

模型による建物間延焼の基礎的研究

Fundamental Study on House-to-House Fire Spread

坂 本 利 行*
武 田 松 男*
篠 原 雅 幸*

概 要

木造・防火造建物中心の市街地内に存在する耐火造建物が、地震に伴う市街地火災の延焼拡大におよぼす影響を把握することを目的に、縮尺1/20の模型建物を使用して燃焼実験を行った。

その結果、燃焼建物により高い耐火建物が隣接していると、炎が耐火建物の壁に吸い寄せられるように壁面に沿って上昇し、上方の階に延焼する危険があること。耐火建物の窓ガラスが脱落しなければ外壁だけの焼きにとどまり、建物内部への延焼防止に効果があることなどが確認された。

We made fire test by 1/20 scall model houses to study on the house-to-house fire spreading in case of a fireproof house being in urban area composed of wooden and fireprivement houses.

The findings were follows.

When a high fireproof house standed near a burning house, the flame was pulled up along its wall.

Therefore, its upper floors were in danger from catching fire.

When a glass window of fireproof house didn't breake, the inside didn't become taken fire.

1 まえがき

兵庫県南部地震の際、神戸市を中心に多数発生した市街地の延焼火災では、倒壊した木造建物や、木造・防火造中心の地域内に存在する耐火造建物が、市街地火災の延焼拡大に係わる新たな問題点として取り上げられた。東京でも神戸市の延焼地域と同様の構成の市街地が広く見られることから、それらの問題点を解明する必要性が生じた。

そこで、その問題を解明するための基礎的研究として、平成8年度の木造建物の倒壊が市街地火災の延焼速度に及ぼす影響の把握に引き続き、平成9年度は木造・防火造建物中心の市街地内にある耐火造建物が市街地火災の延焼にどのような影響を及ぼすか把握するため、模型の建物を使用して燃焼実験を行った。

2 実験方法

(1) 実験模型

原型となる建物は、木造、耐火造建物ともに1階層の床面積を60㎡とし、実験には縮尺1/20の1階建、総2階建または総4階建の模型を使用した。

図1に、木造および耐火造建物の外観図ならびに木造建物の平面図を示した。

木造建物は普通合板で作成した。壁には厚さ9mm、床・最上階天井・屋根下地には5mm、屋内間仕切りには3mm合板を使用した(実験1、2では壁に5mm、最上階天井に3mm合板を使用した)。屋根はトタン板張りとし、実験1～3では屋根の各面に1枚板のトタン板を、実験4～6では短冊状に裁断したトタン板を張った。

また、1階側面の窓には全てガラス(厚さ2mm)を取り付けた。

耐火造建物は、1階層1室で、壁・各階床・屋根を厚さ10～12mmのケイ酸カルシウム板で作成し、各階の室内側の床・壁・天井には厚さ3mmの普通合板を張りつけた(合板は若干浮かせた)。

建物の窓は切り抜き、必要に応じてガラス(厚さ2mm)を取り付けた。

実験4～6では、3mm合板で作った家具に見立てた箱(45×30×90mmと45×30×75mmの2種類)を耐火造建物の各階B棟に面する側の窓際に1個ないし2個置いた。

また、木造・耐火造ともに模型建物内の火災荷重を大きくするため、10mm角の杉材で作った5段のクリブを建物内各床上に取り付けた。

* 第一研究室

構造材・内装材・収容クリブを含めた模型建物の可燃物重量は、2階建て木造建物が4400～4600g（壁材5mmのものは3600～3700g）、耐火造建物が1階層当たり1200～1300gであった。

(2) 建物の配置と点火方法

原型となる建物の敷地は面積100m²の正方形（建ぺい率60%）と仮定し、建物は敷地の中央にあるものとして配置した。実際の模型実験の建物間隔は約11cmとなった。

各実験の建物の配置状況を表1に示した。表中、□は木造、■は耐火造建物である。建物の左上のA・B・Cなどの文字は棟を表し、右下の1・2・4の数字は建物の階数を表している。

点火場所はBの1階で、木造建物は図1平面図の火の位置、耐火建物は部屋中央部にクリブを置き、助燃剤としてエタノール25ccを使用して、電気スパークで点火した。クリブは、5×5×80mmの杉材を5本づつ5段積みにしたものを使用した。また、助燃剤のエタノールは、クリブ下に置いたオイルパン（80mm角、深さ10mm）に点火約30秒前に注入した。

燃焼実験はほぼ無風の状態で行った。

実験装置は、前年度に使用した装置を使用し、温度・放射熱量・燃焼速度・発熱速度の計測およびビデオ・赤外線画像撮影も同様の方法で行った。

3 実験結果

燃焼建物から周囲の建物への延焼状況を表2に示した。

(1) 木造建物間の延焼

ア 隣接する建物への延焼

実験1では、窓ガラスの有無が木造建物間の延焼拡大におよぼす影響を見るため、各棟1階側面の窓のほかC棟2階のG棟に面する窓及びF棟2階のCに面する窓にもガラスを取り付けた。

燃焼建物に隣接して建っている木造建物には、燃焼建物・被延焼建物の階数に関係なく全て燃焼建物から被延焼建物に延焼した。

木造建物間の延焼は、全て、燃焼建物から噴出した炎が被延焼建物の軒裏に接炎して着火しており、被延焼建物の窓から屋内にはいった炎が室内の可燃

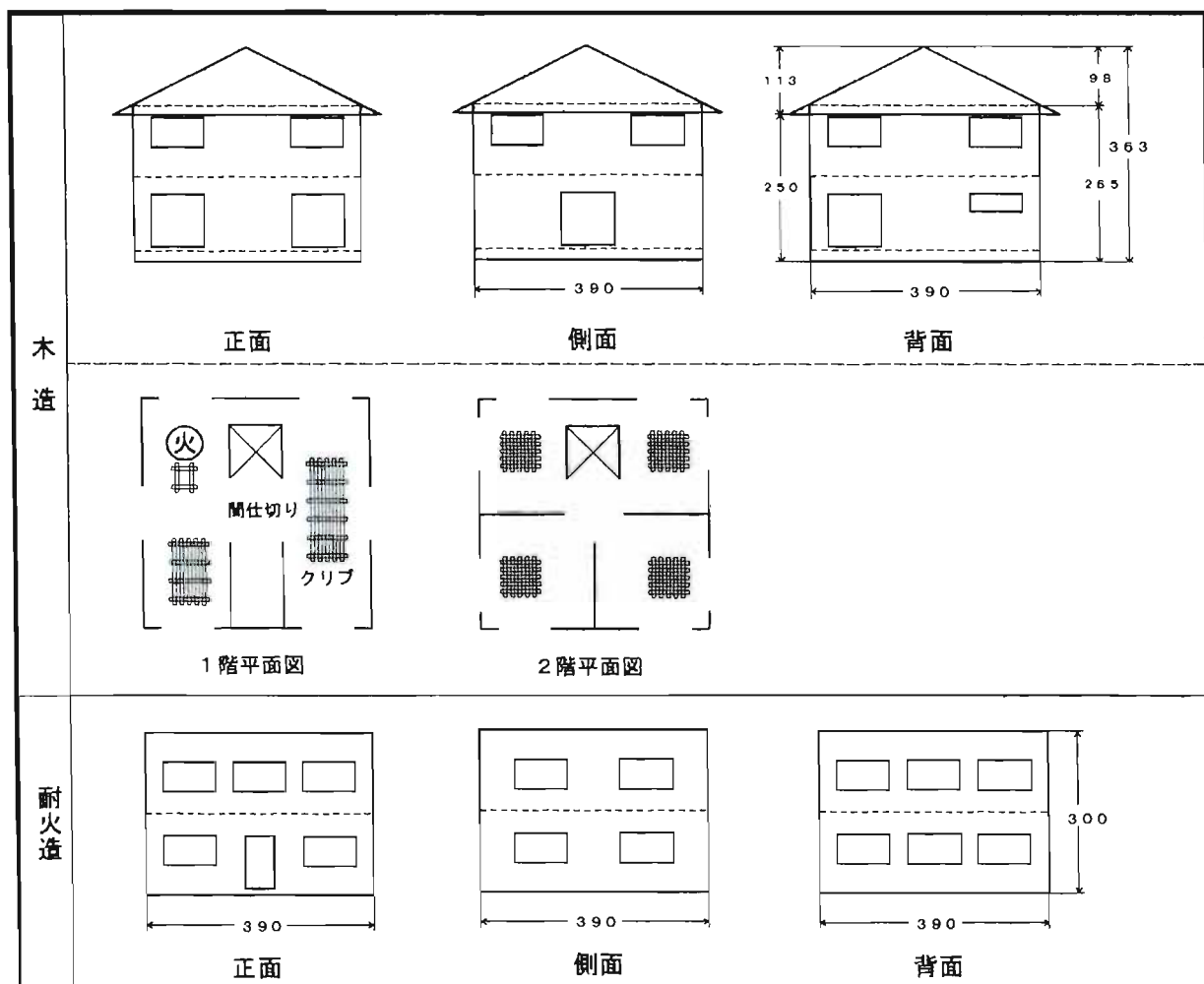


図1 実験建物の概要

表1 建物配置および開口部条件

No.	建物配置	開口部
1		全棟1F 側面ガラス入 C棟2F G棟側窓ガラス入 F棟2F C棟側窓ガラス入
2		木造全棟1F 側面窓ガラス入 C棟1、2F G棟側窓なし E棟1、2F D棟側窓全面ガラス入
3		木造全棟1F 側面窓ガラス入 C棟1、2F G棟側窓なし E棟1~4F D棟側窓全面ガラス入
4		木造全棟1F 側面窓ガラス入 C棟1、2F G棟側窓なし E棟1~4F D棟側窓全面ガラス入 耐火、(火)側窓際家具配置
5		木造全棟1F 側面窓ガラス入 D棟1~4F C棟側窓全面ガラス入 耐火、(火)側窓際家具配置
6		木造全棟1F 側面窓ガラス入 D棟1~4F C棟側窓全面ガラス入 耐火、(火)側窓際家具配置
<p>凡例 : 木造 ※右下の数字は 点火場所は : 耐火造 階数を示す 全てB棟1階</p>		

物に着火する延焼形態をとらなかつた。そのため、木造建物間の延焼では、窓ガラスの有無の影響がほとんど見られなかつた。

イ 斜向かいの建物への延焼

燃烧建物から斜向かいにある木造建物へ直接延焼拡大した事例は、実験3のB→F間の延焼1件だけであつた。(また、この延焼は、放射により延焼した唯一の事例でもあつた。)この事例では、Bに近いFの角部の外壁がBからの放射によって加熱され着火した。

燃烧建物の斜向かいにある木造建物が延焼した他の事例(実験1のB→F、B→G、実験4のB→F、実験6のB→F、B→G間)は、全て、いずれの建物にも隣接する建物CないしAを介しての延焼であつた。

燃烧建物の斜向かいの建物に延焼しなかつた実験

3のB→G、F→D、実験4のB→G、F→D、実験6のC→Hの場合、着火しないまでも燃烧建物に近い被延焼建物の角部の1・2階の外壁が炭化した。特に、実験4のDでは、Fに近い角部の外壁・軒裏に穴が開くほど炭化が進み、わずかな接炎でも着火する状態になつていた。

(2) 木造建物から耐火造建物への延焼

ア 木造建物より耐火造建物が高くない場合

燃烧建物(B)に比べ被延焼建物が低い(実験2のA)場合、燃烧建物の炎はほぼ真上に上昇するため、被延焼建物にはほとんど影響がなかつた。また、同じ階数(実験2のC、実験3のA)の場合でも建物上部の壁が煤ける程度であつた。

実験4ではB→A間に延焼がみられたが、Bが崩れてA側に傾いた際に、Aの2階窓際の家具(箱)にBの炎が接炎し着火したものである。

イ 木造建物より耐火造建物が高い場合

(7) 耐火造建物に窓ガラスが無い場合

燃烧建物(2階建)に比べ被延焼建物が高い(4階建)場合、写真1の見られるように、燃烧建物の炎は被延焼建物に吸い寄せられるように被延焼建物の壁に沿って上昇した。

実験4のC、実験6のAでは、窓ガラスが無く、窓際に燃え易い家具が置いてあつたため、最初に3階の家具に炎が接して着火し、建物内に延焼した。

窓際に家具が置いていなかった実験3のCは、BおよびFの炎が、3・4階のガラスのない窓から建物内に入り込み天井を煽つたが、室内の壁や天井を焦がしただけで着火しなかつた。1・2階は、室



写真1 燃烧建物の炎の様子
(左側に4階建て建物、右側に2階建て建物が隣接している)

表2 燃焼建物から周囲の建物への延焼状況

実験 No.	木造 → 木造				木造 → 耐火造				耐火造 → 木造	耐火 → 耐火		
	2階建 → 2階建		2階建 → 1階建	1階建 → 2階建	2階建 → 4階建		2階建 → 2階建	2階建 → 1階建	2階建 → 2階建	2階建 → 1階建	2階建 → 4階建	
	隣接	斜向かい	隣接	隣接	窓ガラス有	窓ガラス無	窓ガラス無	窓ガラス無			窓ガラス無	
1	○ B→C ○ C→F ○ C→G	- B→F - B→G X F→D X G→D	○ B→A ○ C→D	○ D→E								
2		X B→F X B→G					X B→C	X B→A				
3		◎ B→F X B→G X F→D			X B→C X F→C		X B→A					
4		- B→F X B→G X F→D		○ D→E	○ B→C	○ B→A			○ C→F X C→D X C→G			
5									X B→C	X B→A		
6	○ B→C ○ C→F	- B→F - B→G X C→H			X C→D	○ B→A			○ A→G			

凡例： X→Y：Xは燃焼建物、Yは被延焼建物
 ○：接炎による延焼 ◎：放射による延焼 X：延焼しない -：他の経路から延焼
 注：窓ガラスの有無は、被延焼建物の窓に関するもの

内のクリブ最上段の延焼建物に面する端部が炭化・一部灰化している状況であった。

燃焼建物がより高い建物が隣接していると、延焼建物の炎が被延焼建物に吸い寄せられ、被延焼建物の壁面に沿って上昇することが確認された。また、被延焼建物が耐火建物の場合、延焼着火箇所が外壁開口部の周辺にある可燃物に制限され、壁面に沿って上昇する炎と熱気により窓際にある可燃物に着火することが確認された。

(イ) 耐火造建物に窓ガラスが有る場合

実験4のEは、隣接するDの炎（点火後40分に再点火した）がEに吸い寄せられてEの壁面に沿って上昇した際、窓ガラスにひび割れが入り、ガラスを固定してあった熱可塑性の樹脂が溶融してガラスが脱落したため、3階窓際の家具に着火して屋内に延焼した。その後、2階窓際の家具にも着火している。

一方、実験6のDでは、（点火後12分過ぎから）最盛期に入ったCの炎がDの外壁に沿って上昇した際、2階～4階の窓ガラスがひび割れたが、窓ガラスが不燃性・非熱可塑性の樹脂で固定されていたため、ガラスが脱落することがなく、窓際の家具が若干炭化した程度で室内には延焼しなかった。

耐火建物の場合、延焼の媒体となり得る窓が破損しなければ、延焼防止効果が大きいことが確認された。

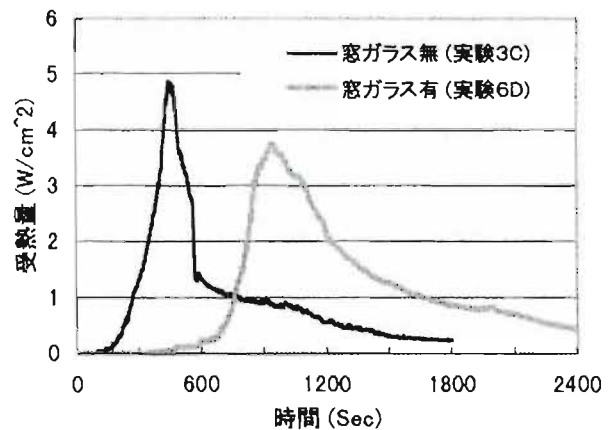


図2-1 室内側放射受熱量

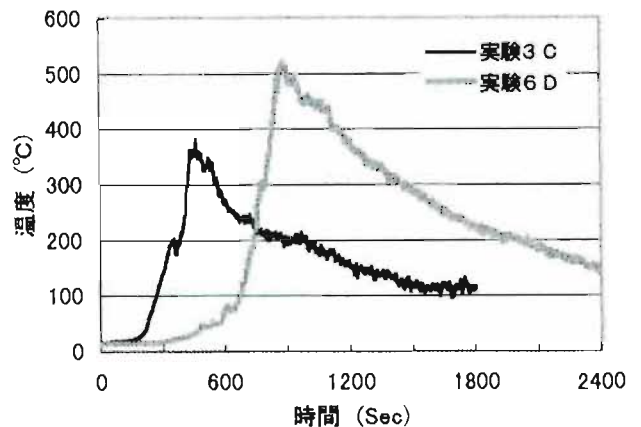


図2-2 窓際外壁温度

図2 窓ガラスの有無が屋内の放射受熱量におよぼす影響

窓ガラスによる遮熱効果を見るため実験3のC、実験6のDそれぞれの2階室内窓際の放射受熱量と2階窓周辺の外壁面温度を比較して図2に示した。

実験6のDの方が外壁面温度が高いにも関わらず、室内の受熱量が小さくなっている。壁面の温度上昇が、単純に壁面の受熱量に比例すると仮定すると、実験6Dの2階では実験3Cの2階より約1.4倍多く熱を受けていたことになる。以上のことから、厚さ2mmの窓ガラスでも40%を越える熱が遮られ、窓ガラスによる遮熱効果が大きいことが確認された。

(3) 耐火建物から木造建物への延焼

耐火建物から木造建物への延焼は、実験4のC→F、実験6のA→Gで認められた。

いずれの場合も、被延焼建物（FないしG）と斜向かいにある木造建物（B）の燃焼による放射熱によって、被延焼建物の外壁が加熱されていたところに、被延焼建物に隣接する耐火建物から噴出した炎が接して着火延焼したものであった。

放射による加熱は、直接着火させるに至らないまでも、予熱効果によりその後の接炎による着火を容易にすることが確認された。放射による加熱は、壁や屋根の木材が露出する地震火災における、飛び火による着火延焼には大きな影響をおよぼすと考えられる。

実験4では、Cに対しFと反対側の位置にGがあっ

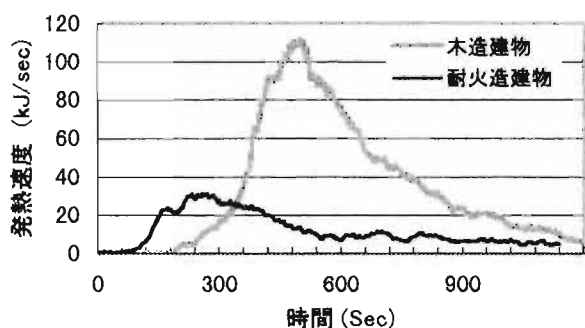


図3-1 発熱速度

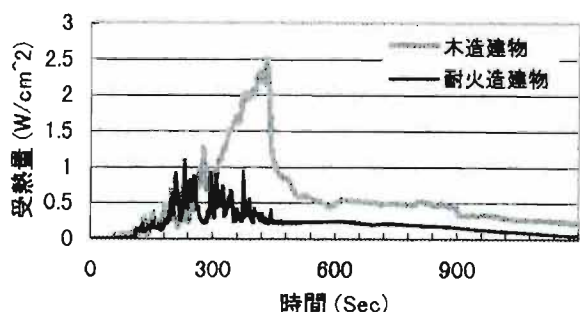


図3-2 燃焼建物からの放射熱
(2階窓上端の高さ、距離15cm位置における受熱量)

図3 木造建物と耐火建物の燃焼に伴う
発熱速度と放射熱の比較

たが、Cの1・2階のGに面する外壁には窓が無かったためGには延焼していない。また、Cの3・4階が延焼し、G側の窓から炎を噴出しているがGの加熱には余り影響を与えていない。

実験5のB→Cは、耐火造建物が火元となった場合である。小スケールの耐火建物の模型実験では、換気効率が極端に悪くなる（換気量は縮尺の5/2乗に比例する）ため、燃焼力が非常に弱くなる。図3に示したように、模型の耐火建物の発熱速度・放射熱は木造建物に比べ小さい（木造建物は外壁の燃焼により大きな炎が形成され、発熱速度・放射熱量が大きくなった）。また、Bにバルコニーや庇の張出がなかったため、炎の水平方向への吹き出しが弱く隣接する木造建物に接炎していない。そのため、隣接する木造建物にはなんら影響をおよぼさなかった。

(4) 耐火から耐火への延焼

実験5のB（2階建）→A（4階建）は、前3、（3）実験5B→Cの場合と同じ理由で延焼しなかった。

4 まとめ

- (1) 耐火造建物でも周囲が木造建物で囲まれている場合、延焼することがある。
- (2) 燃焼建物に隣接して高い建物があると、燃焼建物の炎が隣接建物に吸い寄せられるようにして壁面に沿って上昇し、上方の階へ延焼する場合がある。
- (3) 耐火建物の窓ガラスが破損脱落しなければ、外壁の焼きにとどまり、建物内に延焼しない場合がある。
- (4) 木造密集地域に独立した耐火建物がある場合、耐火建物が延焼しなくても、木造建物間の延焼で延焼拡大する。
- (5) 耐火建物の3階以上の階が延焼している場合、隣接する2階建て建物の加熱におよぼす影響は少ない。

5 あとがき

今回の模型実験では、施設上の制限から有風時の延焼拡大は扱わず、また、模型のスケールが小さく、放射による延焼拡大を把握することが難しいので、主に、接炎による延焼について実験検討してきた。

神戸の市街地火災では、「延焼した耐火建物の室内が炉の状態となり、そこから出た強い放射熱が周囲の建物を延焼させたのではないのか？」との声も一部に聞かれたが、スケールの小さい模型実験で放射の影響による延焼を再現することは困難であるので、今回扱わなかった。今後、機会が得られれば、実大の火災実験により、周囲の建物への放射による延焼危険を把握して行きたい。