



寒冷地における木造住宅の構法改良に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-03-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 鎌田, 紀彦, 鈴木, 大隆 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1106

寒冷地における木造住宅の構法改良に関する研究

鎌田 紀彦・鈴木 大隆

Study on Improvement of Wooden House Construction in Cold Climate Area

Norihiko KAMATA, Hirotaka SUZUKI

Abstract

This study inquire into total construction of traditional wooden house for effective method of insulation and airtight in cold climate.

This story consists of three parts.

Firstly, our laboratory propose that the defects in traditional construction put away without changing basic construction system, by contrast with 2"×4" construction system and so in North America and Northern Europe.

Secondly, we propose the construction method of insulated external wall for preventing concealed condensation.

Lastly, we report case study on improvement for energy saving in traditional wooden house.

1. はじめに

1973年の石油危機以来、世界的に建築の省エネルギー化が進められ、特に北欧・北米では、組織的な研究と行政とが一体となり、住宅を中心とする省エネルギー基準が作成、実施され、又構法的な研究成果を基に、具体的な設計・施工マニュアルに従った建設が進められてきている。これに対し、日本においては、民生用の石油消費比率が非常に低かったためか、又、暖房用灯油消費の大きい寒冷地域が、地方に偏在したためか、行政や研究の対応はにぶいものであった。日本の代表的な北海道においても、石油危機以来、断熱材を大量に使用する住宅建設は、行政・研究からの誘導ではなく、建主・工務店の建設側から、謂わゆる民間主導で始まり、行政が、省エネ法や、公的資融基準の中での対応によって後追いすると形となった。しかも、その背景としての、実際的な組織的な研究成果があるわけではなく、使用すべき断熱材の厚さのみを規定するに留まっていた。そして、その施工基準や指導も、内容においても、その運用においても、極めて不徹底なものであった。特に、日本における在来木造軸組工法は、北米や北欧における、枠組壁工法や、組積造の工法に比べて、断熱材使用の歴史も浅く、軸組工法の特徴として、柱・梁のフレーム構造で、床・壁・天井が、下地として構成され、部位として連続的に空隙がつながる構成であるため、断熱材を充てんする事によっても、断熱性能が十分得られず、又、部位内部での結露等

の障害が出やすい構成である。昭和50年代に入ってから研究側の対応として注目される、日本建築学会北海道支部寒地住宅研究委員会での研究成果も、この在来木造工法の構法上の特質にはふれず、省エネルギーを動機とした、温熱環境の向上した住宅の提案、それを実現する各部構法の提案・評価という点に重点がおかれてきた。このためその後に行った、住宅の色々な部位での木材腐朽や、断熱性能の低下等の現象を十分説明しきれず、具体的な施工基準として行政と協調して適正な構法を普及するに至らず、むしろ、行政側との見解の相違から、混乱を招いたと言えよう。筆者等も、同委員会のメンバーとして、これらの結果への責任はまぬがられない。本研究は、この事に対する反省に立脚しながら、在来木造軸組工法の構法的な特質に視点をすえ、住宅の断熱性能や気密性能を確保し、木材腐朽の原因となる内部結露を防止するための構法について行ってきた。約5年間の研究成果を報告するものである。内容は、大きく3つに分けられる。第1は、在来木造軸組構法の特質から来る、断熱・気密性確保する上での欠陥に対する構法的な改良方法の研究である。第2は、部位内部での結露のうち、外壁内部結露の防止構法についての研究である。そして、第3は、これらの研究成果をもとにした、既存住宅の改修工法についての研究についてである。既存の研究との関連は、各章の中でふれることとする。

2. 寒冷地における在来木造軸組構法の改良について

2-1 はじめに

複雑な仕口と継手によって構成される在来木造軸組構法は、日本の高温多湿な風土に適合し、手先の器用な国民性の表出としての大工の技術によってはぐくまれてきたものである。江戸時代末期、北海道の移入されてきてからは、特異な変化を遂げ、特に戦後は建築材料の工業生産化の中で、急速に変化し、大壁造の洋風住宅として、省力化の進んだ構法として定着した。寒冷地の特殊性である、雪害、凍土、すがもりその他の障害に対する防止法の研究は早くから進められ、又、断熱工法の普及も早かった。昭和48年の石油危機以降、急速にグラスウールの100mm厚使用が急速に普及した。しかし、その断熱材の使用量に比較して、住宅全体の熱損失は全り減らず、断熱厚が半分の木質プレハブ住宅の灯油消費量の方が少いという調査結果も報告された。¹⁾日本中で在来木造軸組構法の改良についての既応の研究や提案は数多くあるが、殆んどが、施工の合理化・省力化・省資材や、構造強度の向上、木材資源の有効利用等に関するものであるが²⁾、本研究は、寒冷地の気候風土の中での、断熱・気密性能の向上を目指すものである。

2-2 在来木造軸組構法の断熱構法上の問題点

在来木造軸組法は、90~120mm角の木材を中心として、柱・梁の軸組を構成し、それに依存しながら、先ず壁を構成、床・天井をその後で作るという構成となっている。従って、床下や小屋裏の空間は、壁内空隙によって相互に連結され、それらを空気が流通することにより、建築各部

位の換気を図り、木材の腐朽を防止するという日本の高温多湿な風土に適応した構法として長い間に出来上がった構成をもっている。断熱材の使用が始まってこの基本的な構成は変わっていない。断熱材によってもたらされる、各部位の層構成内での大きな温度較差によって生じる結露の危険を防止する上では、この部位内を流れる気流は有効であるが、一方、部位を貫通する熱流を少なくするという断熱工法としては、全く不都合を生じた。在来木造住宅の断面構成から見た、断熱工法としての欠陥を、図-1に略示する。その概略は、(i)間仕切壁が、床下から小屋裏へ開放された空間となる。(ii)1階小屋裏とし2階床下が、一体の空間となる。(iii)外周壁の断熱層が、床下から小屋裏への冷気流の通路となりやすい。(iv)床の断熱材受けの工法によっては床断熱層内への冷気が容易に侵入する。等である。これらのうち、(i)や(ii)については、熱損失の大きさについて基礎的な研究報告がある³⁾。それ等を基に計算すると、住宅全体の熱損失は、使用された断熱材の性能が十分確保された場合に比べ、2～3倍にのぼることがわかる。

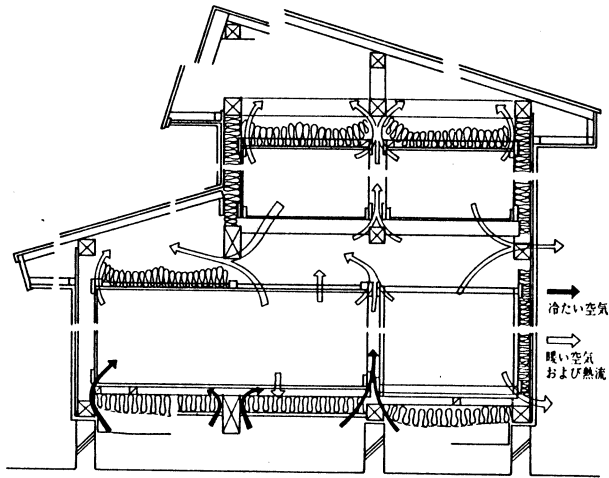


図-1 在来木造住宅の断熱欠陥

これらのうち、(i)や(ii)については、熱損失の大きさについて基礎的な研究報告がある³⁾。それ等を基に計算すると、住宅全体の熱損失は、使用された断熱材の性能が十分確保された場合に比べ、2～3倍にのぼることがわかる。

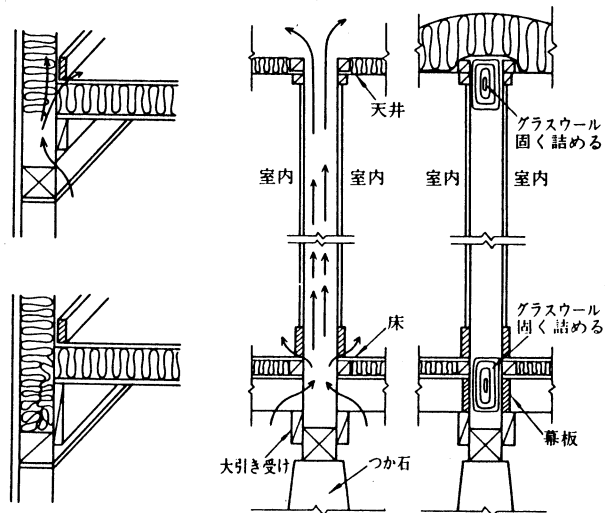


図-2 これまで推奨されていた気流止め構法

これらのうち、(i)や(ii)については、熱損失の大きさについて基礎的な研究報告がある³⁾。それ等を基に計算すると、住宅全体の熱損失は、使用された断熱材の性能が十分確保された場合に比べ、2～3倍にのぼることがわかる。

これらの断熱工法上の欠陥を是正する方法として、色々な工法が提案されたり、指導されてきた。図-2は、その一例であるが、その対象となる部位は、土台、桁、胴差に、根太、間柱等が交錯し、その施工は大変に手間のかかるものであった。北海道等の寒冷地では、冬期間の施工が極めて少なくなることから、大工の手間が増えることは嫌われ、しかも、その効果も不十分な対策

であり、過去、10数年にわたって、同じような指導が行われてきたにもかかわらず、その実施率は極めて低く、その結果として、熱損失の大きな住宅が大量に建設され続けている。

2-3 構法改良の可能性の検討

在来木造軸組構法に比べて、北欧や北米の木造工法である枠組壁構法は、断熱工法上の欠陥は殆んど起こらない。図-3は、その構法上の違いを図解したものである。在来木造軸組構法が、床・壁・天井の各部位が互いに連続し、更に、床下や小屋裏の半外的な空間に連結しているのに対し、枠組壁構法（2"×4"工法）では、各部位が、木枠材、合板、ボード等で完全に遮断され、その中に充てんされる断熱層が各々独立し、冷気流の生じにくい構成になっていることがわかる。又、室内の仕上の各部納り上生じる隙間が、建築内部空間の気密性の低下になってしまう在来木造軸組構法に比べて、枠組壁構法では、必ずしもそうではなく、防湿層の連続性も容易に確保されることがわかる。

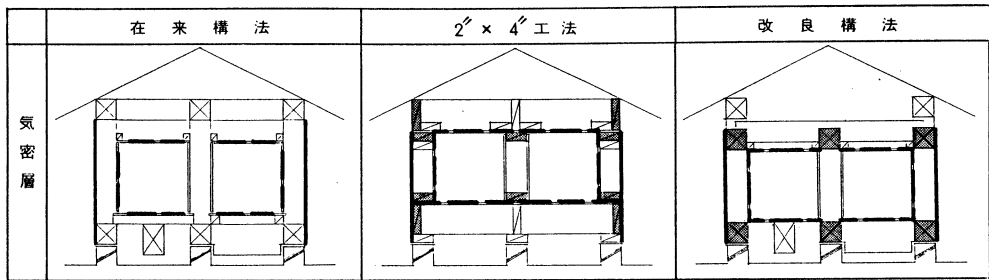


図-3 気密層の構法による構成

このような比較から、在来木造軸組構法の改良は、床・壁・天井の各取り合い部（図-4に示す）の構成を、冷気流を生ぜず、住宅の気密性を低下させるような隙間を生じにくい構成を、建方の工程中で自然にできるようにすれば良いことがわかる。図中に改良構法の一例を示す。このような構法改良の検討を進めていく上での原則をまとめると次のようなものになろう。

- ①広義の意味での在来木造軸組構法の枠の中で考える。即ち、建築基準法に示される構造上の要件をふまえ、通常使用される木材を利用し、大工の墨付け・加工技術の枠内での改良を考える。
- ②施工が容易で、施工手間、木材使用量等を増加させないようにして、コストアップをさげ、施工段階で大工が容易に受け入れられるようにする。
- ③断熱される壁は、床・天井との取り合い部で、床下や天井裏の空間と、壁の断熱層との境界部を、木材・防湿層等で気密に遮閉する。（図-4 ㉑㉒㉓㉔㉕㉖部）
- ④間仕切壁の上下端も同様とするが、2階床下部との取り合い部分等の、水平な断熱層と取り合わない部分は、この限りではない。（図-4 ㉗部）

④ 1階小屋裏と2階床下部の境界部は、断熱された下がり壁として構成し、施工が容易で、工程を乱さない方法を考える。(図-4 ④部)

⑤ 断熱層は、家全体を外側からすっぽり包むように設け、且つ、室内の壁、2階の床等には設けない。

⑥ 断熱材は、グラスウール・ロックウール等のフェルト光断熱材等、木枠の間に充てんする工法を原則とし、その室内側には、防湿層を施工することを前提とする。

⑦ 防湿層の継手は全て10cm以上重ね、防湿層の端部の処理を含め、必ず、木下地の上で行い、タッカー等で仮止めした後、ボード、木材等ではさむようにして釘止めする。(住宅全体の気密性を確保するため、気密層として防湿層を用いる。)

⑧ 断熱層は、床・天井200mm、壁100mm程度とし、断熱層各部分で、木材以外の熱橋が出来ないようにする。

2-4 改良構法による住宅の試作と測定結果について

改良構法の検討は、このような原則を前提として、昭和58～

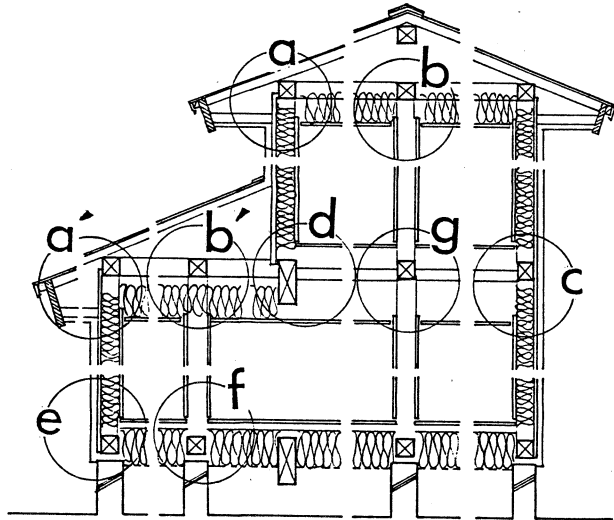
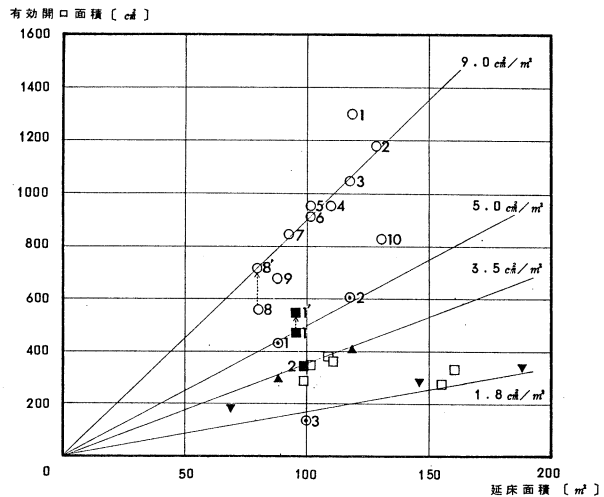


図-4 改良すべき取り合い部位



- 在来木造工法住宅
 - 1～○8 : 大手ビルダー各社の昭56～昭58年新築住宅 (8:84年8月測定)
 - 9～○10 : 某ビルダーによる在来木造シール工法 (8:85年5月測定)
- ◎ 2'×4'工法住宅
 - 1～○2 : ふつうの2'×4'工法
 - 3 : 土間床、気密化2'×4'工法
- 1 試作改良工法住宅 (気密ベルト工法) (1:85年1月測定, 1':85年5月測定)
- 2 試作改良工法住宅 (プラットフォーム工法)
- S60ホームビルダー改良工法住宅
- ▲ SF外貼り工法住宅
- ▼ ブロック、RCの気密化住宅

図-5 改良構法住宅の気密性能

59年度の2年間にわたって、日本建築学会北海道支部の木造在来構法の改良に関する研究委員会(筆者、鎌田が主査)で行われ、いくつかの改良構法案の中から、その詳細は省略するが、2つの構法と、それと比較するための在来木造住宅の計3棟の試作が行われた*。施工とその後の居住状態での測定から、いくつかの示唆を得ることが出来たが、その結果の詳細は、日本建築学会北海道支部研究報告集³⁾を参照されたい。ここでは、住宅の気密性能についてのその後のいくつかの試作住宅の結果を含めて、報告する。図-5が、同委員会によって調査、測定された結果である。当初試作された、■1、■2の改良工法のうち、■1は、一冬経過後、木材の乾乾燥によって若干の気密性能が低下し、気密化自体も不完全であることがわかる。最近の在来木造軸組構法住宅が、 $3.5\text{cm}^3/\text{m}^2$ の線上にあり、有効開口面積としては、在来の約3倍の気密性能を持っていることがわかる。中には、 $1.8\text{cm}^3/\text{m}^2$ というRC造の気密化住宅に匹敵する高い気密性能を得ているものもある。

2-5 改良構法の各部構造と、その熱性能について。

ここでは、委員会で検討された構法をもとに、更に、施工性や工程を検討した改良構法の各部の構成の一例と、その構法を用いた住宅を設計する場合の断熱水準や換気・暖房の考え方について述べる。

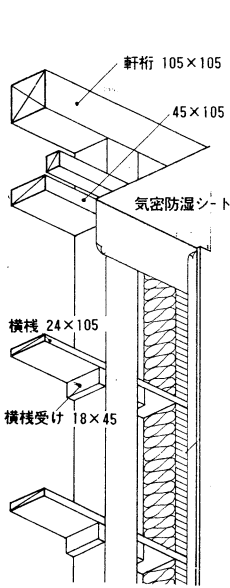
i 床構法(プラットフォーム構法)

土台の上に床根太をのせるという点では、大工にとって違和感の少ない構法である。枠組壁工法と同じようにプラットフォームを壁の外側までのばして構成する点は抵抗があると思われるが、工法的に明解で大工の裁量による欠陥が出にくいというメリットがある。壁を横棧工法や、横棧間柱工法をとるならば、もっと簡易な工法も考えられる。この構法の欠点は、2階床と外壁との取り合い部で防湿層や断熱層が切れることであるが、枠組壁工法でも同じ事でありFP板等で補強する事が可能である。(図7,9)

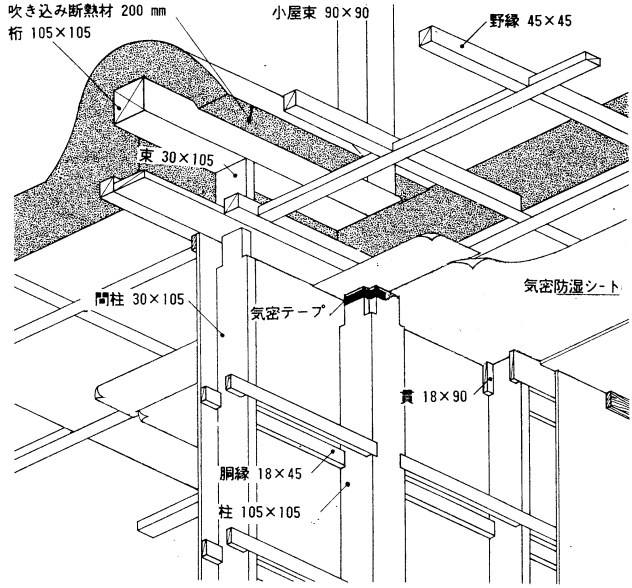
ii 外壁工法(横棧工法)

外壁は、普通の間柱工法でも可能であるが、現在のように外側に通気胴縁を縦に打ち付け、横張りサイディングを張る構法ならば、横棧工法が適しているようである。横棧工法といっても、従来のように、柱を欠きこんで止めるのでは、柱の断面欠損が問題になるが、図6,7のように板を柱に留め付け、その上に乗せながら留める方法をとればよい。床、天井との取り合い部は防湿層を必ず重ね合わせ、気密性を確保する。通気胴縁の位置が間柱と関係無く、むしろ外壁材の長さで決められるため、外壁材の施工性が良くなるというメリットもある。桁や胴差にかかる荷

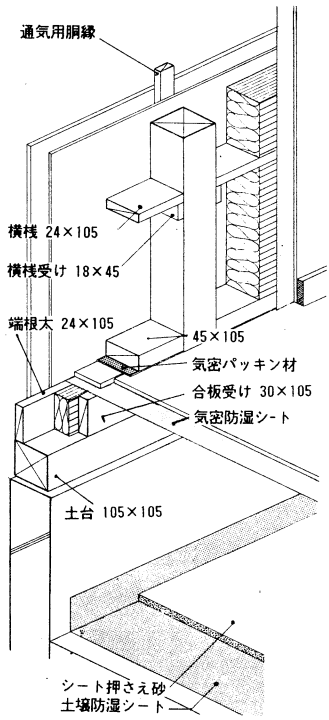
*この3棟の建物の試作は、北海道住宅供給公社、及び(株)住いのクワザワの協力によって行なわれた。



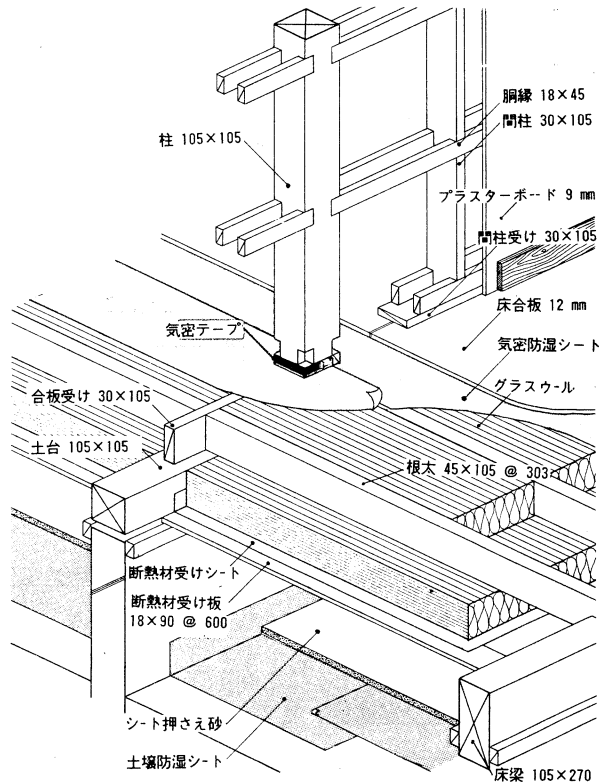
図一六 外壁上部
(横棧構法)



図一八 間仕切り壁上部 (横棧間柱構法)



図一七 外壁下部 (横棧構法・プラットフォーム構法)



図一九 間仕切り壁下部 (横棧間柱構法・プラットフォーム構法)

重は、間柱が無くとも十分支えられるのである。(図6,7)

iii 間仕切壁構法(横棧間柱工法)

間仕切壁は、普通の間柱工法では、天井の防湿層が連続しにくい。天井の防湿層を桁まで伸ばす事も考えられるが、ブローイング工法での断熱が施工しにくい。天井の防湿層の施工を先行させ、工程的に最後とすべきであろう。このようにすると、間仕切壁の構法は全く自由になり、ホームビルダーでは、パネル化等の部品化が可能となるし、一般的に言っても自由な作り方ができ、さらには、改築の場合の自由度も確保される。(図8,9)

iv 防風層の材料, 構法

断熱層と通気層との間にある防風層は、現在は、アスファルトフェルトを使うのが一般的であるが、これは内部結露防止の点から好ましくない。フェルトの透湿抵抗によって結露が発生する事と同時に伸びて通気層を塞いでしまうからである。防風層の材料としては、透湿抵抗の低い専用のシートを用いるのがよい。このシートは不織布であることが多く伸びがあるので、通気層を塞いでしまわないようしっかりした留め付けが必要である。ボード状の材料としては、シーリングボード、合板、発泡ポリスチレン板等を、用いることができる。特に合板として構造用合板を使うことによって、筋かいを設けなくとも壁耐力がとれ、断熱材の施工性が向上、又、合板によって気密性も向上する。しかし、コストは、一戸当たり約20万円位上がってしまう。コーナー部のみ構造用合板にして他はシーリングボードを使う事も考えられる。

v 気密化構法

この改良木造工法の住宅の気密性は主として、防湿層によっている。防湿層として普通に用いられるポリエチレンシートは、施工中に傷が付いたり破れたりすることが多いために、極力丈夫なシートを用いるべきである。このようなシートを十分に重ねをとって、施工することによって、相当の気密性能が期待できるのである。実際に、ここ一年間に施工された住宅の気密性能を測ってみると、枠組壁工法の住宅と同等以上の高い気密性能を持っている事が実証されている。このほかに、気密化のためには、例えば床と外壁との取り合い部や、サッシの取付け部に気密パッキン材を用いたり、外壁の室内側に設けられたコンセントや天井の照明器具の配線孔に、防湿コンセントやシールを行なうことによって、より高い気密性能を得ることが可能であろう。

vi 換気と暖房システム

改良木造工法の住宅は、断熱性と気密性が在来木造工法の住宅に比べて非常に高いので、換気と暖房システムには十分な配慮をはらう必要がある。まず暖房は全室暖房を前提とすべきであろう。とは言っても、建売住宅のようにローコスト住宅にとっては、むずかしい。この意味からも、ローコストな簡易全室暖房システムの開発が待たれる。ストーブ暖房でも、設計によっては、全室暖房に近い暖房が不可能ではない。開放的な間取りや、暖房室である居間に二階に昇る階段を設けたり、吹き抜けを設けたりなどの工夫によって、全室が余り差の無い温度分布を得る事が可能で

ある。換気は今後の大きな研究課題である。必要換気量について確かな数値はまだ無いように思われる。しかし、改良木造工法住宅の持つ自然換気量よりは、相当大きな数値にはなりそうである。だからといって、改良工法が過剰性能であることではない。高い気密性の住宅で換気量と換気の経路をコントロールすることが、換気量を必要最低限に抑え、熱損失を最小にとどめることになるのである。

vii 断熱水準について

在来木造工法の住宅の断熱構法上での欠陥である、間仕切壁内の冷気流や、外壁の断熱層内の冷気流、その他が、改良木造構法の住宅ではほとんど無くなるため、及び気密性が非常に高くなるため、改良木造工法の住宅は熱損失が少なく、従って灯油消費量が少なくてすむ。たとえば、外壁：GW 100mm，床・天井：GW 200mm，窓：ガラス二重（ $K=2.4$ ），換気回数0.5回の断熱仕様の100㎡の住宅は札幌で全室暖房したとして約1200ℓの灯油消費量ですむ。この水準を、かなり高いものと思うかどうかは、その住宅の色々な条件による。たとえば、ローコストな建売住宅ではやむをえない線とも言えようし、比較的予算の有る注文住宅では、窓のガラスを三重にしたり、断熱戸をつけたり、また、外壁の断熱材をもっと厚く入れたりする余裕は十分あろう。これによって、灯油消費量は、500ℓ位のオーダーに下げる事も可能であり、なによりも、居住性能が格段に良くなるのである。要は、設計の時点で住宅の性能目標を明確に設定する事が重要である。

2-6 改良木造構法の今後の課題

改良木造構法は、日本の寒冷地域の木造住宅構法として、伝統的な在来木造工法の技術的な枠組のなかで、実証的な実験にもとづきながら考案された構法である。

しかしながら、これまでの研究過程において、実際に建設された住宅はまだ数少ない。今一番の課題は、より多くの実施例を通じて、さらに改良を重ね、少しでも早く在来木造構法化することであろう。そのためにも、ここで、いくつかの問題点についてふれておきたい。

第一には、木材の乾燥流通の問題である。未乾燥材が現場に搬入され乾燥する間もなく住宅が完成してしまう現状は住宅の性能や耐久性に非常に悪い影響を及ぼしている。住宅の構法が変化しつつもある安定期を向えようとしている今、そろそろ真剣に検討すべき時期にきているといえよう。

第二には、木構造に対する法や制度の問題である。木構造について、最近色々な話題がある。しかし、その多くは、一部の業界や外国からのある種の圧力によっているように見える。在来木造工法についての検討はもっぱら金融公庫まかせで、合理的、工法的な検討が足りないのではないだろうか。改良木造構法においても、今後、構造耐力や、耐火性能等についての、検討を待ちたい。

第三には、構法の普及の問題である。改良木造構法のようにまだ十分に評価が終わっていない構法は別としても、研究が進み目途がついた構法に対して、普及啓蒙を図ろうとするとき、やはり、最も大きな力を持つのは行政であろう。指導行政等を通じて迅速な対応が、望まれるのである。

3. 寒冷地における木造外周壁の内部結露防止法について

前章が、断熱材の使用により住宅の熱損失を減少する上での高断熱化・高气密化を躯体の構法の問題として解決しようとするものであるが、本章は、同じく、断熱材を使用した場合の外周壁内部結露の防止について、構法的に解決しようとする研究について報告する。小屋裏や床下での結露は、改良構法によって、水蒸気の流入が減少することで、換気を十分にとれば解決する。それに対して、外周壁は、改良構法では、壁体の上下密閉を図っていることに対して、内部結露を防止する構法的な対策が必要とされるし、又、上下が床下、小屋裏に開放された在来木造軸組構法の壁についても、或る程度、内部結露を防ぐ構法を普及させることが緊急課題である。

断熱された外周壁が内部で結露を生ずるかどうかにについては、在来木造の壁構成では、通常の透湿計算では検証できない。その理由は、壁内に入り出す蒸気が、壁の上下端が開放されたり、施工上の欠陥や、壁貫通した穴等、透湿計算にのらない要因が大きすぎるからである。又、冬期間の外界条件を実験室で実験することは、特に湿度の制御が極めて難しく、全国的にもそのような実験設備は極めて少い。こうした点から、蓑輪⁴⁾、山田⁵⁾、田村⁶⁾、福島⁷⁾等の研究は、在来木造の壁体を十分モデル化していなかったり、実験室内条件が、極めて不利な条件のもとの実験であるため、木造外壁の構法的に最適な評価は得にくい。本研究は、室蘭という、北海道の中では、比較的温い地域の実験ではあるが、実際の外界条件のもとで、実大の建物を用いての実験を行い、寒冷地の木造住宅の外壁構法を開発していく上での重要な主眼を、得ようとするものである。

3.1 設備概要

実験は本学D棟裏に位置する図-10に示す様な、巾38cm×高さ260cmの実験パネルが北面に32種設置可能な実験建物で行った。建物内の温湿度は、ポット式灯油ストーブを熱源とする温風ダクトと市販加湿器2台を、各々サーモ制御し、図-11に示す様、冬期間(12月～5月)は終日20～22℃、50%前後に維持した。他の期は、南面の開口部から流入する太陽熱を熱源とし、湿度の制御はしていないが、概ね実際の住宅の温湿度に近似した範囲で推移している。

3.2 測定期間と測定項目

本論では、昭和58年12月～昭和61年4月まで、測定を行なったパネルを対象とし、測定期間と、主な検討内容の関係において次の3期に大別することができる。

第Ⅰ期 昭和58年12月～昭和59年
12月 北海道における一般的な外壁
断熱構法の検討

第Ⅱ期 昭和59年12月～昭和60年
12月 壁体内部結露防止構法の検討

第Ⅲ期 昭和60年12月～昭和61年
4月 室内加圧時における内部結露
防止構法の検証

冬期において、パネル中央部の断熱材裏面（断熱材外側の境界空気）温湿度を30分毎に自動記録し、木材含水率は、2日毎に計測した。本論では、断熱材裏面湿度（以下 裏面湿度）は典型的な日変動、含水率は期間変動及び解体時の目視観察結果を基に、検討を行っていく。

3.3 パネル概要

壁内に断熱材を充填する一般的な木造住宅の断熱構法において、内部結露の関連で問題点としては、次の項目が挙げられる。

- i 防湿層が不連続になったり、傷がつき、信頼性に乏しい事
- ii 特に在来木造構法において、断熱材の充填しにくい部分が生じ、床下等からその空隙を通し、壁内に冷気が侵入する事

このような要因を実験パネルに組み込むため、次の様なモデル化を行った。

- a) 防湿層の傷の有無 配線、配管上或いは構法上の理由で必然的に生じる傷を、壁体下部に50mm×80mmのコンセント大の穴

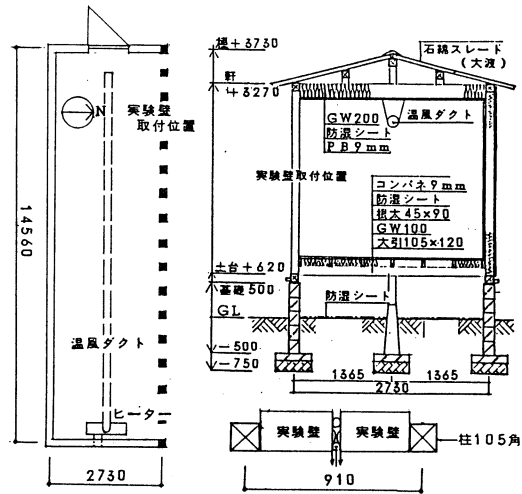


図-10 実験棟の概要

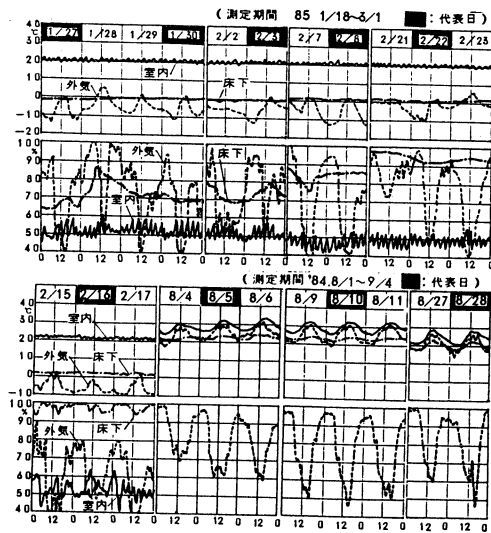


図-11 室内外温湿度状況

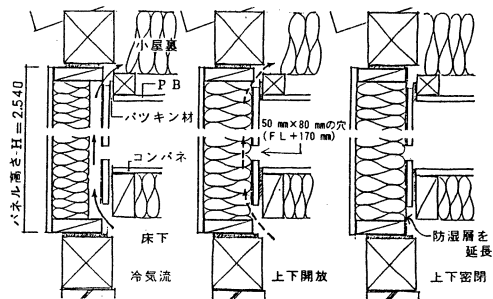


図-12 モデル壁の設定

を防湿層とプラスタボードにあけ、モデル化を行った。傷の有無は穴の有無による。尚、防湿層には、ポリエチレンシート⑦0.1mmを使用した。

b) 壁内冷気流の有無 断熱材の施工状態及び、壁内と床下・小屋裏の関連から、次の3タイプを設定した(図-12)。また、グラスウールは、密度16kg品、厚さ100mmを使用した。

①冷気流モデル—断熱材が丁寧に充填されておらず、壁内に空隙ができ、床下から冷気の侵入がある。(在来構法を想定)

②上下開放モデル—断熱材は丁寧に充填されているが、壁の上下端が、床下・小屋裏に開放されている。(在来構法を想定)

③上下密閉モデル—壁の上下端が密閉構造となっており、外壁として部位の独立化がなされている。

(枠組壁構法・パネル構法・改良軸組構法等を想定)

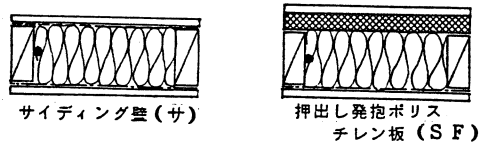


図-13 パネル概要図

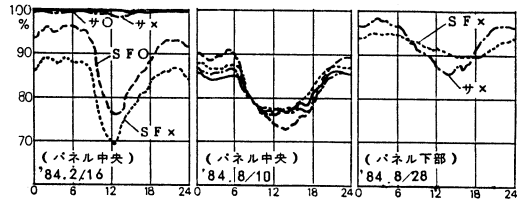


図-14 冷気流壁内温度

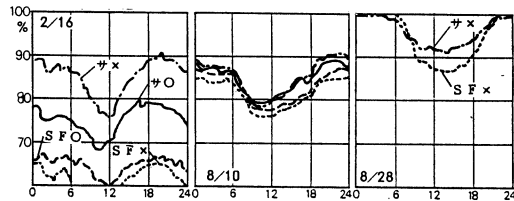


図-15 上下解放壁内温度

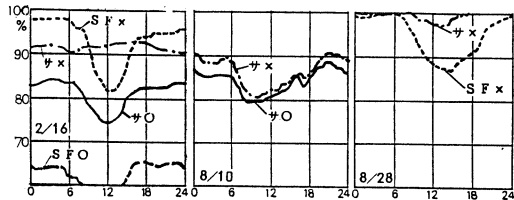


図-16 上下密閉壁内温度

3.3 実験結果と考察

1 在来構法による一般的な断熱構法の検討

北海道の外壁構法として最も一般的な図-13に示す様な壁構成について検討を行う。設定パネルは、壁内冷気流の有無、防湿層の傷の有無による6タイプで第I期にて測定した。

冬期間の壁中央部の裏面湿度(図14~16)で2つの壁構法共、以下の様な傾向が続みとれる。

- 冷気流モデルでは防湿層の傷の有無による差は少く、この差は壁内冷気流の影響が少ないモデル程明確に顕れる。
- 開放モデルが密閉モデルより低値である。

これは、在来構法の想定モデルでは、壁内が床下・小屋裏と連続している為、壁内の水蒸気が壁の上下端から抜けてしまう事が原因であろう。しかし、解体すると（図-17）中央部の湿度が低くても、壁体下部で著しい結露が一様に見られる。これは、壁内下部に床下の冷気が入り込み、冷却された為と考えることができるが、詳細についてはiiiにて検討する。

夏期間では裏面湿度では次の事が組み取れる。

c) 中央部では、相互の有意差は見られない。

d) 下部では、夜間90~100%に達し、結露している可能性が大きい。

c)については、室内外温度差・水蒸気圧差が逆転する事が多く、壁内の水蒸気の移動方向が定常的になっていない事、d)については、冬期と同様の原因によると考えられる。

構成木材の含水率は（図-18）、在来構法・防湿層傷有りのパネルの下枠で、外気温が0℃以下となる春~秋にかけ20~30%程度であり、これは木材腐朽菌の繁殖する条件にも合致し、木材腐朽の恐れが極めて高いと思われる。

ii 在来構法による通気層構法の検討
通気層構法とは、外装材を縦胴縁で浮かせ、その隙間を外気に開放することで、外壁内の水蒸気の放湿を図る外装構法であり、内部結露を防止する方

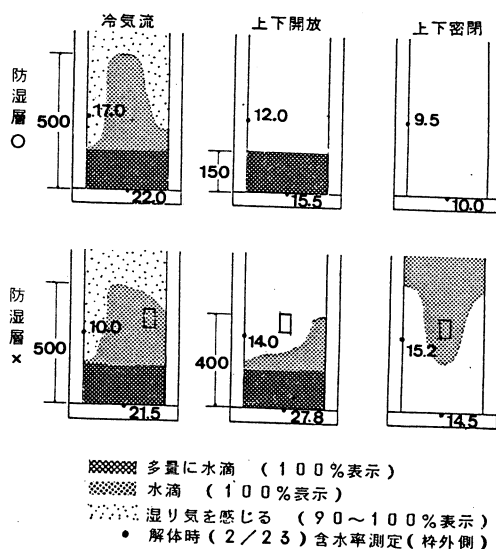


図-17 サイディング壁下部の結露状況

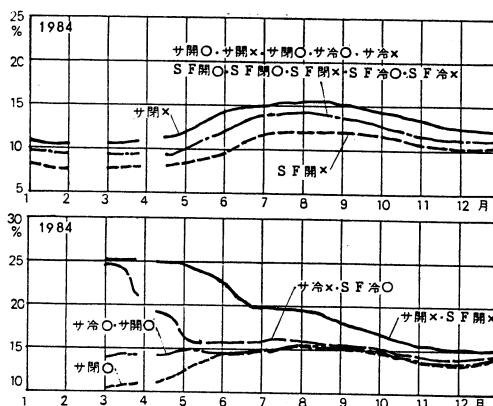


図-18 木材含水率

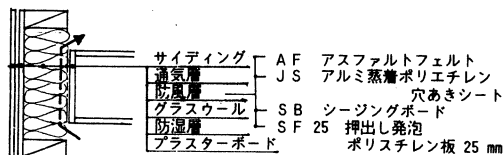


図-19 パネル概要図

法として急速に普及しつつある。

本項では、在来構法に通気層を付加する事で内部結露を防止し得るかについて検討する。

図-19に示す様な、防風層に現在使用されている材料を中心に使い、上下開放・防湿層傷有りのモデルにて、第I期にて測定を行った。

冬期間の中央部裏面湿度（図-20）では、本来防水下地材であるが最も使用事例の多いフェルト以外のパネルでは、壁内の除湿効果を認める事ができるが、解体すると（図-21）、全てのパネルの下部で、前項iで報告した、通気層を持たない在来構法モデルに見られたと同様の下部結露が認められる。又、夏期においても下部の裏面湿度が高く、結露している可能性が高い。これは、前項同様、床下の冷氣侵入でグラスウール内部が温度低下している事によるものと考えられる。

また、木材含水率（図-22）では下枠は同じく木材腐朽の可能性が極めて高いと言えよう。

i, iiより、在来構法モデルにおいては、

- a) 冬期間では理論上結露する筈の壁構法でも、中央部では結露しない場合がある。
- b) 通気層の有無によらず、壁体下部では結露する危険性が通年において極めて高い
- c) 適当な防風層使用の通気層は、壁内の除湿には有効な手段となり得る。

事が判った。次項iiiでは、下部結露の発生する要因について比較検討を行うことで、内部結露を防止の為の構法上の条件を探る。

iii 内部結露防止構法に関する検討

下部結露の発生する要因としては、床下空間が高湿度である影響している事も考えられる。前項までの検討は、床下地面防湿シートはない状態で進んでいた。これは、この条件に数年前に

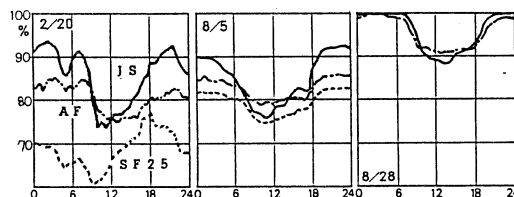


図-20 防風層の比較

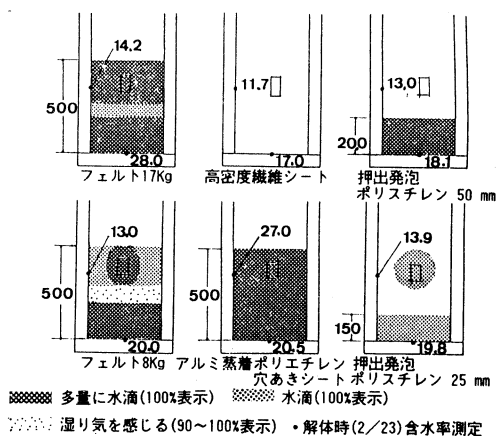


図-21 実験壁下部の結露状況(防風層の比較)

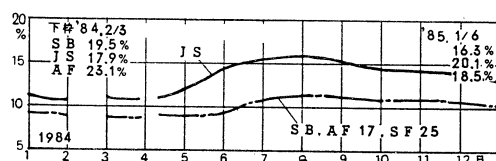


図-22 木材含水率

建設された住宅の殆んどが適応する事、防湿シートが敷かれていても、室内の高湿空気が各取り合い部から入り込み高湿になっている事等に基づいた為である。本項では、防湿シート材が有る場合も含め、通気層を持つ同一構成の断面を持つ（図-23）、上下開放と密閉モデルの比較検討を第Ⅱ期にて行ったものである。

防湿シートを敷いた場合は、壁体中央部裏面湿度（図-24）は有意差がなく、解体しても結露発生は認められなかった。次に防湿シートを除いた所、上下開放モデルの下部では数時間で100%に達し、解体すると著るしい下部結露が発生していた。図-26は、防湿シート有・無の場合の床下空気露点温と、上下開放モデルの下部裏面温度の比較であるが、シート有りでは壁体下部温度が露点温より上廻っているのに対し、シート無では下廻っており、結露が発生したと考えられる。以上より下部結露はやはり床下空気が壁内に入り込む事により発生する事が明らかになった。一方上下密閉モデルでは結露は発生していない。これは、シーリングボードの他に防風材として使いそのような材料（図-27, 28）の場合でも同様である。下部結露は、一応防湿シートを丁寧に敷く事でも防止できそうだが、断熱施工不良箇所での結露や、断熱材の熱的性能低下の防止策とはなっていない事から、やはり構法的に部位の独立化を図った方が、はるかに信頼性が高いだろう。

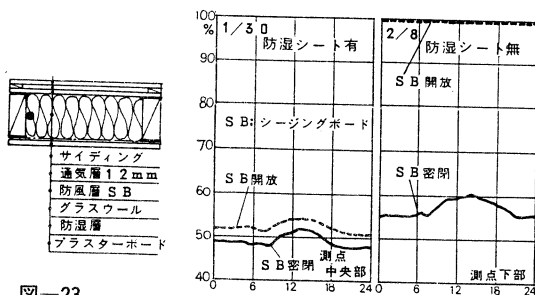


図-23

パネル概要図

図-24 密閉と解放の比較

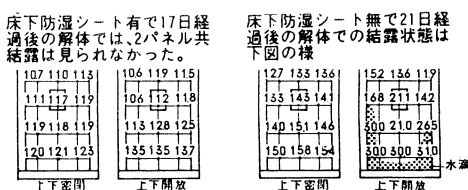


図-25 解体結果（S B含水率）

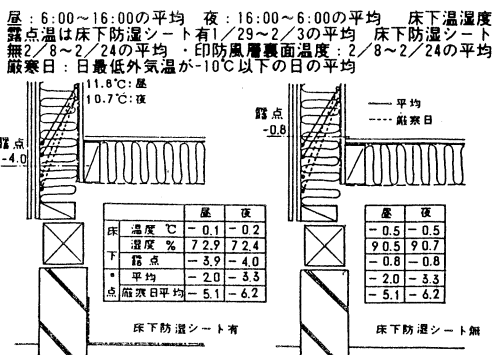


図-26 実験壁下部の結露状況

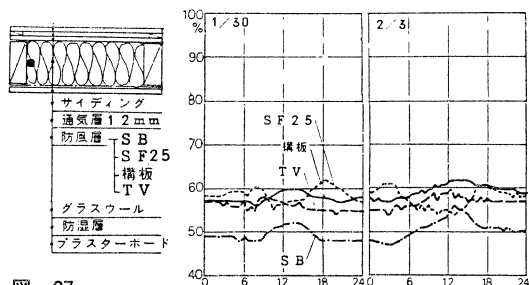


図-27

パネル概要図

図-28 防風層の比較

IV 室内加圧時における検討

最近の新築住宅では、プラスチックサッシの普及等で、以前とは比較にならない程気密性が向上し、室内外差圧が微風時でも1mmH₂Oに達する。この事は、外壁内部について考えると、微細な隙間からも室内の空気が入り込み、内部結露と言う点では危険例に移行している。

ここでは前項で提案した、「通気層構法+上下密閉化」と言う外壁構成が、差圧がある状態でも、その有効性を示し得るかについて検討する。第III期にて、図-30に示す様に、1mmH₂O前後の差圧を設けた場合を、殆んど無い状態と比較する。室内外温湿度は図-31に示す。

測定パネルは、防風層にシージングボード、構造用合板を使用した、通気層を持つ上下密閉モデルである(図-34)。加圧前後での裏面湿度(図-35)では有意差は見られない。

一方、防風層にTVを使用した通気層を持つパネルや、通気層のないパネルで上下開放モデルでは、加圧後、裏面湿度の上昇が見られる。これは、壁内の空気の抜けども、室内の空気がより多く入り込む事や、特に通気層のある壁でシート状防風材を使用した場合には、材が圧力差により外側にはらんでしまい、通気層を塞いでしまった事が原因として挙げることができる。

以上の検討より、加圧時においても、通気層と上下密閉化を合わせ持つ外壁断熱構法の有効性について示し得たと考える。またシート状の防風材では、差圧がある程度ある状態では、材自体

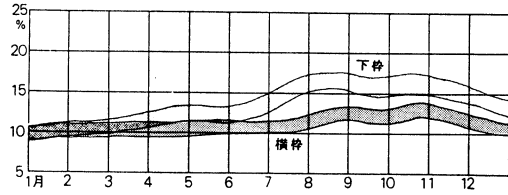


図-29 木材含水率

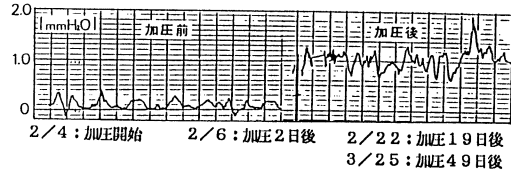


図-30 室内外差圧変動

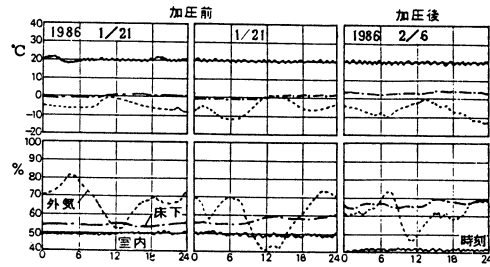


図-31 室内外温湿度状況

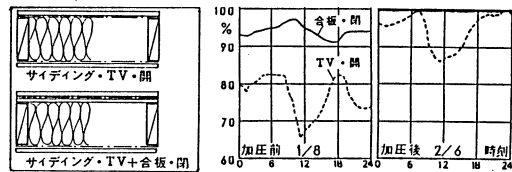


図-32

サイディング壁

図-33 壁内湿度

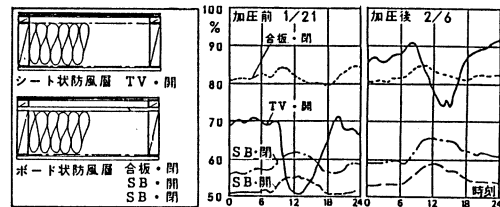


図-34 通気層壁

図-35 壁内湿度

の伸びや、施工時におけるたるみにより、通気層を塞いでしまう可能性を持つ事が、新たな問題点が出てきた。施工方法として支持間隔を狭くする等の工夫が必要になろう。

現実的な問題として、外壁の部位の独立化は、信頼性の置ける方法で在来構法でも可能である事は、前章でも述べた通りだが、通気層を設ける事については、縦胴縁で確保する為に、窓廻り、複雑な取り合い部での納り等で手間がかかる事や、通気層下端部分の防火性に疑問が残り、外装構法として簡略化が必要である。次では、通気層によらない除湿構法を検討する。

V 非通気層構法に関する検討

縦胴縁を省略するには、例えば外装材や防風材の通気層側表面に溝をとる方法が考えられるが、その製造過程上或いは材厚等の制限から、一般に必要なと言われている20mm前後の通気層厚さは、とれそうにもない。本項ではまず、壁内の除湿の為に最低限必要な、通気層厚さを把握するべく、防風層にシージングボードを使用したパネルで、通気層の厚さを24~3mmまで6段階設定し、第I期で測定した結果を述べる。

図-36は、パネルの中央部の裏面湿度であるが、厚さの違いによる差は殆んど見られない。

この結果より、通気層として、僅かな厚みでも確実に確保されていれば、壁内の除湿効果は見られるようである。

この結果を基に以下の様な除湿構法を考えた。

- a 通気サイディング壁 (図-37,38)
外装材の裏面に縦横に2~3mm程度の溝をつけたパネル。(第III期で測定)
- b 押し出しよろい貼り壁(図-39,40)
外装材を押し出し成型し、重ね目部からの放湿と外部からの防水性を確保したパネル。(第III期で測定)

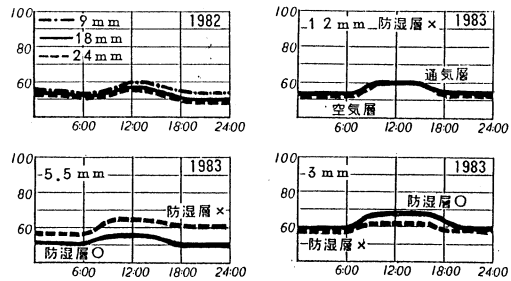


図-36 通気層の厚さの比較

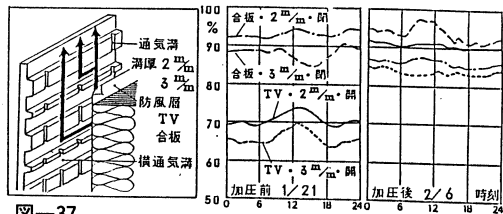


図-37

通気サイディング壁

図-38 壁内湿度

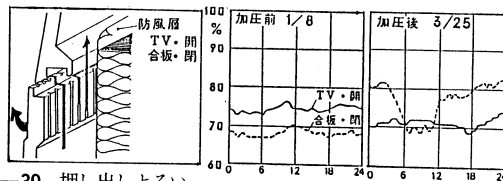


図-39 押し出しよろい

貼りサイディング壁

図-40 壁内湿度

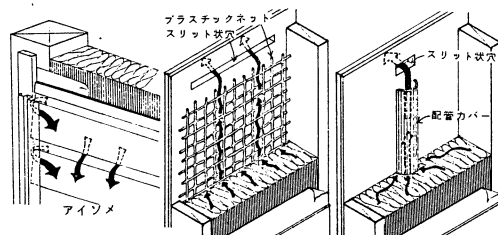


図-41 パネル概要図(上下密閉・防湿層傷有り)

c 壁内通気を持つ壁 (図-41, 42)
断熱材の外側に微細な通気経路を持つパネルだが、スパーサー、通気金物、断熱性の低下防止の為の検討が今後の問題である。

(第Ⅱ期で測定)

パネル中央部の裏面湿度では、aの合板使用パネル以外は、概ね通気層と同等の除湿効果が見られる。aについては室内側の防湿層が実験条件より安

全例にある場合には、十分であろう。bでは今後、水密性の検討を行う予定である。

3.4 実験結果のまとめ

これまで木造住宅の断熱壁体での内部結露に関する実験・研究を5年間に渡り行ってきた。本論で扱った最近の3年間で実験したパネル数は150を超える。初年度は、実験の条件を6種類のパネルに限ってモデル化を行い、実際に起る現象との間で、壁構成と内部結露との間に、ある程度の因果関係を導き出すことができた。次年度は、その結果から、内部結露の発生しない条件を、上下密閉壁と限定して検証を行った。昨年度は、その条件が、室内外差圧を持つ場合にも成立し得るのかについて検討を行った。その間、通気層構成によらないで簡便に内部結露を防止し得る構法についても検討を行い、ある程度の実現性について示し得たと考える。寒冷地の在来木造構法における外壁の構法上の幾つかの条件を以下の様に導き出す事ができた。

i 外壁の上下端は密閉された構法とすべき事

在来木造の壁の上下端が、床下・小屋裏に開放されている事は、壁に断熱材を充填しない状況では、構法的な合理性があるが、断熱材を入れた場合、内部結露を防止するためには壁内と床下・小屋裏とを空气的・水蒸气的に遮断する構成とし、壁内の水蒸気の放湿は、通気層等の除湿構法によるべきである。

ii 防風材の材料選択について

これまでの実験結果から、材料の性能を定量的には規定できないが、シート系の断熱性能の殆んどない材料では、透湿抵抗は、低い程適しているようである。また、ボード状の断熱性能のある程度ある材料では、透湿抵抗が 10^4hmmHg/g 程度でも、透湿性では問題がないようである。特に材料選択の際に注意すべき事は、通気層等により外気に開放する結果、防風層にも外壁にかかる風圧の何割かは受ける事となり、ある程度の面剛性と断熱材内部に冷気が侵入しない様な気密性への配慮が必要であると言うことである。

iii 通気層厚は相当小さくとも良い。

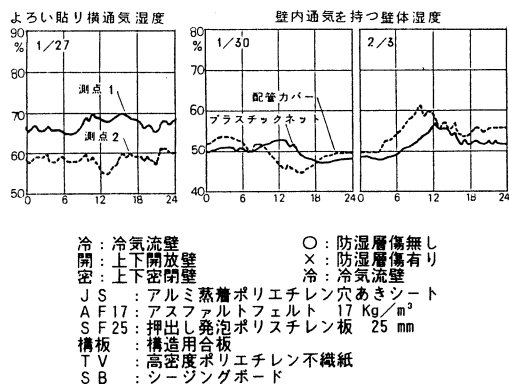


図-42 壁内湿度

これまで言われていた様な厚さでなくとも、数mmの厚さで除湿効果のある事が確認された。

この結果により、従来の縦胴縁によらない除湿構法の開発が可能となった。

最後に、実験建物で今年度測定した厳寒期の外気温湿度、水蒸気圧日平均を、札幌市内での値と比較すると(表-1)、温度では1.5℃前後高く、水蒸気圧は殆んど差がない。このことは、外壁内で見れば、裏面湿度が若干低い可能性がある。この点については、今後検討を行う予定であるが、理論計算上はその差は5~10%程度の範囲内と予想されることから、本章での検討結果は、少なくとも、道央以前の寒冷地域では、十分に適応し得るものと考えられる。

表-1 外気温度平均値の比較

月	外気日平均値		
	温度 °C	湿度 %	水蒸気圧mmHg
1月	-4.2	64.0	2.057
	-5.8	70.0	1.967
2月	-3.6	59.6	2.022
	-5.5	67.0	1.933
3月	-0.2	72.0	3.347
	-0.4	70.0	3.102

上段 : 室蘭実験建物測定値
下段 : 札幌管区気象台測定値

4. 在来木造住宅の断熱改修に関する検討

4.1 断熱改修概要

最近、既存木造住宅の外壁を中心とした断熱改修工事例が、急速に増加しつつあるが、実際の断熱性向上と言う点では、尻抜けである事例が多い。本章では、前章までの各部位別構法の検討を生かしながら、図-43に示す様な、7年前に札幌市効外に建てられた典型的な在来構法による住宅において、主に居室温熱環境の改善を目的とした改修工法を実践した結果について述べる。外壁では(図-45, 46)、既往の断熱材の熱的性能を回復させるべく、上端部をウレタン吹付で密閉化する一方で、壁内の湿度上昇の防止の為、外側に断熱材を付加し通気層を設けた。次に、気密性の悪いアルミサッシの気密化を行う為、既存の内側木製建具の四周に、図-46に示す様な気密パッキン材を貼りつけた。図-47は、建具下

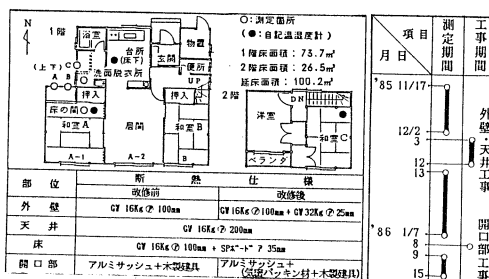


図-43 O邸概要図・測定箇所

図-44 測定期間

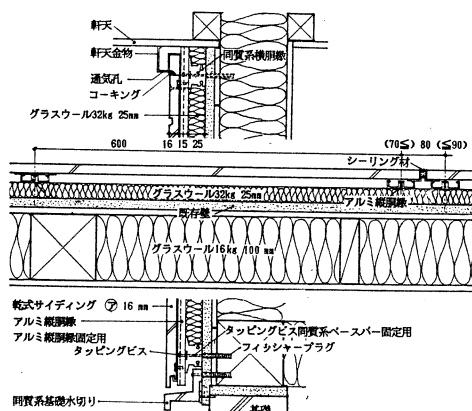


図-45 改修概要図 (外壁)

端部の施工が不完全のままの有効開口面積であるが、改修前と比べ約30%の減少が見られた。

以上の改修工事により、住宅全体の気密性は図-48に示す様に、最終的には（図中C）、有効開口面積で、枠相壁構法による住宅とほぼ同レベルにまで気密化を図る事ができた。

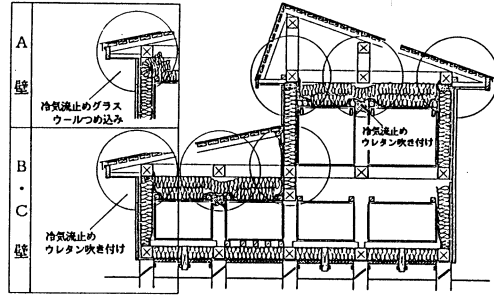


図-46 改修概要図(各取り合い部)

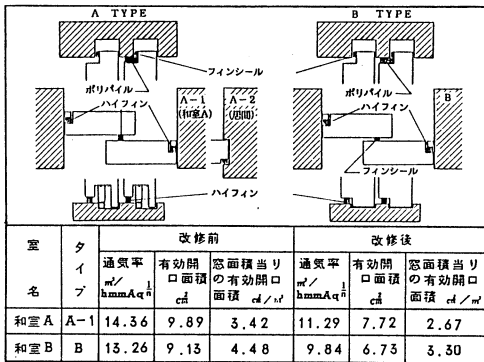


図-47 開口部気密性能測定結果

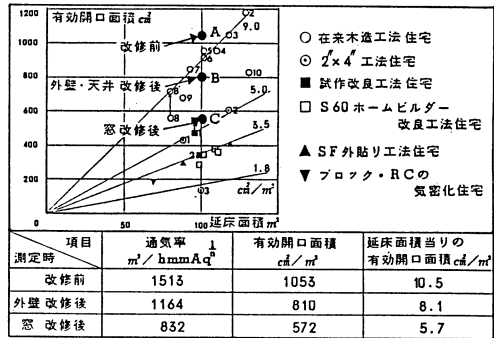


図-48 住宅の気密性能測定結果

4.2 測定結果と考察

i 居室の温熱環境に関する検討

各居室は図-49~51に示す様、改修工事により、一様な室温上昇や外気温変動に対する変動巾が少なくなっている事が判る。これは、各取り合い部をウレタン吹き付けしたことにより、暖房空間に面した間仕切り壁内、2階床ふとところ、及び外壁内側表面温度が上昇したことによるものであろう（図52~54）。又、表-2に示す様1月中の灯油消費量が前年と比べて約35%程度減少した。以上より、居室の温度環境は改修前と比べ向上したことが判る。

ii 外壁内温湿度に関する検討

この外壁改修構法では、上端部を密閉とするため、壁内の湿度上昇が心配であったが、断熱材を付加した事による裏面温度の上昇（図-55, 56）によって、壁の中央部及び下部の湿度は、一様減少傾向にある。特に、一部90cm

○：改修前 +：外壁・天井改修後 ●：窓改修後

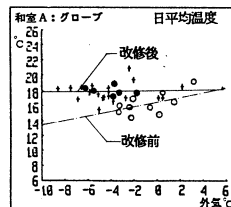


図-49 外気-和室A

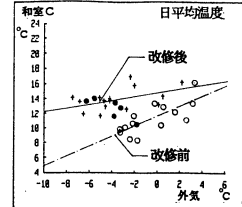


図-50 外気-2階和室C

巾で上端部にグラスウールのみを詰め込んだのみのA壁と比べ、ウレタン吹付けしたB,C壁の下部の湿度が低い事からも、壁上端部を密閉したのみでも、内部結露の発生は防止できそうである。

今回の改修工事では、外壁と1階及び2階床との取り合い部は対象外としたが、これは、これらの部位の施工性が極めて悪かった事による。

また、住宅全体の熱損失の中で、換気の次に大きな比重を占める窓ガラスからの熱損失を抑える改修工事も行なわなかった。これらの改修構法を合わせて行うことで、今回特に著るしい効果の見られなかった居室の上下温度差の改善等も図れそうであり、外壁改修構法の施工面での検討も含め、今後既存木造住宅全体の改修構法として発展させる所存である。

5. ま と め

本研究によって、在来木造軸組構法を寒冷地の住宅として適用し、高断熱化を図ろうとする時の構法上の問題点が、明確になった。それは、断熱工法としての費用対効果の問題に帰することもできよう。そして、本研究で提案した改良構法は、既に、多くのホームビルダーや工務店の手によって、建設され、その効果の高さが実証されつつある。今後は、彼等の手によって更に改良され、日本の寒冷地域の在来構法

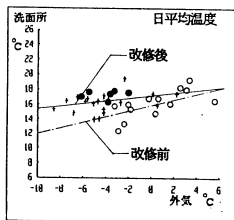


図-51 外気-洗面所

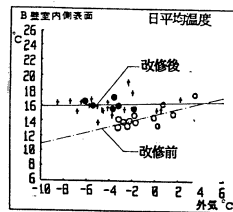


図-52 外気-B壁表面温度

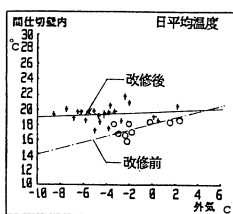


図-53 外気-間仕切壁内

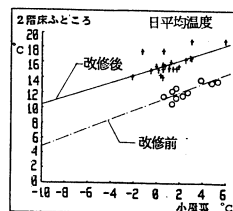


図-54 小屋裏-2階床ふとところ

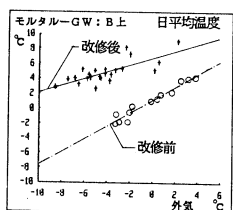


図-55 外気-B壁内温度(上)

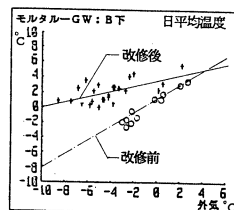


図-56 外気-B壁内温度(下)

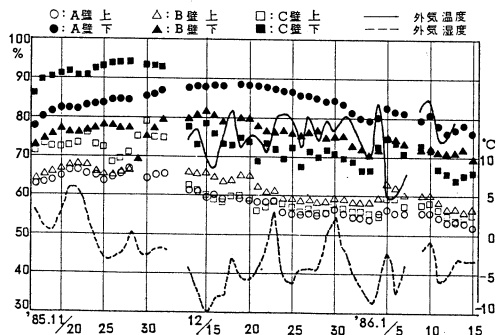


図-57 各壁内平均温度・平均外気温度グラフ

として定着していくことを期待したい。しかし、それは、単に躯体の構法として、一つの解を見出したに過ぎない。寒冷地の住宅の構法は、最近問題となっている、換気や暖房システムの問題を含めて、設計の問題として解決すべき問題はまだまだ多く残されている。外壁の内部結露防止構法についても、北海道や東北部の寒冷地に適用する構法としては、本研究によって、一応の目途はつけられた。今後は、高機能な、意匠性の高い、耐久性のある外壁構法が開発されていくことと確信する。又、北陸や関東等の準寒冷地域においては、夏の冷房使用時の問題を含めて、もう少し検討する必要がある。新築住宅の問題とは別に、既存住宅についても多くの問題が累積されている。特に、昭和48年の石油危機以降の100m²/m断熱を施した住宅は少し見積っても40万户を越え、これらは、耐久年数が短かく、早々に改修を要する事態が予想される。現在行われているような、部分的な更新工法では根本的な解決は得られない。本研究は、その第一歩ではあるが、提案の正しさを立証できた。今後は、住宅の診断システムを含めた、構法開発が必要とされよう。寒冷地住宅の構法上の問題は、総合的な視点から合理的な解決を図り、更にそれを普及することが問題である。

本研究を進めるにあたり、多くの助言を頂いた、北海道大学、洪悦郎教授、荒谷登教授、北海道工業大学、菊田弘明教授に、つつしんで感謝申し上げます。又、多大な便宜を図って頂いた、硝子繊維協会や、建材メーカー、ホームビルダーの皆様に感謝申し上げます。

(昭和61年5月21日 受理)

参考文献

- 1) 北海道大学工学部建築工学科：“寒地住宅の居住水準に関する調査研究”，(1980)
- 2) 財団法人日本住宅木材技術センター編：“木造軸組工法の改良と合理化”，第1版第1刷，(東京，1979)
- 3) 鎌田紀彦他：“寒冷地としての木造在来構法の改良に関する研究，その1在来木造を改良するにあたっての要求条件”，日本建築学会北海道支部研究報告集No.57，17，(1984)
乾尚彦他：“同名論文，その2北海道における在来構法の現状について(1)”，同No.57，21，(1984)
林勝朗他：“同名論文，その2北海道における在来構法の現状について(2)”，同No.57，25，(1984)
佐々木隆他：“同名論文，その4北海道における各種構法住宅の気密性能の現状について”，同No.57，29，(1984)
佐々木隆他：“同名論文，その6改良構法住宅の温熱性状について”，日本建築学会北海道支部研究報告集No.58，9，(1985)
村田直子他：“同名論文，その7改良構法の施工性と居住性の検討”，同No.58，13，(1985)
鎌田紀彦他：“同名論文，その8総括と展望”，同No.58，17，(1985)
- 4) 蓑輪昌寛，洪悦郎：“断熱壁体の内部結露に関する実験的研究”，日本建築学会北海道支部研究報告集No.54，39，(1981)
- 5) 山田哲，篠原潔，長谷川寿夫，洪悦郎：“木造外壁の構法と内部結露に関する実験的研究，その1防風層の性能について”，日本建築学会北海道支部研究報告集No.58，29，(1985)
- 6) 田村浩一，飯田雅史，菊田弘明他：“各種壁体の性能評価”，日本建築学会北海道支部研究報告集No.58，25，(1985)
- 7) 福島明，入江雄司，五十嵐照男，釜田幹男：“結露防止工法の研究，その2，内外装を施工した各種

寒冷地における木造住宅の構法改良に関する研究

木造壁の内部結露に関する実験”, 北海道立寒地建築研究所昭和59年度調査研究報告集, 1, (1985)