

水噴霧による防護方法の研究について

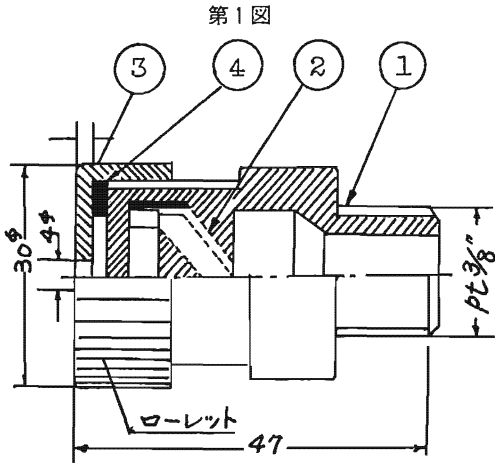
松 川 渉
末 吉 道 生

1. ま え が き

前年度は大震災時の合流火災等から発生する熱気流によって上昇した霧囲気温度を、人体が長時間耐えられる温度とされている33°C程度に温度降下させるのに必要な水量について報告したが、今回はこの水量をもとにして水噴霧発生装置を作成し、当該装置のノズル圧力別における各風速での水噴霧粒子の飛散分布について測定実験を行なったので、その結果を報告する。

2. ノズルの選定

水噴霧ノズルを構造的に大別すると旋回流式、水流衝突式、分散式及びこれらの混合方式等に分けられるが、避難場所に固定した設備とする場合を想定して、永年にわたり機能低下が少なく、かつ保守管理上問題の少ない旋回流式A2型ノズル(第1図)を選定した。



番号	名 称	材 質	備 考
1	ボデー	BsBM	
2	スクリュノズル	"	P25.4, 幅5, 深2.2条
3	オリフィス	"	t = 3
4	パッキング	合成ゴム	25.4φ×14φ×1.5 t

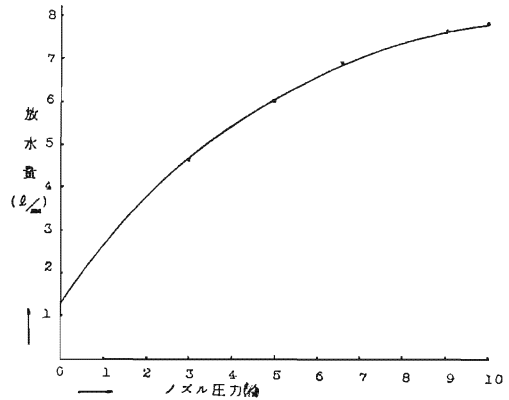
ノズル口径については水の中に含まれている不純物や、ノズル配管内のはく離した錆等による目詰まりを防ぐため、過去に風洞実験等で用いたセルジェットノズルよりはるかに口径を大きくし4mmφとした。

3. 基礎実実 (A2型ノズルの特性把握実験)

(1) 流量特性

A2型ノズルの噴射圧力別における流量を測定した結果は第2図のとおりである。

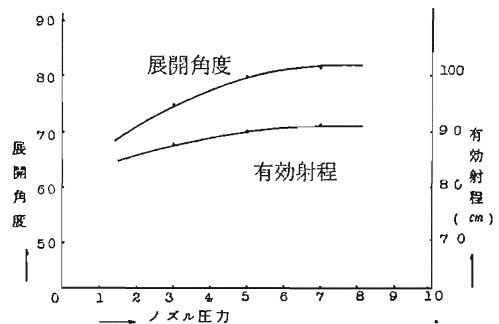
第2図



(2) 有効射程及び展開角度

ノズルの有効射程及び展開角度の状況把握を容易にするため、水噴霧噴射部分の背面に白線で20cm間隔に

第3図



区画した黒板を置き実測した。なお、水噴霧の有効射程については、直状射程のような定義づけがなく、風速に著しく影響されるものであるため、ここでは展開角度を維持している部分までを有効射程として測定した。その結果は第3図の通りである。

(3) 垂直下方噴射時における降水分布及び粒径

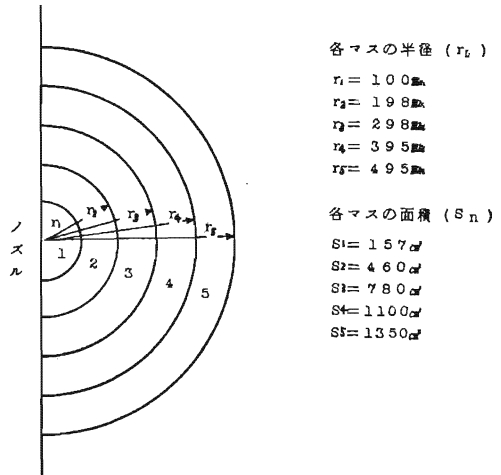
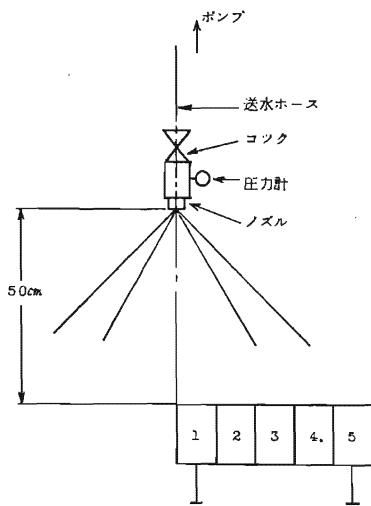
ノズルを垂直に下方向に向け、50cmの距離における噴霧粒子の粒径及び降水量を測定した。円錐形スプレーパターンの50cm下方における広がり円の直径はおおむね90cm(展開角度80°のとき)であるため、第4図に示すようなそれぞれの直径を有する円で区分し、流

量は各区分ごとの降水量を測定した。粒径についてはコロジオン皮膜の上面にアルミ粉末を塗布したガラス板を、第4図に示す3, 4, 5の各区分の噴射空間に0.5秒間露出させ、ガラス板の上面に降着した噴霧粒子のアルミ粉上痕跡を写真に記録し、粒子径を実測した。測定は前記各区分ごとの3点を測定し、噴霧の平均粒径は次式によって求めた。

$$D = \frac{\sum di \cdot ni}{N}$$

D : 平均粒子径 (μ)
 di : 粒子直径 (μ)
 ni : 粒子数
 N : 粒子総数

第4図



第1表 垂直下方噴射時における水量分布 (ml/min)

マスNo.	3kg/cm ²	5kg/cm ²	7kg/cm ²
1	1未満	1未満	1未満
2	38	36	36
3	389	264	170
4	1,320	1,854	2,320
5	656	979	1,374
計	2,403	3,133	3,900

上表の各圧力別流量合計は半円マスの測定量を示すもので、全噴射水量はそれぞれ本表の2倍となる。

(4) 直上噴射時における風下側への広がり

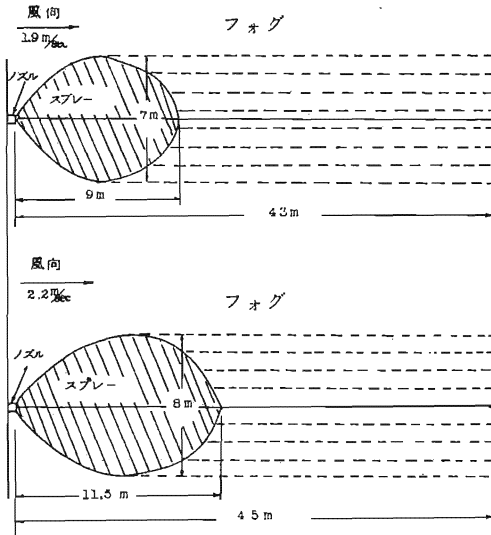
屋外実験における水噴霧分布の測定範囲を定める目安を得るため、地上高1.5mの位置において直上噴射

第2表 A2型ノズルの水噴霧粒子径

ノズル別	ノズル圧力	測定位置(cm)	平均粒子径(μ)
口径 4mmφ 実験用 ノズル	3kg/cm ²	$l_3=45$	130
		$l_2=35$	183
		$l_1=25$	128
	5kg/cm ²	$l_3=45$	238
		$l_2=35$	221
		$l_1=25$	131
7kg/cm ²	$l_3=45$	238	
	$l_2=35$	208	
	$l_1=25$	110	

し、1.9m/sec—2.2m/secの自然風における、スプレーパターンの広がり及び水噴霧粒子の飛散分布の範囲を測定した結果は第5図に示すとおりであった。

第5図



4. 考 察

過去の実験において、水噴霧粒子径が小さいほど放射熱遮断効果及び高湿度雰囲気気の降温効果が大きいことを確認しており、また今回の水噴霧飛散分布の実験においても、広範囲の分布を得るためには粒径の微細が水噴霧を発生するノズルを必要とするため、前記2のとおりノズル噴出口の目詰まり等保守管理の面から、過去の実験等で使用したノズルより口径の大きな4mmφ口径のノズルを選定したことは、粒径の粗大化を促すのではないかと懸念があったが、実測の結果は第2表のとおりで、これは前年度の「水噴霧による温度降下測定実験」で使用したノズルの噴霧粒径 $216\mu\sim 286\mu$ ($5\text{kg}/\text{cm}^2$)と同等に、微細な粒子であった。

また、噴射展開速度 40° 以内(噴射口から50cmの距離における中心からの半径18cm以内の範囲)の粒径は 100μ 以下で、それより外周にいくに従って $100\mu\sim$

250μ と粒径は粗大化した。

次に直上噴射時の風速に対するスプレー形状及び飛散分布の状態をみると、ノズル圧力 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 、風速 $2\text{m}/\text{sec}$ 程度するときにおける有効射程のスプレー部分は、ノズルから風下側に長径 $9\text{m}\sim 11.5\text{m}$ 、短径 $7\text{m}\sim 8\text{m}$ の楕円状(水平面に対する投影形状)に広がり、フォグは風下側 $43\text{m}\sim 45\text{m}$ まで飛散したが、水噴霧の飛散分布を測定するための降水採取可能な限界は、連続30分間放水後、風下側に並べた水噴射採取容器内の採取降水量からみて、噴射位置から風下側 30m までが限界と思われる。

5. 屋 外 実 験

(1) 水噴霧分布測定範囲

基礎実験の結果をもとに、水噴霧の飛散分布測定範囲の風下側距離を 30m とし、風向に対する垂直方向の横幅(水噴霧発生装置の長さ)は本屋外実験が自然風を利用するため、ある程度の風向の変化に対しても継続測定ができるように、風下側距離と等しく 30m とした。

(2) 水噴霧発生装置の流量

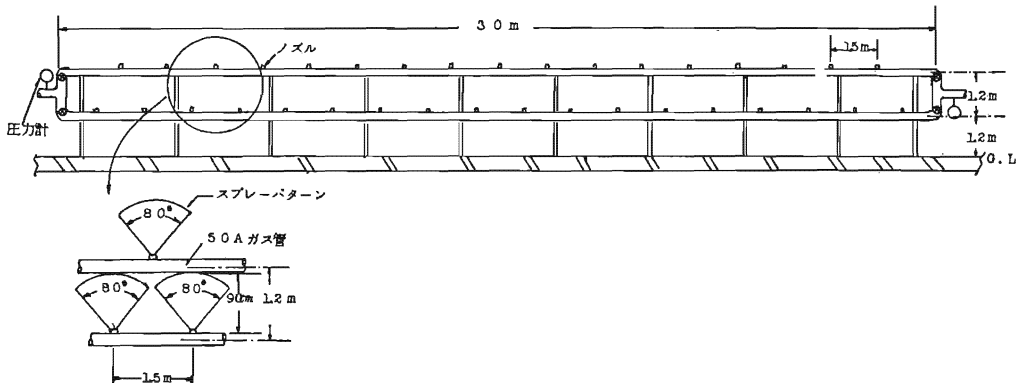
前年度実験で確認したとおり高い雰囲気気温度(71°C)を 33°C 程度に降下させるのに必要な水量は、 1m^2 当り $6.6\ell/\text{h}$ である。そこでこの水量をもとに前記(1)の面積 900m^2 に必要とする水量を求めると $5940\ell/\text{h}$ であるが、この量は全く均一な分布が可能な場合の最少水量であり、ノズル特性に基づく偏向分布及び測定範囲(目的とする防護範囲)外への逸失物を考えるとこの量より増大した量でなければならない。

(3) 水噴霧発生装置

ア 30m型水噴霧発生装置

風向に垂直方向の 30m 幅にわたって噴射する水噴霧発生装置は、前記(2)の水量、基礎実験で確認したA2型ノズルの流量特性、噴射角度、有効射程及び風速に対するスプレーパターンの広がりをもとに第6図に示

第6図



すような水噴霧発生装置（50mm管2連，A2型ノズル合計35個取付）とした。当該装置の噴射水量は第3表のとおりである。

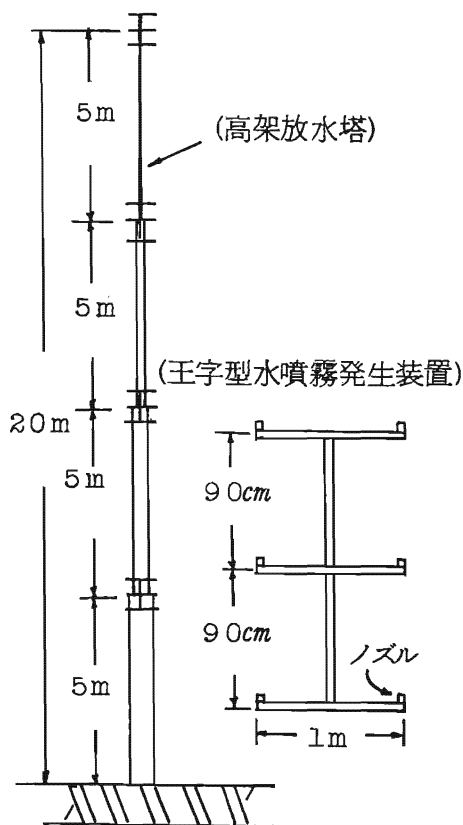
第3表

圧力	流量 l/min	l/h
3kg/cm ²	161	9,660
5kg/cm ²	210	12,600
10kg/cm ²	273	16,380

イ 高架放水塔及び王字型水噴霧発生装置

水噴霧発生装置の噴射地上高の差位に対する水噴霧飛距離の相関を確認するため，第7図に示す高架放水塔を作成し，地上高5m，10m，15m，20mの各位置に王字型水噴霧発生装置（第7図）を取付けた。王字型水噴霧発生装置1基の流量は第4表のとおりである。

第7図



第4表

圧力	流量 l/min	l/h
3kg/cm ²	27.6	1,656
5kg/cm ²	36.0	2,160
10kg/cm ²	46.8	2,808

(4) 実験

ア 実験日時 昭和48年12月13日～24日

イ 実験場所 江東区新木場地先第14号埋立地

30m型水噴霧発生装置を第8図に示すように2基設置し，それぞれの風下側に直径150mm，高さ100mmの水噴霧採取容器を各4m間隔に64個づつ配列した。ノズル圧力は3kg/cm²，5kg/cm²，10kg/cm²の3段階とし，各風速下（自然風）での水噴霧降下量を，配列した容器に採取した。

次に高架放水塔の各位置に取付けた王字型水噴霧発生装置を個々に噴射し，同一風速での水噴霧落下飛距離を測定した。

(5) 実験結果

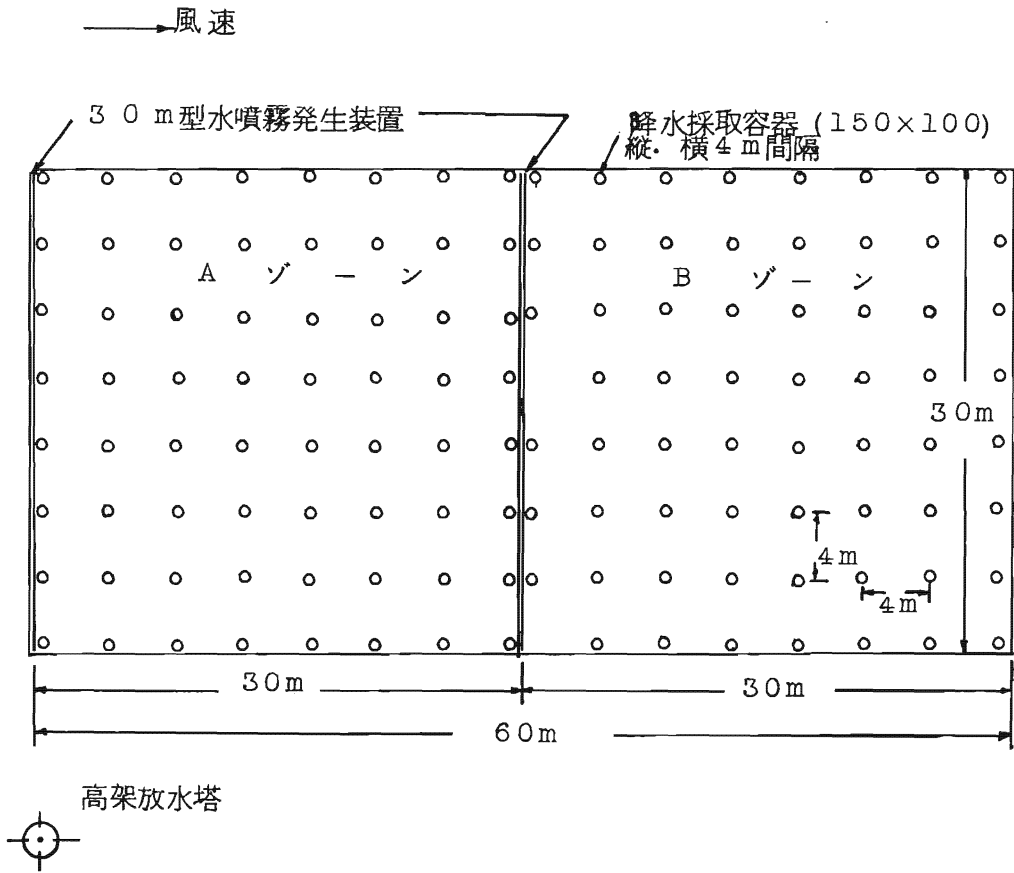
30m型水噴霧発生装置から風下側に飛散分布した降水範囲のうち，前年度実験によって求めた「温度降下に必要な水量，6.6l/m²・hを充足させる範囲を，風速，ノズル圧力別に示すと第9-1図～9-9図（斜線範囲）のとおりである。

また高架放水塔の各噴射位置（地上高5m，10m，15m，20m）における水噴霧の飛距離は第11図および第6表に示すとおりである。

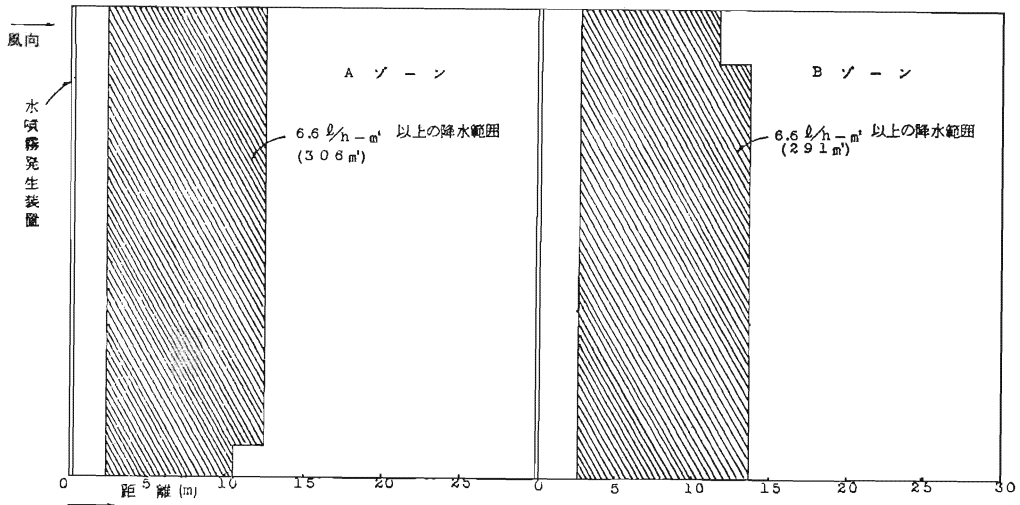
6. 考察

第9-1図は，AゾーンBゾーン双方の水噴霧発生装置を，ノズル圧力3kg/cm²（風速2.5～3m/sec）で同時に噴射したものであるが，前記5-(2)で示した温度降下に必要な水量「6.6l/m²・h」以上の降水量を充足させる範囲（m²）を比較すると，Aゾーンは306m²，Bゾーンは291m²で双方はほぼ同一の結果を得た。また同一条件でAゾーン及びBゾーンの水噴霧発生装置を個別に噴射した場合の6.6l/m²・h以上の降水範囲も，同時噴射時におけるそれぞれの降水面積と比較してほとんど同一であった。したがって，頭初風上側（Aゾーン）の水噴霧発生装置から噴射した水噴霧粒子の微細粒子が，さらに30m風下側Bゾーンの水噴霧発生装置から噴射された水噴霧粒子と重合して，BゾーンにはAゾーンより多量の降水があるのではないかと予測したが，降水量実測の結果ではその傾向はみられなかった。しかし当然にAゾーンからの逸失噴霧粒子が，Bゾーン内に降水することは考えられることで

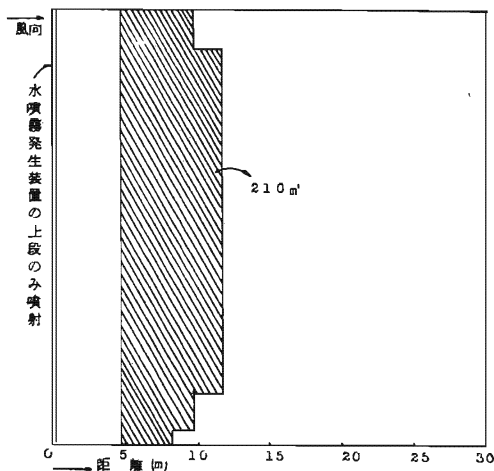
第 8 図 屋外実験装置配列図



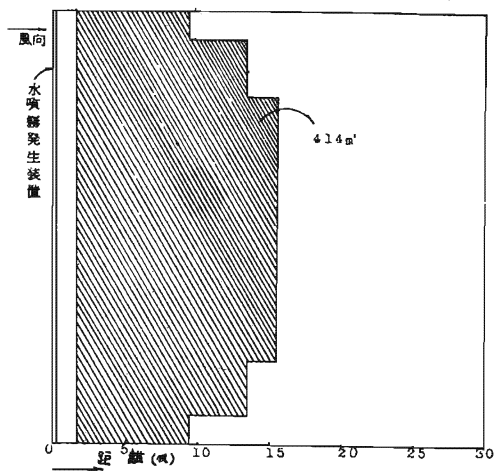
第 9-1 図 (ノズル圧力 3kg/cm^2
風速 2.5m/sec)



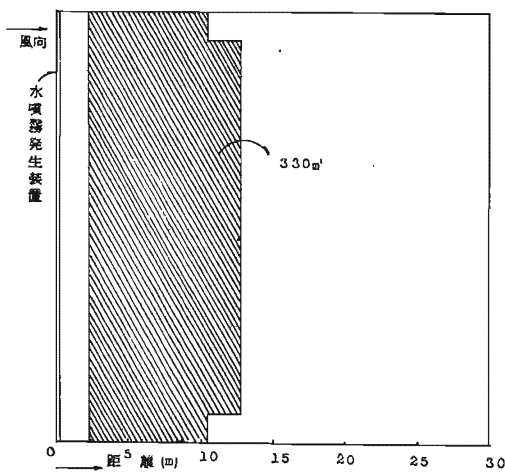
第9-2図 (ノズル圧力 $3\text{kg}/\text{cm}^2$
風速 $2.5\text{m}/\text{sec}$)



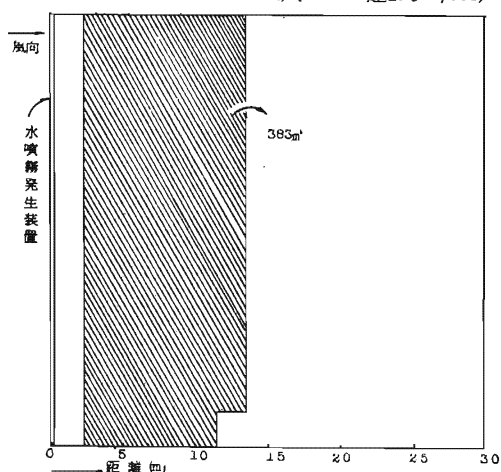
第9-5図 (ノズル圧力 $3\text{kg}/\text{cm}^2$
風速 $7.5\text{m}/\text{sec}$)



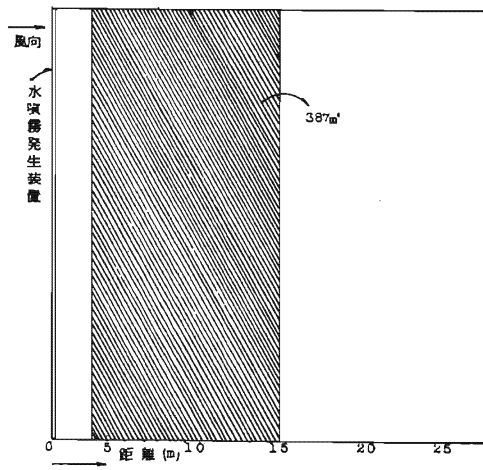
第9-3図 (ノズル圧力 $3\text{kg}/\text{cm}^2$
風速 $3\text{m}/\text{sec}$)



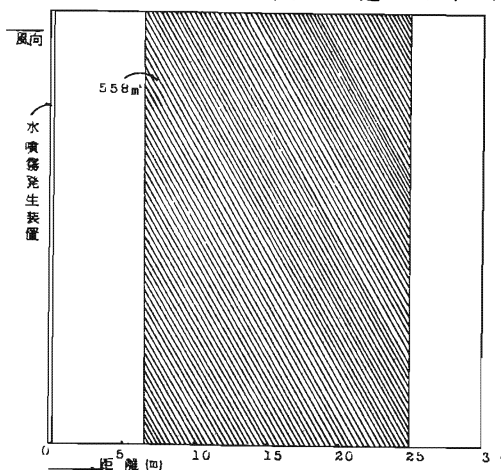
第9-6図 (ノズル圧力 $5\text{kg}/\text{cm}^2$
風速 $2.5\text{m}/\text{sec}$)



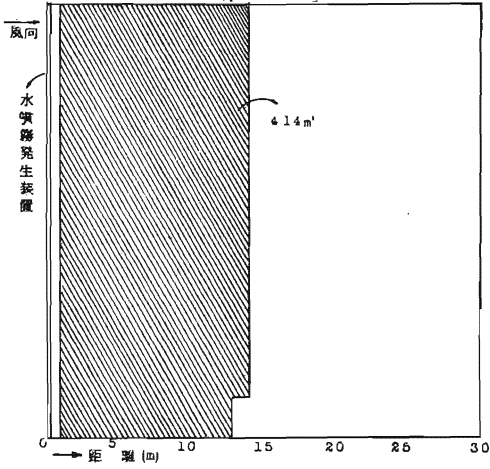
第9-4図 (ノズル圧力 $3\text{kg}/\text{cm}^2$
風速 $5\sim 7\text{m}/\text{sec}$)



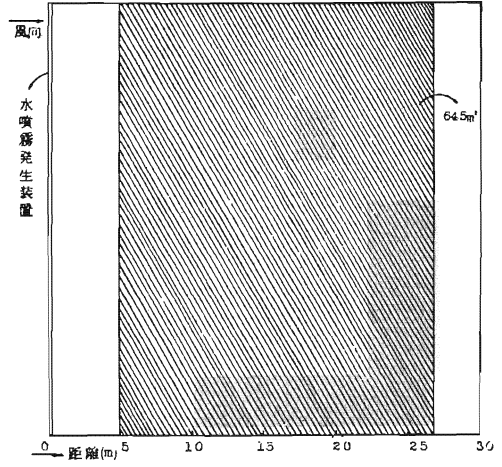
第9-7図 (ノズル圧力 $5\text{kg}/\text{cm}^2$
風速 $5\sim 10\text{m}/\text{sec}$)



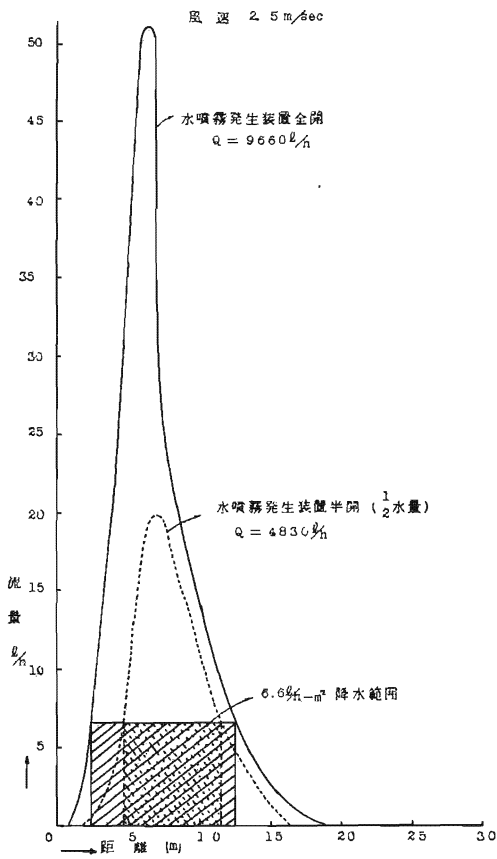
第9-8図 (ノズル圧力10kg/cm²
風速3m/sec)



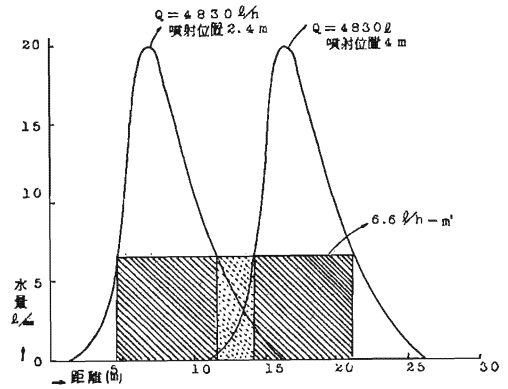
第9-9図 (ノズル圧力10kg/cm²
風速7m/sec)



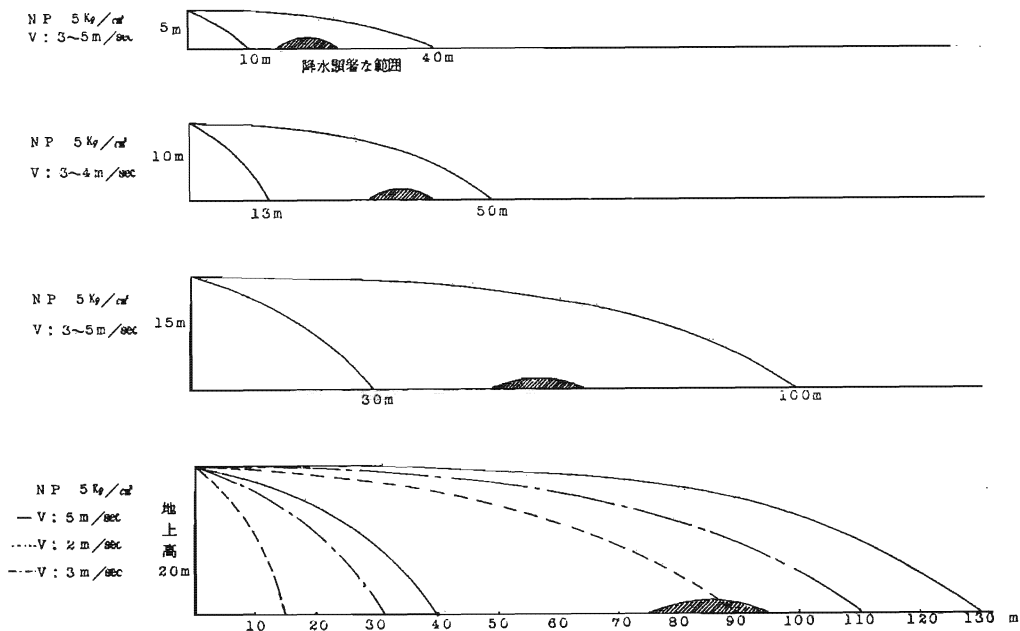
第10-1図



第10-2図



第11図



第5表 ノズル圧力・風速別における降水範囲

ノズル圧力 (kg/cm ²)	流量 (ℓ/h)Ⓐ	風速 (m/sec)	6.6ℓ/h・m ² 以上の降水範囲(m ²) Ⓐ	0.6ℓ/h・m ² の均一分布をしたと仮定した場合の面積 $\frac{Q}{6.6}$ Ⓑ	$\frac{A}{B} \times 100$ (%) Ⓒ	
3	4,830	2.5	210	732	29	
		2.5	306		21	
	9,660	3	330		1,463	23
		5~7	387			26
		7.5	414			28
5	12,600	2.5	383	1,909	21	
		5~10	558		29	
10	16,380	3	414	2,482	17	
		7	645		26	

第6表 高架放水塔による水噴霧飛距離

(風速3.5 m/sec)

噴射位置 地上高(m)	水噴霧降水範囲(m)	降水がもっとも顕著な範囲 (m)
5	10~40	15~25
10	13~50	30~40
15	30~100	50~65
20	40~130	75~90

第7表 水噴霧粒子径200μの場合の落下飛

距離 (風速3~5 m/sec)

落下位置地上高(m)	水噴霧粒子の落下飛距離 (計算値) (m)
5	12~20
10	25~41
15	37~61
20	50~81

あるので、実測値に表われなかったのは測定誤差の範囲に包含されたものと思われる。

またAゾーン及びBゾーン以外に逸失した水量は、各ゾーン内の降水量実測の結果から、風速3m/secにおいては10%、7.5m/secにおいては25%程度であることを確認した。

第9-2図はノズル圧力3kg/cm²(風速2.5m/sec)において、水噴霧発生装置の2連パイプの上段だけを噴射(全水量の2分の1)した場合の6.6ℓ/h・m²の降水量を充足させた範囲を示したものである。第9-1図Aゾーンの場合の半分の水量であるが、降水範囲は3割減程度にとどまっている。

実験期間中の風速は3~5m/secの気象状態が多く、震災時における予想風速8m/secに近い風速下における各噴射圧力での測定実験は4回だけであったが、第9-4図、9-5図、9-7図、9-9図にみるとおり、風速の増大に伴って6.6ℓ/m²・hの降水範囲は拡大している。またノズル圧力のアップ、即ち噴射水量の増大に伴う6.6ℓ/m²・hの降水範囲の拡大もみられるが、噴射水量に対する降水範囲の拡大率はむしろ低下の傾向(第5表)を示している。

第10-1図は、ノズル圧力3kg/cm²(風速2.5~3m/sec)のときにおける水噴霧粒子の降水分布を表わしたものであるが、風下側2mから12~3mの範囲に集中的に降水している状態が表われている。

第10-2図は、前記第10-1図と同一水量(9660ℓ/h)を用い、その2分の1の量(4,830ℓ/h)ずつを噴射位置(地上高)を異にする位置から同時に噴射させ、6.6ℓ/m²・hの降水範囲を拡大させた場合を図示したものである。即ち、同一水量であっても地上高を異にした噴射位置を2箇所設けることによって、6.6ℓ/m²・hの降水範囲を1.6倍強に拡大させることが可能となるわけである。

第5表は以上の結果をまとめたものであるが、噴射水量の総量が、「6.6ℓ/m²・hの量で平均分布したと仮定した場合の面積」に対する6.6ℓ/m²・hを充足させた「実測面積」の割合(第5表C欄)が25%前後であるということは、噴射地上高が一定(地上高1.8m程度)の場合は、温度降下に必要な最少水量「6.6ℓ/m²・h」の約4倍の水量が必要となることを示しているといえる。

第6表は第7図に示した高架放水塔を用い、風速3~5m/secのときにおける噴射地上高別の水噴霧粒子の降水範囲(噴射位置から水平方向の落下飛距離、第11図)の実測値を示したものである。

第7表は前記第2表のA2型ノズルの平均粒子径から、噴射圧力5kg/cm²のときの水噴霧粒子の平均粒径

200μをもとに、落下飛距離(水平距離)を、下記に示す自由落下の式から求めた計算値を示したものである。

$$Vc = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \delta}{\eta} (1 - \frac{\rho}{\sigma}) g$$

Vc: 落下速度
r: 粒子半径
δ: 粒子の密度
ρ: 空気密度
g: 重力の加速度
η: 空気の粘性係数

降水がもっとも顕著な範囲の実測値と計算値は、おおむね近似した値を示している。このことは目視観測の限りでは、フォグ状になって風下側へ均一な拡大分布をなすかみえる水噴霧粒子が、降水実測の結果では、限られた狭い範囲に集中降水する(第10-1図)ことでもわかるとおり、水噴霧粒子の落下飛距離は、ノズルから発生した水噴霧粒子の平均粒子径によって決定され、同一規模の粒子が多いほど風下側同一距離の範囲に集中降水するものと考えられる。したがってより均一な水噴霧分布を図るためには、水噴霧発生装置を同一地上高だけでなく、逐次高い位置数箇所設けることによって可能である。

即ち均一分布の範囲は、地上高の異なる噴射位置を密にすることによって比例的に拡大できるといえる。

換言すれば、避難場所の水噴霧により防護すべき範囲が定められれば、使用ノズルとその噴霧粒子径から震災時予想風速をもとに、水噴霧発生装置の噴射位置とその数を決定できることとなる。

7. あとがき

水噴霧発生装置を避難場所、防災拠点等に具体化させるには、いずれの風向にも効果を持たせるために四囲に設置することを要するであろう。さらに設置位置を防災拠点上に考えると拠点直上部では風下側へ上昇気流を生じ、拠点内部では風の渦流(昭和45年度実験結果による)が生ずるため、水噴霧の飛散分布の範囲は拡大するであろうと推定されるが定かではない。したがって具体的に防災拠点内等に有効な水噴霧発生装置を設置する場合においては、地域性、周囲の建物構造および恒風等の諸条件を加味した即地的補足実験が必要である。