

氏名(本籍)	和田 光真(岡山県)
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142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	数値解析および深層学習によるため池災害の評価
論文審査委員	(主査) 吉田 秀典 (副査) 長谷川 修一 (副査) 野々村 敦子

論文内容の要旨

南海トラフによる巨大地震のリスクが高まっている香川県においては、ため池災害に対する強靱化が喫緊の課題として位置付けられている。この対策として、大地震時にため池が崩壊することを想定し、流出水の到達時間や浸水深および避難所等を地図上で示すハザードマップが整備されてきた。しかしながら、作成されたハザードマップは堤体の決壊箇所および規模が不明瞭のため、流出水の到達時間が適切に評価されているとは限らない。加えて、ため池崩壊による流出水には勢いがあることから、避難所へ辿り着く前に流出水に呑み込まれる危険性があり、水平方向への移動は極めて困難である。

こうした背景を受け、本論文では、ため池堤体の損傷、洪水、家屋倒壊といった一連の災害を統合した三次元数値解析を実施した。統合解析によって得られた多面的な評価は、より効果的かつ実践的な防災および減災政策へと繋がることが期待される。さらに、復旧・復興に関する災害の評価についても検討し、災害の評価ではまだ着手事例が少ない人工知能の一つである深層学習を援用することにより、災害後の被害情報を迅速かつ低コストで評価できることを示した。

本論文は以下に示す全6章で構成する。

第1章では、ため池のリスク評価に関する研究動向、課題の位置づけを詳述すると共に、本研究の意義と目的を示した。

第2章では、災害リスクを評価するために用いた地震応答解析、洪水解析および深層学習の基礎理論について詳述した。

第3章では、地震応答解析による堤体の損壊箇所や損壊規模を反映させた洪水解析を実施することで、ため池の地震災害における浸水リスクを評価した。地震応答解析については、ため池堤体周辺地域を含む地盤モデルを構築し、南海トラフを想定した工学的基盤における入力地震波によって、有限要素法に基づく三次元地震応答解析を実施した。解析の結果、堤体頂部における加速度応答は、震度換算で6強に相当し、最大せん断ひずみは、堤体が崩

壊するレベルに達することが明らかとなり、現行のハザードマップでは表現されていなかった堤体の損壊箇所および損壊規模を示すことができた。また、洪水解析については、地震によるため池崩壊に伴う洪水の記録は極めて少なく、研究に有効な計測データも存在しないため、豪雨災害においてため池堤体が損壊した記録を用い、解析の結果、実際の被害の浸水領域が概ね一致することを確認し、本解析手法が妥当であることを示した。その上で、高松市内のため池に対して、堤体の損壊箇所および損壊規模を反映させた浸水解析を実施した。さらに、建物が解析に含まれる場合と含まれない場合とを比較するため、建物を存在の有無を解析に反映した。解析の結果、浸水領域に関しては、建物の有無にかかわらず、現行のハザードマップと概ね一致した。浸水深および流速に関しては、建物の有無による違いが現れ、建物の配置によって現行のハザードマップよりも浸水リスクが高くなる地域が発生することが明らかとなった。

第4章では、前章の洪水解析結果から得た浸水深および流速を利用し、木造家屋を対象とした倒壊リスクを評価した。判定の結果、現行のハザードマップにおいて想定しない市街地においても木造家屋が損傷するリスクが明らかとなった。ため池崩壊による流出水は、ため池から十分離れた地域においても到達する可能性があり、垂直避難をも困難な地域が存在することが判明した。

第5章では、災害後の被害情報を迅速に評価するため、災害後の空中写真から被害の程度を瞬時に検知する人工知能の基礎的な研究を実施した。判定手法は深層学習を援用し、山腹崩壊および懸濁ため池を自動判定するモデル、災害前の家屋の状態を自動判定するモデル、災害後の家屋倒壊を自動判定するモデルをそれぞれ作成し、いずれの場合においても、高い検知精度を得られることを示した。また、本論文で用いた空中写真は、空中写真と同等以上の解像度を有する画像であれば、より広域な領域においても容易に学習が可能であり、災害復旧にとって有益な情報となり得ると結論付けた。

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た。

審査結果の要旨

南海トラフによる巨大地震のリスクが高まっている香川県においては、ため池災害に対する強靭化が喫緊の課題として位置付けられている。こうしたことを受け、大地震時にため池が崩壊することを想定し、流出水の到達時間や浸水深および避難所等を地図上で示したハザードマップが整備された。しかしながら、作成されたハザードマップについては堤体の決壊箇所および規模が不明瞭であるため、流出水の到達時間が適切に評価されているとは限らない。加えて、ため池崩壊による流出水には勢いがあることから、避難所へ辿り着く前に流出水に呑み込まれる危険性があり、水平方向への移動は極めて困難である。

こうした背景を受け、本論文では、ため池堤体の損傷、洪水、家屋倒壊といった一連の災害を統合した三次元数値解析を実施している。統合解析によって得られた多面的な評価

は、より効果的かつ実践的な防災および減災政策へと繋がることを期待される。さらに、復旧・復興に関する災害の評価についても検討し、災害の評価ではまだ着手事例が少ない人工知能の一つである深層学習を援用することにより、災害後の被害情報を迅速かつ低コストで評価できることを示している。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。

本論文は以下に示す全 6 章で構成されている。

第 1 章では、ため池のリスク評価に関する研究動向、課題の位置づけを詳述するとともに、本研究の意義と目的を示している。

第 2 章では、災害リスクを評価するために用いた地震応答解析、洪水解析および深層学習の基礎理論について詳述している。

第 3 章では、地震応答解析による堤体の損壊箇所や損壊規模を反映させた洪水解析を実施することで、ため池の地震災害における浸水リスクを評価している。地震応答解析については、ため池堤体周辺地域を含む地盤モデルを構築し、南海トラフを想定した工学的基盤における入力地震波によって、有限要素法に基づく三次元地震応答解析を実施している。解析の結果、堤体頂部における加速度応答は、震度換算で 6 強に相当し、最大せん断ひずみは、堤体が崩壊するレベルに達することが明らかとなり、現行のハザードマップでは表現されていなかった堤体の損壊箇所および損壊規模を示している。また、洪水解析については、地震によるため池崩壊に伴う洪水の記録は極めて少なく、研究に有効な計測データも存在しないため、豪雨災害においてため池堤体が損壊した記録を用い、解析の結果、実際の被害の浸水領域が概ね一致することを確認し、本解析手法が妥当であることを示している。その上で、高松市内のため池に対して、堤体の損壊箇所および損壊規模を反映させた浸水解析を実施している。さらに、建物が解析に含まれる場合と含まれない場合とを比較するため、建物を存在の有無を解析に反映している。解析の結果、浸水領域に関しては、建物の有無にかかわらず、現行のハザードマップと概ね一致していることを示している。浸水深および流速に関しては、建物の有無による違いが現れ、建物の配置によって現行のハザードマップよりも浸水リスクが高くなる地域が発生することが明らかとしている。

第 4 章では、前章の洪水解析結果から得た浸水深および流速を利用し、木造家屋を対象とした倒壊リスクを評価している。判定の結果、現行のハザードマップにおいて想定しない市街地においても木造家屋が損傷するリスクがあることを示唆している。ため池崩壊による流出水は、ため池から十分離れた地域においても到達する可能性があり、垂直避難をも困難な地域が存在すると指摘している。

第 5 章では、災害後の被害情報を迅速に評価するため、災害後の空中写真から被害の程度を瞬時に検知する人工知能の基礎的な研究を実施している。判定手法は深層学習を援用し、山腹崩壊および懸濁ため池を自動判定するモデル、災害前の家屋の状態を自動判定するモデル、災害後の家屋倒壊を自動判定するモデルをそれぞれ作成し、いずれの場合においても、高い検知精度を得られることを示している。また、本論文で用いた空中写真は、

空中写真と同等以上の解像度を有する画像であれば、より広域な領域においても容易に学習が可能であり、災害復旧にとって有益な情報となり得ると結論付けている。

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、数値解析や人工知能を用いてため池災害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5編の学術論文(いずれも筆頭著者)としてまとめている。いずれも本学大学院工学研究科博士後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15:30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. 堤体と排出口(コンクリート)との剛性の違いによって、解析の影響はないのか?

(回答) 排出溝の規模が大きくないことから、解析への影響はそれほど大きくない。造成物であることから、元々の地盤と堤体との間に存在する弱面の影響が圧倒的に大きい。

2. 国土地理院の画像を用いているが、使う人の対象は、災害現場か?

(回答) 主として行政の方を対象としているが、無論、現場の技術者も対象となりうる。

3. 人工知能を社会実装する際に、どのようなドローンで、また、カメラの解像度はどの程度で判断できるか?また、高精度のものでも粗い画像でも支障ないか?

(回答) 解像度は高いに越したことが無いが、画像が高価であることから、費用対効果と災害評価の重要度を勘案して解像度は選択されるべきと考える。解像度が粗くても分析は可能であるが、当然、その精度は落ちる。欲しい情報によって、解像度は選択されるべきと考える。

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。