

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420466

研究課題名(和文)地震時孤立地域発生防止・孤立時間縮減のための効果的・経済的な斜面防災戦略

研究課題名(英文)Effective and economical slope disaster prevention strategy for reduction of isolated areas and period after strong earthquake

研究代表者

酒井 久和 (SAKAI, Hisakazu)

法政大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：00360371

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：(1)1995年兵庫県南部地震，2004年新潟県中越地震，2014年長野県神城断層地震，2016年熊本地震における斜面崩壊被害と道路防災点検データ等をもとに，地震時の斜面崩壊確率算定式を提案した。また，斜面崩壊確率と崩土流動域との関係を示した。さらに，崩壊確率算定式を和歌山県南部と長野県北部地域への適用を試み，孤立地域推定に対する有用性を示した。

(2)岩手・宮城内陸地震で国内最大級の地すべりを起こした荒砥沢地すべり地の現地調査ならびに土質資料の採取，室内試験等を行い，その荒砥沢地すべり地の3次元SPH解析を行った。SPH解析の減衰や時間積分法を改良することで解の安定性，精度を改善した。

研究成果の概要(英文)：(1)We proposed some equations of probability on slope collapse during strong earthquake based on the slope damages during the 1995 Kobe, the 2004 Chuetsu, the 2014 Kamishiro fault and the 2016 Kumamoto earthquakes, as well as the road disaster prevention check data. We indicated the validation for the isolated areas assessment in the southern Wakayama and the northern Nagano by using the results of statistical analysis for the relationship between the slope damage probability and the road damage.

(2)We conducted twice field surveys at Aratozawa where one of the largest landslide in Japan occurred during the 2008 Iwate-Miyagi inland earthquake, and laboratory tests of the soil and the rock samples. Based on the test results, we performed three dimensional Smoothed Particle Hydrodynamics analyses for the landslide. We also improved the methodologies of time integration and damping calculation for analytical stability and accuracy.

研究分野：地盤地震工学

キーワード：斜面崩壊 道路ネットワーク 地震 孤立

### 1. 研究開始当初の背景

地震による孤立地域の発生防止または孤立時間の縮減を実現するためには、事前に道路盛土、橋梁や道路に面した斜面などの崩壊が予測される箇所を特定し、その箇所に対して耐震補強等の対策を講じる必要がある。しかしながら、限られた予算のなかでそれら全ての構造物に対して対策を行うことは事実上不可能であり、道路ネットワークの機能性を維持するために効果的、経済的な対策が求められる。

### 2. 研究の目的

本研究では、都市間の道路において途絶の要因となる可能性が高く、耐震性評価が十分に確立していない斜面を研究対象とする。

(1)斜面の被災確率を求める手法の提案、(2)被災確率ごとの数値解析による斜面土砂の流動域の算定、(3)復旧に要する緊急車両通行可能日数の調査、(1)～(3)をもとに補強すべき個々の斜面を特定する方法論を確立することを目的とする。

### 3. 研究の方法

地震による孤立地域の発生防止または孤立時間の縮減に向けて、地震後の道路ネットワークの機能性維持を効率的かつ経済的に対策を講じる方法論を示す。具体的には下記の項目を実施する。

(1)既往地震の地震動分布を震源断層モデルに基づくハイブリッド法で算定する。

(2)地形データ、道路防災点検データ、(1)の地震動をもとにロジスティック回帰分析を行い、地震時斜面信頼性評価法の提案を行う。

(3)(2)の地震時崩壊確率付き斜面の崩壊シミュレーションを SPH で行い、流動土砂量を計算する。

(4)既往地震における緊急車両通過可能となる復旧時間と斜面崩壊土砂量との関係を調査する。

(5)(1)～(4)の研究成果をもとに、効果的、効率的な道路ネットワークの地震対策の方法論を提案する。

### 4. 研究成果

<平成 26 年度>

(1)自然斜面の地震時破壊確率算定手法の研究として、2004 年新潟県中越地震、1995 年兵庫県南部地震における斜面崩壊域の自治体から道路防災点検データ及び急傾斜地斜面カルテを入手した。入手したデータ記載の湧水や表層の状態を説明変数として、斜面崩壊に影響の大きな要因分析を行った。分析結果をもとに、新潟県中越地震、兵庫県南部地震における自然斜面の崩壊確率算定式を提案した。2008 年岩手・宮城内陸地震の強震動分布を推定した。

(2)斜面崩壊確率と土砂流動域の関係の調査として、岩手・宮城内陸地震で国内最大級の地すべりを起こした荒砥沢地すべり地の現地調査ならびに土質資料の採取、室内試験等を行った。荒砥沢地すべり地の 3 次元解析モデルの構築を行った。

(3)地震動の推定精度の向上に関する研究として、2014 年チリ北部地震(M8.2)の近地強震動観測データを用いて、エンベロップバックプロジェクション法による短周期地震動の放射特性を調べた。本研究の成果は海溝型巨大地震の強震動シミュレーションの震源モデル構築のために使用できることを示した。

(4)土砂崩壊流動域の精度向上に関する研究として、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法を地盤構造物の崩壊挙動の数値シミュレーションに適用する際に用いる減衰について検討を行った。SPH 法にレイリー減衰を導入し解析の安定化を図った。また、荒砥沢地すべりを対象として、SPH 法による再現解析を実施し、実崩壊状態を定性的に再現できることを確認した。

<平成 27 年度>

(5)自然斜面における地震時崩壊土砂の流動規模の検討を行った。兵庫県南部地震の実斜面被害状態をもとにロジスティック回帰分析を行った。その際、説明変数はこれまで地表面最大加速度 (PGA)、斜面勾配に地質を加えた。兵庫県より入手した被害報告書ならびに査定結果を基に斜面カルテと同一地点で被害を受けた箇所を抽出し、土砂流動規模を推定した。得られた被害箇所の崩壊確率と の被害規模の関係を調べることにより、崩壊確率と被害規模には正の相関があることを確かめた。

(6)地震時大規模地すべりの評価手法の確立に関する研究として、荒砥沢地すべり地点において、追加の地盤調査、土試料、岩石の採取を行った。採取した土試料および岩石の強度試験を実施した。SPH 解析コードを 3 次元に拡張した。SPH 法の会の安定化のために時間積分法を改良した。擁壁と地盤材料との相互作用を考慮できる解析モデルの導入を行った。当該地において常時微動観測を行い、地すべり地の振動特性を把握した。微動観測に基づいて当該地の本震加速度を推定した。3 次元 SPH 法に基づく自重解析により地すべりの再現解析を行った。

(7)都市の孤立性評価の検討例として、和歌山県を対象として研究を行った。和歌山県の主要地方道の道路防災点検データを入手した。内閣府の南海トラフの想定基盤地震動を基に PGA、PGV を算定した。和歌山県南部の新宮市と古座川町三尾町のネットワーク途絶に関して、斜面崩壊確率および崩壊規模を推定し、効率的な対策戦略の有効性を確認した。

(8)山地部の地盤増幅率の精度向上に関する研究として、横須賀の山地系において微動地震観測、3 次元 FEM 解析による地震応答解析、地震観測記録および地震応答解析結果を基に地盤増幅率の検討を行った。

<平成 28 年度>

(9)2016 年熊本地震で発生した崩壊斜面を対象としたとして、重回帰分析により、崩壊

斜面の崩壊因子および項目の推定式を提案した。推定式に用いた崩壊因子および項目に関して、相関性、ばらつきの確認、検定、残差分析等を行い、信頼性を確認した。崩壊斜面の流動量と流動域に関して複数の関係性を見出した。

(10)2014年長野県神城断層地震における斜面の崩壊確率評価式を検討した。国土交通省中部地方整備局の各事務所をめぐり防災カルテを入手した。防災カルテの斜面の地形や被覆状況を崩壊要因として評価式を導出した。ただし、斜面の崩壊確率評価は、法面と自然斜面に分類して比較を行った。既往の研究では、勾配が斜面崩壊の因子として採用されることが多いが、本分析結果では、斜面の地形や被覆状況が斜面崩壊に影響を与えることが示された。評価式を用いて長野県北部の緊急輸送道路の途絶確率を算出した結果、孤立性の高い4つの地域が示された。

(11)熊本県(県北, 県央)を対象に斜面崩壊確率評価を行った。実崩壊箇所とロジスティック回帰分析による崩壊確率分布図を比較し、回帰分析による評価手法結果は実被害と整合することを示した。岩手・宮城内陸地震の実崩壊箇所と本崩壊確率評価式に基づく崩壊確率分布は整合した結果が得られなかった。さらに、被害事例を集積、検討する必要性が確かめられた。

(12)断層近傍の地震動の高精度化に関する研究として、熊本地震の本震の破壊過程および短周期地震動生成域を、強震記録を用いたバックプロジェクション法によって推定した。結果、短周期地震動は破壊開始点の付近で強く放射され、長周期地震波形を用いて推定された主なすべり分布の発生域と大きく異なることが明らかとなった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

#### [雑誌論文](計 6件)

小野祐輔、相澤類、酒井久和、太田直之、中島進、藤原真士良、高柳剛、湯浅友輝、池田勇司：石積擁壁の耐震補強効果の検討のための SPH-DEM 連成解析法の開発、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) 査読有、2017 (掲載決定)

藤並雄誠、吉見雅行、酒井久和、佐藤清隆、池田勇司：地震観測に基づく山地形地盤増幅率の考察、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) 査読有、2017 (掲載決定)

小野祐輔、岡本遼太、河野勝宣、酒井久和、秦吉弥、池田勇司：SPH 法を用いた荒砥沢地すべりの三次元解析、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) 査読有、2017 (掲載決定)

Wataru S., N.Pulido, S.Aoi: Rupture process and strong-motion generation of the 2014

Iquique, Northern Chile, Journal of Earthquake and Tunami, 査読有、Vol.10、2016、pp.1-19

小野祐輔、内藤正輝、酒井久和、太田直之：SPH 法による石積擁壁の模型振動実験の再現解析、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) 査読有、2016、pp.515-522  
嶋中貴史、小野祐輔、竹澤麻衣、野畑拓也、酒井久和：2008年岩手・宮城内陸地震における荒砥沢地すべりの解析シミュレーション、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) 査読有、Vol.71、No.4、2015、pp.846-854

#### [学会発表](計 12件)

藤並雄誠：3次元 FEM に基づく山地形地盤増幅率の推定、土木学会年次学術講演会、2017年9月、九州大学伊都キャンパス(福岡県・福岡市西区)

近野玲央：防災カルテを用いた長野県北部地域における斜面の信頼性評価手法、土木学会年次学術講演会、2017年9月、九州大学伊都キャンパス(福岡県・福岡市西区)

石川大地：2008年荒砥沢地すべりに対する SPH 法による三次元地震応答解析、土木学会年次学術講演会、2017年9月、九州大学伊都キャンパス(福岡県・福岡市西区)

伊吹竜一：SPH - DEM 法に基づく石積み擁壁の模型実験に対する数値シミュレーション、第2回擁壁の耐震診断及び補強法に関するシンポジウム、2017年2月17日、土木学会(東京都・新宿区)

大淵亮：石積み擁壁の耐震補強工法の有効性検討に関する一事例、第2回擁壁の耐震診断及び補強法に関するシンポジウム、2017年2月17日、土木学会(東京都・新宿区)

西田佳佑：地震時斜面崩壊確率評価式に基づく道路ネットワーク途絶対策の試み、土木学会地震工学研究発表会、2016年10月17日、金沢歌劇座(石川県・金沢市)

酒井久和: Estimation of ground amplification factors in mountain district based on earthquake observation and three dimensional FEM analyses, Thailand-Japan symposium on earthquake engineering, 2016年12月23日、Chiangmai 市(タイ)

Pulido Nelson : Super-shear fault rupture propagation during the 2016/04/16 Kumamoto earthquake(Mw7.1) imaged by seismic back-projection and KNET/KiKnet strong motion records, American Geophysical Union, 2016年12月13日、San Francisco 市(米国)

秦吉弥：常時微動計測に基づく荒砥沢地すべり地における地盤震動特性の評価、日本地震工学会第11回年次大会、2015年11月19日、東京大学生産技術研究所

(東京都・目黒区)

Pulido Nelson : Fault rupture process and strong motion of the 2014/04/01 Iquique, Chile earthquake(M28.2)、Fall meeting American Geophysical Union、2014年12月17日、San Francisco市(米国)

小野祐輔 : SPH法による土構造物の地震応答解析で用いる減衰モデルに関する研究、第14回日本地震工学シンポジウム、2014年12月4日、幕張メッセ国際会議場(千葉県・千葉市美浜区)

嶋中貴史 : 2008年岩手・宮城内陸地震における荒砥沢地すべりの解析シミュレーション、土木学会地震工学研究発表会、2014年10月10日、まちなかキャンパス長岡(新潟県・長岡市)

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

酒井 久和 (SAKAI, Hisakazu)  
法政大学・デザイン工学部・教授  
研究者番号 : 00360371

### (2) 研究分担者

小野 祐輔 (ONO, Yusuke)  
鳥取大学・工学部・准教授  
研究者番号 : 00346082

### (3) 研究分担者

プリード ネルソン (PULIDO, Nelson)  
国立研究開発法人防災科学技術研究所・地震・火災防災研究ユニット・主任研究員  
研究者番号 : 90333343

### (4) 研究協力者

池田 勇司 (IKEDA, Yuji)  
嶋中 貴史 (SHIMANAKA, Takashi)  
野畑 拓也 (NOBATA, Takuya)  
竹澤 麻衣 (TAKEZAWA, Mai)  
内藤 正輝 (NAITO, Masaki)  
藤並 雄誠 (FUJINAMI, Yusei)  
西田 佳佑 (NISHIDA, Keisuike)  
岡本 遼太 (OKAMOTO, Ryota)  
相澤 類 (AIZAWA, Rui)  
近野 玲央 (KONNO, Reo)  
石川 大地 (ISHIKAWA, Daichi)  
伊吹 竜一 (IBUKI, Ryuichi)