

風速と放水射程に関する実験

坂 本 正*
 一 倉 伊 作*
 島 光 男*

1. 経 括

1. はしがき

放水射程が、風によってさうとうの影響を受けることは、我々の経験上から明らかであるが、これらについて明記されたものは、今までに、ほとんどないのが現状である。このため、風速と放水射程の関係を求めようと実験を行った。

実用上問題となる範囲の風速で、しかも一様な風速を得るため、航空機の風を利用することとし、東京国際空港に依頼したところ、こころよく了承されたが、規模が大きいため、必然的に時間的制約があり、この実験においても、十分なデータは得られなかった。

1回の実験にて、風横方向、風上方向の放水射程を求めたかつたのであるが、実験上、不慣れな点もあり、その経験を生かして2回目の実験を行った。

いずれも、きわめて少いデータなので、本報告の内容は、一応の目安あるいは傾向を示すものとして、今後の研究の参考としたい。

2. 目 的

放水射程が、風によってどのような影響を受けるかを調べ、強風時における消防対策上の資料とする。

3. 概 要

(1) 実験の方法

航空機の発動機により発生する風を利用し、風横方向あるいは風上方向に放水して放水射程を測定する。

(2) 実験日時

第1回実験(風横方向)

昭和37年7月11日 P.M1.10~P.M3.00

第2回実験(風上方向)

昭和38年4月24日 P.M1.00~P.M2.00

(3) 実施場所

東京都大田区江戸見町

東京国際空港内

(4) 実施者

主催 消防科学研究所

協力 東消、警防課・防災課・技術課・蒲田消

防署・大森消防署

国際空港、消防課

日本航空KK・全日本空輸KK

(5) 実施人員

第1回	測定および補助者	35名
	放水関係者	20名
	航空機関係者	5名
	計	60名
第2回	測定および補助者	28名
	放水関係者	10名
	航空機関係者	5名
	計	43名

(6) 使用航空機

ダグラスDC-4型	4発旅客機
全巾	117フィート (約36m)
全長	94フィート (約29m)
全高	17フィート (約5m)
発動機	1.450馬力 4基
機名	第1回 三笠号
	第2回 白馬号

4. 実験の結果

本実験から得られた結果は、[第1表][第2表]および[第1図][第2図]のとおりである。

[第1表] 風横方向の放水射程 (m)

ノズル口径	22.2mm(7/8")			25.4mm(1")		
	kg/cm ²	"	"	"	"	"
ノズル圧力	2.8	3.7	4.4	2.5	3.4	4.1
風速 (m/s)						
15	3.5	5	5.5	5	6	7
20	3.5	4.5	5	4	4.5	5

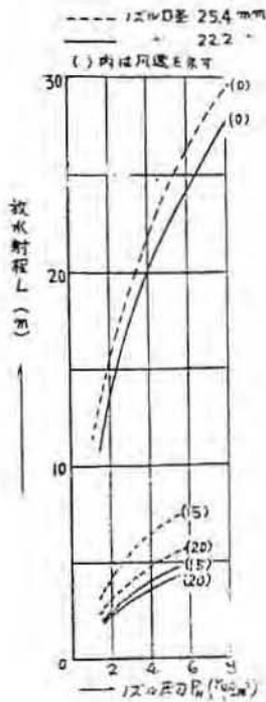
[第2表] 風上方向の放水射程 (m)

ノズル口径	22.2mm(7/8")			25.4mm(1")		
	kg/cm ²	"	"	"	"	"
ノズル圧力	3	5	7	3	5	7
風速 (m/s)						
0	17	22	26	19	24	28
10	4.5	7.5	9	-	-	-
15	4	6	7.5	5.5	9	11
20	2.5	4	6	5	8	10

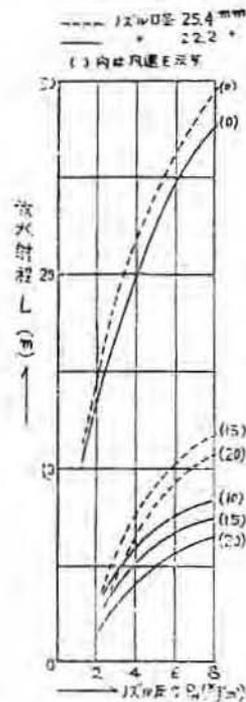
* 第1研究室 * 第3研究室

なお、実験の測定記録およびその検討については、2、3の各放水射程の項に記す。

〔第1図〕 風横方向の放水射程



〔第2図〕 風上方向の放水射程



5. 考察

この実験結果からみると、風速が10m/s以上になると、いずれも放水射程が無風時の1/3~1/4程度まで減少する。

また、風上方向でも風横方向でも放水射程は大差ないように見える。

強風下の火災現場において消火活動する場合、自然の風は、強弱の波があり、また風の方向も一定しないので、必ずしもこの数値どおりとならないのは当然である。しかし、経験より、大量高圧放水でなければならないといわれており、この実験の結果からも、それがうなずける。

さらに、現在各隊の持っている替口、あるいは隊員の保持できる圧力では、有効な放水はできないと考えられる。これに対処するには、より強力な放水ができるような大口径の替口および筒先の保持器が必要であろう。

2. 風横方向の放水射程

(第1回実験)

1. 実験の条件

(1) 風速条件

航空機エンジンの回転数 1,500r.p.m
放水位置の風速 15, 20m/s

(2) 放水条件

ポンプ圧力 3, 4, 5 kg/cm²

ノズル口径 22.2, 25.4mm

仰角 0°

(ただし、人の保持のため変動あり)

2. 測定方法

エンジンの回転数1500r.p.mとし、航空機後方の各点の風速を測定する。ついで所定位置に筒先を配置し風横方向に放水する。風下側に5m間隔に人員を配置し、写真により放水射程を計測する。

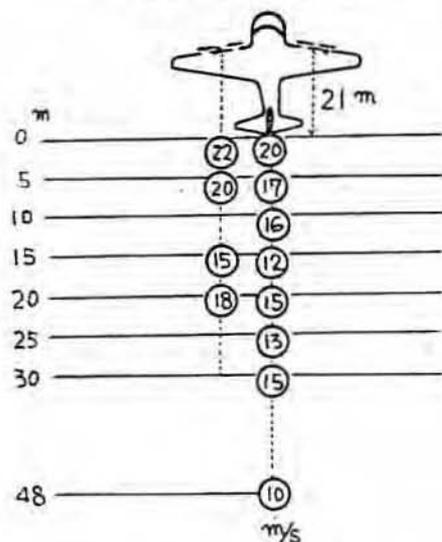
3. 測定の記録

各測定の記録は、〔第3表〕〔第3図〕のとおりである。

〔第3表〕 放水実験測定値

実験番号	風速	ノズル口径 (mm)	ポンプ圧力 (kg/cm ²)	ノズル圧力 (kg/cm ²)
7	15m/s	22.2	3	2.8
8		"	4	?
9		"	5	4.6
10		25.4	3	2.6
11		"	4	3.0
12		"	5	3.7
1	20m/s	22.2	3	2.0
2		"	4	3.0
3		"	5	4.0
4		25.4	3	2.0
5		"	4	?
6		"	5	3.2

〔第3図〕 風速測定の結果



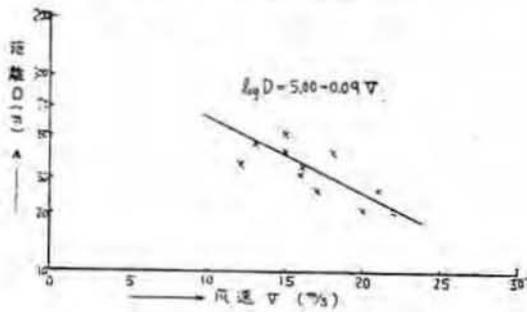
4. 実験結果の検討

(1) 風速について

この実験では、風横から放水するため、放水射程内の風速が一様であることが望ましい。このため、各点の地上1mおよび2mの風速を測定した。そうとうの

バラツキがあるが、その傾向は〔第4図〕のようになる。

〔第4図〕 風速と距離の関係



(2) ノズル圧力について

この実験では、ポンプ圧力を3, 4, 5 kg/cm²として、その時のノズル圧力をピトー・ゲージで測定した。ポンプ圧力およびノズル圧力の測定誤差のためか記録からは、同一ポンプ圧力の場合でもノズル圧力にかなりの差異があり、ピトー・ゲージの測定値をそのまま採用するのに疑問を生じた。そのためノズル圧力の最頻数をもととして、各ポンプ圧力の場合のノズル圧力を一定とした。その値は〔第4表〕のとおりである。

〔第4表〕 ノズル圧力 (kg/cm²)

ポンプ圧力 ノズル口径	kg/cm ²		
	3	4	5
22.2mm	2.8	3.7	4.4
25.4 "	2.5	3.4	4.1

(3) 放水射程について

写真より放水射程を計測すると〔第1表〕〔第5図〕のようになる。

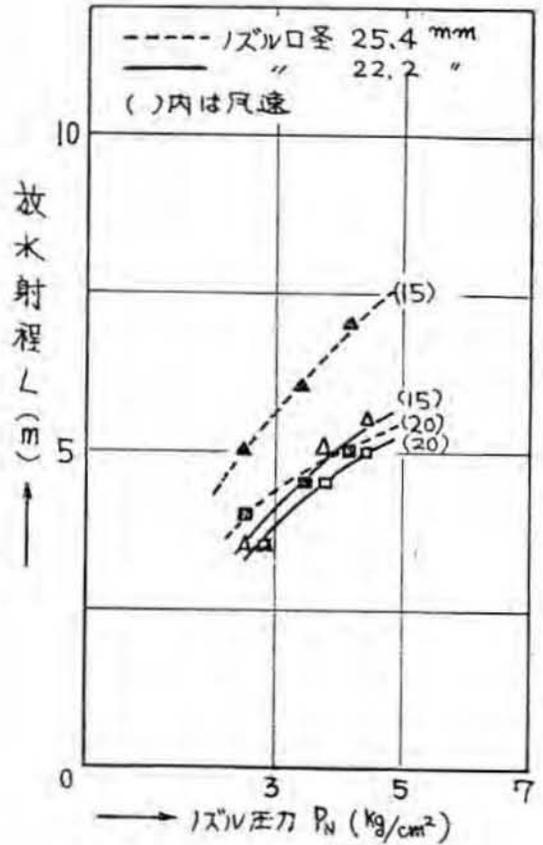
この場合風下より撮影したため、水のしぶきにより射程を計測するのは、不可能に近いが、射程の最大限と最少限を目安として射程を求めた。

〔第1図〕のように、無風時の放水射程と比較すると約1/2になっていることがわかる。さらに、圧力を上げて射程はそれほど伸びないような傾向と思われる。

〔第5表〕 放水実験測定値

実験番号	風速 (m/s)	ノズル口径 (mm)	ノズル圧力 (kg/cm ²)	ポンプ圧力 (kg/cm ²)	放水位置	水平射程 (m)	垂直射程 (m)	自然風 風向風速 (m/s)
1	10	22.2	3	5.5	左	7.5	4.5	NE 3.3
2	"	"	5	9	"	8.0	5.0	" 3.5
3	"	"	7	14	"	12.0	7.0	" 3.0

〔第5図〕 風横方向の放水射程



3. 風上方向の放水射程

(第2回実験)

1. 実験の条件

(1) 風速条件

航空機エンジンの回転数 1,500r.p.m.
放水位置の風速 10, 15, 20m/s
自然風 各放水時に測定

(2) 放水条件

ノズル圧力 3, 5, 7 kg/cm²
ノズル口径 22.2mm, 25.4mm
仰角 32° (器具に固定)

2. 測定の方法

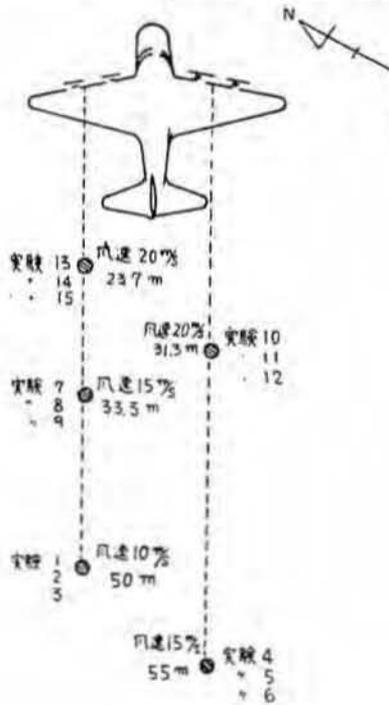
所定風速の位置に、筒先を向けて設置し、筒先より前方に5m間隔の標石5個を並べ、射程測定の基準とする。所定圧力にて放水している間に、各測定、写真撮影を実施する。

3. 測定の記録

各測定の記録は、〔第5表〕〔第6図〕のとおりである。

実験番号	風速 (m/s)	ノズル口径 (mm)	ノズル圧力 (kg/cm ²)	ポンプ圧力 (kg/cm ²)	放水位置	水平射程 (m)	垂直射程 (m)	自然風向風速 (m/s)
4	15	25.4	3	6	右	5.0	3.0	* 3.8
5	"	"	5	10	"	8.0	5.0	" 2.1
6	"	"	7	14	"	10.0	6.0	" 2.1
7	15	22.2	3	5.5	左	6.0	3.5	" 2.9
8	"	"	5	9	"	7.0	4.5	" 3.4
9	"	"	7	13	"	10.0	6.0	" 3.7
10	20	25.4	3	6.5	右	6.0	3.5	ENE 3.3
11	"	"	5	11	"	7.5	4.5	" 4.0
12	"	"	7	15	"	10.0	6.0	" 3.5
13	20	22.2	3	5.5	左	3.5	2.0	" 3.7
14	"	"	5	9	"	6.0	3.5	" 3.0
15	"	"	7	13	"	10.0	6.0	" 2.8
16	10	噴霧	7	9.5	右	7.0	4.5	E 3.2
17	自然風	22.2	3	5	左	15.0	8.5	" 3.2
18	"	"	5	9	"	20.0	11.5	" 3.9
19	"	"	7	12	"	27.0	15.0	ES 5.0
20	"	25.4	3	7	右	22.5	10.0	" 5.0
21	"	"	5	11	"	27.0	12.0	" 5.0
22	"	"	7	14.2	"	30.0	15.0	" 4.5
24	"	噴霧	7	9.5	右	19.0	10.0	" 4.6

〔第6図〕 風速測定および放水位置

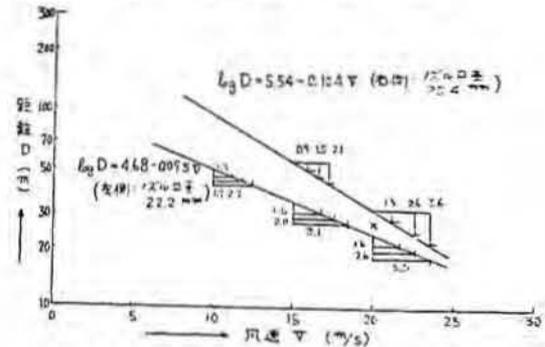


4. 実験結果の検討

(1) 風速について

この実験では、航空機のプロペラによる風を利用しているため、プロペラからの距離によって、その風速が異なる。各風速を測定した結果より、風速と距離の関係は、〔第7図〕のようになる。

〔第7図〕 風速と距離の関係



この場合、左翼側と右翼側で異なった関係になっているのは、自然風の影響と思われる。

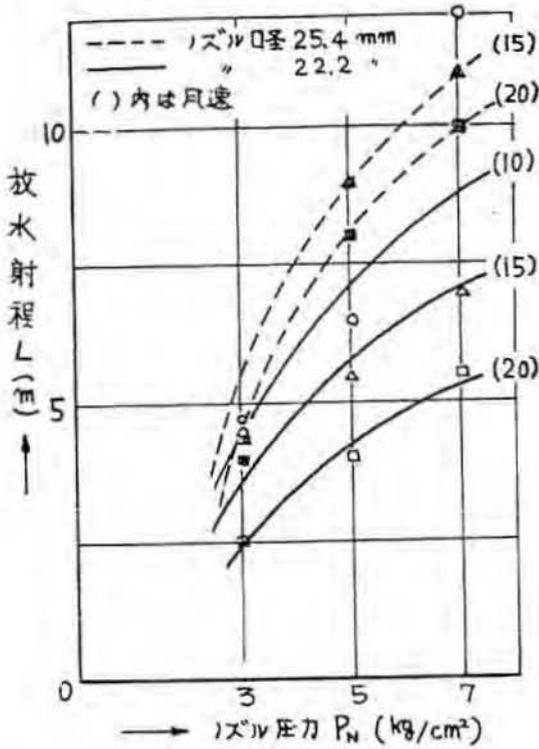
(2) 放水射程について

風速および放水射程の測定記録ならびに写真より、水平の放水射程を求めると、〔第6表〕〔第8図〕のとおりである。

〔第6表〕 風上方向の放水射程 (m)

風速 m/s	ノズル口径 (mm)	22.2 (7/8")			25.4 (1")		
		ノズル圧力 (kg/cm ²)	判定方法	判定方法	判定方法	判定方法	判定方法
0m/s		3	5	7	3	5	7
10"		17	22	26	19	24	28
15"		7.5	8.0	12.0	-	-	-
20"		4.7	6.5	12.0	-	-	-
自然風		6.0	7.0	10.0	5.0	8.0	10.0
		4.5	5.5	7.0	4.5	9.0	11.0
		3.5	6.0	10.0	6.0	7.5	10.0
		2.5	4.0	5.5	4.0	8.0	10.0
		15	20	27	22.5	27	30
		15	20	24	20	26	31

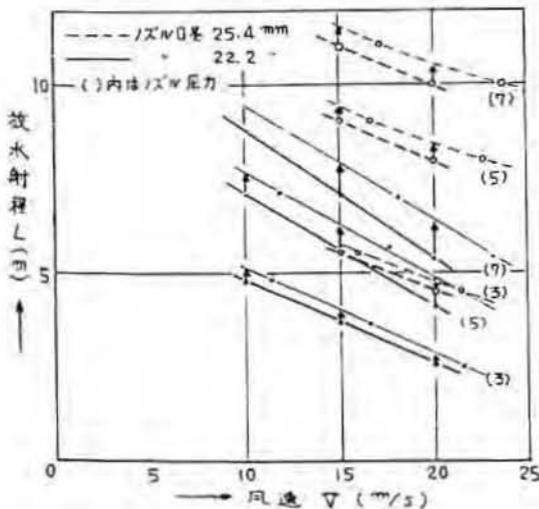
〔第8図〕 風上方向の放水射程



放水射程として計測したのは、水流が圧力を有しており、かつ水の半数以上が到達していると判断される点を選んだ。さらに、風速 20m/s、ノズル口径 22.2mm、ノズル圧力 7 kg/cm² の場合のように水流が、風の層を突抜けていると思われるものについては、それらを考慮して値を選んだ。

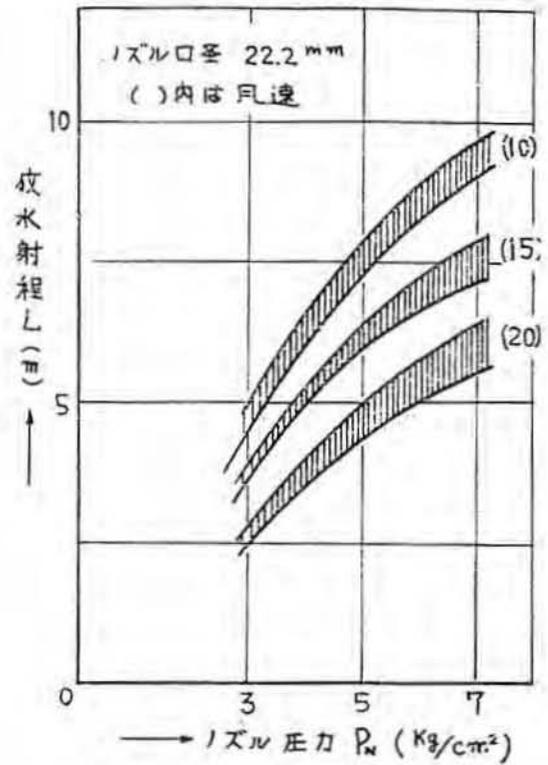
つぎに、放水された水流は、放水位置の風速より大なる風速の中を通過するので測定した射程がその風速における射程ではなく、当然その射程より大になるわけである。このため放水射程の先端における風速が一樣にあったと仮定した場合、各、10、15、20m/s の風速における射程を作図により求めると〔第9図〕のようになり、これを元の図に書き加える

〔第9図〕 放水射程の補正

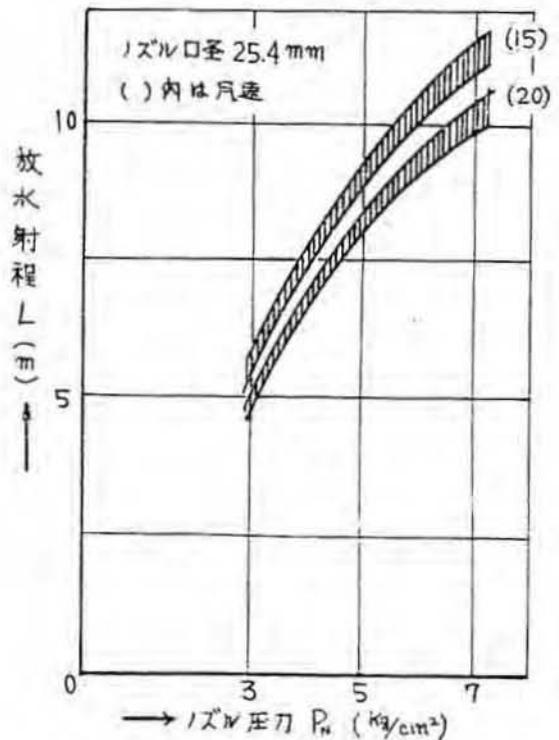


と〔第10図〕〔第11図〕のようになる。

〔第10図〕 放水射程



〔第11図〕 放水射程



したがって、風速が一樣の場合の放水射程は、〔第10図〕〔第11図〕の2本の線の間（縦線を引いた部分）にあることとなる。

垂直の放水射程は、仰角が32°であり、水流は直線とみなせるから、水平の放水射程に0.625 (tan32°) を乗ればよい。

〔第2図〕において、過去の文献にある無風時の有効放水射程と比較すると、15~20m/sの風速において、ノズル口径25.4mmの場合約 $\frac{1}{2}$ 、22.2mmの場合約 $\frac{1}{4}$ の射程になっている。

4. 考 察

1. 考察するに際して

この実験についての考察を加えるにあたり、あらかじめ、次のことを御了承いただきたい。はしがきにも記したように、各種の制約があるため十分な資料が得られていない。したがって、結果および考察についても、かなり無理な推定が入ってくることである。

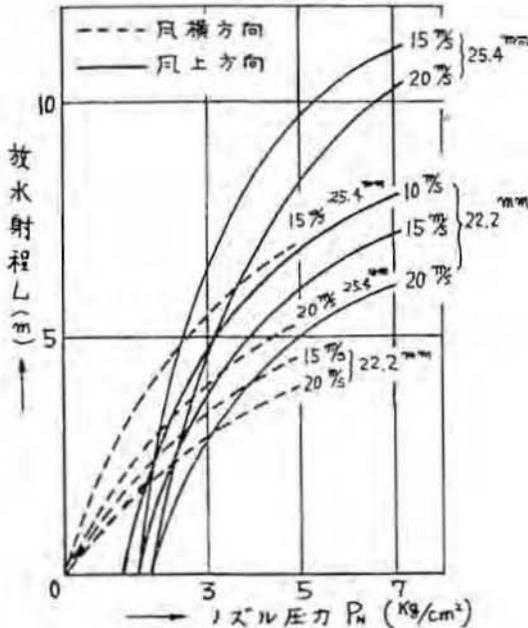
さらに、このような考察は無意味とも思われたが、今後の参考とするため、あえて記すこととした。

2. グラフについて (その1)

風横あるいは風上方向の放水射程を決定するのに、1m前後の誤差はあると思われるが、一応平均的な値をとると前記のような結果が得られる。

この結果をグラフに書き、原点方向に伸ばすと〔第12図〕のようになり、風横方向の放水射程の曲線は原点に一致し、風上方向では横軸と交叉する。

〔第12図〕 水平放水射程の傾向



さらに風上方向の放水射程では、横軸と交叉する点(射程0の点)がノズル口径と関係なく、放水方向によってその点が定まり、風速が大になるほど、その点は右(ノズル圧力大の方向)に移動する。風速が0ならば原点と一致する。あたかも風速がノズル圧力に換算されたように見える。

また、風横方向の場合、放水方向の風速は0であるので、原点と一致することから、このような傾向が存在するのではないだろうか。

もちろん、ノズル圧力、射程が0の近辺では成立しないと思われるが、仮定の点として利用できるのではないだろうか。

3. グラフについて (その2)

風横および風上方向の射程の曲線は、ある点で交叉し、それ以上のノズル圧力では風上方向の方が、射程が大になるようである。しかし風横方向の場合、ノズル圧力 5.7 kg/cm^2 で実施していないので、交叉するかどうか確かでない。一応交叉するとして、その理由を考えてみた。

まず物体(固体)を打出した場合を考える。風上方向では、風のため空気抵抗は増大しその射程は風速0の場合より減少するであろう。しかし風横方向では、風速は、射程に対する空気抵抗の増大とはならないので、物体は風下方向に流されるだけである。すなわち射程は減少しない。あるいは、ベクトル和のため増加する。

しかしながら、今問題としているのは水流である。水流では、1個の物体でなくある程度連続しているものであり、また拡がりがある。この拡がりのため水流の周囲の水滴は、風の影響を受けて散ってしまう。

風横方向の場合には、水流はノズルを出たところから風を受け水流周囲の水滴は、風に流され順次散ってしまう。射程が4~5mくらいになると水流は連続性がなくなり、水の塊の連続となるので風の影響が大きく、射程は伸びない。

これに対して、風上方向では、水の塊となっても、それらに含まれる空気と一体になって飛ぶので、風の影響は、射程の先端付近で最も大となり、途中の水流はそれより前方にある水流のため風の影響を受けにくい。水は運動エネルギーをあまり損失することなく射程先端近くまで達する。このため射程は案外伸びる。

このように考えたのであるが、同一条件にて果して風上方向の射程が大になるかどうか排煙機と蓄圧式の消火器を用いて小規模実験を行った。この結果も同様であり、風上に向けた時が射程が大であり、斜あるいは横に風を受けると射程は短くなる。風下に向けると射程は急に増大する。

以上、理由等について述べたが、これらの正否について、御批判を仰ぎたい。

4. 文献について

無風時の放水射程については、フリーマンにより実測されたものがある。さらに風速が4~5m/s以上の向い風の場合、射程は約40%くらい短縮するといわれている。(本実験では、風速10~20m/sで $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{4}$ になっている。)

また、消防研究所報告1953、通巻12号(瞬間撮影に

よる消火放水流の観察・熊野陽平氏)による水流を瞬間撮影した写真では、 $\frac{3}{4}$ インチ、60ポンド(約18mm 4 kg/cm^2)の場合で、筒先から4 m以上になると水流は分裂し、塊の連続となっている。1インチ、60ポンド(25.4mm, 約 4 kg/cm^2)でも4 m以上になると水の塊となっている。これらの水の塊の中に入り込んだ空気は、ある程度水と同様の移動をしているとみてよ
いだろう。

また、消防研究所報告1950, 第1号(消火噴流に及ぼす風の影響・富塚清氏)では、予備実験として走行中の自動車より消火器を用いて放水している。しかし、その後の報告を見ていないので、結果については不明である。

5. む す び

以上、いろいろ述べたが、所詮データの不足は免

れず、かすかすの無理があった。しかし、一応の目安、傾向として、つぎのことがいえよう。

- (1) 風速が10m/s以上になると、その放水射程は無風時の約 $\frac{3}{4}$ ~ $\frac{1}{4}$ に減少する。
- (2) 風速10~20m/sの範囲では、ノズル圧力 5 kg/cm^2 程度で、風横、風上方向とも、その放水射程はほぼ同様である。

今まで、一様な風速を得ることが困難なため、風速を考慮した放水射程については求められていなかったが、今回、曲りなりにも数値が得られた。

これらの数値の中にも、さらに実験して確認したい事柄が多多あり、今後機会をとらえて実験を行い、修正したいと思う。

最後に本実験に協力された空港関係者ならびに部内
の関係者に深く感謝する。