

路上車両火災を考慮した地震時火災シミュレーションに関する基礎的研究*

A Study on The Simulation System for Automotive Fires on The Road under A Great Earthquake*

二神 透**, 和田 修司***, 木俣 昇****

By Tohru FUTAGAMI, Shuji WADA, Noboru KIMATA

1. まえがき

震災は、都市の社会システムの破壊現象である。すなわち、社会システムが変われば、震災の様相も大きく異なり、今般の急激な都市の成長に伴い、それらの予測はきわめて困難になりつつある。実際、1995年の阪神・淡路大震災では、地震火災、高架高速道路の横転や鉄道の陥没等が発生し、都市直下型地震の被害の多様性を如実に示している。従来より指摘されていた地震時の市街地火災に着目すると、阪神・淡路大震災においても、公園・緑地・道路等は、延焼阻止空間として機能し、焼け止まり効果が報告されている¹⁾。その一方、路上やモーターブールの車両火災や倒壊建物の下敷きとなった車両からの火災も報告されている²⁾。車両火災は、平常時においても増加傾向にあり、統計によれば、この十年間で40%増を示し、全出火に占める割合も11%となっている³⁾。また、新聞等でも車両衝突炎上事故が数多く報告されている。今後の地震災害を考える上で、車両火災による被害の様相は未経験であるが、上述したように車両火災が人的・物的被害を拡大する可能性は否定できず、その様相や対策について検討する必要がある。

本研究では、この問題を取り上げ、地震時の車両火災危険性を考慮したシミュレーション・システムの開発を目的とする。具体的には、著者らが開発を行っている火災延焼シミュレーション・システムへ

の道路メッシュ属性の拡張化によるアプローチを行う。従来のシステムでは、道路についてもオープンスペースと見なし、延焼阻止要因として取り扱ってきた。しかし、道路に存在する車両数やダメージなど、状況によっては市街地火災による車両火災の発生や、車両衝突に起因する車両炎上等に伴う新たな出火点の発生が想定される。そこで、路上車両の炎上特性に関する文献^{4),5)}を整理し、それらの知見に基づき、地震時の車両火災モデルを検討してシステムへ拡張化することを試みる。最後に、構成したシステムの実行可能性と問題点についての考察を行う。

2. 車両火災実験による諸知見

松川は、大震時における自動車火災の特性を把握するために3回にわたる火災実験を実施している⁴⁾。いずれの実験においても、想定した道路は、幅員20m(歩道3m)であり、沿道には木造建物および材木を配置している。実験(1)では、片側7mの3車線を想定して6列19台の車両を配置している。実験(2)では、乗用車(L.P.G燃料)を含めて合計29台を配置している。実験(3)では、車両を各種36台配置し、交差点でタンクローリーとトラックが衝突した場合を想定している。

a) 松川実験による諸知見

- i) 市街地火災から車両の延焼危険性が顕著に認められた。車両への着火・延焼判断は、タイヤへの輻射熱量($14,400\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h}$)が判断基準となる。また、車両の炎上最盛期までの所要時間は着火から3分程度である。
- ii) 車両間の延焼は、市街地火災の輻射熱による影響が大である。

* Keywords: 防災計画、計画情報、車両火災

** 正会員 学博 愛媛大学 工学部 環境建設工学科
(〒790-8577 松山市文京町 3番)

Tel 089-927-9837 Fax 089-927-9837

*** 学生員、同大学院理工学研究科土木海洋工学専攻
(同上)

****正会員 工博 金沢大学 工学部 土木建設工学科
(〒920-8667 金沢市小立野2-40-20)

Tel 0762-34-4914 Fax 0762-34-4915

- iii) 車両から建物への延焼危険性は小さい（爆発的車両が無い場合）。
- iv) 静的には、L.P.G燃料車両は、安全弁が作動し爆発は見られなかった。
- v) タンクローリーからの流出ガソリンは、一定範囲で燃焼し、木造建物への延焼が確認された。
- vi) 以上の車両炎上危険性は、風下側で卓越している。

であるが、いずれの実験においても、建物火災や流出ガソリンの炎上等による環境温度が支配的であるため、車両の単独延焼に伴う車両間の延焼性状については、十分な知見が得られていない。

そこで、社団法人 日本自動車連盟が行った、二車両間の延焼性状の実験についての知見について述べる⁵⁾。この実験は、二台の乗用車を90cmの間隔で配置し、車両の一台のボンネットに点火して、二車両の延焼性状を観察している。気象条件は、風速(2～3m/s)の微風であった。この実験では、点火後、隣接する車両へ延焼するまでに16分かかっている。両車両の延焼状況を時間の経過とともに比較すると、この時間が車両間の延焼時間に相当すると考えられる。しかし、この実験においても車両破損による延焼性状については考慮されておらず、地震時衝突事故による破損を伴う車両間延焼性状に関する知見は得られていない。

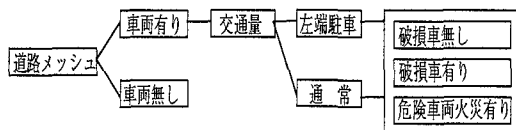
3. 道路メッシュの導入と関連アルゴリズムの開発

(1) 道路メッシュの導入

従来の火災延焼シミュレーション・システムは、表1に示すように、都市構造を木造建物を主とする可燃メッシュ：“A”、耐火造建物を主とする耐火造メッシュ：“B”、道路・河川・オープンスペースを主とする空地メッシュ：“□”、緑地を主とする緑地メッシュ：“G”の4属性として取り扱ってきた。本節では、2.の車両火災実験から得られた知見を基に、道路メッシュ：“R”を導入し、河川・オープンスペースに代表される空地メッシュと属性を区分する。道路メッシュについては、図1に示すように、まず、車両の有無について考慮する。

表1 メッシュ属性の拡張

メッシュ属性	表 記
可 燃メッシュ	A
耐火造メッシュ	B
空 地メッシュ	□
緑 地メッシュ	G
道 路メッシュ	R



1) 車両の有無 2) 交通量 3) 配置状態 4) 車両状態

図1 道路メッシュの状態定義

車両が存在しない道路メッシュについては、基本的には空地メッシュと同じ取り扱いをすればよい。車両の存在する道路メッシュについては、交通量から車両の配置状態を想定する。これらについては、左端配置と通常配置を想定する。

最後に、これらの車両の延焼危険性は、破損車両の有無、危険車両火災の有無によって複合的な評価が必要となる。しかし、前述したように、著者らは、それらに関する十分な知見を得ていない。そこで、車両状態については破損車無しと仮定し、市街地火災に伴う車両火災の危険性と、それに伴う風下側木造建物の延焼危険性および、車両間の延焼危険性評価についての検討を試みる。

(2) 火災延焼シミュレーション・システムへの拡張

表2は、道路メッシュを導入した炎上属性と、類焼属性の対応表である。表中、丸印は既存のアルゴリズムに組み込まれていることを意味する。ここで、車両火災から木造建物への延焼（R→A）および、車両火災から緑地への延焼（R→G）については、上述した理由により考慮していない。つぎに、表中の網掛けの部分、すなわち炎上した木造建物・緑地から車両への延焼および、車両間の延焼危険性についてのアルゴリズム化を検討する。具体的なイメージを、図2に示す。網掛けの可燃メッシュ：“A”は、延焼可能状態を表しており、風下側の車両は、この炎上メッシュから放射熱を受熱する。このとき、車両の放射受熱量が耐火受熱量より大きい場合、当該車両は炎上する。一方、風下二次近傍の可

表2 炎上・類焼の対応表

炎上・類焼	A	G	R
A	○	○	A→R
G	○	○	G→R
R	R→A	R→G	R→R

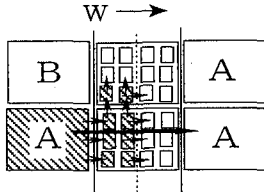


図2 道路メッシュ炎上パターン

燃メッシュ：“A”については、風上の延焼可能メッシュからの輻射受熱量と炎上した車両火災からの輻射熱を受熱する。道路メッシュと空地メッシュとの延焼阻害効果の違いは、この点にある。すなわち、十分な距離を持つ空地メッシュは、風下二次近傍建物への延焼を遮断する延焼阻止効果を持つが、道路を挟む場合、車両間の炎上に伴う輻射熱の増加により、風下二次近傍可燃メッシュへの、新たな延焼拡大のリスクを伴うことになる。図2の炎上した道路メッシュ間の風横方向の延焼に関しては、隣接する道路メッシュ内の車両の配置状態から逐次車両間の延焼を判定する。

図3に、上述した仮定を基に道路メッシュの炎上パターンをアルゴリズム化した火災延焼シミュレーション・システムへの拡張フローを示す。表3にパラメーター一覧を示す。ここで問題となるのが、図3に示す、車両間の延焼速度（R→R）と道路を挟む可燃メッシュ間の延焼速度（A→A）について十分な知見が得られていないことである。ここでは、一応、2. a) の i)、ii)、vi) より、風下に位置する車両が輻射熱（14,400Kcal/m²・h以上）によって着火から延焼へ進行する時間を3分と想定する。炎上車両から風横車両への延焼については、二車両間の延焼実験⁵⁾より、16分と想定されるが、道路メッシュ内の複数炎上車両からの熱量の影響を受けるため、一応6分を想定した。ただし、車両間距離については、2mの延焼限界距離を想定し、これ以上の距離間での延焼は考えないとする。風下二次近傍の可燃メッシュについては、隣接する車両が延焼した時間を与えることにする。

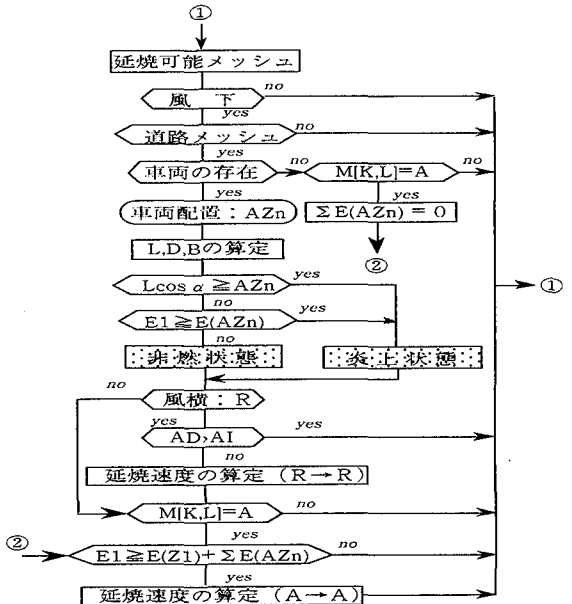


図3 シミュレーション・フロー

表3 パラメーター一覧

パラメータ	内 容
M[K, L]=A	風下二次近傍可燃メッシュ
AZn	n番車両配置 (x,y座標)
L	火炎長さ(m)
D	同時炎上奥行き(m)
B	火炎幅(m)
Lcos α	火炎全面距離(m)
E1	車両耐火限界値(Kcal/m ² ・h)
E(AZn)	車両受熱量(Kcal/m ² ・h)
R	道路メッシュ
D(AZn)	車両間隔(m)
AI	延焼限界車両距離(m)

4. シミュレーション実行による考察

(1) データの作成

図4の単位メッシュ長を20mとするメッシュマップを用いて、単位時間を1分とするシミュレーション実験を実施し、3. のアルゴリズムの整合性について検討を行う。まず、出火点をS[LJ]=[1,2]とし、風向を西風、風速を5m/sに設定した。16分後、延焼可能メッシュは、M[2,1], M[2,2], M[3,2]となり、道路メッシュR[4,2]は、炎上領域から輻射熱を受熱する。

(2) 道路メッシュの想定

道路メッシュについては、幅員20m、両側の歩道3mを想定した。つぎに、渋滞時の交通量を与え、1) 通常配置と、2) 左端駐車を想定した。図3の

シミュレーション・フローより、延焼可能メッシュ風下の道路メッシュに対して、車両の有無を判別する。本事例では、車両有りとして交通量を与え、上述した2つの車両配置ケースについて車両の延焼を判定する。まず、車両が火炎下に入る場合は着火する。つぎに、風下側の車両の輻射受熱量を算定し、 $14,400\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 以上であれば着火する。着火車両は、3分後に炎上する。一方、車両間の延焼については、延焼限界距離を2mとし6分後に炎上すると想定した。

(3) 延焼シミュレーションの比較

図5、6は、想定した車両配置状態と車両の延焼計算を行った結果である。このとき、道路を挟む風下可燃メッシュの輻射受熱量は $3,414\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ となり、この値は、木造建物の耐火限界値 $4,162\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ より小さく、延焼阻害効果が認められた。車両に着目すると、右側の均等配置の例では、斜線の延焼可能メッシュからの輻射熱により3台までの車両が着火し3分後に炎上した。左端配置では、風上側の車両は延焼するが、風下側の車両は延焼しない結果となった。図6は、時間を6分進めたシミュレーション結果である。通常配置の車両は、3列目から4列目へ延焼している。この結果、車両火災による熱量及び延焼可燃メッシュからの熱量の総計が、耐火限界値を越えたと仮定し、風下側可燃メッシュが炎上した。一方、左端配置では、延焼阻害効果が認められる結果となった。

5. おわりに

本研究では、都市直下型地震における車両火災の危険性を指摘し、火災実験より得られた知見を基に車両火災のモデル化とシミュレーション・システムへの拡張化の検討を行った。はじめに、車両の延焼危険性は、市街地火災からの輻射熱によって判定可能であることを考慮し、輻射熱モデルによる車両火災モデル化を行った。つぎに、車両間の延焼については、延焼限界距離を想定しモデル化を行った。最後に、適用事例を通して、構成したシステムの整合性を確認することができた。しかし、破損車両、危険物車両火災など、車両炎上による輻射熱の時間推

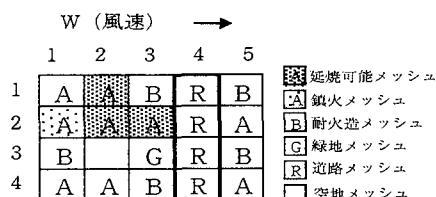


図4 適用メッシュマップ

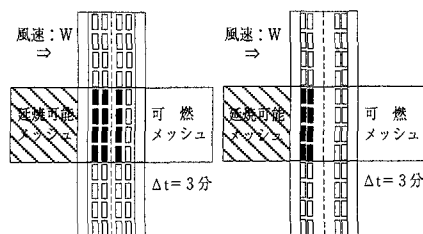


図5 車両火災算定事例 ($\Delta t=3\text{min}$)

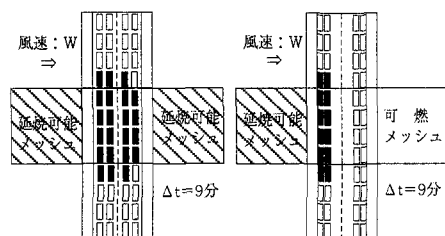


図6 車両火災算定事例 ($\Delta t=9\text{min}$)

移の解明などの問題点も残されている。今後、これらについてのデータ収集を行いシステムに反映し、実市街地への適用を行うとともに、樹木や歩道等の沿道整備による車両火災対策についても検討を行っていきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 上村雄二、坊池道昭、高井広行、矢野公一、松井武史：神戸市における震災火災の出火と延焼メカニズムに関する研究、土木計画学・講演集、No.19, pp.35-38, 1996.
- 2) 平成7年兵庫県南部地震被害調査報告（速報）、建設省建築研究所、1995.
- 3) 日本火災学会編：火災便覧、共立出版、1997.
- 4) 松川 渉：大震災時における路上自動車群の延焼に関する研究（2）、火災、31, pp.11-18, 1981.
- 5) JAFユーザーテスト84、JAF MATE社、1984.
- 6) 二神 透、木俣 昇：防災緑地網整備計画のための火災延焼シミュレーション・システムの拡張化に関する基礎的研究、土木計画学研究・論文集、No.12, pp.151-158, 1995.