熱容量の異なる木質壁体の熱的特性に基づく 住宅の省エネルギー効果^{*1}

山崎真理子^{*2}, 平野佳祐^{*3}, 佐々木康寿^{*4}, 水谷章夫^{*5},
崔 哲^{*5}, 榊原勝己^{*6}

Influence of Wall Composition on Thermo-Physical Properties and Energy-Saving in Wooden Houses^{*1}

Mariko YAMASAKI^{*2}, Yoshihiro HIRANO^{*3}, Yasutoshi SASAKI^{*4},
Akio MIZUTANI^{*5}, Zhe CUI^{*5} and Katsumi SAKAKIBARA^{*6}

As one of the countermeasures against global warming, it is effective to make use of wood resources that serve as carbon storage and improve energy-saving efficiency of buildings. In this study, it is examined how the wall composition of a wooden house affects indoor thermal environments and its energy-saving effects. Three types of wooden wall panels with different compositions are used to examine each type's thermo-physical properties by JIS-compliant tests as well as large-scale tests with experimental buildings. Moreover, power consumption of a heated building was also measured in order to make clear the effect of the wall composition of a wooden house on energy-saving. The obtained results are as follows: 1. Coefficients of overall heat transmission were qualitatively larger in the following order: general mud wall > wall composed of wood and mud > wall primarily composed of heat insulating material. 2. The air-conditioner's power consumption was larger in the following order: house with mud walls > house with walls composed of wood and mud > insulation-type house. As the temperature difference between indoors and outdoors increased, this tendency became more notable. 3. In the cases of insulation-type houses, the ratio of electric power consumption for heating to temperature difference between indoors and outdoors was generally constant, while in the case of a house with walls composed of wood and mud or with mud walls, the ratio was not constant, denoting the effect of heat capacity. 4. The compound wall of Japanese cedar and mud showed a better heat insulation property than the mud wall, and its energy-saving effect was improved.

Keywords: wooden house, wall composition, thermo-physical properties, insulation efficiency, energy-saving.

地球温暖化対策の一つとして、炭素貯蔵機能を有する木材の利用と建物の省エネルギー性の向上は有効な手段である。本研究では、木造住宅の壁体構成が室内熱環境に及ぼす影響を調べ、省エネルギー効果を検証した。具体的には、構成が異なる3種類の木質壁体を対象に、それぞれの熱物性をJIS準拠試験と実験建物を用いた大型試験により調べた。さらに、建物の暖房時の消費電力を測定し、壁体構成が省エネルギー効果に及ぼす影響を検証した。得られた知見は次の通りである。1. 熱貫流率は、一般的な土壁>木材と土壁を複合させた壁体>断熱材を主とする壁体の順に大きい。2. エアコンの消費電力は、土壁住宅>木材・土複合壁体の住宅>断熱型住宅の順に大きく、この傾向は室内外温度差が大きくなるほど顕著に現れた。3. 断熱型住宅の場合には暖房消費電力/室内外温度差の比が概ね一定となった。一方、木材・土複合壁体の住宅および土壁住宅ではこの比が一定とならず、熱容量の影響が見受けられた。4. 木材・土壁複合壁体は土壁と比べて断熱性能が改善されており、これに伴い省エネルギー効果が認められた。

^{*1} Received May 30, 2008; accepted July 23, 2008. 本研究の一部は、第58回日本木材学会大会(2008年3月、つくば)において発表した。^{*2} 岐阜工業高等専門学校 Gifu National College of Technology, Motosu 501-0495, Japan ^{*3} 名古屋大学農学部 Faculty of Agriculture, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan ^{*4} 名古屋大学大学院生命農学研究科 Graduate School of Bioagricultural sciences, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan ^{*5} 名古屋工業大学大学院工学研究科 Graduate School of Technology, Nagoya Institute of Technology, Nagoya 466-8555, Japan ^{*6} 株式会社明城 Meijyo Co. Ltd., Anjo 444-1202, Japan

1. 緒 言

一般に、木材・木質材料・木造建物は優れた断熱性や吸放湿性を有すると考えられており、これに関して既に多くの研究がなされている^{例えは1-12)}。特に、住宅の壁体を対象とした研究では、麓らが枠組壁工法の壁体寸法に近い各種の木質試験壁体を対象として、保護熱箱方式の実験によりその熱物性を明らかにしている⁴⁾。また、信田らは木質パネル工法における壁内温度分布および壁体の熱物性を現場測定により明らかとした^{6,7)}。ただし、住宅内の居住温熱環境は建物仕様・室容積・気密性・断熱性などの内的要因と、気候・方角・周辺環境などの外的要因が複雑に絡み合って形成されるために、例えば壁体単体の特性や一壁体の住宅モデルなど個々の特性を単に追求するだけでは、木質住宅の温熱環境に対して総合的な評価を与えることは難しい。

近年、地球規模で問題となっている温暖化への対策として、省エネルギー性能の向上や、炭素固定・炭素貯蔵機能を有する木材の利用は有効であり、この観点から、木造住宅の断熱性能や冷暖房負荷に対する性能を改めて評価することが重要である。木造工法の中には、主に土壁や板壁を用いた伝統工法住宅がある一方で、近年多く建設されている高気密・高断熱型住宅があり、両者の特徴には様々な違いがある。環境負荷の観点で見れば、断熱性能に優れた現代型住宅の方が高い省エネルギー効果を示すと考えられるが、伝統工法住宅は天然素材を利用している点で建材自体の低環境負荷性に優れている。今後の木造住宅のあり方を考えると、伝統工法住宅と現代型住宅それぞれの長所を融合させていくことが重要であり、そのためにも両者の性能を同一実験で比較、検討し、その差異を明確にすることは意義がある。

そこで、本研究では、同一の室容積・外的条件下の木造実大実験建物3棟（伝統的な土壁建物、現代的な断熱型建物、木材と土壁を併用した天然素材仕

様の建物）を建築し、建材や仕様が居住環境、特に温湿度環境に及ぼす影響を検討している¹³⁻¹⁶⁾。

本報では、特に壁体構成に焦点を絞り、壁体の熱的特性を基に暖房時の消費電力量を検証し、木造住宅の壁体構成と省エネルギー効果との関係調べることを目的とした。すなわち、まず、小試験体を対象とした熱伝導率測定試験（JIS A 1412-2-1999 準拠）、および実験建物を対象とした大型熱伝導率測定試験を行い、各壁体の熱物性を測定した。さらに、実験建物の暖房時の温度変動と消費電力量を調べた。

2. 試験方法

2.1 壁体構成

本実験で用いた壁体は、板壁と土壁を複合させた壁体（以後、Type 1 とする）、一般的な土壁（同 Type 2）、現在広く普及している一般的な断熱型住宅仕様の壁体（同 Type 3）の3種類である。各壁体の構成を Table 1 に、壁体のサンプル断面写真を Fig. 1 に示す。3種類の壁体は特に内部構成が大きく異なっており、Type 1 は40 mm 厚スギ（*Cryptomeria japonica*）板+40 mm 厚土壁から、Type 2 は70 mm 厚の土壁から成り、また Type 3 は内部に100 mm 厚グラスウール断熱材（密度16 kg/m³）を配した断熱性能の高い壁体構成となっている。

2.2 熱物性の測定

2.2.1 JIS 準拠試験

各壁体の熱物性を調べるために、「JIS A 1412-2-1999 熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法－第2部：熱流計法（HFM 法）」に準拠して小試験体を対象とした測定を行った。小試験体の寸法は、外寸360×360 mm²、壁体部300×300 mm²であり、厚さは80 mm（Type 2 のスギ下見板が無い場合）～125 mm（Type 3）である。試験体は作成後3ヶ月以上恒温恒湿の実験室内で養生した。壁体の外周4面は30 mm 厚のヒノキ材枠で囲った。実験では、Fig. 2 に示すように加熱板（180 Ω）を同種試験体2体で

Table 1. Wall structure of JIS-specimens and experimental wooden houses.

	Type 1		Type 2		Type 3	
	Material	Thickness (mm)	Material	Thickness (mm)	Material	Thickness (mm)
Inner side	Mud ^{a)}	10	Mud ^{a)}	10	Plaster board	12
	Lumber	40	Mud ^{b)}	70	Glass wool	100
	Mud ^{b)}	40	Lumber ^{c)}	(8-9)		
	Waterproof sheet	1	Waterproof sheet	1	Waterproof sheet	1
Outer side	Lumber ^{d)}	5-15	Lumber ^{d)}	5-15	Siding board	12

Note : ^{a)} Intermediate coat. ^{b)} Scratch coat. ^{c)} Lath wood. ^{d)} Clapboard.

Fig. 1. Cross sectional view of wall samples.

Fig. 2. Specimen set-up of the JIS-compliant test.
Legend: 1: Wall specimen with wood frame, 2: Heater, 3: Thermocouple (T-type), 4: Heat insulator.
Note: Temperature of both surfaces of each wall specimen and heater was measured.

挟み、試験体外側表面を除く外周4面（ヒノキ材枠面）を押し発砲ポリスチレンフォーム断熱材（厚さ50mm）で断熱した。実験装置の写真をFig. 3に示す。加熱は電圧制御とし、加熱板の表面温度が70℃を超えないように設定した。測定項目は加熱板の消費電力、加熱板中央の表面温度、試験体2体それぞれの内側（加熱板側）および外側（室内側）中央の表面温度、および実験室内の温度であり、測定間隔は実験開始後しばらくは10分、温度上昇が緩やかになった後は30分とした。消費電力は電力計（HIOKI製デジタルパワーハイテスタ3181-02）を用いて、また温度はJIS T型熱電対と温度データロガー（ADVANTEST製マルチチャンネルデジタルレコーダーTR2724）を用いて測定した。実験は恒温実験室内（平均室温22.2℃）で行った。

2.2.2 大型試験

実大木質壁体を対象とした熱物性試験として、麓

Fig. 3. Measuring device of the JIS-compliant test.
Legend: 1: Specimen, 2: Thermocouple (T-type), 3: Heat insulator, 4: Data logger for temperature, 5: Data logger for electric power, 6: Transformer.

らが実験室内で行った保護熱箱法による測定¹⁾や信田が行った現場測定²⁾がある。本研究で実施した試験法は現場測定であるが、信田が室内外の温度差を強制的に設け、その際の壁体通過熱量を熱流素子により測定したのとは異なり、平板加熱法による大型熱伝導率測定試験を準拠した。

具体的には、JIS準拠試験で用いた壁体構成と同一の壁体構成（詳細はTable 1に示すとおり）を有する木造実験建物3棟（Fig. 4）を対象として、実大壁体の熱貫流率を測定した。実験建物は愛知県安城市の同一敷地内に立地し、躯体構造および室容積（床面積4×4m²、天井高2.8m）は同一である。屋根はType 1およびType 2では日本瓦＋土葺き（70mm厚）、Type 3では洋瓦葺きである。加熱板には一般家庭用のホットカーペットを用い、各建物の東面内壁の1畳分を直接加熱した。Fig. 5にカーペッ

Fig. 4. Experimental houses.
Legend: SAT: Measurement of sol-air temperature.

Fig. 5. Arrangement of inner wall for the large-scale test with an experimental building, showing the measuring positions for temperature.

ト設置前の東面内壁の写真を示す。カーペットを写真中の木枠の中に嵌め込み、カーペットと木枠間の僅かな隙間を脱脂綿により充填した。Fig. 6には大型実験の断面模式図を示す。室内側への熱流を遮断するためにカーペットの室内側に硬質ウレタンフォーム断熱材（厚さ100 mm）を配した。加熱は電圧制御とし、加熱板の表面温度が70℃を超えないよう

Fig. 6. Vertical section of wall at the large-scale test, showing the measuring positions for temperature.
Legend: 1: Wall, 2: Heater of hot carpet rag, 3: Heat insulator, 4: Thermocouple (T-type), 5: Wood frame.

に設定した。測定項目はカーペットの消費電力、断熱材室内側表面温度（3箇所）、カーペット表面温度（9箇所）、内壁表面温度（9箇所）、外壁表面温度（3箇所）、および室内温度、外気温（百葉箱内温度）であり、測定間隔は10分とした。消費電力はクランプ電力計（HIOKI 製クランプオンパワーハイテスタ3169）を用いて、また温度はJIS T型熱電対と温度データロガー（江藤電気製フラッシュデータロガー・サーモダックF）を用いて測定した。大型試験の測定期間は、2007年12月21日から2008年1月9日とした。

なお、本試験では加熱面積が大きく、加熱面内に温度分布が生じると考えられることから、加熱時の内壁温度分布を赤外線サーモグラフィ（NEC 三栄製サーモトレーサ TH-9100）を用いて測定した。

2.3 暖房負荷試験

前節の大型試験を行った実験建物を対象として、建物の壁体構成が暖房負荷に及ぼす影響を検討するために、暖房時の建物内の温度変動と消費電力量を調べた。本実験では、全ての棟において、天井および床を断熱仕様とし、小屋裏換気口を塞ぎ、窓を遮光した。設置したエアコンはダイキン製ルームエアコン S28GTSS-W（エネルギー消費効率：冷房時5.77, 暖房時6.27）である。

暖房の設定温度は20, 24, 28℃の3条件とし、それぞれ3～5日間継続して暖房した。測定項目はエアコンの1時間毎の消費電力量、および10分毎の室内温度と外気温（百葉箱内温度）である。消費電力は電力計（埼玉エンジニアリング株式会社製省エネナビ P303型）を用いて、また温度は大型試験の場合と同様に測定した。試験期間は2008年2月23日から同年3月7日とした。

3. 結果と考察

3.1 壁体の温度変化および加熱面の温度分布

Fig. 7およびFig. 8に、JIS準拠試験、大型試験それぞれにおける温度変動の一例を示す。なお、Fig. 8では、各測定面の温度を面内の測定点3点ないし9点の平均値とした。

Fig. 7より、Type 1とType 2のそれぞれに熱量10 Wを与えた場合、Type 1では加熱板表面温度が60℃以上に、また試験体の内側表面温度は約45℃まで上昇したが、試験体の外側表面は室温とほぼ同じ温度で推移した。これに対して、Type 2では加熱板表面温度が約45℃までしか上昇せず、試験体の内側表面温度は38℃ではば一定となった。その外側表面温度は室温と比べて約5～8℃高くなった。一方、

Fig. 7. Examples of temperature changes obtained by the JIS-compliant test.

Type 3 については、わずか 3 W の熱量を与えただけで加熱板表面および試験体の内側表面温度が 55°C 付近まで上昇したが、試験体の外側表面温度は全く変化しなかった。以上のことから、まず、Type 3 では試験体両表面の温度差が大きく、すなわち壁体の断熱性が非常に大きいことが確かめられた。これに対して、Type 2 は両表面の温度差が小さいことから、壁体の断熱性は小さいことがわかる。Type 1 では、Type 2 と比べて両表面の温度差が大きいことから、断熱性は向上したと考えられる。一方、Type 3 と比べると、同じ実験経過時間であっても温度一定となっておらず、蓄熱の影響がかなり見受けられ

Fig. 8. Examples of temperature changes obtained by the large-scale test.

た。

Fig. 8 より大型試験の結果を見ると、Type 3 は Type 1 および Type 2 より少ない熱量でカーペット表面温度および内壁表面温度の上昇が著しく、両者の温度差が小さい。また、Type 1 と Type 2 を比較すると、同じ熱量を与えた場合に内壁表面の温度上昇は Type 1 の方が大きい。これらの傾向は、JIS 準拠試験の傾向と同様である。

Fig. 9 には、大型試験における内壁の加熱面内温度分布を熱画像により示す。上述のように、内壁温度は壁体により大きく異なる。ここでは各壁体の温度分布を明確にするために、壁体毎に温度表示の範

Fig. 9. Examples of temperature distribution of heated walls by the large-scale test.

囲を定めた。ただし、温度幅は15℃に統一した。Fig. 9に示すように、Type 3では明確な温度分布が認められた。これについて、Type 3の低温度部分は壁体内部に50 cm 間隔で配されている間柱位置と概ね一致している。これにより断熱材と木材の熱伝導率の違いから、すなわち木材が熱橋となって温度分布が生じたものと考えられる。これに対して、Type 2は加熱面内全体の温度分布が概ね均一である。また、Type 1はType 2に比べると加熱面内上部の温

度が高温になっている。この理由として加熱面内の空気層の対流による影響などが考えられ、さらに、Type 2と比べてType 1は壁体の断熱性が大いいため、加熱面内により明確な温度分布が生じたものと考えられる。

3.2 熱貫流率

JIS 準拠試験および大型試験の結果、得られた各壁体の熱物性値を Table 2 および Table 3 に示す。壁体表面の温度変動より定常状態と考えられる部分について、実験で測定した加熱板の発熱量 Q と壁体(試験体)の内-外表面温度差 $\Delta\theta$ から熱コンダクタンス C を求めた。算出式は、JIS 準拠試験、大型試験のそれぞれについて次式(1)、(2)で示される。式中、 A は加熱板の表面積(JIS 準拠試験 $A_j=0.09\text{ m}^2$ 、大型試験 $A_h=1.57\text{ m}^2$)である。

$$C = \frac{Q}{(\Delta\theta \cdot 2 \cdot A_j)} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right) \quad (1)$$

$$C = \frac{(Q - Q_i)}{(\Delta\theta \cdot A_h)} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right) \quad (2)$$

$$Q_i = \frac{\Delta\theta_i \cdot A_h}{2.5} (\text{W}) \quad (3)$$

大型試験については、式(2)に示すように室内側に配した断熱材から室内への流出熱量 Q_i を考慮した。ここで、 Q_i は断熱材の熱抵抗を2.5、加熱板の表面温度と断熱材の室内側表面温度との差を $\Delta\theta_i$ として、上式(3)により求めた。また、Fig. 9に示したように特にType 3では温度分布が見られるが、ここでは各測定面内の平均値を用いて算出した。大型試験では、日射などの外的環境により特に外壁表面温度が日内変動するので、定常に近い状態とみなすことができる夜間あるいは雨天・曇天時における測定値を用いて熱コンダクタンス C を求めた。

算出した熱コンダクタンス C より見かけの熱伝導率 λ を式(4)により、また熱貫流抵抗 R および熱貫流率 K を式(5)により求めた。式中、 d は壁体厚さである。また、 α_i は室内側熱伝達率($9\text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)、 α_0 は外気側熱伝達率($23\text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)として計算した。

$$\lambda = d \cdot C \left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right) \quad (4)$$

$$R = \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\sum_j \frac{d_j}{\lambda_j}} + \frac{1}{\alpha_0} \\ = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{C} + \frac{1}{\alpha_0}} \left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right) \quad (5)$$

さらに、式(5)に示す熱貫流抵抗の定義から熱貫流率の計算値(設計値)を算出し、これを Table 2 お

Table 2. Coefficients of overall heat transmission of small specimen by the JIS A 1412-2-compliant test.

Specimen No.	Condition		Thickness d (m)	Heat value Q (W)	$\Delta\theta^{a)}$ (°C)	$C^{b)}$ (W/m ² ·K)	$\lambda^{c)}$ (W/m·K)	K (W/m ² ·K) ^{d)}		$R^{e)}$ (m ² ·K/W)	$a^{f)}$ (m ² /h)
	Clapboard	Airspace						Experimental K_e	Calculated K_c		
Type 1	○	—	0.107	10	24.4	2.28	0.24	1.69	1.34	0.59	—
			0.107	15	34.8	2.40	0.26	1.75	1.34	0.57	—
	—	—	0.092	10	21.9	2.54	0.23	1.83	1.63	0.55	0.0015
			0.092	15	35.2	2.37	0.22	1.73	1.63	0.58	0.0015
Type 2	○	○	0.112	10	15.5	3.58	0.40	2.31	2.26	0.43	—
			0.112	15	25.5	3.27	0.37	2.17	2.26	0.46	—
	—	—	0.080	10	7.0	6.00	0.48	3.11	3.27	0.32	0.0029
			0.080	15	10.2	8.17	0.65	3.61	3.27	0.28	0.0029
Type 3	—	—	0.080	20	11.4	9.79	0.78	3.90	3.27	0.26	0.0029
			0.125	3	30.9	0.54	0.07	0.50	0.38	2.01	—

Note : ^{a)} Temperature difference on both surfaces of wall specimen. ^{b)} Thermal conductance. ^{c)} Thermal conductivity. ^{d)} Coefficients of overall heat transmission. ^{e)} Thermal resistance. ^{f)} Thermal diffusivity.

Table 3. Coefficients of overall heat transmission of walls by large-scale tests with experimental buildings.

Wall No.	Thickness d (m)	Heat value Q (W)	$Q - Q^{a)}$ (W)	$\Delta\theta^{b)}$ (°C)	$C^{c)}$ (W/m ² ·K)	$\lambda^{d)}$ (W/m·K)	K (W/m ² ·K) ^{e)}	
							Experimental K_e	Calculated K_c
Type 1	0.105	71.8	54.9	26.0	1.34	0.14	1.11	1.19
	0.105	83.2	63.9	27.6	1.47	0.15	1.20	1.19
	0.105	90.1	69.2	29.0	1.52	0.16	1.23	1.19
Type 2	0.095	68.7	53.1	19.9	1.70	0.16	1.35	1.63
	0.095	82.8	63.7	20.3	2.00	0.19	1.53	1.63
	0.095	89.8	69.0	21.0	2.10	0.20	1.58	1.63
Type 3	0.125	51.1	27.9	39.7	0.45	0.06	0.42	0.38
	0.125	52.4	28.8	44.6	0.41	0.05	0.39	0.38
	0.125	59.3	31.2	46.0	0.43	0.05	0.40	0.38

Note : ^{a)} Quantity of heat passing through the wall. ^{b)} Temperature difference on both surfaces of wall. ^{c)} Thermal conductance. ^{d)} Thermal conductivity. ^{e)} Coefficients of overall heat transmission.

よび Table 3 に併記した。この算出に際して各材料の熱伝導率 (W/m·K) は、スギ0.11, 土0.53, プラスターボード0.24, グラスウール0.043, サイディング0.15とし、空気層の等価熱伝導抵抗は0.09 m²·K/Wとした¹⁷⁾。

Table 2 より、JIS 準拠試験による熱貫流率の実験値 K_e は計算値 K_c と近い値を示した。また、Type 2 について、土壁のみ (スギ下見板なし) の場合の見かけの熱伝導率 λ は0.48~0.78 W/m·K であり、この値は既往の報告¹⁸⁾ と類似していることから、概ね妥当な実験値と考えている。しかし、熱貫流率が小さい Type 1 や Type 3 の場合には、実験値と計算値の差異がやや大きく、試験体の厚さ方向以外への損失熱量が影響したものと推察される。Table 2 に示すように、熱貫流率の大きさは Type 2 > Type 1 > Type 3 であった。すなわち、壁体の断熱性は Type 3, Type 1, Type 2 の順に優れている。Type 1 は Type 2 における土壁の一部 (30 mm 厚) をスギ板 (40 mm 厚)

に代えた壁体であるため、これにより熱伝導率が小さくなり、断熱性の改善につながったと考えられる。

Table 3 より、大型試験による熱貫流率の実験値 K_e と計算値 K_c (大型試験の Type 1, Type 2 については壁内部の空気層を考慮した) の間には、Table 2 の JIS 準拠試験の場合よりさらに良好な一致が認められた。JIS 準拠試験では加熱面積が壁体厚さの割に小さいために、わずかな測定値の変動が熱コンダクタンスの値に影響するが、その点で大型試験では加熱面積が大きいためにこの影響が小さくなり、結果的に良好な測定結果が得られたと考えられる。したがって、建物の壁体に対して有効な測定法と思われる。定性的には、JIS 準拠試験の傾向と同じであり、壁体内部にスギ板を配した Type 1 は土壁のみの Type 2 より高い断熱性能を示した。

3.3 熱拡散係数

JIS 準拠試験結果に対して 1 次元非定常伝熱数値計算を行い、熱拡散係数 a の推定を試みた。壁厚方

向 1 次元の場合に熱伝導方程式は次式(6)で表される。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad (6)$$

式中、 t は時間(解析では $\partial t=1$ min.とした)、 θ は温度、 x は壁厚方向(同 $\partial x=1$ cm)を示す。数値解析では Fig. 10に示すように、実測した温度変動(一例が Fig. 7)を基にして、熱伝導率 λ に Table 2の見かけの熱伝導率 λ を用い、熱拡散係数 a をパラメータとした。Table 2に解析した熱拡散係数 a を併記した。見かけの熱伝導率 λ を熱拡散係数 a で除して容積比熱を計算したところ、Type 2(平均793.13 kJ/m³·K)の方がType 1(平均542.43 kJ/m³·K)より容積比熱が大きく、土とスギの容積比熱の大小関係と一致した。

3.4 暖房負荷に及ぼす壁体構成の影響

各実験建物について室内温度と外気温との差(以後、室内外温度差とする)を求め、その1時間平均と同時帯の消費電力量との関係を調べた。Fig. 11に結果を示す。ここでは、日射の影響を排除するために夜間(18時から翌6時まで)のデータを示した。Fig. 11より、同一室内外温度差時での消費電力量はType 2>Type 1>Type 3の順に大きい。これは前述した熱貫流率の大小関係と一致しており、壁体の断熱性能が高いほど省エネルギー効果を期待できることが確かめられた。また、Fig. 11では室内外温度差が大きくなるほど壁体間の差異が顕著に現れた。

Fig. 11には、各建物に対して原点を通る回帰直線を求め、これを併記した。Fig. 11によれば、Type 3では実験値と回帰直線が概ね一致するが、Type 1とType 2では実験値と回帰直線が一致していない。すなわち、熱容量が大きい壁体では消費電力と室内外温度差の間に直線関係が得られず、その原因として土、木材による蓄熱の影響が推察される。これより、

Fig. 10. Numerical analysis of heat transfer of the wall specimen.

Fig. 11. Relationships between electricity consumption and temperature differences between indoors and outdoors.

本試験のような非定常状態における暖房負荷試験から建物の熱損失係数を得ることは、特に熱容量が大きい壁体に対しては難しいことがわかった。

4. 結 論

本研究では、木造住宅の壁体構成が室内熱環境に及ぼす影響を明らかにするため、構成が異なる3種類の壁体についてそれぞれの熱物性をJIS準拠試験および実験建物を用いた大型試験により調べた。さらに、建物の暖房使用時の消費電力を測定し、壁体構成が省エネルギー効果に及ぼす影響を検証した。得られた知見は次の通りである。

1. 熱貫流率は、一般的な土壁>木材と土壁を複合させた壁体>断熱材を主とする壁体の順に大きい。
2. エアコンの消費電力は、土壁住宅>木材・土複合壁体の住宅>断熱型住宅の順に大きく、この傾向は室内外温度差が大きくなるほど顕著に現れた。
3. 断熱型住宅の場合には暖房消費電力/室内外温度差の比が概ね一定となった。一方、木材・土複合壁体の住宅および土壁住宅ではこの比が一定とならず、熱容量の影響が見受けられた。
4. 木材・土壁複合壁体は土壁と比べて断熱性能が改善されており、これに伴い省エネルギー効果が認められた。

謝 辞

本研究はトステム建材産業振興財団の研究助成を受けた。記して謝意を表す。

文 献

- 1) “木質環境の科学”, 山田 正編, 海青社, 大津, 1987, pp. 255-351.
- 2) 信田 聡, 大熊幹章: 木材学会誌 **26**(2), 112-117 (1980).
- 3) 平井信之, 斉藤藤一, 牧野哲嗣, 山崎晃嗣: 木材学会誌 **26**(7), 439-442 (1980).
- 4) 麓 英彦, 竹村富男: 木材学会誌 **29**(2), 97-104 (1983).
- 5) 末吉修三, 斎藤寿義, 葉石猛夫: 木材学会誌 **33**(5), 367-375 (1987).
- 6) 信田 聡: 木材学会誌 **34**(5), 388-394 (1988).
- 7) 信田 聡: 木材学会誌 **34**(7), 574-580 (1988).
- 8) Wang, S., Liao, C.: *Mokuzai gakkaiishi* **43**(1), 24-37 (1997).
- 9) 師岡淳郎, 則元 京, 磯田憲生: 木材学会誌 **46**(5), 421-430 (2000).
- 10) 関野 登, 河村義大, 山内 剛: 木材学会誌 **51**(6), 380-386 (2005).
- 11) 関野 登, 山内 剛: 木材学会誌 **53**(2), 104-109 (2007).
- 12) 大澤徹夫, 水谷章夫, 土川忠浩, 小野公平: 日本建築学会計画系論文集 **488**, 9-15 (1996).
- 13) 古川和仁, 佐々木康寿, 平嶋義彦, 榊原勝己: 2006年度日本木材学会中部支部大会要旨集, 松本, 2006, p. 10.
- 14) 佐々木康寿, 古川和仁, 平嶋義彦, 渡邊 弘, 榊原勝己: 第57回日本木材学会大会要旨集, 広島, 2007, G08-1115.
- 15) 山崎真理子, 崔 哲, 水谷章夫, 佐々木康寿, 平野佳祐, 榊原勝己: 第58回日本木材学会大会要旨集, つくば, 2008, pp. 161-162.
- 16) 佐々木康寿, 山崎真理子, 平野佳祐, 水谷章夫, 榊原勝己: 第58回日本木材学会大会要旨集, つくば, 2008, pp. 163-164.
- 17) 宮野秋彦: “建物の断熱と防湿”, 学芸出版社, 京都, 1981, pp. 24-33.
- 18) 宮野則彦, 宮野秋彦: 熱物性 **21**(4), 193-199 (2007).