

F5 : 防火被覆の効果を考慮した燃えし る設計法の合理化に資する検討

代表者

日本集成材工業協同組合

(一社) 日本CLT協会

(一社) 全国LVL協会

木構造振興株式会社

早稲田大学

東京理科大学

桜設計集団一級建築士事務所

共同研究機関 : 国立研究開発法人 建築研究所

調査内容

現行の燃えしろ設計法とメンブレン防火被覆設計法を応用した“防火被覆の効果を考慮した燃えしろ設計法”に関する技術的知見の整理を行うために以下の調査・実験等を行った。

- (イ) 防火被覆の炭化抑制効果に関する実験
- (ロ) 防火被覆の脱落抑制に関する実験
- (ハ) 複合部材、取合部の防火上有効な措置に関する実験

実施体制

集成材、直交集成板
(CLT)、単板積層材(LVL)、
製材の製造・供給団体と
木造耐火に関する知見
を有する大学、民間企業、
性能評価機関、木造に詳
しい設計者等で委員会を
構成し実施した。

事業主体

日本集成材工業協同組合[代表者]: 集成材
(一社)日本CLT協会: 直交集成板
(一社)全国LVL協会: 単板積層材
木構造振興株式会社: 製材
早稲田大学
東京理科大学
桜設計集団一級建築士事務所

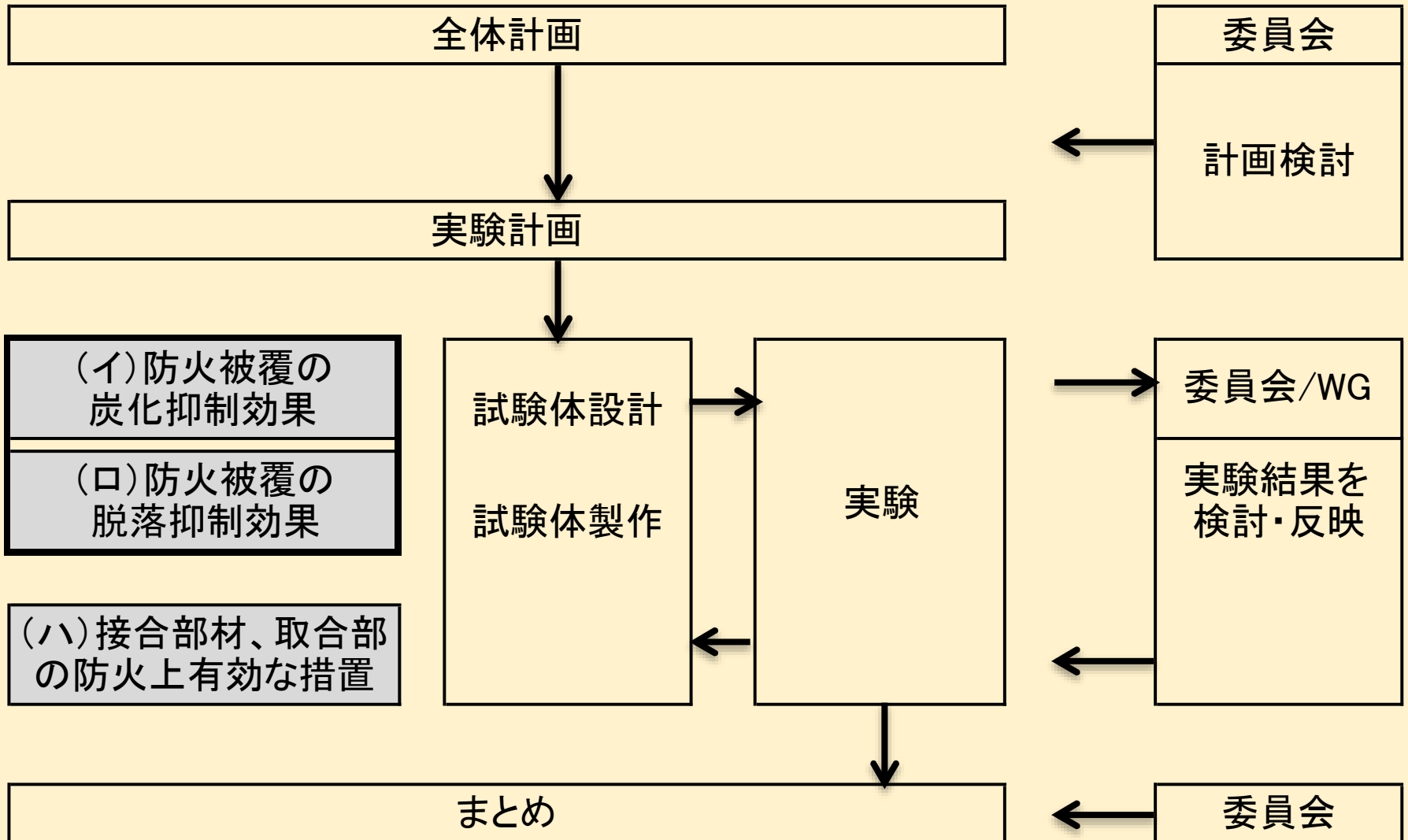
共同研究機関

国立研究開発法人 建築研究所

協力機関・協力会社

国土交通省国土技術政策総合研究所
(株)山辺構造設計事務所
国立研究開発法人森林総合研究所
(一財)日本建築総合試験所
(一財)建材試験センター
(一財)ベターリビングつくば建築試験研究センター
(公財)日本住宅・木材技術センター

検討の流れ



委員会：4回、WG：8回 開催し検討を進めた

対象とする部材

防耐火性能：準耐火構造

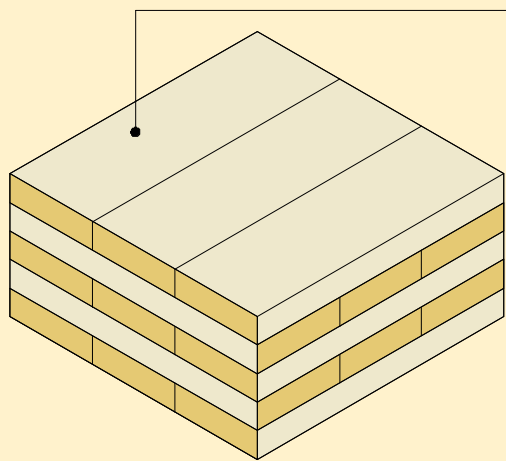
H27国告273号（1時間）

H12建告1358号（45分、30分）

部位：壁・床・柱・はり・（屋根）

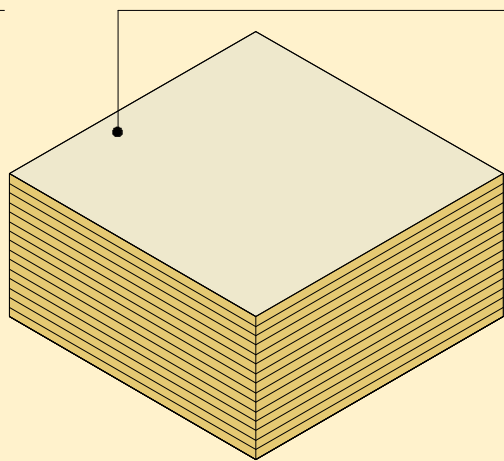
材料：集成材、単板積層材、直交集成板、製材（無垢材）

約30mmの挽き板を接着



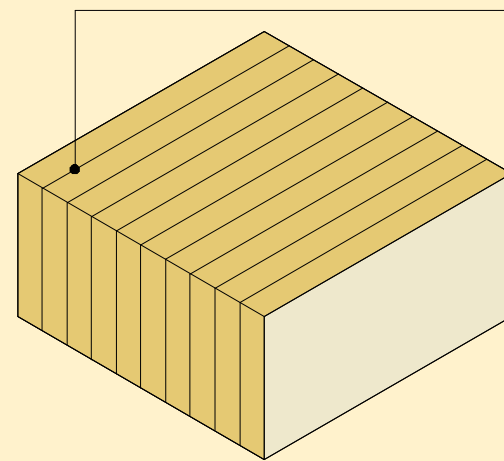
[直交集成板 (CLT)]

約3mmの薄板を接着



[単板積層材 (LVL)]

約30mmの挽き板を接着



[集成材パネル]

検討概要

(イ) 防火被覆の炭化抑制効果に関する実験

木造建築物の外装材、内装材に一般的に使用される防火被覆（せっこうボード、木材、金属板等）について、壁、床、柱、はりにおける被覆材仕様と炭化抑制効果の関係を系統的に把握する。

既存告示の燃えしろ寸法（1時間準耐火構造：45～60mm、45分準耐火構造：35～45mm）を、防火被覆によりどの程度、低減できるかを明らかにすることを目標とする。

検討概要

(ロ) 防火被覆の脱落抑制に関する実験

壁、床、柱、はり等の構造躯体は、防火被覆（せっこうボード、木材、金属板等）や不燃系断熱材による被覆により炭化が抑制され、その際、防火被覆や断熱材の脱落性状が影響を与えると考えられる。

そこで、防火被覆の種類と留め付け方法、断熱材の仕様と設置方法等を変化させた試験体による加熱実験を実施し、防火上有効な被覆材の脱落抑制手法を検討する。

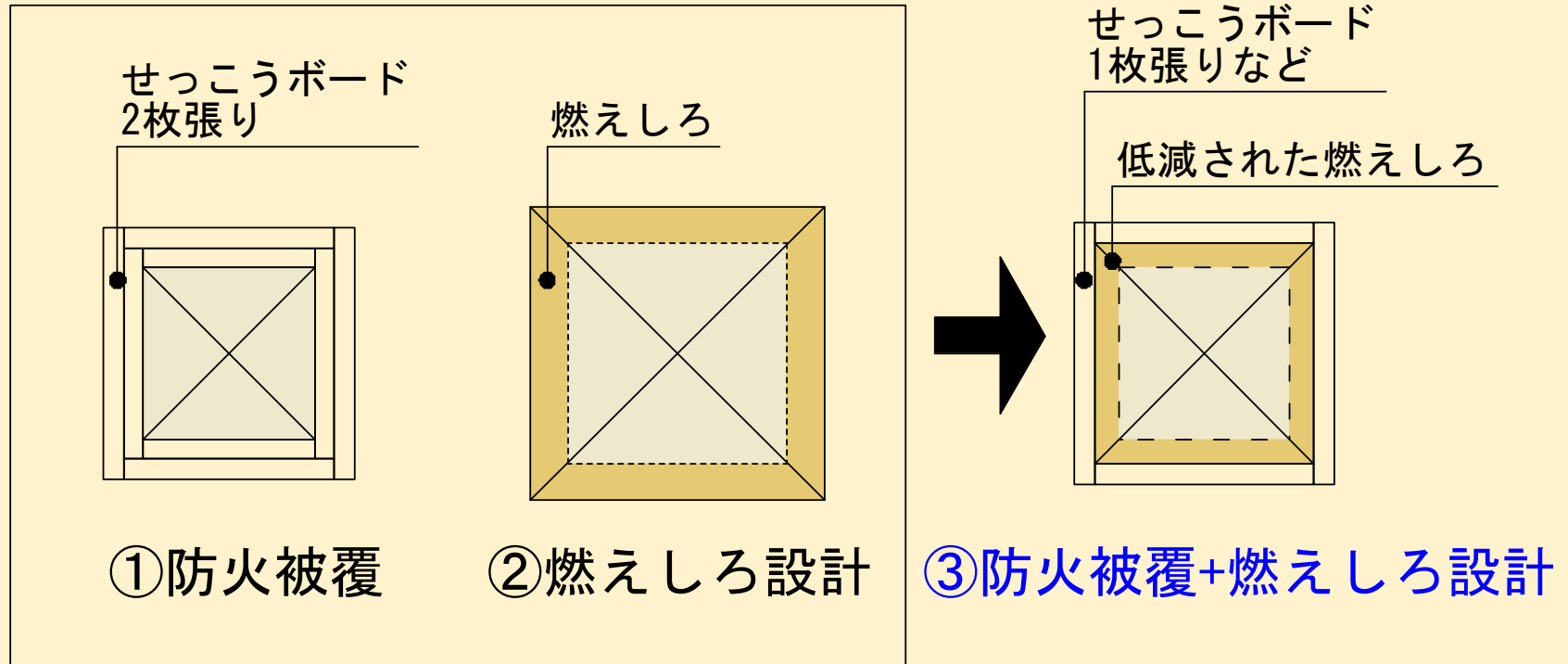
(イ) と (ロ) は関連性が高いのでまとめて検討を実施した

検討概要

(イ) 防火被覆の炭化抑制効果に関する実験

(ロ) 防火被覆の脱落抑制に関する実験

従来の防耐火設計（柱・はり）

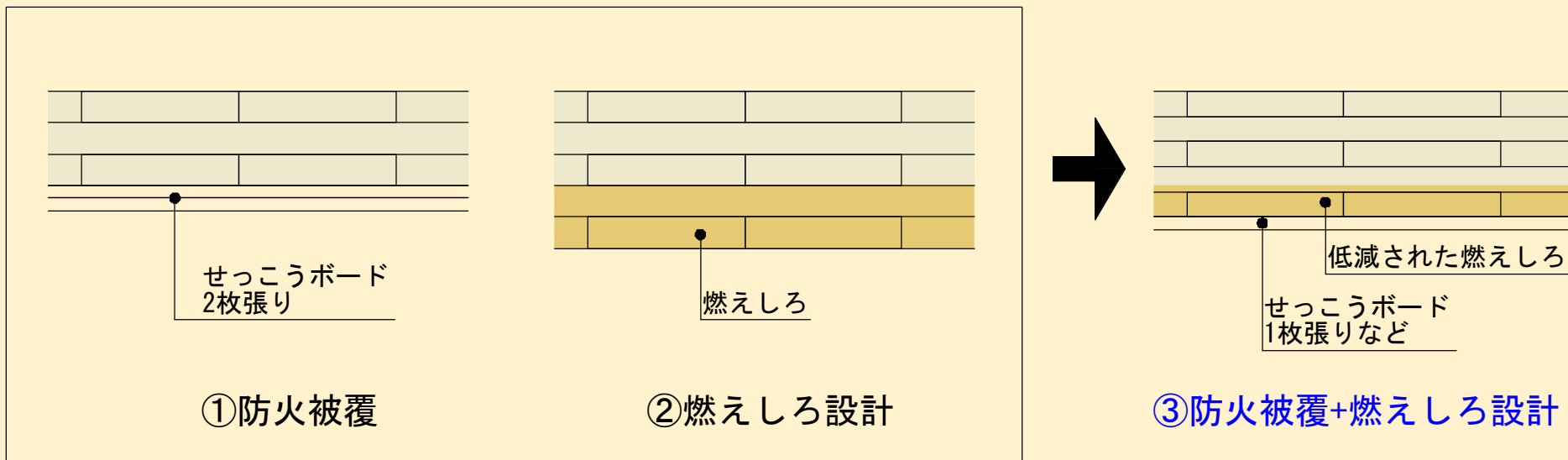


準耐火構造において非損傷性等を確保する手法を検討

検討概要

- (イ) 防火被覆の炭化抑制効果に関する実験
- (ロ) 防火被覆の脱落抑制に関する実験

従来の防耐火設計（壁・床・屋根）

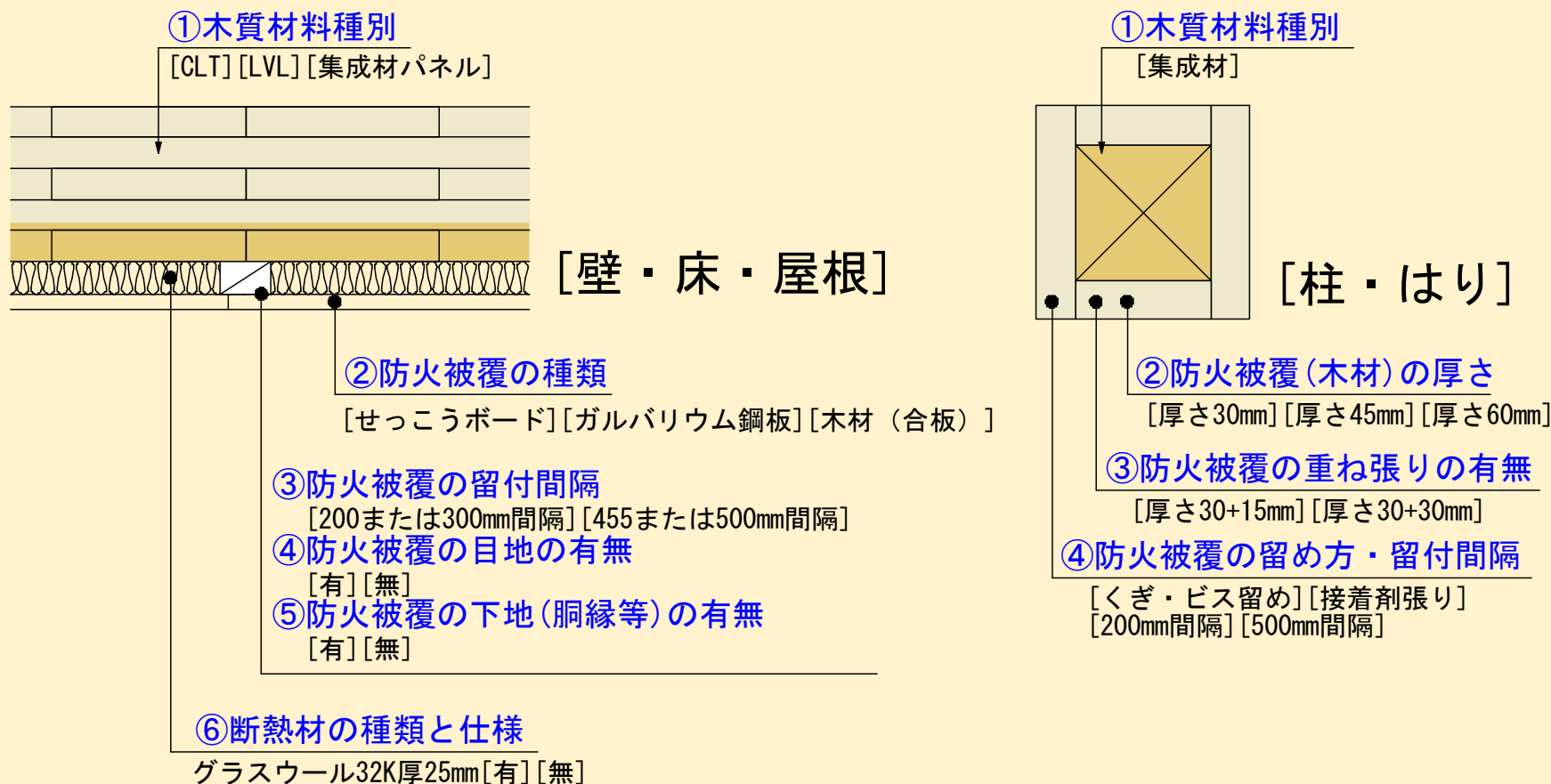


準耐火構造において非損傷性等を確保する手法を検討

検討概要

(イ) 防火被覆の炭化抑制効果に関する実験

(ロ) 防火被覆の脱落抑制に関する実験



上記の防火上重要なパラメータを変化させた

検討概要

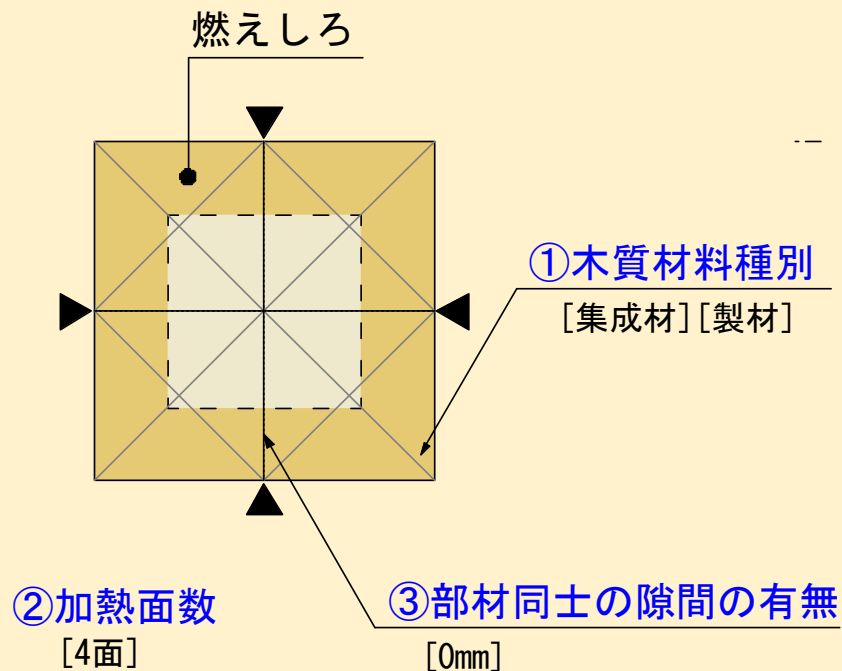
(ハ) 複合部材、取合部に関する実験

複数の柱やはりを組み合わせた場合や、柱やはりに壁・床が取り付いた場合は必ずしも4方向から加熱を受けず、燃えしろをとらなくても所定の非損傷性を満足する可能性がある。そこで、以下の2項目について、防火上有効な被覆措置について検討する。

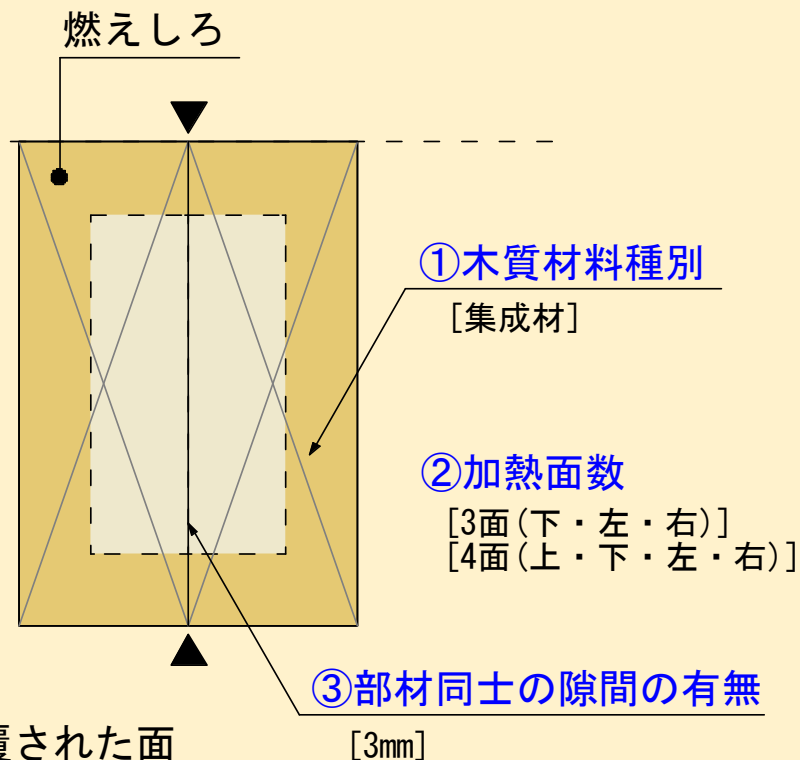
- ①小中断面部材を組み合わせた複合部材（合わせ柱、合わせはりなど）。
- ②柱やはりの一部に準耐火構造の壁や床がとりついた柱・はり。

検討概要

(ハ) 複合部材、取合部に関する実験



[合わせ柱(4本)]

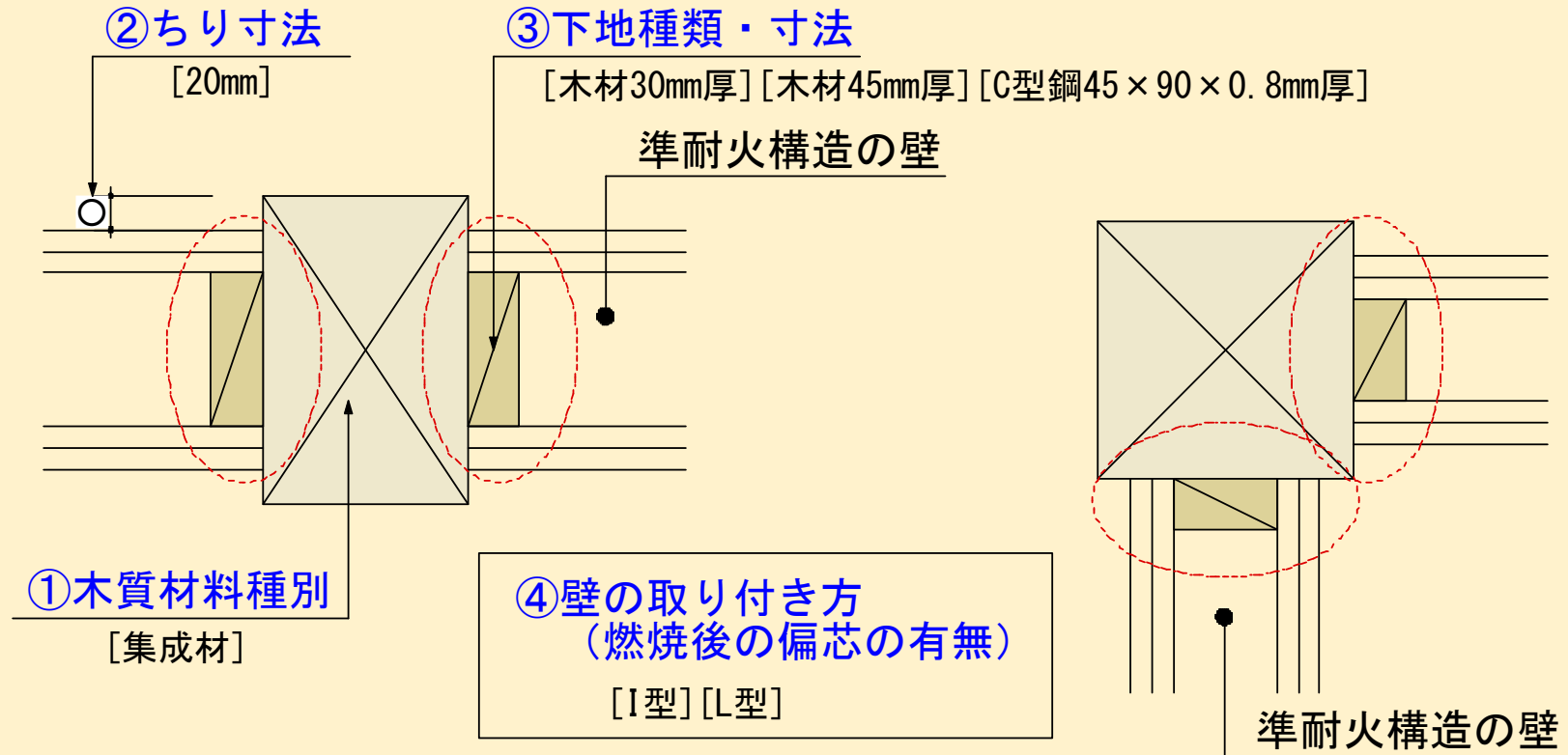


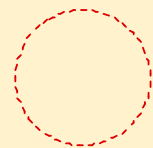
[合わせはり(2本)]

直接加熱を受けない部分の防火上有効な被覆措置を検討

検討概要

(ハ) 複合部材、取合部(柱と壁)に関する実験



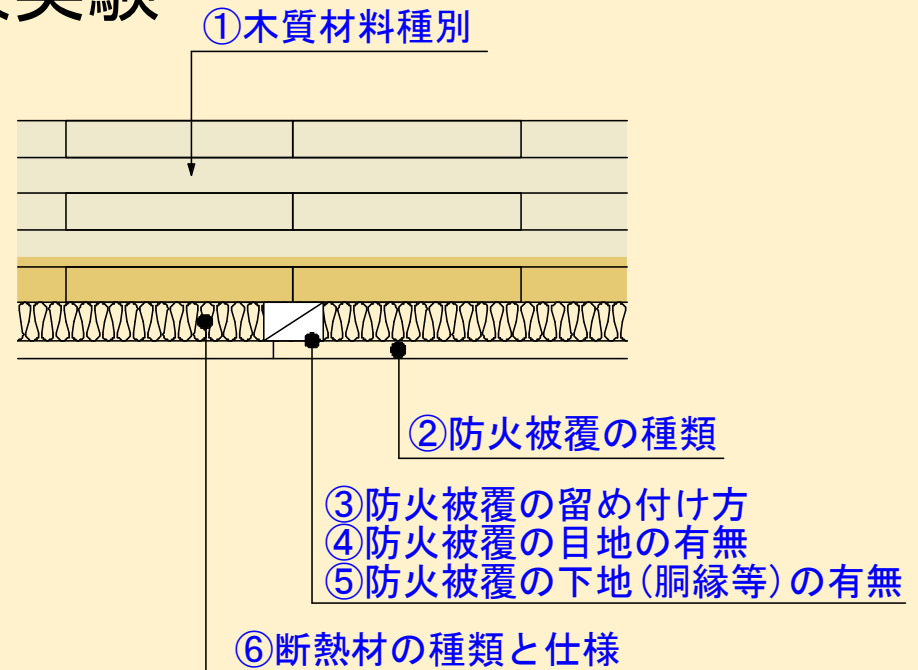
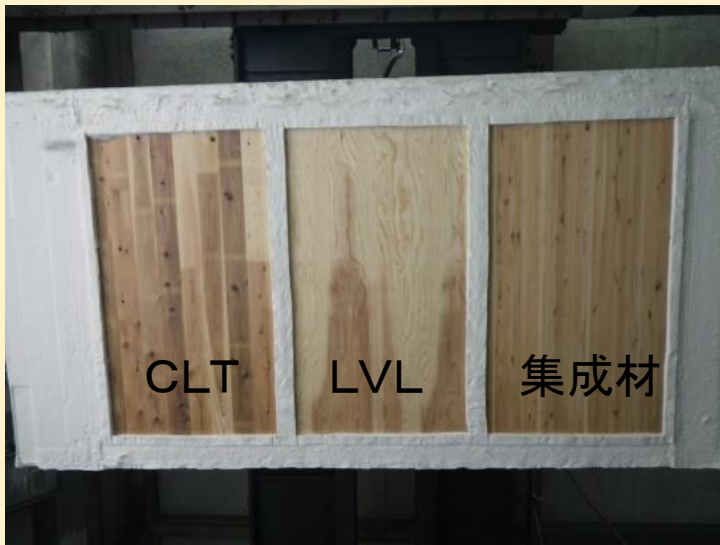
 =防火上有効に被覆された面

直接加熱を受けない部分の防火上有効な被覆措置を検討

- (イ) 防火被覆の炭化抑制効果に関する実験
- (ロ) 防火被覆の脱落抑制に関する実験

[1] 小型床試験体による比較実験

①～⑥の実験パラメータについて、合計17体
(W=1m×H1.7m×厚150mm)
の非載荷加熱実験を
実施した。

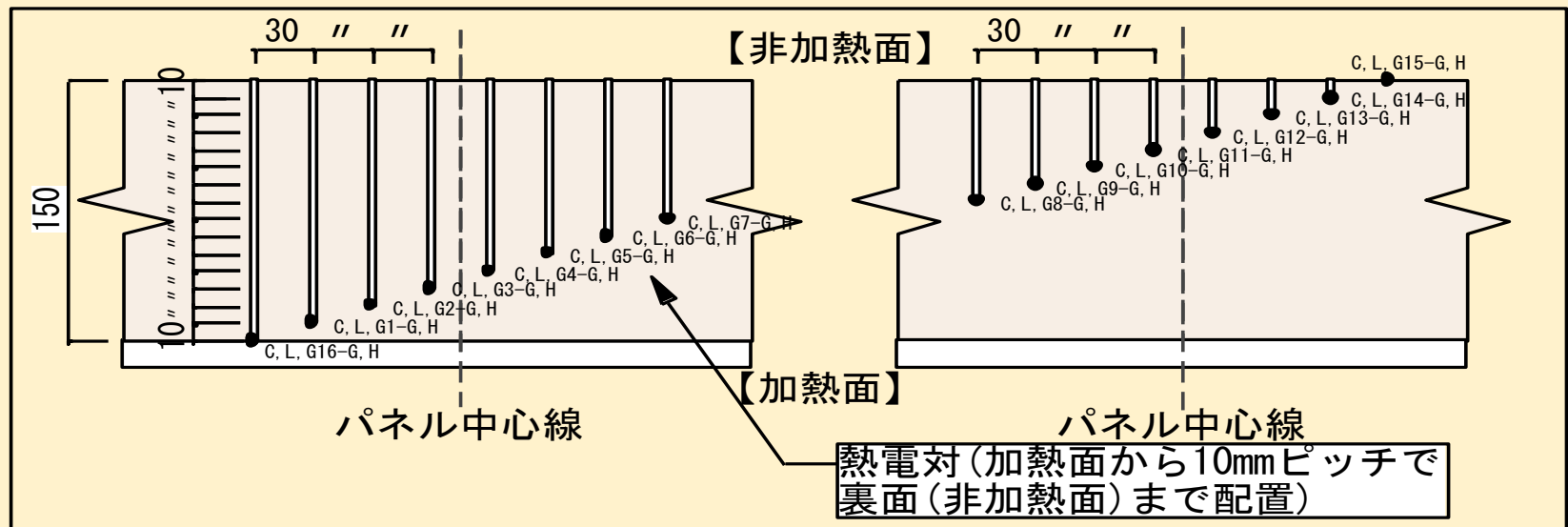


■実験パラメータ

- ① [CLT]、[LVL]、[集成材パネル]
- ② [せっこうボード]、[ガルバリウム鋼板]、[木材(合板)]
- ③ 留め付け間隔 [200または300mm]、[455mm]
- ④ 目地(処理なし)の [有]、[無]
- ⑤ 胴縁の [有]、[無]
- ⑥ グラスウール32K, 厚25mmの [有]、[無]

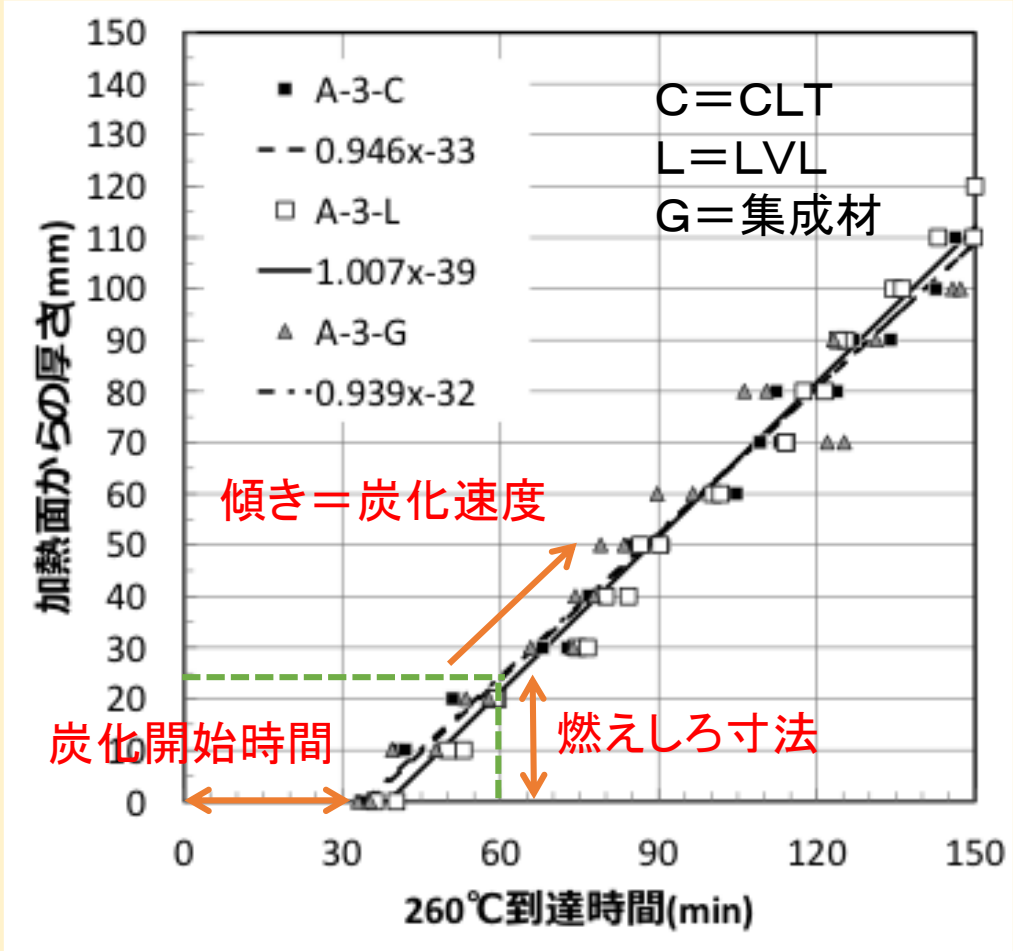
[1] 小型床試験体による比較実験

温度測定位置



部材の表面温度・内部温度が 260°C （木材の着火温度と想定）に到達した時間から炭化開始時間（炭化抑制時間）と炭化速度を算出

(イ)防火被覆の炭化抑制効果に関する実験
 (ロ)防火被覆の脱落抑制に関する実験



せっこうボード12.5厚被覆の260°C到達時間
 (留め付け間隔200mm)

45mm—燃えしろ寸法=燃えしろ低減寸法 (mm)

(イ)防火被覆の炭化抑制効果に関する実験
(ロ)防火被覆の脱落抑制に関する実験

CLT(スギ)150厚の実験結果

単位:mm

被覆仕様	最大留付間隔	断熱材	1時間時 燃えしろ 低減寸法
① 素地(被覆なし)	—	なし	0
② ガルバリウム鋼板0.35厚	300	なし	8
③ せっこうボード12.5厚	200	なし	21
④ せっこうボード15厚	200	なし	38
⑤ せっこうボード9.5厚	455	なし	13
⑥ せっこうボード15厚	455	なし	21
⑦ ガルバリウム鋼板0.35厚	455	GW32K25厚	28
⑧ せっこうボード12.5厚	455	GW32K25厚	17
⑨ 構造用合板15厚	455	なし	14

GW=グラスウール

1時間加熱時の想定燃えしろ寸法=45mm

[1] 小型床試験体による比較実験結果まとめ

防火被覆が脱落しやすい床試験体を用いた非載荷加熱実験から以下の知見を得た。

- ・ 主要な防火被覆ごとに、CLT, LVL, 集成材パネルの炭化開始時間、炭化速度、燃えしろ低減寸法を明らかにした
- ・ 1時間加熱を想定した場合、同じ被覆条件であれば、CLT, LVL, 集成材パネルの炭化開始時間、炭化速度、燃えしろ低減寸法はほぼ同じである
- ・ せっこうボード等の留め付け間隔が200→455mmに広がると燃えしろ低減寸法は小さくなる

[2] 実大壁・床試験体による載荷加熱実験

小型実験から得られた防火被覆（せっこうボード12.5mm, 15mm）による低減された燃えしろの妥当性について載荷加熱で確認

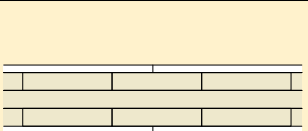
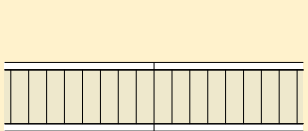


壁試験体 W3.2m × H3.0m
(荷重支持部分W2.0m)
試験体数: 4体 (CLT、集成材)



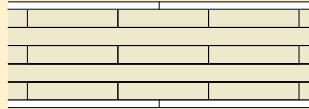
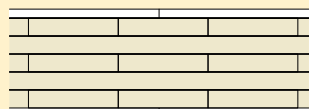
床試験体 L4.4m × D2.0m
(支持スパン4.32m)
試験体数: 4体 (CLT、集成材)

[2] 実大壁試験体による載荷加熱実験結果一覧

試験体 No.	仕様 (mm)	載荷荷重	加熱時間	防耐火時間 (目標時間)
W-1	 CLT(スギ)90厚 被覆材: せっこうボード12.5厚留 め付け間隔500	燃えしろ27mm除いた 断面の短期許容荷重 95.8kN	52分	52分 (60分)
W-2	 CLT(スギ)90厚 被覆材: せっこうボード15厚 留 め付け間隔500	炭化前全断面に長期 254kN	48.5分	48分30秒 (45分: 例 示仕様)
W-3	 集成材(スギ)90厚 被覆材: せっこうボード12.5厚 留め付け間隔500	燃えしろ27mm除いた 断面の短期許容荷重 207kN	59分	59分 (60分)
W-4	 集成材(スギ)90厚 被覆材: せっこうボード15厚 留 め付け間隔500	炭化前全断面に長期 331kN	57.5分	57分30秒 (45分: 例 示仕様)

W-1 (CLT) 及びW-3 (集成材) は、偏芯の影響を受け、1時間よりも前に座屈し、所定の防耐火性能を確保できなかった。

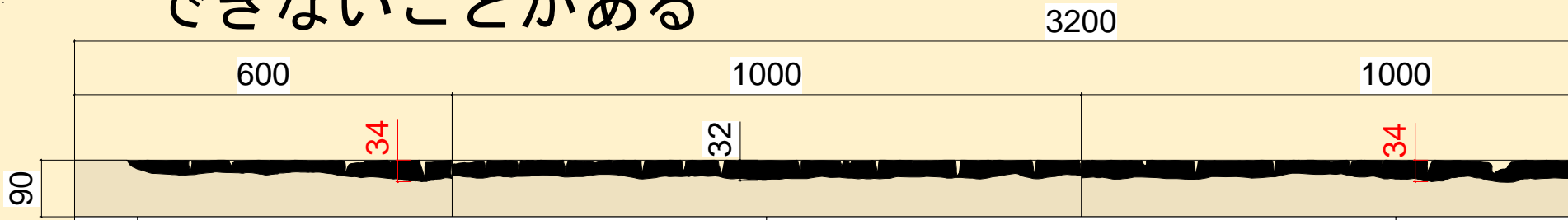
[2] 実大床試験体による載荷加熱実験結果一覧

試験体 No.	仕様 (mm)	載荷荷重	加熱時間	防耐火時間 (目標時間)
F-1	 <p>CLT(スギ)150厚 被覆材:せっこうボード12.5厚留 め付け間隔500</p>	燃えしろ27mm除いた 断面の短期許容荷重 36.24kN (3等分2線)	92分	92分 (60分)
F-2	 <p>CLT(スギ)150厚 被覆材:せっこうボード15厚 留 め付け間隔500</p>	炭化前全断面に長期 40.45kN (3等分2線)	100分	100分 (一)
F-3	 <p>集成材(スギ)150厚 被覆材:せっこうボード12.5厚留 め付け間隔500</p>	燃えしろ27mm除いた 断面の短期許容荷重 123.6kN (3等分2線)	80分	80分 (60分)
F-4	 <p>集成材(スギ)150厚 被覆材:せっこうボード15厚 留 め付け間隔500</p>	燃えしろ24mm除いた 断面の短期許容荷重 129.7kN (3等分2線)	82分	82分 (一)

防火被覆により低減された燃えしろ寸法の妥当性を確認

[2] 実大壁・床試験体による載荷加熱実験まとめ

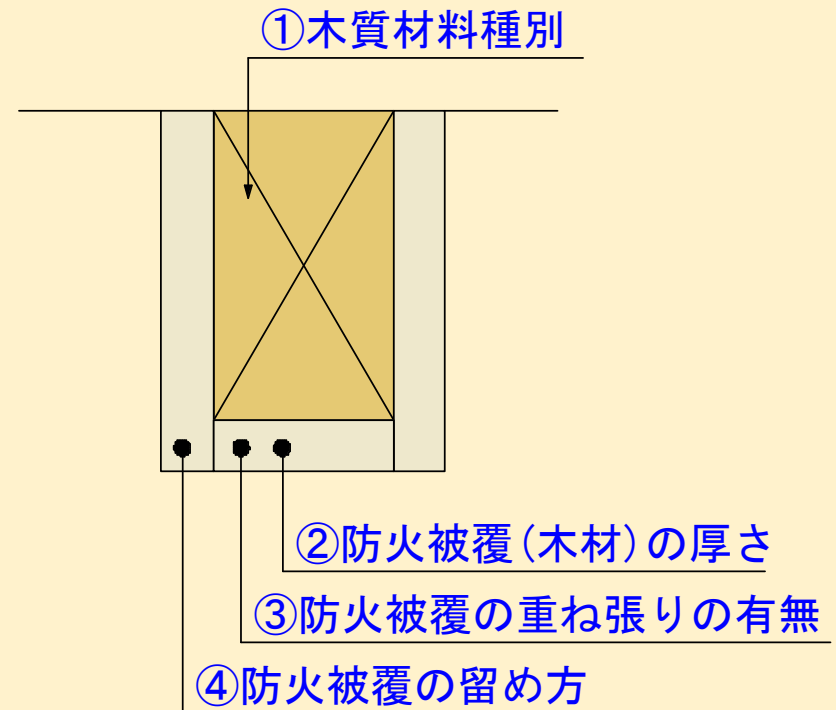
- ・ 厚さ150mmの厚板床パネル (CLT, 集成材) について
せっこうボード12.5mm厚を防火被覆にした場合、
燃えしろを18mm低減 (燃えしろ寸法27mm) 可能
- ・ 比較的薄い厚さ90mmの厚板壁パネル (CLT, 集成材)
について床と同じ防火被覆、燃えしろ寸法では、
燃焼後の偏芯の影響で所定の防耐火性能を確保
できないことがある



壁の加熱後断面 (W-1: CLT)

[3] 木材被覆されたはりの小型試験体による加熱実験

①～④の実験パラメータについて、合計7体 (L=1m) の非載荷加熱実験を実施し木材被覆の炭化抑制効果を確認



■ 実験パラメータ

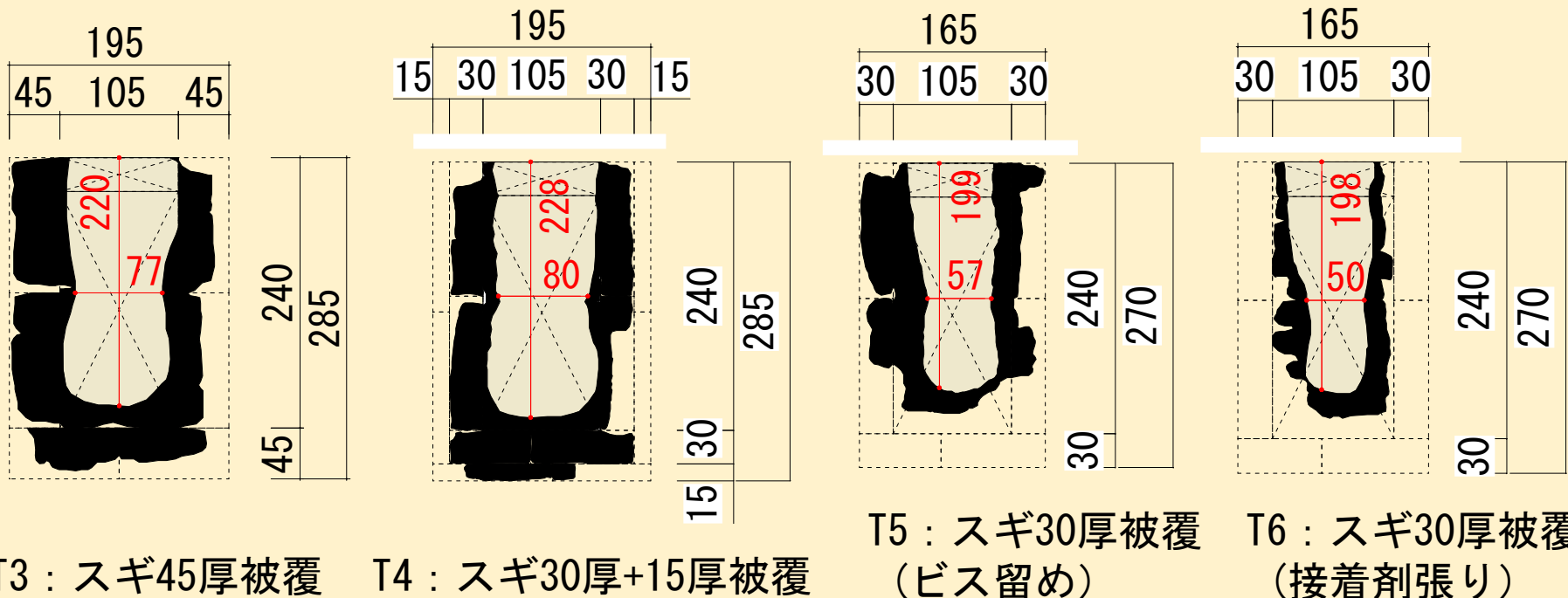
- ① [集成材]
- ② [厚さ30mm]、[厚さ45mm]、[厚さ60mm]
- ③ [厚さ30+15mm]、[厚さ30+30mm]
- ④ [くぎ・ビス留め]、[接着剤張り]

[3] 木材被覆されたはりの1時間加熱実験結果

	仕様 (mm)	構造躯体炭化開始時間(260°C到達時間)	
		出隅部	一般部
T1	 <p>スギ集成材(異等級構成)105×240 被覆材:木材(スギ)60厚 (留め間隔:200)</p>	49.5分	達せず
T2	 <p>スギ集成材(異等級構成)105×240 被覆材:木材(スギ)30厚×2枚張り (留め間隔:200)</p>	51.3分	達せず
T3	 <p>スギ集成材(異等級構成)105×240 被覆材:木材(スギ)45厚 (留め間隔:200)</p>	37.1分	41.7分
T4	 <p>スギ集成材(異等級構成)105×240 被覆材:木材(スギ)30厚+15厚 (留め間隔:200)</p>	35.8分	39.7分
T5	 <p>スギ集成材(異等級構成)105×240 被覆材:木材(スギ)30厚/ビス留め (留め間隔:200)</p>	19分	26分
T6	 <p>スギ集成材(異等級構成)105×240 被覆材:木材(スギ)30厚/接着剤</p>	24.5分	28.3分

[3] 木材被覆されたはりの1時間加熱実験結果まとめ

- スギ厚さ60mm、45mm、30mmを被覆したはりに
ついて、留め付け方法、重ね張りの有無に応じた
加熱1時間時の内部温度変化・炭化性状を把握した



[4] 防火被覆された柱・はりの載荷加熱実験

小型実験から得られた防火被覆（木材30、45mm、せっこうボード12.5mm（柱のみ））の効果を載荷加熱実験で確認

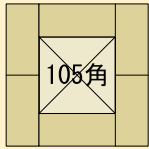
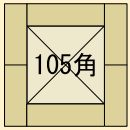



柱試験体 L 3.3m
試験体数: 3体 (集成材)



はり試験体 L 5.1m
試験体数: 2体 (集成材)

[4] 防火被覆された柱の載荷加熱実験

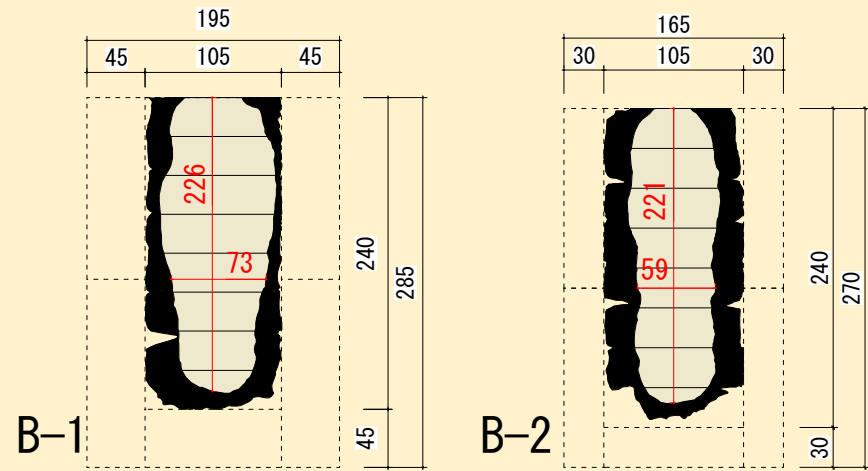
試験体 No.	仕様 (mm)	載荷荷重	加熱時間	防耐火時間 (目標時間)
C-1	 スギ集成材(同一等級構成)105×105 被覆材:木材(スギ)45厚	柱の短期許容荷重 38.4kN	64分	63分46秒 (60分)
C-2	 スギ集成材(同一等級構成)105×105 被覆材:木材(スギ)30厚	柱の短期許容荷重 38.4kN	45分40秒	45分32秒 (45分)
C-3	 スギ集成材(同一等級構成)150×150 被覆材:せっこうボード12.5厚	燃えしろ27mm除いた柱の短期許容荷重 29.1kN	53分30秒	53分15秒 (60分)

- ・ 今回の木材被覆厚の場合、燃えしろをとらなくても目標とする防耐火性能を満足する
- ・ せっこうボード12.5mm (最大留め付け間隔500mm) 被覆し、壁・床と同じ燃えしろ27mmとした柱は1時間より前に座屈した

[4] 防火被覆されたはりの載荷加熱実験

試験体 No.	仕様 (mm)	載荷荷重	加熱時間	防耐火時間 (目標時間)
B-1	 スギ集成材(同一等級構成)105×240 被覆材:木材(スギ)45厚	はりの短期許容荷重 16.9kN (3等分2線)	64分50秒	64.5分 (60分)
B-2	 スギ集成材(同一等級構成)105×240 被覆材:木材(スギ)30厚	はりの短期許容荷重 17.3kN (3等分2線)	54分	54.5分 (45分)

- 今回の木材被覆厚の場合、燃えしろをとらなくても目標とする防耐火性能を満足する



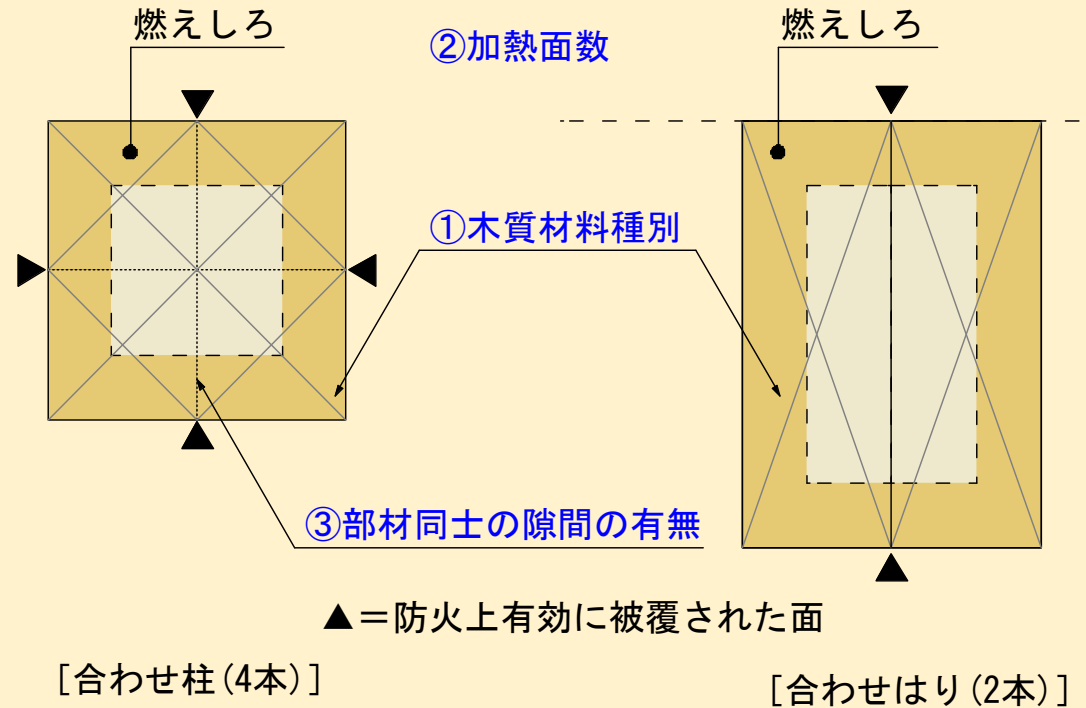
[4] 防火被覆された柱・はりの載荷加熱実験まとめ

- 木材厚さ30mm被覆した柱及びはりは、燃えしろをとらなくても45分準耐火構造の要求性能を満足する
- 木材厚さ45mm被覆した柱及びはりは、燃えしろをとらなくても1時間準耐火構造の要求性能を満足する
- せっこうボード12.5mm（最大留め付け間隔500mm）被覆し、壁・床と同じ燃えしろ27mmとした柱は53分の非損傷性（目標1時間）を有する

(ハ)複合部材、取合部の防火上有効な 措置に関する実験

[5] 合わせ柱・はりの載荷加熱実験

①～③の実験パラメータについて、柱2体、はり3体の載荷加熱実験を実施し、直接加熱を受けない部分の防火上有効な被覆措置を検討



■実験パラメータ

- ① [集成材]、[製材]
- ② [3面 (下・左・右)]、[4面 (上・下・左・右)]
- ③ [0mm (柱)]、[3mm (はり)]

[5] 合わせ柱・はりの載荷加熱実験

4本合わせ柱、2本合わせはりについて、一体断面と同様の燃焼性状、荷重支持能力となるための複合仕様を検討

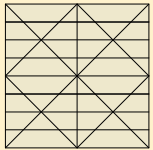


柱試験体 L 3.5m
試験体数: 2体 (集成材, 製材)
部材間の隙間 0mm



はり試験体 L 5.4m
試験体数: 3体 (集成材)
部材間の隙間 3mm

[5] 合わせ柱の載荷加熱実験

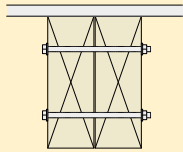
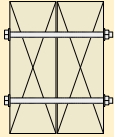
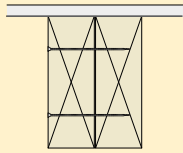
試験体 No.	仕様 (mm)	載荷荷重	加熱時間	防耐火時間 (目標時間)
TC-1	 スギ集成材 (同一等級構成) 105×105 4本 L185ビス@1000留め	燃えしろ45mm除いた柱の短期許容荷重 17.2kN	58分30秒	58分20秒 (60分)
TC-2	 スギ製材 105×105 4本 L185ビス@1000留め	燃えしろ60mm除いた断面の短期許容荷重 6.2kN	88分	88分 (60分)

- ・ 集成材(45mm)、製材(60mm)の燃えしろ寸法の違いにより荷重支持能力が異なる
- ・ 告示の燃えしろ寸法の大きい
(燃焼後の荷重支持能力が低い)
製材は目標の防火性能を満足した
- ・ 燃え方は一体断面とほぼ同じ



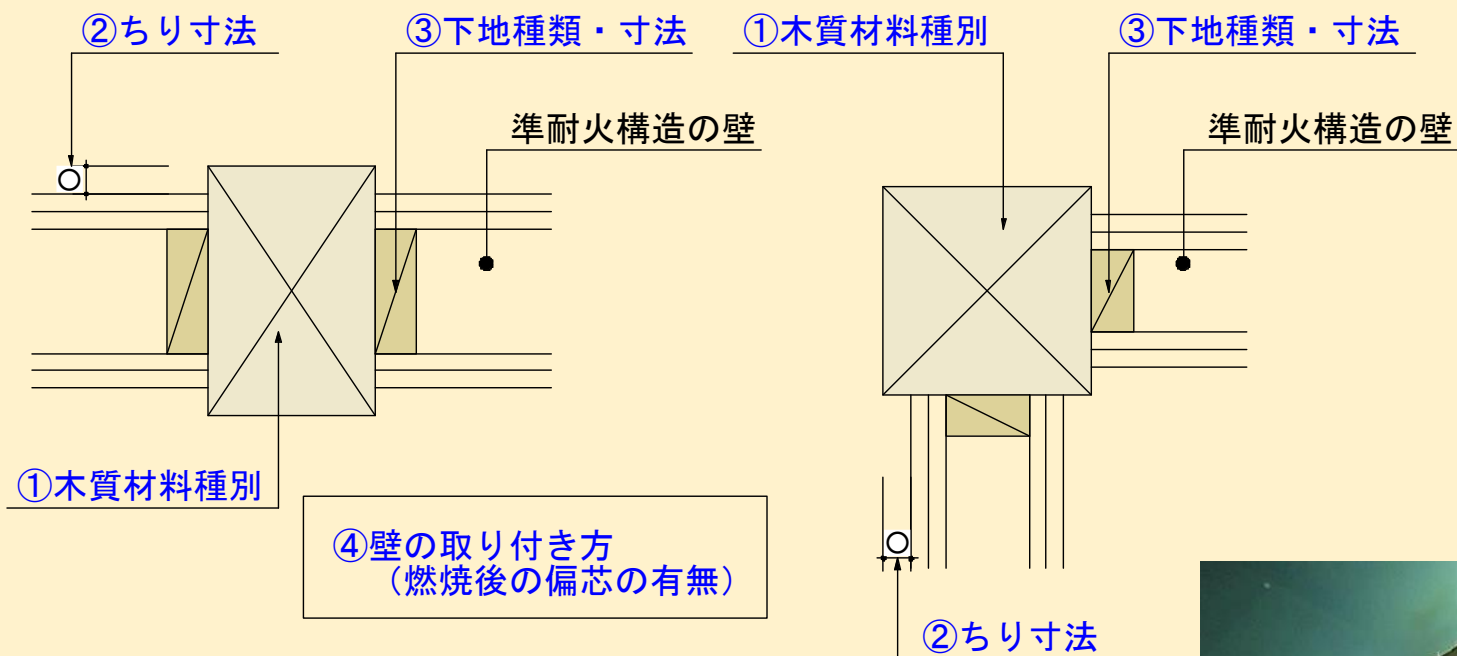
TC-1

[5] 合わせはりの載荷加熱実験

試験体 No.	仕様 (mm)		載荷荷重	加熱時間	防耐火時間 (目標時間)
TB-1		スギ集成材(対称異等級構成)105×300 2本(隙間3)ノボルト留め[3面加熱]	燃えしろ45mm除いたはりの短期許容荷重 21.76kN (3等分2線)	56分30秒	56分30秒 (60分)
TB-2		スギ集成材(対称異等級構成)105×300 2本(隙間3)ノボルト留め[4面加熱]	燃えしろ45mm除いたはりの短期許容荷重 14.69kN (3等分2線)	49分30秒	49分30秒 (60分)
TB-3		スギ集成材(対称異等級構成)105×300 2本(隙間3)ノビス留め[3面加熱]	燃えしろ45mm除いたはりの短期許容荷重 21.76kN (3等分2線)	62分	62分 (60分)

- ・ ビスで複合した場合、目標の防火性能を達成可能
- ・ 隙間3mmの場合、部材間へ熱侵入が起こる
- ・ 露出するボルト周辺の燃焼が促進される傾向がある

[6] 準耐火構造壁がとりつく柱の加熱実験



■実験パラメータ

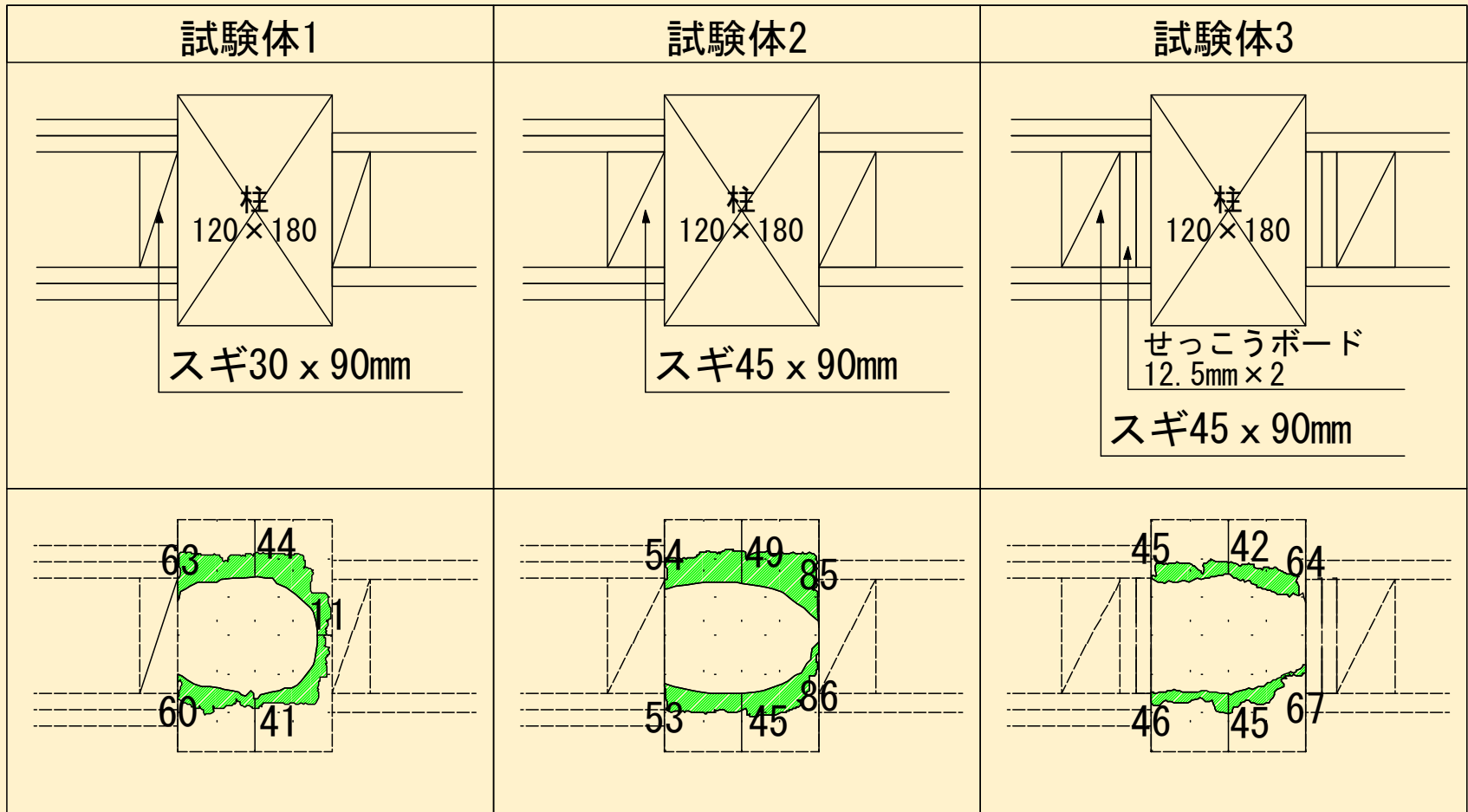
- ① [集成材]
- ② [20mm]
- ③ [木材30mm厚]、[木材45mm厚]、[C型钢45×90×0.8mm厚]
- ④ [I型]、[L型]

①～④について、直接加熱を受けない部分の防火上有効な被覆措置を検討



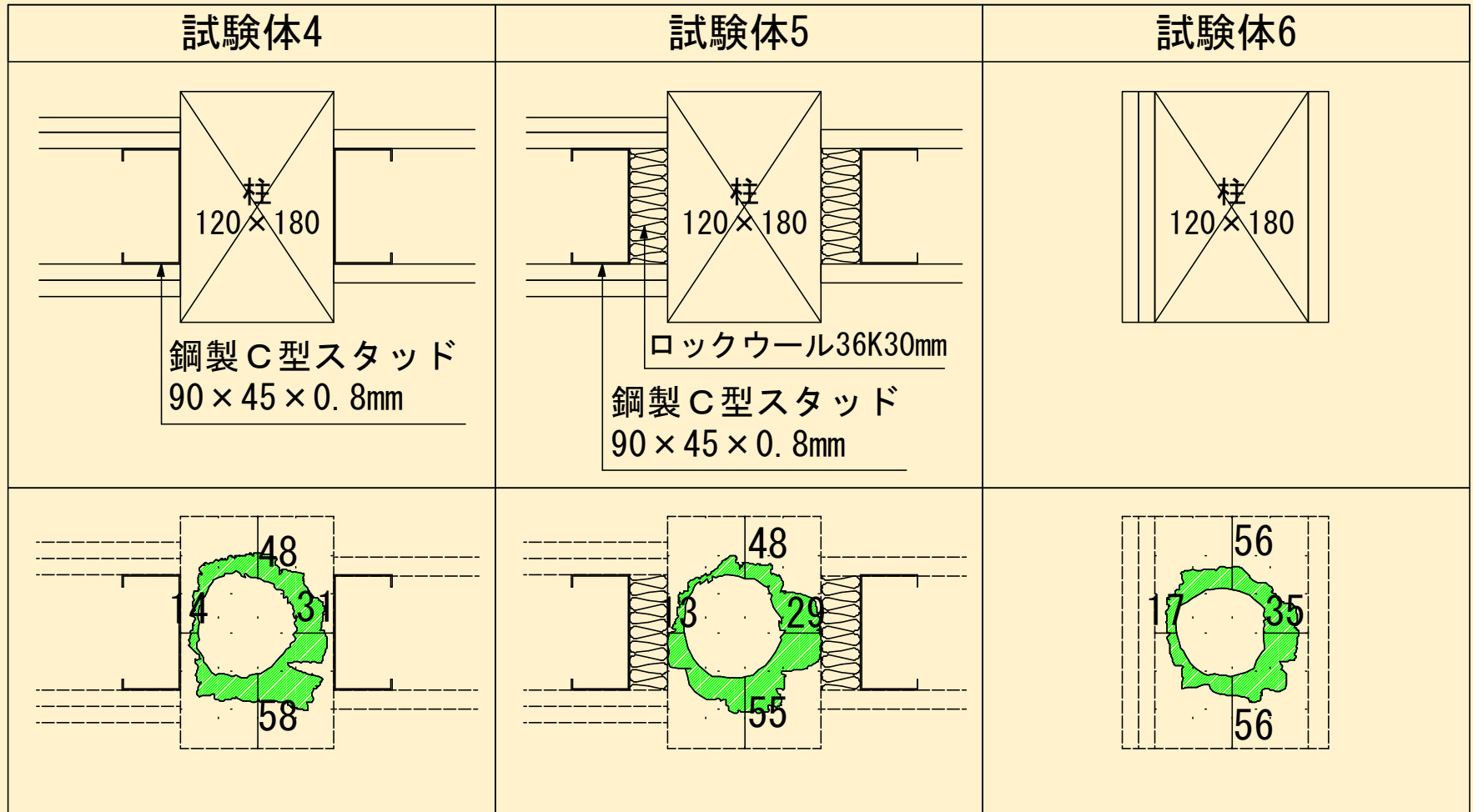
小型試験体による比較実験

[6] 準耐火構造壁がとりつく柱の小型試験体による比較



- ・ 高さ1.8mの試験体1～6（壁と柱の取り合い部の仕様を変化）により1時間時の柱の炭化性状を把握
- ・ 木材（被覆材の受材兼用）により防火上有効に柱を被覆可能

[6] 準耐火構造壁がとりつく柱の小型試験体による比較



※壁（試験体6は柱）の被覆材は図の左半分が“せっこうボード厚さ12.5mm×2枚[1時間□□準耐火構造]”、右半分が“せっこうボード厚さ15mm[45分準耐火構造]”張りとした。

※上段は試験体図、下段は加熱後の柱の炭化状況図を示す

[6] 準耐火構造壁がとりつく柱の載荷加熱実験

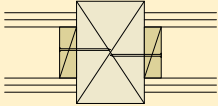
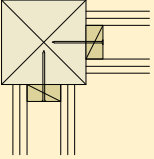


燃焼後の断面の偏芯の影響を受けない
I型と受けるL型
(偏芯を考慮した荷重の低減なし)
について、載荷加熱実験で非損傷性を検討

I型壁一柱取り合い部
1体、集成材

L型壁一柱取り合い部
1体、集成材

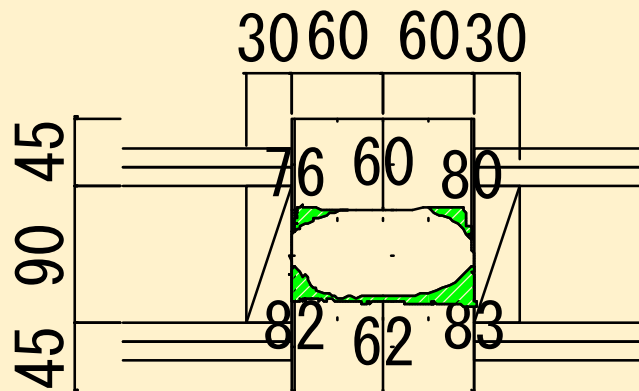
[6] 準耐火構造壁がとりつく柱の載荷加熱実験

試験体 No.	仕様 (mm)	載荷荷重	加熱時間	防耐火時間 (目標時間)
CW-1	 <p>スギ集成材(同一等級構成)120×180 [壁構成(I型)] せっこうボード12.5厚×2枚張り +受材:スギ30×60、柱と壁のちり20</p>	燃えしろ45mm除いた柱の短期許容荷重 26.6kN	71分45秒	71分30秒 (60分)
CW-2	 <p>スギ集成材(同一等級構成)150×150 [壁構成(L型)] せっこうボード12.5厚×2枚張り +受材:スギ30×60、柱と壁のちり20</p>	燃えしろ45mm除いた柱の短期許容荷重 40.3kN	43分	43分 (60分)

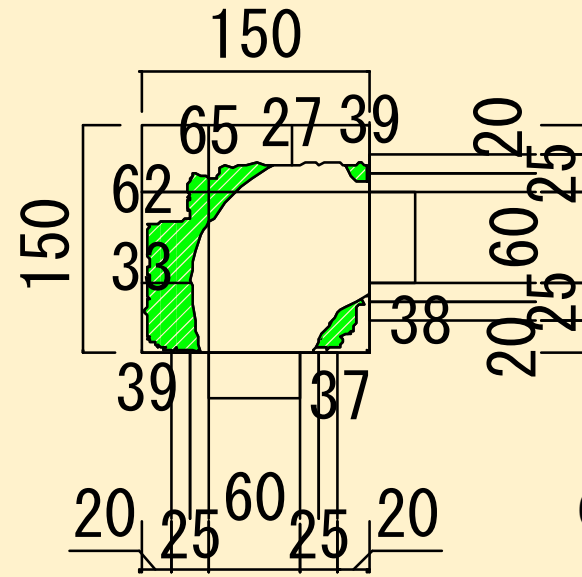
- ・ 露出する面から燃えしろ45mmを除いた断面に短期許容荷重を載荷すると、燃焼後断面が偏芯するL型壁-柱の非損傷性は1時間に満たない。
- ・ 木材(被覆材の受材兼用)により防火上有効に柱を被覆可能

[6] 準耐火構造壁がとりつく柱の加熱実験まとめ

- ・ 準耐火構造の壁が柱に I 型で取り付いた場合、露出する面から燃えしろ45mmを除いた断面に短期許容荷重を載荷すると、1時間以上の非損傷性を達成可能
- ・ 準耐火構造の壁が柱に L 型で取り付いた場合、露出する面から燃えしろ45mmを除いた断面に短期許容荷重を載荷すると、燃焼後断面が偏芯するため非損傷性は1時間に満たない。
- ・ 木材（被覆材の受材兼用）により防火上有効に柱を被覆可能



CW-1加熱後断面



CW-2加熱後断面

総括

現行の燃えしろ設計法とメンブレン防火被覆設計法を応用した“防火被覆の効果を考慮した燃えしろ設計法”の提案のために以下の(イ)～(ハ)の実験的な検討を行い、技術的知見を得た。

- (イ) 防火被覆の炭化抑制効果に関する実験
- (ロ) 防火被覆の脱落抑制に関する実験
- (ハ) 複合部材、取合部の防火上有効な措置に関する実験

総括

(イ) 防火被覆の炭化抑制効果に関する実験

(ロ) 防火被覆の脱落抑制に関する実験

- ・ 主要な防火被覆（せっこうボード、金属板など）ごとにCLT, LVL, 集成材パネルの炭化開始時間、炭化速度、燃えしろ低減寸法を明らかにした。
- ・ せっこうボード等の留め付け間隔が広がると防火被覆の脱落が早くなり燃えしろ低減寸法は小さくなることを明らかにし、代表的な留め付け間隔について、燃えしろ低減寸法を明らかにした。

総括

(イ) 防火被覆の炭化抑制効果に関する実験

(ロ) 防火被覆の脱落抑制に関する実験

- ・厚さ150mmの厚板床パネル(CLT, 集成材)について、防火被覆の炭化抑制効果を考慮した燃えしろ設計の考え方を提案した。
- ・厚さ90mmの厚板壁パネル(CLT, 集成材)について、残存断面が薄くなると偏芯の影響が生じるため燃えしろ設計においてはこの影響を考慮するなど対策が必要といえる。

総括

(イ) 防火被覆の炭化抑制効果に関する実験

(ロ) 防火被覆の脱落抑制に関する実験

- ・ 燃えしろをとらずに45分及び1時間準耐火構造の柱、はりの要求性能を満足する木材被覆厚さを明らかにした。
- ・ せっこうボード被覆の柱の場合、壁・床と同じ燃えしろでは、同様の非損傷性（目標1時間）を達成できないことがある。

総括

(ハ) 複合部材, 取合部の防火上有効な措置に関する実験

- ・ 合わせ柱は部材間の隙間が生じなければ、一体断面の場合とほぼ同じ残存断面となる。
- ・ 合わせ柱・はりには、ビスやボルトの露出部分が大きくなるとその部分の燃焼が助長されることがある。
- ・ 準耐火構造の壁が取り付く柱の非損傷性は、柱の偏芯有無により大きく異なる。

謝辞

本事業を行うに当たり、多くの方々のご協力を得ました。記して感謝の意をあらわします。

東亜理科 [試験体製作]

山辺構造事務所

山田憲明構造設計事務所

福山弘構造デザイン

縦建築事務所 [以上、複合部材の設計事例提供]

終

ご静聴ありがとうございました