

令和6年度 建築基準整備促進事業

F27. 主要構造部の防耐火性能に関する 合理的な性能評価等に係る検討

事業主体	一般社団法人	建築性能基準推進協会
	地方独立行政法人	北海道立総合研究機構
共同研究	国立研究開発法人	建築研究所

- 現行の大臣認定制度に基づく防耐火構造の性能評価では、原則として、異なる仕様ごとに試験実施および認定取得が必要であるため、認定取得者の負担が大きいとの指摘がある。
- 次の2つを対象に、性能評価方法の合理化並びに告示化等のための仕様案の提案に向けた調査・検討を行った。 **(2箇年事業の2年目)**

①断熱材を用いた防火構造の外壁

- 充填断熱工法の木造外壁および不燃性断熱材を用いた外張・付加断熱工法の木造外壁を対象に、要求される防火性能に対する余裕度の考え方を整理し、これまで検討されてきた外壁の仕様条件を前提に、上階延焼を防ぐ処置方法を検討して、防火性能が確保される仕様案を提案する。

②耐火塗料を用いた耐火構造の柱・梁

- 耐火塗料等を対象に、鋼材厚さと耐火被覆厚さに基づき、包括的な性能評価を行うパッケージ試験の適用条件・評価法等を検討し、性能評価業務で運用できる評価方法案を提案する。
なお、梁にあっては耐火塗料以外も対象となる。

調査内容

対象：断熱材を用いた防火構造の木造外壁

- ・ 充填断熱工法の木造外壁（R5年度）
- ・ 不燃性断熱材を用いた外張・付加断熱工法の木造外壁（R6年度）

(イ) 防火上安全性の高い工法や性能評価のあり方の検討

- ・ 現行の性能評価業務の取り扱い※に規定する「防火性能に対する断熱材の序列」および「防火性能が損なわれない外壁の仕様条件」を前提とする
※「性能協火防構第6号『防耐火構造の性能評価業務における木造壁体の充填断熱材に関する取扱い』」
- ・ 要求される防火性能に対する余裕度の考え方を整理
- ・ 防火上安全性の高い工法として「上階延焼を防ぐ処置方法」を検討

(ロ) 試験方法等の技術的検証を行うための耐火試験の実施

- ・ (イ) の検討結果を、実験により検証
- ・ 防火上安全性の高い工法の妥当性を明確化

(ハ) 合理的な性能評価方法の確認

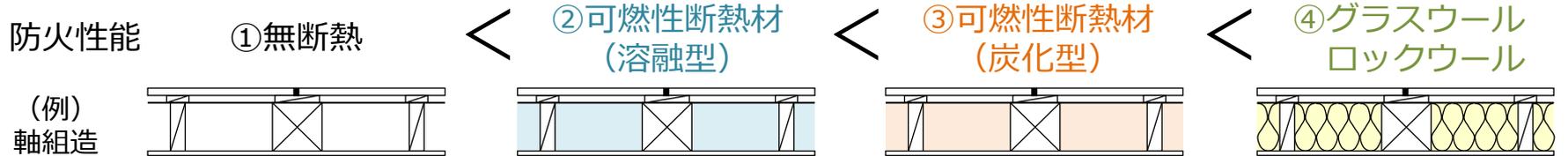
- ・ (ロ) の結果を踏まえて、告示化等に向けた仕様案を提案

検討の前提条件

(1) 防火性能が損なわれない外壁の仕様条件

- ・ 外装材等の保持性能
- ・ 火災時、外装材を脱落させずに断熱材を被覆した状態を保持できること
- ・ 可燃性断熱材の難燃性
- ・ JISに規定する難燃性を満たすこと
- ・ 防火性能の余裕度の設定
- ・ 安全率を設定すること

(2) 防火性能に対する断熱材の序列 (上記、仕様条件を満たす場合)



②可燃性断熱材 (溶融型)

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

有機繊維断熱材

- ・ ポリエステル繊維断熱材*

③可燃性断熱材 (炭化型)

発泡プラスチック断熱材

- ・ 硬質ウレタンフォーム
- ・ 吹付け用硬質ウレタンフォーム
- ・ フェノールフォーム

有機繊維断熱材

- ・ 吹込み用セルローズファイバー
- ・ 木質繊維断熱材

④グラスウール・ロックウール

人造鉱物繊維断熱材

- ・ グラスウール
- ・ 吹込み用グラスウール
- ・ ロックウール
- ・ 吹込み用ロックウール

※ポリエステル繊維断熱材

・ 2022年に改訂されたJIS A 9521に定められた新規の断熱材

・ 本研究内で、外壁内での熱分解性状を確認のうえ、「可燃性断熱材 (溶融型)」に分類

検討対象とする外壁の構成

防火性能	<ul style="list-style-type: none"> 防火構造（建築基準法第2条第8号） 準防火性能を有する外壁（建築基準法第23条） 	
構造	<ul style="list-style-type: none"> 木造外壁（大壁のみ，間柱又は下地を木材とする），例）木造軸組工法、枠組壁工法等 	
外装材	<ul style="list-style-type: none"> 建築基準法で定める準不燃性能を有し、かつ防火性を有する材料 窯業系サイディング 軽量セメントモルタル セメントモルタル ALC <p>本検討では、防火上不利となる材料として、 の材料で代表させて検討</p>	
構造用面材	<ul style="list-style-type: none"> （一社）建築性能基準推進協会 防耐火構造・材料部会 防耐火構造 WG 「性能協 火 防構 第3号 構造用面材及び下張材リスト」に記載される次の各種材料 木質系ボード セメント系ボード せっこうボード 火山性ガラス質複層板 	
内装材	<ul style="list-style-type: none"> せっこうボード 強化せっこうボード 	
断熱材	充填断熱材	外張断熱材（付加断熱材）
	<ul style="list-style-type: none"> 人造鉱物繊維断熱材 <ul style="list-style-type: none"> グラスウール断熱材（吹込み用含む） ロックウール断熱材（吹込み用含む） 	<ul style="list-style-type: none"> 人造鉱物繊維断熱材 <ul style="list-style-type: none"> グラスウール断熱材（吹込み用含む） ロックウール断熱材（吹込み用含む）
	<ul style="list-style-type: none"> 発泡プラスチック断熱材 <ul style="list-style-type: none"> 押出法ポリスチレンフォーム断熱材 ビーズ法ポリスチレンフォーム断熱材 硬質ウレタンフォーム断熱材（吹付け用含む） フェノールフォーム断熱材 	/
	<ul style="list-style-type: none"> 有機繊維断熱材 <ul style="list-style-type: none"> 吹込み用セルローズファイバー断熱材 木質繊維断熱材 ポリエステル繊維断熱材 	/

本検討で提案する仕様案

木造外壁・防火構造・充填断熱工法（外装材：窯業系サイディング）

充填断熱材の種類（名称） 例： 木造軸組工法	無断熱壁体 （試験上の最不利壁体）	不燃性断熱材 （標準壁体）	可燃性断熱材（溶融型・炭化型） （本検討での対象壁体）※提案仕様
位置づけ	H12 建設省告示第 1359 号		本検討にて、告示等に向けた仕様提案
外装材	・厚さ 15 mm以上の窯業系サイディング（中空の場合、厚さ 18 mm以上、中空部を除き厚さ 7 mm以上）		・厚さ 15 mm以上の窯業系サイディング（中空の場合、厚さ 18 mm以上、中空部を除き厚さ 7 mm以上）
構造用面材	—		・厚さ 9 mm以上の合板、その他面材 ※面材は、見附方向から見て、隙間がないこと
充填断熱材 被覆材の性能を期待しない材料	—	—	・発泡プラスチック断熱材（JIS に定める最小厚さ以上） ・有機繊維断熱材（JIS に定める最小厚さ以上）
充填断熱材 被覆材の性能を期待する材料	—	・厚さ 50 mm以上のグラスウール（かさ比重 0.01 以上）又は厚さ 55 mm以上のロックウール（かさ比重 0.03 以上）	—
内装材	・厚さ 9 mm以上のせっこうボード		・厚さ 9 mm以上のせっこうボード
防火処置	—	・不燃性断熱材による荷重支持部材の炭化抑制	・木材以外からの可燃性ガスの拡散抑制 ・燃焼ガスの建築物内部への炎侵入を有効に防止できる構造とする。

※緑地は屋外側被覆、黄地は屋内側被覆をそれぞれ示す。

課題 ①可燃性断熱材への対応 ②上階延焼防止策

本検討で提案する仕様案

木造外壁・防火構造・外張(付加)断熱工法 (外装材：窯業系サイディング)

断熱工法の種類 (名称)	無断熱, 充填断熱工法	外張断熱工法	付加断熱工法	
例: 木造軸組工法				
位置づけ	H12 建設省告示第 1359 号	本検討にて、告示等に向けた仕様提案		
外装材	・厚さ 15 mm 以上の窯業系サイディング (中空の場合、厚さ 18 mm 以上、中空部を除き厚さ 7 mm 以上)	・厚さ 15 mm 以上の窯業系サイディング (中空の場合、厚さ 18 mm 以上、中空部を除き厚さ 7 mm 以上)		
外張断熱材	—	・厚さ 20 mm 以上のグラスウール (かさ比重 0.01 以上) 又は厚さ 20 mm 以上のロックウール (かさ比重 0.03 以上)		
外張断熱層 栈木	—	・幅 30 mm 以上の木材を外張断熱用ビスで留付ける。		
構造用面材	—	—	—	・厚さ 9 mm 以上の合板、 その他面材
充填断熱材	—	—	—	・各種発泡プラスチック断熱材 (JIS に定める最小厚さ以上) ・各種有機繊維断熱材 (JIS に定める最小厚さ以上)
充填断熱材	・なし ・厚さ 50 mm 以上のグラスウール (かさ比重 0.01 以上) 又は厚さ 55 mm 以上のロックウール (かさ比重 0.03 以上)	—	・厚さ 50 mm 以上のグラスウール (かさ比重 0.01 以上) 又は厚さ 55 mm 以上のロックウール (かさ比重 0.03 以上)	—
被覆材の性能を期待しない材料	—	—	—	—
被覆材の性能を期待する材料	—	—	—	—
内装材	・厚さ 9 mm 以上のせっこうボード	・厚さ 9 mm 以上のせっこうボード		
防火処置	—	・外装材の脱落防止措置 (栈木の設置、留付材などの仕様) ・建築物の内部への炎の侵入を有効に防止できる構造とする。		

※緑地は屋外側被覆、黄地は屋内側被覆をそれぞれ示す。

課題 ①上階延焼防止策 ②外装材下地の脆弱性の影響確認 7

可燃性断熱材への対応

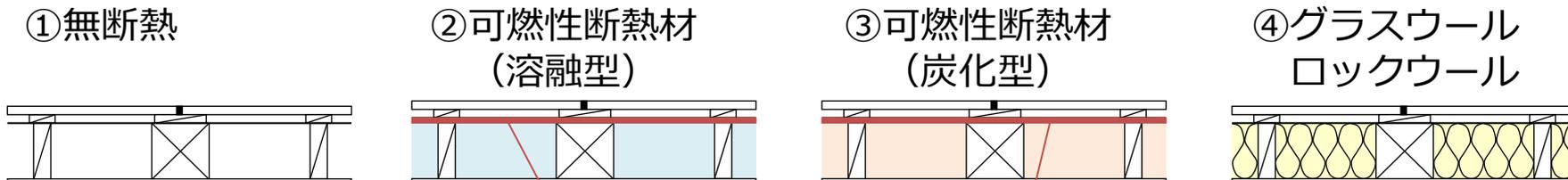
可燃性断熱材を用いる場合の課題

- ・ 屋外側被覆が早期に脱落すると、次の危険性がある。
 - ・ 可燃性断熱材等の燃焼により防火性能の損失
 - ・ 急激な火災拡大および上階延焼

対応策 ・ 求められる防火性能に対し、一定の余裕度を付与しておく。

対応方法 ・ 構造用面材※（厚さ9mm以上の合板、その他面材）を設置

- ・ 屋外側被覆が脱落しても、可燃性断熱材が暴露されない。
- ・ 屋外火災に対する被覆性能を補強する。 = **余裕度の付与**



可燃性断熱材を用いる場合は、構造用面材を設置

※構造用面材 :地震力に抵抗する耐力壁とするため、木造軸組工法や枠組壁工法等の外壁躯体部に直接、留付けられる面材

上階延焼防止策の検討

① 急激な火災拡大および上階延焼への懸念

② 対応策（国交省・建研）

告示に新たに構造方法を追加する場合
「建築物の内部への炎の侵入を
有効に防止できる構造」とする

2階建（防火構造の建築物）

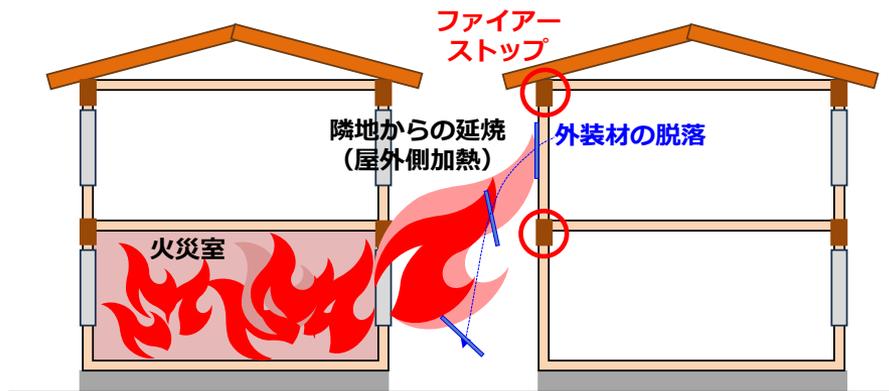
- ・ 外壁と軒裏との取り合い部
- ・ 外壁から軒裏へ通じる通気層

※取り合い部FSは、従来通り
木材・断熱材を設置し対応

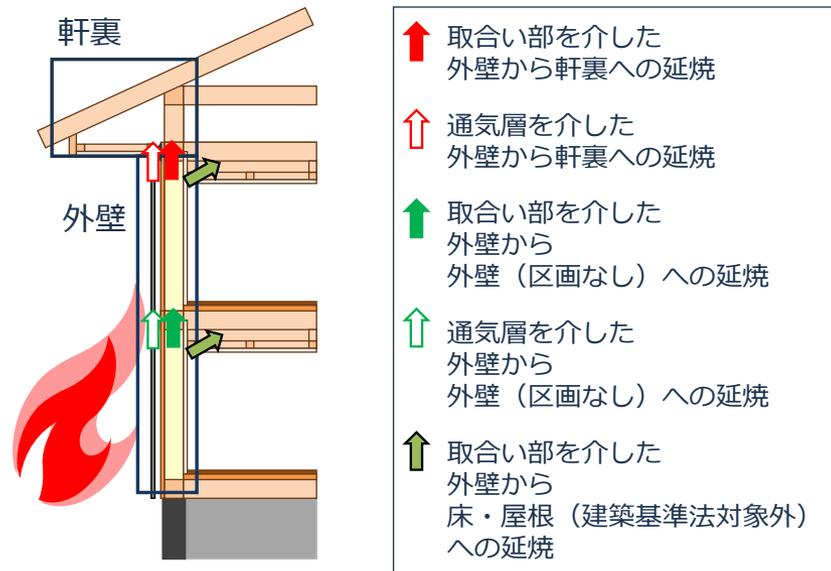
※FS ファイヤーストップ
上階延焼防止材

③ 対応方法 通気層FSを検討

防火構造外壁（戸建住宅等）

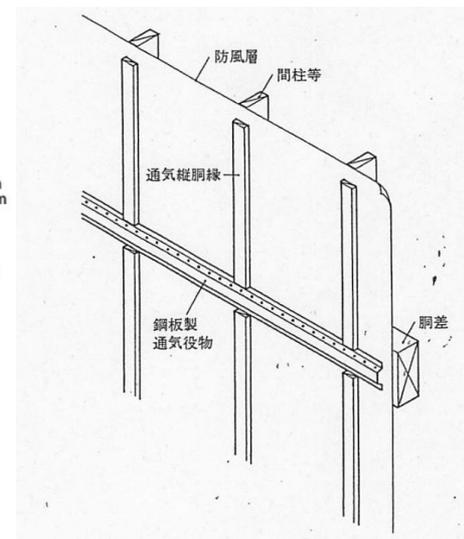


2階建（防火構造の建築物）



上階延焼防止策の検討

令和6年度
建築基準整備促進事業成果報告会
F27. 主要構造部の防耐火性能に関する
合理的な性能評価等に係る検討

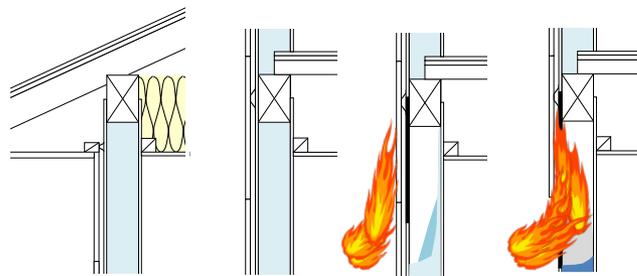


準耐火設計指針（平成4年）

出典：（一財）日本建築センター：平成5年6月25日施行改正 建築基準法 準耐火建築物の防火設計指針，（一財）日本建築センター発行，1994年6月

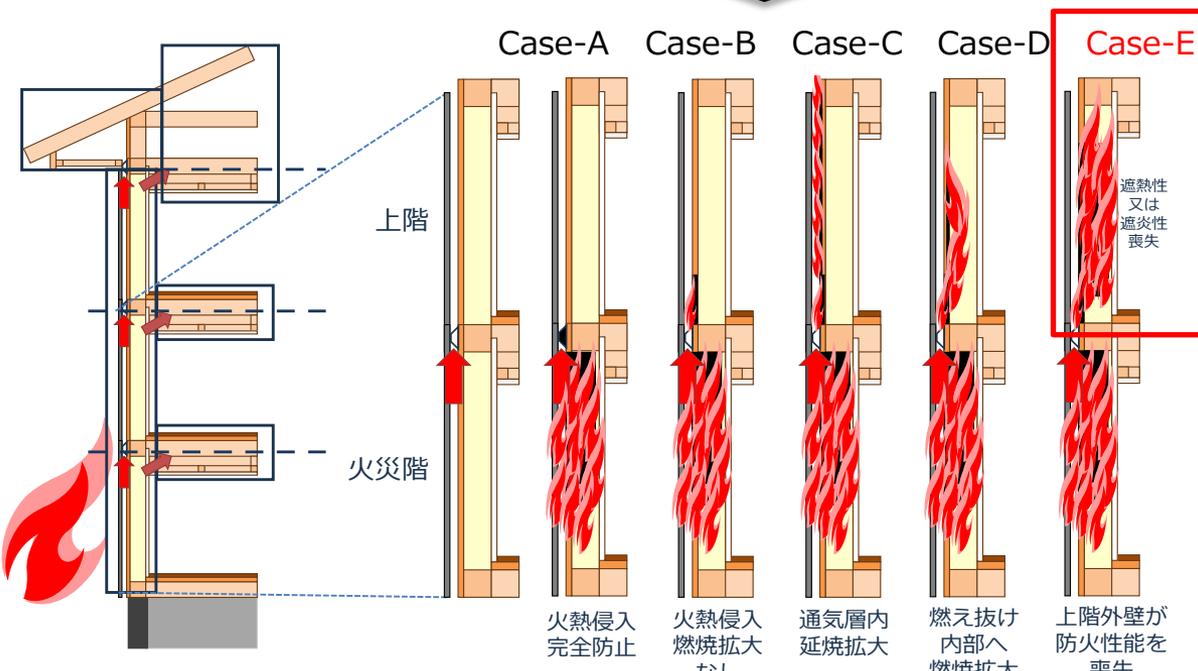
想定される炎侵入防止材（Fire-Stop, 以下 FS）

- ・ 有孔の鋼板製通気役物（○遮炎性，×遮熱性）



可燃性断熱材（溶融型）

可燃性断熱材（炭化型）



火災階からの上階への延焼

×避けるべき事態：Case-E

建築基準法で定める
火災継続時間内で、
上階部の防火性能が
損なわれる事態

FS効果の把握(充填断熱)

実大実験

- ・ ISO834-1加熱
- ・ 炉圧：下階部で正圧
- ・ 下階部：外装材なし

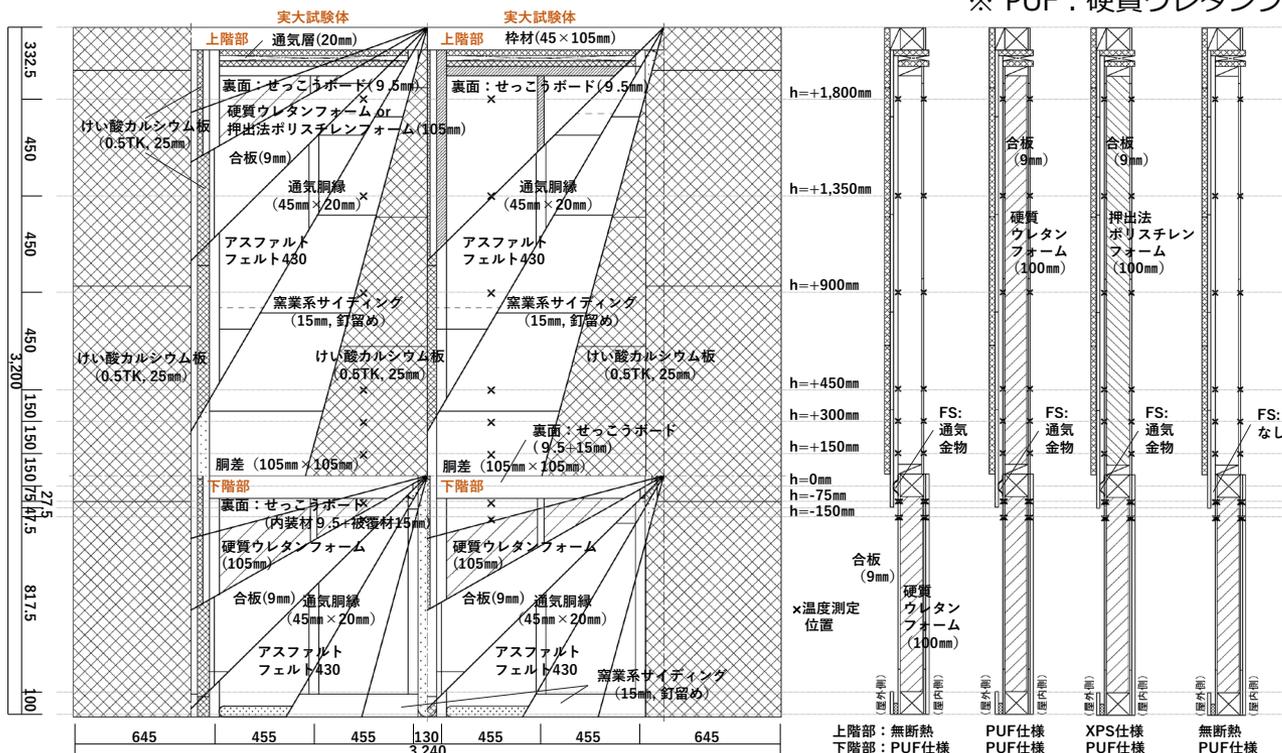
※早期脱落を想定

検討パラメータ

- ・ FS, 上階部の仕様

	上階部	FS	下階(火災階)部
R4	無断熱	なし	合板+PUF
R5		通気金物	
R1		通気金物+加熱発泡材	
R2	合板+PUF	通気金物+加熱発泡材	合板+PUF
R3	合板+XPS	通気金物+加熱発泡材	合板+PUF
R6	無断熱(被覆なし)	なし	合板+PUF
R13	合板	なし	合板+PUF
R14	合板(被覆なし)	なし	合板+PUF

※ PUF：硬質ウレタンフォーム, XPS：押出法ポリスチレンフォーム



FS効果の把握(充填断熱)

- FS : なし、上階部 : 無断熱
- FS : 通気金物
- FS : 通気金物+加熱発泡材

上階部は遮熱性を45分間は保持できず。
火炎侵入は45分間防止。熱気流は防げず。
火熱を侵入させず45分間上階延焼を防止。

FS : なし
上階 : 無断熱

FS : 通気金物
上階 : 無断熱

FS : 通気金物
+加熱発泡材
上階 : 無断熱

FS : 通気金物
+加熱発泡材
上階 : 合板+PUF

FS : 通気金物
+加熱発泡材
上階 : 合板+XPS

R4

R5

R1

R2

R3



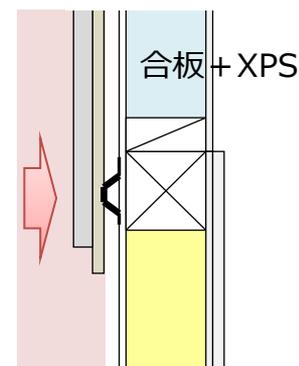
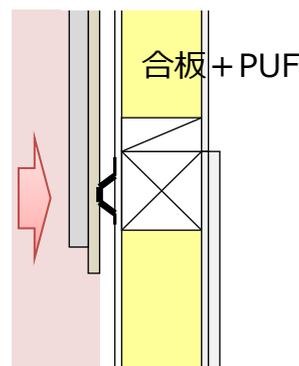
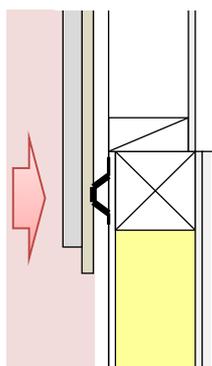
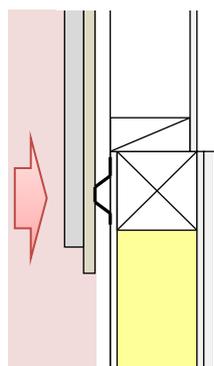
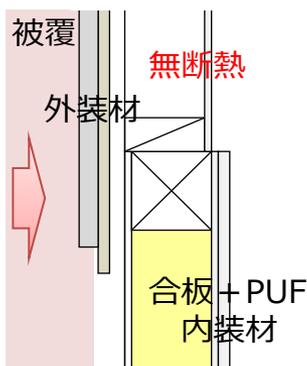
△37.7分 燃え抜け

○45分間 炎防止

◎45分間 火熱防止

◎45分間 火熱防止

◎45分間 火熱防止



FS効果の把握(充填断熱)

- FS : なし、上階部 : 合板 合板が熱侵入を遅延。45分間上階延焼を防止。
- FS, 外装材の被覆なし → FSがなく、かつ上階でも火災を受ける条件
→ 合板設置で、上階部は30分防火性能を確保

FS : 通気金物
上階 : 無断熱

R5



○45分間 炎防止

FS : なし
上階 : 無断熱

R4



△37.7分 燃え抜け

FS : なし
上階 : 無断熱
被覆なし

R6



×27.5分 燃え抜け

FS : なし
上階 : 合板

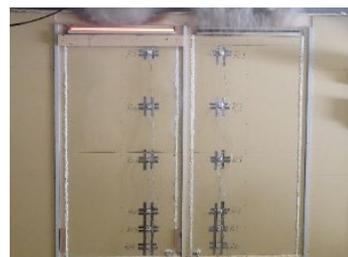
R13



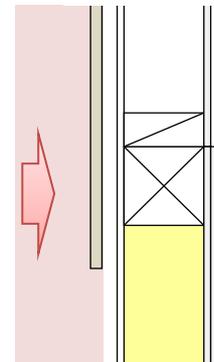
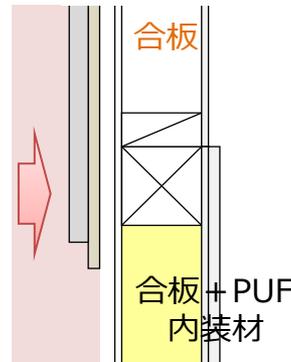
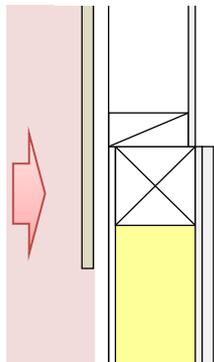
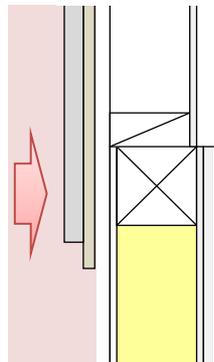
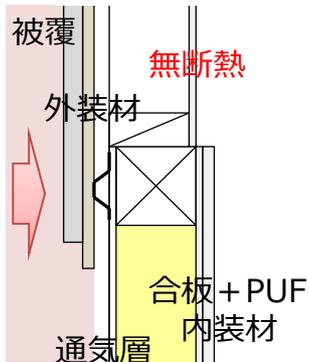
○45分間 炎防止

FS : なし
上階 : 合板
被覆なし

R14



△34.3分 燃え抜け



FS効果の把握(外張断熱)

実大実験

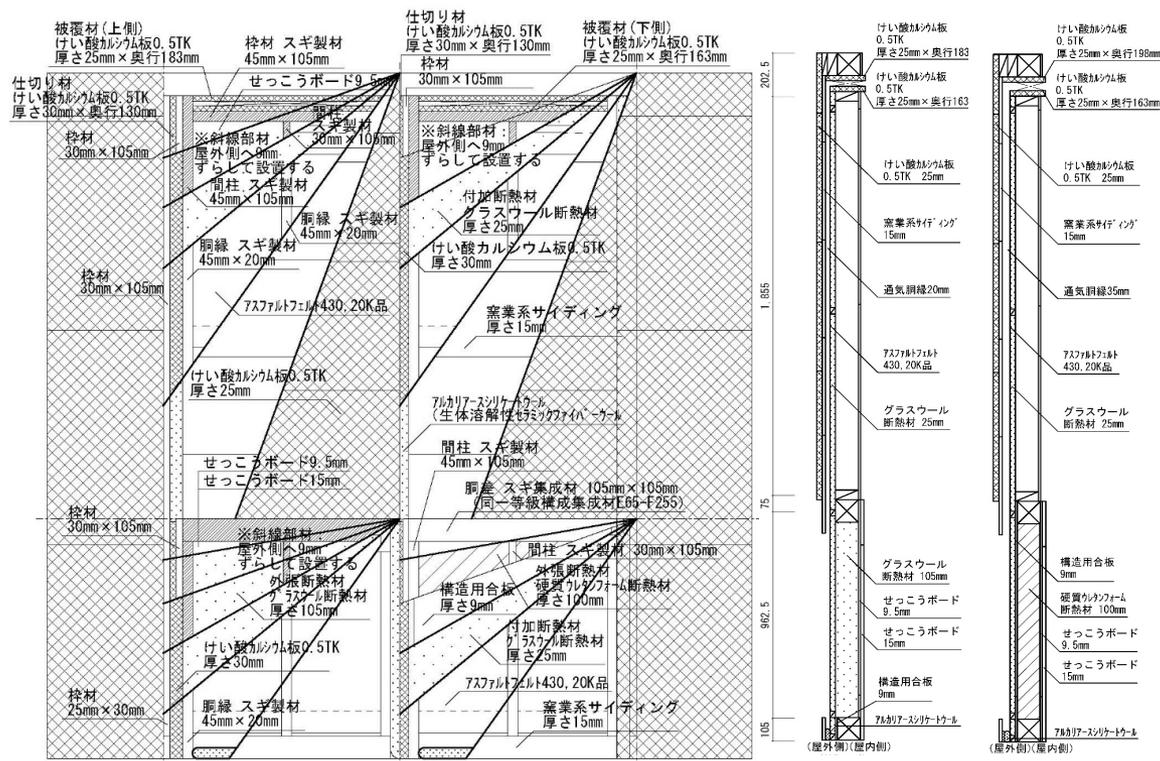
- ・ ISO834-1加熱
- ・ 炉圧：下階部で正圧
- ・ 下階部：外装材なし

検討パラメータ

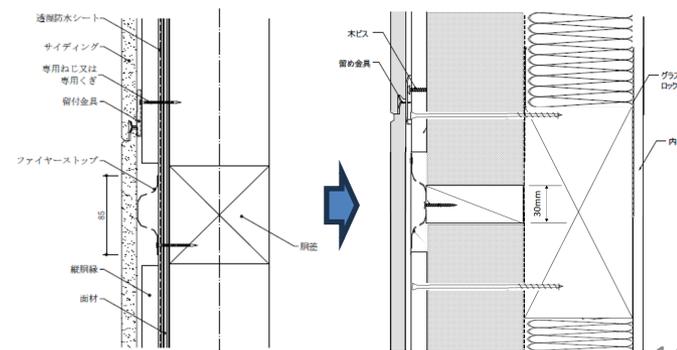
- ・ FS, 通気層,
- ・ 下階部の仕様

	上階部	FS	通気層	下階 (火災階) 部
R8	GW25mm外張	なし	20mm	合板+PUF
R10		通気金物		
R9		通気金物+加熱発泡材		
R12		なし	35mm	合板+PUF
R7	GW25mm外張	なし	20mm	GW
R11		なし	35mm	GW

※ PUF：硬質ウレタンフォーム, GW：グラスウール



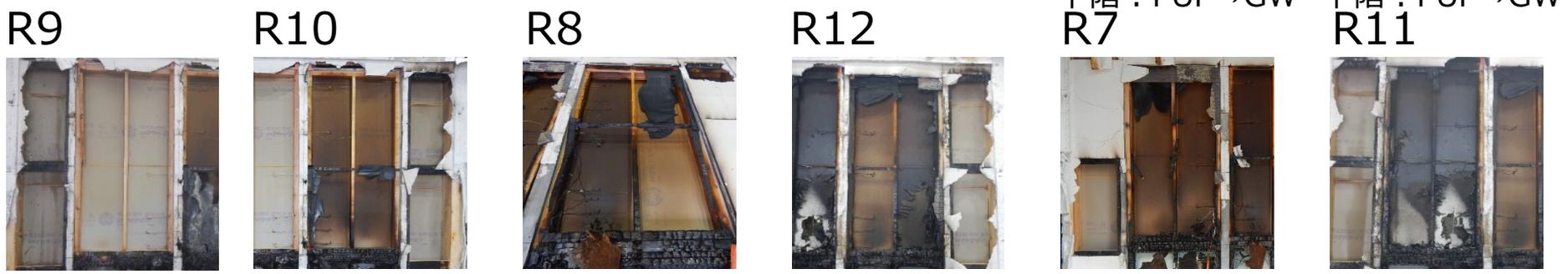
外張断熱層における通気金物の取り付け方法



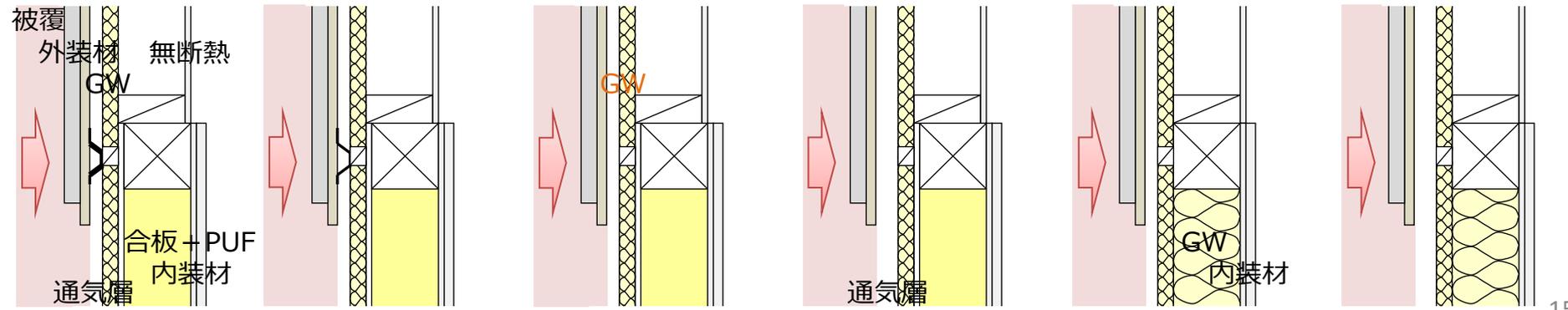
FS効果の把握(外張断熱)

- ・ 外張断熱工法 FS : なし、上階部 : GW25mm外張
→ 外張断熱工法では、外張GWが熱侵入を遅延。45分間上階延焼を防止。
- ・ 通気層厚さ, 下階の仕様を変えても性状に影響なし。

FS : 通気金物 +加熱発泡材 上階 : GW25mm 外張	FS : 通気金物 上階 : GW25mm 外張	FS : なし 上階 : GW25mm 外張	FS : なし 上階 : GW25mm 外張 通気層 20→35mm	FS : なし 上階 : GW25mm 外張 下階 : PUF→GW R7	FS : なし 上階 : GW25mm 外張 通気層 20→35mm 下階 : PUF→GW R11
--	--------------------------------	------------------------------	---	---	---



◎45分間火熱防止 ○45分間 炎防止 ○45分間 炎防止 ○45分間 炎防止 ○45分間 炎防止 ○45分間 炎防止

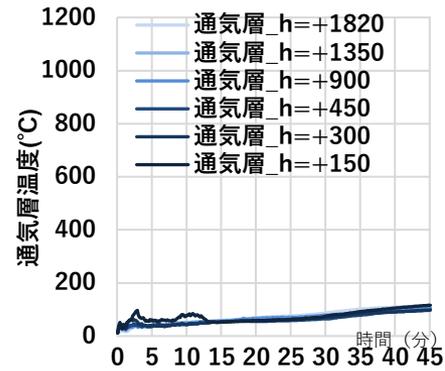
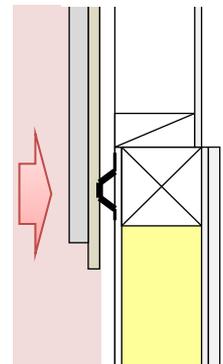


FS効果の把握(まとめ)

FS : 通気金物+加熱発泡材
上階 : 無断熱

R1

◎45分間 火熱防止

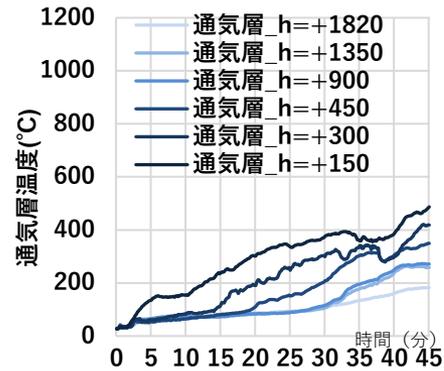
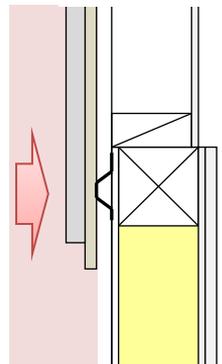


火熱の侵入を防止

FS : 通気金物
上階 : 無断熱

R5

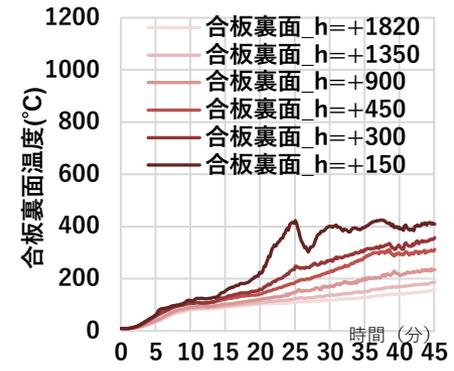
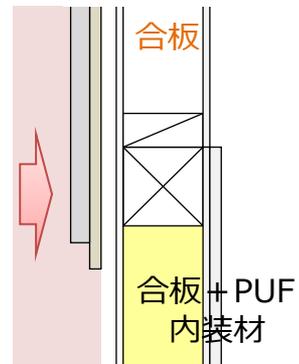
○45分間 炎防止



FS : なし
上階 : 合板

R13

○45分間 炎防止



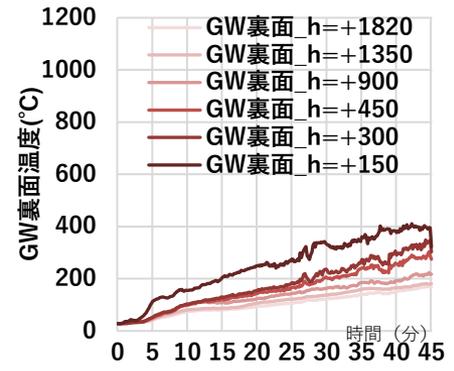
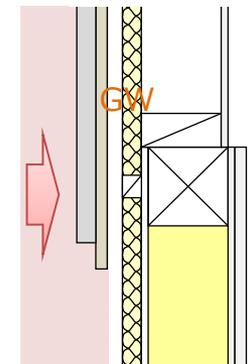
炎の侵入を防止

合板・GWが通気金物と同じ機能

FS : なし
上階 : GW25mm外張

R8

○45分間 炎防止



FS効果の把握(まとめ)

得られた結論

A. FSとして「通気金物＋加熱発泡材」を設置した場合

- ・上階部への火熱の侵入を防ぐ。

B. FSとして「通気金物」を設置した場合

- ・上階部への熱気流の侵入は防げないが、炎の侵入は防ぐ。

C. FSを設置しない場合

- ・下階の外装材が早期に脱落した場合
 - ・上階外壁の防火性能は、無断熱では低下のおそれあり。
 - ・合板の設置により防げる。
- ・外壁内の合板、グラスウールが通気金物（FS）と同じ機能を果たす。

D. FSを設置せず、かつ上階で屋外被覆側からの火熱が加わる場合

- ・下階の外装材が早期に脱落した場合
 - ・上階外壁の防火性能は、無断熱では喪失するおそれあり。
 - ・合板の設置により防げる。

外装下地の脆弱性の影響

・外張断熱層・通気胴縁が直交すると、外装材は通気胴縁のみで支持

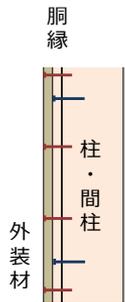
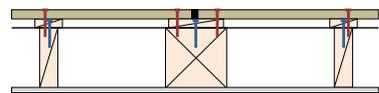


・屋外側被覆が早期に脱落する危険性大

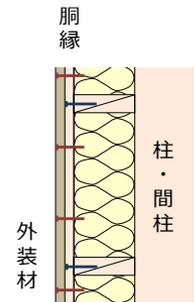
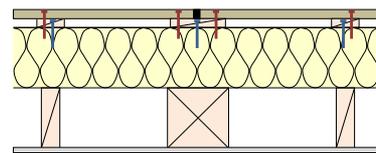


外装材の釘足は、胴縁、柱・間柱に達する。
下地は胴縁、柱・間柱

(例) 軸組造



外装材の釘足は胴縁のみに達する。
下地は胴縁のみ。



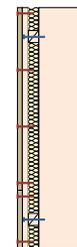
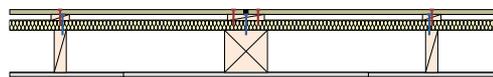
実大実験による脆弱性検証 (R5年度)

- ・ISO834-1加熱
- ・F14で実施した無断熱壁体と同じ条件で比較



試験体

- ・熱ごもりあり (グラスウール外張)
- ・通気胴縁 最小断面+3面加熱
- ・最も薄い外張断熱材



試験体の構成

- ・窯業系サイディング (12mm, 釘留め)
- ・通気層 (15mm)
- ・グラスウールボード (32K25mm)
- ・外張断熱層下地材 (30mm×25mm)
- ・柱 (105mm角)・間柱 (30mm×105mm)
- ・せっこうボード (9.5mm)

※実験結果 : 外装材は脱落したが、30分の防火性能は保持

22分59秒 外装材脱落 → 31分00秒 ×遮熱性 → 32分42秒 ×遮炎性

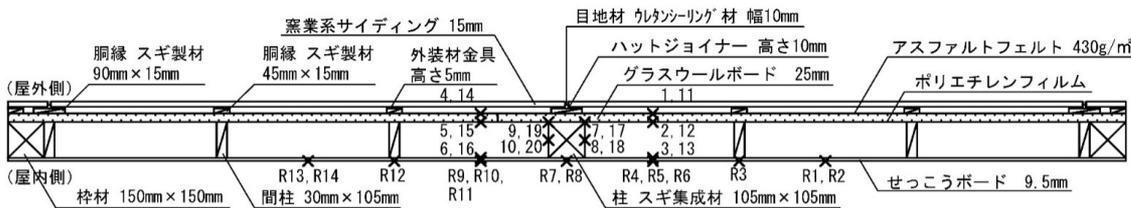


R6年度 委員会での指摘

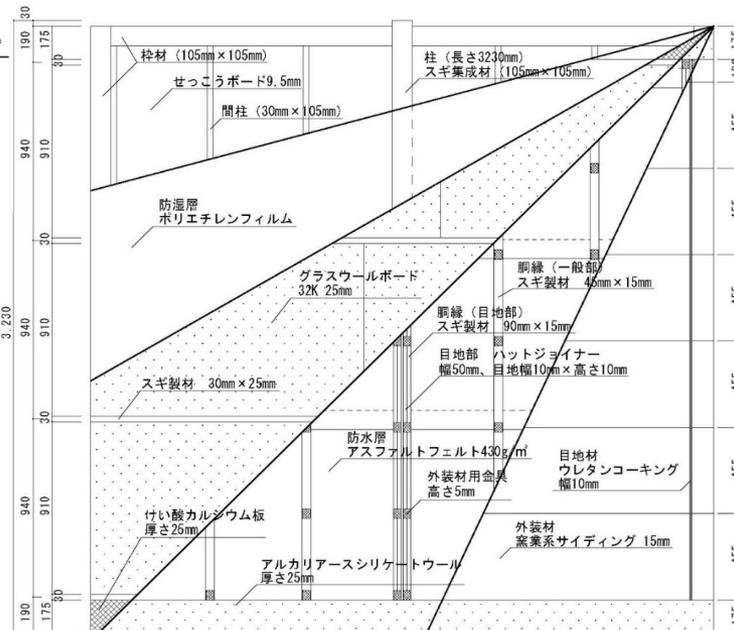
- ・外装材は下端から積み上がって、保持されているのでは？
- ・実用的な仕様 (窯業系サイディング15mm、金具留め) で確認すべき？

外装下地の脆弱性の影響

再実施：GW32K25mm 外張断熱壁体（R6年度）



- 外装材
窯業系サイディング
厚さ15mm
- 外装材の端部
左右：縦目地3か所
上下：端炉内

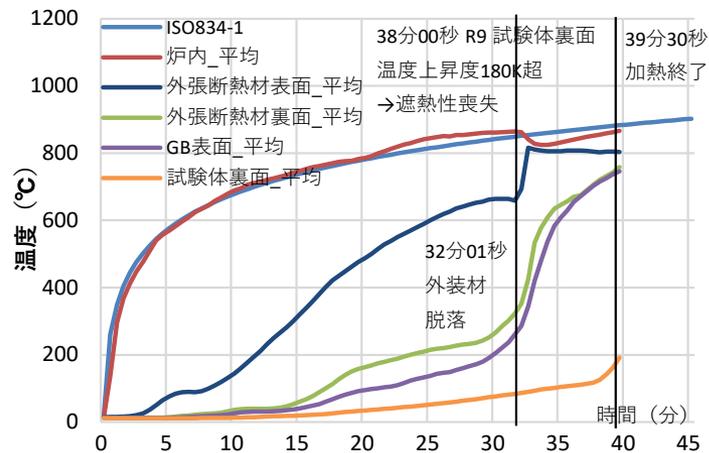


※実験結果

32分01秒 外装材脱落
38分00秒 ×遮熱性
38分50秒 ×遮炎性

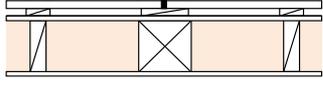
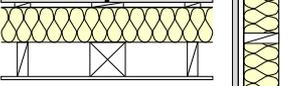
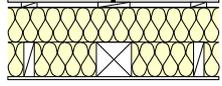
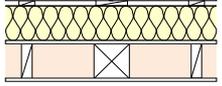


30分防火構造 外装材の脱落防止策は不要



本検討で提案する仕様案

木造外壁・防火構造（外装材：窯業系サイディング）

充填断熱材の種類（名称） 例： 木造軸組工法	充填断熱工法	外張断熱工法	付加断熱工法	
				
外装材	・厚さ 15 mm 以上の窯業系サイディング（中空の場合、厚さ 18 mm 以上、中空部を除き厚さ 7 mm 以上）			
外張断熱材	・厚さ 20 mm 以上のグラスウール（かさ比重 0.01 以上）又は厚さ 20 mm 以上のロックウール（かさ比重 0.03 以上）			
外張断熱層 栈木	・幅 30 mm 以上の木材を外張断熱用ビスで留付ける。			
構造用面材	・厚さ 9 mm 以上の合板、 その他面材 ※面材は見附方向から見て、 隙間がないこと	—	—	・厚さ 9 mm 以上の合板、 その他面材 ※面材は見附方向から見て、 隙間がないこと
充填断熱材 被覆材の性能を 期待しない材料	・発泡プラスチック断熱材 （JIS に定める最小厚さ以上） ・有機繊維断熱材（JIS に定 める最小厚さ以上）	—	—	・発泡プラスチック断熱材 （JIS に定める最小厚さ以上） ・有機繊維断熱材（JIS に定 める最小厚さ以上）
充填断熱材 被覆材の性能を 期待する材料	—	—	・厚さ 50 mm 以上のグラスウール（かさ比重 0.01 以上） 又は厚さ 55 mm 以上のロックウール（かさ比重 0.03 以上）	—
内装材	・厚さ 9 mm 以上のせっこうボード			
防火処置	・別表に示す処置を行うこと			

※緑地は屋外側被覆、黄地は屋内側被覆をそれぞれ示す。

本検討で提案する仕様案

木造外壁・防火構造の外壁に求める防火処置①

<p>屋外側被覆（外装材） の脱落防止処置</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外側被覆（外装材）を30分間脱落しないように、しっかりと保持し固定する。 ・具体的には、外装材下地の仕様、外装材の留付け材の種類、留付け間隔、留付け材の埋込み長さ等、外装材の留付け方法について留意する。
<p>通気層から外壁内を 通じた 上階延焼防止処置</p> <p>外壁の階間部</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 上階外壁の充填断熱材が「なし」の場合 <ul style="list-style-type: none"> ・①～④の方法のうち、いずれか、または、組合せとする。 ①階間の境界部にあたる外壁の通気層に通気金物を設置する。 ②上階の外壁に不燃性の外張断熱材（厚さ25mm以上）を設置する。 ③上階の外壁に不燃性の充填断熱材（厚さ50mm以上）を設置する。 ④上階の外壁に構造用面材（厚さ9mm以上）を設置する。 ・上記①の場合に、通気金物に加熱発泡材の併用を推奨する。 2. 上階外壁の充填断熱材が「不燃性断熱材」の場合 <ul style="list-style-type: none"> ・不燃性の充填断熱材は厚さ50mm以上とする。 ・加えて、充填断熱材①～④の方法のうち、いずれか、または組合せを推奨する。 ①階間の境界部にあたる外壁の通気層に通気金物を設置する。 ②上階の外壁に不燃性の外張断熱材（厚さ25mm以上）を設置する。 ③上階の外壁に構造用面材（厚さ9mm以上）を設置する。 ④上記①の場合に、通気金物に加熱発泡材を併用する。 3. 上階外壁の充填断熱材が「可燃性断熱材」の場合 ※構造用面材の設置を前提とする。 <ul style="list-style-type: none"> ・構造用面材（厚さ9mm以上）を設置する。 ・加えて、①～③の方法のうち、いずれか、または、それらの組合せを推奨する。 ①階間の境界部にあたる外壁の通気層に通気金物を設置する。 ②上階の外壁に不燃性の外張断熱材を設置する。 ③上記①の場合に、通気金物に加熱発泡材を併用する。

本検討で提案する仕様案

木造外壁・防火構造の外壁に求める防火処置②

<p>通気層から外壁内を通じた 上階延焼防止処置</p> <p>外壁の階間部</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・但し、上記1.~3.のいずれにおいても、通気金物に加熱発泡材を併用した場合を除くと、火災時、通気層上端出口から多量の煙（燃焼ガス）が噴出するため、煙（燃焼ガス）による影響・危険性について、避難安全の面から十分に留意する。
<p>通気層から外壁内を通じた 上階延焼防止処置</p> <p>外壁と軒裏の境界部</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・①, ②の方法のうち、いずれかとする。 <ul style="list-style-type: none"> ①軒裏と下階の外壁との境界部にあたる通気層に通気金物を設置する。 ②軒裏に達する直前で、通気層上端出口を設ける。 ・上記①の場合に、通気金物に加熱発泡材の併用を推奨する。 ・但し、①で加熱発泡材を併用しない場合、火災時、通気層上端出口から多量の煙（燃焼ガス）が噴出するため、煙（燃焼ガス）による影響・危険性について、避難安全の面から十分に留意する。
<p>外壁と隣接する部材間との 炎侵入防止処置</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・「準耐火建築物の防火設計指針」および「省令準耐火構造」に示されるファイヤーストップの考え方・仕様に従う。 ・具体的には、①~⑤の方法のうち、いずれかを設置する。 <ul style="list-style-type: none"> ①幅 30 mm以上の木材 ②厚さ 12 mm以上のせっこうボード ③厚さ 50 mm以上のグラスウール ④厚さ 50 mm以上のロックウール ⑤厚さ 8 mm以上のスラグせっこう系セメント板

まとめ

(1) 充填断熱工法の木造外壁

対象とする断熱材：可燃性断熱材を含む代表的な断熱材

- ・ 次の点を明らかにし、防火構造の外壁について告示化等に向けた仕様案を提案した。
 - ・ 防火性能に対する余裕度の考え方（＝構造用面材の設置）
 - ・ 上階延焼防止策

(2) 外張・付加断熱工法の木造外壁

対象とする断熱材：不燃性断熱材

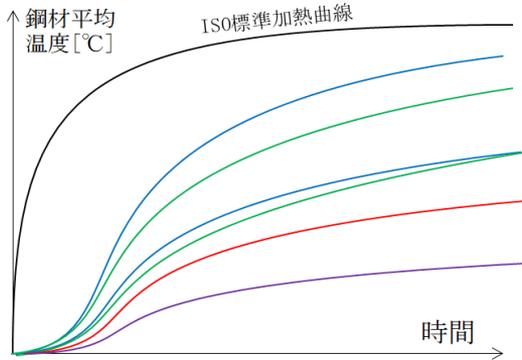
- ・ 次の点を明らかにし、防火構造の外壁について告示化等に向けた仕様案を提案した。
 - ・ 外装下地は脆弱となるが、防火性能喪失までには至らない。
 - ・ 上階延焼防止策

耐火塗料を用いた耐火構造の柱・梁に関する検討

令和6年度
建築基準整備促進事業成果報告会
F27. 主要構造部の耐火性能に関する
合理的な性能評価等に係る検討

パッケージ型評価とは

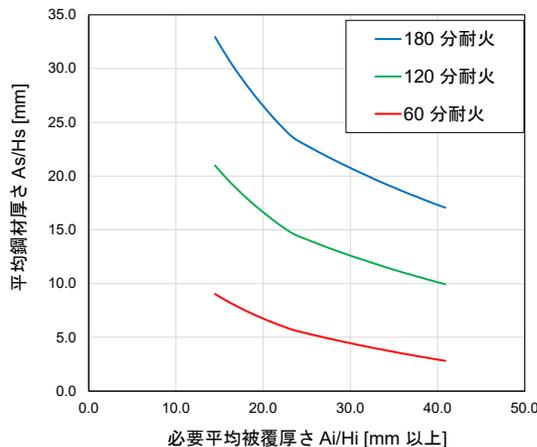
中規模加熱 + 実大載荷加熱の組み合わせ
鋼材温度データ取得



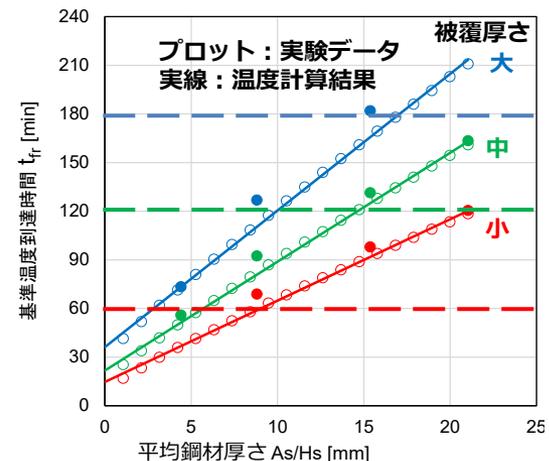
熱物性値同定

- 非反応系材料
→耐火性能検証法に基づく方法
- 反応系材料
→加熱中に刻々と断熱性能が変化
昇温の仕方等によっても発泡性状が変化
→検証法をそのまま準用するのは困難
→今回検討する

評価 所定の耐火時間を満足する
鋼材厚さと被覆厚さの関係を求める



温度計算



耐火塗料を用いた耐火構造の柱・梁に関する検討

令和6年度
建築基準整備促進事業成果報告会
F27. 主要構造部の防耐火性能に関する
合理的な性能評価等に係る検討

本事業におけるパッケージ型評価の検討対象(①～③)

部材 被覆材種類	鋼柱	鋼梁
非反応系被覆材 (加熱による物理形状の変化が起きず材料の熱的特性によって断熱効果が得られる材料)	制定、運用開始済み 以下で検討された。 ・建築基準整備促進事業F6 (H27-H28) ・(一社)建築性能基準推進協会「防耐火構造・材料部会 鋼部材評価法WG」(H29)	② 非反応系・反応系耐火被覆梁のパッケージ型評価方法の構築に関する検討
反応系被覆材 (加熱により化学反応を起こし物理形状および熱的特性が変化することで断熱効果が得られる材料)	① 反応系耐火被覆の柱のパッケージ型性能評価方法構築のための検討	

③ 1.5 時間、2.5 時間耐火構造用(柱・梁)の簡易評価方法

⇒パッケージ型評価方法を活用し、既存の認定データ(1、2、3時間耐火)を用いて簡易的に1.5時間、2.5時間耐火を評価する方法を検討

①反応系耐火被覆の柱のパッケージ型性能評価方法構築のための検討

令和5年度の成果 および 令和6年度の検討内容 (概要)

R5年度：

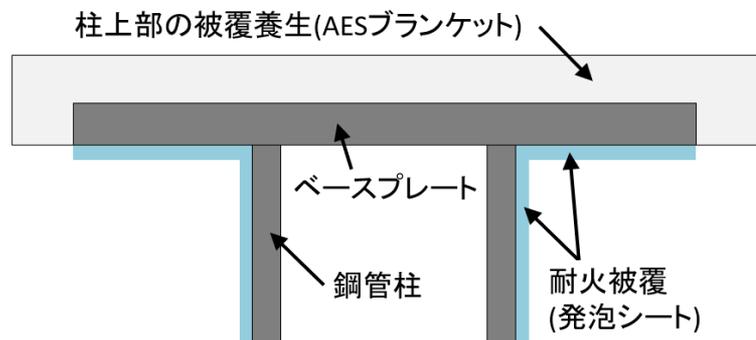
実大試験体の載荷加熱試験と中小規模試験体の加熱試験の組み合わせによる評価(パッケージ試験)の適用範囲を拡張するため実験データの蓄積と性能評価方法についてのケーススタディを実施。

⇒一定のデータ取得とケーススタディによる適用性が確認された。

国際規格による方法であっても試験体の**製作方法**により、実験データに意図しないばらつきが生じることもあり、**改良を有する**ことがわかった。

R6年度：

実験データの拡充(**広幅による影響の検討**)および柱試験体の**施工方法改良**により、評価方法の適用可能性を検証した。



↑国際規格に準ずる被覆方法



柱上部の被覆養生のイメージ

上部発泡層の垂れ下がりが早期に発生

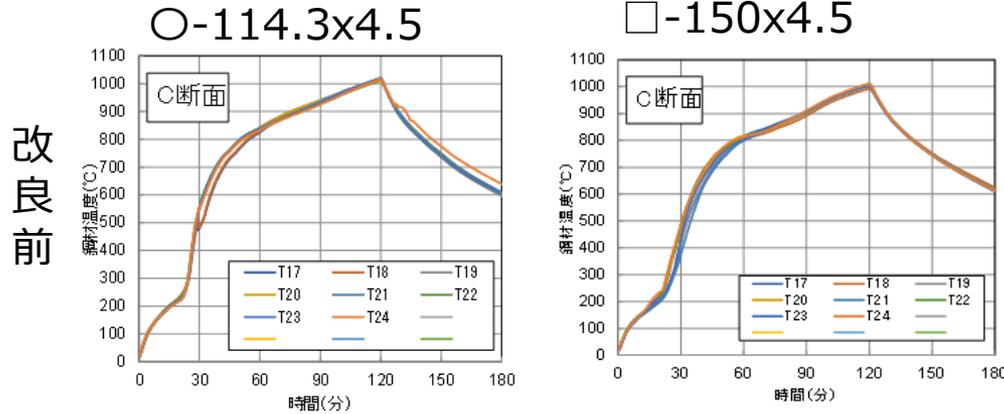
耐火塗料を用いた耐火構造の柱・梁に関する検討

令和6年度
建築基準整備促進事業成果報告会
F27. 主要構造部の耐火性能に関する
合理的な性能評価等に係る検討

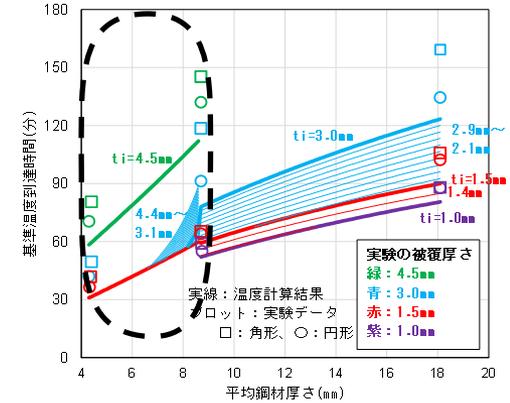
①反応系耐火被覆の柱のパッケージ型性能評価方法構築のための検討

令和6年度の検討内容 上部被覆養生方法の改良結果(一例)

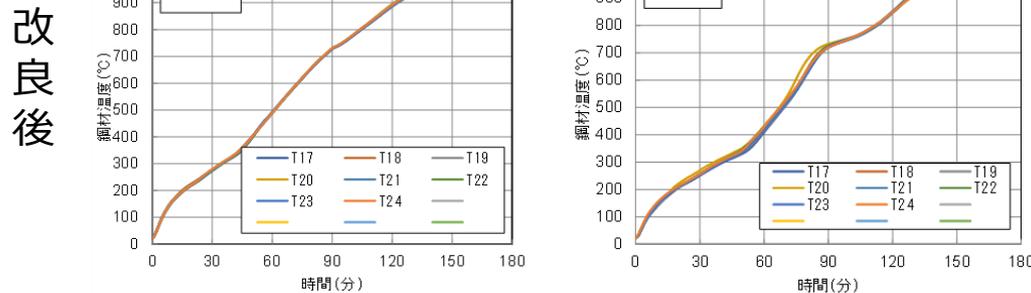
温度測定結果



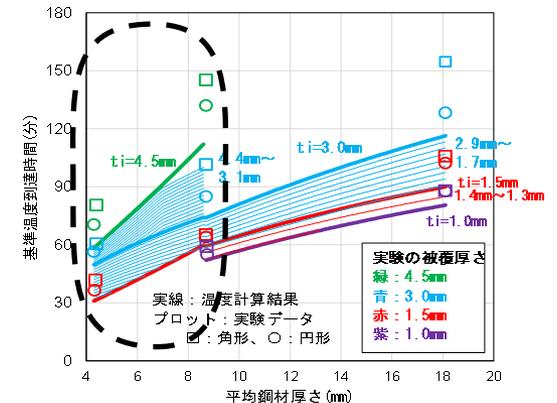
耐火時間の計算結果



初期の上部被覆
垂れ下がりによる
温度急上昇が改善



小断面域での
計算結果の
連続性が改善



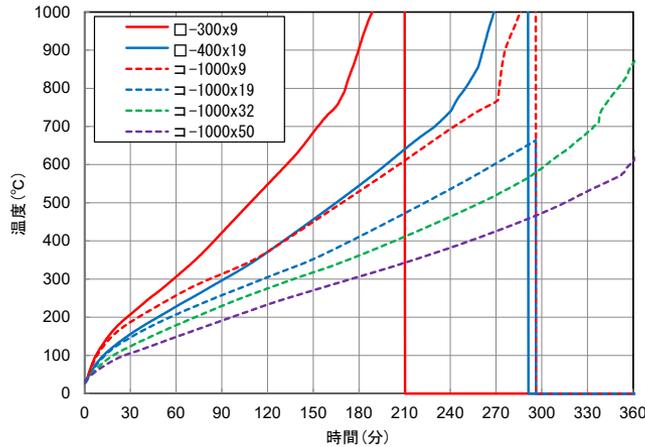
耐火塗料を用いた耐火構造の柱・梁に関する検討

令和6年度
建築基準整備促進事業成果報告会
F27. 主要構造部の防耐火性能に関する
合理的な性能評価等に係る検討

①反応系耐火被覆の柱のパッケージ型性能評価方法構築のための検討

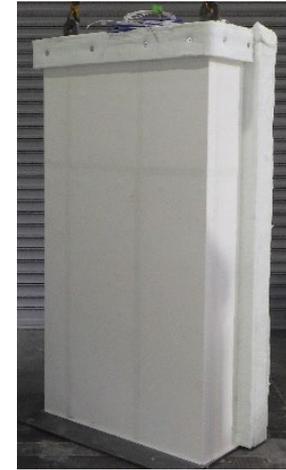
令和6年度の検討内容 実験データ拡充(広幅による影響)

鋼材温度測定結果

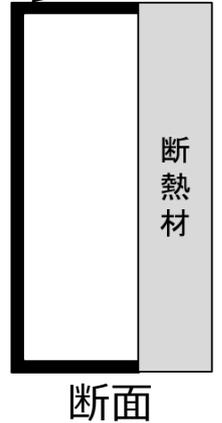


同板厚では**広幅の方が**温度上昇が**抑制**された
(広幅の方が発泡層の亀裂が少なかった)

同幅では**板厚が大きい**方が温度上昇が**抑制**された



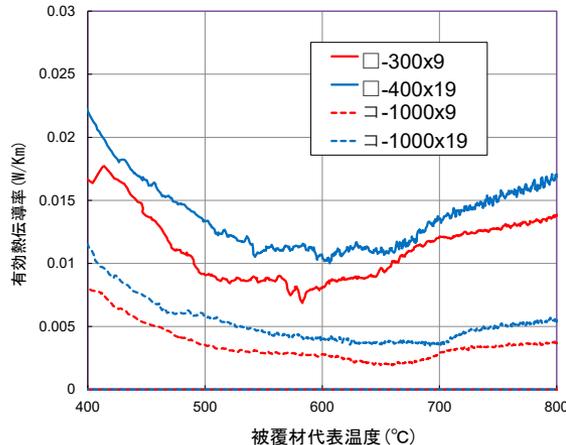
鋼板をコの字に溶接



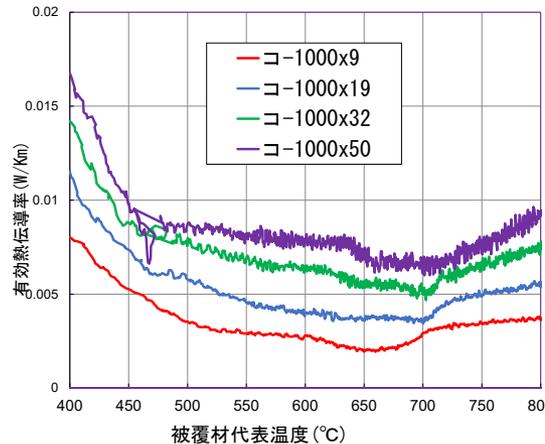
断面

広幅部と角部をコの字で再現

有効熱伝導率の計算結果



←
同板厚では**広幅の方が**有効熱伝導率が**低**かった



←
同幅では**板厚が大きい**方が**有効熱伝導率が高**かった
(ただし、板厚大きい方が熱容量増加により温度上昇は抑制された)

耐火塗料を用いた耐火構造の柱・梁に関する検討

② 非反応系・反応系耐火被覆梁のパッケージ型評価方法の構築に関する検討 令和5年度の成果 および 令和6年度の検討内容 (概要)

R5年度：

非反応系・反応系耐火被覆梁の評価方法に関する基本方針、課題等について整理した。(部材内部に**温度分布が生じる**こと、**たわみ変形により被覆の亀裂や脱落等**が生じる恐れがあること)

R6年度：

反応系及び非反応系耐火被覆梁の**加熱試験・载荷加熱試験**を実施し、性能評価方法についての**ケーススタディ**により**適用性を検討**した。

実験変数

非反応系(ケイカル)被覆鋼梁

As/Hs	被覆厚さ	12mm	15mm	20mm	25mm	30mm	40mm	45mm	50mm
B2 H-700x300x13x24		1.5h 想定		2h 想定	2.5h 想定	3h 想定			
B1 H-400x200x8x13		1h 想定 ■载荷		1.5h 想定		2h 想定 ■载荷	2.5h 想定	3h 想定 ■载荷	
B0 H-300x150x6.5x9			1h 想定		1.5h 想定		2h 想定	2.5h 想定	3h 想定

反応系(耐火シート)被覆鋼梁

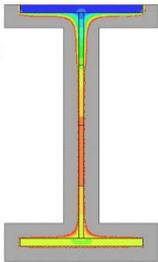
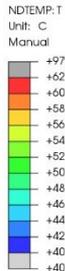
As/Hs	被覆厚さ	A0 1.0mm	A1 1.5mm	A2 3.0mm	A3 4.5mm
B2 H-700x300x13x24		H (1h耐火相当)	H (2h耐火相当)	H (3h耐火相当)	
B1 H-400x200x8x13		H (0.5h耐火相当)	H (1h耐火相当) ■载荷	H (1.5h耐火相当)	H (2h耐火相当) ■载荷
B0 H-300x150x6.5x9			H (0.5h耐火相当)	H (1h耐火相当)	H (1.5h耐火相当)

载荷加熱、非载荷加熱あわせて全29体実施した

②非反応系・反応系耐火被覆梁のパッケージ型評価方法の構築に関する検討

令和6年度の検討内容

梁を対象とする上での要点1：耐火時間を決定するための限界温度



3面加熱される梁では断面内温度分布が生じる

温度分布の生じ方によって崩壊時断面平均温度が変わる

耐火時間を決定するための限界温度をどう設定するか？

決定方針

試験で得られた温度分布を使用し、耐力評価に基づき限界温度を設定
(被覆仕様によって都度、限界温度を設定)

具体的な限界温度の計算フロー(詳細は報告書をご参照ください)

①最不利となる応力中心間距離残存率 γ_j の計算

試験で得られた断面平均温度450°C時における断面内温度分布を用いて、応力中心間距離残存率 γ_j (常温時の応力中心間距離に対する高温時の応力中心間距離の比)を求め、全試験体のうちの最小値を採用する。

②限界温度を決定するための軸耐力残存率 γ_N の計算

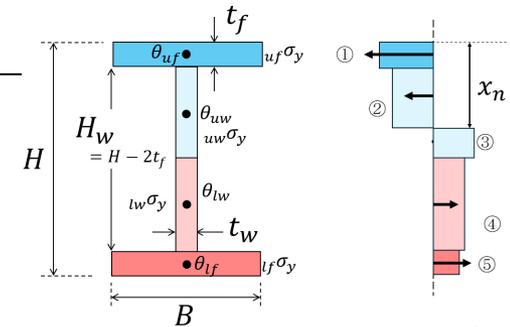
①で求めた γ_j を用いて、下式より軸耐力残存率 γ_N を求める。

$$\gamma_N = k \frac{2}{3f} \frac{1}{\gamma_j}$$

ただし、安全率 $k = 1.3$, 形状係数 $f = 1.1$

③限界温度の計算

②で求めた軸耐力残存率 γ_N となる断面平均温度(限界温度)を求める。その際、断面平均温度に対する各部位(上フランジ、ウェブ、下フランジ)の温度の比率は、①で用いた断面内温度分布の比率が維持されるものと仮定して計算を行う。なお、鋼種はSN490を想定し、その高温時の降伏強度は耐火性ガイドブックに記載の平均値を用いることとする。



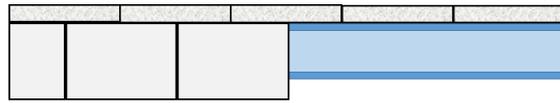
耐火塗料を用いた耐火構造の柱・梁に関する検討

②非反応系・反応系耐火被覆梁のパッケージ型評価方法の構築に関する検討

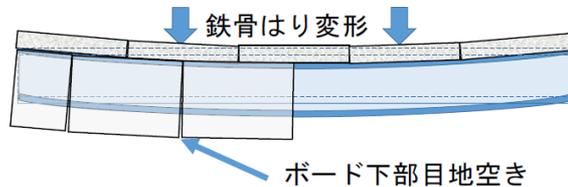
令和6年度の検討内容

梁を対象とする上での要点2：たわみ変形による被覆材損傷の影響

▶非載荷



▶載荷



パッケージ試験では、中規模試験体による
非載荷加熱データも併用して温度計算を行う

しかし、**載荷によるたわみ変形**により被覆材に損傷
(亀裂、脱落、目地開き)が生じ、**断熱性能が
低下**するおそれがある

非載荷データで得られた熱物性値に
なんらかの**補正が必要**となる

決定方針

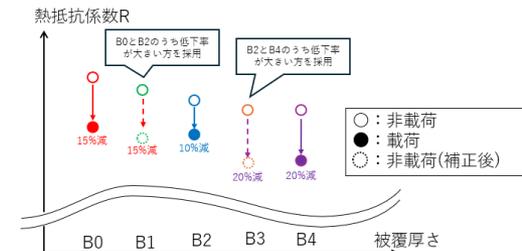
反応系被覆：載荷と非載荷で断熱性能に有意差は見られなかったため、補正は不要とする。

非反応系被覆：載荷と非載荷で有意差がみられ、載荷の方が温度上昇が大きかったため、
非載荷データでの熱抵抗係数を低減し、補正する。

補正手順(詳細は報告書を参照)

A: 同一の鋼材断面で実施した載荷試験と非載荷試験で得られたRを比較し、載荷によるRの低減率を求める。原則は標準断面(H-400x200x8x13)で比較を行う。なお、載荷試験でのRの方が大きかった場合は補正なしとする。

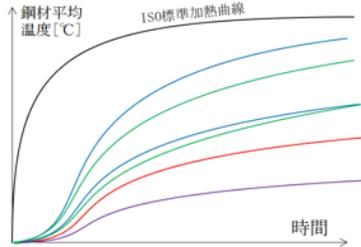
B: 非載荷試験しか実施していない被覆厚さ(図の例ではB1とB3)において、その前後の被覆厚さでの低減率のうち、大きい方の低減率を用いて非載荷で得られたRを補正し、温度計算に使用する。



②非反応系・反応系耐火被覆梁のパッケージ型評価方法の構築に関する検討

計算フロー

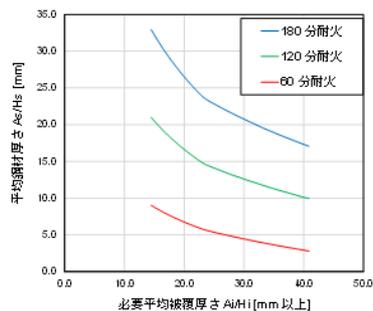
中規模加熱+実大載荷加熱の組み合わせ
鋼材温度データ取得



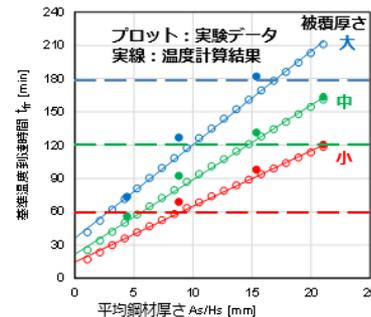
熱物性値同定

- ・非反応系材料
→耐火性能検証法に基づく方法
- ・反応系材料
→加熱中に刻々と断熱性能が変化
昇温の仕方等によっても発泡性状が変化
→検証法をそのまま準用するのは困難
→今回検討する

評価 所定の耐火時間を満足する
鋼材厚さと被覆厚さの関係を求める



温度計算



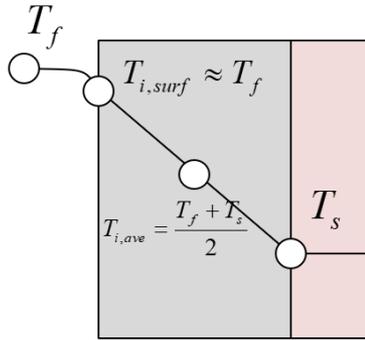
非反応系被覆材
⇒耐火性能検証法の
伝熱モデルに基づく

反応系被覆材
⇒次ページの
伝熱モデルに基づく

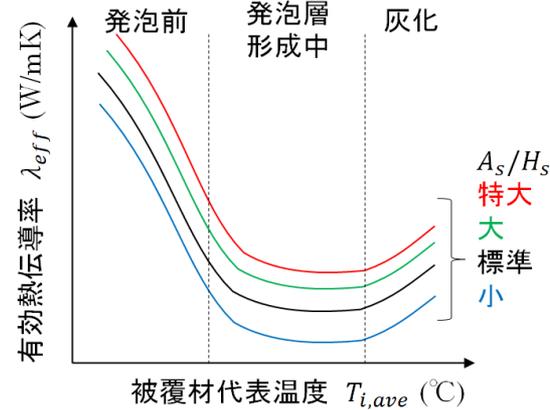
反応系材料で用いる温度計算モデル

仮定する伝熱モデル

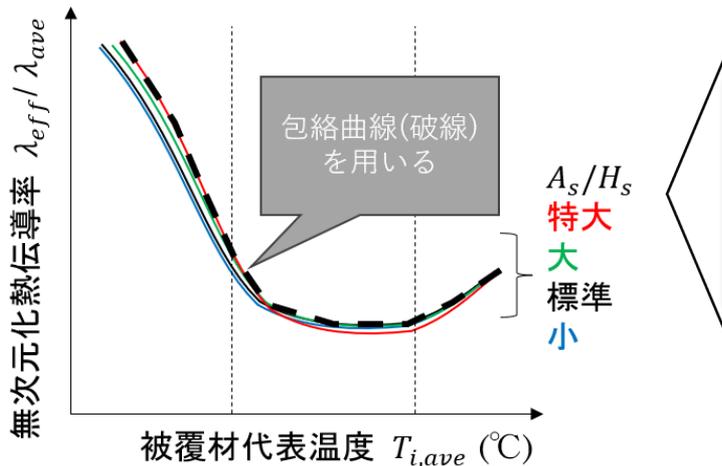
$$\rho_s c_s A_s \frac{\Delta T_s}{\Delta t} = H_s \frac{\lambda_{eff}}{DFT} (T_f - T_s)$$



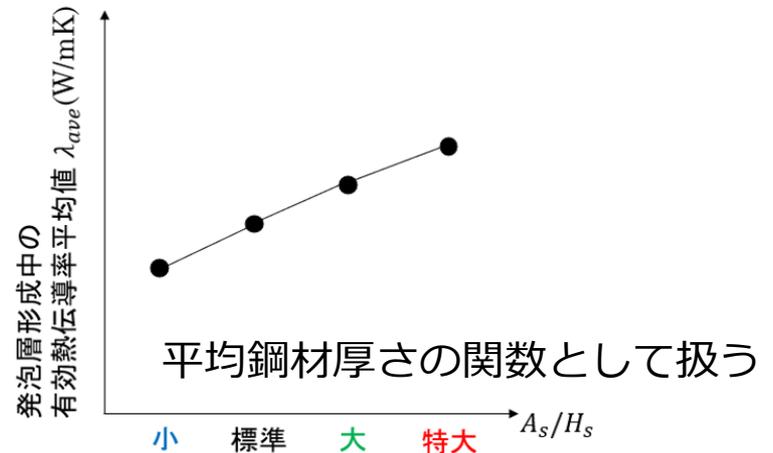
試験データより有効熱伝導率 λ_{eff} と $T_{i,ave}$ の
関係を求める



無次元化伝導率 $\lambda_{eff}/\lambda_{ave}$ を求め
最大値となる包絡曲線を代表値とする



平均熱伝導率 λ_{ave} (400~800°C間の平均値) を求める



耐火塗料を用いた耐火構造の柱・梁に関する検討

②非反応系・反応系耐火被覆梁のパッケージ型評価方法の構築に関する検討

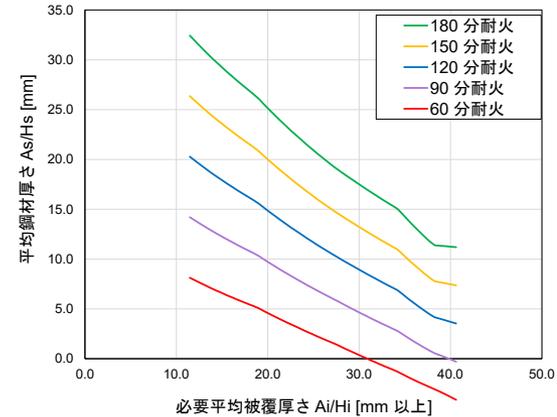
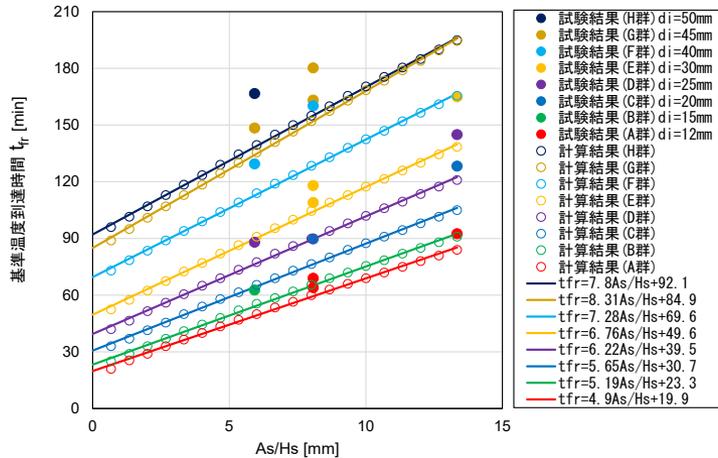
令和6年度の検討内容

ケーススタディの計算結果

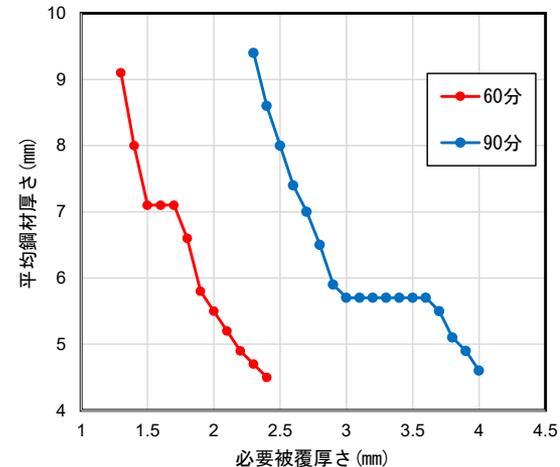
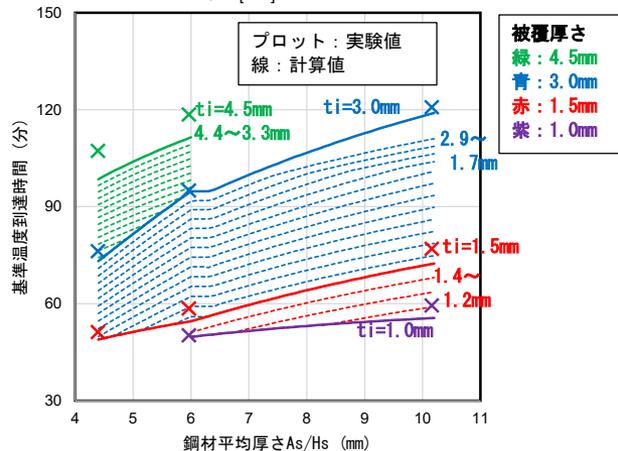
耐火時間と平均鋼材厚さの関係

各耐火時間を満たす鋼材厚さと被覆厚さの関係

非
反
応
系
被
覆



反
応
系
被
覆



耐火塗料を用いた耐火構造の柱・梁に関する検討

③ 1.5 時間、2.5 時間耐火構造用(柱・梁)の簡易評価方法

令和5年度の成果 および 令和6年度の検討内容 (概要)

R5年度：

既認定の評価試験データの活用または必要に応じて熱容量試験による検証を組み合わせた試験無し評価の運用を目的として、仕様拡張に関する基本方針を示すとともに、柱および梁における大臣認定を取得した耐火被覆材の実績調査を行い、課題点の整理を行った。

R6年度：

②で得られた試験データを用いたケーススタディにより簡易評価の適用性を検討した。

基本方針

- ①既認定に対して、耐火被覆の厚さのみを変更することで、新たな耐火構造の仕様として評価して認定する。
- ②原則として、計算・解析等による評価とする。ただし、既存試験データがばらついている場合は中規模試験又は載荷加熱試験等を追加する。
- ③重ね張り等で枚数や厚さが変化するものは、詳細に検討する必要がある。被覆材厚さによって留め付け間隔が異なるものは、留め付け1箇所あたりの負担重量等を用いて内挿するような合理化を図る。
- ④反応系材料の場合、被覆材厚さが限定とする。ただし、最小・最大厚の評価試験の検証が済んでいれば、最大厚さまでの範囲を認めてもよいと考えられる。
- ⑤耐火時間によって鋼材断面寸法範囲が異なる場合、共通する断面寸法を認める。
- ⑥耐火時間は内挿するものとし、1時間以内毎の2水準のデータを用いて評価する。そのため、不足する場合は、中規模試験又は載荷加熱試験を追加する。
- ⑦鋼材の断面形状係数(Hs/As)による拡張はしない。→(パッケージ型試験で対応)

③ 1.5 時間、2.5 時間耐火構造用(柱・梁)の簡易評価方法

令和6年度の検討内容

簡易評価方法の概要

1. 評価試験データをもとに、基準温度を設定する。

⇒断面平均温度の最高を各耐火時間の代表温度とし、低い方を基準温度とする。

例) 耐火1時間で試験体A: 420℃、試験体B: 390℃⇒420℃を代表温度とする

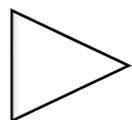
耐火2時間⇒試験体A: 460℃、試験体B: 450℃⇒460℃を代表温度とする

したがって1.5時間の評価では420℃を基準温度とする。

2. パッケージ型評価方法において、1で得られた基準温度を用い平均鋼材厚さと基準温度到達時間の関係を導出する。

3. 平均鋼材厚さと必要平均被覆厚の関係から最小被覆厚を求める。

4. 新たな性能評価(1.5時間または2.5時間)では上記被覆厚以上とすることで耐火上不利とはならないことから、試験無し評価を適用する。



過剰な安全率を求めないことに配慮しつつ、ケーススタディによって耐火上危険側の設計とならないことを確認した。

耐火塗料を用いた耐火構造の柱・梁に関する検討

③ 1.5 時間、2.5 時間耐火構造用(柱・梁)の簡易評価方法

令和6年度の検討内容

ケーススタディの結果一例

けい酸カルシウム板を被覆材とした鋼梁の荷重加熱試験データ（1h～3h）を用い、仮想の評価試験データとみなして1.5時間簡易評価のケーススタディを行った。

【参照データ】 ※今回は耐火時間毎に1体の試験を実施した

- ・1時間仕様⇒H-400x200x8x13、被覆厚：12mm、断面平均温度最高：398℃
- ・2時間仕様⇒H-400x200x8x13、被覆厚：30mm、断面平均温度最高：472℃

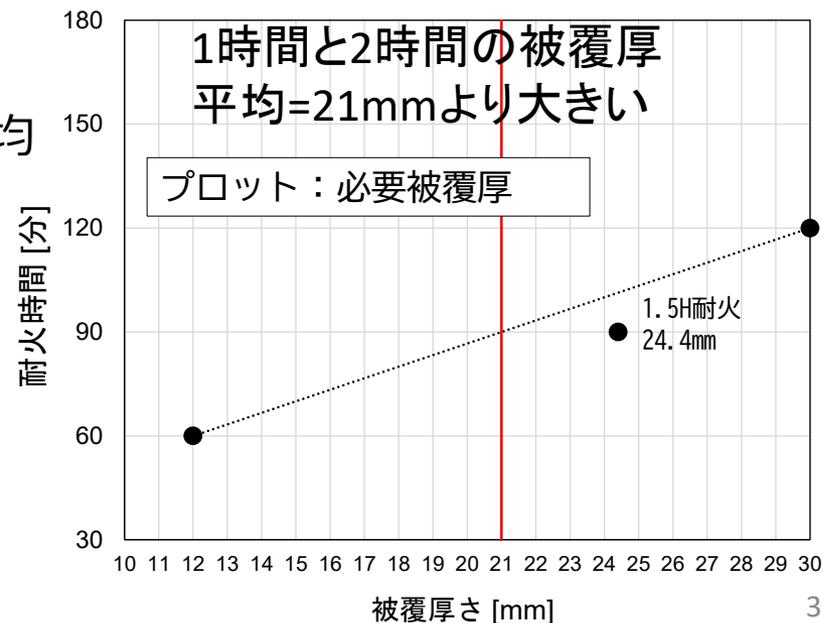
①基準温度の設定：398℃

②パッケージ型評価方法により
1.5時間耐火を満足する平均鋼材厚さ-平均
必要被覆厚関係を得る。

As/Hs(mm)	Ai/Hi(mm以上)
8.1	22.3

③試験で確認した鋼材の上記の値により
最小被覆厚 = 24.4mm が求まる。

④1.5時間の性能評価書に反映する



まとめ

① 反応系耐火被覆の柱のパッケージ型性能評価方法構築のための検討

中小規模試験体の加熱試験の組み合わせ(パッケージ試験)による耐火性能評価の**適用範囲を反応系耐火被覆**に拡張するための実験データの蓄積と性能評価方法についてのケーススタディを実施した。一定の**データ取得とケーススタディによる適用性**について確認された。国際規格による方法であっても試験体の**製作方法**により、実験データに**意図しないばらつき**が生じたが、改良することにより、安定した実験データを取得することが可能となった。

② 非反応系・反応系耐火被覆梁のパッケージ型評価方法の構築に関する検討

パッケージ型評価の適用範囲を**梁に拡張**するための性能評価方法を検討した。梁の断面内温度分布により崩壊時の断面平均温度が変化するため、**断面内温度分布を考慮した限界温度**(崩壊に至らない温度)の設定方法を示した。非反応系材料では**載荷変形による熱抵抗係数の補正方法**を示し、反応系材料では載荷・非載荷による断熱性能の違いはみられず補正は不要であることを示した。**検証実験**のデータを用いた**ケーススタディ**を実施し、評価の手順について具体例を交えて示し、評価方法の適用性を確認した。

③ 1.5 時間、2.5 時間耐火構造用(柱・梁)の簡易評価方法

既認定の評価試験データの活用または必要に応じて熱容量試験による検証を組み合わせることによる**試験無し評価の運用**を目的として、仕様拡張に関する評価方法を検討した。既存の認定において生じうる鋼材温度履歴の不均一性として、最高鋼材温度が大きく異なることなどが想定されること等を考慮して、**評価結果が安全側となる方法**を検討した。非反応系耐火被覆の実験結果を用いて検証した結果、**パッケージ型評価方法の考え方**を適用することで、**適切な耐火被覆を推定することが可能**となった。