

寒冷地における繊維系断熱材を充填した木造壁体の内部結露の 防止構法に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON CONDENSATION FREE WOODEN-WALL STRUCTURES USING FIBROUS THERMAL INSULATION MATERIALS IN COLD REGION

鎌田紀彦*, 鈴木大隆**, 廣田誠一***

Norihiko KAMATA, Hirotaka SUZUKI and Tomohito HIROTA

The aim of this study is to determine the criteria for the wall structures in cold region where fibrous thermal insulation materials are used, by measuring the hygrothermal condition of the full size specimen wall which modeling the execution defects of thermal insulation and vapor barrier.

From the experiment results, the wall with air convection in the cavity has possibility to make condensation at the bottom of the wall. It is clarified that an attic space, wall cavities and a crawl space must be separated to avoid air flow connections among them. Vapor barrier installed continuously, and ventilated air space are also effective to keep from making condensation in the insulated wall cavity.

Keywords : *Insulation method, condensation in the wall cavity, Glass fiber insulation, A wall with ventilated air space*

断熱工法, 内部結露, グラスウール, 通気層工法

1. はじめに

木造住宅の断熱手法として一般的な繊維系断熱材を充填した壁構造において、冬期間に断熱層周辺で発生する結露障害は、寒冷地では発生期間が長期に渡るため、断熱性能低下や木材の腐朽をもたらす恐れがあり、その防止手法の検討は重要な課題である。

層構成の違いや構成材料の吸放湿を見込んだ断熱層内の湿気性状は、松本らが提案した熱水分同時移動方程式に基づいて土屋、坂本らが開発したシミュレーション手法 [1,2] によって予測することが可能である。

しかし、大半が人的施工に委ねられ、かつ住宅構造も多岐に渡る断熱層内の湿気性状の予測には、大きく3つの課題があると考えられる。一つ目は、人的要因による現場での施工精度の影響をどう取り込むかという点である。とりわけ防湿材の施工法やコンセント・設備配管など現場で生じる防湿欠損、断熱材の施工の精度などをどう扱うかについては、多くの研究では、現場性能との対比では無く、経験値的に防湿材の透湿抵抗値を設定するか完全断湿として考えた、施工不良は無いという想定で行ったりしている。二つ目は、例えば在来木造工法のように壁内気流が生じる場合に代表されるような、漏気に伴う熱・湿気移動の扱いについて、既往の研究も少なく、定量的に扱えるほどにはなっていないため、この要因を考慮しない

で解析を行っている点である。壁内気流の多少は壁内の湿気性状に大きく影響を及ぼすと推測されることから、この扱いは湿気を扱う際に極めて重要といえる。また、三つ目は、木材や断熱構造部に用いられる材料の湿気物性値が十分整備されていない点である。

これらのことから、在来木造工法に代表されるような、壁内が床下・小屋裏に連続した断熱外壁の内部結露防止手法の検討は、まだいくつかの課題があるシミュレーションによるアプローチより、実際の壁体をモデル化した実測実験によるアプローチが適していると考えられる。

以上のことから本報は、断熱外壁に着目し、寒冷地における内部結露防止手法について、限りなく実際に近い設定条件下で行った外部環境下での実験の定性的な比較から、求められる構法的要件を明らかにすることを目的とするものである。

既に断熱壁体の内部結露に関する実験については、筆者らの他にも多くの研究者が取り組んでいる [3,4]。しかし、在来木造工法特有の壁上下端の状態や防湿欠損などを十分モデル化していなかったり、その実験フィールドが穏やかな寒冷条件である場合や定常下での実験室実験が多く、寒冷地における断熱外壁の防露上の構法計画上の要件が明らかになっていないとはいえない。

* 室蘭工業大学建設システム工学科 助教授・工博
** 北海道立寒地住宅都市研究所 工修
*** 北海道立寒地住宅都市研究所

Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.
Hokkaido Prefectural Cold Region Housing and Urban Research Institute, M. Eng.
Hokkaido Prefectural Cold Region Housing and Urban Research Institute

2. 実験概要

(1) 実験期間と実験項目

実験は、1983年12月～1986年4月まで行っているが、本報で対象とする期間は1983年12月～1984年12月（実験A、B）と1984年12月～1985年12月（実験C）である。また、実験は次の3つの検討目的からなる。

実験A：1970年以降に普及した乾式外装材

の直張り壁の湿度性状の把握

北海道では、1970年代に外壁の乾式化が進み、特に石油危機以降、乾式外装材を直張りした壁内空隙に100mm厚の繊維系断熱材を全充填する構成が一般的となった。層構成、壁内気流の有無、防湿気密層の良否の違いによる比較検討から、この壁構成の防露上の問題点を捉えることを目的とする。

実験B：在来木造工法の通気層壁の湿度性状の把握

直張りした断熱壁の内部結露が問題となり、その改善策として1970年代後半になって通気層を設けることが提案された。在来木造工法において通気層壁が内部結露の観点からどのような改善効果と問題があるかを探ることを目的とする。

実験C：通気層壁を前提とした結露防止手法の検討

通気層壁を前提に、壁内結露を防止するための構法計画上の要件を探ることを目的とする。

(2) 実験建物概要

建物の概要を図1、2に示す。

実験は、室蘭工業大学構内にある間口2.7m×長さ14.56m×高さ3.73mの木造平屋実験建物で行った。内部結露の評価に対して危険側となる北側壁面に、実験壁体を計32種まで設置でき、同じ内外条件下での定性的比較が可能である。

実験建物内部及び外部の典型的な温湿度性状を図3に示す。

建物内の温湿度は、ポット式灯油ストーブを熱源とする温風ダクトと市販加湿器2台を設置し、灯油流量の調整と温度・湿度センサーによるON-OFF制御によって、冬期実験期間中（概ね12月～5月）は終日20～22℃、50%前後に維持している。他の期間はなりゆきである。

(3) 実験壁体の概要

実験壁体の詳細を図4に示す。

ここでは、各実験壁体に共通する事項のみ述べることで、層構成については、3.以降にその都度述べることにする。

1) 実験壁体寸法と構成

各々の実験体は、相互の熱的・湿氣的干渉を受けないように独立したパネルとして構成し、1体のパネル外寸法は、巾380mm×高さ2,545mmである。これは、幅はほぼ実際の住宅の間柱間に相当し、高さは階高分に相当するものであり、ほぼ実物大と考えて良い。また、各パネルのジョイント部分は、パネル間の空隙を15mm程度確保し、径20mmの発泡断熱材を室内側と外気側にはさみ込み、実験壁体相互及び室内外の熱的干渉を受けないようにしている。

実験体の枠材には、約半年間に渡り20℃前後の空間にて重量含水率で概ね12%程度まで乾燥させた木材45mm×105mmを使用する。断熱材、防湿材、外装材などのその他の構成材料は全て市販の材料を用い、壁内に充填するグラスウールは全て、密度16K品、厚さ100mm、防湿層には、ポリエチレンシート0.1mmを使用する。

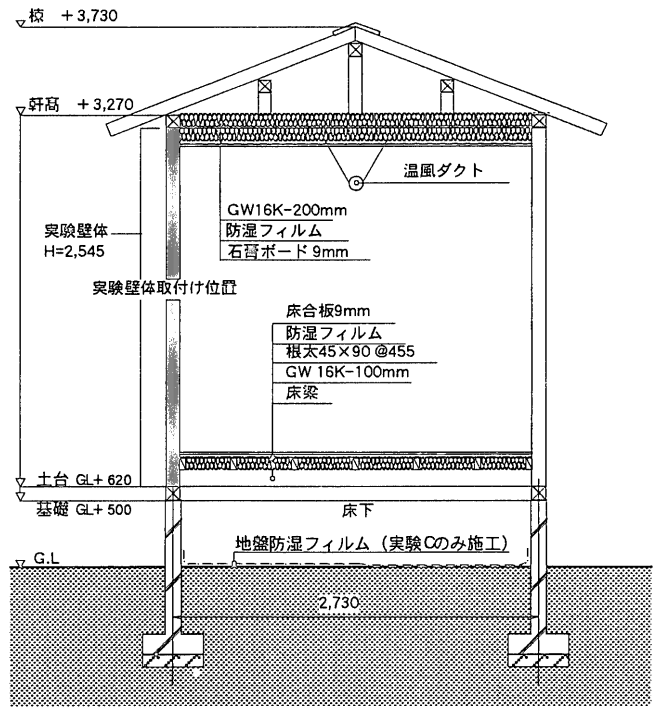


図1 実験建物の概要（矩計図）

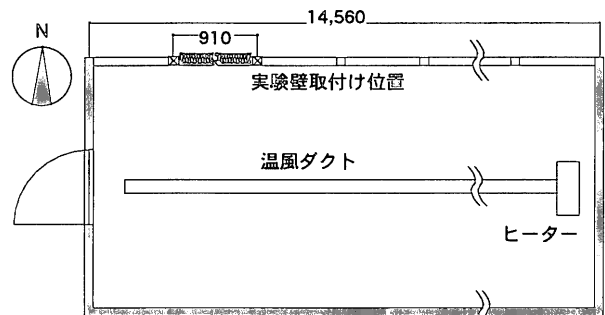


図2 実験建物の概要（平面図）

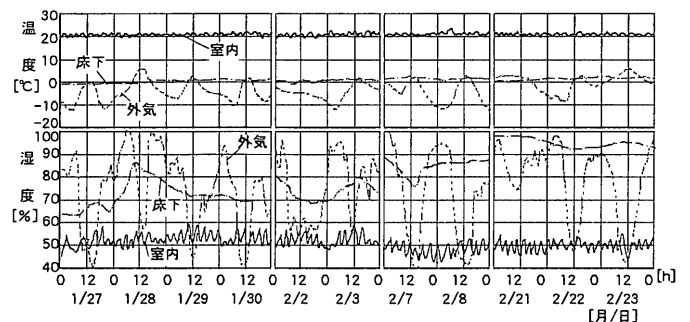


図3 冬期測定期間中の典型的な内外温湿度推移

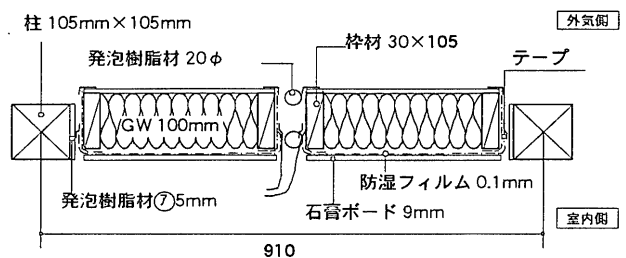
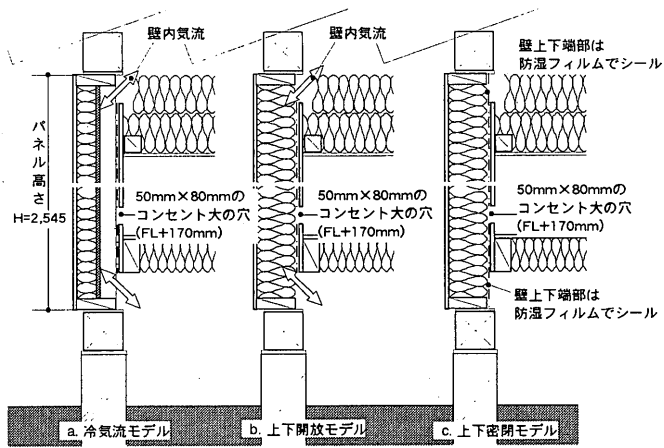
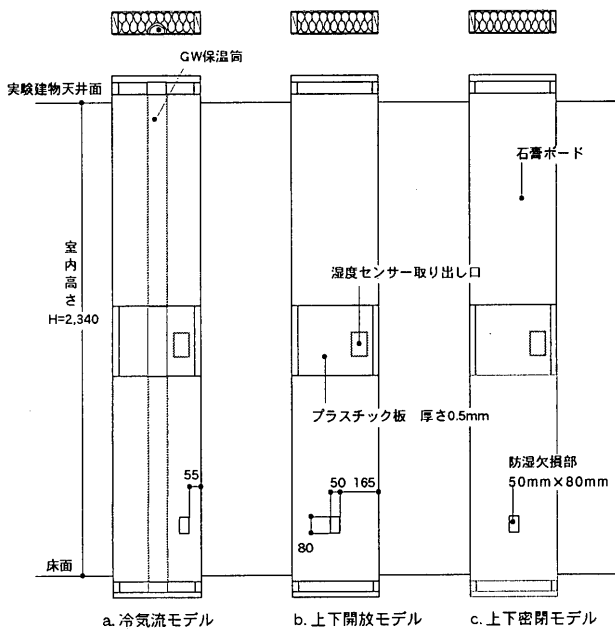


図4 実験壁体詳細図（断面図）



(a) 断面図



(b) 内側姿図と防湿欠損の位置

図5 実験壁体詳細図 (断面図及び内側姿図)

また、土台・桁材・間柱に該当する枠材は、隣接実験体の湿的干渉を受けないように、枠の外側はポリエチレンフィルムとアスファルト系テープで覆い、木材の吸放湿が壁内に作用するように、枠の内側は壁内側に露出している。

2) 実験壁体のモデル化

実験壁体のモデル化の概要を図5に示す。

壁内に断熱材を充填する一般的な木造外壁のモデル化に当たり、内部結露の関連で考慮すべき点として、次の項目が挙げられる。

- ・ 在来木造工法では、壁の上下端は床下、天井裏に開放されており、この部分の防湿施工は全く行われなかったり不完全となり、また、施工中の傷や配管・構造材の貫通部分で防湿欠損が生じ易いこと。
- ・ 床下・壁内・小屋裏を通気経路とする壁内気流が生じること。
- ・ 繊維系断熱材による充填断熱の場合、施工方法により断熱材のへこみが間柱付近や壁中央部で生じやすいこと。

上記の要因を実験壁体で考慮するため、次のようなモデル化を

行った。

(a) 防湿気密層の施工の良否

配線、配管上或いは構法上の理由で生じる防湿欠損については、壁体下部から300mmの部分に50mm×80mmのコンセント大の貫通孔を防湿フィルムと石膏ボードにあけることでモデル化することとした。防湿気密施工の良否は、この穴の有無による。

(b) 壁内気流の有無

断熱材の施工状態^{註1)}、^{註2)}及び、壁内と床下・小屋裏の関連から、次の3タイプを設定した。

a. 冷気流モデル

断熱材の施工が不良^{註1)}で壁内側に空隙ができ、かつ壁体内部と床下や小屋裏で通気が生じるタイプで、空隙を定量的に再現するため、φ150のGW保温筒を半割にして壁内の室内側に設置した。断熱施工が雑な在来木造工法を想定したもの。

b. 上下開放モデル

断熱材は丁寧に充填されている^{註2)}が、断熱材を通じて、壁内と床下・小屋裏間で通気が生じるタイプで、気流止めを施工していない断熱施工が良好な在来木造工法を想定したもの。

c. 上下密閉モデル

壁の上下端に通気止め措置が講じられており、壁内と床下や小屋裏は部位として独立しており、壁内は密閉構造となっているタイプで、断熱施工が良好な^{註2)}在来木造工法の気密化住宅、枠組壁工法やパネル化住宅を想定したもの。

(4) 測定・調査概要

1) 温湿度の計測

壁内湿度は、測定毎に湿度校正した電気抵抗式センサーを用い、全ての実験項目に共通して実験壁体中央部(横方向:380/2mm、高さ方向:2,600/2mm)で、実験Cではそれに加えて壁体下部(横方向:380/2mm、高さ方向は下枠から300mm)にて断熱材外側の境界空気部分(以下、断熱材裏面湿度と称す)で測定した。また、壁内温度は、銅コンスタンタン熱電対を用い、湿度と木材含水率計測部分の他、断熱材の室内側と外気側、内装仕上材の表面、通気層を有する壁体の通気層内などについて測定した。なお、これらの計測は30分間隔で自動記録した。

2) 木材重量含水率の計測

木材重量含水率は、土台に相当する下枠の中央部分と柱に相当する横枠の下から300mmの位置の2箇所、電気抵抗式木材重量含水率計により電気抵抗を計測し、温度補正をした上で木材含水率に換算した。なお、計測は、2日毎に1回、正午頃に計測した。

3) 結露目視調査

壁全体の湿気性状を把握するため、各測定期間毎に、冬期実験開始から約2~3ヶ月経過した2月下旬頃に、内装材・防湿フィルム・断熱材を一時的に外し、目視により結露発生の有無等を目視で観察した。なお、観察は、部分解体時の結露促進をなるべく避けるため、室内の暖房・加湿を中止し、温湿度を外気に近い状態で低下するのを確認した後に、1体当たり10分程度で行うこととした。

3. 実験A：1970年代以降に普及した

乾式外装材の直張り壁の湿度性状の把握

(1) 実験壁体の概要

実験壁体の概要を図6に示す。

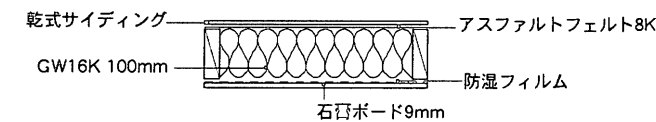
層構成としては、壁内に断熱材100mm厚を全充填しアスファルトフェルトを防水下地に乾式外装材を直張りした壁と、高断熱化手法として充填断熱材の他に押出法ポリスチレンフォーム25mmを付加断熱し前記の乾式外装材を直張りした付加断熱壁の2種である。

実験壁体は、壁内通気の関係から冷気流・上下開放・上下密閉の3種、防湿気密層の良・不良の2種、そして層構成の違いによる計12種類から構成される。

(2) 実験結果と考察

図7は、冬期の壁体中央部の典型的な断熱材裏面湿度の日変動を示す。この図は、実験結果を壁内気流のモデル毎に整理しているが、これは、断熱材裏面湿度や結露の発生状況は、層構成、防湿気密層の良否、壁内気流の違いによって異なるものの、このうち壁内気流

壁体No.	外装材	下地	充填断熱材	壁内気流のモデル	防湿材	内装材
A-1	乾式サイディング 12mm	アスファルトフェルト8K	GW16K 100mm	(a)冷気流モデル	良施工	石目ボード 9mm
A-2					不良施工	
A-3					良施工	
A-4				(b)上下開放モデル	不良施工	
A-5					良施工	
A-6					不良施工	



壁体No.	外装材	付加断熱材	充填断熱材	壁内気流のモデル	防湿材	内装材
A-7	乾式サイディング 12mm	押出法ポリスチレンフォーム25mm	GW16K 100mm	(a)冷気流モデル	良施工	石目ボード 9mm
A-8					不良施工	
A-9	下地 アスファルトフェルト8K				(b)上下開放モデル	
A-10				不良施工		
A-11				良施工		
A-12	不良施工	(c)上下密閉モデル	不良施工			

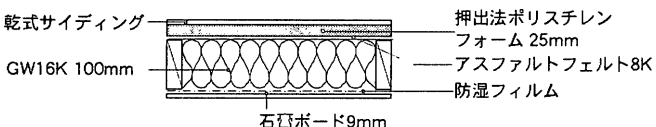


図6 乾式外装材直貼り実験壁体の概要

モデルの違いで整理した方が、湿気性状を捉えやすいと判断したためである。この図から次のことがいえる。

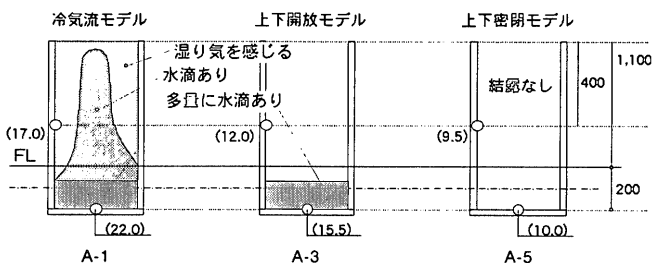
①防湿気密層の良・不良が及ぼす断熱材裏面湿度への影響は、冷気流、上下開放、上下密閉モデルの順に大きくなる。上下密閉に比べて上下開放や冷気流モデルの差異が少ないのは、また上下開放に比べて冷気流モデルの差異が少ないのは、壁内気流の存する壁構成では、防湿欠損部から侵入した水蒸気の一部は、壁内気流によって他の部位に排湿されるため、その差がでにくくなっていることが主因と考えられる。

②概して、上下開放モデルは上下密閉モデルより低湿である。これも①同様の理由によるものと推測される。

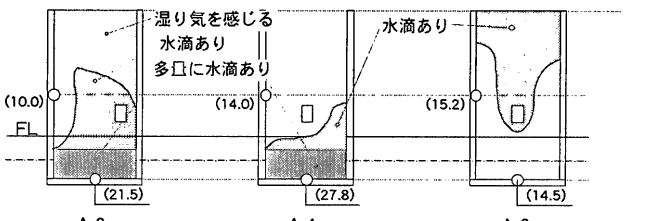
図8は、冬期実験開始から2ヶ月経過後における結露目視調査結果について、直張り壁を代表例として示したものである。目視調査から次のことがいえる。

③上下密閉モデルの防湿良施工の壁体(A-5)を除いて、各実験壁体とも壁体全面に強い湿り気を感じたり結露水が附着している。

④壁内気流の存する壁構成では層構成、防湿気密層の良・不良に係



(a) 防湿材が良施工の場合



(b) 防湿材が不良施工の場合

()内の数字は含水率(%)を示す

図8 結露目視調査結果

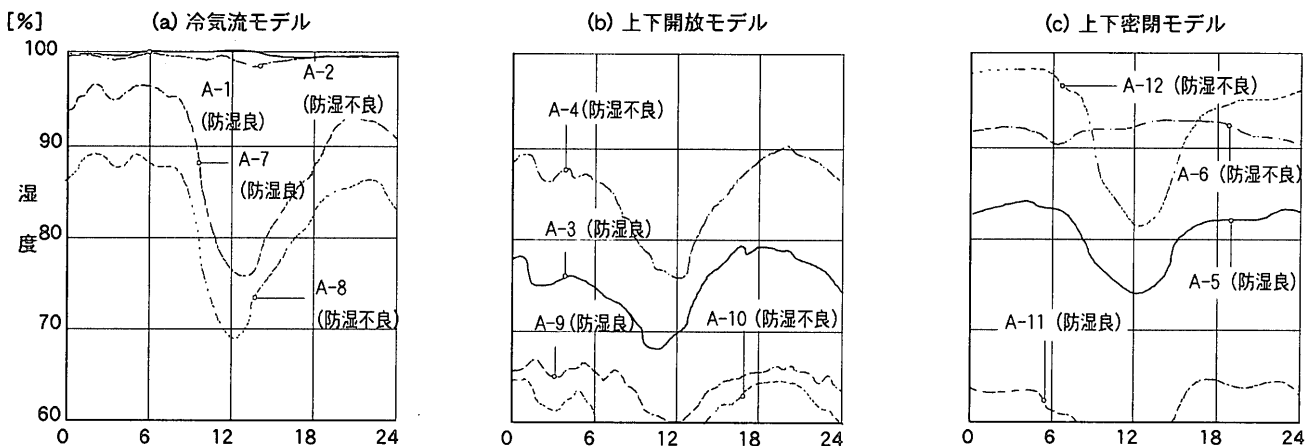


図7 各実験壁体中央部の断熱材裏面湿度変動 (1984/2/16)

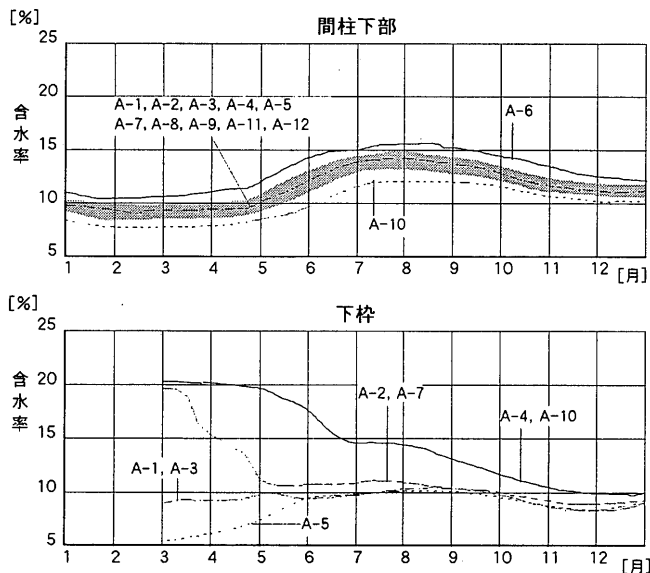


図9 木材含水率変動 (1983年)

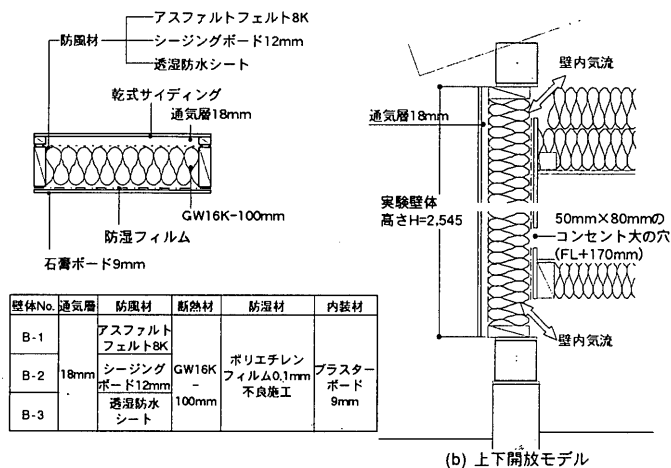


図10 通気層を有する実験壁体の概要

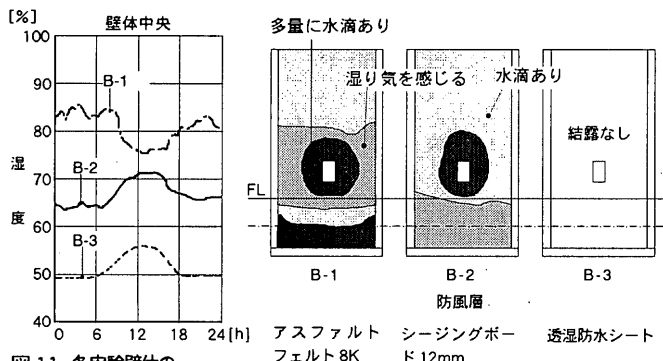


図11 各実験壁体の断熱材裏面湿度変動

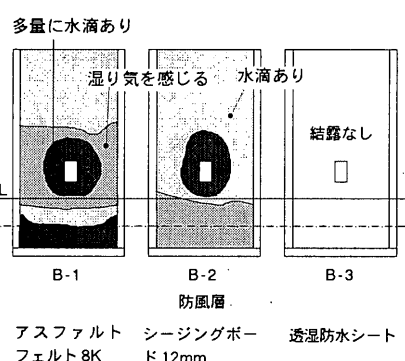


図12 結露目視調査結果

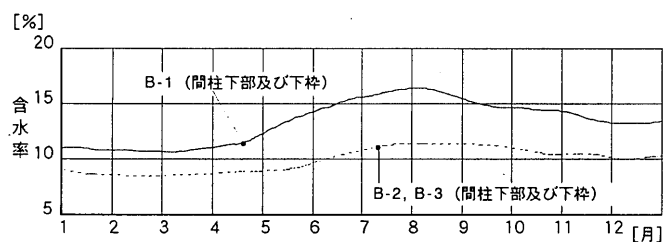


図13 木材含水率変動

わらず、壁体下部を中心に結露が発生している。これは、高湿度な床下空気が、壁内気流または水蒸気拡散などによって壁内下部に侵入し、外装材裏面で冷却され結露となったためと推測される。

⑤直張り壁の冷気流モデルでは、冷気流沿いに結露が生じている。これは断熱欠損による断熱材裏面温度の低下によるものと推測される。

⑥図には示していないが、付加断熱壁でも前述したと同様の傾向が確認されたが、結露発生程度は軽微であった。これは、付加断熱材によってグラスウールの外気側温度が上昇することによって考えられる。

図9は木材含水率の年間変動を示す。この図から次のことがいえる。

⑦間柱下部の木材含水率に関しては、実験壁体による差異は僅かである。しかし、下枠に関しては、壁体下部結露が発生している壁構成では、木材含水率が20~30%で推移し、外気温が上昇する5~7月頃までその状態が続くことから、木材腐朽の危険性は少なくないと推測される。

4. 実験B：在来木造工法の通気層壁の湿度性状の把握

(1) 実験壁体概要

実験壁体の概要を図10に示す。

層構成としては、壁内に断熱材100mm厚を全充填し、その外側に防風層を設置し、厚さ18mmの通気層、乾式外装材で成り立っている。防風材には、シート状材料では透湿防水シートとアスファルトフェルト8kg、ボード状材料としてはシーリングボード12mm厚を用い、計3種からなる。いずれも上下開放壁モデルとし、防湿気密層は不良施工としている。

(2) 実験結果と考察

図11は、冬期の壁体中央部の典型的な断熱材裏面湿度の日変動を示す。この図から次のことがいえる。

壁体No.	通気層	防風材	断熱材	壁内気流	防湿材	内装材
C-1	18mm	シーリングボード12mm	GW16K100mm	(b) 上下開放モデル	防湿フィルム0.1mm	石膏ボード9mm
C-2				(c) 上下密閉モデル	不良施工	

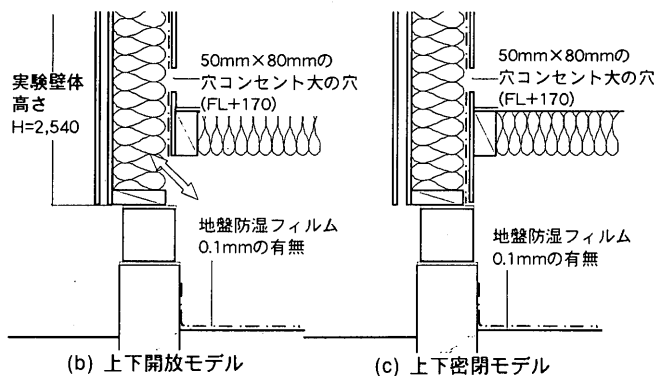
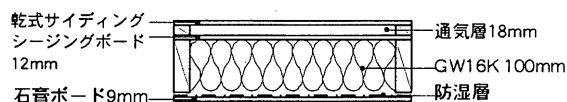


図14 壁体下部結露に着目した実験壁体の概要

- ①壁体中央部の断熱材裏面湿度は、防風材の物性、例えば透湿性や断熱性によって異なるが、いずれの場合でも直張り壁と比べて低湿となっており、通気層による除湿効果が見られる。しかし、図12に示す結露目視調査結果から次のことがいえる。
- ②防風材に透湿防水シートを使用した壁構成を除いて、全ての壁構

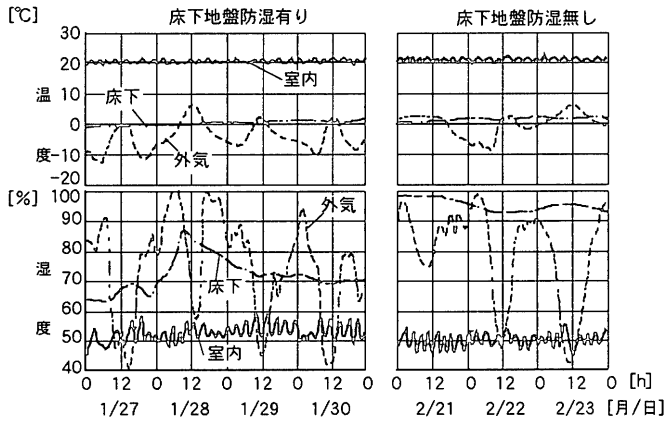


図15 地盤防湿の有無による実験建物の床下環境の違い

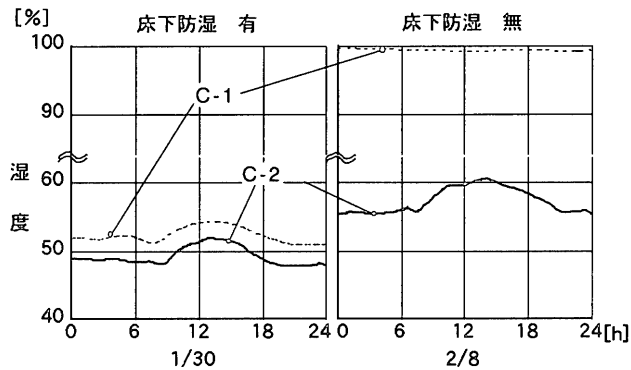


図16 各実験壁体下部の断熱材裏面湿度変動

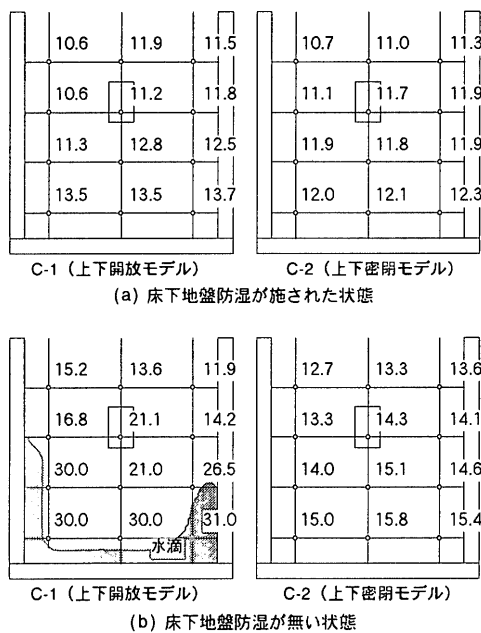


図17 目視調査結果

(図中の数字は気密抵抗式木材湿度計にて測定したシーシングボード各点のみかけの含水率(%)を示す)

- 成で防湿欠損部を中心とした結露が認められる。さらに、直張り壁と同様に、壁体下部を中心に結露が認められる。これは3.(1)の④で前述したことが原因と推測される。また、透湿防水シートで結露が見られないのは、この材料の透湿性が極めて高いためであろう。
- また、図13に示す木材含水率変動から次のことがいえる。
- ③通気層を有する場合は、直張りほど木材含水率が上昇せず、15%以下で推移している。

5. 実験C：通気層壁を前提とした結露防止手法の検討

これまで述べてきたように、直張り壁は壁体下部を含めた全面で結露が認められたのに対し、通気層工法は壁体内部の乾燥化に効果があるものの、壁体下部や防湿欠損が生じている部分では結露が生じる場合もあることが分かった。そして、壁体下部結露は、その発生状況から壁の層構成というよりは床下空間の湿気環境による影響が支配的であることがうかがえる。特に、実験A、Bでは床下地盤防湿措置を行ってなく、床下空間が通年80~90%を越える高湿な環境にあった。この条件で実験を行った理由は、オイルショック前後に建設された住宅の殆どがその条件に該当するためであった。

ここでは、壁体下部結露を含む結露防止手法に関して、通気層壁を前提に、床下地盤防湿措置や壁内気流の有無などをパラメーターとして実験を行い、その要件を明らかにするための検討を行う。

(1) 実験壁体概要

実験壁体の概要を図14に示す。

実験壁の層構成は、壁内に断熱材100mm厚を全充填し、その外側に防風材として実験Bで壁下部で結露を生じたシーシングボード12mmを用い、厚さ18mmの通気層、乾式外装材からなる。実験壁体は、上下密閉モデル(C-1)と上下開放モデル(C-2)の2種とし、防湿気密層の設定条件としては、内部結露に対しては危険側となる不良施工とした。

床下空間の湿気環境が壁体下部に及ぼす影響を把握するため、実験開始から約4週間は床下地盤にポリエチレンフィルムを施し床下湿度を低く保ち、その後はポリエチレンフィルムを取り除いた。地盤防湿の有無による実験建物の床下環境の違いを図15に示す。

(2) 実験結果と考察

図16は、地盤防湿の有無と壁体下部の断熱材裏面湿度の関係、図

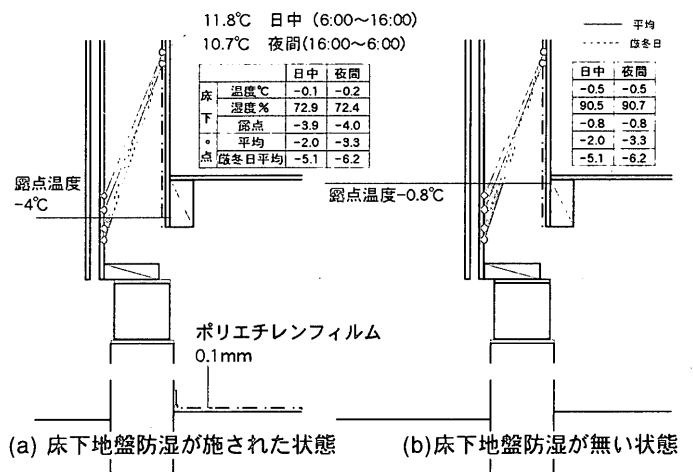


図18 上下開放壁下部の床下温湿度と断熱材裏面温度の関係

17は、それぞれの結露目視調査の結果を示す。

(a) 床下地盤防湿が施された状態

壁体下部の断熱材裏面湿度は、実験壁相互の違いは無く、50%前後で推移しており、壁内の乾燥化は保たれている(図16左)。また、解体してもいずれの実験壁でも結露は認められず、シージングボードの含水率も違いがないことがわかる(図17上)。

(b) 床下地盤防湿が無い状態

床下地盤面に敷設したポリエチレンフィルムを除いたところ、図16右、図17下に示すように、上下密閉モデルでは55%前後で推移し、解体でも結露は認められず乾燥していたのに対し、上下開放モデルの断熱材裏面湿度は数時間で100%に達し、解体すると結露が認められ、シージングボードのみかけの含水率は僅か3週間で30%程度まで上昇していた。

図18は、上下開放モデルに着目して、地盤防湿条件別の床下空気露点温度と壁体下部の断熱材裏面温度の比較を示したものである。床下は終日安定した温湿度環境にあるので、露点温度は終日殆ど変わらないのに対し、断熱材裏面温度は外気温変動に伴って変動するため、図中では日中(6:00~16:00)と夜間(16:00~翌朝6:00)に分けて、約6~14日間の実測した平均値で表示している。

図から、地盤防湿措置がある場合(a)は、壁体下部温度が床下の露点温度より上廻っているのに対し、地盤防湿措置が無い場合(b)は、壁体下部温度は露点温度を下回っていることがわかる。これは、壁内が床下に開放されている壁構造で、床下の湿気が壁内通気や拡散によって、壁下部に侵入した場合に、土台付近を中心として、結露が発生する危険性が高いことを示しているといえよう。

6. まとめ

躯体内部に繊維系断熱材を全充填した外壁に関して、層構成、壁内気流の有無、防湿気密層の良否をパラメータとした実験の定性的比較から、冬期における各実験壁の湿気特性と内部結露の防止手法に対して次の知見を得ることができた。

- 1) 直張り壁体は、付加断熱材の有無によらず、壁体下部を含めた壁内全面で結露が生じる危険性が高い。また、土台の木材含水率も、夏期においては、木材腐朽条件の下限といわれる20%を超え、木材腐朽のリスクは高いと推測される。
- 2) 通気層工法を採用した場合は、壁体内部の乾燥化に効果がある。しかし、在来木造工法のような壁内と床下・小屋裏が通じている壁構成では、通気層を設置しても床下の温湿度環境によっては壁体下部の結露が防ぎきれない。また、防風層に透湿防水シートを用いた場合を除いて、大きな防湿欠損が生じている部分では結露が生じる危険が高い。
- 3) 壁体下部結露は、壁内気流の存する壁構成の場合に生じるもので、その発生程度は床下の湿気環境に左右される。すなわち、地盤防湿が不備または無く床下が高湿環境に置かれている場合は、層構成によらず壁体下部結露が生じる危険性があるのに対し、地盤防湿措置が適切に講じられており床下が低湿な場合は、そのリスクは低減される。
- 4) 一方で、壁体下部結露は、壁内が湿氣的に床下・小屋裏と遮断されている場合は、地盤防湿の有無、床下湿気環境に係わらず、そのリスクを解消することができる。

以上のことから、寒冷地における充填断熱壁体の内部結露防止手法の要件としては、壁内の乾燥化のためには、大きな防湿欠損が生じないような防湿施工を行い、その上で通気層を設けることが有効である。そして、床下地盤防湿措置や床下換気が講じられていても、冬期間の床下は高湿度な環境にあることを勘案すると、壁体下部結露の防止のためには、壁体下部に床下の水蒸気が侵入しないよう、壁体の床下に面する部分に通気・透湿性の無い材料で遮断する措置を講じることが有効である。

註

- 1), 2) 充填断熱材は、一般にロール状製品もしくは、バット状製品(プレカット品)が使用される場合が多い。本報では、次のような断熱材とその施工を考慮して断熱施工が不良なものとして良好なもの2種類を設定している。
- 1) 断熱施工が良好な状態
幅910mmのロール状製品を半分に切断し、そのまま壁内に充填した場合を想定したもので、このような施工は一般の現場でもよく行われているものである。この場合、断熱材寸法が間柱間寸法より30mm~50mm程度大きくなるため、それを充填すると室内側にしわができて空隙が生じることが多い。この空隙は多様な形状となるが、実験では、壁内に生じる空隙を定量的に再現するためφ150のGW保温筒を半割にして壁内中央部の室内側に設置し、その影響の把握を行ったものである。
- 2) 断熱施工が良好な状態
ロール状製品を間柱間寸法にほぼ近い寸法に切断した場合、またはプレカット品を用いた場合で、丁寧な断熱施工を行った場合を想定した。

本報に関連する代表的な既発表論文

- 1) 鎌田紀彦、鈴木大隆ほか：寒冷地における断熱壁体の内部結露に関する研究(その1-2)、日本建築学会大会学術講演集 環境工学 pp.1337-1340, 1984.10
- 2) 鎌田紀彦、鈴木大隆ほか：寒冷地における断熱壁体の内部結露に関する研究(その3-4)、日本建築学会大会学術講演集 環境工学 pp.895-896, 1985.10
- 3) 鎌田紀彦、鈴木大隆ほか：寒冷地における壁体内部結露に関する実験的研究(その6)、日本建築学会北海道支部研究報告集No.58, pp.13-16, 1985.3

参考文献

- [1] 土屋喬雄：住宅の結露防止手法(その1-5)、日本建築学会大会学術講演集 環境工学, 1978.9-1982.10
- [2] 坂本雄三、渡辺一正：実験壁体における熱湿気同時移動モデルの検証、日本建築学会計画系論文報告集 No.457 pp.39-47, 1994.3
- [3] 福島明、入江雄司：例えば、木造住宅における壁内の木材含水率測定、日本建築学会大会学術講演集 環境工学 pp.875-876, 1985.10
- [4] 永峰章、土屋喬雄：例えば、建物の断熱構造化と結露防止に関する研究(その3-4)、日本建築学会大会学術講演集 環境工学, 1985.10-1986.8

(1998年4月10日原稿受理, 1998年6月10日採用決定)