

令和元年5月17日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01343

研究課題名(和文) 異常気象の出現確率を考慮した将来的な斜面崩壊危険度の確率論的評価

研究課題名(英文) Probabilistic assessment of future slope failure risk considering the occurrence probability of extreme event

研究代表者

篠田 昌弘 (Shinoda, Masahiro)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・システム工学群・准教授)

研究者番号：30462930

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、降雨や地震などの異常気象を対象に、観測データを用いた統計解析を行い、斜面崩壊における作用力の確率論的評価を行った。同時に、地盤のばらつきを考慮した対象領域における斜面表層の抵抗力の確率論的評価を行った。次に、降雨作用と地震作用を同時に考慮できる想定シナリオに基づいた斜面崩壊危険度評価法を構築して、斜面崩壊危険度評価図を作成した。作成した斜面崩壊危険度評価図により、異常気象における斜面の崩壊場所や被害規模の将来予測、初動調査の計画策定、二次災害の防止等に有効に活用できると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、異常気象という観点から作用力の発生確率を推定すること、詳細なDEMデータを用いて面的な斜面安定性と変形性を評価すること、確率論に基づいた将来の斜面崩壊危険度を提示すること、これらの要素技術を組み合わせ、斜面崩壊危険度評価法を構築することができる。提案する斜面崩壊危険度評価マップを作成することにより、異常気象が進行した場合の斜面の崩壊場所や被害規模の将来予測や、被害が発生した場合の初動調査の計画策定や二次災害の防止等に役立つことから、災害に強い国土形成のための有益な資料になると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we conducted statistical analysis using observation data for extreme climate events such as rainfall and earthquake and performed a probabilistic evaluation of the acting force in slope failure. At the same time, we made a probabilistic evaluation of the resistance of the slope surface layer in the target area taking into consideration the dispersion of the ground. Next, the slope failure risk assessment method was built based on the assumed scenario where rainfall and earthquake effects can be considered simultaneously, and a slope failure risk assessment map was created. Based on the prepared slope failure risk assessment map, it is thought that it can be effectively used for estimating the slope failure site and damage scale in extreme climate event, planning the initial response survey, and preventing secondary disasters.

研究分野：地盤工学

キーワード：斜面 異常気象 確率論的評価 斜面崩壊危険度

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」は、平成 26 年 11 月に IPCC 第 5 次評価報告書統合報告書を公表し、「気候システムの温暖化については疑う余地がない」ことを改めて示した。また、気象庁の「異常気象レポート 2014」によると、日本の 1898 年～2013 年における年平均気温は上昇傾向にあり、その上昇率は 100 年あたり 1.14℃であり、1980 年後半から急速に気温が上昇した。地球温暖化が進行すると、対流圏大気気温上昇に伴って飽和水蒸気量が増加し、降水量が増加する。現に、我が国における日降水量は全国的に増加傾向にあり、短時間強雨や大雨発生回数は増加傾向にある。気象庁の「異常気象レポート 2014」によれば、全国平均では、21 世紀末までに年降水量が約 100mm 増加（5%増）する予測となっており、今後ますます斜面崩壊リスクが増大する可能性がある。

一方、国土交通省 国土技術政策総合研究所によると、昭和 47 年から平成 19 年に斜面崩壊した 19,075 件のデータのうち、降雨が誘因のものが 17,640 件（93%）、地震が誘因のものが 648 件（3%）との報告があり、斜面崩壊の主な誘因は降雨であるとしている。これらの自然災害は地球温暖化による異常気象が誘因の一つに挙げられる。

地球温暖化とは直接関係しないが、近年地震発生リスクが増加している。今後 30 年以内の発生確率は、東南海地震 70%、南海地震 60%、東海地震 88%、首都特価地震 70%といずれも高い。地震の発生により斜面崩壊リスクも高まり、過去にも、昭和 59 年（1984 年）の長野県西部地震（M6.8）による御岳大崩れ（崩壊土量：3600 万 m<sup>3</sup>）などが発生している。上記の降雨作用と地震作用が同時に作用した場合には、斜面崩壊リスクがますます増大することになる。

### 2. 研究の目的

地球温暖化に伴う飽和水蒸気量の増加により、我が国のほとんどの地域で降水量の増加が予想されている。降水量が増加することにより、我が国の斜面崩壊リスクが高まることが予想され、ハードおよびソフト対策を施す必要がある。本研究では、降雨や地震などの異常気象を対象に、観測データを用いた統計解析を行い、斜面崩壊における作用力の確率論的評価を行う。同時に、地盤のばらつきと植生状況を考慮した対象領域における斜面表層の抵抗力の確率論的評価を行う。次に、降雨作用と地震作用を同時に考慮できる想定シナリオに基づいた斜面崩壊危険度評価法を構築する。斜面崩壊危険度評価結果の表示には、全国、都道府県、市町村等、対象領域に応じたオンデマンド方式のデジタルマップ（斜面崩壊危険度評価マップ）を用いることとする。提案する斜面崩壊危険度評価マップにより、異常気象における斜面の崩壊場所や被害規模の将来予測、初動調査の計画策定、二次災害の防止等に有効に活用できる。

これまで世界各国の研究者が、斜面崩壊の危険度評価結果を視覚的に分かりやすく示すために、ハザードマップを作成している。Wilson et al. (1979)や Wieczorek et al. (1985)は無限長斜面の安定解析により地震加速度と斜面加速度を指標とする地震時地すべりの発生予測手法を提案し、ハザードマップを作成した。森脇 (2011)は、2008 年岩手・宮城内陸地震を対象に、八幡平火山地域の地すべり移動体群を対象として、地震動による再滑動の危険度を評価するハザードマップを作成した。Jibson et al. (2000)は、1994 年ノースリッジ地震を対象として、オート山周辺の 10mDEM データを用いて、ニューマーク法に基づいた簡易な地震時残留変位量推定法を用いて斜面危険度評価のためのハザードマップを作成した。既往の文献調査から、これまでの斜面崩壊危険度評価のためのハザードマップの共通点として、作用力として降雨または地震など、一つの作用を想定していること、地盤抵抗力のばらつきを陽に取り入れていないこと、限られた領域における検討結果であること等が挙げられる。

### 3. 研究の方法

本研究では、降雨や地震の異常気象を対象に、観測データを用いた統計解析により斜面崩壊における作用の確率論的評価を行う。降雨の観測データには、空間解像度の高い地域気象観測所データと長期間計測されている地上気象観測所データを用いる。地震の観測データには、(国研)防災科学技術研究所が公開している強震観測網のデータを用いる。これらの観測データから、異常気象の出現確率を定量的に示す。同時に、地盤物性のばらつきを考慮した対象領域における斜面崩壊に対する抵抗力の確率論的評価を行う。次に、降雨作用と地震作用を同時に又は個別に考慮できる斜面崩壊危険度評価法を構築する。降雨時の斜面崩壊危険度は地下水位を考慮した盛土の安全率とする。地震時の斜面崩壊危険度は、盛土の耐震設計で採用されているニューマーク法による地震時残留変位量とする。国土地理院が提供している基盤地図情報の数値標高モデルを活用して、DEM データから斜面の傾斜や方位を求めた後、斜面崩壊危険度を評価する。提案法の妥当性を検証するため、2004 年新潟地震と 2016 年熊本地震の災害状況図を用いて、検証を行う。以下に上記の方法について説明する。

### (1) 作用力の確率論的評価

確率降水量の推定には二つの観測データ群を用いた。一つ目のデータ群は、1976年から観測が開始された地域気象観測所データ（2017年12月12日時点で1624地点）である。二つ目のデータ群は、1872年から観測されている地上気象観測所データ（2017年12月12日時点で155地点）である。本研究では、地域気象観測所データのうち、2018年3月時点で観測年数が30年以上の観測所のデータ（982地点）を用いた。また、地上気象観測所データのうち、1987年時点で観測年数が100年以上の気象台のデータ（17地点）を用いた。それぞれのデータ群の観測所の位置を図1に示す。上記の地域気象観測所データは観測年数が少なく確率降水量の推定精度は低いものの、地域分解能が高いことに特徴がある。

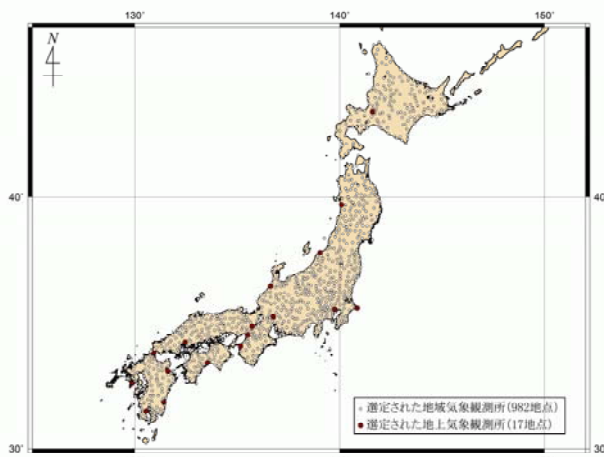


図1 2018年時点で30年以上の観測データを有する地域気象観測所（982地点）の位置と1987年時点で100年以上の観測データを有する気象台（17地点）の位置（沖縄気象台管内を除く）

一方、地上気象観測所データは観測所数が少ないことから地域分解能が低いものの、100年を超える観測データを有しており、確率降水量の推定精度が高いことに特徴がある。以降、選定された地域気象観測所のデータをAMeDASデータ、選定された地上気象観測所のデータを気象台データと呼ぶ。

本研究では、候補とする確率分布をGumbel分布とGEV分布の二つの分布とした。確率分布の母数推定法にはL-Moment法を採用して、赤池の情報量規準（以降、AICと呼ぶ）を用いて確率分布の適合度評価を行った。その後、最適な確率分布を選定した後、100年確率降水量の算定を行った。

### (2) 抵抗力の確率論的評価

斜面地盤の強度定数は、現地試料採取して室内試験を実施するか、現地試験を実施する方法が適切である。しかしながら、全国の斜面の数は膨大であるため、全ての斜面地盤の強度定数を試験で求めることは現実的ではない。そこで、本研究では地盤強度定数の平均値を地震時の斜面の災害状況図から逆推定することとした。具体的には、2004年新潟県中越地震と2016年熊本地震の災害状況図を説明できるように、地盤強度定数の平均値を推定した。地盤強度定数のばらつきは、既往の文献を参考にした。

### (3) 斜面崩壊危険度評価法と斜面崩壊危険度評価マップの作成

図2に斜面崩壊危険度図の作成フローを示す。図2には、ニューマーク法の回帰式を用いる簡便法とニューマーク法を直接用いる詳細法の二つを同時に示した。斜面崩壊危険度図作成のためには、準備段階として、地形情報、地盤情報、地震情報を収集し、地震時残留変位量の算定条件を決定する必要がある。なお、地形情報と地盤情報は地震前の情報であり、地震前であっても整備が可能である。実際の適用にあたっては、地震発生直後に地震情報を入手し、あらかじめ整備してあった地形情報と地盤情報を考慮して斜面崩壊危険度を評価することができる。簡便法を用いることで地震発生から数時間以内、詳細法を用いることで1日以内に斜面崩壊危険度図を作成することを想定している。

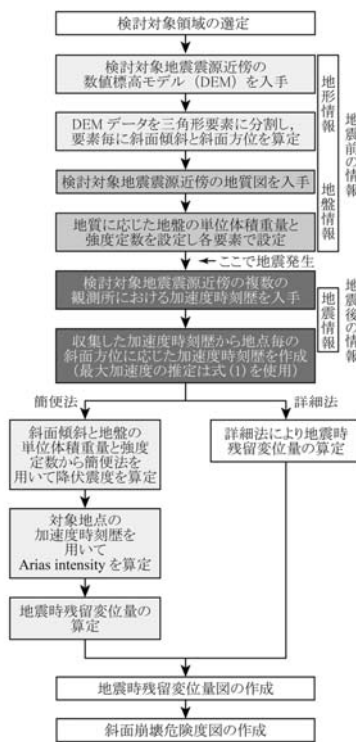


図2 斜面崩壊危険度評価法のフロー

#### 4. 研究成果

##### (1) 作用力の確率論的評価

本研究で対象とした作用力は、降雨作用と地震作用の二つとした。降雨作用に関しては、1976年～2016年に観測された AMeDAS データを用いて、30年以上観測データが蓄積された地域気象観測所における100年確率日降水量を極値統計解析により算定した。図3に100年確率降水量マップを示す。図3から北海道地方、東北地方、中国地方の100年確率日降水量は相対的に小さく、関東地方、九州地方はやや大きいことが分かる。また、近畿地方と四国地方の100年確率日降水量が大きい。さらに、地域気象観測所と地上気象観測所の観測データを用いて、観測データの蓄積に伴うある再現期間における確率降水量の変化を調べた。地域気象観測所の観測データを用いた統計解析から、確率降水量が増減する地域が推定できた。さらに、地上気象観測所データを用いた統計解析から、特定の地点における確率降水量の増加が判明した(図4)。地震作用に関しては、(国研)防災科学技術研究所が公開している強震観測網の1996年から2018年の観測データをダウンロードして、降雨作用と同様に、最大加速度、最大速度、地震エネルギー等の統計解析を実施した。

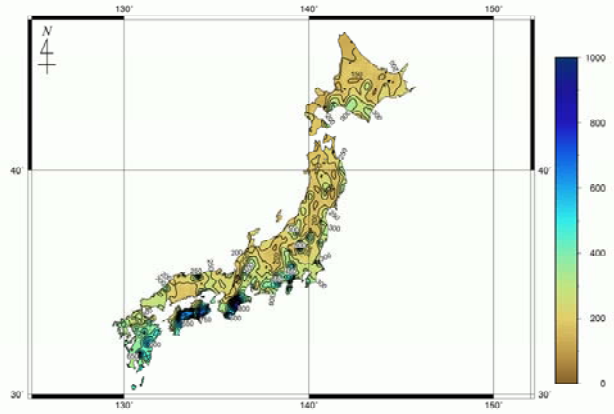


図3 1976年～2016年のAMeDASデータを用いた100年確率日降水量マップ

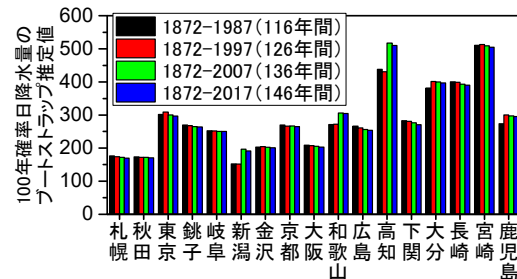


図4 観測データの蓄積に伴う確率降水量の変化

##### (2) 抵抗力の確率論的評価

文献調査から、地盤材料の強度定数のばらつき(変動係数)は、単位体積重量の変動係数と5%、内部摩擦角と粘着力の変動係数を10%と設定した。

##### (3) 斜面崩壊危険度評価マップの作成

図2に示した斜面崩壊危険度評価フローに従って、2004年新潟県中越地震と2016年熊本地震を対象に斜面崩壊危険度を評価して、斜面崩壊危険度評価マップを作成した(図5、図6)。地形情報として、国土地理院提供の基盤地図情報の数値標高モデル(10mDEM)を利用した。このDEMデータを三角形要素で細分化し、要素毎に重心、傾斜、斜面方位を求めた。地質情報には、国土交通省国土政策局調査・編集の「20万分の1土地保全図シームレスデータ」を利用した。地震情報には、震源から近い観測所の強震記録を用いて最大加速度と位相特性の推定を行うこととした。具体的な推定方法は、震源から100kmまでの観測所の強震記録(NS、EW、UD)を入手して、強震記録の基線補正をした後、観測所毎に32方位の加速度時刻歴を作成した。斜面崩壊危険度はニューマーク法による地震時残留変位量を指標とした。ニューマーク法は、すべり土塊が剛塑性的な挙動を示すと仮定して、降伏加速度を超過した加速度時刻歴を積分することにより、地震時残留変位量を求めるものである。本研究では、全ての地点でニューマーク法を適用した。

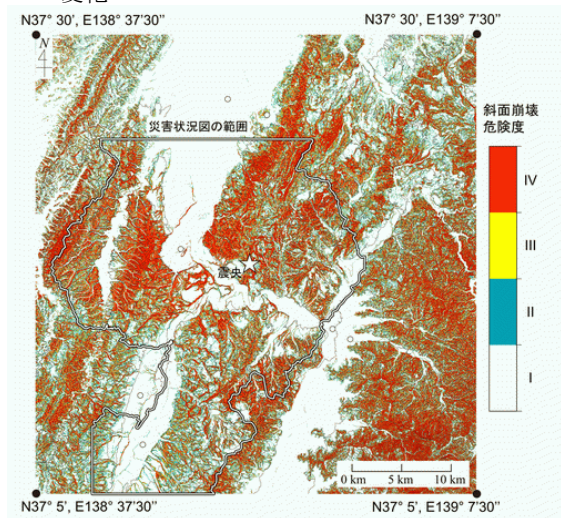


図5 2004年新潟県中越地震を対象とした斜面崩壊危険度マップ

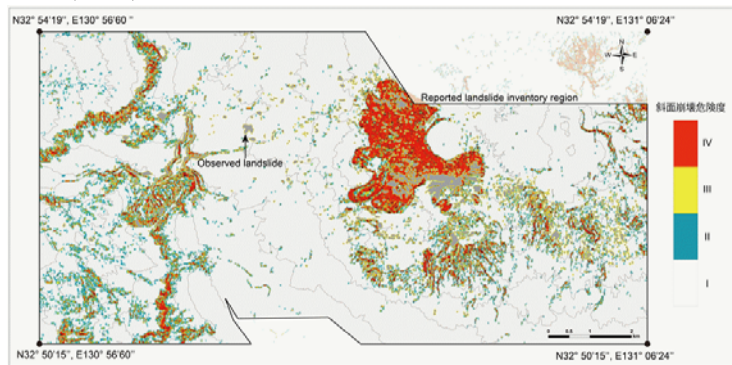


図6 2016年熊本地震を対象とした斜面崩壊危険度マップ

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

- ① Shinoda M, Miyata Y, Kurokawa U, Kondo K. (2019) Regional landslide susceptibility following the 2016 Kumamoto earthquake using back-calculated geomaterial strength parameters. *Landslides*, doi: 10.1007/s10346-019-01171-1, accepted.
- ② Shinoda M, Miyata Y (2018) PSO-based stability analysis of unreinforced and reinforced soil slopes using non-circular slip surface. *Acta Geotechnica*, doi: 10.1007/s11440-018-0678-x, published online.
- ③ 篠田昌弘、宮田喜壽 (2018) 広域的な地震時斜面崩壊危険度の作成方法、土木学会論文集 C、Vol. 74、No. 2、pp. 177-191.
- ④ 篠田昌弘、宮田喜壽、中村晋 (2018) 確率的方法と経験的方法による観測データの蓄積に伴う確率降水量の変化、土木学会論文集 B、Vol. 74、No. 5、pp. 211-216.
- ⑤ 篠田昌弘、東野圭悟、久保哲也 (2018) 降雨ハザードを用いた地震時の補強土壁の確率論的リスク評価、ジオシンセティックス論文集、Vol. 33、pp. 139-144.
- ⑥ Shinoda M, Miyata Y (2017) Regional landslide susceptibility following the Mid Niigata prefecture earthquake in 2004 with Newmark's sliding block analysis. *Landslides*, Vol. 14, No. 6, pp. 1887-1899, doi:10.1007/s10346-017-0833-8.

[学会発表] (計4件)

- ① Shinoda M, Miyata Y. (2018) Regional Landslide Susceptibility Following The 2016 Kumamoto Earthquake With Newmark's Sliding Block Analysis, *Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics V: Seismic Hazard Analysis, Earthquake Ground Motions, and Regional-Scale Assessment*, pp. 685-692, doi:10.1061/9780784481462.
- ② Shinoda M, Miyata Y. (2018) Life cycle cost of geosynthetic-reinforced soil slopes subjected to an earthquake, *Proceedings of 11th International Conference on Geosynthetics*, S39-03.
- ③ Shinoda M, Miyata Y. (2017) Reliability-based seismic stability analysis of reinforced slopes with noncircular slip surface, *Proceedings of the 3rd International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering*, No. 304.
- ④ Shinoda M, Miyata Y. (2017) Seismic risk evaluation with specific direction for natural slopes over a wide area, *Geo-Risk 2017: Impact of Spatial Variability, Probabilistic Site Characterization, and Geohazards*, pp. 434-443.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

なし

[その他]

なし

## 6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：宮田喜壽

ローマ字氏名：Miyata Yoshihisa

所属研究機関名：防衛大学校

部局名：システム工学群建設環境工学科

職名：教授

研究者番号（8桁）：20532790

研究分担者氏名：野々山栄人

ローマ字氏名：Nonoyama Hideto

所属研究機関名：防衛大学校

部局名：システム工学群建設環境工学科

職名：講師

研究者番号（8桁）：00624842

(2)研究協力者

研究協力者氏名：近藤健一

ローマ字氏名：Kondo Kenichi

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。