

水ゲルについて(第4報)

鳥 井 四 郎*
小 林 英 明*

1. はじめに

高粘性液体をノズルから一定圧で放出すると、放射形状にバラツキがなく、ほぼ直線状に放射される。このことは目的物に対する集中性が増し、従来の水より少量で消火できるので過剰放水を抑制するなどの利点が挙げられる。

本研究はゲル化剤を利用して水に高粘性を与え、水ゲルとして消火技術の効率化を図ることを目的としたものであり、今回は水ゲルの放射形状及び管路内を流れる水ゲルの挙動について把握するため実験したものである。

2. 実験方法

図1に示すように、実験用10ℓ型定圧消火器に水および各種粘度の水ゲルを入れ空気ポンプで一定圧に加圧してノズルから放射し、主に2つの実験を実施した。第1の実験(以後第1実験と呼ぶ)は放射形状の比較実験で放射形状の観測はノズルの先端から2mと3mの位置を通過する放射体をカメラ2台で撮らえ、拡がり幅を比較した。第2の実験(以後第2実験と呼ぶ)は管路内の水ゲルの挙動を把握する実験で、流量を測定するために計量機の上に実験用10ℓ型定圧消火器をセットし、あわせて放射量および放射程の計測も実施した。

(1) 放射試料及び放射ノズル

放射体の拡がり幅を比較した第1実験では表1の試料を使用し、ノズルは3mmφと4mmφのストレートノズルを使用した。また、第2実験では表2の試料を使用し、ノズルは3mmφのストレートノズルを使用した。

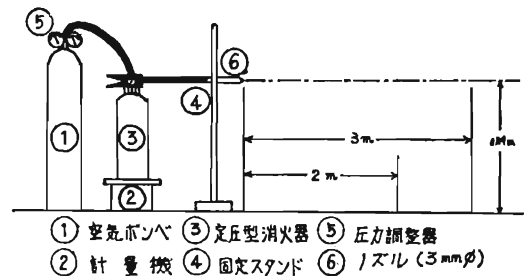
3. 結果および考察

第1実験

1) 放射圧力、ノズル口径および粘度と放射幅

* 第一研究室

図1 実験装置



① 空気ポンプ ③ 定圧型消火器 ⑤ 圧力調整弁
② 計量機 ④ 固定スタンド ⑥ ノズル(3mmφ)

表1 第1実験の試料

試料	0% 水	0.05% 水ゲル	0.1% 水ゲル	0.2% 水ゲル	0.3% 水ゲル	0.5% 水ゲル
物性						
*粘度 (CP)	0.97	23.4	3,120	9,500	22,500	39,400
** pH	8.05	7.1	7.0	7.1	7.1	7.1

* 粘度はB型回転粘度計で測定した。

** pHは10%水酸化ナトリウムで中和調整した。

表2 第2実験の試料

試料	0% 水	0.05% 水ゲル	0.1% 水ゲル	0.2% 水ゲル	0.3% 水ゲル	0.5% 水ゲル
物性						
*粘度 (CP)	1	63.5	1,280	5,500	8,600	11,200
** pH	8.1	7.0	7.0	7.1	7.1	7.0

* 粘度はB型回転粘度計で測定した。

** pHは10%水酸化ナトリウムで中和調整した。

実験の結果は図2のとおりである。結果から判るように低圧力(4kg/cm²以下)ではノズルの口径が変わっても、放射幅に殆んど変化はみられず、水ゲル粘度9,500cp以上ではほぼ直線状に放射される。また高圧力(8kg/cm²以上)では大気中に飛び出した瞬間の空気抵抗が大きいいため低圧力より放射幅が広くなり、水ゲル粘度9,500cpから39,400cpまではほぼ一定の放射幅となることが判る。

図 2 水ゲル粘度と放射幅

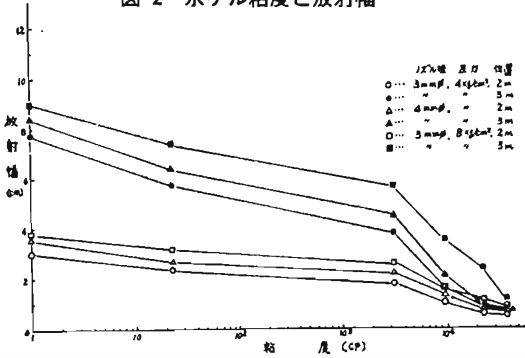


写真 1 水の放射形



写真 2 水ゲルの放射形

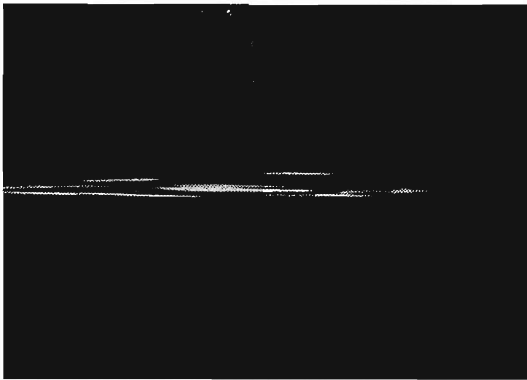


写真 1, 2 は水及び水ゲル濃度 0.2% の放射形をノズルの先端から 2 m の位置で真横から撮影したものである。写真から判るように水及び水ゲルの差が顕著に現われている。

2) 摩擦損失

ここでは水と水ゲル濃度 0.2% の場合を例にとり摩擦損失を算出してみる。

① 管路内における摩擦以外の損失

① ノズルの横断面積が急激に縮少する場合の損失 (水の場合)

図 3 で A_1 から A_c への損失は殆んどなく A_c から

A_2 への拡がりのときに損失が問題になる。この拡がり損失は h_s 次式で求められる。

$$h_s = \zeta_2 \frac{v_2^2}{2g} \dots \dots \dots (1)$$

ζ_2 : 定数

v_2 : 流速 [cm/sec]

g : 重力加速度 [cm/sec²]

ここで ζ_2 は A_2/A_1 の値よりワイズバッハの実験値から求められる。そこで (1) 式にそれぞれの数値を代入して水の拡がり損失 h_s を求めると次のようになる。

$$h_s = 639 \text{ [cm]}$$

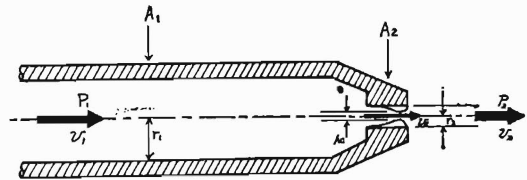
(水ゲル濃度 0.2% の場合)

上記の水の場合と同様にして求めると

$$h_s = 391 \text{ [cm]} \text{ となる。}$$

ここで拡がり損失 h_s は水より水ゲルの方が小さいことが判る。

図 3 ノズル断面



r_1 : 5.5 mm
 r_2 : 1.5 mm

② 管路内における摩擦損失

(水の場合)

まず管内の流動状態を判別するため次式によりレイノルズ数 Re を求める

$$Re = \frac{vl}{\nu} \dots \dots \dots (2)$$

v : 流速 [cm/sec]

l : 管径 [cm]

ν : 動粘性係数 [cm²/sec]

(2) 式を用いて図 3 の A_1 を通過するときの水のレイノルズ数は次のようになる。

$$Re = 26,434$$

従って管内を通過する水は明らかに乱流であることが判る。

次に摩擦損失を求めるには水は乱流であるので次式を用いる。

$$h = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (3)$$

λ : 摩擦損失係数

d : 管径 [cm]

g : 重力加速度 [cm/sec²]

v : 流速 [cm/sec]

ここで λ はレイノルズ数が判っているのでムーディ線図から与えられる。

(3)式にそれぞれの値を代入して水の摩擦損失を求めると次のようになる。

$$h = 71.83 \text{ [cm]}$$

(水ゲル濃度 0.2% の場合)

水の場合と同様に管内の流動状態を判別するためレイノルズ数を(2)式を用いて求めると次のようになる。

$$Re = 2.11$$

従って管内を通過する水ゲルは層流であることが判る。この場合の摩擦損失を(4)式により求めると次のようになる。

$$h = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (4)$$

v : 流速 [cm/sec]

Re : レイノルズ数

g : 重力加速度 [cm/sec²]

l : 管長 [cm]

d : 管径 [cm]

$$h = 53.34 \times 10^3 \text{ [cm]}$$

ここで水ゲル濃度 0.2% の摩擦損失が著しく大きいことが判る。このように異常に大きな計算値の摩擦損失が生じているとすれば、ノズルから水ゲルは放射されないはずであるが写真 2 の状況を見ても判るように水ゲルは放射されている。従って、実際の摩擦損失は計算値より小さい値であると推定される。このようなことから(4)式の各項を注目してみると式中の Re の項以外の項は全て、定値であるため摩擦損失に作用する項は Re 以外になく、この値が大であればこのような異常に高い摩擦損失は算出されない。ゆえに、管中を流れる水ゲルのレイノルズ数は計算値より大きい値、すなわち粘度の低下した状態で流れているのではないかと思われる。

第 2 実験

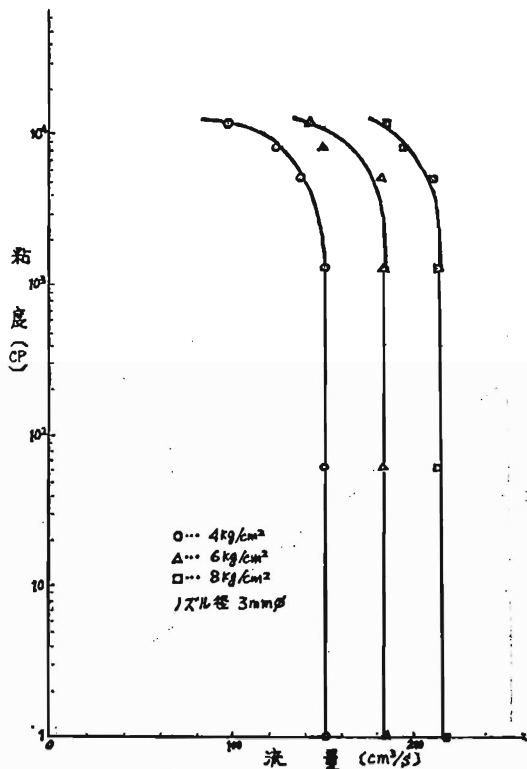
1) 粘度と流量

実験結果は図 4 に示した。この実験結果からも判るように水ゲル粘度が約 2,000~4,000cp までは水とほとんど同じ流量を示しており 5,000cp 以上で流量が減少している。従って 5,000cp 以下の範囲で水ゲルを使用すれば水と同じ水量が得られるということになる。

2) 水ゲルの管内粘度

図 5 は水ゲルのずり速度と粘度の関係について示したものであるが、この流動曲線から粘度はずり速度(回転粘度計のローター rpm)の増加と共に減少して

図 4 水ゲル粘度と流量



おり、水ゲルの流動特性が非ニュートン流体で構造粘性(または擬塑性ともいわれる)であることが判る。これはこのような複雑な体系の中には構成分子間の相互作用によって何等かのセミマクロな構造ができていて、これが粘度に利いているのであるが外から速度勾配などの刺激を加えることによって、このような構造が壊れ、従って粘度が刺激の大きさと共に減少するのである。

このようなことから、やはり水ゲルがノズル管内のような狭孔を高速で通過する場合、粘度の低下が起り従ってレイノルズ数でも当然大きな値となることが考えられる。

表 3 は各粘度の水ゲルの管内予想粘度をハーゲンポアセイユの式を用いて算出したものであるが、水はニュートン流体であるため、速度勾配による粘度変化は無いが、明らかに管内を通過する水ゲルの粘度が低下していることが判る。しかしながら、水ゲル粘度の極めて低い範囲(水ゲル濃度 0.05% 以下)では管内の予想粘度が逆に増加しているのが判る。これはこのような低粘度では流動曲線が構造粘性を示さず、ほぼニュートン流体としての挙動を示すため、ハーゲンポアセイユの式を適用することが妥当でなく、このように粘度が逆に増加したのものと思われる。

また、現在消防隊が使用している 65mm ホースにつ

図 5 粘度とすり速度

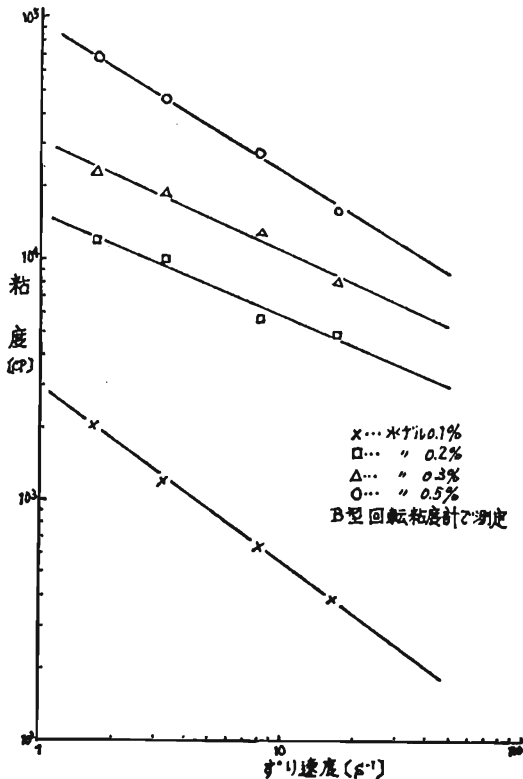


表 3 管内の予想粘度

物 性 試 料	圧 力 (kg/cm ²)	粘 度 (CP)	管内予想粘度 (CP)
水	6	〃	〃
	8	〃	〃
	4	63.5	169
水ゲル 0.05%	6	〃	231
	8	〃	275
	4	1,280	175
水ゲル 0.1%	6	〃	213
	8	〃	280
	4	5,500	256
水ゲル 0.2%	6	〃	245
	8	〃	292
	4	8,600	344
水ゲル 0.3%	6	〃	422
	8	〃	362
	4	11,200	532
水ゲル 0.5%	6	〃	462
	8	〃	421

表 4 粘度と放射程

試 料	圧 力 (kg/cm ²)	4		6		8	
		1) 射程 (m)	2) 射程 (m)	1) 射程 (m)	2) 射程 (m)	1) 射程 (m)	2) 射程 (m)
水	1	6.1	9.5	6.7	11.3	6.7	13.8
水ゲル0.05%	63.5	7.4	9.4	7.4	11.3	8.3	13.1
〃 0.1%	1,280	6.9	9.2	8.4	11.2	8.1	12.9
〃 0.2%	5,500	6.9	8.3	7.5	11.1	9.3	12.7
〃 0.3%	8,600	6.7	7.4	8.0	9.2	8.6	11.9
〃 0.5%	11,200	5.9	5.9	8.0	8.8	9.1	11.3

- 1) 射程：実測値
- 2) 射程：理論値

いても、これらの結果を適用することにより、ホース内の摩擦損失を算出し、ポンプ運用の適正化を計ることも可能である。このことは昭和51年11月22日～25日の間に江戸川区内にある本州製紙株式会社社宅跡で実施した耐火建物の水及び水ゲルの漏水実験でポンプ運用時におけるポンプ圧、筒先圧力を決定するための基礎資料として活用し、今回の実験値がほぼ一致することが確認された。

3) 粘度と放射程

実験の結果は表4に示した。結果から判るように水ゲル濃度0.5%で4 kg/cm²の圧力で放射した場合以外は明らかに水より20～30%放射程が伸びていることが判る。

また、理論射程は空気抵抗を無視した場合の射程であるが、理論射程と実測射程に大きな差があることが注目される。例えば水の場合4 kg/cm²の圧力では理論射程より約36%も実測射程が減少しているが、同じ圧力で水ゲル濃度0.2%の場合は約17%と減少率が小さくなっている。このことは水より水ゲルのほうが空気抵抗による粒子の分散が少ないため、射程が伸びるということになる。

4. お わ り に

今回の実験で水ゲルの流動特性について興味ある資料が得られたことは今後、実用に供す場合の基礎資料として活用できるものと思われる。このような水ゲルの基礎的性質をふまえて、今後水ゲルの効果的運用を実戦面から更に検討を進めていく予定である。