

木造軸組工法による寒冷地仕様外壁の防耐火性能評価

平舘 亮一 由田 茂一 河原崎政行 菊地 伸一*¹
入江 雄司*² 糸毛 治*² 南 慎一*²

Evaluation of the Fire-Resistance Ability of the Cold District Specification External Wall Structure in Wooden Framework Construction

Ryouichi HIRADATE Sigeichi YOSHIDA Masayuki KAWARASAKI
Shin'ichi KIKUCHI Yuji IRIE Osamu ITOGE Shin'ichi MINAMI

We evaluated the fire-resistance of 3 types of the cold-district-specification external walls in wooden framework construction, which are widely used in Hokkaido. Following suggestions were obtained on the structure of each types of the external wall, which satisfied the quasi-fire resistance standard.

1) For filling insulating construction:

Fiber-reinforced cement siding 12mm or more as facing material, glass-fiber insulation 16kg/m³ 100mm or more as filling insulation layer, fire-resistant gypsum board 15mm or more as interior material.

2) For composite insulating construction:

Fiber-reinforced cement siding 12mm or more as facing material, glass-fiber insulation 16kg/m³ 100mm or more as filling insulation layer, polystyrene foam 25mm as composite insulation layer, fire-resistant gypsum board 15mm or more as interior material,
or fiber-reinforced cement siding 12mm or more as facing material, glass-fiber insulation 16kg/m³ 100mm or more as filling insulation layer, board type glass-fiber insulation 32kg/m³ 25mm as composite insulation layer, gypsum board-regular type 15mm or more as interior material.

3) For external insulating construction:

Fiber-reinforced cement siding 12mm or more as facing material, board type glass fiber insulation 32kg/m³ 50mm or more as external insulation layer, plywood for structural use 12mm as vapor varrier layer, fire-resistant gypsum board 15mm or more as interior material.

Key words: quasi-fireproof construction, fire resistance ability, filling insulating construction, composite insulating construction, external insulating construction
準耐火構造, 防耐火性能, 充てん断熱工法, 付加断熱工法, 外張断熱工法

北海道内で広く普及している木造軸組工法による寒冷地仕様外壁の三つの断熱工法について防耐火性能を検証した。その結果、それぞれ以下の構成で準耐火性能を持つと考えられた。

1) 充てん断熱工法

外装材：窯業系サイディング12mm以上，充てん断熱材：グラスウール 16kg/m³ 100mm以上，内装材：強化石こうボード15mm以上

2) 付加断熱工法

外装材：窯業系サイディング12mm以上，充てん断熱材：グラスウール 16kg/m³ 100mm以上，付加断熱材：ポリスチレンフォーム3種B 25mm，内装材：強化石こうボード15mm以上，または，外装材：窯業系サイディング12mm以上，充てん断熱材：グラスウール 16kg/m³ 100mm以上，付加断熱材：グラスウール保温板 32kg/m³ 25mm以上，内装材：石こうボード15mm以上

3) 外張断熱工法

外装材：窯業系サイディング12mm以上，外張断熱材：グラスウール保温板 32kg/m³ 50mm以上，気密層：構造用合板12mm以上，内装材：石こうボード15mm以上

1. はじめに

北海道の住宅の外壁は、寒冷な気候に対応するため、本州よりも断熱材を厚く施工するなど、断熱・気密性に優れ、かつ結露防止のために通気層を設けるなどの特徴を持っている。

平成10年に建築基準法が改正された。改正後の防火構造の告示（建設省告示第1359号）では、断熱材を充てんすることにより内装材料の防火規制が軽減される（石こうボード9.5mmから普通合板4mmへ）のに対し、準耐火構造の告示（建設省告示第1358号）では断熱材の防耐火性向上効果が考慮されておらず、防火構造と同様の軽減処置はなされていない。

壁内にグラスウールなどの断熱材を充てんするような外壁は、断熱性能の低い本州の外壁とは火災に対する性状・性能が異なることが示されており¹⁾、寒冷地仕様外壁を適正に評価すれば、告示仕様よりも簡略な防火被覆で準耐火構造の要求性能（準耐火性能）を満たすことができると考えられる。そのため、寒冷地仕様外壁を必須とする北海道のような寒冷地では、本州に比べ比較的容易に準防火地域での木造3階住宅の建設などが可能になるものと期待できる。

しかし、断熱工法と防耐火性能の関係について、防火構造については検討されているが¹⁾、準耐火構造を対象としたものは少ない。そこで河原崎ら²⁾は、現在北海道で普及している一般的な寒冷地仕様外壁の遮熱・遮炎性能について小型試験体を用いて検討し、断熱材の充てんが遮熱・遮炎性能を向上させることを確認した。一方、著者ら³⁾は柱の炭化状況を観察し、非損傷性能の確認が必要と判断した。そこで、本研究では実大試験体に対する載荷加熱試験を

実施し、断熱工法と防耐火性能の関係を把握するとともに準耐火構造とするための手法を検討した。

2. 試験方法

2.1 試験体

既往の結果²⁻⁵⁾から、準耐火性能を満足すると考えられる壁構成を各断熱工法ごとに選び出した。試験体は、用いる断熱材の種類や断熱工法、壁構成を変えて6種類10体作製した。使用材料の一覧を第1表に、断熱工法、主な構成、加熱方向の組み合わせを第2表に、試験体詳細を第1図に示す。試験体寸法はW1,820×H2,730mmで、柱一間柱間隔は455mmとした。試験体の共通仕様として屋外側に透湿防水シート、室内側に住宅用プラスチック系防湿フィルム（P.E.シート）を張り、外装材に木繊維混入セメントケイ酸カルシウム板（窯業系サイディング12mm）を用いた乾式工法とし、通気胴縁（45×18mm）により通気層を設けた。試験体の概要を第2図に示す。

2.1.1. 充てん断熱工法

断熱材はグラスウール（GW）16kg/m³ 100mm，内装材は石こうボード（GB-R）12.5mmとした。

2.1.2. 付加断熱工法

充てん断熱工法を基本とし、付加断熱材として押出法ポリスチレンフォーム3種B（XPS）25mmまたはグラスウール保温板（GW-B）32kg/m³ 25mmを付加した2タイプとした。また、XPSを付加したタイプについては室内側加熱用にGB-Rを厚さ15mm，あるいは強化石こうボード（GB-F）15mmとした仕様も作製した。

第1表 試験に使用した材料
Table 1. Materials for fireproof test.

部位 Part	材料 Material	記号 Symbol	規格 Standard
内装材 Interior material	石こうボード 12.5mm Gypsum board- regular type	GB-R 12.5mm	JIS A 6901
	石こうボード 15mm Gypsum board- regular type		
	強化石こうボード 15mm Fire-resistant gypsum board	GB-F 15mm	
	住宅用プラスチック系防湿フィルム Plastic films vapor barrier for residential use	P.E.シート P.E.sheet	
気密層 Vapor barrier layer	構造用合板 12mm Plywood for structural use	PW 12mm	
	グラスウール断熱材 2.2SI (密度16kg/m ³ 相当) 100mm Grass-fiber insulation	GW 16kg/m ³ 100mm	JIS A 9521
断熱材 Insulation	グラスウール保温板 密度32kg/m ³ 25mm Board type glass-fiber insulation	GW-B 32kg/m ³ 25mm	JIS A 9504
	グラスウール保温板 密度32kg/m ³ 50mm Board type glass-fiber insulation	GW-B 32kg/m ³ 50mm	
	押出法ポリスチレンフォーム 3種 B 25mm Polystyrene foam	XPS 25mm	JIS A 9511
	透湿防水シート House wrapping sheet		JIS A 6111
防風層 Air/weather barrier layer	針葉樹製材 45×18mm Softwood		
間柱 Stud	針葉樹製材 45×105mm Softwood		
柱 Post	エゾマツ製材 105×105×2,760mm Yezo spruce		曲げヤング係数 MOE 9.3~11.2kN/mm ²
外装材 Facing material	窯業系サイディング 12mm Fiber reinforced cement siding		

第2表 試験体構成と加熱方向
Table 2. Construction of specimens and heating side.

試験体記号 Abbreviation	断熱工法 Insulation construction	主な構成 Specifications	加熱方向 Heating side
F1-I	充てん断熱 Filling insulating construction	GW 16kg/m ³ 100mm + GB-R 12.5mm	室内側 Inside
F1-O			屋外側 Outside
C1-I	付加断熱 Composite insulating construction	GW 16kg/m ³ 100mm + XPS 25mm + GB-R 12.5mm	室内側 Inside
C1-O			屋外側 Outside
C2-I	付加断熱 Composite insulating construction	GW 16kg/m ³ 100mm + GW-B 32kg/m ³ 25mm + GB-R 12.5mm	室内側 Inside
C2-O			屋外側 Outside
C3-I	外張断熱 External insulating construction	GW 16kg/m ³ 100mm + XPS 25mm + GB-R 15mm	室内側 Inside
C4-I			室内側 Inside
E1-I	外張断熱 External insulating construction	GW-B 32kg/m ³ 50mm + PW 12mm + GB-F 15mm	室内側 Inside
E1-O			屋外側 Outside

凡例) GW, GB-R, XPS, GW-B, GB-F, PW: 第1表参照
注) 各試験体共通: 窯業系サイディング 12mm, 通気層 18mm, 透湿防水シート, P.E. シート
Legend) GW, GB-R, XPS, GW-B, GB-F, PW: Refer to Table 1.
Note) Common features of each specimen: Fiber reinforced cement siding 12mm, Air layer 18mm, House wrapping sheet, P. E. sheet

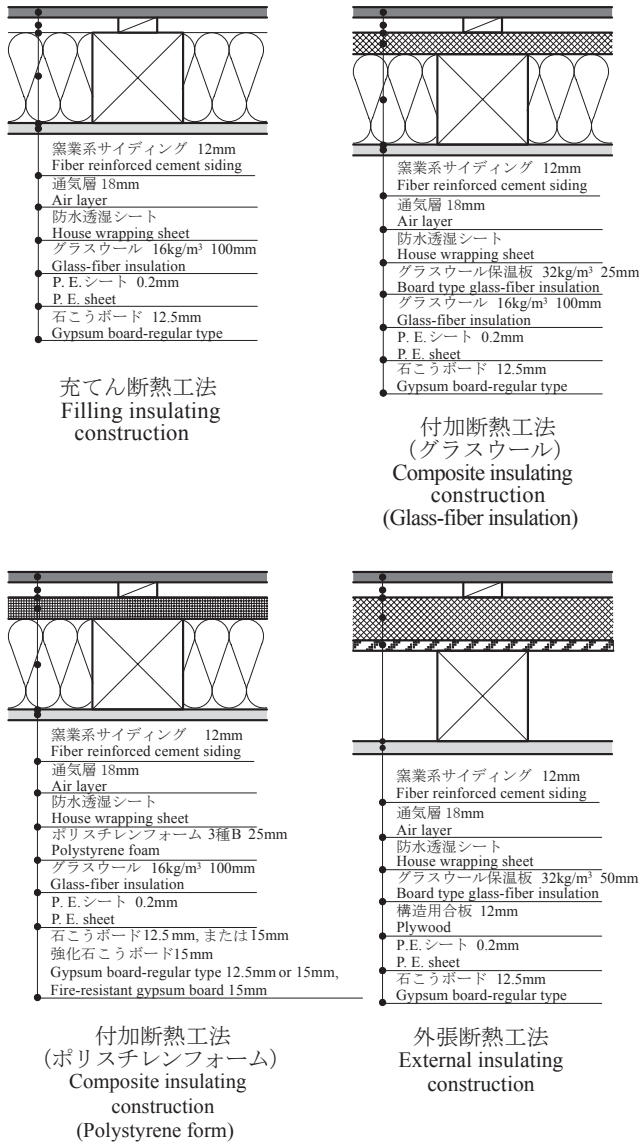
2.1.3. 外張断熱工法

外張断熱材としてGW-B32kg/m³ 50mm, 気密材は構造用合板 (PW) 12mm, 内装材はGB-F 15mmとした。

2.2 加熱方法

試験体の加熱には、北方建築総合研究所所有の東和耐火工業 (株) 製垂直加熱炉 (有効加熱面 W 3,050 × H3,000mm) を用いた。加熱は性能評価機関の業務方法書に基づき、荷重支持部材に長期許容応力度に相当する荷重を油圧ジャッキで載荷しながら、炉内温度をISO 834に示された標準加熱曲線となるようにバーナー出力をコントロールした。

試験は、同一仕様の試験体の



第1図 試験体詳細
Fig. 1. Details of specimens.

室内側加熱および屋外側加熱を基本とした。

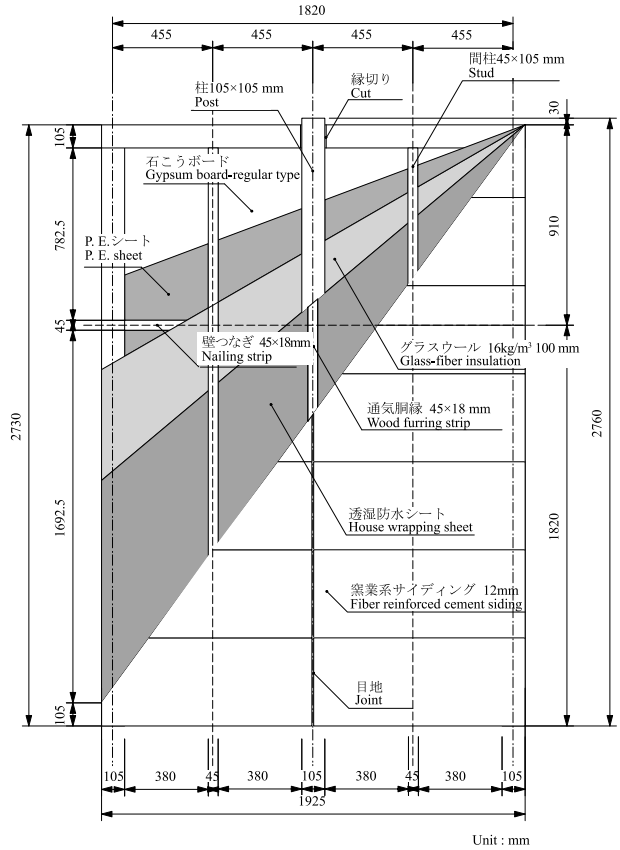
2.3 判定基準および測定方法

業務方法書によれば、準耐火構造外壁の判定基準は試験開始後45分間において、次のとおりである。

○遮熱性能: 測定温度から初期温度を引いた試験体裏面温度上昇値が平均値で140度以下, 最高値が180度以下であること。

○遮炎性能: 非加熱側へ10秒を超えて継続する火炎の噴出がないこと。非加熱面で10秒を超えて継続する発炎がないこと。火炎が通る亀裂等の損傷を生じないこと。

○非損傷性能: 試験体の最大軸方向収縮量および最



第2図 試験体概要 (充てん断熱工法)
Fig. 2. Diagram of specimens (filling insulating construction).

大軸方向収縮速度が、次のとおりであること。

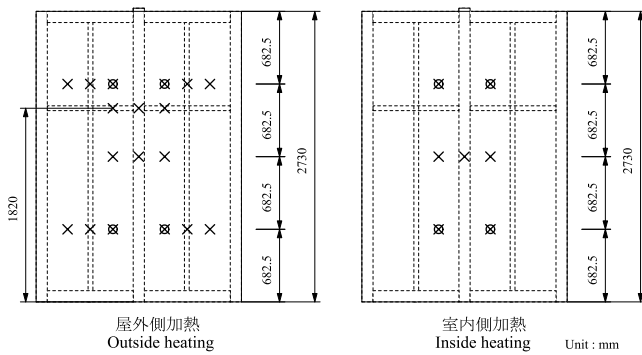
- 最大軸方向収縮量 (mm) $\leq h/100$
本試験では、 $2,760\text{mm}/100=27.6\text{mm}$ 以下であること。

- 最大軸方向収縮速度 (mm/分) $\leq 3h/1000$
本試験では、 $3 \times 2,760\text{mm}/1000=8.3\text{mm/分}$ 以下であること。

h: 試験体の初期高さ (mm)

各測定値は30秒ごとに記録した。温度測定位置を第3図に示す。温度は、試験体裏面温度を室内側加熱では7か所、屋外側加熱では18か所測定した。また、試験体内部の燃焼性状を把握するため、各材料の裏面温度を4か所ずつ測定した。温度測定には線径0.65mmのガラス被覆K熱電対を用いた。また、軸方向収縮量の測定は変位計により、遮炎性能に関わる火炎の貫通等は目視により観察した。

試験時間はいずれかの基準を超えるか、実験者が危険と判断するまでとし、その時間を耐火時間とした。



第3図 試験体温度測定位置

Fig. 3. Temperature measuring points.

凡例) × : 試験体裏面温度測定位置, ○ : 壁内温度測定位置
 Legend) × : measuring points on the unexposed side of specimen,
 ○ : measuring points on the unexposed side in each layer in the external wall.

3. 試験結果

各試験体の試験結果を第3表に示す。試験体10体のうち、軸方向収縮速度が基準を超えたものが1体(F1-O)、裏面温度上昇値の最高値が基準を超えたものが1体(C3-I)であった。

3.1 充てん断熱工法

測定結果の例として充てん断熱工法の試験体各層の平均温度上昇値、軸方向変位量を第4図に示す。

室内側加熱(F1-I)において、内装材裏面温度上昇値は15分経過時から急激に大きくなった。また、炉内観察により18分過ぎから内装材の脱落を確認した。充てん断熱材裏面温度上昇値は32分から急激に大きくなっており壁内が燃焼状態になったものと思われる。試験体裏面温度上昇値は試験を中止するまで78度以下で推移した。軸方向収縮量は、31分までは1mm以下であったが、38.5分で急速に増大したためこれを耐火時間とした。

屋外側加熱(F1-O)では、裏面温度上昇値は試験終了まで基準値以下であったが、軸方向収縮速度が53分で11.14mm/分となり基準値を超えたため、その前の測定点52.5分を耐火時間とした。

3.2 付加断熱工法

室内側加熱での耐火時間はC1-Iでは35.5分、C2-Iでは41分、C3-Iでは41.5分、C4-Iでは46分であった。C3-Iは裏面温度上昇値の最高値が基準値を超えて終了したが、他は軸方向収縮量の急速な増大によりそれぞれを耐火時間とした。

屋外側加熱では、C1-OおよびC2-Oの耐火時間はそれぞれ47分、66分であった。

第3表 耐火試験結果

Table 3. Results of fireproof test.

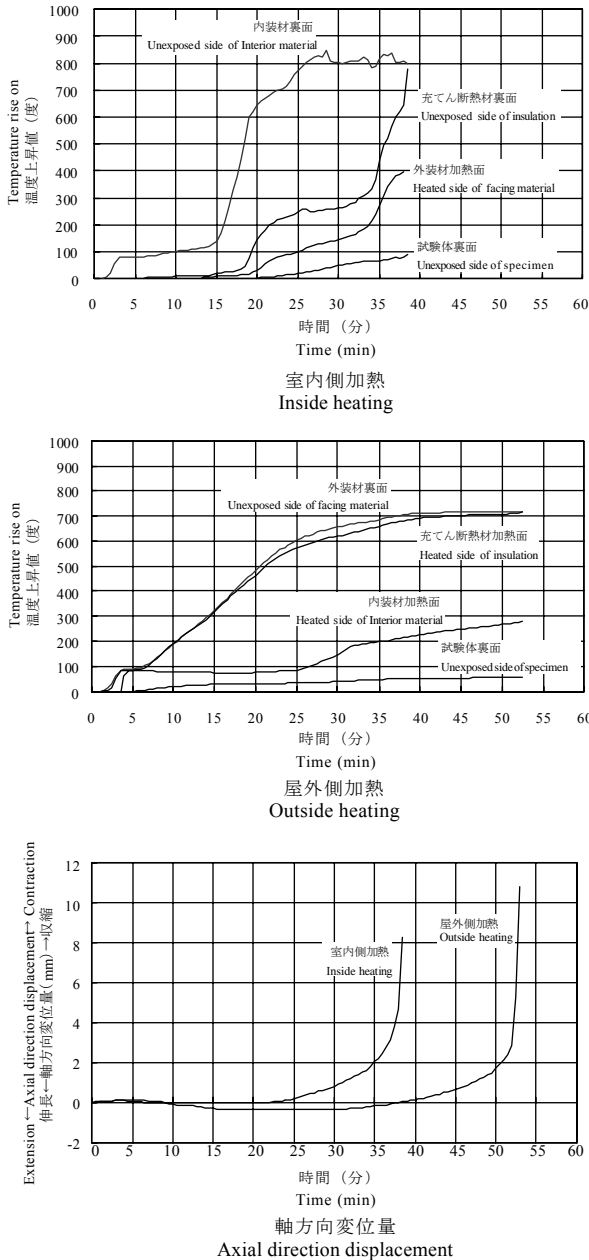
試験体記号 Abbreviation	断熱工法 Insulating construction	加熱方向 Heating side	耐火時間(分) Fireproof time (min)	非損傷性能 Non-damage ability		遮熱性能 Heat insulation property		遮炎性能 Flame insulation property
				軸方向収縮量(mm) Axial direction contraction	軸方向収縮速度(mm/min) Axial direction speed contraction	裏面温度上昇値(度) Temperature rise on to unexposed side for specimen		
						平均 Ave.	最大 Max.	火炎の貫通等 Penetration of the flame
F1-I	充てん断熱 Filling insulating construction	室内側加熱 Inside	38.5	8.25	7.10	92	123	-
F1-O	充てん断熱 Filling insulating construction	屋外側加熱 Outside	52.5	5.25	4.72*	61	82	-
C1-I	付加断熱 Composite insulating construction	室内側加熱 Inside	35.5	4.87	4.46	82	143	-
C2-I			41	7.58	7.64	67	93	-
C3-I			41.5	2.64	0.54	101	168*	-
C4-I			46	6.16	6.88	48	66	-
C1-O		屋外側加熱 Outside	47	5.62	5.96	55	76	-
C2-O			66	4.78	2.10	59	81	-
E1-I	外張断熱 External insulating construction	室内側加熱 Inside	49	8.46	7.00	29	35	-
E1-O	外張断熱 External insulating construction	屋外側加熱 Outside	83	7.57	3.30	65	97	-

凡例) * : 耐火時間の30秒後の測定で基準を超えていたことを示す。- : 観察されず

注) 試験体記号は第2表参照

Legend) * : Exceeded standard at measurement after 30 s of fireproof time, - : not observed

Note) Abbreviation should see Table 2.



第4図 充てん断熱試験体の試験結果
 Fig. 4. Results of a fireproof test of filling insulating construction.

3.3 外張断熱工法

室内側加熱 (E1-I) では各層の温度上昇は緩やかだった。軸方向収縮量が49分で急速に増大したためこれを耐火時間とした。

屋外側加熱 (E1-O) では、外装材の裏面以外の温度上昇は緩やかであり、試験終了後の内部観察ではPWの加熱側に炭化が見られたものの燃え残っていた。軸方向収縮量の急速な増大により83分を耐火時間とした。

4. 考察

4.1 断熱材の種類の影響

充てん断熱工法の屋外側加熱 (F1-O) での耐火時間は52.5分で、準耐火性能を満足している。これにGW-B 32kg/m³ 25mmを付加 (C2-O) すると66分となり、耐火時間は13.5分延長する。一方、XPS 25mmを付加 (C1-O) した場合は47分となり、準耐火性能は満足するものの、耐火時間は5.5分短縮する。

また、充てん断熱工法での室内側加熱 (F1-I) は耐火時間は38.5分であるが、これにGW-B 32kg/m³ 25mmを付加 (C2-I) すると41分となり、2.5分延長している。一方、XPS 25mmを付加 (C1-I) した場合は35.5分となり、耐火時間は3分の短縮となる。

これらのことから、GW-Bの付加は耐火時間の延長側に、XPSの付加は短縮側に働くと判断できる。特に、屋外側加熱でのGW-B付加の効果は大きい。これは柱よりも加熱側に位置する付加断熱材のGW-Bが遮熱層として働き、柱の炭化による断面欠損量が減少したため、耐火時間の延長につながったと思われる。これに対し、XPS付加断熱工法ではそれ自身の融解・燃焼によって柱の炭化を促進させるので、充てん断熱より耐火時間が短縮したと思われる。

4.2 内装材の種類の影響

室内側加熱の場合、加熱側石こうボードの種類、厚さの違いによって耐火時間に差が生じた。XPS付加断熱工法の場合GB-R 12.5mm (C1-I) で35.5分、GB-Rを15mmとしたC3-Iは41.5分でC1-Iと比べ6分延長している。また、GB-RをGB-F 15mmとしたC4-Iでは46分となり、C1-Iに比べ10.5分の延長となる。これは石こうボードの種類、厚さによって収縮や亀裂、脱落に至るまでの時間が異なり、壁内への熱や炎の侵入時間に差が生じるためと考えられる。

4.3 準耐火性能を持つと考えられる壁構成の推定

本試験の結果から、寒冷地仕様外壁の遮熱・遮炎性能を検討した既往の報告²⁾で準耐火構造の遮熱・遮炎性能を満足した壁構成でも、载荷を伴った実大規模の試験では非損傷性を満足しない可能性が示唆された。これは、加熱された柱の炭化による断面欠損で有効細長比が減少したことによるものと考えられる。これを阻止するには、柱よりも加熱側に設置される材料の遮熱・遮炎性能を向上させ柱の炭化を

第4表 準耐火性能を持つ寒冷地仕様外壁の壁構成（推定を含む）
Table 4. Wall composition of cold district external wall which satisfies the standard of quasi-fireproof construction (including estimated composition).

断熱工法 Insulation construction	主な構成 Specifications
充てん断熱 Filling insulating construction	GW 16kg/m ³ 100mm + GB-F 15mm (推定 Estimation)
付加断熱 Composite insulating construction	GW 16kg/m ³ 100mm + XPS 25mm + GB-F 15mm GW 16kg/m ³ 100mm + GW-B 32kg/m ³ 25mm + GB-R 15mm (推定 Estimation)
外張断熱 External insulating construction	GW-B 32kg/m ³ 50mm + PW 12mm + GB-F 15mm

凡例) GW, GB-F, XPS, GW-B, GB-R, PW: 第1表参照

注) 各試験体共通: 窯業系サイディング12mm, 通気層18mm, 透湿防水シート, P.E. シート

Legend) GW, GB-F, XPS, GW-B, GB-R, PW: Refer to Table 1.

Note) Common features of each specimen: Fiber reinforced cement siding 12mm, Air layer 18mm, House wrapping sheet, P. E. sheet

促進させないことが有効であると考えられる。そこで、各断熱工法で柱の炭化を抑制し準耐火性能を満足するために必要と考えられる材料の構成について推定した。

4.3.1 外装材の選択

屋外側加熱については断熱工法を問わず、準耐火性能を満足する耐火時間となっている。このことから、窯業系サイディング12mm以上の遮熱・遮炎性能を持つ外装材料を用いれば、どの断熱工法においても準耐火性能を満足すると思われる。

4.3.2 内装材の選択

先の考察により、GB-R 12.5mmをGB-R 15mmに替えることによって6分、GB-F 15mmに替えることで10.5分の耐火時間延長が見込まれる。したがって、充てん断熱工法の室内側加熱(F1-I)の場合、GB-R 12.5mmの内装材をGB-R 15mmに替えることで耐火時間は38.5分から44.5分に、GB-F 15mmでは49分になると推定される。また、GW-B 25mm付加断熱工法(C2-I)の場合、内装材をGB-R 15mmにすることで耐火時間は41分から47分になると推定される。

一方、XPS 25mm付加断熱工法(C4-I)および外張断熱工法(E1-I)の場合、内装材にはGB-F 15mmが必要であることが試験結果から明らかとなっている。

5. まとめ

以上のことから、準耐火性能を持つ壁構成(推定を含む)を第4表に示した。

この壁構成を準耐火構造の告示と比較すると、内装材

については告示仕様と同程度の仕様となっている。しかし、外装材については、たとえば「厚さが12mm以上の石こうボードの上に金属板又は石綿スレートを張ったもの」、「石綿スレートの重ね張りで厚さの合計が15mm以上」等の要求に対して、厚さ12mmの窯業系サイディング1枚で対応可能である。このことから寒冷地仕様外壁に準耐火性能を付与する場合、外装材の構成を告示仕様よりも簡略化できることが明らかとなった。

文 献

- 1) 吉川利文ほか3名: 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, 5-6(1998).
- 2) 河原崎政行ほか4名: 日本木材学会北海道支部講演集第35号, 45-49(2003).
- 3) 平舘亮一ほか4名: 日本木材学会北海道支部講演集第35号, 62-65(2003).
- 4) 入江雄司ほか3名: 日本建築学会北海道支部研究報告集75, 135-138(2002).
- 5) 竹内慎一ほか3名: 日本建築学会北海道支部研究報告集77, 469-472(2004).

— 性能部 防火性能科 —

— *1: きのこ部 主任研究員 —

— *2: 北海道立北方建築総合研究所 —

(原稿受理: 06.1.12)