



A study on search and rescue strategy and life-saving lifeline performance for the mitigation of earthquake -related casualties

鋤田, 泰子

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2004-03-31

(Date of Publication)

2009-05-21

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲3101

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003101>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【 3 1 6 】

氏 名・(本 籍)	鋏田 泰子	(京都府)
博士の専攻分野の名称	博士 (工学)	
学 位 記 番 号	博い第326号	
学位授与の 要 件	学位規則第4条第1項該当	
学位授与の 日 付	平成16年3月31日	

【 学位論文題目 】

A study on search and rescue strategy and life-saving
lifeline performance for the mitigation of earthquake-relate
casualties
(震災死傷者軽減のためのSAR戦略と救命ライフラインの
機能維持に関する研究)

審 査 委 員

主 査	教 授	高 田	至 郎
	教 授	沖 村	孝
	教 授	田 中	泰 雄
	助 教 授	森 川	英 典

1995年の兵庫県南部地震を契機に、鳥取県西部地震や芸予地震、今年2003年には宮城県沖地震、十勝沖地震などが発生し、近年日本列島では地震の活動期に入ったと言われている。都市域でみられるこれらの地震被災は、過去の関東大震災や1947年の福井地震などのものとは明らかに様相が異なっている。構造物の耐震技術の向上や制御管理システムの開発などにより、地震時における都市システムの機能保持が期待される一方で、施設・人・システムなどが都市域に集中するため、地震被害が波及する危険性を抱えている。一方近年、安全性、使用性、経済性、など多様化した性能を保持するような構造物の設計・施工が進められている。とくに安全性に対しては人命・資産に被害が及ぶことを最小限に抑えることが謳われるが、構造物そのものの信頼性を重視し、人命への影響を配慮した評価は十分に行なえていない現状にある。

このような背景のもと、本研究では、地震発生時の都市域における構造物の脆弱性による直接的被災、および社会基盤システムの機能損傷に起因する二次的波及による人的被災の軽減を目的としている。かかる課題を分析するにあたり、人的被災の要因分析、因果関係のメカニズム解明、影響評価のモデルや指標の提案、さらにその影響程度の検討を行なった。まず第2章・3章で既往研究の文献調査により、かかる研究領域における本研究の位置づけを明らかにし、近年の地震被災事例分析から人的被災にかかわる都市システムの課題について問題提起を行っている。第4章から第8章までは地震発生後の人的被災発生プロセスに従い、新たな概念・定量的分析・評価手法に着目して、人的被災軽減に向けた都市システムの地震時の信頼性と地震直後の緊急時における救命戦略に関する研究を行っている。

第1章では、研究の背景と地震時人的被災軽減対策において、近年の都市システムが抱えている問題点を指摘している。また、本論文の構成と各章の概要を示している。

第2章では人命および人間の健康を脅かす地震リスクの概念を規定している。まず、地震工学分野で取り扱われている地震被災リスク概念を整理し、本研究の課題である地震時の人的被災について定義している。そして、人的被災に関わる都市システムの要因に対して土木工学を含めた医学、公衆衛生学、社会学、建築学の分野で取り組まれてきている研究事例をレビューし、研究領域における近年の方向性と課題をまとめている。また、近年の高度情報技術の進歩、コンピュータ環境の向上などを背景に進められている防災に関わる最新技術について整理している。

第3章では、兵庫県南部地震や台湾集集地震、トルコ・コジャエリ地震などの近年の地震被災事例に基づいて、人的被災発生プロセスとそれに関わる要因について分析を行い、新たな知見を論じている。兵庫県南部地震については、資料分析から負傷者率はその地域の建物被害率がある値以上になると減少し、逆に死者率はその値以上で増加していることより、被害の甚大な地域では負傷者が死者に移っていることを考察している。また、台湾

集集地震では、比較的堅牢な鉄筋コンクリート造の住家で高齢者が多く亡くなっていることを指摘している。被災住民への聞き取り調査の結果、高齢者の避難能力と本震後に引き続き起こった余震が影響していたことを明らかにしている。さらに、兵庫県南部地震、台湾集集地震、トルコ・コジャエリ地震の被災住民を対象に行った地震時の住民行動に関するアンケート調査結果を比較検討し、いずれの被災地でも地震後に閉じ込められた人の多くは家族や近隣の住民によって救助されていることを示し、災害時のボランティア・セクタの重要性を明らかにしている。

第4章では、強震動特性と避難行動との関係を表すために、地震動強度指標から住民の避難行動に関わる余裕時間を評価する概念を示している。短時間間隔における地震動強度を新しい指標「瞬間計測震度」で表し、地震動の始まりから、ある震度に達するまでの到達時間を用いて、避難行動を確保できる避難余裕時間を提案している。既往地震の地震動観測記録に基づき、瞬間計測震度の到達時間と震央距離、地震マグニチュードとの間に関係があることを明らかにしている。また、基盤での地震観測記録を用いてサイトの地盤増幅特性を考慮して地表面におけるある瞬間計測震度到達時間のばらつきについて評価を行なった結果、震源域では到達時間のばらつきは小さく、一方震源域から離れるにつれサイト特性による影響が表れ最大8秒程度の差があることを示している。

第5章では、家屋の崩壊過程を把握するための動的解析を行い、地震動特性と崩壊過程、そして避難余裕時間との関係について検討している。崩壊過程を逐次追跡することができる個別要素法を用い、木造住家を対象に、住家の非線形特性を考慮してモデル化を行っている。固有周期の異なる住家モデルと卓越周期特性の異なる地震動を用いて崩壊プロセスを解析した結果、非線形応答により長周期化した建物応答が、同時刻に同レベルの卓越周期を含んだ地震動を受ける場合に建物が崩壊プロセスに入ることを明らかにしている。さらに前章で提案した瞬間計測震度を組み合わせ、建物の崩壊過程に入る地震動継続時間とある瞬間計測震度レベルの到達時間が比例的関係であることを示している。また、避難余裕時間は建物倒壊プロセスによっても変化することを示している。

第6章では、捜索・救助(SAR)活動の効率を左右する要因について、実際の救助活動事例に基づいて分析している。はじめに、兵庫県南部地震時の防災機関の緊急対応と地震後の改善策についてまとめている。兵庫県南部地震と台湾集集地震の消防機関の救助活動について比較分析を行い、消防・警察・軍隊などの防災機関の連携がよく図られた台湾の初動体制は効果的であったことを示している。一方、木造建物の倒壊が多い日本と鉄筋コンクリート造の建物の倒壊が多い台湾では、閉じ込め者を救出するのに要する救助要員と作業時間は台湾の方が厳しい条件であったを指摘している。しかし、地震後の生存救出率を比較したところ、鉄筋コンクリート建物の上部で生存空間を残したまま倒壊していたため、結果としては木造建物からの生存救出率よりも高いことを示している。また、住民から防

(氏名： 鯉田 泰子 NO.3)

災機関に寄せられた緊急通報記録に基づき、閉じ込め通報の頻度特性について分析を行った結果、閉じ込め要請は建物被害程度とともに被災地から防災機関までの距離に大きく影響されていることを明らかにしている。

第7章では、道路橋梁損壊による負傷者搬送活動への影響評価手法を提案し、想定地震を受ける地域に適用してその影響度について検討を加えている。輸送機能損傷の影響を、救命活動において負傷者搬送時間の遅延、つまり負傷者の生存率低下に波及していると捉え、期待救命損失人数と比較することにより道路リンクの重要度を評価する手法を提案している。この際に、シミュレーションの中に病院までの搬送時間と患者受け入れ能力の両要因を考慮して搬送先を決定する方法と、搬送時間のみ考慮する方法について比較検討し、前者の方が期待救命損失人数を減らすことができることを定量的に示している。また、負傷者搬送に影響があると推定される道路リンクは道路システム全体の輸送能力を最大にするために補強すべき道路リンクとは必ずしも一致しないことを示し、患者緊急輸送を考慮した上で道路橋梁の補修対策などを行う必要があることを確認している。

第8章では、災害時の医療機関におけるライフライン施設の機能の信頼性評価法を提案し、施設更新による患者への影響度の低減効果について分析している。まず、災害時に医療施設に期待される機能について、近年の地震被害事例を整理している。とくに、ライフラインの供給機能は施設内部と外部の系で構成されるものであること、それぞれの機能は他のライフラインに相互依存していること、を指摘している。配水池から病院への水供給系を対象として地震時の機能評価を行い、病院内部の配管系よりも外部の管路系の地震信頼性が低いことを示している。さらに、水供給停止による患者への影響を信頼性の低下と病床数の積で表現している。また、脆弱な管路の取替えや新しい管路敷設にかかる投資費用と水供給停止による影響患者数について比較検討したところ、管路の取替え方法によっては少ない投資費用であっても大規模送水管を敷設した場合と同等の効果が得られることを示している。

第9章では、以上の研究成果を総括するとともに、今後の研究課題について述べている。

氏名	鯉田 泰子		
論文題目	A study on search and rescue strategy and life-saving lifeline performance for the mitigation of earthquake-related casualties (震災死傷者軽減のための SAR 戦略と救命ライフラインの機能維持に関する研究)		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	高田 至郎
	副査	教授	沖村 孝
	副査	教授	田中 泰雄
	副査	助教授	森川 英典
要 旨			
<p>本研究では、地震発生時の建物損壊にともなう人的被災および社会基盤システムの機能損傷に起因する人的被災の軽減策を確立することを目的としている。序論・結論を含めた9章で構成されており、まず第2章・3章で既往研究の文献調査から、かかる研究領域における本研究の位置づけを明らかにし、近年の地震被災事例分析から人的被災軽減にかかわる課題について問題提起を行っている。第4章から第8章までは地震発生後の人的被災発生プロセスに従い、人的被災軽減に向けた建物・都市システムの地震時の信頼性と地震直後の緊急時における救命戦略について研究を行なっている。</p> <p>第1章では、研究の背景と地震時人的被災軽減対策において、近年の都市システムが抱えている問題点を指摘している。また、本論文の構成と各章の概要を示している。第2章では人命および人間の健康を脅かす地震リスクの概念を規定している。まず、地震工学分野で取り扱われている地震被災リスク概念を整理し、本研究の課題である地震時の人的被災について定義している。そして、人的被災に関わる都市システムの要因に対して土木工学を含めた医学、公衆衛生学、社会学、建築学の分野で取り組まれてきている研究事例をレビューし、研究領域における近年の方向性と課題をまとめている。また、近年の高度情報技術の進歩、コンピュータ環境の向上などを背景に進められている防災に関わる最新技術について整理している。</p> <p>第3章では、兵庫県南部地震や台湾集集地震、トルコ・コジャエリ地震などの近年の地震被災事例に基づいて、人的被災発生プロセスとそれに関わる要因について分析を行い、新たな知見を論じている。兵庫県南部地震については、資料分析から負傷者率はその地域の建物被害率がある値以上になると減少し、逆に死者率はその値以上で増加していることより、被害の甚大な地域では負傷者が死者に移っていることを考察している。また、台湾集集地震では、比較的堅牢な鉄筋コンクリート造の住家で高齢者が多く亡くなっていることを指摘している。被災住民への聞き取り調査の結果、高齢者の避難能力と本震後に引き続き起こった余震が影響していたことを明らかにしている。さらに、兵庫県南部地震、台湾集集地震、トルコ・コジャエリ地震の被災住民を対象に行った地震時の住民行動に関するアンケート調査結果を比較検討し、いずれの被災地でも地震後に閉じ込められた人の多くは家族や近隣の住民によって救助されていることを示し、災害時のボランティア・セクタの重要性を明らかにしている。</p> <p>第4章では、強震動特性と避難行動との関係を表すために、地震動強度指標から住民の避難行動に関わる余裕時間を評価する概念を示している。短時間間隔における地震動強度を新しい指標「瞬間計測震度」で表し、地震動の始まりから、ある震度に達するまでの到達時間を用いて、避難行動を確保できる避難余裕時間を提案している。既往地震の地震動観測記録に基づき、瞬間計測震度の到達時間と震央距離、地震マグニチュードとの間に関係があることを明らかにしている。また、基盤での地震観測記録を用いてサイトの地盤増幅特性を考慮して地表面におけるある瞬間計測震度到達時間のばらつきについて評価を行なった結果、震源域では到達時間のばらつきは小さく、一方震源域から離れるにつれサイト特性による影響が表れ最大8秒程度の差があることを示している。</p> <p>第5章では、家屋の崩壊過程を把握するための動的解析を行い、地震動特性と崩壊過程、そして避難余裕時間との関係について検討している。崩壊過程を逐次追跡することができる個別要素法を用い、木造住家を対象に、住家の非線形特性を考慮してモデル化を行っている。固有周期の異なる住家モデルと卓越周期特性の異なる地震動を用いて崩壊プロセスを解析した結果、非線形応答により長周期化した建物応答が、同時刻に同レベルの卓越周期を含んだ地震動を受ける場合に建物が崩壊プロセスに入ることを明らかにしている。さらに前章で提案した瞬間計測震度を組み合わせ、建物の崩壊過程に入る地震動継続時間と</p>			

氏名	鍛田 泰子
----	-------

ある瞬間計測震度レベルの到達時間が比例的関係であることを示している。また、避難余裕時間は建物倒壊プロセスによっても変化することを示している。

第6章では、捜索・救助（SAR）活動の効率を左右する要因について、実際の救助活動事例に基づいて分析している。はじめに、兵庫県南部地震時の防災機関の緊急対応と地震後の改善策についてまとめている。兵庫県南部地震と台湾集集地震の防災機関の救助活動について比較分析を行い、消防・警察・軍隊などの防災機関の連携がよく図られた台湾の初動体制は効果的であったことを示している。一方、木造建物の倒壊が多い日本と鉄筋コンクリート造の建物の倒壊が多い台湾では、閉じ込め者を救出するのに要する救助要員と作業時間は台湾の方が厳しい条件であったことを指摘している。しかし、地震後の生存救出率を比較したところ、鉄筋コンクリート建物の上部で生存空間を残したまま倒壊していたため、結果としては木造建物からの生存救出率よりも高いことを示している。また、住民から防災機関に寄せられた緊急通報記録に基づき、閉じ込め通報の頻度特性について分析を行った結果、閉じ込め要請は建物被害程度とともに被災地から防災機関までの距離に大きく影響されていることを明らかにしている。

第7章では、道路橋梁損壊による負傷者搬送活動への影響評価手法を提案し、想定地震を受ける地域に適用してその影響度について検討を加えている。輸送機能損傷の影響を、救命活動において負傷者搬送時間の遅延、つまり負傷者の生存率低下に波及していると捉え、期待救命損失人数で比較することにより道路リンクの重要度を評価する手法を提案している。この際に、シミュレーションの中に病院までの搬送時間と患者受け入れ能力の両要因を考慮して搬送先を決定する方法と、搬送時間のみ考慮する方法について比較検討し、前者の方が期待救命損失人数を減らすことができることを定量的に示している。また、負傷者搬送に影響があると推定される道路リンクは道路システム全体の輸送能力を最大にするために補強すべき道路リンクとは必ずしも一致しないことを示し、患者緊急輸送を考慮した上で道路橋梁の補修対策などを行う必要性があることを確認している。

第8章では、災害時の医療機関におけるライフライン施設の機能の信頼性評価法を提案し、施設更新による患者への影響度の低減効果について分析している。まず、災害時に医療施設に期待される機能について、近年の地震被害事例を整理している。とくに、ライフラインの供給機能は施設内部と外部の系で構成されるものであること、それぞれの機能は他のライフラインに相互依存していること、を指摘している。配水池から病院への水供給系を対象として地震時の機能評価を行い、病院内部の配管系よりも外部の管路系の地震信頼性が低いことを示している。さらに、水供給停止による患者への影響を信頼性の低下と病床数の積で表現している。また、脆弱な管路の取替えや新しい管路敷設にかかる投資費用と水供給停止による影響患者数について比較検討したところ、管路の取替え方法によっては少ない投資費用であっても大規模送水管を敷設した場合と同等の効果を得られることを示している。

第9章では、以上の研究成果を総括するとともに、今後の研究課題について述べている。

本研究は、地震発生時の人的被災軽減のための概念を体系的にまとめ、建物や都市システムの地震信頼性が人的被災に与える影響度を定量的に明らかにして、地震防災対策確立にかかわる重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、学位申請者の鍛田泰子は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。