

## 市街地の建物火災に対応した消防水利計画に関する基礎的研究

## WATER SUPPLY PLANNING FOR BUILDING FIRE IN URBAN AREA

保野健治郎\*・難波義郎\*\*・大森豊裕\*\*\*

By Kenjiro YASUNO, Yoshiro NAMBA and Toyohiro OMORI

In fire fighting planning fire engines, firemen and water are three basic elements. This paper deals with water supply planning for building fire in urban area. The purpose is to reconsider and reconstruct of the water supply standard for building fire. First, fire spreading and suppression was discussed. For the urban area has been changed since 1976, when the standard of water supply by Fire Defense Agency of Japan was improved. Then, the national standard was checked and new one is proposed by using authors' fire spread model and new stand points. In addition, real fire data of Kobe City were analyzed and it shows that the proposed standard is rational.

*Keywords* : water supply, fire spread, suppression, applied fire flow

## 1. はじめに

消防行政は予防・警防・救急救助等の幅広い分野があり、また、それぞれが高度に専門化しつつあるが、消火活動の分野は、将来においても消防行政の重要な位置を占めると思われる。

消防力とは、①ポンプ自動車や梯子自動車等の消防自動車、②それらを駆使し消火活動をする消防隊員、③それに消火栓や防火水そう等の消防水利がその主たる構成要素である。この消防の3要素のうち一つでも欠けると、効果的に消防活動を展開することができない。消火活動のプロセスを考えると、消防機関が火災を覚知し、火災現場へ消防自動車を走行させ、ホースの筒先から水が出るまでの総所要時間の値を小さくするほど消防力が強いということになる。そのためには、消防署所と消防自動車を増加し、消防水利を多く造ることが消防力を増強することになるが、これらのバランスを保ちながら増強してこそ、総合消防力の効果が上がることになる。

自治省消防庁の「消防力の基準」が改正されたのは昭

和51年である。その後わが国の建物は、その質量ともに大きく変化しており、再検討する必要があるように思える。そこで、本研究では、消防力のうち「消防水利<sup>[1]</sup>」を研究しようとするものである。そして、本論文ではまず、建物火災の延焼と消火について検討を加え、次いで自治省消防庁の消防水利基準を検討するとともに新しい消防水利基準を提案しようとするものである。

ただし、ここでは市街地における平常時の建物火災に対する消防水利を研究し、大火時における消防水利は対象としていない。消防水利については、大火時<sup>[5]</sup>には問題があるが、平常時にはあまり問題があるとは考えにくいと思われがちである。しかし、防火水槽は空地のある場所しか設置されておらず、必ずしも必要な場所に設置されていないのが現状である。しかも、消火栓は口径100mm以下の上水道管に設置されたものが市街地周辺部（消防署所よりの到達時間が多くかかり、延焼拡大している可能性が強い地域）に数多くあり、所要の消火水量が得られない場合が多く発生し、消防ポンプ自動車を別の水利に移動させている。そして、口径75mmの上水道管も全国的に現在も数多く設置されている。また、昭和39年の消防庁告示第7号の「消防水利の基準」で設置された水利が、ほとんど現在も使用されている。したがって、消防水利には依然として問題があると思われる

\* 正会員 工博 近畿大学教授 工学部建築学科  
(〒737-01 広島県呉市広古新聞5-1-3)

\*\* 正会員 工博 近畿大学助教授 工学部建築学科 (同上)

\*\*\* 正会員 近畿大学講師 工学部建築学科 (同上)

る。

なお、わが国の「消防水利の基準」は普通木造家屋の火災をもとに策定されている。これは、耐火系建物火災が普通木造建物火災より延焼速度が遅いので、普通木造家屋の火災を基準にすれば安全側の基準になると考えたのである。本研究においても、この考え方に基づいている。また、火災に関する資料は一般に公表されず、研究がかなり困難である。幸いにして、神戸市の火災資料(昭和49年～昭和58年、木造、防火木造、簡易耐火、耐火およびその他の構造の建物火災件数4757件)を本論文に使用することができた。

## 2. 消火に関する従来の研究と現行の消防水利基準

従来、消火に関しては高橋<sup>1)</sup>やP. Fuchsら<sup>2)</sup>の注水実験ならびに碓井<sup>3)</sup>、菱田<sup>4)</sup>、堀内<sup>5)</sup>および保野ら<sup>6),7)</sup>による実際の火災統計から建物火災の消火について研究したものがあがるが、ここでは後者の主なものについて以下に略記する。

### (1) 堀内の研究<sup>5)</sup>

堀内は、火面周長 ( $S_H$ : m)、所要注水筒先本数 ( $N_H$ : 本) および所要ポンプ車台数 ( $P_H$ : 台) ならびに水利点の所要配置密度 ( $W_H$ : 個/km<sup>2</sup>) を次式で与えている。

$$S_H = 4.5(K + K'')\delta' \dots\dots\dots (1)$$

$$N_H = S_H/10 \dots\dots\dots (2)$$

$$P_H = N_H/2 = S_H/20 \dots\dots\dots (3)$$

$$W_H = (1\,000\,000 \times S_H/20)/210(2K'' + K' + K + 280) \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 $\delta'$ : 補正平均建蔽率

$K$ : 風下側延焼距離 (m)

$K'$ : 風上側延焼距離 (m)

$K''$ : 風横側延焼距離 (m)

そして、 $W_H$  以上の配置密度でなければ、ポンプ車の能力を十分に発揮できないとしている。なお、筒先1本当りの放水量は0.6 m<sup>3</sup>/minと定めている。

### (2) 保野の研究<sup>6)</sup>

保野は、火面を1:2となる矩形とし、実際の建物に凹凸部分や死角があることを考慮して、火面周長 ( $S_{H1}$ : m) およびその50%増の周長 ( $S_{H2}$ : m) を算出し、ポンプ車1台につき20mを割り当てて、放水量 ( $Q_V$ : m<sup>3</sup>/min) とポンプ車台数 ( $P_V$ : 台) を以下のように表している。

$$S_{H1} = 4.24\sqrt{A} \dots\dots\dots (5)$$

$$S_{H2} = 6.36\sqrt{A} \dots\dots\dots (6)$$

$$Q_V = 0.382\sqrt{A} \dots\dots\dots (7)$$

$$P_V = 0.318\sqrt{A} \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 $A$ : 焼損面積 (m<sup>2</sup>)

これらの式は、ポンプ車1台の放水量を1.2 m<sup>3</sup>/minとし、ある焼損面積  $A$  に対して有効な消火活動が可能となる値を算出しようとするものである。

### (3) 保野・難波らの研究<sup>7)</sup>

#### a) 延焼モデル

火災の先端が出火箇所から拡っていく状況(消火活動を伴わない場合の延焼過程)を焼損面積で捉えた場合の延焼速度式は、一般的に図-1の実線のようなS字状の曲線となり、次のような式で表わされる。

$$A = \frac{G + n\varepsilon}{1 + \exp\{-a_1(x - c_1)\}} - \frac{G + n\varepsilon}{1 + \exp(a_1c_1)} \dots\dots\dots (9)$$

$$n = (1.39 - 2.82 \times 10^{-4} G) \times \exp\{(5.16 \times 10^{-2} + 3.29 \times 10^{-4} G - 2.18 \times 10^{-7} G^2)v\}$$

$$\varepsilon = G/(1 + \exp(ac))$$

$$a = (0.175 + 0.0245 v^{1.62}) \left( \frac{176}{G} \right)^{0.582 \exp(-0.146v)}$$

$$c = [\log_e(0.980 a^{1.40} G)]/a$$

$$a_1 = (0.175 + 0.0245 v^{1.62}) \left( \frac{176}{G + n\varepsilon} \right)^{0.582 \exp(-0.146v)}$$

$$c_1 = [\log_e\{0.980 a^{1.40} (G + n\varepsilon)\}]/a_1$$

ここに、 $A$ : 焼損面積 (m<sup>2</sup>)

$x$ : 出火からの経過時間 (min)

$G$ : 1棟の建築面積あるいは、延焼危険のある建物群の建築面積、m<sup>2</sup>: ただし、 $A \leq G$

式(9)の各係数  $n, \varepsilon, a, c, a_1, c_1$  は、K市の火災データより求められたものである<sup>7)-10)</sup>が、これを用いて大阪市(地区環境を考慮)の年間の焼損面積を予測した結果は、過去の値とよく一致してその妥当性が確かめられている<sup>11)</sup>。ただし、式(9)の適用範囲は

$$0 \leq v \leq 10 \text{ m/s}, 50 \leq G \leq 1\,500 \text{ m}^2, x \leq 90 \text{ min}$$

である。なお、 $G_1 < G_2$  の2つの曲線の同一時刻の焼損面積をそれぞれ  $A_1$  と  $A_2$  とすると、出火からの経過時

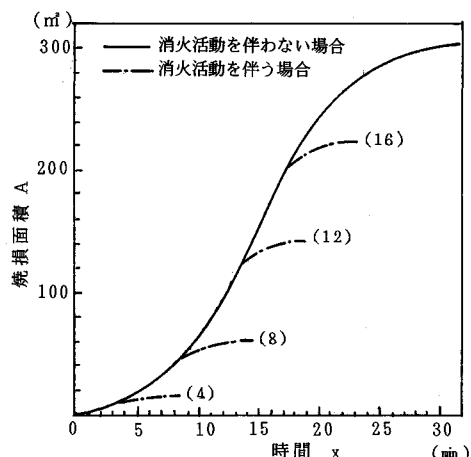
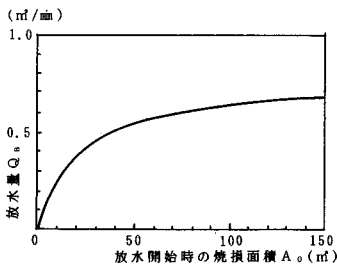


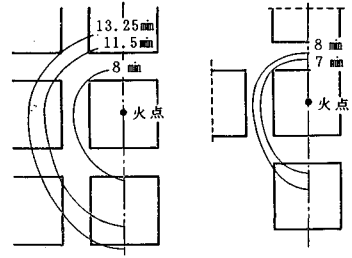
図-1 焼損面積と時間の関係 (( ) の数値は消火活動を開始した時間 (min))



図—2 放水量  $Q_0$  と放水時焼損面積の関係

表—1 消防水利決定のモデル値  
(自治省消防庁)

モデル	風速 I	風速 II
条件	年間平均風速が 4 m/s 未満のもの	年間平均風速が 4 m/s 以上のもの
建蔽率	50%	
建築物の構造	普通木造	
建築物の規模	8 m × 8 m = 64 m <sup>2</sup>	
風速	3 m/s	5 m/s



図—3 モデル値の延焼速度

間が早い部分で、 $A_1 > A_2$  となる場合がある。これは曲線の性質上現われる誤差と考えられるので、このような場合は  $A_2 = A_1$  として用いるようにしている。

b) 延焼阻止モデル

ある放水量  $Q$  (m<sup>3</sup>/min) のもとでの焼損面積は、以下のように 1 min 刻みの差分形式で表わすことができる。

$$A(t+1) = [1 + k(t)]A(t) \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{ここに、} k(t) = \frac{q_0 \{A(t-1) - A(t-2)\}}{Q(t-1/2) - q_0 \{A(t-1) - A(t-2)\}}$$

$t$ : 放水開始後の経過時間 (min)

$q_0$ : 所要消火水量係数 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/min)

$k(t)$ :  $t$  時刻 (min) の延焼増加割合

放水量  $Q$  は、放水ポンプ車の台数や集結状況あるいは水利能力などによって異なる。K市のデータより第1出動のポンプ車1台、3台および7台分に相当する近似式が得られているが、3台分に相当するものは以下のようである。

$$Q(t) = 0.845 t^{0.437} \dots\dots\dots(11)$$

また、所要消火水量係数は同じくK市のデータより以下の関係式が得られている。

$$q_0 = 0.423 A_0^{0.898} \dots\dots\dots(12)$$

ここに、 $A_0$ : 放水開始時の焼損面積 (m<sup>2</sup>)

さて、以上の関係式を用いて各時刻の焼損面積の計算を行うと、図—1の点線のような曲線が得られ、 $A(t+1) = A(t)$  となったときに延焼阻止(鎮圧)されたことになり、焼損面積を予測することができる。なお、図—1の点線はポンプ自動車3台分(式(11))の放水活動によって鎮圧する場合の曲線であり、付記した括弧内の数値は、放水開始時間を示す。

つぎに、以下の放水量  $Q_0$  程度では消火に全く効果をなさないことが示されており、 $G=300$  m<sup>2</sup>、 $v=3$  m/s、 $t_0=1$  min とした場合の  $Q_0$  と  $A_0$  の関係を示したものが図—2である。

$$Q_0 = B [1 + A_0 / \{A(t_0) - A_0\}] \dots\dots\dots(13)$$

$$\text{ここに、} B = \frac{q_0 \cdot t_0 \cdot \exp \{-a(x_0 - c)\} \cdot (G + n\epsilon)}{[1 + \exp \{-a(x_0 - c)\}]^2}$$

$t_0$ : 放水開始からの経過時間 (min)

$x_0$ : 出火から放水開始までの時間 (min)

(4) 現行の消防水利基準について

自治省消防庁は、平均的な建蔽率(安全性を加味した)の市街地において、年間平均風速に近い風速時に、平均的な構造および規模の建築物から発生した火災を1棟控

表—2 モデル値による各時間 (min: 浜田式)

風速	構造	通報	出動	走行	放水準備	計
風速 I	普通木造	2.0~2.5	0.5	3.5	1.5~2.0	8
風速 II	普通木造	2.0~2.5	0.5	3.0	1.0~1.5	7

立火災か風下隣家再使用可能な状態で消火するには署所と消防水利の配置密度をどうすればよいかということを考えて水利基準を決定している。

この場合のモデル値(表—1)を浜田式で計算した結果が図—3および表—2(モデル値による各時間)の8 min および7 min である。

そして、消防水利の給水能力と配置については、以下に示す消防庁告示「消防水利の基準」の第3条および第4条に規定されている。

(消防水利の給水能力)

第3条 消防水利は、常時貯水量が40立方メートル以上又は取水可能水量が毎分1立方メートル以上で、かつ、連続40分以上の給水能力を有するものでなければならない。(以下略)

(消防水利の配置)

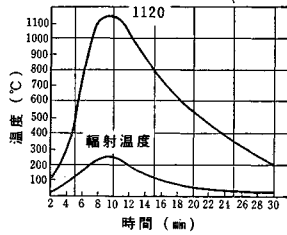
第4条 消防水利は、市街地(消防力の基準(昭和36年消防庁告示第2号)第2条第1号に規定する市街地をいう。以下本条において同じ。)又は密集地(消防力の基準第2条第2号に規定する密集地をいう。以下本条において同じ。)の防火対象物から一の消防水利に至る距離が、別表(表—3)に掲げる数値以下となるように設けなければならない。

市街地又は密集地以外の地域で、これに準ずる地域の消防水利は、当該地域内の防火対象物から一の消防水利に至る距離が、140メートル以下となるように設けな

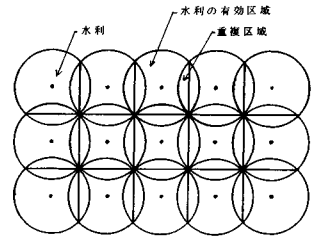
表—3 消防水利の基準第4条関係の別表

用途地域	平均風速 年間平均風速 が4 m/s未満	年間平均風速 が4 m/s以上
近隣商業地域 商業地域 工業地域 工業専用地域	100m (140m)	80m (113m)
その他の用途地域 および用途地域 の定められて いない地域	120m (168m)	100m (140m)

( ) 内の数値は、水利点間隔(m)



図—4 木造建築物の標準温度曲線

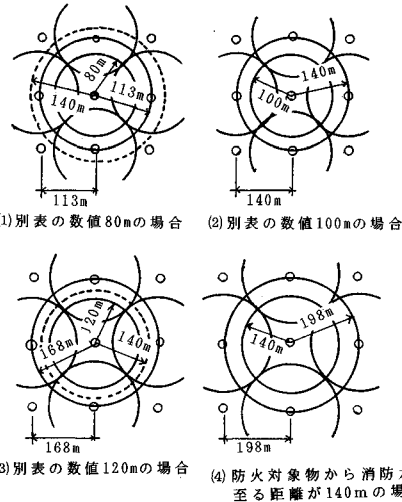


図—5 水利配置パターン

ればならない。(以下略)

「消防水利の基準」で、放水時間を40 minとしているのは、昭和50年頃の消防活動の実態としては、20 minあまりであり<sup>12)</sup>、また図—4からは30 minあまりの注水時間となるが、消火活動の確実性と若干の余裕を考慮し40 minとしたものである。また、普通消防ポンプ自動車の放水能力については、有効水平射程距離を約15 mと考え、筒先圧力を3 kg/cm<sup>2</sup>程度に保つ注水方法を採用し、筒先を2本もつものとして1.0 m<sup>3</sup>/min・台としたので40 m<sup>3</sup>を常時貯水量としたものである。

消防水利の配置は、おのおのの消防水利を中心として一定の半径(表—3の数値)の円を描き、これらの円に隙間がないようにすることにより必要な水利が充当されるように規定されている。これらを図示したものが図—5の水利配置パターンであり、図—6は各数値による消防水利配置の作図である。



図—6 消防水利の作図

### 3. 建物火災の延焼と消火活動について

#### (1) 従来の考え方

市街地を模型的に考えて、均質的な可燃物の連続する平面と考えれば、建物火災は図—7のように出火点を中心とし、風の方に長軸をもち、風下側に尖端をもつ卵形(無風の場合は円形)と堀内は考え、浜田の延焼速度式を使用している<sup>5)</sup>。

一般に用いられている消防ポンプ自動車の延長ホースは10本(200 m)以内である。このホース延長は図—8のように道路に沿って平面的に延長される場合のホースの屈曲を考慮すると、半径140 mの範囲となる。堀内によれば図—7の焼損部分の外側に140 mの範囲を考え、この部分が消防隊の有効な活動範囲としている。

一方、火災の延焼段階では、注水すべき対象は火面より一定の奥行をもった環状の内側の部分である。そのため、火面の「正面巾」の代わりに、燃焼中の建物の階数または階高を考慮に入れて「燃焼建物の正面の表面積」を用いた方が、より合理的であるといえるが、十分な資料が得られていないので、堀内は火面の正面巾を用い、標準消防ポンプ自動車の受け持つ火面周長を20 m/台と

し、式(1)~(4)を提案している。この手法によって現行の消防水利基準は策定されている。

本研究でも「火面の正面巾(火面周長)」を用いるが、火面周長の算定、標準消防ポンプ自動車1台の受け持つ火面の正面巾および延焼速度式については、別の提案をする。

#### (2) 筆者らの考え方

火災現場に必要な消防水利は以下のような手順で求めることができる。

- ①延焼面積(A:m<sup>2</sup>)を予測し、続いて
- ②建物火災の正面巾(火面周長、S:m)を予測し、注水筒先1本当たりの平均担当正面巾(s<sub>0</sub>:m)を決定し(2s<sub>0</sub>で消防ポンプ自動車1台分の担当正面巾となる)、式(14)より

$$N = P = \frac{S}{2s_0} \dots \dots \dots (14)$$

ここに、N:所要水利点数(個)

P:消防ポンプ自動車台数(台)

③所要水利点数(N)が求まる。

式(14)でN=Pとしているのは、どの消防水利も普通消防ポンプ自動車1台分の放水能力を持つものと考え



表一六 焼損面積 (風速 5 m/s の場合 : m<sup>2</sup>)

時間 (min)	G (建築面積 : m <sup>2</sup> )																						
	80	90	100	110	120	130	140	150	200	300	400	500	80	90	100	110	120	130	140	150	200	300	400
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
5	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
6	40	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
7	53	55	56	57	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
8	63	67	70	73	75	76	77	78	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
9	71	77	82	86	90	93	96	98	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104
10	76	83	90	96	102	107	111	115	128	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
11	79	87	95	103	110	116	122	128	150	168	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169
12	80	90	98	107	115	123	130	137	167	200	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210
13	80	90	100	109	118	127	135	143	179	227	250	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256
14	80	90	100	110	120	129	139	147	188	250	286	304	304	304	304	304	304	304	304	304	304	304	304
15	80	90	100	110	120	130	140	150	194	267	317	347	347	347	347	347	347	347	347	347	347	347	347
20	80	90	100	110	120	130	140	150	200	300	392	474	474	474	474	474	474	474	474	474	474	474	474
25	80	90	100	110	120	130	140	150	200	300	400	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500

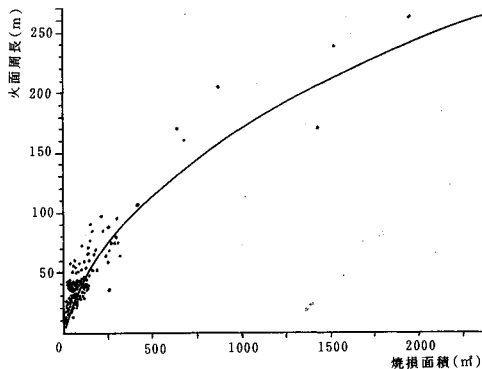
b) 火面周長と注水筒先 1 本当りの平均正面巾について

建物火災の延焼形態を堀内は図一七のように考えたが、実際の市街地の建物は不均質な物質より造られ、連続した場合もあれば不連続になっている場合もある。従って、図一七のような卵形ではなく不定形の形をすのであろう。そして、式(1)の堀内の火面周長は浜田式より求めた計算式であり、実測データよりその適合性が必ずしも十分行われてはいない。そこで、神戸市の火災データを吟味し特異な火災(記載ミスの疑い、および疑問のあるデータ)を除去した資料 245 件の火面周長と焼損面積の関係は図一十のようであり、次式のような関係が得られた。なお、この資料には全建物構造(木造系建物と耐火系建物)を含んでいる。

$$S = 3.72 A^{0.556} \quad (\text{相関係数} : 0.951) \dots\dots\dots (16)$$

これは、保野の式(5)とよく一致しているが、本研究では式(16)を使用する。

注水筒先 1 本当たり平均担当正面巾については堀内の調査結果(表一七、表一八)がある<sup>5)</sup>。それによると平均 10 m となっている。本研究で用いた神戸市の火災デー



図一十 火面周長と焼損面積の関係

表一七 注水筒先 1 本当たり平均担当正面巾調査例 (その 1)

区分	建物疎密別	火災 1 件当り平均焼損面積 (m <sup>2</sup> )	注水筒先本数 (本)	注水 1 本当り平均担当正面巾 (m)
土地利用	工業地帯			
	密	145	8	9
	疎	125	6	11
商工業地帯	密	78	7	8
	疎	110	6	9
住宅地帯	密	110	6	9
	疎	86	4	9

表一八 注水筒先 1 本当たり平均担当正面巾調査例 (その 2)

建蔽率	0.8	0.6	0.3	平均
風速 (m/s)				
0~3	6.9m	8.5m	9.6m	8.3m
3.1~7.0	11.2m	10.9m	8.5m	10.2m
7.1~	10.5m	11.3m	11.1m	10.9m
平均	9.5m	10.3m	9.7m	9.8m

タ(資料数 1274 件)によれば約 8~10 m であり、平均 8.57 m であった。

延べ焼損面積が約 80 m<sup>2</sup> で注水筒先 1 本当たりの平均担当正面巾 (s<sub>0</sub>: m) は約 8 m、延べ焼損面積が約 350 m<sup>2</sup> のとき、は約 10 m となっており、延べ焼損面積が増大すればその値が大きくなる傾向がある。その理由として次のような一般の消防機関の出動計画の実態<sup>16)</sup>にあるものと考えられる。

- ① 建物火災に対する出動は、木造系および耐火構造系の建物構造に関係なく建物の階層により一般建物と中高層建物に区分されている。
- ② 消防自動車の出動は通常第 1~第 4 出動に区分されており、火災の覚知と同時に第 1 出動を行う。さらに、火災現場の状況によって第 2 から第 4 までの高次出動を行っている。
- ③ 第 1 出動として出動させるポンプ自動車の台数は、国の消防力の基本的考えに基づいて、木造建物火災の隣棟への延焼阻止を目標に決められている。中高層建物の火災に対しては、木造建物火災に対する出動台数に準じている。
- ④ 一般建物、中高層建物いずれの火災に対しても、第 1 出動ではほぼ同数のポンプ車を出動させている。中高層の場合には一般建物火災に対する出動消防力に加えて、はしご車を増強させる。

神戸市では水損を少なくするために耐火系建物火災の放水量を木造系建物火災より少なくしようと努力しているが、建物構造に関係なく、ほぼ同量の放水がなされているのが現状である。そして、神戸市においては、4~5 台を第 1 出動として出動させているので、焼損面積が小さい場合には十分な余裕をもった放水台数となっており、s<sub>0</sub> が 10 m より少なくなっているであろう。

c) 所要水利点数および水利点間隔について  
そこで、注水筒先 1 本当たり平均担当正面巾 (s<sub>0</sub>: m)

表—9 焼損面積と水利点間隔

A	S	N16	L16	N17	L17	N18	L18	N19	L19	N20	L20
20	19.7	1.2	180.4	1.2	185.9	1.1	191.3	1.0	196.5	1.0	201.6
40	28.9	1.8	148.7	1.7	153.3	1.6	157.8	1.5	162.1	1.4	166.3
60	36.2	2.3	132.9	2.1	137.0	2.0	141.0	1.9	144.8	1.8	148.6
80	42.5	2.7	122.7	2.5	126.5	2.4	130.1	2.2	133.7	2.1	137.2
100	48.1	3.0	115.3	2.8	118.8	2.7	122.3	2.5	125.6	2.4	128.9
120	53.3	3.3	109.6	3.1	113.0	3.0	116.2	2.8	119.4	2.7	122.5
140	58.0	3.6	105.0	3.4	108.2	3.2	111.4	3.1	114.4	2.9	117.4
160	62.5	3.9	101.2	3.7	104.3	3.5	107.3	3.3	110.3	3.1	113.1
180	66.8	4.2	97.9	3.9	100.9	3.7	103.9	3.5	106.7	3.3	109.5
200	70.8	4.4	95.1	4.2	98.0	3.9	100.9	3.7	103.6	3.5	106.3
220	74.6	4.7	92.6	4.4	95.5	4.1	98.2	3.9	100.9	3.7	103.5
240	78.3	4.9	90.4	4.6	93.2	4.4	95.9	4.1	98.5	3.9	101.1
260	81.9	5.1	88.4	4.8	91.1	4.5	93.8	4.3	96.3	4.1	98.8
280	85.3	5.3	86.6	5.0	89.3	4.7	91.9	4.5	94.4	4.3	96.8
300	88.7	5.5	85.0	5.2	87.6	4.9	90.1	4.7	92.6	4.4	95.0
320	91.9	5.7	83.4	5.4	86.0	5.1	88.5	4.8	90.9	4.6	93.3
340	95.1	5.9	82.0	5.6	84.6	5.3	87.0	5.0	89.4	4.8	91.7
360	98.1	6.1	80.8	5.8	83.2	5.5	85.7	5.2	88.0	4.9	90.3
380	101.1	6.3	79.5	5.9	82.0	5.6	84.4	5.3	86.7	5.1	88.9
400	104.1	6.5	78.4	6.1	80.8	5.8	83.2	5.5	85.5	5.2	87.7
420	106.9	6.7	77.4	6.3	79.7	5.9	82.1	5.6	84.3	5.3	86.5
440	109.7	6.9	76.4	6.5	78.7	6.1	81.0	5.8	83.2	5.5	85.4
460	112.5	7.0	75.4	6.6	77.8	6.2	80.0	5.9	82.2	5.6	84.3
480	115.2	7.2	74.5	6.8	76.8	6.4	79.1	6.1	81.2	5.8	83.3
500	117.8	7.4	73.7	6.9	76.0	6.5	78.2	6.2	80.3	5.9	82.4

A: 焼損面積 (m<sup>2</sup>) S: 火面周長 (m) Ni: 所要水利点数 (個: 添字は1台のポンプ自動車の受け持つ火面周長 (2.5m)を示す.)  
 Li: iの時の水利点間隔 (m: i=16~20m)

を8m~10mとし、式(14)および式(15)より計算した結果が表—9である。

d) 所要消火水量について

所要消火水量は、放水時焼損面積 (A<sub>0</sub>:m<sup>2</sup>)の大きさと消火時間 (鎮圧時間 T<sub>1</sub>(min)+鎮火時間 T<sub>2</sub>(min))によって決定される。鎮圧時間内は消防ポンプ自動車の放水能力を最大限に発揮させ、鎮火時間内は残火処理にあたるものである。

表—10は、神戸の火災資料(資料数1274件、平均風速約3.5m/s)より得られたものである。1口当り鎮火時放水量(平均値)は516.87 l/min≒0.5 m<sup>3</sup>/minであり、標準消防ポンプ自動車の放水能力を満足している。

また、平均的な延焼火災はA=129.8 m<sup>2</sup>の焼損面積となっており、この場合の所用消火水量の検討を行う。このとき、

- G (建築面積)≒100 m<sup>2</sup>
- A<sub>0</sub> (放水時焼損面積)≒80 m<sup>2</sup>
- T<sub>1</sub> (放水開始~鎮圧時間)≒23 min
- T<sub>2</sub> (鎮圧~鎮火時間)≒47 min
- Q<sub>n</sub> (鎮圧時放水量)≒770×100 l
- Q<sub>r2</sub> (残火水量)≒516.6×100 l

表—10 神戸市の10年間(昭和49年~昭和58年)の構造別建物火災における活動所要時間 (min)

建物構造	対象件数(件)	延べ焼損面積(m <sup>2</sup> )	消火時間発生~発見	通報所要時間発生~覚知	駆けつけ時間覚知~現場	放水準備時間現場~放水	レスポンス時間発生~放水	鎮圧所要時間開始~鎮圧	鎮火所要時間開始~鎮火	死者数/100m <sup>2</sup>		
総数	1,274	129.8	5.10	2.29	3.91	1.89	8.09	13.19	23.10	46.90	70.01	0.490
様式												
木造	87	136.0	3.86	2.23	4.92	2.03	9.18	13.04	20.02	50.60	70.62	0.154
木造	360	157.9	5.40	2.05	4.18	1.94	8.17	13.57	21.75	56.64	78.39	0.304
防火	488	109.7	5.02	2.26	3.41	1.59	7.25	12.27	20.10	42.86	62.96	0.401
木造系	935		5.06	2.18		1.77						
階層防火	145	149.5	4.50	2.81	4.74	2.29	9.85	14.35	27.77	46.96	74.73	0.187
防火	194	110.8	5.76	2.48	3.58	2.19	8.25	14.01	31.05	37.32	68.37	0.821
耐火構造系	339		5.22	2.62		2.23						

となっている。また、放水筒先口数は6.42口であった。消火水量 (Q<sub>n</sub>+Q<sub>r2</sub>=1286.6×100 l)より、消防水利1個当たりの放水量 (Q: m<sup>3</sup>)を計算すればQ≒400.6×100 l≒40 m<sup>3</sup>となる。従って、40 m<sup>3</sup>の水量では神戸市の消防力をもってしても約130 m<sup>2</sup>の火災しか消火できないとすべきである。もし130 m<sup>2</sup>以上の火災になれば、別の消防水利に消防ポンプ車を移動させなければならなくなるので10~20 m<sup>3</sup>の余裕をもたせるべきである。そこで、余裕をみて所要消火水量を50~60 m<sup>3</sup>と考えるべきであろう。神戸市の火災資料より、所要消火水量50 m<sup>3</sup>および60 m<sup>3</sup>はそれぞれ、延べ焼損面積約220 m<sup>2</sup>および290 m<sup>2</sup>に相当する。G=120 m<sup>2</sup>として、平均階数を1.2~1.5階とすれば床面積は144 m<sup>2</sup>~180 m<sup>2</sup>となる。したがって、火元建物が全焼し、四方向に延焼していくものとすれば、消火水量50 m<sup>3</sup>の場合は、類焼4軒(延べ床面積が180~144 m<sup>2</sup>の場合平均10~19 m<sup>2</sup>:部分焼で再利用可能)であり、消火水量60 m<sup>3</sup>の場合は、類焼4軒(延べ床面積が180~144 m<sup>2</sup>の場合平均27.5~36.5 m<sup>2</sup>:同じく再利用可能)の焼損となる。

4. 新しい消防水利基準の提案

新しい消防水利基準については次のように考える。現行の消防水利基準の基本的な考え方と同様に、平均的な建蔽率(安全性を加味してある:50%)の市街地において、年間平均風速(3m/s, 5m/s)に近い風速等に平均的な構造(普通木造および防火木造:木質系の建物)および規模の建築物から発生した火災を、ほぼ1棟独立火災か風下隣家再利用可能な状態で消火するには、消防水利基準をどのようにするべきかを考える。

(1) 建築物の規模について

表—1によれば、建物の構造は普通木造、建物の規模を8×8=64 m<sup>2</sup>としているが、建築着工統計および住宅統計調査によれば、地域によって差があるものの全国持家の平均的な広さは昭和63年度建築面積G≒約95~115 m<sup>2</sup>である。従って、1棟独立住宅規模として建築面積の上限値をとり約120 m<sup>2</sup>としてよいであろう。

従来は、図—3のように火元建物が全焼し、隣家に類焼しても再使用可能な状態であればよいとして消防活動の目標がたてられていた。すなわち、全焼することを容認した計画であったため、神戸市の場合には焼損面積を計上した火災資料1274件中隣家が半焼以上で、ほとんど再使用不可能なものが236件であり、その割合が約19%(236/1274件)程度となっている。そこで、火元建物を全焼させないこと

を目標とすれば、風下隣家再使用可能な状態で消火できるものと考えられる。G=120 m<sup>2</sup> (平均階数 n=1.2~1.5 とすると延べ床面積=144~180 m<sup>2</sup>) で隣棟への延焼拡大阻止を目標とすれば、1棟が全焼するより前に鎮圧することが必要であり、A=120~130 m<sup>2</sup> 位とした方がよい。

この値 (A=120~130 m<sup>2</sup>) はほぼ神戸市の平均的な火災規模 (延べ焼損面積約 130 m<sup>2</sup>) とほぼ一致しているので、消防水利基準を検討するうえで神戸の火災資料は非常に参考になるものと考えられる。

従って、モデル値 (表一) のうち、建物の構造 (木質系の建物) および建物の規模 (120 m<sup>2</sup>: A=120~130 m<sup>2</sup> の小さい方の値とする) を変えて考える。

延べ焼損面積を約 120 m<sup>2</sup> 程度にするためには、延焼増加割合 (K=A<sub>0</sub>/A) は神戸市の統計資料より、風速 6~2 m/s の場合、K=0.75~0.91 であるので、放水時の焼損面積を 90 (K=0.75)~110 m<sup>2</sup> (K=0.91) 程度にする必要がある。風速が大きいほど焼損面積は大きくなるので放水時焼損面積を 90 m<sup>2</sup> の場合を風速 3 m/s 程度、110 m<sup>2</sup> の場合には風速 5 m/s 程度と考えれば風速 I (3 m/s) の場合には表一5 より約 12~13 min 以内、風速 II (5 m/s) の場合には表一6 より約 11~12 min 以内に放水を開始しなければならないことになる。

## (2) 各時間の割合について

### a) 通報時間について

表一2の通報時間は、火災発生—通報—覚知までの時間としている。そして、『出火時点は、一般市民が「火事」と感ずるとき、すなわち壁または天井に着火した時点を出火時点とする<sup>23)</sup>。』としており、通報時間を 2.0~2.5 min としている。

一方、表一10の神戸市の資料では、潜伏時間 (火災発生—発見) は約 5.1 min、通報時間 (発見—覚知) は約 2.3 min となっている。表一2と表一10の通報時間は厳密には同一とは言えないが、ほぼ同一範囲と考えてよいであろう。従って、表一2の通報時間 2.0~2.5 min は適当な値と思われる。

### b) 出動時間について

出動時間 (0.5 min) は日頃から訓練している結果であり、これ以上の短縮は不可能であると思われる。

### c) 駆け付け時間について

表一2では出動時間を 0.5 min とし、走行時間については走行速度を平均 24 km/h として考え、走行時間を 3.0~3.5 min としている。この走行時間は、都市の交通事情によって大きく異なるものである。

神戸市の資料 (表一10) についても、走行速度は地域により異なり、15.5~28.3 km/h となっており、駆け付け時間 (出動時間+走行時間) は、3.91 min となって

表一11 ホース延長所要時間

ホース本数	第1線 min・s	第2線 min・s	平均 min・s
3本	1.42	1.46	1.43
4	1.45	1.50	1.48
5	1.52	1.58	1.55
6	2.03	2.10	2.07
7	2.11	2.15	2.13
8	2.25	2.34	2.30
9	2.36	2.45	2.40
10	2.44	2.49	2.47
11	2.50	2.55	2.53
12	2.56	3.00	2.58

表一12 各項目の時間

項目	風速 I	風速 II
旗・旗	7.0	7.0
警報機	3.5	3.0
放水機	2.0	1.5
合 計	12.5	11.5
ホース本数	6本	5本
延べ焼損面積	90 m <sup>2</sup>	110 m <sup>2</sup>

いる。従って、走行時間については、各都市の実態にあわせて走行距離と走行速度を実測して計算すべきであろう。

### d) 放水準備時間について

表一2では、少なくとも先着の消防ポンプ自動車のうち1台は4~6本のホースの延長 (表一11<sup>24)</sup>) より 1 min 48 s~2 min 7 s) で有効注水ができると考えている。

神戸市の資料によればホース延長本数 4.84 本で、放水準備時間は表一10に示すように約 1.9 min となっている。従って、表一11に示される値 (ホース延長本数 4~6本で約 1.5~2.0 min) は適当な数値であろう。

各項目の時間については、表一12に示す。このように延べ焼損面積を 120 m<sup>2</sup> 程度にするには、出火より放水開始までの時間を風速 I の場合 12.5 min、風速 II の場合 11.5 min 程度にする必要がある。なお、式 (9) の x (出火からの経過時間) は、表一10の潜伏時間を含んでいるので表一12には、潜伏・通報時間として表示している。

### (3) 所要水利点数および水利点間隔について

延べ焼損面積を 120 m<sup>2</sup> とした場合の所要水利点数および水利点間隔について考える。表一9の延べ焼損面積 (A) 120 m<sup>2</sup> を見れば、注水筒先 1 本当たり平均担当正面巾 (s<sub>0</sub>) が 10 m の場合は N 20 (2 s<sub>0</sub>=20 m) のとき約 3 個 (2.7 個)、水利点間隔は L 20 (2 s<sub>0</sub>=20 m) のとき、約 120 m (122.5 m) となっている。s<sub>0</sub> が 8 m の場合は N 16 (2 s<sub>0</sub>=16 m) のとき約 4 個 (3.3 個)、水利点間隔は L 16 (2 s<sub>0</sub>=16 m) のとき約 110 m (109.6) となっている。

### (4) 厚生省水道施設基準について

小規模水道で使用する消火栓および使用水量は厚生省水道施設基準によれば表一13のようである。

この使用水量 0.50, 0.26 および 0.17 m<sup>3</sup>/min は、放水時焼損面積 (A<sub>0</sub>: m<sup>2</sup>) がそれぞれ 38 m<sup>2</sup>, 13 m<sup>2</sup> および 6 m<sup>2</sup> 程度になればほとんど消火効力のない水量であることが、式 (13) および図一2からわかる。従って、

表一13 小規模水道で使用する消火栓と使用水量

使用する消火栓	使用水量 (m <sup>3</sup> /min)
単口消火栓 6 5 mm	0.5 0
小型消火栓 5 0 mm	0.2 6
小型消火栓 4 0 mm	0.1 3



表—14 現行水利基準と本研究の基準との比較

基準	項目	延べ焼損面積 (㎡)	放水開始迄の時間 (min)	水利点数 (個)	水利点間隔 (m)	給水能力 (㎡)
現行の基準		64	7~8	2~3	198~113	40
本研究の基準		120	11.5~12.5	3~4	120~110	50~60

消防水利としては不十分であろう。

#### (5) 現行水利基準との比較について

現行水利基準と本研究の基準の主な比較を表—14に示している。表—14における本研究の水利点間隔120~110mは表—3(現行基準)の防火対象物から水利点に至る距離に換算すれば、約85~78mに相当する。この水利点間隔で考えれば、図—6(1)別表の数値80mの場合からわかるように、半径120~110mの範囲に4~5個の消防水利が存在していることになる。この4~5個の消防水利は表—9により、 $N16$ (所要水利点数が4個)の場合は約180㎡、 $N20$ (所要水利点数が5個)の場合は約400㎡の焼損面積に対して、第1出動した消防ポンプ自動車(4~5台)が使用するものである。

## 5. 結 論

以上のように、種々の項目を検討したが、次のように結論することができる。

1) 平均的な構造(普通木造および防火木造:木質系の建物)の建築物から発生した火災をほぼ1棟独立火災か風下隣家再使用可能な状態で消火するには、現行基準では延べ面積約64㎡であるが、将来の全国持家の平均的な広さを統計資料により約120㎡と考え、延べ焼損面積約120㎡程度にするのが適当であることを表—14に示した。

2) 式(9)はK市および大阪市ではほぼ適合することがわかっている<sup>11)</sup>が、神戸市の場合に適合するかどうか検討した結果、表—4で示したように、非小火火災の平均焼損面積および10年間の焼損面積がよく一致しているので、延焼速度式として式(9)が適当であることがわかった。

3) 延べ焼損面積を約120㎡程度にするためには、放水開始時の焼損面積を90~110㎡程度にする必要がある。出火から放水開始までの時間は風速Ⅰ(3m/s)の場合には表—5より約12~13min以内、風速Ⅱ(5m/s)の場合には表—6より約11~12min以内にする必要があることを表—12の合計の欄に示した。

4) 火面周長(S)は浜田式より誘導された式(1)が一般に使用されてきたが、実測データより式(16)が表示でき、延べ焼損面積120㎡程度のとき53㎡である。

5) 注水筒先1本当たり平均担当正面巾( $s_0$ )は、延べ焼損面積が約80㎡で8m程度、延べ焼損面積が約350

㎡で約10m程度となっており、延べ焼損面積が増大すればその値が大きくなる傾向がある。その理由として、一般の消防機関の出動計画にあることを示した。

6) 所要水利点数と水利点間隔については、式(14)および式(15)で計算が可能であり、その結果を表—9に示した。これより、延べ焼損面積が120㎡に対する所要水利点数は $N20$ ( $2s_0=20m$ )のとき、約3個(2.7個)、 $N16$ ( $2s_0=16m$ )のとき、約4個(3.3個)、水利点間隔は $L20$ ( $2s_0=20m$ )のとき、約120m(122.5m)、 $L16$ ( $2s_0=16m$ )のとき約110m(109.6)程度である。

7) 延べ焼損面積約130㎡のとき、消防水利1個当たりの放水量が約40㎡であり、それ以上大きな火災に対しては、別の消防水利に消防ポンプ車を移動させなければなくなる。延べ焼損面積220~290㎡程度の火災に対応する消防水利を当面の目標とすれば、消防水利1個当たり50~60㎡の消火水量が必要となることを示した。

以上のように、本研究では平常時の建物火災に対する消防水利について述べたが、この研究における問題点と残された今後の課題を述べると以下のようである。

- 1) 式(9)の延焼速度は、K市と大阪市および神戸市において、ほぼ適合することがわかっている。しかし、他の都市についても同様に適合するかどうかは不明であるので、今後とも検討する必要がある。
- 2) 式(16)の火面周長と焼損面積との関係は、今まで発表されていない。他の都市についても検討する必要がある。
- 3) 特に積雪寒冷地や気象条件の厳しい都市における消防水利については、各地域の特性を考慮した分析が必要となろう。
- 4) また、本研究で触れたすべての事柄については、神戸市以外の各都市のデータを用いて再検討する必要があると考えられる。
- 5) この種の研究の欠陥は、主として資料が一般に公表されないことであるが、資料が公表されれば、さらに進歩した研究が可能になるものと思われる。資料が一般に公表されることを切に希望する次第である。

最後に、貴重な資料を公表していただいた神戸市消防局に対し、ここに記して謝意を表します。

注1) 消防庁消防課著「消防水利の基準解説」p.276, 1984によれば、消防水利を1. 消火栓, 2. 私設消火栓, 3. 防火水そう, 4. プール, 5. 河川・溝等, 6. 濠・池等, 7. 海・湖, 8. 井戸, 9. 下水道としている。

注2) 出火件数の予測については、神戸市の「市街地」の町通一丁目をいくつか積み重ねて設定した地区（これをサマリゾーンと呼ぶ）275を対象とし、国勢調査をはじめとする各サマリゾーン単位で収集した各種のデータから、以下のような回帰式を作成して用いた。

a) 木造系の建物出火件数 ( $Y_m$ )

$$Y_m = 0.00027 X_1 + 0.000265 X_2 + 0.0358 X_3 + 1.078 X_4 - 0.698 X_5 - 0.279 X_6 + 0.009850 X_7 + 0.167$$

(重相関係数 0.808)

ここに、 $Y_m \geq 0$ 、 $X_1$ :人口総数(人)、( $X_1 \leq 14000$ 人)、 $X_2$ :事業者総数(人)、( $X_2 \leq 5000$ 人)、 $X_3$ :工業事業所総数(所)、( $X_3 \leq 600$ 所)、 $X_4$ :木造家屋総床面積(ha)、( $X_4 \leq 22$ ha)、 $X_5$ :道路面積 [10m ~ 12.5m] (ha)、( $X_5 \leq 10$ ha)、 $X_6$ :道路総面積(ha)、( $X_6 \leq 22$ ha)、 $X_7$ :大要ガス消費量(km<sup>3</sup>)、( $X_7 \geq 250$ km<sup>3</sup>)である。

b) 耐火構造系の建物出火件数 ( $Y_i$ )

$$Y_i = 0.000789 X_1 + 0.001404 X_2 + 0.019612 X_3 - 0.000028 X_4 + 0.764$$

(重相関係数 0.725)

ここに、 $Y_i \geq 0$ 、 $X_1$ :人口総数(人)、( $X_1 \leq 14000$ 人)、 $X_2$ :事業者総数(人)、( $X_2 \leq 5000$ 人)、 $X_3$ :木造家屋総床面積(ha)、( $X_3 \leq 22$ ha)である。

c) 非小火出火件数

木造系の非小火の建物出火件数  $Y_{m1}$  および耐火構造系の非小火建物出火件数  $Y_{i1}$  は次の関係を得ている。

$$Y_{m1} = 0.183 (Y_m - 2.08)^{1.25}$$

$$Y_{i1} = 0.359 (Y_i - 3.00)^{0.952}$$

また、神戸市の火災資料より以下の耐火構造系の延焼速度式が得られている。

$$A = \frac{G}{1 + \exp(-a(x-b))}$$

ここに、 $a = 4.36 G^{-0.385}$ 、 $b = 4.98 G^{0.137}$  で、 $A$  は焼損面積(m<sup>2</sup>)、 $x$  は出火からの経過時間(h:  $5 \leq x \leq 90$  min)、 $G$  は1区画または1棟の建築面積(m<sup>2</sup>:  $5 \leq G \leq 300$  m<sup>2</sup>)である。

注3) 消防庁消防課著「消防力消防水利の基準解説」p.18. 1984による。

注4) 消防庁消防課著「消防力消防水利の基準解説」p.41. 1984による。

本火災学会論文集, Vol. 29, pp. 33~40, 1979.

- 2) P. Fuchs, P. G. Seeger: Ein Mathematisches Modell zur Bestimmung der Loschwassermenge und Vergleich mit Experimenten, VFDB, Vol. 30, p. 3~9, 1981.
- 3) 碓井憲一: 建物火災に対する消火注水量の実状分析, 日本火災学会論文集, Vol. 1, pp. 52~54, 1951.
- 4) 菱田厚介: 火災危険度の算定(地区率について), 損害保険料率算定会火災部, pp. 49~67, 1954.
- 5) 堀内三郎: 都市の消防施設に関する研究, 京都大学学位論文, pp. 41~48, 1961.
- 6) 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, pp. 68~70, 1968.
- 7) 保野健治郎ほか: 建物火災の放水による延焼阻止効果に関する基礎的研究, 日本火災学会論文報告集, Vol. 32, No. 2, pp. 57~65, 1982.
- 8) 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, pp. 137~144, 1982.
- 9) 保野健治郎ほか: 建物火災の延焼に関する基礎的研究, 日本火災学会論文報告集, Vol. 32, No. 1, pp. 23~32, 1982.
- 10) 保野健治郎ほか: 定差図法による建物火災の延焼速度式(ロジスティック曲線)に関する基礎的研究, 日本建築学会論文報告集, No. 311, pp. 155~160, 1983.
- 11) 難波義郎: 火災の延焼機構とその都市防災施設および土地利用への適用に関する研究, 京都大学学位論文, pp. 89~91, 1983.
- 12) 東京消防庁防災本部: 消防水利の対策と実務, (財)東京連合防火協会, p. 10, 1979.
- 13) 浜田稔: 火災の延焼速度について, 火災の研究, pp. 35~44, 相模書房, 1951.
- 14) 東京消防庁: 地震時における市街地大火の延焼性状の解明と対策(報告書), p. 2-154~p. 2-155, 1985.
- 15) KATSUHIKO KURODA et al.: DECISION THEORETIC APPROACH TO PLANNING OF ASEISMIC FIRE CISTERNs (決定理論による耐震防火水槽計画), 土木学会論文集, No. 353/IV-2, pp. 119~129, 1985. 1.
- 16) 山瀬敏郎: 消防力配置計画のシステム化(その1), 消防科学と情報, 消防科学総合センター, No. 21, pp. 42~43, 1990.

(1990. 4. 2・受付)

#### 参 考 文 献

- 1) 高橋 哲: クリップモデル火災の消火諸現象の定量化, 日