

コーンカロリメーターによる接着剤を含む可燃性固体の燃焼性の研究

A Study on Combustibility of Combustible Solid Including Adhesive by Cone Calorimeter

高 黎静¹⁾・王 福剛²⁾

Lijing GAO and Fugang WANG

建築火災の性状には、建築物内に存在する接着剤が影響を及ぼしていると考えられる。本研究では、内装や家具等に広く用いられている代表的な熱可塑性接着剤であるポリ酢酸ビニルエマルジョン樹脂 (PVAc 樹脂) を取り上げ、これを代表的な可燃性固体のセルロースが主成分であるろ紙の表面に塗布し、コーンカロリメーターによる接着剤を含む可燃性固体の燃焼性状について調べた。

実験に用いた試料は、ろ紙のみ、PVAc 接着剤+ろ紙、PVAc 接着剤のみの3種類である。接着剤の含有量の変化が燃焼性状に及ぼす影響を把握するため、ろ紙に PVAc 接着剤の塗布量を $33.41 \text{ g/m}^2 \sim 100.5 \text{ g/m}^2$ 変化させた。放射加熱強度は、 20 kW/m^2 、 30 kW/m^2 の2つのレベルを用いて、ろ紙に接着剤を塗布した面に直接放射熱を与えた場合と、接着剤を塗布しない面に直接放射熱を与えた場合の両方で実験を行った。

コーンカロリメーターによる接着剤を含む可燃性固体の燃焼性状を調査した結果、次のようなことがわかった。着火時間は、PVAc 接着剤のみの場合最も短く、接着剤の塗布量の増加と共に着火時間が若干長くなったことから、接着剤を塗布したほうが初期火災拡大阻止に有効であると考えられる。接着剤の塗布量の増加と共に最大発熱速度が増大しているため、PVAc 接着剤の塗布によって発熱速度を抑えることができないことが分かった。総発熱量は、接着剤の塗布量が倍増した場合でも、それほど変化は見られなく、接着剤の塗布量を更に増加すると大きくなってゆく。発生した CO 濃度は、PVAc 接着剤のみの場合が最も高く、 1000 ppm を超えた。

1. まえがき

接着剤は、合板等の建築材料や家具等に含有されており、また建築時には材料の接着などに用いられるため、建物内には多量に存在している。したがって、建築火災の性状には、建築物内に存在する接着剤が影響を及ぼしていると考えられる。火災に関する研究においては、可燃性固体材料

に沿って燃え広がる現象は、火災拡大の速度にかかわる重要な現象である。可燃性固体材料に沿っての燃え広がりへの研究は、多くの人々によってなされてきたが、接着剤が可燃性固体の燃焼性状に及ぼす影響については、これまでに調べられた例は少なく、不明な点が多かった。その使用量から考えても、住宅火災の性状を的確に理解するためには、接着剤が火災時の各種の可燃性固体の燃焼特性に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

このような背景のもとに高らは、これまでに接着剤が火災性状に及ぼす影響を明らかにする目的で、内装や家具などに広く用いられている熱可塑性接着剤であるポリ酢酸ビニルエマルジョン樹脂 (PVAc 樹脂) を取り上げ、これを住宅における代表的な可燃性物質であるセルロースよりなるろ紙に浸み込ませ、その表面に沿っての下方燃え広がりにつ

1) 千葉科学大学危機管理学部防災システム学科
Department of Disaster System Science, Faculty of Risk and Crisis Management, Chiba Institute of Science
2) 元千葉科学大学危機管理学部防災システム学科学生
現株式会社 エイプルジャパン
APL JAPAN Co., Ltd
(2008 年 10 月 27 日受付, 2008 年 12 月 24 日受理)

いての一連の研究を行ってきた^{1)~5)}。その結果として、燃え広がりの様子は、樹脂を含有していないろ紙のみの場合には、燃焼後微量の灰が残るだけであるのに対し、PVAc 樹脂を含有している場合には、燃焼後生成した炭化物が火炎通過後表面燃焼する。燃え広がり速度は、樹脂の含有量の増加とともに減少する。

これらの研究で、いくつかの重要な点が明らかになってきたが、接着剤を含む可燃性固体の燃焼性についての基礎データはまだ少ないのが現状である。そこで、本研究では、内装や家具等に広く用いられている代表的な熱可塑性接着剤であるポリ酢酸ビニルエマルジョン樹脂 (PVAc 樹脂) を取り上げ、これを代表的な可燃性固体のセルロースが主成分であるろ紙の表面に塗布し、コーンカロリメーターによる接着剤を含む可燃性固体の燃焼性状について調べた。

2. 実験

2.1 実験に用いた試料

実験に用いた PVAc 樹脂接着剤およびろ紙の特性を以下に示す。

① PVAc 接着剤

- * 組成: PVAc (不揮発成分): 41 %
水 (揮発成分): 59 %
- * 密度: 1.06 g/cm³ (23°C)

② ろ紙

- * 重量: 125 g/m²
- * 厚さ: 0.26 mm
- * 表面: 平滑

試料は、以下の手順で作製した。

- (1) ろ紙を 13 cm×13 cm の大きさに切り出す。
- (2) ろ紙片の重量を量る。
- (3) 濾紙片に接着剤を塗る。
- (4) 接着剤を塗ったろ紙を自然に乾燥させる。
- (5) 乾燥した接着剤を塗ったろ紙の厚さと重量を測る。
- (6) 試料を温度 20°C、湿度 60 % に制御した恒温恒湿のデシケーターに保存する。

接着剤の塗布量の変化が燃焼性状に及ぼす影響を把握するため、ろ紙に PVAc 接着剤の塗布量を、33.41 g/m²~100.5 g/m² に変化させた。また、比較するため、接着剤のみの試料を作製した。ガラスの表面に接着剤を塗って自然乾燥させた後、膜ができたので、それを加工することによって試料とした。

2.2 実験装置

① コーンカロリメーターとは

「物質の単位重量当たりの燃焼熱は、物質の材料、構造式等により異なるが、燃焼する際の単位酸素消費量当たりの燃焼熱はほぼ一定の 13.1 kJ/g O₂ で、±5%以内で物質の材質、構造式等によらずあてはまる。」ということがわかる。

このことは、言い換えると、材料が燃えた際に発生する熱量は酸素消費量に比例し、その比例定数 13.1 kJ/g O₂ を用いることより、材料によらず発熱速度を求めることができるのである⁶⁾。

② 装置概要

実験に使用した装置は東洋精機製コーンカロリメーターⅢである。この装置は、主な下記のような部分から構成されている。

- * 試料に放射加熱する試験部
- * 温度、発熱速度、煙濃度、ダクト流量などの表示、解析、制御等を行う制御部
- * 燃焼ガスの CO₂、CO、O₂ の分析を行う分析部
- * 燃焼ガスを排気する排出部

試験しようとする材料に任意の放射加熱を暴露し、その際の着火時間、重量減少速度、発熱速度、発熱量、最大 CO 濃度などを同時に測定ができる。

2.3 実験方法

実験に用いた試料は、ろ紙のみ、PVAc 接着剤+ろ紙、PVAc 接着剤のみの 3 種類である。燃焼面積は 9 cm×9 cm で、放射加熱強度は、それぞれ、20 kW/m²、30 kW/m² を用い、ろ紙に接着剤を塗布した面に直接放射熱を与えた場合と、接着剤を塗布しない面に直接与えた場合の両方で実験を行った。

デシケーターから取り出したサンプルを試料ホルダにセットし、速やかに、コーンカロリメーターⅢ実験装置にセットする。サンプル表面から放射器までの距離を 25 cm に調整し、熱放射により着火する。着火後の様子を、ビデオカメラで撮影、記録、解析する。

3. 実験結果と考察

3.1 実験条件の決定

実験に用いた装置の安定性および実験データの信頼性を確認するため、まず、PMMA を用いて、放射加熱強度を 50 kW/m² で実験を行い、キャリブレーションを行った。実験データの信頼性は高いことが確認された。

また、適切な実験条件を決めるため、ろ紙のみを実験試料として、放射加熱強度を 15、20、30、40、50 kW/m² と変化させ、図 1 に示すような熱流束と着火時間の逆数の傾きを調べた。

3.2 コーンカロリメーターによる試験結果

コーンカロリメーターによる試験結果の内、着火時間、最大発熱速度、着火後 1 分間の平均発熱速度、着火後 3 分間の平均発熱速度、総発熱量、最大 CO 濃度を一覧表にしてまとめた。接着剤を塗布しない面に放射熱を与える場合と接着剤を塗布した面に放射熱を与える場合を、それぞれ表 1、表 2 に示す。

表1 コーンカロリメーターによる試験結果 (接着剤を塗布しない面に放射熱を与える場合)

放射加熱強度 (kw/m^2)	試料	PVAc接着剤 塗布量 (g/m^2)	PVAc接着剤 含有量 (%)	着火時間 (s)	最大発熱速度 (kw/m^2)	着火後1分間 平均発熱速度 (kw/m^2)	着火後3分間 平均発熱速度 (kw/m^2)	総発熱量 (MJ/m^2)	最大CO濃度 (ppm)
20	ろ紙のみ	0.00	0.0	24.1	118.37	36.54	14.22	2.63	195
	ろ紙 + PVAc接着剤	36.19	22.3	40.0	122.5	40.88	14.47	2.84	370
		47.98	27.2	37.8	138.71	41.36	14.81	2.68	255
		72.89	36.6	45.4	142	42.12	14.43	2.73	420
		73.11	36.7	44.3	148.17	45.43	15.27	2.82	311
		85.87	40.4	46.8	140.19	46.3	16.35	3.17	279
		96.72	42.9	46.2	163.1	48.11	16.32	2.97	416
	PVAc接着剤のみ	340.24	100.0	18.0	273.75	81.93	27.53	5.09	1060
30	ろ紙のみ	0.00	0.0	11.3	127.45	36.97	13.34	2.45	409
	ろ紙 + PVAc接着剤	46.50	27.2	16.5	147.44	42.24	14.18	2.56	553
		51.63	28.7	15.5	151.56	42.26	14.38	2.62	306
		70.13	35.4	13.4	171.83	42.28	14.09	2.54	377
		75.77	37.2	15.4	180.61	46.87	16.39	2.97	357
		98.83	43.6	17.6	180.46	49.4	16.64	3.09	318
		100.50	44.6	17.7	184.46	49.01	16.42	2.97	661
	PVAc接着剤のみ	228.40	100.0	8.9	292.27	79.48	27.52	5.01	1258

表2 コーンカロリメーターによる試験結果 (接着剤を塗布した面に放射熱を与える場合)

放射加熱強度 (kw/m^2)	試料	PVAc接着剤 塗布量 (g/m^2)	PVAc接着剤 含有量 (%)	着火時間 (s)	最大発熱速度 (kw/m^2)	着火後1分間 平均発熱速度 (kw/m^2)	着火後3分間 平均発熱速度 (kw/m^2)	総発熱量 (MJ/m^2)	最大CO濃度 (ppm)
20	ろ紙のみ	0.00	0.0	24.1	118.37	36.54	14.22	2.63	195
	ろ紙 + PVAc接着剤	54.48	30.1	26.9	133.25	38.78	13.12	2.44	251
		73.10	36.6	32.3	156.79	42.52	14.34	2.73	362
		77.64	37.6	31.1	156.15	41.56	14.03	2.55	347
		95.64	43.2	33.3	188.3	50.63	18.15	3.31	472
		99.33	43.5	28.7	173.08	48.42	16.89	3.24	568
	PVAc接着剤のみ	340.24	100.0	18	273.75	81.93	27.53	5.09	1060
30	ろ紙のみ	0.00	0.0	11.3	127.45	36.97	13.34	2.45	409
	ろ紙 + PVAc接着剤	33.41	20.7	12.1	164.35	37.45	12.62	2.5	306
		47.79	27.0	12.2	168.62	41.31	13.89	2.53	255
		66.28	34.3	11.8	195.99	43.29	14.43	2.6	303
		76.16	37.0	11.6	200.59	49.1	16.5	2.99	304
		91.04	41.7	11.4	240.85	57.28	19.35	3.54	566
	PVAc接着剤のみ	228.40	100.0	8.9	292.27	79.48	27.52	5.01	1258

3.3 接着剤の塗布量の変化が燃焼性状に及ぼす影響

接着剤の塗布量の変化が燃焼性状に及ぼす影響を把握するため、ろ紙への PVAc 接着剤の塗布量を変化させ、実験を行った。表1 及び表2 をもとに考察する。

① 着火時間

着火時間は、PVAc 接着剤のみの場合最も短く、接着剤を塗布した場合のほうが長くなることが分かった。また、接着剤を塗布した場合、接着剤の塗布量の増加と共に着火時間が長くなったが、放射加熱強度が 30 kw/m^2 の場合、特に接着剤を塗布した面に放射熱を与える場合、それほどの変化は見られなかった。しかし、実際の壁紙を使用した場合、PVAc 接着剤が壁と紙の間に介在しているので、室内火災が発生する際、接着剤を塗布しない面に放射熱を与える場合

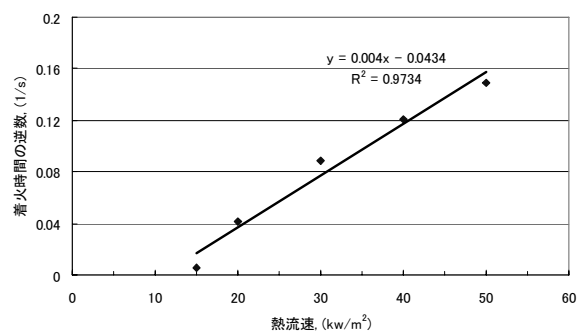


図1 熱流速と着火時間の逆数との関係

と同様である。したがって、PVAc 接着剤の塗布により、着火時間の遅れ傾向があるため、初期消火には有利であると考えられる。

着火時間と放射加熱強度との関係は、接着剤を塗布しない面に放射熱を与える場合と接着剤を塗布した面に放射熱を与える場合、いずれにおいても放射加熱強度の大きい場合のほうが着火時間は短くなる。

② 発熱速度の時間変化

発熱速度と時間との関係は、ここで実際の接着剤を使用したケースと似た接着剤を塗布しない面に放射熱を与える場合（放射加熱強度 30 kW/m^2 ）を例として図 2 に示す。

③ 最大発熱速度

最大発熱速度は、ろ紙のみの場合のほうが、他の場合と比較して最も小さいことがわかった。接着剤の塗布量の増加と共に最大発熱速度が増大してゆく（図 2）。また、放射加熱強度が大きくなると最大発熱速度も大きくなる。このような傾向は、接着剤を塗布した面に放射熱を与える場合も同様である。

④ 発熱速度および総発熱量

発熱速度について、ISO で定められている試験方法では、着火後 3 分と 5 分までの平均の発熱速度を求めるように規定されているが、ここで試験した試料については、ほとんどの試料が着火後 3 分以内に燃え尽きていたため、着火後 5 分までの平均発熱速度は求められなかった。その代わり、着火後 1 分までおよび 3 分までの平均発熱速度を求め、まとめた。

表 1 および表 2 に示したように、接着剤を塗布しない面に放射熱を与える場合と接着剤を塗布した面に放射熱を与える場合のいずれにおいても、また、接着剤の塗布量が倍増した場合でも、着火後 1 分間及び 3 分間の平均発熱速度はそれほど変化が見られない。更に接着剤の塗布量を増加した場合には、平均発熱速度は大きくなることが分かった。総発熱量に関しても同様な傾向が見られた。従って、PVAc 接着剤の塗布により発熱速度を抑えられないことが分かった。

⑤ CO 濃度

発生した最大 CO 濃度に関しては、PVAc 接着剤のみの場合が最も高く、 1000 ppm を超えた。CO の 30 分暴露での致死濃度は 4000 ppm である⁷⁾といわれていることから、CO 濃度については、いずれの試料についてもそれほど多量に発生していないと言える。これは、大気中で十分に空気が供給されている状態で燃焼しているためである。

4. まとめ

コーンカロリメーターによる接着剤を含む可燃性固体の燃焼性状を調査した結果、次のような結論が得られた。

- 1) 着火時間は、PVAc 接着剤のみの場合最も短い。また、接着剤の塗布量の増加と共に着火時間が若干長くな

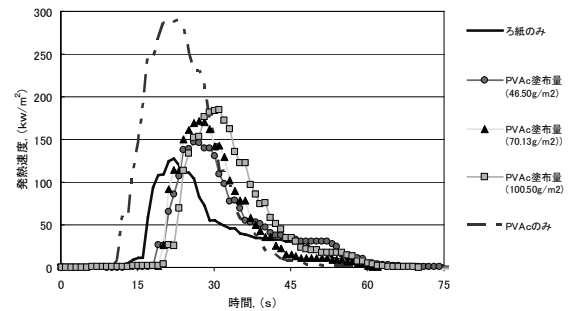


図 2 発熱速度と時間との関係
(接着剤を塗布しない面に放射熱を与える場合、放射加熱強度 30 kW/m^2)

ったため、初期消火には有利であると考えられる。

- 2) 接着剤の塗布量の増加と共に最大発熱速度が増大してゆく。PVAc 接着剤の塗布により発熱速度を抑えられないことが分かった。
- 3) 総発熱量は、接着剤の塗布量が倍増した場合でも、それほど変化は見られなく、接着剤の塗布量を増加すると大きくなってゆく。
- 4) 発生した CO 濃度は、PVAc 接着剤のみの場合最も高く、 1000 ppm を超えた。

謝辞

本研究は、千葉科学大学教育研究経費(平成 19 年度)の助成のもとで実施されました。研究を行うにあたり、消防研究センターの箭内英治、若月薫 両氏より貴重な助言を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 高黎静, 土橋律, 平野敏右: “紙表面に沿っての燃え広がりに及ぼす接着剤の影響に関する研究”, 平成 7 年度日本火災学会研究発表会概要集, pp.108-111 (1995)
- 2) 高黎静, 土橋律, 平野敏右: “接着剤を浸潤させたろ紙の燃え広がり”, 平成 8 年度日本火災学会研究発表会概要集, pp.154-157 (1996)
- 3) Gao, L., Dobashi, R., and Hirano, T.: “Flame Spread over a Cellulose Sheet Permeated with an Adhesive”, Proc. 5th Int. Symp. Fire Safety Science, Melbourne, pp.357-366 (1997)
- 4) 高黎静, 鈴木正太郎, 土橋律, 平野敏右: “接着剤を浸潤させたろ紙の熱分解特性”, 平成 10 年度日本火災学会研究発表会概要集, pp.346-349 (1998)
- 5) Gao, L., Suzuki, M., Dobashi, R., and Hirano, T.: “Effects of Adhesives on Basic Fire Phenomena”, Proceedings of '98 Shanghai International Symposium on Fire Protection of High-rise Buildings, Shanghai, pp.231-238 (1998)
- 6) 消防研究所, 研究資料第 37 号 (平成 9 年 3 月)
- 7) 日本建築学会, “防災材料パンフレット” p.81 (1993)