

もみ殻を充填した二重落とし込み
み木板パネルの断熱性能実験EXPERIMENT OF THE HEAT
INSULATING PERFORMANCE OF
CHEFF FILLED WOOD PANEL水沼 信 ——*1 中園真人 ——*2
中村安弘 ——*3Makoto MIZUNUMA ——*1 Mahito NAKAZONO ——*2
Yasuhiro NAKAMURA ——*3キーワード:
もみ殻充填パネル, 断熱性能, 熱貫流率, 次世代省エネルギー基準Keywords:
Chaff filled panel, Heat insulating performance, Overall heat transmission,
Japanese next generation energy saving standard

The improvement of heat insulating performance is one of the major problems of traditional wooden house in Japan. In this paper, the effect of chaff filled wood panel that was newly developed for house wall is discussed by comparing with some other materials. By the artificial weather control equipment, the coefficient of overall heat transmission and thermal conductivity were measured. The performance of chaff filled panel satisfies the Japanese Next Generation Energy Saving Standard in the warm region.

1. 序論

我が国の木造軸組工法による住宅は、近代化と共に冬季の断熱性能を重視し様々な形で改善されてきた。その結果、低価格で高断熱性能を有するグラスウールやポリスチレンフォームといった断熱材が導入され全国に普及した。しかし、断湿施工を疎かにすると壁体内結露を生じる新たな問題を生んだ。さらに地球環境に対する関心の高まりとともに火災や廃棄時に人体や環境に与える負荷が問題になっている。

そこで筆者らは、使用中はもちろんのこと製造から廃棄されるまでの過程において環境に対して有害物質を放出せず、廃棄の際には生分解される材料(エコマテリアル)の一種としてもみ殻および炭化もみ殻に着目し、これを断熱材として活用する方法を考案した。

炭化もみ殻と木炭の外観の電子顕微鏡写真を図1に示すが、木炭は平滑な表面をしているのに対して、炭化もみ殻は半球状の突起物(約50 μ m)が長軸方向に沿って規則正しく並び、さらに突起物間に空隙が生じている。この空隙により断熱性能が得られ、加えてガス吸着性能、調湿性能においても効果が期待できるものと考えられる。さらに、炭化もみ殻表皮がシリカ層により形成されているため、シロアリ忌避効果があるという実験結果が報告されている¹⁾。

現在、もみ殻は作物の保温材として使用される以外はほとんど利用されていない所謂農業廃棄物であり、その炭化物である炭化もみ殻は農業用の土壌改良材・保温材として農業協同組合などで一定量

が生産されているものの、建築用材としての活用例はほとんど見られない。しかしながら、北海道などの寒冷地においては、グラスウ

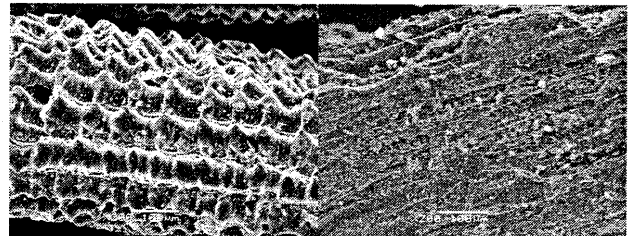


図1 炭化もみ殻(左)木炭(右)SEM(200倍)写真

ールが普及する以前は住宅の断熱材としておが屑とともにもみ殻が使用されていた歴史²⁾⁻⁶⁾があり、断熱材としての活用に向けた貴重な実績といえよう。なお、もみ殻の建築への適用についての既往研究としては、大濱らのもみ殻の建材利用に関する研究⁷⁾があるが、これは断熱性能に注目したものではない。また吉野らはわら繊維による断熱材開発研究⁸⁾の過程で比較材料として炭化もみ殻の熱伝導率測定結果について報告しているが、もみ殻を壁体を実装した断熱性能試験は行われていない。

本研究開発の目標は、木造軸組工法における耐震・断熱性能の改善課題を解決するため、耐力壁となる二重木板パネルに断熱材となるもみ殻を充填する工法(図2)を開発することであるが、提案工

*1 山口県産業技術センター 専門研究員
(〒755-0195 宇部市あすとびあ4-1-1)

*2 山口大学工学部感性デザイン工学科 教授・工博

*3 山口大学工学部感性デザイン工学科 教授・工博

*1 Researcher, Industrial Technology Institute, Yamaguchi Pref.

*2 Prof., Department of Kansei Design and Engineering, Faculty of Engineering, Yamaguchi Univ. Dr. Eng.

*3 Prof., Department of Kansei Design and Engineering, Faculty of Engineering, Yamaguchi Univ. Dr. Eng.

法の実用化のためには、第一に、木板パネルの構造実験による耐力性能の確認と、パネルの工場生産による施工手間削減が課題となる。また第二に、もみ殻断熱材の施工手間削減のためのパネル化等の課題がある。これらの課題が解決されれば、本工法は耐震・断熱性能を兼ね備えた新たな木造耐力壁として普及出来るものと考えているが、本論では、工法開発の第一段階として、杉厚板2枚ともみ殻充填層を設けた試験体パネルの熱貫流率の測定を行い、パネルとしての断熱性能を実験により明らかにすることを目的とする。

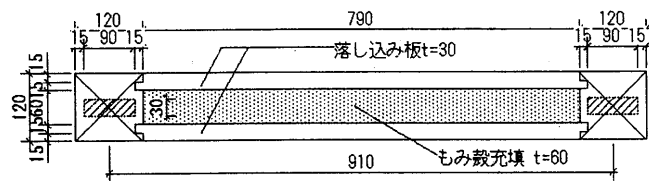


図2 もみ殻断熱工法施工例

2. 実験概要

実験は山口県産業技術センターの人工気象装置を使用して行った。実験供試体としてもみ殻断熱工法による4供試体(図3)を準備して各々の熱貫流率を測定した。①杉厚板(30mm)1枚のみの場合、②杉厚板(30mm)2枚でその間に60mmの空気層を設けた場合、③杉厚板2枚でその間に60mmの乾燥もみ殻充填層を設けた場合、④杉厚板2枚でその間に60mmの炭化もみ殻充填層を設けた場合、の4供試体である。

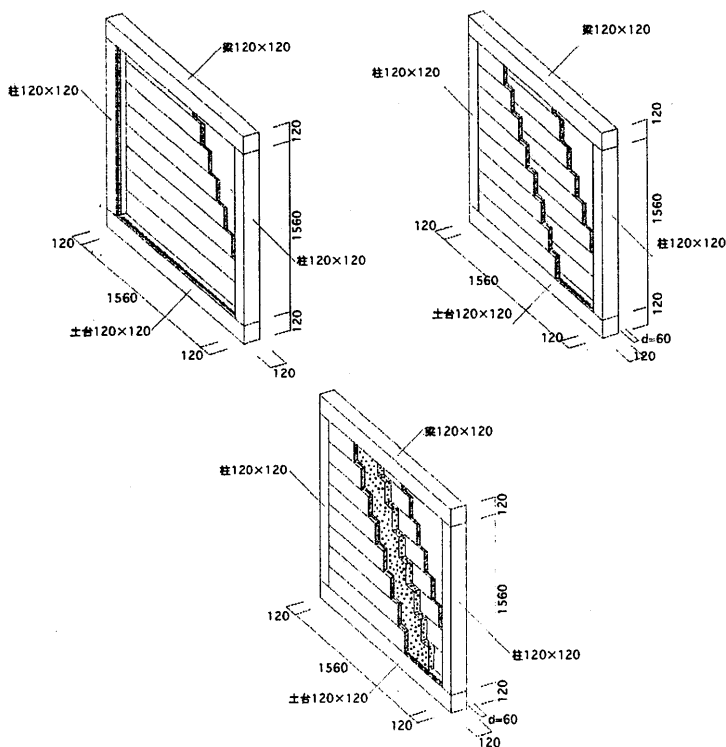


図3 供試体リスト

凡例：左上：①杉厚板1枚のみ

右上：②杉厚板2枚+60mm空気層

下：③・④杉厚板2枚+60mmもみ殻充填(充填密度95.5kg/m³)

各供試体において実際の建築物での梁、柱、土台に相当する部材も杉厚板と同様に材料は杉を用いた。各供試体の施工手順は、まず

土台に決りをとった柱を結合し、その決り部に杉厚板パネルを上部から順次落とし込み、最後に梁を載せた。

本実験の熱貫流率測定はJISA1414 6.6「建築用構成材(パネル)及びその構造部分の性能試験方法・熱貫流試験」に準じた。人工気象装置は、それぞれ独立して温湿度を制御できる2室(室外室、室内室)型恒温恒湿チャンバーであり、そのスペックを表1に示す。

実験供試体(1800mm×1800mm)を2室の界壁部に設置し、接触面に隙間が生じないように加熱箱(内寸1400mm×1400mm)を供試体室内室側表面中央に固定し、供試体冷却側および加熱側表面温度、供試体冷却側および加熱側表面近傍温度(供試体表面から100mm)、保護温度(加熱箱外部表面から200mmの室内室温度)、各5点をT型熱電対により15分間隔で測定した。

さらに加熱箱内部温度を定常に保つための加熱箱温度調節器(加熱ヒーターおよびファン)の消費電力を、温度同様15分間隔で測定した。実験条件は、室外室温度0℃、保護温度(室内室温度)および加熱箱内温度20℃、湿度はいずれも成り行きとし、加熱側と冷却側の空気および供試体表面温度、各5点の値が±1℃以内に収まったことを試験終了判定とした。

表1 人工気象装置の使用機器およびその性能
室外室 室内室

| 室外室 | | 室内室 | |
|----------|----------|----------|----------|
| 送風機 | 150W | 送風機 | 100W |
| 冷凍機 | 2.2KW—3台 | 冷凍機 | 2.2KW—2台 |
| ヒーター | 12KW | ヒーター | 12KW |
| 排気ファン | 250W | 加湿器 | 7.6KW |
| 加湿器 | 8.8KW | エアードライヤー | 3.45KW |
| 赤外線ランプ | 250W—45個 | 温度制御範囲 | 0~50℃ |
| エアードライヤー | 8.75KW | 湿度制御範囲 | 40~90%RH |
| 温度制御範囲 | -20~50℃ | 加熱箱ファン | 60W—4台 |
| 湿度制御範囲 | 30~90%RH | 加熱箱ヒーター | 500W—2台 |

3. 実験結果

3.1 熱貫流率

加熱側と冷却側の空気および供試体表面温度が定常になったことを確認した後、各温度の測定結果平均値、発生熱量(図4)をもとに、計算式1により熱貫流率を求めた。

$$K = \frac{Q \times 4}{(\theta_{ha} - \theta_{ca}) \cdot A} \dots\dots\dots \text{計算式 1}$$

K: 熱貫流率(W/m²K), θ_{ha} : 加熱側空気平均温度(℃),
 θ_{ca} : 冷却側空気平均温度(℃), A: 加熱箱内法面積(1.96m²),
 Q: 発生熱量(Wh/4)

ここで、発生熱量とは加熱箱内部温度を定常に保つための加熱箱温度調節器(加熱ヒーターおよびファン)の消費電力であり、ヒーターおよびファンそれぞれの消費電力(電圧・電流)を電力測定器(横河電機 WT110E: 基本精度 0.3%)により測定し合計した値で15分間毎の積算値を表している。なおファンの発生熱量についてはそのモーター部分も加熱箱内部に存することから、消費電力測定値をそのまま発生熱量とした。さらに1時間あたりの発生熱量に換算し測定時間毎の熱貫流率を計算した結果を図5に示す。

3.2 みかけの熱伝導率

各温度の測定結果平均値、発生熱量（図4）をもとに、みかけの熱伝導率を計算式2により求めた。

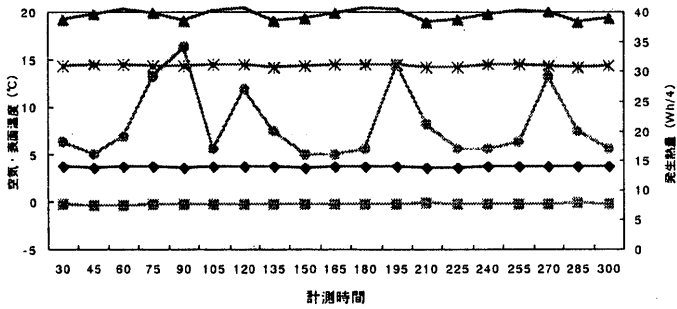


図 4-1 ①杉単板

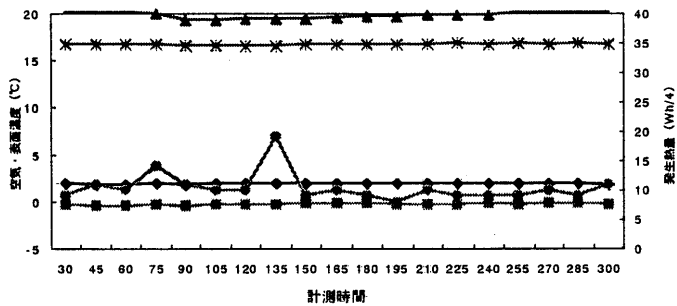


図 4-2 ②杉板複層+空気層

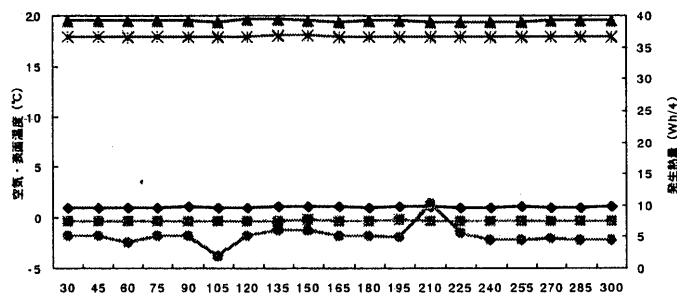


図 4-3 ③杉板複層+乾燥もみ殻充填

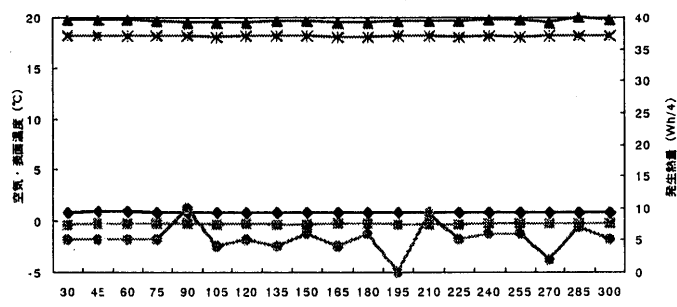


図 4-4 ④杉板複層+炭化もみ殻充填

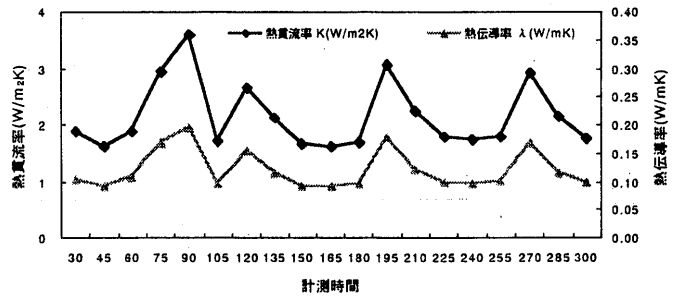


図 5-1 ①杉単板

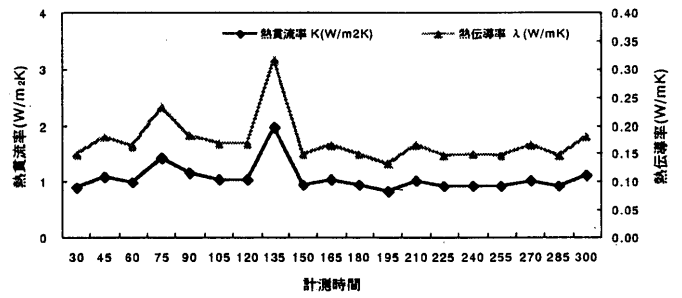


図 5-2 ②杉板複層+空気層

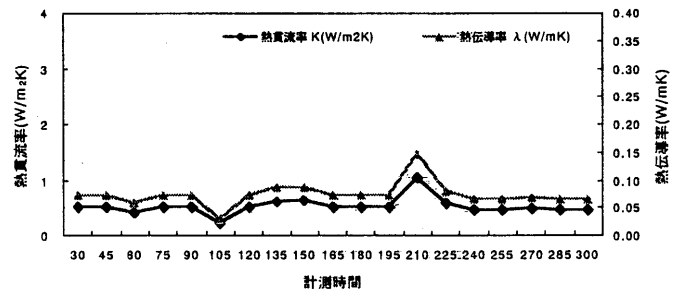


図 5-3 ③杉板複層+乾燥もみ殻充填

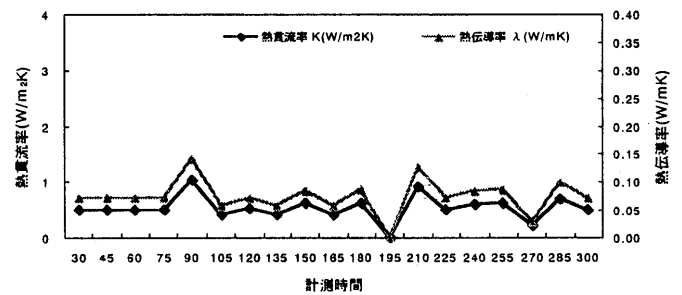


図 5-4 ④杉板複層+炭化もみ殻充填

表 2 熱貫流率とみかけの熱伝導率一覧

| | 熱貫流率 K'(W/m²K) | みかけの熱伝導 率λ'(W/mK) |
|-------------|-------------------|----------------------|
| ① 杉厚板1枚 | 2.148 | 0.120 |
| ② 杉厚板2枚+空気層 | 1.053 | 0.171 |
| ③ 乾燥もみ殻60mm | 0.520 | 0.073 |
| ④ 炭化もみ殻60mm | 0.532 | 0.074 |

$$C = \frac{Q \times 4}{(\theta_{hs} - \theta_{cs}) \cdot A} \dots\dots\dots \text{計算式 2}$$

$$\lambda = \frac{d}{C}$$

C: 熱コンダクタンス(W/m²K), λ: みかけの熱伝導率(W/mK),
 θ_{hs}: 加熱側表面平均温度(°C),
 θ_{cs}: 冷却側表面平均温度(°C), A: 加熱箱内法面積(1.96m²),
 Q: 発生熱量(Wh/4), d: 部材厚さ(m)
 各供試体の測定時間毎のみかけの熱伝導率計算結果を図5に示す.

3.3 熱貫流率とみかけの熱伝導率一覧

各供試体の熱貫流率およびみかけの熱伝導率の一覧を表2に示す。表中の各値は15分毎300分間の熱貫流率およびみかけの熱伝導率を計算式3により平均したものである。

$$K' = \frac{\sum_{S=30}^{S=300} K}{19} \quad \lambda' = \frac{\sum_{S=30}^{S=300} \lambda}{19} \dots\dots\dots \text{計算式 3}$$

S: 計測時間

試験体②では①と比較して熱貫流率は2分の1程度に低下するが、2枚の杉厚板間空気層内に対流が生じるため、みかけの熱伝導率は①と比較して大きくなっている。この空気層にもみ殻を充填することにより、熱貫流率およびみかけの熱伝導率が大幅に改善されることが分かる。なお、③乾燥もみ殻と④炭化もみ殻の差異はほとんど認められなかった。

4. もみ殻断熱工法と一般的断熱工法の比較

乾燥もみ殻を充填した供試体および炭化もみ殻を充填した供試体に着目して、これらが有する断熱性能と現在の住宅に一般的に普及している断熱工法とを比較し、もみ殻断熱工法の位置づけを行う。

図6に一般的な断熱工法の例を示すが、TYPE1は、貫による伝統構法かつ内外真壁造を基本にしなが、断熱化のため壁体内に断熱材を充填する乾式工法の例である。また、TYPE2は、押出法ポリスチレンフォームを使用した内外真壁の例である。さらに、TYPE3は次世代省エネルギー基準(Ⅱ～Ⅵ地域の木造住宅外壁)に準拠した例である。

各壁体の熱貫流率を計算式4により求めるが、計算に使用する熱伝導率等の物性値は表3に示す通りである。なお、標準断面部の熱貫流率を算出し熱橋部の影響は勘案していない。また、次世代省エネルギー基準に従い、通気層より外気側の材料の効果は算入していない。

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{1}{C_n} + \frac{1}{\alpha_o} \dots\dots\dots \text{計算式 4}$$

- K: 熱貫流率 (W/m²K)
- α_i: 室内側熱伝達率(W/m²K)
- α_o: 外気側熱伝達率(W/m²K)
- C_n: 第n層の熱コンダクタンス(W/m²K)

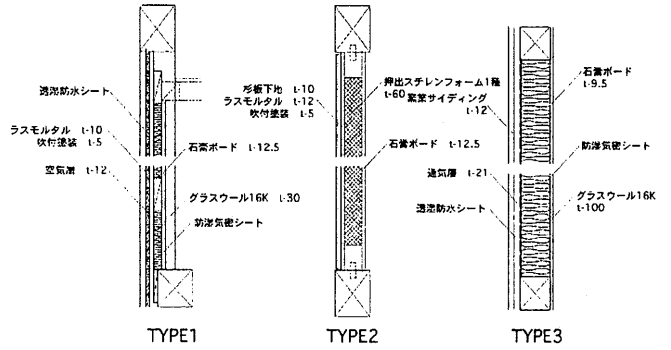


図6 熱貫流率算出外壁

表3 熱貫流率計算に使用した物性値

| 材料名 | 熱伝導率 (W/mK) | 引用 |
|---------------|--------------------------|-------------------------------|
| 石膏ボード | 0.220 | 次世代省エネルギー基準と指針 ¹⁰⁾ |
| グラスウール16K | 0.045 | 次世代省エネルギー基準と指針 ¹⁰⁾ |
| 押出法スチレンフォーム1種 | 0.040 | 次世代省エネルギー基準と指針 ¹⁰⁾ |
| モルタル | 1.500 | 次世代省エネルギー基準と指針 ¹⁰⁾ |
| 杉板 | 0.120 | 次世代省エネルギー基準と指針 ¹⁰⁾ |
| 繊維質上塗材 | 0.120 | 次世代省エネルギー基準と指針 ¹⁰⁾ |
| 防湿気密シート | 0.093 | カタログ値 |
| 透湿防水シート | 0.520 | カタログ値 |
| 空気層熱コンダクタンス | 11.1(W/m ² K) | 次世代省エネルギー基準と指針 ¹⁰⁾ |
| 室内側熱伝達率 | 9.0(W/m ² K) | 次世代省エネルギー基準と指針 ¹⁰⁾ |
| 外気側熱伝達率 | 23.0(W/m ² K) | 次世代省エネルギー基準と指針 ¹⁰⁾ |

表4 熱貫流率計算結果

| 供試体名称 | 熱貫流率 (W/m ² K) | 備考 |
|-----------------|---------------------------|-----|
| ③杉板複層+乾燥もみ殻充填断熱 | 0.520 | 実験値 |
| ④杉板複層+炭化もみ殻充填断熱 | 0.532 | 実験値 |
| TYPE1 | 0.983 | 計算値 |
| TYPE2 | 0.568 | 計算値 |
| TYPE3 | 0.413 | 計算値 |

表4に各断熱工法の熱貫流率計算結果を示す。もみ殻充填断熱工法は品確法省エネ対策等級4(I地域を除く)をほぼ満たしており、温暖地において現在一般に普及している工法と比較した場合、高い断熱性能を有する外壁といえる。

なお、平板比較法により、乾燥もみ殻および炭化もみ殻の熱伝導率を測定した結果、乾燥もみ殻…0.050W/mK(20°C)、炭化もみ殻…0.049 W/mK(20°C)であった。この値を計算式4に代入し③杉板複層+乾燥もみ殻充填断熱工法、④杉板複層+炭化もみ殻充填断熱工法の熱貫流率を計算すると、それぞれ0.539W/m²K, 0.532 W/m²Kとなり、表4に示す実験値とほぼ合致していることから、実験結果の妥当性が確認できた。

5. 結論

本論では杉厚板2枚ともみ殻充填層を設けたパネルの断熱性能に関し、室内実験により熱貫流率の測定を行い一般的断熱工法と比較した。得られた知見は以下の通りである。

- 1) 杉板複層+空気層の熱貫流率が 1.053 W/m²K であるのに対し、杉板複層+乾燥もみ殻層では 0.520 W/m²K に低下し、炭化もみ殻の場合も 0.532 W/m²K と、乾燥もみ殻と同様の断熱性能を有することが明らかとなった。
- 2) 杉板複層+空気層のみかけの熱伝導率は 0.171 W/mK であるが、杉板複層+乾燥もみ殻層では 0.073 W/mK に、また杉板複層+炭化もみ殻層でも同様に 0.074 W/mK と大幅に低下しており、もみ殻の断熱効果が認められた。
- 3) もみ殻充填断熱工法は品確法省エネ対策等級 4 (I 地域を除く) をほぼ満たしており、温暖地の一般的な工法と比較し同等以上の断熱性能を有することが示された。

以上の結果より、今回提案したもみ殻断熱工法は、断熱性能の面では実用に耐え得る性能を有することが示されたが、一方で杉厚板間に充填したもみ殻の時間経過に伴う下垂（形状安定性）と、大規模な壁面を施工する際の手間（施工性）に関し問題があることも明らかとなった。今後これらの問題点を解決するためには、もみ殻断熱材のパネル化および木板パネルの工場加工による生産合理化により、実用化を図る必要がある。

なお、本実験は笠原利和氏（山口大学大学院：当時）岩本慎二氏（醇建築まちづくり研究所）の協力を得た。末尾ながら記して謝意を表します。

注釈

- 1) 参考文献 2) よりもみ殻に関する記述部分を抜粋する。

「各季間主に生活する居間、台所が非常に寒くて活動しにくいので低廉な経費で簡単に実施できる防寒改修を行い居間、台所を暖かくして冬期の生活を快適にする」という目的のために個々の農家に適した改修計画の試案を作成しこれを検討し、さらに農家の希望を聴取して修正した。

改修工法は次の通りである。

- (a) 外壁の土壁の場合は外部に保温材を充填するか厚い下見板を隙間張る。
- (b) 外壁の板壁の場合は壁内に保温材を充填する。防寒材料（保温材料と同義で使用と考えられる：筆者）— 鋸屑充填とあるも草炭又はモミガラ充填するも可。

- 2) 付表に住宅の品質確保の促進等に関する法律における日本住宅性能表示基準の省エネルギー対策等級（木造住宅外壁熱貫流率）を示す。

付表 品確法における省エネ対策等級（木造住宅外壁熱貫流率：W/m²K）

| | I 地域 | II 地域 | III 地域 | IV 地域 | V 地域 |
|-------------------|------|-------|--------|-------|------|
| 等級 2 (旧省エネ基準相当) | 0.53 | 0.98 | 0.98 | 1.29 | — |
| 等級 3 (新省エネ基準相当) | — | 0.58 | 0.58 | 0.80 | 1.20 |
| 等級 4 (次世代省エネ基準相当) | 0.35 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 |

参考文献

- 1) 川村弘一ほか：イネ籾殻の工業的利用の研究，農林水産技術研究ジャーナル vol.26 No.10, pp.42-48, (社) 農林水産技術情報協会, 2003.10
- 2) 農家生活技術連絡研究報告書 北海道農家住宅防寒改造試験, pp.35-38, 北海道農務部農業改良課, 1957.5
- 3) 北海道住宅改善研究報告書第 2 号, 寒地共同住宅の居住性に関する研究, pp.30,38-39, 北海道建築部, 1953.4
- 4) 北海道立ブロック建築指導所 技術シリーズ第 1 号 ブロック構造設計要綱, pp.24-26, 北海道立ブロック研究所, 1953.5
- 5) 職業指導用教科書 ブロック建築, pp.187-189, 北海道労働部, 1954 年
- 6) 第 2 回研究発表会梗概, pp.22-31, 北海道立ブロック建築指導所, 1954.11
- 7) 渡邊宗幸ほか：もみ殻を混入したポリマーセメントペーストの強さ性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A1, pp.687-688, 1997 年
- 8) 森一平ほか：ホットプレス成形法によるもみ殻-発泡ポリスチレン複合体の曲げ強さに及ぼす配合要因の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A1, pp.1023-1024, 2003 年
- 9) 吉野泰子ほか：中国内モンゴル砂漠における環境適応型住宅の開発に関する研究 その 4 現地気候に則した断熱材の開発と温熱環境改善, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.265-266, 2002 年
- 10) 住宅の次世代省エネルギー基準と指針, (財) 住宅・建築省エネルギー機構, 1999.11

[2005年 4月20日原稿受理 2005年 7月22日採用決定]