

究研

繊維板の熱傳導率

齋藤 武

はしがき

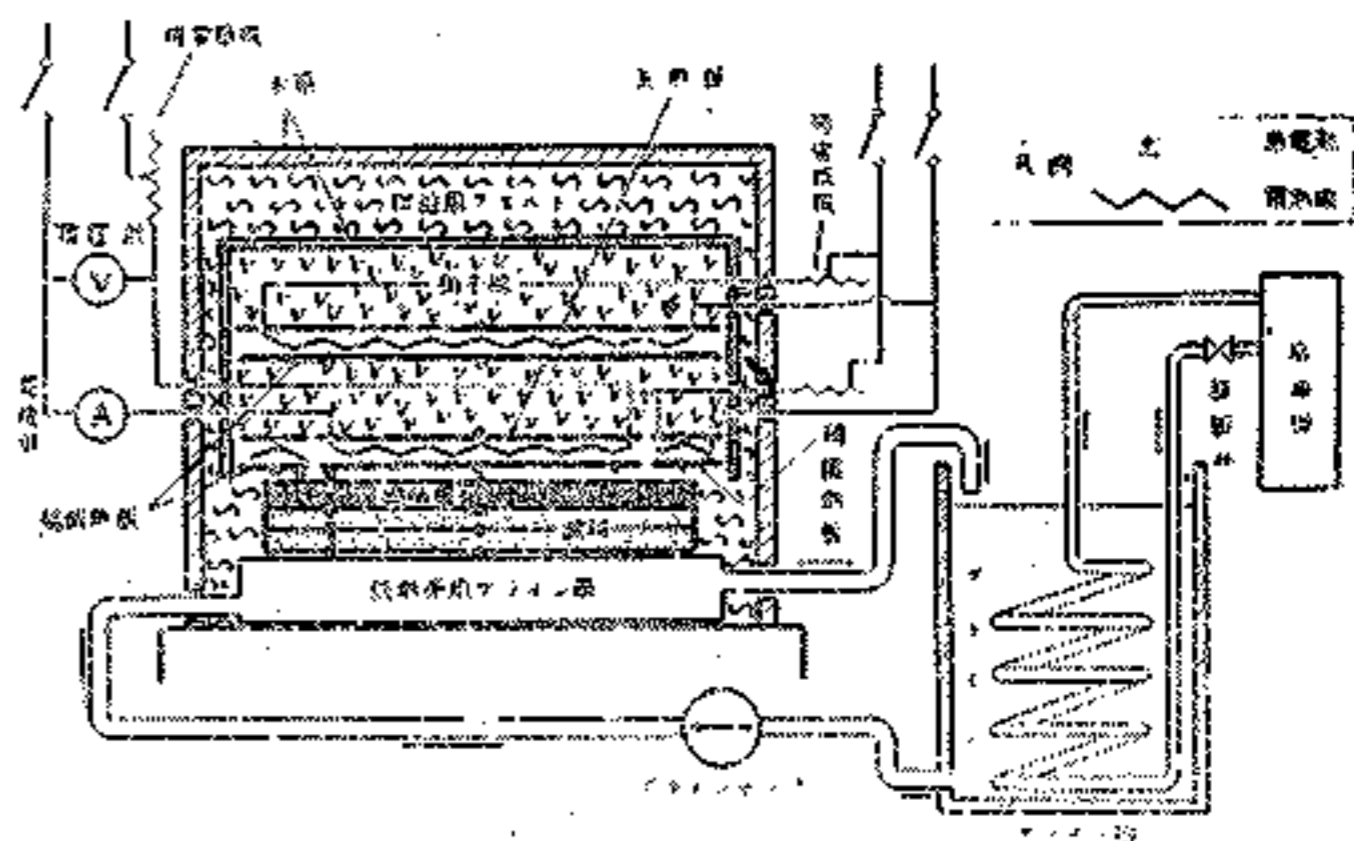
繊維板のもつ特徴の一つとして、防寒、保温と言うことがよく挙げられる。一般に、植物性繊維を原料とした繊維板（以下繊維板と呼ぶ）は、原料材の種類や製法などの相違により、製品は多種多様でその数も極めて多い。これらの熱傳導率などの測定発表値としては、吾國では本州産のものについて数篇の発表があるに過ぎない。

今度、著指導所製の繊維板数種について熱傳導率測定を行つたので、この機会に當測定値と共に、筆者らが測定した他の適産繊維板類の熱傳導率を報告し、併せて全測定装置ならびに測定方法も紹介しておきたいと思う。熱傳導率の測定は、装置の作製も測定方法もさほど難しいものではないが、測定自体にかなりの手数と時間を要する。しかし、いまその熱傳導率を繊維板のみを対象として考えれば、これに影響を及ぼす因子は比較的限定されるので、これらの因子の影響をあらかじめ明らかにしておけば、同種類の繊維板については、ある程度の誤差が容認される場合は、いま迄の測定値から凡その熱傳導率は推定し得る便がある。

熱傳導率測定装置とその方法

熱傳導率測定の方法は種々あるが、熱流の状態から2大別出来る。資料が平板の場合では、資料の両面を夫々高低熱源に接触せしめ、資料を貫いて流れる熱流が定常状態となつたときの両面温度差より求めるものと、一面の温度を急激に、または周期的に変化せしめ他面に表われる温度波の遅れから求めるものがある装置としては、両方法いずれも殆ど同様であるが、こゝでは主として前者の場合につき述べることにする。

第1圖は筆者らの研究室における実験装置の概略を示す。試料は縦横30cmの正方形で試料内の熱對流を防ぐため、試料の上方を高熱源、下方を低熱源とした高熱源には縦横20cmの正方形の主熱板を用い、ニクロム線による電氣的加熱装置がある。更に、上側に縦横30cmの正方形の補償熱板を、また周囲に巾5cmの中空筒形の補償熱板をもうけ、夫々の熱板への配線抵抗を加減して、上方および側方に対する温度勾配を無



くして、熱の流れを下向き一方向のみになるようにしてある。但熱源はブラインを用い、必要に應じ常温から-20°C程度まで、任意の温度に保ちうるよう冷凍装置をもつブライン槽が設けられる。試料の大きさは、供試材の厚さが大きなものほど、また熱傳導率の低いものほど大きくしなくてはならないが、一般保温材の熱傳導率で試料の厚さ3cm程度までなら本装置の大きさで充分である。

測定は試料内の温度が定常状態となるまで充分な時間をおいて後行はれる。上記の方法で、真流熱量を直接計測しようときは、熱傳導率は次の基本式より求められる。

$$\lambda = \frac{Q \cdot L}{F \cdot \Delta t} \quad [\text{Kcal / mh}^\circ\text{C}]$$

- ここで Q: 試料貫流熱量 [Kcal/h]
 L: " 厚さ [m]
 F: " の熱貫流面積 [m²]
 Δt: " の高低両面の温度差 [°C]

また、熱傳導率既知の標準板のある場合は図のように試料に標準板を重ね、所謂「比較法」により、次式より求めうる。

$$\lambda = \lambda_E \frac{\Delta t_E \cdot L}{\Delta t \cdot L_E}$$

- ただし λ、λ_E: 試料ならびに標準板の熱傳導率 [Kcal/mh[°]C]
 L、L_E: " の厚さ [m]
 Δt、Δt_E: " 両面における温度差 [°C]

この場合は直接熱量を測定する困難がないので、試料の厚に比し充分な面積をもつ試料については、前記の補償熱板による装置および操作の手数は省き得て簡易である。標準板には均質で熱または水分などにより変質形をしないものが望まれることから、耐熱ガラス板が用いられることが多い。しかし、繊維板など比較的熱伝導率の低いものを測定する場合には、試料に比し標準板における温度差が少なく表われ、これが測定精度に影響することもあるので、ゴム板、ペークライト板などを用いるのも一法である。

道産繊維板の熱伝導率

このような装置により実測した道産繊維板の熱伝率値を示すと第1表の如くなる。繊維板は一般に原材料の関係で同一名称のものでも質的にかなりの相違が

あり、同一繊維板でも均質ではなく場所によりある程度のむらはまぬかれ得ないことは言うまでもあるまい。参考までに他の代表的保温材の熱伝導率の概数を示せば、炭化コルク(200kg/m³)0.057、羊毛フェルト(270)0.050、珪藻土(600)0.09Kcal/mh°C程度である。

熱伝導率に影響する諸因子

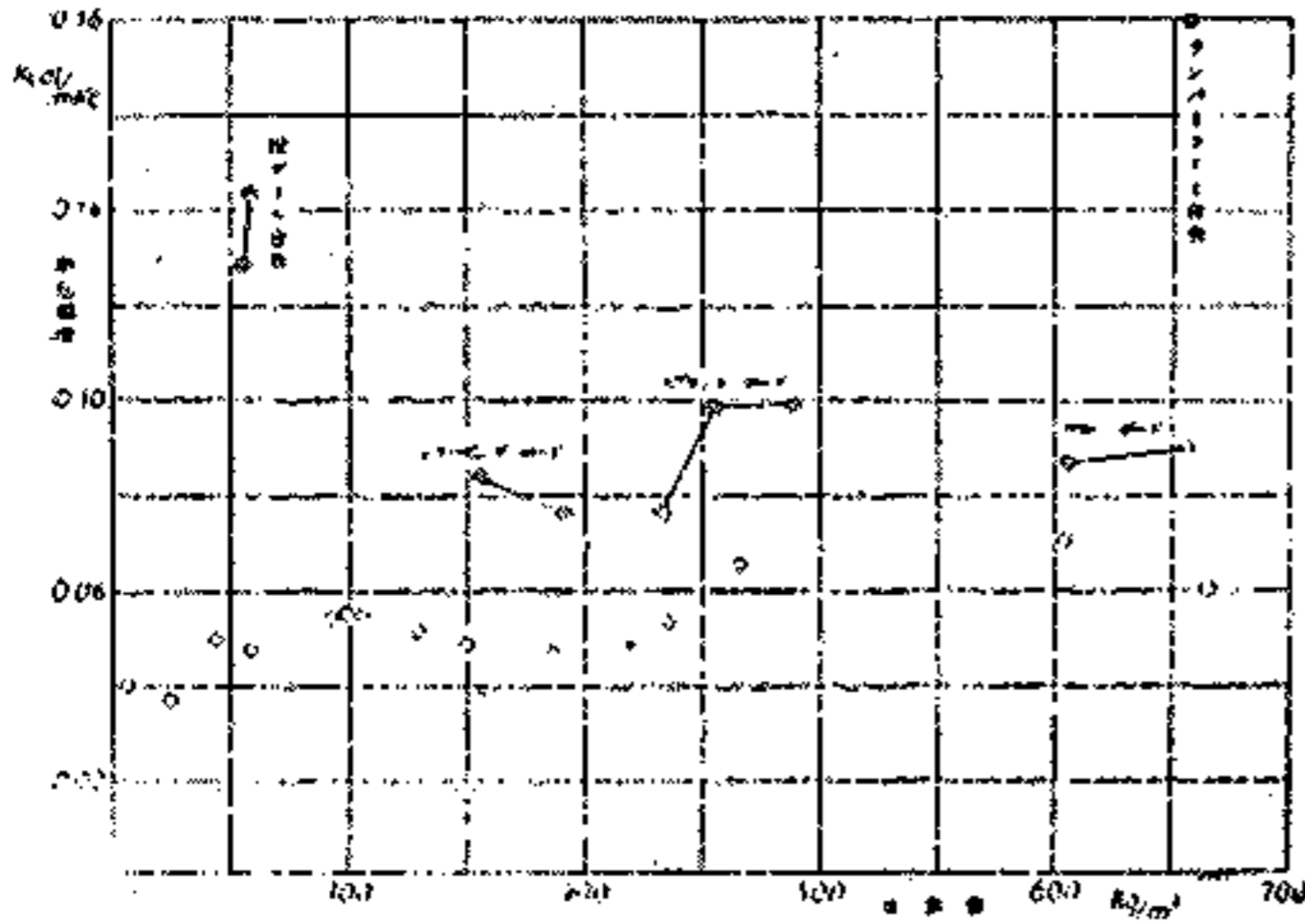
比重量

第1表より明らかなように、熱伝導率は比重量に比例した傾向を示している。これを熱伝導率と比重量とを2軸とする線図上に表わすと第2図のようになり、その関係は一層明らかになる。すなわち、比重量の少ないほど熱伝導率は低く保温効果は優れていることになる。(第2図参照)

第 一 表

品 名	品 質 形 状	比 重 量 kg/m ³	熱 傳 導 率 Kcal/mh°C	平 均 測 定 温 度 °C
サニード	指導所製、接着剤のない蒸式法による木繊維板、本試料は特に軟質	695	0.069	25
		665	0.090	29
スプリントボード	指導所製、ベニヤ層をチップ化し加圧成型	455	0.098	34
		488	0.099	33
		433	0.076	46
シェービングボード	指導所製、上の製品の外表面を鉋がらで覆い平滑にする。	392	0.076	47
		356	0.083	48
段ボール合板	指導所製段ボールを中芯として両面に單板をはる	256	0.128	44
		258	0.143	34
草炭テックス	篠路産草炭と紙屑を重量比1:2に混合	304	0.055	51
草炭保温板	篠路産草炭を加圧成型	258	0.047	31
ツンドラ板	樺太産ツンドラを加圧成型	192	0.042	56
加石灰草炭板	道産草炭に石灰、粘土を混ぜ加圧成型	605	0.072	42
亞麻テックス	帝國製麻製の亞麻屑纖維を製板	223	0.039	31
		387	0.046	44
		436	0.053	39
耐水亞麻テックス	亞麻テックスの表面にタールを塗布防濕にする	330	0.051	45
トマテックス	王子苫小牧工場製、粗製パルプの製板	350	0.048	30
木毛セメント	トド、エゾ松のチップをセメントで固めた壁板材	664	0.059	45
麦稈ブロック	麦稈と赤土とを重量比1:9に混合成形の壁材	801	0.102	41
土杯子	石灰、スサ、粘土を重量比2:2:96に混合成形	1350	0.126	43
トド松材	前記ブロックと共に道工試清原技師の試作品 征目板	465	0.065	38
鋸屑(トド松)	軽く詰めた程度の密度	205	0.039	44

第二図 熱傳導率と比重量



木質の繊維板を、木質部分とその間隙を満す空気部分に分けて考えると、比重量の少ないことは、木質部分が粗で、二つの間の空隙が大きいことになるので空気の熱傳導率はわずかに0.024Kcal/mh°C(常温)であり空隙の多いものほど熱傳導率は低くなることとなる。たゞ、比重量が同一であつても、當スプリントボードおよびシェーピングボードのように木質部が硬いチップの場合は、解繊したパルプの場合と異つて、自体比重量の大きいチップの熱傳導率が高く、且つ狭い空気間隙は反つて互に連絡して対流による空気自体の移動も可能ならしめることとなり、軟かな繊維素の間に細かな空気泡が一様に分布するパルプ原料の繊維板より熱傳導率は高く、それだけ保温効果は減じている。

段ボール合板は特に比重量の割合に熱傳導率の高い値を示しているが、これは構成素材の配列の影響を表わす好例である。一般に繊維板では、その製造工程上繊維素は板面にほぼ平行に並ぶので、板を貫いて流れる熱は繊維素束の間をこれと垂直な方向に進むことになり、空気より熱傳導率の高い繊維素の間を一つの繊維素から他の繊維素へと互に接触した部分を傳わりながら流れる。すなわち、繊維素相互間の接触抵抗が熱の流れを妨げる作用をする。これに對し、段ボール合板の場合は、たとえ空隙は多くとも、これを仕切るボール板が熱流の方向に並んでいるため、高温側から低温側へと熱は直接ボール板のみを傳つて流れるため、自と全体としての熱傳導率は大となる。

第1表に示す繊維板の測定値はいずれも熱流が繊維素に垂直方向の場合の値であるが、熱流が繊維素に平行のときの熱傳導率については、アメリカの実験例によれば、約2倍の結果を示すことが報告されている。

含有水分

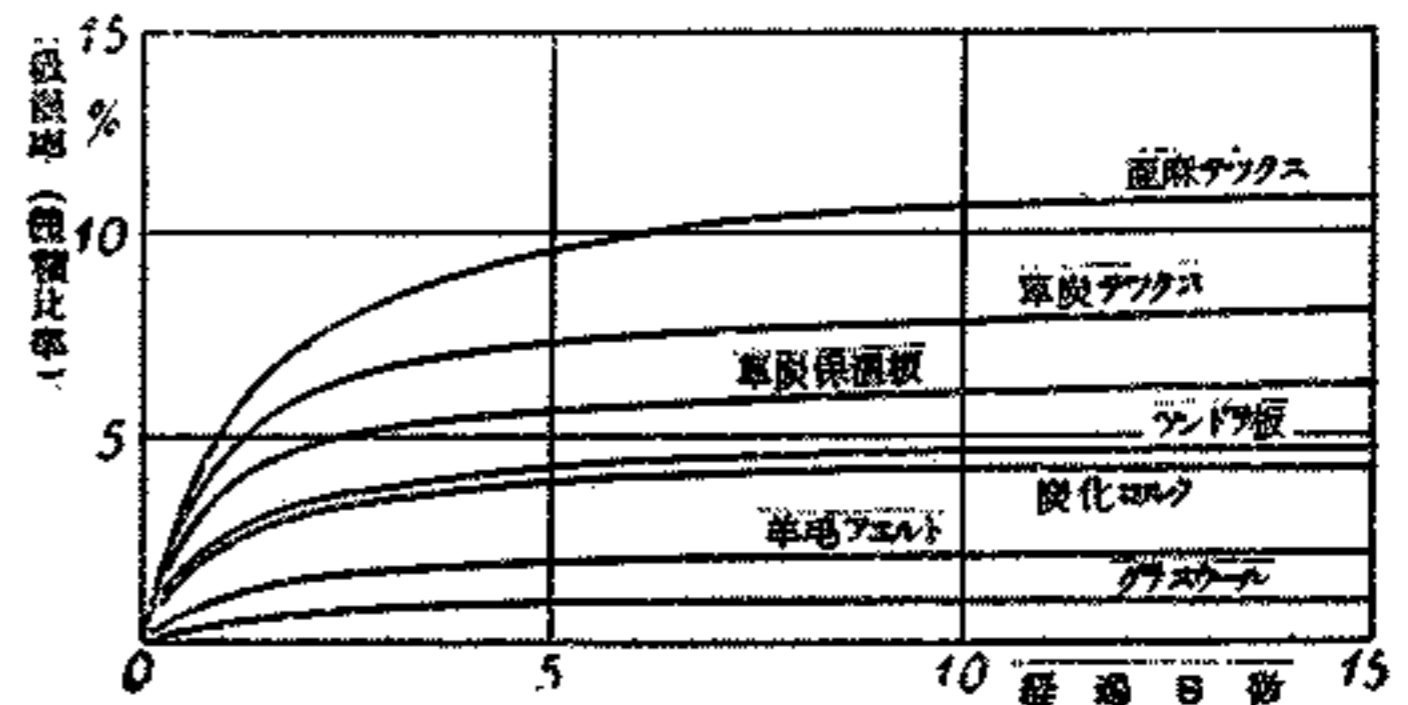
熱傳導率の測定値より保温効果の良否を判断するとき、特に注意しなくてはならぬのは、測定時における繊維板の含水率である。前表の測定値はいずれも試料

の大氣乾燥時のものである。

しかし、建築用材として繊維板が実際に用いられる場合は、必ずしも乾燥状態ばかりとは言えず、高い湿度の環境にある場合や外部より雨水の漏入、浸透のある場合もある。水の熱傳導率は約0.5kcal/mh°Cで、これは空気のおよそ20倍、乾燥繊維板の約10倍に當るこのため侵入した水分は傳導率の低い空気に代つて繊維板全体の保温効果を著しく低下せしめることになるこのため、前表の結果から繊維板が常に優れた保温効果を有しているものとするのは危険である。

特に、木質の繊維板は構成原料の関係から當然水分を吸収し易い性質があるので、いま、15°Cの水分に飽和した空氣中に試料を放置したときの、空氣中の濕分が時間と共に吸収される状態を表わす吸濕性能曲線を示せば第3図のようになる。

第三図



すなわち、他の保温材、例えばグラスウール、炭化コルク、羊毛フェルトなどに比して木質繊維板の吸濕量がはるかに多いことが明らかとなる。

濕分または水分の熱傳導率に及ぼす影響を數量的に表わすことは、現象が複雑であつて一概には言い得ないが、トマテックス(比重量350kg/m³)について行つた実験結果によれば、含水率(体積比率)3%程度までは大きな変化は表われないが、これより含水率が大となると、特に温度の高い場合は急激に保温効果で低下する。第2表はこの傾向を示す。

第2表 濕れたトマテックスの熱傳導率(Kcal/mh°C)

平均温度 °C	含水率(体積比率) %			
	0	5	10	15
10	0.05	0.08	0.09	0.11
20	0.05	0.12	0.13	0.14
30	0.05	0.17	0.18	0.20

この場合含水率が3%程度以上になると、高温側の水分が蒸発し、低温側で凝結し、この水は再び毛管作用で高温に戻り、純粹な熱傳導のほか水分移動による熱移動が加わるため、所謂見掛けの熱傳導率が急に

研究

合板の狂いについて

(第2報) 熱壓合板の狂いの防止法
附 合板の狂いの矯正法神 和 雄
富 田 明 政

上昇することになる。つぎに、繊維板の含有水分が 30°C 以下になつた場合、すなわち、水が凍結して氷になつた場合について考える。これは本道のような冬季の厳寒時における住居などに関連して無視し得ない問題であろう。氷の熱伝導率は $200\text{Kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ 、で水の場合の約4倍となり、保温効果は更に害されることになる。しかし、氷は水のように移動することがないので、傳熱機構自体は簡単であり、その影響も温度の比較的高い水の場合よりはむしろ少ない。トマテックスによる実験の結果は第3表のように示される。

第3表 水の凍結状態にあるときのトマテックスの熱伝導率

	含水率(体積比率) %			
	0	5	10	15
熱伝導率	0.05	0.06	0.075	0.10

この場合氷の温度による影響は殆ど表われない。

以上述べたように含有水分が保温効果を低下せしむることは、まことに著しい。このため保温の効果を考慮して繊維板を使用するときは、特にその使用箇所、用途に充分の留意が肝意となる。止むを得ず水分侵入のおそれあるところに使用する場合は、表面にタールを塗布したり、防水紙などによる完全絶縁などが行われている。しかし、更に積極的に繊維板自体に耐水性をもたせることも當然考えられるべきであろう。例えば、プラスチック溶剤による処理などもこの目的を達する一法であろうが、工業的にこれが成立つような安価な溶剤および処理法が見出されれば、硬質繊維板は新しい保温材として、自と廣い販路を拓けてゆくものと思われる。

むすび

主に北海道産の木質繊維板について、熱伝導率測定値とその測定装置について述べ、また比重、含有水分などの繊維板熱伝導率に及ぼす影響について概説した。本文における実験測定はいずれも北大工学部大賀研究室において行われたものであり、また特に含有水分の影響に関しては當研究室岡垣理君の研究に負うところが多い。記して謝意を表わす。

北大工学部機械工學科

I、前 言

第一報に於て、接着前の狂いを生ずる因子として、単板含水率の多いか少ないか、又その單板に目割れがあるか無いかについての実験結果を示し、之等の因子が合板の狂いに甚しく影響することを記し、又合板の狂いの原因となる因子は、その他にも数多く有り、製造上常に狂いの点に留意しなければその発生は免れないことを強調した。

狂いの因子として接着後に現われるものも甚だ多いと思われ、例えば、現在では各合板工場ともに、合板の製造には電熱釜、低周波、又はホットプレス及びその一、二の併用による熱圧法を採つて居るが、それと共に合板の狂いは減少する様に考えられるが、時には狂いの甚しい合板が依然として見られることも稀ではない。之は當然接着前の種々の因子が間接に熱圧後も影響しているものであることは勿論であるが、一つには熱圧作業が正しい方法によつて操作されて居ないことにもよると思われる。

ホットプレスに於て所定時間熱圧し取出された熱い合板は、急速に冷却して熱を放散すると同時に、含有水分を蒸氣の形で放出して乾燥する爲、その合板は一般に不均一な乾燥をする傾向にあり、木材は脆くなり甚しい狂いを生ずるに至る。我が國に於ては、何れの工場にても、ホットプレスから取出した合板を直ちに一枚宛離して柵の間に立てるか、又は棚に平らに入れているが、何れもその柵の間隔が合板の厚さより甚だ廣くなつて居る爲、合板は急速に乾燥して自由に狂つて来る。

米國に於ては⁽¹⁾何れの場合にも急速に熱することをせず、之を平積する方法を取つて居り、此の方法が熱圧法に於ける後処理法として普遍化されている様である。例えば、テゴフィルム接着の合板は、ホットプレスより取出した後直ちに水に浸漬してザラ棒にて積み、平らに保つ爲上に錘を乗せて正常の含水率に戻る迄一夜位放置する。又、その新しい方法としては、合

研究
繊維板の熱伝導率
斎藤 武

はしがき

繊維板のもつ特徴の一つとして、防寒、保温と言うことがよく挙げられる。一般に、植物性繊維を原料とした繊維板（以下繊維板と呼ぶ）は、原材料の種類や製法などの相違により、製品は多種多様でその数も極めて多い。これらの熱伝導率などの測定発表値としては、吾国では本州産のものについて数篇の発表があるに過ぎない。

今度、当指導所製の繊維板数種について熱伝導率測定を行ったので、この機械に当測定値と共に、筆者らが測定した他の道産繊維板類の熱伝導率を報告し、併せて全測定装置ならびに測定方法も紹介しておきたいと思う。熱伝導率の測定は、装置の作製も測定方法もさほど難しいものではないが、測定自体にかなりの手数と時間を要する。しかし、いまその熱伝導率を繊維板のみを対象として考えれば、これに影響を及ぼす因子は比較的限定されるので、これらの因子の影響をあらかじめ明らかにしておけば、同種類の繊維板については、ある程度の誤差が容認される場合は、いま迄の測定値から凡その熱伝導率は推定し得る便がある。

熱伝導率測定装置とその方法

熱伝導率測定の方法は種々あるが、熱流の状態から 2 大別出来る。資料が平板の場合では、資料の両面を夫々高低熱源に接触せしめ、資料を貫いて流れる熱流が定常状態となったときの両面温度差より求めるものと、一面の温度を急激に、または周期的に変化せしめ他面に表われる温度波の遅れから求めるものがある。装置としては、両方法いずれも殆ど同様であるが、ここでは主として前者の場合につき述べることとする。

第 1 図は筆者らの研究室における実験装置の概略を示す。試料は縦横 30 cm の正方形で試料内の熱対流を防ぐため、試料の上方を高熱源、下方を低熱源とした高熱源には縦横 20 cm の正方形の主熱板を用い、二クロム線による電氣的加熱装置がある。更に、上側に縦横 30 cm の正方形の補償熱板を、また周囲に巾 5 cm の中空枠形の補償熱板をもうけ、夫々の熱板への配線抵抗を加減して、上方および側方に対する温度勾配を無くして、熱の流れを下向き一方向のみになるようにしてある。低熱源はブラインを用い、必要に応じ常温から -20 度程度まで、任意の温度に保ちうるよう冷凍装置をもつブライン槽が設けられる。試料の大きさは、供試材の厚さが大きなものほど、また熱伝導率の低いものほど大きくしなくてはならないが、一般保温材の熱伝導率で試料の厚さ 3 cm 程度までなら本装置の大きさで充分である。

測定は試料内の温度が定常状態となるまで充分な時間をおいた後行われる。上記の方法で、貫流熱量を直接計測しうるときは、熱伝導率は次の基本式より求められる。

$$= \frac{Q \cdot L}{F \cdot t} \quad (\text{Kcal/mh})$$

ここで Q : 試料貫流熱量 (Kcal/h)

L : " 厚さ (m)

F : " の熱貫流面積 (m²)

t : " の高低両面の温度差 ()

また、熱伝導率既知の標準板のある場合は図の様に試料に標準板を重ね、所謂「比較法」により、次式より求めうる。

$$= \frac{t_E \cdot L}{t \cdot L_E}$$

ただし、 t_E : 試料ならびに標準板の熱伝導率 (Kcal/mh)

L、 L_E : " の厚さ (m)

t、 t_E : " 両面における温度差 ()

この場合は直接熱量を測定する困難がないので、試料の厚に比し十分な面積をもつ資料については、前記の補償熱板による装置および操作の手数は省き得て簡略である。標準板には均質で熱または水分などにより変質形をしないものが望まれることから、耐熱ガラス板が用いられることが多い。しかし繊維板など比較的熱伝導率の低いものを測定する場合には、試料に比し標準板における温度差が少なく表われ、これが測定精度に影響することもあるので、ゴム板、ベークライト板などを用うるのも一法である。

道産繊維板の熱伝導率

このような装置により実測した道産繊維板の熱伝導率地を示すと第 1 表如くなる。繊維板は一般に原材料の関係で同一名称のものでも質的にかかなりの相違あり、同一繊維板でも均質ではなく場所によりある程度のむらはずかぬことは言うまでもない。参考までに他の代表的保温材の熱伝導率の概数を示せば炭化コルク (200kg/m³) 0.057、羊毛フェルト (270) 0.050、珪藻土 (600) 0.09Kcal/mh 程度である。

熱伝導率に影響する諸因子

比重量

第 1 表より明らかなように、熱伝導率は比重量に比例した傾向を示している。これを熱伝導率と比重量とを 2 軸とする線図上に表わすと第 2 図のようになり、その関係は一層明らかになる。すなわち、比重量の少ないものほど熱伝導率は低く保温効果は優れていることになる。(第 2 図参照)

第一表

第二図 熱伝導率と比重量

木質の繊維板を、木質部分とその間隙を満たす空気部分とに分けて考えると、比重量の少ないことは、木室部が粗で、二つの間の空隙が大きいことになるので空気の熱伝導率はわずか 0.024Kcal/mh （常温）であり空隙の多いものほど熱伝導率は低くなることになる。ただ、比重量が同一であっても、当スプリントボードおよびシェービングボードのように木質部が硬いチップの場合は、解繊したパルプの場合と異なって、自体比重量の大きいチップの熱伝導率が高く、且つ広い間隙は反って互に連絡して対流による空気自体の移動も可能ならしめることとなり、軟らかな繊維素の間に細かな空気泡が様に分布するパルプ原料の繊維板より熱伝導率は高く、それだけ保温効果は減じている。

段ボール合板は特に比重量の割合に熱伝導率の高い値を示しているが、これは構成素材の配列の影響を表わす好例である。一般に繊維板では、その製造工程上繊維素は板面にほぼ平行に並ぶので、板を貫いて流れる熱は繊維素束の間をこれと垂直な方向に進むことになり、空気より熱伝導率の高い繊維素の間を一つの繊維素から他の繊維素へと互に接触した部分を伝わりながら流れる。すなわち、繊維素相互間の接触抵抗が熱の流れを妨げる作用をする。これに対し、段ボール合板の場合は、たとえ空隙は多くとも、これを仕切るボール板が熱流の方向に並んでいるため、高温側から低温側へと熱は直接ボール板のみを伝わって流れるため、自と全体としての熱伝導率は大となる。

第 1 表に示す繊維板の測定値はいずれも熱流が繊維素に垂直方向の場合の値であるが、熱流が繊維素に平行のとき熱伝導率については、アメリカの実験例によれば、約 2 倍の結果を示すことが報告されている。

含有水分

熱伝導率の測定値より保温効果の良否を判断するとき、特に注意しなくてはならぬのは、測定時における繊維板の含水率である。全表の測定値はいずれも試料の大気乾燥時のものである。

しかし、建築用材として繊維板が実際に用いられる場合は、必ずしも乾燥状態ばかりとは言えず、高い湿度の環境にある場合や外部より雨水の漏入、浸透のある場合もある。水の熱伝導率は 0.5Kcal/mh で、これは空気のおよそ 20 倍、乾燥繊維板の約 10 倍に当たる。このため侵入した水分は伝導率の低い空気に代って繊維板全体の保温効果を著しく低下せしめることになる。このため、前表の結果から繊維板が常に優れた保温効果を有しているものとするのは危険である。

特に、木質の繊維板は構成原料の関係から当然水分を吸収し易い性質があるので、いま、15 の水分に飽和した空気中に試料を放置したときの、空気中の湿分が時間と共に吸収される状態を表わす吸湿性能曲線を示せば第 3 図のようになる。

第三図

すなわち、他の保温材、例えばグラスウール、炭化コルク、羊毛フェルトなどに比して木質繊維板の吸湿量のはるかに多いことが明らかとなる。

湿分または水分の熱伝導率に及ぼす影響を数量的に表わすことは、現象が複雑であって一概には言い得ないが、トマテックス（比重量 350kg/m^3 ）について行った実験結果によれば、含水率（堆積比率）3%程度までは大きな変化は表われないが、これより含水率が大きくなると、特に温度の高い場合は急激の保温効果で低下する。第 2 表にはこの傾向を示す

第 2 表 湿れたトマテックスの熱伝導率（ Kcal/mh ）

この場合含水率が 3%程度以上になると、高温側の水分が蒸発し、低温側で凝結し、この水は再び毛管作用で高温に戻り、純粋な熱伝導のほか水分移動による熱移動が加わるため、所謂見掛けの熱伝導率が急に

上昇することになる。つぎに、繊維板の含有水分が0 以下になった場合、すなわち、水が凍結して氷になった場合について考える。これは本道のような冬季の厳寒時における住居などに関連して無視し得ない問題であろう。氷の熱伝導率は200Kcal/mh で水の場合の約4倍となり、保温効果は更に害されることになる。しかし、氷は水のように移動することがないので伝熱機構自体は簡単であり、その影響も温度の比較的高い水の場合よりはむしろ少ない。トマテックスによる実験の結果は第3表のように示される。

第3表 水の凍結状態にあるときのトマテックスの熱伝導率

この場合氷の温度による影響は殆ど表われない。

以上述べたように含有水分が保温効果を低下せしむることは、まことに著しい。このため保温の効果を考慮して繊維板を使用するときは、特にその使用箇所、用途に充分の留意が肝意となる。止むを得ず水分侵入のおそれあるところに使用する場合は、表面にタールを塗布したり、防水紙などによる完全絶縁などが行われている。しかし、更に積極的に繊維自体に耐水性をもたせることも当然考えられるべきであろう。例えば、プラスチック溶剤による処理などもこの目的を達する一法であろうが、工業的にこれが成立つような安価な溶剤および処理法が見出されれば、硬質繊維板は新しい保温材として、自と広い販路が拓けてゆくものと思われる。

むすび

主に北海道産の木質繊維板について、熱伝導率測定値とその測定装置について述べ、また比重量、含有水分などの繊維板熱伝導率に及ぼす影響について概説した。本文における実験測定はいずれも北大工学部大賀研究室において行われたものであり、また特に含有水分の影響に関しては当研究室岡垣理君の研究に負うところが多い。記して謝意を表わす。

北大工学部機械工学科