内部構造を木質化した建築物の 延焼防止性能検証

—事務所建築物に関するケーススタ
ディ—

EVALUATION OF THE FIRE SPREAD PREVENTION PERFORMANCE OF BUILDINGS WITH WOODEN INTERIOR STRUCTURE

— A case study on an office building —

茶谷友希子 — * 1 樋本圭佑 — * 2
村岡 宏 — * 3 中村正寿 — * 4
木本勢也 — * 5 蛇石貴宏 — * 1
泉 潤一 — * 5 安井 昇 — * 6
高橋 済 — * 7 竹谷修一 — * 2
糸井川栄一 — * 8 松山 賢 — * 9

Yukiko CHATANI — * 1 Keisuke HIMOTO — * 2
Ko MURAOKA — * 3 Masatoshi NAKAMURA — * 4
Seiya KIMOTO — * 5 Takahiro HEBIISHI — * 1
Junichi IZUMI — * 5 Noboru YASUI — * 6
Wataru TAKAHASHI — * 7 Shuichi TAKEYA — * 2
Eiichi ITOIGAWA — * 8 Ken MATSUYAMA — * 9

キーワード：
市街地火災、隣棟延焼、性能的設計法、リスクベース設計法、
事務所建築物、木材利用

Keywords:
Urban fire, Building-to-building fire spread, Performance-based
design method, Risk-based design method, Office buildings, Use of
wood

Case study on an office building is conducted using a novel
performance-based method for verifying compatibility of fire spread
prevention performance of a building with that required by the building
standard law. In order to relax the restriction on the fire-resistive
performance of the inner wall and floor to be equivalent to the quasi-
fire-resistive construction of 45 minutes, it is necessary not only to
improve the fire-resistive performance of the external wall and window,
but also to subdivide the inner space into several fire compartments.

1. はじめに

従来、建築基準法では、防火地域・準防火地域の建築物に対する
延焼防止上の要求性能を、階数と延床面積に応じて仕様規定で定め
ており、主要構造部や開口部などに対して一律に耐火性能を要求
してきた（図1）。こうした規定は、戦後しばらくするまで頻発して
いた大規模な市街地火災の発生を抑制する上で一定の効果を挙げて
きた一方で、防火地域・準防火地域における建築物の設計自由度を
阻害する要因ともみなされてきた。

そこで、国土交通省総合技術開発プロジェクト「防火・避難規定
等の合理化による既存建物活用に資する技術開発」に設置された市
街地火災 SWG において、防火地域・準防火地域に建つ建築物の延焼
防止性能を性能的に検証するための手法（以下、本検証法）の研究

開発を行った^{1)~5)}。本報告は、市街地火災 SWG において、本検証法
を用いて事務用途のモデルプランを対象にケーススタディを行い、
従来の仕様規定において建築物の内部構造（壁、床等）として許容
されてこなかった耐火構造ではない部材（ここでは、特に木質部材）
を利用した場合に、建築物の延焼防止性能が要求性能以上となるた
めに必要な代替策の検討、及び、各構造部材の延焼抵抗時間の感度
分析を実施した結果の一部を報告するものである。

2. 検証法の概要⁵⁾

本検証法の特徴は、延焼リスクの観点から建築物の延焼防止性能
の評価を試みている点にある。評価に際しては、仕様規定に基づい
て建てられた建築物（以下、基準建築物）の延焼リスクと、本検証
法を用いて新たに設計したい建築物（以下、対象建築物）の延焼リ
スクを比較することで、対象建築物の延焼防止性能が仕様規定で定
められる要求性能と同等以上であることを検証する。本検証法にお
いて、延焼リスクは「延焼防止時間 t_{FS} 」と呼ぶ受害防止性指標とし
て算出され、相対延焼防止時間（対象建築物の延焼防止時間 t_{FS} ／基
準建築物の延焼防止時間 $t_{FS,0}$ ）が1以上であることをもって、対象建
築物が要求性能を満足すると判定する（図2）。すなわち、

防火地域における規制			準防火地域における規制		
延床面積 階数	100㎡以下	100㎡超	500㎡以下	500㎡超 1500㎡以下	1500㎡超
4階以上	耐火建築物		耐火建築物		
3階			一定の防火措置 防火構造 (外壁・軒裏)	準耐火 建築物	
2階					
1階					

図1 現行法による要求性能（仕様規定）

本稿は文献3)を再構成し、加筆・修正したものである。

¹⁾ 住友林業㈱筑波研究所

(〒300-2646 茨城県つくば市緑ヶ原3-2)

²⁾ 国土交通省国土技術政策総合研究所 博士（工学）

³⁾ ㈱大林組技術本部研究開発管理部 博士（工学）

⁴⁾ 大成建設㈱技術センター都市基盤技術研究所 博士（工学）

⁵⁾ 三井ホーム㈱技術研究所研究開発グループ

⁶⁾ 桜設計集団一級建築士事務所 博士（工学）

⁷⁾ アイエヌジー㈱ 博士（工学）

⁸⁾ 筑波大学システム情報系 工博

⁹⁾ 東京理科大学理工学研究科国際火災科学専攻 博士（工学）

¹⁾ Sumitomo Forestry Co., Ltd.

²⁾ National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT, Dr. Eng.

³⁾ Obayashi Corporation, Dr. Eng.

⁴⁾ Taisei Corporation, Dr. Eng.

⁵⁾ Mitsui Home Co., Ltd.

⁶⁾ Team Sakura, Dr. Eng.

⁷⁾ ING Co., Ltd., Dr. Eng.

⁸⁾ Faculty of Engineering, Information and Systems, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.

⁹⁾ Dept. of Global Fire Science and Technology, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

$$\left. \begin{array}{l} t_{FS}/t_{FS,0} \geq 1 \Rightarrow \text{OK} \\ t_{FS}/t_{FS,0} < 1 \Rightarrow \text{NG} \end{array} \right\} \quad (1)$$

ここで、検証のための火災シナリオは、(A)内部火源シナリオ（着目する建築物^{注1)}の内部で出火し、周囲の建築物へ延焼する状況）と、(B)外部火源シナリオ（隣接建築物で既に出火しており、着目する建築物に延焼し、さらに周囲の建築物へ延焼する状況）の2つを想定し、いずれの火災シナリオにおいても相対延焼防止時間が1以上となった場合にのみ、対象建築物が要求性能を満足すると判定する。すなわち、

$$\left. \begin{array}{l} (t_{FS}/t_{FS,0})_A \geq 1 \cap (t_{FS}/t_{FS,0})_B \geq 1 \Rightarrow \text{OK} \\ (t_{FS}/t_{FS,0})_A < 1 \cup (t_{FS}/t_{FS,0})_B < 1 \Rightarrow \text{NG} \end{array} \right\} \quad (2)$$

表1 部材及び設備の評価

部材／設備	(A)内部火源シナリオ	(B)外部火源シナリオ
内壁，床，内壁開口部	評価する	評価する
スプリンクラー設備	評価する	評価しない
外壁，外壁開口部 (屋内側から加熱される場合)	評価する	評価する
外壁，外壁開口部 (屋外側から加熱される場合)	評価しない	評価する
屋根	対象外	対象外

図2 本検証法の考え方

図3 延焼防止時間 t_{FS} の導出過程

ただし、下付き文字の A, B は、それぞれ内部火源シナリオ、外部火源シナリオを表している。

各シナリオにおいて評価の対象となる部材・設備を表1に示す。本検証法では、内部火源シナリオにおける外壁および外壁開口部の屋外からの加熱に対する部材性能と、外部火源シナリオにおけるスプリンクラー設備（以下 SP 設備）の性能は、延焼防止効果が限定的であるとみなし、本検証では評価しないこととしている。また、屋根については、飛び火による延焼を防止するために一定の性能が確保されるべきであるが、技術的な知見が十分に蓄積していないことから、本検証法の対象外とし、仕様規定を適用するものとする。

延焼防止時間 t_{FS} は、内部火源、もしくは外部火源のいずれかの火源によって、着目する建築物内で火災が発生し（火災発生確率 p_I ）、発生した火災が盛期火災に成長し（火災成長確率 p_{FO} ）、さらにその加熱によって建築物の外周区画を構成する部材が突破されることによって（区画の突破確率 p_C ）、隣接敷地に建つ別の建築物に延焼の危険性及ぶことを考慮して、

$$t_{FS} = \frac{\theta}{p_I p_{FO} p_C \cdot \dot{q}_R^2} \quad (3)$$

のように求める。各確率に、部位ごとの部材性能や、設備の有無を反映させることで、建築物の延焼防止性能を部材レベルで検討できるようにする（図3）。ここで、 θ は定数であり、式(2)で相対評価する際に相殺することが出来るため算出する必要はない。 $\dot{q}_R$ は敷地境界等^{注2)}での放射熱流束であり、次式のように求めるものとする。

$$\dot{q}_R = \frac{\dot{q}_0^* A_{OP}}{A_{OP} + \pi s^2} \quad (4)$$

ここで、 $\dot{q}_0^*$ は着目する建築物からの放射熱流束（ $=100\text{kW/m}^2$ ）、 A_{OP} は着目する建築物の外壁開口部面積、 s は着目する建築物から敷地境界等までの最短距離である。本検証法では、安全側を考慮して、着目する建築物から敷地境界等までの最短距離 s を、着目する建築物のその他全ての外壁にも適用して計算することとした。

なお、式(3)は、着目する建築物の火災性状や隣接建築物に対する加熱特性が、建築物内の場所に依らず一様となることを前提としている。ただし、実際の建築物で発生する火災では、防火区画により建築物全体の一体的な燃焼が回避されることが一般的である。そこで、建築物を構成する防火区画ごとに延焼防止時間 $t_{FS,i}$ ($i=1 \sim N$) を式(3)により求めて、防火区画の外壁長さ $L_{W,i}$ による重み付き調和平均をとることで、建築物全体の延焼防止時間 t_{FS} を次式により算出するものとする。

$$t_{FS} = \frac{\sum_{i=1}^N L_{W,i}}{\sum_{i=1}^N L_{W,i} / t_{FS,i}} \quad (5)$$

ここで、 N は建築物内の総防火区画数である。

3. 内部構造の木質化および代替策を講じた場合の延焼防止性能

本報告のケーススタディでは、内部構造を木質化した時に、延焼防止性能が要求性能以上となるために必要な代替策の検討を行う。このとき、内壁および床の木質化（部材性能低下）および内装材の木質化（可燃物量の増加）により、延焼防止性能は低下する。その代わりに延焼防止性能を向上させる手段として、外壁および外壁開

口部の部材性能の向上，防火区画の追加，SP 設備の設置の効果を検討する。以下に，本検証法のうち，ケーススタディに関連する部分を抽出して説明する。詳細については文献 5) を参照されたい。

3.1 内部構造を木質化した場合の延焼防止性能の低下

3.1.1 区画の突破確率の増加

部材性能は，部位に応じた火災加熱を受けた場合に突破される確率 p として評価し，IS0834 標準加熱曲線による加熱と等価な火災継続時間 t_F^* と，その下での部材の延焼抵抗時間 t_R (準耐火性能を担保する時間⁵⁾) の大小関係に基づいて求める。このとき，内部構造を木質化すると，部材の延焼抵抗時間 t_R が小さくなり，かつ，可燃物量が増えて等価火災継続時間 t_F^* が大きくなるため，部材突破確率 p は大きくなる。部材突破確率 p は次式で求める。

$$p = \text{prob}(t_R < t_F^*) = 1 - \Phi(\beta) \quad (6)$$

ここで，等価火災継続時間 t_F^* は建築物内の収納可燃物密度の実態調査⁶⁾を踏まえて対数正規分布をとるものとしている。 Φ は標準正規分布の累積分布関数， $\beta = (\ln t_R - \lambda_F) / \xi_F$ は安全係数， $\lambda_F = \ln\{\mu_F / \sqrt{1 + (\sigma_F / \mu_F)^2}\}$ と $\xi_F = \sqrt{\ln[1 + (\sigma_F / \mu_F)^2]}$ は対数正規分布の変数， μ_F と σ_F はそれぞれ等価火災継続時間 t_F^* の平均と標準偏差である⁵⁾。ただし，式(6)では，等価火災継続時間 t_F^* と部材の延焼抵抗時間 t_R の関係が明示的ではないため，さらに次のような近似式を導入して，それぞれが確率 p に及ぼす影響を把握できるようにする¹⁾。

$$p = 1 / \{1 + 1.32(t_R / t_F^*)^{5.24}\} \equiv F(t_R / t_F^*) \quad (7)$$

また，区画の突破確率 p_c は，その区画を構成する壁材あるいは床材の突破確率 p_w と開口部の突破確率 p_o を用いて次式で求められる。

$$p_c = 1 - \{1 - p_o\}^r \{1 - p_w\}^{1-r} \quad (8)$$

ここで， r は区画の開口率である。

木質化に伴う内壁および床の部材性能の低下，つまり延焼抵抗時間 t_R の低下は，各部材の突破確率 p_w ， p_o の増加を通して，その部材を有する内部区画の突破確率 p_c ^{注3)} の増加に反映される。

3.1.2 等価火災継続時間の増加

内壁および床が加熱を受ける場合，および外壁が屋内側から加熱を受ける場合，等価火災継続時間 t_F^* は耐火性能検証法⁷⁾における評価の枠組みを援用して次式で求める。

$$t_F^* = (\alpha / 460)^{3/2} \cdot t_F \quad (9)$$

ここで， α は火災温度上昇係数であり，実際の火災継続時間 t_F は，防火区画内の総発熱量を成期火災時の発熱速度で除して求める⁷⁾。

内部構造を木質化することによる可燃物量の増加，つまり防火区画内の総発熱量の増加は，等価火災継続時間 t_F^* の増加を通じて，式(7)，(8)より，最終的に区画の突破確率 p_c の増加に反映される。

3.2 代替策を講じた場合の延焼防止性能の向上

内部構造の木質化による延焼防止性能の低下の代替策については，「外周部材の強化による突破確率の低減」，「防火区画の追加による突破確率の低減」，「SP 設備の設置による火災成長確率の低減」の3種類の対策について検討する。各代替策の効果は，本検証法において以下のように評価される。

3.2.1 外周部材の強化による突破確率の低減

外壁および外壁開口部の部材性能，つまり延焼抵抗時間 t_R の向上は，式(7)，(8)より，外周区画の突破確率 p_c の低減に反映される。

3.2.2 防火区画の追加による突破確率の低減

1つの防火区画を2つに分割するように防火区画を増設すると，分割後の各防火区画内の総発熱量は減少する。これにより，式(9)および式(7)，(8)より，区画の突破確率 p_c の低減に反映される。

3.2.3 SP 設備の設置による火災成長確率の低減

防火区画内で発生した火災は，出火源の位置や大きさなどによらず，基本的に，全てが盛期火災に発展すると仮定する。ただし，SP 設備が設置された場合は，内部火源シナリオに限り，一定の確率で盛期火災への成長を阻止できるものとする。この場合，SP 設備が十分に機能せず，防火区画内において発生した火災が盛期火災に成長する確率（火災成長確率 p_{FO} ）を，次のようにして求める。

$$p_{FO} = 1 - p_{AC(O)} p_{AC(E)} p_{EX} \quad (10)$$

ここで， $p_{AC(O)}$ は非地震時において SP 設備が作動する確率， $p_{AC(E)}$ は地震の揺れを受けた後にも作動する確率， p_{EX} は SP 設備が作動した場合に消火に成功する確率である^{注4)}。

表2 モデルプラン（基準建築物）の建物概要

階数	3
延床面積 (㎡)	2640.5
用途	事務所
立地	防火地域
階高 (m)	4
スパンドレル長さ (m)	0.9
天井高 (m)	2.8
延焼抵抗時間 (分)	外壁，間仕切壁，床 75 (≒60×1.2) ^{注5)}
総発熱量 (MJ)	外壁開口部 20 ^{注6)}
用途毎の可燃物密度 (MJ/㎡)	収納可燃物 1,204,400
	内装材料 154,868
	事務室 560
	廊下・階段室 32
	EV 160
天井の仕様	ロックウール板塗装（不燃）
	厚さ (mm) 10 (9+1)
壁の仕様	石膏ボード2枚+ビニル壁紙（準不燃）
	厚さ (mm) 26.5 (12.5×2+1.5)
床の仕様	タイルカーペット（木材その他）
	厚さ (mm) 7

図4 モデルプランの平面図

4. モデルプランの概要

本検証法を用いたケーススタディを行うモデルプランとして、防火地域内における延床面積 3,000m² 以下の3階建事務所ビルを想定した。図4に各階平面図、表2に基準建築物の概要を示す。基準建築物は仕様規定に基づいて建てられることを仮定するため、主要構造部に一律 60 分の耐火性能が要求され^{注5)}、延焼のおそれのある部分の開口部には一律 20 分の遮炎性能が要求される^{注6)}。ただし、天井は不燃性能、壁は準不燃性能の仕上げとした。

本検証法では、防火区画単位毎に火災発生確率 $p_{i,j}$ 、火災成長確率 $p_{FO,i}$ 、区画の突破確率 $p_{C,i}$ 、延焼防止時間 $t_{FS,i}$ を算出するため、区画毎に敷地境界等からの離隔距離 s 、外壁開口部面積 A_{OP} 、収納可燃物量、内装可燃物量等を設定する必要がある。収納可燃物量、及び内装可燃物量を算定する場合の設定値は耐火性能検証法⁷⁾を参考とした。なお、本モデルプランの主要用途である事務室の区画は、3面の外

壁を有し、各外壁の敷地境界等からの離隔距離 s は異なっているが、ここでは安全側を考慮して最小値の 2 m を採用し、他 2 面の外壁も離隔距離 2 m として計算した。また、事務室の外壁開口は 1 階のみ開口高さ 2 m とし、2 階、及び 3 階は開口高さ 2.8 m の横連装窓とした。壁の開口率は、外壁が 0.7、内壁が 0.68 である。

また、対象建築物として、防火区画を増設した場合の効果を検証するため、事務室を 2、3 分割したプランも想定した(図5)。本プランにおける防火区画面数は分割なしの場合では 9 区画、2 分割の場合では 12 区画、3 分割の場合では 15 区画となる。

5. ケーススタディの検討ケースと検証結果

表3に各検討ケースの設定条件と、本検証法により求めた1階事務室(図5中のI, 2, C)の等価火災継続時間 t_F と外周区画の突破確率 p_C 、そして相対延焼防止時間 $t_{FS}/t_{FS,0}$ の一覧を示す。

対象建築物では、内部構造に木材を利用した場合を念頭に、内壁と床を 45 分準耐火構造相当とし、かつ、壁と天井の内装仕上げに木材(厚さ 10mm)を使用する条件①を設定した。この条件①に対して、条件②～⑯において、外壁及び外壁開口部の性能向上、防火区画の増加(事務室の分割)、SP 設備の設置といった対策を講じることにより検証成立の可否、つまり、対象建築物の延焼防止時間 t_{FS} が基準建築物の延焼防止時間 $t_{FS,0}$ 以上となる対策を検討した。

ここで、外壁および外壁開口部の性能は、それぞれ 90 分および 30 分の延焼抵抗時間に向上させた。防火区画は、1～3階全ての事務室を2分割した場合と3分割した場合を検討した。

5. 1 対策を個別に講じた場合の効果の検証

図6に、対策を個別に講じた、条件②外壁開口部のみ強化、条件③外壁のみ強化、条件⑤SP 設備設置、条件⑨事務室を2分割の相対

図5 事務所の分割パターン

表3 各検討ケースの検証条件と相対延焼防止時間の計算結果^{注7)}

条件	防火区画 (事務室の 分割数)	SP 設備 の有無	延焼抵抗時間 t_R (分)			内装材料 (壁, 天井) 木材利用 の有無	1 階事務室 (図5中のI, 2, C) の 計算結果		相対延焼防止時間 $t_{FS}/t_{FS,0}$		判定
			外壁	外壁開口部	内壁, 床		等価火災 継続時間 t_F (分)	外周区画 突破確率 p_C	内部火源 シナリオ	外部火源 シナリオ	
基準建築物	1	なし	75	20	75	なし	58.48	0.937	1.00	1.00	—
対象建築物	①	なし	75	20	45	あり	66.51	0.958	0.74	0.74	NG
	②	なし	75	30	45	あり	66.51	0.881	0.85	0.90	NG
	③	なし	90	20	45	あり	66.51	0.954	0.74	0.74	NG
	④	なし	90	30	45	あり	66.51	0.869	0.86	0.91	NG
	⑤	あり	75	20	45	あり	66.51	0.958	1.05	0.74	NG
	⑥	あり	75	30	45	あり	66.51	0.881	1.22	0.90	NG
	⑦	あり	90	20	45	あり	66.51	0.954	1.05	0.74	NG
	⑧	あり	90	30	45	あり	66.51	0.869	1.22	0.91	NG
	⑨	なし	75	20	45	あり	64.90	0.955	1.95	2.09	OK
	⑩	なし	75	30	45	あり	64.90	0.871	2.29	3.01	OK
	⑪	なし	90	20	45	あり	64.90	0.951	1.95	2.10	OK
	⑫	なし	90	30	45	あり	64.90	0.859	2.31	3.05	OK
	⑬	なし	75	20	45	あり	50.10	0.901	4.12	4.54	OK
	⑭	なし	75	30	45	あり	50.10	0.725	5.64	8.07	OK
	⑮	なし	90	20	45	あり	50.10	0.899	4.13	4.55	OK
	⑯	なし	90	30	45	あり	50.10	0.718	5.66	8.17	OK

延焼防止時間を示す。

条件②外壁開口部の強化、条件③外壁の強化では、いずれも相対延焼防止時間は1を超えず、検証が成立しなかった。この時、外壁のみを強化しても相対延焼時間の増加はほとんど見込めず、外壁開口部を強化した方が効果が大きかった。ここで、1階事務室の外周区画の突破確率を見てみると、条件③の値は0.954で、条件①（強化なし）の値0.958とほとんど変わらない結果となっている。一方、条件②の値は0.881で、外周区画の突破を防止する効果が高い。本モデルプランの開口率0.7の場合には、外壁を強化しても効果が低い結果が得られた。

また、条件⑤SP設備は、本検証法では内部火源シナリオにのみ効果があると仮定しているため、外部火源シナリオの相対延焼防止時間には影響がないが、内部火源シナリオの相対延焼防止時間の向上には効果的であることが分かった。

一方、条件⑨事務室を2分割すると、内部火源シナリオ、外部火源シナリオ共に相対延焼防止時間は1を超え、検証が成立する結果となった。区画の分割効果について、詳しく見てみると（図7）、分割数の増加と共に相対延焼防止時間が倍増している。ここで、1階事務室（図5中のI, 2, C）の等価火災継続時間の値を見てみると、条件①66.51、条件⑨64.90、条件⑬50.10と分割数の増加と共に減少

しており、この効果が相対延焼防止時間の増加に大きく影響していると考えられる。これは、区画を分割したことにより1つの区画が有する可燃物量が減少したことが影響していると考えられる。

以上により、今回のモデルプランにおいては、他の対策と比べると事務室区画の分割の効果が大きいことが分かった。

5. 2 複数の対策を組み合わせた場合の効果の検証

事務室の区画分割を行わずに、複数の対策を組み合わせることで、検証が成立する条件を検討した結果を図8に示す。条件④では、外壁と外壁開口部を共に強化したが、相対延焼防止時間は1を超えず、検証は成立しなかった。また、条件⑥～⑧ではSP設備の設置に加えて、外壁と外壁開口部のいずれか、あるいはその両方を強化したが、外部火源シナリオの相対延焼防止時間が1を超えることは無かった。

6. 延焼抵抗時間の変化による感度分析

外壁および外壁開口部の延焼抵抗時間の強化が、建築物全体の相対延焼防止時間に与える影響を調べるために感度分析を実施した（図9）。ここで、外壁開口率が本モデルプランの0.7よりも小さい0.4である場合についても同様の感度分析を行い、その結果を図10に示す。対象建築物の、感度分析を行わない部位の延焼抵抗時間は

図6 個別の対策の効果の検証

図7 区画分割効果の検証

図8 複数の対策の効果の検証

図9 外壁と外壁開口部の延焼抵抗時間の感度分析（開口率0.7）

図10 外壁と外壁開口部の延焼抵抗時間の感度分析（開口率0.4）

基準建築物と同じ（内壁 75 分、外壁 75 分、外壁開口部 20 分、床 75 分）とした。また、事務室の分割数は 1 とし、壁と天井の内装仕上げは木材（厚さ 10mm）、SP 設備はなしとした。

外壁開口率 0.7 の場合、延焼抵抗時間の増加と共に、相対延焼防止時間は増加するが、増加率は外壁開口部の方が外壁と比較して大きい。また、外壁開口部の延焼抵抗時間が 30 分を超えると、相対延焼防止時間は 1 を超え、検証が成立する結果となった。

一方、外壁開口率 0.4 の場合、外壁の延焼抵抗時間が 60 分以下において相対延焼防止時間が大きく低下した。ただし、90 分以上における相対延焼防止時間の変化は小さく、外壁の延焼抵抗時間のみを強化することで、相対延焼防止時間が 1 を超えさせることは、本ケーススタディで対象とした建築物では困難であった。また、外壁開口部の延焼抵抗時間が 30 分以下の場合の相対延焼防止時間は、開口率 0.7 の場合とほとんど変わらず、開口率の大小に依らず、開口部の延焼抵抗時間が 20 分以下であると相対延焼防止時間が 1 を超えないことが分かった。

7. まとめ

防火地域内に建つ、延床面積 3,000m² 以下の事務所のモデルプランに対して延焼防止性能検証法を適用し、ケーススタディと感度分析を行った。

その結果、内部構造を木質化（内壁と床の延焼抵抗時間を 45 分、壁と天井の内装を木仕上げ）した場合、全ての階の事務室を 2 分割して防火区画を増やすことで、検証が成立することが分かった。

その他に判明した事項を以下に示す。

- ・本プランにおいては、建築物の外周部の強化策として外壁の延焼抵抗時間を 90 分、外壁開口部の延焼抵抗時間を 30 分に増加させるだけでは、検証は成立しなかった。
- ・本プランの開口率 0.7 の場合、外壁の延焼抵抗時間を増加させるよりも、外壁開口部の延焼抵抗時間を増加させる方が延焼防止性能の向上に効果が大きかった。
- ・感度分析の結果、本プランにおいては、開口率に依らず、外壁の延焼抵抗時間を 90 分以上としても効果は低かった。また、外壁開口部の延焼抵抗時間が 20 分以下になると検証は成立しなかった。
- ・本プランにおいては、区画を分割することで各区画の可燃物量が減り、等価火災継続時間が短くなることにより、相対延焼防止時間が大きくなった。
- ・SP 設備の設置は、内部火源シナリオの延焼防止性能（相対延焼防止時間）の向上に効果的であった。しかし、外部火源シナリオには SP 設備の効果を発揮しないものと仮定しているため、他の対策と併せて使用することが必要である。

また、今後、本検証法の改良を進めていく上で留意すべき点を以下に示す。

- ・複数の異なる敷地境界等からの離隔距離を有する区画において、相対延焼防止時間を算出する際に、本検証法では安全側の想定で離隔距離の最小値を採用するため、その他の離隔距離の壁に対しては、算出される延焼防止時間が実際よりも過少となり、検証が成立しづらくなる可能性がある。

- ・敷地境界等と外壁間の離隔距離、及び外部開口寸法（高さ・幅・面積）、外装材の仕様は建築物周囲への延焼防止性能に大きな影響を及ぼす入力変数であるが、本検証法では基準建築物と対象建築物とで同じ値を入力する前提としており、より自由度の高い性能設計を行う上での課題と言える。
- ・火災成長確率の値が、SP 設備の設置の有無のみに依存しており、防火区画内の内装材料にはよらないとしているため、内装材料に可燃性の材料を使用した場合には、相対的に危険側の想定となる可能性がある。

注

- 注1) 本検証法では、基準建築物と対象建築物のそれぞれについて同じ計算手法を用いて延焼防止時間を算出する。そのため、「着目する建築物」とは、基準建築物の延焼防止時間を算出している際には基準建築物を指し、対象建築物の延焼防止時間を算出している際には対象建築物を指す。
- 注2) 本検証法では、市街地への延焼リスクを検討しているため、「敷地境界等」とは、延焼のおそれのある部分の考え方にに基づき、隣地境界線または道路中心線のことを示す。
- 注3) 建築物が複数の区画で構成されている場合、建築物の内部延焼を考慮する必要がある。このとき、着目する防火区画における火災発生確率 p_I について考えると、当該防火区画で出火する場合と、その他の区画で出火して内部延焼により当該防火区画に至る場合に分けることができる。内部区画の突破確率 p_C は後者の場合において、影響を及ぼす。火災発生確率 p_I の詳細な導出過程については、文献 5) を参照されたい。
- 注4) 本検証法では、非地震時において SP 設備が作動する確率 $p_{AC(0)} = 0.91$ 、地震の揺れを受けた後にも作動する確率 $p_{AC(E)} = 0.5$ 、SP 設備が作動した場合に消火に成功する確率 $p_{EX} = 0.67$ として入力した。
- 注5) 耐火構造の性能確認において、加熱時間を 2 割増しとすることで加熱終了後の放置・性能維持の確認を免除する耐火試験の規定を参考に、60 分の耐火性能が 75 分（ $\approx 60 \text{ 分} \times 1.2$ ）の準耐火性能、すなわち延焼防止性能に換算できるものとした。
- 注6) 区画内の外壁開口部のうち、1 つでも延焼のおそれのある部分に含まれる場合は当該区画内のすべての外壁開口部は 20 分の遮炎性能を有する防火設備相当とする。
- 注7) 検討条件を精査し、修正した結果、文献 3) の検証結果と一部で不一致が生じている。

参考文献

- 1) Himoto K. : A Risk-based Approach to the Performance-based Fire Safety Design of a Building in Regard to Preventing Building-to-building Fire Spread, Proc. 11th AOSFST, 2018
- 2) 樋本, ほか 13 名: 防火地域・準防火地域に建つ建築物の延焼防止性能検証に関する研究 その 1 相対延焼リスクに基づく検証手続きの準備, 2019 年度日本建築学会大会, 2019.9
- 3) 茶谷, ほか 11 名: 防火地域・準防火地域に建つ建築物の延焼防止性能検証に関する研究 その 2 事務所・物販店舗を対象としたケーススタディ, 2019 年度日本建築学会大会, 2019.9
- 4) 木本, ほか 11 名: 防火地域・準防火地域に建つ建築物の延焼防止性能検証に関する研究 その 3 共同住宅・学校を対象としたケーススタディ, 2019 年度日本建築学会大会, 2019.9
- 5) 樋本, ほか 2 名: 相対リスクに基づく建築物の延焼防止性能検証, 日本建築学会環境系論文集, 第 84 巻, 第 764 号, 883-891, 2019.10
- 6) 日本建築学会編: 建築物の火災荷重および設計火災性状指針(案), 2013
- 7) 国土交通省住宅局建築指導課編: 2001 年版 耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説, 2001.3

[2019 年 10 月 1 日原稿受理 2019 年 11 月 29 日採用決定]