

平成 14 年度 農林水産省補助事業  
木材産業再生のための新事業・起業  
創出緊急対策事業

# 高層木造ビル用大断面集成材 梁接合部の性能評価

(課題番号：1414)

平成 15 年 10 月

財団法人 日本住宅・木材技術センター  
山佐木材株式会社



課題番号：1414

## 高層木造ビル用大断面集成材梁接合部の性能評価

山佐木材株式会社

要旨：

大断面集成材を使用した高層木造ビルの建設を想定した場合、主構造部材となる大断面集成材の柱における耐火性能の検証、柱脚部・柱梁接合部においては強度性能の確認を行い、構造的観点から木造ビルの建設が安全性を有した上で実現可能であること、またそれに伴い、信頼性の高い設計が可能であることを検証した。

耐火燃焼試験より、1時間加熱、3時間放置（試験体1と4は11時間放置）中に、A構造部表面の温度が遮熱性の評価値200℃を越えず、燃え止まり現象が確認できた仕様は、

- ・試験体2（化粧部-ベイマツ100mm、燃え止まり層-準不燃木材）
  - ・試験体4（化粧部-ベイマツ50mm、燃え止まり層-石膏ボード）
  - ・試験体6（化粧部-ベイマツ50mm、燃え止まり層-準不燃木材、接着剤-ウレタン系）
- の3仕様であった。

柱梁接合部試験から、柱脚接合部（I型試験体）は、実際の建物では、柱は、750タイプ2本と550タイプ1本で構成されるので、1/200rad.で約14,000kN・m/rad.の剛性、60000kN・m程度の最大モーメントが期待できることが分かった。また、柱梁接合部（T型試験体）は、実際の建物では、柱は、750タイプ2本と550タイプ1本で構成されるので、1/200rad.で約20,000kN・m/rad.の剛性、85kN・m程度の最大モーメントが期待できることが分かった。これらの結果は、5階建てのオフィスを想定した構造シミュレーションで要求される性能と概ね一致しており、その実現可能性が検証できた。

キーワード：

大断面集成材、高層木造ビル、耐火、燃え止まり、準不燃処理木材、レゾルシノール樹脂、合わせ梁接合部、モーメント抵抗接合、



## 目次

1. はじめに.....	1
2. 試験調査の目的.....	2
3. 試験調査の内容.....	4
3.1 耐火加熱試験.....	4
3.1.1 試験体概要.....	4
3.1.2 試験方法.....	11
3.1.3 評価方法.....	12
3.2 柱梁接合部試験.....	13
3.2.1 試験体概要.....	13
3.2.2 試験方法.....	16
3.2.3 評価方法.....	19
4. 試験調査の日程.....	20
5. 試験調査の結果	
5.1 耐火加熱試験結果	
5.1.1 試験体 1 実験結果.....	21
5.1.2 試験体 2 実験結果.....	25
5.1.3 試験体 3 実験結果.....	28
5.1.4 試験体 4 実験結果.....	31
5.1.5 試験体 5 実験結果.....	34
5.1.6 試験体 6 実験結果.....	38
5.1.7 考察.....	49
5.2 柱梁接合部試験結果.....	42
5.2.1 I型試験体実験結果.....	42
5.2.2 T型試験体実験結果.....	56
5.2.3 考察.....	67
6. 実用化の見通し.....	68
7. 今後の対応.....	68
8. 特筆すべき成果.....	68
9. 試験調査委員会 委員.....	69
10. 技術者.....	69
11. 他からの指導又は協力者.....	69
12. 参考文献.....	70



# 高層木造ビル用大断面集成材梁接合部の性能評価

山佐木材株式会社

## 1. はじめに

近年、環境への関心が高まる中、再生産・再利用への可能性、炭素固定機能が期待できる木質系材料が見直されている。さらに、建築基準法の改正により、仕様規定から性能規定化へ大きく転換し、要求性能を満たせば木質構造においても、耐火構造物として認める道筋がつけられた。これらの背景には、大型木造建築物には不可欠である構造用集成材の製造・加工技術の進歩、木質建築物の設計、施工技術の向上による大規模化かつ優れたデザインが可能になったことが挙げられる。集成材の先進地アメリカでは、日本では数%に満たない非住宅の木造率が2割近くを占め、数多くの低中層ビルに木造が採用されている。非住宅分野まで進出する礎は出来つつあるといえる。国内に建設されているビルの90%強は中高層ビル（5～14階）であり、これらに木造化の可能性が出てくることは、木材利用推進の観点からも効果は大きく、かつ木材産業の市場開拓先の重要なひとつとなる。

具体的には、構造的には中高層ビルの設計が可能なレベルに至っており、残されているのは、防災上の性能を確保することであると言われている。これらを実証的に検証していくことが望まれている。本課題は、建築基準法改正により、要求性能を満足すれば木構造でも耐火建築物として認められるようになったことから、大断面集成材を使用した中高層木造ビル（中層（5～7階程度）、高層（10～14階程度））の建設の実現性を検証するものである。そのため、大断面集成材による柱の耐火加熱試験を行い大断面集成材の耐火性能を検証、及び、大断面集成材による柱脚部、柱梁接合部の加力試験を行い強度性能を検証することを目的としている。

試験調査により、構造上、防災上の安全性に十分な成果を得ることが出来しだい、その成果を反映した部材と工法による5階建て木造ビルの建設を行う予定である。これは、店舗・ショールームを兼ねた木造ビルであり、一般に公開されることにより、木造ビルが実現可能であることを広く周知し、同様の検証方法による部材の検討、検証を元にした設計を行うことにより、安全な木造ビルの普及に寄与する。

## 2. 試験調査の目的

本課題は、建築基準法改正により、要求性能を満足すれば木構造でも耐火建築物として認められるようになったことから、大断面集成材を使用した中高層木造ビル（中層（5～7階程度）、高層（10～14階程度））の建設の実現性を検証するものである。そのため、大断面集成材による柱の耐火加熱試験を行い大断面集成材の耐火性能を検証、及び、大断面集成材による柱脚部、柱梁接合部の加力試験を行い強度性能を検証することを目的としている。

2000年6月の改正建築基準法施行により、木造でも要求される防火性能を達成できれば、耐火構造に認められるようになった。それに伴い、主要構造部を木造の耐火構造とした耐火建築物も法令上可能となり、これまで、構造制限や仕様制限が厳しかった木造建築物に鉄筋コンクリート造や鉄骨造と同様の位置づけがされたことになる。

これまで、木造による耐火構造の実現可能性について、独立行政法人建築研究所を中心とした「木質複合建築構造技術の開発」（通称、木質HB総プロ）内において、主要構造部のひとつである柱について、様々な検討が行われた<sup>\*1-5, 7-10</sup>。この検討により、1時間の耐火構造に相当する性能を実現可能であった仕様は、

1. H鋼に100mm厚のベイマツ集成材を被覆したもの
2. 集成材柱に発泡黒鉛シートを2重張りしたもの
3. 集成材柱に軽量モルタル塗り合板を3枚張りしたもの

の3種類であった。1は鉄骨梁をベイマツで耐火被覆した仕様で、構造耐力を鉄骨に負担させているため、S造である。2と3は木造柱を発泡黒鉛シートやモルタル塗り合板で被覆したもので、どちらの仕様も木造を化粧として積極的に使用するものではない。また、この検討では、柱の出隅（コーナー）が防火上の弱点となりやすく、この部分の防火補強が必要なことも明らかにされている。

そこで、本試験では、木材を仕上げ材に積極的に使用した木造柱で耐火構造を実現可能な仕様を明らかにするために、仕様を系統的に変えた長さ1mの試験体を製作し、ISO834標準加熱曲線に準じた加熱試験を行った。

耐火構造の要求性能は、火災終了後も建物が崩壊しない非損傷性、裏面温度が可燃物の燃焼温度まで上昇しない遮熱性、火炎が貫通しない遮炎性の3種類であるが、今回の実験では、柱を3つの部分から構成することとし、構造耐力を負担する「構造部」で非損傷性を確保することとし、その外側に配置した、「燃え止まり層」および「化粧部」で、燃え止まらせることを目標とした。

構造的には、まず、5階建てオフィスビルを想定して必要な部材断面や接合部性能を解析で求めた。そして、その柱梁接合部や柱脚接合部に、必要な構造性能が備わっているかを検証した。

柱脚接合部は、組立H型鋼板を中間に挟んだ「合わせ柱」形式で、750×210（105×2）の断面寸法を有している。ただし、実際の建物の柱は、これを3本合わせた寸法を想定し



ている。すなわち実際の柱の大きさは、 $750 \times 630\text{mm}$  である。

柱梁接合部試験体は、「合わせ梁」型で、 $750 \times 210 (105 \times 2)$ の柱と、 $600 \times 210 (105 \times 2)\text{mm}$ の梁で構成されている。これも、実際の建物の柱梁は、3体合わせを想定している。従って実際の大きさは、柱は $750 \times 630\text{mm}$ 、梁は $600 \times 630\text{mm}$  である。

これら接合部の構造性能を実験により検証する。

### 3. 試験調査の内容

#### 3.1 耐火加熱試験

##### 3.1.1 試験体概要

表 3-1 に試験体仕様一覧を、図 3-1～3-6 に試験体図面を示す。

試験体は、大断面集成材を用いた柱であり、既往の研究<sup>\*1-4</sup>で使用された寸法に合わせて断面を 360 mm 角、高さを 1000 mm とした。試験体断面は、断面内中心から構造耐力を担う A 構造部、A 部を耐火被覆するための B 燃え止まり層、燃え代を確保するための C 化粧部の 3 部で構成されている。本実験では、B、C 部を各々変えた試験体を合計 6 体（試験体 1～試験体 6）用意した。

A 及び C 部の材種は、既往の研究<sup>\*1-4, 11</sup>から炭化層の脱落が少なく燃え止まり現象が確認されているベイマツと国産材で一般的なスギを用いた。B 部の燃え止まり層は、準不燃処理木材（ベイマツ）、石膏ボード、アラミド繊維を用いた。また、集成材製作時のラミナの貼り合わせに使用する接着剤は基本的にレゾルシノール系とし、試験体 6 のみ B 部燃え止まり層を C 化粧部と接着する際にウレタン系接着剤を用いた。

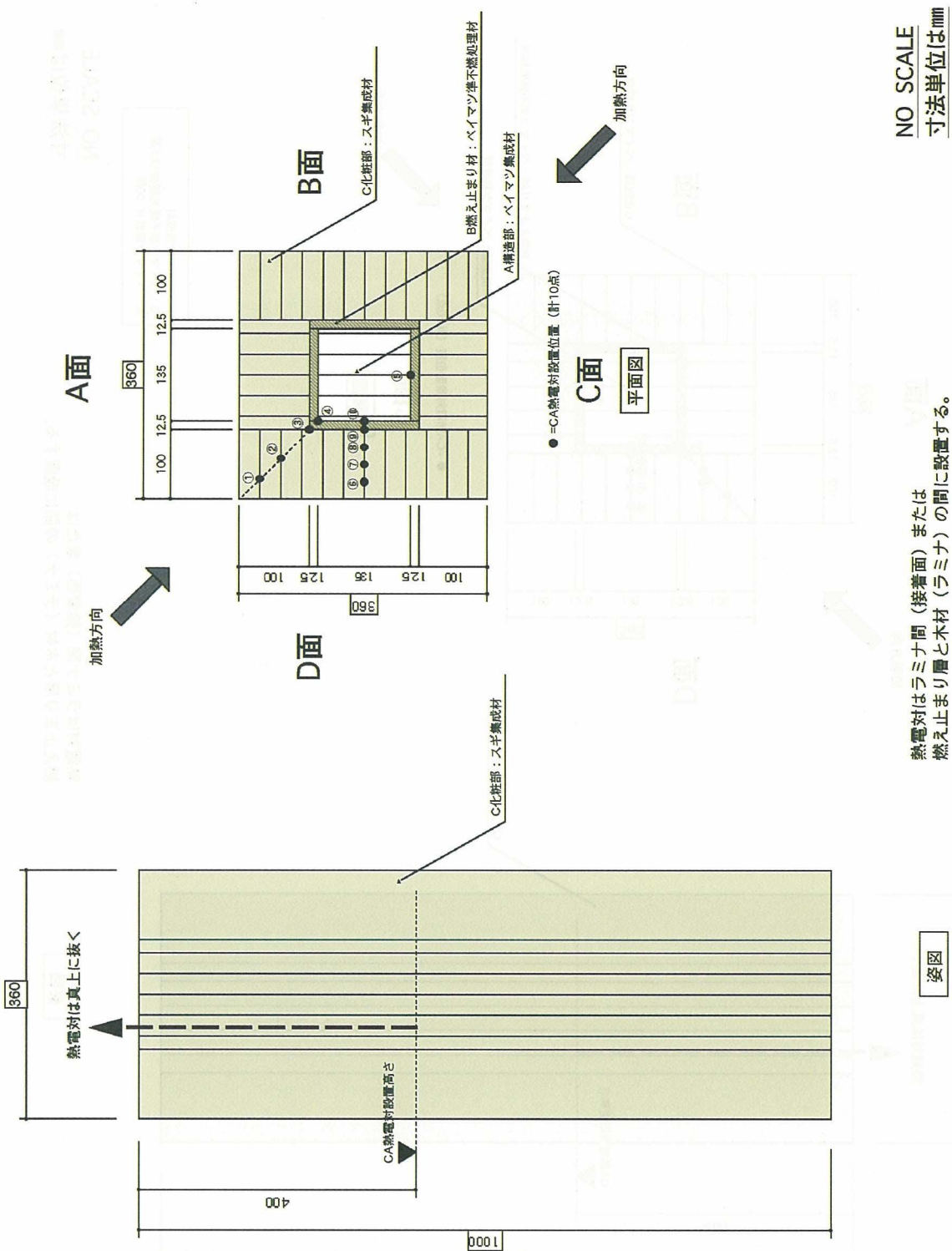
試験体製作は平成 15 年 9 月中旬より開始し、同年 10 月 14 日～22 日に(株)東亜理工埼玉工場内の小型耐火炉を使用して実験を行った。

表 3-1 試験体仕様一覧

試験体 No.	A構造部	耐火被覆部				加熱/放置時間
		B燃え止まり層 (mm)	含水率 (%)	C化粧部 (mm)	含水率 (%)	
1	ベイマツ 集成材	準不燃処理木材	10.0	スギ集成材 100厚	13.7	60分/1140分
2	135×135	(ベイマツ)		ベイマツ集成材 100厚	14.1	60分/180分
3	ベイマツ	12.5厚	-	ベイマツ集成材 50厚	14.3	60分/180分
4	集成材	強化石膏ボード 12.5厚		ベイマツ集成材 50厚	14.9	60分/1140分
5	235×235	アラミド 繊維		ベイマツ集成材 50厚	14.7	60分/180分
6		準不燃処理木材 (ベイマツ) 12.5厚	ベイマツ集成材 50厚	11.9	60分/180分	

注：1) 接着剤：特記なき場合はレゾルシノール樹脂

- 2) 試験体 6 は試験体 3 と同仕様で B 燃え止まり部と C 化粧部の接着剤をウレタン系とする。
- 3) 準不燃処理木材の含水率は全乾重量より測定した。
- 4) C 化粧部の含水率は抵抗式含水率計により測定した。



NO SCALE  
寸法単位はmm

熱電対はラミナ間（接着面）または燃え止まり層と木材（ラミナ）の間に設置する。

図 3-1 試験体 1

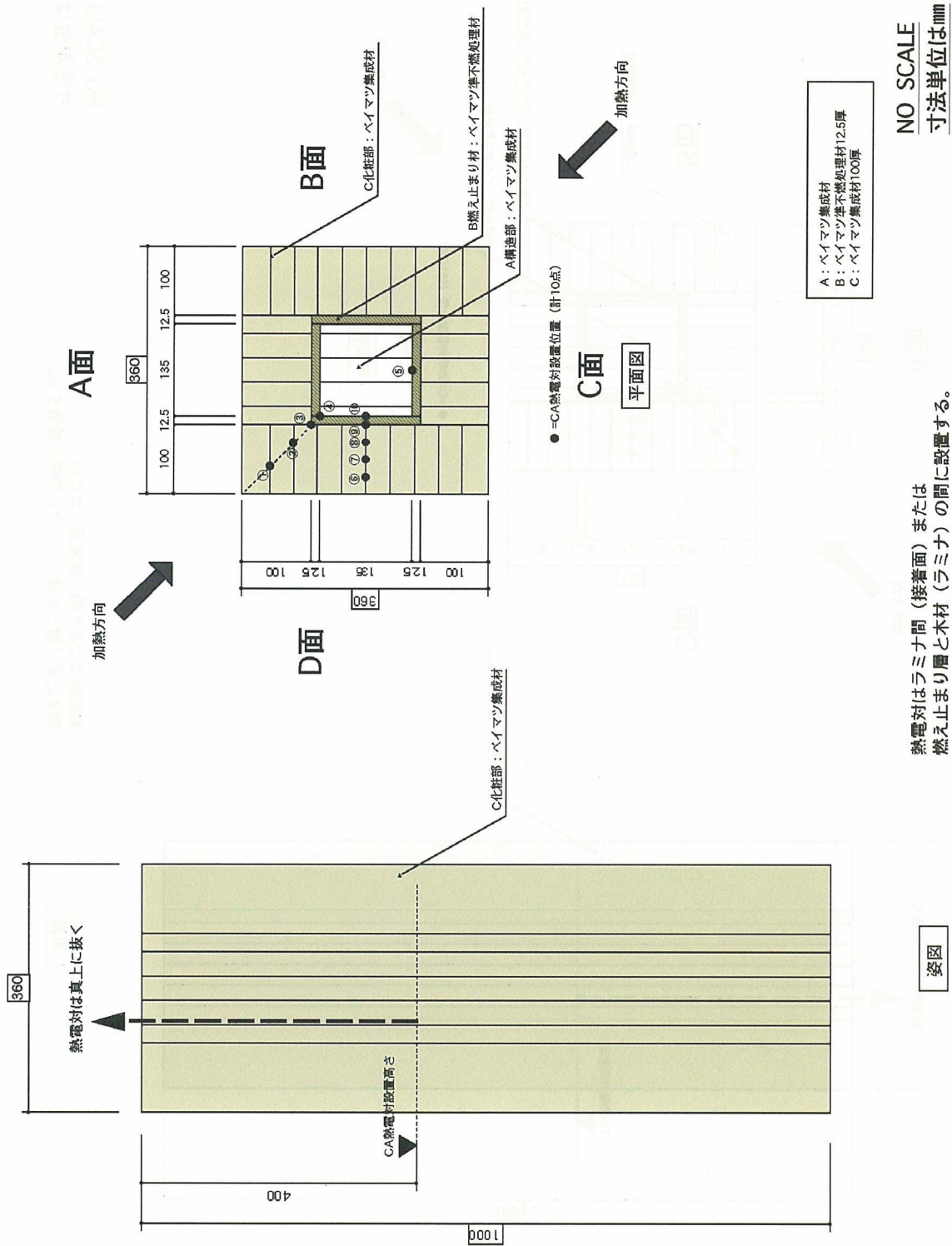
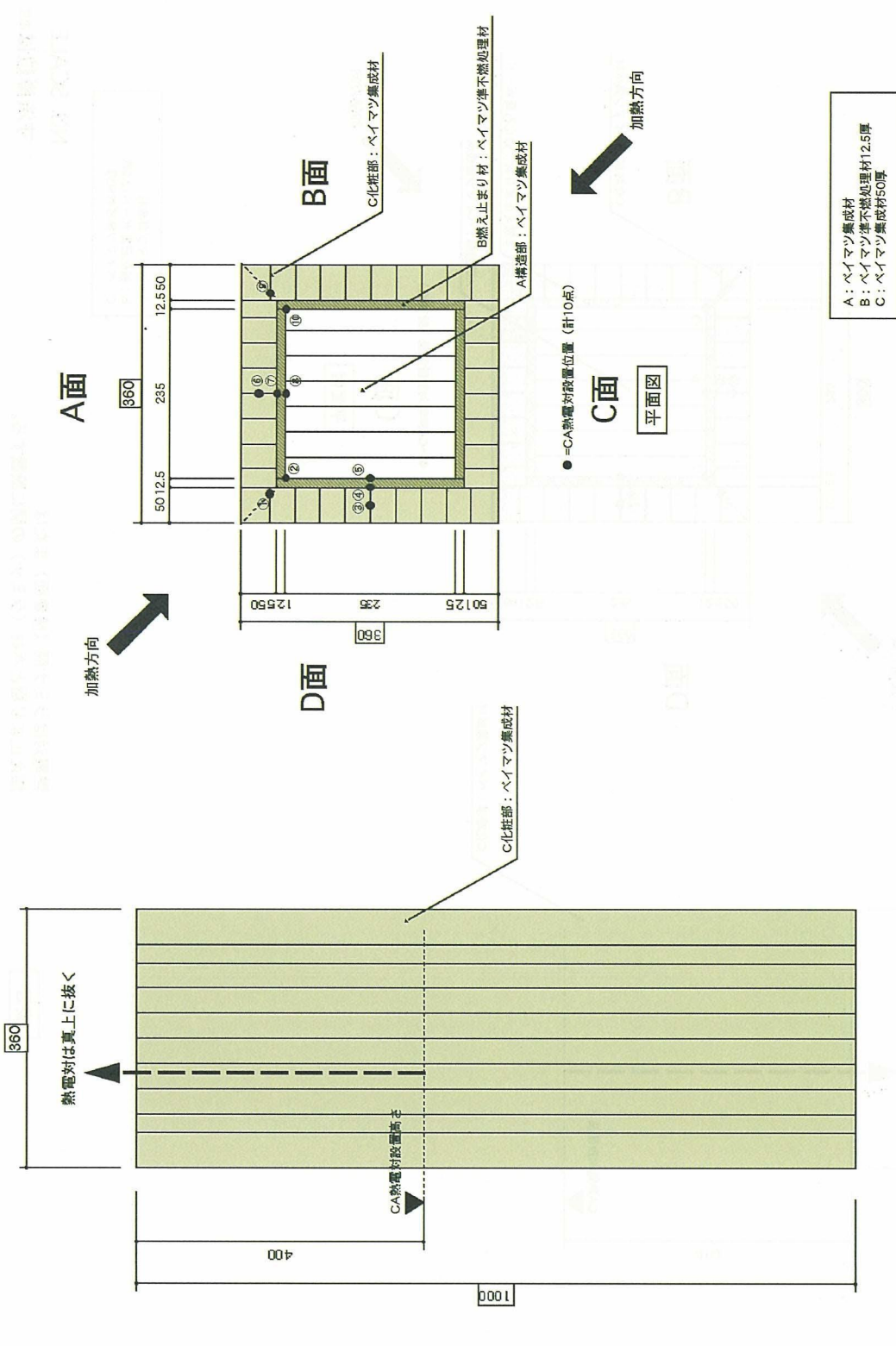


図 3-2 試験体 2



NO SCALE  
寸法単位はmm

熱電対はラミナ間（接着面）または燃え止まり層と木材（ラミナ）の間に設置する。

姿図

図 3-3 試験体 3

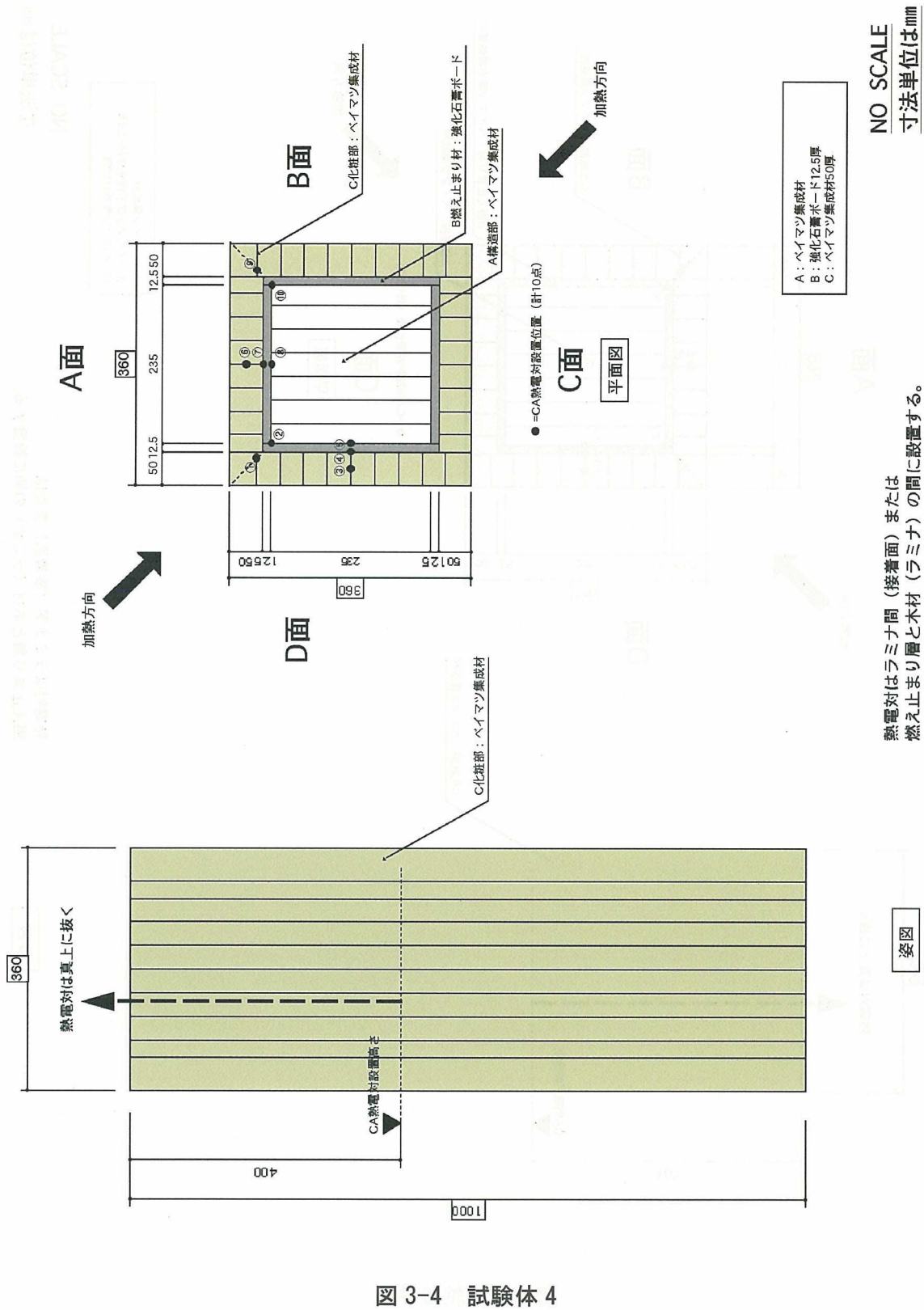


図 3-4 試験体 4

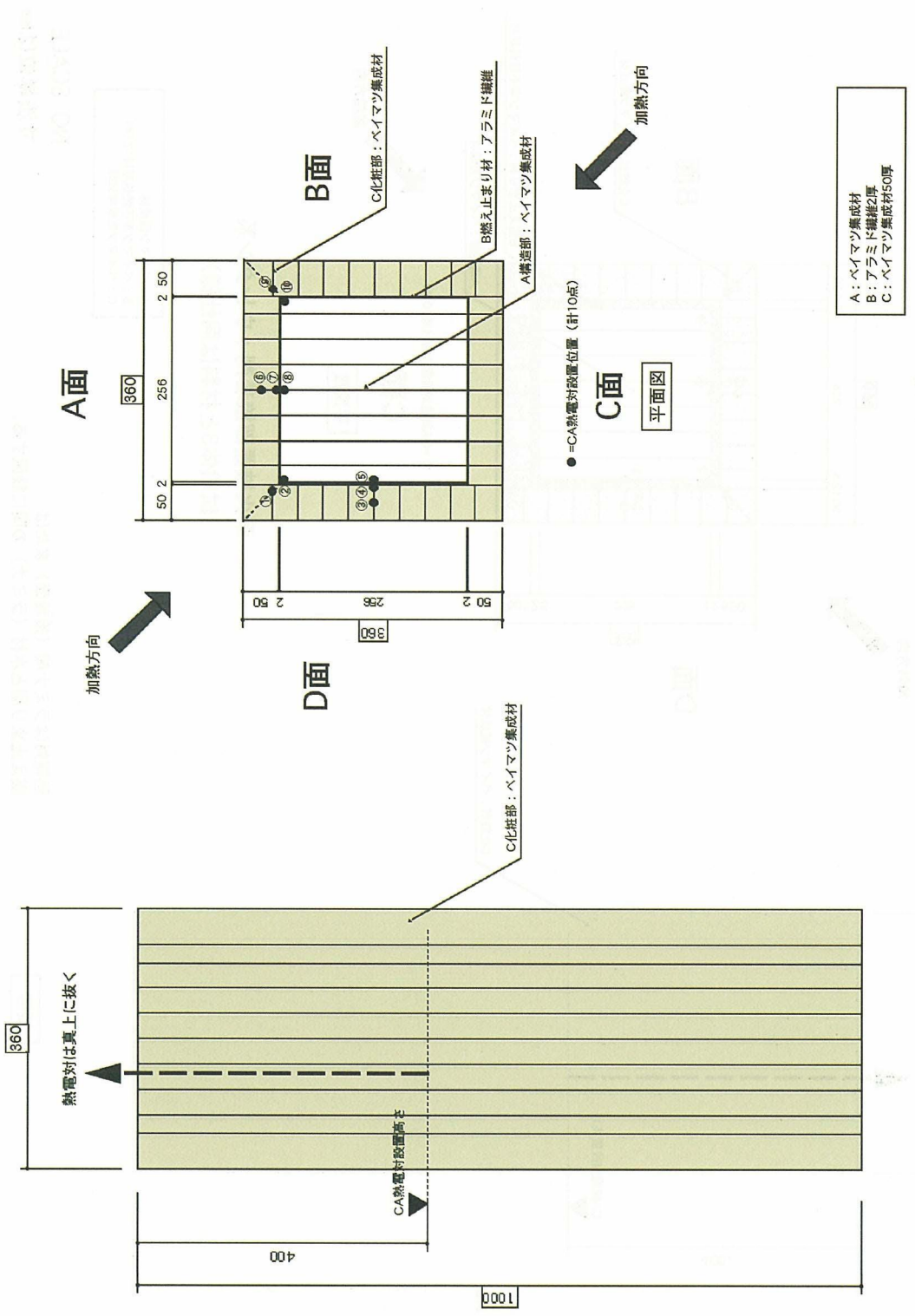
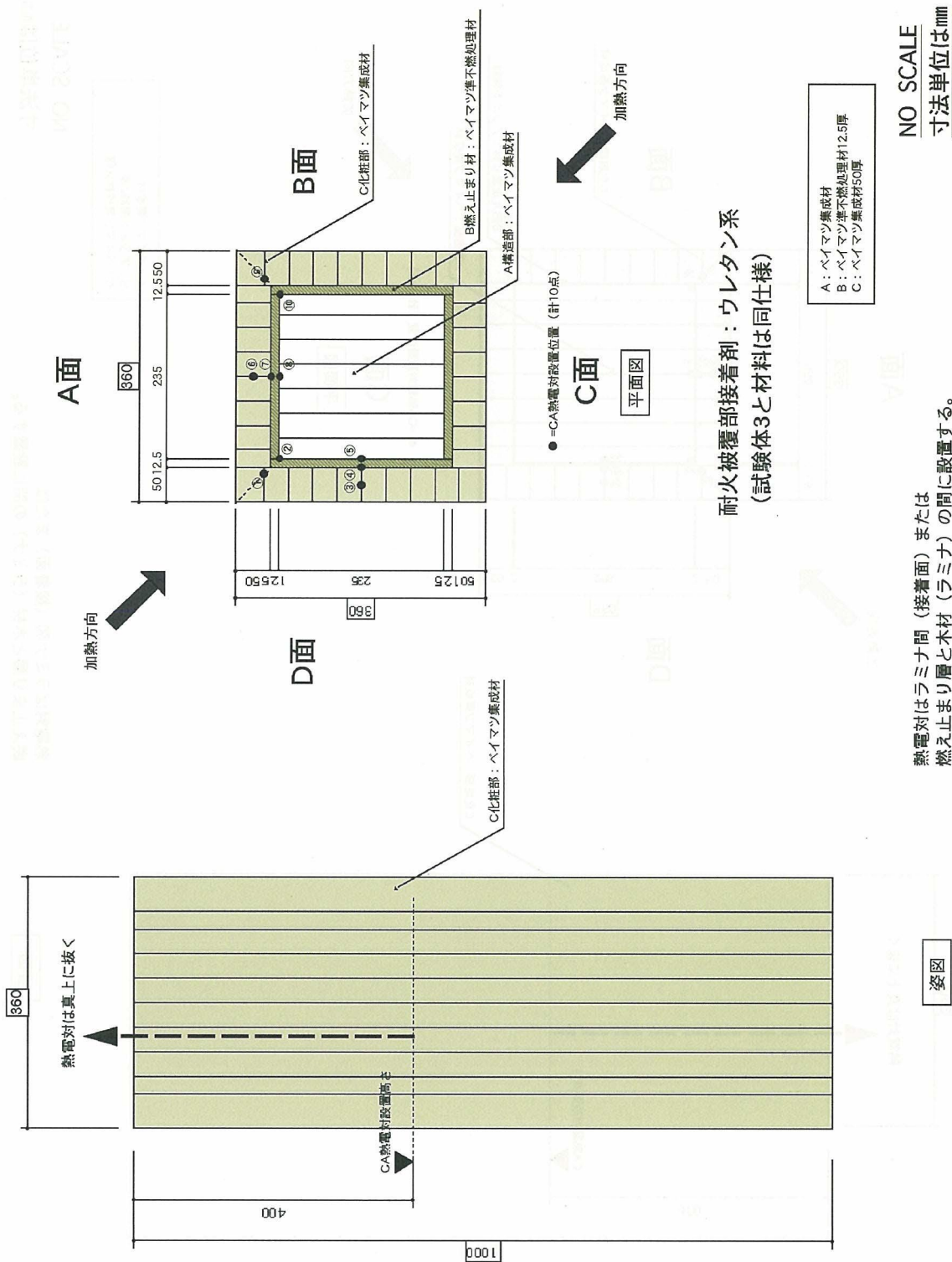


図 3-5 試験体 5

NO SCALE  
寸法単位はmm

熱電対はラミナ間（接着面）または  
燃え止まり層と木材（ラミナ）の間に設置する。

図 3-5





### 3.1.2 試験方法

#### (1) 試験装置

図 3-7、3-8 に試験装置図面を、写真 3-1～3-3 に試験装置を示す。

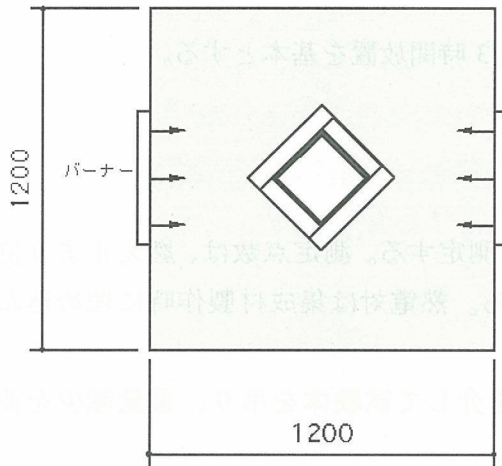


図 3-7 試験装置平面図

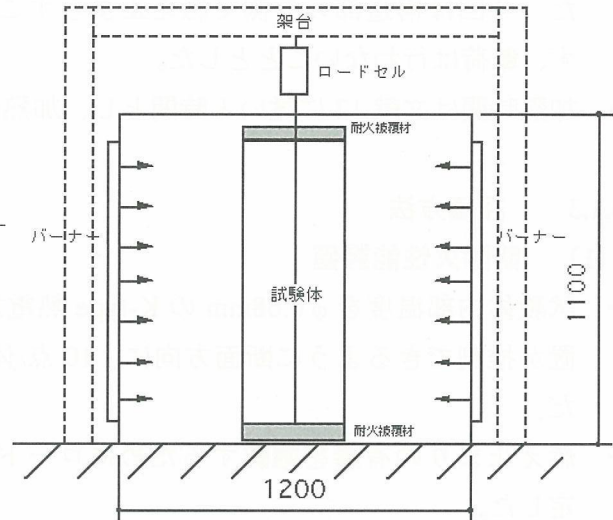


図 3-8 試験装置断面図



左上 写真 3-1 試験装置全景 (左が耐火炉)

右上 写真 3-2 試験体設置状況 1

(ロードセルによる重量減少測定部)

下 写真 3-3 試験体設置状況 2

## (2) 加熱方法

- ・ 実用化を目標とした加熱実験であるため、指定性能評価機関での性能評価試験と加熱条件をあわせることとし、文献 12 をもとに ISO834 標準加熱曲線に従った加熱を行った。今回は構造部の外側で燃え止まらずことを目的としたので構造耐力の低下は考えず、载荷は行わないこととした。
- ・ 加熱時間は文献 12 に従い 1 時間とし、加熱終了後 3 時間放置を基本とする。

### 3.1.3 評価方法

#### (1) 防耐火性能評価

- ・ 試験体内部温度を  $\phi 0.68\text{mm}$  の K-type 熱電対にて測定する。測定点数は、燃え止まり位置が推測できるように断面方向に、10 点/体とする。熱電対は集成材製作時に埋め込んだ。
- ・ 燃え止まりの有無を確認するためにロードセルを介して試験体を吊り、重量減少を測定した。
- ・ 試験終了後試験体の上端から 500mm の位置で試験体を切断し、断面の炭化状況を測定した。

#### (2) 燃え止まりの有無の確認

- ・ 試験体内部の温度が  $200^{\circ}\text{C}$  (性能評価機関の評価業務方法書による。初期温度  $20^{\circ}\text{C} + 180^{\circ}\text{C}$ ) を超えた位置まで燃焼が進むと考える。
- ・ 重量減少が止まった場合、内部の燃焼が止まったと考える (既往の研究\*でも同様の考えで燃え止まりの有無を判定している)。

## 3.2 柱梁接合部試験

### 3.2 柱梁接合部試験

#### 3.2.1 試験体概要

試験体は、大断面集成材を用いた柱・梁接合部、及び柱脚接合部である。火災時の燃え代を考慮して、それぞれ大小2種類の試験体がある。

柱脚試験体は、組立H型鋼板を中間に挟んだ「合わせ柱」形式で、750×210 (105×2) の断面寸法を有している。2枚の集成材には、H形鋼のフランジが挿入される部分は溝きりが施してある。この2枚を、ウェブを挟んでボルトで緊結している。柱の材は、ベイマツの集成材である。H型の鋼板を基礎にアンカーボルトで接合する。柱とは、上下2段にボルト止めする。実験では、大きい試験体を3体、小さい試験体を2体製作した。ただし、実際の建物の柱は、これを3本合わせた寸法を想定している。すなわち実際の柱の大きさは、750×630mmである。

柱梁接合部試験体は、「合わせ梁」型で、750×210 (105×2) の柱と、600×210 (105×2) mmの梁で構成されている。柱と梁はそれぞれ105mm厚の集成材が合い欠きで接合されている。その2組がパネルゾーンで、直径67mmのシアプレートを紹介してドリフトピンで接合されている。柱の材は、ベイマツの集成材である。本実験では、大きい試験体を3体、小さい試験体を2体製作した。これも、実際の建物の柱梁は、3体合わせを想定している。従って実際の大きさは、柱は750×630mm、梁は600×630mmである。

試験体製作は平成15年10月中旬より開始し、同年11月に堺ポラス暮らし科学研究所内の構造実験棟で実験を行った。

表3-2に試験体一覧を、図3-9～3-10に試験体図面を示す。

表 3-2 試験体一覧

試験体名	柱寸法(mm)	梁寸法(mm)	試験体数
I 55	550×210	----	2
I 75	750×210	----	3
T 55	550×210	600×210	2
T 75	750×210	600×210	3

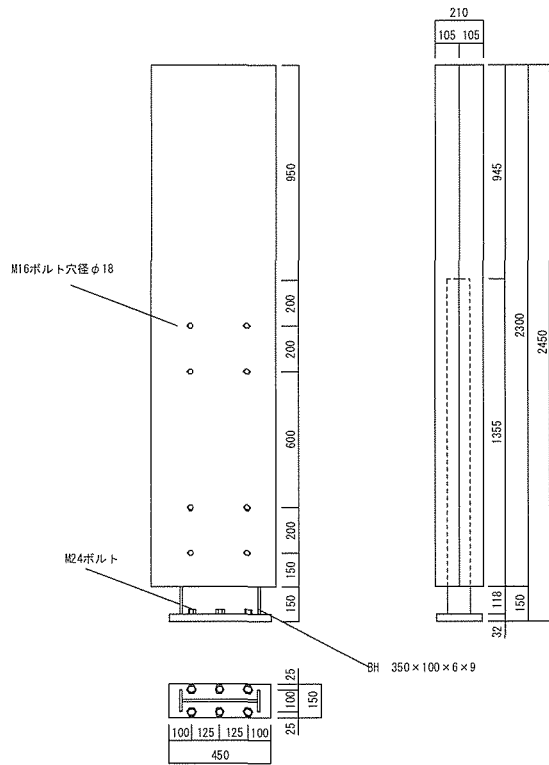
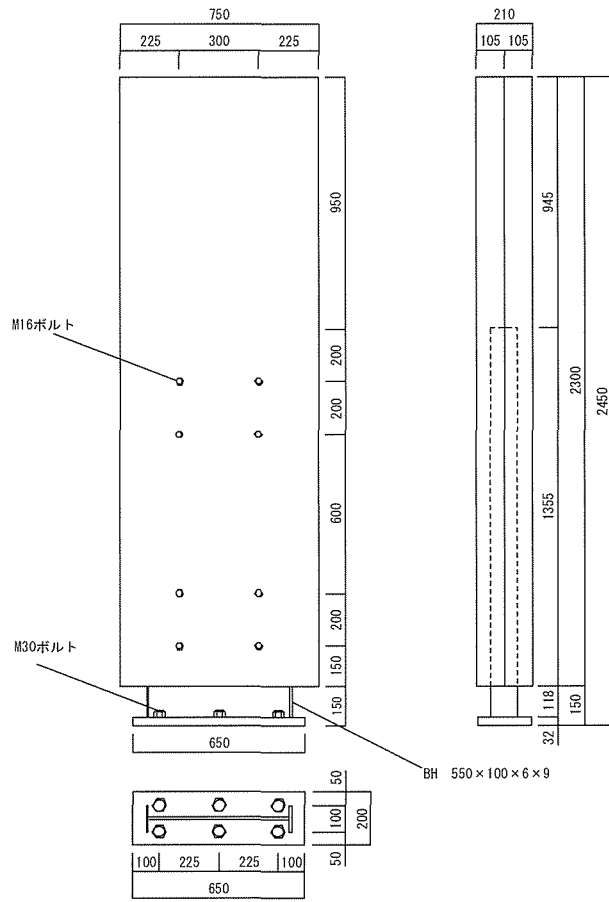


図 3-9 I 型試験体

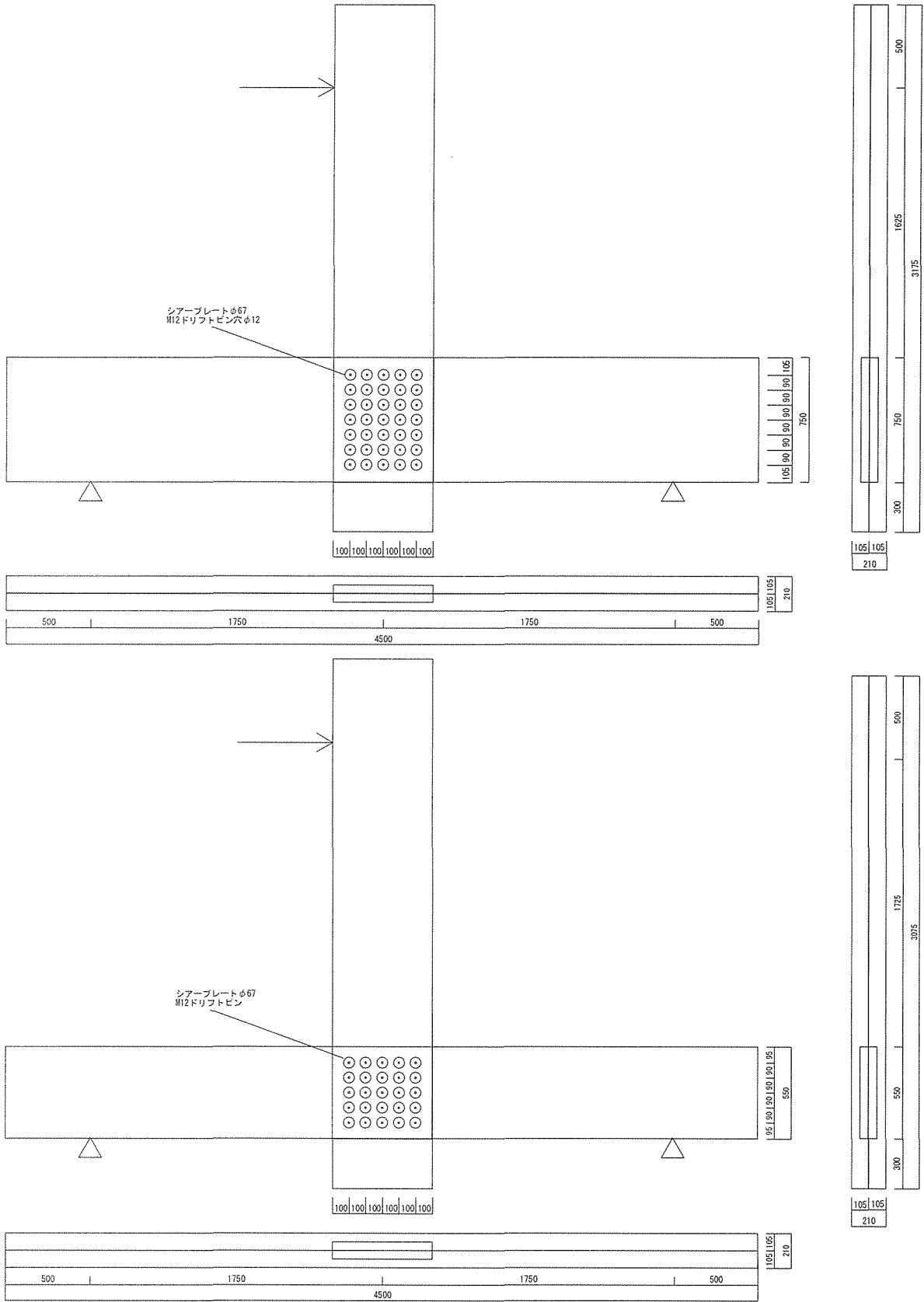


図3-10 T型試験体

### 3.2.2 試験方法

ラーメン接合の柱脚部分、柱-梁接合部について、柱幅等を変更したものを各仕様について試験したが、柱脚接合部試験体は、M24 またはM30 ボルトで基礎相当のH型鋼に固定した。また、柱-梁接合部試験体はM20 ボルト 8 本で梁端部を固定した。

柱脚試験体（I 型試験体）は、頂部を水平方向に押し引きの交番加力を行って、柱脚に回転モーメントおよびせん断力を加えた。柱梁試験体も同様に、逆T字型の梁頂部を水平方向に押し引きの交番加力を行い、柱梁接合部に回転モーメント及びせん断力を加えた。

加力方法は正負交番 1 回繰り返し加力とした。繰り返し履歴を図 3-11 に示した。変形角が  $1/450$ 、 $1/300$ 、 $1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75$ 、 $1/50$ rad. の正負変形時に行った。なお、終局変形は  $1/10$ rad. の変形時とした。

計測は各接合部の鉛直水平変位を基本とした。各設置箇所については図 3-12、3-13 を参照のこと。

また、各試験体に関して、ひずみゲージを取付け、任意点のひずみを計測した。

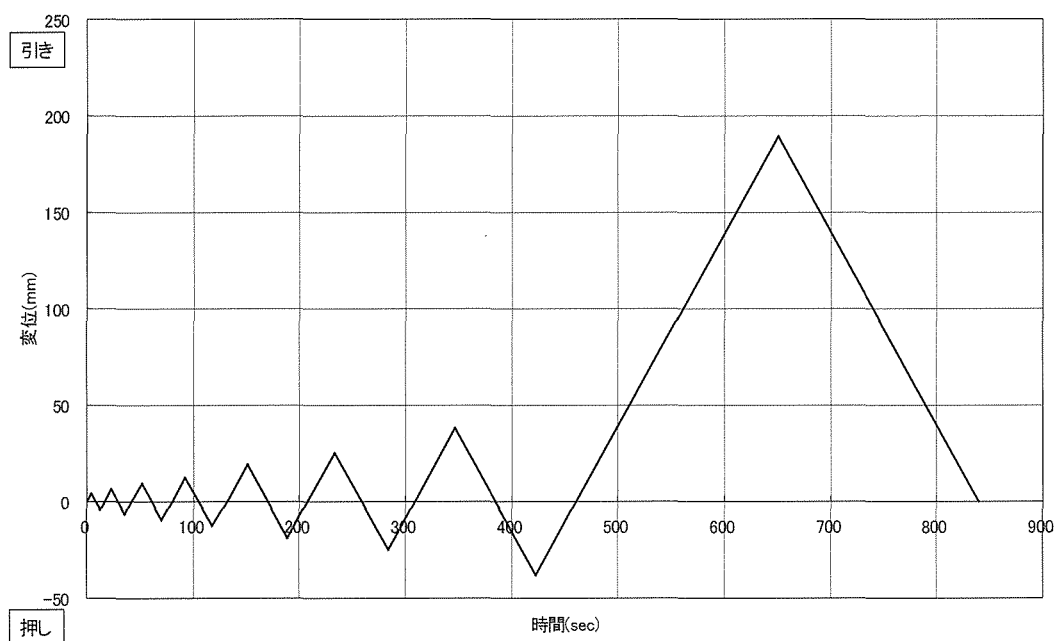


図 3-11 加力スケジュール

写真 3-4 に I 型試験体を、写真 3-5 に T 型試験体の加力風景を示す。合わせて、計測点を図に示した。

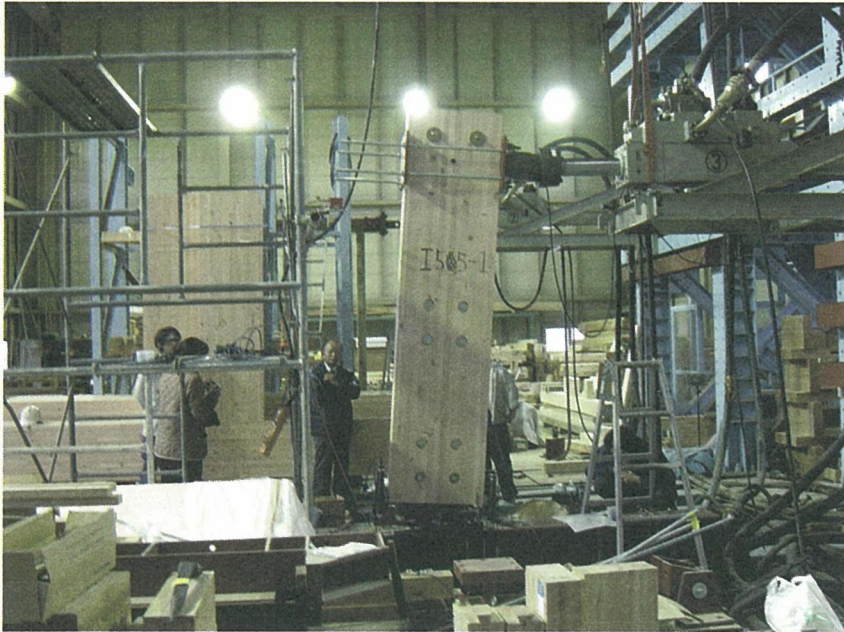


写真 3-4 I 型試験体の加力

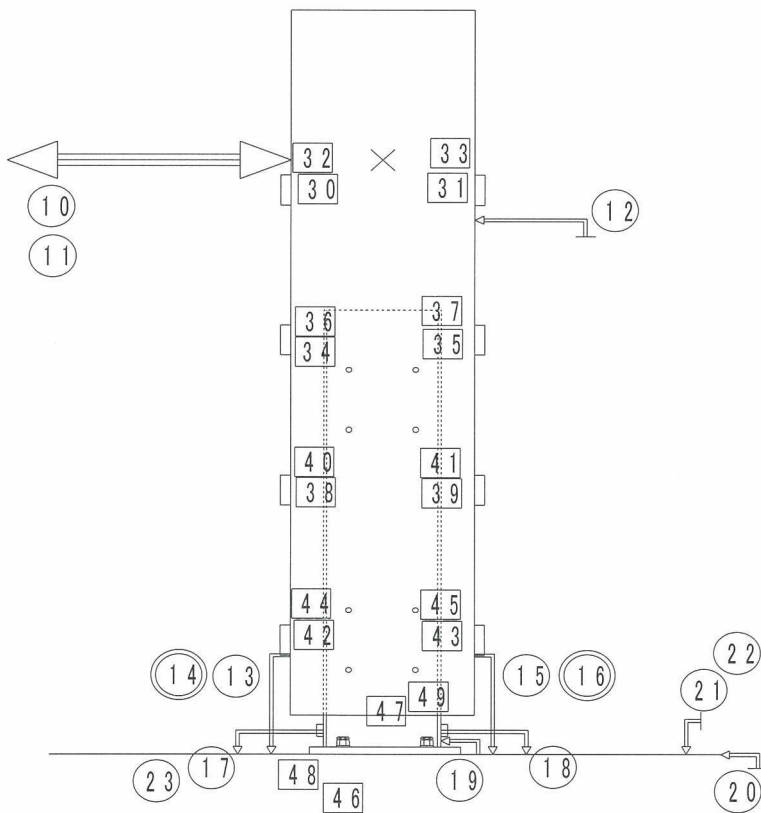


図 3-12 I 型試験体の計測点

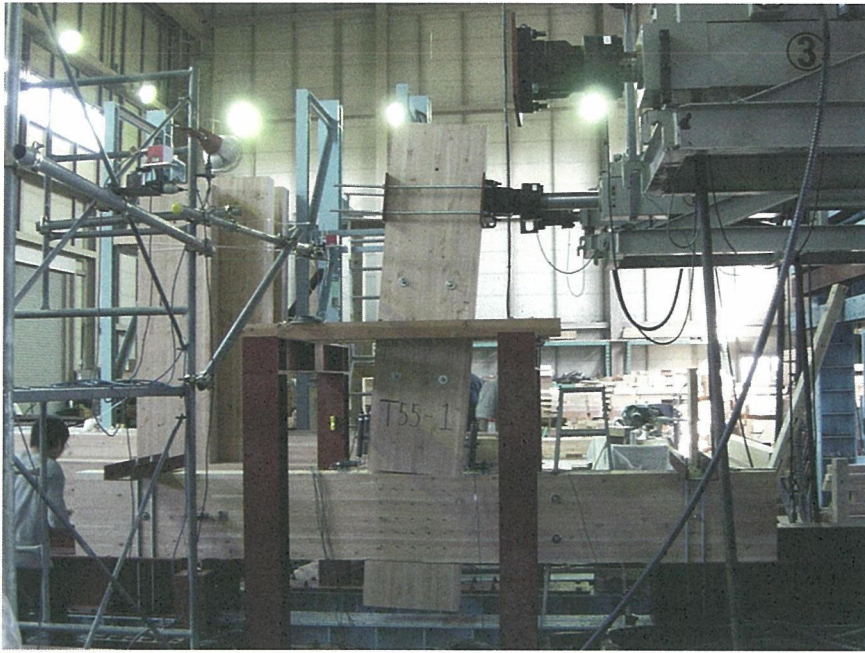


写真 3-5 T 型試験体の加力

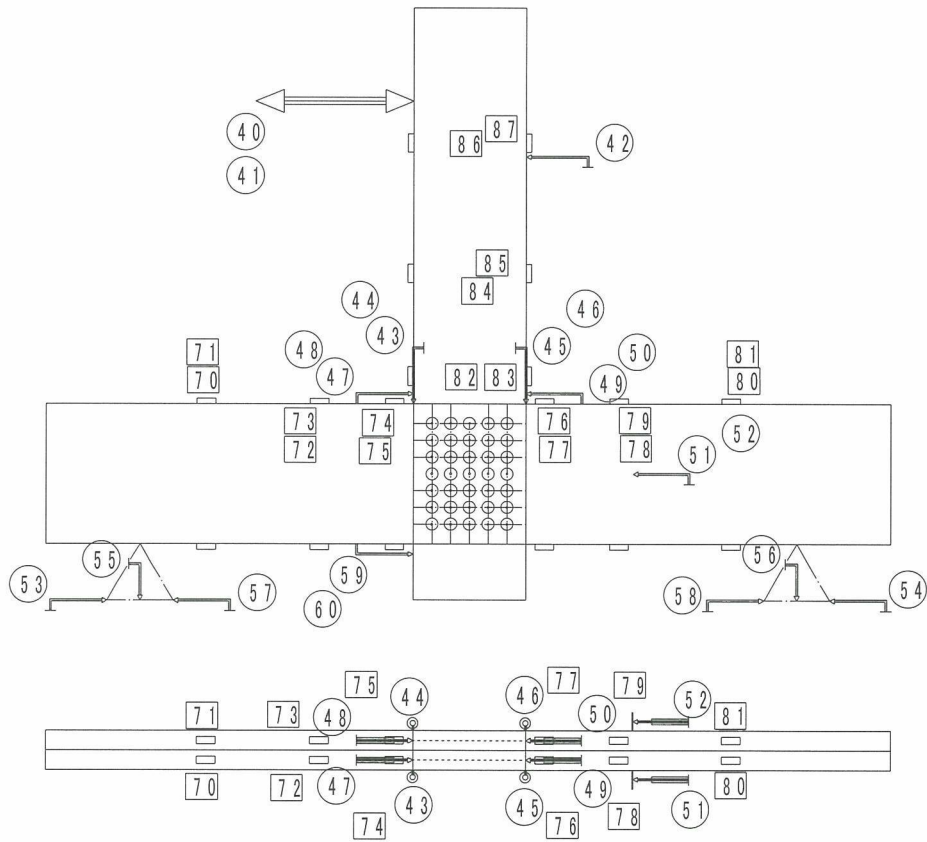


図 3-13 T 型試験体の計測点



### 3.2.3 評価方法

I型試験体、T型試験体ともに、接合部に強制的に回転モーメントを加えている。従って、接合部に加わる回転モーメントと接合部の回転角の関係が最も重要である。

また、この試験方法では、同時にせん断力も加わるので、荷重値程度のせん断力に対する性能も併せて検証することができる。また、試験方法に示したように、試験体の要所に歪みゲージを貼り、歪みを測定した。これより、当該箇所における応力を算出して、応力のレベルを検証する。

#### 4. 試験調査の日程

平成 15 年 4 月から平成 15 年 11 月まで

項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
スケジュール検討								
委員会、打ち合わせ								
試験計画								
試験体作成								
試験 耐火加熱試験								
構造試験								
報告書作成								

## 5. 試験調査の結果

### 5.1 耐火加熱試験

#### 5.1.1 試験体 1 試験結果

図 5-1 に試験体 1 断面図を、図 5-2 に試験体 1 断面内コーナー部温度変化を（測定位置は図 5-1 参照）、図 5-3 に試験体 1 断面内平部温度変化（測定位置は図 5-1 参照）を、図 5-4 に耐火炉内温度変化を、図 5-5 に重量減少変化を示す。

実験日：10月17日

加熱時間：60分

放置時間：1140分

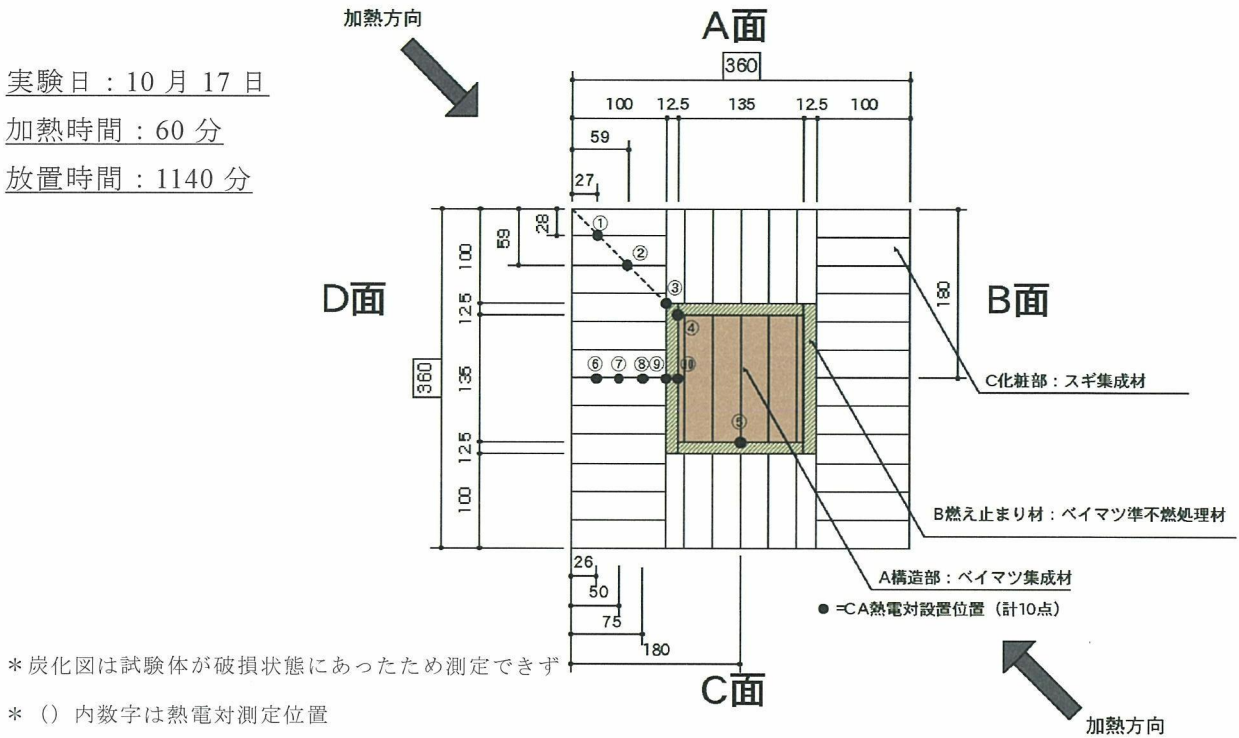


図 5-1 試験体 1 断面図

試験終了時 1200 分の試験体は、A 構造部も含めてすべて燃焼しつくして吊っていたロードセルから炉内に落下しており、少量の煙を出しながらくすぶっていた。炉から取り出した試験体は破損状態にあったため、炭化深さを確認することはできなかった。

試験体内部温度は、図 5-17-3 より、加熱を止めた後も上昇し続け、390 分に燃え止まり材裏面側コーナー部④の温度が 200℃を超え、燃え抜けたことが確認された。これに対し、裏面側平部の⑤と⑩の位置の温度が 200℃を超えたのは 500 分を過ぎてからであったことから、コーナー部の方が平部に比べ 100 分以上燃え込みが早かった。

炉内温度は、図 5-4 より、加熱終了 60 分後は 200℃まで温度が下がったが、400 分頃に再上昇し、放置後も試験体が燃焼し続けていたことが分かる。しかし、800 分頃 400℃付近まで達した後は減少し、放置終了時 1200 分には可燃物がなくなり、200℃以下となっていた。

試験体の重量減少は、図 5-5 より、加熱終了 60 分時まで一定の速度で 20kg 減少し、そ

の後は速度を6分の1以下に落としながらも減少を続けた。600分付近で急激に重量を失い、その後の減少量が少ないことから、この時に試験体がロードセルから落下したと考えられる。

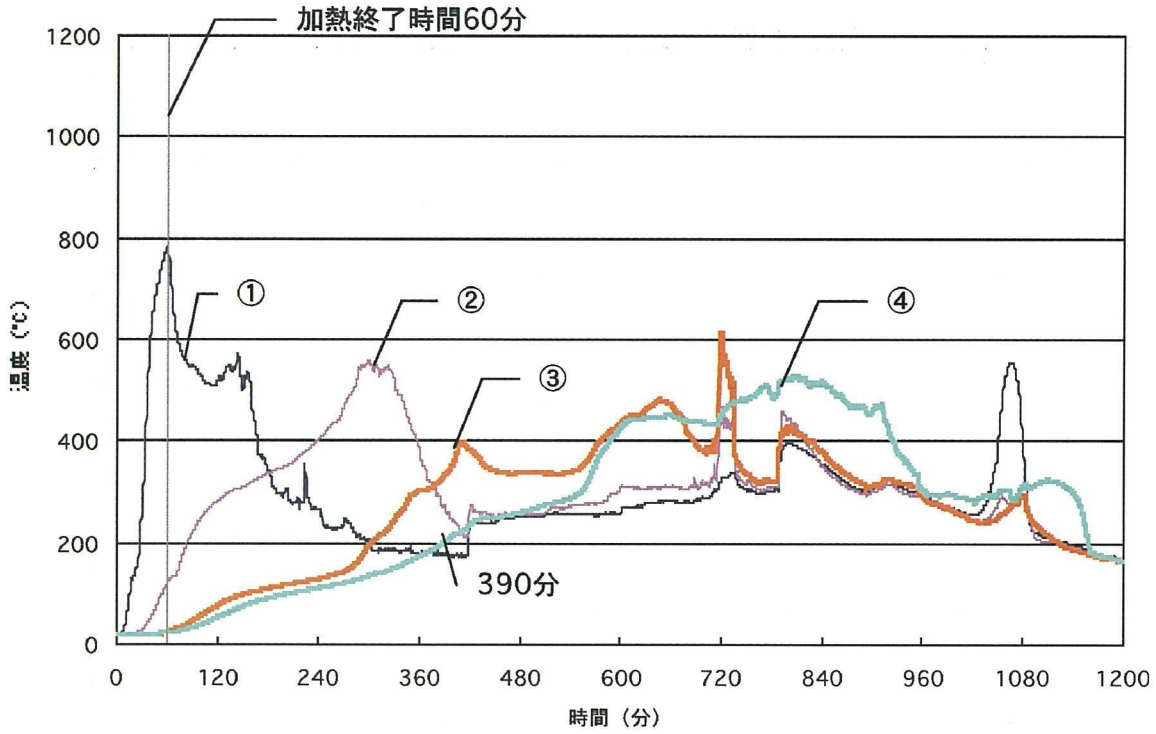


図 5-2 試験体 1 コーナ一部温度変化

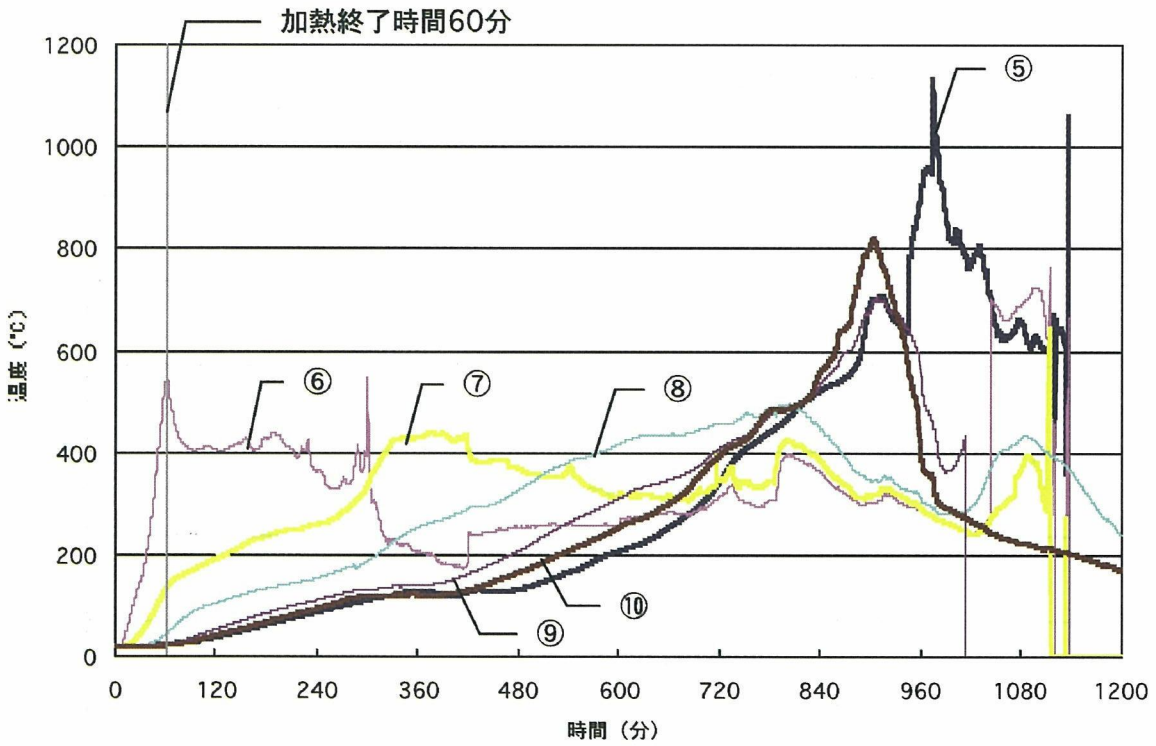


図 5-3 試験体 1 平部温度変化

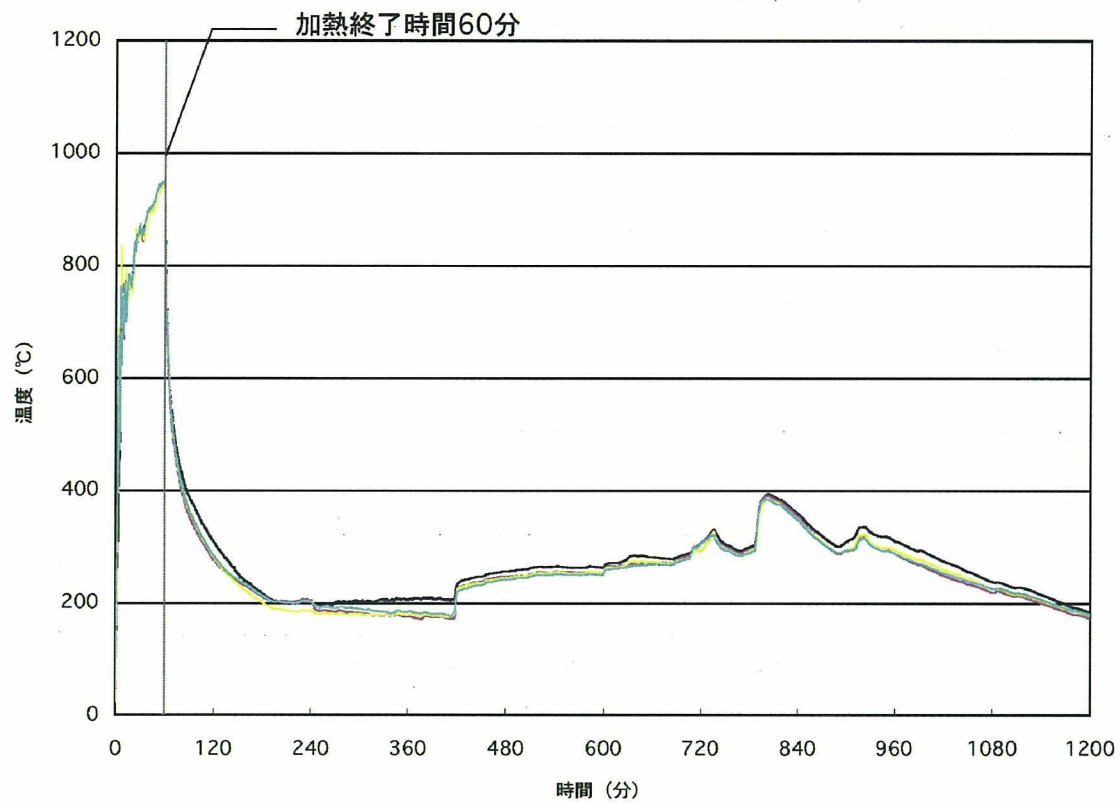


図 5-4 耐火炉内温度変化

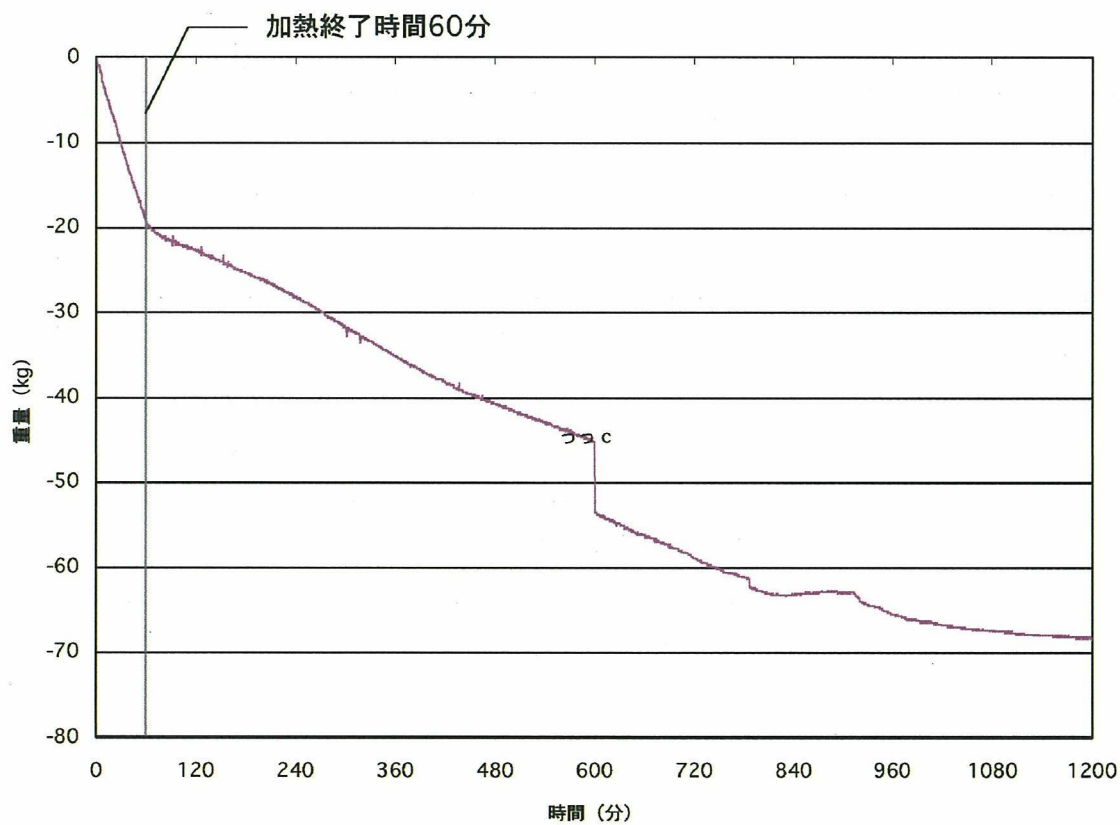


図 5-5 試験体 1 重量減少

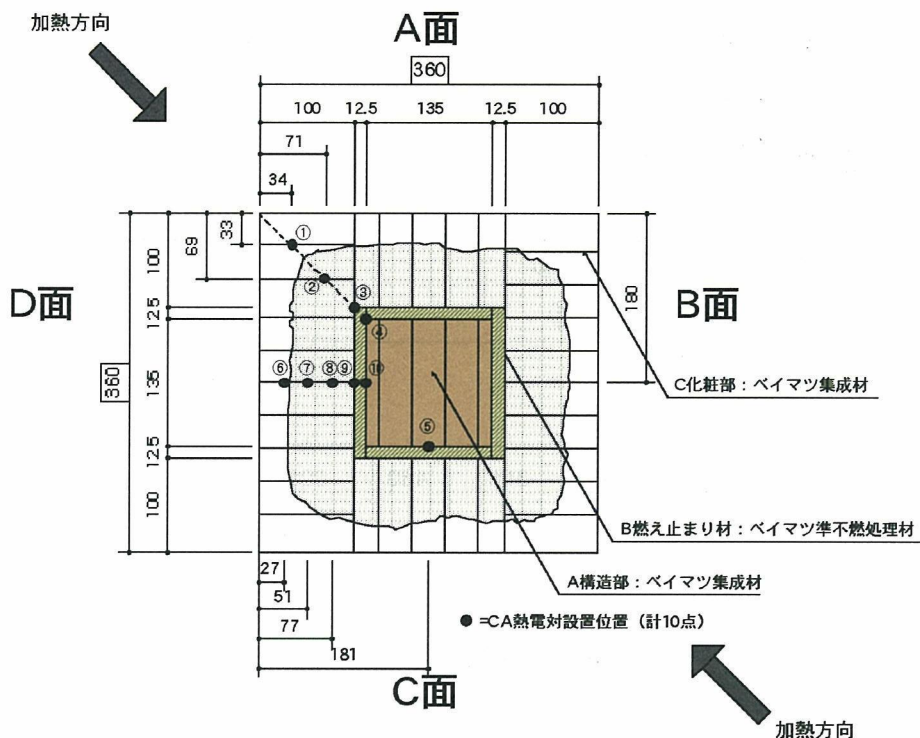
### 5.1.2 試験体 2 実験結果

図 5-6 に試験体 2 断面図及び炭化状況を、図 5-7 に試験体 2 断面内コーナ一部温度変化を（測定位置は図 5-6 参照）、図 5-8 に試験体 2 断面内平部温度変化（測定位置は図 5-6 参照）を、図 5-9 に耐火炉内温度変化を、図 5-10 に重量減少変化を示す。

実験日：10月20日

加熱時間：60分

放置時間：180分



\* ( ) 内数字は熱電対測定位置

図 5-6 試験体 2 断面図及び炭化状況図

試験終了時 240 分の試験体に残炎はなく、図 5-6 より、コーナ一部の炭化深さが 63.5～77.5 mm（試験体断面の対角線上で測定）、平部の炭化深さが 24.5～38.5 mmとなり、燃え止まり材までの燃えこみは見られなかった。

試験体内部温度は、図 5-7、5-8 より、燃え止まり材の表面と裏面側に位置する③、④、⑤、⑨、⑩の温度が 100 分付近から上昇し始めたが、放置終了時ではいずれも 100℃に満たない温度であった。試験体化粧部断面内のほぼ中央に位置する②と⑦の温度は、加熱終了時 60 分付近から急速に上昇して一時燃焼傾向が見られたが、100 分頃に 150℃付近に達した後は減少したため、この 2 つの位置よりも外側の部分で燃え止ったことが確認できた。

炉内温度は、図 5-9 より、加熱を止めた 60 分から急速に減少し、放置終了時は 100℃以下であった。

試験体の重量減少は、図 5-10 より、70 分までに 24.3kg 減少し、その後も微量に重量が減ったがこの時ほぼ重量減少が停止したといえる。

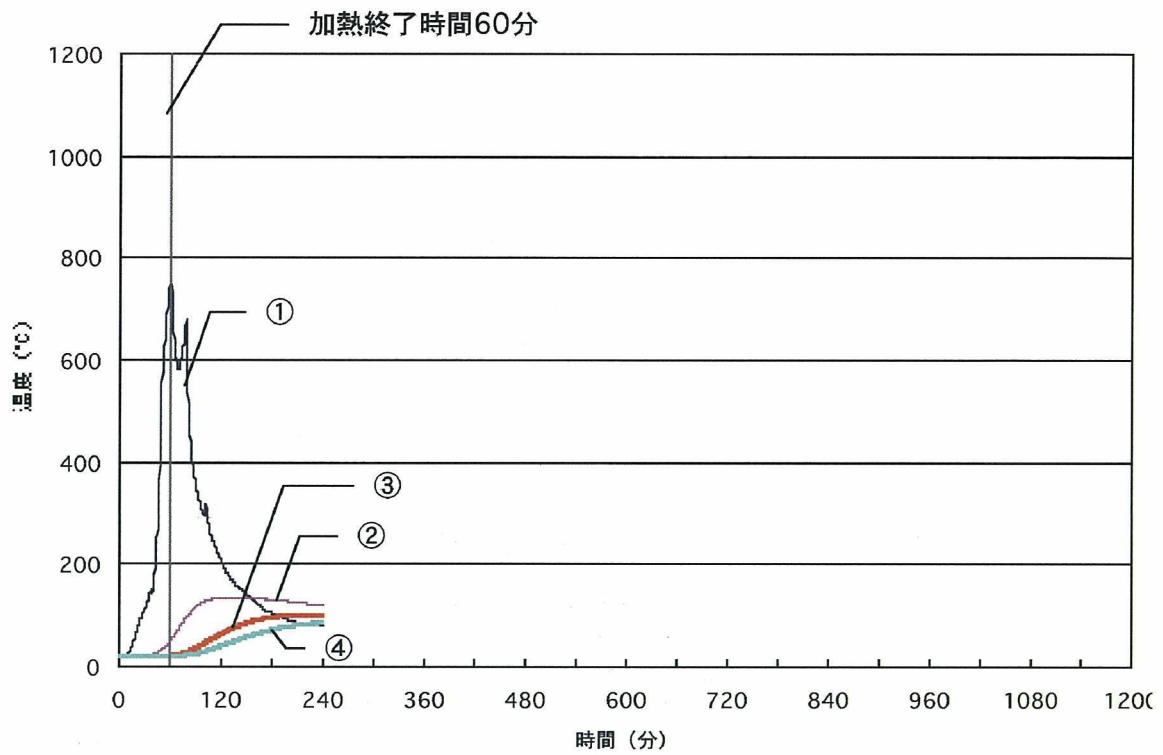


図 5-7 試験体 2 コーナ一部温度変化

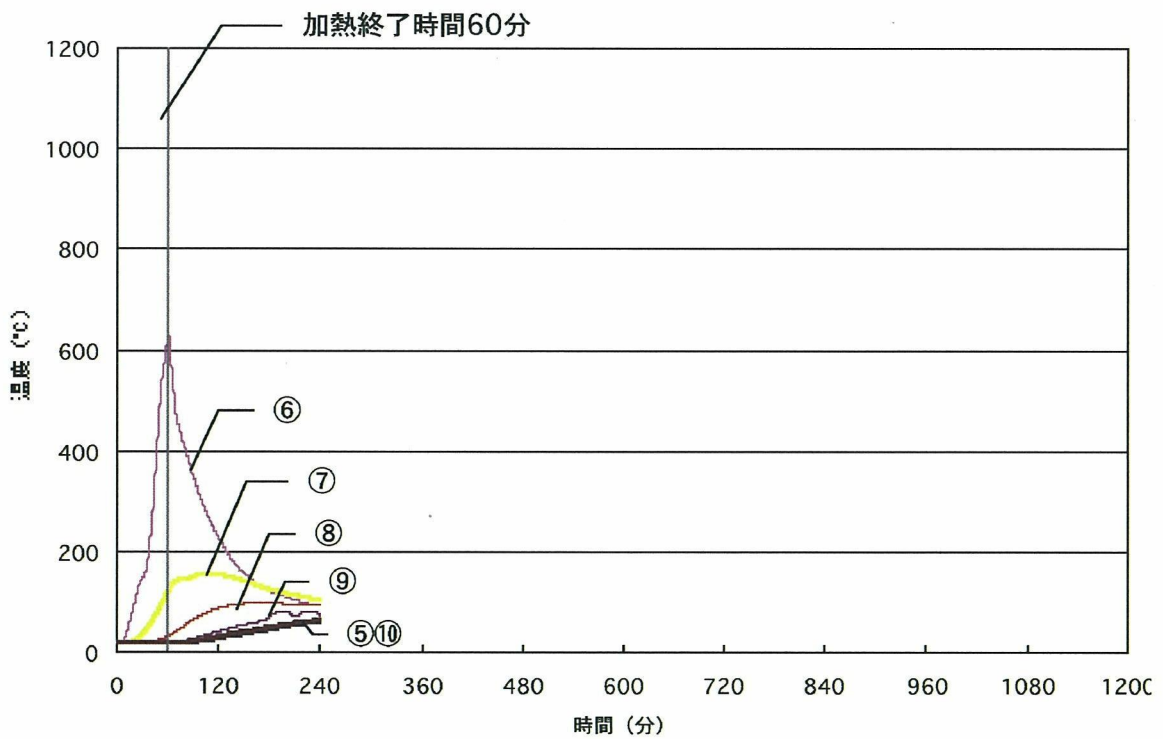


図 5-8 試験体 2 平部温度変化



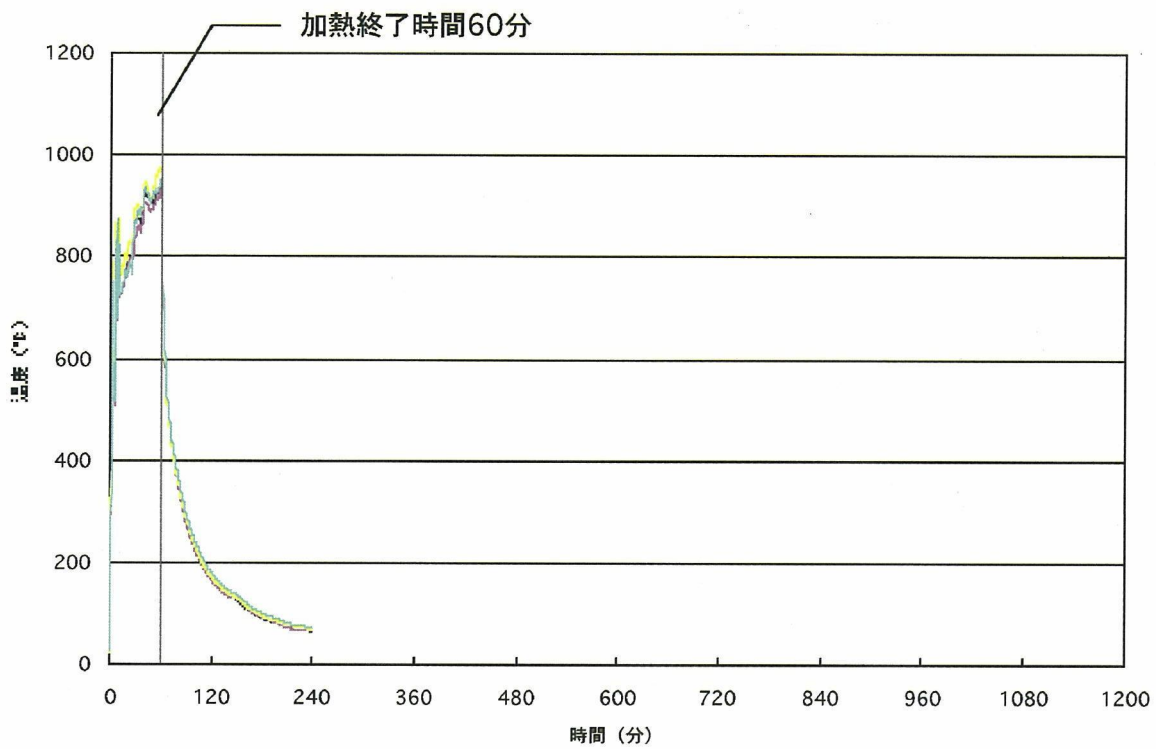


图 5-9 耐火炉内温度变化

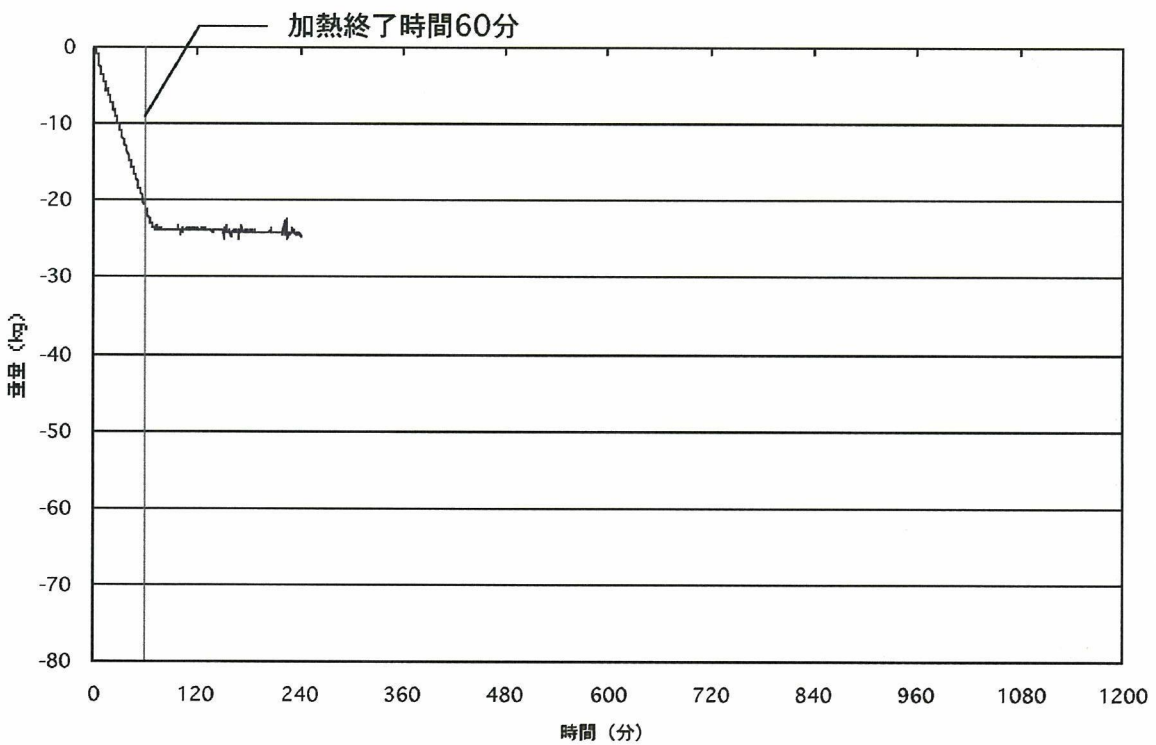


图 5-10 試驗体 2 重量減少

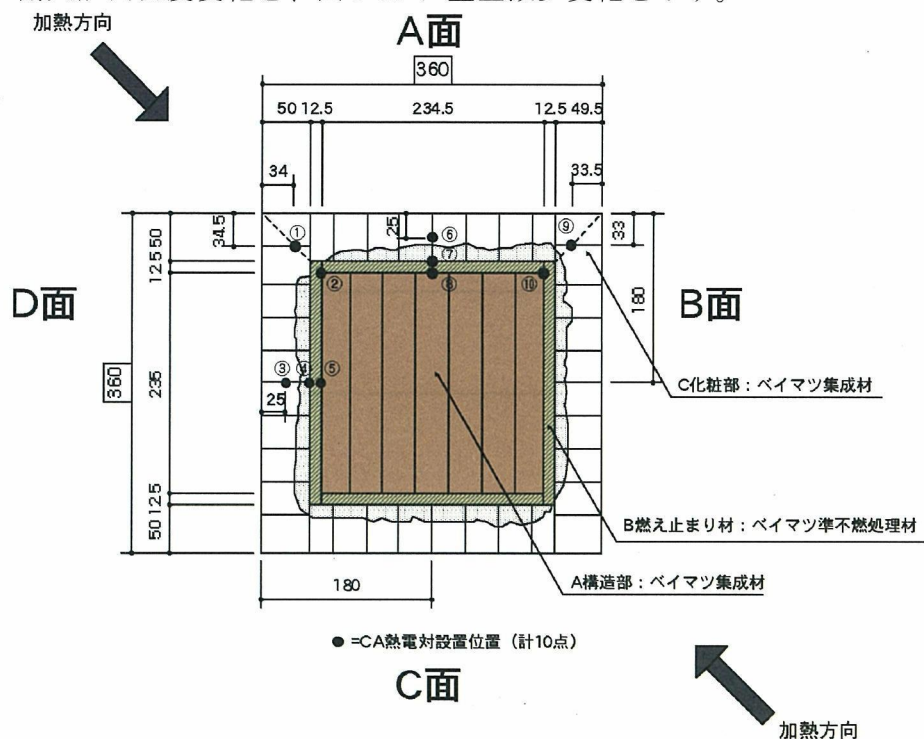
### 5.1.3 試験体 3 実験結果

図 5-11 に試験体 3 断面図及び炭化状況を、図 5-12 に試験体 3 断面内コーナー部温度変化を（測定位置は図 5-11 参照）、図 5-13 に試験体 3 断面内平部温度変化（測定位置は図 5-11 参照）を、図 5-14 に耐火炉内温度変化を、図 5-15 に重量減少変化を示す。

実験日：10月14日

加熱時間：60分

放置時間：180分



\* ( ) 内数字は熱電対測定位置

図 5-11 試験体 3 断面図及び炭化状況図

試験終了時 240 分、試験体コーナー部一箇所に残炎が見られた。図 5-11 より、コーナー部の炭化深さが 63.5～85.0 mm（試験体断面の対角線上で測定）、平部の炭化深さが 27.5～43.0 mm となり、コーナー部の 1 箇所から燃え止まり材に燃えこんだことが確認された。

試験体内部温度は、図 5-12、5-13 より、221 分に燃え止まり材裏面側コーナー部②の温度が 200℃を超え、また、②より外側で同じコーナーにある①の温度が 180 分付近から再上昇し始めたことから、この部位が放置終了後も燃焼し続けていたことが確認できた。一方、②と同様に燃え止まり材の裏面側に位置する⑤、⑧、⑩の温度は、91 分に⑩が最高温度 152℃に達したが、120 分付近で減少傾向をみせ、放置終了時にはいずれも 100℃前後の温度であった。

炉内温度は、図 5-14 より、加熱を止めた 60 分から急速に減少し、放置終了時は 100℃以下であった。

試験体の重量減少は、図 5-15 より、75 分までに 22.1kg 減少し、この時重量減少が停止した。

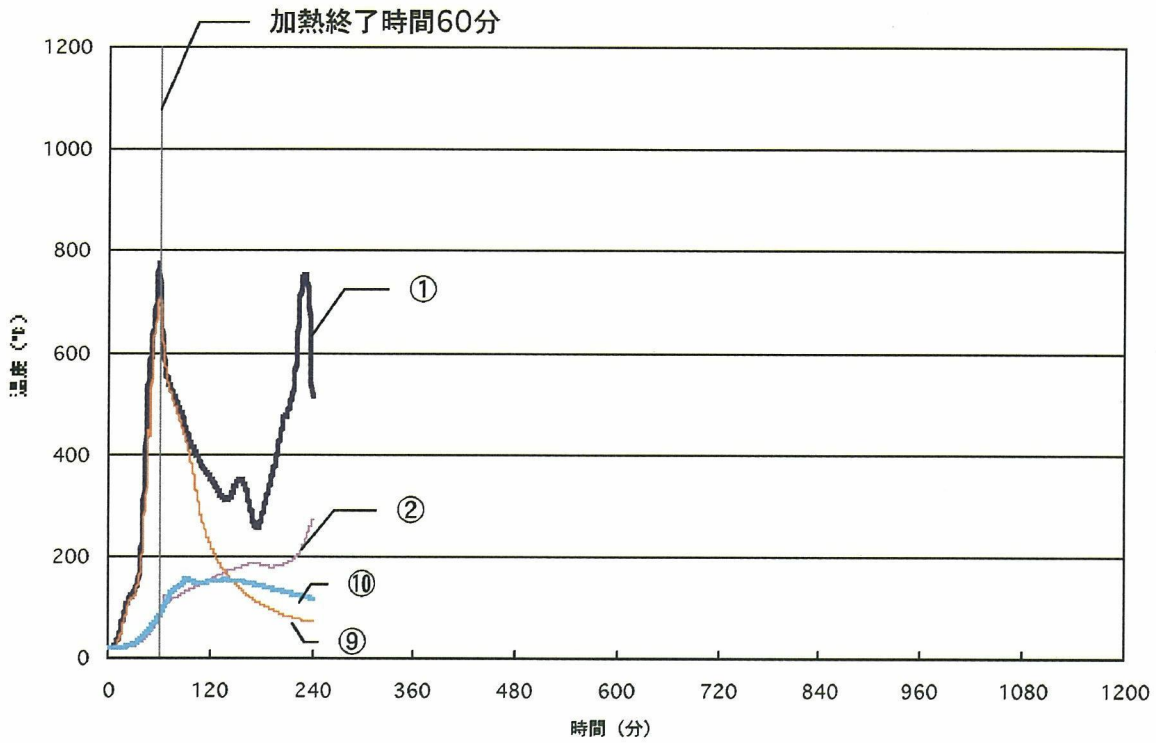


図 5-12 試験体 3 コーナ一部温度変化

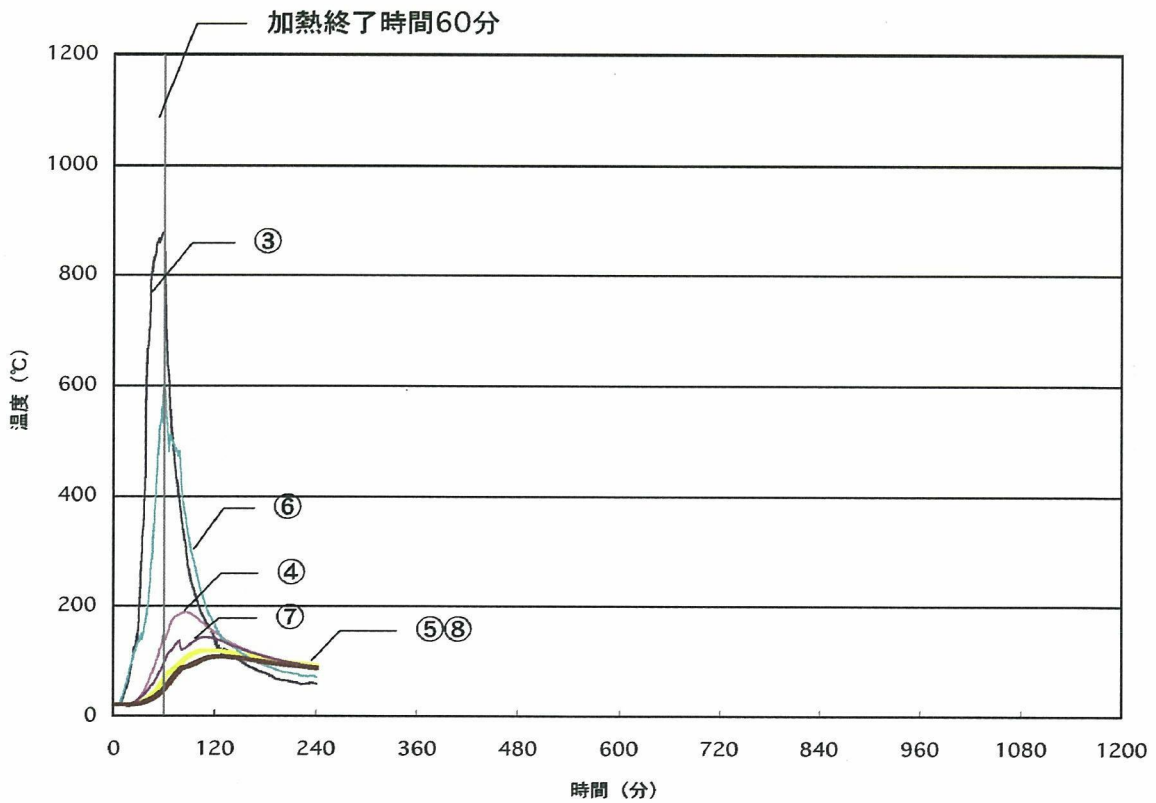


図 5-13 試験体 3 平部温度変化

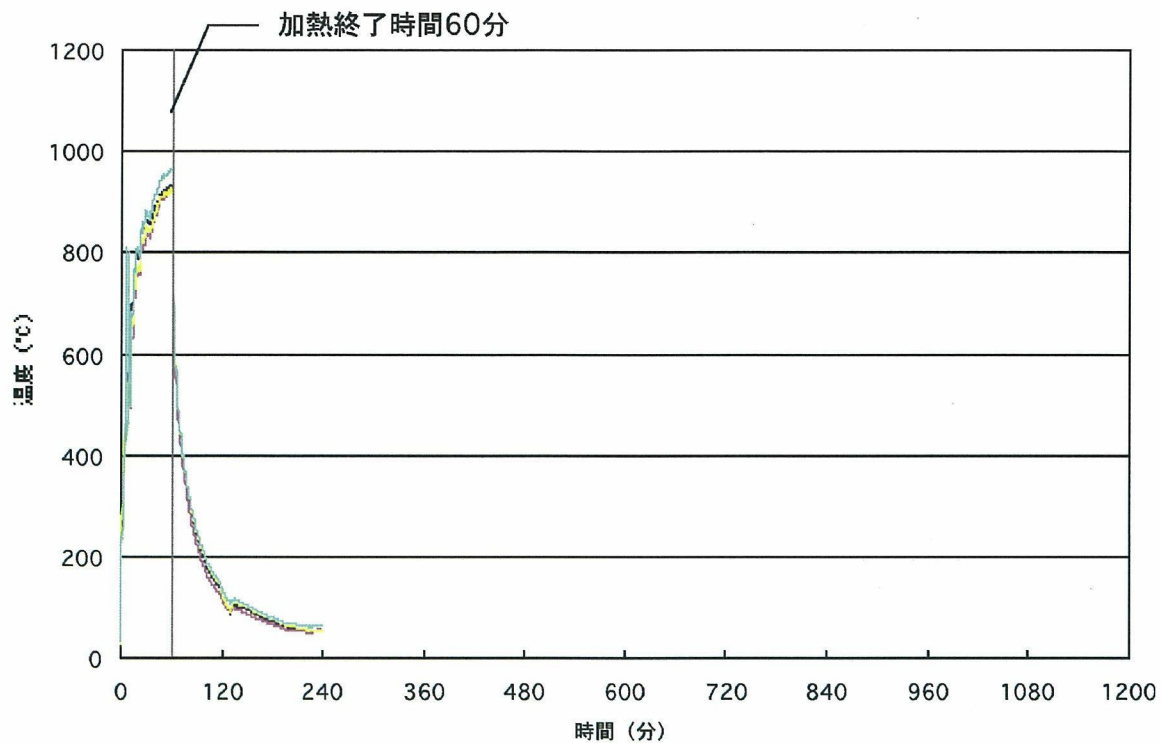


图 5-14 耐火炉内温度变化

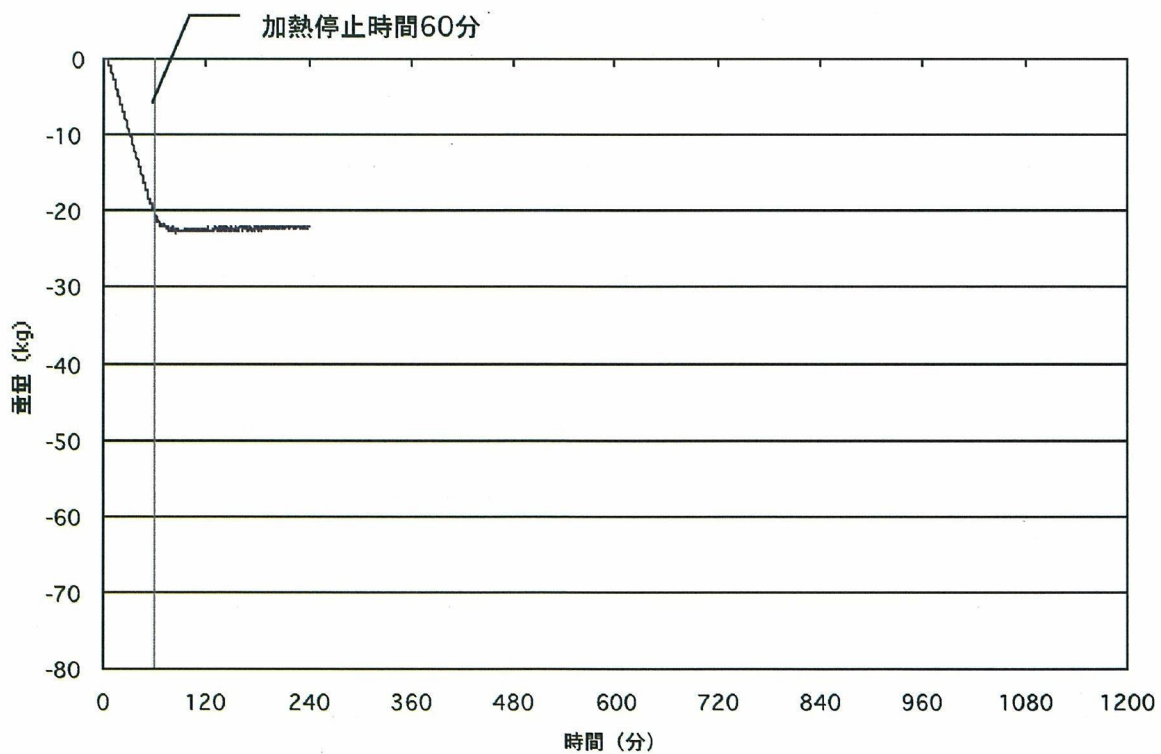


图 5-15 試験体 3 重量減少

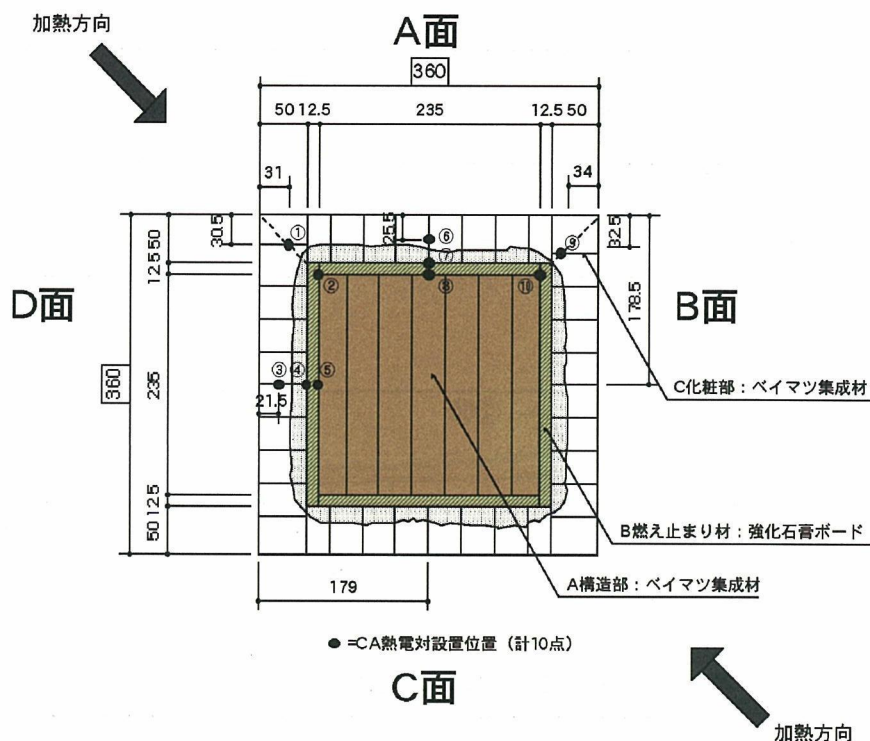
### 5.1.4 試験体 4 実験結果

図 5-16 に試験体 4 断面図及び炭化状況を、図 5-17 に試験体 4 断面内コーナー部温度変化を(測定位置は図 5-16 参照)、図 5-18 に試験体 4 断面内平部温度変化(測定位置は図 5-16 参照)を、図 5-19 に耐火炉内温度変化を、図 5-20 に重量減少変化を示す。

実験日：10月15日

加熱時間：60分

放置時間：1140分



\* ( ) 内数字は熱電対測定位置

図 5-16 試験体 4 断面図及び炭化状況図

試験終了時 1200 分の試験体に残炎はなく、図 5-16 より、コーナー部の炭化深さが 63.5 ~ 70.0 mm (試験体断面の対角線上で測定)、平部の炭化深さが 27.5 ~ 33.0 mm だったことから、コーナー部から燃え止まり材(強化石膏ボード)へ燃えこみ寸前の状態で炭化が止まっていたことがわかる。

試験体内部温度は、図 5-17、5-18 より、燃え止まり材裏面側コーナー部②と⑩の温度が 150 分付近で 140℃弱、裏面側平部⑤と⑧の温度が 80 分付近で 100℃に達した後は減少した。放置終了時には全ての測定位置の温度が 50℃以下であり、燃え止まっていたことが確認された。

炉内温度は、図 5-19 より、加熱を止めた 60 分から急速に減少し、放置終了時は 20℃前後であった。

試験体の重量減少は、図 5-20 より、86 分までに 22.7kg 減少し、この時重量減少が停止した。

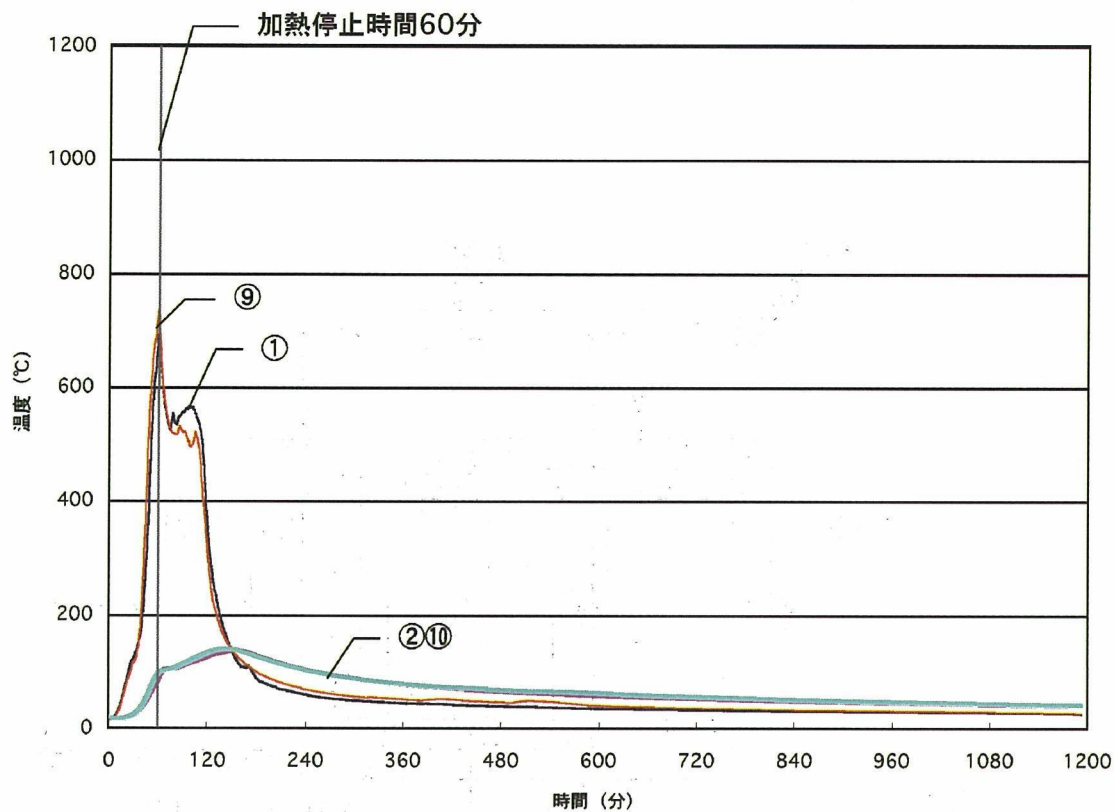


図 5-17 試験体 4 コーナ一部温度変化

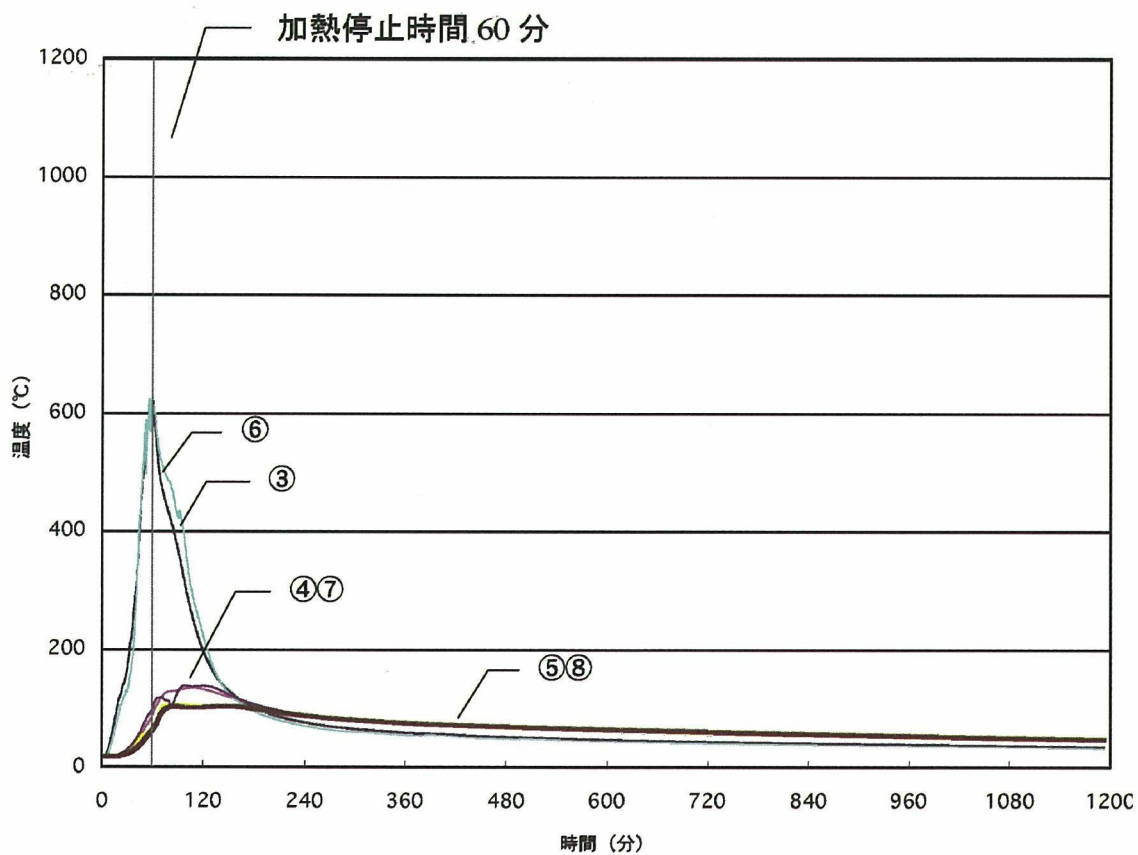


図 5-18 試験体 4 平部温度変化

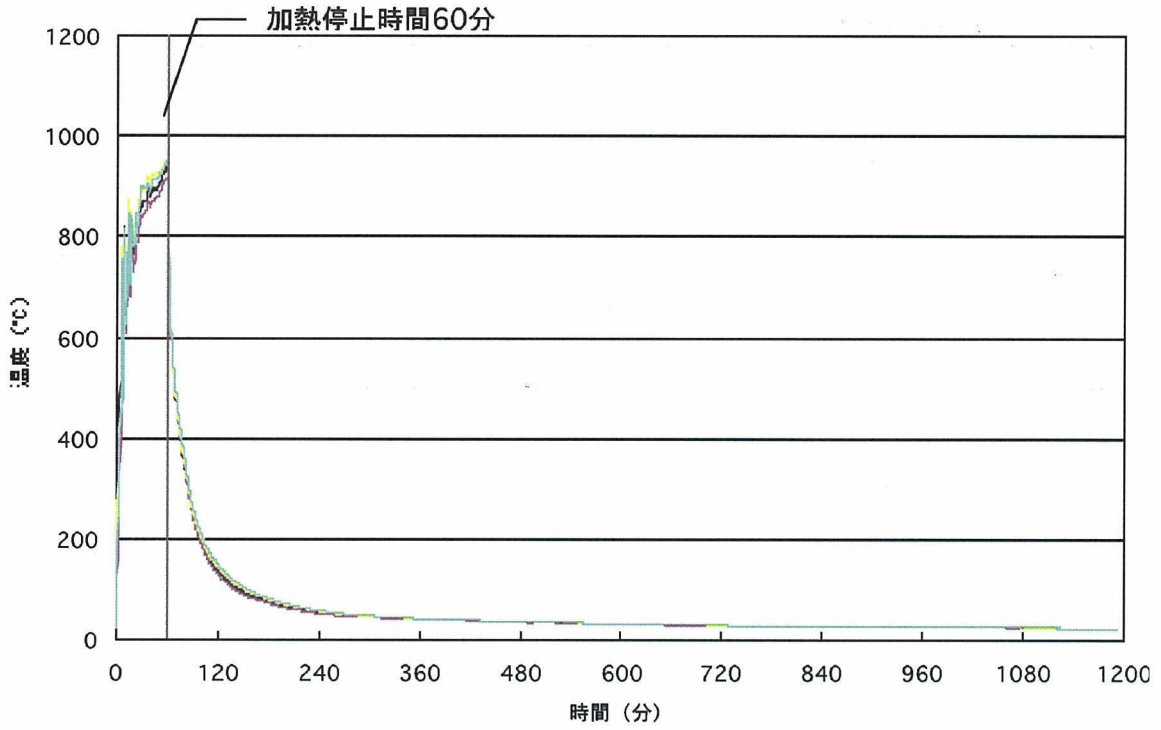


图 5-19 耐火炉内温度变化

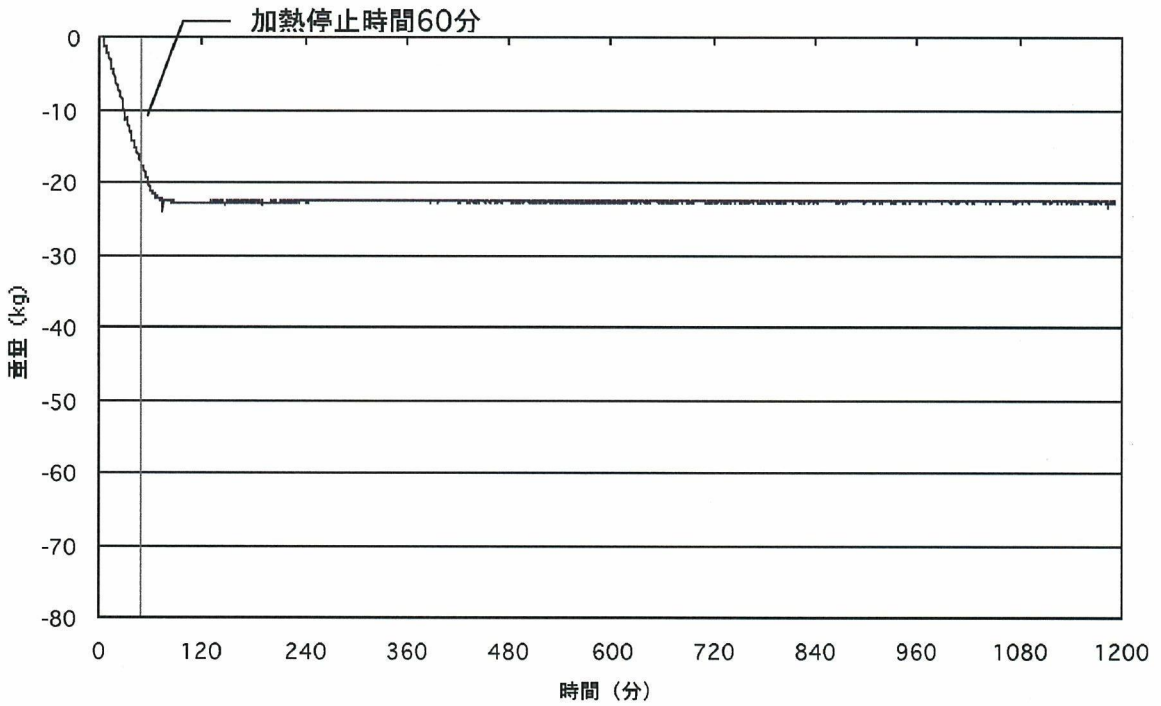


图 5-20 試驗体 4 重量減少

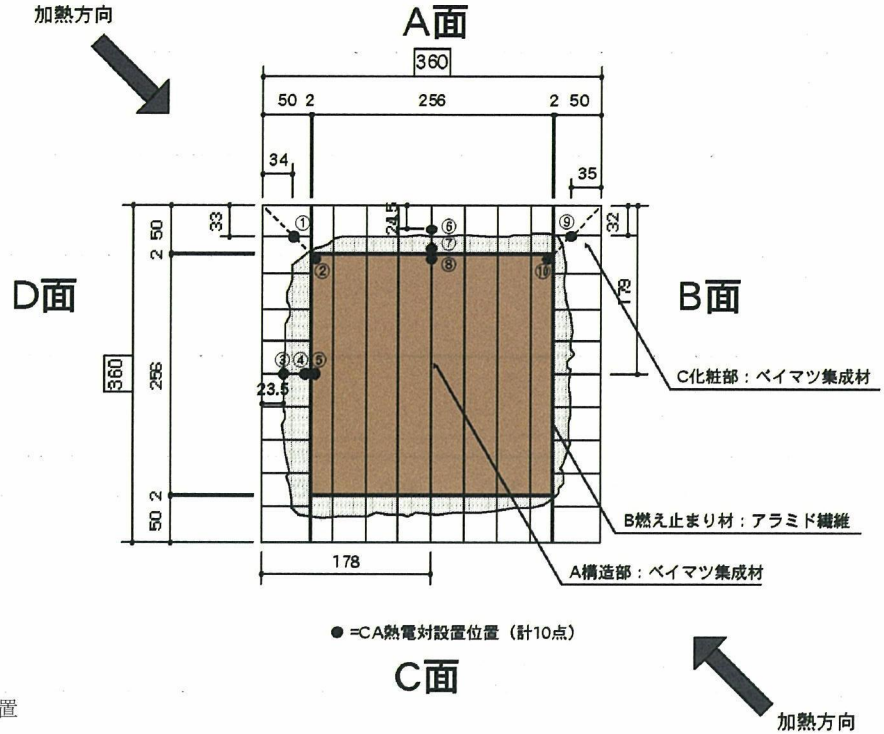
### 5.1.5 試験体 5 実験結果

図 5-21 に試験体 5 断面図及び炭化状況を、図 5-22 に試験体 5 断面内コーナー部温度変化を(測定位置は図 5-21 参照)、図 5-23 に試験体 5 断面内平部温度変化(測定位置は図 5-21 参照)を、図 5-24 に耐火炉内温度変化を、図 5-25 に重量減少変化を示す。

実験日：10月16日

加熱時間：60分

放置時間：180分



\* ( ) 内数字は熱電対測定位置

図 5-21 試験体 5 断面図及び炭化状況図

試験終了時 240 分、試験体コーナー部一箇所に残炎が見られた。図 5-21 より、コーナー部の炭化深さが 49.5～71.0 mm (試験体断面の対角線上で測定)、平部の炭化深さが 21.0～42.0 mm となり、コーナー部のひとつから燃え止まり材に燃えこんだことが確認された。

試験体内部温度は、図 5-22、5-23 より、116 分に燃え止まり材裏面側コーナー部②の温度が 200℃を超え、204 分に最高温度 367℃に達して燃え止まり材への燃え抜けが確認された。しかし、その後②の温度は減少し、放置終了時には 180℃となり燃え止まったことがわかる。②以外の燃え止まり材裏面側⑤、⑧、⑩の温度は 100 分付近で最高温度に達した後は減少し、放置終了時は 100℃以下となり、いずれの時間も 200℃を超えることはなかった。

炉内温度は、図 5-24 より、加熱を止めた 60 分から急速に減少し、放置終了時は 20℃前後であった。

試験体の重量減少は、図 5-25 より、96 分までに 23.3kg 減少し、この時重量減少が停止した。



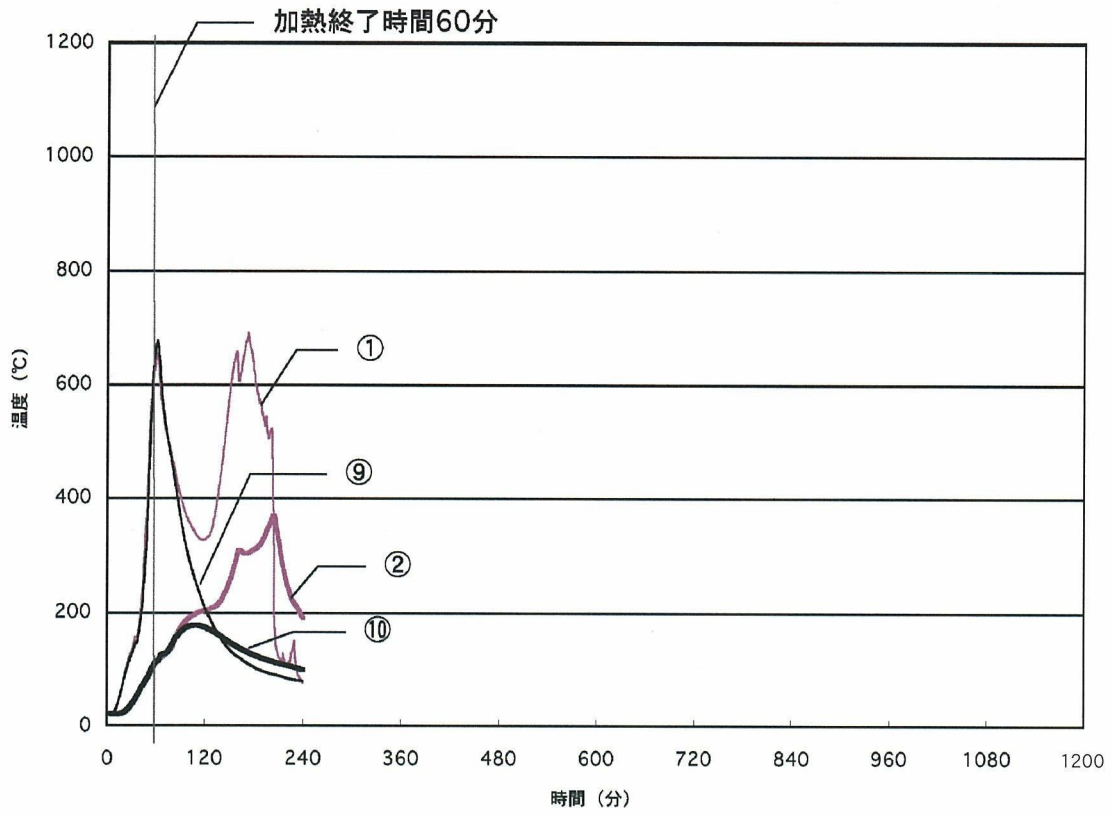


図 5-22 試験体 5 コーナ一部温度変化

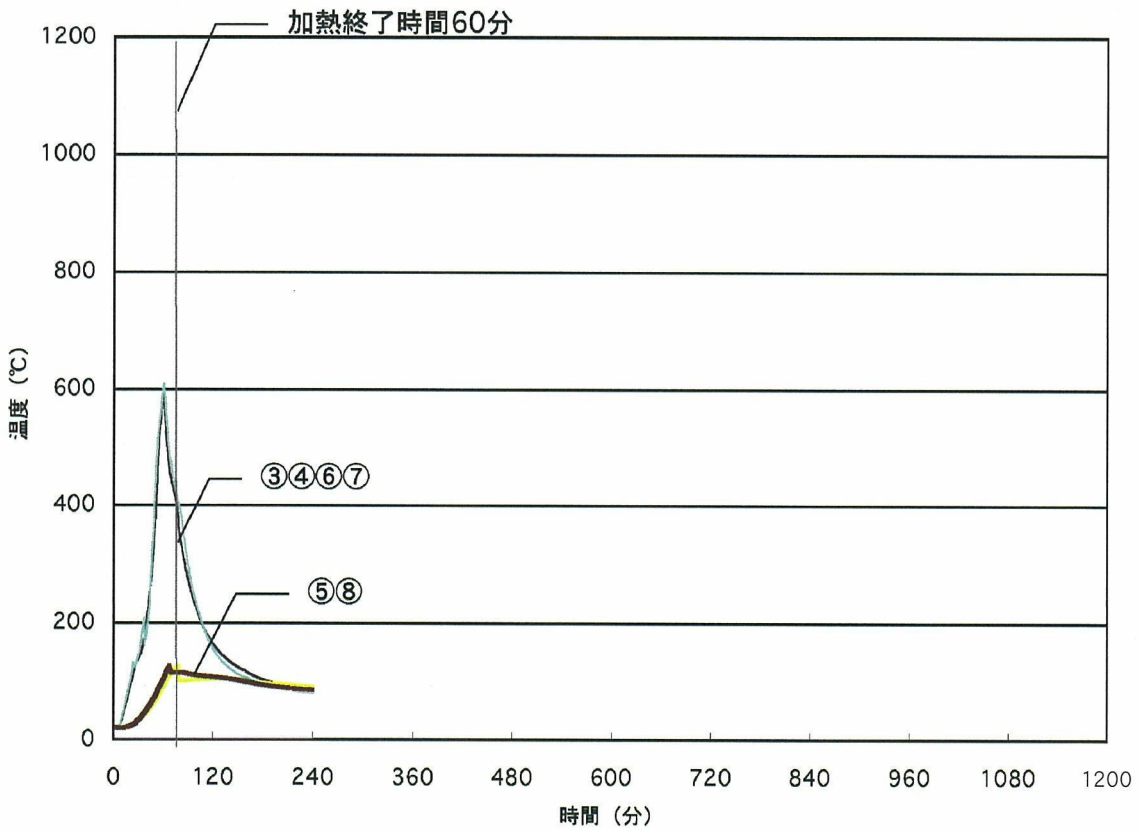


図 5-23 試験体 5 平部温度変化

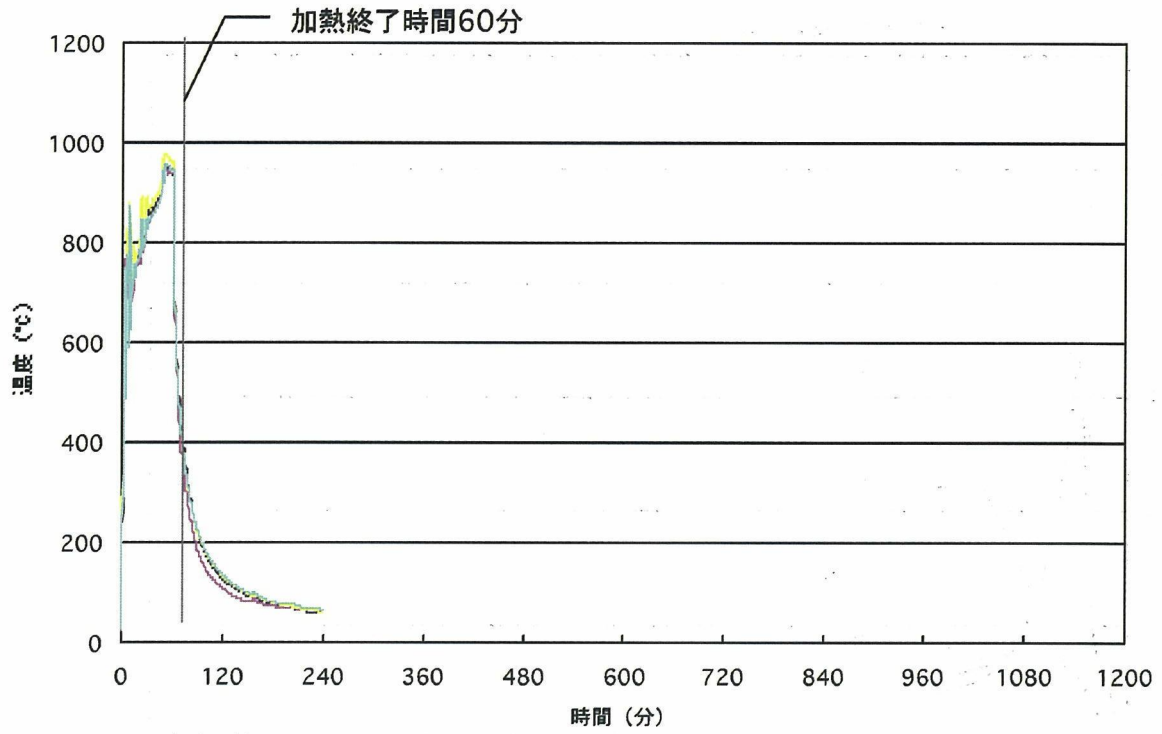


图 5-24 耐火炉内温度变化

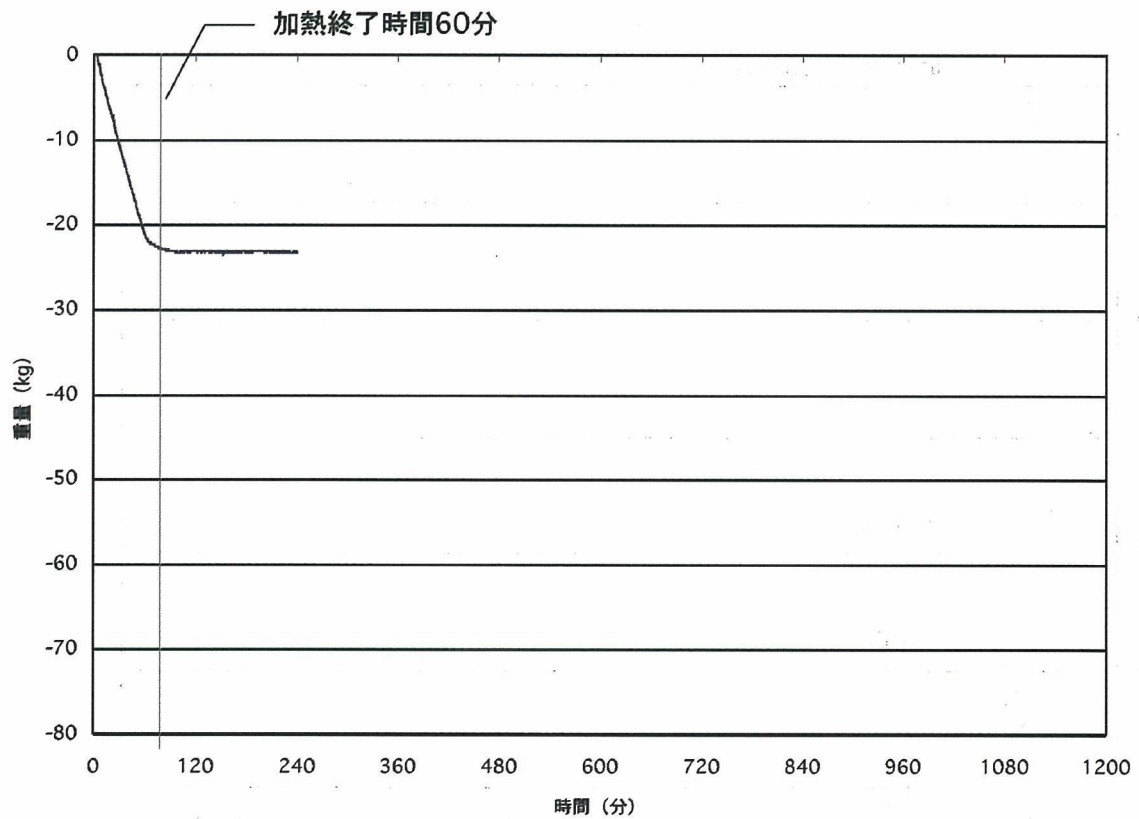


图 5-25 試驗体 5 重量減少

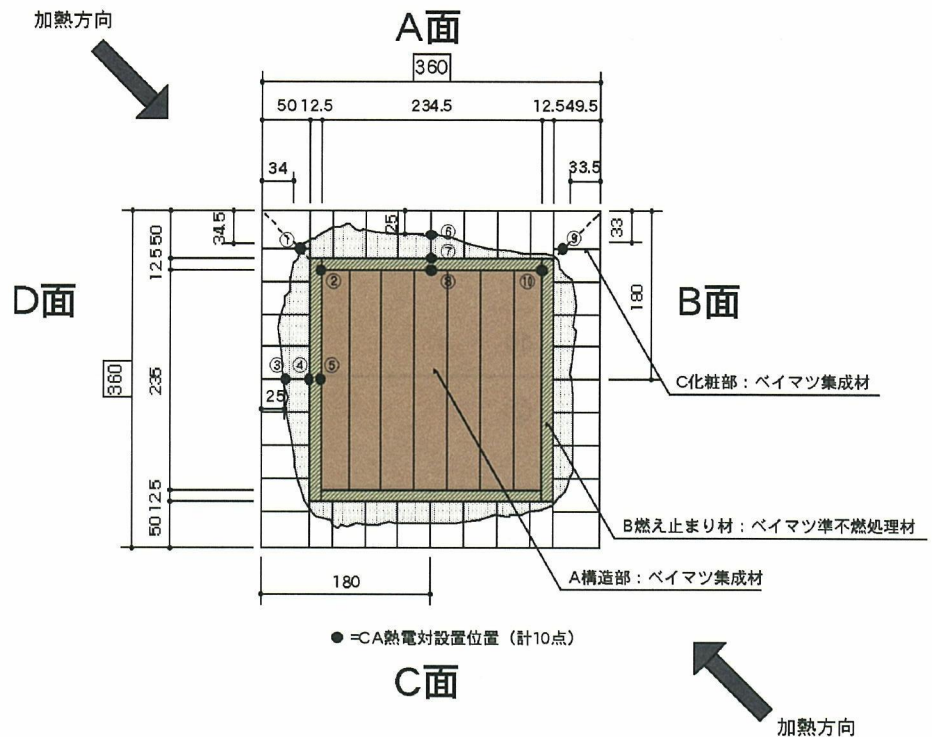
### 5.1.6 試験体 6 実験結果

図 5-26 に試験体 6 断面図及び炭化状況を、図 5-27 に試験体 6 断面内コーナ一部温度変化を（測定位置は図 5-26 参照）、図 5-28 に試験体 6 断面内平部温度変化（測定位置は図 5-26 参照）を、図 5-29 に耐火炉内温度変化を、図 5-30 に重量減少変化を示す。

実験日：10月22日

加熱時間：60分

放置時間：180分



\* ( ) 内数字は熱電対測定位置

図 5-26 試験体 6 断面図及び炭化状況図

試験終了時 240 分の試験体に残炎はなく、図 5-26 より、コーナ一部の炭化深さが 56.5～68.5 mm（試験体断面の対角線上で測定）、平部の炭化深さが 18.0～44.5 mm だったことから、コーナ部から燃え止まり材へ燃えこみ寸前の状態で炭化が止まっていたことがわかる。

試験体内部温度は、図 5-27、5-28 より、燃え止まり材裏面側の温度は、⑩が 217 分に最高温度は 180℃となり、いずれの測定位置（②、⑤、⑧、⑩）も 200℃を超えることはなかった。

炉内温度は、図 5-29 より、加熱を止めた 60 分から急速に減少し、放置終了時は 50℃前後であった。

試験体の重量減少は、図 5-30 より、71 分までに 22.8kg 減少し、その後も微量に重量が変動したがこの時ほぼ重量減少が停止したといえる。

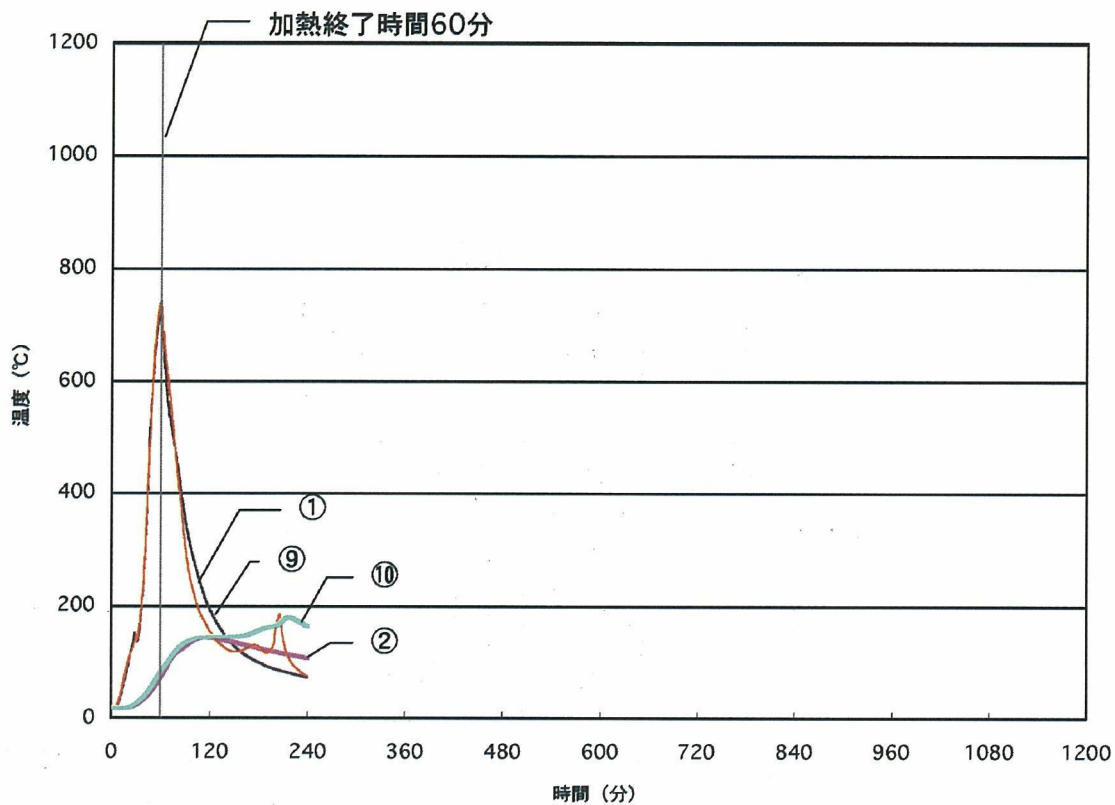


図 5-27 試験体 6 コーナ一部温度変化

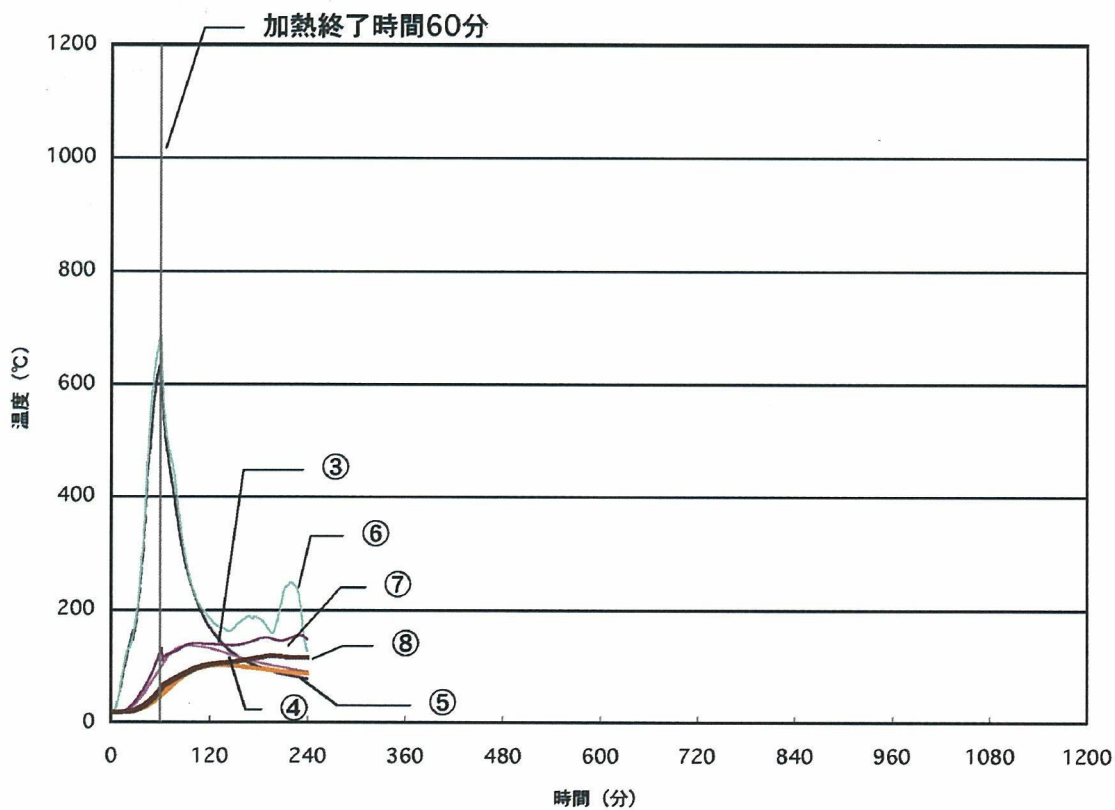


図 5-28 試験体 6 平部温度変化

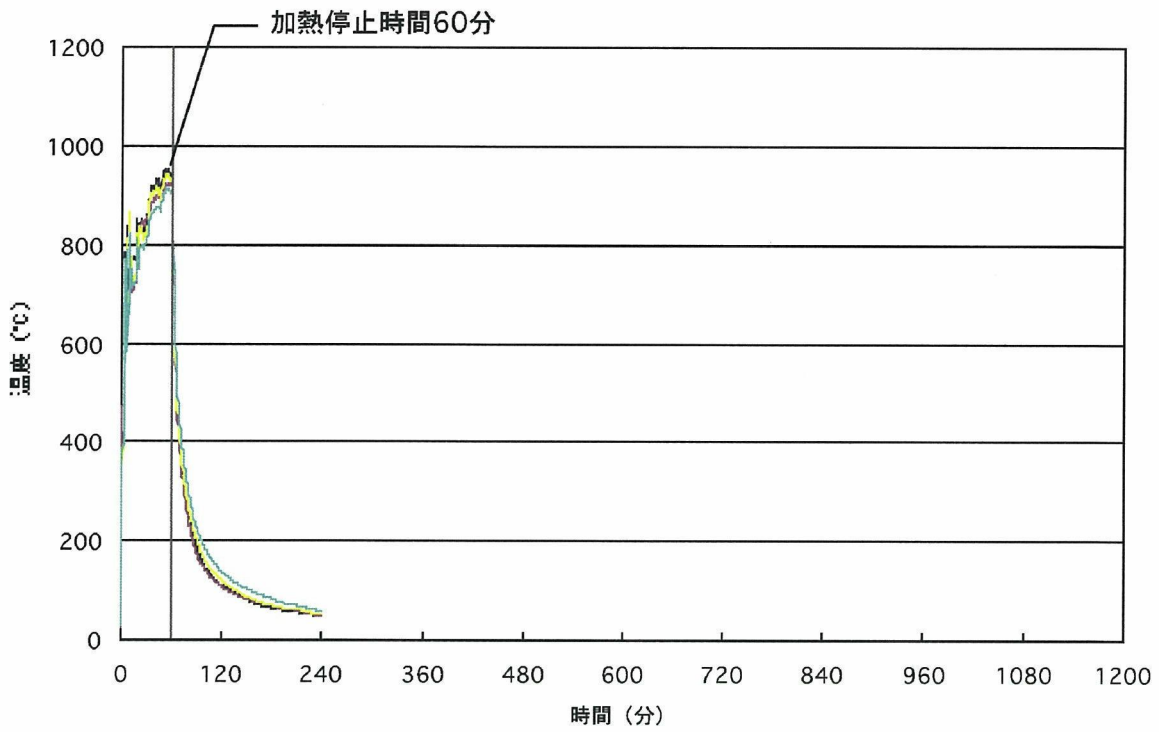


图 5-29 耐火炉内温度变化

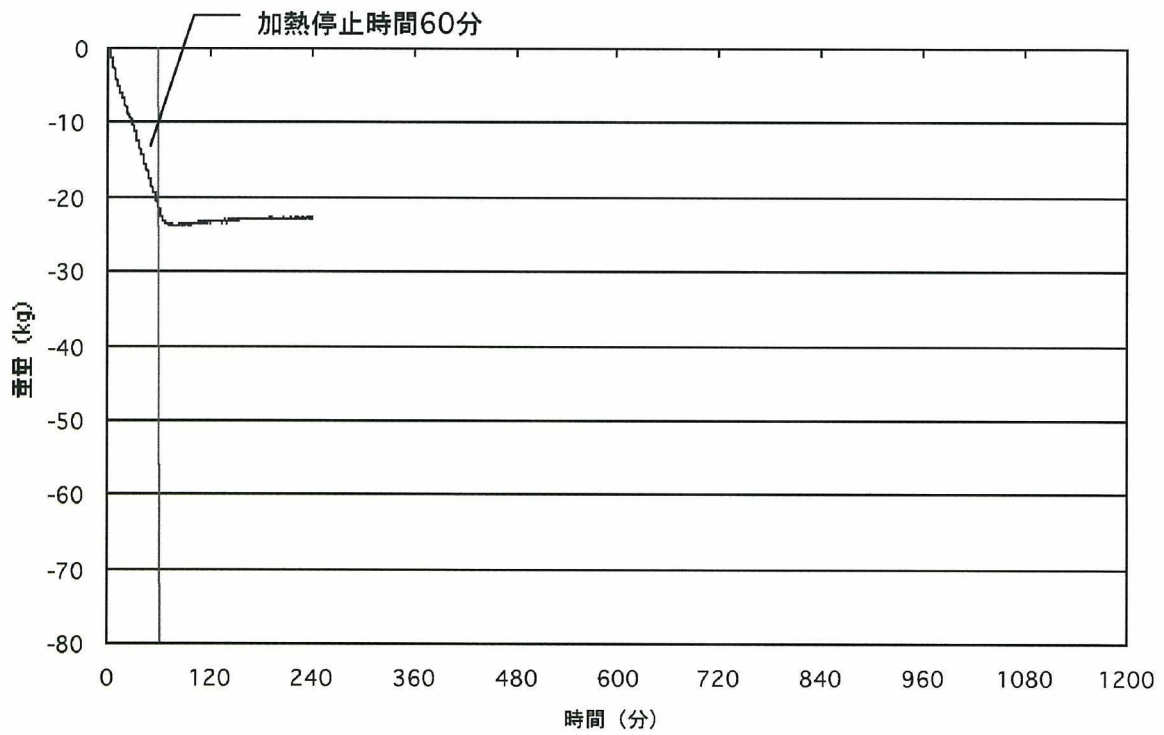


图 5-30 試驗体 6 重量減少

### 5.1.7 考察

表 5-1 に実験結果一覧を示す。

1 時間加熱、3 時間放置（試験体 1 と 4 は 11 時間放置）中に、A 構造部表面の温度が遮熱性の評価値 200℃を越えず、燃え止まり現象が確認できた仕様は、

- ・試験体 2（化粧部-ペイマツ 100mm、燃え止まり層-準不燃木材）
- ・試験体 4（化粧部-ペイマツ 50mm、燃え止まり層-石膏ボード）
- ・試験体 6（化粧部-ペイマツ 50mm、燃え止まり層-準不燃木材、接着剤-ウレタン系）の 3 仕様であった。


このうち、試験体 2 は、燃え止まり層まで燃焼は進まず、化粧部の中央付近で燃え止まった。この実験では、3 時間放置後の内部温度はすべての部位で下がり始めていたが、高い部分では約 150℃であり、この後放置した場合、再度燃焼が始まる可能性がないとはいえない。試験体 3 では、内部温度が一旦、約 170℃に下がったものの、3 時間の放置終了寸前に再燃焼した。このように木質系材料では、重量減少に表れない程度の燃焼が継続することもあり、燃え止まり現象の判断基準が難しいといえる。それを考慮し、試験体 4 では、放置時間を 11 時間とした。これにより、完全に燃え止まったことが確認できたが、この実験のように長期の放置は、様々な制約から困難なことが多いため、今後試験方法の検討が望まれる。また、試験体 6 は試験体 3 と同様の仕様で、燃え止まり層と化粧部の接着に、接着時の圧縮圧力がレゾルシノール樹脂接着剤の約 1/10 と小さく、現場接着の可能性があるウレタン系接着剤を使用した。このウレタン系接着剤は、耐熱性に乏しく、化粧部の燃焼が進むに従い、接着面の温度上昇により接着強度が減少し、化粧部と燃え止まり層で部材の剥離により内部に対して断熱となったため化粧部で燃え止まったと考えられる。

本実験では、上記の 3 仕様で燃え止まったが、加熱時の再現性を考慮すると試験体 4 がもっとも実現可能性の高い仕様といえる。

表 5-1 実験結果一覧

試験体 No.	A構造部	試験体仕様			残灰	B部裏面温度が200℃を越えた時間(箇所)	重量減少停止時間	最大減少量	炭化深さ (mm)	
		B燃え止まり層 (mm)	C化粧部 (mm)	放置時間					含水率 (%)	コーナー部
1	ペイマツ集成材	準不燃処理木材	スギ集成材 100厚	1140分	13.7	390分(コーナー部)	-	-82.2k g	-	-
2	135×135	(ペイマツ)	ペイマツ集成材 100厚	180分	14.1	無し	70分	-24.3k g	63.5~77.5	24.5~38.5
3	ペイマツ	12.5厚	ペイマツ集成材 50厚	180分	14.3	コーナー部	221分(コーナー部)	-22.1k g	63.5~85.0	27.5~43.0
4	集成材	強化石膏ボード 12.5厚	ペイマツ集成材 50厚	1140分	14.9	無し	80分	-22.7k g	63.5~70.0	27.5~33.0
5	235×235	アラミド繊維	ペイマツ集成材 50厚	180分	14.7	コーナー部	116分(コーナー部)	-23.3k g	49.5~71.0	21.0~42.0
6		準不燃処理木材 (ペイマツ) 12.5厚	ペイマツ集成材 50厚	180分	11.9	無し	71分	-22.8k g	56.5~68.5	18.0~44.5

注：1) 接着剤：特記なき場合はレゾルシノール樹脂

- 2) 試験体 6 は試験体 3 と同仕様で B 燃え止まり部と C 化粧部の接着剤をウレタン系とする
- 3) 試験体 1 は放置終了後ロードセルから落下しており全焼状態であった
- 4)  燃え止まりを確認した仕様

以下に本実験のまとめを示す。

1. 木造柱を石膏ボードとベイマツ 50mm で耐火被覆した仕様は、1 時間の耐火構造に相当する性能を実現可能である。
2. 同じ断面仕様であれば、スギよりもベイマツの方が、燃え止まる可能性が高い。
3. 木質系材料では、重量減少に表れない程度の燃焼が継続することにより、長時間放置後に再燃する可能性がある。
4. 木質系材料の燃え止まりの有無を判断するには、1 時間の加熱に対して、3 時間放置では短い場合がある。耐火構造の要求性能を考えた場合には、3 時間に限定する必要はないと考えられる。

## 5.2 柱梁接合部試験結果

### 5.2.1 I型試験体実験結果

柱脚試験体は、形状がI型をしていることから、I型試験体と呼んでいる。

それぞれの試験体の荷重変形角曲線を図 5-31～5-35 に示す。また、各試験体の破壊の様子を写真 5-1～5-48 に示す。

柱断面が  $550 \times 210$  のものは、 $1/200\text{rad.}$  で約  $4000\text{kN} \cdot \text{m/rad.}$  の剛性を示し、最終的には  $12\text{kN} \cdot \text{m}$  程度の最大モーメントを示した。また、 $750 \times 210$  のものは、約  $5000 \text{ kN} \cdot \text{m/rad.}$  の剛性を示し、最終的には  $25\text{kN} \cdot \text{m}$  程度の最大モーメントを示した。断面が大きくなって剛性は大きくは向上しないことが示された。ただし、最大モーメントは大きく向上しているため、余力が大きいことが示された。

また、破壊は、H型の鉄骨が圧縮座屈を起こしており、木材部分には損傷は見られなかった。そのため、接合部全体としては、ねばりのある性能を示した。また、鉄骨部分で座屈したことは、木材と複合した複雑な破壊形態を起こすことがないため、鉄骨部分の設計でよいことを意味している。

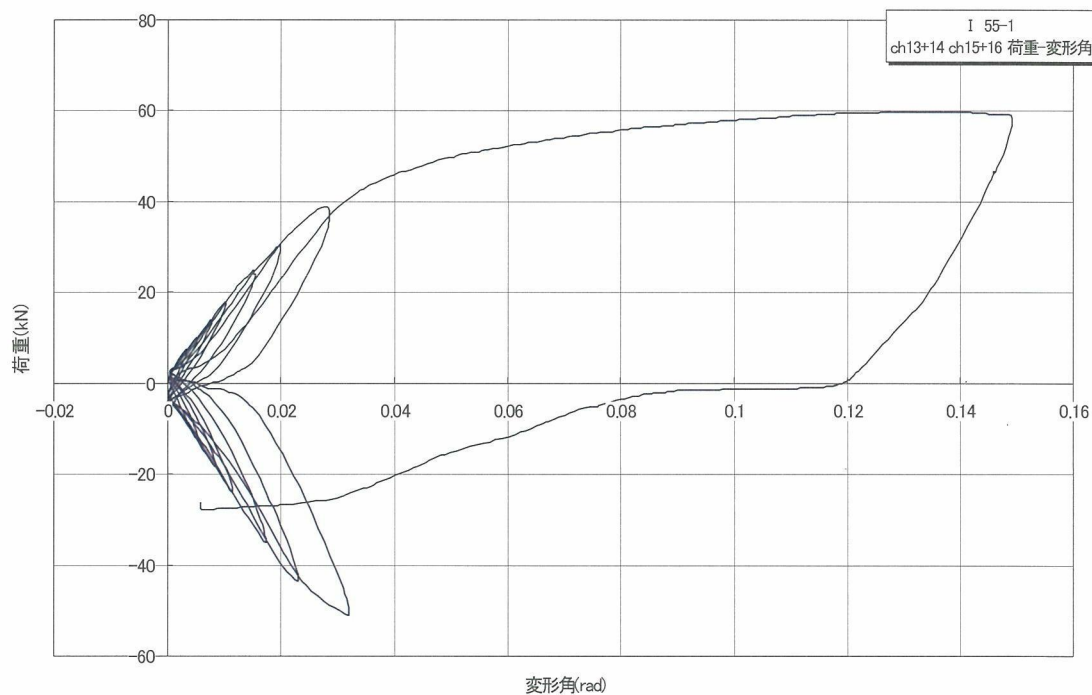


図 5-31 試験体名 : I55-1-1



試験体名：I55-1-1（治具固定ケミカルアンカー部分破壊） 1/10rad 引張時

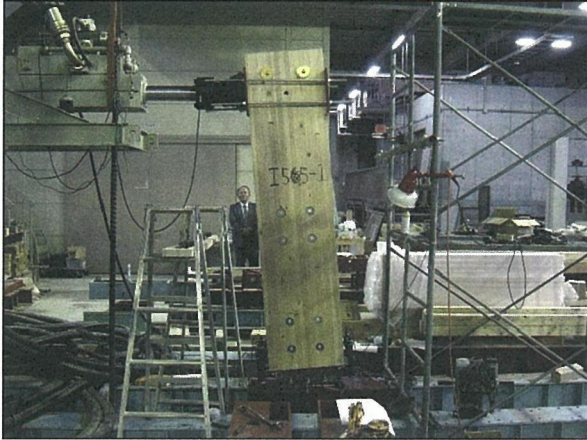


写真 5-1 試験体名：I55-1-1  
回転によるH鋼の破壊状況

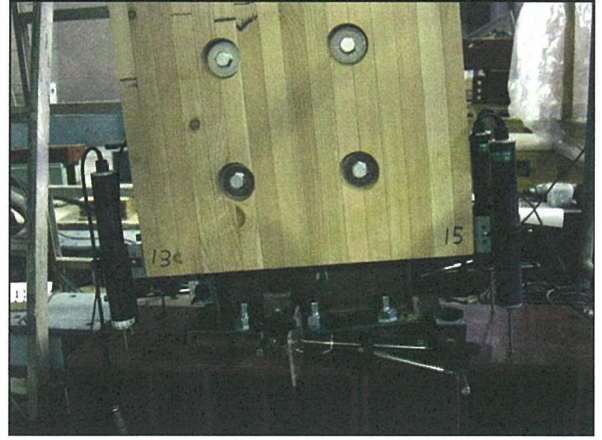


写真 5-2 試験体名：I55-1-1  
H鋼のベース板の曲がり  
ボルトの伸び状況

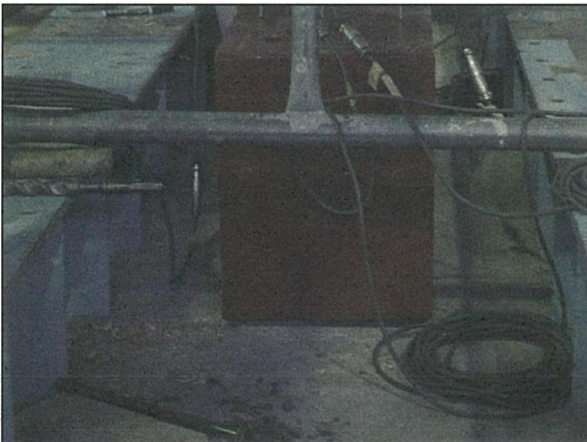


写真 5-3 試験体名：I55-1-1  
治具固定ケミカルアンカー部分  
のコンクリート破壊状況

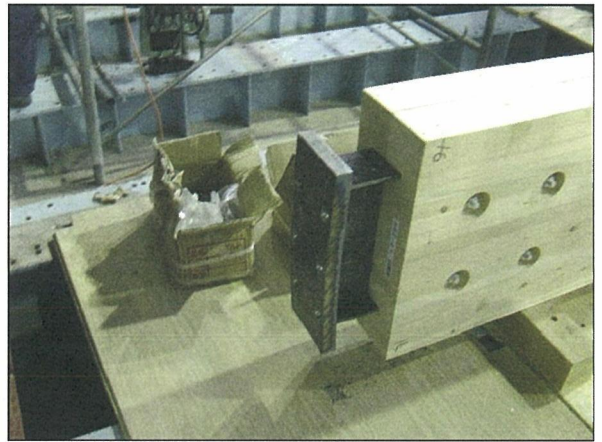


写真 5-4 試験体名：I55-1-1  
試験体H鋼のベース板の  
曲がり状況

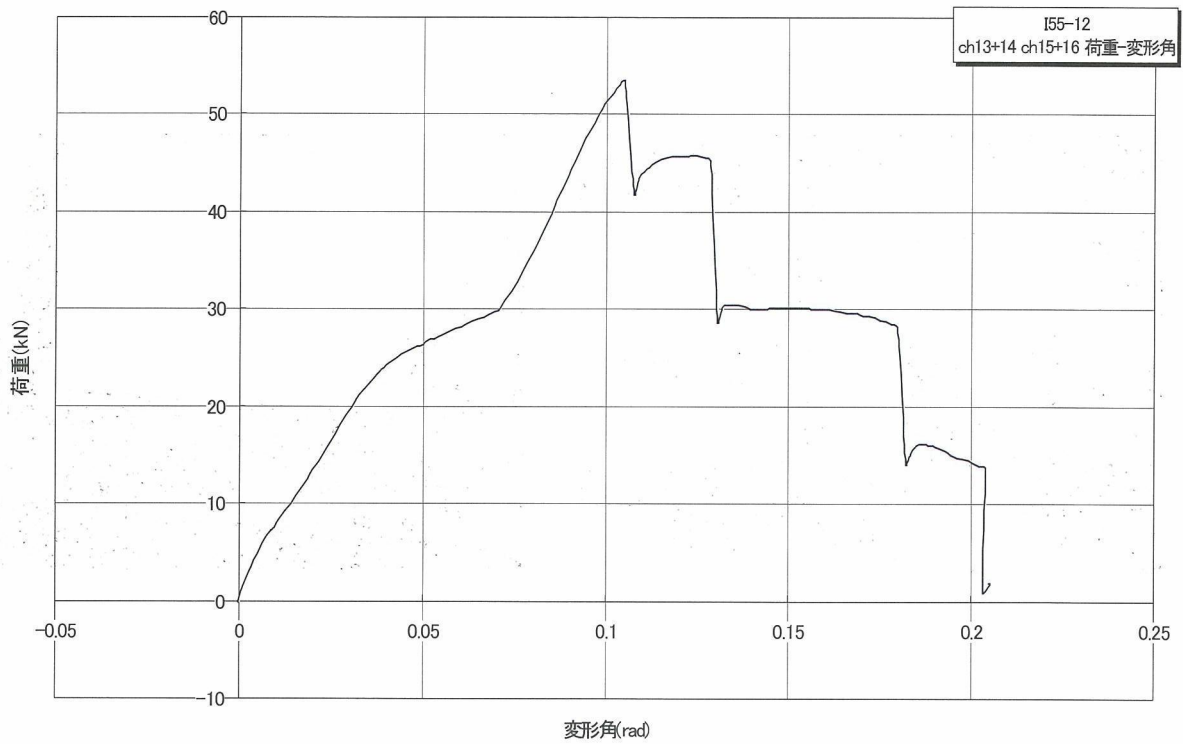


図 5-32 試験体名 : I 55-1-2

試験体名 : I55-1-2 (試験体固定ボルトの引張破断) 1/10rad 引張時

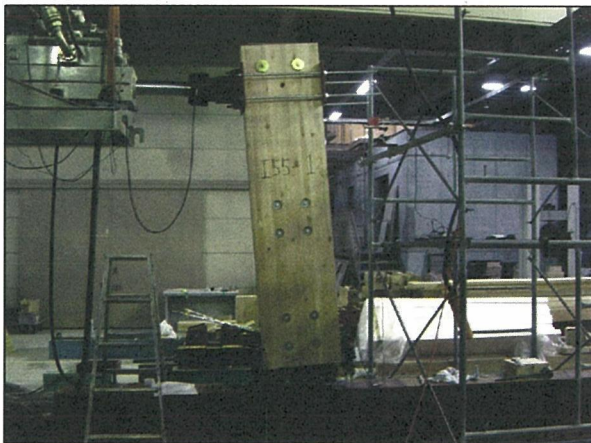


写真 5-5 試験体名 : I55-1-2  
H鋼のベース板の曲がり状況



写真 5-6 試験体名 : I55-1-2  
ボルトの伸び及び破断

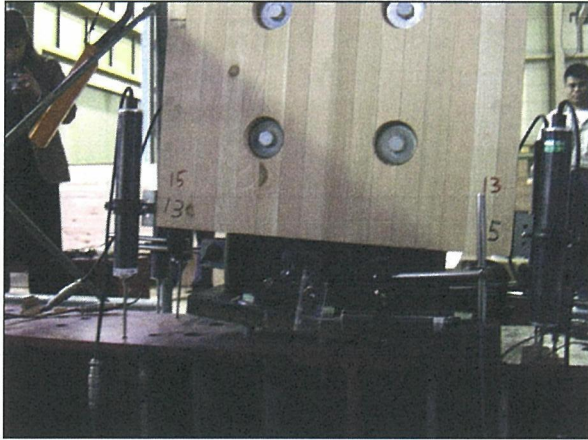


写真 5-7 試験体名 : I55-1-2  
H鋼のベース板の曲がり状況

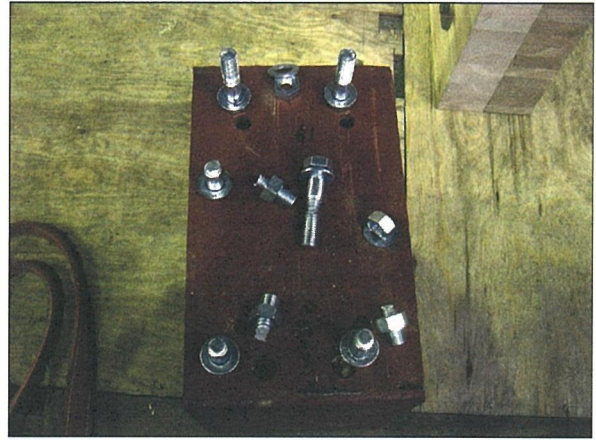


写真 5-8 試験体名 : I55-1-2  
ボルトの伸び及び破断

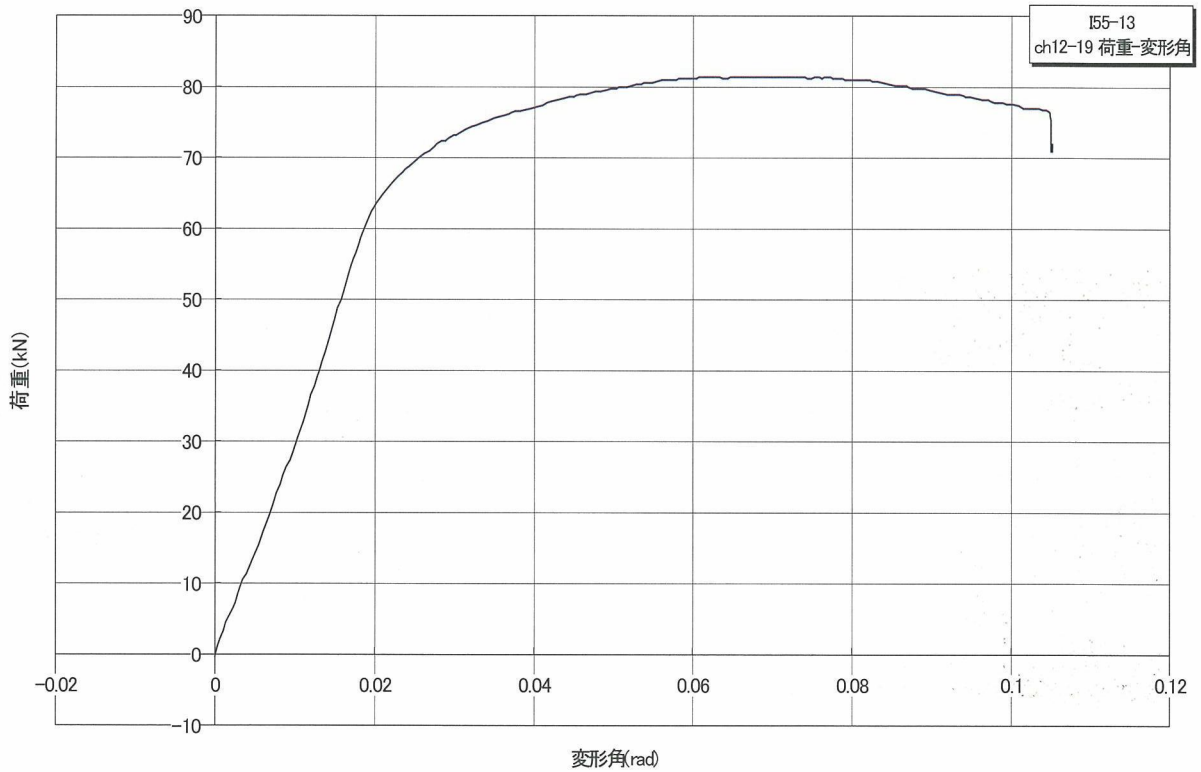


図 5-33 試験体名 : I 55-1-3

試験体名：I55-1-3 1/10rad 引張時



写真 5-9 試験体名：I55-1-3  
回転によるH鋼の破壊状況



写真 5-10 試験体名：I55-1-3  
H鋼のベース板の曲がり・高力ボルト  
の伸び状況

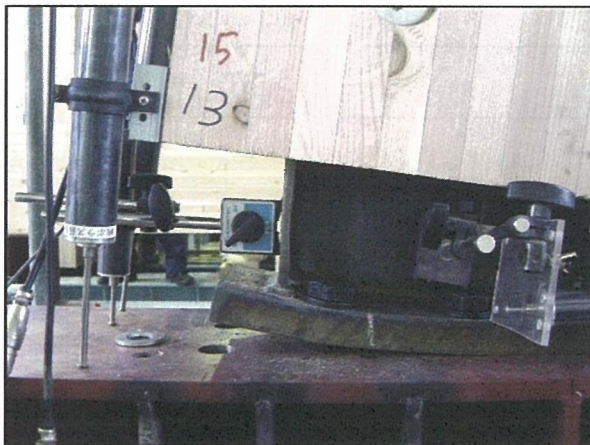


写真 5-11 試験体名：I55-1-3  
引張側のH鋼フランジの伸び・  
圧縮側のH鋼フランジの  
局部座屈状況

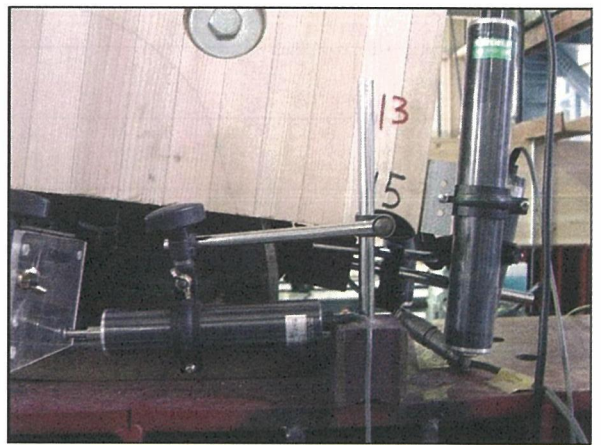


写真 5-12 試験体名：I55-1-3  
H鋼のベース板の曲がり  
高力ボルトの伸び状況

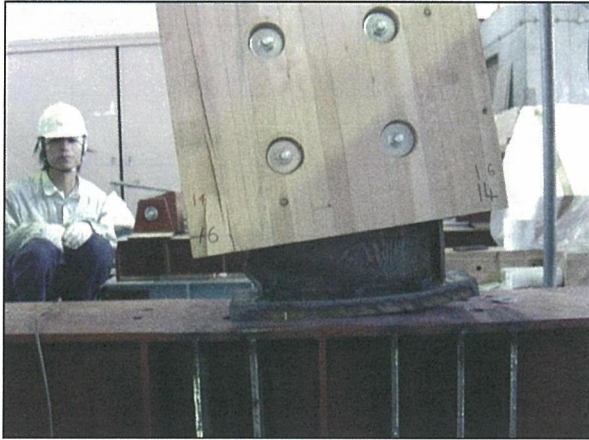


写真 5-13 試験体名：I55-1-3  
引張側のH鋼フランジの伸び・  
圧縮側のH鋼フランジの  
局部座屈状況



写真 5-14 試験体名：I55-1-3  
H鋼のベース板の曲がり・高力ボルトの  
伸び・圧縮側のH鋼フランジの局部  
座屈による木材の割裂状況



写真 5-15 試験体名：I55-1-3（解体後）  
圧縮側のH鋼フランジの局部  
座屈による木材の亀裂状況



写真 5-16 試験体名：I55-1-3（解体後）  
ウェブの局部座屈

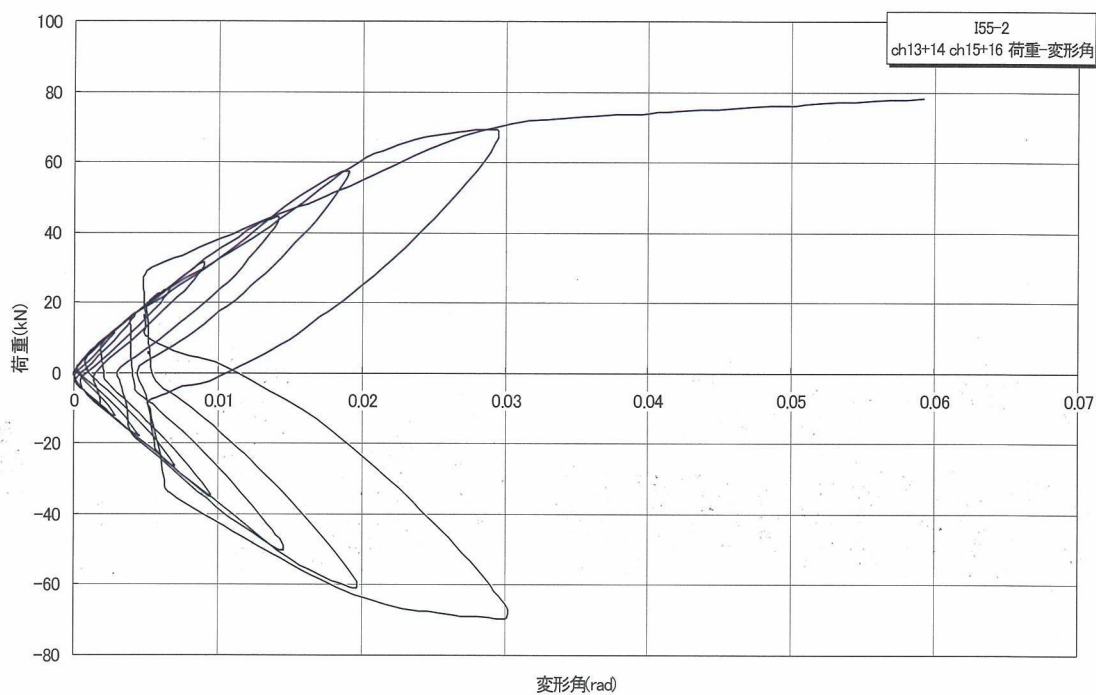


図 5-34 試験体名：I 55-2

試験体名：I55-2 1/10rad 引張時



写真 5-17 試験体名：I55-2  
回転によるH鋼の破壊  
H鋼のベース板の曲がり状況

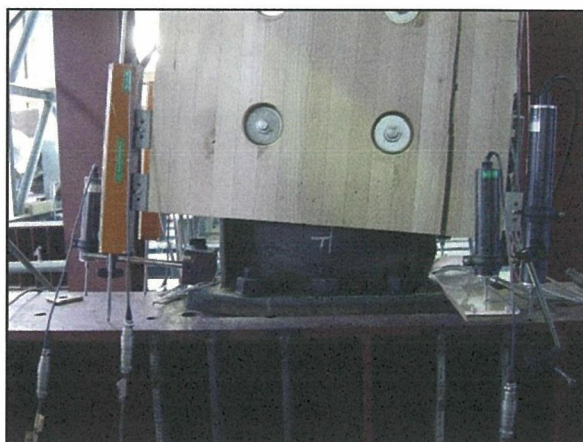


写真 5-18 試験体名：I55-2  
高力ボルトの伸び・H鋼のフランジ  
部分から木材の割裂状況

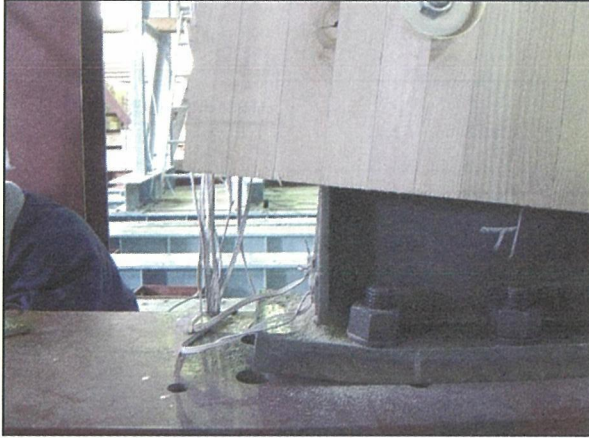


写真 5-19 試験体名 : 155-2  
引張側のH鋼フランジの伸び・圧縮側  
のH鋼フランジの局部座屈状況

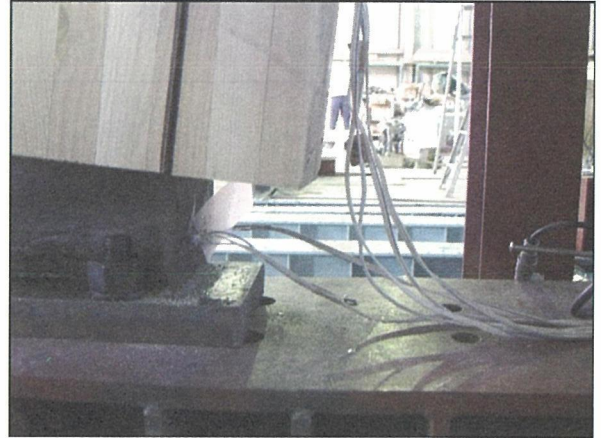


写真 5-20 試験体名 : 155-2  
H鋼のベース板の曲がり  
高力ボルトの伸び状況

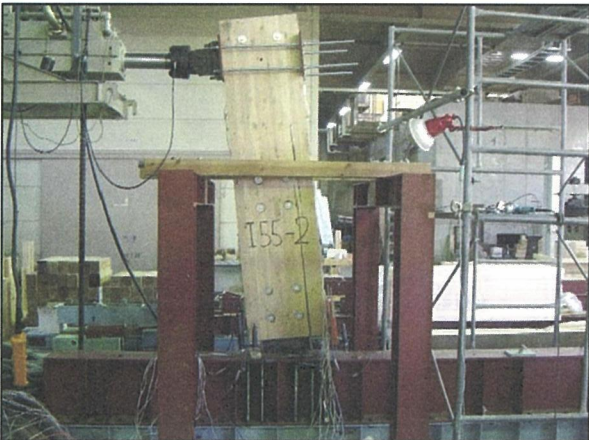


写真 5-21 試験体名 : 155-2  
回転によるH鋼の破壊  
H鋼のベース板の曲がり状況

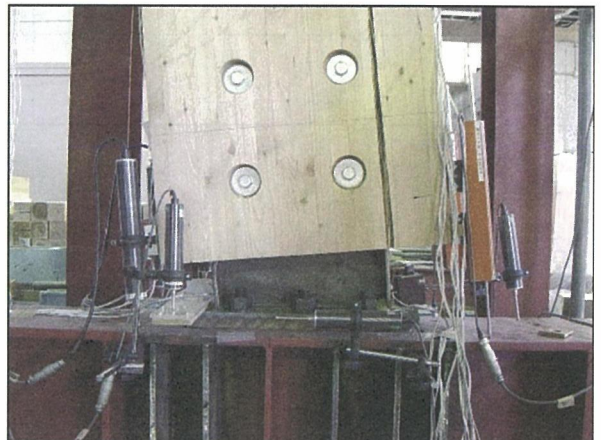


写真 5-22 試験体名 : 155-2  
高力ボルトの伸び・H鋼のフランジ  
部分から木材の割裂状況

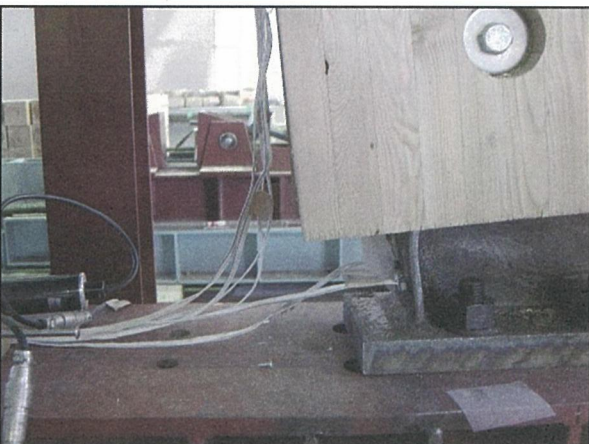


写真 5-23 試験体名 : 155-2  
引張側のHフランジの伸び・圧縮側  
のH鋼フランジの局部座屈状況



写真 5-24 試験体名 : 155-2  
H鋼のベース板の曲がり  
高力ボルトの伸び状況

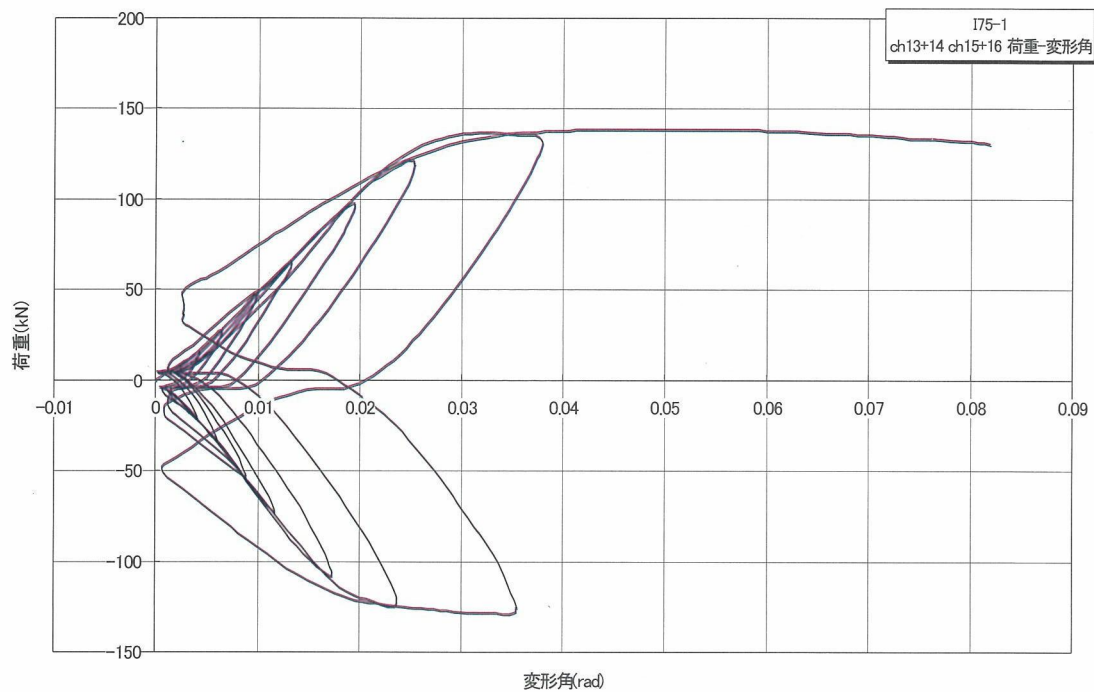


図 5-35 試験体名 : I 75-1

試験体名 : I75-1     1/10rad 引張時



写真 5-25 試験体名 : I75-1  
 回転によるH鋼の破壊  
 H鋼のベース板の曲がり状況

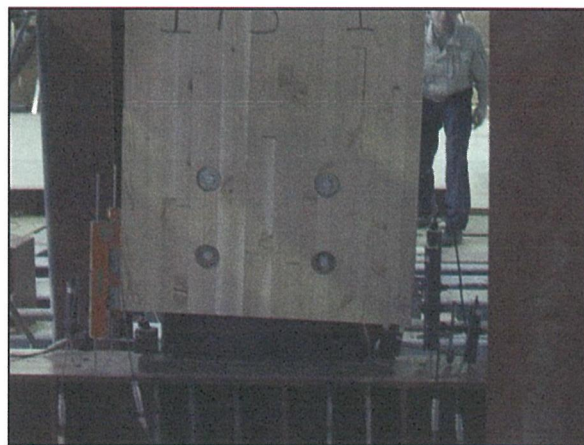


写真 5-26 試験体名 : I75-1  
 高力ボルトの伸び・H鋼のフランジ  
 部分から木材の割裂状況





写真 5-27 試験体名 : 175-1  
引張側のH鋼フランジの伸び・圧縮側のH鋼フランジの局部座屈状況



写真 5-28 試験体名 : 175-1  
H鋼のベース板の曲がり  
高力ボルトの伸び状況



写真 5-29 試験体名 : 175-1  
回転によるH鋼の破壊  
H鋼のベース板の曲がり状況



写真 5-30 試験体名 : 175-1  
高力ボルトの伸び・H鋼のフランジ部分から木材の割裂状況



写真 5-31 試験体名 : 175-1  
引張側のH鋼フランジの伸び・圧縮側のH鋼フランジの局部座屈状況



写真 5-32 試験体名 : 175-1  
H鋼のベース板の曲がり  
高力ボルトの伸び状況

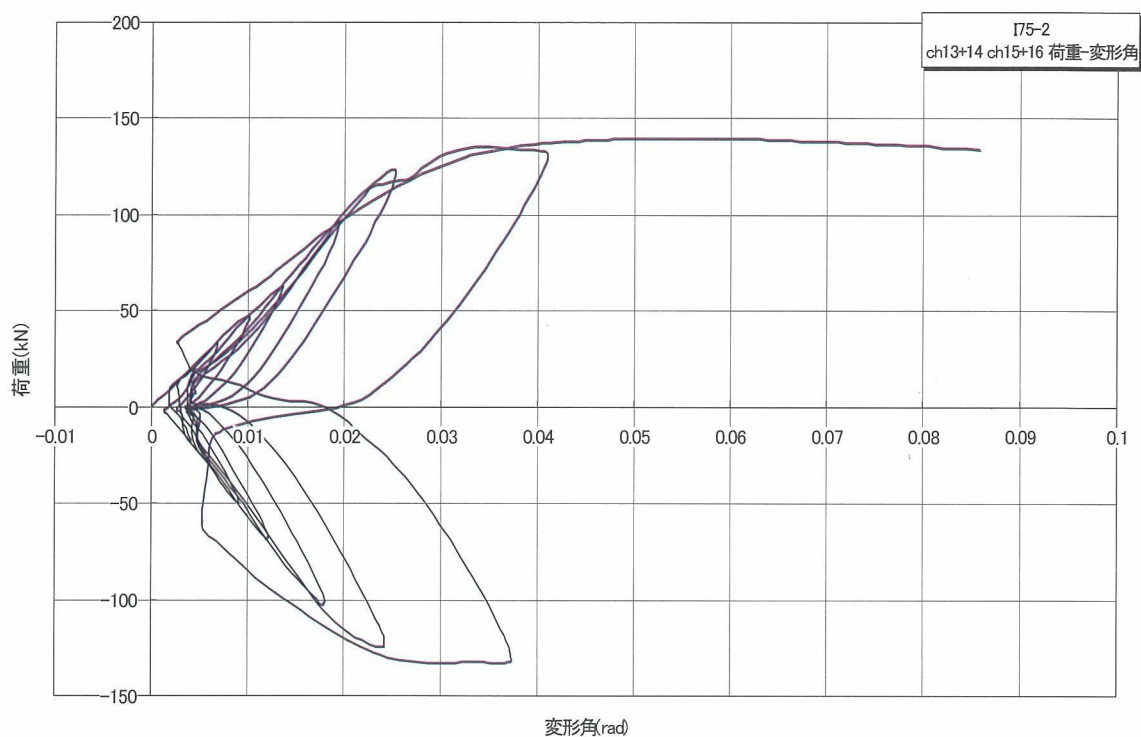


図 5-36 試験体名 : I 75-2

試験体名 : I75-2 1/10rad 引張時

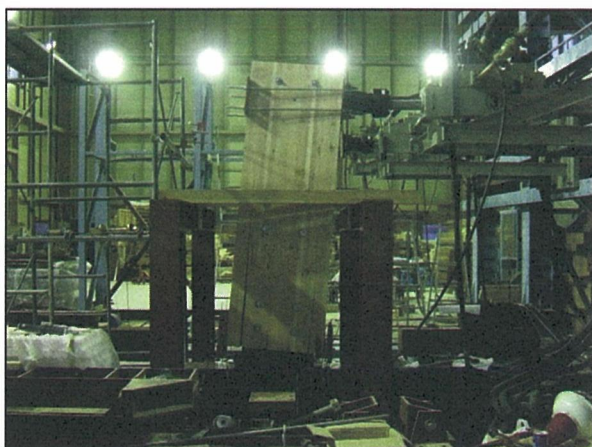


写真 5-33 試験体名 : 175-2  
 回転によるH鋼の破壊  
 H鋼のベース板の曲がり状況

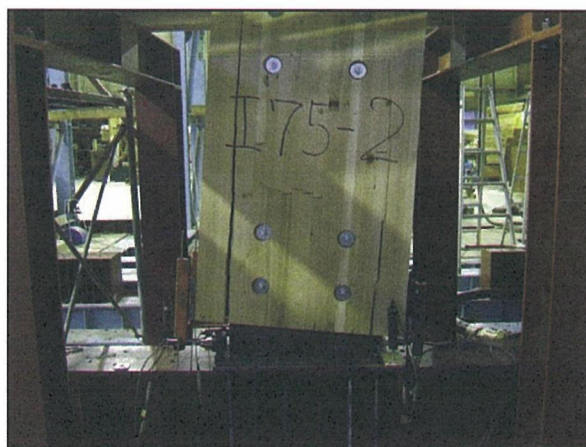


写真 5-34 試験体名 : 175-2  
 高力ボルトの伸び・H鋼のフランジ  
 部分から木材の割裂状況

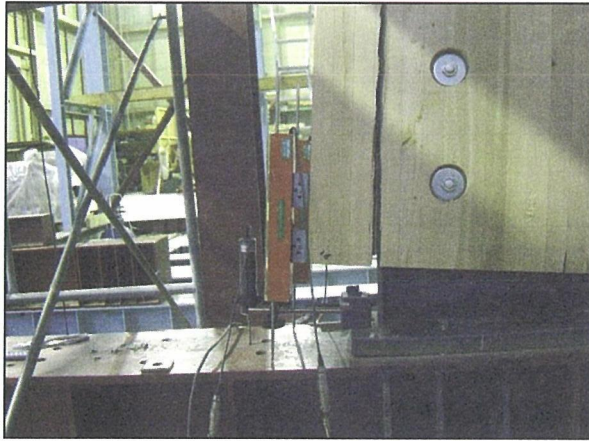


写真 5-35 試験体名：175-2  
引張側のH鋼フランジの伸び・圧縮側  
のH鋼フランジの局部座屈状況

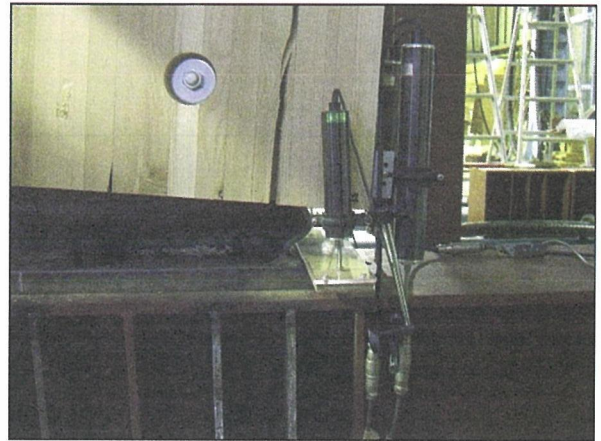


写真 5-36 試験体名：175-2  
H鋼のベース板の曲がり  
高力ボルトの伸び状況

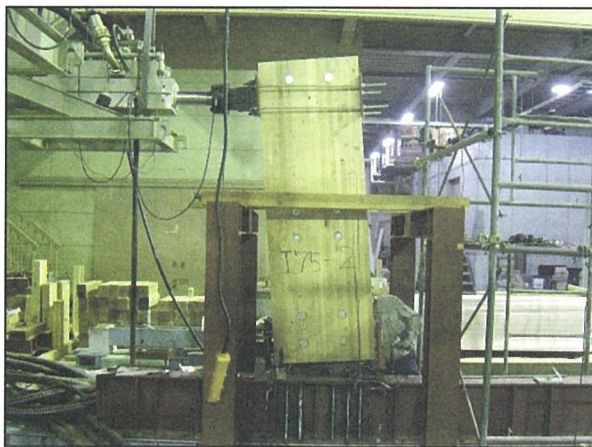


写真 5-37 試験体名：175-2  
回転によるH鋼の破壊  
H鋼のベース板の曲がり状況

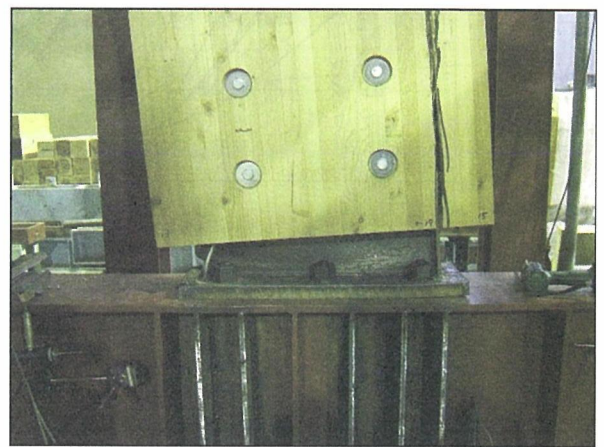


写真 5-38 試験体名：175-2  
高力ボルトの伸び・H鋼のフランジ  
部分から木材の割裂状況

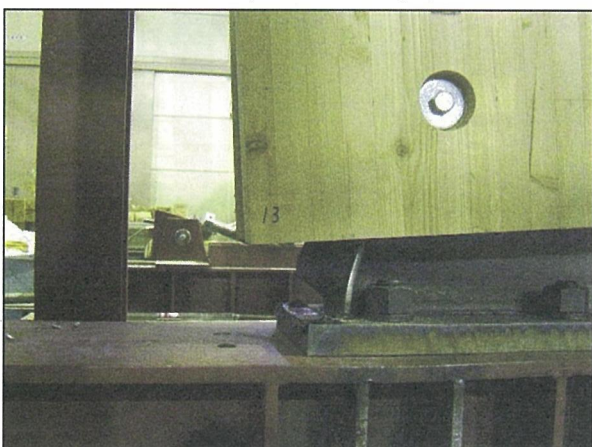


写真 5-39 試験体名：175-2  
引張側のH鋼フランジの伸び・圧縮側  
のH鋼フランジの局部座屈状況

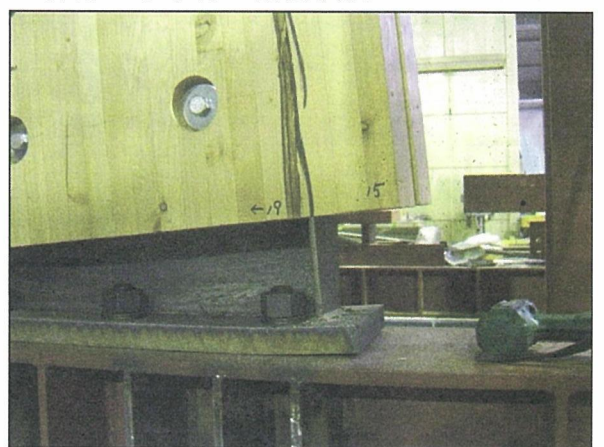


写真 5-40 試験体名：175-2  
H鋼のベース板の曲がり  
高力ボルトの伸び状況

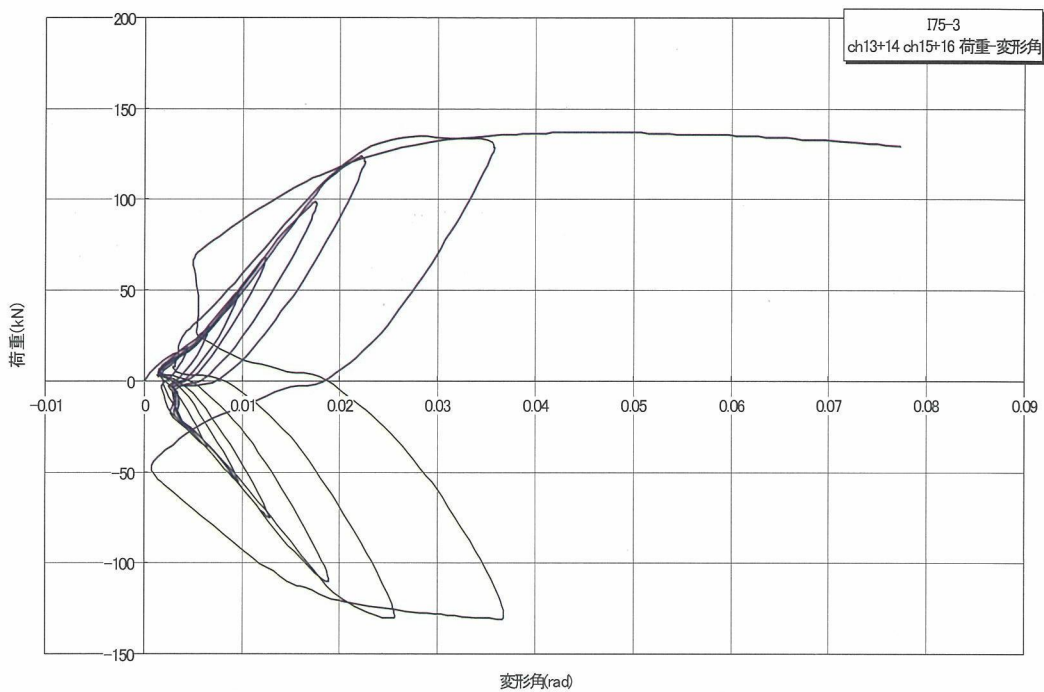


図 5-37 試験体名：I75-3

試験体名：I75-3 1/10rad 引張時

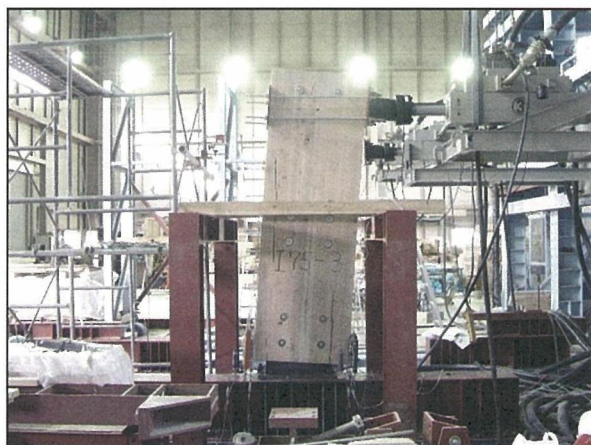


写真 5-41 試験体名：I75-3  
 回転によるH鋼の破壊  
 H鋼のベース板の曲がり状況

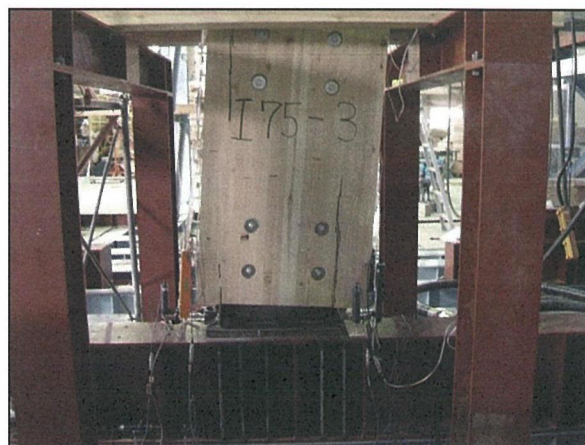


写真 5-42 試験体名：I75-3  
 高力ボルトの伸び・H鋼のフランジ  
 部分から木材の割裂状況

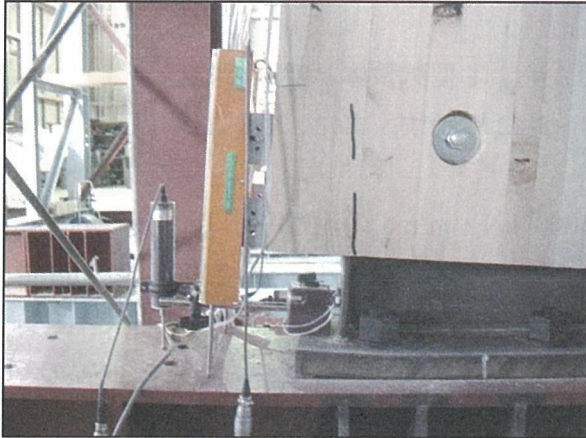


写真 5-43 試験体名：175-3  
引張側のH鋼フランジの伸び・圧縮側  
のH鋼フランジの局部座屈状況

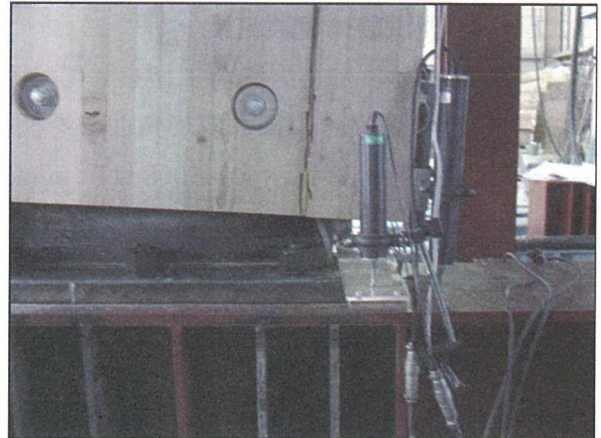


写真 5-44 試験体名：175-3  
H鋼のベース板の曲がり  
高力ボルトの伸び状況

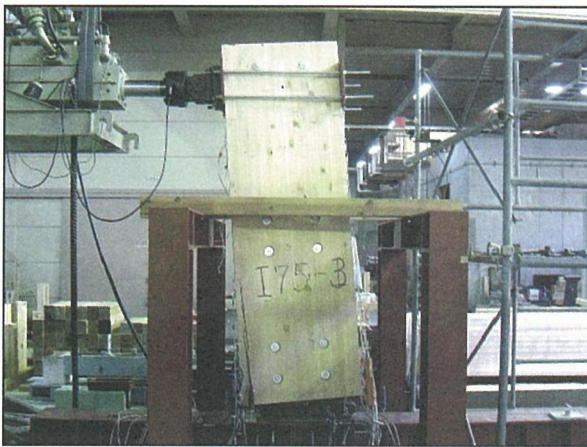


写真 5-45 試験体名：175-3  
回転によるH鋼の破壊  
H鋼のベース板の曲がり状況

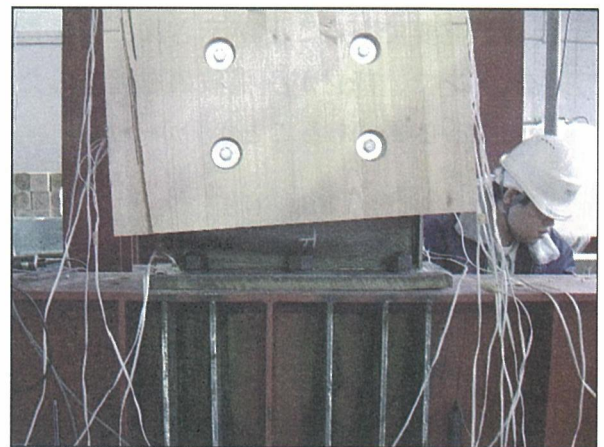


写真 5-46 試験体名：175-3  
高力ボルトの伸び・H鋼のフランジ  
部分から木材の割裂状況

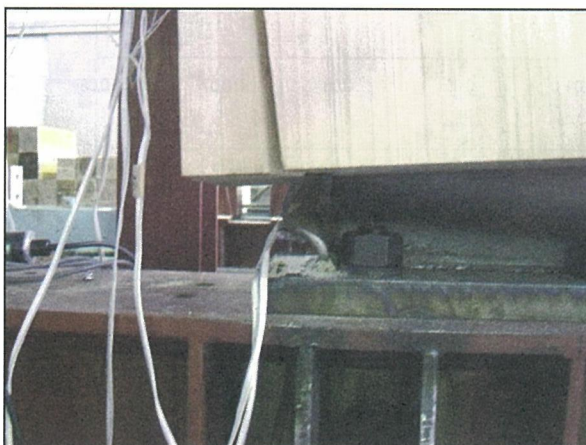


写真 5-47 試験体名：175-3  
引張側のH鋼フランジの伸び・圧縮側  
のH鋼フランジの局部座屈状況

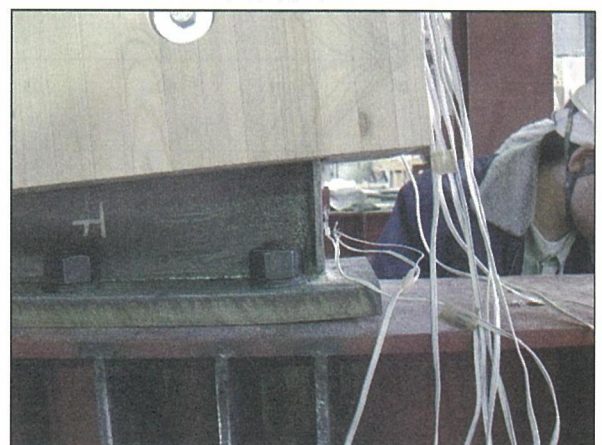


写真 5-48 試験体名：175-3  
H鋼のベース板の曲がり  
高力ボルトの伸び状況

## 5.2.2 T型試験体実験結果

柱梁試験体は、加力方法がT型をしていることから、T型試験体と呼んでいる。

それぞれの試験体の荷重変形角曲線を図5-38～5-42に示す。また、各試験体の破壊の様子を写真5-49～5-88に示す。5000 kN・m/rad.

柱断面が550×210のものは、1/200rad.で約6000 kN・m/rad.の剛性を示し、最終的には24kN・m程度の最大モーメントを示した。また、750×210のものは、約7000 kN・m/rad.の剛性を示し、最終的には32kN・m程度の最大モーメントを示した。柱梁接合部でも、断面が大きくなっても剛性は大きくは向上しないことが示された。また、荷重変形角の初期変形時に、すべりの性状が見られ、接合部に若干のガタがあることが示唆されている。ただし、断面が大きくなることで、最大モーメントもかなり向上しているの、余力が大きいことが示された。

また、破壊は、合い欠きになっている部材の柱の余長部分などにせん断の破壊を生じた。余長が重要であることが示された。また、試験後に解体してみたところ、最終的にはパネルゾーンで、部材が引張破壊を起こしたのも見られ、断面の大きさとめり込みの関係を精査する必要があることが分かった。

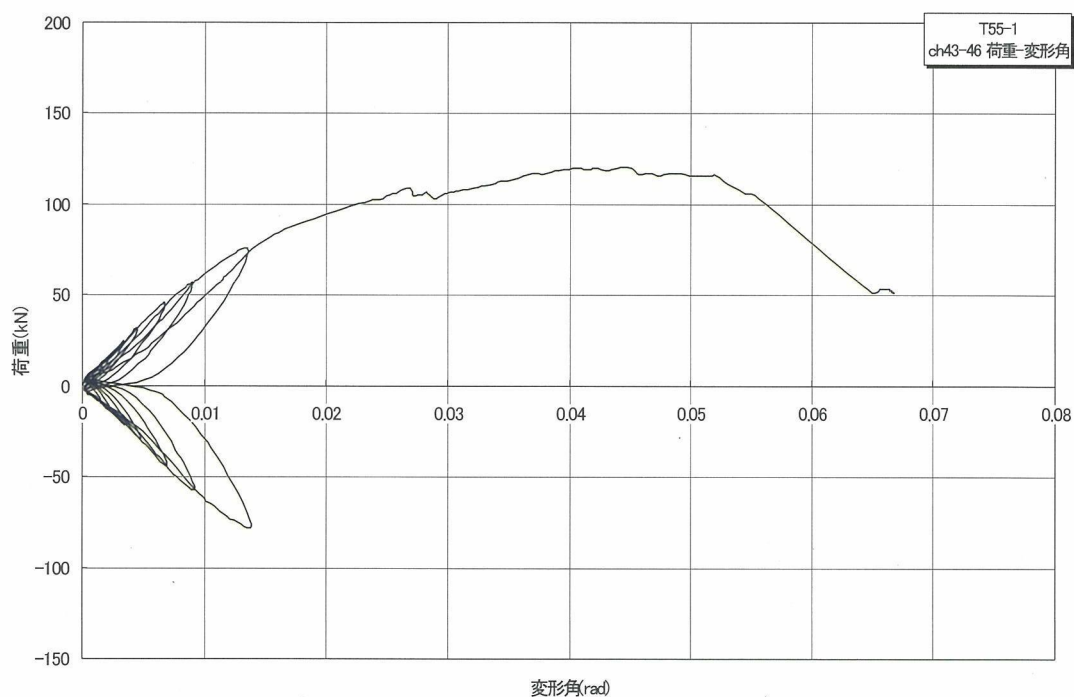


図 5-38 試験体名 : T55-1

試験体名：T55-1 1/10rad 引張時

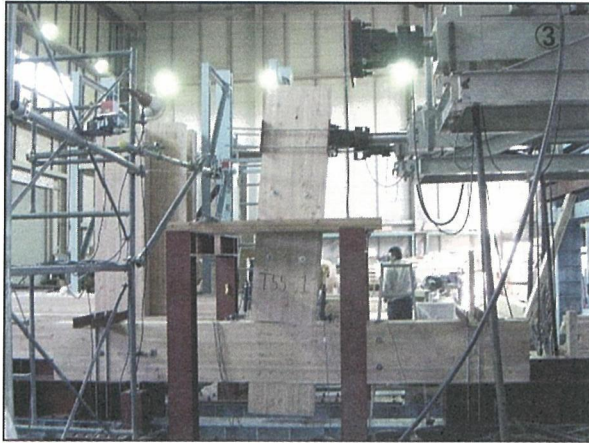


写真 5-49 試験体名：T55-1  
梁-柱接合部の回転破壊(南面)状況



写真 5-50 試験体名：T55-1  
梁-柱接合部の回転破壊(南面)状況

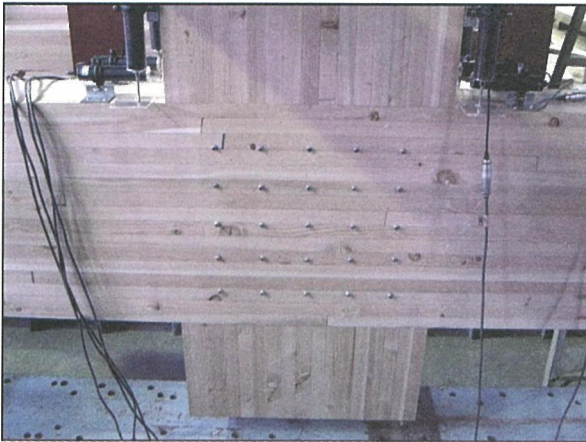


写真 5-51 試験体名：T55-1  
回転による木材の圧縮めり込み  
及び、引張割裂(南面)状況

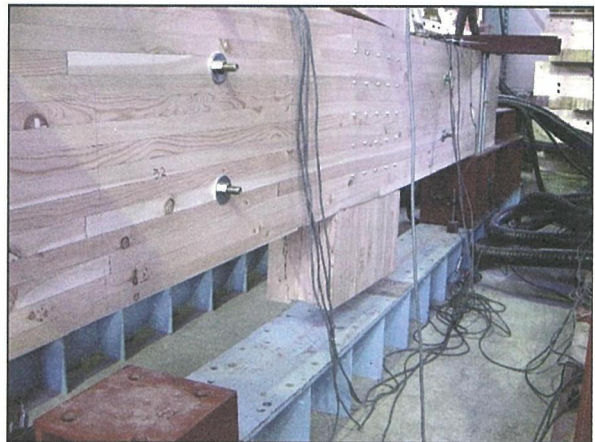


写真 5-52 試験体名：T55-1  
回転による木材の圧縮めり込み  
及び、引張割裂(南面)状況

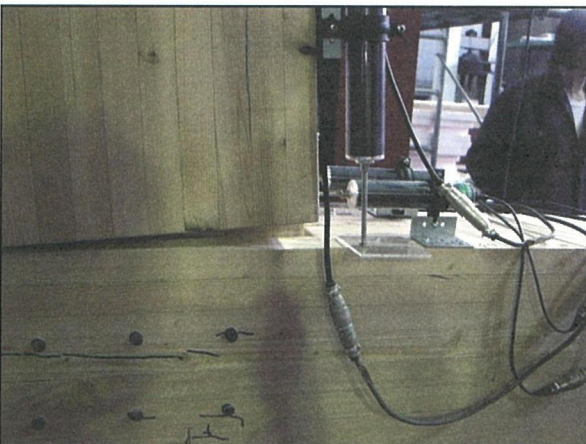


写真 5-53 試験体名：T55-1  
回転による木材の圧縮めり込み  
及び、引張割裂(北面)状況

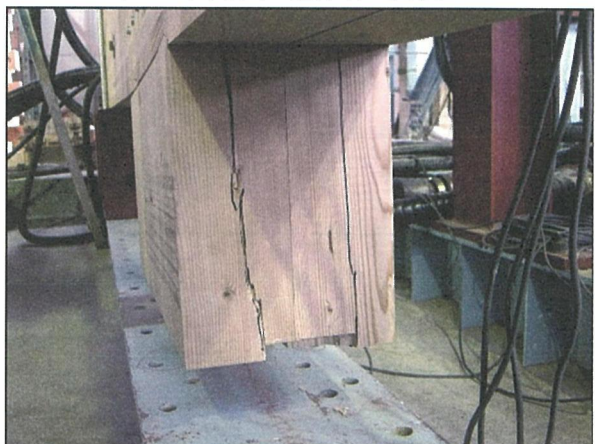


写真 5-54 試験体名：T55-1  
ジベル部分からのせん断割裂状況

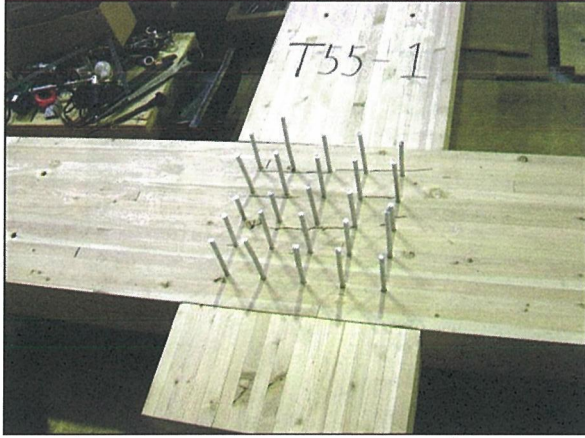


写真 5-55 試験体名 : T55-1 (解体後)  
ドリフトピンの曲がり状況

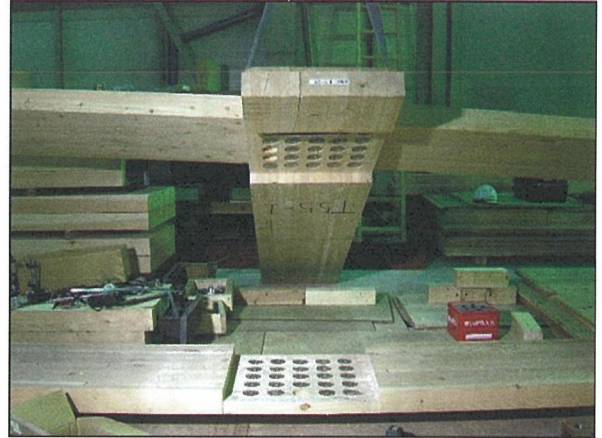


写真 5-56 試験体名 : T55-1 (解体後)

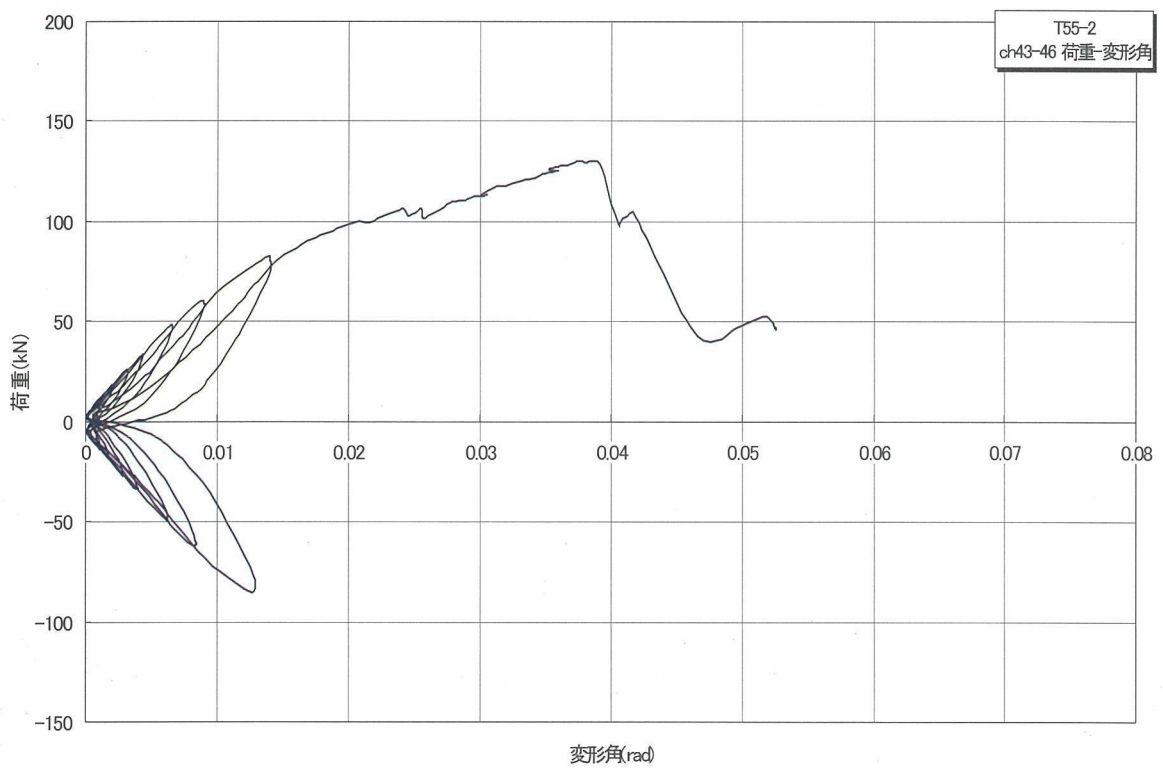


図 5-39 試験体名 : T55-2



試験体名：T55-2 1/10rad 引張時

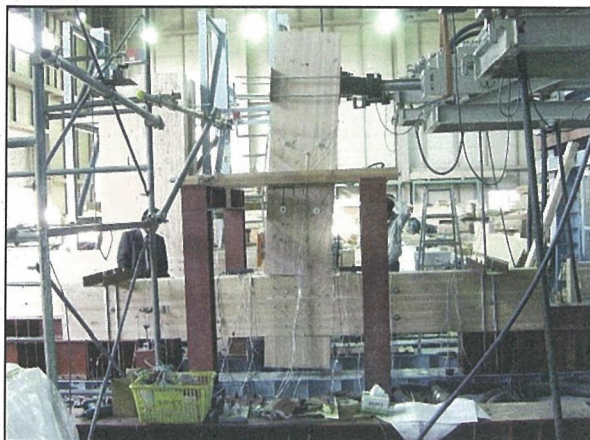


写真 5-57 試験体名：T55-2  
梁-柱接合部の回転破壊(南面)状況



写真 5-58 試験体名：T55-2  
梁-柱接合部の回転破壊(南面)状況

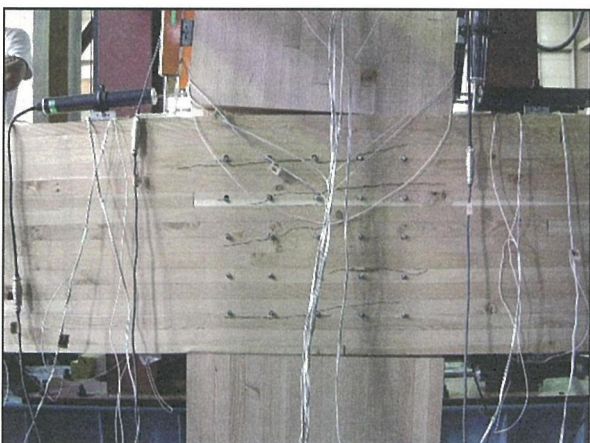


写真 5-59 試験体名：T55-2  
回転による木材の圧縮めり込み  
及び、引張割裂(南面)状況

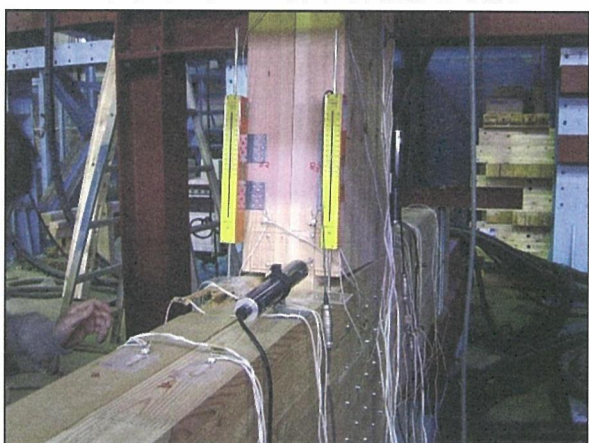


写真 5-60 試験体名：T55-2  
回転による木材の圧縮めり込み  
及び、引張割裂(南面)状況

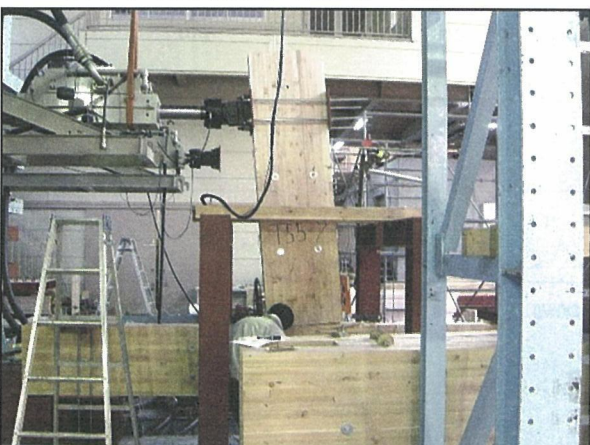


写真 5-61 試験体名：T55-2  
梁-柱接合部の回転破壊(北面)状況



写真 5-62 試験体名：T55-2  
ドリフトピン部分からの割裂状況

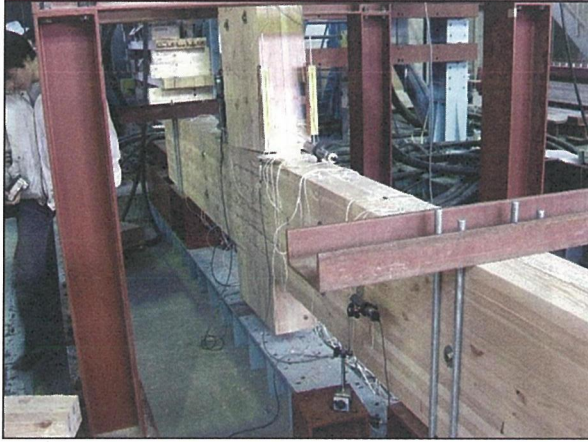


写真 5-63 試験体名 : T55-2  
 回転による木材の引張割裂  
 (北面) 状況

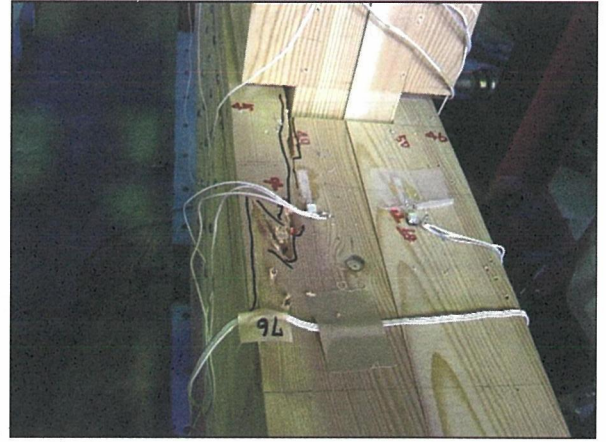


写真 5-64 試験体名 : T55-2  
 回転による木材の引張割裂  
 (北面) 状況

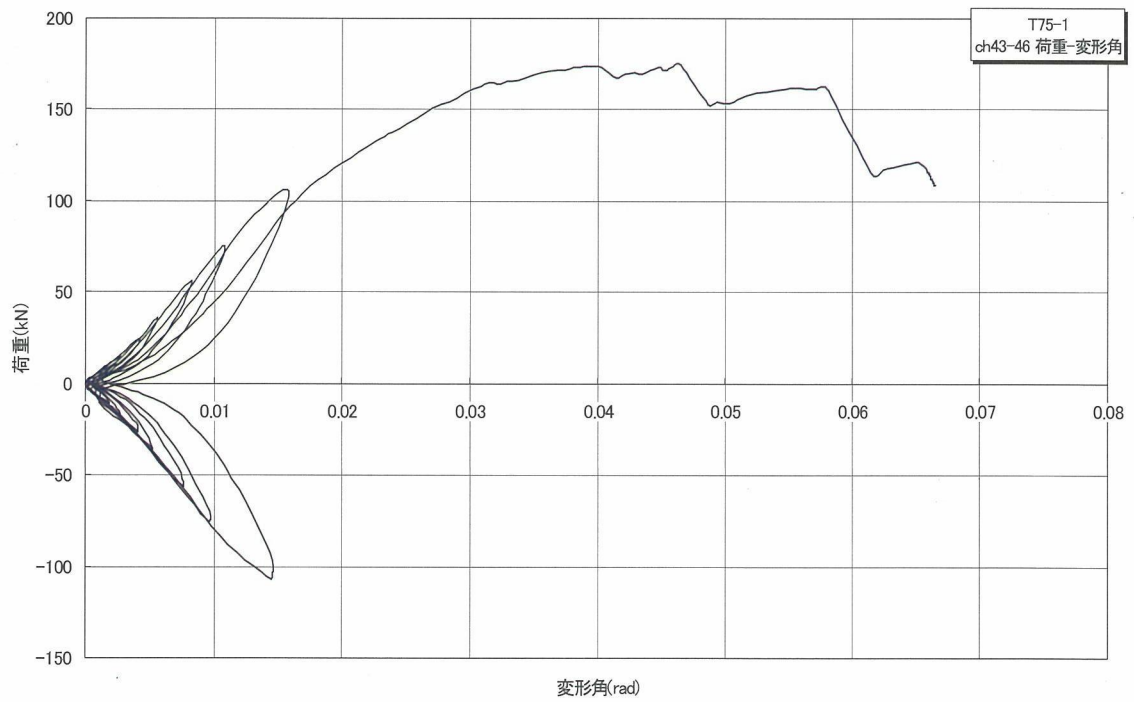


図 5-40 試験体名 : T 75-1

試験体名：T75-1 1/10rad 引張時

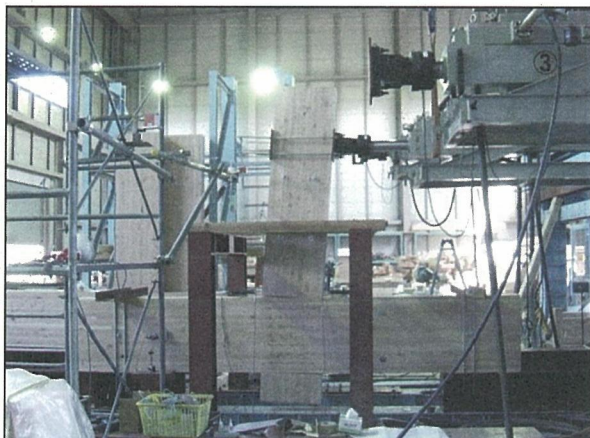


写真 5-65 試験体名：T75-1  
梁-柱接合部の回転破壊(南面) 状況

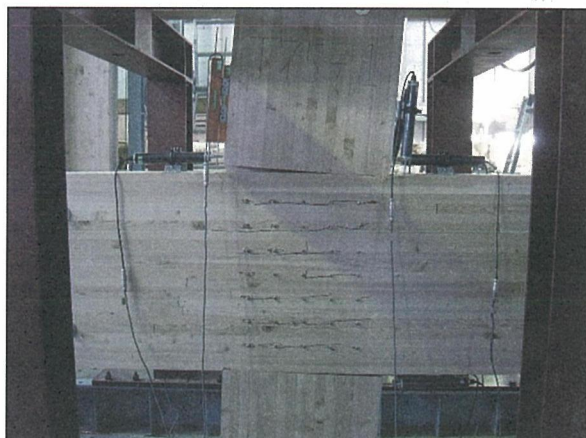


写真 5-66 試験体名：T75-1  
梁-柱接合部の回転破壊(南面) 状況



写真 5-67 試験体名：T75-1  
回転による木材の圧縮めり込み  
及び、引張割裂(南面) 状況

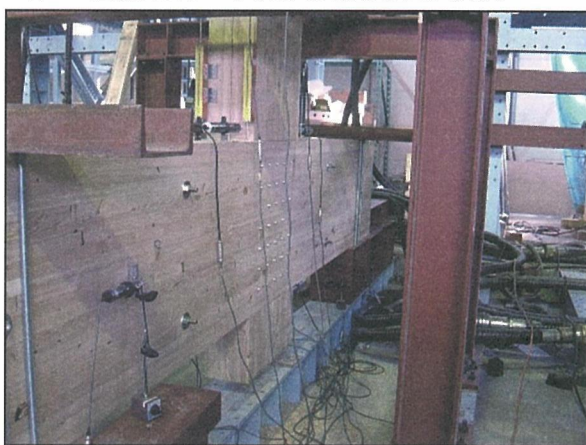


写真 5-68 試験体名：T75-1  
回転による木材の圧縮めり込み  
及び、引張割裂(南面) 状況



写真 5-69 試験体名：T75-1  
回転による木材の圧縮めり込み  
及び、引張割裂(南面) 状況

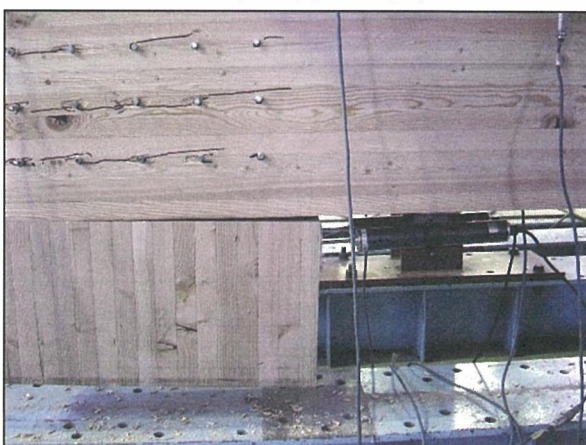


写真 5-70 試験体名：T75-1  
ドリフトピン部分からの割裂状況

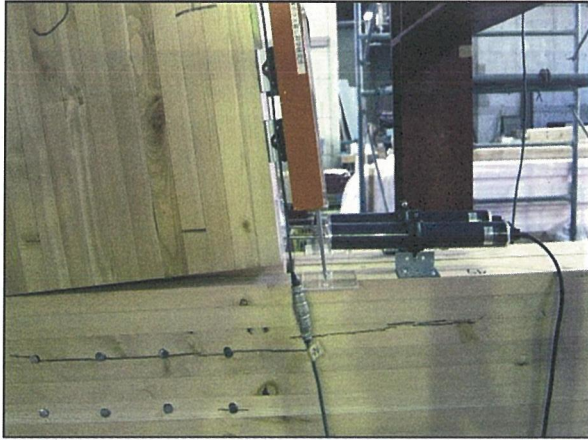


写真 5-71 試験体名 : T75-1  
 回転による木材の圧縮めり込み  
 及び、引張割裂（北面）状況

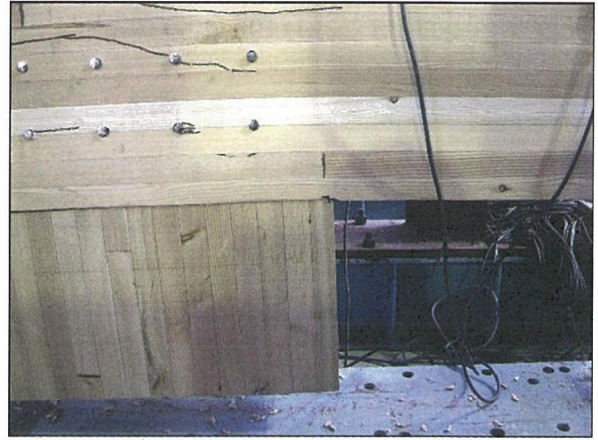


写真 5-72 試験体名 : T75-1  
 ドリフトピン部分からの割裂状況

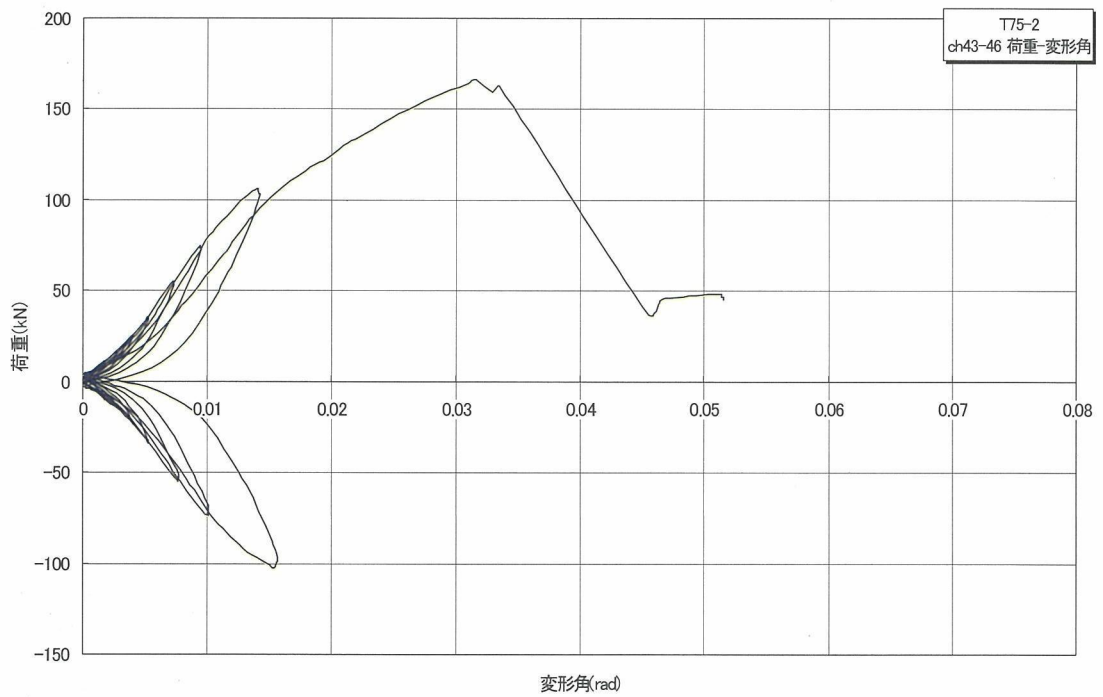


図 5-41 試験体名 : T75-2

試験体名：T75-2 1/10rad 引張時

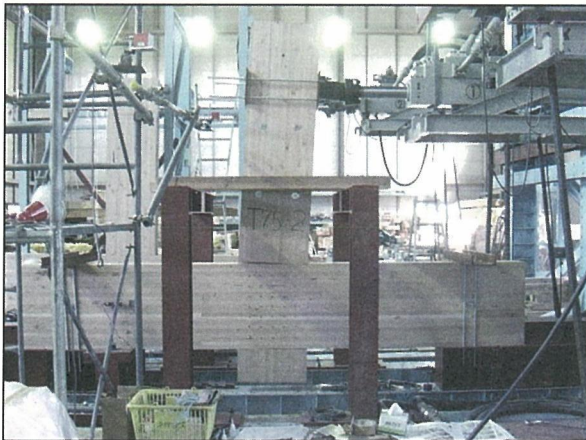


写真 5-73 試験体名：T75-2  
梁-柱接合部の回転破壊（南面）状況

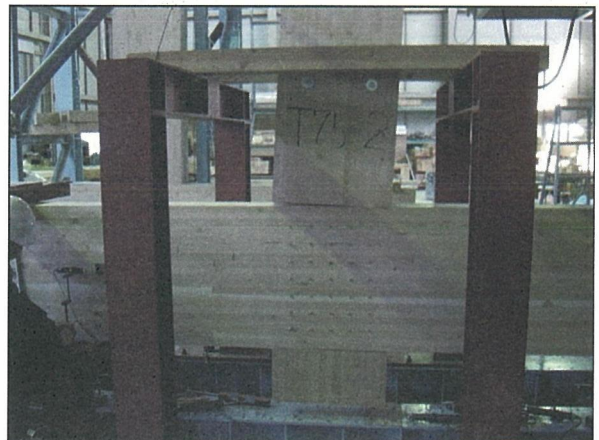


写真 5-74 試験体名：T75-2  
梁-柱接合部の回転破壊（南面）状況



写真 5-75 試験体名：T75-2  
回転による木材の圧縮めり込み  
及び、引張割裂（南面）状況

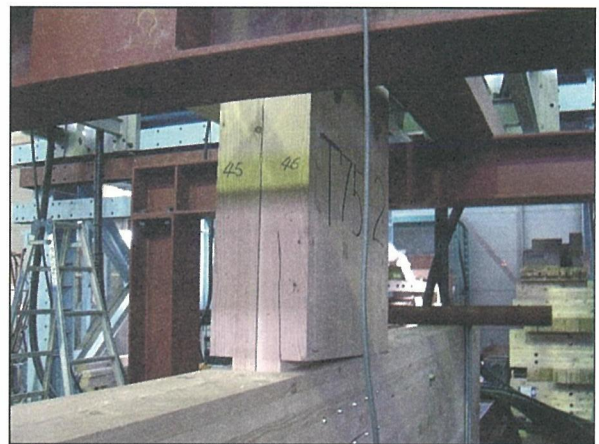


写真 5-76 試験体名：T75-2  
回転による木材の圧縮めり込み  
及び、引張割裂（南面）状況



写真 5-77 試験体名：T75-2  
回転による木材の圧縮めり込み  
及び、引張割裂（南面）状況



写真 5-78 試験体名：T75-2  
ドリフトピン部分からの割裂状況



写真 5-79 試験体名 : T75-2  
 回転による木材の圧縮めり込み  
 及び、引張割裂（北面）状況

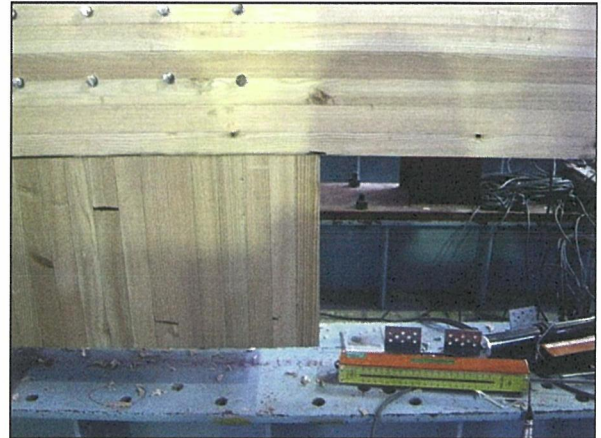


写真 5-80 試験体名 : T75-2  
 ドリフトピン部分からの割裂状況

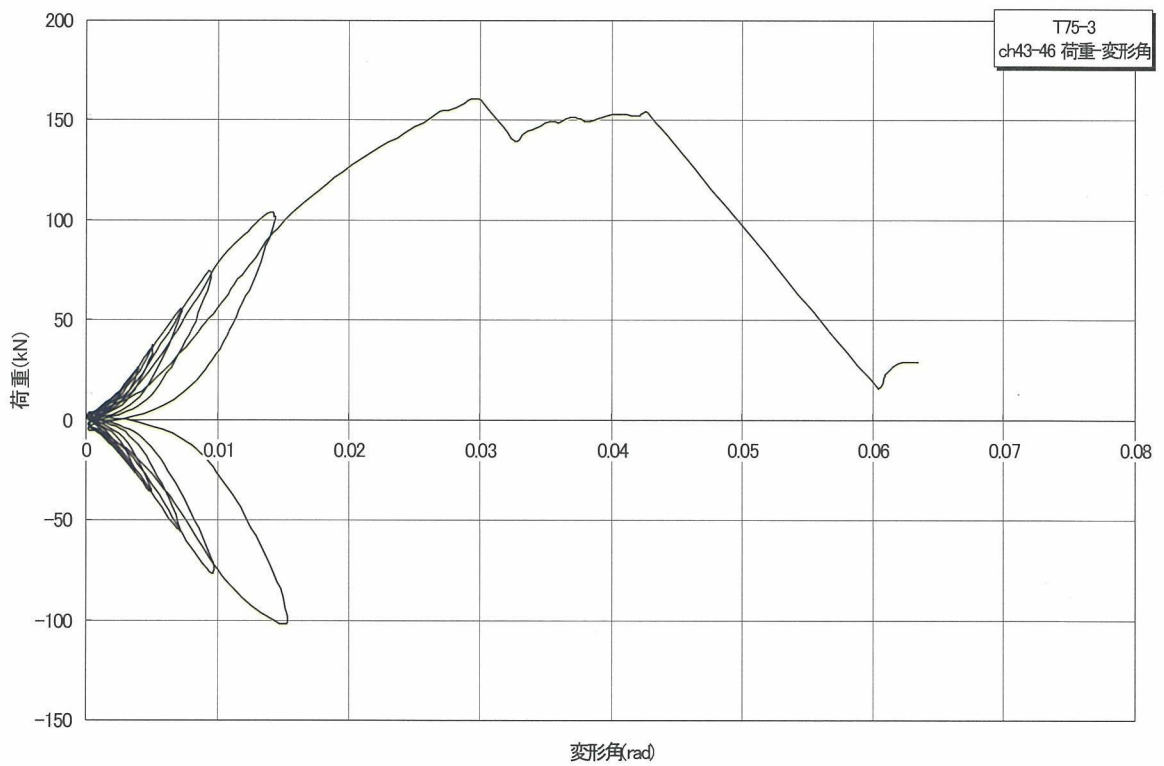


図 5-42 試験体名 : T75-3

試験体名：T75-3 1/10rad 引張時

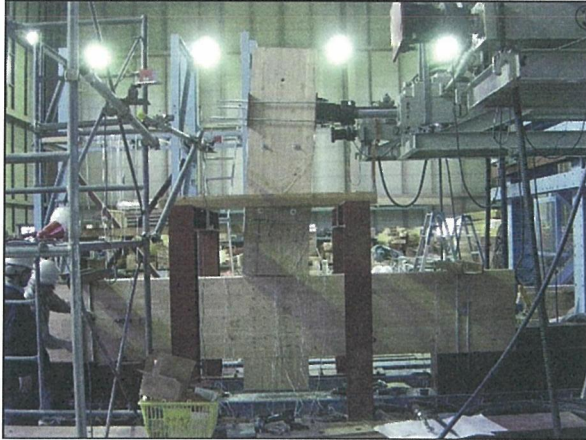


写真 5-81 試験体名：T75-3  
梁-柱接合部の回転破壊（南面）状況

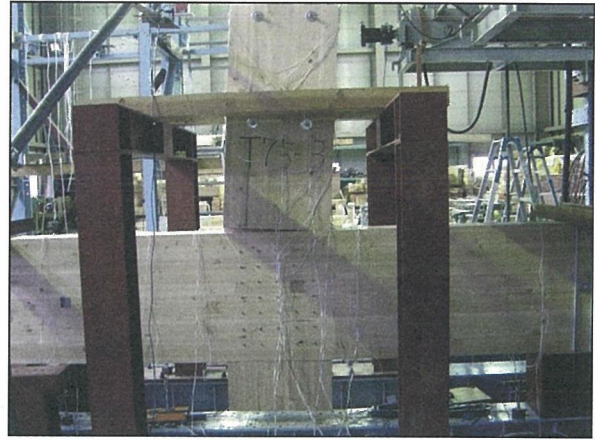


写真 5-82 試験体名：T75-3  
梁-柱接合部の回転破壊（南面）状況



写真 5-83 試験体名：T75-3  
回転による木材の圧縮めり込み  
及び、引張割裂（南面）状況



写真 5-84 試験体名：T75-3  
回転による木材の圧縮めり込み  
及び、引張割裂（南面）状況

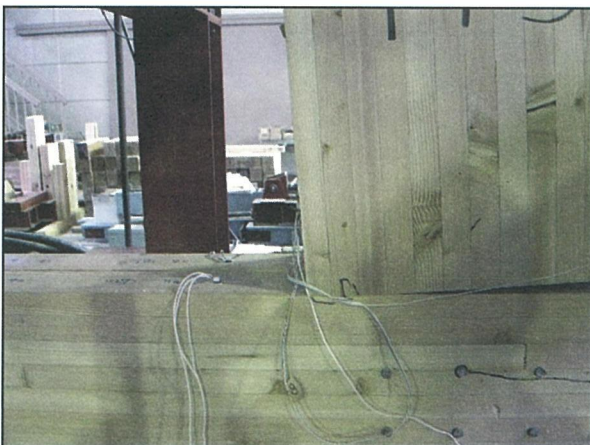


写真 5-85 試験体名：T75-3  
回転による木材の圧縮めり込み  
引張割裂（北面）状況

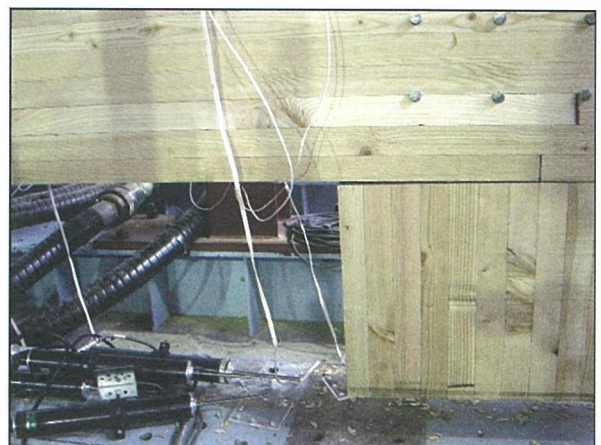


写真 5-86 試験体名：T75-3  
ドリフトピン部分からの割裂状況

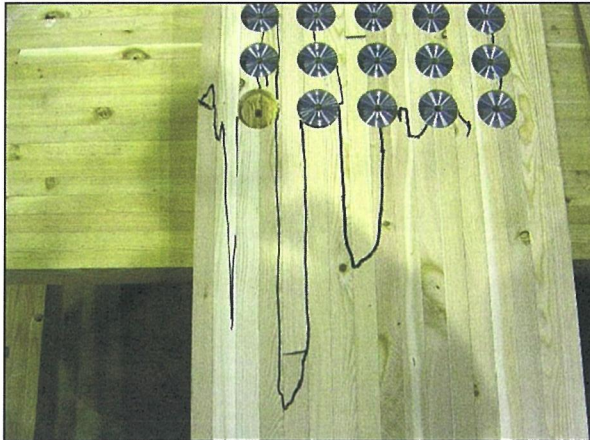


写真 5-87 試験体名 : T75-3 (解体後)  
加力している梁のフィンガージョイント  
部分から、シアプレート加工穴部分の  
割裂破壊状況

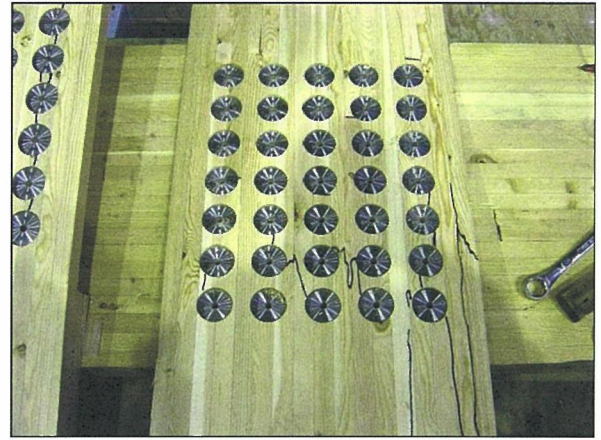


写真 5-88 試験体名 : T75-3 (解体後)  
加力している梁のフィンガージョイント  
部分から、シアプレート加工穴部分の  
割裂破壊状況



### 5.2.3 考察

実験結果一覧を表 5-2 に示した。

柱脚接合部 (I 型試験体) は、柱断面が 550×210 のものは、1/200rad. で約 4000 kN・m/rad. の剛性を示し、最終的には 12kN・m 程度の最大モーメントを示した。また、750×210 のものは、約 5000 kN・m/rad. の剛性を示し、最終的には 25kN・m 程度の最大モーメントを示した。断面が大きくなっても剛性は大きくは向上しないことが示された。ただし、最大モーメントは大きく向上しているため、余力が大きいことが示された。また、破壊は、H 型の鉄骨が圧縮座屈を起こした。

実際の建物では、柱は、750 タイプ 2 本と 550 タイプ 1 本で構成されるので、1/200rad. で約 14,000kN・m/rad. の剛性、60kN・m 程度の最大モーメントが期待できる。

柱梁接合部 (T 型試験体) は、柱断面が 550×210 のものは、1/200rad. で約 6000 kN・m/rad. の剛性を示し、最終的には 24kN・m 程度の最大モーメントを示した。また、750×210 のものは、約 7000 kN・m/rad. の剛性を示し、最終的には 32kN・m 程度の最大モーメントを示した。柱梁接合部でも、断面が大きくなっても剛性は大きくは向上しないことが示された。また、荷重変形曲線の初期変形時に、すべりの性状が見られ、接合部に若干のガタがあることが示唆されている。ただし、断面が大きくなることで、最大モーメントもかなり向上しているため、余力が大きいことが示された。また、破壊は、合い欠きになっている部材の柱の余長部分などにせん断の破壊を生じた。余長が重要であることが示された。

実際の建物では、柱は、750 タイプ 2 本と 550 タイプ 1 本で構成されるので、1/200rad. で約 20,000 kN・m/rad. の剛性、85kN・m 程度の最大モーメントが期待できる。

これらの結果は、5 階建てのオフィスを想定した構造シミュレーションで要求される性能と概ね一致している。

表 5-2 実験結果一覧

	1/200rad.時剛性 (kN・m/rad.)	最大モーメント (kN・m)
I550	4,000	12
I750	5,000	25
T550	6,000	24
T750	7,000	32

## 6. 事業化の見通し

本実験より、1時間の耐火構造に相当する性能を実現できる仕様が明らかになった。また、本調査研究と並行して、木造5階建てオフィスビルの設計・建設の計画も進められている。事業としては本実験で明らかとなった燃え止まり現象を利用し、A構造部で鉛直力を、C化粧部で水平力を負担する架構システムを実現していくことを検討している。

本実験では、防火性能の確保を最優先して試験体の設計を行い、結果として強化せつこうボードが燃え止まり材として有効であることが示されたが、これを集成材製作途中で設置することは現実的には困難である。今後実用化していくためには、コストを含め、木造柱の製作方法や現場接着で対応可能かどうか、その場合の耐火性はどうかを検証し、またRC造と同等のコストを実現することが望まれる。

## 7. 今後の対応

防耐火性能については、今後、実大規模の試験体による載荷加熱実験により、その性能を確認していく必要があり、実用化のために必要な性能評価試験を行う。接合部性能については、部分断面による実験で所期の剛性・耐力が確認できた。全断面による実験が行うことが望ましいが、現時点の情報でも実際の施工は可能である。実現が可能であることが示された。

現在、施主を含めて5階建てのオフィスビルを設計しており、以上の課題を検証する道を探って、実現化を図りたいと考えている。

## 8. 特筆すべき成果

5階建て程度の木造オフィスビルを防災、及び構造の両面から、その実現の可能性を実証的に検証できたことが特筆すべき成果と言える。

防災の面からは、構造耐力を負担する「構造部」で非損傷性を確保し、その外側に配置した「燃え止まり層」および「化粧部」で燃え止まらせるという考えは以前からあり、壁では試験が行われ燃え止まるという結果が出ていた。しかし、柱での試験は行われておらずシミュレーションのみが行われてきた。今回の試験では、実際に柱の試験を行い1時間の耐火構造に相当する性能を実現できる仕様が明らかになることが出来た。

また、構造的には、合わせ梁型の柱梁接合部、及び合わせ柱型の柱脚接合部の剛性・耐力が、5階建てオフィスビルに求められる構造的な性能があることを実験的に検証した。

これらは今後の研究、及び中高層木造ビルの実現に大きく寄与すると考えられる。

## 9. 試験調査委員会 委員

	氏名	所属	役職
委員長	大橋 好光	熊本県立大学 環境共生学部	助教授
委員	神田 稔	株式会社ウッディストプラン	代表取締役
委員	村田 忠	山佐木材株式会社 社長室	(主任技術者)

## 10. 技術者

	氏名	所属	役職
主任技術者	村田 忠	山佐木材株式会社 社長室	室長
技術者	原田 浩司	山佐木材株式会社 東京営業所	所長
技術者	渡辺 公昭	山佐木材株式会社 木質材料製造事業部	リーダー
技術者	田中健太郎	山佐木材株式会社 品質管理室	

## 11. 他からの指導または協力事項

所属	指導又は協力事項
P.O.W.S (高層木造研究会)	実験計画指導

## 12. 参考文献

1. 遊佐秀逸、増田秀昭、川合孝明、大貫寿文、上杉三郎、並木勝義、木質系構造の耐火性能に関する研究（その 1）耐火構造の実験的確認方法、日本建築学会学術講演梗概集、2003.9
2. 増田秀昭、遊佐秀逸、川合孝明、大貫寿文、大塚健二、上杉三郎、木質系構造の耐火性能に関する研究（その 2）木製柱を耐火被覆した仕様について、日本建築学会学術講演梗概集、2003.9
3. 川合孝明、遊佐秀逸、増田秀昭、大貫寿文、上杉三郎、並木勝義、木質系構造の耐火性能に関する研究（その 3）鋼製柱を木質系材料で耐火被覆した仕様について、日本建築学会学術講演梗概集、2003.9
4. 大塚健二、遊佐秀逸、増田秀昭、川合孝明、大貫寿文、上杉三郎、木質系構造の耐火性能に関する研究（その 4）木製柱を耐火被覆した仕様における受種等の違いによる特性、日本建築学会学術講演梗概集、2003.9
5. 梶山幸祐、原田和典、遊佐秀逸、並木勝義、木質系構造の耐火性能に関する研究（その 5）木製柱を耐火被覆した仕様における受種等の違いによる特性、日本建築学会学術講演梗概集、2003.9
6. 山田誠、菅原進一、佐藤寛、中村賢一、最上滋二、高田峰幸、木造壁体の耐火性能評価に関する実験（その 2）、日本建築学会学術講演梗概集、2003.9
7. 大宮喜文、増田秀昭、遊佐秀逸、山名俊男、栗岡均、池田憲一、山口純一、本間正彦、散水設備による木質系柱部材の炭化抑制効果（その 1）実験概要、日本建築学会学術講演梗概集、2003.9
8. 砂原弘幸、石原慶大、油野健志、鈴木圭一、栗岡均、本間正彦、増田秀昭、大宮喜文、散水設備による木質系柱部材の炭化抑制効果（その 2）耐火加熱炉の性能及び水幕厚さ、日本建築学会学術講演梗概集、2003.9
9. 油野健志、石原慶大、砂原弘幸、鈴木圭一、栗岡均、増田秀昭、松山賢、大宮喜文、散水設備による木質系柱部材の炭化抑制効果（その 3）集成材の耐火性能および炭化性状、日本建築学会学術講演梗概集、2003.9
10. 松山賢、本間正彦、砂原弘幸、大宮喜文、鈴木圭一、油野健志、石原慶大、遊佐秀逸、並木勝義、散水設備による木質系柱部材の炭化抑制効果（その 4）燃え止まりハイブリッド部材の耐火性能、日本建築学会学術講演梗概集、2003.9
11. 須藤昌照、山田誠、宮林正幸、吉川利文、中村賢一、木質系構造部材の燃え止まりに関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、2003.9
12. (財)日本建築総合試験所、防耐火性能試験評価業務方法書
13. 安井昇、長谷見雄二、馬屋原敦、大西卓、上島基英、清水真理子、樋山恭助、木村忠紀、田村佳英、北後明彦、畑俊紀、吉田正友、山本幸一、伝統町家における軸組木造土壁の載荷加熱実験、日本建築学会技術報告集第 18 号、2003.12