

〈論文〉

木削片と発泡性フェノール樹脂を原料とした軽量体の開発 (第3報)
軽量体の吸放湿性能に及ぼす密度および原料の配合比の影響

増田勝則・西 雅史*

Development of Light Insulator formed with Wood Savings and Foamable Phenol Resin(Ⅲ)
Effects of various density and material ratio on moisture absorption
and desorption of light insulator

Katsunori MASUDA and Masafumi NISHI*

木材切削片と発泡性フェノール樹脂を原料とした軽量体 (以下軽量体と記す) の吸放湿性能を把握するため、成型後の密度 (以下単に密度と記す) と原料の配合比を変えて作製した軽量体について、40℃、相対湿度75%および40℃、相対湿度90%における平衡時水分量とその平衡含水率を求めた。また、40℃で相対湿度を75%と90%の間で交互に変化させた場合の水分量の変化を求めた。その結果、軽量体の吸放湿性能は木材切削片の配合比が大きい条件ほど、また、密度が高い条件ほど向上する傾向が認められ、木材切削片の量によりほぼ決定された。密度による平衡含水率への影響は認められなかった。各種条件で作製された軽量体の平衡時水分量は両湿度条件ともスギ素材の約13%から34%の値、フェノール樹脂フォーム単体の約5倍から15倍の値を示した。乾湿繰り返しにおける軽量体の吸放湿の応答性能については24時間の水分変化量を測定した。この際、軽量体に配合された木材切削片と同じ重量のスギ素材の水分変化量を算出し、比較値とした。その結果、軽量体の吸放湿量は吸放湿過程とも、すべての条件において24時間を通じ、スギ素材の吸放湿量を上回った。特に、吸放湿の初期1時間においては、軽量体の吸放湿量は吸放湿ともすべての条件において、スギ素材の約2倍の値を示した。これらのことから、軽量体は初期の吸放湿性能に優れ、相対湿度の変化に対し、素早い反応を示すことが認められた。

1. はじめに

建築物に使用されるパネルの断面は内層部に断熱材、その両外層部を各種面材で覆う構造をとることが一般的である。しかし、パネルを構成する材料によってはそのときの温湿度条件により内部に結露を生じることがある。この現象を防止するには、断熱材の性能を高めることに加え、パネルに防湿層を設け、パネル内部への水分の侵入を防止するか、吸放湿性を有する材料を使用して、外壁通気層を設け、湿度条件に応じて材料表面の水分を吸収し、外部に放出させる方法がある。これらパネルを設計する判断基準として、パネルを構成する材料の断熱性能、吸放湿性能、透湿性能等が明らかでなければならない。前報¹⁾において軽量体の断熱性能について検討し、各種条件で作製した軽量体の熱伝導率を測定し、低密度で、発泡性フェノール樹脂の配合比の高い条件ほど断熱性能が向上することを明らかにした。

軽量体は木材と発泡性フェノール樹脂(以下単に樹脂

と記す)の複合材料であり、木材切削片(以下単に木削片と記す)による吸放湿性能の発現が期待できる。実際の現場において要求される吸放湿性能として、その時の温湿度条件における最大吸湿量としての平衡時水分量と、刻々変化する雰囲気中に速やかに反応し、吸放湿する能力があげられる。この際、軽量体の原料となる木削片と樹脂の配合比および密度が軽量体の吸放湿性能に影響を与えると予想される。そこで、本報では木削片と樹脂の配合比および密度が軽量体の吸放湿性能に与える影響を把握するため、種々の配合比および密度で作製した軽量体について温度40℃、相対湿度75%と、温度40℃、相対湿度90%における平衡時の水分量と含水率を求め、スギ素材およびフェノール樹脂フォーム単体(以下フェノール樹脂フォームと記す)と比較検討した。また、上記の軽量体について温度40℃において相対湿度を75%と90%の間で交互に変化させた場合の水分量の経時変化を、スギ素材およびフェノール樹脂フォームと比較検討した。

*：現、財団法人奈良県林業基金

2. 材料と方法

2.1 配合条件

木削片には木材を切削する際に発生する削り屑を利用した。木削片と樹脂の配合比および密度が吸放湿性能に与える影響を把握するため、配合比を重量比で木削片：樹脂＝5:3、5:2、5:1の3条件(以降の文中、表中、図中の5:3、5:2、5:1の比はすべてこれと同様とする)、成型後の軽量体の密度を0.2、0.15、0.1 (g/cm³)の3条件とし、それぞれを組み合わせて9条件設定した。実験で用いた樹脂は加熱時に発泡にともなう気体発生と吸着水分の蒸発により重量が約7%減少することを考慮し、表1に示すように樹脂量を多く設定した。

表1の配合量に従い、前報²⁾と同様の方法で、軽量体を1条件につき3体成型した。成型された1辺31cm、厚さ約5cmの軽量体を実験に供した。

表1 木削片と樹脂の配合条件

密度(g/cm ³)	0.1		0.15		0.2	
	木削片	樹脂	木削片	樹脂	木削片	樹脂
5:3	291	187	436	282	581	375
5:2	332	143	498	214	664	286
5:1	388	84	581	125	775	167

(表中の樹脂量は加熱後の7%の重量減少を補うため、増量した値である)

2.2 フェノール樹脂フォームの作製

フェノール樹脂フォームは、図1に示すような内寸法：幅12cm×高さ7.5cm×長さ32.5cmのアルミニウム製成型用治具を作製し、この治具の底に所定量の樹脂を均一な高さになるよう敷き詰めて蓋をし、これを所定の温度に調節したオープンに投入し、樹脂を発泡させて2体作製した。今回の実験に供したフェノール樹脂フォームの密度は0.04g/cm³とした。

2.3 試験体の作製

前述の方法で作製した軽量体3体から、一辺10cm、厚さ約5cmの試験体を各3体ずつ採取し、1条件につき9体作製した。比較のため、フェノール樹脂フォームとスギ素材の試験体を以下の要領で作製した。フェノール樹脂フォームの試験体は作製したフェノール樹脂フォーム2体から、軽量体と同寸法の試験体を各3体ずつ、計6体作製した。スギ素材の試験体は、幅(T方向)10cm、厚さ(R方向)5cmのスギ板目板2体から各3体ずつ、繊維方向に10cmの長さに切断し、軽量体と同寸法の試験体を6体作製した。

2.4 吸放湿性試験の方法

吸放湿性試験はJIS Z 2101木材の試験方法1.2(4)吸湿

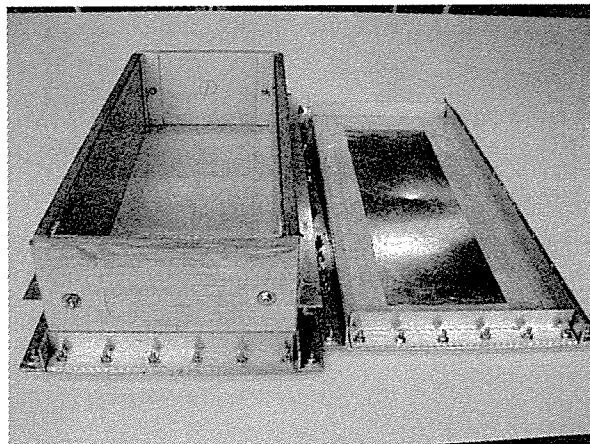


図1 フェノール樹脂成型用治具

性試験を参考にして行った。前述の試験体を温度20±3℃、相対湿度65±3%に調整された恒温恒湿室に約2週間置いて調湿した後、温度40℃、相対湿度75%に調整された恒温恒湿試験装置(タバイ社製 CAMBER PR-4S)内に移動し、試験体の全面から吸放湿されるようにして、軽量体、およびフェノール樹脂フォームの試験体の重量が恒量に達するまで置き、各試験体の重量を測定した。その後、恒温恒湿装置の温度および相対湿度の条件を40℃、90%に設定し、1時間後、2時間後、その後3時間ごとに3回、12時間後に1回、各試験体の重量を測定した。この条件を24時間継続させた後、温度40℃、相対湿度75%に設定し、24時間継続させて同様に重量を測定した。この後、同じ操作をもう1サイクル繰り返した後、庫内の温湿度条件を40℃、相対湿度90%に再設定し、軽量体、およびフェノール樹脂フォームが、恒量に達するまで置き、各試験体について、重量を測定した。その後、全乾重量を求め、各測定時点に於ける試験体の水分量および含水率を算出した。

3. 結果と考察

3.1 密度と原料の配合比が軽量体の平衡時水分量と平衡含水率に及ぼす影響

温度40℃、相対湿度75%および温度40℃、相対湿度90%において恒量に達した軽量体とフェノール樹脂フォームの水分量を図2に、平衡含水率を図3に示す。図中のスギ素材の平衡時水分量、平衡含水率については試験体の水分量が恒量に達するにはかなりの期間を要すると予測されたため、木材の平衡含水率表の値とその値から算出した値を表示した。図2に示すように、各雰囲気における軽量体の平衡時水分量は、配合比に着目すると、木削片の配合比が大きい条件ほど、密度に着目すると、密度

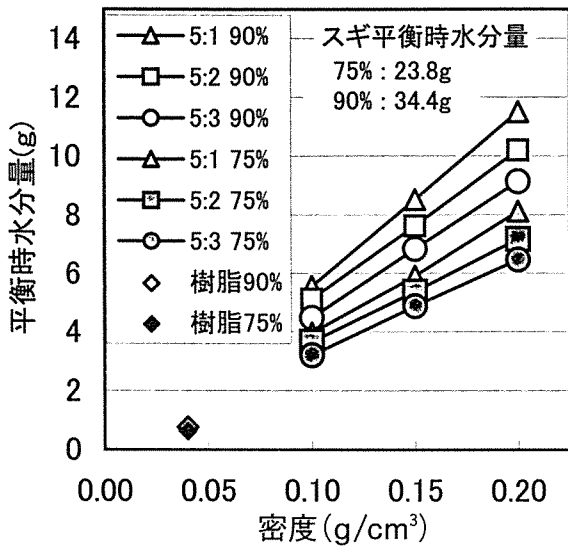


図2 軽量体の密度と配合比が平衡時水分量に及ぼす影響
(温度はすべて40℃。凡例中の5:1、2、3は配合比75%、90%は相対湿度を表す。)

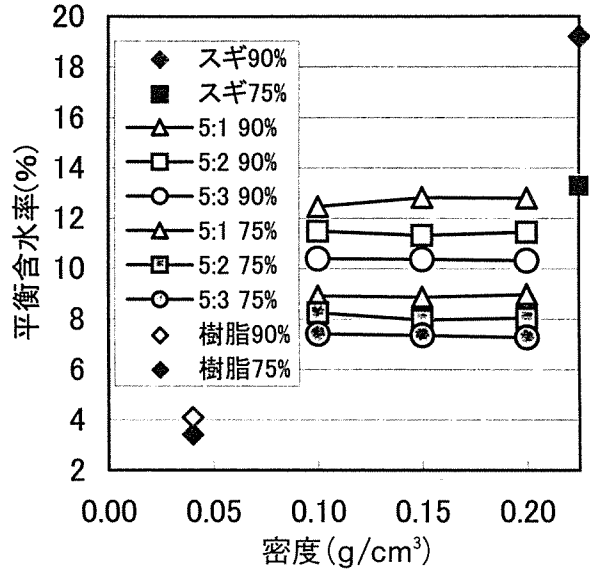


図3 軽量体の密度と配合比が平衡含水率に及ぼす影響

が高い条件ほど増加する傾向が認められた。これらの結果は軽量体の平衡時水分量が存在する木削片の量によってほぼ決定されることを示すものであった。その値は両雰囲気ともスギ素材の約13%から34%の値、フェノール樹脂フォームと比較すると、温度40℃、相対湿度75%の雰囲気中で約5倍から13倍、温度40℃、相対湿度90%の雰囲気中で約6倍から15倍の値を示した。

図3に示すように、各雰囲気における軽量体の平衡含水率は、原料に占める木削片の割合が増加するに伴い、

増加する傾向が認められた。一方、密度が平衡含水率に及ぼす影響は認められなかった。

軽量体の平衡含水率は相対湿度75%の場合で、7.3~9.0%、90%の場合で10.3~12.8%を示した。樹脂の平衡含水率はそれぞれ3.4%、4.1%であった。軽量体の平衡含水率は両雰囲気ともスギ素材の約55%から67%の値、フェノール樹脂フォームの約2倍から2.5倍の値に相当した。他材料と比較すると、相対湿度90%時の平衡含水率は、ハードボード³⁾、あるいはクラフト紙⁴⁾の平

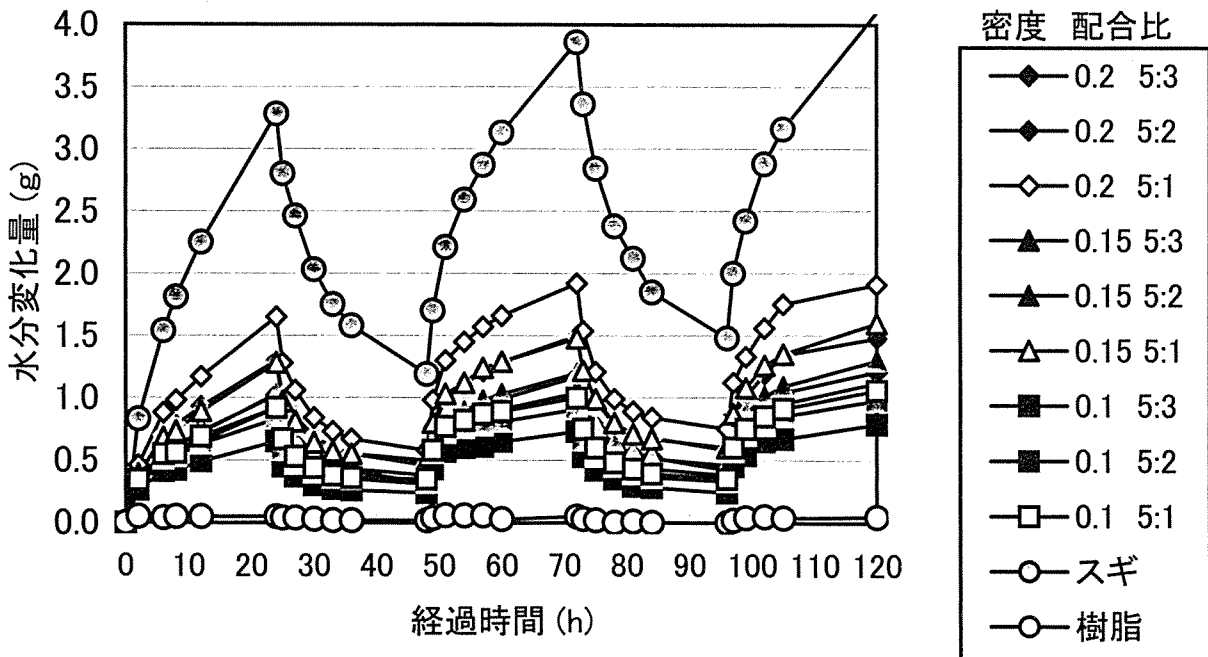


図4 乾湿繰り返し操作による軽量体、スギ素材、樹脂の水分量変化

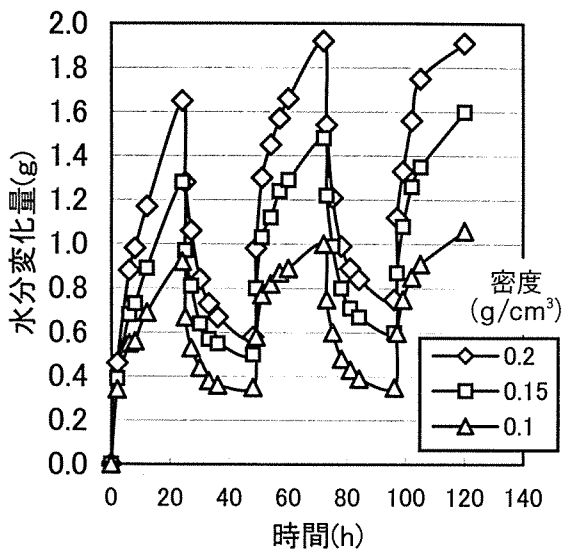


図5 乾湿繰り返し操作による軽量体の水分量変化
(配合比 5:1)

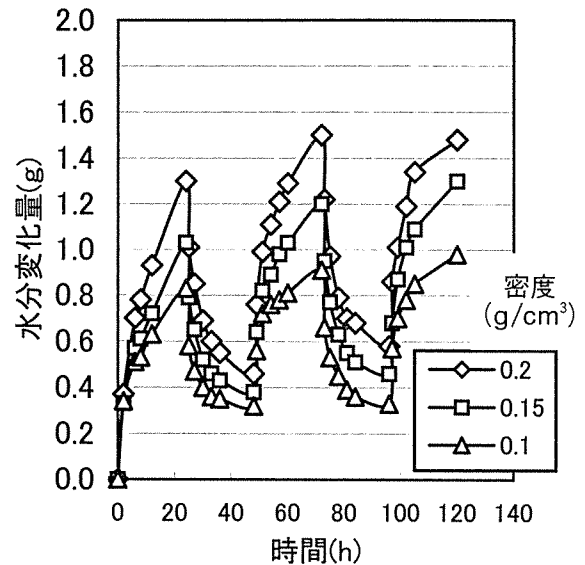


図6 乾湿繰り返し操作による軽量体の水分量変化
(配合比 5:2)

平衡含水率とほぼ同じ値であった。

3.2 乾湿繰り返し操作における吸放湿性能

雰囲気温度を40℃、相対湿度75%と40℃、相対湿度90%の間で交互に変化させた乾湿繰り返し操作の際の軽量体、スギ素材、およびフェノール樹脂フォームの吸放湿水分量の変化を図4に示す。

軽量体の水分量変化のグラフはスギ素材の変化とほぼ同様の傾向を示し、各吸放湿過程における24時間後の軽量体の水分量はスギ素材の20%から50%の値を保ちながら推移した。一方、フェノール樹脂フォームはほぼ0gから0.05gの間で推移した。よって、軽量体の水分変化量はフェノール樹脂フォームと比較して、15倍から40倍に相当した。

軽量体の配合比別の水分量変化を図5から図7に示す。いずれの配合比においても密度が高い条件ほど、また、配合比については木削片の配合比が大きい条件ほどグラフの振幅が大きく、吸放湿量が多かった。これらの結果は平衡時水分量と同様に、乾湿繰り返し操作における軽量体の吸放湿性能が、木削片の量によってほぼ決定されることを示すものであった。

3.3 相対湿度変化に伴う初期の吸放湿性能

湿度変化に対する軽量体の応答性能を検討するため、上記乾湿繰り返し操作の3回の吸湿過程、2回の放湿過程について、それぞれ1過程ごとに軽量体の水分量変化をスギ素材と比較した。1回目の吸湿過程における水分変化量は2回目以降の吸湿過程における水分変化量より大きかった。これは温度40℃、相対湿度75%における平衡状態から最初の吸湿操作であるためと考えられる。2

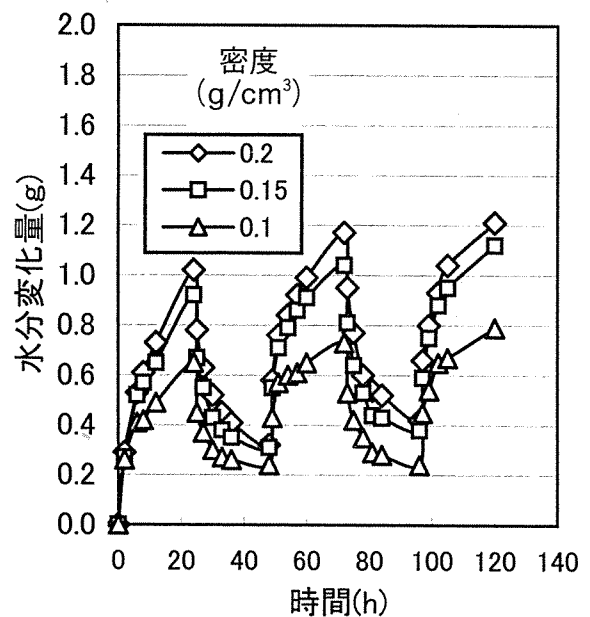


図7 乾湿繰り返し操作による軽量体の水分量変化
(配合比 5:3)

回目と3回目の吸湿過程における水分変化量はほぼ同じであった。1回目と2回目の放湿過程もほぼ同じ値であった。そこで、吸湿、放湿とも2回目の操作で得られた水分量の変化について比較した。また、軽量体と比較するスギ素材の水分変化量は各条件の軽量体に配合された木削片と同じ重量のスギ素材が吸放湿する量とし、これを図4で示した軽量体と同じ大きさのスギ素材の各経過時間における水分量をもとに、軽量体の製造条件ごとに計算により求めた。これら結果のうち、2回目吸湿過程における配合比5:3および5:1の軽量体とスギ素材の水

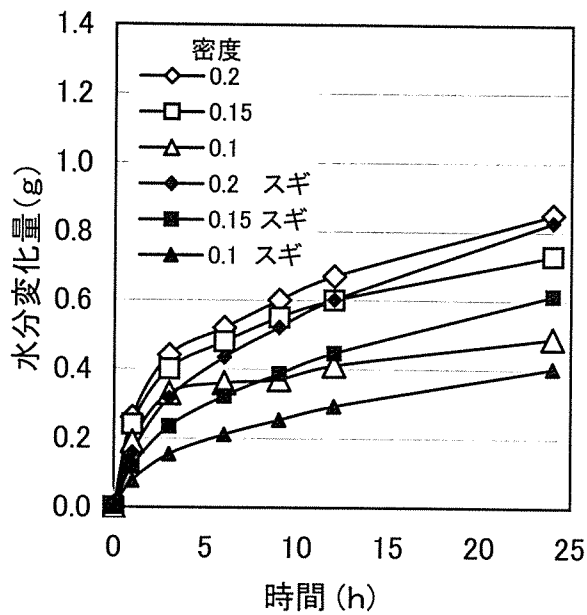


図8 2回目吸湿過程における軽量体とスギ素材の水分量変化 (配合比 5:3)

(図中のスギ素材の水分量は、各密度条件の軽量体に配合された木削片の重量をもとに算出した値。図9、10、11についても同様である)

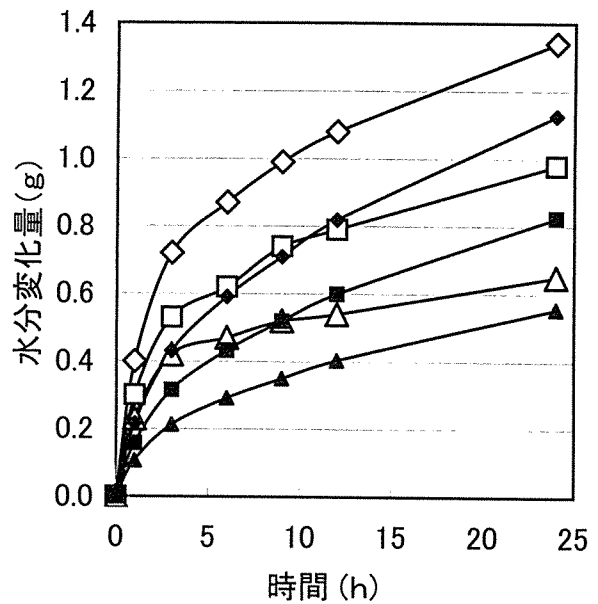


図9 2回目吸湿過程における軽量体とスギ素材の水分量変化 (配合比 5:1、凡例は図8と同じ)

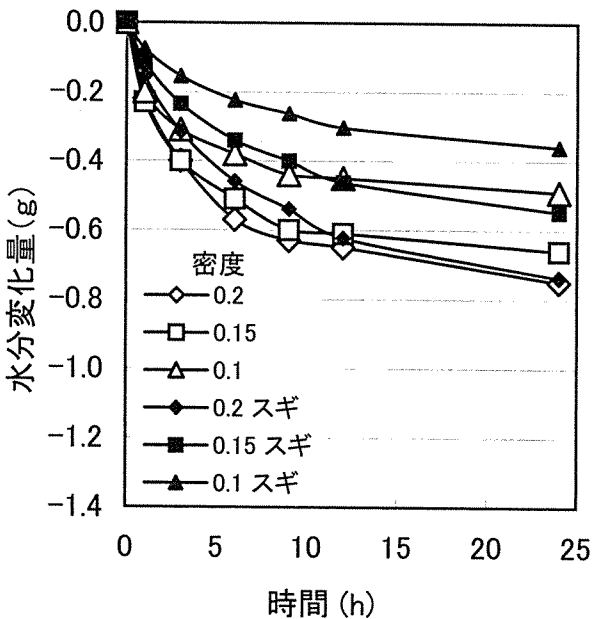


図10 2回目放湿過程における軽量体とスギ素材の水分量変化 (配合比 5:3)

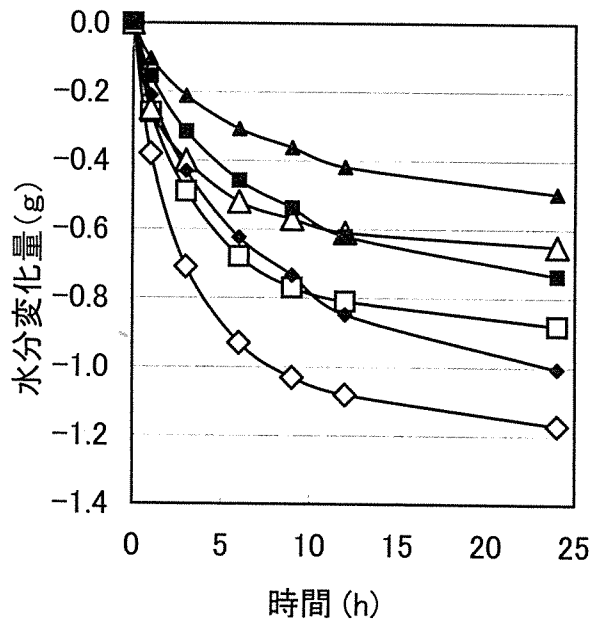


図11 2回目放湿過程における軽量体とスギ素材の水分量変化 (配合比 5:1 凡例は図10と同じ)

分量変化を図8、図9に示す。また、2回目放湿過程における配合比5:3および5:1の軽量体とスギ素材の水分量変化を図10、図11にそれぞれ示す。

軽量体の吸放湿量は吸湿、放湿過程ともすべての製造条件において、24時間を通じ、スギ素材の吸放湿量を上回った。特に、吸放湿の初期に着目すると、同じ配合比では初期3時間までは、軽量体の最も少ない吸放湿量を示す密度条件の値が、スギ素材の最も多い吸放湿量の密

度条件の値を上回った。1時間後の値で比較すると、軽量体の吸放湿量はすべての条件においてスギ素材の約2倍の値を示した。この比率は時間の経過とともに低下し、24時間後には1.2倍前後の値を示す条件が多かった。これらの結果は、軽量体がスギ素材に比較して、特に初期の吸放湿性能に優れ、湿度の変化に対し素早い反応を示す材料であることを示すものであった。この性能は、軽量体が内部の木削片間に、多数の連続した空隙を持つこ

とにより発揮されるものと推察された。

4. まとめ

4.1 吸放湿性能

今回の実験に供した軽量体の製造条件は配合比を重量比で木削片：樹脂＝5:3、5:2、5:1の3条件、成型後の軽量体の密度を0.2、0.15、0.1(g/cm³)の3条件とし、それぞれを組み合わせた9条件であった。これらの軽量体の平衡時水分量は木削片の配合比が大きい条件ほど、また、密度が高い条件ほど増加する傾向が認められた。これは、軽量体の平衡時水分量が存在する木削片の量によってほぼ決定されることを示すものであった。その値は温度40℃、相対湿度75%および温度40℃、相対湿度90%の雰囲気ともスギ素材の約13%から34%に相当する値であった。フェノール樹脂フォームと比較すると、5倍から15倍の値となった。軽量体の平衡含水率は温度40℃、相対湿度75%の雰囲気において約7%から9%、温度40℃、相対湿度90%の雰囲気において、約10%から13%の値を示した。これは木材の平衡含水率の約50%から70%に相当する値であった。軽量体の平衡含水率は原料に占める木削片の割合の増加に伴い増加した。また、密度による平衡含水率への影響は認められなかった。

乾湿繰り返し操作に伴う軽量体の吸放湿量は、平衡時水分量と同様に木削片の配合比が大きい条件ほど、密度が高い条件ほど、すなわち木削片の量が多いほど大きかった。相対湿度変化に伴う吸放湿の応答性能を検討するため、雰囲気湿度を変更してから24時間の軽量体の水分変化量を各条件の軽量体に配合された木削片と同じ重量のスギ素材の水分変化量と比較した。その結果、軽量体の吸放湿量は、吸放湿過程ともすべての条件において24時間を通じスギ素材の吸放湿量を上回った。特に、吸放湿の初期1時間においては吸放湿ともすべての条件において軽量体の吸放湿量はスギ素材の約2倍の値を示し、この比率は時間の経過とともに低下した。以上のことから、軽量体はスギ素材と比較して特に初期の吸放湿性能に優れ、湿度の変化に対し素早い反応を示すことが明らかになった。

ある材料が良好な吸放湿性能を有するには、刻々変化する相対湿度によく応答し、吸放湿が行われなくてはならない。軽量体は木材に比べ低密度であるため、水分の吸収量においては木材に及ばないが、短時間に吸放湿を行う能力を有することが明らかになった。

4.2 強度、断熱、吸放湿性能

前報^{1,2)}の圧縮強さと曲げ強さおよび熱伝導率に関する

実験結果と、今回の吸放湿性能に関する結果を総合し、これら性能が総合的に発揮される軽量体の密度と原料配合比の製造条件を以下にまとめる。

強度性能については、圧縮、曲げともに、密度が高く、樹脂の配合比が高い条件ほど高性能であった。また、強度性能に与える影響は、樹脂の配合比を高めるより、密度を高める効果の方が大きかった。特に曲げ性能については、樹脂の配合比を5:3から5:4に高めても、さほど効果は認められなかった。一方、断熱性能については、密度が低く、樹脂の配合比の高い条件ほど断熱効果が高かった。これに今回の吸放湿性能の結果を合わせて検討すると、これら性能を有効に発揮させる製造条件が3つの性能の間で互いに密度と原料の配合比の組み合わせにおいて完全に一致せず、一致する部分と矛盾し合う部分があることがわかる。従って、使用条件により要求される性能に合わせて、最適な密度と配合比の組み合わせを選択し、製造する必要があった。

これら矛盾の解決の一方法として、要求される性能に応じて、軽量体の厚さ方向の構造を密度、配合比の異なる3層構造にすることが有効と考えられる。例えば、軽量体が有する断熱性能と吸放湿性能は、内部に多数存在する空隙により発揮される。これらの性質は製造条件を変化させることによりコントロールすることが可能である。すなわち、低密度の軽量体でフェノール樹脂の配合比を高くし、フェノールフォームを増加させて、独立した状態の空隙を増加させることにより断熱性能が向上する。逆に高密度の軽量体で木削片の配合比を高くし、フェノール樹脂フォームを減少させることにより、連続した状態の空隙が増加すると、吸放湿性能が向上する。しかし、これら操作は相反するため、同時に両方の性能を高いレベルで発揮させることは困難である。そこで、これら性能を同時に向上させる方法として、軽量体の表層部を密度が高く木削片の配合比の高い条件に、内層部を密度が低く樹脂の配合比の高い条件に設定して製造する。この構造により、表層部で吸放湿性能が高く、内層部で断熱性能の高い軽量体を製造することが可能になると予測される。この軽量体はパネルの内部結露の防止に有効で、かつ強度性能もある程度確保されたものになると考えられる。以降、各種性能を向上させる有効な方法として、3層構造をもつ軽量体の製造についても検討して行きたい。

引用文献

- 1) 増田勝則：木削片と発泡性フェノール樹脂を原料とした軽量体の開発（第2報）：密度および原料の配合比を変化させた軽量体の熱伝導率. 奈良県森林技術センター研究報告. 32, 77-80 (2003)
- 2) 増田勝則：密度および原料の配合比を変化させた軽量体の圧縮強さと曲げ強さ. 奈良県森林技術センター木材加工試料. 30, 27-31 (2001)
- 3) 狩野春一：“2.1.1植物繊維ボード”. 建築材料・工法ハンドブック. 東京, (株)地人書館, 1973, 88.
- 4) 今村祐嗣ほか：“1.1.4 木材の水分管理”. 建築に役立つ木材・木質材料学. 東京, (株)東洋書店, 1997, 32.

(2002年12月3日受理)