

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

本研究は大震災火災時において火災が多発し、合流火災になつた場合の避難する人々の避難道路や避難場所の安全の確保と、消防隊の消火作業等を容易にするための一連の研究である。

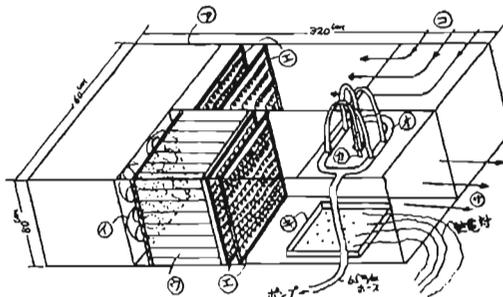
水噴霧による防護効果は、合流火災源から放出される放射熱をしや断することと、熱気流によつて上昇した雰囲気温度を降下させることにあるが、前者については前年度に実施し一応防護の効果を確認したので、今年度は水噴霧による温度降下効率を確認するために、下記に示すとおり第一実験と第二実験に分けて実施した。

2 第 一 実 験

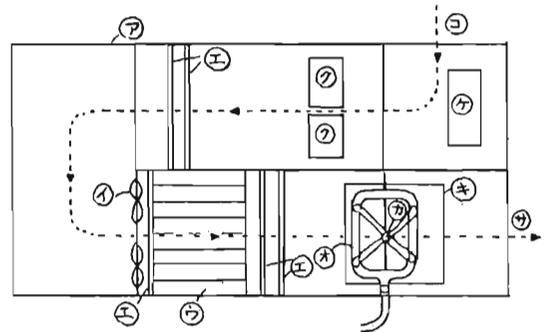
(1) 実験概要

第一実験は単位水量当りでの温度降下効率をみるために、任意の熱風を得られる風洞を作成しこの風洞内に500分の1の模擬防災拠点を設定、風洞内に温度60~90℃、風速1 m/sec~2 m/secの熱風を発生させ、模擬拠点上部30cmの位置に取付けたノズルで水噴霧を噴射させて、模擬拠点内の温度降下状況を見る。

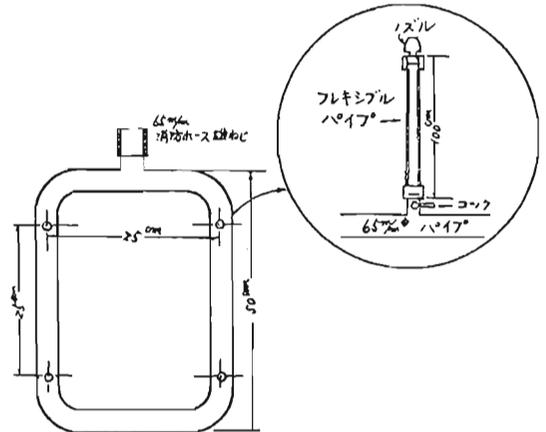
第1図 ア. 風 洞



イ. 風洞平面図



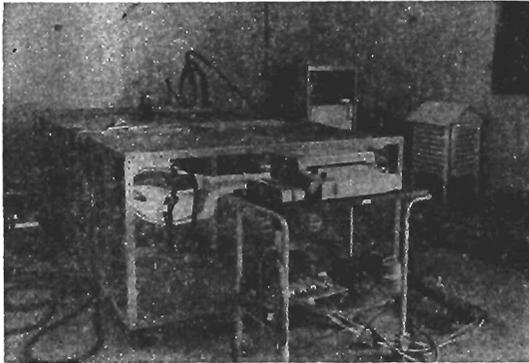
ウ. 水噴霧発生環



- ⑦ 風洞本体、全長3.2m、幅1.6m、高さ0.8m
- ① 送風用ファン、100V、80W、有圧扇4個
- ② 整流筒、10cm f × 50cm 64本
- ③ ニクロム線、100V用1 kW13本、500W 5本
200V用500W 5本
- ④ 水噴霧発生装置
- ⑤ ノズル
- ⑤ 模擬防災拠点、縮尺1/500 60cm × 60cm × 6cm
拠点内温度測定点、20点

- ② 石油ストーブ
- ⑦ ガスストーブ
- ⑨ 空気吸入口
- ⑩ 熱風排出口

写真1 実験装置



(2) 実験期間

昭和47年10月～昭和47年12月

(3) 実験場所

東京都渋谷区幡ヶ谷一丁目13番地20号
東京消防庁消防科学研究所，総合実験室

(4) 実験装置

(5) 風洞内高温の作成

温度降下に必要な水量を求めるための当初の雰囲気温度は、当研究所が過去（昭和43年～45年）に実施した模擬防災拠点の屋外実験で得た拠点内温度上限の71°Cを根拠として、風洞内の温度を60°C、70°C、80°C、90°Cの4種類とし、各温度の低・高温の調節はヒーター電源の一部切断とスライダックによる電圧調整によつて行なつた。

(6) 使用ノズル

水噴霧の噴射ノズルは、前年度の放射熱しや断実験で使用した同型式のセルジェットノズルのうち噴射量の少ない下記の6種類とした。

第一表

| ノズルNo.型式 | 噴量(ℓ/min at kg/cm ²) | | | ノズル圧力3 kg/cm ² 時の噴角 |
|------------|----------------------------------|------|------|--------------------------------|
| | 3 | 5 | 7 | |
| 1 (K80125) | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 80° |
| 2 (K 010) | 0.10 | 0.13 | 0.15 | 57° |
| 3 (K 020) | 0.20 | 0.25 | 0.29 | 75° |
| 4 (K 030) | 0.30 | 0.38 | 0.45 | 70° |
| 5 (J 020) | 0.48 | 0.62 | 0.73 | 50° |
| 6 (K 040) | 0.89 | 1.10 | 1.42 | 60° |

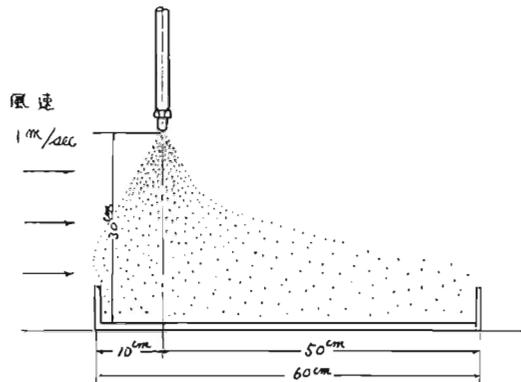
(7) 実験

ア 水量の測定

風速1～2m/secの風洞内に噴射した噴霧粒子は、粒子が微細なものほど風下側に飛散してしまうので、ノズルから吐出された水量のすべてが風洞内模擬拠点の温度降下に消費されたものとみることはできない。そこで実際に温度降下に消費された水量をとらえるために第一表の各ノズルを用い、それぞれのノズルの3 kg/cm²、5 kg/cm²、7 kg/cm²の圧力での水噴霧分布を第3図に示すように拠点内に配列した17個のシャーレーに採取し、水量を測定した。

なお本測定時の風洞内風速は1 m/sec、風洞内温度は加熱せず当日の雰囲気温度（17°C）とし、ノズルの噴射位置は拠点上部30cmの位置で、水噴霧が拠点内に有効に噴射されるように拠点中央より風上側（第2図）とした。

第2図



各シャーレーの採取量の平均値をとり、1 m²当りの降水量を算出した結果は第2表に示すとおりである。

イ 風洞実験

風洞内熱風速1 m/sec及び2 m/sec、ノズル圧力3 kg/cm²、5 kg/cm²、7 kg/cm²（流量は第2表）における各ノズル別の当初雰囲気温度60°C、70°C、80°C、90

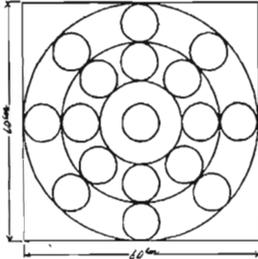
第2表 風洞内拠点上の平均降水量(m²当りml/min)

| ノズルNo.型式 | ノズル圧力 | | |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 3 kg/cm ² | 5 kg/cm ² | 7 kg/cm ² |
| 1 (K80128) | 100 | 126 | 148 |
| 2 (K 010) | 241 | 313 | 361 |
| 3 (K 020) | 527 | 659 | 764 |
| 4 (K 030) | 969 | 1,227 | 1,453 |
| 5 (J 020) | 1,274 | 1,646 | 1,938 |
| 6 (K 040) | 3,079 | 3,975 | 4,703 |

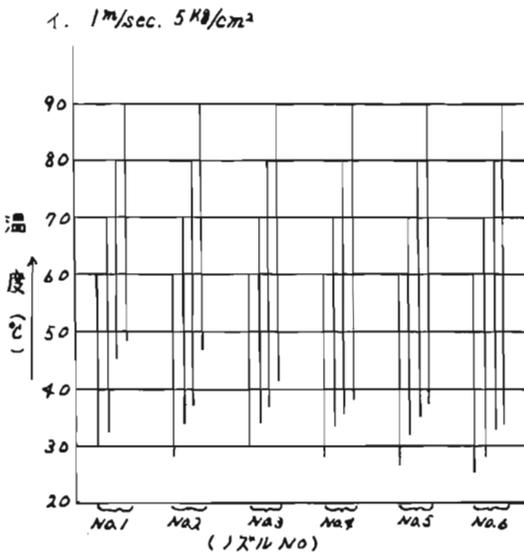
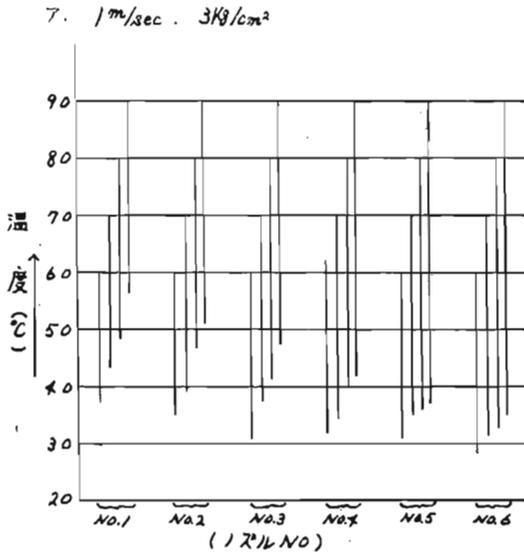
°Cに対する温度降下の状況を見た。

なお風洞内拠点上 (0.4cm)の当初の雰囲気温度並びに水噴霧噴射後の降下温度は、第3図に示した拠点内

第3図 拠点内シャーレー配列図



第4図

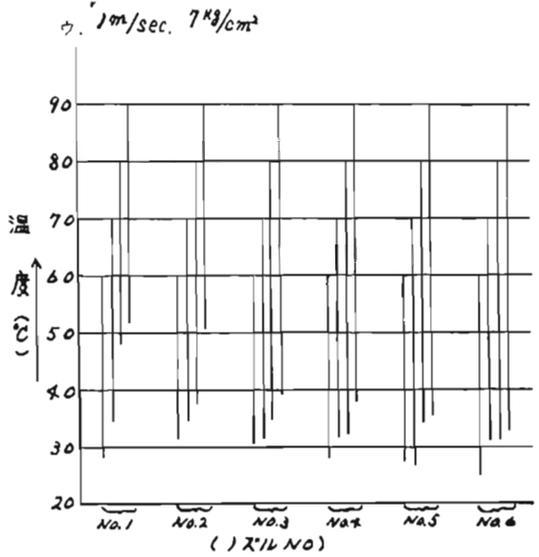


シャーレーの配列位置中央の17点のほか、3点を加えた20点の温度測定値の平均値をとつてその温度とした。

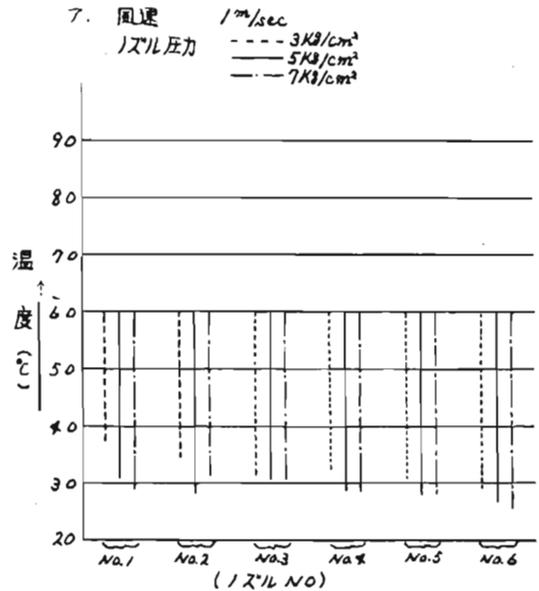
(8) 実験結果

ア、各雰囲気温度に対するノズル別、ノズル圧力別の温度降下状況は第4図のとおりである。

イ 比較を容易にするために当初温度60°C, 70°C, 80°C, 90°Cごとに温度降下状況を示すと第5図のとおりである。

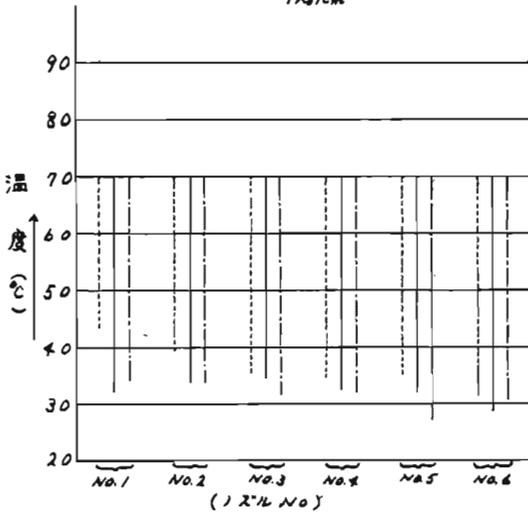


第5図



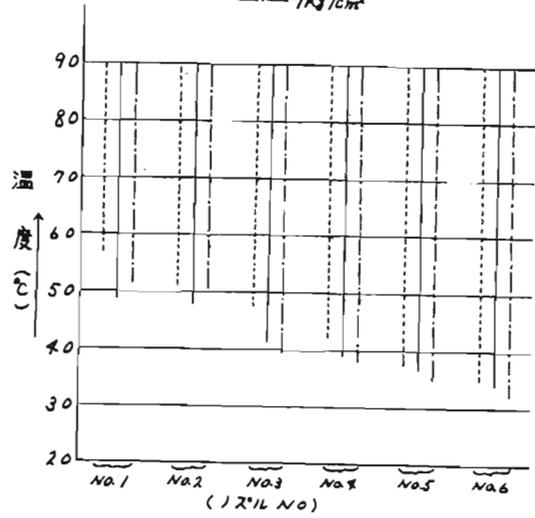
イ. 風速 1 m/sec

ノズル圧力
 ----- 3kg/cm²
 _____ 5kg/cm²
 - - - - - 7kg/cm²



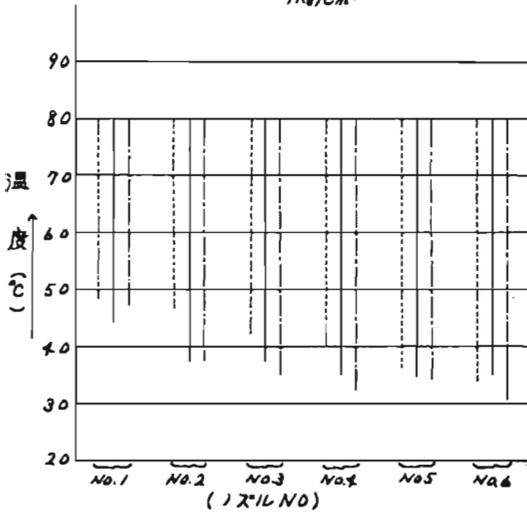
エ. 風速 1 m/sec

ノズル圧力
 ----- 3kg/cm²
 _____ 5kg/cm²
 - - - - - 7kg/cm²



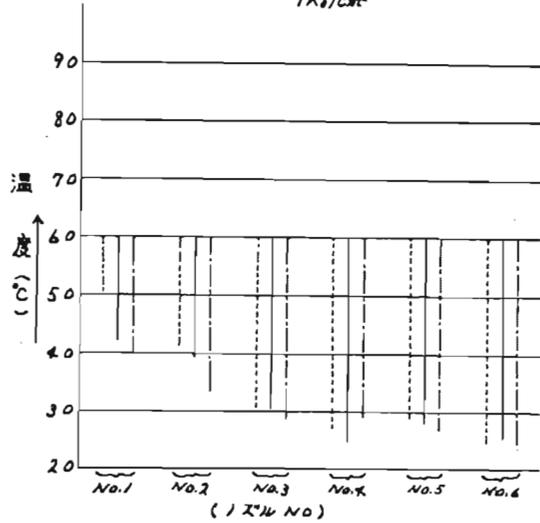
ウ. 風速 1 m/sec

ノズル圧力
 ----- 3kg/cm²
 _____ 5kg/cm²
 - - - - - 7kg/cm²



エ. 風速 2 m/sec

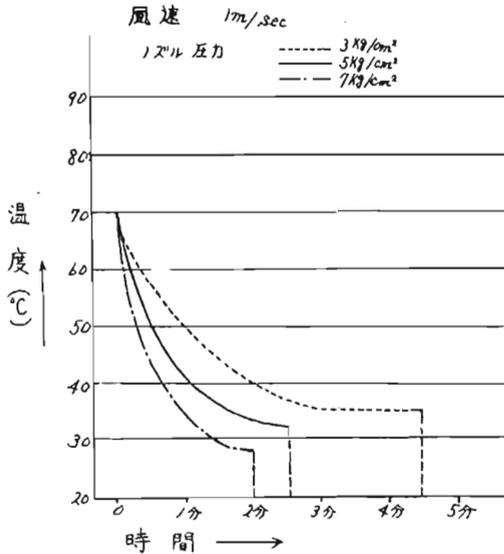
ノズル圧力
 ----- 3kg/cm²
 _____ 5kg/cm²
 - - - - - 7kg/cm²



ウ 最低温度到達時間

前図(第4, 第5図)は比較の便宜上水噴霧放水2分30秒後の最低温度をもつて, そのノズル型式, 圧力での水量における最低温度として示したものであるが, 水量が少ない場合は温度降下が緩慢で時間を要し, 水量が多いほど最低温度到達時間は短い傾向を示した。そこで1例として1 m/sec, 当初温度70°Cにおけるノズル型式 No.5 の場合の温度降下の状況を示すと下図のとおりである。

第6図



3 考 察

本実験は「水量に対する温度降下の割合」を確認することを目的としたものであるが, 前述のとおりノズル位置を噴霧ノズルのスプレーパターンが拠点面積いづばいに広がる位置, すなわち拠点上30cmの位置としたため, 水噴霧(水温17°C)がそのまま拠点内の温度降下に役立つとは思われず, 拠点に到達するまでの空間(拠点直上よりさらに温度が高い)ですでに周囲の熱を奪い, 拠点に到達する時点では一部は蒸発してしまい, また水噴霧の大半は当初の水温17°Cの噴霧粒子より温度上昇した水噴霧粒子であったと思われる。したがって本風洞実験での温度降下に要した水量は, 防災拠点囲壁上部から直接拠点内に水噴霧を噴射し, 拠点内だけの温度降下に消費させる水量より増大した水量とみなければならぬと思われる。

次に温度降下の状況をグラフでみると, 当然に水量(同一圧力での)が多いほど降下最低温度は低く, 当初の水噴霧噴射前の雰囲気温度が高いほど噴射後の降下最低温度も高いことがはつきり表われている。しか

し噴霧水量が2倍または10倍に増加しても降下最低温度はその比では低下せず, 徐々に最低温度差は少なくなっている。このことは防災拠点内の温度をかりに33°C前後に温度降下させることを目標におけば, 当初温度の想定によつて必要最少限度の水量を求める目安となることを示し, それ以上に水量がどんなに増大しても温度降下は水量の増大ほどには効果がないことを示していると考えられる。また同一水量での降下最低温度は当初の温度に左右されるが, 最低降下温度の差は当初温度の差より小さく, 水量が増大するほど最低降下温度の差は少なくなっている。図5は当初の雰囲気温度ごとに各水量での温度降下状況を示したものである。同一ノズルでは水圧が高いほど流量が増大するので温度降下効果も大きいのが当然であり, このことはグラフの上にも表われている。しかし, 各ノズルの流量は第2表に示したとおりおおむねノズル No., ノズル圧力順に増大しているが, 図5各グラフの温度降下状況を見ると流量の大小の順で温度降下せず, 流量が少なくてもノズル圧力の高いほうが温度降下効率が大きい。このことは圧力が高く水噴霧粒子が微細であるほうが少々の水量の増大より温度降下効率が大きいことを示すものであろう。

図6は同一ノズルの圧力別による最低温度到達時間の一例をグラフで示したものである。この図でもみられるように流量が増大(この場合は圧力増による増大)すれば降下最低温度が低くなり, 最低温度到達時間も短くなることわかる。今回実施したすべての実験についてこの到達時間をみると, その時間はおおむね2分~4分30秒程度で, わずかなバラツキはみられるが, ノズル型式の変化による水量増大の場合も同様に最低降下温度の低下とあわせて, 最低温度到達時間も短くなる傾向ははつきりと表われている。

しかし, 実際の問題としては最低降下温度の「温度」自体が問題なのであつて, 温度降下に要する時間差の1~2分間は, さしたる影響を与える問題ではないであろう。さらに風洞内熱風速2 m/secの場合(図5, オ)については風速が2倍になるため風洞内温度を60°Cに保つのが限界であつた。したがつて, 当初の雰囲気温度が60°Cの実験だけで終つたが, 1 m/secの場合(図5, ア)と比較して噴霧水量の少ないノズル, No.1, No.2 (m²当り100ml/min~361ml/min)の場合については温度降下効率がきわめて低く, 最低降下温度に平均9°C程度の開きがみられる。しかし噴霧水量が527ml/min(ノズルNo.3~No.6)以上の場合についてはほとんど差がなかつた。前述のとおり熱風速2 m/secについては当初の雰囲気温度は60°Cのみの実験に終つたが, この実験は水噴霧放水前の当初温度の高低

(60°C~90°C)が及ぼす水噴霧放水後の降下温度の差異もさることながら、それにも増して熱風速による影響も甚大であることを示してくれた。

また風洞内拠点上に水噴霧放水後、水ぬれの状態で熱風を送つても、床面の乾燥が終わるまでは拠点内の温度上昇はきわめて緩慢だった。これは床面の水分が蒸発を終るまで拠点内温度を気化潜熱に奪うためである。したがって、本風洞実験を継続して実施するに当っては、各実験の終了ごとにたんねんに拠点床上的の水ぬれを拭きとることが必要であった。このことは裏を返せば、水量に制約がある場合は拠点床面上が湿潤した時点で放水を一時停止する等、間けつ的な放水（もちろん連続放水には比すべくもないが）でも相応の温度降下効果は期待できることを示すものである。

以上の考察をふまえて本第1実験結果を要約する

と、当初温度を70°C、降下最低温度を33°C前後と想定すればノズル圧力5 kg/cm²の場合1 m²の当りの水量は126 ml/min以下で足りるといえる。

4 第二実験

(1) 実験概要

風洞実験で確認した当初の雰囲気温度を70°Cから30°C程度に温度降下させるのに要する「水量」を目安として、規模を拡大し、自然風10~12 m/secの条件下で屋外実験を行なつたものである。

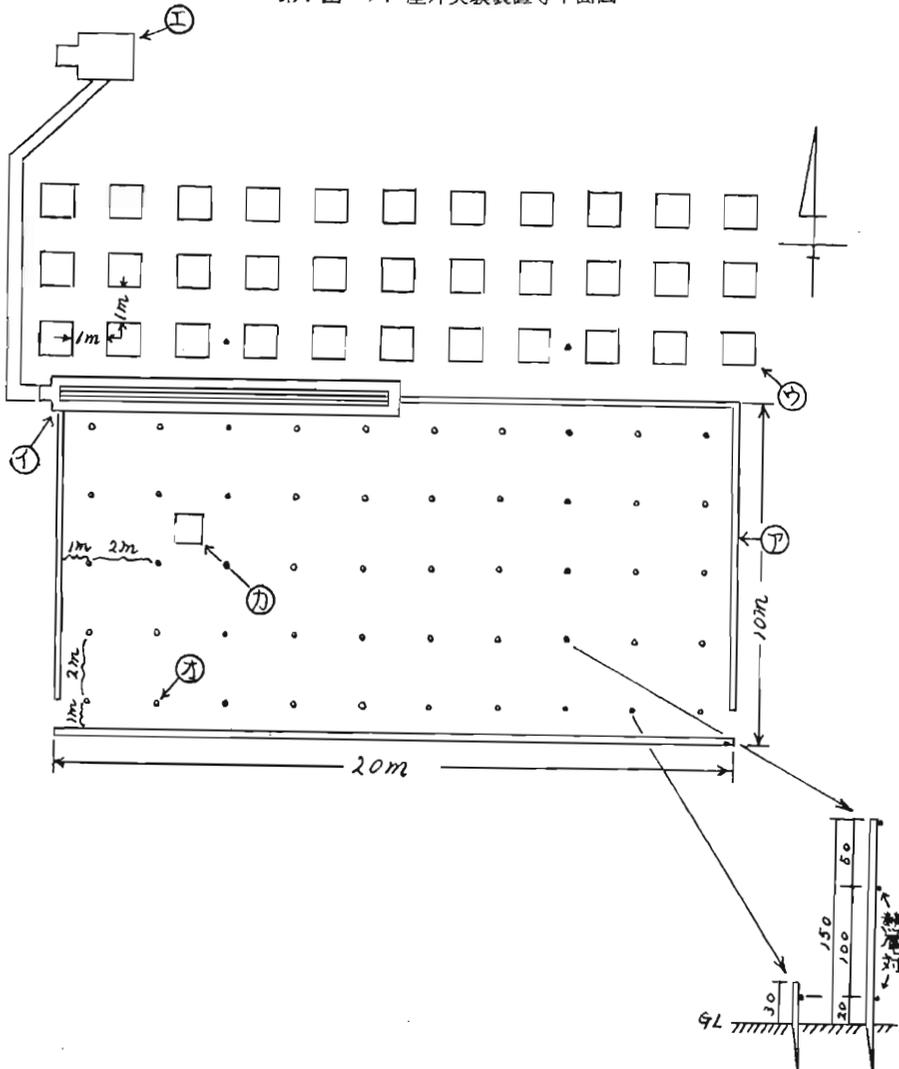
防災拠点囲壁の規模は実規模の20分の1程度とし、合流火災源は囲壁北側にオイルパンを配列、一せい点火させた。

水噴霧発生装置は囲壁北面上部半分に取付けた。

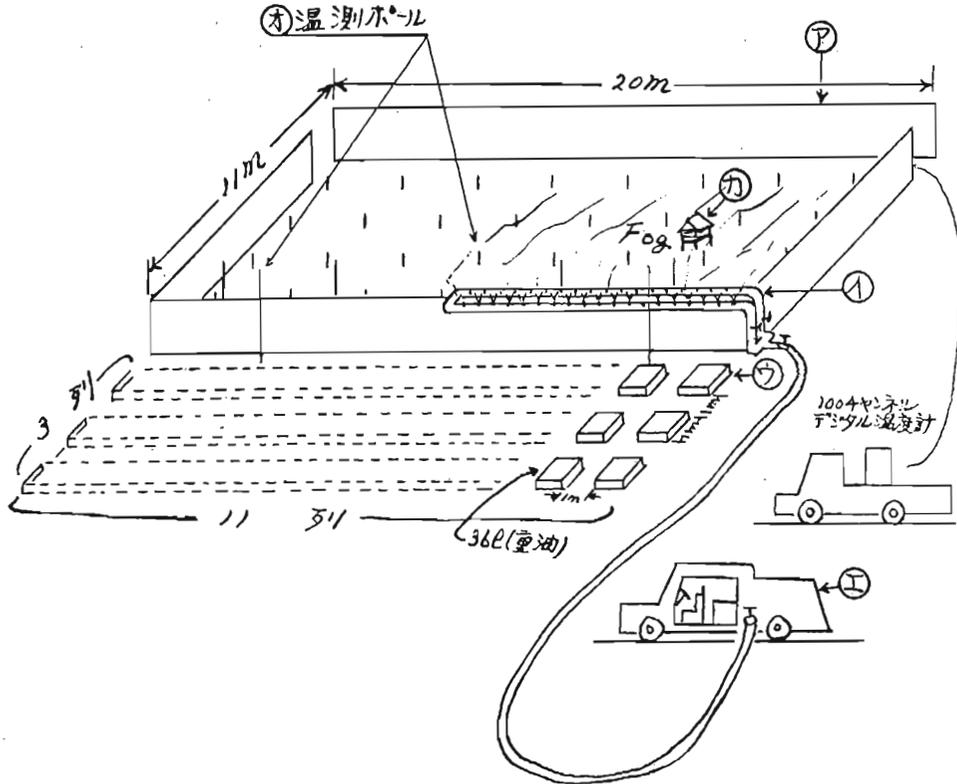
(2) 実験日時

昭和48年2月2日(金) 午前10時~正午

第7図 フ. 屋外実験装置等平面図



イ. 屋外実験見取図



(3) 実験場所

東京都江東区，東京湾埋立地第14号の1先

(4) 実験装置 (第7節)

① 防災拠点囲壁

石綿ストレート板 (フレキシブルボード) 製。縮尺: 実規模1/20, 長辺20m, 短辺10m, 高さ1.5m

② 水噴霧発生装置

水噴霧発生管 (1 1/2" f), 全長10m 2連

ノズル型式: 1/4K050セルジェットノズル

流量: 3 kg/cm² 時 0.5m³/min, 5 kg/cm² 時 0.64m³/min, 7 kg/cm² 時 0.76m³/min

ノズル数: 水噴霧発生配管1本当たり16個 (60cm間隔), 2連合計32個

③ オイルパン (33個)

1m × 1m × 15cm, 1個当りの燃量 (重油40ℓ)

④ 水槽付ポンプ車

⑤ 温度測定装置

温度測定点: 拠点内80点, 拠点外6点合計86点

⑥ 湿度測定点

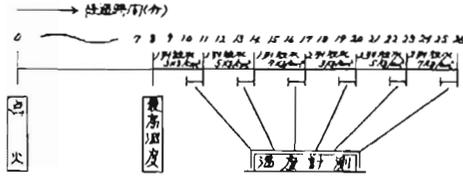
(5) 実験

前(4)③に掲げたオイルパンにA重油 (ほかに点火用としてガソリン各1ℓ) を注ぎ, 図7に示すとおり囲壁北側に配列しニクロム線ヒーターで一せいに点火し

第3表 水噴霧発生装置噴射水量

| ノズル圧力 | 放水態形 | 流量 |
|----------------------|------|------------|
| 3 kg/cm ² | 1列放水 | 8.0 ℓ/min |
| | 2列放水 | 16.0 ℓ/min |
| 5 kg/cm ² | 1列放水 | 10.2 ℓ/min |
| | 2列放水 | 20.4 ℓ/min |
| 7 kg/cm ² | 1列放水 | 12.4 ℓ/min |
| | 2列放水 | 24.0 ℓ/min |

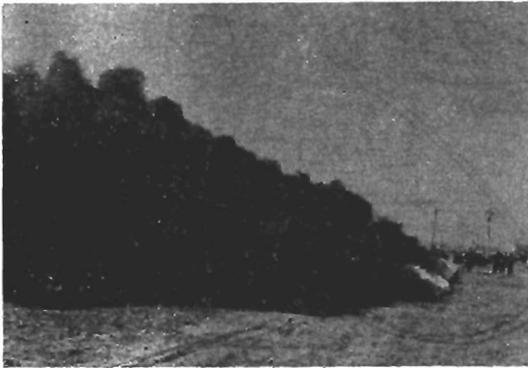
た。拠点内温度測定点80点の温度上昇を計測器で確認し, 拠点内温度がおおむね平衡を維持した時点 (点火後約8分, 温度71.3°C) で, 水噴霧発生装置で放水した。放水の態形は1列放水, 圧力3 kg/cm², 5 kg/cm², 7 kg/cm², 2列同時放水, 圧力3 kg/cm², 5 kg/cm², 7 kg/cm²の6通りとし, それぞれの放水時間は, 放水開始後最低降下温度に到達 (計測器で確認) する時間 (約2分間) にデジタル温度計が86点の記録を終了するまでの1分間を加えた3分間とした。なお前記各放水態形の切り替えは下記のとおり, 3分間放水毎に連続的に行なつた。



当時の気象は北北西～北風の風10～12m/sec, 気温8℃, 湿度25%であつた。

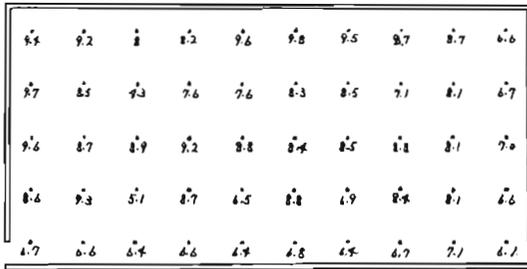
なお水噴霧放水中の拠点内湿度は90%に達した。

写真2

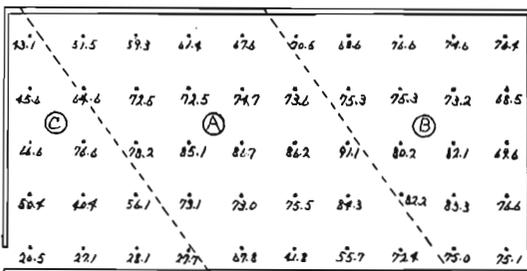


(6) 実験結果等は下図のとおりである。

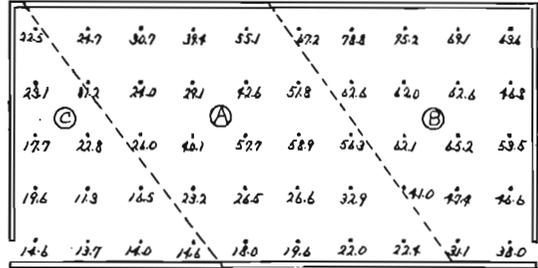
第8図 ア. 点火前の拠点内温度分布図



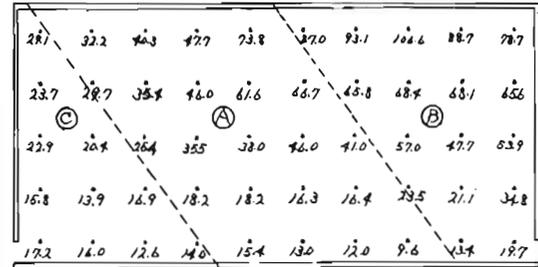
イ. 点火後7分～8分, 最高温度分布図



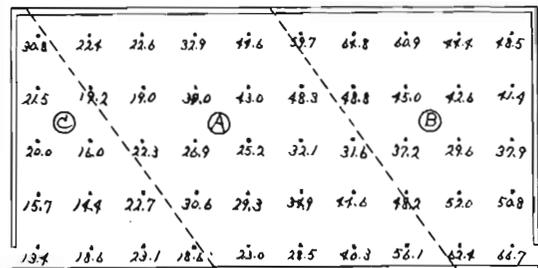
ウ. ノズル圧力3kg/cm², 1列放水後の温度分布図



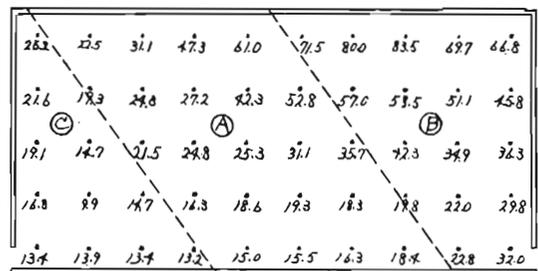
エ. ノズル圧力5kg/cm², 1列放水後の温度分布図



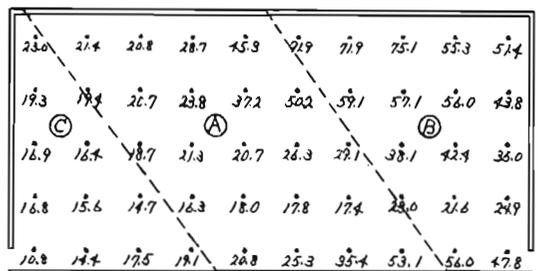
オ. ノズル圧力7kg/cm², 1列放水後の温度分布図



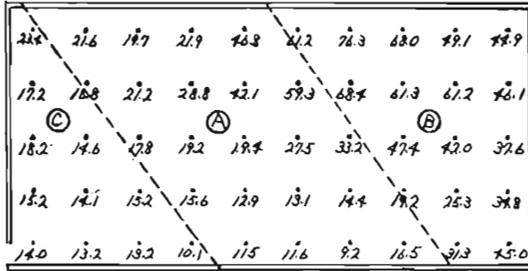
カ. ノズル圧力3kg/cm², 2列放水後の温度分布図



キ. ノズル圧力5kg/cm², 2列放水後の温度分布図



ク. ノズル圧力7kg/cm², 2列放水後の温度分布図



5 考 察

屋外でしかも実験規模が大きいという制約から、風洞実験のように各実験毎に拠点内雰囲気温度を想定した温度に作成してから放水を開始する方法がとれないため、拠点上半分だけに放水できる水噴霧発生装置を取り付け、水噴霧による温度降下効率は水噴霧のかからない拠点内他の半分と比較することとして実験をすすめたのであるが、前述のとおり実験当日の気象条件は荒天であつて、真北に面した拠点囲壁に対し風速10 m/sec以上の北北西ないし北西の強い風が吹いていたため、拠点内左右を対象した温度降下効率の比較が不可能となつた。すなわち図8, (イ)の拠点内最高温度分布でみるとおり、熱風による影響の少ないと思われる西側部分(C)の温度分布がかなり低い結果にとどまつたからである。

したがつて、本実験結果の考察はきわめてむづかしいが、まず水噴霧による温度降下効率を比較でとらえる際の第一段階として、水噴霧のかかつた範囲とかからなかつた範囲を、当初の最高温度を示す図8, (イ)と水噴霧放水後の図8, (ウ)以後との比較で探すと、放水後の温度が拠点内総体にわたつて温度降下しているが、風向にあわせて示した「A」の範囲(図8, (ウ))の温度降下がもつとも著しい。したがつて、この部分に水噴霧がかかつたことが確認できる。また「B」、「C」部分の温度も幾分降下しているが、これは風の乱れによつてこの部分にも水噴霧の一部が飛散したか、A部分の温度降下による影響を受けて降下したかまたその双方の影響であるか等が考えられるが定かなことはわからない。そこでまず「A」部分を水ぬれによる温度降下の「範囲」とし、当初の拠点内左右対象の比較法に代る方法としてこの「範囲」の温度降下と図8, (イ)の放水前の最高温度との比較によつてみることにしその結果をまとめると表4のとおりである。また比較のためにB部分の温度も付加したが、C部分の温度は図8, (イ)でみるとおり風向の影響で当初温度自体が低いのでカットした。なお放水前(図8, イ)A部分の平均温度71.3°Cに対してB部分は75.5°Cであり、当初温度においてすでに平均5°C高かつた。これも風向による熱風の影響であろう。図によつて総体的に右側部分が温度が高いことがうかがえる。

第4表

単位 °C

| 測定場所 | 放水態形及び圧力 | | 1列放水 | 1列放水 | 1列放水 | 2列放水 | 2列放水 | 2列放水 |
|---------|----------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 放水前最高温度 | | 3 kg/cm ² | 5 kg/cm ² | 7 kg/cm ² | 3 kg/cm ² | 5 kg/cm ² | 7 kg/cm ² |
| 拠点内平均温度 | A | 71.3 | 34.2 | 33.5 | 32.6 | 27.6 | 26.7 | 22.8 |
| | B | 75.5 | 57.3 | 58.6 | 49.5 | 48.5 | 48.8 | 48.2 |
| 拠点外平均温度 | | 644.0 | 762.0 | 651.0 | 668.0 | 647.0 | 743.0 | 640.0 |

拠点外温度は囲壁北側第一列目のオイルバンの位置の中央から左右対称にポールを立てて測定した6点の温度平均値である。この拠点外温度の最低と最高温度に120°C程度の差がみられるが、これは燃焼させた重油の発生熱量に変化があつたためとは思われぬ。むしろ自然風の息による温度測定点に接する炎の動きによるものであろう。さらに第4表に基づいて放水後の温度降下を考察すると、放水態形が2列5 kg/cm²時の温度降下がやや鈍いが、その他についてはおおむね水量の増加にもなつて温度降下も大きくなつていくことがわかる。

屋外実験の水噴霧の放水は、前述のとおり放水態形を替えながら連続して放水したために、各放水態形の放水前の当初温度は知るすべがないのであるが、重油燃料の燃焼性から考えてはほぼ同様の熱量を継続的に拠点内に与えたと考えても不自然ではないであろう。しかし連続放水であるために第2回目の1列5 kg/cm²放水以後の温度降下については、前回の放水で温度降下したその状態に継続して放水しているので、放水後の温度降下を単にその時の放水のみによるものであるとは決められないが、水量は逐次増加する順で放水したものであり、また風洞実験(第1実験)での傾向と

もあわせ考えて、その時の放水量と同一の量を継続して放水すれば第5表の各放水態形での最低温度に到達することは容易に推定できる。したがって第4表A欄の降下最低温度は、その時の水量のみによる降下温度と考えていいであろう。放水量のすべてが前記図のA部分だけに落下したものと仮定して、A部分の面積から1㎡当りの降水量を算出して㎡当り水量に対する温度降下状況を示すと下表のとおりとなる。

第5表

| 放水態形 | ノズル 圧力 | 1㎡当り放水 量/分 | 放水前の温 度 | 放水後の温 度 |
|------|---------------------|---------------|------------|------------|
| 1列放水 | 3kg/cm ² | 80ml | 71.3°C | 34.2°C |
| ” | 5kg/cm ² | 102ml | 推 | ” |
| ” | 7kg/cm ² | 121ml | | ” |
| 2列放水 | 3kg/cm ² | 160ml | | ” |
| ” | 5kg/cm ² | 205ml | 定 | ” |
| ” | 7kg/cm ² | 242ml | | ” |

すなわち、当初の雰囲気温度を71°C、降下最低温度を33°C前後と想定すれば、ノズル圧力3kg/cm²において1㎡当りの水量は80ml/min以下で足りると考えられる。これは20,000m³(200m×100m)程度の避難場所に対して、流量500ℓ/minのノズル3本程度の「量」(全面積に有効に散水するにはそれに即した水噴霧発生装置を要するが)である。しかし実際には、水噴霧の飛散逸失分と雰囲気温度のより高い場合等を考慮して、この水量より多量の水量が必要であると思われる。

6 あとがき

人体が高温の環境に対して長時間耐えられる温度

の上限は、湿度の高低による影響が大きいため一概には定められないが、もつとも条件の悪い湿度100%の場合を考えると33°C程度とされている。すなわち大震災等の避難場所等の温度は、水噴霧の放水による湿度の上昇を考えるとおおむね33°C以下でなければならないわけであるが、本実験を通じて、熱気流等によつて上昇した雰囲気温度は放水することによつて33°C、もしくはそれ以下に降下でき、また当初温度が90°C程度の高温度であつても、水量の増加によつて温度降下が可能であることを確認した。

風洞実験結果(各グラフ)と、表5(屋外実験)の比較で見られるとおり第二実験(屋外実験)のほうが少ない水量で温度降下効率がいいのは、放水水温の差(風洞実験水温17°C、屋外実験水温4°C)も一因と考えられるが、風洞実験の場合は考察でも述べたとおり、ノズルの放水位置が拠点上よりはるかに高い位置であつたために、拠点上の広い空間の温度降下にも水噴霧の大半が費されたために多量の水量を要したものと考えられる。また屋外実験は水噴霧粒子の飛散した範囲を温度降下の顕著な範囲に限定して考えたが、実際にはそれ以外の部分についても温度降下はみられるので、水噴霧粒子はもつと広い範囲に飛散したとみることでもでき、さらに当日の気象から推定して、ある一部は拠点囲壁外にも飛散逸失したことも考えられる。したがって、屋外実験での消費水量も、厳密にはもつと少ない水量であると考えていいであろう。

最後に大小の水噴霧粒子が風速の影響によつてどのように分布するかについては今後の研究にゆだねたい。