

大地震時の地域住民による救助・消火活動の効果とリスク

沖 拓弥・大佛 俊泰・廣川 典昭

Effects and Risk of Rescue and Firefighting by Local Residents in a Large Earthquake

Takuya OKI, Toshihiro OSARAGI and Noriaki HIROKAWA

Abstract : Rescue and firefighting activities by local residents immediately after a large earthquake play an important role to reduce human casualties in densely-built wooden residential areas. In this paper, we construct a simulation model incorporating property damage, people trapped in a building / on a street and activities of local residents (such as rescue, firefighting and wide-area evacuation) in a large earthquake. Using this model, we analyze the effects and risk of rescue and firefighting by local residents.

Keywords : 大地震 (large earthquake) , 物的被害 (property damage) , 地域住民 (local resident) , 広域避難 (wide-area evacuation) , 救助活動 (rescue activity) , 消火活動 (firefighting activity)

1. はじめに

大地震発生時の木造住宅密集地域における人的被害の低減には、発災直後の地域住民自身による初期消火・救助活動が重要である。しかし、その効果や危険性について、定量的に検討している既往研究は少ない。

本稿では、大地震時の物的被害、建物内・街路内閉じ込め、地域住民による各種活動（救助活動、消火活動、広域避難行動）を統合した総合的なシミュレーションモデルを用いて、地域住民による救助活動・消火活動の効果とリスクに関する基礎的な分析を試みる。さらに、シミュレーションの結果に基づき、逃げ遅れや街路内閉じ込め等によって多数の死亡者が発生した状況を詳細に分析することで、大地震時の人的被害低減に必要な施策について検討する。

2. シミュレーションの概要

2.1 シミュレーションモデルの概要

本稿で用いるシミュレーションモデルは、(a) 物的被害モデル、(b) 建物内閉じ込めモデル、(c) 地域住民による救助活動モデル、(d) 地域住民による消火活動モデル、(e) 避難行動モデルで構成される（図-1）。各モデルの詳細は、筆者らの既往研究（沖・大佛，2016a；2016b）を参照されたい。なお、地域住民は、以下の①～④のいずれかの状況で死亡するものとした。

- ① 全壊建物内で即死（圧死）
- ② 閉じ込められている建物に火災が延焼し死亡
- ③ 建物内に閉じ込められたまま負傷により死亡
- ④ 道路閉塞により街路内に閉じ込められた後、火災が拡大して移動不能となり、そのまま火災に巻き込まれて死亡^{注1)}

2.2 分析対象地域とシミュレーションでの想定

大地震発生時の倒壊・火災危険度が非常に高いとされる東京都足立区千住地域の中から、広幅員道路に囲まれたエリアを分析対象地域とした（図-2）。そして、表-1左に示す条件の下、地域住民による救助・消火活動の有無、および、避難を

沖拓弥 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

東京工業大学 環境・社会理工学院

建築学系 大佛研究室

E-mail: oki.t.ab@m.titech.ac.jp

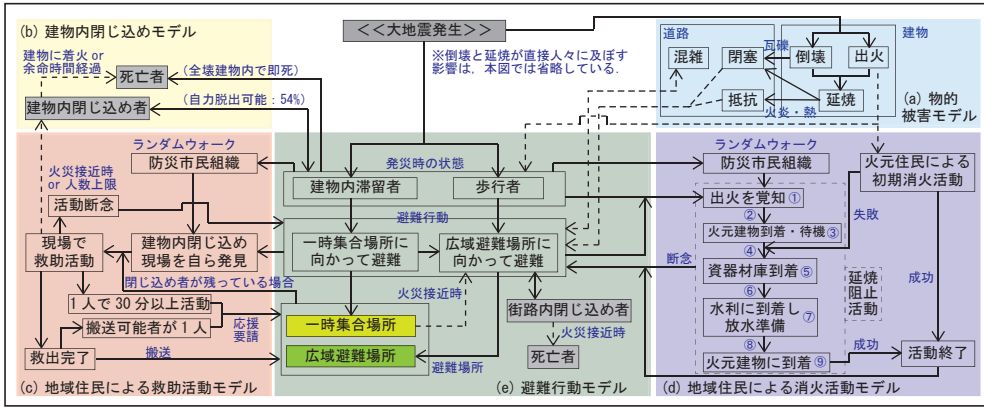


図-1 シミュレーションモデルの概要

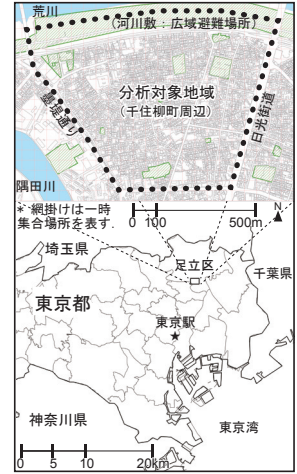


図-2 分析対象地域

開始するタイミング（火災までの距離が150mまたは50m）の異なるシナリオ(A)～(C)（表-1右）を想定し、発災から24時間後までのシミュレーションを、それぞれ90通りの物的被害パターンについて実行した。発災時にエリア内にいる滞留者（建物内滞留者・歩行者）を分析対象とし^{注2)}、発災時刻は火災延焼による焼失被害が最も深刻になるとされる冬の午後6時を想定した。建物倒壊・道路閉塞シミュレーションの結果を表-2に示してある。

表-1 シミュレーションの想定

震度（計測震度）	6強（6.16）	＜比較シナリオ＞ *救助・消火活動の効果とリスク（A）vs（B） *逃げ遅れの影響→（A）vs（C）
地震最大速度	81.0 cm/sec (kine)	
地震加速度	828 cm/sec ² (gal)	(A) 150m 避難・救助活動あり・消火活動あり
発災時刻	午後6時（発災から24時間後まで計算）	(B) 150m 避難・救助活動なし・消火活動なし
季節・風向・風速	冬季・北風 8 m/sec	(C) 50m 避難・救助活動あり・消火活動あり
分析対象者の総数	13,487人	※「Xm 避難」は、自身の周囲Xm以内に火災が接近した場合に避難を開始することを意味
物的被害パターン数	90パターン	

表-2 倒壊・閉塞シミュレーションの結果

建物倒壊率	19.8%	道路閉塞率	31.0%	※建物倒壊率は、分析対象地域内の全建物に占める倒壊建物の割合。 ※道路閉塞率は、分析対象地域内の全道路リンクに占める、瓦礫による閉塞道路リンクの割合。 左の表は、物的被害90パターンのシミュレーションに基づく集計結果である。
平均値	19.8%	中央値	30.8%	
中央値	19.8%	最大値	36.0%	
最大値	21.5%	最小値	27.7%	
最小値	18.3%			

3. シミュレーションの実行結果

3.1 消火活動による焼損建物数の低減効果

火元初期消火の成功率は平均約40%（3.1件の出火のうち1.2件で成功）であった。物的被害90パターンのうち77パターンで、1件以上、火元初期消火に失敗している（図-3）。このうち、1件の延焼阻止に成功したのは10パターンのみであり、2件以上の延焼阻止に成功したパターンは見られないが（図-4）、発災から24時間経過後の平均焼損建物数は4分の1程度減少している（表-3）。これらの結果は、木密地域における大地震時の延焼阻止活動の困難さと、より早い段階での火元初期消火の重要性を示唆している。

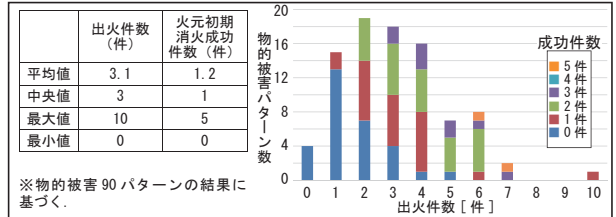


図-3 火元初期消火成功件数

3.2 救助・消火活動による死亡者数の低減効果

シナリオ(A)（救助・消火あり）とシナリオ(B)（救助・消火なし）の間には、平均167人の差が生じている（表-4）。すなわち、地域住民自身が救助・消火活動を行うことで、対象地域全体の

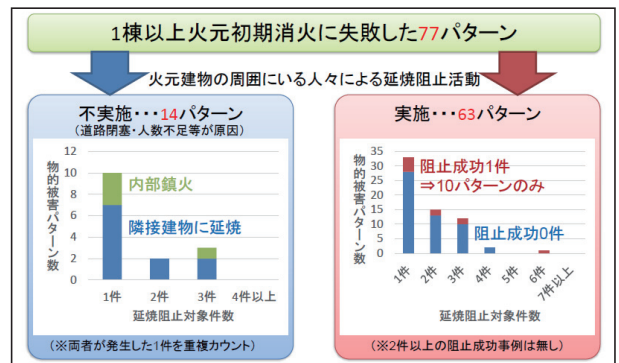


図-4 延焼阻止成功件数

表-3 焼損建物数の比較

	(A) 救助・消火あり	(B) 救助・消火なし
平均値	1,927棟 (43.9%)	2,493棟 (56.8%)
中央値	2,820棟 (64.3%)	2,956棟 (67.4%)
最大値	4,036棟 (92.0%)	4,035棟 (92.0%)
※発災から24時間経過後の値。 ※物的被害90パターンの結果。 ※括弧内は、対象地域内の全建物数に占める焼損建物数の割合。		

表-4 死亡者数の比較

	(A) 救助・消火あり	(B) 救助・消火なし
平均値	376.0人 (2.8%)	543.0人 (4.0%)
中央値	385人 (2.9%)	558.5人 (4.1%)
最大値	1,130人 (8.4%)	1,256人 (9.3%)
最小値	169人 (1.3%)	256人 (1.9%)
※発災から24時間経過後の値。 ※物的被害90パターンの結果。 ※括弧内は、対象地域内の全滞留数に占める死亡者数の割合。		

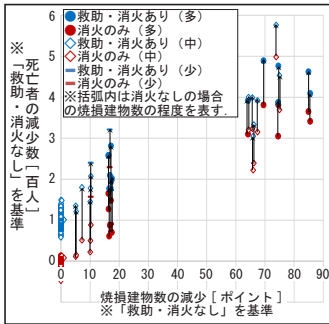


図-5 焼損建物の減少数と死亡者の減少数の関係^{注3)}

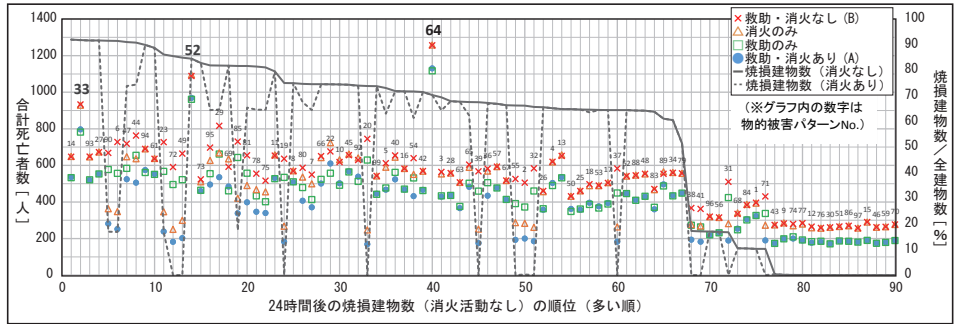


図-6 救助・消火活動の有無と死亡者数・焼損建物数の関係^{注3)}

死亡者数を3分の2程度まで低減できる可能性があることを示している。

焼損建物の減少数と死亡者の減少数の間には、高い正の相関関係が見られる(図-5)ことから、消火活動により延焼を阻止できれば、人的被害を大きく低減させることが期待できる。また、焼損建物をさほど低減できていない場合でも、救助活動によって死亡者数を大きく減少させることに成功しているパターンも見られる(図-6)。

救助活動を行わない場合、発災から24時間が経過しても、発災時における建物内閉じ込め者の約60%が建物内に残り残されるが、救助活動を行うことで、この割合を9.4%まで減少させることができている(図-7)。ただし、死亡後に救出される場合や、救出後に死亡する場合等を除くと、避難場所まで無事に搬送完了した人の割合は、建物からの救出者の約半数であった。

3.3 救助・消火活動実施のリスク

建物内閉じ込め現場での救出活動に一度でも参加した人を対象に、救助活動を行わない想定の下での安否を調べた(表-5)。救出活動に参加しなければ死亡せずに済んだ人の数は、平均6.3人であったが、発災から24時間後に無事だった人の中には、もし救出活動に参加していなければ死亡していた人も、平均約9.4人存在していた(表-5(a))。すなわち、この程度の人数は、偶然に左右され変動すると考えるべきである。

3.4 逃げ遅れのリスク

火災接近時の避難開始のタイミングが、周囲150m以内から50m以内に遅れることによる死亡者数の増加は、平均7人程度である(表-6)。

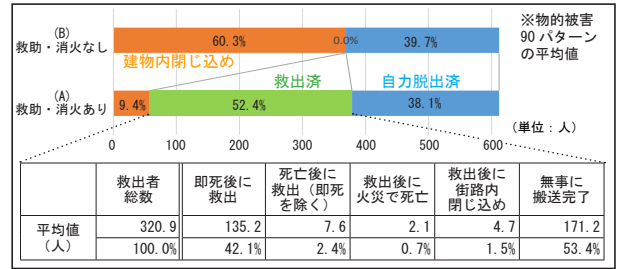


図-7 建物からの救出者数の内訳

表-5 救出活動参加・不参加と安否

(A) 救助活動あり	(B) 救助活動なし		
	生存者	死亡者	合計
生存者	1,089.8	9.4	1,099.3
死亡者	6.3	3.0	9.3
合計	1,096.1	12.5	1,108.6

表-6 避難開始のタイミングと死亡者数の関係(死亡原因別・救助消火あり)

単位: 人 ※物的被害90パターンの結果に基づく	即死者	火災による建物内での死亡者	負傷による建物内での死亡者	火災による街路上での死亡者	全死亡者	
平均値	(A) 150m 避難: 159.6	6.9	32.3	177.3	376.0	
	(C) 50m 避難: 159.6	-0.1	6.8	+0.3	+6.4	183.7
最大値	(A) 150m 避難: 165	41	121	820	1,130	
	(C) 50m 避難: 165	41	+1	122	+24	844

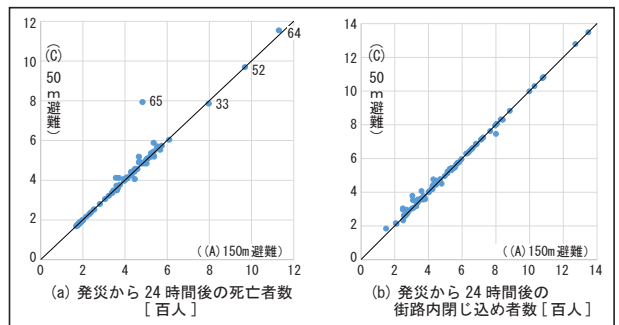


図-8 避難開始のタイミングと死亡者数・街路内閉じ込め者数(物的被害パターン別)

しかし、中には、300人以上も死亡者数が増加したパターンが見られた(図-8(a), 物的被害パターン No.65)。このパターンを子細に分析すると、ある一時集合場所に滞在していた多数の人々が、広域避難場所へ避難を試みたものの、延焼火災の影響で街区内に閉じ込められ、その後、火災に巻

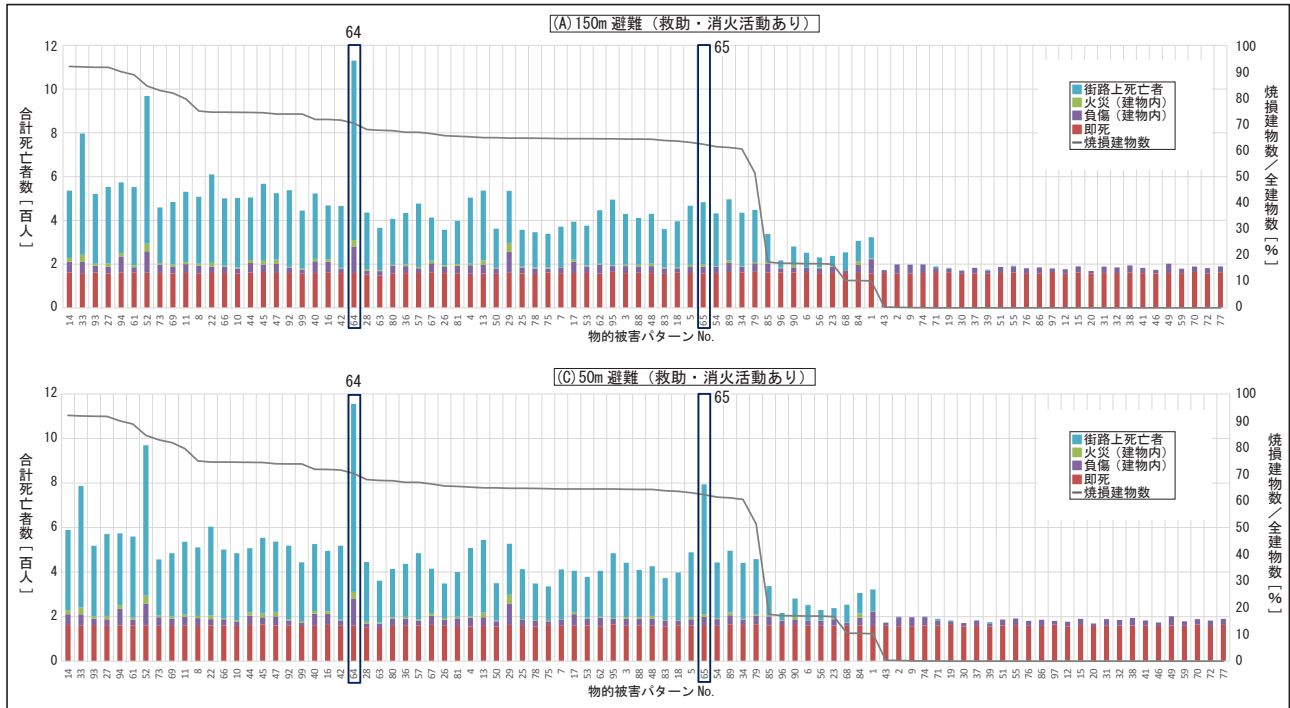


図-9 焼損建物数と死亡原因別人数の関係（物的被害パターン別）

き込まれ死亡していた。この結果は、頻度は低いながらも、逃げ遅れによって人的被害が著しく増加する可能性があることを示している。特に、多くの人々が滞在している一時集合場所においては、火災の延焼状況に応じて、早期に広域避難場所への避難を開始することが重要である。

3.5 街路内閉じ込めと街区閉じ込め

死亡原因別の人数を物的被害パターンごとに見ると（図-9），即死者数や建物内での死亡者数は概ね一定であるのに対し，火災による街路上での死亡者数は，物的被害パターンによって大きく異なっている。この結果は，大地震時の人的被害を低減させる上で，地域住民の消火活動により延焼火災の発生を抑制するだけでなく，避難者が街路内に閉じ込められにくくするための市街地整備（緊急避難路の整備による三方向避難経路の確保等）の重要性を示唆している。

死亡者が最も多い物的被害パターン（No.64）は，焼損建物数は中程度（消火活動なしの場合：上位40位，消火活動ありの場合：上位23位）であるにもかかわらず，火災による街路上での死亡者や，負傷による建物内での死亡者が，他のパターンと比較して突出して多い（図-9）。シミュ

レーション結果を詳細に見ると，ある程度の規模のエリア内に，道路閉塞によって多数の人々が閉じ込められる「街区内閉じ込め」現象が，対象地域内の至る所で発生していた。深刻な街区内閉じ込めを引き起こす可能性のある道路を特定し，その沿道建物の耐震化・不燃化を優先的に実施することが必要である。

4. まとめ

地域住民による大地震時の救助・消火活動の効果とリスク，および，逃げ遅れや街区内閉じ込めの危険性を，シミュレーションにより検証した。

謝辞

本研究は，CREST，JSTの助成に基づく研究成果の一部である。

注

- 注1) 目的地までの到達経路が存在しないと判断した場合でも，移動可能な道路リンクが存在する限りは，右往左往し続ける。到達した交差点に接続する道路リンクがいずれも通行不能である場合は，移動を止め，その場にとどまるものとし，さらに火災建物までの距離が（試行的に）30m以下となった場合に死亡者とみなした。
- 注2) エリア外からの広幅員道路を越えたエリア内への人々の流入や，徒歩帰宅行動は，ここでは考慮していない。
- 注3) 図-5と図-6では，比較のため，救助活動のみを実施するシナリオと，消火活動のみを実施するシナリオに基づくシミュレーションを，それぞれの被害90パターンについて別途実行している。

参考文献

沖拓弥・大佛俊泰（2016a）：住民による救助活動を組み込んだ大地震時における木密地域の広域避難シミュレーション分析，日本建築学会計画系論文集，81，724，1345-1353
 沖拓弥・大佛俊泰（2016b）：住民による救助・消火活動を考慮した大地震時の広域避難シミュレーション，日本建築学会学術講演梗概集（CD-ROM），3123，259-260