

消防水利に関する研究

——消防水利からみた管網計算の評価について——

堀 内 三 郎・保 野 健治郎

A STUDY ON THE WATER SUPPLY POINTS FOR FIRE FLOWS

——Estimations of Water-Networks by Capacities of Fire Flows——

By Saburō HORIUCHI and Kenjiro YASUNO

Synopsis

This paper contains some results for estimations of water-networks by capacities of fire flows and for the ratio of fire-spreading (k_0).

In "Kure City" (about 240,000 population), ${}_w k_0$ (ratio of fire-spreading by water supply points) is calculated greater than ${}_p k_0$ (ratio of fire-spreading by fire engines). This " k_0 " may be one of the effective estimation factors and useful calculating methods of water-networks for fire flows.

1. 緒 論¹⁾

我国における自然災害は、特に島国と言う地理的条件及び太平洋火山帯の上に位置することから考えて、将来もかなりの度合で発生することが十分に予想される。一方火災に関しても、現在までの日本家屋や社会経済活動の状況からみて、その火災発生によってこうむる被害は、人命はもとより物的損害もまたかなりの額にのぼっており、その被害の軽減は最も緊要な課題となっている。それに加えて、経済の高度成長に伴って、災害に弱い体質を持つ、過密化した都市と過疎化した農村が同時に多数発生し、特に大都市と、その周辺地域への人口と産業の過度集中は、災害による被害規模を想像できない程巨大化させている。

また都市の防災問題と並んで、農、山、漁村の過疎化に伴う防災対策も、重要な問題となっている。これらの防災対策については、従来の都市計画や上水道計画において、「都市の安全性の確保」という条件のうち「防火」に関する面があまり考慮されていなかったと思われる。

都市の防火は、根本的には都市の不燃化によるべきであるが、その早急な実現が望めない以上、どのようにすれば防火上最大の安全性が、より経済的に確保できるか、またその方法はどうかということが問題になるであろう。この防火の問題は、建築工学の面からは材料の不燃化あるいは難燃化、構造体の耐火性の向上、防火地域の制定等の解決方法が研究され、その一部は実現されている。しかし、一端発生した火災を消し止め損害を最小限度に止めるという方法については、あまり科学的な解明がされていないのが現状である。

さらに、この都市防火における消火対策については、化学的消化方法の研究が十分発達していない現段階では、消防水利（消火用水）の問題が重要となるわけであるが、これに対する上水道工学からの解明も十分ではなかったといえる。

この消防水利の不備なる原因として、次のような点があげられる。

消防水利の大部分は都市の上水道管に設置された消火栓に依存しているが、その管網計算をする場合、実際の管網数の約1/10の管網数で計算していることである²⁾。

管網計算においては、計算の困難さから実際のものより大幅に少ない管網数をとりあげて計算している。それらの状態を給水人口と対応させて図示したものが、Fig. 1 および 2 である。Fig. 1 は管径 75mm 以上の管についての管網数の現況であり、Fig. 2 は計算上用いた管網数であって、その割合は11.7倍である。

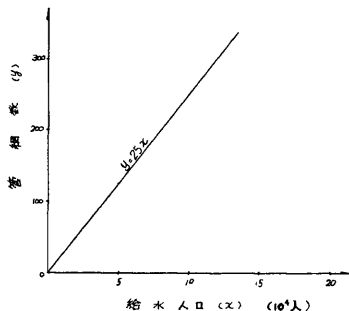


Fig. 1. Relation between water supply population (x) and total network numbers of waterworks (y).

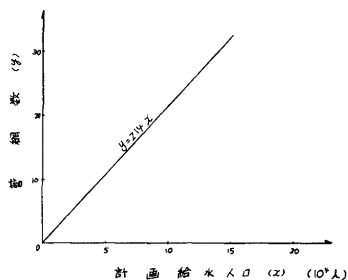


Fig. 2. Relation between water supply population (x) and network numbers used for calculation of water supply (y).

したがって、実際の管網計算においては約1/10管網数で計算していることになり、実際の管網特性が完全に解析されたかどうかは疑問である。何故このように実際の管網数より極端に少ない管網数で計算するかと言えば、それは、管網計算法の欠点があるからである。

管網流量計算法としては、数学的解法、区画法、図解法などの各種の方法が用いられているが、1936年に Cross 法が発表されて以来わが国では同法による管網計算が広く普及した。さらに、その後発表された、Tong および、Raman の、Equivalent Pipe Lengths method をも含めて、与えられた管網経路に対して、最も経済的な管径をいかにして求めるかに研究の重点が移ってきたが、経済管径が求まったかどうか疑問である。一方、電気式計算盤による計算、電子計算機による計算も実用の段階に入ったが、管網による流量配分機構自身の理論的發展は、ほとんど見られなかった。したがって、いままでの経験上、あるいは半理論上いわれていた管網計算法の考え方および理論が、電子計算機を使用する現段階においても、多くの問題をかかえているといえよう。

ところで管網計算には、管路の流量公式として、Hazen & Williams の公式がよく使用される。

Hazen & Williams の公式は

$$h=10.666 C^{-1.85} D^{-4.87} Q^{1.85} l \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 h =まさつ損失水頭 (m)

C =流速係数

D =管径 (m)

Q =流量 (m^3 /秒)

l =管延長 (m)

であるが、一般に管網計算とは、与えられた各管網と、各節点に対して

$$\sum h=0 \dots\dots\dots (2)$$

$$\sum Q=0 \dots\dots\dots (3)$$

なる条件を満足するよう h と Q を求めることである。管網計算法の中で、かなり発達した計算法では、連立1次方程式を使用して計算している。しかも、連立方程式は解が存在しないこともあり、管網計算の方

程式は対角線上の係数が一般に大きいので方程式の性質としては良好であるが、50～60元連1次方程式ともなれば解の精度が落ちてくるので、はたして本当の解が得られたかどうか疑問である。

これを防止する方法（たとえば仮定流量を変えてみる方法、閉管路網形成を大きくして対角線上の係数を大きくする方法、プログラムの工夫によって方程式の解の精度を2倍に上げる方法など）も存在するが、精度を2倍に上げるには、もっと余分な記憶容量を必要とするし、解が存在するかどうかの検討は計算を行ってはじめてわかることであるから、それだけ計算結果に対するチェックを必要とする欠点がある。

このように管網計算自体の多くの問題点をかかえているので、約1/10というような現実と合わない計算をしているわけである。従って、管網計算は、上水道管網および消防水利の計画段階における概略計算とみなすべきであろう。

そこで、都市防火施設の設計に際して、管網計算の不備な点を補う意味で、次に述べる延焼増加割合（ k_0 ）の観点から消防力（消防ポンプ能力および消防水利能力）の評価をしようとするものである。この消防水利能力の評価は、消防水利が都市の上水道に設置されているので、上水道管網の評価の1手法として有効であると考えている。

2. 理論の研究³⁾

昭和9年8月の東京帝国大学の実験および大阪市における昭和13年～14年の火災統計より得られた延焼速度は Table 1 のようであり、大阪府警察部消防課では、Table 1 から標準延焼速度として Table 2 を決定している。

Table 2 をもとにして、延焼速度式をもとめれば、

$$y_0 = 1.38A_s^{-0.428} \dots \dots \dots (4)$$

Table 1. Data of fires (burnt area and speed of fire-spreading).

	延焼坪数(坪)	1坪当り延焼速度(分)
実 験	8.75	0.95
	17.5	0.65
	28	0.54
	39	推定 0.43
火 災 統 計 資 料 *	62	0.41
	76	0.30
	100	推定 0.33
	209	0.35
	215	0.27
	273	0.30
	278	0.19
	330	0.20
	342	0.20
	432	0.14
	444	0.20
	475	0.20
	580	0.11
	681	0.14
		0.35

Table 2. Speed of fire-spreading.

放水開始時の延焼坪数	(1坪当りの延焼速度分)
10	0.97
20	0.65
30	0.54
40	0.43
50	0.40
60	0.38
70	0.37
80	0.36
90	0.35
100	0.35
200	0.33
300	0.28
400	0.20
500	0.18
600	0.15
700	0.13

*…原資料にはこの欄の文字が欠けている

ここに y_0 = 延焼速度 (min/m^3), A_5 = 焼失面積 (m^2) となる。

そこで, 焼失面積を時間 (min) の関数として表示すれば,

$$A_5 = 0.607x_1^{1.75} \dots\dots\dots (5)$$

ここに x_1 = 注水開始までの時間 (min) となる。注水開始までに延焼拡大するのは自然的とみなしてよいが, 注水開始後においても, これを完全に阻止するまでには, いくつかの時間と延焼阻止水量とが必ず必要となる。

これら延焼阻止時間 (T_0, min) および延焼阻止水量 (W_0, m^3) を求めれば,

$$T_0 = k_0 A_5 y_0 = 1.38 k_0 A_5^{0.572} \dots\dots\dots (6)$$

$$W_0 = 0.0839 (1 + k_0) A_5 \dots\dots\dots (7)$$

ここに k_0 = 延焼増加分の割合となる。式(7)における 0.0839 は, 大阪市消防局が統計水量を考慮して, 3.3 m^3 当り 73.07 ガロンとしているので, これを m^3 当の延焼阻止水量 (m^3) に換算したものである。

つぎに消火に必要な所要水量 ($Q_0 \text{ m}^3/\text{min}$) を求めれば,

$$Q_0 = W_0/T_0 = 0.0607 (H k_0/k_0) A_5^{0.428} \dots\dots\dots (8)$$

となり消防ポンプ自動車の放水能力を $1.2 \text{ m}^3/\text{min}$ とすれば, 所要ポンプ自動車台数 (P_0) は,

$$P_0 = Q_0/1.2 = 0.0506 \left(\frac{1+k_0}{k_0} \right) A_5^{0.428} \dots\dots\dots (9)$$

となる, 式(8)および式(9)において, $k_0 \rightarrow 0$ とすれば $Q_0 \rightarrow \infty$, $P_0 \rightarrow \infty$ となるが, 実際には $k_0 \equiv 0$ ということはない。また実際の統計資料により Q_0, P_0 および A_5 が与えられれば k_0 が求まり, 各都市の消防施設を k_0 によって位置づけることができる。

ただし, k_0 による順位は $p k_0$ (ポンプ台数より求めた k_0) および $q k_0$ (消火に必要な所要水量より求めた k_0) の大きい方の値をとって順位を決定すべきであろう。

このように $p k_0$ も $q k_0$ も, とともに施設が充実しておればおるほど小さくなる。とくに $q k_0$ に関しては次のように考えられる。火災によって公設消火栓 (上水道に設置された消防水利) より消火用水が放水されるが, これは実際の管網における放水実験と同じであると考えられる。火災は種々な条件で進行するから, それに対する消化用水放水量の大小は, 上水道管網の放水能力の大小を表示することになる。

これらのことから $q k_0$ は, 管網計算の不備を, おぎなう指標の 1 つであろうと考えられる。

3. 解析結果および結論

実例として, 広島県呉市における火災統計資料より k_0 について検討した結果を次に示す。地区全体としての解析結果は次の通りである。

次に Table 3 より次の点が指摘される。

- (1) 消防自動車台数とは, 火災が起ってかけつけて, 放水にあたった台数であるが, 平均値は, 3 台 (3.013) 最大値は, 10 台で標準偏差は, 2.303 である。

Table 3. Values of $p k_0$ and $q k_0$ in "Kure city."

	消防自動車 台数 (台)	水 量 (m^3/min)	$p k_0$	$q k_0$
平 均 値 $\bar{x}$	3.103	1.54	0.163	0.714
最 大 値 $P_{\max}$	10.00	5.86	0.496	3.075
標 準 偏 差 δ	2.303	1.44	0.111	0.787

- (2) 放水量の平均は, $1.54 \text{ m}^3/\text{min}$ 最大量は, $5.86 \text{ m}^3/\text{min}$ で, 標準偏差は, $1.44 \text{ m}^3/\text{min}$ である。

- (3) 所要放水ポンプ自動車台数による延焼増加分 ($p k_0$) の平均は, 0.163, 最大値は, 0.496, 標準偏差は,

0.111である。

(4)所要放水量による延焼増加分(qk_0)の平均は、0.714、最大値は、3.075、標準偏差は、0.787である。

(5) qk_0/pk_0 の値は、4.38である。

この資料は、昭和37年1月から昭和38年6月の間の呉市内におけるデータ(資料数39件)であるが、解析した結果から、統計的にみると、火災における所要ポンプ台数と所要消火水利の延焼増加の割合が約1:4になっている。このことは、消防自動車台数の不足による延焼確率よりも、水利不足による延焼確率がより大であるということを示している。

次に、各地区別の qk_0 及び pk_0 の値を示すと、Fig. 3のとおりである。

地区名の説明：

天応地区——福浦から大山町までの地域

吉浦地区——狩留賀町から魚見山隧道までの地域

呉二河西部地区——魚見山隧道から二河川西側までの地域

呉中央地区——二河川東側から南方面は青山一丁目まで、東方面は呉越までの地域

阿賀地区——呉越から広西大川までの地域

広地区——広町一帯の地域

仁方地区——仁方隧道から東側地域

焼山地区——焼山町一帯の地域

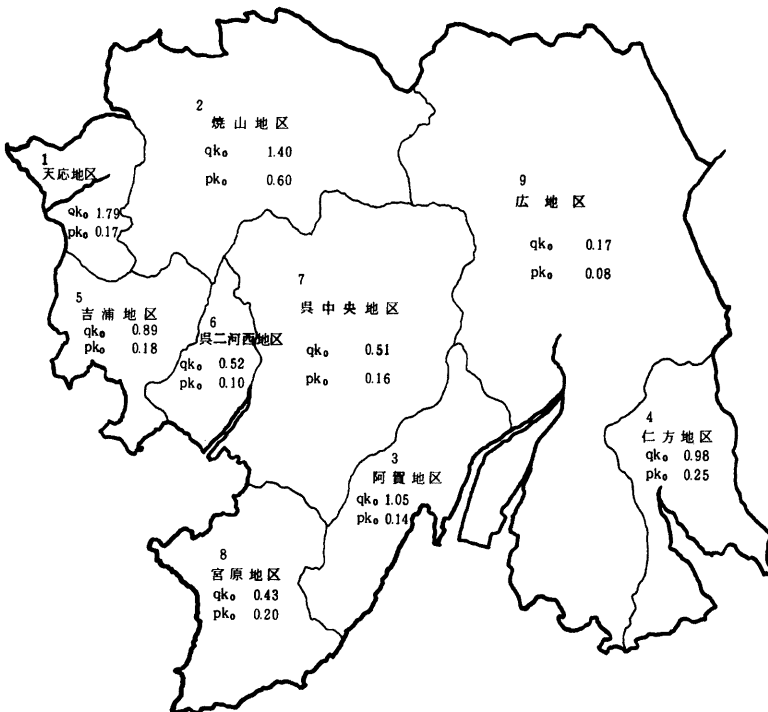


Fig. 3. Map of pk_0 and qk_0 in "Kure City".

Table 4. Synthesis ranking of $p k_0$ and $q k_0$ of each district in Kure City"

No.	地 区 名	順位	$q k_0$ 平 均 値	順位	$p k_0$ 平 均 値	総合 順位
1	天 応地区	1	1.7900	5	0.1700	1
2	吉 浦地区	5	0.8940	4	0.1760	5
3	呉二河西地区	6	0.5150	8	0.0950	6
4	呉 中 央地区	7	0.5131	6	0.1588	7
5	阿 賀地区	3	1.0500	7	0.1400	3
6	広 地区	9	0.1650	9	0.0750	9
7	仁 方地区	4	0.9800	2	0.2450	4
8	焼 山地区	2	1.40	1	0.6000	2
9	宮 原地区	8	0.43	3	0.2000	8

Table 5. Ranking of value of $q k_0 / p k_0$ in "Kure City"

No.	地 区 名	$q k_0 / p k_0$	順位
1	天 応 地 区	10.529	1
2	吉 浦 地 区	5.079	4
3	呉二河西地 区	5.421	3
4	呉 中 央 地 区	3.231	6
5	阿 賀 地 区	7.500	2
6	広 地 区	2.2	8
7	仁 方 地 区	4.0	5
8	焼 山 地 区	2.33	7
9	宮 原 地 区	2.15	9

宮原地区——青山一丁目から南側一帯の地域

次に総合順位を説明すると

$q k_0$ と $p k_0$ を比較して大きい k_0 の方を採用し、その大きい値より順位をつけ、その順位を総合順位とする。その結果が、Table 4 である。

この場合はすべて、 $q k_0 > p k_0$ となったので $q k_0$ の順位がそのまま総合順位となっている。この $q k_0 / p k_0$ の値は、どちらが他の k_0 より不備であるかを示めすものであり $q k_0 / p k_0$ の値の大きい地区より改善して行くべき優先順序を示めしていることになる。

天応地区においては、 $q k_0 / p k_0 = 10.529$ である。この値は全地域の最大値となっている。ということは、 $p k_0$ に対する $q k_0$ の比が非常に大きいということである。このことは、前方が海岸、後方は山に囲まれ道路幅が狭く、ポンプ台数は、十分に備わっていても、水量が非常に少ないため最危険地区にあげられているものである。

焼山地区においては $q k_0 / p k_0 = 2.33$ である。宅地増成ブームで、消防および水道施設が不足になり、火災発生時に、活動が十分に出来なかったと言える。

阿賀地区では、 $q k_0 / p k_0 = 7.50$ である。この地区は、戦前から木造建築が密集している地区であり耐火構造で、延焼を阻止する建物がなくポンプ台数はかなり備えているにもかかわらず、水量が不足している。

仁方地区では、 $q k_0 / p k_0 = 4.0$ である。木造建築が密集し道路幅が狭く傾斜地が多く水利が不備である。

吉浦地区では、 $q k_0 / p k_0 = 5.08$ である。天応地区と同じような立地条件であるが、この地区においては密集地帯が国道に隣接している。

呉二河西地区では、 $qk_0/pk_0 \doteq 5.42$ である。主要道路幅が広く市内に隣接しているために、火災時に市内の消防力が駆けつけて消化活動にあたることができる。

呉中央地区では、 $qk_0/pk_0 \doteq 3.23$ である。呉市の中においては、消火活動が最もすぐれている地区であり、街の構成も耐火機造物が建ち並び道路も整備されている。

宮原地区は、 $qk_0/pk_0 \doteq 2.15$ である。道路幅も狭く家屋が密集している。

広地区は、 $qk_0/pk_0 \doteq 2.20$ である。呉地区内では qk_0 と pk_0 の値が一番接近している。平地で道路幅も広い。

以上の各地区の qk_0/pk_0 を検討してみると最大値は天応地区で、最小値は宮原地区であって、火災に対する安全性のバラツキが、かなり明らかになって来たと思われる。

このように、 k_0 は水利能力（管網能力）を表示するものであるが、 k_0 の値がどの程度なら許容できるか、その許容値の決定に関する研究が今後に残された課題である。また、管網計算上での問題は、式(1)における C （流速係数）と k_0 との、次のような関係式、

$$C=f(k_0) \dots\dots\dots(10)$$

を求めることができれば、より明かとなるのであるが、これも今後の重要な課題であるといえる。

参 考 文 献

- 1) 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年 pp. 1-3.
- 2) 保野健治郎：電子計算機の利用よりみた管網設計に関する二，三の考察，水道協会雑誌，第402号1968年 pp. 24-31.
- 3) 保野健治郎・大森豊裕：消防力に関する研究，近畿大学工学部研究報告，No. 8 1974年 pp. 149-155.