

# 木造外壁の断熱工法と防火性能（上）

## ～ロックウール断熱材を用いた木造外壁による実験的検討～

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 建築研究本部

北方建築総合研究所 建築研究部 建築システムグループ 主査（建築技術）

兼 建築性能試験センター 安全性能部 評価試験課 主査（防耐火） 糸 毛 治

### 1. はじめに

住宅や建築物の断熱化は、建築物のエネルギー消費量を削減し、室内の温度環境の向上を実現する上で欠かせない技術であり、今や寒冷地のみならず全国的な基盤技術と言えます。

木造軸組構法や枠組壁工法など、日本で建築される木造外壁の断熱工法には、主に軸間に断熱材を充填する充填断熱工法、木造躯体の屋外側に断熱材を張る外張断熱工法、これらを組み合わせた付加断熱工法の3つがあります。また用いられる断熱材には、高い耐熱性を持つロックウール断熱材をはじめ、グラスウール断熱材や可燃性を有する各種発泡プラスチック断熱材などがあります。これら断熱材と断熱工法の組合せは多岐にわたり、木造外壁の断熱仕様は実に多様性に富んでいます。

一方、建築基準法では、建設地、規模、用途に応じて、建築物の主要構造部を防火構造や準耐火構造、耐火構造等とするよう定めており、主要構造部に該当する外壁は、断熱性能と防火性能の両方を兼ね備えることが求められます。鉛直荷重を支える外壁に必要な防火性能は、火災による加熱に対し、所定の時間、遮炎性、遮熱性、非損傷性の3つを保持し続けることです。遮炎性は外壁が火災を通さないこと、遮熱性は外壁越しに燃え移るような熱を通さないこと、非損傷性は外壁内の柱が座屈しないことをそれぞれ指します。

断熱された木造外壁が火災による加熱を受けた場合、壁内の断熱材は非加熱側への放熱を妨げて壁内の温度分布を大きく変化させます。特に、断

熱材の加熱側では高温となるため、柱や断熱材等の構成材料の性質や位置関係によっては、材料自体の燃焼や溶融が起こると想定されます。

従って、木造外壁では、断熱材と断熱工法の多様な組合せを持つに加えて、壁内の断熱材の設置位置・種類・厚さのそれぞれが防火性能に影響を及ぼし、その影響は複雑に重なり合います。

しかし、この木造外壁における断熱材や断熱工法と防火性能との関係は解明できておらず、木造外壁の断熱仕様と防火性能を関連付ける明確な指針は整備されていません。

そのため、防火性能を付与した木造断熱外壁の開発・評価は、断熱仕様ごとに個別に行われる状況にあり、多数の認定・試験が必要となって、膨大な時間と費用を要しています。この問題は、新規壁体開発の停滞を招き、住宅・建築物の省エネルギー化の推進に向けて、外壁の高断熱化を図っていく上で障害となっています。

この問題の解決に向けて、断熱材や断熱工法が外壁の防火性能に及ぼす影響を明らかにするため、これまでロックウール断熱材メーカーであるニチアスをはじめ各断熱材メーカーの方々の協力を得ながら、実験的検討を積み重ねてきました。断熱材や断熱工法が防火性能に及ぼす影響は、断熱工法による断熱材の位置や厚みなど壁体構成に起因する影響と、断熱材自体の溶融や熱分解、燃焼など、断熱材の材料特性に起因する影響の2つに大別できます。本報では前者について、次報では後者について、それぞれこれまでに分かってきたことを報告します。

## 2. 検討対象と防火実験

今回の検討対象は、木造建築物の大部分を占める準耐火建築物までを想定して、屋外側、屋内側両側からの火災加熱に対する防火性能が求められる45分準耐火構造の木造外壁としました。

試験体(幅3240mm×高さ3230mm)は、木造外壁の典型的な構成として、外装材に窯業系サイディング(厚さ15mm)、内装材にせっこうボード(厚さ12.5mm+9.5mm重張)とする乾式工法の木造軸組造の外壁(45分準耐火構造)を共通仕様としました(図1)。

断熱工法による防火性能への影響は、火災加熱が終了するまで、断熱材自体に熔融や燃焼が起きてしまうと把握することができません。そこで、この共通仕様に対し、断熱材に、高温下で熔融・燃焼等が生じないロックウール断熱材を用いたうえで、断熱工法を変えて、加熱方向(屋外側加熱(以下、屋外加熱)、屋内側加熱(以下、屋内加熱))ごとに防火実験を繰り返し、比較検討を進めました。

防火実験は、(地独)北海道立総合研究機構建築研究本部の壁炉を用いて、防耐火構造に係る大臣認定を受ける際の試験方法(性能評価機関の業

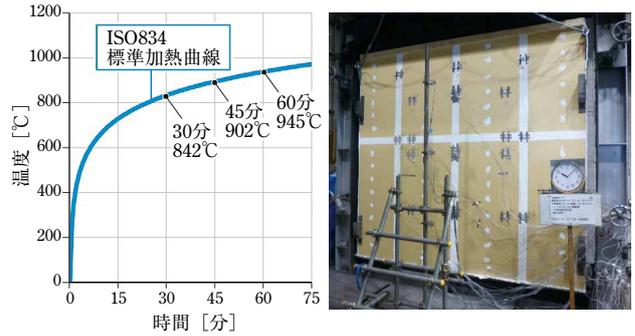


図2 標準加熱曲線・防火試験の様子

務方法書<sup>1)</sup>に基づき、実施しました(図2)。

具体的には、柱に長期許容応力度に相当する応力度が生じる荷重が集中してかかるように载荷し、柱が荷重支持能力を失ったと判断されるまで、または非加熱側から壁越しに火災が確認されるまでISO834標準加熱曲線に合うように加熱を行いました(図2)。

## 3. 断熱工法と防火性能

### 1) 遮熱性・遮炎性

壁内にロックウール断熱材を設置すると、断熱材により非加熱側への伝熱が遮られ、温度は断熱

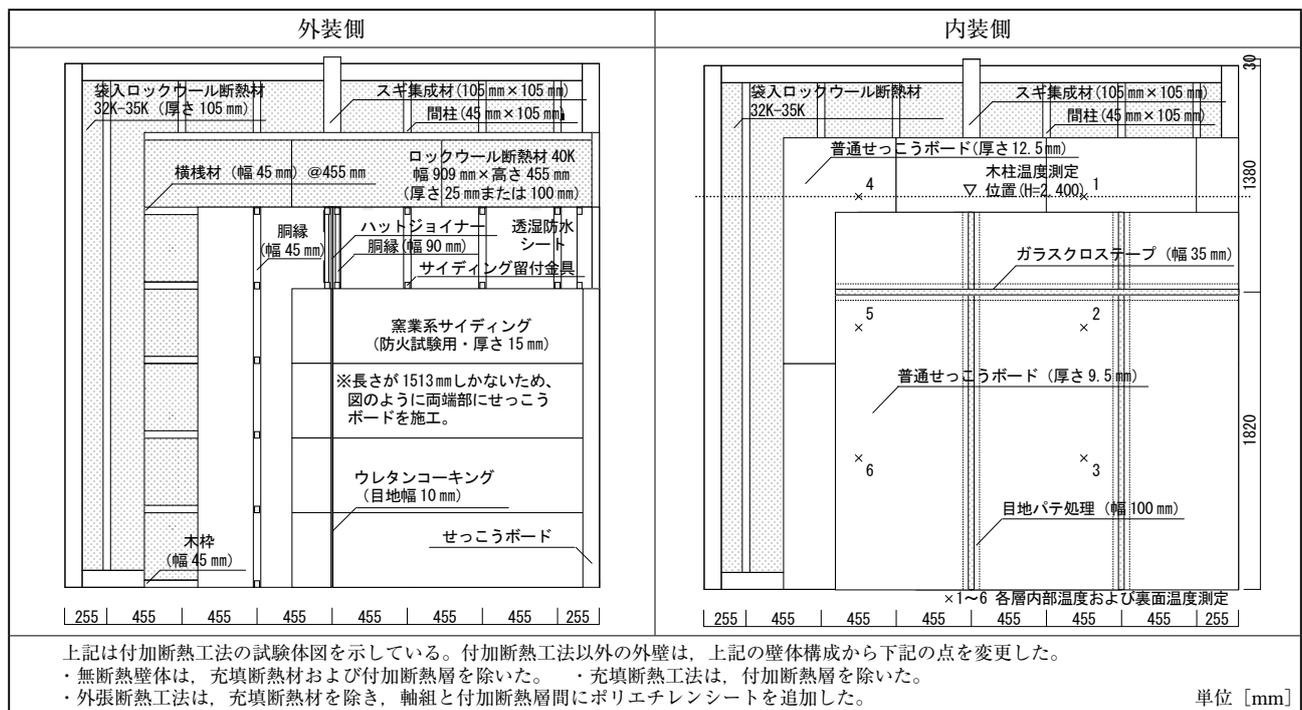


図1 試験体図

材より加熱側では高く、非加熱側では低く推移します（図3）。防火性能のうち、遮熱性・遮炎性は、壁内のロックウール断熱材が厚く、断熱性が増すほど向上します。しかし柱の座屈（非損傷性）に直結する柱の燃え進み方は、加熱方向に対する柱とロックウール断熱材との位置関係により異なります。

従って、ロックウール断熱材を用いた木造外壁の防火性能は、ある程度以上の断熱性能があれば、柱の座屈（非損傷性）で決まります。そこで柱の燃え進み方に着目して断熱工法との関係をみていきます。

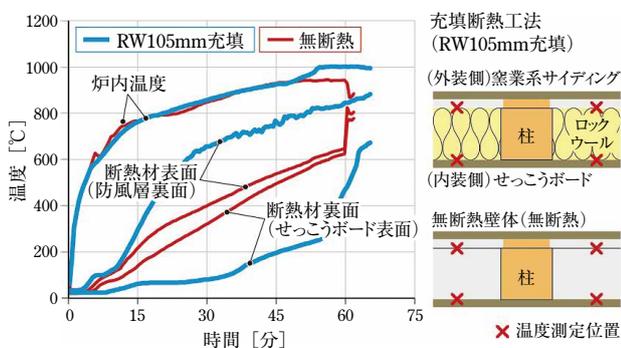


図3 断熱材の有無と各層の温度推移（屋外加熱）

## 2) 柱の座屈（非損傷性）

### (1) 充填断熱工法と無断熱壁体

断熱材を軸間に充填すると、断熱材より加熱側では温度が高くなり、加熱側に位置する柱正面や柱角部が燃え進みます。一方、断熱材により被覆される柱側面では、柱の燃え進みが抑制されます。このように充填断熱材が非損傷性に及ぼす影響は、有利に働く面と不利に作用する面の二面性があります。

充填断熱工法における試験終了後の柱断面の形状は、この充填断熱材の作用により、無断熱壁体に比べて扁平な形状になります（図4）。柱断面の形状だけを見ますと、加熱側が燃え進んだ扁平な柱の方が、柱の断面二次モーメントは小さくなり、座屈しやすい形状です。しかし今回の試験では、充填したロックウール断熱材は、外装材を高温に曝し、外装材の脱落開始時間を早

め、さらに柱加熱側の損傷を促進させたにもかかわらず、柱側面を被覆することにより非損傷性を向上させる結果となりました。

この理由として、充填断熱工法では、柱が直接、熱を受ける無断熱壁体に比べて、ロックウール断熱材が柱側面を被覆することで、柱内部の温度上昇を抑えて、柱のヤング率低下および強度低下を抑制した可能性などが考えられます。

### (2) 外張断熱工法と無断熱壁体

外張断熱工法では、断熱材と柱の位置関係が加熱方向により異なります。屋外側から加熱される場合、外張断熱材は柱より手前（加熱側）に位置し、屋内側から加熱される場合は柱の背後（非加熱側）に位置します。

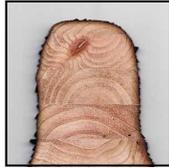
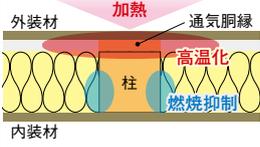
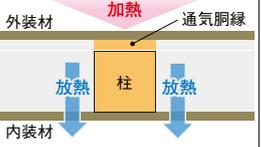
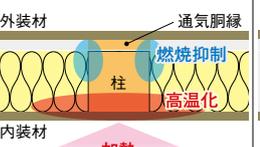
ロックウール断熱材を外張断熱材として用いますと、屋外加熱に対しては柱を被覆するとともに中空層温度を低く保って、柱の燃え進みを抑制して非損傷性を向上させます。

一方、屋内加熱に対しては、ロックウール断熱材は、柱・中空層から非加熱側への放熱を妨げるため、柱周辺部は柱側面を含めて高温となり、柱の燃え進みを促進させて、非損傷性上、不利側に作用します。なお、屋内加熱終了後の柱断面を見ますと、無断熱壁体に比べ小さく、柱はより燃え進んでから座屈していることがわかります。ロックウール断熱材を外張断熱材として用いる場合に配される横桟材が柱を背後から支えたとみられます。従って、屋内加熱時の防火性能は、断熱材による柱の燃え進みと横桟材による柱を支える働きの2つから説明できます（図5）。

### (3) 付加断熱工法と充填断熱工法

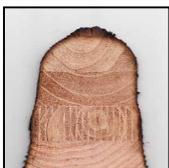
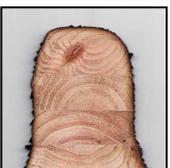
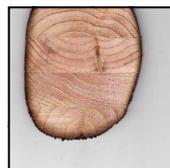
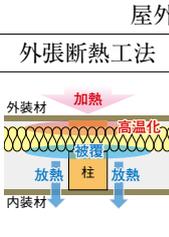
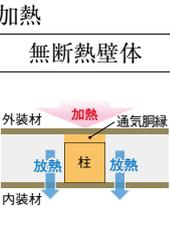
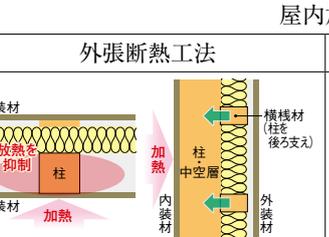
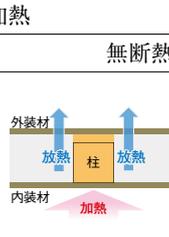
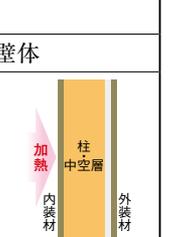
付加断熱工法における防火性能の特徴は、これまで見てきた充填断熱材と外張断熱材（付加断熱工法の場合、外張断熱材を付加断熱材と言います。）の働きから説明できます。

充填断熱工法の外壁に、付加断熱材としてロックウール断熱材を付加しますと、屋外加熱に対しては、付加断熱材が柱の被覆材となるため、ロックウール断熱材が厚いほど非損傷性は向上します。

	屋外加熱		屋内加熱	
	充填断熱工法	無断熱壁体	充填断熱工法	無断熱壁体
	105mm 充填		105mm 充填	
加熱時間	65.0分	61.5分	65.3分	65.0分
遮炎性を失った時間	—	—	—	61.2分
非損傷性を失った時間（柱座屈時間）	64.0分	61.0分	65.0分	64.5分
内外装材が脱落し始めた時間	46.1分	60.0分	40.0分	55.0分以降
屋外(外装材)側 試験終了後の柱断面*				
屋内(内装材)側 模式図				

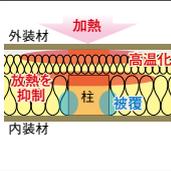
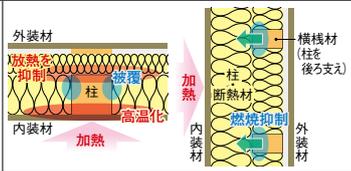
※外黒枠は、試験前の柱断面を示す。

図4 充填断熱工法と無断熱壁体

	屋外加熱		屋内加熱		
	外張断熱工法	無断熱壁体	外張断熱工法		無断熱壁体
	25mm 外張		100mm 外張	25mm 外張	
加熱時間	75.5分	61.5分	60.5分	58.0分	65.0分
遮炎性を失った時間	—	—	—	—	61.2分
非損傷性を失った時間（柱座屈時間）	75.0分	61.0分	59.8分	57.0分	64.5分
内外装材が脱落し始めた時間	41.0分	60.0分	40.0分以降	42.0分以降	55.0分以降
屋外(外装材)側 試験終了後の柱断面*					
屋内(内装材)側 模式図					

※外黒枠は、試験前の柱断面を示す。

図5 外張断熱工法と無断熱壁体

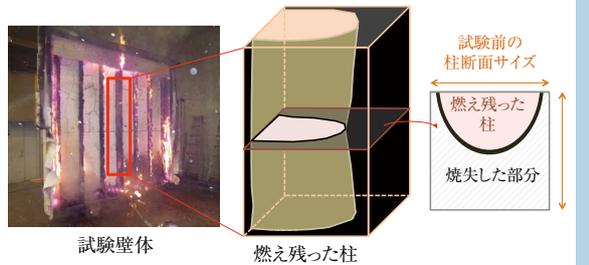
	屋外加熱		屋内加熱		
	付加断熱工法	充填断熱工法	付加断熱工法		充填断熱工法
	25mm 付加	105mm 充填	100mm 付加	25mm 付加	105mm 充填
加熱時間	85.0分	65.0分	76.0分	73.0分	65.3分
非損傷性を失った時間（柱座屈時間）	84.0分	64.0分	75.8分	72.4分	65.0分
内外装材が脱落し始めた時間	48.0分	46.1分	38.0分	45.0分	40.0分
試験終了後の柱断面*					
模式図					

※外黒枠は、試験前の柱断面を示す。

図6 付加断熱工法と充填断熱工法

図4～6の見方：

図中の柱断面像は、外枠が試験前の柱断面サイズを表している



また屋内加熱に対しても、付加断熱層の横棧材が柱を支えて非損傷性が向上します。この時、付加断熱層の横棧材は充填されたロックウール断熱材によって被覆・保護されるため、外張断熱工法の時より断面欠損が進まず、柱を支える働きは持続します。その一方で、屋内加熱に対し、付加断熱材を設置しても柱の温度はあまり変化しません。充填断熱材だけで十分な断熱効果があり、付加断熱材が柱へ及ぼす伝熱的な影響は小さいと言えます（図6）。

## 4. ま と め

本報では、防火性能を付与した木造断熱外壁の開発・評価における負担低減を目指し、木造外壁の断熱仕様と防火性能との関係性を明らかにするため、高温下で溶融・燃焼等が生じないロックウール断熱材を用いた木造準耐火外壁を対象に、断熱工法が外壁の防火性能に及ぼす影響について報告しました。

防火性能のうち、遮熱性および遮炎性は、ある程度の断熱性能があれば確保できますが、柱の座屈（非損傷性）は加熱方向に対する柱と断熱材との位置関係に依存します。

断熱材と柱の座屈（非損傷性）との関係性について、充填断熱材は、断熱材より加熱側では柱の燃え進みを促進しますが、柱側面では柱を被覆・保護する二面性があり、ロックウール断熱材を用いた場合は、非損傷性は向上する結果となりました。一方、外張（付加）断熱材は、屋外加熱に対しては柱を被覆・保護して、非損傷性を向上させますが、屋内加熱に対しては、充填断熱材がない

場合、非加熱側への放熱を妨げて非損傷性を低下させます。また屋内加熱時、外張（付加）断熱層の横材は柱を支えて性能向上に寄与することがわかりました。次報では、グラスウール断熱材や発泡プラスチック断熱材を用いた場合として、断熱材の熔融や熱分解、燃焼等が防火性能に及ぼす影響について報告します。

なお、本稿は、（地独）北海道立総合研究機構 建築研究本部 北方建築総合研究所と断熱材メーカー6団体（ウレタンフォーム工業会、押出發泡ポリスチレン工業会、硝子繊維協会、発泡スチロール協会、フェノールフォーム協会、ロックウール工業会）との共同研究「木造高断熱壁体の防耐火性能の実大試験検証と評価手法の提案」（2014～2016年度）の成果を中心に、これまでの北方建築総合研究所における防火研究の成果をまとめたものです。

## 参考文献

- 1) （地独）北海道立総合研究機構：防火性能試験・評価業務方法書。

## 筆者紹介

### 糸毛 治

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構  
建築研究本部 北方建築総合研究所  
建築研究部 建築システムグループ 主査（建築技術）  
兼 建築性能試験センター 安全性能部  
評価試験課 主査（防耐火）



防火構造・防火材料の性能評価機関のひとつとして性能評価業務に携わるとともに、主に、木造住宅の高断熱外壁と防火に関する研究に取り組む。