

ケイ酸化合物を用いた消火剤の検討

Study on the Fire-extinguishing Agent with Silicate Compound

真 隆志^{1*}・菅原 鉄治¹・塩盛 弘一郎²
SANA, Takashi^{1*}, SUGAHARA, Tetsuji¹, SHIOMORI, Koichiro²

¹ 三生技研株式会社 〒342-0008 埼玉県吉川市旭6番地1 東埼玉テクノポリス内
Sansei Giken Inc., 6-1, Asahi, Yoshikawa, Saitama 342-0008, Japan

² 宮崎大学工学教育研究部環境応用化学科 〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西1-1
University of Miyazaki, 1-1, Gakuen Kibanadai Nishi, Miyazaki, Miyazaki 889-2192, Japan

Abstract : Alkaline metal (Na and K) silicate materials are possible to prepare an aqueous solution, and have a characteristics of a dehydration condensation reaction to polymer structure at high temperature. It is considered that the aqueous solution made from alkaline metal silicate compound splay for combustibles to form a solid film and/or foam state on its surface. In order to develop a new fire-extinguishing liquid agent using our original fireproof heat insulation materials, which alkaline metal silicate as main components, it performed the fire extinction experiment for the prescribed size of a beech wood crib (W60 x D80 x H80mm) as free angle and each side splaying method. It is estimated to the ability of fire-extinction, E_f , each prepared sample compared with the ability of water in the preliminary experiments. And it was determined that the chemical composition of the fire-extinguishing agent has the value of E_f as 3.4 for water in this experimental conditions.

Keywords : Silicate compound, Dehydration condensation reaction, Fire-extinguishing agent, Polymer film, Solid foam

1. 緒言

不定形であるケイ酸Naやケイ酸Kは1950年代から盛んに研究[1]され、近年に至っても基礎的研究[2]が行われている。著者らはこれまでケイ酸化合物を主成分として耐火材の開発[3]を行い、シート状に加工した耐火材がISO834の標準加熱温度曲線に準じた加熱環境においても、木造部材の表面に高分子泡が積層した嵩高い発泡層を形成することで1時間の耐火性能を付与させることが出来た。しかしながら、耐火材はペースト状であるため、耐火材を木造部材に沿った形状に乾燥硬化しなければならない。もし耐火性能を発揮する成分で消火剤を開発することができれば、火災から家屋や財産を守ることができると考えられる。ケイ酸化合物の化学特性から想定される消火作用は、燃焼物の表面で高分子を形成した耐熱性のある被覆物の窒息作用、更に消火剤自体に含有する水と脱水縮合反応で生成する水の気化熱による冷却作用である。これらの作用を併せ持つ新しい消火剤が得られると見込まれる。

そこで本研究では、ケイ酸化合物を主成分とした消火剤を調製し、その消火特性を明らかにした。水を消火剤とした場合において、固定注水法で構築された消火理論[4-6]と、自由噴霧の実験式[7]の間の関係性を調査し、本実験系における水の消火必要量を算出した。同一噴霧速度の場合に使用した消火剤量を比較することで消火能力を推定し、消火剤に適するケイ酸化合物の組成を探索した。

2. 実験

2.1 消火剤の調製

消火剤は以下のように2種類を調製した。1種類は、市販のケイ酸NaまたはKを水で粘度を調節して単独で用いたもの(5タイプ)。他の1種類は、1.5%-ケイ酸Alを1号ケイ酸Kと2号ケイ酸Kの混合溶液(体積比1:3)に溶解して水で粘度を調節して調製したものである(1タイプ)。消火剤の粘度はA&D製音叉型振動式粘度計SV-10を用い、消火剤のpHは堀場製pHメーターD-51を用いて測定した。

2.2 消火実験

消火実験は飛び火クリブ(Fig.1)を使用した。ブナ材のクリブ単木寸法は縦19mm x 横19mm x 幅80mmであり、Fig.1のように各段3本使用し、3段組にした時の組み立て寸法は、縦60mm x 横80mm x 幅80mmである。消火実験の装置および用具の配置をFig.2に示す。予め含水率を10%以下に調節

したクリブをカセットコンロ上に設置・着火し、約2分間燃焼させた。その後、燃焼中のクリブを消火実験箇所へ移動させ、K型熱電対(チノー製:シース外径φ1.0mm)を燃焼中のクリブに設置した。熱電対の熱計測を確認した後、クリブの燃焼速度を無風状態で約1分間測定した。クリブの質量変化は上皿電子天秤(島津製:UW8200S)を用いてデータロガーを介してパソコンに自動記録した。その後、燃焼しているクリブに対して電池式噴霧器(工進製:ガーデンマスターGT-2S)を用いて消火剤を自由噴霧した。消火実験は動画記録し、この時の消火状況、温度変化および使用した消火剤量を記録した。

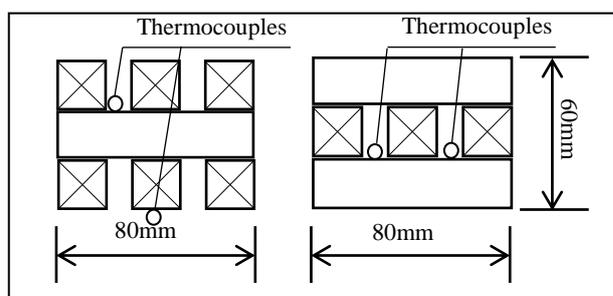


Fig.1 Size of crib and position of thermocouples for this fire-extinguishing experiments.

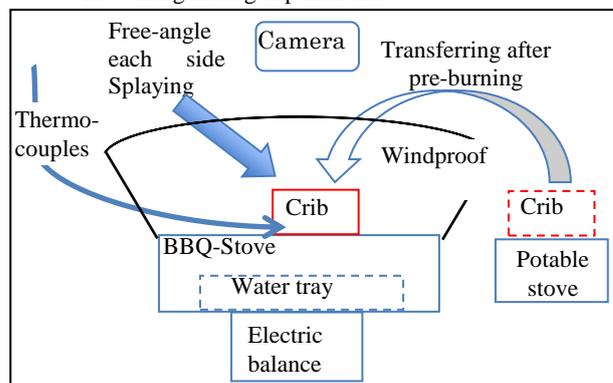


Fig.2 Placement of the fire-extinguishing apparatus.

3. 消火能力の評価

本実験のような自由噴霧による消火は、燃焼によって生成し

た木炭による水の吸収作用と、木材の熱分解反応を断つ噴霧された液滴の接触的作用の競争[5]がある。水を頂部から固定注水した消火必要量 Q_0 [4-6]と自由に噴霧した消火必要量 Q_{KD} [7]はそれぞれ次式で表される。

$$Q_0 = M_0 \phi \lambda \mu_0 = t_e p \quad (1)$$

$$Q_{KD} = 0.90(G \cdot V)^{0.60} \quad (2)$$

ここで、クリブの初重量を M_0 、クリブ燃焼による重量減率を ϕ 、クリブ燃焼時の重量減1に対する木炭収率を λ (0.29) および固定注水法における単位重量の木炭の消火に必要な水の量を μ_0 (3.4 [g-H₂O/g-charcoal])、消火時間を t_e 、注水速度を p とした。また、消火開始時までに燃焼したクリブの減少重量を G (文献5中の $M_0 - M$ に相当する：ここで、 M は消火直前のクリブ重量)、クリブの燃焼速度を V (文献5中の r_M と同じ：ここで、 r_M はクリブの注水開始時の燃焼速度)とした。高橋の報告しているデータ (M_0, M, p, r_M , および t_e) [5]を用いて、 Q_0 と Q_{KD} の値を計算した。その計算値は最小自乗法を用いると直線的な関係がある事が分かった。直線の勾配は0.47であり、手動式注水のように操作要因が加わる時には(1)式に係数 (<1) を掛けると良いという報告[8]と一致した。同様に本実験系も水を消火剤とした時の操作係数 η_1 を求めると、0.52であった。本実験系では水の消火必要量 Q_{cc} は次式で推算できる。

$$Q_{cc} = \eta_1 Q_0 \quad (3)$$

本研究では消火効果 Ef を水の消火効果の倍数として表した。

$$Ef = Q_{meas} / Q_{cc} \quad (4)$$

ここで、 Q_{meas} は消火剤の使用量である。

以後の実験では、操作係数を求めた時と同様の条件(噴霧速度および ϕ)にて行い、消火剤の消火能力を水の消火必要量の倍数として表した。

4. 結果と考察

耐火材では、ケイ酸 Al を添加すると、発泡した泡が 750°C 近傍でも潰れにくくなり遮熱性が向上した[3]。まず、ケイ酸 Al を溶解するベースを探索するため、単独のケイ酸 Na とケイ酸 K を用いて消火実験を行った。Table 1 に単独のケイ酸化合物を消火剤とした場合 (a~e) と本消火剤の場合 (f) の夫々の物性値と Ef を示す。ケイ酸 Na 系 (a~c) では Ef が

Table 1 The experimental data with various single silicate solution and the developed fire-extinguishing agent.

No.	Sample	Viscosity [mPa·s]	pH	Ef
a	Sodium Silicate grade 1	2.45	12.2	1.6
b	Sodium Silicate grade2	2.33	11.8	1.5
c	Sodium Silicate grade3	2.09	11.3	1.3
d	Potassium Silicate grade1	2.65	12.7	2.2
e	Potassium Silicate grade2	2.32	11.3	2.4
f	The developed fire-extinguishing agent	2.08	11.8	3.4

1.3~1.6 であるのに対し、ケイ酸 K 系 (d, e) は Ef が 2.2~2.4 となった。単独のケイ酸化合物の消火剤は、ナトリウム系よりもカリウム系の方が消火能力の高いことが分かった。そこで、以後、ケイ酸 Al を溶解する液としてカリウム系を選定した。

1号ケイ酸 K と 2号ケイ酸 K を体積比 1:3 の割合で混合して、pH 調節した溶液でケイ酸 Al を任意量溶解し、消火剤を調製した。1.5%-ケイ酸 Al を混合ケイ酸 K に溶解した場合の消火実験結果を Fig. 3 に示す。調製した消火剤の pH は 11.8 であり、人が安全に使用できる pH にする事ができた。また、ケイ酸 Al を混合ケイ酸 K 中に溶解する事ができたため、耐火材と同様な効果が発現すると考えられる。調製した本消火剤を燃焼しているクリブに噴霧すると Fig. 3 の様に噴霧開始と同時にクリブ内の温度が下がり、燃焼に対して十分な噴霧

量である事が分かる。クリブ内温度は急激に温度低下し、50°C に到達した時間は約 10 分と短い時間であった。混合ケイ酸 K (体積比 1:3) に 1.5% のケイ酸 Al を溶解して、粘度を 2mPa·s に調節した消火剤の Ef 値は最も高い 3.4 となった。

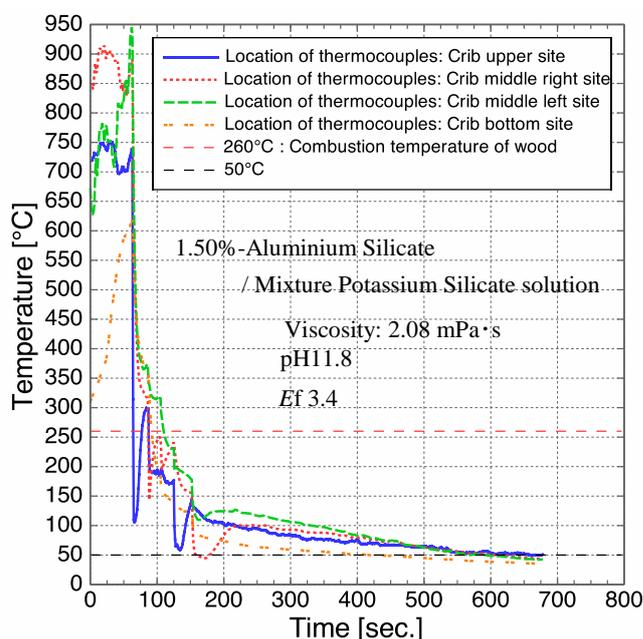


Fig. 3 Time-course of the crib inner temperature with 1.5%-Aluminium Silicate in the mixture Potassium Silicate solution.

5. まとめ

ケイ酸化合物を主成分とした消火剤を調製し、その消火特性を明らかにした。固定注水法と自由噴霧法との直線関係を本実験系にも適用し、算出した操作係数を利用することで自由噴霧の場合の水の消火必要量を導いた。1号ケイ酸 K と 2号ケイ酸 K を体積比 1:3 の割合で混合した溶液に 1.5% のケイ酸 Al を溶解して、水で希釈することにより粘度を 2mPa·s に調節した水溶液を本消火剤とした。本実験環境中では、本消火剤は水に対して 3.4 倍の消火能力を有することが分かった。

謝辞

本研究は「平成 28 年度消防防災科学技術研究推進制度委託研究」(新手法開発型研究開発事業)による成果の一部である。

参考文献

- 後藤克巳; “水中ケイ酸の状態に関する研究 (第 1 報) 重合および解重合について,” 日本化学雑誌, **76**, 729-732, (1954).
- 坂本剛・小川喜久子・宮部慎介; “ケイ酸ソーダの品質比較と SiO₂ の分子構造の解析, CREATIVE, **2**, 35-41(2001).
- 三生技研株式会社, 国立大学法人宮崎大学; “感温性無機組成物,”特許第 5854422 号, 平成 27 年 12 月.
- 高橋哲; “燃焼木炭の消火,” 消防研究所報告, Vol. 49, pp.7-13, (1980).
- 高橋哲; “木材火災の消火 -注水中の重量増加速度および消火時間-,“ 日本火災学会論文集, **30**, 31-40, (1980).
- 高橋哲; “水系消火剤の作用機構と効率,” 消防研究所報告, Vol. 56, pp.7-11, (1983).
- 木田甫; “木材の井げた積み火災を消火するのに必要とする水の量,” 消防研究所報告, Vol. 36, pp.1-6, (1973).
- 高橋哲; “固体火災の消火機構に関する研究,” 火災, Vol.46, pp.5-7, (1996).