

蓄圧型消火器に関する基礎研究

沼田 勇 治**
 榎本 喜 七*
 堀井 幸 一*

1. はじめに

震災対策の一つとして、消火器および簡易消火用具の開発を進めているが、開発にあたって解決しなければならない基礎的な諸問題がある。その一例をあげると、容器の材質、消火剤の放射方式、放射口の口径、製造工程および物理的性状などであるが、これらは、いずれも開発上必要な基礎的要素であろう。これらの問題が解決されてこそ、消火効果およびコストの面で、すぐれた消火器が開発されるはずである。

そこで、これら諸問題の一部で、蓄圧型消火器の物理的諸性状およびノズル口径と消火効果の関係等について、実験を主体として基礎研究を行なったので、その結果を報告する。

2. 放射性状に関する解析

蓄圧型消火器の各種容器について、充てん圧力、消火剤量およびノズル口径を変数要素としたとき、放射時間、圧力および放射量等に与える影響、さらにはノズル口径と放射距離などの関係を解析したものである。

(1) 各種ノズル口径と放射距離について

実験に供したノズルおよび器材等は、次のとおりである。

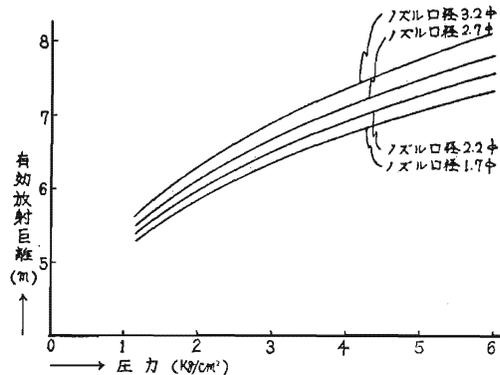
- ノズル型式：一般の蓄圧型消火器用スムーズ・ノズル
- ノズル口径：1.7, 2.2, 2.7, 3.2mmφの4種
- 加圧装置：ブランジャ・ポンプ
(しめ切り圧力50kg/cm²)

圧力計：ブルドン管式(0~10kg/cm²)
 放射角度(仰角)30度とし、各ノズル口径について、圧力と放射距離の関係を実測した結果は、図1のとおりである。

なお、測定は、室内の無風状態で実施したものである。

この結果から、次のことがいえる。

第1図 各種ノズルに関する放射距離と圧力の関係



ア ノズル口径が大なるほど、有効放射距離も大になるが、実際使用するうえにおいてはあまり影響がない。

イ 各ノズル口径とも、圧力6kg/cm²以上になると、有効放射距離がサチュレートする傾向にある。

ウ 衝撃力は、実測していないので、確実なことはいえないが、壁体に放射したところでは、圧力2kg/cm²以下はあまり威力を感じなくなるので、消火効果も低下するものと思料される。

以上のことと、一般家庭の初期消火を考え、8畳の対角線が約5mあることを加味すると、いずれのノズルを使用する場合でも、消火剤をすべて有効に放射するためには、容器内の最終圧力を2kg/cm²以上、最高圧力を6kg/cm²以下とすべきであると考えられる。

なお、有効放射距離[※]については、フリーマン氏によって定義づけられており、これにしたがうことは困難であるため、測定は自然落下の状態に入っているまでの水平距離をもって、有効放射距離とした。

(2) 充てん圧力と放射性状について

蓄圧型消火器において、充てん圧力および水量(消火剤量)を変化させたときの放射性状、すなわち圧力および放水量の変化状況を調べたものである。実験に

※ 火災便覧参照のこと

* 第三研究室

** 赤羽消防署

供したノズルは、スムーズ型3.2mmφ、圧力測定器は、動歪測定器（共和OPM-1-DT）と圧力変換器（共和PG20kg/cm²型）を用い連続的に測定した。

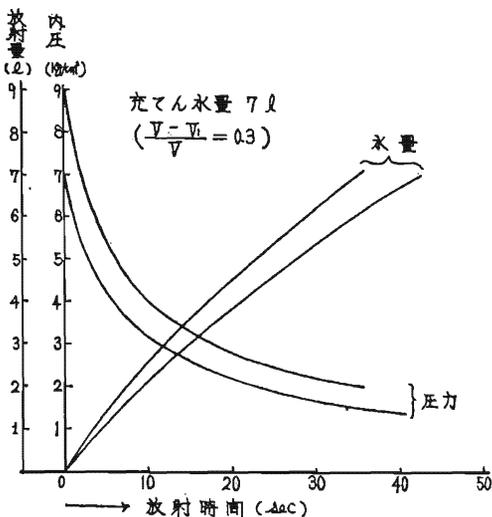
なお、実験に供した容器の種類と充てん水量および充てん圧力は、表1のとおりである。

実験結果の一例として、6.4l型について図示すると、図2～図4のとおりである。

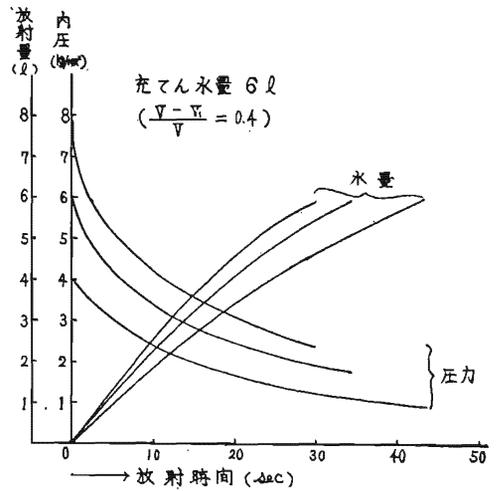
表1 実験に供した容器の種類と実験内容

容器型式	容器内容積 (V)	充てん水量 (V ₁)	充てん圧力
8 l 型	12 l	9 l	9, 8, 7, 6kg/cm ²
		8 l	8, 7, 6, 5kg/cm ²
		7 l	7, 6, 5, 4kg/cm ²
		6 l	6, 5, 4, 3kg/cm ²
		5 l	5, 4, 3, 2kg/cm ²
6.4 l 型	9.9 l	7 l	9, 7kg/cm ²
		6 l	8, 6, 4kg/cm ²
		5 l	6, 5, 4kg/cm ²
4 l 型	6.9 l	5 l	9, 8, 7kg/cm ²
		4 l	8, 6, 4, 3kg/cm ²
		3 l	5, 4, 3kg/cm ²
3 l 型	5.1 l	3.5 l	9, 7kg/cm ²
		3 l	9, 8, 6, 4kg/cm ²
		2.5 l	5, 4kg/cm ²

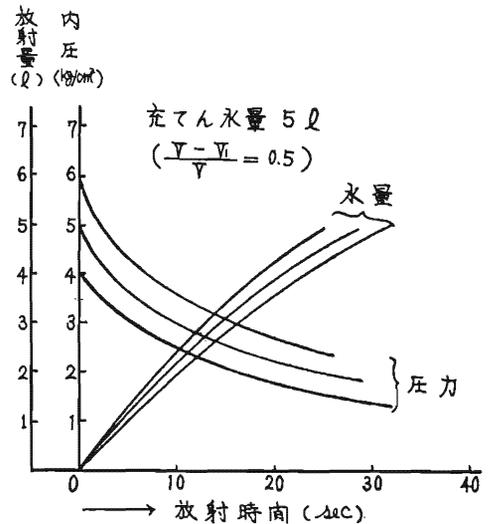
第2図



第3図



第4図

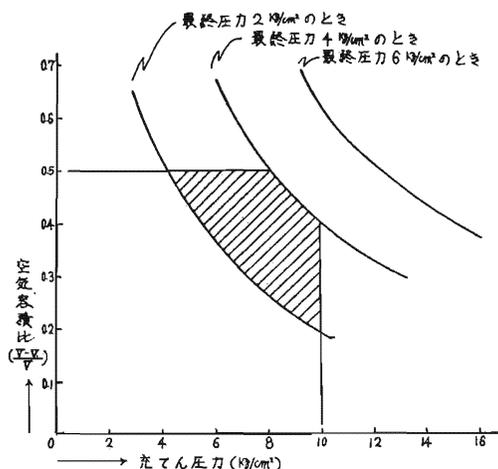


一般には、蓄圧型消火器の圧力変化は、ボイルの法則 ($P_1V_1 = P_2V_2$) にしたがうものであり、空気容積比 ($\frac{\text{容器容積 } V - \text{水容積 } V_1}{\text{容器容積 } V}$) の値が大きいかほど圧力変化は緩慢であり、値が小さいと圧力変化が大になる。このことは、図2～図4からも明らかなように、空気容積比 ($\frac{V-V_1}{V}$) の値が0.5(図4)では、圧力変化が緩慢であるが、($\frac{V-V_1}{V}$) の値が0.3(図2)では、圧力変化が激しく短時間のうちに低圧になる。したがって、高圧充てんしても ($\frac{V-V_1}{V}$) の値が小さいと、短時間のうちに低圧になるため、高圧充てんした意義がなくなるおそれもあるので、もし、高圧放射を持続させたいなら ($\frac{V-V_1}{V}$) の値をできるだけ

大きくすべきである。

そこで、充てん圧力、空気容積比 $\left(\frac{V-V_1}{V}\right)$ および最終放射圧力との関係を、データーおよびボイルの法則から考察すると、図5のようになる。

第5図



すなわち、最終放射圧力 2, 4, 6 kg/cm² ともに、充てん圧力を大にすれば空気容積比の値は小になる。また、空気容積比の値を大にすれば充てん圧力は小でよい。ただ最終放射圧力を大きくすれば、充てん圧力、空気容積比の値とも大となり不経済になる。

したがって、最終放射圧力、空気容積比および充てん圧力との関係には一定の限界がある。そこで高压容器の対象とならず、経済的でしかも消火剤のすべてを効果的に放射させるためには、図5の斜線で示すように、充てん圧力10kg/cm²以下、空気容積比の値を0.5~0.1、最終放射圧力を2~4 kg/cm²の範囲とすべきであろう。

(3) ノズル口径と放射時間の関係について

蓄圧型消火器において、充てん圧力および水量を一定とし、ノズル口径を変えた場合、圧力変化および放水時間等にどのような影響を与えるかを調べたものである。実験は、表2に示すように各容器について実施したもので、ノズル口径1.7, 2.2, 2.7, 3.2mmφの4種を使用した。

なお、実験に供したノズルの型式および圧力の測定等は、前(2)と同じである。

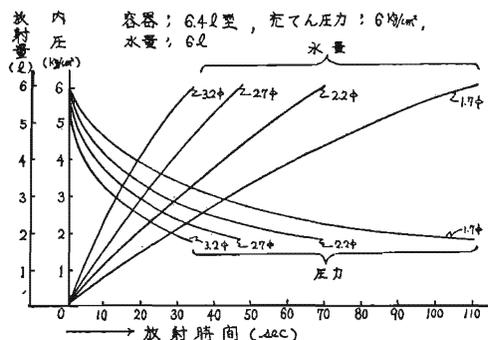
実験結果の一例として、6.4 l 型容器について図示すると、図6のとおりである。

この図6から明らかとなっており、ノズル口径が大きいくほど、短時間で多量の水が放出され、圧力変化が急激である。3.2mmφのノズルは、現在の蓄圧型消火器に

第2表 実験内容

容器型式	充てん水量	充てん圧力	ノズル口径
8 l 型	9 l	9kg/cm ²	1.7, 2.2, 2.7, 3.2mm
6.4 l 型	6 l	6kg/cm ²	〃
4 l 型	4 l	6kg/cm ²	〃
3 l 型	3 l	6kg/cm ²	〃

第6図 各ノズル口径による放射性状



使用されているものであるが、放射10秒後には圧力が半減し、水量も約40%程度放出してしまい、ノズル口径が大なるほど短期決戦型の消火器といえる。しかも、放射初期における誤放射等を考え合わせると、この方法が最良とはいえず、取扱者によっては、むしろ損失の多い消火器ということになりかねない。したがって、ノズル口径をいかに決定すべきかは、取扱い面と消火効果の両面から判断する必要がある。この問題については後述する。

実験結果から、ノズル口径と放射時間の一般的関係を示すと、図7のとおりである。

第7図 ノズル口径と放射時間の関係

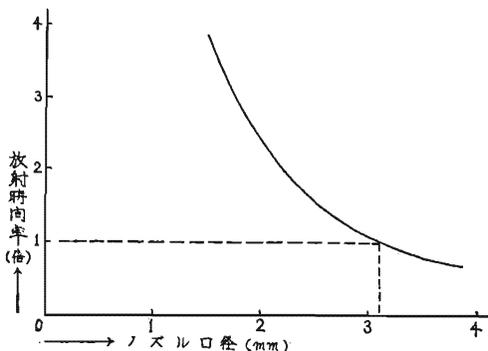
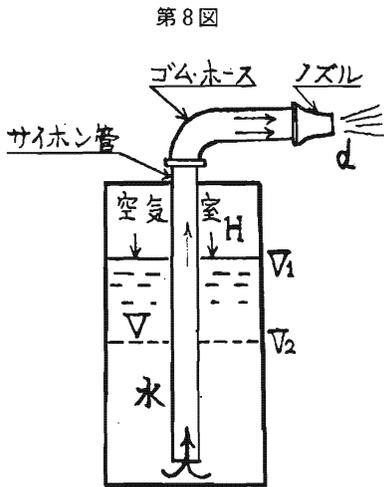


図7は、図6に示す類のデータを整理し、ノズル口径3.2mmφによる放射時間を1とした場合、各ノズル口径と放射時間率の関係を示したもので、この曲線は6.4ℓ型容器に限らず、すべての蓄圧型容器に適用できるものである。

(4) 蓄圧型消火器の物性解析について

前述の実験結果をもとに、蓄圧型消火器の放射性状に関する実験式を導き、設計上の資料とするもので、図8において、容器容積V、水容積V₁、ノズル口径d、充てん圧力Hとすると、微小時間dtにおける放射量dQは次式で表らわされる。

ただし、水位によって生ずる圧力差は、充てん圧力Hに比し、微小であるから無視するものとする。



$$dQ = \alpha \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2gH}{r}} dt \dots\dots\dots ①$$

α : 係数
g : 重力の加速度
r : 水の比重

Hをボイルの法則 (P₁V₁=P₂V₂=一定) により容積と定数に置換えると

$$H(V - V_1) \dots\dots\dots ②より$$

$$H = \frac{C}{V - V_1}$$

したがって、

$$dQ = \alpha \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2g}{r} \left(\frac{C}{V - V_1} \right)} dt$$

dQ=dV₁から

$$dV_1 = \alpha \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2g}{r} \left(\frac{C}{V - V_1} \right)} dt$$

$$\alpha \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2gC}{r}} = K \text{とおく}$$

$$dV_1 = K \sqrt{\frac{1}{V - V_1}} dt$$

$$\therefore dt = \frac{1}{K} \sqrt{\frac{1}{V - V_1}} dV_1$$

水容積がV₁からV₂までに減少するに要する時間Tは、

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{K} \int_{V_2}^{V_1} \frac{1}{\sqrt{V - V_1}} dV_1 \\ &= \frac{1}{K} \int_{V_2}^{V_1} \sqrt{V - V_1} dV_1 \\ &= \left[-\frac{2}{3K} (V - V_2)^{\frac{3}{2}} \right]_{V_2}^{V_1} \\ &= \frac{2}{3K} \left\{ \sqrt{(V - V_2)^2} - \sqrt{(V - V_2)^2} \right\} \\ &= \frac{2}{3K} \left\{ \sqrt{(V - V_2)^2} - \sqrt{(V - V_1)^2} \right\} \dots\dots ③ \end{aligned}$$

水量V₁が全部放出するに要する時間T'は、③式にV₂=0を代入すると、

$$T' = \frac{2}{3K} \left\{ \sqrt{V^2} - \sqrt{(V - V_1)^2} \right\} \dots\dots\dots ④$$

③式および④式にK=απd²√(2gC/r)を代入すると

$$\begin{aligned} T &= \frac{8}{3\alpha\pi d^2 \sqrt{\frac{2gC}{r}}} \\ &\quad \left\{ \sqrt{(V - V_2)^2} - \sqrt{(V - V_1)^2} \right\} \dots\dots\dots ③' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T' &= \frac{8}{3\alpha\pi d^2 \sqrt{\frac{2gC}{r}}} \\ &\quad \left\{ \sqrt{V^2} - \sqrt{(V - V_1)^2} \right\} \dots\dots\dots ④' \end{aligned}$$

前(2)および(3)項に記述した実験は、図8に示すゴムホースの長さ400~500mm、内径7.6mm、サイホン管の長さ420~520mm、内径9mmに対し、ノズル口径が1.7~3.2mmφの範囲で実施したものであるが、その実験結果と③'式あるいは④'から、係数αを求めると、ノズル口径1.7mmφは0.75、3.2mmφでは0.65であるので、この平均値0.7として実験式を求めると、次のとおりである。

水容量V₁がV₂まで減少するに要する時間Tは、

$$T = 0.027 \frac{1}{d^2 \sqrt{\frac{C}{r}}} \left\{ \sqrt{(V-V_2)^3} - \sqrt{(V-V_1)^3} \right\} \dots\dots\dots ⑤$$

小容量 V_1 が全量放出するに要する時間は T' は、

$$T' = 0.027 \frac{1}{d^2 \sqrt{\frac{C}{r}}} \left\{ \sqrt{V^3} - \sqrt{(V-V_1)^3} \right\} \dots\dots\dots ⑥$$

ただし、⑤、⑥式の単位は、

T, T' : sec

d : cm

V, V_1, V_2 : cm³(cc)

C : cm⁴ (前②式, $C=H(V-V_1)$ において、圧力 H を水柱 cm の換算値)

前⑤、⑥式および②式 (ボイルの法則) を利用すれば、前記(2)および(3)項で記述した放射性状に関する実験値を、計算により算出することが可能となるので、実験をまつまでもなく設計段階において、ノズル口径、放射時間、充てん圧力等の要素について近似値を求め、あるいは決定することができる。ただ、ゴム・ホース、サイホン管の内径と長さ、あるいはノズル口径等が、実験に使用したものと極端に異なる場合は、係数 α の値が変わるので、 α の常数 0.027 を若干補正する必要がある。

2 ノズル口径が消火効果に与える影響

ノズル口径が消火効果に与える影響は、単にノズル口径だけではなく、フナムあるいはストレートという型式によっても異なるのは当然に予想されるが、ここでは、ノズル口径による消火効果の相違についてのみ報告する。

前(3)項で記述したとおり、蓄圧状態、水量が同一条件でも、ノズル口径を変えることにより、放射時間に長短が生じ、また、内圧変化の状態も異なるということで、これらが消火効果にどのように影響をおよぼすかを実験したものである。

(1) 実験方法

ア 実験に供した容器および放射条件

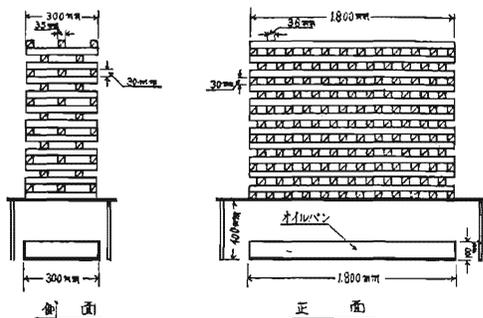
4 ℓ 型 (内容積 6.9 ℓ) の蓄圧型消火器に水道水 4 ℓ を充てんし、8 kg/cm² に加圧 (空気) して放射する条件とし、ノズル口径は、1.7, 2.2, 2.7, 3.2mmφ の 4 種を使用した。

イ 燃料

図 9 に示すように、1 回分として、乾杉材 (含

水率 12~15%) 30×35×300mm を 127 本、30×35×1,800mm を 28 本組込み、助燃材にはガソリン 2 ℓ (300×1,800mm オイルパンで 2 分間燃焼) を使用した。

第 9 図 燃料組立要領



ウ 消火方法および測定項目

消火実験は、自然風の影響をさけるため室内で実施し、消火は、点火 3 分後に燃焼正面 4 m の位置で開始し、消炎後は 1.5m の位置まで前進して行ない、このときの消炎時間、消炎に要した水量、放射時間および再燃時間を測定したものである。

なお、注水は 4 ℓ の水を連続的に放射するものとし、消火作業および消化要領を同一とした。

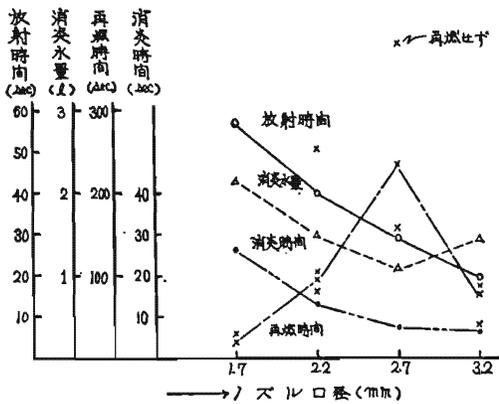
(2) 実験結果

実験の結果は、表 3 のとおりであるが、これをグラフに表らわすと、図 10 のようである。

第 3 表 消火実験の結果

ノズル口径	消炎時間 (sec)	消炎に要した水量 (ℓ)	放射時間 (sec)	再燃時間 (min, sec)
1.7mm	25	2.0	57	21"
	28	2.4	57	27"
2.2mm	15	1.7	39	1' 16"
	11	1.3	39	4' 18"
	11	1.3	38	1' 36"
	13	1.5	40	1' 41"
2.7mm	8	1.1	30	2' 36"
	8	1.1	31	3' 57"
	7	1.0	30	再燃なし
3.2mm	6	1.4	21	1' 32"
	5	1.2	21	1' 26"
	7	1.6	20	40"

第10図 ノズル口径と消火効果の関係



この図10から次のことがいえる。

- ア 消炎時間は、3.2mmφがもっとも短い。
- イ 消炎に要した水量は、2.7mmφがもっとも少ない。
- ウ 再燃時間は、2.7mmφがもっとも長い。
- エ 放射時間は、1.7mmφがもっとも長い。

以上のことから総合すると、2.7mmφノズルがもっとも効果的ということになる。

1.7および2.2mmφノズルでは、単位時間当りの水量

が不足する傾向にあるし、3.2mmφノズルに至っては、単位時間当りの水量が多すぎ、しかも放射時間が短かいため、むだ水を放射しているという傾向がみられる。

したがって、燃焼物体に効率よく注水し、消火効果が顕著なノズル口径は、2.7mmφ前後であると判断される。

4. おわりに

蓄圧型消火器に関する物理的諸性状については、実験結果をもとに実験式を導いたので、ほぼ解決されたものと思われるが、これら物理的諸性状が消火効果におよぼす影響については、ノズル口径による影響が解決された程度であり、今後の研究にまつところが多い。

すなわち、フナムとストレートによる消火効果の相違、あるいは空気容積比 $(V - V_1) / V$ の値を大きくし、低圧充てんした場合の消火効果、さらには高圧充てんした場合の消火効果等がある。

したがって、今後は、これらの実験研究とあわせて蓄圧型消火器の開発を進め、震災対策の一助としたい。