

木造住宅の外断熱構法に関する基礎的研究

菊地 弘明

1. 研究目的

住宅の断熱化・気密化は、特に自然条件の厳しい地域で進んでいるが、主に冬の性能向上に焦点が合わされてきた。そこでは、断熱性と同時に気密性の確保と、冬の断熱層内での（内部）結露対策に重点が置かれている。従って防湿（兼、気密）層は、室内（高温）側に形成するのが一般的な構法となっている。一方、住宅の断熱性能・気密性能が向上するにつれて、夏季の省エネルギー冷房も可能となり、全室冷房も容易となってきた。住宅の性能に関する最近の動きをみると、全国的に断熱性能と気密性能を高める方向に進んでいる。

ところで、冬と夏では、住宅の内外の温湿度条件は、全く逆転する。冬（暖房時）を中心とする防湿層の構法（配置）は、夏（冷房時）に断熱層（室内側）での結露発生が懸念される。その点は渡辺らの研究¹⁾でも指摘されている。特にこの夏型の結露は、高温多湿期と重なるだけに、断熱層に接する木材の腐朽につながりやすい。従って、夏に冷房が必要となる地域では1年を通して見ると、防湿層を断熱層内に形成する方が問題は少ないと考えられる。しかし、従来の壁内を利用して断熱層を設ける方法では、その中間に防湿層を設けることは容易ではない。

以上の観点から、本研究は断熱・防湿層を軸組の外側に設置・施工する外断熱構法²⁻⁴⁾を、さらに1歩進めた、あらかじめ断熱層の中間に防湿層を組み込んだパネルを提案、試作し、実際の住宅に適用し、その施工の可能性を探り、竣工後の室内温湿度環境、気密性能、パネル枠間の隙間の変動、軸組の木材含水率を計測し、評価を行うものである。

2. パネルの概要

パネルの大きさを決定する要因には、施工方法、パネル作製工場の規模、パネルにかかわる断熱性能などが挙げられる。本研究では施工方法に焦点を合わせ、まず現場作業者に受け入れられやすいことをねらった。現在、北海道内での戸建住宅建設は、大工2人が組になって作業を進めるのが一般的である。この現状を踏まえて、パネルの寸法は大工1人で小運搬可能で、材料のロスが少ない900×1,800mmとした。

図2-1にパネルの立面と断面を示す。パネルの内部構成は、木枠の中に断熱材と防湿材を組み込むもので、外部より、防風材（ポリエチレン不織布 厚さ0.1mm）・断熱材（グラスウール・16kg/m³ 厚さ100mm）・防湿材（ポリエチレンフィルム 厚さ0.1mm）・断熱材（押出発泡ポリスチレン 厚さ50mm）となっている。気密性の観点から考えると、本構法では軸組とパネルの取付方法が最も重要になる。図2-2はパネルと軸組とのジョイント部を示したものである。

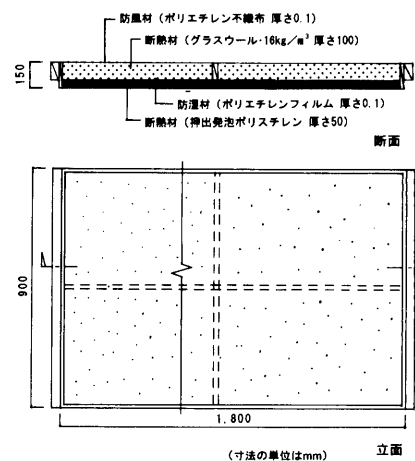
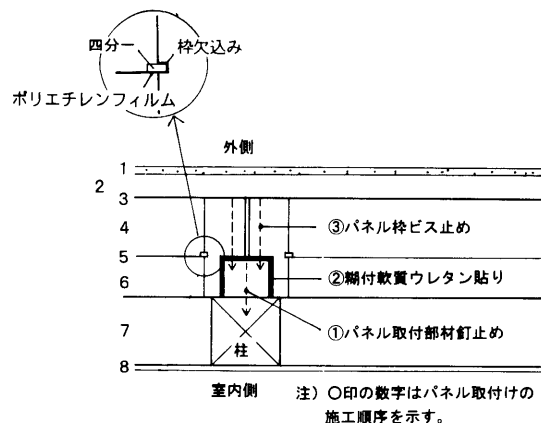


図2-1 パネル外観と内部構成



- 1-外装材-サイディング
- 2-通気層
- 3-防風材-ポリエチレン不織布
- 4-断熱材-グラスウール
- 5-防湿材-ポリエチレンフィルム
- 6-断熱材-押出発泡ポリスチレン
- 7-柱間中空
- 8-内装下地材-プラスターボード

図2-2 パネルの取付方法

パネルと軸組の接合面には糊付き軟質ウレタン（厚さ3.0mm）を貼り付け、気密性の確保に配慮した。パネル内の防湿材とパネルの木枠のジョイント部分においてもその取り付けディテールを図2-2のように工夫して気密性の確保に留意している。

3. 実験住宅の概要

本構法を適用した住宅の概要を表3-1にまとめた。本住宅は切妻屋根の木造2階建てで、パネル化を図りやすいよう計画した。延床面積は約140㎡で、北海道内ではやや大きめの住宅である。図3-1に平面図、図3-2に矩計図を示す。本住宅は、屋根も外断熱を施しているた

表3-1 実験住宅の概要

建設地	札幌市白石区
計画・建設年次	1993年4月～12月（竣工）
構造	在来木造軸組2階建、外断熱構法
床面積	1階：75.5㎡ 2階：62.5㎡ 計138㎡（41.8坪）
各部断熱仕様	基礎：押出発泡ポリスチレン板（FP板）100mm 外断熱 外壁：グラスウール100mm+FP板50mm 屋根：外壁と同じ
暖房方法	ポット式石油ストーブ1台での全室暖房
換気方法	床下土中経由による新鮮空気自然導入方式

め、通常的小屋裏空間はなく、すべて居住空間として利用できることもその特徴のひとつとなっている。

暖房は矩計図に示すように、1階のポット式石油ストーブ1台による全室暖房である。外気は、床下部分を経由して、煙突に抱き合わせた縦方向の通気筒を通して、昇温した新鮮空気として上部から室内に流入する。

図3-3にパネルの割付図を示す。標準パネルのサイズは前述したように900×1,800mmであるが、開口部のパネルは、開口部がパネル内に納まるようにしたため、標準サイズより大きめとなった。

表3-2は本住宅で使用したパネルの一覧である。表中の「役物パネル」とはさきの開口部まわりのパネルのほか妻壁部分の3角形パネルなどを意味し、コーナーパ

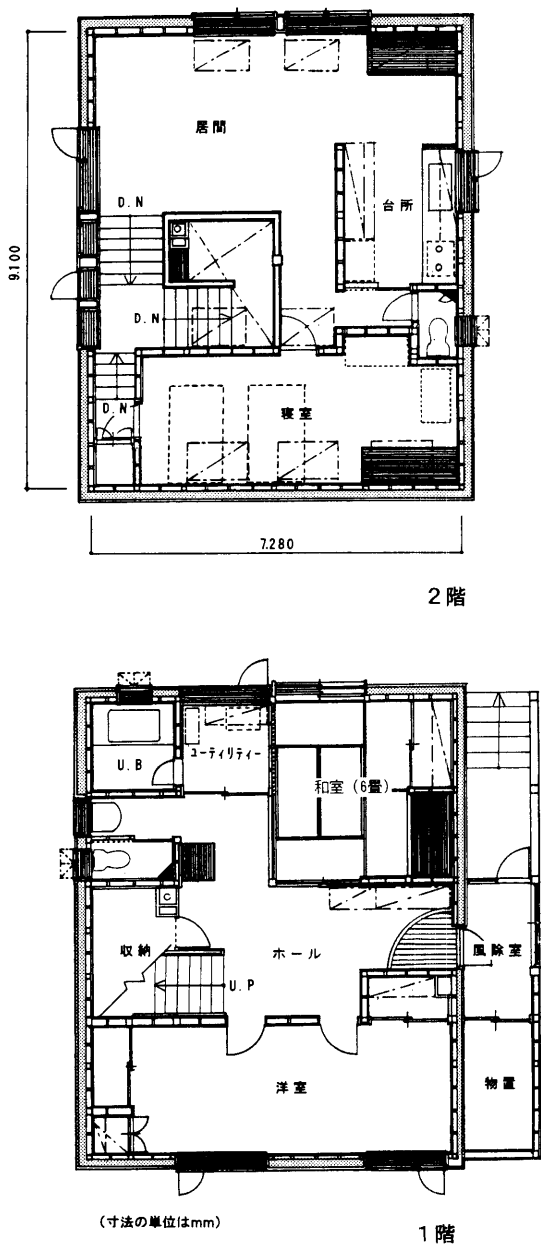


図3-1 平面図

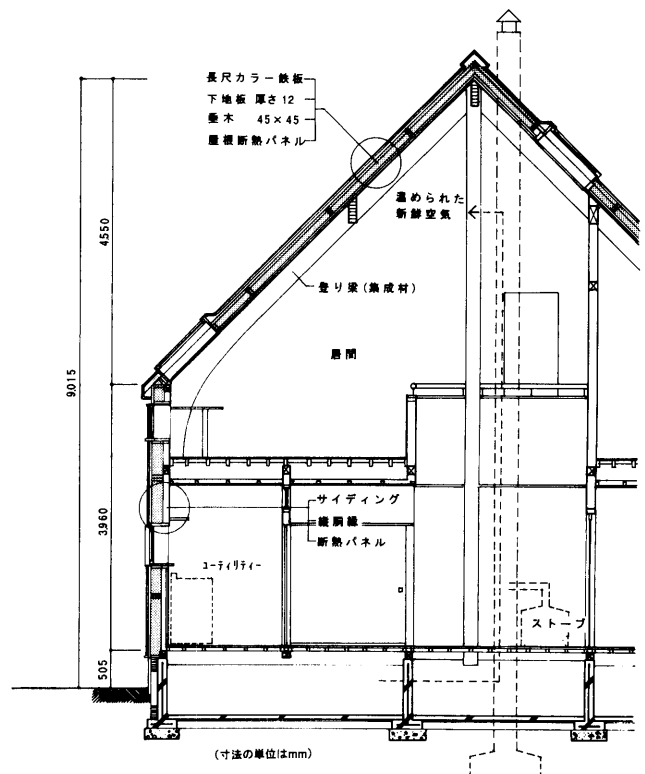


図3-2 矩計図

表3-2 パネル一覧

	外壁パネル	屋根パネル
標準パネル	46 (枚)	40 (枚)
役物パネル	24	
開口部パネル	15	8
小計	85 (枚)	48 (枚)
コーナーパネル	12	
合計	85+48+12=145 (枚)	

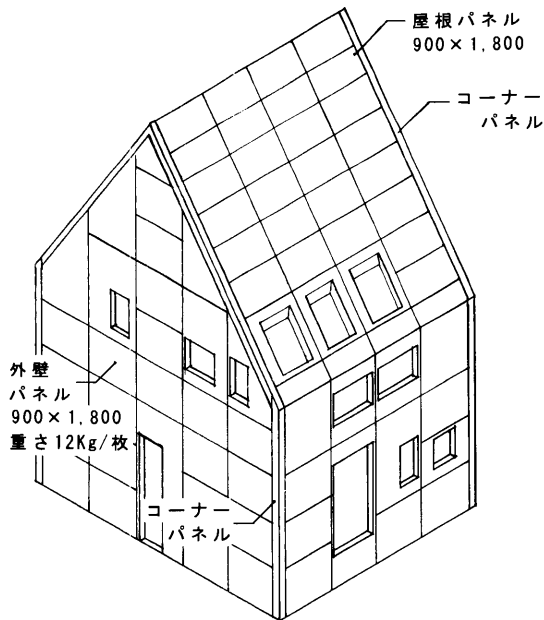


図3-3 パネル割付図

ネルは外壁の出隅と外壁と屋根の取合いに用いるパネルを指す。なお、本住宅で標準パネルの占める割合は、全体の60% (86枚/145枚) であった。

4. パネルの作製

パネルの作製は既存の建具製作所に依頼し、8月より開始した。建具製作所を選んだ理由は、このようなパネル作製の専用工場がなく、かつ、気密性確保のために、パネルの精度を上げることを重点に置いたからである。

作製は木枠の木取り (担当は建具職人1人) より開始され、枠組み (建具職人2人)、断熱材・防湿材組込み (建具職人2人、手元2~3人) の工程で進み、合計72人工を要した。この結果からパネル作製1枚当たりの歩掛りは、145枚/72人工=2.0枚/人工となる。

パネル作製のコストは合計で330万円で、その内訳は作製人件費が45%、材料費が55%であった。従って、断熱性能を損なうことなく、今後、コストダウンを図るためには作製に要する工数の低減を図るの必要があり、専用生産設備の整備による量産化がこれからの課題となろう。

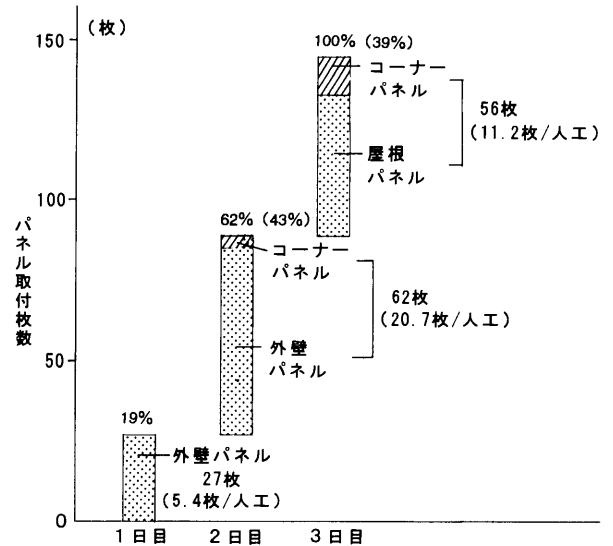


図5-1 パネル取付枚数と工数の関係

5. パネルの施工

現場でのパネル取付工事は10月上旬より開始された。パネルの取付方法は、所定の位置にパネルをはめ込み、軸組に釘止めした取付部材にビスで緊結する方法であり、特殊な工具、金物は使用していない。この工事には大工2人が取付け専門、他の3人が小運搬に当たり、計5人が1組で作業を進めた。

図5-1はパネル取付け枚数と人工をまとめたものである。外壁パネル1枚の取付け所要時間は、足場などの障害物のためパネルの取りまわしが困難な場所もあって、1~5分間とややばらつきがあった。しかし、平均すると1枚当たり2分間程度と短時間での取付けが可能であった。

外壁の歩掛りは1日目は5.4枚/人工であったが、2日目は20.7枚/人工と、約15枚の差がある。これは、1日目はパネルの整理と、パネル取付方法への習熟が含まれているためである。2日目はパネルの取付けの要領が分かり、施工は順調に行われたため、歩掛りが上昇したものと解される。

屋根パネルの施工方法は外壁パネルと同じである。パネルの取付けには、まず、小型モビールクレーンでパネルを一時、足場まで運搬を行い、その後、さらに所定の位置へ小運搬する必要があった。そのため所要時間は1枚につき、2~10分間で、外壁パネルに比較して増加する傾向がみられ、1枚当たりの平均時間は約3分間で、外壁の約5割増しという所であった。屋根パネルの歩掛りは11.2枚/人工と求まった。

以上のように、パネル取付けの歩掛りは外壁で約11枚/人工 (89枚/8人工)、屋根も約11枚/人工 (56枚/5人工) 程度とみることができる。

写真5-1~8は施工の各段階を示している。



写真5-1 パネル木枠の組立てと防湿材の取付け

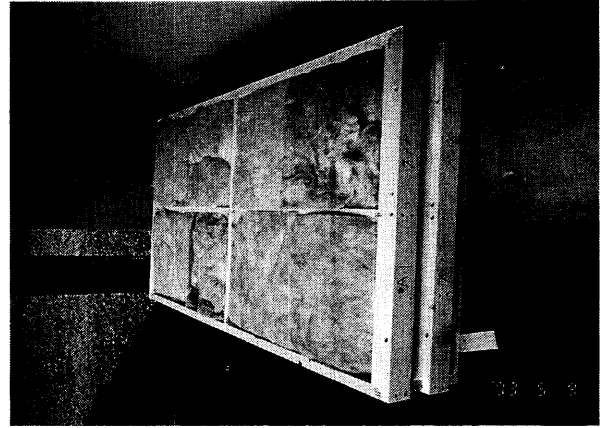


写真5-2 グラスウールが納まったパネル

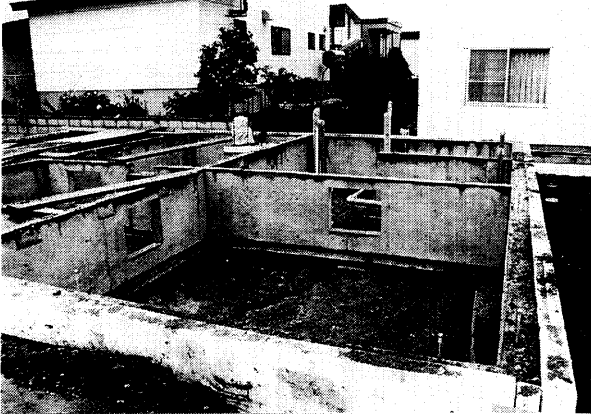


写真5-3 外断熱された布基礎。外側に押出発泡ポリスチレンが見える



写真5-4 2階軸組（集成材）の建込み

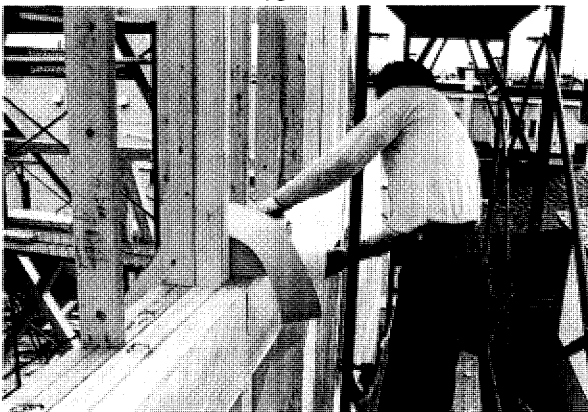


写真5-5 外壁パネル水平ジョイント部への糊付きウレタンシートの貼付け

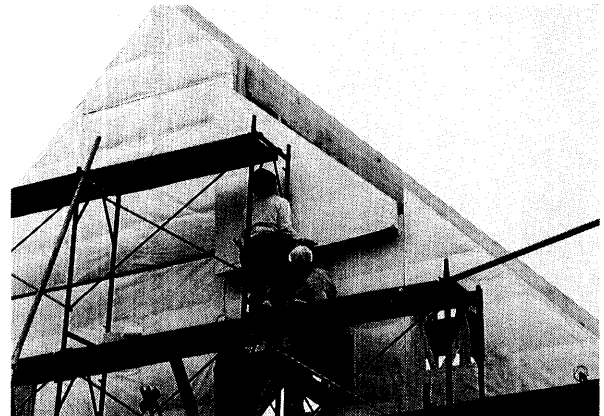


写真5-6 外壁パネルの取付け

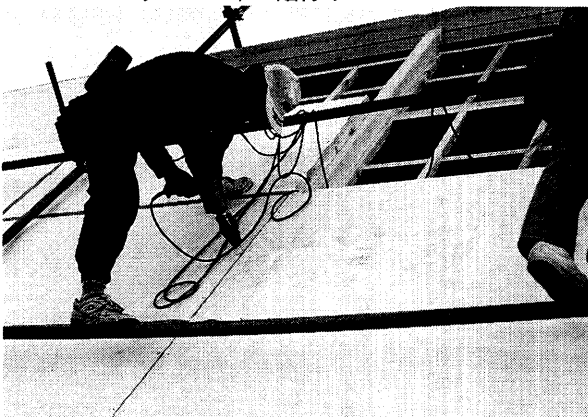


写真5-7 屋根パネルの登り梁へのビス止め



写真5-8 竣工時の北東面外観

6. 各種性能評価

本構法を適用したこの住宅の施工過程では、パネルの寸法間違いもなく、計画どおりに納めることができた。ところで、住宅の諸性能は、当然のことながら構法と密接な関連を持つ。この章では室内温湿度環境、木軸組の耐久性、気密性能の観点から性能分析を行う。

6.1 室内温湿度環境

図6-1は入居直後（1994年1月）の代表的な冬の室内温湿度変動をまとめたものである。温湿度センサーの位置は、各階中央の床上1,000mmの高さで、入居者の生活パターンはごく一般的なものである。まず、外気温を

見ると $-5 \sim -12^{\circ}\text{C}$ で変動しているが、1・2階とも室温は外気温より変動幅が小さく安定している。階別に見ると、2階の方が1階よりも若干、高めに推移しているが、その差は約 2°C 程度であり、特に問題にならない範囲にあると言える。床下温度について見ると、外断熱された布基礎コンクリートの熱容量の影響を受け、約 14°C で安定しているのが分かる。

各部の湿度を見ると、床下は約78%、1階は約50%、2階は約45%であり、結露の点からは特に問題はないと言える。これらは入居直後の値であり、今後、使用されている柱、梁などの木材の乾燥が進むため、次年度の冬はもう少し低下するものと考えられる。

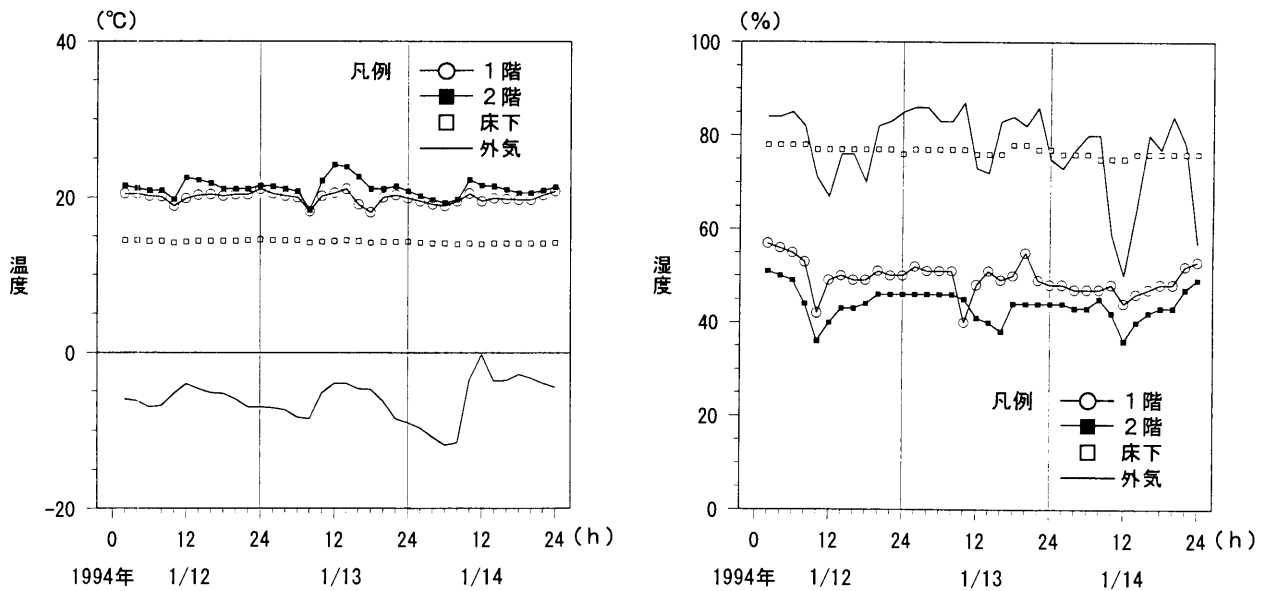


図6-1 冬季の室内温湿度変動

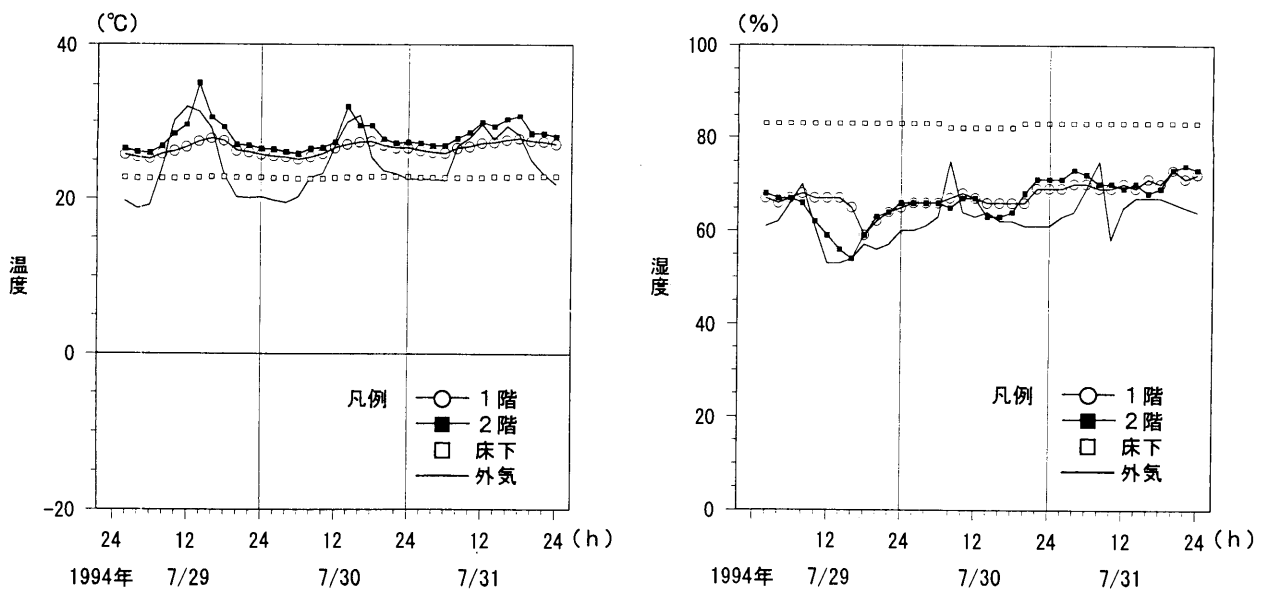


図6-2 夏季の室内温湿度変動

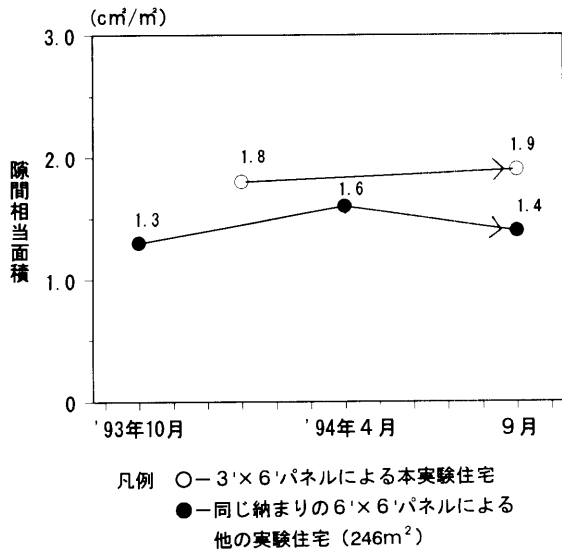


図 6-3 隙間相当面積の変動

図 6-2 は夏 (1994年 7月) の温湿度変動をまとめたものである (冷房は行われていない)。外気温を見ると 20~32℃ で変動している。室温は、昼間の 2階で一時期 30℃ を上まわっているものの、1, 2階ともに概ね 26℃ 前後で推移しているのが分かる。この温度上昇の原因は屋根面に設置されている天窓からの太陽光の直射であり、今後、直射を遮断する工夫が必要と考えられる。

湿度については 1, 2階ともに 50~70% で変動し、床下は若干高く、約 82% で推移しているものの、床下コンクリート面での夏型表面結露の発生は見られず、今後はさらに湿度は低下すると考えられるため、結露の発生する可能性は低いと言える。

6.2 気密性能

気密性能の測定は入居直後と、その 9 カ月後に行い、測定法は減圧法を用いた。図 6-3 にその測定結果をまとめた。本住宅の入居直後の延床面積当たりの「隙間相当面積」^(注1) は、1.8cm²/m² で、9 カ月後の測定でも 1.9cm²/m² とほとんど変動がなく、当初の気密性能を維持しているのが分かる。

現在、北海道庁では気密性能の指標として、隙間相当面積は 5.0cm²/m² 以下を目標としているが、ほとんど実態はつかめていない。指導的な組織などでの気密性の測定例では、目標値以上の性能を確保しているのも多い。しかし、入居後の気密性能の低下についてのチェックはない。本住宅はその目標値を十分に満たしており、かつ入居後の性能低下も少ないものと思われる。

6.3 軸組の木材含水率

木造軸組の耐久性を考える上で木材の含水率は重要な因子となる。そのため南北別の 1 階外壁柱と土台にセン

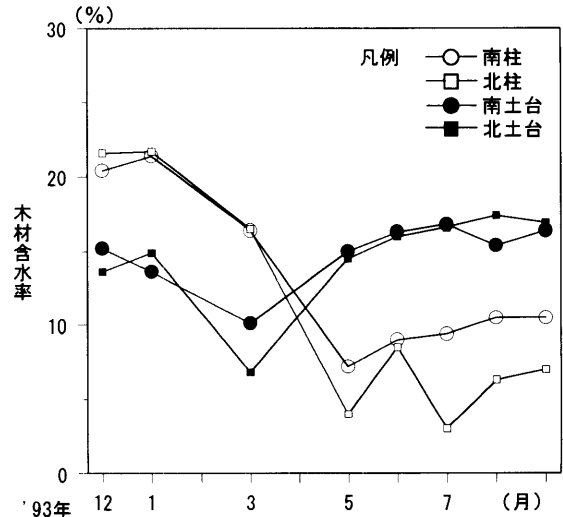


図 6-4 木材含水率の変動

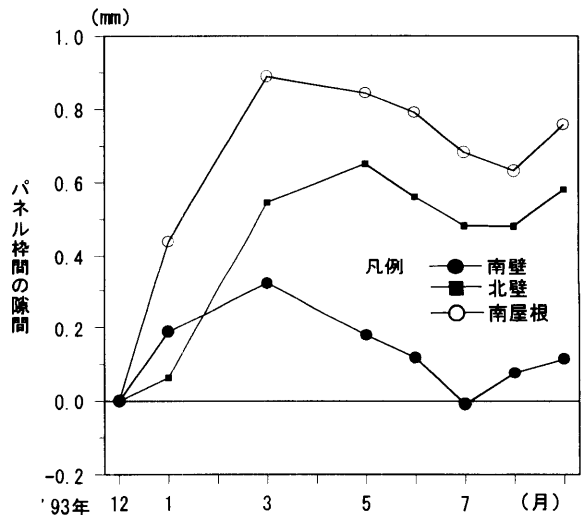


図 6-5 パネル枠間の隙間の変動

サーを設置し、図 6-4 にその測定結果をまとめた。

まず、柱について見ると、入居直後は両者ともに 22% 前後であったが、徐々に低下し 5 月には 6% 前後となり、よく乾燥しているのが分かる。6 月以降は夏の多湿の影響を受けて、やや上昇傾向がみられるものの、南柱は 10%、北柱は 6% 程度までしか上昇していない。

次に土台では入居時、南北ともに約 15% であり、3 月までは緩慢に低下する傾向がみられるが、5 月以降は柱と同様に夏の影響を受けて上昇している。しかし、8 月でも 15~17% であり、木材の腐朽限界とされる 25%^(注5) を下まわっていることが分かる。札幌では大気中に放置された木材の平衡含水率^(注6) は 13% (4 月) から 18% (7 月) で変動しているが、本住宅の軸組の含水率もその範囲内にあり、腐朽の危険性は極めて低いと言える。

6.4 パネル枠の隙間変動

本構法の気密性能はパネル相互間の隙間の大きさに影響を受けやすいと考え、外壁と屋根パネルの水平ジョイ

ント部にクリップ型変位計を設置し、その変動を測定した。図6-5は月別にみたパネル間の隙間の変動をまとめたものである。

全体的な傾向としては入居後、徐々に拡大し、南側屋根部分で最大0.9mmの増加となっているが、3月以降は緩やかに低下し、安定する傾向がみられる。

このようにパネル間の隙間は、若干、増加するが4か月ほどで安定し、木軸組も乾燥しているため、以後大きく変動することはないと考えられる。またその変動は、隙間相当面積の安定した値から考えても、問題になるほどの影響を与えるものではないと思われる。

7. まとめ

本研究で得られた知見をまとめると、以下のようになる。

- ①木造外断熱構法のパネル化を試み、パネルサイズを900×1,800mmとし、その取付方法を開発、実際の住宅に適用し、その可能性を明らかにした。
- ②パネル作製の歩掛りは約2.0枚/人工であったが、今後、専用の生産設備の整備が進めばさらに、低減が可能と考える。
- ③パネル取付けの歩掛りは外壁で約11枚/人工、屋根も11枚/人工となり、施工は順調に進んだ。
- ④竣工後、実験住宅の室温・気密性・木材含水率を計測し、本構法を適用した住宅の特性を把握した。

冬季の室温は良く安定し、1、2階の温度差も少なく良好であった。竣工9か月後の隙間相当面積は1.9cm²/m²で、入居時(1.8cm²/m²)とほとんど変動せず、高气密な値となっていた。柱・土台の木材含水率は木材の腐朽限界とされる25%以下で推移しており、耐久性があると言える。

<注>

- 1) 建物の外被には隙間があり、その隙間の前後の圧力差に応じて空気が出入りして換気がおきる。この場合、隙間を通じた空気流量は、一般に次の実験式で表わされる。

$$Q = a(\Delta P)^{1/n}$$

Q=隙間を通じたの流量 (m³/h)

ΔP=隙間前後の差圧 (mm Aq)

a: 通気率 (m³/h・mm Aq^{1/n})

ΔP=1 mm Aq のときは、Q と等しくなる。

n=隙間特性値 (1~2)

従って、建物全体の隙間は a と n で表わされることになり、測定でこの値を得て、1つの開口面積に換算したのが「隙間相当面積」(αA) である。αA は次式で算出される。

$$\alpha A = 2.78a (\gamma/2g)^{1/2}$$

γ=隙間を流れる空気の比重量 (kg f/m³)

g=重力加速度 (m/s²)

<参考文献>

- 1) 渡辺俊行：夏季冷房時における断熱気密壁体の内部結露に関する研究，住宅総合研究財団研究年報，No.20，住宅総合研究財団，pp.327-338，1993年3月
- 2) 菊地弘明，飯田雅史：パネル化した木造外断熱住宅の施工性と気密性，日本建築学会計画系論文報告集，第453号，pp.71-78，1993年11月
- 3) 飯田雅史，菊地弘明：木造軸組外側気密・断熱構法の計画と性能—北海道における木造住宅外断熱構法に関する基礎的研究(その1)，日本建築学会計画系論文報告集，第415号，pp.29-38，1990年9月
- 4) 飯田雅史，菊地弘明：木造軸組外側気密・断熱構法の各種性能の経年変化—北海道における木造住宅外断熱構法に関する基礎的研究(その2)，日本建築学会計画系論文報告集，第425号，pp.49-53，1991年7月
- 5) 浅野猪久夫ほか：木材と住宅，学会出版センター，1982年
- 6) 木材工業ハンドブック，丸善，昭和61年(1986)

<研究組織>

主査	菊地 弘明	北海道工業大学工学部建築工学科 教授 工博
委員	飯田 雅史	北海道工業大学工学部建築工学科 講師 工博
	〃 曲戸 春樹	曲戸建築設計事務所所長 工修
	〃 長谷川文雄	北海道建設専門学校教授
協力	佐久間賢孝	北海道工業大学大学院修士課程
	〃 森木 康代	北海道工業大学学生