

IV-58

地震時市街地火災の延焼速度に関する一考察

近畿大学工学部

正会員○保野健治郎

同

同 難波義郎

同

同 大森豊裕

日本上下水道設計(株)

同 松岡秀男

1. はじめに

本研究では、地震時火災の延焼面積を焼損区域面積、全壊率、風速および時間などの因子で表現し、その焼損面積 $A(\text{m}^2)$ と火面周長 $S(\text{m})$ から延焼速度の平均値 (V_{ave} (予測)) を求め、この V_{ave} (予測) より各時間ごとの延焼速度の最大値 (V_{max} (予測)) および延焼速度の実測値の最大値 (V_{max} (実測値の最大値)) などの諸関係について検討したものである。

2. 市街地火災の延焼速度について

従来から延焼速度 (m/h) の測定方法には、次の2方法がある。第1は風下側の延焼速度 $V(\text{m/h})$ は出火点から風下へ向かって焼け止まり点まで測った距離 $K(\text{m})$ をその時間 $x(\text{min})$ で除した平均速度として

$$V = K(x_0) / (x_0 / 60) \quad (1)$$

第2には、ある時間ごとの平均速度を $t(\text{min})$ 刻みで求めることにすれば

$$V(x) = \frac{K(x+t/2) - K(x-t/2)}{t/60} \quad (2)$$

となる。本研究では、式(2)により分析する。

筆者らは、出火からの経過時間 x における焼損面積 A を表す延焼速度式を式(3)で表わしている¹⁾。

$$A = \frac{G+n \cdot \varepsilon}{1+\exp\{-a_1(x-c_1)\}} - \frac{G+n \cdot \varepsilon}{1+\exp(a_1 \cdot c_1)} \quad (3)$$

$$\varepsilon = G / (1+\exp(a_1 \cdot c_1))$$

ここに、 A : 焼損面積 (m^2)、宅地などを含む延焼区域の面積、 x : 出火からの経過時間 (min)、 G : 延焼危険のある区域面積 (m^2)、ただし、 $A \leq G$ 、 v : 風速 (m/s)、 n : $1 \leq n < 3$ として使用する。一般には、 $1.3 < n < 2$ 程度となる。また、 a_1, c_1 : 定数である。

ただし、式(3)は、平常時の火災 ($0 \leq v \leq 10\text{m/s}$, $50 \leq G \leq 1,500 \text{m}^2$, $x \leq 90\text{min}$, 平均建べい率 50-60%) に

適用してきた。焼損面積 $A(\text{m}^2)$ と延焼危険のある区域面積 $G(\text{m}^2)$ および時間 $x(\text{min})$ との関係は、 λ を比例定数として

$$dA / dx = \lambda \cdot (G - A) \cdot A \quad (4)$$

この式を積分して、 $\lambda \cdot G = a$ とおき、焼け止まり時間を $x_0(\text{min})$ とすれば、($x = 0$ のとき $A = 0$) および ($x = x_0$ のとき $A = G$) となるように境界条件を満足させたものが式(3)である。一方、

$$dA / dx = a \cdot A (1 - A / G), a = \lambda \cdot G \quad (5)$$

$$(dA / dx)_{x=c_1} = (dA / dx)_{\text{max}}$$

$$= aG / 4 = a_1 \cdot (G+n \cdot \varepsilon) / 4 \quad (6)$$

式(3)は $x = c_1$ において、最大の延焼面積速度 dA / dx および最大の延焼速度 V を示すことになる。

$$(dA / dx)_{x=c_1} = (dA / dx)_{\text{max}}, V_{x=c_1} = V_{\text{max}} \quad (7)$$

式(3)を式(5)のように表示すれば

$$dA / dx = a_1 \cdot A (1 - A / G + n \cdot \varepsilon),$$

$$a_1 = \lambda (G+n \cdot \varepsilon) \quad (8)$$

また、延焼速度の平均値 (V_{ave} ; m/min) は

$$V_{\text{ave}} = (dA / dx) / S_{\text{max}} \quad (9)$$

火面周長 $S(\text{m})$ を兵庫県南部地震の神戸市大火について求め、これらを式(9)に代入して、これら大火の延焼速度の平均値 (V_{ave}) および最大値 (V_{max}) を求めることについて検討する。

3. 地震時火災の延焼速度と予測

表-1 のような兵庫県南部地震の調査対象地区における式(3)の係数の値は表-2 のようになり、平均的な火面周長 $S(\text{m})$ と焼損面積 $A(\text{m}^2)$ の関係は

$$S = 1.11 \cdot A^{0.655} \quad (R=0.958) \quad (10)$$

ここに、焼損面積 A は、 $10,000 < A < 120,000 \text{m}^2$ 程度である。そして全調査地区の延焼速度の平均値 (V_{ave} ; m/min) は、式(8)、式(9)および式(10)の S により

キーワード: 地震, 火災, 延焼速度

連絡先(住所: 東広島市高屋うめの辺1番 近畿大学工学部 電話: 0824-34-7000 FAX: 0824-34-7011)

表-1 調査地区の概要

調査地区	焼損面積	風速	全壊率
T1	111440	1.57	0.714
T2	36830	1.18	0.667
T3	17537	0.95	0.460
T4	30681	1.96	0.309
T5	39200	0.89	0.485
T6	51593	0.92	0.431
T8	10427	1.64	0.587

表-2 各調査地区の式(3)の係数

調査地区	$G+n \cdot \varepsilon$	a_1	c_1	重相関係数R
T1	122820	0.0071417	706.700	0.944
T2	39445	0.0087452	232.830	0.998
T3	31872	0.0084954	46.654	0.999
T4	32458	0.0186480	185.550	0.998
T5	55638	0.0127660	109.500	0.999
T6	53257	0.0205310	166.860	0.999
T8	10675	0.0626170	86.864	0.999

$$V_{max} = a_1 \cdot A (1 - A / G + n \cdot \varepsilon) / (1.11 \cdot A^{0.655})$$

$$= 0.900 \cdot a_1 \cdot A^{0.345} (1 - A / G + n \cdot \varepsilon) \quad (11)$$

なお火面周長は式(12)のように表示している。各調査地区の火面周長の係数値を表-3に示す。

$$S = m_1 \cdot A^{m_2} \quad (\text{ここに } m_1, m_2; \text{係数}) \quad (12)$$

調査地区4を例にして述べると、調査地区4(T4)は、風速 $v = 1.96$ m/s, $G + n \cdot \varepsilon = 32,458$, $a_1 = 0.0186$, $c_1 = 186$, $m_1 = 1.58$, $m_2 = 0.631$ であるから、式(8)および式(9)より V_{max} (m/min) は次式となる。

$$V_{max} = a_1 \cdot A (1 - A / G + n \cdot \varepsilon) / m_1 \cdot A^{m_2}$$

$$= 0.0186 \cdot A (1 - A / 32,458) / 1.58 \cdot A^{0.631} \quad (13)$$

$$A = \frac{32,458}{1 - e^{-0.0186(x - 186)}} - \frac{32,458}{1 - e^{-0.0186 \cdot 186}}$$

なお、式(13)の A は式(3)に表-2の a_1 , c_1 , $G + n \cdot \varepsilon$ の値を代入したものである。 V_{max} (実測値) と V_{max} (予測) を式(14)のように表示する場合と $V_{max} = M_1 \cdot V_{max}$ のように指数関数で表現する方法も検討した。

$$V_{max}(\text{予測}) = M \cdot V_{max} \quad (\text{ここに } M; \text{補正係数}) \quad (14)$$

調査地区4(T4)の場合は $M = 4.19$ (重相関係数; $R = 0.789$) となり、各時間ごとの $V_{max}(\text{予測}) = M \cdot V_{max}$ を図-1の②に描いている。なお V_{max} は①に描いている。全調査地区について、以上のような計算をに行った結果を表-4に示す。

次に、図表は省くが、各時間ごとの実測値とその予測値 ($V_{max}(\text{予測}) = M \cdot V_{max}$; ②) の相関係数は 0.819 である。また、 $V_{max} = 10.7 \cdot V_{max}^{0.607}$ の場合の相関係数は 0.876 である。全調査地区 (T1~T8) の場合の式(14)による重相関係数は 0.891 である。

次に、各調査地区の最大延焼速度の実測値; V_{max} (実測)、その時の延焼速度の平均値およびその時の予測

表-3 各調査地区の火面周長の係数 m_1 , m_2

調査地区	実測		
	m_1	m_2	重相関係数: R
T1	2.19	0.592	0.996
T2	1.42	0.634	0.985
T3	3.57	0.527	0.947
T4	1.58	0.631	0.993
T5	0.15	0.846	0.979
T6	1.93	0.607	0.996
T8	7.89	0.421	0.953

表-4 各調査地区の延焼速度の補正係数

調査地区	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T8
風速v(m/sec)	1.57	1.18	0.95	1.96	0.89	0.92	1.64
補正係数: M	5.33	3.54	3.83	4.19	3.94	5.00	2.54
重相関係数: R	0.854	0.737	0.730	0.789	0.943	0.896	0.820
補正係数: M_1	2.24	5.56	3.95	10.7	3.13	7.08	8.49
補正係数: M_2	1.42	0.769	0.983	0.607	1.09	0.871	0.626
重相関係数: R	0.874	0.753	0.730	0.869	0.945	0.901	0.891

表-5 各調査地区の延焼速度

調査地区	V_{max} (実測)	V_{max} ①	V_{max} (予測) $M \cdot V_{max}$	V_{max} (実測: 2σ)	V_{max} (実測)
T1	66.0	10.5	56.0	76.2	45.4
T2	37.0	8.03	28.4	44.7	36.2
T3	42.0	8.00	30.0	48.9	36.7
T4	57.0	15.0	62.9	71.6	60.1
T5	70.0	18.0	70.6	99.2	69.3
T6	114	20.0	100	120	75.3
T8	74.0	36.5	92.7	96.2	121
平均	65.7	16.6	62.9	79.3	63.4

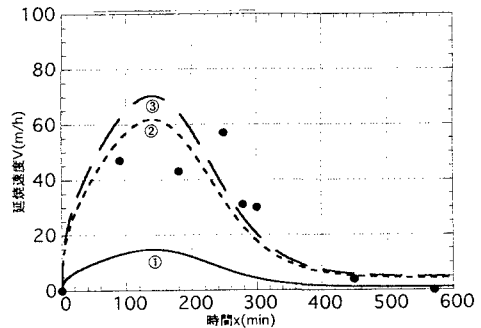


図-1 延焼速度と時間の関係 (T4)

値; V_{max} (予測) を表-5に示す。平均をみると、 V_{max} (実測) $= 65.7$ m/h であり、 V_{max} (予測) は $M \cdot V_{max} = 62.9$ m/h ($V_{max} = 16.6$ m/h) であり、 V_{max} (実測) と V_{max} (予測) の平均値はかなりよく一致している。そして、 V_{max} (実測) と V_{max} (予測) の相関係数は 0.902 である。

今後、阪神大震災の解析だけではなく、同じく直下型地震といわれる福井地震、平常時の強風下での大火 (昭和21年~昭和27年) 等を解析し、比較検討を行う必要があると思われる。

参考文献 1) 保野健治郎ほか: 地震時火災の延焼速度式に関する基礎的研究, 日本火災学会論文集, P15 ~ 23, Vol.44, No.1・2, 1996

2) 保野健治郎ほか: 平常時および地震時火災の延焼速度式に関する基礎的研究, 日本火災学会論文集, P45 ~ 55, Vol.46, No.1・2, 1997