各種配向性ファイバーボードをコアにした サンドイッチパネルの寸法安定性能の解析的研究[†]

大場 正一* 笹田 智貴**
村田 功二*** 川井 秀一****

Analytical Studies on Dimensional Stabilities of Sandwich Panels with Various Oriented Fiberboards as the Core

by

Seiichi OHBA*, Tomotaka SASADA**, Koji MURATA*** and Shuichi KAWAI****

The observed values of dimensional stabilities (thickness swelling (TS) or linear expansion (LE)) for sandwich panels with veneer or paper as the faces and various oriented fiberboards as the core were compared with the values calculated by the properties of veneer, paper or various oriented fiberboards. As a result, observed TS or LE values agreed basically well with calculated ones, however, it was important for calculated value of higher precision to consider the effect of adhesive properties between face and core. Dimensional stabilities of sandwich panel could be estimated by the properties of face and core materials of composites. If face material had high Young's modulus and great dimensional stabilities like the veneer in fiber direction with the poor dimensional stabilities of core material, sandwich panel would have great dimensional stabilities.

Key words: Sandwich panel, Dimensional stabilities, Thickness swelling, Linear expansion

1 緒 言

既報¹⁾において、著者らは単板および板紙をフェイスに、異なる配向性をもつ低密度ファイバーボード、すなわち平板成型ファイバーボード、水平配向ファイバーボード、押し出し成型ファイバーボードおよび垂直配向ファイバーボードをコアにしたサンドイッチパネルを試作し、これらの寸法安定性能を実験的に明らかにした。

一方、既往の研究としてサンドイッチパネルの構成と物性^{2)~9)}木質ボード類の寸法安定性^{10)~17)}については多くの報告があるが、サンドイッチパネルの寸法安定性について、その構成要素であるフェイス、コアそれぞれの性能を基に、サンドイッチパネルの性能予測を試みた例はほとんど報告がなく、合板やコアにパーティクルボードを使用したサンドイッチパネルにおいて、わずかに報告されている程度である。¹⁸⁾さらに、コアにファイバーボードを使用し、しかもそれらがいろいろな配向状態を持ったサンドイッチパネルにおいて、予測と実測が比較、検討された報告はない。

そこで、本報ではフェイス、コアそれぞれの材質を基礎データとし、サンドイッチパネルの吸水厚さ膨張率、吸水長さ変化率を求める式を定式化するとともに、その式から求めた計算値を実測値と対比し、比較検証した結

果を報告する。なお、木質ボード類の寸法安定性の評価項目についてはJIS規格(繊維板、パーティクルボード)において、吸水厚さ膨張率および吸水長さ変化率が規定されている。これは、建築材料として使用される場合の雨がかりや水ぬれ等を想定するとともに、製品の日々の物性管理がしやすいためである。実使用場面では、吸湿時の寸法安定性が重要視される場合もあるが、ここでは、吸水時の寸法安定性について検討する。

2 理 論

2・1 吸水厚さ膨張率(TS)の定式化

サンドイッチパネルの吸水厚さ膨張率(TS)は、フェイスとコアの吸水厚さ膨張率の和と考えられる。Fig. 1に示すようにフェイスとコアの厚さをそれぞれ t_f 、 t_c とし、吸水厚さ膨張率をそれぞれ ε_f 、 ε_c とするとサンドイッチパネルの膨張率(ε_T^*)、すなわちTSは式(1)で表わされる。

$$\varepsilon_T^* = \frac{2t_f\varepsilon_f + t_c\varepsilon_c}{2t_f + t_c} \quad (1)$$

2・2 吸水長さ変化率(LE)の定式化

フェイスの吸水長さ変化率がコアのそれより小さいと仮定すると、Fig. 2に示すようにフェイスとコアの引張荷重(それぞれ P_f 、 P_c)が釣り合う位置でサンドイッチパネルの吸水長さ変化率が決定していると考えられる(式(2))。

本報を「垂直配向ファイバーボードの材質評価(第2報)(Evaluation of Properties for Vertically Oriented Fiberboard, II)」とする。また、前報は材料62巻4号261頁(2013)に掲載済である。

[†] 原稿受理 平成24年8月13日 Received Aug. 13, 2012 ©2013 The Society of Materials Science, Japan

* 日本繊維板工業会 〒103-0027 東京都中央区日本橋, Japan Fiberboard and Particleboard manufacturers Association, Chuo-ku, Tokyo, 103-0027

** 大建工業(株) 〒101-8950 東京都千代田区外神田, Daiken Corporation, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-8950

*** 正会員 京都大学大学院農学研究科 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町, Div. of Forest and Biomaterials Sci., Graduate School of Agriculture, Kyoto Univ., Sakyo-ku, Kyoto, 606-8502

**** 正会員 京大大学生存圏研究所 〒611-0011 宇治市五ヶ庄, Res. Inst. for Sustainable Humanosphere, Kyoto Univ., Gokasho, Uji, 611-0011

Fig. 1 Scheme of thickness swelling for sandwich panel after water soaking for 24h.

Legend: t_f : Thickness of face, t_c : Thickness of core, ε_f : Strain of face, ε_c : Strain of core, ε_T^* : Strain of sandwich panel.

Fig. 2 Scheme of linear expansion for sandwich panel after water soaking for 24h.

Legend: E_{fw} : Young's modulus of face after water soaking for 24h, E_{cw} : Young's modulus of core after water soaking for 24h, P_f : Tensile load of face, P_c : Tensile load of core, t_f : Thickness of face, t_c : Thickness of core, ε_f : Strain of face, ε_c : Strain of core, ε_L^* : Strain of sandwich panel.

$$2P_f = P_c \quad (2)$$

ここで、フェイスとコアの厚さをそれぞれ t_f , t_c 膨潤後のフェイスとコアの厚さをそれぞれ $\theta_1 \times t_f$, $\theta_2 \times t_c$ とする ($\theta_1 = 1 +$ フェイスの吸水厚さ膨張率, $\theta_2 = 1 +$ コアの吸水厚さ膨張率と定義すると, $\theta_1 = 1.0199$ (単板) or 1.0548 (板紙), $\theta_2 = 1.0896$ (d) ~ 1.2418 (a) となる^{*1}). また, 24 時間吸水後のヤング率を E_{fw} , E_{cw} 吸水長さ変化率を ε_f , ε_c フェイスとコアの変化率の差 ($\varepsilon_c - \varepsilon_f$) に占める, サンドイッチパネルとフェイスの変化率の差を $d\varepsilon$, $\varepsilon_c - \varepsilon_f$ に占めるサンドイッチパネルとコアの変化率の差を $1 - d\varepsilon$ とすると P_f , P_c は式 (3), (4) で表わされる.

$$P_f = \theta_1 \cdot t_f \cdot E_{fw} \cdot d\varepsilon(\varepsilon_c - \varepsilon_f) \quad (3)$$

$$P_c = \theta_2 \cdot t_c \cdot E_{cw} \cdot (1 - d\varepsilon)(\varepsilon_c - \varepsilon_f) \quad (4)$$

式 (3), (4) を式 (2) に代入すると式 (5) が得られる.

$$2t_f \cdot E_{fw} \cdot d\varepsilon(\varepsilon_c - \varepsilon_f) = \theta \cdot t_c \cdot E_{cw} \cdot (1 - d\varepsilon)(\varepsilon_c - \varepsilon_f), \quad \theta = \theta_2 / \theta_1 \quad (5)$$

式 (5) より, $d\varepsilon$ は式 (6) で表される.

$$d\varepsilon = \frac{\theta \cdot t_c \cdot E_{cw}}{2t_f \cdot E_{fw} + \theta \cdot t_c \cdot E_{cw}} \quad (6)$$

一方, サンドイッチパネルの変化率 (ε_L^*) は式 (7) で表わされる.

$$\varepsilon_L^* = \varepsilon_f + d\varepsilon(\varepsilon_c - \varepsilon_f) = (1 - d\varepsilon)\varepsilon_f + d\varepsilon \cdot \varepsilon_c \quad (7)$$

ここで, 式 (7) に式 (6) を代入するとサンドイッチパネルの長さ変化率 (ε_L^*), すなわち LE は式 (8) で表わされる.

$$\varepsilon_L^* = \frac{2t_f \cdot E_{fw} \cdot \varepsilon_f + \theta \cdot t_c \cdot E_{cw} \cdot \varepsilon_c}{2t_f \cdot E_{fw} + \theta \cdot t_c \cdot E_{cw}} \quad (8)$$

ここで, 簡単のため, $\theta = 1$ とすると, 式 (8)' で表される.

$$\varepsilon_L^* = \frac{2t_f \cdot E_{fw} \cdot \varepsilon_f + t_c \cdot E_{cw} \cdot \varepsilon_c}{2t_f \cdot E_{fw} + t_c \cdot E_{cw}} \quad (8)',$$

3 実験

3.1 フェイス材料の物性にあたえる MDI の影響

サンドイッチパネルの吸水厚さ膨張率および吸水長さ変化率を予測するにあたり, その基礎データとして, フェイス材料 (板紙, 単板) の吸水厚さ膨張率, 吸水長さ変化率および湿潤ヤング率が必要となるが, この内, 吸水厚さ膨張率および吸水長さ変化率については既報¹⁾ で実験した. しかしながら, サンドイッチパネルの製造時, フェイス材料の裏面側には耐水性が高い MDI 接着剤を塗布してコアと接着しており, このことがフェイス材料の寸法安定性に影響を与えている可能性がある. そして, 影響があるならば, MDI 接着剤を塗布・硬化したフェイス材料の基礎データが, 計算に用いられるべきである. そこで, MDI 接着剤を塗布・硬化したフェイス材料について, 吸水厚さ膨張率, 吸水長さ変化率および湿潤引張の各試験を行い, 前報の試験結果 (MDI 無塗布) と比較した.

使用した単板, 板紙および MDI 接着剤は前報で使用したものと同一である. MDI 接着剤の塗布量, 塗布方法もサンドイッチパネルの製造方法に合わせ, MDI 重量の 30% のアセトンで希釈した MDI をフェイスの片面 (単板の場合, ルーズサイド) に 80g/m^2 (固形分ベース) をローラーで塗布した. その後, MDI の硬化を促進するため, 10g/m^2 の水を噴霧し, 180°C のホットプレスで 2min 熱圧し, 硬化させた. このとき, フェイス材料に圧力がかかるべくかからないよう, 単板の場合は 1.3mm , 板紙の場合は 0.5mm のディスタンスバーを用いた. このフェイス材料を 20°C , 65% RH で 3 日間養生した後, 吸水厚さ膨張率および吸水長さ変化率については JIS A 5905 に準拠して試験した. なお, 吸水長さ変化率については繊維方向のみを試験した. 試験体数は各 3 体とした. 一方, 湿潤引張試験については長さ 250mm (繊維方向と一致), 幅 25mm の試験体を 20°C 水中に 24 時間浸漬した後, JIS P 8113 に準拠し, 標点距離 180mm , 引張速度 2mm/min で試験した. 得られた荷重-変位曲線より湿潤引張ヤング率を求めた. なお, 湿潤引張試験は MDI 塗布および無塗布の 2 種類について試験した. 試験体数は各 3 体とした.

4 結果と考察

既報¹⁾ で試作した, Fig. 3 に示す単板サンドイッチパネルおよび板紙サンドイッチパネルの吸水厚さ膨張率 (TS) および吸水長さ変化率 (LE) の実測値とその構成要素である, 単板, 板紙 (フェイス) および各種配向性ファイバーボード (コア) それぞれの材質から計算した単板サンドイッチパネルの TS および LE の予測値を比較検証する.

*1 θ_1 については後出の Table 1 を, θ_2 については Table 2 参照.

(a)Platen-pressed Fiberboard

(b)Horizontally Oriented Fiberboard

(c)Extruded Fiberboard

(d)Vertically Oriented Fiberboard

Fig. 3 The types of manufactured sandwich panels with veneer or paper as the face.

Legend : (a)~(d) show the kinds of fiberboards of the core. (A)-x ~ (D)-y show the kinds of sandwich panels.

4・1 MDI の塗布によるフェイス材料の寸法安定性および湿潤引張ヤング率の変化

Table 1 に MDI 塗布の有無による単板および板紙の吸水厚さ膨張率, 吸水長さ変化率および湿潤引張ヤング率を示す. 単板は MDI を塗布することで寸法安定性や湿潤引張ヤング率に大きな向上はみられなかったが, 板紙は吸水厚さ膨張率および湿潤引張ヤング率において大きな向上がみられた. MDI 無塗布の場合, 板紙の吸水厚さ膨張率は極めて大きく, また, 湿潤引張ヤング率は小さくなっており, これらが MDI 塗布により改善されたものと考えられる. これに対し, 単板の方はもともと繊維方向では吸水による物性の変化は小さく, MDI 塗布の影響が表れにくかったといえる.

4・2 吸水厚さ膨張率(TS)

配向性の異なるファイバーボード単体 (a)~(d) の吸水厚さ膨張率は既報¹⁾で試験および考察しており, その内, ファイバーボードの密度が 0.2g/cm^3 の場合の結果を Table 2 にまとめる. (a)~(d)の吸水厚さ膨張率が, ファイバーがボード平面に対し, 垂直に配向しているほど小さく, (a)>(b)>(c)>(d)の順になるのは, 成型時の厚さ方向の圧縮量とファイバーの配向状態の違いから説明できると考えられた. Table 2 の値と Table 1 に示したフェイス材料 (単板, 板紙) に MDI を塗布した場合の吸水厚さ膨張率およびフェイス材料の厚さ (単板: 1.3mm , 板紙: 0.5mm) を式 (1) に代入することで, サンドイッチパネルの吸水厚さ膨張率を計算し, ファイバーボードの密度 (コア密度) が 0.2g/cm^3 の場合の計算値と実測値の比較をした. 単板サンドイッチパネルについては Fig. 4 に, 板紙サンドイッチパネルについては Fig. 5 に示す. 単板サンドイッチパネルについては押し出し成型ファイバーボードや垂直配向ファイバーボードをコアにした (C) および (D) は計算値と実測値がよく一致しているが, 平板成型ファイバーボードや水平配向ファイバーボードをコアにした (A) および (B) は実測値が大きく計算値を上回っている. この理由は既報¹⁾でも考察したとおり, 実際のサンドイッチパネルでは吸水により, 表裏の単板が外側に向かって膨らんだ (丸まった) ためである. 一方, 板紙サンドイッチパネルについてはコアのファイバーボードの種類によらず, 実測値と計算値は概ね一致した. 単板のように丸まろうとせず, しかも, フェイスに塗布される接着剤の影響も考慮すれば (特に耐水性の低いフェイス材料の場合), 構成要素であるフェイスとコアそれぞれ

Table 1 Thickness swelling (TS), linear expansion (LE) and wet-tensile MOE of face material (MDI-applied or Non-applied).

	TS(%)		LE(%)		Wet-tensile MOE(GPa)	
	MDI-applied Mean±SD	Non-applied Mean±SD	MDI-applied Mean±SD	Non-applied Mean±SD	MDI-applied Mean±SD	Non-applied Mean±SD
veneer	1.99±0.41	3.04±0.66	0.139±0.061	0.141±0.068	9.22±0.19	8.65±0.26
paper	5.48±2.45	50.81±1.81	0.312±0.006	0.354±0.110	2.55±0.73	0.39±0.21

Table 2 Thickness swelling (TS) of the core.

	TS(%)
	Mean $\pm$ SD
(a)	24.18 $\pm$ 1.05
(b)	15.11 $\pm$ 1.68
(c)	10.98 $\pm$ 1.36
(d)	8.96 $\pm$ 0.50

Legend: (a)~(d) are the same as in Fig.3.

Note: Densities of (a)~(d) are 0.2g/cm³.

Fig. 4 Comparison of observed and calculated values on thickness swelling for sandwich panels with veneer as the face.

Legend: (A)~(D) are the same as in Fig. 3.

Fig. 5 Comparison of observed and calculated values on thickness swelling for sandwich panel with paper as the face.

Legend: (A)~(D) are the same as in Fig. 3.

の吸水厚さ膨張率から、サンドイッチパネルのそれを推定することが可能である。

4・3 吸水長さ変化率 (LE)

既報¹⁾で試験, 考察したファイバーボード単体 ((a)~(d)) の吸水長さ変化率 (LE) および曲げヤング率 (MOE) の内, ファイバーボードの密度が 0.2g/cm³ の場合の結果を Table 3 にまとめる. (a)-X ~ (d)-Y の吸水長さ変化率は厚さ膨張率でみられたのとは反対に, ファイバーがボード平面に対し, 垂直に配向しているほど大きくなる傾向が認められたが, この理由もまた, 各ボードの成型方法の違いから説明できると考えられた. Table 3 の値と Table 1 に示したフェイス材料 (単板, 板紙) に MDI を塗布した場合の吸水長さ変化率, 湿潤引張ヤング率の値

Table 3 Linear expansion (LE) and MOE of the core.

	LE(%)	MOE(GPa)
	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD
(a)-X	0.72 $\pm$ 0.06	0.233 $\pm$ 0.012
(b)-X	0.72 $\pm$ 0.05	0.345 $\pm$ 0.005
(b)-Y	3.05 $\pm$ 0.19	0.095 $\pm$ 0.016
(c)-X	0.70 $\pm$ 0.06	0.382 $\pm$ 0.007
(c)-Y	7.21 $\pm$ 0.66	0.048 $\pm$ 0.005
(d)-X	4.71 $\pm$ 0.56	0.060 $\pm$ 0.006
(d)-Y	2.29 $\pm$ 0.20	0.137 $\pm$ 0.025

Legend: (a)~(d) are the same as in Fig.3.

-X and -Y show measured direction.

Note: Densities of (a)~(d) are 0.2g/cm³.

およびフェイス, コアの厚さを式 (8)' に代入し, サンドイッチパネルの吸水長さ変化率を計算した。

ここで, ファイバーボード単体の湿潤曲げヤング率については未知だが, 耐水性の低いコーンスターチをバインダーとして使用しているため, かなりの低減が予測された. そこで, 気乾時の 30% 程度にまで低減すると仮定し, ファイバーボードの曲げヤング率 (MOE) に 0.3 を乗じた値を代入した. コア密度が 0.2g/m³ の場合の計算値と実測値の比較を単板サンドイッチパネルについては Fig. 6 に, 板紙サンドイッチパネルについては Fig. 7 に示す. Fig. 6 をみると単板サンドイッチパネルの場合, (C) および (D) については計算値と実測値は良好な近似を示しているが, (A) および (B) については計算値より実測値の方が大きくなっている. 特に, (B)-y-Y (水平配向ファイバーボードの Y 軸方向) において, 実験値が著しく大きい. この理由は, 吸水厚さ膨張率のところで考察したように, (A) および (B) の厚さ膨張率が単板の丸まりにより大きかったため, 元々 Y 軸方向への吸水長さ変化率が大きかった (b)-Y の性質を抑制しきれなかったものと推察される. (A)-x-X や (B)-x-X の実測値が計算値より大きいことも同様な理由と推察される. 実際, これらの試験体の材端ではフェイスからコアがはみ出している (フェイスとコアがずれている) 様子が観察された。

Fig. 6 Comparison of observed and calculated values on linear expansion for sandwich panel with veneer as the face.

Legend: (A)-x ~ (D)-y are the same as in Fig. 3.

-X and -Y show measured direction.

今回、単板サンドイッチパネルについては24時間吸水処理した後の厚さ膨張率および長さ変化率について議論しているが、単板の丸まりが発生したために、特に、(A)および(B)において実測値と計算値の間に大きな差が認められた。仮に、吸水ではなく、吸湿寸法変化で実測値と計算値を比較したならば、厚さ膨張率、長さ変化率ともに良好な近似が得られるものと推察される。今後の検討課題としたい。

次に、Fig. 7をみると板紙サンドイッチパネルについては、計算値と実測値は良好な近似を示しており、この理由は単板の場合のような丸まりがなかったためと推察される。単板のように丸まろうとせず、しかも、フェイスに塗布される接着剤の影響も考慮すれば（特に耐水性の低いフェイス材料の場合）、構成要素であるフェイスとコアそれぞれの吸水長さ変化率、湿潤ヤング率から、サンドイッチパネルの吸水長さ変化率を推定することが可能である。

なお、今回、ファイバーボード単体の湿潤曲げヤング率は未知であったため、気乾曲げヤング率の30%程度と仮定し、吸水による厚さ膨張を考慮した式(8)ではなく、簡単化した式(8)'より算出した予測値と実測値を比較した。その結果、単板サンドイッチパネルの(A)および(B)を除き、比較的良好な一致が見られた。しかしながら、 $\theta = 1.033 \sim 1.218$ であり、コアのファイバーボードは配向状態により、吸水厚さ膨張率が異なるため、実際には気乾曲げヤング率の一律30%とはならないと推察される。すなわち、コアは吸水による厚さ膨張が大きいほど、気乾曲げヤング率の残存率は小さくなると思われる。コアの湿潤曲げヤング率を一律、気乾時の30%とした仮定と、実際のそれとのズレを確認し、厚さ膨張を考慮した式(8)を使って検証することが今後の課題である。

一方、Fig. 6, Fig. 7の計算値を比較するとフェイスが単板の場合、コアのファイバーボードが異なっても吸水長さ変化率に大きな差は見られないが、フェイスが板紙の場合にはファイバーボード単体にみられる吸水長さ変化率の傾向がよく反映されている。この理由は、単板は寸法安定性および湿潤ヤング率が高いため、単板サン

ドイッチパネルの場合、コアのファイバーボードの種類によらず、単板の性能に支配されているためと考えられる。

それに対し、板紙のそれらは単板に比べ、大変低いので、板紙サンドイッチパネルの場合、コアのファイバーボードの性質が現れてくるものと考えられる。

5 結 言

単板および板紙をフェイスに、各種配向性ファイバーボードをコアにしたサンドイッチパネルの寸法安定性(TSおよびLE)の実測値をその構成要素である単板、板紙およびファイバーボード単体の材質より定式化・計算した予測値と比較検証した結果、以下の結論を得た。

(1) 吸水厚さ膨張率(TS)の実測値は予測値と概ね一致した。ただし、フェイスが単板で、コアがボード平面に平行に配向している場合、単板の変形(外側に凸反り)にコアが追従しやすくなり、実測値が予測値を上回った。

(2) 吸水長さ変化率(LE)の実測値は予測値と概ね一致した。ただし、フェイスが単板で、コアがボード平面に平行に配向している場合、TSが大きくなるため、フェイスがコアの寸法変化を抑制する効果が小さくなり、実測値が予測値を上回った。

(3) サンドイッチパネルの構成要素である、フェイス・コア間の接着剤の影響(耐水性や強度)も考慮することにより、予測値の精度は高くなり、実測値に近づきやすくなると考えられる。

(4) 構成要素それぞれの材質より、それらを一体化したサンドイッチパネルの寸法安定性を予測することが可能である。

(5) 単板のように繊維方向のヤング率が高く、寸法安定性の高いフェイス材料であれば、コア単体では寸法変化が大きくてもサンドイッチパネルとしては高い寸法安定性を保持できることが理論的にも裏付けられた。

本論文の実験でご協力いただいた、大建工業㈱の杉尾康志氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) S. Ohba, T. Sasada, K. Murata and S. Kawai, "Development of vertically oriented fiberboard III. Manufacture and properties of sandwich panels", Mokuzai Gakkaishi, Vol.58, No.6, pp.318-328 (2012).
- 2) R. Teraoka, "Simple design method for sandwich panels", Journal of the Adhesion Society of Japan, Vol.31, No.2, pp.55-61 (1995).
- 3) H. Miyairi, "Interfacial adhesive strength of composites materials", Journal of the Adhesion Society of Japan, Vol.33, No.11, pp.447-451 (1997).
- 4) H. Miyairi and O. Suda, "Heat and resistance of FRP honeycomb sandwich construction", Journal of the Society of Material Science, Japan, Vol.41, No.470, pp.1692-1698 (1992).
- 5) H. Miyairi and O. Suda, "Creep properties of FRP sandwich construction in simulated soil environment", Journal of the Society of Material Science, Japan, Vol.40, No.457, pp.1270-1275 (1991).

Fig. 7 Comparison of observed and calculated values on linear expansion for sandwich panel with paper as the face.

Legend: (A)-x ~ (D)-y are the same as in Fig. 3. -X and -Y show measured direction.

- 6) H. Miyairi, M. Nagai and A. Muramatsu, "Flexural properties of GRP/PUF/Al sandwich construction", *Journal of the Society of Material Science, Japan*, Vol.27, No.293, pp.189-195 (1978).
- 7) Y. Hatogai, "On rigid plastic foam sandwich floor under concentrated load", *Journal of the Society of Material Science, Japan*, Vol.16, No.161, pp.129-134 (1967).
- 8) M. Watanabe, T. Ohtsuka, H. Tamura and Y. Kobayashi, "Study on the impact property of honeycomb sandwich panel", *Nihon Kikai Ronbunshu (A)*, Vol.69, No.678, pp.257-264 (2003).
- 9) S. Kabashima and T. Ozaki, "Evaluation of thermal deformation of honeycomb sandwich panels", *Journal of the Japan Society for Composite Materials*, Vol.27, No.6, pp.271-280 (2001).
- 10) M. Takatani, M. Ikeyama, T. Kitayama, R. Hamada and T. Okamoto, "Effects of factors of board preparation on dimensional stability of particleboards", *Journal of the Society of Material Science, Japan*, Vol.48, No.3, pp.251-255 (1999).
- 11) X. Shi, H. Kajita and H. Yano, "Improving the dimensional stability of particleboards by steam pretreatment", *Journal of the Society of Material Science, Japan*, Vol.45, No.4, pp.369-375 (1996).
- 12) M. Zhang, S. Kawai, Y. Sulaeman, Y. Imamura and H. Sasaki, "Manufacture of wood composites using lignocellulosic materials and their properties III. Properties of bamboo particleboards and dimensional stability improvement by using a steam-injection press", *Mokuzai Gakkaishi*, Vol.43, No.4, pp.318-326 (1997).
- 13) A. Suematsu, N. Sekino, Y. Fujimoto, Y. Kitani and Q. Wang, "Effects of manufacturing parameters on the linear expansion of densified wood composite panels II : Effect of board density, resin type and resin content on linear expansion of particleboard", *Mokuzai Gakkaishi*, Vol.47, No.2, pp.129-137 (2001).
- 14) N. Sekino, A. Suematsu and E. Yasui, "In-plane dimensional stability of wood-based panel products part I. Hygroscopic linear expansion of commercially made panels", *Wood Industry*, Vol.53, No.9, pp.408-412 (1998).
- 15) A. Suematsu and N. Sekino, "In-plane dimensional stability of wood-based panel products part II. Effects of water-absorption treatments on linear expansion of commercially made panels", *Wood Industry*, Vol.54, No.1, pp.14-19 (1999).
- 16) T. Kawasaki, M. Zhang and S. Kawai, "Manufacture and properties of ultra-low-density fiberboard", *Journal of Wood Science*, Vol.44, No.5, pp.354-360 (1998).
- 17) T. Kawasaki, M. Zhang and S. Kawai, "Sandwich panel of veneer-overlaid low-density fiberboard", *Journal of Wood Science*, Vol.45, No.4, pp.291-298 (1999).
- 18) O. Suchsland, "The swelling and shrinking of wood. A practical technology primer", pp.45-155 (2004) *Forest Products Society*.