

東京の地震時における出火と延焼の危険予測

1. はじめに
2. 市街地状況調査
3. 地震時における出火危険予測
—特別区の総合出火危険予測—
4. 地震時における延焼危険度測定
—特別区の延焼危険度測定—
—東消式の拡張—
5. おわりに

鈴木 聡*

要 約

地震時に最も危惧される火災を「出火」と「延焼」の両面から取り上げ、それらの危険性の予測手法等について最近の動向を中心にまとめたものである。

まず、地震被害を評価するうえで欠かすことのできない市街地構造の解明とともに出火危険と延焼危険算定の基礎データとなる市街地状況調査について触れる。次に、特別区における出火危険予測として関東大地震と同程度の地震が発生した場合の要因別の出火件数の導出方法と、延焼危険の予測として主に建物に関する焼失危険度について述べる。

はじめに

東京においては、地震災害による被害の未然防止、軽減対策のための法規として都震災予防条例がある。そこには「地震に関する地域の危険度を科学的に測定する」ことが明記されており、東京消防庁ではこの危険度を「出火」と「延焼」に分けて評価してきた。

出火については、従来、地域の危険度を相対的に評価する手法が採られていたが、諸施策の推進上の要請から昭和62年3月の火災予防審議会（事務局：東京消防庁）により出火危険を出火件数として算出する絶対評価手法が開発され、特別区について算定が行われた。

延焼についても、延焼速度式として浜田式による延焼危険評価がなされていたが昭和60年3月の火災予防審議会により浜田式にかわる新式が開発され、同63年3月特別区の延焼危険度測定において採用された。

これら最近の出火と延焼にかかわる動向については危険性をより高い精度で現在の市街地に当てはめ評価しようとするものであり、予測の向上が図られてきている。今回は、以上のような主要な手法の改善点を中心に概説する。

1. 市街地状況調査

およそ5年ごとに市街地の建物や空地等につい

*東京都立大学都市研究センター（東京消防庁）

ての現況を把握するために行っているのが本調査である。以下で述べる出火・延焼の予測をはじめ、消防力の運用や各種の計画の策定のための前提であり、基礎データとして活用されるものである。

(1) 調査対象区域

建ぺい率10パーセント以上の市街地を調査対象区域とし、市街地から離れた地域にあって建ぺい率が10%以上でおおむね50棟以上からなる集落や、道路に沿って密集地を形成しており、その地域の建ぺい率が10%以上でおおむね50棟以上の建物からなる集落についても調査対象区域とした。

(2) 調査項目

- ア 木造建物
- イ 防火造建物
- ウ 簡易耐火造建物

エ 耐火造建物

オ 震災時通行可能道路（震災時に予想される建物等の倒壊により通行に有効な幅員の制約を (ア)地盤軟弱地域 (イ)前、(ア)以外の地域 (ウ)空地、耐火建物等に面した道路の三つの種類ごとに分けて設け、制約以上の幅員をもつ道路をいう)

カ 空地

キ 建物棟数

ク 建築面積（250m×250mメッシュ単位、交点の数によって面積を算定する面点分布法により算定）

ケ その他

(3) 算定項目

前(2)の調査項目より、

表1-1 市街地特性の比較

項目		地区	多摩地区 (昭和62年4月)	特別区 (昭和59年8月)
面積 (km ²)			484.11	625.13
メッシュ数			9,141	10,377
平均階数			1.7	1.8
棟数	全建物		730,554	1,568,480
	木造		269,962	331,389
	防火造		386,273	983,564
	簡易耐火造		24,080	58,581
	耐火造		50,239	194,946
建築面積の区市町村面積に占める割合 (%)			9.3	32.9
全建物平均建ぺい率 (%)			29.8	41.4
構成率	木造		29.6	17.2
	防火造		49.5	53.6
	耐火造		20.9	29.1
震災時通行可能道路率 (%)			5.3	8.4
空地率 (%)			29.9	24.9

- ア メッシュ建ぺい率（メッシュ内の全建物の面積を、メッシュ面積で除して得た数）
- イ 混成率（メッシュ内の木造、防火造及び耐火造建物それぞれの建築面積の占める割合）
- ウ 震災時通行可能道路率
- エ 空地率（一定規模以上の空地がメッシュの面積に占める割合）
- オ 市街地面積
- カ 構造別建物棟数
- キ その他

(4) 算定結果の概要

おもな算定結果のまとめを多摩地区（昭和62年4月）と特別区（昭和59年8月）との比較で示した。（表1-1）

これらの集計結果を項目ごとに比較するだけでも市街地の変遷が把握でき有用であるが、冒頭に述べたように、さらにこの結果はこれから概説する出火危険度や延焼危険度の測定にも活用されている。

2. 地震時における地域別の総合出火危険予測の概要

出火危険の評価については、従来、危険の高い地域と低い地域を相対的に評価する手法が用いられてきた。しかし、地震時の出火件数を震災対策上の大きな指標として提示することを求められることとなり、その算定手法の開発が望まれていた。

(1) 予測手法

ア 前提条件

予測の前提は

- ① 震源・規模：関東大震災と合程度
- ② 季節・時間：夏／冬の昼食／夕食時
- ③ 最小単位：250mメッシュ
- ④ 特別区について実施

の項目である。

イ 予測手法

まず、過去の災害事例から出火要因として5つ（①火気器具、②化学薬品、③工業炉、④危険物施設、⑤その他（高圧ガス施

設、LPガスボンベ）を抽出した。次に、各要因ごとに「出火推定モデル」を作成し、出火シミュレーションや使用環境調査、分布実態調査等によりデータの整備を行った。さらに用途別あるいは地域別に普遍化し、地域別の出火危険（出火件数）を算出した。予測フローを図2-1に示す。

次に、要因別の予測について、おもに火気器具を中心に述べる。（図2-2参照）

① 火気器具

結果として出火危険の中で最もウェイトの高かった火気器具については①過去の地震時の火災事例の分析、②平常時における火災事例の分析、さらに③実験・調査研究の分析を行い、加速度レベル別に個々の火気器具ごとに出火に至る経過を、

- i 地震動による火気器具の移動・転倒
- ii 周囲の家具等の転倒・落下による影響
- iii 可燃物の存在状況
- iv ガス配管の被害、立ち消え等によるガス漏洩
- v 液体燃料の漏洩
- vi 油鍋の影響
- vii 火気器具の固定状況
- viii 火気器具の燃料消費量
- ix 建物用途による使用環境の相違
- x 火気放置率

等をもとに明らかにし（図2-3参照）、モンテカルロ型のシミュレーションを行うことによって求めている。

また、止火率（いわゆる「火の始末」の実施率）、初期消火率（初期消火の成功率）、対震自動消火装置の作動率、ガスの供給遮断を出火の抑止要因として加味し、事業所の用途別に出火率を求めた。

一方、前述の市街地状況調査により建物状況を、事業所統計等により用途分布状況をそれぞれ調査し、町丁目単位で地盤ごとの用途分布状況を把握した。

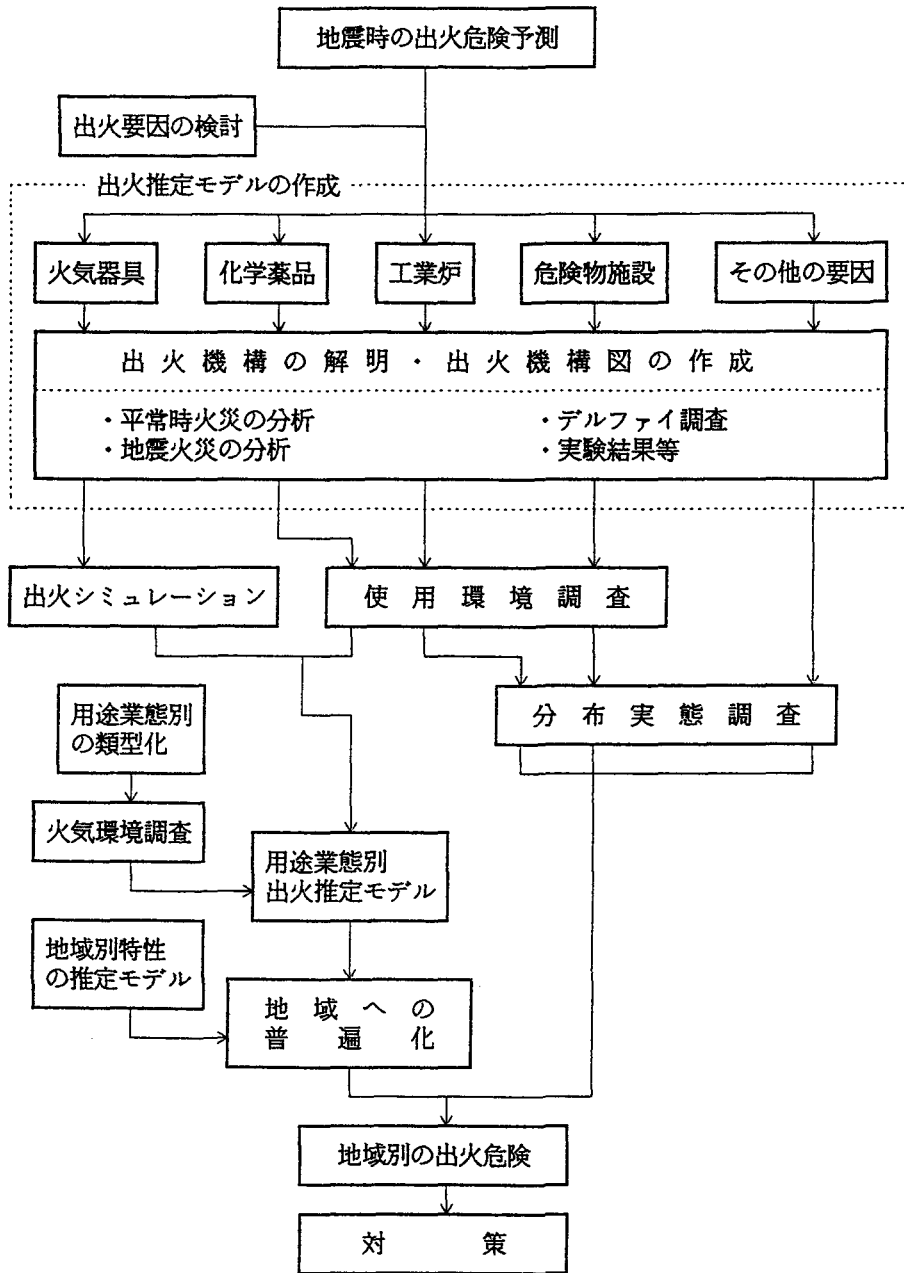


図2-1 地震時の地域別出火危険予測フロー

以上より、加速度レベル別に与えられた用途別火気器具別出火率を地域の分布状況に合わせ250メートルメッシュ単位で算出した。

② 化学薬品

特別区内の約2800施設について、棚等の固定状況、薬品の種類、保管量、室内の火気の有無等の実態調査や過去の災害事例の調査により地震動の発生から出

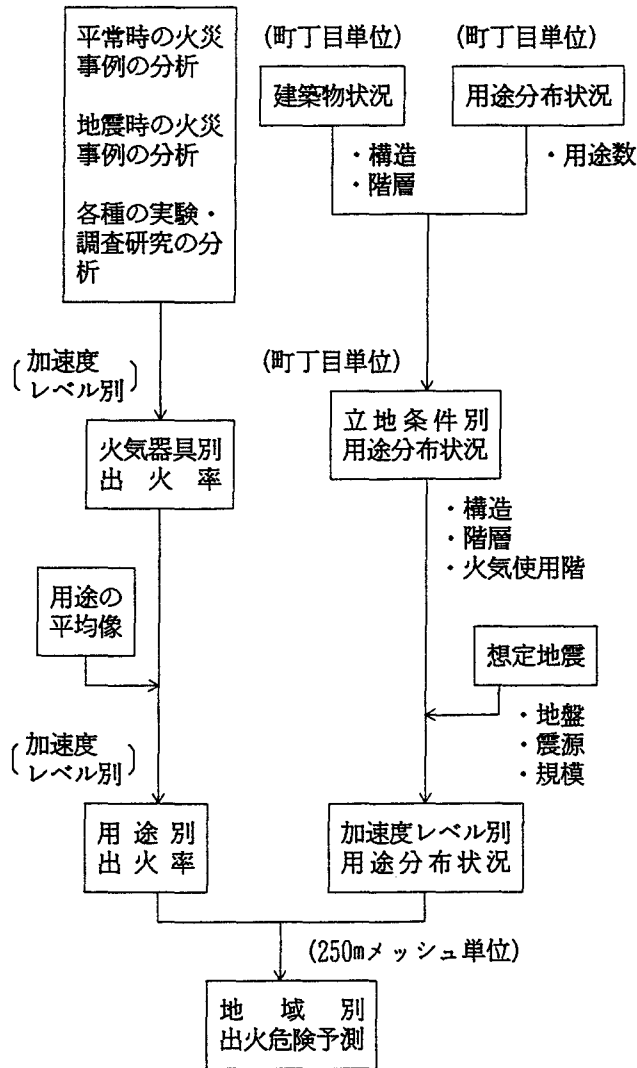


図2-2 地域別出火危険予測フロー（火気器具）

火・延焼に至るまでの各物質の性質を考慮した出火機構図（図2-4）を作成し、棚等に発生する転倒、容器の落下、容器の破びん等について生起率を求め、これを16の業態別に分類し、地域別出火件数とした。

③ 工業炉

災害事例の分析より、地震時に起こりうる事例を選択し、次のような出火・爆発モードを想定した。（図2-5）

④ 危険物施設

これについても、出火機構図（ET）を作成し、出火に至る経過を明らかにし算定した。

各事象の生起率は、工業炉使用環境調査を行い、安全性の評価を行うことで施設区分別に求めた。（図2-6）

⑤ その他

その他の要因としてLPガスボンベ及び高圧ガス施設について、次の火災・爆

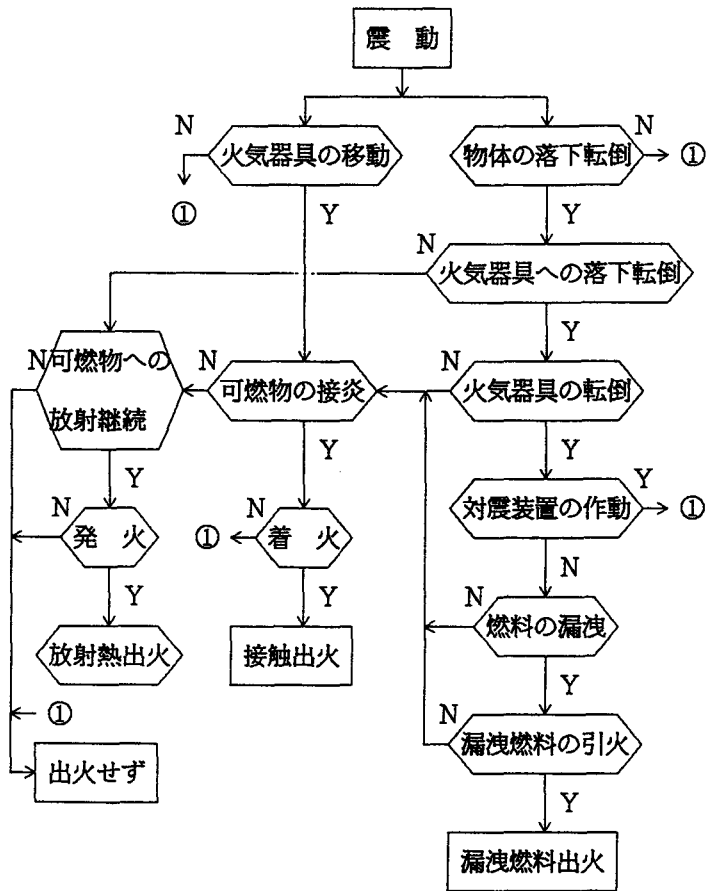


図2-3 火気器具の出火機構 (灯油ストーブ)

発モードを想定した。

i LPガスボンベ

ボンベの転倒率、漏洩率を過去の災害事例、実態調査及び実験により求めた。

ガス漏洩率及び消費施設の分布状況から漏洩件数を求め、ボンベ本数に出火率を加味して地域別出火件数を算出した。

ii 高压ガス施設

図2-7に基づき「貯槽・配管」及び「容器」からの火災・爆発ETをそれぞれ設定した。(図2-8)

(2) 予測結果

各要因ごとに算出された出火危険を最終的に合成し総合出火危険としてまとめた。

に合成し総合出火危険としてまとめた。

ア 特別区の総出火件数

測定の結果は、表2-1のとおりである。

イ 要因別出火危険

区別要因別の出火危険を表2-2に示す。

総出火件数に占める火気器具からの出火件数の割合は72%、ついで化学薬品からの出火件数が23%となっており、この二つだけで95%をしめる。(冬の夕方ケース)

平成元年10月のサンヘランシスコ地震(ロマプリータ地震, M7.1)では、都市ガスの漏洩・爆発が出火原因となった火災が報道されている。東京の出火危険予測との相違については、地震の規模、都市構造、地盤・地質、ガス配管を含めた都市施設の

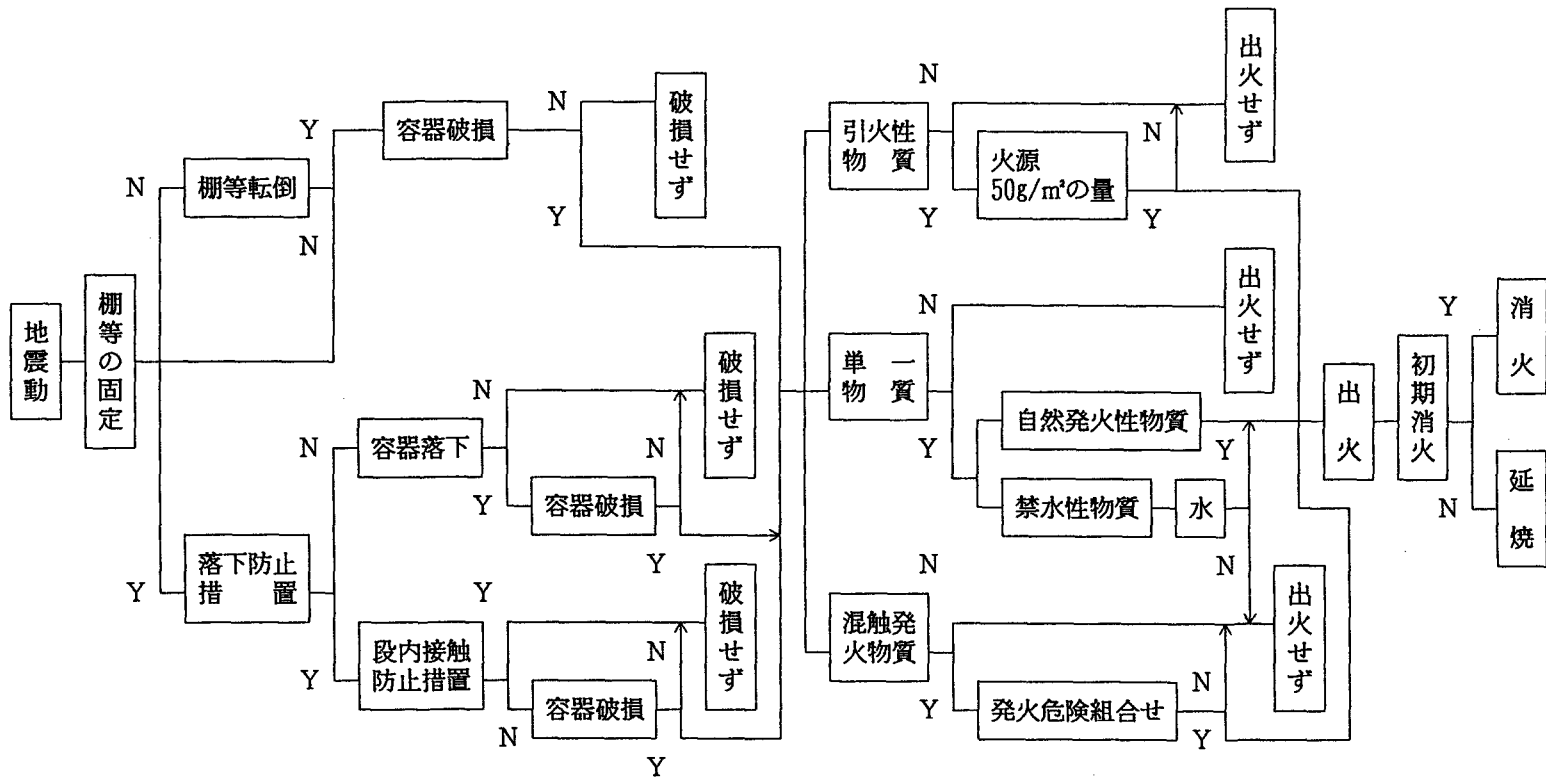


図2-4 化学薬品の出火機構図

鈴木：東京の地震時における出火と延焼の危険予測

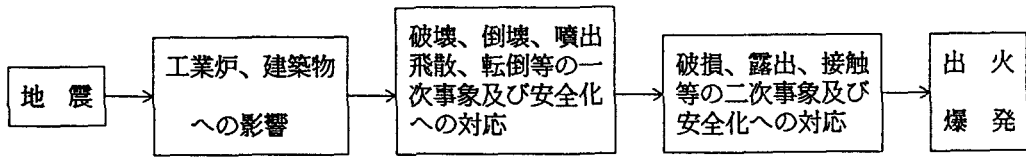


図2-5 工業炉の出火・爆発モード

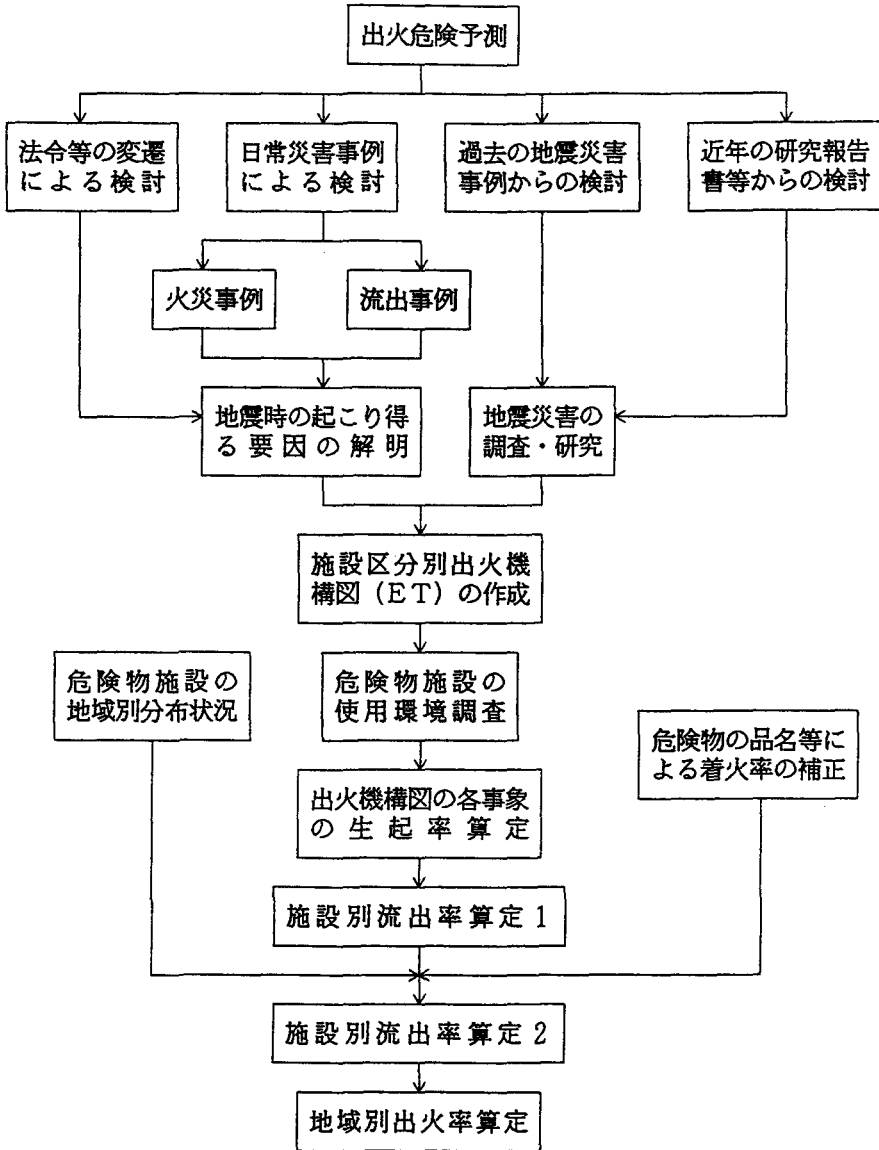


図2-6 出火危険算定フロー(危険物施設)

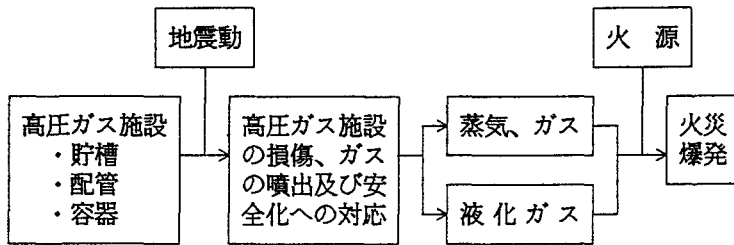


図2-7 地震時における火災・爆発モード

強度，ガスの供給遮断等の違いによるもので，両者を単純に比較することはできない。

ウ 地域別総合出火危険

冬の夕方のケースを250mメッシュに表示すると図2-9のようになる。

(3) 対策への提言

以上の結果から特徴的なものを対策を含めて示すと以下のとおりである。

ア 食用油を使用する火気器具からの出火

火気器具のうち食用油に起因する火災は全出火件数の約35%（冬の夕方）を占める。これは，油鍋が火にかけられたまま放置された結果，出火に至るもので，食用油が発火点に達するまでの時間は6分から12分程度である。したがって，地震後6分以内に火の始末を実施したとすると約220件の火災件数の減少が見込まれる。

加熱防止装置や感震装置等によるガスの遮断が有効と考えられ，完全に実施されれば約250件の出火件数の減少が見込まれる。

イ 灯油ストーブからの出火

灯油ストーブの転倒に伴う火災は，全出火件数の約20%を占め，このうち90%が家具の転倒に起因するものとなっている。

対震自動消火装置の確実な作動，家具の転倒防止が完全に実施されれば約100件の火災件数の減少が見込まれる。

ウ 化学薬品からの出火

化学薬品の全出火件数に占める割合は20%に達する。引火性物質の引火危険が最も高く，次いで混合混触による出火危険が高くなっている。したがって，混合混触に

よる出火危険のある化学薬品は，分離して保管するなどの指導の強化，引火性物質と引火源となる火気器具等の分離を図ること，薬品棚等の転倒防止の徹底や破損しない容器の使用等の対策を推進する必要がある。

エ その他の要因からの出火

工業炉からの出火は木造建物からの出火率が高く建物の不燃化や工業炉周囲の不燃化について指導する必要がある。

L Pガスボンベについては1985年9月のメキシコ地震で漏洩ガスに着火した事例が多く見られた。出火危険予測では全体に占める割合は少ないが，L Pガスボンベの利用状況から転倒防止や地震後の漏洩点検等を実施する必要がある。

オ 非木造建物の出火

非木造であっても地震時には多数の出火が予測された。特に銀座，新宿，池袋等の飲食店や雑居ビル等の耐火建物が集団的に存在する地域で高い出火危険が示された。これらの地域では出火防止対策が必要である。

また，百貨店，病院等の不特定多数の人々を収容する施設で昼間の出火危険が高い傾向が認められ，出火防止や自衛力の向上を図る必要がある。

カ 総合的特徴

木造建物からの出火危険は，環状7号線に沿う地域で高くなっており，延焼拡大する危険性が高いと考えられる。

非木造建物では飲食店，バー・キャバレーの類，物品販売店舗等の用途及びこれ

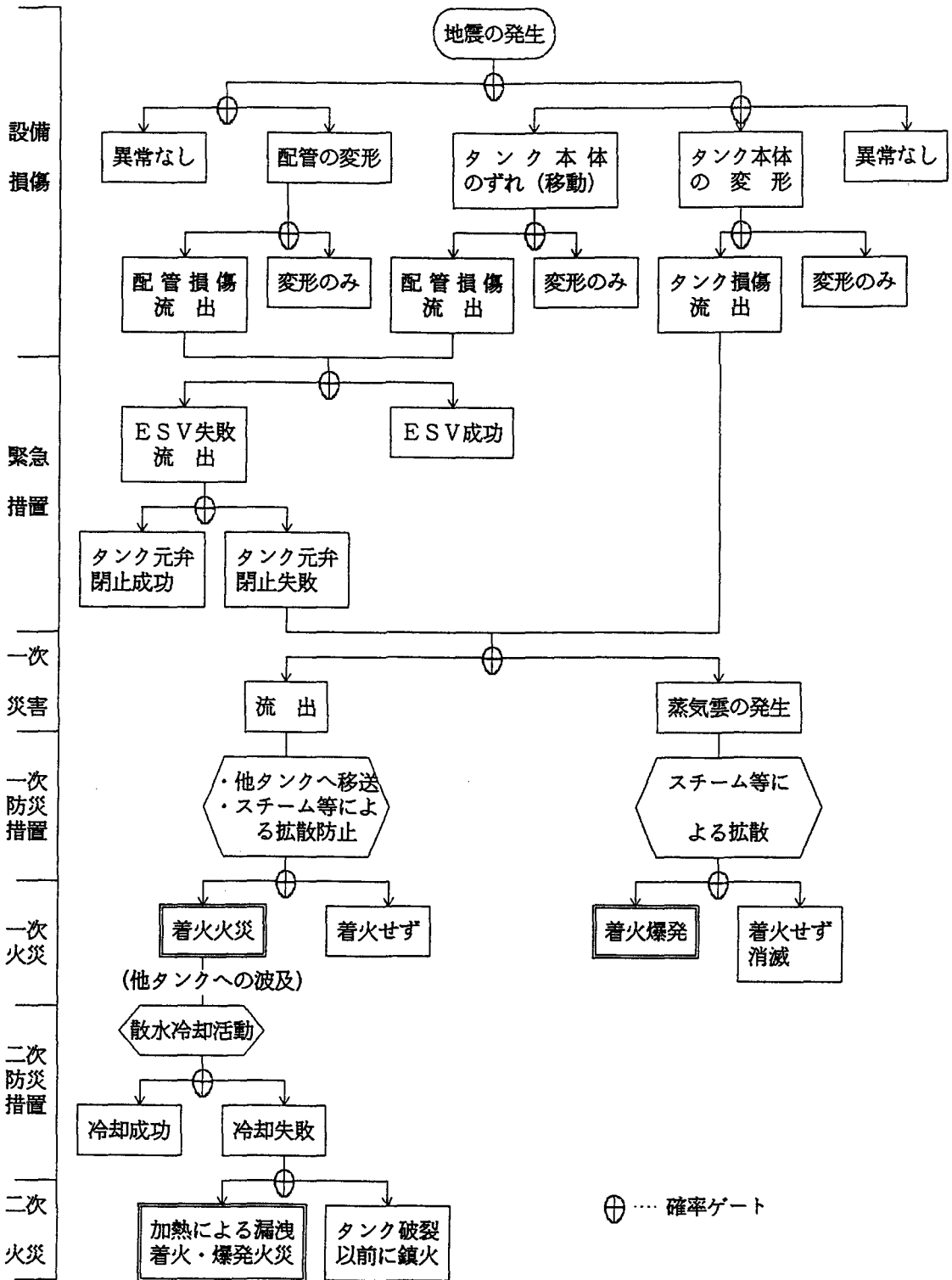


図2-8 高圧ガス施設の出火機構 (貯槽・配管)

表 2-1 地震時における特別区の構造別総出火件数

季節	時間	木造建築物	非木造建築物	合計
夏	昼 (12時頃)	78	218	296
	夕方 (18時頃)	174	266	440
冬	昼 (12時頃)	96	234	330
	夕方 (18時頃)	264	316	580

らの複合用途建物の集中する都心及び副都心の地域で出火危険が高くなっている。

(4) 評価

この手法は、端的に言えば「東京に関東大地震が再来したらどれだけの出火が見込まれるか?」という問いに答えるものとして開発されたもので、250mメッシュを単位として建物構造、要因ごとに求められているため地域ごとにきめの細かい具体的な対策が可能である点で、従来にない画期的なものと考えられる。

一方、出火機構を明らかにし、各々の事象が生起する確率を求めているが、過去の事例が少ないため明確にすることが困難な部分もあり、今後より精査な調査、実験を検討する必要がある。

3. 地震時における延焼予測の概要

(1) 地震時における地域別延焼危険度測定

本研究は、地震出火と同様に、大震災対策のための基礎資料を得ることを目的として、市街地が持つ延焼危険を地域別に予測しようとするものである。

ア 測定手法の概要

予測については、図 3-1 で示すように延焼要因として市街地に普遍的に分布する建築物並びに特定の地域に偏在する危険物施設、可燃性ガス施設、空地、耐火建築物群及び消防力等について考慮している。このうち、建築物等は市街地延焼の基本的要

因とし、危険物施設、可燃性ガス施設等は延焼を助長させる要因として位置づけている。一方、空地、耐火建築物群は延焼を阻止する要因としてとらえている。

具体的には次のようである。

- ① 地域別延焼危険の測定は、前述の市街地状況調査及び延焼要因実態調査を基礎として次の図(図 3-1)のように算定されている。
 - i 23区を250m×250mのメッシュに分割し、各メッシュごとにメッシュ中心部の木造建築物に出火点を想定する。
 - ii 延焼速度式(表 3-1 参照)を用いて、建築物を対象とし出火から60分後の地域の延焼面積を算定する。
 - iii 危険物施設(消防法別表に定める第四類危険物の屋外タンク貯蔵所)及び可燃性ガス施設(液化石油ガス、圧縮アセチレンガス)等の延焼助長施設があるところでは、メッシュ内の分布を調査し、これによる延焼増加の予想面積すなわち延焼助長面積を算出する。
 - iv 短辺40m以上の空地および耐火建物群の延焼を阻止する効果のあるものについてもその分布を調査し、延焼減少の予想面積すなわち延焼阻止面積を算出する。
 - v 建築物による地域の延焼面積、延焼助長面積及び延焼阻止面積から、60分後の地域の延焼面積を算出し、ランク付けをして地域の危険度を定める。

表2-2 地震時の区別要因別総合出火危険
 (震源:相模トラフ 規模:マグニチュード7.9 季節:冬 時刻:18時頃)

	火気器具	化学薬品	工業炉	危険物施設	その他	合計
千代田	6.75(2.03)	7.56(0.83)	0.01(0.00)	0.43(0.07)	0.00(0.00)	14.75(2.93)
中央	11.36(2.12)	2.23(0.29)	0.00(0.00)	0.38(0.07)	0.01(0.01)	13.98(2.49)
港	17.17(4.27)	10.22(0.84)	0.08(0.02)	0.49(0.09)	0.01(0.01)	27.97(5.23)
新宿	20.71(8.74)	5.56(0.57)	0.02(0.00)	0.65(0.11)	0.01(0.01)	26.95(9.43)
文京	9.78(5.12)	7.55(0.58)	0.03(0.01)	0.55(0.10)	0.00(0.00)	17.91(5.81)
台東	11.02(5.15)	3.07(0.46)	0.05(0.04)	1.16(0.20)	0.03(0.02)	15.33(5.87)
墨田	14.34(7.53)	7.82(1.55)	0.27(0.15)	0.85(0.15)	0.04(0.03)	23.32(9.41)
江東	21.59(8.37)	4.71(0.88)	0.25(0.08)	0.79(0.14)	0.26(0.18)	27.60(9.65)
品川	17.07(9.78)	4.78(0.55)	0.27(0.12)	0.81(0.14)	0.01(0.01)	22.94(10.60)
目黒	11.64(6.70)	3.52(0.39)	0.10(0.06)	0.19(0.03)	0.03(0.02)	15.48(7.20)
大田	26.54(16.90)	5.96(0.75)	1.00(0.40)	1.22(0.21)	0.16(0.11)	34.88(18.37)
世田谷	31.15(20.74)	6.82(0.44)	0.03(0.00)	0.48(0.08)	0.74(0.52)	39.22(21.78)
渋谷	13.99(5.67)	3.98(0.30)	0.02(0.02)	0.15(0.03)	0.01(0.01)	18.15(6.03)
中野	15.66(10.48)	2.63(0.28)	0.00(0.00)	0.15(0.03)	0.02(0.01)	18.46(10.80)
杉並	24.04(16.79)	3.79(0.29)	0.04(0.03)	0.32(0.06)	0.01(0.01)	28.29(17.18)
豊島	15.56(8.75)	3.71(0.35)	0.00(0.00)	0.62(0.11)	0.25(0.17)	20.14(9.38)
北	16.52(9.68)	7.06(1.07)	0.27(0.13)	0.77(0.13)	0.61(0.42)	25.32(11.43)
荒川	10.32(6.87)	4.74(0.73)	0.20(0.09)	0.52(0.09)	1.51(1.05)	17.29(8.83)
板橋	19.84(10.26)	14.31(2.45)	0.40(0.19)	1.07(0.19)	0.16(0.11)	35.78(13.20)
練馬	17.01(11.82)	3.11(0.24)	0.01(0.04)	0.25(0.04)	0.13(0.09)	20.51(12.23)
足立	33.20(20.70)	8.81(1.45)	0.20(0.16)	0.92(0.16)	2.37(1.65)	45.50(24.12)
葛飾	25.82(17.87)	5.52(0.86)	0.18(0.14)	0.78(0.14)	2.09(1.45)	34.39(20.46)
江戸川	25.70(18.54)	6.85(1.05)	0.24(0.10)	0.56(0.10)	2.67(1.86)	36.02(21.65)
特別区計	416.78(234.88)	134.31(17.20)	3.67(1.78)	14.11(2.47)	11.22(7.75)	580.09(264.08)

※ () 内の数字は木造建築物からの出火件数を示す

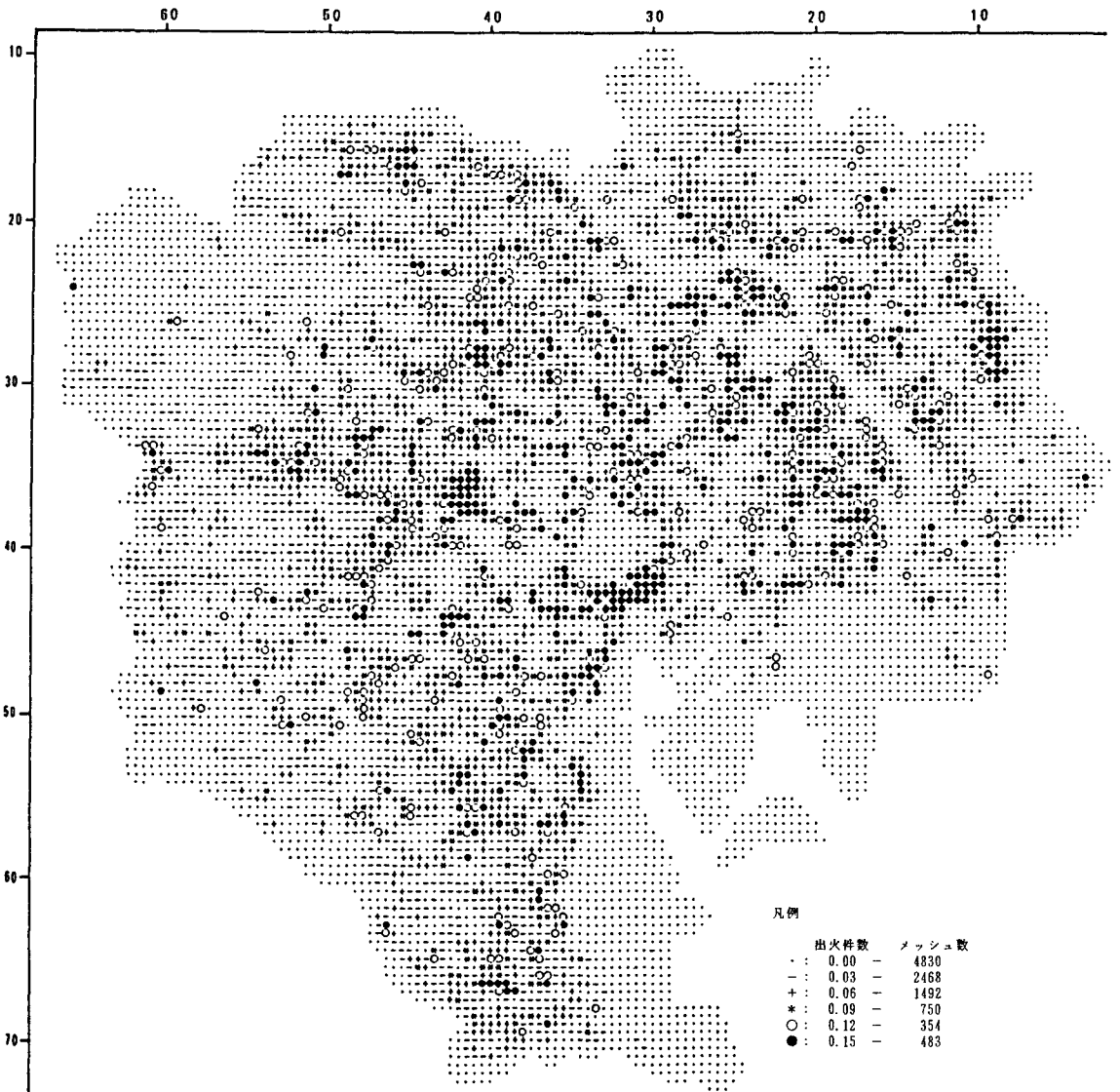


図2-9 地震時のメッシュ別総合出火危険（冬、夕方）

vi 地域の延焼面積と平均建ぺい率，平均階数から風速8 m/秒における出火後60分の延焼地域内で焼失が予想される木造・防火造建物の延べ面積を算定し，ランク付けをして建築物の危険度を定める。さらに，消防力による延焼阻止効果を算定して減じ，消防力を含む危険度とする。

イ 延焼速度式について

市街地の延焼速度を決定づける延焼速度式は今日の市街地状況の実態に合ったものでなくてはならない。この意味で従来の速度式（浜田式）に代え，「東消式」（表3-1）が採用された。東消式では，地震動によるモルタル剥離等による延焼性状への影響をも考慮（地震被害指数）しており，より市街地の実態に即した予測を可能にして

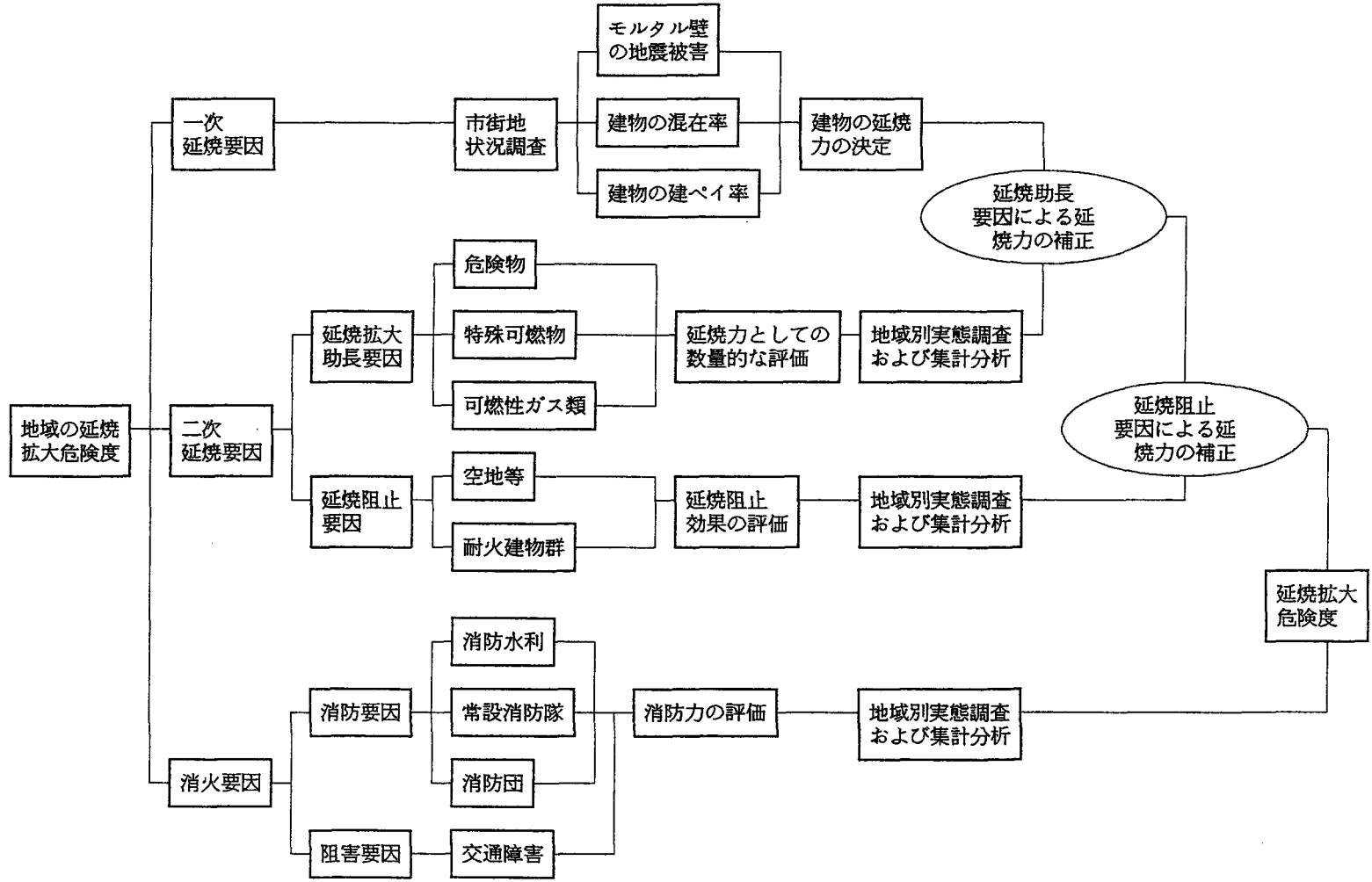


図 3-1 地域別延焼危険度の測定フロー

表 3-1 測定手法の比較

		延 焼 速 度 式 等	地 震 被 害
今 東 消 回 式		<p>*延焼距離 L</p> $L_{\text{風下・側・上}} = \delta_{\text{風下・側・上}} \cdot r(v) \cdot g(h) \cdot t \cdot (1-c) \cdot P$ <p>*延焼速度 δ</p> $\delta_{\text{風下・側・上}} = \frac{a(a'V_w + b'V_m) / (a' + b') + dV_{d\text{風下・側・上}}}{a + b}$ <p>但し、湿度の補正係数 $g(h)$ は東京の冬(12月～2月)の平均湿度の55%の値を採用した。 地震被害による延焼距離倍率 P は、</p> $P = \frac{a' + b' / 0.6}{a' + b' / R_k}$ <p>ここで、$r(v)$: 風速補正係数(=0.048v + 0.822) v : 風速 $g(h)$: 湿度補正係数(=-0.005h + 1.371) h : 湿度 t : 出火後の経過時分 c : 耐火造混成比率 a : 建物一辺の長さ(m) b : 建物の隣棟間隔(m) V_w : 裸木造建物延焼速度(m/min) V_m : 防火造建物延焼速度(m/min) V_d : 隣棟へ燃え移る延焼速度(m/min) a', b', c' : 建物構成比率(裸木造, 防火木造, 耐火造) R_k : 地震被害指数</p>	各メッシュ毎の地震条件に応じてモルタル壁の被害を新式のPのなかにR _k として考慮した。
		<p>*延焼距離 S</p> $S_{\text{下}} = n \cdot k_{\text{下}} \left(t + 11 \log_e \frac{25}{t + 25} \right)$ $S_{\text{側・上}} = n \cdot k_{\text{側・上}} \cdot t$ <p>*延焼速度 k</p> $k_{\text{下}} = \frac{1.6(a+d)(1+0.1V+0.007V^2)}{3 + \frac{3}{8}a + \frac{13.91d}{10+V}}$ $k_{\text{側}} = \frac{(a+b)(1+0.005V^2)}{3 + \frac{3}{8}a + \frac{8d}{11.5(5+0.25V)}}$ $k_{\text{上}} = \frac{(a+d)(1+0.002V^2)}{3 + \frac{3}{8}a + \frac{34.78d}{25+V}}$ <p>ここで、n : 延焼速度比</p>	

いる。

エ 調査結果

以下に示す図3-2は、測定により延焼危険の比較的高い地域（危険度の低い順から高い順へ1から9までのランク中、6・7と8・9の各ランク）をまとめて表したものである。

オ 考察

延焼危険度の算定結果を総合するとその特徴を以下のようにまとめることができる。

① 延焼危険度の分布

- i 特別区の広い範囲にわたって高い危険度を示している。

- ii 都心部で低い危険度を示しているが、ドーナツ状に特別区外周部で高い危険度を示している。

- iii 特に危険度の高い地域は環状7号線の両側、杉並区のJR中央線沿線及び江戸川区の同総武線沿線地域などである。

② 消防活動の困難な区域

消防力を含めた危険度でみると、練馬区、足立区、江戸川区及び葛飾区などで依然高い危険度を示している地域がある。これは震災時に消防車両が通行できる幅員の道路が少ないことなどにより、消

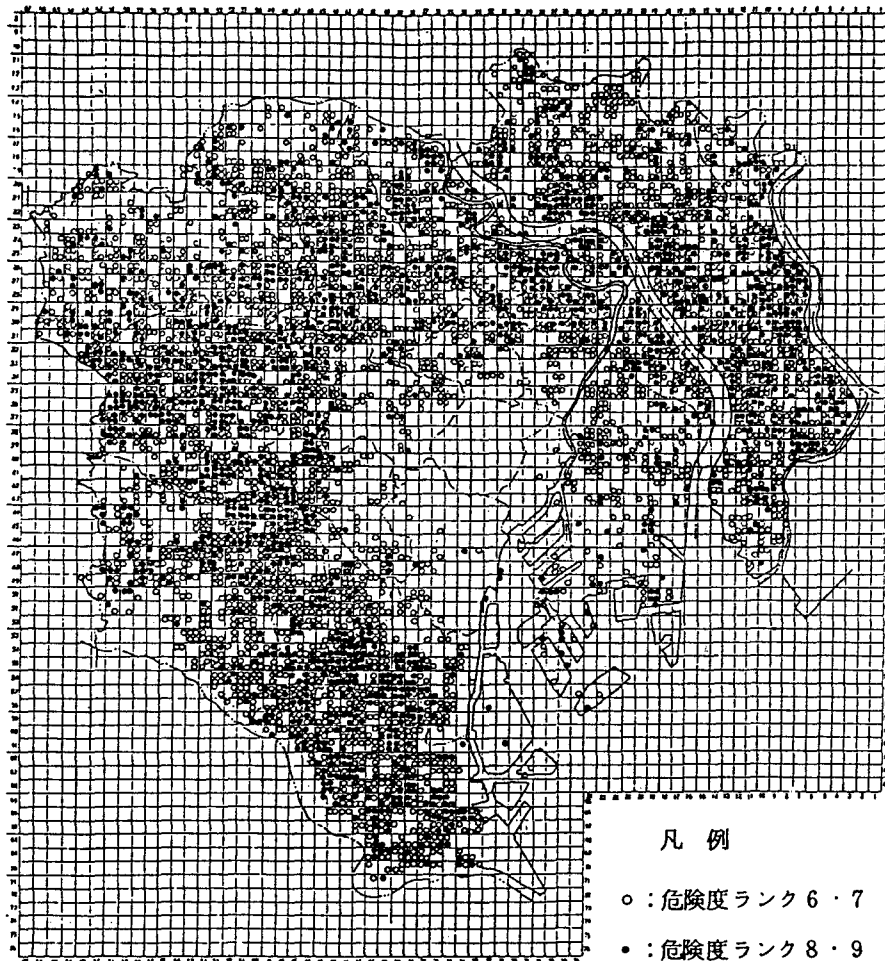


図3-2 地域の延焼危険の高い地域（消防力を除く）—特別区—

防活動が制限されることが主な原因になっている。この消防活動の困難な区域は、区部周辺地域に多く分布している。

③ 建築物の延焼面積の大きい区域

出火から60分後に焼失する建築物の延焼面積をみると、図3-2に示した地域よりも限定された地域で特に危険度が高くなっている。

④ 延焼助長要因

危険物施設や可燃性ガス施設等の影響は施設が分散しているため全体で考えた場合には影響力が少なくなっている。しかし、施設の集中している地域では、局地的に延焼面積を増大する結果となっており、特に外周部の可燃性ガス施設による影響が大きくなっている。

⑤ 延焼阻止要因

延焼阻止効果を有する空地は、埋立地を除くと減少しており、江戸川区、葛飾区、足立区、練馬区、世田谷区などの外周地域で10～30%の空地が存在するメッシュがみられるが、ほとんどのメッシュで10%未満となっている。

カ 課題

危険度評価の中核となる延焼速度式についての課題としては以下の項目をあげる。

- ① 延焼速度式の見直しを行うについて、必ずしも必要とするデータが十分ではなく、今後火災記録方法の充実やデータの蓄積により検討を加える必要がある。
- ② 東消式の適用は、1時間程度までとしたが、市街地大火への活用を図るため1時間以降数時間までの検討が必要である。
- ③ 耐火建築物であっても平常時火災において延焼している例がみられる。したがって、耐火造の影響を加味した検討が必要である。
- ④ その他、建物の倒壊や窓ガラスの破壊、飛火等の火災性状への影響について検討していく必要がある。

(2) 東消式の拡張

(1)で述べた東消式（延焼速度式）の適用範囲が出火後1時間までであったのに対し、震災時の市街地大火を考慮するため1時間以降の延焼性状についての説明が必要とされ、火災予防審議会により東消式の拡張が行われ新たな延焼速度式の構築が図られた。

ア 東消式拡張のための作業フロー

近年、都市大火の発生は著しく減少し、最近では昭和51年の「酒田大火」に代表されるのみで、過去の火災事例分析による延焼速度式の導出は困難であることから「シミュレーション」により計算機上に発生させた市街地火災を分析することによって求める方法を採用した。

延焼シミュレーションモデルの構築については、過去の市街地大火事例や平常時における火災統計データを分析することによって求め、シミュレーションで得られた延焼性状を一般化し、延焼速度の経時的な変化を表現できる関数を当てはめることで延焼速度式を構築した。

図3-3は東消式の拡張に伴う作業概要を示したものである。

① 延焼シミュレーションモデルの構築

延焼シミュレーションモデルは、市街地火災における延焼過程を i 隣棟建物に次々と燃える過程（逐次延焼過程）と ii 火の粉の飛火により火元から離れた建物が延焼する過程（飛火過程）の二つに分け、それぞれの過程を確率的に捉えモデル化する。

i 逐次延焼過程のモデル化

隣棟建物に対する延焼確率は、平常時の火災調査データ等から得られた資料を基に、建物構造や隣棟間隔等を考慮して延焼確率のパラメータを決定し、建物二棟間の延焼拡大過程をモデル化するものである。（表3-2）

ii 飛火過程のモデル化

火元建物からの火の粉の飛散により、

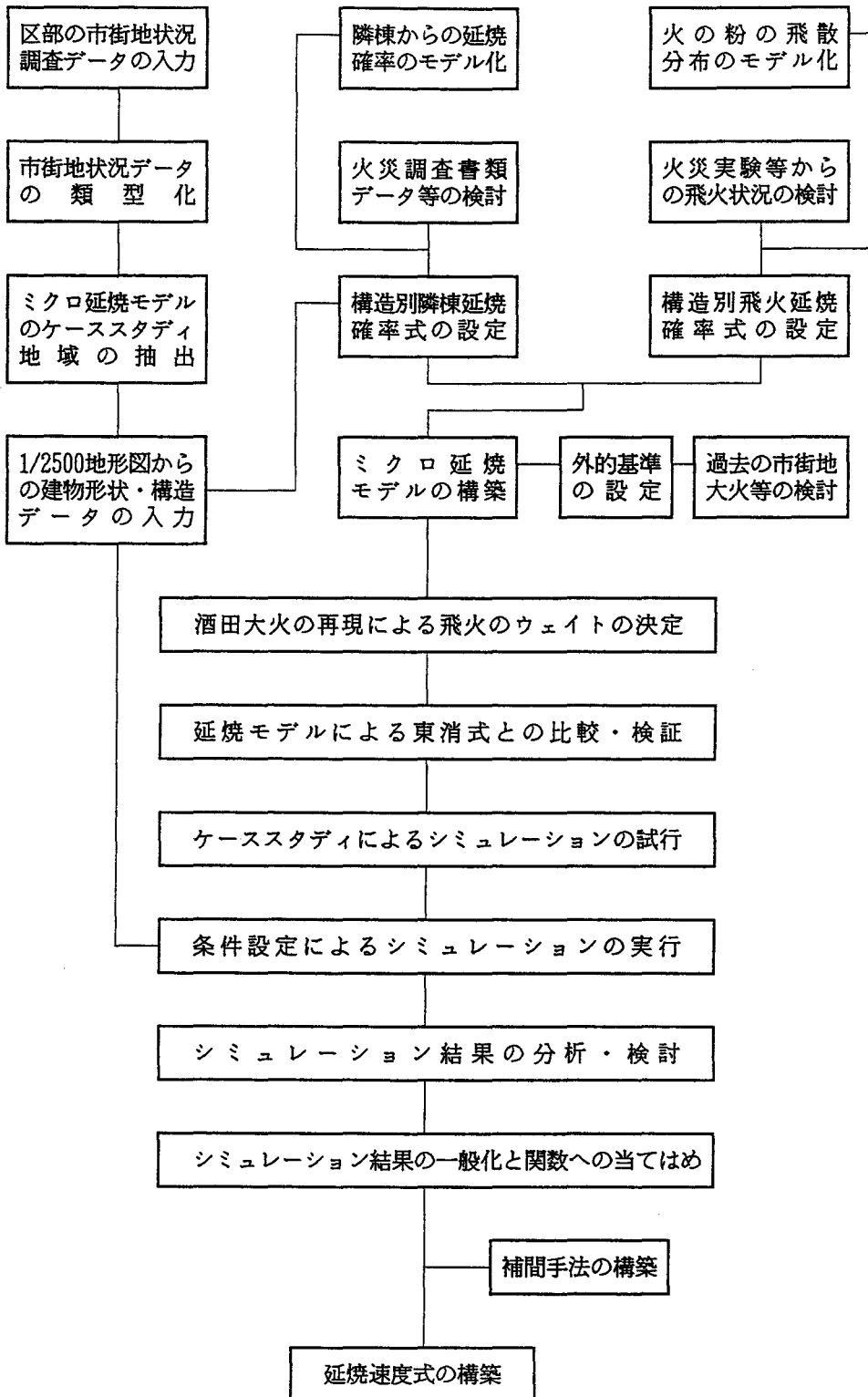


図3-3 東消式拡張のための作業フロー

表3-2 モデル化の例

$$P_{ij}(d) = 1 - \exp\left(-\frac{C_{ij} \cdot h}{d^2}\right) \quad \text{〔建物二棟間の延焼確率〕}$$

但し、 h ：受害側建物の高さ

d ：隣棟間隔

C_{ij} ：火元建物と受害側建物の構造の組み合わせによって決まるパラメータ
(サフィックス i , j は、火元側及び受害側建物の構造を表す)

遠方の建物が延焼拡大する現象は、実大火災実験等から得られた火の粉の分布性状を基に、サットンの大気の拡散式を用い、火の粉の飛散が表現できるよう改良し、モデル化する。

② 市街地の類型化による延焼シミュレーションの実行

延焼モデルを適用させるシミュレーションケースは、東京消防庁の市街地状況調査を基に、建べい率と延焼速度比（混成比率）との組み合わせによる市街地の類型化を行い、これに気象条件（風速）を加え、モデル化した市街地に対しシミュレーションを行う。

シミュレーションの算定結果の一部を図3-4に示す。

なお、シミュレーションケースは、混成比率（13）×建べい率（25, 30, 40, 50%）×風速（3, 6, 8, 10, 14m/sec）=260のケースとなる。（表3-3参照）

イ 新延焼速度式の構築

シミュレーションを行った結果の生のデータは、図3-4からも分かるように、モデル化した市街地の建物構造の配置パターンに依存して凸凹のあるギザギザした曲線となる。この曲線を一般化すると延焼性状がS字型の曲線となることから、この曲線をロジスティックカーブを表す関数に当てはめ、式1と式2（表3-4）を求めた。

ここで、式1、式2に代入するパラメー

ターは、シミュレーションを実施した際の延焼性状が、建べい率、混成比率等によって異なるため、全てのシミュレーションケースについて求めるものである。

なお、風速14m/secのケースで、延焼性状に大きなバラツキが見られるため、パラメータはこのケースを除く208のシミュレーションケースについて求めた。

ウ 補間手法の構築

前イ.の式1、式2に代入するパラメータは、原則としてシミュレーションを行った208ケースのみに適用するものであることから、シミュレーションのケース以外の任意の市街地属性と風速が与えられた場合の延焼速度算定は、シミュレーションケースと前後する、i 風速、ii 建べい率、iii 混成比率から求められる延焼速度を補間する必要がある。

次に、この補間の手続きを示す。

① 任意の市街地の木造率を α 、防火木造率を β 、建べい率を m 、風速を U とする。

② シミュレーションに用いた混成比率13ケースの中から、木造率 α 、防火木造率 β に最も近いものから三つのケースを取り出す。これを (α_i, β_i) とする。

ここで、 $i = 1 \sim 3$ で、シミュレーションケースに存在する値を示す。

③ 建べい率 m 、風速 U をシミュレーションケースと比較して、

$$m_1 \leq m \leq m_2$$

$$U_1 \leq U \leq U_2$$

表3-3 シミュレーションケースの設定

ケース番号	木造率	防火木造率	耐火造率	延焼速度比	建ぺい率	風速
CASE 1-1	22.3%	25.0%	52.7%	0.35	25%	3m/sec
CASE 1-2	16.0%	35.0%	49.0%	0.35		
CASE 1-3	9.3%	45.0%	45.7%	0.35		
CASE 1-4	2.4%	55.0%	42.6%	0.35		
CASE 2-1	38.2%	25.0%	36.8%	0.50	30%	8m/sec
CASE 2-2	32.3%	35.0%	32.6%	0.50		
CASE 2-3	26.1%	45.0%	28.9%	0.50		
CASE 2-4	19.6%	55.0%	25.4%	0.50	40%	10m/sec
CASE 2-5	12.8%	65.0%	22.2%	0.50		
CASE 2-6	5.9%	75.0%	19.1%	0.50		
CASE 3-1	36.1%	55.0%	8.9%	0.65	55%	14m/sec
CASE 3-2	29.7%	65.0%	5.3%	0.65		
CASE 3-3	23.1%	75.0%	1.9%	0.65		

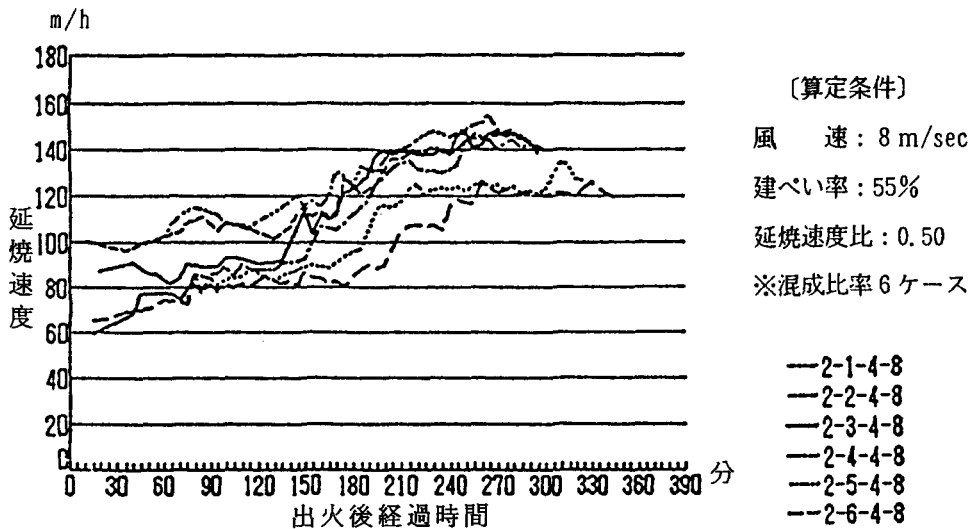


図3-4 シミュレーションによる計算例

表 3-4

$$V_m(t) = A + \frac{B}{t} \log_e \left\{ \frac{1 + C \cdot \exp(-D \cdot t)}{1 + C} \right\} \dots\dots\dots \text{式 1}$$

但し、 $V_m(t)$ ：出火点からの平均延焼速度
 A, B, C, D ：求めるべきパラメータ ($A, C, D < 0$)
 t ：時間

$$V_t(t) = (A - B \cdot D) + \frac{B \cdot D}{1 - C \cdot \exp(-D \cdot t)}$$

$$= a + \frac{b}{1 + C \cdot \exp(-d \cdot t)} \dots\dots\dots \text{式 2}$$

但し、 $V_t(t)$ ：ある時刻の瞬間延焼速度
 $a = A - B \cdot D, \quad c = C, \quad b = B \cdot D, \quad d = D$

であったとする。ここで、 m_j, U_k とし

$j = 1 \sim 2, k = 1 \sim 2$

④ 風速による補間

②のケースについて、以下の式により風速Uの場合の延焼速度を求める。

$$V_m(t, \alpha_i, \beta_i, m_j, U) = V_m(t, \alpha_i, \beta_i, m_j, U_1) + \frac{U - U_1}{U_2 - U_1} \{ V_m(t, \alpha_i, \beta_i, m_j, U_2) - V_m(t, \alpha_i, \beta_i, m_j, U_1) \}$$

ここで、 $i = 1 \sim 3, j = 1 \sim 2, U$ ：任意の風速

⑤ 建ぺい率による補間

②の3ケースについて、以下の式により建ぺい率mの場合の延焼速度を求める。

$$V_m(t, \alpha_i, \beta_i, m, U) = V_m(t, \alpha_i, \beta_i, m_1, U) + \frac{k - k_1}{k_2 - k_1} \{ V_m(t, \alpha_i, \beta_i, m_2, U) - V_m(t, \alpha_i, \beta_i, m_1, U) \}$$

⑥ 混成比率による補間

風速及び建ぺい率の補間によって求めた延焼速度と、 α_i, β_i からなる3点に定義される平面の方程式を求める。平面の方程式を、

$$V = \lambda + \mu \cdot \alpha + \nu \cdot \beta$$

とすると、パラメータ λ, μ, ν の値は

$$\begin{pmatrix} \lambda \\ \mu \\ \nu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \alpha_1 & \beta_1 \\ 1 & \alpha_2 & \beta_2 \\ 1 & \alpha_3 & \beta_3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} V_m(t, \alpha_1, \beta_1, m, U) \\ V_m(t, \alpha_2, \beta_2, m, U) \\ V_m(t, \alpha_3, \beta_3, m, U) \end{pmatrix}$$

となり、このパラメータを次式によって求めることにより、混成比率による補間を行うものである。

$$V_m(t, \alpha, \beta, m, U) = \lambda + \mu \cdot \alpha + \nu \cdot \beta$$

このような手続きにより、任意の混成比率、建ぺい率、風速の場合の延焼速度が求められる。

なお、10m/secを越える風速や、シミュレーションケースの範囲外の市街地属性については、最寄りのケースを外挿することになる。

この補間法により求めた計算例を、図3

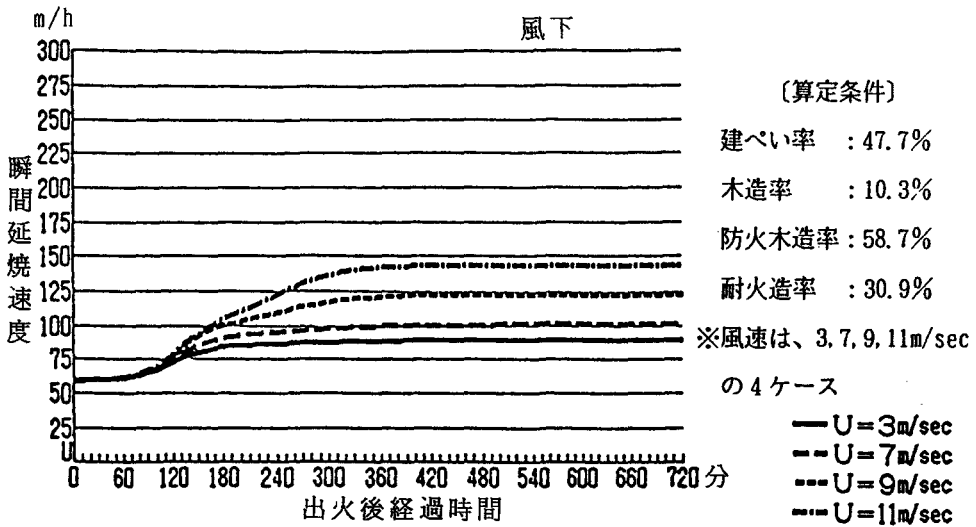


図3-5 補間式による計算例 [瞬間延焼速度]

ー5に示す。

エ 課題

はじめに触れたように大火事例が極めて限定されている状況から、延焼シミュレーションにより得られた延焼性状により導き出している。したがって、延焼シミュレーションモデルの適合性が延焼速度式の精度を決定づけることになるが、データの制約もあり複雑な現象を機械的に表現するため種々の仮定や前提条件を設定している。これらの仮定についてさらに解明することが今後の課題である。

また、パラメータがシミュレーションのケースによって異なるため、パラメータの一般化についても今後の課題といえる。

5. おわりに

折しも、ロマプリータ地震の発生により、サンフランシスコ市内だけで22件の火災が発生し、マリナー地区では7棟が焼失した火災で3名の犠牲者が発生したという。また、都市ガスの配管からの漏洩により出火したとする報道もなされている。

肝要なのは、災害による被害の軽減のために災害の様相を予測し、そこから導かれる対策を事前

に講じておくことである。この点で、ロマプリータ地震も多くの教訓を残した。

教訓を見出し、どれだけ対策として生かすことができるかは大きな課題だが、研究を施策に反映させることこそ意味があるのであり、大切なことだと考えている。

今回、震災予防研究グループの一員として数々の興味ある報告や研究の発表に参加させていただき、いろいろな示唆を与えられた。また、本投稿についても便宜を図っていただいた。この場をおかりして以上のご配慮に対し都市研究センターの諸先生にお礼を申し上げる。

参 考 文 献

東京消防庁

- ①1989 『地震時における災害情報に関する課題と対策 (火災予防審議会答申)』
- ②1987 『地震時における地域別の総合出火危険予測と対策 (火災予防審議会答申)』
- ③1988 『東京都の地震時における地域別延焼危険度 (特別区)』
- ④1986 『東京都の市街地状況調査報告書 (特別区第3回)』
- ⑤1988 『東京都の市街地状況調査報告書 (多摩地区第3回)』

- ⑥1985 『地震時における市街地大火の延焼性状の解明と対策（火災予防審議会答申）』
- ⑦1984 『東京都の地域別延焼危険度測定結果（多摩地区）』

Key Words（キー・ワード）

Urban Structures And Facilities（市街地状況）、**Fire Spread**（延焼）、**Earthquake Fire**（地震火災）、**Wooden House**（木造建物）、**Fire Resistive Building**（耐火造建物）、**Fire Protective House**（防火造建物）、**Fire Spread Formula**（延焼速度式）

Estimation of Outbreak and Spread of Fires in Case of an Earthquake in Tokyo

Satoshi Suzuki*

*Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University (Tokyo Fire Department)

Comprehensive Urban Studies, No. 38, 1989, pp.89-112

The Earthquake Prevention Ordinance plays an important role in earthquake damage reduction measures in the Tokyo metropolitan area. The ordinance spells out that "areal seismic risks should be measured scientifically."

Complying with this ordinance, the Tokyo Fire Department makes predictions on earthquake related fires, the most dreadful of all earthquake disasters. The department deals with earthquake fires in two categories: "outbreak of fire" and "spread of fire." There have been some recent improvements in fire risk estimation for Tokyo and other towns due to more precise evaluation of seismic risks and improvement of prediction quality.

Until March, 1987, the method of estimating the outbreak of fire was based on the relative evaluation of fire risk for each area. Since then, the Fire Prevention Council has developed a method of absolute evaluation, which calculates the fire risk from the number of fire outbreaks. The new method is already being applied in the 23 Tokyo wards.

Until March, 1985, Hamada's fire spread formula was used for estimating the spread of fire. Since then, the Fire Prevention Council has developed the so-called "Tokyo Fire Department Fire Spread Estimation Formula," which has been applied in the 23 Tokyo wards since March, 1988.

The report deals with hypothetical earthquake fires, covering both aspects, "fire outbreak" and "fire spread," and listing recent risk estimation methods. First appears a survey of urban structures and facilities which, along with determination of urban structures, is indispensable for earthquake damage evaluation and provides basic data for calculating the risk of outbreak and spread of fire.

Then, I give an outline of the risk of fire outbreak in the 23 Tokyo wards. Assuming an earthquake of the scale of the 1923 Great Kanto Earthquake, I explain briefly the method of determining the number of fires, separated by cause, and the danger of burning buildings to their surroundings in terms of spreading the fire.