

1. はしがき

わが国は「世界有数の大災国」といわれているが、最近数年間の大災発生頻度は上昇の傾向にあり、木材という可燃性材料で造られた建築物の集団より成る都市の現状よりみて、適切な対策が推進されなければ、今後も各府の間かなりの大災損害が続くものと予想される。ところで、大災と水道施設との関係は、可燃性都市構造である現状よりみて、その消火の大部分は、都市水道施設にたよるを得ない。したがって、大災と都市水道施設との関係を明らかにする必要があり、本研究では(a)管網設計法、(b)焼失面積、消火水量および消火栓分布の各項目について、大災と都市水道施設との現状を明らかにして、表題の基礎研究とする。

2. Tong, Raman法および新解法による管網設計法

Hagen-Williams 公式は $h = \gamma L e Q^{1.85} \dots (1)$ $L e = L \left(\frac{100}{C} \right)^{1.85} \cdot \left(\frac{1}{D} \right)^{4.87} \dots (2)$ ここに、 h = まさつ損失(m), $\gamma = 1/9396 \times 10^{-9}$, Q = 流量(m^3/sec), L = 管延長(m), C = 流速係数, D = 管の口径(mm) 式(2)は、 $D = 1000 mm$ $C = 100$, $L = L e$ と任意の D , C , L との関係を表わす式である。

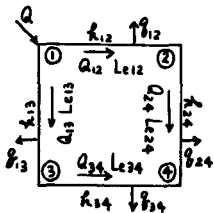


図-1

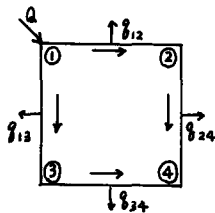


図-2

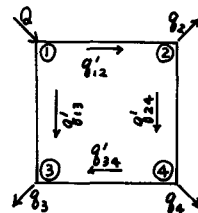


図-3

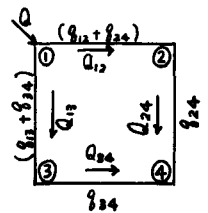


図-4

式(2)において、 L, C を一定とすれば管網が決まれば各区間について L, C は決定される)

$D \rightarrow \infty, L e \rightarrow 0$: $D \rightarrow 0, L e \rightarrow \infty \dots (3)$ (したがって、もっとも経済的な口径は、

$Q_{max} = \sum |L e_{ij}| \dots (4)$ $\therefore \sum \frac{h_{ij}}{Q_{ij}^{1.85}} = \max \dots (5)$ の条件をみたせばよいと考えられる。一方各

管網についていえば、 $\sum h_{ij} = 0 \dots (6)$ $H_i - h_{ij} - H_{ej} = H_{ej} \dots (7)$ ここに H_i = i 点の動水値

(m) H_{ej} = j 点の地盤高(m) H_{ej} = j 点の残存水頭(m) h_{ij} = $i-j$ 点間のまさつ損失(m) 式(7)の H_{ej} に関し

ては、 H_{ej} を j 点の許容残存水頭とすれば $\max H_{ej} \geq H_{ej} \geq \min H_{ej} \dots (8)$ また、 $pipe$ の口

径について式(8)と同様の制限をつければ、 $\max D_{ij} \geq D_{ij} \geq \min D_{ij} \dots (9)$ $\max L e_{ij} \geq L e_{ij} \geq \min$

$L e_{ij} \dots (10)$ $\max h_{ij} \geq h_{ij} \geq \min h_{ij} \dots (11)$ となる。ここに記号 a は許容値を示す。したが

って、制限条件式(6), 式(7), 式(8)および式(11)のもとに式(5)の $\max$ とする h_{ij} を求めて、おのおのの D_{ij}

を求めれば、各地点の所要水圧を満足し、かつ最も経済的な $pipe$ の口径が求まる。なお式(11)の条件式

を除けば、Networks の選定をすることができる。このとき、 Q_{ij} は各管について決定されている。

いま、水道計画によって(図-2)のような必要水量分布となったとする。これを従来のように $pipe$ の口

径 D_{ij} を決定し g_{ij} を仮定して管網計算した結果(図-3)のようになったとする。ところが従来の計算で

は、(図-3)のように節点に放流量 g_i を与えて計算していたから、ある p 区間の流量が $g_{ij} > g_{ij} \dots (12)$ となった状態で、 $\sum g_{ij} = 0$ となり各管網の水圧がバランスすることもある。式(12)のようになれば、その区域の水量は不足することになる。これに対し(図-4)は、 $g_{ij} \leq \sum g_{ij} = Q_{ij} \dots (13)$ となって、かなり各区域の所要水量を満足するように各ルートに水を分布させるものであり、計算以前に決定されるものである。この場合、各ルートに均等に分配させたり、あるいは、一方に片寄せて分配することにより、特に火災時などの極端な水使用の時間的分布変動および都市計画上の地域開発の可能性を考慮した、より合理的な管網設計法を行なう場合に有効な計算法である。一方 $g_{mg}^{2)}$ は、 $\sum L_e = 0 \dots (14)$ $Raman^{2)}$ は式(14)において $y_{min} = \sum L_e \dots (15)$ としているからどちらも不経済な口径を求めようとしていることになる。

3. 建物火災と消火に関する式

(1) 従来の研究

(a) 普通木造建物の延焼速度式 図示の如く、市街地における建物の状況をモデル化した場合を著し、建物はすべて1辺 $a(m)$ で正しく配置されたものとす。火元建物の中心を出火点とし、これを平面上の原点と考へ、また出火点における出火時刻を時間の原点と考へるものとする、各方向別の延

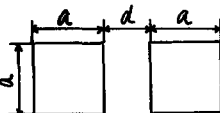


図-5

焼速度を示す式は、つぎの式(16)で与えられる。風下側 $t_0 = (3 + 3a/8 + 8d/0) / (1 + 0.1v)$

$t_{xi} = (3 + 3a/8 + 8d/0) / (1 + 0.1v + 0.007v^2)$ ここに $D = 5 + 0.5v$ 風上側 $t' = (3 + 3a/8 + 8d/0) / (1 + 0.002v^2)$

ここに $D' = 5 + 0.2v$ 風横側 $t'' = (3 + 3a/8 + 8d/0) / (1 + 0.005v^2)$ ここに $D'' = 5 + 0.25v \dots (16)$

t_0 = 出火より風下側隣家へ着火するまでの時間(min) t_i = 風下側隣家より、さうに つぎの風下側隣家へ着火するまでの時間(min) t' = 出火より風上側隣家へ着火するまでの時間(min) およびさうに風上側隣家へ着火するまでの時間(min) t'' = 出火より風横側へ、 t' と同様に割った時間(min) v = 風速(m/s) D, D', D'' = 延焼限界距離(m) $d > D(D', D'')$ ならば延焼しない。なお風下側については、延焼速度は時間の経過とともに順次増大するものとし、つぎの式(17)によって t_i および D を求めるものとする。

出火より10分間以内 $\dots t_1, D_1$ 出火より10~30分 $t_2 = t_1/2, D_2 = 1.5D_1$ 出火より30~60分

$t_3 = t_1/4, D_3 = 3D_1$ 出火より60分を超える場合 $t_4 = t_1/6, D_4 = 5D_1 \dots (17)$ 式(16)は、各方向別に建物の外壁面という特定の位置における着火時間を示す形で表わされているため、任意の時刻における火配の位置を示すには不便であるから、これをつぎの式(18)のように変換して用いることにする。

風下側 $t_0 = (a/2 + d) + (x - t_0) \times (1/t_1) \times (a + d)$ ただし、 $x \leq t_0$ のときは $t_0 = (a/2 + d) \times x/t_0$

風上側 $t' = (a/2 + d) + (x - t') \times (1/t') \times (a + d)$ ただし、 $x \leq t'$ のときは $t' = (a/2 + d) \times x/t'$ 風横側 $t'' = (a/2 + d) + (x - t'') \times (1/t'') \times (a + d)$ ただし、 $x \leq t''$ のときは $t'' = (a/2 + d) \times x/t'' \dots (18)$ $t = x_{min}$ 後における風下側

延焼距離(m) $t' = x_{min}$ 後における風上側延焼距離(m) $t'' = x_{min}$ 後における風横側延焼距離(m)

x = 出火時刻より任意の経過時間(min) t_0, t_1, t', t'' = 式(17)の t_0, t_1, t', t'' と同じ。式(16)は、普通

木造建物に適用されるものであるので「防火的木造建物」に対する延焼速度式と式(16)と同様の形で表示

できるが省略する。

(b) 建物焼失面積の計算 $A = \frac{1}{2} \pi \cdot a \cdot t_0(t_0 + t_1) \dots (19)$ ここに A = 建物焼失面積(m^2) n = 建物の平均階

数 a = 平均建蔽率

(C) 所要注水面の長さ $S = 4.58 (n + n') \dots (20)^{**}$ ここに S = 所要注水面の長さ(m)

(d) 消火時水利点所要配置密度 現在最も普通に使用されている消防用ポンプ車の能力からみて、ホース延長可能な最高限度は、実用上ホース10本約180m^(*)であるが建物の凹凸を考慮して直線に直せば約140mとなる。

そこで(図-6)のように延焼しつつある卵形図形の外側に半径方向に140mだけ大きき相似図形を画し、これより内側の延焼中の部分を除いた残り中140mの環状地帯を想定すると、この区域内にホースが利用可能なもの

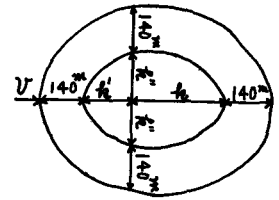


図-6

できる水利点が必要である。 $W_1 = (1,000,000 \times S/20) / 210 (2n' + n' + n + 280) \dots (21)^{**}$ ここに W_1 = 消火時水利点所要配置密度(個/ha) なお、水利点は1.2m³/min 30分間、その他の施設では40m³以上の水量があることが必要であり、ホース1本の消火巾は10mとする。したがって $S/20 \dots (22)^{**}$ は所要消防車台数となる。

(2) 理論式の検討

式(16), (18), (22), は過去の火災より得られた実験式であり、式(19), (20), (21)はこれらの式より導いたものである。ただし、注水筒先本数が不足して、注水面の全延長(S)にわたって消火することができず、注水しなかった部分がそのまま延焼拡大する場合に、式(21)の代りに欄外の式を使用すべきである*。ここで問題となるのは、 W_1 のみによって水利点を計画してよいから、という問題である。式(21)は近似的に $W_1 \approx 0.95 S \dots (23)$ としてよい。

一方、注水開始時間 X (min) は、 $X = X_1 + X_2 + X_3 \dots (24)$ ここに X = 通報時間(min) X_2 = 駆け付け時間(min) X_3 = ホース延長時間(min) となるが、消防用水利点が市街地内に対してほぼ等間隔で均等分布しているものと仮定すれば、ホース延長時間水利点配置密度 W_2 (個/ha) は

$W_2 = 1,000,000 / (18.2 \times \text{ホース延長本数})^2 \dots (25)$ となる。 W_1 は消火時に必要水利点密度であり、 W_2 はホース延長時間より得られる水利点密度であるが、 W_1 は X_3 の増加関数、 W_2 は減少関数であるから

$W_1 = W_2$ の時 $X_2 = X_3 \dots (26)$ とすれば $X_3 \leq X_3 \dots (27)$ となる範囲でホース延長本数、可能な W_2 を決定しなければならぬ。(図-7)において、もし

$X_3 > X_3$ となる点で W_2 が決定されれば、消火時の所要水利点 W_1 は不足することになる。また(図-6)において一般に $n' \approx n$ であるが消火技術の立場より $(n' + 140) = (140 \times \text{ホース延長本数}) \geq F \dots (28)$

ここに F = 水利点間隔(m) $\approx 140m$ であるから式(23), 式(29) および式(28)と同時に満足する水利点の分布でなければならぬ

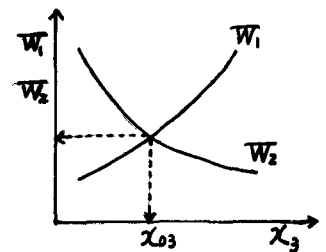


図-7

4. 計算結果の検討

(1) 消火栓の放水能力について

前述の如く、消火栓の放水能力は、1.2m³/min 30分間であるが、現在の消火栓の放水能力を調査した結果を図示すれば、(図-8), (図-9), (図-10)のようになる。(図-8)は、口径75mm, 100mm, 150mm および200mm について、残存水圧が0における放水量を画いたもののうち、口径100mmのものがあるが、直線に関して実測値が打く、ばらついている。そこで、ばらつきの原因として、(a)人口、(b)配水池の高さ、(c)配水池より消火栓までの距離 (d)管径のスケール (e)水使用の時間的分布変動などが、

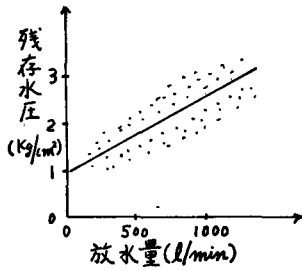


図-8

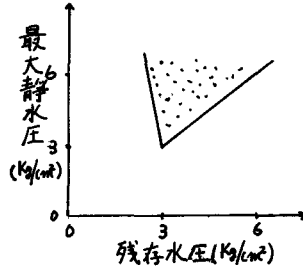


図-9

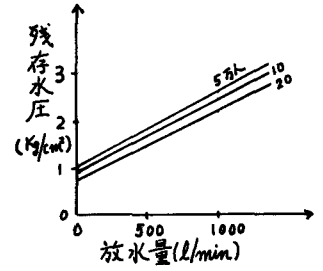


図-10

考えられ、人口別に計算した結果を図示したものが(図-10)であり (a)については人口が増加すれば放水量は多くなる傾向、由について最大静水圧が高いほど放水量は多くなる傾向があるので、それと見らつきの1原因と考えられ、(c), (d), (e)については、今後研究を要する。また(図-9)は、人口5万人、口径が100mmで、実験中残存水圧が0にならず1.0 m^3/min 以上の放水量があるものを図示したものであり、人口5万人、口径100mmについてみると、(図-8), (図-9)より1.0 m^3/min の放水量が得られるのは、ともに残存水圧 2.15 kg/cm^2 であり一致している。なお本実験は1本の消火栓の放水能力を実測したものであり、2本以上同時開栓した時の放水能力は今後研究する。(図-8)によれば1.0 m^3/min 以上の放水量を基準にとると、現在の消火栓の約 $\frac{1}{2} \sim \frac{3}{5}$ はその能力を持っていない。特に、口径25mmに関しては、ほぼ90%以上の消火栓にその放水能力がないことがわかる。

(2) 焼失面積、消火水量および水利点分布について

式(16), (18), (19), (20), (21), (22)より焼失面積と所要水利点数、消火時水利点所需配置密度(W_1) および所需消火水量を計算しそれらの関係を図示すれば、(図-11)となる。また、昭和39年度の市街地火災に

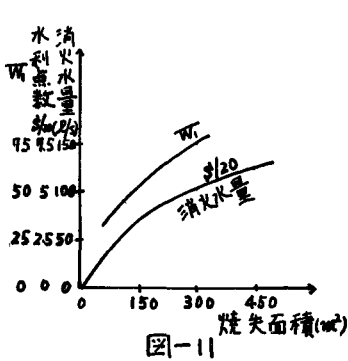


図-11

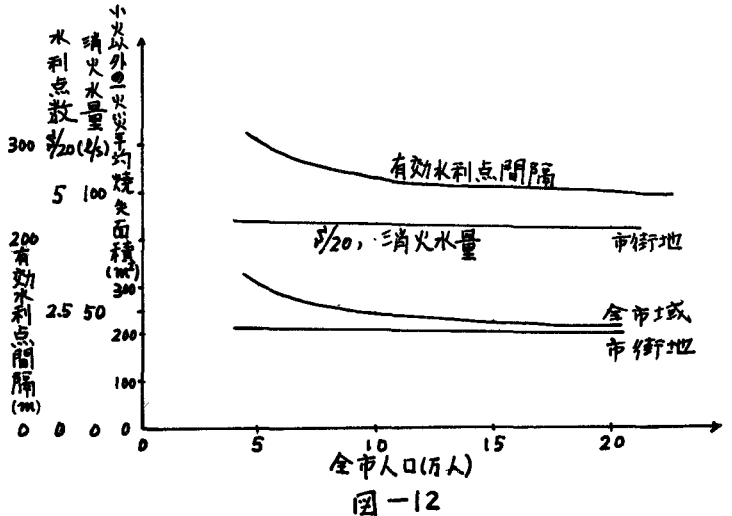


図-12

について計算した結果を、焼失面積、水利点数、消火水量および有効水利点間隔(実際に有効であった水利点の間隔(実測に有効であった水利点の間隔で木一延長時間 $\times 3$ より算出))について図示される(図-12)となる。(図-12)を見れば、人口5230人の間は、1火災当り平均焼失面積は約220 m^2 となっており、人口の増加とともに消火水量は、減少するが、ほぼ $88\text{l}/\text{sec} = 5.3\text{m}^3/\text{min}$ 水利点は 4.5 とみてよい。また現在使用している有効な水利点間隔

は人口の増加とともに減少するが、その値は300~250mとなっており、ホースは約22~19本使用していることばかり、(図-8)、(図-9)より得られる消火栓の有効度約 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{3}{4}$ も同一の傾向を示している。

5 結論 以上の研究結果を要約すれば

(1) 管網設計においては、各pipeの所要流量が存在し、式(13)を満足すること。 Q_{ij} を決定することによりNetworksの選定および経済口径はLinear Programmingによって計算できるが、Tong, Raman法は経済口径を与えない。

(2) 消火栓の分布は、消火に必要な所要配置密度式(23)、ホース延長時間より得られる式(24)および消火技術の立場より求む水利点間隔式(28)と同時に満足するように決定すること。

(3) 消火栓の放水量は、給水人口、pipe口径、最大静水圧および残存水圧によって予測でき、(図-8)、(図-9)、(図-10)を使用する。

(4) 現在の火災状況では、1火災当りの市街地平均焼失面積は、人口5~30万人の間では、約220m²消火水利点数4.5、消火水量5.3%minとなり人口とはほぼ無関係であるが、人口が増加すれば、それと減少する傾向にある。

(5) 有給水利点間隔は、300~250mであり消火栓の約 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{3}{4}$ は1.0%minの放水能力を有しない。消火時水利点所要配置密度は約60~70%あり、消火栓をつけるべきpipeの口径は、消防施設との関係において決定すべきであり、その理論的計算方法を提示した。

今後の問題点としては (1) 管網のモデル化 (2) 水利点同時使用時の放水量の予測 (3) 新解法の管網設計法を使用して、水道施設と消防施設との関係を考慮し、より合理的な火災時水道施設設計法を確立する。

本研究にあたって熱心な指導いただいた、京都大学衛生工学科金田健教授、末石富太郎助教授、京都大学建築学科堀内三郎教授、および損保研究部長井沢竜典氏に感謝する。

文献

- 1) Tong, A.L. et al.: Analysis of Distribution Networks by Balancing Equivalent Pipe Length. Jour. AWWA, 53: 192 (Feb. 1961)
- 2) V. Raman and S. Raman: New Method of Solving Distribution System Networks Based on Equivalent Pipe Length. Jour. AWWA, 58: 615 (May 1966)
- 3) 浜田稔: 火災の延焼速度について「火災研究」I, 相模書房(1951)
- 4) 堀内三郎: 都市の消防施設に関する研究, 京大卒業論文, 1961
- 5) 損保の実測により全国約200都市を調査, 昭和26年~昭和37年

$$* W = 1,000,000 \sum_{i=1}^4 \left\{ \frac{L_i}{20} \frac{S(v_i)}{S(v_i)} \right\}, \quad S(v_i) \leq \frac{(n+1)}{2} \left\{ S_1(v_i) - A_1(v_i) \right\}, \quad B(v_i) = 210 \left\{ 2L_1(v_i) + L_2'(v_i) + L_3(v_i) + 280 \right\} + \sum_{n=2}^{n-1} y_n + 280 \left\{ L_n(v_i) + L_{n-1}(v_i) \right\} + 140 A_n(v_i), \quad A_i(v_i) = A_{n-1}(v_i) S_n(v_i) / S_{n-1}(v_i) \quad \text{ここに } S_1(v_i) = \text{風速 } v_i \text{ の時, 最初にか} \\ \text{けつけた時刻の火面の長さ(m), } A_1(v_i) = \text{風速 } v_i \text{ の時最初にかけた署が消火することのできなかった火} \\ \text{面の長さ(m), } n = \text{駆けつけた署数, } B(v_i) = \text{風速 } v_i \text{ の時の水利点配置の環状地帯の面積(m}^2\text{), } L_i = v_i \text{ の起きる確} \\ \text{率で風速を4段階に分けるものとすれば } i=1 \sim 4, \quad y_n = n \text{ 署の筒先本数}$$