シート状防風材を用いた木造断熱壁における通気層空隙
の確保に関する実験的研究PRESERVATION OF VENTILATED AIR SPACE IN THERMAL INSULATED
WOODEN WALL WITH WIND BARRIER SHEET

鈴木大隆*, 廣田 誠一**, 福島 明*

Hiroataka SUZUKI, Tomohito HIROTA and Akira FUKUSHIMA

Ventilated air space separated from mineral wool by plastic thin wind barrier sheet will be narrower because of elongation of the sheet and spring of the mineral wool. This means that performance for vapor desorption and drainage of the air space will be insufficient.

Measurement and observation on experimental walls with various wind barrier shows that a little elongation of the sheet shut up the air space. Not only elongation of the sheet but also mineral wool type affect to the size of air space.

Keywords : wooden wall structure ,insulation ,air space method , wind barrier sheet,

木造外壁, 断熱, 通気層, シート状防風材

1. はじめに

地球環境の保全, 居住空間の快適性向上の観点から, 全国的レベルで, 戸建て中心とした住宅において断熱構造化が急速に進行しつつある。戸建住宅の年間建設戸数の80%以上を占める在来木造工法住宅において, 外壁の断熱化は, 殆どが柱・間柱間の空隙に繊維系断熱材を充填する方法によっている。実際, 北海道や東北地方の一部では, グラスウール等の繊維系断熱材100mmを壁内部に全充填する断熱仕様がほぼ完全に定着している。また, 現在50mm断熱が定着している比較的温暖な地域でも, 暖冷房用エネルギーの低減等の理由から, 今後徐々に100mm断熱に移行する可能性が高い。

我が国の温暖多湿な気候風土に即し, 在来木造工法は構造木材の乾燥化のため, 躯体内部の換気通風を積極的に図る納まりとなっている。これに対し, 壁体内空隙に繊維系断熱材を全充填した場合は, 躯体内通風が期待できない構造となる。在来木造工法に限らず断熱化木造住宅においては, 外壁構造木材の乾燥化・内部結露防止等

のために, 断熱層内側に防湿層を, 軸組外側に通気層を設置することの必要性については, 筆者ら¹⁾, 瀬戸ら²⁾, 土屋ら³⁾を初めとして既に多くの研究がなされ, その有効性が報告されている。特に, 通気層に関しては, 土屋ら³⁾は冬期の壁内防露性や夏期の排熱効果の面から, 水谷ら⁴⁾はみかけの湿気貫流率測定による放湿効果の面から, 20mm程度以上の厚さが望まれると報告している。

これらの研究成果を基に, 高耐久な断熱住宅の技術定着に向けて本学会建築工事標準仕様書JASS24⁵⁾や公的融資住宅の仕様書^{6) 7)}・基準解説書⁸⁾等に防湿層・通気層の設置の必要性や, 通気層厚さは木造住宅で使われている一般流通汎用材の規格寸法を前提として, 最低18mm程度以上確保することが記載されている。

通気層を設けた場合は, 断熱材への雨水・冷気侵入防止のため通気層と断熱層の境界面に防風層を設ける必要がある。防風層には透湿防水性がある専用のシート状材料と, シーリングボード・構造用合板等のボード状材料が一般に用いられているが, 材工費の関係からシート状

* 北海道立寒地住宅都市研究所 工修

Hokkaido Prefectural Cold Region Housing and Urban Research Institute, M. Eng.

** 北海道立寒地住宅都市研究所

Hokkaido Prefectural Cold Region Housing and Urban Research Institute

材料を使う場合が圧倒的に多い。シート状防風材は0.1～0.2mm厚程度とかなり薄く、伸び易い材質であるため、繊維系断熱材の復元厚さ・復元圧力によりシート材が通気層側に膨らみ、通気層空隙が減少する危険性があると推測される。その結果、壁体内部の水蒸気の放湿や、乾式外装材のジョイント部やシール部から侵入した雨水等の排水が阻害されて木材が湿潤化し、住宅の耐久性低下につながる危険性も少なくない。本研究は、シート状防風材を使用した場合の通気層空隙の確保に関して、実物大モデルの施工実験から問題点を把握・整理し、工法的提案を行うことを主な目的とするものである。

2. 実験モデル概要

北海道立寒地住宅都市研究所敷地内(札幌市内)に建つ実験建物の南側外壁面(幅9,100mm×高さ2,600mm)で実験を行った。実験壁の平面・断面構成を図1に示す。1つのモデル寸法は、図1(a)に示す高さ2,600mm(土台下端～軒桁上端)×幅455mm(柱芯々)からなる実物大を想定した。壁内厚さは寒冷地に多い103mm厚とし^{註1)}、木材乾燥による寸法変化の影響を極力少なくするため、軸組材・間柱等の下地材には全て乾燥木材(重量含水率12%程度)を使用した。その他の使用材料の選択根拠・施工方法を、軸組施工後の施工手順別に(1)～(4)に示す。モデル施工工程は、実際の木造住宅と同じである。

(1) シート状防風材

現在市販・流通しているシート状防風材は20数種類に上るが、その製法・材質から単一材料と複合材料の2つに大別できる。このうち前者は不織布と有孔シート^{註2)}の2タイプ、後者は基材・補強材の材質等の違いから4タイプに分類される。

本論文では、単一材料のうち有孔(ピンホール)シートは、強度・透水面から防風材として不適格という判断^{註2)}から、不織布に限定して市場流通品の中から1種を選択した。また、複合材料については、上記4タイプ毎に市場流通量が多いシート材4種を選択した。各シート材は施工時に面内方向で緩み・伸びが生じないように間柱・土台・軒桁外面四周でガンタッカー150mm間隔で留め付けた上で、通気胴縁材で挟み込み固定した。

(2) 通気層・外装材

通気層は外壁下地材を兼ねた胴縁材(18mm×45mm、外装材継目部は18mm×105mm)で確保されることが多

く、通気層厚さは18mm程度となるのが一般的である。実際は使用胴縁材の乾燥度合いによって若干の幅がある。ここでは、各モデルの通気層厚を正確に測定する必要があるため、乾燥材で厚さ18mmに揃えた胴縁材を使用し、防風材を介して柱・間柱に釘で留め付けた。なお、外装材は市販窯業系サイディング12mm厚を使用し胴縁材を下地として施工した。

(3) 充填断熱材

一般的に使用される外壁の断熱材は、ロール品、バット品と吹込み用の3つに大別される。このうち、ロール品は柱間寸法に合わせて現場切断するため施工精度が悪くなる恐れがある。本実験では精度良く断熱施工することが肝要なため、生産段階で間柱間寸法にプレカットされているバット品を使うこととし、現在北海道全域・東北の一部で最も普及しているグラスウール(以下GW)16K-100mmと、今後急速な普及が予想される高性能GW16K^{註3)}-100mm及びGW24K-100mmの3種を選択し、室内から壁内に充填施工した。吹込み用では、外壁用として寒冷地で一般的な接着材混入のGW(BIB工法)

表1 実験モデル概要とモデル番号

(表中◎印：空隙寸法測定・有効換気面積測定、○印空隙寸法測定)

シート状防風材	種別	シート材質		断熱材の種類				
		基 材	表面処理・補強材 等	一般品 GW16K 100mm	高性能 GW16K 100mm	一般品 GW24K 100mm	吹込み断熱材 GW (BIB)	セルローズファイバー
単一材	A	PE系不織布	なし	①◎	②◎	③◎	⑩◎	⑨◎
	B	PE系不織布	PE系刺布	⑤◎	⑥◎		⑪○	⑫○
複合材	C	PE系不織布	多孔質ネット	⑧◎	⑦◎			
	D	PS系不織布	表面コート	⑭○	⑬○			
	E	PS系不織布	多孔質ネット	⑬○	⑮○			
ボード状防風材		シーリングボード12mm			④◎			

PE: ポリエチレン PS: ポリエステル

図1(a) 各測定点位置 (単位はmm)

図1(b) モデル配置

及びセルローズファイバー断熱の2方法を選択し、各施工要領書に従い施工した。

(4) 防湿材・内装材

断熱材内側の防湿材としてポリエチレンフィルム0.2mm厚、内装材として石膏ボード9mm厚を施工した。

(5) 実験モデル種類

本論文で対象とした実験モデルは、シート状防風材5種と断熱材5種の組み合わせから計15タイプ、比較検討のためボード状防風材（シーシングボード12mm厚）による1タイプ、合計16タイプから構成される。モデル構成を表1、モデル配置を図1(b)に示す。

3. 通気層空隙寸法の経時変化に関する検討

3.1 測定方法

各モデルの通気層空隙は、シート状防風材の膨らみか四周固定部分からの距離で異なると予想されるため、モデル壁体上・中・下部3ヶ所において水平方向（center部：通気層胴縁材内法間の中央部分、90mm部：胴縁材内面より90mm内側の部分）に2ヶ所、計6点で測定した。各測定点位置を図1(a)に示す。

このうち、モデル上中下部分のcenter部Hc,Mc,Lcは、シート材に断熱材の復元力が殆どかからない内装材施工前と、内装材施工により断熱材復元力がかかりシート材が外側に膨らみ始める施工直後、施工直後から寸法変化が殆ど見られなくなった301日経過時まで6回、合計8回の計測を行った。計測方法は、外装材に開けた測定孔（直径30mm）から丸棒を差し込み、シート材から外装材裏面までの空隙間隔を丸棒に印してノギスで計測し、空隙寸法は計測値を四捨五入してmm単位で表示した。

また、シート材は中央部を中心にほぼ対称形で膨らむと予想されるため、90mm部Hs,Ms,Lsについてはモデル毎に各1ヶ所で測定した。空隙寸法は、内装材施工直後と施工後26日経過時の合計2回の計測を行った。計測方法は外装材施工前及び外装材を取り外した際に、胴縁材間に渡した角棒内側からシート材表面までの空隙間隔を丸棒に印し上記と同様に計測・表示した。

3.2 測定結果と考察

(1) center部Hc,Mc,Lcの空隙寸法経時変化について

本実験では、center部の空隙寸法はモデル上中下部で計測しているが、経時変化については各点とも同じ傾向を示している。その傾向は、シート材質より断熱材種別で検討する方が良く説明できる。従って、ここではモデル中央部の経時変化を代表例として図示し、断熱材別に経時変化について検討・考察する。

GW16K-100mm（一般品）を充填したモデルの通気層空隙寸法の経時変化を図2に示す。内装材施工前は12～14mm程度の空隙が確保されている。この断熱材は相当な圧縮梱包で出荷されているため、JIS規格では圧縮量を

図2 GW16K-100mm（一般品）を充填したモデルの通気層空隙寸法の経時変化

図3 高性能GW16K-100mm・GW24K-100mmを充填したモデルの通気層空隙寸法の経時変化

図4 吹込み用断熱材を用いたモデルの通気層空隙寸法の経時変化

考慮して呼び厚さに対して必ずプラス側とすることが規定されているのみで、特に製品厚さは定められていない。通常は120mm程度の開梱復元厚さとなるような復元力を持たして製造・出荷されている。そのため、内装材の施工直後より、断熱材の復元力がシート状防風材を外側に膨らませることとなり、シートB,C,Eモデルでは施工直後瞬時に空隙が1mm以下まで減少し中央部は殆ど外装材裏面に接触している状態となる。またシートA,Fモデルは内装材施工直後は5mm程度の空隙が確保されているが、26日経過後は上記モデルと同様の結果となった。比較的引張強度の高いシートDモデルでも、175日までは4mm程度の空隙で推移した後、僅かな減少が見

られる。このことは、断熱材の復元力がかなり長期的に持続していることの現れであろう。

高性能GW16K-100mmを充填したモデルの通気層空隙寸法の経時変化を図3に示す。内装材施工前の空隙寸法は一般品と殆ど差は無い。しかし、内装材施工直後も4～5mm程度減少するに留まり、経時により微減する傾向がみられるものの、301日経過後も4～8mm程度の空隙が確保されている。GW16K-100mm（一般品）と比べて空隙が確保されている理由は、この断熱材も圧縮梱包されているが、開梱復元厚さを110～115mm程度と低く抑えているためであると推測できる。

GW24K-100mmを充填したモデルの通気層空隙寸法の経時変化も図3中に示す。ここではシートAのみを対象としたが、開梱復元厚さが105mm程度に設定して製造・出荷されているため、高性能GWとほぼ同じ傾向となっている。

吹込み用断熱材を用いたモデルの通気層空隙寸法の経時変化を図4に示す。ここではシートA、Bを対象とし

たが、断熱材種別に拘わらず、内装材施工前の空隙寸法は5mm程度になり、内装材施工直後から26日経過までの間に空隙が1～2mm以下まで減少し、その後の変化が余り見られない。他のモデルと比べて長期的変化が少ない理由は、この方法に用いた断熱材は施工後短期間で固形化するため、その後のシート材に及ぼす影響が殆ど無いためである。また、総じてバット状断熱材の充填モデルより空隙が少ない理由は、施工時の断熱材の吹込み圧力や充填密度が高いことによるものであろう。

(2) 通気層の空隙性状について

内装材施工直後及び26日経過時のモデル上中下部の通気層の空隙分布状況を図5～7に示す。なお、図は上中下部毎にcenter部はHc,Mc,Lc計測値、90mm部はHs,Ms,Ls計測値を用い、実際の形状に近似し得るよう曲線化し作成したものである。

GW16K-100mm充填モデルについては、施工直後からモデル上中下部のcenter部、90mm部共、外装材裏面に接するまで空隙が減少しているモデル（シートC、E）

図5 シートAの空隙状況

図6 シートBの空隙状況

図7 シートC,D,Eの空隙状況

は、26日経過後、ほぼ完全に外装材裏面に接し、通気胴縁材近傍の僅かな部分にしか空隙が残らない状況となっている。また、施工直後は全域で空隙が確保されていたモデル(シートA,B,C)でも、26日経過後、特に中・下部のcenter部・90mm部における空隙減少が顕著で、'下脹れ状態'となり、上部を除くと空隙は胴縁材近傍にしかない状況となっている。この'下脹れ状態'となる理由は、断熱材が自重で僅かに垂れ下がったことによるものと考えられる。

高性能GW16K-100mm充填モデルについては、施工直後から26日経過にかけて、モデル上中下部の各計測点で僅かに空隙が減少しているものの、シート材が外装材裏面に接する部分はなく、全域に渡り通気層空隙が確保され、'下脹れ状態'も見られない。また、GW16K-100mmモデルと比べて、center部と90mm部の空隙寸法の差異が少ないのが特徴的であり、これは復元厚さの違いによるものと考えられる。このことは、GW24K-100mm充填モデルでも同様である。

吹込み断熱モデルについては、施工直後から各計測点の空隙は僅かである。26日経過後は僅かな空隙減少によって各点で外装材裏面に接する状態となり、GW16K-100mmモデルより通気層空隙の閉鎖性が高いのが特徴的である。

4. 通気層空隙の減少に伴う有効換気面積と図形シミュレーションによる検討

4.1 検討方法

3で述べたような通気層空隙の減少を示す一指標として、換気に有効な空隙量がどの程度減少するかを把握するため、無風に近い安穏日にシロッコファンによる減圧法にて風量と差圧を測定し、有効換気面積を求めた。なお、ここで求めた有効換気面積は通気層下端部(水切り鉄板上部12mmのスリット)及び上端部(軒裏を介して有孔ボード)納まりの隙間性状も含むものである。測定方法の概要・測定機器の詳細を図8に示す。測定は、シート防風材を用いた典型的な空隙性状を有する9タイプのモデル壁と、比較のためボード状防風材(シーシングボード)を用いて通気層厚18mmが確保されたモデル壁の計10タイプを対象に行った。測定対象モデルを表1に示す。

4.2 検討結果と考察

測定モデルの有効換気面積とMc部分の空隙寸法の相関を図9・表2に示す。参考までに横軸に、Mc・Ms部分の空隙寸法実測値を基に、市販CADソフトで求めたシート延長長さ、変化率、通気層空隙面積も合わせて示す。

有効換気面積は、通気層が全域で18mm確保されたモデル壁(防風層にシーシングボードを使用)に比べ、モデル中部Mcの空隙寸法が5mm程度までは空隙寸法

図8 有効換気面積測定概要

図9 空隙寸法(中央部分)と有効換気面積

表2 Mc部空隙寸法・空隙面積・シート材長さの相関

Mc部 空隙寸法	通気層空隙面積		シート材曲線長さ	
	面積(cm²)	比率(%)	長さ(mm)	比率(%)
18mm	69.8	100.0	388	100.0
11mm	54.8	78.5	392	100.5
8mm	44.6	64.0	396	101.8
5mm	36.8	52.7	400	103.1
0mm	20.2	29.0	408	104.6

にほぼ比例して低下するが、同空隙寸法が4mm以下になると10%程度にまで減少する。

図形シミュレーションより、例えば空隙寸法が5mm程度の場合、シート長さは、施工時(胴縁材間内法寸法:388mm)に比べて12mm程度(変化率で3%程度)増加したことになる。実験壁の解体調査では、シート材固定部及びガンタッカー周辺部で引裂き等が生じシート長さが変化したという形跡がないことから、シート材の変形は断熱材の復元圧による材料自体の伸びが主因と考えられる。

5. 総括

5.1 実験結果のまとめ

寒冷地で一般的な103mm厚の軸間に断熱材を全充填する断熱壁体において、市場流通しているシート状防風材を用いた場合の通気層空隙に関しては、本論文で行った実験より下記のことが明らかとなった。

(1) シート状防風材を用いた場合の通気層空隙は、使用する断熱材の開梱復元厚さや吹込み圧等による影響を著しく受ける。

(2) 特に、GW16K-100mmを充填した場合は、長期に渡る断熱材復元圧によって施工直後からシート材が外側

にはらみ、通気胴縁材近傍を除く殆どの部分で外装材裏面に接触する危険性が高く、それに伴う通気量低下も著しい。

(3) 高性能 GW16K-100mm・GW24K-100mm を充填した場合は、緩みなく適切にシート材の施工を行えば、通気層空隙は確保できるものの、空隙・通気量は本来の半分以下まで減少する危険性が高い。

(4) 吹込み用断熱材による場合は、断熱材種による差異は少ないが、固化までの初期段階で胴縁材近傍部を除く殆どの部分で通気層が閉鎖するなど、GW16K-100mm と同様なことがいえる。

(5) これらの空隙・通気量の減少は、シート材自体の微少な寸法変化で容易に発生する。これは、本実験上の主因と推測される材料自体の僅かな伸び以外に、強風施工時等におけるシート材の僅かな緩み・撓みによっても、通気層が閉鎖される危険性が高いことを示唆している。

これらの結果は、冬期における壁体内の結露防止、通年に渡る木材の乾燥化、乾式外装材の温度収縮等によるシール切れやディテールの不備等が主因で生じた漏雨水の排水等、通気層が持つ役割を阻害する恐れがあることを示している。

5.2 工法的提案

シート状防風材を前提とした場合の、通気層空隙を確保するための措置としては次のように整理できる。

ア. 繊維系断熱材（ボード品を除く）を充填する場合

- ① 断熱材の復元厚さを壁厚程度に設定する。
- ② シート状防風材の変形防止のため伸度を抑える。
- ③ 通気層内にスペーサを設置する。
- ④ 開梱復元厚より大きな通気胴縁材を使用する。

このうち、①は運搬費の増加に伴う材料のコストアップや、この対策を行った場合でも断熱材を押し込みすぎ

図10 工法的改善提案の具体例

た場合は通気層空隙の確保に対する信頼性に問題がある。また、②は市場流通品に無く新たな材料開発が必要であること、施工時の緩みや強風施工時の撓み等の施工要因がからんだ場合には有効な解決策とはなり得ないことに問題が残る。以上のことから、通気層空隙を確保するには、①②のような材質的改良より、③④に示したような工法的対処による方法が、現実的かつ信頼性が高いといえる。これらの工法的提案の具体例を図10に示す。

イ. 吹込み断熱方法による場合

この方法は吹込み圧力が高いことから、シート状防風材の使用は避け、面剛性の高いボード状防風材の使用を前提とすべきであろう。

本論文では外壁断熱に着目して検討を行った。現在寒冷地では、外壁の他に屋根断熱でも通気層を設け、厚さ200mm以上のバット状断熱材を充填するか吹込み断熱方法を用いるケースが多くなってきている。前者による場合は、設計段階から十分な断熱・通気スペースを確保した屋根構造とすることで通気層空隙の減少については解決できよう。しかし、最近では断熱施工の容易性から後者による場合が多く、シート状防風材を使用した場合には外壁と同様な問題が生じる危険性がある。従って、吹込みによる屋根断熱を行う場合にもボード状材料による通気層確保が重要と思われる。

謝 辞

本研究の実施にあたり、硝子繊維協会、北海道職業能力開発短期大学校教官 佐々木 隆氏に御協力・御指導頂いた。記して感謝の意を表します。

本論文に関係する主な既発表文献

- Ⅰ) 鈴木大隆、福島明ほか4名：省エネ住宅の通気層工法の適正化に関する研究(その1)、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1283-1284, 1993.9.
- Ⅱ) 鈴木大隆、佐々木隆ほか4名：省エネ住宅の通気層工法の適正化に関する研究(その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.267-268, 1994.9.

参考文献

- 1) 鈴木大隆、鎌田紀彦ほか：寒冷地における断熱壁体の内部結露に関する研究(その1～5)、日本建築学会大会学術講演梗概集, 1984.10-1986.8.
- 2) 瀬戸裕直、坊垣和明、大沢元毅：木造在来軸組構法壁体の内部結露(その1～2)、日本建築学会大会学術講演梗概集, 1988.10-1989.10. ; 軸組壁工法壁体の通気層工法による断熱防露性、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.795-796, 1991.9.
- 3) 須釜洋年、土屋香雄、永峰章：外壁通気層の防湿防露効果に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1431-1432, 1990.10.
- 4) 水谷章夫、大澤徹夫、宮野秋彦：垂直通気層構法における防湿・防露設計を対象とした定常計算方法に関する提案、日本建築学会計画系論文報告集第404号, pp.9-15, 1989.10.
- 5) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 24 (断熱工事) 5 節 5.3 通気層の施工, pp.12.1995.2.
- 6) 住宅金融公庫建設サービス部監修：住宅金融公庫販賣住宅 木造住宅工事共通仕様書(全国版、北海道版), 1994.
- 7) 北海道：北方型住宅工事特記仕様書, 1995.
- 8) (財)住宅・建築・省エネルギー機構：住宅の新省エネルギー基準と指針, 1993.

註

- 1) 北海道の外壁軸組木材は呼称寸法で45mm×105mm, 105mm×105mm等の3寸5分材が使用されているが、外装材及び内装材取付け面の精度を高めるため、2面をかん掛けするのが一般的である。その場合、軸組材はそれぞれ45mm×103mm, 103mm×105mm等となる。実状に合わせるため本実験では103mmを壁厚に設定した。
- 2) 有孔シートは相当数のピンホールがあり、引張強度・引裂強度が極めて小さく破れ易い等施工面で問題が多いこと、強風時の内外圧差により外部雨水等が壁内に侵入する危険性が極めて高いため、本実験では対象外とした。
- 3) 高性能GWとは、使用繊維の太さを通常の7～8μmから4～5μmと細繊維化した製品で、同密度・厚であれば通常品の約30%程度の断熱性向上がはかれるため、北海道を中心とした寒冷地域で近年急速に普及している断熱材である。

(1995年6月7日原稿受理, 1995年9月27日採用決定)