

構造用製材の耐火性能 その3：柱、はりの载荷加熱試験

正会員 山田 誠 *1、同 中村 賢一*2、同 遊佐 秀逸*2
同 成瀬 友宏*3、同 増田 秀昭*3、同 宮林 正幸*4、
同 佐藤 章 *1

構造用製材 柱 はり
ISO834载荷加熱 耐火性能

1. 目的

国産材のスギ及びカラマツの構造用製材について、燃えしろ設計を行う上での技術的資料を得る目的として柱部材及びはり部材の载荷加熱試験を実施した結果を報告する。

2. 試験体

試験体は、表 - 1 に示すように国産材のスギ及びカラマツの柱及びはり部材を選定した。

表-1 スギ、カラマツ試験体仕様

試験体記号	断面寸法 (cm)	長さ (m)	部位	樹種等	JAS等級基準強度等	試験時(絶乾)		载荷荷重 kN (ton)
						含水率 (%)	比重 g/cm ³	
CL-S18	18×18	2.5	柱	スギ	乙種2級 D15-E50 基準強度: 20.4N/mm ²	6.6	0.37	198.5 (20.25)
CL-S24	24×24					31.0	0.33	405.1 (41.31)
CL-S30	30×30					22.7	0.31	673.4 (68.67)
CL-K18	18×18	2.5	柱	カラマツ	乙種2級 D15-E90 基準強度: 20.4N/mm ²	19.2	0.48	198.5 (20.25)
CL-K24	24×24					10.6	0.62	405.1 (41.31)
BL-S18	18×36	5.8	梁	スギ	甲種 D15-E50 基準強度: 25.8N/mm ²	9.6	0.34	40.0 (4.08)
BL-S24	24×36					20.0	0.32	53.4 (5.44)
BL-K18	18×36		梁	カラマツ	甲種 D15-E90 基準強度: 25.8N/mm ²	15.9	0.63	40.0 (4.08)
BL-K24	24×36					15.6	0.44	53.4 (5.44)

試験体断面寸法は、柱材では 18 × 18cm、24 × 24cm (スギは 30 × 30cm を追加)、はり材では 16 × 36cm、24 × 36cm のものを用いた。試験に供した材料は、柱材では長さ 3m 又は 4m を、はり材では 6m 材を人工乾燥して表面の含水率が 15 % 以下となるように調整し、所定の寸法に切断して試験体とした。残存部分からサンプルを採取し、絶乾 (105 °C で恒量に達するまで) により含水率と比重を測定した。供試時の含水率は、スギでは 6.6 % ~ 31 %、カラマツでは 10.6 % ~ 19.2 % であった。比重はスギでは 0.31 ~ 0.37g/cm³、カラマツでは 0.44 ~ 0.62g/cm³ であった。

3. 実験方法

柱及びはり試験体は、建築研究所の水平炉に図 - 1 及び図 - 2 に示すように設置した。柱部材は、加熱炉中央部にベース金物を敷いて下部を固定し、試験体長さ 2.5m のうち、1.85m 部分を加熱した。はり部材は支点間距離 5.4m とし、加熱部分は 4.0m とした。試験は、

部材に長期許容応力度に相当する応力度を载荷しながら ISO/834 に規定する耐火加熱曲線に沿って加熱した。加熱は、柱部材においては、最大軸方向収縮量 (h/100)25mm 又は最大軸方向収縮速度 (3h/1000)7.5mm/分を超えるまで、はり部材では最大たわみ量 (L²/400d) 又は最大たわみ速度 (L²/9000d) が基準値を超えるまでとした (ここで、h=柱の高さ、L=支点間距離、d=はりせい、単位: mm)。载荷荷重は、表 - 1 に示す基準強度を基に算出した。

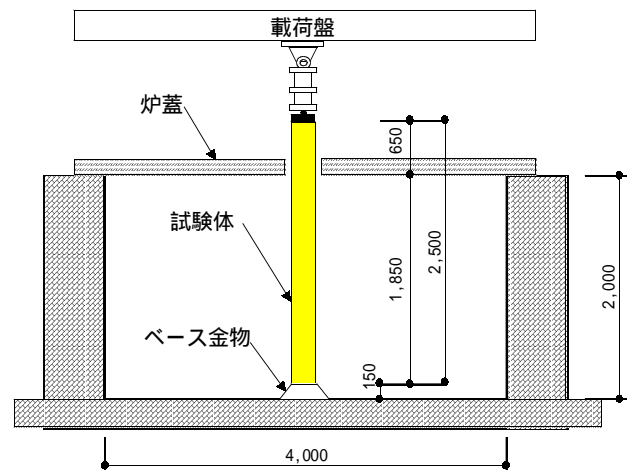


図-1 柱部材、設置状況

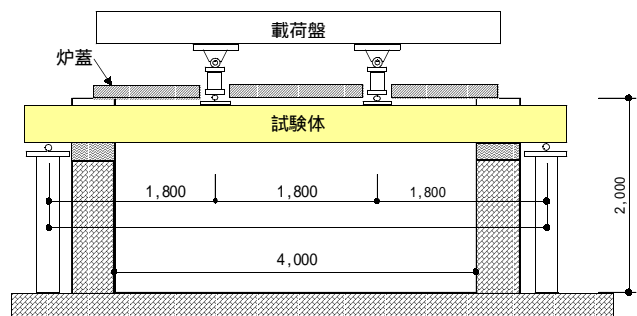


図-2 はり部材、設置状況

4. 試験結果

载荷加熱試験の結果を表 - 2 に示し、柱部材の軸方向変位量の推移を図 - 3 に、はり部材の中央部たわみ量の推移を図 - 4 に示す。この結果から、スギの柱部材ではいずれも 30 分以下で破壊が生じ、カラマツでは 40 分弱で座屈破壊を生じた。スギはり部材では、18 × 36cm が 44 分、24 × 36cm が 54 分に破壊し、カラ

マツはり材では、18 × 36cm が 54 分に、24 × 36cm が 62 分に曲げ破壊を生じた。柱材及びはり材のいずれについてもスギに比べカラマツ材の耐火性能は上っていた。

表-2 載荷加熱試験結果概要

試験体記号	加熱時間 (分)	載荷荷重 (kN) (tonf)	最大変形量	最大変形速度	炭化速度 (mm/分)	備考、その他
			基準値: (分)	(mm/分)		
CL-S18	20.5	199 (20)	22.7mm	38.6	測定不可	座屈破壊
			(20.5分)	(20.5分)		
CL-S24	23.0	405 (41)	11.5mm	35.4	0.60	座屈破壊
			(23.0分)	(23.0分)		
CL-S30	23.5	673 (69)	18.0mm	17.3	0.83	座屈破壊
			(23.5分)	(23.5分)		
CL-K18	38.5	199 (20)	117.6 mm	219.2	0.66	座屈破壊
			(38.5分)	(38.5分)		
CL-K24	37.0	405 (41)	8.3mm	5.6	0.77	座屈破壊
			(37.0分)	(37.0分)		
BL-S18	44.0	41 (4.2)	151.8mm	24.8	0.80	曲げ破壊
			(44.0分)	(43.0分)		
BL-S24	54.0	54 (5.6)	216.4 mm	13.1	0.66	曲げ破壊
			(54.0分)	(52.0分)		
BL-K18	54.0	41 (4.2)	109.8mm	61.6	0.84	曲げ破壊
			(54.0分)	(54.0分)		
BL-K24	62.0	54 (5.6)	120.8 mm	19.9	0.56	曲げ破壊
			(61.5分)	(61.0分)		

* : 炭化速度は参考値

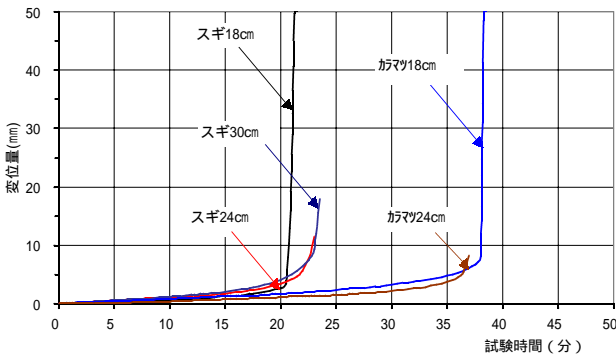


図-3 柱部材、軸方向変位量の推移

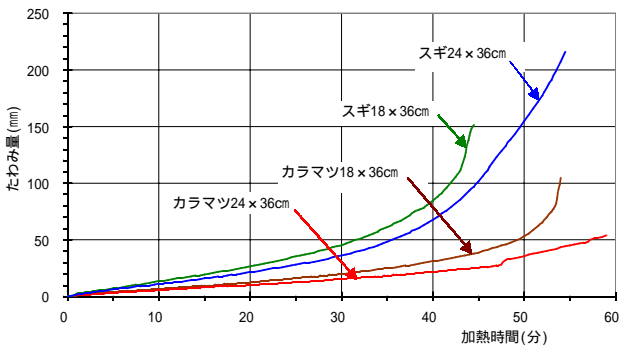


図-4 はり部材、最大変位量の推移

5. まとめ

柱及びはりの耐火時間（破壊時間）を基に、その時点における残存断面に生じている応力度から燃えしろ設計についての検討を行った。検討においては（その2）で実施した2体の柱試験体も含め、（その1）と同様に含水率及び平均比重に補正を行って、炭化速度を求めた。次いで、含水率補正後の炭化速度を用いて、

短期許容応力度に対する破壊時存在応力度の比を表-3のように求めた。

表-3 短期許容応力度に対する破壊時存在応力度比（柱、はり：含水率補正後炭化速度）

試験体番号	含水率 (%)	試験時間 (分)	炭化速度 (mm/分)	残存断面積 (cm ²)	載荷荷重 (kN)	存在応力度 (N/mm ²)	短期座屈応力度 (N/mm ²)	短期応力度に対する存在応力度の比
CL-S18	6.6	20.5	0.877	207.5	198.5	9.57	9.51	1.01
				398.6	405.1	10.16	11.79	0.86
				669.7	673.4	10.05	13.13	0.77
				1020.8	1197.1	11.73	12.51	0.94
CL-K18	19.2	38.5	0.623	174.3	198.5	11.39	8.77	1.30
				376.0	405.1	10.77	11.61	0.93
				416.4	618.8	14.86	10.06	1.48
				2196.5	360.4	16.41	17.02	0.96
BL-S24	9.7	49.5	0.689	3040.9	480.6	15.80	17.04	0.93
				2000.9	360.4	18.01	17.04	1.06
				2833.9	480.6	16.96	17.07	0.99
				2833.9	480.6	16.96	17.07	0.99

この結果では、比が 1.0 を超えている試験体は、18cm のスギ柱、18cm 及び 24cm のカラマツ柱と 18 × 36cm のカラマツはりの 4 体であり、その他の試験体では燃えしろ設計が成り立たないこととなる。これらの試験体は表-1 に示すように、繊維飽和点を超えるものも含まれていた。木材強度は、含水率が 5 % から繊維飽和点まではほぼ直線的に減少し、曲げ強度では含水率 1 % 当たり 4 % 増減する¹⁾。試験体含水率を 15 % に補正した強度増減値を用いて平均存在応力度比を算出した場合、表-3 の比の平均値はスギでは 1.17、カラマツでは 1.28 となった。従って、木材含水率 15 % 以下であれば燃えしろ設計が成立することになる。

製材の炭化速度は、（その 1）で報告したようにスギでは 0.79mm/分、カラマツでは 0.74mm/分であった。米国の炭化速度の算定式では、炭化層に隣接する部分の強度低下を考慮して炭化速度を 20 % 増加して計算しており²⁾、この方法を参考にスギ及びカラマツの炭化速度を 20 % 増やした場合の載荷加熱試験結果に基づく応力度比並びに燃えしろを計算した結果を表-4 に示す。その結果、応力度比は 1.2 以上となり、スギでは 30 分に対し 29mm、45 分に対し 43mm、60 分に対し 57mm の燃えしろがあれば燃えしろ設計が成立すると考えられる。なお、欧州の EUROCODE5 と米国の燃えしろの値を参考として表-4 に示した。

表-4 炭化速度と燃えしろ

樹種	炭化速度 (mm/分)	短期許容応力度に対する存在応力度の比		時間別の燃えしろ		
		柱試験*1	はり試験	30分 (mm)	45分 (mm)	60分 (mm)
スギ	0.79 (補正值)	1.14	1.05	23.7	35.6	47.5
	0.95 (補正值の1.2倍)	1.26	1.24	28.5	42.7	56.9
カラマツ	0.74 (補正值)	1.68	1.06	22.1	33.2	44.3
	0.89 (補正值の1.2倍)	2.32	1.26	26.6	39.9	53.1
欧州 EUROCODE 5	構造用集成材			28.0	38.5	49.0
	構造用製材			31.0	43.0	55.0
米国 TR-10	構造用集成材			26.0	36.2	45.7
	構造用製材					

*1: 柱試験の値は、含水率が15%を超える試験体について強度低減を考慮した値を示す。繊維飽和点(28.5%)を超える試験体は繊維飽和点まで強度低下するものと仮定した。

参考文献

- 1) 木材物理 p156, 森北出版(株), 1966
- 2) Calculating the Fire Resistance of Exposed Wood Members, AF&PA, Technical Report 10, 2003

*1: 財団法人 日本住宅・木材技術センター
 *2: 財団法人 ベターリビング筑波建築試験センター 工博
 *3: 独立行政法人 建築研究所
 *4: (有) ティー・イー・コンサルティング

*1: The Japan Housing & Wood Technology Center
 *2: Tukuaba Building Test Laboratory, Center for Better Living, Dr. Eng.
 *3: Buiding Research Institute
 *4: T, E, Consulting