

建築物の防火対策の地震被害と火災危険性

掛川 秀史
(技術研究所)
村田 明子
(技術研究所)
矢代 嘉郎
(技術研究所)
広田 正之
(技術研究所)

§1. はじめに

1995年1月17日早朝に発生した平成7年兵庫県南部地震では、火災が同時多発し、大規模な延焼火災に進展した。火元となった建物の大部分は、木造住宅であった。これに対し、耐火造建築物での出火は、約70件報告されているが、そのほとんどが単体火災で留まっている¹⁾。

建築物では、一般に建築基準法および消防法で適切な防火対策(例えば、防火設備の設置など)を施すことが義務づけられている。しかし、これらの防火対策は、地震後の出火を想定しておらず、地震により被害が生じると、正常に機能しなくなるため、火災による被害が拡大することが予想される。特に、最近の建築物は、都市部を中心として大規模化、複合化する傾向にあり、こうした危険性はさらに増加している。

これに対し、日本では関東大震災の経験から、地震後の市街地火災による二次災害が、都市防災上、特に重要視されてきた。防火設備等の建築物の防火対策の地震被害にともなう火災危険性は、1978年の宮城県沖地震を契機として、問題が指摘されてきた^{2),3)}。しかし、こうした被害は地震後の包括的な調査が実施困難であることなどの理由により、系統的な調査や研究はほとんど行なわれていない。さらに、防火設備の被害は、構造体や非構造部材等、他の被害と連鎖して発生することが予想されるが、こうした視点から被害の事例を分析した報告は少ない。

以上をふまえて、本報では以下の事項を研究の目的とする。

・兵庫県南部地震における建築物の防火対策の被害の実態をもとに、建築物の防火対策の被害の連関を明らかにすること

・地震後の防火対策の被害が、在館者の避難安全性に影響を与える要因を明らかにすること

上記の目的を達成するため、兵庫県南部地震における建築物の防火対策の被害調査を実施し、その結果をもとに避難安全性から見た危険要因の抽出、および被害連関の分析を行なう。さらに、分析の結果得られた防火対策の被害シナリオ^{注1)}をもとに、事務所ビルを対象とした煙流動シミュレーションによるケーススタディを行ない、地震後の火災による危険性を、主に避難安全性の面から検討する。

§2. 建築物の防火対策の地震被害調査

2.1 調査対象と方法

本調査は、(社)日本建築学会拡大防火委員会の調査の一環として実施した。この調査は、建築防火の観点から、建物内の各種防火対策について、地震被害の実態を総合的に把握し、兵庫県南部地震の震災記録として残すとともに、今後の防災対策に資することを目的としている⁴⁾。

調査期間は、1995年3月4日～5日で、神戸市中央区を中心とした計16棟の建物を調査の対象とした。対象建物16棟を5班で分担(各班3～5名)し、事前に準備したアンケート用紙⁴⁾に基づいて、建物管理者へのヒアリング、および調査員による建物内の立入により調査を実施した。調査項目は、防火設備、主要構造、非構造部材、避難に利用する経路(防火戸など)、在館者・管理者の状況である。調査項目の詳細を表1に示す。

本報では、筆者らが分担した対象建物^{注2)}の調査結果および同調査に関する日本建築学会の第1次報告書⁴⁾の調査票をもとに以後分析を行なう。

注1) 建物内で発生する事象の連関を発生する時間の流れ、および事象の発生する空間を軸として整理し、記述したもの。

調査内容	調査項目
構造体	柱、壁
非構造部材等	天井材、内装・仕上げ、窓ガラス、受水槽、配管、エレベータ、家具・什器など
予備電源	自家発電機、直結エンジン、オイルタンク、蓄電池
自火報設備	感知器、配線、受信機、制御盤
消火設備	SPヘッド、配管、アラーム弁、ポンプ、消火用水
排煙設備	排煙機、排煙口、防火ダンパ、防煙垂れ壁
非常照明設備	照明灯、分電盤、配線
非常放送設備	起動装置、スピーカー、電源配線、非常電源
避難経路	避難の歩行障害、防火戸の閉鎖障害
在館者の状況	地震時の様子、振動後の行動、避難上の問題点、エレベータの状況
管理者の状況	地震時の様子、振動後の対応、緊急後の対応

表-1 建築物の防火対策の被害調査項目

2.2 調査結果に基づく被害の概要

各建物における主要構造、非構造部材、防火対策の被害の事例を表-2に、また被害の程度毎に件数をまとめた結果を表-3に示す。なお、今回調査した対象建物が立地する地域は、神戸市中央区、長田区を中心としており、調査対象16施設のうち、12施設は震度VIIの地域にあったと推定されている。

表-2、3は、各班の調査結果をまとめた調査票に基づいて、筆者らが被害の程度を下記のように判断したうえで整理した。今回示した被害の程度は、特に在館者の避難安全性に着目して、避難安全性に与える影響の大小をもとに、以下の基準で分類を行った。

・「被害大」：調査項目の一部または大半が被害を受け、在館者の避難安全性に対して著しい影響を与えた場合。例えば、防火戸の枠変形による開放

注2) 筆者らが調査を担当した建物は、事務所A、B、D~G、J、ホテルB、C、住宅Bの計10施設である(表-2参照)。

被害の程度	被害の程度						備考 機能障害の理由(件数)
	被害大	一部被害あり	機能障害	被害なし	不明・未設置		
構造体	柱	4	3	—	9	0	
	壁	4	5	—	7	0	
非構造部材等	天井材	2	4	—	4	6	
	内装・仕上げ	5	7	—	2	2	
	窓ガラス	6	1	—	4	5	
	受水槽・配管	7	2	—	2	5	
	エレベータ	6	4	2	1	3	停電(2)
	家具・什器等	14	0	—	1	1	
予備電源	自家発電機	2	0	1	12	1	冷却水供給停止(1)
	直結エンジン	1	0	0	12	3	
	オイルタンク	1	0	0	13	2	
	蓄電池	1	0	0	13	2	
自火報設備	感知器、配線	2	2	4	7	1	天井垂れ下がり(1)、水漏れ(3)
	受信機	0	0	4	11	1	表示灯点灯・警報作動(4)
	制御盤	0	0	0	15	1	
消火設備	SPヘッド、配管	3	3	3	4	3	天井垂れ下がり(1)、衝撃で散水(2)
	アラーム弁	1	0	0	12	3	
	SPポンプ	0	0	0	13	3	
	消火水槽	2	1	1	8	4	SPヘッド脱落・散水(1)
排煙設備	排煙機	1	1	3	6	5	振動による排煙口開放と運動(3)
	排煙口	1	1	4	5	5	振動による排煙口開放(4)
	防火ダンパ	0	2	1	5	8	自動火災報知器と運動(1)
	防煙垂れ壁	0	5	0	6	5	
非常用照明設備	照明灯	0	2	0	9	5	
	分電盤	0	0	0	10	6	
	配線	1	0	0	9	6	
非常放送設備	起動装置	0	2	0	9	5	
	電源配線	0	0	0	11	5	
	非常電源	0	0	0	11	5	
防火戸	居室-階段	0	1	0	0	15	
	居室-廊下	1	5	0	1	9	
	廊下-階段	5	2	0	3	6	
	廊下-附室	1	2	0	0	13	
	附室-階段	1	2	0	0	13	

表-3 建築物・防火対策の被害程度別件数

調査項目	建築物用途*		事務所A	事務所B	事務所C	事務所D	事務所E	事務所F	事務所G	事務所H	事務所I	事務所J	事務所K	事務所L	事務所M	事務所N	事務所O	事務所P	事務所Q		
	SRC	RC	SRC	SRC	SRC	RC	SRC	SRC	RC	SRC	SRC	SRC	RC	SRC	SRC	SRC	SRC	SRC	SRC	SRC	
	2F/B2	3F/B3	8F/B3	8F/B3	8F/B3	8F/B1	10F/B1	9F/B1	13F/B2	12F/B3	12F/B2	12F/B3	12F/B2	12F/B3	12F/B2	12F/B3	12F/B2	12F/B3	12F/B2	12F/B3	
	3		不明			1	2	1	2	3	3	3	4	2	4	4	4	4	4	4	4
	中央区		中央区			中央区	中央区	中央区	中央区	中央区	中央区	中央区	中央区	中央区	中央区	中央区	中央区	中央区	中央区	中央区	中央区
構造体	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
非構造部材等	-	0	0	0	0	△	△	-	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
予備電源	-	0	0	0	0	-	△	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
自火検知設備	-	0	0	0	0	-	△	-	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
消火設備	-	△	△	△	△	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
排煙設備	-	△	△	△	△	-	△	-	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
非常用照明設備	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
非常放送設備	-	-	0	△	△	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
防火戸* <td>-</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>-</td> <td>△</td> <td>-</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td>	-	-	0	△	△	-	△	-	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

*1 本調査は、(社)日本建築学会防災防火委員会の調査の一環として実施した。被害の状況は、調査票に基づいて筆者らが判断した。
 *2 建物の被害状況は、○:被害大、△:一部被害あり、▲:損傷あり、●:一部被害なし、□:被害なし、空欄:未設置・不明を示す。但し、被災人は構造被害の少ない部分を調査対象とした。
 *3 防火戸の被害に記した数字は、1:変形・損傷が見られるもの、2:枠当たり・床ずれ・トルク不足で正常な開閉不能、3:閉鎖不能、4:開閉不能、5:取付部破損脱落、を示す。
 *4 建築物用途を調査した建物は、震度 VII の地域に位置する。建築物用途の印は、一部店舗を含む。
 *5 延焼距離は、1: ~10000m以下、2: ~30000m以下、3: ~50000m以下、4: 50000m以下、5: 50000m以下を示す。

表一 2 建築物・防火対策の被害状況 *1, *2

不能など(表-2「○」で表記)。

- ・「一部被害あり」：調査項目の一部が被害を受けたが、機能上の障害が局部的な範囲に収まっている場合。例えば、一部のスプリンクラーヘッド破損による水漏れなど(表-2「△」で表記)。
- ・「機能障害」：対象とする調査項目には、物理的な被害はみられないが、他の被害の影響により、機能を果たさなくなった場合。例えば、停電によるエレベータ停止など(表-2「▲」で表記)。

2.3 主要構造、非構造部材等の被害の概要

調査結果から得られた主要構造・非構造部材等の被害のうち、在館者の避難安全性に影響を与えると考えられる事例の概要を以下に記す。

1) 主要構造

今回の調査は、建物内の防火対策の被害の把握が目的であったため、主要構造の被害が比較的少ない建物を調査の対象としている。しかし、調査した建物のうち約半数で、主要構造に何らかの被害がみられた。主要構造の被害事例のうち、在館者の避難安全性に影響を与えると考えられる事例は以下のとおりである。

- ・中間階の崩壊により、階段などの避難経路が利用できなかった。
- ・壁の破壊により、避難通路に壁の仕上げ材が散乱した。また、消火栓や防火戸など、壁(非耐力壁)に直接取付けられた防火設備が、枠の変形等により円滑に開放できなかった(写真-1)。

2) 非構造部材等

半数以上の建物で、非構造部材や建築設備(防火設備を除く)に何らかの被害が報告されている。ただし、これらの被害は、主に管理者に対するヒアリングを中心に調査を行なったため、被害の程度が不明の場合も多い。被害では、特に屋上に設置された高架水槽が揺れにより破損し、給水できなくなった例が数多くみられた。また、天井の落下により、配管等が破損する例があったが、スプリンクラーの配管をフレキシブルジョイントにした場合は、配管の破損には至っていない。

エレベータでは、物理的には被害はなかったが、停電により停止し、電気が復旧するまで利用できなかった場合が数例みられた。

3) 家具・什器等

主要構造の被害の程度に関わらず、調査した建物の大部分で、家具・什器等に被害がみられた。調査

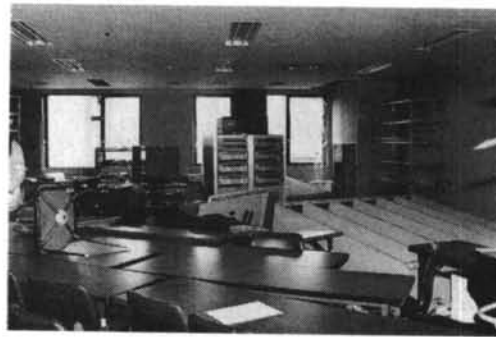


写真-1 居室内の家具・什器の転倒



写真-2 壁の破損による室内消火栓ボックスの開閉不良

を実施した時期が、地震後約1カ月半経過した後であったため、調査した多くの建物で、家具・什器は既に復旧または撤去されていた。このため、被害の詳細な状況は不明な点が多い。管理者に対するヒアリングの結果によると、避難安全上、問題となる被害事例は以下のとおりである。

- ・家具・什器の移動や転倒により、居室の避難通路に書類等が散乱した(写真-2)。また、防火戸が家具・什器により塞がれ、開放できなかった。
- ・家具・什器の移動や転倒により、感知器やスプリンクラー、防煙垂れ壁などの天井に設置される防火設備が破損した。

2.4 防火対策の被害の概要

調査結果から得られた建物内の防火対策の被害のうち、在館者の避難安全性に影響を与えると考えられる事例の概要を以下に記す。

1) 予備電源

今回調査した地域では常用電源が停止したため、ほとんどの建物で予備電源を利用している。被害の事例は少なかったが、配管等の破損により冷却水の供給が停止した事例、また冷却水の温度が上昇したため、途中で自家発電を停止した事例等がみられた。

2) 自動火災報知設備

機器本体が単独で故障する例以外に、天井の垂れ下がりや配管破損による水漏れに連鎖して、感知器が破損する事例が多くみられた。また、原因の詳細は不明であるが、感知器の作動を示す警報が作動した例が、調査対象建物の約1/4程度あった。

3) 消火設備

消火設備の被害は、スプリンクラーヘッド・配管と消火水槽に集中している。スプリンクラーヘッド・配管の被害は、自動火災報知設備における感知器と同様、天井などの被害に連鎖して発生するケースが多い。また、消火水槽の被害では、水槽本体の破損による水漏れ以外にも、ヘッドや配管の破損にともなう消火用水の不足の事例が報告されている。

屋内消火栓では、前節の「主要構造の被害」で述べたように、消火栓ボックスが壁（非耐力壁）の破損により開放できなくなる例（写真-3）や、ホースが廊下等の避難経路に散乱する事例がみられた。

4) 排煙設備

排煙設備では、排煙機本体が被害を受けた例はほとんどなかった。ただし、揺れにより一部の排煙口のピンが外れ、排煙口が開放した例や、排煙口開放にともない、排煙設備が作動した例がみられた。排煙風量は、2階層程度の排煙を基準として設定されているため、建物各階で排煙口が開放すると、ある階で出火した場合、十分な排煙風量を確保できないなどの障害が生じると考えられる。また、家具の移動や天井の破損により、防煙垂れ壁の一部が脱落・破損する事例が、調査対象建物の約1/3で発生している。

5) 防火戸・避難施設

防火戸や避難施設の被害では、枠の歪みによる閉鎖障害が数多くみられる。今回調査を行なった建物では、防火戸の被害は、主要構造の被害と関連して、特定の階（特に低層階）に集中して発生している場合が多かった。防火戸や避難施設の被害に関して、以下の事例が報告されている。

- ・共同住宅の玄関扉や階段室の常時閉鎖防火戸は、枠の変形により開放できなくなった。

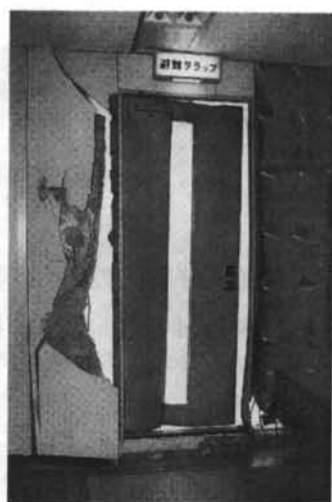


写真-3 壁の破損・枠の変形による防火戸の閉鎖不良



写真-4 天井の破損による防火戸の閉鎖不良

- ・煙感知機連動防火扉のように、常時開放型の防火戸が枠の変形や天井の落下、内装材の脱落により完全に閉鎖できなくなった（写真-4）。また、被害が著しい場合は、ヒンジが外れて防火戸が脱落・転倒した。
- ・階段室内の内装材が一部脱落し、段床に散乱した。

2.5 在館者および管理者の対応

今回の地震は、発生時刻が早朝であったことから、調査を実施した建物の多く（ホテル、住宅を除く）で、在館者はほとんどいなかった。ホテルや住宅では、客室や住戸入り口の防火戸が自力で開放できなくなり、外部から救出した例がみられた。

管理者は、調査対象の多くで、地震発生時に2～4名程度在館していた。地震直後にさまざまな被害が一斉に発生したこと、また防災センターや中央監視室で、建物全館の被害の概要を把握できなかった。

たことにより、早急な対応は困難であった。防災センターで建物内の被害が把握できなかったのは、排煙設備や自動火災報知設備などの各種警報が同時に作動したことが、主な理由のひとつとして挙げられる。

§ 3. 防火対策に関わる被害の相互連関

前章の防火対策の被害調査事例をもとに、本章では、特に建物内の防火対策に関わる被害の連関について分析を行なう。

3.1 防火対策の機能障害の発生形態

調査結果より、建物内の防火対策の被害は、他の部材や設備の被害と連鎖して発生する場合が多いこと、また、防火対策自体に被害がなくても、他の被害の影響で機能が失われる可能性があることが明らかとなった。これらの結果より、防火対策が機能を損なう形態は、被害の連関との関係から、以下のように整理することができる。

(1) 機器自体が単独で被害をうけて機能が損なわれる場合：

例えば、防火戸枠の変形による開閉不良等

(2) 他の設備等の被害の影響をうけて機能が損なわれる場合：

例えば、天井材破損によるスプリンクラーヘッドの破損、予備電源の水損による排煙機停止等

(3) 正常に作動したが、本来の機能が損なわれる場合：

例えば、排煙口開放による排煙機作動にともなう風量不足など

被害の連関は、物理的な面での機器間相互の被害の波及と、機器の被害が在館者の避難行動や火災危険性に与える影響の2つの視点から考えることができる。このため、次節以降では、以下の項目について分析を行なう。

- ・ 防火設備の機器のレベルからみた被害の連関
- ・ 避難上の機能障害からみた被害の連関

3.2 防火設備の機器のレベルからみた被害の連関

前章の調査結果をもとに整理した建物および防火対策間の被害の連関の事例を表-4に示す。表中、括弧内は連関して発生する被害の直接的な原因を示す。なお表-4では、今回の調査結果を補完するた

め、兵庫県南部地震に関連する他の報告^{5)~8)}を参考にして、被害の連関の事例を付加した。

表-4の結果に基づいて被害の連関の特徴をまとめると以下ようになる。

- (1) 天井などの非構造部材や家具・什器の被害にとともに、防火設備が被害を受ける事例が多い(特に、感知器などの天井取付け器具やそれにつながる配線、配管など)。ただし、このような被害(スプリンクラーヘッドや感知器の故障等)は、防火対策全体のうち、局所的な機能障害に留まっている。
- (2) 予備電源の被害や水漏れ等の原因により、電源が必要となる防火設備(自動火災報知設備、排煙設備、スプリンクラー等)が停止する。予備電源の停止や水漏れは、スプリンクラーのポンプ停止などのように、各々の防火対策全体の機能を損失させる重大な被害に進展する傾向がある。

3.3 避難安全性に関わる機能障害のレベルからみた被害の連関

調査対象施設における在館者の対応行動の事例については、2.5ですでに述べた。本節では、建物や防火対策の被害により、避難行動上障害となる要因を抽出する。なお、出火の有無により波及する被害の様相が異なると考えられるため、各々について考察を行なう。

地震後に想定される避難上の機能障害を、通常の避難の場合と出火にともなう避難の場合に分類してまとめた結果を表-5に示す。表-5は、前節で示した防火設備のレベルからみた被害の連関(表-4参照)をもとに、主として筆者らが想定を行なった。なお表中、括弧内に示した機能障害の原因は、各々の機能障害に対する直接の原因を示す。

3.3.1 地震後に想定される避難上の機能障害からみた被害の連関

地震直後には、余震や火災が発生する可能性があることから、在館者は、出火しない場合であっても建物外へ避難を行なうことが想定される。こうしたことから、建物内で出火しない場合に発生すると考えられる避難上の機能障害について考察を行なう。

非出火時の避難に関わる機能は、避難経路確保、避難誘導、救助・人命安全の3つに分類した。

1) 避難経路確保

表-5より、避難経路の確保に関連した障害は、大きく以下の2つの形態に分けられる。

- ・ 天井、ガラス等の非構造部材や家具・什器の被害

被害原因	被害状況	非構造部材	エレベータ	家具・什器等	空調電源	自火報設備	消火設備	排煙設備	非常用照明 非常放送設備	防火戸 避難階段	防災センター 監視盤
構造体	電気配線切断 (EPS盤破壊)	エレベータ停止#1 (シャフト破壊)					配電破壊#1 (中間階崩壊) 消火栓破壊#1 (内廊の破壊)			扉閉閉塞#1 (枠のゆがみ) 階段使用不能 (中間階崩壊) 防火シャッター脱走 不具#1 (枠の変形)	
非構造部材			コンピュータ 機器破壊#1 (天井落下)	感知器脱落#1 (天井破壊)	SPヘッド破壊#1 (天井破壊)				照度器具破壊#1 (天井破壊)	扉閉閉塞 (天井破壊)	警備警報作動 (ガラス破壊)
エレベータ											
家具・什器等	天井破壊#1 (什器移動) 給水管破壊#2 (什器転倒)		コンピュータ 機器破壊#1 (ラック転倒)	配線断線#1 感知器作動#2	配線断線#1 感知器作動#2	配線断線#1 感知器作動#2	SPヘッド破壊#5 (家具移動)	防護蓋れ壊破壊 (家具移動)		扉閉閉塞 (什器移動)	
空調電源		エレベータ停止#3 (電源停止)			電源停止#1#3 (冷却水不足)	受信機停止#3 (電源停止)	ポンプ停止#3 (電源停止)	排煙機停止#3 (電源停止)	不作動#3 (電源停止)		警報作動#1#4 (感知器作動)
自火報設備											警報作動#5 (SPヘッド破壊)
消火設備	天井破壊#1 (SPヘッド破壊)	エレベータ停止#1 (SP破壊で漏水)		OA機器使用不能#1 (SP破壊で漏水)	電源停止#3 (水層破壊)						警報作動#6 (排煙口開放、 排煙機作動)
排煙設備								排煙機作動#1#6 (排煙口開放)			警報作動#1 (他設備発報に連動)
非常用照明 非常放送設備											警報作動 (振動による 防火戸閉鎖)
防火戸 避難階段							SPヘッド破壊#1#5 (防火戸衝突)				
その他	天井脱落 (水漏れ)	エレベータ停止#1 (タンク漏水)			電源停止#1 (水漏れ)	感知器作動#4 (水漏れ)	連結式管破壊#1 (地盤沈下) 去渣水設備の破壊#1 (機械室算設備落下) 逆流ポンプの戻水#1 (水漏れ)				

#1 括弧内は、各被害の原因を示す。
 #2 他の文献で報告されていた被害の連関について、文献番号(参考文献参照)を付記した。
 なお、今回の調査では見られなかった被害の連関を下線で示す。
 #3 表中の#1-6は、それぞれの被害が連関して発生することを示す。

表一 4 建築物・防火対策の被害の連関・1, *2, *3

避難機能 被害原因	非出火時(出火時)		出火時	
	避難経路確保	救助・人命安全	出火	火災発知・確認
構造体 構造体	階段使用不能(中間階崩壊) 他部への避難不能 (建り落下崩壊)	閉じ込め・負傷・圧死 (中間階崩壊)		初期消火 延焼拡大防止
非構造部材	避難の遅れ(内装材脱落)	在館者負傷(天井破損)	火源の燃焼拡大 (窓ガラス破損)	消火活動不能(中間階崩壊)
エレベータ	避難の遅れ(天井破損)	カゴ内への閉じ込め 救助の遅れ (エレベータ停止) 救助の遅れ (非常用エレベータ停止)		消火活動の遅れ (非常用エレベータ停止)
家具・什器等	避難の遅れ (什器の転倒等)	在館者負傷 在館者閉じ込め (什器の転倒等)	警報等への着火 (什器の転倒等)	
予備電源				防災センターでの 監視不能 (電源の停止) (冷却水の不足) 火災発知の遅れ (感知器脱落) (配線の断線) (受信機電源停止)
百火報設備				
消火設備	避難の遅れ (消火栓ホース軟弱)			初期消火失敗(連結放水管破損) (消火栓破損)(ポンプ不動作) 消火活動の遅れ 消火栓ホース軟弱 (消火栓ホース軟弱) (非常用コンセント不動作) 消火水量の不足(消火栓破損) (SPヘッド破損)(配管破損)
非煙設備		在館者負傷 (防煙垂れ壁破損)		非煙失敗(非煙機電源停止) (排煙口変形)(非煙機破損) 非煙風量の不足 (防煙垂れ壁破損) (他階の排煙口開放)
非常用照明	避難の遅れ 非常用照明不点灯			
防火戸	避難の遅れ 扉開放警告 (非常用照明不点灯)	情報伝達の遅れ 非常用電源停止		
避難階段	扉開放警告 (枠の歪み、扉の変形) (什器等の移動)	在館者負傷 在館者閉じ込め (扉の破損、脱落) (バルコニー手摺脱落)		扉開放警告(什器等の移動) (枠の歪み、扉の変形) 防火シャッター閉鎖警告 (枠の変形) 消火活動の遅れ(扉開放警告)
防災センター	避難の遅れ(クラップ脱落) (バルコニー手摺脱落)	状況確認の遅れ (警報一斉作動)		
監視盤 その他			最終への着火 (立体駐車場) 車道落下)	初期消火失敗 (消火設備の破損)

*1 括弧内は、各被害の原因を示す。

*2 被害に基づいて、筆者らが想定した避難機能の障害を*で示す。

により、通路に様々なものが散乱し、避難が遅れる。

・中間階の崩壊や防火戸の枠の歪みによる開閉不良などにより、避難者が建物内に閉じ込められる。

避難経路確保に関する障害は、様々な被害と連関して発生することに特徴がある。特に中間階の崩壊による避難経路の遮断は、従来ほとんど注目されていなかったことであるが、在館者が多数存在する時間帯に地震が発生した場合、多くの在館者が負傷したり、建物内に長時間閉じ込められるため、避難上問題が多い。

2) 避難誘導

避難誘導では、主に防火設備の警報一斉作動により建物内の状況確認の遅れが生じること、避難経路確保と同様の原因により、管理者の駆け付けが遅れることが主な障害となる。この中でも特に、管理者が地震後早期に建物内の被害を如何に把握するかが重要である。

3) 救助・人命安全

救助・人命安全では、構造体や非構造部材の破損にともない在館者が負傷すること、防火戸の開放障害や停電によるエレベータ停止で在館者が閉じ込められることが主な障害となる。

以上、建物内で出火しない場合に共通した避難機能の障害は、構造体や非構造部材の被害、また防火戸の被害に連関している事項が多いことである。こうした機能障害は、地震後に建物内で出火した場合にも同様に発生すると考えられる。

3.3.2 地震後の火災で想定される避難上の機能障害からみた被害の連関

地震の発生とそれに続く火災の発生には、通常ある程度の時間的な遅れがあると考えられる。本項では、地震後在館者が建物外に避難を完了していない段階（地震発生後10～20分程度）で火災が発生した場合を想定し、避難安全上の機能障害のレベルからみた被害の連関について考察を行なう。

出火時における避難機能の障害を整理した結果を表-5に示す。出火時の避難に関わる機能は、出火、火災覚知・確認、初期消火・延焼拡大防止、煙伝播防止の4つに分類した。

1) 出火

出火に関しては、書類の散乱などにより、通常の火災よりも着火しやすくなること、また可燃物が燃焼しやすくなることが問題点として挙げられる。

2) 火災覚知・確認

火災覚知・確認では、天井材の被害による感知器や配線の破損、および停電による自動火災報知設備の停止が主な障害として挙げられる。特に、今回の調査対象の多くで、各種防火設備の被害にともなう警報の一斉作動により、防災センターの管理者が、建物内の被害の様子を把握できないことが、問題点として指摘された。

3) 初期消火・延焼拡大防止

初期消火・延焼拡大防止では、構造体や非構造部材の被害にともなう消火設備および防火戸（特に煙感知器連動防火戸）や防火シャッター等の機能障害が主な要因としてあげられる。

4) 煙伝播防止

煙伝播防止では、防火戸（特に煙感知器連動防火戸）や防火シャッター等の区画形成の障害、および排煙機の作動停止や複数の排煙口の開放にともなう風量不足が、機能障害の主な要因として挙げられる。

以上、建物内で出火した場合に共通しているのは、防火設備の作動の成否が避難機能上重要なことである。防火設備は電源を必要とするものが多く、電源が停止することにより、大部分の防火設備が作動しなくなり、被害が全館に波及する。こうしたことから、システム上冗長性を持たせるなどにより、予備電源が正常に作動するよう対策を講じることが必要である。

3.4 被害の連関に基づく防火対策の被害シナリオ

前節では、各々の防火対策間の被害の連関とその影響による避難安全上の障害について検討を行なった。在館者の避難行動を考慮した場合、居室から廊下、階段室を経て、屋外へ避難を行なうことから、避難経路として利用される各空間毎に、防火対策の被害の連関を整理すると、各被害が避難行動に与える影響を捉えやすい。また、各々の被害の連関は、時間的な遅れをともなう発生するため、時間軸をもとに整理する必要がある。こうしたことから、空間・時間軸に従って、地震後の防火対策の被害の連関を整理し、防火対策の被害シナリオを作成する。

表-4、5をもとに、建物内の防火対策の被害の連関を、空間・時間軸にそって整理した結果を図-1に示す^{注3)}。被害の連関の結果発生する避難上の障害は、四角で囲んで表現した。また、調査で実際に確認された被害・機能障害と、筆者らが想定した被害・機能障害は、図中に分類して表示した（図-1凡例参照のこと）。図-1では、空間毎の被害の

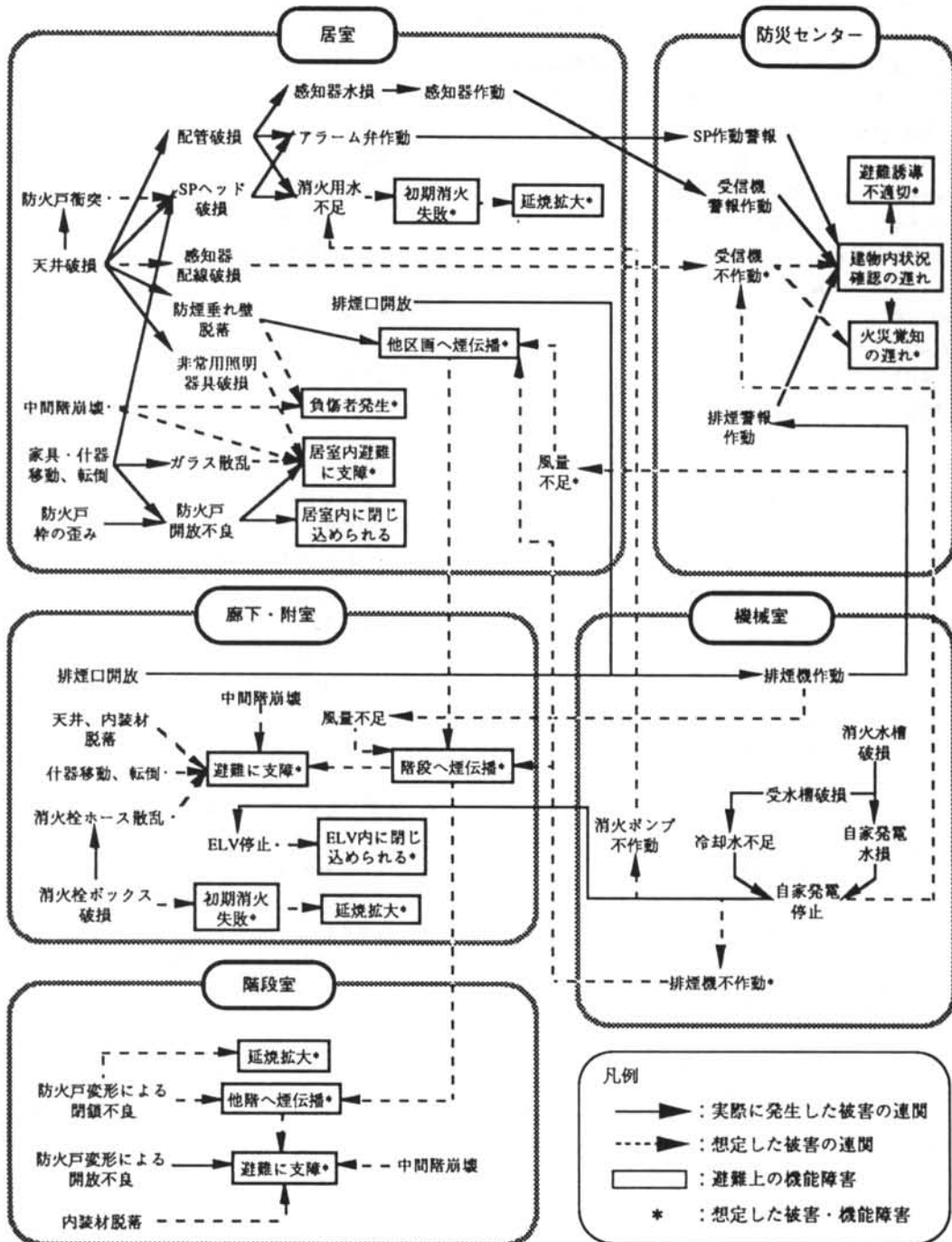


図-1 被害の関連に基づく防火対策の被害シナリオ

注3) 図-1の被害連関は、防火対策被害調査の全ての事例をもとに作成したため、実際には同時に発生しない項目を含んでいる(例えば、「自家発電停止による排煙機不動作」と、「排煙口開放による排煙機作動」など)。

連関を中心としたので、時間的な被害の波及については、各空間内での流れに添って整理した。このため、すべての空間に共通した時間軸は設定していない。また、建物内の被害を対象としたため、ガスや電気などの建物外のインフラ施設の被害の影響については、考慮していない。

図-1より、居室内では構造体や非構造部材に関わる様々な被害に連鎖して被害が波及することがわかる。図-1では、用途などの建物の属性を特に考慮していないが、物販店舗のように物品が多く、通常、不特定多数の人々が在館している建物を想定した場合、被害が拡大する可能性がある。

また、全ての建物に共通しているのは、配管や水槽の破損による漏水が他の防火設備や自家発電機の被害に波及すること、自家発電の停止が各種の設備の作動の正否に影響を与えていることが挙げられる。こうしたことから、水損による他設備への被害の波及を防ぐこと、また自家発電の機能の確保が避難安全上重要であることがわかる。

§4. 地震後の出火にともなう避難安全性のケーススタディ

建築物の防火対策の地震被害調査の分析結果より、防火対策の被害は、構造体や非構造部材などの被害に連鎖して波及することが明らかとなった。本章では、3.4で設定した地震時の防火対策の被害シナリオをもとに、事務所ビルを対象とした煙流動シミュレーションによるケーススタディを行ない、地震後の出火にともなう在館者の避難安全性を煙流動の面

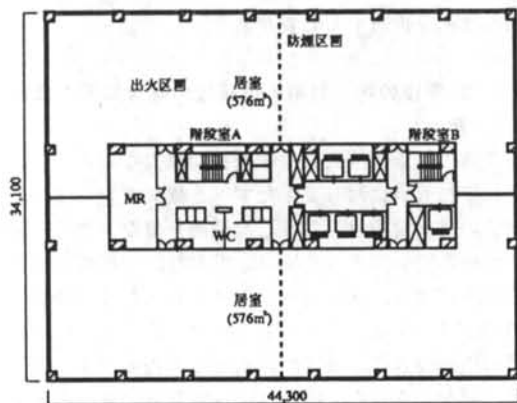


図-2 ケーススタディ対象施設基準階平面図

から検討する。

4.1 ケーススタディの対象と方法

事務所ビル（地上13階建、基準階床面積1,490m²）を想定し、非常常二層ゾーン煙流動モデル⁹⁾を用いて、ケーススタディを行なった。建物の基準階平面図を図-2に示す。出火室は2階事務室（図-2参照）とし、非火災階への煙伝播のしやすさを考慮して、冬期（外気5℃、室内22℃）を想定した。火源は、事務室における標準火源（最大発熱速度3,000kW）⁹⁾を仮定した。また、地震後の初期火災を想定して、出火後20分間を対象として計算を行なった。

ケーススタディでは、主に煙流動の面から避難安全性を検討するため、建物内の煙伝播に与える影響が大きいと考えられる排煙設備、スプリンクラーおよび階段室A（図-2参照）の防火区画（常時開放型、常時閉鎖型防火戸）を防火対策のパラメータとした。図-2の被害シナリオをもとに、パラメータとした防火対策の作動の成否に関するイベントツリーを作成し^{注4)}（図-3参照）、各ケースについてケーススタディを行なった。対象とした各防火対策の設定条件を表-6に示す。

4.2 ケーススタディの結果と考察

ケーススタディの結果得られた、出火階・階段室および非出火階の廊下における煙伝播時間、避難限界時間^{注5)}をそれぞれ表-7、8に示す。



図-3 防火対策の成否に基づくイベントツリーの構成

注4) 今回用いたイベントツリーは、ケーススタディ対象施設の調査で認められた被害のみではなく、全調査対象施設の被害調査の事例をもとに作成した。

排煙設備	<ul style="list-style-type: none"> ・風量100%：出火後120秒で、出火した防煙区画の排煙機作動 ・風量 20%：揺れにより排煙口が開放したことを想定して、出火した時点で出火した防煙区画・廊下の排煙機作動 ・排煙容量 居室：2.0m³/m²/min 廊下：1.0m³/m²/min
スプリンクラー	<ul style="list-style-type: none"> ・火源の発熱速度が、860kW（スプリンクラーが作動しない最大発熱速度）に達した後、定常状態を維持する¹⁰。
防火区画	<ul style="list-style-type: none"> ・出火階の居室は、出火区画に面する扉のみ、1枚開放する。 ・ELVホールの区画は、枠の歪みにより閉鎖できないことを想定して、常時開放する。 ・特避階段・附室の区画は、枠の歪みにより閉鎖できないことを想定し、常時閉鎖とする。 ・階段室Aの区画は、以下の2通りを想定する。 (1) 煙感知機連動防火戸により常時開放の場合 枠の歪みにより閉鎖できず、常時開放 (2) 常時閉鎖扉の場合 枠の歪みにより開放できず、常時閉鎖（危険側の条件を想定し、出火階は常時開放）

表-6 各防火対策のケーススタディ設定条件

排煙設備が出火後早期に作動し、規定風量が確保されれば、階段室や非火災階に煙は伝播しない（ケース1-1、1-2）。非火災階で排煙口が開放し、排煙風量が不足すると非火災階の防火戸が閉鎖されていても、出火後6～10分程度で煙は全館に伝播する（ケース2-1、2-2）。この場合、非火災階の煙濃度は避難に支障のない程度であるが、附室が併設されていない階段室A内は、伝播した煙が避難限界となる濃度を越えるため、避難ができなくなる。ただし、排煙風量が不足していても（規定風量の20%）、スプリンクラーが機能を保持していれば、非火災階に煙は伝播しない（ケース3-1、3-2）。

排煙設備およびスプリンクラーがともに作動しない場合は、附室の併設されていない階段室Aでは、出火後10分程度で煙濃度が避難限界値を超える（ケース4-1、4-2）。さらに、階段室区画が開放されていると、上層の非火災階では出火後18分程度で避難ができなくなる（ケース4-2）。地震時には、揺れが

注5) 出火階および非出火階の避難限界時間は、煙層高さが避難者の頭部より低くなる時点からの煙層の上昇温度の積分値をもとに算出する¹⁰。階段室は、階段室内の煙濃度を考慮して、出火後、煙層の煤の濃度が火災室の1/100以上となる時点避難限界時間として算出した。ただし、ここで示す煙伝播時間、避難限界時間は、出火後の経過時間を示しており、地震発生後の経過時間を表したものではない。

収まってある程度時間が経過してから避難を開始すること、また地震をとまなわれない通常の火災でも、18分で全館の人々が地上に避難を終了するのは困難であることから、特に地震時には避難上、危険性が高い。地震後の火災では、複数の防火対策の機能が喪失する可能性が高いことから、このような危険を回避するためには、予備電源等のように複数の防火対策の被害につながる設備の機能を確保することが重要である。

§5. 地震後の火災に関わる防火対策上の課題

今回の分析結果をもとに、避難安全性の面から地震後の火災に関わる防火対策上の課題を整理すると以下ようになる。

5.1 被害の連関からみた防火対策の課題

今回の調査結果より、防火対策の被害は、非構造部材や他の防火対策の被害に連関して発生している事例が多いことが明らかとなった。特に、電源および水に関係する設備は、一旦被害が発生すると他の被害へ与える影響が大きく、地震後の在館者の避難安全上、重要な役割を担っている。こうしたことから、地震後の防火対策の被害を最小限にとどめるためには、このような連関上弱点となる被害を発生させないことが重要である。

また、他の部材や設備との被害の連関を考慮すると、防火対策の耐震性能のみを向上しても、建物内の被害の波及を防ぐことは困難であり、人命安全の面から、防火対策、非構造部材、主要構造の各々が地震に対して有すべき性能を明らかにしたうえで、耐震技術を検討する必要がある。

5.2 地震後の防火対策の信頼性の確保に関わる課題

各防火対策は、火災覚知や初期消火などのように、それぞれ火災に対して果たすべき機能を有している。多くの防火対策は、こうした機能を果たすため、複数の機器でシステムを構成しており、一箇所の機器の故障により、防火対策のシステムとしての作動信頼性が低下する。今回の調査結果によると、防火対策の機能障害は、被害の箇所やその程度によりかなりの幅がみられた。例えば、スプリンクラーの機能障害は、被害の程度により以下のように整理できる。

場所	排煙作動 風量100%		排煙作動 風量20%		排煙作動20% スプリンクラー作動		排煙不作動 スプリンクラー不作動		スプリンクラー作動 排煙不作動	
	扉開放	扉閉鎖	扉開放	扉閉鎖	扉開放	扉閉鎖	扉開放	扉閉鎖	扉開放	扉閉鎖
	ケ-ス1-1	ケ-ス1-2	ケ-ス2-1	ケ-ス2-2	ケ-ス3-1	ケ-ス3-2	ケ-ス4-1	ケ-ス4-2	ケ-ス5-1	ケ-ス5-2
2F廊下A	290	—	310	310	460	460	130	130	130	130
	—	—	390	400	930	930	310	310	780	600
2F廊下B	—	—	320	320	490	490	170	170	170	180
	—	—	520	540	—	—	320	340	350	380
2F附室	—	—	360	360	840	830	260	280	280	290
	—	—	—	—	—	—	—	840	—	—
階段室A	—	—	340	350	530	550	310	310	510	530
	—	—	740	1050	—	—	630	620	510	600
階段室B	—	—	—	550	—	—	—	430	—	500
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

*1 扉開放：階段室Aの防火戸開放 扉閉鎖：階段室Aの防火戸閉鎖（非火災階のみ）

*2 上段：煙伝播時間（単位：秒） 下段：避難限界時間（単位：秒）

表一 7 出火階・階段室における煙伝播時間・避難限界時間・*1、*2

階数	排煙作動 風量100%		排煙作動 風量20%		排煙作動20% スプリンクラー作動		排煙不作動 スプリンクラー不作動		スプリンクラー作動 排煙不作動	
	扉開放	扉閉鎖	扉開放	扉閉鎖	扉開放	扉閉鎖	扉開放	扉閉鎖	扉開放	扉閉鎖
	ケ-ス1-1	ケ-ス1-2	ケ-ス2-1	ケ-ス2-2	ケ-ス3-1	ケ-ス3-2	ケ-ス4-1	ケ-ス4-2	ケ-ス5-1	ケ-ス5-2
13F	—	—	540	600	—	—	370	470	560	760
	—	—	—	—	—	—	1080	—	—	—
12F	—	—	540	600	—	—	370	470	560	760
	—	—	—	—	—	—	1090	—	—	—
11F	—	—	540	600	—	—	370	470	560	760
	—	—	—	—	—	—	1110	—	—	—
10F	—	—	540	600	—	—	370	470	560	760
	—	—	—	—	—	—	1120	—	—	—
9F	—	—	540	600	—	—	370	470	560	760
	—	—	—	—	—	—	1140	—	—	—
8F	—	—	540	610	—	—	370	470	560	760
	—	—	—	—	—	—	1160	—	—	—
7F	—	—	500	580	—	—	370	470	560	760
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6F	—	—	470	550	—	—	370	470	560	760
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5F	—	—	450	520	—	—	370	440	560	680
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4F	—	—	370	400	—	—	360	410	540	640
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3F	—	—	390	430	—	—	340	380	550	610
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

*1 扉開放：階段室Aの防火戸開放 扉閉鎖：階段室Aの防火戸閉鎖（非火災階のみ）

*2 上段：煙伝播時間（単位：秒） 下段：避難限界時間（単位：秒）

表一 8 非出火階の廊下における煙伝播時間・避難限界時間・*1、*2

- ・ヘッドや配管が破損し、一部の階で水漏れするため、消火設備としての機能に一部支障を来す。
- ・被害によりポンプが作動しないため、建物全館に消火用水を供給できず、消火設備としての機能が完全に麻痺する。

防火対策の機能を、ある程度維持するためには、被害の影響する範囲を一部に限定することが重要である。このためには、機器の機能上主となる部分を被害から守るとともに、例えば、一定規模単位で防火設備の系統を分節化するなどの対策を行なう必要

がある。

5.3 地震後の避難安全性と火災危険性の関係に関わる課題

今回の調査結果によると、枠の歪みや周辺の部材の被害により、防火戸の開閉障害が生じた事例が多かった。避難安全性および火災危険性の面からみると、防火戸の被害に関連して、以下の問題が明らかとなった。

- ・共同住宅の玄関扉や屋外避難階段出口のように、常時閉鎖型の防火戸が枠の変形により開放できずに、避難者が閉じ込められること。
- ・煙感知器連動防火扉のように、常時開放型の防火戸が枠の変形により閉鎖できず、出火した場合、上階へ煙が伝播すること。

上記の問題を避難経路確保ならびに煙伝播防止の機能の観点からとらえると、常時閉鎖型と常時開放型防火戸で、それぞれ相矛盾する危険性を内在しており、地震後の在館者の人命安全を考えるうえで大きな課題である。

5.4 管理者の情報把握と対応に関する課題

今回の調査結果によると、防火対策の被害にともない、各種の警報が一斉に作動し、防災センター内で建物全館の被害の状況を確認することが困難であった事例が多い。今回は、地震発生が早朝であったことから、調査対象建物では在館者がほとんどいない例が多く、こうした被害は直接には問題とはならなかった。しかし、比較的大規模で用途の複合化された建物に在館者が多数存在する場合は、管理者による建物内の情報収集の遅れは、早期に適切な対応行動を行なう際の重大な障害となる。特に、地震後に火災が発生した場合は、大規模な二次災害につながる危険性が高い。

こうしたことから、地震後の建物内の被害に関する正確かつ迅速な情報把握の方法について検討を行なう必要がある。

§6. おわりに

本報では、建物内の防火対策の被害調査結果をも

とに、被害の連関に注目して、避難安全性および火災危険性の観点から、防火対策に関わる被害の進展シナリオを作成した。また、この結果に基づいて、煙流動に影響を与える防火対策の成否をパラメータとしたイベントツリーを作成し、煙流動シミュレーションによるケーススタディを行なった。

- 上記の結果、主に以下のことが明らかとなった。
- ・連関して発生する被害のうち、特に、配管や水槽の破損による漏水ならびに自家発電の停止は、各種の防火対策の成否に大きな影響を与える。
 - ・防火対策の被害にともない、警報が一斉に作動し、防災センター内で建物全館の被害の状況を確認できなくなる。こうした事例は、従来あまり注目されていなかったが、地震後に火災が発生した場合は、大規模な二次災害につながる危険性が高い。
 - ・枠の変形による防火戸の開閉障害の事例が多くみられたが、避難経路確保ならびに煙伝播防止の観点からみると、常時閉鎖型と常時開放型防火戸で、それぞれ相矛盾する危険性を内在している。
 - ・ケーススタディの結果より、地震後の被害で、排煙設備、スプリンクラー、防火区画などの複数の防火対策が正常に作動しないと、出火後、早期に煙が全館に伝播し、在館者の避難が困難になる。

本報の調査結果は、地震により被害を受けた建物のごく一部を対象としてまとめたもので、今回の地震による被害の全容を示したものではない。このため、本報では、地震による各被害の連関について定性的な分析を中心に行なったが、今後の大都市における地震災害の観点からみると、防火対策に関して共通する課題を提起しているものと考えられる。従来、地震による防火対策の機能障害は、見落とされがちであったが、今回の地震を契機として、今後は各被害の連関について、さらにデータを収集し、被害の発生頻度を定量的に予測する手法を確立する必要がある。

<参考文献>

- 1) 室崎益輝：“兵庫県南部地震における火災をめぐる諸問題”平成7年度火災学会講演討論会テキスト 地震と火災，pp.

1～6, 1995

- 2) (社)日本建築学会建築計画委員会安全計画小委員会, 日本百貨店協会防災対策委員会: “宮城県沖地震における百貨店の被災状況と今後の課題” 1979
- 3) 清水建設㈱: “平成5年釧路沖地震被害調査報告” (1993年)
- 4) (社)日本建築学会拡大防火委員会: “兵庫県南部地震建築物防火対策被害調査第1次報告” (1995年3月)
- 5) 清水建設㈱地震設備対策委員会: “1995年兵庫県南部地震設備被害調査報告書” (1995年)
- 6) ㈱竹中工務店: “「阪神大震災(兵庫県南部地震)」調査報告—第3報—” (1995年)
- 7) ㈱大林組技術研究所: “平成7年(1995年)兵庫県南部地震被害調査報告書” (1995年)
- 8) 追跡阪神大震災 設備被害調査で“水”問題に注目, “日経アーキテクチャー” (1995年6月19日号)
- 9) 建設省大臣官房技術調査室: “建築物の総合防火設計法 第3巻 避難安全設計法” 日本建築センター, (1989年)
- 10) “臨海部における大規模建築群の総合的な防火安全対策に関する調査・検討報告書” (財)日本建築防災協会, (1992年)

