

「まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発」

国土技術政策総合研究所
独立行政法人建築研究所

1. 研究の目的

平成7年の兵庫県南部地震で発生した火災は、延焼遮断帯と言われる広幅員の道路、公園、連続した不燃建築物等によって焼け止まり、都市レベルの防災対策効果が改めて認められた。しかしながら、地区内部では火災等による被害が甚大であった。加えて、建物が倒壊して多くの死者や生き埋め者が発生し、建物倒壊による道路閉塞とあいまって救出・救護活動にも支障が生じた。また、復興過程においては、平常時からの住民参加による防災まちづくりの必要性も指摘され、これらの活動を推進し支援するための技術の開発が強く求められた。

そこで、今後の木造密集市街地等における地震時の被害を地区レベル(10~30ha)で軽減する技術の開発を目的として、平成10年度から平成14年度まで本プロジェクトを実施した。

2. 研究内容

本プロジェクトでは以下に示す3つの課題を設定して研究を推進した。

[課題Ⅰ．地区の防災要素の影響評価手法の開発]

市街地の地区施設等(耐火性を有する建築物、道路(街路)、空地、緑被地、河川等)の整備状況による防災性能(火災、救出・救護、避難問題等)の評価手法を開発するために、(1)防災上危険な地区を抽出するための手法、(2)地区レベルでの防災性能の詳細評価手法、について検討した。

[課題Ⅱ．地区の防災対策技術の開発]

地区施設等の防災面での効果を解明して、今後の地区整備の方策を提案するために、(3)防災性能を向上させる地区の整備計画手法、(4)地区施設等の防災的活用技術、について検討を行った。

[課題Ⅲ．計画支援技術・防災対策推進方策の開発]

防災まちづくりを支える意識形成・合意形成を図る方策を検討し、これらを支援するツールを開発するために、(5)計画策定時の合意形成手法、(6)地区整備における費用・便益算定手法、(7)防災性能評価システムの構築と運用方法、について検討を行った。

3. 研究成果

3.1 防災上危険な地区を抽出するための手法

都市の中でどの地区が危険なのかを町丁目単位で把握するために、延焼危険性、アクティビティ(避難、救出・救護、消火活動等の緊急活動)さらに、幹線系道路の機能障害に関する評価手法を開発した。

延焼危険性の評価ではセミグロス CVF 値¹から町丁目の防火性能を評価する手法を提案した(図1)。このセミグロス

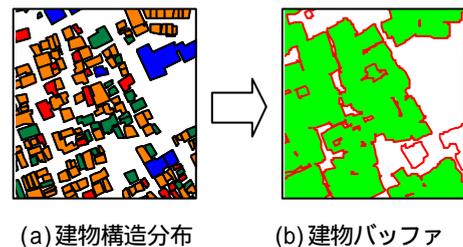


図1 建物構造分布と延焼限界距離による建物バッファの生成

CVF 値と平均焼失建築面積割合²との関係は次式で表すことが出来る (図2)

$$\text{平均焼失建築面積割合} = 1 - \exp\left(-\frac{0.01497}{(1 - CVF)^{2.67}}\right) \quad (1)$$

セミグロス CVF 値は建物形状や防火上の構造等から GIS 上で計測するものであるが、GIS データが整備されていない場合を想定し、町丁目ごとの集計データから導くことが可能な以下の推測式を提案した。

$$\begin{aligned} \text{セミグロス CVF} = & 3.293 \times \text{セミグロス裸木造建ぺい率} + 2.136 \times \text{セミグロス防火造建ぺい率} \\ & + 1.340 \times \text{セミグロス準耐火建ぺい率} \end{aligned} \quad (2)$$

アクティビティの評価では、地区施設、道路、建物等の町丁目ごとの集計データから、避難 (二次被害からの避難、罹災避難) 消火 (消火活動、延焼阻止活動) 救出・救護 (救出活動、重傷者移送、軽傷者対応、避難所における救護活動) の活動困難性を評価する手法を提案した。具体的には、評価対象とする移動単位を決めた後、(a)起終点間の距離を設定する、(b)起終点間の道路ネットワークをグリッドモデルとして設定する、(c)道路ネットワークの構成単位である1リンクあたりの閉塞確率を計算する、(d)道路ネットでの通過困難性を計算する、という手順で計算を行う。加えて、これらの評価結果に基づき、現状での防災性能の把握と、改善による防災性向上を検討することが出来るよう、簡易なプログラムを作成した。併せて評価結果と改善施策との関係も整理を行った (表1)。

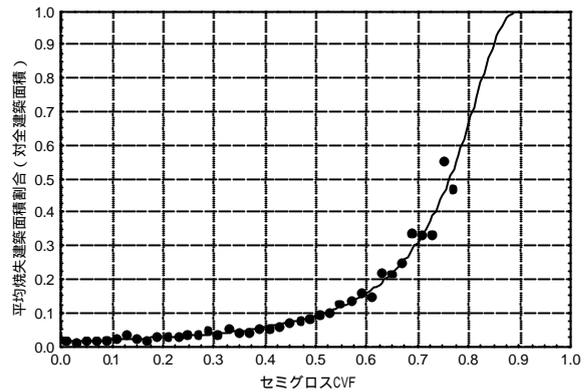


図2 セミグロス CVF と平均焼失建築面積割合の関係

表1 アクティビティの困難性評価結果と改善施策の関係

評価の視点	グラフ表示	要素指標	指標の内容・意味	対策の方向性	
				広域対策	まちづくり
避難	避難地の必要性	建物罹災 (率)	罹災証明による居住困難となった倒壊建物の状況 (倒壊率)	防火帯となる街並み、緑的公園等の整備	避難場所の追加
	二次被害からの避難の困難性 / 罹災避難の困難性	避難地到達 (距離)	避難者の避難地への到達困難性 (距離)	防火帯となる施設 (幹線道路等) で囲まれた面積	避難場所の追加
	二次被害からの避難の困難性 / 罹災避難の困難性	避難地到達 (困難率)	避難者の避難地への到達困難性 (非最短到達率)	区画道路の整備	消防水利の追加
	二次被害からの避難の困難性	幹線道路到達 (距離)	避難者の幹線道路への到達困難性 (距離)	良好な建築物の整備、老朽建築物の更新・除却	避難場所の追加
	二次被害からの避難の困難性	幹線道路到達 (困難率)	避難者の幹線道路への到達困難性 (非最短到達率)		消防水利の追加
消火	消火活動の必要性	出火 (率)	倒壊による出火棟数割合	区画道路・沿道建築物の良好性	避難場所の追加
	延焼阻止活動の必要性	延焼 (面積)	大火が発生した場合に燃え広がる恐れのある建物面積	建築物の構造・建築年代	消防水利の追加
	消火活動の困難性 / 延焼阻止活動の困難性	水利圏外 (率)	消防水利圏外面積の割合	堅牢建築物率・建築年代	消防水利の追加
	消火活動の困難性 / 延焼阻止活動の困難性	消防車取水 (困難率)	消防自動車の消防水利への到達困難性 (非最短到達率)	耐火・準耐火	消防水利の追加
	消火活動の困難性 / 延焼阻止活動の困難性	ホース到着 (困難率)	消防士の火災地点への到達困難性 (非最短到達率)		消防水利の追加
救出・救護	救出活動の必要性 / 重傷者移送の必要性 / 軽傷者対応の困難性 / 救護所における救護活動の必要性	全壊 (率)	全壊する建物の割合		避難場所の追加
	救出活動の必要性	堅牢建物全壊 (率)	堅牢 (非木造) 全壊棟数の割合		避難場所の追加
	救出活動の困難性	救出車到着 (困難率)	レスキュー車の全壊建物への到達困難性 (非最短到達率)		避難場所の追加
	重傷者移送の困難性	救急車到着 (困難率)	救急車等の救出対象への到達困難性 (非最短到達率)		避難場所の追加
	軽傷者対応の困難性	救護所到達 (困難率)	負傷者の救護所への到達困難性 (非最短到達率)		避難場所の追加
	救護所における救護活動の困難性	救護所兵站 (困難率)	小型車の救護所への到達困難性 (非最短到達率)		避難場所の追加

また、被災地区を起終点とする各種緊急活動を支える幹線系道路の機能障害危険度評価手法を構築した。具体的には道路施設や道路占用・沿道施設の地震被害に起因する道路機能障害を評価する幹線系道路の障害危険度評価手法の提案、避難活動、救助活動、消防活動、物資輸送活動、復旧活動等の地震時緊急活動に伴う交通需要の評価手法の提案、幹線系道路の信頼性を評価するためのシミュレーションモデルの提案を行っている。これら評価の流れを整理したものを図3に示した。

3.2 地区レベルでの防災性能の詳細評価手法

防災上危険性が高いと評価された地区において、地区の詳細な防災性能を評価するための評価技術として、火災の燃え広がり方を評価する延焼シミュレーションと、建物倒壊による道路閉塞の予測に基づく避難、救出・救護、消火活動を評価するアクティビティ・シミュレーションを開発した。

本総プロで開発した延焼シミュレーションが従来のもとは異なる点としては、火災実験に基づいて物理的なモデルを構築している、建物の開口部（窓など）の大きさや位置による影響も評価が可能、火災合流の影響も考慮、等が代表的なものとしてあげられる。シミュレーションを行った場合、建物ごとに出火から何分後に着火するか、出火からの経過時刻ごとにどの建物が延焼しているかを把握することが出来るほか、出火建物を複数とることによって地区の焼失率を導くことも可能である（図4）。

また、アクティビティ・シミュレーションは対象地区内のリンク（道路、街路）ごとに、建物倒壊によって生じる瓦礫の道路へのなだれ込みを推測して通行可能幅を求めることにより、アクティビティ別に道路閉塞状況を求める。その上で、評価する目的に応じて起終点（自宅、一時避難場所、外周道路、消防水利など）を設定して、目的地に行ける確率や所要時間を求めるものである（図5）。

これらのシミュレーションを用いることにより、現状における危険箇所、改善ポイント等を把握することが可能となる。



図3 地震時の幹線系道路における交通状況評価

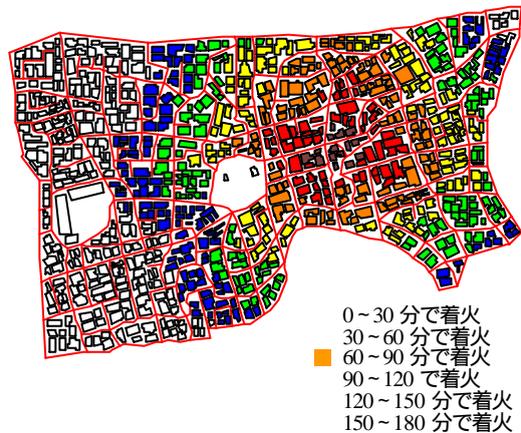


図4 延焼シミュレーションによる評価結果例

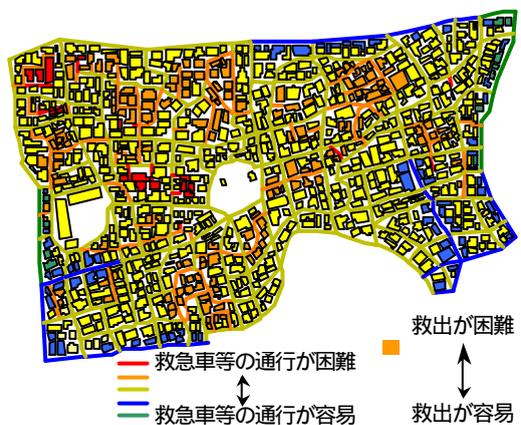


図5 アクティビティ・シミュレーションによる評価結果例

3.3 防災性能を向上させる地区の整備計画手法

地区と街区の二つのスケールごとに、地区や街区としての防災性能を高める計画を策定する際にシミュレーションを用いる方法、および計画、事業、規制誘導などの制度手法を導入する方法について検討を行った(図6)

地区スケールは地区内の骨格的な部分を優先的に整備するものであり、(a)地区防災軸の整備、(b)地区防災拠点周辺エリアの不燃化等、(c)

生活道路ネットワークの整備、が主となる。改善ポイント、改善効果を把握しながら整備の検討を行うと効果的であり、延焼シミュレーションからは焼失率の改善、延焼遅延効果等が、アクティビティ・シミュレーションからは道路閉塞が起きやすい場所、避難困難箇所の有無等を把握することが出来るため、計画案策定時におけるシミュレーション利用方法に関しても検討を行った。

一方、街区スケールでは(a)~(c)の整備に加え、(d)街区単位の計画的な建替え、を行って街区単位の防災性の向上と住環境の向上を進めるものであり、共同建替え、さらに特に計画的な協調建替えについては重点的に検討を行い、自主更新した場合のケースを含めて、ケーススタディを行った。

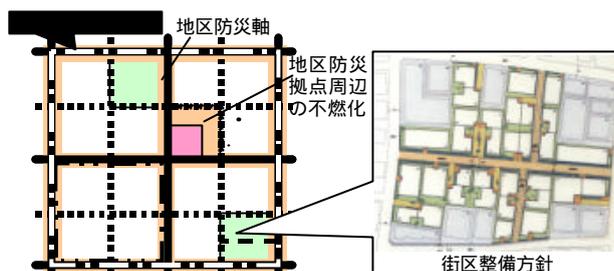


図6 地区整備の考え方と街区正整備方針

3.4 地区施設等の防災的活用技術

地区の防災性能向上に寄与する地区施設のうち緑被地・オープンスペースについては、その機能や役割を体系的に整理するとともに、どのような条件の場合に防災的な効果を発揮するのかを解明した(図7)

また、都市河川については、兵庫県南部地震における消防水利確保上の問題点を整理し、現状における消防利用のための河川等の整備事例をとりまとめた。さらに、消防力運用を考慮して延焼シミュレーションモデルを構築し、河川水利を追加した場合の延焼状況について検討を行い、河川等の防災活用手法について提案を行った(表2、図8)

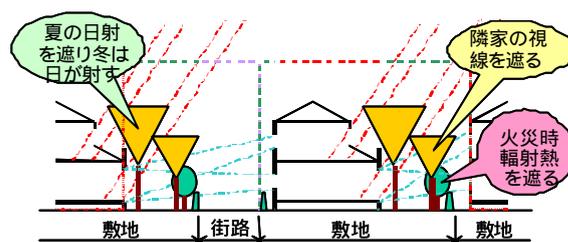


図7 オープンスペースの防災的活用例

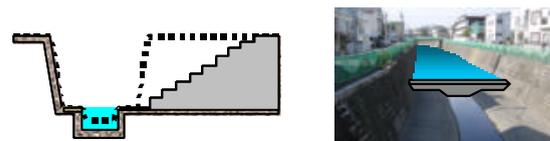


図8 都市河川の防災的活用例

表2 河川水の取水に関する問題点と解決法

問題点	問題発生の原因等	解決方法
水深不足(0.5m以下)による吸水不能	勾配が急なことや河道幅が広いことにより生じる水深不足	河床への取水ビット掘削 堰板、堰柱の設置
水量不足(消防水利の基準では毎分1m³)	流量の絶対的な不足 貯留能力が十分に利用されていない	他の水源からの導水、河川ネットワークによる水量の増加 河道・水路内貯留
水際へのアクセス不能(消防車)	広い高水敷、大きな堤防の存在などによる障害 河岸への家屋の立て込み、狭幅員道路	低水路へのアクセス道路(スロープ)の整備 堤内地や高水敷への導水路及び取水施設の設置 川沿いの車輛通行可能道路整備 アクセス可能な地点を拠点整備
水面へのアクセス不能(消防隊員、消防団員、住民)	洪水疎通能力確保のための急勾配の護岸(及び転落防止用フェンス) 高い特殊堤(及びフェンス) 暗渠、地下河川	階段護岸、緩傾斜護岸、スロープなどの整備 アプローチ施設(梯子、フェンスへのドア設置など) 導水管、導水ビット等の整備 取水マンホールの整備
高すぎる落差(消防水利の基準では4.5m以下)による吸水不能	洪水疎通能力確保のための深い掘込河道	堰上げ、貯留による水位上昇 ポンプの設置、可搬ポンプ整備

3.5 計画策定時の合意形成手法

地区の整備計画を作成するには住民が主体的に参加して検討することが望ましいが、参加者が多様になるほど合意形成が難しいという側面がある。そのため、計画面策定の段階に応じて行政や住民が検討する課題を整理し、検討課題ごとにどのような合意形成支援手法が効果的かについて、これまでの事例を基に検討・整理を行った。また、合意形成に向けて、住民が現状での危険性や、計画面による改善効果を理解するために、シミュレーションの効果的な活用方法についても併せて検討を行った。

3.6 地区整備における費用・便益算定手法

計画面を評価する際の一つの指標として、費用対効果を確認する必要もある。そこで、現状と計画面に基づいてシミュレーション実行によって得られる被害量から計画面の便益を推計する手法について提案を行った。併せて計画面に係る費用の概算値を簡便に算出する手法も提案した。

一方、シミュレーションは様々なデータがGIS上で管理されている必要があり、具体的、詳細な検討を始める以前の段階では適用が難しい場合が多い。そこで、限られたデータだけで被害量をおおまかに推定する手法についても併せて提案を行った。

3.7 防災性能評価システムの構築と運用方法

シミュレーションによる防災性能の評価は、地区の現状や計画面が持つ防災性能を数値的のみならず視覚的に把握することが可能である。しかしながら、シミュレーションを行うためには、様々なデータ（地図データ、建物の属性、道路の属性等）が必要となる。そのため、地方公共団体等がシミュレーションを実施することを念頭に、データの入手方法、作成方法、管理方法を提示した。また、シミュレーションによる評価結果を理解するためには、分かりやすい形で視覚化する必要があるため、評価結果に応じてどのように視覚化すれば良いのかについて検討した上で、延焼等のシミュレーションプログラムを用いたシステム構築の方法について提案を行った。

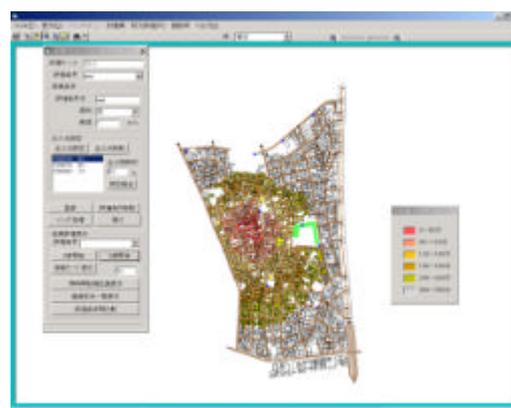


図9 防災性能評価システムの例

4 おわりに

本プロジェクトで開発した防災性能を詳細に評価するシミュレーションプログラムは、今後のまちづくりに大いに寄与すると考えられるが、その運用に必要なデータ整備が大きな課題となる。また、今回開発した成果の多くはまちづくりの現場で用いられて始めて役に立つものであるため、今後、地方公共団体等を中心に成果の普及を図っていく予定である。なお、延焼およびアクティビティに関するシミュレーションプログラムや、防災性能評価等のマニュアル類については、Web上での公開を予定している。

¹ Covering Volume Fraction の略。建築物の周囲から延焼限界距離の半分の長さでパuffaを発生した際に、地区面積に対するパuffa面積の比。ただし、大規模な空地等は地区面積から除く（図1参照）

² 全建築面積に占める焼失する建築面積の割合。