

建築仕上技術者のための

建築物理学講座

第13講「結露の防止」



田中 辰明

柚本 玲

(お茶の水女子大学名誉教授・工博) (お茶の水女子大学田中研究室・博士(生活科学))

はじめに

定常計算を行った場合、多くのケースで内断熱であれば内部結露を生じ、外断熱であれば内部結露を生じないという結果を得る。なお、定常計算では、建材中の湿気の放出、液水移動、夏型結露、湿気によるエネルギーへの影響等把握できない現象が多いため、現在、欧米ではより現実に近く精度の高い計算をすることができる非定常解析が規格化されている。ここでは、結露について、またその防止法の一つとして調湿シートを紹介する。

1. 結露

結露予測のための定常計算の一例をFig.1、計算条件をTable 1、Table 2に示す。Fig. 1のように定常計算において内部結露を生じるという判定が得られたにもかかわらず、実際の設計で内断熱が採用されることがある。そして実際の内断熱建物でも通常は結露事故が生じないが、運が悪いと事故が生じる場合もある。しかし事故が生じない場合においても、それは目視の結果であって実際には条件の悪い場合に内部の断熱材が湿っている場合が多い。その場合も夏になり強い日射が当たり、周囲が乾燥をしてくるとこの結露は自然と蒸発をしてしまい実際の害とならないこともある。このように内断熱で内部結露が生じても、年間で外壁の結露量と乾燥量を比較して乾燥量の方が結露量よりも圧倒的に多ければ問題が無いという考え方もある。しかし、これも厳密に考えれば内部結露を生じる時期があれば、その間に結露場所にカビが生育したり、結露により断熱性能が低下する機会も生じるのである。

水蒸気は水蒸気圧の高い方から低い方へ流れる。冬季の室内は一般に水蒸気圧が高い。その原因として、毎日

Table 1 定常計算室内・屋外条件(Fig. 1)

項目	室内	屋外	内外の差
温度 (°C)	20	0	20
相対湿度 (%)	80	70	10
飽和水蒸気圧 (Pa)	2337	611	1727
水蒸気圧 (Pa)	1869	488	1441
表面熱伝達抵抗 (m^2K/W)	0.110	0.026	0.136
表面湿気伝達抵抗 (m^2hPa/kg)	10670	2670	13340

Table 2 建材物性(Fig. 1)

項目	厚さ (m)	熱伝導率 (m^2K/W)	透湿抵抗 ($10^6 m^2hPa/kg$)
モルタル	0.020	0.017	1.900
コンクリート	0.100	0.060	9.300
コンクリート	0.120	0.070	11.200
鉱物繊維断熱材	0.050	1.310	0.080
中空層	0.020	0.180	0.027
合板	0.005	0.034	0.450

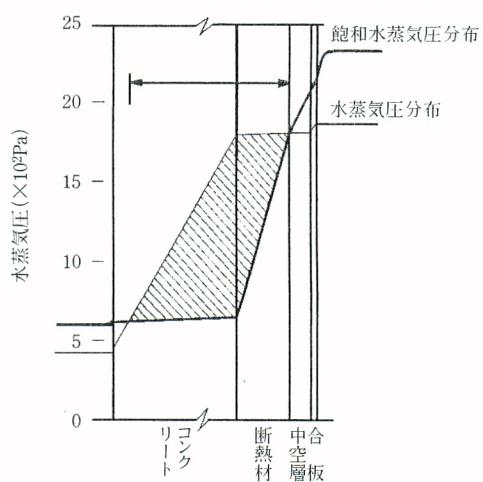


Fig. 1 定常計算による結露判定

入浴する習慣、煮炊きが多い、洗濯物の室内での乾燥などにより暖かい室内空気の水蒸気量が多いことがあげられる。また、石油ストーブやガスストーブによる直燃

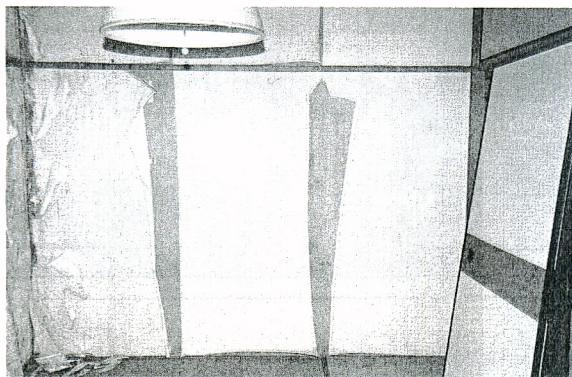


Photo 1 水蒸気により壁紙が剥がれた例

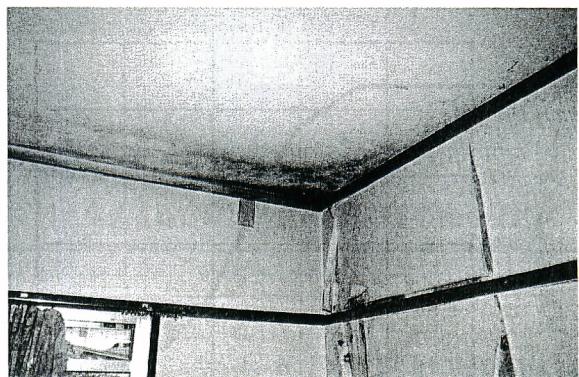


Photo 2 壁紙の裏のカビ

焼の暖房では、快適性を得るために必要以上に室温を上げる必要があり、放射暖房などの良質な設備に比べ水蒸気量が多くなる傾向にある。

冬季、外気は空気温度が低いので水蒸気圧も低くなる。従って室内の水蒸気は蒸気圧の高い室内から低い外気へ向かって逃げようとする。ここで、内断熱の場合、室内側の断熱材を通過した水蒸気が冷えた建物躯体にぶつかり結露水となりやすい。

このような現象を避けるために、室内側の表面に完全な防湿シートすなわち水蒸気を通過させない壁紙を張ればよいとされてきた。しかしこれは冬の現象しか考慮しておらず、実際には外気温度が上昇する夏をはじめとして不都合が生じる。また、完全な防湿シートを室内側表面に張るといつても、人間が行う仕事であり失敗はつき物である。例えば、完全に工事を行ったつもりでも壁に電気コンセントを付ければそこに穴が開き、水蒸気がそこから壁体内に侵入する場合もある。また壁紙と壁紙の隙間からも水蒸気は壁体内に侵入する。その他にも、外壁に穴でもあれば雨水が壁体内に侵入することもある。それらにより壁内に水蒸気が侵入すると、夏になり室内の水蒸気圧が低くなった時に壁体内から室内へ向けて水蒸気が逃げようとする。このような時に室内側表面に完全な防湿層である壁紙があれば、水蒸気は室内へ放湿されず壁紙に室内へ向けて圧力をかける状態となり、壁紙を剥がすこととなる(Photo 1)。多くの場合壁紙を壁体に接着していた接着剤が湿潤になり、これに多量のカビが生育している(Photo 2)。

カビは乾燥に弱いもののそれにより完全に死滅するとはいはず、死んだふりをしていて再び湿潤になると活動を始め増殖する。カビ自体、人体に有害なものも多く、

またアレルギー性疾患を引き起こすものもある。また、カビが生えるとそれを餌としてダニがやって来る。ダニは死骸であろうと糞であろうとアレルギー性疾患を引き起こすことが証明されており、ダニの成育は避けなければならない。

2. 結露対策：調湿シート

わが国では内断熱を行なっても室内側に完全な防湿層を設ければ問題がないと言われてきた。しかし、人間が行う工事に完全を求める事は無理であることを述べた。ではどうすれば良いのか？筆者らは本講座第7講（本誌Vol.133, No.387, 2007/10で紹介）¹⁾で、水蒸気拡散抵抗係数 μ （-）、及び水蒸気拡散相当空気厚さ S_d 値を紹介した。これらは材料の水蒸気（湿気）の通しにくさを示している。 μ 値は水蒸気の通しにくさが同じ厚さの空気層の何倍になるか、 S_d 値は同等の湿気の通しにくさとなる空気層の厚さ（m）で表現したものである。つまりこれらの値が大きいほど水蒸気（湿気）を通しにくい。表面仕上げの塗料や壁紙など熱的には影響が無くても水蒸気の移動には影響するときなどには S_d 値が使用される。 S_d 値と μ 値の関係は以下の式で表される。各種材料の S_d 値は第7講のTable 8を参照されたい¹⁾。Table 8には S_d 値が大きい物としてアルミニウムフィルム0.05 mmの S_d 値が1500（m）、値が小さい物としてコーティング材料の S_d 値が0.1（m）が紹介されている。

$$S_d = \mu \cdot d$$

S_d ：水蒸気拡散相当空気厚さ S_d （m）、 μ ：水蒸気拡散抵抗係数（-）、
 d ：材料の厚さ（m）

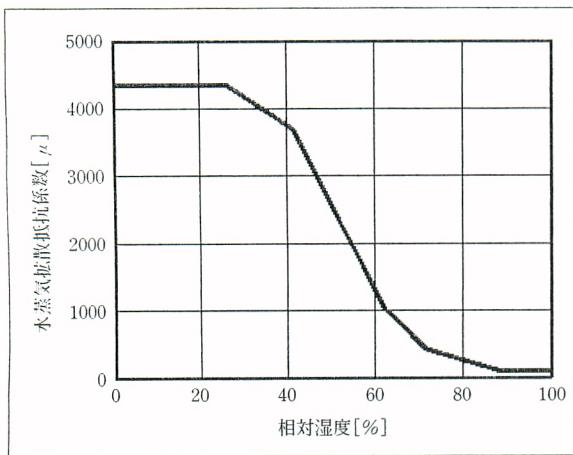


Fig. 2 ポリアミドシート²⁾

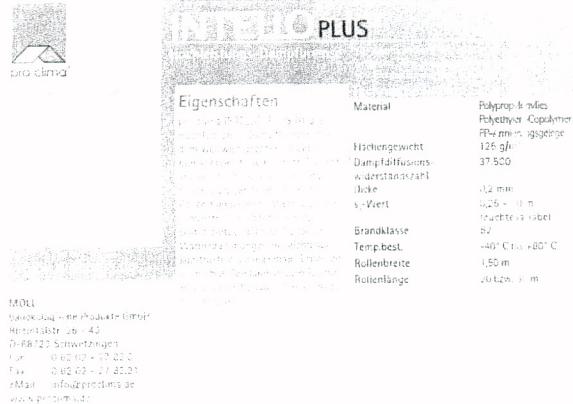


Fig. 3 INTELLO[®]

調湿シートの中には湿潤な状態では水蒸気拡散抵抗係数が小さく、乾燥した状態で大きくなるものがあり実用化されている。ポリアミド製シートは乾燥した状態で気密性が良く、湿潤な状態では極めて微細な孔が開く仕組みになっている。Fig. 2にその物性を示すが、y軸の μ 値が、湿度が0%RHから約25%RHまでは4,300前後と高い値を示しその後湿度が高くなるほど μ 値が小さくなり、85%を超えると0に近づき一定となることが分かる²⁾。同様の調湿シートで、ポリプロピレン、ポリエチレン重合体を原料とする商品に付属した説明をFig. 3に示す。Sd値が0.25mから10mに変化することがわかる。こういったシートにより夏季には壁体内の水蒸気を室内に放湿し、結露事故を防止するものである。

フランホーファー建築物理研究所(Holzkirchen)で

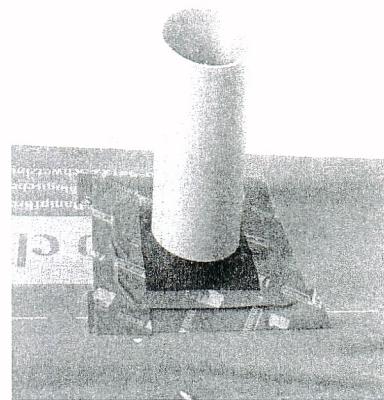


Photo 3 調湿シートの実験例

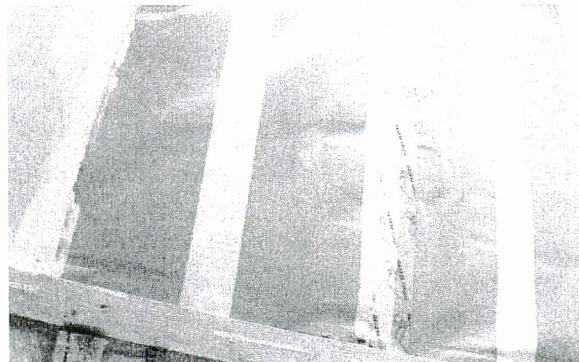


Photo 4 調湿シートの実験例

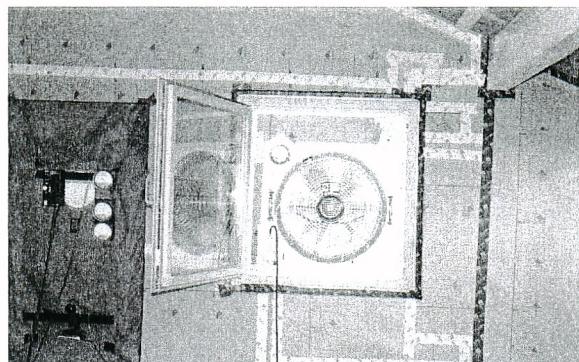


Photo 5 調湿シートの実験例(加圧・減圧実験)

も実際の使用実験が行なわれ、性能は証明されている。Photo 3、Photo 4、Photo 5に実験の様子を示す。この実験はメーカーであるP社のSchwetzingenの実験施設で行われたものである。

<参考文献>

- 田中辰明、袖本玲：建築仕上技術者のための建築物理学講座 第7講「水蒸気拡散抵抗係数」：建築仕上技術：Vol.33, No.387 (2007) p.83-87
- フランホーファー建築物理研究所：WUFIデータベース