

環境配慮型のケナフボード複合建材

Environment-Friendly Composite Material Using Kenaf Boards

梅岡 一哲* ・ 内藤 茂樹** ・ 安藤 秀行* ・ 鈴木 伸一*** ・ 大野 宗一郎****
Kazunori Umeoka Shigeki Naito Hideyuki Ando Shin-ichi Suzuki Soichiro Ohno

ケナフボードを活用した環境配慮型建材の開発において、含水率変化に伴う寸法変化が小さいという特性に注目し、ドアパネルの表面材として使用することによって、ドアで間仕切りされた二つの空間に温度差または湿度差がある場合でも反りの発生を大幅に低減した。また、木ねじ保持力が大きい物性に着目し、一般的なエコロジー基材であるパーティクルボード（PB）やMDFと組み合わせることで、複合建材の木ねじ保持力の向上を実現した。さらに、曲げ剛性の高さを活かしてPBと組み合わせることで、南洋合板と同等以上のヤング率と曲げ強度を有する合板代替基材を開発した。

In the development of environment-friendly building materials using kenaf boards, the use of these boards as surface material of a door panel by taking advantage of the small dimensional change against a change of moisture content substantially reduced warpage when the door was placed between the two spaces with different temperature and humidity conditions. Also, by utilizing the large screw-holding power, combination with a Particle Board or MDF, a widely-used ecological base material, improved the screw-holding power of the composite board. In addition, the high bending rigidity of a kenaf board when combined with a PB has produced plywood substitution base material with Young's modulus and bending strength values comparable or higher than those of tropical plywood.

1. ま え が き

家具や内装材ならびに建築材料などの住宅用部材として木質ボードが広く用いられているが、その素材としては強度面や寸法安定性に優れ、汎用性の高い南洋合板（以下、合板と記す）が多く用いられてきた。

また、近年は地球温暖化防止や森林資源保護の観点から、環境配慮型材料として廃木材等を利用したMDF（Medium Density Fiberboard：中密度繊維板）やパーティクルボード（Particle Board：以下、PBと記す）等のエコロジー基材を合板代替品として活用する動きが高まりつつある。

しかし、PBやMDFは木材チップや木質短繊維を接着剤と混合して熱圧成形したボードのため、曲げ強度や曲げヤング率、木ねじ保持力が合板と比べて劣っている。また寸法安定性も低いという問題があることから、用途が限られているのが現状である。

そこで筆者らは、環境配慮型材料として注目されている

ケナフボードの特徴を活かし、これをPBやMDFと複合することにより、合板と同等以上の性能を有するケナフボード複合建材を開発した。

ケナフボードは、長繊維が3次的に絡まった構造にくわえて繊維内部に樹脂が浸透、固結しているため、高強度で木ねじ保持力が高く、寸法安定性にも優れているという特徴を有している。

本稿では、このケナフボード複合建材の技術開発内容、およびドアパネルやドア枠心材などの応用製品の評価結果について報告する。

2. ケナフボードの特徴

2.1 ケナフ原料

ケナフはアオイ科ハイビスカス属の一年生植物である。西アフリカ原産であるが、現在は東南アジアやインド、中国を中心に多く栽培されている。土壌や気候に対する適応性が高く、日本を含む温帯から熱帯地域での計画栽培が可

* 新規商品創出技術開発部 New Product Technologies Development

** 先行技術開発研究所 Advanced Technologies Development Laboratory

*** 住建事業本部 住建総合技術センター General Technology Center, Building Products Manufacturing Business Unit

**** 住建事業本部 住宅部材事業部 Housing Components Division, Building Products Manufacturing Business Unit

能である。

主な特徴としては、光合成能力に優れることから二酸化炭素の吸収能力が高く、成長も早いことが挙げられ、約5ヶ月で高さ3～4m、直径3～4cmとなる。このため、近年エコロジー材料として注目され、木材パルプ代替材料としても知られている。

ケナフの茎部は、多孔質構造で密度が100～200kg/m³と低い心部と、外側にある繊維質の靱皮部から成っている。

2.2 ケナフボードの特徴

ケナフ靱皮繊維は、一般の木材繊維に対して数倍から十倍程度の高い引張強度を有する¹⁾ため、従来から穀物袋、ロープ、漁網などの原材料として利用されてきた²⁾。

筆者らは、ケナフ靱皮繊維を3次元的に絡ませる繊維マット製造技術、およびフェノール樹脂系接着剤の分子量分布制御技術を開発し、その応用により構造用壁下地ボード「ケナボードS」を実現した³⁾。このボードは、薄くて軽量でありながら高強度であることと、透湿性に優れるため壁内結露の発生を抑制するという特徴がある。

また、繊維マットや接着剤の制御によりボード設計が比較的容易であるため、さまざまな要求特性に応じた住宅用建材への展開が可能である。

3. ケナフボードを利用した住宅用建材

3.1 開発のねらい

本稿では、ケナフボードの高強度、水分に対する寸法安定性、高い木ねじ保持力という特徴を活かし、以下の住宅用建材の開発を進める。

(1) ドアパネル面材 (MDF 代替)

ケナフボードの含水率変化による寸法変化が小さいという特徴を活かし、表面材として利用する。

(2) ドア枠心材 (合板代替)

ケナフボードの木ねじ保持力が大きいという特徴を活かし、一般的なPBやMDFと複合してドア枠心材として利用する。

(3) 合板代替基材

ケナフボードの曲げ剛性の高さを活かし、一般的なPBと複合して合板と同等以上の曲げ性能を有する基材として利用する。

3.2 ドアパネル面材

3.2.1 ドアパネルの構成と課題

(1) ドアパネルの構成

従来からある内装用ドアパネル (図1) の構成としては、単板積層基材 (以下、LVLと記す) などの曲げ剛性の高い木質材料で周囲と内部の心材を組み、その両面に表面材としてMDFを接着した中空構造のフラッシュパ

ネルの形をとることが一般的である (図2)。このMDFは表面側に樹脂化粧シート、裏面側に防湿シートが貼着され、中空部分にはハニカムコアが組み込まれることもある。



図1 内装用ドアパネル外観

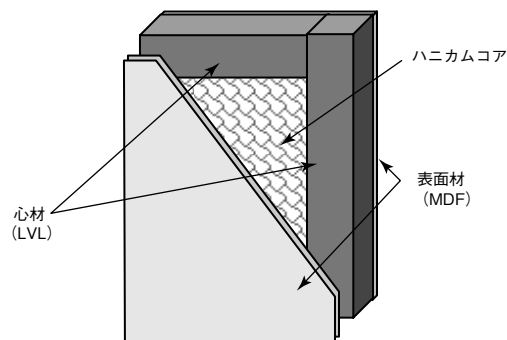


図2 フラッシュパネル構成例

(2) ドアパネルにおける課題

内装用ドアパネルにおける課題の一つに反りの低減がある。ドアパネルの反りは、主に表面材であるMDFの温度や含水率の変化によって生じる寸法変化に起因する。図3に反りの発生の様子を模式的に示す。図3左のように、ドアで間仕切られた二つの空間に温度差や湿度差がある場合、パネルの低温・低湿側に収縮、高温・高湿側に伸張しようとする力が働き、図中右のようにパネルの反りとして現れる。

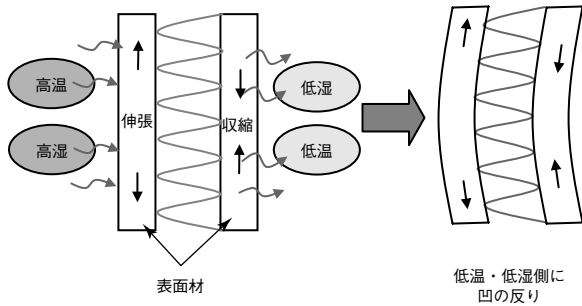


図3 反りのメカニズム

表1にMDFの寸法変化率を示すが、含水率変化による寸法変化率が温度変化のそれに比べて一桁高いことから、実使用下においては含水率変化による寸法変化が支配的に働いていると考えられる。

表1 MDFの寸法変化率

対温度 (%/℃)	対含水率 (%/%)
6×10^{-4}	4×10^{-3}

3.2.2 課題解決のアプローチ

(1) 含水率変化と寸法変化

筆者らは、反りの少ないドアパネルを開発するため、既存のMDFの代替として、含水率変化による寸法変化が小さいケナフボードを表面材として使用することを試みる。図4にMDFとケナフボードの含水率変化と寸法変化率の関係を示す。ケナフボードの寸法変化率はMDFの約1/10であり、この特性を利用することでドアパネルの反りの発生を抑制することが期待できる。

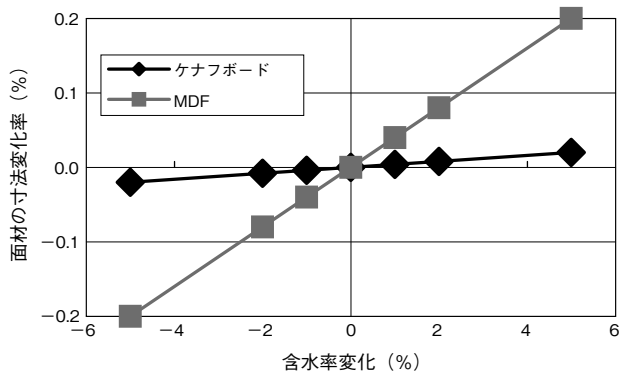


図4 含水率と寸法変化率の関係

(2) パネル試作

表2に示すように、MDF仕様、ケナフボードを用いた仕様(試作1)、軽量化をねらって板厚を薄くした仕様(試作2)、さらに裏面防湿シートを取り外した仕様(試作3)の計4仕様で評価を行う。

(3) 評価方法(図5)

反りの評価については、次の二つの試験を実施する。

(a) 温度差試験

反りの発生しやすい冬場の使用環境を想定してモデル化した条件

居室側：35℃, 60%RH, 非居室側：5℃, 50%RH

(b) 湿度差試験

暖房の使用により、居室側が過乾燥状態になることを想定してモデル化した条件

居室側：40℃, 20%RH, 非居室側：40℃, 40%RH

これらの試験条件において、試験中および試験後の反り量を測定する。なお反り量はパネルの両面で測定し、居室側に凹の反りとして現れるものを- (マイナス)、非居室側で凹の反りとして現れるものを+ (プラス)として表す。

表2 試作仕様

	MDF仕様	試作1	試作2	試作3
構成	LVL MDF 防湿シート	ケナフボード	ケナフボード	ケナフボード
表面材	MDF	ケナフボード	ケナフボード	ケナフボード
表面材厚み (mm)	2.5	2.5	1.5	1.5
防湿シート	あり	あり	あり	なし

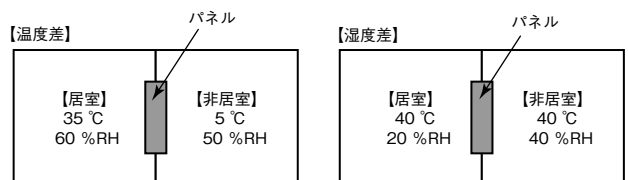


図5 評価方法

3.2.3 ドアパネルの反り評価結果

(1) 温度差試験(図6)

MDF仕様の反り量は最大+3.5mmで非居室側に凹の反りとして現れている。これは主に居室側が高温多

湿のため MDF の温度と含水率が上昇したことにより MDF が伸張し、非居室側で凹の反りとして現れるためと考えられる。これに対し、ケナフボードを使用した試作 1 は -1.0 mm 、試作 2 は -1.5 mm と MDF 仕様よりも反りが小さい。また、反りが MDF 仕様と逆方向であるが、これはケナフボードの透湿性が高いために居室側の湿気が表面材を通してパネル内部に流入し、非居室側表面材の裏面で発生した結露水により非居室側表面材が伸張するためと推測される。試作 3 は -3.0 mm と他の二つの試作品に比べて反りが大きい。これは裏面の防湿シートがないために、結露水を多く吸水して伸張することや、板厚が薄いためにパネルの剛性が低下することなどが原因として考えられる。

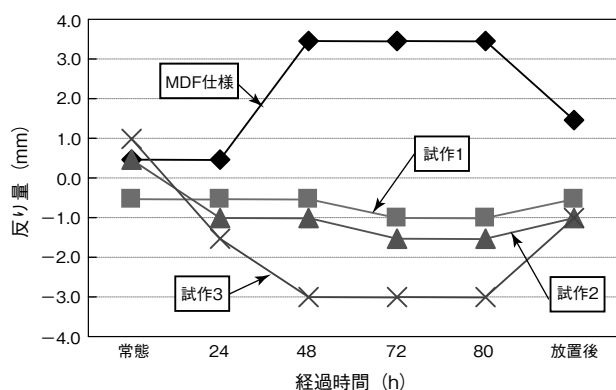


図6 温度差試験グラフ

(2) 湿度差試験 (図 7)

すべての仕様において、居室側で凹の反りが発生している。これは主に居室側が乾燥し、表面材の含水率が低下して収縮を起こすためと考えられる。反り量は、MDF 仕様で最大 -5.0 mm であるのに対し、ケナフボードを使用したものはどの水準も -2.5 mm 以内に収まっている。

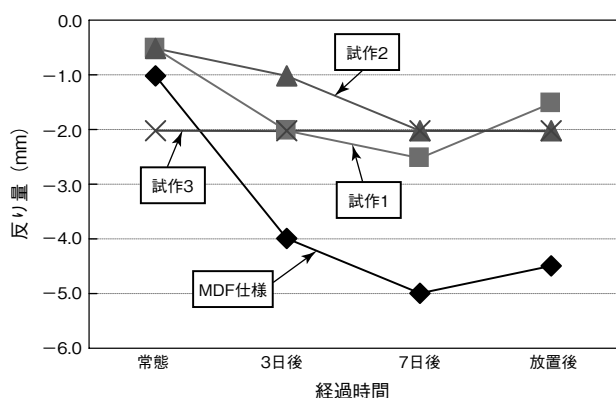


図7 湿度差試験グラフ

湿度差試験では温度差試験と異なり居室と非居室の温度差がないため、ケナフボードと MDF の含水率変化による寸法変化の差が反りの大小となってそのまま現れる

といえる。また両室に温度差がないので表面材の裏面に結露が生じないため、防湿シートのありなしの影響もみられない。

以上の結果から、ドアパネルの反りの抑制に対して表面材にケナフボードを使用することが有効であることがわかる。ケナフボードを用いたパネルの構成の違いについては、湿度差試験の結果ではほとんど差は現れないが、温度差試験の結果から防湿シートのある試作 1 もしくは試作 2 の仕様が有効であるといえる。とくに試作 2 は表面材が薄いためパネルの軽量化もできる。

3.3 ドア枠心材

3.3.1 ドア枠心材の課題

開閉タイプのドアパネルはヒンジ等でドア枠心材に固定されるため、長期信頼性を確保するには、それを取り付ける木ねじ保持力が重要となる。このため、ドア枠心材には木ねじ保持力に優れた合板が主として用いられている。

一方、一般的な MDF や PB は、家具や建築用材料 (内装材、収納ユニット等) などに用いられているが、合板と比べて木ねじ保持力が小さく、ドア枠心材として適しているとはいえない。

3.3.2 課題解決のアプローチ

(1) ケナフボードの木ねじ保持力

そこで筆者らは、木ねじ保持力が高いケナフボードと一般的な MDF や PB との複合化を検討する。表 3 に、一般的な木質ボードとケナフボードの木ねじ保持力を示す。ケナフボードの木ねじ保持力は PB や MDF に比べて約 2 倍あり、これを用いた複合ボードは合板と同等以上の木ねじ保持力が期待できる。

なお、木ねじ保持力は、JIS A5908 (PB) の規定に準拠し、JIS B1112 に規定する呼び径 2.7 mm、長さ 16 mm の木ねじをボードに垂直に 11 mm ねじ込み、そのボードを固定して木ねじを垂直に引き抜く力の最大値を採用している。

表3 木質ボードの木ねじ保持力

	合板	PB	MDF	ケナフボード
密度 (kg/m ³)	550	720	740	760
木ねじ保持力 (N)	590	460	400	950

木ねじ保持力は、引抜きの際に生じるボードの破壊挙動やボード素材と木ねじとの絡み状態に影響されるが、ケナフボードの値が高い理由としては、以下のことが挙げられる。

- (a) ケナフ靱皮繊維の引張強度が、一般の木質繊維の数倍から十数倍程度である。
- (b) 数十 mm 以上の長繊維を 3 次元的に絡ませて熱圧成

形したボードである（一般の木材繊維は 10 mm 程度）。

(2) ケナフボード複合建材の検討

以下の 2 種類の複合ボードについて木ねじ保持力を検討する。

(a) MDF 複合ボード

一般的なドア枠心材として、木ねじ保持力を確保する合板と MDF を組み合わせる構造がある。そこで、合板をケナフボードに置き換えた複合ボードにおいて、木ねじ保持力に対するケナフボードの厚みの影響について検討する。MDF は厚み 12 mm を、ケナフボードは厚み 4 ~ 25 mm を用い、比較として厚み 12 mm と 25 mm の合板を複合したものも評価する。

(b) PB 複合ボード

ドア枠心材の合板代替品として、PB の利用を検討するにあたり、ケナフボードと PB を組み合わせた複合ボードについて木ねじ保持力の評価を行う。

(3) 評価方法

使用する木ねじは、ヒンジをドアパネルに取り付ける際に用いられる呼び径 3.8 mm、長さ 23 mm のものを用い、垂直に 17 mm ねじ込んだ状態で、JIS A5908 (PB) に準拠して評価する。

3.3.3 ケナフボード複合建材の構成と物性

(1) MDF 複合ボード

ねじ込深さは 17 mm で評価するため、厚みが 25 mm の場合はそれぞれ単体の評価となり、ケナフボードは合板の約 2 倍の木ねじ保持力（約 2000 N）があることがわかる（図 8）。また、MDF との複合ボードにおいては、ケナフボードの厚み比率が高いほど、木ねじ保持力が大きくなる傾向にあり、合板 12 mm 厚仕様と同等の保持力（約 1000 N）が得られるのは、約 1/2 の厚みであるケナフボード 6 mm 厚仕様のものであることがわかる。

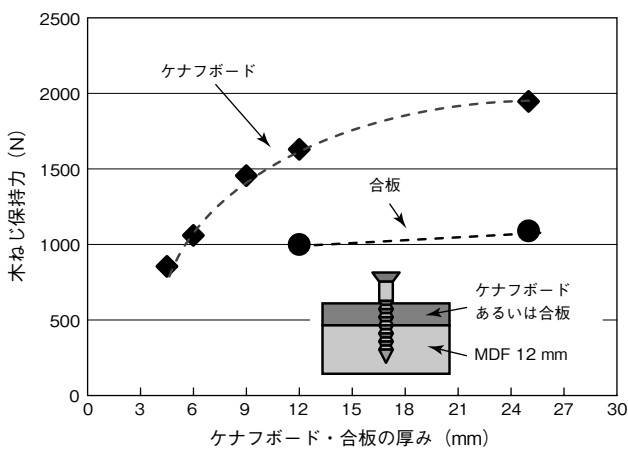


図 8 MDF 複合ボードの木ねじ保持力

厚み 12 mm の合板と厚み 6 mm のケナフボードに MDF を貼り合わせた場合の引抜変位と木ねじ引抜強度

の測定結果を図 9 に示す。

この結果から最大引抜強度はどちらも約 1000 N であるが、合板の場合は急激に引抜強度が低下するのに対し、ケナフボードの場合は最大強度を維持し続けていることがわかる。また、試験後のねじ込み穴周辺状態の写真をみると、ケナフボードの場合はケナフ繊維が隆起した状態になっており、繊維が木ねじに強く絡んでいるためと推測される。これは、引張強度の高いケナフ繊維が長い繊維状態で 3 次的に絡み合っていることが理由と考えられ、ドアパネル開閉等に対する長期的な信頼性確保が可能である。

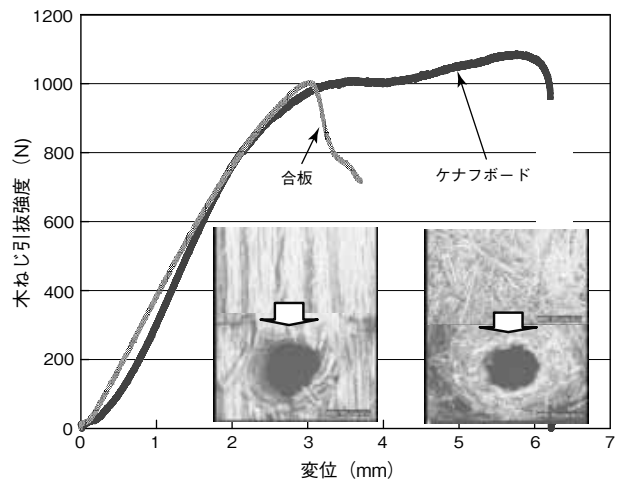


図 9 木ねじ引抜強度の変化

(2) PB 複合ボード

ケナフボードと PB の複合ボードでも、ケナフボードの厚み比率が高いほど、木ねじ保持力が大きくなる傾向にあり、厚み 21 mm の合板と同等の保持力（約 1000 N）は、厚み 3 mm ケナフボードと PB との複合ボードで得られることがわかる（図 10）。

本結果をもとに、厚み 3 mm のケナフボードを用いてドア枠心材を試作し、製品レベルでの木ねじ保持力や開閉試験による評価を行う。

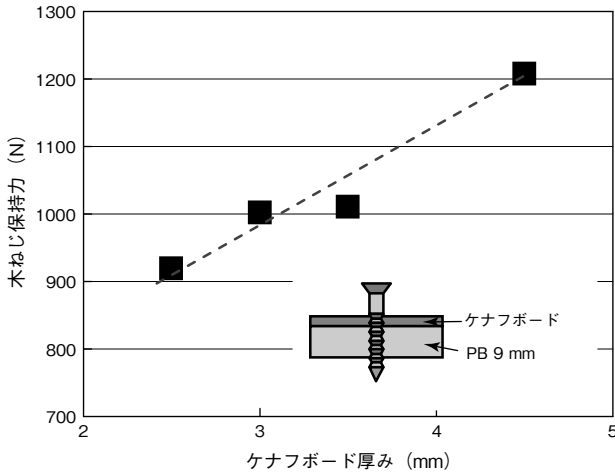


図10 PB複合ボードの木ねじ保持力

(3) ドア枠心材としての評価

ドア枠心材の構成としては、表4に示すように厚み方向で対称性をもたせ、厚み3mmのケナフボードの表裏に厚み9mmのPBを貼り合わせた複合ボードで木ねじ保持力を評価する。また、ドア開閉時のモーメントやドアパネル自重等により、ドア枠心材に固定された木ねじには剪断方向の力が加わるため、その破壊荷重の評価も行う。これらの結果を表4に示す。木ねじ保持力、木ねじ剪断強度ともに合板と同等以上であることがわかる。

また、本複合ボードを用いたドア枠心材でドアパネル開閉耐久試験を行い、ヒンジの緩みがなく、ドア枠心材とドアパネル間の隙間も初期状態と変化がないことも確認している。

表4 ドア枠心材の木ねじ強度

仕様	木ねじ保持力 (N)	木ねじ剪断強度 (N)
合板 21 mm	990	345
PB 9 mm ケナフボード PB 9 mm	1090	350

3.4 合板代替基材

3.4.1 合板代替基材の課題

表5に、PBやMDFの曲げ性能を示すが、合板に対して性能が劣っている。

そこで、PBを基材としてその曲げ性能向上のため、ケナフボードを両面に貼った複合ボードを試作して評価する。

表5 基材の曲げ性能比較

特性	合板	PB	MDF
曲げ強度 (MPa)	45	26	38
曲げヤング率 (GPa)	4.9	3.9	3.5

3.4.2 課題解決のアプローチ

PBの両面にケナフボードを貼った複合ボードについて、曲げヤング率のシミュレーションを行う。そのモデルは図11に示すような厚み方向に対称性を持ち、建材によく利用される総厚12mmと36mmの3層構造とする。

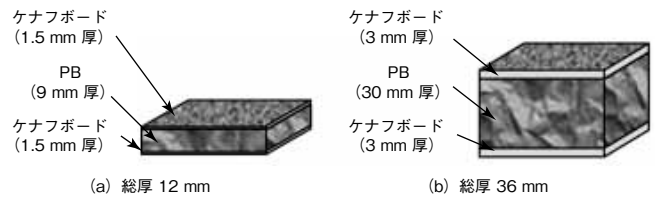


図11 複合ボードモデル

このような3層構造の場合、表裏面層(ケナフボード)の厚み t_1 、曲げヤング率 E_1 、また、中央層(PB)の厚み t_2 、曲げヤング率 E_2 から、複合ボードの等価曲げヤング率 E は式(1)で与えられる。

$$E = \frac{E_1 \left\{ \left(t_1 + \frac{t_2}{2} \right)^3 - \left(\frac{t_2}{2} \right)^3 \right\} + E_2 \left(\frac{t_2}{2} \right)^3}{\left(t_1 + \frac{t_2}{2} \right)^3} \quad (1)$$

ケナフボードの曲げヤング率については、ケナフ繊維の長さ、解繊状態、ならびに樹脂含有率等の検討から、密度との相関が高いことを見いだしている(図12)。この結果から、ケナフボードの密度から曲げヤング率を推定できる。

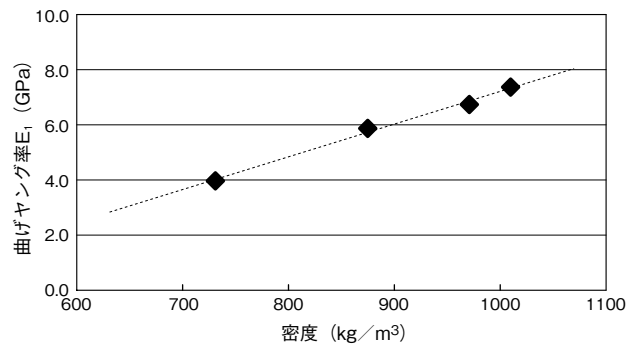


図12 ケナフボードの密度と曲げヤング率

(1) 総厚12mmの複合ボード

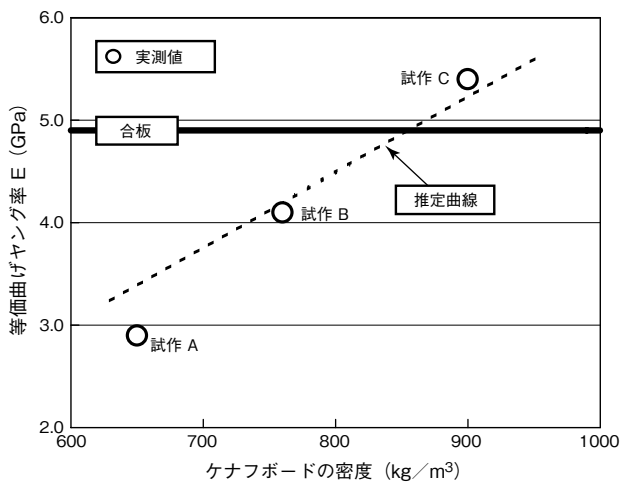
式(1)に、 $t_1 = 1.5 \times 10^{-3} \text{ m}$ 、 $t_2 = 9.0 \times 10^{-3} \text{ m}$ 、 E_2

= 3.9×10^9 Pa, および図 12 から得られるケナフボードの曲げヤング率 E_1 をそれぞれ代入することにより, 複合ボードの E は, 図 13 (a) のような推定曲線となる。

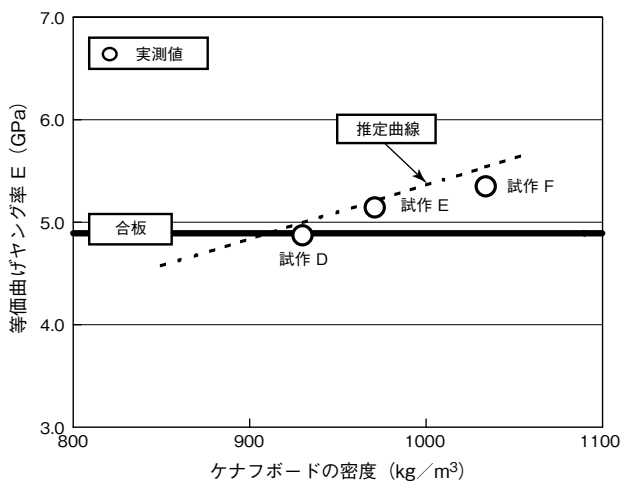
(2) 総厚 36 mm の複合ボード

同様に, 式 (1) に, $t_1 = 3.0 \times 10^{-3}$ m, $t_2 = 3.0 \times 10^{-2}$ m, $E_2 = 3.9 \times 10^9$ Pa, および図 12 から得られるケナフボードの曲げヤング率 E_1 をそれぞれ代入することにより, 複合ボードの E は, 図 13 (b) のような推定曲線となる。

図 13 (a), (b) の推定曲線から, ケナフボードの密度が約 900 kg/m^3 の複合ボードであれば, 合板と同等以上の曲げヤング率が得られると推定される。そこで, 実際に複合ボードを試作して, 曲げ性能の検証を行う。



(a) 総厚 12 mm の複合ボード



(b) 総厚 36 mm の複合ボード

図 13 複合ボードの等価曲げヤング率

3.4.3 試作複合ボードの曲げ性能

(1) 総厚 12 mm の複合ボード

3 種類の密度のケナフボード (試作 A : 650 kg/m^3 , 試作 B : 760 kg/m^3 , 試作 C : 900 kg/m^3) から, 図 11 (a) のような PB との複合ボードを作製する。各層の貼合せには酢酸ビニル系接着剤を用い, 塗布量は 220 g/m^2 とする。これら試作複合ボードの曲げヤング率の実測値を図 13 (a) に併せてプロットしている。

(2) 総厚 36 mm の複合ボード

同様に, 3 種類の密度のケナフボード (試作 D : 930 kg/m^3 , 試作 E : 970 kg/m^3 , 試作 F : 1030 kg/m^3) から, 図 11 (b) のような PB との複合ボードを作製する。これら試作複合ボードの曲げヤング率の実測値を図 13 (b) に併せてプロットしている。

総厚 12 mm ならびに総厚 36 mm とも, 試作複合ボードの曲げヤング率は推定曲線と比較的によく一致し, 密度 900 kg/m^3 程度のケナフボードを使用することにより, 合板とほぼ同等の曲げヤング率が得られることがわかる。

また, 曲げ強度については, 表 6 (a), (b) に示すとおり, 総厚 12 mm の場合は試作 C (密度 900 kg/m^3) のケナフボード, 総厚 36 mm の場合は試作 F (密度 1030 kg/m^3) のケナフボードを使用することにより, 合板に対し同等以上の値が得られている。

表 6 試作複合ボードの曲げ強度

(a) 総厚 12 mm の場合

特性	合板	試作複合ボード		
		試作A	試作B	試作C
曲げ強度 (MPa)	45	30	38	54

(b) 総厚 36 mm の場合

特性	合板	試作複合ボード		
		試作D	試作E	試作F
曲げ強度 (MPa)	45	35	40	45

4. あとがき

ケナフボードを活用した環境配慮型建材の開発において, 含水率変化に伴う寸法変化が小さいという特性に注目し, ドアパネルの表面材として使用することによって, ドアで間仕切りされた二つの空間に温度差または湿度差がある場合でも反りの発生を大幅に低減した。また, 木ねじ保持力が大きい物性に着目し, 一般的なエコロジー基材である PB や MDF と組み合わせることで, 複合建材の木ねじ保持力の向上を実現した。さらに, 曲げ剛性の高さを活かして PB と組み合わせることで, 合板と同等以上のヤング率と曲げ強度を有する合板代替基材を開発した。

今後は建具, 収納ユニット, 床材, 階段など内装収納製

品を中心とした製品基材への用途展開を図るとともに、さらにケナフボードの特徴を活かし、植物由来樹脂との複合によるエコロジー材料化や、調湿、消臭、吸音など新たな機能性の付与による高付加価値化、ならびにその製造プロセス技術開発を推進する所存である。

*参考文献

- 1) 川井 秀一：ケナフボードの開発，第20回木材接着研究会講演要旨集，p. 46-49（1999）
- 2) 稲垣 寛：紙パルプを主にしたケナフの特性と展開，繊維学会誌，Vol. 52, No. 5, p. 189-199（1996）
- 3) 内藤 茂樹，奥平 有三，梅岡 一哲，安藤 秀行，劉 文海：ケナフを利用した構造用壁下地ボード，松下電工技報，Vol. 54, No. 4, p. 10-15（2006）

◆執筆者紹介



梅岡 一哲

新規商品創出技術開発部



内藤 茂樹

先行技術開発研究所



安藤 秀行

新規商品創出技術開発部



鈴木 伸一

住建総合技術センター



大野 宗一郎

住宅部材事業部