実大試験壁体における熱湿気同時移動モデルの検証

VERIFICATION OF THE SIMULTANEOUS HEAT AND MOISTURE TRANSFER MODEL USING FULL-SCALE TEST WALLS

坂本雄三*, 渡辺一正**

Yuzo SAKAMOTO and Kazumasa WATANABE

The authors verified the simultaneous heat and moisture transfer model using six different full-scale test walls in which hygroscopic materials were used. Humidity, water content and temperature inside the walls were measured for about one year in the field test. Principal physical properties of used materials were measured independently in other experiment rooms. One-dimensional numerical calculations corresponding to the test were performed by applying the measured physical properties and the observed boundary conditions. Agreement between the calculation and the measurement is fairly good except for materials composed of cement, such as aerated concrete. Validity and subjects on the model were suggested.

Keywords: simultaneous heat and moisture transfer, numerical calculation, verification, internal condensation, hygroscopic materials.

熱湿気同時移動, 数値計算, 検証, 内部結露, 吸放湿性材料

1. はじめに

建築壁体における水分移動の解析モデルを確立することは壁体内外の結露や室内湿度・潜熱負荷を予測する上で極めて重要な研究テーマの一つである。我国においては松本ら^{1), 2), 3), 4)}によって主にALCを対象として吸放湿性材料中の水分移動のモデルが研究されてきた。この水分移動のモデルは熱移動のモデルと一体となっているので、熱湿気同時移動モデルと呼ばれており、計算値と実験値の比較によるモデルの検証も試みられている。これらの検証結果によると、ヒステリシスまで含めて材料物性値が正確に与えられていれば、このモデルはかなりの精度で壁体中の水分挙動を予測できることが示されている^{2), 3)}。したがって、このモデルは基本的には妥当と考えられ、実用的にも有望なモデルであるとの定評がほぼ確立されている。しかしながら、動的熱負荷計算などとは違って、熱湿気同時移動モデルによる予測計算は実際の建築設計業務において一般化しているわけではな

い。この理由としては実際の設計業務においてこのような計算を行う必要がそれほど生じないということも考えられるが、このモデルにおいて用いられる水分伝導率や平衡含水率等の物性データが十分に整備されていないということが最大の理由と思われる。

ところで、このような物性データの不備を除いたとしても、このモデルを実際の壁体設計に活用することに関してはまだいくつかの問題が残っている。なぜならば、計算値と実測値の比較検証が試みられているといっても、実験室における小規模な実験において単一の材料（主にALCであり、様々な材料について行われているわけではない）について検証されたものがほとんどであり、様々な材料が層状に重ねられている実際の建築壁体について実際の使用状態の下で検証されたものは皆無に近いからである。このような状況を踏まえ、このモデルの実用化にあたってさらに検討を加えるべき事項を次のように整理した。

* 名古屋大学工学部建築学科 助教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Nagoya Univ., Dr. Eng.

** 建設省建築研究所第五研究部 防火研究調整官・工修

Vice-director, Environment, Design and Fire Dept., Building Research Institute, Ministry of Construction, M. Eng.

1) 壁体の一般部分を解析するときは熱負荷計算では1次元問題として扱う場合が多いが、非定常の熱湿気同時移動計算においてもこの仮定が許されると判断してよいか。室内の垂直温度分布や軸組部材の影響は通常大きくないと見なして問題はないか。

2) 複数の板状部材を用いて通常の施工精度の下で製作された壁体においても、モデルで設定されるようなシンプルな境界条件がほぼ成立していると考えて大きな問題は生じないか。例えば、部材と部材との間に生じるごく小さな隙間が大きな影響を及ぼすことはないか。

3) 実際に使用される建築材料においては、たとえ同じような方法で製造されている材料であっても物性値まで完全に等しいとは限らない。なぜならば、湿気に関する物性値は材料組織の微細な構造に強く依存するので、製造過程における何らかのパラッキが物性値に影響を及ぼしたり、一枚の製品の中でも異方性や非一様性が少なからず存在している可能性がある。また、緩慢な化学反応による長期的な変化も考えられる。実用計算においてこのような物性値のパラッキ、非一様性、長期変化といったものは無視できるのか否か。

4) 建設後初期の結露予測においては材料の初期含水率が大きな影響力を持つと考えられるが、実際の設計業務においてこのような初期結露の予測を行おうとする場合、初期含水率はどのようにして与えたらよいのであろうか。測定して初期含水率を与えるということは実際の設計業務においては非現実的と思われる。それ故、初期含水率に関する何らかの指針や妥当な推定方法が示されなければ、事実上このような予測は不可能になってしまう。

本研究は、熱湿気同時移動モデルの実用化に当たってはこのような疑問や問題が存在するということを念頭におきつつ、多層の材料で構成される実大の建築壁体を試験体にして松本らが定式化しているモデルによる計算結果と試験における測定結果とを比較するものである。このような比較によって上記の疑問や問題がすべて明快に解決されるとは考えられないが、それぞれの重要性等に関して何らかの示唆が得られるものと期待され、そのような示唆を得ることが本研究の大きな目的である。つまり、実大の壁体において熱湿気同時移動モデルの予測精度を検証・吟味し、モデルの全般的な妥当性を評価するとともに、モデルを使用した予測計算の実用化にあたってポイントになる事項や注意すべき事項を鮮明にしようとするものである。

なお、このような熱湿気同時移動モデルを用いた応用計算においては異なる時間スケールを持つ二つの典型的な応用例が考えられる。第一の応用例は吸放湿性に富む壁体における内部結露の検討のような例である。この場合は温湿度の季節変動が重要な条件になるので、対象とすべき期間は1年～数年という長期間になる反面、数日

程度以下の短周期の変動などはほとんど影響がなくなる。もう一つの応用例は間欠空調における潜熱負荷計算のような例である。この場合は1時間以下の速い温湿度変動が存在する条件の下で計算しなければならないので、扱う現象の時間スケールは第一の応用例に比べて非常に短くなる。本研究では問題が極度に複雑になるのを避けるため、このような時間スケールに関しては前者(季節変動的時間スケール)に着目し、後者のような短時間スケールのものは当面は対象としない方針で研究を進めた。したがって、本稿において検証結果として示される温湿度等のデータは全て日平均値に関するものであることを予め言及しておく。

2. 実大試験の方法

(1) 試験壁体

実大試験は大断面の集成材を柱・梁に用いた多目的の実験建物⁹⁾(茨城県つくば市の建設省建築研究所の敷地内に建設)の北側の一室を使用して行われた。図1に示すように、この実験建物の北側の直達日射が当たらない外周部にAからFまでの6体の試験壁体を設置した。これらの試験壁体はいずれも同じ大きさであり、1体のサイズは1030mm(横)×2640mm(高さ)×252mm(厚さ)である。これらの試験壁体の層構成と材料を図2に示すが、以下のような検討を踏まえてこのような壁体仕様が決定された。

熱湿気同時移動モデルを用いる非定常計算は吸放湿性に富む壁体の湿気挙動を予測するために行われるのであるから、そのような特性を有する壁体が多く試験されねばならない。しかし、一方では、比較のために現在一般的に造られているあまり吸放湿性に富まない壁体も必要と考えられる。また、コンクリートは非常に一般的な建築材料ではあるが、壁体中の湿度や含水率を測定する際

図1 実験建物と試験壁体の位置

には厄介な問題が予想される。このような諸々の事情を勘案した結果、現在の一般的な仕様のもの（吸放湿性には富んでいない）が2体、吸放湿性に富む新規的なものが4体、製作されることになった。即ち、A壁体とB壁体はわが国の木造軸組建築において一般的な仕様と考えられるものであり、Aは防湿層が嚴重に施工されたもの、Bは防湿層が粗雑に（防湿クラフト紙に小孔がいくつか人為的にあけられている）施工され且つ外気側に防水層が設けられたものである。C～Fの壁体はいずれも吸放湿性に富む材料がふんだんに用いられた壁体であり、本試験において熱湿気同時移動モデルを重点的に検証する目的も兼ねて製作された。各壁体は熱抵抗の違いによる熱性能上の差異をできるだけ小さくするために、熱貫流率がほぼ同一の値になるようにグラスウールの厚みが調整されている。各壁体に内装材として使われた石膏ボードの外気側にはいずれもかなり厚い空気層があるが、これらは本実験建物で用いられている大断面の柱・梁表面と内装材表面を一致させるために生じた空気層であり、特に意図されたものではない。一方、外装材の室内側にある通気層（B壁体だけは密閉空気層だが）は壁体内部を通過してくる湿気を外気にスムーズに排出させることを目的として設けられた。

試験壁体の製作の際、材料の品質や製作精度については特段注意を払わなかった。ごく一般の建築物の施工と同様に現場施工でそれらを製作・設置した。これは本研究が熱湿気同時移動モデルを実用化する際に発生すると思われる問題点等を探ることを目的としているためであり、一般の建築とは異なる施工を意図的に行うことは逆にこのような問題点を不明瞭にすると考えたからである。また、次節で詳述するが、試験壁体に用いられた主な材料についてはそれらのサンプルを用いた物性測定が別途実験室において行われた。

（2）測定方法と試験方法

試験壁体内部における熱湿気の状態を測定するために、各試験壁体の内部には図2に示すように、温度センサー（C-C熱電対）と相対湿度センサー（ヴァイサラ社の高分子絶縁膜系センサー）を数個ずつ埋め込んだ。同様なセンサーは室内と外気の温湿度測定にも使用した。また、試験期間中に6回各試験壁体から約5cm□のコアサンプルを取り出し、その重量分布を電子天秤で測定する方法によって含水率分布を求めた。

試験壁体が設置されている室内は市販のエアコンと加湿器（暖房時のみ使用）を用いて表1に示すような条件で冷房或いは暖房を行った。冷房温度が20～26℃とやや低めに設定されたが、これは住宅ばかりでなく商業建築も考慮して冷房温度を想定したからである。温湿度の測定はどの測定点も1時間間隔で行われ、測定結果はデータロガーに収録された。試験は1989年7月22日から1990

図2 試験壁体の層構成と温湿度の測定点

表1 空調の設定条件

項目	冷房	暖房
設定温度	20～26℃	22℃以上
設定湿度	なりゆき	40%以上
日運転時間	8時～20時	8時～20時
空調期間	7月22日～9月5日	12月1日～4月1日

図3 室内および外気の日平均温度と日平均絶対湿度

年6月15日まで行われたが、途中11月に本試験とは直接関係のない工事のために約1カ月ほど測定を中断せざるをえない期間があった。図3に試験期間中の室内と外気の日平均温度及び日平均絶対湿度の測定結果を示す。室内温度に関しては床上からの高さが異なる3点の測定結果が示されており、上下温度分布の様相を読みとることができる。つまり、室内の上下温度差は暖房期間では2～5℃程度あるが、それ以外の期間ではほとんどないことが分かる。また、室内外の絶対湿度を比べることにより冷房期の除湿と暖房期の加湿の程度を把握することもできる。

3. 計算モデルと計算方法

(1) 基礎方程式

本研究で使用した熱湿気同時移動モデルの基礎方程式は松本⁴⁾によって定式化されている化学ポテンシャルを水分移動ポテンシャルとするものであり、外力が存在しない1次元系では次式で示される(記号の意味については表2に示す)。

$$\rho_w \frac{\partial \phi}{\partial \mu} \frac{\partial \mu}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda'_u \frac{\partial \mu}{\partial x} + \lambda'_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (1)$$

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ (\lambda + r\lambda'_{TG}) \frac{\partial T}{\partial x} + r\lambda'_{uG} \frac{\partial \mu}{\partial x} \right\} \quad (2)$$

(1)式は水分の収支を、(2)式は熱エネルギーの収支を表している。また、 λ' 等の伝導率には以下の関係がある。

$$\lambda'_u = \lambda'_{uG} + \frac{h}{R_v T} \frac{\partial \phi}{\partial h} D_{oL} \quad (3)$$

$$\lambda'_T = \lambda'_{TG} + D_{TL} \quad (4)$$

$$\lambda'_{uG} = \frac{P_{vs} h}{R_v T} \lambda' \quad (5)$$

$$\lambda'_{TG} = \frac{dP_{vs}}{dT} h \lambda' \quad (6)$$

以上から分かるように、材料固有の数値である6種類の物性値(ϕ , λ' , D_{oL} , D_{TL} , λ , $c\rho$)が与えられていれば、適切な境界条件の下で(1)式と(2)式を連立させて μ と T を数値的に解くことが可能である。

(2) 材料物性値の設定

本研究では各壁体中使用されている材料の吸放湿性に関わる物性値についてはできるだけ独自に測定したものをを用いることにした。即ち、主要材料の ϕ , λ' , ρ については別途実験室において独自に測定した。ただし、一般に存在が認められている ϕ の温度依存性と λ' の相対湿度依存性については、計算結果に与える影響が小さいものと考え考慮しなかった。

本研究で測定された重量平衡含水率($=\phi\rho_w/\rho$)の吸湿曲線と放湿曲線を図4に示す。ただし、ALCの相

対湿度98%以上に対する含水率だけは既存の文献⁴⁾等を参考にして想定した。吸湿曲線は絶乾状態から、放湿曲線は相対湿度98%から測定したものである。センチュリーボードとALCにかなり強いヒステリシスが見られる。後に詳述するが、本試験ではALCのみが初期含水率が非常に高く試験期間中はほとんど放湿状態であったと想像される。しかし、ALC以外の材料については、ガラスウールの場合は結露が発生したがヒステリシスがほとんどないので、また、それ以外の材料では試験期間中相対湿度が大方90%以下であったので、ヒステリシスによる平衡含水率の差異は考慮しなくてもよいものと思われる。

表2 数式に用いられている記号の意味

記号	意味	記号	意味
c	材料の比熱	μ	水分の化学ポテンシャル
D	材料の水分伝導率	ρ	材料の密度
h	相対湿度	ρ_w	液水の密度
P_{vs}	飽和水蒸気圧	ϕ	材料の体積含水率
R_v	水蒸気の気体定数		
r	気相から液相への水の相変化熱	添字	意味
T	絶対温度	G	気水成分
t	時間	L	液水成分
x	距離	T	温度勾配
λ	材料の熱伝導率	μ	化学ポテンシャル勾配
λ'	材料の水分伝導率	ϕ	含水率勾配

図4 主な使用材料の重量平衡含水率
(— 吸湿過程, - - - 放湿過程)

る。それ故、計算用の平衡含水率としては、ALCに対しては放湿曲線を、その他の材料に対しては吸湿曲線を適用した。同様な理由を水分伝導率にもあてはめ、ALCに対しては液水成分の伝導率である D_{ol} と D_{TL} を無視できないが、それ以外の材料においては主に水蒸気拡散によって水分移動が行われるために D_{ol} と D_{TL} は無視できるものとした。したがって、ALCに対してのみ、 $2.5\% \leq \phi \leq 20\%$ の範囲で、

$$D_{ol} = 1.15 \times 10^{-2} (\phi - 0.025) \text{ [kg/mh]}$$

$$D_{TL} = 4.32 \times 10^{-4} (\phi - 0.025) \text{ [kg/mhK]}$$

という既存の測定データ⁹⁾から得られる近似式が適用された。ただし、これらの温度依存性については影響が小さいものとして無視した。

λ' についてはカップ法（二つのカップの相対湿度は50%と85%、温度は20℃）を用いて、また、 ρ については容積と重量を測定して測定値を得た。これ以外の物性値やシート類の λ' に関しては既存の文献^{7), 8)}に掲載されている数値を引用した。これら計算で用いられた物性値をまとめて表3に示す。また、熱伝導率の含水率依存性についてはすべての材料で無視した。

(3) 境界条件と初期条件

本試験においては各壁体の両側に位置する空気層において1時間毎に温湿度が測定されたので、それらのデータを境界条件として計算を行った。室内及び外気の温湿

度を境界条件として計算することも可能であるが、その場合には空気層における通気量をどのように与えるかが大きな問題となる（特に外気側の空気層は通気層になっている）。しかし、このような通気量の設定方法に関する影響が混入すると、却って着目している因果関係が不明瞭になる危険性も生じる。このような懸念から、本研究ではまずは上記のように空気層の温湿度を境界条件と

表3 計算で使った主な物性値

物性項目 材料名	絶乾密度		熱伝導率		比熱		湿気伝導率	
	kg/m ³	#	kcal/mh°C	#	kcal/kg°C	#	g/mhmmHg	#
ALC	519	A	0.13	A	0.26	B	0.0066	A
セツリボード	892	A	0.19	D	0.40	D	0.0033	A
合板	644	A	0.16	B	0.31	B	0.0040	A
パネイクボード	416	A	0.15	B	0.31	B	0.018	A
ジジソボード	322	A	0.052	B	0.31	B	0.019	A
グラスウ32K	32	A	0.031	B	0.20	B	0.15	A
ポリレンシート	700	C	0.18	C	0.31	C	0.000002	F
穴ありクワ紙	700	C	0.18	C	0.31	C	0.031	E

[#欄の意味]

A: 自主測定値（湿気伝導率は20℃、相対湿度50～85%で測定）

B: 建築学便覧⁷⁾から引用

C: 同の「防湿紙類」を適用

D: 同の「硬質木片セメント板」を適用

E: 同の「ろ紙」を適用

F: 土屋喬雄⁸⁾の提案値

図5 各壁体内部の日平均温度に関する計算値（縦軸）と測定値（横軸）の比較

する計算だけを行うことにした。なお、先述した測定の中断期間においては、境界条件は中断前後の日平均値と日変動とを考慮した仮の温湿度を与えざるをえなかった。また、空気層と材料表面との間の伝達率については、一定の総合熱伝達率($=9.3\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)、並びに、対流熱伝達率($=4.65\text{W}/\text{m}^2\text{C}$ で一定)とルイスの関係式より得られる水分伝達率⁴⁾を与えた。

初期条件は1989年8月2日の各壁体内部の温湿度測定値と含水率測定値を参考にして設定し、同日の0時を計算開始時点とした。

(4) 数値計算の方法

熱湿気同時移動モデルに基づく数値計算は(1)式と(2)式を時間後退差分と空間中心差分で近似し、緩和法で μ と T の分布を同時に求める方法で行った。壁体の分割幅については誤差をできるだけ避けるために空気層に接する表面近くでは1mm以下に細かく分割した。その結果、各壁体の分割格子数はA壁体とB壁体で16個、その他の壁体では34~44個になった。このような空間分割の下で時間の増分間隔を1時間とし、各壁体に対して試験期間に対応するほぼ1年分の計算を行った。

4. 計算値と測定値との比較及び考察

(1) 温度と湿度に関する比較と考察

図5は各壁体内部の温度測定点における日平均温度を計算値と測定値について比較した例である。両者はいずれも非常に良く一致しており、熱伝導率の設定値には大きな問題がなかったことが分かる。

図6は壁体内部の相対湿度測定点における日平均相対湿度について計算値と測定値を時系列で比較したものである。図7は同様なデータを絶対湿度に換算し、計算値と測定値の対応を見たものである。相対湿度の比較においてはD壁体における一致が悪く、両者の差はD1点において最高20%程度である。この差にはD壁体の含水率が非常に高い(図8参照)ために生じた湿度センサーの誤差(センサーの精度は相対湿度95%以下でしか保証されていない)も含まれているものと思われる。その他の壁体では部分的に一致が悪いところも散見されるが、変動の様相等はほぼ一致しており、全般的にはかなり良く一致していると結論づけることができる。絶対湿度において比較すると、このような一致の状況は一層強く示される。

(2) 含水率に関する比較と考察

図8は試験期間中各壁体において6回測定された重量含水率分布とその測定日における計算値の日平均とを比較したものである。測定値を示す棒グラフにおいて各棒の幅は重量を測定したサンプル片の厚さを示している。計算の開始時点となった1989年8月2日における比較は除

図6 各壁体内部の日平均相対湿度に関する計算値(——)と測定値(-----)の比較

くことにして、以下にこのような比較から考察できることを壁体別に示す。

- 1) A壁体: 計算では夏期にグラスウールの室内側で部分的に結露し高含水率になっているが、測定ではグラスウールのサンプル片を薄くできなかったこともあってこのような結露を確認できずに終わっている。それ以外は計算値と測定値との間に際だった差異はない。
- 2) B壁体: 測定では1990年1月11日にグラスウール内の結露による高含水率が見られるが、計算ではそれが発生していない。1次元の計算モデルでは防湿層にけた小孔の効果を適切に表現できないことが原因と思われる。これ以外についてはA壁体と同様に両者に大きな差異は見られない。
- 3) C壁体: 計算値と測定値の間には全般的に大きな差は見られない。しかし、この壁体は図6の(4)と(5)に

示したように、試験期間中、相対湿度はそれほど高くはならなかった（約90%以下）。したがって、計算値と測定値との差が小さいといっても、それは高湿度にならない条件のもとで確認された事実であることを明記しなければならない。結露を生じるような高湿度の条件においても計算値と測定値がこのように一致するかどうかは本試験だけでは断定できない。

4) D壁体：既述したようにALCの初期含水率が異常に高い。これは製造されてから比較的日の浅いALCを用いたからである。計算ではALCは測定より数カ月早く乾燥するという結果になっている。にもかかわらず、乾燥後の含水率については計算値の方がやや高い値を示している。このような不一致の原因としては、ALCの

物性値における食い違いが最も高い可能性を持っている。この食い違いには二種類考えられ、一つは物性値の測定誤差が原因で生じる食い違いであるが、もう一つは計算における物性値の扱い方が適切でないために生じる食い違いである。後者をもう少し具体的にいうと、本計算においては98%という不十分な相対湿度から放湿を開始した平衡含水率（図4(1)参照）を適用したり、 D_{eL} と D_{TL} に対してヒステリシスを考慮していなかったり、炭酸化などの化学反応によって発生する微細構造の変化⁹⁾が原因となる物性値の変化を無視しているが、このような物性値に対する扱い方や仮定が不一致の原因になってはいないかということである。しかし、原因の可能性はあるこれらの中から真の原因を特定するためには、物性

図7 各壁体内部の日平均絶対湿度に関する計算値（縦軸）と測定値（横軸）の比較

値に関する再測定や物性値に対する様々な感度解析などがさらに必要である。したがって、本論文では予想される原因を列挙するだけにとどめ、本格的な究明については次の課題として続報で検討することにしたい。

5) E壁体：センチュリーボードの計算値が測定値より全般的にかなり高い。それ以外は両者に大きな差異は見られないが、C壁体と同様に試験期間中の相対湿度は90%以下であり、高湿度状態には一度もなっていないので、このような結果が高湿度条件まで当てはまるかどうかは断定できない。

6) F壁体：E壁体と同様にセンチュリーボードの計算値が全般的にかなり高い。シージングボードに関しては両者は比較的良好に一致しているが、C壁体やE壁体と同様に高湿度にはならない条件における結果であることには留意しなければならない。センチュリーボードにおけるこのような不一致に関しては、センチュリーボードにはセメント系の物質が含まれていることから推定して、D壁体のALCの場合と同様ような原因が考えられる。したがって、これについても続報で検討することにしたい。

図8 各試験壁体における重量含水率の計算値(太線)と測定値(棒グラフ)

5. むすび

6種類の実大の試験壁体において1次元の熱湿気同時移動モデルを用いて計算される温湿度や含水率の計算結果と測定結果を日平均値で比較し、このモデルの有効性と実用性を検証した。このような比較・検証から得られる知見を冒頭に示した四つの検討事項に対応させて以下に示す。

1) 1次元計算の妥当性について

本計算が1次元計算であるが故に生じたと思われる計算値と測定値の不一致は、B壁体の小孔が原因と思われる結露だけであった。冬期には室内にかなりの上下温度差が発生していたが、それが原因と思われる不一致は今回の計算では発見できなかった。尚、1次元計算の妥当性を厳密に検証するのであれば、本試験のような測定では不十分であり、壁面全体を対象としたより精緻な測定が必要と考えられる。

2) 壁体の施工精度の影響について

本試験壁体のようにごく普通の施工精度でもって製作された壁体においても、部材と部材の隙間などが影響し

ていると思われる測定結果や、そのような隙間を考慮しなかったがために生じたと想像されるような計算値と測定値の不一致は発見できなかった。したがって、通常はこのような部材間の隙間の影響は小さいと考えてよいものと思われる。

3) 材料物性値の非一様性及非定常性について

前節で述べたように本検証において最大のポイントになっているのがセメント系材料の物性値であるが、これについては既述の通り次の課題とし本論文では急な結論を避けたい。一方、非セメント系材料(本試験では木質系材料と称してかまわないと思われる。)においてはハイグロスコピック領域という条件が付くが、物性値の非一様性や非定常性に起因すると思われる計算値と実測値の明瞭な不一致は発見されなかった。したがって、軸組部材等とはまったく湿っていない木質系の面材については物性値に対するこのような問題をそれほど危惧しなくてもよいものと思われる。

4) 初期含水率の設定方法

工場生産の材料といえどもD壁体のALCのように初期含水率が異常に高い材料が実際に使用されていることが分かり、初期結露の有無を検討する際にはこのような初期含水率が重要であることが認識された。しかしながら、本試験の結果だけでもってこのような初期含水率の

一般的な設定方法を提示することは到底無理であり、今後さらに類似のデータを蓄積していく必要があることが分かった。さらに、当然のことではあるが、このように高含水率で提供される材料においては特に高含水率域における物性値が重要になるので、3)にも関連するが高含水率域における物性値の正確な測定と扱い方が一層重要になる。

このように、今回の検証では、木質系材料に対してはハイグロスコピック領域という条件が付くが含水率や温湿度の計算値と測定値は比較的良好に一致することが確認された。ただし、B壁体の防湿層の小孔のような特異な例の場合には、1次元計算であるが故に結露を正確に計算することができなかった。一方、セメント系の物質を含む材料においては、特に含水率について計算値と実測値との間にかなり明瞭な不一致が見られた。この原因としては、測定された物性値の精度が悪かったことや計算における物性値の扱い方が適当でなかったことなどが考えられる。しかし、現段階では原因究明のための十分な検討を行っていないので、本稿では原因を特定することは避け、原因については次の課題として稿を改めて報告することにしたい。

今回の試験に用いられた吸放湿性のある材料はALC、合板等の高々6種類である。勿論、これだけの材料で構成される壁体や一種類の温湿度条件だけでは十分な検証とは言い切れない。しかし、上記のような示唆に富む結果と次の課題と考えられる問題点が明確になり、冒頭で述べた研究目的をほぼ達成することができたと思われる。

謝 辞

本研究における試験は(財)日本建築センターに設置された大規模木造建築技術研究会において実施されたものである。当研究会に関与された各位には深く感謝したい。また、多くの助言を提供された松本衛教授(神戸大)をはじめとして、測定面で多大な協力を惜しなかった大沢元毅氏(建研)、瀬戸裕直氏(建研)、清水則夫氏(BL)の諸兄には、記して最大の謝意を表したい。

参考文献

- 1) Matsumoto, M.: Simultaneous Heat and Transfer in Porous Wall and Analysis of Internal Condensation, Energy Conservation in Heating, Cooling and Ventilating Buildings, Volume 1, pp. 45~58, 1978.
- 2) Matsumoto, M.: Internal Condensation and Re-Evaporation Process of Moisture in a Foam Concrete, Proc. the Vth All-Union Heat and Mass Transfer Conf., Minsk, Volume 7, pp. 39~45, 1980.
- 3) 松本衛、松下敬幸: ハイグロスコピックの領域での気泡コンクリートの吸放湿性状(その2-吸放湿過程に及ぼす吸放湿履歴の影響と履歴のある場合の解析法)、日本建築学会論文報告集 第306号, pp65~71, 昭和56年8月.
- 4) 松本衛: 新建築学大系 10 環境物理、彰国社、1984.
- 5) 大規模木造建築技術研究報告書 No.3 構法分科会、建設省建築研究所、(社)建築業協会、(財)日本建築センター、平成2年8月.
- 6) 建設省総合技術開発プロジェクト 新木造建築技術の開発 報告書 No.63-3 居住性耐久性分科会、建設省建築研究所、平成元年3月.
- 7) 建築学便覧 計画、丸善、1980.
- 8) 土屋喬雄: 結露防止のための設計施工指針、IBEC, No. 54, pp44~56, 1989年9月.
- 9) Iwasaki, M. and Tada S.: Carbonation of Aerated Concrete, Proc. Int. Symp. Cement & Concrete, Beijing, Vol. 3, pp. 343~356, 1985.

(1993年9月9日原稿受理, 1994年1月14日採用決定)