

## アベマキの初皮, 再皮コルクの物理的性質

金 炳 魯\*\*\*・三城昭義\*・杉山 淳司\*・岡野 健\*

### The Physical Properties of Virgin and Reproduction Corks of *Quercus variabilis* Blume

Boung Ro Kim\*\*\*, Akiyoshi MISHIRO\*, Junji SUGIYAMA\* and Takeshi OKANO\*

#### 1. 緒 言

コルクは地中海沿岸に生育するコルクガシ (*Quercus suber* Linn.) のコルク組織である。その他に東洋の一部に生育し、組織構造的に類似なアベマキ (*Quercus variabilis* Blume) のコルク組織もコルクとして取扱われている。

コルクは軽くて弾力性があり、断熱性、耐摩耗性、液体の不浸透性、耐腐朽性、耐酸性さらに、音響特性にも優れ、火にも強いので特別な材料として古くからいろいろな方面で利用されてきた。コルクが木材の樹皮の中でこのような特異な性質を有しているのはコルクの細胞の形状と構造によるものである。

初めてコルクガシ外樹皮のコルク組織を顕微鏡で観察したのは Hook である。コルクの組織構造の特徴は NATIVIDADE<sup>1)</sup> の研究によって基本的に確立された。彼はコルク組織は同種の細胞で構成されているのが特徴で、細胞間隙および隣接する細胞相互の連絡通路はなく、細胞の形は樹木の放射方向を軸とする 4~6 角柱であると報告している。最近 GIBSON<sup>2)</sup> はいくつかの力学的性質の報告と共にコルク細胞のモデルとして放射方向に長い 6 角柱を提案した。そして、SEM (走査電子顕微鏡) において細胞壁にしわのあるのを認め、そのしわは 1 つの細胞に 2~3 個であると報告している。PEREIRA<sup>3)</sup> はコルク細胞の寸法および形態を初皮と再皮にわけて観察し、コルク細胞壁のしわは GIBSON が述べている 1 細胞当たり 2~3 個だけではなく、ほとんどしわがない場合や、多数のしわがある場合もあると報告している。Rosa<sup>4)</sup> はコルクを 100~300℃ の温度で加熱すると皮目は膨潤し、しわのある細胞壁は真っ直ぐになると報告している。

以上述べた研究はすべてコルクガシのコルクを用いて研究されており、アベマキのコルクについての研究はほとんどない。

コルクガシやアベマキではコルク形成層によってコルクが形成されてから、約 20~30 年後に最初のコルクを採取することができる。これを初皮 (virgin cork) という。初皮採取後コルク形成層によって再形成されたコルクは約 8~9 年間隔で採取することができる。これを再皮 (reproduction cork) という。この、初皮と再皮に品質的に差があると言われているが、その物理的性質は明らかにされていない。

\* 東京大学農学部林産学科

Department of Forest Products, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

\*\* 韓国忠北大学校農科大学

College of Agriculture, Chungbuk National University, Korea.

そこで、本研究ではアベマキコルクの組織構造と物理的性質を明らかにするとともに、初皮と再皮（2 番皮）の物理的性質に違いがあるかどうかを組織構造とあわせて検討した。

## 2. 実験材料および方法

### 2.1 材 料

材料は韓国産アベマキ (*Quercus variabilis* Blume) の初皮と再皮（2 番皮）で、採取後室内で乾燥し、さらに 20℃, RH65% の恒温恒湿室で調湿した。

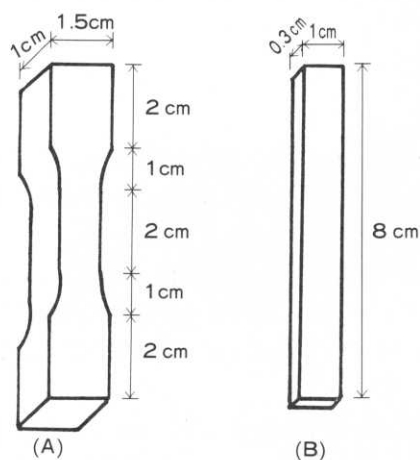


図-1 繊維方向の引張試験片

Fig. 1. Dimensions of tensile test specimens parallel to the grain

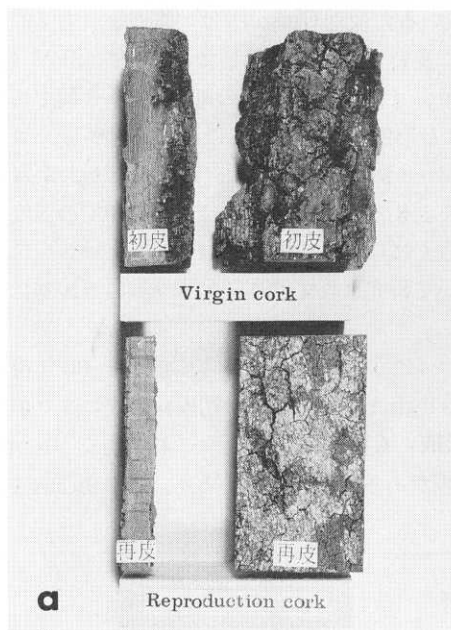


図-2 アベマキコルクの肉眼的および顕微鏡的構造

- a: 初皮と再皮
- b: スクレイドとそれを囲む暗褐色部分
- c: 初皮の 3 断面
- d: 再皮の接線断面
- e: 再皮の横断面
- f: 再皮の放射断面
- g: 早コルク部と晩コルク部

Fig. 2. Visual and microscopic structures of *Quercus variabilis* Blume

- a: Virgin and reproduction corks
- b: Sclereid and dark brown zone
- c: Three-plane of virgin cork
- d: Tangential section of reproduction cork
- e: Cross section of reproduction cork
- f: Radial section of reproduction cork
- g: Early cork and late cork

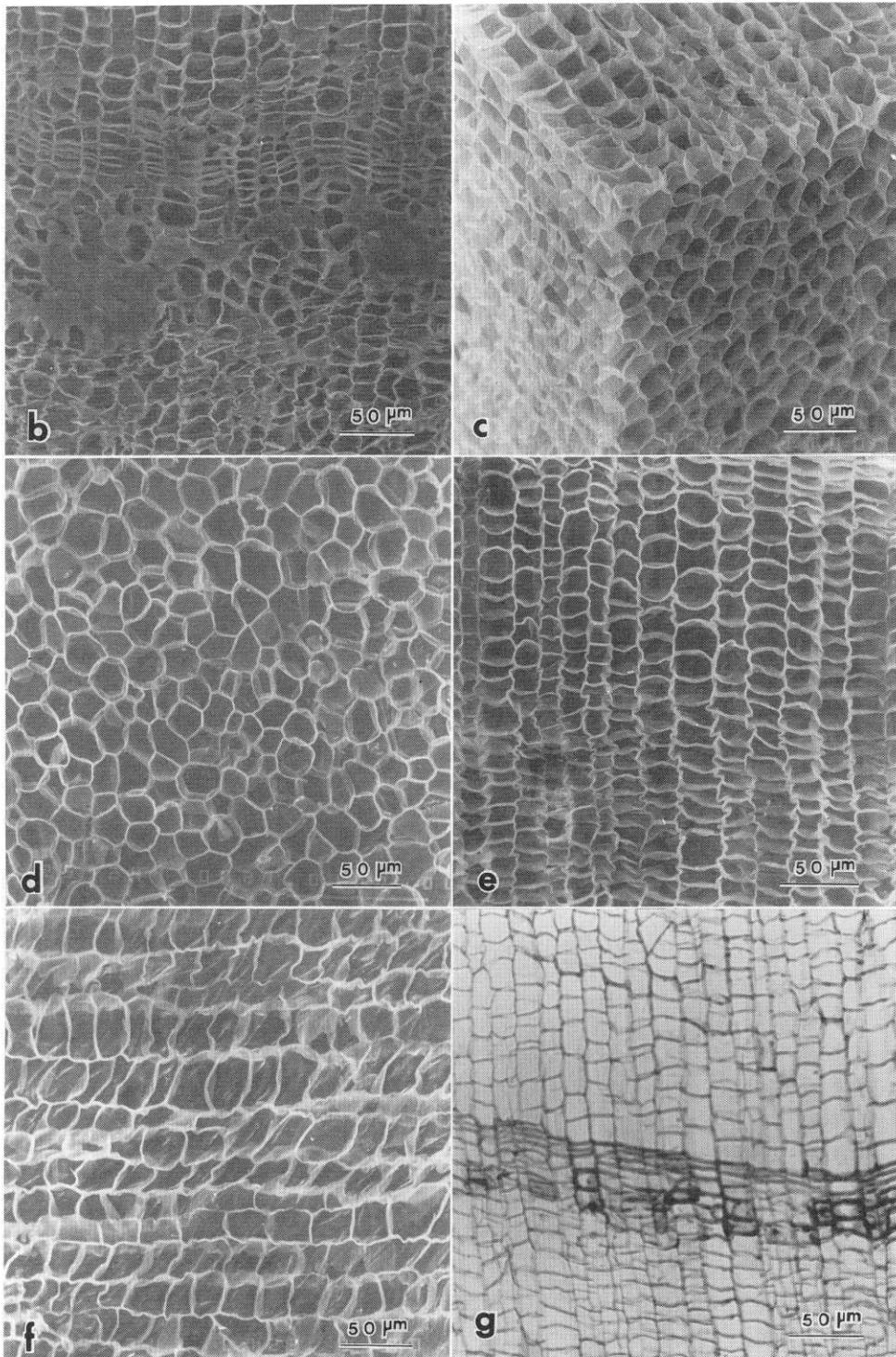


図-2 つづき  
Fig. 2. Continued

表-1 横断面におけるアベマキの Cork 組織の要素比率

Table 1. Composition of elements of cork tissue in cross section (*Q. variabilis* Bl.)

	初 皮 Virgin cork			再皮 Reproduction cork			差の有意水準 Level of significance
	平 均 Average	(S.D.)	N	平 均 Average	(S.D.)	N	
コルク細胞 Cork cell	87.3			87.2			—
皮 目 Lenticel	6.9	(2.2)	10	9.0	(2.5)	10	n.s.
スクレイド Sclereid	1.2	(1.1)	10	0.8	(0.6)	10	n.s.
暗褐色部分 Dark brown zone	4.6	(2.8)	10	3.0	(1.9)	10	n.s.

n.s.: 95%水準で有意差がない Not significant difference at 95% level

N: 測定個数 The number of measurement

表-2 コルクの年輪幅および晩コルク率

Table 2. Ring width and percentage of late cork for cork

(unit: mm)

	初 皮 Virgin cork			再皮 Reproduction cork			差の有意水準 Level of significance
	平 均 Average	(S.D.)	N	平 均 Average	(S.D.)	N	
年 輪 幅 Ring width	0.59	(0.16)	127	0.82	(0.24)	106	**
晩コルク幅 Width of late cork	0.10		127	0.11		106	**
晩コルク率 Percentage of late cork	18	(8)		14	(4)		**

\*\*: 99%水準で有意 Significant difference at 99% level

N: 測定個数 The number of measurement

## 2.2 実験方法

### 2.2.1 組織構造

横断面における要素の比率および特徴、細胞の寸法、3断面の組織構造を調べるために光学顕微鏡、SEM（走査電子顕微鏡）による観察を行った。光学顕微鏡用試料はスライディングマイクロームによって厚さ 10  $\mu\text{m}$  の切片を作製し、サフラニンで染色した。SEM (JEOL JSM-35) 用の試料は 5(L)×5(R)×5(T) mm の試験片を試料台に固定し、イオンスパッタ装置により金を表面にコートした。

### 2.2.2 微細構造

コルクの細胞壁中のセルロースの微細構造を調べるため X 線回析を行った。試料は厚さ 1 mm の板目板、まさ目板、木口板を用いた。X 線回析には X 線回析装置 (RU-200BH: 50 kV, 200 mA) とディフラクトメータ (JEOL-JDX5B: 35 kV, 20 mA) を用いた。

### 2.2.3 物理的および機械的性質

物理的、機械的性質に関する実験はすべて日本工業規格 (JIS) に準じて行った。しかし、試験片の材料が樹皮のため、その寸法は日本工業規格より小さかった。いずれの場合も初皮と再皮について同じ形状、数量の試験片を用意した。

(1) 比重: 気乾比重の測定は 3(L)×1(R)×2(T) cm, 全乾比重の測定は 0.5(L)×1(R)×2(T) cm の試験片について行なった。試験片の数は初皮と再皮についてそれぞれ気乾比重は 60 個, 全乾比重は 10 個づつとした。

表-3 コルク細胞の寸法  
Table 3. Dimensions of cork cell (unit:  $\mu\text{m}$ )

	初皮 (早コルク) Virgin (early cork)			再皮 (早コルク) Reproduction (early cork)			差の有意水準 Level of significance
	平 均 Average	(S.D.)	N	平 均 Average	(S.D.)	N	
細胞の長さ Prism height	25.4	(2.6 )	30	26.3	(3.3)	30	n.s.
辺 の 長 さ Prism edgelenhth	14.9	(1.8 )	30	13.8	(2.6)	30	n.s.
細胞壁の厚さ Cell wall thickness	0.5	(0.04)	30	0.6	(0.1)	30	**

---

	初皮 (晩コルク) Virgin (late cork)			再皮 (晩コルク) Reproduction (late cork)			差の有意水準 Level of significance
	平 均 Average	(S.D.)	N	平 均 Average	(S.D.)	N	
細胞の長さ Prism height	6.6	(1.6)	30	6.9	(1.7)	30	n.s.
辺 の 長 さ Prism edgelenhth	14.6	(1.7)	30	13.8	(1.2)	30	n.s.
細胞壁の厚さ Cell wall thickness	1.0	(0.1)	30	1.0	(0.1)	30	n.s.

n.s.: 95%水準で有意差がない Not significant difference at 95% level

\*\*.: 99%水準で有意 Significant difference at 99% level

N: 測定個数 The number of measurement

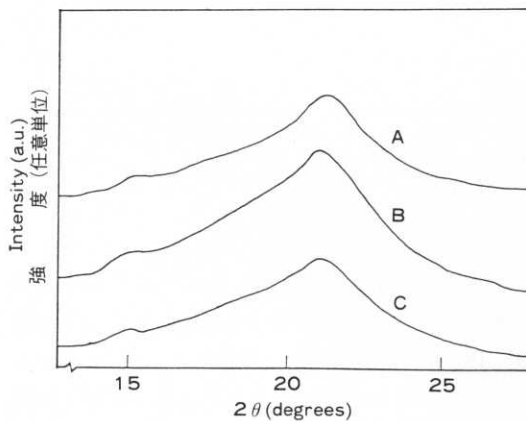


図-3 コルクのX線ディフラクトメトリー  
注) A, B, Cはそれぞれ初皮, 再皮, 脱リクニンされた初皮を示す

Fig. 3. X-ray diffractograms of cork.  
Notes. A, B, and C denote virgin, reproduction and delignified virgin cork, respectively.

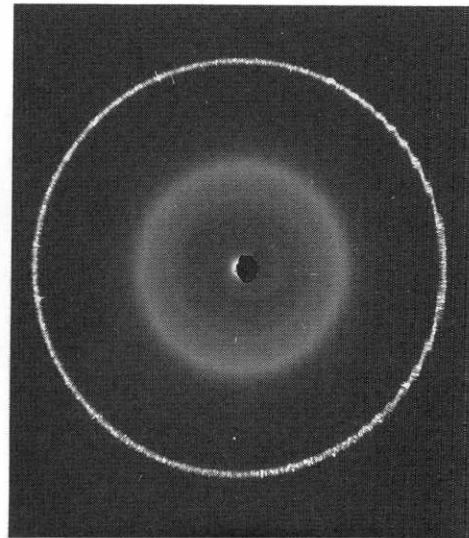


図-4 初皮のX線回折写真

Fig. 4. X-ray diffraction pattern of virgin cork.

表-4 コルクの全乾比重および気乾比重

Table 4. Specific gravity in oven-dry and in air-dry of cork

	初 皮 Virgin cork			再皮 Reproduction cork			差の有意水準 Level of significance
	平 均 Average	(S.D.)	N	平 均 Average	(S.D.)	N	
全乾比重 Specific gravity in oven-dry	0.23	(0.02)	10	0.21	(0.02)	10	*
気乾比重 Specific gravity in air-dry	0.25	(0.03)	60	0.22	(0.04)	60	**

\*: 95%水準で有意 Significant difference at 95% level

\*\*: 99%水準で有意 Significant difference at 99% level

N: 測定個数 The number of measurement

表-5 コルクの吸水量

Table 5. Amount of water absorption of cork

	初 皮 Virgin cork			再 皮 Reproduction cork			差の有意水準 Level of significance	スプリース Spruce		
	平 均 Average	(S.D.)	N	平 均 Average	(S.D.)	N		平 均 Average	(S.D.)	N
木 口 面 Cross section	0.30	(0.03)	5	0.44	(0.09)	5	*	17.20	(1.92)	5
柁 目 面 Radial section	0.38	(0.11)	5	0.47	(0.21)	5	n.s.	5.24	(0.42)	5
板 目 面 Tangential section	0.49	(0.11)	5	0.69	(0.17)	5	n.s.	3.51	(0.51)	5
全 面 No sealed	1.64	(0.19)	5	2.56	(0.62)	5	n.s.			
全面アルコール Alcohol, no sealed	11.35	(0.39)	5	11.62	(0.93)	5	n.s.			

24 時間後の吸水量 ( $\times 10^{-2}$  g/cm<sup>2</sup>) : Amount of water absorption after 24 hours ( $\times 10^{-2}$  g/cm<sup>2</sup>)

n.s.: 95%水準で有意差がない Not significant difference at 95% level

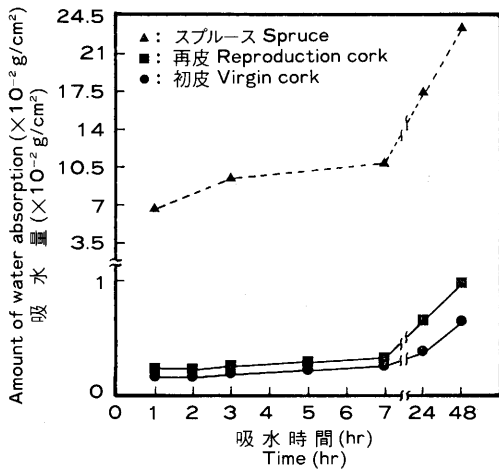
\*: 95%水準で有意 Significant difference at 95% level

N: 測定個数 The number of measurement

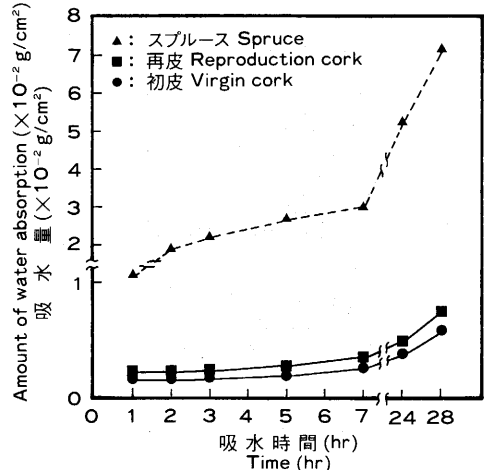
(2) 吸水量: 3(L)×1(R)×2(T) cm の試験片について、木口面、まさ目面、板目面からの1, 2, 3, 5, 7, 24, 48 時間後の吸水量を測定した。比較のためにスプリース材についても同じ条件で吸水量の測定を行なった。また、全面からの6, 12, 18, 24, 48 時間後の吸水量も測定した。コルクはワイン等の栓に用いられているので、アルコールの吸着量も測定した。いずれの場合も、初皮と再皮の各面について各5個の試験片について行なった。

(3) 収縮率, 膨潤率: 接線方向および半径方向測定には0.5(L)×1(R)×2(T) cm, 繊維方向の測定には3(L)×1(R)×0.5(T) cm の試験片を用いた。膨潤率, 収縮率とともに吸湿率(脱湿率)の測定も行なった。初皮と再皮について吸湿率はそれぞれ16個, 収縮率はそれぞれ3個, 膨潤率は4個ずつの試験片について行なった。

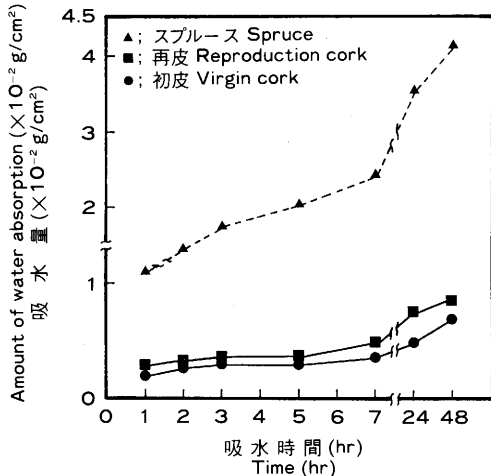
(4) 熱伝導率: 熱伝導率の測定はコルクの半径方向について平板比較法で行なった。9個の小



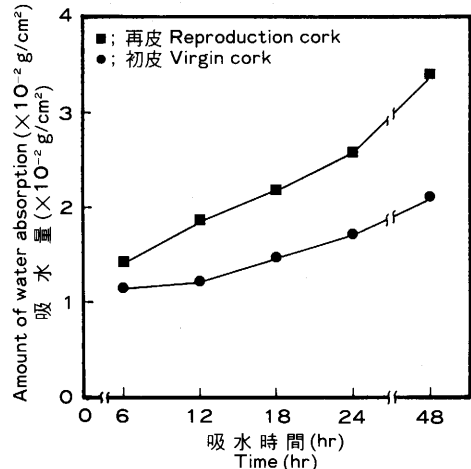
a. 木口面 Cross section



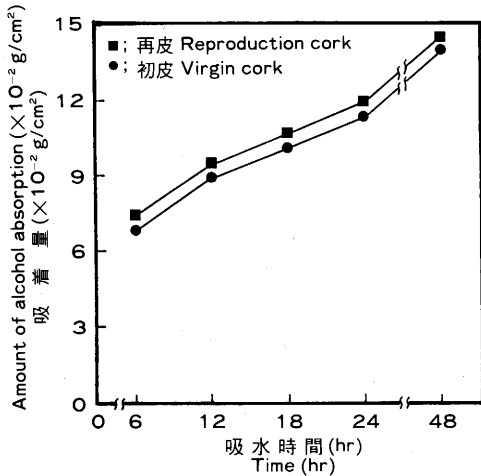
b. 柁目面 Radial section



c. 板目面 Tangential section



d. 全面 No sealed



e. 全面(アルコール) No sealed (alcohol)

図-5 吸水量と吸水時間との関係

Fig. 5. Relationship between water absorption and time.

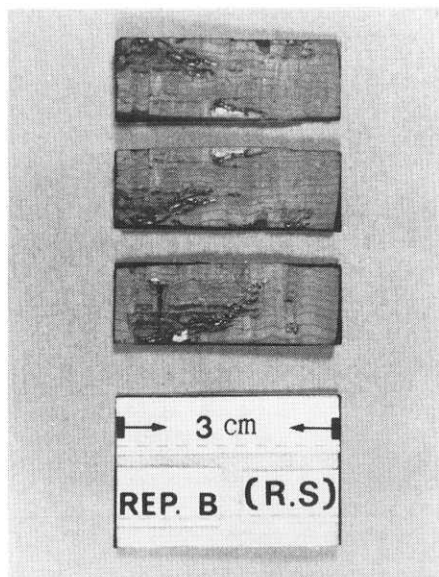


図-6 1%サフラニン水溶液の再皮への浸透状態（接線断面，3週間後）

Fig. 6. Radial surfaces stained by the penetration of 1% aqueous solution of safranin after 3 weeks (reproduction cork).

試験片を組合わせて，市販の合成ゴム系接着剤で接着して，寸法 15(L)×0.9(R)×10.5(T) cm の試験片を作製して測定した。試験体数は初皮と再皮について各 2 個ずつであった。

(5) 圧縮試験：1(L)×1(R)×1(T) cm の試験片を用い，3 方向について行なった。応力-ひずみ曲線は図-10 に示すようにいずれの方向の場合も最大値が得られないので，強度は求めることができずヤング率だけを求めた。ヤング率は応力-ひずみ曲線の初期の直線部分の傾きから求めた。いずれの場合も初皮と再皮の各方向について 10 個ずつ行なった。また，除荷後の変形の回復率を測定した。すなわち，10%，20%，30%，40%および 50%圧縮した後，除荷直後，1 時間後，24 時間後の回復率を各方向について測定した。

(6) 引張り試験：試験片の形状，寸法を図-1 に示す。繊維方向の場合は A, B 2 つのタイプ，接線方向の場合は B タイプである。いずれの場合もチャック部分にスプールの添木をつけてチャックの影響を少なくするよう配慮した。試験は初皮と再皮それぞれ 10 個ずつ行なった。

(7) 硬さ試験：ブリネル硬さを測定した。板目面の場合は木表から荷重を加えた。試験片の数は各断面について 5 個であった。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 組織構造

アベマキコルクの初皮と再皮の肉眼的な違いについて述べる。図-2a に見られるように初皮は厚さが不均一で，ところどころに大きな V 字形の溝があり，全体として凹凸が大きかった。これに対し，再皮は厚さがほぼ等しく，溝も小さくて少なく，平滑であった。また，初皮と再皮をとわずコルク細胞の他に皮目（周皮の特殊化した部分で，いろいろの形をとるがしばしばレンズ形であり，きわめてわずかにコルク化しただけの細胞が疎に配列している），スクレレイド（機械的強度を受持つ要素で，紡錘組織の性質を完全には示さずに，厚くてしばしば木化した二次壁をもち，完成した後はふつう原形質体を欠く）およびスクレレイドをとり囲む暗褐色の部分（認められた。GIBSON<sup>2)</sup> が皮目の量と比重はコルクの多孔性に影響するのでコルクの品質と密接な関係があると報告しているように皮目はコルクの物理的性質と品質に大きな影響を及ぼす組織であると考えられる。また，コルクの美観と機械的性質を低下させる暗褐色部にスクレレイドが非常に多く存在していることが認められた。図-2b はスクレレイドおよび暗褐色部分を SEM で観察したものである。この部分はコルク組織とは異なる形状の細胞が不規則に配列していることがわかった。



表-6 コルクの平衡含水率  
Table 6. Equilibrium moisture content in cork (%)

	20°C RH20% <sup>1)</sup>			20°C RH20% <sup>2)</sup>		
	平 均 Average	(S.D.)	N	平 均 Average	(S.D.)	N
初皮 Virgin cork	4.8	(0.5)	16	3.8	(0.3)	16
再皮 Reproduction cork	4.4	(0.2)	16	3.6	(0.2)	16
Level of significance	n.s.			n.s.		
	20°C RH65% <sup>1)</sup>			20°C RH65% <sup>2)</sup>		
	平 均 Average	(S.D.)	N	平 均 Average	(S.D.)	N
初皮 Virgin cork	8.9	(0.8)	16	7.3	(0.5)	16
再皮 Reproduction cork	8.5	(0.8)	16	6.8	(0.4)	16
Level of significance	n.s.			n.s.		
	20°C RH80% <sup>2)</sup>			20°C RH100% <sup>2)</sup>		
	平 均 Average	(S.D.)	N	平 均 Average	(S.D.)	N
初皮 Virgin cork	11.3	(0.9)	16	16.0	(0.9)	16
再皮 Reproduction cork	10.7	(0.5)	16	16.2	(1.3)	16
Level of significance	n.s.			n.s.		

<sup>1)</sup> 脱湿時 Desorption <sup>2)</sup> 吸湿時 Adsorption

n. s.: 95%水準で有意差がない Not significant difference at 95% level

N: 測定個数 The number of measurement

表-1 に初皮と再皮の木口面における各要素の比率を示した。アベマキのコルク組織はコルク細胞、皮目、スクレイドおよび暗褐色部分よりなっている。木口面におけるコルク細胞の比率は初皮で 87.3%，再皮で 87.2%で、初皮と再皮とでコルク細胞の比率に差異はなかった。皮目は再皮に、スクレイドは初皮に若干多い傾向があった。しかし、平均年輪幅および、晩コルク率（一生長期の初めに形成されたコルク組織を早コルク、後半に形成されたコルク組織を晩コルクと言う）は表-2 に示したように初皮と再皮で差異があった。再皮では年輪幅が広く、晩コルク率は少なかった。

図-2c～f に SEM で観察したコルク細胞の組織を示した。図-2c に 3 断面におけるコルク細胞の典型的な形と配列を示した。図-2d に再皮の接線断面を示した。接線断面では細胞の形は多角形である。多角形の辺の数は 5～8 で、6 のものが大部分である。図-2 e, f に見られるように横断面と放射断面はレンガを積み上げたような様子を示し、細胞は放射方向に平行な列をなして配列し、辺の数はだいたい 4 個である。従って、細胞形は六角柱のようであり、細胞の軸が放射方向に配列している。

細胞の寸法を表-3 に示した。アベマキの初皮と再皮の間で細胞の寸法に差はない。早コルク細胞と晩コルク細胞を比較すると早コルク細胞の長さは晩コルク細胞の約 4 倍であり、壁厚は晩コルク細胞が早コルク細胞の約 2 倍である。図-2g に早コルクと晩コルクとを示した。アベマキとコルクガシのコルク組織の構成要素の種類は同じであるが、細胞の寸法に差が見られる。

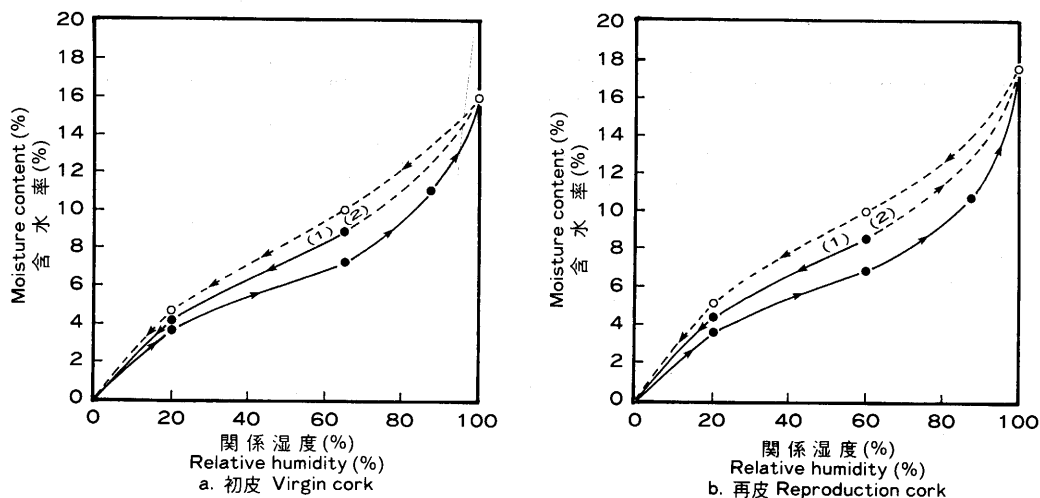


図-7 関係湿度と含水率との関係

- (1) は 20℃ RH65% から脱湿させた後吸湿させた場合 (実線)  
 (2) は 20℃ RH65% から吸湿させた後脱湿させた場合 (点線)

Fig. 7. Relationship between moisture content and relative humidity.

- (1) Desorption from 20℃, RH65% condition to oven dry condition and subsequent adsorption (solid line)  
 (2) Adsorption from 20℃, RH 65% condition to 20℃, RH 100% condition and subsequent desorption (dotted line)

PEREIRA<sup>3)</sup>の報告によるとコルクガシの早コルク細胞の寸法は長さが43  $\mu\text{m}$ , 接線断面における六角形の1辺の長さが21  $\mu\text{m}$ , 細胞壁の厚さが1  $\mu\text{m}$ であり, 晩コルク細胞はそれぞれ10, 21, 1  $\mu\text{m}$ で, 表-3に示したアベマキのコルク細胞の約2倍である。

コルク細胞の特徴は細胞にしわがあることである。GIBSON<sup>2)</sup>はコルクガシについて1細胞あたり2~3個と報告している。しかし, PEREIRA<sup>3)</sup>がコルクガシについて報告しているようにアベマキのコルク細胞でもしわは1細胞に2~3個ということではなく, ほとんどしわがない場合や多数のしわがある場合もあった。

### 3.2 微細構造

コルク細胞のX線回折を行ない, その強度曲線を図-3に示した。上から順番に無処理の初皮および再皮, 脱リグニン処理した初皮の強度曲線であるが3者間の差は見られなかった。曲線の形はボールミル木粉のそれとよく似ており<sup>5)</sup>,  $2\theta=21.5^\circ$ 近辺で現われる緩慢なピークは非晶セルロースに由来するものと考えられるので, 結晶性はきわめて低いことが示唆される。図-4は真空カメラで撮影したコルク細胞のX線回折写真である。結晶を示す回折点はなく,  $2\theta=21.5^\circ$ 近辺に散漫なハローが現われている。

以上の事からコルク細胞中のセルロースの含有量はたいへん少なく, かつ, セルロースは非晶状態で存在していることが推測される。

表-7 コルクの全収縮率

Table 7. Shrinkage from green to oven-dry of cork (%)

	初 皮 Virgin cork			再皮 Reproduction cork			差の有意水準 Level of significance
	平 均 Average	(S.D.)	N	平 均 Average	(S.D.)	N	
繊維方向 Longitudinal direction	3.7	(0.3)	3	3.2	(0.1)	3	n.s.
放射方向 Radial direction	5.9	(0.2)	3	5.7	(1.2)	3	n.s.
接線方向 Tangential direction	4.2	(0.2)	3	4.7	(0.7)	3	n.s.

n.s.: 95%水準で有意差がない Not significant difference at 95% level

N: 測定個数 The number of measurement

表-8 コルクの最大膨潤率

Table 8. Maximum swelling of cork (%)

	初 皮 Virgin cork			再皮 Reproduction cork			差の有意水準 Level of significance
	平 均 Average	(S.D.)	N	平 均 Average	(S.D.)	N	
繊維方向 Longitudinal direction	4.2	(0.4)	4	3.5	(0.1)	4	n.s.
放射方向 Radial direction	4.5	(0.5)	4	3.6	(1.1)	4	n.s.
接線方向 Tangential direction	3.6	(0.4)	4	3.2	(0.1)	4	n.s.

n.s.: 95%水準で有意差がない Not significant difference at 95% level

N: 測定個数 The number of measurement

### 3.3 物理的および機械的性質

(1) 比重: コルクの全乾比重, 気乾比重を表-4 に示した。初皮と再皮とで平均値の差の検定をすると全乾比重は危険率5%で, また, 気乾比重は危険率1%で差の有意性が認定され, いずれも初皮の方がわずかに大きかった。

(2) 吸水量: 表-5 に 24 時間後の各面および全面からの吸水量および全面からのアルコールの吸着量を, 図-5a~d に吸水経過曲線を示した。いずれの場合にも比較のために測定したスプリースの結果もあわせて示した。

コルクの吸水量はコルクの特徴の1つである「水が浸み込まない」性質のために, 木材に比べると非常に少ない。スプリースの吸水量と比べると木口面は約1/50, まさ目面は約1/10, 板目面は約1/6であった。コルクの吸水量は木材の場合と異なって, 吸水面による差異がほとんど見られなかった。コルクの吸水性について, ESAU<sup>6)</sup> はコルクの細胞壁は水や空気を通さない不飽和脂肪酸とワックスの薄い層で被われているので, 吸水量がきわめて少ないと報告している。コルクの表面に水が付いてもコルクは上記の薄層で被われているので細胞壁内, または, 細胞内腔に水は入りにくく, もし, 細胞壁に入っても壁孔がないので隣接細胞への水の侵入はきわめて困難であると考えられる。水のコルク組織への浸透の様子を調べるために1%のサフラニン水溶液に3週間浸漬した場合の写真を図-6 に示した。サフラニンで染色されているのは皮目の部分だけであった。このことからコルクの吸水量には皮目の含有量が影響するものと考えられる。初皮と再皮の各面および全面からの吸水量は統計的には有意差はなかったが, いずれの場合も再皮が初皮より多かった。この理由は表-1 に示したように初皮より再皮の方が皮目の含有量が多いためと

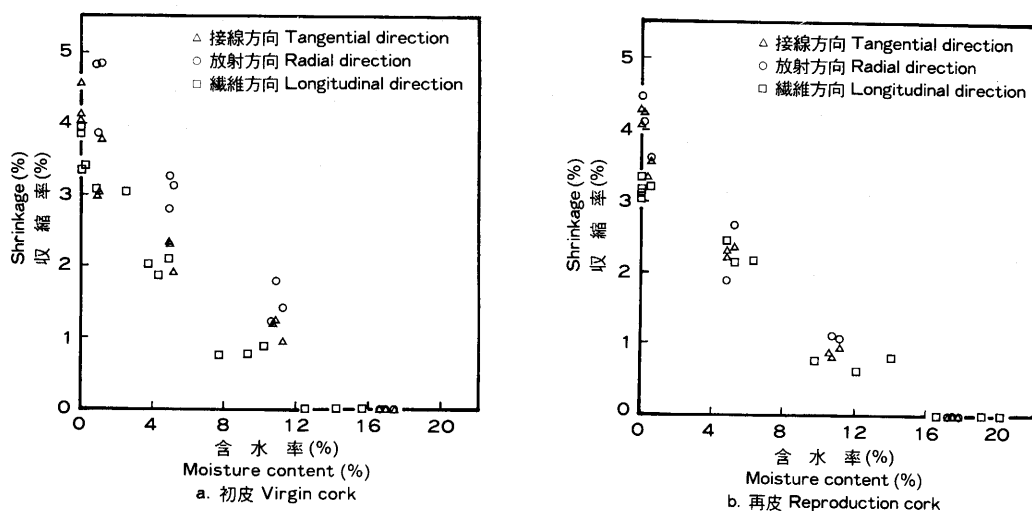


図-8 収縮率と含水率との関係

Fig. 8. Relationship between shrinkage and moisture content.

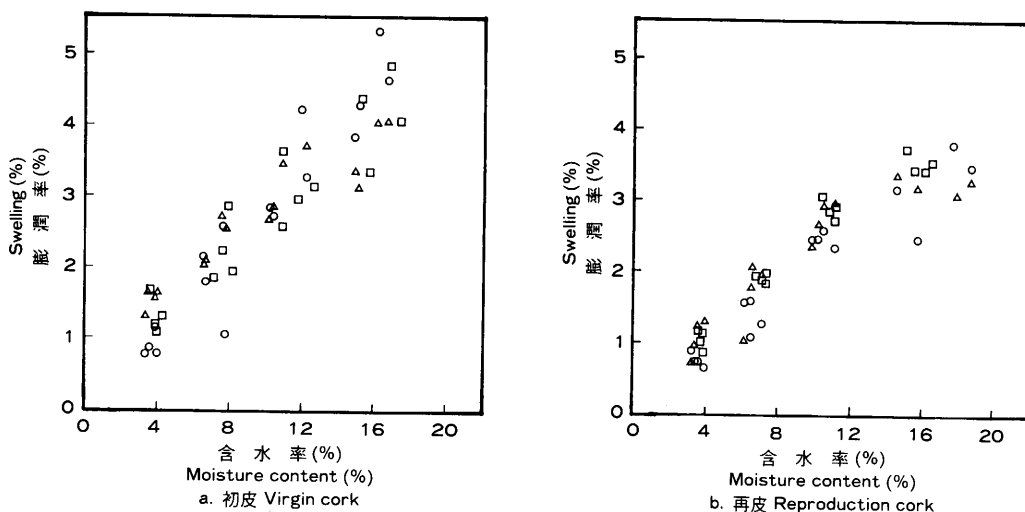


図-9 膨潤率と含水率との関係 (記号は図-8 参照)

Fig. 9. Relationship between swelling and moisture content. Symbols are the same to these in Fig. 8.

思われる。

(3) 吸湿量: 表-6 に平衡含水率の測定結果を示した。コルクの平衡含水率は温度 20℃相対湿度 65%の時, 初皮が 8.9%, 再皮が 8.5%で木材の 12%より約 3%低かった。これはセルロースの量が木材は約 50%, コルクは約 20%<sup>7)</sup>で, 吸脱湿に関与する OH 基が木材よりコルクにおいて少ないことに関係していると考えられる。

図-7a, b に初皮, 再皮の吸着等温線を示した。コルクの吸着等温線も木材および他の材料と同

表-9 コルクの熱伝導率

Table 9. Thermal conductivity of cork

(unit: kcal/mh°C)

	初皮 Virgin cork		再皮 Reproduction cork	
	平均 Average	N	平均 Average	N
熱伝導率 Thermal conductivity	0.048	2	0.047	2
厚さ Thickness	8.9 mm		8.9 mm	

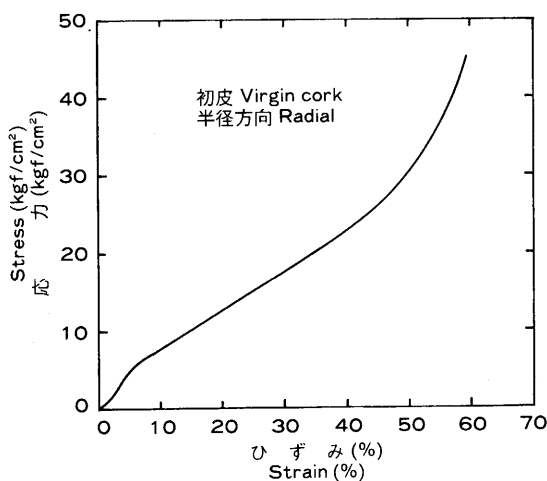


図-10 コルクの応力-ひずみ曲線

Fig. 10. Stress-strain curve for virgin cork in radial direction.

表-10 コルクの圧縮ヤング率

Table 10. Young's modulus in compression of cork

(unit: kgf/cm²)

	初皮 Virgin cork					再皮 Reproduction cork					差の有意水準 Level of significance
	平均 Average	含水率 (S.D.) MC (%)	比重 Specific gravity	N		平均 Average	含水率 (S.D.) MC (%)	比重 Specific gravity	N		
繊維方向 Longitudinal direction	423	(132)	8	0.21	10	372	(82)	8	0.21	10	n. s.
放射方向 Radial direction	91	(28)	8	0.23	10	148	(63)	8	0.23	10	*
接線方向 Tangential direction	424	(127)	8	0.25	10	283	(58)	8	0.22	10	*

n. s.: 95%水準で有意差がない Not significant difference at 95% level

\*: 95%水準で有意 Significant difference at 95% level

\*: 99%水準で有意 Significant difference at 99% level

N: 測定個数 The number of measurement

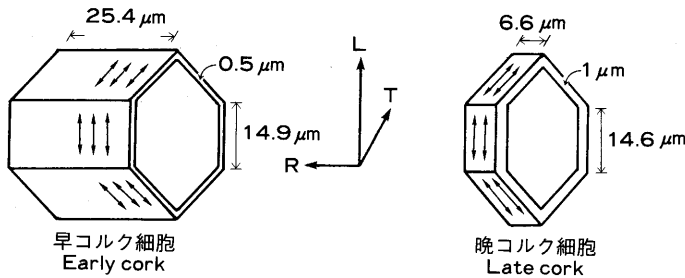


図-11 コルク細胞の模式図 (矢印はミクロフィブリルの配列方向を示す (仮説))

Fig. 11. The diagrams of cork cell. Arrow heads represent the direction of microfibril orientation (hypothesis).

じようにS字形を示し、ヒステリシスを示した。相対湿度65%における吸着と脱着時の含水率差は初皮では1.6%、再皮では1.7%であった。表-6に見られるように初皮と再皮の間に差はなかった。

(4) 収縮率・膨潤率: 表-7, 8にコルクの全収縮率と最大膨潤率を、図-8, 9に収縮、膨潤経過曲線を示した。初皮と再皮の間に差異は見られなかった。一般に木材は方向によって収縮、膨潤率が顕著に異なるが、コルクは表-7, 8, 図-7, 8に示すように方向による収縮、膨潤の差異が少なかった。これは木材に比べるとコルクの細胞は巨視的にはより等方的構造をしているためと考えられる。全収縮率は放射方向が若干大きい傾向を示した。この理由はコルク細胞壁の異方性によると考えられる。このことについては圧縮ヤング率の項で述べる。

(5) 熱伝導率: アベマキコルクの熱伝導率を表-9に示した。測定方向は放射方向である。コルクは熱伝導率が初皮0.048, 再皮0.047 (kcal/mh°C)と非常に小さく、木材の1/3~1/5であった。コルクガシの炭火コルクについては0.040~0.043 (kcal/mh°C)<sup>8)</sup>の値が報告されている。コルクの熱伝導率は空気中で水分を吸収してもほとんど変化せず、優れた断熱性を示す。

(6) 圧縮ヤング率: 図-10に初皮の繊維方向の圧縮における応力-ひずみ曲線の一例を示した。接線方向、半径方向の場合も同じような応力-ひずみ曲線を示し、最大荷重は認められなかった。このため、ひずみ-応力曲線の初期(ひずみ約0~2.5%)に観察される直線域の傾きから圧縮ヤング率のみを求めた。

表-10にコルクの3方向の圧縮ヤング率を示した。コルクのヤング率は繊維方向と接線方向はほとんど同じ値を示し、半径方向は2方向より低い値を示した。繊維方向と接線方向のヤング率は半径方向のヤング率に比べて初皮で約4倍、再皮では約2倍であった。

GIBSON<sup>2)</sup>はコルクガシの3方向のヤング率を測定し、アベマキとは異なった結果を報告している。すなわち、半径方向のヤング率が繊維方向および接線方向ヤング率の約2倍であると述べている。

アベマキコルクの半径方向の圧縮ヤング率が繊維方向や接線方向の圧縮ヤング率より小さいのは細胞の形状と配列および細胞壁の異方性によるものと考えられる。即ち、コルク細胞の形状を模式的に示すと図-11の通りである。この細胞が集まった場合を考えると繊維方向と接線方向の圧縮ヤング率に大きな差はないことになる。

3.2節ではX線による回析ではセルロースミクロフィブリルの存在は見出すことができなかった。

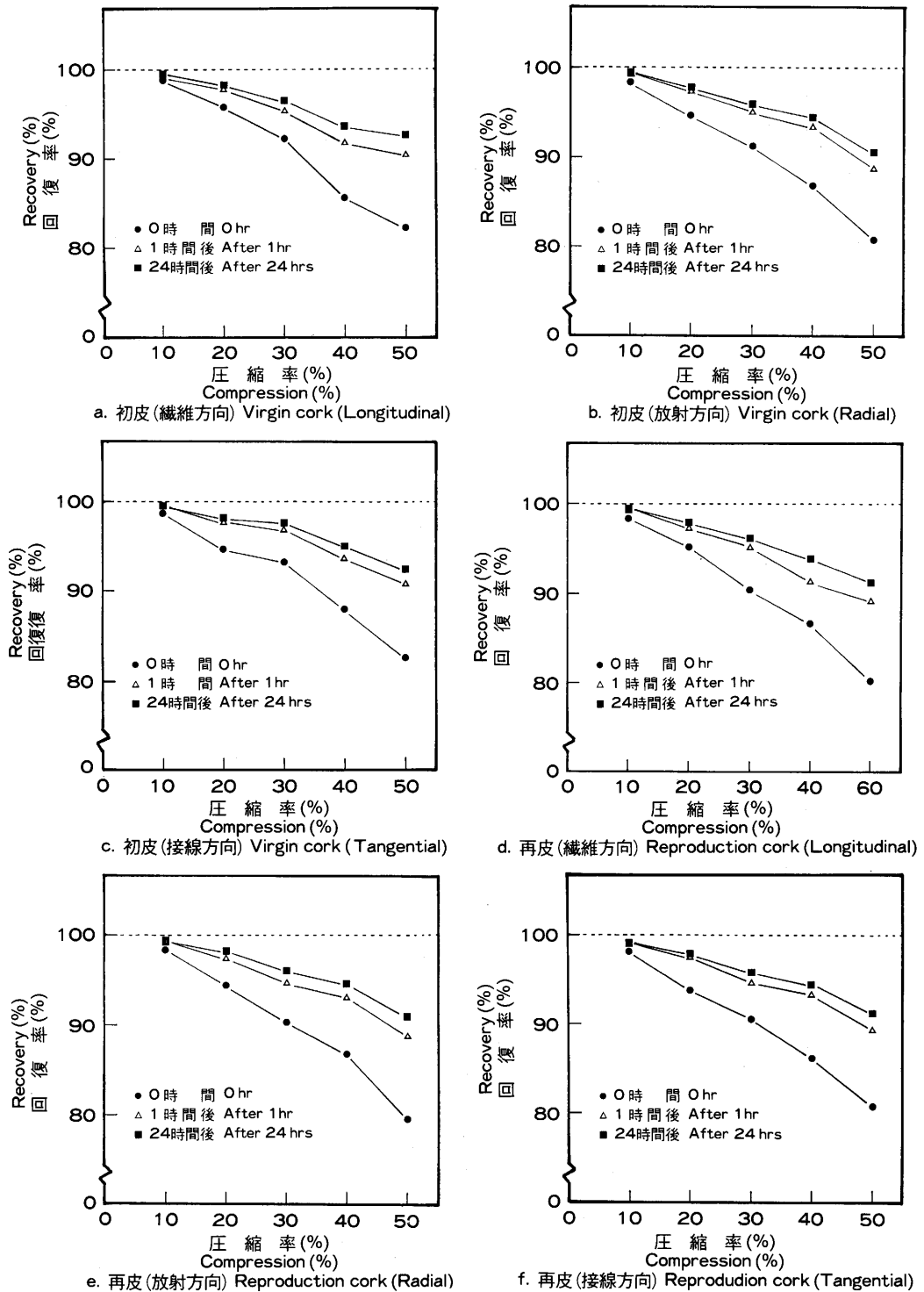


図 12 圧縮率と回復率との関係

Fig. 12. Relationship between compression and recovery.

表-11 コルクの引張強さ

Table 11. Strength in tension of cork											(unit: kgf/cm <sup>2</sup> )
型 Type	初 皮 Virgin cork			再 皮 Reproduction cork			差の有意水準 Level of significance				
	平 均 Average	(S.D.)	含水率 MC (%)	比 重 Specific gravity	N	平 均 Average		(S.D.)	含水率 MC (%)	比 重 Specific gravity	N
纖維方向 Longitudinal direction	A	18	(3.7)	8	0.21	10	13	(3.4)	8	10	**
接線方向 Tangential direction	B	18	(3.9)	7	0.23	10	16	(4.7)	8	10	n.s.
Level of significance	B	14	(4.1)	7		10	12	(2.0)	8	10	n.s.
		n.s.				n.s.					

A, B: 試験片のタイプ (図 1 参照) Specimens type (see Fig. 1)

n.s.: 95%水準で有意差がない Not significant difference at 95% level

\*\*: 99%水準で有意 Significant difference at 99% level

N: 測定個数 The number of measurement

表-12 コルクのブリネル硬さ

Table 12 Brinell's hardness of cork										(unit: kgf/mm <sup>2</sup> )				
	初 皮 Virgin cork			再 皮 Reproduction cork			差の有意水準 Level of significance	ス プ ル ー ス Spruce						
	平 均 Average	(S.D.)	含水率 MC (%)	比 重 Specific gravity	N	平 均 Average		(S.D.)	N					
木口面 Cross section	0.17	(0.04)	10	0.24	10	0.14	(0.01)	8	0.20	10	n.s.	3.39	(0.28)	5
楕目面 Radial section	0.18	(0.03)	8	0.22	10	0.17	(0.03)	9	0.20	10	n.s.	0.67	(0.06)	5
板目面 Tangential section	0.10	(0.03)	9	0.21	10	0.11	(0.04)	10	0.23	10	n.s.	0.77	(0.17)	5

n.s.: 95%水準で有意差がない Not significant difference at 95% level

N: 測定個数 The number of measurement



たが、この実験の範囲ではその存在は否定できない。そこで、コルクの場合にも他の生物体と同様にミクロフィブリルが図中の矢印のように配向して存在すると仮定すれば繊維方向と接線方向の圧縮ヤング率が放射方向より大きいという実験結果を説明できる。さらに、放射方向の膨潤、収縮率が繊維方向、接線方向の膨潤、収縮率より大きな値を示すことも説明できる。

晩コルク幅は年輪幅に関係なく一定であるので、初皮と再皮を比較した場合年輪幅の狭い初皮のヤング率が再皮より大きかった。即ち、初皮の平均年輪幅は 0.59 mm、再皮の平均年輪幅は 0.82 mm で初皮の平均年輪幅が小さいのでヤング率は初皮の方が大きかった。

半径方向では表に見られるように再皮のヤング率が初皮より高く現われた。これは堅い皮目が再皮に若干多く含まれているためであると考えられる。

(7) 圧縮変形の回復率：図-12 に圧縮率と変形の回復率との関係を示した。回復率は 0, 1, 24 時間後いずれの場合においても方向別、初皮と再皮の間に差異はなかった。10%圧縮した場合はいずれの方向の場合も除荷直後にほとんど元の寸法まで回復した。50%圧縮した場合には除荷直後には約 80%回復した。しかし、24 時間後では約 90%の回復率で 10%の残留ひずみが残った。

(8) 引張り強さ：表-11 に繊維方向と接線方向の引張り強さの結果を示した。半径方向については引張試験を行なうのに必要な寸法の試験片が採取できなかった。

繊維方向の引張試験は図-1 に示したように A, B 2 つのタイプについて行なった。JIS 規格では A タイプの試験片を規定しているが、接線方向の引張試験では A タイプの試験片が採取できないために接線方向の引張試験結果との比較のために B タイプの試験も行なった。繊維方向と接線方向の引張強さに差異はほとんどなかった。これは圧縮ヤング率の項でも述べたようにコルクの場合は細胞の形状と配列から方向による異方性が少ないためであると思われる。

初皮と再皮を比較した場合、接線方向の引張り強さに差異はなかった。繊維方向の場合、A タイプの試験片では再皮の引張強さは初皮の引張強さより小さかったが、B タイプの試験片では両者に差異はなかった。A タイプの試験片で、再皮の引張強さが初皮のそれより小さかったのは皮目が関係しているように思われる。各試験片の破断面を観察すると A タイプの再皮の試験片に 20~40%の皮目が含まれていたが、初皮の試験片には皮目はほとんど見られなかった。また、B タイプの試験では試験片の断面積が小さいためか初皮、再皮ともに破断面に皮目はほとんど見られなかった。

(9) ブリネル硬さ：コルクのブリネル硬さを表-12 に示した。初皮、再皮とも方向による差異は木材ほど大きくはなかった。しかし、圧縮ヤング率の場合と同じように木口面とまさ目面のブリネル硬さは板目面のブリネル硬さより大きかった。これは圧縮ヤング率のところで述べた理由で説明できる。

コルクの各面ごとの硬さの比はコルクの板目面を 1 として板目面：まさ目面：木口面 = 1 : 1.8 : 1.7 であった。スプルスでは 7.7 : 6.7 : 33.9 であった。

## 要 旨

韓国産アベマキ (*Quercus variabilis* Blume) の組織構造と物理的、機械的性質を初皮と再皮 (2 番皮) について調べた。得られた結果は次の通りである。

1) 組織構造：肉眼で見た場合、初皮は厚さが不均一で、V 字形の溝が多数存在した。再皮の厚さはほぼ等しく、表面は平滑であった。コルク組織はコルク細胞、皮目、スクレレイド、暗褐

色部分より成っている。皮目は再皮に、スクレレイドは初皮に若干多く存在した。平均年輪幅は再皮が、晩コルク率は初皮が大きかった。コルク細胞は接線断面が六角形を示す六角柱であった。六角形の一边の寸法は初皮と再皮で差異はないが、細胞の長さは早コルクが晩コルクの約4倍、壁厚は晩コルクが早コルクの約2倍であった。細胞の長さ方向にはしわがあり、それは1細胞に2~3個の場合、全くない場合および多数ある場合が観察された。コルク細胞壁中のセルコースは非晶状態で存在していると推測された。

2) 物理的性質: 全乾、気乾比重は再皮より初皮が多少大きかった。コルクの吸水量は吸水面による差異は少なかった。木材の吸水量に比べると非常に少なく、例えば、木口面では木材の約1/50であった。コルクの吸水量には皮目の含有量が影響するものと考えられ、皮目を多く含む再皮の吸水量が初皮より大きかった。コルクの平衡含水率は木材のそれより数%低かった。コルクの収縮率、膨潤率は放射方向が繊維方向と接線方向より若干大きかった。初皮と再皮の間には差異は見られなかった。コルクの放射方向の熱伝導率も初皮と再皮で差異は認められなかった。

3) 機械的性質: 圧縮の場合、いずれの方向においても最大値は認められなかった。圧縮ヤング率は繊維方向と接線方向はほとんど同じ値を示したが、半径方向は2方向より低い値を示した。初皮と再皮では繊維方向と接線方向の場合、年輪幅が広い再皮が低い値を示したが、半径方向では硬い皮目が若干多く含まれている再皮の方が高い値を示した。引っ張り強さも繊維方向と接線方向の間には差異はほとんど見られなかった。ブリネル硬さも圧縮ヤング率の場合と同じように木口面とまさ目面が板目面より大きかった。また、初皮と再皮の間に差異は見られなかった。回復率は10%圧縮した場合は、いずれの方向においても除荷直後はほとんど元の寸法まで回復した。50%圧縮した場合も除荷直後には80%まで回復するが、24時間後では約10%の残留ひずみが残った。

**キーワード:** アベマキ, 初皮, 再皮, 組織構造, 物理的性質

## 引用文献

- 1) NATIVIDADE, J. V.: O que e a cortica. Bol. Junta Nac. da Cortica (Lisboa), **1**: 13-21 (1938)[PEREIRA, H., ROSA, M. E. and FORTES, M. A.: IAWA Bulletin, **8**(3): 213-218 (1987)].
- 2) GIBSON, L. J., EASTERLING, K. E. and ASHBY, M. F.: Proc. R. Soc. Lond., **A377**: 99-117 (1981).
- 3) PERIRA, H., ROSA, M. E. and FORTES, M. A.: IAWA Bulletin, **8**(3): 213-218 (1987).
- 4) ROSA, M. E. and FORTES, M. A.: Material Science and Engineering, **100**: 69-78 (1988).
- 5) NISHIMURA, H., OKANO, T. and ASANO, I.: Mokuzai Gakkaishi, **27**(8): 611-617 (1981).
- 6) ESAU, K.: "Plant Anatomy", Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 1965, p. 340.
- 7) CHEONG, T. C., MIN, D. S. and KIM, B. R.: Mogjae Gonghak, **16**(2): 90-97 (1988).
- 8) 八坂雅二: 木材工業, **5**(8): 493-496 (1950).

(1989年6月30日受理)

## Summary

In order to qualify the difference between virgin and reproduction cork from *Quercus variabilis* Blume grown in Korea, we have investigated their structures, physical and mechanical properties. The results obtained are as follows:

1) Cork structure: The visible (macroscopic) features of the virgin cork were represented by its uneven surface and a lot of V-shaped surface grooves in the longitudinal

direction, while those of the reproduction cork were represented by its uniform thickness and smooth surface. In addition, the average ring width of reproduction cork was wider than that of virgin cork, and the percentage of late cork was higher in virgin cork.

The cork tissue consists of cork cells, lenticels, sclereids and a dark-brown zone. From the microscopic observations, lenticels were found to be slightly more numerous in reproduction cork; virgin cork was richer in schereids.

Apart from differences between virgin and reproduction cork mentioned above, we have also observed general details of the cork cells. The cork cells were longer in the radial direction, and their tangential faces were hexagonally-shaped. The dimensions of the hexagon did not alter through early cork to late cork. The length (length in R direction) of late cork cells, however, was one fourth shorter than that of early cork cells and cell wall was twice as thick. Furthermore, it was observed that the six lateral walls of hexagonal prism corrugated in the radial direction, the number of which per wall varied considerably (av. 2-3).

As for the fine structure of cork tissues, X-ray diffraction analysis indicated that the crystallinity of cellulose in both virgin and reproduction corks was extremely low in comparison with a normal wood.

2) Physical properties: Virgin cork had slightly higher specific gravity than reproduction cork. Three different sections of cork absorbed almost the same amount of water, each section showing a much lower absorption than the corresponding section in spruce. In case of water absorption from the cross section, cork was approximately one fiftieth of spruce. It is expected that lenticel contents have an effect on water absorption in cork, and water absorption was greater in reproduction cork with a high lenticel content than in virgin cork.

The equilibrium moisture content was some percent less in cork than in wood. Total shrinkage and swelling were greater in the radial direction than in tangential and longitudinal directions, and there was no difference between virgin and reproduction cork.

Also no difference was found in the thermal conductivity between virgin and reproduction cork.

3) Mechanical properties: In compression tests, the maximum strength in three directions was not determined. The modulus of elasticity in compression was almost the same in longitudinal and tangential directions and it was higher than that in radial.

The modulus of elasticity in virgin cork was higher than in reproduction cork in longitudinal and tangential directions, and in radial, reproduction cork was higher than virgin cork.

Tension strength also was almost the same in longitudinal and tangential directions. Brinell's hardness for cross and radial sections was larger than for the tangential section, and there was no difference between virgin and reproduction cork.

When compressed 10%, both virgin and reproduction corks recovered almost to their original dimensions three directions immediately after being unloaded, but when 50% compressed, both corks recovered by about 80% immediately after being unloaded and after 24 hours had recovered by approximately another 10%.

**Key words:** *Quercus variabilis*, virgin cork, reproduction cork, anatomical structure, physical properties