

氏名(本籍)	木下 博久 (高知県)
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145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	谷密度を活用した流域別土砂災害危険度評価手法の開発
論文審査委員	(主査) 長谷川 修一 (副査) 山中 稔 (副査) 野々村 敦子

論文内容の要旨

近年、台風や集中豪雨の激化・局地化に伴い土砂災害が同時多発的に発生し、毎年のように各地で甚大な被害が生じている。国土の7割以上を山地が占める我が国では、脆弱な地質と相まって、土砂災害リスクが極めて高い。土砂災害の多くは斜面崩壊と土石流が占めており、平成20年から平成29年の10年間に発生した土砂災害の内訳は、斜面崩壊が66%、土石流が25%、地すべりが9%である(国土交通省、2019)。斜面崩壊、土石流ともにその発生が突発的で、土石の移動速度も速いため、避難行動の遅れがしばしば人的被害に直結する。的確かつ迅速な警戒・避難のためには、土砂災害の発生場所・崩壊規模・発生時期に着眼した危険度評価手法を確立する必要がある。一方、斜面崩壊や土石流といった大きなマスムーブメントは、斜面における谷地形の発達に大きく寄与するイベントである。これまで、土石流災害現場の地形地質調査などで、土石の流路に沿って基盤岩が連続的に露岩し、しばしば削剥や浸食を受けているなど、谷地形の進行を見ることができる。

本研究では、斜面に発達する谷地形の発達程度が、斜面崩壊や土石流の発生頻度と密接に関係していることに着目し、流域スケールでの谷密度をパラメータとする斜面崩壊の危険度評価手法を提案し、実際の土砂災害事例との比較検証を基に、本手法の有効性及び適用性を検討した。

まず、谷密度と土砂災害発生頻度との関係から、斜面崩壊の発生場所と崩壊規模の予測手法を検討した。谷密度は、国土地理院発行2万5千分の1地形図及び10mDEMを用いた地形解析から谷線を抽出し、単位面積あたりの密度を算出する方法とした。谷線は地形コンターの平均曲率(H)から求め、 $H > 0.1$ を閾値とすることで、谷地形の再現性が高いことが確認された。表層崩壊や深層崩壊、土石流といった既往土砂災害を対象に、谷密度との関係を比較した結果、谷密度が高い流域ほど崩壊発生頻度、崩壊規模が大きくなる傾向が認められ、谷密度と崩壊頻度の関係は、 $0.5 \sim 1.5 \text{ km}^2$ 程度の流域において良い相関を示す。また、崩壊発生場所では、谷密度が高い斜面ほど、0~1次谷付近の崩壊が多い傾向が認められた。

これより、土砂災害発生のある程度予測することができ、砂防堰堤等の対策工の配置計画における基礎データとなり得ることが期待できる。

次に、土砂災害発生の時期、時間を予測する手法として、雨量との関係を検討した。雨量の指標として、短期実効雨量と長期実効雨量から導き出される雨量指標 R' (中井ほか、2004) を用いた。本指標は、土砂災害発生場所に最寄りの観測所の雨量データから求めた R' 等値線分布を基に、時間的・空間的な土砂災害発生危険度をリアルタイムに追跡できるもので、これを流域スケールでの適用性を検討した。災害発生時刻歴、雨量データがある既往土砂災害を対象に、谷密度と雨量指標 R' との関係から、谷密度が高いほど雨量指標 R' が小さくなる傾向が認められ、より小さな雨量強度で崩壊が発生することが明らかになった。また、崩壊に至る雨量指標 R' の下限値は 250mm 前後であったことから、 R' 値が雨量強度に対する警戒避難判断の閾値になる得ることも考えられる。以上の結果から、谷密度の高低と斜面崩壊に至るまでの雨量限界との関係性は、崩壊発生の時期・時間予測につながると期待できる。

最後に、本手法には適用限界があることも考慮する必要がある。1 つに、土砂災害の様式によるもので、土砂災害のうち、地すべりについては、谷密度と地すべり変動との間に有意な関係は認められなかった。これは、地すべり斜面に特有の透水性の高い堆積層の存在や、すべり面に強く規制される地下水流動といった水理地質構造特性が、一般的な斜面と比べて大きく性質を異にすることに起因すると考えられる。もう 1 つは、地質構造によるもので、キャップロック構造をなす山地斜面の場合は、谷密度と崩壊頻度との相関が低くなる。これは、斜面頭部に分布するキャップ層から活発に供給される岩屑が山麓斜面に発達中の谷を埋積するため、見かけの谷密度が小さくなり、谷地形の発達メカニズムが他の斜面と異なることに起因する。

本研究の結果、流域別の谷密度が斜面崩壊や土石流といった土砂災害の発生頻度、規模、時期の違いを示す有効な指標となること、既往土砂災害の発生形態や時刻歴とも良い相関を示すことが明らかになった。本手法は、計算が比較的容易で使用するデータも広く公開されているため、高度な解析技術を必要とせず、誰でも簡単に土砂災害の危険度評価を行うことができる。解析は流域スケールで行うため、対象地域が地区自治会など細かな行政区スケールにも対応できる。危険度評価を地域の土砂災害ハザードマップに反映させるなど、地域防災力向上の観点からも有効な手法であると考えられる。

審査結果の要旨

近年台風や集中豪雨の激化・局地化に伴い、毎年のように各地で甚大な土砂災害が発生している。土砂災害の多くは斜面崩壊と土石流が占めているが、土石流は土石の移動速度も速いため、家屋の流出・破壊によって、甚大な人的被害に直結する。的確かつ迅速な警戒・避難のため、土砂災害ハザードマップの公表と降雨による土砂災害警戒情報の提供が

行われているが、個々の危険個所が、どれくらいの降雨で危険になり、どの程度の規模の土砂災害になるかを予測するものでない。一方、土石流は溪流の流域のどこで斜面崩壊が発生しても、溪流の出口を襲うため、危険場所の特定が容易である。このため、流域単位で、どれくらいの降雨で土石流の発生危険度が高くなり、また流域からどの程度の土砂が発生するかを評価する手法を開発することが可能と思われる。

申請者は、谷頭からの崩壊が土石流となって流下するときに谷の岩盤を侵食する現象に着目して、谷の発達程度の指標である谷密度が土石流の発生しやすさと関係しているとの仮説を立て、流域スケールでの谷密度をパラメーターとする斜面崩壊と土石流の危険度評価手法を提案し、実際の土砂災害事例との比較検証を基に、本手法の有効性及び適用性を検討した。

本論文は、9章から構成される。

第1章では、研家の背景と着眼点に基づき、研究の目的と論文構成を示した。

第2章では、土砂災害に関する研究をレビューして、課題をまとめた。

第3章では、既往の土砂災害危険度評価方法に関するレビューを行い、各種予測手法の開発状況と課題をまとめ、本研究の位置づけと独創性を明確にした。

第4章では、谷密度の定義と計測方法についてレビューし、谷密度の計測方法の留意点についてまとめた。

第5章では、第4章を受けて、数値標高モデル (DEM) を活用した谷密度の計測方法の検討を行った。谷密度は、10mDEM を用いた地形解析から谷線を抽出し、単位面積あたりの密度を算出する方法とした。谷線は地形コンターの平均曲率 H から求め、 $H > 0.10$ を閾値とすることで、谷地形の再現性が高いことが確認された。これによって、谷密度を指標として利用する基盤が構築された。

第6章では、谷密度と崩壊頻度の関係は、 $0.5 \sim 1.5 \text{ km}^2$ 程度の流域において良い相関を示す。また、崩壊発生場所では、谷密度が高い斜面ほど、 $0 \sim 1$ 次谷付近の崩壊が多い傾向が認められた。これによって、谷密度が雨量による斜面崩壊を評価する指標として活用できることが示された。

第7章では、土砂災害発生と雨量との関係を検討した。雨量の指標として、短期実効雨量と長期実効雨量から導き出される雨量指標 R' (中井ほか、2004) を用いた。災害発生時刻歴、雨量データがある既往土砂災害を対象に、谷密度と雨量指標 R' との関係から、谷密度が高いほど雨量指標 R' が小さくなる傾向が認められ、より小さな雨量強度で崩壊が発生することが明らかになった。

第7章では、本手法の適用限界についても検討した。

第8章では、谷密度を指標とした、流域別の土石流危険度評価方法の適用性を評価し、適用方法を提案した。

(在学中の学術論文審査)

審査申請者は、谷密度を指標とした土砂災害の発生予測に関する研究を行い、論文2編

を主論文として申請している。いずれも平成 29 年 9 月に社会人学生として本工学研究科博士後期課程への入学後の業績であり、学術雑誌 1 編（筆頭著者）、査読付き国際会議論文集に 1 編（筆頭著者）が受理され、搭載されている。

以上の結果、当該審査に関わる本学位論文は、香川大学大学院博士後期課程修了の学位に相応しい内容と判断する。

最終試験結果の要旨

令和 3 年 2 月 10 日（水）15:30～17:00、創造工学部 3201 講義室において公聴会を開催した（Zoom によるオンライン併用）。公聴会では、研究発表を約 60 分間行った後、質疑応答を 30 分間行った。また、公聴会終了後、別室で最終試験を約 30 分間行った。主な質問は以下のとおりで、申請者はこれらの質問に対して的確に答えた。

質問 1：谷密度と流域面積との関係において、花崗岩類と堆積岩類で、地質の違いによる影響が小さいとのことであるが、地質学的見地から解釈をしてほしい。

回答 1：花崗岩類と堆積岩類に区分するとその関係性は更に明瞭になるが、実用面では地質に関わらず利用できるほうが便利だと考えている。

質問 2：高知のような多雨地域でこれまでの大雨で表土が崩れ去っているようなところと、香川のように表土が厚く堆積しているような地域では、 R' と谷密度の関係に違いは出ないか。

回答 2：そのような斜面の違いが谷密度に表れ、 R' に関係してくると考えている。

質問 3： R' と谷密度の関係の上限が示す意味は何か。

回答 3：高谷密度の流域では小さな R' 表層崩壊が多発し、低谷密度の流域では大きな R' で深層崩壊が発生することを示している。

質問 4： R' と谷密度の関係の下限が示す意味は何か。

回答 4：同じ降雨なら谷密度が高い流域ほど発生頻度が高いが、土石流は R' が 250mm 程度にならないと発生しないと考えている。

また公聴会終了後、審査委員による口述試験を行い、研究の背景、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を確認した（約 30 分）。また、審査申請者が、本研究成果に活用方法と今後の研究展開について明確な認識と具体的な方策を持っていることを確認できた。

本研究の結果、流域別の谷密度を指標として斜面崩壊と土石流の発生頻度、規模、時期を評価することが可能となった。また、本手法は、計算が比較的容易で使用するデータも広く公開されているため、地域防災力向上の観点からも有効な手法であると評価される。これにより審査委員は、本学位論文の新規性、妥当性、有用性を確認することができた。

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博士後期課程修了の学位（博士（工学））に値するものであり、かつ当該申請者が専門領域に関する十分な学識と研究能力を有することを確認できたので、本最終試験の評価を合格と判断した。