

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19510191
 研究課題名（和文）
 斜面構成物質の透水性の相違による斜面崩壊規模予測手法の開発
 研究課題名（英文）
 Development of Prediction Method on Scale of Slop Failure by Difference of Permeability of Soil Structure
 研究代表者
 山中 稔（YAMANAKA MINORU）
 香川大学・工学部・准教授
 研究者番号：50264205

研究成果の概要：

本研究では、斜面崩壊規模を予測する指標として、地形量である谷密度に注目した。過去の災害資料調査とGISによる地形解析を行い、谷密度と崩壊規模の関係を検討した結果、谷密度が高くなるにつれ崩壊規模の上限は小さくなり、谷密度が低くなるにしたがい、崩壊規模の上限は大きくなる傾向があることが判明した。さらに、谷密度は斜面崩壊規模の上限を規定する指標となり、上限を規定する関係式を得ることが可能となった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：地盤防災工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 ・自然災害科学

キーワード：地盤災害

1. 研究開始当初の背景

四国は、2004年に台風10号、15号、16号、18号、21号、23号と立て続けに台風災害に見舞われた。災害箇所数およびその規模も従来の災害規模をはるかに超えたために、それから2年が経過した今でなお、四国各地に台風災害の傷跡が残っている。

台風10号は徳島県中央部の山間地に連続雨量で2050mm、日雨量で1317mmという日本記録となるような豪雨により7箇所で大規模な斜面崩壊を起こした。台風15号は四国の瀬戸内海側に位置している愛媛県新居浜

市から香川県西讃地域ならびに四国中央部の山間地に豪雨をもたらし、新居浜市では過去に例を見ない土石流災害が発生した。この土石流を引き起こした雨量は200mm程度であった。台風16号は高松市を始めとする香川県の瀬戸内側に高潮災害を引き起こし、台風18号は風台風であり愛媛県内の柑橘園が深刻な塩害を受けた。さらに、台風21号では愛媛県の瀬戸内側に豪雨災害をもたらし、多くの斜面災害や土石流災害を引き起こし、四国瀬戸内側の主要幹線が全て分断された。また台風23号はこれまで被害の少なかった香

川県の東讃地域に数多くの斜面崩壊を生じさせた。

香川県では、1976年台風17号による小豆島災害および2004年の台風15号、21号、23号による土砂災害の事例においては、厚さ1m前後の表層崩壊が多発している。すなわち香川県内の瀬戸内海沿岸では、累加雨量100mmを越え雨量強度が大きければ、花崗岩地帯であれ和泉層群の砂岩泥岩地帯であれ、表層崩壊が発生しているのが特徴である。一方、1976年台風17号による徳島県木頭村や、2004年台風10号による徳島県木沢村のように、四国中央山地では豪雨に伴って大規模な崩壊が発生する。このような大規模崩壊は累加雨量が1000mmを超えて、なおかつ雨量強度が大きき場合に発生している。

このように、瀬戸内海沿岸の丘陵斜面では表層崩壊が多発し、四国山地の大起伏山地で大規模な斜面崩壊が発生する傾向は、単に四国山地の斜面が雨慣れし、瀬戸内海沿岸の斜面が雨慣れしていないだけではなく、両地域の斜面の水理地質特性が異なる可能性を示唆している。

土砂災害の被害を軽減するためには、土砂災害が発生する時間、場所、規模を予測して避難することが求められる。土砂災害の発生する時間については、気象庁が土壌雨量指数を用いて、大雨による土砂災害危険情報を提供している。土砂災害の発生する場所については、土砂災害防止法の施行によって、土砂災害警戒区域、土砂災害特別警戒区域が順次指定されている。これに対して、ある地域で発生する土砂災害の規模については、未だ満足する予測手法が確立されていない。

2. 研究の目的

本研究では、斜面崩壊の発生要因としての地下水の役割に注目し、基盤岩と斜面表層土の透水性の差(permeability contrast)を斜面崩壊の規模との関係を解明し、斜面崩壊の限界雨量の理解を深めることを目的とする。まず過去の災害資料調査(主に瀬戸内の丘陵地帯および四国山地)を行い、これまで継続的に実施してきている申請者らの斜面崩壊分布・崩壊規模調査を実施するとともに、これらのデータをGISあるいは数量化理論で統計処理し、主に斜面崩壊の規模・分布および気象データを処理する。一方、崩壊斜面の多深度透水性調査として現場透水試験(斜面表層土・すべり面)を実施し、透水性の差(permeability contrast)を定量化する。この透水性のデータをGISに加味し、斜面崩壊規模および崩壊限界雨量の算出を

行うことにより、提案する斜面崩壊規模予測手法の確立を図る。さらに、斜面崩壊規模を予測する指標として、地形量である谷密度に注目し、斜面構成物質の水理地質構造の違いが谷密度と斜面崩壊規模に与える影響を検討した。

3. 研究の方法

(1) 新たな箇所での現場透水試験の実施

崩壊箇所での現場透水試験を実施する。特に異なる地質・土質が見られる崩壊箇所を優先し、さらには調査箇所の分布に粗密がないように配慮して試験を実施する。透水試験は長谷川式簡易透水試験とInversed auger hole methodの2種類を行う。長谷川式透水試験は表層地盤のいわゆる減衰能を測定するもので、主に植栽設計時に用いられる。また、Inversed auger hole methodは地下水位よりも浅いところで行われ、不飽和度に用いられる透水試験である。

(2) 谷密度の解析

前年度の成果の一つとして、斜面崩壊の規模に、谷密度の関係が大きいことが示唆された。したがって本年度は、現場調査周辺流域斜面の谷密度をGISを援用して解析して、斜面崩壊規模との相関について検討する。

(3) 透水性の差が斜面崩壊規模に及ぼす影響

これまでの調査研究により明らかになった各種要因の寄与度をもとに、斜面構成物質の透水性の差が斜面崩壊規模に及ぼす影響について定性的な妥当性を検討する。

(4) モデル斜面による水理地質構造の検討

本研究で対象とする2箇所の調査斜面の数値解析を実施するために、有限要素解析により対象箇所をモデル化した斜面において有限要素解析を実施し、2箇所の斜面における水理地質構造を明らかにする。

(5) 研究のまとめ

上記の研究成果をまとめるとともに、提案する斜面崩壊規模予測手法を実用化するための改善点を明確化する。

4. 研究成果

(1) 調査箇所の概要

本研究では、四国山地は徳島県那賀町阿津江地区(2004年台風10号)、瀬戸内の丘陵地帯は香川県さぬき市森行地区(2004年台風23号)の斜面崩壊を対象に調査を行った。

那賀町阿津江地区は徳島県の南東部に位置し、四国山地の剣山(1955m)東に位置する。1000mを越える山地を那賀川とその支流の坂洲木頭川が下刻しており、平均傾斜35~45°の急峻な斜面を呈している。阿津江地

区の崩壊源の地質は大きく分けて3層構造になっており、表層に厚さ約2m堆積している黒褐色及び黄褐色の表層土(厚さ約2m)、その下層に過去の崩積土が基盤岩の緑色岩を覆っている。

森行地区は、香川県の東部、さぬき市の南東、与田川水系の森行川の最上流域に位置し、平均傾斜が30~40°の山腹斜面から構成される。地質は主として領家花崗岩類から構成され、花崗岩が風化作用を受けて生成されたマサ土が表層に1m前後堆積していた。

(2) 現場透水試験

阿津江地区では、透水試験は表層土で3か所(A1, A2, A4)、崩積土で2か所(A3, A5)行った。阿津江地区の透水試験結果は、長谷川式透水試験では、表層土の減水能が 9.44×10^{-3} cm/sに対して、上部崩積土の減水能は約 6.48×10^{-2} cm/sと表層土よりも上部崩積土の透水性が高い。また、Inversed auger hole methodでも、表層土の透水係数は 1.49×10^{-3} cm/s、上部崩積土 1.35×10^{-3} cm/sと長谷川式透水試験と類似の値を得た。

森行地区では、表層土で3か所透水試験を行った。森行地区における、長谷川式透水試験では、表層土の透水係数はおおむね 8.54×10^{-2} cm/sを示し、Inversed auger hole methodでは、 6.86×10^{-3} cm/sを示す。基盤岩は森行地区から西へ約3kmの位置にある門入ダムの施工時に作成されたルジオン値を基に透水係数を算出した。門入地区の地質は、基盤岩である花崗岩類とこれを不整合に覆う崩積土、崖錐堆積物からなり、森行地区の基盤岩とほぼ等しいとみなせる。ダムサイトの基盤岩のルジオン値はほとんどがLu1~10の値を示していることから、基盤岩である花崗岩の透水係数は 1.0×10^{-5} cm/s程度と考えられる。森行地区では表層土は基盤岩より透水性が高いことが判明した。

(3) 谷密度と崩壊規模の関係

谷密度とは、水系長さを単位面積あたりで除した値で表わされる。過去の災害資料調査とGISによる地形解析を行い、谷密度と崩壊規模の関係を検討した結果、谷密度が高くなるにつれ、崩壊規模の上限は小さくなり、谷密度が低くなるにつれ、崩壊規模の上限は大きくなる傾向が認められた(図-1)。谷密度は斜面崩壊規模の上限を規定する指標となり、上限を規定する関係式 $V=3 \times 10^{17} \times D^{-12}$ を得た。ただし、Vは崩壊規模[m³]、Dは谷密度[km⁻¹]を表す。

(4) 斜面の水理地質構造と谷密度の関係

谷密度の高い斜面は、高透水層が斜面に薄く堆積し、その下位に難透水の基盤岩が分布

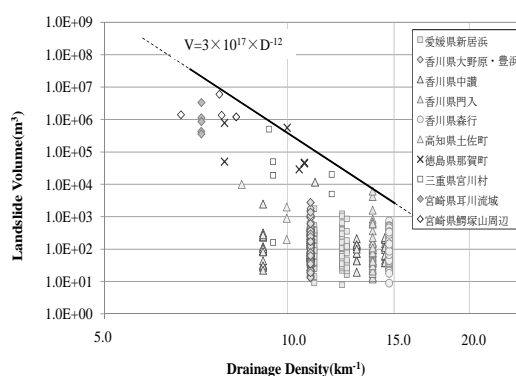


図-1 谷密度と崩壊規模の関係

しており、表層崩壊が多発しやすいと考えられる。そのため、表層崩壊が発生した凹地に多量の湧水が流出し、ガリー浸食によって谷が形成されることから、谷密度が高くなると考えられる。一方、谷密度が低い斜面は、高透水性の崩積土や緩みの著しい岩盤で構成され、降雨が地下深くまで容易に浸透し、表層崩壊は発生しにくい。このような斜面では、ガリー侵食も発生しにくく、表面流出による侵食も緩和される。その結果、谷の発達は低下し、谷密度は低くなると考えられる。

表-1 現場透水係数および谷密度

地点	阿津江	森行
崩壊発生までの累積雨量 (mm)	約 1200	約 200
表層土の透水係数 (cm/s)	1.49×10^{-3}	8.54×10^{-2}
崩積土もしくは基盤岩の透水係数 (cm/s)	崩積土 1.35×10^{-2}	基盤岩 1.00×10^{-5}
谷密度 (km ⁻¹)	7.2	14.5

(5) モデル斜面における水理地質構造

本研究では上述の仮説を実証するために、モデル斜面において現場透水試験を行い、斜面構成物質の水理地質構造を把握した。その結果、谷密度が高い斜面では、高透水層が薄く分布し、下位に低透水層の基盤岩が分布している水理地質構造であることが確認された。一方、谷密度の低い斜面では、高透水層が数十mと厚く分布し、地下深部に難透水の基盤岩が分布している水理地質構造であることが確認された。

(6) モデル斜面における斜面崩壊の再現

両モデル斜面において透水性調査を基に浸透流・安定解析を実施し、両斜面の崩壊を定性的に再現した。その結果、高透水層が薄く分布している地域では、累積雨量が200mm

前後で間隙水圧が急上昇し、崩壊が発生した。一方、高透水層が厚く分布している地域では、累積雨量が 1200mm に達する頃に、間隙水圧が急上昇し、崩壊が発生した。高透水層が薄く堆積している場合、表層崩壊が発生するため、崩壊規模も小さくなったのに対して、高透水層が厚く分布している場合、深層崩壊が発生するため、崩壊規模も大きくなった。

(7) まとめ

本研究で調査対象地とした、阿津江地区では、表層土よりも下層の崩積土の透水性が高いため、表層土の崩壊は発生しにくく、降雨が地下へ容易に浸透し、厚い崩積土に大量に貯留される。このため、間隙水圧の上昇が遅れ、累積雨量が 1200mm を超えるまで崩壊は発生しなかったと考えられる。しかし、阿津江地区のように地下深部に断層があり、粘土質の断層ガウジを形成していれば、そこが遮水帯となり、大規模崩壊となる。

一方、森行地区では、表層土の透水性は高いが、その層厚は 1m 前後と極めて薄く、その下層の基盤岩の透水性は低い。故に、斜面に浸透した降雨は地下へ浸透貯留することができず、累積雨量が 200mm を超えたあたりから、表層土の間隙水圧が上昇し崩壊が発生したと推定される。

上述の斜面の水理地質特性は谷密度に表れている。すなわち、阿津江地区の谷密度は森行地区の谷密度よりも小さい値を示しており、透水性の高い斜面では、雨水が斜面地下深部まで容易に浸透するため、崩壊が発生しにくく、谷ができにくいのに対して、透水性の低い斜面では、地下深部まで降雨が浸透しないため、崩壊が発生しやすく、谷ができやすいことを示唆している。

本研究により、斜面構成物質の透水性の相違が崩壊規模の要因となっていること、谷密度は斜面崩壊規模を予測する一つの指標であることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ① 長谷川修一、三村 享, Ranjan Kumar Dahal, 山中 稔, 野々村敦子, 斜面崩壊規模の指標としての谷密度の可能性, 地盤災害・地盤環境に関する第 8 回シンポ

ジウム論文集, 地盤工学会四国支部, Vol. 8, pp. 11-18, 2008, 査読無

〔学会発表〕(計 2 件)

- ①三村 享, 長谷川修一, 山中 稔, Ranjan Kumar Dahal, 野々村敦子, 谷密度が豪雨に伴う斜面崩壊規模に与える影響, 地盤工学会四国支部平成 20 年度技術研究発表会講演概要集, 2008 年 9 月 26 日, 村上水軍博物館 (今治市)
- ②三村 享, 長谷川修一, 山中 稔, Ranjan Kumar Dahal, 斜面崩壊規模の指標としての谷密度 (予報), 平成 20 年度土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集, 2008 年 9 月 11 日, 東北大学 (仙台市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山中 稔 (YAMANAKA MINORU)
香川大学・工学部・准教授
研究者番号: 50264205

(2) 研究分担者

長谷川 修一 (HASEGAWA SHUICHI)
香川大学・工学部・教授
研究者番号: 00325317

吉田 秀典 (YOSHIDA HIDENORI)
香川大学・工学部・教授
研究者番号: 80265470

増田 拓朗 (MASUDA TAKURO)
香川大学・工学部・教授
研究者番号: 80133164

守屋 均 (MORIYA HITOSHI)
香川大学・工学部・講師
研究者番号: 50150371

石塚 正秀 (ISHIZUKA MASAHIDE)
香川大学・工学部・准教授
研究者番号: 50324992

野々村 敦子 (NONORURA ATSUKO)
香川大学・工学部・助教
研究者番号: 60363181