

論文 ホットプレス成形法によるもみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の物理的性質に及ぼす配合要因の影響

森 一平^{*1}・大濱 嘉彦^{*2}・崔 洛運^{*3}

要旨: 本研究では, 廃発泡ポリスチレンをスチレンに溶解した高分子溶液を結合材として用い, ホットプレス成形法によって, もみ殻を硬化させたもみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体を製造し, その物理的性質に及ぼす配合要因の影響について検討している。その結果, もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の曲げ強さは, 結合材量及び充填材 - 結合材比の増加に伴って増大し, 結合材量 30.0% 及び充填材 - 結合材比 1.0 において最大値に達する。又, その曲げ弾性係数は, 約 5.0 ~ 16.0GPa の範囲にあり, コンクリート用型枠などの建設材料としての利用が期待される。

キーワード: 廃発泡ポリスチレン, もみ殻, ホットプレス成形法, 複合体, 曲げ強さ

1. はじめに

近年, 我が国において, もみ殻は, ライスセクターやカントリーエレベーターなどの共同乾燥調整施設から一度に大量に排出されている¹⁾。もみ殻は, 堆肥, マルチング材, 暗渠排水用材料などに利用されるが, その表皮細胞に SiO₂ を多く含み, 吸水しにくい, 砕きにくい, 腐りにくいなどの性質を持つため, ほとんど有効利用されずに廃棄されており, その処理が問題となっている²⁻⁵⁾。一方, 容器包装リサイクル法の施行に伴って, 廃発泡ポリスチレンの処理は急務となっているが, そのマテリアルリサイクル率は, 年間流通量(約 17.1 万 t)の約 37.8% であり, 十分とは言い難い状況にある^{6,7)}。著者らは, 廃発泡ポリスチレンのスチレン溶液を結合材として用い, 常温硬化成形法又はホットプレス成形法によって廃木材チップを硬化させた廃木材 - 廃発泡ポリスチレン複合体を開発している^{8,9)}。

本研究では, 廃発泡ポリスチレン及びもみ殻の建設材料への有効利用を目的として, ホットプレス成形法によって, 板状のもみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体を製造し, その物理的性質に及ぼす配合要因の影響について検討する。

2. 使用材料

2.1 結合材用材料

廃発泡ポリスチレン(以下, EPS と略称)としては, その模擬品として, JIS A 9511(発泡プラスチック保温材) に規定するビーズ法発泡ポリスチレンの「保温板 4 号」(密度, 17kg/m³)を使用した。減容剤兼結合材用モノマーとしては, JIS K 6727(スチレン)に規定する工業用スチレンを, 又, 架橋剤としては, トリメチロールプロパントリメタクリレート(以下, TMPTMA と略称)を使用した。開始剤としては, 過酸化ベンゾイルを 50% 含むフタル酸ジシクロヘキシル(以下, BPO と略称)を使用した。Table 1 には, 結合材用モノマーの性質を示す。

Table 1 Properties of Monomers for Binder.

Type of Monomer	Molecular Weight	Density (20 , g/cm ³)	Purity (%)
Styrene	104.1	0.91	99.8
TMPTMA	338.4	1.06	97.3

2.2 充填材

充填材としては, 重質炭酸カルシウムを使用した。なお, 重質炭酸カルシウムについては,

*1 日本大学大学院 工学研究科 建築学専攻 (正会員)

*2 日本大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

*3 日本大学大学院 工学研究科 建築学専攻 (正会員)

105 で 48h 乾燥し,その含水率を 0.1%以下として使用した。Table 2 には,重質炭酸カルシウムの性質を示す。

Table 2 Properties of Ground Calcium Carbonate.

Size (μm)	Density (20)(g/cm ³)	Water Content (%)
< 2.5	2.70	< 0.1

2.3 もみ殻

もみ殻としては,平成 13 年にカントリーエレベーターから排出された福島県産もみ殻を使用した。なお,もみ殻については,105 で 48h 乾燥し,その含水率を 0.1%以下として使用した。Table 3 及び Photo 1 には,もみ殻の性質及び外観を示す。JIS A 1104 (骨材の単位容積質量及び実積率試験方法)に従って,もみ殻のかさ密度を測定した。

Table 3 Properties of Rice Husks.

Bulk Density (g/cm ³)	Water Content (%)
0.11	< 0.1



Photo 1 Appearance of Rice Husks.

3. 試験方法

3.1 供試液状レジン及び供試結合材の調製

減容剤兼結合材用モノマーとしてのスチレンに EPS を溶解させた供試 EPS 溶液に, TMPTMA を添加して混合し,供試液状レジンを調製した。次に,供試液状レジンに BPO を添加し,よくかくはんして,供試結合材を調製した。Table 4 及び Table 5 には,それぞれ,供試液状レジンの性質及び供試結合材の配合を示す。

Table 4 Properties of Liquid Resin.

Density (20)(g/cm ³)	Viscosity (20)(mPa ·s)	TMPTMA Content (%)
0.99	8860	20

Table 5 Formulations of Binder.

Formulations (% , mass fraction)			
Liquid Resin			BPO (phr*)
EPS	Styrene	TMPTMA	
32	48	20	2.0

Note,* : parts per hundred parts of resin(by mass).

3.2 供試体の作製

Table 6 には,もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の配合を示す。まず,ホバートミキサーを用いて,供試結合材と充填材を 2min 練り混ぜ,次に,もみ殻を混入して 3min 練り混ぜた後,寸法 200 × 200 × 30mm の鋼製型枠に詰めた。その型枠を油圧シリンダー方式のホットプレスにセットし,120 , 25MPa で 15min ホットプレス成形を行い,脱型した後,24h 乾燥[20 ,60% (RH)]養生を行い,もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体を作製した。その作製した複合体を,チップソーを用いて,寸法 40 × 160 × (9 ± 1)mm となるように切断したものを供試体とした。

Table 6 Mix Proportions of Rice Husks-Waste EPS Composites.

Filler-Binder Ratio (by mass)	Mix Proportions (% , mass fraction)		
	Binder	Filler	Rice Husks
0.0	25.0	0.0	75.0
0.5		12.5	62.5
1.0		25.0	50.0
1.5		37.5	37.5
0.0	30.0	0.0	70.0
0.5		15.0	55.0
1.0		30.0	40.0
1.5		45.0	25.0
0.0	35.0	0.0	65.0
0.5		17.5	47.5
1.0		35.0	30.0
1.5		52.5	12.5

3.3 見掛け密度試験

JIS A 5908(パーティクルボード)に準じて,厚さを 0.05mm ,長さ及び幅を 0.1mm ,質量を 0.1g

まで測定し、供試体の見掛け密度 (0.01g/cm³ まで) を算出した。

3.4 曲げ強さ試験

JIS A 5908 に準じて、インストロン万能試験機を用い、クロスヘッド速度 0.5mm/min で中央集中載荷法による供試体の曲げ強さ試験を行うと同時に、その供試体のたわみを測定し、供試体の曲げ弾性係数を算出した。

4. 試験結果及び考察

Fig.1 には、もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の見掛け密度と結合材量の関係を示す。複合体の見掛け密度は、結合材量の増加に伴って増大する。Fig.2 には、もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の見掛け密度と充填材 - 結合材比の関係を示す。複合体の見掛け密度は、充填材 - 結合材比の増加に伴って増大する。この理由は、(1) 結合材量の増加に伴って、ホットプレス成形時におけるもみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の流動性が改善されたこと、及び(2) 充填材 - 結合材比の増加に伴って、使用材料中で最高密度を持った充填材が、複合体の内部組織において高い割合を占めたことにあると考えられる。

Fig.3 には、もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の曲げ強さと結合材量の関係を示す。充填材 - 結合材比 0.0 及び 0.5 の複合体の曲げ強さは、結合材量の増加に伴って増大し、充填材 - 結合材比 1.0 の複合体の曲げ強さは、結合材量 30.0% において最大値に達する。充填材 - 結合材比 1.5 の複合体の曲げ強さは、結合材量の増加に伴って減少する。Fig.4 には、もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の曲げ強さと充填材 - 結合材比の関係を示す。結合材量 25.0% の複合体の曲げ強さは、充填材 - 結合材比の増加に伴って増大する。結合材量 30.0 及び 35.0% の複合体の曲げ強さは、充填材 - 結合材比 1.0 及び 0.5 において最大値に達する。もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の曲げ強さは、充填材を含む結合材によって、複合体内部のもみ殻同士の間隙がち密に充填されるような配合において、高い曲げ強さ

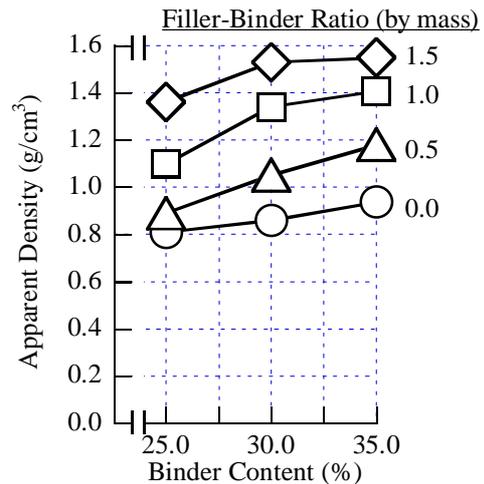


Fig.1 Binder Content vs. Apparent Density of Rice Husks-Waste EPS Composites with Various Filler-Binder Ratios.

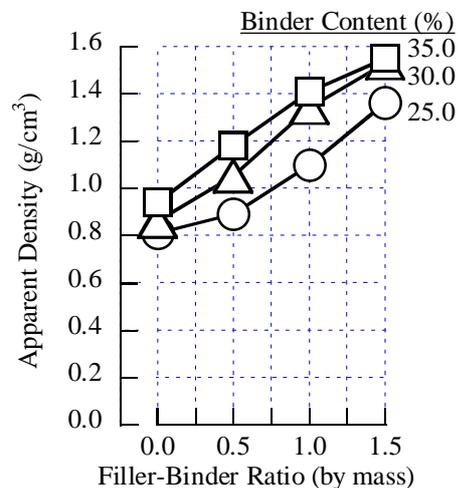


Fig.2 Filler-Binder Ratio vs. Apparent Density of Rice Husks-Waste EPS Composites with Different Binder Contents.

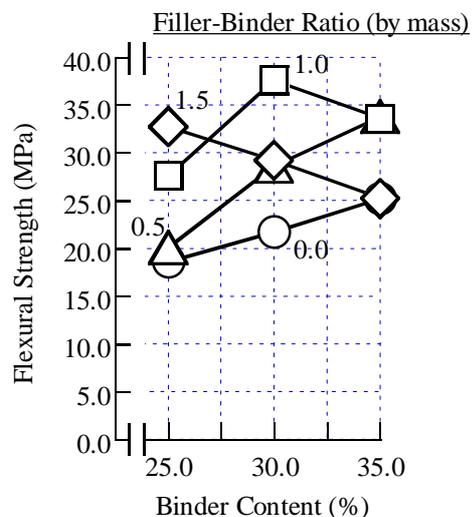


Fig.3 Binder Content vs. Flexural Strength of Rice Husks-Waste EPS Composites with Various Filler-Binder Ratios.

を発現するものと考えられる。しかし、過剰な結合材量及び充填材量の配合では、もみ殻による重合熱の吸収が不十分となり、重合反応が激しく進行し、低分子量のポリマーが形成されるため、その曲げ強さが減少するものと推察される。

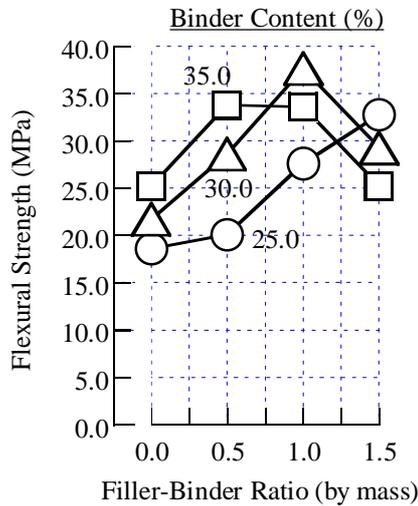


Fig.4 Filler-Binder Ratio vs. Flexural Strength of Rice Husks-Waste EPS Composites with Different Binder Contents.

Fig.5, Fig.6 及び Fig.7 には、結合材量 25.0, 30.0 及び 35.0% のもみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の曲げ荷重 - たわみ曲線を示す。もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体は、結合材量及び充填材 - 結合材比の増加に伴って脆性が高まり、その曲げ荷重が、たわみの増加に伴ってほぼ直線的に増加して、最大曲げ荷重に達した後に急激に低下する曲げ荷重 - たわみ挙動を示す。又、もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の最大曲げ荷重時におけるたわみは、結合材量及び充填材 - 結合材比の増加に伴って減少する傾向にある。このようなもみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の曲げ挙動は、TMPTMA によって架橋された結合材の脆性に起因するものと考えられる。上述したように、この複合体は、その曲げ挙動から見れば、脆性的な材料であるが、後述する通り、JAS(コンクリート型枠用合板)の適合基準を満たしているので、コンクリート用型枠として利用可能であると考えられる。

Fig.8 には、もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合

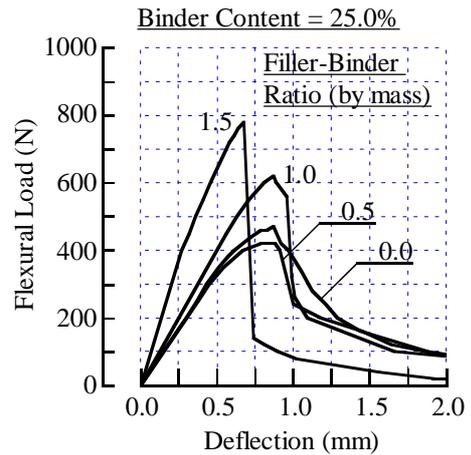


Fig.5 Flexural Load-Deflection Curves for Rice Husks-Waste EPS Composites with Various Filler-Binder Ratios at a Binder Content of 25.0%.

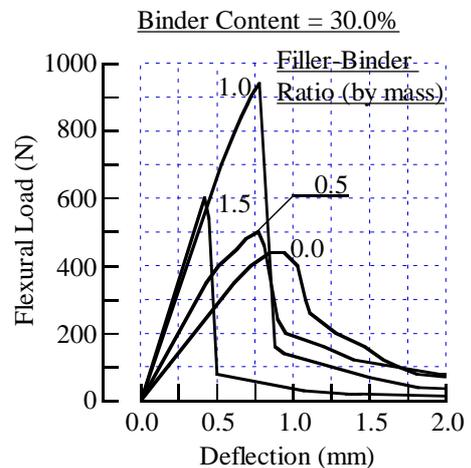


Fig.6 Flexural Load-Deflection Curves for Rice Husks-Waste EPS Composites with Various Filler-Binder Ratios at a Binder Content of 30.0%.

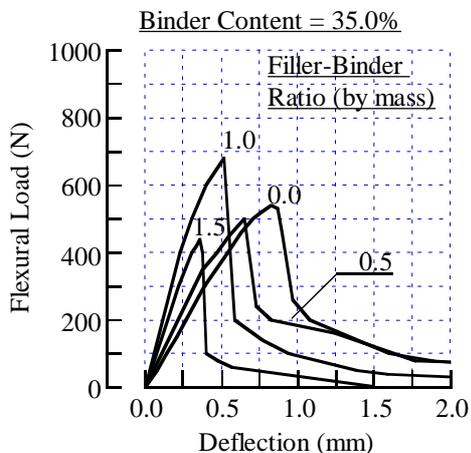


Fig.7 Flexural Load-Deflection Curves for Rice Husks-Waste EPS Composites with Various Filler-Binder Ratios at a Binder Content of 35.0%.

体の曲げ弾性係数と結合材量の関係を示す。充填材 - 結合材比 0.0 の複合体の曲げ弾性係数は、結合材量にかかわらず、ほぼ一定であるが、充填材 - 結合材比 0.5 及び 1.0 の複合体の曲げ弾性係数は、結合材量の増加に伴って増大する。充填材 - 結合材比 1.5 の複合体の曲げ弾性係数は、結合材量 30.0%において最大値に達する。Fig.9 には、もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の曲げ弾性係数と充填材 - 結合材比の関係を示す。結合材量にかかわらず、複合体の曲げ弾性係数は、充填材 - 結合材比の増加に伴って増大する傾向にある。これは、充填材 - 結合材比の増加に伴って、複合体内部の充填材量が増加し、その内部組織がち密になったためと考えられる。もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の曲げ弾性係数は、配合要因にかかわらず、JIS A 5908 の素地パーティクルボード(18 タイプ)の品質規準 (3.1GPa)を満たしており、又、一部を除き、JAS(コンクリート型枠用合板)の適合基準 (6.0GPa)を満たしている。もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の曲げ弾性係数は、浜野ら¹⁰⁾によるイソシアネート系樹脂を用いたもみ殻ボードの曲げ弾性係数(1.2~1.8GPa)の約 4~12 倍であり、優れた曲げ剛性を持つといえる。

Fig.10 には、もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の曲げ強さと見掛け密度の関係を示す。複合体の曲げ強さは、見掛け密度の増加に伴って増加する傾向にあり、見掛け密度約 0.8 ~ 1.6g/cm³ の範囲で、約 19.0~37.0MPa の曲げ強さを発現する。又、その複合体の曲げ強さは、見掛け密度 1.3 ~ 1.4g/cm³ の範囲において最大値に達する傾向にある。最大曲げ強さを発現する複合体の内部組織は、結合材量及び充填材 - 結合材比の増加に伴って、もみ殻同士の間隙が、充填材を含む結合材によって、ち密に充填された状態となる。しかし、Fig.3 及び Fig.4 において既に考察した通り、過剰な結合材量及び充填材量の配合では、低分子量のポリマーが形成されるため、その曲げ強さが減少するものと考えられる。複合体の曲げ強さと見掛け密度との間

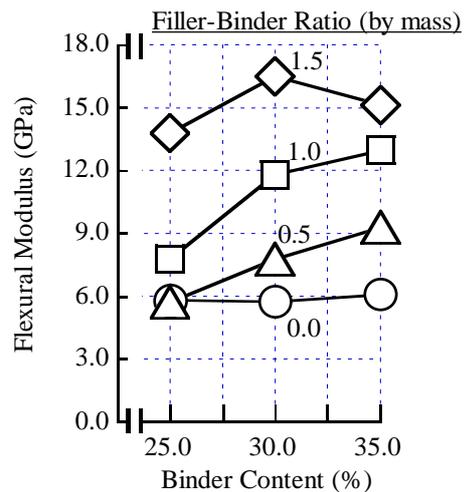


Fig.8 Binder Content vs. Flexural Modulus of Rice Husks-Waste EPS Composites with Various Filler-Binder Ratios.

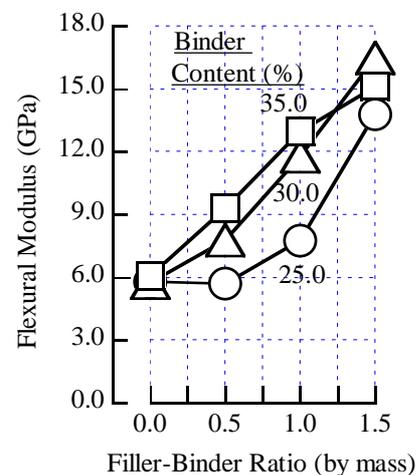


Fig.9 Filler-Binder Ratio vs. Flexural Modulus of Rice Husks-Waste EPS Composites with Different Binder Contents.

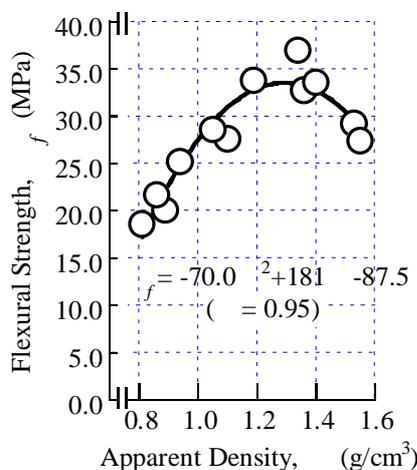


Fig.10 Relationship between Apparent Density and Flexural Strength of Rice Husks-Waste EPS Composites.

には、高い相関性が認められ、次のような実験式で表すことができる。

$$f = -70.0 \rho^2 + 181 \rho - 87.5 \quad (R = 0.95)$$

ここに、 f ：複合体の曲げ強さ(MPa)
 ρ ：複合体の見掛け密度(g/cm³)
 R ：相関係数

5. まとめ

本研究では、成形温度 120℃、成形圧力 25MPa、成形時間 15min とした、ホットプレス成形条件下において、結合材量 25.0～35.0%及び充填材 - 結合材比 0.0～1.5 とした配合の範囲で、もみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の物理的性質を検討した。その結果を総括すると、次の通りである。

- 1) ホットプレス成形法によるもみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の見掛け密度は、結合材量及び充填材 - 結合材比の増加に伴って増大する。
- 2) ホットプレス成形法によるもみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体は、約 19.0～37.0MPa と高い曲げ強さを発現し、その最高曲げ強さは、結合材量 30.0%及び充填材 - 結合材比 1.0 において得られる。
- 3) ホットプレス成形法によるもみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の曲げ荷重 - たわみ挙動は、結合材の性質に大きく支配され、最大曲げ荷重以降の曲げ荷重が急激に低下する傾向にある。
- 4) ホットプレス成形法によるもみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の曲げ弾性係数は、結合材量及び充填材 - 結合材比の増加に伴って増大する傾向にあり、結合材量 30.0%及び充填材 - 結合材比 1.5 において最大値に達する。
- 5) ホットプレス成形法によるもみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の曲げ強さとその見掛け密度の間には、高い相関性が認められる。
- 6) ホットプレス成形法によるもみ殻 - 廃発泡ポリスチレン複合体の物理的性質は、複合

体組織の充填状態に著しく影響される。その最高曲げ強さ発現の上から、結合材量及び充填材 - 結合材比の調整による安定した重合及び最密充填状態が達成されるような配合設計が有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 本多淳裕：産業廃棄物のリサイクル，(財)省エネルギーセンター，pp.226-229，1994.7
- 2) 本多淳裕：絵で見る農林水産とリサイクル，(財)クリーン・ジャパン・センター，pp.42-43，1998.4
- 3) 松尾孝嶺ほか：稲学大成 第1巻 形態編，(社)農山漁村文化協会，pp.61-70，1990.11
- 4) Viswanathan, T., Smith, M. and Palmer, H.：Rice Hull Reinforced Building Boards Using Formaldehyde-Free Adhesive Resins Derived from Whey, Journal of Elastomers and Plastics, Vol.19, No.2, pp.99-108, Apr.1987
- 5) 加藤文：ごみだったもみ殻を舗装材として利用，月刊廃棄物，Vol.26，No.12，pp.68-71，2000.12
- 6) 発泡スチロール再資源化協会：ジェスプレインフォメーション 2002，発泡スチロール再資源化協会，14p，2002.3
- 7) 小島瞬治：容器・包装のリサイクル，接着の技術，Vol.22，No.1，pp.45-50，2002.6
- 8) 崔洛運，大濱嘉彦：ホットプレス成形法による廃木材 - 廃発泡ポリスチレン複合体の基礎的性質に及ぼす成形条件の影響，日本建築学会構造系論文集，No.561，pp.31-36，2002.11
- 9) 崔洛運，大濱嘉彦：廃発泡ポリスチレン - 廃木材複合体の強度性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.1311-1316，2002.6
- 10) 浜野義昭ほか：もみ殻ボードの試作研究，鳥取県工業試験場研究報告，No.8，pp.25-29，1986.10