

2. 6. 4 含水率測定結果

試験終了後、軸組木材の含水率を、高周波容量式木材水分計（ケット科学研究所 HM-520）を用いて測定した。測定位置を図 16 に、測定結果を表 10 に示す。

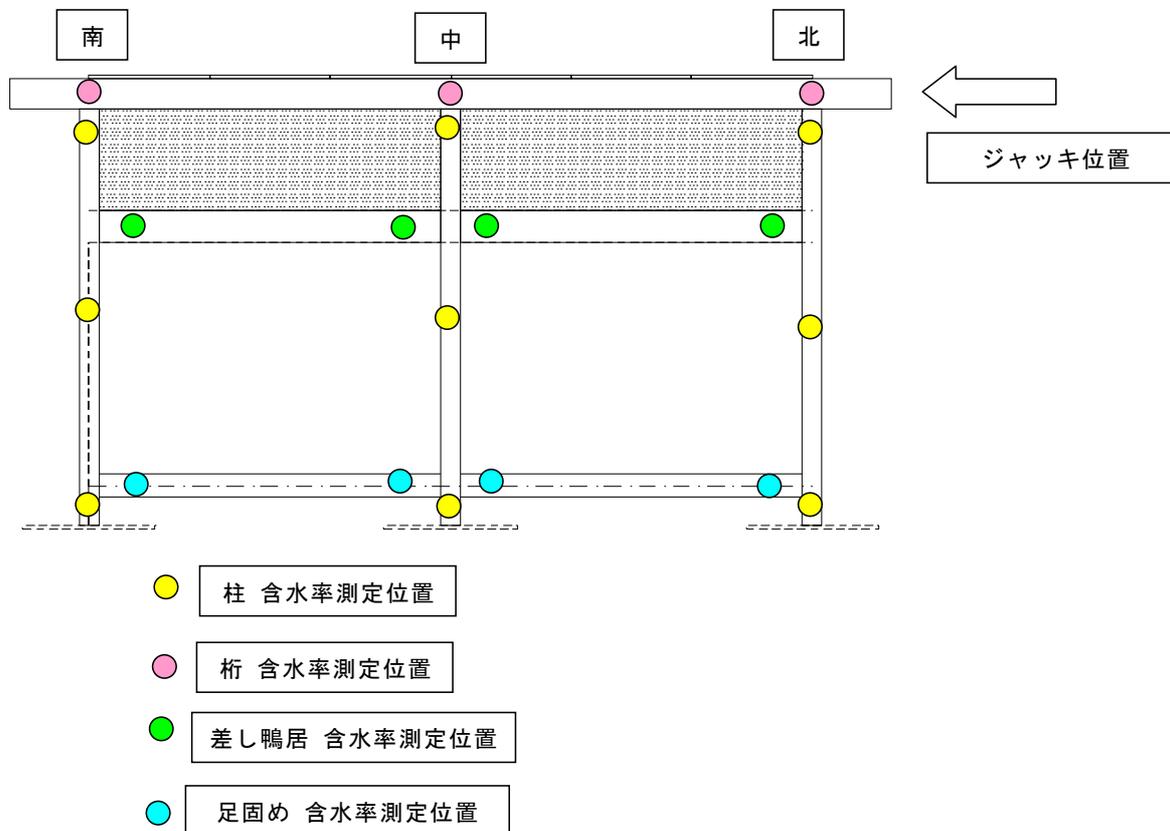


図 16 軸組含水率測定位置

表 10 軸組含水率測定結果

			含水率 (%)											
			A-1 アンカーなし		A-2 アンカーなし		B-1 アンカー固定		B-2 アンカー固定		B-3 アンカー固定		B-4 アンカー固定	
柱	柱北	上	17.5		39.5		21.0		16.0		12.0		15.5	
		中	14.5	16.3	26.0	37.3	20.5	22.0	20.5	18.8	11.5	12.3	11.0	14.3
		下	17.0		46.5		24.5		20.0		13.5		16.5	
	柱中	上	25.5		18.5		12.0		38.5		19.0		11.5	
		中	22.0	21.3	15.0	17.0	10.0	11.5	26.5	26.8	17.0	19.0	13.5	12.2
		下	16.5		17.5		12.5		15.5		21.0		11.5	
	柱南	上	12.0		16.0		14.0		18.5		22.5		19.0	
		中	14.0	14.3	18.5	26.2	18.0	16.7	25.5	27.7	17.5	24.0	20.0	18.7
		下	17.0		44.0		18.0		39.0		32.0		17.0	
桁	北	10.5		12.5		11.5		11.5		19.0		16.5		
	中	14.0	12.7	22.5	17.0	11.0	12.2	16.5	14.8	15.5	17.0	11.0	17.3	
	南	13.5		16.0		14.0		16.5		16.5		24.5		
差し 鴨居	北	17.0		11.0		38.5		11.0		17.0		10.0		
	北中	16.5	16.8	11.5	11.3	19.0	28.8	13.5	12.3	13.0	15.0	10.0	10.0	
	南中	18.5		8.0		26.5		24.5		7.5		11.0		
足固め	南	14.0	16.3	15.0	11.5	18.5	22.5	14.5	19.5	12.5	10.0	23.5	17.3	
	北	46.5		15.0		25.5		15.5		23.0		15.0		
	北中	21.5	34.0	10.5	12.8	22.0	23.8	14.0	14.8	18.5	20.8	16.0	15.5	
	南	南中	16.5		20.0		17.5		13.5		17.5		12.5	
		南	14.5	15.5	20.0	20.0	15.5	16.5	13.0	13.3	13.5	15.5	23.5	18.0

備考 表中左の数値は含水率の平均値を表す。

土壁の含水率は、加力試験終了後、試験体に付着している土壁の一部を採取し、ビニル袋で密閉し保管したものを測定対象とした。測定は、保管した土壁をガラス容器にうつし、105℃で24時間及び48時間後に質量測定し、その質量を絶乾質量 W_{24} , W_{48} とした。(ガラス容器との差分)そして乾燥前の質量 W_0 との差分を絶乾質量で除して、含水率 MC_{24} 及び MC_{48} を算出した。(式2、式3参照) 土採取状況を写真19に、乾燥状況を式3に示す。測定結果を表11に示す。

$$MC_{24} = \frac{W_0 - W_{24}}{W_{24}} \times 100 \quad \text{式 2}$$

$$MC_{48} = \frac{W_0 - W_{48}}{W_{48}} \times 100 \quad \text{式 3}$$



写真 19 土採取状況



写真 20 乾燥状況

表 11 土含水率測定結果

	質量測定結果(g)			含水率(%)	
	W0	W24	W48	MC24	MC48
B-1	165.83	160.51	160.45	3.31	3.35
A-1	265.19	255.93	255.87	3.62	3.64
A-2	238.91	232.81	232.76	2.62	2.64
平均				3.18	3.21

備考 試験体は同一時期に製作しているため、土の含水率測定は n=3 とした。

3. 仕口接合部要素試験

3. 1 試験体

試験体は、柱－差し鴨居接合部と柱－足固め接合部の2種類とし、T型接合（両端部）と十字接合（中央部）の2形状の合計4種類とした。試験体数は、1条件6体とした。試験体仕様を表12に、試験体形状を図17～図20に示す。なお試験体記号は表13に示す通りとした。

表 12 試験体仕様

部位	寸法 h×b(mm)	樹種	備考
柱	150×150	すぎ	
差し鴨居	240×120	すぎ	
足固め	180×120	すぎ	
込み栓	18×18	かし	足固め（中央）は やとい板を介して込み栓固定 足固め（端部）は 柱から込み栓固定
鼻栓	15×30	かし	差し鴨居（端部） 鼻栓2化呂固定
車知栓	30×7.5	かし	差し鴨居（中央） 車知栓2カ所固定
やとい板	30×90	ひのき	足固め（中央）に使用

表 13 試験体記号

試験体	形状	記号（○は試験体番号）
差し鴨居	端部（T型）	SK-E-○
差し鴨居	中央（十字）	SK-C-○
足固め	端部（T型）	AK-E-○
足固め	中央（十字）	AK-C-○

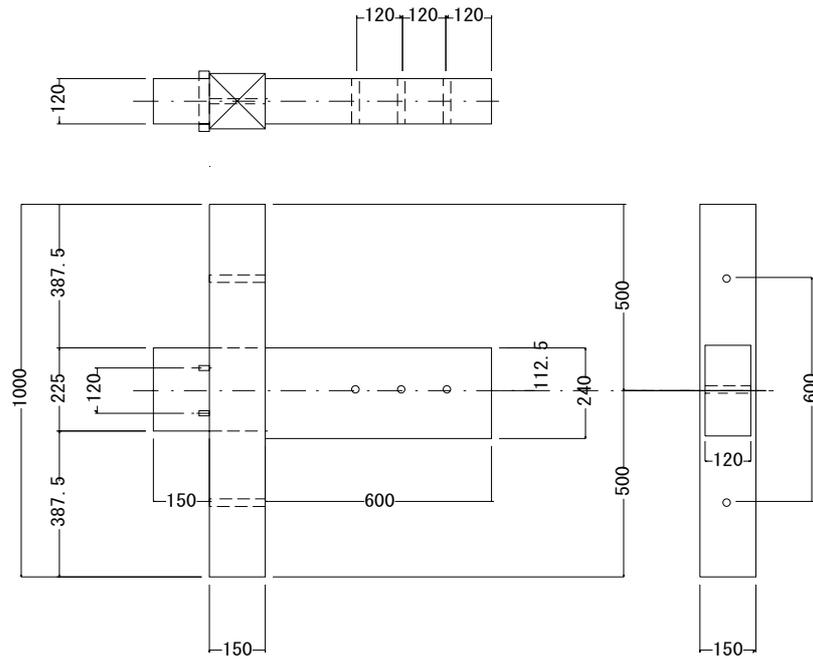


図 17 差し鴨居（端部）試験体（鼻栓 2 力所固定）

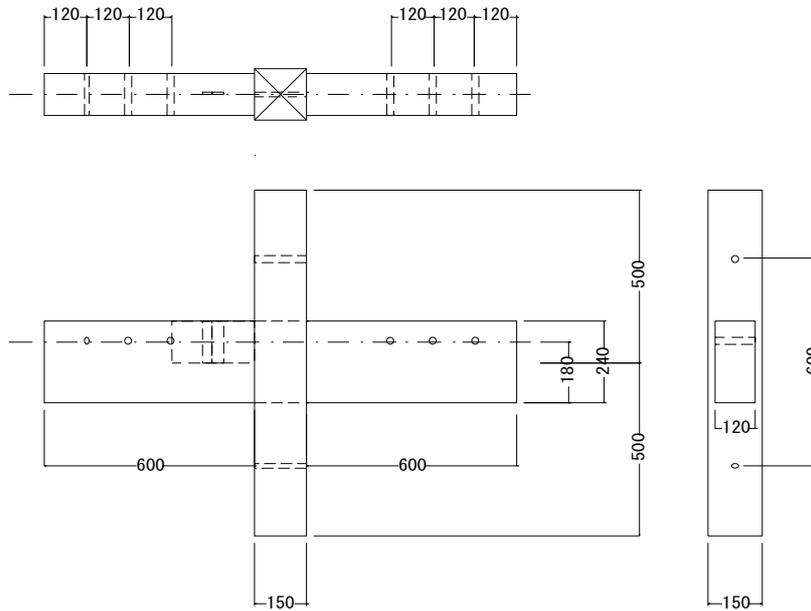


図 18 差し鴨居（中央）試験体（車知栓 2 力所固定）

3. 2 加力方法及び測定方法

試験は、木造軸組工法住宅の許容応力度設計（企画編集 財団法人日本住宅・木材技術センター） 2章 木造軸組工法住宅の各部要素の試験方法及び評価方法 2. 平成12年告示第1460号に基づく仕口及び継手の試験法、評価法に準拠した。ただし単調加力による予備試験は行わず、降伏変位 D_y を 1.0mm とし、降伏変位 D_y の 0.5、1.0、2.0、4.0、6.0、8.0、12.0、16.0、（以下4倍ずつ増加）とし、48倍まで一方向1回繰り返しを行い、その後接合部が破壊に至るまで加力を行った。なお最大荷重の50%以下に耐力が低下した場合は、繰り返しを行わず、単調加力により接合部が破壊に至るまで加力した。接合部引張試験装置概要を **図 21** に、試験実施状況を **写真 21** に示す。

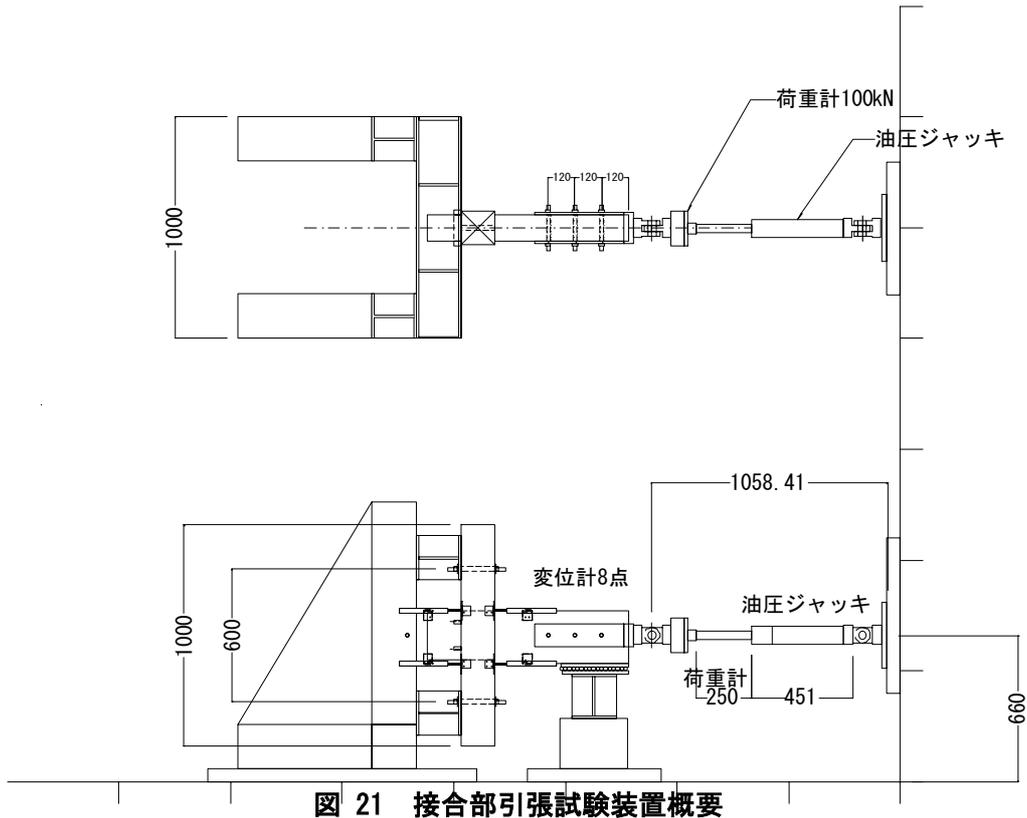


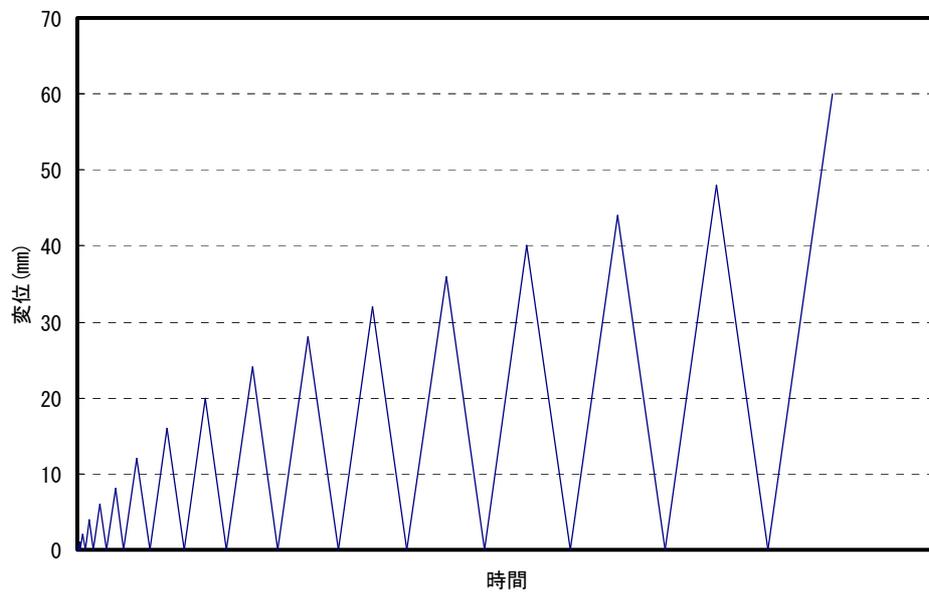
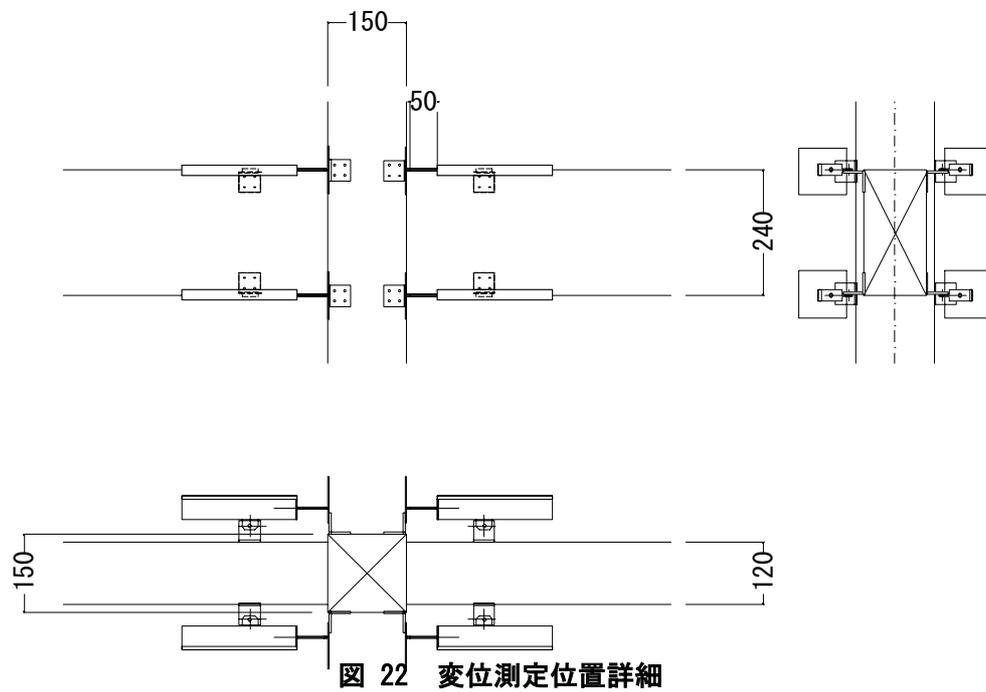
図 21 接合部引張試験装置概要



写真 21 試験実施状況

荷重の測定は、油圧ジャッキ先端に取り付けた荷重計(100kN 2.5mV/V)を用いた。変位の測定は、横架材（差し鴨居、足固め）と柱の相対変位を電気式変位計(100mm 2.5mV/V 一部 50mm

5.0mV/V の変位計を使用)を測定した。なお変位は横架材上下両面 4 カ所に取り付け、平均変位を繰り返しの制御変位とした。変位測定位置詳細を **図 22** に、繰り返しスケジュールを **図 23** に示す。



3. 3 試験結果

3. 3. 1 差し鴨居(端部)接合部

差し鴨居(端部)接合部の引張試験結果を表 14 に、差し鴨居(端部)接合部の荷重-変位曲線を図 24 に示す。

表 14 差し鴨居(端部)接合部の引張試験結果

	SK-E-1	SK-E-2	SK-E-3	SK-E-4	SK-E-5	SK-E-6	平均	標準偏差	5%下限値	50%下限値
柱記号	H3-1	H1	H2	H1-2	H6	H3-2				
差し鴨居記号	S1	S2	S4	S4	記載無	S2				
Py(kN)	17.8	19.1	19.7	17.5	18.6	21.0	18.9	1.3	15.9	18.6
Dy(mm)	1.12	0.32	0.52	0.57	0.82	1.24	0.77	0.36	-0.08	0.66
K(kN/cm)	159.2	598.8	376.0	306.4	226.5	169.1	306.0	165.7	-81.0	256.8
Pu(kN)	28.2	25.2	33.0	26.9	31.4	32.9	29.6	3.3	21.9	28.6
Du(mm)	8.23	16.58	10.44	9.72	8.37	11.06	10.73	3.07	3.55	9.82
μ	4.64	39.39	11.91	11.09	6.03	5.69	13.13	13.21	-17.74	9.20
Ds	0.348	0.113	0.209	0.217	0.301	0.310	0.250	0.086	0.048	0.224
0.2Pu/Ds	16.2	44.6	31.5	24.8	20.9	21.2	26.5	10.2	2.7	23.5
2/3Pmax(kN)	20.5	19.3	23.9	19.4	22.8	23.6	21.6	2.1	16.7	21.0
Pmax(kN)	30.8	28.9	35.8	29.2	34.2	35.4	32.4	3.1	25.1	31.4
P _{1mm} (kN)	16.8	25.2	23.6	21.0	20.7	19.0	21.0	3.0	13.9	20.1
P _{2mm} (kN)	23.4	28.5	30.3	24.5	27.7	25.8	26.7	2.6	20.6	25.9
P _{3mm} (kN)	26.8	25.7	32.6	26.9	30.7	29.3	28.7	2.7	22.4	27.9
P _{4mm} (kN)	28.2	26.1	34.1	27.8	32.5	31.5	30.0	3.1	22.8	29.1
P _{5mm} (kN)	29.3	25.9	35.3	28.8	34.0	33.4	31.1	3.7	22.5	30.0
P _{7mm} (kN)	27.7	25.8	33.7	28.1	31.4	35.0	30.3	3.7	21.7	29.2
P _{10mm} (kN)	20.0	24.6	30.1	22.7	25.0	32.3	25.8	4.6	15.1	24.4
破壊モード	A	B	A	A	A	A				
A: 鼻栓曲げ破壊 B: 差し鴨居せん断破壊										

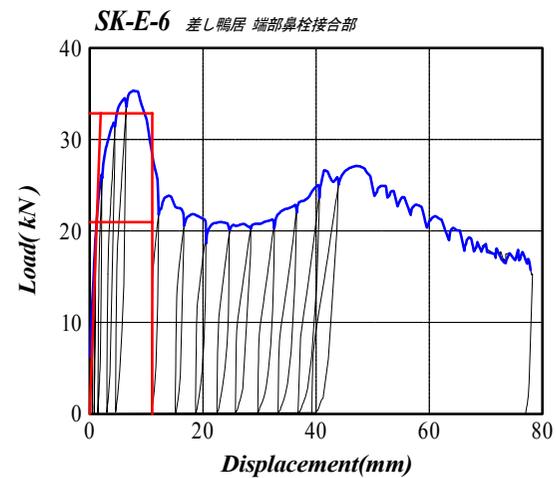
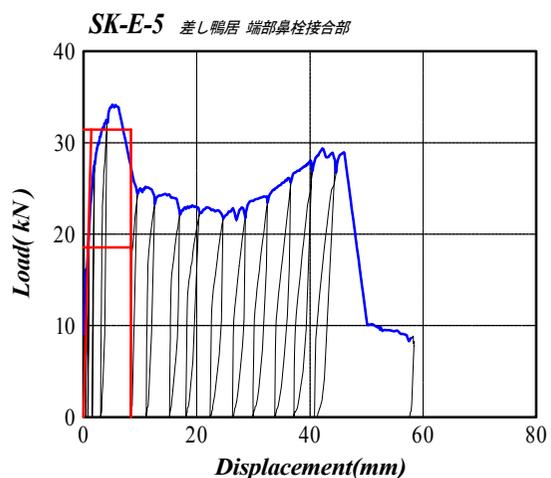
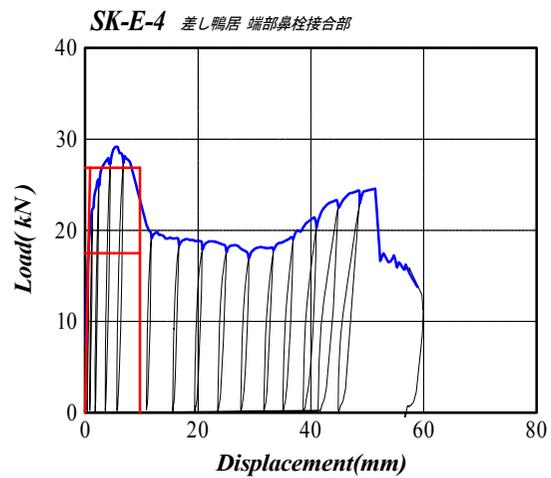
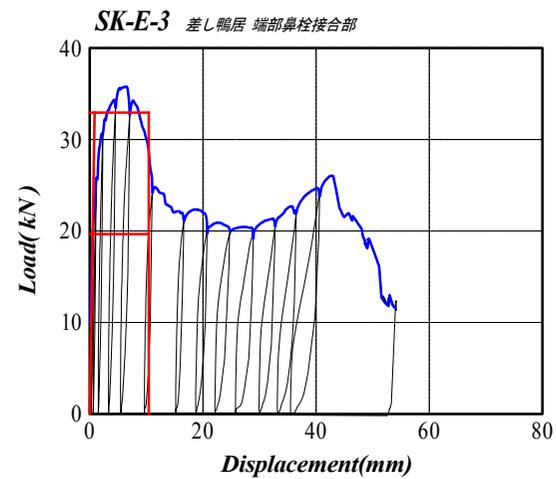
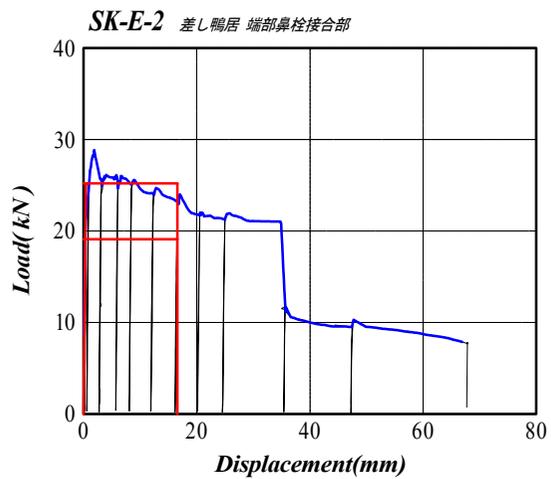
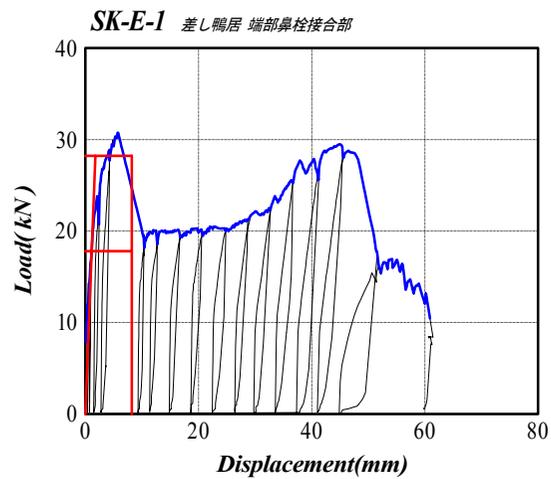


图 24 差し鴨居（端部）接合部 荷重—変位曲線

3. 3. 2 差し鴨居(中央)接合部

差し鴨居（中央）接合部の引張試験結果を表 15 に、差し鴨居（中央）接合部の荷重－変位曲線を図 25 に示す。

表 15 差し鴨居（中央）接合部の引張試験結果

	SK-C-1	SK-C-2	SK-C-3	SK-C-4	SK-C-5	SK-C-6	平均	標準偏差	5%下限値	50%下限値
柱記号	H4	H4	H2	H2	H6	H1				
差し鴨居記号	S1	S3	S3	S3	S1	はき				
	S2	S2	S4	S1	S4	イー				
Py(kN)	15.3	16.9	25.7	22.2	16.6	15.9	18.8	4.2	9.0	17.5
Dy(mm)	0.40	0.85	0.59	0.41	0.18	0.45	0.48	0.22	-0.04	0.41
K(kN/cm)	382.1	199.0	434.9	538.3	906.0	355.2	469.2	241.0	-93.7	397.7
Pu(kN)	24.8	26.4	34.0	32.4	24.0	25.2	27.8	4.3	17.8	26.5
Du(mm)	6.12	12.15	9.81	9.14	16.84	19.93	12.33	5.16	0.27	10.80
μ	9.41	9.17	12.55	15.17	63.64	28.11	23.01	21.09	-26.26	16.74
Ds	0.237	0.240	0.204	0.185	0.089	0.135	0.182	0.060	0.043	0.164
0.2Pu/Ds	20.9	22.0	33.3	35.1	53.9	37.3	33.8	12.0	5.7	30.2
2/3Pmax(kN)	18.1	19.0	24.3	24.1	17.1	18.0	20.1	3.2	12.6	19.1
Pmax(kN)	27.2	28.5	36.4	36.1	25.7	27.0	30.1	4.8	18.9	28.7
P _{1mm} (kN)	18.9	18.1	29.7	25.0	21.9	21.8	22.6	4.3	12.6	21.3
P _{2mm} (kN)	23.8	23.1	30.0	31.8	23.2	26.5	26.4	3.7	17.7	25.3
P _{3mm} (kN)	26.7	24.8	32.3	33.8	24.3	26.2	28.0	4.0	18.6	26.8
P _{4mm} (kN)	26.7	26.7	34.6	34.2	24.5	26.9	28.9	4.3	18.8	27.6
P _{5mm} (kN)	24.4	28.1	31.8	35.9	24.4	24.9	28.2	4.7	17.2	26.8
P _{7mm} (kN)	19.7	26.8	36.0	32.8	24.3	26.1	27.6	5.9	13.8	25.8
P _{10mm} (kN)	20.6	26.1	28.8	30.7	25.2	26.1	26.2	3.5	18.2	25.2
破壊モード	A,B	A,A	A,A	A,A	A,B	A,B				
	A：車知栓 横圧縮破壊 B：車知栓 せん断破断									

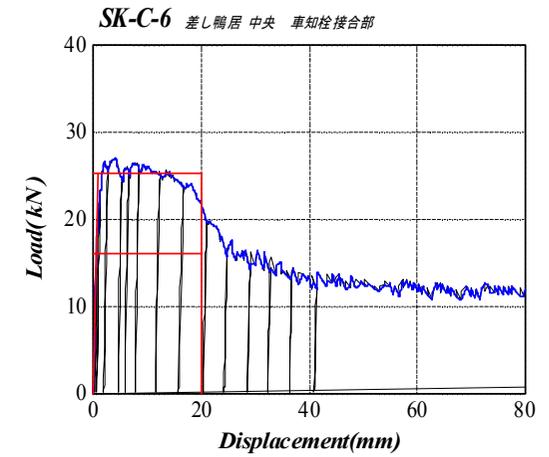
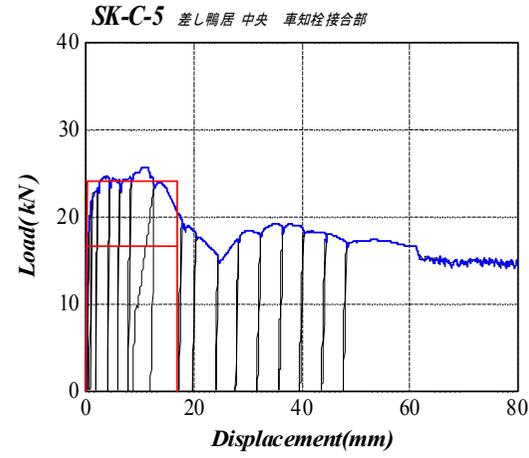
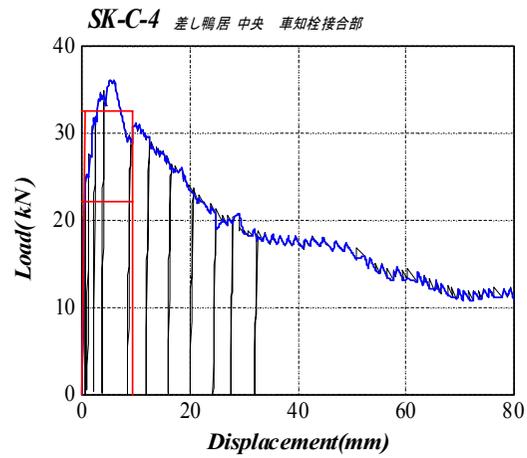
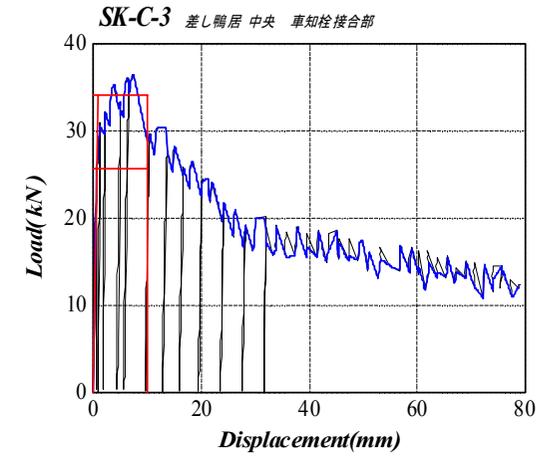
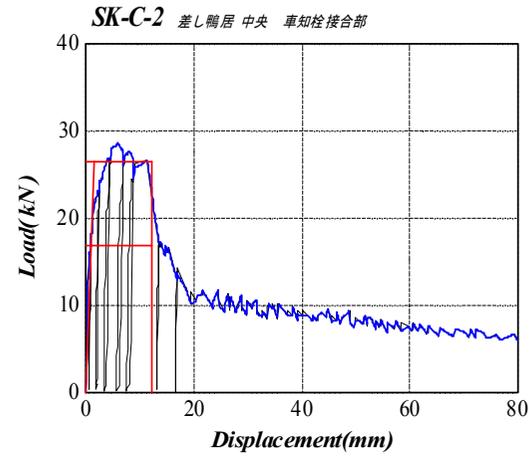
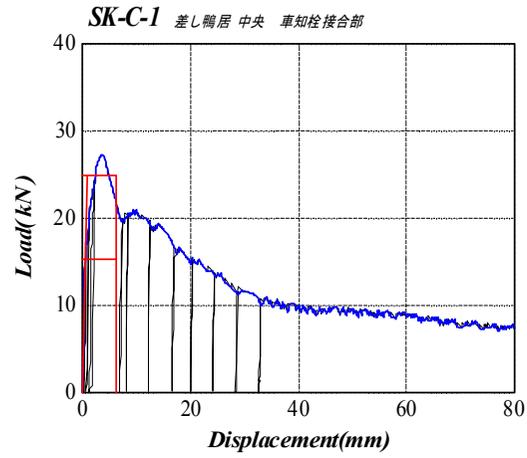


図 25 差し鴨居（中央）接合部 荷重－変位曲線

3. 3. 3 足固め(端部)接合部

足固め(端部)接合部の引張試験結果を表 16 に、足固め(端部)接合部の荷重-変位曲線を図 26 に示す。

表 16 足固め(端部)接合部の引張試験結果

	AK-E-1	AK-E-2	AK-E-3	AK-E-4	AK-E-5	AK-E-6	平均	標準偏差	5%下限値	50%下限値
柱記号	H5	H4	H4	H1	H6	H5				
足固め記号	A3	A2	A1	A2	A3	A1				
Py(kN)	14.4	10.4	11.1	12.2	12.4	15.3	12.6	1.9	8.2	12.1
Dy(mm)	1.66	0.29	0.37	1.45	0.54	0.31	0.77	0.62	-0.67	0.59
K(kN/cm)	86.6	363.6	297.7	84.1	229.6	502.1	260.6	162.9	-119.9	212.2
Pu(kN)	16.2	16.0	16.8	15.1	19.1	21.3	17.4	2.3	12.0	16.7
Du(mm)	28.79	18.89	19.34	44.60	28.53	16.78	26.16	10.39	1.88	23.07
μ	15.41	42.92	34.39	24.89	34.25	39.63	31.92	10.14	8.23	28.90
Ds	0.183	0.109	0.121	0.143	0.122	0.113	0.132	0.028	0.067	0.124
0.2Pu/Ds	17.7	29.4	27.7	21.1	31.4	37.6	27.5	7.2	10.7	25.3
2/3Pmax(kN)	12.1	11.4	12.5	11.5	13.4	15.2	12.7	1.4	9.3	12.3
Pmax(kN)	18.1	17.2	18.8	17.2	20.1	22.7	19.0	2.1	14.0	18.4
P _{1mm} (kN)	13.1	14.0	14.8	11.7	13.9	20.5	14.7	3.1	7.5	13.7
P _{2mm} (kN)	14.9	15.7	17.1	12.8	15.4	21.5	16.2	2.9	9.4	15.3
P _{3mm} (kN)	15.7	16.3	18.3	13.0	16.4	21.9	16.9	3.0	10.0	16.1
P _{4mm} (kN)	16.1	17.0	18.0	13.5	17.2	22.1	17.3	2.8	10.7	16.5
P _{5mm} (kN)	14.4	17.0	17.0	13.6	18.1	21.2	16.9	2.7	10.5	16.1
P _{7mm} (kN)	14.1	15.5	16.7	14.1	18.2	20.7	16.5	2.6	10.5	15.8
P _{10mm} (kN)	14.9	16.4	17.2	13.9	19.8	20.9	17.2	2.7	10.8	16.4
破壊モード	B	A B	A	A	A B	A				
A: 込み栓曲げ										
B: ほぞせん断破壊										

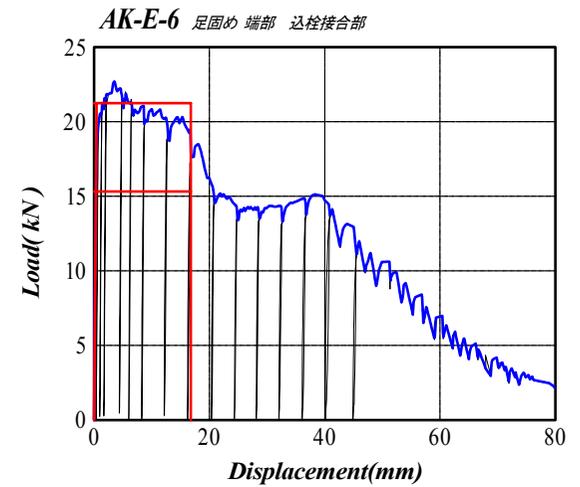
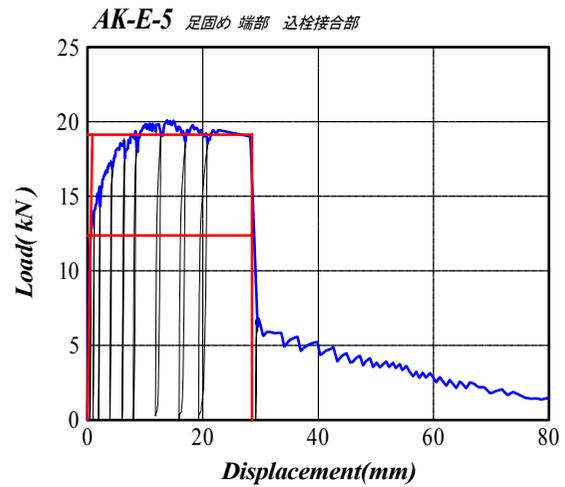
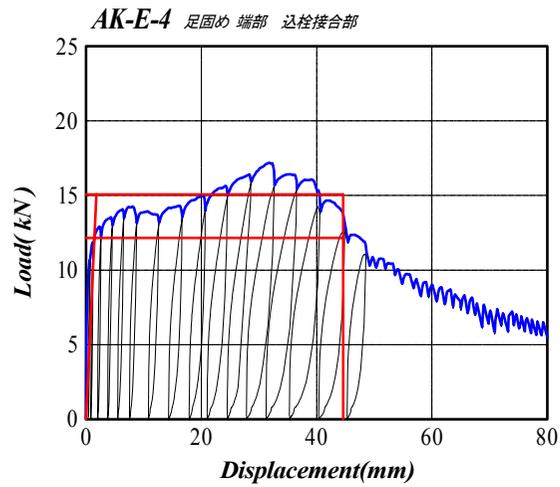
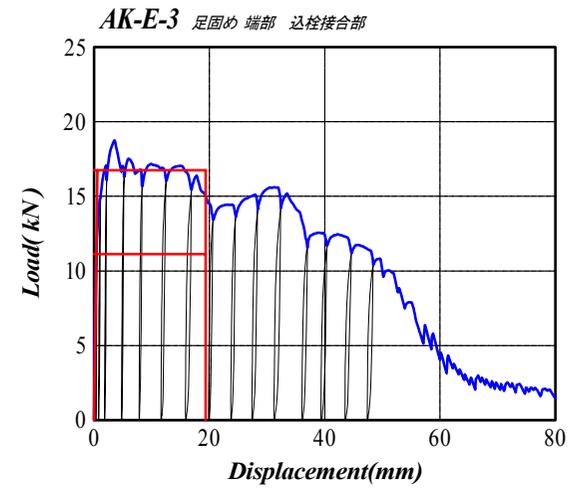
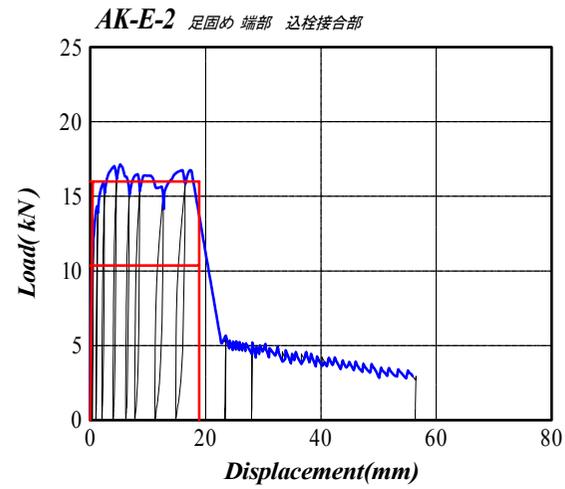
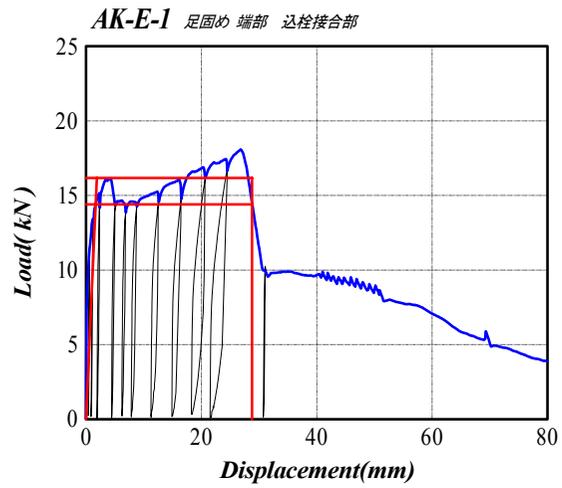


図 26 足固め（端部）接合部 荷重—変位曲線

3. 3. 4 足固め(中央)接合部

足固め(中央)接合部の引張試験結果を表 17 に、足固め(中央)接合部の荷重-変位曲線を図 27 に示す。

表 17 足固め(中央)接合部の引張試験結果

	AK-C-1	AK-C-2	AK-C-3	AK-C-4	AK-C-5	AK-C-6	平均	標準偏差	5%下限値	50%下限値
柱記号	H6	H3	H5	H2	H3	H5				
足固め記号	は二 A2	A4-1 A4-2	A3 A1	A4-2 A4-1	A1 A2	A2 ハ一				
Py(kN)	9.1	7.8	9.1	10.9	7.1	11.2	9.2	1.6	5.4	8.7
Dy(mm)	0.67	0.21	1.24	0.20	0.67	0.85	0.64	0.40	-0.29	0.52
K(kN/cm)	134.9	369.3	73.9	538.0	105.5	131.7	225.5	185.9	-208.6	170.3
Pu(kN)	13.9	10.6	14.8	15.0	11.0	17.8	13.9	2.7	7.6	13.1
Du(mm)	20.37	12.80	44.56	24.33	6.94	17.98	21.16	12.96	-9.12	17.31
μ	19.74	44.41	22.33	87.03	6.64	13.34	32.25	29.72	-37.18	23.42
Ds	0.161	0.107	0.151	0.076	0.285	0.197	0.163	0.073	-0.008	0.141
0.2Pu/Ds	17.3	19.9	19.5	39.6	7.7	18.0	20.3	10.4	-4.0	17.2
2/3Pmax(kN)	10.1	7.6	10.7	11.0	8.2	13.1	10.1	2.0	5.5	9.5
Pmax(kN)	15.1	11.4	16.0	16.5	12.4	19.6	15.2	3.0	8.2	14.3
P _{1mm} (kN)	10.6	10.1	8.8	14.2	8.0	11.8	10.6	2.2	5.4	9.9
P _{2mm} (kN)	12.5	10.6	10.5	14.9	9.8	14.4	12.1	2.2	7.0	11.5
P _{3mm} (kN)	13.2	10.7	11.5	15.9	10.9	15.9	13.0	2.4	7.4	12.3
P _{4mm} (kN)	13.6	9.9	12.1	15.4	11.6	16.9	13.3	2.6	7.2	12.5
P _{5mm} (kN)	14.4	10.3	12.6	14.5	12.0	17.8	13.6	2.6	7.6	12.8
P _{7mm} (kN)	14.8	11.0	13.6	15.0	9.8	18.5	13.8	3.1	6.4	12.8
P _{10mm} (kN)	13.6	11.3	15.0	15.3	4.3	19.6	13.2	5.1	1.2	11.7
破壊モード	A	A	A	A	B	A				
A: 込み栓せん断破壊 B: やとい板せん断破壊										

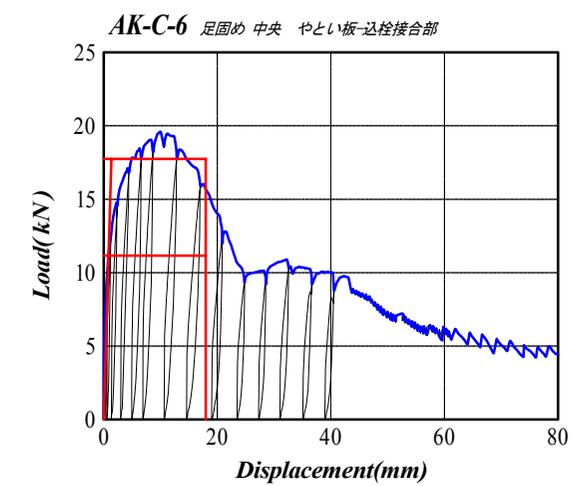
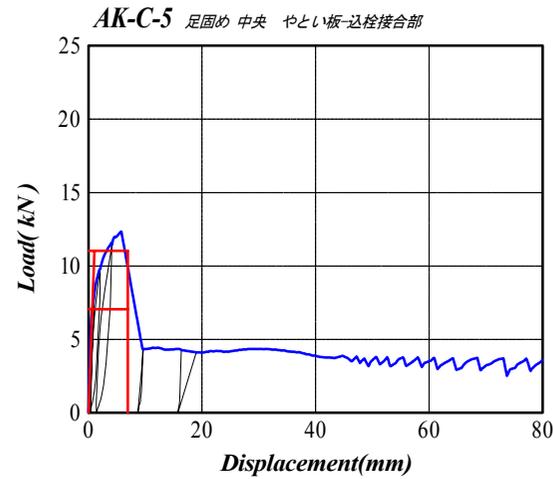
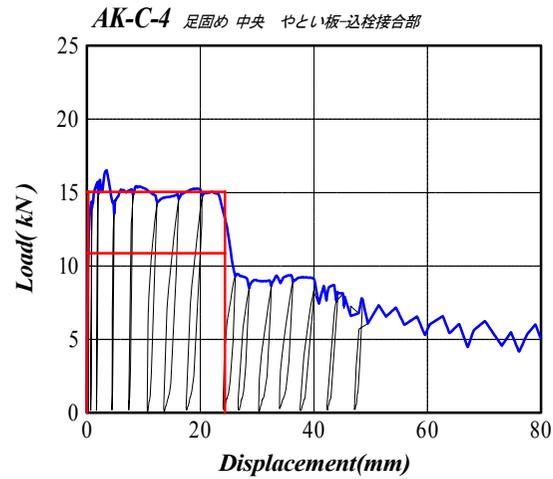
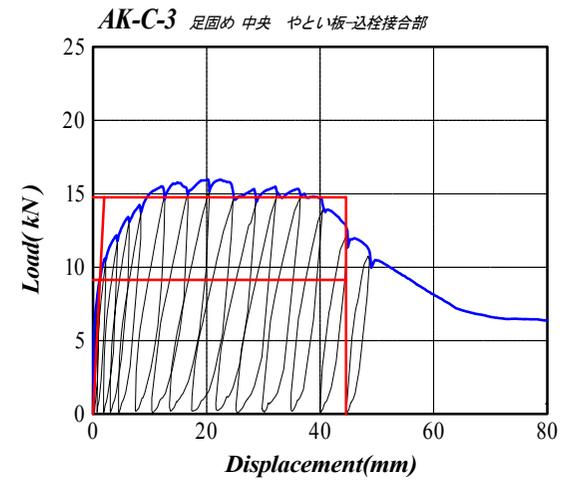
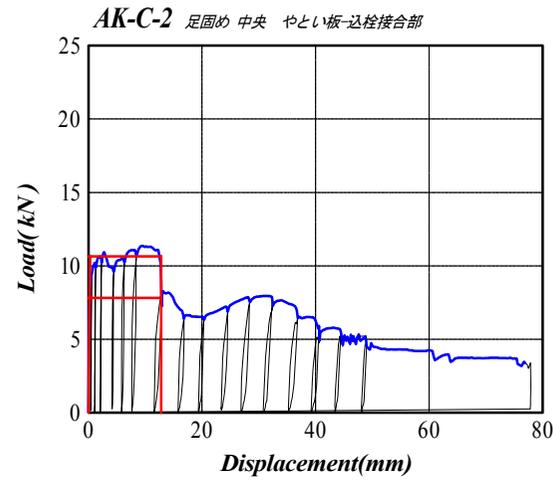
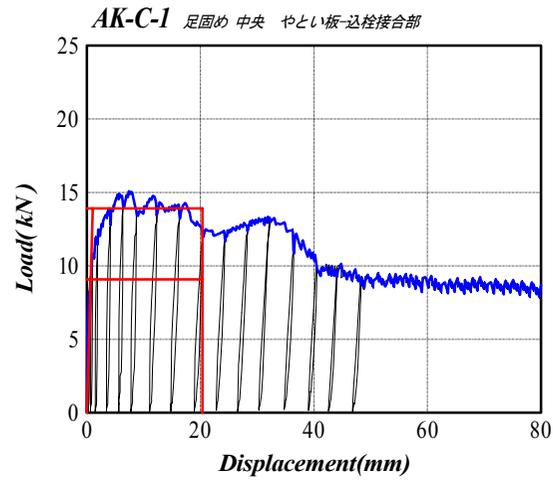


図 27 足固め（中央）接合部 荷重-変位曲線



差し鴨居（端部）加力状況



差し鴨居（中央）加力状況



足固め（端部）加力状況



足固め（中央）加力状況

写真 22 加力状況



差し鴨居（端部）1体目



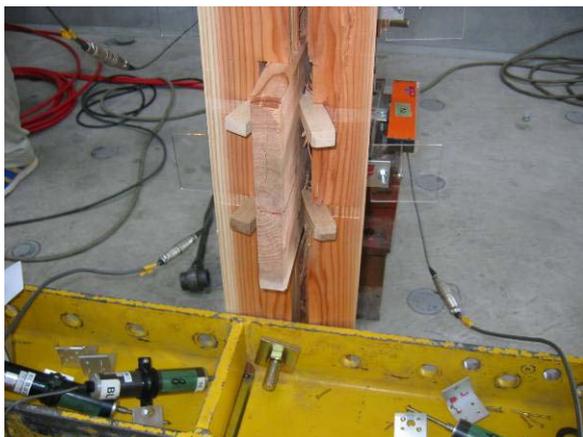
差し鴨居（端部）2体目



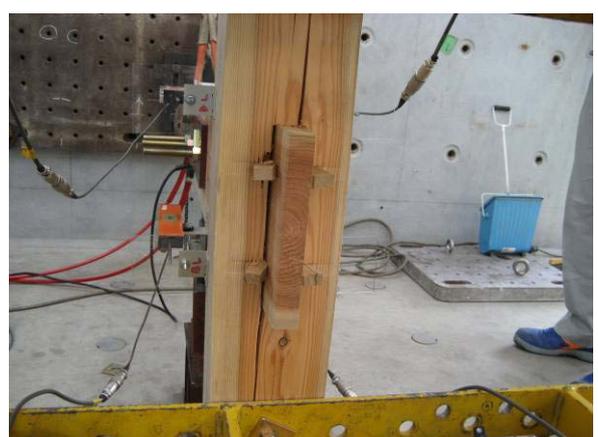
差し鴨居（端部）3体目



差し鴨居（端部）4体目



差し鴨居（端部）5体目

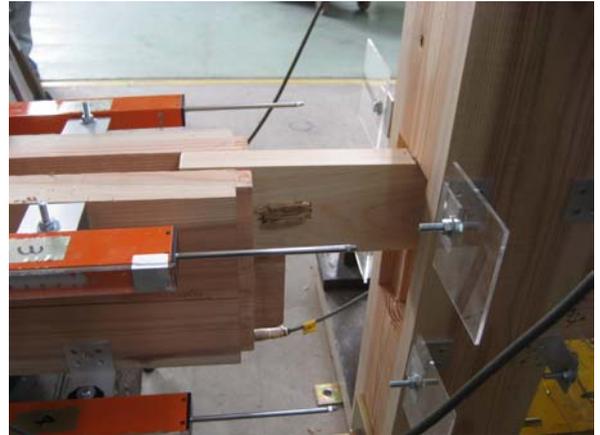


差し鴨居（端部）6体目

写真 23 差し鴨居（端部）破壊状況



差し鴨居（中央）1体目



差し鴨居（中央）2体目



差し鴨居（中央）3体目



差し鴨居（中央）4体目



差し鴨居（中央）5体目



差し鴨居（中央）6体目

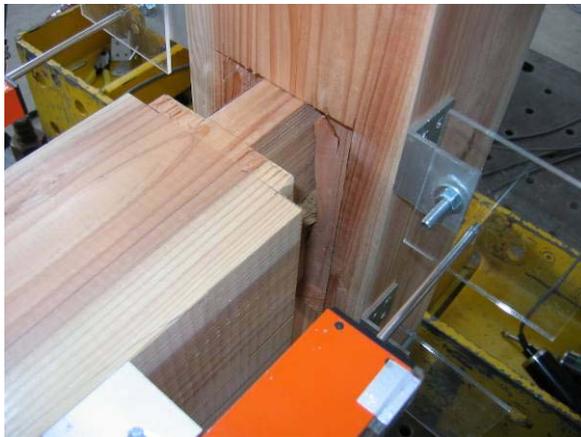
写真 24 差し鴨居（中央）破壊状況



足固め (端部) 1体目



足固め (端部) 2体目



足固め (端部) 3体目



足固め (端部) 4体目



足固め (端部) 5体目

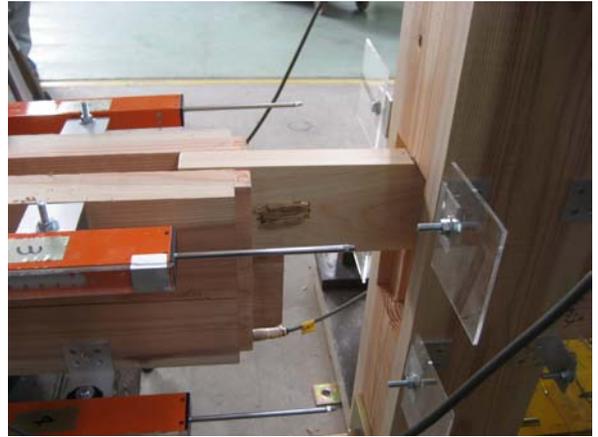


足固め (端部) 6体目

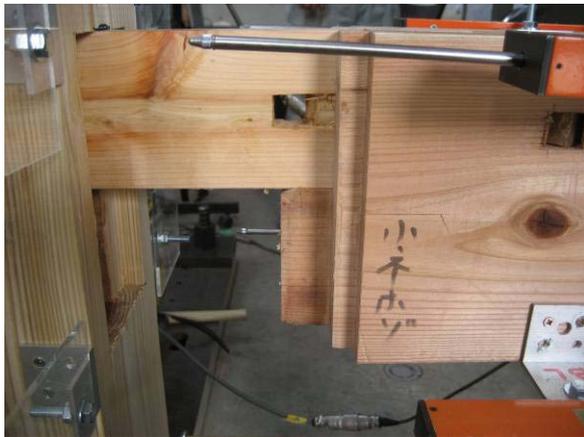
写真 25 足固め (端部) 破壊状況



足固め（中央）1体目



足固め（中央）2体目



足固め（中央）3体目



足固め（中央）4体目



足固め（中央）5体目



足固め（中央）6体目

写真 26 足固め（中央）破壊状況

2.3.2. 土塗り壁等の防耐火性能の検証

1. はじめに

研究背景

本研究は、「限界耐力設計が必要な木造軸組建築物の耐震性や防火性を考慮した設計法等の調査検討業務」の一環として、木造土塗真壁の防耐火性能の把握を試みたものである。

木造土塗真壁の防耐火性能に関する既往の研究では、2004年7月の国土交通省による「伝統的構法による外壁や軒裏の構造方法の告示への追加（第788～791号）」により、現在までに防火構造の実現に至っている。しかし、住宅等比較的小規模の建築に用いることを想定した防火構造のみでは、建築可能な規模、用途が大きく限定されるため、伝統的建築物の保存、伝統的町並みの再生を考える上で十分であるとは言い難い。そのため本研究では、防火構造に比べより高位な防耐火性能を持ち、木造軸組建築物の活用可能性を広げ得る準耐火構造の開発を目指した研究を行った。

研究目的・研究の流れ

一般的な準耐火構造の外壁に対しては、遮炎性、遮熱性、非損傷性各45分の性能が要求される。このうち木造土塗真壁については、加熱を受ける木柱の炭化による断面減少、通し貫による柱断面の欠損等の影響により、多くは非損傷性により防耐火性能が決定されると考えられる。また、長谷見らが過去に行った^{1)~3)}、木造土塗真壁の実大載荷実験結果においては、通し貫の断面欠損の位置や大きさが非損傷性に大きく寄与するのではないかとこの考察が得られている。これらのことをふまえ、本研究では通し貫が柱の炭化性状、温度性状に与える影響、及び通し貫の断面欠損が柱の非損傷性に与える影響を系統的に把握することを目的とした。

載荷加熱を受ける柱の非損傷性は、柱の座屈長さが大きく影響するため、実大規模の試験体を用いて実験を行うことが望まれる。しかし、実大載荷加熱実験は試験体の作成、準備に要する予算、時間が多大なものとなり負担が大きい。よって本研究ではまず、小型加熱実験や常温における柱圧縮実験により、貫が非損傷性に与える影響を要素ごとに把握し、その後実大載荷実験を行うこととした。本研究では以下3通りの実験を行った。

- ① 貫位置、貫寸法をパラメータとして変化させた小型加熱実験
- ② 貫位置、貫寸法をパラメータとして変化させた柱圧縮実験
- ③ ①、②の実験結果をふまえた、実大規模の試験体による載荷加熱実験

①貫位置、貫寸法をパラメータとして変化させた小型加熱実験により、通し貫が柱の温度性状、炭化性状に与える影響を把握し、②貫位置、貫寸法をパラメータとして変化させた柱圧縮実験により、貫による柱の断面欠損が、柱の圧縮耐力に与える影響を把握すること

を試みた。また、①、②の実験結果より、貫45分加熱後の木柱断面性能を予測し、実大載荷加熱実験を行った。

木造土塗真壁の非損傷性に関する既往研究と現時点における課題点

既往の研究^{1)~3)}では、加熱後の柱の断面性能を予測することにより、柱の非損傷性を比較的高い精度で予測し得る予測式の開発を行っている。

しかし、この予測式は貫厚さ15mm、貫せい105mm、貫位置が柱中心から非加熱面側に寄った仕様についてのみ行った柱圧縮実験の結果を基に算出しており、貫位置、貫寸法が変化した柱仕様について用いることの妥当性については確認していない。これに対し、図1.1に示す通り、一般に通し貫は柱中心に配置されないため、加熱面が変わると加熱を受ける面と貫位置の関係が変化することとなる。準耐火構造の外壁については屋内側・屋外側それぞれについての防耐火性能が要求されるため、加熱を受ける方向が変化した際の、断面欠損の相対的位置の変化による影響について検証を加える必要があると考えられる。また、木造土塗真壁の耐震性能の向上を視野に入れた際には、通し貫寸法をより大きなものとする必要があると考えられ、その場合、貫による断面欠損はより大きなものとなると考えられる。このことより、加熱面に対する貫の断面欠損の相対的位置の変化、貫の断面欠損の量の変化を考慮した際にも、既往研究で予測式を用いることが妥当であるかを確認する必要があると考えられる。

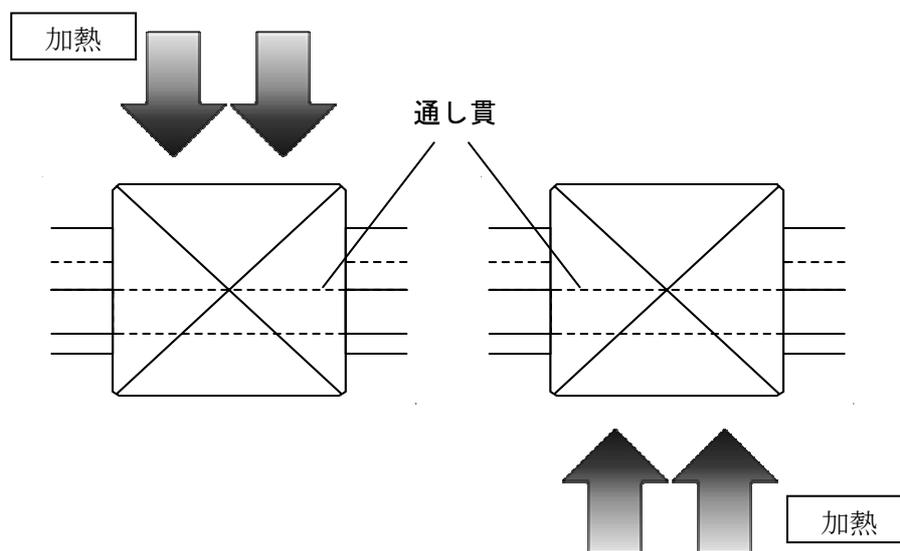


図 1.1 加熱面に対する貫位置の変化

以下に既往の研究で開発した非損傷性予測手法の概要を示す。

加熱後の断面性能の予測

初めに図1.2に示すフローに従い、炭化による断面の減少、温度上昇によるヤング係数の低下を考慮し加熱後の断面性能の予測を行う。フロー中④の操作では、ヤング係数の低下を断面積の減少で置き換え、ヤング係数一定の断面性能上、等価な断面に置き換えている。

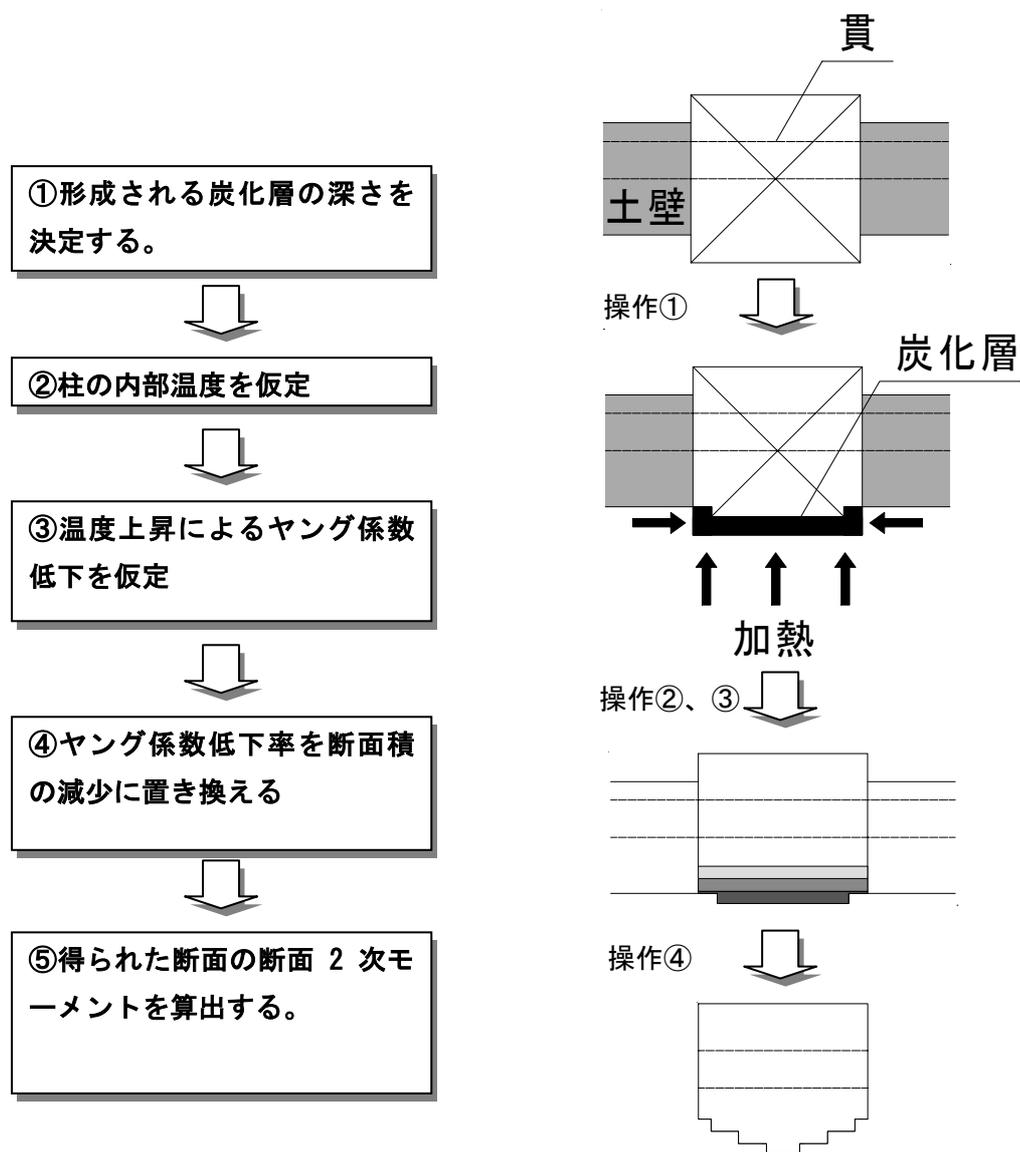


図 1.2 加熱後断面性能予測フロー

予想座屈荷重の算出

過去に長谷見らが行った柱圧縮実験結果（図1.3）より、予想座屈荷重とヤング係数 E 、断面2次モーメント I 、柱長さ ℓ の間には、式[1]、[2]の関係が成り立つ。これはEulerの座屈荷重式 $P=k^2(\pi EI/\ell^2)$ に倣い、端末条件係数 k を圧縮実験により求めたものである。

50%の確率で座屈しない予想座屈荷重 ${}_{50\%}P_k$ (kN)

$${}_{50\%}P_k = (0.83)^2 \pi^2 EI / \ell^2 \dots [1]$$

90%の確率で座屈しない予想座屈荷重 ${}_{90\%}P_k$ (kN)

$${}_{90\%}P_k = (0.72)^2 \pi^2 EI / \ell^2 \dots [2]$$

(E : ヤング係数 I : 断面2次モーメント ℓ : 柱長さ)

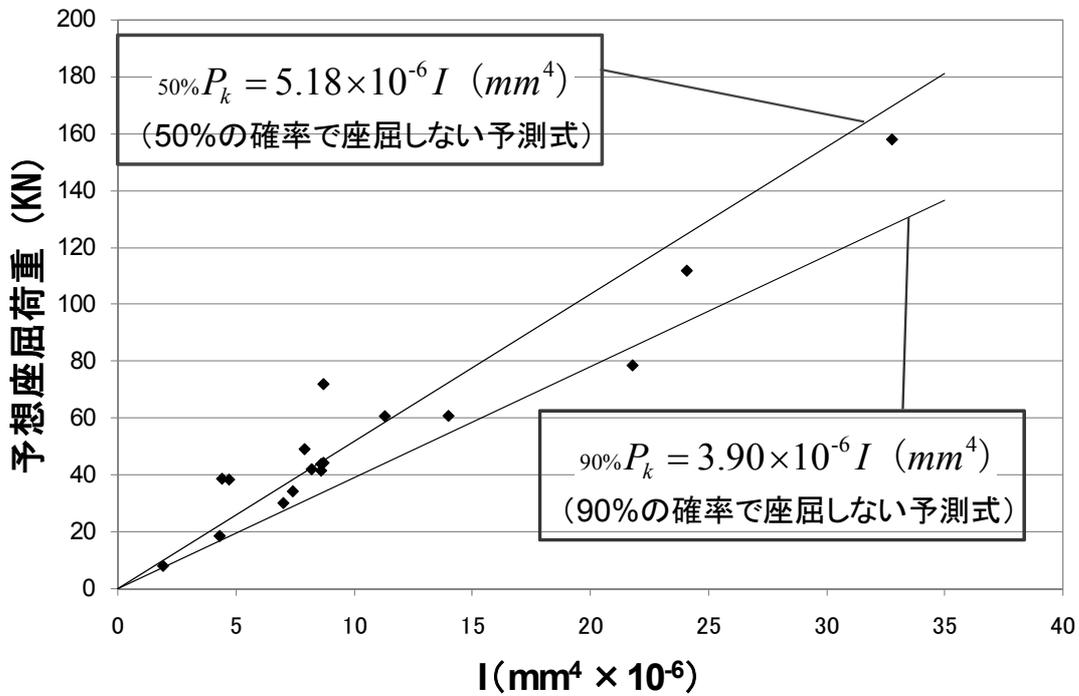


図 1.3 過去の柱圧縮実験結果

2. 小型加熱実験

2.1 目的

柱の荷重支持能力は柱の加熱後の炭化性状と貫周りの温度分布が大きく影響すると考えられる。

耐力壁の非損傷性は、実大の試験体を用いて実験しなければ一般的には確認出来ないが、木造土壁は試験体の作成・準備に多大な費用・時間が必要となる。そこでまず約1m四方の小型土壁試験体を製作し、加熱実験を行うことで貫周りの温度分布、柱の炭化性状を把握し、その結果を基に、実大実験で用いる準耐火性能及び耐震性能を有する見込みのある土塗壁の仕様について検討を行う。

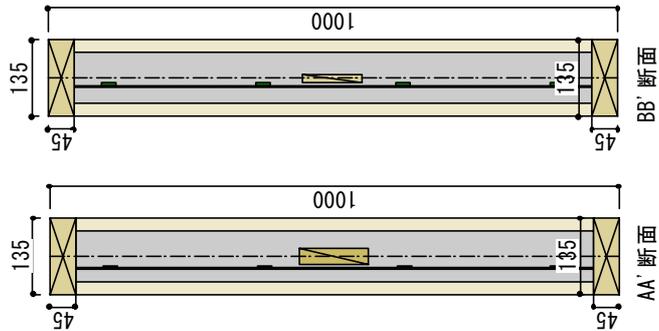
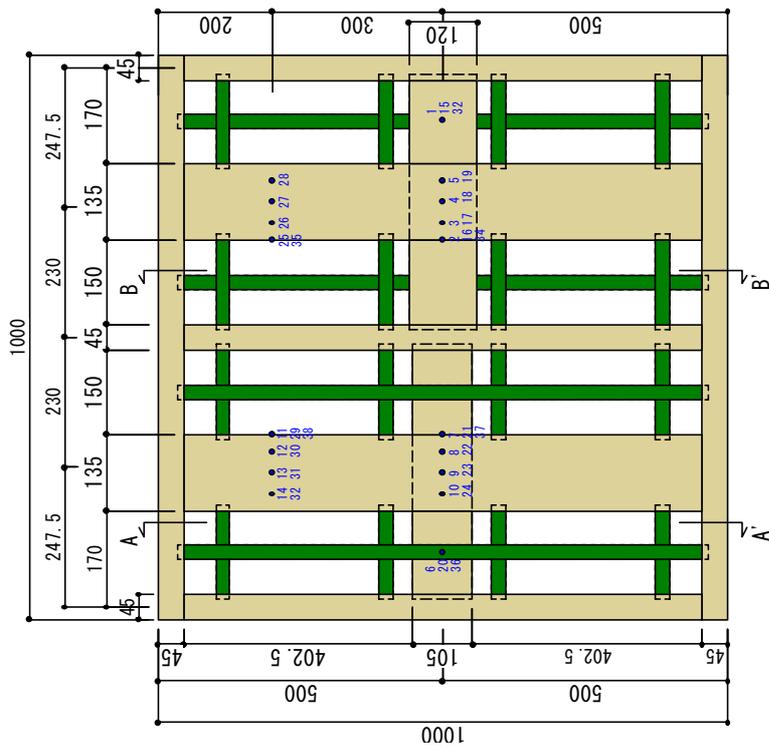
2.2 試験体概要

試験体寸法 1000mm×1000mm の試験体を中央で区切り、1体に付き2仕様を盛り込んだ計3体6仕様について実験を行った。柱寸法、土塗厚を共通で135mm角、90mm厚とし、それぞれ貫位置、貫厚をパラメーターとしている。表2.1に試験体概要一覧を、図2.1、2.2に各試験体図を示す。

表 2.1 試験体概要

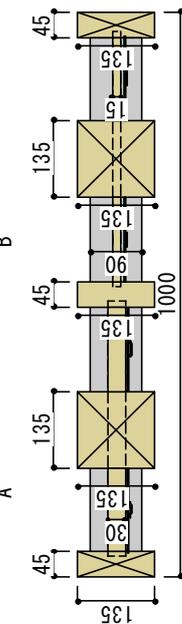
試験体名	柱寸法	土塗厚	仕様	
			貫寸法	貫位置
① UOI-135	集成材	90mm	15mm×105mm	加熱面寄り
			15mm×105mm	非加熱面寄り
② AOI-135	E65-F255		30mm×120mm	加熱面寄り
			30mm×120mm	非加熱面寄り
③ UAC-135	135mm角		15mm×105mm	柱中心
			30mm×120mm	柱中心

柱135角 貫厚15.30 柱中心

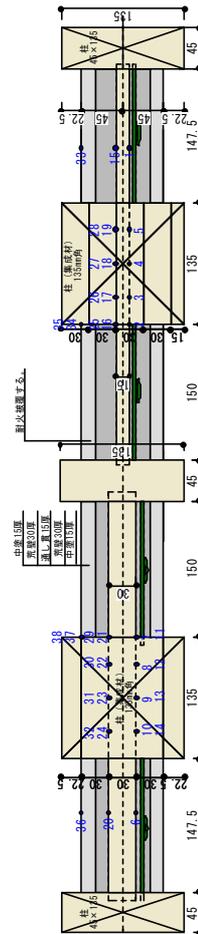


- : 熱電対位置
- 加熱側 通し貫表面 : 1~10
 - 加熱寄り 柱内部 : 11~14
 - 非加熱側 通し貫表面 : 15~24
 - 非加熱寄り 柱内部 : 25~32
 - 非加熱側 土壁表面 : 33~38

図 2.3 UAC-135試験体図



非加熱面



加熱面

- 材料
 - 柱の柱 : スギ集成材 (同一等級構成集成材、ひき板4以上、E65-F255)
 - 中実の柱 : スギ集成材 (含水率15%以下に調整する)
 - 土 : 赤土
 - 小断 : 真竹(100mm径)
 - 中実の柱 : 真竹(100mm径)
 - 加熱 : 真竹(100mm径)を45分間の時間でも記録する
 - 試験 : 真竹(100mm径)を45分間の時間でも記録する

平成20年3月17, 18日 東京理科大学 加熱時間: 60分 載荷無し	試験体図面	S-1/8, 1/5
早稲田大学理工学部建築学科 長谷草基二研究室		
試験体名 UAC-135	単位 mm	

2.3 実験方法

実験は東京理科大学野田校舎の中型複合耐火炉を用いて行った。小型試験体を小型炉に設置し、非载荷で IS0834 標準加熱曲線に準じた片面からの加熱を 60 分間行った。

2.4 測定項目

①試験体各部温度

K(CA)熱電対を試験体の各測定位置に取り付け、試験体非加熱面にディスク付き K(CA)熱電対を設置し、温度変化を 10 秒間隔で測定した。測定位置を各試験体図に示す。

②炉内温度

試験体加熱面から 100mm 離れた位置で先端が露出するステンレス製保護管に入ったシース型 K 熱電対を 6 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。

⑤その他

試験体加熱面及び非加熱面の目視観察、VTR 撮影、写真撮影、試験体非加熱面の熱映像撮影、試験終了後の炭化深さ等の測定を行った。



写真 2.1 試験体設置状況



写真 2.2 小型炉 炉内風景

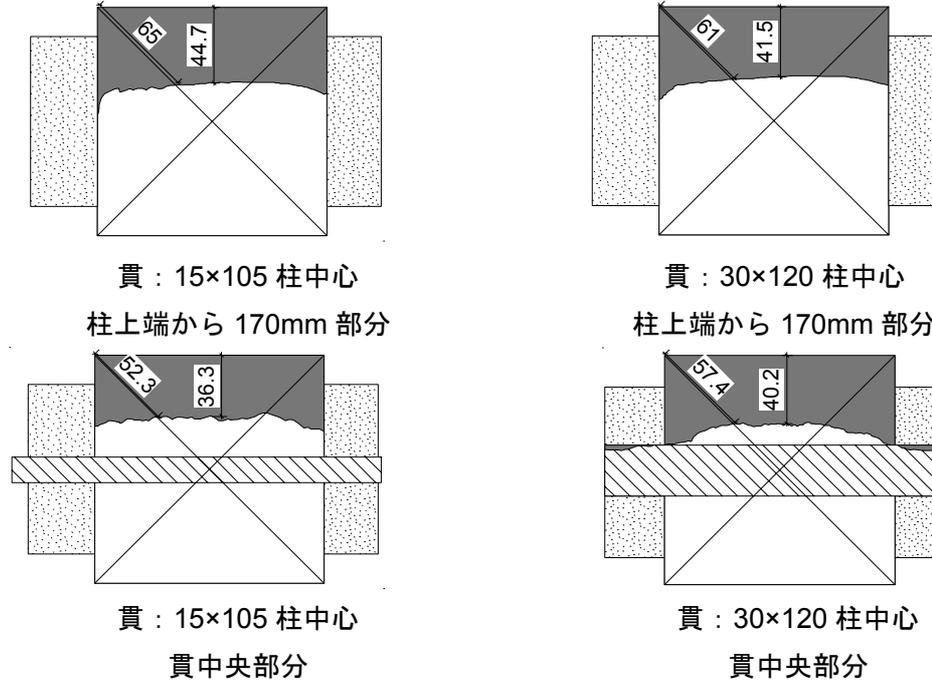
2.5 実験結果

実験結果を以下に示す。

2.5.1 UAC-135 実験結果

炭化図一覧

各柱とも、上端から 170mm の位置と貫中央部分を測定



炭化速度一覧

試験体名	加熱時間	脱炉時間	消火時間	仕様		炭化測定位置	炭化深さ(mm)		炭化速度① (mm/分) (炭化深さ/ 加熱時間)	炭化速度② (mm/分) (炭化深さ/ 脱炉時間)	炭化速度③ (mm/分) (炭化深さ/ 消火時間)
				貫厚さ	貫位置		正面	対角線			
UAC-135	60'00"	63'20"	69'20"	15mm	柱中心	柱上端から170mm	36.3	52.3	0.61	0.57	0.52
						貫中央	44.7	65	0.75	0.71	0.64
				30mm	柱中心	柱上端から170mm	40.2	57.4	0.67	0.63	0.58
						貫中央	41.5	61	0.69	0.66	0.60

観察記録

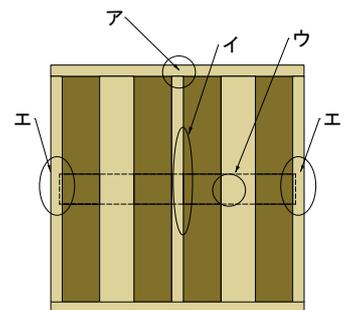
試験体名 UAC-135

加熱時間 60分

消火時間 69.2分

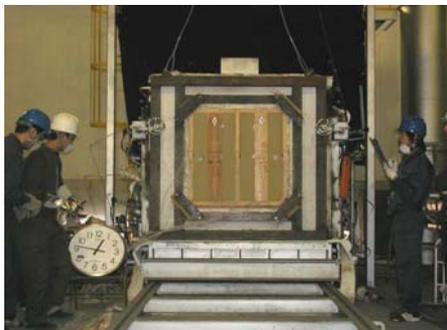
白：非加熱面 (ネズミ色部分は加熱側の観察記録)

経過時間	変化内容
0:00	加熱開始
6:27	パチパチと音が鳴り出す。
15:03	ア部より煙を確認。
17:25	柱が炭化し、表面がひび割れる。
18:30	イ部よりシミを確認し、また、ウより煙が噴き出し始める。
20:05	柱から炎が揺らぐように上がり始める。
0:24	枠側面の貫穴エ部より煙が噴き出し始める。
22:47	柱が非加熱側に少しはらんで見える。
25:20	柱表面が剥離し始める。
31:02	枠上部からの煙が多くなり始める。
38:19	柱表面が白くなっている。
43:30	イ部の熱電対を逃がしている付近の土壁が黒ずみ始める。
60:00	加熱終了
63:20	脱炉
69:20	放水、消火

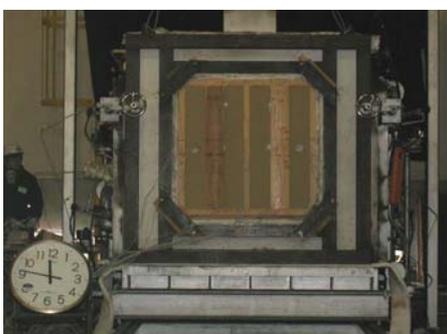


試験体 UAC-135

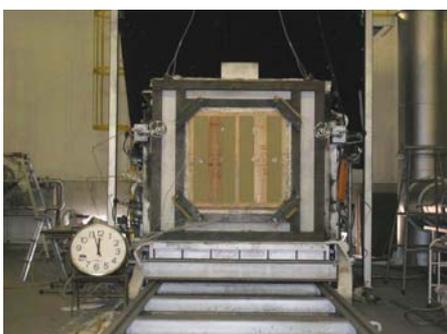
写真



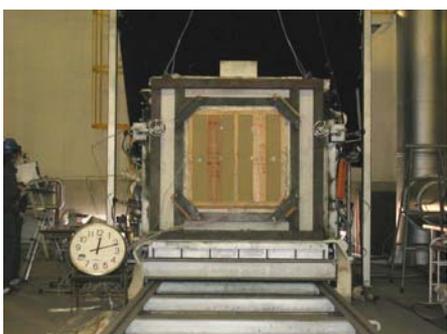
加熱開始 0 分



加熱開始 5 分



加熱開始 15 分

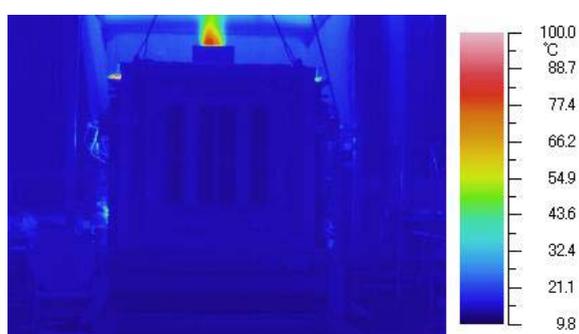


加熱開始 30 分

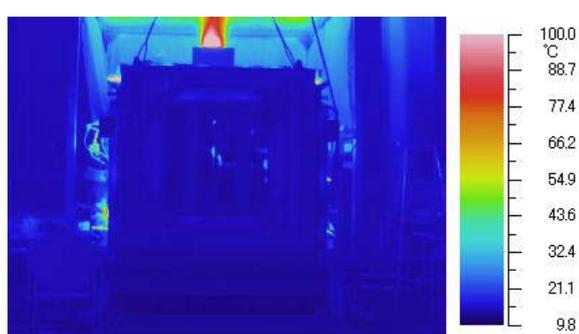
熱画像



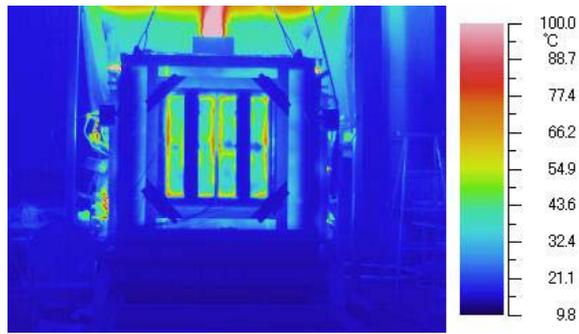
加熱開始 0 分



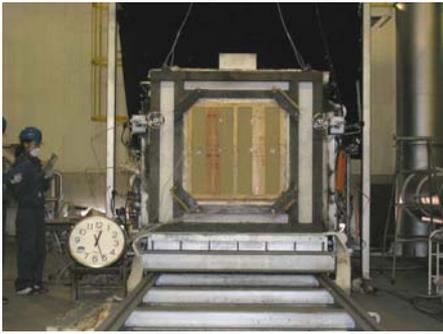
加熱開始 5 分



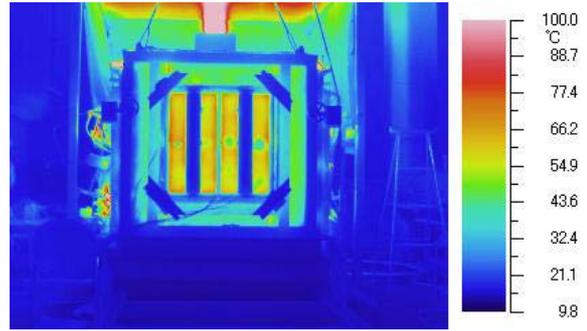
加熱開始 15 分



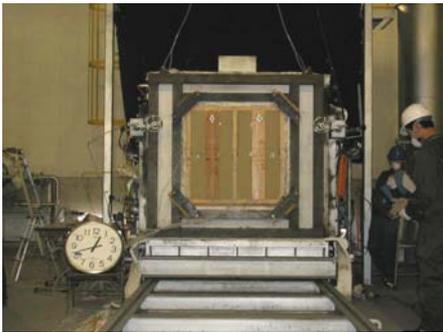
加熱開始 30 分



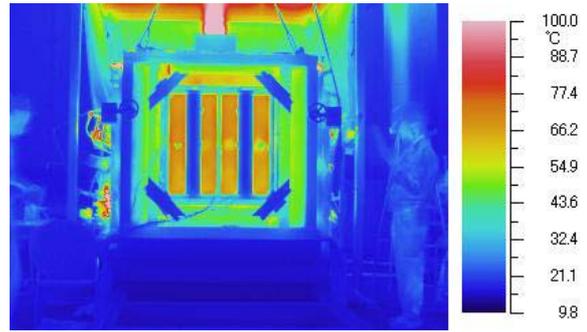
加熱開始 45 分



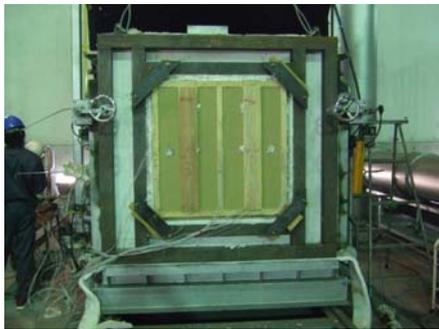
加熱開始 45 分



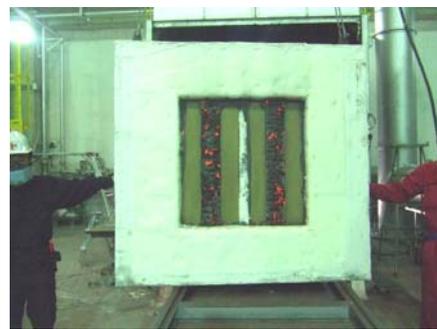
加熱開始 60 分



加熱開始 60 分



加熱前の試験体



脱炉直後の試験体



炭化写真(貫厚 30 mm の柱)



炭化写真(貫非加熱面寄りの柱)

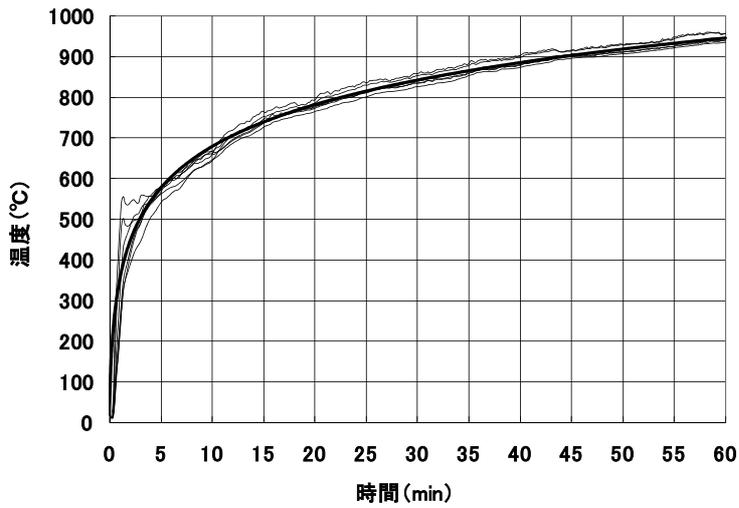


图 2.4 UAC-135 炉内温度推移

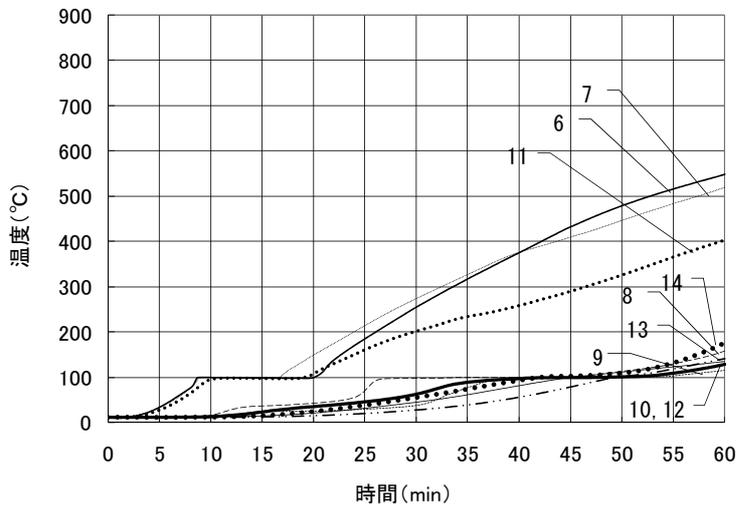


图 2.5 UAC-135 30mm 厚貫表面温度推移

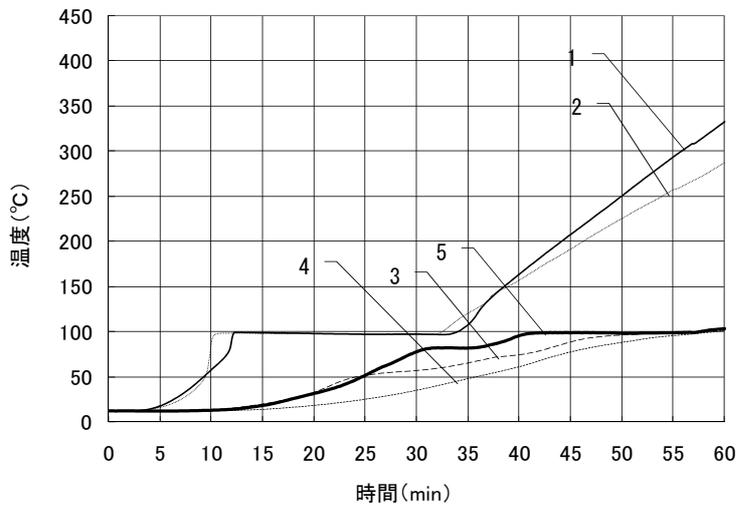
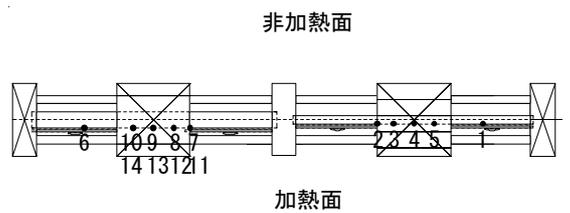
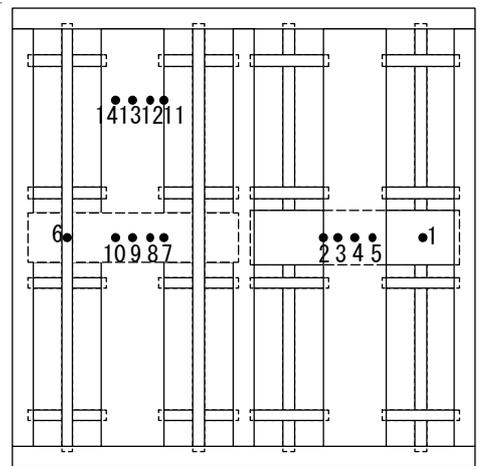


图 2.6 UAC-135 15mm 厚貫表面温度推移



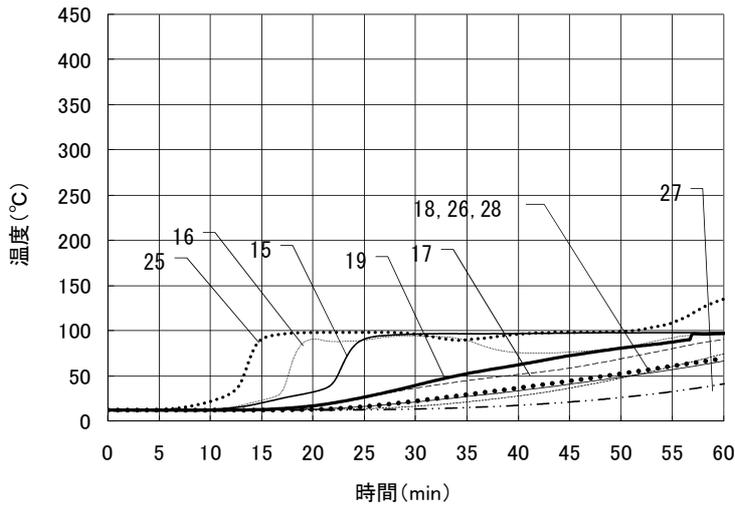


図 2.7 UAC-135 15mm 厚貫裏面温度推移

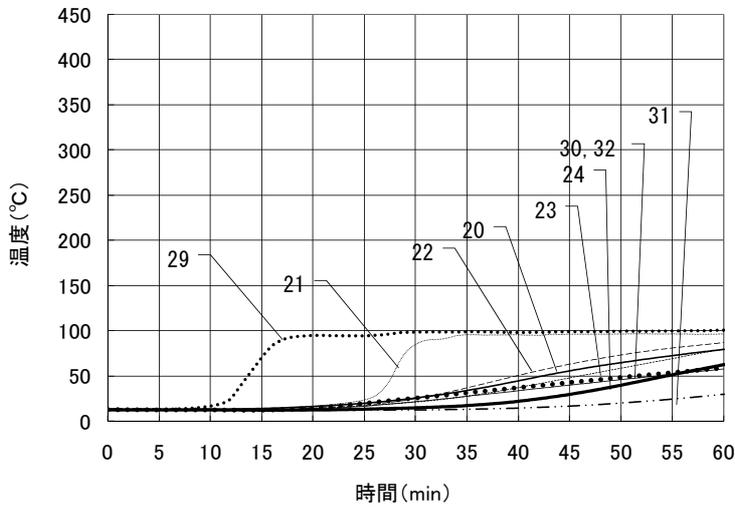
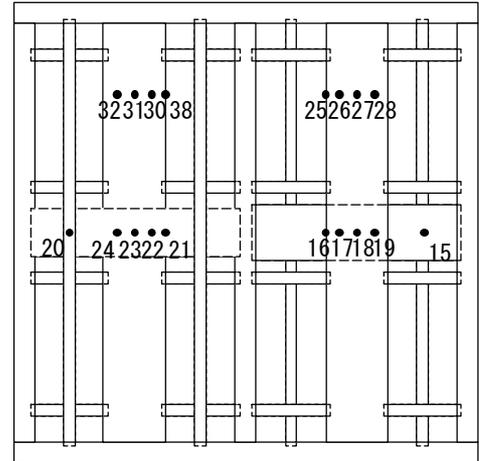


図 2.8 UAC-135 30mm 厚貫裏面温度推移

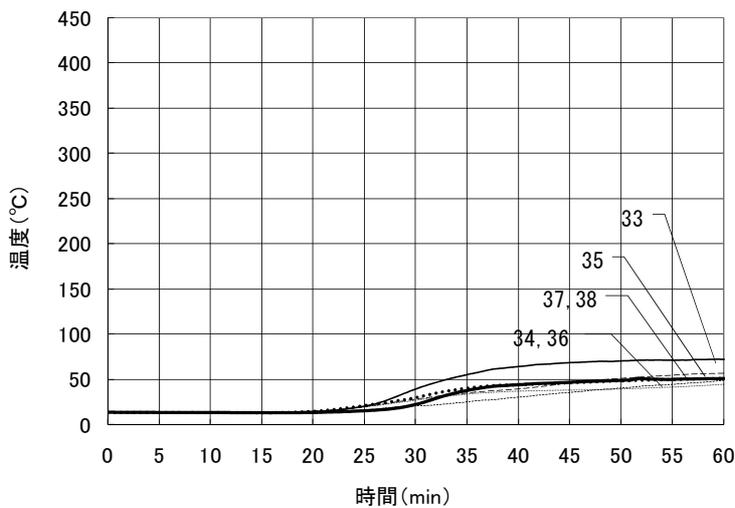
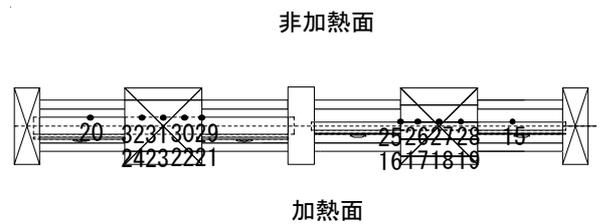
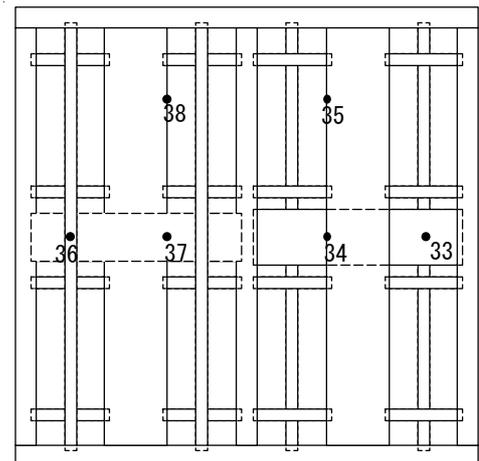


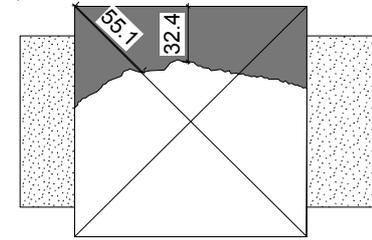
図 2.9 UAC-135 土壁裏面温度推移



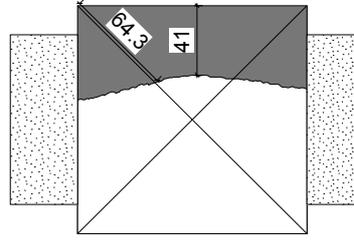
2.5.2 AOI-135 実験結果

炭化図一覧

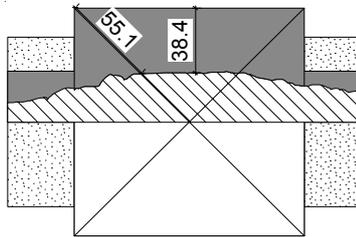
各柱とも、上端から 170mm の位置と貫中央部分を測定



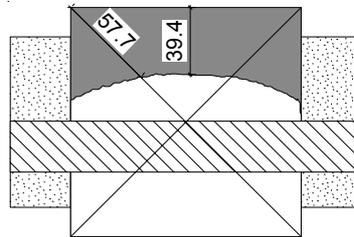
貫：30×120 加熱寄り
柱上端から 170mm 部分



貫：30×120 非加熱寄り
柱上端から 170mm 部分



貫：30×120 加熱寄り
貫中央部分



貫：30×120 非加熱寄り
貫中央部分

炭化速度一覧

試験体名	加熱時間	脱炉時間	消火時間	仕様		炭化測定位置	炭化深さ(mm)		炭化速度① (mm/分) (炭化深さ/ 加熱時間)	炭化速度② (mm/分) (炭化深さ/ 脱炉時間)	炭化速度③ (mm/分) (炭化深さ/ 消火時間)
				貫厚さ	貫位置		正面	対角線			
AOI-135	60'00"	62'30"	66'20"	30mm	加熱寄り	柱上端から170mm	32.4	55.1	0.54	0.52	0.49
						貫中央	38.4	55.1	0.64	0.61	0.58
				30mm	非加熱寄り	柱上端から170mm	41	64.3	0.68	0.66	0.62
						貫中央	39.4	57.7	0.66	0.63	0.59

観察記録

試験体名 AOI-135

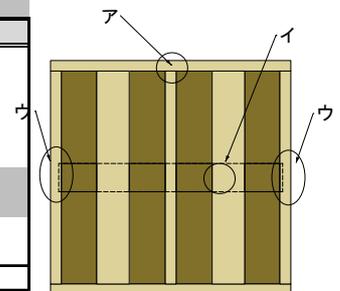
加熱時間 60分

消火時間 66.2分

白：非加熱面

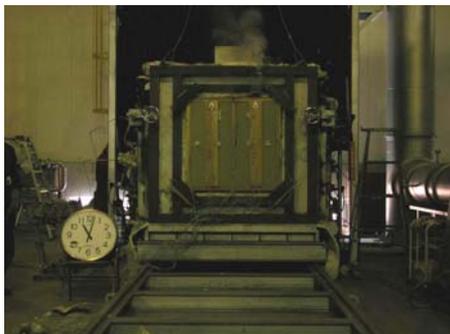
(ネズミ色部分は加熱側の観察記録)

経過時間	変化内容
0:00	加熱開始
2:40	パチパチと音が鳴り出す。
5:46	ア部より煙を確認。
17:20	イ部から集中的に煙が噴き出し始める。
18:30	枠側面の貫穴ウ部より煙が噴き出し始める。
21:40	柱が炭化し、表面がひび割れる。
25:00	柱から炎が揺らぐようになり始める。
34:30	パチパチという音が大きくなり始める。
43:30	枠上部からの煙が多くなり始める。
60:00	加熱終了
62:30	脱炉
66:20	放水、消火

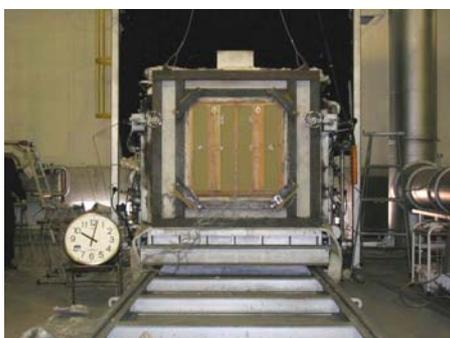


試験体 AOI-135

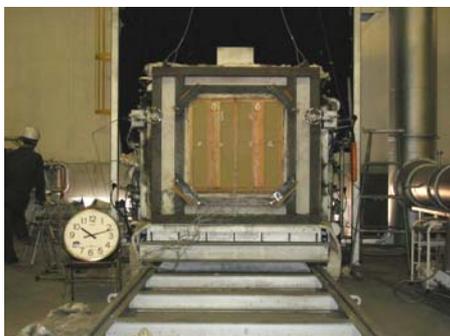
写真



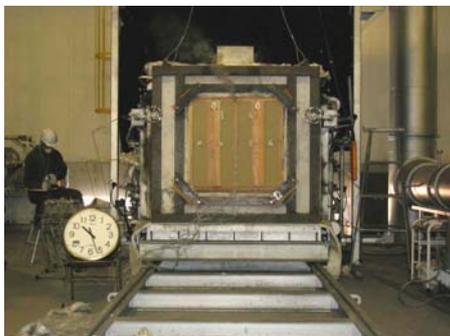
加熱開始 0 分



加熱開始 5 分



加熱開始 15 分

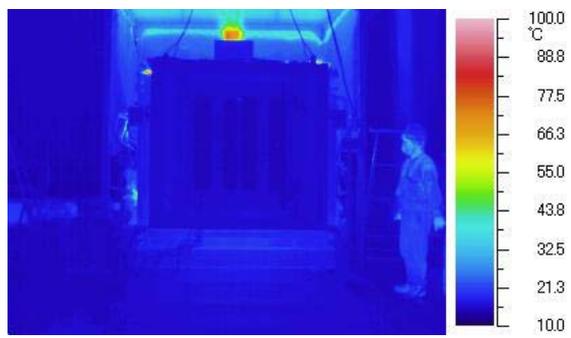


加熱開始 30 分

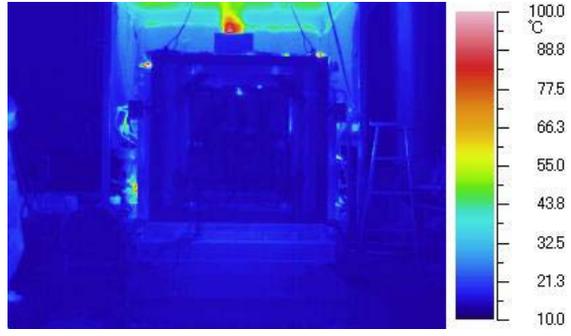
熱画像



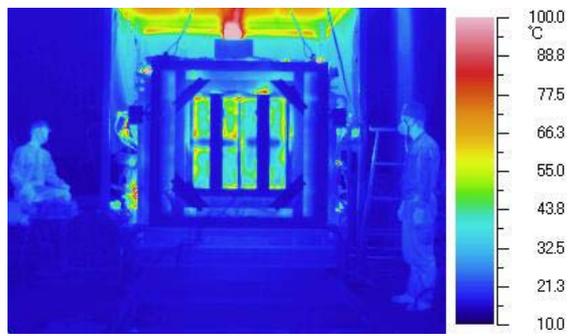
加熱開始 0 分



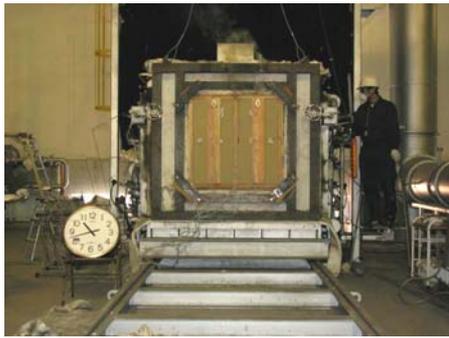
加熱開始 5 分



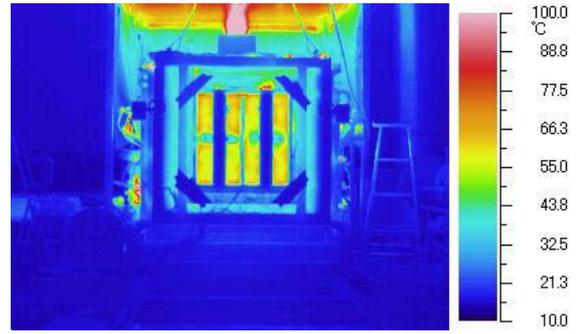
加熱開始 15 分



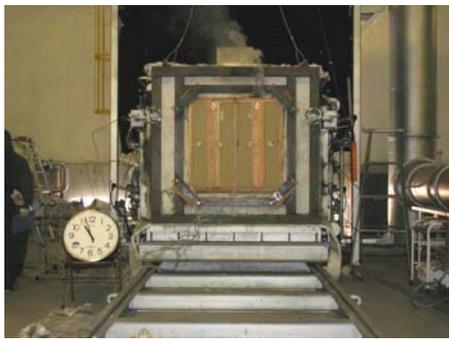
加熱開始 30 分



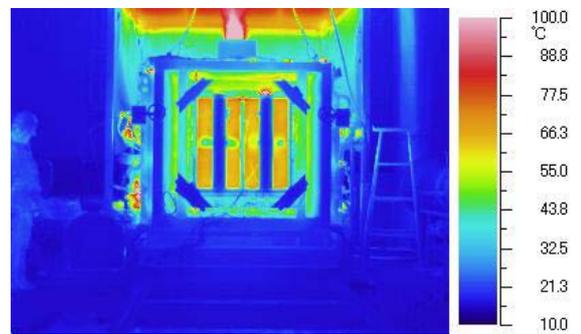
加熱開始 45 分



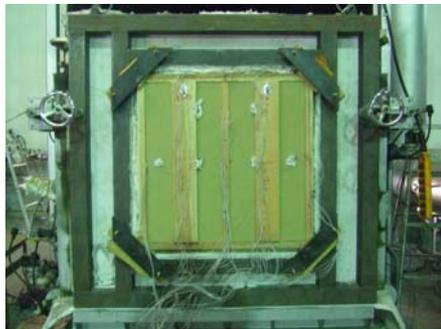
加熱開始 45 分



加熱開始 60 分



加熱開始 60 分



加熱前の試験体



脱炉直後の試験体



炭化写真(貫加熱面寄りの柱)



炭化写真(貫非加熱面寄りの柱)

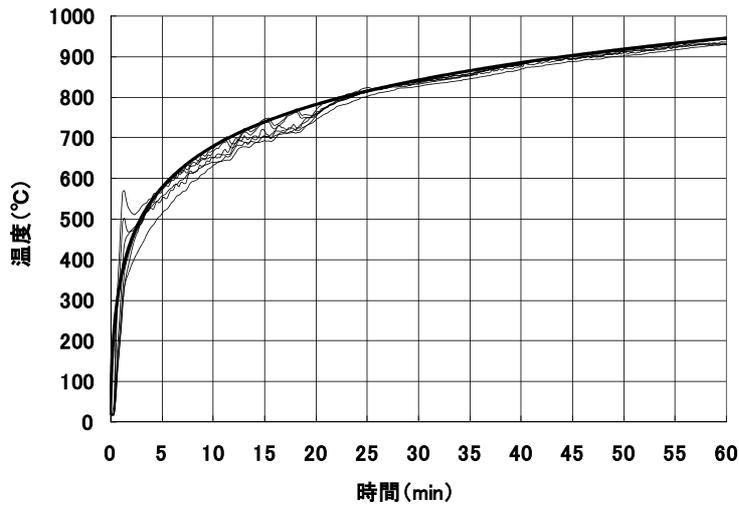


図 2.10AOI-135 炉内温度推移

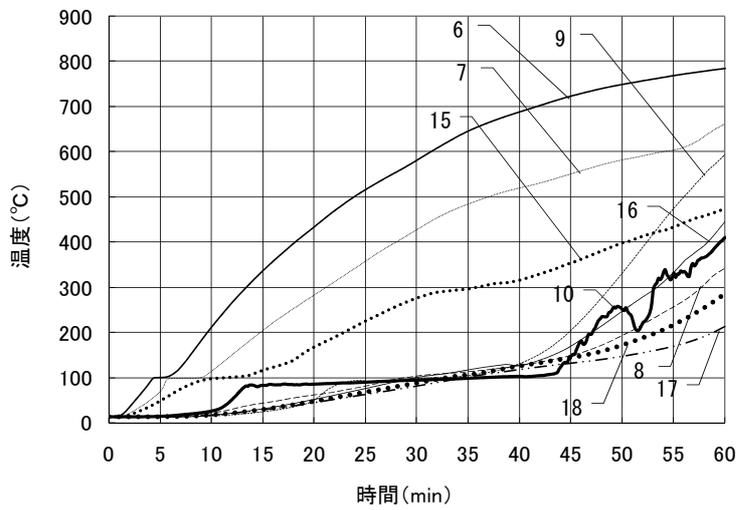


図 2.11AOI-135 加熱寄り貫表面温度

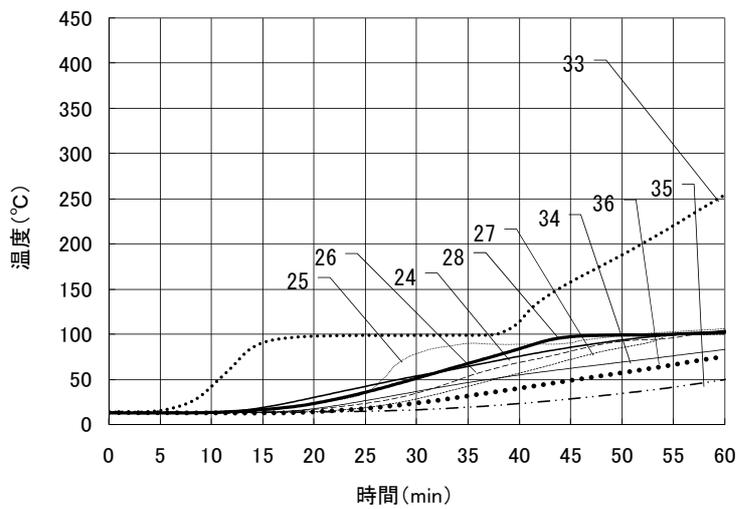
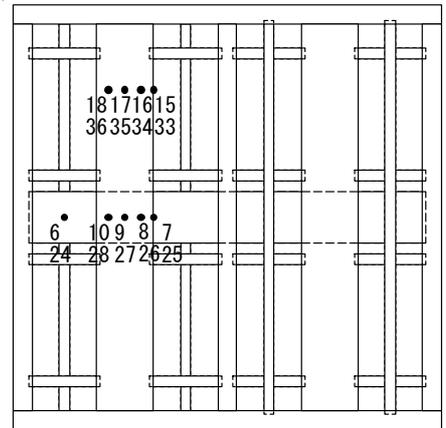
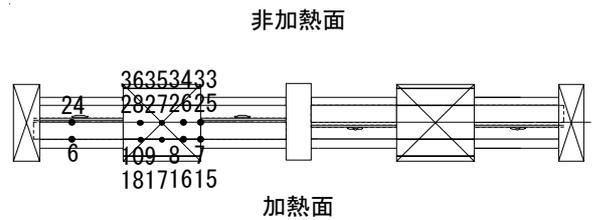


図 2.12AOI-135 加熱寄り貫裏面温度推移



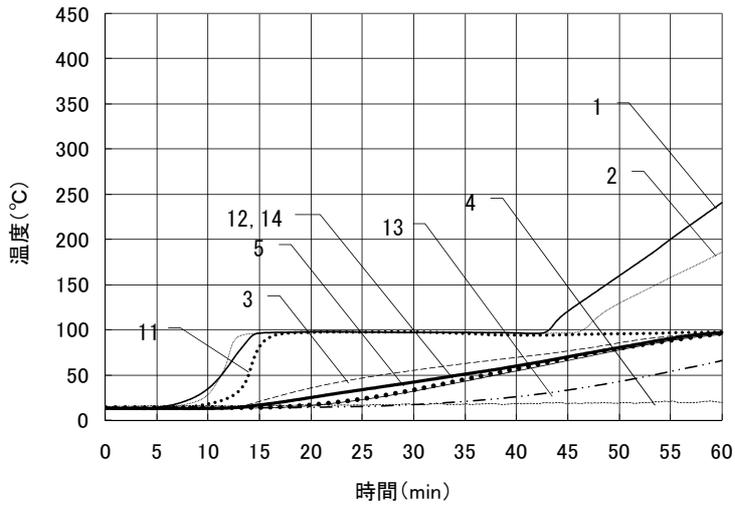


図 2.13AOI-135 非加熱寄り貫表面温度推移

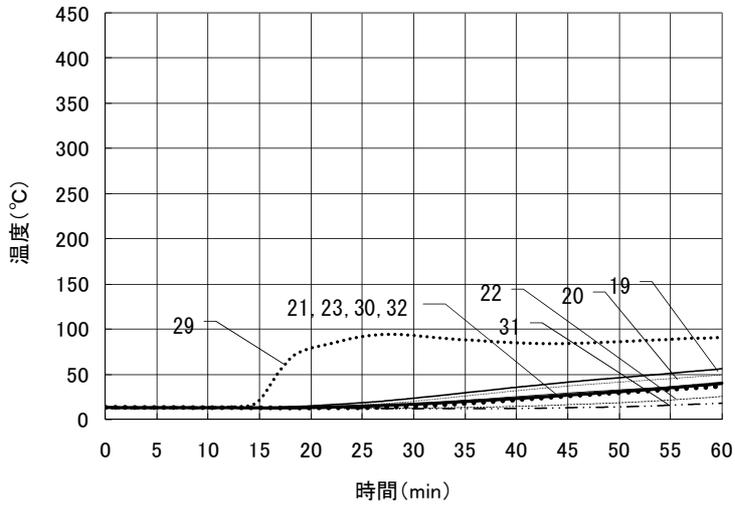
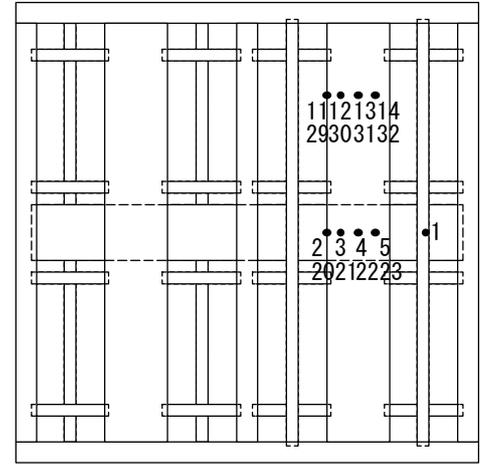


図 2.14AOI-135 非加熱寄り貫裏面温度推移

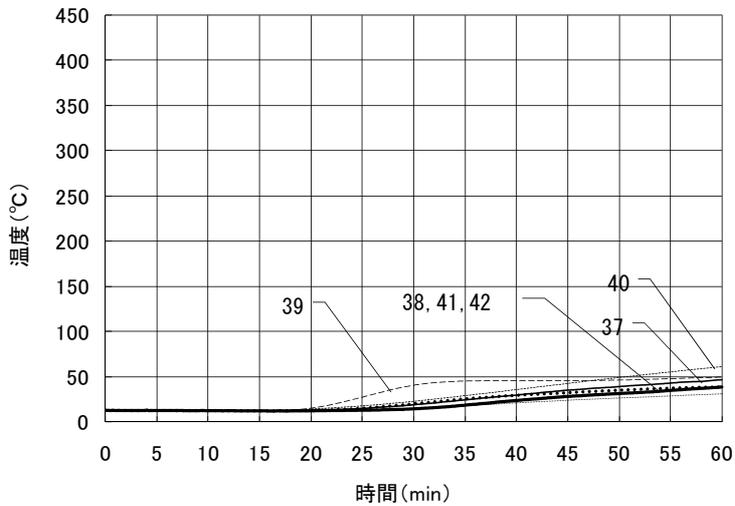
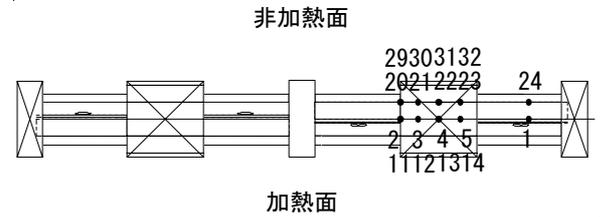
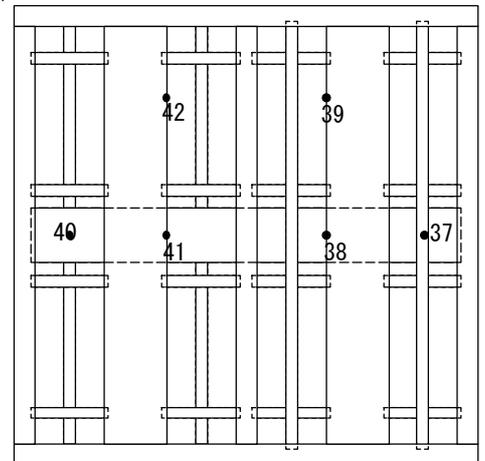
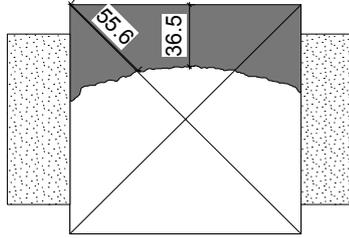


図 2.15AOI-135 土壁裏面温度推移

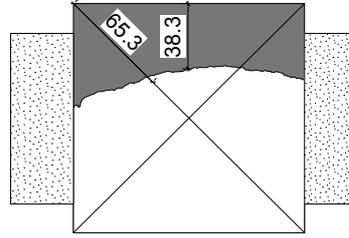


2.5.3 UOI-135 実験結果

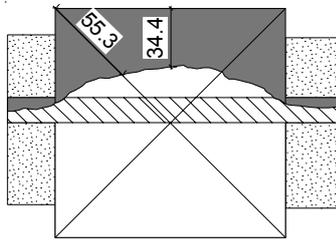
炭化図一覧



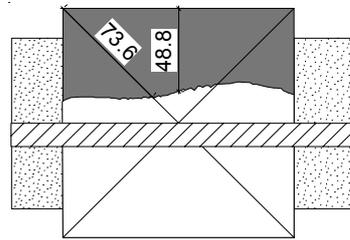
貫：15×105 加熱寄り
柱上端から 170mm 部分



貫：15×105 非加熱寄り
柱上端から 170mm 部分



貫：15×105 加熱寄り
貫中央部分



貫：15×105 非加熱寄り
貫中央部分

炭化速度一覧

試験体名	加熱時間	脱炉時間	消火時間	仕様		炭化測定位置	炭化深さ(mm)		炭化速度① (mm/分) (炭化深さ/ 加熱時間)	炭化速度② (mm/分) (炭化深さ/ 脱炉時間)	炭化速度③ (mm/分) (炭化深さ/ 消火時間)
				貫厚さ	貫位置		正面	対角線			
UOI-135	60'00"	62'20"	68'20"	15mm	加熱寄り	柱上端から170mm	36.5	55.6	0.61	0.59	0.53
					貫中央	貫中央	34.4	55.3	0.57	0.55	0.50
				15mm	非加熱寄り	柱上端から170mm	38.3	65.3	0.64	0.61	0.56
					貫中央	貫中央	48.8	73.6	0.81	0.78	0.71

観察記録

試験体名 UOI-135

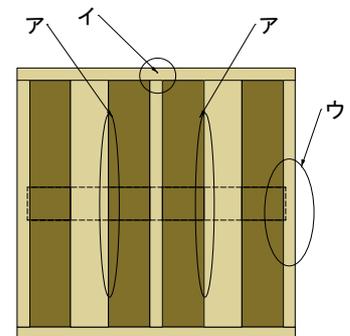
加熱時間 60分

消火時間 68.0分

白：非加熱面

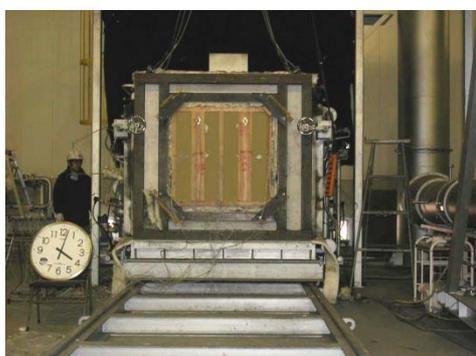
(ネズミ色部分は加熱側の観察記録)

経過時間	変化内容
0:00	加熱開始
3:44	ア部にシミを確認する。
6:35	パチパチと音が鳴り出す。
11:34	柱上部から煙が出始める。
12:38	断続的にパチパチと音が鳴っている。
16:30	柱表面にひび割れを確認、炎が出始める。
18:54	イ部から集中的に煙が噴き出し始める。
21:18	火の粉が噴き出す。
24:50	柱から炎が揺らぐよう上がる。
32:09	パチパチという音が大きくなり始める。
33:10	柱表面全体が赤白く変色
34:55	ウ部から煙が大量に発生し始める。
38:07	柱表面の亀裂が大きくなる。
44:24	非加熱面側に少し柱がはらむ。
48:20	柱内部が赤く光っている。
60:00	加熱終了
62:20	脱炉
68:20	放水、消火

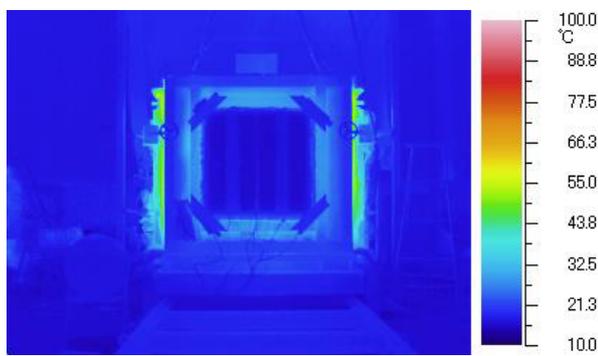


試験体 UOI-135

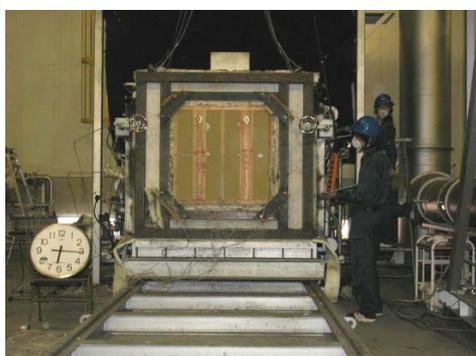
写真、熱画像



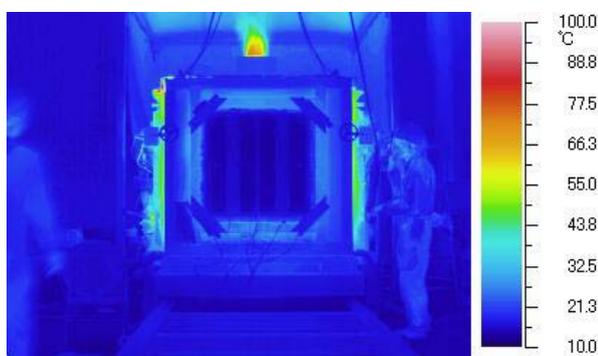
加熱開始 0 分



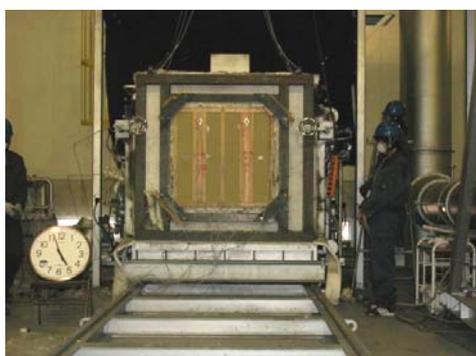
加熱開始 0 分



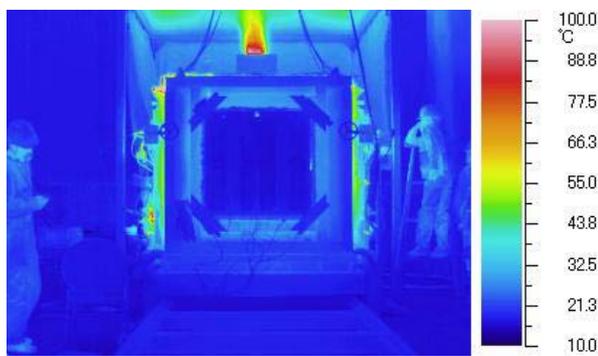
加熱開始 5 分



加熱開始 5 分



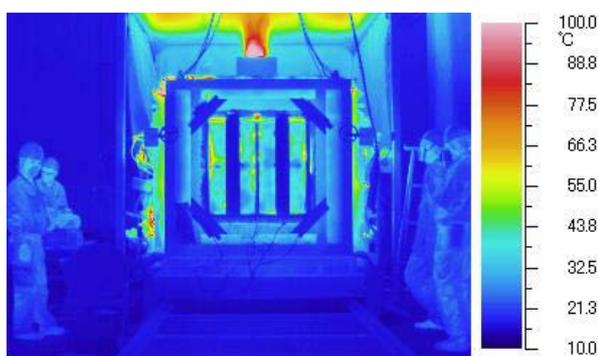
加熱開始 15 分



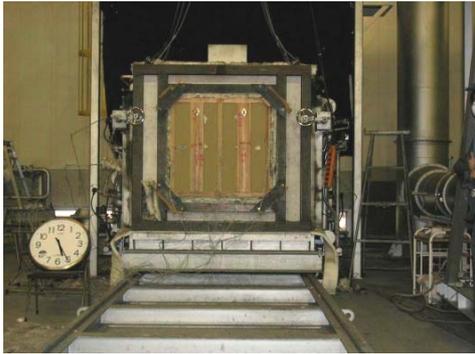
加熱開始 15 分



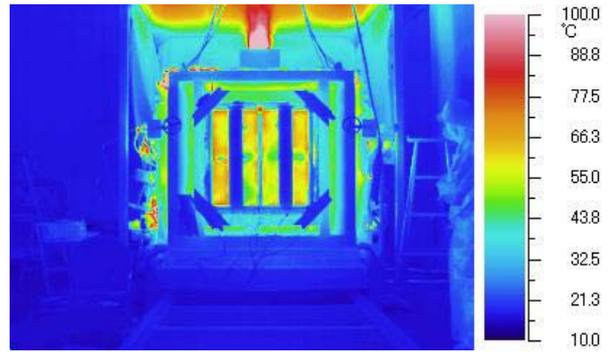
加熱開始 30 分



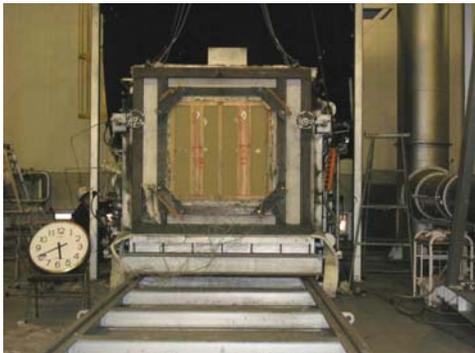
加熱開始 30 分



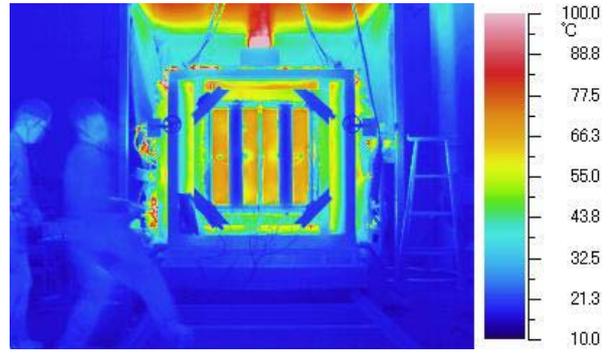
加熱開始 45 分



加熱開始 45 分



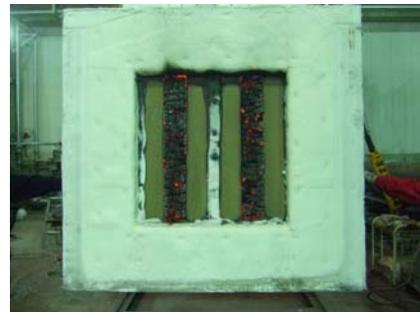
加熱開始 60 分



加熱開始 60 分



加熱前の試験体



脱炉直後の試験体



炭化写真(貫加熱面寄りの柱)



炭化写真(貫非加熱面寄りの柱)

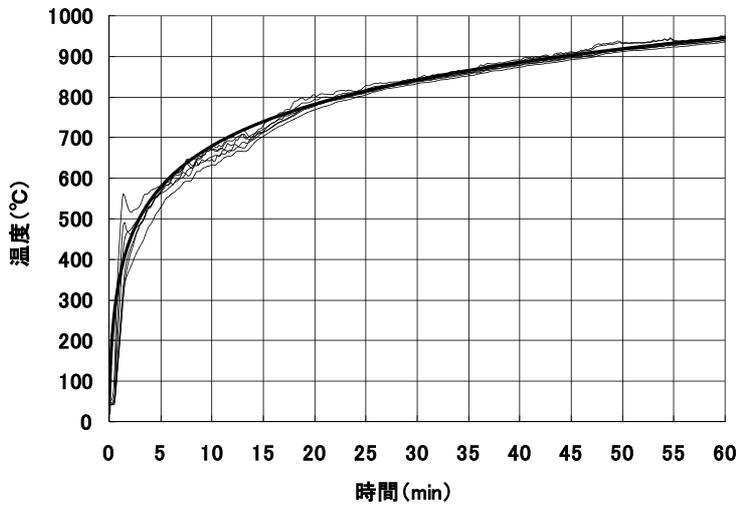


図 2.16 UAI-135 炉内温度推移

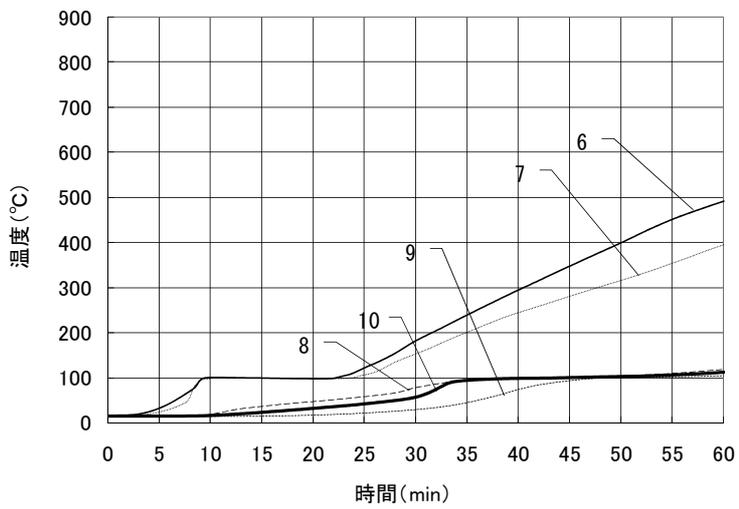


図 2.17 UAI-135 加熱寄り貫表面温度推移

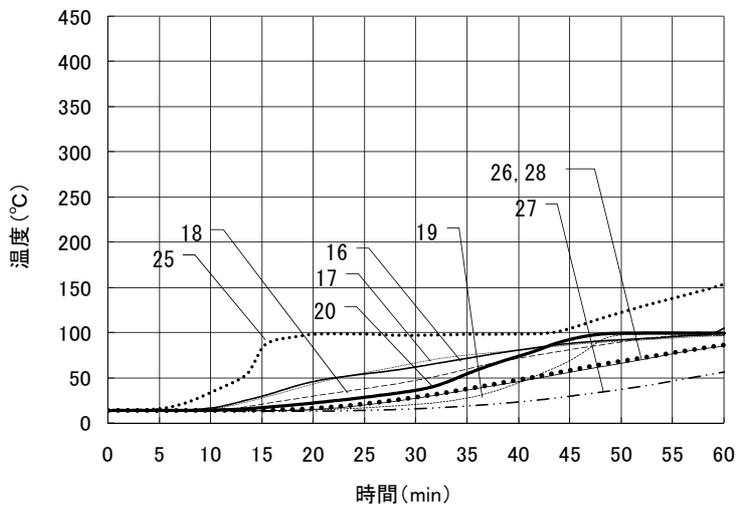
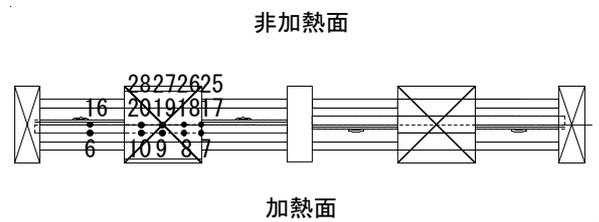
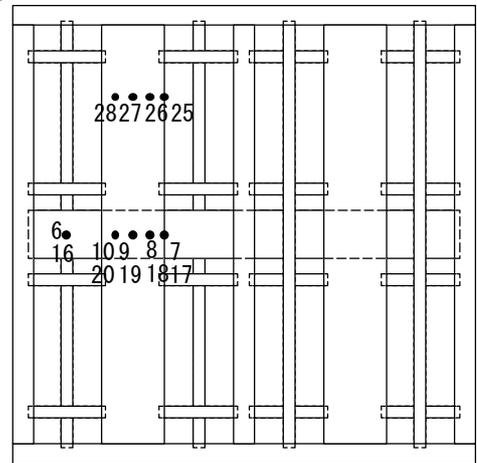


図 2.18 UAI-135 加熱寄り貫裏面温度推移



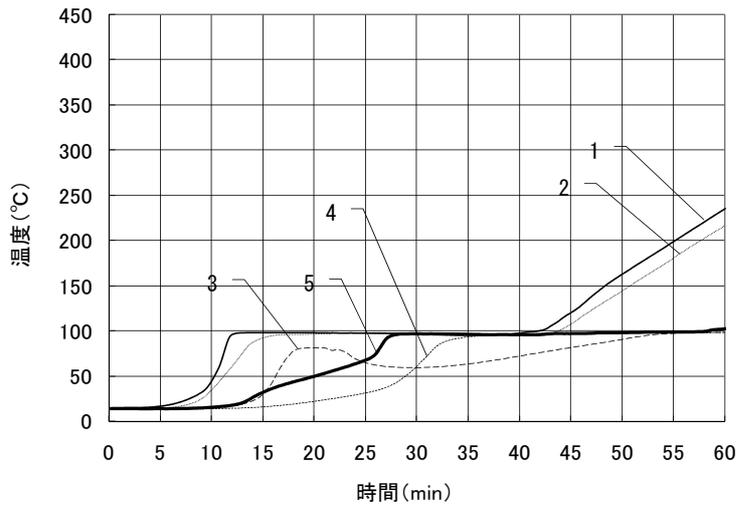


図 2.19UAI-135 非加熱寄り貫表面温度推移

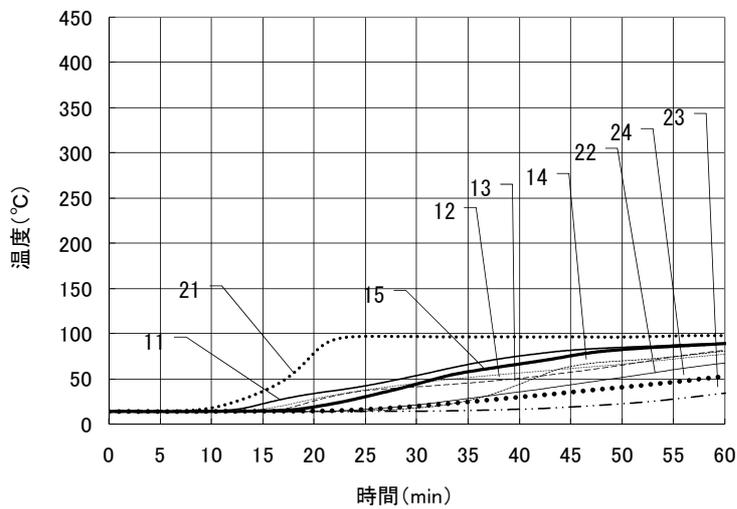
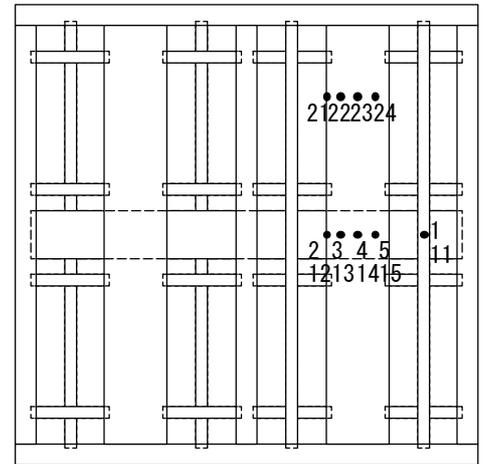


図 2.20UAI-135 非加熱寄り貫裏面温度推移

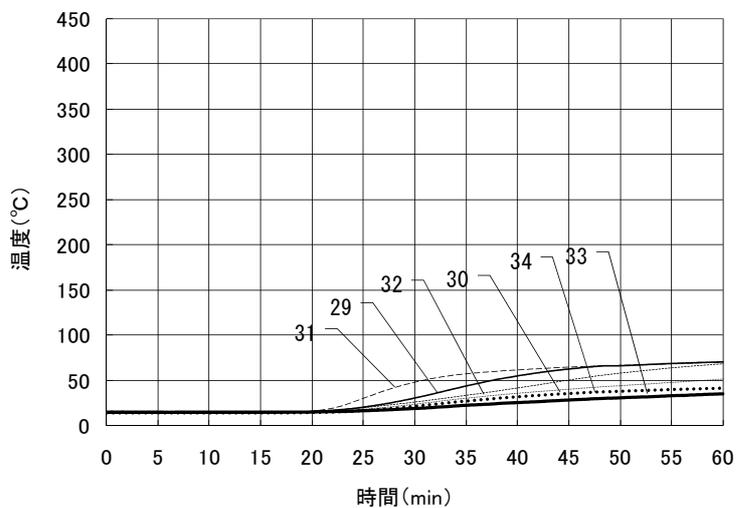
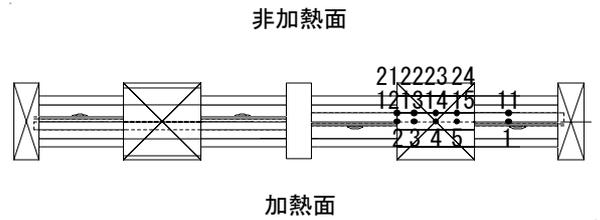
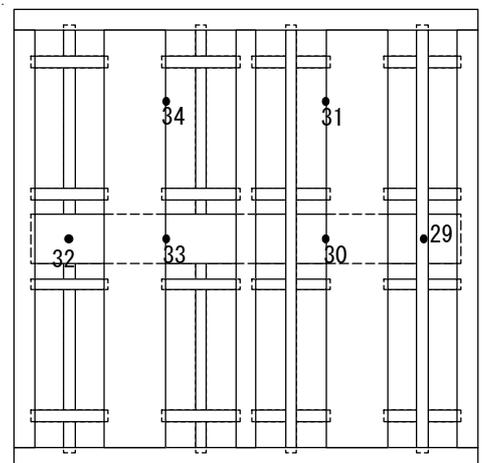


図 2.21UAI-135 土壁裏面温度推移



2.6 考察

①貫周りの温度分布について

(1) 同一垂直断面位置にある柱内部温度と貫裏の温度推移の違い

右図のように同一垂直断面上にある貫裏側と柱内部に設置した熱電対の温度分布と比較することで貫周りの温度変化を検証した。

以下、各試験体の柱内部温度推移を示す。これより 60 分の加熱で柱内部と貫裏側では約 20～30℃の違いが出るのがわかる。

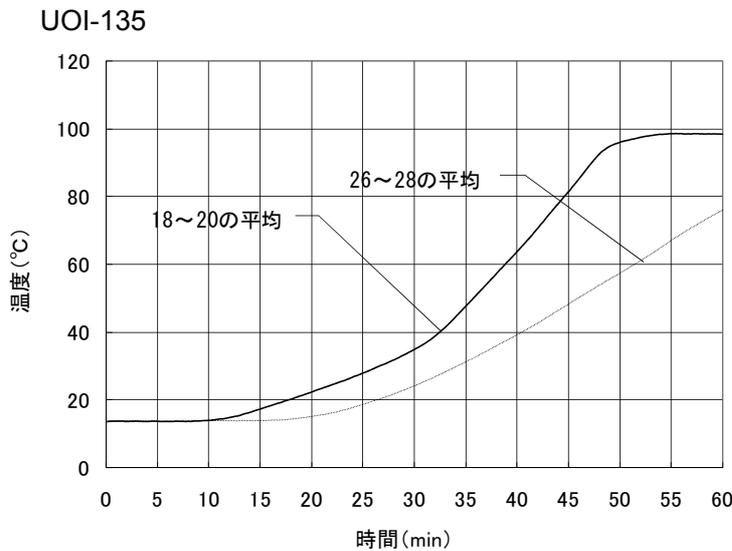
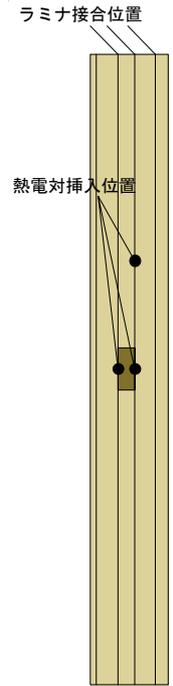


図 2.22U01-135 貫 15 mm加熱側寄り 柱内部平均温度推移

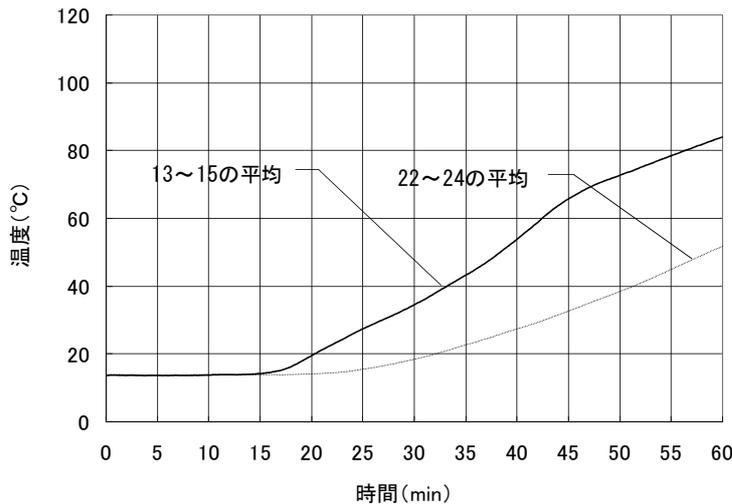
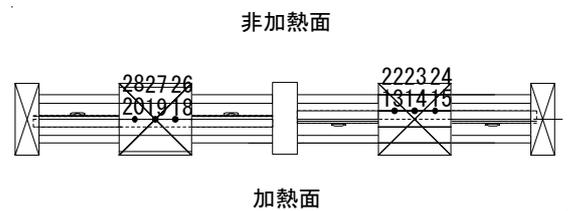
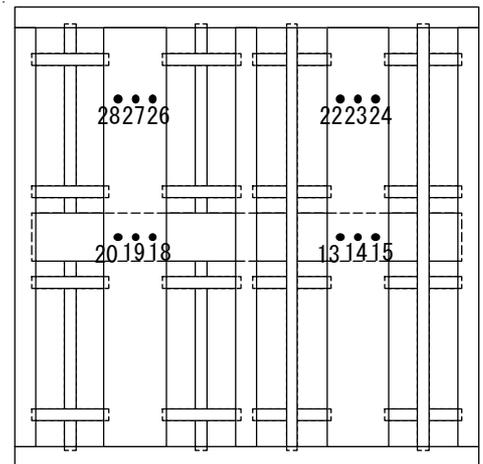


図 2.23U01-135 貫 15 mm非加熱側寄り 柱内部平均温度推移



AOI-135

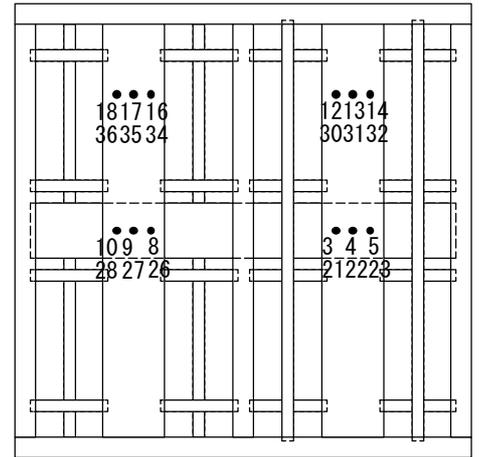
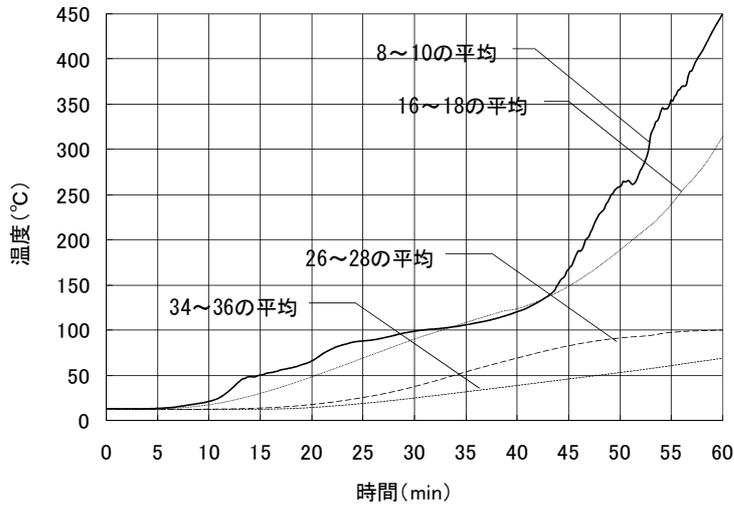


図 2.24A01-135 貫 30 mm加熱側寄り 柱内部平均温度推移

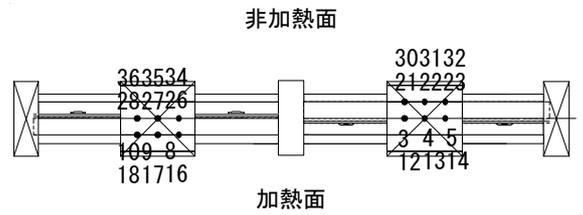
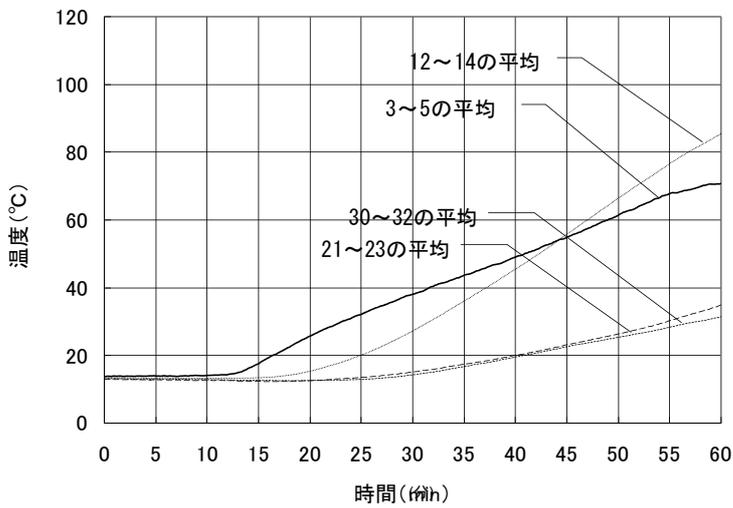


図 2.25A01-135 貫 30 mm 非加熱側寄り 柱内部平均温度

UAC-135

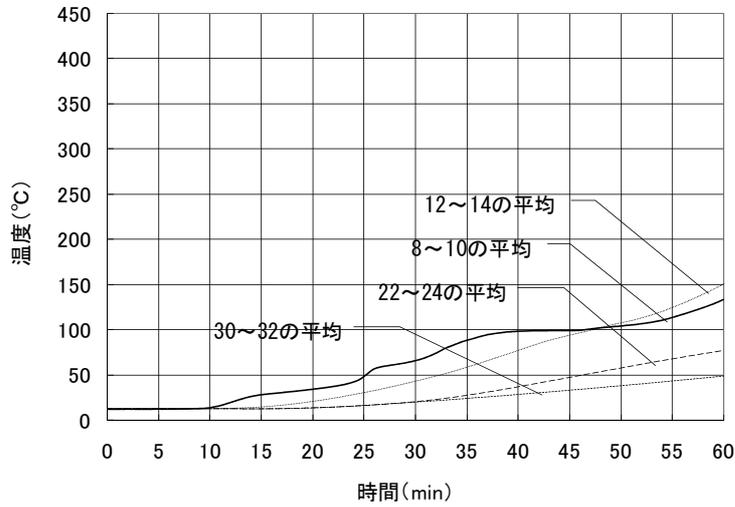


図 2.26 UAC-135 貫 30 mm 芯 柱内部平均温度推移

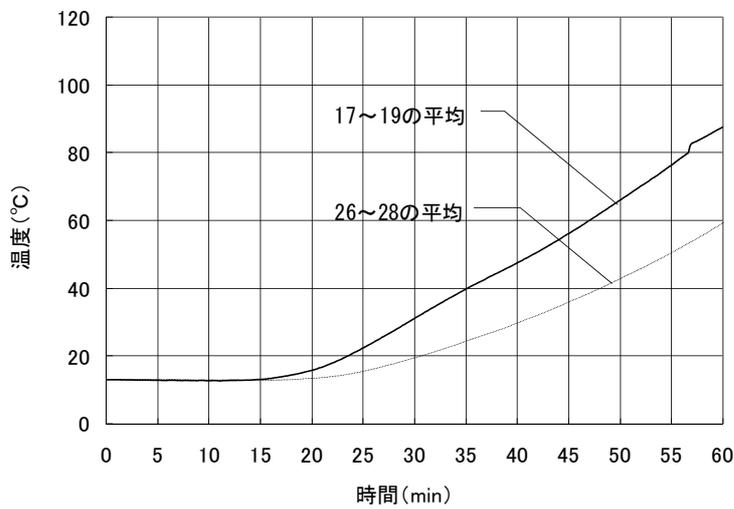
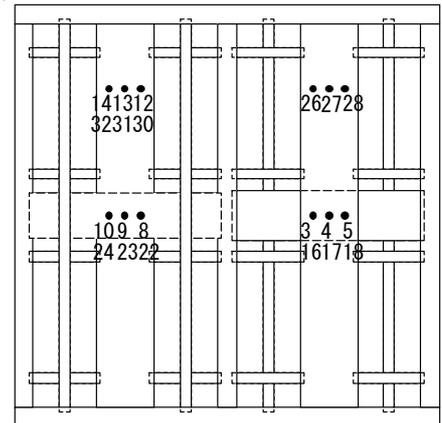
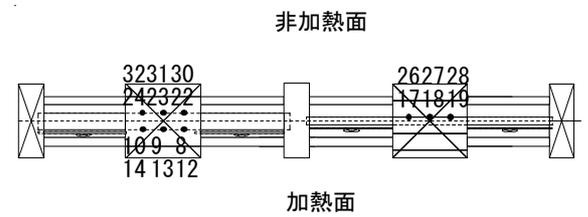


図 2.27 UAC-135 貫 15 mm 芯 柱内部平均温度推移



②炭化速度について

炭化速度(炭化深さ/消火時間)についてみると、表 2.2 のとおり、およそ 0.5mm/分～0.7mm/分程度となり、過去に行った加熱実験と同程度の値となった。

仕様ごとに差があるかをみると、貫厚 15mm の UOI-135 については、貫が加熱面側に寄った仕様に比べ、非加熱面側に寄っている仕様の貫部分の炭化深さが若干大きい。しかし、貫厚 30mm の AOI-135 においては貫位置の違いによる炭化性状の違いは見られないため、貫位置が柱の炭化性状に影響を与えるかは、実験結果からは確定できなかった。

しかし、貫位置の変化による炭化性状の差は小さいものであり、柱の非損傷性に大きな影響は与えないものと考えられる。

表 2.2 炭化速度一覧

試験体名	加熱時間	消火時間	仕様		炭化測定位置	炭化深さ(mm)	炭化速度 (mm/分) (炭化深さ/ 消火時間)
			貫厚さ	貫位置		正面	
① UOI-135	60'00"	68'20"	15mm	加熱寄り	柱上端から170mm	36.5	0.53
					貫中央	34.4	
			15mm	非加熱寄り	柱上端から170mm	38.3	0.56
					貫中央	48.8	
② AOI-135	60'00"	66'20"	30mm	加熱寄り	柱上端から170mm	32.4	0.49
					貫中央	38.4	
			30mm	非加熱寄り	柱上端から170mm	41	0.62
					貫中央	39.4	
③ UAC-135	60'00"	69'20"	15mm	柱中心	柱上端から170mm	44.7	0.64
					貫中央	31.3	
			30mm	柱中心	柱上端から170mm	41.5	0.60
					貫中央	40.2	

3. 柱圧縮実験

3.1 実験目的

貫の断面欠損の大きさ、位置が非損傷性にどの程度寄与するのかを加熱後の断面性能を再現した柱を圧縮実験により座屈荷重を求め、関係性を検証する。

②貫が加熱側に寄っている時、貫の断面欠損分だけでなく、貫よりも加熱側にある柱の残存断面が荷重を支持せず、過去の長谷見らが行った実験で得られた予想座屈荷重式よりも小さな荷重で座屈すると予測される。これを圧縮実験により検証する。

3.2 試験体概要

1,貫の有無

2,貫の断面欠損の大きさ

3,貫の断面欠損の位置

4,柱断面寸法

5,想定加熱時間

の5つをパラメータとした、計19体について実験を行った。次項に各試験体仕様の一覧を載せる。

柱座屈長さは3000mmとし、写真3.1に示す通り、各試験体は加熱後の仮定断面の形に削りだした集成材柱を用い、各仕様に沿った貫穴を設けた。



写真 3.1 試験体貫穴周り形状

表 3.1 試験体一覧(柱断面寸法 135 mm角、想定加熱時間 45 分)

柱圧縮実験試験体一覧 135mm角柱 想定加熱時間45分

通し番号	1	2・3	4・5	6	7・8	9・10	11
試験体名	N-135-S	UO-135-S	UI-135-S	UC-135-S	AO-135-S	AI-135-S	AC-135-S
仕様							
想定する加熱時間	45分						
柱	135角						
土塗厚	90mm						
貫厚	0mm	15mm	15mm	15mm	30mm	30mm	30mm
貫せい	0mm	105mm	105mm	105mm	120mm	120mm	120mm
貫位置	なし	非加熱側	加熱側	中心	非加熱側	加熱側	中心
樹種	スギ						
等級	同一等級構成 集成材 E65-F255						
炭化と内部温度分布							
炭化深さ	30mm						
試験体							
断面積(mm ²)	12251	10226	10378	10226	8200	9315	8351
断面二次モーメント(mm ⁴)	8981200	8461000	7113900	7811800	8432600	4370300	6162400
ヤング係数(規格値)(tf/cm ²)	65	65	65	65	65	65	65
基準強度(圧縮)(N/mm ²)	20.4	20.4	20.4	20.4	20.4	20.4	20.4
偏心(mm)	21.35	24.4	26.8	25.88	24.87	32.27	31.473
予測荷重(90%)(kN)	35.0	33.0	27.7	30.4	32.9	17.0	24.0
予測荷重(50%)(kN)	46.5	43.8	36.8	40.4	43.7	22.6	31.9

表 3.2 試験体一覧(柱断面寸法 150 mm角、想定加熱時間 45 分)

柱圧縮実験試験体一覧 150mm角柱 想定加熱時間45分

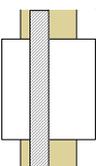
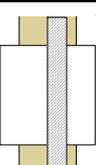
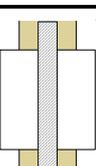
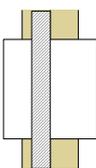
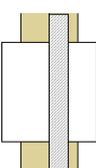
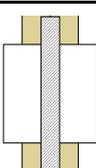
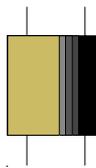
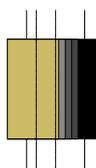
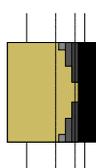
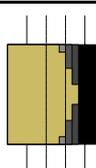
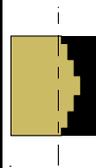
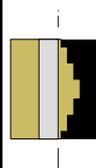
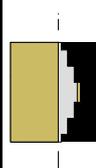
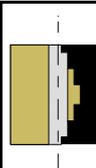
通し番号	12	13	14	15
試験体名	N-150-S	AO-150-S	AI-150-S	AC-150-S
仕様				
想定する加熱時間	45分	45分	45分	45分
柱	150角	150角	150角	150角
土塗厚	90mm	90mm	90mm	90mm
貫厚	0mm	30mm	30mm	30mm
貫せい	0mm	120mm	120mm	120mm
貫位置	なし	非加熱側	加熱側	中心
樹種	スギ	スギ	スギ	スギ
等級	同一等級構成 集成材 E65-F255	同一等級構成 集成材 E65-F255	同一等級構成 集成材 E65-F255	同一等級構成 集成材 E65-F255
炭化と内部温度分布				
炭化深さ	30mm	30mm	30mm	30mm
試験体				
断面積(mm ²)	15863	11363	11944	11363
断面二次モーメント(mm ⁴)	15526000	14909000	8799000	12239000
ヤング係数(規格値)(tf/cm ²)	65	65	65	65
基準強度(圧縮)(N/mm ²)	20.4	20.4	20.4	20.4
偏心(mm)	21.68	24.32	33.23	30.26
予測荷重(90%)(kN)	60.5	58.1	34.3	47.7
予測荷重(50%)(kN)	80.4	77.2	45.6	63.4

表 3.3 試験体一覽(柱断面寸法 150 mm角、想定加熱時間 60 分)

柱圧縮実験試験体一覽 150mm角柱 想定加熱時間60分

通し番号 試験体名	16	17	18	19
	N-150-L	AO-150-L	AI-150-L	AC-150-L
仕様				
想定する加熱時間	60分	60分	60分	60分
柱	150角	150角	150角	150角
土蓋厚	90mm	90mm	90mm	90mm
貫厚	0mm	30mm	30mm	30mm
貫せい	0mm	120mm	120mm	120mm
貫位置	なし	非加熱側	加熱側	中心
樹種	スギ	スギ	スギ	スギ
等級	同一等級構成 集成材 E65-F255	同一等級構成 集成材 E65-F255	同一等級構成 集成材 E65-F255	同一等級構成 集成材 E65-F255
炭化と内部温度分布				
炭化深さ	40mm	40mm	40mm	40mm
試験体				
断面積(mm ²)	14363	9863	11400	10088
断面二次モーメント(mm ⁴)	11645503	10422437	6007283	7189962
ヤング係数(規格値)(tf/cm ²)	65	65	65	65
基準強度(圧縮)(N/mm ²)	20.4	20.4	20.4	20.4
偏心(mm)	23.63	31.94	36.57	37.68
予測荷重(90%) (kN)	45.4	40.6	23.4	28.0
予測荷重(50%) (kN)	60.3	54.0	31.1	37.2

3.3 実験方法

写真 3.2 に示す万能試験機（於：住友林業株式会社筑波研究所）を用いて実験を行った。想定する加熱方向と直行する方向に、球座を用いて試験体中央に線荷重がかかるように試験体を設置した。

油圧ジャッキを用いて徐々に鉛直荷重を加え、荷重に対し変位量のみが進み始めた後も圧縮耐力が完全に失われるまでは実験を継続して行った。



写真 3.2 万能試験機全景

3.4 測定項目

- ①時系列の載荷荷重量
- ②時系列の水平方向変量（加熱方向と直行方向に 3 点）
- ③各試験体の含水率、ヤング係数

の 3 項目について測定を行った。

①時系列の載荷荷重量に関しては、荷重に対して変異のみが進み始めた時点の荷重を最大荷重として記録した。

3.5 実験結果・考察

結果一覧を表 3.4 に、写真 3.3 に載荷中の試験体の様子を、写真 3.4 に試験体の座屈を起こした部位の様子を、図 3.1 に、ヤング係数×断面 2 次モーメントと実験で得た最大荷重の関係を、図 3.2 に、断面 2 次モーメントと補正最大荷重の関係について示す。

座屈は全ての試験体において 2 段目の貫穴付近で起こった。

各試験体の測定したヤング係数には、ばらつきが見られたため、柱のヤング係数を $E=70$ (t/cm²) の場合に補正した際の最大荷重と、過去に行った柱圧縮実験から得られた予測荷重式による予測荷重の比較を行った。

予想座屈荷重の算出には 1.3 に記載した次の 2 式を用いた。

50%の確率で座屈しない予想座屈荷重 $_{50\%}P_k$ (kN)

$$_{50\%}P_k = (0.83)^2 \pi^2 EI / l^2 \cdots [1]$$

90%の確率で座屈しない予想座屈荷重 $_{90\%}P_k$ (kN)

$$_{90\%}P_k = (0.72)^2 \pi^2 EI / l^2 \cdots [2]$$

(E : ヤング係数 I : 断面 2 次モーメント l : 柱長さ)

表 2 より、多くの試験体について補正最大荷重が[1]によって求められる $_{50\%}P_k$ と同程度の値となっていることが分かる。貫位置が加熱側に寄っている仕様については、断面欠損部分よりも加熱側にある部分が小さく荷重が支持出来ず、予想座屈荷重を下回ることが考えられたが、今回の実験では、貫位置が加熱側に寄っている全ての仕様について、最大荷重が[1]の予想座屈荷重を上回る結果となった。



写真 3.3 試験体載荷状況



写真 3.4 座屈後の試験体(試験体中央貫付近)

表 3.4 実験結果一覧

通し番号	試験体		断面2次モーメント I(mm ⁴)	計測したヤング係数 E(tf/cm ²)	含水率(%)	E×I (tf*cm ²)	最大荷 重(KN)	補正最大荷重 E=70に補正	予想座屈荷重 50%(KN)	予想座屈荷重 90%(KN)
	仕様									
1	N-135-S		8981200	95.1	11.6	85411	62.6	46.08	46.5	35.0
2	UO-135-S		8461000	93.6	11.7	79195	64.7	48.39	43.8	33.0
3			8461000	88.9	12.1	75218	61.9	48.74	43.8	33.0
4	UI-135-S		7113900	88.8	12.8	63171	52.8	41.62	36.8	27.7
5			7113900	92.3	12.6	65661	51.9	39.36	36.8	27.7
6	UC-135-S		7811800	79.4	12.8	62026	52.4	46.20	40.4	30.4
7	AO-135-S		8432600	93.7	11	79013	54.1	40.42	43.7	32.9
8			8432600	90	13.1	75893	64.5	50.17	43.7	32.9
9	AI-135-S		4370300	86	12.6	37585	37.9	30.85	22.6	17.0
10			4370300	75.3	11.9	32908	33.5	31.14	22.6	17.0
11	AC-135-S		6162400	94.9	13.2	58481	47.5	35.04	31.9	24.0
12	N-150-S		15526000	87.2	12.4	135387	102.6	82.36	80.4	60.5
13	AO-150-S		14909000	85.5	11.8	127472	106.5	87.19	77.2	58.1
14	AI-150-S		8799000	103.1	10.8	90718	73	49.56	45.6	34.3
15	AC-150-S		12239000	83.2	11.4	101828	80.5	67.73	63.4	47.7
16	N-150-L		11645503	88.9	13.1	103529	73	57.48	60.3	45.4
17	AO-150-L		10422437	91.7	11.2	95574	63.1	48.17	54.0	40.6
18	AI-150-L		6007283	96.4	11	57910	61.7	44.80	31.1	23.4
19	AC-150-L		7189962	81.3	11.1	58454	53.2	45.81	37.2	28.0

N:貫なし A:貫厚 30 mm U:貫厚 15 mm
 I:貫加熱側 O:貫非加熱側 C:貫中央
 S:加熱時間 45 分 L:加熱時間 60 分

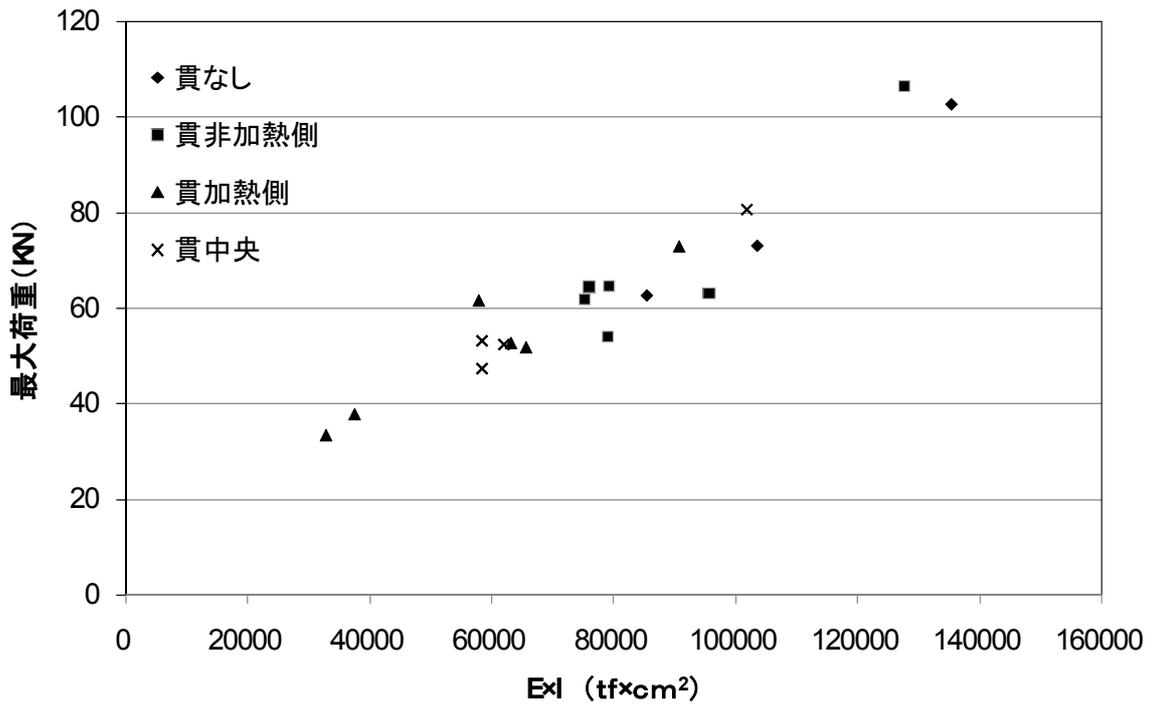


図 3.1 ヤング係数×断面 2 次モーメントと最大荷重の関係

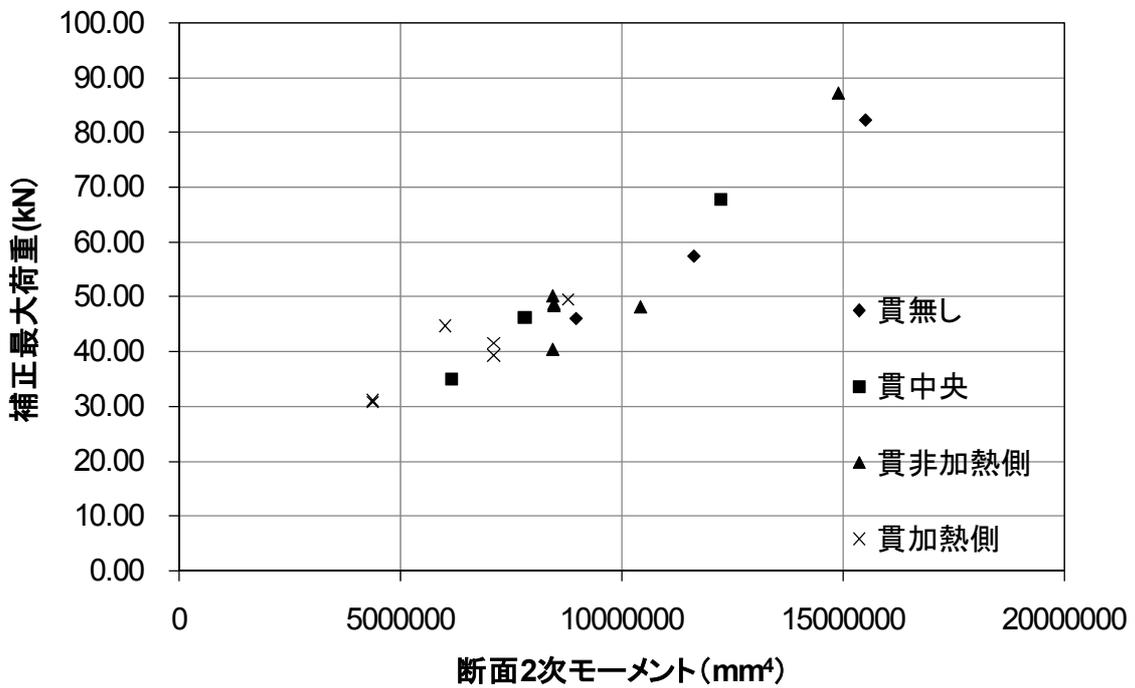


図 3.2 断面 2 次モーメントと補正最大荷重[E=70 (t/cm²)]の関係

図 3.1、図 3.2 を見ると、仕様が貫無し、貫が柱芯にあるもの、加熱側、非加熱側によっているものに関わらず断面 2 次モーメントと補正最大荷重の間に比例関係があることがわかる。これより、貫の断面欠損位置の変化による断面 2 次モーメントの変化に留意して予測を行うことで、貫位置、貫寸法が変化した仕様についても従来通りの予測式で対応出来ると考えられる。

また、1.3 に記載した座屈荷重予測式の算出方法?) に倣い、図 3.2 に示した実験結果を基に新たに予測式を算出しておすと下記の 2 式が得られる。

50%の確率で座屈しない予想座屈荷重 $_{50\%}P_k$ (kN)

$$_{50\%}P_k = (0.88)^2 \pi^2 EI / l^2 \cdots [1]$$

90%の確率で座屈しない予想座屈荷重 $_{90\%}P_k$ (kN)

$$_{90\%}P_k = (0.82)^2 \pi^2 EI / l^2 \cdots [2]$$

(E : ヤング係数 I : 断面 2 次モーメント l : 柱長さ)

図 3.3 に細長比と末端条件計数の関係について示す。1.3 にて記載した予測式[1]、[2]は Euler の座屈荷重式 $P = k^2 (\pi^2 EI / l^2)$ に倣い、末端条件係数 k を整理したものであるが、Euler の座屈荷重式は一般に細長比 λ が 100~120 以上の場合に適用されると言われている。本実験における末端条件係数 k の値を求めたところ、 k の最小値は $\lambda = 0.80$ であり、試験体の約半数は適応範囲からはずれることになる。しかし図?に示す通り、各試験体の k のばらつきは、 λ の値に関わらず一定範囲に収まる結果となっており、予測式[1]、[2]を用いた予測は十分可能であると考えられる。

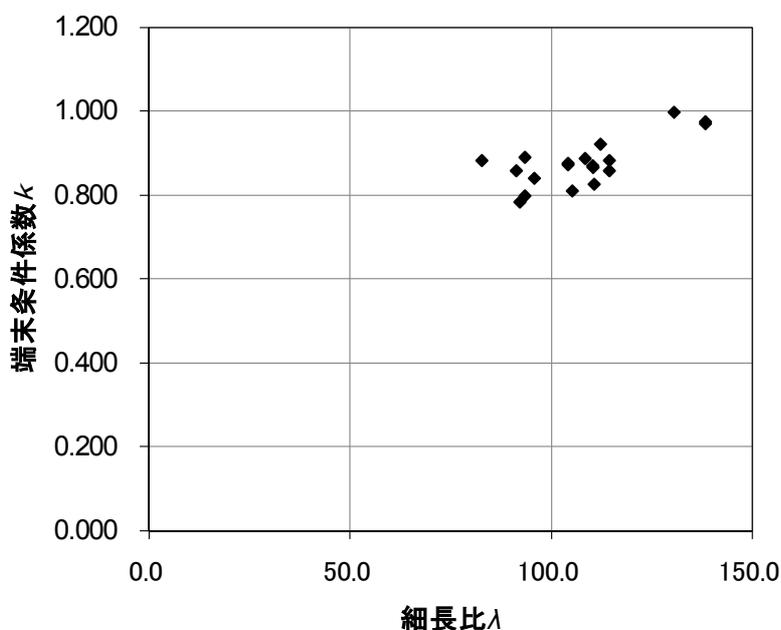


図 3.3 細長比 λ と末端条件係数 k の関係

表 3.5 に、過去の圧縮実験により得られた端末条件係数、および本実験により得られた端末条件係数 k を示す。それぞれについて、各試験体の k の平均をとったもの（50%の予想座屈荷重値）と、平均値から標準偏差を差し引いたもの（90%の予想座屈荷重値）を求めた。

本実験結果から求めた端末条件係数については、貫位置による分類も行った。

表 3.5 実験結果一覧

		端末条件係数(50%)	端末条件係数(90%)
過去の実験		0.83	0.72
今回の実験	全体	0.88	0.82
	加熱側のみ	0.92	0.91
	非加熱側のみ	0.85	0.80
	貫中央	0.88	0.86
	貫無し	0.83	0.77

表 3.5 より、50%のものについてはどれも 0.85 前後の値となっている。

また、今回の実験に関しては、貫無しのものが端末条件係数 k が最も小さく、貫が加熱側に寄るほど k の値が大きくなることが見受けられる。

この理由としては、

- ①非損傷性予測において加熱後の断面性能の予測を行う際に、危険側を想定し、貫部分が柱の上端から下端まですべて無いものとして、柱断面から断面 2 次モーメントを算出している。
- ②同一柱断面、貫の断面欠損の大きさが等しくあっても、貫位置が加熱側に寄るものほど中立軸からの距離が大きくなり、断面 2 次モーメントの減少は大きくなる。

以上 2 点より、貫の断面欠損位置が加熱側に寄るほど、実際の実験で得た座屈荷重/断面 2 次モーメントが大きくなり、端末条件係数 k が大きくなってしまったのではないかと考えられる。

4. 実大載荷加熱実験

4.1 実験概要及び目的

過去に長谷見らが行った実験により、載荷荷重を実態に即した荷重に限定することで、準耐火構造と同等の防耐火性能を有する土壁の仕様に見通しをつけることが出来た。しかし、通し貫による柱の断面欠損の位置や大きさは非損傷性に大きな影響を与えることが予測されているが、貫が加熱側に寄った土壁の仕様については、過去に載荷加熱実験を行った例が無く、載荷加熱実験により加熱時の挙動を明らかにする必要があると考えられる。

そのため、本研究では、通し貫の影響を系統的に把握する目的で、貫寸法、貫位置をパラメータとして変化させ、加熱後の柱断面を再現した柱圧縮実験を行い、続いて貫位置、貫寸法をパラメータとして変化させた小型土壁試験体について、加熱実験を行った。本実験では、それら 2 つの実験結果を踏まえ、貫が加熱側に寄った土壁の仕様について実大載荷加熱実験を行うことで、45 分以上の加熱に耐える土壁の仕様、条件を明らかにすることを目的とする。

4.2 試験体概要

試験体は中塗り終了後、乾燥養生を行った。また、試験体搬入前にチリ部分等の補修を行った。

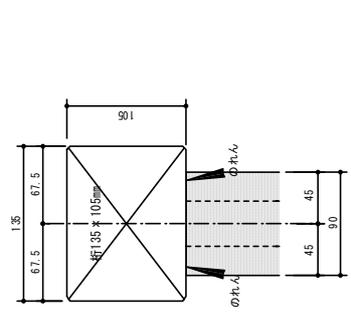
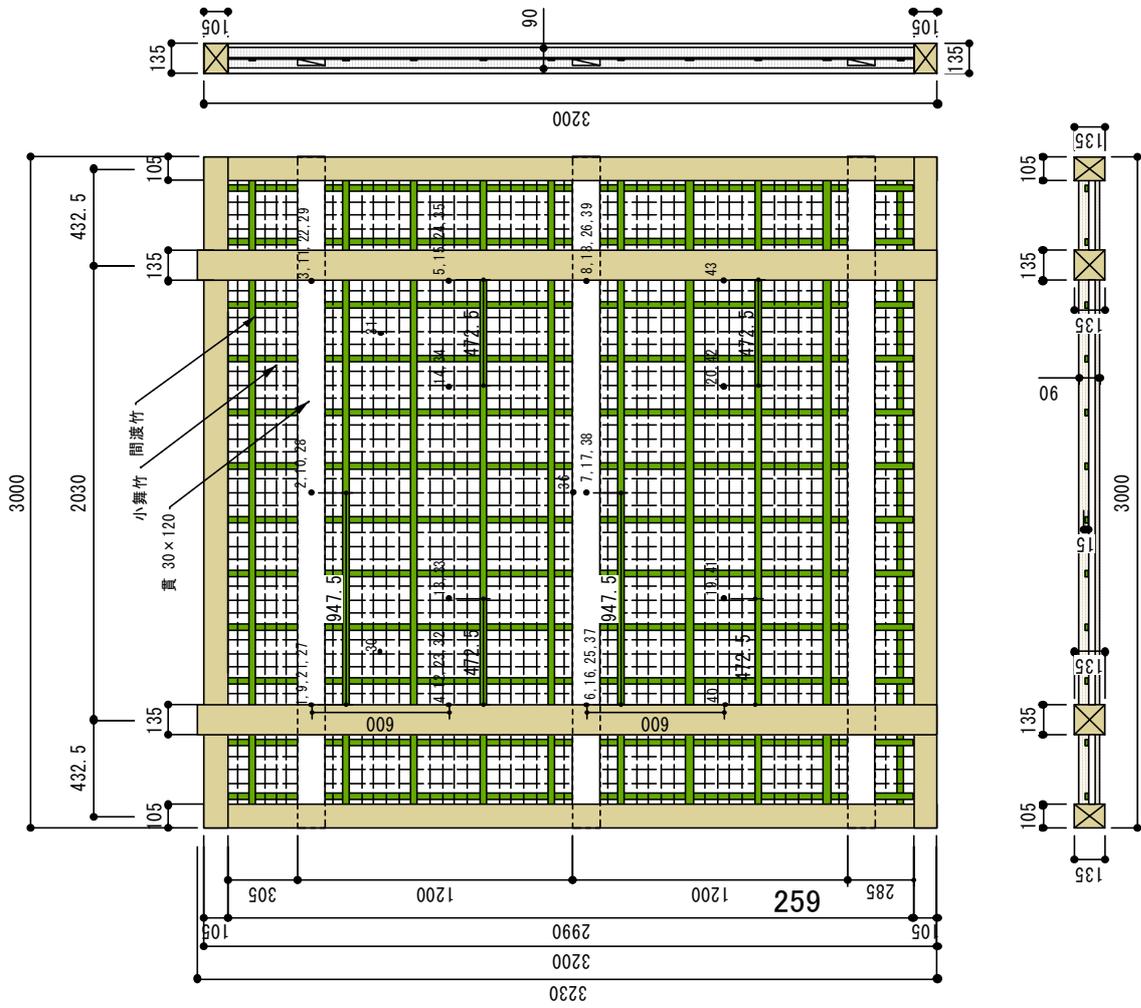
試験体外形寸法 3000mm×3230mm の 2 仕様 2 体の試験体で実験を行った。試験体仕様は表 4.1 に示す通り、土塗厚、貫寸法、位置をそれぞれ共通の 90 mm厚、30×120 mm、加熱側寄りとし、柱断面寸法を変えた 2 体である。表 4.1 に試験体仕様一覧を、図 4.1、4.2 に各試験体図面を示す。

表 4.1 試験体仕様一覧

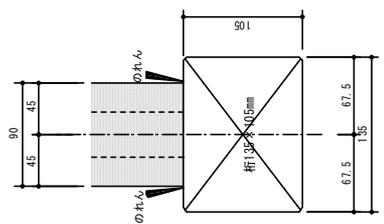
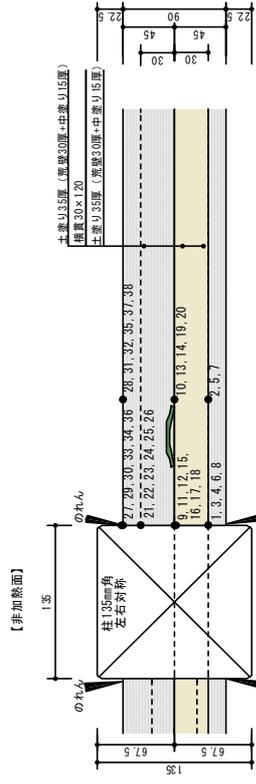
試験体	柱断面寸法	材料	柱ヤング係数 実測値 (KN/mm ²)	含水率 (%)			土壁	のれん打ち	エツリ・小舞	貫寸法 位置
				柱	土	貫				
KH-3R	135mm角	スギ集成材 E65-F255	柱①:7.40 柱②:8.16	12.8 12.5	4.0	14.3	90mm厚	両側	割竹	30×120mm 加熱側寄り
KH-4R	150mm角	スギ集成材 E65-F255	柱①:7.60 柱②:8.51	12.8 12.7	4.1	14.3	90mm厚	両側	割竹	30×120mm 加熱側寄り

4.3 実験方法

試験体を壁炉（於：財団法人建材試験センター 中央試験場）に設置し、試験体 KH-3R の柱には 19.5kN、試験体 KH-4R の柱には 39.6kN を載荷し、IS0834 標準加熱曲線にそって加熱を行った。目標加熱時間は 45 分とし、軸組の崩壊等、実験継続が困難と判断されるまでは加熱を続けることとした。



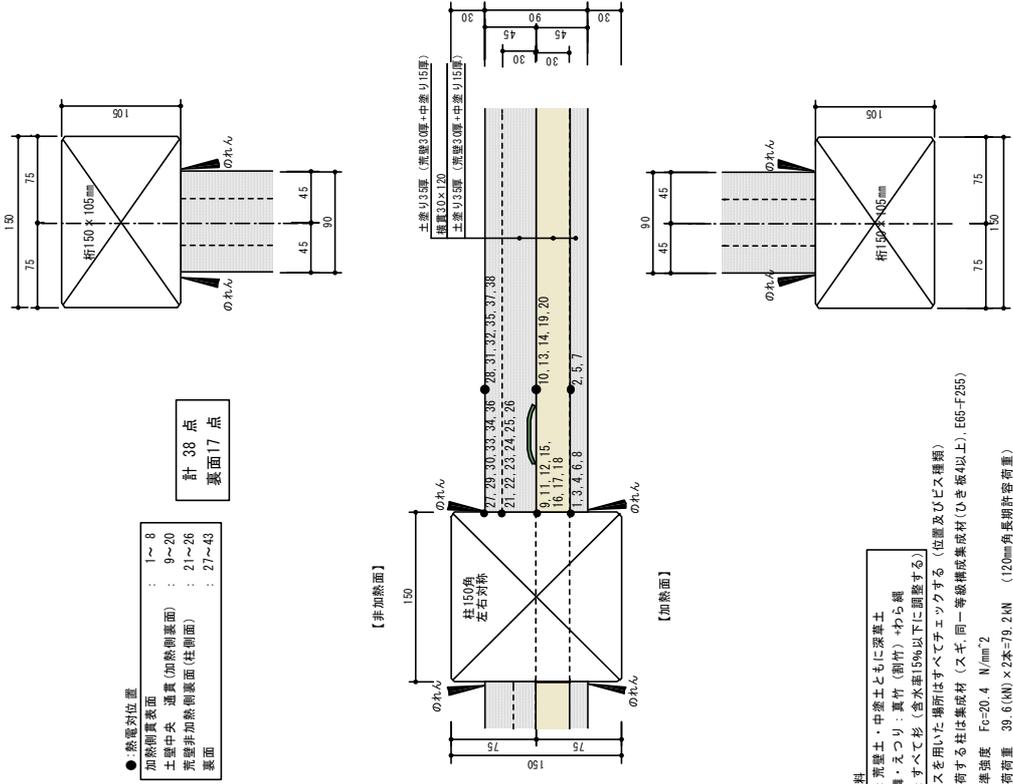
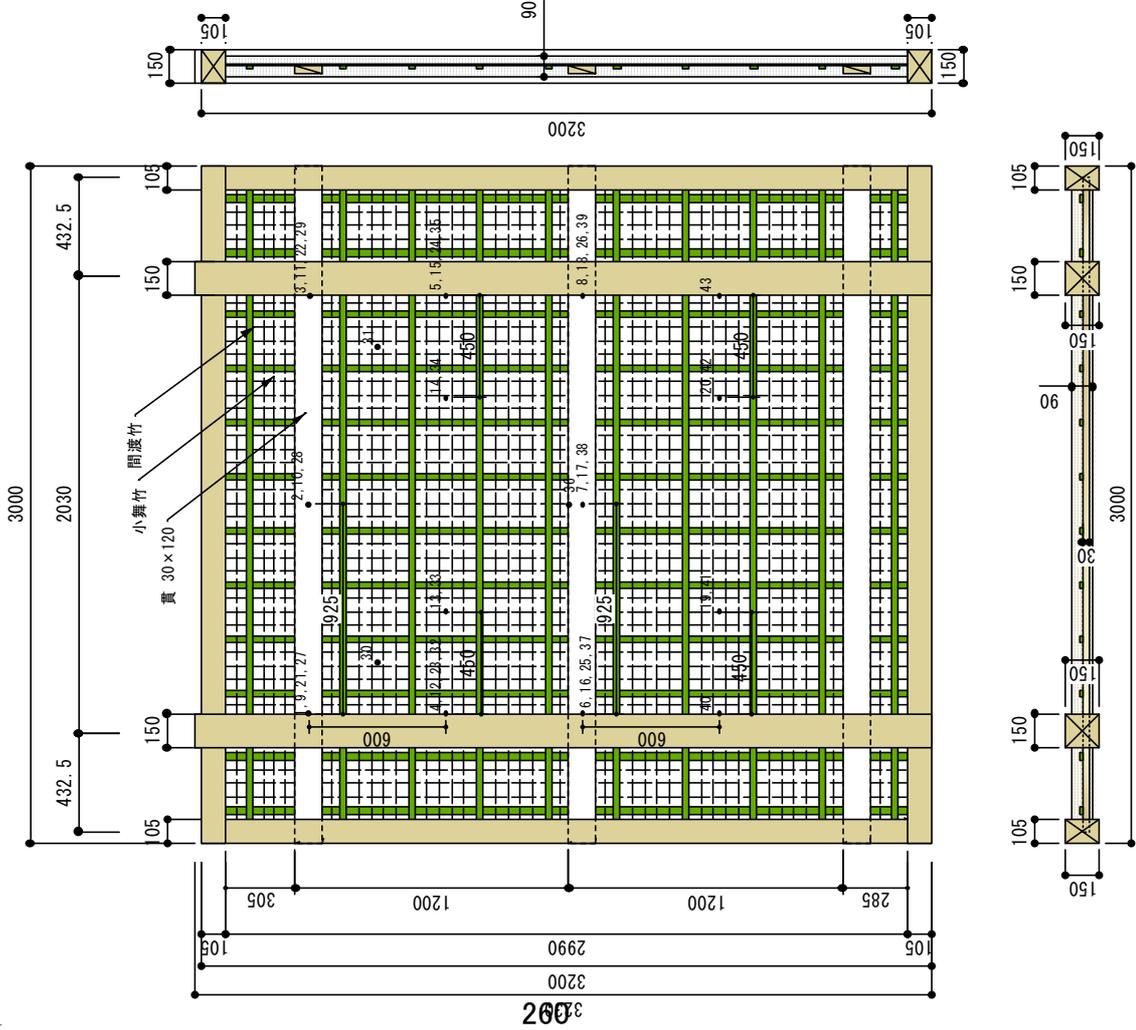
- 熱電対位置
- 加熱側表面 : 1~8
 - 土壁中央 通貫(加熱側表面) : 9~20
 - 非貫非加熱側表面(柱側面) : 21~26
 - 裏面 : 27~43
- 計 38 点
裏面 17 点



- 材料
- 土 : 荒壁土・中塗土ともに深草土
 - 小舞・えつり : 蘆竹(割竹)→わら綱
 - 木 : すて杉(含水率15%以下に調整する)
 - ビスを用いた箇所はすべてチェックする(位置及びビス種類)
 - 載荷する柱は集成材(スズ、同一等級集成材(ひき板4以上), E65-F255)
 - 容積強度 $F_c = 20.4 \text{ N/mm}^2$
 - 載荷荷重 $19.5 \text{ (kN)} \times 2 \text{ 本} = 39.0 \text{ (kN)}$
 - 集積材はすべて削りなし
 - 含水率測定用に柱の裏材(約10cm)を同条件で養生する

平成20年1月28日 (財) 建材試験センター 目標加熱時間 : 45分 載荷有り

早稲田大学理工学術院 長谷見雄二研究室	【準耐火構造土壁 載荷加熱実験】	試験体図面	S=1/20, 1/4	2
試験体 KH-3R	135mm角(裏返し張り土壁90mm)	外壁 荷重伝達仕様	載荷荷重 19.5kN	08/4/28



● 熱電対位置
 加熱側裏面 : 1~8
 土壁中央 通貫(加熱側裏面) : 9~20
 外壁非加熱側裏面(柱側面) : 21~26
 裏面 : 27~43

計 38 点
 裏面 17 点

- 材料
 土 : 荒壁土・中塗り土ともに深草土
 小舞・まつり : 真竹(割竹) → わら編
 木 : サベテ杉 (含水率15%以下に調整する)
 ■ ビスを用いた場所はすべてチェックする (位置及びビス種類)
 ■ 載荷する柱は集成材 (スモコ、同一等級構成集成材(ひき板4以上), E60-F255)
 ■ 基準強度 $F_c=20.4 \text{ N/mm}^2$
 ■ 載荷管重 $39.6 \text{ (kN)} \times 2 \text{ 本}=79.2 \text{ kN}$ (120mm角取組管重)
 ■ 軸組材はすべて割割りなし
 ■ 含水率測定用に柱の裏材 (約10cm) を同条件で養生する

軸組図

平成20年4月28日 (財) 建材試験センター 目標加熱時間 : 45分 載荷有り

早稲田大学 理工学術院 長谷貝雄二研究室	【準耐火構造土壁 載荷加熱実験】	試験体図面	S=1/20.1/4	1
試験体 KH-4R	150mm角 (裏返し張り土壁90mm)	外壁 荷重低減仕様 載荷重 120mm角長期許容荷重		08/4/28

4.4 載荷荷重の決定方法

KH-3R,KH-4R について、準耐火構造に必要な 45 分の非損傷性を確保出来る仕様に見通しをつけ、非損傷性予測の方法が妥当であるかを実際の載荷加熱実験を行い検証したい。3 章の柱圧縮実験の結果より、貫位置、貫寸法が変化した場合であっても、1.3 で上述した予測式[1]、[2]を用いることができるのではないかと見通しが得られた。よって、1.3 で上述した方法により加熱 45 分後の柱の断面を仮定し、断面 2 次モーメントを求め、45 分後の予想座屈荷重を求め、それに基づき載荷荷重を決定した。図 4.3 に KH-3R,KH-4R の 45 分加熱後仮定断面の形状を示す。また、表 4.2 に 45 分加熱後仮定断面の断面 2 次モーメントと、実大実験に用いる試験体の柱長さ 3230mm における、予測式[1]、[2]から求めた 45 分後の予想座屈荷重の関係一覧を示す。

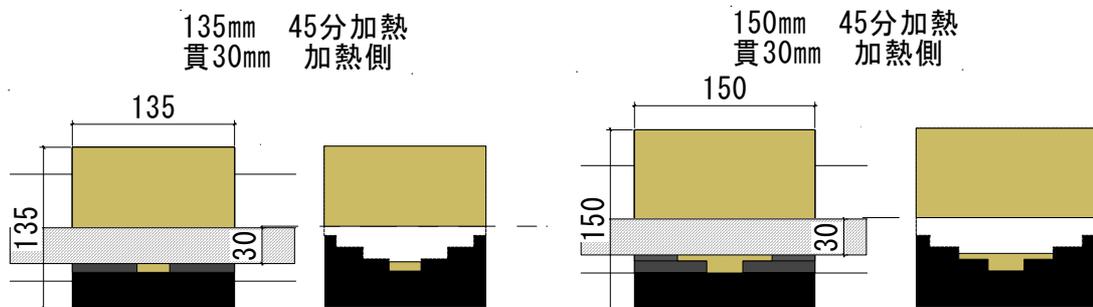


図 4.3 45 分加熱後の仮定断面（貫による柱の断面欠損部分は除く）

表 4.2 45 分加熱後仮定断面の断面 2 次モーメントと予想座屈荷重の関係

試験体名	仕様	45分加熱後 仮定断面	E65-F255 F _c =20.4N/mm L=3230mm	
		断面2次モーメント	50%予想座屈荷重(kN)	90%予想座屈荷重(kN)
KH-3R	135mm角	4370300	19.5	14.7
KH-4R	150mm角	8799000	39.3	29.6

以上から KH-3R については柱一本当たり 19.5kN、KH-4R については柱一本当たり 39.6kN(予想座屈荷重は 39.3kN であるが、39.6kN が 120 mm角長期許容荷重に相当するため)を載荷することとした。

4.5 測定項目

①試験体各部温度

K(CA)熱電対を試験体の各測定位置に取り付け、試験体非加熱面にディスク付き K(CA)熱電対を設置し、温度変化を 30 秒間隔で測定した。測定位置を試験体図に示す。

②炉内温度

試験体加熱面からシース型 K 熱電対を 12 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軸方向変形

軸方向変形量・軸方向変形速度を、変位計を用いて 30 秒間隔で測定した。

④面外方向変位

面外方向変位量を、変位計を用いて 30 秒間隔で測定した。

⑤その他

試験体加熱面及び非加熱面の目視観察、VTR 撮影、写真撮影、試験体非加熱面の熱映像撮影、試験終了後の炭化深さ等の測定を行った。



写真 4.1 試験体設置状況 KH-3R



写真 4.2 実験風景 KH-3R

4.6 実験結果

実験結果一覧を表 4.3 に、また、次項以降に KH-3R、KH-4R についての結果詳細をそれぞれ示す。両試験体とも非損傷性の加熱中に非損傷性の規定値(最大軸方向収縮量: 32.3mm、最大軸方向収縮速度: 9.69mm/分)は超えていないが、KH-4R については、76.5 分に片側の柱が座屈し、載荷することが、出来なくなった為、実験を終了した。KH-3R については 80 分に、先に行った KH-4R の結果より、これ以上実験を続ける場合、脱炉時に大きな危険が想定されると判断したため、実験を終了した。両試験体とも火炎貫通はなく、遮熱性の規定値(裏面平均温度: 初期温度+140K 裏面最高温度: 初期温度+180K)を超えず、非損傷性により決定した耐火時間は準耐火構造に必要とされる 45 分を大きく上回る結果となった。

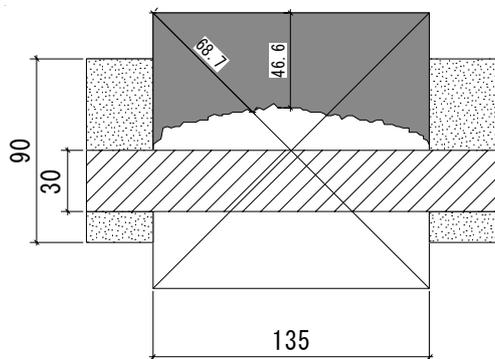
表 4.3 実験結果一覧

試験体	実験条件			非損傷性		遮熱性			遮炎性 火炎貫通	正面平均炭化深さ (mm)	正面平均炭化速度 (mm/分)	耐火時間
	載荷荷重(kN)	加熱時間	消火時間	軸方向		裏面温度(°C)						
				最大収縮量	最大収縮速度	初期	平均	最高				
KH-3R	19.5	80:00	83:45	3.66mm (32.3mm)	0.32mm/分 (9.69mm/分)	22.6	95.5 (162.6)	163.9 (202.6)	無し	49.2	0.59	80:00
KH-4R	39.6	76:30	81:45	14.45mm (32.3mm)	7.0mm/分 (9.69mm/分)	16.7	89 (156.7)	162.7 (196.7)	無し	45.8	0.56	76:30

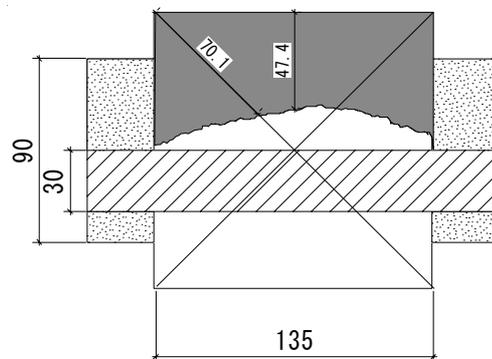
※カッコ内は非損傷性、遮熱性の規定値

4.6.1 KH-3R 実験結果

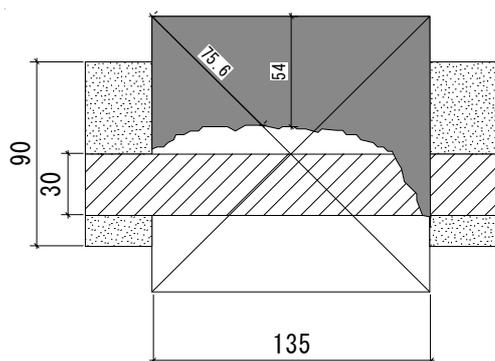
炭化図一覧



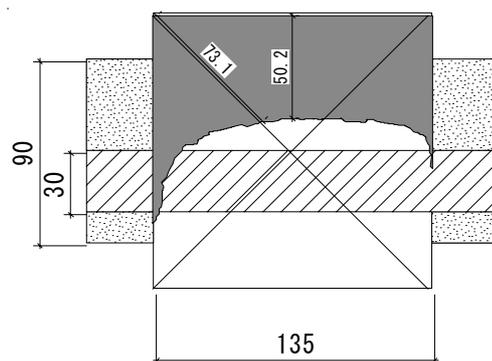
柱 A 上端から 940 mm



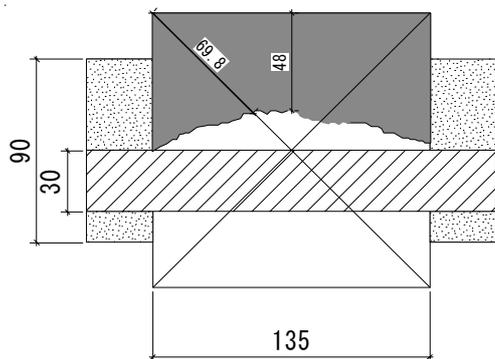
柱 B 上端から 940 mm



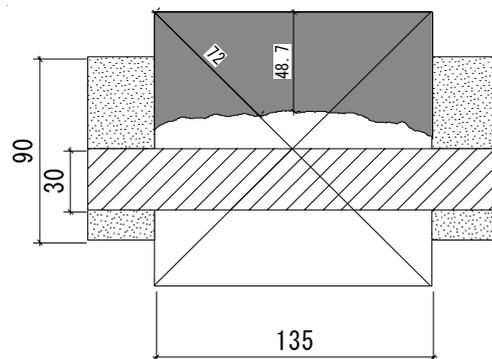
柱 A 上端から 1480 mm



柱 B 上端から 1480 mm



柱 A 上端から 2280 mm



柱 B 上端から 2280 mm

炭化速度一覧 KH-3R

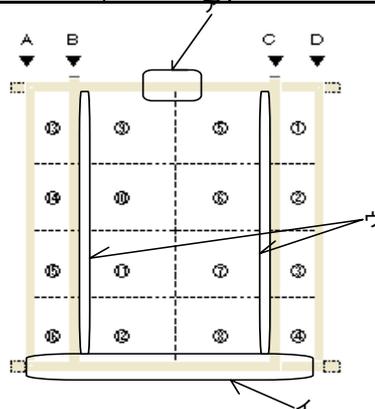
試験体名	加熱時間	脱炉時間	消火時間	炭化測定位置		炭化深さ(mm)		炭化速度① (mm/分) (炭化深さ/ 加熱時間)	炭化速度② (mm/分) (炭化深さ/ 脱炉時間)	炭化速度③ (mm/分) (炭化深さ/ 消火時間)
						正面	対角線			
KH-3R	80'00"	82'13"	83'45"	柱A	柱上端から940mm	46.6	68.7	0.58	0.57	0.56
					1480mm	54.0	75.6	0.68	0.66	0.64
					2280mm	48.0	69.8	0.60	0.58	0.57
				柱B	柱上端から940mm	47.4	70.1	0.59	0.58	0.57
					1480mm	50.2	73.1	0.63	0.61	0.60
					2280mm	48.7	72.0	0.61	0.59	0.58

観察記録 KH-3R

加熱時間 80分

消火時間 83分45秒

変化内容 (非加熱面)	経過時間	変化内容 (加熱面)
加熱開始	0:00	加熱開始
ア部から煙が出始める。	2:32	
ミシッと音が鳴っている。	6:15	
断続的にミキミキと音が鳴っている。	6:35	
	7:26	壁全体が黒くなり、柱にひび割れを確認。
A・D柱にシミを確認する。	7:45	
煙が大量に発生し始める。	8:00	
ウ部から煙が出始める。	11:35	
	12:18	B④より出火。
B・C電対箇所から激しく煙が噴き出す。	14:00	
	17:02	木片が弾けて落下する。
	18:52	D⑩より出火。 イ部と⑧・⑫の境が炭化している。
	25:13	柱から炎が揺らぐようになり始める。
バキバキバキと大きい音が鳴る。	34:20	
	35:40	C⑮柱の炭化部、一部剥離
イ部から煙が出始める。	35:45	
	36:06	火の粉が飛んだ。イ部がはらんで見える。
バキバキバキと大きい音が鳴る。	44:10	
ウ部に焦げを確認。	51:00	
	56:02	貫部分がはらんで見える。
A・B付近でバキと音が鳴った。	60:20	
断続的にバキバキと音が鳴っている。	67:00	
	71:37	B⑥柱表面剥離、貫部分のはらみが進む。
载荷加熱終了	80:00	载荷加熱終了
脱炉	82:13	脱炉
脱炉後、土壁が崩壊する。	82:35	脱炉後、土壁が崩壊する。
放水、消火	83:45	放水、消火



試験体 KH-3R

写真



加熱開始 0 分

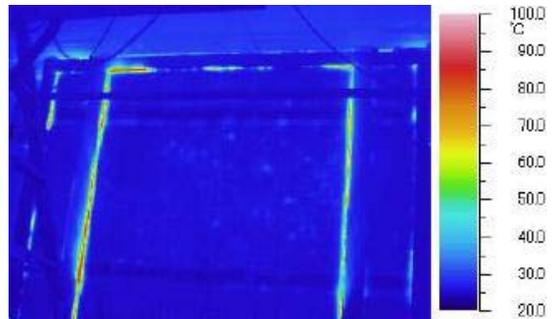
熱画像



加熱開始 0 分



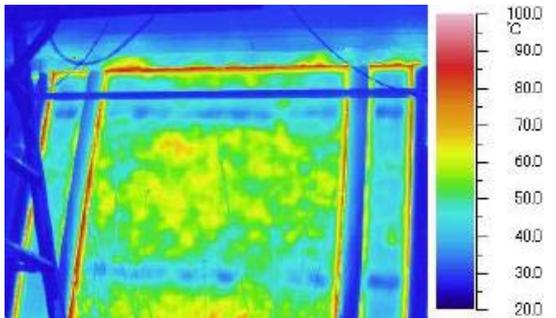
加熱開始 15 分



加熱開始 15 分



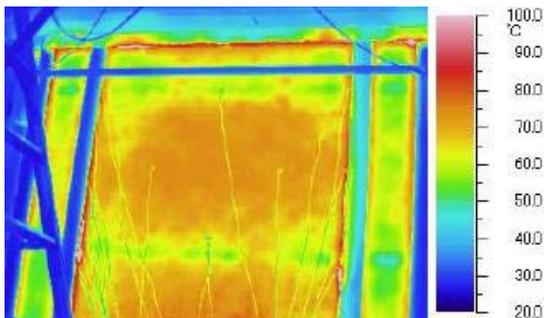
加熱開始 30 分



加熱開始 30 分



加熱開始 45 分



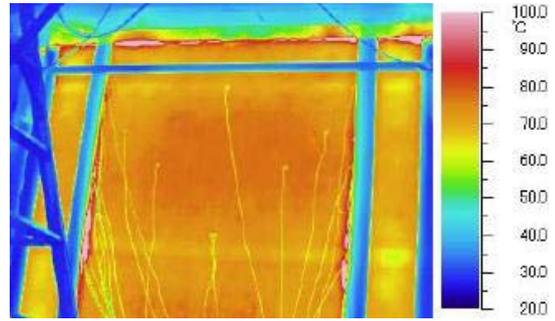
加熱開始 45 分

写真



加熱開始 60 分

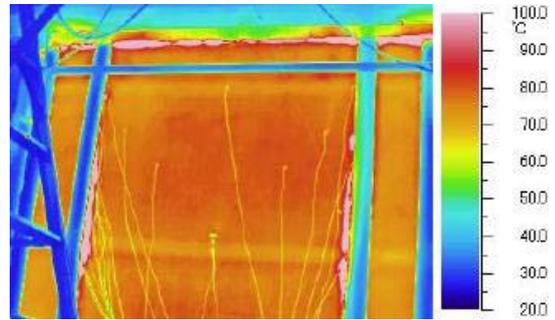
熱画像



加熱開始 60 分



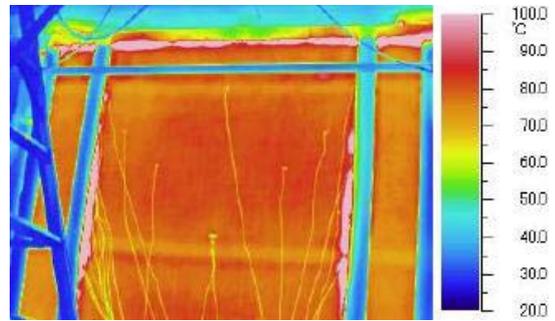
加熱開始 75 分



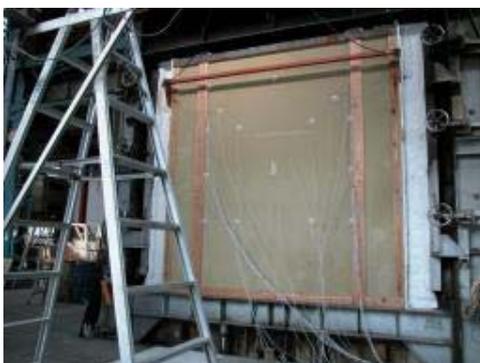
加熱開始 75 分



加熱開始 80 分



加熱開始 80 分



加熱前の試験体



脱炉直後の試験体



炭化写真一覧

KH-3R 温度データ一覧

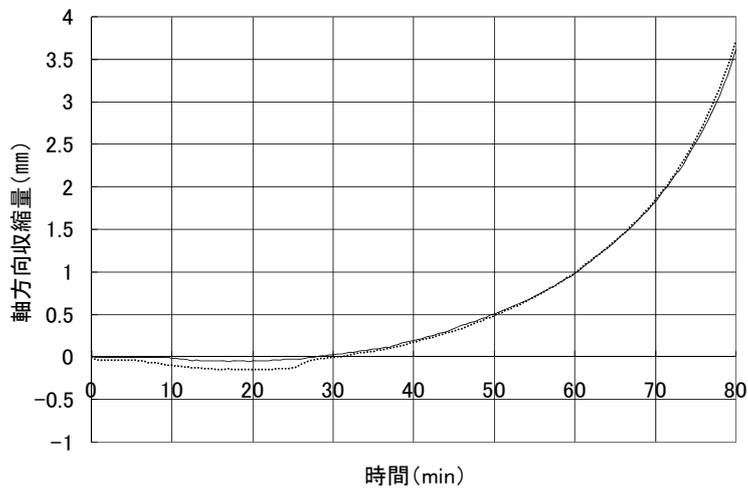


図 4.4 KH-3R 軸方向収縮量

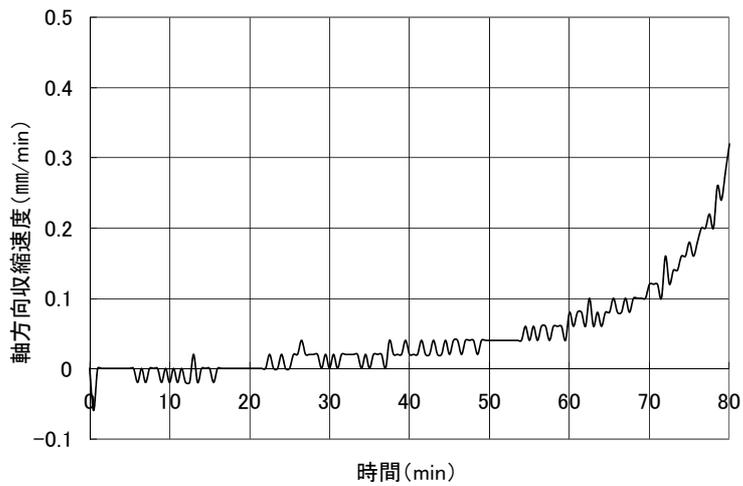


図 4.5 KH-3R 軸方向収縮速度

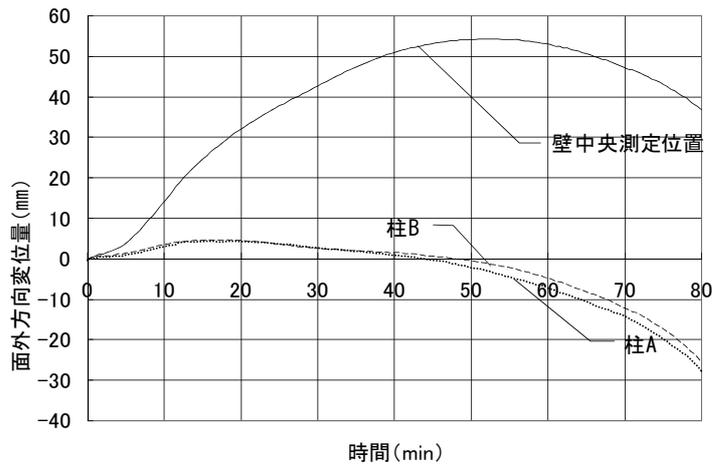


图 4.6 KH-3R 面外方向変位量

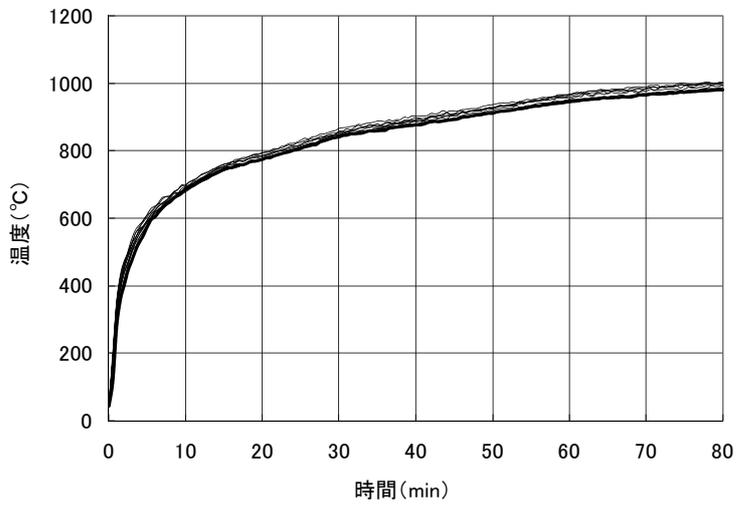


图 4.7 KH-3R 炉内温度推移

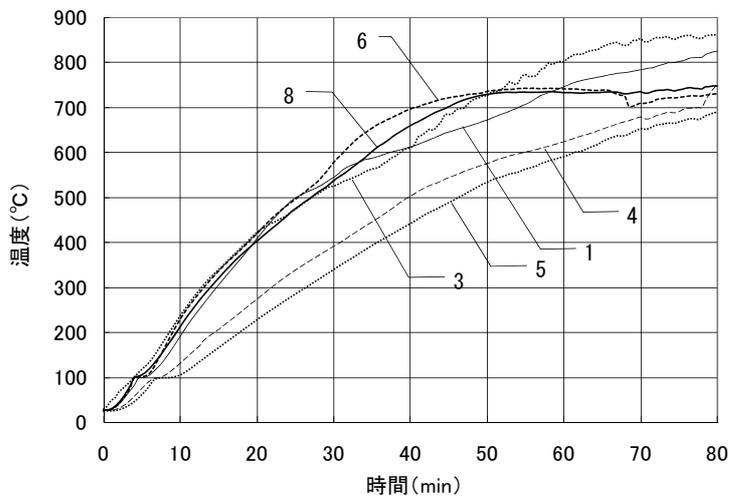


图 4.8 KH-3R 加熱側貫表面 柱子に際温度推移

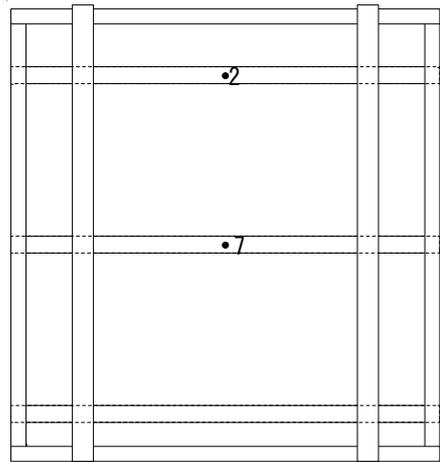
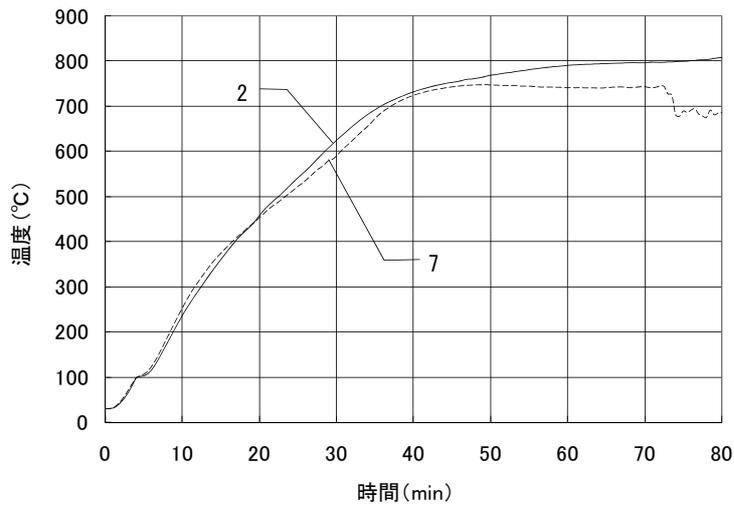


図 4.9 KH-3R 加熱側貫表面 土壁内部温度推移

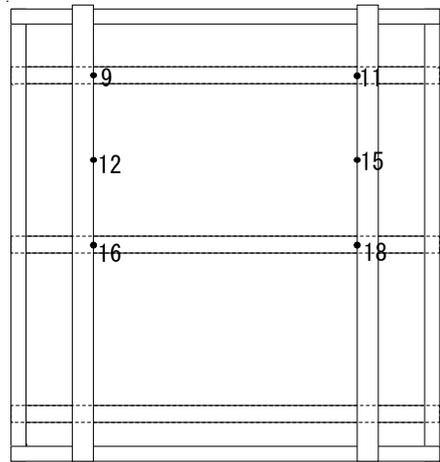
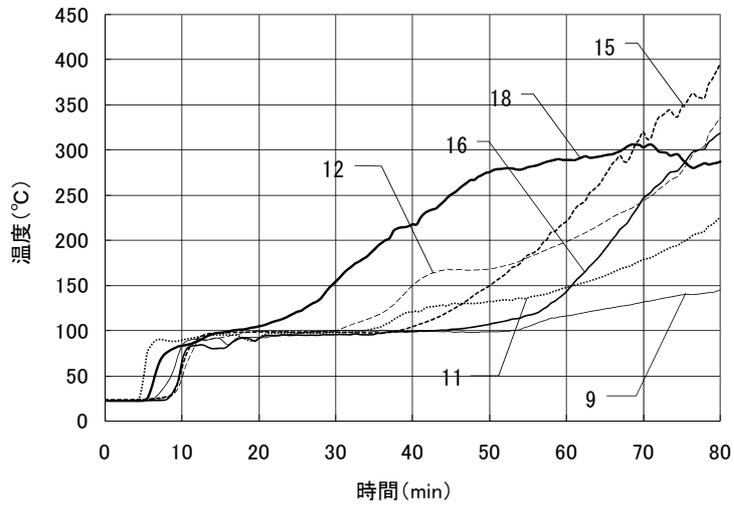


図 4.10 KH-3R 土壁中央(貫非加熱側表面) 柱ナリ際温度推移

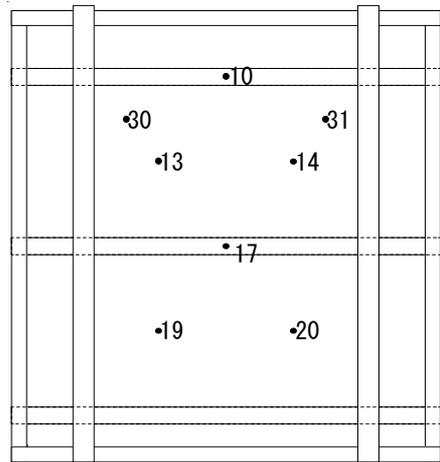
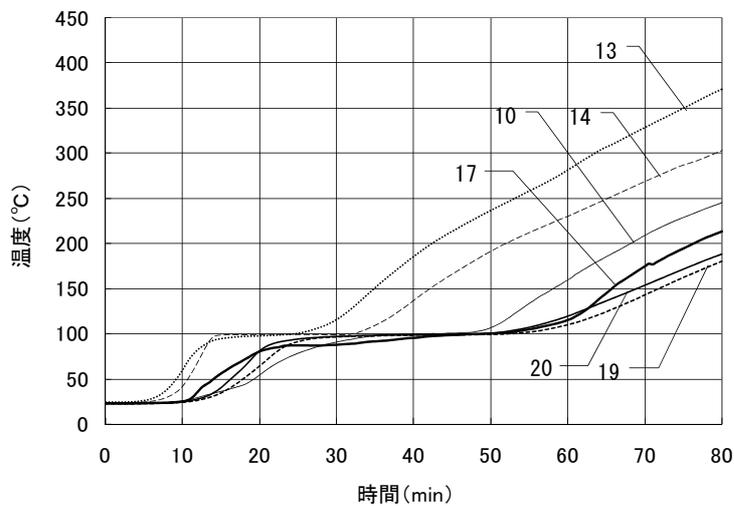


図 4.11 KH-3R 土壁中央(貫非加熱側表面) 土壁内部温度推移

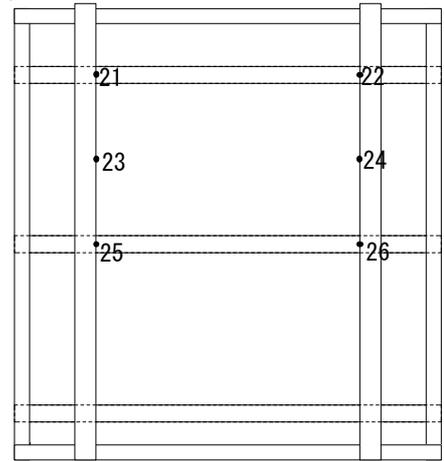
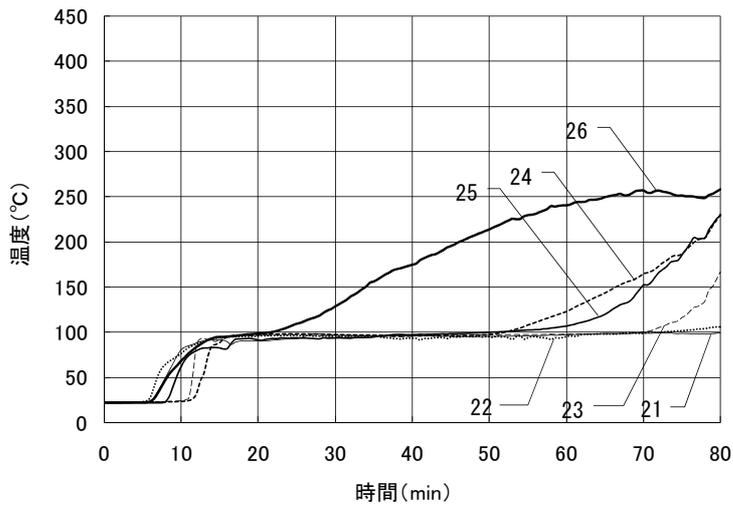


図 4.12 KH-3R 土壁非加熱側中塗部 柱チリ際温度推移

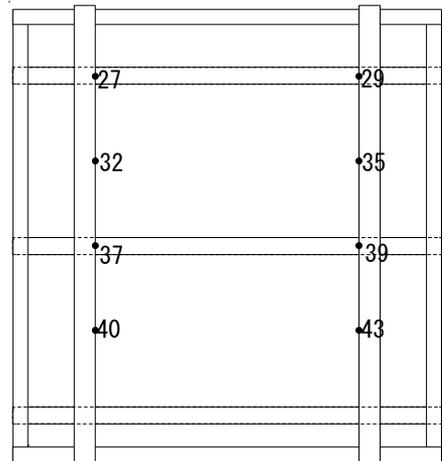
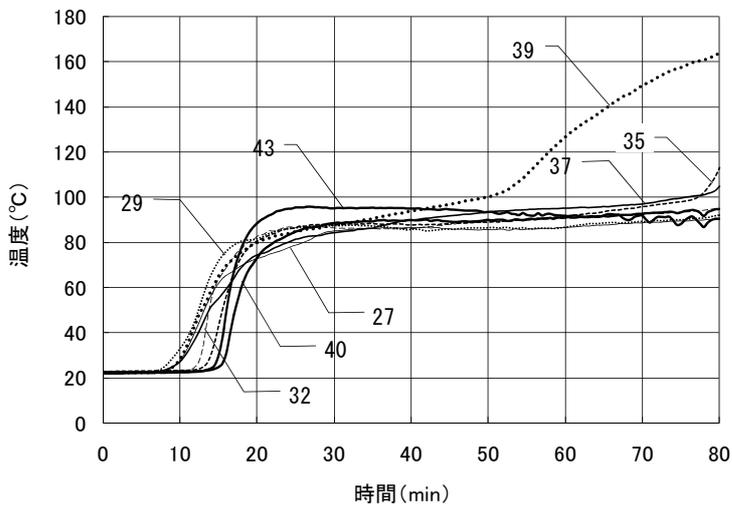


図 4.13 KH-3R 非加熱側試験体裏面柱チリ温度推移

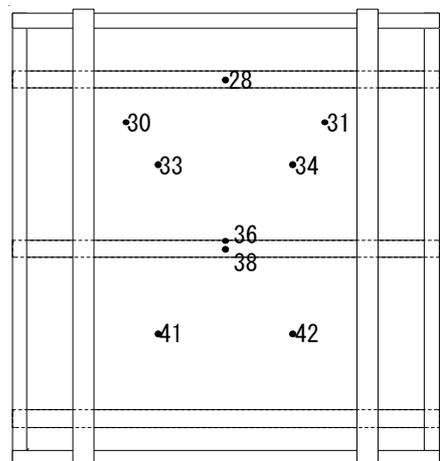
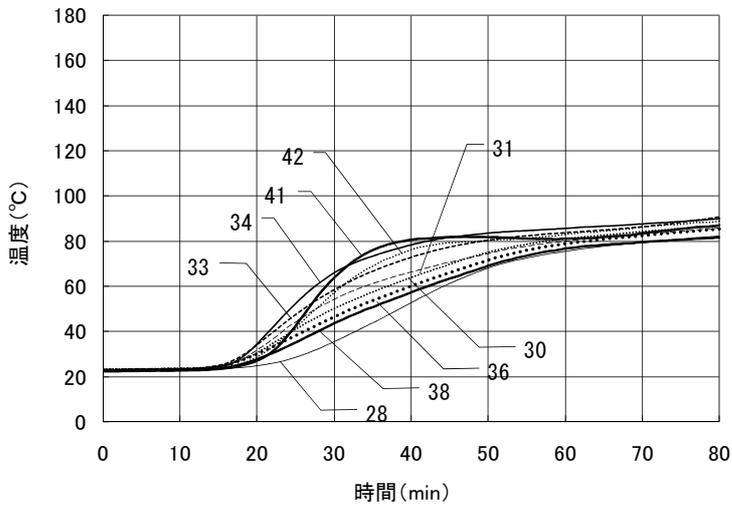
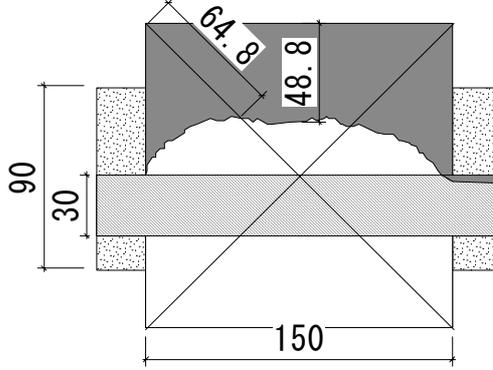


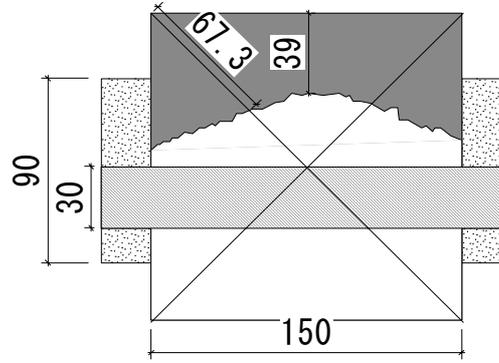
図 4.14 KH-3R 非加熱側試験体裏面温度推移

4.6.2 KH-4R 実験結果

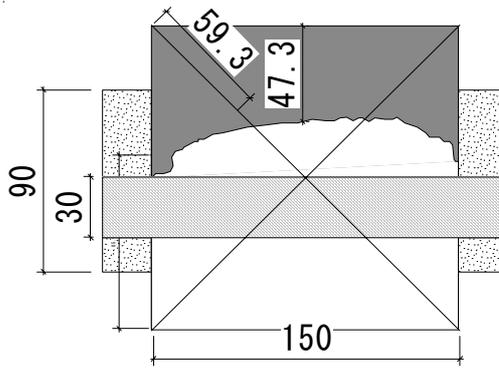
炭化図一覧



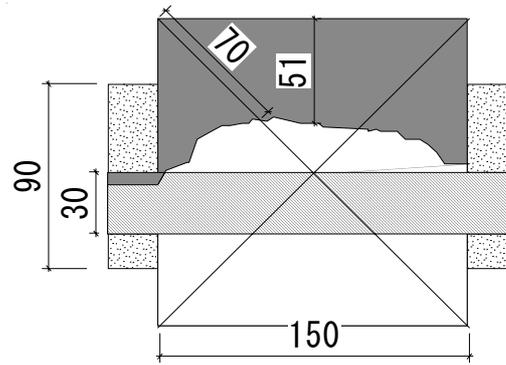
柱 A 上端から 940 mm



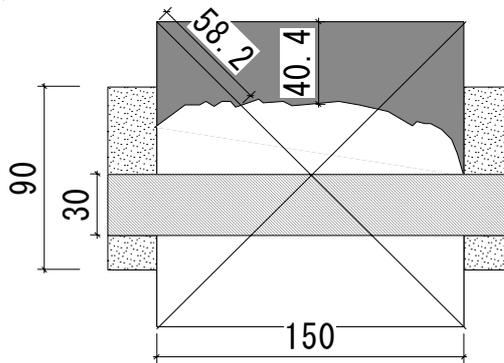
柱 B 上端から 940 mm



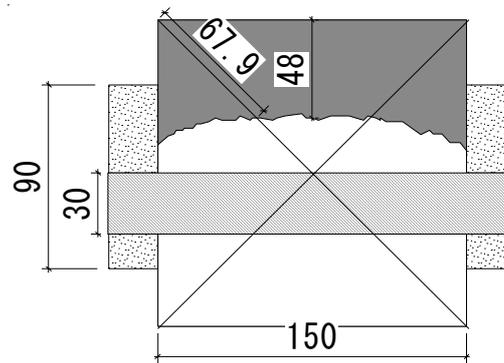
柱 A 上端から 1480 mm



柱 B 上端から 1480 mm



柱 A 上端から 2280 mm



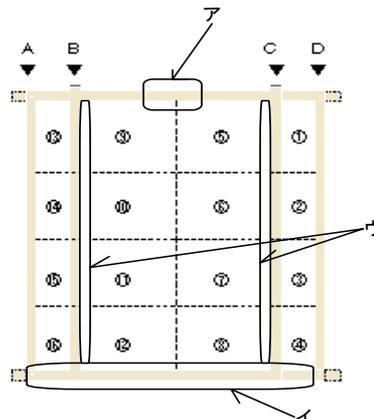
柱 B 上端から 2280 mm

炭化速度一覧 KH-4R

試験体名	加熱時間	脱炉時間	消火時間	炭化測定位置	炭化深さ(mm)		炭化速度① (mm/分) (炭化深さ/ 加熱時間)	炭化速度② (mm/分) (炭化深さ/ 脱炉時間)	炭化速度③ (mm/分) (炭化深さ/ 消火時間)	
					正面	対角線				
KH-4R	76'50"	78'45"	81'45"	柱A	柱上端から940mm	48.8	64.8	0.64	0.62	0.60
					1480mm	47.3	59.3	0.62	0.60	0.58
					2280mm	40.4	58.2	0.53	0.51	0.49
				柱B	柱上端から940mm	39.0	67.3	0.51	0.50	0.48
					1480mm	51.0	70.0	0.66	0.65	0.62
					2280mm	48.0	67.9	0.63	0.61	0.59

加熱時間 76.5分
消火時間 83分45秒

変化内容 (非加熱面)	経過時間	変化内容 (加熱面)
	0:00	加熱開始
⑬よりプチプチという音が聞こえる	2:23	
上辺から煙が発生する。		
あ部から煙が発生する。	3:08	
音が大きくなり、頻繁に聞こえ始める	3:40	
上辺の煙が横全体に広がり、	4:14	
絶え間なく吹き出し続ける。		
空気中に煙が漂う。	5:43	
ミシミシという鈍い音が聞こえた。	6:35	
	12:10	柱Aの下部より発火。
⑬左枠に亀裂を確認。	12:23	
	13:00	柱表面炭化、ヒビが確認される。
い部から煙を確認。	13:15	
	17:12	柱Cの下部より発火。
⑧⑪⑫部で水滴が発生。	19:09	
	20:14	柱のヒビが目立ち始める。
下辺から煙が発生し始める。	21:00	
	23:50	表面からガスが発生する。
	24:10	柱表面全体から発火。
C中央部で土と柱の剥離を確認	28:05	
	28:50	柱A表面がはじけ始める。
	29:52	柱C表面がはじけ始める。
③部に黒色の水滴を確認。	33:05	
	35:24	柱ヒビが一層目立つ。
⑥⑦⑩⑪がはらんで見える。	41:10	炎が激しく上がる。(特に上部)
大きな音と共に座屈した。	56:50	
	76:00	
加熱終了	76:44	加熱終了
載荷終了	77:58	載荷終了
脱炉後、土壁が崩壊	78:45	脱炉後、土壁が崩壊
消火(土部分)	80:10	消火(土部分)
消火(枠部分)	81:45	消火(枠部分)
全体を水に浸す	85:15	全体を水に浸す



試験体 KH-4R

写真



加熱開始 0 分

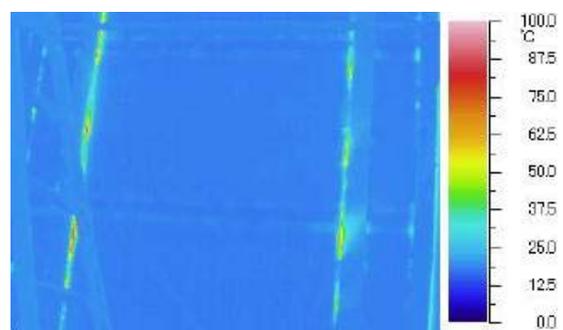
熱画像



加熱開始 0 分



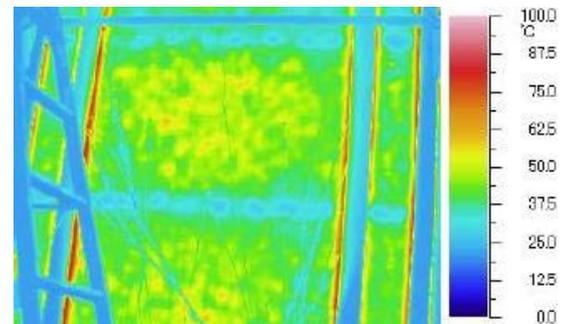
加熱開始 15 分



加熱開始 15 分



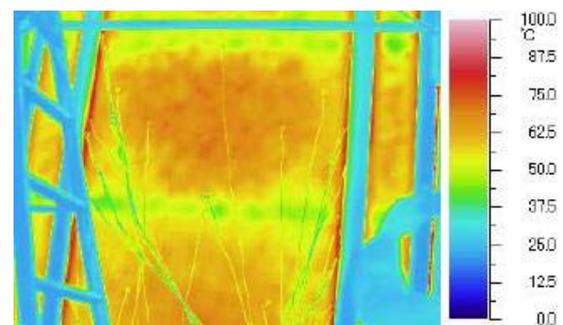
加熱開始 30 分



加熱開始 30 分



加熱開始 45 分



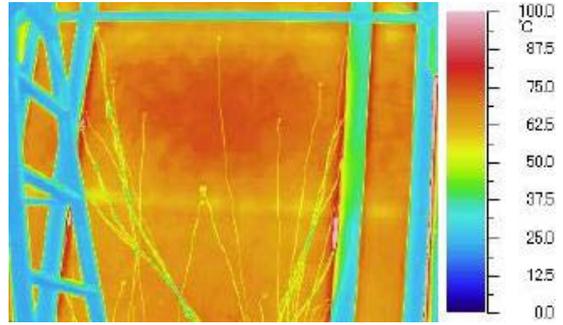
加熱開始 45 分

写真



加熱開始 60 分

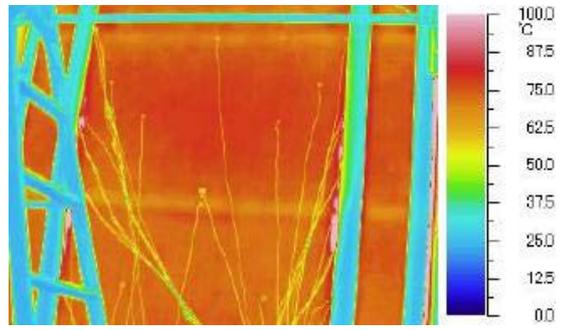
熱画像



加熱開始 60 分



加熱開始 75 分



加熱開始 75 分



加熱前の試験体



脱炉直後の試験体



炭化写真

KH-4R 温度データ一覧

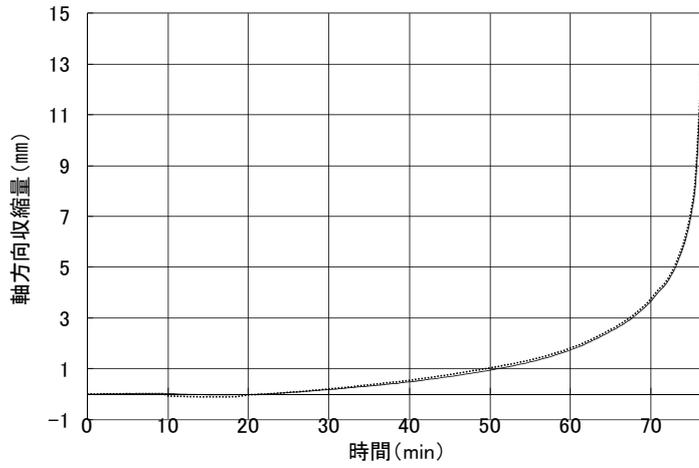


図 4.15 KH-4R 軸方向収縮量

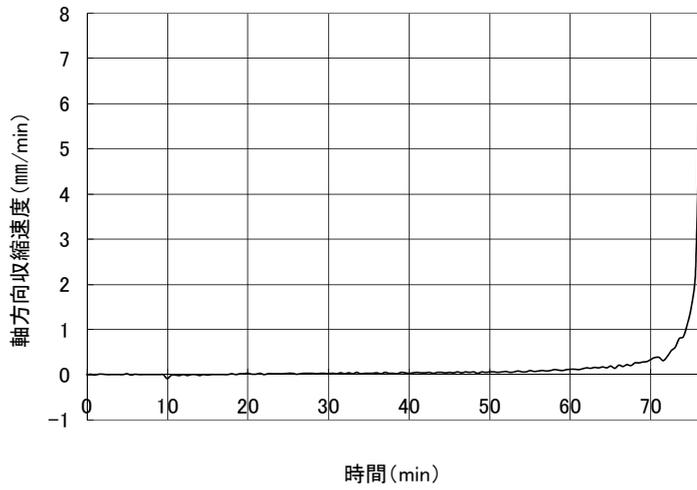


図 4.16 KH-4R 軸方向収縮速度

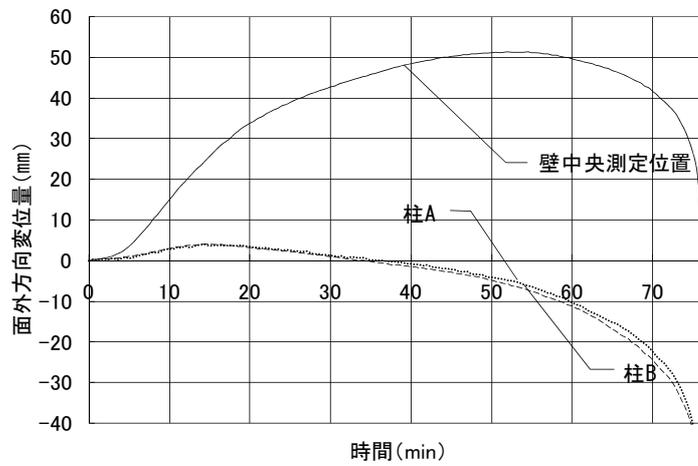


図 4.17 KH-4R 面外方向変位量

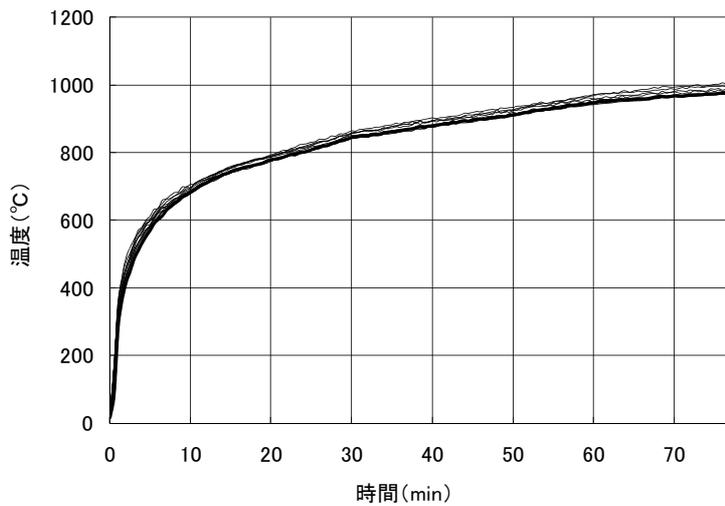


图 4.18 KH-4R 炉内温度

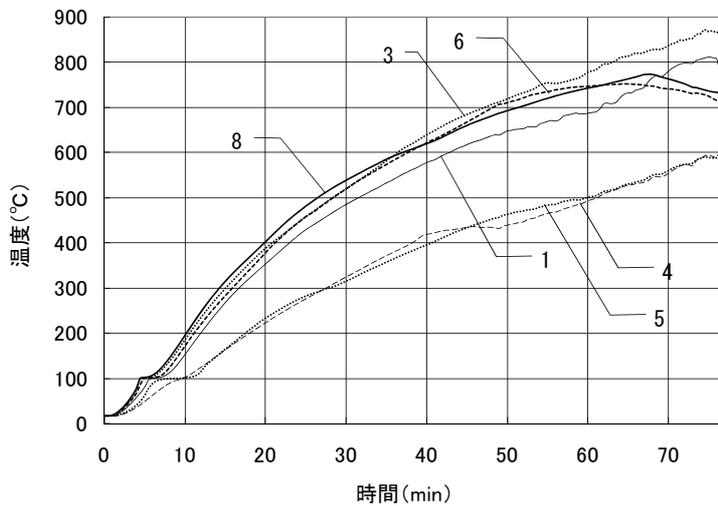


图 4.19 KH-4R 加熱側貫表面 柱子り際温度推移

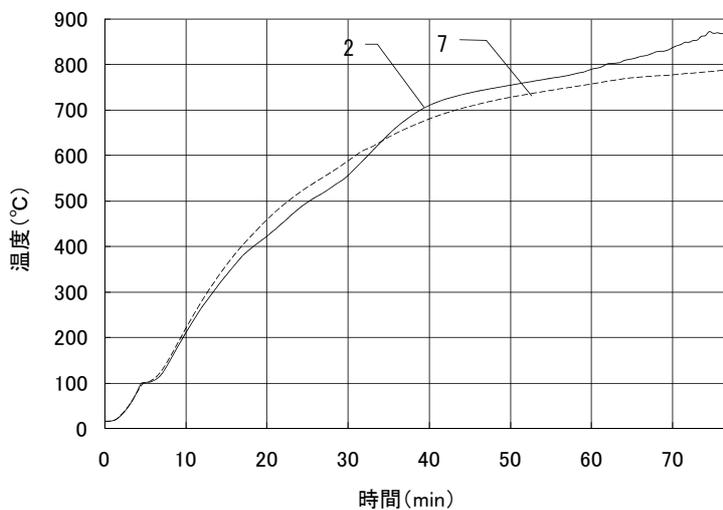
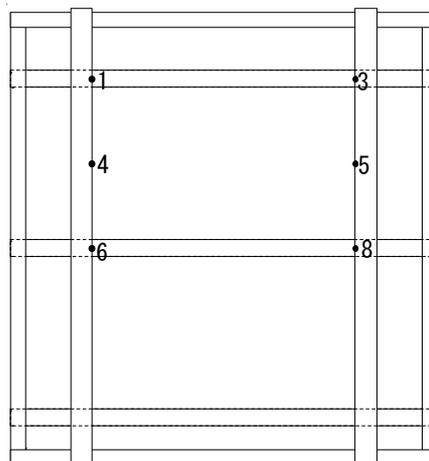
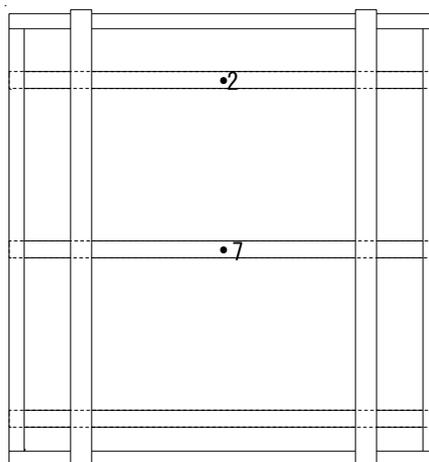


图 4.20 KH-4R 加熱側貫表面 土壁内部温度



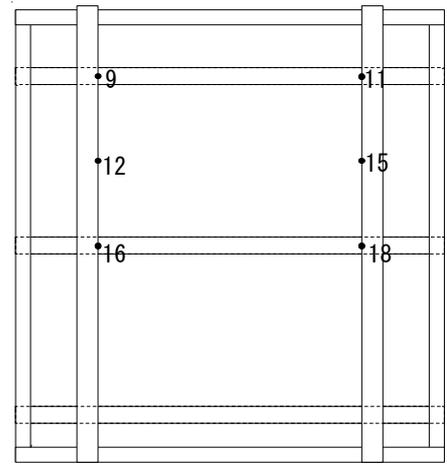
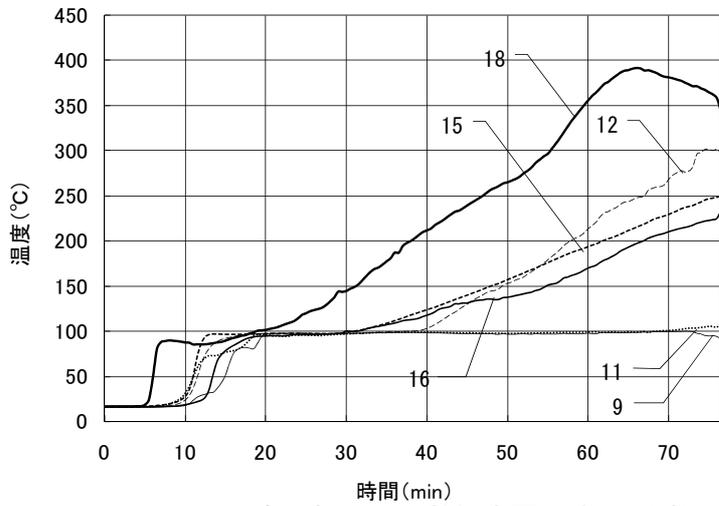


図 4.21 KH-4R 土壁中央(貫非加熱側表面) 柱子り際温度推移

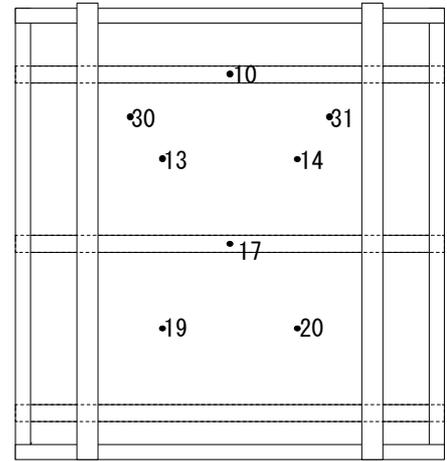
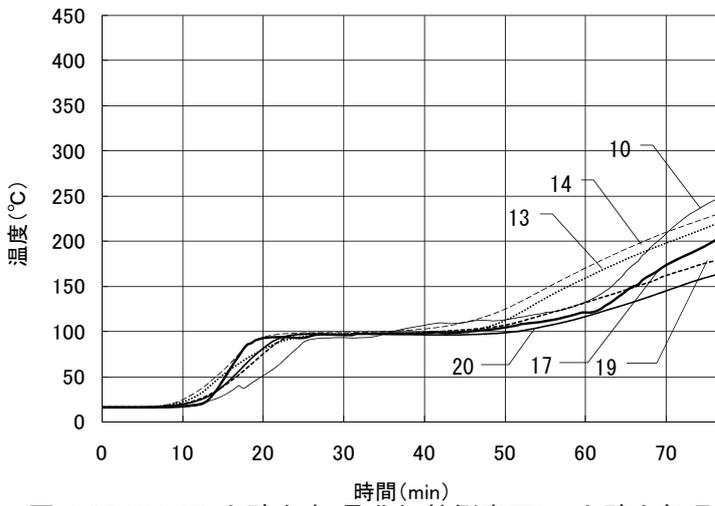


図 4.22 KH-4R 土壁中央(貫非加熱側表面) 土壁内部温度推移

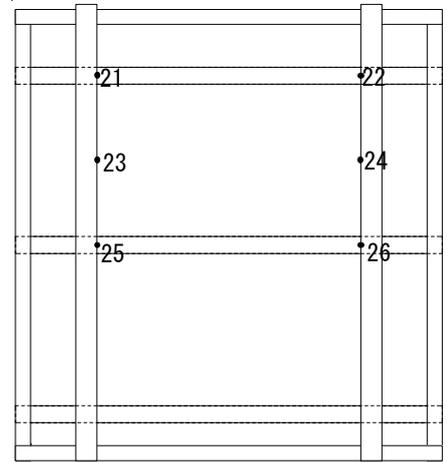
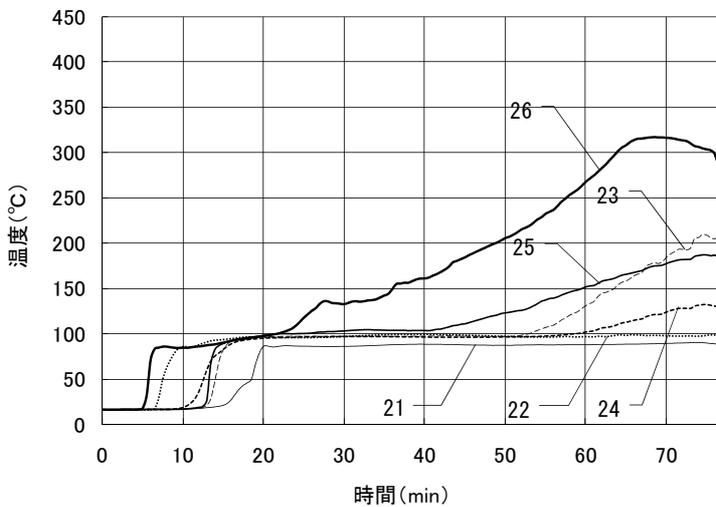


図 4.23 KH-4R 土壁非加熱側中塗部 柱子り際温度推移

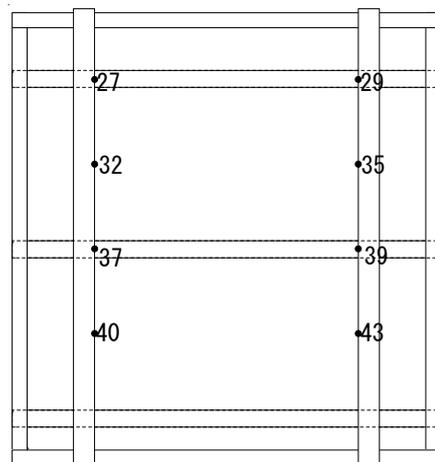
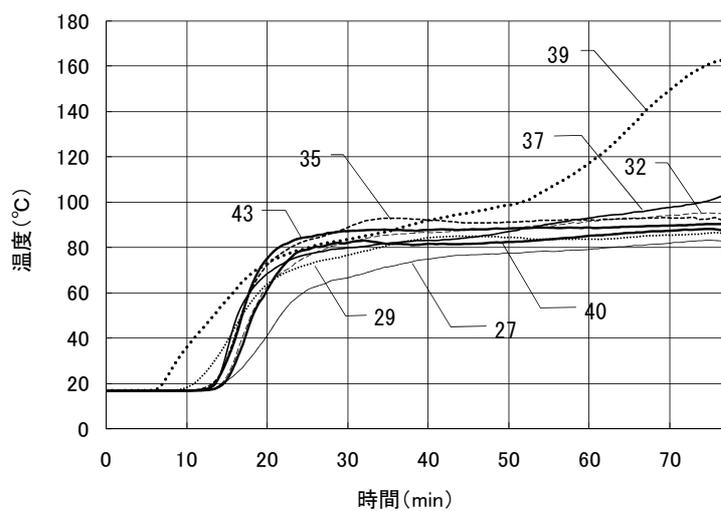


図 4.24 KH-4R 非加熱側試験体裏面柱チリ際温度推移

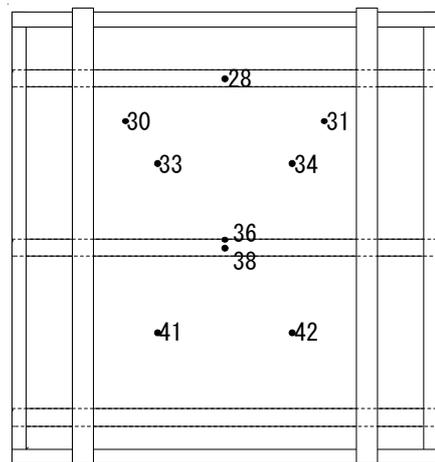
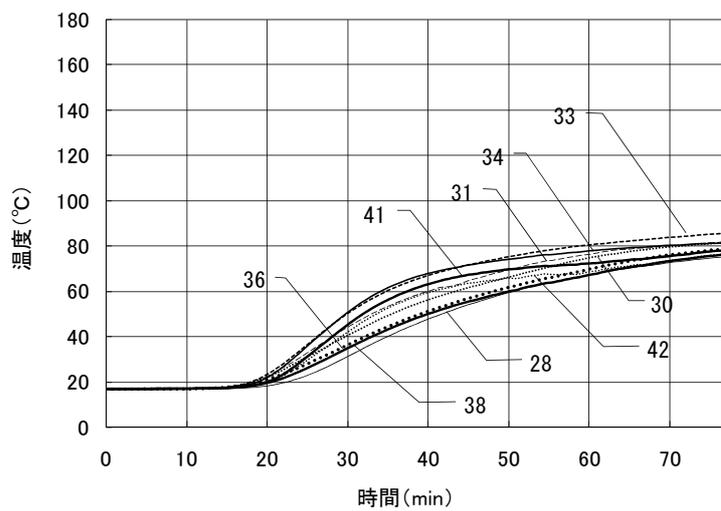


図 4.25 KH-4R 非加熱側試験体裏面温度推移