

残廃材を原料とした建築用バインダレス小片断熱パネル(第3報)[†]

熱伝導率と耐落下衝撃性に及ぼす原料密度の影響^{*1}

河村義大^{*2}, 関野 登^{*2}, 山内英彦^{*3}

Binder-less Wood Chip Insulation Panel for Building Use Made from Wood Processing Residues and Wastes III.[†]

Effect of raw material density on thermal conductivity and resistance against falling impact^{*1}

Yoshihiro KAWAMURA^{*2}, Noboru SEKINO^{*2} and Hidehiko YAMAUCHI^{*3}

Optimization of manufacturing conditions for binder-less wood chip insulation panels was attempted with respect to the effect of raw material density on panel thermal conductivity and resistance against falling impact. In this study, panels ranging in density from 45 to 135 kg/m³ were manufactured using wood shavings of four different raw densities (260, 350, 440 and 540 kg/m³).

Although increasing the panel density resulted in a decrease of thermal insulation capacity, it improved the resistance against falling impact. At the same panel density, lower thermal conductivity was obtained by using shavings with higher density, while better resistance against falling impact was obtained when shavings with low density were used. When the mat compression ratio became 2.2 or greater, sufficient resistance against falling impact was obtained. Panel densities that balance better thermal insulation capacity and better resistance against falling impact were 60, 75, 90, and 120 kg/m³ for the raw material density of 260, 350, 440 and 540 kg/m³, respectively. The lowest thermal conductivity was obtained with shavings of 260 kg/m³. On the basis of these results, lower density shavings are found to be the better raw material.

Keywords: insulation panel, wood shavings, thermal conductivity, compressive stress, falling impact.

原料密度の異なる4種類のプレーナー屑を用いて、建築用バインダレス断熱パネルを製造した。熱伝導率と耐落下衝撃性に及ぼす原料密度の影響について、パネル密度45~135 kg/m³の範囲で検討した結果、以下の知見が得られた。

原料密度はパネルの熱伝導率および耐衝撃性の双方に影響を及ぼした。すなわち、同一パネル密度で比較すると、原料密度が低いほど耐衝撃性に優れるが断熱性は劣った。また、パネル密度の増加とともに断熱性は低下するが、耐衝撃性は向上した。一方、十分な耐衝撃性は、原料密度に依らず圧縮比2.2以上で発揮された。断熱性と耐衝撃性を両立するパネル密度は、原料密度260, 350, 440, 540 kg/m³の小片でそれぞれ、60, 75, 90, 120 kg/m³であった。これらの中で最も熱伝導率が小さいのは原料密度260 kg/m³の小片であった。したがって、本断熱パネルの原料は低密度の方が有利と言える。

1. 緒 言

木材加工工場の残廃材再資源化技術として、木質小片を原料とする建築用バインダレス断熱材の開発に着手した¹⁻⁵⁾。本断熱材は圧縮マットを周囲被覆したパネル状製品であり、その特徴は、①常温圧縮で発生する小片間摩擦力によるバインダレス成形、②パネル幅方向の弾性力を利用した簡易施工、③手

[†] Report II: This journal 50, 228-235 (2004).

^{*1} Received May 18, 2004; accepted July 5, 2004.

本研究の一部は第54回日本木材学会大会(2004年8月、札幌)で発表した。

^{*2} 岩手大学農学部 Faculty of Agriculture, Iwate University, Morioka 020-8550

^{*3} ㈱ヤマウチ Yamauchi Co. Ltd., Miyako 027-0025

作業解体の簡略化および小片再資源化の自由度を高めたリサイクル設計であり, 詳細は第1報¹⁾で述べた通りである。

前報²⁾では, プレーナー屑の厚さが耐衝撃性と熱伝導率に及ぼす影響を検討した。耐衝撃性はパネル密度が高いほど優れ, 同一のパネル密度ならば薄い小片の方が優れた。また, 得られた熱伝導率は0.06~0.08 W/mKの範囲にあり, 同一のパネル密度ならば薄い小片の方が断熱性に優れた。さらに, 熱伝導率は温度および含水率の上昇につれて直線的に増加し, その依存度は木材素材に比べて高かった。前報で用いた原料の密度は350 kg/m³程度であったが, 実際に工場から排出されるプレーナー屑の原料密度は様々であり, パネル性能に及ぼす原料密度の影響が検討課題とされた。

そこで本報では, 密度の異なる4種類の原木から薄いプレーナー屑を製造して原料とし, 断熱性(熱伝導率)および耐衝撃性に及ぼす原料密度の影響を検討した。また, 熱伝導率に及ぼすパネル温度と含水率の影響を調べた。さらに, マット圧縮応力の経時変化を調べ, 耐衝撃性との関係を検討した。

2. 実験

2.1 原料

Fig. 1に示す4種類の小片, すなわちファルカタ (*Albizia falcata*) (F), スギ (*Cryptomeria japonica*) (C1, C2の2種類) およびカラマツ (*Larix leptolepis*) (L) を原料とした。これらは自動一面鉋盤(株菊川鉄工所製:K-24)で製造されたプレーナー屑(カール状)であり, 目開き2.8 mmの篩で微粉が除去されている。

原料(原木)密度は, Fig. 1に記載された4段階

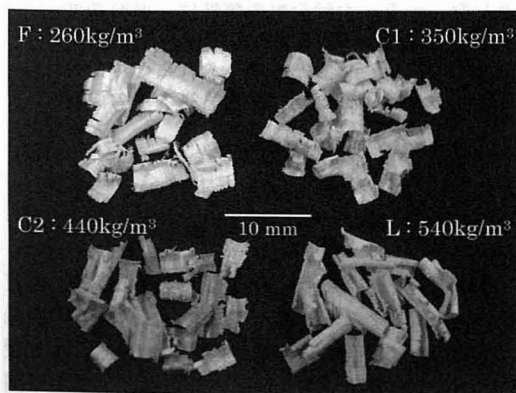


Fig. 1. Four types of wood shavings used and their raw material density.

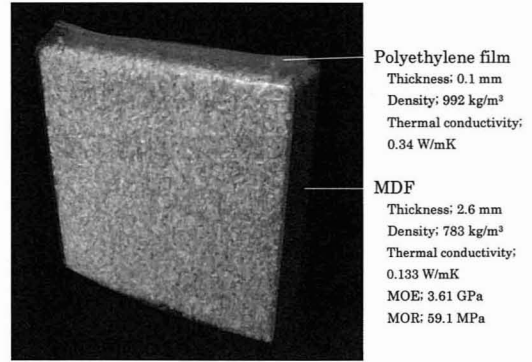


Fig. 2. View of a test specimen.

である。小片寸法(平均値±標準偏差)は, Fが $6.1 \pm 0.9 \text{ mm} \times 8.6 \pm 3.4 \text{ mm} \times 0.14 \pm 0.04 \text{ mm}$, C1が $5.5 \pm 0.8 \text{ mm} \times 6.8 \pm 2.1 \text{ mm} \times 0.14 \pm 0.04 \text{ mm}$, C2が $5.3 \pm 1.0 \text{ mm} \times 7.7 \pm 2.8 \text{ mm} \times 0.12 \pm 0.05 \text{ mm}$, Lが $5.1 \pm 2.0 \text{ mm} \times 9.9 \pm 4.9 \text{ mm} \times 0.11 \pm 0.06 \text{ mm}$ であった。ただし, 測定数は各50であり, 寸法はカールを押し広げた状態で測定した。平面寸法は4種ともほぼ同じであったが, 前報²⁾で用いた小片よりも若干小さめであり, 厚さは約1/2であった。供試に先立ち, 小片は20°C 60% RHの恒温恒湿室内で十分に養生された。供試時の小片含水率はFが10.1%, C1が11.1%, C2が11.2%, Lが10.7%であった。既報^{1,2)}と同一の方法でマット高密度を測定した結果, Fが27 kg/m³, C1が34 kg/m³, C2が42 kg/m³, Lが50 kg/m³となり, 原料密度の約1/10であった。

パネルの両側面に配置する形状安定板(Fig. 2参照)には, 市販の薄物MDFを用いた。被覆材には透明なポリエチレンフィルムを袋状に加工して用いた。

2.2 試験体の製造

本研究では, マット高密度に対するパネル密度の比を圧縮比と定義している^{1,2)}。前報²⁾までの検討により, パネルの耐衝撃性と断熱性を両立させる圧縮比は, 小片の種類に応じて2~3の範囲にあった。そこで, 本実験のパネル密度は, 圧縮比の適切範囲を考慮し, 以下に示す15 kg/m³毎の4段階に設定した。パネル密度の範囲は45~135 kg/m³となり, 密度90 kg/m³は小片4種の共通条件となっている。
 F: 45(1.7), 60(2.2), 75(2.8), 90(3.3) kg/m³
 C1: 60(1.8), 75(2.2), 90(2.6), 105(3.1) kg/m³
 C2: 75(1.8), 90(2.2), 105(2.5), 120(2.9) kg/m³
 L: 90(1.8), 105(2.1), 120(2.4), 135(2.7) kg/m³
 ただし, カッコ内の数値は圧縮比である。なお, 本実験で定義するパネル密度とは, 圧縮後の小片マッ

ト密度であり、形状安定板および周囲被覆材を含む密度ではない。試験体寸法は、熱伝導率測定のため寸法制約から $200 \times 200 \times 50$ mm (Fig. 2 参照) とした。前報と同様の方法により、試験体製造ならびに製造直後のマット圧縮応力 σ_0 と圧縮弾性率 E_0 の測定を行った。試験体数は1条件につき3とした。

2.3 熱伝導率の測定

熱伝導率 λ の測定は、ASTM C 518に準拠した1試料2熱流計方式を採用し、前報²⁾と同様の装置および方法を用いた。熱流方向は鉛直下向きで、高低温熱板の温度差は 10°C とし、両熱板温度の平均値を試験体の平均材温とした。なお、周囲被覆材の影響を考慮して本断熱パネルを3層として扱い、小片マットの λ を算出した。また、試験体側面の形状安定板には相対的に大きな熱流が生じるが、熱流測定点は試験体両面の中央部であり、形状安定板が熱流測定値すなわち小片マットの λ に及ぼす影響は小さいと言える。

λ に及ぼす原料密度とパネル密度の影響は、平均材温 25°C で検討した。測定対象は全製造条件である。測定は1試験体につき2回(上下逆転)行い、1条件につき6データを収集した。なお、測定は製造後6週間以内に行った。また、試験体は測定直前まで 20°C 60% RHで養生されており、 λ 測定時の小片含水率は製造時と同一と見なせる。

λ の温度依存性は、パネル密度 90 kg/m^3 のFおよびL小片の試験体を対象とし、平均材温を5, 10, 15, 20, 25°C の5水準に変化させて検討した。ただし、試験体数は2とし、4データを収集した。なお、製造後8週間は後述の圧縮応力測定を行った。圧縮応力に及ぼすこれらの温度変化の影響を排除するため、温度依存性の検討は製造8週間後に開始し、約1週間を要した。また、上記と同様に試験体は測定直前まで 20°C 60% RHで養生された。

続いて、温度依存性と同一の試験体を用いて、含水率の依存性を検討した。含水率調整は 20°C で行い、3種類の飽和塩を用いて同一試験体を以下の順に各4週間ずつ調湿し、平均材温 5°C および 25°C での λ を順次測定した。

60% RH (恒温恒湿室) \rightarrow 75% RH (NaCl) \rightarrow 85% RH (KCl) \rightarrow 95% RH (KNO_3)

ただし、小片の含水率増加を促進させる目的で、調湿中の試験体は被覆材両端面 (Fig. 2 の試験体上下面) が一旦開放され、調湿後は直ちに密閉されて λ が測定された。 λ 測定時の小片含水率は、 λ 測定前後の試験体重量の平均値と試験体全乾重量 (20°C 60% RH 時の含水率より推定) を用いて算出した。

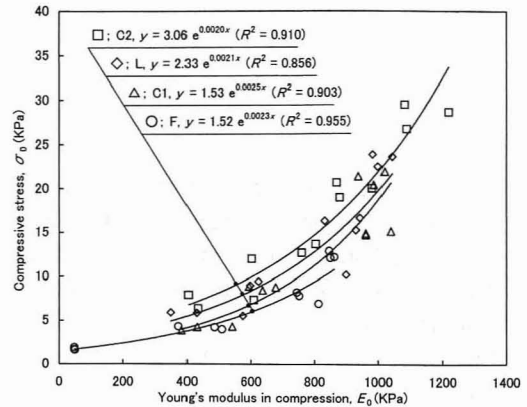


Fig. 3. Relationships between Young's modulus and compressive stress.

2.4 圧縮応力の経時変化の推定

試験体製造直後の σ_0 と E_0 の関係を Fig. 3 に示す。回帰式で示された関係が製造後も長期に渡り成り立つと仮定すれば、圧縮弾性率の測定により圧縮応力が推定できる^{1,2)}。そこで、製造後8週間まで、1週間毎に前報²⁾と同様の方法で圧縮弾性率を求めた。測定対象は全製造条件であり、試験体は熱伝導率測定と共用の各3体である。なお、製造後8週間の養生は、良好な保管環境を想定して恒温恒湿室内 (20°C 60% RH) で行った。

さらに、圧縮応力に及ぼす水分変化の影響を検討するため、前述した λ の含水率依存性検討に際し、 λ 測定直後に圧縮弾性率を測定した。

2.5 落下衝撃試験

耐衝撃性を検討するため、製造8週間後に前報²⁾と同様の方法で落下衝撃試験を行った。すなわち、試験体は12 rpm で回転するポリプロピレン製のドラム (内径45 cm) に1分間投入され、最大落差45 cm の落下衝撃を24回付与された。衝撃付与後、小片脱落の状態を目視観察し、耐衝撃性を下記の基準により5段階で評価した。

- I ; ほとんど損傷なし
- II ; 表面積の1/3以内での軽微な小片脱落
- III ; 表面積の1/3を超える小片脱落
- IV ; 内部に及ぶ小片脱落 (深さ5 mm 程度)
- V ; 内部に及ぶ小片脱落 (深さ5 mm 以上)

試験対象は全製造条件であり、試験体数は3である。ただし、 λ の温度および含水率依存性を検討した製造条件では、1体を製造8週間後に、残り2体は製造21週間後に行った。なお、この21週間は、含水率一定の8週間、温度傾斜による水分変化を受け

た1週間, 4週間ずつ3段階の調湿を受けた12週間から成る。

3. 結果および考察

3.1 熱伝導率

3.1.1 原料密度およびパネル密度の影響

パネル密度と熱伝導率 λ の関係をFig. 4に示す。ただし, 小片含水率は10.1~11.2%の範囲, 平均材温は25°Cである。 λ の値(6測定平均値)は0.052~0.071 W/mKの範囲にあったが, いずれの小片もパネル密度の低下につれて λ は低くなる傾向を示した。また, 原料密度の低い方がより低密度でのパネル製造が可能のため, より小さな λ が得られた。

同一のパネル密度で λ を比較すると, 原料密度の高い方が断熱性に優れる傾向を示した。これより以下のことが推察できる。すなわち, 前述のように原料密度の増加につれてマット嵩密度は大きくなるため, パネル密度が一定の場合, 圧縮比は減少する。圧縮比の減少は小片間空隙の増加をもたらす一方で, 小片間接触面積を減少させ, 熱橋が形成されにくいと考えられる。原料密度の高い方が断熱性に優れたことより, 小片間空隙の増加に伴う対流熱伝達の増加というマイナス要因よりも, 熱橋の減少による熱伝達低減というプラス要因の方が強く作用したと解釈できる。

次に, パネル全体の断熱性について考える。上記の λ は小片マットの値であり, 熱抵抗 R に換算すると, 0.70~0.96 m²K/Wとなる。一方, 周囲被覆材の R は 0.29×10^{-3} m²K/Wであり, パネル全体の R に占める小片マットの比率は99.9%以上となる。パネル厚さが増加すればこの比率はさらに増大し, パネルの断熱性はほぼ完全に小片マットに依存すると言える。

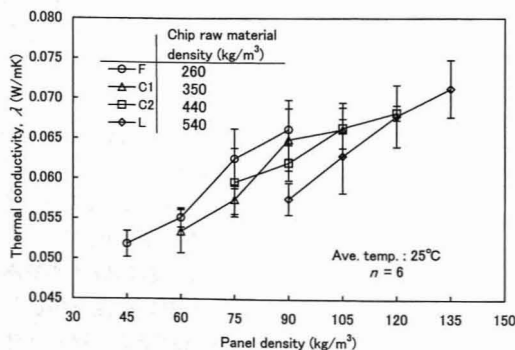


Fig. 4. Relationships between panel density and thermal conductivity (λ ; ave. \pm std.).

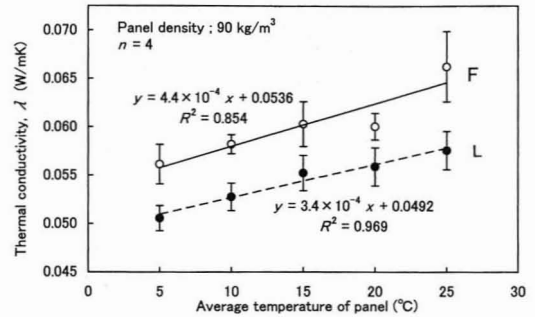


Fig. 5. Relationships between temperature and thermal conductivity (λ ; ave. \pm std.).

3.1.2 温度依存性

Fig. 5に示すように, λ (4測定平均値)は材温低下につれて直線的に低下した。いま, その回帰式を用いて温度低下1°Cあたりの λ の低下率($\Delta\lambda$)を式(1)より求める。ただし, $\Delta\lambda$ は25°Cを基準とした低下率であり, λ_t は温度 t (25°C以下)における回帰直線上の熱伝導率である。

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_t - \lambda_{25}}{\lambda_{25}(t - 25)} \times 100 (\%) \quad (1)$$

得られた $\Delta\lambda$ の値は, FおよびL小片でそれぞれ, 0.68%, 0.59%であり, 原料密度の小さい方が若干大きかった。前報²⁾では同様の方法により, 原料密度368 kg/m³で密度100 kg/m³のパネルに対して $\Delta\lambda$ を求めたところ, 0.74%であった。これらの結果より, 本断熱パネルの $\Delta\lambda$ は0.7%程度と判断される。

一般に, 木材の λ は古くから絶対温度に比例すると言われ, 式(2)で表現できる⁶⁾。ただし, λ_1 , λ_2 はそれぞれ温度 t_1 , t_2 に対応する熱伝導率である。

$$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{273 + t_2}{273 + t_1} \quad (2)$$

いま, 本実験で得られた材温25°Cの λ を用いて式(2)より5°Cの λ を算出すると, FおよびL小片はそれぞれ, 0.0618 W/mK, 0.0537 W/mKとなる。これらを用いて, 式(1)より $\Delta\lambda$ を求めると, FおよびL小片はそれぞれ, 0.33%, 0.34%となる。これらの値はそれぞれの実測値0.68%, 0.59%の約1/2であるため, 本断熱パネルの熱伝導率の温度依存性を式(2)を用いて推定することは難しいと言える。なお, 前報においても, $\Delta\lambda$ の実測値0.74%に対して, 式(2)より算出した値は0.30%となり, 今回の結果と類似した傾向であった。

一方, $\Delta\lambda$ と木材の全乾比重 r_0 の間には式(3)の関係が認められている⁶⁾。

$$\Delta\lambda = 1.1 - 0.98r_0 \quad (3)$$

いま、式(3)の本断熱パネルへの適用を試みる。パネル密度は 90 kg/m^3 であるから、これを全乾密度とみなして $r_0=0.09$ を代入する。得られた $\Delta\lambda$ は1.01%で、実測値の3~4割増の値となった。そこで、パネル密度の代わりに原料密度を代入してみる。FおよびL小片の気乾密度は 260 kg/m^3 、 540 kg/m^3 であるから、式(4)⁷⁾より求めた全乾比重0.241、0.510を式(3)に代入すると、 $\Delta\lambda$ はF小片で0.86%、L小片で0.60%となった。実測値はそれぞれ0.68%、0.59%であり、F小片ではやや過大評価であるが、L小片ではほぼ一致した。また、前報²⁾の原料密度 368 kg/m^3 を用いて同様な方法で試算すると、 $\Delta\lambda$ は0.76%となった。実測値は0.74%であり、ほぼ一致した。これらの結果より、原料密度が低い場合は多少過大評価となるが、本断熱パネルの温度依存性は、原料密度を式(3)に代入することで推定できると言える。

$$r_u = r_0 \frac{100 + u}{100 + 0.84 \times r_0 \times u} \quad (4)$$

3.1.3 含水率依存性

Fig. 6に示すように、 λ (4測定の平均値)は含水率増加につれて直線的に上昇した。いま、含水率増加1%あたりの λ の増加率($\Delta\lambda'$)を式(5)より求める。ただし、 $\Delta\lambda'$ は20°C 60% RH平衡時の含水率 ua (F: 10.1%, L: 10.7%)を基準とした増加率である。また、 λ_u および λ_{ua} はそれぞれ、含水率 u および ua 時の熱伝導率であり、回帰直線上の値を用いた。

$$\Delta\lambda' = \frac{\lambda_u - \lambda_{ua}}{\lambda_{ua}} \times \frac{1}{u - ua} \times 100 (\%) \quad (5)$$

得られた $\Delta\lambda'$ は、平均材温25°Cでは、F小片で4.2%、L小片で4.1%であった。また、5°Cでは、それぞれ1.6%、1.5%であった。これより、 $\Delta\lambda'$ に及ぼす原料密度の影響は小さいが、温度の影響は大きいと言える。

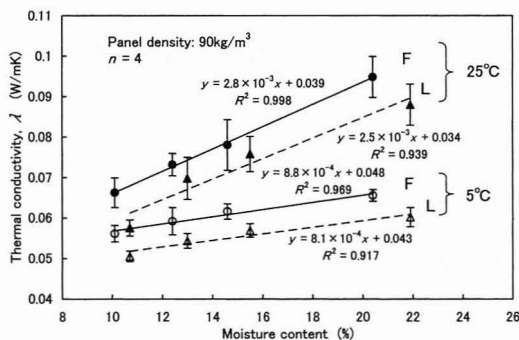


Fig. 6. Relationships between moisture content and thermal conductivity (λ ; ave. \pm std.).

次に、ここで得られた $\Delta\lambda'$ を木材素材のそれと比較してみる。一般に、木材の繊維直交方向では、 λ と含水率の間に式(6)の関係が得られている^{8,9)}。

$$\lambda_2 = \lambda_1 \{1 - 0.0125(u_1 - u_2)\} \quad (6)$$

ただし、 λ_1 、 λ_2 はそれぞれ含水率 u_1 、 u_2 に対応する熱伝導率である。式(6)が得られた際の材温は不明であるが常温付近と仮定し、 $\Delta\lambda'$ を誘導すると1.25%となる²⁾。実測した25°Cでの $\Delta\lambda'$ は約4%であるから、本断熱パネルは木材素材に比べて含水率依存性が大きいと言える。式(6)は繊維直交方向を対象としているが、本断熱パネルでは熱流方向が必ずしも繊維直交方向と一致しない。これが含水率依存度の差をもたらす一因と推察される。

3.2 圧縮応力の経時変化

製造直後および8週間後の圧縮応力と残存率をTable 1に示す。一部の条件では、製造8週間以降に温度および含水率変化を受けたが、圧縮応力のデータは最終時(製造21週間後)のみをTable 1中に

Table 1. Results of falling impact tests and changes of compressive stress.

Chip type	Panel density (kg/m ³) (CR ^{a)})	σ_0^b (KPa)	After 8 weeks (After 21 weeks)		
			Indices ^{c)}	σ_8^d (KPa)	$\sigma_8 / \sigma_0 \times 100 (\%)$
F	45 (1.7)	1.7	V	1.6	96
	60 (2.2)	4.2	II	2.1	50
	75 (2.8)	7.7	II	5.2	68
	90 (3.3)	12.4	I (I) ^{e)}	9.7 (3.9) ^{e)}	78 (31) ^{e)}
C1	60 (1.8)	4.1	IV	1.9	46
	75 (2.2)	8.7	II	4.5	51
	90 (2.6)	14.9	I	15.5	104
	105 (3.1)	21.2	I	14.8	70
C2	75 (1.8)	7.2	IV	6.1	84
	90 (2.2)	12.8	II	8.6	67
	105 (2.5)	19.9	I	16.5	83
	120 (2.9)	28.2	I	30.9	110
L	90 (1.8)	5.8	IV (I) ^{e)}	3.6 (2.8) ^{e)}	62 (49) ^{e)}
	105 (2.1)	9.6	III	6.4	67
	120 (2.4)	16.1	I	13.4	83
	135 (2.7)	23.3	I	17.9	77

a) Mat compression ratio (ratio of panel density to mat bulk density).

b) Initial mat compressive stress.

c) Indices of resistance against falling impact: I; no damage, II; partial delamination of surface chips (less than one third of the whole area), III; partial delamination of surface chips (more than one third of the whole area), IV; partial mat collapse to a depth of 5 mm from the surface, V; mat collapse beyond a depth of 5 mm from the surface.

d) Mat compressive stress after 8 weeks predicted by measuring Young's modulus.

e) Results of tests at 21 weeks after production.

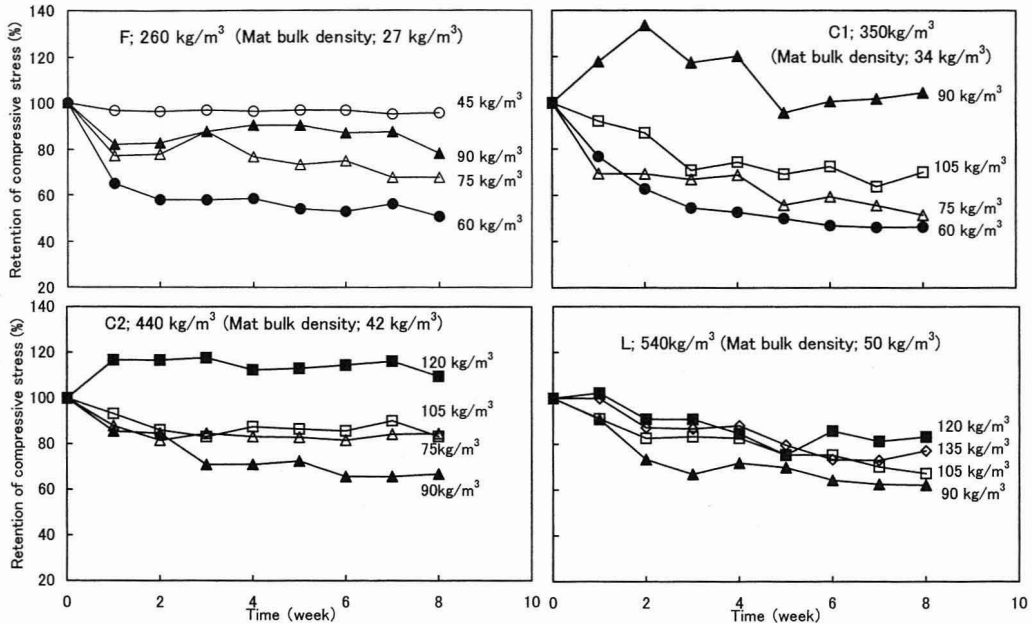


Fig. 7. Changes of compressive stress with time.

記載した。また、Fig. 7には圧縮応力の経時変化を
残存率で示した。

3.2.1 原料密度およびパネル密度の影響

まず、製造直後の圧縮応力 σ_0 に着目する。その
値は1.7~28.2 KPaの範囲にあり、パネル密度ととも
に増加した。パネル密度が同一であれば、圧縮比(パ
ネル密度/マット嵩密度)が高くなる低密度原料の
方が σ_0 は大きくなる傾向にあった。ただし、Fと
C1小片では逆転現象が見られたが、これはF小片
自体の剛性が低いと推察される。

次に、圧縮応力の経時変化に着目する。Fig. 7に
示すように、原料密度およびパネル密度により残存
率は異なった。残存率が最も低下したのはパネル密
度60 kg/m³のC1小片であり、8週間後の残存は約
5割となった。一方、パネル密度45 kg/m³のF小片、
90 kg/m³のC1小片および120 kg/m³のC2小片では、
圧縮応力は8週間後まで初期値と同等かそれ以上で
推移した。初期値を上回った理由は特定できないが、
Fig. 3に示した換算式の精度も一因と推察される。
また、圧縮応力が低下する場合、4週間以降は低下
が緩慢となった。全体的には、圧縮比が高いほど残
存率も大きくなる傾向と言える。すなわち、Fig. 7
の各グラフを見ると、一部例外はあるがパネル密度
が高い(圧縮比が高い)ほど残存率が高い傾向にあ
る。また、Table 1中で各原料に共通のパネル密度
90 kg/m³に着目すると、8週間後の残存率はFか

らLの順に、78%、104%、67%、62%となり、同
様の傾向が伺える。

3.2.2 含水率の影響

パネル密度90 kg/m³のFおよびL小片の試験体
では、8週間後の残存率はそれぞれ、78%、62%で
あった。これらの条件では、3試験体中2体はその
後1週間の温度変化および12週間の段階的な調湿を
受け、その間に含水率は約10%増加した(Fig. 6参
照)。製造21週間後の残存率は、それぞれ、31%、
49%であり、メカノソープティブ現象^{10,11)}により、
応力緩和が促進されたことが伺える。ただし、この
間の低下はF小片の方が大きく、 σ_8 基準の残存率
はF小片で40%、L小片で78%であった。L小片に
比べ、F小片の方が大きな圧縮応力を持つことに起
因すると推察される。

3.3 耐落下衝撃性および圧縮応力との関係

落下衝撃試験結果の一覧をTable 1中に示した。
評価レベルIとIIは、それぞれ小片脱落がほぼ皆無、
表面の一部のみであり、試験結果がIまたはIIであ
れば、運搬や施工時の事故的な衝撃に対しても十分
安全と推測される。

3.3.1 原料密度およびパネル密度の影響

製造8週間後の耐衝撃性は、いずれの小片もパネ
ル密度が高いほど優れたが、同一のパネル密度で比
較すると原料密度の低い方が優れた。この理由とし
て、低いマット嵩密度に起因して圧縮比が高くなり、

小片間摩擦係数も大きくなる事が挙げられる。たとえば、パネル密度 90 kg/m^3 と比較すると、レベルIとなったFおよびC1小片では圧縮比は2.6以上で約10 KPaまたはそれ以上の圧縮応力が残存した。C2の圧縮比は2.2であり8.6 KPaの応力が残存し、結果はレベルIIとなった。一方、圧縮比1.8となるL小片では3.6 KPaしか残存せず、レベルIVであった。いずれにせよ、圧縮比が2.2以上ならば、全ての小片でレベルIIを満たした。

一方、耐衝撃性には残存応力のみならず原料密度も関与した。たとえば、パネル密度 60 kg/m^3 のF小片では2.1 KPaの圧縮応力が残存してレベルIIとなったが、これより大きな残存応力を持つパネル密度 90 kg/m^3 のL小片ではレベルIVとなり、耐衝撃性は劣った。原料密度が高ければ、小片自重も大きく、衝撃時の慣性力は大きい。残存応力が等しくて小片間摩擦係数が同等でも、慣性力が大きいと小片脱落の可能性が高くなる事が要因と思われる。

3.3.2 含水率の影響

パネル密度 90 kg/m^3 のF小片試験体では、製造8週間後に9.7 KPaの圧縮応力が残存し、その時の耐衝撃性はレベルIであった。製造21週間後には3.9 KPaに低下したが、レベルIを保持した。一方、同小片のパネル密度 75 kg/m^3 の場合、8週間後にこれより高い5.2 KPaの圧縮応力が残存しても結果はレベルIIであった。これは、耐衝撃性が応力のみならず水分状態の影響も受けることを示唆する。すなわち、含水率増加に伴って摩擦係数が増加し、小片が脱落しにくくなったと考えられる。

一方、パネル密度 90 kg/m^3 のL小片試験体では、製造8週間後に3.6 KPaの圧縮応力が残存し、耐衝撃性はレベルIVであった。しかし、興味深いことに、製造21週間後の耐衝撃性はレベルIに復活した。この時の圧縮応力は2.8 KPaであり、製造8週間後に比べて小片間摩擦係数は小さいはずである。これに反して耐衝撃性が改善されたのは、前述の摩擦係数の増加が一因と考えられる。

4. 結 言

本断熱パネルの性能に及ぼす原料密度とパネル密度の影響は以下のように整理できる。原料密度はパネルの熱伝導率および耐衝撃性に影響することが明らかとなった。すなわち、パネル密度が同一ならば、原料密度が低いほど耐衝撃性に優れるが、断熱性は劣った。また、パネル密度の増加とともに断熱性は

低下するが、耐衝撃性は向上するという従来同様の傾向^{1,2)}が確認された。一方、十分な耐衝撃性は、原料密度に依らず圧縮比2.2以上で発揮された。断熱性と耐衝撃性を両立するパネル密度は、F, C1, C2, L小片でそれぞれ、60, 75, 90, 120 kg/m^3 であり、これらの中で最も熱伝導率が小さいのはF小片であった。したがって、本断熱パネルの原料は低密度の方が有利と言える。

また、以下の知見が得られた。熱伝導率の温度依存性は原料密度から推定可能であった。一方、耐衝撃性は、パネルの圧縮応力が同等でも原料密度の小さい方が優れた。また、含水率の増加は、圧縮応力の低下を招くが耐衝撃性の悪化は認められなかった。

謝 辞

MDFをご提供頂いた株式会社ノダに感謝の意を表します。また、本研究は財団法人さんりく基金平成15年度共同研究「木質小片断熱材の開発(研究代表者:岩手大学・関野登)」として行ったものであり、関係各位に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 関野 登, 河村義大: 木材工業 **58**, 364-369 (2003).
- 2) 河村義大, 関野 登, 山内英彦: 木材学会誌 **50**, 228-235 (2004).
- 3) Sekino N., Kawamura Y.: Proc. 4th International Wood Science Symposium, Serpong, Indonesia, 2002, pp. 223-228.
- 4) Sekino N., Kawamura Y.: Proc. IAWPS Vol. 1, Daejeon, Korea, 2003, pp. 306-313.
- 5) 特開2003-266411 (2003).
- 6) 満久崇磨: “木材工学”, 梶田 茂編, 養賢堂, 東京, 1961, p. 256.
- 7) 福山萬次郎: “新訂 基礎木材工学”, 杉原彦一編, フタバ書店, 東大阪, 1979, pp. 56-57.
- 8) Kollmann F.: “Principles of Wood Science and Technology Vol. I”, Kollmann, F. ed., Springer-Verlag, Berlin, 1968, p. 250.
- 9) Kollmann F., Marlquist, L.: *Holz als Roh- und Werkstoff* **6**, 201-204 (1956).
- 10) 徳本守彦: 木材学会誌 **40**, 1157-1164 (1994).
- 11) 竹村富男: “新編 木材工学”, 中戸莞二編, 養賢堂, 東京, 1985, pp. 297-300.