

兵庫県南部地震における焼け止まりの実態とその要因に関する一考察 (主に長田区の場合)

広 田 正 之
(技術研究所)
村 田 明 子
(技術研究所)
矢 代 嘉 郎
(技術研究所)
掛 川 秀 史
(技術研究所)

§ 1. 研究の背景

1.1 背景

1995年兵庫県南部地震において、神戸市では176件の出火があり、約63.5haが焼失した¹⁾。地震時の市街地における同時多発火災は従来から最も憂慮すべき災害とされてきた。この度の地震においても、住民の一般的な活動の前にもかかわらず出火が相次いだことや、一度延焼してしまえば容易に消火できない等の地震時の火災現象の問題がうかびあがってきた。また、倒壊家屋に埋まったまま救出できず、焼死した等の問題も改めてうかびあがった。なお、地震大火の実態は調査報告書²⁾で報告している。

このような実態からみて、都市再開発にあたっては、延焼をくい止めるパッシブな対策として、また避難場所として、延焼から安全な場所を計画することが課題と考えられる。

昭和61年竣工の東京都白髭の避難拠点は地域火災から避難場所を守る要塞的な開発であった。しかし、神戸市の地震大火では、避難拠点の必要と共に、避難路を守り、延焼を防ぐ路線防火の必要性が改めて明らかになった。このため、避難のしやすさを考え、一時的な避難として身近な所に集まれる一時避難拠点と、それらを路線防火帯で結びネットワークをつくる地域計画が現実的であると考えられる。

以上の背景から、都市における地震大火を防ぎ、安全な生活環境を提供するためには、兵庫県南部地震における延焼の実態にもとづいて、延焼遮断を期待できる要件を把握することと、地震時の延焼危険性を診断できるようにすることが必要である。

1.2 既往の研究と課題

都市における延焼ならびに焼け止まりについては、昭和10年代から研究が行われている。

延焼速度や焼け止まり対策の研究が過去の大火事

例をもとになされてきた。昭和50年に藤田隆史³⁾、昭和54年に筆者ら⁴⁾は延焼シミュレーションモデルに浜田の延焼速度式を適用している。しかし、市街地の構造が変わってきた今日では、浜田式によって延焼をうまく説明できないことが明らかになってきた。

一方で、火災現象の解析モデルも研究がなされてきた。モデルには、火炎前面の輻射熱による輻射熱モデルがある。また、長谷見は強風下における延焼や焼け止まりを評価するために火災旋風モデル⁵⁾や熱気流の温度分布モデル⁶⁾を提案している。

しかし、実際のところ、地震大火の実態には建築物の構造、樹木や消防力等の影響があり、焼け止まりの原因は複雑である。延焼・焼け止まりの解析モデルを現在の都市構造における地震大火事例に適用し、焼け止まりの要因を分析した例は少ない。そこで、都市防災計画に解析モデルを役立てるためには、兵庫県南部地震における焼け止まりの実態を明らかにし、解析モデルによってその要因を把握することが課題となる。

§ 2. 研究の目的

この研究は、1995年兵庫県南部地震の被害調査報告²⁾に引続き、防災計画の観点から焼け止まりの実態をまとめると共に地震大火において延焼を免れる要件を明らかにし、地域の延焼危険性の診断技術ならびに避難場所の計画に資することを目的とする。

そのために、第一に、兵庫県南部地震における延焼地域周辺の焼け止まりの傾向を分析する。第二に、焼け止まりの傾向に対して解析モデルを適用し、モデルによって焼け止まりの要因を定量的に把握する。

§3. 研究の方法

3.1 研究の対象

1995年兵庫県南部地震において長田区ならびに須磨区で表-1に示す大規模に延焼した地域周辺の残存建築物群を「焼け止まりライン」とする。この焼け止まりラインを分析の対象とする。

焼け止まりラインにおける焼け止まりの要因は以下に示す調査および文献にもとづいて分析する。

- ・実態調査²⁾：清水建設技術研究所によるもので、平成7年2月2日～4日に、長田区、須磨区、東灘区で、焼失地域の被災状況を外観の目視により観察した。被災状況は地図上へプロットすると共に写真撮影によって記録した。
- ・調査報告書1：自治省消防研究所による「兵庫県南部地震における神戸市内の市街地火災調査報告（速報）平成7年3月」
- ・調査報告書2：建設省建築研究所による「平成7年兵庫県南部地震被害調査報告（速報）平成7年2月」

3.2 研究の方法

前項の目的を達成するために、焼け止まりラインを対象に焼け止まりの要因を以下の方法で検討した。

- (1)実態調査をもとに焼け止まり状況の特徴から要因を抽出する。
- (2)焼け止まりライン上の建築物一棟を単位に各要因についてのデータベースを作成する。
- (3)要因のうち隣棟間隔に着目し、危険が身近に迫る

延焼地域名	焼損面積 ^{*1)} m ²
水笠西公園周辺（須磨、長田区）	97,300
高橋病院周辺（長田区）	61,700
菅原市場周辺（長田区）	45,000
神戸デパート南（長田区）	35,900
新長田駅南（長田区）	35,000
西代市場周辺（須磨、長田区）	34,000
御蔵通5～6丁目（長田区）	20,300
御船通2～4丁目（長田区）	15,200
千歳小公園周辺（須磨区）	13,500
太田中学校南（須磨区）	7,400
川西通1丁目（長田区）	3,000
日吉町2丁目（長田区）	2,900

*1) 自治省消防研究所 平成7年3月 兵庫県南部地震における神戸市内の市街地火災調査報告（速報）掲載データより抜粋

表-1 延焼地域と焼損面積（長田区、須磨区）

とそれを回避するために住民は何等かの行動をとると考え、注水活動があった残存建築物の件数の分布をもとに延焼を免れるための「必要隣棟間隔」を推測する。必要隣棟間隔とは距離だけによって延焼を防止できる最小距離である。

- (4)解析モデルによって必要隣棟間隔を解析する。
- (5)要因の組み合わせによる延焼防止の安全率を必要隣棟間隔をもとに分析する。すなわち、残存建築物が必要隣棟間隔を保持していない場合、隣棟間隔以外の要因がどの程度の距離に相当するかを分析する。この距離を相当隣棟間隔とする。

§4. 焼け止まりラインにおける焼け止まりの実態

4.1 焼け止まり要因の抽出と要因のデータベース化

1) 焼け止まり要因の抽出

焼け止まりラインに位置する残存建築物には、RC造の他にも、簡易耐火造、さらに木造がみられた。

RC造では、外壁のみで開口部がないものは延焼



写真-1 延焼側に開口部のないRC造の残存建築物

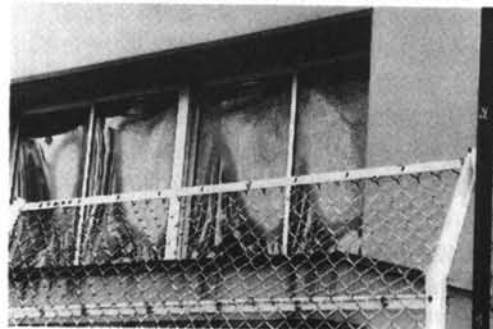


写真-2 RC造の残存建築物で湾曲した窓ガラス

を免れている(写真-1)。延焼側に対して開口部がある場合、残存建築物に火炎の熱により窓ガラスが湾曲している例がみられる(写真-2)。隣棟からの熱を受けて窓ガラスが破損し、内部に延焼し、内部で鎮火している例も多い。このような場合、開口部周辺に噴出火炎の痕跡がみられ、内部で激しく燃焼したことがうかがわれる。しかし、開口部が小さかったり、開口部に網入りガラスが設けられていると、延焼がくい止められている(調査報告書1, 2)。

簡易耐火造では、延焼地域に面する側が建物内部まで焼損して焼け止まっている例もみられた。

木造は、幅員の狭い道路などを介して延焼地域に面する場合に、延焼を免れた例が数例みられた(写真-3)。これらの地域では、地元住民による自主的な注水活動が行われたとの報告(調査報告書1, 朝日新聞1995年2月5日朝刊)があり、注水活動や延焼時の風向が寄与していると考えられる。

道路については、延焼地域内では幅員3.0m~8.0m程度の道路が多く、道路を越えて延焼したものと推測される。風向などの条件にもよるが、観察結果から確実に延焼が遮断されるには、4車線程度(約15.0m)は必要と考えられる。ただし、残存建築物では幅員8.0m程度の道路によって延焼がくい止められている例があり(写真-3)、このような場合、何等かの延焼防止上の効果があったものと考えられる。

公園や駐車場によって延焼地域から反対側の隣地への延焼が止まっている例が多い。焼け止まり境界からの空地の奥行きは、公園で約23.0m(写真-4)、駐車場で約16.0mあり、奥行きのある空地が延焼防止に与える効果は大きい。

実際に、駐車場や公園では、隣地との境界部分にコンクリートブロックの塀や樹木がある場合が多く(写真-5)、これらの延焼防止効果も期待できる。

全焼した木造家屋の周囲がRC造、道路、駐車場で囲まれているため、単体火災で留まっている場合がある(写真-6)。

以上のことから、焼け止まりの要因としては、第一に、延焼地域に面する建築物の耐熱性からみて、建築物の構造(耐火造、簡易耐火造、防火造、木造)、窓ガラスの有無、網入りガラスかどうかあげられる。第二に、輻射熱の減衰効果からみて、道路、公園、駐車場、空地などの延焼地域から建築物までの距離があげられる。第三に、輻射熱の遮断効



写真-3 延焼地域と狭い道路を介している木造の残存建築物



写真-4 空地にある残存建築物

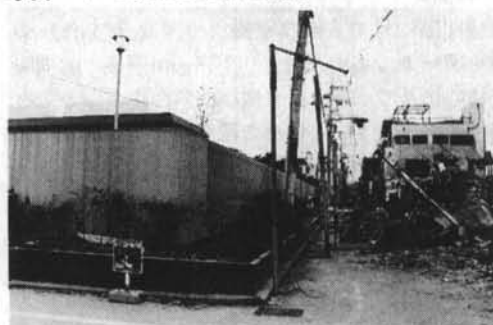


写真-5 ブロック塀等のある残存建築物



写真-6 単体火災周囲の焼け止まり

残存建築物の延焼側の部位	建築構造（木造、防火造、簡易耐火造、耐火造） 窓ガラス（有無、網入り、線入り、フロート）
距離	隣棟間隔 ^{*1)} 、道路幅員
障害物	樹木、塙、注水の有無
その他	トタン板の有無等

*1) 隣棟間隔は延焼地域の最終延焼ラインから焼け止まりライン上の残存建築物までの最短距離である。

表-2 残存建築物に関するデータベースの項目

果からみて、塙、樹木の有無があげられる。第四に、注水活動の有無がある。

なお、調査報告書1、2から、焼け止まりの要因について、同様な報告がなされている。

2) 要因のデータベース化

焼け止まりライン上の残存建築物毎に焼け止まりの要因を表-2のように整理し、データベース化を行った。なお、データベースの作成にあたっては、実態調査および調査報告書1に掲載されているデータをもとに調査報告書2のデータによって補足した。

4.2 注水活動からみた延焼を免れるための必要隣棟間隔

隣棟間隔に対する残存建築物の件数（753件）の分布を図-1に示す。図より、16.0m前後の隣棟間隔を中心にして、それより隣棟間隔の小さいところと隣棟間隔の大きいところで残存建築物の件数に山が生じている。また、16.0mより隣棟間隔の小さいところでは、8.0m~9.0m、3.0m~4.0m、1.0m程度といった隣棟間隔で残存建築物が多くみられる。これは、必要隣棟間隔以下の範囲では隣棟間隔以外の要因も延焼防止に寄与しているためと考えられる。

この必要隣棟間隔を危険回避の行為から推測するために、残存建築物の中で注水が行われた建築物について、図-2には、件数（73件）の分布を隣棟間隔に対して示してある。注水された建築物は調査報告書1をもとに抽出した。ただし、注水が行われた建築物がすべて明らかになっているわけではない。

図-2より、件数は少ないが、隣棟間隔が約11.0m~14.0mまでは注水が行われていたことがわかる。これより、隣棟間隔が約14.0mまでは身近に迫った火災による延焼の危険から家屋を守るために、言い換えれば、その危険から家屋を遠ざけようとするために注水する必要性があったと考えられる。これは、何等かの危険が限界距離を越えて住民の身近に迫る

ことによって、住民が守るべきものを守ろうとするためにとる活動、或はそこから退避するためにとる活動と類似している。つまり、火災の接近に対する行為からみると、逆に約14.0m以上の距離を保って建築物が火災から離れていれば、家屋を延焼危険から守る行為を起す必要がなかったと考えられる。

以上のことから、延焼を免れるための必要隣棟間隔は、約14.0mと考えられる。

§5. 解析モデルによる焼け止まり要因の解析

14.0m程度と推測した延焼防止の必要隣棟間隔について、解析モデルによって考察を加える。また、隣棟間隔以外の焼け止まり要因がどの程度の隣棟間隔に相当するかを明らかにする。

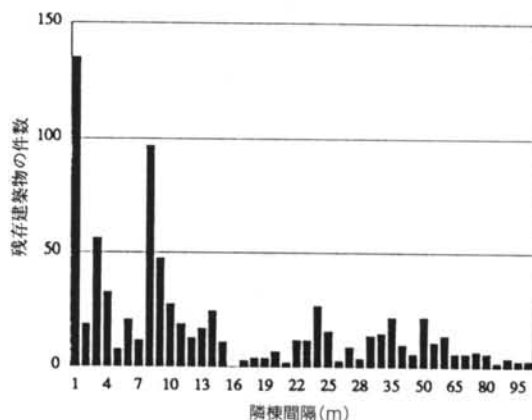


図-1 隣棟間隔からみた残存建築物の件数の分布

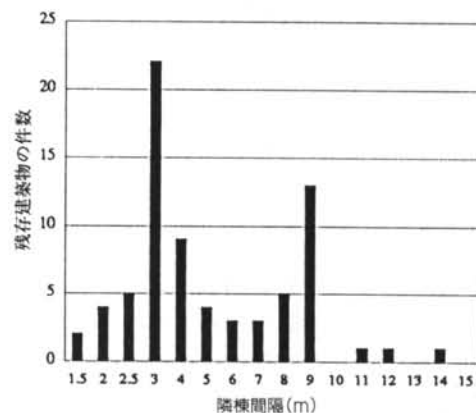


図-2 隣棟間隔からみた注水活動のある残存建築物の件数の分布

5.1 適用する延焼・焼け止まりの解析モデル

5.1.1 輻射熱モデルの適用

輻射熱モデルを以下のような理由から焼け止まり要因の解析に適用する。

市街地における延焼には風速が大きく影響し、強風下の延焼は熱気流卓越型となり、弱風下では輻射卓越型の火災になる。8.0m/s前後の風速では、熱気流卓越型と輻射卓越型の中間的性格の市街地大火を取り扱う必要があるとされている⁷⁾。

図-3には、延焼が続いた17日～19日の神戸市における風速の時間変化を示す。平均風速で3.3m/s、

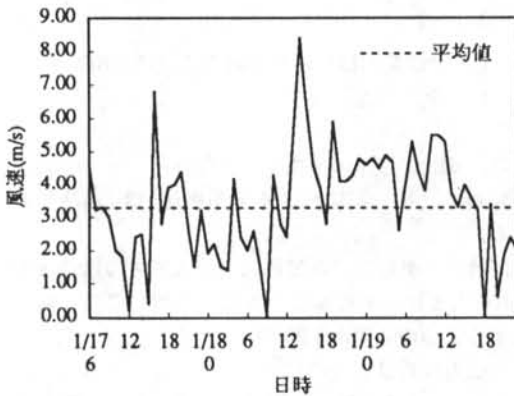


図-3 1月17日～19日における風速の時間変化

一時的な最大風速でも約8.0m/sに留まっている。延焼中のVTRによると、煙が垂直に上がっており、無風に近かったものと思われる。

以上のことから、兵庫県南部地震における神戸市の延焼は熱気流卓越型よりもむしろ輻射卓越型と考えられる。

5.1.2 輻射熱モデルの概念

焼け止まり要因の解析に適用する輻射熱モデルの概念を図-4に示す。このモデルは、弱風下において同時炎上奥行き D_0 と火炎前面幅 W をもつ延焼地域で、最終延焼ライン上の火炎（火炎前面幅、最大火炎高さ H_0 ）からの輻射によって隣棟間隔 L にある建築物の部位が類焼するかを予測するものである。

5.2 必要隣棟間隔の解析

5.2.1 必要隣棟間隔の解析手順 (図-5)

最大火炎高さの算定では、火災家屋の重量燃焼速度、風速、同時炎上奥行き、市街地係数を設定し、最終延焼ライン上の火炎高さを求める。必要隣棟間隔の算定では、最終延焼ライン上の火炎前面について、輻射熱量、輻射率、火炎前面補正係数を設定し、火炎前面幅の変動（延焼地域の拡大）に対して受熱部位の許容値を満たすように隣棟間隔を求める。

なお、条件設定の詳細な理由は付録に示してある。

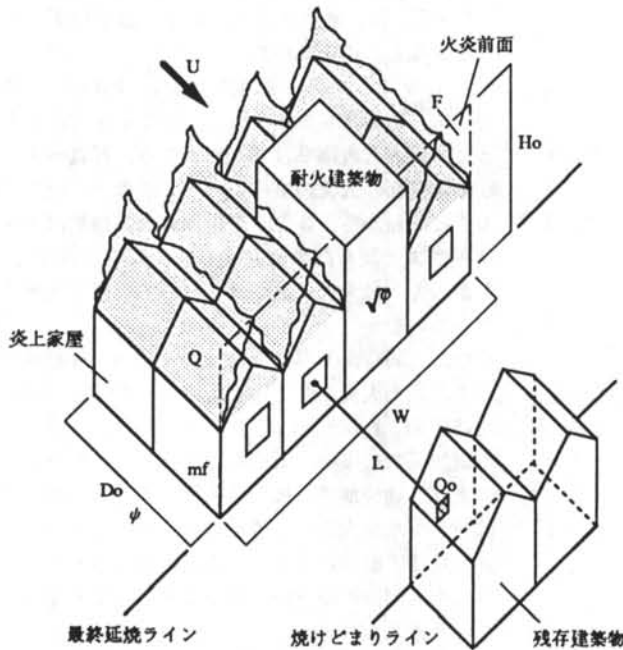


図-4 延焼・焼け止まりの輻射熱モデルの概念

<記号>

H_0 : 最終延焼ライン上の最大火炎高さ (m)

mf : 火災家屋の重量燃焼速度 ($\text{kg/m}^2\text{s}$)

ρ : 気温に依存する定数 (kg/m^3)

g : 重力加速度 (m/s^2)

U : 風速 (m/s)

D_0 : 同時炎上奥行き (m)

ϕ : 市街地係数 (木造家屋密集地に対する発熱速度を表す係数)

Q : 火炎前面の輻射熱量 (kW/m^2)

F : 火炎前面の輻射率

$\sqrt{\phi}$: 火炎前面補正係数 (市街地の構造と関わる形態係数の補正係数)

W : 火炎前面幅 (m)

L : 必要隣棟間隔 (m)

Q_0 : 受熱部位の類焼の許容値 (kW/m^2)

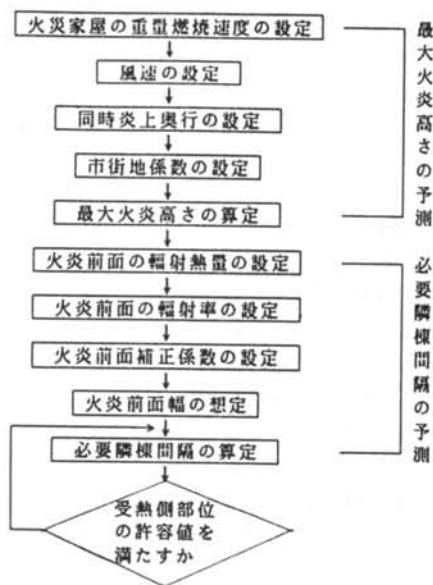


図-5 輻射熱モデルによる必要隣棟間隔の算定手順

5.2.2 最終延焼ライン上の最大火炎高さの算定
 最大火炎高さの算定には式(1)⁷⁾を適用する。

$$H_0 = 140mf / (\rho U) \{ U^2 / (gD_0) \}^{0.4} D_0 \dots\dots\dots(1)$$

まず、最大火炎高さの算定は以下の前提条件に従う。
 ・気温に依存する定数、重力加速度は気温20℃における値とする。
 ・重量燃焼速度は実大家屋火災実験の重量燃焼速度の平均値0.1kg/m²sとする。
 これらの値を式(1)に代入し、整理したものが式(2)⁷⁾である。

$$H_0 = 4.7\beta (D_0^3 / U)^{0.2} \dots\dots\dots(2)$$

β は発熱速度0.1kg/m²sの市街地を基準とした場合の発熱速度の比率を表す係数であり、式(3)となる。

$$\beta = 0.0133 (D_0 - 10) (\psi - 0.1) + 3.981 / D_0^{0.6} \dots\dots\dots(3)$$

市街地係数は式(4)となる。

$$\psi = (1 - 0.6C) m \dots\dots\dots(4)$$



写真-7 火災の痕跡

ここで

C: 全建築面積に対する耐火造建築面積の比率
 m: 全建物建べい率

次に、式(2)は以下の前提条件に従う。

- ・風速は、神戸市における平均風速の3.3m/sとする。
- ・同時炎上奥行は、水笠西公園周辺地区の延焼速度⁴⁾をもとに、木造家屋が着火してから自然に鎮火するまでの時間から20.0mとする。
- ・市街地係数は実質的に0.1~0.7に存在することが多い⁷⁾。ここでは、長田区における木造・防火造率と木造・防火造住宅の建べい率の積である0.419⁸⁾をもとに、延焼地域における木造家屋等の倒壊を考慮し、市街地係数は0.5とする。

以上のことから、風速3.3m/s、同時炎上奥行20.0m、市街地係数0.5とし、最大火炎高さを求めると、最大火炎高さは16.0mとなる。写真-7では、建築物壁面の火災の痕跡が4~5階程度に達していることがわかる。また、市街地の火災加熱は5~6階程度まで及んだ事例もある(調査報告書2)。したがって、最大火炎高さはこれらの実態と大きく異なっていない。

なお、同時炎上奥行を10.0m~50.0mの範囲で変えて、最大火炎高さと市街地係数との関係を検討した結果⁷⁾によると、同時炎上奥行が20.0m程度なら市街地係数によって火炎高さはほとんど変わらない。つまり、延焼地域には倒壊家屋が多く、市街地係数はバラツキが大きいと考えられるが、これが火炎高さに及ぼす影響は小さく、火炎前からみた火炎高さは火炎前面の幅方向に均一とみなしても差し支えないと考えられる。

5.2.3 必要隣棟間隔の算定

火炎高さ	0.0 ~ 8.0	8.0 ~ 9.0	9.0 ~ 10.0	10.0 ~ 11.0	11.0 ~ 12.0	12.0 ~ 13.0	13.0 ~ 14.0	14.0 ~ 15.0	15.0 ~ 16.0
輻射率	0.67	0.59	0.45	0.35	0.27	0.19	0.13	0.08	0.04

表-3 火災前面の輻射率

1) 火災前面の輻射量, 輻射率, 火災前面補正係数の設定

- ・木造家屋の炎上では, 輻射熱量が $50.0\text{kw}/\text{m}^2$ ~ $100.0\text{kw}/\text{m}^2$ に達する⁹⁾。火災前面の輻射量は, 最大の延焼地域でも倒壊していない防火造が比較的多くみられたこと⁸⁾から, 木造と防火造が混合した状態で地域が燃焼したものとし, $50.0\text{kw}/\text{m}^2$ とする。
- ・火災前面の輻射率は, 実大家屋火災実験をもとにした高さ方向の低減⁷⁾を考慮し, 表-3のように設定する。
- ・火災前面に木造家屋以外の耐火造や空地が混在すると輻射率が低減する⁷⁾。これを考慮した火災前面補正係数は, 表-1の延焼地域の最終延焼ラインにおける耐火造と空地の比率(調査報告書1)の平均値41.9%から $0.77 (= \sqrt{1-0.419})$ とする。

2) 必要隣棟間隔の算定

下見板・ガラスおよび網入りガラスを受熱面としたときの必要隣棟間隔について, 火災前面幅を変えて求めた。受熱許容値は, 下見板・ガラスを $10.0\text{kw}/\text{m}^2$, 網入りガラスを $20.0\text{kw}/\text{m}^2$ としている¹⁰⁾。受熱面の高さは輻射受熱量が最大となる地上 4.0m とする。図-6に結果を示す。なお, 輻射率1.0, 火災前面補正係数1.0(木造家屋が隙間なく密集している状態)の結果も併せて示す。

水笠西公園地区では, 同時炎上範囲が一時点であるが, 160.0m ~ 335.0m 程度(表-4)に達している。この地域の最終延焼ライン上の火災前面幅も同程度とすると, 図-6より, 下見板やガラスにとって必要隣棟間隔は 13.0m となる。また, 延焼地域の最終延焼ライン上には約 50.0m の街区が多くみられることから, 火災前面幅をこの程度とすると, 必要隣棟間隔は 12.0m となる。これは, 実態からみた場合の必要隣棟間隔 14.0m に近い値となっている。

また, 網入りガラスの場合, 必要隣棟間隔が 4.0m で延焼を免れることになる。図中の●印は, 耐火建築物で, しかも隣棟間隔以外の要因がないことが明らかな残存建築物の隣棟間隔である。なお, 窓ガラスは網入りガラスとみなし, これらの残存建築物が面する延焼地域の火災は耐火建築物によって囲まれているため最大でも 50.0m 前後としている。実態

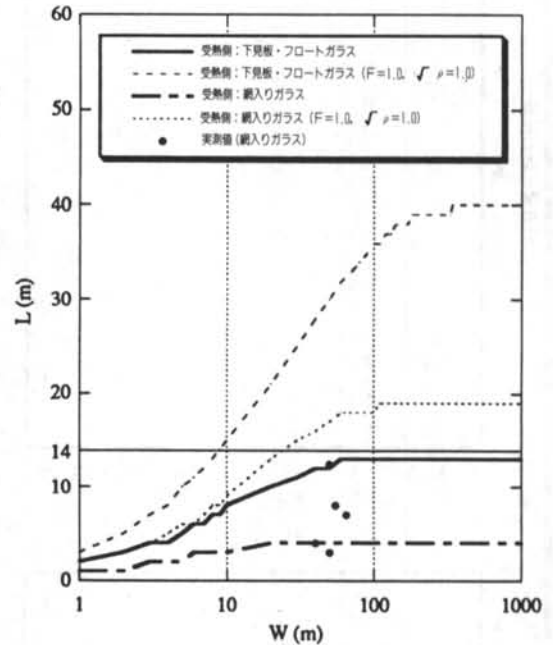


図-6 輻射熱モデルによる必要隣棟間隔

時間	火災前面の同時炎上範囲 ^{*1)} [m]	
1月17日	13:30	約335.0
	14:30	約250.0
	17:50	約170.0
	18:35	約160.0
	19:05	約275.0

*1) 平成7年度火災学会講演討論会テキスト「地震と火災」1995年5月26日の掲載データより作成

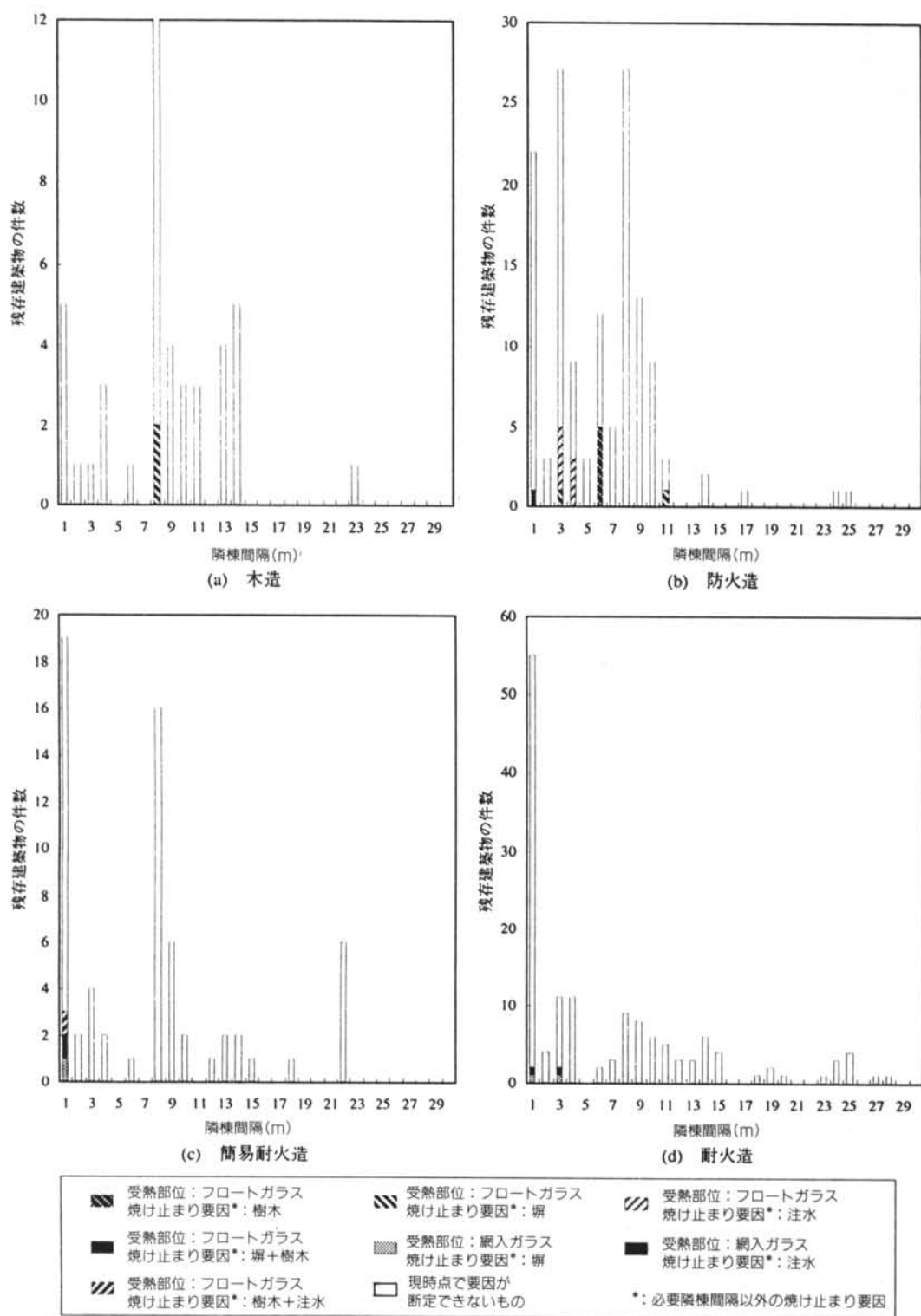
表-4 火災前面の同時炎上範囲(水笠西公園周辺)

による隣棟間隔は 3.0m ~ 12.5m まであり, 算定された必要隣棟間隔 4.0m をほぼ満たしていることがわかる。

以上のことから, 実態にもとづいて火災前面や市街地の構造を設定することによって輻射熱モデルを使って必要隣棟間隔を解析できることが確認された。

5.3 必要隣棟間隔以外の焼け止まり要因の分析

焼け止まりライン上の残存建築物の中で, 構造が判別している残存建築物(390件)について, 構造別に隣棟間隔と残存建築物の件数との関係を図-7に示す。図中には, 隣棟間隔以外の焼け止まり要因



図一七 隣棟間隔からみた残存建築物の件数の分布と必要隣棟間隔以外の焼け止まり要因の内訳

受熱部位	要因	相当隣棟間隔 [■]
フロートガラス	樹木	7.0(防)
	塀	2.0(防), 5.0(木), 10.0(防)
	注水	4.0(防), 9.0(防), 10.0(防)
	塀 樹木	12.0(防)
網入りガラス	塀	1.0(耐), 3.0(簡), 3.0(耐)
	注水	1.0(耐), 3.0(簡), 3.0(耐)
	樹木 注水	3.0(簡)

注) (木)は木造、(防)は防火造、(簡)は簡易耐火造、(耐)は耐火造を示す。

表-5 必要隣棟間隔以外の焼け止まり要因の相当隣棟間隔が明確な残存建築物(23件)とその要因も示す。なお、残存建築物の受熱部位は、図-7aで下見板あるいはガラス、図-7bでガラスである。図-7cと図-7dで網入りガラスである。

必要隣棟間隔13.0mは残存建築物の受熱部位が下見板あるいはガラスの場合であり、必要隣棟間隔4.0mは残存側が網入りガラスの場合である。図-7a、図-7bでは隣棟間隔以外の焼け止まり要因を必要隣棟間隔13.0mと比較することによって要因の相当隣棟間隔を求める。同様に、図-7c、図-7dでは4.0mと比較して、求める。表-5には、このようにして求めた要因の相当隣棟間隔を示す。

表-5から、残存建築物の受熱部位がガラスの場合、樹木で7.0m、塀で2.0m~10.0m、注水によって4.0m~10.0mまで延焼を免れる距離に相当している。また、樹木と塀が複合されていると、12.0mの相当距離となっている。塀は高さが1.2m程度~3.0m程度まであり、相当隣棟間隔が10.0mに相当するような塀は火炎の基部から強放射熱を広い範囲にわたって遮断できるような高さ3.0m程度で、かつ長い距離のものと考えられる。注水でも最大で10.0mの隣棟間隔に相当する活動があり、注水活動によってはさらに相当隣棟間隔を大きくすることができると思われる。

<参考文献>

- 1) 神戸市消防局編集：“阪神・淡路大震災における消防活動の記録 神戸市域” (1995年5月25日)
- 2) 清水建設技術研究所：“1995年兵庫県南部地震調査報告書” (1995年2月28日)
- 3) 藤田隆史：“地震火災時における住民避難の最適化”計測自動制御学会論文集(1975年) vol.11.No.5
- 4) 矢代嘉郎、他：“延焼と避難のシミュレーションによる地区の災害特性の把握”清水建設研究所報(1979年) No.30
- 5) 長谷見雄二：“火焰コアをもつ火災施風のモデリング”日本建築学会計画系論文報告集(1985年6月) No.352
- 6) 長谷見雄二：“火災気流の数値計算法”建築研究所年報(1975年)

§6. おわりに

兵庫県南部地震における焼け止まりラインの実態をもとに焼け止まりの傾向を分析し、焼け止まりの傾向に対して既往のモデルを適用し、モデルによって焼け止まりの要因を定量的に把握した。結果をまとめると、以下のようになる。

- ・延焼状況における危険回避の行為の側面から注水活動が行われた隣棟間隔をもとに、距離だけによって延焼を防止できる必要隣棟間隔は、受熱側が下見板やガラスの場合でも、約14.0mと推測されることがわかった。
 - ・長田区、須磨区の地震大火をもとに放射熱モデルの前提条件を設定することによって、必要隣棟間隔の算定にモデルを適用できることが実態に適用して確認された。必要隣棟間隔は、受熱側が下見板やガラスの場合、延焼地域前面が50.0m程度で12.0m、数百mでも13.0mであった。また、網入りガラスの場合、4.0mであった。
 - ・必要隣棟間隔以外の焼け止まり要因について、必要隣棟間隔をもとに相当隣棟間隔をみると、樹木で7.0m、塀で2.0m~10.0m、注水で4.0m~10.0m、塀と樹木が複合されたもので12.0mに相当する例のあることがわかった。
- さらに、都市計画にあたって、延焼遮断効果の診断法や避難場所の要件を明確にしていくには以下の点の検討が必要になる。
- ・今回適用したモデルは放射熱モデルであったが、放射熱モデル以外の解析モデルの適用条件を明らかにする必要がある。
 - ・必要隣棟間隔以外の焼け止まり要因が断定できない残存建築物が多かったため、それらのデータを集め、要因毎の相当隣棟間隔の精度を高める必要がある。

- 7) “建設省総合技術開発プロジェクト 都市防火対策手法 成果集成版” 国土開発技術センター (1983年)
- 8) 日本火災学会：“平成7年度火災学会講演討論会テキスト 地震と火災” (1995年5月26日)
- 9) 長谷見雄二：“火事場のサイエンス” 井上書院 (1988年)
- 10) 臨海部防火安全委員会, 日本建築防災協会：“臨海部における大規模建築物群の総合的な防火安全に関する調査・検討” (1992年3月)

付録：輻射熱モデルの前提条件の検討

(1) 重量燃焼速度の設定

重量燃焼速度に関わる火災建物の構造, 風速, 建物の過密の程度について, 実大家屋火災実験⁷⁾と長田区や須磨区の地震大火に類似点がみられたため, 実大家屋火災実験のデータを適用した。ちなみに, 佐賀関の木造家屋火災実験の建べい率は47.0%であり, 長田区における木造・防火造率と木造・防火造住宅の建べい率の積は41.9%⁸⁾である。

(2) 同時炎上奥行の設定

同時炎上奥行は, 兵庫県南部地震における延焼速度と, 木造家屋の燃焼時間から設定した。延焼速度は, 最も焼損面積が大きい水笠西公園周辺の火災地区において最初の5時間で約50.0m, 次の約5時間で約100m延焼拡大しているため, 平均的にみて10.0m/h~20.0m/hである⁸⁾。水笠西公園周辺以上に木造家屋が密集している地域があるため, 延焼速度は20.0m/hとした。また, 木造家屋が着火してから鎮火するまでの時間を1時間とした。したがって, 火災前面から常に20.0m後方までが同時に炎上しているとした。

(3) 市街地係数の設定

兵庫県南部地震では倒壊した木造家屋が多く, 道路や敷地に散乱した。このため倒壊前に対して建べい率が増加し, 市街地係数も増加するとした。

(4) 火災前面の輻射熱の設定

木造家屋等が炎上すると, 家屋の壁面全体平均で50.0kw/m²~100.0kw/m²の放射熱が放散される⁹⁾。外壁がモルタル仕上げの家屋による立川実大火災実験⁷⁾では, 50.0kw/m²より小さい輻射熱となる。また, 最大に延焼した水笠西公園周辺地域で延焼直前の状況を見ると, 倒壊せずに残った外壁モルタル仕上げの防火造が多くみられている⁸⁾。このため, 延焼地域は木造と防火造の混合状態での燃焼と考え, 最終延焼ライン上の火災面の輻射熱を50.0kw/m²とする。

(5) 火災前面の輻射率の設定

従来のように火災面のいずれの位置の輻射熱も一定として受熱量を算定することは, 値を過大に評価するきらいがあるため, 立川実大火災実験をもとに火災の輻射率がモデル化されている⁷⁾。地上8.0m以下では輻射率0.67程度で一定, 地上8.0mを越えると, 上部ほど輻射率が小さくなるものである。なお, 実験では, 外壁モルタル仕上げであったため8.0m以下で火災が多く外部に出ずに輻射率が小さい部分があった。しかし, 実際の市街地大火では下見板張りの家屋も存在するため, 火災が噴出し, 輻射率は高くなるとしている。兵庫県南部地震でも木造家屋が多く焼失しているため, モデル化された輻射率を適用する。

(6) 火災前面補正係数の設定

市街地係数の市街地では, 火災前面に確率的に火災前面幅×市街地係数の可燃建物があらわれることになり, 市街地状況によって, 火災前面の火災領域が減少する⁷⁾。そこで, 受熱点からの輻射面の形態係数の低減を考慮し, 市街地係数による火災前面補正係数を用いている⁷⁾。長田区では, 市街地全体で市街地係数を0.5としたが, 火災前面となる最終延焼ライン上における耐火造や空地の内訳比率(調査報告書1)をもとに火災前面補正係数を求めた。なお, 最終延焼ライン上には道路もあるが, 幅員の狭い道路には倒壊家屋が散乱し, 火災面の減少に大きく寄与しないことが考えられる。このため, 火災前面補正係数には道路幅員を含めていない。