

パーティクルボードの吸脱湿による面方向膨張収縮 の発現機構：とくに、ボード構成層間に発生する相 互拘束作用について

藤元, 嘉安
九州大学農学部林産学科

森園, 眞子
九州大学農学部林産学科

稲益, 正
段谷産業株式会社

又木, 義博
九州大学農学部林産学科

<https://doi.org/10.15017/10917>

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 73, pp.43-60, 1995-12-28. 九州大学農学部附属演習林
バージョン：
権利関係：

パーティクルボードの吸脱湿による面方向膨張収縮の発現機構*

とくに、ボード構成層間に発生する相互拘束作用について

藤 元 嘉 安**・森 園 眞 子**

稲 益 正***・又 木 義 博**

抄 録

市販の微小片表層の三層構造パーティクルボードを対象に、吸脱湿に伴う面方向膨張収縮に対する構成層間の相互拘束作用、およびボード端部固定状態での面方向に作用する膨張応力の発現挙動について実験を行った結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 三層構造パーティクルボードの吸脱湿に伴う面方向寸法変化は、表層と心層では大きな差があるため、各層間に膨張収縮に対する相互拘束作用が鋭敏に発現し、その拘束の程度は各層間の含水率の差に大きく左右される。

(2) 吸湿に伴いボードの面方向に作用する膨張応力は、初期に急増し、含水率 12~14% で最大値に達した後、徐々に緩和する挙動を示し、この応力発生には表層が強く関与している。

(3) ボード構成各層間の相互拘束作用が大きくなるように設計することにより、含水率変化に伴うボード全体としての寸法変化、および両端固定状態における吸湿によるボードの膨張応力を抑制できる。

(4) ボードの層構造設計においては、相互拘束係数とボード全体の曲げ弾性係数との兼ね合いにより、表・心各層での弾性係数比、および層構成比に適性値が存在する。

キーワード：パーティクルボード、面方向膨張収縮、拘束係数、膨張応力

1. はじめに

一般的に汎用されている平板法で製造されたパーティクルボードは、吸脱湿に伴う面方向の膨張収縮率が、厚さ方向のそれに比べてかなり小さい。しかし、パーティクルボードは、通常、面材として面方向の寸法をかなり大きくとって使用されるため、膨張収縮の絶対量は大きなものとなる。ところで、近年、パーティクルボードの用途が拡大し、温湿度条件の変動が大きい苛酷な環境下で使われることが多くなり、面方向の膨張収縮に起因した障害が頻発するようになってきた。

* FUJIMOTO, Y., MORIZONO, S., INAMASU, T. and MATAKI, Y. : Mechanism of Generating Linear Expansion with Adsorption and Desorption for Particleboards : Behavior of Interactive Restraint between Layers.

** 九州大学農学部林産学科

Department of Forest Products, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812

*** 段谷産業株式会社

Dantani Corporation, Kitakyushu, Fukuoka 803

そこで、本研究では、広く普及している微小片表層の三層構造パーティクルボードについて、吸脱湿に伴う面方向膨張収縮に対する構成層間の相互拘束作用、およびボード端部固定状態での面方向に作用する膨張応力の発現挙動を明らかにし、パーティクルボードの含水率管理、施工や組立ての適正化およびボード製造における層構造設計などに関する基礎資料を得ることを目的として、(1)ボードおよびその構成各層の含水率変化に伴う寸法変化率および曲げ弾性係数の変化、(2)含水率変化に伴うボード構成各層間の相互拘束作用、および(3)ボードの吸湿過程における膨張応力の発現挙動の3項目について実験を行い、検討した。

2. 実験方法

2.1. ボード構成各層の各含水率状態における寸法変化量および曲げ弾性係数の測定

供試材として、市販のUMFタイプ、厚さ20mmの微小片表層の三層構造パーティクルボードを用い、幅50mm、長さ600mmの試験体を、吸湿および脱湿の各温湿度条件下で調湿し、ボード全体および構成各層の含水率レベルを変え、面および厚さ方向の寸法変化率、および曲げ弾性係数の推移を測定した。表層および心層のみの試験体については、供試ボードを帯鋸盤により表心各層に分離した後、自動一面鉋盤により厚さを表層では約2.5mm、心層では約10mmと一様にして供試した。

調湿処理は、吸湿過程では水温40°Cに保持した水槽を入れた密閉容器(温度32°C、関係湿度90%)内に放置し、脱湿過程では温度60°Cの熱風乾燥器内に放置することにより行った。

調湿過程において、一定時間毎に試験体の厚さおよび面方向の寸法変化量をそれぞれマイクロメータおよびダイヤルゲージ(ともに精度1/100mm)を用いて測定し、厚さ方向および面方向ともに、調湿前の寸法を基準として調湿前の寸法に対する調湿により変化した寸法の百分率を寸法変化率として求めた。

曲げ弾性係数は、3点支持中央集中荷重方式の曲げ試験により求めたが、ボード全体、心層のみ、および表層のみの試験体はそれぞれ厚さが異なるため、スパンをそれぞれ40、20、および10cmとした。負荷速度はすべて2.5mm/minとした。

含水率は一定期間毎に試験体重量を測定し、試験終了後にそれぞれの試験体の全乾重量を求め、これをもとに各時点における含水率を求めた。ここでいう含水率は、試験体がある温湿度環境下におかれ吸湿あるいは脱湿過程における試験体の平均の含水率である。

2.2. ボード構成各層間の相互拘束作用の解析と測定

まず、吸脱湿に伴い表層と心層間に生じる面方向膨張収縮に対する相互の拘束力の釣合条件から、相互拘束作用の程度を示す指標としての拘束係数 K の理論計算式(後述)を求めた。

次に、UMFタイプ、厚さ20mmのボードを用い、ボードを一定期間調湿し、ボード全体の寸法変化量、含水率および曲げ弾性係数を測定するとともに、帯鋸盤により表・心各層に分離した後、各層の寸法変化量、含水率および曲げ弾性係数を測定し、これらの測定結果をもとに拘束係数を求めた。

なお、試験体寸法、調湿方法および曲げ試験方法は前項の実験の場合と同様である。

2.3. ボードの膨脹応力測定

本実験では、図1に示すように、円環ロードセル（4 gage 法ストレインゲージひずみ検出）付きの枠固定型応力測定器に、試験体（幅50mm、長さ380mm）を所定の固定力で装着し、吸湿過程におけるボードの面方向膨脹応力の経時変化を測定した。

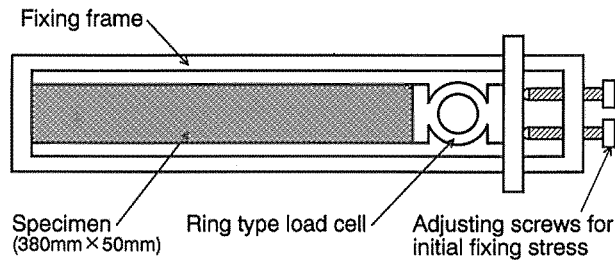


Fig. 1 Instrument for measuring the swelling stress.
Note : Load cell is four strain-gages type.

図1 膨脹応力測定器

ボード初期含水率、初期固定応力および表層厚さが応力発現におよぼす影響については、UMFタイプ、厚さ20mmのボードを用いて検討した。ボードの初期含水率の影響については、気乾状態（含水率約9%）のもの、および温度90°Cの熱風乾燥機で一定期間乾燥し、含水率約5%および全乾（約0%）に調湿した試験体を用いて実験を行った。初期固定応力の影響については、固定応力調節ネジによる締付けの程度により、1.0、2.5、および5.0kgf/cm²の3段階に設定し、実験を行った。表層厚さの影響については、試験体の両表層を自動一面鉋盤により表層厚さの1/3、2/3、および3/3（表層すべて）の3段階に削除した試験体（初期含水率約9%）を用い、初期固定応力を1.0kgf/cm²と一定にして実験を行った。

また、ボード厚さの影響については、UMFタイプおよびUFタイプのボードについて、厚さ15、20、および30mmの試験体を用いて実験を行った。このとき、試験体の初期含水率は約9%とし、初期固定応力は1.0kgf/cm²と一定にした。

なお、試験体の含水率の経時変化は、試験体が固定枠に保持されており重量測定が困難であることから、供試試験体に隣接する部位からとったダミー試験体を用いて測定した。

2.4. ボード構成各層間の相互拘束作用

拘束係数に関しては、又木ら（又木ら、1978）がパーティクルボードの内部応力分布に関する研究において、表・心各層間の相対的な膨脹収縮量をもとに解析しているが、本研究では、各層の吸脱湿に伴う面方向の膨脹収縮率を考慮し解析を行った。

3層構造のパーティクルボードについて、表・心各層に分離した場合の含水率による寸法変化を考えると、層間には相互拘束はないので、表・心各層の自由膨脹（収縮）量は、

含水率変化前の長さを L 、表・心各層の調湿処理前・後の含水率および各層の膨張収縮率をそれぞれ $u_{t0} \cdot u_{t1}$ 、 $u_{c0} \cdot u_{c1}$ および α_t 、 α_c とすると、

$$\text{表層の自由膨張 (収縮) は } \Delta L_t = \alpha_t L (u_{t1} - u_{t0}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{心層の自由膨張 (収縮) は } \Delta L_c = \alpha_c L (u_{c1} - u_{c0}) \quad \dots\dots\dots(2)$$

となる。

次に、各層が結合して一体となった3層ボードの場合、各層間に膨張(収縮)の拘束が働くので表層は心層から膨張(収縮)を拘束される。すなわち、圧縮(引張)応力 σ_t を受ける。

したがって、この σ_t のために生じる圧縮(引張)ひずみを ε_t とし、表層の弾性係数を E_t とすると、表層の膨張(収縮)量は $\varepsilon_t L = \frac{\sigma_t}{E_t} L$ だけ自由膨張(収縮)の場合より少なく膨張(収縮)することになり、

$$\begin{aligned} \text{表層の膨張 (収縮) 量 } S_t &= \alpha_t L (u_{t1} - u_{t0}) + \varepsilon_t L \\ &= \alpha_t L (u_{t1} - u_{t0}) + \frac{\sigma_t}{E_t} L \quad \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

となる。

一方、心層は自由膨張(収縮) $\alpha_c L (u_{c1} - u_{c0})$ のほかに、表層から受ける引張(圧縮)応力 σ_c のため、引張(圧縮)ひずみ ε_c を生じ、心層の弾性係数を E_c とすると、 $\varepsilon_c L$ すなわち $\frac{\sigma_c}{E_c} L$ だけ自由膨張(収縮)の場合より膨張(収縮)が増加する。したがって、

$$\begin{aligned} \text{心層の膨張 (収縮) 量 } S_c &= \alpha_c L (u_{c1} - u_{c0}) + \varepsilon_c L \\ &= \alpha_c L (u_{c1} - u_{c0}) + \frac{\sigma_c}{E_c} L \quad \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

となる。

そして、 S_t と S_c は等しいので、式(3)、(4)から

$$\alpha_t L (u_{t1} - u_{t0}) + \frac{\sigma_t}{E_t} L = \alpha_c L (u_{c1} - u_{c0}) + \frac{\sigma_c}{E_c} L \quad \dots\dots\dots(5)$$

となる。

ここで、表層厚さを H_t 、心層厚さを H_c とすれば、表層は表裏2つあり、等しいものとみなせば、2つの表層が受ける圧縮(引張)力の大きさは $2 \sigma_t H_t \times \text{幅}$ 、心層が受ける引張(圧縮)力の大きさは $\sigma_c H_c \times \text{幅}$ となり、これらがつり合っていることから、両層で幅が等しいとすると、

$$-2 \sigma_t H_t = \sigma_c H_c \quad \dots\dots\dots(6)$$

となる。

ここで、式(5)および(6)から

$$\begin{aligned} \sigma_t &= - \frac{\alpha_t E_t [(u_{t1} - u_{t0}) - \frac{\alpha_c}{\alpha_t} (u_{c1} - u_{c0})]}{1 + \frac{2 H_t E_t}{H_c E_c}} \\ &= -K \alpha_t E_t (u_{t1} - u_{t0}) \quad \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

したがって、拘束の程度を示す指標(拘束係数) K は

$$K = \frac{1 - \frac{\alpha_c (u_{c1} - u_{c0})}{\alpha_f (u_{f1} - u_{f0})}}{1 + \frac{2H_f E_f}{H_c E_c}} \dots\dots\dots (8)$$

となる。ここで、 $K = \pm 1$ の場合 $\sigma_f = -\alpha_f E_f (u_{f1} - u_{f0})$ となり完全拘束状態となり、 $K > 0$ の場合、 σ_f は圧縮応力、 σ_c は引張応力となり、 $K < 0$ の場合はその逆となる。

3. 結果と考察

3.1. ボード構成各層の含水率変化に伴う寸法変化

パーティクルボードの含水率変化に伴う面方向の寸法変化の様子を図2に示す。含水率

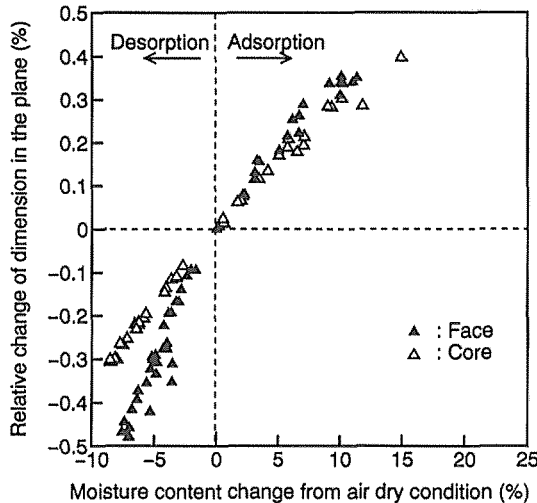


Fig. 2 Relative change of dimension in the plane separately at face and core layer for particleboard (UMF type, 20mm thick).

Note : Moisture content change of 0% means air dry condition (about 9% in average) of samples.

図2 パーティクルボード (UMFタイプ, 厚さ20mm) を構成する表層と心層の個々の面方向膨脹収縮

変化量は、気乾含水率(約9%)を基準として、調湿による含水率の変化量を吸湿方向を正にとって表している。寸法変化率は、吸湿による伸長方向を正にとっている。また、表1に調湿処理により変化した試験体の含水率1%当りの面方向および厚さ方向の寸法変化率を示す。これらの値は、含水率変化±10%の範囲のデータを回帰分析し、その傾きにより求めた。

厚さ方向寸法変化率は、一般的に知られているとおり、面方向のそれに比べ非常に大きなものであった。また、各層による寸法変化率の差異については、面方向および厚さ方向

表1 パーティクルボード (UMFタイプ, 厚さ 20mm) における含水率
変化 1%当りの寸法変化率および曲げ弾性係数の変化量
Table 1 Relative changes of dimension and MOE to swelling per unit
moisture content for particleboard (UMF type, 20mm thick).

	Face		Core		Whole	
	Adsorption	Desorption	Adsorption	Desorption	Adsorption	Desorption
Dimension in the plane (%)	0.036	0.071	0.027	0.038	0.033	0.053
Thickness (%)	1.070	0.354	0.648	0.265	0.620	0.439
Modulus of elasticity (kgf/cm ²)	-1.322		-0.332		-0.942	

Note : Minus sign means the decrease of MOE with the increase of moisture content of particleboard.

ともに、表層が心層より平均して 1.5 倍程度大きかった。一般的に、木材の含水率変化による寸法変化は、比重に左右されることから、比重の高い表層の方が大きな寸法変化を示したものと考えられる。

面方向の寸法変化では、脱湿過程における方が吸湿過程に比べ、含水率変化 1%当りの寸法変化率が大きくなっているが、Kollmann ら (Kollmann *et al.*, 1975) の行った数段階の温湿度条件下で定常状態に達したときのパーティクルボードの面方向寸法変化の測定結果では、ボードの含水率変化に伴い寸法変化率は対数的に増加し、気乾状態 (含水率約 10%) を境に変化の割合が異なり、低含水率域に比べ、高含水率域では変化率が小さくなっており、本実験結果は、これと同様の結果であった。

厚さ方向の含水率 1%当りの寸法変化率は、面方向の場合とは逆に、脱湿過程に比べて吸湿過程において大きな値となったが、これも、Kollmann ら (Kollmann *et al.*, 1975) の行った前述と同様の厚さ方向寸法変化の測定結果、すなわち、ボードの含水率変化に伴う厚さ方向の寸法変化は気乾状態 (含水率約 10%) を境に変化の割合が異なり、低含水率域に比べ、高含水率域では変化率が大きくなるという結果と相応する結果であった。

なお、ボード全体の吸脱湿過程における面および厚さ方向の含水率 1%当りの寸法変化率は、4 メーカーのパーティクルボードに関する同様の実験報告 (藤田ら, 1970) とほぼ同様の結果であった。

3.2. ボード構成各層の含水率変化に伴う曲げ弾性係数の変化

ボードの含水率変化に伴う曲げ弾性係数の変化を図 3 に示す。本実験における含水率範囲内では、ボードの含水率が高くなるにつれて、曲げ弾性係数は直線的に低下する傾向を示し、その変化は、寸法変化率の場合と同様に、表層において大きく、含水率 1%当りの変化量は、表層が心層の 4 倍程度と非常に大きなものであった。

なお、試験した含水率範囲内において、表層の曲げ弾性係数は心層のそののほぼ 2 倍程度であった。

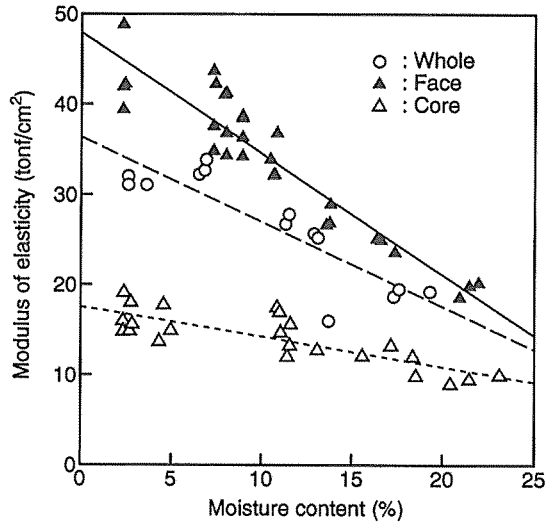


Fig. 3 Changes of modulus of elasticity with change of moisture content for particleboard (UMF type, 20mm thick), its face and core separately.

図3 含水率変化に伴うパーティクルボード (UMFタイプ, 厚さ 20mm) およびその表層と心層の個々の曲げ弾性係数の変化

3.3. ボードの含水率変化に伴う拘束係数の変化

パーティクルボードの含水率変化に伴う拘束係数の変化を図4に示す。本来、比重の大きな表層の方が膨脹収縮が大きく、表層の寸法変化が心層により拘束されるため、拘束係数は正の値をとるものと考えられるが、本実験では、脱湿過程では正の値となるものの、吸湿過程において負の値となった。つまり、吸湿過程においては、心層の寸法変化が表層に比べ大きく、心層の寸法変化がより拘束されているという結果となった。

吸湿による心層の寸法変化が表層に比べ大きかったことから、表層と心層とで含水率の変化に差異があったものと考えられるので、ボード全体の含水率変化に伴う各層それぞれの含水率の推移を調べると、図5に示すように、とくに吸湿過程においては、心層の含水率の方が表層に比べて高くなっていることが認められた。このことについては、現在のところ明確ではないが、本実験に供試した試験体が比較的幅の狭い、細長い形状であり、また、ボード端面に防湿処理を施していなかったため、心層における端面からの吸湿の影響が原因の1つと思われる。

そこで、前述の拘束係数を求める式に、前述の実験結果(表1)を代入し、表・心各層間で含水率に差が無い場合と、差がある場合について、試算した結果、図4に示すようになった。計算において、表層および心層の調湿前の含水率はともに9%とし、調湿後の含水率は、多少強引ではあるが、図5のように各々のプロットをフリーハンドで実線で示すように補間し、その曲線上でボード全体の含水率変化0.5%毎に読み取った値を用いた。面方向の寸法変化率は表1に示す値を用い、厚さおよび曲げ弾性係数は、基準となる含水率(9%)における値を、厚さについては表層および心層において、それぞれ3および

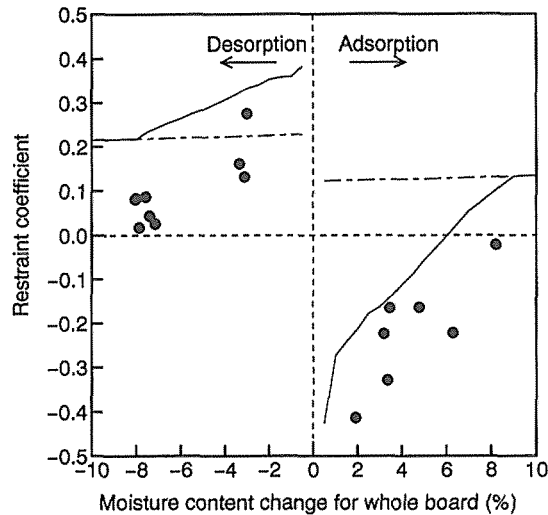


Fig. 4 Measured and calculated restraint coefficient of particleboard at both stages of desorption and adsorption.

● : Measured value.

--- : Calculated value (assumed moisture content of face layer is equal to core layer).

— : Calculated value (assumed moisture content of face layer is not equal to core layer).

Note : Moisture content change of 0% means air dry condition (about 9% in average) of samples.

図4 パーティクルボードの吸脱湿過程における拘束係数の実測値および計算値

14mmとし、弾性係数については、それぞれ 34.568 および 14.169tonf/cm²として、表1に示す含水率1%当りの変化率により各含水率変化における値を計算して用いた。

表層と心層との含水率が等しいとした場合（図4中、一点鎖線）は、含水率変化による拘束係数の変動は小さく、この変動もほとんどが弾性係数の変動によるもので、厚さの変動による差はほとんど見られなかった。ところが、表・心各層間で含水率に差があるとした場合（図4中、実線）は、とくに含水率変化が少ない領域において、含水率が等しいとした場合に比べかなりの差が生じた、すなわち、拘束係数は各層間での含水率分布に大きく影響を受けており、実験結果はこれに相応する傾向を示し、層間の拘束作用の発現が明らかに認められた。

また、実測値と計算値にかなりの差が認められるが、これは、測定中に湿潤状態や乾燥状態から平常環境へ移行しており、この期間においても、ボード内の表・心各層間の膨張収縮に関する拘束作用が発現しているためではないかと思われる。

なお、拘束係数の試算において、含水率の変化による表・心各層の厚さおよび弾性係数の変化は拘束係数にほとんど影響を与えず、拘束係数の変化には、含水率変化による面方向寸法変化の差が支配的であることが認められた。

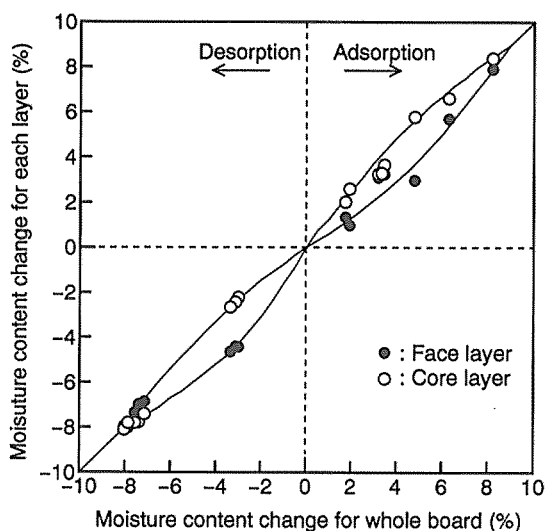


Fig. 5 Difference of change in moisture content between face and core layer of particleboard.

Notes : Moisture content change of 0% means air dry condition (about 9% in average) of samples.

Solid lines indicate the interpolation of moisture content change for each layer by free-hand method.

図5 パーティクルボードの表層と心層での含水率変化の差異

3.4. 吸湿による膨脹応力の発現

この実験では、パーティクルボードの実用場面での施工における釘やボルトでの固定状態のシミュレーションとして、ボード面方向の両端を固定した状態において、吸湿に伴う膨脹応力の発現とその推移を検討した。

3.4.1. 初期含水率および初期固定応力のおよぼす影響

初期固定応力を 1.0kgf/cm^2 とし、ボードの初期含水率を 0, 5, および 9% の 3 段階に設定した場合の、吸湿に伴う膨脹応力の推移について、その実験結果を図 6 に示す。また、初期固定応力を 2.5 および 5.0kgf/cm^2 とした場合の結果を図 7 および図 8 に示す。いずれの場合においても、まず初期に急増し、そして漸増期間を経て、ボード含水率 12~14% で最大応力に達し、その後は弾性係数の低下が支配的となって徐々に低減する傾向を示した。

それぞれの条件における膨脹応力の最大値についてみると、図 9 に示すように、ボードの初期含水率が低いほど応力発現が著しく、その最大値も高レベルに達した。さらに、固定応力が大きくなるほど、発生応力は低レベルになることが認められた。

3.4.2. 表層厚さのおよぼす影響

全層、表層を $1/3$, $2/3$ 削除、および全てを削除して心層のみにした場合の、膨脹応力発生の様子を図 10 に示す。初期固定応力は 1.0kgf/cm^2 で、ボードの初期含水率は気乾状

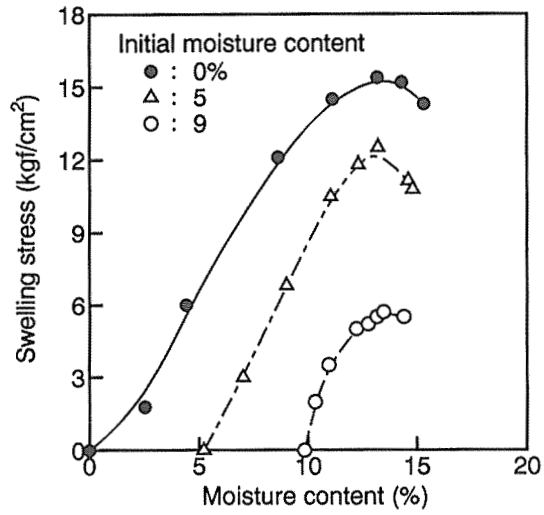


Fig. 6 Developments of swelling stress with increasing moisture content for particleboards fixed with initial fixing stress of 1.0kgf/cm^2 , having initial moisture contents of 3 levels.

図6 膨脹応力発生経過曲線 (固定応力 1.0kgf/cm^2)

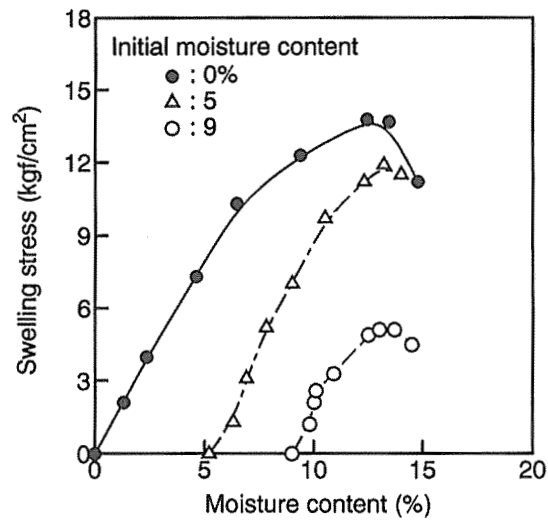


Fig. 7 Developments of swelling stress with increasing moisture content for particleboards fixed with initial fixing stress of 2.5kgf/cm^2 , having initial moisture contents of 3 levels.

図7 膨脹応力発生経過曲線 (固定応力 2.5kgf/cm^2)

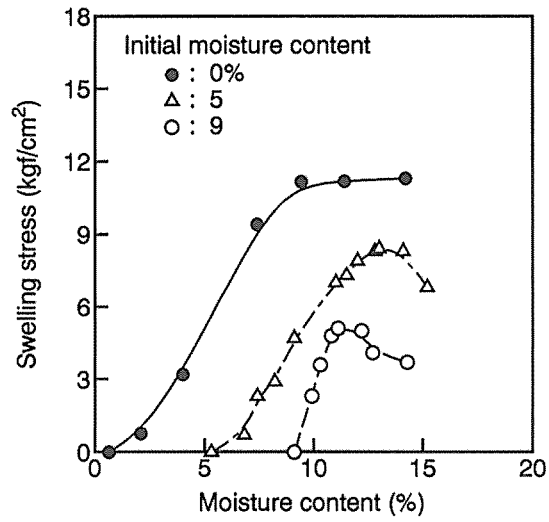


Fig. 8 Developments of swelling stress with increasing moisture content for particleboards fixed with initial fixing stress of 5.0kgf/cm², having initial moisture contents of 3 levels.

図8 膨脹応力発生経過曲線 (固定応力 5.0kgf/cm²)

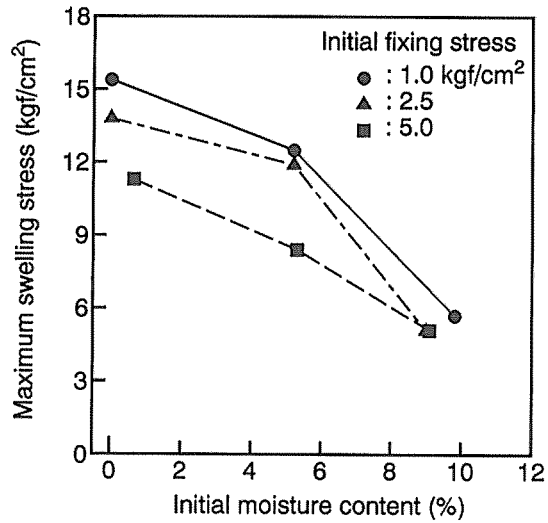


Fig. 9 Effects of initial moisture content and initial fixing stress on the maximum swelling stress.

図9 最大膨脹応力におよぼす初期含水率および初期固定応力の影響

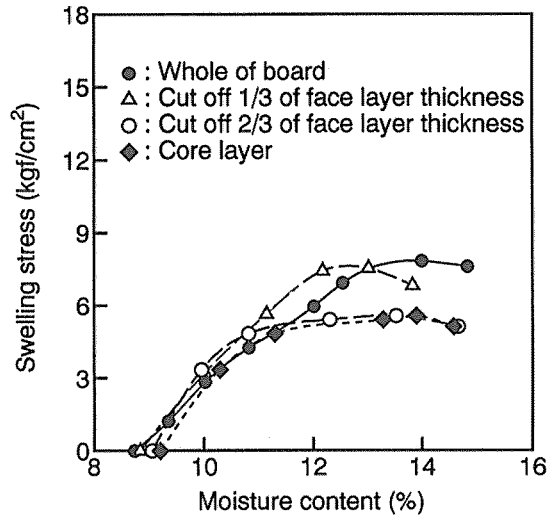


Fig. 10 Effect of face layer on the generation of swelling stress.

Note : Fixed at initial stress 1.0kgf/cm².

図10 膨張応力発生におよぼす表層の影響 (固定応力 1 kgf/cm²)

態 (約 9%) である。気乾状態から含水率変化 2% 程度までは、いずれの場合もほぼ同様に膨張応力が発生するが、それ以上の含水率変化では、表層の割合が小さなものは、応力の増加が緩やかとなった。ピークにおける応力は、表層を削除しない場合から、表層全てを削除し心層のみとする場合にかけて、それぞれ、8.8, 8.5, 6.6 および 6.6kgf/cm² と表層の割合が減少するにつれて減少した。表層は心層に比べ含水率変化による面方向寸法変化が大きく、また、弾性係数も大きいことから、ボードを構成する表層の割合がボードの膨張応力発生に大きく左右していることが認められた。

3.4.3. ボード厚さのおよぼす影響

膨張応力発生におよぼすボード厚さの影響について、UMF および UF タイプの結果を図 11 に示す。初期固定応力は 1.0kgf/cm² とし、ボードの初期含水率は気乾状態 (約 9%) である。UF タイプの厚さ 30mm の試験体を除いては、ボードが厚いものほど、ピークにおける応力が減少した。ボードが厚くなるにつれ、表層の層構成比が小さくなっていることから、前項での結果と同様に、ボードを構成する表層が、この膨張応力の大きさに密接に関与しているものと思われる。

なお、UF タイプは UMF タイプに比べ、低レベルの応力が発生する傾向が認められた。UF タイプは、一般的に、UMF タイプに比べ耐湿性に劣ると言われ、吸湿による弾性係数および比例限強度の低減が著しく、膨張応力の最大値が低レベルであったものと考えられる。

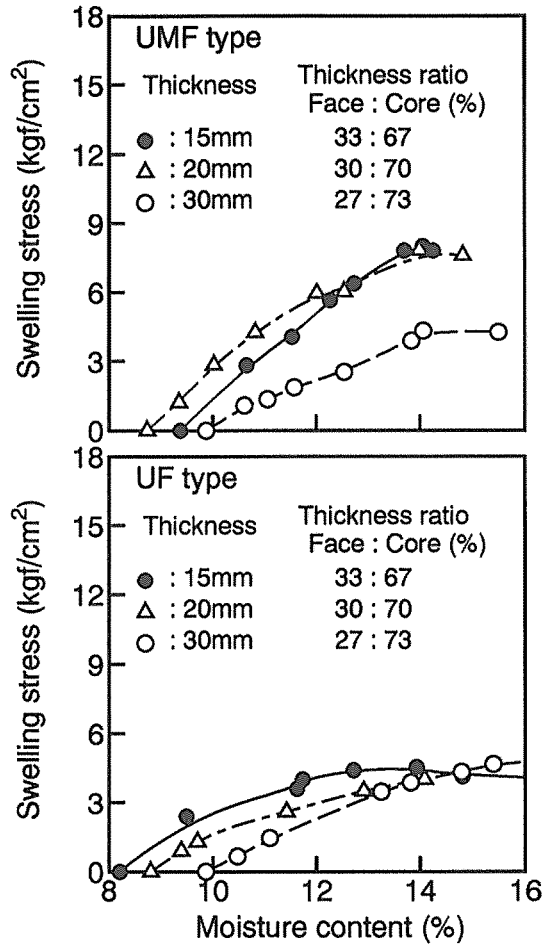


Fig. 11 Effect of board thickness on the generation of swelling stress for UMF and UF type particleboards.

図 11 ボード厚さが膨脹応力発生におよぼす影響

3.5. 拘束係数と実用上の問題点

3.5.1. 拘束係数と寸法変化および膨脹応力

含水率変化によるボード全体としての面方向寸法変化 (S_t あるいは S_c) は、式(3)および(7)より

$$S_t (= S_c) = \alpha_t L (u_{t1} - u_{t0}) (1 - K) \quad \dots\dots\dots(9)$$

で表される。拘束係数の値が大きいと、ボード全体としての寸法変化が抑制されることから、寸法安定性の点から言うと、拘束係数は大きい方が有効である。

また、ボード全体としての含水率変化による寸法変化が小さいということは、ボード両端固定状態において、吸湿による膨脹応力の発現が小さくなるものと考えられる。式(8)において、他の条件が一定であるとする、 $2H_f/H_c$ 、すなわち、表層の厚さ構成比が小

さいと拘束係数は大きくなることから、前述のボード両端固定状態における膨張応力測定において、表層の層構成比が小さなものほど膨張応力が小さくなっていることの一因として、拘束係数増大の膨張応力抑制への寄与が考えられる。

なお、拘束係数が大きいと、表層と心層の膨張収縮に伴う両層間の内部応力差が大きくなり、両層の界面に働くせん断力が大きくなると思われるが、合板などのように層間の界面が一平面上に連続して存在する場合は、このせん断力の影響は非常に重要となるものの、パーティクルボードでは層間の界面が不規則であるため、それほど重要な問題とはならないと考えられる。

3.5.2. 拘束係数とボード設計上の問題

ボードの面方向寸法安定性および両端固定状態における膨張応力抑制の観点からは、相互拘束係数が大きくなるようにボードの設計を行うことが有利であるが、拘束係数を大きくするには、式(8)より明らかなように、両層の吸脱湿に伴う寸法変化を小さくし、とくに、心層の含水率変化による寸法変化の表層のそれに対する比を小さくするか、あるいは、表層の心層に対する弾性係数比および厚さ構成比を小さくするようにすれば良い。

3.5.2.1. 吸脱湿に伴う寸法変化の低減

表層の寸法変化は、前項に述べたような事から、実用的には、できるだけ小さくするようにしなければならないので、表層に比べ、心層の寸法変化が極力小さくなるように設計する必要がある。含水率による寸法変化を押さえるには、各層の含水率1%当りの寸法変化率を小さくするか、あるいは、各層における含水率変化を少なくするようにすればよい。

含水率1%当りの寸法変化率は比重と高い相関があることから、寸法変化率を小さくするには比重を小さくするということが考えられるが、比重を小さくすると弾性係数も小さくなるので、とくに、表層においてはボードの強度性能上好ましくない。3層構造のパーティクルボードでは、表層の弾性係数を大きくし、その構成割合をある程度大きくすれば、心層の弾性係数はボード全体の曲げ弾性係数にそれほど影響しないので、内層の比重をある程度小さくすることは可能である。ボードの構造的には、とくに面方向のうち1方向について性能を伸ばすには、表層のパーティクルを長さ方向に配向させることにより、大きな弾性係数が得られ、かつ、面方向の寸法変化率を低減させることができるものと思われる。

各層、とくに心層における含水率変化を抑制するには、小片の吸湿性を低減させるために耐水剤としてパラフィン等を接着剤に添加するか、使用時に大きな湿度変化環境下に曝さないようにすればよい。また、パーティクルボードは端面からの吸脱湿が大きいので、使用環境に応じた適切な端面処理を施すことが重要である。

3.5.2.2. 各層における弾性係数比と厚さ構成比

拘束係数を大きくするには、ボード表層の弾性係数の心層のそれに対する比 E_t/E_c 、および、表層の厚さ方向の構成比 $2H_t/H_c$ を小さくすればよい。一方、ボード全体の曲げ弾性係数については、表層の弾性係数を心層に比べ大きくし、また、表層の厚さ構成比を大きくすることにより、曲げ弾性係数を大きく設計することができる。このように、 E_t/E_c 。

と $2H_f/H_c$ の設定により、拘束係数と弾性係数は相反する結果となり、両者間のバランスを考えボードの設計を行う必要がある。

そこで、3層構造パーティクルボードにおける層構造設計一例として、簡単な計算を試みた。表・心各層での含水率変化による面方向寸法変化の比 $\Delta L_c/\Delta L_f$ を 0.5 とし、 E_f/E_c および $2H_f/H_c$ を変化させた場合の、拘束係数およびボード全体の曲げ弾性係数についての計算例を図 12 および図 13 に示す。通常、 E_f は E_c より大きく、 $2H_f$ は H_c より小さくするので、 E_f/E_c は 1~10、 $2H_f/H_c$ は 0~1 の範囲で試算した。また、曲げ弾性係数については、心層の弾性係数を基準とし、表層の弾性係数および厚さ構成比を増加させた場合の弾性係数増加の割合 E_f/E_c で示し、次式を用いて試算した。

$$E_f/E_c = \frac{E_f}{E_c} \left\{ 1 - \left(\frac{1}{1 + \frac{2H_f}{H_c}} \right)^3 \right\} + \left(\frac{1}{1 + \frac{2H_f}{H_c}} \right)^3 \quad \dots\dots\dots(10)$$

さらに、拘束係数と曲げ弾性係数との相乗効果を検討するために、最も単純な場合を考え、両者の積を縦軸にとり図 14 に示す。この場合、 E_f/E_c をなるべく大きくとった方が効果的であり、また、 $2H_f/H_c$ は E_f/E_c の値に応じ、0.10~0.15 の間にとるのが最適であると思われる。ただし、ここでは、単純に両者の積をとっており、両者間での重みについては検討を行っていないので、拘束係数と曲げ弾性係数とでどちらを重要視するかによって適性値も異なるものと考えられる。また、ここでは、寸法変化の割合を 0.2 と一定として計算を行っているが、実際には、弾性係数が大きなものでは吸脱湿による寸法変化率

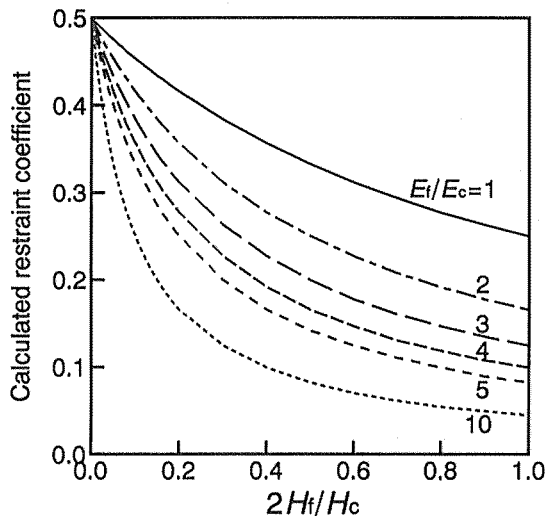


Fig. 12 Example of calculated restraint coefficient.
 Notes : The assumed ratio of relative change in length of face layer to core layer is 0.5.
 E_f/E_c is the MOE ratio of face layer to core layer.
 $2H_f/H_c$ is the ratio of thickness of face layer to core layer.

図 12 相互拘束係数の計算例

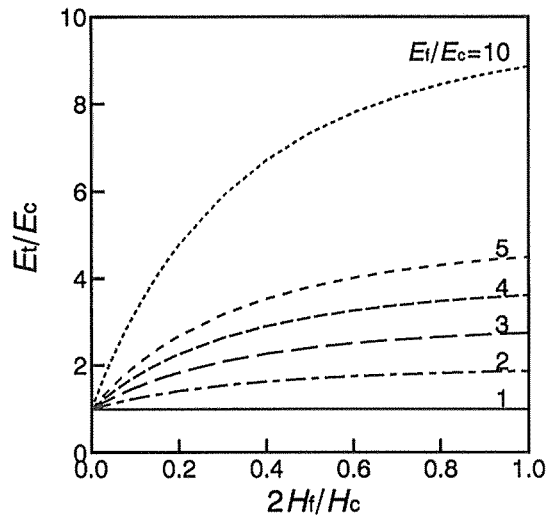


Fig. 13 Example of *MOE* calculation of whole board, based on various ratios of *MOE*s and thicknesses of face layer to core layer.

Notes : See Fig. 12.

E_t/E_c is the *MOE* ratio of whole board to core layer.

図13 ボード全体の曲げ弾性係数の計算例

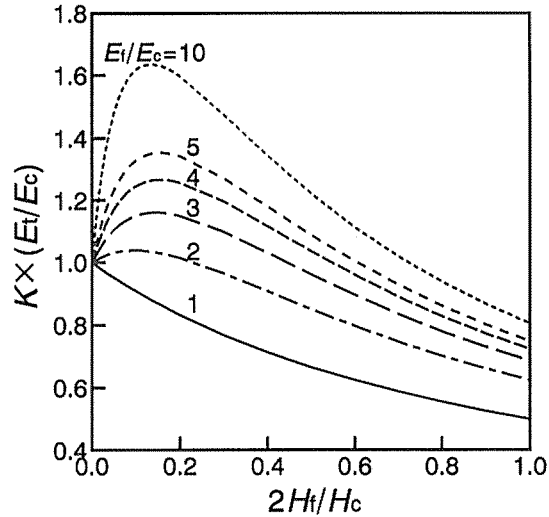


Fig. 14 Example of calculated multiplication effect of restraint coefficient by *MOE*.

Note : See Fig. 12. and 13.

図14 拘束係数と曲げ弾性係数との相乗効果の計算例

(α) もそれに応じて大きくなることも考えられるため、さらに、弾性係数と比重との関係、および寸法変化率と比重との関係について明かにし、検討を行う必要がある。

4. おわりに

汎用されている微小片表層の三層構造パーティクルボードについて、その適正利用および製造における層構造設計等に関する基礎資料を得ることを目的として、とくに、含水率変化に伴うボード構成各層間の相互拘束作用および吸湿によるボードの膨脹応力発現挙動について検討した結果、以下のような若干の知見を得た。

(1) 三層構造パーティクルボードの吸脱湿に伴う面方向寸法変化率および曲げ弾性係数の変動は、表層と心層では大きな差があり、環境の温湿度条件の変化によって、各層間に膨脹収縮に対する相互拘束作用が鋭敏に発現し、その拘束の程度は各層間の含水率の差に大きく左右される。

(2) 吸湿に伴いボードの面方向に作用する膨脹応力は、初期に急増し、含水率12~14%で最大値に達した後、徐々に緩和する挙動を示し、この応力発生には表層が強く関与している。また、ボードの初期含水率が低いほど膨脹応力は高レベルになる。

(3) ボード構成各層間の相互拘束作用が大きくなるように設計することにより、含水率変化に伴うボード全体としての寸法変化、および両端固定状態における吸湿によるボードの膨脹応力を抑制できる。

(4) ボードの層構造設計においては、相互拘束係数とボード全体の曲げ弾性係数との兼ね合いにより、表・心各層での弾性係数比、および層構成比に適性値が存在する。

引用文献

- 藤田彰介・佐野弥三郎・岩下 陸 (1970) : ファイバーボード・パーティクルボードの加工。森北出版、東京、p. 208
- KOLLMANN, F., KUENZI, E. W., STAMM, A. J. (1975) : Principles of Wood Science and Technology II Wood Based Materials. Springer-Verlag, Berlin, pp. 468-471
- 又木義博・村上英人・村瀬安英・河辺純一 (1978) : 微小表層小片パーティクルボードの内部応力。木材学会誌 24 : 190-195

(1995年5月31日受付；1995年9月6日受理)

Summary

The dimensional change in the plane of the flat-pressed particleboard is very small compared with that in the thickness. However, the boards are generally used as a large member in plane, so the amount of dimensional change in the plane occurs to a great extent. Recently, the particleboards have been widely used while exposed to the severe air condition, so the serious problems due to the dimensional change in the plane have often arisen.

This paper is concerned with the fundamental mechanism of the hygroscopic swelling and shrinkage in the plane of the flat-pressed three-layer particleboards. The results were summarized as follows ;

- 1) Both changes of dimension and *MOE* parallel to the plane of board increased more in the face than the core. Therefore, the interactive restraint between both faces and core in board generated sensitively with the change of humidity condition, and furthermore it depended remarkably on the difference of moisture content between face and core.
- 2) During exposure to humid air, the swelling stress parallel to the plane increased rapidly in the early stage, and after becoming the maximum, it decreased with the increase of moisture content of board in latter stage. Especially, this behavior of swelling stress generation was affected by the thickness ratio of face to core.
- 3) By designing the layer construction of board so as to increase the interactive restraint between both faces and core, the development of the dimensional change and swelling stress parallel to the plane of board can be effectively controlled.
- 4) In designing the layer construction of board, both the optimum ratios of *MOE* and thickness of face to core should be applicable not only to the increase of *MOE*, but to the dimensional stabilization of the whole board.

Key words : particleboard ; linear expansion ; restraint coefficient ; swelling stress.