

小規模膜構造建築物の可燃物調査

辻本研究室

5103078 吉永 崇人

1. 研究背景と目的

耐火建築物の主要構造部に膜構造を用いる場合、建築基準法により、利用できるのは特定の用途に限定される。さらに、高さ 2.7m 未満の箇所に設けることはできず、不燃材料以外の膜材料であれば高さ 5.0m 未満の箇所には使用できない。しかし、上記の規制の根拠は、必ずしも明確に示されていない。そこで、本研究では、小規模膜構造物の可燃物量の実態を調査する。そして、調査結果に基づいて想定火源を設定し、膜面での温度上昇と放射量を評価し、今後膜構造物に求められる性能を知ることを目的とする。

2. 可燃物調査

2.1 調査対象

調査対象として、東京都内にある入口庇、休憩所庇、通路上屋等に設置されている小規模膜構造物を 50 件選定した。選定した物件 50 件中、41 件調査することができた。残りは、取り壊し・建て替えが 8 件、調査依頼拒否が 1 件であった。

2.2 調査方法

現地調査では、膜直下と周辺 5m 以内に設置されている可燃物の、種別、数量、寸法（高さ、幅、奥行き）、材質、配置等を計測・調査・記録した。また、膜の周辺 5m 以内かつ膜上 3m 以内にある開口の、寸法、膜面までの距離、開口内側の室内用途等についても調査した。調査結果を、図面・レポートにまとめるとともに、現地の写真撮影も行った。

3. 想定火源の設定と評価

現地調査で得られた可燃物量と開口寸法から、想定火源の発熱速度を推定し、膜面での温度上昇と放射量を評価する。

3.1 可燃物単体の発熱速度の推定

可燃物が燃焼した場合の発熱速度を、表面積から推定する。図 1 のように、各可燃物を形の違いは無視し、同じ高さ、幅、奥行きの方角に単純化し表面積を求める。発熱速度は式(1)¹⁾を用いて求める。なお、式(1)の係数を用いると、椅子等に関しては過大な評価になるものがある。



▲図 1 可燃物形状の単純化

$$Q = 147 A_s \quad (1)$$

Q [kW]: 発熱速度 A_s [m²]: 表面積

3.2 複数の可燃物が同時に燃焼する際の発熱速度

可燃物が密集している場合は、延焼により同時に複数の可燃物が燃焼すると考えられるので、これを考慮する。同時に燃焼する可燃物の予測には、「火災延焼診断プログラム」²⁾を用いる。ある可燃物を火源とした延焼シミュレーションを、物件中の全可燃物を火源とするパターンで実施し、最も発熱

速度の大きいパターンを、想定火源とする。発熱速度は、同時に燃焼する可燃物の表面積の総和を式(1)に代入することにより求める。

3.3 膜面下にある開口からの発熱速度

膜構造物に隣接する建物内部での火災を想定し、発熱速度を求める。換気支配型の火災を仮定し、開口因子 $A \cdot \sqrt{H}$ (A [m²]: 開口面積、 H [m]: 開口高さ) から発熱速度を求める²⁾。膜面下にある開口は多くの場合、横長であるため、ここでは開口の幅を $H/2$ [m] と扱い、以下の式(2)を用いて求めた発熱速度 Q を点火源として膜への影響を計算する。

$$Q = 1500 A \sqrt{H} = 1500 \frac{H^2}{2} \sqrt{H} \quad [\text{kW}] \quad (2)$$

3.4 可燃物による膜面での温度上昇

プルーム内の温度分布は、式(3)³⁾で求めることができる。3.1-3.3 節で推定した可燃物の発熱速度より、式(3)を用いて、可燃物からの垂直距離が Z [m]、水平距離が r [m] の位置の温度上昇 $\Delta \theta$ [°C] を推定する。

$$\Delta \theta = 11.0 \left(\frac{T_0 Q^2}{\gamma^2 C_p^2 g} \right)^{\frac{1}{3}} Z^{-\frac{5}{3}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{r}{0.084 Z} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

T_0 [K]: 周囲空気の絶対温度 γ [kg/m³]: 空気の密度
 C_p [kJ/kg·K]: 空気の比熱 g [m/s²]: 重力加速度
本研究では、 $T_0=300$ 、 $\gamma=1.2$ 、 $C_p=1.007 \times 10^3$ とした。

3.5 可燃物から膜面への放射量

燃焼による発熱 Q のうち放射に寄与する割合が x_f であると仮定する。燃焼する可燃物からの放射が指向性なく 2π 立体角に一樣に放出されるとすれば、火源の中心と膜面との距離 r_0 を半径とする球面を考えることにより、半径方向に垂直な面への放射量 I は式(4)⁴⁾ のようになる。この式(4)に、3.1、3.2 節で推定した発熱速度を代入し、燃焼する可燃物から膜面への放射量を推定する。本研究では $x_f=0.3$ とした。また、複数の可燃物が同時に燃焼する場合は、膜面に最も近い可燃物からの距離を r_0 とする。

$$I = \frac{0.3 Q}{2 \pi r_0^2} \quad (4)$$

I [kW/m²]: 膜面への放射量

3.6 膜面上にある開口からの放射量

膜面より上にある開口は、開口上半面を 1000K の黒体、膜面を水平とし、形態係数 F を利用して式(5)⁵⁾ より放射量を推定する。

$$q = F \sigma T_f^4 \quad (5)$$

q [kW/m²] : 開口から膜面への放射量

σ [kW/m⁴・K⁴] : ステファン=ボルツマン定数(=5.67×10⁻¹¹)

T_f [K] : 火災室の温度(=1000K)

4. 膜材料の評価

これまで示してきた方法で推定された、各物件での可燃物と開口による膜面での最大温度と最大放射量の結果を表1に示す。また、膜材料はA種膜材料、B種膜材料、C種膜材料があるが、既往の実験、文献⁵⁾から各膜材料における限界温度と限界放射量を表2に示す。そして、物件ごとの膜材料をもとに、表1と表2の値を比較し評価する。各物件の膜材料に応じた評価の結果を表3に示す。可燃物、開口両面からの値が、その膜材料の限界温度、限界放射量を上回らなかった場合は○、どちらか一方の値でも上回った場合は×とした。結果、膜面温度、膜面放射量共に上回らなかった物件は(両方○)3件、膜面温度のみ上回った(膜面温度×膜面放射量○)物件は1件、膜面放射量のみ上回った(膜面温度○膜面放射量×)物件は12件、両方共に上回った(両方×)物件は19件となり、両方共に上回る物件が最も多いという結果になった。膜面温度について見ると、膜直下に可燃物、開口がある場合のみ限界温度を上回るという結果がでた。また膜面放射量について見ると、限界放射量以内におさまった物件は4件のみであり、膜の近傍に建物開口があった25件においては、22件が限界放射量を上回るという結果であった。なお、発熱速度を面で計算しているため、点火源を対象とする式(3)では、膜面温度が異常に高い値となったものがある。

5. 今後の課題

4節でも伺えるように、小規模膜構造物における膜直下での可燃物設置や、開口との関係には、まだ改善の必要があると感じる。開口との関係だけではなく、通路上屋・休憩所庇・入口庇等の用途で利用されている小規模膜構造物は、その用途ごとによって直下、周辺に設置されている物も様々であり、また利用状況も大きく違う。現地調査を行った際に、催事により直下、周辺の可燃物量が大きく変化していたこともあるなど、まだまだ不特定な要素が多い中で、小規模膜構造の火災安全性の評価を高めていくには、調査・研究を通し、より明確な可燃物量の実態や利用形態を掴んでいく必要がある。

▼表2 膜材料別の限界開温度と限界放射量

膜材料	限界温度(°C)	限界放射量(kW/m ²)	基材
A種	260	20.0	ガラス繊維
C種	100	5.8	ポリエステル

謝辞

本研究は、太陽工業株式会社と共同で行った。大変お世話になりました。また、調査に協力して下さった現地の方々にも深く感謝申し上げます。

<脚注>

注1) このプログラムは、原材料や可燃物の配置を具体的に設定し、任意の出火点からの火災の延焼をコンピュータシミュレーションすることにより、火災が発生した場合の初期の拡大状況を解析し、火災の範囲・種の拡大状況などの火災性状を定量的に予測するものである。また、本研究では可燃物の材質は全て、木材とした。

<文献>

- 名取晶子他、「可燃物の発熱速度曲線推定のためのパラメータ分析」、日本火災学会、研究発表会梗概集、2006年5月
- 原田和典、「建築火災のメカニズムと火災安全設計」、財団法人日本建築センター、平成19年12月
- 辻本誠、「火災時の建物内煙流動に関する研究」、修士論文、1975年
- 日本火災学会、「火災と消火の理論と応用」、東京法令出版、平成17年4月
- 建設省建築研究所、日本膜構造協会、「共同研究報告書 膜材料の防火性能に関する研究」、1984年11月
- 日本火災学会、「火災と建築」、共立出版、2002

▼表1 各物件の膜面最大温度と最大放射量の推定結果

(※常温を23℃とする。)

No	可燃物		開口		膜材料
	膜面での最大温度[°C]	膜面への最大放射量[kW/m ²]	膜面での最大温度[°C]	膜面への最大放射量[kW/m ²]	
1	23.0	2.4	23.0	20.5	A種
2	1430.1	32.4	23.0	77.0	A種
3	48.1	0.1	336.3	4.7	A種
4	871.1	131.5	3921.6	79.1	A種
5	705.9	34.4	開口無し	開口無し	A種
6	23.0	23.2	98.8	22.6	A種
7	23.0	10.7	23.0	43.1	A種
8	269.5	22.7	23.0	26.8	A種
9	269.5	22.7	23.0	26.8	A種
10	-	-	-	-	-
11	1402.2	65.3	3701.2	208.2	C種
12	23.0	10.8	23.0	91.6	B種
13	7498.1	125.1	23.0	33.9	A種
14	952.8	155.4	23.0	33.9	A種
15	23.0	2.5	23.0	44.9	A種
16	-	-	-	-	-
17	可燃物無し	可燃物無し	4182.0	94.4	C種
18	-	-	-	-	-
19	214.4	27.1	23.0	90.3	A種
20	91.5	0.4	開口無し	開口無し	A種
21	-	-	-	-	-
22	2981.8	38.3	開口無し	開口無し	A種
23	275.2	13.5	23.0	1667.5	A種
24	可燃物無し	可燃物無し	開口無し	開口無し	A種
25	4711.2	153.5	開口無し	開口無し	A種
26	23.0	11.2	23.0	6.0	A種
27	可燃物無し	可燃物無し	開口無し	開口無し	A種
28	114.1	171.5	開口無し	開口無し	A種
29	69.8	71.2	開口無し	開口無し	A種
30	23.0	11.9	23.0	51.3	A種
31	186.0	84.4	23.0	19.3	A種
32	1799.4	25.8	7971.9	243.9	A種
33	23.0	7.0	3921.6	105.5	A種
34	可燃物無し	可燃物無し	開口無し	開口無し	A種
35	可燃物無し	可燃物無し	開口無し	開口無し	A種
36	可燃物無し	可燃物無し	開口無し	開口無し	A種
37	-	-	-	-	-
38	1392.6	292.0	23.0	91.5	C種
39	27.2	207.5	開口無し	開口無し	C種
40	-	-	-	-	-
41	可燃物無し	可燃物無し	開口無し	開口無し	C種
42	-	-	-	-	-
43	23.0	43.2	23.0	405.1	?
44	206.8	2.0	開口無し	開口無し	A種
45	318.9	2.2	23.0	83.3	?
46	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-
48	9153.5	272.0	開口無し	開口無し	A種
49	9153.5	272.0	開口無し	開口無し	A種
50	24927.9	134.8	23.0	46.5	B種
最大	24927.9	292.0	7971.9	1667.5	A種 32件
最小	23.0	0.1	23.0	4.7	B種 2件
平均	2037.6	73.0	981.9	144.7	C種 5件
中央	269.5	32.4	23.0	51.3	- 9件
個数	34	34	25	25	? 2件

▼表3 各物件の膜材料に応じた評価

No	膜材料	膜面温度	膜面放射量	No	膜材料	膜面温度	膜面放射量
1	A種	○	×	26	A種	○	○
2	A種	×	×	27	A種	可燃物・開口無し	
3	A種	×	○	28	A種	○	×
4	A種	×	×	29	A種	○	×
5	A種	×	×	30	A種	○	×
6	A種	○	×	31	A種	○	×
7	A種	○	×	32	A種	×	×
8	A種	×	×	33	A種	×	×
9	A種	×	×	34	A種	可燃物・開口無し	
10	-	-	-	35	A種	可燃物・開口無し	
11	C種	×	×	36	A種	可燃物・開口無し	
12	B種	○	×	37	-	-	-
13	A種	×	×	38	C種	×	×
14	A種	×	×	39	C種	○	×
15	A種	○	×	40	-	-	-
16	-	-	-	41	C種	可燃物・開口無し	
17	C種	×	×	42	-	-	-
18	-	-	-	43	?	○	×
19	A種	○	×	44	A種	○	○
20	A種	○	○	45	?	×	×
21	-	-	-	46	-	-	-
22	A種	×	×	47	-	-	-
23	A種	×	×	48	A種	×	×
24	A種	可燃物・開口無し		49	A種	×	×
25	A種	×	×	50	B種	×	×

膜面温度○25件×20件 膜面放射量○4件×31件 可燃物・開口無し6件 (※B種と?についてはデータがないので、A種での判断によった。)