



# 柱圧縮試験による木造土壁の火災加熱時の非損傷性 予測と木造土壁外壁の防火設計

安井, 昇 ; 清水, 真理子 ; 長谷見, 雄二 ; 村上, 雅英 ; 上島, 基英 ; 木  
村, 忠紀 ; 北後, 明彦 ; 田村, 佳英 ; 吉田, 正友 ; 山本, 幸一

---

## (Citation)

日本建築学会環境系論文集, 68(574):1-6

## (Issue Date)

2003-12-30

## (Resource Type)

journal article

## (Version)

Version of Record

## (Rights)

本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである

## (URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001098>



## 柱圧縮試験による木造土壁の火災加熱時の非損傷性予測と木造土壁外壁の防火設計

## PREDICTION AND DESIGN OF MECHANICAL FIRE RESISTANCE OF JAPANESE TRADITIONAL WOOD/SOIL WALLS BY COMPRESSION TESTS OF WOOD POSTS

安井 昇\*, 清水 真理子\*\*, 長谷見 雄二\*\*\*, 村上雅英\*\*\*\*, 上島基英\*\*  
木村忠紀\*\*\*\*\*, 北後明彦\*\*\*\*\*, 田村佳英\*\*\*\*\*, 吉田正友\*\*\*\*\*, 山本幸一\*\*\*\*\*  
*Noboru YASUI, Mariko SHIMIZU, Yuji HASEMI, Masahide MURAKAMI, Motohide KAMIJIMA,*  
*Tadanori KIMURA, Akihiko HOKUGO, Yoshihide TAMURA,*  
*Masatomo YOSHIDA and Koichi YAMAMOTO*

Among different component fire safety performances required for load bearing external walls in urban districts, previous studies suggest that the mechanical fire safety performance normally dictate the whole fire safety of Japanese traditional wood/soil walls. In order to develop practical method for the development of fire safe traditional wood/soil walls, a predictive method using a compression test of wood post is proposed for the mechanical fire safety performance. The compression test uses a one-story long wood post specimen with the section engraved considering the charring and the reduction of the Young's modulus due to the fire exposure specified by the code requirement. Any design with buckling load not less than the load to be applied at the fire endurance test is assumed to comply with the code requirements for external walls. This method is verified against full scale tests using 3m x 3m wall specimens, and finally has led to the new development of traditional wood/soil walls based on typical Kyoto historic townhouse construction rated as the "Fire Protective Construction".

**Keywords :** traditional town house, bare timber soil wall construction, party wall, mechanical fire resistance, post, buckling

伝統町家、真壁造、戸境壁、非損傷性、柱、座屈

## 1. はじめに

伝統的町家の外壁として一般的に用いられる木造土壁は、真壁造であるため、構造耐力上重要な柱や梁が露出しており、火災時にそれらが直接加熱を受けて燃焼する。そのため、柱の断面積が減少して、単位面積当たりの荷重が増加するとともに、偏心荷重が生じて柱が座屈変形し、耐力壁に要求される非損傷性が損なわれることが確認されている<sup>1)2)</sup>。壁の防火性能評価基準<sup>3)</sup>のうち、非損傷性以外の遮熱性・遮炎性は、防火的改良が比較的容易<sup>4)</sup>であるため、木造土壁の防火性能は、非損傷性に支配される所が大きいと考えられる。

これまでの研究<sup>2)4)</sup>によると、町家等の一般的な土壁仕様では、片側からしか土を塗らない“裏返し塗りのない土壁”が、防火上もっとも脆弱であることがわかっている。特に京都等の町家では、建物が敷地一杯に建っており、隣家との戸境壁は室内からしか土塗りができない上に、建物間口が狭く奥行きが大きいので、建物外周の大部分の壁が“裏返し塗りのない土壁”となっている。そのため、この“裏返し塗りのない土壁”の防火性能を向上させることは、京町家等の延焼防止性能を確保する上で極めて重要である。

木造土壁を始め、木質系耐力壁の非損傷性は、小型模型による現象の再現が困難で、一般に実大規模の載荷加熱実験により調べる必要があると考えられている。しかし、壁仕様や加熱時間の影響等を系統的に検証する場合、実験の規模が大きい木造土壁では試験体製作や運搬等、困難な面も多く、広く普及した装置を使った簡易な方法で非損傷性を把握する手法を開発する必要がある。

本研究は、載荷加熱実験を行わずに、一定時間の加熱を受けた柱の炭化<sup>4)</sup>及び内部温度上昇による機械的性質の低下<sup>5)6)</sup>を考慮して、所定の火災加熱後の柱に残存する力学的性能を再現する断面設計をした柱試験体の圧縮試験を行い、その座屈時の最大荷重と載荷加熱実験で用いる荷重を比較することにより、木造土壁の非損傷性を予測評価しようとするものである。さらに、この実験で再現しようとした状況に対応する条件で、実大規模の木造土壁の載荷加熱実験を行って、予測評価手法の妥当性を検証するとともに、防火上最も脆弱な“裏返し塗りのない土壁”により、準防火地域に町家を建設する際に要求される防火構造を実現する仕様を明らかにする。

\* 早稲田大学大学院理工学研究科 大学院生・工修  
\*\* 早稲田大学大学院理工学研究科 大学院生  
\*\*\* 早稲田大学理工学部建築学科 教授・工博  
\*\*\*\* 近畿大学理工学部建築学科 助教授・工博  
\*\*\*\*\* 京都府建築工業協同組合 理事  
\*\*\*\*\* 神戸大学都市安全研究センター 助教授・学博

\*\*\*\*\* 関西木造住文化研究会 代表幹事  
\*\*\*\*\* 財団法人建築総合試験所 部長・博士(工学)  
\*\*\*\*\* 財団法人建築総合試験所 研究員

Graduate Student, School of Science and Engineering, Waseda University, M. Eng.  
Graduate Student, School of Science and Engineering, Waseda University  
Prof., School of Science and Engineering, Waseda University, Dr. Eng.  
Assoc. Prof., School of Science and Engineering, Kinki University, Dr. Eng.  
Director, Kyoto Cooperative Union of Carpenters  
Assoc. Prof., Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, Dr. Sci.  
Secretariat, Kansai Association for Research in Traditional Housings  
Director, General Building Research Corporation of Japan, Dr. Eng.  
Researcher, General Building Research Corporation of Japan

## 2. 火災加熱後の断面を想定した柱の圧縮実験

### 2.1 試験体概要

#### 2.1.1 柱断面の予測手法

荷重される柱が座屈変形して崩壊する際の最大荷重は、座屈長さの二乗に反比例し、ヤング係数 $E$ と断面2次モーメント $I$ に比例する。これらの変数のうち、座屈長さは柱長さによるので、試験体を実際の仕様と同じ長さに作れば一定と考えると、最大荷重はヤング係数と断面2次モーメントに支配されると考えることができる。

真壁造の木造土壁が加熱を受けると、柱の燃焼により、その表面に炭化層が形成されて断面減少するとともに内部温度が上昇する<sup>6)</sup>。この内部温度の上昇は、ヤング係数を低下させるので<sup>6)</sup>、一定時間の加熱を受けた柱が座屈変形して崩壊する際の最大荷重は下記の影響を受けると考えられる。

①柱の炭化による断面欠損（断面2次モーメントの減少）

②柱内部の温度上昇（ヤング係数の低下）

③通し貫の貫穴による断面欠損（断面2次モーメントの減少）

ここで、③は木造土壁の地下として使用される貫が、柱を貫通する場合に生じる断面欠損をさす。炭化による断面減少で荷重が偏心し、曲げ応力が働いた場合、その影響は特に顕著となろう。

この仮定をもとに、本報では、法令上の防火構造に相当する30分間の加熱を受けた柱の力学的性能を表す断面形状を設計する。

図1にそのフローチャートを示す。

#### I. 柱形状及び柱と土壁の納まりの決定

京町家等の外壁にみられる木造土壁の一般的な柱寸法と土壁の納まりに防火的工夫を加えて下記の仕様とした。

- ・柱形状-105mm角または120mm角
- ・土塗り-裏返し塗りをしない場合（片面-40mm厚）または裏返し塗りをする場合（両面-総厚60mm厚）

- ・壁（通し貫）位置-柱中央または屋外側（加熱側）

- ・柱表面の防火被覆-15mm厚木材張りまたは防火被覆なし

#### II. 加熱による炭化面積の決定

既報<sup>4)</sup>をもとに、ISO834標準加熱曲線による加熱を30分間受けた柱の炭化深さを15mmとし、柱の正面及び両側面の3方向から、均等に炭化すると仮定した。一般に柱が2面加熱を受けた場合、そのコーナー部の対角方向の炭化深さは、柱中央部よりも増加するが<sup>4)</sup>など、その燃え込み部は、本報で柱内部温度が300℃と仮定した範囲内にあり、ヤング係数残存率が0.2と小さいため、柱の断面設計に与える影響は小さいと考え、柱試験体の製作を単純にするためにもその影響を無視した。また、柱表面に15mm厚の木材を張る仕様では、その板材の燃え抜けや脱落<sup>4)</sup>を考慮して、15mmの板厚に加えて、柱部分の炭化が5mm進むとし、柱本体の正面及び両側面の3方向から、5mmずつ均等に炭化すると仮定した。さらに、これらの炭化は、柱と土壁が接する部分には進まないとした。

#### III. 柱の内部温度の仮定

大断面集成材を用いて、JIS A 1304「建築構造部分の耐火試験方法」に準じた加熱を行った既往の加熱実験<sup>5)</sup>によると、加熱を受ける柱内部の温度は加熱面からの距離により異なり、加熱開始30分後の柱内部温度は、柱表面から20mmの位置で約340℃、40mmで約80℃、80mmでほぼ常温となる。そこで、加熱開始30分後の

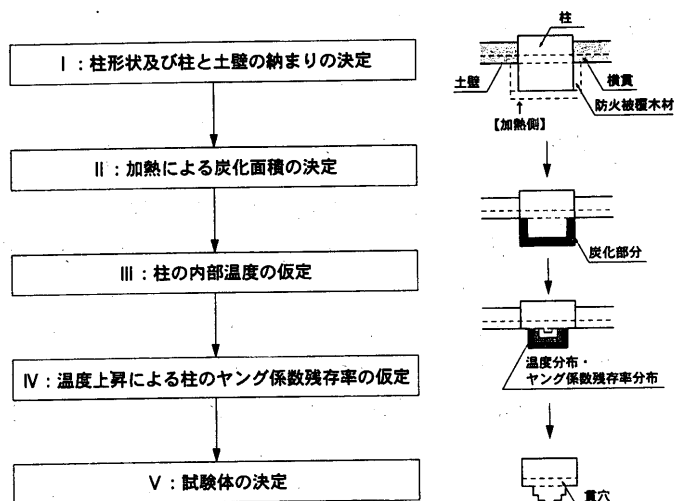


図1 加熱後の柱断面予測フローチャート

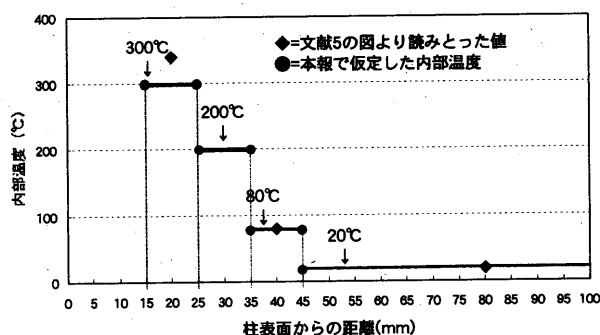


図2 柱表面からの距離と柱内部温度の関係

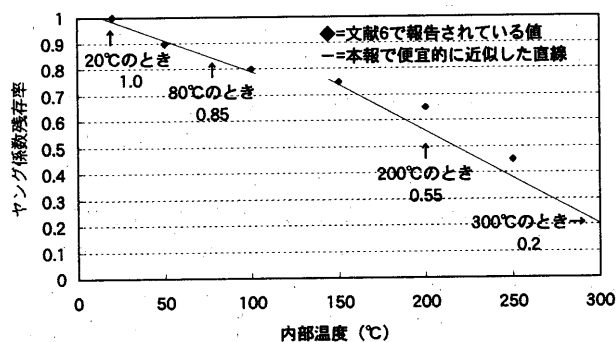


図3 柱内部温度とヤング係数残存率の関係

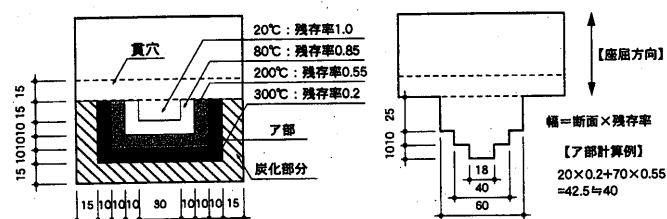


図4 試験体断面の決定例（試験体Aの場合）

柱内部の温度分布を図2のように、深さ10mmごとに均一になると仮定した。

#### IV. 温度上昇による柱のヤング係数残存率の仮定

前述のように、柱の内部温度上昇によりヤング係数は低下するが、その残存率と内部温度の関係<sup>6)</sup>を図3に示す。この図3の関数と図2の内部温度と柱表面からの距離の関係から、ヤング係数残存率と柱表面からの距離の関係を導きだし、図4のように炭化した部分を除いた柱端部から10mmの部分は、ヤング係数残存率が0.2 (内部温度300℃)、10mmから20mmの部分は0.55 (200℃)、20mmから30mmの部分は0.85 (80℃)、それ以降は1.0 (20℃)と仮定した。そして、このヤング係数残存率を柱の断面積に置き換えて、加熱終了時の柱の断面形状を決定する。すなわち、常温ではヤング係数残存率は1.0であるが、炭化層に近い部分では0.2となる。この場合、ヤング係数残存率1.0の材料に対して、座屈の生じる弱軸方向の巾を8割低減し、断面積が0.2倍になったものと置き換えて残存断面を決定した。

#### V. 試験体の決定

I～IVによって決定した試験体から、図5の通し貫が通る位置の断面欠損分を考慮し、加熱終了時の柱の形状を決定する。

#### 2.1.2 試験体仕様

試験体一覧を表1に示す。試験体は、長さ3000mmの京都美山産のスギ材 (自然乾燥材、背割りなし) で、前述の加熱後の柱断面決定手法に基づいて設計し、120mm角柱 (7体) と105mm角柱 (5体) の合計12体とした。

### 2.2 実験方法

#### 2.2.1 載荷方法

実験は近畿大学理工学部建築学・土木工学実験棟内の油圧式載荷装置を使用し、2002年9月中旬に行った。実験装置概要を図5に示す。柱上端及び下端には、スチールプレート21mm厚に柱幅と同じ長さの丸棒φ30mmを溶接したもの (ピン治具) を丸棒芯が加熱前断面の柱芯に合うように取り付け、さらに油圧ジャッキ下端及び下部定盤上には、スチールプレート32mm厚の中央にV型の溝を設けた加力盤を固定した。そして、柱に取り付けたピン治具を加力盤のV型の溝内に納め、加熱前断面の柱中心に線荷重が作用するように載荷した。この載荷は、1kN/5秒を目安に行い、柱が座屈し、最大荷重に達するまで続けた。

#### 2.2.2 非損傷性の予測評価

圧縮実験における最大荷重と実大規模の耐火加熱試験における載荷荷重を比較し、非損傷性を評価することとした。この載荷荷重は柱の長期許容荷重であり<sup>3)</sup>、平成12年建設省告示第1452号に規定されたスギ (1級) 材の基準強度 $F_c(21.6N/mm^2)$ 、材長3000mmを用い、柱両端ともピン接合で座屈 (有効細長比) を考慮して計算し、120mm角柱で49.5kN、105mm角柱で、27.1kNとした。

#### 2.2.3 測定項目

図5に示す変位計位置において、X方向及びY方向の水平たわみ量をそれぞれ3点ずつ計測し、データロガーで記録した。また、柱

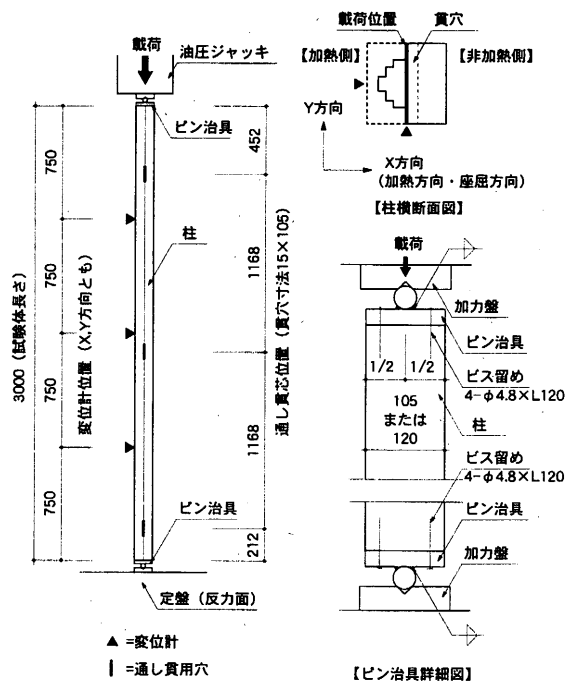


図5 試験装置概要 (単位: mm)

表1 試験体仕様及び結果一覧 (最上欄I～Vは図1に対応)

試験体名	I: 想定仕様	II, III, IV	V: 試験体断面	実験結果
	①壁位置 ②通し貫の有無 ③土塗り ④柱の防火被覆	炭化部分 温度分布	①断面積(mm <sup>2</sup> ) ②断面2次モーメント*1 ( $\times 10^6 \text{ mm}^4$ ) ③全断面比(%)*2	①含水率(%) ②ヤング係数 ③最大荷重(kN) ④たわみ量(mm)*3
120mm角柱	A	①中央 ②あり ③片面 ④なし 【屋外側】 炭化15mm	①7480 ②5.84 ③34	①28.1 ②105.5 ③37.0 ④41
	B	①中央 ②なし ③片面 ④なし 【屋外側】 炭化15mm	①9280 ②6.18 ③36	①18.9 ②97.7 ③39.7 ④45
	C	①外側 ②あり ③片面 ④なし 【屋外側】 炭化15mm	①10335 ②6.52 ③38	①35.9 ②77.5 ③39.2 ④52
	D	①中央 ②あり ③両面 ④なし 【屋外側】 炭化15mm	①9090 ②7.85 ③45	①29.8 ②83.8 ③46.8 ④40
	E	①外側 ②あり ③片面 ④15mm 【屋外側】 炭化5mm	①10930 ②8.05 ③46	①41.6 ②67.4 ③46.6 ④46
	F	①中央 ②あり ③片面 ④15mm 【屋外側】 炭化5mm	①8910 ②9.27 ③54	①18.7 ②81.1 ③53.3 ④31
	G	①- ②- ③- ④- 全断面	①14400 ②17.3 ③100	①14.2 ②87.8 ③200以上 ④-
105mm角柱	H	①中央 ②あり ③片面 ④なし 【屋外側】 炭化15mm	①5178 ②2.88 ③28	①18.1 ②88.2 ③9.5 ④70
	I	①外側 ②あり ③片面 ④なし 【屋外側】 炭化15mm	①7468 ②3.24 ③32	①34.0 ②88.8 ③28.6 ④54
	J	①外側 ②あり ③片面 ④15mm 【屋外側】 炭化5mm	①7986 ②4.22 ③42	①66.2 ②89.9 ③37.9 ④55
	K	①中央 ②あり ③片面 ④15mm 【屋外側】 炭化5mm	①6318 ②5.00 ③49	①17.8 ②81.7 ③25.7 ④35
	L	①- ②- ③- ④- 全断面	①11025 ②10.1 ③100	①21.4 ②81.8 ③59.3 ④-

\*1: 通し貫の貫穴の断面欠損も考慮した断面2次モーメント値を示す。

\*2: 全断面比=試験体の断面2次モーメント/全断面(120または105角)の断面2次モーメント。

\*3: 最大荷重時の柱中央での弱軸方向のたわみ量。

の含水率を試験体毎に絶乾法で、動的ヤング係数を試験前に打撃音法で測定し、試験体毎に顕著な個体差がないか確認した。

### 2.3 実験結果及び考察

#### 2.3.1 結果概要

実験結果一覧を表1（右端）に、また、代表的な仕様の載荷荷重と柱中央部のX方向たわみ量の関係を図6に示す。

図6によると、どの試験体も載荷荷重が小さいうちは、たわみ量の変化も少ないが、最大荷重に近づくに従って、たわみ量が加速度的に増加している。表1によると柱が最大荷重に達した際のたわみ量は30～55mmと試験体仕様によらず、ほぼ一定であることがわかる。これは、既報<sup>2)</sup>の載荷加熱実験において、仕様の異なる5試験体の柱が座屈した際の柱中央部のたわみ量（約40mm）に近い。また、本実験では、柱を図5のY方向に拘束する措置は行っていないが、載荷中、各試験体中央部のY方向へのたわみ量は1.5mm以下であり、X方向へのたわみ量に対して小さく、明らかに弱軸方向（X方向）に座屈たわみが生じていたことが確認できた。

#### 2.3.2 柱の断面性能評価

表1によると、30分間加熱後の予測断面に関する断面二次モーメント値が大きい仕様ほど、圧縮実験による最大荷重が大きくなる傾向が見られる。この断面二次モーメント値は、柱の断面寸法が同じであれば、

- ①柱の直接加熱される面積（露出面積）が小さいほど
- ②柱に木材による被覆がない場合は、壁（貫）位置が外側にあるほど
- ③柱に木材による被覆がある方が

大きくなることわかる。また、最大荷重が加熱実験時の載荷荷重（120mm角柱-49.5kN、105mm角柱-27.1kN）を超えたり、それに近い値を示した仕様は、120mm角柱の場合、試験体CからF、105mm角柱の場合、試験体IからKとなった。既報<sup>2)</sup>の実大規模の載荷加熱実験によると、試験体Dに相当する仕様で30.75分に柱

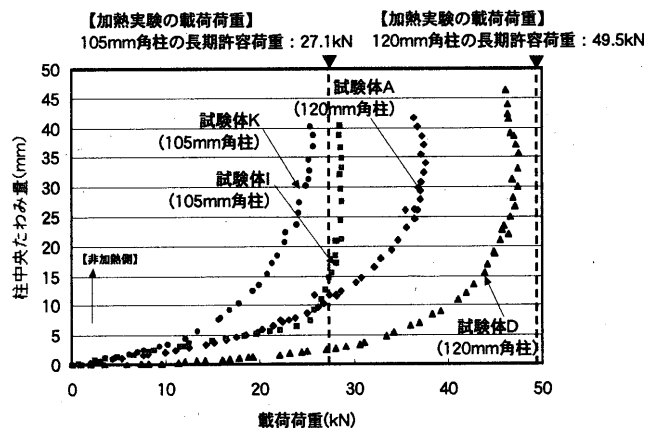


図6 荷重と柱中央たわみ量(X方向)の関係

の座屈により、加熱を中止している。これは、本実験の試験体Dの最大荷重(46.8kN)と加熱実験時の荷重(長期許容荷重：49.5kN)が良い一致を示していることから説明でき、試験体Dよりも断面性能が良いと考えられる試験体E及びFでも、30分以上の載荷加熱に耐える可能性があることを示唆している。ここで、本実験の試験体Dの最大荷重が加熱実験時の荷重よりも若干小さくなったのは、ヤング係数残存率の決定時(図3)に、安全側の設計を誘導できるよう文献6の実験値よりもやや小さい値を用いたことが一因かもしれない。

一方で、表1の結果は、試験体Aのように、加熱実験において長期許容荷重をかけた場合に、22.5分に柱が座屈する仕様<sup>2)</sup>でも、荷重を本実験で得られた数値（約37.0kN）に減らすことができれば、30分間の非損傷性を確保できる可能性があることを意味している。すなわち、建物の構造設計時に、柱の軸力を計算し、柱配置等により載荷荷重を調整することができれば、防火構造としての性能を実現できる可能性があることになる。

### 3. 実大規模の土壁の載荷加熱実験

柱の圧縮耐力実験による載荷加熱試験結果の予測可能性を検証す

表2 試験体仕様一覧

試験体名	土厚	柱断処理	チリ寸法*1	柱被覆	載荷荷重	含水率	
						柱平均	土壁
KK-1	40mm	のれん	15mm	なし	23.7kN/本	17.7%	2.1%
KK-2		のれん+チリジャリ	52.5mm	スギ15mm	(計71.1kN)	17.6%	

\*1：柱の加熱側表面から土壁表面までの寸法（柱側面の露出寸法）。

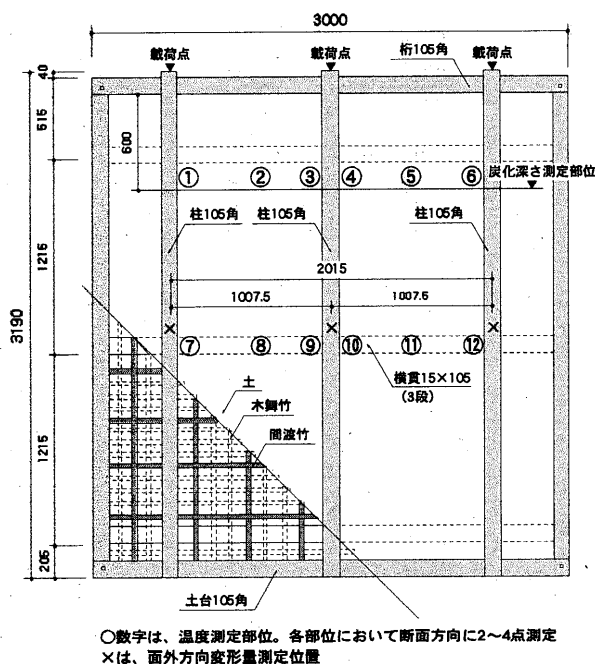
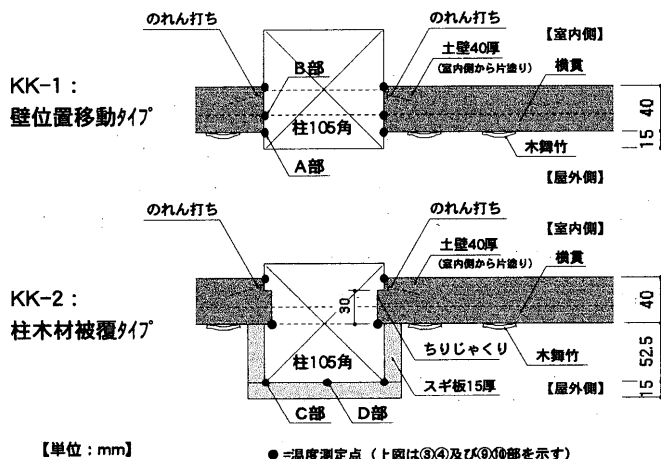


図7 試験体概要図及び断面図（断面図は下が加熱面）

【単位：mm】



るとともに、“裏返し塗りのない土壁”で、防火構造を実現する仕様を明らかにするために、実大規模の載荷加熱実験を行った。

### 3.1 試験体概要

試験体概要を図7に、試験体仕様一覧を表2に示す。試験体寸法は文献3に準じてW=3000mm、H=3190mmとし、軸組は京都美山産のスギ材（自然乾燥材、背割りなし）、土は荒壁・中塗土共に京都産の土を使用した。京町家の戸境壁では半間おきに柱が配置されるため、試験体は柱を約1mおきに配置したKK-1（壁位置移動タイプ）及びKK-2（木材被覆タイプ）の2仕様で、非損傷性について、前述の圧縮実験の試験体I(KK-1に対応)と試験体K(KK-2)の結果を、また、遮熱性・遮炎性については、既報<sup>24)</sup>の結果をもとに以下の工夫を施した。

#### ①非損傷性について

- ・KK-1：直接加熱を受ける柱の面積を減少させるために、土壁の位置を加熱側に移動した（柱と土壁のチリ寸法を15mmとした）。
- ・KK-2：柱に防火被覆として15mm厚のスギ板を釘止めした。

#### ②遮熱性について

- ・共通：片塗り（室内側から施工）の土壁の厚みを40mmとした。

#### ③遮炎性について

- ・共通：柱の間隔を半間（京間：1007.5mm）とした。
- ・共通：軸組と土壁の取り付け部にのれん打ちを施した。
- ・KK-2：柱に深さ6mm、幅30mm（荒壁の厚み分）のちりじゃくりを設け、その部分に隙間なく土を塗り込んだ。

試験体製作は、軸組を京都府建築工業協同組合が、また、土塗りを京都左官協同組合が行った。2002年10月初旬より、軸組組立→竹木舞下地組→荒壁塗り（10月中旬）→貫伏せ・チリ廻り・付け送り（10月下旬）→中塗り（11月中旬）の順に施工し、風通しのよい屋内で乾燥養生したのち、2002年12月中旬に（財）日本建築総合試験所内の大型耐火炉にて実験を行った。

### 3.2 実験方法

#### 3.2.1 載荷加熱方法

載荷は、試験体中央の柱（3本）に長期許容荷重が生じるように、油圧ジャッキを用いて均等に行った。この載荷荷重は、平成12年建設省告示第1452号に規定されたスギ（一般）材の基準強度 $F_c$ （21.6N/mm<sup>2</sup>）、柱断面寸法（105mm角）、材長（3190mm）を用いて計算し、23.7kN/本とした。

加熱は、ISO834に規定する標準加熱曲線に準拠して行った。

#### 3.2.2 測定項目

試験体各部の温度変化を図7に示す12部位について、断面方向に2～4点ずつ埋め込んだ $\phi 0.68$ mmのK-type熱電対で30秒間隔で測定した。その他、柱の軸方向収縮量（3点）・柱中央部の面外方向変形量（3点）・試験体非加熱面の熱映像撮影・試験体表裏面の観察・炉内温度の測定を行い、実験終了後は直ちに試験体を注水消火し、柱の炭化深さを測定した。

### 3.3 実験結果及び考察

実験結果一覧を表3に、実験時の加熱温度を図8に示す。非加熱

面では、KK-1、2ともに、加熱開始3分頃に柱と土壁の取り付け部から木材や土壁の水分に由来すると考えられる湯気が発生し、5分頃には柱や壁下地の燃焼による煙も同位置から発生した。その後、KK-1では30分過ぎ、KK-2では35分過ぎに柱の変形が目視で確認できるようになり、それぞれ加熱開始後36分、43.5分に柱の面外

表3 実験結果一覧

試験体名	加熱時間	火炎貫通	裏面温度		柱の炭化深さ: mm(速度: mm/分)	
			最高温度 200℃超	平均温度 160℃超	正面	対角
KK-1	36.0分	なし	33.5分	32.5分	21(0.58)	39(1.08)
KK-2	43.5分	なし	29.5分	29.5分	29(0.67)*1	50(1.15)*1

\*1: KK-2は柱表面のスギ材(15mm厚)を含んだ数値。

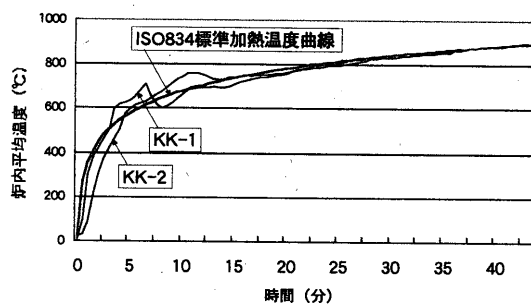


図8 加熱温度の時系列変化（耐火炉内温度(12点)の平均値）

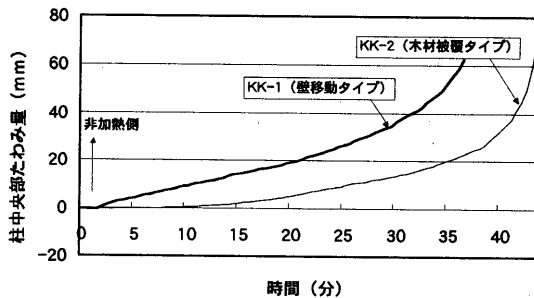


図9 柱中央部のたわみ量の時系列変化（中央柱）

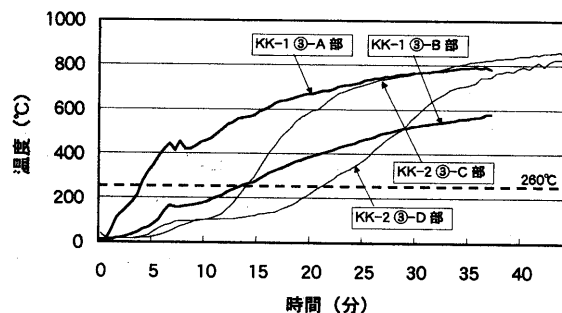


図10 柱表面温度の時系列変化（部位は図7を参照）

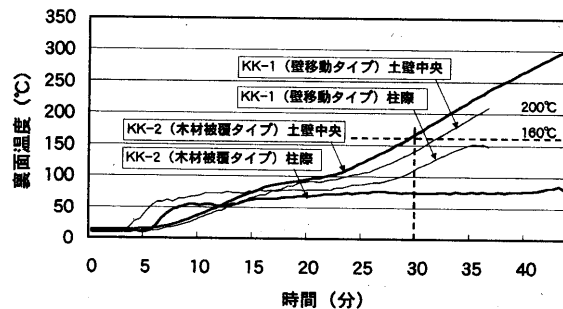


図11 土壁裏面温度の時系列変化  
(土壁中央は図7の②③部2点の平均、柱廊は③④部2点の平均温度)

方向への変形が顕著になったため加熱を中止した。加熱中に柱中央部が非加熱側に、また、土壁中央部が加熱側に、それぞれ撓む様子が目視確認されたが、火災貫通など大きな変化はみられなかった。

#### ①非損傷性に関する考察

載荷した3本の柱のうち柱中央部のたわみ量が最大となった中央柱について、そのたわみ量の時系列変化を図9に示す。これによると、KK-1、KK-2ともに加熱開始25～30分頃までは緩やかな変化を示し、たわみ量が約30mmを超えた頃から、急激に増加していることがわかる。これは、柱の燃焼による断面減少により柱が座屈したためと考えられ、図6の圧縮実験における試験体I(KK-1に対応)と試験体K(KK-2)が、加熱実験における載荷荷重27.1kN付近で座屈した際のたわみ量とほぼ一致している。

図10に加熱中の柱表面温度の変化を示す。これによると、試験体KK-2では、柱表面に張ったスギ板のため、柱表面が木材の着火温度260℃を超えるのに、柱出隅の③-C部(図7)で加熱開始から約14分、柱中央の③-D部で約21分を要している。柱の炭化が抑制され、30分頃まで柱の変形が少なかったのはこのためといえる。また、KK-1において、柱側面の③-B部が260℃を超えるのは加熱開始約14分頃であり、土壁位置を移動させて、直接加熱される柱の表面積を減らせば、2面加熱の影響を受けにくくなり、柱の断面減少を抑制することが可能と考えられる。

柱の炭化速度は、表3に示すように柱中心部で集成材の場合の慣用値<sup>9)</sup>(0.6mm/分)に近い値となり、柱の対角方向では、それよりも大きく、約1.1mm/分となった。

#### ②遮熱性・遮炎性に関する考察

図11に土壁裏面の温度変化を示す。これによると、柱と土壁の取り合い部にのれん打ちをした場合には、土壁中央部よりもこの部分のほうが裏面温度が低くなっている。こののれんは加熱終了時まで燃焼せず残存しており、土壁と柱の接着を維持して、遮熱性・遮炎性の向上に寄与した。また、表3によると2試験体ともに同じ土塗り厚にもかかわらず、KK-2のみ土壁裏面温度が平均温度160℃、最高温度200℃を29.5分で超えている。これについては、土塗り時に木舞から加熱側にはみ出す土量を確保すれば解決できることがわかっているが<sup>4)</sup>、今回の実験をみると“裏返し塗りのない土壁”では、塗り厚40mmが30分間の遮熱性を確保できる限界であろう。

表4 圧縮実験と載荷加熱実験の比較

土壁仕様	圧縮実験	載荷加熱実験
【仕様1】 柱105mm角 裏返し塗りなし 壁位置外側 柱防火被覆なし	【試験体I】 最大荷重 28.6kN 想定加熱時間 30分 300℃の部分 炭化部分	【試験体KK-1】 載荷荷重*1 23.7kN (27.1kN) 加熱時間 36分 炭化部分
【仕様2】 柱105mm角 裏返し塗りなし 壁位置中央 柱防火被覆15mm	【試験体K】 最大荷重 25.7kN 想定加熱時間 30分 300℃の部分 炭化部分	【試験体KK-2】 載荷荷重*1 23.7kN (27.1kN) 加熱時間 43.5分 炭化部分

\*1: 載荷加熱実験の柱長さは、耐火炉の構造上、3190mmとした。括弧内の数字は柱長さを圧縮実験と同じ3000mmとして計算した値。

#### 4. 断面予測手法の妥当性の検証

載荷加熱実験結果と同仕様の圧縮実験試験体の実験結果を整理し表4に示す。ここで、耐力上有効な柱断面を、柱圧縮実験試験体と載荷加熱実験試験体の加熱中止時とで比較すると、ほぼ一致しており、圧縮実験の試験体断面設計において、小規模な試験体を用いた加熱実験結果<sup>4)</sup>から仮定した柱の炭化面積が妥当であったことがわかる。また、加熱実験の両仕様は、ともに非損傷性が30分を超えているので、この炭化面積の仮定は、柱の断面性能評価において、若干安全側の設計を誘導するものといえよう。

圧縮実験において、柱が加熱実験時の荷重(柱の長期許容荷重)付近で、加熱実験時と同様の崩壊性状を示しながら座屈したことを考えると、図1に示した予測手法で断面設計した柱の圧縮実験を行い、その最大荷重を調べることで、載荷加熱時の木造土壁の非損傷性を予測することが可能であることがわかる。

#### 5. まとめ

載荷加熱時の木造土壁の非損傷性を簡易な方法で予測評価するために、柱の圧縮実験と木造土壁の載荷加熱実験を行った結果、下記の成果を得た。

- (1) 載荷加熱による木造土壁の非損傷性能を、一定の方法で断面設計した柱の圧縮実験により予測できることを明らかにした。
- (2) 町家等の一般的な土壁仕様のうち、防火上、最も脆弱な“裏返し塗りのない土壁”で、防火構造に認められる仕様を解明した。

#### 謝辞

本研究は、(財)旭硝子財団による研究助成「再生再利用可能な長寿市街地建築としての木造土壁構法の技術指針整備に関する研究」(柱圧縮実験)及び平成14年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(2)、代表者:室崎益輝)「伝統的町並みの景観保全と防災性向上に関する研究」(載荷加熱実験)の一環として行われた。実験にあたり、早稲田大学長谷見研究室の馬屋原敦氏(現:日本道路公団)、大西卓氏(現:NTTデータ(株))、酒井憲吾氏、樋山恭助氏(現:東京大学大学院)、尾野克典氏、神戸大学の景山誠氏(現:(株)和田建築技術研究所)、近畿大学村上研究室の方々、京都府建築工業協同組合の久郷隆幸氏、堀榮二氏、京都左官協同組合の村上博氏、並びに(株)東亜理科の関係各位に多大なるご助言・ご協力を賜りました。記して深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 安井昇・長谷見雄二・木下孝一・秋月通孝・吉田正友・山本幸一・田村佳英: 伝統軸組構法による木造土壁の火災安全性実験  
日本建築学会技術報告集 第16号, P141-144, 2002.12
- 2) 上島基英・安井昇・長谷見雄二・馬屋原敦・木村忠紀・畑俊充・北後明彦・田村佳英・大西卓・酒井憲吾・清水真理子・樋山恭助・尾野克典・吉田正友・山本幸一: 市街地型木造土壁構法の防火性能の再評価  
(その4) 日本建築学会関東支部研究報告集 I P419-422, 2003.3
- 3) 例えば、(財)日本建築総合試験所: 耐火性能試験・評価業務方法書  
平成14年3月26日版
- 4) 安井昇・長谷見雄二・秋月通孝・馬屋原敦・大西卓・上島基英・畑俊充・木村忠紀・田村佳英・村上博: 木造土壁の各部仕様が耐火性能に及ぼす影響  
日本建築学会環境系論文集 第567号, P7-13, 2003.5
- 5) 中村賢一・宮林正幸: 大断面木材の耐火性(1) 木材工業 Vol.40-12, P3-7, 1985
- 6) 中村賢一・最上滋二・堀和成・宮林正幸: 構造用集成材の耐火性能  
(第6報) 日本建築学会大会学術講演梗概集(A 防火), 1987

(2003年7月9日原稿受理, 2003年9月29日採用決定)