

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

Inspection by full scale tests and suggestion of evaluation
method on fire resistant performance of high insulated
wooden walls

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

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization
Building Research Department Northern Regional Building Research Institute

概要 Abstract

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 Inspection by full scale tests and suggestion of evaluation method on fire resistant performance of high insulated wooden walls

糸毛 治¹⁾、河原崎 政行¹⁾、齋藤 茂樹²⁾、永井 敏彦³⁾、伊熊 健二³⁾、木村 吉晴⁴⁾、下條 芳範⁴⁾、
鶴澤 孝夫⁵⁾、布井 洋二⁵⁾、井上 幹生⁵⁾、齋藤 正憲⁶⁾、小浦 孝次⁶⁾、横家 尚⁷⁾、宮崎 孝司⁸⁾、
小竹 和広⁸⁾、瀧澤 弘平⁸⁾、高橋 淳一⁸⁾

Osamu Itoge¹⁾, Masayuki Kawarasaki¹⁾, Shigeki Saito²⁾, Toshihiko Nagai³⁾, Kenji Ikuma³⁾, Yoshiharu Kimura⁴⁾,
Yoshinori Shimojo⁴⁾, Takao Uzawa⁵⁾, Yoji Nunoi⁵⁾, Mikio Inoue⁵⁾, Masanori Saito⁶⁾, Koji Koura⁶⁾, Takashi Yokoie⁷⁾,
Takashi Miyazaki⁸⁾, Kazuhiro Kotake⁸⁾, Kohei Takizawa⁸⁾, Junichi Takahashi⁸⁾

キーワード : 防耐火性能、断熱材、断熱工法、木造壁体、評価手法、実大試験

Keywords : *Fire resistant performance, Insulation, Constructing method on insulated wall, Wooden walls, Evaluation method, Full scale tests*

1. 研究概要

1) 研究の背景

木造外壁の壁体構成は、使用される断熱材や適用される断熱工法によって多岐にわたるが、木造外壁に用いる断熱材、断熱工法に対する防耐火性能の考え方が整理されていない。そのため、防耐火構造の性能評価は、木造外壁に対し、壁体の断熱仕様の中から最も防火上不利な壁体構成を合理的に選定する包括的な評価ができず、断熱仕様ごとに個別に評価せざるを得ない状況にある。現況のままでは木造外壁の新規開発は、断熱仕様を変更する度に新たな防耐火認定が必要となり、膨大な認定数、時間、費用を要するため、大きく停滞する可能性がある。低炭素化社会の実現のため、建築物の省エネルギー化が喫緊に求められる中、この問題は外壁の高断熱化を図っていく上で大きな障害となる恐れがある。

2) 研究の目的

木造壁体を対象に、実大試験による実験的検討を行って、断熱材（種類・厚さ・密度）や断熱工法（充てん断熱・外張断熱・付加断熱）に対する防耐火性能の知見を整理して、体系的な評価手法を提案する。

2. 研究内容

1) 熱変性が少ない断熱材を用いた木造壁体に関する検討（H26年度）

- ・ねらい：熱変性が最も少ないロックウール断熱材を用いた木造壁体を対象に、断熱材が加熱終了まで燃焼せず保持された条件下にて、断熱工法（断熱材と木柱の位置関係）ごとに、断熱材が壁体の防耐火性能に与える影響を明らかにする。
- ・試験項目等：実大規模での防耐火試験

¹⁾ 環境研究部建築技術グループ ²⁾ 環境研究部環境グループ ³⁾ ウレタンフォーム工業会 ⁴⁾ 押出発泡ポリスチレン工業会 ⁵⁾ 硝子繊維協会 ⁶⁾ 発泡スチロール協会 ⁷⁾ フェノールフォーム協会 ⁸⁾ ロックウール工業会

¹⁾ Environmental Research Division, Architectural Engineering Group ²⁾ Environmental Research Division, Environment Group, ³⁾ Polyurethane Foam Association, ⁴⁾ Extruded Polystyrene Foam Industry Association, ⁵⁾ Glass Fiber Association, ⁶⁾ Japan Expanded Polystyrene Association, ⁷⁾ Japan Phenolic Foam Association, ⁸⁾ Rock Wool Association Japan

2) 各種断熱材を用いた木造壁体に関する検討 (H27 年度)

- ・ねらい：グラスウール断熱材、発泡プラスチック断熱材を用いた木造壁体を対象に、ロックウール断熱材を用いた場合と比較しながら、断熱材種類ごとに、断熱材が壁体の防耐火性能に与える影響を明らかにする。
- ・試験項目等：実大規模での防耐火試験

3) 付加断熱壁体に関する検討 (H28 年度)

- ・ねらい：充てん断熱材にロックウールまたはグラスウール、付加断熱材に発泡プラスチック断熱材を用いた付加断熱壁体を対象に、1)・2)での検討結果をもとに、用いる断熱材の組合せごとに防耐火性能の考え方をまとめ、代表的な壁体構成にて検証を行う。
- ・試験項目等：実大規模での防耐火試験

4) 木造断熱壁体の評価手法の提案 (H28 年度)

- ・ねらい：1)～3)での検討結果をもとに、断熱材種類、断熱工法ごとに、木造断熱壁体の防耐火性能の評価手法を提案する。

3. 研究成果

1)～3)にて、木造壁体を対象に断熱材や断熱工法に対する防耐火性能の考え方を明らかにし、4)にて、木造断熱壁体の評価手法の提案を行った。

1) 熱変性が少ない断熱材を用いた木造壁体に関する検討 (H26 年度)

- ・壁体の防耐火性能（遮熱性・遮炎性・非損傷性）について、遮熱性と遮炎性は壁体の断熱性能が増すほど向上し、断熱工法ごとの非損傷性の特徴は、次に示す①～③の働きの組み合わせから説明できる。

①充てん断熱材

- ・断熱材より加熱側では温度上昇し、柱の加熱側に近い部分では炭化を促進し不利になる。
- ・柱側面に対しては被覆となり、柱の温度上昇及びヤング率の低下を抑えて有利に働く。

②外張断熱材

- ・屋外加熱では、断熱材が柱の被覆材となり有利に働く。
- ・屋内加熱では、断熱材が非加熱側への放熱を妨げ柱の損傷に対し不利になる。

③工法上の影響

- ・加熱側面材（内外装材）は断熱材により高温に曝されるほど、脱落が早まり不利になる。
- ・外張（付加）断熱層の横桟材は、屋内加熱に対し終局時、柱を背後から支えて有利に働く。

2) 各種断熱材を用いた木造壁体に関する検討 (H27 年度)

- ・断熱工法上の特徴や断熱材種類ごとに異なる断熱材の挙動が、次の点で顕著に防耐火性能へ影響を及ぼす。

①グラスウール断熱材 (GW) ※充てん断熱工法での検討

- ・GWは軟化点に近い700℃付近に達すると熔融・収縮が生じるため、GW壁体では、RW壁体に比べ、遮熱性・遮炎性が低下し、さらに充てん断熱材と柱との間に隙間が生じて火熱が入り非損傷性も低下する。

②発泡プラスチック断熱材 ※外張断熱工法での検討

（押出法ポリスチレンフォーム (XPS) ・硬質ウレタンフォーム (PUF) ・フェノールフォーム (PF)）

- ・発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱工法では、外装材の留付が通気胴縁にしか効かず、間柱まで届かないため、屋外加熱に対し、外装材の脱落時間が大幅に早くなり、防耐火性能を大きく低下させる。
- ・外張断熱材が薄い (25 mm) 場合、断熱材種類ごとの樹脂の熔融・熱分解の特性と、断熱材の熔融・熱分解により壁体の断熱性が失われるまでの時間が、防耐火性能に支配な影響を及ぼす。
- ・外張断熱材 (100 mm) が厚くなると、熱分解が緩やかな PF 壁体では残存する PF の断熱性が、XPS 壁体、PUF 壁体では、内装材脱落後の断熱材の燃焼が、防耐火性能により大きな影響を及ぼし支配的と

なる。

3) 付加断熱壁体に関する検討 (H27 年度)

- ・ 充てん断熱材に RW または GW、付加断熱材に発泡プラスチック断熱材 (XPS, PUF, PF) を用いた付加断熱壁体の防耐火性能は、1), 2) で得られた各種断熱材が防耐火性能へ及ぼす影響の組合せで説明できる。
- ・ 付加断熱壁体の防耐火性能は、屋外加熱、屋内加熱ともに、充てん断熱材は RW より GW の方が低く、付加断熱材は XPS が最も低く、次いで PUF, PF の順となり、GW 充てん+XPS 付加の組合せが防火上、最も不利になる。

4) 木造断熱壁体の評価手法の提案 (H28 年度)

上記 1) ~ 3) に示す知見を基に、壁体の断熱仕様の中から、防火上不利な壁体構成を合理的に選定する方法を評価手法として提案した (表 1)。

<具体的データ>

表 1. 木造断熱壁体の評価手法案

1. ロックウール断熱材・グラスウール断熱材		GW	<	RW	2. 発泡プラスチック断熱材		XPS	PUF <	PF
断熱材を充てんする		屋外加熱	同程度	向上	断熱材を外張する		屋外加熱	低下(外装材の留付)	
		屋内加熱	同程度	向上			屋内加熱	低下(燃烧)	低下
断熱材を外張する		屋外加熱	向上		外張断熱材を厚くする		屋外加熱	低下(燃烧)	向上
		屋内加熱	低下				屋内加熱	低下(燃烧)	低下
外張断熱材を厚くする		屋外加熱	向上		3. RW・GW+発泡プラスチック断熱材		充てん断熱材	付加断熱材	
		屋内加熱	向上(横棧)		付加断熱工法		屋外加熱	GW < RW	XPS < PUF < PF
					断熱材の組合せ		屋内加熱	GW < RW	XPS < PUF < PF

4. 今後の見通し

- ・ 本研究で得られた木造壁体における断熱材や断熱工法に対する防耐火性能の知見については、今後、学術論文の投稿および建築性能基準推進協会「防耐火構造・材料部会」を通じて、性能評価を行う性能評価機関、壁体開発を行う民間企業に対し、情報提供を行っていく。

目 次

1. 背景と目的	1
(1) 背景	1
(2) 目的	1
(3) 研究の内容	1
2. 実験概要	3
(1) 本研究で対象とする防耐火性能	3
(2) 試験方法	3
(3) 対象とする断熱材	3
(4) 対象とする断熱工法	5
(5) 試験体仕様	5
3. ロックウール断熱材（熱変性が少ない断熱材）を用いた木造壁体に関する検討	8
(1) 検討のねらい	8
(2) 試験結果と考察	8
(3) 評価手法の提案	11
4. グラスウール断熱材を用いた木造壁体に関する検討	13
(1) 検討のねらい	13
(2) 試験結果と考察	13
(3) 評価手法の提案	15
5. 発泡プラスチック断熱材を用いた木造壁体に関する検討	17
(1) 検討のねらい	17
(2) 試験結果と考察	17
(3) 評価手法の提案	23
6. 付加断熱壁体に関する検討	25
(1) 検討のねらい	25
(2) 試験結果と考察	25
(3) 評価手法の提案	29
7. まとめ	31

1. 背景と目的

(1) 背景

木造外壁の壁体構成は、使用される外装材の他、断熱材や断熱工法によって多岐にわたる。しかし、それら断熱材や断熱工法が及ぼす防火性能への影響は系統的には把握できていない。防耐火構造の性能評価は、木造外壁に対し、壁体の断熱仕様の中から最も防火上不利な壁体構成を合理的に選定する包括的な評価ができず、断熱仕様ごとに個別に評価せざるを得ない状況にある。そのため、防火性能を必要とする木造断熱壁体の開発や防火性能評価には、多数の実大規模の試験体を用いた载荷加熱試験（以下、実大試験）が必要となる。現況のままでは木造外壁の新規開発は、断熱仕様を変更する度に新たな防耐火認定が必要となり、膨大な認定数、時間、費用を要するため、大きく停滞する可能性がある。また低炭素化社会の実現のため、建築物の省エネルギー化が喫緊に求められる中、この問題は外壁の高断熱化を図っていく上で大きな障害となる恐れがある。

木造断熱壁体に対し、要求される防火性能を適確に満足し得る壁体設計や防火性能の評価を行うためには、壁体に用いる断熱材や断熱工法が防火性能へ及ぼす影響を明らかにし、木造壁体の断熱化に対する防火性能の考え方を体系化する必要がある。

(2) 目的

木造壁体を対象に、実大試験による実験的検討を行って、断熱材（種類・厚さ・密度）や断熱工法（充てん断熱・外張断熱・付加断熱）に対する防耐火性能の知見を整理して、体系的な評価手法を提案する。

(3) 研究の内容

本研究では、1)～3)に示す実大試験による実験的検討により、断熱工法ごと、断熱材種類ごとに、断熱材による防耐火性能の影響を把握して、それらの知見を基に、4)にて体系的な木造断熱壁体の防耐火性能の評価手法を検討する（図 1-1）。

1) 熱変性が少ない断熱材を用いた木造壁体に関する検討

熱変性が最も少ないロックウール断熱材を用いた木造壁体を対象に、断熱材が加熱終了まで燃焼せず保持された条件下にて、断熱工法（断熱材と木柱の位置関係）ごとに、断熱材が壁体の防耐火性能に与える影響を明らかにする。

2) 各種断熱材を用いた木造壁体に関する検討

グラスウール断熱材、発泡プラスチック断熱材を用いた木造壁体を対象に、ロックウール断熱材を用いた場合と比較しながら、断熱材種類ごとに、断熱材が壁体の防耐火性能に与える影響を明らかにする。

3) 付加断熱壁体に関する検討

充てん断熱材にロックウールまたはグラスウール、付加断熱材に発泡プラスチック断熱材を用いた付加

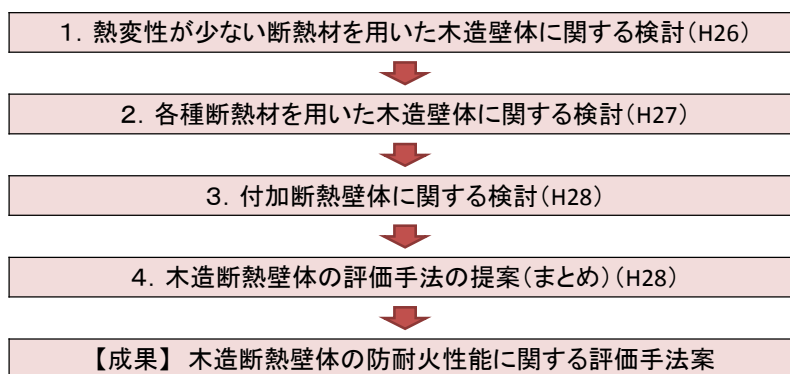


図 1-1 本研究のフロー

断熱壁体を対象に、1)、2)での検討結果をもとに、用いる断熱材の組合せごとに防耐火性能の考え方をまとめ、代表的な壁体構成にて検証を行う。

4) 木造断熱壁体の評価手法の提案

1)～3)での検討結果をもとに、断熱材種類、断熱工法ごとに、木造断熱壁体の防耐火性能の評価手法を提案する。

2. 実験概要

(1) 本研究で対象とする防耐火性能

本研究における「木造高断熱壁体」は、外装材に窯業系サイディング、内装材にせっこうボードを用いた木製軸組造外壁に、対象とする断熱材、断熱工法を用いて断熱化を施した外壁とする。

また検討対象である「防耐火性能」は、建築基準法第2条7の2で定義される準耐火構造の外壁を想定し、建築基準法施行令第107条の2「準耐火性能に関する技術的基準」で規定される性能を指す。

具体的には、壁体の防耐火性能には、①非損傷性（通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後、構造耐力上支障のある変形、溶融、破壊その他の損傷を生じないこと）、②遮熱性（通常の火災による火熱が加えられた場合に、当該加熱面以外の面（屋内に面するものに限る。）の温度が可燃物燃焼温度以上に上昇しないこと）、③遮炎性（通常の火災による火熱が加えられた場合に、火災を出す原因となるき裂その他の損傷を生じないこと）の3つの性能を満たすことである。なお、②遮熱性は、屋外側加熱（以下、屋外加熱）のみに求められる性能であり、屋内側加熱（以下、屋内加熱）では、求められていない。従って、屋外加熱では①～③の3つが、屋内加熱では①、③の2つが防耐火性能の要求性能となる。

本研究では、実験にて、試験体仕様がこれら防耐火性能の要求性能のうち、1つでも保持できなくなった時点で、その壁体の防耐火性能が失われたと判断した。試験体仕様間の比較は、加熱開始から防耐火性能が失われたまでの時間の長短を防耐火性能の高低に読み替え、防耐火性能が失われたまでの時間が長い方が、壁体の防耐火性能が高いと判断した。

(2) 試験方法

本研究で実施する実大規模での防耐火試験は、全国の防耐火構造の性能評価に用いられる「防耐火性能試験・評価業務方法書」¹⁾に定めた「準耐火性能試験方法」に基づいて実施した。

具体的には、北方建築総合研究所の壁炉を用い、柱に長期許容応力度に相当する応力度が生じる荷重を載荷しながら、試験体（幅 W3, 240×高さ H3, 230）を IS0834 加熱曲線に合うように加熱し、柱が荷重支持能力を失った、もしくは壁体が遮炎性を失い試験続行が危険と判断されるまで行った。

(3) 対象とする断熱材

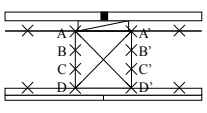
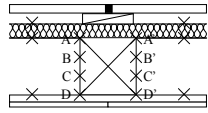
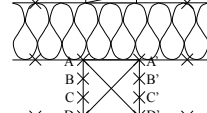
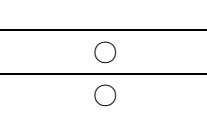
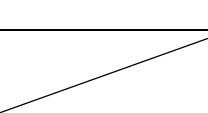

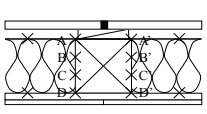
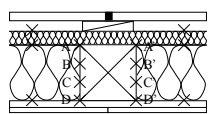
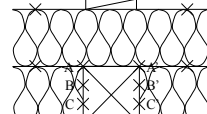
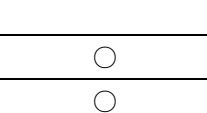
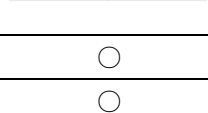
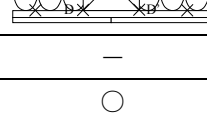
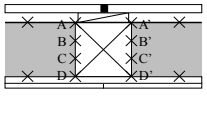
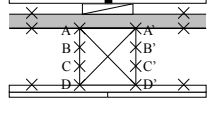
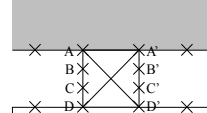
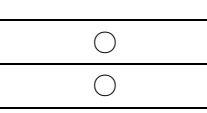


対象とする断熱材の一覧を表 2-1 に示す。建築用途に用いられる断熱材のうち、JIS A 9521「建築用断熱材」の工業規格に合致するグラスウール断熱材、ロックウール断熱材、発泡プラスチック断熱材 4 種類（押出法ポリスチレンフォーム、ビーズ法ポリスチレンフォーム、硬質ウレタンフォーム、フェノールフォーム）に、現場施工の断熱材である JIS A 9526「吹付け硬質ウレタンフォーム」の工業規格に合致す

表 2-1 断熱材一覧

		密度 (公称)	厚さ (mm)	熱伝導率 (W/mK)	製品仕様
ロックウール断熱材	充てん断熱材	32K 品	105	0.038	袋入・通常繊維
	外張断熱材	40K 品	25, 100	0.038	通常繊維
グラスウール断熱材	充てん断熱材	16K 品	105	0.038	袋入・細繊維品
	外張断熱材	16K 品	100	0.038	細繊維
押出法ポリスチレンフォーム	外張断熱材	37K 品	25, 100	0.028	3 種 b 品
ビーズ法ポリスチレンフォーム	外張断熱材	15K 品	100	0.043	4 号品
硬質ウレタンフォーム	外張断熱材	30K 品	25, 100	0.024	表面紙：クラフト紙
フェノールフォーム	外張断熱材	27K 品	25, 100	0.020	表面紙：PET 不織布
吹付け硬質ウレタンフォーム	充てん断熱材	13K 品	105	0.040	A 種 3

る吹付け硬質ウレタンフォーム（A種3）を加え、計7種類の断熱材を対象とした。

表 2-2 検討対象の断熱工法と断熱材、加熱方向（屋外加熱・屋内加熱）の対応

断熱仕様（断熱工法）		無断熱壁体（無断熱）	外張断熱壁体（外張断熱工法）	
試験体仕様		無断熱	25 mm外張	100 mm外張
断面構成図	(外装側)			
	(内装側)			
無断熱壁体	屋外加熱	○	/	
	屋内加熱	○		
ロックウール断熱壁体	屋外加熱	/		—
	屋内加熱			○
断熱仕様（断熱工法）		充てん断熱壁体（充てん断熱工法）	付加断熱壁体（付加断熱工法）	
試験体仕様		105 mm充てん	25 mm付加	100 mm付加
断面構成図	(外装側)			
	(内装側)			
ロックウール断熱壁体	屋外加熱	○	○	—
	屋内加熱	○	○	○
グラスウール断熱壁体	屋外加熱	○	—	—
	屋内加熱	○	—	○
断熱仕様（断熱工法）		充てん断熱壁体（充てん断熱工法）	外張断熱壁体（外張断熱工法）	
試験体仕様		105 mm充てん	25 mm外張	100 mm外張
断面構成図	(外装側)			
	(内装側)			
吹付け硬質ウレタンフォーム断熱壁体	屋外加熱	○	—	—
	屋内加熱	○	—	—
押出法ポリスチレンフォーム断熱壁体	屋外加熱	—	○	○
	屋内加熱	—	○	○
ビーズ法ポリスチレンフォーム断熱壁体	屋外加熱	—	—	○
	屋内加熱	—	—	○
硬質ウレタンフォーム断熱壁体	屋外加熱	—	○	○
	屋内加熱	—	○	○
フェノールフォーム断熱壁体	屋外加熱	—	○	○
	屋内加熱	—	○	○

○印：試験を実施した仕様を示す。 図中×温度測定位置を示す。（但し、各層温度位置は層の位置のみを示す。）

(4) 対象とする断熱工法

検討対象の断熱工法と断熱材、加熱方向の対応を表 2-2 に示す。木造壁体に用いられる一般的な断熱工法には、軸間に断熱材を充てんする充てん断熱工法、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 つがある。

ロックウール断熱材は、不燃性を有し耐熱温度が高く、加熱時の熱変性が少ない。断熱材が加熱終了まで燃焼せず保持された条件下での検討を行うため、ロックウール断熱材を用いた木造壁体の検討では、対象を充てん断熱壁体、外張断熱壁体、付加断熱壁体の 3 つとし、比較対象として無断熱壁体を加えた。

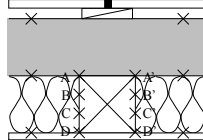
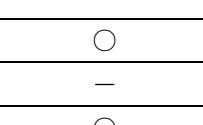
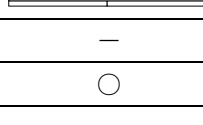
ロックウール断熱材以外の断熱材は、その断熱材が用いられる最も一般的な代表的な断熱工法にて検討を行う。グラスウール断熱材、吹付け硬質ウレタンフォームを用いた木造壁体の検討では、軸間に充てんして施工されることが多いため、充てん断熱壁体を対象とした。グラスウール断熱壁体の検討では、さらに付加断熱材による充てん断熱材の挙動を把握するため、一部、付加断熱壁体を追加した。発泡プラスチック断熱材（押出法ポリスチレンフォーム、ビーズ法ポリスチレンフォーム、硬質ウレタンフォーム、フェノールフォーム）は、施工性の観点から外張断熱工法や充てん+付加断熱工法にて、断熱材を軸組や面材の外装側に直接張り付けて施工されることが多い。そこで発泡プラスチック断熱材を用いた木造壁体の検討では、外張断熱壁体を対象とした。

付加断熱壁体については、充てん断熱材をロックウール断熱材およびグラスウール断熱材の 2 種類、外張断熱材を押出法ポリスチレンフォーム、硬質ウレタンフォーム、フェノールフォームの 3 種類とし、これらのすべての組合せとなる 6 種類の壁体構成で検討を行った（表 2-3）。

(5) 試験体仕様

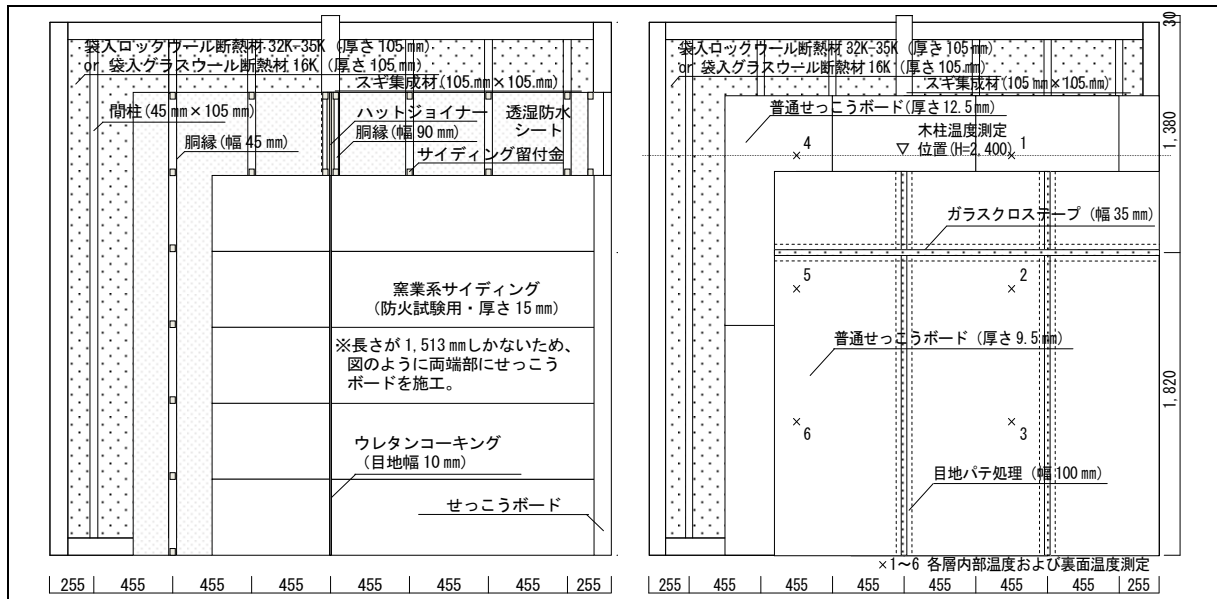
試験体（幅 W3, 240×高さ H3, 230）の仕様は、最も典型的な壁体構成として外装材に窯業系サイディングを用いた木製軸組造外壁とし、45 分準耐火構造の仕様²⁾で設計した。

表 2-3 検討対象の断熱工法と断熱材、加熱方向（屋外加熱・屋内加熱）の対応（付加断熱壁体）

断熱仕様（断熱工法）		付加断熱壁体（付加断熱工法）	
試験体仕様		25 mm付加	100 mm付加
断面構成図	(外装側)		
	(内装側)		
ロックウール断熱材充てん+ 押出法ポリスチレンフォーム付加断熱壁体	屋外加熱	○	—
	屋内加熱	—	○
ロックウール断熱材充てん+ 硬質ウレタンフォーム付加断熱壁体	屋外加熱	○	—
	屋内加熱	—	○
ロックウール断熱材充てん+ フェノールフォーム付加断熱壁体	屋外加熱	○	—
	屋内加熱	—	○
グラスウール断熱材充てん+ 押出法ポリスチレンフォーム付加断熱壁体	屋外加熱	○	—
	屋内加熱	—	○
グラスウール断熱材充てん+ 硬質ウレタンフォーム付加断熱壁体	屋外加熱	○	—
	屋内加熱	—	○
グラスウール断熱材充てん+ フェノールフォーム付加断熱壁体	屋外加熱	○	—
	屋内加熱	—	○

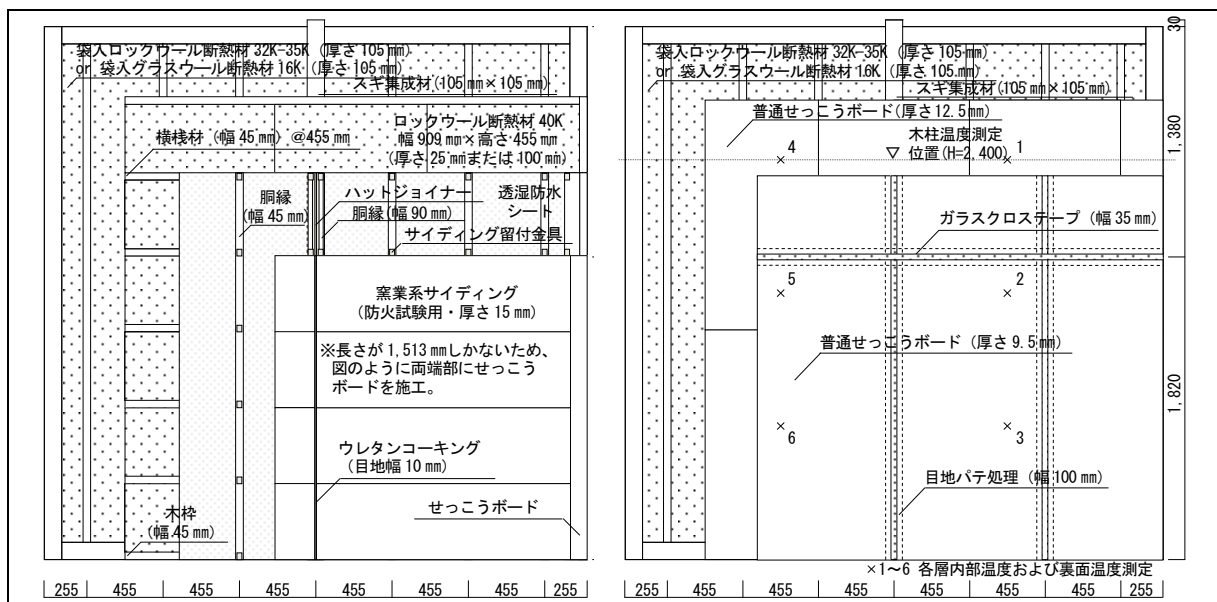
○印：試験を実施した仕様を示す。 図中×温度測定位置を示す。（但し、各層温度位置は層の位置のみを示す。）

試験体の壁体構成は、外装側から、外装材（窯業系サイディング厚さ15mm・金具留め）、通気胴縁（幅45mm×厚さ18mm）、防風層（透湿防水シート）、外張断熱層（厚さ25mmまたは100mm・ロックウール断熱材、グラスウール断熱材を用いる場合は横棧材を設置）、構造用面材なし、充てん断熱材（厚さ105mm）または中空層（厚さ105mm）〔柱105mm×105mm、間柱45mm×105mm〕、防湿層（ポリエチレンシート）、内装材上張材（普通せっこうボード厚さ9.5mm）、内装材下張材（普通せっこうボード12.5mm）とした。なお、準耐火外壁の例示告示には、普通せっこうボード15mm1枚張りの屋内側の仕様もあるが、今回の試験体では、せっこうボードによる試験結果のばらつきを小さくする目的から、せっこうボード2枚張りを基本構成とした。試験体図を図2-1～図2-4に示す。



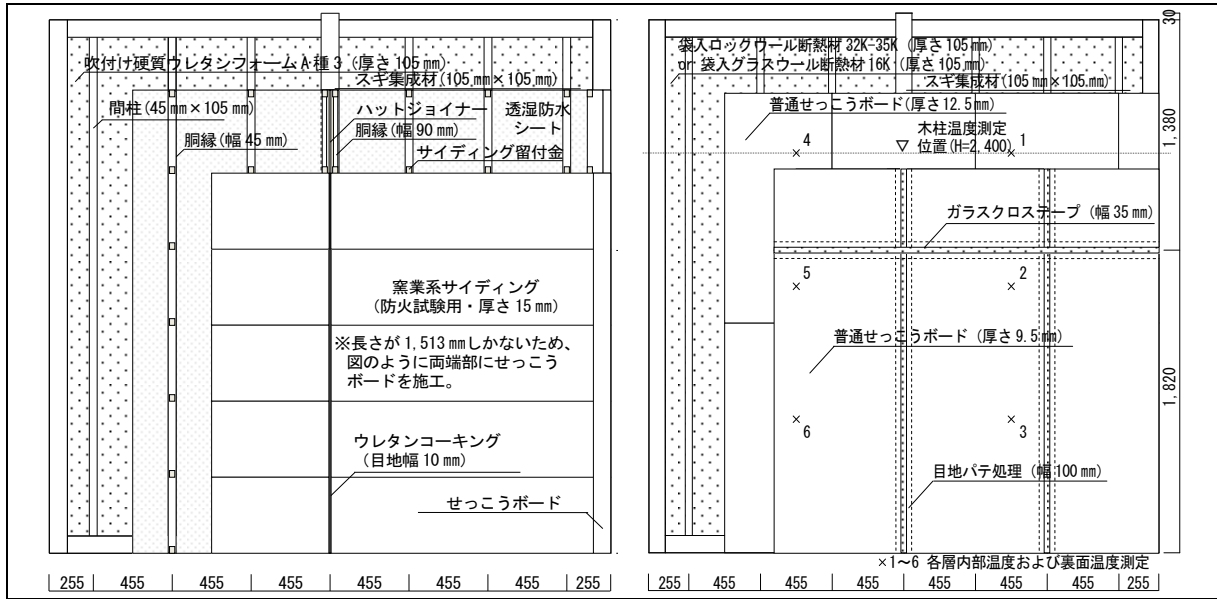
注1) 上記試験体図は充てん断熱壁体を示す。無断熱壁体は、図示した壁体構成からは、充てん断熱材を除く。
 注2) ×温度測定位置を示す。(但し、各層温度位置は層の位置のみを示す。)

図2-1 ロックウール断熱壁体・グラスウール断熱壁体 試験体図（充てん断熱壁体・（無断熱壁体））



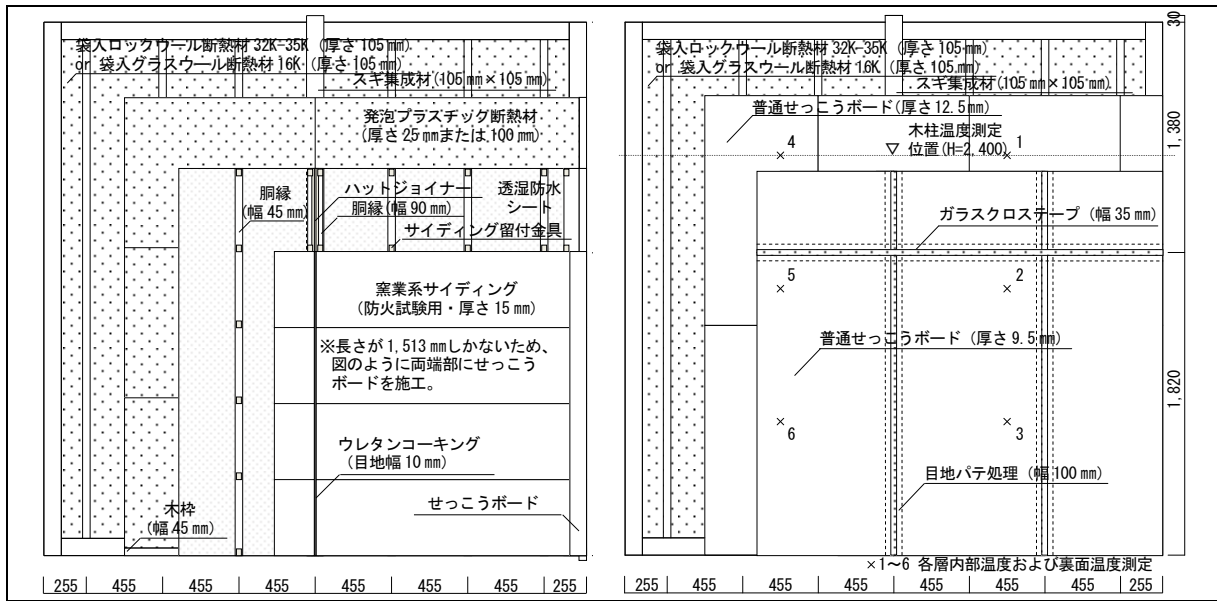
注1) 上記試験体図は付加断熱壁体を示す。外張断熱壁体は、上記の付加断熱壁体の壁体構成から充てん断熱材を除き、木製軸組と付加断熱材（横棧材）の間にポリエチレンシート（防湿層）を追加した壁体構成とした。
 注2) ×温度測定位置を示す。(但し、各層温度位置は層の位置のみを示す。)

図2-2 ロックウール断熱壁体・グラスウール断熱壁体 試験体図（付加断熱壁体・（外張断熱壁体））



注1) 吹付け硬質ウレタンフォームは、透湿防水シートの屋外側に、一度合板を張って、その上に吹付け施工をおこなってから、合板を外して試験体を作成した。
 注2) ×温度測定位置を示す。(但し、各層温度位置は層の位置のみを示す。)

図 2-3 吹付け硬質ウレタンフォーム断熱壁体 試験体図 (充てん断熱壁体)



注1) 上記試験体図は付加断熱壁体を示す。外張断熱壁体は、上記の付加断熱壁体の壁体構成から充てん断熱材を除き、木製軸組と付加断熱材(横棧材)の間にポリエチレンシート(防湿層)を追加した壁体構成とした。
 注2) ×温度測定位置を示す。(但し、各層温度位置は層の位置のみを示す。)

図 2-4 発泡プラスチック断熱壁体・付加断熱壁体 試験体図 (付加断熱壁体・(外張断熱壁体))

3. ロックウール断熱材（熱変性が少ない断熱材）を用いた木造壁体に関する検討

(1) 検討のねらい

熱変性が最も少ないロックウール断熱材を用いた木造壁体を対象に、断熱材が試験終了まで燃焼せず保持された条件下にて、断熱工法（断熱材と柱の位置関係）ごとに、断熱材が壁体の防耐火性能に与える影響を明らかにする。

(2) 試験結果と考察

1) 充てん断熱壁体と無断熱壁体との比較

屋外加熱、屋内加熱ともに、充てん断熱材により、遮熱性、遮炎性、非損傷性いずれも向上し、壁体の防耐火性能は向上した（表 3-1、表 3-2）。特に非損傷性は、充てん断熱材により、柱の断面二次モーメント(I)が低下したものと関わらず、防耐火性能は向上した（表 3-3）。

柱の座屈は、オイラー式³⁾より荷重、支点間距離、端部条件が同じであれば、曲げ剛性(EI)に依存する。試験後の柱の残存断面を見ると、充てん断熱材により、柱の炭化・欠損は加熱面に近い位置では進み、加熱面から離れた位置では断熱材が被覆材となり、あまり進まなかった（表 3-3）。加熱時間の違いを勘案しても、充てん断熱壁体の方が、柱の残存断面の断面二次モーメント(I)が高いとは言い難い。

柱側面の温度は、加熱面側の内外装材の脱落后も含め、充てん断熱材により加熱面から離れるにつれて温度上昇が抑制され、加熱面から遠い位置では無断熱壁体に比べ低く推移した（表 3-1、表 3-2）。よって、

表 3-1 《屋外加熱》RW32K105 mm充てん・無断熱壁体との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
無断熱	61.5	60	—	—	61	59	58	74
RW105 mm充てん	65	46.1	—	—	64	12	33	58

表 3-2 【屋内加熱】RW32K105 mm充てん・無断熱壁体との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
無断熱	65	55以降	55	61.2	64.5	38	91	192
RW105 mm充てん	65.3	40	—	—	65	24	33	61

充てん断熱壁体では、荷重を支える柱断面のうち、温度が無断熱壁体ほど高くならずに、ヤング率(E)の低下が抑制された割合が多かったと推測される。その結果、充てん断熱壁体では、無断熱壁体よりも非損傷性が向上したと考えられる。

表 3-3 残存柱の断面性能


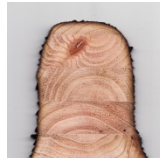


加熱方向	屋外加熱		屋内加熱	
	試験体仕様	RW105 mm充てん	無断熱	RW105 mm充てん
屋外側 柱断面写真 (温度測定位置) 内装側				
加熱時間(分)	65	61.5	65.3	65
座屈時間(分)	64	61	65	64.5
断面積残存率	59.7%	51.5%	55.8%	48.6%
断面二次モーメント	2.7×10^6	3.8×10^6	2.8×10^6	2.7×10^6

表 3-4 《屋外加熱》RW40K 25 mm外張・無断熱壁体との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
無断熱	61.5	60	—	—	61	59	58	74
RW25 mm外張	75.5	41	—	—	75	26	49	52

断熱材表面 (防風層表面)
断熱材表面
せっこうボード表面
炉内温度

柱側面を3等分し、柱角部を含めた4点における柱左右両側の平均温度推移

試験体裏面温度

表 3-5 【屋内加熱】RW40K 100 mm外張・RW40K 25 mm外張・無断熱壁体との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
無断熱	65	55 以降	55	61.2	64.5	38	91	192
RW25 mm外張	58	42 以降	—	—	57	4	26	—
RW100 mm外張	60.5	40 以降	—	—	59.7	1	13	37

充てん断熱材表面 (防風層表面)
充てん断熱材表面 (せっこうボード裏面)
外張断熱材表面
炉内温度

柱側面を3等分し、柱角部を含めた4点における柱左右両側の平均温度推移

試験体裏面温度

2) 外張断熱壁体と無断熱壁体との比較

屋外加熱では、外張断熱材が柱の被覆材となり防耐火性能が向上した（表 3-4）。一方、屋内加熱では、外張断熱材が非加熱面側への放熱を抑制するため、柱側面の温度が高く推移して、柱の座屈が早まり防耐火性能が低下した（表 3-5）。

また屋内加熱では、外張断熱材が厚くなっても、柱側面の温度はほぼ同じ推移となり、柱の損傷への影響は小さいと考えられる。しかし非損傷性は 100 mm外張断熱壁体の方が 25 mm外張断熱壁体より僅かに高くなった。

屋内加熱時の柱の残存断面を見ると、外張断熱壁体の方が無断熱壁体に比べ、残存断面が小さく、柱の損傷がより進んでから座屈したことがわかる（表 3-6）。壁体構成を踏まえると、外張断熱層の横材材が柱を背後から支えて非損傷性を向上させたと考えられる。外張断熱材が厚くなると横材材も断面が大きくなるので 100 mm外張壁体の方が非損傷性は高くなったと見られる。

3) 付加断熱壁体と充てん断熱壁体との比較

屋外加熱では、付加断熱材によって柱が被覆されて、防耐火性能が向上した（表 3-7）。

屋内加熱では、付加断熱材の有無や厚さを問わず、柱側面の温度推移はあまり変化していない。付加断熱材により断熱が強化されることによる柱の断面性能（非損傷性）に及ぼす影響は小さいと考えられる。

（表 3-7）。しかし試験結果は付加断熱材により防耐火性能が向上している。屋内加熱時の柱の残存断面（表 3-8）を見ると、先述の外張断熱壁体と同じ傾向が確認され、付加断熱層の横材材が柱を背後から支えて非

表 3-6 残存柱の断面性能

加熱方向	屋内加熱					
	無断熱	RW25 mm外張	RW100 mm外張	RW105 mm 充てん	RW105 mm +25 mm付加	RW105 mm +100 mm付加
試験体仕様						
屋外側 柱断面写真 (温度測定位置) 内装側						
加熱時間(分)	65	58	60.5	65.3	73	76
座屈時間(分)	64.5	57	59.7	65	72.4	75.7
断面積残存率	48.6%	37.2%	37.0%	55.8%	33.2%	29.8%
断面二次モーメント	2.7×10^6	1.9×10^6	2.0×10^6	2.8×10^6	1.3×10^6	1.0×10^6

表 3-7 《屋外加熱》RW32K105 充てん+RW40K 25 mm付加・RW32K105 mm充てんとの比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
RW105 mm充てん	65	46.1	—	—	64	12	33	58
RW105 mm+25 mm付加	85	48	—	—	84	8	20	39

損傷性を向上させたと考えられる。特に付加断熱壁体では、屋内加熱時、充てん断熱材が横材材の被覆材となるため、さらに外張断熱壁体よりも非損傷性の向上幅が大きくなったと見られる。

表 3-8 【屋内加熱】RW32K105 mm+RW40K100 mm付加・RW32K105 充てん+RW40K 25 mm付加・RW32K105 mm充てんとの比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
RW105 mm充てん	65.3	40	—	—	65	24	33	61
RW105 mm+25 mm付加	73	45	—	—	72.4	15	19	34
RW105 mm+100 mm付加	76	38	—	—	75.7	2	7	18

(3) 評価手法の提案

ロックウール断熱壁体における検討結果をまとめると、図 3-1 および図 3-2 になる。

ロックウール断熱材を充てん断熱材として用いる場合は、屋外加熱、屋内加熱ともに、壁体の防耐火性能を向上させる。一方、ロックウール断熱材を外張断熱材として用いる場合は、屋外加熱では、外張断熱材が柱の被覆材となるため防耐火性能を向上させるが、屋内加熱では、外張断熱材が非加熱面側への放熱を抑制するため、柱側面の温度が高く推移して柱の損傷が進み、横材材による柱の後支えがあっても防耐火性能は低下させる。

以上より、これらをロックウール断熱壁体における評価手法として、壁体の断熱仕様の中から、防火上不利な壁体構成を合理的に選定する方法をまとめた(表 3-9)。例えば、断熱材を充てんすると、屋外加熱、屋内加熱ともに防火性能は向上(表 3-9)するため、壁体の断熱仕様の中から、防火上不利な壁体構成を

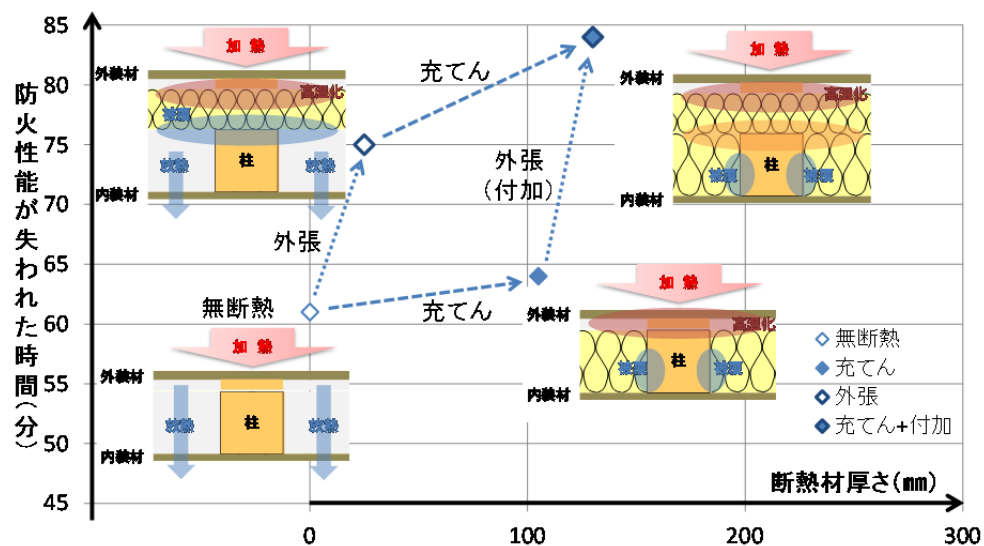


図 3-1 ロックウール断熱壁体の検討結果 (屋外加熱)

選定するにあたっては、充てん断熱材がない仕様を選定すればよい。

なお、ロックウール断熱材を用いた付加断熱壁体については、充てん断熱壁体と外張断熱壁体におけるロックウール断熱材の働きを重ね合わせることで説明できる。特に屋内加熱に対しては、外張断熱材により、非加熱面側への放熱を抑制し柱の損傷を促進させる点は、柱側面を被覆する充てん断熱材の効果により打ち消される。一方で、横桟材が柱を後支えする効果が顕著になり、防耐火性能を向上させると説明できる。

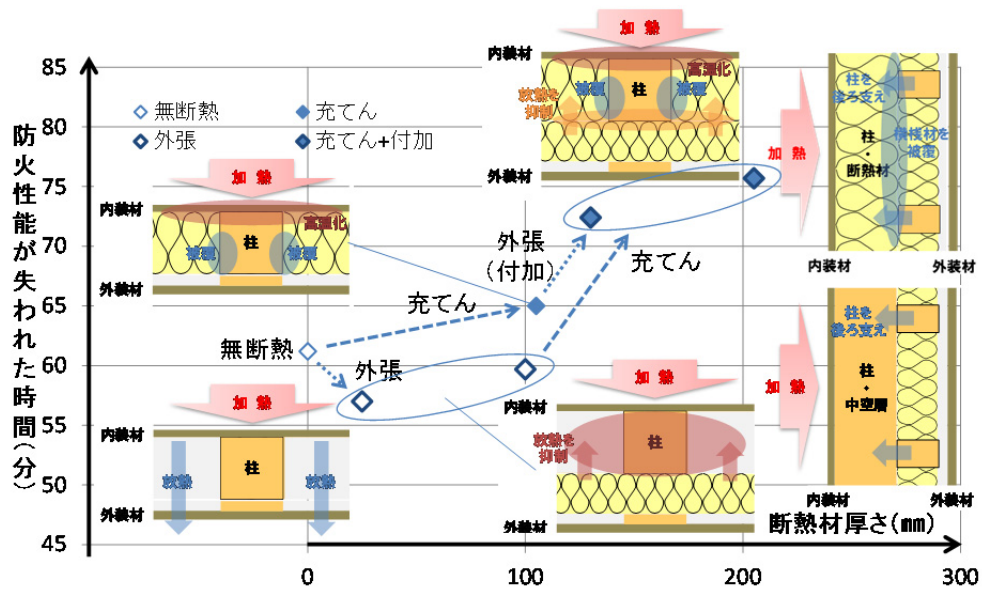


図 3-2 ロックウール断熱壁体の検討結果（屋内加熱）

表 3-9 防火上不利な壁体構成を選定するにあたっての考え方（ロックウール断熱壁体）

		ロックウール断熱材	
断熱材を充てんする		屋外加熱	向上
		屋内加熱	向上
断熱材を外張(付加)する		屋外加熱	向上
		屋内加熱	低下
外張(付加)断熱材を厚くする		屋外加熱	向上
		屋内加熱	向上(横桟)

4. グラスウール断熱材を用いた木造壁体に関する検討

(1) 検討のねらい

グラスウール断熱材も不燃性を有するが、標準耐火加熱1時間の範囲の温度で溶融や収縮等が起こり、ロックウール断熱材とは壁体の防耐火性能への影響が異なると予想される。ここでは、グラスウール断熱材を用いた木造壁体を対象に、GWを充てん断熱材として用いた充てん断熱壁体および付加断熱壁体にて、ロックウール断熱材を用いた場合と比較しながら、断熱材種類ごとに、断熱材が壁体の防耐火性能に与える影響を明らかにする。

(2) 試験結果と考察

1) 充てん断熱壁体における考察

グラスウール断熱材（以下、GW）を用いた木造壁体（以下、GW壁体）の遮熱性は、GWによって無断熱壁体よりも向上したものの、防耐火性能は、屋外加熱では柱の座屈、屋内加熱では遮炎性で決まった。そしてGW壁体が防耐火性能を失う時間は、屋外加熱、屋内加熱ともに無断熱壁体とほぼ同程度となった（表4-1、表4-2）。

ロックウール断熱材（以下、RW）を用いた木造壁体（以下、RW壁体）では、RWを充てんすることにより

表 4-1 《屋外加熱》GW高性能16K105mm充てん・RW32K105mm充てん・無断熱壁体との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
無断熱	61.5	60	—	—	61	59	58	74
RW105mm充てん	65	46.1	—	—	64	12	33	58
GW105mm充てん	61	45.3	—	—	60.2	21	50	67

表 4-2 【屋内加熱】GW16K105mm充てん・RW32K105mm充てん・無断熱壁体との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
無断熱	65	55以降	55	61.2	64.5	38	91	192
RW105mm充てん	65.3	40	—	—	65	24	33	61
GW105mm充てん	64	45	58	59.5	—	10	28	205

加熱側面材裏面（断熱材表面）の温度が上昇する。そのため、柱の加熱側に近い部分では炭化を促進して防耐火性能上、不利側に作用するが、柱側面に対しては被覆となって有利に働く。GW 壁体の各層の温度推移（表 4-1、表 4-2）は、途中まで RW 壁体に近く、柱の損傷に対しては RW と同様の影響を及ぼしているといえる。

しかし GW 壁体では、加熱側の断熱材表面温度が 700℃ 近くに達すると、加熱側面材（内外装材）の脱落前であっても、加熱側から順に柱側面の温度上昇が進んだ（表 4-1、表 4-2）。その進行は RW 壁体よりも速く、温度上昇時の温度勾配も急になった。GW の原料に近いソーダ石灰ガラスの軟化点は文献値⁴⁾で 720℃～730℃とあり、GW 壁体ではグラスウール表面の温度が軟化点に近い 700℃ 付近に達した以降、加熱側より徐々に、GW の熔融や収縮が起きていると推察される。この GW の熱変形により、充てん断熱材と柱との間に隙間が生じて、柱側面の温度上昇が急激に進んだと見られる。そして柱側面の温度上昇後は、GW 壁体では遮熱性（断熱性）・遮炎性が低下するとともに、柱はグラスウールによる柱側面被覆を失い、無断熱壁体の場合に近い火熱を受けたと考えられる。GW 壁体における試験後の柱の残存断面を見ると、柱の形状は RW 壁体より無断熱壁体に近く、この点と合致する（表 4-3）。



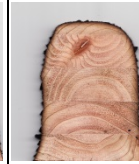



また GW 壁体では、加熱側面材の脱落開始時間が、屋外加熱、屋内加熱ともに、無断熱壁体に比べ 10 分以上早くなった。GW 壁体では、加熱側面材が脱落すると、GW が直接火熱を受けて熱変形が急速に進むため、防耐火性能はこの脱落開始時間の違いに特に影響を受ける。RW 壁体でも、加熱側面材の脱落開始時間はすべて無断熱壁体より早かった（表 3-1、表 3-2）。面材の脱落は試験ごとにばらつきが生じるが、このばらつきを考慮しても加熱側面材が断熱材により高い温度に曝されることで、脱落が早まる可能性がある。

2) 付加断熱壁体における屋内加熱時の考察

付加断熱壁体では、屋外加熱時、付加断熱材が柱の被覆材となるため、充てん断熱壁体よりも壁体の防耐火性能は向上する。一方、屋内加熱に対しては、付加断熱材により断熱されることで、充てん断熱材である GW および柱がより高温に曝されると予想され、防耐火性能上、不利側に作用する可能性がある。ここでは屋内加熱のみを対象に、付加断熱壁体と充てん断熱壁体の比較を行い、GW を充てんした壁体の防耐火性能に対し、付加断熱材が及ぼす影響を考察する。

壁体内部の温度推移（表 4-4）より、GW 壁体では、屋内加熱時、付加断熱材が非加熱面側への放熱を抑制するため、充てん断熱材の加熱側の温度が上昇して GW の収縮が早くなる。そして、充てん断熱材と柱との間に隙間が生じ、柱側面の温度上昇も早く進んだと見られる。これは、先述の RW を充てんした RW 付加断熱壁体の場合、付加断熱材の有無や厚さに依らず、柱側面の温度推移はあまり変化しなかった点とは大きく異なる。付加断熱材による防耐火性能への影響は、充てん断熱材が RW の場合は考えなくてよいが、GW の場合は考慮する必要が出てくる。

表 4-3 残存柱の断面性能（GW 壁体・充てん断熱工法）

加熱方向	屋外加熱			屋内加熱		
	GW105 mm 充てん	RW105 mm 充てん	無断熱	GW105 mm 充てん	RW105 mm 充てん	無断熱
試験体仕様	GW105 mm 充てん	RW105 mm 充てん	無断熱	GW105 mm 充てん	RW105 mm 充てん	無断熱
屋外側 柱断面写真 (温度測定位置) 内装側						
加熱時間(分)	61	65	61.5	64	65.3	65
座屈時間(分)	60.2	64	61	座屈せず	65	64.5
断面積残存率	53.3%	59.7%	51.5%	55.5%	55.8%	48.6%
断面二次モーメント	3.6×10^6	2.7×10^6	3.8×10^6	3.6×10^6	2.8×10^6	2.7×10^6

しかし試験結果は、GW 壁体では付加断熱材により非損傷性が向上している。柱の残存断面を見ると、RW 壁体の場合と同じく、付加断熱壁体の方が充てん断熱壁体に比べ、残存断面が小さく、柱の損傷がより進んでから座屈したことがわかる（表 4-5）。付加断熱層の横材材が柱を背後から支えて非損傷性を向上させたと考えられる。

表 4-4 【屋内加熱】GW16K105 mm+GW16K 100 mm付加・GW16K105 mm充てんとの比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
GW105 mm充てん	64	45	58	59.5	—	10	28	205
GW105 mm+100 mm付加	66.3	35.6	—	—	66.3	1	9	43

表 4-5 残存柱の断面性能 (GW 壁体・付加断熱壁体)

加熱方向	屋内加熱	
	GW105 mm 充てん	GW105 mm +100 mm付加
試験体仕様		
屋外側 柱断面写真 (温度測定位置) 内装側		
加熱時間(分)	64	66.3
座屈時間(分)	—	66.3

(3) 評価手法の提案

グラスウール断熱壁体における検討結果をまとめると図 4-1 になる。

グラスウール断熱材を充てん断熱材として用いる場合は、屋外加熱、屋内加熱ともに、壁体の防耐火性能は、無断熱壁体とほぼ同程度となる。

評価手法として、壁体の断熱仕様の中から、防火上不利な壁体構成を合理的に選定する方法をまとめた（表 4-6）。例えば、グラスウール断熱材を充てんすると、屋外加熱、屋内加熱ともに防火性能は同程度となる。壁体の断熱仕様の中から、防火上不利な壁体構成を選定するにあたっては、充てん断熱材がない仕様、ある仕様をどちらを選定しても差し支えない。ただし付加断熱壁体のように、付加断熱材が存在するところでグラスウール断熱材を充てん断熱材として用いると、屋内加熱では、外張断熱材が非加熱面側への放熱を抑制するため、充てん断熱材の加熱側の温度が上昇してグラスウール断熱材の収縮が早くなる点は留意して、評価する必要がある。

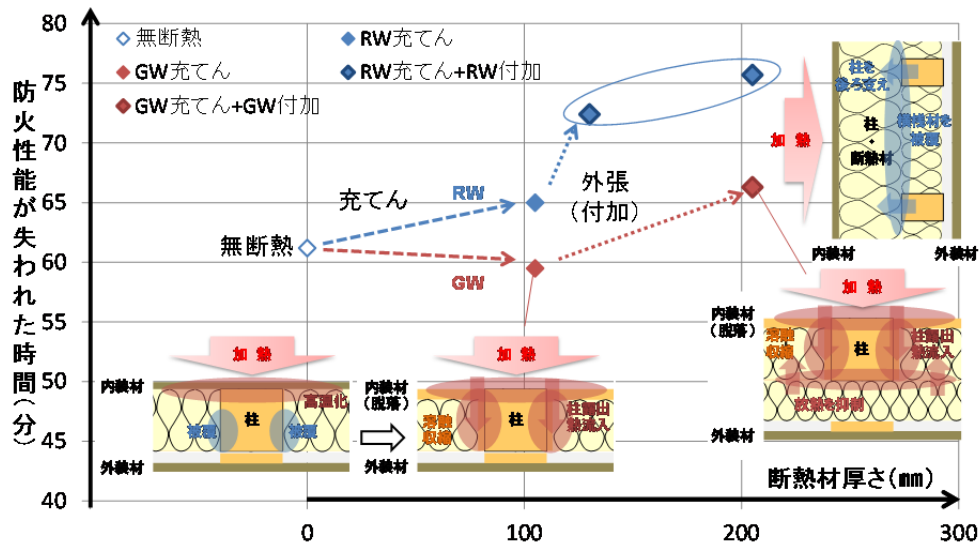


図 4-1 グラスウール断熱壁体の検討結果（屋内加熱）

表 4-6 防火上不利な壁体構成を選定するにあたっての考え方（グラスウール断熱壁体）

		グラスウール断熱材	
断熱材を充てんする		屋外加熱	同程度
		屋内加熱	同程度

※ただし、付加断熱材が存在する条件下で、グラスウール断熱材を充てん断熱材として用いる場合は、屋内加熱時、付加断熱材による非加熱面側への放熱の抑制により、充てん断熱材であるグラスウール断熱材の収縮が早くなる傾向があり留意が必要である。

5. 発泡プラスチック断熱材を用いた木造壁体に関する検討

(1) 検討のねらい

ここでは可燃性を有する発泡プラスチック断熱材を用いた木造壁体を対象に、断熱材種類ごとに、断熱材が壁体の防耐火性能に与える影響を明らかにする。

対象とする発泡プラスチック断熱材は、押出法ポリスチレンフォーム(XPS)、硬質ウレタンフォーム(PUF)、フェノールフォーム(PF)、ビーズ法ポリスチレンフォーム(EPS)、吹付け硬質ウレタンフォームA種3(SPF)の5種類とした。現場にて吹付け施工されるSPFは充てん断熱工法に用いられることが多い。またSPFを除く発泡プラスチック断熱材は、施工性の観点から外張断熱工法や充てん+付加断熱工法にて、断熱材を軸組や面材の外装側に直接張り付けて施工されることが多い。そこでSPFを用いた木造壁体(以下、SPF壁体)は充てん断熱壁体を、それ以外の発泡プラスチック断熱材を用いた木造壁体(以下、断熱材種類ごとにXPS壁体、PUF壁体、PF壁体、EPS壁体)は外張断熱壁体を対象に検討を行った。

(2) 試験結果と考察

1) SPF壁体における考察

屋外加熱では、SPF壁体の防耐火性能は非損傷性で決まり、無断熱壁体に比べ若干有利、RW壁体とほぼ

表5-1 《屋外加熱》SPF(A-3)105mm充てん・RW32K105mm充てん・無断熱壁体との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
無断熱	61.5	60	—	—	61	59	58	74
RW105mm充てん	65	46.1	—	—	64	12	33	58
SPF105mm充てん	64.7	59.8	—	—	63.8	59	60	71

表5-2 【屋内加熱】SPF(A-3)105mm充てん・RW32K105mm充てん・無断熱壁体との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
無断熱	65	55以降	55	61.2	64.5	38	91	192
RW105mm充てん	65.3	40	—	—	65	24	33	61
SPF105mm充てん	57	44	—	56	—	1	34	—

同等になる。一方、屋内加熱では、SPF 壁体の防耐火性能は遮炎性で決まり、無断熱壁体、RW 壁体に比べ低下した（表 5-1、表 5-2）。特に、無断熱壁体に対しては、可燃性ガスの吹き出しにより脱落時間が早まった分、防耐火性能が低下したと考えられる。

SPF 壁体では、加熱を受けると SPF の熱分解が進み、屋外加熱では加熱開始 20～22 分に、屋内加熱では加熱開始 40 分過ぎに断熱性を喪失して、以降、各層および柱側面の温度は無断熱壁体に近い推移となる（表 5-1、表 5-2）。SPF 壁体では、屋内加熱時せっこうボードの脱落時間が早くなった点を除くと、SPF の密度が小さく、可燃物量が少ないため、比較的早い段階で SPF は大半が燃焼しきっており、SPF の燃焼による影響は限定的で、柱の座屈に至るまで無断熱壁体とほぼ同じ挙動を示した。なお、屋外加熱では柱が座屈するまでの時間は、SPF 壁体の方が無断熱壁体より長くなったが、SPF が貫通するまで柱温度が無断熱壁体より若干低く保たれていたことによる可能性がある。

2) XPS・PUF・PF における考察

①屋外加熱

A. 25 mm外張断熱壁体と無断熱壁体との比較

25 mm外張断熱壁体の防耐火性能は、いずれも非損傷性で決まり、無断熱壁体よりも低下した（表 5-3）。外張断熱壁体では、軸組の外装側に通気胴縁により発泡プラスチック断熱材を挟み込む形でビス留めした上で、通気胴縁を下地に外装材が取り付けられる。そのため、無断熱壁体では外装材の金具を留める釘足が通気胴縁を貫通し間柱まで届くが、外張断熱壁体では釘足が通気胴縁にしか効かない（図 5-1）。この工法上の特徴が、外装材の脱落開始時間を大幅に早め、性能低下につながったと考えられる。

B. 断熱材種類による比較（25 mm外張断熱壁体）

25 mm外張断熱壁体の防耐火性能は、PF 壁体が最も高く、次いで PUF 壁体、XPS 壁体の順になった。一方で、この順序通りに外装材の脱落開始時間が早かった（表 5-3）。

加熱開始後、PF 壁体では 25 分過ぎ、PUF 壁体では 20～25 分、XPS 壁体では 12、13 分に、断熱材裏面、

表 5-3 《屋外加熱》PF25 mm外張・PUF25 mm外張・XPS25 mm外張

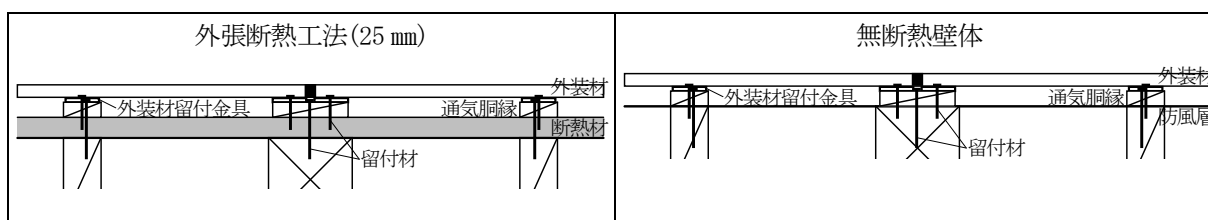
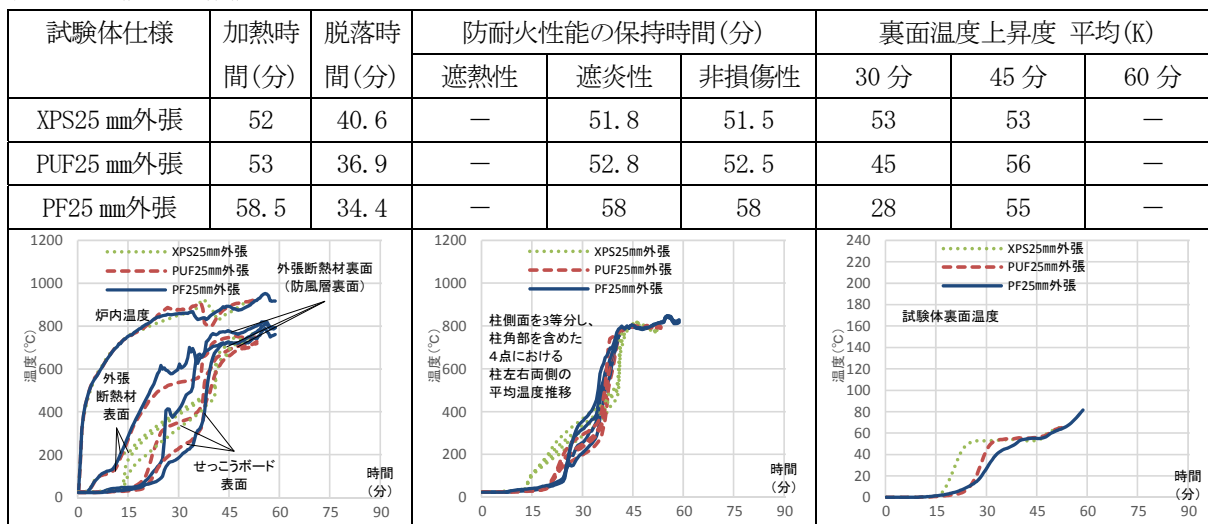


図 5-1 外装材・外張断熱材の留付

柱側面の温度が急激に立ち上がっており、この時点で断熱材の熔融・熱分解により壁体の断熱性が失われたとみられる(表5-3)。25mm外張断熱壁体では、壁体の断熱性が失われる時間が遅いほど防耐火性能は向上する。一方、断熱材表面(外装材)の温度が高くなり、外装材の脱落を早めたと考えられる。

C. 断熱材厚さ(厚さ25mmと厚さ100mm)による比較

外張断熱材を厚くすると可燃物量は増えるが、壁厚、加熱面から柱および試験体裏面までの距離が長くなり、また壁体の断熱性が失われるまでの時間も長くなるため、工法上は防耐火性能に有利に働くと予想される。

樹脂の熱分解が比較的穏やかなPF壁体では予想通り防耐火性能は向上したが、PUF壁体、XPS壁体の防耐火性能は遮炎性で決まり、PUF壁体では低下しXPS壁体ではほぼ同程度となった(表5-3, 表5-4)。PUF壁体、XPS壁体では断熱材が厚くなると、外装材の脱落后、各層および柱側面の温度が急激に上昇しており、脱落后の断熱材の急激な燃焼が、防耐火性能上、不利側に作用したと考えられる。

またPUF壁体、XPS壁体における外装材の脱落時間が5分以上早まった。XPS、PUFでは熔融・熱分解が進む過程で、外装材は外張断熱材の留付ビスによる片持ちの状態に近づくため、断熱材が厚くなると外装面を安定して保持しづらくなると考えられる(図5-1)。この外装面の不安定さが、脱落時間を早めた可能性が考えられる。

②屋内加熱

A. 25mm外張断熱壁体、無断熱壁体における比較

25mm外張断熱壁体では、XPS壁体の防耐火性能は無断熱壁体と同じく遮炎性で決まり、内装材であるせっこうボードの脱落開始時間、防耐火性能ともに無断熱壁体と同程度となった(表5-5)。

XPS壁体では、加熱側のせっこうボード裏面における100℃付近での温度停滞が終わった直後(加熱開始32, 33分頃)に断熱材裏面の温度が立ち上がっており、この時点でXPSの熔融により壁体の断熱性が失われたとみられる(表5-5)。以降、試験終了まで、XPS壁体は無断熱壁体とほぼ同じ温度で推移しており、この結果、ほぼ同じ試験結果が得られたと考えられる。但し、後述の通り、無断熱壁体では柱が三面加熱を受けるのに対し、XPS壁体では柱が四面加熱を受ける等、XPS壁体と無断熱壁体で柱へ及ぼす影響が異なる点は留意が必要である。

表5-4 《屋外加熱》PF100mm外張・PUF100mm外張・XPS100mm外張

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
XPS100mm外張	51.5	35.0	—	50.5	51.3	52	65	—
PUF100mm外張	49.7	30.2	—	47.5	49.2	3	57	—
PF100mm外張	63.0	32.8	—	62.5	62.5	3	31	—

表 5-5 【屋内加熱】 XPS100 mm外張・XPS25 mm外張・無断熱壁体との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
無断熱壁体	65	55 以降	55	61.2	64.5	38	91	192
XPS25 mm外張	64	54.5	57	60.3	63.6	4	55	185
XPS100 mm外張	55.5	48.5	55	55.3	—	0	50	—

表 5-6 【屋内加熱】 PUF100 mm外張・PUF25 mm外張・無断熱壁体との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
無断熱壁体	65	55 以降	55	61.2	64.5	38	91	192
PUF25 mm外張	59	43.6	58	—	58.6	4	32	—
PUF100 mm外張	55.5	40-50	—	—	55.3	2	3	—

表 5-7 【屋内加熱】 PF100 mm外張・PF25 mm外張・無断熱壁体との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
無断熱壁体	65	55 以降	55	61.2	64.5	38	91	192
PF25 mm外張	61	40-50	60	—	60.5	6	20	144
PF100 mm外張	58	42.5	—	—	57.6	1	1	—

一方、PUF 壁体、PF 壁体の防耐火性能は、ともに非損傷性で決まり、無断熱壁体と比べて PF 壁体ではほぼ同程度となり、PUF 壁体では低下した（表 5-6、表 5-7）。

PF 壁体、PUF 壁体では、100℃付近での温度停滞域が終わった以降、各層および柱側面の温度が無断熱壁体より高く推移し、せっこうボードの脱落開始時間も早かった（表 5-6、表 5-7）。断熱材により、せっこうボードは高温に曝され脱落を早めるとともに、柱も高温に曝され損傷が促進したと考えられる。また今回、試験した外張断熱壁体では構造用面材を設けていないため、柱と通気胴縁の間に発泡プラスチック断熱材が位置し、柱に断熱材が接する（図 5-2）。PUF 壁体、XPS 壁体では、屋内加熱を受けて断熱材の熔融・熱分解が進むと、柱と断熱材の間に空隙が生じて、柱は四面加熱を受ける（表 5-8）。せっこうボード脱落後の断熱材の燃焼に加えて、この柱への加熱条件の違いも、PUF 壁体の非損傷性が無断熱壁体、PF 壁体より低くなった要因と考えられる。

B. 断熱材厚さ（厚さ 25 mm と厚さ 100 mm）による比較

外張断熱材を厚くすると、壁厚が厚くなり遮炎性上は有利に働くが、断熱材の熔融・熱分解に時間を要する分、壁体の断熱性が失われる時間が遅くなり、かつ可燃物量も増えるため、断熱材より加熱側に位置する柱の損傷に対しては不利に働くと予想される。

100 mm 外張断熱壁体では、100℃付近での温度停滞域が終わった以降、断熱材より加熱側の温度は、25 mm 外張断熱壁体より若干高く推移した（表 5-5、表 5-6、表 5-7）。100 mm 外張断熱壁体の防耐火性能は、25 mm 外張断熱壁体と同じく、XPS 壁体は遮炎性で、PUF 壁体、PF 壁体は非損傷性で決まり、いずれも防耐火性能は 25 mm 外張断熱壁体より低下した。特に XPS 壁体では遮炎性により防耐火性能が低下し、予想に反する結果となった（表 5-5、表 5-6、表 5-7）。

外張断熱材が厚くなると樹脂量も多くなる。XPS 壁体では、目視観察よりせっこうボード越しの可燃性ガスの吹き出し、炉内への発炎が多くなり、またせっこうボードの脱落開始時間も早くなった（表 5-5）。脱落后、各層および柱側面の温度は急激に上昇しており、熔融した XPS の燃焼は、一気に進んで、樹脂量が多い分激しくなったとみられる。XPS 壁体では、厚さ 100 mm であっても、せっこうボードが脱落する前に XPS が熔融して壁体内は中空状態となるため、脱落后の XPS の燃焼が、そのまま遮炎性の低下につながる

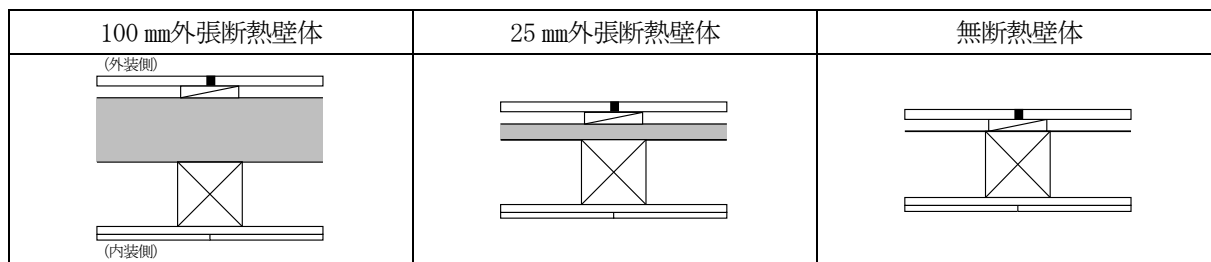


図 5-2 外張断熱工法・無断熱壁体の層構成

表 5-8 残存柱の断面性能（発泡プラスチック断熱壁体・外張断熱工法）

加熱方向	屋内加熱						
	XPS25 mm 外張	XPS100 mm 外張	PUF25 mm 外張	PUF100 mm 外張	PF25 mm 外張	PF100 mm 外張	無断熱 壁体
屋外側 柱断面写真 (温度測定位置) 内装側							
加熱時間(分)	64	55.5	59	55	61	58	65
座屈時間(分)	63.6	脱落せず	58.6	55.3	60.5	57.6	64.5

ったと考えられる。

PUF 壁体でも、外張断熱材が厚くなると、せっこうボードの脱落后、柱側面の温度はさらに高く上昇している（表 5-6）。PUF の燃焼がより激しく進んだことで、柱の損傷を促進させて非損傷性を低下させたと考えられる。

PF 壁体では、厚さ 100 mm では試験終了まで壁体の断熱性が失われず、せっこうボード脱落后の柱側面温度が若干高く推移した（表 5-7）。PF の燃焼は加熱面から徐々に進むが、同時に PF の断熱性が失われず非加熱側への放熱を妨げるため、PF 壁体の非損傷性が低下したと考えられる。

3) XPS と EPS の比較（100 mm 外張断熱壁体）

XPS と EPS は、押出法とビーズ法で製法が異なるものの、同じポリスチレンを原料とし、加熱を受けると、いずれも 100℃⁵⁾前後にて熔融するため、密度が大きく可燃物量が多くなる XPS にて代表的な検討を進めてきた。ここでは、EPS（4 号品相当、密度 15 kg/m³）と XPS（Ⅲ種 b 品、密度 32 kg/m³）で密度の違いに着目して考察を行う。

屋外加熱では、XPS 壁体では遮炎性、EPS 壁体では非損傷性で、それぞれ防耐火性能が決まった（表 5-9）。しかし XPS 壁体、EPS 壁体ともに、比較的早い段階で樹脂が熔融して壁体の断熱性が失われ、それ以降の加熱側面材の脱落時間や、壁体内各層および柱側面の温度推移いずれもほぼ同じ推移している。従って、

表 5-9 《屋外加熱》EPS100 mm 外張・XPS100 mm 外張・無断熱壁体との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
無断熱	61.5	60	—	—	61	59	58	74
XPS100 mm 外張	51.5	35	—	50.5	51.3	52	65	—
EPS100 mm 外張	48.0	35.7	—	—	47.4	54	70	—

表 5-10 【屋内加熱】EPS100 mm 外張・XPS100 mm 外張・無断熱壁体との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
無断熱	65	55 以降	55	61.2	64.5	38	91	192
XPS100 mm 外張	55.5	48.5	55	55.3	—	0	50	—
EPS100 mm 外張	58.5	49	57.5	58	—	6	55	—

この結果の差異は、試験体作成時に、EPS 壁体に密度の低い柱を用いてしまったため、遮炎性よりも早く非損傷性を喪失した結果と考えられる。この柱の影響を取り除くと、非損傷性・遮炎性ともに、XPS、EPS による密度の影響は小さく、防耐火性能はほぼ同程度になると考えられる。

屋内加熱では、XPS 壁体、EPS 壁体の防耐火性能は、ともに柱の座屈（非損傷性）ではなく遮炎性で決まった（表 5-10）。脱落后の柱側面の温度は、XPS 壁体の方が EPS 壁体に比べ急激に上昇しており、壁体内での樹脂の燃焼は密度が大きく可燃物量が多い XPS の方が激しく、そのまま遮炎性を喪失する時間が早くなったと考えられる。

EPS 壁体は、屋外加熱に対しては、外張断熱工法上の要因により、XPS 壁体と同様に防耐火性能が低下する。一方、屋内加熱に対しては、XPS に比べ、EPS の密度が小さく可燃物量が少ない分、EPS 壁体の方が XPS 壁体より、無断熱壁体からの防耐火性能の低下幅が小さくなったと言える。以上より EPS 壁体の防耐火性能は、XPS 壁体と無断熱壁体の間に位置づけて捉えることができる。

(3) 評価手法の提案

吹付け硬質ウレタンフォーム（A 種 3）を充てん断熱材として用いる場合、樹脂の熱分解に時間を要する分、屋外加熱では無断熱壁体に比べ、防耐火性能は若干有利になったが、屋内加熱では、せっこうボードの脱落が早くなり、防耐火性能が低下した。断熱材による影響よりも、非加熱側面材の遮炎性と加熱側面材の脱落時間に依存する結果となった。

発泡プラスチック断熱壁体（押出法ポリスチレンフォーム、硬質ウレタンフォーム、フェノールフォーム）の検討結果をまとめると図 5-3、図 5-4 になる。

屋外加熱に対しては、発泡プラスチック断熱材の外張断熱工法に由来する外装材の留付方法が、外装材の脱落開始時間を大幅に早め、防耐火性能の低下につながる（図 5-3）。

次に外張断熱材が厚くなると、樹脂の熱分解が比較的穏やかなフェノールフォーム断熱壁体では防耐火性能は向上するが、押出法ポリスチレンフォーム断熱壁体、硬質ウレタンフォーム断熱壁体では、外装材脱落后の断熱材の燃焼の方が、防耐火性能上、支配的になり、断熱材厚くなるほど不利側に作用する。

一方、屋内加熱に対しては、熱可塑性樹脂である押出法ポリスチレンフォーム断熱壁体の防耐火性能は、遮炎性で決まり、厚さ 25 mm では無断熱壁体とほぼ同程度となったものの、外張断熱材を設置し、断熱材を厚くすると低下する（図 5-4）。

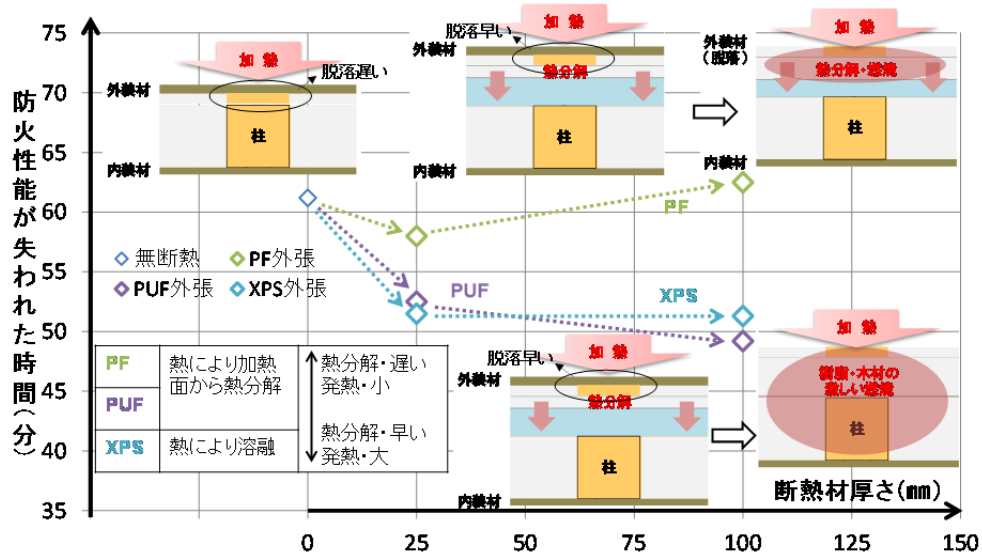


図 5-3 発泡プラスチック断熱壁体の検討結果（屋外加熱）

熱硬化性樹脂である硬質ウレタンフォーム断熱壁体、フェノールフォーム断熱壁体の防耐火性能は、非損傷性で決まる。厚さ 25 mm では、外張断熱材により、せっこうボードは高温に曝され脱落を早めるとともに、柱も高温に曝され損傷が促進させて、無断熱壁体より防耐火性能は低下する。厚さ 100 mm と厚くなると、フェノールフォーム断熱壁体では、外張断熱材により非加熱面側への放熱を抑制がさらに強まることにより、硬質ウレタンフォーム断熱壁体では、内装材脱落後の樹脂の燃焼が激しくなることにより、いずれも柱の損傷を促進させて、防耐火性能は低下させる。

以上より、評価手法として、壁体の断熱仕様の中から、防火上不利な壁体構成を合理的に選定する方法をまとめると、表 5-11 になる。例えば、外張断熱材である押出法ポリスチレンフォームの厚さを厚くすると、屋外加熱、屋内加熱ともに防火性能は低下（表 5-11）するため、壁体の断熱仕様の中から、防火上不利な壁体構成を選定するにあたっては、押出法ポリスチレンフォームは厚い仕様を選定すればよい。

なお、ビーズ法ポリスチレンフォームは、押出法ポリスチレンフォームに対し密度が小さく可燃物量が少なくなった場合と見なすことができ、ビーズ法ポリスチレンフォーム断熱壁体の防耐火性能は、押出法ポリスチレンフォーム断熱壁体と無断熱壁体の間に位置づけて捉えることができる。

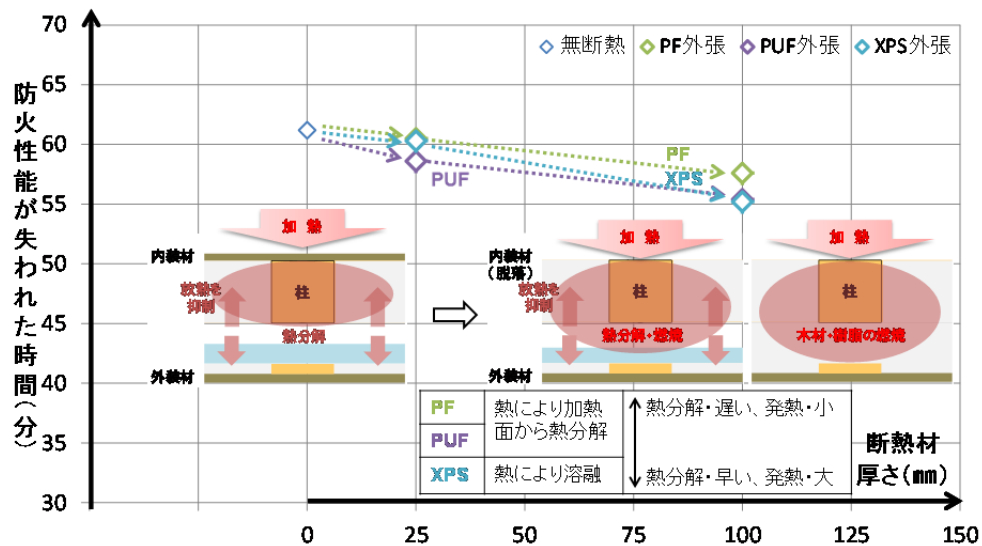


図 5-4 発泡プラスチック断熱壁体の検討結果（屋内加熱）

表 5-11 防火上不利な壁体構成を選定するにあたっての考え方（発泡プラスチック断熱壁体）

		XPS	PUF < PF
断熱材を外張する	屋外加熱	低下(外装材の留付)	
	屋内加熱	低下(燃焼)	低下
外張断熱材を厚くする	屋外加熱	低下(燃焼)	向上
	屋内加熱	低下(燃焼)	低下

6. 付加断熱壁体に関する検討

(1) 検討のねらい

充てん断熱材にロックウールまたはグラスウール、付加断熱材に発泡プラスチック断熱材を用いた付加断熱壁体を対象に、用いる断熱材の組合せごとに、防耐火性能の考え方をまとめる。

(2) 試験結果と考察

1) グラスウール断熱材 (GW) + 発泡プラスチック断熱材 (XPS・PUF・PF) 付加

屋外加熱では、GW 充てんに発泡プラスチック断熱材を外張りすると、外張断熱工法上、外装材の留め付けが通気胴縁のみを下地とするため、外装材の脱落時間が早まり、防耐火性能は低下する(表6-1)。付加断熱壁体の防耐火性能は、高い順から PF 付加、PUF 付加、XPS 付加となり、断熱材の熔融・熱分解による壁体の断熱性の低下が遅いほど、防耐火性能は向上する。

屋内加熱でも、付加断熱壁体の防耐火性能は、屋外加熱と同じく高い順から PF 付加、PUF 付加、XPS 付加となる。発泡プラスチック断熱材は、内装材の脱落后、GW 越しに加熱を受けて燃焼が進む。熱分解速度

表 6-1 《屋外加熱》GW105 mm + PF25 mm 付加・GW105 mm + PUF25 mm 付加・GW105 mm + XPS25 mm 付加との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
GW105 mm 充てん	61	45.3	—	—	60.2	21	50	67
GW105 mm + XPS25 mm	46.5	31.1	—	45.8	46.2	12	53	—
GW105 mm + PUF25 mm	52.3	31.3	—	51.2	51.8	4	52	—
GW105 mm + PF25 mm	55.8	35.1	—	—	55.5	6	42	—

表 6-2 【屋内加熱】GW105 mm + PF100 mm 付加・GW105 mm + PUF100 mm 付加・GW105 mm + XPS100 mm 付加との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
GW105 mm 充てん	64	45	58	59.5	—	10	28	205
GW105 mm + XPS100 mm	54.3	34.8	—	53.8	54.0	0	0	—
GW105 mm + PUF100 mm	62.8	37.8	—	—	62.2	1	1	2
GW105 mm + PF100 mm	64.7	36.0	—	—	64.2	3	3	4

が速く発熱ピークが大きい樹脂ほど、加熱を受けた際に激しく燃焼するため、防耐火性能を低下させる(表6-2)。また発泡プラスチック断熱材を付加すると、工法上、柱と通気胴縁に断熱材が位置するため、断熱材の熔融・熱分解により空隙が生じると、柱や通気胴縁では加熱を受ける面数が増えて、損傷が促進される特徴がある。

2) ロックウール断熱材 (RW) + 発泡プラスチック断熱材 (XPS・PUF・PF) 付加

屋外加熱では、GW 充てんの場合と同じく、RW 充てんに発泡プラスチック断熱材を外張りすると、外張断熱工法上、外装材の留め付けが通気胴縁のみを下地とするため、外装材の脱落時間が早まり、防耐火性能は低下する(表6-3)。付加断熱壁体の防耐火性能は、高い順からPF付加、PUF付加、XPS付加となり、断熱材の熔融・熱分解による壁体の断熱性の低下が遅いほど、防耐火性能は向上する。

屋内加熱でも、GW 充てんの場合と同じく、付加断熱壁体の防耐火性能は、屋外加熱と同じく高い順からPF付加、PUF付加、XPS付加となる(表6-4)。発泡プラスチック断熱材は、内装材の脱落后、RW 越しに加熱を受けて燃焼が進む点や熱分解速度が速い樹脂ほど激しく燃焼して防耐火性能を低下させる点、発泡プラスチック断熱材を付加すると、工法上の位置関係から断熱材の熔融・熱分解により空隙が生じると、柱

表6-3 《屋外加熱》RW105 mm + PF25 mm付加・RW105 mm + PUF25 mm付加・RW105 mm + XPS25 mm付加との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
RW105 mm 充てん	65.3	40	—	—	65	24	33	61
RW105 mm + XPS25 mm	55.5	29.9	—	—	55.2	7	44	—
RW105 mm + PUF25 mm	60.5	32.4	—	60.2	60.2	0	35	57
RW105 mm + PF25 mm	65.8	34.5	—	—	65.5	2	22	52

表6-4 【屋内加熱】RW105 mm + PF100 mm付加・RW105 mm + PUF100 mm付加・RW105 mm + XPS100 mm付加との比較

試験体仕様	加熱時間(分)	脱落時間(分)	防耐火性能の保持時間(分)			裏面温度上昇度 平均(K)		
			遮熱性	遮炎性	非損傷性	30分	45分	60分
RW105 mm 充てん	65	46.1	—	—	64	12	33	58
RW105 mm + XPS100 mm	64.0	36.0	—	63.3	—	0	1	47
RW105 mm + PUF100 mm	78.3	45.8	—	—	78.0	1	1	1
RW105 mm + PF100 mm	80.0	41.0	—	—	79.8	2	2	2

や通気胴縁では加熱を受ける面数が増えて、損傷が促進される点はGW 充てんの場合と同じ特徴が確認された。

3) 押出法ポリスチレンフォーム (XPS) + 無機繊維断熱材 (GW・RW) 充てん

屋外加熱では、XPS 壁体に、GW を充てんすると防耐火性能は低下し、RW を充てんすると防耐火性能は向上する (表 6-5)。GW、RW を充てんすると、加熱側の XPS を高温に曝して、熔融・燃焼を促進させ、かつ XPS の断熱効果の低下による非加熱側への放熱を許さないため、外装材の脱落時間を早め、樹脂の燃焼を促進させる。XPS の燃焼促進により、GW では GW 自体が早い段階で高温となり収縮・熔融するため、柱側面の被覆効果が失われた結果、性能は低下するが、RW は柱側面の被覆効果を保持して性能が向上する。

屋内加熱でも、屋外加熱と同じく XPS 壁体に、GW を充てんすると防耐火性能は若干低下し、RW を充てんすると防耐火性能は向上する (表 6-6)。XPS は加熱を受けると早い段階で熔融し、無断熱壁体に近い状態になるため、GW、RW がなければ、壁体内の温度上昇が抑制される。しかし GW、RW を充てんすると、柱側面を被覆するとともに、XPS も被覆するため、XPS の熔融・燃焼を抑制・遅延させるが、XPS の熔融による壁体内の温度上昇が抑制される効果は失われる。XPS の熔融による効果と GW、RW による被覆効果が相殺された結果として、防耐火性能が決まる。

表 6-5 《屋外加熱》 RW105 mm + XPS25 mm 外張・GW105 mm + XPS25 mm 付加・XPS25 mm 付加との比較

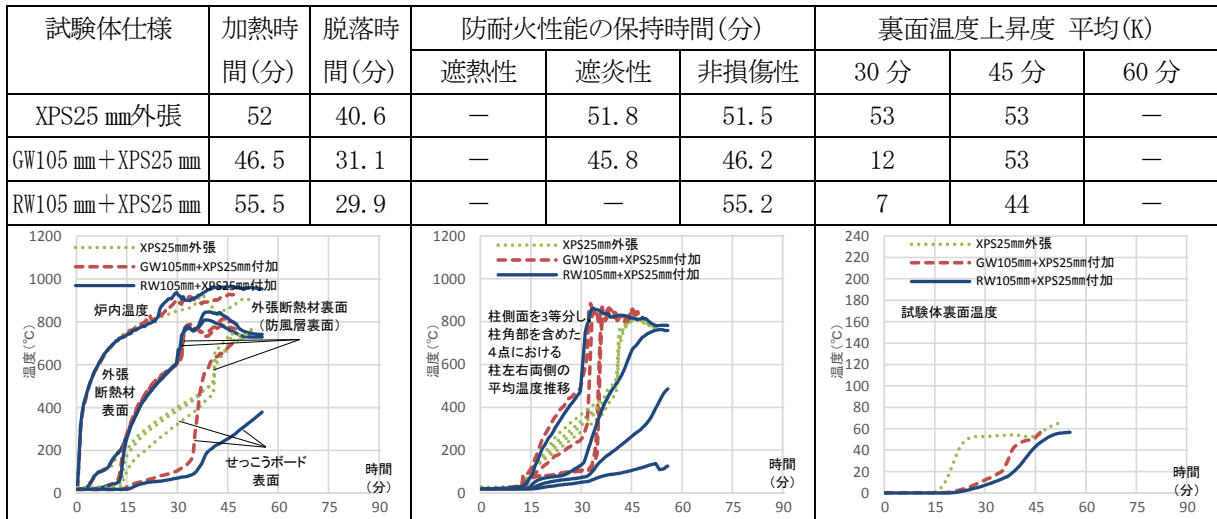
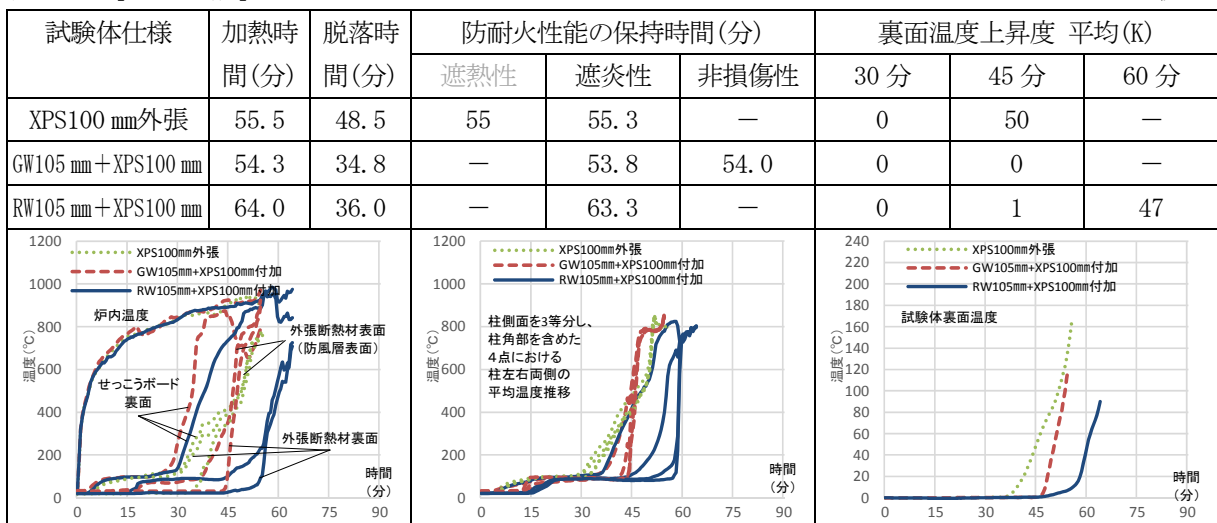


表 6-6 【屋内加熱】 RW105 mm + XPS100 mm 外張・GW105 mm + XPS100 mm 付加・XPS100 mm 付加との比較



4) 硬質ウレタンフォーム (PUF) + 無機繊維断熱材 (GW・RW) 充てん

屋外加熱では、PUF 壁体に、GW を充てんすると防耐火性能は同程度だが、RW を充てんすると防耐火性能は向上する (表 6-7)。GW、RW を充てんすると、加熱側の PUF を高温に曝して、熱分解・燃焼を促進させ、かつ PUF の断熱効果の低下による非加熱側への放熱を許さないため、外装材の脱落時間を早め、樹脂の燃焼を促進させる。PUF の断熱効果や燃焼により、RW は柱側面の被覆効果を保持して防耐火性能が向上する。一方、GW では GW 自体が早い段階で高温となり収縮・溶融するため、柱側面の被覆効果が失われた結果、防耐火性能は同程度となった (表 6-8)。

屋内加熱では、PUF 壁体に、GW、RW を充てんすると、防耐火性能は向上する。GW、RW を充てんすると、柱側面を被覆するとともに、PUF も被覆するため、PUF の熱分解・燃焼を抑制・遅延させる。従って充てん断熱材 (GW、RW) は耐熱性が高く、被覆効果が強いほど、防耐火性能を向上させる。

5) フェノールフォーム (PF) + 無機繊維断熱材 (GW・RW) 充てん

屋外加熱では、PF 壁体に GW を充てんすると防耐火性能は若干低下するが、RW を充てんすると防耐火性能は向上する (表 6-9)。GW、RW を充てんすると、加熱側の PF の熱分解挙動は変わらないが、外装材を高温に曝して、かつ PF の断熱効果の低下による非加熱側への放熱を許さないため、外装材の脱落時間を早める。PF の断熱効果により、RW は柱側面の被覆効果を保持して防耐火性能が向上する。一方、GW 自

表 6-7 《屋外加熱》RW105 mm+PUF25 mm外張・GW105 mm+PUF25 mm付加・PUF25 mm付加との比較

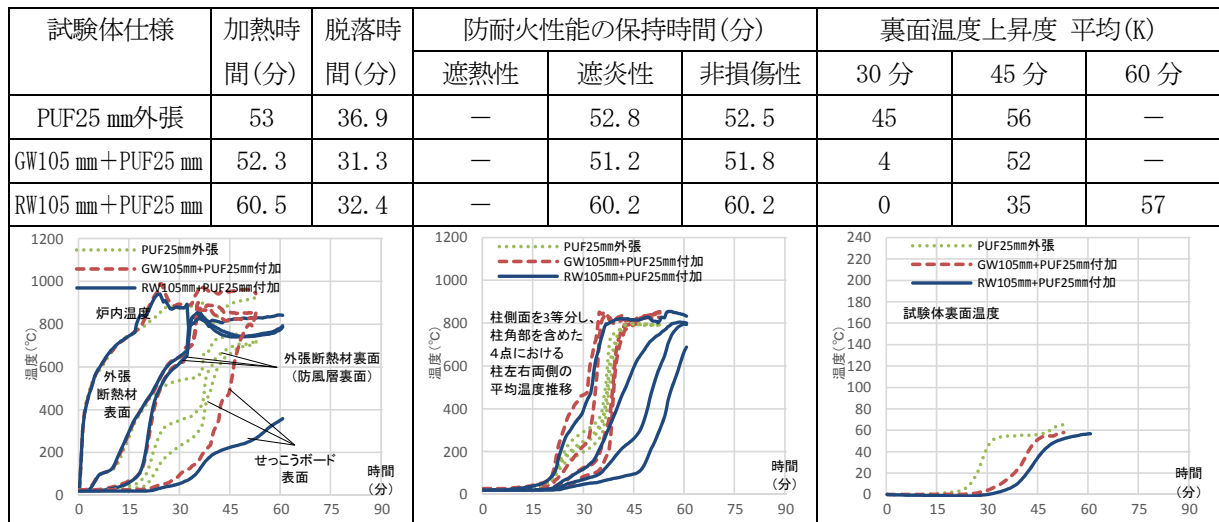
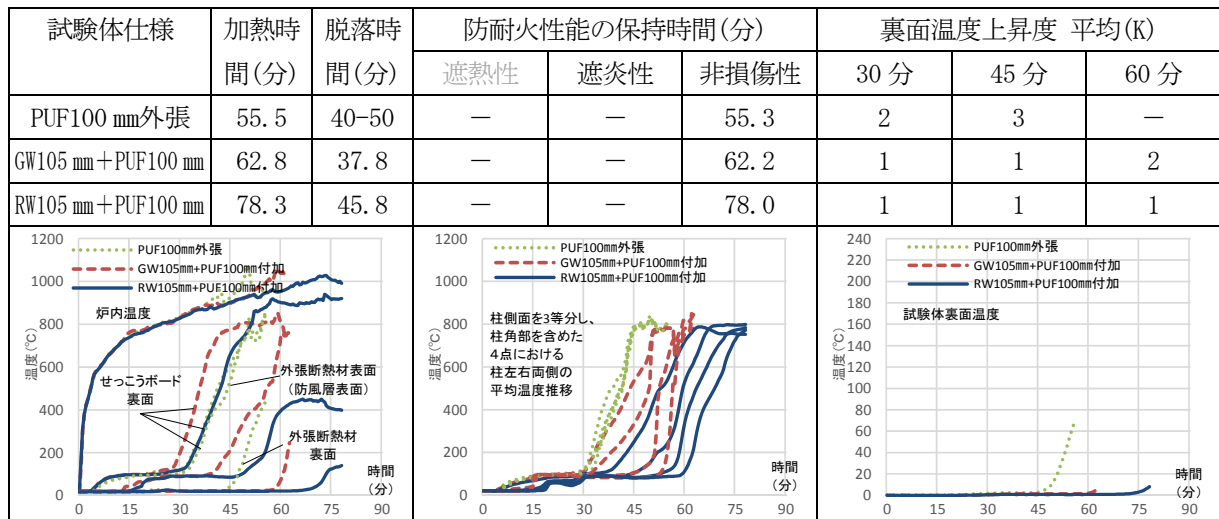


表 6-8 【屋内加熱】RW105 mm+PUF100 mm外張・GW105 mm+PUF100 mm付加・PUF100 mm付加との比較



体が早い段階で高温となり収縮・溶融するため、柱側面の被覆効果が失われた結果、防耐火性能は若干低下した。

屋内加熱では、PUF 壁体と同じく、PF 壁体に GW、RW を充てんすると、防耐火性能は向上する（表 6-10）。GW、RW を充てんすると、柱側面とともに PF も被覆するため、PF の熱分解・燃焼を抑制・遅延させる。従って充てん断熱材（GW、RW）は耐熱性が高く、被覆効果が強いほど防耐火性能を向上させる。

表 6-9 《屋外加熱》RW105 mm+PF25 mm外張・GW105 mm+PF25 mm付加・PF25 mm付加との比較

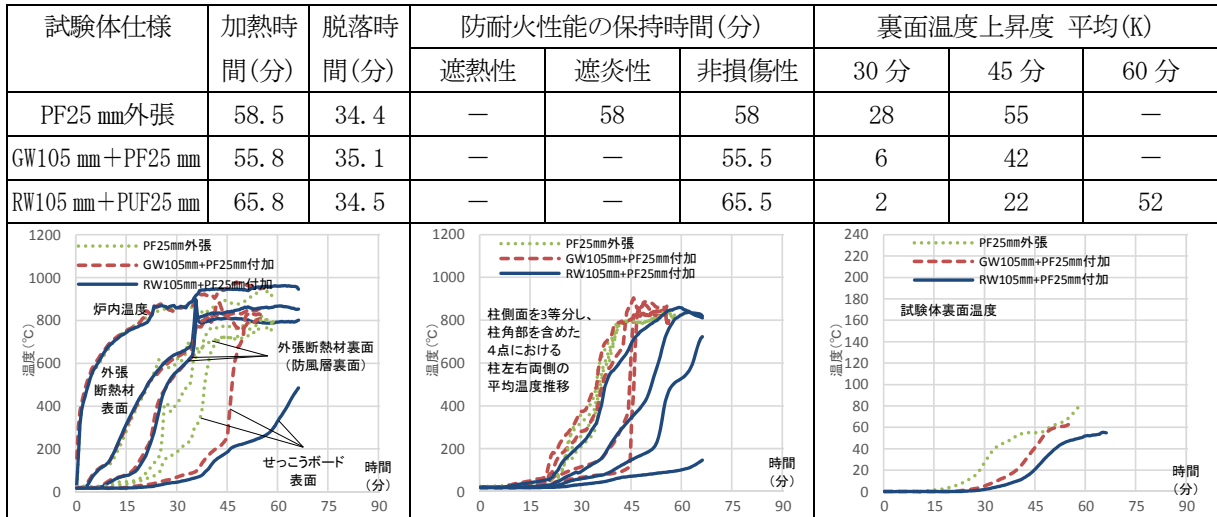
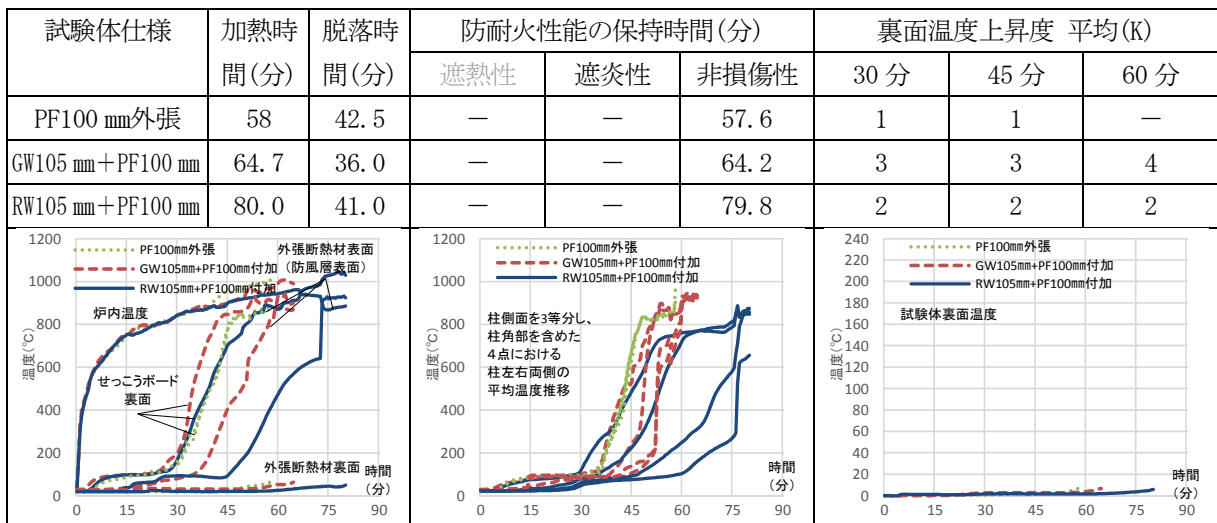


表 6-10 【屋内加熱】RW105 mm+PF100 mm外張・GW105 mm+PF100 mm付加・PF100 mm付加との比較



(3) 評価手法の提案

付加断熱壁体の検討結果をまとめると図 6-1、図 6-2 になる。充てん断熱材をグラスウール断熱材またはロックウール断熱材に揃えて、付加断熱材による違いを見ると、屋外加熱、屋内加熱ともに、付加断熱材の防耐火性能は、押出法ポリスチレンフォームを用いた場合が最も低く、次いで硬質ウレタンフォーム、フェノールフォームの順になった。一方、付加断熱材の発泡プラスチック断熱材を揃えて、充てん断熱材による違いを見ると、屋外加熱、屋内加熱ともに、付加断熱壁体の防耐火性能は、グラスウール断熱材の方がロックウール断熱材よりも低くなった。

評価手法として、壁体の断熱仕様の中から、防火上不利な壁体構成を合理的に選定する方法をまとめた（表 6-11）。例えば、最も防火性能上、不利になる付加断熱壁体の断熱材の組合せは、充てん断熱材をグ

ラスウール断熱材、外張断熱材を押し出法ポリスチレンフォームの組合せになる（表 6-11）。

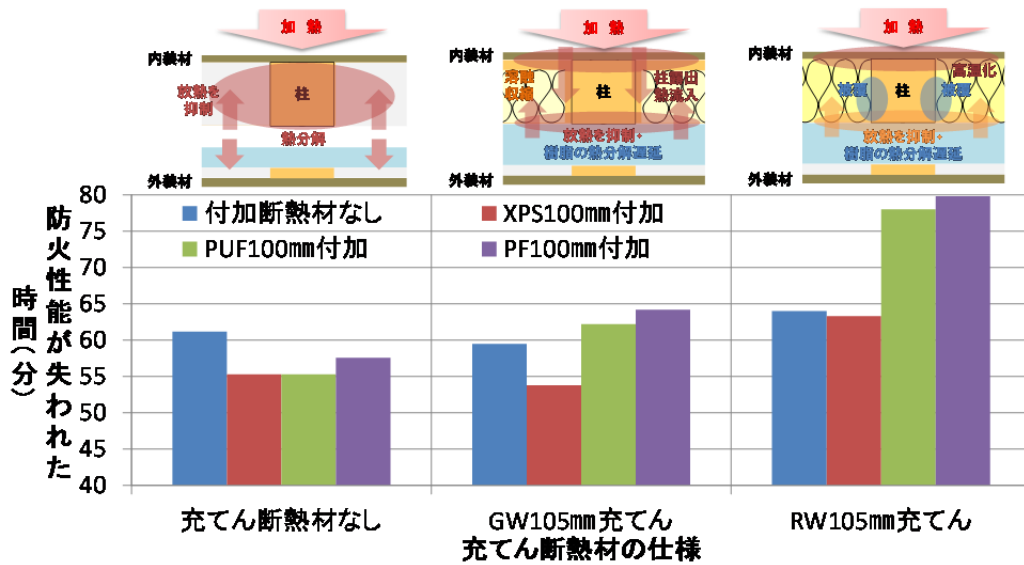


図 6-1 付加断熱壁体の検討結果（屋外加熱）

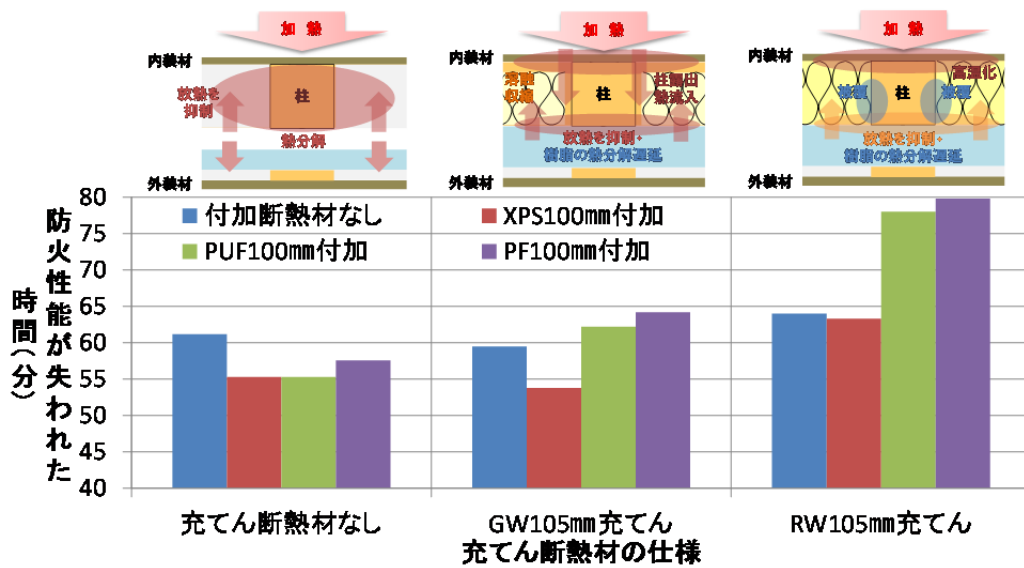


図 6-2 付加断熱壁体の検討結果（屋内加熱）

表 6-11 防火上不利な壁体構成を選定するにあたっての考え方（付加断熱壁体）

		充てん断熱材	付加断熱材
付加断熱工法における断熱材の組合せ		屋外加熱 GW < RW	XPS < PUF < PF
		屋内加熱 GW < RW	XPS < PUF < PF

7. まとめ

本研究では、断熱工法ごと、断熱材種類ごとに、断熱材による壁体の防耐火性能の影響を実大試験により検証、把握を行って、木造断熱壁体の防耐火性能の評価手法を提案することを目的に、検討を進め、下記の成果が得られた。

- ロックウール断熱材を用いた木造壁体を対象に、断熱工法ごとに断熱材による壁体の防耐火性能の影響を明らかにした。
- 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木造壁体を対象に、断熱材種類ごとに壁体の防耐火性能の影響を明らかにした。
- ロックウール断熱材またはグラスウール断熱材を充てんし、発泡プラスチック断熱材を用いた木造壁体について、断熱材の組合せごとに壁体の防耐火性能の影響を明らかにした。
- これらの検討結果より、木造断熱壁体の断熱仕様に対し、防火上、最も不利となる壁体構成を選定するための考え方を、評価手法として示した。

[謝辞]

本研究では、試験の実施にあたり日本窯業外装協会には窯業系サイディングを、石膏ボード工業会にはせっこうボードをそれぞれご提供いただくなど、日本窯業外装協会および石膏ボード工業会の皆様には、多大なるご協力、ご助言を賜りました、ここに謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 地方独立行政法人北海道立総合研究機構：防耐火性能試験・評価業務方法書，2010.6
- 2) 建設省住宅局建築指導課日本建築主事会議監修：平成5年6月25施行 改正建築基準法 準耐火建築物の防火設計指針，(財)日本建築センター，1994.6
- 3) 小幡守著：最新建築学シリーズ3. 最新 建築構造力学 I 第1版第8刷，森北出版(株)，1994.9
- 4) (社)日本建築学会：構造材料の耐火性ガイドブック 第3版，(社)日本建築学会，2017.3
- 5) 旭化成アミダス株式会社「プラスチック」編集部編：プラスチック・データブック，工業調査会，1999.12