

資源再利用に関する研究

裁断くずシートの製品化技術

大津吉秋、三輪幸弘

1. はじめに

本研究は、縫製裁断くずの再利用を図るために、保温・断熱材ボードの製品化について検討したものである。昨年度は、裁断くずを細断化及び粉碎化した後パウダー状熱融着樹脂を混ぜてボードを成形する方法と、湿式法で樹脂を含浸してボードを成形する方法について検討を行った。

今年度は、この研究成果をもとにして、より実用性（コスト、ボード化のプロセス）を高めるために、細断化した試料に直接樹脂を噴霧しボードを成形する方法と、樹脂を噴霧した後、高速攪拌することで細断片を糸状に解体してからボードを成形する方法について実験し、ボードの成形条件と性能について検討を行った。

2. 実施内容

2-1 裁断くずと細断片の形状特性

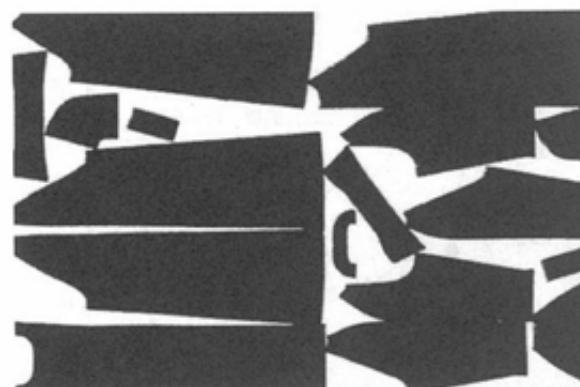
裁断くずを細断化し樹脂接着したボードは、切断条件によってボード厚の均一性や、強力等の性能に違いが生じる。切断条件と切断後の細断片の形状を把握することは縫製工場から排出される裁断くずの形状が一定しないため困難であるが、ここでは、図1に示した婦人スーツ、ジャケット、コート3種類のマーキングレイアウト図を用いて想定される細断くずの画像解析を行って推定した。切断条



スーツ パーツ数 17
くず率 13.0%



ジャケット パーツ数 21
くず率 17.0%



コート パーツ数 17
くず率 19.5%

図1 マーキングレイアウト図

件は、たて方向・よこ方向各々10cm×10cm、10cm×5cmとし、細断片の形状はたて・よこ比で求めた。

$$\text{たて・よこ比} = \frac{4A}{\pi L^2}$$

ここにA：細断片の面積

L：細断片の任意の2点間のうち最大の長さ

その結果、単純なパターンでパーツ数が少ないスーツ、コートでは、パターンが複雑でパーツ数の多いジャケットに比べ、たて・よこ比が大きく、細長い細断片の割合が多くなった。また、細断片の平均面積は、くず率の多いパターン程大きくなる傾向になった。これらをまとめた細断片の形状特性を図2と表1に示した。

表1 細断片のたて・よこ比

細断片面積 (cm ²)		0 10	11 20	21 30	31 40	41 50	51 60	61 70	71 80	81 90	91 100
たて・よこ比	切断条件 10cm×10cm	2.8	3.3	2.7	2.2	2.0	1.8	1.4	1.6	1.3	1.2
	切断条件 10cm×5cm	2.7	2.0	1.6	1.8	2.0	—	—	—	—	—

図2及び表1の結果は3種類のパターンの解析結果を平均したものである。細断片の面積は切断条件が10cm×10cmでは10段階、10cm×5cmでは5段階にクラス分けして示した。図2の細断片の面積と個数の関係は、面積の小さいクラス程個数は多くなり、切断条件が10cm×10cmでは0～20cm²クラスの細断片が、10cm×5cmでは0～10cm²クラスの細断片が全体の約50%を占めた。表1の細断片の面積

とたて・よこ比の関係は、切断条件が10cm×10cmでは、面積が大きなクラス程たて・よこ比は小さくなる傾向を示した。10cm×5cmでは、0～10cm²のクラスを除いた他のクラスはほぼ同じたて・よこ比を示した。両切断条件とも各クラスを平均したときのたて・よこ比はほぼ同じ値である。

2-2 切断条件とボード厚均整度

実験試料は、規格の異なる12種類の織物を重ね合わせ2-1で得られた結果を基に模擬裁断くずを作製し、次に、模擬裁断くずを①10cm×5cm、②10cm×2.5cm、③10cm×1.25cm、④5cm×2.5cm、⑤5cm×1.25cmの条件で切断して5種類の細断片を作製した。細断片の組成は、毛75%、ポリエステル16%、レーヨン6%、その他3%である。

表2に、各々の細断片200gを25cm×25cmの面積でボード状にした時のボードの厚さと変動率を示した。厚さの変動率は、③⑤、②④、①の3グループに大別でき、細断片の平均面

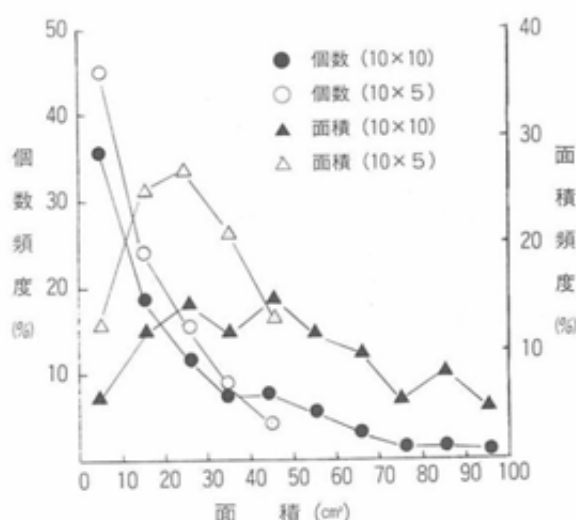


図2 細断片のクラス別個数と面積頻度

積が小さい試料⑤、たて・よこ切断比の大きな試料③などがボード厚を均一にしやすいものと考えられる。

表2 ボードの厚さと変動率

試料	切断条件 たて(cm)×よこ(cm)	平均の厚さ (mm)	変動率 (%)
①	10×5	9.4	24.0
②	10×2.5	8.9	20.0
③	10×1.25	8.7	14.0
④	5×2.5	8.9	20.6
⑤	5×1.25	9.8	18.6

2-3 接着樹脂の付与とボード化

接着樹脂には、アクリル系樹脂、酢ビ系樹脂、フェノール系樹脂、アクリル・酢ビ系複合樹脂を用いた。接着樹脂の付与は、細断片を軽く攪拌しながら樹脂を噴霧する方法と、高速で攪拌しながら樹脂を噴霧する方法とを想定し検討した。

高速で試料を攪拌すると細断片の解体が発生する。その程度は細断片の素材、組織、密度、形状、大きさ及び噴霧水量、攪拌速度、等によって一様ではない。図3に、3cm×3cmに細断した素材、組織、密度の異なる4種類の布をアクセレロータピリング試験機を使用し、3000～4000r.p.mの条件で攪拌した時の布の解体率を示した。

$$\text{解体率 (\%)} = \frac{B}{A} \times 100$$

ここにA：攪拌前の布の面積（9cm²）

B：たて・よこ糸が脱落した面積

最も高密度のポリエステル布以外の布では、1分以下の攪拌時間で、解体率は80%以上になった。また、織物の解体は標準状態よりも水を噴霧（試料重量に対し約100%）した方が早く進むことが分かった。図中の二重印は解体された糸同士のからまりの発生を示してい

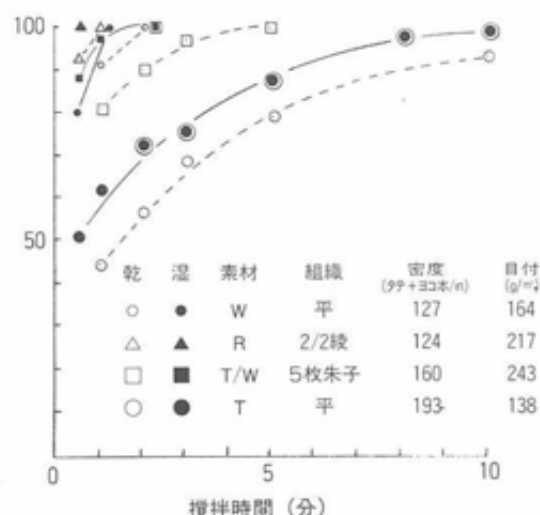


図3 攪拌時間と布の解体率

る。噴霧状態ではレーヨン布を除き、布が100%解体されるまでに、からまりが発生した。からまりの発生は後のボード化に影響するため、攪拌時間のコントロールが必要である。

ボード化に用いた試料は、切断条件5cm×1.25cmの細断片である。接着樹脂の付与は手作業で実施したが、高速攪拌法では、前もって細断片に水を噴霧（試料重量に対し約100%）し、アクセレロータ摩耗試験機で攪拌速度3000～4000r.p.m、攪拌時間約30秒で処理したものを試料とした（以下、高速攪拌した試料を糸状試料、高速攪拌しない試料を布状試料と記述する）。また、糸状試料については、約5mm×5mmの発泡スチロール混入のボード化についても検討した。

ボード化は、糸状試料及び布状試料に接着樹脂をスプレーで所定の樹脂含有量噴霧し、成形枠に入れ、上下をアルミ板で固定し、熱風乾燥機で熱処理した。

樹脂含有量：5～40%

ボード厚：5～15mm

ボード密度：約100～320kg/m³

熱処理：150℃、30分

（発泡スチロール混入ボードは、さらに180℃で15分熱処理）

3. 物性試験

試作した各種ボードの性能を評価するため、以下の試験を行った。

(1) 厚 さ

荷重10gf/cm²での厚さ

(2) 密 度

$$\text{密度(kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{重 量}}{\text{体 積}}$$

(3) 圧 縮 率

$$\text{圧縮率(\%)} = \frac{T_0 - T_1}{T_0} \times 100$$

ここに T_0 : 初荷重 (10gf/cm²) を加えた時の厚さ

T_1 : 最終荷重 (250gf/cm²) を加えた時の厚さ

(4) 曲げ強さ、変形量

J I S A5905準拠

荷重速度: 1 cm/分

$$\text{曲げ強さ(kgf/cm}^2\text{)} = \frac{3}{2} \times \frac{P L}{b t^2}$$

ここに P : 最大荷重 (kgf)

L : スパン (10cm)

b : 試料幅 (8 cm)

t : 試料の厚さ (cm)

h : 最大荷重時の変形量(mm)

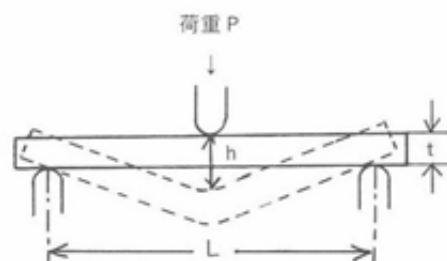


図4 曲げ強さ・変形量の試験方法

(5) 引張り強さ

J I S L 1096準拠

つかみ間隔 : 6 cm

試料幅 : 4 cmまたは8 cm

引張り速度 : 6 cm/分

(6) 熱伝導率

Q TM迅速熱伝導率計 (昭和電工製)

(7) 保 温 性

K E S F-7 サーモラボ

(カトーテック社製)

測定温度: 36℃

測定時間: 1 分

4. 試験結果

試作した代表的なボードの厚さ、圧縮性、曲げ強さ、変形量、引張り強さ、伸び、熱伝導率、保温性、の測定結果を表3に示した。また、ボードの表面と断面写真を図5に示した。

表3 ボード物性

注) 試 料		厚 さ mm	圧縮率 %	曲 げ kgf/cm ²	変形量 mm	引 張 り kgf/cm ²	伸 び %	熱伝導率 kcal/mh℃	保温性 (A) %	保温性 (B) %
糸 状 試 料	ア ク リ ル 系	9.1	4	5.0 (2.8)	24	2.8 (1.6)	13	0.069 (0.059)	50	57
	酢 ビ 系	9.1	4	8.0 (4.2)	17	2.5 (1.3)	5	0.068 (0.060)	51	58
	フ ェ ノ ール 系	9.0	6	3.0 (1.5)	15	0.6 (0.3)	3	0.069 (0.059)	50	—
	複 合 樹 脂	9.6	3	7.5	14	2.0	10	0.065	53	58
	複 合 樹 脂 発泡スチロール混入	9.0	(7)	(3.3)	(20)	(1.7)	(10)	(0.064)	(51)	(61)
布 状 試 料	ア ク リ ル 系	9.2	5	3.0	25	1.9	8	0.078	52	—
	酢 ビ 系	9.2	3	6.5	6	1.8	3	0.074	52	—
	フ ェ ノ ール 系	9.1	3	2.2	13	0.5	2	0.071	49	—

注) 使用樹脂量: 20%o. w. f.

複 合 樹 脂: 酢比系: アクリル系 1 : 1

発泡スチロール: 糸状試料: 発泡スチロール 9 : 1

()は、ボード密度230kg/m³の値

複合樹脂は、ボード密度300kg/m³の値

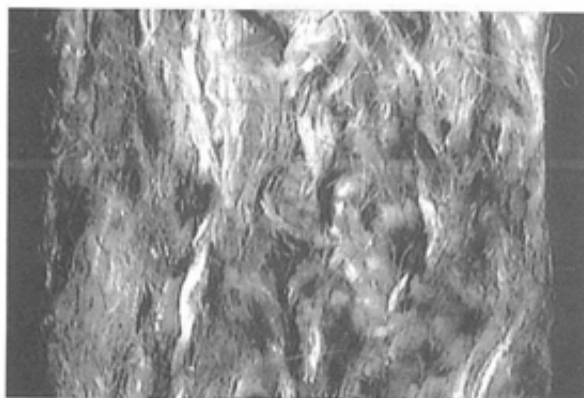
その他は、ボード密度320kg/m³の値

(1) ボードの表面と断面形状

試料を高速攪拌し成形したボードは、解体された糸と一部未解体の布の小片が混在している。図5 a-1、a-2は、糸状試料を酢ビ系樹脂で成形したボードの表面と断面の写真であるが、他の樹脂ボードも表面、断面の形状は同じである。b-1、b-2は、糸



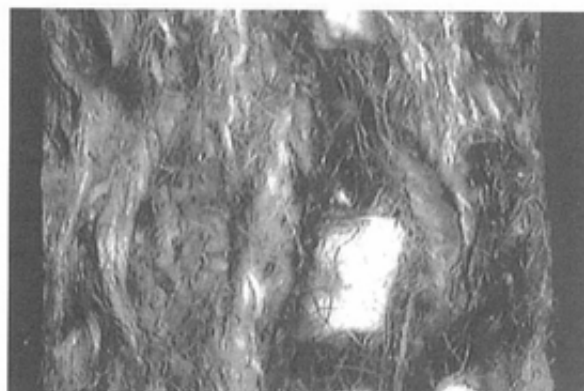
a-1 酢ビ系(表面,)



a-2 酢ビ系(断面, ×20)



b-1 複合樹脂
発泡スチロール混入(表面, ×6.6)



b-2 複合樹脂
発泡スチロール混入(断面, ×20)

図5 ボードの表面と断面写真

(2) 圧縮性

初荷重 10gf/cm^2 、最大荷重 250gf/cm^2 として求めた圧縮率の結果を図6、図7に示した。図6は密度 200kg/m^3 の糸状試料ボードの樹脂量と圧縮率との関係を、図7は樹脂量20%で成形した糸状試料の密度と圧縮率との関係である。いずれの樹脂ボードも樹脂量および密度の増加に伴い圧縮率は減少するがその傾向はほぼ同じである。酢ビ系樹脂ボードは、圧縮率がフェノール系、アクリル系樹脂ボー

ードに比べて小さく、硬いボードであることが分かる。

図8と図9は、密度 200kg/m^3 の糸状試料ボードの樹脂量と曲げ強さ及び引張り強さの関係を示したものである。いずれの樹脂ボードも樹脂量が増加するに伴って曲げ強さ、引張り強さは増すが、その傾向は引張り強さよりも曲げ強さに顕著に現れる。

ードに比べて小さく、硬いボードであることが分かる。

(3) 曲げ強さ・変形量、引張り強さ・伸び

図8と図9は、密度 200kg/m^3 の糸状試料ボードの樹脂量と曲げ強さ及び引張り強さの関係を示したものである。いずれの樹脂ボードも樹脂量が増加するに伴って曲げ強さ、引張り強さは増すが、その傾向は引張り強さよりも曲げ強さに顕著に現れる。

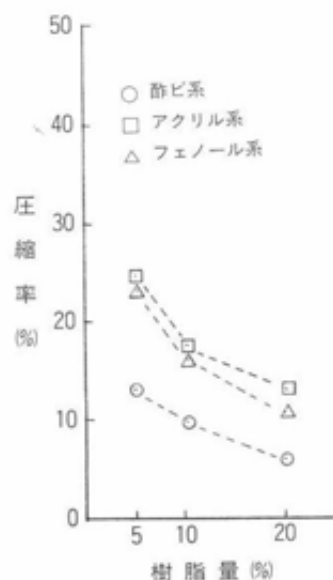


図6 樹脂量と圧縮率

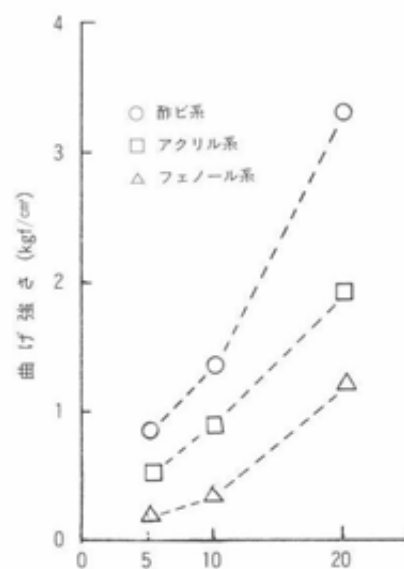


図8 樹脂量と曲げ強さ(糸)

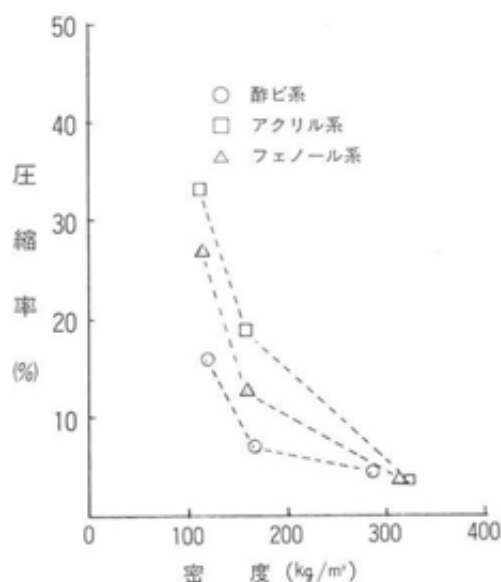


図7 密度と圧縮率

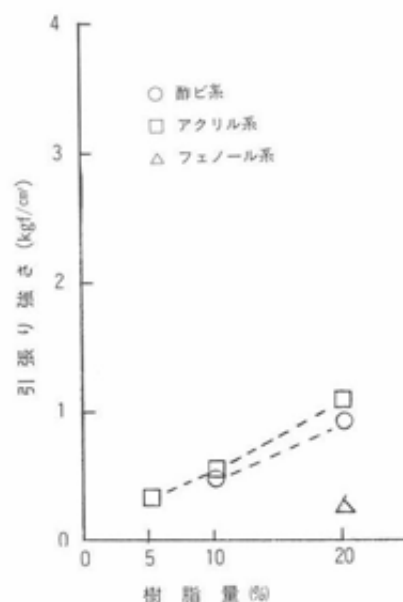


図9 樹脂量と引張り強さ

図10と図11は、樹脂量20%で成形した糸状試料ボードの密度と曲げ強さ及び引張り強さの関係を示したものである。ボード密度の増加は曲げ強さ、引張り強さを増すが、その傾向は樹脂量の関係と同様に曲げ強さに顕著である。一般的にボードの引張り強さは、ボードを構成する繊維強力、繊維相互の交錯点に働く接着力の大きさ、樹脂そのものの強さ等によるものと考えられるが、曲げ強さは繊維内に浸透した樹脂の影響が大きく起因するも

のと思われる。樹脂の種類と曲げ強さ、引張り強さの順位は、酢ビ系、アクリル系、フェノール系の順である。

布状試料の曲げ強さ、引張り強さは、表3で示されるように、糸状試料ボードに比べ、いずれの樹脂ボードも強度は約30～40%低くなっている。これは、試料形態の違いによる接着力の差に加えて、布状試料のボード密度の均一性が糸状試料に比べて低いことも要因の一つと考えられる。

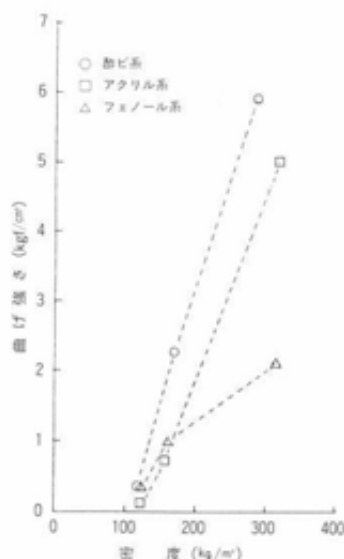


図10 密度と曲げ強さ

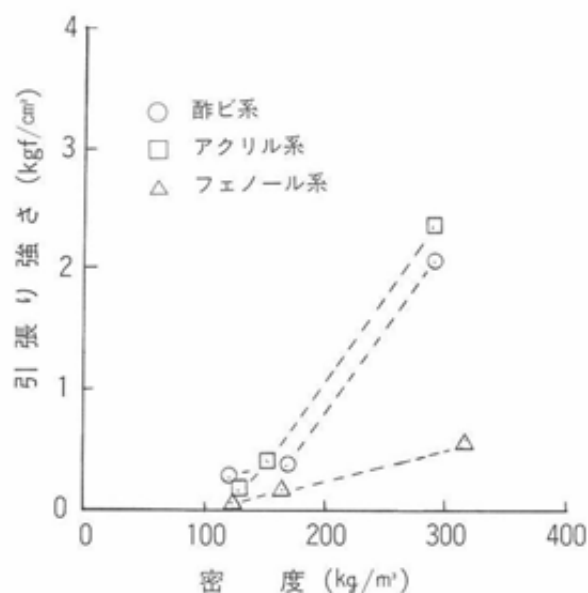


図11 密度と引張り強さ

変形量、伸びは、糸状試料ボード、布状試料ボードとも樹脂の特性がよく現れている。図12は、曲げ変形と抵抗力の関係を示した図である。酢ビ系樹脂ボードは曲げ変形にともない抵抗力が急激に増大するのに対して、アクリル系樹脂ボードでは非常に緩やかである。この傾向は異なる樹脂濃度、密度においても同様である。したがって、変形量、伸びの大きなアクリル系樹脂ボードは柔軟さやねばりが大きいのにに対し、変形量、伸びの小さな酢ビ系樹脂ボードは硬くてもろく、アクリル・

酢ビ系の複合樹脂ボードは両樹脂の物性が支配していることが分かる。また、曲げ試験では、変形量を40mm（曲げ角度で約90°）にしてボードの形状変化を調べたが、糸状試料ボードに比べ布状試料ボードの破壊が大きいことが確認された。

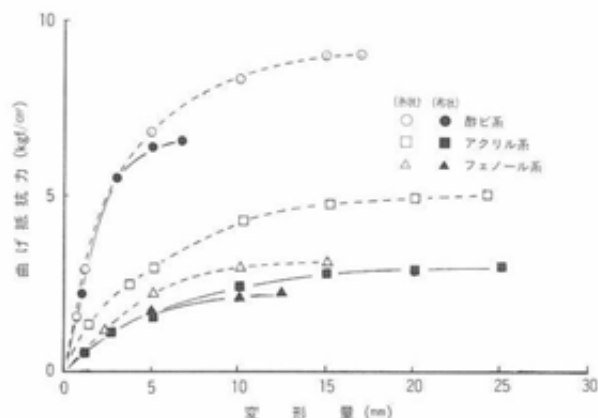


図12 曲げ変形と抵抗力

(4) 熱伝導率、保温性

通常、熱伝導率で評価されている断熱性能は、熱伝導率が低い空気を含気量によって左右される。図13は、樹脂量20%で成形した糸状試料ボード及び布状試料ボードの密度と熱伝導率との関係を示した図である。いずれの樹脂ボードも密度が増加すると含気量が減少するため、熱伝導率が大きくなり断熱性能が低下することを示している。

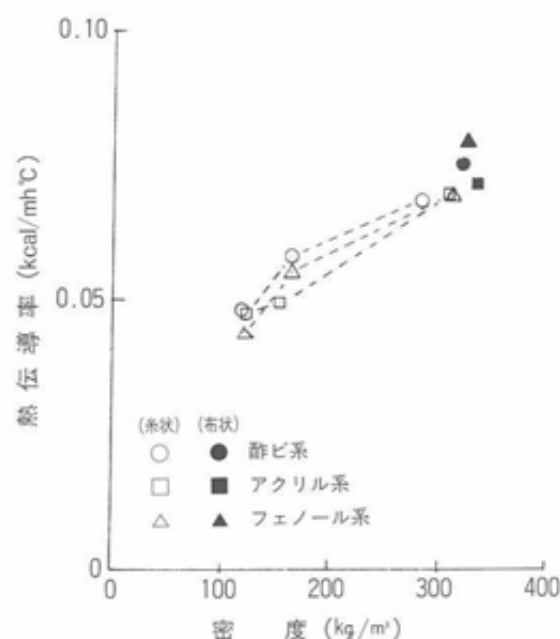


図13 密度と熱伝導率

保温性能は熱伝導率と同様、基本的には試料に含まれている空気含有量によって性能が左右される。表3の保温性の結果は、温度20℃、湿度65%RHの室内で36℃の発熱体に取り付けた試料から放散される熱損失から算出した値である。

ここで保温性(A)の結果は、通常の測定法によるものであるが、(B)の結果は、ボード表面にアルミの薄板を乗せて測定した値である。これは、複合樹脂発泡スチロール混入ボードでは、熱処理時において発泡スチロールが収縮(体積で約1/40に収縮)し、ボード両面に図5b-1で見られるような空隙が発現し、この影響を検討したものである。保温性(A)では、樹脂種類による差は、それほど見られないが、保温性(A)と保温性(B)の差を見ると、複合樹脂発泡スチロール混入ボードが他のボードと比べ、3~4%大きな値を示す。このことは、空隙の影響を示すものであり、他基材と重ねて使用することにより、保温効果が向上するものと考えられる。

5. ま と め

縫製裁断くずを用い、樹脂接着によるボードを作製し、保温・断熱材としての性能について検討した結果、次のことが分かった。

(1) 糸状試料ボードは、布状試料ボードに比べ、断熱性があり、曲げ変形に対するボードの破壊は小さい。

(2) アクリル系樹脂ボードは、曲げ強さ、引張り強さとも大きく、ねばりがある。

(3) 酢ビ系樹脂ボードは、曲げ強さは強いが、硬くてもろい。

(4) フェノール系樹脂ボードは、強力が弱く、単独使用には適していない。

(5) 酢ビ・アクリル系複合樹脂ボードは、両樹脂の特性が発現する。

(6) 発泡スチロール混入ボードは、ボード表面に空隙が発現するため、他基材と重ねて使用することにより保温効果を高めることができる。