

令和元年度建築基準整備促進事業

(F17)

新たな基準に対応した高度な準耐火構造の 仕様等の告示化の検討

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

改正後の建築基準法21条において、耐火構造とする代わりに通常火災終了時間の加熱中は倒壊しない構造方法が、同法第61条において外壁の性能を強化する構造方法がそれぞれ規定され、60分を超える準耐火構造として位置づけられることとなったが、これを適用する準耐火構造の告示仕様が一部を除き定められていない。

また、木造の中層化に伴い、柱・はり等の接合部の取扱いについても仕様を明確にする必要がある。

→60分を超える一定時間の性能を有する仕様を告示化するため、性能確保のための方策の検討や接合部の評価方法の検討、実験等を行い、告示仕様の提案を行う。

実施概要

本事業は令和1～2年度の2か年にわたり75分～120分の被覆型、燃えしろ型での仕様の検討を行う。

告示上の性能		準耐火性能				
		75分間	90分間	105分間	120分間	120分超
被覆型	柱	○	他事業 で実施	(R1)	R1～2	R1～2**
	梁				R1	
	床					
	壁					
	軒裏	R1	(R2)	R2*	—	
燃えしろ型	軒裏面戸	R2	(R2)	R2*	—	
	柱・梁	○	(R1)	(R2)	(R2)	—
	柱梁接合部	R1	R1	(R2)	R2	—

Rは令和の略。

○は既に仕様が示されているもの。

—は未だ仕様が示されていないもの(本事業の検討対象外)。

表中の()は、これまでの知見・他の仕様の実験(次年度の実験を含む)で仕様の提案が可能な部分。

*は予算等の制約で実施するかは次年度の委員会で判断する。

**は当初計画していたものの予算の制約で実施しない。

実施体制

検討委員会

委員長	河野守	東京理科大学
委員	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
	林 吉彦	建築研究所
	鍵屋浩司	建築研究所
	野秋政希	建築研究所
協力委員	成瀬友宏	国土交通省国土技術政策総合研究所
	鈴木淳一	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

TF

メンバー	成瀬友宏	国土交通省国土技術政策総合研究所
	鈴木淳一	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
	野秋政希	建築研究所

事務局	小林道和、花井厚周、長岡勉	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

75分間以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

75分間を超える準耐火構造を調査対象とし、特にその告示仕様の必要防火被覆厚さについて検討する

部位/種類			75分	90分	120分
外壁等	被覆型 外壁、 間仕切壁	本体	GB-F(V) 総厚42mm ¹⁾	GB-F(V) 総厚50mm ¹⁾	R1
		接合部	(R1)	(R1)	(R2)
	被覆型、 燃えしろ型 軒	本体	R1	R1	(R2)
		納まり	(R1)	(R1)	(R2)
柱・梁 床	被覆型	本体	GB-F(V) 総厚46mm ¹⁾	GB-F(V) 総厚55mm ¹⁾	R1
		接合部			

1) 90分間準耐火構造の壁、柱、梁、床の構造方法に関しては、既往の検討(基整促F13及び建築研究所の研究課題等)により、強化せっこうボード被覆の仕様を引用した。「1時間超の木質系準耐火部材の安全率と必要被覆厚さ:成瀬友宏, 鈴木淳一, 高橋 済, 日本建築仕上学会 2019年大会学術講演会発表論文, 2019.10」

※告示仕様にあつては、90分間準耐火構造までは15分刻み、それ以降は、30分刻みの性能で仕様を検討する。例えば、75, 90, 120, 150, 180 210分とする。

75分以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

(1) 被覆型小規模試験 (柱・梁)

目的：主要構造部（柱、梁、床・屋根、壁・間仕切壁）を対象として、基本となる主要構造部の性能を把握する

→被覆厚さを主たる実験変数とした小断面木材の柱・梁試験体を加熱して、90分以上の時間で防火被覆された木部の炭化が発生する条件（防火被覆厚さと炭化開始時間）を明らかにする。

被覆型小規模試験 (柱・梁) 試験体一覧

No.	種類	部位	非載荷/載荷	試験体の概要	加熱条件	樹種	合計被覆厚さ
CGS-1	被覆型	柱	非載荷	GB-F(V) 21mm×2+0.5TK 15mm	ISO834	スギ	57
CGS-2				GB-F(V) 21mm×2+0.5TK 25mm		スギ	67
CGS-3				GB-F(V) 21mm×2+0.5TK 35mm		スギ	77
CGS-4				0.2TK 20mm+GB-F(V) 25mm+0.5TK		スギ	60
BGS-1		梁		GB-F(V) 21mm×2+0.5TK 15mm		スギ	57
BGS-2				GB-F(V) 21mm×2+0.5TK 25mm		スギ	67
BGS-3				GB-F(V) 21mm×2+0.5TK 35mm		スギ	77
BGS-4				0.2TK 20mm+GB-F(V) 25mm+0.5TK		スギ	60

※標準加熱下で140分を超える時間となった場合、ひる石入り強化せっこうボードGB-F(V)では準耐火性能がばらつき、再現性が不安定となるため、表面は耐熱性の高いゾノトライト系けい酸カルシウム板としている。

75分間以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

(1) 被覆型小規模試験 (柱・梁)

試験方法：JIS A 1304:2017 「建築構造部分の耐火試験方法」及びISO834シリーズに基づき実施

柱試験体



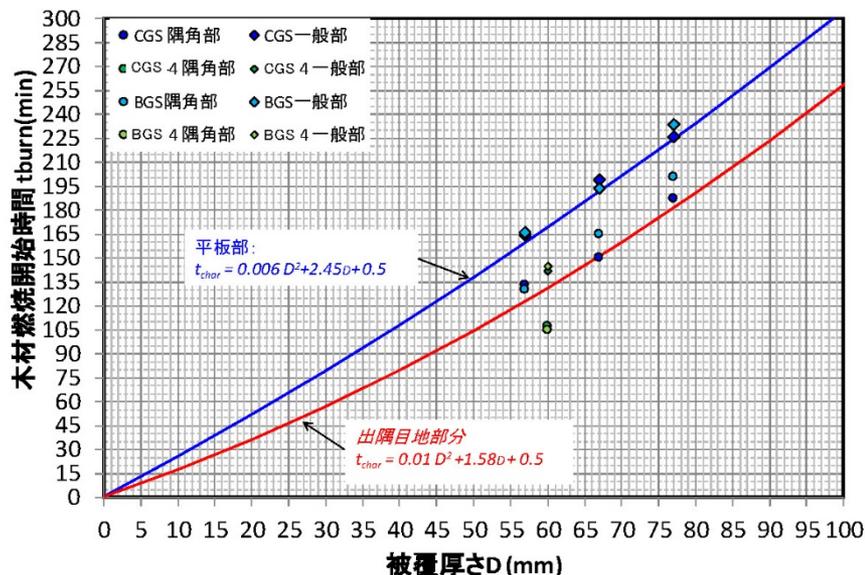
梁試験体



75分間以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

(1) 被覆型小規模試験 (柱・梁)

加熱試験は290分以上継続し、試験体が焼失するか、安全上の都合等により試験が実施できなくなるまで実施



- 加熱側表面にけい酸カルシウム板 (0.5TK) を最外層に設置することにより、同じ被覆厚さであっても、強化せっこうボード (GB-F (V)) のみで防火被覆を構成する場合よりも、木材の燃焼温度に達する時間が増加することが明らかとなった
- 120分間の準耐火構造を目標とした場合、安全率を含む終局性能が144分を超えるよう設計することとなる。ここでは、総厚57mm (隅角部：約130分、一般部：約165分) の仕様を実大規模試験体の被覆として選定

75分間以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

(2) 被覆型実大試験 (壁2仕様・床)

目的：(1) 被覆型小規模試験 (柱・梁) の実験結果に基づき、強化せっこうボード (GB-F (V) 21mm×2枚) +けい酸カルシウム板 (0.5TK 15mm) の仕様を防火被覆とした試験体を作成し、準耐火性能を検証する。本年度の告示仕様案の検証のための試験体は、間仕切壁 (軸組、枠組)、床とする

被覆型実大試験 (壁2仕様・床) 試験体一覧

No.	種類	部位	非載荷/載荷	試験体の概要	加熱強度	樹種	被覆厚さ
WtG-1	被覆型	壁(枠組)	載荷	GB-F(V) 21mm×2+0.5TK 15mm	ISO834	SPF	57
WwG-1		壁(軸組)		GB-F(V) 21mm×2+0.5TK 15mm		スギ	57
FbG-1		床(下面)		GB-F(V) 21mm×2+0.5TK 15mm		スギ	57

75分間以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

(2) 被覆型実大試験 (壁2仕様・床)

試験方法：JIS A 1304:2017 「建築構造部分の耐火試験方法」及びISO834シリーズに基づき実施

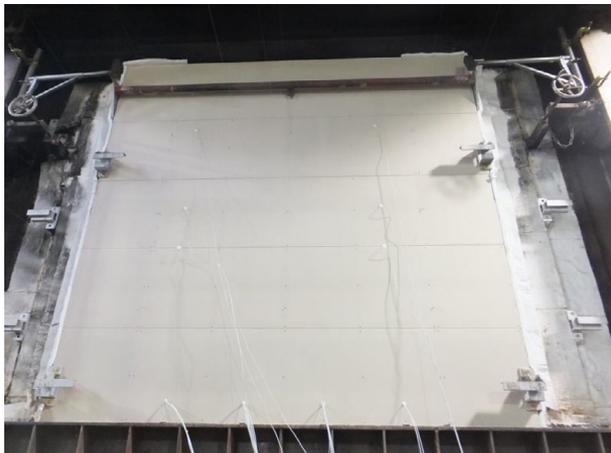
壁試験体 (枠組)



壁試験体 (軸組)



床試験体



75分以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

(2) 被覆型実大試験 (壁2仕様・床)

壁試験体 (枠組) - 結果

- 非損傷性、遮熱性の喪失には至らなかったが、被覆材の留め付けの効果、部材内部の状況を把握するため、部材内部の燃焼開始を確認し、約210分で終了した
- 加熱側合板は焼失したが、非加熱側合板は、グラスウールに保護されており、炭化が生じていない。加熱側防火被覆の留め付け下地である、縦枠の炭化状況を見ると、加熱表面から20mm程度炭化している。



残存断面



加熱側



非加熱側



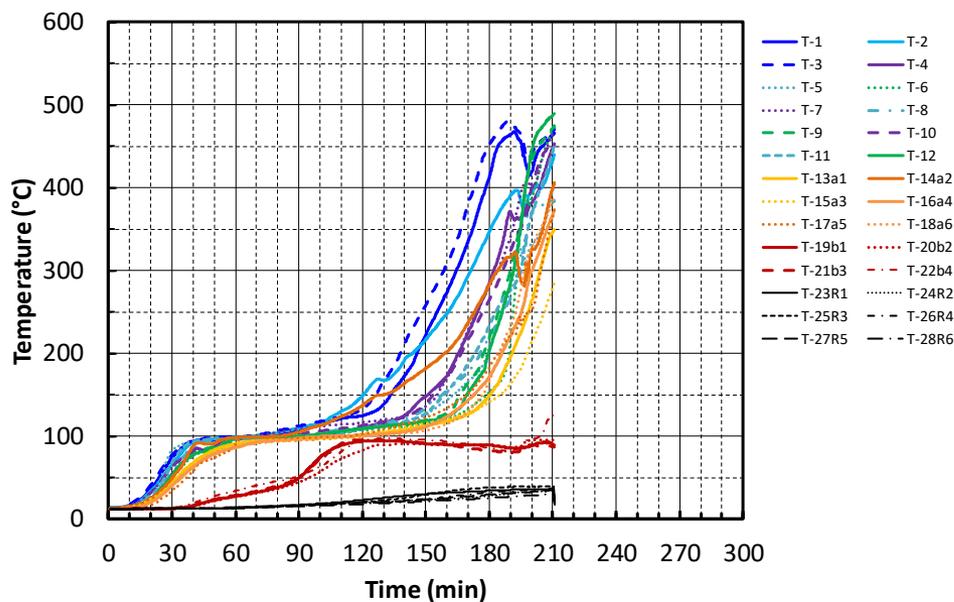
内部の状況

75分以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

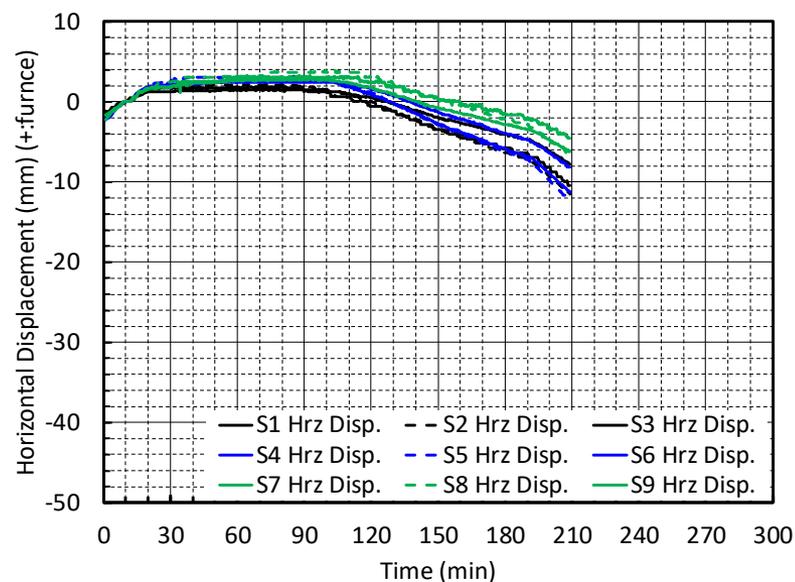
(2) 被覆型実大試験 (壁2仕様・床)

壁試験体 (枠組) - 結果

- ビス、目地が集中する部分を局所的な上昇として捉えれば、約175分に合板表面が木材燃焼温度 (260℃) に達する。部材内部の大半が木材燃焼温度に達するのは、200分頃で、早期に温度上昇した部分は400℃程度に達している。面外変形を見ても190分前あたりから変形が増加し始めている
- 断熱材を充填した間仕切壁に関して、枠組壁であれば150分間準耐火構造として位置づけられる性能を有している



部材内部温度



面外変形

75分間以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

(2) 被覆型実大試験 (壁2仕様・床)

壁試験体 (軸組) - 結果

- 非損傷性、遮熱性の喪失には至らなかったが、被覆材の留め付けの効果、部材内部の状況を把握するため、部材内部の燃焼開始を確認し、約220分で終了した
- 加熱側合板は焼失したが、非加熱側合板は、グラスウールに保護されており、炭化が生じていない。加熱側防火被覆の留め付け下地である、間柱、柱の炭化状況を見ると、柱の炭化は10mm程度にとどまるが、間柱は、35mm程度に達している。最外層の留付材 (φ4.0×90mm) の下地へ有効留め付け長さが約20mmであり、間柱は、20mm以上の炭化が進行しており、防火被覆の保持は期待できない。



加熱側



非加熱側



内部の状況



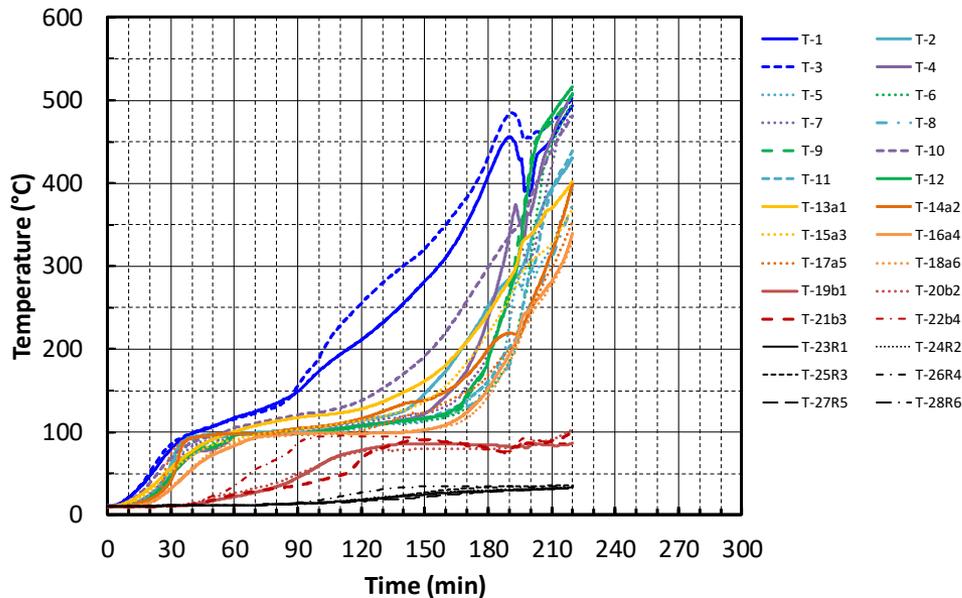
残存断面

75分以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

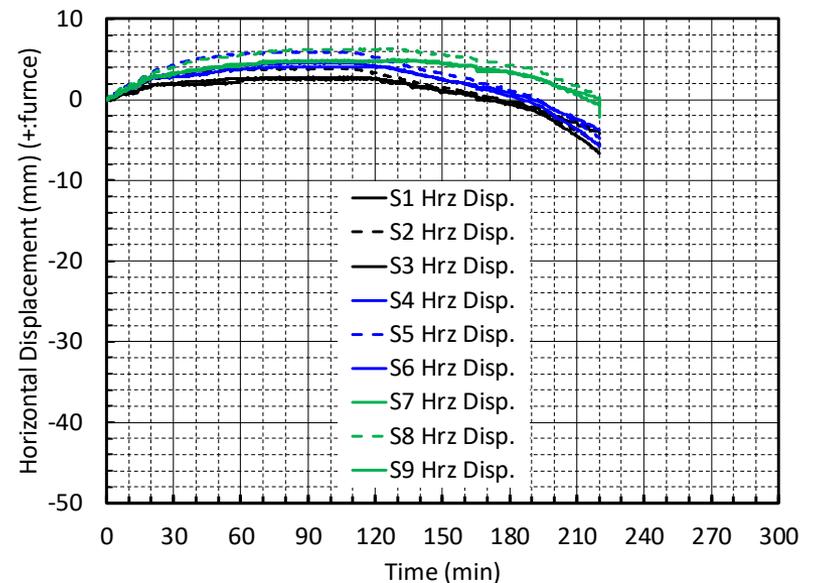
(2) 被覆型実大試験 (壁2仕様・床)

壁試験体 (軸組) - 結果

- ビス、目地が集中する部分を局所的な上昇として捉えれば、約170分に合板表面が木材燃焼温度 (260℃) に達する。部材内部の大半が木材燃焼温度に達するのは、200分頃で、早期に温度上昇した部分は400℃程度に達している。面外変形を見ても190分前あたりから変形が増加し始めている
- 断熱材を充填した間仕切壁に関して、軸組壁であれば180分間準耐火構造として位置づけられる性能を有している



部材内部温度



面外変形

75分以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

(2) 被覆型実大試験 (壁2仕様・床)

床試験体－結果

- 加熱側の被覆が脱落した後に、変形が急増するとともに、構造用合板の燃え抜けの可能性があったため、約197分に終了した
- 試験後の試験体を見ると試験体中央付近の梁と合板が燃焼しており、梁下端で30mm程度、梁側面で12～15mm程度の炭化が確認された。構造用合板は、消火後に3mm程度の単板が残存し、合板の目地は貫通していた



加熱側



非加熱側



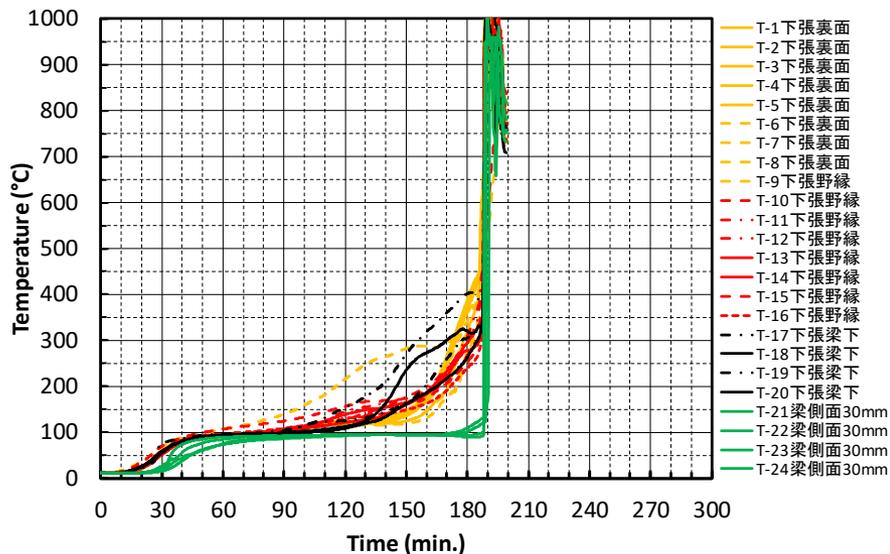
残存断面 14

75分以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

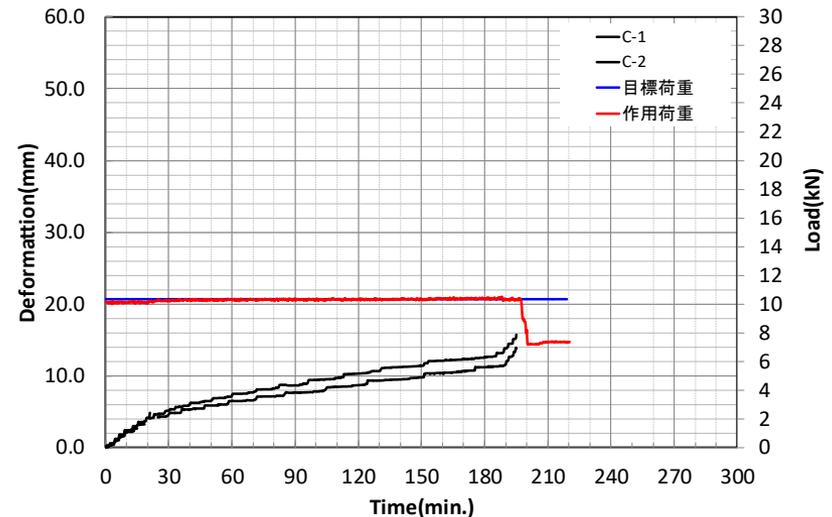
(2) 被覆型実大試験 (壁2仕様・床)

床試験体－結果

- 測定箇所数点の例外はあるが、170分以降に下張り被覆、木材の温度が260℃に達する結果となった
- 防火被覆の下地である野縁 (38mm×30mm) が、間柱に比較して小さいため、木材燃焼温度に達してから、20分ほどで大半の防火被覆が脱落した。それ以降、梁のたわみの急激な増加、床上面の構造用合板が高温ガスに暴露されたことによる爆燃が確認された



部材内部温度



荷重・中央たわみ

75分間以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

(2) 被覆型実大試験 (壁2仕様・床) まとめ

- 試験体の終局的な準耐火性能は、枠組壁試験体WtG-1、軸組壁試験体WwG-1、床試験体FbG-1で、それぞれ、210分超、220分超、197分超であった。断熱材を充填した間仕切壁に関して、枠組壁は150分間準耐火構造、軸組壁は180分間準耐火構造として位置づけられる性能を有している。断熱材を充填した床に関して、150分間準耐火構造として位置づけられる性能を有している。

壁・床の被覆 (計57mm)

強化せっこうボード (GB-F (V)) 21mm×2

けい酸カルシウム板 (0.5TK) 15mm

⇒部材内部の構造を特定しない告示仕様の条件の場合、141分の準耐火構造として位置づけられる。

30分ごとの性能区分であれば、120分間準耐火構造として位置づけることが可能である

75分間以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

(3) 被覆型実大試験（軒裏）

目的：75分間、90分間の2仕様について表に示した仕様を防火被覆とした試験体を作成し、準耐火性能を検証する。

※試験体は、一般的な軒の出寸法として想定される範囲のうち、寸法の大きな値として1mとした。なお、通常のパフォーマンス評価における取り扱いと同様に、下地を中央に設けることにより、2倍の出寸法までが許容されるものとする。

被覆型実大試験（軒裏）試験体一覧

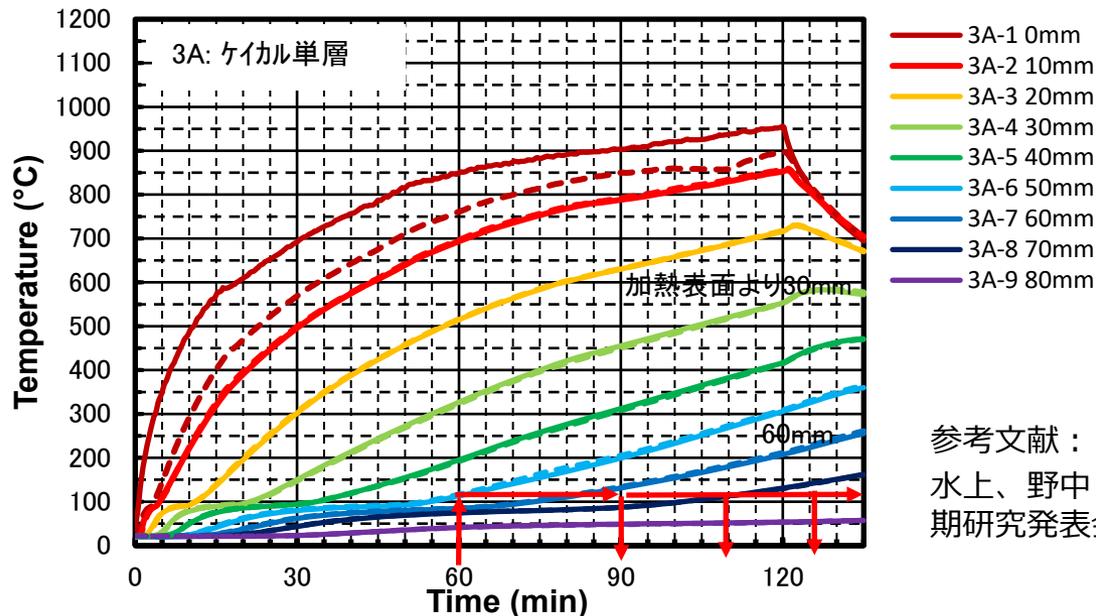
準耐火時間	軒天仕様	留め付け	壁の仕様
75分間	GB-F (V) 21+21mm	下張材：GN50@200 上張材：コーススレッドビスφ3.8L65@200	ケイカル 62mm
90分間	GB-F (V) 25+25mm	下張材：GN50@200 上張材：コーススレッドビスφ3.8L75@200	ケイカル 70mm

75分間以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

(3) 被覆型実大試験 (軒裏)

標準試験体の軒裏以外の壁・屋根・鼻隠し部分について

- 軒裏の標準試験体は、検討対象となる軒裏以外に壁・屋根・鼻隠し部分も同時に壁炉により加熱される。従来からある60分以下の準耐火構造・防火構造の屋根の軒裏と同様な試験方法を想定した場合、検討対象となる軒裏に対するそれ以外の部分の熱的な影響を同等程度にする必要がある
- 参考文献より けい酸カルシウム板タイプ 3 (0.5TK)
75分間準耐火構造 (90分加熱) 62mm
90分間準耐火構造 (108分加熱) 70mm

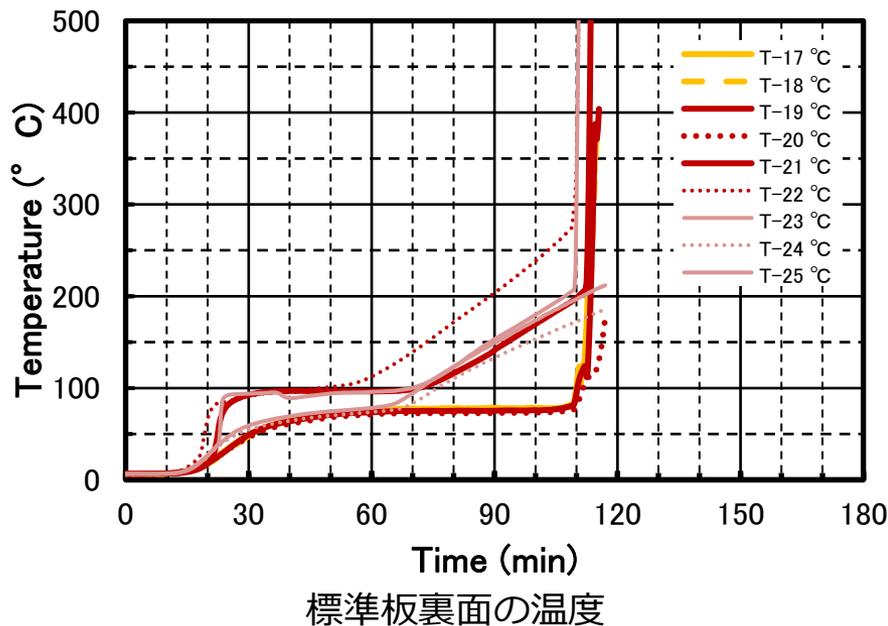


75分間以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

(3) 被覆型実大試験 (軒裏)

75分間準耐火構造 (90分加熱) – 結果

- 標準板裏面温度は加熱開始後15分以降、ゆっくり上昇し40分以降は70~75℃程度の温度でほぼ一定の値を示した。110分の時点で急激に温度上昇して、加熱開始後112分45秒で初期温度+180Kを超えた。その後、標準板が爆裂し開口が開き、軒天部分から煙が流出し始めたため、116分時点で加熱を停止した
- 標準板裏面温度の遮熱の判定結果から、112分45秒に判定値を超えた。加熱の不具合と安全率1.2を考慮すると89分の準耐火性能があると判断される

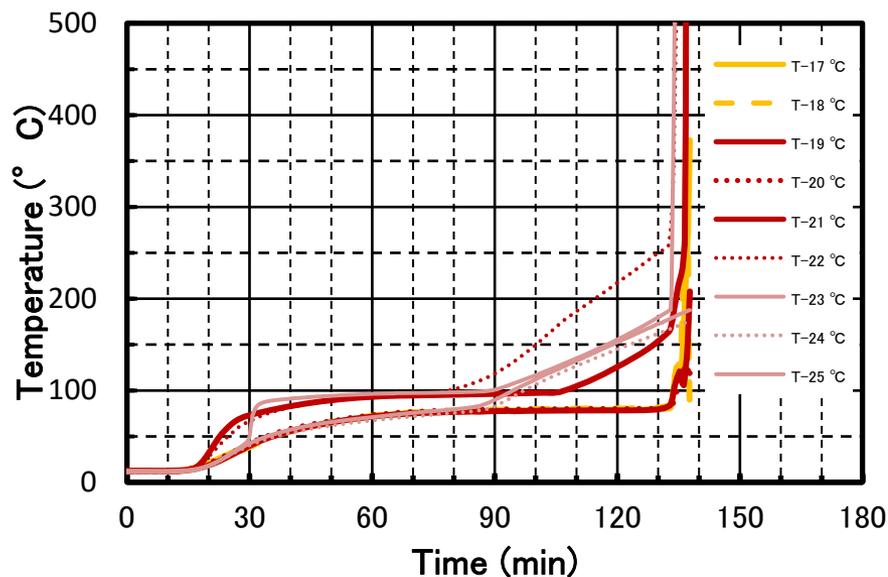


75分以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

(3) 被覆型実大試験 (軒裏)

90分間準耐火構造 (108分加熱) - 結果

- 標準板裏面温度は加熱開始後15分以降、ゆっくり上昇し60分以降は70~80℃程度の温度でほぼ一定の値を示した。133分30秒の時点で急激に温度上昇し、その後、標準板が爆裂し、写真に示すとおり開口が開き、軒天部分から煙が流出し始めたため、136分時点で加熱を停止した
- 標準板裏面温度の遮熱の判定結果から、136分に判定値を超えた。安全率1.2を考慮すると113分の準耐火性能があると判断される



標準板裏面の温度



75分間以上の準耐火構造の被覆型部材の検討

(3) 被覆型実大試験（軒裏）まとめ

(1) 75分間準耐火構造（90分加熱）

- 試験の結果、強化せっこうボードGB-F (V) 21+21mmを被覆に用いた屋根の軒裏の準耐火性能は89分であり、軒の出寸法1m（下地を中央に設けることにより、2倍の2m）の範囲において75分間準耐火構造（90分加熱）の屋根の軒裏の例示仕様（案）として提案できる。

(2) 90分間準耐火構造（108分加熱）

- 試験の結果、強化せっこうボードGB-F (V) 25+25mmを被覆に用いた屋根の軒裏の準耐火性能は113分であり、軒の出寸法1m（下地を中央に設けることにより、2倍の2m）の範囲において90分間準耐火構造（108分加熱）の屋根の軒裏の例示仕様（案）として提案できる。なお、105分間準耐火構造（126分加熱）の屋根の軒裏の例示仕様（案）としても想定が可能であり、今後、105分超の準耐火構造の検討を実施する中で確認することが望ましい。

75分以上の準耐火構造の燃えしろ型部材の接合部の検討

目的：75分以上の準耐火構造が建築可能になり、それらを構成する燃えしろ型の準耐火構造の部材が規定された。燃えしろ型準耐火木造の接合部については、部材間や接合金物周囲の燃え込み、部材の変形による隙間の影響など、これまでにない知見が必要

⇒これらの性状を実大の柱梁接合部を用いて、載荷加熱実験を実施し、その性能を確認する

- (4) 本実験No.1：柱にT字金物を固定し、そこに梁を接合
- 本実験No.2：SRC接合部に柱と梁を接合（次年度実施予定）

+

- (1) 要素実験①：柱梁接合部の梁が無い側の仕様検討
- (2) 要素実験②：ドリフトピン孔塞ぎ方法の検討
- (3) 要素実験③：GPLとスリット隙間の影響と隙間塞ぎ方法の検討

(1) 要素実験①

目的：柱の側面に荷重を支持する金物（T字金物）を取り付ける場合には、梁が付かない側に反力を得るため座金を用いる構成になる。この納まりでは、梁が付かない側は柱の全表面が加熱されるため、加熱面積としては不利となる。さらに、柱の荷重支持部の断面欠損を無くすために座金を燃えしろ層に設置する場合は、座金が熱橋となり、荷重支持部に熱を伝え、炭化させる恐れがある。

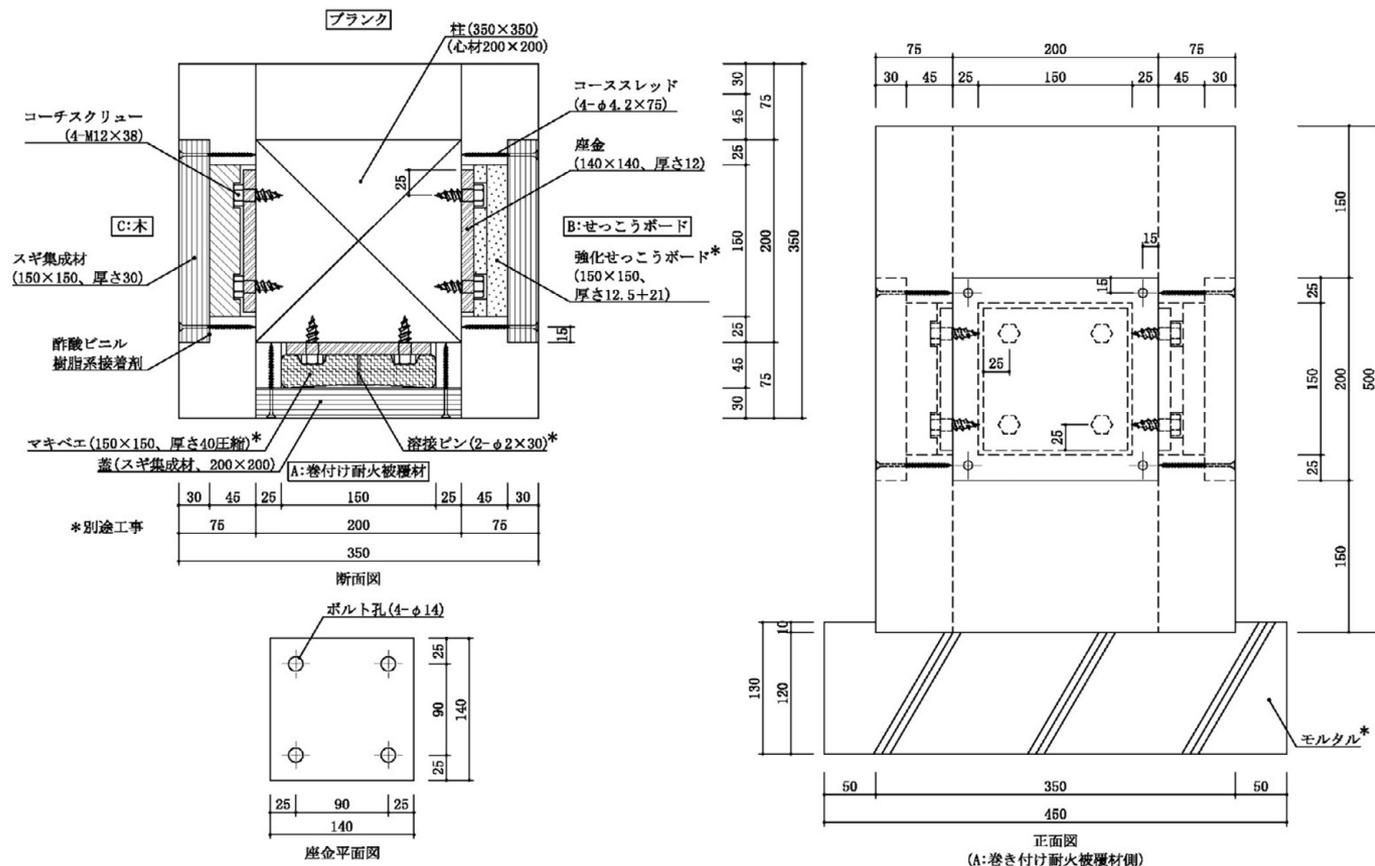
⇒これを防止するために座金の周囲を断熱する必要があり、この座金を強化せっこうボードや巻き付け耐火被覆材で座金を断熱し、その内側の木製荷重支持部の炭化性状を確認する

仕様	耐火被覆材
A	巻き付け耐火被覆材（1時間耐火：t40mm）
B	せっこうボード（強化せっこうボード（GB-F（V）） t12.5+21mm）
C	集成材（スギ）（33mm）
ブランク	接合金物等なし

75分以上の準耐火構造の燃えしろ型部材の接合部の検討

(1) 要素実験①

試験体図



試験方法：計画ではISO834に基づき90分間加熱する予定であったが、90分の段階ではいずれの仕様も荷重支持部の表面温度が260℃以下と余裕があったため、さらに継続して2時間まで加熱し、その後にバーナーを停止して、約160分で炉の蓋を開け、散水により消火した

75分以上の準耐火構造の燃えしろ型部材の接合部の検討

(1) 要素実験①－結果

最も温度が低いのはブランクであるが、仕様B（せっこうボード）も同程度の温度となった。続いて仕様A（巻き付け耐火被覆材）、仕様C（木）の順であった。ただし、いずれの仕様も90分の時点では荷重支持部の表面温度は260℃以下であり、炭化は始まっていないと考えられる

⇒座金部の被覆方法としては最も耐火性能が高いと考えられるせっこうボードを採用



仕様	90分	105分	120分
A：巻き付け (ch8～10)	165	301	547
B：せっこう ボード (ch15～17)	98	126	413
C：木 (ch1～3)	228	526	788
ブランク (Ch 22～24)	77	129	358

(2) 要素実験②

目的：本実験No.1の梁はGPLとドリフトピンによる接合を採用している。火災時には、このドリフトピンを介した熱橋により、接合部の荷重支持能力や固定度を著しく低減させる恐れがあるため、ドリフトピンを介した熱橋の影響を把握する

さらに、ドリフトピンを打ち込んだ後の孔が、火災時に弱点になることが容易に想像され、その孔を塞ぐ方法についても同時に検討した

(実験の条件)

■ 部材表面からドリフトピンまでの深さ (4条件)

0mm / 25mm / 50mm / 75mm

■ ドリフトピンの孔の処理 (2条件)

なし (何も処理しない (孔があいたまま)) / 木栓

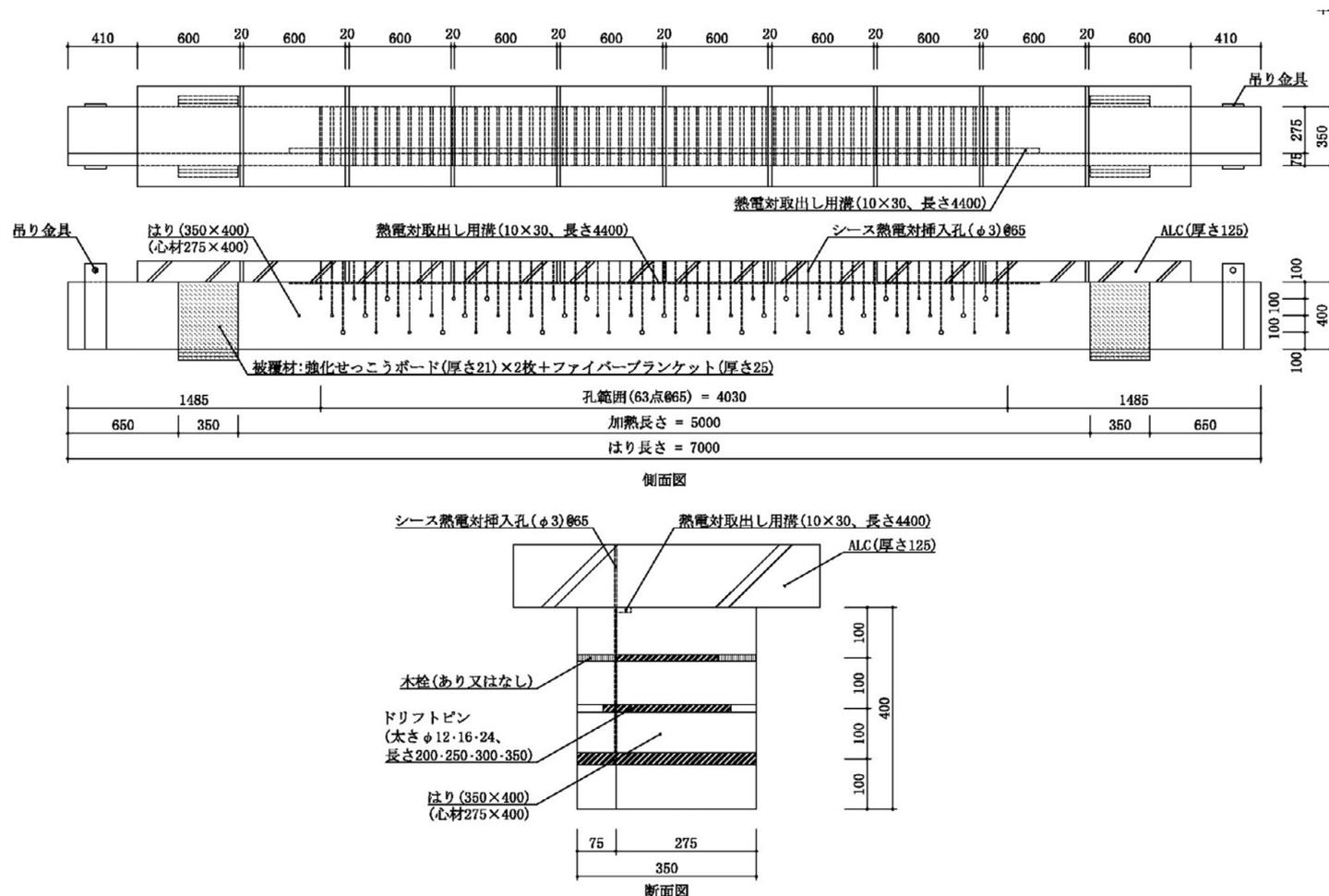
■ ドリフトピンの太さ (3条件)

12mm / 16mm / 24mm

以上の組み合わせにより、21条件の実験を実施

(2) 要素実験②

試験体図



試験方法：ISO384に従い120分加熱した。加熱終了後に有炎燃焼が収まるまで待ち、138分で熱電対を切断して炉蓋を開け、試験体を取り出し、炉外にて散水により消火した

75分以上の準耐火構造の燃えしろ型部材の接合部の検討

(2) 要素実験② - 結果

深さ75mm



深さ50mm



深さ25mm



深さ0mm

(ドリフトピン
Φ24mm)

木
栓
あ
り



木
栓
な
し

75分以上の準耐火構造の燃えしろ型部材の接合部の検討

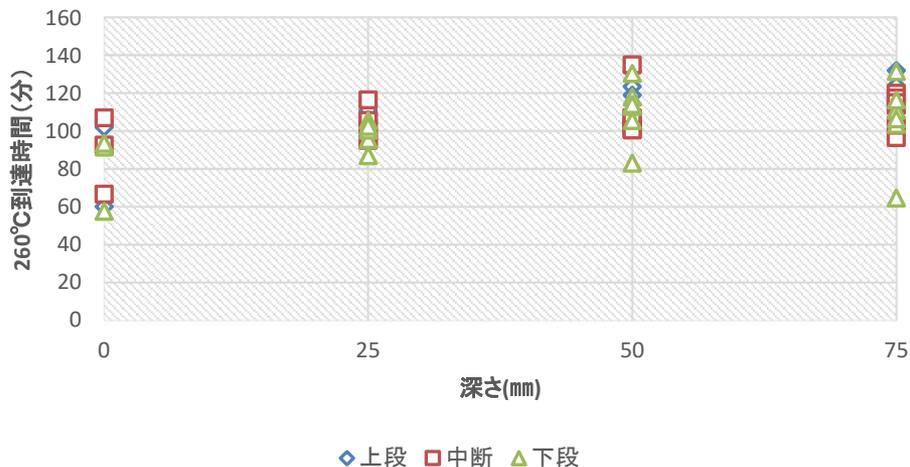
(2) 要素実験②－結果

梁表面から75mmの深さ（燃えしろ75mm）のドリフトピンの温度が260°
に到達する時間を計測し、整理した（下図）

90分準耐火部材の接合に用いるドリフトピンの仕様としては、ドリフトピ
ンの埋め込み深さ50mm以上、木栓ありが推奨される

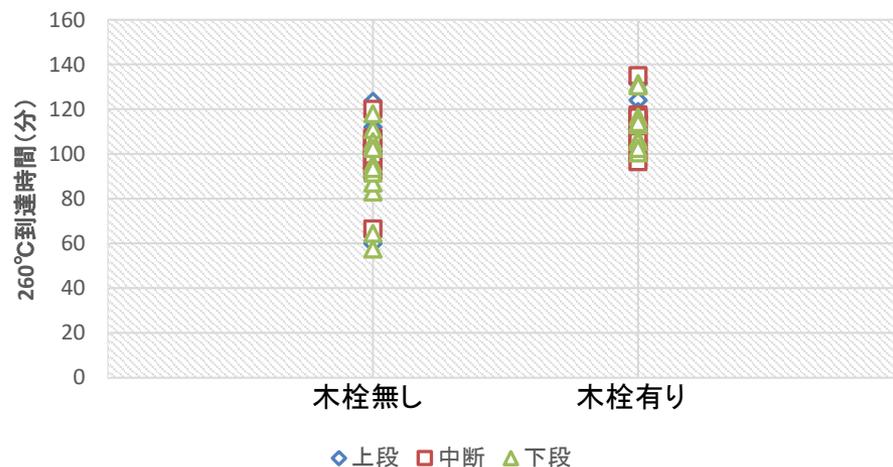
⇒本実験は、埋め込み深さ75mm、木栓ありとする

ドリフトピンの深さ



ドリフトピン深さと260°C到達時間

木栓



木栓の有無と260°C到達時間

75分以上の準耐火構造の燃えしろ型部材の接合部の検討

(3) 要素実験③

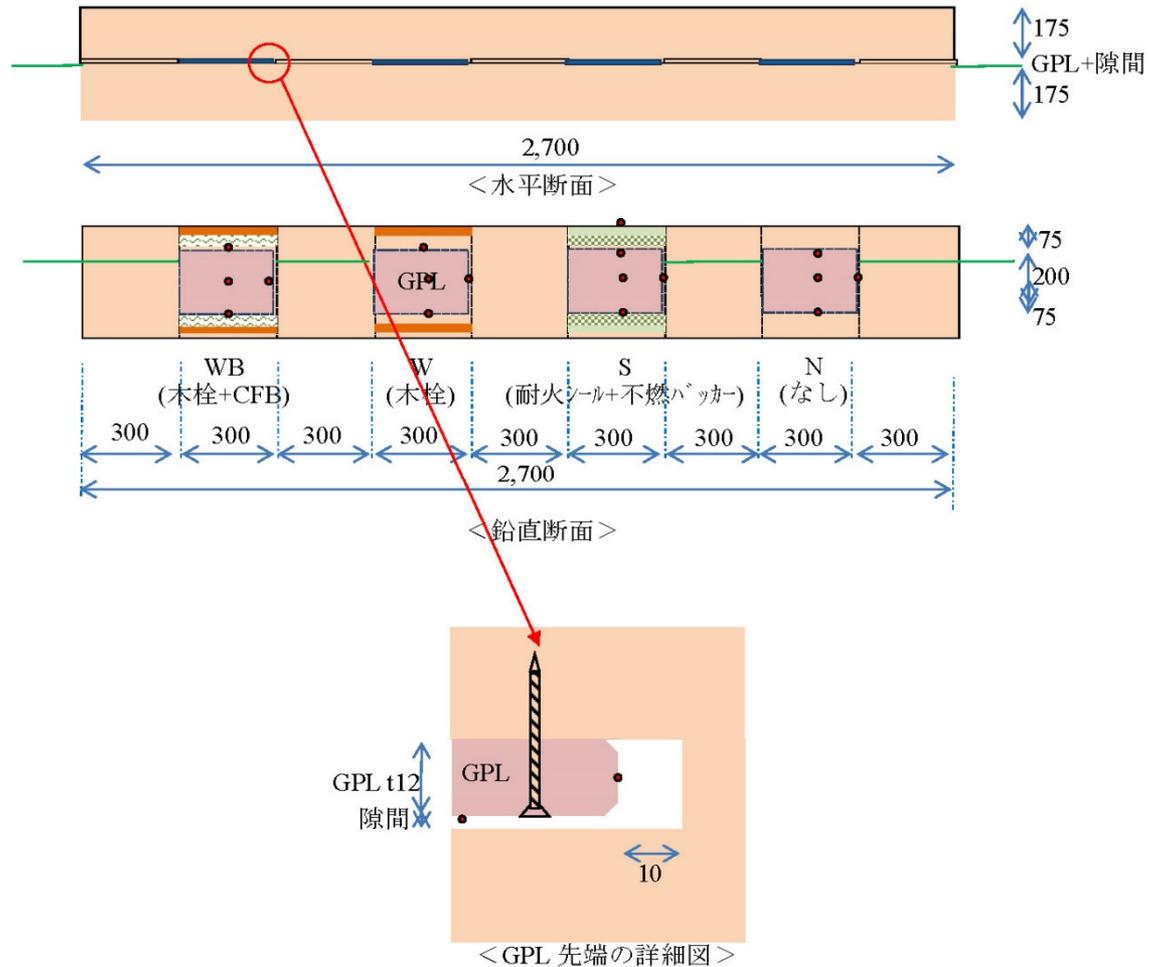
目的：GPLを用いて梁を接合する際に部材に切れ込みを入れ、その隙間にGPLを挿入するため、隙間からGPLや荷重支持部が露出することになる。90分間準耐火木造の接合部開発にあたり、GPLとそのスリットの間隙の塞ぎ方の影響を検討

(実験の条件)

記号	隙間	栓
2-WB	2mm	木栓+ファイバーグランケット
2-W		木栓
2-S		耐火シール+ファイバーグランケット
2-N		なし
4-WB	4mm	木栓+ファイバーグランケット
4-W		木栓
4-S		耐火シール+ファイバーグランケット
4-N		なし
8-WB	8mm	木栓+ファイバーグランケット
8-W		木栓
8-S		耐火シール+ファイバーグランケット
8-N		なし

(3) 要素実験③

試験体図



試験方法：ISO384に従い120分加熱した。

75分以上の準耐火構造の燃えしろ型部材の接合部の検討

(3) 要素実験③－結果

WB（木栓+ファイバーブランケット）とS（シール+ファイバーブランケット）は、温度が低く、木色が残っており、2時間加熱してもスリット内は炭化しなかった

W（木栓）は、今回の結果ではちょうど90分の時点で炭化したと推察されるが、木材のばらつきなどを考慮すると、耐火性能が不足すると考えられる

N（蓋無し）の条件では接合部がガセット部分から崩壊する恐れがある

⇒WB（木栓+ファイバーブランケット）かS（耐火シール+ファイバーブランケット）が適切であると判断される

WB

W

S

N

PL側



隙間側



(4) 本実験No.1

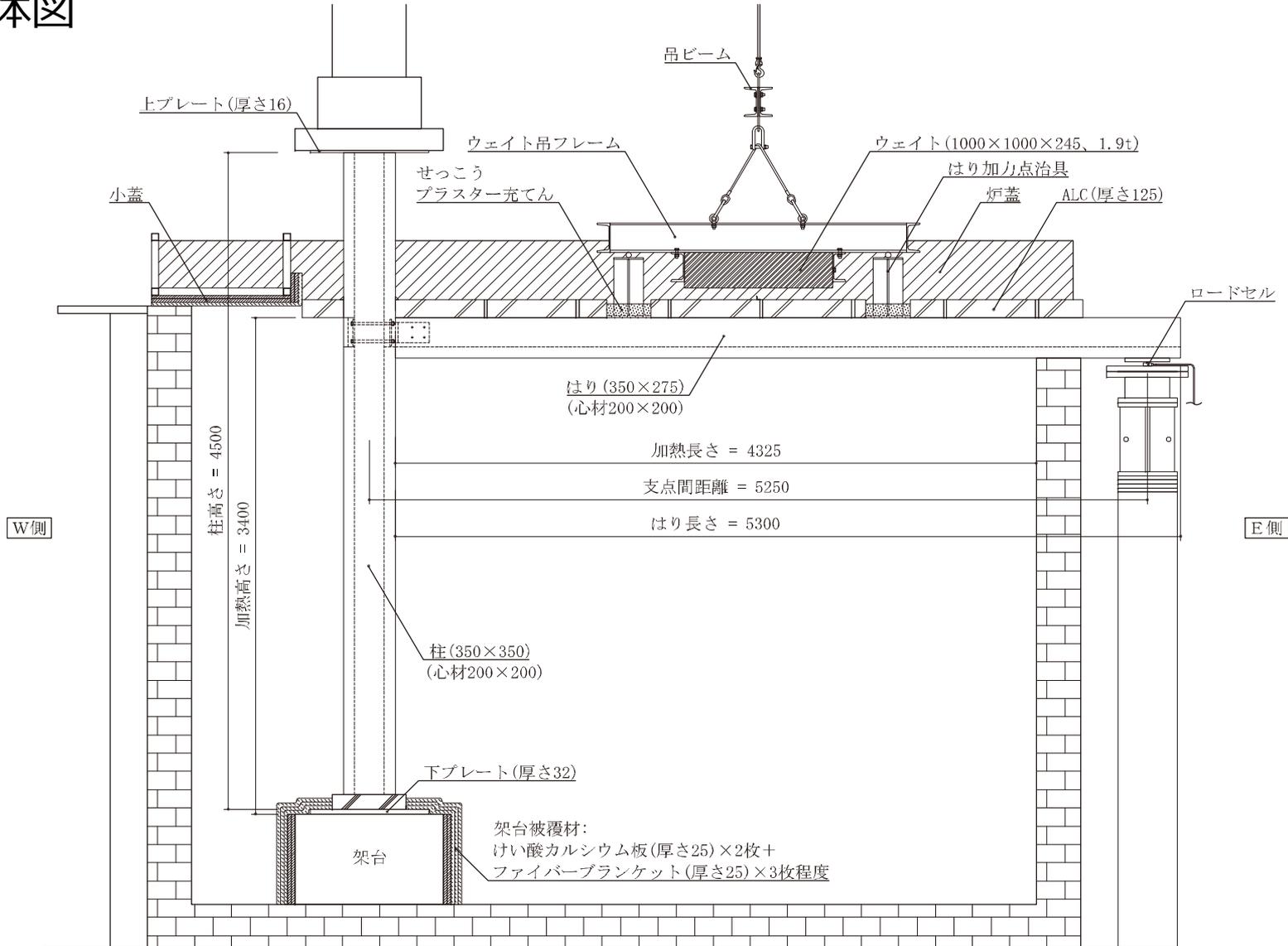
目的：燃えしろ型の柱梁接合部は、燃え進みにより梁の変形が進むことで接合部に隙間が生じ、そこから火熱が進入して接合部が崩壊する恐れがある。このような状況を模擬し、実大の試験体を用いて載荷加熱実験を実施し、90分間準耐火性能の確認として接合部の非損傷性を確認する

今年度は下表に示すNo.1のみ実施した。

試験体番号	接合方式
No.1 (今年度実施)	T字金物を引きボルトで柱に固定し、梁とはGPLを介してドリフトピンで接合する。
No.2 (来年度実施予定)	SRC接合部とし、柱とはLSBで緊結、梁とは挿入鋼板+ドリフトピンで接合する。

(4) 本実験No.1

試験体図



(4) 本実験No.1

載荷荷重：柱、梁に載荷をするにあたって、載荷荷重を下表とした

柱	油圧ジャッキ 246 kN
梁	クレーン点検用ウエイト1.9t+ウエイト用フレーム 2,111kg (実測) ALC床 420kg 梁加力点治具 69kg 合計 2,600kg (25.5 kN)

実験手順：柱、次に梁に載荷し、試験炉に点火した。100.5分で梁が急激に変形したため、実験遂行上危険と判断して加熱を終了し、除荷した

時間	
-38.5分	柱の油圧ジャッキと梁のウエイトを外した状態で、変位計のイニシャライズを行った。
-35.5分	柱に油圧ジャッキの球面座を接合した。
-29分	柱の載荷開始
-20.5分	柱の載荷完了
-17.5分	ウエイトを梁に載せる
0分	試験炉の燃焼開始 (2020年1月27日11:55:49)
100.5分	梁の鉛直変位が急激に変化したため、崩落の危険があると判断して加熱を終了した。柱の荷重を50 kN程度まで減らした。柱の荷重はその後、順次削減した。
162分	赤熱により梁断面が減少し、床ALC等の荷重により梁が崩壊した。

(4) 本実験No.1 – 結果

右：実験後の梁落下の様子

下：実験後の梁の柱側（梁崩落時にドリフトピンが入っている面で、水平にひび割れ、上下に分離）

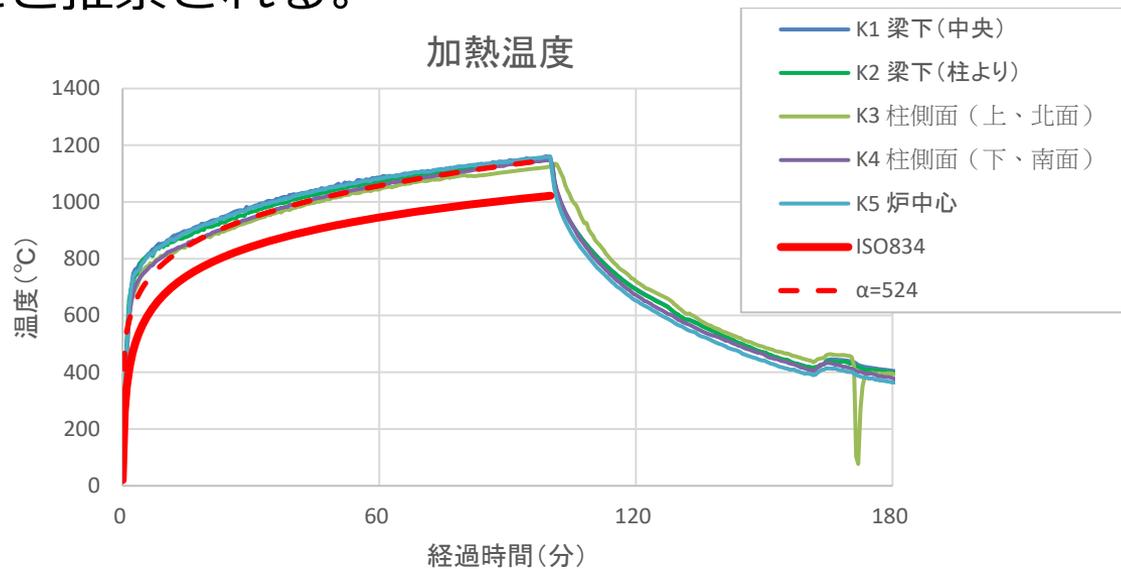
右下：実験後の柱断面



(4) 本実験No.1 – 結果

(加熱温度と等価火災継続時間)

図に示したように、ISO834と比較して今回の加熱温度は全域に渡り100℃程度高い温度で推移した。その理由は、試験炉のバーナーは最小で燃烧させたが試験体自身の燃烧熱により炉が加熱され、結果として高い加熱温度になったと推察される。



100分の時点で加熱温度は1148℃であり、

$$1148 = a \cdot t^{1/6} + 20$$

⇒火災温度上昇係数 $a = 524$

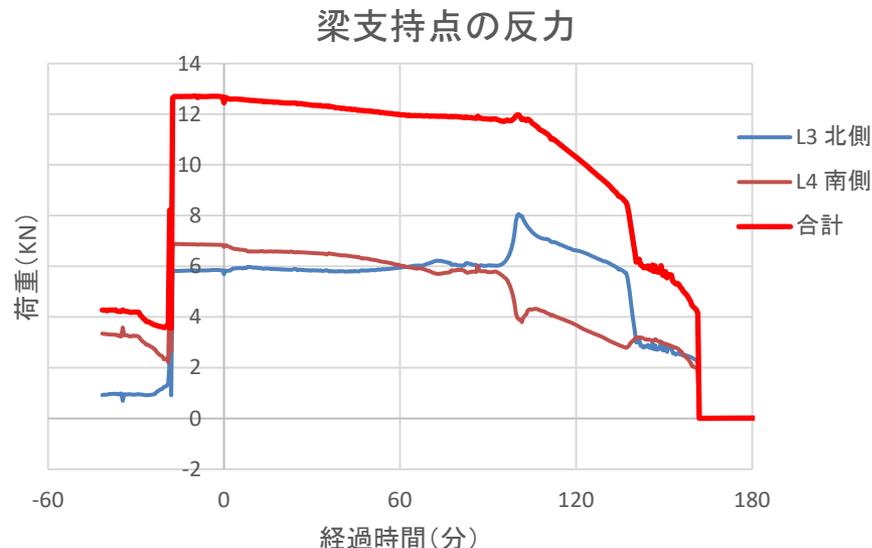
⇒本実験の100分に相当する等価火災継続時間は、

$$t_{fr(460)} = 100 \cdot (524/460)^{3/2} = 122 \text{分}$$

(4) 本実験No.1 – 結果

(接合部のせん断力)

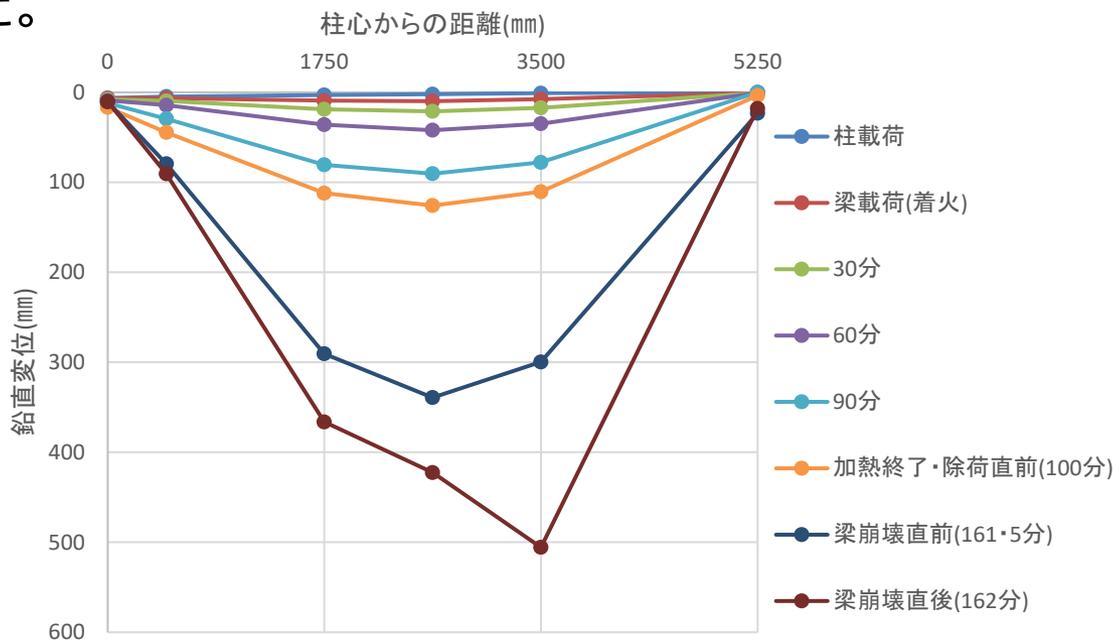
梁支持点の反力によると、加熱時間中、梁支持点の反力は若干の減少はあるもののほぼ安定しており、反対側の接合部も同様にせん断力を負担し続けたと考えられる。また、梁に載荷後は、梁支持点の反力が9.1 kN増加した。梁の載荷加重は2,600kg (25.5kN) であり、仮に梁の両端に均等に分配されれば12.75 kNの増加となるはずである。この差異12.75kN – 9.1kN = 3.65kNは、柱側の接合部が負担していると考えられ、 $3.65\text{kN} \times 5.25\text{m}$ (支点間距離) = 19kN-m程度のモーメントを負担したと考えられる



(4) 本実験No.1 – 結果

(梁のたわみ)

図3.3.2-23～24に、載荷前の梁のたわみ量を0mmとして、載荷後、過熱30分後、60分後、90分後、100分後(加熱終了・除荷直前)、161.5分後(梁崩壊直前)、162分後(梁崩壊後)の変化を示す。なお、柱芯からの距離0mmの値は柱の変形量(鉛直)である。加熱が進むに従い、たわみ量が徐々に大きくなり、加熱終了の100分の時点で梁中央のたわみは126mmであった。この100分の時点でも、距離0mmの柱の変形量を起点として梁全長に渡り放物線を描いた。



その他の検討

(1) 柱梁接合部・継手に関する整理と既往の研究

目的：接合部の耐火性能に関する仕様については告示で詳細が定められているものではなく、告示仕様を参考に各建築主事等が判断を行って運用しているが、それらの判断の参考となっている書籍等がいくつか存在する。ただし、それらは60分以下の準耐火構造を想定して整理されたものであり、今後示される60分を超える仕様に適合できるかどうかは不明な点があり、新たに検討を行う必要がある。

⇒そこで以下の2点を整理した

- 検討に着手するに当たり、現在の運用上の判断となっていると考えられる参考文献について整理
- 木造の接合部（仕口、継手）には部位や接合具の種類がいくつかあり、それぞれ耐火性能を確保する際の手法等が異なることから、それら手法等の整理

その他の検討

(1) 柱梁接合部・継手に関する整理と既往の研究

燃えしろで設計を行う場合の柱梁接合部等の考え方については、以下の2つの書籍に明記されている。下表はそれら書籍の内容を整理したものの一部を示す。

1.木造建築物の防・耐火設計マニュアル

－大規模木造を中心として－

平成29年3月10日発行 第1版第1刷

監修 国立研究開発法人建築研究所

編集 木造建築物の防・耐火設計マニュアル編集委員会

発行 一般財団法人 日本建築センター

2.集成材建築物設計の手引き

平成24年3月30日発行 第1版第1刷

編著 日本集成材工業共同組合

発行 株式会社大成出版

(例) 接合具がドリフトピン／ボルト／くぎ／木ねじ 等の場合

接合具	ドリフトピン／ボルト／くぎ／木ねじ 等
被覆が必要な場合	(接合具が常時荷重時に?) 引張力を受けるもの
被覆方法	・ 防火上有効に被覆する ①燃えしろ値に相当する厚さの木材 ②告示1358号、253号
被覆が必要でない場合・部分	(接合具が常時荷重時に?) 引張力を受けるもの以外のボルトなどの頭部 ・ 木材とのせん断面が表面より十分内側に位置する場合 ・ ボルト軸部周辺の木材が燃焼し炭化した場合でも主架構が倒壊に至らないことが確認できる場合

※赤字は本事業において補足のために文言を追記

(1) 柱梁接合部・継手に関する整理と既往の研究

木造建築物の軸材の接合部には様々なタイプ・部位が存在するが、先に示した参考文献では、これらの接合部別にいくつかの例や根拠となるデータ（既往の研究）が示されている。それらを表に整理した

以下に、本事業における対象についての注意点を示す

- 大梁・小梁の接合部については、柱梁接合部での知見を応用できるので、現段階では対象から除いている
- 柱の継手については、例えば、純木造で1方向ラーメン構造で4階建の建築物を建てる場合等に限定されるため、本事業では対象としない
- 接合部を剛接合とするため鋼材やPCなどで製作しそれに木質の柱梁が取り付くという仕様の場合、梁継手も柱継手と同様に出現することはほとんど無いため、本事業では対象としない
- 柱脚については、現在示されている仕様の例に不明点や考え方を修正すべき点もあり、いずれ検討対象とする必要があるが、現段階では柱梁接合部を優先して取り上げることとする

その他の検討

(1) 柱梁接合部・継手に関する整理と既往の研究

●接合部整理表、図解シート①～⑬を作成

接合部整理表：接合具および接合部位のマトリックス

図解シート：接合部位別のシートとし、図や被覆の考え方を整理した

接合部整理表	今回の検討対象				
	柱・梁	大梁・小梁	梁継手(棟部含む)	柱継手(4階以上)	柱脚
鋼板挿入	図解⑤ (データ5) 柱にスリットを設ける仕様		図解⑨、⑩、⑪ (データ:1,2,3,4)		図解⑫、⑬ (データ:1)
鋼板添板		I型の鋼板になるので	図解⑧ (データ:2,4)	美観上無い	
T字金物・L字金物系	図解③、④ (データ4)	図解⑦ (データ5)			鋼板挿入と同じ
引きボルト +シアキー		図解⑥			
ラグスクリューボルト (LSB) +シアキー	ボックス金物有りの場合燃えしる設計は不可能?				
グールド・イン・ロッド (GIR) +シアキー	ボックス金物有りの場合燃えしる設計は不可能?				
シアキー ダボ(木・鋼材) シアプレート スプリットリング ジベル					

柱梁-図解③	柱梁: 締め付けフランジ引きボルト型(ピン接合)
<p>参考図書の図</p> <p>相立図</p>	<p>被覆の要・不要の考え方</p> <p>常時に対する せん断力→金物+柱側のボルト→倒壊の恐れ有り 被覆の必要有り</p> <p>地震時等に対する 引張力→金物+柱側のボルト+梁側のボルト→ 梁側のボルトは被覆の必要無し</p> <p>疑問点など</p> <p>金物上部は床がくるので被覆の必要無し? ただし、床がない場合は被覆の必要有り?</p>

(2) 中層建築物となった場合の木造の外壁事例収集

目的：準耐火構造としての要求性能が上がってきた際に示される仕様は、被覆が厚くなり施工の手間が増えることや納まりが複雑になることなどの状況が生じると考えられる。施工手間からは被覆は2枚張りまでが現実的とする意見もあり、このような状況を考えると特に外壁においては、外装材を被覆材の一部としてカウントする納まりの方が効率的である。

⇒今後の告示仕様として外装材も含んだ準耐火構造の壁を検討する際に、どのような仕様のもものが候補になるかについて実例の調査を行う。準耐火構造75分以上の外壁が要求される建物は、中層規模の木造と考えられるが、現段階では国内の実績が少ない。そこで調査対象を海外のものとし、中層規模以上の木造ビルにおける外壁のディテールを収集を行った。

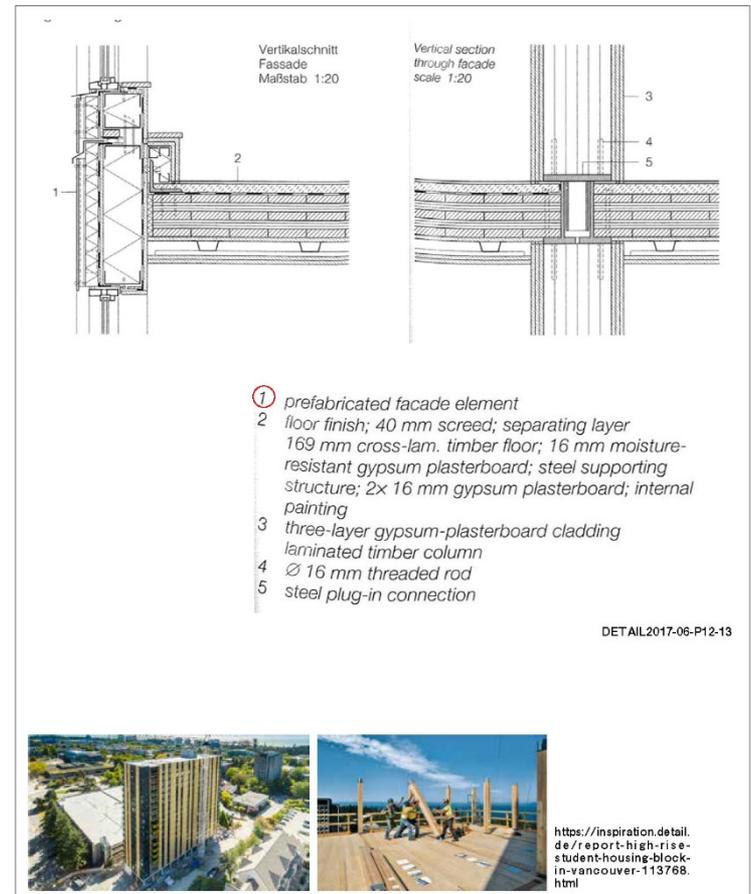
(2) 中層建築物となった場合の木造の外壁事例収集

1

- 得られた実例は28
- 施工された国：ヨーロッパ・オーストリア／ドイツ／ノルウェー／オランダ／イギリス／スイス／フランス
北米－アメリカ／カナダ
その他－オーストラリア
- 外壁の工法：カーテンウォール／外壁通気工法／その他／不明
- 構造材の種類：CLT／集成材
- 階数：3～18階

⇒収集データをもとに、物件リスト、ディテールシートを作成した

物件名：High-Rise Student Housing Block in Vancouver		用途	宿舍
外壁の工法	カーテンウォール	所在地	カナダ、バンクーバー (Vancouver, Canada)
階数 (内木造階 (上から))	18階建て (18)		
外壁構成	外壁パネル		
備考	2013年竣工 / 木造 (木柱+CLT床版)、ドミノシステム		
出典	F17-D018 : DETAIL2017-06-P12-13		



全体のまとめ

【被覆型：小規模（柱・梁）】

- 120分間の準耐火構造を目標とした場合、安全率を含む終局性能が144分を超えるよう設計。総厚57mm（強化せっこうボード（GB-F（V））42mm+けい酸カルシウム板（0.5TK）15mm）の被覆で結果が隅角部：約130分、一般部：約165分となった。

【被覆型：実大（壁・床）】

- 壁2仕様・床のいずれも総厚57mm（強化せっこうボード（GB-F（V））42mm+けい酸カルシウム板（0.5TK）15mm）の被覆で、部材内部の構造を特定しない条件の場合、141分の準耐火構造として位置づけられる。30分ごとの性能区分であれば、120分間準耐火構造として位置づけることが可能

【被覆型：軒裏】

- （75分間）強化せっこうボードGB-F（V）21+21mmを被覆に用いた屋根の軒裏の準耐火性能は89分で、軒の出寸法1m（下地を中央に設けることにより、2倍の2m）の範囲において75分間準耐火構造の軒裏の例示仕様（案）として提案可能。
（90分間）強化せっこうボードGB-F（V）25+25mmを被覆に用いた屋根の軒裏の準耐火性能は113分で、軒の出寸法1m（下地を中央に設けることにより、2倍の2m）の範囲において90分間準耐火構造（108分加熱）の屋根の軒裏の例示仕様（案）として提案可能

全体のまとめ

【燃えしろ型：柱梁接合部】

- （要素実験①）座金部の被覆方法としては強化せっこうボードを採用。ただし、他のいずれの仕様も90分の時点では荷重支持部の表面温度は260℃以下であり、炭化は始まっていない
（要素実験②）90分準耐火部材の接合に用いるドリフトピンの仕様としては、ドリフトピンの埋め込み深さ50mm以上、木栓ありが推奨される
（要素実験③）WB（木栓＋ファイバーブランケット）とS（シール＋ファイバーブランケット）は、温度が低く、木色が残っており、2時間加熱してもスリット内は炭化しなかったWB（木栓＋ファイバーブランケット）かS（耐火シール＋ファイバーブランケット）が適切である
- （本実験No.1）要素実験の仕様を織り込んだ仕様で実験を行った。90分間準耐火構造（108分加熱）での性能に対し、100分で終了。加熱条件（ $\alpha=524$ ）が通常の場合と異なっており、等価火災継続時間は122分となった。接合部の負担せん断力、梁のたわみの確認も行った

【その他の検討】

- 今後の各部位の仕様検討のために、柱梁接合部・継手に関する整理、中層建築物となった場合の木造の外壁事例収集を行った。