パネル化した木造軸組外側気密・断熱住宅の構法計画と性能

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4)

ON A PLANNING OF BUILDING SYSTEM AND ITS PERFORMANCE
OF A WOODEN FRAME AND PANEL SYSTEM
WITH OUTER HEAT INSULATIONA fundamental research on a wooden construction method with airtightness
and thermal insulation from the outside of the wooden frame, Part 4

飯田 雅史*, 菊地 弘明**

Masashi IIDA and Hiroaki KIKUCHI

The purpose of this paper is to analyze the process of making the panels, the condition of construction, the airtightness and the percentage of the water content of the wooden frame of the house which was constructed with insulating panels from the outside of the laminated wooden frame.

The results of this study were as follows :

- 1) The construction method with panels decreased the man-days for building by 19 in comparison with the traditional method of working at the building site.
- 2) The percentages of the water content of the wooden groundsill and the wooden frame of panels varied from 5 to 12 % in all season, which means that there is little danger of rotting.
- 3) The effective open area of the house remained about 2.5 cm² per floor area for half a year from the moving-in. The airtightness of the house also remained in good condition.

Keywords : wooden house, outside insulation, insulation panel, percentage of the water content, airtightness

木造住宅, 外断熱, 断熱パネル, 木材含水率, 気密性

1. はじめに

本研究は木造軸組外側気密・断熱構法(以下, 外断熱構法とする)に関する第4報である。第1~3報^{1)~3)}では, 現場で木軸組の外側から気密・防湿層を施工したのち木枠を組み, 断熱層を形成する方法で建設した住宅について施工性, 気密性, 木材含水率の変化などを分析した。その結果は, ①在来構法の住宅に比較して気密性に優れ, ②経年変化による気密性はほとんど変化せず, ③主要軸組の木材含水率は通年, 15%以下の低い値で変動し腐朽の恐れが低いことが分かった。④さらに, 施工会社の相違による気密性の変化はほとんどなく, 安定した傾向を示し, ⑤住宅形態による気密性の要因として, 土台長さが有効開口面積(隙間)³⁾に大きく影響していることを示した。

しかし, この方法では高性能な住宅は得られるが, 一

般に施工されている在来構法の住宅(以下, 在来住宅とする)と比べて現場作業量は増加する。また, 天候により断熱材の施工期間も影響される。今後の趨勢として, 建設技能者の不足, 高齢化も指摘されている⁴⁾。このような背景の中で, 住宅の断熱・気密性能を低下させず, かつ技能職にあまり頼ることなく, 軸組の外側から気密・防湿層, 断熱層を形成する合理化工法を探る必要がある。

2. 研究の目的

一般的な在来構法の防湿・断熱工事の順序は軸組を施工したのち, 柱間に断熱材を施し室内側から防湿層を形成する。そのため柱などを建て込んだ後の防湿・断熱は現場で行わなければならない。つまり, 軸組と防湿・断熱の工程は一体化されている。

本稿は昭和63年, 平成元年度の日本建築学会北海道支部において発表^{7)~8)}したものをまとめ加筆したものである。

* 北海道工業大学 助手

** 北海道工業大学 教授・博士(工学)

Research Assoc., Hokkaido Institute of Technology
Prof., Hokkaido Institute of Technology, Dr. Eng.

これに対し、木軸組に外側より気密・防湿層・断熱層を形成する外断熱構法では、軸組を施工する工程と、防湿・気密層と断熱層を施工する工程を分離することが可能となる。したがって、気密・防湿層と断熱層を組み込んだパネルをあらかじめ工場などで作製し、現場で建て込まれた軸組の外側より取り付ける方法が可能となる。

本研究の目的は①外側気密・断熱構法を適用した住宅（以下、外断熱住宅とする）の外壁、屋根のパネル化を計画し、②パネル作製の方法とその過程の分析を行い、③木軸組とパネルの取り付け、ジョイント処理の施工性を検討し、性能として④竣工後の室温変化、燃料消費量、土台などの木材含水率の変化、気密性の経年変化を明らかにすることにある。

3. 住宅の概要と測定方法

3.1 住宅の特徴

表一1に対象住宅の概要、図一1に各階平面と各測定位置、図一2に断面と暖房、換気計画、図一3に矩計図を示す。以下に本住宅の特徴を列記する。

①外壁、屋根をパネル化するため、単純な平、断面となっている。②構造は軸組構法で、構造計算は在来軸組構法に準じた。柱・梁・筋違などの主要軸組は集成材を使用している。これはパネルを取り付けたのち、軸組の乾燥収縮、ねじれなどの悪影響を極力、低減させるためである。③さらに、集成材の長所である、大断面、長大材が作製できる特徴を活かし部材数を減らし、梁のせいを統一し、柱と梁、桁のジョイントには複雑な仕口、継手を用いず箱金物を利用した納まりとし、大工手間の低減を図った。④あらかじめ各パネルに内装材を施工し外壁部分の間柱を省略し、その分の現場作業の低減を可能とした。⑤暖房は地下室に設置されたボット式石油ストーブ1台による全室暖房とした。⑥換気はストーブの煙突排熱を利用した熱交換換気を組み込んでいる。新鮮空気（外気）は塩ビパイプ配管部を経て煙突が内蔵された二重ダクトの周囲に導入され、煙突排熱により加温され自然に1、2階の温気出口から各階に供給される（図一2参照）。

3.2 屋根・外壁パネルの計画

パネルの大きさ、およびその構成は揚重機械を使用するか、否かによって大きく左右される。車両によるパネルの搬送にも制限がある。また、気密性を考慮した場合、中型以下（900ミリ×1800ミリ程度）のパネルはジョイント部分での気密性の確保が困難になる可能性がある。これらのことを踏まえ、パネルの大きさや構成を考えねばならない。本住宅では気密性に重点をおき、ジョイント長さがなるべく短くなるよう大型パネルで計画、クレーンを用いて施工することとした。

図一4に屋根・外壁のパネル割付図を示す。外壁パネ

表一1 対象住宅の概要

建設地	札幌市西区西野
建設年次	昭和63年3月～8月
床面積	地階：53.0㎡ 1階：53.0㎡ 2階：45.5㎡ 計 151.5㎡
構造	地下室付き木造2階建、主要軸組集成材の軸組構法
各部の断熱仕様	基礎：布基礎外断熱 PP板 7100 外壁パネル：外側 GW 750 (32kg/㎡)と 室内側 クレタ 795 (38kg/㎡)の複合板 屋根パネル：外壁と同じ 窓（パネル組込）：外側 7割サッシ（単板ガラス 72.5） 室内側 気密性に配慮した木製引違窓 （金属膜コーティング仕様）7割ガラス 3-12-3
家族構成	夫婦2人＋幼児1人

図一1 各階平面図

図-2 断面および暖房・換気計画概要

図-4 パネル割付図

図-3 矩計図

ルは合計 28 枚、大きさは幅約 1.8 m、長さ約 3.0~3.5 m、重量 210 kg 前後、屋根パネルは合計 8 枚、幅 1.8 m、長さ約 6.5 m、重量 250 kg 前後となった。各パネルは縦方向に配置され、柱・桁・登り梁に取り付けることとした。このようにするとパネルのジョイント部に柱・梁などが位置し、気密性の確保、およびジョイントの処理

図-5 柱とパネルのジョイント平面概要

図-6 外壁、屋根パネルの内部構成

が容易になる。

図-5 に柱と外壁パネルのジョイント概要を示す。屋根パネルと登り梁も同様の納まりである。パネルと軸組の取り付けは、パネル側板に受け金物（プレート厚さ 3.2 ミリ加工品、長さ 80 ミリ、取付間隔 1200 ミリ）を取り付け、あらかじめ軸組に開けられた穴を利用して、ボルト（13φ）で柱・梁に緊結し、釘を併用する方法を用いた。パネル間の隙間（幅 50 ミリ）はパネル取り付け後、気密性・断熱性の確保のため現場発泡のウレタンを注入することとした。

図-6 に各パネルの構成を示す。外壁・屋根共に断熱材の構成は同じである。室内側に工場注入のウレタン、外気側に高密度グラスウールを配した複合板とした。作製方法は工場の木枠を組んだのち、グラスウールを敷き

温度	CHINON DR-0303
湿度	中浅测器製自記温湿度計
木材含水率	J-ナ-札幌K.K製 KNR-024-98
气密性能	J-ナ-札幌K.K製 KNR-3000

3.3 各測定方法

表—2 に各測定に用いた機器一覧を示す。室温と湿度の測定点は各階中央付近（FL+1 000）とした。木材含水率の測定方法は測定対象部位に針を打ち込み、リード線を介してその電気抵抗の変化により含水率を計測する方法⁵⁾を用いた。測定対象部材と位置（図—1 参照）については、南北別に防湿・気密層の内側に位置する土台の外側面、南北別の屋根パネル側板（30×145）、および垂木（45×45、垂木間は通気層に利用）とした。燃料消費量は暖房用ストーブに油量計を設置した。気密性能については加圧法により有効開口面積を算出した。

4. パネルの作製と施工

4.1 パネル作製

パネルの工場での作製工程は2段階に分かれる。最初に木枠（30×145）を組み、グラスウールとウレタンの断熱複合板を作製し、内装材などを取り付けた（写真—1, 2 参照）。外壁パネルは作業所で外装材・アルミサッシまで施工し、屋根パネルは野地板・天窓までを取り付けた（写真—3 参照）。前半の複合板作製はウレタン注入の専用工場で行ったため、大工は作業をしていない。後半の大工がかかわった作業の人工数は28 人工（4 人で7 日間）を要した。

4.2 軸組の加工

図—7 は軸組と箱金物の概要を表したものである。箱

写真—1 パネルの木枠を組立て後、防湿・気密層を張っている状態

写真—2 ウレタン注入後のパネルの室内面

写真—3 作業所内で屋根パネルに天窓、野地板を施工中

金物は厚さ 3.2 ミリのプレート加工品で、梁の呑込み長さ部分は 300 ミリとした。軸組の加工は柱、あるいは梁に箱金物を取り付けるための欠き込みなどで 7 人丁が必

図一7 主要軸組と箱金物の構成概要

写真-4 集成材を用いた軸組を建込んでいる状態 あらかじめ箱金物は取り付けられている

写真-7 屋根パネルの取付状況 天窗が取り付けられている

写真-5 柱と梁の納まり 梁は箱金物に上から落とし込まれる

写真-8 室内側から見た桁・梁まわりの納まり 軸組は室内に化粧としてあらわしになっている 柱・桁の穴の中に見えるのが締め付けボルト

写真-6 外壁パネルの取付状況 アルミサッシがパネルに組み込まれている

写真-9 竣工後の北東面外観

要であった。北海道内の一般的な 30 坪程度の在来住宅の軸組加工には、16 人工程が必要なため、その差 9 人工程が低減できたことになる。これは集成材を用いたため、部材数が低減されたこと、継手・仕口の加工がほとんどなかったこと、外壁部分の間柱に使用されるほどの加工がなかったこと、などによるものである。

4.3 施工状況

写真-4～7 に本住宅の工事の施工状況を示す。軸組建て込みは昭和 63 年 4 月に開始され大工 4 人で 1 日間で完了した（写真-4, 5）。これは軸組の構成が単純であったためである。引き続きクレーンを用いて外壁・

屋根パネルをそれぞれ 1 日間で取り付けた（写真-6, 7）。そののち速やかにパネル間の隙間にウレタンを注入した。この時点で外まわりの工事は外壁出隅、棟部分の処理、軒天張り、屋根材の施工を残すのみとなる。写真-8, 9 は竣工後の室内の柱、桁まわりの状態と外観である。

図-8 は本住宅について、軸組に集成材、軸組組立に箱金物を使用、外壁をパネル化した場合の大工の人工数を、北海道で一般に施工されている在来住宅²¹（施工データは参考文献 1 のものを使用）と比較したものである。調査対象とした工事項目はパネル作製、軸組切込み、お

図—8 パネル化した外断熱住宅と在来住宅の現場、作業所別に見た人工数の比較

よび建込み、各パネル取付け、ジョイント処理である。在来住宅については、パネル化した部分、およびその工事に関連した部分に対応する工事（たとえば建込み、断熱・防湿、外装工事など）のみをまとめた。

総人工数は外断熱住宅と在来住宅ではほぼ同じとなったが、現場作業分について見ると、外断熱住宅では14人工、在来住宅では34人工と20人工の差がある。また作業所分では外断熱住宅が35人工、在来住宅では16人工となった。

このことよりパネル化した外断熱住宅は、在来住宅に比較して現場作業量は半分以下となるが、その分は作業所分に移行していることが分かる。今回のパネル作製は初めてであり、特にそのための専門作業員、設備装置はなく、大工などの技能者が作製した。しかしこれらの作製は特に技能者である必要はなく、機械化されたパネル作製の専用施設で行えば、さらに大工の人工数は減少することになる。また、現場作業の低減は工期短縮につながり、その部分は外まわりの工事であるため、寒中施工にも有利となる。

なお、工事費は総額で約2530万円（坪当たり約55万円）となり、同規模の在来住宅（坪当たり約45万円）に比較して約400万円の増額となった。この主な内訳はウレタンとグラスウールの複合パネル分が約180万円、集成材分が約220万円であった。

5. 室温の変化

5.1 冬期の室温変化と燃料消費量

図—9 に冬期の室温変化と1日ごとの燃料消費量を示

図—9 冬期の室温変化と燃料消費量

す。地下室に設置されたストーブは微小燃焼（ストーブ付属のサーモスタットにより温度は制御）で、連続運転されている。外気温が $-8\sim 2^{\circ}\text{C}$ で変化しているが、1, 2階、地下室ともに 20°C 前後で安定しているのが知れる。室内湿度は1, 2階ともに40%ほどで推移していた。燃料消費量は1日当たり約4~5リットルであり、暖房期間の実績燃料消費量は暖房期間（昭和63年11月~平成元年4月）、720リットル（暖房面積当たり約4.8リットル）であった。

5.2 夏期の室温変化と冷房

北海道内の一般住宅の冷房については、特に設備装置は設けておらず、夏の暑い時期は窓を開けて、通風により涼を得ているのが普通である。しかし、札幌などの都市部では騒音・排気ガス、住宅地の狭小化による住宅の過密、などにより今後、冷房設備の導入が増加してくるものと思われる。高断熱・高気密な住宅は在来住宅に比べて、効果的に冷房を行うことが可能であると考えられる。

図—10 に本住宅の夏期の冷房の有無別に見た室温変化を示す。冷房のない期間（8月2~3日）について見ると、全体的な傾向として1, 2階は外気温の影響を受けて変化幅は大きい。地下室はコンクリートの熱容量の影響により、 23°C 付近で安定している。外気温が 30°C 以上（8月2日）のとき1階は約 26°C であるが、2階は約 30°C と高めている。

冷房（冷房装置は地階に設置）を入れた8月4日では、1, 2階の室温は前日に比べて約 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ ほど低下し、改善されているのが分かる。地階では逆に1, 2階のリター

図一〇 冷房の有無別に見た夏の室温変化と使用電力量

ン空気の影響により、室温は 1°C ほど上昇している。8月5日を見ると、外気温は4日よりさらに上昇し、それに従って1, 2階の温度差はやや大きくなっている。

4日、5日の使用電力量は1日当たり12~13 kWで、冷房期間(7~8月)の電力量は約390 kW、12000円となった。この点については北海道の在来住宅の冷房に関する資料はほとんどなく、今後の検討課題である。

6. 木材含水率の変化

図一11は南北別に見た土台の外側面、図一12は南北別に見た垂木(45×45)、およびパネル側板の木材含水率の変化を示したものである。なお、部材の加工時の含水率は土台約23%、垂木約26%、パネル側板約15%、集成材約12%であった。この図より以下の事項が分かる。

① 測定点の含水率はすべて5~12%の間で変動して

図一〇 南北別に見た土台木材含水率の変化

おり、木材の腐朽の恐れがあるとされる20%⁶⁾を下まわっていた。

② 土台について見ると、南北ともほぼ同じ変化傾向を示し、高温多湿の夏は若干、含水率が上がる傾向にあり、全体的には南の方が低目である。

③ 垂木およびパネル側板の含水率の変化は、土台よりも安定傾向を示し、南側各部が北側よりも乾燥しているのが分かる。これらの部材は気密・防湿層、断熱層の外側に位置し、直接に外部の影響を受けることになる。

竣工より1年半後に集成材の柱、梁とパネルを緊結しているボルト(図一5参照)の点検を行った。各ボルトはネジ山、1~2回転程度の締め付けで済み、ほぼ竣工時の締付状態を維持していた。このことは、軸組集成材の乾燥収縮はほとんどなく、パネルの側板のわずかな影響があったためと考えら

れる。以上のことから、本構法のようにボルトでパネルを緊結する場合は、木材の乾燥収縮に対する増し締め可能な納まりが重要と言える。

図一〇 南北別に見た垂木、パネル側板の木材含水率の変化

図一〇 有効開口面積の変化

7. 気密性能の経年変化

図一13に竣工直後から半年後、および1年半後の延床面積当たりの有効開口面積の変化を示す。竣工直後の値は $2.45 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ であったが、1年半後の測定でも $2.50 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ とほとんど変化がなく、気密性能が保持されているのが分かった。これは軸組に集成材を使用したため、木材の乾燥収縮が原因の隙間の発生が起っていないこと、パネル間のジョイントの気密性が保持されていること、などが要因としてあげられる。

8. まとめ

本研究は以下にまとめられる。

- ① 外壁、屋根の気密・防湿層、断熱層のパネル化を計画、その施工過程を分析した。パネルの作製については現在、北海道内には専用の作製工場はなく、大工が手作りで28人工を要した。今後、パネル様式の規格・統一化が進み専用の生産システムができれば、大工などの技能職でなくとも作製が可能となり、設備機器による人工数の低減、パネルの低価格化が図れるものと考えられる。
- ② 軸組に使用した集成材は、通常の構造材に比較して高価で、仕上げにもよるが北海道内では普通の構造材の約4（輸入材）～10倍（国産材）である。この要因としては、集成材の生産性の低さ、消費量の少なさ、などが挙げられる。しかし、集成材を軸組に用いることにより、在来構法の合理化が可能となり、今後の技能者の数と質の低下に対する、ひとつの方策と考えられる。
- ③ 住宅の性能として室温・燃料消費量・木材含水率・気密性能などを測定、分析した。冬期の室温は1, 2階ともよく安定し、その温度差もほとんどなかった。暖房期間の燃料消費量は約720リットルであり、良好な結果を得られた。土台などの含水率は通年5～12%の間で変動し、腐朽の恐れは極めて小さいことが分かった。
- ④ 気密性能については、竣工時の延床面積当たりの有効開口面積は $2.45 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ で高气密性を示し、1年半後の測定でも $2.50 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ となり、気密性能にほとんど変化はなく、入居時の性能を維持していた。

本研究では外断熱構法のパネル化の可能性を探った。北海道のような積雪寒冷地での冬の建設作業は、降雪、寒さ、日照時間の短さなどにより困難を伴い、特に外まわりでの作業は厳しい。しかし、気密・防湿、断熱層をパネル化することにより、これらの工事の大部分は工場内での作業に振り変えることができ、この結果、通年施

工も十分可能となる。今後はパネル作製の合理化、ジョイント処理の開発、さらに間仕切壁、床などのパネル化の検討を行う予定である。

謝 辞

この一連の研究に対して、室蘭工業大学建設システム工学科、泉 清人教授から貴重なご助言、ご指導をいただきました。パネル作製、および工事を行った各施工会社の方々には多大のご協力をいただきました。また、性能測定には北海道工業大学菊地研究室の昭和63年度、平成元年度の卒業生の協力を得ました。ここに謝意を表します。

注

- 1) 在来軸組構法を用い、延床面積は約 100 m^2 、断熱、防湿方法は柱間、根太間にグラスウールを挿入、室内側よりポリフィルムを施工。

参考文献

- 1) 飯田雅史、菊地弘明：木造軸組外側気密・断熱住宅の計画と性能、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
- 2) 飯田雅史、菊地弘明：木造軸組外側気密・断熱住宅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.47～53、1991年7月
- 3) 飯田雅史、菊地弘明：木造軸組外側気密・断熱住宅の施工性と気密性能、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3）、日本建築学会計画系論文報告集、第434号、pp.61～69、1992年4月
- 4) 建設労働学術研究会編：これからの建設労働の役割、日本建築学会1990年大会（中国）、建築経済部門・研究協議会資料、1990年10月
- 5) 満久宗磨：木材の乾燥、実用木材加工全書2、森北出版、昭和43年12月
- 6) 井上嘉幸：木材の劣化と防止法、実用木材加工全書10、森北出版、1972年12月
- 7) 池本 章、飯田雅史ほか3名：パネル化した木造外断熱工法、札幌・西野・K宅の場合、日本建築学会北海道支部研究報告集No.62、pp.81～84、平成元年3月
- 8) 池本 章：飯田雅史ほか3名：パネル化した木造外断熱工法、札幌・西野・K宅の場合その2、日本建築学会北海道支部研究報告集No.63、pp.189～192、平成2年3月

（1992年2月27日原稿受理、1992年6月12日採用決定）