

4. 部材同士の取り合い部の防火上有効な措置に関する実験 [八]

燃えしろ設計される柱・壁との接合部においては、構造と壁の取り合い部の仕様によって、火災時の燃えしろ寸法の取り方や荷重負担時の変形挙動が異なる可能性がある。火災時の構造と壁の変形の程度によって、接合部分には隙間が生じる可能性が極めて大きい。そこで本章では、壁と柱の取り合い部における柱の炭化性状等に関する定量的知見の収集を目的とし、4.1節および4.2節に示す実験を実施した。

4. 1 柱と壁の取り合い部の防火上有効な措置に関する比較実験 (KCW-1)

壁の面材、壁の間柱等の仕様の違いが荷重支持部となる柱の温度および炭化性状に及ぼす影響を確認することを目的として、中規模の非載荷実験を実施した。

4. 1. 1 実験概要

柱と壁の取り合い部を10仕様変化させ、IS0834の標準加熱を60分間行った際の荷重支持部となる柱の温度変化と柱の残存断面を比較した。

4. 1. 2 試験体概要

試験体は断面寸法120mm×180mmの集成材を柱とし、その柱の2辺に壁等を設置したものである。柱の2辺に設置した壁試験体は図4.1.2-1に示すT1～T3およびT5、T6の5体である。試験体は左右で壁の面材の仕様を変えているため、試験体の仕様としては計10仕様である。なお、仕様T4は柱の左右に壁が取りつかない場合におけるデータを収集した。

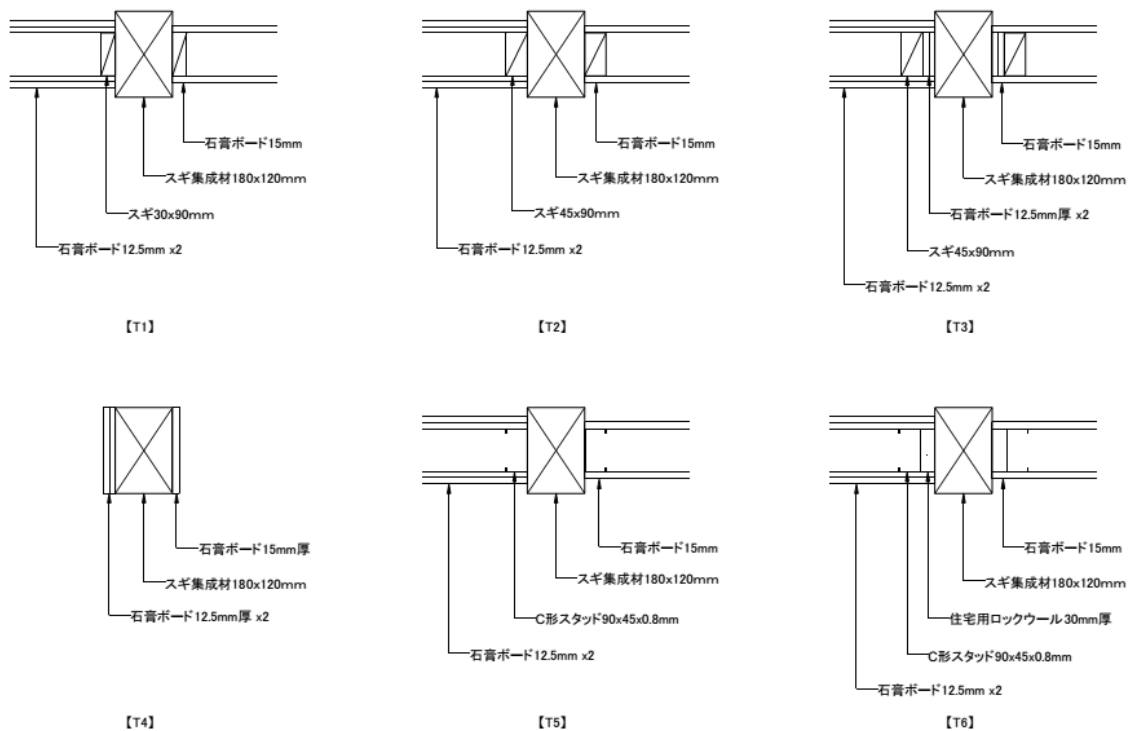


図 4.1.2-1 KCW-1 試験体概要図

表 4. 1. 2-1 試験体の仕様

NO.	柱(荷重支持部)の仕様	壁の間柱の仕様	壁被覆の仕様※		柱と間柱の間の仕様
			左	右	
T1	スギ集成材 180× 120mm	スギ角材 30×90mm	せっこうボード 12.5mm ×2	せっこうボード 15mm	無し
T2		スギ角材 45×90mm	せっこうボード 12.5mm ×2	せっこうボード 15mm	無し
T3		スギ角材 45×90mm	せっこうボード 12.5mm ×2	せっこうボード 15mm	せっこうボード 12.5mm×2
T4		壁無し			
T5		C形鋼製スタッド 90×45×0.8mm	せっこうボード 12.5mm ×2	せっこうボード 15mm	無し
T6		C形鋼製スタッド 90×45×0.8mm	せっこうボード 12.5mm ×2	せっこうボード 15mm	住宅用 ロックウール 30mm厚 密度 30[kg/m ³]

※ 壁被覆の仕様は、左側が1時間準耐火構造、右側が45分準耐火構造の告示仕様とした。

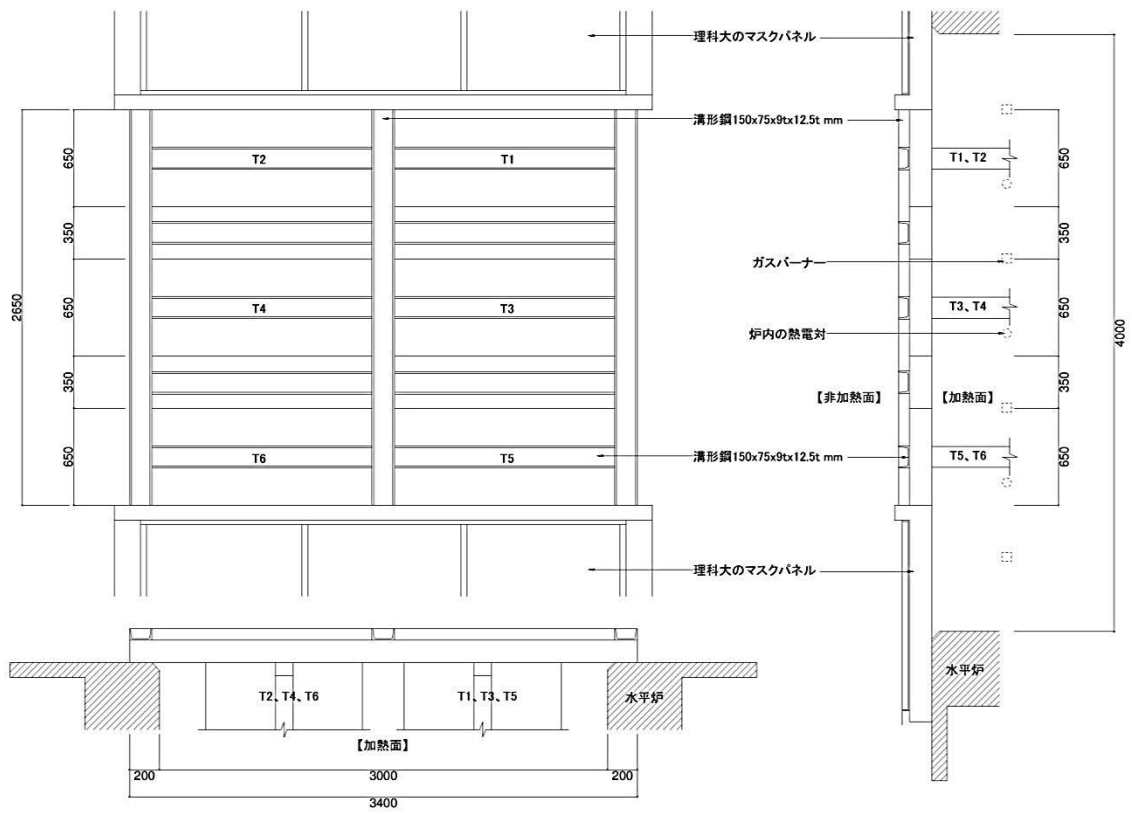


図 4. 1. 2-2 試験体配置図



写真 4. 1. 2-1 試験体全景

4. 1. 3 実験方法

東京理科大学の水平炉を使用し、性能評価機関の定める「防耐火性能試験 評価業務方法書」に準拠した。

(1) 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を 60 分間行った。

(2) 測定項目

① 試験体内部温度

K 熱電対（線径 0.65mm）を図 4.1.3-1 に示す加熱面、中空層、裏面に配置し、内部温度の変化 1 秒間隔で測定した。

② 炉内温度

シース型 K 熱電対（線径 3.2mm）を試験体の加熱面から約 10cm 離れた位置に 24 点配置し、試験中の炉内温度を 5 秒間隔で測定した。

③ 炭化状況

実験終了後、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。

④ 含水率

試験体に使用した木材と同時に作成されたサンプルを、試験体と同条件下で養生し、105℃に設定した恒温恒湿器を用いて 1 週間養生した後、重量減少を測定して、含水率を測定した。含水の計算式を以下に示す。

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

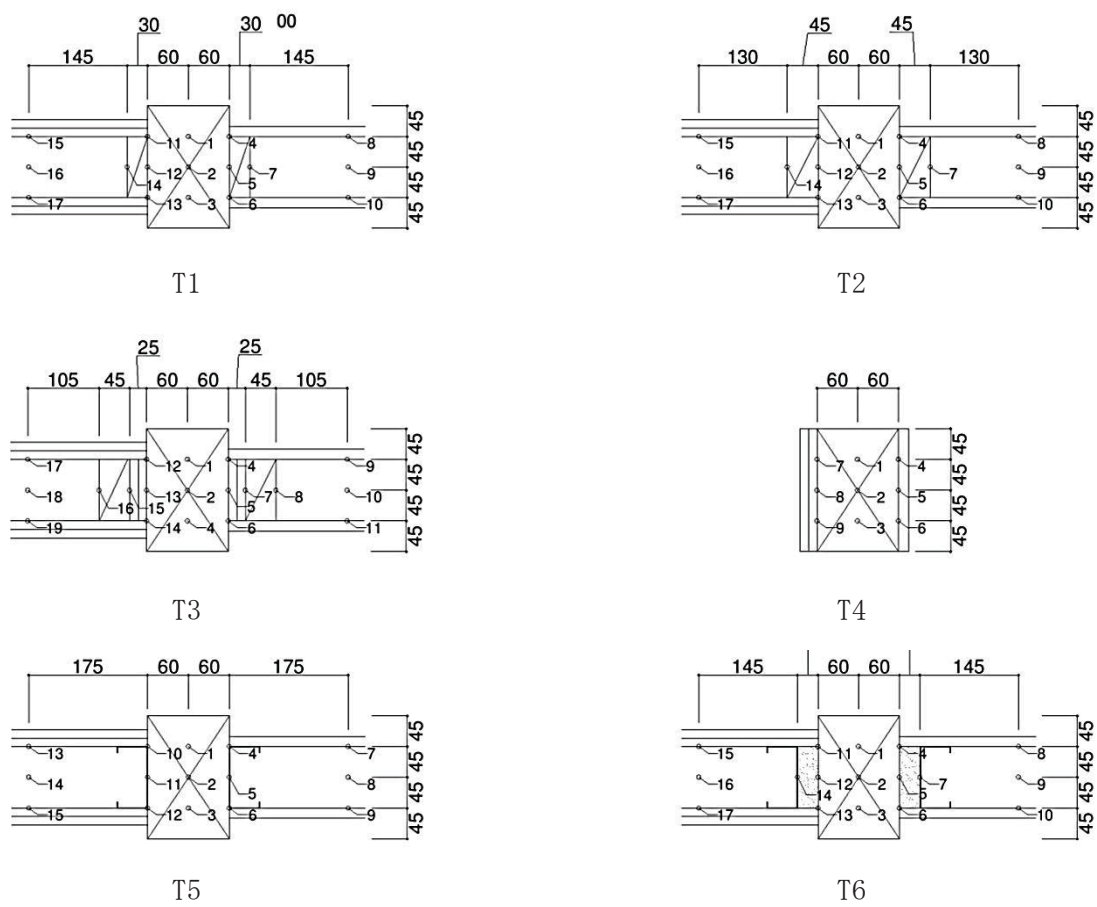


図 4. 1. 3-1 熱電対の配置図

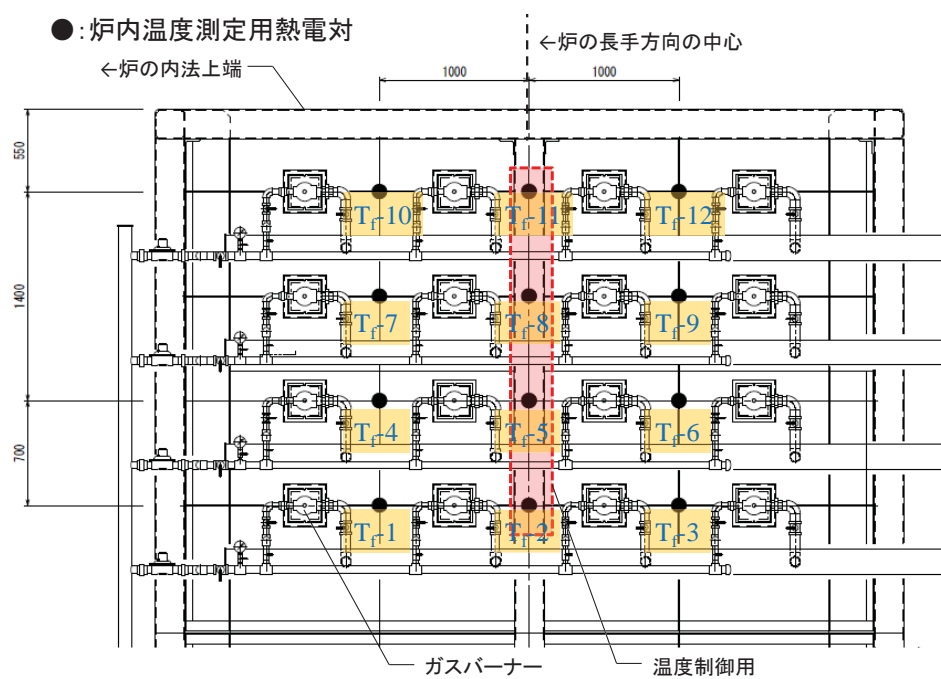


図 4. 1. 3-2 耐火炉の炉内温度測定用熱電対の配置図

表 4.1.3-1 試験体サンプルの比重および含水率

実験 体	寸法[cm]			初期重量 [g]	比重 [g/cm]	含水器 Kett[%]	全乾重量 [g]	含水率 [%]
	L	W	H					
A-1	20	12	18	1763.12	0.408	15.5	1600.6	10.2
A-2	20	12	18	1793.97	0.415	12.5	1617.4	10.9
A-3	20	12	18	1773.63	0.411	13	1606.2	10.4
B-1	20	9	9	759.88	0.469	16	655.8	15.9
B-2	20	9	9	771.44	0.476	12.5	661.6	16.6
B-3	20	9	9	791.28	0.488	12.5	678.8	16.6
C-1	20	9	4.5	246.79	0.305	11	223.8	10.3
C-2	20	9	4.5	247.81	0.306	10	224.6	10.3
C-3	20	9	4.5	248.66	0.307	9.5	225.8	10.1
D-1	20	9	2.9	251.32	0.481	12.5	220.6	13.9
D-2	20	9	2.9	243.42	0.466	12	214.6	13.4
D-3	20	9	2.9	267.62	0.513	12.5	234.8	14.0

⑤ その他

試験体加熱面及び非加熱面の目視観察、写真撮影を行った。

4. 1. 4 実験結果及び考察

A. 試験体写真



写真 4. 1. 4-1 加熱前の試験体



写真 4. 1. 4-2 脱炉後の様子

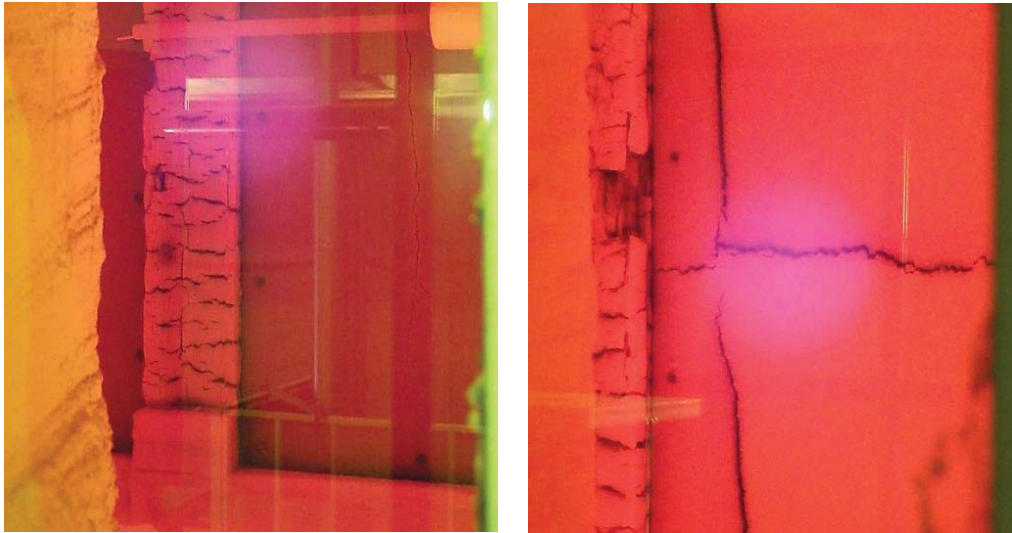


写真 4. 1. 4-3 加熱中の様子

B. 加熱温度

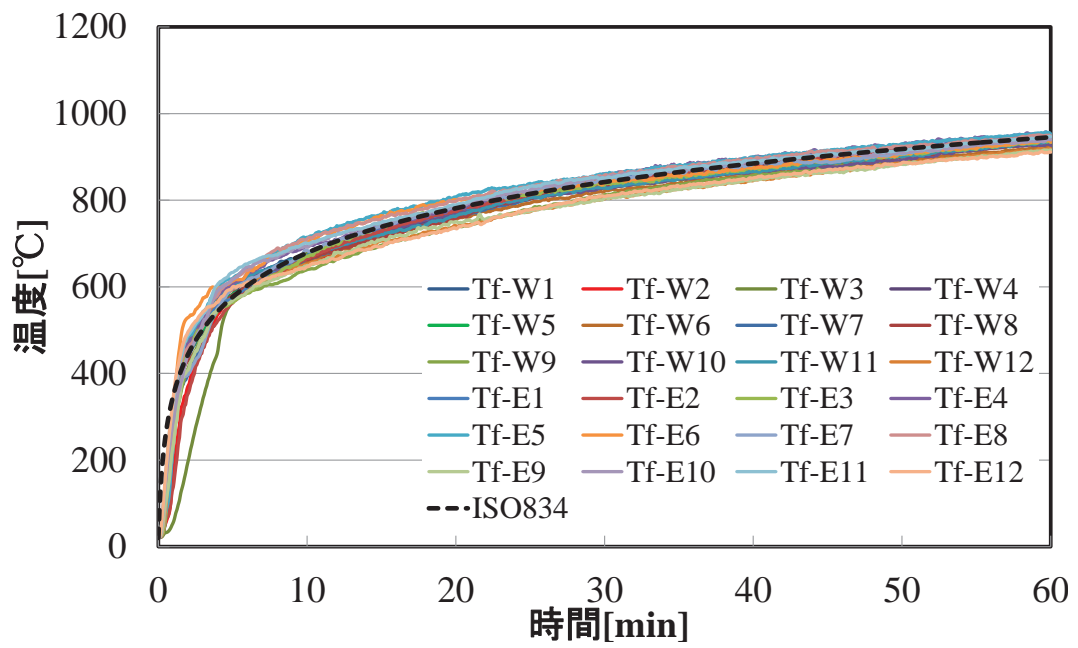


図 4. 1. 4-1 炉内温度測定結果 (試験体の高さのデータのみ)

C. 炭化状況

実験終了後に試験体を中央の高さ水平方向に切断した断面図を図 4.1.4-2 に示す。荷重支持部の柱の隣に設けた壁の間柱の厚みの違いに着目した T1(スギ 30mm)、T2(スギ 45mm) の比較の結果、T1 に比べ T2 の方が柱の残存断面が幾分大きい。また、T2 の柱と間柱の間にせっこうボード 12.5mm 厚 2 枚を設けた T3 の仕様は T2 に比べさらに柱の残存断面が大きいことが確認できる。

一方、T1 の間柱を木材から鋼製スタッドに変化させた T5 と T1 を比較すると、T1 に比べ T5 の柱の残存断面が小さいことが確認できる。また、T5 の柱と鋼製スタッドの間にロックウール 30mm 厚を設けた T6 と T5 の柱の残存断面には大きな差異がみられなかった。

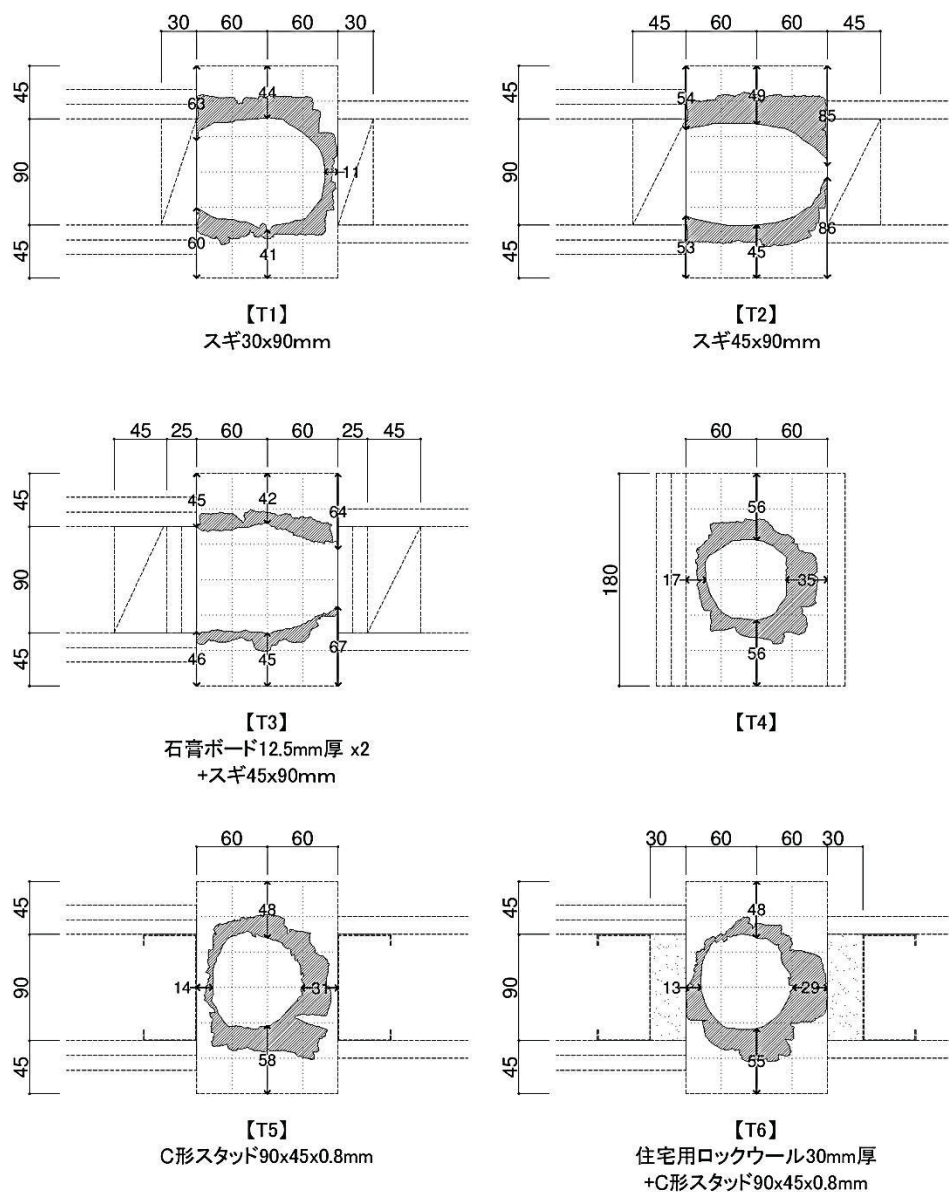


図 4.1.4-2 実験終了後の柱の炭化断面



T1



T2



T3



T4



T5



T6

写真 4. 1. 4-4 試験体を切断した断面

D. 試験体温度

試験体内部温度の経時変化を図 4.1.4-3～図 4.1.4-8 に示す。いずれの試験体も温度測定位置 No. 2 の温度が木材の一般的な炭化温度 260°Cを超えているが、試験終了後の試験体の断面では、試験体中央まで炭化しておらず、熱電対配置図の位置の試験体の温度を測定できておらず、壁の中空層温度を測定している可能性がある。

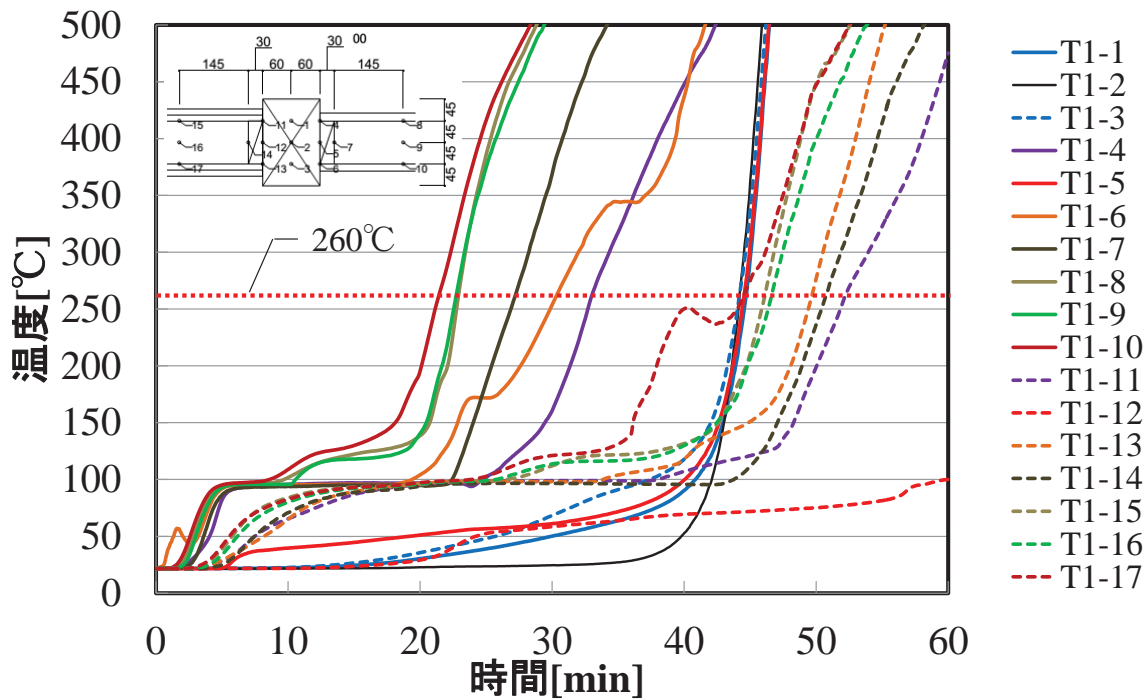


図 4.1.4-3 試験体 T1 内部温度

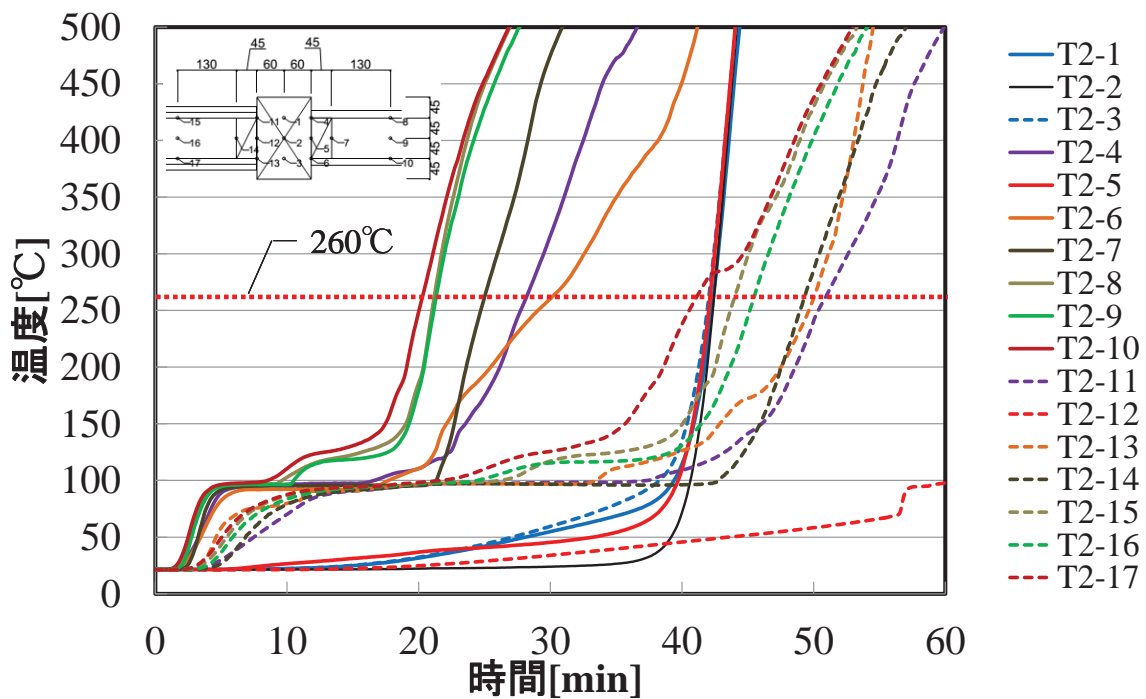


図 4.1.4-4 試験体 T2 内部温度

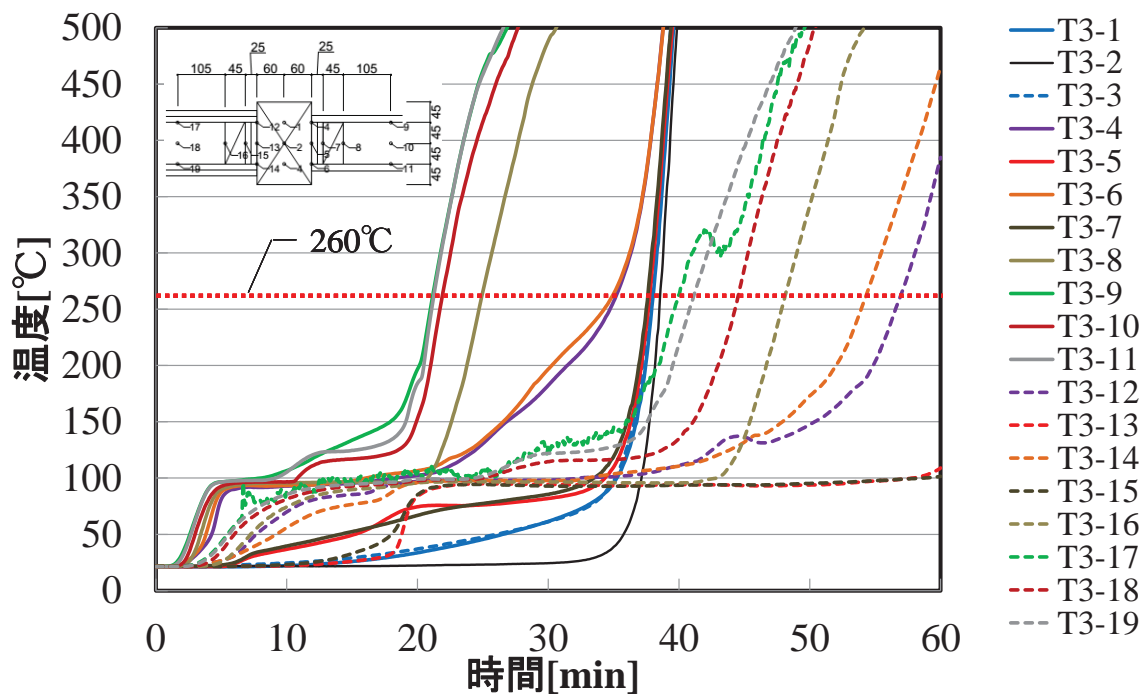


図 4. 1. 4-5 試験体 T3 内部温度

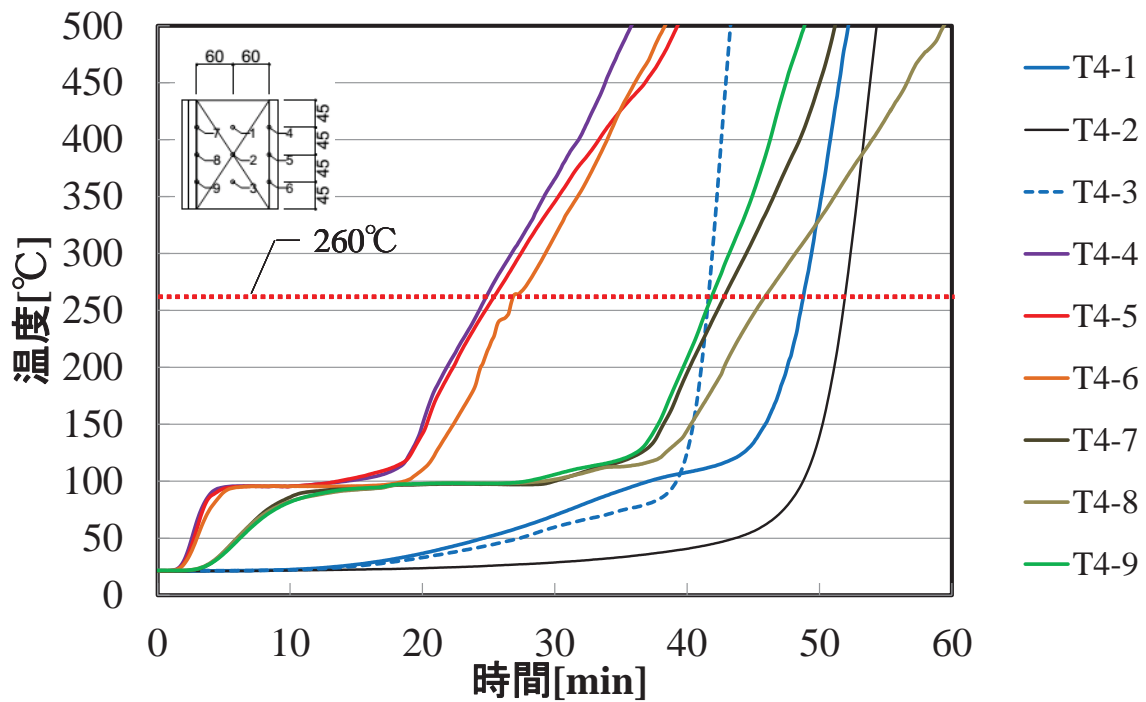


図 4. 1. 4-6 試験体 T4 内部温度

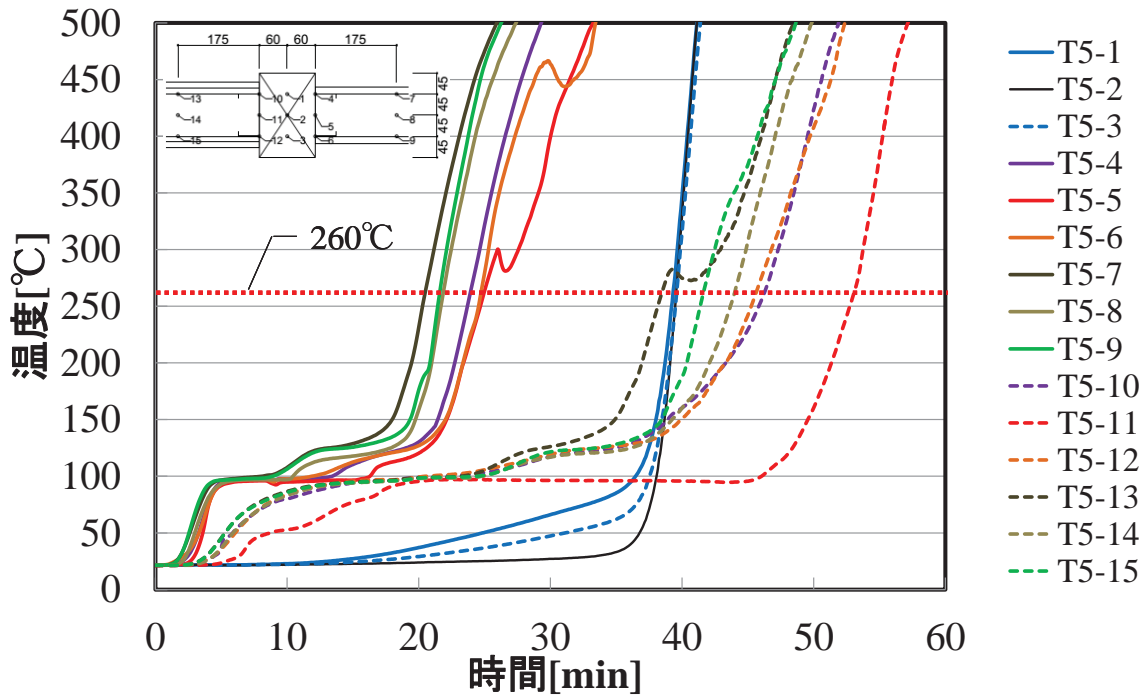


図 4. 1. 4-7 試験体 T5 内部温度

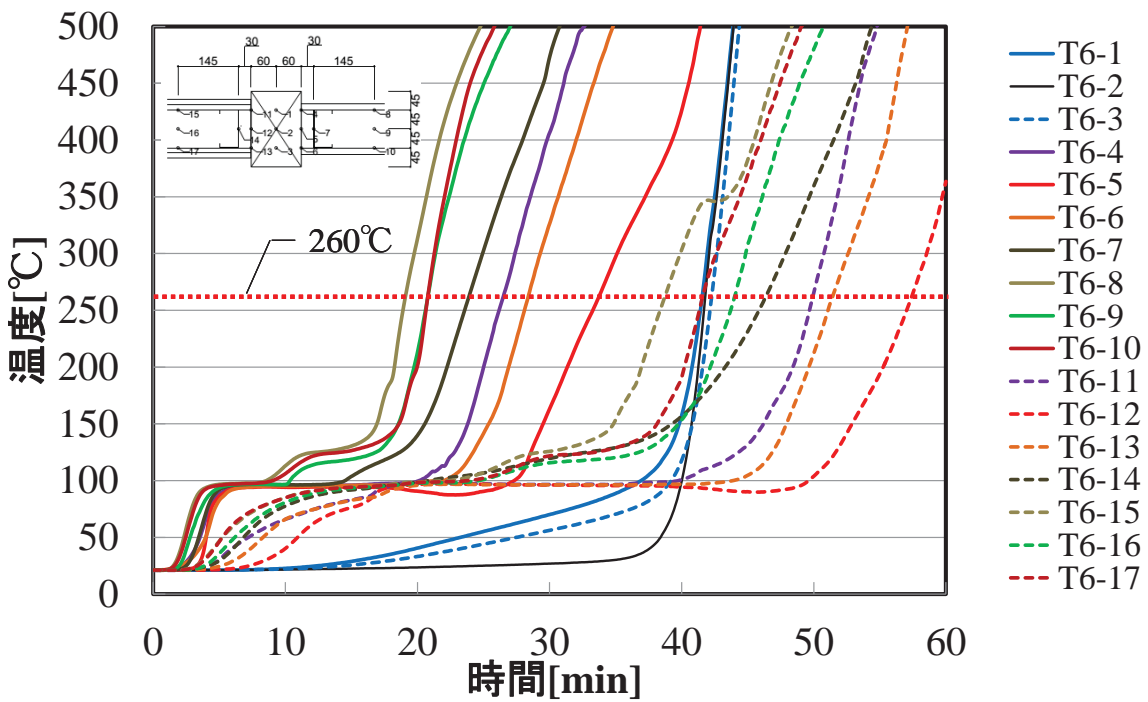


図 4. 1. 4-8 試験体 T6 内部温度

E. 実験より得られた知見

柱と壁の取り合い部を 10 仕様変化させ、IS0834 の標準加熱を 60 分間行った際の荷重支持部となる柱の残存断面を比較した結果、以下の知見を得た。

- ・荷重支持部の柱の隣に設けた壁の間柱の厚みの違いに着目した T1（スギ 30mm）、T2（スギ 45mm）の比較の結果、T1 に比べ T2 の方が柱の残存断面が幾分大きくなった。
- ・T2 の柱と間柱の間にせっこうボード 12.5mm 厚 2 枚を設けた T3 の仕様は T2 に比べさらに柱の残存断面が大きいことが確認できる。
- ・T1 の間柱を木材から鋼製スタッドに変化させた T5 と T1 を比較すると、T1 に比べ T5 の柱の残存断面が小さいことが確認できる。また、T5 の柱と鋼製スタッドの間にロックウール 30mm 厚を設けた T6 と T5 の柱の残存断面には大きな差異がみられなかった。

4.2 柱と壁の取り合い部の防火上有効な措置に関する載荷加熱実験(CW-1~2)

4.1節の試験体のうち1時間準耐火構造の例示仕様であるT1(壁の面材はせっこうボード12.5mm厚2枚)について、試験体への載荷が荷重支持部の柱の温度および炭化性状に及ぼす影響を確認することを目的とし実大規模の載荷加熱実験を実施した。

4.2.1 実験概要

柱と壁の取り合い部を2仕様(壁がI型及びL型に柱に取り付く場合)変化させ、IS0834の標準加熱を60分間を目標に行った。

4.2.2 試験体概要

試験体は集成材を荷重支持部の柱とし、その柱の2辺に壁等を設置させたものである。柱の2辺に設置した壁の取り付け方向は図4.2.2-1および図4.2.2-2に示す2種類とした。以降、それぞれの仕様をCW-1、CW-2と呼ぶ。

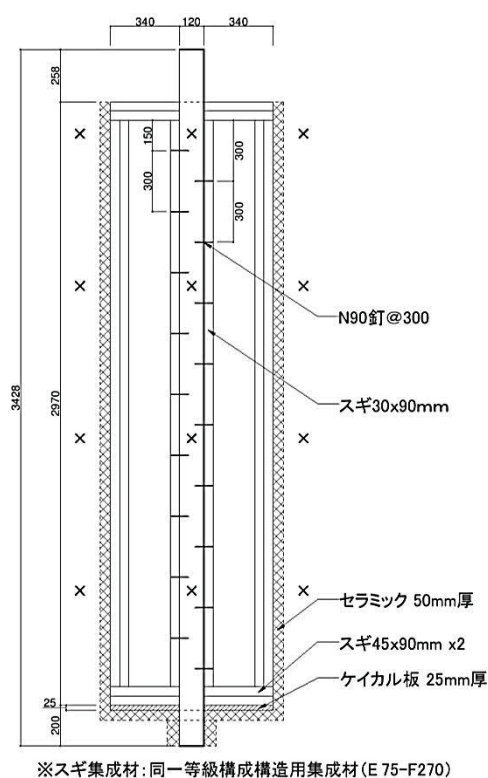


図 4.2.2-1 CW-1 試験体正面図、体全景

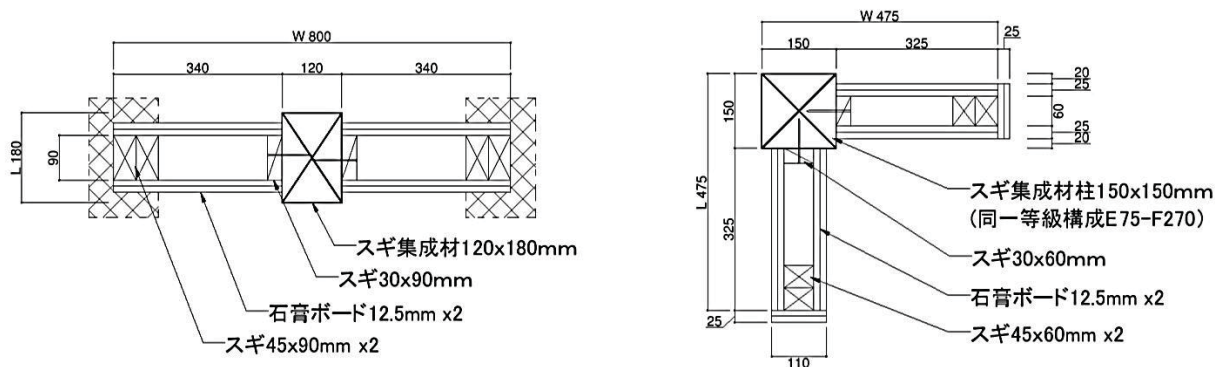


図 4.2.2-4 CW-1 (左)、CW-2 (右) 試験体概要図

4. 2. 3 実験方法

一般財団法人日本建築総合試験所の柱炉を使用し、「防耐火性能試験 評価業務方法書」に準拠した。

(1) 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を 60 分間行った。

(2) 載荷方法

試験体を球座を介して載荷装置に対して垂直に設置し、油圧ジャッキで軸力を加えた。載荷荷重は荷重支持断面に短期許容圧縮応力度から算出した 26.6kN(CW-1)、43.6 kN(CW-2)とした。なお、試験体の木口面はセラミックファイバーブランケット等の耐火被覆材を用い、木口面からの燃焼防止に配慮した。

(3) 測定項目

① 試験体内部温度

K 熱電対 (線径 0.65mm) を図 4.2.3-2 に示す加熱面、中空層、裏面に配置し、内部温度の変化 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約 10 c m離れた位置に 16 点配置し、試験中の耐火炉内の温度を 30 秒間隔で測定した。

③ 炭化状況

実験終了後、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。

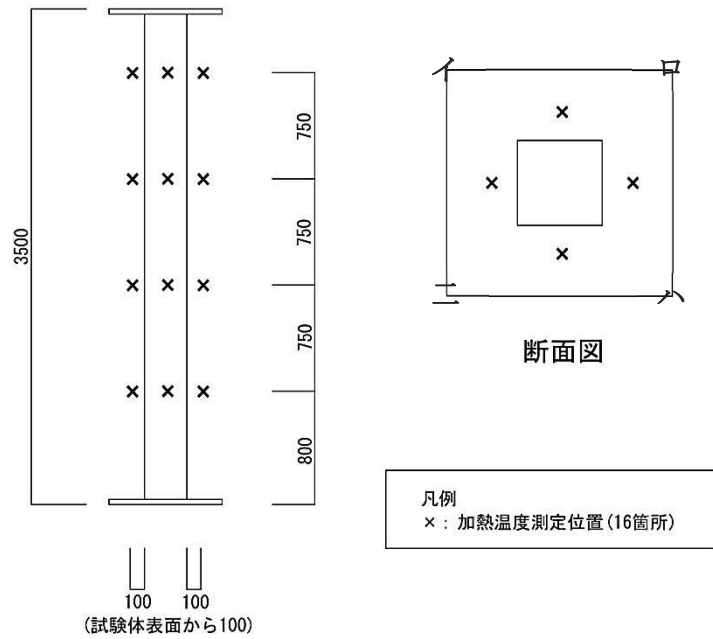


図 4.2.3-1 耐火炉の炉内温度熱電対の配置図

④ 含水率

試験体に使用した木材と同時に作成されたサンプルを、試験体と同条件下で養生し、105℃の絶乾状態に設定した恒温恒湿器を用いて1週間養生した後、重量減少を測定して、含水率を測定した。含水の計算式を以下に示す。

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

⑤ その他

試験体加熱面及び非加熱面の目視観察、写真撮影を行った。

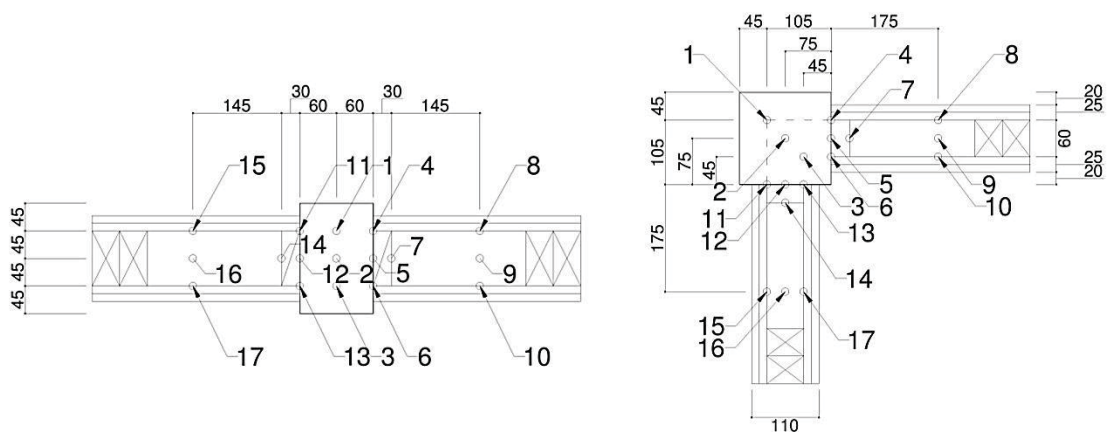


図 4.2.3-2 熱電対の配置図

表 4.2.3-1 含水率

サンプル: 柱

乾燥温度: 105 °C

サンプル	寸法(cm)			体積 (cm ³)	気乾質量 (g)	絶乾質量 (g)	含水量 (g)	気乾比重 (g/cm ³)	絶乾比重 (g/cm ³)	含水率 (%)
	縦	横	厚み							
No.A	12.0	18.0	10.0	2160.0	903.3	823.5	79.8	0.418	0.38	9.69
No.B	12.0	18.0	10.3	2224.8	932.0	851.3	80.7	0.419	0.38	9.48
No.C	12.0	18.0	10.2	2203.2	901.8	824.6	77.2	0.409	0.37	9.36
平均				2196.0	912.4	833.1	79.2	0.415	0.38	9.51

サンプル: 胴縁

乾燥温度: 105 °C

No.A	3.0	9.0	10.0	270.0	105.4	96.1	9.3	0.390	0.36	9.68
No.B	3.0	9.0	10.0	270.0	113.9	103.2	10.7	0.422	0.38	10.37
No.C	3.0	9.0	10.2	275.4	113.7	102.8	10.9	0.413	0.37	10.60
平均				271.8	111.0	100.7	10.3	0.408	0.37	10.22

サンプル: 木製下地

乾燥温度: 105 °C

No.A	9.0	9.0	10.0	810.0	339.6	306.2	33.4	0.419	0.38	10.91
No.B	9.0	9.0	10.0	810.0	349.9	315.4	34.5	0.432	0.39	10.94
No.C	9.0	9.0	10.0	810.0	350.6	316.2	34.4	0.433	0.39	10.88
平均				810.0	346.7	312.6	34.1	0.428	0.39	10.91

CW-1

サンプル: 柱

乾燥温度: 105 °C

サンプル	寸法(cm)			体積 (cm ³)	気乾質量 (g)	絶乾質量 (g)	含水量 (g)	気乾比重 (g/cm ³)	絶乾比重 (g/cm ³)	含水率 (%)
	縦	横	厚み							
No.A	15.0	15.0	10.0	2250.0	720.2	656.5	63.7	0.32	0.29	9.70
No.B	15.0	15.0	10.0	2250.0	720.4	655.4	65.0	0.32	0.29	9.92
No.C	15.0	15.0	10.0	2250.0	744.8	676.8	68.0	0.33	0.30	10.05
平均				2250.0	728.5	662.9	65.6	0.32	0.29	9.89

サンプル: 木製下地 30x60

乾燥温度: 105 °C

No.A	3.0	6.0	10.0	180.0	76.1	69.2	6.9	0.42	0.38	9.97
No.B	3.0	6.0	10.0	180.0	66.6	60.6	6.0	0.37	0.34	9.90
No.C	3.0	6.0	10.0	180.0	73.9	66.6	7.3	0.41	0.37	10.96
平均				180.0	72.2	65.5	6.7	0.40	0.36	10.28

サンプル: 木製下地 45x60

乾燥温度: 105 °C

No.A	4.5	6.0	10.0	270.0	135.2	121.2	14.0	0.50	0.45	11.55
No.B	4.5	6.0	10.0	270.0	105.8	96.0	9.8	0.39	0.36	10.21
No.C	4.5	6.0	10.0	270.0	108.8	98.5	10.3	0.40	0.36	10.46
平均				270.0	116.6	105.2	11.4	0.43	0.39	10.74

CW-2

表 4. 2. 3-2 CW-1 試験荷重計算書

試験荷重計算書

(添付資料1)

木造壁

材種	E75-F270
b × d	120 × 90 mm
L	3500 mm
基準強度	22.3 N/mm ² (建設省告示1452号、国土交通省告示1024号)
柱本数	1本

f_{c1} (短期許容応力度)	<u>13.733 N/mm²</u> (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	25.98 $\iota = \sqrt{I/A}$ (I : 断面二次モーメント, A : 断面積) $= \sqrt{(bd^3/12/bd)}$ $= \sqrt{(120 \times 90^3/12/(120 \times 90))}$
	Lk: 座屈長さ	3500 Lk=L
	λ : 有効細長比	134.7 > 100 $\lambda = Lk/\iota$
f_{c2} (座屈考慮の短期許容応力度)	<u>2.458 N/mm²</u> (国土交通省告示1024号)	(国土交通省告示1024号より) $\lambda \leq 30$ $f_{c2} = 2/3 \times F_c$ $30 < \lambda \leq 100$ $f_{c2} = 2/3 \times (1.3 - 0.01 \lambda) \times F_c$ $\lambda > 100$ $f_{c2} = 2/3 \times (3000/\lambda^2) \times F_c$ $= 2/3 \times (3000/134.7^2) \times 22.3$
短期許容応力度	<u>2.458 N/mm²</u>	$f_{c1} > f_{c2}$ より f_{c2} を採用
短期許容荷重(1本で)	<u>26546.4 N</u>	

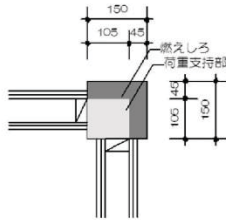
試験荷重 26.6 kN

表 4.2.3-3 CW-2 試験荷重計算書

試験荷重計算書

(添付資料1)

木造壁



材種	E75-F270
b × d	105 × 105 mm
L	3219 mm
基準強度	22.3 N/mm ² (建設省告示1452号、国土交通省告示1024号)
柱本数	1本

f_{c1} (短期許容応力度)	<u>14.867 N/mm²</u> (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	30.31	$\iota = \sqrt{I/A}$ (I : 断面二次モーメント, A : 断面積) $= \sqrt{(bd^3/12/bd)}$ $= \sqrt{(105 \times 105^3/12/(105 \times 105))}$
	Lk: 座屈長さ	3219	Lk=L
	λ : 有効細長比	106.2 > 100	$\lambda = Lk/\iota$

f_{c2} (座屈考慮の短期許容応力度)	<u>3.954 N/mm²</u> (国土交通省告示1024号)
-------------------------	--

(国土交通省告示1024号より)

$\lambda \leq 30$	$f_{c2} = 2/3 \times F_c$
$30 < \lambda \leq 100$	$f_{c2} = 2/3 \times (1.3 - 0.01 \lambda) \times F_c$
$\lambda > 100$	$f_{c2} = 2/3 \times (3000/\lambda^2) \times F_c$ $= 2/3 \times (3000/106.2^2) \times 22.3$

短期許容応力度	<u>3.954 N/mm²</u>	$f_{c1} > f_{c2}$ より f_{c2} を採用
短期許容荷重(1本で)	<u>43592.9 N</u>	

試験荷重 43.6 kN

4. 2. 4 実験結果及び考察

(1) 柱と壁の取り合い部載荷加熱実験 CW-1

試験体の支持荷重が低下したため、71分45秒で除荷、試験を終了した。71分30秒時点の支持荷重は22.9kNであった。74分30秒から消火を開始した。各測定データを図4.2.4-4に、炭化図を図4.2.4-3に試験中、試験後の試験体の様子を写真4.2.4-1～4.2.4-2に示す。

A. 載荷荷重

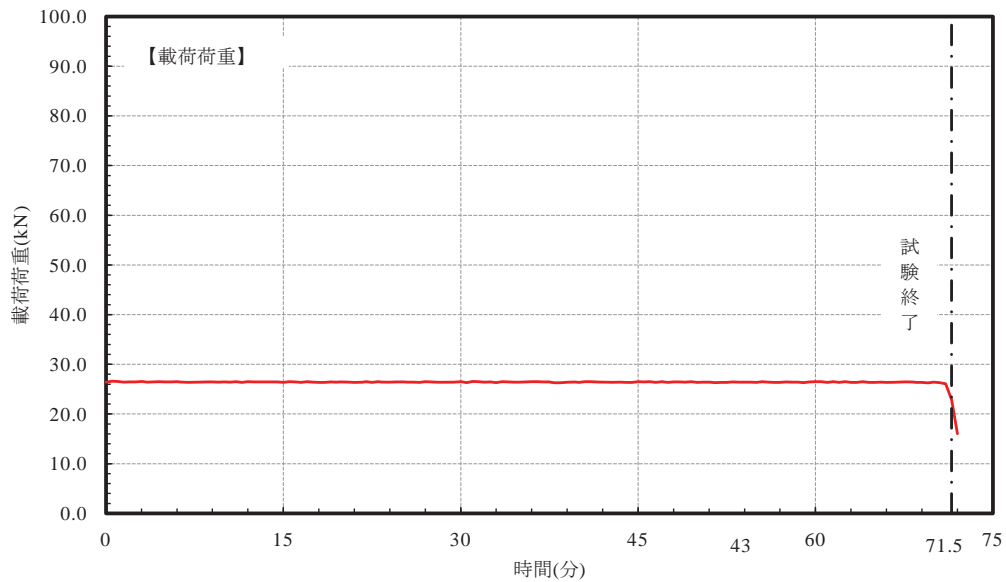


図 4. 2. 4-1 載荷荷重測定結果

B. 試験体写真



写真 4. 2. 4-1 脱炉後の様子

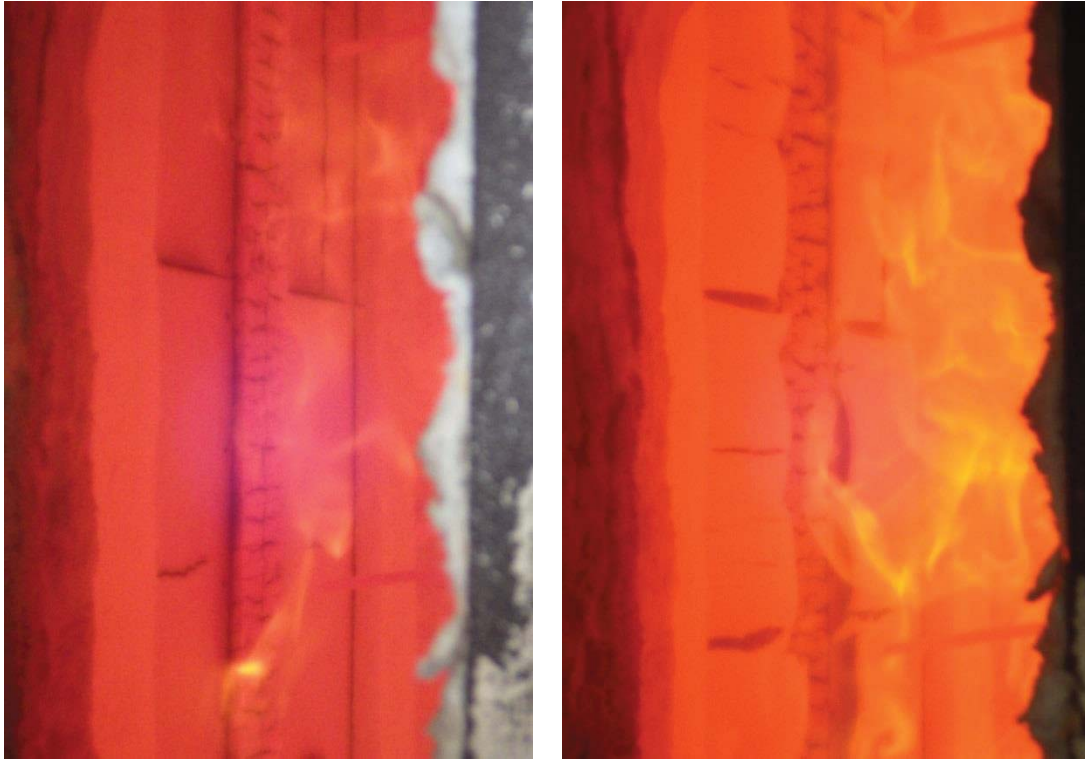


写真 4. 2. 4-2 加熱中の様子 (加熱 25 分後、加熱 55 分後)

C. 加熱温度

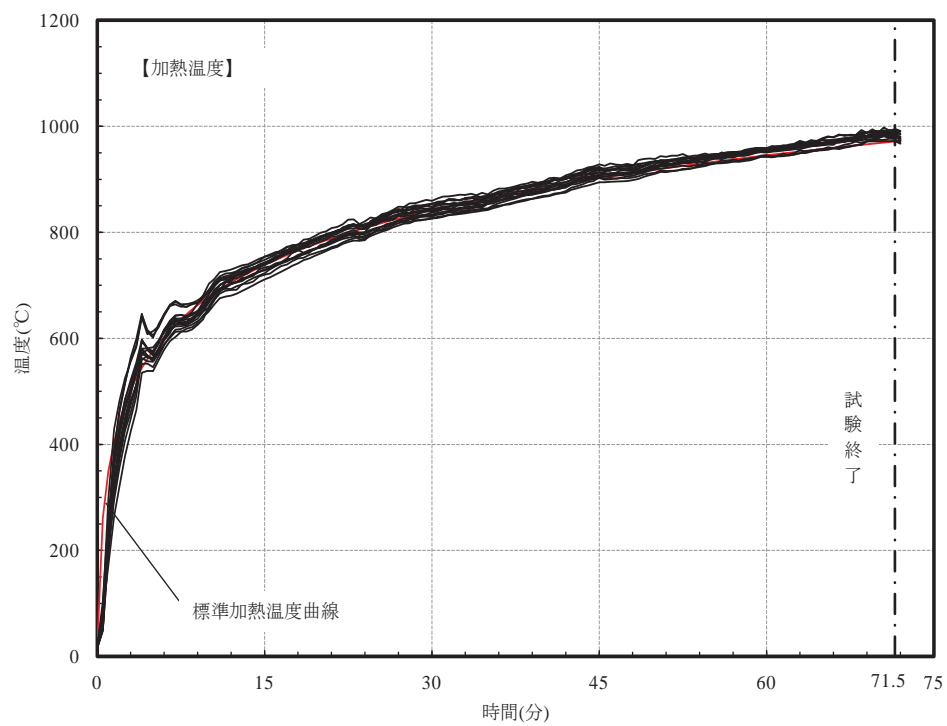


図 4. 2. 4-2 炉内温度測定結果

D. 炭化状況



上部断面



中央断面



下部断面

写真 4. 2. 4-3 試験体を切断した断面の写真

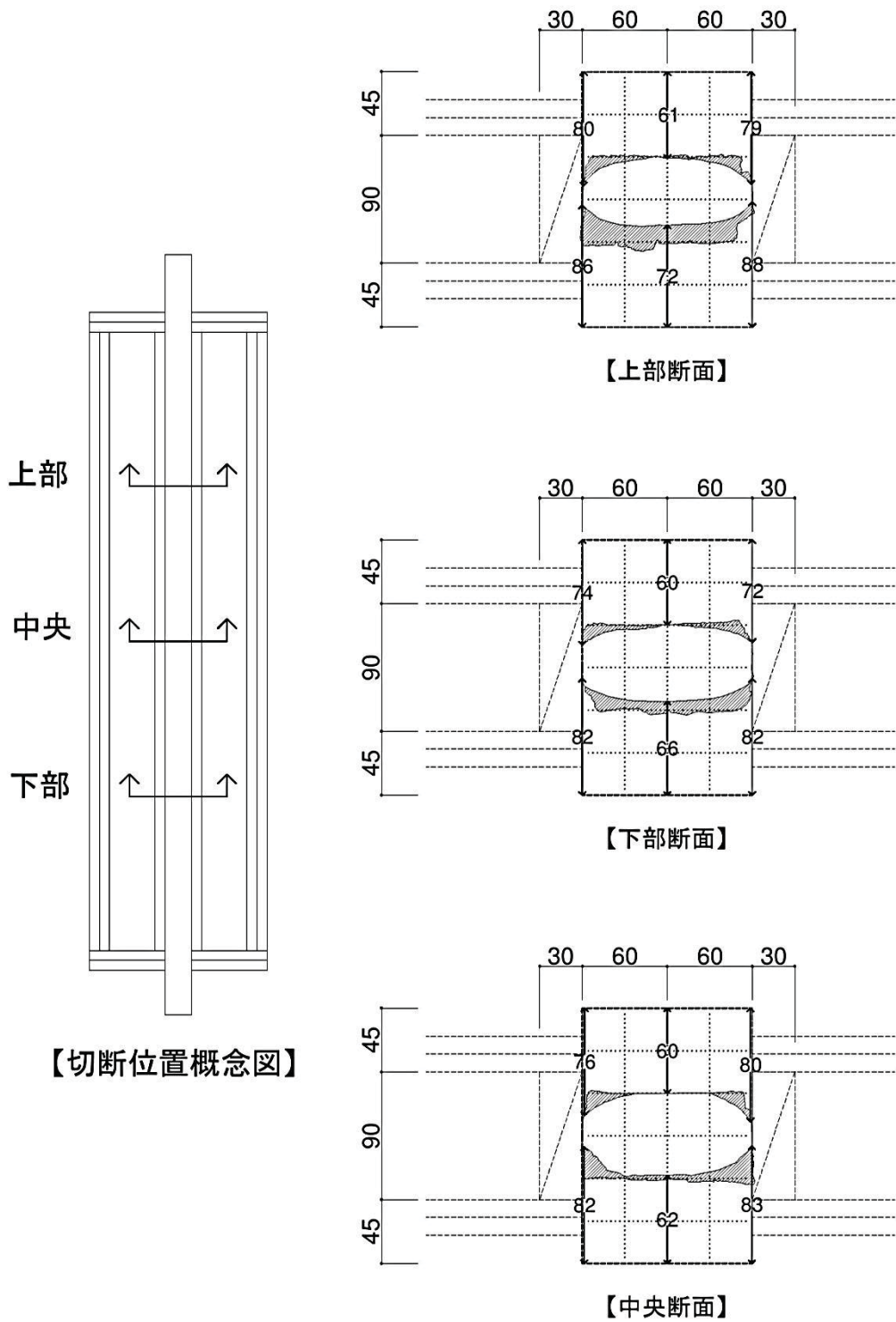


図 4. 2. 4-3 実験終了後の柱の炭化断面

E. 試験体内部温度

試験体の CW-1 の内部温度推移を図 4.2.4-4 に示す。図より、下張りせっこうボードに亀裂が生じた時点（加熱開始後約 40 分）で中空層温度が急激に上昇した。

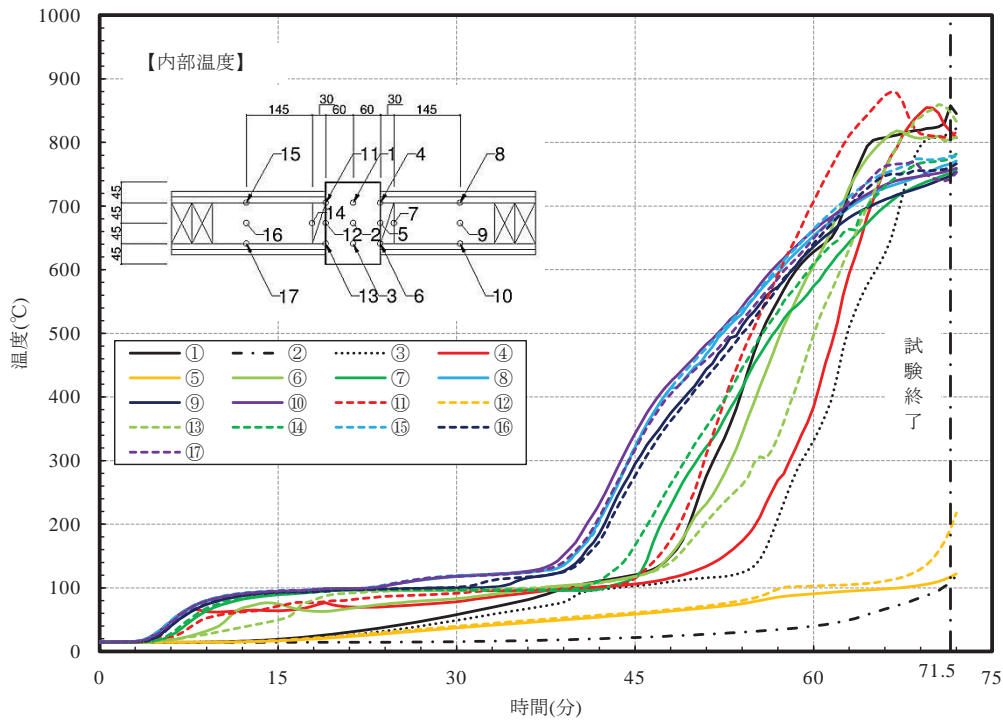


図 4.2.4-4 試験体内部温度

F. 鉛直変位量

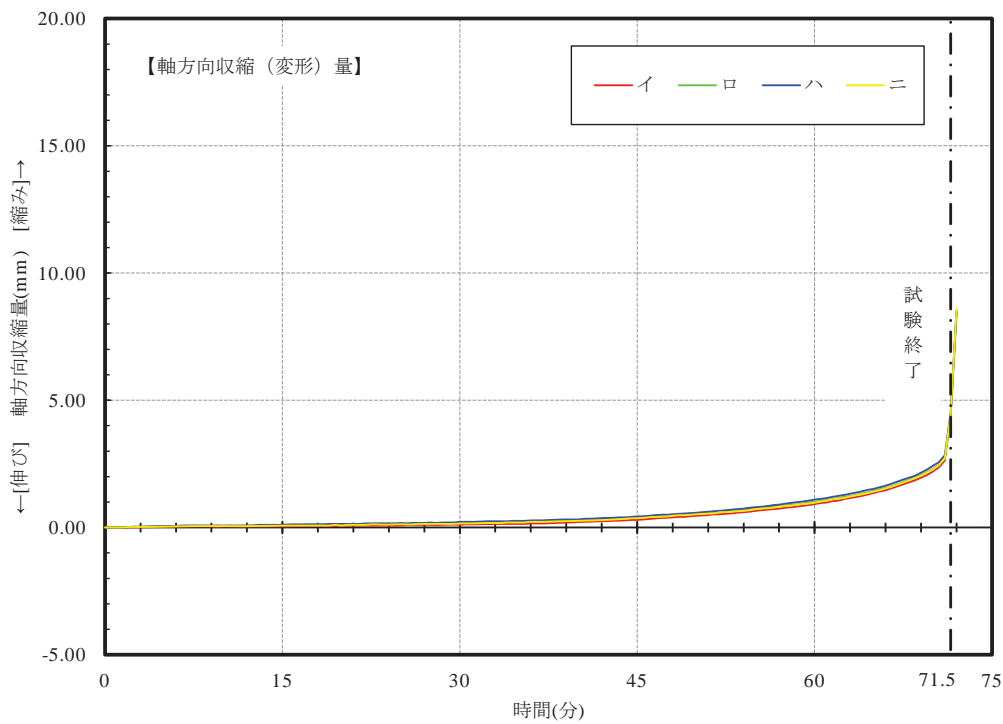


図 4.2.4-5 軸方向収縮量

(2) 柱と壁の取り合い部載荷加熱実験 CW-2

試験体の支持荷重が低下したため、43分で除荷、試験を終了した。43分時点の支持荷重は39.55kNであった。46分から消火を開始した。各測定データを図4.2.4-9に、炭化図を図4.2.4-8に、試験中、後の試験体の様子を写真4.2.4-4～4.2.4-5に示す。

A. 載荷荷重

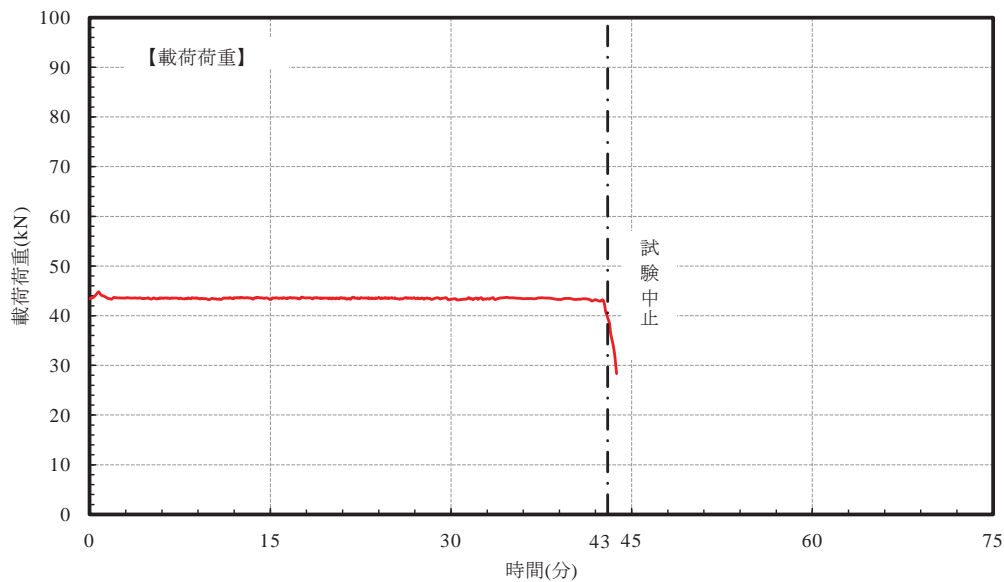


図 4.2.4-6 載荷荷重測定結果

B. 試験体写真

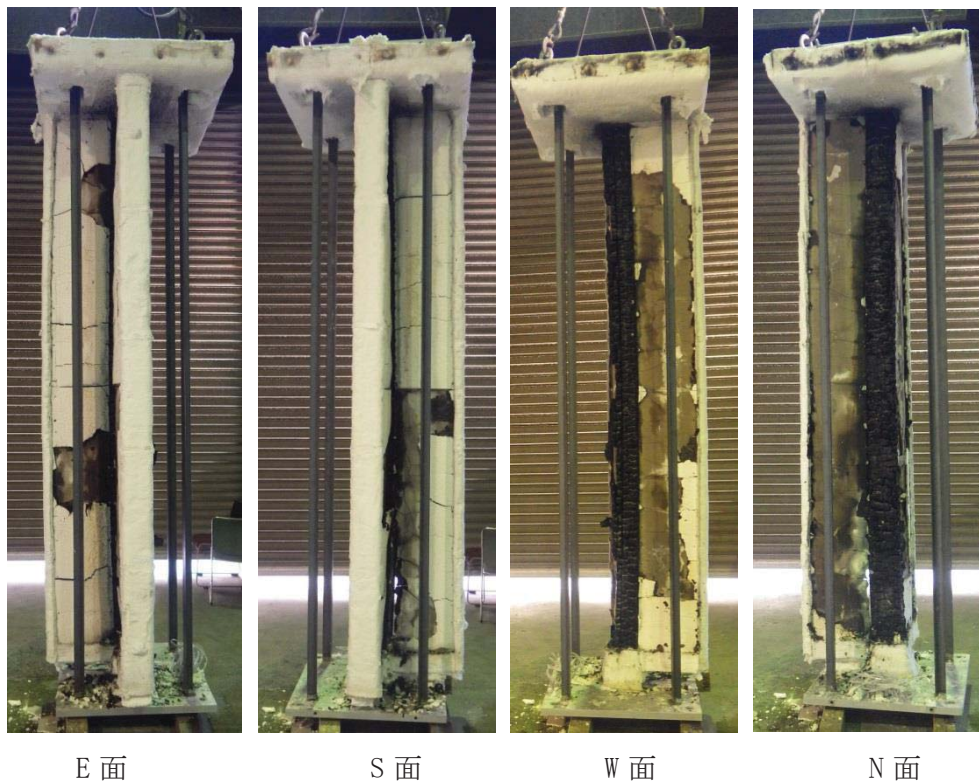


写真 4.2.4-4 脱炉後の様子



写真 4. 2. 4-5 加熱中の様子（加熱 25 分後、加熱 40 分後）

C. 加熱温度

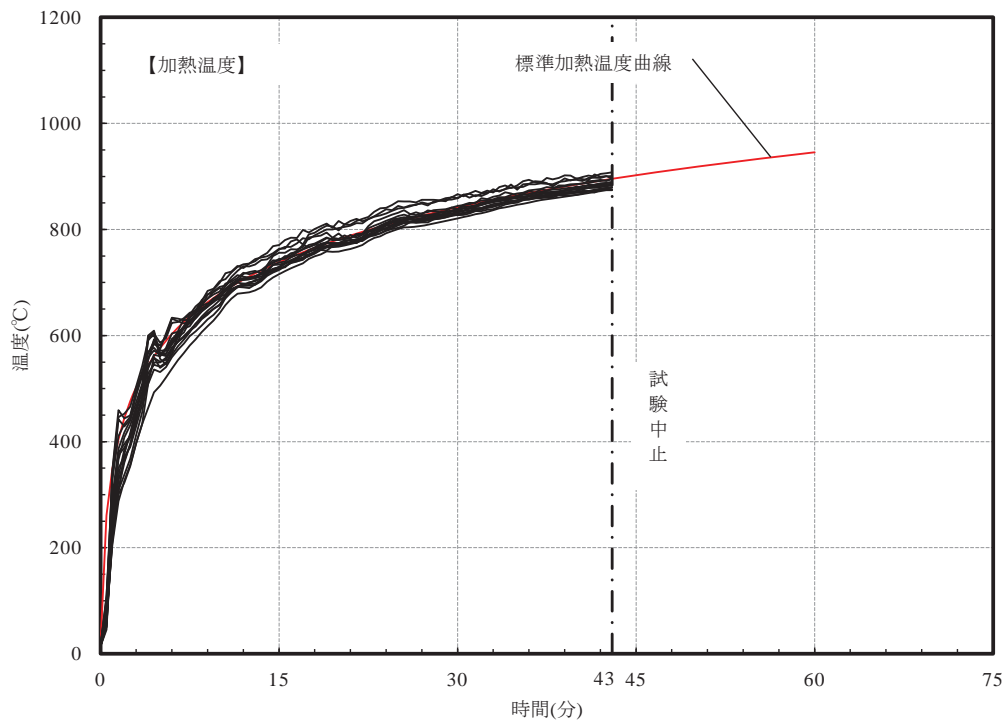


図 4. 2. 4-7 炉内温度測定結果

D. 炭化状況



上部断面



中央断面



下部断面

写真 4. 2. 4-6 試験体を切断した断面

E. 試験体内部温度

試験体の CW-2 の内部温度推移を図 4.2.4-9 に示す。CW-2 の間仕切壁中空層（熱電対⑧～⑩、⑮～⑰）の温度推移は CW-1 と概ね同様の傾向であった。ただし、温度測定位置 1 番の位置は炭化しているにもかかわらず 260℃を下回っていることから熱電対が接触不良となっている可能性がある。

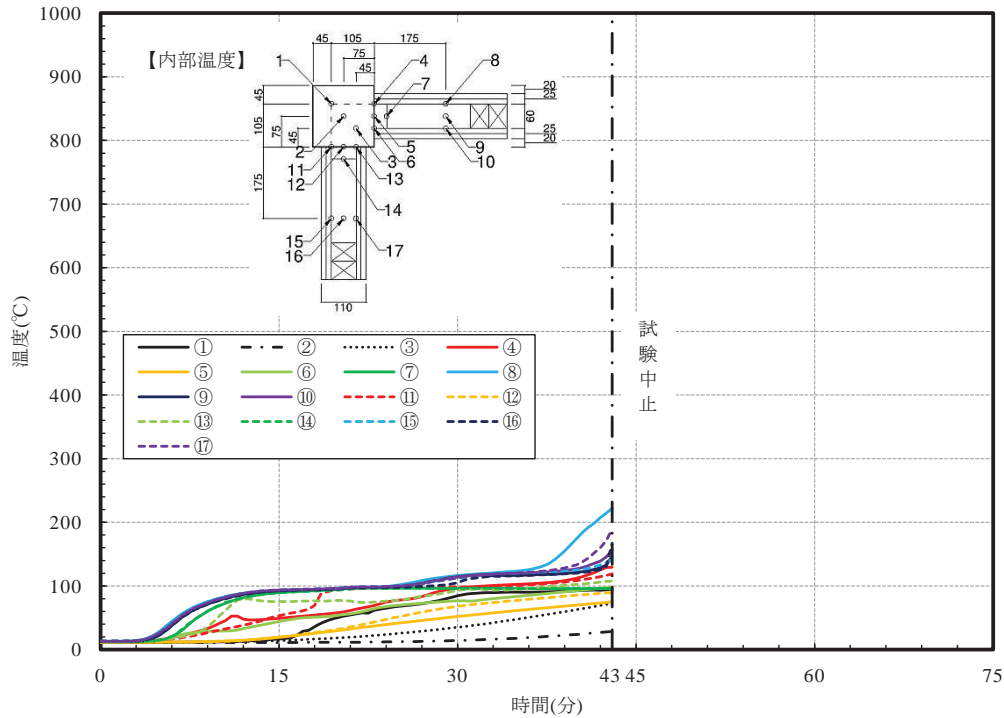


図 4.2.4-9 試験体温度

F. 鉛直変位量

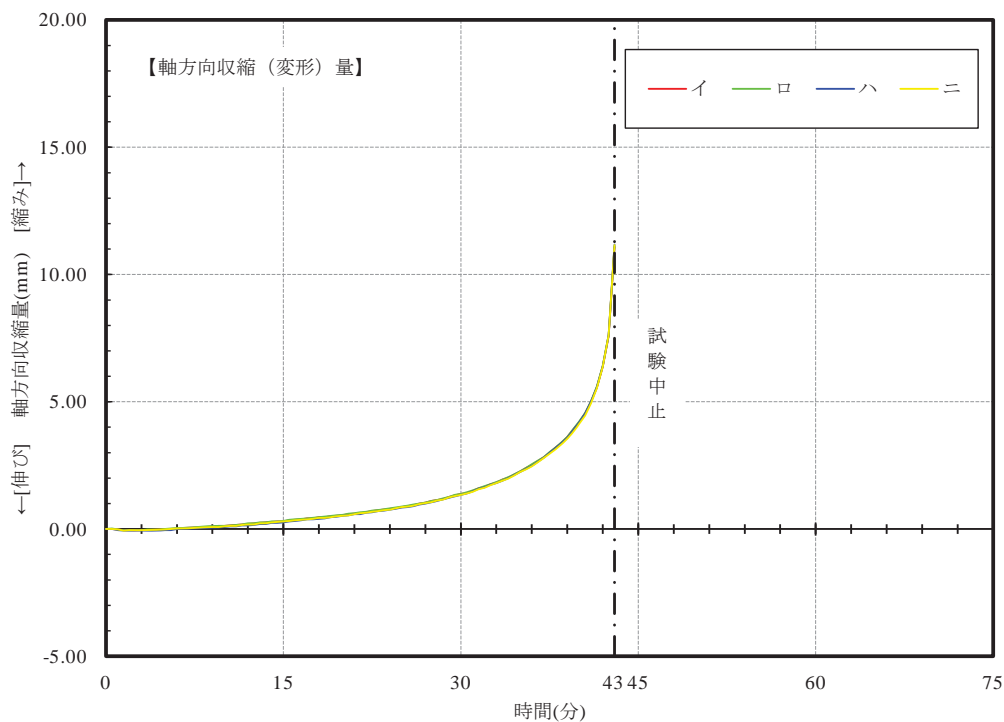


図 4.2.4-10 軸方向収縮量

F. 実験より得られた知見

4.1 節の T1 に相当する仕様について荷重支持部とする柱に対して壁が取りつく方向を 2 種類変化させ、IS0834 の標準加熱を 60 分間行った結果、以下の知見を得た。

- ・荷重支持部の柱の両側に壁が取りつく場合 (CW-1)、座屈時間が 71.5 分となっており、60 分の準耐火性能を有しているが確認された。
- ・一方、柱に対して 90 度 2 辺に配置された仕様 (CW-2) は加熱開始後約 43 分に座屈するなど壁の取り付け方向が崩壊時間に大きく影響することが分かった。特に CW-2 では、荷重支持部の柱の壁が取りついている 2 面に比べ、壁が取りついていない 2 面の方が炭化が深く、載荷点に対し、試験体が対象でなくなったことによる偏心の影響が、早期座屈につながった可能性がある。

さらに、載荷の有無による炭化性状の違いに着目すれば、試験体の断面構成が等しい CW-1 (載荷あり、大規模) と KCW-1 の T1 (載荷なし、小規模) を比較すると、CW-1 に比べ T1 の方が柱の残存断面が幾分大きいことが確認できる。