

氏名(本籍)	久保 栞 (香川県)
専攻	安全システム建設工学専攻
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第146号
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当者
学位授与の年月日	令和3年3月24日
学位論文題目	Study on natural disaster reduction and recovery based on mathematical engineering approach
論文審査委員	(主査) 吉田 秀典 (副査) 石塚 正秀 (副査) 野々村 敦子

論文内容の要旨

近年、日本各地において多くの自然災害が発生しており、様々な対策が検討されているものの、避難時や救援時などにおいては、それらの対策が機能しない場合がある。これまでの豪雨や高潮等の水災害時には、避難勧告発令の遅れや避難場所の浸水、ハザードマップの認知不足や不十分な活用等の課題があった。そのため、避難すべきタイミングや、災害状況の把握ができず、適切な避難行動もとれない状況が生じることあった。また、発災後、復旧・救援活動時には、放置車両や瓦礫によって、ポンプ車等の移動が妨げられたり、一時帰宅をした住民が再度発生した浸水に巻き込まれたり、発災後の被災状況の迅速な把握が課題となった場合もあった。こうした課題を受け、自然災害による被害をより軽減するためには、災害前の対策に繋がるハザードマップに関しては、さらなる有用化を図るために改良が、そして、災害時の被災状況の把握に関しては、円滑な復旧・救援活動を可能とする迅速な情報取得が必要であると考え。そこで、本研究では、減災と復旧という2つの側面から、減災に関しては、適切な避難行動と避難場所についての検討を、また、復旧に関しては、迅速な被災状況の把握に関する手法の提案を行う。

まず、減災対策として、人的被害をより削減可能となるような避難行動や避難場所の検討を行うために、様々な地域・災害における検証が可能な数値解析によって、任意地域における災害状況の把握、ならびに災害時の避難行動シミュレーションを実施する。

そして、復旧対策としては、近年、水災害や土砂災害時の被災状況を対象とした衛星画像の実効性や有効性に関する検討が行われており、また、比較的安価で災害時に迅速に入手することが可能であることから、衛星画像による災害状況の評価方法の提案を行う。提案手法より、災害時に救援活動やポンプ車配備等を優先的に行う場所を迅速に把握することが可能になる。衛星画像は、天候や時間帯に左右されないという利点を持つ一方、空中写真等と比較して判読が困難であることから、本研究では、加色混合法を用い、より正確、

かつ容易に、災害状況を把握することを目的とする。本研究の成果としては、人的被害をより軽減しうる避難行動を事前に提示することで、今後発生しうる災害に対し、より有用な減災対策に、また、発災直後、迅速に被災地域を示すことでより合理的な復旧活動に繋がること等が挙げられる。以下、本論文の構成を示す。

第1章では、現在の災害対策や、その課題等について述べた後、既往研究と本研究の位置づけ、そして本研究の目的を明確にする。

第2章では、浸水解析、避難行動シミュレーション、そして衛星画像分析手法の基礎理論について説明する。

第3章では、次章で述べる避難行動シミュレーションに災害（浸水）状況を反映させるため、3次元浸水解析を通じて、過去に発生した高潮発生時の浸水状況を把握する。災害時の浸水状況と本解析結果を比較し、概ね一致しており、本研究で用いる数値解析手法が妥当であることを示す。また、本解析結果を動画化することで、時間経過とともに変化する浸水状況の把握が視覚的に容易となるため、シミュレーション結果そのものも、新たな減災対策に関する情報として有用である。

第4章では、前章の浸水解析結果を考慮した上で避難行動シミュレーションを実施する。前章で示した浸水地域については、周囲に避難場所がある場合であっても、早期の浸水によって適切な避難を行うことができないことを示す。さらに、ハザードマップ等による災害状況の事前把握が、避難行動に与える影響を把握するため、事前に浸水する箇所をあらかじめ把握し、浸水により通行が困難となるであろう道路を通行しないように設定した避難者を設けた避難行動シミュレーションを実施する。それにより、浸水箇所の事前把握が適切な避難行動をとる上で有効であることを示す。同時に、避難場所が少なく、かつ、早期に浸水が開始される地域については、早期避難ならびに在宅避難を検討する必要があることを示す。さらに、条件を変更したシミュレーションを実施することで、避難場所の再配置案や、地域ごとの適切な避難行動についても考察を行い、より安全に避難できる方法等の提案を行う。最後に、前章で示した浸水解析結果と同様、本シミュレーションについても、浸水状況や、それにとまなう避難者の動きを視覚化できることから、住民らに対し、より具体的な減災対策となりえることを示す。

第5章では、天候や時間帯による影響を受けない SAR 衛星画像を用いた豪雨災害時の道路状況の把握を行う。災害前後の衛星画像について、加色混合法を用いて災害後に変化している箇所を抽出することで、被災地域を特定することが可能となる。このとき、土砂による被災なのか、浸水による被災なのかを明確に示すことが可能となる。さらに、衛星画像に加え、道路データを用いて分析することにより、復旧・救援活動時に重要となる道路部分のみを抽出する。そして、道路部における被災状況の判読を行うことで、被災現場において有用であることを示す。

第6章では、本論文の統括を行い、さらに、今後の研究課題について述べる。

審査結果の要旨

これまでの豪雨や高潮等の水災害時には、避難勧告発令の遅れや避難場所の浸水、ハザードマップの認知不足や不十分な活用等の課題があった。そのため、避難すべきタイミングや、災害状況の把握ができず、適切な避難行動もとれない状況が生じることあった。また、発災後、復旧・救援活動時には、放置車両や瓦礫によって、ポンプ車等の移動が妨げられたり、一時帰宅をした住民が再度発生した浸水に巻き込まれたりと、発災後の被災状況の迅速な把握が課題となった場合もあった。

そこで本研究では、減災と復旧という 2 つの側面から、減災に関しては、適切な避難行動と避難場所についての検討を、また、復旧に関しては、迅速な被災状況の把握手法の開発を行った。

減災対策としては、人的被害をより削減可能となるような避難行動や避難場所の検討を行うために、様々な地域・災害における検証が可能な数値解析によって、任意地域における災害状況の把握、ならびに災害時の避難行動シミュレーションを実施した。

復旧対策としては、近年、水災害や土砂災害時の被害状況を対象とした衛星画像の実効性や有効性に関する検討が行われていること、また、比較的安価で災害時に迅速に入手することが可能であることから、衛星画像による災害状況の評価方法の提案を行った。

その結果、人的被害をより軽減しうる避難行動を事前に提示することで、今後発生しうる災害に対し、より有用な減災対策に、また、発災直後、迅速に被災地域を示すことでより合理的な復旧活動に繋がること等を示した。本研究による成果は、社会科学的にも学術的にも有用かつ貴重であることから、本学位論文は博士論文に十分値するものと判断した。

本論文は 6 章により構成され、その概要は以下の通りである。

第 1 章では、現在の災害対策や、その課題等について述べた後、既往研究と本研究の位置づけ、そして本研究の目的を明確にしている。

第 2 章では、浸水解析、避難行動シミュレーション、そして衛星画像分析手法の基礎理論について説明している。

第 3 章では、4 章で実施する避難行動シミュレーションに災害（浸水）状況を反映させるため、3 次元浸水解析を通じて、過去に発生した高潮発生時の浸水状況を把握している。災害時の浸水状況と本解析結果を比較し、概ね一致しており、本研究で用いる数値解析手法が妥当であるとしている。また、本解析結果を動画化することで、時間経過とともに変化する浸水状況の把握が視覚的に容易となるため、シミュレーション結果そのものも、新たな減災対策に関する情報として有用であるとしている。

第 4 章では、前章の浸水解析結果を考慮した上で避難行動シミュレーションを実施している。前章で示した浸水地域については、周囲に避難場所がある場合であっても、早期の浸水によって適切な避難を行うことができないことを示している。さらに、ハザードマップ等による災害状況の事前把握が、避難行動に与える影響を把握するため、事前に浸水す

る箇所をあらかじめ把握し、浸水により通行が困難となるとして道路を通行しないように設定した避難者を設けた避難行動シミュレーションを実施している。それにより、浸水箇所の事前把握が適切な避難行動をとる上で有効であることを示している。同時に、避難場所が少なく、かつ、早期に浸水が開始される地域については、早期避難ならびに在宅避難を検討する必要があることを示唆している。さらに、条件を変更したシミュレーションを実施することで、避難場所の再配置案や、地域ごとの適切な避難行動についても考察を行い、より安全に避難できる方法等の提案を行っている。最後に、前章で示した浸水解析結果と同様、本シミュレーションについても、浸水状況や、それにとまなう避難者の動きを視覚化できることから、住民らに対して、より具体的な減災対策となりえることを示している。

第5章では、天候や時間帯による影響を受けない SAR 衛星画像を用いた豪雨災害時の道路状況の把握を行う。災害前後の衛星画像について、加色混合法を用いて災害後に変化している箇所を抽出することで、被災地域を特定することが可能となることを示している。これによって、土砂による被災なのか、浸水による被災なのかを明確に示すことが可能となることを示している。さらに、衛星画像に加え、道路データを用いて分析することにより、復旧・救援活動時に重要となる道路部分のみを抽出している。そして、道路部における被災状況の判読を行うことで、被災現場において有用であることを示している。

第6章では、本論文の統括を行い、さらに、今後の研究課題について述べている。

(在学中の学術論文審査)

審査申請者は、自然災害に対する防災・減災、ならびに復旧・復興に関する研究を行っている。係る研究の一部を主論文として4編の学術論文(いずれも筆頭著者)としてまとめている。4編のうち2編は本学大学院工学研究科博士後期課程在籍中の、また、2編は博士前期課程在籍中の業績である。

以上より、当該審査に係わる本学位論文は、香川大学大学院工学研究科の学位(博士(工学))に相応しい内容と判断する。

最終試験結果の要旨

公聴会および最終試験(口述試験)を、令和3年2月17日10:00から実施した。まず、公聴会において、審査申請者は学位論文の内容に関する発表(約60分間)を行った。その後、質疑応答に移り、審査申請者は審査委員および聴講者からの質問に対し、全ての確に答弁した。

1. この研究の重要性、意義は?新規性(他の研究との比較)は?

ハザードマップの有用化に繋がる。また、防災教育の際に本研究成果を使用することで、

専門知識を有さない住民らにも容易に危険性を周知できる。

2. 3、4章と5章の位置づけは？

3、4章で災害発生前に必要な情報を、5章で災害発生時に必要な情報を作成している。

3. 今後は対象地域の実情を考慮した方が良い。

ヒアリングなどを行い、避難に関する改善点を把握し、シミュレーションに反映させたいと考えている。

4. 車両での避難についても考慮した方が良い。

現在使用しているシミュレータでは、既に車両での避難を考慮することは可能であるが、現時点では、災害状況の事前認知などの影響を明確にするため、反映していない。

5. 流速についても考慮した方が良い。

高潮については流速の影響が小さいと判断し、流速を避難解析に反映していないが、流速を考慮することは可能である。

6. 同じ浸水深でも、身長の高い子供は避難できないのでは？

子供の避難状況を把握するために、子供が避難不可能となる浸水深を閾値として設けることで対応可能である。

7. 人口分布についても考慮した方が良い。

本研究ではエージェントをランダム配置としているが、過去に行った解析では、家屋ごとの人口分布を基に配置を行っている。

8. 高齢者の動きはどうなっているのか。

歩行速度を減じている。

9. 浸水解析において、建物の考慮もした方が良い。

過去の津波浸水解析では反映している。

10. SAR 画像において示している道路は堤防となっているのか。

河川の傍において、対象道路のみ標高が高いので、堤防であると考えている。

公聴会終了後、審査委員による口述試験に移り、研究の背景および関連する専門知識および英語能力について、審査申請者の理解度や専門能力について確認した（約30分間）。また、審査申請者は本研究の成果および今後の研究展開についても明確なビジョンを持っていることが確認できた。

以上の結果、当該審査に関わる本学位論文が香川大学大学院工学研究科の学位（博士（工学））に値するものであり、かつ本審査申請者は、専門領域に関する十分な学識と研究能力を有するものと判断し、本最終試験の評価を合格とする。