

高断熱高気密の木造枠組壁工法住宅の壁内非定常熱湿気同時移動解析

Transient Analysis inside the Wall of the Wooden super-insulated house by Two-By-Six Method

正会員 ○柚本 玲 (お茶の水女子大学) 特別会員 田中 辰明 (お茶の水女子大学)

Lei YUMOTO*¹ Tatsuaki TANAKA*¹

*¹ Ochanomizu University

Synopsis: The inside wall of the wooden dwellings by the two-by-six method were simulated by transient analysis to illustrate the effect of damp proof membrane and type of insulation materials. The seven cities were selected from cold area, Hokkaido and Tohoku. They are Asahikawa and Hirosaki, Akita, Morioka and Yamagata, Sendai and Fukushima. Without the membrane, the walls with only filled insulations were humid. However the wall with added wood fiber insulation were dry, except Asahikawa.

はじめに

最近、無暖房住宅、パッシブハウス、ゼロエネルギーハウスといった言葉をうたった住宅が出てきた。木造のこういった住宅では、壁や屋根に多くの部材を使い、構造が複雑になるため、その湿気性状を把握しておく必要があると考えた。そこで、本研究では、北海道、東北の都市において、枠組壁工法で超高断熱住宅の場合の壁内の湿気性状を明らかにすることを目的とした。防湿層の有無、断熱材の種類（無機繊維系断熱材と木毛繊維断熱材）、断熱材の厚みを変えて非定常解析により比較した。

準 (I 地区 : 0.35 W/m²K、II, III 地区 : 0.53 W/m²K) を満たす 140 mm の充填断熱の壁を想定した²⁾。断熱材は無機繊維系断熱材及び木毛繊維断熱材の 2 種を比較した。また防湿層の施工が不適切な場合を想定して、防湿層の有無を比較した。つまり、各都市において、無機繊維断熱材で防湿層あり、無機繊維系断熱材で防湿層なし、木毛繊維断熱材で防湿層なしで、2 種類の断熱厚さとする計 6 条件を比較した (表- 3 参照)。

1 解析方法

1.1 解析プログラム

解析には 1 次元非定常熱湿気同時移動解析プログラム ヴーフイ (WUFI Pro. 4.2 日本版、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¹⁾。

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

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

H : 湿った建材の蒸発潜熱 (J/m³), 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/m³), D_ϕ : 水分移動係数 (m²/s)

1.2 対象モデル・物性値

図- 1 に解析対象モデル、表- 2 に建材の物性値を示す。本稿では、壁の U 値を 0.15 W/m²K 以下とするドイツの高断熱住宅であるパッシブハウスの基準を参考に断熱材の厚みを設定した。比較として、次世代省エネルギー基

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³⁾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。

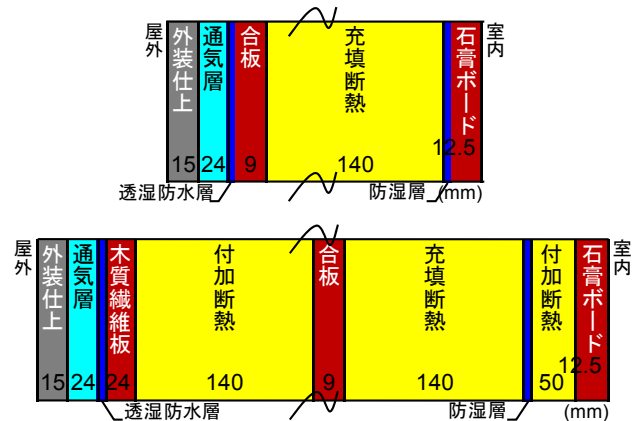


図- 1 解析モデル (上: 充填断熱のみ、下: 充填+付加断熱)

1.4 屋外及び室内気象条件

表-2 に解析対象都市の次世代省エネルギー基準による地域区分、平均温度、平均相対湿度、降水量を示す。対象都市は寒冷地の北海道と東北から7都市を選択した。屋外気象データは、標準年の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⁴⁾。

室内温湿度は前述のガイドラインに従い³⁾、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度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 m²K/W、室内 0.125 m²K/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 10 m 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%がかかると想定した。

1.6 評価基準

住宅性能評価機関等連絡協議会ガイドライン (2004)³⁾ 及び、ドイツ工業規格 DIN4108-3⁵⁾を参考に、以下のいずれかが当てはまる場合は不適切であると判定した。

- (1) 水分の蓄積：全体含水率 (kg/m²) が経年で増加³⁾⁵⁾
- (2) 極度の結露：構造内任意の点の湿度が 98%RH 以上で結露³⁾、全体含水率 (kg/m²) の季節差が 1.0kg 以上⁵⁾、
- (3) 木材腐敗の危険性：木材 (本条件では合板) の含水率 (質量-%) が 20%以上かつ温度 10°C以上⁵⁾
- (4) カビの危険性：80%RH を長期間超えるとカビの危険性⁵⁾。

2 結果及び考察

2.1 断面温湿度、含水率分布

図-2、図-3、図-4、図-5 に盛岡の断面温湿度及び含水率分布を示す。それぞれ、防湿層ありの無機繊維系の充填断熱のみ (あり_充填_無機)、防湿層なしの無機繊維系充填断熱のみ (なし_充填_無機)、防湿層なしの無機繊維系付加断熱 (なし_付加_無機)、防湿層なしの木毛繊維付加断熱 (なし_充填_木毛) を示す。

防湿層を設けない場合、合板室内側で湿度が 80%RH を超え、100%RH に達した (図-2)。一方、図-3 のように防湿層を設けた場合、湿度が 80%RH を超える部位はほとんどなかった。付加断熱を設けた場合、防湿層がない場合、無機繊維系では合板付近で 80%RH を超えるが (図-4)、木毛繊維断熱材では、湿度が低く保たれた (図-5)。すべての都市で程度の差があるが、同様の傾向であった。

表-1 建材物性値

建材	d (kg/m ³)	p (m ³ /m ³)	c (J/kgK)	λ (W/mK)	μ (-)
外装材	1900	0.240	850	0.800	25.0
透湿防水	130	0.001	2300	2.300	100.0
合板	500	0.500	1500	0.100	700.0
防湿層	130	0.001	2300	2.300	50000.0
石膏ボード	850	0.650	850	0.200	8.3
木質繊維板	300	0.800	1500	0.050	12.5
無機繊維系	60	0.950	850	0.040	1.3
木毛繊維	168	0.883	2100	0.044	3.3

d: 密度, p: 空隙率, c: 比熱, λ: 熱伝導率, μ: 水蒸気拡散抵抗係数

表-2 解析対象都市の地域区分、平均温度、平均相対湿度、降水量

都市	区分	温度			相対湿度		
		平均	最高	最低	平均	最高	最低
旭川	I	6.9	33.2	-21.7	77	100	16
弘前	II	9.9	33.2	-11.0	76	100	20
秋田	II	11.4	33.8	-7.2	72	100	18
盛岡	III	10.2	33.2	-13.1	73	100	20
山形	III	11.4	34.5	-7.7	73	100	17
仙台	III	12.2	32.7	-6.1	70	100	12
福島	III	12.9	33.8	-7.1	67	100	13

表-3 断熱、防湿層条件

ケース	防湿層	断熱	断熱材
あり_充填_無機	あり	充填のみ	無機繊維系
なし_充填_無機	なし	充填のみ	無機繊維系
なし_充填_木毛	なし	充填のみ	木毛繊維
あり_付加_無機	あり	充填+付加	無機繊維系
なし_付加_無機	なし	充填+付加	無機繊維系
なし_付加_木毛	なし	充填+付加	木毛繊維

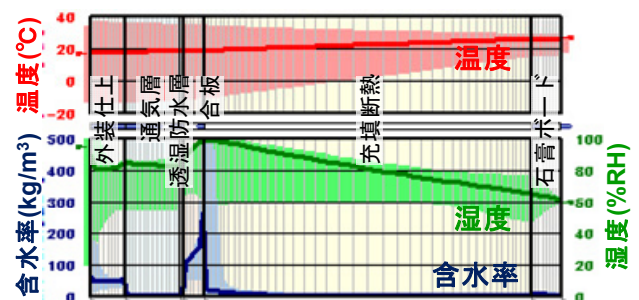


図-2 盛岡における断面温湿度、含水率分布：防湿層なし-無機繊維系充填断熱のみ

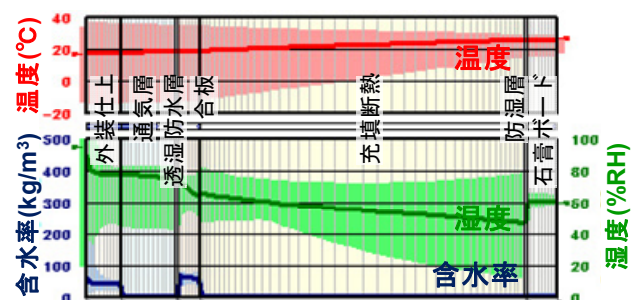


図-3 盛岡における断面温湿度、含水率分布：防湿層あり-無機繊維系充填断熱のみ

2.1 含水率

図-6に旭川の単位面積当たりの全体含水率 (kg/m²) を例として示す。

全体含水率が経年で上昇する場合、水分の蓄積が疑われる。今回の条件下では、含水率が明らかに上昇する条件は無かった。

全体含水率の季節差が1.0kgを超えると極度の結露が疑われる。今回の条件下では、充填断熱のみで防湿層の無い場合(なし-充填-無機、なし-充填-木毛)、どちらの断熱材であっても対象都市全てで季節差が1.0kgを上回った。また、付加断熱を設けた条件で、防湿層の無い場合、無機繊維系断熱材では全ての都市で季節差が1.0kgを上回ったが(なし-付加-無機)、木毛繊維系断熱材の場合は上回る都市が無かった(なし-付加-木毛)。

木材の場合、含水率が20質量%を超え、かつ周囲温度が10℃を上回る場合に腐敗の危険性が考えられるため、最も含水率が高くなる合板に着目して確認した。図-7に合板含水率変化(質量%)の旭川の例を示す。無機繊維系の充填断熱のみで防湿層の無い場合(なし-充填-無機)、すべての都市で合板の含水率が20%を上回り、10℃を超える場合もあった。旭川、弘前では、木毛繊維系の充填断熱のみの場合(なし-充填-木毛)、及び充填断熱が無機系で付加断熱を設けた場合(なし-付加-無機)にも含水率が20%を上回った。

防湿層を設けた場合(あり-充填-無機、あり-付加-無機)、どの都市でもこれらの現象は認められない。寒冷地で無機繊維系断熱材を使う場合は特に、防湿層の不具合がないように施工することが必要とされる。

2.2 相対湿度変化

最も相対湿度が高かった合板室内側の相対湿度変化を図-8から図-10に示す。図-8は旭川、図-9は盛岡(弘前、山形、秋田と同傾向)、図-10は仙台(秋田、福島と同傾向)それぞれの例を示す。

防湿層を設けた場合(あり-充填-無機、あり-付加-無機)、どの都市においても80%RHを超えなかった。相対湿度が98%RHを超えたのは、防湿層なしで無機繊維系の充填断熱のみの場合(なし-充填-無機)のすべての都市、旭川で無機繊維で付加断熱し、防湿層を設けない場合(なし-付加-無機)、また、旭川で防湿層を設けず、木毛繊維の充填断熱のみの場合(なし-充填-木毛)であった。また、これらの条件では、80%RHを超える期間が半年以上であった。室内条件が湿気の害に関して厳しい条件であるとはいえ、結露やカビの危険性が極めて高いといえる。

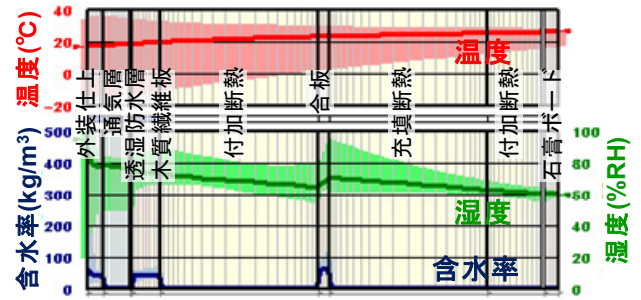


図-4 盛岡における断面温湿度、含水率分布：防湿層なし-無機繊維系断熱材：充填+付加断熱

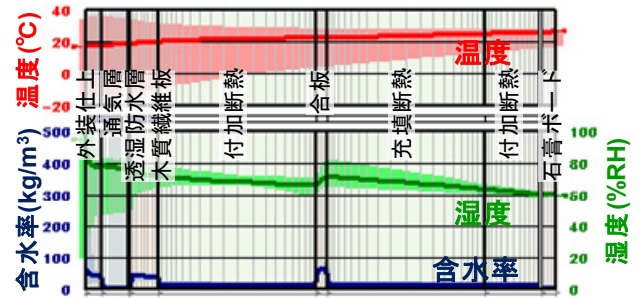


図-5 盛岡における断面温湿度、含水率分布：防湿層なし-木毛繊維系断熱材：充填+付加断熱

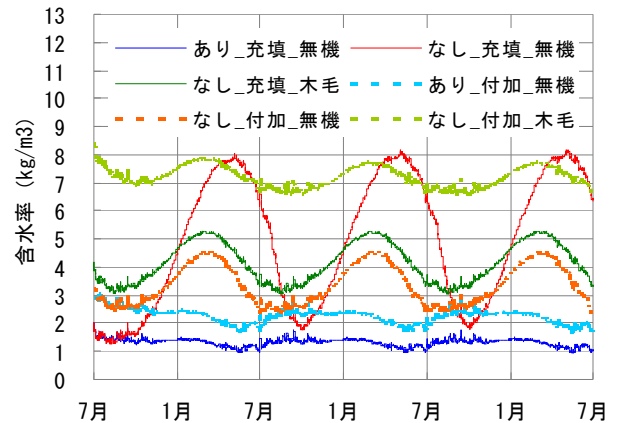


図-6 単位面積あたりの全体含水率変化 (kg/m²)：旭川

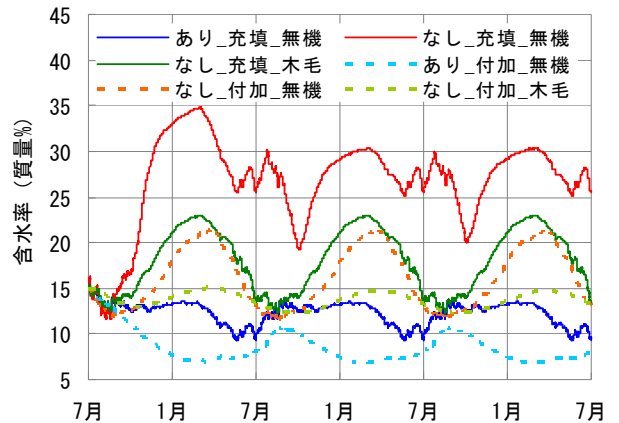


図-7 合板含水率変化(質量%)：旭川

また、木毛繊維の充填断熱のみの場合（なし-充填-木毛）、及び防湿層なしで無機繊維系の付加断熱をした場合（なし-付加-無機）、旭川以外では98%RHには達しなかったものの、どの都市も80%RH以上を3ヶ月以上示した。これらの条件についてもカビなどの害を考慮する必要があると考えられる。

木毛繊維の付加断熱の場合（なし-付加-木毛）、旭川のみ80%RHを約5か月超えたが、他の都市では、ほとんど80%RHを超えることはなかった。木毛繊維の吸湿性により、透湿抵抗の大きい合板付近でたまってしまう水分が構造全体に吸湿されていたためと考えられる。木毛繊維の吸湿性を十分に発揮させるには、相応の厚みを用いる必要があると考えられる。

まとめ

北海道、東北地方の7都市において、木造枠組壁工法住宅の壁について非定常解析を実施した。断熱材の種類、防湿層の有無、断熱材の厚みを変えて比較した。

その結果、140 mmの充填断熱のみ場合、防湿層が無いと、壁内に結露の危険性が認められた。一方、さらに200mm程度の負荷断熱を施した場合、無機繊維系断熱材で防湿層が無いと、壁内に結露の危険性があるが、木毛繊維断熱板では、旭川以外で防湿層を設けなくても、結露の危険性が低い結果を得た。

参考文献

- 1) H. M. Künzel; Aussen dampfdicht, vollgedaemmt? Die rechnerische Simulation gibt Hinweise zu dem Feuchteverhalten aussen dampfdichter Steildächer; bauen mit holz; (1998)
- 2) 次世代省エネルギー基準解説書編集委員会: 住宅の省エネルギー基準の解説: (財) 建築環境・省エネルギー機構 (2002)
- 3) 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)
- 4) 拡張アメダス気象データ; 日本建築学会編
- 5) ドイツ工業規格 DIN4108-3
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 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

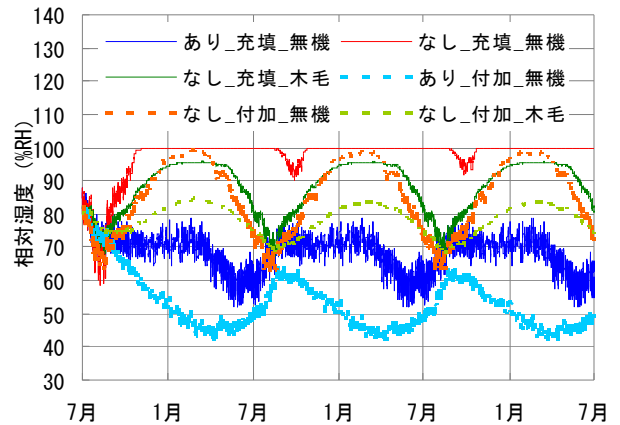


図- 8 旭川の合板室内側の相対湿度変化 (%RH)

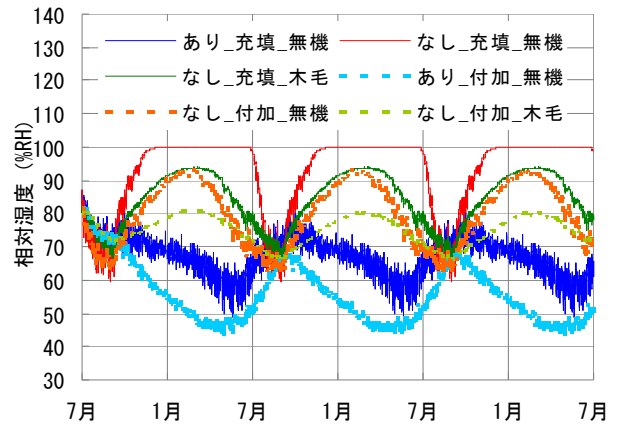


図- 9 盛岡の合板室内側の相対湿度変化 (%RH)

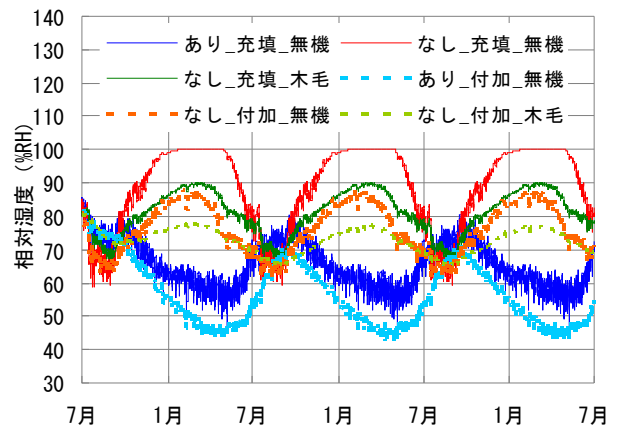


図- 10 仙台の合板室内側の相対湿度変化 (%RH)

謝 辞

本研究は第6回坪井記念研究助成（社団法人日本ツーバイフォー建築協会）を受け、実施した。記して謝意を表す。