

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21310117

研究課題名（和文）強震動・水文地形解析に基づくダム湖縁辺地すべり地の危険度評価法の研究  
 研究課題名（英文）A study for the evaluation of the earthquake-induced landslide hazard around Dam Lakes based on strong ground motion prediction and hydro-geomorphological analysis.

研究代表者

松波 孝治（MATSUNAMI KOJI）

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：70027291

研究成果の概要（和文）：2008年岩手・宮城内陸地震により誘発された荒砥沢ダム湖上流の地すべりの斜面物質の移動様式を明らかにした。ダム湖縁辺地すべり地の地震危険度を判定するための評価項目、地すべり斜面の①強震動予測、②地殻変動予測、③振動性状と安定性、④集水状況、⑤末端脚部の地質構造及び地下水分布、及び⑥PS-InSARによる地震誘発地すべり地の抽出、の有効性を検証した。

研究成果の概要（英文）：Huge mass movements were induced at the upper reach of Aratozawa Dam by the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake. The processes of the movements were clarified from field surveys and hydro-geomorphological analyses. The evaluation items were proposed for the assessment of the earthquake-induced landslide hazard and their effectiveness was verified using the data for the Earthquake.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2011年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	11,100,000	3,330,000	14,430,000

研究分野：複合新領域

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：強震動、地すべり、ダム湖、水文地形、火山地質、クラック、微動、地震観測

## 1. 研究開始当初の背景

2008年岩手・宮城内陸地震により、荒砥沢ダム湖北岸山地斜面で大規模な地すべりが発生した。地震に誘発された崩落・地すべりとしては、本邦では1、2を争う規模のものである。また崩壊土の一部が急激にダム湖に流れ込んだため地すべり段波が発生したが幸い堤体を越流することはなかった。

このように荒砥沢ダム湖縁辺では巨大な土塊の長距離移動があり、更に、ダムを決壊させる可能性のある段波が発生していた。国内のダム湖がこれまで今回のような大きな地

震を経験してこなかった事を考えると、今回の荒砥沢ダム湖地震地すべりは、特に、その縁辺に地すべり地を有している国内のダム湖について、地震に対する地すべり危険度の評価を行いその対策を緊急にたてる必要があることを指摘している。

## 2. 研究の目的

荒砥沢ダム湖地すべり発生機構と斜面物質移動様式を現地調査及び地震・地形・水文・地質学的分析から解明すると共に、ダム湖縁辺地すべり地の地震に対する危険度を判定

するために予め設定した評価項目を本地震地すべりに適用し検証する。

### 3. 研究の方法

危険度判定のために特に重要と考えられる次の六つの評価項目について調査・検証する。①想定地震時の地すべり地での強震動、②想定震源断層運動による地殻変動、③地震時の地すべり斜面の振動性状と安定性、④地すべり斜面における集水状況(水系・谷筋分布)、⑤地すべり斜面末端脚部の地質構造及び地下水分布。⑥PS-InSARによる地震誘発地すべり地の抽出

### 4. 研究成果

(1) 荒砥沢ダム湖地すべり発生機構と斜面物質移動様式

崩壊発生前後の空中写真・地形図(1/25000)、防災科学技術研究所の地すべり分布図、地質図、10mDEMの地形解析結果などの情報をGIS手法により重ね合わせると共に、写真判読を併用し、更に、荒砥沢ダムの水位データからも考察を進めた。解析結果を示す。

図1に荒砥沢ダム上流の斜面物質の移動様式をまとめたものを示す。地震発生前(2006年撮影白黒)および発生後公表されたオルソ写真から、明らかに同じものと特定できる部分を追跡する方法で土塊の移動を検討した。地震発生前の土塊の位置は、2006年撮影の空中写真を疑似オルソ化して、GISを用いて重ねる方法で特定した。この結果、ふたつの土塊が表面の形状をあまり変えずに移動していることが明らかになった。これらの土塊は、いずれもその脚部に液状化が生じた谷が存在しており、谷を構成する物質の除去の後、この土塊の下部でも液状化などのすべりを引き起こす現象があったことが考えられる。移動した土塊のうち、下流側にある土塊(以下土塊A)は、斜面が崩壊(国土地理院の公表)し液状化物質と共に消失した部分に上流から移動してきた。この部分には液状化した物質が残した削痕や吹き上げた泥水の痕跡が見られ、この土塊Aの移動速度も高速だ



図1 荒砥沢ダム上流の斜面物質移動様式

ったと考えられる。次に、地表面に道路が載っている土塊(以下土塊B)が上流から移動している。この土塊Bは、地震発生前には谷であった位置で停止あるいは前出の土塊Aに乗り上げる形で停止している。この土塊Bの東側に隣接する部分(図1中では線Cで境界を表す)も土塊Bと同じ方向に移動しているが、地震発生前には谷部であった位置で停止し土塊Bから離れるように表面高度を下げ崩れるように移動した。これらの土塊の移動は、下流側に液状化によって生じた力学的な不安定が次々に上流側に連鎖して伝搬した結果であると考えられる。土塊Bは約500m×600mの巨大地すべりブロックで、中には多くのクラックが走っている。

(2) 危険度判定のための評価項目の検証

①想定地震時の地すべり地での強震動

近年の強震動予測手法の進展により地震・工学的基盤では理論的に評価できるようになってきたが、基盤上部の地すべり地での評価には複雑な地盤構造モデルを必要とする。通常、ダムでは堤体底部の基盤に強震計が設置されている。このためダム基盤での地震動を理論的に評価できるならば、近隣地すべり地での中小地震の同時観測から地すべり地盤の波動伝達関数を求めることにより、想定地震時の強震動波形を経験的に評価できる。

図2は岩手・宮城内陸地震後の余震観測点配置である。RCKは荒砥沢ダム監査廊の基礎地盤、GNDは地すべり地ではない不動地盤、

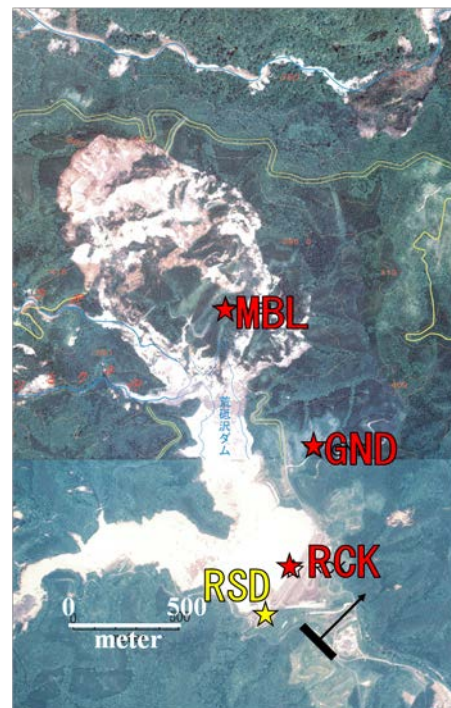


図2 荒砥沢における余震観測

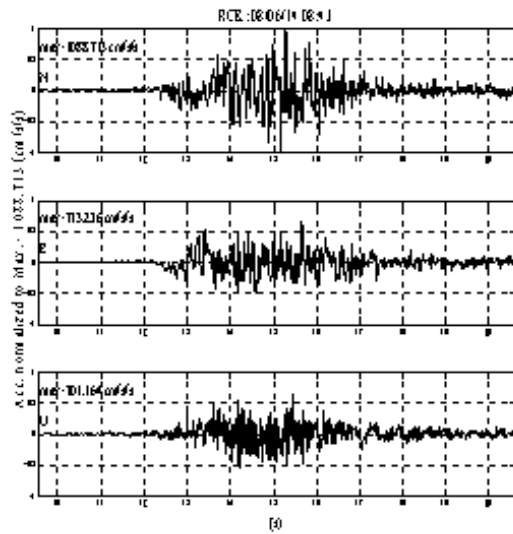


図3 荒戸沢ダムでの本震加速度波形

MBLは図1で示した移動土塊ブロックB(500m×600m)の地盤、に其々設置した観測点である。なお、RCKにはダム管理事務所が設置した加速度計と、GNDとMBLに設置した速度計と同タイプの地震計(東京測振社製VSE-311C)を設置してある。図3にRCKでの本震加速度波形を示す。ダム監査廊基礎地盤(天端から78m下)とは言い、南北動成分は1000galを超え上下動成分も700galあり、北方の地すべり地ではこれ以上の強烈な加速

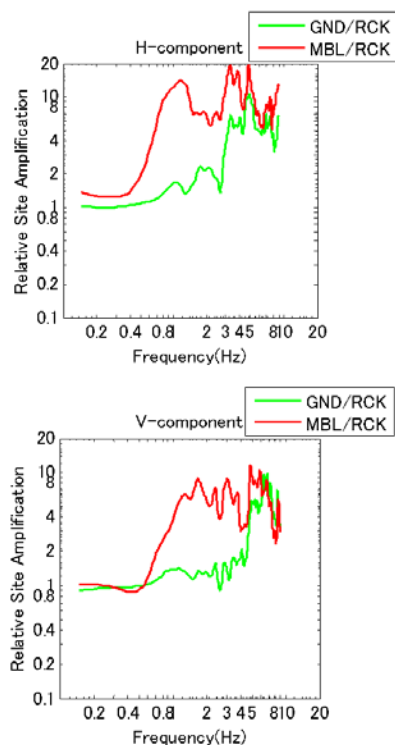


図4 GNDとMBLの増幅度特性

度があったと思われる。また、周波数は5Hzくらいが卓越している。

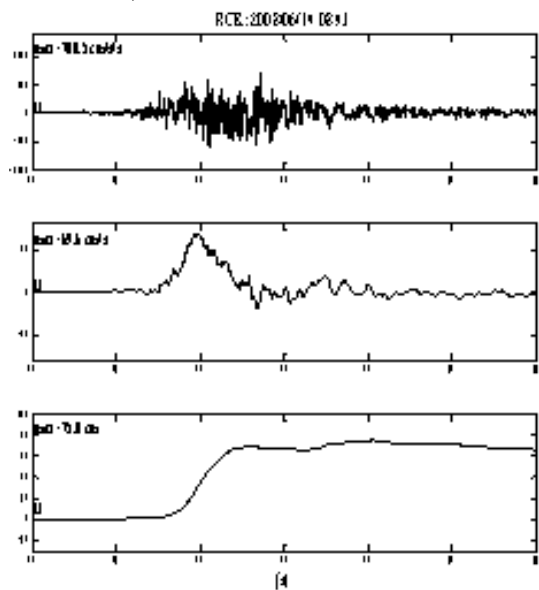


図5 RCKでの加速度・速度・変位波形(上下動)

図4にRCKを基準とした場合、GNDとMBLの水平動成分(南北、東西成分の合成)と上下動成分の増幅度特性を示す。GNDの場合、水平動成分では、両成分共に3Hzくらいまでは増幅度はなく、RCKとほぼ同様の揺れだったと考えられる。その後、水平成分では5Hz辺りで8倍くらいに、上下動成分では5~8Hzで5~8倍に増幅される。一方、本震後の移動土塊B上のMBLでは水平・上下成分共に、0.5HzくらいまではRCK及びGNDと同じ揺れであるが、1~3Hzで5~10倍、3~8Hzで4~10数倍程度増幅されている。このMBLの増幅度は本震前の土塊Bについての値ではないが、このような手法で地すべり斜面での地震動を予測し地すべり危険度を評価できる。

#### ②想定震源断層運動による地殻変動

地すべり斜面を地震断層が走っている場合は勿論であるが、一般に震源域では大きな変位が生じる。特に、地すべり斜面では局所的な水文・地形・地質の違いにより空間的に非一樣な変動が生じ斜面崩壊に強く関与すると考えられる。これ故、想定断層モデルから理論的に地殻変動を評価し、地すべり斜面への影響を検討する必要がある。今回の地震についてはダム設置の加速度計の記録を利用できる。荒砥沢ダム監査廊の本震加速度記録を積分し変位波形を求めたところ75cmの隆起を得た。ダムから北方約2kmの地すべり地では強烈な強震動に加え空間的に非一樣で大きな地表面変動があり、これらが斜面崩壊に寄与したものと考えられる。図5にRCKでの上下動の加速度・速度・変位波形を示す。其々最大値は、加速度700gal、速度69cm/s、

変位 75cm である。

### ③地震時の地すべり斜面の振動性状と安定性

地すべり地域の地盤は横方向に一様ではなく crack 群により分断されている。このような複雑な地盤構造地域では、上下・横方向への広がりに対応する周波数領域の振動が影響を受ける。地すべり地における既往の観測によれば、2~10Hz の中間周波数帯域では crack 群の固有振動により振幅並びに振動方向等の振動特性が強く影響される。このため、地震或いは微動観測から地すべり斜面の震動特性を把握することより強震時の挙動を予測し、地すべり危険度を評価する必要がある。

図 6 に本震時の地すべりから 3 週間後の移動土塊 B の MBL 点で観測された余震 M4.0 時の水平 2 成分の波形を示す。基線が S 波主要動部分でずれているのが見える。地震動短周期成分に 300 秒程度の長周期成分が重なっている。クラックで分断された地盤ブロックが短周期の強い揺れにより約 1~2Hz で共振(図 4 参照)し、傾斜運動を起こした。そのため地震計振子に step 状加速度変化が生じ、北西に  $23\mu^\circ$  傾いた。これは土塊の乗り上げ運動の方向とは逆方向の動きであった。本震時に移動した土塊 B は別の土塊 A にぶつかり乗り上げるようにして停止したが、余震により地盤ブロックが共振し、時に強い揺れの場合には傾斜、上下運動を起こしながら更に安定な状態へと向かっていることがわかった。

ここに示したのは地すべり発生から 3 週間後のまだまだ不安定状態下の観測例であるが、既往地すべり地で降雨量が多かったり、貯水池の湛水量が多かったりして地下水位が上昇している時であればこのような中規模地震時でも応答すると考えられる。

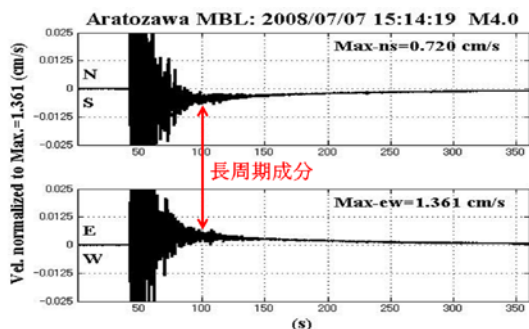


図 6 地すべり斜面の地震応答

### ④地すべり斜面における集水状況(水系・谷筋分布)

地すべり斜面における水系(谷筋)部分は不安定地盤でありその把握は崩壊の境界や移動方向を推定する上で重要である。

図 7 に示しているように、荒砥沢ダム湖湛

水前の 10mDEM によって水系の地形解析を行い、得られた水系と移動土塊の位置関係を GIS 手法により調べたところ、崩壊の境界は、左岸側の上端付近では既往の谷筋とよく一致している。また、今回崩壊・移動した所では水系が主に南東方向に並行して延びていることがわかる。これは斜面の方向であり土塊の移動方向にも一致する。

### ⑤地すべり斜面末端脚部の地質構造及び地下水分布

地すべり運動の端緒となるのは斜面末端部である。そのため、ボーリングによる地質・地下水分布調査を行うことが求められる。また、地下水位に直接関係するダム湖の湛水状況を常に監視する必要がある。

本研究ではボーリングを実施できなかった。図 7 の地震直前、図 1 の地震直後のオルソ写真から分かるように、ダム湖はほぼ満水状態であり、沢深く浸水していた。このため、移動土塊 A 及び B の脚部は地下水位が高く液状化し易い状況にあったと考えられる。

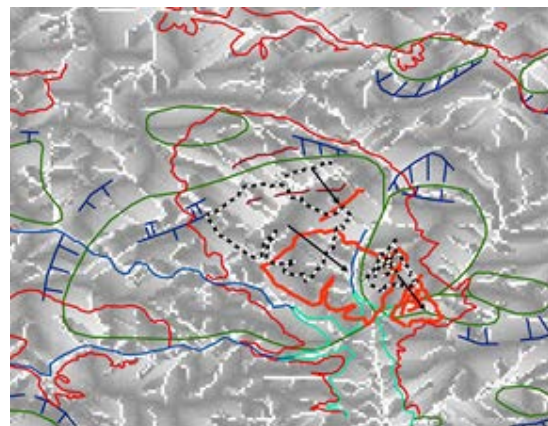


図 7 10mDEM による水系の抽出

### ⑥PS-InSAR による地震誘発地すべり地の抽出

図 6 に示した地すべり斜面の地震応答観測から、一旦すべった既往の地すべり地は、強震時でなくても中小地震時でも安定性が悪ければ応答すると考えられる。顕著な地盤変状でないため確認しにくいものと思われる。

従来、既往の地すべり地の抽出は、地形図、地質図、空中写真等から目で判断されてきた。また、地震による地すべり活動の履歴調査(危険度評価)は、地震前後の地表面の変動(変位)を抽出することが技術的に困難であったため行われていなかった。しかし、地震による地すべり活動は、衛星「だいち」搭載の PALSAR レーダを用いた干渉解析(InSAR)から得られる地震前・後の衛星-地表面間の距離変化(PS-InSAR 変位量)から検出するこ

とが可能になってきた。我々は、2007 年能登半島地震の際、山地の既往地すべり地やその周辺で顕著な InSAR 変位量を検出し対応する地盤変状を現場で確認し地震誘発地すべり地の検出には InSAR が有効であることを検証した(図 8)。もし中小地震時に地すべりが誘発されたならば、来るべき大地震時には高い確率で再活動すると考えられる。本研究では、既往の地すべり地で中規模程度の地震による活動履歴を InSAR により調べることにより危険な地すべり地を検出することを提言する。



図 8 InSAR による誘発地すべり地の抽出

#### 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 9 件)

- (1) Matsunami, K., W. Morii, T. Saito, H. Fukuoka: Earthquake-induced tilts, up and down motions of a huge landslide mass triggered by the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in Japan, The 2nd World Landslide Forum Abstracts, p630, 2011, 査読有
- (2) Saito, T., K. Matsunami: The 3D analyses of the huge landslide mass movements triggered by the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in the upper reach of the Aratosawa reservoir, The 2nd World Landslide Forum Abstracts, p403, 2011, 査読有
- (3) Saito, T., K. Matsunami: The initiation processes of huge landslide masses triggered by the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in the Aratosawa reservoir, The 2nd World Landslide Forum Abstracts, p403, 2011, 査読有
- (4) Saito, T., K. Matsunami: Detecting the

surficial displacements triggered by the 2007 Noto Peninsula Earthquake by the use of InSAR and GIS techniques, The 2nd World Landslide Forum Abstracts, p642, 2011, 査読有

- (5) 汪 發武・Muhammad Wafid A.N.・張帆宇・竹内篤雄: インドネシア西スマトラ島における 2009.9.30 M7.6 地震によって発した Tandikek および Malalak 高速長距離運動地すべり, 日本地すべり学会誌, Vol.48, No.4, 29-34, 2011, 査読有
- (6) Hiroshi Fukuoka, Gonghui Wang, Toyohiko Miyagi, Peng Cui, Ogonnaya Igwe, and Ekaterina Georgieva (2010): Long runout mechanism of recent earthquake-triggered landslides in Japan and China. EGU (European Geosciences Union) General Assembly 2010, Geophysical Research Abstracts, Vol.12, EGU2010-6596.
- (7) Hiroshi Fukuoka and Ogonnaya Igwe (2010): The Mechanical Behavior of Soils from Ugueme Landslide, Nigeria. EGU (European Geosciences Union) General Assembly 2010, Geophysical Research Abstracts, Vol.12, EGU2010-8509.
- (8) Hiroshi Fukuoka, Atitkagna Dok, Subagyo Pramumijoyo, and Teuku Faisal Fathani (2010): Geological Control on Stability of Excavated Rock Slope at Jeruklegi Claystone Quarry, Cilacap Regency, Central Java Province, Indonesia. EGU (European Geosciences Union) General Assembly 2010, Geophysical Research Abstracts, Vol.12, EGU2010-14473.
- (9) Hiroshi Fukuoka, Dwikorita Karnawati, Wahyu Wilopo, and Ign. Sudarno (2010): Mechanism of Landslide in response to the West Sumatra Earthquake of September 30, 2009. EGU (European Geosciences Union) General Assembly 2010, Geophysical Research Abstracts, Vol.12, EGU2010-14491.

[学会発表] (計 4 件)

- (1) 松波孝治・森井 互・齊藤隆志・福岡浩・山元周吾・岡本 茂・井川 猛: 荒砥沢巨大地すべり地及びその周辺地域における強震動観測, 第 30 回自然災害学会学術講演会講演概要集, 東大生産研, pp.175-176, 2011/11/19.
- (2) 齊藤隆志・松波孝治: 2008 年岩手宮城内陸地震時に荒砥沢ダムで発生した地すべりの移動開始とすべり面の検討, 第 30 回自然災害学会学術講演会講演概要集, pp.167-168, 2011/11/18, 東大生産

研.

- (3) 森井互・齊藤隆志・松波孝治: 2008年岩手・宮城内陸地震により発生した巨大地すべり移動山塊の余震に誘発された傾斜・上昇・下降運動, 2011年地球惑星科学連合大会, P19, 2011/5/25, 千葉幕張メッセ.
- (4) 齊藤隆志・松波孝治・福島洋: InSAR解析手法を用いた強震時の地盤変動検出(2007年能登半島地震), 2010年地球惑星科学連合大会, P23, 2010/5/26.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松波 孝治 (MATSUNAMI KOJI)  
京都大学・防災研究所・准教授  
研究者番号: 70027291

### (2) 研究分担者

齊藤 隆志 (SAITO TAKASHI)  
京都大学・防災研究所・助教  
研究者番号: 10225716  
森井 互 (MORII WATARU)  
京都大学・防災研究所・助教  
研究者番号: 30221633  
福岡 浩 (FUKUOKA HIROSHI)  
京都大学・防災研究所・准教授  
研究者番号: 40252522  
(2009年度のみ)

汪 発武 (OU HATSUBU)  
京都大学・防災研究所・助教  
研究者番号: 10324097

### (3) 連携研究者

汪 発武 (OU HATSUBU)  
島根大学・総合理工学部・准教授  
研究者番号: 10324097