

木造壁体の実験住宅による断熱防露特性評価

鷺岡 雅*

Characteristics of Heat and Humidities in Wooden Walls Using Experimental House

SAGIOKA, Tadashi*

Five different wooden walls having ventilation space were constructed with green and drying construction wood respectively. The halves of these tested walls were set at north side of two room in experimental house. One room has under-floor spaces with temperature-sensitive ventilators, another one with closed under-floor space. The temperature, humidity and heat flow were measured in tested walls and under-floor spaces during room-heating and -cooling period.

Results obtained are summarized as follows :

- 1) Temperature in under-floor spaces with temperature-sensitive ventilators were much higher than the outdoor temperature during heating period, and much lower during cooling period.
- 2) The calculated heat-transfer efficient (Kc) of tested walls were 4-29% in winter and 2-41% in summer smaller than the actual efficient (Km). The significant difference of Kc and Km were recognized on the walls with inner ventilation space. It was estimated that much heat flow occurred from under-floor space to walls.
- 3) Even in the case of using green construction wood, humidity in the walls with outer ventilation space were appreciably lower than that in the walls with inner ventilation space.
- 4) Immediately after experimental house construction, condensation was recognized in all of the walls using green construction wood, and no condensation occurred in using drying wood in winter climate. After one year, no condensation even in using green wood were occurred in winter climate. But condensation in the summer climate happened only in the wall B and wall D.

通気構造を有する5種の壁体を、躯体木材の含水率、床下環境条件の異なる二つの室を持つ実験住宅北面に施工し、冬季の暖房、加湿、夏季の冷房を行ったときの断熱・防露性能を検討した。その結果、次のことが明らかになった。

- 1) 温度感知開閉型換気口が施された実験住宅の床下温度は、冬季で5~7℃外気温度よりも高く、夏季は逆に5~8℃低い値で推移した。
- 2) 試験壁体の熱貫流率は計算によって求めた値と熱流実測から求めた値とで差があり、実測値は計算値に較べて冬季で4~29%、夏季で2~41%いずれも小さい値を示した。その誤差は外側通気壁体よりも内側通気壁体で大きく、これは暖かい床下空間から壁内に相当量の熱が流入したた

1991年6月20日受理

* 木材試験場

めと推察される。

- 3) 外側通気壁体の壁内湿度は、未乾燥な躯体材を使った場合においても内側通気壁体に較べて低めの値で推移しており、通気層による放湿効果が認められた。
- 4) 建築直後の冬季において、未乾燥な躯体材を用いた壁体は全て壁内結露が発生した。一方、乾燥した躯体材を用いた壁体での結露は認められず、その効果が実証された。しかし、一夏経過後の冬季結露発生状況は一変し、建築直後において見られた著しい結露は消失した。夏季の結露(夏型結露)は壁体Bと壁体Dによって発生した。

1. はじめに

木造住宅の高断熱化、高气密化がオイルショックを契機として進行したことにより、その居住性および省エネルギー性は飛躍的に改善されてきた。

しかし一方では開放型暖房器具の普及等により多量の水蒸気が室内に充滿し¹⁾、壁内に侵入、蓄積することによって壁内結露が発生し、これら結露水は断熱性能の低下や構造躯体の腐朽さらには白アリの繁殖など耐久性上好ましくない結果を引き起こすことが危ぐされている^{2,3,4,5)}。

ところで、室内で発生した水蒸気が壁内に侵入するのを防止する目的として、防湿材(ペーパーバリアー)が断熱材と一体化してあるいは独立した形で用いられるが、正しくない施工方法が取られた場合(防湿材が内装下地材に密着されないで施工された場合)、その効果は激減することが確かめられている⁶⁾。また室内の水蒸気は蒸気圧の差によって起こる透湿(拡散性水分移動)とコンセント部、床と壁の取り合い部などの微細な穴からの流入(対流性水分移動)の両方によって壁内に侵入するが、その水蒸気量は後者の方が前者に較べてはるかに多い³⁾ことから、防湿材を施工することによって壁内結露を防止しようとする考え方はおのずから限界があると思われる。

木造住宅の場合、土台や柱などの躯体材料は一般に生材状態のものが使用されることが多く、また壁体と土台との取り合い部の隙間からは床下の湿気が流入するなど壁内の水蒸気圧が容易に高まることが想像されることから、壁内からの放湿手段を考える必要がある。

このような観点から、本研究では壁内に侵入、蓄積した水蒸気を外部に放出できるような構造を持った壁体を実験住宅に施工し、実際の生活状態での室内温湿度条件下および常時変化する外気環境下にお

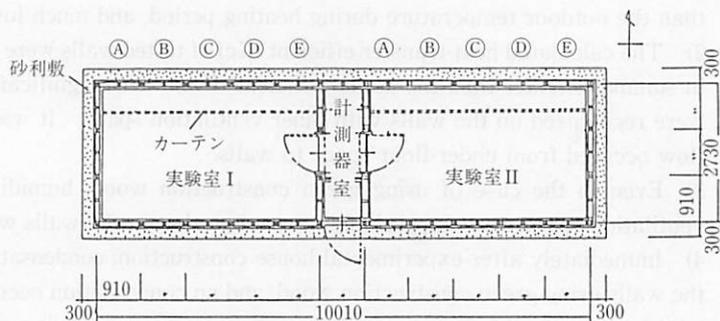


図-1 実験住宅の平面図

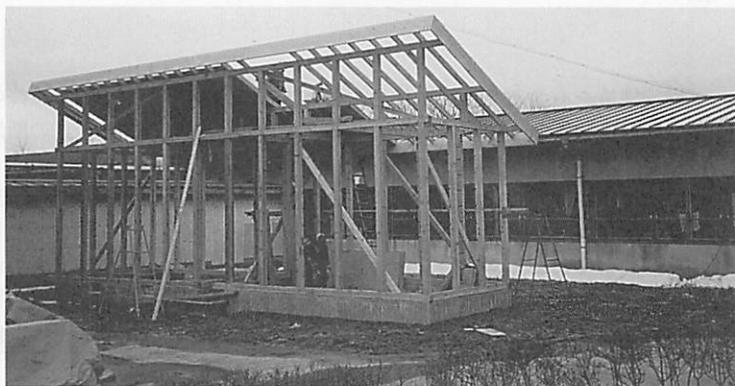


図-2 実験住宅(軸組完成時)

表-2 試験壁体の仕様

	通気の方法	防風層の種類	防湿材の種類	通気止め	外側通気層	断熱材
試験体A	外側通気	Asフェルト ¹⁾	附属VB ⁴⁾	上部閉鎖	有り ⁶⁾	グラスウール ⁷⁾
試験体B	〃	透湿フィルム ²⁾	〃	〃	〃	〃
試験体C	〃	シージングB ³⁾	〃	〃	〃	〃
試験体D	内側通気	〃	〃	上下開放	無し	〃
試験体E	〃	Asフェルト	PEフィルム ⁵⁾	〃	〃	〃

- 1) アスファルトフェルト：厚さ0.6mm 4) 附属防湿層 : グラスウール附属防湿材 7) グラスウール：厚さ50mm, 密度10kg/m³
 2) 透湿フィルム : 厚さ0.2mm 5) ポリエチレンフィルム：厚さ0.1mm
 3) シージングB : 厚さ12mm 6) 通気有り : 18mm通気層

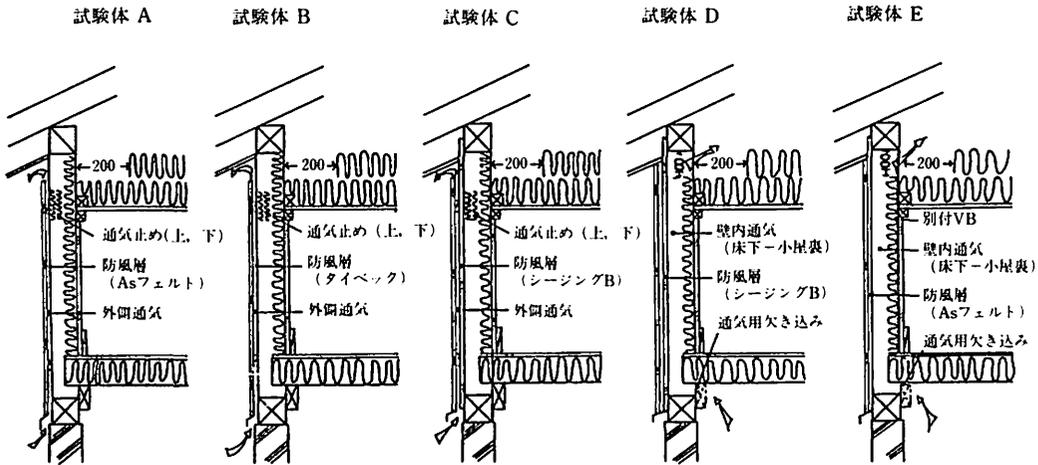


図-3 試験壁体の矩計

いて断熱・防露性能を試験した。

2. 実験方法

2.1 実験住宅の概要

北面に試験壁体を施工した実験住宅の平面図を図-1に、軸組および枠組完成時の様子を図-2に示す。実験住宅は在来軸組構造であり、中央の計測室およびI室とII室の二つの実験室から成っている。両実験室とも窓はなく、建物の断熱にはグラスウール(10k)を使用し、天井裏に200mm、床および南面壁の下地に100mmを施工した。また実験室内から外部への水蒸気の移動が試験壁体を通じて優先的に起こるようにするため、天井、妻壁、南面壁の内装はビニールクロス仕上げとした。

試験壁体の躯体(土台、柱、桁)は、I室側は集成材を、II室側は含水率30~50%の未乾燥材を使用した。

床下については建物周囲の布基礎を厚さ100mmのスタイロフォームで断熱し、I室側には南北にそれぞれ2個ずつの床下換気口(390×190mm温度感知開閉型、20℃:全開、5℃:全閉)を設けた。一方、II室側には床下換気口は無く、計測器室直下の布基礎に設けられた通気口によってI室側床下と一体化している。また床下地盤は、I室側は0.2mmのポリエチレンシートと乾燥した厚さ50mmの砂によって、II室側は同シートと厚さ100mmの土間コンクリートによって防湿されている。I、II室の差異を一括して表-1に示す。

表-1 実験室I室側とII室側の躯体材乾燥度および床下条件の違い

	躯体材の乾燥度	床下条件
I室側	・集成材 (含水率20%未満)	・防湿シート+50mm乾燥砂 ・床下換気口あり (20℃:全開, 5℃:全閉)
II室側	・未乾燥材 (含水率30~50%)	・防湿シート +100mm土間コンクリート ・床下換気口なし

2.2 試験壁体の仕様

試験壁体5種の仕様を表-2に、矩計を図-3に示す。試験壁体はいずれも壁内水蒸気を放出できるような通気構造を採用した。すなわち、試験壁体A, B, Cは外壁裏側に厚さ18mmの通気層をとった通気構造(以下、外側通気)とし、試験壁体DおよびEは床下-壁内-小屋裏の通気構造(以下、内側通気)とした。

外壁材には厚さ12mmの外壁サイディングを、断熱材には厚さ50mm、密度10kg/m²のグラスウールを、内装材には厚さ9mmの石膏ボードを用いた。

外壁下地材(以下、防風層)は、壁体A, Eには厚さ0.6mmのアスファルトフェルト、壁体Bには厚さ0.2mmの透湿性フィルム、壁体C, Dには厚さ12mmのシーリングボードをそれぞれ使用した。

防湿材は、壁体A~Dについてはグラスウール断熱材に付属している防湿材をそのまま防湿層として利用し、壁体Eのみ厚さ0.1mmのポリエチレンフィルムを別途使用した。

2.3 実験住宅内の温湿度設定と制御

室内の温湿度設定は、暖房期間を11月から4月までとし、標準的な生活状況を再現するため一日の暖房時間を6~9時、12~14時、16~22時とした。このとき、室内の温湿度制御は室内中央(床上120cm)における温度が20℃、湿度が60%RHになるように電気温風ヒーター(出力1kw×2台)と超音波式加湿器(最大加湿量0.5 l/h×2台)を用いて調節した。また、室内の温度および湿度の均質化を図るため、扇風機による搅はんと小型換気扇による換気(換気回数:0.5回/時)を行った。

一方、夏期(6~8月)は6~22時をクーラー(冷房能力:1800kcal/h)運転時間とし、しかも室温が26℃を越えた場合にのみ作動するように設定した。

2.4 試験壁体各部の表面温度、壁内および内外空気の温湿度測定

表面温度および空気温度の測定はT熱電対(直径0.2mm, 10芯)で、湿度の測定は静電容量型湿度センサー(VAISALA製, ±2%RH精度)を用いた。

試験壁体の各部温度は図-4に示すように、中央部(床上120cm)では石膏ボード室内側表面、断熱材室内側表面、中空部空気、通気層空気、サイディング表面、間柱側面表面の6点、下部では中空部空気

および土台表面の2点を測定した。

壁内湿度は壁中央部で測定した。その他、外気の温湿度は実験住宅北側の地上高2.4mの位置で、床下温湿度は各実験室中央の床下15cmの位置で、室内温湿度は実験室中央および試験壁近傍(床上120cm)の位置でそれぞれ測定した。

各測点での計測は1時間間隔で行い、データロガー(江藤電気製:サーモダックE)で自動記録した。

2.5 熱流測定

I室側試験壁体A, C, DおよびII室側壁体A, Dの石膏ボード裏面(断熱材側)に熱流センサー(英弘精機製, CN-9)を取り付け、壁体を通過する熱流を測定した。センサーはシリコン樹脂を用いて接着した。センサー出力は温湿度測定と同様に1時間間隔で記録した。

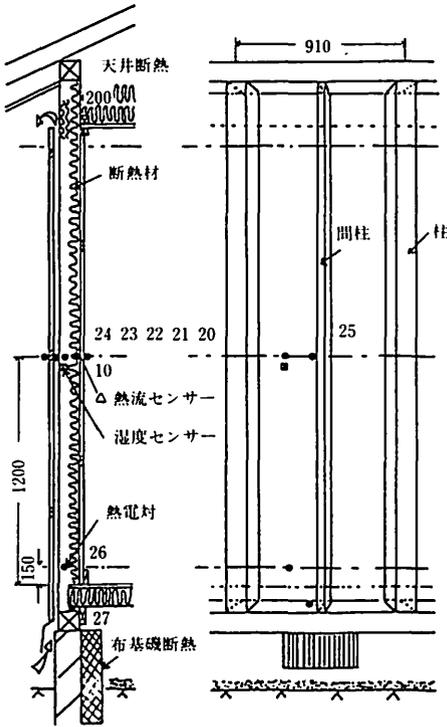


図-4 各種センサー設置場所

3. 結果および考察

3.1 実験住宅内・外部の温湿度環境

図-5に、実験住宅完成直後(1989,2,14~15)の冬季温湿度の変動を示す。

住宅の室内温度は、暖房時間中(6~9,12~14, 16~22時)は20℃近くにまで上昇し、非暖房時間は

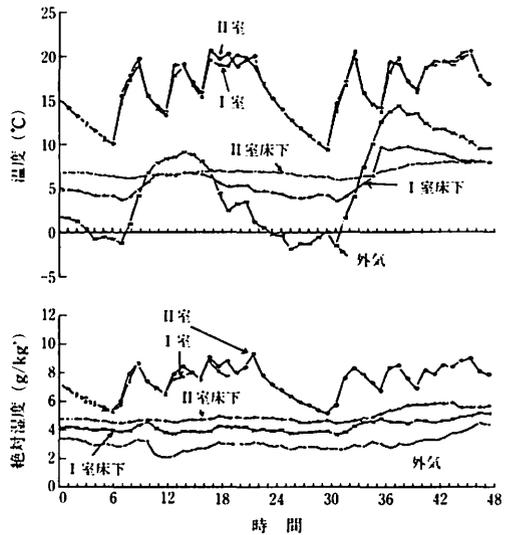


図-5 実験住宅内・外部の温湿度環境 (冬季;建物完成直後)

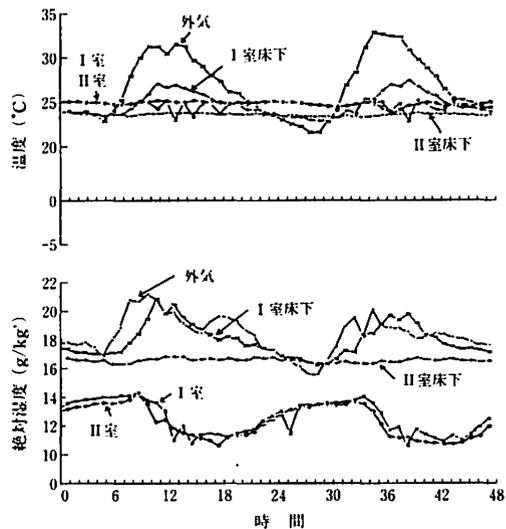


図-6 実験住宅内・外部の温湿度環境 (夏季)

下降するため、一日に3つのピークを有する変動曲線を示した。また、実験室 I, II間の差異は認められず、両室はほぼ同様に制御されていることがわかる。

床下温度については、厚さ100mmのスタイロフォームによる布基礎断熱と温度感知開閉型の床下換気口が施工されている実験室 I 側では、外気温が氷点下に下がる夜間においても5℃前後の高い温度を保ち、日中は外気温に追従して上昇した。

一方、実験室 II 側では換気口がなく計測器室下の通気口によって実験室 I 側床下と一体化しているため、外気温の変動とは無関係に7℃前後の高い温度で推移した。このような閉鎖系床下空間の温暖化は関野の実験⁷⁾からも明らかにされている。

絶対湿度は暖房、加湿(20℃, 60%RH)が行われた実験室内で6~9g/kg'と高い値を示したのに対し、外気のそれは2~4g/kg'の低い値で推移した。実験室内の湿度制御は温度の場合と同様、両室の差異は認められなかった。

床下の絶対湿度は外気の値に較べて2~3g/kg'も高い値(65~100%増)を示した。これは実験住宅が完成直後のため、ポリエチレン防湿シートの上に施工した砂(厚さ50mm)および土間コンクリート(厚さ100mm)の乾燥が不十分なことに起因している。

図-6に、夏季(1989,8,8~9)の実験住宅内・外部温湿度の挙動を示す。両実験室の室内温度は、本建物の優れた断熱施工(天井200mm, 床および南面・妻壁100mm)のためか、冷房の有無にかかわらず終日25℃前後であった。

実験室 I 側床下の温度は、床下換気口が全開の状態であるため外気温の変動に追従したが、それでも日中のもっとも暑い時間帯で外気温よりも5℃前後低い値を示した。一方、実験室 II 側床下温度は終日24℃付近であり、しかも間欠的に冷房した室内温度よりも低いことから、今回の実験に供した基礎断熱半密閉床下空間は、夏季には遮熱空間として、また冬季には保温空間として機能することが明らかになった。

夏季の外気、床下、室内の絶対湿度の値の大きさの順序は冬季と逆転した。すなわち、外気の絶対湿度は17~21g/kg'と大きな変動をもって高い水準で推移したのに対し、室内のそれは11~14g/kg'と低い値を示した。日中、室内の絶対湿度が低下しているが、

これはクーラーによって除湿されたためと思われる。床下の絶対湿度は外気と室内との中間の値を示し、実験室 I 側床下では外気に追従したやや低めの値で

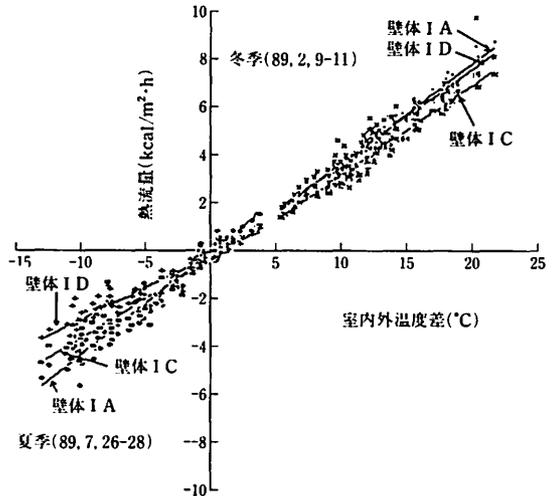


図-7 試験壁体の熱流(実験室 I)

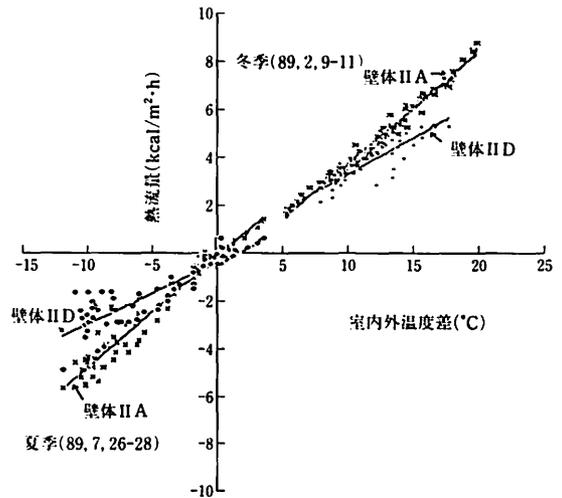


図-8 試験壁体の熱流(実験室 II)

推移し、実験室II側床下では17g/kg'前後で変動の少ない値を示した。以上のことから、夏季の湿気移動は冬季とは逆の、外気→室内あるいは外気→床下→室内という経路が考えられる。

3.2 熱流の変動

3.2.1 壁体構成の違いの影響

試験壁体(I-A, C, D II-A, D)の熱流を室内外温度差(室内温度-外気温度)に対してプロットしたものを図-7(実験室I)および図-8(実験室II)に示す。

冬季の場合、各壁体の熱流は室内外温度差と高い相関にあることが認められ、防風層に断熱性を有するシーリングボードを用いた壁体CおよびDは壁体Aに較べて熱流が小さかった。また夏季の場合は、室内温と外気温との高低が冬季とは逆転するため熱流の向きが反対になっているが、ここでも壁体CおよびDの熱流は小さかった。

ところで、図中に示した回帰直線の傾きは各壁体の熱貫流率(kcal/m²・h・℃)を表すことが知られている⁹⁾。一方、各壁体の設計用熱貫流率は壁体構成材料および空気層の熱伝達抵抗値、そして壁体の総合熱伝達率(室内側、戸外側)とから、次式によって計算することができる^{9,10)}。

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\sum d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}}$$

$$= \frac{1}{r_i + \sum r + r_o}$$

ここに、k:熱貫流率(kcal/m²・h・℃), α_i, α_o:それぞれ室内側, 戸外側総合熱伝達率(kcal/m²・h・℃), Σd/λ=r:壁体の熱伝導抵抗(m²・h・℃/kcal), r_i, r_o:室内側, 戸外側の熱伝達抵抗(m²・h・℃/kcal)である。

表-4に、試験壁体AおよびC, Dを構成する各材

表-4 試験壁体の熱伝達抵抗

材 料	壁 体 A			壁 体 C, D		
	厚さ	熱伝導率	熱伝達抵抗	厚さ	熱伝導率	熱伝達抵抗
	(d)	(λ)	(r)	(d)	(λ)	(r)
	(m)	(kcal/m ² h ² ℃)	(m ² h ² ℃/kcal)	(m)	(kcal/m ² h ² ℃)	(m ² h ² ℃/kcal)
外装サイディング	0.012	0.12 ¹⁾	0.10	0.012	0.12 ¹⁾	0.10
中空層	0.018	-	0.16 ²⁾	0.018	-	0.16 ²⁾
防風層	0.001	-	-	0.012	0.05 ¹⁾	0.24
中空層	0.055	-	0.19 ²⁾	0.050	-	0.19 ²⁾
断熱材	0.050	0.035 ¹⁾	1.430	0.050	0.035	1.430
石膏ボード	0.009	0.11 ¹⁾	0.082	0.009	0.11 ¹⁾	0.082
			Σr=1.962			Σr=2.202

1) カタログ値 2) 文献値¹²⁾

表-5 試験壁体の熱貫流率 (実測値と計算値の比較)

実験室	季節	壁体A			壁体C			壁体D		
		$K_m^{1)}$	$K_c^{2)}$	差 ³⁾	$K_m^{1)}$	$K_c^{2)}$	差 ³⁾	$K_m^{1)}$	$K_c^{2)}$	差 ³⁾
		(kcal/m ² h ^o C)		(%)	(kcal/m ² h ^o C)		(%)	(kcal/m ² h ^o C)		(%)
I室側	冬	0.41 (0.99) ⁴⁾	0.47	-12.8	0.37 (0.98) ⁴⁾	0.42	-11.9	0.39 (0.93) ⁴⁾	0.42	-7.1
	夏	0.43 (0.98) ⁴⁾	0.46	-6.5	0.33 (0.95) ⁴⁾	0.42	-21.4	0.26 (0.94) ⁴⁾	0.42	-38.1
II室側	冬	0.45 (0.99) ⁴⁾	0.47	-4.3				0.30 (0.91) ⁴⁾	0.42	-28.6
	夏	0.45 (0.98) ⁴⁾	0.46	-2.2				0.25 (0.89) ⁴⁾	0.42	-40.5

1)実測値 2)計算値 3) K_m-K_c/K_c 4)回帰直線を求めるときの相関係数

料の厚さ、熱伝導率、熱伝達抵抗および空気層の熱伝達抵抗を示す。また、表-3には室内および戸外の熱伝達率、熱伝達抵抗を示す。

表-3 総合熱伝達率および熱伝達抵抗¹⁾

季節	熱伝達率		熱伝達抵抗	
	a_i	a_o	r_i	r_o
	(kcal/m ² ·h·°C)		(m ² ·h·°C/kcal)	
夏	7.0	20	0.143	0.050
冬	7.0	30	0.143	0.033

i:室内側 o:戸外側

計算により求めた熱貫流率および熱流実測値から求めた熱貫流率を表-5に示す。

試験壁体の熱貫流率実測値は計算値に較べて、冬季で-7.1~-12.8%、夏季で-6.5~-38.1%といずれの場合も実測値のほうが小さい値を示した。このような計算値と実測値との差を引き起こす原因と

して、第一にはどのような断熱材の熱伝導率値を計算に用いるかにかかっている。すなわち、壁体の熱伝達抵抗値に占める断熱材の割合は他の壁体構成材料に較べて格段に大きい、たとえば今回文献値から用いた断熱材の熱伝導率値(0.035)を0.028に下方修正した場合、その熱伝達抵抗値は1.786m²·h·°C/kcalとなり、壁体Aの冬季の熱貫流率の計算値は0.40kcal/m²·h·°Cとなり実測値(0.41)とよく一致する。第二に、断熱材の厚さは公称どおり50mmで計算したが、施工時にはもう少し膨らんでいることが考えられる。第三に、熱貫流率の測定は本来定常状態で行われるべきものであるが、本実験では室内温度、外気温度ともに変動しており、このような非定常状態も影響していると考えられる。

以上、壁体構成と熱流の関係を見てきたが、防風層にシーリングボードを用いている壁体C、Dは壁体A(防風層:アスファルトフェルト)に較べて熱流が小さく、断熱・遮熱性能に優れていることが明らかになった。

3.2.2 壁体構法、床下環境の影響

試験壁体の熱流はその構成ばかりでなく、壁体構

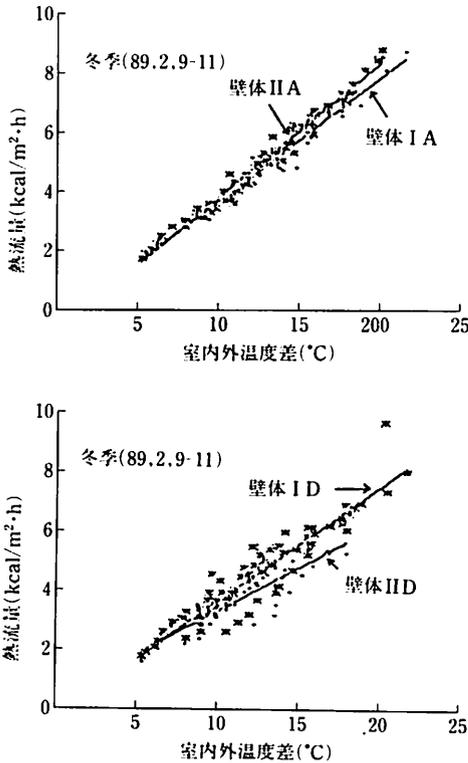


図-9 熱流に及ぼす壁体構法、床下環境の影響

法や床下環境によっても大きな影響を受ける。これら影響を図-9に示す。

外側通気構法である壁体Aの熱流はI, II室間で大差がなく、床下環境の影響が小さかった。一方、内側通気壁体である壁体Dは床下、壁内、天井が一体化しているため、その熱流は床下温度が外気温度に追従するI室側と外気温度とは無関係に高い温度を保持しているII室側とでは大きな差が認められた。とくに冬季に実測したI, II室間の熱貫流率の差は23%にも達し、II室側床下空間から壁内に相当量の熱が流入していることが推察される。しかもこの23%の熱貫流率の差は、壁体構成を替えた(防風材をアスファルトフェルトからシーリングボードに変更)場合の差(4.9%)に比べてきわめて大きいことから、壁体構法および床下環境の設定(基礎断熱、床下空間の気密化)が如何に重要であるかが分かる。

3.3 試験壁体内の絶対湿度変動

実験住宅を建築した直後の冬季(1989,2,14-15)、夏季(1989,7,17-18)、一夏経過後の冬季(1990,1,3-4)における各試験壁体内絶対湿度変動を表-6に

示す。なお、各実験室内、床下、外気の絶対湿度も併記した。

3.3.1 冬季の壁内湿度変動

建築直後の冬季において、壁内湿度は壁体Dおよび壁体Eで高い値を示した。すなわち、壁体Dの平均湿度は、I室側4.5 g/kg', II室側5.8g/kg'で5種の仕様壁体中でもっとも高い値を示し、また壁体Eではそれぞれ4.4g/kg', 5.2g/kg'であった。これら壁体は床下-壁内-天井裏が一体化した壁内通気構造を持っているところから、実験室内からの透湿に加えて床下からの湿気流入が起り、結果的に壁内湿度を高めたものと思われる。たとえば、壁体構成は同一であるが通気方法が異なる壁体C(外側通気)と壁体D(内側通気)とを比較すると、後者の湿度はI室側で0.8 g/kg', II室側で1.7g/kg'だけ高く、床下から壁内へ多量の湿気が流入していることが分かる。II室側でより多くの湿気流入が認められたが、これは本床下がI室床下との通気口を除いて換気口が無く密閉状態に近く、土間コンクリートの乾燥が遅れたためと考えられる。

一方、壁体A, B, Cはいずれも外側通気構造であるため似たような湿度変動を示したが、防風層にシーリングボードを用いた壁体Cはその最大値が他壁体に較べて小さく、これは同ボードの吸湿性能によると考えられる。防風材に透湿性フィルムを用いた壁体Bの壁内湿度は壁体A(アスファルトフェルト防風材)のそれに較べてほとんど差異がなく、その放湿効果は期待したほどには認められなかった。他地域で実施された実験¹⁹⁾では同フィルムの有効性が報告されており、このような効果の差異は各地域における冬季間の外気湿度が影響しているのかもしれない。また、壁体A, B, Cの湿度はいずれもII室側の方が高い値(0.4~0.5g/kg')を示したが、これはII室側壁体に用いた躯体材の含水率が30%を越えていたことによると考えられる。

このように建築直後は床下地面、土間コンクリート、未乾燥の躯体材からの放湿量が多く、これが壁内湿度の上昇に大きく関与している。

しかし、一夏経過した翌年の冬季データを見ると、壁内湿度の平均値はI室側で0.1~0.8g/kg', II室側で0.4~1.3g/kg'だけ低下した。また、壁内湿度の変動範囲(最大値-最低値)も小さく、これは最大値

表-6 試験壁体内の絶対湿度変動

	場 所	冬季 (建物建築直後)	夏 季	冬季 (一夏経過後)
		(89.2.14-15) (g/kg')	(89.7.17-18) (g/kg')	(90.1.3-4) (g/kg')
実 験 室 I	室 内	—	14.5(11.5-15.9)	7.2(4.3-9.4)
	A	4.2(2.5-6.5) ¹⁾	15.5(12.5-19.6)	3.8(3.2-4.7)
	壁 B	4.1(2.4-6.5)	16.5(12.9-21.7)	4.2(3.5-5.3)
	C	3.7(2.2-5.8)	14.7(11.9-18.8)	3.6(3.0-4.4)
	体 D	4.5(3.4-6.6)	15.6(13.9-19.8)	3.7(3.3-4.2)
	E	4.4(3.4-6.6)	15.9(14.2-19.0)	3.8(3.3-4.7)
	床 下	4.3(3.7-5.2)	16.0(14.4-19.1)	4.2(3.9-4.7)
	外 気	3.1(2.1-4.5)	17.0(14.6-20.2)	3.8(3.4-4.6)
実 験 室 II	室 内	7.6(5.2-9.6)	13.6(12.1-15.0)	6.8(4.1-9.1)
	A	4.7(3.0-7.1)	15.0(12.3-18.5)	3.7(3.2-4.6)
	壁 B	4.6(2.6-7.6)	15.6(11.9-21.8)	3.5(2.9-4.8)
	C	4.1(2.5-6.4)	14.1(11.4-18.1)	3.7(3.1-4.6)
	体 D	5.8(4.6-8.3)	15.7(13.9-19.7)	4.5(4.2-4.8)
	E	5.2(3.0-8.1)	15.6(14.2-18.4)	4.0(3.4-4.8)
	床 下	5.0(4.5-6.0)	—	4.0(3.8-4.3)
	外 気	3.1(2.1-4.5)	17.0(14.6-20.2)	3.8(3.4-4.6)

1) 平均値 (最小値-最大値)

が低下したためである。

3.3.2 夏季の壁内湿度変動

夏季の壁内湿度は高い外気湿度 (17.0g/kg') と連動して、冬季壁内湿度の4倍前後の値を示した。壁

体仕様の違いによる影響を見てみると、壁体Bは平均湿度が高く、最大値が異常に高い値を示した。壁体Bの防風層(透湿性フィルム)は冬季の壁内湿気を外気に放出することを意図したものであるが、今夏季

では多湿な外気を壁内に呼び込む結果となっており、問題点を残した。

同一仕様壁体について I 室側と II 室側を比較してみると、建築直後の冬季は II 室側が常に多湿状態であったのに対し、夏季は逆に II 室側の方が低い湿度を示した。このことから、II 室側で用いた未乾燥の躯体材および土間コンクリートは建築後約 6 カ月でかなり乾燥してきたことが推察された。

3.4 試験壁体内での結露

各試験壁体内の土台材の表面での結露発生状況を知るため、土台材の表面温度－露点温度(壁内の温・湿度から算出)を求め経時的にプロット(温度差曲線)した。図-10は建築直後の冬季、図-11は夏季、図-12は一夏経過後の冬季の場合である。この温度差が負の値になったとき結露が発生したと判断した。

建築直後においては、未乾燥の躯体材を用いた II 室側では全ての試験壁体で壁内結露の発生が認められた。しかし、終日にわたって壁内結露が起こっていることはなく、その時間帯は 9～16時に限られていた。ところで、実験室内の暖房・加湿は 2.3に既述した。すなわち、壁内結露は一日の暖房・加湿開始時刻(6時)から 3時間遅れて発生し、3度目の暖房・加湿が開始される時刻(16時)には消失するようなパターンを示した。このような結露時間帯と暖房・加湿時間帯とのズレは、透湿に要する時間や室内暖房による土台材の表面温度の上昇が影響したものと考えられる。

壁体構法の違いによる結露発生に及ぼす影響を比較してみると、内側通気構造の壁体 D, Eの温度差曲線は X軸との間隔が小さく、結露の危険性が高かった。しかし、外側通気構造の壁体では温度差曲線の変動が Y軸方向で大きく、壁内結露の発生が緩和された。なかでも防風層に透湿性フィルムやシーシングボードを用いた場合(壁体 B, C)の温度差曲線は負域になる時間が少なく、防露上きわめて有効であった。

一方、躯体に集成材を用いた I 室側においては、図-10に示すように全ての試験壁体の温度差曲線が X軸と交さることはなく、未乾燥の躯体材を用いた II 室側試験壁体の場合とは異なり壁内結露は認められなかった。この結果から乾燥した躯体材を使うことが望ましいが、実際の建築においてはコスト等の点から未乾燥の躯体材が常用されている。この場合、

建築直後の壁内結露(初期結露)を防止するためには透湿性防風材と外側通気構造を組合せた壁体構法を採用する必要がある。

次に、一夏経過後の冬季の結露発生状況は建築直後の冬季とは異なった傾向を示した。すなわち、II 室側試験壁体においては、未乾燥の躯体材や床下空間が夏季に乾燥したためか、建築直後にみられた著しい結露は発生しなかった。建築直後と一年経過後の冬季の温度差曲線を比較すると、内側通気壁体でより大きい差異が現れた。なかでも壁体 Dでは一夏経過後の冬季の温度差曲線は経時変動が小さかった。

これは、壁体 Dに用いられたシーシングボードは他の防風材に較べて断熱性能が優れており、温度変動の激しい外気の影響を少なくするとともに高断熱気密型床下空間から壁内に流入する暖気が土台材の表面温度を高めたことが考えられる。I 室側試験壁体の両冬季間の差異については、内側通気壁体は II 室側と同様、防露効果を示した。一方、外側通気壁体は概して防露性能が低下し、とりわけ防風材に透湿性フィルムを用いた壁体 Bは期待に反して結露が発生した。この防露性能の異常な低下は、躯体に用いた集成材の吸湿によるものと考えられるが、この吸湿は後述する夏型結露水によるものと考えられる。

夏季の結露(夏型結露)は図-11に示すように壁体 Bと壁体 Dで発生した。壁体 Bの場合、多湿な外気が透湿性フィルムを通して壁内に侵入し、壁内が室内の冷房によって冷やされて結露が発生したと思われる。他方、壁体 Dの場合の結露はシーシングボード(断熱型防風材)が室内冷房により冷やされた壁内の空気温度をより低くしたために発生したものと考えられる。

4. まとめ

通気構造を有する 5種の壁体を、躯体木材の含水率、床下環境条件の異なる二つの室を持つ実験住宅北面に施工し、冬季の暖房、加湿、夏季の冷房を行ったときの断熱・防露性能を検討した。その結果、次のことが明らかになった。

- 1) 温度感知開閉型換気口と布基礎断熱が施された実験住宅の床下温度は、冬季で 5～7℃外気温度よりも高く、夏季は逆に 5～8℃低い値であった。また、床下湿度は建築直後で外気湿度に較べて 2

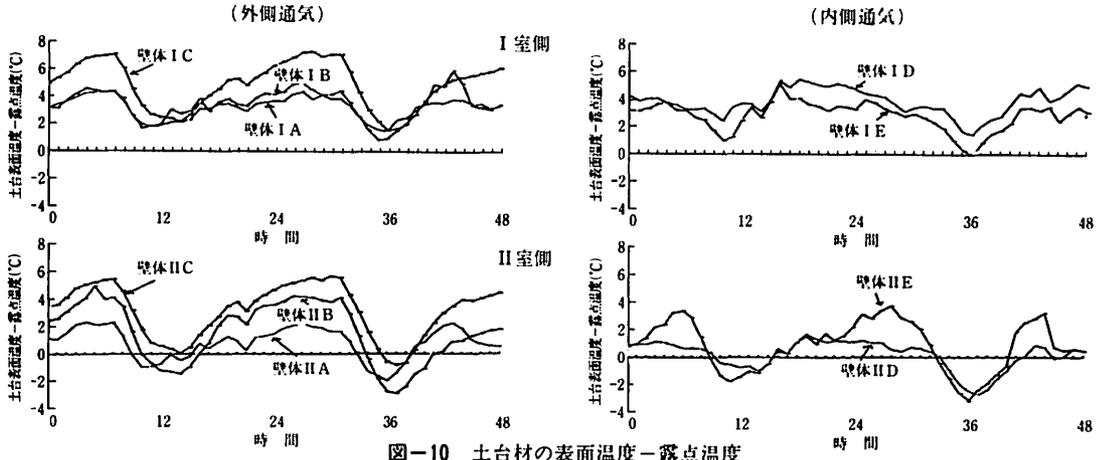


図-10 土台材の表面温度-露点温度 (冬季: 建築直後)

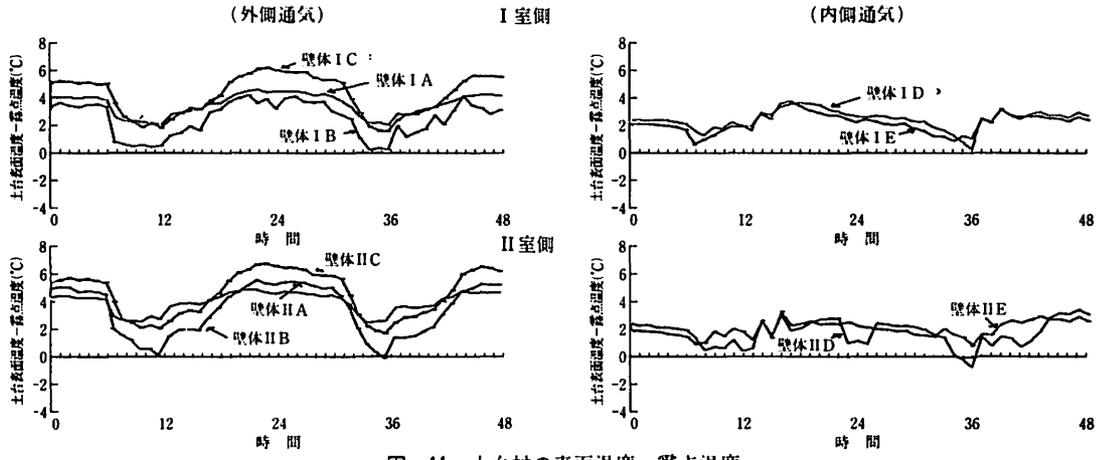


図-11 土台材の表面温度-露点温度 (夏季)

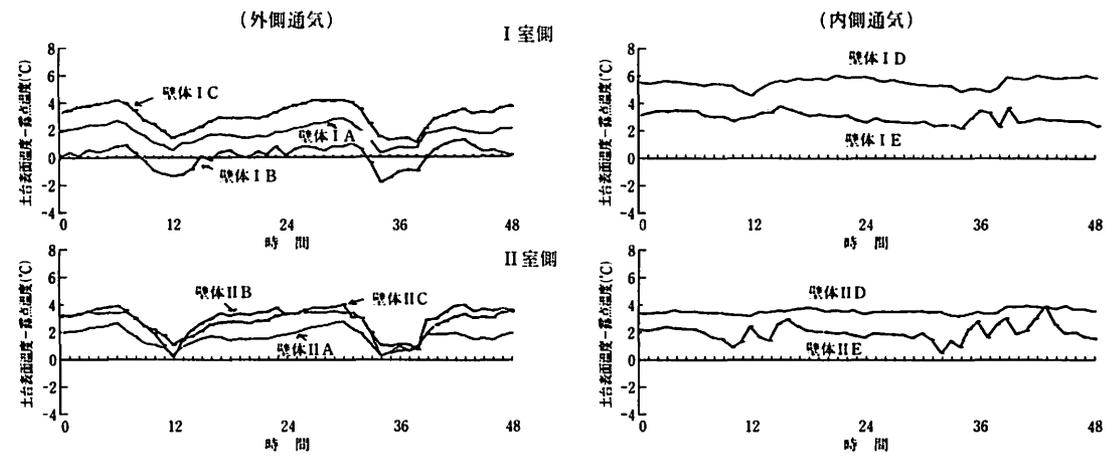


図-12 土台材の表面温度-露点温度 (冬季: 一夏経過後)

～3g/kg'も高い値を示したが、一夏経過した後の冬季では外気と同じ水準にまで低下した。

- 2) 試験壁体の熱貫流率は計算によって求めた値と熱流の実測から求めた値とで差があり、実測値は計算値に較べて冬季で4.3～28.6%、夏季で2.2～40.5%いずれも小さい値を示した。この誤差は文献から用いた断熱材の熱伝導率値を下方修正することによって実測値によく合致することが示された。また、その誤差は外側通気壁体よりも内側通気壁体で大きく、これは暖かい床下空間から壁内に相当量の熱が流入したためと推察される。
- 3) 試験壁体内の湿度は、建築直後（冬季）の内側通気壁体で高い値を示したのに対し、外側通気壁体は低めの値であり、通気層による放湿効果が認められた。また、防風材の影響も大きく、吸湿性を有するシーリングボードを用いた壁体でもっとも低い値を示した。夏季壁内湿度は多湿な外気の影響を受けて14.1～16.5g/kg'の高い値を示し、なかでも防風材に透湿性フィルムを用いた壁体Bは異常に高い値を示した。
- 4) 建築直後の冬季において、未乾燥の躯体材を用いた壁体は全て壁内結露が発生した。一方、乾燥材の躯体を用いた壁体での結露は認められず、そ

の効果が実証された。しかし、一夏経過後、建築直後に見られた冬季の著しい結露は発生しなかった。なかでも、内側通気壁体は防露効果が高かった。夏型結露は壁体Bと壁体Dで発生した。壁体Bの場合、多湿な外気が透湿性フィルムを通して壁内に侵入し、壁内が室内の冷房によって冷やされて結露が発生したものと考えられる。

- 5) シーリングボードを防風材として施工した外側通気壁体Cは優れた断熱・防露性能を発揮した。一方、同上の防風材を施工した内側通気壁体Dは、冬季の床下空間が高温、乾燥状態に保たれている場合には壁体C以上の断熱・防露性能を示すため、高断熱高气密住宅に適用できる構法と考えられる。

5. 謝 辞

本研究を進めるにあたっては、建設省建築研究所居住環境研究室長坊垣和明氏、同主任研究員大沢元毅氏、同主任研究員瀬戸裕直氏、の懇切なご指導、ご助言を賜った。また、実験の計画、遂行にあたっては富山県木材試験場製品開発課長元木英生氏、同主任研究員天野良一氏および坂井正孝氏に多大のご協力をいただいた。ここに深謝をいたします。

文 献

- 1) 坊垣和明：住まい方マニュアル, IBEC, 54, 39-43, (1989)
- 2) 北海道立寒地建築研究所報告 No47：住宅耐久性研究開発, 3-28, (1986)
- 3) Sherwood, G.E.; Tenwolde, Anton: Moisture movement and controle in light-frame. F. P. J. 10, 69-73, (1982)
- 4) Burch, D. M.; Contreras, A. G.; Treado, S. J.: A technique for protecting retrofitted wood-frame walls from condensation damage. ASHRAE Tran., 84, part1 (1978)
- 5) 佐藤雅俊：木造建築物における壁体内部の環境について, 木材保存, 20, 2-24, (1982)
- 6) 大沢元毅, 坊垣和明, 瀬戸裕直：木造壁体の断熱防露性状に関する実験研究, 建築学会学術講演梗概集, 1425-1426, (1989)
- 7) 関野登：寒冷地における木造住宅の床および床下空間の温湿度特性, 岩手大学農学部演習林報告, 21, 85-112, (1990)
- 8) 北海道立寒地建築研究所報告 No.43：寒地住宅の省エネルギー化に関する研究, 37-58, (1983)
- 9) 麓英彦, 竹村富男：木質壁体の熱貫流抵抗と断面構成との関係, 木材学会誌, 2, 97-104, (1983)
- 10) 信田聡：実大木質壁体の熱的性質, 木材学会誌 5：388-394, 7：574-580, (1988)
- 11) 渡辺要：建築計画原論II, 60-66, 丸善, (1977)
- 12) 宮野秋彦：建物の断熱と防湿, 33, 学芸出版社 (1981)
- 13) 池田一郎ら：温暖地適応型木造住宅追求のための実験棟による性能評価, 建築学会学術講演梗概集, 1377-1378, (1989)