

木造土壁の各部仕様が防耐火性能に及ぼす影響

INFLUENCES OF CONSTRUCTION DETAILS ON THE FIRE RESISTANCE OF
TRADITIONAL WOOD/SOIL WALLS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*****Noboru YASUI, Yuji HASEMI, Michitaka AKIZUKI, Atsushi UMA YAHARA, Suguru OHNISHI,
Motohide KAMIJIMA, Toshimitsu HATA, Tadanori KIMURA,
Yoshihide TAMURA and Hiroshi MURAKAMI

Fire resistance tests are conducted on small-scale specimens of wood/soil wall assembly with different construction details as a basis for developing code-acceptable traditional wooden constructions. The tests have revealed significant influence of both-side plastering of soil wall, thickness and water content of the soil layer and various reinforcements of timber/soil layer interface on the prevention of the heat and flame penetration through a wood/soil wall. It has been also clarified that charring of the timber element, a major cause for the collapse of the wall due to fire, can be reduced by the protection of the load-bearing timber elements by soil or wood or by design considerations reducing fire exposure of the timber element.

Keywords : wood/soil wall, traditional town house, external wall, thermal insulation, integrity, charring rate

木造土壁、伝統町家、外壁、遮熱性、遮炎性、炭化速度

1. はじめに

木造土壁構法等の日本古来の伝統的木造建築については、戦後、建築基準法等による木造の制限が導入されて以来、伝統的仕様のまま、またはその延長上で防火性能を向上させるための系統的な研究開発はほとんど行われてこなかった。現行の建築基準法では、木造土壁は防火構造の仕様規定（平成13年国土交通省告示第1684号）に「土蔵造」「土塗真壁造で裏返し塗りをしたもの（ただし、両面の塗り厚がそれぞれ20mm以上）」の2仕様のみが、位置づけられているにすぎず、防火関係大臣認定取得の試みもされてこなかった。このため、木造土壁では町家形式の新築が事実上不可能なばかりでなく、京都等の歴史的市街地に建つ伝統的町家のほとんどが既存不適格建築物であり、伝統仕様での大規模改修や新築の道は閉ざされている。さらに、歴史的市街地でも指定された容積率を有効利用するには、事実上、準耐火構造以上を必要とする場合が多いにもかかわらず、木造土壁では、それを達成できる見通しがたてられなかったことが、RC造・S造への建て替えを加速している。伝統仕様の範囲またはその延長上で、防火構造・準耐火構造の木造土壁を開発できれば、これらの問題解決の突破口になる可能性がある。また、伝統的な木造土壁構法は、建築資源の再生・再利用可能性が高

く、室内環境汚染物質をほとんど含まない自然素材である等の観点から、再評価の機運にあり、火災に強い木造土壁構法や、既存建築物の防火補強技術を開発整備する意義は大きい。

これまで、木造土壁の防火性能について、わずかに行われてきた研究をみると、山田ら¹⁾は、約1m角の試験体を製作し、JIS A 1304「建築構造部分の耐火試験方法」に基づいた加熱試験を行い、柱にちりじゃくりをつけた上で土壁を裏返し塗りし、表面に下見板を張れば、裏面温度が260℃を越えるのに約75分を要することを確認した。また、筆者ら²⁾は、京町家の再生事例³⁾で施工された木造土壁と同仕様の実大試験体を製作し、柱に長期許容応力度に相当する荷重を載荷しながらISO834標準加熱曲線に準じた加熱を行い、木造土壁でも、塗り厚を確保したり、柱の防火被覆を行えば、準耐火構造まで実現できる可能性があることを明らかにした。

また、木造土壁構法の上等な仕事では、経年変化による柱と土壁の取り合い部の隙間の発生を予防するため、伝統的に柱にちりじゃくりをつけたり、中塗り時に細い割竹に麻布を旗状につけた布連（のれん）を柱のちり部に打ち、土と一緒に麻布を塗り込むという手法がとられて来た。これらは、特に防火的補強を意識した手法ではないが、隙間を防止することは防火的にも有効であり、伝統的仕

* 早稲田大学大学院理工学研究科 大学院生・工修

** 早稲田大学理工学部建築学科 教授・工博

*** 大成建設(株) 工修

(実験当時:早稲田大学 大学院生)

**** 早稲田大学大学院理工学研究科 大学院生

***** 京都大学木質科学研究所 助手・農博

***** 京都府建築工業協同組合 理事

***** 関西木造住文化研究会 代表幹事

***** 京都左官協同組合 前理事長

Graduate Student, Waseda University, M. Eng.

Prof., School of Science and Engineering, Waseda University, Dr. Eng.

Taisei Corporation, M. Eng.

(Formerly Graduate Student, Waseda University)

Graduate Student, Waseda University

Research Assoc., Wood Research Institute, Kyoto University, Dr. Agr.

Director, Kyoto Cooperative Union of Carpenters

Secretariat, Kansai Association for Research in Traditional Housings

Former Chairman, Kyoto Plasterers' Association

様には防火性能向上を期待できる要素もある。しかし、布連は新築・既存建物を問わず利用できるのに対し、柱のちりじゃくりは、新築時には容易に使えても、既存柱にもともと設けられていなければ改修への利用が困難であるなど、伝統構法の防火的改良が要請される場面への適用可能性は様々である。

本研究は、建物の新築及び既存建物改修に適用できる防火的な土壁の仕様を開発する基盤的情報を整備するために、木造土壁の仕様や納まりが防火性能に及ぼす影響を小型試験体による加熱試験で系統的に明らかにしようとするものである。

2. 実験計画

建築基準法による外壁の防火性能評価基準は、①軸組の変形（非損傷性）②裏面の温度上昇（遮熱性）、③火炎の貫通（遮炎性：準耐火構造以上）の3点である。これらすべてを調べるためには実大規模の試験体で載荷加熱試験を行う必要があるが、試験体製作や運搬等、困難な面も多いと考えられたので、今回の実験では、小規模な試験体（W915mm×H900mm）を製作し、試験体のスケールにあまり影響されない土壁の遮熱性と遮炎性について系統的に調べ、載荷と変形評価を必要とする非損傷性は、柱の炭化が大きな影響を与えられると考えられるので²⁾、それを遅延させる方法を検討した。

2.1 試験体の設計

試験体の仕様概要を表1に、構成を図1に示す。試験体は、土台・柱・桁で構成された軸組に縦貫、横貫（スギ15×90mm）をそれぞれ中央に取り付け、木舞竹（真竹）を編んだ上に土を塗った。既往の実験¹⁾²⁾によると、土壁の遮熱性・遮炎性には、

- (1)裏返し塗りの有無・土壁の塗り厚・土の含水率・土の種類
 - (2)外部仕上げの有無
 - (3)柱と土壁の取り合い部の処理
- が影響すると予想され、非損傷性には、
- (4)柱の寸法・柱の樹種
 - (5)柱の防火被覆種類
 - (6)柱と土壁の位置関係
 - (7)柱の背割りの有無

が影響すると予想されたので、これらを比較できるように合計17体の試験体を製作した。以下に試験体の詳細を述べる。

(1)裏返し塗りの有無・土壁の塗り厚・土の種類・土の含水率

土壁の塗り厚は、裏返し塗りをしない仕様では30mm、40mmとし、裏返し塗りをした仕様では総厚を50mm、60mm、78mmとした。荒壁土、中塗土ともに、試験体No.1のみ埼玉県深谷産の荒木田土、それ以外は、京都産の深草土とした。荒壁土は、試験体No.2

表1. 試験体概要一覧

試験体 No.	土壁仕様	外部仕上	柱材料/寸法*1		柱防火被覆	ちり周り部補強方法*2		試験体概略図 (左:柱1, 右:柱2 下部が加熱面)	加熱時間
			柱1	柱2		柱1	柱2		
1	裏返し塗りあり60厚	-	ヒノキ/120	ヒノキ/105	-	ちりじゃくり6	ちりじゃくり6		60分
2	裏返し塗りあり60厚	-	スギ/120	クリ/120	-	ちりじゃくり6	ちりじゃくり6		60分
3	裏返し塗りあり60厚	-	スギ/120	スギ/105	-	ちりじゃくり6	ちりじゃくり6		60分
4	裏返し塗りあり50厚	杉12厚	スギ/120	米ヒバ/120	-	ちりじゃくり6	ちりじゃくり6		60分
5	裏返し塗りあり60厚	-	スギ/120	ヒノキ/120	-	-	-		60分
6	裏返し塗りあり78厚	-	スギ/120	ケヤキ/120	-	ちりじゃくり6	ちりじゃくり6		60分
7	裏返し塗りをなし30厚	-	スギ/120	集成材/120	-	ちりじゃくり9	ちりじゃくり6		60分
8	裏返し塗りをなし30厚	杉12厚	スギ/120	米ツガ/120	-	ちりじゃくり6	ちりじゃくり6		60分
9	裏返し塗りをなし40厚	-	スギ/105◎	スギ/105◎	-	布連 (のれん)	布連 (のれん)		60分
10	裏返し塗りをなし40厚	-	スギ/105	スギ/105◎	-	ちりじゃくり6	ちりじゃくり6		60分
11	裏返し塗りをなし40厚	-	スギ/105◎	スギ/105◎	準不燃処理 (柱2)	布連 (のれん)	布連 (のれん)		60分
12	裏返し塗りをなし40厚	-	スギ/105	スギ/105	-	7φミツガ 15×15	桧木 15×15		60分
13	裏返し塗りあり60厚	-	スギ/120	スギ/105	杉15厚(柱2)	ちりじゃくり6	ちりじゃくり6		60分
14	裏返し塗りあり60厚	-	スギ/120	スギ/105	土20厚(柱1) 土35厚(柱2)	-	-		60分
15	裏返し塗りをなし40厚	-	スギ/120	スギ/105	杉15厚(柱2)	ちりじゃくり9	ちりじゃくり9		30分
16	裏返し塗りをなし40厚	-	スギ/120	スギ/105	-	ちりじゃくり6	ちりじゃくり6		30分
17	裏返し塗りをなし40厚	-	スギ/105	スギ/105◎	防火塗料 (柱1)	布連 (のれん)	布連 (のれん)		30分

*1: 柱材料/寸法欄の◎印は柱に背割りがあることを示す。

*2: ちりじゃくりの後の数字は深さ (mm) を表す。

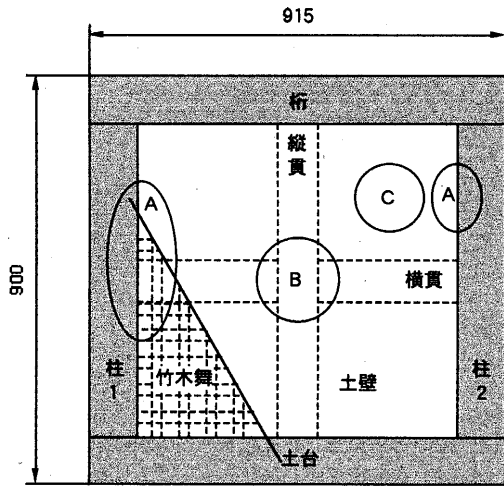
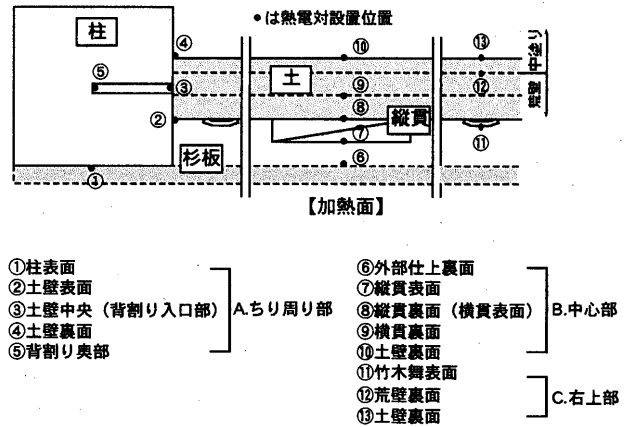


図1 試験体構成図(裏返し塗りが無い場合・加熱面からみる)

単位:mm



- は熱電対設置位置
- 【加熱面】
- ①柱表面
 - ②土壁表面
 - ③土壁中央(背割り入口部)
 - ④土壁裏面
 - ⑤背割り奥部
 - ⑥外部仕上裏面
 - ⑦縦貫表面
 - ⑧縦貫裏面(横貫表面)
 - ⑨横貫裏面
 - ⑩土壁裏面
 - ⑪竹木舞表面
 - ⑫荒壁裏面
 - ⑬土壁裏面
- A.ちり周り部
- B.中心部
- C.右上部

～8で藁ササをまぜて約半年間寝かせた土とそうでない土を約2:1の割合で混合したものを使用し、それ以外は寝かせていない新しい土を使用した。中塗り土は試験体No.2のみ深草土に珪藻土を約3割混入したものを使用した。また、土の含水率が裏面温度の上昇に与える影響を調べるために、試験体No.9では、他の試験体と同条件で乾燥養生後、実験直前に土の含水率が10%（他の裏返し塗りをしていない試験体の含水率は2.4～2.5%）になるよう非加熱面（室内側）から水を土壁全体に含浸させて実験を行った。

(2) 外部仕上げの有無

土壁表面に板材を張った場合の土壁や柱への加熱遅延効果を調べるために、試験体No.4とNo.8の土壁の加熱面（屋外側）に厚み12mm、働き幅150mmの杉板(含水率約15%)を相じゃくりで縦張りした。

(3) 柱と土壁の取り合い部の処理

柱と土壁の取り合い部は、隙間等の防火的弱点になり易い。そこで、防火上効果があると報告⁹⁾されている伝統的な手法のちりじゃくりを柱につけたり、中塗り時に柱に布連打ち、15×15mm杉棧木打ち、L-15×15×1.5mmアルミアングル打ちを行って、この部分の補強方法を検討した。

(4) 柱の寸法・柱の樹種

柱の寸法は一般的な軸組木造住宅で使用されている105mm角、120mm角とした。また、材種毎の炭化深さや炭化速度を比較できるように、杉、ヒノキ、米ヒバ、米ツガ、クリ、ケヤキ、ホワイトウッド集成材をそれぞれ使用した。

(5) 柱の防火被覆の種類

載荷加熱された軸組の崩壊を防止する手段として、柱の炭化を減らすことが挙げられる。その方法としては、①柱を防火被覆して直接加熱を受けないようにする、②柱自体への着火防止・燃焼抑制措置を行うことが考えられる。そこで、①について、試験体No.13とNo.15の柱に15mm厚の杉板を防火被覆として張り付け、No.14の柱の加熱面を土壁で被覆して、大壁とした。また、②について、試験体No.11で15mm厚までの板材の準不燃材化処理方法として実績のある含水ホウ酸塩・無機リン酸系薬剤処理を柱全体に施し、No.17で防火塗料の中で燃焼抑制効果が高いと報告されている⁴⁾発

泡系塗料を柱表面に400g/m²塗布した。

(6) 柱と土壁の位置関係

一般的な施工では、土壁の位置は柱の中心付近で、柱と土壁の加熱側（屋外側）のちり寸法は、約20～40mmとなる。しかし、この寸法を小さくすれば、直接火災加熱される柱の表面積を減らすことができ、軸組の崩壊の原因となる柱の炭化を緩和できると考えられたので、試験体No.13とNo.16では、土壁を一般的な施工よりも柱に対して加熱側に配置し、柱と土壁のちり寸法を15mmとした。

(7) 柱の背割り

背割りした柱が4面加熱されると、背割りが無い場合より、炭化面積が増加すると報告されている⁵⁾。土壁では、背割りは土の中に配置されるが、塗り方や仕様によっては、露出することも考えられるので、その比較ができるよう試験体No.17では背割りを土壁より加熱側に配置して、背割りが直接加熱されるようにした。また、試験体No.9～11では、土壁の中に背割りが配置されるようにした。

2.2 試験体の製作及び実験時期

軸組の製作及び下地組を京都府建築協同工業組合が、土塗りを京都左官協同組合が行った。試験体No.1～8は、平成13年8月下旬より製作を開始し、軸組組立→下地木舞竹編み→荒壁塗り（室内側）→荒壁裏返し塗り（屋外側：試験体によっては行わない）→貫伏せ・ちり周り→中塗り（表面に板を張らない荒壁を塗った上のみ）→表面板張りの順で施工し、雨かかりのない屋外で自然乾燥養生後、平成13年9月下旬から10月下旬にかけて京都大学木質科学研究所の耐火炉（W1350mm×H1900mm）を用いて実験を行った。また、試験体No.9～17は、平成14年8月中旬から製作を開始し、同様の工程を経て、風通しのよい屋内で自然乾燥養生後、平成14年9月下旬に実験を行った。

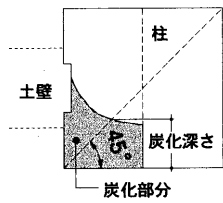
2.3 実験方法

2.3.1 加熱方法

加熱は、ISO834標準加熱曲線に準じて行った。加熱時間は、試験体No.1～14は、現行の法令上、一般木造で達成できる最高の位置付けの準耐火構造を意識して60分間とし、試験体No.15～17

表2 実験結果一覧

試験体 No.	土壁仕様	外部仕上または 柱防火被覆	加熱 時間	火災 貫通	裏面温度が規定値 を超える時間		加熱終了時 の裏面温度 (°C)	炭化深さ(mm) (炭化速度mm/分)		含水率(%)	
					160°C	200°C		柱1	柱2	柱平均	土壁
					単位:mm						
1	裏返し塗りあり60厚	-	60分	なし	越えず	越えず	89	36.4 (0.61)	34.3 (0.57)	17.2	1.2
2	裏返し塗りあり60厚	-	60分	なし	越えず	越えず	122	33.6 (0.56)	36.4 (0.61)	17.3	4.3
3	裏返し塗りあり60厚	-	60分	なし	越えず	越えず	117	31.4 (0.52)	33.6 (0.56)	19	2.5
4	裏返し塗りあり50厚	杉12厚	60分	なし	越えず	越えず	94	27.1 (0.45)	29.3 (0.49)	15.3	2.5
5	裏返し塗りあり60厚	-	60分	なし	59分	越えず	161	31.4 (0.52)	31.4 (0.52)	19.6	2.5
6	裏返し塗りあり78厚	-	60分	なし	越えず	越えず	84	30.0 (0.50)	32.8 (0.55)	18.5	2.5
7	裏返し塗りなし30厚	-	60分	なし	36分	43分	277	34.3 (0.57)	35.0 (0.58)	15.5	2.5
8	裏返し塗りなし30厚	杉12厚	60分	なし	44分	49分	296	30.0 (0.50)	34.3 (0.57)	16.2	2.5
9	裏返し塗りなし40厚	-	60分	なし	37分	39分	405	27.8 (0.46)	32.8 (0.55)	26.9	10.0
10	裏返し塗りなし40厚	-	60分	し	34分	38分	360	36.4 (0.61)	32.8 (0.55)	15.7	2.4
11	裏返し塗りなし40厚	準不燃処理(柱2)	60分	なし	27分	31分	405	41.4 (0.69)	32.1 (0.54)	13.9	2.4
12	裏返し塗りなし40厚	-	60分	なし	25分	30分	395	28.6 (0.48)	36.4 (0.61)	15.0	2.4
13	裏返し塗りあり60厚	杉15厚(柱2)	60分	なし	越えず	越えず	100	32.1 (0.54)	20.0 (0.33)	14.2	2.8
14	裏返し塗りあり60厚	土20厚(柱1),土35厚(柱2)	60分	なし	越えず	越えず	101	25.7 (0.43)	5.0 (0.08)	16.6	2.8
15	裏返し塗りなし40厚	杉15厚(柱2)	30分	なし	25分	29分	205	25.0 (0.83)	13.6 (0.45)	14.2	2.4
16	裏返し塗りなし40厚	-	30分	なし	越えず	越えず	98	20.7 (0.69)	17.9 (0.60)	14.2	2.4
17	裏返し塗りなし40厚	防火塗料(柱1)	30分	なし	越えず	27分	200	21.4 (0.71)	25.0 (0.83)	14.8	2.4



柱の炭化深さは、加熱終了後、直ちに注水消火し、炭化部分を取り除いたのち、2面加熱の影響を調べるために上図の位置で測定した。また、炭化速度は、この炭化深さを表2の加熱時間で除して求めた。

図2 炭化深さ測定位置

は、防火構造になり得る条件を明らかにするために30分間とした。

2.3.2 測定項目

図1に示す位置にφ0.68mmのKタイプ(CA)熱電対を最大21点(試験体仕様により異なる)設置し、15秒間隔で計測した。熱電対は、防火上の弱点となりやすい柱と土壁の取り合い部と土壁中央付近にそれぞれ、加熱面(屋外側)から非加熱面(室内面)にかけて断面方向に密に配置した。その他、炉内温度の測定、試験体表面及び裏面の目視観察、試験体裏面の熱映像記録、ビデオ及びカメラによる映像記録を行った。また、土壁の防火性能には、土及び軸組木材の含水率が影響すると考えられるので、仕様ごとにサンプルを作成し、試験体と同条件で養生をした後、絶乾法で含水率を測定した。

2.4 防耐火性能の評価

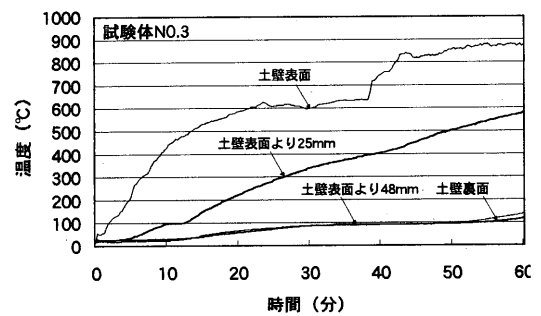
遮熱性は土壁中央部(図1のB部:縦貫と横貫の交差部)裏面と土壁右上部(図1のC部:木舞部)裏面に取り付けられた熱電対の温度が国土交通省指定性能評価機関の「防耐火性能試験・評価業務方法書」に定められた規定値²¹⁾(平均:初期温度+140°C、最高:初期温度+180°C)に達する時間で評価した。遮炎性は非加熱側からの目視観察で判断した。また、本実験では、試験体が約900mm角と小さいため、法令による防耐火性能評価項目のうち、載荷と変形評価を必要とする非損傷性は直接把握できないが、これに大きな影響を与えると考えられる柱の炭化状況を測定した。

3. 実験結果及び考察

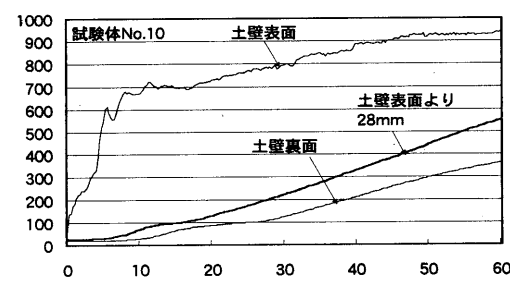
3.1 実験結果概要

実験結果一覧を表2に、代表的な仕様(試験体No.3,10)の土壁内部及び裏面温度変化を図3に示す。

実験中の試験体非加熱面をみると、柱と土壁の取り合い部(以後、ちり周り部)は、加熱開始後3分を経過した頃から土や木材中の水分に由来すると考えられる湯気が急激に吹き出し、その後、徐々に減少した。この湯気の量は、ちり周り部にのれん打ち、桧木打ち、アルミアングル打ちをした試験体の方が、何も処理をしなかった試験体より少なかった。また、土壁中央部は加熱により土が



(a)裏返し塗りあり60mm土壁



(b)裏返し塗りなし40mm厚土壁

図3 代表的な仕様の土壁内部及び裏面温度変化

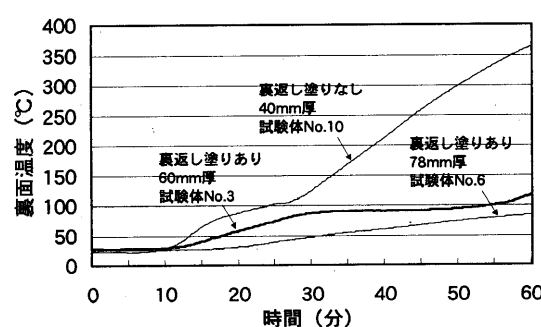


図4 裏返し塗りの有無・塗り厚による裏面温度変化

多少黒く変色したものの加熱中の土壁の割れ、脱落はなく、すべての試験体において、火災の貫通は起こらなかった。

土壁の裏面温度は、裏返し塗りをした場合、60分間加熱を行っても遮熱性評価の規定値160℃を大きく下回った。一方、裏返し塗りをしていない場合、加熱開始後25分～36分に160℃を、27分～43分に200℃を越えた。これらの試験体は裏面温度が160℃に達した後、約4～6分で200℃を越えている。また、この裏面温度は、縦貫・横貫のない部分(図1のC部)で測定した値だが、縦貫と横貫の交差部(図1のB部)では、これらよりも約15～20分遅れて裏面温度が200℃を越えており、土壁の裏面温度変化は、貫等の下地位置に大きく影響を受けることがわかった。

3.2 土壁の各部位の仕様が防火性能に与える影響

3.2.1 裏返し塗りの有無及び土塗り厚

図4に裏返し塗りの有無や塗り厚の違う試験体の裏面温度変化を示す。これによると裏返し塗りをしない土壁(40mm厚)と裏返し塗りをした土壁(60mm厚)とでは、加熱開始30分以降の裏面温度上昇が大きく異なっている。これは、裏返し塗りがあると、厚みにほぼ同様の差がある60mm厚・78mm厚の土壁の裏面温度上昇と比較しても顕著である。裏返し塗りが無い土壁では、横・縦貫や木舞竹が加熱側(室外側)に露出しており、加熱を受けると短時間のうちに燃焼し始める。貫や木舞竹の部分は、その厚みだけ土が薄いので、それらが炭化し落下した後は裏面への熱伝達が促進され、裏面温度が上昇し易くなると考えられる。加熱面では、加熱開始10分頃から木舞竹、20分頃から貫が落下し始めており、土壁の熱貫流の時間遅れを考慮すると30分以降に裏面温度の差が顕著に現れるのはその影響と考えられる。

また、表2によれば、裏返し塗りが無い土壁(40mm厚)の裏面温度が160℃に達する時間は、壁厚やちり周りの処理の工夫に対して系統的な変化を示さず、加熱開始後25～34分とばらつきがみられる。裏返し塗りが無い場合、片側からのみ土を塗るので、反対側は木舞竹の隙間から土がはみ出して、木舞竹に食らいつき、壁として一体になる。このはみ出す土の量は荒壁を塗る強さによって異なる。実験直前の試験体重量は、加熱開始後34分に裏面温度が160℃を越えた試験体No.10が49.35kg、同様に25分に越えたNo.12が44.15kgと約1割の差が生じている。軸組はほぼ同じ仕様なので、この差は塗った土の重量と考えられ、仕上げ側の土の厚みが同じであれば、反対側にはみ出した土の量が増加したと考えられる。木舞竹からはみ出す土量が多いとそれが自重で垂れて貫や木舞竹に覆い被さるので、貫や木舞竹が直接加熱される部分の表面積が減少し、炭化後も落下しにくくなると考えられる。この影響で裏面温度の上昇にばらつきが生じたと考えられる。

3.2.2 土の種類及び含水率

図5に本実験で使用した3種類の土の裏面温度変化を示す。これによると荒木田土のほうが深草土よりも裏面温度上昇が緩慢で、土の種類が土壁の遮熱性能に影響を与える可能性がある。また、図6に裏返し塗りをしない土壁の含水率の違いによる裏面温度の変化を示す。これによると裏面温度が100℃に達するまでは含水率に差があっても大きな違いは見られないが、それ以降は含水率10%の方が土壁に含まれる水分が多い分、蒸発潜熱を奪われて温度は100℃付

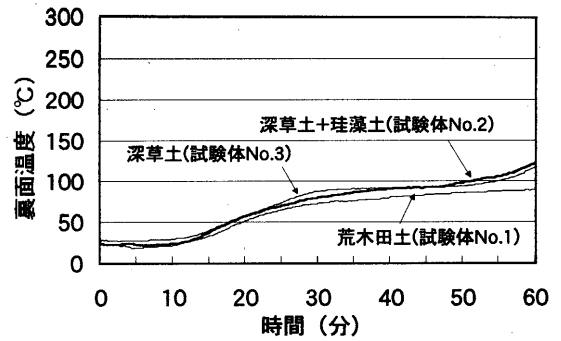


図5 土の違いによる裏面温度変化

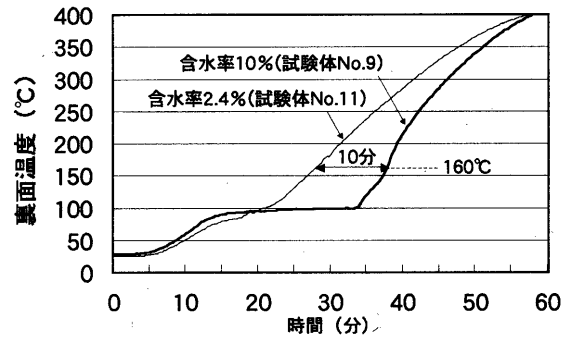


図6 土の含水率の違いによる裏面温度変化

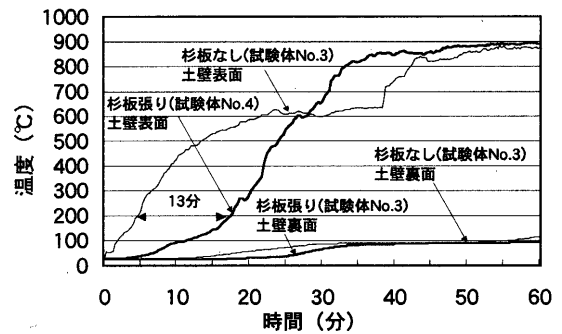


図7 外部仕上げの有無による温度変化

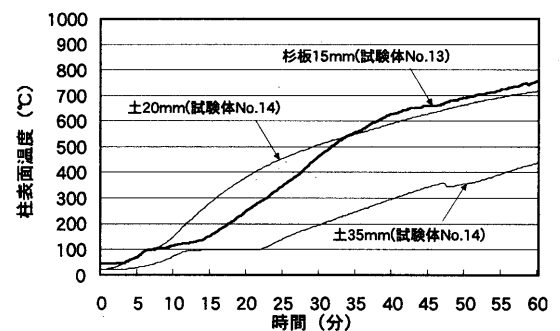


図8 防火被覆方法の違いによる柱表面温度変化

近で停滞する。裏面温度が160℃を越す時刻を比較すると含水率10%の方が約10分遅くなる。

3.2.3 外部仕上げの有無

図7に裏返し塗りのある土壁(試験体No.8)とその表面に杉板12mm厚を張った場合(試験体No.4)の土壁表面温度及び裏面温度の変化を示す。これによると12mm厚の杉板を張った場合、板が燃え抜けるまでは土壁や柱の表面は直接加熱されないため、土壁表面が200℃を越す時刻で比較すると張らない場合よりも約13分の加

熱遅延効果があることがわかる。同様の理由で裏面温度の上昇も緩やかになっている。また、木材の炭化速度の慣用値 $0.6\text{mm}/\text{分}$ ⁶⁾ などから単純計算すると 12mm 厚の板が燃え抜けるのに 20 分を要することになるが、実験中の加熱面をみると相じゃくりで縦張り施工した板の取り合い部から先に燃え抜けており、土壁表面に張った板の施工方法が燃え抜け時間に影響を与える可能性がある。

3.2.4 柱の防火被覆・準不燃薬剤処理

柱に土や木材で防火被覆をした場合の柱表面の温度変化を図7に、柱に準不燃薬剤処理や防火塗料を塗布した試験体の加熱終了後の炭化状況図を図11(a)~(d)に示す。まず、図8をみると柱表面が 200°C を越える時間は、土 20mm (試験体 No.14) → 板 15mm (No.13) → 土 35mm (No.14) の順に遅くなっている。同程度の厚みであれば、不燃材料の土よりも木材の方が、防火被覆の効果が大きいことがわかる。ところで、杉板 15mm 厚では、 200°C を越えるのに約 18 分かかっている。これ以降に柱の燃焼が始まると考えられるが、既往の報告²⁾では、 105mm 角のスギ柱に長期許容応力度に相当する 21.7kN の荷重 (めりこみ荷重) をかけて加熱試験を行った場合、柱前面から約 9mm の部分が炭化したときに柱の座屈が起こっている。 $0.6\text{mm}/\text{分}$ で炭化が進むとすると、柱が燃焼し始めて約 15 分で座屈が起こったと考えられる。そうであれば、杉板 15mm 厚を 105mm 角柱に防火被覆することにより、耐火加熱 30 分を越える非損傷性を実現できる可能性があると考えられる。

次に図11(a)(b)をみると、 60 分間加熱後の炭化深さは、含水ホウ酸塩・無機リン酸系薬剤で準不燃処理をした柱で 32mm (炭化速度: $0.53\text{mm}/\text{分}$)、未処理の柱で 41mm (炭化速度: $0.68\text{mm}/\text{分}$) となった。また、図11(c)(d)によると 30 分間加熱後の炭化深さは発泡系防火塗料を塗布した柱で 21mm (炭化速度: $0.70\text{mm}/\text{分}$)、未処理の柱で 25mm (炭化速度: $0.83\text{mm}/\text{分}$) となった。これらは、加熱時間がそれぞれ異なるので、処理方法の違いによる燃焼抑制効果を単純には比較はできないが、どちらにしても未処理の柱より炭化を軽減させる効果があることがわかる。ただし、この薬剤による炭化抑制効果を長期的に維持するためには、耐久性の検討が必要である。

3.2.5 ちり周り部の防火的補強

図9にちり周り部に様々な補強をした裏返し塗りのない試験体の裏面温度 (ちり周り部) 変化を示す。これによると、伝統的な手法であるちりじゃくりは 6mm 深さより、 9mm 深さのほうがより遮熱効果を期待できることがわかる。また、布連打ちは、 $15 \times 15\text{mm}$ 杉材打ち、 $L-15 \times 15 \times 2\text{mm}$ アルミアングル打ちと同様に 60 分間加熱を行ってもちり周り部の裏面温度は 200°C 以下であり、既存建物等で柱にちりじゃくりがついていない場合でも、改修時にちり周り部に布連打ち等の防火的補強を行えば、十分な遮熱及び遮炎効果を期待できることがわかる。

3.2.6 柱に対する土壁の位置

柱に対する土壁の位置が異なる試験体の炭化状況図を図11(d)~(e)に示す。これによると、炭化深さは、 30 分間加熱を行ったちり寸法 15mm の試験体 No.16 で 21mm (炭化速度: $0.70\text{mm}/\text{分}$)、同じちり寸法 60mm の No.15 で 25mm (炭化速度: $0.83\text{mm}/\text{分}$) となった。炭化面積の柱全体面積に対する割合も、試験体 No.16 で 17.0% 、同じく No.15 で 26.2% となった。このことから、柱と土

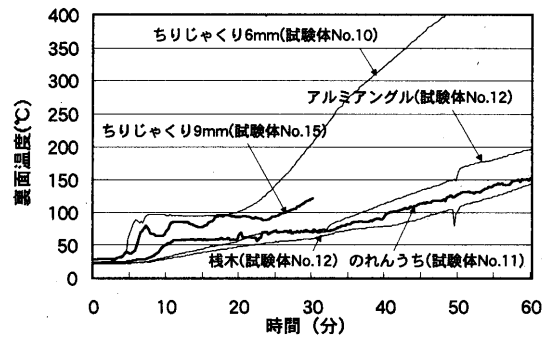


図9 ちり周り部の補強方法の違いによる裏面温度変化

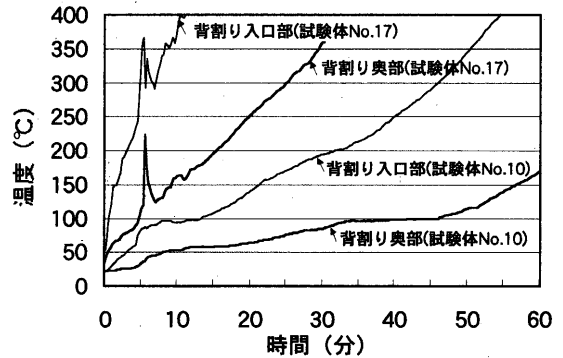
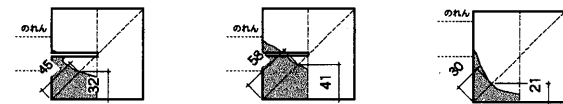
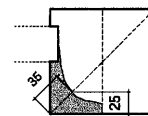


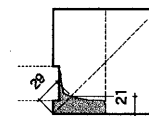
図10 土壁の配置による背割り部の温度変化



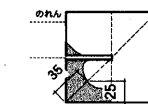
(a)試験体 No.11 柱2 (60分加熱) (b)試験体 No.11 柱1 (60分加熱) (c)試験体 No.17 柱1 (30分加熱)



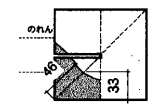
(d)試験体 No.15 柱1 (30分加熱)



(e)試験体 No.16 柱1 (30分加熱)



(f)試験体 No.17 柱2 (30分加熱)



(g)試験体 No.9 柱2 (60分加熱)

* 柱ごとの比較を容易にするために柱1は左右反転させて表示する。
* 耐火炉に試験体を隙間なく装着するために柱の端部を不燃材で被覆したので、炭化状況はこの被覆の影響を受けない半分のみ表示する。

図11 加熱後の炭化状況図

壁のちり寸法が小さいほど、2面加熱される柱の表面積が減り、炭化深さ・炭化面積ともに減少することがわかる。

3.2.7 柱の背割り

背割りが直接加熱される試験体 No.17 と背割りが土の中心付近に配置された No.10 の背割り入口及び奥部の温度変化を図 10 に示す。これによると試験体 No.17 では約 15 分で背割り奥部の温度が 200℃を越えているのに対して、No.10 では、60 分加熱しても 200℃に達していない。すなわち、背割りが直接加熱を受ける位置にあると、背割り内部でも熱分解が進み、図 11(f)のように背割り入口付近の炭化量が増加することがわかる。また、背割りがある場合でも土の中央付近に配置されていて直接加熱を受けなければ、背割りが無い場合とほぼ同様の炭化性状となる。

3.2.8 柱の樹種・寸法・含水率

柱の炭化速度は表 2 によると、樹種とは関係なく炭化速度の慣用値 0.6mm/分 に近く、0.48～0.83mm/分 となった。ただし、炭化深さは、柱と土壁のちり寸法が大きいほど、深くなる傾向が見られた。これは、柱が加熱されるとコーナー部は 2面加熱を受けるが、柱と土壁のちり寸法が大きいとこの影響を受けやすく炭化が促進されるからと考えられる。また、105mm 角と 120mm 角の柱寸法の違いによる燃え方・炭化速度の違いは見られなかったが、同じ炭化面積であれば、構造耐力に与える影響は断面積の小さな 105mm 角のほうが大きいはずである。また、柱の含水率が 26.9%の試験体 No.9 (図 11(g)) の炭化深さは、60 分加熱で 33mm (炭化速度：0.55mm/分)、含水率が 13.9%の試験体 No.11 (図 11(b)) で 41mm (炭化速度：0.68mm/分) となっており、含水率が炭化深さに与える影響が大きいことがわかる。

4. まとめ

土壁の仕様や納まりが防火性能に及ぼす影響を把握するために ISO834 標準加熱曲線に準じた加熱試験を行った結果、以下のよう な知見を明らかにした。

4.1 遮熱性・遮炎性

(1)裏返し塗りをしない土壁・裏返し塗りをした土壁ともに、表 3 のように現行法令を上回る防火性能を確認できた。ただし、防火上 もっとも不利な裏返し塗りのない土壁では、遮熱性能を確実に保証するためには、塗り厚や土量の確保が重要である。

表 3 実験結果から推測される土壁の防火性能

仕様	現行の建築基準法上の位置付け	本実験から推測される遮熱・遮炎性能
裏返し塗りのない土壁	準防火性能*1	防火構造
裏返し塗りのない土壁+下見板張り	準防火性能*1	防火構造
裏返し塗りのある土壁	防火構造	準耐火構造 (60分)
裏返し塗りのある土壁+下見板張り	防火構造*1	準耐火構造 (60分)

*1：ただし、室内側に石膏ボード9.5厚以上等で防火被覆必要

(2)ちり周りの経年変化による隙間防止のために伝統的に行われてきたちりじゃくりや布連打ちは防火的補強方法としても有効である。また、既存建物で柱にちりじゃくりがない場合でも、改修時に布連打ち、棧木打ちなど行えば防火上弱点となるちりまわりの遮熱性・遮炎性能の向上が可能である。

(3)大壁となるよう土壁の表面に杉板を張ると、土壁や柱への加熱が

遅延される。

(4)土の含水率は、遮熱性能に大きな影響を与える。

(5)土の種類は、遮熱性能に影響を与える可能性がある。

4.2 非損傷性

非損傷性の評価に大きな影響を与えられ考えられる柱の炭化性状について、次の知見を明らかにした。

(1)柱の炭化速度は、材種毎に大きな違いはみられず、木材の炭化速度の慣用値 0.6mm/分⁰⁾に近い値 (0.48～0.83mm/分) となった。

(2)柱を木材や土で防火被覆すると、柱の燃焼開始時刻を遅延する効果がある。本実験では、土 20mm 厚→杉板 15mm 厚→土 35mm 厚の順でこの効果が増大した。

(3)柱と土壁のちり寸法を小さく (柱側面の露出面積を小さく) すると、炭化を軽減させることが可能である。

(4)柱の背割りが直接加熱される位置にある場合、ない場合と比較して背割り周辺の炭化面積が若干増加する。しかし、柱に背割りがあ る場合でも、土壁の中央付近で直接加熱を受けなければ、背割りが ない場合と燃焼性状はほとんど変わらない。

(5)柱を含水ホウ酸塩・無機リン酸系薬剤で準不燃材化処理したり、表面に発泡系防火塗料の塗布すると、柱の燃焼を抑制または遅延し、炭化を軽減させることが可能である。ただし、この薬剤による効果を長期的に維持するためには、耐久性の検討が必要である。

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命市街地建築としての木造土壁構法の技術整備指針に関する研究」の一環として行われた。試験体計画・製作にあたり、佐藤左官工業所の佐藤嘉一郎氏、加藤左官工業の加藤信吾氏、京都府建築工業協同組合の堀榮二氏、実験にあたり、京都大学木質科学研究所の石原茂久名誉教授、川井秀一教授、(財)日本住宅・木材技術センターの山田誠氏、早稲田大学長谷見研究室の太田英輔氏、酒井憲吾氏、樋山恭助氏、清水真理子氏、尾野克典氏、並びに(株)東亜理科、木材準不燃材化処理及び防火塗料メーカー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。

注1 本実験では、試験体初期温度は 20～30℃であったので、安全側評価となるよう、初期温度を 20℃と設定し、遮熱性評価の規定値を裏面平均温度 160℃、最高温度 200℃とした。

参考文献

- 1)山田誠・菅原進一：木造住宅壁体の防・耐火性能について(1) 木材工業 Vol.39-8, P24-29, 1984
- 2)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
- 3)鈴木有：防災まちづくりと木造住文化共存の町家再生の試み 建築士 Vol.48, P12-13, 1999.11
- 4)村岡宏・小宮英孝：伝統木造建築の類焼防止を目的とした防火塗料の性能評価 大林組技術研究所報 No.63 P71-76, 2001
- 5)村岡宏・堀長生・田村政道・山口純一・本間彰・菅原進一：木質構造中層オフィスビルの開発-耐火性能に関する研究 (その 3) 日本建築学会大会学術講演梗概集(A-2) 2002 年度 P231-232
- 6)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