Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-12-04

伝統町家における軸組木造土壁の載荷加熱実験

安井，昇 ； 長谷見，雄二 ； 馬屋原，敦 ； 大西，卓 ； 上島，基英 ； 清水，真理子 ； 樋山，恭助 ； 木村，忠紀 ； 田村，佳英 ； 北後，明彦 ； 畑，俊充 ；…

(Citation)
日本建築学会技術報告集,9(18):139-142

(Issue Date)
2003-12-20

(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/20.500.14094/90001097

Architectural Institute of Japan

日本建築学会技術報告集　第18号，139-142，2003年12月
AIJ J. Technol. Des. No. 18, 139-142, Dec., 2003

伝統町家における軸組木造土壁の載荷加熱実験

LOADED FIRE RESISTANCE TESTS ON TIMBER-FRAME SOIL WALL CONSTRUCTION FOR TRADITIONAL TOWN HOUSE

安井　昇 —*1　長谷見雄二 —*2
馬屋原　敦 —*3　大西　卓 —*4
上島基英 —*5　清水真理子 —*5
樋山恭助 —*6　木村忠紀 —*7
田村佳英 —*8　北後明彦 —*9
畑　俊充 —*10　吉田正友 —*11
山本幸一 —*12

Noboru YASUI —*1　Yuji HASEMI —*2
Atsushi UMAYAHARA —*3　Suguru OHNISHI —*4
Motohide KAMIJIMA —*5　Mariko SHIMIZU —*5
Kyosuke HIYAMA —*6　Tadanori KIMURA —*7
Yoshihide TAMURA —*8　Akihiko HOKUGO —*9
Toshimitsu HATA —*10　Masatomo YOSHIDA —*11
Koichi YAMAMOTO —*12

キーワード：
京町家，木造土壁，戸境壁，防火構造，非損傷性

Keywords:
Kyoto style traditional town house, Wood/soil wall, Party wall, Fire protective construction, Mechanical fire resistance

Loaded fire resistance tests are conducted on five different 1-story tall speciments of Japanese traditional timber frame soil wall construction commonly used for historic townhouses in Kyoto. The test result show good prospect for single-side plastered soil wall commonly used for party walls to be rated as Fire Protective Construction by reasonable improvement and effectiveness of the cedar panel covering on the external wall surface for the improvement of the fire endurance.

1. はじめに

筆者らは、京都西陣の町家の再生事例の土壁や一般的に京都で施工されている土壁をやや防火的にした仕様について実大規模の載荷加熱実験を行い、木造土壁でも準耐火構造を実現できる可能性があることを明らかにした[1)]。しかし、これらの実験は、土壁厚が120mmであったり、土壁表面をラスモルタルで防火被覆するなど、既存の伝統町家の一般的な仕様とは若干異なっていた。その後、既存町家で施工されている一般的な土壁の防火性能について、約900mm角の小規模な試験体を用いて、ISO834標準加熱曲線による加熱実験を行い[2)]、遮熱性・遮炎性について、現行法令の位置づけを上回る防火性能(裏返し塗りをした土壁で準耐火構造、裏返し塗りをしない土壁で防火構造)を達成できる可能性があることを示した。この実験では、試験体や試験装置の制約もあり、載荷と変形評価を必要とする非損傷性については、それに影響を与える柱の炭化性状を把握するにとどまった。そこで、これらの実験[1)2)]から得られた知見をもとに、既存の伝統町家の仕様またはその延長上で実大規模の木造土壁の試験体を製作し、指定性能評価機関の防耐火性能評価業務方法書に基づく載荷加熱実験を行い、木造土壁の遮熱性・遮炎性・非損傷性を総合的に検証し、木造土壁で防火構造・準耐火構造を実現するための技術的な課題について検討した。

2. 試験体概要

2.1 試験体の設計

試験体の仕様を表1に、試験体の構成を図1に示す。試験体寸法は文献3に基づいて、W=3000mm、H=3190mmとした。軸組及び下地材は京都美山産のスギを使用し、土は荒壁土・中塗土ともに京都産の深草土を使用した。下地は横貫3本を通し貫仕様とし、中央

表1　試験体仕様一覧　　単位:mm

試験体名	想定部位	土壁仕様					軸組仕様				載荷荷重	含水率		温度測定
		土塗り仕様	土総厚	土種類	ちりじゃくり深さ	外部仕上げ	柱	桁・土台	貫	間渡竹 木舞竹	(kN/本)	柱平均	土壁	点数
KJ-1	建物側面壁	裏返し塗りなし土壁 荒壁=20、中塗=10	30	深草土	9	スギ12厚 (大壁仕上)	スギ 105角	スギ 105角	スギ 15×105	割竹	23.7	37.2%	5.8%	46点
KJ-2	戸境壁	裏返し塗りなし土壁 荒壁=20、中塗=10	30	深草土	9	なし	スギ 120角	スギ 120角	スギ 15×105	割竹	43.3	20.2%	3.6%	39点
KJ-3	建物正面腰壁	裏返し塗りなし土壁 荒壁=20、中塗=10	30	深草土	9	スギ12厚 (真壁仕上)	スギ 120角	スギ 120角	スギ 15×105	割竹	43.3	16.2%	2.6%	39点
KJ-4	建物正面/側面	裏返し塗りあり土壁 荒壁=20×2、中塗=10×2	60	深草土	9	なし	スギ 120角	スギ 120角	スギ 15×105	割竹	43.3	19.6%	1.6%	52点
KJ-5	建物側面	裏返し塗りあり土壁 荒壁=20×2、中塗=10(室内側)	50	深草土	9	スギ12厚 (大壁仕上)	スギ 120角	スギ 120角	スギ 15×105	割竹	43.3	24.2%	2.8%	52点

*1　早稲田大学大学院理工学研究科　大学院生・工修
(〒169-8555　東京都新宿区大久保3-4-1)
*2　早稲田大学理工学部　教授・工博
*3　日本道路公団
(実験当時：早稲田大学大学院理工学研究科　大学院生)　工修
*4　㈱NTTデータ
(実験当時：早稲田大学大学院理工学研究科　大学院生)　工修
*5　早稲田大学大学院理工学研究科　大学院生
*6　東京大学大学院工学系研究科　大学院生
(実験当時：早稲田大学理工学部)
*7　京都府建築工業協同組合　理事
*8　関西木造住文化研究会　代表幹事
*9　神戸大学都市安全研究センター　助教授・学博
*10　京都大学木質科学研究所　助手・農博
*11　㈶日本建築総合試験所　建築物理部長・博士(工学)
*12　㈶日本建築総合試験所　研究員

*1　Graduate Student, Waseda University, M. Eng.
*2　Prof., Waseda University, Dr. Eng.
*3　Japan Highway Public Corporation, M. Eng. (formerly Graduate Student, Waseda University)
*4　NTT Data Corporation, M. Eng. (formerly Graduate Student, Waseda University)
*5　Graduate Student, Waseda University
*6　Graduate Student, Tokyo University (formerly Waseda University)
*7　Director, Kyoto Cooperative Union of Carpenters
*8　Secretariat, Kansai Association for Research in Traditional Housings
*9　Assoc. Prof., Kobe University, Dr. Sci.
*10　Research Assoc., Kyoto University, Dr. Agr.
*11　Director, General Building Research Corporation of Japan, Dr. Eng.
*12　Researcher, General Building Research Corporation of Japan

NII-Electronic Library Service

に縦貫を1本配置して、割竹で木舞を編んだ。載荷する中央2本の柱の間隔は、京町家で用いられる最大の柱間（柱の内々寸法で6尺3寸≒1910mm）とし、柱が土台・桁と取り合う部分は、文献3に準じて柱勝ちとした。

試験体は、KJ-1～5の5体で、伝統町家の各部位（戸境壁、建物正面壁、建物側面壁等）で一般的に施工されている仕様に、軸組と土壁の取り合い部の防火補強に効果があることが明らかになっている“ちりじゃくり”[2)4)]を柱・土台・桁に施した。試験体KJ-1～3で想定した部位は、実際の施工上、屋内側からしか土塗りができないため、裏返し塗りなしとし、KJ-4～5は、屋内外から土塗りが可能な部位のため裏返し塗りを行った。また、外部（加熱面）に板張りをする仕様(KJ-1、KJ-5）では、横胴縁（25×36mm）を450mm間隔で設置し、働き幅180mm、厚さ12mmのスギ板を相じゃくり加工し、大壁となるように縦張りした。

2.2 試験体の製作時期及び実験時期

試験体の製作は2002年4月上旬より開始した。軸組の製作及び下地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い、軸組組立→竹木舞下地組→荒壁塗り・荒壁裏返し塗り（4月下旬）→貫伏せ・チリ廻り・付け送り（5月中旬）→中塗り（5月下旬）→表面板張りの順に施工し（ただし、荒壁裏返し塗りと表面板張りは試験体仕様によっては行っていない）、風通しの良い室内で乾燥養生したのち、2002年7月上旬に（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. 実験方法

3.1 軸組の載荷方法

試験体中央の柱(2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載荷した。この荷重は、平成12年建設省告示第1452号に規定されたスギ(一級)材の基準強度F_c=21.6N/㎟、材長L=3190㎜を用い、柱両端ともピン接合で座屈(有効細長比)を考慮した値を採用し、柱断面寸法105mm角のKJ-1で47.3kN(23.7kN/本)、120mm角のKJ-2～5で86.5kN(43.3kN/本)とした。この際、横貫の影響は考慮していない。

3.2 加熱方法

ISO834に規定する標準加熱曲線に準拠した加熱を行った。

3.3 測定項目

試験体各部の温度変化を図1に示す13部位について、断面方向に2～4点ずつ埋め込んだφ0.68mmのK-type熱電対で、30秒間隔で測定した（試験体仕様により合計39～52点）。また、壁の軸方向収縮量を耐火炉下部に3カ所設置した変位計で、面外方向変形量を中央2本の柱とその中間の土壁部（試験体高さの約1/2の位置）に合計3カ所設置した変位計で30秒間隔で測定した。

その他、実験中に試験体非加熱面の熱映像撮影、試験体加熱・非加熱面の表面観察、試験体非加熱面のビデオ・カメラ映像記録、炉内温度及び炉内圧力の測定を行い、実験終了後は直ちに試験体を注水消火し、載荷した中央2本の柱の土台上端から600mm、桁下端から600mmの位置の炭化深さをそれぞれ測定した。また、木造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ので、仕様ごとにサンプルを作成し、試験体と同条件で乾燥養生したのち、絶乾法で含水率の測定を行った。

3.4 防耐火性能の評価

外壁の防耐火性能（①非損傷性、②遮熱性、③遮炎性）の評価は、文献3に従い、下記のように行った。

①非損傷性については、

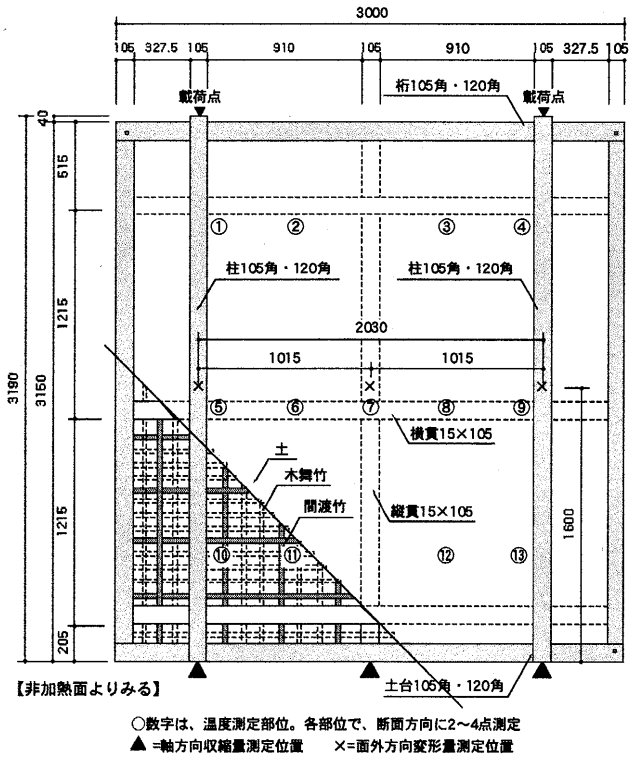
・軸方向最大収縮量(mm)がh/100（31.9mm）

・最大軸方向収縮速度(mm/分)が3h/1000（9.57mm/分）

を超えないこと。ここで、hは試験体初期高さ3190mmとした。

②遮熱性については、

・試験体非加熱面平均温度が初期温度+140℃



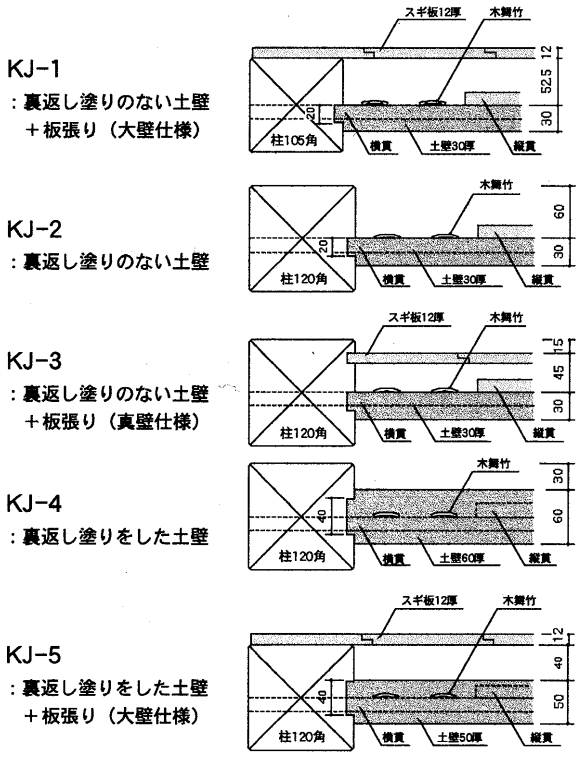


図1　試験体構成図（断面図は上が加熱面、単位:mm）

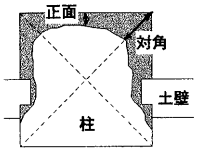
NII-Electronic Library Service

Architectural Institute of Japan

表2　試験体結果一覧

試験体名	初期温度	加熱時間	遮熱性		遮炎性能	非損傷性能					防耐火時間
			加熱終了時裏面温度*1		火炎貫通*2した時間	軸方向に関する規定値を超える時間		面外方向最大変形量*3		炭化深さ(mm)：正面/対角	
			平均温度	最高温度		収縮量	収縮速度	壁中央部	柱	炭化速度(mm/分)：正面/対角	
KJ-1	29℃	31分55秒	140℃	176℃	30.5分	超えず 最大6mm(31.5分)	超えず 最大3mm/分(31.5分)	+22mm (28.5分)	-53mm (31.5分)	23/46 *5 (0.71/1.44)	30.5分
KJ-2	28℃	22分30秒	105℃	137℃	22.0分	超えず 最大14mm(22.5分)	22.5分 最大12mm/分(22.5分)	-12mm (22.5分)	-16mm (22.5分)	12/33 (0.53/1.47)	22.0分
KJ-3	32℃	21分45秒	85℃	108℃	21.0分	超えず 最大24mm(21.5分)	21.5分 最大34mm/分(21.5分)	-109mm*4 (21.5分)	-119mm*4 (21.5分)	13/37 (0.60/1.70)	21.0分
KJ-4	29℃	30分45秒	88℃	96℃	なし	超えず 最大15mm(30.5分)	30.5分 最大12mm/分(30.5分)	+52mm (24.5分)	-55mm (30.5分)	15/32 (0.49/1.04)	30.5分
KJ-5	30℃	30分15秒	74℃	89℃	なし	超えず 最大13mm(29.5分)	29.5分 最大15mm/分(29.5分)	-57mm (29.5分)	-63mm (29.5分)	25/48 *5 (0.83/1.59)	29.5分

*1：裏面温度測定用熱電対で測定した温度。*2：火炎貫通は柱と土壁の取り合い部で生じた。*3：面外方向変形量はプラスが加熱方向とする。
*4：柱が座屈し折れたため変形量が大きくなった。　*5：土壁表面に張ったスギ板の厚みも含む。*6：表中の網掛けは防耐火時間を決定した要因を示す。



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2カ所で測定した。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

・試験体非加熱面最高温度が初期温度＋180℃

を超えないこと。本実験では、試験体初期温度が30℃前後であったが、危険側とするために初期温度を20℃と設定し、平均温度の判定値160℃、最高温度の判定値を200℃とした。

③遮炎性については、非加熱面側からの目視により火炎の貫通の有無を判断した。

4. 実験結果及び考察

4.1　実験結果概要

実験結果一覧を表2に、試験体非加熱面平均温度を図3に、面外方向変形量を図4にそれぞれ示す。

加熱中の非加熱面をみると、すべての試験体で、加熱開始2分頃から、土壁や木材の水分に由来すると考えられる湯気が軸組（柱・桁・土台）と土壁の取り合い部から発生し、4～6分後には、軸組や下地の燃焼に由来すると考えられる煙も同じ部位から急激に発生し始めた。この湯気や煙は加熱後約10分で一旦減少した。その後、裏返し塗りをしていない土壁KJ-2・KJ-3では、載荷された中央2本の柱の中央より少し上の部分が非加熱側に変形し始め、同時に土壁中央部が加熱側に変形し始めた。その影響で、柱と土壁の取り合い部に隙間が生じ、加熱開始20分過ぎに非加熱側へ火炎の貫通が起こった。それとほぼ同時に、載荷された中央2本の柱が座屈したため、加熱を中止した。また、裏返し塗りをしていない土壁の表面に12mm厚の杉板を張ったKJ-1や裏返し塗りをしたKJ-4・KJ-5は、加熱開始20分過ぎに同様に柱と土壁の変形が顕著になり、30分過ぎに柱が座屈したため加熱を中止した。裏返し塗りをしたKJ-4・KJ-5では、火炎の貫通は起こらなかった。

4.2　考察

(1)非損傷性能・遮炎性能について

裏返し塗りをしていない試験体KJ-1～3では、加熱終了直前に軸組と土壁の取り合い部で非加熱面への火炎の貫通が起こった。小規模な試験体を用いた実験[2)]では、ほぼ同様の仕様で60分の加熱を行っても火炎の貫通はなく、遮炎性に問題はなかった。図4の柱の面外方向変形量を見ると加熱開始から大きな変化は見られないが、KJ-1で加熱開始30分頃、KJ-2・KJ-3で20分頃に急激に変形量が増加している。これは、柱の燃焼により断面が減少し、荷重が偏心して柱が鉛直荷重に耐えられなくなり、非加熱側に弓状に変形し、座屈することを示している。さらに、裏返し塗りのない土壁では、室内側（非加熱面）からしか土塗りを行っていないため、下地貫や木舞竹が加熱側に露出しており直接加熱される。それらが炭化した土壁は軸組との拘束が解かれて、中央部分が加熱側に変形する。図

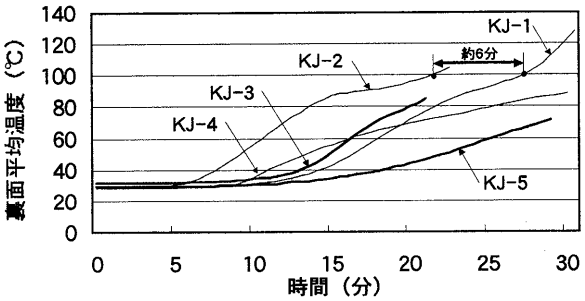


図3　裏面平均温度変化

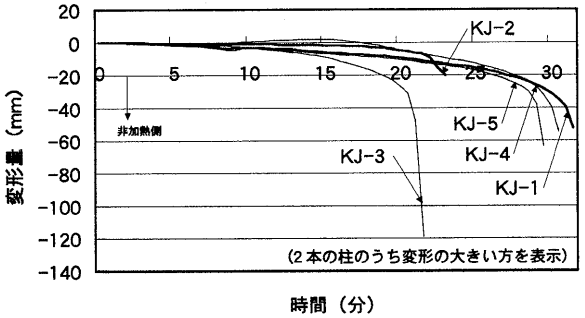


図4　柱の面外方向変形量変化

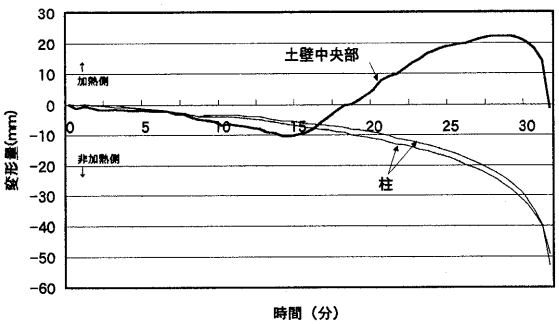


図5　柱と土壁の面外方向変形量変化（KJ-1の場合）

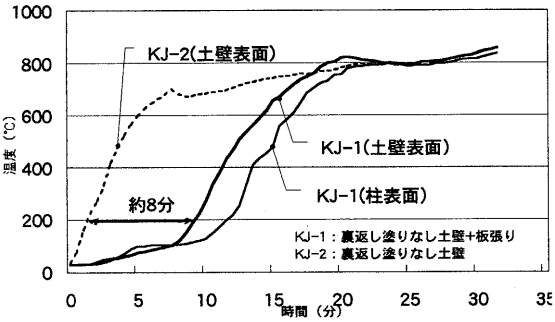


図6　表面スギ板張りの有無による温度変化

NII-Electronic Library Service

Architectural Institute of Japan

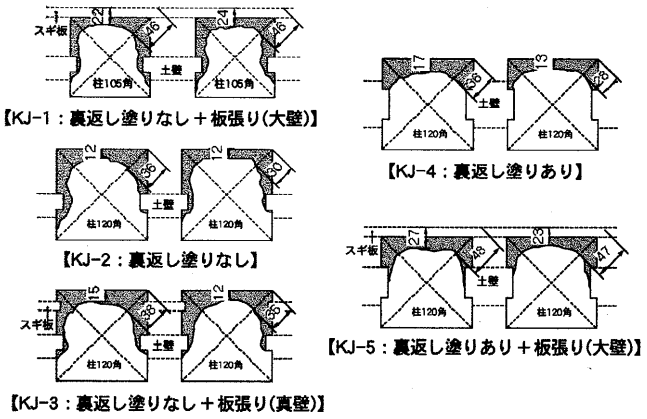


図7　加熱終了後の炭化状況図

5の柱と土壁の面外変形量（KJ-1の場合)をみると、土壁は加熱側、柱は非加熱側に変形していることがよくわかる。このため、軸組と土壁の間に隙間ができ、火炎の貫通が起こったと考えられる。図7の加熱終了後の炭化状況図をみても、裏返し塗りのない土壁（KJ-1～3）は柱との取り合い部に隙間ができ、非加熱側まで柱が燃焼していることがわかる。この現象は、柱の変形と土壁の変形の双方が原因となっており、非損傷性に由来する問題と考えられるが、柱の変形を減少させるには、柱の燃焼による炭化を抑制するのが有効と考えられる。具体的には、柱を木材で被覆したり、壁の位置を加熱側に移動させて柱が直接加熱される面積を減らせば、炭化を抑制できることが確認[2)]されている。また、土壁の変形を減少させるためには、土壁一枚当たりの面積を減らすこと、すなわち、柱の間隔を狭くしたり、差し鴨居を入れること等が挙げられる。これに加えて、柱にのれん打ち・桟木打ち等を施し、土壁の取り合い部の接着性を高める工夫[2)]を行えば、裏返し塗りのない土壁の非損傷性及び遮炎性を向上させることが可能だろう。

加熱終了後の柱の炭化深さを表2に示す。この炭化深さを加熱時間で除して求めた炭化速度は集成材の慣用値[5)](0.6mm/分）に近い。また、図7の加熱終了後の炭化状況をみると、裏返し塗りのない土壁KJ-1～3は、加熱時間が短いにも関わらず、炭化面積が大きい。この原因として、KJ-1～3では、土壁位置が柱の中央付近で、直接加熱を受ける柱の面積が大きく、2面加熱の影響を受けやすかったためと考えられる。

(2)遮熱性能について

図3の各試験体の裏面平均温度変化をみると、すべての試験体において加熱終了まで、遮熱性能評価の許容値（平均：160℃、最高：200℃）に達することはなかった。裏返し塗りをしていない土壁の表面に杉板を張ったKJ-1は、裏返し塗りをした土壁KJ-4と比較して、加熱開始20分までは裏面温度が低く、裏返し塗りをしていない場合でも、表面に板を張ることにより、火災初期の裏面温度の上昇を抑制する効果があることがわかる。また、このKJ-1と表面にスギ板を張っていないKJ-2を比較すると、裏面温度が100℃に達するのに約6分の時間遅れがあり、同じ土壁仕様であれば表面にスギ板を張ったほうが裏面温度の上昇が抑制されることがわかる。さらに、図6の加熱側の各部の温度変化(KJ-1とKJ-2の比較)をみると、柱の表面にスギ板を張るとそのスギ板が燃え抜けるまでの約8分間は、構造体（軸組・土壁）への直接加熱が抑制されており、表面の板張りの有無が、加熱側及び非加熱側の温度上昇に影響を与えることがわかる。

次に、図3において、裏返し塗りの有無による裏面温度変化を比較すると、裏返し塗りをした土壁KJ-4では、加熱開始30分を過ぎても裏面温度は100℃以下であるのに対して、裏返し塗りをしない土壁では、板を張ったKJ-1でも、加熱終了時（加熱開始後31.5分）に最高温度が180℃近くまで上昇している。裏返し塗りをしていないKJ-2は、約20分で加熱を終了しているが、終了直前に100℃を超えており、防火構造に要求される30分間の加熱をした場合、遮熱性の判定値（最高値200℃)を超える可能性がある。この裏返し塗りがない土壁の非加熱面の温度上昇を抑制するためには、土塗り厚の確保と土塗りをした反対側（加熱側)に木舞からはみ出す土量の確保が重要であることが確認[2)]されている。この二点を改良すれば、裏返し塗りのない土壁の遮熱性を向上させることが可能だろう。

5. まとめ

京町家の木造土壁を想定した仕様で、実大規模の載荷加熱実験を行った結果、下記の知見を得た。

(1)非損傷性について

柱の燃焼により、断面が減少し鉛直荷重に耐えられなくなり、柱が座屈する。これを防止するためには、柱の炭化を抑制することが重要である。その方法として、例えば下記が挙げられる。

- 木材等で柱を防火被覆し、柱の燃焼開始を遅延させる。
- 裏返し塗りをしたり、土壁の位置を加熱側に配置するなど、直接加熱される柱の面積を減少させる。

(2)遮熱性について

- 裏返し塗りのない土壁の表面に大壁納まりでスギ板等を張ると、構造体である軸組や土壁への加熱開始を遅延でき、さらに、裏面温度上昇を抑制することができる。
- 裏返し塗りをした土壁（60mm厚）は、30分間加熱を行っても、裏面温度は100℃以下であり、遮熱性能に十分余裕がある。
- 裏返し塗りのない土壁で、30分間の遮熱性能を確保するためには、塗り厚30mmでは足りず、これ以上の塗り厚を必要とする。

(3)遮炎性について

- 柱の間隔を狭くする等、土壁一枚当たりの面積を小さくすることにより、火炎貫通の原因となる土壁の加熱側への変形(反り)を抑制できる可能性がある。

謝辞　本実験は、平成13年度農林水産省補助事業「木材産業技術実用化促進緊急対策事業」の一環として行われた。本実験を進めるにあたり、早稲田大学長谷見研究室の酒井憲吾氏・尾野克典氏、(財）日本住宅・木材技術センターの山田誠氏、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前理事長 村上博氏、(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)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防耐火性能に及ぼす影響 日本建築学会環境系論文集, No567, P7-13, 2003.5
3)(財)日本建築総合試験所：防耐火性能試験・評価業務方法書 平成14年3月26日版
4)山田誠・菅原進一：木造住宅壁体の防耐火性能について(1)(2)　木材工業 Vol.39-8, P24-29　Vol.39-9, P21-27, 1984
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

［2003年4月17日原稿受理　2003年7月29日採用決定］

NII-Electronic Library Service