

令和4年度建築基準整備促進事業

(F20)

耐火構造の構造方法の告示化に係る検討

株式会社竹中工務店

株式会社ドット・コーポレーション

共同研究：国立研究開発法人建築研究所

事業の目的

目的

耐火構造については、建築物の階数に応じ非損傷性の要求時間が1時間刻みで設定されているが、木造の仕様については告示では非損傷性の要求時間が1時間の仕様しか整備されていない。また、平成30年の法改正により可能となったより長時間の準耐火性能を有する準耐火構造による設計を行う際、主要構造部の一部に耐火構造の仕様を用いる場合に、耐火構造の有する準耐火性能については必ずしも明らかになっておらず、設計が困難な状況にある。

⇒本事業では、非損傷性の要求時間が1時間を超える木造耐火構造の仕様の特定、耐火構造の有する準耐火性能の明確化のための検討・実験を行った。

実施体制

検討委員会

委員長 委員	河野守	東京理科大学
	平島岳夫	千葉大学大学院
	豊田康二	(一財) 日本建築総合試験所
	金城 仁	(一財) ベターリビング
	平沼宏之	(一財) 建材試験センター
	安井 昇	桜設計集団一級建築士事務所
	鍵屋浩司	東北工業大学
	成瀬友宏	建築研究所
	鈴木淳一	建築研究所
	野秋政希	建築研究所
協力委員	岩見達也	国土交通省国土技術政策総合研究所
	水上点晴	国土交通省国土技術政策総合研究所

タスクフォース (TF)

メンバー	成瀬友宏	建築研究所
	鈴木淳一	建築研究所

事務局	小林道和、花井厚周、長岡勉、蛇石貴宏	竹中工務店
	平野陽子、中村亜弥子、山崎渉	(株) ドット・コーポレーション

実施概要

本事業は令和3～4年度の2か年にわたり実施。

今年度実施内容

- (1) 90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験の実施
 - 柱の仕様決定および実験（90分間、120分間）
 - 床の仕様決定および実験（90分間、120分間）
 - 梁の仕様決定および実験（90分間、120分間）
- (2) LGS壁の終局性能の確認実験の実施
- (3) 木造準耐火構造：消火効果による炭化影響とCLT床の準耐火性能

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（柱）

（1）柱：仕様の検討方針

令和3年度の非載荷加熱柱の小規模試験体の加熱実験結果を踏まえて、強化せっこうボード（GB-F（V））、けい酸カルシウム板（0.5TK）を主な防火被覆材料として、柱に必要な防火被覆厚さと耐火性能を把握する。

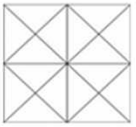
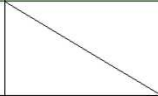
- 90分間、120分間耐火構造の告示仕様案を明らかとするため、載荷加熱試験についても実施して、その性能を明らかとした
- 具体的な仕様として、4コーナーのうち、2コーナーにL形薄板鋼板（L-75コーナービード 溶融亜鉛メッキ鋼板 0.27mm）を部材の出隅部分に設置し、金物の有無による目地の開きからの熱侵入の抑制効果を確認した
- 耐火性能に影響を及ぼすと考えられる集成材の使用環境（接着剤、フィンガージョイント等）、部材寸法等に着目して、部材の性能を把握した
- 耐火性能と準耐火性能の換算手法構築に用いる基礎資料を得るため、90分間、120分間耐火構造の仕様について、準耐火性能（終局性能）を把握することとした

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（柱）

（２）柱：90分間

昨年度の小試験体の試験結果を踏まえ、下記の通りの被覆仕様にて耐火性能の確認試験および一部仕様について終局性能の確認試験を実施した。

90分間：強化せっこうボード 21mm×3（赤枠部分が今年度実施）

試験方法	断面寸法	集成材 使用環境	被覆材留付け仕 様	試験結果・実施状況		試験体番号
				耐火性能	終局	
非載荷	 105 角 4 本	C	上張りステーブル	適合		耐火：R3 年度⑧
			全層ビス	適合 (要コーナー ビード)		耐火：R3 年度⑨
			耐水仕様（GB-007-2017,） 上張りステーブル	適合		耐火：R4 年度 (2 社の製品 Y・C) 試験体 90-No.6
載荷	 105 角	C	上張りステーブル	不適合	178.6 分	耐火：実施 R4 年度（R3 年 度 C） 試験体 90-No.1 終局：実施 R4 年度（R3 年 度 A） 試験体 90-No.2
		A	上張りステーブル	適合	196.8 分	耐火：R4 年度 試験体 90-No.3 終局：R4 年度 試験体 90-No.4
	 210 角	C	上張りステーブル	不適合 (隅角部 変色 集成材 割れ*)	—	耐火：実施 R4 年度 (R3 年度 D) 試験体 90-No.5

△：試験体数を
増やして再評価
が必要

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（柱）

柱：90-No.1（耐火）、90-No.2（終局）

仕様－柱断面105角、集成材使用環境C



90-No.1
試験後材料表面



90-No.1 試験後

- 加熱中及び放冷中に荷重支持能力の喪失なし。
- しかし、API接着剤を用いている使用環境Cでは、柱に目視で確認できる残留たわみが生じていた。接着剤が100℃程度で軟化するため、木部温度が200℃程度となる状況では接着強度が大幅に低下すると考えられる
- 終局性能は、約2倍の荷重支持能力を有していた

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（柱）

柱：90-No.3（耐火）、90-No.4（終局）

仕様－柱断面105角、集成材使用環境A



90-No.3 試験後



90-No.3
目地の開き

- 加熱中及び放冷中に荷重支持能力の喪失なし。
- 終局性能は、約2倍の荷重支持能力を有していた
- 使用環境Cよりも使用環境Aの試験体の方が、18分程度、荷重支持能力を喪失するまでに時間を要した
C：178.6分
A：196.8分

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（柱）

柱：90-No.6C、Y（耐火、非載荷）

仕様－柱断面210角（105角4本合わせ）、集成材使用環境C



90-No.6 試験後

左：試験体C 右：試験体Y

- 二水石膏、ひる石、ガラス繊維の調合が規定された石膏ボード工業会の規格に準拠した耐水せっこうボード（告示の調合にも適合）を防火被覆に用いた
- 木部の変色、炭化は確認できなかった。強化石こうボードでの実験結果と比較して、同等以上の耐火性能であることが確認できた。

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（柱）

（3）柱：120分間

下記の2仕様の被覆仕様にて耐火性能の確認試験および一部仕様について終局性能の確認試験を実施した。

被覆仕様1：強化せっこうボード 25mm×3

被覆仕様2：強化せっこうボード 25mm×2

+ けい酸カルシウム板0.5TK 20mm

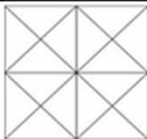
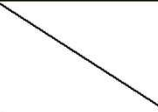
防火被覆をGB-F（V）25mm 3枚張りとした試験体に関しては、水平炉において実施した耐火構造を想定した試験体に関して、脱炉後の観察により、木部全体が変色しており断熱性能が不足していることがわかった。試験体の木部の温度は、250℃弱まで達していた。

GB-F（V）25mm×2枚+0.5TK20mmの仕様にあって、炭化痕は見当たらなかったことから、防火被覆としては十分だと考えられる。木部の温度に関しても、200℃以下に留まっている。

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（柱）

（3）柱：120分間

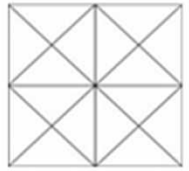
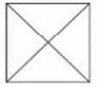
被覆仕様1：強化せっこうボード 25mm×3（赤枠部分が今年度実施）

試験方法	断面寸法	集成材 使用環境	被覆材留付け仕様	試験結果・実施状況		試験体番号
				耐火性能	終局	
非載荷	 105 角 4 本	C	上張りステープル	適合		耐火：R3 年度③
			全層ビス	不適合		耐火：R3 年度④
載荷	 105 角	C		 不適合	220 分	耐火：実施 R4 年度（R3 年度 E） 試験体 120-No.1 終局：実施 R4 年度（R3 年度 B） 試験体 120-No.2
		A	上張りステープル	 不適合 （全体的に炭化）	（非載荷） 耐火炉の 熱変形校正 用	耐火：R4 年度 試験体 120-No.3 終局：R4 年度 試験体 120-No.4
	 210 角	C		 不適合 （角部炭化 集成材割れ）	—	耐火：実施 R4 年度（R3 年度 F） 試験体 120-No.6

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（柱）

（3）柱：120分間

被覆仕様2：強化せっこうボード 25mm×2+けい酸カルシウム板0.5TK 20mm

試験方法	断面寸法	集成材 使用環境	被覆材留付け仕様	試験結果・実施状況		試験体番号
				耐火性能	終局	
非載荷	 105 角 4 本	C	上張りステープル	適合		耐火：R3 年度⑦
載荷	 105 角	A	上張りステープル	適合	製作のみ	耐火：R4 年度 試験体 120-No.5 終局：R4 年度 試験体 120-No.7
	 210 角			製作のみ	—	耐火：R4 年度 試験体 120-No.8

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（柱）

柱：120-No.1（耐火）、120-No.2（終局）、120-No.3（耐火）

被覆仕様1：強化せっこうボード 25mm×3

仕様－柱断面105角、集成材使用環境C（No.1,No.2）、集成材使用環境A（No.3）



120-No.1 試験後



120-No.3 試験後

- 柱に目視で確認できる残留たわみが生じていた。接着剤の種類によらず、200℃を超える温度域では、木材の強度が大幅に低下するためだと考えられる
- 終局性能は、約1.83倍の荷重支持能力を有していた。火災継続時間が長時間化し、被覆材料が熱劣化すると、準耐火性能に対する耐火時間の比率は低下していく可能性がある

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（柱）

柱：120-No.6（耐火）

被覆仕様1：強化せっこうボード 25mm×3

仕様－柱断面210角、集成材使用環境C



120-No.6 試験後



120-No.6 接合部の
割れ

- 集成材の隅角部でコーナービードの変形や目地の開きが大きく、部分的な炭化が発生していた。
- 木部の温度は230℃程度であり、105角の試験体に比べて、温度は幾分低く留まっていることがわかる。
- 90分間耐火構造では部材の大径化による効果は大きく出ていないが、120分間耐火構造ではその効果が生じている。

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（柱）

柱：120-No.5（耐火）

被覆仕様2：強化せっこうボード 25mm×2+けい酸カルシウム板0.5TK 20mm
仕様－柱断面105角、集成材使用環境A



120-No.5 試験後



120-No.5 試験後の目地

- 炭化痕は見当たらなかったことから、防火被覆としては十分だと考えられる。
- 木部の温度に関しても、200℃以下に留まっていた。

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（柱）

（４）柱：まとめ

- 90分間耐火構造については、強化せっこうボード（GB-F（V））21mmを3枚張りすることで、耐火性能を確保できると考えられる。出隅部分には防火被覆の開き止めなどを設置し、熱侵入を抑制する必要がある。
- 石膏ボード工業会の規格に準拠した耐水せっこうボード（告示の調合にも適合）にあっては、強化せっこうボードでの実験結果と比較して、同等以上の耐火性能であることが確認できた。
- 120分間耐火構造については、GB-F（V）25mm×2枚+0.5TK20mmとすることで、耐火性能を確保できると考えられる。
- 強化せっこうボードを被覆とした耐火構造の柱の終局性能は、90分間耐火構造、120分間耐火構造では、それぞれ、耐火時間の約2倍、約1.83倍となった。火災継続時間が長時間化し、被覆材料が熱劣化すると、準耐火性能に対する耐火時間の比率は低下する可能性がある。

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（梁床）

（１）梁床：仕様の検討方針

試験体の被覆仕様は、梁、床ともに、柱・壁で検討した結果から以下とした

90分間耐火構造	強化せっこうボードGB-F（V） 21mm 3枚張り
120分間耐火構造	強化せっこうボードGB-F（V） 25mm 2枚張り ＋ けい酸カルシウム板（0.5TK） 20mm

被覆材の留付け仕様を決定するために、梁を含む床組みの小規模試験体にて非載荷実験を実施した。特に梁の隅部の焦げに留意し、下記の仕様のバリエーションの中から試験体仕様を絞り込んだ。

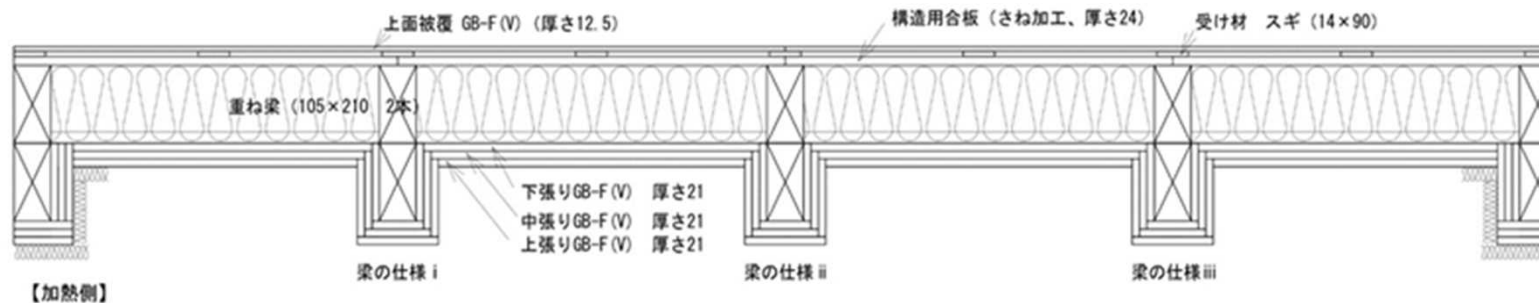
	被覆材の留付け等の仕様	バリエーション	備考
①	被覆材間の接着剤（炭カル系）	なし あり	
②	梁側面の被覆材の留付け方法	全層ビス 上張りのみステープル	梁下面、床は全層ビス
③	被覆材の開き止め	なし ステープル イエロービス	床は開き止めなし
④	隅部の被覆材の重ね方	交互 梁側面勝ち 梁下面・床勝ち	
⑤	コーナービード	なし あり	梁

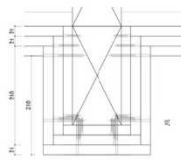
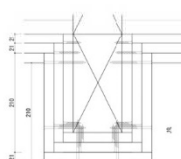
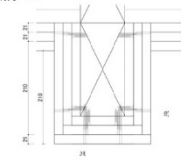
90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（梁床）

（２）梁床：試験体図、留付け仕様および試験結果

留付け仕様は、1つの試験体につき梁は3仕様、床1仕様とした。

【90分】



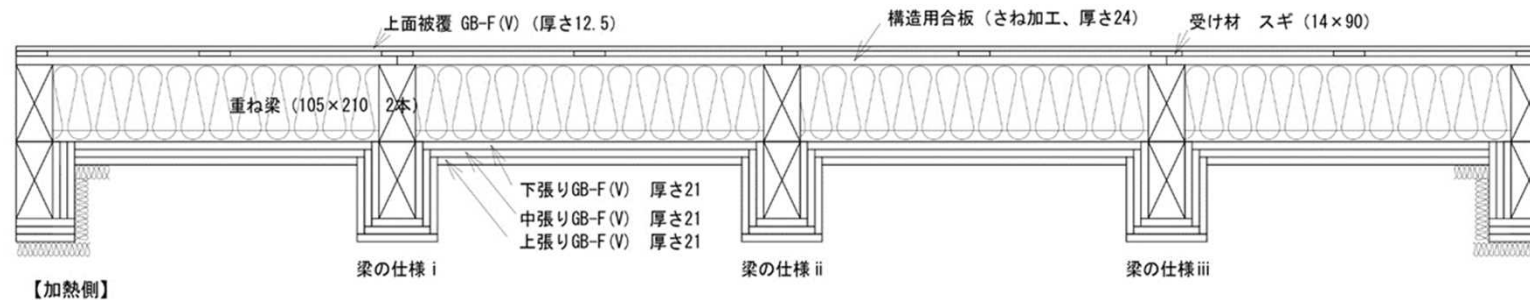
試験方法	断面寸法	集成材 使用環境	隅部の被覆材の重ね方	部位	被覆材留付け仕様				試験結果・実施状況		試験体番号
					側面	下面	開き止め	炭カル接着剤	耐火	終局	
非載荷	105×210	A	交互 	梁	全層ビス	全層ビス	なし ステープル イエロービス	なし	 変色 変色		耐火：R4 年度 90-No.1
				床		全層ビス		なし	変色		
			交互 	梁	上張りステープル	全層ビス	なし ステープル イエロービス	あり	  		耐火：R4 年度 90-No.2
				床		全層ビス		あり	変色		
	105×210	A	梁側面勝ち 	梁	上張りステープル	全層ビス	なし ステープル イエロービス	あり	  		耐火：R4 年度 90-No.3
				床		全層ビス		あり			

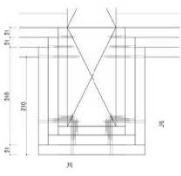
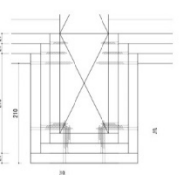
90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（梁床）

（２）梁床：試験体図、留付け仕様および試験結果

留付け仕様は、1つの試験体につき梁は3仕様、床1仕様とした。

【120分】



試験方法	断面寸法	集成材 使用環境	隅部の被覆材 の重ね方	部位	被覆材留付け仕様				試験結果・実施状況		試験体番号
					側面	下面	開き止め	炭カル接着剤	耐火	終局	
非載荷	105×210	A	交互 	梁	全層ビス	全層ビス	なし ステーブル イエロービス	なし	変色		耐火：R4 年度 120-No.1
				床		全層ビス		なし	変色		
				梁	上張りステーブル	全層ビス	なし ステーブル イエロービス	あり	OK		耐火：R4 年度 120-No.2
				床		全層ビス		あり	変色		
			交互 	梁	全層ビス	全層ビス	なし ステーブル イエロービス	なし	変色		
				床		全層ビス		なし	変色		
				梁	全層ビス	全層ビス	なし ステーブル イエロービス	あり	OK		
				床		全層ビス		あり	変色		

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（梁床）

（２）梁床：試験体図、留付け仕様および試験結果

留付け仕様は、90分、120分とも以下の赤字の仕様にて、梁、床の実大載荷試験を進めることとした。



試験後の床組みの例
90-No.1 変色、NGあり



試験後の床組みの例
90-No.2 野縁のみ変色あり

	被覆材の留付け等の仕様	バリエーション	備考
①	被覆材間の接着剤（炭カル系）	なし あり	
②	梁側面の被覆材の留付け方法	全層ビス 上張りのみステープル	梁下面、床は全層ビス
③	被覆材の開き止め	なし ステープル イエロービス	イエロービス使用可。 床は開き止めなし
④	隅部の被覆材の重ね方	交互 梁側面勝ち 梁下面・床勝ち	梁側面勝ちでも問題なし。
⑤	コーナービード	なし あり	今回の検討では当初より なしで設定

※バリエーションのうち見え消しで示した仕様は、不適合の仕様となる。

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（床）

（１）床：仕様の検討方針

床の被覆仕様を以下に決定し、耐火性能を確認した。

90分間耐火構造	強化せっこうボードGB-F（V） 21mm 3枚張り
120分間耐火構造	強化せっこうボードGB-F（V） 25mm 2枚張り + けい酸カルシウム板（0.5TK） 20mm

- 90分間、120分間耐火構造の告示仕様案を明らかとするため、載荷加熱試験についても実施して、その性能を明らかとした。
- 耐火性能と準耐火性能の換算手法構築に用いる基礎資料を得るため、90分間、120分間耐火構造の仕様について、準耐火性能（終局性能）を把握することとした。
- 床組みを構成する梁は、使用環境Aの集成材に限定した。
- 準耐火性能を把握するための載荷加熱試験では、防火被覆の脱落と合板表面の温度上昇をもって非損傷性の喪失と見なすこととした。これは、載荷荷重を床上ではなく梁上荷重として作用させているためである。

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（床）

（2）床：90分間

試験方法	断面寸法（梁）	梁集成材	被覆材留付け仕様		試験結果・実施状況		試験体番号
		使用環境	下面	炭カル接着剤	耐火	終局	
載荷	105×210	A	全層ビス	あり	適合	147 分	耐火：R4 年度 90-No.1 終局：R4 年度 90-No.2

- 90-No.1（耐火）では、上張り防火被覆の一部が約88～90分で脱落した。加熱後の試験体の中張りの強化せっこうボードは白色化しており、高温雰囲気暴露されたことがわかる。しかしながら、下張りは部分的な変色に留まった。
- 木部にあっては、出隅のない梁は1面加熱であったため、梁・床試験体に比べて変色はほぼ生じておらず、野縁が部分的に変色しただけで留まった。
- 90-No.2（終局）では、上張りの防火被覆から順次、防火被覆が熱劣化して脱落した。



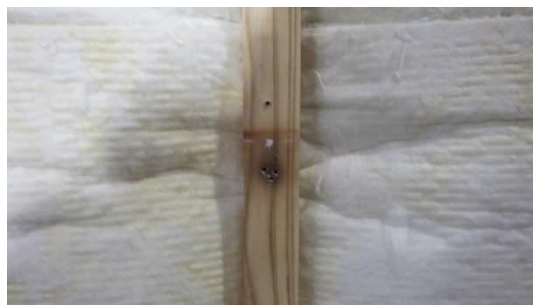
90-No.1の状況
左：試験後
右：野縁の変色

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（床）

（3）床：120分間

試験方法	断面寸法（梁）	梁集成材	被覆材留付け仕様		試験結果・実施状況		試験体番号
		使用環境	下面	炭カル接着剤	耐火		
載荷	105×210	A	全層ビス	あり	適合	259 分	耐火：R4 年度 120-No.1 終局：R4 年度 120-No.2

- 120-No.1（耐火）では、加熱後の防火被覆に亀裂が生じているものの脱落は生じなかった。下張りの強化せっこうボードには、上張りのけい酸カルシウム板の十字目地の部分に部分的な変色が生じていた。
- 90分耐火構造の床と同様に、木部にあっては、梁・床試験体に比べて変色はほぼ生じておらず、野縁が部分的に変色しただけで留まった。
- 120-No.2（終局）では、上張りのけい酸カルシウム板が、防火被覆の熱劣化が強化せっこうボードに比べて生じにくいため、長時間の加熱でも形状を保持することになる。そのため、木部が炭化し、留め付け強度が防火被覆の重量を下回った段階で、床下面の防火被覆全体が脱落することとなった



120-No.1の状況

左：試験後

右：野縁の変色₂₂

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（床）

（４）床：まとめ

- 90分間耐火構造の床組にあつては、強化せっこうボードGB-F（V）21mm 3枚張りとし、一定の留め付け条件とすることで、耐火性能を確保できる。
- 120分間耐火構造の床組にあつては、防火被覆を強化せっこうボードGB-F（V）25mm 2枚張り＋けい酸カルシウム板（0.5TK）20mmとし、一定の留め付け条件とすることで、耐火性能を確保できる。
- 一定の留め付け条件は以下の通り。
 - 強化せっこうボード上張りとした場合のビスの留付けピッチは、野縁直交方向（野縁間隔）は455mm以下、野縁平行方向は303mm以下とする。ボード脱落を抑制する場合は、野縁直交方向（野縁間隔）は303mm以下、野縁平行方向は200mm以下が推奨される。
 - ビスの長さは27mm以上の深さで木部に留めつける。
 - 下面の防火被覆は炭酸カルシウム系接着剤を併用する。
 - 梁の側面はステーブル留めとし、防火被覆の出隅部分は、ステーブルで開き止めをする。
- 90分間耐火構造、120分間耐火構造の床について終局性能を把握した試験体では、それぞれ、終局性能（合板表面温度の急激な昇温開始時間）は、147分（1.63倍）、259分（2.15倍）であった。
- 防火被覆の脱落から7～10分程度で床上面の構造用合板の厚さは24mmから10mm以下程度となっており、遮炎性能を喪失し、集中荷重が生じる場合には荷重支持能力を喪失する可能性がある。

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（梁）

（１）梁：仕様の検討方針

梁の被覆仕様を以下に決定し、耐火性能を確認した。

90分間耐火構造	強化せっこうボードGB-F（V） 21mm 3枚張り
120分間耐火構造	強化せっこうボードGB-F（V） 25mm 2枚張り ＋ けい酸カルシウム板（0.5TK） 20mm

- 90分間、120分間耐火構造の告示仕様案を明らかとするため、載荷加熱試験についても実施して、その性能を明らかとした。
- 耐火性能と準耐火性能の換算手法構築に用いる基礎資料を得るため、90分間、120分間耐火構造の仕様について、準耐火性能（終局性能）を把握することとした。
- 耐火性能に影響を及ぼすと考えられる集成材の使用環境（積層面、フィンガージョイントの接着剤の種類）、フィンガージョイントの位置、部材寸法等に着目して、部材の性能を把握した。

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（梁）

（2）梁：90分間

試験方法	断面寸法	集成材 使用環境	FJ の位置	FJ の接着剤	被覆材留付け仕様				試験結果・実施状況		試験体 番号
					側面	下面	開き止め	炭カル 接着剤	耐火	終局	
載荷	105×210	スギ E65-255 A	加力位置 で揃える	メラミン	上張り ステープル	全層 ビス	ステープル	あり (下面のみ)	不 合	—	耐火：R4 年度 90-No.1
			揃えない	レゾ					合 格 (自重非考慮)	—	耐火：R4 年度 90-No.2
			加力位置 で揃える	メラミン					合 格 (自重非考慮)		耐火：R4 年度 90-No.3
	105×420		揃えない	レゾ					計画変更により非実施 (一部材料調達済み状況)	—	耐火：R4 年度 90-No.4
									製作	—	耐火：R4 年度 90-No.5

*荷重支持部である集成材に部分的な破壊が生じたが、荷重支持能力は喪失しなかった。

- フィンガージョイントの接着剤をメラミンとし、全てのフィンガージョイントの位置を載荷点にそろえた試験体90-No.1は、フィンガージョイント部分が破断し、139.5分で崩壊した。
- フィンガージョイントの接着剤をレゾルシノール・フェノールとし、全てのフィンガージョイント位置を150mm以上ずらした試験体90-No.2、90-No.3では、中央たわみの推移は、140分頃から増加勾配が大きくなった。部材温度が100℃を下回る900分程度となると、たわみがそれぞれ62.2mm、107mmで安定し、崩壊判定（限界変形 $L2/400d = 347\text{mm}$ ）には至らなかった。
（※90-No.2、90-No.3の仕様は同じ）

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（梁）

梁：90-No.1

仕様－フィンガー位置：揃える、フィンガー接着剤：メラミン



90-No.1 試験後
破壊部分の状況

- 試験体90-No.1の積層面の接着剤は、レゾルシノール・フェノール樹脂系接着剤、フィンガージョイントの接着剤は、熱硬化性のメラミン樹脂系接着剤であった。集成材については、JASにおいてプルーフロードによるフィンガージョイントの強度に関する確認があれば、各層のフィンガージョイントの重なりについての規定はない。そのため、梁下面でフィンガージョイントの位置に近い製造される可能性があり、常温での性能確認がなされていたとしても、火災時に所定の性能を確保できない。

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（梁）

梁：90-No.2、90-No.3

仕様－フィンガー位置：揃えない、フィンガー接着剤：レゾ（2体とも）



90-No.2 試験後
局所的な破壊の状況

- 90-No.2、90-No.3で木部に炭化痕は見当たらなかったことから、防火被覆としては、強化せっこうボード(GB-F(V)21mm)を3枚張りすることで、耐火性能を確保できる。
- 90-No.2では、最下層とその内側のラミナ間の木部、フィンガージョイント部分で木部の局所的な破壊が見られた。90-No.3では、木部の亀裂が進展し、3層目の表面にまで達したため90-No.2よりもたわみが大きくなった。木部の亀裂の原因の特定には詳細な検討が必要である。
- 標準加熱終了後、1時間程度で、木部の破壊などが生じていることから、火災後においても損傷や残留変形などを許容しない場合等については、許容荷重に対して十分な安全率を確保するか、自重の影響が相対的に小さくなる105×210のような小断面や梁の内部温度の上昇しやすい梁幅の小さい部材寸法を適用することについては慎重な判断が必要といえる

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（梁）

（3）梁：120分間

試験方法	断面 寸法	集成材 使用環境	FJの位置	FJの接着剤	被覆材留付け仕様				試験結果・実施状況		試験体番号
					側面	下面	開き 止め	炭カル 接着剤	耐火	終局	
載荷	105×210	スギ E65-255	加力位置 で揃える	メラミン	上張り ステーブル	全層ビス	ステーブル	あり (下面のみ)	計画変更により非実施 (一部材料調達済み状況)	—	耐火：R4年度 120-No.1
			揃えない	レゾ					適合 (自重考慮)	—	耐火：R4年度 120-No.2
	105×420	A	加力位置 で揃える	メラミン					製作		耐火：R4年度 120-No.3
			揃えない	レゾ					計画変更により非実施 (一部材料調達済み状況)	—	耐火：R4年度 120-No.4
			揃えない	レゾ					適合 (自重非考慮)	—	耐火：R4年度 120-No.5

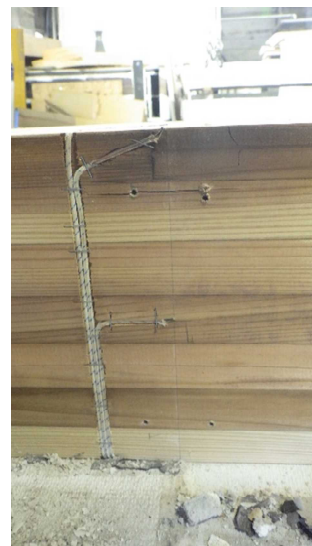
*荷重支持部である集成材に部分的な破壊が生じたが、荷重支持能力は喪失しなかった。

- 120-No.2では、部材温度が100℃を下回る1080分程度でたわみが59.1mmで安定し、崩壊判定(限界変形 $L2/400d = 347\text{mm}$)には至らなかった。
- 木部に若干の変色が見られたが、炭化痕は見当たらなかったことから、防火被覆としては、強化せっこうボード(GB-F((V))25mm 3枚張りし、0.5TKけい酸カルシウム板20mmとすることで、耐火性能を確保できる。

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（梁）

梁：120-No.2（105×210）

仕様－フィンガー位置：揃えない、フィンガー接着剤：レゾ



120-No.2 試験後
破壊部分の状況

- 120-No.2では、中央たわみは、110分を超えてから増加勾配が大きくなった。110分以降は、部材表面温度が概ね100℃を超える。部材温度が100℃を下回る1080分程度となると、たわみが59.1mmで安定し、崩壊判定(限界変形 $L2/400d = 347\text{mm}$)には至らなかった。
- 120-No.2では、防火被覆等の自重の影響を考慮し積載荷重を低減しているが、90-No.2のそれと大きく差が無い。
- 脱炉後の観察により、最下層とその内側のラミナ間の木部、フィンガージョイント部分で木部の局所的な破壊が見られた。木部の亀裂の原因の特定には詳細な検討が必要である。

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（梁）

梁：120-No.5（105×420）

仕様－フィンガー位置：揃えない、フィンガー接着剤：レゾ



- 脱炉後の観察により、試験体120-No.2と同様に、最下層とその内側のラミナ間の木部、フィンガージョイント部分で木部の局所的な破壊が見られた。90分間の耐火構造と同様に、木部の亀裂は、防火被覆の留め付けビスや側面の被覆の目地部における剛性の変化等が要因となっている可能性もあるが、原因の特定には詳細な検討が必要である。

120-No.5 試験後
破壊部分の状況

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（梁）

（４）梁：まとめ

- 90分間の防火被覆として、強化せっこうボード21mmを3枚張りすることで、木部の炭化を防止することができた。フィンガージョイントについて、レゾルシノール・フェノール樹脂系接着剤を用い、各層の位置を一定距離以上離隔したものにあつては、防火被覆等の自重を無視した条件においても、長期に許容される荷重は支持可能となり、非損傷性は確保された。ただし、集成材に部分的損傷が生じた。
- 120分間の防火被覆として、強化せっこうボード25mm×2+けい酸カルシウム板0.5TK 20mmで、一部変色に至るものの木部の炭化を防止することができた。90分間耐火構造の梁と同様に集成材の仕様を限定し、かつ防火被覆等の自重を考慮した条件であっても、集成材に部分的損傷が生じた。しかし、崩壊には至らず、長期に許容される荷重は支持可能で、非損傷性は確保されることがわかった。

90分間以上の木造耐火構造の性能確認試験（梁）

（４）梁：まとめ

- 曲げ材に関する耐火構造にあっては、フィンガージョイントの接着剤をメラミン樹脂系接着剤とし、フィンガージョイント位置を揃えた集成材を用いる場合、JASの使用環境Aの規定に適合する集成材であっても木部の表面が炭化する前に、非損傷性を喪失する可能性がある。
- 積載荷重において防火被覆等の自重を考慮したとしても、木部の破壊などが生じていることから、火災後においても損傷や残留変形などを許容しない場合等については、許容荷重に対して十分な安全率を確保するか、自重の影響が相対的に小さくなる105×210のような小断面や梁の内部温度の上昇しやすい梁幅の小さい部材寸法を適用することについては慎重な判断が必要といえる。
- 今後、追加的な実験等を行い、確実に耐火性能を確保できるフィンガージョイントの接着剤の種類やフィンガージョイントの設置位置等を明らかにする必要がある。

LGS壁の終局性能の確認実験

(1) LGS壁の終局性能の確認実験

本検討の目的は、

耐火構造の間仕切壁・床の準耐火構造としての性能（終局性能）を確認し、
耐火構造→準耐火構造の換算を可能とすること

- 前年度、LGS壁について強化せっこうボードの厚みを変えて実験を行い、強化せっこうボード厚さが15mm+15mmの両面張り（強化せっこうボードが4枚）の仕様で約2時間、21mm+12.5mmの両面張り（同前；21mmが下張り）の仕様で2時間半を超える遮炎・遮熱性能を有することが確認できた。また、壁の遮音性や断熱性の向上を目的として、LGS壁の中空部に断熱材を挿入することがあり、その影響を調べるため、断熱材無し、有の2仕様を試験体としていた。
- 当初は断熱材が有りの方が、熱が非加熱面に伝わりにくいために耐火時間が長くなると予想したが、結果的にはいずれの強化せっこうボード厚さに関しても断熱材が有りの方が若干短い遮炎・遮熱時間となった。しかし、このことは試験誤差や偶発的事象であった可能性も否定できず、試験条件や試験体数をさらに増やして検証する必要があると判断した。
⇒そこで、今年度は繰り返し数 $n=2$ として、断熱材が有りと無しの耐火性能の比較を行うこととした。また、前年度はLGSの間柱を1列に並べ、その両側に強化せっこうボードを張る共用配置のみを対象としたが、今年度はLGSの間柱を千鳥に配置し、片面ずつ強化せっこうボードを張る千鳥配置のLGS壁についても実験を実施した。

LGS壁の終局性能の確認実験

(2) 試験体仕様

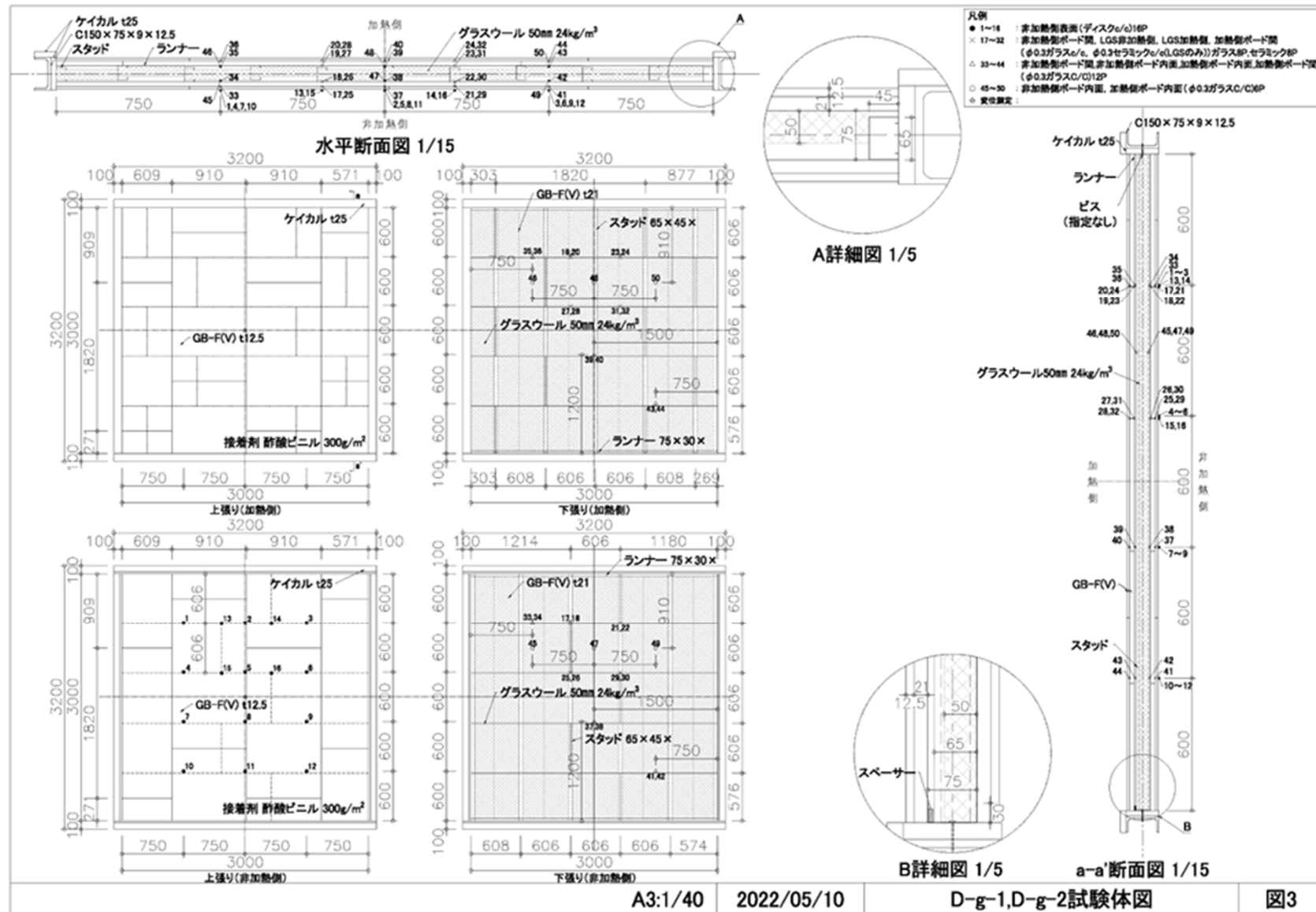
被覆仕様は強化せっこうボード（下張り）21mm＋（上張り）12.5mmで、間柱の配置、断熱材の有無の条件により、合計3仕様各2体で実験を行った。

試験体名	間柱の配置	断熱材
C-n-1	共用間柱構造	無し
C-n-2		
C-g-1		24kg/m ³ 、厚50mm
C-g-2		
D-g-1	千鳥間柱構造	24kg/m ³ 、厚50mm
D-g-2		

- ・ 下張り：GB-F（V） t21用 ビスφ3.5L32@200
- ・ 上張り：GB-F（V） t12.5用 ステーブルw4L25＋接着剤 150g/m²

LGS壁の終局性能の確認実験

試験体図例 D-g : 千鳥間柱構造



LGS壁の終局性能の確認実験

(3) LGS壁の終局性能の確認実験の結果

試験体名	間柱の配置	断熱材	【結果】遮熱時間	平均
C-n-1	共用間柱構造	無し	183分：最高温度	174分
C-n-2			164.5分：最高温度	
C-g-1		24kg/m ³ 、厚50mm	161.5分：最高温度	166分
C-g-2			169.5分：最高温度	
D-g-1	千鳥間柱構造	24kg/m ³ 、厚50mm	168.5分：最高温度	169分
D-g-2			170分：最高温度	

- 昨年度同様、強化せっこうボードの厚さが、下張り21mm＋上張り12.5mmであれば、間柱の配置や断熱材の有無にかかわらず、十分に2時間以上の遮炎・遮熱性能を有した。
- 断熱材「有り」の遮熱時間の方が若干短い傾向にあったが、明瞭な差とは言えなかった。
- 断熱材により裏面への熱の放出が阻害されるため、加熱側下張り強化せっこうボードの温度が断熱材「有り」の方が高くなった。
- LGS間柱の千鳥配置は、共用配置と比較して遮熱時間に大きな差は見られなかった。しかし、千鳥配置は終局での崩壊時に脆性的に崩れ落ちる傾向があった。

木造準耐火構造：消火効果による炭化影響

散水により冷却された火災室に曝された木質部材の熱応答性状確認実験

（１）検討の目的と方法

- 「火災時倒壊防止構造」と呼ばれる長時間の準耐火構造の概念は、消防隊員の放水活動によって、火災区画内の可燃物の燃焼が抑制されると共に区画内の温度が低下する影響を加味し、通常の消火活動が終了するまで主要構造部が崩壊しないことを検証するもの
- このとき、燃えしろ設計とする場合にあっては、燃えしろを除いた健全部（残存断面：未炭化部）の小径の下限値を200mmとしているが、火災区画内の温度履歴を考慮し、部材の内部温度分布を精緻に分析すれば、より少ない残存断面でも荷重を支持できる可能性がある。

⇒盛期火災中の区画内へ水を散布しつつ、区画内温度の温度減衰が現行の火災時倒壊防止建築物で想定される値となる条件を再現し、当該環境下における木質系部材の炭化性状および内部温度性状に関する技術的知見の収集を目的とした実験を実施

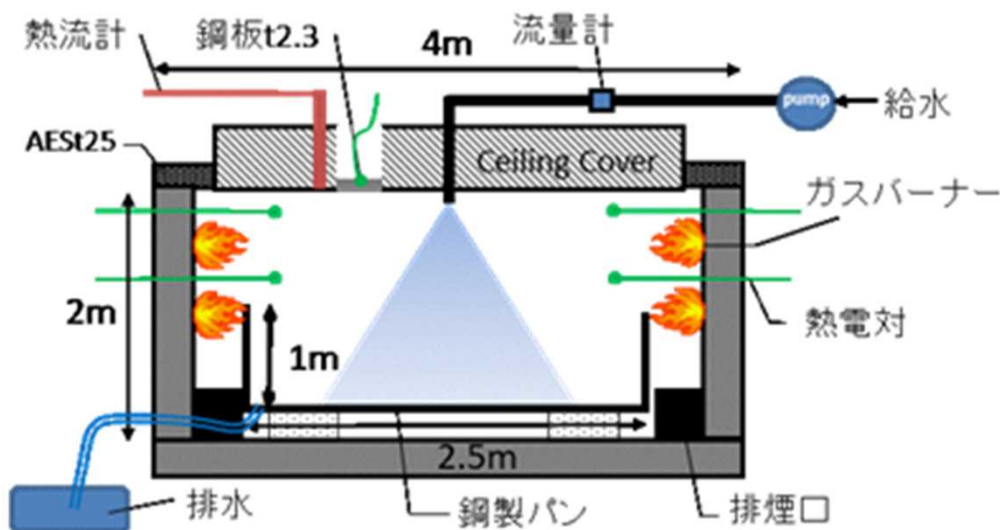
+ 水滴群や水蒸気等が木質系部材の炭化や内部温度上昇を抑制する可能性についても併せて検討した

木造準耐火構造：消火効果による炭化影響

散水により冷却された火災室に曝された木質部材の熱応答性状確認実験

(2) 実験装置

- 散水によって仮に区画内が酸欠状態となっても一定の可燃性ガスの供給量および燃焼熱を維持できるよう火源は予混合燃焼ガスバーナー（燃料：都市ガス）とした。
- 炉材の劣化や継続使用性を考慮し、炉壁や炉床には直接散水せず、区画中央床上に設けた鋼製パンの中に散水範囲が収まるよう散水を行った。
- 散水方法は、貯水タンクからホースおよび鋼製配管を介してポンプを用いて散水ヘッドに圧送する方法とした。



実験概要 断面図



炉内の鋼製パン

木造準耐火構造：消火効果による炭化影響

散水により冷却された火災室に曝された木質部材の熱応答性状確認実験

(3) 実験条件

実験 1 – 炉内の温度減衰過程とその過程における木質部材の熱応答性状に与える散水の影響の確認

No.1-1：炉内に水を散布した状態で、炉内温度が火災時倒壊防止構造で想定される温度履歴（消火曲線）と同等となる条件

No.1-2：炉内温度がNo.1-1と同等となるように加熱を停止し給排気のみで区画内を冷却させる条件

実験 2 – 散水時の水滴群や水蒸気が木質系部材の受熱に与える影響を確認

No.2-1：概ね一定流量のガスを供給したまま散水する条件

No.2-2：炉内温度がNo.2-1と同等となるようにガスバーナーの燃料供給量を制御した条件

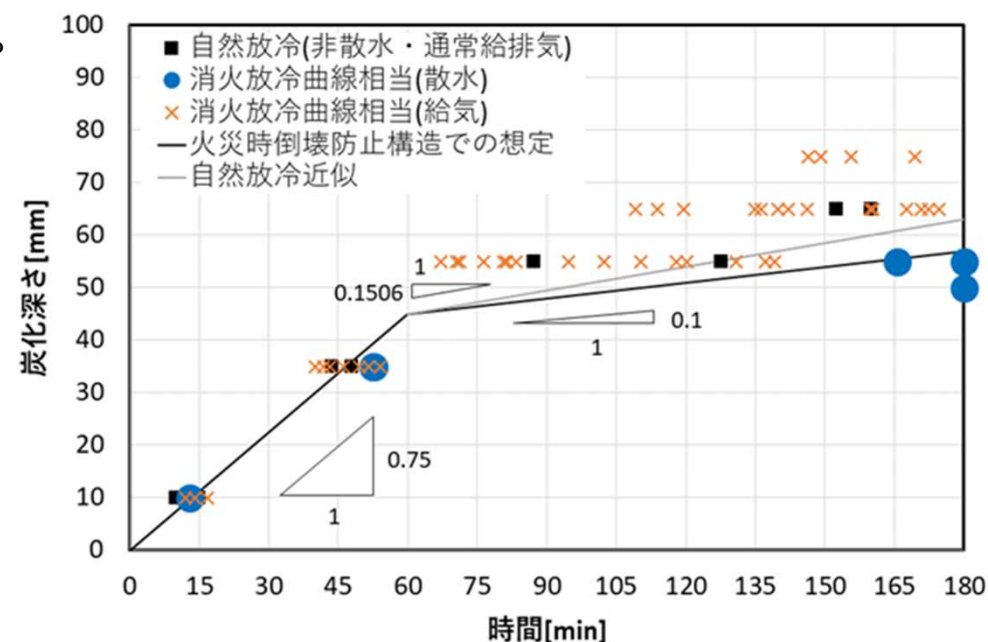
木造準耐火構造：消火効果による炭化影響

散水により冷却された火災室に曝された木質部材の熱応答性状確認実験

(4) 実験結果－実験1

- No.1-1の炭化速度（●消火放冷曲線相当（散水））は温度低下開始以前は慣用値0.75mm/minと概ね等しいのに対し、温度低下開始以降は0.1mm/minかそれより低い値で推移している。なお、火災時倒壊防止建築物における火災減衰期の炭化速度（黒線）は0.1mm/minと想定されている。
- No.1-2の結果は■プロット、図中の×プロット（消火放冷曲線相当（給気））は既往の実験結果である。当該実験の温度低下過程の炭化速度は実験No.1-1

の炭化速度の2倍程度となっている。これは、給排気により有炎燃焼や炭化層表面の赤熱が活発となり、炭化層から未炭化部への入射熱流束が高まったためと考えられる。したがって、火災区画内への散水は部材への受熱の低減に加え、有炎燃焼や炭化層表面の赤熱の活性化を抑制する作用があると考えられる



炭化深さの経時変化
(No.1-1 ●、No.1-2 ■)

木造準耐火構造：消火効果による炭化影響

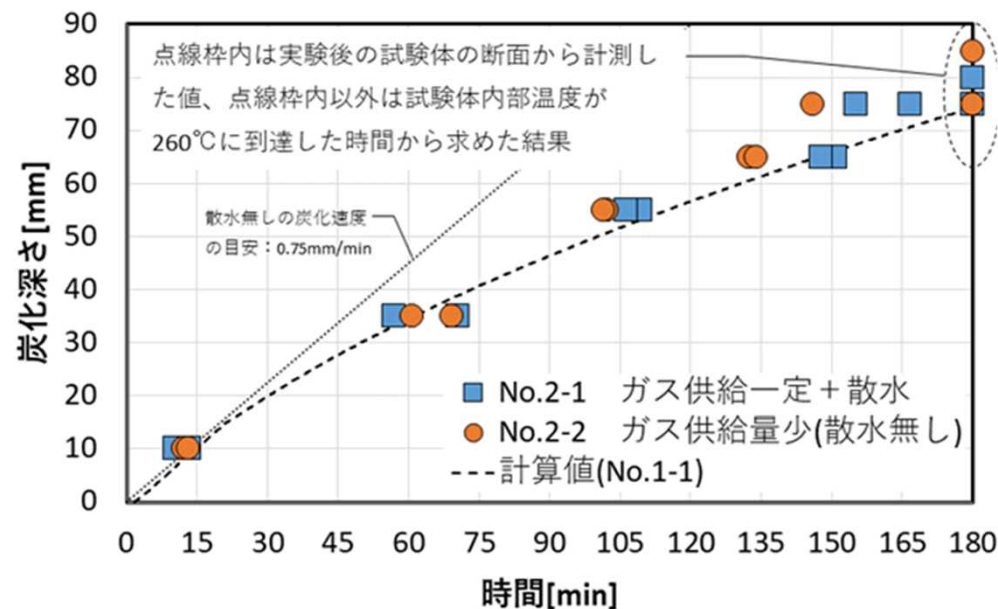
散水により冷却された火災室に曝された木質部材の熱応答性状確認実験

(5) 実験結果－実験2

- 図より、加熱開始後15分以降のNo.2-1とNo.2-2の炭化深さは0.75mm/minで算出される炭化深さよりも低い値で推移した。また、No.2-1とNo.2-2で炉内温度に大きな差が無い加熱開始後90分以前で比較すると、両者の炭化深さは概ね等しい。したがって、木質系部材に対して直接散水しない場合、散水中に炉内に多く存する水滴群や水蒸気が木質系部材の熱分解等を抑制する影響は少なく、散水はあくまで火災室の冷却、ひいては部材の受熱低減に寄与していると考えられる。

図中の破線は炭化境界面の熱収支より求めた炭化速度の推定結果である。

計算の結果、実験値と計算値は概ね一致しており、炉内に水が散布される条件においても当該炭化深さ推定手法が適用できることを確認した。ただし、炭化層表面の赤熱や炭化層の脱落が顕著となる場合には当該赤熱に伴う発熱や炭化層の焼失、炭化層の脱落を考慮する必要がある。



炭化深さの経時変化
(No.2-1 ■、No.2-2 ●)

（１）検討の目的と方法

- 現在、60分を超える燃えしろ設計では、通常の消火措置により火災が終了した後に、部材や接合部が崩壊に至らないことを確保するため、炭化後の残存断面を200mm以上確保することが求められている。
- また、耐火性能検証法では、260℃を木材の着火温度とし、煙層などの内に部材が長時間保持されたとしても、内部温度の上昇による耐力低下を一定程度に抑制するために小径200mm以上の部材にこの規定を適用することができることとなっている。しかしながら、現行の燃えしろ設計及び耐火性能検証法では、部材に断面内温度の分布やそれに基づく、部材の耐力評価を行っておらず、部材断面寸法については合理化できる可能性がある。

⇒本検討では、最小断面に関する基準の改善方針として、CLTパネルを用いた床の実大試験等により評価方法の構築に向けた検討を行う

（２）火災時におけるCLTパネルの載荷加熱試験

- 75分間、90分間準耐火構造を検討対象としているが、今年度は75分間準耐火構造の1体のみをとりまとめた。残存厚さが概ね150mmとなるように燃えしろ設計し、現行の最低残存断面厚さ200mmを低減可能かどうかを載荷加熱実験により検証する。
- 消火中においても安定的な挙動が期待できる床を対象とした。
- 部材に用いる樹種は、炭化速度が高くなりやすいスギを選定し、レゾルシノール樹脂接着剤を用いた同一等級構成のCLTパネルとした。入手性を考慮して、210mmの厚さの7層7プライのCLTパネル(S60-7-7 スギ)を用いることとした。
- 加熱条件は、上面は防火被覆が前提となるため、下面加熱を想定。75分間準耐火構造における燃えしろ設計を対象として、消火活動相当時間（放冷120分）を含んだ標準加熱後の消火放冷時間に必要となる残存断面を把握することとし、75分間準耐火構造における炭化深さは、 $61.875 \text{ mm} (75 \text{ min} \times 0.75 \text{ mm/min} \times 1.1)$ と想定、それと等価な炭化速度として、61分間の標準火災+120分間の消火時間として設定した。
- 床の載荷荷重については、初期断面に関して長期に許容される最大の応力が生じる荷重（A1）、75分間の標準加熱を想定した場合の残存断面に関する短期に許容される最大の応力が生じる荷重（A2）の最大値（ $\max(A1, A2)$ ）を採用した。

（３）75分間準耐火構造 試験結果

- 本検討での条件下での試験結果では、残存厚さは160mmとなった。
- 75分間準耐火構造の燃えしろ設計に関して、残存厚さ150mmを想定した床CLTパネルは、消火加熱の条件に関しても、十分な荷重支持能力を有していた。



加熱後の試験体の状況