

文化財施設防災設備の故障検知と診断手法に関する研究 経年劣化における機器の故障に関する検討

建築都市デザイン学科 2280040080-9 平尾 吉晃
(指導教員 近本智行)

1. はじめに

これまで文化財や文化財施設は、その価値を保護するために文化財保護法等により周辺環境を含む保護や修繕、防災施設の充実や整備の補助等様々な配慮がなされてきた。

一方、建築基準法における特殊建築物や消防法における特定防火対象物等の建築物に対しては報告義務を伴う厳しい基準が設けられているが、文化財施設の中には法定設置基準の対象から外れているケースもある。このような施設では設置が自主的に施されるため、実際に防災設備が配備されていない事例も存在する^{文1)}。

また、建築における防災の考え方は有事の際に建物ではなく人間の安全を優先して設定されている。この考え方は、被災してしまうとその価値を大きく損失してしまう重要文化財施設に相応しいとは言い難い。

本研究では、文化財施設が被災しないために、設備の信頼性を危険率^{注1) 式2)}によって評価する事を目的とする。検討項目について以下表1に示す。

表1 問題点と研究項目

	問題点	検討項目
1)	文化財施設の防災設備には自主的な設置に依存している場合がある →安全性という観点だけでなく、予算などの要因に大きく影響されている可能性が高い	コストと安全性からシステムを検討 →安全維持にかかるコストの検討
2)	点検も法定点検ではなく自主的に行われている場合がある →修理・交換時期を逸する恐れがあり、機器の経年劣化が発生している可能性有り →安全性の質の低下が懸念 実際に防災設備の不具合による事故例が報告 ^{文2)}	経年劣化による故障を検討 →経年による危険率の高まりを考察。機器の重複による危険率の低減性を検討
3)	上記問題1)、2)は通常の規制から逸した現象 →この分野を研究し、文化財を保護するための防災設備等の故障検知・診断を行う専門家が不足	経年劣化を数値化 →危険率によって設備の安全性を検討・評価方法を検証

2. 概要

2-1. 検討対象

設定したモデルに感知範囲 $r=4.5m$ の煙感知器を設置^{注2)}。

2-2. 検討条件

- ① 防災設備は通常全数定期的に法テ点検を実施し、不具合を是正しているため管理不備による経年劣

化は通常想定されていない事である。そのため、メンテナンスのされていない経年劣化によって起こる故障の集計データは存在しない。よって今回機器の劣化をハザード関数(偶発故障関数)式^(1) 文3)で表現する。

$$f(x) = \int e^{-\lambda x} dx \quad (\text{指数分布}) \quad (1)$$

- ② 機器の劣化具合を地点の危険率として表現し直し、安全性を評価する。危険率を次のように与える。

$$U(x) = 1/n \sum (s_n/s \times f(x)^n) \quad (2)$$

- ③ 機器の平均寿命はメンテナンスされている状態で10年、されていない場合は3年とする^{文4)}。

- ④ 対象機器(自動火災報知機・屋内消火栓)は修理やメンテナンスがされていないとし、経年と共に劣化していくとする。

- ⑤ 感知範囲が重複する部分は各々の事象が独立しているため各危険率の積を用いて危険率を表すとする。また機器の感知範囲外の地点は故障率100%とする。

2-3. 検討ケース

■ 煙感知器

感知器3個(a-1)、感知器4個(b-1)のケースを基本ケースとし、感知器の設置個数を増やし検討を行う。配置のパターンを以下図1に示す

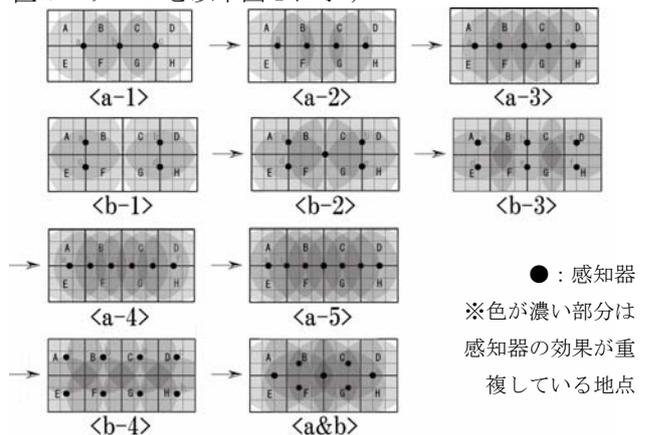


図1：煙感知器の設置パターン

■ 屋内消火栓

屋内消火栓は一定の範囲での出火を防げない事は価値の損失に繋がるため、効果範囲が及ばない地点が生じないように設置した。効果範囲が広いため設置数3・4の2ケースについて検討を行った^{注3)}。

2-3. 検討手法

以下の方針で検討を行った。

- 基本ケースの危険率を基に多重化や整備された場合と比較。
- 設置された設備からコストを算出^(注4) 文5)。推奨されている交換年数10年から基準危険率を算出し、経過年ごとの最もコストの低いパターンを検証。
- 基本ケースの設置、経年後に機器を増設する場合の危険率を考察(ex: a-1+増設→a-5)。
- 屋内消火栓と煙感知器での結果を比較。

3. 検討結果

①図2で示すようにメンテナンスの有無により危険率の増加傾向が大きく変化する。また設置数を増やしたケースでは10年経過時点で最大26.7%の開きを確認。多重化やメンテナンスの有効性を確認。

②図3より a-1 のケースが最も年間当たりのコストが低い事が確認された。しかし図4で示すように最安コストで維持した場合、最も危険率を低く維持したケース a-5 と比較するとその差は大きい。危険率低減のための投資に対する効果を捉えることが出来た。

③a-1 の設置した後、3年から8年の間に増設し a-5 のパターンに変化させたケースを図5に示す。増加した後の危険率は更新無しの場合よりも a-5 の場合の危険率に近づく。即ち機器を新規交換するよりも追加で増設した場合のほうが危険率は大きく減少するという事が分かった。

④屋内消火栓と感知器のコストを表2に示す。感知器の設置のコストの方がかなり低く、防災設備システムの中で感知器の設置を充実させることがコストを抑えながら安全性を維持できる事が分かった。

注1) 危険率の算出方法

参考ケース：1-a (機器の平均寿命10年、経過年1年パターン)

<偶発故障関数の決定>

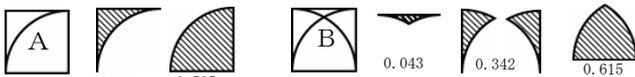
平均 $E=1/\lambda=10$ より $f(x)=\int_0^x e^{-x/10} dx$ $\therefore f(x)=[-e^{-x/10}]$ となる

<地点Aを考える>

範囲外の部：故障率 $f(0)=1=100\%$ 1重の部：故障率 $f(1)=1-e^{-1/10}=9.5\%$ $\therefore U(A)=1 \times 0.215 + 0.95 \times 0.785$

<地点Bを考える>

範囲外の部：故障率 $f(0)=1=100\%$ 1重の部：故障率 $f(1)=1-e^{-1/10}=9.5\%$ 2重の部：故障率 $f(3)=(1-e^{-1/10})^2=0.9\%$ $\therefore U(B)=1 \times 0.043 + 0.95 \times 0.342 + 0.09 \times 0.615$ $\therefore U(1-a) = \{U(A) + U(B)\} \times 1/2 = 18.54\%$



注2) モデル概要

・寸法は量の倍数、奥行き 9m・幅 18mに高さ 5mの空間とする(梁までの高さを 3mとし空気の溜まる部分に感知器を設置しなければならないため天井高さを 5mとした)

・火災の初期は小さな炎と煙で煙の方が早く感知できるため、煙感知器を設置。

・感知器の設置基準面積から煙感知器 2種は 1個あたり 75㎡：162÷75=2.66個 となり切り上げて最低3個は必要となる。

・感知範囲を円と仮定すると $\pi r^2 = 75 \approx 4.88$ \therefore 有効範囲 4.5m

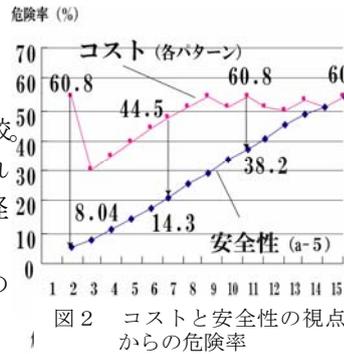
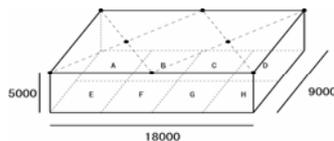


図2 コストと安全性の視点からの危険率

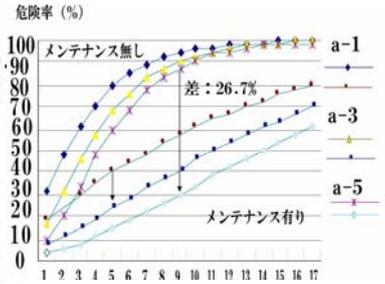


図3 メンテナンス有無と設置数による危険率の差

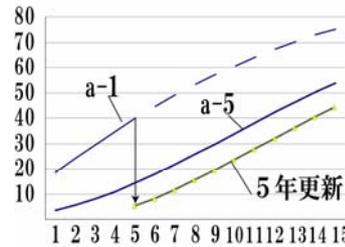


図4 増設による危険率の低減性(5年更新)

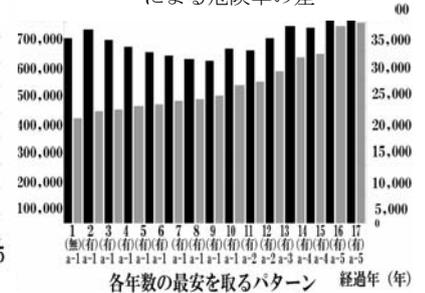


図5 各経過年の最安コストと年間費用(基準値内)

表2 煙感知器と屋内消火栓の費用と故障率

	経過年	1	5	10
消火栓	危険率 (%)	3.07	18.38	37.55
	費用 (万円)	85.39	122.73	169.44
感知器	危険率 (%)	3.44	14.34	34.13
	費用 (万円)	46.54	52.40	59.73

3. まとめ

本報では、信頼性工学の視点から機器の重複設置、保守点検、増設による更新の優位性を確認できた。また安全維持に必要なコストや、それ以上の投資に対する効果を確認した。今後実在する建物に置き換えて考察することで、現存の建物での対象モデルを实在劣化の特徴や危険率が高まりやすい場所を確認することが可能ではないかと考える。

注3) 屋内消火栓の配置パターン



図7 屋内消火栓3, 4個設置

注4) コスト算出方法

<使用機器>

・煙感知器：光電子式スポット型2種・非蓄積型・受信機：P型受信機1級・配線：ねじ無し電線管・露出配管19mm・600V対燃性ポリエチレン絶縁電線1.6mm・2号消火栓箱(弁・ホース・ノズル・ホース掛け・箱)・消火用硬質塩化ビニル外面皮膜鋼管
上記の機器の費用(材料・施工・メンテナンス)を建築コスト情報・建設物価^{文6)}を用いて算出。諸経費として各々の15%を上乗せしている。またメンテナンス無しの検討でも受信機のメンテナンスは行うものとし、一律に20年で交換するように計算している。

<記号>

$f(x)$: 偶発故障関数(故障率) $U(x)$: 危険率 E : 平均値 λ : 1/平均値 S_n : n地点の面積

文1) 京都府地域防災計画震災対策計画(2章文化財災害予防計画)、2006年5月

文2) 文部科学省HP: URL: http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/t19860124001/t198601240 文3) 大橋靖雄・浜田知久馬: 「生存時間解析」、出版: 東京大学出版会、1995年

文4) 日本火災報知機工業会: 自動火災報知機設備の点検実務マニュアル平成20年版、2008年

文5) 日本火災報知機工業会: 既設の自動火災報知設備の更新について、1996年9月

文6) 建設物価調査会: 建築コスト情報・建設物価2008年冬号