

建築材料の湿気透過に就て

宮 野 秋 彦

STUDY ON MOISTURE PERMEABILITY THROUGH BUILDING MATERIALS

AKIHIKO MIYANO

The Author reports in this paper on the mechanism of moisture Permeability measuring apparatus, which has been invented for surveying building materials and existing walls. The measuring method and mesured examples are also described.

The moisture permeation characteristics was measured by Variable Pressure System and the moisture permeability was calculated by Taylor's Formula.

In general the factors which effect moisture permeation characteristics are the thickness of materials, temperature, moisture content and pressure difference etc, besides the compound ratio, density, hetero-polarity and so forth.

The effects by above mentioned factors will be discussed in details on the future Papers.

1. 緒 言

この研究は建築材料並びに構造体の湿気伝播に関する一連の研究の一環をなすものであつて、併せて防湿、防露工法検討の際の基礎的部門を構成するものである。

従来、紙及び合成樹脂膜類、塗装材料類等に関する湿気透過に就ては比較的多くの報告¹⁾が見られるが、建築材料全般に亘る系統的な研究は殆んど行われていない。

筆者は、かかる現象を実験的に取扱う際、その必要を痛感されていた感度が高く、動作が確実で、時間的に即応性の大きい極小型湿度計を考案作成し、曩に、日本建築学会を通じて報告²⁾した。表記の研究はその応用として、更に、建築材料に適用すべく若干の工夫を凝した湿気透過測定装置を考案し、これによつて建築材料の透湿特性に関する系統的な実験、検討を行わんとするものである。

2. 電気湿度計

この湿度計は、東京工業大学斉藤幸男教授、都立大学芹沢竜之介教授並びに東京工業大学松下昭氏等によつて考案された半導体セレンによる感湿片に対して、

建築関係各方面への極小型湿度計としての応用を企図し、種々検討を加えたものである。

感湿部分は、セレン薄膜が吸脱湿によつて電気抵抗を変化することを利用して作られた感湿片である。それは通常、直径約 5mm、長さ略 18mm の碍管上に塩化白金のコロイド液を塗布し、550—600°C で白金薄膜を焼付け、巾約 1mm、深さ略 0.5mm 以下の間隙を二重螺旋状に切つて図-1 の如く短絡し、その間隙を

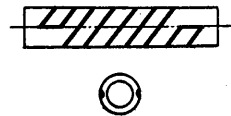
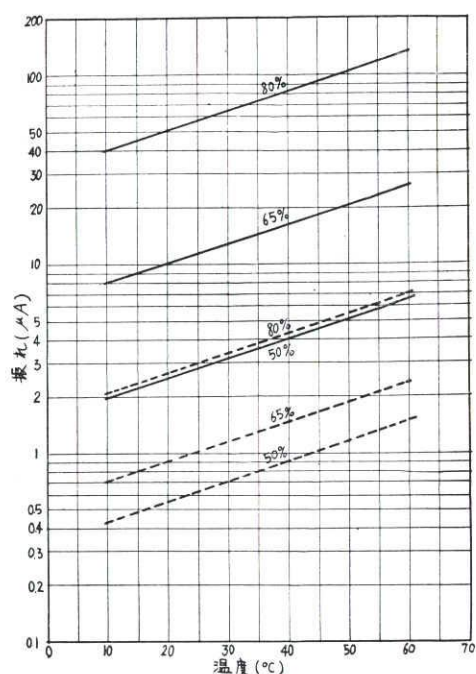


図-1 感 湿 片

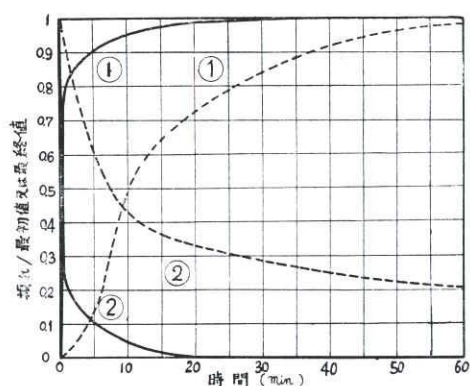
もつて相対する一対の白金電極となす。而して、この両極間にセレンを薄膜として真空蒸着せしめ経年変化を除くため、安定化処理を施したものを感湿素子とする。

測定装置には、直流電源によるものと交流電源による場合とがあるが、ここには後者に就てのみ記す。

図-2 はその一つであつて、5c/s の低周波発振器を



図—5 温度—振れ特性

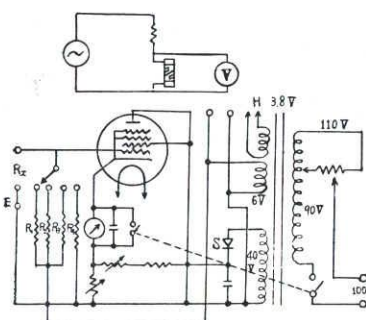


図—6 時間的遅れ

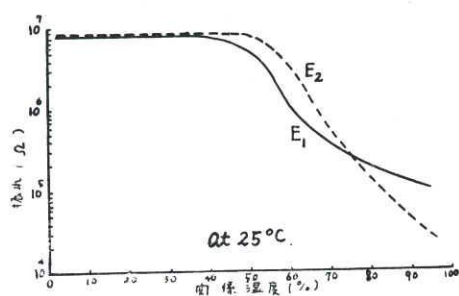
- ① : $H_1=80\%$, $H_2=40\%$, 40°C ,
 ② : $H_1=40\%$, $H_2=80\%$, 40°C ,

茲に、筆者の採用した方法は前記②のタイプに上述の電気湿度計を応用したものであつて、従来この種の装置では、一定の高湿に保つ事の出来る湿室部と透湿量を測定するための感湿素子を内蔵する乾室部とに分れており、試料はこの両室部の間に挟まれる。透湿特性は湿気が湿室部から試料を通して乾室部へ透過する割合を感湿素子で測定する事により求められる。

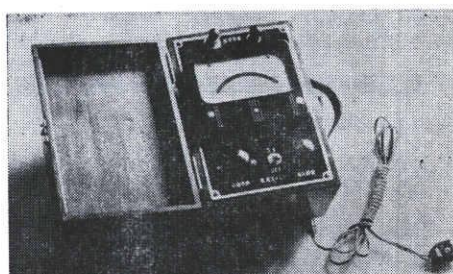
本装置では、試料周辺部及び乾室部と試料の接触面を通ずる湿気漏洩を出来る限り簡便な操作で防止する



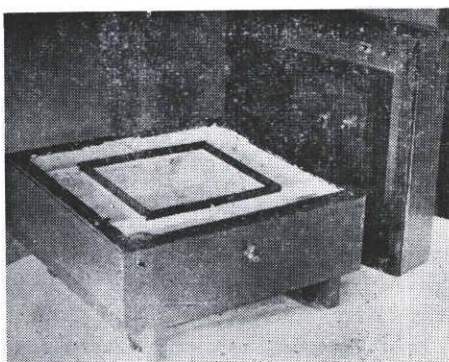
図—7



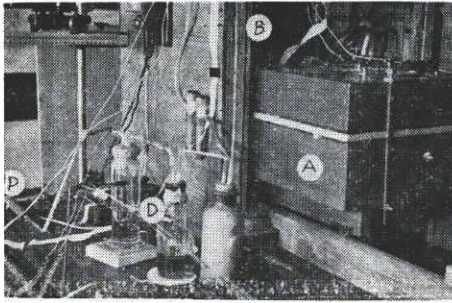
図—8 相対湿度—振れ特性



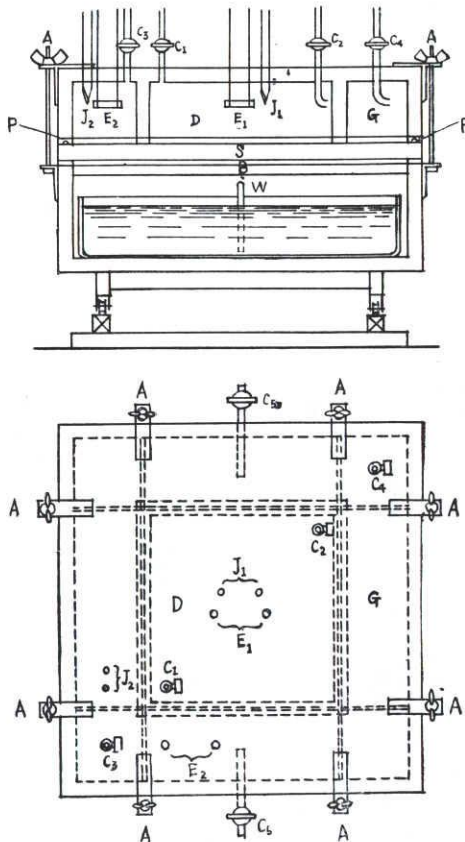
写—1. 電気湿度計



写—2. 透湿装置



写—3. 恒温恒湿室内に置かれた
40×40型透湿装置。



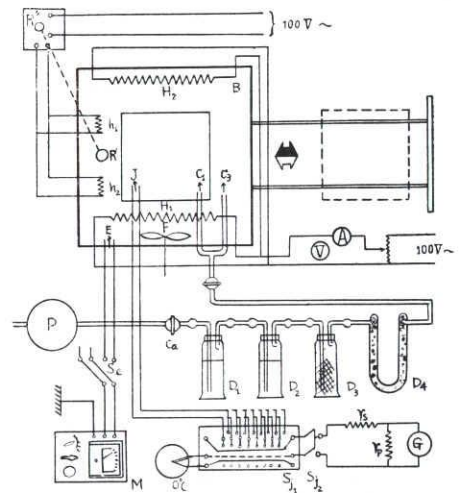
図—9 湿気透過測定装置

ため、図—9並びに写真—2に示す如く、乾室部の周囲に保護乾室部を設けている。即ち、図中Dは乾室部、Gは保護乾室部で、共に感湿素子E₁, E₂、温度監視用熱電対J₁, J₂を内蔵している。湿室部W内の湿度はその底部に入れた水又は塩類飽和溶液で一定の高湿に保つ。C₁, C₂及びC₃, C₄は各々乾室部並びに保護乾室部内を乾燥空気で置き換えるためのコックである。

試料の取付けは極めて簡単で、試料Sを湿室の支持

棒Bで水平に保持せしめ、その上に乾室部及び保護乾室部を重ね締金具Aで締付ければ完了する。尚、保護乾室部側壁と試料の接触部分に防湿コンパウンドPを充填すれば湿気漏洩を一層小ならしめ得る。

本装置の主要部寸法は試料面積約40×40cm²、乾室部面積略20×20cm²、同内容積約2600cm³、保護乾室部内容積略4600cm³である。尚、この他に30×30cm²型及び直径20cmの丸型の試料に関する測定装置も作成した。



図—10 測定装置

上述の装置は測定時間中、一定温度に調節された恒温槽内で操作されるが、その状況を図—10並びに写—3に示す。茲に、Aは透湿装置、Bは恒温槽、H₁, H₂並びにh₁, h₂は夫々温度調節用ヒーター、R'及びR''はh₁, h₂に附随するレギュレーター並びにリレー、Fは攪拌用ファン、Pは送気用ポンプ、D₁—D₄は乾燥剤である。又、装置内の熱電対J₁, J₂等はスイッチS₁, S₂を通じて鋭感電流計Gに、セレン感湿素子E₁, E₂はスイッチS₃を通じて電気湿度計M₁に各々接続される。

4. 透湿特性の測定並びに検討

一般に、水蒸気圧の異なる気相の境界に置かれた材料を透過する湿気量はFickの法則に従うと謂う假定に基いて

$$M = D \frac{At}{l} (p_1 - p_2) \quad (1)$$

の如く表わされ、その透湿特性Dは単位圧力差の下で単位時間に単位面積の試料を試料面に直角に透過する水の量で与えられる。茲に、Mは圧力差P₁—P₂に

よつて、試料面積 A を通り、時間 t 内に透過する湿気量である。

透過が Henry の法則に従う物理的な溶解現象として取扱ひ得る場合（非吸湿材料又は極めて薄い吸湿材料等）、若しくは平衡状態に置かれた吸湿材料にのみ適用されるものである。

然るに、建築材料はその殆どが吸湿材料であつて、建築物は常に刻々変動する気候条件の下にある。

従つて、建築材料の透湿を論ずるに当つては、その透湿特性に及ぼす収着の影響を無視する事は出来ない。

即ち、建築物が置かれている自然条件下に於ては透湿特性は、寧ろ、時々刻々に変化するものとする。

今、横軸に透湿時間を採り、縦軸に乾室中の湿度変動を採ると、一般に透湿曲線は主として試料の湿気収着の状態によつて図-11の如く、大略四つの場合に分けられる。茲に、

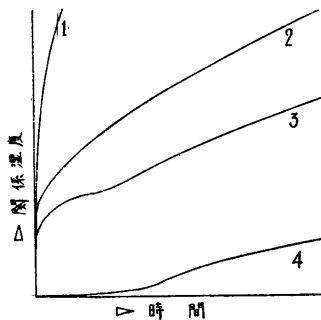


図 - 11

①は透湿性の大きい非吸湿材料又は極めて薄い吸湿材料に関するもの

②及び③は最も一般的な場合で、いずれも常湿気乾状態の試料に於けるものであるが、比較的透湿性が小さい吸湿材料では、③の曲線に見られる様な凹部を生ずる事がある。これは、試料より乾室内への収着水分の脱湿が略々平衡状態に達する頃になつて、試料を通ずる透湿が上廻つて来るためと考えられる。この現象は比較的低湿度で養生した厚い吸湿材料で顕著に現れる。

④は試料をあらかじめ絶乾した場合の透湿特性の傾向を示す。

この他、建築材料の透湿特性は材料固有の性質（例えば、配合比・密度・方向性等）、厚さ、湿度及び水蒸気圧等によつて異なり、此等因子の全般に亘つて、その影響効果を検討するためには多大の日時を必要とする。

本報では、一応、Taylor, Herrmann & Kemp³⁾

の近似式を用い、各種建築材料の代表例に就て、実験装置の吟味をも含めて、その透湿特性の基礎的検討を行つた。

今、圧力 P_1 の水蒸気が試料を通じて乾室中へ拡散し、乾室の圧力 P_2 が増加すると仮定すれば、

$$P_2 = nM'/V$$

茲に、 V は乾室部の容積、 M' は乾室内の水蒸気量、 n は換算係数。

t を時間、 l を試料の厚さとする

$$P_1 - P_2 = \frac{l}{P_E A} \cdot \frac{dM'}{dt} = \frac{Vl}{nP_E A} \cdot \frac{dP_2}{dt}$$

$$dP_2 = -d(P_1 - P_2) \text{ と置けば}$$

$$dt = \frac{-Vl}{nP_E A} \times \frac{d(P_1 - P_2)}{P_1 - P_2}$$

$$t = -\frac{Vl}{nP_E A} \ln(P_1 - P_2) + C_0$$

茲に、 C は $P_2 = P_{20}$ 、 $t = 0$ に於て、

$$C = -\frac{Vl}{nP_E A} \ln(P_1 - P_{20})$$

$$\therefore P_E = \frac{Vl}{ntA} \ln \frac{P_1 - P_{20}}{P_1 - P_2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

(2) 式は本来、非吸湿材料又は厚さの薄い吸湿材料に対するものであつて、透過湿分が試料に収着せず、湿気の透過が Henry の法則に従う物理的な溶解現象と見做し得る時に、 dP_2/dt が直線的变化をする部分を探つて、所謂“透湿率”を求める場合の近似法である。

既に述べた如く、茲に筆者の採用した透湿装置は、一定の高湿に保たれた湿室部より試料を通して透過した湿気によつて乾室部の湿度が刻々増大し、従つて、試料両面の水蒸気圧力差が漸次減少する所謂“変動法”であつて、従来の“定常法”とは本質的にその目的、方法を異にしている。

従つて、供試材料の透湿特性を比較検討する場合、その特性判定のためには、別途に一定の基準を設定しなければならない。即ち、試料をセットし乾室内を乾燥空気で置換した後、直に開始される第一回の透湿は上記した如く、その材料の湿気収着量によつて種々の形を探つて表われるが、乾室部が一定湿度に（一応湿室湿度の90%の値とする。）に達した後、速やかに乾室部内を乾燥空気で置き換え、再び透湿を行はしめると、図-12に示す如く多くの場合前回の透湿曲線を上回る特性曲線を得る。かくの如く所定温度、所定初期水張差の下で乾燥透湿を繰返すと透湿曲線はやがて一定値に収斂する。本実験ではかかる場合の透湿曲線を対象として上式より求めた透湿率 P_E の値を以つて透湿特性判定の基準とした。

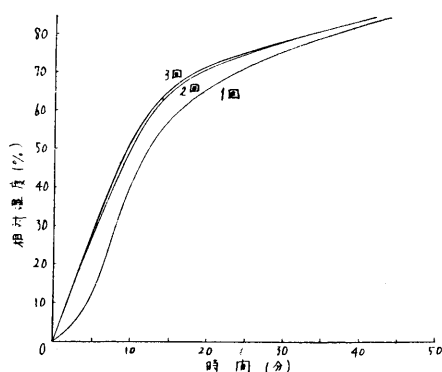


図-12 繰返し透湿の例

試料：防湿紙
(齊藤，芹沢，松下)

尚，測定に当つては，乾室内の物質によつて吸収される湿気量は無視し得るものと考えた。

以下には，数種の建築材料に就て行つた基礎的検討の結果を概述する。

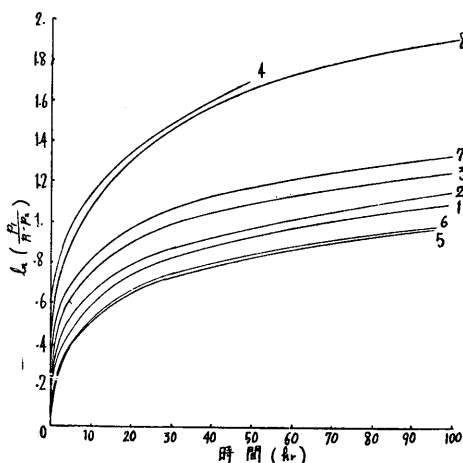


図-13 木繊維板の透湿曲線

$\ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$ と t の関係

| ソフトテックス | ハードテックス |
|--|----------------------------|
| ①輸入品②にアスファルトを含浸せしめたもの $l=1.3\text{cm}$ | ⑤輸入品S $l=0.36\text{cm}$ |
| ②〃 $l=1.3\text{cm}$ | ⑥国産品T $l=0.42\text{cm}$ |
| ③国産品 $l=1.2\text{cm}$ | ⑦〃S $l=0.40\text{cm}$ |
| ④〃(戦前品) $l=1.2\text{cm}$ | ⑧〃S(戦前品) $l=0.55\text{cm}$ |

a) 木繊維板の透湿特性(図-13)。ソフトテックスもハードテックスも国産品は外国品に較べて，透湿性

がかなり大きく，国産品の内でも優秀品と見做されるN社製のオイルテンパーした特硬品(T)でも外国製の標準品(S)より稍悪い特性を示している。然し同図より国産品も戦前のものに較べると著しく進歩している事が判る。

ソフトテックスにアスファルト系の液剤を含浸せしめると，その透湿抵抗を増大せしめ得ると考えられるが，図-13に示した例では期待した如き飛躍的増加は見られなかつた。

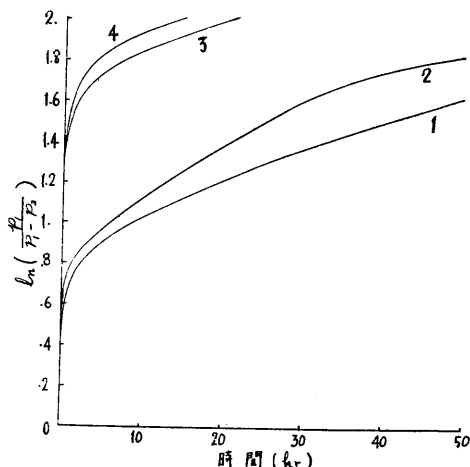


図-14 合板の透湿特性

- ① 三層耐水合板 $l=0.58\text{cm}$
- ② 栓，一級 $l=0.35\text{cm}$
- ③ ラワン，一級 $l=0.28\text{cm}$
- ④ 〃，二級 $l=0.31\text{cm}$

b) 合板の透湿特性(図-14)。耐水合板は普通合板に較べてやはり透湿特性は良い様である。

しかし，現行のものでは東京大学齊藤平蔵氏の報告⁴⁾にもある如く，接着剤の抵抗の効果よりは木材自身のそれによるものの方が大きい様である。此は，寧ろ，特に耐水合板の場合，その接着工法に問題があるのではないか。

c) 熱絶縁材料の透湿特性(図-15)。

最近，スチロール樹脂を発泡せしめて板状としたものが軽量熱絶縁材料として広く使われる様になったが，これの透湿特性は製品によつて非常に大きな相異が見られる。此も亦，成型過程の工法に改善の余地があるが，気泡群の間に薄い樹脂膜を層状にサンドウィッチしたものが出来ないであろうか。

従来の熱絶縁材料の大半が極めて大きな透湿性を有し，建築物の熱絶縁層に使用した場合，それ自身の湿

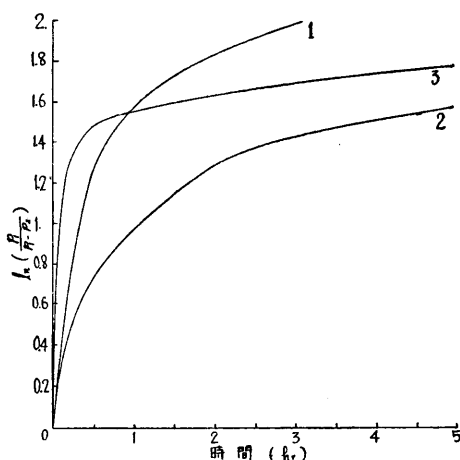


図-15 熱絶縁材料の透湿特性

- ① 発泡スチロール板 $l=2.5\text{cm}$, $\rho=0.02$ (A社製)
 ② " $l=2.4\text{cm}$, $\rho=0.025$ (D社製)
 ③ 岩綿板, $l=2.5\text{cm}$ (N社製)

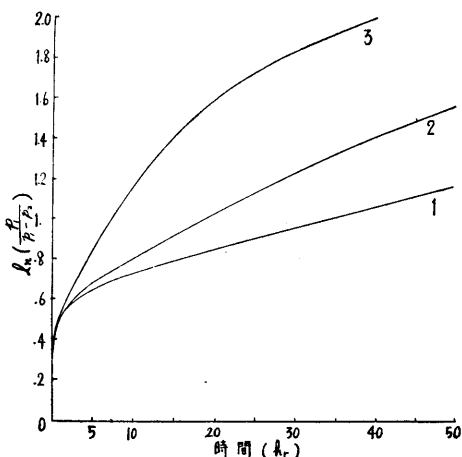


図-16 アスファルトフェルトの透湿特性

- ① 30kg 石綿アスファルトフェルト $l=0.070\text{cm}$
 ② 26gk アスファルトフェルト $l=0.085\text{cm}$
 ③ 17kg " $l=0.070\text{cm}$

潤による熱絶縁性能の低下は勿論、往々にして裏面へ

結露が廻る事がある。防湿特性の高い熱絶縁材料の出現が待望される。

d) アスファルトフェルトの透湿特性

アスファルトフェルトの透湿特性は図-16に示すごとく、略アスファルトの含湿量に比例する。

e) 各種建築材料の透湿特性の比較。

図-17及び表-1 に数種の建築材料に関する透湿特性の測定結果を掲げた。これらの結果はいづれも前述の方法により、透湿面積 396cm^2 、乾室内容積 2584cm^3 の $40\times 40\text{cm}^2$ 型透湿装置を用いて求めたものであつ

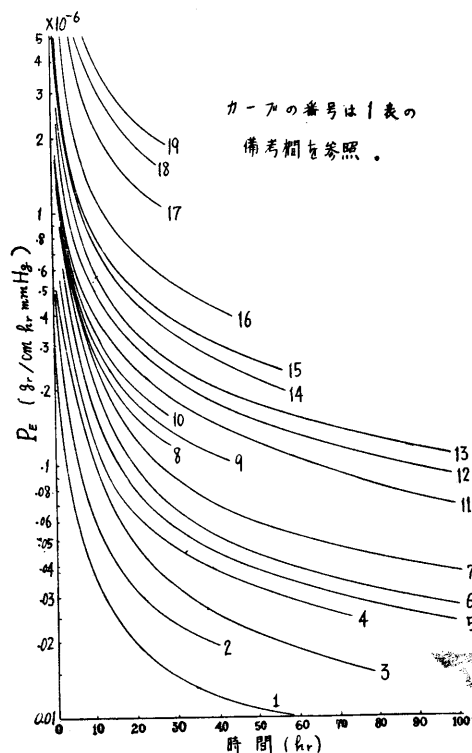


図-17 各種材料の透湿特性

て、表中の $P_{E5\text{min}}$, $P_{E30\text{min}}$ 並に $P_{E24\text{hr}}$ は夫々透湿開始時より各々5分、30分及び24時間後の透湿率を表わす。

表-1 各種材料の透湿特性

| 材 料 名 | 透 湿 率 $P_E(\text{g/cm hr mmHg})$ | | | 試料の 厚さ (cm) | 備 考 |
|-------|-------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-----|
| | $P_{E5\text{min}}$ | $P_{E30\text{min}}$ | $P_{E24\text{hr}}$ | | |
| 紙 類 | ボ ー ル 紙 | 5.60×10^{-6} | 1.39×10^{-6} | 0.084 | — |
| | 襖 紙 | 0.835 | 0.274 | 0.017 | — |
| | 模 造 紙 | 0.570 | 0.130 | 0.010 | — |
| | 薄 美 濃 紙 | 0.435 | — | 0.0030 | — |
| | 新 聞 純 | 0.381 | 0.114 | 0.0088 | — |

| | | | | | | |
|----------|--------------|--|--|-----------------------|-------|--|
| 熱絶縁材 | 発泡スチロール板 | | | 2.07×10^{-6} | 2.6 | ⑯ $\rho=0.025$ — |
| | 〃 | | | 1.14 | 2.5 | ⑰ $\rho=0.02$ — |
| | 〃 | | | 0.132 | 2.4 | ⑱ $\rho=0.025$ D社製 |
| | 岩綿板 | | | 1.64 | 2.5 | ⑲ — |
| | 蛭石板 | | | 0.620 | 1.2 | ⑭粗粒 } いづれも蛭石を合成樹脂接着剤で板状にしたもの ⑮中粒 } ⑯細粒 } |
| | 〃 | | | 0.443 | 1.2 | |
| | 〃 | | | 0.400 | 1.2 | |
| 内外装用ボード類 | 木繊維板 (ソフト) | | | 0.443 | 1.2 | ⑩戦前の製品 |
| | 〃 | | | 0.296 | 1.3 | 米国 J 社製 |
| | 〃 | | | 0.280 | 1.3 | ⑫ 〃, 上のものにアスファルトを |
| | 〃 | | | 0.278 | 1.2 | ⑬ 含浸させたもの |
| | 〃 | | | | | 〇トマテックス |
| | 木繊維板 (ハード) | | | 0.212 | 0.55 | ⑩戦前の製品 |
| | 〃 | | | 0.120 | 0.33 | 標準品 S. M 社製 |
| | 〃 | | | 0.111 | 0.40 | ⑦標準品 S. } N 社製 |
| | 〃 | | | 0.081 | 0.42 | ⑥特硬品 T. } |
| | 〃 | | | 0.066 | 0.36 | ⑤米国, M 社製標準品 S |
| | 〃 | | | 0.040 | 0.37 | ③ 〃 特硬品 T |
| | 石綿大平板 | | | 0.300 | 0.75 | ⑬ — |
| | 石綿フレキシブル板 | | | 0.179 | 0.28 | ⑩ — |
| | 合板 | | | 0.170 | 0.31 | ラワン 2級品 |
| | 〃 | | | 0.155 | 0.28 | ⑨ラワン 1級品 } いづれも三層 ⑪ 栓 1級品 } ⑫ラワン耐水品 } |
| | 〃 | | | 0.136 | 0.35 | |
| | 〃 | | | 0.0525 | 0.58 | |
| ルーフィング類 | アスファルトフェルト | | | 0.0325 | 0.070 | 17kg 製品 |
| | 〃 | | | 0.0274 | 0.085 | ②26kg 〃 |
| | 〃 | | | 0.0172 | 0.070 | ①30kg 石綿アスファルトフェルト |
| | アスファルトルーフィング | | | 0.0287 | 0.26 | 40kg 砂付ルーフィング |
| その他 | 発泡コンクリート | | | 0.567 | 3.14 | $\rho=0.75$ |

測定温度 20°C, 透湿面積 396cm², 乾室内容積 2584cm³,

備考中の番号 前図と共通。

5. 結 言

熱の伝導が所謂、分子の熱運動エネルギーの輸送現象であるのに比べて、湿気の伝播は水蒸気が直接材料内を移行する現象であつて、建築材料の湿気透過も亦、極めて複雑で、未だ解明すべき多くの問題が残されている。

次回には、更に一層具体的な資料を提出して、御垂示、御批判を賜りたいと考えている。

拙筆に当り、終始、御懇篤なる御指導を賜つた東京工業大学勝田千利教授、加藤六美教授並びに名古屋工業大学小島武男教授に深謝の意を表すると共に、種々有益な御垂示、御助言を辱うした東京工業大学齊藤

幸男教授、都立大学芹沢竜之介教授及び東京工業大学松下昭氏、研究の進展のために格別の御高配を賜つた文部省科学研究費関係各位に厚く御礼申上げる。尚、別しては齊藤幸男教授より本実験のために、特に作成いただいた電気湿度計の御恵与を受け、松下昭氏には感湿素子の製作に御高配を賜つた。記して深謝の意にかえる。

最後に、快く試料を提供された関係会社各位に厚く御礼申上げる。

1) 野村芳太郎：紙類の透湿性に就いて、建築学会論文集第5巻昭和12他, R.L.Taylor, D.B.Herrmann, A. R. Kemp: Diffusion of water through

Insulating Materials, I. & E. C. Vol. 28. No.11
1936 他

武田文七：湿気の吸収透過及び発散，日本化学雑誌第
72巻，第7号昭26他等

2) : 宮野秋彦：極小型湿度計に就いて日本建築学
会論文集，第51号，昭30.9

3) : R. L. Taylor, D. B. Herrmann, A. R.
Kemp : 1) に同じ。

4) : 齊藤平蔵他2名：建築材料の透湿性に関する実
験的研究（第1報）（第2報）：日本建築学会論文報告集，
第57号，昭32.7