

3. 火災危険度

3.1 概要

3.2 測定方法

3.3 測定結果

3.4 測定結果の分析

3. 火災危険度

3.1 概要

3.1.1 目的

火災危険度は、地震時に発生する出火による建物の延焼被害の危険性を評価するものであり、木造住宅密集地域整備事業、都市防災不燃化促進事業、防火地域の指定、東京都建築安全条例による新たな防火規制等の地域の選定に活用することを目的としている。

3.1.2 方針

火災危険度は、東京消防庁が実施した「東京都の地震時における地域別出火危険度測定（第10回）」（以下「出火危険度測定」という。）及び「東京都の地震時における地域別延焼危険度測定（第10回）」（以下「延焼危険度測定」という。）の測定方法及び調査結果を活用し、町丁目ごとの出火件数期待値（※1）、及び全焼棟数（※2）を再集計し、測定した。なお、出火件数期待値については耐火造建物からの延焼特性を考慮して評価し、全焼棟数についてはもらい火の影響を考慮して評価した。

※1 出火件数期待値（単位：件）

「東京都の地震時における地域別出火危険度測定」（東京消防庁）によって求められた、地震時に予想される評価対象町丁目の出火件数の期待値

※2 全焼棟数（単位：棟）

「東京都の地震時における地域別延焼危険度測定」（東京消防庁）の手法を活用して求められた、評価対象町丁目内で焼失した建物の棟数

3.1.3 変更点

第9回調査では基本的には測定方法等の変更は行わず、東京消防庁による延焼危険度測定結果と出火危険度測定結果の時点更新を主とした。

3.2 測定方法

火災危険度の測定では、「出火危険度測定」及び「延焼危険度測定」の測定方法及び結果を活用し、町丁目ごとの出火件数期待値並びに出火点ごとの全焼棟数のデータを用いて火災危険量を測定し、その順位により5段階にランク分けした。

第9回調査における火災危険度の測定フローを図3.2-1に示す。

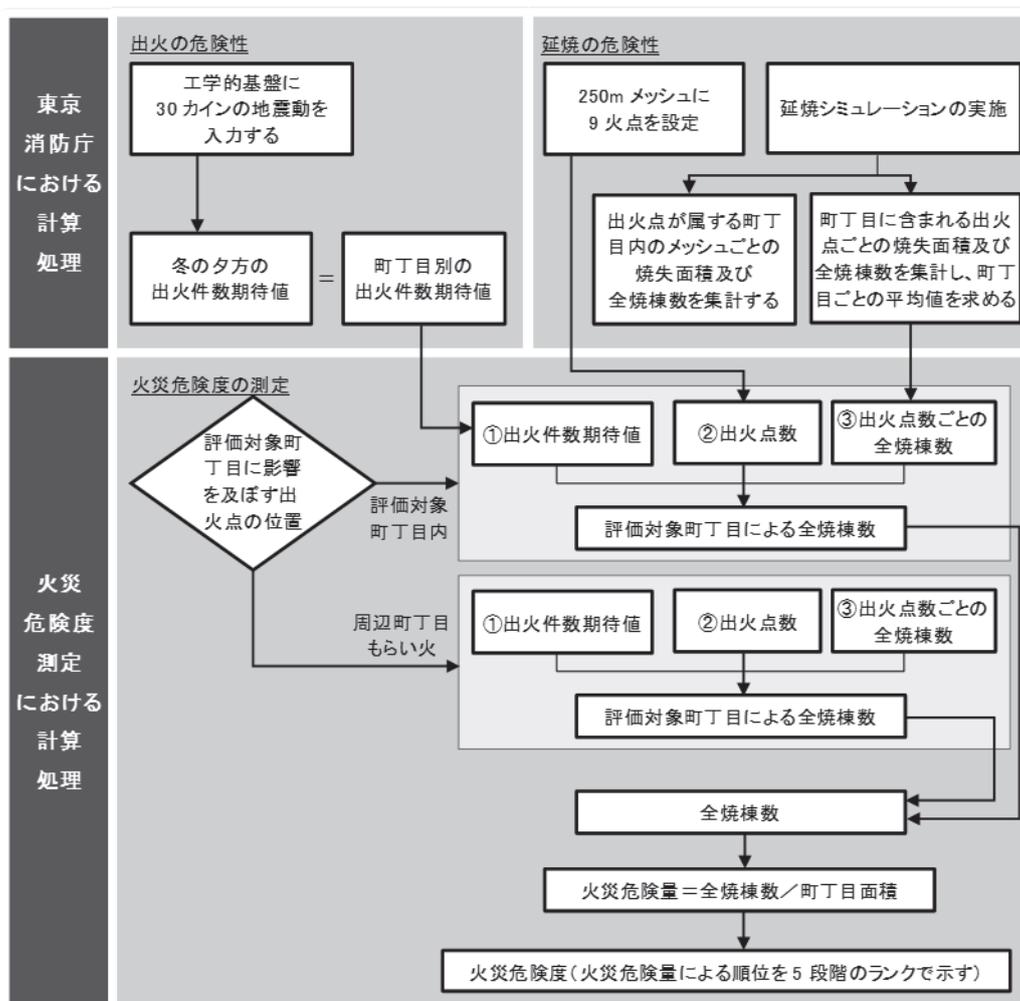


図 3.2-1 火災危険度測定フロー

なお、図 3.2-1 の測定フローに基づく火災危険量は式 1 で算出される。

$$\text{火災危険量} = \frac{f(i) \times \sum_{k(i)=1}^{m(i)} B(i, k(i)) + \sum_{j=1}^n \left\{ f(j) \times \sum_{k(j)=1}^{m(j)} B(i, k(j)) \right\}}{S(i)}$$

・・・式 1

i : 評価対象町丁目

$S(i)$: 町丁目 i の測定対象面積 [ha]

$k(i)$: 町丁目 i 内にある 1 つの出火点 ($k(i) = 1 \sim m(i)$)

$m(i)$: 延焼シミュレーションで町丁目 i に設定された出火点数 [点]

※ $m(i)$ は当該町丁目でのシミュレーション回数と読み替えることができる。

$B(i, k(i))$: 町丁目 i 内にある 1 つの出火点 $k(i)$ による出火から 12 時間後の全焼棟数のうち、町丁目 i 内の全焼棟数 [棟]

$f(i)$: 町丁目 i の出火件数期待値 [件] ※耐火構造物を考慮した数値低減

j : 町丁目 i の周辺町丁目からの出火のうち、町丁目 i の建物に焼失被害をもたらす出火を持つ周辺町丁目 ($j = 1 \sim n$)

※周辺町丁目とは、評価対象町丁目における延焼を生じさせる火元となる町丁目を指す。

$k(j)$: 周辺町丁目 j 内のある出火のうち、町丁目 i の建物に焼失被害をもたらす 1 つの出火点 ($k(j) = 1 \sim m(j)$)

$m(j)$: 延焼シミュレーションで町丁目 i の周辺町丁目 j に設定された出火点数 [点]

※ $m(j)$ は、周辺町丁目 j における全ての出火点 (評価対象町丁目に延焼が及ばない出火点も含む)

$B(i, k(j))$: 周辺町丁目 j 内にある 1 つの出火点 $k(j)$ による出火から 12 時間後の全焼棟数のうち、町丁目 i 内の全焼棟数 [棟]

$f(j)$: 町丁目 $j(i)$ の出火件数期待値 [件] ※耐火構造物を考慮した数値低減

表 3.2-1 に、測定方法における作業概要、第 9 回調査での変更の有無及びその変更内容を示す。なお、表内の項目番号は、図 3.2-1 内の番号と対応している。

表 3.2-1 第 9 回調査における測定方法概要と第 8 回調査からの変更内容

項目		概要	第 9 回調査での変更の有無	第 9 回調査における変更点
①	出火件数期待値	・「出火危険度測定」の調査結果を活用	なし	—
③	出火点ごとの全焼棟数	・「延焼危険度測定」の手法を活用	なし	—

3.2.1 出火の危険性

(1) 出火件数期待値の測定

出火件数期待値は、「出火危険度測定」の結果を使用して測定する。

測定方法の概要を図 3.2.1-1 に示す。火気器具、電気関係、化学薬品、工業炉、危険物施設、その他（LP ガス、高圧ガス施設）の出火要因ごとに出火機構の分析を行い、出火率を算出している。また、一般住民や事業所に対する火気電気使用実態調査を行い、建物用途、器具時間帯別に火気電気使用状況を推計し、国勢調査や事業所・企業統計調査等の結果から世帯や用途別の事業所の分布状況を推計した。

これらの出火要因別の出火率と使用状況及び分布状況を乗じることによって、地域別の出火件数を算定した。

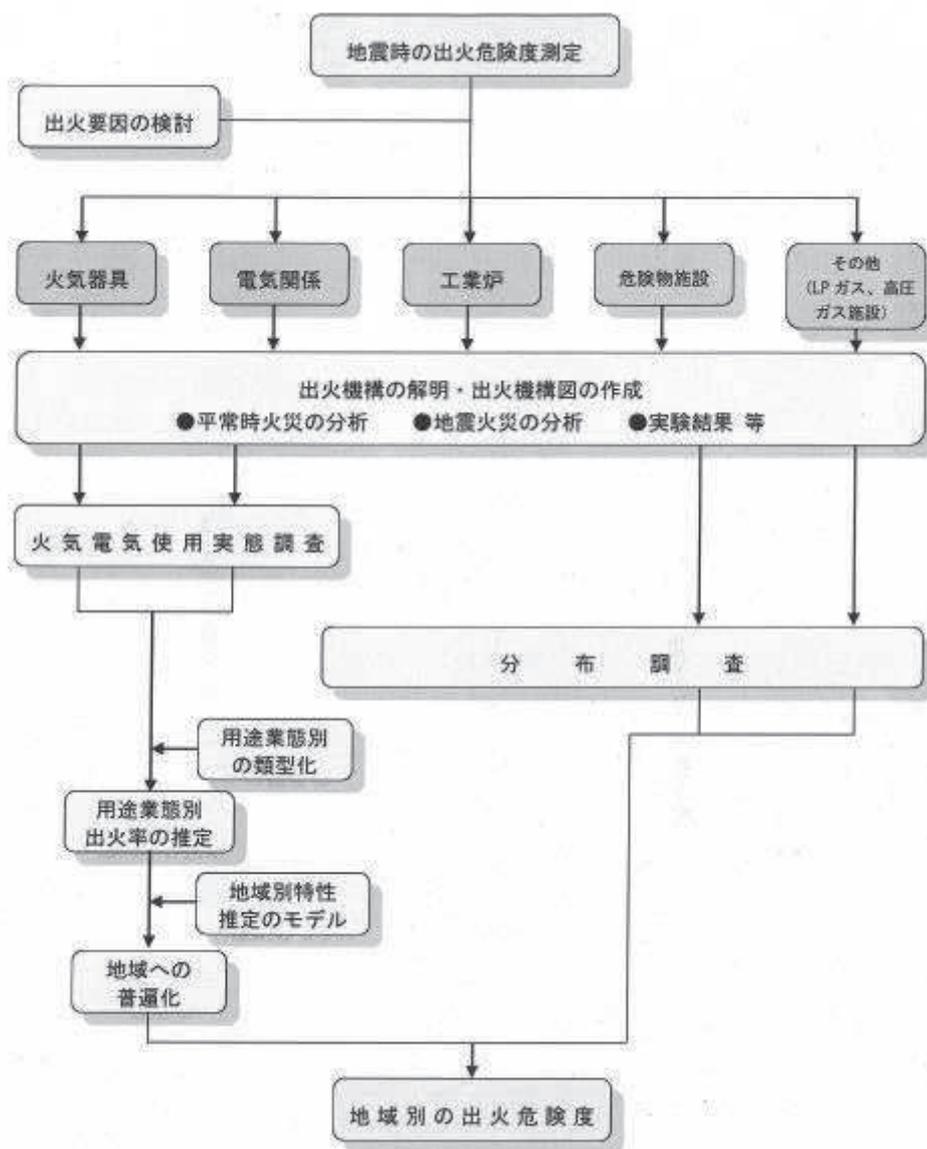


図 3.2.1-1 出火件数期待値測定の概要

(2) 耐火造建物の高層階からの出火の影響を考慮した出火件数期待値の測定

「出火危険度測定」における町丁目別出火件数期待値は、木造建物と非木造建物の 2 区分で測定された。今回の第 9 回調査でも、第 8 回調査と同様に、土地利用現況調査の区分を踏まえ、非木造建物を更に準耐火造・耐火造に区分し、耐火造建物についてはその耐火性能を考慮した出火件数期待値の算定を行った。

具体的には、式 2 のとおり、出火件数期待値を耐火造建物以外のものと、耐火造建物のものに分けて測定を行った。さらに、耐火造建物の出火件数期待値は、表 3.2.1-1 及び図 3.2.1-2 のとおり、周辺建物への延焼危険性がある n 階より下層の階の出火件数期待値と延焼危険性がない n 階から上層の階の出火件数期待値に分けて測定を行った。

延焼危険性がない階層からの出火についてはその分の出火件数期待値を除去し、延焼拡大のリスクのある階層からの出火については加害建物と受害建物との間の距離により延焼拡大の有無を判定することによって、当該階層で推計される出火件数期待値に延焼確率を乗じることで、延焼拡大に寄与する出火件数期待値 f_{new} を求めることとした。

$$f_{new} = \underbrace{f_1}_{\text{耐火造以外}} + \underbrace{(f_2 + f_3) \sum_k^{N_i} P_k S_k / \sum_k^{N_i} S_k}_{\text{延焼危険性を考慮した耐火造}} \quad \dots \text{式 2}$$

- i : 町丁目
- k : 町丁目 i の延焼危険性評価対象の耐火造建物 ($k=1 \sim N_i$)
- N_i : 町丁目 i における延焼危険性評価対象の耐火造建物数
- S_k : 町丁目 i における耐火造建物 k の延べ床面積
- P_k : 耐火造建物 k を出火元として周辺の受害建物 l ($l=1 \sim M_k$) に少なくとも 1 経路以上延焼拡大する確率

$$P_k = 1 - \prod_l^{M_k} (1 - p_{kl})$$

- p_{kl} : 耐火造建物 k の火災階と受害建物高さを考慮した受害建物 l への延焼確率 (水平方向で延焼危険性がない建物は $p_{kl}=0$ として集計する)
- l : 耐火造建物 k の周辺の建物 ($l=1 \sim M_k$)
- M_k : 耐火造建物 k における水平方向で延焼の危険性がある周辺の建物数
- f_1 : 耐火造建物以外の建物の出火件数期待値
- f_2 : 耐火造建物の n 階より下層の階の出火件数期待値
- f_3 : 耐火造建物の n 階から上層の階の出火件数期待値

表 3.2.1-1 出火件数期待値の内訳

出火件数期待値		
耐火造以外	f_1	
耐火造	1階～(n-1)階	n階～
	f_2	f_3

※n階：周辺建物へ延焼危険性の無い階数

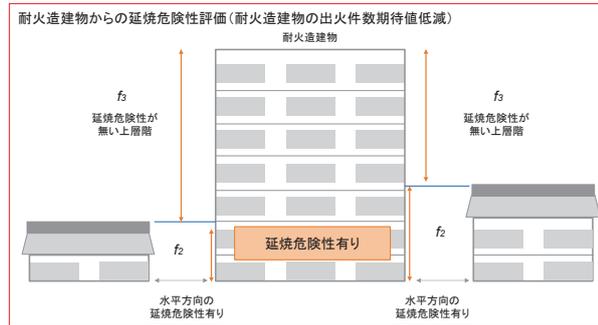


図 3.2.1-2 延焼拡大に影響する耐火造建物からの出火期待値 算出式(式2)の概念図

具体的な測定方法については、以下①～③に記載する。

①出火件数期待値の案分方法

「出火危険度測定」における町丁目別出火件数期待値と土地利用現況調査による町丁目別構造区分の関係は、表 3.2.1-2 のとおりである。各構造別の出火件数期待値は、表 3.2.1-3 のとおり、東京消防庁による町丁目別出火件数期待値を建物現況調査 GIS データによる町丁目別延床面積で案分することにより算出する。この案分方法は、建物用途や階層の位置を問わず、単位床面積当たりの出火件数期待値の仮定が一定であることと同義である。

表 3.2.1-2 町丁目出火件数期待値と土地利用現況調査の構造区分関係表

出火危険度測定 (出火件数期待値)	構造			
	木造		非木造	
土地利用現況調査 (構造・階数・用途等)	木造	防火造	準耐火造	耐火造

表 3.2.1-3 非木造建物からの出火件数期待値と構造別面積比率の関係

出火危険度測定における町丁目別出火件数期待値	建物現況調査 GIS データによる町丁目別延床面積	案分後の出火件数期待値
木造 f_m	木造建物延床面積 S_m	$f_m \times \{S_m / (S_m + S_b)\}$
	防火造建物延床面積 S_b	$f_m \times \{S_b / (S_m + S_b)\}$
非木造 f_n	準耐火造建物延床面積 S_j	$f_n \times \{S_j / (S_j + S_t)\}$
	耐火造建物延床面積 S_t	$f_n \times \{S_t / (S_j + S_t)\}$
合計 f_{all}	合計面積 S_{all}	$f_m + f_n = f_{all}$

②式2の導出

①で述べたように、建物用途や階層の位置を問わず、単位床面積当たりの出火件数期待値が一定であると仮定することにより、町丁目 i における耐火造建物の単位床面積当たりの出火件数期待値 u_i は、次式で与えられる。

$$u_i = (f_2 + f_3) / \sum_k^{N_i} S_k$$

したがって、町丁目 i の耐火造建物 k が持つ出火件数期待値 f_k^* は、次式となる。

$$f_k^* = u_i S_k$$

一方で、延焼危険性評価対象の耐火造建物 k を出火元として周辺の受害建物に少なくとも1経路以上延焼拡大する確率を P_k とすると、上記の出火件数期待値のうち、周辺への延焼拡大に寄与する出火件数期待値分 f_k^+ として次式を得る。 P_k については後述する。

$$f_k^+ = P_k f_k^* = P_k u_i S_k = (f_2 + f_3) P_k S_k / \sum_k^{N_i} S_k$$

これを、町丁目 i 内の全ての耐火造建物について積算すれば、町丁目 i における耐火造建物が持つ出火件数期待値 $(f_2 + f_3)$ のうち、周辺への延焼拡大につながる出火件数期待値分を次式のとおり見積もることができる。

$$\sum_k^{N_i} f_k^+ = \sum_k^{N_i} (f_2 + f_3) P_k S_k / \sum_k^{N_i} S_k = (f_2 + f_3) \sum_k^{N_i} P_k S_k / \sum_k^{N_i} S_k$$

式2は、この出火件数期待値に加えて、耐火造以外の建物からの出火件数期待値を加えることによって得られる。

③耐火造建物からの延焼危険性の判定方法

耐火造建物からの延焼危険性の判定は、図 3.2.1-3 に示すとおり、はじめに耐火造建物と隣接する建物との水平方向の延焼危険性を判定し（i 水平方向の延焼危険性の判定）、次に各建物の階数に基づき垂直方向の延焼危険性を判定する（ii 垂直方向の延焼危険性の判定）。

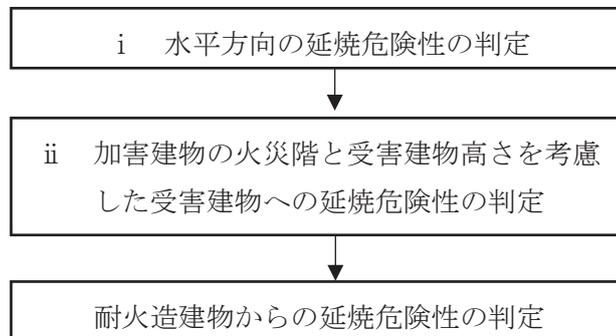


図 3.2.1-3 耐火造建物からの延焼危険性の判定フロー

また、対象耐火造建物における垂直方向の延焼確率は、式3に従って算定する。

$$P_k = 1 - \prod_l^{M_k} (1 - p_{kl}) \cdots \text{式3}$$

k : 延焼拡大評価の対象とする耐火造建物番号

P_k : 耐火造建物 k を出火元として周辺の受害建物に少なくとも1経路以上延焼拡大する確率

p_{kl} : 耐火造建物 k の周辺で延焼危険性有りとは判定された建物 l への延焼確率

l : 耐火造建物 k の周辺で延焼危険性有りとは判定された建物番号

M_k : 耐火造建物 k の周辺で延焼危険性有りとは判定された建物数 ($l=1 \sim M_k$)

i 水平方向の延焼危険性判定

耐火造建物と隣接する建物との水平方向の延焼危険性は、以下のように判定を行う。

建物の面素及び開口部の設定について、図3.2.1-4に示すとおり、建物壁面を3m幅（階高3mを幅にも適用）の面素に分割した上で、面素と面素の距離を基に伝達熱流束を算定し、延焼の危険性を判定する。

建物の位置関係と壁面間の角度について、図3.2.1-5に示すとおり、加熱側壁面と受熱側壁面が正対しない場合には、加熱側壁面から放射熱流束の受熱側壁面への入射角を考慮する。

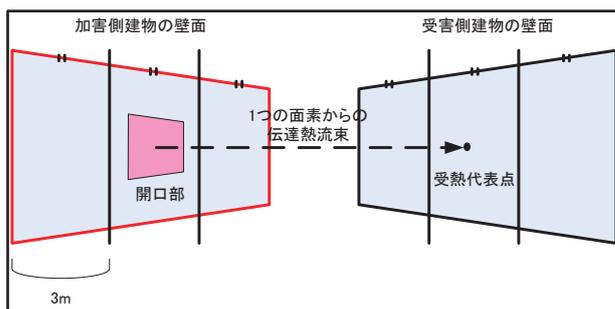


図 3.2.1-4 伝達熱流束のイメージ

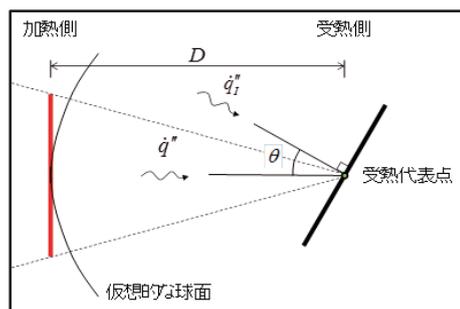


図 3.2.1-5 受熱側壁面への入射角イメージ

開口部の設定

開口部面積 $A(\text{m}^2)$ = 面素の3割（過去の調査から一般的な開口率として設定）

隣棟間隔 $D(\text{m})$ = 面素間の距離

延焼の危険性（受熱量）

入射熱流束

$$\dot{q}_l'' = \dot{q}'' \cos \theta \cong \gamma \frac{E_B A}{2\pi D^2} \cos \theta \quad \text{低減係数（木造 1.0、耐火造 0.5（網入りガラス））} \cdots \text{式 4}$$

火災の輻射能 $E_B = 150 \text{ kW/m}^2$ 着火限界熱流束 $\dot{q}_{cr}'' \cong 15 \text{ kW/m}^2$

$\dot{q}_l'' \geq \dot{q}_{cr}'' \cong 15 \text{ kW/m}^2$ ならば、延焼危険性ありと判定する。

なお、伝達熱流束の算定に当たっては、壁面が相互に正対しているものとし $\cos \theta = 1$ ($\theta = 0$) を採用する。耐火造建物間の場合、延焼の危険性はなしとする。

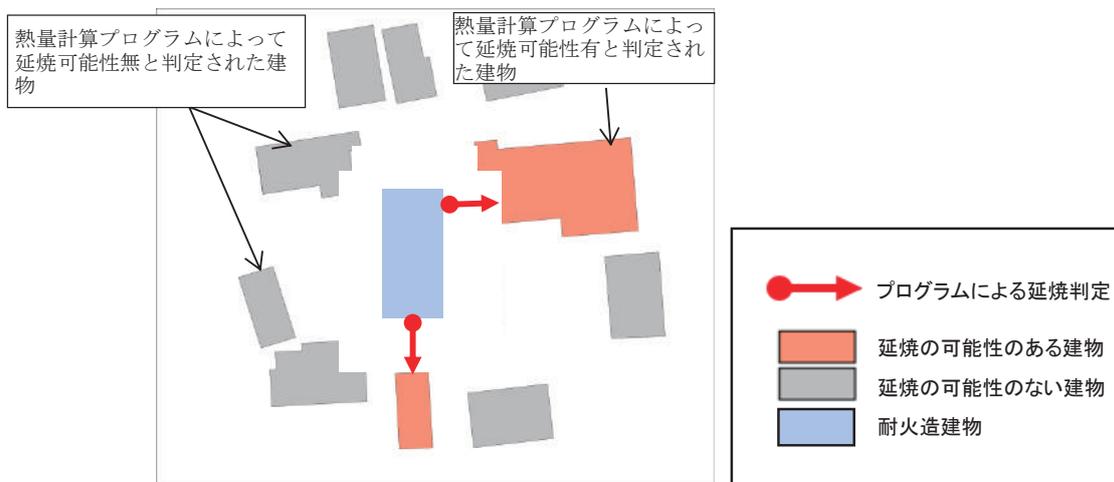


図 3.2.1-6 熱量計算プログラムによる延焼判定の概念図

ii 加害建物の火災階と受害建物高さを考慮した受害建物への延焼危険性判定

耐火造建物と隣接する建物のうち、加害耐火建物 k により水平方向の延焼危険性ありと判定された受害建物 l について、以下のとおり垂直方向の延焼危険性判定を行う。

- ア) 水平方向の延焼危険性がある加害側の耐火造建物を B_k とし、階数を n_k 階とする。
- イ) 受害建物は対象建物からの水平方向の延焼危険性を有する建物を B_l とし、その建物数を M_k 棟 ($l=1 \sim M_k$) とする。この際、受害建物 B_l の階数を m_l 階とする。
- ウ) 加害建物 B_k の中での地震時出火は 1 火点として、この出火によって加害建物の上層階あるいは下層階への延焼拡大はないものと仮定する。また、この階の火災は受害側建物の正対する同階にのみ延焼拡大するものと仮定し、加害建物の下層階あるいは上層階の火災が受害建物の当該階に延焼拡大する可能性は無視する。
- エ) 上記ウの仮定に基づくと、加害建物 B_k の階数 n_k と受害建物 B_l の階数 m_l を比較し、 $n_k > m_l$ の場合の加害建物 B_k から受害建物 B_l への延焼確率 p_{kl} は m_l/n_k となる。なお、 $n_k \leq m_l$ の場合、 p_{kl} は 1 となる。

- オ) 加害建物 B_k から延焼危険性のある全ての建物 B_l において延焼確率 p_{kl} を求める ($l=1 \sim M_k$)。
- カ) 加害建物 B_k から少なくとも1棟以上の受害建物 B_l に延焼拡大する確率を、耐火造建物を出火元として市街地の延焼拡大に至る出火確率とみなす。
- キ) 加害建物 B_k から少なくとも1棟以上の受害建物 B_l に延焼拡大する確率 P_k は、式3に従う。

図 3.2.1-7 に耐火造建物からの垂直方向の延焼確率算定の流れを示す。

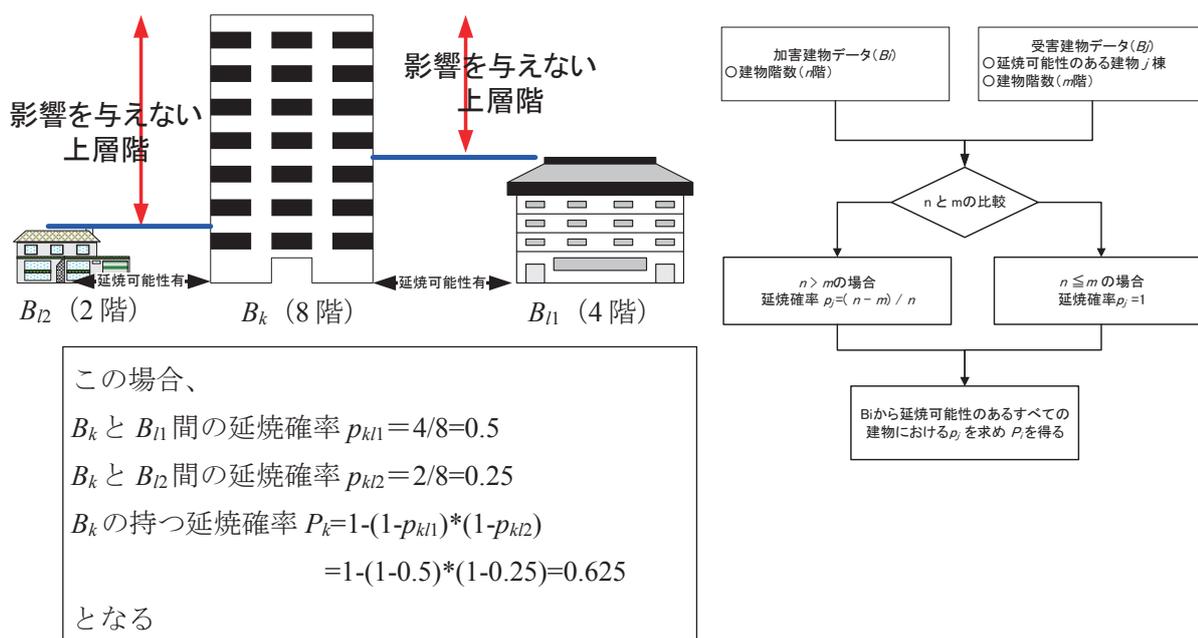


図 3.2.1-7 垂直方向の延焼確率の算定の流れ

3.2.2 延焼の危険性

(1) 1 出火点当たり全焼棟数の計算

出火点数、出火点ごとの全焼棟数は、「延焼危険度測定」の測定方法を活用する。

図 3.2.2-1 に出火点の設定のイメージを示し、図 3.2.2-2 に町丁目境界・メッシュ境界と出火点の設定イメージを示す。

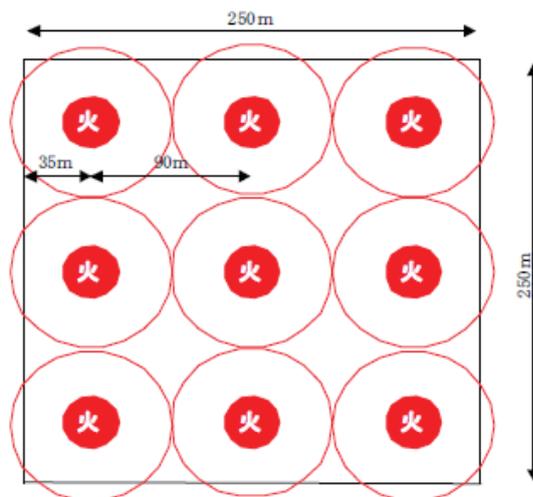


図 3.2.2-1 標準的な出火点の設定イメージ

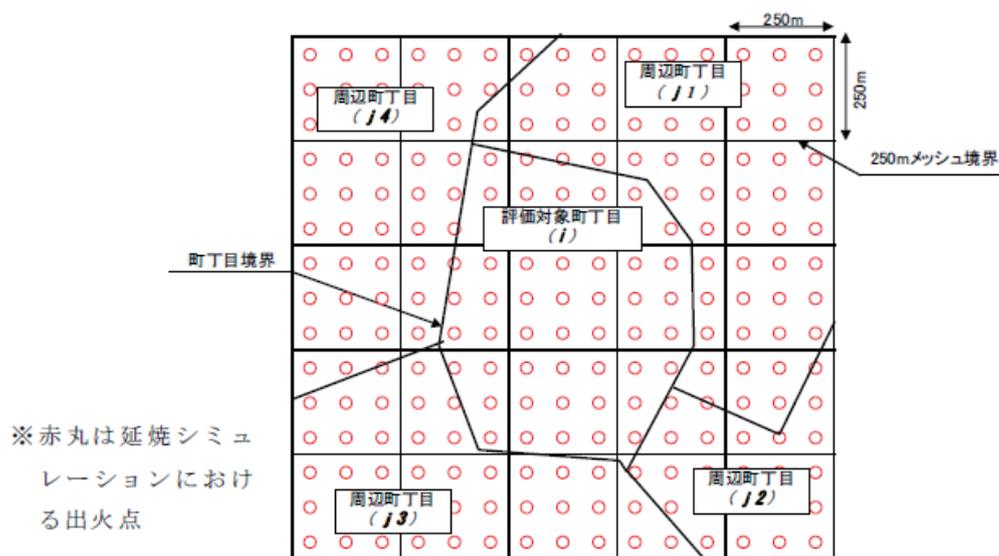


図 3.2.2-2 町丁目境界・メッシュ境界と出火点の設定イメージ

(2) 延焼時間の設定

第7回調査では出火から6時間後の延焼シミュレーションの結果を使用していたが、第8回調査以降は出火から12時間後の延焼シミュレーションの結果を採用している。その理由を以下に記載する。

最終的に延焼遮断帯^{※1}として整備される路線（道路、沿道の連続する耐火建築物、公園、鉄道及び河川を含む。以下「延焼遮断帯候補路線」という。）に囲まれたエリアの面積の平均は821,431m²（約80ha）である。

そのため、1辺900mの正方形に近似可能である。また、この正方形を基準とした円は、半径636mになる。

延焼速度は約50m/hと仮定されるため、図3.2.2-3に示すように12時間延焼シミュレーションによる延焼範囲は半径600mの円に近似できる。同様に、6時間延焼シミュレーションによる延焼範囲は半径300mの円に近似できる。延焼遮断帯の整備効果を評価するためには、延焼遮断帯候補路線を超えて延焼するかどうかを判断する必要があり、延焼範囲が半径636mの円に近い12時間延焼シミュレーションの方が6時間延焼シミュレーションよりも比較的望ましいと考えられる。

したがって、12時間延焼シミュレーションを今回の測定方法として採用した。理想としては、更に長時間の延焼拡大予測を行い、連坦する木造住宅の延焼拡大影響範囲を評価することが求められるが、延焼シミュレーションの計算負荷を考慮し、12時間とした。

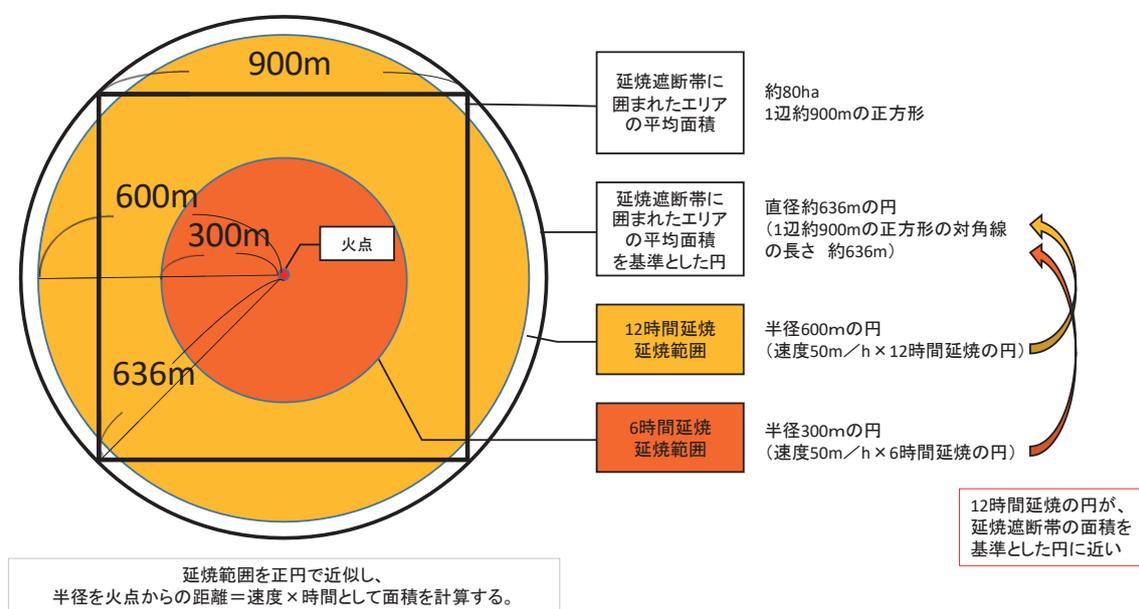


図 3.2.2-3 12時間延焼範囲と6時間延焼範囲の比較

^{※1} 延焼遮断帯：地震に伴う市街地火災の延焼を阻止する機能を果たす道路、河川、鉄道、公園等の都市施設及びこれらと近接する耐火建築物等により構成される带状の不燃空間。震災時の避難経路、救援活動時の輸送ネットワークなどの機能も担う。

3.2.3 火災危険量の測定方法

火災危険量は、延焼シミュレーションにおいて、評価対象町丁目内に設定した出火点による評価対象町丁目内建物の延焼危険性（全焼棟数）の合計値を、出火点数で除した平均値と、周辺町丁目に設定した出火点による評価対象町丁目内建物の延焼危険性（全焼棟数）との合計値を当該周辺町丁目に設定した出火点数で除した平均値に、各々の町丁目の出火の危険性（出火件数期待値）を乗じて、その合計値を測定対象面積で除すことで1 ha 当たりの被害量として密度化したものである。

火災危険量測定 of 算定式を式1（再掲）に示す。

$$\text{火災危険量} = \frac{\left[f(i) \times \frac{\sum_{k(i)=1}^{m(i)} B(i, k(i))}{m(i)} \right] + \left[\sum_{j=1}^n \left\{ f(j) \times \frac{\sum_{k(j)=1}^{m(j)} B(i, k(j))}{m(j)} \right\} \right]}{S(i)}$$

対象町丁目内の出火点による全焼棟数（自出火） 周辺町丁目の出火点による全焼棟数（もらい火）

・・・式1（再掲）

- i : 評価対象町丁目
- $S(i)$: 町丁目 i の測定対象面積 [ha]
- $k(i)$: 町丁目 i 内にある 1 つの出火点 ($k(i)=1 \sim m(i)$)
- $m(i)$: 延焼シミュレーションで町丁目 i に設定された出火点数 [点]
※ $m(i)$ は当該町丁目でのシミュレーション回数と読み替えることができる。
- $B(i, k(i))$: 町丁目 i 内にある 1 つの出火点 $k(i)$ による出火から 12 時間後の全焼棟数のうち、町丁目 i 内の全焼棟数 [棟]
- $f(i)$: 町丁目 i の出火件数期待値 [件]
- j : 町丁目 i の周辺町丁目からの出火のうち、町丁目 i の建物に焼失被害をもたらす出火を持つ周辺町丁目 ($j=1 \sim n$)
- $k(j)$: 周辺町丁目 j 内のある出火のうち、町丁目 i の建物に焼失被害をもたらす 1 つの出火点 ($k(j)=1 \sim m(j)$)
- $m(j)$: 延焼シミュレーションで町丁目 i の周辺町丁目 j に設定された出火点数 [点]
※ $m(j)$ は、周辺町丁目 j における全ての出火点（評価対象町丁目には延焼が及ばない出火点も含む）
- $B(i, k(j))$: 周辺町丁目 j 内にある 1 つの出火点 $k(j)$ による出火から 12 時間後の全焼棟数のうち、町丁目 i 内の全焼棟数 [棟]
- $f(j)$: 町丁目 $j(i)$ の出火件数期待値 [件]

評価対象町丁目内に設定された出火点による評価対象町丁目の全焼棟数の測定イメージを図 3.2.3-1 に示し、周辺町丁目に設定された出火点による評価対象町丁目の全焼棟数の測定イメージを図 3.2.3-2 に示す。

なお、周辺町丁目に設定された出火点に起因する評価対象町丁目の全焼棟数は、対象町丁目内の出火点による全焼棟数と重複して測定される場合がある。

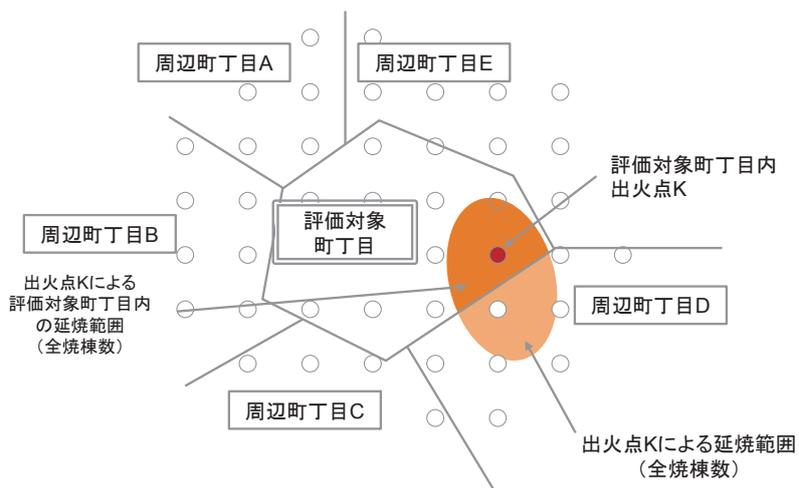


図 3.2.3-1 測定イメージ(対象町丁目内の出火点による全焼棟数(自出火))

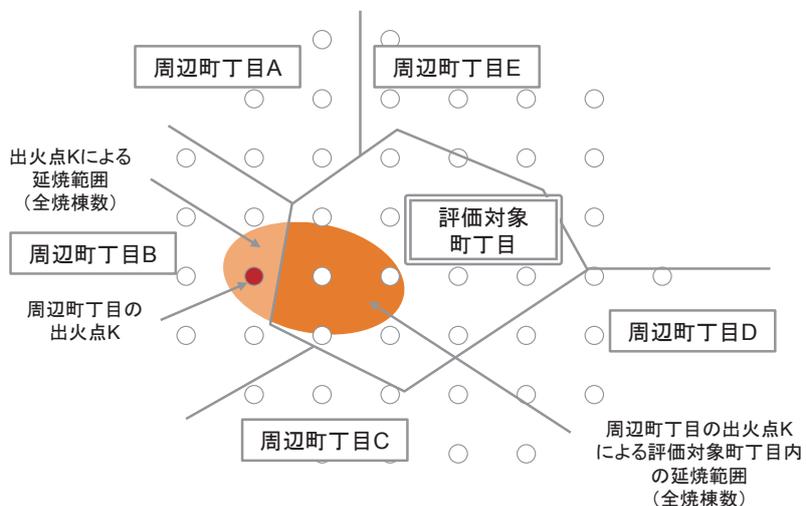


図 3.2.3-2 測定イメージ(周辺町丁目の出火点による全焼棟数(もらい火))