

水ゲルに関する研究 (第2報)

小 島 正 臣*
 松 橋 哲*
 鳥 井 四 郎*

1. ま え が き

火災統計上から算出された数値によれば、火災の延焼防止に必要とする水量は火災面積1㎡当り1,000~1,200ℓであるとされている。この数値に基づくならば水を約1mの高さに積み上げないと火災は鎮火しないことになるが、この様に多量の水を必要とする要因は水の付着力が低く壁体天井等の燃焼物に放水しても殆んどが流下し、実質的に消火に關与する量としては極く一部に限られてしまうことが原因していると言われている。

本研究は、水を増粘することによって水の付着能力を高め、延焼防止及び消火作業の効率を上げ、あわせて水損を防止する等、水の効果的利用を目的としたものであるが、今回の実験の結果タービンポンプを利用した水ゲルの放射方法が確認できたことは、消火作業に応用するという面で画期的な前進であった。

ここに、水ゲルの第二報として「水ゲルの付着冷却量の測定実験」及び「ポンプ車を利用した水ゲル放射実験」について報告する。尚、水ゲルの成分については第1報に記載されているものを使用した。(※注)

1. 水ゲルの付着冷却量の測定実験

粘性液体が燃焼面に付着することによって冷却と窒息の二面的効果で消火の効率が上昇することは周知のこととされているが、粘度と消火効率等の細部的研究は、消火のメカニズムが複雑であることも影響して十分な資料が無いのが現状である。本実験は水ゲルの付着冷却に必要な粘度を調査すると共に水と水ゲルの付着冷却量を比較研究したものである。

1) 実験方法

図1に示す様に銅板(360×400×1.0mm)を一定角度に傾け、後方から熱源で一定温度に加熱し、前方から水及び水ゲル20mlを注射器で放射し銅板の裏面温度

変化を測定した。

2) 実験条件

各実験は表1の条件で実施し、放射試料は水ゲル0.05重量%、0.1重量%、0.3重量%及び水の四種類について行った。

図1 付着冷却量測定装置

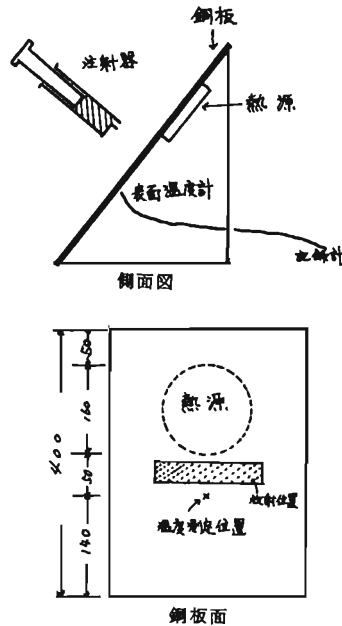


表1 付着冷却量測定実験条件

条件 実験別	銅板の傾き角 度	銅板の温度 (°C)	試料液温 (°C)
実験 1	90度	115±2	24
実験 2	41度	112±2	25
実験 3	13.5度	160±2	24

3) 結果および考察

実験の結果は図2, 3, 4のとおりであり、水ゲル

* 第一研究室

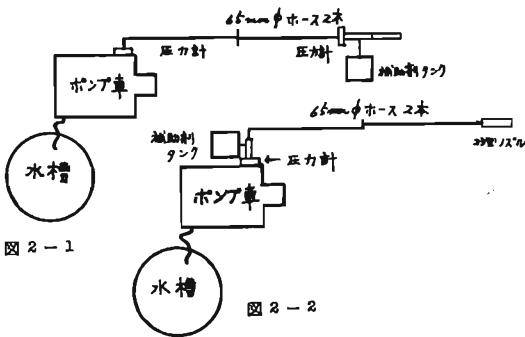
写真1 前回の放水実験



1) 実験方法

水槽 (3 t), ポンプ車 (タービンポンプ付), ラインプロポーションナー500型, ホース2本 (65mmφ, 20m長), 補助剤タンク (100ℓ容器), 管さうおよび23型ノズルを図2-1, 図2-2のとおり配置し, 各実験毎に表2-1の水ゲル原液を水槽, 補助剤を補助剤タンクに入れ, ラインプロポーションナー目盛を3%吸入して放水し, 送水圧力と飛距離を観測した。

図2-1



2) 実験条件

各実験は表2-1の条件で実施した。又, 当日の気象条件は次に示すとおりであり, 水ゲルの放射は南方向水平角度約40度で実施した。

気温 約10℃
風位風速 東北東約2 m/秒

表2-1 水ゲル放射実験条件一覧表

実験別	実験条件	配置	水 槽	補助剤タンク
第 1 実験	図2-1	水	水	
第 2 実験	同上	水ゲル原液 0.1%	補助剤 1.3%	
第 3 実験	同上	同上	0.3%	同上 4.0%
第 4 実験	図2-2	同上	0.3%	同上 4.0%
第 5 実験	同上	同上	0.1%	同上 1.3%

補助剤にはNaOH溶液を使用

3) 実験結果および考察

各実験の結果は表2-2のとおりであった。

ア, 放水量について

水槽の底部の残量計算より実際に使用した水量は約2.3tであった。これによれば毎分当りの平均放水量は約540ℓ/分であり, 23型ノズルのノズル圧力と放水量の実験値 (表2-3) から推定するとノズル圧力は2.5kg/cm²以下になっており, ラインプロポーションナーの入口圧力と出口圧力との関係が約1/2に減少するという他の結果と合致した。

表2-3 23型噴霧ノズル放水量 (ℓ/分)

ノズル 圧力	ノズル展開 角度	
	直 状	90度
1.5(kg/cm ²)	430(ℓ/分)	580(ℓ/分)
2.0	470	680
2.5	535	710
3.0	590	800
3.5	640	870

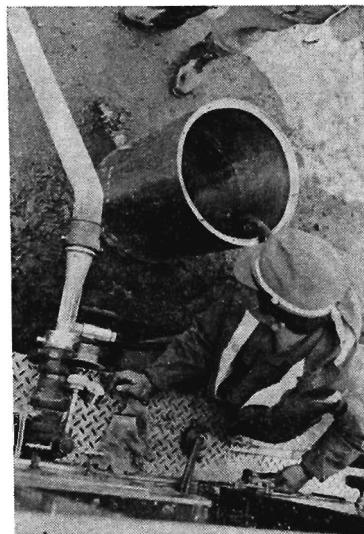
イ, 補助剤の吸入量について

補助剤の吸入量は各実験別に大差は無く, 75ℓの目盛を前後した程度であった。吸入量から計算した補助剤の吸入率は次のとおりである。

$$\text{吸入率(\%)} = \frac{\text{補助剤吸入量(ℓ/分)}}{\text{放水量(ℓ/分)} + \text{補助剤吸入量(ℓ/分)}}$$

$$\times 100 = \frac{75}{2,300 + 75} \times 100 = 3.2(\%)$$

写真-2 補助剤の吸入方法



の濃度と粘度関係は図5のとおりである。

図2 実験1の吸熱曲線

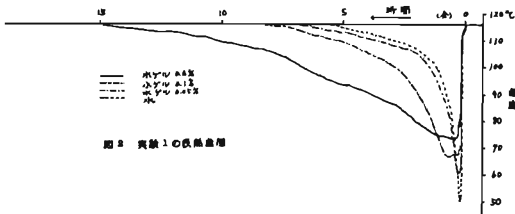


図3 実験2の吸熱曲線

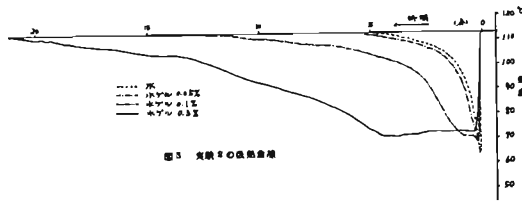


図4 実験3の吸熱曲線

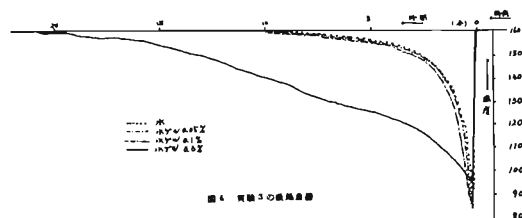


図5 水ゲルの濃度と粘度の関係

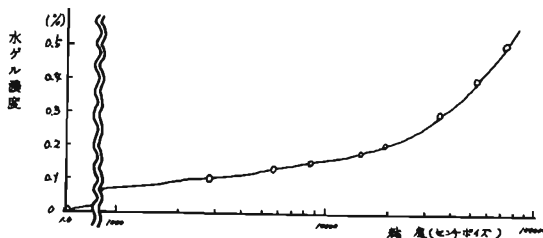


図5 水ゲル濃度と粘度の関係

ア、ライデンフロースト現象の影響について

冷却効果が裏面温度に表われることを配慮した上で熱伝導の良い銅板を放射板として使用した。その場合、銅板面上に水滴が転がるライデンフロースト現象が発生し、付着能力が低下するという傾向にあるが、ライデンフロースト現象の影響を受けても粘度が上昇すれば付着冷却効果が大きくなるという結果になった。

イ、水ゲルの濃度と付着冷却効果について

表2は吸熱曲線から有効冷却量として曲線内の面積

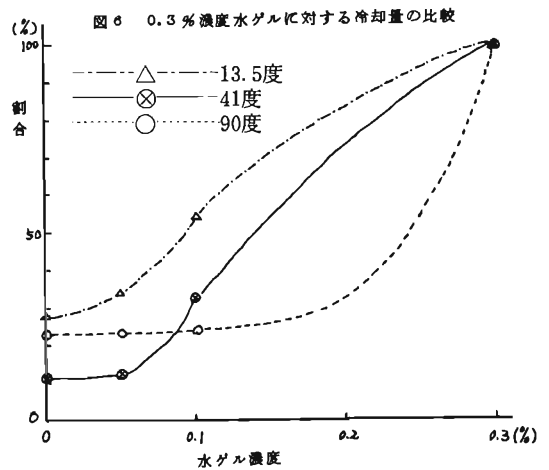
を測定したものであり、図6は水ゲル濃度0.3%を100%としてグラフに表示したものであるが、水ゲル濃度0.1%付近から付着効果が明らかとなっている。

表2 有効冷却量の面積表示

($\times 10^3 \text{cm}^2$)

試料別	傾き角度		
	13.5度	41度	90度
水	1.17	0.58	0.73
水ゲル 0.05%	1.22	0.65	0.86
水ゲル 0.1%	1.25	1.69	1.40
水ゲル 0.3%	5.14	5.23	2.58

但し チャートスピード 1.0cm/分
温度 0.11cm/°C



ウ、急冷却効果について

急冷却の効果は試料放射後の急激な温度降下として表わされるものであり、吸熱曲線(図2, 3, 4)に示されているとおり水が最大であり、水ゲルでも粘度の低いものほど効果が大きく、粘度の増加と急冷却効果は相反関係であった。

本実験だけで実火災消火時の付着冷却効果を判断することは無理があるが、付着性の少ない金属表面という厳しい条件下において付着冷却効果が確認できたことは、水ゲルの消火及び延焼防止作用としての付着効果が充分期待されるものである。

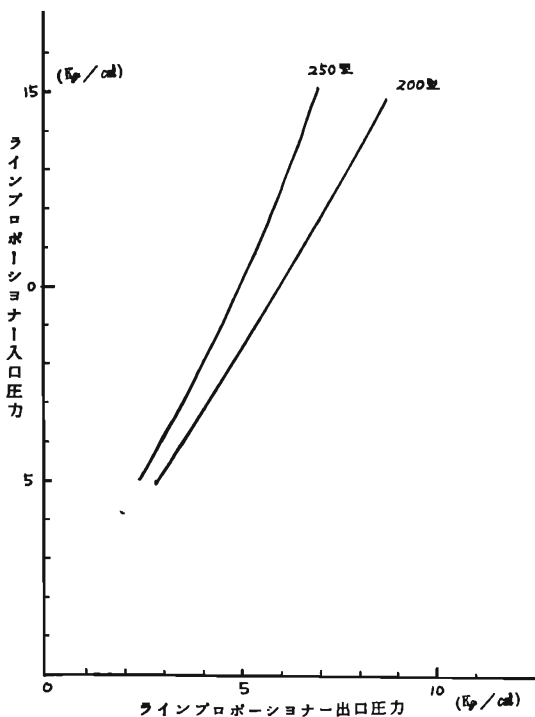
2. ポンプ車を利用した水ゲルの放射実験

ポンプ車を利用した水ゲルの放射実験は昭和48年に実施したが、高粘度になるとタービンポンプによる送水は困難になるとされていた(写真1参照)。今回実施した実験はポンプを通過した後に補助剤を混入する補助剤混入方式を適用し、送水ポンプに加わる粘性抵抗を軽減させたものである。

表2-2 水ゲル放射実験結果

測定 実験別	直状放射		90度角噴霧放射		飛距離(m)	水ゲル原液 2.3t 終了 時間	補助剤吸入 量 (ℓ)	ポンプ回転 数 (r.p.m)
	送水圧 (kg/cm ²)	ラインプロ前 圧 (kg/cm ²)	送水圧 (kg/cm ²)	ラインプロ前 圧 (kg/cm ²)				
第1実験	6	5.0~5.5	6	5.0~5.5	20~25	4' 15"	各実験とも 約75ℓ	1,150
第2実験	6	5.0~5.5	6	5.0~5.5	20~25	4' 20"		1,250
第3実験	6	5.0~5.5	6	5.0~5.5	20~25	4' 15"		1,150
第4実験	7	7	7	7	20~25	4' 15"		1,250
第5実験	7	7	7	7	20~25	4' 15"		1,250

図2-3 ラインプロポーションナー圧力損失
(技術資料より)



又、補助剤として使用したNaOHと水ゲル剤の割合は図2-4に示すとおり水ゲルの粘度と関係するという結果を得ているが、実験3、4の場合吸入率3.2%の場合を計算すると次の様になり、補助剤の吸入量は高粘度が予想される範囲に入っている。

$$\frac{\text{NaOH重量}}{\text{水ゲル剤重量}} \times 100(\%) = \frac{\text{吸入率}(\%) \times \text{NaOH濃度}(\%)}{\text{水ゲル濃度}(\%)}$$

$$= \frac{3.2 \times 4.0}{0.3}$$

$$= 42(\%)$$

写真3 水ゲルの直状放射の状況

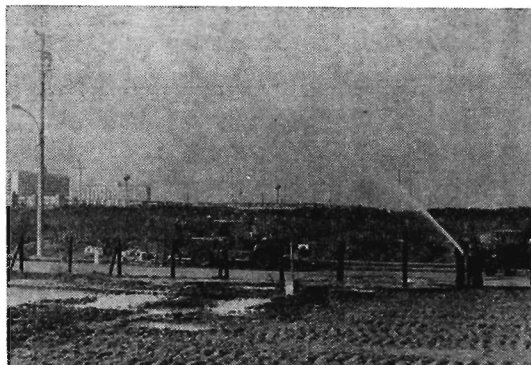
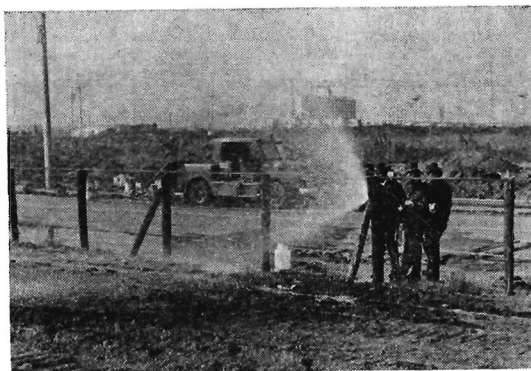


写真4 水ゲル噴霧放射の状況



ウ、補助剤混入位置による粘度の差について

図2-1および図2-2の様に補助剤の混入位置を変化させて粘度と射程を観測したが、粘度はポンプ車の放口近くで混入した場合の方がゲルが均一化し粘度が高くなった。しかしながら、ホースの摩擦損失等には著しい変化が観測されず、射程も20mと良好であった。(写真2、3、4参照)

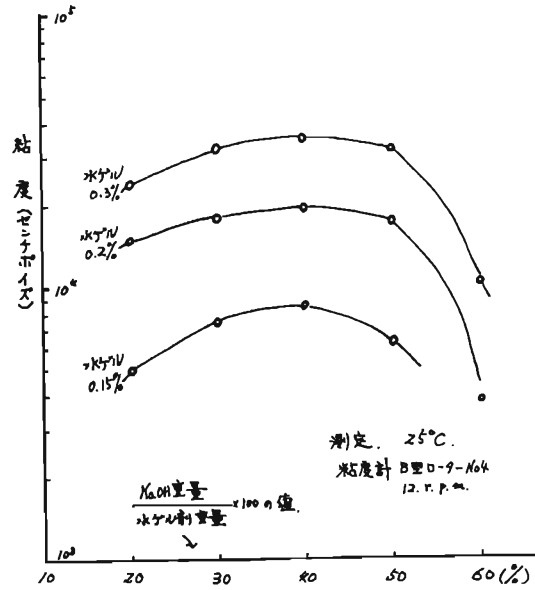
エ、ホースの摩擦損失について

粘性の高い水ゲルはブルドン管型の圧力計では正確

な測定ができないとされているため、ノズル部分には圧力計を挿入しなかったが、放水量から予想されるノズル圧力 (2.5kg/cm²) を採用した場合の各実験における圧力損失は表 2-4 のとおり推定される。又、層流限界速度式から流れの状態を判別し、ポアジュイの式を適用して計算した圧力損失が表 2-4 の計算値である。但し、水ゲル原液は表 2-5 の実験値に基づき 90 C P、水ゲルは図 5 に基づき 30,000 C P および 2,500 C P で計算し混合距離は無視した。

水ゲルの圧力損失が予想より極めて少ないのは、混合距離の問題、流れの状態の変化およびラインプロポーションの圧力損失の減少等が考えられる要因の主なものであるが、本研究を進める上で一番問題として考えなければならないのは混合距離であると思われる。今回の実験においてもホース内で完全に混合増粘しているのではなく、ノズルの抵抗部で主に混合し粘性が上っていると考えれば、放射された水ゲルの粘度に明らかな変化があるにもかかわらず飛距離および圧力損失に変化が無いこと並びにポアジュイの層流式が著しく不適合であることの説明ができる。これが正しいとすれば、ホースの延長距離を知る上で混合距離を測定することおよび混合距離以上のホース延長の可能性の確認が必要となってくる。この問題に関してはさらに実験を実施し研究していく予定である。

図 2-4 補助剤量の粘度の関係



ポンプ車を使用した放水実験により、ホース 2 本を延長する先行車の防ぎょとして水ゲルが使用できることが確認できた。特にストレート放射に加えて噴霧放射も可能であることが判明したことは、燃焼面に水ゲルを均一に付着させることも容易となる等予想外的好成绩を得た。

表 2-4 圧力損失一覧表 (単位 kg/cm²)

実験別	圧力 ノズル圧	送水圧	ラインプロの圧損	ホースの圧損	ホースの圧損 (計算値)
第 1 実験	2.5	6	2.5~3.0	0.5~1.0	0.5
第 2 実験	2.5	6	2.5~3.0	0.5~1.0	0.87
第 3 実験	2.5	6	2.5~3.0	0.5~1.0	0.87
第 4 実験	2.5	7	3.0~3.5	1.0~1.5	240
第 5 実験	2.5	7	3.0~3.5	1.0~1.5	21

表 2-5 ゲル原液の粘度
(温定温度 25°C)

濃度 (%)	粘度 水ゲル原液の粘度
0.1 (%)	80 センチポイズ
0.2 "	90 "
0.3 "	90 "
0.4 "	90 "

写真 5 水ゲルの状況



おわりに

水ゲルの付着冷却量を測定し水との比較ができたこと並びに水量を必要とする消火作業用タービンポンプを使用して容易に水ゲルを放射できるという事実が確認できたことは、水ゲルを実戦に応用する際の車型を決定する上で大きな意義があった。実戦応用の一例として、水槽に水ゲル原液を入れ放射直前で補助剤を吸入して水ゲルを放射する先行速消車的な構想を具体化することも可能であろう。

補助剤混入方式のその他の利点としては水ゲルの長期保存による腐敗の心配が少なくなること並びに補助剤の代りにあわ剤を混入して水ゲルのあわ放射も可能である。

今後は、混合距離の問題および油火災用のあわ剤との混入放射等の細部検討を加えた上で、特異な水ゲル消火のビジョンを具体化していく所存である。

※注

消防科学研究所報11号参照

参考文献

1. 消防科学研究所報11号
2. 放水器具等の技術資料（昭和44年3月）技術課
3. 移動論 小林清志著 朝倉書店発行
4. 水力学水力機械 草間秀俊著 日刊工業新聞社発行
5. 工業化学 化学工学データブック

オーム社発行