

A-9 周囲の湿度により透湿抵抗の変わるシートを使用した場合 における木造壁内非定常熱湿気同時移動解析

Transient Heat and Moisture Analysis inside the Wall of the Wooden Dwellings with the Membrane to Change its Moisture Resistance Factor with the Ambient Humidity.

○柚本 玲（お茶の水女子大学 （有）イーアイ）*¹
田中 辰明（お茶の水女子大学）*²

The aim of this study is to make clear that the hygrothermal aspect inside the wall in the wooden dwellings with three kinds of damp-proof membrane by transient simulation in Kyushu. The materials of membranes were polyethylene, polyamide and copolymer resin on polypropylene. Concurrently, we investigated the effects of the membrane on the wall's hygrothermal aspect. In the case without membrane, relative humidity at inside of Plywood board was higher than the other cases. If the polyethylene membrane was put on, humidity was higher than 80%RH outside the membrane in summer. However when the other two membranes were put on, the humidity kept lower than 80%RH. Therefore, in kyushu, the wall must have the damp-proof membrane and pay attention to the humid outside the membrane in summer.

非定常解析, 防湿シート, 木造住宅, 壁内熱湿気性状, 材料

Transient Simulation, damp- proof membrane, Wooden Dwellings, Hygrothermal Aspect inside the Wall, Material

はじめに

住宅の高気密・高断熱化が進み省エネルギー及び熱的快適性が実現された一方、不適切な設計や施工により、結露やカビ、シックハウス症候群などの問題が生じてきた。内部結露がひどくなると壁紙の裏にカビの害が生じたり、木材が腐敗したりと室内環境に不具合が生じる。寒冷地では一般に防湿シートで冬季の内部結露を防ぐ対策が取られている。しかし温暖な九州では、冬季に加えて夏季の構造内の湿気に対する配慮が必要となる。最近、欧州ではこの対策の一つとして、周囲の湿度が高くなると透湿抵抗が小さくなるシートが開発、商品化されている。

そこで、本研究では九州における木造住宅で、防湿層を設けない場合、また、一般的なポリエチレン製防湿シート、周囲の湿度により透湿抵抗の変わるシート（2 種）を用いた場合の壁内湿気性状を明らかにすることを目的とした。

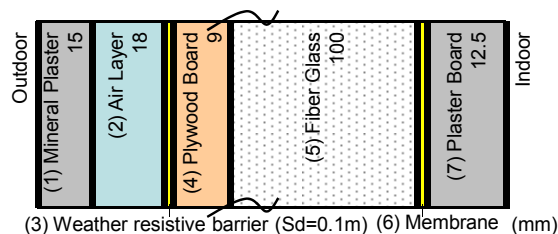


Fig. 1 Analytical model

Table 1 Material data of Membranes

	PE	PA	PP
D: Bulk density, (kg/m ³)	130.0	65.0	115.0
P: Porosity (m ³ /m ³)	0.001	0.001	0.086
C: Specific heat capacity- Dry (J/kgK)	2300	2300	2500
λ: Thermal Conductivity- Dry (W/mK)	2.30	2.90	2.40
μ: Water vapour diffusion resistance factor (-)	50000.0	80-4380	250-26000

PE: polyethylene membrane, PA: polyamide membrane, PP :copolymer resin on polypropylene

Table 2 Material data

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)
D (kg/m ³)	1900.0	1.3	130.0	500.0	30.0	850.0
P (m ³ /m ³)	0.240	0.999	0.001	0.500	0.990	0.650
C (J/kgK)	850	1000	2300	1500	840	850
λ (W/mK)	0.80	0.13	2.30	0.10	0.04	0.20
μ (-)	25.0	0.6	100.0	700.0	1.3	8.3

* The numbers in Table 1 correspond numbers in Fig. 1.

Table 3 Temperature and Humidity and Amount of Rain in Kyushu

City		Temperature (°C)			Humidity (%RH)			Rain (mm/a)
		Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	
Fukuoka	V	15.7	35.1	-3.5	69	100	20	1657
Saga	IV	16.5	36.5	-3.2	71	100	16	1862
Oita	IV	15.7	35.4	-4.9	71	100	11	1355
Kumamoto	IV	16.4	35.0	-4.8	71	100	16	1757
Nagasaki	V	17.1	34.9	-1.5	72	100	19	1636
Miyazaki	V	17.4	34.8	-5.8	73	100	17	2250
Kagoshima	V	18.1	35.8	-1.5	70	100	18	2104

*1 Lei YUMOTO (Ochanomizu University, EI., Ltd)

*2 Tatsuaki TANAKA (Ochanomizu University)

1. 解析方法

1.1 対象モデル・物性値

Fig. 1 に解析対象モデル、Table 1、Table 2 に建材の物性値を示す。屋外側から外装仕上 15 mm、通気層 18 mm、透湿防水層、合板 9 mm、住宅用グラスウール 100 mm、防湿シート、石膏ボード 12.5 mm とした。周囲の相対湿度により透湿抵抗の変化するシートは、水蒸気拡散抵抗係数が 80 から 4,380 になるものと、250 から 26,000 になる 2 種類を選択した。また、一般的なポリエチレン製防湿シートの場合も解析した。

通気層は 24 回/h の換気回数を想定した。

1.2 解析プログラム

1 次元非定常熱湿気同時移動解析プログラム WUFI Pro 4.1 for Japan (ブラウンホーファー建築物理研究所) を用いた。熱湿気の蓄積と移動は式 1、式 2 の連立方程式を元に解析される⁴⁾。

$$\text{式) 1} \quad \frac{\partial H}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + h_v \nabla \cdot (\delta_p \nabla (\phi_{sat}))$$

$$\text{式) 2} \quad \frac{\partial w}{\partial \phi} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla \cdot (D_\phi \nabla \phi + \delta_p \nabla (\phi_{sat}))$$

H : 湿った建材の蒸発潜熱 (J/m^3), T : 温度 (K), λ : 熱伝導率 (W/mK), h_v : 水の蒸発潜熱 (J/kg), p : 蒸気圧 (Pa), p_{sat} : 飽和蒸気圧 (Pa), δ : 空気中の水蒸気拡散伝導率 (kg/msPa), ϕ : 相対湿度 (-), w : 含水率 (kg/m^3), D_ϕ : 水分移動係数 (m^2/s)

1.3 初期条件、解析期間

初期条件は計算又は実験の結果による温熱環境 (結露の発生を防止する対策) に関する試験ガイドライン⁵⁾に従った。温度は構造全体に 26°C を与え、各建材に湿度 80%RH の場合の含水率 (プログラム搭載データ) を与えた。解析は 1 時間ごと、解析期間は 7 月 1 日 0:00 開始で 3 年間繰り返した。

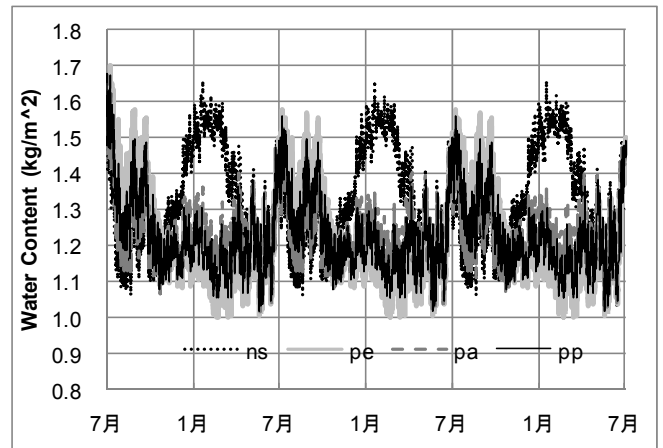
1.4 室内温湿度条件及び屋外気象条件

解析対象都市は九州各県庁所在地とし、その外気温度、外気の湿度、降水量を Table 3 に示す。気象データは拡張アメダス気象データを WUFI 形式に変換したプログラム搭載データを用いた⁶⁾。

室内温湿度は前述のガイドラインに従い⁵⁾、湿度 60%RH 一定、温度は 7 月 31 日に最高温度 27°C を示し、最低温度 18°C となるサインカーブとして設定した。

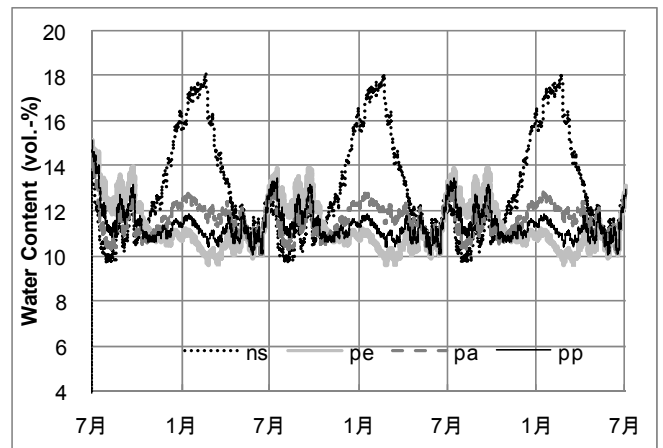
1.5 その他の条件

表面熱伝達抵抗は外気 $0.0588 \text{ m}^2\text{K/W}$ 、室内 $0.125 \text{ m}^2\text{K/W}$ 、屋外における日射の短波長放射吸収は 0.4、長波長放射放散は 0.9 とした。構造は高さ 10m までの建物の北向きの壁を想定した。壁に当たる雨はの量は、降水量、風向、風速等により算出される。垂直の壁を想定しているため、そのうち 70% がかけると想定した。



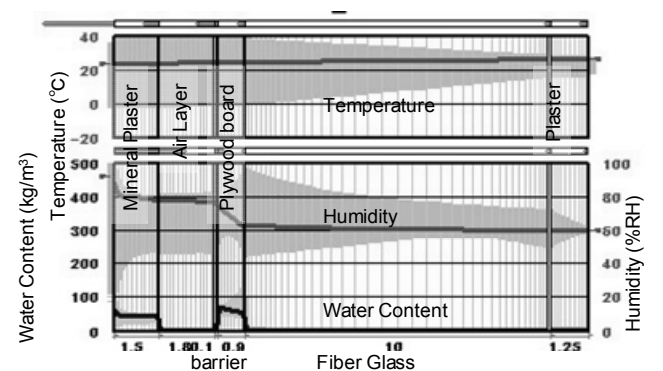
ns: without membrane; PE: polyethylene membrane, PA: polyamide membrane, PP: copolymer resin on polypropylene

Fig. 2 Change of total water content per square meter in Kagoshima.



ns: without membrane; PE: polyethylene membrane, PA: polyamide membrane, PP: copolymer resin on polypropylene

Fig. 3 Change of water content of plywood boardr in Kagoshima.



shaded region: records of whole analytical data, solid line: final data of analysis.

Fig. 4 Hygrothermal distribution of the wall without membrane in Kagoshima (Left: Outdoor, Right: Indoor)

2. 結果

今回の条件では、すべての都市が同様の傾向を示したため、鹿児島の結果を代表として示す。

2.1 含水率変化

Fig. 2 に構造全体の単位面積あたり含水率(kg/m^2)を示す。全体含水率が経年で増加していくと、構造内に水分が蓄積するため不適切と判断する。また、1年の間で 1kg/m^2 以上含水率が変化する場合、極度の結露が考えられこれも不適切とされる。また、木材については含水率が20質量%、同時に温度が 10°C を超える場合、腐敗の危険性が考えられる。Fig. 3 に合板の含水率(質量%)の変化を示した。今回の条件下では、含水率について上記のような不適切なケースは認められなかった。

2.2 断面温湿度及び含水率分布

壁断面の温湿度及び含水率の分布を Fig. 4 から Fig. 7 に示す。Fig. 4 のようにシートを設置しないと、合板の室内側を中心に80%RHを超えて高湿度になることがわかった。一方 Fig. 5 のように、ポリエチレン製防湿シートを設置した場合シートの屋外側をピークに壁内の相対湿度がやや高い傾向が認められた。シートを施さなければ合板付近に湿気が溜まってしまい、一般的なポリエチレン製防湿シートを使用すると、何かの条件が重なった際に壁内の湿度が高くなってしまいう危険性が確認できた。シートをポリアミド製にした場合を Fig. 6、ポリプロピレンにポリエチレンコポリマー樹脂製にした場合を Fig. 7 に示す。これらでは壁内の湿度が上記の条件に比べて低く維持された。

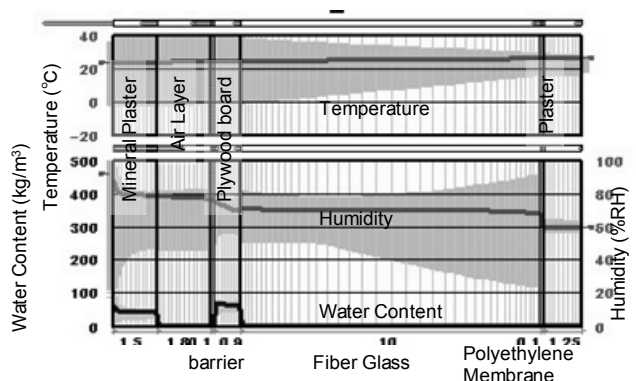
2.3 境界における湿度変化

断面分布の結果より相対湿度の高かった部位が合板室内側とシート屋外側であった。これらの境界点における相対湿度がどのように変化するかを観察するため、Fig. 8 に合板室内側、Fig. 9 にシート屋外側の鹿児島における結果を示す。

Fig. 8 のように合板の室内側では、シートの無い場合、冬季12月頃から4月頃の約5か月間80%RHを超える相対湿度となった。温暖な地域とはいえ冬型の湿気問題への配慮が必要であることが確認できた。一方、Fig. 9 のように、ポリエチレン製防湿シートでは夏季に8月頃から9月頃の短い間ではあるが80%RH以上の相対湿度となった。これを他の2種のシートにした場合、80%RH以下に保たれた。これらもすべての都市で同様の傾向を示した。

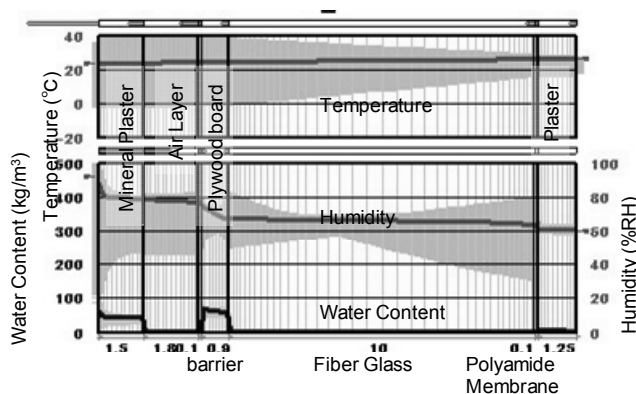
3. 考察

冬季に合板付近で高湿度になるのは、Fig. 10 のような現象による。室内の温かく水蒸気を多く含んだ空気が壁に侵入する。住宅用グラスウールのような無機繊維系断熱材は水蒸気を通しやすいので、この空気はその先にある合板に達する。合板は水蒸気を通しにくく、かつ外気によって冷やされている。そこで、この温かく湿った空気が冷やされ、結露や高湿度となる。したがって冬季は室内の空気を壁内に侵入させないことが必要である。



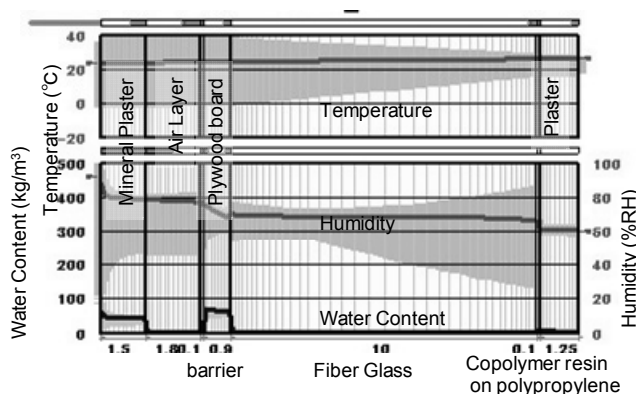
shaded region: records of whole analytical data, solid line: final data of analysis.

Fig. 5 Hygrothermal distribution of the wall with polyethylene membrane in Kagoshima (Left: Outdoor, Right: Indoor)



shaded region: records of whole analytical data, solid line: final data of analysis.

Fig. 6 Hygrothermal distribution of the wall with polyamid membrane in Kagoshima (Left: Outdoor, Right: Indoor)



shaded region: records of whole analytical data, solid line: final data of analysis.

Fig. 7 Hygrothermal distribution of the wall with Copolymer resin on polypropylene membrane in Kagoshima (Left: Outdoor, Right: Indoor)

しかし逆に温暖な地域では、夏季に外気が高温多湿となり、室内は冷房により冷やされている。Fig. 11 高温多湿の外気が壁内に侵入した場合、室温近くに冷やされた防湿シートで水蒸気がとどまり、高湿度となる。ここで、周囲の湿度が高くなると透湿抵抗が小さくなるシートを使用すれば、この湿った空気を室内に逃がすことができる (Fig. 12)。つまり、この部位の湿度を低く保つことができるということである。

4. 結論

温暖な九州では、壁内において、冬型結露だけでなく夏季の湿気に配慮が必要となる。そこで、欧州で商品化されている周囲の湿度が高くなると透湿抵抗が小さくなるシートを木造住宅に設置した場合の非定常解析を実施した。その結果、以下のことがわかった。

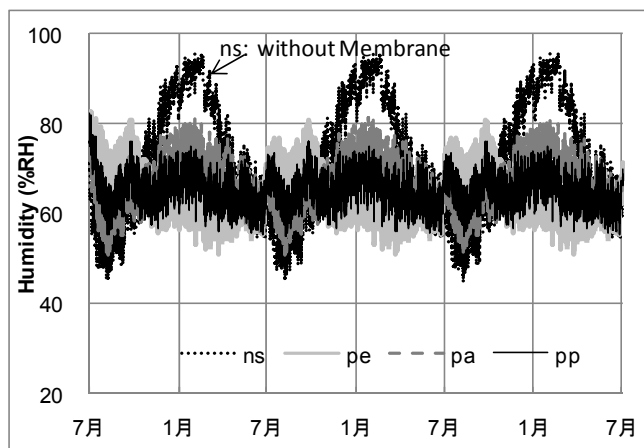
- (1) 防湿シートを設置しない場合、温暖な九州でも壁内が高湿度となる危険性があるため、冬季の湿気に対する配慮が不可欠である。
- (2) 一般的に用いられることが多いポリエチレン製防湿シートを設置すると、夏季に壁内がやや高湿度となった。
- (3) 周囲の相対湿度が高くなると透湿抵抗が小さくなるシート 2 種を設置すると、冬季、夏季ともに壁内の湿度が低く保たれた。九州の木造住宅における湿気対策の一つとして、このシートがふさわしいと確認した。

謝辞

本研究は財団法人トステム建材産業振興財団助成を受け実施した。また、研究遂行にあたりフラウンホーファー建築物物理研究所ダニエル・ツィルケルパッハ氏、田中啓輔氏、田中絵梨氏のご協力を得た。心より謝意を表する。

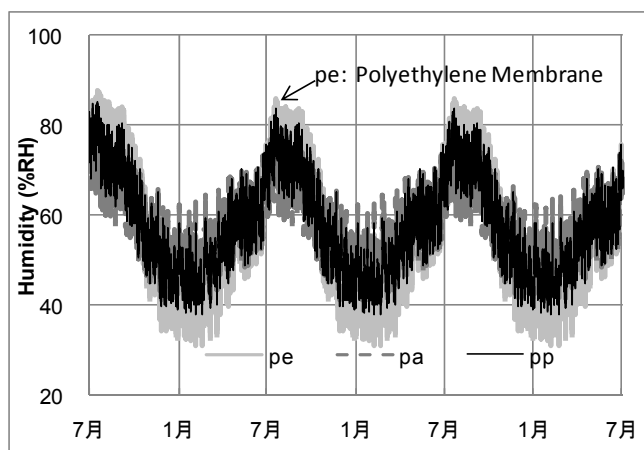
参考文献

- 1) 柚本 玲, 田中 辰明: 非定常解析による木毛繊維断熱板を用いた木造住宅の壁内熱湿気性状: 第 26 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会: Vol. B-30 (2008/4)
- 2) 柚本 玲, 田中 辰明: 枠組壁工法による木造住宅における壁の非定常熱湿気同時移動解析: 平成 20 年度空気調和・衛生工学会大会論文集: Vol. E 17 (2008/8/27)
- 3) Tatsuki Tanaka und Lei Yumoto: Nicht stationäre Simulation von hygrothermalen Aspekten einer Dampfsperrenmembran in Holzwohnbauten: Gesundheits Ingenieur: Vol. 128, No. 3 (2007) p. 136 -139
- 4) H. M. Künzle; Aussen dampfdicht, vollgedaemt? Die rechnerische Simulation gibt Hinweise zu dem Feuchteverhalten aussen dampfdichter Steildächer; bauen mit holz; (1998)
- 5) 住宅性能評価機関等連絡協議会, 計算又は実験の結果による温熱環境 (結露の発生を防止する対策) に関する試験ガイドライン (2004/04)
- 6) 拡張アメダス気象データ; 日本建築学会編
- 7) ドイツ工業規格 DIN4108-3



ns: without membrane; PE: polyethylene membrane, PA: polyamide membrane, PP: copolymer resin on polypropylene

Fig. 8 Change of Humidity inside the plywood board.



ns: without membrane; PE: polyethylene membrane, PA: polyamide membrane, PP: copolymer resin on polypropylene

Fig. 9 Change of Humidity outside the membrane.

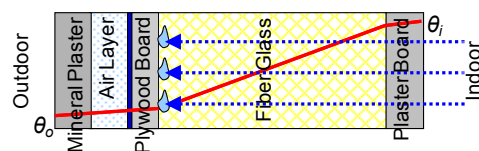


Fig. 10 Model in winter without membrane.

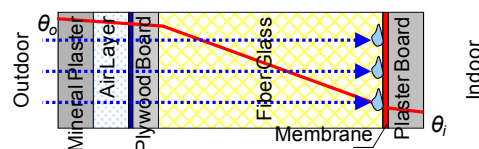


Fig. 11 Model in summer with polyethylene membrane.

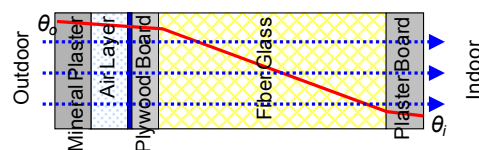


Fig. 12 Model in summer with membrane to Change its Moisture Resistance Factor with the Ambient Humidity.