戸建住宅 8 棟の熱損失係数に関する同時測定と設計値との比較
SIMULTANEOUS MEASUREMENT ON HEAT LOSS COEFFICIENT OF EIGHT
DETACHED HOUSES AND COMPARISON WITH DESIGN VALUE

吉野 博*, 長友宗重**, 石川善美***, 松本真一****

Hiroshi YOSHINO, Muneshige NAGATOMO, Yoshimi ISHIKAWA
and Shin-ichi MATSUMOTO

This paper describes the results of the field measurement using eight detached houses in the same site in Sendai City to investigate the airtightness and the heat loss coefficient. The heat loss coefficient of each house was measured simultaneously according to the measurement method of JIS's report, and was compared with the design value. The major results are as follows :

- (1) The equivalent air leakage area per floor area of these houses was 3.0~16.4 cm²/m². The house with the largest leakage area was constructed by conventional method.
- (2) The heat loss coefficient per floor area was 1.74~3.08 kcal/m²h°C. But this value depended on the climatic condition and measurement condition.
- (3) Measured value of heat loss coefficient except infiltration load using the data of airtightness was within about ±15% of the design value using specifications.

Keywords: heat loss coefficient, airtightness, heat load of infiltration, field measurement

熱損失係数, 気密性能, 換気負荷, 現場実測

1. 序

住宅の熱損失係数は, 設計図書における壁体構成に基づいて, 計算によって算出することができる。これはいわば所期の性能である。一方, 完成された住宅は必ずしも設計通りに施工されているとは限らず, また施工の精度にもばらつきがあるため, 所期の性能が確保されているかどうかは不明である。そこで今回, 隣接して建設された8棟の建て売り住宅を対象に, 所期の熱性能に対して, 実際はどの程度ばらつくものなのかを明らかにすることを主目的として, 日本工業規格(案)「現場における部屋の暖房用熱損失係数測定方法」²⁾に従い, 熱損失係数を同時に実測し, 設計値と比較したので報告する^{注1)}。同時測定を行えば, 外界条件の違いによる測定結果の誤差を取り除いた住戸間の比較が可能となる。ただし, 今回は, 実測に必要な暖房用電気容量が住戸によって不十分であったため, 8棟を数棟づつ2回に分けて測定することとした。その際, 1棟のみは2回とも実測し, 同一の住宅

において, 条件の異なる2回の測定結果にどの程度の差が生じるかについても調べることにした。この方法にしたがって熱損失係数を求めた場合, 異なる気象条件の下では異なった値を示すことが, 熱容量の大きいパッシブソーラーシステム試験家屋を対象とした実測^{3), 4)}から, 筆者らは明らかにしており, 今回の実測は, 熱容量の小さい住宅の場合について, どのような結果が得られるかについて調べるものである。測定は, 住宅竣工直後の1990年4月に行った。

2. 対象住戸

実測対象は, 仙台市北部の新興住宅地に建つ8住戸(No.1~8)である。これらは, それぞれ, 異なる住宅メーカー, 工務店による建て売り住宅として, 連続した敷地内に建てられ, 1990年3月に竣工した。図1に, 配置図を示す。8棟はすべて南を向いており, 敷地は平坦で, 南側

* 東北大学工学部建築学科 教授・工博

** 鹿島建設(株) 専務・工博

*** 東北工業大学工業意匠学科 教授・工博

**** 東北大学工学部建築学科 講師・博士(工学)

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Tohoku Univ., Dr. Eng.

Senior Managing Director, Kajima Corp., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Industrial Design, Tohoku Institute of Technology, Dr. Eng.

Lecturer, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Tohoku Univ., Dr. Eng.

図1 対象住戸の配置図

表1 対象住戸の断熱仕様

住戸No.		1	2	3	4	5	6	7	8
工法		木質軸組 (在来)	2×4	軽量鉄骨	軽鉄パネル	木質パネル	鉄筋 ラーメン	2×4 ユニット	軽量鉄骨
断熱材 厚さ [mm]	床	50	35	30	30+45	75	45	100	50
	外壁	50	100	75	55	75	65	100	100
	天井	100	50	100	100	50	100	100	75
窓ガラス構成		一重	一部複層	一重	一重	一部複層	一重	一部二重	一重
延床面積[m ²]		128	129	129	129	130	125	126	130
熱損失係数* [kcal/m ² h℃]		2.33	1.68	2.1	2.49	2.02	1.95	1.46	2.22

*設計図書より求めた値(壁体からの貫流熱損失のみ)

からの日射を遮るものはない。表1は、各住戸の断熱仕様などを示したものである。住戸はすべて2階建てで、No.3とNo.8の住戸が軽量鉄骨プレファブ工法であるほかは、それぞれ異なる工法で作られている。延床面積は、125~130m²と同規模である。断熱材はいずれの住戸も外壁、床、天井すべてに施されているが、その材料と厚さは住戸によって異なる。窓の構成は、No.2, 5, 7の住戸の一部がサッシ二重または複層ガラスであるが、その他は単層ガラスで、すべてアルミサッシである。ただし、和室は、いずれの住戸においても単層ガラスに障子が組み合わされている。

設計図書の壁体構成より見積もった熱損失係数^{注2)}(いわゆる総括熱貫流率で、換気の方は含まない)は、床面積あたり、1.46(No.7)~2.49kcal/m²h℃(No.4)の範囲に分布している。ただし、この熱損失係数の算定に際しては、1980年2月に告示された「住宅に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断の基準」⁹⁾(旧省エネルギー基準)の熱損失係数の算定方法に則り、床の熱貫流率は、係数0.6を乗じた値とした。

また、参考までに、これら8住戸を含めて、当時、東北地方に建設される住宅の断熱性能がどの程度の水準であるかを知るために、仙台市の住宅建設会社に対して標準仕様に関するアンケート調査を行った。調査の時期は1990年10月~1991年6月、回答数は25件である。表2に、各部位の壁体構成から算出される熱貫流率を、測定対象住戸を含めて比較した結果を示す。各部位において、8住戸

表2 熱貫流率に関する対象住戸とアンケート結果の比較

熱貫流率 [kcal/m ² h℃]	外壁		床		天井	
	A	B	A	B	A	B
~0.3	1	1	1			
0.3~0.4	8	2	2	1	1	
0.4~0.5	7	3		1	18	4
0.5~0.6	6	2	7	2	1	1
0.6~0.7	3		3	1	4	3
0.7~0.8			3	2	1	
0.8~0.9			6	1		
0.9~1.0						
1.0~			3			
旧省エネ基準	0.7		0.7		0.6	
新省エネ基準	0.66		0.55		0.44	

A: アンケート調査結果(25件)

B: 測定対象住戸(8件)

の分布はアンケート調査結果の範囲内にあることがわかる。すなわち、今回測定の対象となった8住戸は、調査時期当時の標準的な仕様を用いた住戸であると言える。なお、宮城県の属する地域の省エネルギー基準値⁶⁾も併せて示したが、外壁と天井については、ほとんどすべての住戸及び標準仕様で旧基準値を上回っている。しかし、床については、調査した標準仕様で数件、実測対象住戸のうち3戸が旧基準値を下回っている。アンケート調査結果によれば、床の断熱材は、厚さ30mm前後のものが多く、他の部位に比べると若干軽視されているようである。

3. 気密性能の測定

3.1 測定の方法

気密性能は加圧法^{注3)}によって測定した⁷⁾。これは、発泡ポリスチレン板をはめ込んだ居間または和室の窓にダクトを貫通させ、室内側のダクト先端に送風機を接続して住戸内に空気を送り込み、そのときの室内外圧力差と通気量の関係から隙間量を推定するものである。

3.2 測定結果

各住戸とも台所、浴室、便所の換気扇をシールした場合とシールしない場合の二通りについて測定した。図2に、シールした場合の測定結果を示す。また、これらの測定結果から、隙間の相当開口面積 αA 、及び、延床面積 S 当たりの隙間の相当開口面積 $\alpha A/S$ を求めた結果を表3に示す。

換気扇をシールしない場合、 $\alpha A/S$ は、No.1の住戸が $16.4\text{cm}^2/\text{m}^2$ と最も大きく、No.2の住戸が $3\text{cm}^2/\text{m}^2$ と最も小さい。この2つの住戸を除くと、残りは、概ね $5\sim 7\text{cm}^2/\text{m}^2$

図2 気密性能の測定結果

表3 隙間の相当開口面積の算定結果

住戸 No.	シールをしない場合				換気扇をシールした場合				換気扇部分 の隙間 [cm²]	換気扇部分 の隙間の 割合 [%]
	n	Q_0 [m³/h]	αA [cm²]	$\alpha A/S$ [cm²/m²]	n	Q_0 [m³/h]	αA [cm²]	$\alpha A/S$ [cm²/m²]		
1	1.7	3021.5	2084.8	16.35	1.8	2757.4	1902.6	14.92	182.2	8.7
2	1.3	564.6	386.6	3.02	0.9	317.6	219.1	1.7	167.5	43.3
3	1.4	1211.4	835.9	6.5	1.4	1107.3	764	5.94	71.9	8.6
4	1.4	992.8	685	5.29	1.3	923.9	637.5	4.93	47.5	6.9
5	1.5	918.4	633.7	4.89	1.4	786.5	542.7	4.19	91	14.3
6	1.3	994.5	686.2	5.47	1.3	895.9	618.9	4.94	67.3	9.8
7	1.4	1345.2	928.2	7.36	1.5	1298.4	895.9	7.1	32.3	3.5
8	1.3	1310.8	904.5	6.96	1.4	1185.3	817.9	6.29	86.6	9.6

註)ただし、n:隙間の特性値、 Q_0 :室内外差圧が 1mmAq のときの流量
 αA :隙間の相当開口面積、 S :延床面積

図3 気密性能のグレード

であるから、No.1の住戸だけ、他よりも特に大きな値となっていることが判る。No.1は在来木造軸組工法、No.2はツーバイフォーの枠組壁工法の住戸である。また、換気扇をシールした場合とシールしない場合の測定結果から、換気扇部分の隙間量を見積もると、 $32\sim 182\text{cm}^2/\text{m}^2$ に分布している。No.1の住戸の換気扇部分の隙間量は 182cm^2 と最も大きく、全体の隙間量の約9%を占める。次いでNo.2の住戸が 167cm^2 と大きい、この住戸の場合は、気密性能が高いため、換気扇の隙間が住戸全体の隙間量の43%と約半分を占める。

以上の結果を過去の測定結果⁹⁾と比較すると、図3のようになる。これによれば、今回測定した住宅の気密性能は、換気扇のシールをした場合、グレード2~5、シールをしない場合、グレード3~5に分布している。

4. 熱損失係数の測定

4.1 測定方法

日本工業規格案「現場における部屋の暖房用熱損失係数測定方法」に基づいて実測する^{注4)}。この方法では、暖房を行ったときの室温とそのときの外乱及び暖房出力の測定結果から熱損失係数を求めることが基本となっている^{10), 11)}。したがって、求められた値には、貫流と換気による損失熱量が含まれているので、今回は、後述する方法で換気による熱損失分を除いて、設計図書より求めた値と比較する。

測定は、当初、室内発熱に電気温風ヒーターを用いて8棟全部同時に行う計画であったが、いくつかの住戸で電気容量が不十分だったため、隣接住戸の電源も利用できるように、2回に分けて行った。ただし、No.1の住戸のみ2回とも測定し、その結果を比較することとした。1回目の同時測定の対象は、No.1, 2, 3, 4, 5の5棟、2回目は、No.1, 6, 7, 8の4棟である。いずれの住戸も竣工直後で室内に家具等はない。ヒーターは、定格出力600Wのものを、1住戸につき9台使用した。設置箇所は、各居室と台所、玄関ホールなどである。また、建物内の室温が一樣になるように、すべてのドアを開け、ファンとフレキシブルダクトを用いて屋内の空気を攪拌した。図4に、対象住宅の平面図と、ヒーターやフレキシブルダクトの設置状況などの一例を示す。なお、各住戸とも、北面を除くガラス面の外気側にアルミ箔で被覆されたシート(厚さ約2mm)を設置し、日射を遮蔽した。ただし、シートはガラス面には密着させず、風が通るように設置した。

測定は、ファンの運転開始と同時に開始し、暖房停止後の室温が十分減衰したところで終了するものとした。測定項目は、各室床上1.2mのグローブ温度(1住戸につき6点)、外気温、水平面全天日射量、各方向の相当外気温(SAT計による)など、総計75点で、道路脇の計測車の中に

図4 対象住宅の平面図とヒータ等の設置状況の一例

置いた多点記録計とマイクロコンピュータを用いて10分おきに自動収録した。温度の測定には $0.3\phi\text{CC}$ 熱電対、日射量の測定には太陽電池式日射計を用いた。ヒーターの電力消費量は、各棟に設置されている積算電力計の値を2時間おきに読み取った。また、換気による熱損失の推定のため、同一敷地内の地上8mの風向風速と、一住戸(No.3)を対象とした各壁面の風圧も測定した。風向風速の測定には風杯型風向風速計、風圧の測定には風圧板と精密微差圧計を用いた。SAT計や風向風速計などの設置場所は、図1に示した通りである。表4に、以上の測定項目をまとめて示す。

4.2 室内グローブ温度の測定結果

図5に、1回目の測定から、No.5の住戸における各室グローブ温度の測定結果を示す。この期間、天候は雨ときどき曇りで、外気温は $3\sim 8^{\circ}\text{C}$ の範囲で比較的安定しており、SAT温度も、変動の大きかった南側で日中最大 17°C 程度と、日射量が少なかったことを示している。各室のグローブ温度は、いずれも、午後9時に暖房が開始されると、その直後は急激に上昇するが、徐々に緩やかになり、約24時間後に、 $18\sim 20^{\circ}\text{C}$ でほぼ定常に達している。ただし、その後は、外気温が下がったため、暖房している

表4 測定項目

測定項目	測定機器	測定期間
水平面日射量	太陽電池式日射計	平成2年4月 14日~17日 (住戸 No.1,2,3,4,5)
外気温	C-C熱電対	
各方位の相当外気温	SAT計	
各室のグローブ温度	グローブ球	
ヒートの電力消費量	積算電力計	平成2年4月 17日~19日 (住戸 No.1,6,7,8)
外部風向風速	風杯型風向風速計	
外壁面風圧	風圧板と微差圧計

図5 No.5の住戸における各室グローブ温度の測定結果

図6 1回目の測定における平均グローブ温度

図7 2回目の測定における平均グローブ温度

にもかかわらず室温も若干下がっている。暖房時、部屋の中では2階和室の温度が最も高く、1階居間と玄関ホールが最も低い。これは、部屋の容積および位置の違いと家屋内空気攪拌の不完全さによるものと思われる。しかし、その差は約2°Cと小さい。室温安定時の室内外温度差は、平均して約15°Cである。また、明け方の午前6時に暖房が停止されると、室温は急激に降下し、6時間後で11.5~13°C、約24時間後の測定終了時で8~9°Cまで下がった。いずれにしても、室間の違いは小さかった。

この、暖房時における各室のグローブ温度のばらつきは、他の住戸についても同様で、室内空気の攪拌により、ばらつきの最も大きい住戸(No.2)で、最大3.4°C、最も小さい住戸(No.6)で、最大1.8°Cと、小さく抑えられていることを別途確認した。

以上のグローブ温度の測定結果を、各室の床面積で加重平均してその住戸の平均グローブ温度とし、同時測定

した住戸間の比較をしたのが、図6、図7である。それぞれ、1回目と2回目における測定結果を示している。測定期間は、1回目が、あしかけ4日間、2回目が3日間で、電気ヒーターによる暖房時間は、それぞれ、33時間、29時間である。ヒーターの運転停止時刻は、各住戸の室温(平均グローブ温度)の変動が定常に近づくのを待って現場で決定した。

いずれの測定においても、暖房と室温と外乱の関係の全体的な傾向は、前述した No.5の住戸の場合と同じであるが、室温の変化の様子は住戸によって異なり、住戸ごとの熱性能の違いが明瞭に現れている。1回目の図6によれば、暖房開始から9時間ほどは住戸間に顕著な違いはみられないが、その後徐々に違いが現れ、暖房停止直前で見ると、室温が最も高くなった No.2, No.4の住戸と、最も低いNo.1の住戸の差は、3°Cに達している。No.1の住戸は、暖房停止後の温度降下の程度も最も大きい。2回目

も同様の傾向がみられるが、図7によれば、暖房停止直前の温度は、No.7の住戸が最も高く、No.1とNo.8の住戸が最も低い。

図6と図7を比較すると、暖房停止後の気象条件が両者で全く異なり、1回目のときは外気温の上昇が殆ど室温に影響を及ぼしておらず、室温は翌日の朝まで降下している。一方、2回目の測定では、暖房を停止した翌日は天候が良く外気温の上昇が急激であり、それに伴って室温も上昇している。これらの気象条件の違いが、住戸の熱性能の推定結果にどのように影響するかについては、No.1の住戸の結果の比較より明らかにされる。

また、ヒーターの電力消費量は、各住戸の積算電力計より求めているが、各住戸とも同じ温風ヒーターを同じ数だけ運転したにもかかわらず、電圧降下の違いなどによりばらつきがみられ、単位時間あたりの熱量換算で、4144 kcal/h (No.5)～4561 kcal/h (No.7)の範囲に分布した。

4.3 熱損失係数の算定結果

以上の測定結果に基づいて算出した各住戸の熱的特性値を表5に示す。これらの値の算出にあたっては、室内の発熱として、空気搅拌用ファンやモニター用温度記録計などからの発熱はヒータの出力の4%以下と小さかったため、温風ヒータによる発熱のみを採用した。なお、1回目の測定では、北面SAT温度が欠測したため、計算に用いたSAT温度は5点であった。

1回目の測定結果では、床面積あたりの熱損失係数1.74~2.55kcal/m²h°C、熱容量5031~5488kcal/°C、室温変動率0.041~0.0651/hであるのに対して、2回目の結果では、熱損失係数2.30~3.08kcal/m²h°C、熱容量2662~3245kcal/°C、室温変動率0.092~0.1481/hである。すなわち、2回目に測定した住戸の方が1回目に測定した住戸に比べて、熱損失係数と室温変動率の値は大きく、熱容量は小さく計算された。いずれの測定でも、熱損失係数は、2回測定したNo.1の住戸が最も大きかったが、その、No.1の住戸の結果についてみても、2回目は1回目に対して、熱損失係数では21%大きく、熱容量では47%小さくなっている。したがっ

て、何らかの理由で、2回目の方が熱損失係数は大きめに、熱容量は小さめに測定されたものとみてよい。換気による熱損失は、風速が異なっていれば影響するが、2回目の方が風速は小さく、熱損失に対する影響は逆に現れている。

この測定結果の違いについては、先に述べたように、1回目と2回目の測定では、気象条件が異なるから、その影響が最も大きな原因として考えられるが、今回の場合は、暖房停止後の室温と外気温の関係の違いも大きいように思われる。すなわち、1回目の測定では、外気温の上昇時に暖房を停止したのに対して、2回目の測定では、外気温の下降時に暖房を停止しており、この結果、暖房停止後の室温降下は1回目の方が2回目よりも緩やかになった。1回目より2回目の方が大きいという室温変動率の推定結果は、この室温降下の違いによるものと推察される。

このほか1回目の測定と2回目の測定では、(1)暖房時間の長さ、(2)暖房停止後の時間の長さ、の2点が異なっている。また、今回は、測定期間の制約から、1回目、2回目とも、暖房開始以前の時間を多くとることができなかったが、この時間のとり方も、2回の測定では異なっている。今後、以上のような条件の違いに着目した測定と検討が必要であろう^{注5)}。

5. 換気による熱損失を除いた熱損失係数の推定

実測結果から求めた熱損失係数には換気による熱損失分が含まれている。そこで、気密性能の実測結果(換気扇にシールをしない状態)を用いて毎時の換気量を算出し、期間平均の換気量から室内外温度差1°Cのときの損失熱量を求めて、それを先に測定した熱損失係数から差し引き、換気による熱損失分を除いた熱損失係数を推定した。

換気計算は、建物全体を1室とみなして行った。隙間は、各階各方位の外壁上下2ヶ所、および天井面と床面

表5 各住戸における熱損失係数の算出結果

	住戸 No.	計算に用いた データの数	ヒータ加熱量 [kcal/h]	室温変動率 [1/h]	熱損失係数KA [kcal/h°C]	床面積当たりKA [kcal/m ² h°C]	熱容量 [kcal/°C]
1 回 目	1	外気温 1点 SAT温度 5点 室温 1点 (400個/点)	4479	0.065	327	2.55	5030.8
	2		4309	0.041	225	1.74	5487.8
	3		4546	0.053	268	2.08	5056.6
	4		4438	0.047	252	1.95	5361.7
	5		4144	0.047	251	1.93	5340.4
2 回 目	1	外気温 1点 SAT温度 6点 室温 1点 (250個/点)	4518	0.148	394	3.08	2662.2
	6		4500	0.106	344	2.75	3245.3
	7		4561	0.092	290	2.30	3152.2
	8		4347	0.112	346	2.66	3089.3

表6 各壁面の室内外圧力差係数

	室内外圧力差係数	
	1回目	2回目
北	0.48	0.35
東	-0.20	-0.25
南	-0.21	-0.25
西	0.30	-0.31
天井	0.07	0.07
床下	-0.18	-0.19

1ヶ所ずつの開口に置き換え、その面積は、気密性能の実測結果を基に外壁面積に応じて設定した。なお、実測結果によれば、換気扇の隙間が相対的に大きな割合を占める住戸もあったが、今回は、隙間の設定の際に換気扇は考慮しなかった。換気量は、ニュートンラフソン法を用いた収束計算¹¹⁾により室内圧と各開口の流量を算出し、1時間ごとに求める。計算に使用するデータは、室温、外気温、外部風速の1時間ごとの実測値である。風向については、この期間中の主風向は北であったことから、北向き一定とした。また、No.3の住戸の風圧板における室内圧基準の風圧の測定値より、表6に示すような各壁面ごとの室内外の圧力差係数を求め、これを風圧係数とした。No.3の住戸は、両隣が他の住戸にはさまれており8棟の両端の住戸の風圧係数とは異なるが、今回は、それぞれの測定期間ごとにすべての住戸で風圧係数は同一とした。

表7に、測定期間中における各住戸の平均換気量とそれによる熱損失を除いた熱損失係数の算出結果を示す。

換気量は、当然のことながら気密性能の測定結果に対応している。最も気密性能が低いNo.1の住戸の換気量は、1回目383m³/h、2回目337m³/hと、8棟の中では最も大きく推定され、これは、最も気密性能が高いNo.2の住戸の換気量の約7倍の値となっている。

換気による熱損失を除いた床面積当たりの熱損失係数は、1.62~2.58kcal/m²h²と計算された。全熱損失係数に占める換気負荷の割合は、No.1の住戸が1回目34%、2回目25%と最も大きく、No.2とNo.6の住戸が6%と最も小さかった。その他の住戸の換気負荷の大きさは、8~14%に分布している。熱損失量の低減における気密性能の重要性が示唆されていると言える。

図8は、8住戸について、設計図書から得られる熱損失係数の概算値と今回測定した熱損失係数を比較したものである。今回測定したものについては、換気を含めたものと換気を除いたものの両方を示した。No.2の住戸が設計値と測定値ではほぼ一致している他は、両者は上下にばらついている。すなわち、1回目の測定住戸は設計値より測定値の方が小さく、2回目の測定住戸は、No.1を除いて、設計値より測定値の方が大きく見積もられていることが判る。とくに、No.4とNo.7の住戸の違いが大きく、換気による熱損失を除いた値では、No.4の住戸は設計値より31%小さく、No.7の住戸は設計値より39%大きく測定される結果となった。しかし、これらを除くと、対象住戸の熱損失係数は、概ね、設計値の±15%の範囲に測定されていた。

6. 結語

仙台市北部の新興団地に並び建つ8戸の戸建住宅を対象として、熱損失係数に関する現場測定を行った。結果を

表7 換気熱損失分を除いた熱損失係数

	住戸 No.	床面積当たり KA[kcal/m ² h ²]	換気量 [m ³ /h]	換気分を除いた KA[kcal/m ² h ²]
1 回目	1	2.55	383	1.69
	2	1.74	56	1.62
	3	2.08	133	1.78
	4	1.95	104	1.72
	5	1.93	104	1.70
2 回目	1	3.08	337	2.32
	6	2.75	73	2.58
	7	2.30	121	2.03
	8	2.66	90	2.46

図8 測定値と設計値との比較

まとめると以下の通りである。

- (1) 住宅の気密性能は、延床面積当たりの相当開口面積が3.0~16.4cm²/m²に分布した。気密性能のグレードとしては、北海道を除くわが国の戸建住宅のほぼ平均的なグレードに位置していた。相当開口面積の最も大きな住戸は在来木造軸組工法であり、住宅の気密性能には、建物の構造が大きく影響していることが推定された。
- (2) 熱損失係数の測定は、数戸ずつ2回に分けて同時に行ったが、その結果、1回目1.74~2.55kcal/m²h²、2回目2.30~3.08kcal/m²h²と、2回目に測定した住戸の方が1回目に測定した住戸より大きく測定される傾向がみられた。2回測定した住戸の熱損失係数についてみても、2回目の測定結果の方が1回目より21%大きかった。これらについては、気象条件の違いに加えて、暖房停止時刻の選び方や暖房時間の長さなど、測定条件の違いが原因として推察された。
- (3) 気密性能の実測結果に基づき換気量を計算し、換気による熱損失分を除いた熱損失係数を推定した。全熱損失係数に占める換気負荷の割合は、最も大きな住戸で約30%、最も小さい住戸で6%、その他は8~14%に分布した。この換気分を除いた熱損失係数を、設計図書よ

り見積もった貫流分だけの熱損失係数の概算値と比較したところ、8棟のうち5棟が設計値の±15%の範囲に入っていた。

あとがき

本研究を行うにあたっては、(株)ミサワホーム総合研究所にご協力、ご援助を頂いた。測定にあたっては、宮城工業高等専門学校助教授 内海康雄氏、東北大学技官 佐々木耕一氏、大成建設(株)豊原範之氏(当時東北大学大学院生)らに多大なるご協力を頂いた。また、本論文をまとめるにあたっては、(株)日本設計 由良仁志氏(当時東北大学大学院生)、東北大学大学院生 長谷川兼一君に多くの労を煩わせた。ここに記して深甚なる謝意を表する次第です。

注

- 1) 本論文は、既に発表している文献(1)に対して、さらに考察を加え、修正、加筆したものである。
- 2) 設計図書に基づく熱損失係数 KA は、住宅内をすべて居室とみなして、次式で算出した。ここでは、換気による熱損失が不明なため、貫流熱損失のみを対象としている。

$$KA = \sum \frac{A_j K_j H_j}{S} \quad (2.1)$$

ここに、 A_j は、 j 部位の外気、床裏または外気に通じる小屋裏もしくは天井裏に面する面積(m^2)、 K_j は、 j 部位の熱貫流率($kcal/m^2h^{\circ}C$)、 H_j は、 j 部位が床裏に接する場合0.6、そのほかは1.0、 S は、床面積の合計(m^2)である。熱貫流率の算出にあたっては、内外表面の総合熱伝達率は、それぞれ、8.0、20.0(いずれも $kcal/m^2h^{\circ}C$)とした。

- 3) 気密性能の測定法には、室内を負圧にする減圧法もあるが、既往の研究⁹⁾によれば、減圧法の結果は加圧法に比べて漏気量が減少する傾向にあり、その差は約10%程度といわれている。本論文5章では、気密性能の結果に基づいて換気量を推定するが、その場合には、換気計算に関わる諸要素の測定精度から考えて、加圧法と減圧法の違いの影響はそれほど大きくはないと思われる。
- 4) 日本工業規格(案)「現場における部屋の暖房用総熱損失係数測定方法」は、もともと、住宅内の一室、もしくは同一住宅内の数室を同時に暖房する場合の部屋の暖房用総熱損失係数を、現場において測定する方法を規定したものであるが、本実測は、これを住宅全体を一室とみなした場合に適用したものである。以下に、この方法における熱損失係数の求め方の概要を示す。詳細は、文献(3)、(10)、(11)を参照されたい。

いま、熱損失係数を求めようとする空間において、ある時刻以後、急に H $kcal/h$ の暖房を継続したとき、これによる室温 $\theta_H(t)$ は、

$$\theta_H(t) = B_{H1} + B_{H2}(1 - e^{-\lambda_2 t}) + B_{H3}(1 - e^{-\lambda_3 t}) + \dots + B_{H\infty}(1 - e^{-\lambda_{\infty} t}) \quad (4.1)$$

という無限多項式になる。ここでは、これを次のように近似する。

$$\theta_H(t) = B_{H1} + B_{H2}(1 - e^{-\lambda t}) \quad (4.2)$$

一方、外気温や日射などの外乱がステップ状に変動したときの応答関数を、暖房の場合と同様に、

$$\phi(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4.3)$$

と近似すると、この式によって、各方位の外乱の影響で生じる室温をそれぞれ表現できることになる。実際の室温は、暖房による室温と各外乱による室温の和と考えられるから、これと観測された室温との間に最小自乗法を適用すれば、未知数 λ 、 B_{H1} 、 B_{H2} が算出される。ここに、 λ は室温変動率に相当し、総熱損失係数 KA を対象空間の熱容量で除した値である。

以上が求まれば、 $t \rightarrow \infty$ の定常状態では、

$$\theta_H(t) = B_{H1} + B_{H2} \quad (4.4)$$

となるから、暖房用総熱損失係数の定義(外気温が $0^{\circ}C$ のとき、建物の中を $1^{\circ}C$ にするための定常状態における毎時の必要熱量)より、 KA は、

$$KA = \frac{H}{B_{H1} + B_{H2}} \quad (4.5)$$

となる。これを延床面積で割れば、その値は、住宅の省エネルギー基準でいうところの熱損失係数に相当する。

- 5) 付表1に、暖房停止後の時間のとり方について、1回目の測定とときの時間(データ個数)を2回目の測定と同じにして計算した結果を示す。1回目に測定した5つの住戸とも、熱損失係数などの熱的特性値が、先に示した値よりも2回目に測定した住戸のそれに近い値に計算されている。2回測定したNo.1の住戸についてみれば、熱損失係数は概ね一致している。しかし、熱容量は、なお25%小さい。いずれにしても、暖房停止後のデータ個数のとり方が結果に大きく影響していることが判る。その他の時刻の選び方とデータ個数のとり方の影響については、今回の測定からは検討できず、今後の課題である。

付表1 各住戸における熱損失係数の算出結果

	住戸 No.	室温変動率 [1/h]	熱損失係数KA [kcal/h $^{\circ}C$]	床面積当たりKA [kcal/m $2h^{\circ}C$]	熱容量 [kcal/ $^{\circ}C$]
1 回 目	1	0.106	379	2.96	3575.5
	2	0.053	256	1.98	4830.2
	3	0.077	313	2.43	4064.9
	4	0.059	281	2.18	4762.7
	5	0.065	295	2.27	4538.5
2 回 目	1	0.148	394	3.08	2662.2
	6	0.106	344	2.75	3245.3
	7	0.092	290	2.30	3152.2
	8	0.112	346	2.66	3089.3

参考文献

- 1) 石川善美、長友宗重、吉野 博、松本真一、豊原範之：複数の住戸を対象とした暖房用熱損失係数の同時測定、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.755~756、1990.10.
- 2) 日本工業規格(案)：現場における部屋の暖房用熱損失係数測定方法および付属書「現場における部屋の暖房用熱損失係数の計算方法」および解説(案)、1983.6.
- 3) 長谷川房雄、木村建一、吉野 博、石川善美、松本 博：パッシブソーラーシステム試験家屋の熱的性能と基礎実験、日本建築学会計画系論文報告集、第361号、pp.21~30、1986.3.
- 4) 長谷川房雄、木村建一、吉野 博、石川善美、松本 博：パッシブソーラーシステム試験家屋を用いた蓄熱床方式に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文報告集、第366号、pp.33~41、1986.8.
- 5) 通産省・建設省告示第1号：住宅に係わるエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断の基準、1980.2.
- 6) 建設省住宅局住宅生産課監修：新省エネルギー基準と指針、(財)住宅・建築省エネルギー機構、1992.4.
- 7) 村上周三、吉野 博：住宅の気密性能に関する研究、日本建築学会論文報告集、第325号、pp.104~115、1983.3.
- 8) 金 竣登、長友宗重、吉野 博、赤林伸一：気密性能の測定における加圧法と減圧法の比較、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.615~616、1992.8.
- 9) 吉野 博：住宅の気密性能とその基準に関する動向調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.561~562、1990.10.
- 10) 松尾 陽：測定に基づく室温予測および暖房性能の評価法について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.337~338、1976.10.
- 11) 松尾 陽、斎藤平蔵：現場測定にもとづく住宅熱特性の推定、日本建築学会環境工学論文集、第3号、pp.13~18、1981.4.
- 12) 長谷川房雄、石川善美、水口広隆：電算機を用いた換気計算について - 開口の特性がグラフ又は数表で表される場合の取り扱い -、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.245~246、1975.10.

(1994年11月10日原稿受理、1995年4月20日採用決定)