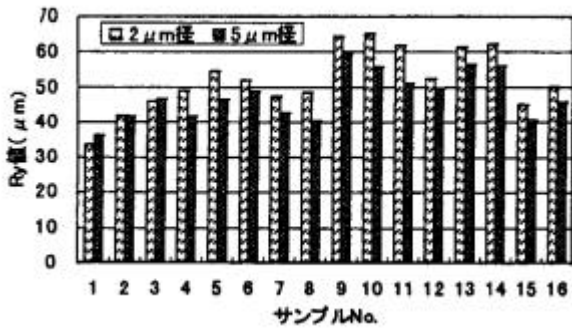


図1 触針径が表面粗さRy値(T方向)に及ぼす影響

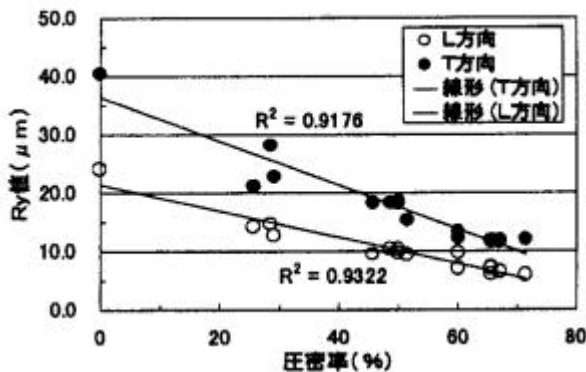


図2 圧密率と表面粗さ(Ry)との関係

34.52%)、5 μ m径の場合が24.49 μ m (CV:35.09%)である。L,T方向のいずれの場合も触針径2 μ mの場合の方がRy値はやや大きな値を示したが、顕著な差は認められなかった。また、Ry値の変動係数も、ほぼ同程度であった。従って、スギ材の表面粗さ評価において、標準タイプの5 μ mの触針を用いても特に支障はないと判断し、以後の測定は5 μ mの触針を使用した。

圧密加工前後の表面粗さ(Ry)の変化を図2に示す。圧密木材の各プロットは12箇所の平均値であり、そのCVはL方向では10~25%、T方向では9~21%となった。無処理材(圧密率0%)のプロットは22試験片の平均値であり、そのCVはL方向では30%、T方向では19%であった。図2より、L、T両方向の表面粗さは、圧密率の増加に伴って直線的に低下し、圧密率50%時には無処理材の約1/2の値を示した。また、T方向のRy値はL方向のそれと比較すると、約2倍の値となった。

伊藤らの熱圧ロールによる結果⁴⁾では、表面粗さは試験片厚さの差異に関わらず、圧縮量に関係があり、圧縮率の影響はないと報告されている。今回の水蒸気処理法(パッチ式)による結果では、明らかに圧縮率

との相関が見受けられた。このことは、圧密加工の方法や処理条件の選定によって、表面粗さを制御し得る可能性があることを示唆している。

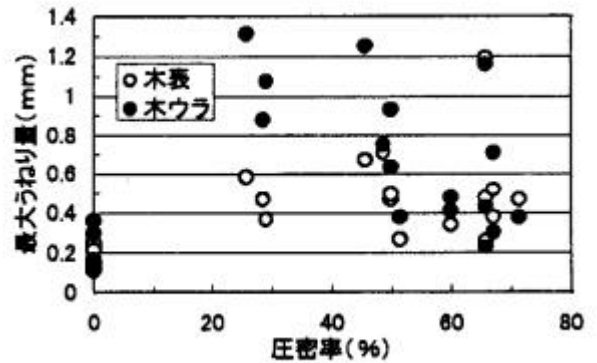


図3 圧密に伴う最大うねり量の変化

3.2 圧密加工による表面形状の変化

圧密加工前後の木材表面形状の変化(最大うねり量)を図3に示す。図中の各プロットは、木表面、木裏面の各面における2箇所の平均値を示す。この結果より、無処理材のT(幅)方向の最大うねり量は、0.10~0.40mmの範囲に留まっている。一方、圧密加工材は、明らかにうねりの増大を示しており、最大うねり量は0.20~1.30mmの広範囲な値となった。うねり発生の傾向は、木裏面で強い。これは、木材中の水分傾斜や年輪構造等の影響と考えられる。また、本実験では試料の側面を拘束する金型を用いて木裏面側から負荷したため、側面の摩擦の影響によって、木裏から木表へ向かうにつれて垂直応力は減少しているため、この応力分布の影響についても今後の検討課題とすべきだろう。さらに、圧縮率を始めとする加工条件や材料条件の詳細な検討が、うねりの発生を抑制するためには必要と思われる。

3.3 表面粗さ及びうねりによる圧密加工の評価

圧密木材表面のうねりの発生は、圧密木材の表面処理を行うにあたり、新たな加工工程を増やす支障となる。そのため、うねりの発生を抑制する加工方法の検討を行うことが必要である。しかし、うねりの除去加工後においても研磨作業の労力が軽減できれば、塗装前加工として圧密加工を用いることは有効であると考えられる。そこで今回は、うねり除去のための切削加工(プレーナー仕上げ)を行い、切削加工後の表面粗さを、無処理材の素地研磨を行った場合の表面粗さとの比較により評価した。

図4の無処理材の表面粗さRy値は、41.4 μ m (CV:16.8%)であり、その研磨後の表面粗さは、研磨 ではRy=24.8 μ m(CV:17.7%)、研磨 ではRy=24.0 μ m (CV:19.5

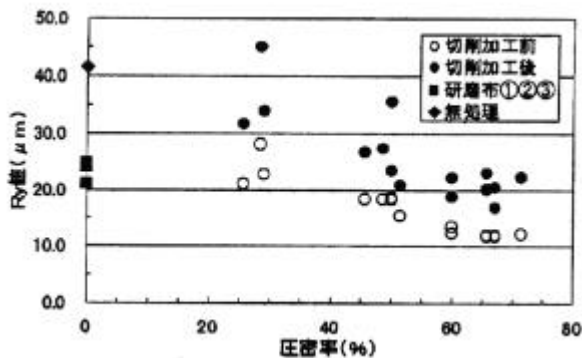


図4 切削加工に伴う圧密木材の表面粗さ変化 (T方向) と素地研磨との比較

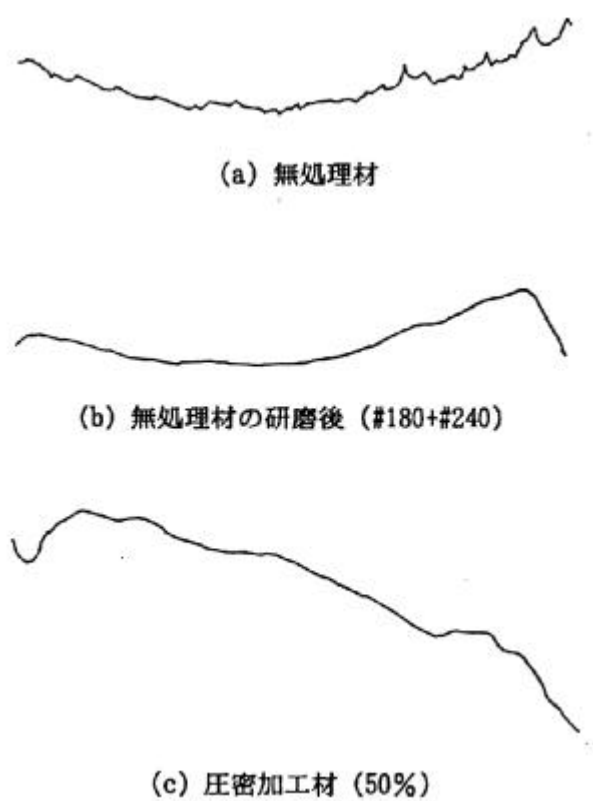


図5 うねり測定による木材表面のプロファイル (幅方向: ×1倍, 高さ方向: ×50倍)

%) 及び研磨 ①では $Ry=21.1\mu\text{m}$ (CV:20.1%)であった。また、切削加工後の圧密木材の各プロットにおけるCVは9~27%であった。また、圧密木材を切削加工すると、表面が粗くなるのが認められる。しかし、 Ry 値の変化の程度に及ぼす切削量の影響は、確認できなかった。研磨した木材と圧密加工材のプロットに注目すると、圧密率30%の加工により、今回設定した研磨条件による Ry 値とほぼ同程度の表面粗さを得ること、及びうねり除去を目的として切削加工を行った場合でも圧密率60%程度であれば、その値を得られることがわかる。

以上より、粗さを指標として評価した場合、塗装前に圧密加工を行うことは、有効である。図5の木材表面の輪郭挙動に着目すると、無処理では輪郭ライン上に微細な凹凸を示す突起が見られるが、圧密加工材では研磨時と同様に微細な突起の存在は見られない。このことから、圧密加工の特長が確認された。しかし、より高精度な素地加工を追究するために、今後は顕微レベルで評価し、これらの結果を総合的に検討することが必要である。

3.4 光学的特性

圧密加工による材色変化、及び圧密木材のプレーナ加工後の材色変化を表1に示す。無処理木材の圧密後の色差 E^* 値は10~27の値を示し、これを切削加工すると、無処理材に対する E^* 値は、4~29となった。圧密加工によって材色は大きく変化しているが、試験片による材色変化のバラツキが大きいため、圧縮率の影響を顕著に確認することはできない。しかし、圧縮率の高いサンプルでは、圧密加工後の材色状態が切削加工を行っても比較的残りやすいことが認められた。なお、表中の切削量とは、表裏面を切削したトータル量であり、測定面である木表面のみの切削量を表したのではない。

次に、色差に及ぼす影響を見ると、明度変化を表す L^* 値は無処理木材に対し、圧密後では7.1~27減少、切削後では0.3~28減少した。クロマ変化を表す C^* 値 (彩度変化に相関する) は、同様に、圧密後では-1.7~+8.1、切削後では+0.8~+7.6の変化量を示し、また、色差の色相成分を表す H^* 値は、圧密後では-3.6~+4.2、切削後では-4.8~+4.3の変化量を示した。これらの結果は、水蒸気処理 (180) による材色変化が圧縮変形の有無に関わらず、主に明度の減少に起因するという既報¹¹⁾¹²⁾と一致している。木材の特徴である「暖かい」イメージは色相と相関が高い¹³⁾ことを考えると、圧密加工による色相成分の変化量が極めて小さいことは、この特徴を損なわずに、かつ明度低下による「重厚な」「深みのある」「渋い」及び「落ち着いた」イメージが与えられたと評価できる。一方、圧密木材は、紫外線による変色が小さく⁵⁾¹¹⁾、密閉系処理では材色はほとんど変化しないとの報告¹⁴⁾もあることから、圧密加工方法と色彩調節とのコンビネーションの確立は、今後、加工条件の最適化を図るためにも重要なキーテクノロジーとなろう。

次に、圧密加工による光沢変化、及び圧密木材の切

表1 圧密加工及び圧密木材の切削加工による材色変化

圧縮率 (%)	△E*			切削量 (mm)	△L*			△C*			△H*		
	圧密後	切削後 a	切削後 b		圧密後	切削後 a	切削後 b	圧密後	切削後 a	切削後 b	圧密後	切削後 a	切削後 b
26	12.14	7.23	6.43	3.13	-11.22	7.22	-3.99	2.54	0.29	2.83	3.91	0.25	4.17
29	17.62	10.44	8.09	2.84	-17.14	10.35	-6.79	3.65	0.69	4.34	-1.85	1.19	-0.79
29	13.78	13.65	3.66	5.86	-13.51	13.20	-0.31	-1.69	3.36	1.67	2.15	0.91	3.24
46	13.07	4.10	10.65	2.21	-12.66	3.11	-9.55	0.52	2.67	3.19	3.20	0.10	3.45
49	16.16	8.53	9.14	1.72	-15.50	8.40	-7.11	3.52	0.25	3.76	2.94	1.50	4.35
50	21.34	3.96	17.53	1.92	-20.35	3.90	-16.45	5.68	0.00	5.68	-3.02	-0.72	-2.10
50	18.35	13.24	7.41	3.5	-18.28	12.81	-5.48	1.26	3.06	4.32	1.03	1.44	2.49
51	9.76	4.27	9.30	2.5	-7.05	3.80	-3.25	5.82	1.73	7.55	3.45	0.89	4.34
60	21.00	4.87	17.98	0.68	-20.54	3.98	-16.63	3.93	2.81	6.75	1.38	-0.35	1.13
60	21.00	7.08	14.51	1.96	-20.01	7.08	-12.94	6.05	0.14	6.21	-2.32	0.17	-2.18
66	15.20	2.00	13.54	1.23	-13.33	1.01	-12.33	5.97	-1.60	4.38	4.19	0.65	3.49
66	21.13	1.88	22.08	2.29	-21.07	-0.99	-22.06	-0.36	1.17	0.80	1.58	1.09	0.52
66	10.41	2.79	10.83	2.82	-8.72	0.44	-8.29	4.01	2.33	6.34	4.03	-1.46	2.88
67	26.72	7.03	20.34	1.26	-26.67	6.20	-20.41	1.78	2.91	4.69	-1.71	1.59	-0.27
67	27.08	5.45	28.62	1.87	-25.59	-2.41	-28.00	8.09	-4.55	3.54	-3.56	-1.80	-4.80
71	22.54	1.59	21.29	1.37	-22.35	1.16	-21.19	2.94	-0.94	2.00	0.28	-0.55	-0.25

切削後 a : 圧密木材に対する材色変化
 切削後 b : 無処理木材に対する材色変化

表2 圧密加工及び圧密木材の切削加工による光沢変化

圧縮率 (%)	切削前光沢%		切削後光沢%	
	垂直方向	平行方向	垂直方向	平行方向
0	2.0	5.5	-	-
26	6.7	15.6	3.7	19.0
29	3.6	8.4	2.6	9.7
29	4.1	11.9	2.5	4.6
46	9.7	22.8	4.9	19.6
49	11.4	25.2	2.6	10.6
50	10.5	23.9	6.3	26.0
50	12.8	29.7	4.7	16.8
51	11.3	22.3	5.0	15.9
60	14.6	26.7	4.8	17.1
60	6.5	15.7	4.0	13.6
66	17.3	37.8	4.6	20.3
66	14.0	40.2	8.7	24.1
66	15.6	29.7	4.4	16.0
67	20.4	40.9	4.8	15.5
67	19.4	38.8	8.9	27.6
71	15.9	39.5	6.0	20.1

削加工後の光沢変化を表2に示す。圧縮率の増加に伴い、垂直・平行の両方向にて光沢の増加傾向が認められる。特に、平行方向ではその傾向が強かった。切削後、垂直方向では光沢がほぼ消失したのに対し、平行方向では光沢値の低下は認められるものの切削後においても、20%以上の比較的高い光沢値を示す材が少なくなかった。しかしながら、このような光沢の変化や差異は、目視によって観察することは、かなり困難であった。

3.5 摩擦係数

木材表面の塗装代替え法や色彩調整等の観点から、ロール方式による圧密加工を応用したフィルム圧着が試みられている⁴⁾¹⁵⁾。これらは、表面層の圧密とフィルム圧着を同時に行うことができるため、機能的な方法である。しかし、スギ材等の早晚材が明瞭に存在する

サンプルでは、転写の際に早材部の圧力不足に起因する気泡が発生したり、木材とフィルムを微視的に密着させるために行われる後加熱処理によってフィルム上に多くの孔の発生を伴っている。従って、圧密加工による転写技術の活用を考えると、最初に、圧密木材表面に対する転写技術の適性を調べるのが肝要である。そのためには、圧密木材表面のトライボロジー特性について知見を得ることが必要と考えられる。以上の観点から、本報では、摩擦試験を実施した。

圧密加工前後の木材表面を摩擦試験した結果より、静止摩擦抵抗力と運動摩擦抵抗力を用いて、それぞれ静摩擦係数 (μ_s) 及び動摩擦係数 (μ_k) を求めた。これらの結果を図6に示す。無処理では、 $\mu_s=0.16\sim0.36$ (平均0.24)、 $\mu_k=0.15\sim0.34$ (平均0.23)、圧密木材では、 $\mu_s=0.10\sim0.17$ (平均0.13)、 $\mu_k=0.09\sim0.18$ (平均0.13) となっており、圧密加工による摩擦係数の低下が認められた。この結果は、粗い面の摩擦係数の値の方が小さいとする、村瀬らの研磨紙による試験報告¹⁶⁾とは異なるものである。既報の試験では、粒度の異なる大小2種類の研磨紙で表面を仕上げ、今回の試験よりも大きな垂直荷重を適用し摩擦試験が行われている。そのため、粗さの小さく仕上げられた表面では摩擦子が突起をつぶして緊密な接触をする現象が起きるために、摩擦係数は大きくなったと考察されている。しかし今回の場合、摩擦子の鋼球が表面に接する部分、すなわち真実接触面積部分が圧密加工によってすでに潰された状態となっており、摩擦子負荷の際の新たな緊密接触現象が起こらないために、摩擦係数は小さくなったと考えられる。

なお、圧密率の差異による影響は、表面粗さでは認

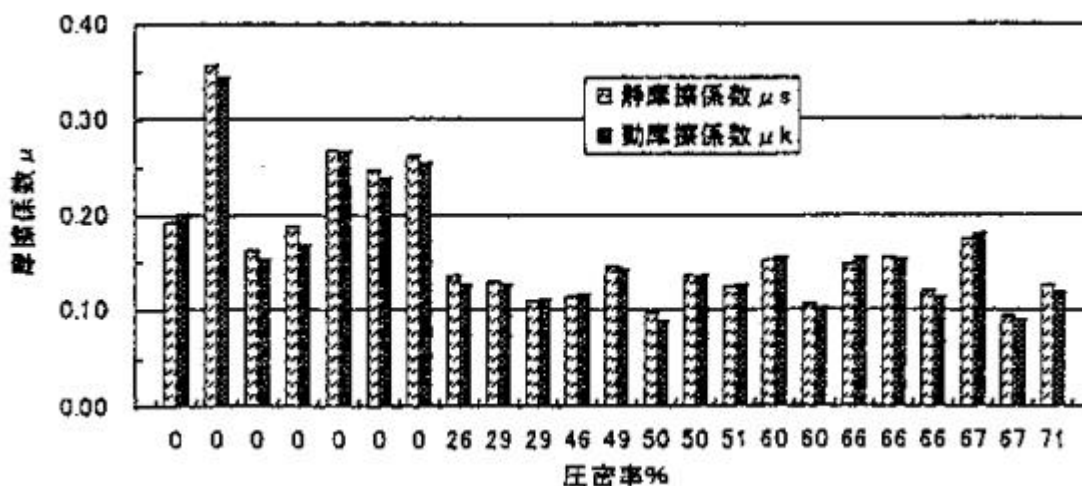


図6 圧密率と摩擦係数との関係

められたが、摩擦係数では確認することはできなかった。今後、粗さと摩擦の関連性をトライボロジ的に追究し、圧密加工条件を検討することが必要かと思われる。

また μ_s と μ_k を比較した場合、既報¹⁷⁾と同様、ほぼ同じ値が得られ、圧密加工後においても両指標値には、圧密加工による異なる発現作用は存在しないと推察される。その他、圧密木材の切削加工による加工後の摩擦係数は、 $\mu_s=0.11\sim 0.21$ （平均0.15）、 $\mu_k=0.12\sim 0.21$ （平均0.15）となり、切削加工によって摩擦係数 μ_s 、 μ_k は共に0.02程度の増加が認められたにすぎず、ほとんど変化しないことがわかった。

4. まとめ

圧密木材表面の2次加工の適性を調べるために、水蒸気処理方式で作製した木材の表面物性を評価した結果、以下の知見が得られた。

- (1) スギ材の表面粗さは、圧密加工を行うことにより、繊維方向、接線方向ともに顕著に減少した。厚さ方向に50%圧密加工した場合、表面粗さは素材と比較し、約1/2に低下した。
- (2) 圧密化することにより、材表面にはうねりが発生しやすくなり、その傾向は木裏面で大きかった。
- (3) 圧密加工は、粗さ特性の観点から、塗装研磨工程の代替法として期待できる。
- (4) 水蒸気処理によって、明度低下を主とする材色変化を伴うが、木材の持つ材色イメージの特長は保持された。
- (5) 圧密加工を行うことにより光沢は向上した。その向上の度合いは、圧密率が高くなるほど増す傾向が認められた。

- (6) 摩擦係数は、圧密化した場合に素材よりも小さくなる。また、圧密木材の表面を切削加工しても摩擦係数はほとんど変化しなかった。

本研究の一部は、平成10年度松阪地域木材関連産業活性化計画関連機関支援事業として実施した。

謝辞

本研究の試験体の加工に際し、ご協力頂いた立山アルミ外装株式会社の角谷順一氏に深謝いたします。また研究の遂行に当たり、ご指導頂いた通産省工業技術院名古屋工業技術研究所構造プロセス部構造評価研究室の古田裕三研究員、横山操研究員及び小原光博研究員（現岐阜大学）の各氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えば棚橋光彦．木材圧縮成形加工技術の応用．木材工業．53(12)，589-594(1998)
- 2) 例えば金山公三．木材加工用ロールプレス．木材工業技術短信．16(2)，1-9(1998)
- 3) 荒川民雄ほか．静水圧圧縮回復注入法とホウ酸塩系木材保存剤への応用．第28回木材の化学加工研究会シンポジウム講演集．71-78(1998)
- 4) 伊藤貴文ほか．熱圧ロール法による木材表面の改質技術の確立．中小企業庁技術開発研究費補助事業成果普及講習会テキスト(1995)
- 5) 田中興一ほか．木質系新素材による次世代住宅用高機能性開口製品の研究(第1報)．新潟県工業技術総合研究所工業技術研究報告書．No.25，20-25(1996)
- 6) 大畑敬．熱圧締処理木材の塗膜付着性．島根県立

- 工業技術センター研究報告．No.20，35-36(1983)
- 7) 窪田實ほか．蒸煮処理カラマツ材を用いたフェノール樹脂含浸圧密処理材の製造とその性能．林産試験場報．12(3)，1-9(1998)
 - 8) 佐道健ほか．木材表面あらさの官能評価と物理的評価の関係．京大農演報．Vol.49，p138-144(1977)
 - 9) Peters,C.C.,and Cumming,J.C．Measuring wood surface smoothness.Forest Product Journal．20(12)，40-43(1970)
 - 10) 鈴木正治．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．林試研報．No.231，1-25(1970)
 - 11) 松本奈緒美ほか．圧密加工木材の材色変化．三重県工業技術センタ - 研究報告．No.22，50-53(1998)
 - 12) Inoue,M.et al．Steam or heat fixation of compressed wood.Wood and Fiber Sci．，25(3)，224-235(1993)
 - 13) 増田稔．木材のイメージに与える色彩および光沢の影響．材料．34(383)，972-978(1985)
 - 14) 則元京．木材の横圧縮と加工．木材研究・資料，京都大学木質科学研究所．No.30，p1-15(1994)
 - 15) 藤澤泰士ほか．フィルム転写による住宅用内装材の開発(3)．日本木材学会中部支部大会講演要旨集．No.8，56-57(1998)
 - 16) 村瀬安英，太田基．木材の摩擦特性に関する研究(第1報)．木材学会誌．19(9)，421-425(1973)
 - 17) Murase,Y．Friction of wood sliding on various materials.J.Fac.Agr．，Kyushu Univ．．28(4)，147-160(1984)