

# 複合材料の適用技術に関する研究 ～ 複合材料の信頼性評価手法の確立 その3 ～

素材開発室 西川 康博，長瀬 尚樹，菅根 仁一

## Study on Applied Technology of Composite Materials ～ Development of Reliability Evaluation Method for Composite Materials Part 3 ～

Yasuhiro NISHIKAWA, Naoki Nagase and Jinichi SUGANE

落花生殻の有効活用およびその実用化を目指し，JIS A 5908に規定される素地および化粧パーティクルボード・8タイプに匹敵する曲げ特性を有する落花生殻複合材料を開発した。見掛け密度が $0.71\text{g}/\text{cm}^3$ である落花生殻複合材料の半数において，その曲げ弾性率はJIS規定値（2GPa）を達成した。密度が低い場合には，平織麻繊維布を用いた補強による曲げ弾性率の向上が必要となる。曲げ強度は平織麻繊維布による補強の有無を問わず，JIS規定値（8MPa）を達成した。

### 1. はじめに

千葉県は全国でも有数の落花生の産地である。2007年度における千葉県の落花生生産量は約13,800tであり，これは全国における生産量（18,800t）の約73%にあたる<sup>1)</sup>。これら落花生のうち約半分はむき実（残りは殻つき）商品として加工・販売される。この時に出される落花生殻は千葉県内でも年間約1,700tにもなる。落花生殻は燃料として，あるいは2年ほどかけて堆肥化し，再び落花生の栽培に利用されている。しかし，大半は産業廃棄物として処理されている。

落花生殻は(1)加工工場において排出および集積される（低収集コスト），(2)現在，工業的利用は見られず，原材料としての価値は見出されていない（低原料コスト），(3)処理には木材ほど大きな施設・装置を必要としない（低設備コスト）という特徴を有する。これらの点から，落花生殻を必要最小限で処理できれば，低コストの未活用天然材料として有効活用できる可能性が大きい<sup>2)</sup>。

そこで本研究では，落花生殻の有効活用およびその実用化を目指し，できるだけ容易な手法により建築用複合材料の開発を試みた。JIS A 5908（パーティクルボード）に示されている素地および化粧パーティクルボード・8タイプに匹敵する曲げ特性（曲げ強度：8MPa，曲げ弾性率：2GPa）を有する落花生殻複合材料（落花生

殻パーティクルボード，以後，PHP（Peanut Husk Particle）ボードと呼ぶ）を開発することを目的とした。

### 2. 試験方法

#### 2.1 材料

本研究では千葉県八街市で栽培・加工された落花生殻を用いた。土等が付着した落花生殻を水洗いし，電気炉内で乾燥（ $100^\circ\text{C} \times 6\text{h}$ ）させた。その後，粉碎機を用いて粒子化し，目開き2mmおよび0.5mmの順に篩にかけた。本研究では目開き0.5mmの篩の上に残った落花生殻粒子を用いた。なお，0.5mmの篩を通過した粒子については，粒子径が非常に小さいため全表面積が大きくなり，また，ポリビニルアルコール樹脂の量が不足し，次節に示す方法では成形が困難であるため用いなかった。密度・比重測定装置（PENTA-PYCNOMETER；QUANTACHROME Co.）を用いて落花生殻粒子の密度を測定した結果は， $1.38\text{g}/\text{cm}^3$ であった。

バインダーとして，熱水で溶解する完全ケン化型（ケン化度：99.0mol%以上）のポリビニルアルコール樹脂（V-S20：日本酢ビ・ポパール，以後，PVAと呼ぶ）粉末を用いた。前述の装置により測定をしたPVA粉末の密度は， $1.31\text{g}/\text{cm}^3$ であった。

補強材として用いた市販品の平織麻繊維布には油が付着している。このため，アセトン中に

24時間浸漬することにより脱脂し、水洗・乾燥させた平織麻繊維布を用いた。実測による目付量は157g/m<sup>2</sup>であった。

## 2.2 成形方法

落花生殻粒子とPVAの混合物（落花生殻粒子の質量含有率80%）に蒸留水（落花生殻質量の75%）を加え、これを寸法120×150×6mmの金型内に投入した。その後、ホットプレス機を用いて加熱・加圧することによりPHPボードを成形した。金型内への投入量を変化させることにより、材料の密度を変化させた。また、質量と等量の蒸留水を含有させた平織麻繊維布を金型内側の両表面に1枚ずつ配置した後、上述の混合物を投入しホットプレス成形することにより、材料表面を補強したPHPボードを作製した。

成形では、加熱された蒸留水により溶解したPVAをバインダーとして、落花生殻粒子同士を結合させた。その後、水分を蒸発させ、PVA膜を形成させた。さらに、PVA膜に耐水性を付与するために熱処理<sup>3)</sup>を行った。高温での熱処理が望ましいが、200℃を超える熱処理はPVA自身を劣化させる。このPVAの溶解から熱処理までの成形工程を一括して行うために、成形温度を180℃、成形時間を10分、成形圧力を3MPaとした。加熱・加圧後は常温まで徐冷し、その後、実験室環境下（23±2℃、50±5%RH）で7日間保管した。成形したPHPボードの厚みは約5.6mmであった。

## 2.3 試験片および試験方法

3点曲げ試験には寸法120×20mmの試験片を用いた。1枚のPHPボードから糸鋸を用いて5本の試験片を切り出した。試験片本数は20本（成形板4枚分）とし、曲げ特性のパラッキについても調べた。3点曲げ試験には万能材料試験機（Model 5567, INSTRON）を用いた。制御方式を変位制御とし、変位速度を2.5mm/min、支点間距離を90mmとした。試験は全て実験室環境下で行った。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 PHPボードの構造

表1にPHPボードの見掛けの密度を示す。落花生殻粒子およびPVAの密度および落花生殻の質量含有率（80%）から求めたPHPボードの理論密度は1.37g/cm<sup>3</sup>である。両密度から算出した

材料内における空洞の体積含有率を表1に併せて示す。以後、見掛け密度が0.58g/cm<sup>3</sup>、0.67g/cm<sup>3</sup>および0.71g/cm<sup>3</sup>のPHPボードをそれぞれ、LD-PHPボード、MD-PHPボードおよびHD-PHPボードと呼ぶ。

内部状態を観察するために、PHPボードの一部をエポキシ樹脂中に包埋し、その後、パフ研磨を行った。代表例として図1に光学顕微鏡（X150-UWTT-NR；ニコンインテック）を用いてLD-PHPボードの断面を観察した結果を示す。図より、特に材料の中央部分において大きな空洞が生じていることがわかる。これは、落花生殻粒子が一定方向に配向しておらず、各粒子によって囲まれた領域が空洞となるためと言える。

### 3.2 PHPボードの曲げ特性

図2に各試験片の代表的な曲げ応力-ひずみ線図を示す。各試験片共に変形初期では、曲げ応力-ひずみの関係は線形であるが、その後、その関係は非線形となった。各試験片共に最大曲げ応力に達した後、試験片の引張側から破断した。

Table 1. Apparent density and void volume content of PHP boards.

Name	Apparent density [g/cm <sup>3</sup> ]	Void volume content [%]
LD-PHP board	0.58	58
MD-PHP board	0.67	51
HD-PHP board	0.71	48

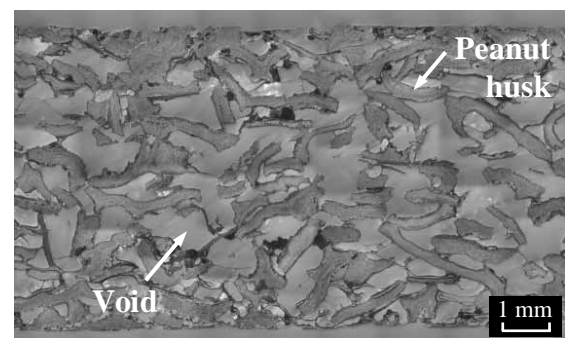


Fig. 1. Cross section of LD-PHP board.

図3および図4に各PHPボードの曲げ弾性率および曲げ強度の分布を示す。両図が示すように、PHPボードの密度が高くなるに伴い、曲げ弾性率および曲げ強度は高くなる。高密度化に伴い、落花生殻粒子同士の接触面積が増加し、PVAにより粒子同士がより強固に結びつくことができるためと考えられる。図3に示すように、LD-PHPボードおよびMD-PHPボードでは、全ての試験片において、目標値である曲げ弾性率2GPaを達成できなかった。一方、HD-PHPボードでは、50%の試験片において目標値を達成できた。一方、図4に示すように、全ての試験片において目標値である曲げ強度8MPaを達成できた。

表2にワイブル分布から得られた各特性の変動係数(CV)を示す。曲げ弾性率に関しては、MD-PHPボードおよびHD-PHPボードともに変動係数が10%を超え、バラツキが大きいことがわかる。また、曲げ強度に関しても、MD-PHPボードおよびHD-PHPボードでは変動係数が17%を超えることがわかる。ここで、曲げ試験後の試験片の見掛けの密度を測定した。曲げ試験片の破面近傍から長さ・幅ともに20mmの試験片を2個採取し、両者の平均をその試験片の見掛け密度とした。この見掛け密度を用いて比曲げ弾性率、比曲げ強度を求め、ワイブル分布から得られた各特性の変動係数を表3に示す。表より、比曲げ弾性率および比曲げ強度の変動係数は、表2に示す曲げ弾性率および曲げ強度のそれよりも低くなる。このことから、曲げ特性のバラツキはPHPボード内の密度分布が一因であると考えられる。

### 3.3 補強型PHPボードの構造

3.2節の結果より、曲げ弾性率の低かったLD-PHPボードおよびMD-PHPボードについて、平織麻繊維布による表面補強を行った。補強型LD-PHPボードおよび補強型MD-PHPボードの見掛けの密度は、それぞれ0.63g/cm<sup>3</sup>、0.70g/cm<sup>3</sup>であった。

図5に補強型LD-PHPボードの断面を観察した結果を示す。材料表面部分は、平織麻繊維布と落花生殻粒子およびPVAとの混合層となっていることがわかる。このことから、補強型PHPボードは全体としてサンドイッチ構造を成していることがわかる。

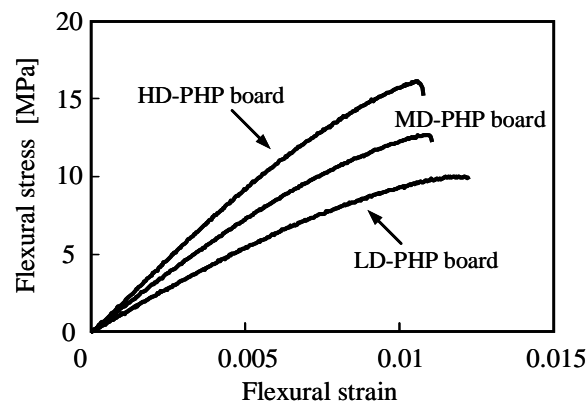


Fig. 2. Typical flexural stress-strain curves of PHP boards.

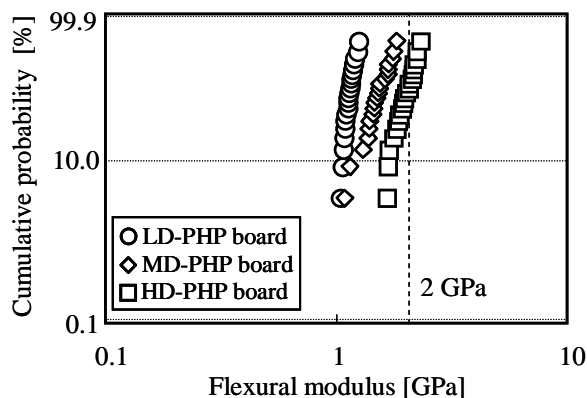


Fig. 3. Distribution of flexural modulus of PHP boards.

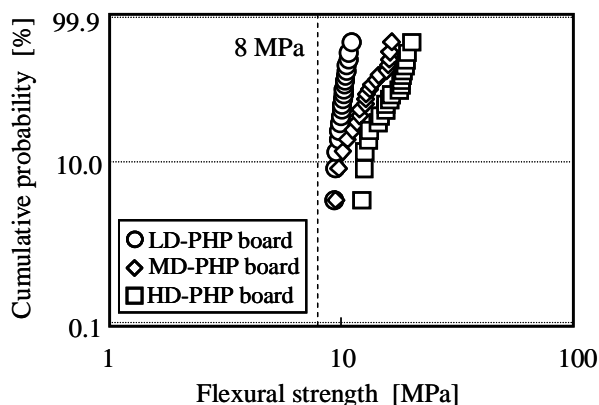


Fig. 4. Distribution of flexural strength of PHP boards.

Table 2. Coefficient of variation (CV) of flexural properties of PHP boards.

Name	CV of flexural modulus [%]	CV of flexural strength [%]
LD-PHP board	5.4	4.9
MD-PHP board	14	18
HD-PHP board	11	17

図6に走査型電子顕微鏡（JSM-6100S；日本電子）を用いて補強型LD-PHPボードの表面を観察した結果を示す。図に示すように、麻繊維束の内部にはPVA樹脂がほとんど含浸しておらず、平織麻繊維布は材料表面に露出していることがわかる。

### 3.4 補強型PHPボードの曲げ特性

図7に各試験片の代表的な曲げ応力-ひずみ線図を示す。各試験片共に最大曲げ応力に達した後、試験片の引張側から破断した。

図8および図9に各PHPボードの曲げ弾性率および曲げ強度の分布を示す。図8に示すように、補強型LD-PHPボードでも、大部分の試験片において目標値である曲げ弾性率2GPaを達成で

Table 3. Coefficient of variation (CV) of specific flexural properties of PHP boards.

Name	CV of specific flexural modulus [%]	CV of specific flexural strength [%]
LD-PHP board	3.2	5.0
MD-PHP board	9.9	14
HD-PHP board	10	16

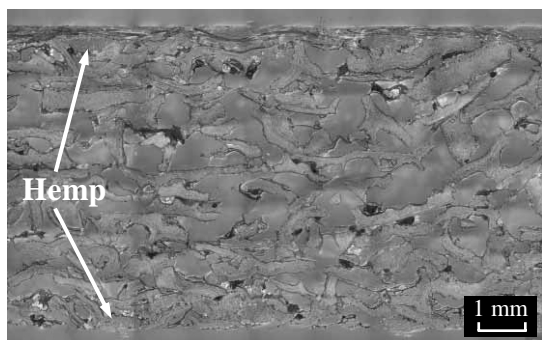


Fig. 5. Cross section of reinforced LD-PHP board.

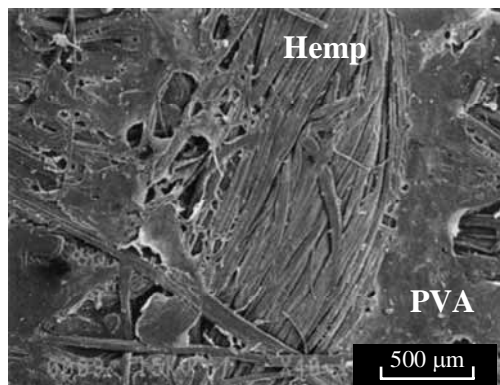


Fig. 6. SEM photograph of surface of reinforced LD-PHP board.

きなかった。麻繊維束の内部へのPVA樹脂の十分な含浸，あるいは，さらに高密度の平織麻繊維布による補強が必要であると言える。一方，補強型MD-PHPボードでは，大部分の試験片において目標値を達成でき，建築用複合材料として十分機能すると考えられる。また曲げ強度に関しては，図9に示すように，全ての試験片において目標値である8MPaを達成できた。

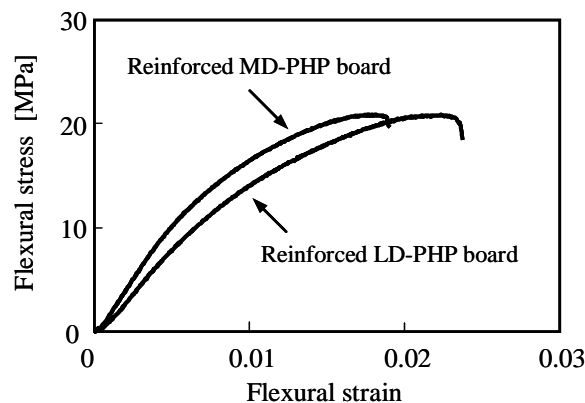


Fig. 7. Typical flexural stress-strain curves of reinforced PHP boards.

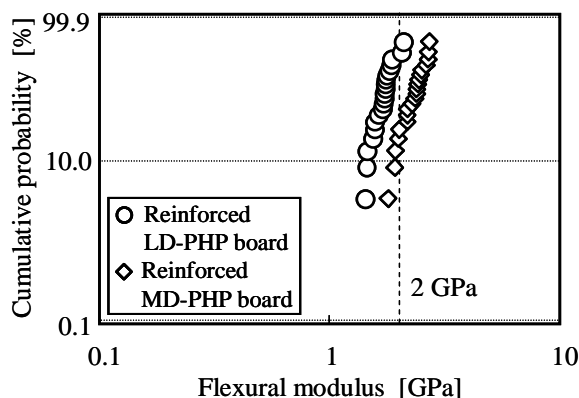


Fig. 8. Distribution of flexural modulus of reinforced PHP boards.

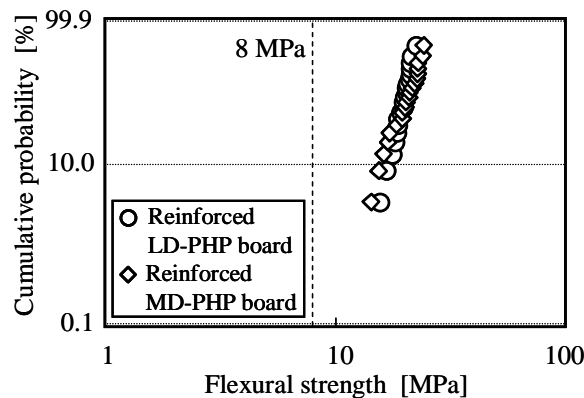


Fig. 9. Distribution of flexural strength of reinforced PHP boards.

表4にワイブル分布から得られた各特性の変動係数を示す。曲げ弾性率に関しては、補強型LD-PHPボードおよびMD-PHPボードともに変動係数が10%を超え、バラツキが大きいことがわかる。また、曲げ強度に関しても、補強型MD-PHPボードでは変動係数が10%を超えることがわかる。補強型PHPボードでは密度分布に加え、特に図6に示したような平織麻繊維布と落花生殻/PVA材との接着状態、あるいは、繊維の配向状態が、曲げ特性のバラツキに大きく関与すると考えられる。

Table 4. Coefficient of variation (CV) of flexural properties of reinforced PHP boards.

Name	CV of flexural modulus [%]	CV of flexural strength [%]
Reinforced LD-PHP board	11	9.4
Reinforced MD-PHP board	13	15

#### 4. まとめ

本研究では、落花生殻の有効活用およびその実用化を目指し、JIS A 5908に規定される素地および化粧パーティクルボード・8タイプに匹敵する曲げ特性を有する落花生殻複合材料を開発した。本研究により得られた結果を以下に示す。

1. 見掛け密度が  $0.71\text{g}/\text{cm}^3$  である落花生殻複

合材料の半数において、その曲げ弾性率はJIS 規定値 (2GPa) を超えることができる。密度が低い場合には、平織麻繊維布を用いた補強による曲げ弾性率の向上が必要となる。

2. 本成形条件で作製した落花生殻複合材料の曲げ強度は、平織麻繊維布による補強の有無を問わず、JIS 規定値 (8MPa) を超えることができる。材料の高密度化および平織麻繊維布による補強により、曲げ強度はバラツキが大きくなるものの向上する。

本研究を遂行するにあたり、千葉県八街市の有限会社ますだ様に落花生殻を提供して頂きました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan, "Statistics on Crop 2007", (2008).
- 2) Y. Nishikawa, N. Nagase and K. Fukushima, "Application of Peanut Hull as Filler for Plastics", Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A, Vol.73, No.71, pp.782-787 (2007).
- 3) K. Nagano, S. Yamane and K. Toyoshima, "Polyvinyl -alcohol", pp.212-220 (1981), Koubunshi-kankoukai.