

IV-58 兵庫県南部地震における市街地建物火災の延焼速度に関する基礎的研究

近畿大学大学院 学生員 西谷 忠彦
 近畿大学工学部 正 員 保野健治郎
 同 上 正 員 難波 義郎
 日本上下水道設計 正 員 松岡 秀男

1. はじめに

本研究では、兵庫県南部地震において約10,000m²以上の焼損面積(飛び火を含む)となった神戸市の大規模火災について、東京消防庁の延焼動態図¹⁾より焼損面積(A:m²)を考慮した延焼速度式を求め、焼損面積に基づく火面周長(S:m)および延焼速度(m/h)の時間的变化について検討を行った。

2. 研究の方法

2.1 本研究の資料について¹⁾

今回の地震時大規模火災の資料は神戸市消防局および東京消防庁より得たが、ここでは東京消防庁の調査地区に基づいて検討している。調査地区の概要を表1に示す。ただし、延焼動態図を検討した結果、現在調査中で不明な地域は調査地区内より除外している。

表1 調査対象地区

調査地区	焼損面積(m ²)	平均風速(m/s)	全壊率
1	111440	1.57	0.714
2	36830	1.18	0.667
3	17537	0.95	0.460
4	30681	1.96	0.309
5	39200	0.89	0.485
6	51593	0.92	0.431
8	10427	1.64	0.587
平均	—	1.30	—

2.2 延焼速度式(m²)について

延焼モデル式の1つである保野・難波の式は、式(1)で表わされる。

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

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

ここに、A:焼損面積(m²)、X:出火からの経過時間(min)、G:1棟の建築面積(あるいは延焼危険のある建築群の建築面積、m²;ただし、A ≤ G)、n:修正係数n(1 ≤ n < 3として使用する。一般には、1.3 < n < 2程度)、a₁およびc₁:定数。ただし、式(1)は、平常時の火災(0 ≤ v ≤ 10m/s, 50 ≤ G ≤ 1500m², X ≤ 90min, 平均建蔽率 50~60%)についてのみ適用してきた。本研究は、兵庫県南部地震によって発生した市街地大火に式(1)を適用し、地震時における延焼速度式を検討することが本研究の目的の1つである。

3. 飛び火を考慮した地震時延焼速度式

3.1 延焼速度の一般式(A:m²)について

式(1)に示したように、焼損面積(A:m²)はG+n・ε, a₁およびc₁の各係数を知ることにより算出できる。これらの各係数をG(敷地面積)、v(平均風速)およびD(2階以下の全壊率)の関数として、対象地区全体でパラメータを求めると次式のようにになった。

$$G + n \cdot \varepsilon = 0.431 \left(\frac{G}{v} \right)^{111} \quad (R=0.906)$$

$$a_1 = 2.28 \times 10^{20} \left\{ \frac{(1-D) \cdot v}{G} \right\}^{5.17} + 0.0114 \quad (2)$$

(R=0.973)

$$c_1 = 1.35 \times 10^{-41} \left(\frac{G}{v} \right)^{9.00} + 88.7 \quad (R=0.945)$$

ここに、Gは10,000 ≤ G ≤ 120,000m²、vは0 ≤ v ≤ 6m/s、平均v ≒ 1.3m/s、Dは0.3 ≤ D ≤ 0.7程度の値である。ただし、v=0(無風状態)の場合はv=0.01m/s程度とするとともに、G+n・ε(予測値)<Gとなる場合は、G+n・ε(予測値)=Gとする必要がある。

例としてこの式(2)および式(1)を用い、調査地区3について予測した結果を図1に示す。この調査地区3において、実測の焼損面積と予測値の焼損面積との相関係数はr=0.996である。全調査地区についてみると、r=0.984とかなりよく一致している。

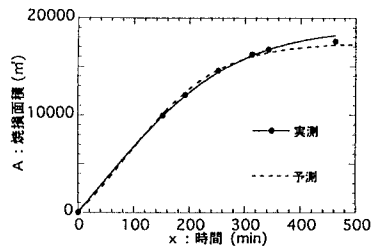


図1 焼損面積と時間の関係(調査地区3)

なお、c₁は、

$$c_1 = \left[\log_e \left\{ m_1 \cdot a_1^{m_2} \cdot (G+n \cdot \varepsilon) \right\} \right] / a_1$$

と一般に表示できる²⁾。したがって、変形すれば

$$\exp(a_1 \cdot c_1) / (G+n \cdot \varepsilon) = m_1 \cdot a_1^{m_2} \quad m_1, m_2: \text{定数}$$

となる。よって、各係数値よりc₁、a₁およびG+n・εは式(3)のような関係にあることがわかる。

$$\exp(a_1 \cdot c_1) / (G + n \cdot \varepsilon) = 58.3 \cdot a_1^{2.85} \quad (R=0.998) \quad (3)$$

一方、 a_1 は式(2)より0.0114~0.0626程度である。これは、佐賀関の実家屋群($G \div 150 \sim 804 \text{m}^2$, $D=0$, $v=1.8 \text{m/s}$)の火災実験結果³⁾ $a_1=0.143 \sim 0.460$ と比較して約1/13~1/7となっている。これは、全壊率(D)と風速(v)が影響しているものと考えられる。

3.2 延焼速度(m/h)について

3.2.1 火面周長(S:m)

兵庫県南部地震における建物火災の火面周長(S:m)と焼損面積(A:m²)の関係を求めると次式のようになる。

$$S = 1.11A^{0.655} \quad (r=0.958) \quad (4)$$

ここに、焼損面積(A)は、 $10,000 < A < 120,000 \text{m}^2$ 程度である。

延焼の平面形態を1:2の矩形とし、凸凹部分や死角を考慮にいたした場合の火面周長⁴⁾の式

$$S = 6.36A^{0.5} \quad (5)$$

と式(4)は、任意の焼損面積(A)に対してよく一致している。したがって、式(4)の代わりに式(5)を適用してもよいと思われる。よってここでは、街区の基本形として1:2の矩形とすることにより、焼損面積(A:m²)を延焼距離(L:m)に変換し延焼速度(V:m/h)を求めている。

3.2.2 延焼速度(V:m/h)

火災初期(出火から60分までの延焼拡大を円とみなし、それ以降を1:2の矩形とする。よって、式(1)より経過時間(x)ごとに焼損面積(A)を求め、このAと式(6)および式(7)よりt分刻みで延焼速度V(m/h)を求めればよい。延焼距離(L:m)は、出火から最初のt分後(ここではt=10, 半円とみなす)

$$L = \sqrt{A/\pi}$$

t分から60分まで(円とみなす)

$$L = 2\sqrt{A/\pi} \quad (6)$$

60分から鎮圧まで

$$L = \sqrt{2A}$$

一方、延焼速度(V:m/h)は、

$$V_{(x)} = \frac{L_{(x+1/2)} - L_{(x-1/2)}}{t/60} \quad (7)$$

x: 出火からの経過時間(min)

例として、調査地区3について、延焼動態図より延焼等時線間の延焼距離Lの最大値による延焼速度(●記号)と、式(7)よりt=10分で求めた延焼速度(○記号)を図3に示す。

一般に式(1)よりわかるように、 $X=X_G$ (鎮圧時間)に対して $X=C_1 \div X_G/2$ のとき、延焼速度(V)は最大と

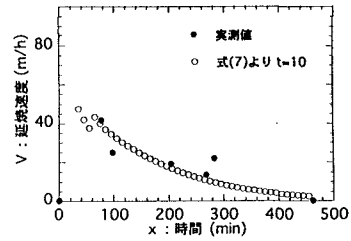


図2 延焼速度と時間の関係(調査地区3)

なり、正規分布曲線のようにほぼ左右対称に描かれる。しかし、調査地区3は図1が示すように $c_1 \div 46.7$ 分が変曲点であり、 $c_1/x_G \div 0.1$ となるから、延焼速度(V)の最大値は左に大きく移動している。実測値(●記号)と延焼の平面形態を円と1:2の矩形とした場合の延焼速度(○記号)はほぼ同じ値を示すとともに、かなり早い段階で急激に延焼拡大していることがわかる。

4. 結論

1) 地震時における全壊率(2階以下の建物)および飛び火を考慮した延焼速度式を式(2)に表示した。この式(2)と実火災データとの相関は $r=0.984$ であり、かなりよく一致している。

2) $G \div 10,000 \sim 120,000 \text{m}^2$, 全壊率 $D \div 30 \sim 70\%$, 平均風速 $v \div 1.3 \text{m/s}$ の場合、 a_1 の予測値は0.0114~0.0626程度となる。これは、佐賀関の実家屋群($G \div 150 \sim 804 \text{m}^2$, $D=0$, $v=1.8 \text{m/s}$)の実験結果 $a_1 = 0.143 \sim 0.460$ と比較して約1/13~1/7となっており、家屋の全壊率が約30~70%であることと、平均風速がおそいこともその一因である。

3) 地震時には式(4)の代わりに、延焼の平面形態を1:2の矩形とし、さらにその5割増しとした式(5)を使用してもよいと思われる。

4) 保野・難波の式に基づき、経過時間(x)に対して焼損面積(A)を求め、火災初期段階(出火後60分まで)を円、それ以降を1:2の矩形として延焼速度(L)に変換し延焼速度(V)を求め、実際の出火から鎮圧までの延焼状況とほぼ同じ傾向を示すことを図3に示した。

謝辞: 本研究に際し、ご協力いただいた自治省消防庁、東京消防庁並びに特に本研究の火災データを提供して頂いた神戸市消防局に対して感謝の意を表します。

参考文献 1) 東京消防庁: 兵庫県南部地震に伴う市街地大火の延焼動態調査報告書, 東京消防庁防災部防災課, 1995 2) 堀内 三郎ほか: 新版建築防火, 朝倉書店, P188, 1994 3) 保野健治郎ほか: ロジスティック曲線による建物火災の延焼速度式に関する基礎的研究, 日本建築学会論文報告集 No.311, P137~143, 1982 4) 保野健治郎: 水道を中心とした都市防火施設に関する研究, 京都大学学位論文, 1968