

屋外からの火災性状の観察に基づく木造建物倒壊の予見可能性

FORESEEABILITY OF COLLAPSE OF WOODEN BUILDINGS BASED ON THE BEHAVIOR OF FIRE OBSERVED FROM OUTDOORS

樋本圭佑 — * 1 原田和典 — * 2

Keisuke HIMOTO — * 1 Kazunori HARADA — * 2

キーワード：
木造建物, 火災性状, 倒壊可能性, 実大実験

Keywords:
Wooden building, Fire behavior, Likelihood of collapse, Full-scale experiments

The likelihood of structural collapse of fire involved wooden buildings was analyzed by using the results of 22 existing full-scale fire experiments. This analysis is intended to provide firefighters with warning information of structural collapse during their activities. The occurrence of structural collapse was related to the macroscopic behavior of fire observed from outdoors. Onset of window flame and entire burning of the building were found as the two important signs which take place in advance of structural collapse.

1. はじめに

木造建物で発生した火災の加熱を受けて木質部材の炭化が進むと、建物の構造耐力は低下する。この結果、建物の荷重を軸組が支え切れなくなると、構造部材の折損が生じ、最終的に建物全体の倒壊につながる。この時点で建物の中に人が取り残されていれば、人的被害の発生する可能性が高い。特に、消火活動中の消防隊員が建物の倒壊に巻き込まれ、死傷する事故は繰り返し起こっている^{1~3)}。わが国で発生する全建物火災の43.9%が木造建物で発生していることを考え併せると⁴⁾、倒壊によって人的被害を伴うような建物火災は特別なものではなく、何らかの合理的対策を講じるべき状況にあるものと言える。

建物倒壊による人的被害を防ぐには、倒壊の危険性が高まった建物内部での消火活動避けることが重要である。このためには、倒壊の発生条件と、その予兆となる危険情報との関係を明らかにする必要がある。ただし、建物内部で消火活動を行うのか否かの判断は、

実際に活動にあたる消防隊が自ら下さなくてはならない。このため、判断条件となる危険情報は、屋外から短時間で観察可能な火災性状に基づく必要がある。

そこで本研究では、過去に実施された実大火災実験の結果を分析することで、屋外から観察される予兆的な火災性状と、木造建物の倒壊との関係について分析することを目的とする。

2. 既往の木造建物を対象とした実大火災実験

2.1 実大火災実験の概要

木造建物を対象とした実大火災実験は、過去に数多く実施されている。本研究では、建物倒壊の危険情報の抽出を行うことが目的であるため、この中で、出火から建物倒壊に至るまでの観察記録が残されているものを対象に分析することにした。分析対象とした全22件の実験条件を表1に示す⁵⁻²²⁾。その多くは1945年以前に、防空計画の一環として実施された実験である。戦後の実施例も少なくはな

表1 過去に木造建物を対象として実施された実大火災実験

実験ID	実施時期	場所	対象建物	天候	気温(°C)	湿度(%)	風速(m/s)	文献
ア	1933年8月28日	東京市・東京大学	裸木造(1棟)	不明	30~31	65~70	0.5~2.5	5,13
イ	1934年8月25日	東京市・東京大学	裸木造(3棟)	くもり	26.4~26.9	63~66	2.0~2.4	6,13
ウ	1938年5月21日	東京市・月島第6号地	防火木造(1棟)	小雨	15.7	68~82	2.3	7,8,13
エ	1938年6月22日	東京市・月島第6号地	防火木造(1棟)	晴れ	23.9	58~64	2.9	7,8,13
オ	1939年7月29日	広島市・東練兵場	裸木造(2棟), 防火木造(1棟)	くもり	31.8~32.8	59~63	2.8~3.1	9,13
カ	1940年2月7日	横浜市・横浜公園内野球場	裸木造(3棟), 防火木造(2棟)	くもり時々小雪	2.9~4.6	54~68	0.4~2.0	10,13
キ	1940年4月22日	名古屋市・鶴舞公園	裸木造(4棟), 防火木造(2棟)	不明	15.4~16.6	52~63	6.5~10.0	11,13
ク	1940年8月21日	東京市・墨田公園	裸木造(2棟), 防火木造(2棟)	晴れ	30.2~31.4	51~60	1.3~10.3	12,13
ケ	1940年10月19日	札幌市・中島公園	裸木造(2棟), 防火木造(2棟)	くもり	20.0~27.5	52~53	2.5~3.5	13,14,17
コ	1940年10月23日	小樽市・花園公園グラウンド	裸木造(4棟), 防火木造(1棟)	くもり時々小雨	10.6~11.2	80~86	1.8~4.2	13,14,17
サ	1940年10月26日	室蘭市・公園グラウンド	裸木造(2棟), 防火木造(1棟)	晴れ	11	50	2~3程度	13,14,17
シ	1940年11月14日	川崎市・富士見公園	裸木造(3棟), 防火木造(2棟)	不明	18.9~21.6	44~50	4.0~6.0	13,14,17
ス	1941年8月27日	広島市・東練兵場	裸木造(3棟), 防火木造(1棟)	くもり	22.1~22.9	83~87	0.3	13,15,17
セ	1942年9月12日	大垣市・市設運動場	裸木造(4棟), 防火木造(1棟)	小雨	28.3~28.9	83~85	0.0~3.0	13,15,17
ソ	1942年11月17日	仙台市・追廻練兵場	裸木造(3棟), 防火木造(1棟)	不明	16	60	1.2~1.7	13,15,17
タ	1942年12月13日	佐世保市・佐世保商業学校	裸木造(3棟), 防火木造(2棟)	晴れ	11.0~12.7	不明	1~5	13,16,17
チ	1943年3月28日	延岡市・岡富安賀多橋下川原	裸木造(3棟), 防火木造(1棟)	不明	18.8~19.3	不明	3.4~3.9	13,16,17
ツ	1981年8月6日	不明	木質パネル構法(防火)(1棟)	不明	29.5~32.0	34.0~42.7	1.6~4.6	18
テ(※1)	1981年10月7日	筑波郡・建築研究所	鉄鋼系パネル構法(防火)(1棟)	晴れ	19.5~20.0	60~64	0.9~1.5	19
ト	1984年9月10日	筑波郡・建築研究所	在来木造(防火)(1棟)	晴れ	25.6	61.1	1~3	20
ナ	1996年3月5日	つくば市・建築研究所	枠組壁構法(準耐火)(3棟)	晴れ	4~12	不明	2~4	21
ニ	1997年(月日不明)	不明	枠組壁構法(準耐火)(1棟)	不明	不明	不明	不明	22

※1 実験テでは非木造住宅(鉄鋼製プレハブ住宅)を対象としている。

¹⁾ 京都大学次世代開拓研究ユニット
(〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
²⁾ 京都大学大学院工学研究科

¹⁾ Pioneering Research Unit for Next Generation, Kyoto Univ.
²⁾ Graduate School of Engineering, Kyoto Univ.

いものの、建物倒壊に至っていないか、もしくは観察記録が残されていない例が多かった。

実験建物の概要および屋外からの観察記録を、実験建物ごとに整理したものを表 2 に示す。ここで、各実験建物に付された建物 ID の五十音は、表 1 の実験 ID の五十音に対応している。該当する建物は計 38 棟であり、このうち、①外壁に下見板を張り付けた裸木造建物が 27 棟、②外壁の屋外側をモルタル等によって補強された防火木造建物が 5 棟、③外壁防火構造建物（木質パネル構法、鉄鋼系パネル構法、在来木造などで、外壁を防火構造とし、室内側にも不燃性の内装仕上げを施したもの）が 3 棟、④準耐火建築物に相当する建物が 3 棟となった。なお、建物（テ-1）は木造建物ではないが、外壁を防火構造とした木造建物と同等の性能を有しているものと考え、分析対象に加えた。

各実験における観察記録のうち、屋外からの観察で容易に把握できると考えられる火災性状を、「A 煙の状況」、「B 火炎の状況」、「C 建物の外観的特徴」に分け、それぞれが最初に観察された時間を整理してある。このうち、「B4 全体的燃焼」は、建物の過半の部屋が盛期火災となった状態を示す。なお、各実験の実施主体は様々な

で、実験の記録方法が統一されていないわけではない。また、記述内容は精粗様々であるが、代表的な火災性状については観察記録に残されているものと考えられる。

火災性状の進展に対する燃焼建物の構造被害の進展は、「X1 屋根面・横架材の崩落（一部）」（以下、「X1 崩落（一部）」）、もしくは、「X2 屋根面・横架材の崩落（過半）」（以下、「X2 崩落（過半）」）の

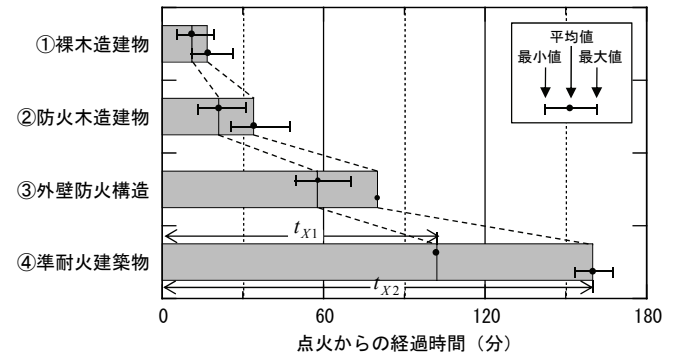


図 1 建物種別ごとの崩落（一部・過半）時間

表 2 実大火災実験において屋外から観察された火災性状

実験建物						出火 条件 (※1)	観察時間 t(分)											
建物 ID	建物 構造	建築 面積 A _F (m ²)	延床 面積 A _T (m ²)	階数 N _S	室数 N _R		煙の状況			火炎の状況				建物の外観的特徴			X1 屋根面 横架材 の崩落 (一部) (※3)	X2 屋根面 横架材 の崩落 (過半) (※4)
							A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3		
							白煙	黄褐 色煙	黒煙	開口か ら火炎	外装材 の燃焼	外周燃 え抜け	全体的 燃焼 (※2)	外装材 の脱落	屋根瓦 の落下	建物の 傾斜		
ア-1	①裸木造建物	29.91	29.91	1	2	内部	0	-	1	2	6	3	8	7	-	9	8	14
イ-1	①裸木造建物	57.86	57.86	1	6	内部	1	-	5	6	-	-	-	8	10	-	17	25
イ-2	①裸木造建物	34.71	34.71	1	2	外部	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	15
ウ-1	②防火木造建物	91	182	2	8	内部	6	-	-	-	-	21	-	-	-	-	23	47
エ-1	②防火木造建物	91	182	2	8	内部	1	-	-	22	-	19	26	21	26	40	31	41
オ-1	①裸木造建物	29.7	29.7	1	3	内部	-	-	-	-	1	1	-	5	4	-	10	18
オ-2	①裸木造建物	25.57	37.94	2	4	内部	-	-	-	0	2	-	-	-	3	-	6	12
カ-1	①裸木造建物	16.6	30.1	2	2	内部	-	-	-	0	1	5	3	4	-	-	9	16
カ-2	②防火木造建物	16.6	30.1	2	2	内部	-	8	-	0	1	-	13	5	-	25	13	25
キ-1	②防火木造建物	19.8	39.6	2	4	内部	0	-	10	-	9	16	15	-	-	-	-	27
キ-2	①裸木造建物	19.8	39.6	2	4	内部	0	-	1	2	-	5	-	4	-	-	8	14
キ-3	①裸木造建物	12.9	25.8	2	2	外部	-	-	-	-	0	-	5	-	-	-	5	12
キ-4	①裸木造建物	12.9	25.8	2	2	外部	-	-	-	-	0	-	2	-	-	-	-	13
キ-5	①裸木造建物	12.9	25.8	2	2	外部	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	9	13
ク-1	①裸木造建物	26.4	39.6	2	4	外部	1	-	3	-	0	-	7	-	6	-	8	10
ク-2	①裸木造建物	26.4	39.6	2	4	内部	1	-	-	1	-	4	-	6	5	11	9	12
ク-3	②防火木造建物	26.4	39.6	2	4	内部	1	5	-	-	-	6	-	-	8	29	17	30
ケ-1	①裸木造建物	16.67	16.67	1	不明	内部	3	-	-	4	-	-	8	-	-	-	17	20
ケ-2	①裸木造建物	16.67	33.34	2	不明	外部	-	-	-	-	0	-	-	-	-	17	14	20
コ-1	①裸木造建物	16.67	16.67	1	不明	内部	1	-	-	11	-	-	10	-	-	-	18	26
コ-2	①裸木造建物	16.67	16.67	1	不明	外部	-	-	-	-	0	-	11	-	-	-	19	-
サ-1	①裸木造建物	16.67	16.67	1	不明	内部	-	-	-	2	6	10	12	-	-	-	14	22
シ-1	①裸木造建物	16.6	13.5	2	不明	内部	0	-	-	-	-	3	5	-	-	13	10	16
ス-1	①裸木造建物	20.7	33.9	2	不明	内部	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	9	15
ス-2	①裸木造建物	14.9	14.9	1	不明	内部	-	-	-	0	0	-	-	4	2	-	10	11
セ-1	①裸木造建物	19.8	32.76	2	4	内部	1	-	-	-	-	7	7	-	-	-	9	25
セ-1	①裸木造建物	9.9	9.9	1	1	外部	-	-	-	-	0	-	9	-	6	-	-	15
ソ-1	①裸木造建物	16.6	33.2	2	4	外部	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	18
ソ-2	①裸木造建物	16.6	33.2	2	4	内部	-	-	-	5	-	-	10	-	-	-	14	22
タ-1	①裸木造建物	8.3	14.9	2	2	外部	-	-	-	0	-	-	7	-	-	-	8	11
タ-2	①裸木造建物	16.6	30.1	2	4	内部	-	-	-	3	-	-	7	-	-	-	-	19
チ-1	①裸木造建物	16.5	29.7	2	2	内部	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	16	19
ツ-1	③外壁防火構造	50.1	114.7	3	13	内部	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	70	-
テ-1	③外壁防火構造	54.38	116.4	2	11	内部	-	-	-	13	-	40	40	46	-	50	54	-
ト-1	③外壁防火構造	29.8	59.6	2	8	内部	-	-	2	4	-	-	-	-	-	-	49	80
ナ-1	④準耐火建築物	55.89	166.8	3	12	外部	-	-	-	79	0	67	145	25	-	-	-	167
ナ-2	④準耐火建築物	55.89	166.8	3	12	外部	-	-	-	8	-	120	135	-	-	-	-	153
ニ-1	④準耐火建築物	23.18	23.18	1	1	内部/外部	-	-	-	8	19	79	9	117	-	-	102	-

※1 「内部」、「外部」は、それぞれ建物の内部、もしくは外部に着火源が設けられた場合を指す。

※2 「B4 全体的燃焼」は、建物の過半の部屋が盛期火災となった時刻を指す。

※3 「X1 屋根面・横架材の崩落（一部）」は、最初に屋根面・横架材の落下が確認された時刻を指す。

※4 「X2 屋根面・横架材の崩落（過半）」は、建物全体が完全に倒壊するか、もしくは外壁などが一部残っていても屋根面・横架材の大部分が落下した時刻を指す。

2 段階に分けて整理することとした。これは、比較的多くの実験記録で、これら 2 つの指標に関する記述を確認できたためである。このうち、「X1 崩落（一部）」は、最初に屋根面・横架材の落下が確認された時刻を指している。また、「X2 崩落（過半）」は、建物全体が完全に倒壊するか、もしくは外壁などが一部残っていても屋根面・横架材の大部分が落下した時刻を指している。

2.2 実大火災実験で観察された火災の進展状況

実験の記録をもとに、建物種別ごとの「X1 崩落（一部）」の発生時刻 t_{X1} と「X2 崩落（過半）」の発生時刻 t_{X2} を整理した結果を図 1 に示す。まず、崩落（一部）時間 t_{X1} は、①裸木造建物が 5～19 分（平均 11.1 分、 $n=23$ ）、②防火木造建物が 13～31 分（平均 21.0 分、 $n=4$ ）、③外壁防火構造建物が 49～70 分（平均 57.7 分、 $n=3$ ）、④準耐火建築物が 102 分（ $n=1$ ）であった。一方、崩落（過半）時間 t_{X2} は、①裸木造建物が 10～26 分（平均 16.7 分、 $n=26$ ）、②防火木造建物が 25～47 分（平均 34.0 分、 $n=5$ ）、③外壁防火構造建物が 80 分（ $n=1$ ）、④準耐火建築物が 153～167 分（平均 160.0 分、 $n=2$ ）であった。

③外壁防火構造建物と④準耐火建築物については標本数が少なく、参考値として見る必要があるが、崩落（一部）時間 t_{X1} 、崩落（過半）時間 t_{X2} の双方とも、①裸木造建物、②防火木造建物、③外壁防火構造建物、④準耐火建築物の順で大きかった。

なお、①裸木造と②防火木造に分類される建物を対象とした実験は、戦前・戦中に実施されている。こうした火災実験の傾向として、次のような特徴を挙げることができる：(i) 老朽化した住宅の性能を見るため、建物に古材を使用し、構造材断面を小さくとってあるものが多い；(ii) 着火源には焼夷筒を使っている場合が多い；(iii) 実験建物は、実験の実施にあたり新規に建てられているが、基礎を設けていない建物も含まれている；(iv) 防火改修の延焼抑止効果を調べるため、複数棟の建物を同時に燃焼させている例が多い。以上のことから、ここで分析対象とする実験建物（①裸木造と②防火木造）の「X1 崩落（一部）」や「X2 崩落（過半）」に至るまでの時間は、同じ構造の建物に比べると短くなっている可能性がある。

3. 屋外から観察可能な火災性状と崩落（一部）発生の予見可能性

本研究では、建物構造被害の進行を「X1 崩落（一部）」と「X2 崩落（過半）」の 2 段階に分けて考えている。このうち、消防隊員の安全確保において最初の支障が生じる「X1 崩落（一部）」は、消防隊員の消火活動時の安全性を判断する基準として適切と考えられる。そこで、崩落（一部）時間 t_{X1} を消火活動が可能な限界時間とみなし、「X1 崩落（一部）」とその他の予兆的な火災性状との関係について調べる。

まず、表 2 の表頭に示す各観察項目と、崩落（一部）時間 t_{X1} との間の関係を見るため、標本数の比較的多い、①裸木造建物に対象を絞り、項目間の相関係数を求めた。このうち、有意水準 5% で有意とされた項目は、「B1 開口火炎」、「B4 全体的燃焼」、「C3 建物傾斜」、「X2 崩落（過半）」であった。そこで、これら 4 つの観察項目について、崩落（一部）時間 t_{X1} を基準とした相対発生時間 $t_{B1}-t_{X1}$ 、 $t_{B4}-t_{X1}$ 、 $t_{C3}-t_{X1}$ 、 $t_{X2}-t_{X1}$ を整理したものが図 2 である。ただし、各図には、①裸木造建物だけでなく、②防火木造建物と③外壁防火構造建物の結果も併記してある。④準耐火建築物については、崩落（一部）時間 t_{X1} を確認できた実験が 1 件のみであったことと、他の構造種別と比べると、その値も際立って大きかったことから、ここでは除外してある。図 2 において、縦軸にとってある相対発生時間 $t_{B1}-t_{X1}$ 、 $t_{B4}-t_{X1}$ 、 $t_{C3}-t_{X1}$ 、 $t_{X2}-t_{X1}$ が負となる項目は「X1 崩落（一部）」に先行し、正となる項目は遅れて発生していることを示している。これによると、「B1 開口火炎」、「B4 全体的燃焼」は「X1 崩落（一部）」に先行し、「C3 建物傾斜」、「X2 崩落（過半）」は「X1 崩落（一部）」と同時か、遅れて発生する傾向のあることが見てとれる。このため、「X1 崩落（一部）」の発生を予見するという観点からは、「B1 開口火炎」と「B4 全体的燃焼」を危険情報として利用できる可能性がある。

各観察項目の相対発生時間 $t_{B1}-t_{X1}$ 、 $t_{B4}-t_{X1}$ 、 $t_{C3}-t_{X1}$ 、 $t_{X2}-t_{X1}$ とその変動幅を、構造種別ごとに整理したものが表 3 と図 3 である。まず、「B1 開口火炎」の相対発生時間 $t_{B1}-t_{X1}$ は、①裸木造建物が -13

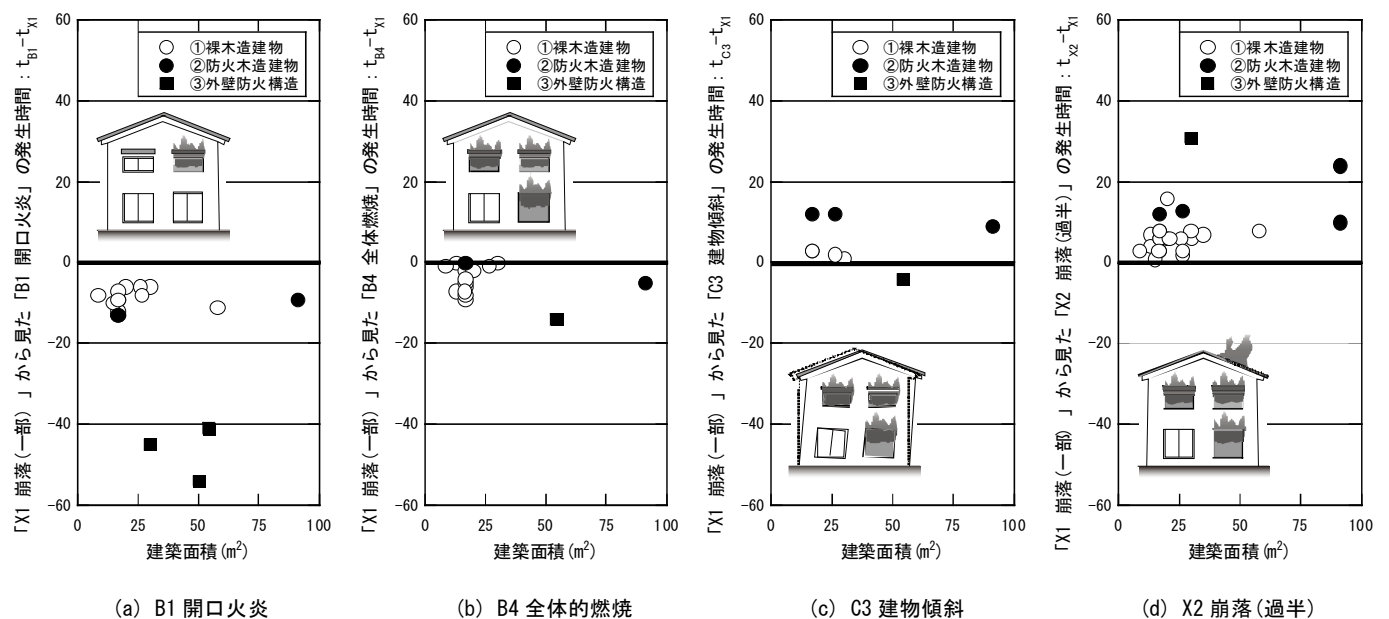


図 2 崩落（一部）から見た各指標の発生時間

～6分(平均-8.8分, 標本数 n=12), ②防火木造建物が-13～-9分(平均-11.0分, n=2), ③外壁防火構造建物が-54～-41分(平均-46.7分, n=3), ④準耐火建築物が-94分(n=1)であった。また、「B4 全体的燃焼」の相対発生時間 $t_{B4}-t_{X1}$ は, ①裸木造建物が-9～0分(平均-4.3分, 標本数 n=14), ②防火木造建物が-5～0分(平均-2.5分, n=2), ③外壁防火構造建物が-14分(n=1), ④準耐火建築物が-93分(n=1)であった。一般に, 観察される火災性状の順番は状況によって前後することも考えられるが, 分析対象となった火災実験では, 「B1 開口火炎」は「X1 崩落(一部)」の発生に常に先行し, 「B4 全体的燃焼」は「X1 崩落(一部)」とほぼ同時か, もしくは先行していた。

なお, 「B1 開口火炎」から「B4 全体的燃焼」に至るまでの時間 $t_{B4}-t_{B1}$ は, 建物内部の火災拡大の早さを見る一つの指標である。その平均を比較すると, ①裸木造建物で4.5分, ②防火木造建物で8.5分, ③外壁防火構造建物で32.7分と, 室内側の内装に不燃材料を使用している③外壁防火構造建物の火災拡大が比較的緩やかであったことが分かる。なお, ④準耐火建築物の場合には火災拡大に要する時間が1分となっているが, これは, 唯一該当する実験で使用された建物(ニ-1)が単室であったためである。

4. まとめ

本研究では, 既往の実大火災実験の結果を分析し, 建物の「X1 崩落(一部)」の予兆となる火災性状について検討を加えた。この結果,

表3 崩落(一部)と各観察項目の関係

		B1 開口火炎	B4 全体的燃焼	C3 建物傾斜	X2 崩落(過半)
① 裸木造 建物	標本数	12	14	4	22
	t_{X1} から見た 発生時間(分)	-13～-6 (平均:-8.8)	-9～0 (平均:-4.3)	1～3 (平均:2.3)	1～16 (平均:6.0)
	t_{X1} との 相関係数	0.828 (**)	0.690 (**)	0.983 (*)	0.780 (**)
② 防火木造 建物	標本数	2	2	3	4
	t_{X1} から見た 発生時間(分)	-13～-9 (平均:-11.0)	-5～0 (平均:-2.5)	9～12 (平均:11.0)	10～24 (平均:14.8)
③ 外壁防火 構造建物	標本数	3	1	1	1
	t_{X1} から見た 発生時間(分)	-41～-54 (平均:-46.7)	-14	-4	31
④ 準耐火 建築物	標本数	1	1	0	0
	t_{X1} から見た 発生時間(分)	-94	-93	-	-

※(*)は5%, (**)は1%の各有意水準で有意であった場合を示す。

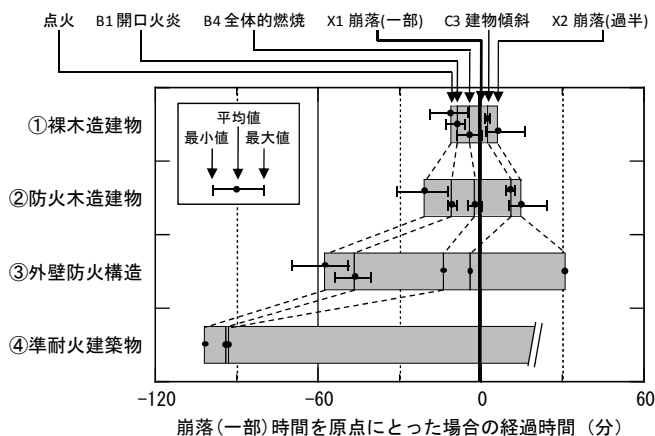


図3 建物種別ごとの相対崩落(一部・過半)時間

「B1 開口火炎」, 「B4 全体的燃焼」, 「C3 建物傾斜」, 「X2 崩落(過半)」の4つの観察項目と「X1 崩落(一部)」の間に一定の相関を確認できた。このうち, 「B1 開口火炎」は「X1 崩落(一部)」の発生に常に先行し, 「B4 全体的燃焼」は「X1 崩落(一部)」とほぼ同時か, もしくは先行する指標であることを確認した。「B1 開口火炎」の相対発生時間 $t_{B1}-t_{X1}$ の平均は, ①裸木造建物で-8.8分(n=12), ②防火木造建物で-11.0分(n=2), ③外壁防火構造建物で-46.7分(n=3), ④準耐火建築物で-93分(n=1)であった。「B4 全体的燃焼」の相対発生時間 $t_{B4}-t_{X1}$ の平均は, ①裸木造建物で-4.3分(n=14), ②防火木造建物で-2.5分(n=2), ③外壁防火構造建物が-14分(n=1), ④準耐火建築物が-93分(n=1)であった。

なお, 本分析に基づいて「X1 崩落(一部)」を推定するには, 火災建物の構造種別の把握が必要である。これを, 消防隊員が火災現場に到着した後に行うことは技術的に困難であるが, 建築年代や構造種別の情報を事前に収集し, 消火活動の現場に提供するような仕組みを構築できれば, 崩落に伴う消防隊員の危険を回避できる可能性は高くなるものと考えられる。

参考文献

- 1) 火災ニュース(神戸市西区), 火災, Vol.53, No.4, pp.68, 2003.
- 2) 火災ニュース(名古屋市中村区), 火災, Vol.56, No.4, pp.69, 2006.
- 3) 火災ニュース(京都市下京区), 火災, Vol.57, No.5, pp.56, 2007.
- 4) 総務省消防庁:平成19年度版 消防白書, ぎょうせい, 2007.
- 5) 内田祥三ほか:木造家屋の火災実験について, 建築雑誌, 第47巻, pp.1649-1722, 1933.
- 6) 内田祥三ほか:木造家屋の火災実験について, 建築雑誌, 第49巻, pp.405-469, 1935.
- 7) 内田祥三ほか:木造家屋の本質-特に2階建の場合について, 建築雑誌, 第53号, pp.761-778, 1939.
- 8) 岸田日出夫ほか:月島火災実験における燃焼熱量と火災状況, 建築学会論文集, 第13号, pp.437-487, 1939.
- 9) 中山元晴:広島市において舉行せられたる防火改修家屋実験報告, 建築雑誌, 第54号, pp.107-116, 1940.
- 10) 吉田安三郎:横浜における火災実験の概要, 建築雑誌, 第54巻, pp.622-628, 1940.
- 11) 堀井啓治ほか:名古屋の火災実験, 建築雑誌, 第54巻, pp.611-644, 1940.
- 12) 小林隆徳:東京市墨田公園における火災実験報告, 建築雑誌, 第54巻, pp.870-879, 1940.
- 13) 内田祥文:建築と火災, 相模書房, 1953.
- 14) 内田祥文:木造家屋の火災時における対隣家屋壁面の温度について-その1, 建築学会論文集, 第23号, pp.43-52, 1942.
- 15) 内田祥文:木造家屋の火災時における対隣家屋壁面の温度について-その2・3, 建築学会論文集, 第25号, pp.175-189, 1942.
- 16) 内田祥文:木造家屋の火災時における対隣家屋壁面の温度について-その4, 建築学会論文集, 第27号, pp.66-72, 1942.
- 17) 内田祥文:木造家屋の火災時における対隣家屋壁面の温度について-その5, 建築学会論文集, 第31号, pp.51-61, 1944.
- 18) 佐藤寛ほか:三階建工業化住宅(木質系)の火災実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.2307-2316, 1982.
- 19) 中村賢一:鉄鋼系プレハブ住宅の火災実験, 建築研究資料, No.40, 1983.
- 20) 建設省建築研究所・火災研究委員会:「建築物の防火設計法開発のための木造住宅火災実験」報告書, 建築研究資料, No.54, 1985.
- 21) 林吉彦ほか:市街地における木造3階建共同住宅の延焼性状に関する実大火災実験, 建築研究資料, No.93, 1999.
- 22) 佐藤博臣ほか:枠組壁工法住宅の実大火災実験(その1～その4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.189-196 (1998.9)

[2010年6月18日原稿受理 2010年7月30日採用決定]