

5. 複合部材の防火上有効な措置に関する実験

火災時の倒壊防止措置の具体的な手順である「燃えしろ設計」は、法第 21 条第 1 項ただし書きの高さ制限緩和、法第 26 条の防火壁の設置緩和に関する防火措置等の技術的基準の一項目として、その手順が昭 62 建告第 1902 号に規定されている。更に、準耐火構造の例示仕様を規定する平 27 国告第 253 号と 1 時間の準耐火構造の例示仕様告示である平 12 国告第 1380 号では、昭 62 建告第 1902 号に規定する燃えしろの値を読み替えることが定められている。

「燃えしろ設計」では、部材の表面から「燃えしろ」に相当する部分が欠損した断面を有効断面とし、固定荷重及び積載荷重により生ずる各部の応力から、有効断面に生ずる応力度を算出し、それが短期許容応力度を超えないことを確かめる為、「燃えしろ設計」を行う部材は、大断面集成材など断面寸法の大きな部材が使用されている。又、集成材の日本農林規格では、接着剤の使用環境を A、B、C に区分し「燃えしろ設計」に適用できる集成材は、構造物の火災時でも高度の接着性能を要求される環境の使用環境 A、若しくは使用環境 B の接着剤、例えばフェノール・レゾルシノール樹脂接着剤を使用した製品を使用しなければならない。従って、大規模木造建築物で「燃えしろ設計」を行う場合、ほとんどの構造材は注文生産品である大断面集成材が用いられるため、従来から納期やコスト的な課題が挙げられていた。

大規模木造に用いられる注文生産品の大断面集成材に対して、主として木造軸組構法住宅の構造材として量産され、広く流通している小・中断面集成材は、「燃えしろ設計」に対応できない使用環境 C の水性高分子イソシアネート接着剤による製品が一般的であったが、耐熱性に優れ、使用環境 B と同等性の認定を受けた水性高分子イソシアネート系接着剤が開発された事により、流通品である小・中断面集成材も「燃えしろ設計」用の構造部材として利用が可能になっている。

本章では、複合部材の防火上有効な措置に関する実験として、中断面集成材による合わせばりと小断面集成材及び構造用製材による組立圧縮材（柱）について 1 時間の準耐火性能を目標に防耐火性能を検証した。

5. 1 合わせばりの防火上有効な措置に関する載荷加熱試験（TB-1～TB-3）

5. 1. 1 実験概要

1 時間準耐火性能を目標に、合わせばりの防耐火性能を検証するため、断面寸法 150 mm×300 mm×2 本（部材間の隙間 3 mm）の構造用集成材による合わせばりについて、3 面加熱（TB-1、TB-3）及び 4 面加熱（TB-2）の試験体を製作し、性能評価機関の「防耐火性能・標準業務方法書」に準拠した載荷加熱試験を行った。

5. 1. 2 試験体概要

試験体は断面寸法 105×300 の構造用集成材はり 2 材による合わせばり試験体について載荷加熱試験を実施した。合わせばり加熱試験体の構成部材、組立仕様などの試験体仕様の一覧を表 5.1.2-1 に示す。

合わせばりを構成する構造用集成材のクリアランス（隙間）は、施工時の誤差や施工後の経時変化を考慮して 3 mm のクリアランス（隙間）で試験体を組み立てた。

表 5.1.2-1 合わせばり試験体仕様一覧

試験体No	TB-1	TB-2	TB-3
集成材の種類	対称異等級構成集成材		
強度等級	E75-F240		
樹種	スギ		
集成材の断面寸法 (mm)	105×300		
接着剤の種類	水性高分子イソシアネート樹脂接着剤 (使用環境Bと同等性の認定品)		
試験体の断面寸法 (mm)	213×300 (部材間のクリアランス: 3mm)		
組立接合具	ボルト (M12)	ボルト (M12)	ネジ (φ8)
加熱面	3面加熱	4面加熱	3面加熱
目標耐火時間 (分)	60		
燃えしろの値 (mm)	45		
残存有効断面寸法 (mm)	2-60×255	2-60×210	2-60×255

(1) 試験体 TB-1

図 5.1.2-1 に試験体 TB-1 の試験体図を示す、組立接合具は M12 ボルトを使用しているがボルト頭とナットの防火被覆は行っていない。はり間の温度測定位置図を図 5.1.2-2 に、載荷点及び炉内温度とたわみ量を測定する巻き込み式変位計の取付け位置を図 5.1.2-3 に示す。

(2) 試験体 TB-2

図 5.1.2-4 に試験体 TB-2 の試験体図を示す、TB-1 と同様に組立接合具 M12 ボルトのボルト頭とナット部分は防火被覆は行っていない。はり間の温度測定位置図を図 5.1.2-5、載荷点及び炉内温度とたわみ量を計測する巻き込み式変位計の取付け位置を図 5.1.2-6 に示す。

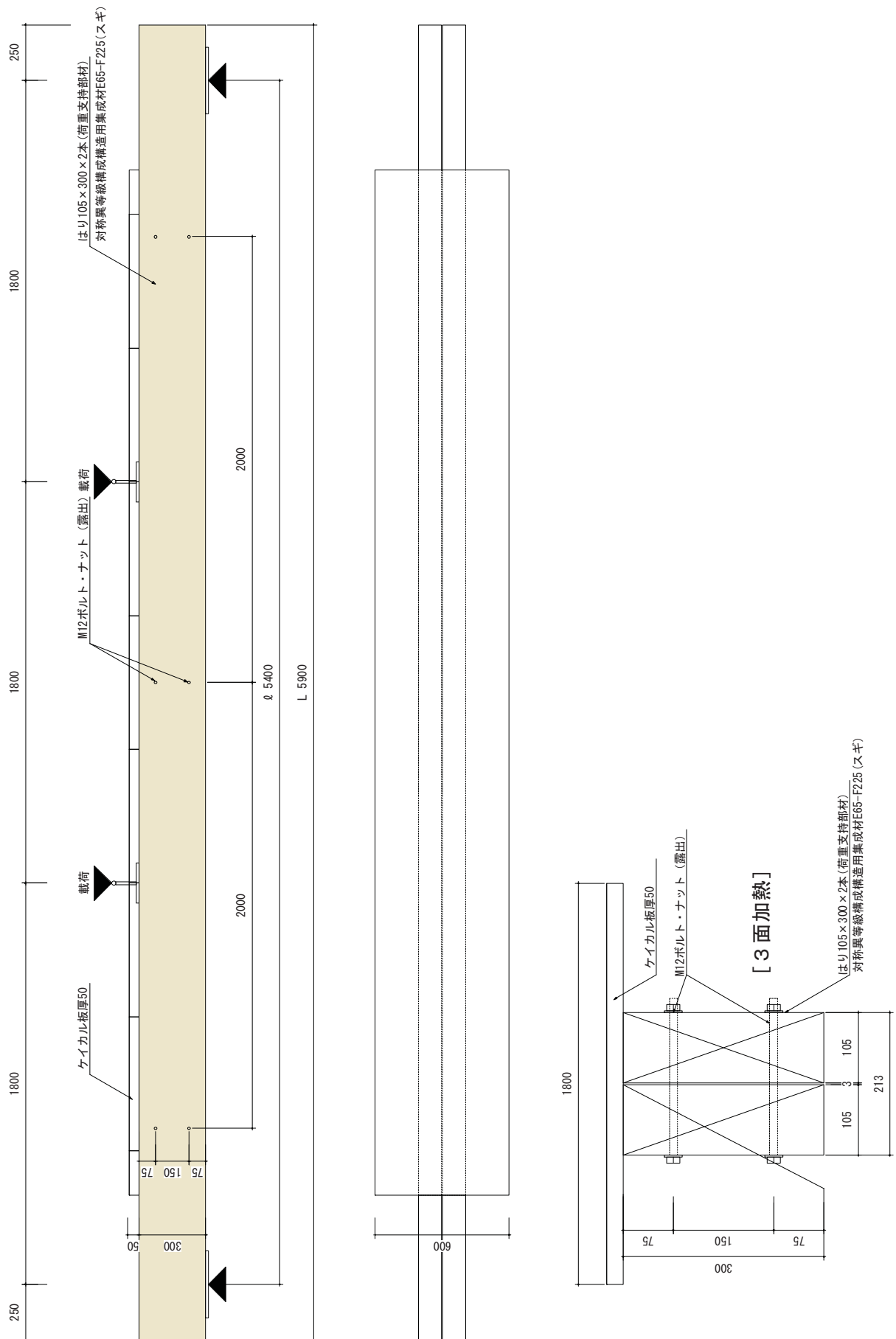


図 5. 1. 2-1 試験体図 (試験体 TB-1)

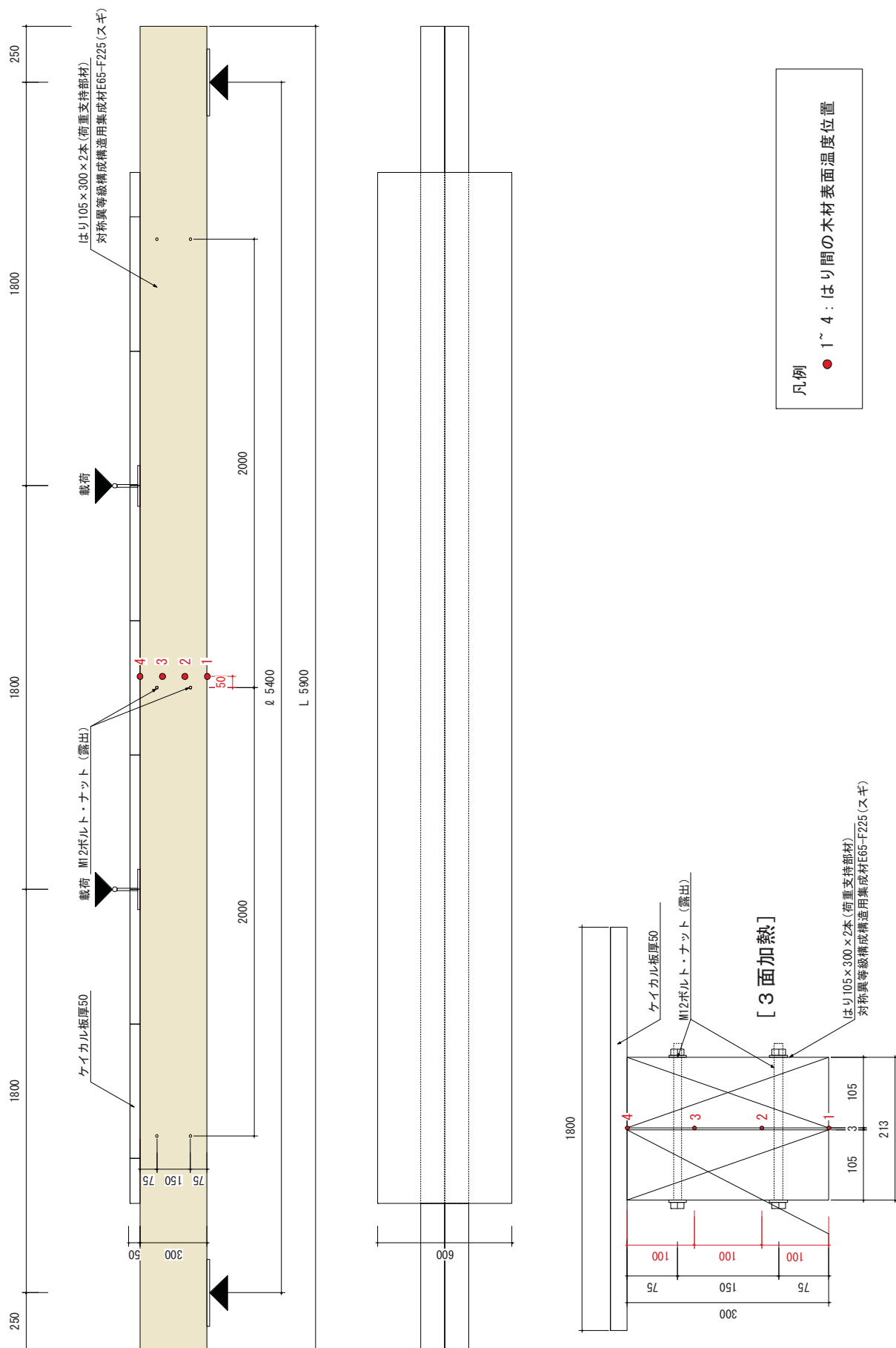
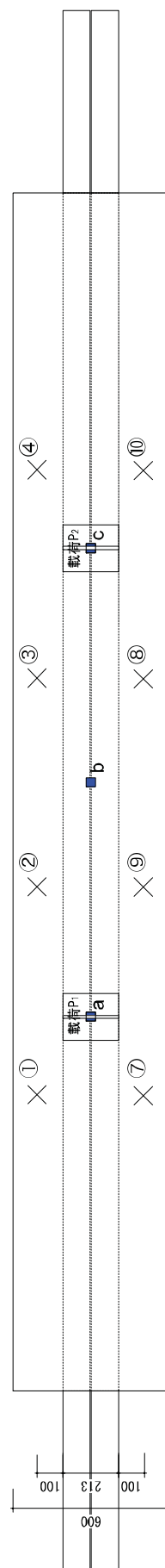
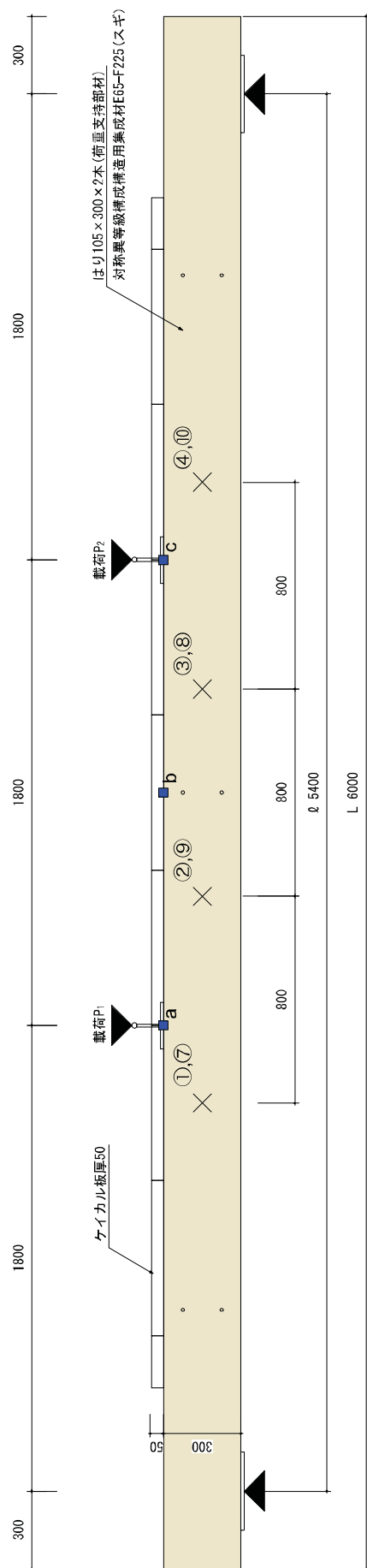


図 5.1.2-2 はり間の温度測定位置図 (試験体 TB-1)



凡例

× ①～④, ⑦～⑩ : 加熱温度測定位置

■ a～c : たわみ量測定位置

載荷P₁, P₂ : 載荷位置

図 5.1.2-3 載荷点及び炉内温度とたわみ量測定位置図 (試験体 TB-1)

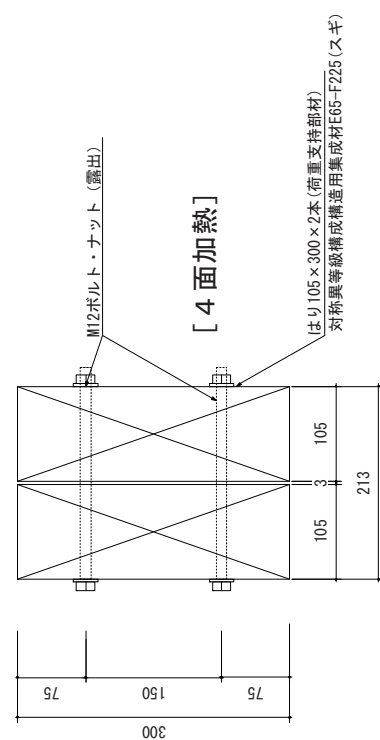
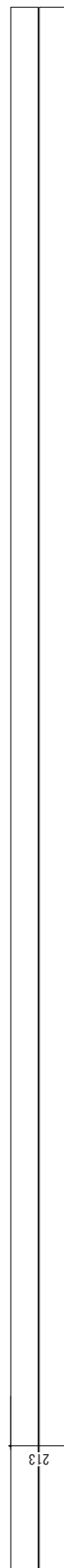
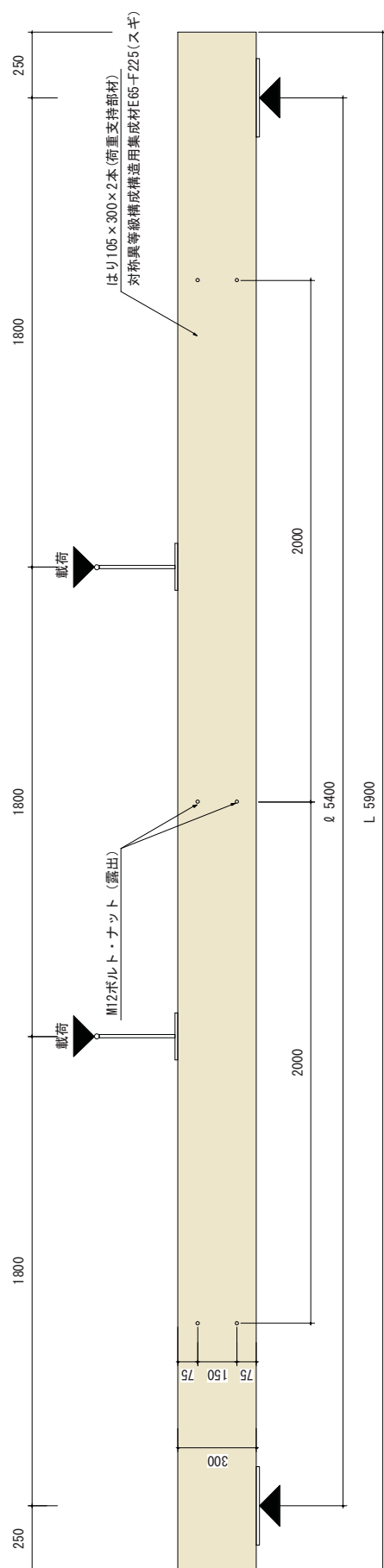
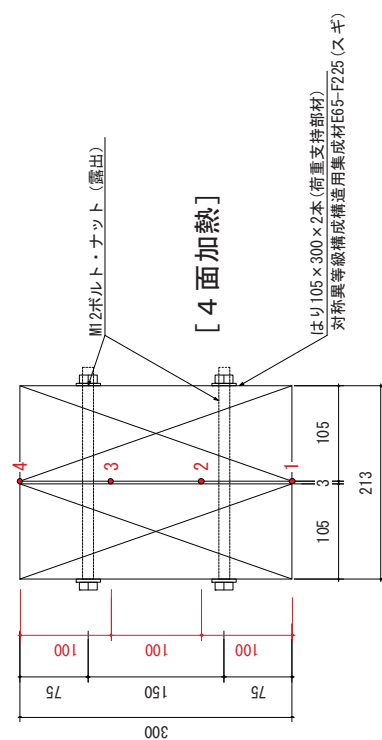
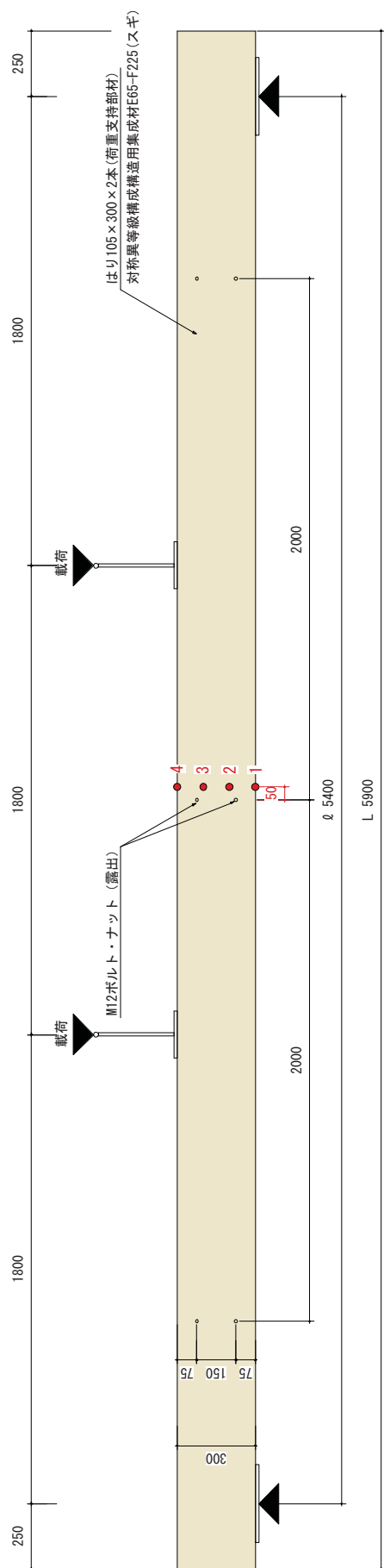


図 5.1.2-4 試験体図 (試験体 TB-2)



凡例
● 1~4 : はり間の木材表面温度位置

図 5.1.2-5 はり間の温度測定位置図 (試験体 TB-2)

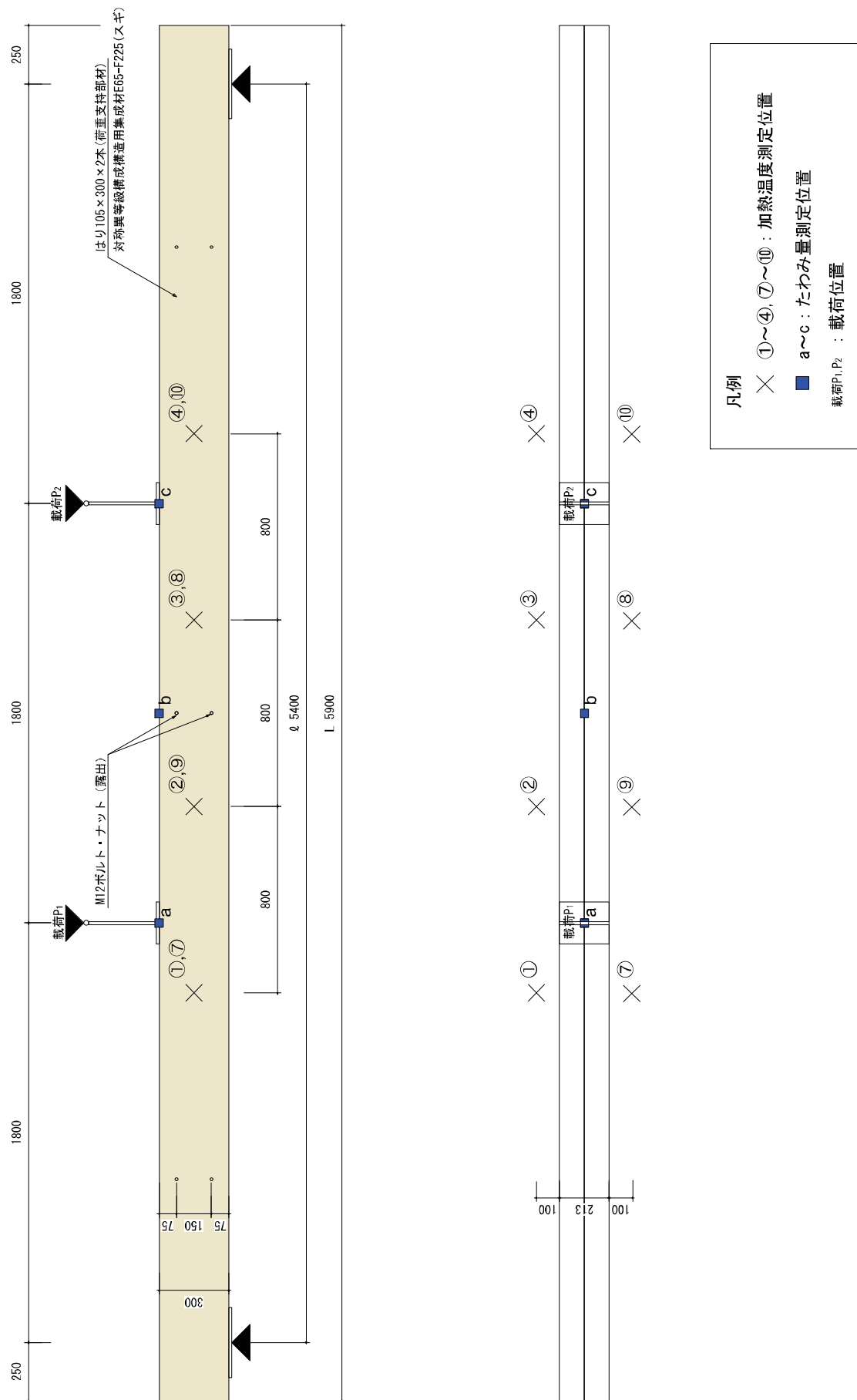


図 5.1.2-6 载荷点及び炉内温度とたわみ量測定位置図 (試験体 TB-2)

(3) 試験体 TB-3

図 5.1.2-7 に試験体 TB-3 の試験体図を示す。TB-3 は組立接合具としてビス（パネリードⅡ長さ 185 mm：東日本パワーファスニング社製）を使用し、取付け間隔はボルトの場合の 1/2 である 1,000 mm 間隔とした。ビス頭部は、集成材側面まで打ち込み、防火被覆は行っていない。集成材はり間の温度測定位置図を図 5.1.2-8、載荷点及び炉内温度とたわみ量を計測する巻き込み式変位計の取付け位置を図 5.1.2-9 に示す。

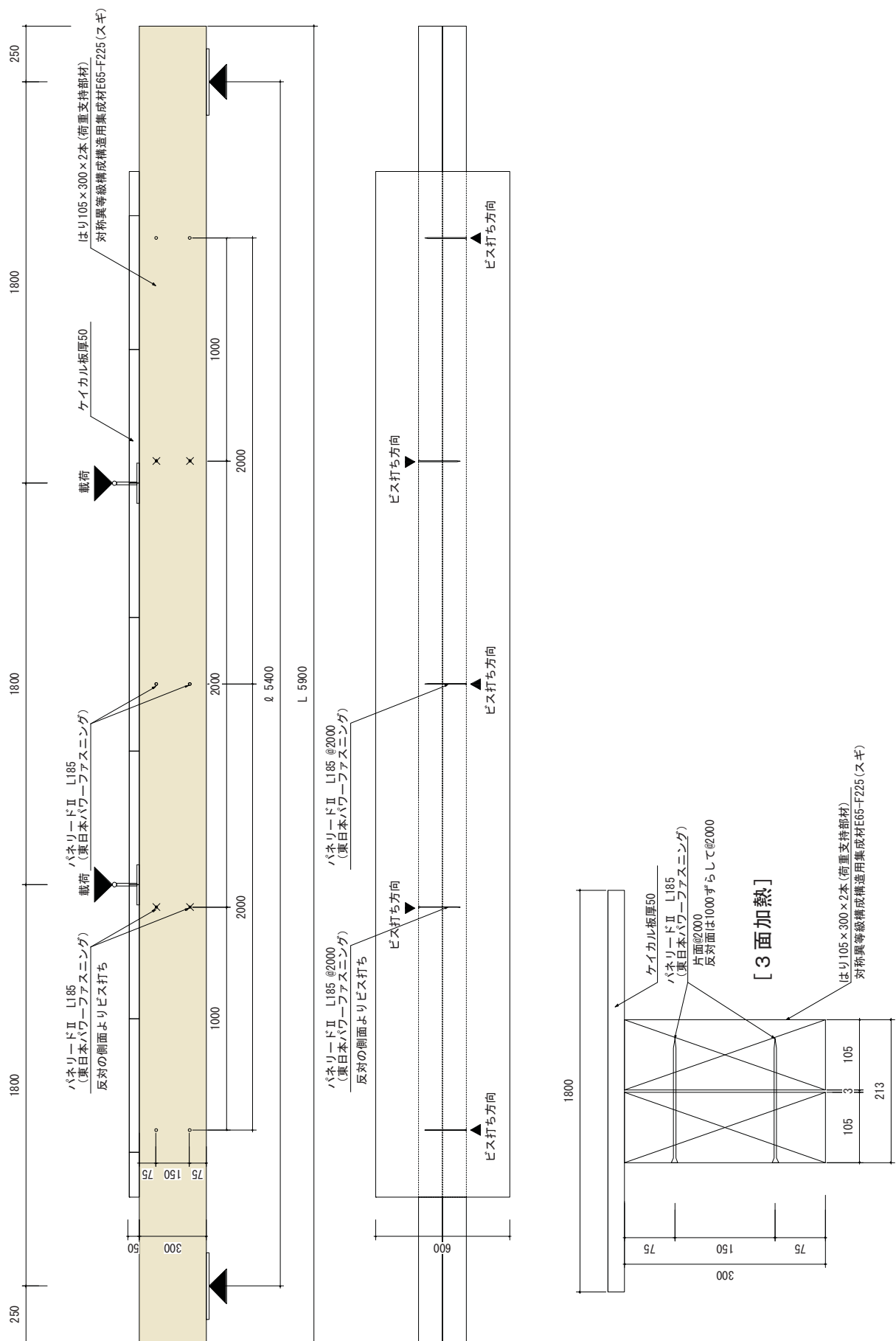


図 5.1.2-7 試験体図 (試験体 TB-3)

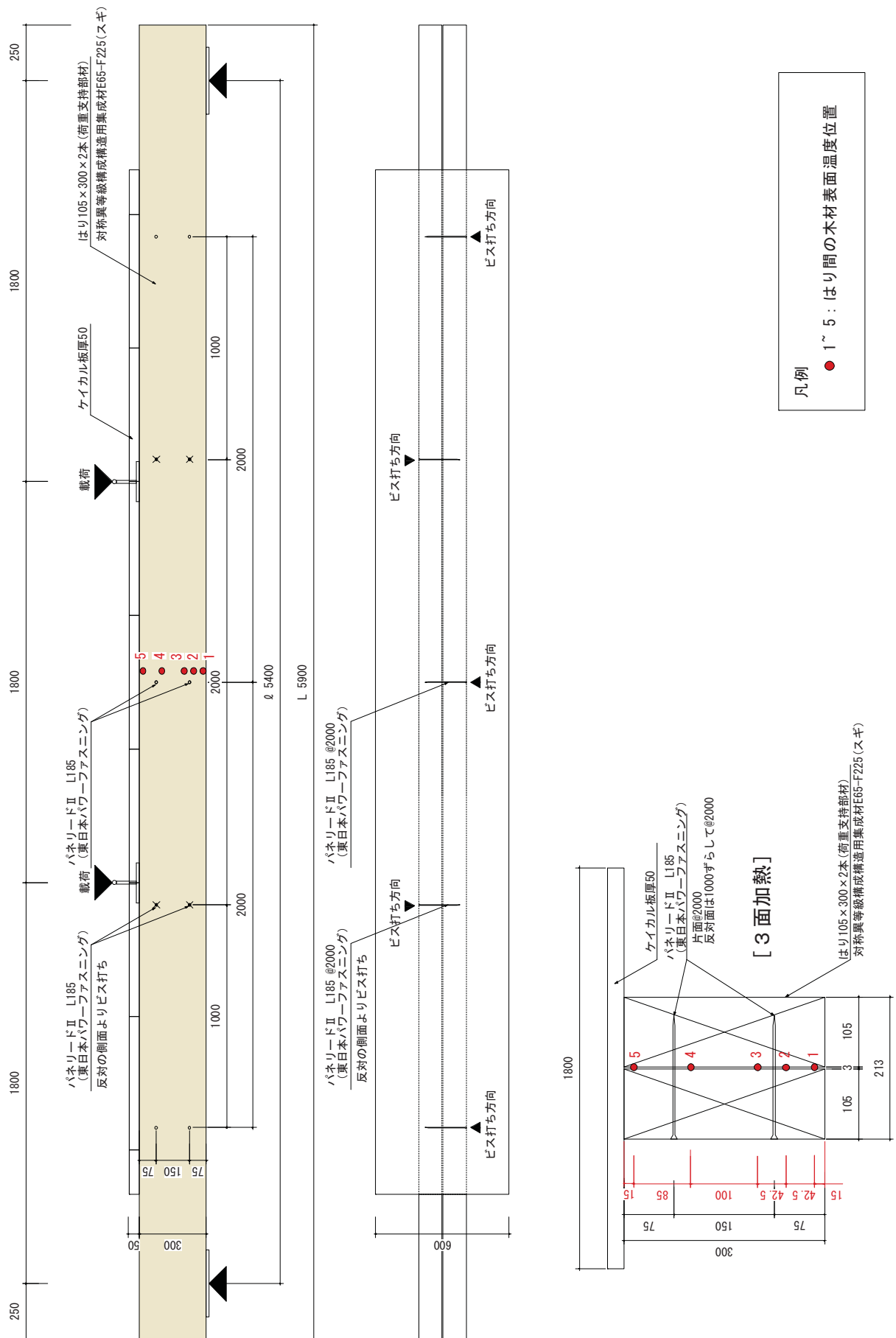
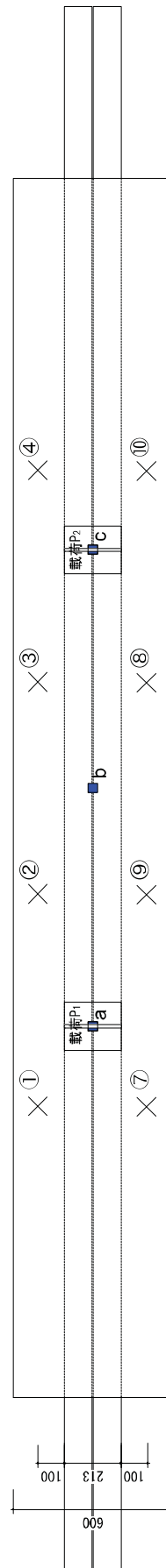
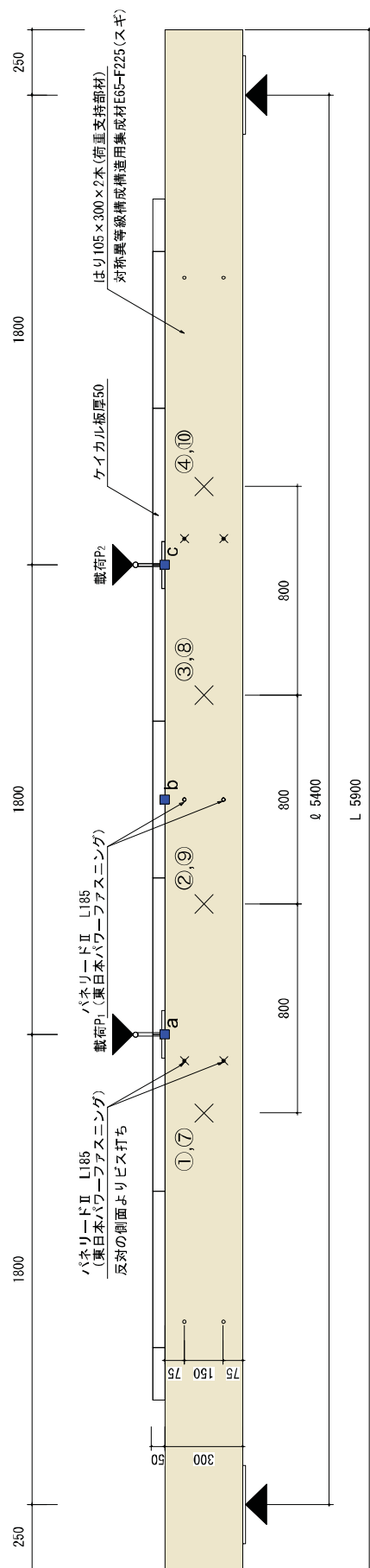


図 5.1.2-8 はり間の温度測定位置図 (試験体 TB-3)



凡例

× ①～④, ⑦～⑩ : 加熱温度測定位置

■ a～c : たわみ量測定位置

載荷P₁, P₂ : 載荷位置

図 5.1.2-9 載荷点及び炉内温度とたわみ量測定位置図 (試験体 TB-3)

5. 1. 3 実験方法

載荷加熱試験は、一般財団法人 ベターリビングつくば建築試験研究センターの水平炉（はり炉）を使用し、「防耐火性能・標準業務方法書」に準拠した載荷加熱試験を行った。

図 5. 1. 3-1 に水平炉の試験装置図を示す。

試験実施日は、次の通り。

試験体 TB-1：平成 27 年 12 月 8 日

試験体 TB-2：平成 27 年 12 月 10 日

試験体 TB-3：平成 28 年 2 月 22 日

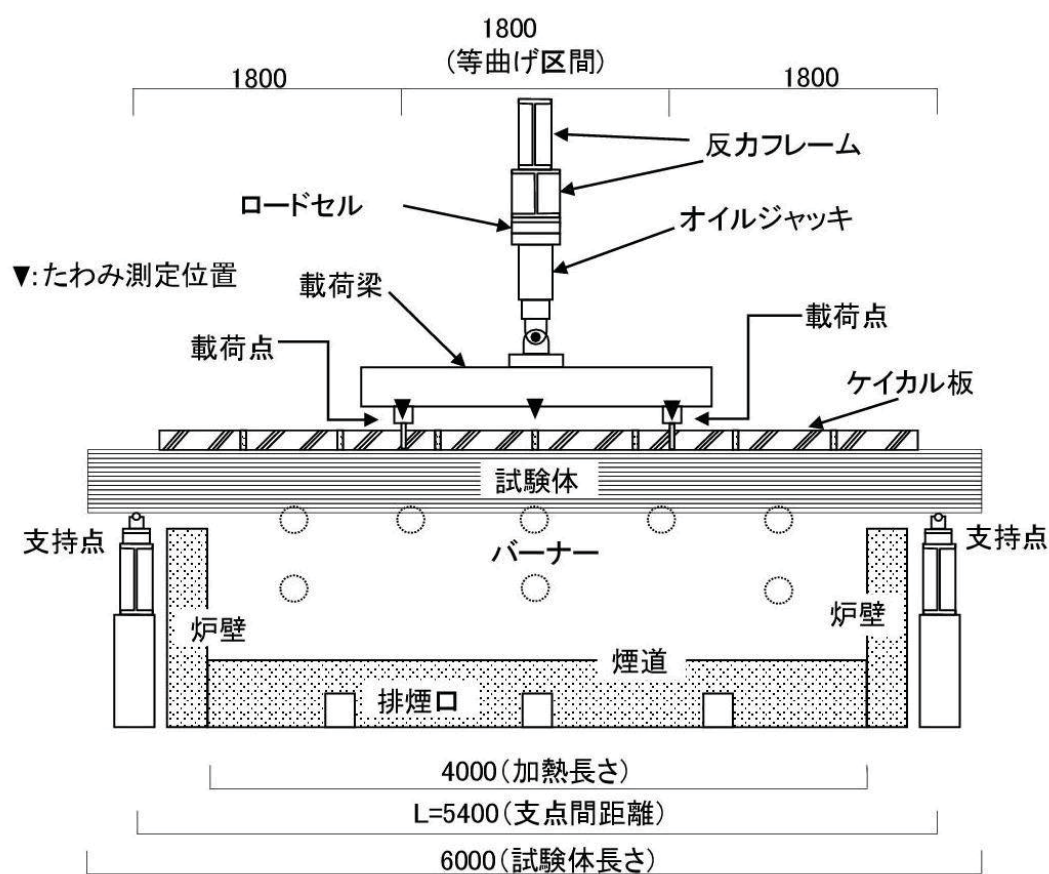


図 5. 1. 3-1 試験装置図

(1) 加熱方法

IS0834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。たわみ変形が進み、載荷の継続が困難となった場合に試験を中止する事とした。

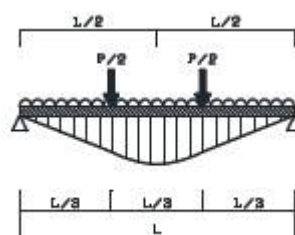
(2) 載荷方法

単純支持の3等分2線荷重により載荷を行う。試験荷重は、目標耐火時間を1時間とし、「燃えしろ設計」による残存有効断面の短期許容曲げモーメントを求め、試験体の自重分を考慮し、試験荷重を定めた。試験に用いた集成材は機械等級区分ラミナを使用した対称異等級構成集成材であるが、集成材のJAS規格ではラミナの機械等級区分は曲げヤング係数の下限値で区分するため、表示された強度等級の強度性能を上回る製品も含まれる場合もある。従って、試験荷重の算定に当たり、載荷法により曲げヤング係数を求め、測定結果に見合う強度等級の基準強度から試験荷重を算出した。表5.1.3-1に、試験荷重の算出手順を示す。

表 5.1.3-1 試験荷重の算出手順

試験体No	TB-1, TB-3	TB-2
試験体の断面寸法 (mm)	2-105 × 300	
燃えしろの値 (mm)	45	
加熱面	3面加熱	4面加熱
荷重支持部分の寸法 (mm)	2-60 × 255	2-60 × 210
同上断面係数 (mm ³)	1,300,500	882,000
構造用集成材の種類	対称異等級構成集成材 (スギ)	
集成材のヤング係数測定値 (GPa)	8.2	7.0
集成材の基準強度 (N/mm ²)	24.0 (強度等級E75-F240)	
JASの低減係数	1.00	1.02
短期許容応力度 (N/mm ²)	16.0	16.3
支持間距離 (mm)	5,400	
短期許容曲げモーメント (kN・m)	20.81	14.39
集成材の自重 (kN/m)	0.335	0.321
自重による曲げモーメント (kN/m)	1.221	1.170
載荷する曲げモーメント (kN/m)	19.59	13.22
試験荷重 (kN)	21.76	14.69

注) 試験体の荷重条件



(3) 測定項目

①試験体内部温度

合わせばりを構成する構造用集成材間（クリアランス 3 mm 部分）にシース型 K 熱電対を 4 点 (TB-3 は 5 点) 配置し、加熱試験中の内部温度の変化を 30 秒間隔で測定した。

②炉内温度

シース型 K 熱電対を試験体の加熱面から 10 cm 離れた位置に 8 点配置し、加熱試験中の炉内温度を 30 秒間隔で測定した。

③鉛直方向変位量（たわみ量）

スパン中央部、載荷点（2 カ所）、支持点（2 カ所）に各 2 点計 10 カ所の鉛直方向の変位量を巻き込み式変位計により、30 秒間隔で測定した。

③炭化状況

試験終了後、試験体各部を切断し、加熱後の炭化深さ及び残存断面を測定した。脱炉までに試験終了後約 33 分～約 44 分程度かかった為、加熱面による炭化状況の確認や組立接合具部などの燃え込み状況を確認したが、残存断面から炭化速度は算出していない。

⑤含水率

試験体に使用した構造用集成材の端部から作成されたサンプルを 105℃の絶乾状態に設定した恒温器を用いて 5 日間養生した後、重量減少を測定して、含水率を測定した。含水率は次式から求めた。

$$\text{含水率(\%)} = ((\text{乾燥前の重量} - \text{絶乾後の重量}) \div \text{絶乾後の重量}) \times 100$$

⑥その他

試験体の目視観察、写真撮影等を行った。

5. 1. 4 実験結果及び考察

(1) 試験体記号 TB-1

実験の結果、加熱開始後56分30秒でたわみ量の増加により試験体の荷重支持能力がなくなったため、実験を終了した。加熱温度測定結果を図5.1.4-1、はり間の温度測定結果を図5.1.4-2、スパン中央部と載荷点のたわみ量測定結果を図5.1.4-3、試験荷重測定結果を図5.1.4-4に示す。

試験体含水率と密度及び実験経過など次の通りである。

①試験体の含水率は、9.98%、密度は $0.38\text{g}/\text{cm}^3$ である。

②はり間の木材表面温度

はりの下端 (No. 1) の温度は、加熱開始後5.0分に 260°C を超え、加熱終了時に最高温度の約 950°C を計測したが、その他の温度測定点 (No. 2～No. 4) では、加熱終了時まで 100°C 未満であった。

③脱炉後のはり間の開き状況

梁の下端は、中央部で 18mm 、西側載荷点で 20mm 、東側載荷点で 16mm を確認した。梁の上端は、中央部で 8mm 、西側載荷点で 5mm 、東側載荷点で 4mm であり、はり下端側が開く傾向であった。

④炭化状況

図5.1.4-5に、脱炉後消火した試験体の断面炭化図を示す。加熱終了後の合わせばり試験体の炭化状況は、はり幅方向の炭化深さが $35\sim 45\text{mm}$ 度、梁成方向の炭化深さは $60\sim 90\text{mm}$ 程度であった。又、スパン中央部の組立接合具 (M12ボルト) の取付け位置では、はり内部まで燃え込んでいることが確認できた。

④記録写真を写真 5.1.4-1～写真 5.1.4-8 に示す。

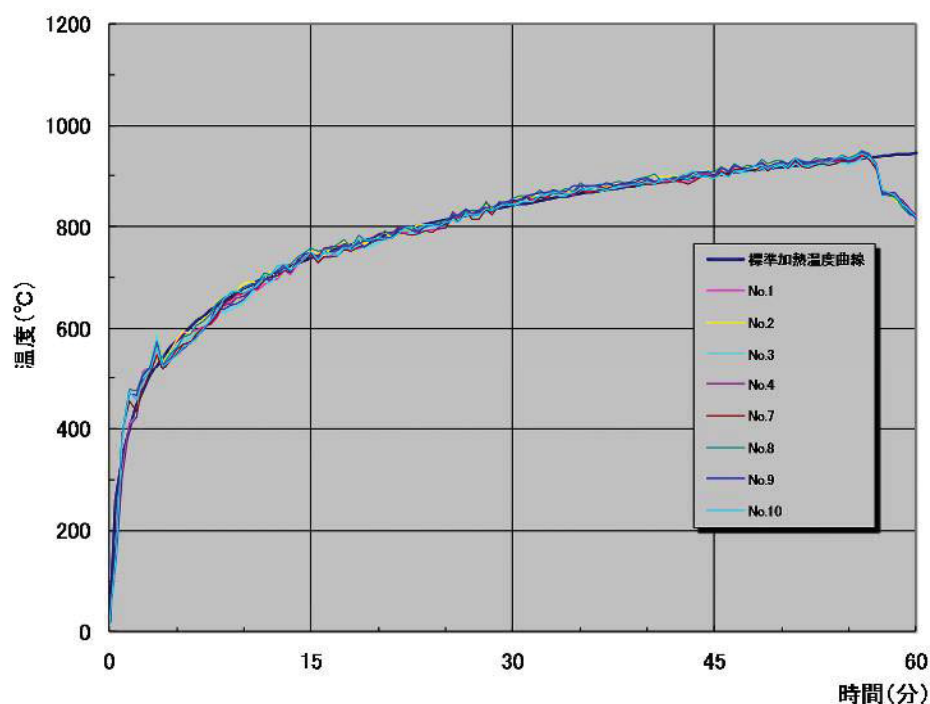


図 5.1.4-1 加熱温度測定結果 (TB-1)

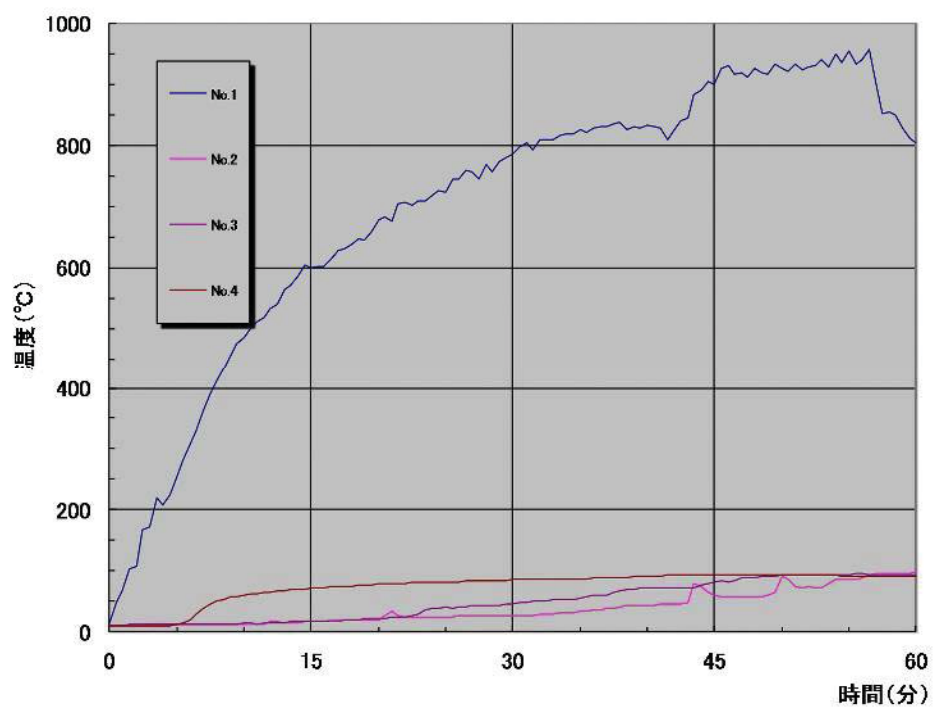


図 5. 1. 4-2 はり間の温度測定結果 (TB-1)

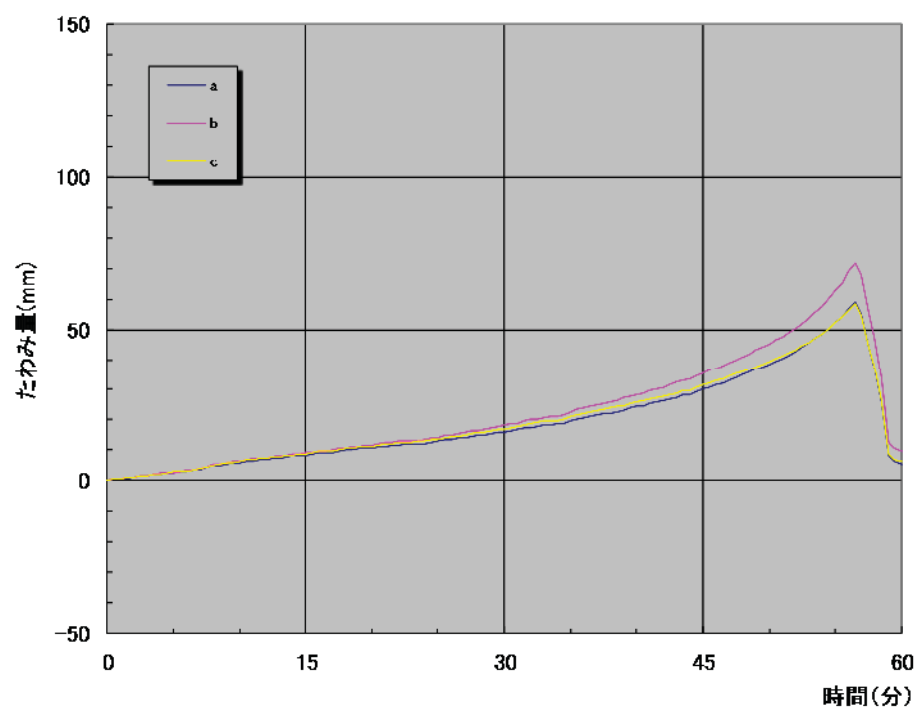


図 5. 1. 4-3 スパン中央部と載荷点のたわみ量測定結果 (TB-1)

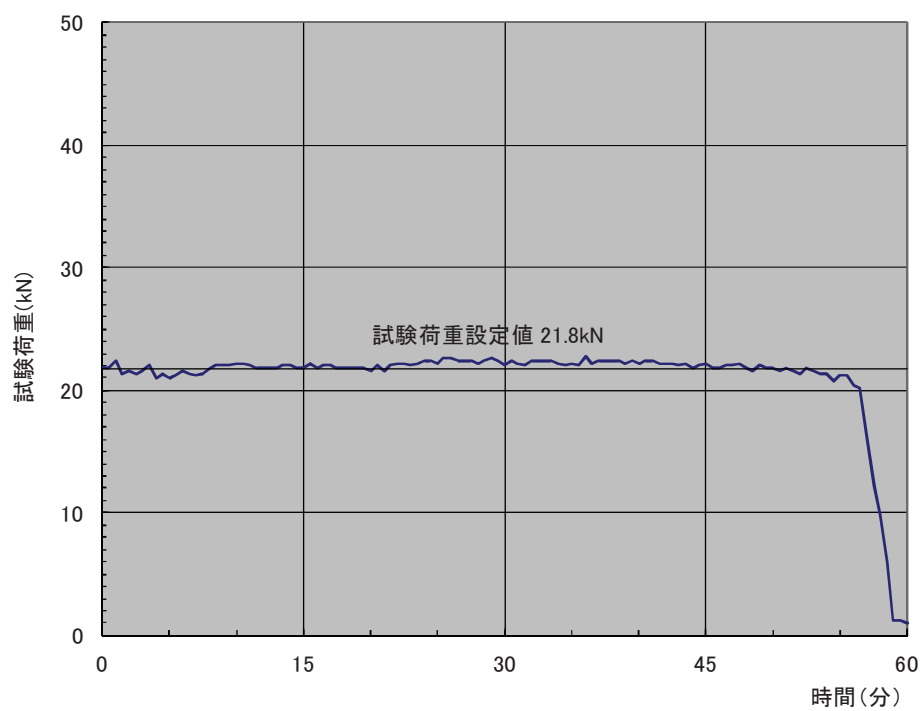


図 5. 1. 4-4 試験荷重測定結果 (TB-1)



写真5. 1. 4-1 TB-1試験体



写真5. 1. 4-2 はり間のクリアランス



写真5.1.4-3 試験体の設置状況



写真5.1.4-4 载荷加熱試験



写真5.1.4-5 脱炉後の試験体



写真5.1.4-6 はり下面の隙間状況



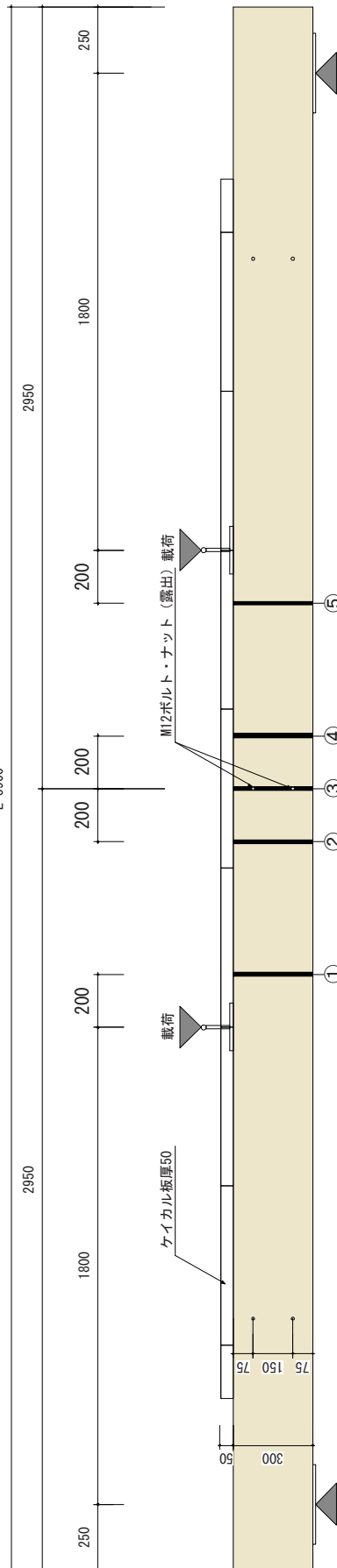
写真5.1.4-7 集成材はりの内側炭化状況



写真5.1.4-8 ボルト部分の燃え込み

[西側]

[東側]



残存断面の測定位置

— : 炭化サンプル採取位置 (①~⑤)

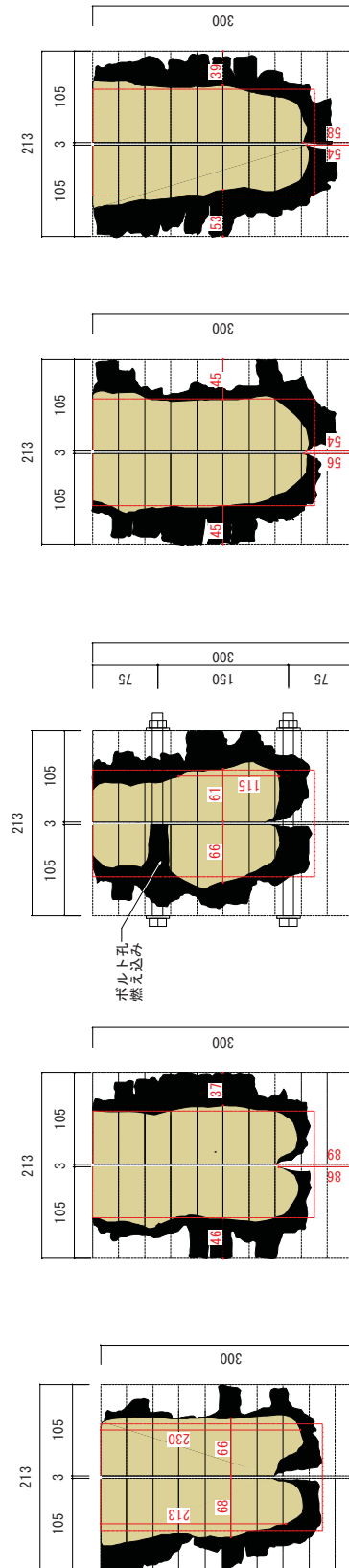


図 5.1.4-5 試験体 TB-1 断面炭化図

(2) 試験体記号 TB-2

実験の結果、加熱開始後49分30秒でたわみ量の増加により試験体の荷重支持能力がなくなったため、実験を終了した。加熱温度測定結果を図5.1.4-6、はり間の温度測定結果を図5.1.4-7、スパン中央部と載荷点のたわみ量測定結果を図5.1.4-8、試験荷重測定結果を図5.1.4-9に示す。

試験体含水率と密度及び実験経過など次の通りである。

①試験体の含水率は、10.03%、密度は0.38g/cm³である。

②はり間の木材表面温度

はり下端 (No. 1) の温度は、加熱開始後6.5分に260℃を超え、加熱終了時に最高温度の約950℃を計測した。4面加熱の為、はり上端 (No. 4) の温度も加熱開始後34分に260℃を超え、加熱終了時に323.8℃を計測した。その他の温度測定点 (No. 2とNo. 3) は、加熱終了時まで100℃未満であった。

③脱炉後のはり間の開き状況

梁の下端は中央部で10～20mm程度、梁の上端は、中央部で5mm、載荷点で4mm程度であった。

④炭化状況

図5.1.4-5に、脱炉後消火した試験体の断面炭化図を示す。加熱終了後の合わせばり試験体の炭化状況は、4面加熱の為、はり幅方向に比べはり成方向に於ける炭化の進行が早く、部分的に85mm～100mm程度炭化している。又、はりの梁中央部では留付材の位置内部まで燃え込んでいた。

⑤記録写真を写真5.1.4-9～写真5.1.4-16に示す。

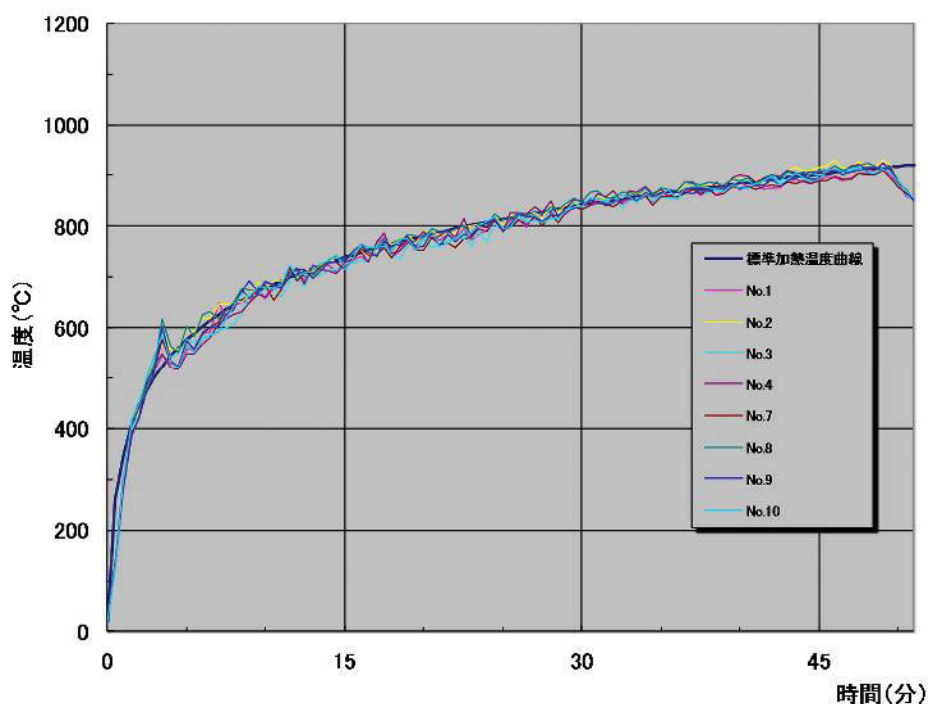


図 5.1.4-6 加熱温度測定結果 (TB-2)

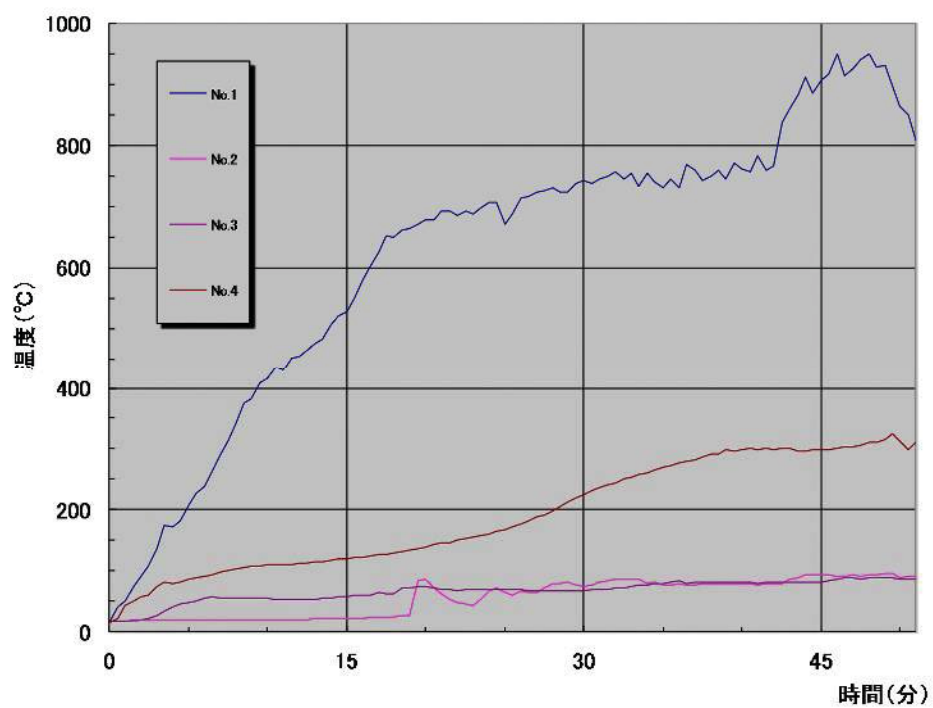


図 5.1.4-7 はり間の温度測定結果 (TB-2)

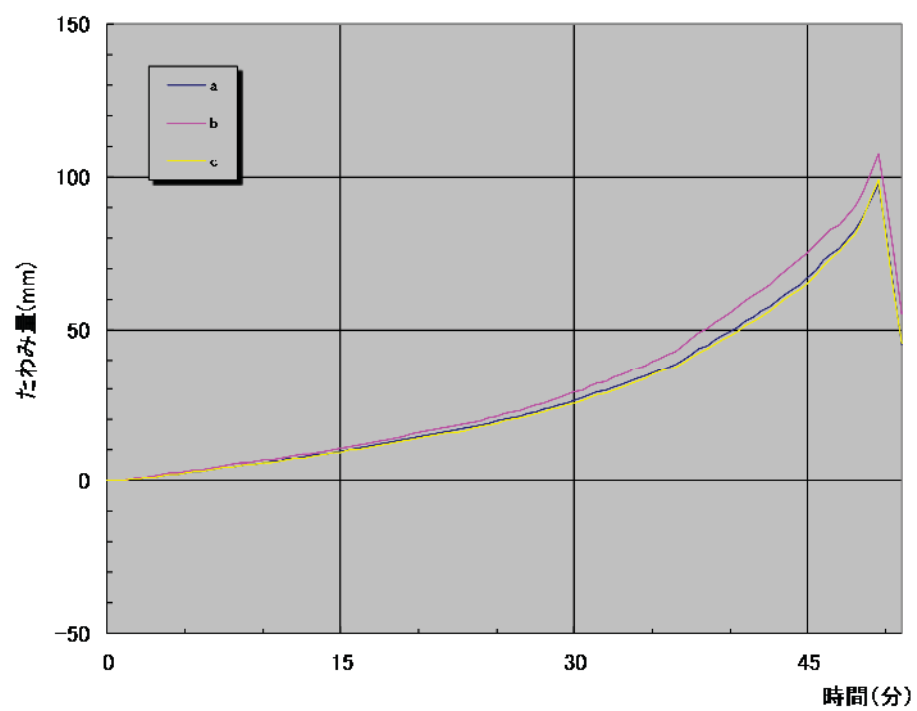


図 5.1.4-8 スパン中央部と載荷点のたわみ量測定結果 (TB-2)

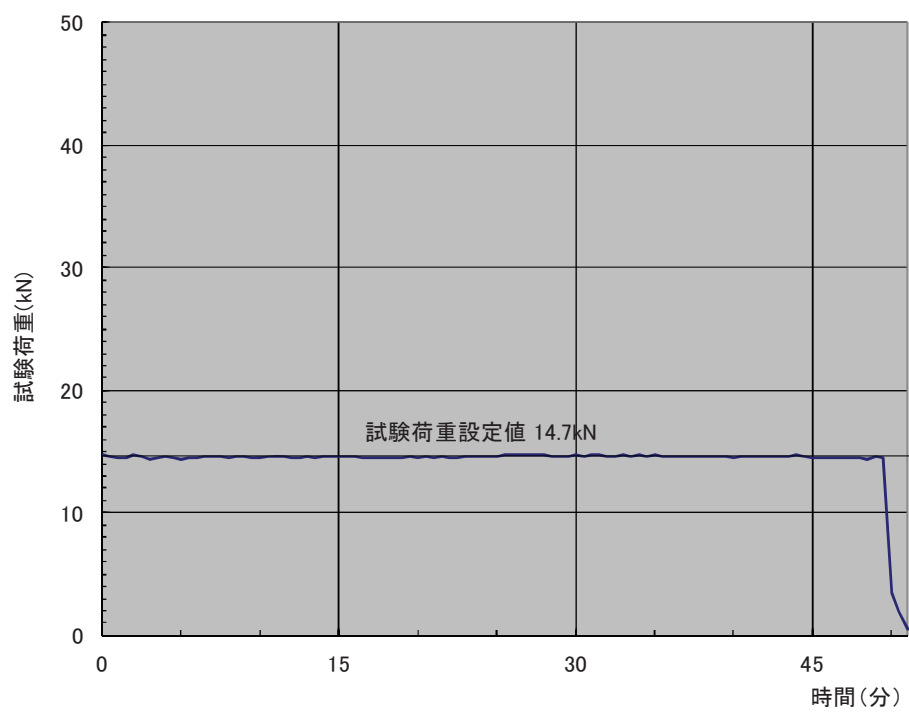


図 5. 1. 4-9 試験荷重測定結果 (TB-2)



写真5. 1. 4-9 TB-2試験体

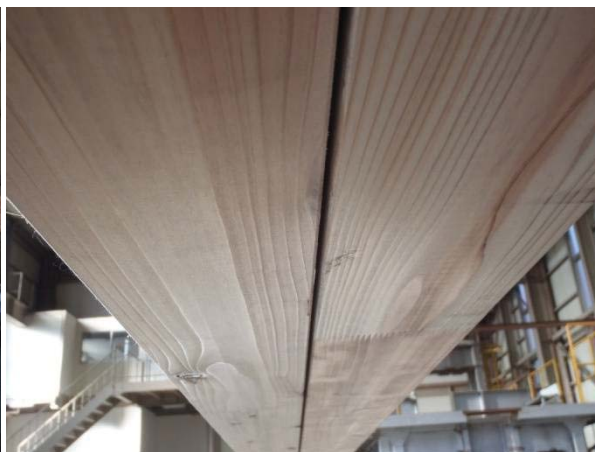


写真5. 1. 4-10 はり間のクリアランス



写真5.1.4-11 試験体の設置状況



写真5.1.4-12 載荷加熱試験



写真5.1.4-13 炉蓋取り外し後の試験体



写真5.1.4-14 脱炉後の試験体



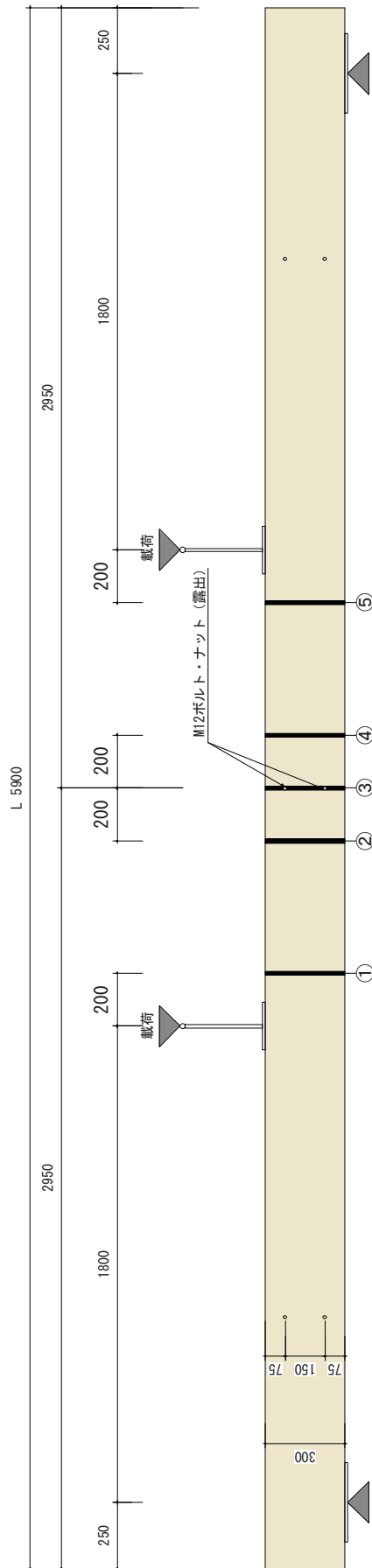
写真5.1.4-15 集成材はりの内側の炭化状況



写真5.1.4-16 ボルト部分の燃え込み

[西側]

[東側]



— : 炭化サンプル採取位置 (①~⑤)

残存断面の測定位置

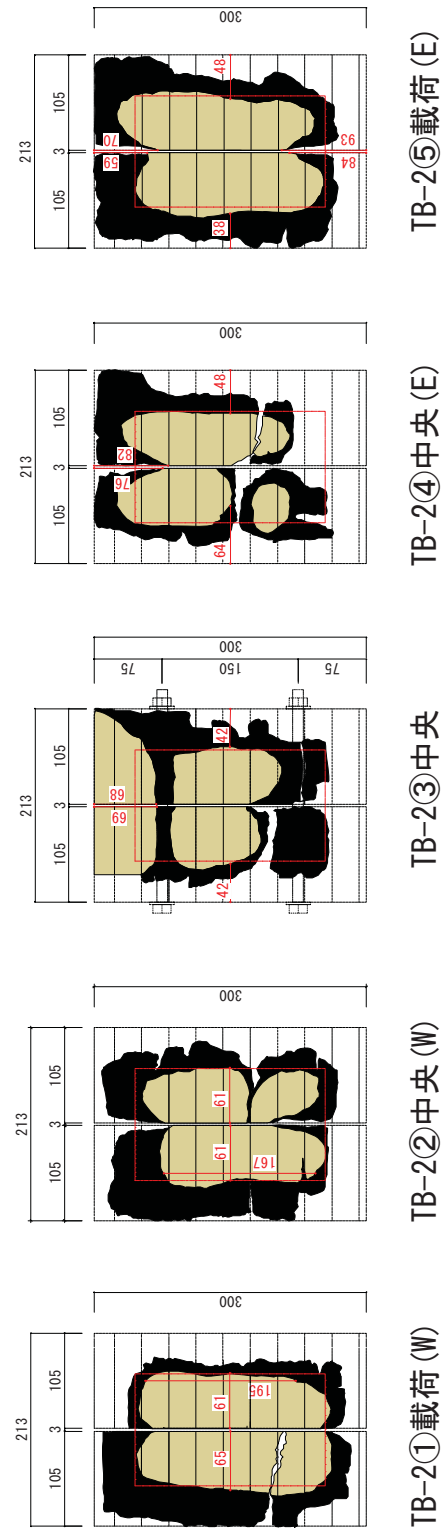


図 5.1.4-10 試験体 TB-2 断面炭化図

(3) 試験体記号 TB-3

実験の結果、加熱開始後62分でたわみ量の増加により試験体の荷重支持能力がなくなったため、実験を終了した。加熱温度測定結果を図5.1.4-11、はり間の温度測定結果を図5.1.4-12、スパン中央部と載荷点のたわみ量測定結果を図5.1.4-13、試験荷重測定結果を図5.1.4-14に示す。

試験体含水率と密度及び実験経過など次の通りである。

① 試験体の含水率は、8.78%、密度は $0.35\text{g}/\text{cm}^3$ である。

② はり間の木材表面温度

はり下端 (No. 1) の温度は、加熱開始後14.5分に 260°C を超え、加熱終了時に最高温度の約 950°C を計測した。その上の計測点 (No. 2) では、60分以上の加熱でも 260°C までの温度上昇であった。その他の温度測定点 (No. 3、4、5) は、加熱終了時まで 100°C 未満であった。

③ 脱炉後のはり間の開き状況

梁の下端は加熱区間全長にわたって20mm程度、梁の上端は加熱区間全長にわたって5～7mm程度であった。

④ 炭化状況

図5.1.4-15に、脱炉後消火した試験体の断面炭化図を示す。加熱終了後の合わせばり試験体の炭化状況は、はり幅方向の炭化深さが50～63mm度、梁成方向の炭化深さは112～143mm程度であった。

⑤ 記録写真を写真5.1.4-17～写真5.1.4-24に示す。

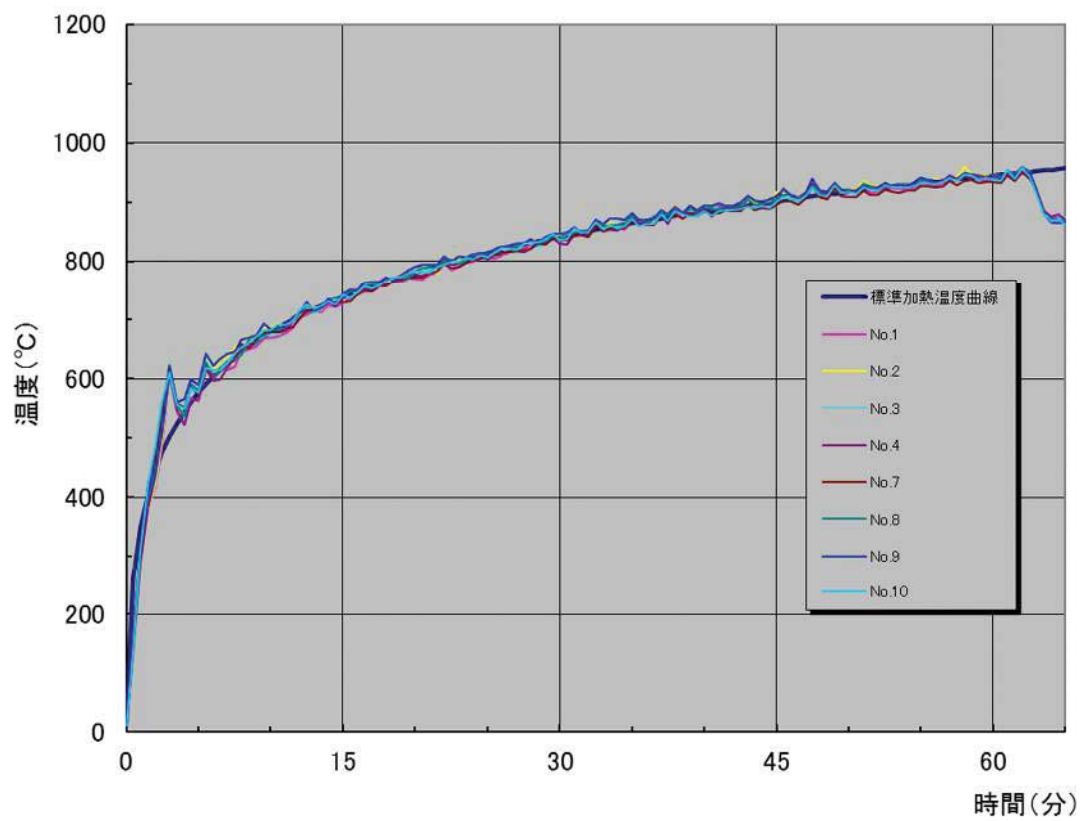


図 5.1.4-11 加熱温度測定結果 (TB-3)

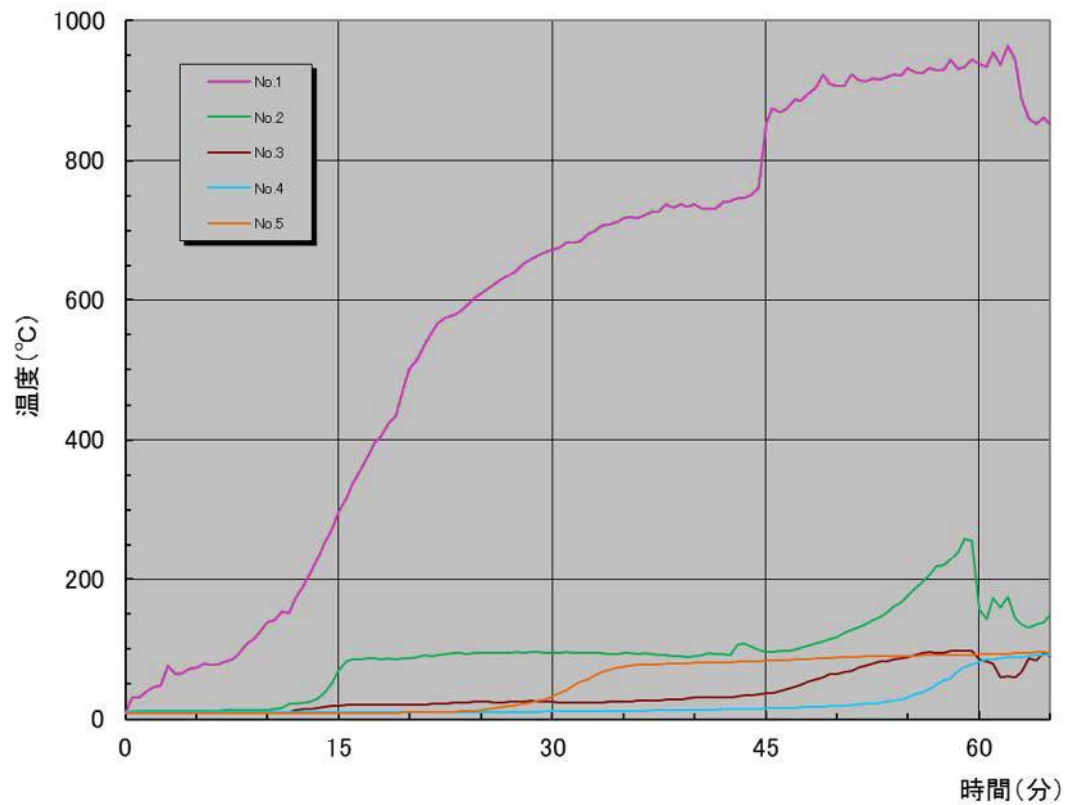


図 5.1.4-12 はり間の温度測定結果 (TB-3)

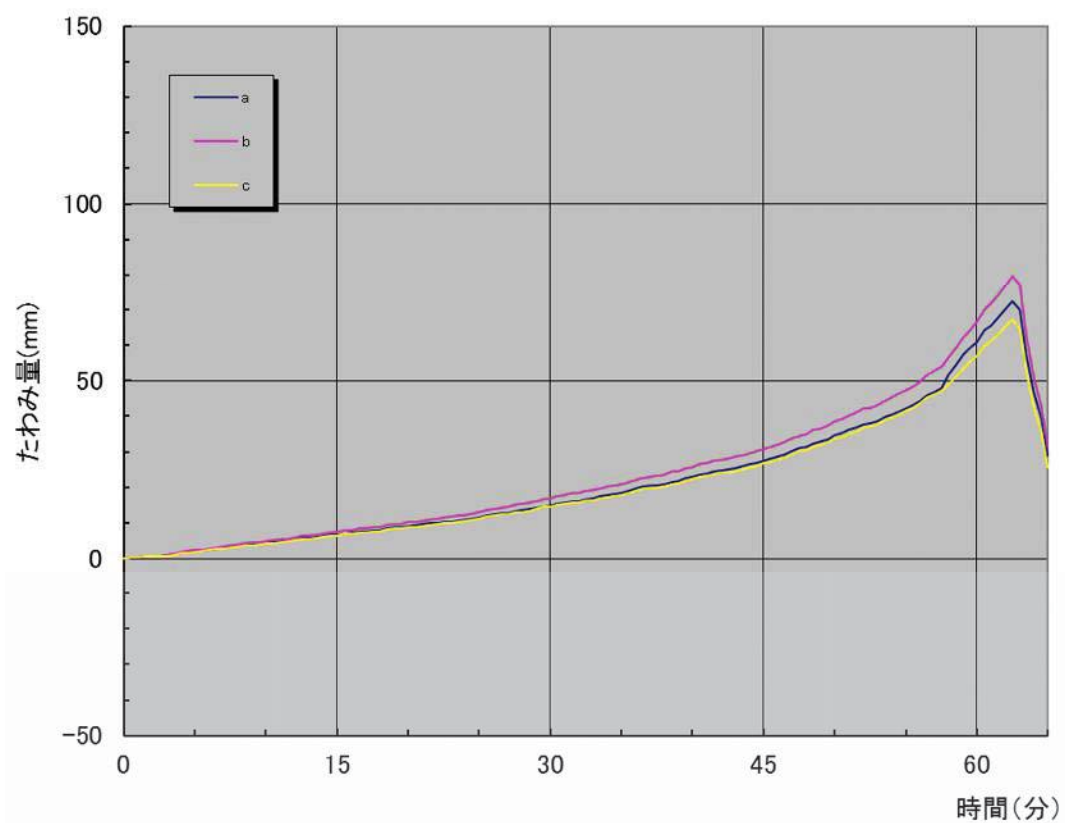


図 5.1.4-13 スパン中央部と載荷点のたわみ量測定結果 (TB-3)

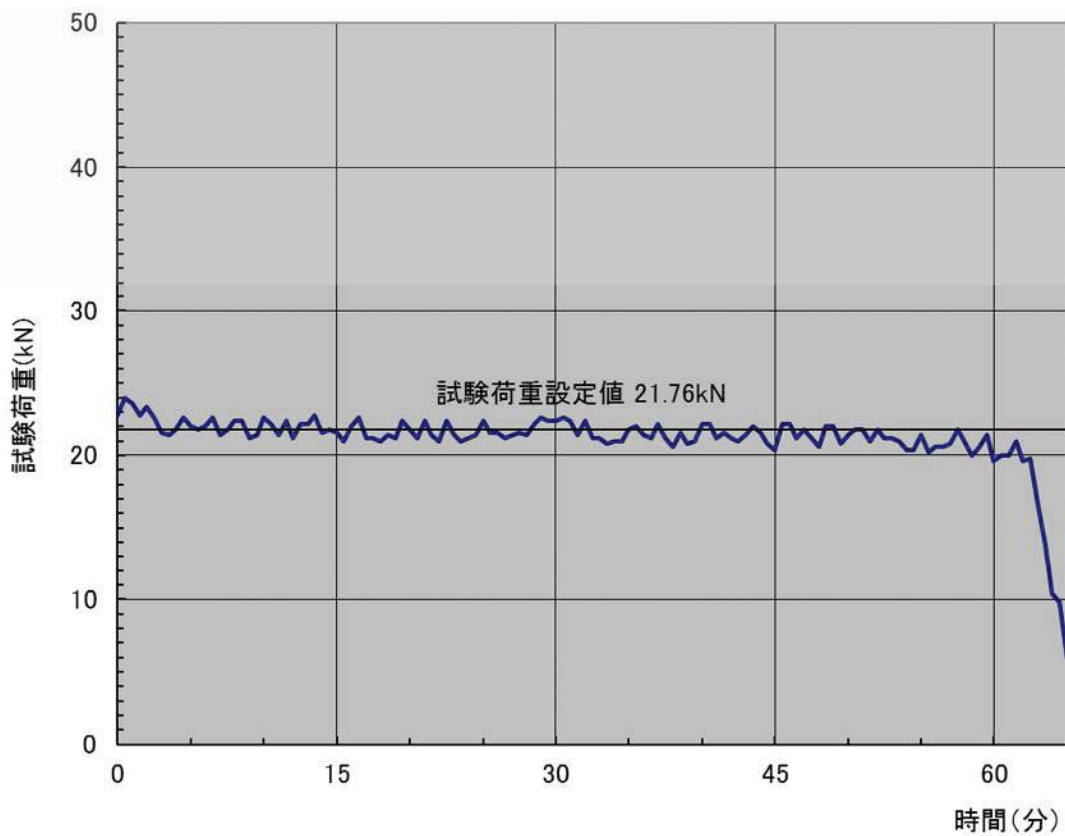


図 5.1.4-14 試験荷重測定結果 (TB-3)



写真5.1.4-17 TB-3試験体



写真5.1.4-18 はり間のクリアランス

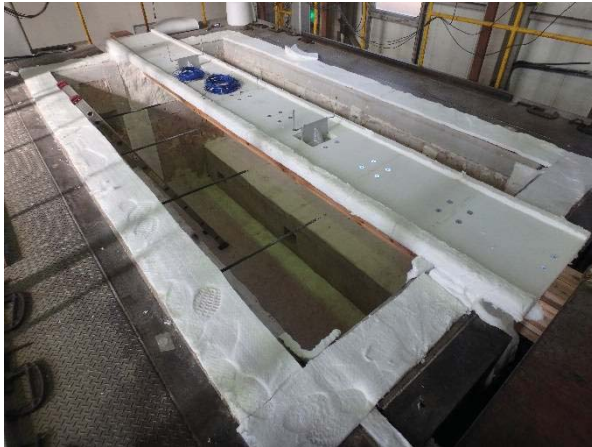


写真5.1.4-19 試験体の設置状況



写真5.1.4-20 載荷加熱試験



写真5.1.4-21 炉蓋取り外し後の試験体



写真5.1.4-22 脱炉後の試験体



写真5. 1. 4-23 集成材はりの内側の炭化状況



写真5. 1. 4-24 中央部分の燃え込み

(4) 考察

表 5.1.4-1 に実験結果の一覧を示す。

表 5.1.4-1 実験結果一覧

試験体名		TB-1	TB-2	TB-3
試験体の断面寸法 (mm)		213×300 (部材間のクリアランス：3 mm)		
支持間距離 (mm)		5,400		
試験荷重 (kN)		21.76	14.69	21.76
加熱面		3 面加熱	4 面加熱	3 面加熱
耐火時間 (分)		56.5	49.5	62
たわみ量 (mm)	中央部	72	58	79.6
	載荷点	107.6	99.6	69.9

①組立接合具にボルトを使用した合わせばり試験体の耐火時間は、3 面加熱の試験体 TB-1 が 56.5 分、4 面加熱の試験体 TB-2 が 49.5 分と何れも目標耐火時間の 60 分を下回る結果であった。試験体 TB-1 と TB-2 の耐火時間が目標の 1 時間を下回った原因としては、次のような要因が重なったものと考えられる。

- (i) ボルト頭部とナット部分の防火被覆は行っていない為、ボルト留付け部の燃え込みが発生していること。
- (ii) 集成材間のクリアランスを 3 mmとしている為、集成材間の燃え込みはそれほどはなかったが、集成材間の温度は 100℃近くの高温になっていること。
- (iii) 最外層ラミナの焼損している、特に 4 面加熱の試験体 TB-2 は上下の最外層ラミナの焼損が著しいこと、等。

②接合組立具にネジを使用した試験体 TB-3 の耐火時間は、3 面加熱の試験体 TB-3 が 62 分で目標耐火時間 60 分を上回る結果であった。試験体 TB-3 の耐火時間が目標の 1 時間を上回った原因としては、次のような要因があると考えられる。

- (i) TB-1 と TB-2 のボルト留付け部の燃え込みが大きかったことと違って、ビス頭部の燃え込みが発生しにくかったこと。
- (ii) TB-1 と TB-2 のボルト留付けと違って、加熱試験の間集成材間のクリアランスが維持できたと考えられ、集成材間の温度は 100℃を超えなかった。

③中断面構造用集成材による合わせばりの載荷加熱試験の結果、施工誤差や経時的な隙間の発生を考慮し、部材間のクリアランス（隙間）を 3 mmとした試験体でも、組立にネジを使用した試験体は 3 方向加熱で 60 分の準耐火性能（燃えしろ設計）が確認できた。ボルト接合による試験体は 3 方向加熱と 4 方向加熱の何れも 60 分の準耐火性能を満たさなかったが、炉内に露出したボルト頭部、ナット及び座金からの燃え込みが影響していたものと考えられ、ボルト類など外部に露出した接合具を使用する場合は、接合具の露出部分の防火被覆を検討する必要がある。

5. 2 合わせ柱（TC-1,TC-2）の防火上有効な措置に関する実験

5. 2. 1 実験概要

準耐火建築物の要求のある中大規模の建築物では、住宅と比較すると1本あたりの柱が負担する荷重が大きくなり、階高も高くなることから住宅用の規格寸法よりも大きな断面寸法が必要になる。特に燃えしろ設計の要求がある場合、要求耐火時間まで座屈を起こさないように断面二次半径および断面積を確保するには、ある程度の部材幅が必要になる。

しかし構造用製材は丸太から切り出すことで製造されるため、丸太径により製品寸法の制限を受ける。構造用集成材も積層方向にはラミナを貼ることで大きな寸法を構成できるが、幅方向の寸法は生産ラインにより制限を受け、丸太からの歩留りも考慮するとあまり幅が広くないラミナの方が経済的である。

そこで複数の部材を束ねて合わせ柱を構成できれば、各部材間の接合方法の工夫で座屈性状を向上させることができる。また部材間の隙間があかない工夫ができれば、防火上有効に被覆されていると解釈でき、燃えしろ設計の要求を満足させる可能性も高くなる。

特に在来軸組工法の住宅向け柱部材は、寸法が3.5寸角（105 mm×105 mm）と4寸角（120 mm×120 mm）の2種に限定されているため、大量生産に乗りやすく、コンスタントな生産・流通も可能なことからコストパフォーマンスにも優れており、大規模製材工場だけでなく中小の製材工場でも生産しやすく、人工乾燥機を活用した乾燥材の普及率も高い。また近年は高気密高断熱住宅へのニーズ等から、低含水率の品質を確保しやすい構造用集成材の利用が大手住宅メーカーを中心に広がっており、構造用製材と同程度の価格帯で流通している。このことからこの住宅向けの規格寸法の柱材で構成する合わせ柱への、木材関連産業および設計者の期待は高い。

しかし部材を接着剤ではなく、メカニカルな接合で合わせ柱を構成する場合、同断面の単一部材とは燃焼性能が異なる可能性が高い。そこで住宅用柱材の規格寸法である3.5寸角の柱4本で図5.2.2-1のような合わせ柱を組み立て、耐火炉で燃焼実験を実施し、合わせ柱の燃焼性能を検証することにした。

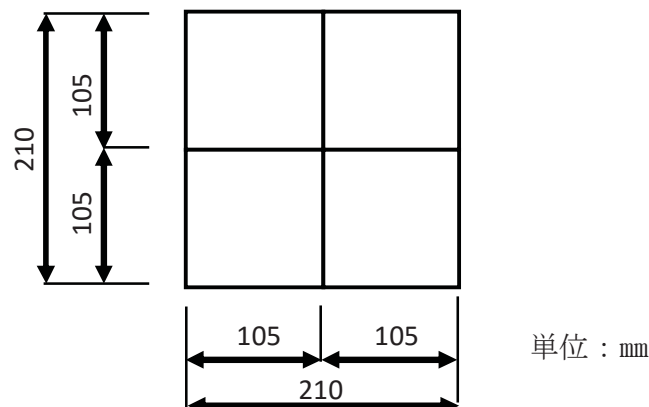


図 5. 2. 1-1 試験体（TC-1, TC-2）断面図

5. 2. 2 試験体概要

試験体は2体とし、1体は構造用集成材で合わせ柱（TC-1）を構成、1体は構造用製材で合わせ柱を構成（TC-2）した。それぞれの材料の詳細を次に示す。

（1）構造用集成材

樹種：スギ

強度規格：E75－F270（同一等級構成）

基準圧縮強度： $F_c = 22.3 \text{ N/mm}^2$

ラミナの構成：4層

使用した接着剤：フィンガージョイント 水性高分子イソシアネート（API）

積層 水性高分子イソシアネート（API）

含水率：15%以下（絶乾法による含水率、平均値 10.21%、上限値 10.34%）

（2）構造用製材

樹種：スギ

強度規格：機械等級区分 E70

基準圧縮強度： $F_c = 23.4 \text{ N/mm}^2$

含水率：15%以下（含水率計および試験体から切り出した小試験体にて、絶乾法により確認 表 5.2.2-2 参照）

尚、試験体は構造用製材の日本農林規格の認定工場（株式会社山長商店）にて機械等級区分 E70、含水率 15%の品質管理の下、10本を準備し、和歌山県林業試験場にて静的ヤング係数、動的ヤング係数を計測（表 5.2.2-1 参照）し、平均値に近いヤング係数の材料を6本選抜した。加工の際、木口を切断した時に内部割れが発生した材料は試験体から削除し、最終的に下記の表のサンプル番号 4, 5, 9, 10 を試験材料として使用した。

表 5.2.2-1 構造用製材の

ヤング係数の測定結果

サンプル 番号	密度 kg/mm^2	静的ヤング係数 kN/mm^2	動的ヤング係数 kN/mm^2
1	394	6.72	6.80
2	361	7.19	7.32
3	387	7.88	7.51
4	361	7.12	7.23
5	390	7.13	7.10
6	374	6.45	6.84
7	377	6.42	6.59
8	393	7.48	7.34
9	381	7.19	7.02
10	365	6.72	6.72
平均値	378	7.03	7.05
最大値	394	7.88	7.51
最小値	361	6.42	6.59
標準偏差	13	0.46	0.30
変動係数	3	6.53	4.31

表 5.2.2-2 構造用製材の

含水率の測定結果

サンプル 番号	含水率(%)			
	A	B	C	平均
4	7.16	7.23	7.12	7.17
5	10.91	8.31	9.72	9.65
9	11.47	9.83	9.70	10.33
10	9.83	8.94	9.42	9.40

* 静的試験は、万能試験機（島津製作所製 AG-10TD）を使用し、3等分4点曲げ荷重方式により、はり成の18倍である支点間距離 1890 mmで実施し、ヤング係数は弾性領域 0.5～

3.5kN における応力ひずみ曲線から算出している。また動的ヤング係数は縦振動法により計測した。



写真 5.2.2-1 工場で選抜した試験材料



写真 5.2.2-2 静的ヤング係数の測定

(3) 合わせ柱の組み立て

構造用集成材の合わせ柱の試験体図を図 5.2.2-1 に、構造用製材の合わせ柱の試験体図を図 5.2.2-2 に示す。3.5 寸角の柱は長さ 185 mm の建築用ビス（パネリードⅡ）を試験体中央および試験体中央から 1471 mm の位置と、その方向と直角方向に向けて中央から 735.5 mm の位置に 2 本ずつ打ち込み、4 本の柱で合わせ柱を構成している。



写真 5.2.2-3 使用した建築用ビス



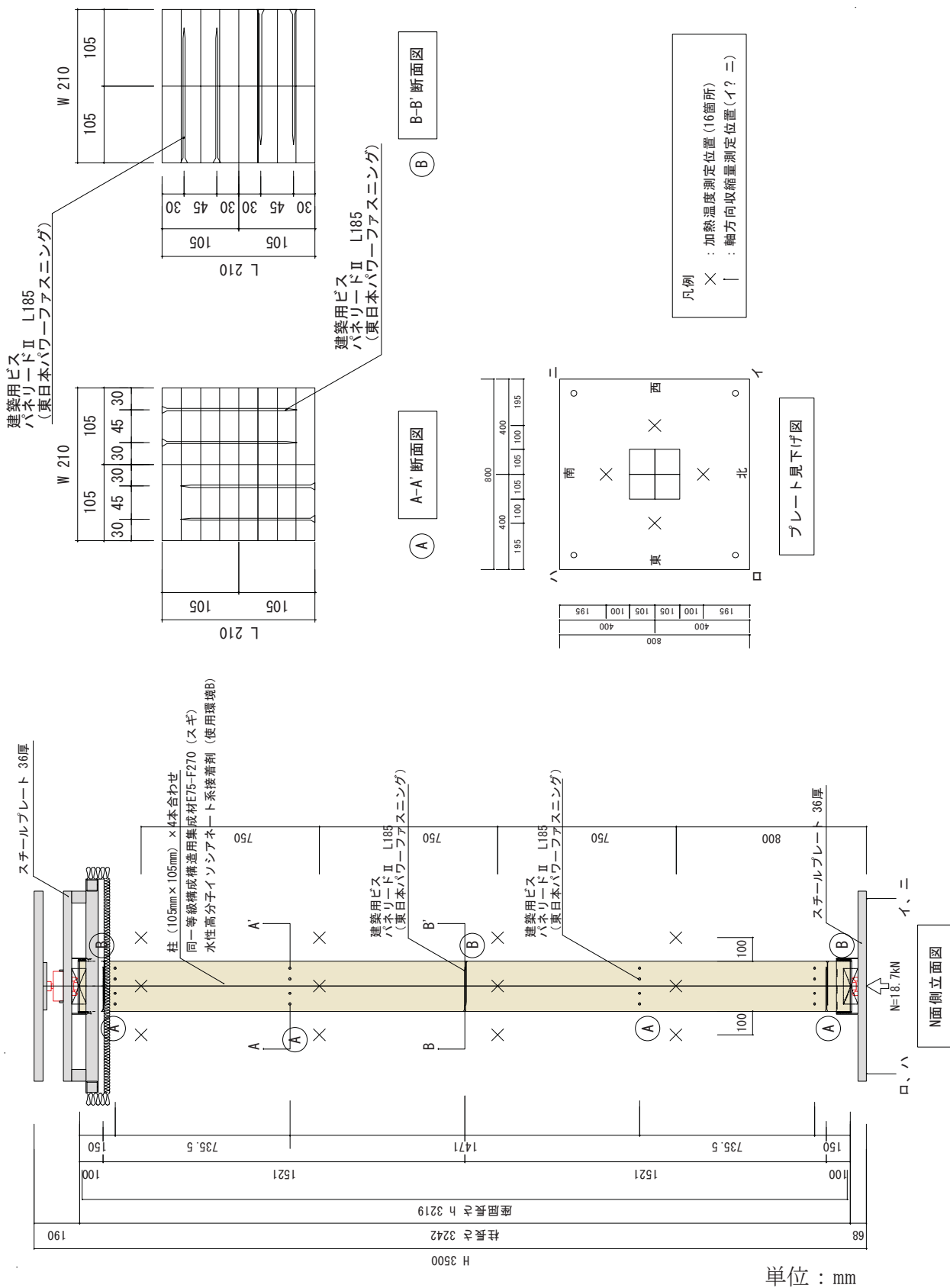
写真 5.2.2-4 建築用ビスの打ち込み風景

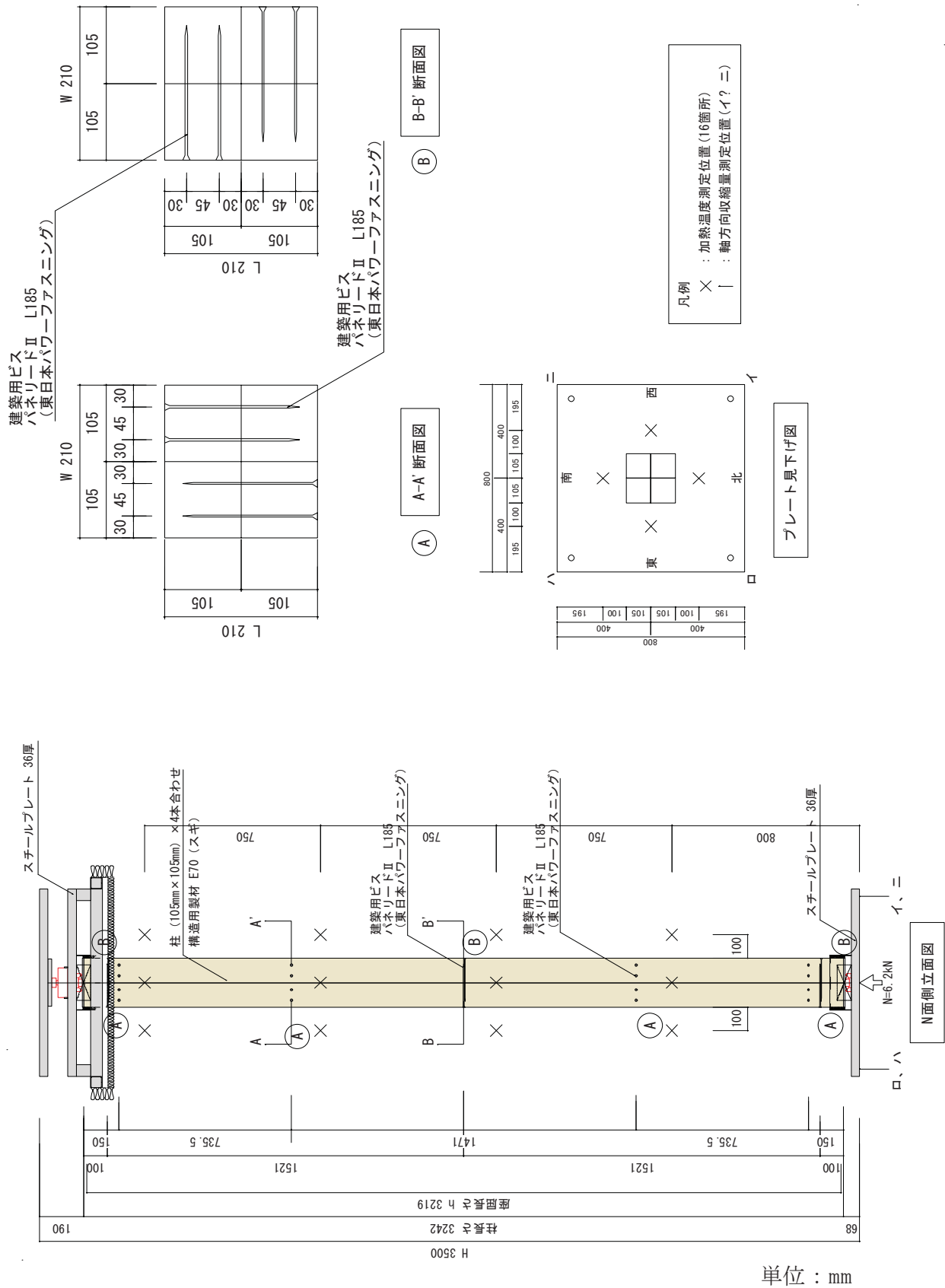


写真 5.2.2-5 建築用ビスの打ち込み



写真 5.2.2-6 構造用製材を使用した合わせ柱の木口断面





5. 2. 3 実験方法

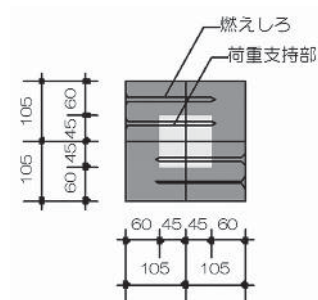
実験は一般財団法人日本建築総合試験所の柱炉により、防耐火性能試験・評価業務方法書に基づく載荷加熱を行い、試験体が座屈するまで継続した。加熱終了後は速やかに注水により消火した。

試験荷重は、耐火建築物とすることを要しない特殊建築物の柱を想定し、60 分間の通常の火災により容易に倒壊するおそれのないことを確かめる構造として平 27 国告 253 号第 2 を踏まえ、構造用集成材で構成する合わせ柱については 45 mm、構造用製材で構成する合わせ柱については 60 mm の燃えしろを見込んで次のような計算で設定している。

① 構造用集成材で構成する合わせ柱 (TC-1)

		材種	E75-F270	
		b × d	60 × 60 mm	
		L	3219 mm	
		基準強度	22.3 N/mm2 （建設省告示1452号、国土交通省告示1024号）	
		柱本数	4本	
f_{c1} (短期許容応力度)		14.867 N/mm2	(基準法施行令89条)	(計算式) $f_{c1}=2/3 \times F_c$ $=2/3 \times 22.3$
(座屈(有効細長比考慮)の短期許容応力度)				
座屈の検討		ι :断面二次半径	17.32	$\iota = \sqrt{I/A}$ (I:断面二次モーメント,A:断面積) $= \sqrt{(bd^3/12/bd)}$ $= \sqrt{(60 \times 60^3/12/(60 \times 60))}$
		Lk:座屈長さ	3219	Lk=L
		λ :有効細長比	185.8 > 100	$\lambda = Lk/ \iota$
f_{c2} （座屈考慮の短期許容応力度）		1.292 N/mm2	(国土交通省告示1024号)	
(国土交通省告示1024号より)				
		$\lambda \leq 30$		$f_{c2}=2/3 \times F_c$
		$30 < \lambda \leq 100$		$f_{c2}=2/3 \times (1.3-0.01 \lambda) \times F_c$
		$\lambda > 100$		$f_{c2}=2/3 \times (3000/ \lambda^2) \times F_c$ $=2/3 \times (3000/185.8^2) \times 22.3$
短期許容応力度		1.292	N/mm ²	$f_{c1} > f_{c2}$ より f_{c2} を採用
短期許容荷重(1本で)		4651.2	N	
短期許容荷重(4本で)		18605	N	
試験荷重		18.7	kN	

② 構造用製材で構成する合わせ柱 (TC-2)



材種	E70(製材)
$b \times d$	45 × 45 mm
L	3219 mm
基準強度	23.4 N/mm ² (建設省告示1452号、国土交通省告示1024号)
柱本数	4本

f_{c1} (短期許容応力度)	<u>15.6 N/mm²</u>	(基準法施行令89条)	(計算式) $f_{c1} = 2/3 \times F_c$ $= 2/3 \times 23.4$
--------------------	------------------------------	-------------	---

(座屈(有効細長比考慮)の短期許容応力度)

座屈の検討	ι : 断面二次半径	12.99	$\iota = \sqrt{I/A}$ (I: 断面二次モーメント, A: 断面積) $= \sqrt{(bd^3/12)/bd}$ $= \sqrt{(45 \times 45^3/12)/(45 \times 45)}$
	Lk: 座屈長さ	3219	Lk = L
	λ : 有効細長比	247.8 > 100	$\lambda = Lk/\iota$

f_{c2} (座屈考慮の短期許容応力度)	<u>0.762 N/mm²</u>	(国土交通省告示1024号)
	(国土交通省告示1024号より)	
	$\lambda \leq 30$	 $f_{c2} = 2/3 \times F_c$
	$30 < \lambda \leq 100$	 $f_{c2} = 2/3 \times (1.3 - 0.01 \lambda) \times F_c$
	$\lambda > 100$	 $f_{c2} = 2/3 \times (3000/\lambda^2) \times F_c$ $= 2/3 \times (3000/247.8^2) \times 23.4$

短期許容応力度	<u>0.762</u> N/mm ²	$f_{c1} > f_{c2}$ より f_{c2} を採用
短期許容荷重(1本で)	<u>1543.1</u> N	
短期許容荷重(4本で)	<u>6172</u> N	

試験荷重 6.2 kN

また両試験体とも試験体上端から 1 m の位置で、柱間に表面から 15 mm、30 mm、45 mm、60 mm の深さに熱電対を 1 カ所設置した。

試験体の設置状況を写真 5. 2. 3-1 および写真 5. 2-3-2 に示す。



図 5.2.3-1 構造用集成材を使用した
合わせ柱の設置状況



図 5.2.3-2 構造用製材を使用した
合わせ柱の設置状況

5. 2. 4 実験結果及び考察

(1) 実験結果

① 構造用集成材で構成した合わせ柱 (TC-1)

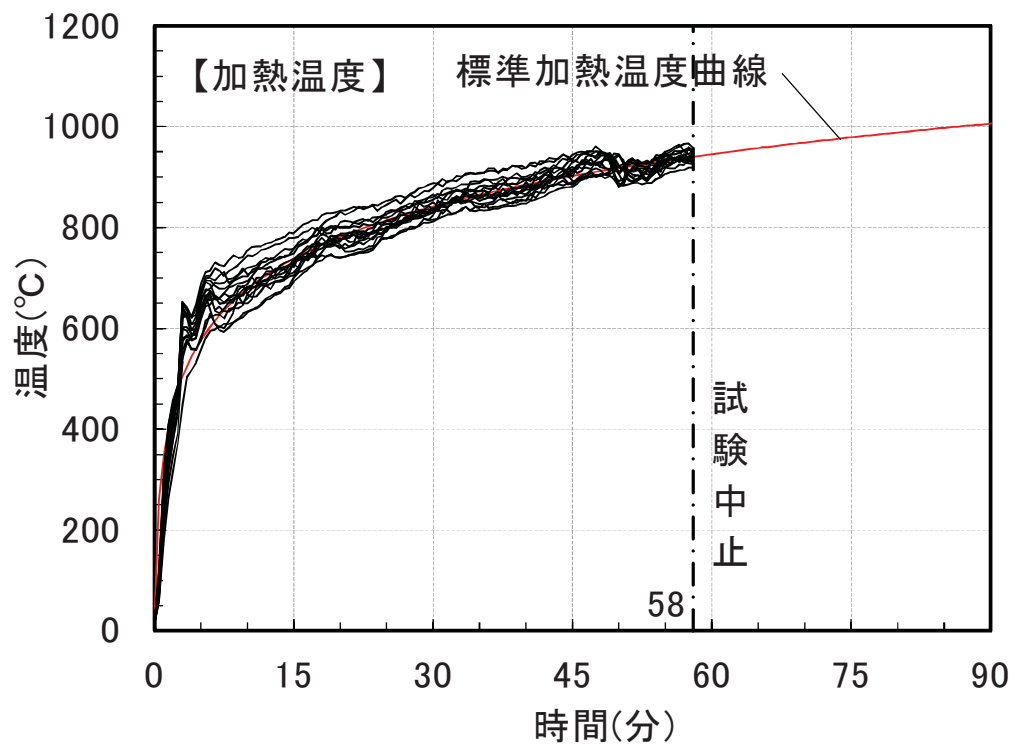


図 5.2.4-1 加熱温度の測定結果

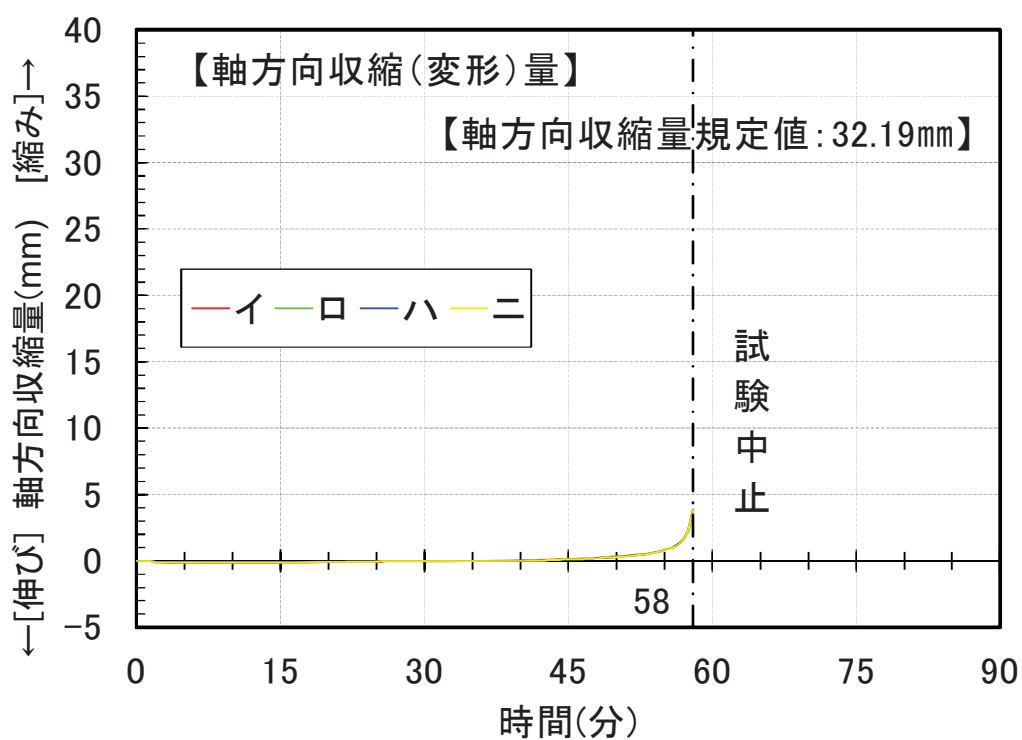


図 5. 2. 4-2 軸方向変位量の測定結果

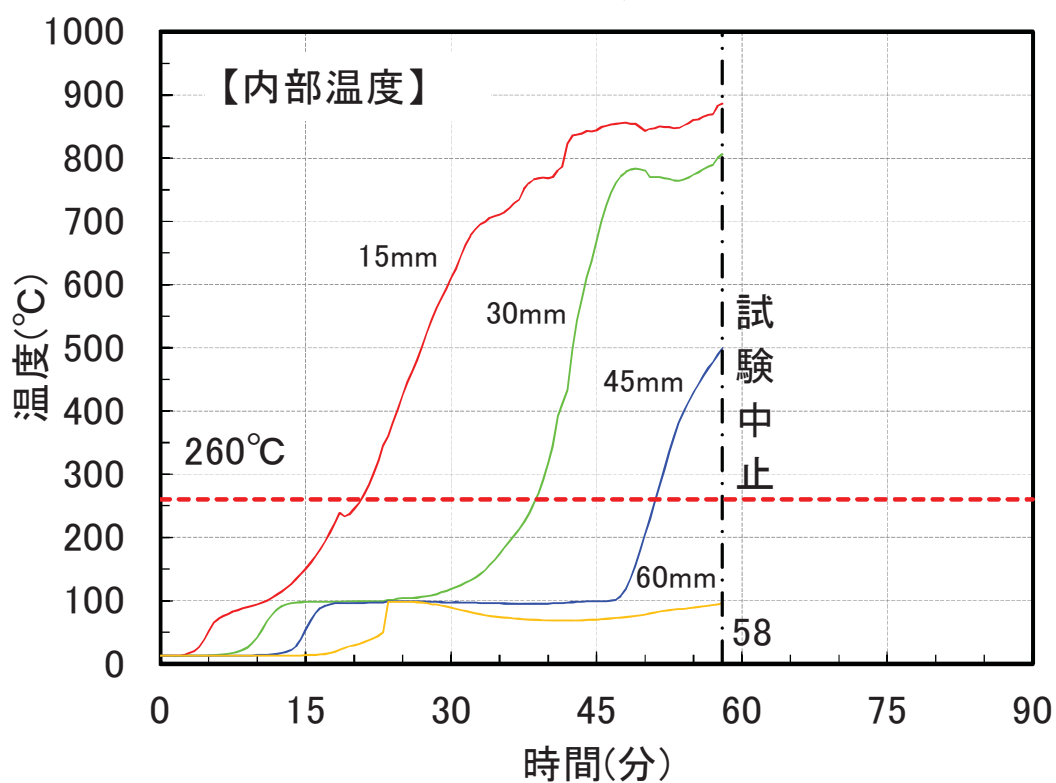


図 5. 2. 4-3 内部温度の測定結果

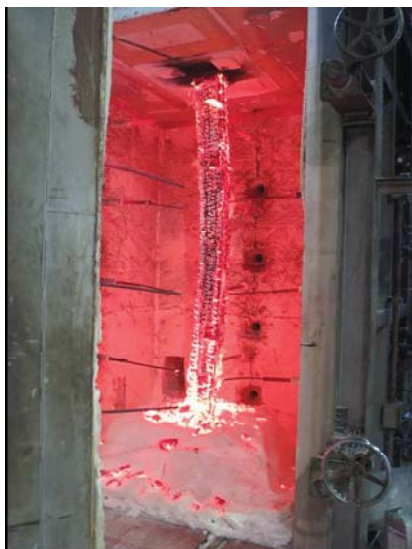


写真 5. 2. 4-1
加熱終了後の試験体



写真 5. 2. 4-2
消火直後の試験体



写真 5. 2. 4-3
消火後、柱間の状況



東面



南面



西面



北面

写真 5. 2. 4-4 脱炉後の試験体



写真 5. 2. 4-5 試験体切断面
(上端部から 1 m 部[天])



写真 5. 2. 4-6 試験体切断面
(中央部[天])

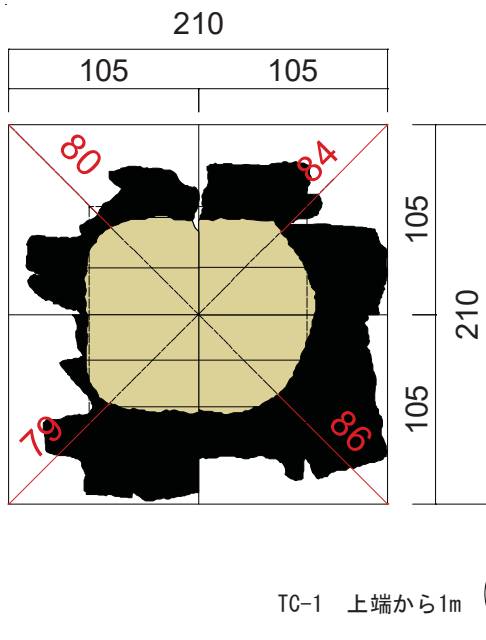


図 5.2.4-4 炭化図
(上端部から 1 m 部[天])

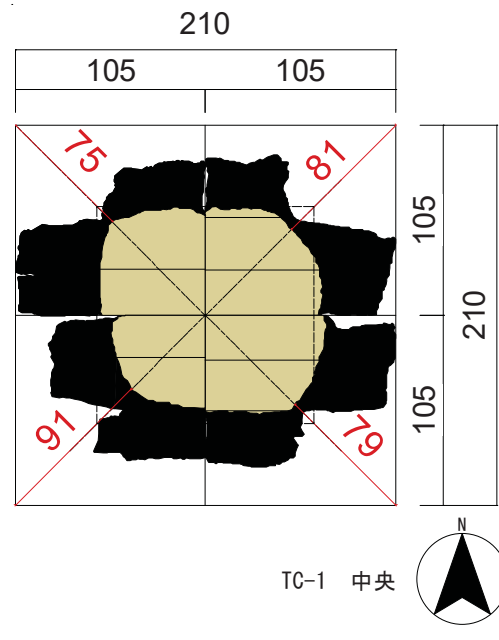


図 5.2.4-5 炭化図
(中央部[天])

② 構造用製材で構成した合わせ柱 (TC-2)

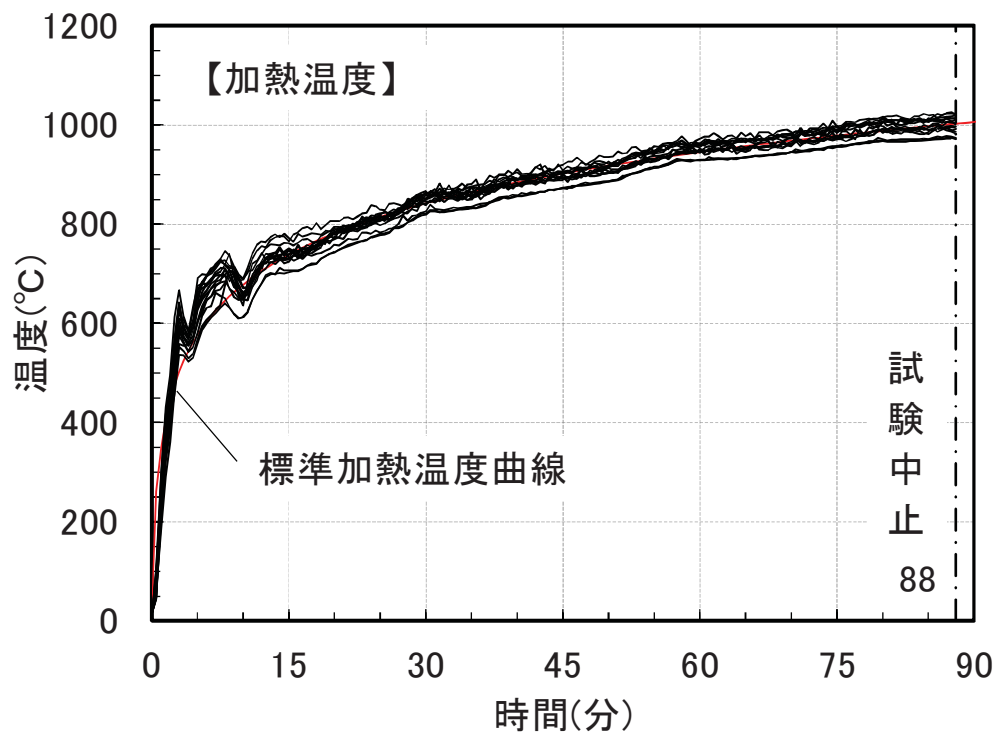


図 5.2.4-6 加熱温度測定曲線

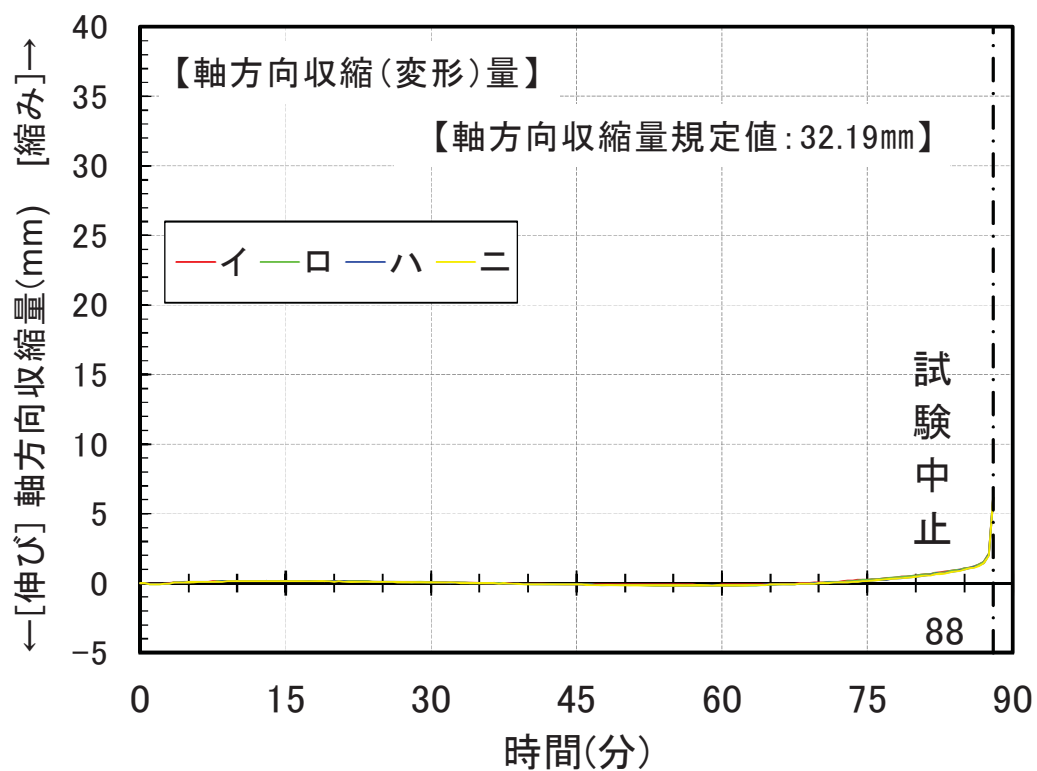


図 5. 2. 4-7 軸方向変形量の推移曲線

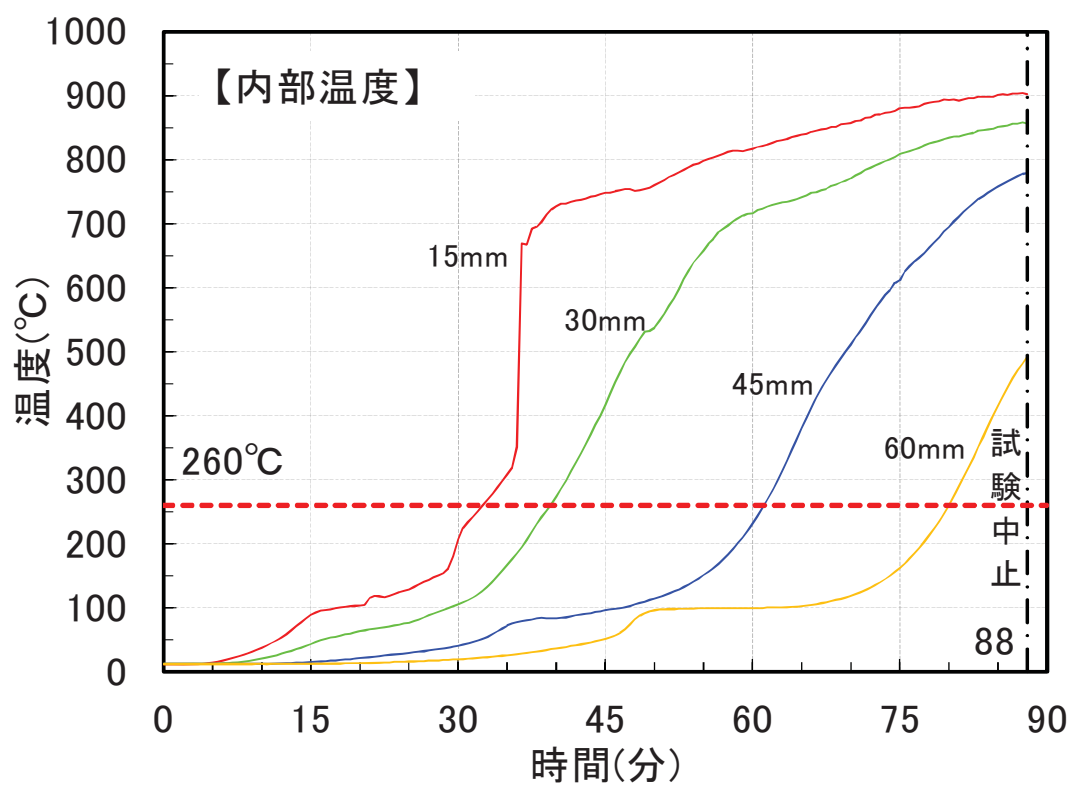


図 5. 2. 4-8 内部温度の測定曲線

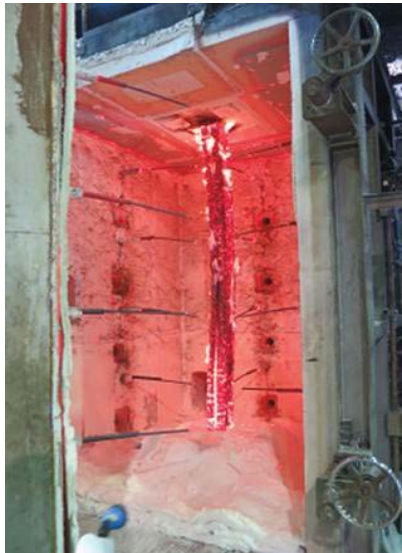


写真 5.2.4-7
加熱終了後の試験体



写真 5.2.4-8
消火直後の試験体



写真 5.2.4-9
消火後の柱間の状況



東面



南面



西面



北面

写真 5.2.4-10 脱炉後の試験体



写真 5.2.4-11 試験体切断面
(上端部から 1 m部[天])



写真 5.2.4-12 試験体切断面
(中央部[地])

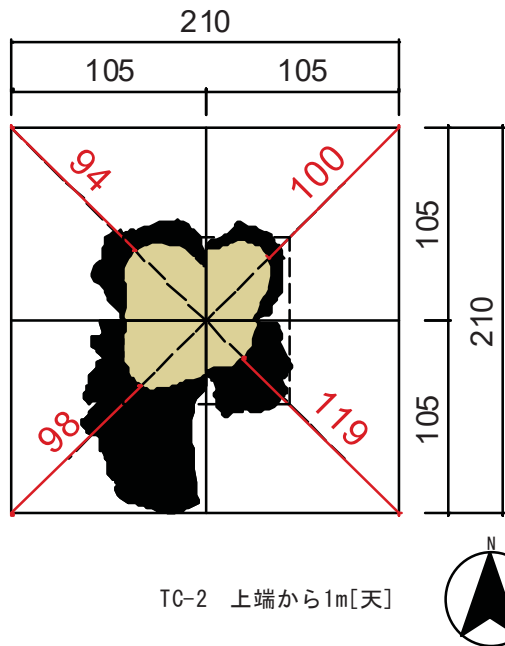


図 5. 2. 4-9 炭化図

(上端部から 1 m部[天])

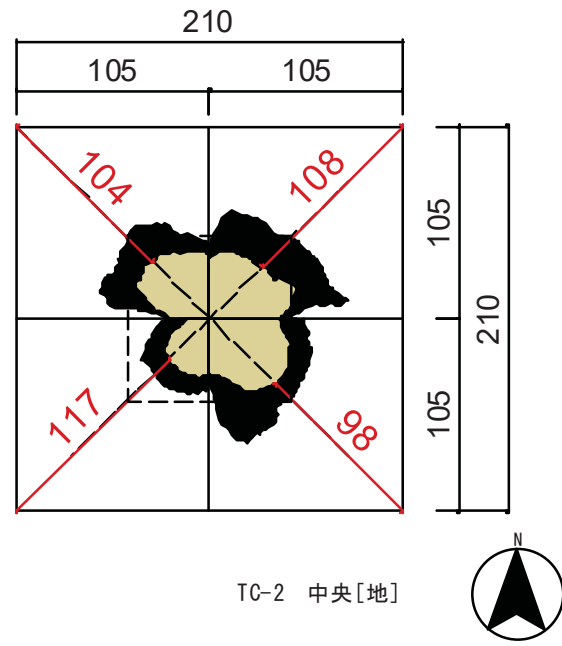


図 5. 2. 4-10 炭化図

(中央部[地])

(2) 考察

構造用集成材で構成した合わせ柱(TC-1)では、加熱後 45 分頃から徐々に座屈をはじめ、58 分を過ぎて急速に変形が進み、58 分 20 分で荷重を支持できなくなった。一方、構造用製材で構成した合わせ柱(TC-2)では 70 分を過ぎた頃から座屈をはじめ、88 分で荷重を支持できなくなっている。両試験体とも概ね、試験荷重の計算時に想定した残存断面まで燃焼が進んだ際、荷重が支持できなくなっている。

表 5. 2. 4-1 に柱間に設置した熱電対による計測値が 200℃と 260℃を超えた時間をまとめた。15 mm深さの計測値は構造用製材より、構造用集成材の計測値の方が温度上昇は速くなっているが、30 mm深さの計測値はほぼ同じ時間帯で 200℃、260℃に到達している。また 45 mm深さの計測値は、構造用集成材の計測値の方が温度上昇は速くなっている。これは構造用集成材の試験体では図 5. 2. 4-4、および図 5. 2. 4-5 の炭化図でもわかるように、ラミナの積層方向である南北方向の炭化が、東西方向より進んでいることが影響しており、本試験体では使用した接着剤が API であったことから、最外層のラミナがある時点で剥離したことが原因であったと推察される。よって構造用集成材については使用する接着剤により、ラミナ厚の違いが炭化速度に影響すると考えられる。

また構造用集成材の試験体では南北方向の残存厚さより、東西方向の残存厚さの方が大きいにも関わらず、東西方向に座屈している。これは写真 5. 2. 4-3 のように南面から見た際、柱間に大きな隙間が見られたが、南北の柱間の隙間は比較的小さかったことが要因と考えられる。その理由としては、柱中心位置から 735.5 mmの位置に打った接合具が利いていたため合わせ柱の効果が発揮されたことや、含水率の低下の過程で生じるラミナの幅方向(接線方向)と厚み方向(半径方向)の収縮率の相違があげられる。

写真 5. 2. 4-13 および写真 5. 2. 4-14 には、小径柱の接合に使用した建築用ビスが接していた木材の状況を示す。接合具の頭部は試験開始時から火炎に晒される状況になっていた

のにもかかわらず、接合部との接触面の木材の炭化は見られなかったが、これは木材が含む水の影響で接合部の温度上昇が抑制されたことが原因であったと推察される。また構造用集成材の試験体では、目標とする 60 分間の荷重支持はできなかったが、本試験体と同様の接合法であれば、その本数を増やすことで柱間の隙間を防ぐ効果や、合わせ柱の剛性を高めることができるため、荷重を支持できる時間を延ばすことが可能と考えられる。

結論として構造用集成材および構造用製材の合わせ柱については、次のような条件が整えば、CLT または構造用製材と同等程度の燃えしろでの設計が認められると期待できる。

- ① 径が比較的細い木ビス系の接合具で、木材間に隙間が生じないように複数の部材を引き付ける。
- ② 構造用集成材のラミナ厚は 21 mm以上とする。
- ③ 構造用製材の含水率は 15%以下とする。
- ④ 外部、および内部に大きな割れがない材料を選択する。

表 5. 2. 4-1 熱電対の計測値が 200℃、260℃に達した時間

単位：分			
試験体	熱電対位置	200℃到達	260℃到達
構造用集成材	15mm深さ	17.5	21.0
	30mm深さ	36.5	39.0
	45mm深さ	50.0	51.5
	60mm深さ	—	—
構造用製材	15mm深さ	30.5	32.5
	30mm深さ	37.0	39.5
	45mm深さ	58.5	61.5
	60mm深さ	77.5	80.0



写真 5. 2. 4-13 接合具が接する木材の状況
(TC-1)



写真 5. 2. 4-14 接合具が接する木材の状況
(TC-2)

6. まとめ

本事業では、(イ)～(ハ)の課題について、調査・実験を行い、以下の成果を得た。

- (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

1. (イ)及び(ロ)について

- ・ 厚板パネル（直交集成板、単板積層材、集成材パネル）について、外装・内装の防火被覆として一般的なせっこうボード、ガルバリウム鋼板、木材を用いた際の厚板パネルの炭化開始時間及び炭化速度を明確にした（表 6-1）。なお、窯業系サイディング、ケイ酸カルシウム板については既往の研究がある。
- ・ 1 時間加熱を想定した場合、同じ防火被覆であれば、直交集成板、単板積層材、集成材パネルの炭化開始時間と炭化速度はほぼ同じとなる。なお、接着面全体が一斉に加熱を受ける直交集成板や単板積層材（2 次接着部）において、水性高分子イソシアネート系接着剤を用いた場合は、炭化層の脱落が起こる（本事業の条件では 1 時間頃から脱落開始と推測）と、それ以降の炭化速度は早くなる（表 6-1）。
- ・ せっこうボードの留め付け間隔が 200mm→455～500mm に広がると、ボードの脱落が早くなり、構造躯体の炭化開始時間が早くなる（せっこうボード厚 15mm では、20 分強はやくなった）。通常の軸組工法、枠組壁工法では、間柱（胴縁）間隔・野縁間隔が 455～500mm となるため、この結果は、厚板パネルだけでなく、他の木質工法にも適用可能と考えられる（表 6-1）。
- ・ 厚さ 30・45・60mm の木材（スギ）を被覆した柱・はりについて、留め付け方法、重ね張りの有無に応じた 1 時間時の炭化性状を把握した（表 6-2）
- ・ 厚さ 150mm の厚板パネル床について、防火被覆の効果を考慮した燃えしろ設計の見通しをつけた。たとえば、せっこうボード厚さ 12.5mm を防火被覆した場合、燃えしろ寸法を 18mm 低減できる。
- ・ 厚さ 90mm の厚板パネル壁について、床と同じ防火被覆（せっこうボード厚さ 12.5mm）、燃えしろ寸法の低減値（18mm 低減）では、燃焼後の偏心の影響で、所定の防耐火性能を確保できない。防耐火時間（非損傷性）を延ばすには、①偏心の影響が小さくなるよう最低厚さの条件を設ける、②燃焼後の偏心を考慮した支持荷重の算定を行う、③燃えしろ寸法の低減値を小さくするなど考えられる（表 6-4）。
- ・ 厚さ 90mm の厚板パネル壁について、既存の告示仕様の防火被覆（1 時間：せっこうボード厚さ 15mm）で、所定の性能を確保できる（表 6-4）。
- ・ 柱・はりについて、厚さ 45mm のスギ材を被覆して 1 時間準耐火構造、厚さ 30mm で 45 分準耐火構造の性能を達成できる。なお、試験体 C-2 のように目標耐火時間に對して余裕度が小さい仕様があるが、本事業では柱に短期許容応力度が生じる荷重を

載荷しており、構造設計で用いる長期許容応力度が生じる荷重（0.55 倍）とすれば、さらに余裕度はあがると考えられる。

- ・ 150 角の柱について、厚板パネル床と同じ防火被覆（せっこうボード厚さ 12.5mm）、燃えしろ寸法の低減値（18mm 低減）では所定の性能を確保できないことがわかった。防耐火時間（非損傷性）を延ばすには、①せっこうボードの留め付け間隔を 500mm から小さくする、②燃えしろ寸法の低減値を小さくする、③部材の最低寸法を大きくするなどが考えられる（表 6-4）。

2. (ハ)について

- ・ 柱が壁と取り合う部分について、柱を防火上有効に被覆できる壁の仕様（壁下地）を明確にした（表 6-3）。なお、この結果ははりが壁や床と取り合う部分にも適用できると考えられる。
- ・ 壁が柱の両端に取り付く場合、柱と壁のちり寸法を 20mm 以下とし、壁と柱が取り合う部分に厚さ 30mm 以上の木材を隙間なく設ければ、壁が取り合う側の柱の燃えしろを省略できる（表 6-4）。
- ・ 壁が柱に対して L 型に取り付く場合、前述の壁が柱の両側に取り付く場合と同じ壁仕様としても、燃焼後の偏心の影響で所定の防耐火性能を確保できない。防耐火時間（非損傷性）を延ばすには、①偏心の影響が小さくなるよう最低柱寸法の条件を設ける、②燃焼後の偏心を考慮した支持荷重の算定を行うなどが考えられる（表 6-4）。
- ・ 105 角の柱を 4 本合わせたはりについて、ビス等で部材同士の隙間が生じないように複合すれば、一体の部材を同様の燃焼性状となる。一体断面と考えた場合と同じように外周からのみ 1 時間の燃えしろを除いた荷重を載荷した場合（集成材：45mm、製材：60mm）製材は所定の性能を有するが集成材は所定の性能に達しない。防耐火時間（非損傷性）を延ばすには、①部材の最低寸法を大きくする、燃えしろ寸法を大きくして支持荷重を減らすなどが考えられる（表 6-4）。
- ・ 105×300 のはりを 2 本並べた合わせはりについて、はり同士の隙間を 3mm 以下とし、ビスで部材同士を緊結すれば、一体断面と考えた場合と同じ燃えしろの取り方で、所定の防耐火性能を確保できる。一方、隙間を同様にし、ボルト接合（ボルト頭露出）した場合は、所定の防火性能が確保できない。なお、所定の性能を確保できた試験体 T-3 では、目標耐火時間に対して余裕度が小さいが、余裕度を増すためには、隙間をさらに小さくすることが考えられ、隙間がゼロの場合は、一体断面と同様の燃えしろ設計の考え方で設計可能なことが既往の研究からわかっている。

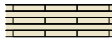
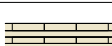
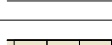
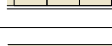
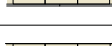
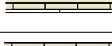
表 6-1～6-4 に実験結果一覧表を示す（表 1-2～1-5 と同じ表を再掲載する）。表題右の .

 は、当該の調査・実験が記された本報告書本文中の章・項を示す。

表 6-1 厚板における防火被覆の効果の比較実験結果一覧

2. 1

2. 2

部材種類	試験体No.		仕様 (mm)	載荷荷重	加熱時間	結果 (200℃到達時間)			結果 (260℃到達時間)			実験主旨	実験場所	実験日程	
						炭化開始時間	炭化速度 (mm/分)	60分時燃えしろ寸法	炭化開始時間	炭化速度 (mm/分)	60分時燃えしろ寸法				
小型床 (比較実験)	KF-1	A-1		CLT(スギ)150厚 素地	内部温度計測用	135分	4.75分	0.833	49mm	7.25分	0.798	45mm	イ・ロ	建研	8月24日
				LVL(スギ)150厚 素地			4.25分	0.844	49mm	6.25分	0.822	47mm			
				集成材(スギ)150厚 素地			3.625分	0.818	48mm	6.25分	0.782	45mm			
		A-2		CLT(スギ)150厚 被覆材: ガルバ0.35厚 (留め間隔300)			7.375分	0.717	41mm	9.5分	0.656	37mm			
				LVL(スギ)150厚 被覆材: ガルバ0.35厚 (留め間隔300)			9.125分	0.699	39mm	10.375分	0.674	37mm			
				集成材(スギ)150厚 被覆材: ガルバ0.35厚 (留め間隔300)			9.375分	0.673	38mm	12.125分	0.634	35mm			
	KF-2	A-3		CLT(スギ)150厚 被覆材: せっこうボード12.5厚 (留め間隔200)	内部温度計測用	150分	28.75分	0.927	29mm	34.75分	0.946	24mm	イ・ロ	建研	8月28日
				LVL(スギ)150厚 被覆材: せっこうボード12.5厚 (留め間隔200)			31.75分	0.943	27mm	38.25分	1.007	21mm			
				集成材(スギ)150厚 被覆材: せっこうボード12.5厚 (留め間隔200)			26.75分	0.931	31mm	34.125分	0.939	24mm			
		A-4		CLT(スギ)150厚 被覆材: せっこうボード15厚 (留め間隔200)			41.125分	0.863	16mm	52.125分	0.916	7mm			
				LVL(スギ)150厚 被覆材: せっこうボード15厚 (留め間隔200)			43分	0.887	15mm	47.375分	0.902	11mm			
				集成材(スギ)150厚 被覆材: せっこうボード15厚 (留め間隔200)			37.75分	0.942	21mm	45.375分	0.979	15mm			
	KF-3	①		CLT(スギ)150厚 被覆材: せっこうボード9.5厚 (留め間隔455)	内部温度計測用	104分 30秒	15.5分	0.799	36mm	17.25分	0.745	32mm	イ・ロ	建研	10月19日
		②		CLT(スギ)150厚 被覆材: せっこうボード15厚 (留め間隔455)			28.5分	0.930	30mm	29.5分	0.854	24mm			
		③		CLT(スギ)150厚 被覆材: ガルバ0.35厚 (留め間隔300) +GW32K25厚			20.25分	0.548	22mm	25.25分	0.502	17mm			
		④		CLT(スギ)150厚 被覆材: せっこうボード12.5厚 (留め間隔455) +GW32K25厚			29.5分	1.000	31mm	31分	0.961	28mm			
		⑤		CLT(スギ)150厚 被覆材: 構造用合板15厚 (留め間隔455)			18.25分	0.834	35mm	22.125分	0.792	31mm			
		仕様 (mm)					結果 (260℃到達時間)			炭化開始時間					
							隅角部		はり下端		はり横				
	⑥		はり: 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455)	43.4分		54.4分		56.9分							

(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

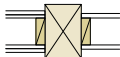
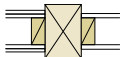
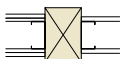
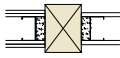
表 6-2 はりにおける防火被覆の効果の比較実験結果一覧

3. 1

部材種類	試験体No.	仕様 (mm)		載荷 荷重	加熱 時間	構造躯体炭化開始時間 (260℃到達時間)		実験主旨	実験場所	実験日程	
						出隅部	一般部				
小型はり (比較実験)	KB-1	T1		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)	内部温度計測用	60分	49.5分	達せず	イ・ロ	理科大	8月27日
		T2		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)			51.3分	達せず			
		T3		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)			37.1分	41.7分			
		T4		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)			35.8分	39.7分			
		T5		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)			19分	26分			
		T6		スギ集成材 (異等級構成) 105×240 被覆材: 木材 (スギ) 30厚／接着剤			24.5分	28.3分			

表 6-3 柱における壁の防火被覆効果の比較実験結果一覧

4. 1

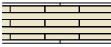
部材種類	試験体No.		仕様 (mm)		載荷 荷重	加熱 時間	壁体内の構造躯体炭化開始時間	実験主旨	実験場所	実験日程
小型柱-壁 (比較実験)	KCW-1	T1		スギ集成材 (同一等級構成)180×120 [壁構成1] せつこうボード12.5厚×2枚張り + 受材: スギ30×90 [壁構成2] せつこうボード15厚 + 受材: スギ30×90	内部温度計測用	60分	－ ※	ハ	理科大	10月15日
		T2		スギ集成材 (同一等級構成)180×120 [壁構成1] せつこうボード12.5厚×2枚張り + 受材: スギ45×90 [壁構成2] せつこうボード15厚 + 受材: スギ45×90			－ ※			
		T3		スギ集成材 (同一等級構成)180×120 [壁構成1] せつこうボード12.5厚×2枚張り + せつこうボード12.5厚×2枚 + 受材: スギ45×90 [壁構成2] せつこうボード15厚 + せつこうボード12.5厚×2枚 + 受材: スギ45×90			－ ※			
		T4		スギ集成材 (同一等級構成)180×120 [被覆材1] せつこうボード12.5厚×2枚張り [被覆材2] せつこうボード15厚			－ ※			
		T5		スギ集成材 (同一等級構成)180×120 [壁構成1] せつこうボード12.5厚×2枚張り + 受材: C形スタッド45×90×0.8 [壁構成2] せつこうボード15厚 + 受材: C形スタッド45×90×0.8			－ ※			
		T6		スギ集成材 (同一等級構成)180×120 [壁構成1] せつこうボード12.5厚×2枚張り + 住宅用RW30厚 + 受材: C形スタッド45×90×0.8 [壁構成2] せつこうボード15厚 + 住宅用RW断熱材30kg/m³, 30厚 + 受材: C形スタッド45×90×0.8			－ ※			

※柱表面温度測定用の熱電対が加熱中に断線したため、結果については本文中の炭化図を参照

- (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

表 6-4 防火被覆及び防火上有効な被覆を考慮した載荷加熱実験結果一覧

2. 3 2. 4 3. 2 3. 3 4. 2 5. 2

部材種類	試験体 No.	仕様 (mm)	載荷荷重	加熱時間	結果			耐火時間 (目標性能時間)	実験主旨	実験場所	実験日程
					非損傷性	温熱性	遮炎性				
床	F-1	 CLT(スギ)150厚 被覆材: せつこうボード12.5厚	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	—	—	92分 (60分)	イ・ロ	建研	12月21日
	F-2	 CLT(スギ)150厚 被覆材: せつこうボード15厚	炭化前全断面に長期 40.45kN (3等分2線)	100分	100分	—	—	100分 (—)	イ・ロ	建研	1月13日
	F-3	 集成材(スギ)150厚 被覆材: せつこうボード12.5厚	燃えしろ27mm除いた 断面の短期許容荷重 123.8kN (3等分2線)	80分	80分	—	—	80分 (60分)	イ・ロ	建研	11月4日
	F-4	 集成材(スギ)150厚 被覆材: せつこうボード15厚	燃えしろ27mm除いた 断面の短期許容荷重 129.7kN (3等分2線)	82分	82分	—	—	82分 (—)	イ・ロ	建研	11月10日
壁	W-1	 CLT(スギ)90厚 被覆材: せつこうボード12.5厚	燃えしろ27mm除いた 断面の短期許容荷重 95.8kN	52分	52分	—	—	52分 (60分)	イ・ロ	建研	12月21日
	W-2	 CLT(スギ)90厚 被覆材: せつこうボード15厚	炭化前全断面に長期 25.4kN	48分30秒	48分30秒	—	—	48分30秒 (45分: 例示仕様)	イ・ロ	建研	1月18日
	W-3	 集成材(スギ)90厚 被覆材: せつこうボード12.5厚	燃えしろ27mm除いた 断面の短期許容荷重 20.7kN	59分	59分	—	—	59分 (60分)	イ・ロ	建研	11月13日
	W-4	 集成材(スギ)90厚 被覆材: せつこうボード15厚	炭化前全断面に長期 33.1kN	57分30秒	57分30秒	—	—	57分30秒 (45分: 例示仕様)	イ・ロ	建研	11月20日
はり	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分30秒	—	—	64分30秒 (60分)	イ・ロ	建セ	10月22日
	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分30秒	—	—	54分30秒 (45分)	イ・ロ	建セ	12月21日
柱	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	—	—	63分46秒 (60分)	イ・ロ	建セ	11月4日
	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32秒 (45分)	イ・ロ	建セ	11月5日
	C-3	 スギ集成材(同一等級構成)150×150 被覆材: せつこうボード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	—	—	53分15秒 (60分)	イ・ロ	建セ	12月24日
合わせ柱	TC-1	 スギ集成材(同一等級構成)105×105 4本	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	—	—	58分20秒 (60分)	ハ	日総試	2月6日
	TC-2	 スギ製材105×105 4本	燃えしろ60mm除いた 断面の短期許容荷重 6.2kN	88分	88分	—	—	88分 (60分)	ハ	日総試	2月12日
合わせはり	TB-1	 スギ集成材(対称異等級構成)105×300 2本(隙間3)/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	—	—	56分30秒 (60分)	ハ	BL	12月8日
	TB-2	 スギ集成材(対称異等級構成)105×300 2本(隙間3)/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	—	—	49分30秒 (60分)	ハ	BL	12月10日
	TB-3	 スギ集成材(対称異等級構成)105×300 2本(隙間3)/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)	62分	62分	—	—	62分 (60分)	ハ	BL	2月22日
柱-壁取合部 (柱)	CW-1	 スギ集成材(同一等級構成)120×180 [壁構成(Ⅱ型)] せつこうボード12.5厚×2枚張り +受材: スギ30×60、柱と壁のちり20	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	—	—	71分30秒 (60分)	ハ	日総試	12月5日
	CW-2	 スギ集成材(同一等級構成)150×150 [壁構成(Ⅰ型)] せつこうボード12.5厚×2枚張り +受材: スギ30×60、柱と壁のちり20	燃えしろ45mm除いた 柱の短期許容荷重 40.3kN	43分	43分	—	—	43分 (60分)	ハ	日総試	2月11日

(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

は目標性能時間に達しなかったもの