防火対策の設置と信頼度が避難安全性と防火コストに及ぼす影響

THE EFFECT OF FIRE PREVENTION DEVICES SET OR NOT AND
RELIABILITY FIREPROOF COST AND SAFETY IN EVACUATION

中野 美奈*, 油野 健志*, 湯谷 孝夫**, 室崎 益輝***

*Mina NAKANO, Kenji ABURANO, Takao YUTANI
and Yoshiteru MUROSAKI*

Fire prevention planning is based on requirements in building regulations and laws. It's unclear how much its effective safety is. It usually doesn't consider its cost. Building regulations and laws will be rewritten on the performance in fire prevention. This paper suggests the system that evaluates life safety, and that considers the fireproof cost. This system estimates the cost with public data and estimates life safety with the comparison of smoke behavior and people's one under fire. Finally we applied this system to a model of office building and made clear effective fire prevention planning and their combination.

Keywords : *life safety, fireproof cost, fire prevention device, reliability*
避難安全性, 防火コスト, 防火設備, 信頼度

1. はじめに

近年, 建築物は大規模化, 複合化し, それらに対応した防火対策の充実が求められる一方でコスト低減のニーズも高く, 合理的な防火計画が必要とされている。しかし, 現状では防火対策の実施が安全性に及ぼす影響が明らかでないため, 設計実務者も防火計画の安全性に疑問を感じている¹⁾。過剰な, あるいは無駄な防火計画がなされている可能性もあるが, それらを明確に示す手法が確立されていない。

建築基準法改正に向けて, 性能的基準にもとづく火災安全設計法の議論が盛んである。防火計画についても, 安全性をどれだけ担保しているかという性能を評価する手法が求められている。安全性評価の手法が明確になれば, 画一的な防火計画ではなく, 建物の用途や使われ方に合わせて同等の安全性を保ちつつ様々な防火計画を選択できることになる。またそのうえで, 費用対効果を把握することにより, 効率的な防火計画の選択も可能となる。

過去には, 火災安全性評価手法の研究として, 焼損面積期待値による評価法や, イベントツリーによるケース生起確率と火災予測計算による評価法²⁾, 防火設備の信頼性を考慮した火災シナリオに基づいた避難安全性の評価手法³⁾がある。

一方, 防火コストの研究として, 防火対策に関わるコストの現状を調査し, 建物用途や規模(階数・面積)と防火コストとの関係を分析した研究⁴⁾⁵⁾あるいは設計者に対するアンケート調査により, 防火コストの実態や意識を調査した研究⁶⁾等があるが, 総じて防火コ

ストに関する研究は数少ない。

また, 安全性と防火対策に関わるコストとの関係の研究として, 防火対策の有効度・信頼度を用いて, 維持管理の善し悪しという側面から安全性と防火コストの関係を分析した研究⁷⁾がある。この中では, 安全性を建築物の焼損面積期待値で評価しており, 避難安全性は評価の指標に入れられていない。

本研究では防火計画において, コストを考慮に入れた防火対策の安全性評価手法を提案し, この評価手法を用いて様々な用途, 規模の建物について合理的な防火計画が提案できるようになることを目的とする。このなかで「安全性」を表す指標については, 「避難安全性」を用いた。「避難安全性」は, 人命に最も影響を与えと考えられる煙流動状況と避難行動を予測することにより求めた。その際, 防火対策がもつ信頼度を「避難安全性」に組み入れることにより, より現実に近い評価ができるものとする。

そこで本報では事務所ビルを例にとり, 4つの防火対策(自火報, スプリンクラー, 防火戸, 排煙設備)の任意の組み合わせについて, 防火対策個々の, また組み合わせによる効果をコストの面から計量的に評価しようと試みた。また, 任意の組み合わせによる防火対策の効果と防火コストについておおまかに評価手法の概念を示し, コストを考慮した防火計画の評価手法の提案を試みた。

* 鴻池組技術研究所 研究員・工修

** 鴻池組技術研究所 主任研究員・工修

*** 神戸大学都市安全研究センター 教授・工博

Research Engineer, Research Institute of Technology, Konoike Construction, M. Eng.
Chief Research Engineer, Research Institute of Technology, Konoike Construction, M. Eng.
Prof., Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, Dr. Eng.

2. 研究の概要

2.1 研究のフロー

研究のフローを図1に示す。本研究では「避難安全性」の評価方法と「防火コスト」の求め方を個々に示し、次にそれらの方法を用いてケーススタディを行い、防火コストと避難安全性との関係进行分析する。

図1 研究のフロー

2.2 用語の定義

ここでは避難安全に関わる用語を以下のように定義する。

(1) 避難安全性： Pr （人/棟・ m^2 ・年）

「防火対策の信頼度を考慮した避難成功人数」

$$Pr = Pa \times Ra / 100 + Pan \times (1 - Ra / 100) \quad (1)$$

Pa ：対策 A が設置されているときの避難成功期待値

Ra ：対策 A の信頼度（%）

Pan ：対策 A が設置されていないときの避難成功期待値

(2) 避難成功期待値： P （人/棟・ m^2 ・年）

「1年間のうちある建物で火災が発生したとき、単位床面積あたり全館で煙にまかれることなく避難に成功する人の数」

$$P = F \times E \quad (2)$$

F ：用途別・延床面積別推定出火率

E ：避難成功人数

(3) 用途別・延床面積別推定出火率： F （回/ m^2 ・年）

「1年間のうち対象とする用途の建物で単位床面積あたり出火する確率」

(4) 避難成功人数： E （人/回・棟）

「ある建物で出火したとき、全館で煙にまかれることなく避難に成功する人の数」

(5) 避難限界となる煙層下端高さ： S （m）

避難完了まで、煙層高さ Sh について以下の条件が満足されることが求められる⁸⁾

$$Sh < 1.6 + 0.1(H - h) \quad (3)$$

Sh ：煙層境界の火源位置からの高さ（m）

H ：火源位置からの空間天井高さ（m）

h ：火源位置からの避難床高さ（m）

$h = 0$ のとき、ある空間で避難限界となる煙層下端高さ S は $S = 1.6 + 0.1H$ （ H ：空間の天井高さ）となる。

(6) 避難限界時間（ S ）

「避難限界となる煙層下端高さ（ S ）になる時間」

(7) 避難完了時間（ S ）

「最終避難者が第2次安全区画である階段附室または階段室に入り込んだ時間」

3. 避難安全性の評価手法

3.1 シナリオ

本研究における防火対策の位置づけを含めた安全性評価手法の概念図を図2に示す。避難安全性を評価するために、火災のシナリオと避難のシナリオを独立して設定し、時間軸で比較している。

図2 避難安全性評価の概念図

火災のシナリオで煙の流動状況を把握し、避難限界となる煙層下端高さになる時間に、避難を完了している避難成功人数によって建物全体の「避難安全性： Pr 」を評価する。これはある建物について1年間に火災が発生した際、避難に成功した人数で評価するので、単位は（人/棟・ m^2 ・年）とする。

1) 火災のシナリオ

火災の進展に伴う煙の流動状況は、「2層ゾーン煙流動性予測プログラム」⁹⁾により予測する。これは煙の流動状況を予測するために一般に使われている、多数階多数室を対象とする非定常煙流動予測モデルである。空間の形状、開口部の大きさ、開閉状況、火源の拡大状況等の条件を与えると、出火後の任意の時刻における各空間内の温度、煙層高さ、圧力などを予測する。

本研究では火災室、非火災室ともに、避難限界となる煙層下端高さ $1.6 + 0.1H$ （m）になる時間を求める。

2) 避難のシナリオ

避難行動を予測するために「避難性予測プログラム」⁹⁾を使用する。これは「避難者は設計者が避難路として計画した通路を整然と混乱なく避難する」ことを前提に、在館者が避難以前にいた場所から最終避難場所に到達するまでの一連の行動の流れを追うことができる。避難行動を大きく決定づける要因として、避難開始時間の設定があるが、これは火災室と非火災室とで異なる。詳細は3.2 1)

①で述べる。

3.2 防火対策

1) 防火対策項目

防火対策とは火災の進展を抑制する対策（消火設備、防火区画）、煙の伝播を抑制する対策（排煙設備、防煙区画）、避難行動を円滑にする対策（自動火災報知設備、避難器具）等がある。この中から火災の進展状況に応じて操作や作動が必要な対策を対象とし、防火対策上最も有効と考えられる、自動火災報知設備（以下、自火報）、スプリンクラー、防火戸、排煙設備（機械排煙）の4つの防火対策をシナリオのパラメーターとして用いる。防火対策の選定や設置については、建築基準法の性能規定化をふまえ、本報では現行の法令にとらわれず設定している。

火災の拡大や避難行動のなかで、それぞれの対策が影響を及ぼす項目とそれぞれの設定値を以下に述べる。

① 自火報の前提条件

自火報が設置されている場合、火災室の在館者は自火報の作動と同時に避難を開始し、非火災室では出火室の2倍の時間がかかるものとする¹⁰⁾。自火報の作動時間は一般に作動に必要とされる時間として60秒と仮定すると、火災室では出火後60秒、非火災室では出火後120秒で避難を開始すると仮定する。

自火報が設置されていない場合、煙の認知により避難が開始され、認知可能な煙層厚さ（天井高さの1割）になった時間を避難開始時間とする。火災室、非火災室ともに、空間の煙層下端高さが(4)の式を満たしたときに避難を開始するものとする¹¹⁾。

$$H_s = 0.9 H_c \quad \dots\dots\dots (4)$$

H_c ：空間の天井高（m）

H_s ：空間の煙層下端高さ（m）

② スプリンクラーの前提条件

初期火災の想定火源として文献⁸⁾にある標準火源を用途に応じて用いる（表1）。

表1 想定火源の発熱速度⁸⁾

火源NO.	設定値				用途
	時間(S)		発熱速度(kW)		
	t1	t2	Q1	Q2	
火源NO. 1	120	240	300	3,000	事務室等
火源NO. 2	120	320	750	25,000	物販店舗等
火源NO. 3	480	720	200	1,000	宿泊室、病室等

スプリンクラーの作動開始時間は発熱速度 Q が、以下の式を満たした時間とする⁸⁾。

$$Q = 0.08 \gamma \{ (T_c - T_o + \Delta T) H \}^{3/2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

γ ：火源上の気流の中心軸とスプリンクラーヘッドとの水平距離（m）

T_c ：スプリンクラーヘッドの公称作動温度（K）

T_o ：周囲の温度（K）

ΔT ：余裕温度（K）

H ：スプリンクラーヘッドの設置されている天井の高さ（m）

スプリンクラーが設置されていない場合は、想定した火源のとおりに発熱速度が増大するものとする。

③ 防火戸の前提条件

防火戸は種類により出火から閉鎖までの時間を設定する。防火戸が設置されていない場合、開口部は常に全開とする。

④ 排煙設備の前提条件

排煙設備も種類により出火から開放（起動）までの時間を設定する。

2) 防火対策の信頼度

防火対策は設置すれば効果があるというのではなく、防火設備自体の機械の故障など現状では有効に作動しない場合も多い。本研究では防火対策が作動する確率を「防火対策の信頼度」と定義する。また作動し、かつ、その機能を果たすことの指標として「奏功率」があるが、今回はパラメーターには含めない。不奏功の例としては、防火シャッターや防火扉の部分に荷物などが置いてあり閉鎖障害となって機能しないという、維持管理に問題のある場合などがあげられる。

それぞれの防火対策の信頼度は、過去の統計データ³⁾を用いて、表2のように設定する。

表2 防火対策の信頼度³⁾

	信頼度
自火報	0.93
スプリンクラー	0.98
防火戸（堅穴区画）	0.9
排煙設備	0.95

4. 防火コストの算定方法

本研究では防火コストとは、「各種の防火対策に関わるイニシャルコスト、ランニングコスト（建物の火災保険料を含む）」をいう。

4.1 イニシャルコスト

防火対策のイニシャルコストは市販の見積資料¹²⁾により表3のように設定されている。

自火報、スプリンクラー、排煙設備は延べ面積あたりの単価が、延べ面積30,000m²、15,000m²、6,000m²、3,000m²ごとに示されている。防火戸については既往の研究⁷⁾を参照した。

表3 防火対策の単価⁷⁾¹²⁾

延床面積	30000m ²	15000m ²	6000m ²	3000m ²	単位
防火対策					
自火報	6,260	5,680	2,910	2,910	(円/延m ²)
スプリンクラー	4,700	-	-	-	(円/延m ²)
防火戸	300,000	300,000	300,000	300,000	(円/枚)
排煙設備	2,270	690	310	-	(円/延m ²)

4.2 ランニングコスト

本研究では、ランニングコストには、保全業務費、人件費、火災保険料が含まれる。

1) 保全業務費

保全業務費は、直接人件費、直接物品費、業務管理費、一般管理費からなる。

直接人件費＝工数×基礎単価

直接物品費＝直接人件費×直接物品費率

業務管理費＝直接業務費×業務管理費率

一般管理費＝業務原価**×一般管理費等率

* 直接業務費＝直接人件費＋直接物品費

** 業務原価＝直接業務費＋業務管理費

基礎単価は、技術者区分により異なるが、ここではすべて技術員が保全業務を行うものとする。技術員の基礎単価は1,370～1,530(円/時間)である¹³⁾。また、それぞれの防火対策の保全業務に関わる工数は文献¹⁴⁾により求める。

2) 火災保険料

火災保険料とは、保険金額(保険をつける建物、または動産の金額)に保険料率(保険金額1,000円に対する1年分の掛け金)を乗じたものである。火災保険料は工事原価のうち、基礎や外構にかかる費用を除いた金額に掛ける場合が多い。ここでは躯体工事、仕上げ工事、設備工事を合わせた工事原価に保険を掛けるものとする。

火災保険料＝(保険を掛ける)工事原価×保険料率

保険料率は、建物の構造、職業(用途)、階数、設置されている消火設備により増減がある。

5. ケーススタディ

以上の評価方法に基づいて、ある建築物を想定し、設置する防火対策の組み合わせを変えたCASE 1～CASE16(表4)についてケーススタディを行う。

5.1 モデル建築物の概要

モデル建築物の概要を図3に示す。

所在地 : 東京都2等地
構造 : SRC造
用途 : 事務所ビル
階数 : 5階建て
基準階面積 : 2,000(m²)
延床面積 : 10,000(m²)
天井高(H) : 2.7(m)
在館者密度 : 0.2(人/m²)
その他 : 1Fに防災センター

表4 防火対策設定例

	自 火 報	ス プ リ ン ク ラ ー	防 火 戸	排 煙 設 備
CASE 1	×	×	×	×
CASE 2	○	×	×	×
CASE 3	×	○	×	×
CASE 4	×	×	×	○
CASE 5	×	×	×	○
CASE 6	○	○	×	×
CASE 7	○	×	○	×
CASE 8	○	×	×	○
CASE 9	×	○	○	×
CASE 10	×	○	×	○
CASE 11	×	×	○	○
CASE 12	○	○	○	×
CASE 13	×	○	○	○
CASE 14	○	×	○	○
CASE 15	○	○	×	○
CASE 16	○	○	○	○

図3 モデル建築物の概要

5.2 避難安全性の算出

1) 防火対策前提条件

① 自火報

自火報が設置されている場合、火災室の避難開始時間は60秒、非火災室の避難開始時間は120秒とする。自火報がない場合は煙層下端高さが式(4)を満たした時間を避難開始時間とする。

② スプリンクラー

スプリンクラーが設置されている場合、 $\gamma=3\text{m}$ 、 $T_c=346\text{K}$ 、 $T_o=293\text{K}$ 、 $\Delta T=20\text{K}$ と設定すると、 $Q=664.1\text{kW}$ になったときスプリンクラーが作動を開始すると仮定される。モデル建築物の用途は事務所なので標準火源 N0.1の時間と発熱速度との関係を用いて火源の成長を予測する⁸⁾と、 $Q=664.1\text{kW}$ となる時間は、出火後136秒である。作動開始後約60秒で鎮火するものとし、出火後200秒で発熱速度が0kWになると設定する(図4)。

図4 標準火源 N0.1の発熱速度⁸⁾と設定値

③ 防火戸

防火戸は煙感知器連動とし、防火戸が設置されている場合、出火後120秒で全防火戸が閉鎖すると設定する。

④ 排煙設備

排煙設備は機械排煙で、1Fの防災センターの管理者が現場で火災を確認後、手で操作するものとする。排煙設備が設置されている場合、出火から始動のボタンを押すまでと、ボタンを押してから排煙機が作動するまでの時間遅れを見込んで出火後180秒で作動を完了すると設定する。以上の結果を表5に整理する。

表5 防火対策と設定値

影響する項目	対策あり	対策なし	
		火災室	非火災室
自火報	避難開始時間	出火後60秒	出火後120秒
		煙の降下時間(数式4参照)	煙の降下時間(数式4参照)
スプリンクラー	火源の発熱速度	出火後136秒で664.1kW	出火後120秒で300kW
		出火後200秒で0kW	出火後240秒で3,000kW
防火戸	煙の伝播	出火後120秒で閉鎖	常に全開
排煙設備	煙の伝播	出火後180秒で全開	常に閉鎖

2) 煙流動予測結果

1階から5階のそれぞれの階で出火した場合を想定し、避難限界となる煙層高さになる時間を各階について予測し、避難限界時間における全館の避難成功人数(E)を求める。その値に、用途別・延床面積別推定出火率(F)を乗じて、避難成功期待値(P)を算出する。

事務所における延床面積別推定出火率 (10^{-7} ・回/ m^2 ・年) を表 6 に示す¹⁵⁾。

3) 避難行動予測結果

避難開始時間は、5.2 1) ①により求める。

このモデルプランでは、エリア A にいる人は避難階段 1 に、エリア B にいる人は避難階段 2 に、エリア C にいる人は避難階段 3 に、エリア D にいる人は避難階段 4 に逃げ込むと仮定し、避難動線の交錯はないものとする。

例として CASE1 の煙流動予測結果と避難成功期待値予測結果を

表 6 事務所における延床面積別推定出火率¹⁵⁾

規模(m^2)	~1,000	1,001~3,000	3,001~6,000	6,001~10,000	10,001~15,000	15,001~20,000	20,001~
事務所($\cdot 10^{-7}$ ・回/ m^2 ・年)	—	7.32	4.26	2.24	1.42	1.12	1.15

表 7 避難成功期待値計算結果

	避難成功期待値: $P(10^{-3} \cdot \text{人} / \text{棟} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{年})$
CASE 1	1.317
CASE2	1.694
CASE3	1.480
CASE4	1.538
CASE5	1.367
CASE6	1.757
CASE7	1.942
CASE8	1.769
CASE9	1.721
CASE10	1.521
CASE11	1.630
CASE12	1.898
CASE13	1.842
CASE14	1.944
CASE15	1.917
CASE16	2.017

図 5 に示す。階段室の最上部に煙が滞留するまでに、最上階以外の非火災階の階段室は汚染されているが、まだ避難可能と設定し、階段室の最上部で煙が「避難限界となる煙層高さ」まで降下した時間に、一斉に非火災階全階が避難限界時間に達すると設定する。

非火災室の避難限界時間は、階段室の最上部において煙が「避難限界となる煙層高さ」にまで降下した時間とする。

以上の結果により CASE1~CASE16 までの避難成功期待値: P は表 7 のとおりである。

4) 避難安全性: Pr

図 5 から求めた避難成功期待値: P と各防火対策の信頼度をもとに避難安全性: Pr を求める。

例として CASE16 について Pr の求め方を表 8 に示す。

表 8 避難安全性の計算例 (CASE16)

	自 火 報	ス リ ン ク テ	防 火 戸	排 煙 設 備	各防火設備の作動・ 不作為の発生確率				パターンの発 生確率	避難成功期待 値: $P(10^{-3} \cdot \text{人} \cdot$ $\text{／棟} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{年})$	避難安全性: Pr ($10^{-3} \cdot \text{人} \cdot \text{／棟} \cdot$ $\text{m}^2 \cdot \text{年})$	
	自 火 報	ス リ ン ク テ	防 火 戸	排 煙 設 備	自 火 報	ス リ ン ク テ	防 火 戸	排 煙 設 備				
CASE16	○	○	○	○	－	－	－	－	1.00	－	1.985363499	
作 動 ・ 不 作 動 の 組 み 合 わ せ	パターン1	×	×	×	×	0.07	0.02	0.1	0.05	0.000007	1.371712	0.0000096
	パターン2	☆	×	×	×	0.93	0.02	0.1	0.05	0.000093	1.694336	0.0001576
	パターン3	×	☆	×	×	0.07	0.98	0.1	0.05	0.000343	1.480192	0.0005077
	パターン4	×	×	×	☆	0.07	0.02	0.9	0.05	0.000063	1.538	0.0000969
	パターン5	×	×	×	×	0.07	0.02	0.1	0.95	0.000133	1.367296	0.0001819
	パターン6	☆	☆	×	×	0.93	0.98	0.1	0.05	0.004557	1.757056	0.0080069
	パターン7	☆	×	×	×	0.93	0.02	0.9	0.05	0.000837	1.941632	0.0016251
	パターン8	☆	×	×	×	0.93	0.02	0.1	0.95	0.001767	1.768704	0.0031253
	パターン9	×	☆	☆	×	0.07	0.98	0.9	0.05	0.003087	1.721216	0.0053134
	パターン10	×	☆	×	☆	0.07	0.98	0.1	0.95	0.006517	1.520512	0.009092
	パターン11	×	×	×	☆	0.07	0.02	0.9	0.95	0.001197	1.629824	0.0019509
	パターン12	☆	☆	☆	×	0.93	0.98	0.9	0.05	0.041013	1.897728	0.0778315
	パターン13	×	×	×	☆	0.07	0.98	0.9	0.95	0.058653	1.842176	0.1080491
	パターン14	×	×	×	×	0.93	0.02	0.9	0.95	0.015903	1.94432	0.0309205
	パターン15	☆	☆	×	☆	0.93	0.98	0.1	0.95	0.086583	1.91744	0.1660177
	パターン16	☆	☆	☆	☆	0.93	0.98	0.9	0.95	0.779247	2.016896	1.5716602

☆、×は、☆:作動、×:不作動を表す

	1階で出火 したとき	2階で出火 したとき	3階で出火 したとき	4階で出火 したとき	5階で出火 したとき
5階の避難限界時間(S)	153	156	164	182	148
避難開始時間(S)	144	146	148	154	74
4階の避難限界時間(S)	153	156	164	148	
避難開始時間(S)	144	146	148	74	
3階の避難限界時間(S)	153	156	148		
避難開始時間(S)	144	146	74		
2階の避難限界時間(S)	153	148			
避難開始時間(S)	144	74			
1階の避難限界時間(S)	148				
避難開始時間(S)	74				

						各階の避難成功人数
5階での避難成功人数(人／回)	0	0	32	96	344	472
4階での避難成功人数(人／回)	0	0	32	344	400	776
3階での避難成功人数(人／回)	0	0	344	400	400	1144
2階での避難成功人数(人／回)	0	344	400	400	400	1544
1階での避難成功人数(人／回)	344	400	400	400	400	1944
避難成功人数:E(人／回・棟)						5880
用途別出火率:F ($\times 10^{-7}$ ・回／ m^2 ・年)						2.24
避難成功期待値:P ($\times 10^{-3}$ ・人／棟・ m^2 ・年)						1.31712

表 9 避難安全性計算結果

	避難安全性: Pr ($10^{-3} \cdot \text{人} / \text{棟} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{年})$
CASE 1	1.317
CASE2	1.668
CASE3	1.477
CASE4	1.516
CASE5	1.365
CASE6	1.736
CASE7	1.889
CASE8	1.737
CASE9	1.693
CASE10	1.515
CASE11	1.599
CASE12	1.870
CASE13	1.800
CASE14	1.903
CASE15	1.879
CASE16	1.985

図 5 避難成功期待値予測結果の 1 例 (CASE1)

CASE16は4つの防火対策がすべて設置されているので、すべての防火対策の作動するかしないかの組み合わせ（パターン1～16）について、そのパターンの発生確率を求める。それぞれのパターンについて表8にある避難成功期待値と発生確率とをかけあわせ、さらにそれらの総和がCASE16の避難安全性：Prとなる。

CASE1～CASE16のそれぞれについて、避難安全性を求めた結果を表9に示す。

5.3 防火コストの算出

1) イニシャルコスト

4.1で示した単価をもとに、モデル建築物の各防火対策に要するイニシャルコストを算出すると、表10のようになる。モデル建築物は延べ面積が10,000m²であるため、自火報、排煙設備については15,000m²と6,000m²の中間の値を、スプリンクラーについては30,000m²の値を採用した。また、年間のイニシャルコストを算出するため設備の耐用年数を15年と見積もり、1/15を乗じている。

2) ランニングコスト

4.2 1)で示した方法で概算した、A社における事務所ビルの保

表10 イニシャルコスト

防火対策	単価	イニシャルコスト (千円/年)
自火報	4,295(円/延m ²)	2,863
スプリンクラー	4,700(円/延m ²)	3,133
防火戸	300,000(円/枚)	400
排煙設備	500(円/延m ²)	333

表11 保全業務費

設備項目	延床面積(m ²)	30,000	15,000	10,000	6,000	3,000	単位
自火報		1800	1200	800	720	480	(千円/年)
スプリンクラー		1350	900	600	—	—	(千円/年)
防火戸		450	300	200	180	120	(千円/年)
排煙設備		900	600	400	—	—	(千円/年)

表12 防火コスト

	イニシャルコスト (千円/棟・年)	ランニングコスト (千円/棟・年)	防火コスト (千円/棟・年)
CASE1	0	886	886
CASE2	2863	1641	4,504
CASE3	3133	1397	4,530
CASE4	400	1086	1,486
CASE5	333	1286	1,619
CASE6	5997	2197	8,194
CASE7	3263	1841	5,104
CASE8	3197	2041	5,238
CASE9	3533	1597	5,130
CASE10	3467	1797	5,264
CASE11	733	1486	2,219
CASE12	6397	2397	8,794
CASE13	3867	1997	5,864
CASE14	3597	2241	5,838
CASE15	6330	2597	8,927
CASE16	6730	2797	9,527

表13 ケーススタディ結果

	避難安全性: Pr(10 ⁻³ 人/棟・m ² ・年)	防火コスト (千円/棟・年)
CASE1	1.317	0
CASE2	1.668	2,863
CASE3	1.477	3,133
CASE4	1.516	400
CASE5	1.365	333
CASE6	1.736	5,997
CASE7	1.889	3,263
CASE8	1.737	3,197
CASE9	1.693	3,533
CASE10	1.515	3,467
CASE11	1.599	733
CASE12	1.870	6,397
CASE13	1.800	3,867
CASE14	1.903	3,597
CASE15	1.879	6,330
CASE16	1.985	6,730

全業務費(表11)から、建物規模10,000m²の値を採用する。保全業務の内容は外観点検、機能点検、総合点検からなり、外観点検、機能点検は6ヶ月に1回、総合点検は年に1回行うものとする。

次に4.2 2)で示した方法で火災保険料を算出する。

当モデルの場合、躯体工事、仕上り工事、設備工事を合わせた工事原価は、260.6(千円/m²)¹⁶⁾、保険料率は、東京都2等地で、構造が特級の場合、基本料率は0.34である¹⁷⁾。その他、階数割増、職業割増は当モデルには要しない。

$$\text{火災保険料} = 260.6(\text{千円/m}^2) \times 10,000(\text{m}^2) \times 0.34/1000 \\ = 886(\text{千円/年}) \quad \dots\dots(6)$$

消火設備割引は、昼夜を通じ、管理人が常駐するときのみ適用される。消火設備割引の対象となる防火対策とその割引率は保険会社の一般的な数値を用いて自火報で5%、スプリンクラーで10%と設定した。

また、消火設備が2種類以上設置されているときの割引率も定められている。自火報と屋内消火栓、またスプリンクラーと屋内消火栓等、防火対策の組み合わせによっては割引率を加算する場合があるが、自火報とスプリンクラーの組み合わせに割引率は加算されていない。

以上をまとめると、CASE1～CASE16における防火コストは表12のようになる。

5.4 ケーススタディ結果

5.2, 5.3の結果から、このモデル建築物における避難安全性と防火コストの算定結果を表13, 図6, 図7に示す。

今回対象とした4つの防火対策のうち単体では、避難安全性の高い順に、自火報、防火戸、スプリンクラー、排煙設備であり、一方防火コストの高い順に自火報、スプリンクラー、排煙設備、防火戸という結果となった(図6: CASE2～CASE5)。自火報は煙の流動には関係せず避難行動のみに影響するが、自火報を設置することにより他の防火対策を設置するよりも高い避難安全性が得られるということは、火災の規模や形態に関わらず早期の避難が安全性に大きく影響することが分かる。また、自火報に次いで避難安全性が高かった防火戸に関しては、防火区画の重要性を表しているものと考えら

図6 ケーススタディ結果グラフ

図7 防火対策組み合わせ別・費用対効果

れる。

CASE7～CASE10の結果を見ると、防火コストはほぼ同額であるが避難安全性に差がある。このような結果から、防火対策の組み合わせによる効果が明らかになる。

また、「避難安全性」と「防火コスト」のそれぞれについて、防火対策を設置していないCASE1との差をとり、防火対策を設置することによりどれだけの避難安全性が得られるかをコストあたりで評価したグラフを図7に示す。防火戸が圧倒的に効率の良い防火対策という結果となった(CASE4)。ただし、これらの結果はいずれも本報で行った、事務所ビルを対象としたケーススタディによる結果である。

6. まとめ

本報では、防火対策の設置の有無と信頼度を考慮した避難安全性と防火コストの算出方法を提案し、事務所ビルに関してのケーススタディを行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 組み合わせる防火対策の数が多いほど、避難安全性は増大する傾向がある。
- 2) 自火報、スプリンクラー、防火戸、排煙設備のうち、避難安全性については、単体では自火報が最も高く、次いで防火戸、スプリンクラー、排煙設備という結果となった。
- 3) 防火コストとの関係で最も効率の良い防火対策は防火戸、次いで自火報、排煙設備、スプリンクラーである。
- 4) 防火対策の組み合わせにより、防火コストはほぼ同じでも避難安全性には差がつく場合がある。

本報では自火報や防火戸は相対的に避難安全性が高いという結果となったが、これらはいずれも奏功率については、一般的にあまり良くないとされている。防火戸が、建物の使われ方により閉まらない状況にあったり¹⁸⁾、自火報が作動しても現実にはなかなか避難を

開始しない¹⁹⁾などがその例である。一方、スプリンクラーは奏功率がかなり高いことが報告されている⁷⁾。今回はパラメーターとして「信頼度」を用いたが、「奏功率」を用いた評価システムを構築することにより、今後はより現実的な評価ができるものとする。

また、対象とする防火対策の選定、各防火対策の信頼度や組み合わせ、避難開始時間、防火コストの算出等については暫定的に設定し、比較を行ったが、さらにそれぞれの設定値についての詳細な裏付けが必要である。

本報では一つのモデル建築物を想定して、コストを考慮した防火対策の効果を評価する方法について提案した。今回は対象とした4つの防火対策単体や任意の組み合わせについての費用対効果を示すにとどまったが、今後、確保されるべき安全性のレベルと適正な投資レベルが設定されれば、そのレベルで防火対策の効果について評価を行うことが重要である。そして様々な規模や用途、プランの建物、さらには実物件への適用についても検討し、評価手法を確立することにより、性能規定化に向けた防火計画の一案となると考える。

参考文献

- 1) ①建築業協会防災計画技術小委員会, 防災計画に関する設計者の問題意識アンケート調査(その1)(その2), 火災 No. 220, No. 221, 1996.2, 1996.4
BCS 防災計画技術小委員会平成6年度活動報告, 1995.7
- 2) 原田和典: 予測計算手法を利用した火災安全設計, 1996年度日本建築学会大会学術講演梗概集 No. 3036, 日本建築学会, 1996.9
- 3) 掛川秀史: 火災シナリオに基づく避難安全性評価手法に関する研究, 名古屋大学博士論文, 1997.7
- 4) 中村裕幸: 建築における防火設備コストの分析, 建築設備と配管工事, 1985.2
- 5) 中村裕幸: 建設コストと防災投資, 建築の技術 施工, 1983.1
- 6) 鈴木恵子: 建築物の防火投資に関する研究, 神戸大学修士論文, 1994.2
- 7) 中嶋久枝: 防火コストを考慮した最適防火設計法に関する基礎的研究, 神戸大学修士論文, 1995.2
- 8) 建設省大臣官房技術調査室監修: 建築物の総合防火設計法 第3巻, 避難安全設計法, P.89～P.90, P.100, 日本建築センター, 1989.4
- 9) 田中峰義他5名: 煙流動及び避難性予測のための実用計算プログラム解説書(第2版), 日本建築センター, 1992.5
- 10) 建設省住宅局建築指導課, 日本建築主事会議監修: 新・建築防災計画指針, 日本建築センター, P.143, 1995.7
- 11) 堀内三郎他2名: 新版, 建築防火, 朝倉書店, P.104, 1994.8
- 12) デザイナーのための見積チェックリスト 1994年度版, 建築文化別冊, 彰国社編, P.132～P.134, 1994.3
- 13) ①経済調査会: 月刊積算資料, ②経済調査会, P.384, 1994.11
- 14) 建設大臣官房官庁営繕部監修: 建築保全業務積算基準, 平成6年度版, ①経済調査会, P.78～P.123, 1994.4
- 15) 朴 哲也: 建築物の出火率と防災設備の故障率に関する統計的研究, 名古屋大学博士論文, P.71, 1991.1
- 16) 建築工事原価分析情報, 建設工業経営研究会, P.56～P.63, 1992.8
- 17) 火災保険一般物件料率表, 損害保険料率算定会, P.64, P.66, P.75, 1990.4
- 18) 特殊建築物等調査資格者講習テキスト, ①日本建築防災協会, P.448, 1995.8
- 19) 中野美奈他5名: 広島基町高層住宅火災時における避難行動調査, 1997年度日本建築学会大会学術講演梗概集 No. 3048, 日本建築学会, 1997.7

(1998年4月10日原稿受理, 1998年9月18日採用決定)