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

CHANGES IN CAPACITY OF THE HOUSE WITH AIRTIGHTNESS, THERMAL INSULATION FROM THE OUTSIDE OF THE WOODEN FRAME

A fundamental research on a wooden construction method with airtightness and thermal insulation from the outside of the wooden frame Part 2

飯田 雅史*, 菊地 弘明**

Masashi IIDA and Hiroaki KIKUCHI

The purpose of this paper is to analyze the percentage of the water content of the wooden frames and the airtightness of the house which was built by the construction method with vapor-proof/airtightness and thermal insulation from the outside of the wooden frames.

The results of this study were as follows :

- 1) The percentage of the water content of the wooden frames fell rapidly in about one year after moving-in. It was less than 15 % at all measurement points, which means that there was little danger of rotting.
- 2) The effective open area of the house was 346 cm² after two years. But that fell to 315 cm² after the windows were sealed. This means that the windows were the cause of the decline in airtightness.

Keywords : outside insulation, the percentage of the water content, airtightness

外側断熱, 木材含水率, 気密性能

1. はじめに

前報¹⁾では寒冷地における在来構法住宅の現状と問題を指摘し、木造軸組の外側より防湿・気密層、断熱層を形成する構法を提案した。さらに、その外断熱構法により建設された住宅（以下、A宅とする）の施工過程、工事費、入居直後の室内温度変化、気密性能、燃料消費量などを報告した。その結果、在来構法に比べて外断熱構法に要した工期は約2週間、工事費は約60万円となったが、室温は安定傾向を示し、有効開口面積は在来構法住宅に比べて約1/3~1/4となり、高气密性が明らかとなった。燃料消費量は入居直後の測定値より、在来住宅に比べて低減できることが分かった。しかし、①外断熱構法を適用した住宅において主要軸組や床部分の木材含水率の変動は明らかになっていない。これは耐久性にかかわる重要な項目と考える。さらに、②気密性能は経年的に変化する可能性がある。それは高断熱・高气密化さ

れた住宅の暖房用燃料消費量に直接に影響を与える。したがって北海道などの寒冷地における住宅を考えるうえで、これらの問題について解明しなければならない。

2. 研究の目的

本報告では前報の外断熱構法を適用したA宅について、

- ① 主要軸組である柱、土台の木材含水率、布基礎外断熱を施された床部分の根太の木材含水率、温湿度の変化を測定し、さらに在来構法によって建てられたB宅の柱含水率、C宅の床下温湿度と土台含水率変化を分析し、耐久性について検討を行う。
- ② 木造住宅において気密性能は建設当初と数年後では、軸組木材の乾燥、外窓の狂いなどにより、気密性が低下することが予想される。そのため、外断熱構法により建設された3住宅（A、D、E宅）について、気密性

* 北海道工業大学建築工学科 助手

Research Assoc., Dept. of Architecture Hokkaido Institute of Technology

** 北海道工業大学建築工学科 教授・工博

Prof., Dept. of Architecture Hokkaido Institute of Technology, Dr. Eng.

表—1 測定対象住宅の概要

住宅名	建設年次 及び場所	形式 断熱構法	延床面積 (㎡)	各部の 断熱仕様	窓の仕様	主な 測定項目	家族構成	備考
A宅	昭和62年 札幌	木造2階建 外断熱構法	1F 63.7 2F 37.7 計101.4	屋根:GW200ミリ 外壁:GW200ミリ 基礎:FP板100ミリ (外断熱)	外窓:7割ミサツ(単板ガラス) 内窓:木製引違い窓 (7割ガラス) (気密性に配慮)	木材含水率 気密性能	夫婦2人	気密性に配慮した窓とは、 木製引違い窓にパッキン、 傾斜可能な戸車を使用 したものである。
B宅	昭和57年 札幌	木造2階建 在来断熱構法	1F 52.7 2F 41.3 計 94.0	天井:GW200ミリ 外壁:GW100ミリ 床 :GW50ミリ	外窓:7割ミサツ(単板ガラス) 内窓:木製引違い窓 (単板ガラス)	柱の 木材含水率	夫婦2人 子2人 (小学)	外窓は昭和40～50年代、 北海道での主流の形式 である。
C宅	昭和46年 札幌	木造2階建 在来断熱構法	1F 83.1 2F 40.9 計124.0	天井:GW200ミリ 外壁:GW100ミリ 床 :GW50ミリ	外窓:7割ミサツ(単板ガラス) 内窓:木製引違い窓 (単板ガラス)	大引、根太 の木材含水率	夫婦2人 子5人 (中学 ～大学)	外窓は昭和40～50年代、 北海道での主流の形式 である。
D宅	昭和62年 北見	木造2階建 外断熱構法	1F 65.3 2F 54.4 計119.7	屋根:GW200ミリ 外壁:GW200ミリ 基礎:FP板100ミリ (外断熱)	外窓:7割ミサツ(単板ガラス) 内窓:木製引違い窓 (7割ガラス) (気密性に配慮)	気密性能	夫婦2人 子2人 (小学)	気密性に配慮した窓とは、 木製引違い窓にパッキン、 傾斜可能な戸車を使用 したものである。
E宅	昭和61年 札幌	木造2階建 外断熱構法	1F 73.3 2F 28.7 計102.0	屋根:GW200ミリ 外壁:GW200ミリ 基礎:FP板100ミリ (外断熱)	PVCサッシ(7割ガラス)	気密性能	夫婦2人 子1人 (幼児)	PVCサッシとは枠、建具枠が プラスチック製で現在、北海道 の新築住宅で多用されて いる。

の経年変化を分析する。

3. 研究の方法

3.1 測定対象住宅

表—1 に測定対象とした住宅の概要を示す。A、D、E 宅は外断熱構法、B、C 宅は在来の断熱構法で、軸組はすべて在来軸組を用いている。住宅の建設場所はD宅(北見)以外は札幌で、規模は100～124 m² (約30～37 坪)と、北海道では標準的な大きさである。各住宅の生活様式については特に変わった点はなく、ごく普通の住まい方をしている。なお、北海道内の冬の洗濯物の乾燥は、主として室内で行っている。図—1 に外断熱構法、図—2 に在来構法の外壁、床まわりの概略を示す。相違点は、①外断熱構法の柱、土台は気密・防湿層の室内側にあり、柱間は中空となっていること。②外断熱の床下は床部分に断熱層、防湿層が施されておらず、床下換気口も設置されていないため、室内と同じ温湿度条件となること。

3.2 測定方法

木材含水率の測定方法には全乾重量法、推定的方法、電気的方法などがある²⁾。全乾重量法は試験体採取、乾燥させ、その重量差により含水率を求める方法であり、推定的方法は測定対象木部の近傍温湿度より、含水率を推定する方法である。そのため測定対象の柱など、壁内に組み込まれる部材にはそれらの方法は適さない。電気的方法は測定部材に針を埋め込み、リード線を介してその電気抵抗の変化により含水率を測定する方法である。今回の測定では測定部位は主に主要軸組となっているため、この方法を用いた。A 宅の各センサーは建設中にあらかじめ設置した。測定期間は昭和 63 年 1 月より平成 2 年 6 月。木材の含水率は 2 か月ごと、室内と床下部分の温湿度は季節ごとに測定した。在来構法の B、C 宅についても測定期間は異なるが、A 宅と同様の方法で測定

図—1 外断熱構法の外壁、床下部分の概要

図—2 在来構法の外壁、床下部分の概要

表—2 測定機器一覧

温 度	CHINON DR-0303
湿 度	中浅測器製自記温湿度計
木材含水率	コーナ-札幌 K.K製 KNR-024-98
気密性能	コーナ-札幌 K.K製 KNR-3000

を行った。なお、センサー取り付け位置はすでに建設されたものもあり、設置場所は限られた。気密性能測定については加圧法により、有効開口面積を求めた。使用機器の仕様を表—2 に示す。

3.3 各測定部位の位置

図—3～5 に A 宅の各測定センサー取り付け位置を示

図-3 A宅(外断熱)2階各種測定位置平面図

図-4 A宅(外断熱)1階各種測定位置平面図

図-5 A宅の各種測定位置断面図

す。建物は日射の影響を受けるため、木材含水率は南北別にその変化を検討することにした。また、各部材の外側(外気側)が高含水率になる可能性があるためその面にセンサーを取り付けた。測定対象は主要軸組である土台外側、1階柱外側(FL+1,000)、棟木、垂木(垂木間は屋根部分の通気層に利用)、根太、1階外壁通気層確保用の外装下地胴縁(30×45)、さらにA宅で含水率が高くなることが考えられる北西出隅部の土台と柱の外側などである。

図-6 A宅の夏期の各部温度変化

図-7 A宅の冬期の各部温度変化

4. 室内の温湿度の変化

A宅の住まい方はごく普通であり、夏の暑い時期は窓を開け換気により涼を得て、冬は在宅時に暖房を入れ就寝時には暖房を止める、というパターンである。図-6に夏期、図-7に冬期の代表的な温度変化を示す。夏の外気温は日中30°C以上となるが、1階ではそれより3~4°Cほど低下して変化している。2階は1階より2~3°C高い。南側床下は23°C前後で安定している。室内湿度は60~70%で変化している。冬は暖房時、1~2階の温度差は1~2°Cと良好である。湿度は40~45%で夏に比べ安定する傾向が見られる。床下は暖房の影響が見られ温度に若干の振幅がある。

5. 木材含水率の測定結果

図-8にA宅の防湿・気密層の内側(室内側)にある

図—8 A宅の軸組(柱, 棟木)含水率変化

図—9 A宅の外壁通気層胴縁, 垂木含水率変化

1階柱(南北別), 北西隅柱, および棟木の含水率の変化を示す。図—9は同じくA宅の防湿・気密層の外側(外気側)に位置する部位で, 南北別に見た1階通気層確保用の外装材下地胴縁(30×45)と屋根面垂木の含水率の変化である。工事に使用した木材の当初の含水率は20~25%で, 特に乾燥材は使用していない。これらの図より以下の事項が明らかとなった。

- ① 図—8~9の各部位とも入居後1年間は乾燥傾向にあり, その後は多少の季節変化はあるものの, 安定している。
- ② 図—8は主に柱材についてまとめたものであり, 図—9に比較して, 含水率の変化幅が小さい。
- ③ 図—8の全体的な変化について見ると, 入居時が冬期であり暖房が開始されたため含水率は急激に下って, 暖房が停止された4月から10月までは8~10%で安定し, 10月以降はまた暖房が入ったため, さらに値が低下して約5%になっている。
- ④ 図—8の棟木(□印)の含水率の変化は, 柱材と比較して冬にやや高くなる傾向が見られる。A宅では棟木

図—10 B宅(在来断熱)の1階柱含水率測定位置

図—11 B宅(在来断熱)の柱含水率変化

は柱と同じ軸組材であっても防湿・気密層と断熱層の外側に位置するためであり, むしろ垂木(図—9)に近い動きをしている。

- ⑤ 図—9の南側胴縁(○印), 垂木(□印)が北側の同部材に比べて測定当初より10%程度低いのは, 日射の影響を受け乾燥したものである。測定開始後, 北側部材は南側に比べて7~8%ほど高い値を示しているが, 最大値でも13%以下である。

図—10に在来構法(外壁, 通気層無し)のB宅の平面と, 図—11に1階柱(FL+1,000)の含水率測定結果を示す。B宅は昭和57年, 札幌市手稲区に建てられ, 2階建て, 屋根は無落雪型式, 延床面積は約94m²である。図—8と比較すると含水率は南(○印), 北(●印)共に入居後, 乾燥傾向にあるが, 1年を経過しても13~19%でA宅(外断熱)のように10%以下にはなっていない。南北別では北側の方が高い。

以上の結果より, A宅(外断熱)の柱は約1年間ほどで乾燥し方位別には余り影響を受けず, 冬期間は5%以下まで低下, 夏の高湿多湿期は若干上昇し, 8%前後

となることが明らかとなった。防湿・気密層、断熱層の外側に位置する胴縁、垂木は柱材よりも方位の影響を受け、北側で高い値を示す。一方、B宅（在来断熱）の柱はA宅ほど乾燥しておらず、夏の多湿期では北側は19%にまで上昇している。それはA宅の柱が外断熱を施され、室内とほぼ同じ温湿度環境におかれているのに対し、在来構法のB宅の柱は断熱層間に位置しているため、と考えられる。

札幌の気乾含水率は資料³⁾によると、最大で16.5%（7月）、最小が13%（4月）、平均値は15%であり、外断熱を適用した柱、および、通気層を設置した外装下地材は良く乾燥状態にあるのが分かる。

6. 床下まわりの木材含水率

図-12にA宅（外断熱）の床下の木材含水率（図下部）と季節別の温湿度変化（図上部）を示す。床下の湿度は入居時、68~78%と高い値を示している。これは木材、建材、コンクリートなどからの放湿によるものであり、夏には75~80%、1年後には35~45%となり定常状態になったものと考えられる。各部位の含水率の変化は図-8~9に類似した乾燥傾向を示している。南側土台（□印）についてみると、入居時は20%であったが、6月

図-12 A宅の土台、根太含水率変化と床下温湿度変化

には15%まで低下、10月まであまり変化はなく、暖房が入ってからさらに値は減少し、平成元年1月では10%までになり、乾燥状態にあるのが知れる。

図-13~15は在来構法によるC宅（昭和46年札幌市西区に建設）の平面、床下測定位置を示したものであり、図-16に南北別に見た土台、大引の含水率調査結果を示す。測定期間は昭和61年7月~62年9月。夏は15~20°C、70~95%、冬は-0.5~10°C、55~80%で推移しており、外断熱を施した床下に比べて、高湿度で、温度の変化幅が大きいのが分かる。土台、大引の含水率は夏には20~26%と高く湿潤化し、冬は12~16%と乾燥している。C宅の床下は、図-15に示すよう1階床部分で断熱されており、土台、大引は床下環境に大きく影響されることになる。そのため夏の高温多湿期には木材含水率が上昇、腐朽の恐れが強まる。これに対し、布

図-13 C宅（在来断熱）1階平面

図-14 C宅（在来断熱）の土台、大引測定位置

図-15 C宅（在来断熱）床下断面

図-16 C宅の土台、大引含水率変化と床下温湿度変化

基礎に外断熱を施したA宅の床下は室内とほぼ同じ条件となるため、B宅ほどの含水率の上昇は見られない。

7. 軸組の腐朽についての検討

木材が腐朽する条件として、適当な温度(24~35°C)、水分(最適含水率30~90%, 20%以下では腐朽は発生しない)、空気、養分(木材)が必要であり、これらのうち1つでも欠くと腐朽しない⁴⁾、と考えられる。したがって、木造軸組の含水率を下げることで腐朽を抑え耐久性を増すことにつながる。外断熱構法を適用したA宅の木材各部の含水率の値は、図-8, 9, 12に示されるよう入居後半年以降は15%以下で推移しており、在来構法に比べて相対的に低い値となっており、腐朽の可能性は極めて小さいと考える。

8. 気密性の経年変化

図-17にA宅の有効開口面積の経年変化と、本構法により建てられた、住宅2例(D, E宅)⁵⁾の有効開口面積の変化を示す。この図より以下の項目が明らかとなっ

図-17 A, D, E宅の気密性能変化

た。

- ① A宅の有効開口面積は竣工時296 cm²であったが、1年後は352 cm²と若干増大し、2年後は346 cm²とあまり変化が見られない。
- ② D宅, E宅ではほとんど変化は見られない。
- ③ A宅の木製内窓をテープでふさぎ、有効開口面積を測定した値は315 cm²であった。
- ④ このことにより、A宅の気密性の低下は木製建具の乾燥収縮によるものが主な原因と考えられる。
- ⑤ 同じ窓仕様のA宅とD宅の違いは、窓を作製した建具店が異なり、D宅の使用材はA宅のものよりもよく乾燥し、良質の木材を用いたためである。

以上のことにより本構法を適用した住宅は、建物の構造自体の有効開口面積はあまり変化はなく、気密性が確保されることが明らかになった。また、A宅の分析結果より、窓まわりの仕様により、若干の開口有効面積の増加が認められることが分かった。しかし、1時間当たりの換気回数推計値(図-17()内数値)を見ると、その影響は小さく0.42回で、その差は入居時(0.37回)と比べ冬期、1時間当たり0.05回前後で、生活に影響を与えるほどのものではないと考える。

9. まとめ

本研究の結果は以下のようにまとめられる。

- ① 木造住宅の含水率の変化を知ることが耐久性を考慮するうえで重要なことと考える。外断熱を施したA宅の気密・防湿層、断熱層の室内側に位置する柱、土台は入居後約1年間で急激に低下、以後、乾燥傾向を示し15%以下で推移している。これは柱、土台は温湿度条件が室内と同じになるためである。それにたいして在来構法のB, C宅の各木材含水率は全体的に見て、A宅よりも高い値で変化している。柱について見るとB宅の含水率があまり変化しないのは、外壁の構成が半密閉状態に近いためであり、C宅の土台の含水率が夏に高いのは、

高温多湿の条件に土台が同調するためと考えられる。

② 気密性能については、A宅は木製引違い窓の建具枠の乾燥収縮により若干の気密性の低下が見られたが、構造体自体では、ほとんど気密性能に変化はなかった。これは建物の外側より気密・防湿層を施す構法となっているためと考えられる。木材は乾燥により、収縮、ねじれ、反りなどが発生する。そのため入居後、建物に狂いが生じ隙間が発生し、気密性は低下することになる。しかし、外側より施工された気密・防湿層は、それらの現象が発生してもほとんど影響を受けることなく、機能が維持できることを示している。

本研究では軸組の外側より防湿・気密層、断熱層を形成し、布基礎外断熱をした場合の各部木材含水率は低く、木材の腐朽の危険性が極めて小さいことを明らかにした。しかし、在来構法に比べて高气密・断熱性能は得られるが、施工会社や様々な形態の住宅への適用については今後の問題である。また、在来構法に比べて現場作業は増大する。さらに、技能者の高齢化や減少が予想され、この点が問題となろう。今後の報告では本構法により7つの施工会社で建てられた、17戸の住宅団地を対象として形態別の施工性と気密性について分析する。引き続き、

外壁、屋根をパネル化し、軸組の外側より施工した住宅について性能評価を行う予定である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、調査・測定に協力を得た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に謝意を表します。

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) 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
- 3) 木材工業ハンドブック，丸善，昭和61年5月
- 4) 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
- 5) 菊地弘明，飯田雅史：外張りパネルシステム工法，実験住宅SU宅の場合・札幌，日本建築学会北海道支部研究報告集，NO 59，pp. 29～32，昭和61年3月

（1990年11月10日原稿受理，1991年5月1日採用決定）