

防火設備の機能障害と初期対応行動に着目した地震火災リスク評価手法

野竹 宏彰 海老原 学 南部 世紀夫 矢代 嘉郎
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所)

Seismic-induced Fire Risk Assessment Method for a Building in Consideration of Functional Damage of Fire Protection Systems and Emergency Operations

by Hiroaki Notake, Manabu Ebihara, Sekio Nambu and Yoshiro Yashiro

Abstract

The purpose of this study is to propose a framework for seismic-induced fire risk assessment method for buildings. The assessment method consists of two subsystems. One is estimation process of functional damage level of fire protection systems by earthquake response, and the other is quantification process of fire risk. In the quantification process, fire spread process is classified into fire phases. Failure probability of fire protection systems and emergency operations by security staffs are taken into account in this process. The probability of exceeding fire phase and expected fire damage area are indexes of this method. This paper describes the outline of the framework and examples of results from case studies applying a tentative simplified model.

概 要

本研究は、地震時に発生する防災設備の各種障害要因と、防災センターを中心とした火災時の初期対応行動を考慮した地震火災リスク評価手法を構築する。この手法を用いることにより、建築物の構造、設備、用途、規模、計画などの条件と地震による応答の大きさに応じて地震時の火災リスクの定量化が可能となる。構築された評価手法を用いて、リスク低減のための有効な対策を見出すことが本研究の目的である。本論文では、防火設備の中でもスプリンクラー設備に着目して、被害事例に基づく簡易地震応答予測モデルを示すとともに、評価手法を用いたケーススタディを行い、適用可能性について検討する。

§ 1. はじめに

地震時の火災については、これまでは市街地、街区レベルでの火災危険に関する関心が中心であった。しかし、兵庫県南部地震では耐火造建築物からの出火も多数発生し、また一方で、スプリンクラーなどの防火設備が、地震によって損傷を受ける事例も多く報告されている^{1)~4)}。筆者らは、地震時に建築物の構造的被害に問題のないレベルでも、火災リスクは平常時とは異なった様相を有するかどうかを明らかにすることを目標として、地震時に発生する防災設備の各種障害要因と、初期対応行動を考慮した地震火災リスク評価方法の構築を試みる。構築された評価手法を用いることにより、建築物の構造、設備、用途、規模、計画などの条件と地震時の応答の大きさに応じて地震時の火災リスクを定量化し、防火対策の耐震性向上の効果を定量化することが可能となる。この評価手法を適用することにより、地震火災リスク低減のための有効な対策を見出すことが

本研究の目的である。本論文では、防火設備の中でも特にスプリンクラー設備と防災センター要員等による初期の対応行動に着目して、被害事例に基づく簡易地震応答予測モデルを示すとともに、評価手法を用いたケーススタディを行い、適用可能性について検討する。

§ 2. 地震火災リスク評価手法のフレームワーク

本評価手法で用いるフレームワークは、平常時の火災リスク評価手法に、防災設備や区画部材の地震による機能損傷率や、対応行動の実施確率低減率を加えて構築するものである。地震火災リスク評価手法の体系と評価の流れを図-1に示す。評価手法は「地震時出火危険度評価モデル」、「地震応答予測モデル」、「延焼拡大危険度評価モデル」の3つを組み合わせる形で構築される。「地震時出火危険度評価モデル」は、建物の用途、延べ床面積、階数等の

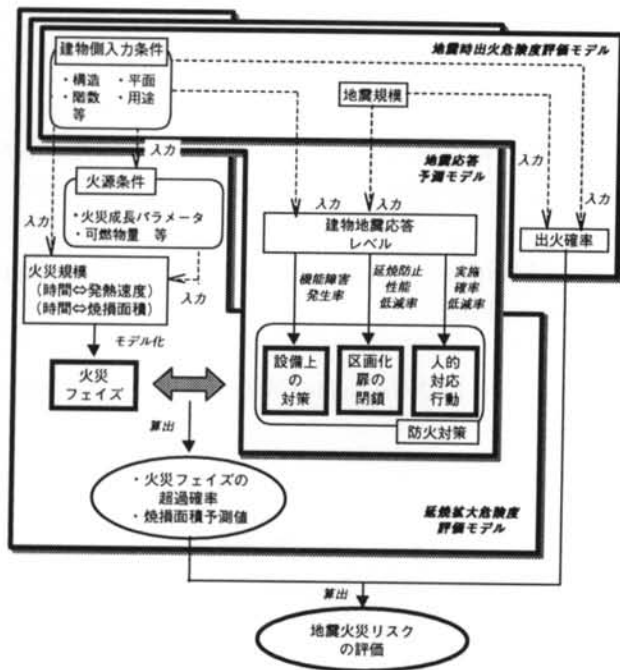


図-1 地震火災リスク評価手法の体系と評価の流れ

条件と地震規模によって地震時の出火率を求めるモデルである。「地震応答予測モデル」は、建物の構造種別、高さ等の条件と地震規模から建物の地震応答レベルを求め、それによって各種防火対策の機能低減率を求めるモデルである。防火対策は、設備の対策、区画や扉等の建築的対策、人的対応行動の3点に着目して整理する。「延焼拡大危険度評価モデル」は、建物の用途、階数、出火室の条件等から火源の条件と火災規模を求め、これを「火災フェイズ」⁵⁾の概念を用いてモデル化し、火災の進展に応じて防火対策を対応づける。最終的に「火災フェイズの超過確率」や「焼損面積予測値」が評価指標として算出される。地震によって防火対策の機能が低減すると、これらの指標の値が変動する。その変動の度合いや傾向を見ることによって、建物の防火対策の地震時有効性や耐震化の効果について定量的に評価できる。また、出火率を合わせれば火災規模に関するリスク関数も導出可能となる。

本報では、この中でも特に「地震応答予測モデル」と「延焼拡大危険度評価モデル」の部分に着目し、防火対策の設備的な対策の中でも、スプリンクラー設備について検討した結果について報告する。

§ 3. スプリンクラー設備の系のモデル化

本手法では、防火設備を防火のための機能を有する「系」としてとらえ、系を構成する個々の要素ごと

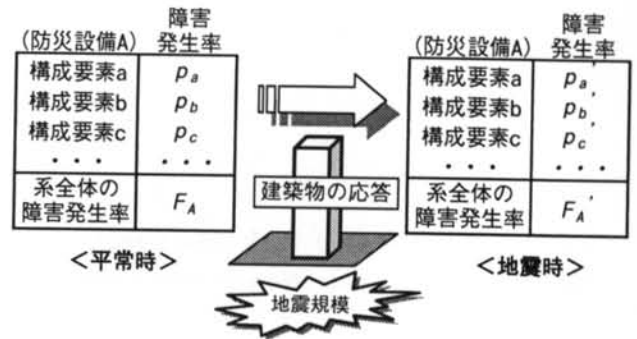


図-2 地震による障害発生率の変化

に障害発生率を設定する。地震によって各構成要素に何らかの損傷が生じると、系全体の障害発生率も変化する。また、地震による防火設備各要素の被害の度合いは建築物の地震応答の大きさに依存すると考えられる(図-2)。

ここでは、スプリンクラー設備(以下SP設備と記す)を、消火機能を有する系として位置づけ、系の構成要素として貯水槽から末端の放水ヘッドまでの流水経路を構成する各部位をとりあげる。ここでは、構成要素として、水槽、ポンプ(呼水槽も含む)、配管(縦配管、横引き配管)、ヘッド、非常用電源の5つの要素を考える。これらの障害発生条件を整理すると図-3のようになる。

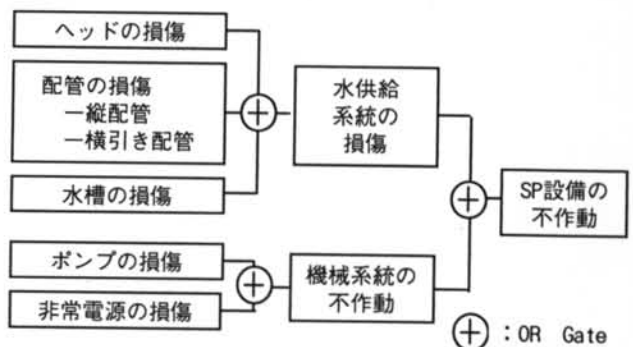


図-3 SP設備の構成要素と障害発生条件の整理

一般のSP設備は基本的に貯水槽からヘッドまで直列の系で構成されており、冗長性がないため、流水経路中のいずれの部位に障害が発生しても、ヘッドに的確に水が供給されず、はじめに想定された消火機能が発揮されなくなる。そこで、スプリンクラー(SP)設備の障害発生率(F_{SP})を次式のように定式化する。

$$F_{SP} = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - P_{Si}) \quad (1)$$

ここに、

k : SP 設備の系を構成する要素数

P_{Si} : SP 設備の第 i 構成要素の不作動率

平常時の SP 設備の作動信頼性の分析として掛川ら⁶⁾が東京都内の定期点検データに基づいてまとめた結果の値を利用し、この式を用いて系全体の障害発生率を求めてみる。その結果、系全体の障害発生率は 0.033、すなわち作動率は 0.967 という値が得られた (表-1)。

構成要素	不良発生率 (平常時)
ヘッド*	0.0137
配管*	0.0137
ポンプ	0.0051
水槽	0.0012
系全体の 障害発生率	0.0333

表-1 SP 設備の障害発生率 (平常時) (付1)

§ 4. 建築物の応答の簡易推定法

この章では、建築物の応答を簡易に推定する方法について述べる。建築物の地震応答を予測する上では、震源からの地震動の周期特性、伝播経路および建築物周辺の地盤の周期特性、そして建築物そのものの周期特性を的確に評価する必要がある。しかし、評価の際にこれらを的確に取り扱うための情報が必ずしも入手できるとは限らない。そこで、建築物荷重設計指針・同解説⁷⁾に記載されている擬似加速度応答スペクトルの求め方^(付2)を利用して、建築物の地震による応答モデルを組み立てる。

地震による建築物の疑似加速度応答スペクトル ($S_A(T, h)$) は下記のように表現される。

$0 \leq T \leq dT_c$ の場合

$$S_A(T, h) = \left(1 + \frac{f_A - 1}{d} \frac{T}{T_c}\right) F_h G_A R_A A_0 \quad (2)$$

$dT_c \leq T \leq T_c$ の場合

$$S_A(T, h) = F_h f_A G_A R_A A_0 \quad (3)$$

$T_c \leq T$ の場合

$$S_A(T, h) = \frac{2\pi F_h f_V G_V R_V V_0}{T} \quad (4)$$

そして、この式に基づいて建築物の擬似速度応答スペクトル ($S_V(T, h)$) ならびに擬似変位応答スペクトル ($S_D(T, h)$) は次のように表現できる。

$$S_V(T, h) = S_A(T, h) \times T / (2\pi) \quad (5)$$

$$S_D(T, h) = S_A(T, h) \times (T / (2\pi))^2 \quad (6)$$

以上に示した各擬似応答スペクトルによって求まる応答値は、任意の周期の 1 質点系モデルにおける最大の応答値を示している。本評価手法では、建築物を階ごとに多質点系としてモデル化し、各階に生じる応答レベルを算定するために、振動解析上の取扱いとしてのモード合成法的な考え方にに基づき、各固有周期に対応した応答値から各階の応答値を次式によって推定する。

$$A_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\beta_i \mu_j \times S_A(T_i, h))^2} \quad (7)$$

$$V_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\beta_i \mu_j \times S_V(T_i, h))^2} \quad (8)$$

$$D_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\beta_i \mu_j \times S_D(T_i, h))^2} \quad (9)$$

なお、この式は SRSS (Square Root of Sum of Square) 法と呼ばれる算定方法である。

§ 5. 兵庫県南部地震時の大阪市の設備被害事例との比較

前節で示した地震時における建築物応答の簡易推定法を実際の地震被害事例に適用し、応答レベルの値に関する検討や被害の実例との対応に関する検討を行う。大阪市消防局では、兵庫県南部地震における消防用設備等の被害調査結果が報告書²⁾としてまとめられている。その中で、共同住宅や低層の建築物を除き、対象用途を事務所、ホテル、物販店舗、ターミナルとして、推定法を適用する。対象事例は 16 事例である。

被害事例の内訳を部位別に表-2 に示す。地盤条件は、ほとんどの建築物が第 3 種地盤 (軟弱地盤) 相当である。部位別に被害が重複した建築物は 16 事例中 2 事例と少ない。ヘッドの損傷では防火戸との接触によるものが多い。ポンプに関連する被害事例はなかった。また水槽の被害はいずれも高架水槽に関連するものであった。

これらの各建築物について応答値を推定する。

階数	用途	地盤種別	水槽	ヘッド	配管
4	物品販売店舗	3		○	○
13	物品販売店舗	3		○	○
14	事務所	3			○
14	事務所	3		○	
16	事務所	3		○	
17	事務所	3	○		
17	ターミナル	2			○
20	事務所	3	○		
21	事務所	3	○		
27	事務所	2		○	
30	ホテル	3			○
32	ターミナル	3			○
34	事務所	3		○	
34	ホテル	3		○	
40	事務所	3		○	
50	事務所	3		○	
合計			3	9	6

表一2 SP 設備の被害事例 (大阪市消防局調査) ²⁾

入力地震動強さは、調査対象物のうち、いくつかの階で震度計によって加速度がわかっている建築物を用いて検討した。対象物の分布範囲が大阪市内という地理的に近い領域に固まっていることから、入力地震動強さは、標準地盤の地震動の基本最大加速度を一律 $150(\text{cm}/\text{sec}^2)$ とした。図-4 は、観測記録が得られている2つの建築物について加速度応答値を求めた結果である。応答予測値は階数の高い建築物では観測記録よりも小さく、逆に低い建築物では大きな値となっている。比較したケースが少なく、応答予測に用いた条件設定において仮に与えた数値もあるため、この結果だけから応答レベルの予測値と観測記録の間の適合性について議論することは難しい。乖離の原因としては、建築物を多質点系にモデ

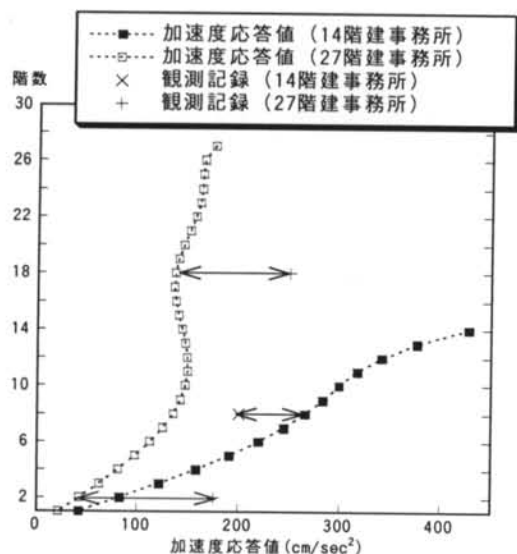


図-4 加速度応答の推定値と観測記録

ル化する際の剛性と質量の設定の問題と、加速度応答の推定に高次モードを省略している影響が考えられる。

建築設備の地震被害は、一般に速度応答との相関が高いといわれている。したがって被害事例と比較する指標は速度で考える。調査結果には設備が損傷を受けた階数について記載のないものが多い。このため、建築物の速度応答の代表値として、一次固有周期の速度応答レベルの値を用いて整理する。対象物の応答速度レベルに対して、被害の発生件数を部位別にヒストグラムとしてまとめた結果を図-5 に示す。結果を見ると、応答速度レベルが $50(\text{cm}/\text{sec})$ を超えると被害が発生する割合が増加している傾向が見られる。耐震設計基準が $50(\text{cm}/\text{sec})$ で線引きされているための影響と見ることもできる。

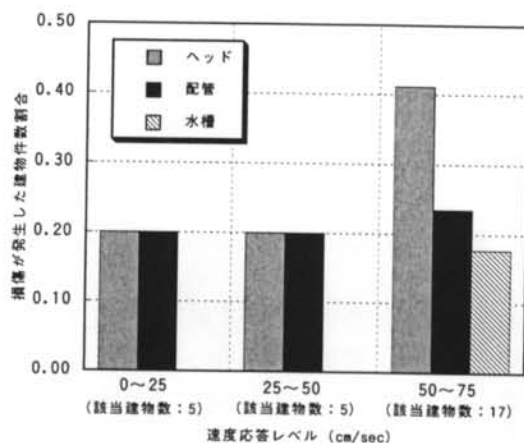
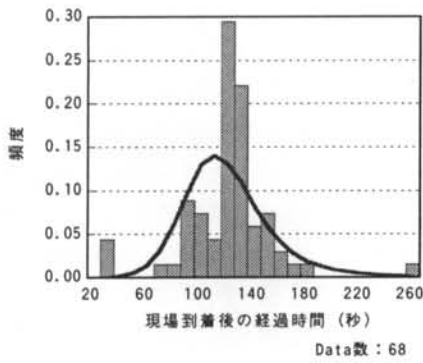


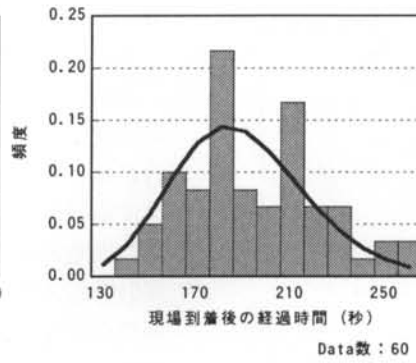
図-5 速度応答レベルと損傷発生建物件数の割合

§ 6. 人的対応行動の設定

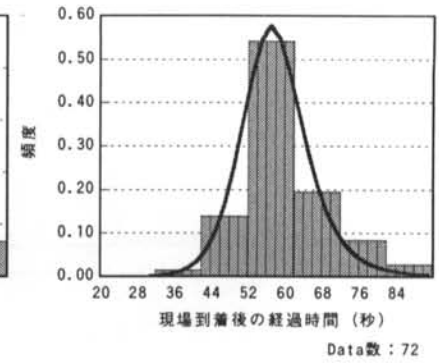
自衛消防活動 (火点の確認、初期消火、扉の閉鎖等による区画の形成、排煙起動等、消防隊による本格的な活動が開始される前に行われる一連の行動) に関しては、防災センター要員講習データ ^{8),9)} に基づく行動開始時間の分布と実施確率の値が得られている。建築物の地震応答の大きさに応じて、自衛消防活動がどの程度展開可能なかを定量的に語ることは、現時点では難しい状況にある。ここでは地震の規模が大きいほど、状況把握の混乱や室内収納物の散乱、間仕切り壁等の非構造部材の損傷に伴う消火設備等の破損等により、火災初期に行うべき対応行動を実施できない可能性が大きくなると考え、気象庁震度階級に関する解説 ¹⁰⁾ を参考に、加速度レベルに応じた人的対応行動の実施確率の低減率を仮定した。対応行動時間の分布については、防災センタ



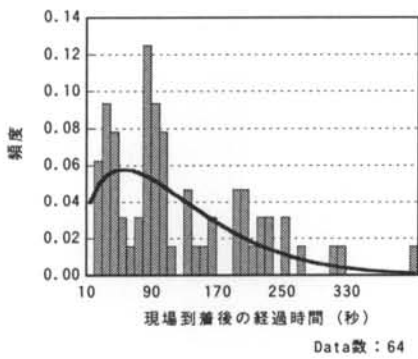
(1) 消火器使用



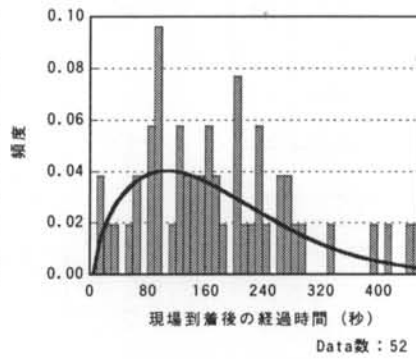
(2) 屋内消火栓使用



(3) 出火室扉閉鎖



(4) 排煙設備起動



(5) 空調停止措置

人的対応行動	実施確率 (平常時)
消火器使用	0.932
屋内消火栓使用	0.822
出火室扉閉鎖	0.986
排煙設備起動	0.877
空調停止措置	0.808

表一三 対応行動の実施確率
(平常時)

図一六 対応行動開始時間の分布

一 要員講習データのヒストグラムから最尤法によって分布を推定したものをを用いる。

出火現場に到着してから(1)消火器使用、(2)屋内消火栓使用、(3)出火室扉閉鎖、(4)排煙設備起動、(5)管理室に空調停止要請するまでの時間のヒストグラムを図一六に示す。また実施確率を表一三に示す。

§ 7. 区画の耐火性能の設定

初期消火が不奏功の場合に延焼拡大を防止する壁に関しては、通常の間仕切り壁と防火区画を構成する壁の大きく2種類の壁に大別できる。地震被害調査^{3), 4)}によれば枠のゆがみ、壁や天井の変形や破損による防火扉の閉鎖障害等が報告されている。しかし、地震の強さと壁体そのものの被害程度を関連づけた調査結果は現時点では入手できていない。そこで、日本建築学会発行の防火区画の設計・施工パンフレット¹¹⁾に記載されている耐震性能(具体的には、昭和48年3月に改訂された「高層建築技術指針」に記載されている内容の抜粋)を参考に、先に述べた2種類の壁の地震応答レベルに応じた耐火時間の低減率を設定する。

§ 8. ケーススタディ

この章では、下記の3つの条件に関して、地震発生後の機能の低減効果を考慮してケーススタディを実施する。

- ・スプリンクラー設備
- ・区画を構成する壁
- ・防災センター要員による初期対応行動

ケーススタディ対象建物の平面図を図一七に示す。建物は地上20階建て、鉄骨造とし、火災は5階で発生するものとする。なお、図中の出火室と隣接する居室の壁は、通常の間仕切り壁と仮定し、耐火時間は30分とした。また、出火室と廊下間の壁は防火区画とし、60分の耐火時間を仮定した。その他計算に必要な入力条件については、表一四に一覧で示す。

8.1 防火対策の損傷率、低減率の設定値

SP設備、区画を構成する壁、初期対応行動それぞれの応答レベルに応じた低減率を表一五から表一七に示す。SP設備は速度応答レベル、区画を構成する壁は変位応答レベル、初期対応行動は加速度応答レベルをそれぞれ用いて損傷率、低減率の値を設定する。SP設備の損傷率は、第5章で示した兵庫県南部

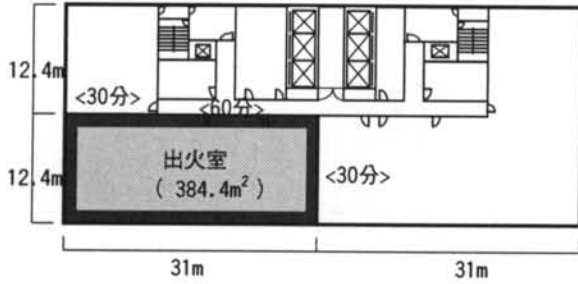


図-7 ケーススタディ対象建物の平面図

出火室面積		地震応答推定用パラメータ			
出火室面積	384.4 m ²	パラメータ	値	パラメータ	値
出火階面積	1538 m ²	T ₁ (sec)	1.58	d	0.5
出火室利用用途	事務室	T ₂ (sec)	0.54	T ₀ (sec)	0.33
出火室天井高さ	2.7 m	h	0.02	R _A = R _V	0.69
階高	4.0 m	f _A	2.5	G _A = G _V	1
火災成長パラメータ	0.05	f _V	2.0	F _h	1.25
可燃物密度	30 kg/m ²				

表-4 火災の条件及び地震応答推定用パラメータ

地震の際の大阪市消防局が行った防火設備対策の被害調査結果、ならびに構造設計上で考えられている入力地震動のレベル（1次設計レベル（25cm/sec）、2次設計レベル（50cm/sec））のクライテリアを参考にして設定した。系全体としての障害発生率は、構成要素別に損傷率を考慮して、式(1)によって求める。

速度応答レベル (cm/sec)	損傷率 (%)	
	配管	ヘッド
0 < V _r ≤ 25	20	20
25 < V _r ≤ 50	20	30
50 < V _r	30	40

表-5 SP設備の損傷率

相関変位レベル	区画の延焼拡大防止性能 (平常時の耐火時間に対する低減率)	
	防火区画	通常の間仕切り
0 < D _r ≤ 1/400	(平常時の耐火時間) × 1.0	(平常時の耐火時間) × 1.0
1/400 < D _r ≤ 1/300	(平常時の耐火時間) × 1.0	(平常時の耐火時間) × 0.5
1/300 < D _r	(平常時の耐火時間) × 0.5	(平常時の耐火時間) × 0.0

表-6 区画を構成する壁の延焼防止性能の低減率

加速度応答レベル (cm/sec ²)	人的対応行動の実施確率の低減率 (消火器, 屋内消火栓, 排煙, 空調)
0 < A _r ≤ 100	(平常時の実施確率) × 1.0
100 < A _r ≤ 250	(平常時の実施確率) × 0.5
250 < A _r	(平常時の実施確率) × 0.0

表-7 人的対応行動の実施確率の低減率

加速度応答 (cm/sec ²)		速度応答 (cm/sec)		変位応答 (cm)	
SA(T ₁ , h)	SA(T ₂ , h)	SV(T ₁ , h)	SV(T ₂ , h)	SD(T ₁ , h)	SD(T ₂ , h)
0.52 × A	1.54 × A	0.13 × A	0.13 × A	0.33 × A	0.11 × A

※表中のAは地表面加速度を表す。

表-8 固有周期に対応した擬似応答スペクトルの値

8.2 防火対策の損傷率、低減率の設定値

地震応答の簡易予測手法に基づき、対象建築物の1次固有周期に対応した応答レベルならびに5階の応答レベルを推定する。建築物の応答を推定する場合には、高層になれば本来は高次モードの影響も考慮する必要があるが、今回は建築物の1次と2次の固有周期のみを対象とした。固有周期に対応した各擬似応答スペクトルの値を表-8に示す。各階の応答値を推定する際に用いる刺激関数は、建築物の1次モードが高さ方向に三角形分布となる（層間変位が一定となる）モデルを想定して固有値解析によって求める。

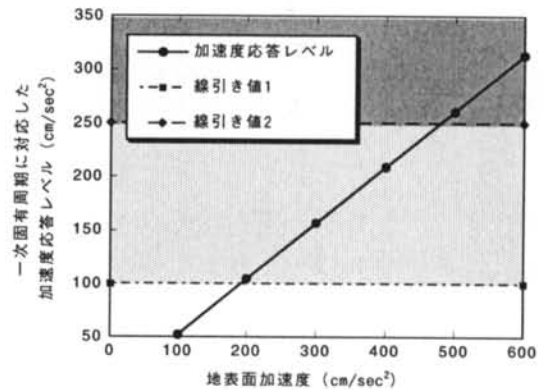


図-8 ケーススタディ建物の加速度応答レベル

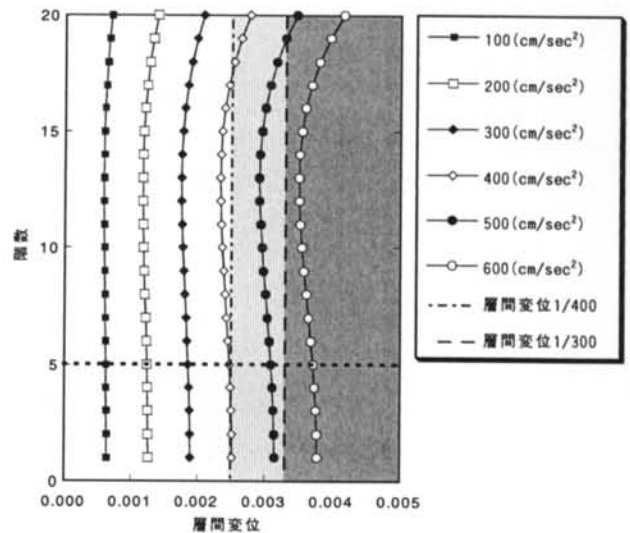


図-9 ケーススタディ建物の層間変位応答レベル

8.3 応答レベルの予測結果と防火対策の低減率

入力条件に基づく応答レベルの予測結果について示す。SP設備や人的対応行動の管理体制は建物全体に及ぶ系であるため、建物全体の応答レベルの代表値として1次固有周期に対応した応答レベルを用いて被害程度をグレード分けする。区画については

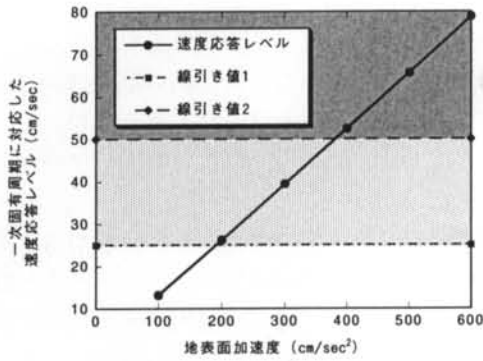


図-10 ケーススタディ建築物の速度応答レベル

地表面 加速度 (cm/sec ²)	防火設備対策			対応行動の 実施確率 低減率
	SP設備の 障害発生率	耐火時間の低減率		
		通常の壁	防火区画	
0	0.033	0.0	0.0	0.0
100	0.364	0.0	0.0	0.0
200	0.444	0.0	0.0	0.5
300	0.444	0.0	0.0	0.5
400	0.583	0.0	0.0	0.5
500	0.583	0.5	0.0	1.0
600	0.583	1.0	0.5	1.0

表-9 地表面加速度レベルと防火対策の有効性

出火階の損傷レベルが問題となるので、階別に層間変位応答レベルを求める。予測結果を図-8 から図-10 に示す。

予測結果に基づいて、地表面加速度 100～600cm/sec² の範囲における防火対策の障害発生率、低減率を表-9 に示す。

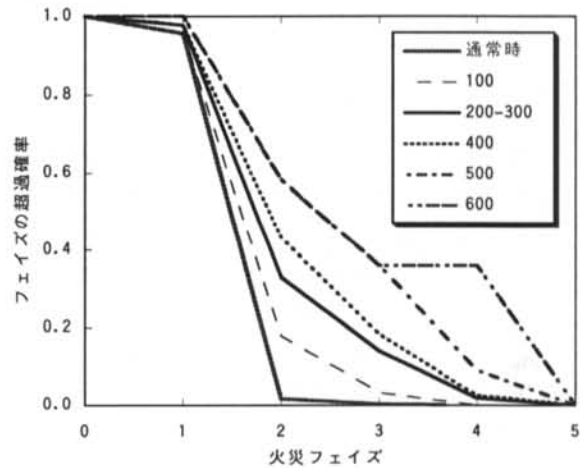
8.4 ケーススタディ結果の考察

地表面加速度の大きさ別に見た各火災フェイズの超過確率の違いについて図-11 に示す。地表面加速度が大きくなるにしたがって、各火災フェイズの超過確率が段階的に大きくなっていることがわかる。特に区画に被害が発生しはじめる地表面加速度 500(cm/sec²) を超えた時点から火災フェイズ 2 以降の超過確率、すなわち出火室で初期消火活動が不可能となる火災に成長してしまう確率が 0.5 を上回り、それ以降の火災フェイズの超過確率も大きめに推移している。なお、ここで「火災フェイズ」とは段階的に拡大する火災進展状況を表し、表-10 のように設定している。

スプリンクラー設備が耐震補強され、地震応答の影響を受けずに平常時と同等の作動確率を維持できると仮定した場合の結果について図-12 に示す。スプリンクラー設備の耐震補強が十分に行われれば、区画部材に被害が生じるような地震においても、各火災フェイズの超過確率は平常時と大きく変わらないレベルに保つことが可能だということがわかる。

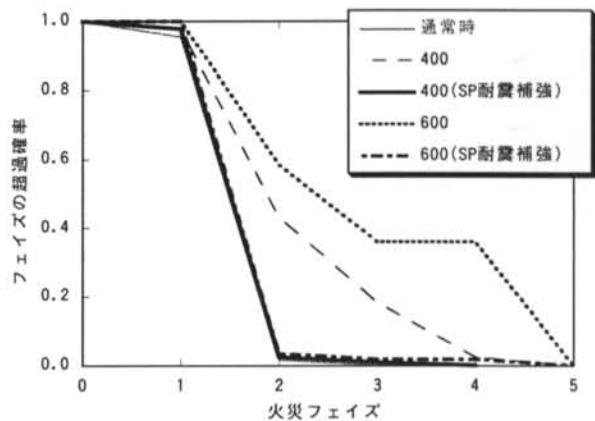
フェイズ番号	火災の状態
フェイズ1	消火器またはスプリンクラー設備で消火可能な火災の段階
フェイズ2	屋内消火栓、排煙起動の初期対応行動が可能な火災の段階
フェイズ3	出火室の扉閉鎖、空調停止による空気の流れ防止が可能な火災の段階
フェイズ4	盛期火災となり、出火室の区画の耐火時間によって火災が出火室内にとどまっている火災の段階
フェイズ5	出火室を突破し、同一防火区画内の隣接空間に火災が拡大している段階

表-10 火災フェイズの設定⁵⁾



※図中の凡例の数値は、地表面加速度を意味する。

図-11 火災フェイズ超過確率の変化



※図中の凡例の数値は、地表面加速度を意味する。

図-12 スプリンクラー設備が耐震補強された場合の火災フェイズ超過確率の変化

§ 9. おわりに

本報では、地震時の火災リスクを評価することを目的として、評価手法のフレームワークを提示した。そして、簡易建物地震応答モデルに基づく地震時のスプリンクラー設備の障害発生率、区画を構成する壁の耐火時間の低減率、および人的対応行動の低減

率を設定し、火災フェイズの超過確率を算定した結果について示した。現段階では、算出過程においてある程度割り切った仮定をしなければならない状況であるため、結果として得られる値の妥当性についてはさらに検討を重ねる必要があると考えている。

これらの問題を含め、今後の課題として、次に示す点が挙げられる。

- ・SP 設備以外の防火設備についても、地震による被害を設定するためのデータを整備し、データに基づく障害発生モードを整理する。
- ・地震発生時における自衛消防活動上の障害発生モードを整理する。

- ・地震の大きさに応じた出火確率の設定に関する方法論の検討を合わせてリスク関数を算出する。
- ・地震の大きさに依存した公設消防の取り扱いに関する検討を行いフレームワークに組み込む。

謝辞

本研究は平成 11 年度に実施した自治省消防庁消防研究所との共同研究¹²⁾の成果の一部をとりまとめたものである。第三研究部長 関沢愛博士にはフレームワークの構築、被害事例に関する情報提供など多大なるご協力を賜った。ここに記して謝意を表す。

<参考文献>

- 1) 神戸市消防局：兵庫県南部地震による消防用設備等の損傷に関する実態調査結果，1995.
- 2) 大阪市消防局：兵庫県南部地震による消防用設備等の被害調査報告，1995.
- 3) 掛川秀史，村田明子，矢代嘉郎，広田正之：建築物の防火対策の地震被害と火災危険性，清水建設研究報告第 62 号，1995.10.
- 4) 江本哲也：建築物の防火設備の被害，日本火災学会誌「火災」，Vol.45，No.5，1995.10.
- 5) 矢代嘉郎，高橋克昌，手塚康長，海老原学，野竹宏彰：火災フェイズの概念に基づく延焼拡大性の評価に関する研究（その 1～その 4），平成 11 年度日本火災学会研究発表会概要集，1999.5.
- 6) 掛川秀史，井上義郎：定期点検データに基づくスプリンクラー設備の作動信頼性の分析，日本建築学会学術講演梗概集，1997.9.
- 7) 日本建築学会：建築物荷重設計指針・同解説，1993.
- 8) 建築物の防災特性に応じた防火安全性の評価（延焼拡大抑制の評価），東京消防庁火災予防審議会答申，1999.3.
- 9) 建築物の防火管理形態の多様化に伴う防火安全対策のあり方，東京消防庁火災予防審議会答申，1997.3.
- 10) 気象庁地震津波監視課：気象庁震度階級の海底について，日本地震学会ニュースレター，Vol.8，No.1，1996.5.
- 11) 日本建築学会：防火区画の設計・施工パンフレット，1990.
- 12) 関沢愛，海老原学，野竹宏彰，矢代嘉郎：地震火災リスク評価手法に関する研究（その 1～その 3），平成 12 年度日本火災学会研究発表会概要集，2000.5.

付録

(付 1) 配管とヘッダの不良発生率は、全数を特定できないため、調査施設数に対する不良発生建物数の割合によって求めた。掛川らの調査⁶⁾では、ヘッダと配管が分類上は一つにまとめられているので、ここでは、配管とヘッダそれぞれ同じ値として設定している。また、不良発生回数は「重大または重大になる可能性のあるもの」であった数を用いている。

(付 2) 擬似応答スペクトルの算出方法に関する説明の際に用いた記号の意味について以下に示す。

f_A : $dT_c \leq T \leq T_c$ での $S_A(T, 0.05)$ の $G_A R_A A_0$ に対する比

f_V : $T_c \leq T$ における $S_V(T, 0.05) = S_A(T, 0.05) \times T / (2\pi)$ の $G_V R_V V_0$ に対する比

d : $S_A(T, h)$ が一定値をとる区間の上限の周期に対する下限の周期の比

T_c : $S_A(T, h)$ が一定値の区間の上限の周期で次式による。

$$T_c = \frac{2\pi f_V G_V R_V V_0}{f_A G_A R_A A_0}$$

A_0 : 標準地盤の地震動の基本最大加速度

$A = F_h G_A R_A A_0$: 地表面最大加速度

V_0 : 標準地盤の地震動の基本最大速度

$V = F_h G_V R_V V_0$: 地表面最大速度

R_A : 地震動の最大加速度の再現期間換算係数

R_V : 地震動の最大速度の再現期間換算係数

G_A : 地震動の最大加速度の地盤種別補正係数

G_V : 地震動の最大速度の地盤種別補正係数

F_h : 減衰補正係数

A_j : j 階の加速度応答値 (cm/sec²)

V_j : j 階の速度応答値 (cm/sec)

D_j : j 階の変位応答値 (cm)

$\beta_{i,j}$: j 階の i 次モードにおける刺激関数（こ

こでは 1 次モードが逆三角形分布になるように高さ方向に質量と剛性を設定した多質点系のモデルに対して固有値解析を行い、値を算出する。