

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2006-2008

課題番号：18380094

研究課題名（和文）大規模再活動型地すべりの危険度評価と被害軽減化対策

研究課題名（英文）Hazard assessment of catastrophic reactivated landslide and damage mitigation countermeasures

研究代表者

王 功輝 (WANG GONGHU1)

京都大学・防災研究所・助教

研究者番号：50372553

研究成果の概要：地震や降雨などで再活動した地すべりに対する現地調査及び室内実験研究を行った結果、再活動とする大規模地すべりの土塊が地すべり活動により粗となり、土塊内部において高速地すべりが発生しうることが分かった。地すべり移動土塊の範囲・力学特性を同定する手法を開発し、地すべり土塊の移動と土層のせん断特性や地下水位の変化及び潮汐による大気圧の変化などの関係を解明し、再活動型地すべりの発生危険度評価手法を開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2007年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	12,300,000	3,690,000	15,990,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学・林学・森林工学

キーワード：(1)再活動地すべり；(2)地震；(3)降雨；(4)斜面変動；(5)せん断強度；
(6)地下水位；(7)間隙水圧

1. 研究開始当初の背景

これまでに、「再活動地すべり」の特徴が、その規模が大きいものの、移動速度がそれほど速くなく、突発災害にあまりならないことが一般的に受け入れられている。しかし、2004年10月の新潟県中越地震により、多くの地すべりが再び動き出し、高速・長距離運動し、甚大な災害をもたらした。また、同年8月に、徳島県木沢村の阿津江地区において、集中豪

雨により大規模再活動地すべりが高速長距離運動をした。このような現象は海外でも発生している。例えば2005年にアメリカ・カリフォルニア州において、集中豪雨により1995年に降雨が原因で発生したLa Conchita地すべりが再活動し、高速で流下した土砂により、36軒の家が全壊・損傷され、10人の命が奪われた。

以上の事例から、「再活動地すべり」でも高速・長距離運動地すべりとして再活動することを無視できない。特に“「再活動地すべり」は高速・長距離運動しない”という認識の上で、土地利用を計画するケースが少なくない。例えば、東竹沢地すべりの向かい側には、小学校が建設されていた。La Conchita地すべりの末端部には民家が密集していた。山地が国土面積の70%となっている日本では、「再活動地すべり」を避けて土地利用をすることは非常に困難なことである。したがって、「再活動地すべり」について、詳細な調査・研究を行い、その中から、大規模再活動型地すべりの危険度評価を行い、高速・長距離運動の危険性のある地すべりを抽出することは安全な社会の形成において大変重要なことである。

2. 研究の目的

(1) 過去の地すべりの誘因を調べ、対象地域における地すべりの再活動条件を解明する。

(2) 過去の地すべりの運動により生じたすべり面におけるせん断特性の変化とその地すべり土塊内における構造および土質せん断特性の変化を解明し、地震降雨により再活動とする地すべり土塊において高速長距離運動を引き起こす危険度評価の手法を開発する。また、異なる誘因による再活動する地すべり土塊の体積と運動範囲を同定する手法を開発する。

(3) 再活動地すべり土塊の変動特性と地下水位変化の関係を解明し、地下水位の観測に基づいた地すべりの発生予測方法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 大規模再活動地すべりに対する長期現地計測によって、斜面変動と降雨・融雪や潮汐などの関係を解明する。

(2) 地すべり再現試験機によるすべり面粘土のせん断特性研究と地すべり移動機構の関係を解明する。また、地すべり移動土塊のせん断特性について調べる。

(3) 高精度表面波による移動土塊の範囲と物性の変化を同定し、再活動地すべり移動土塊において高速地すべりの発生危険度を評価する。

(4) 斜面における地震動の計測により、地震時再活動地すべりの発生機構を解明する。

4. 研究成果

(1) 2004年新潟県中越地震により発生した山古志村東竹沢、尼谷地と寺野地すべりに対して、現地調査および土質実験を行い、再活動した地すべりの規模、形態、地質構造および移動土塊のせん断特性の関係を調べた。その結果は下記の通りである。

① 東竹沢地すべりと寺野地すべりは過去に地すべりを引き起こした土塊内部の再活動地すべりである。発生前の斜面勾配が、13-15度と極めて緩斜面である。地震時地すべり再現試験の結果より、シルト層は地震に強いことから、今回の高速地すべりの運動は砂層内ですべり面が形成されたものと推定される。摩擦角は、シルトでは24度、砂では35度以上と推定されることから、降雨融雪によって水位が上昇する場合には、シルト層がすべり面を形成すると推定される。

② 尼谷地地すべりは泥岩地域にある既存の地すべり地形内で発生した再活動地すべりである。風化した泥岩土層において繰り返し載荷による液状化現象が発生しにくい、大変形に伴って、高い過剰間隙水圧が発生し、せん断抵抗が低下しうることがわかった。また、せん断速度の増大に伴って、土層の残留強度が小さくなる傾向が見られ、これは移動した土塊において大変動が続けられた一原因として考えられる。

(2) 2004年台風10号による降雨で発生した白石地すべり地から採取した試料(風化した蛇紋岩及びすべり面粘土)に対して異なるせん断速度で行ったリングせん断試験結果により、風化した蛇紋岩及びすべり面粘土の残留強度がせん断速度の増加に伴って大きくなる傾向が見出した(図1)。このことは再活動した白石地すべりが4mを越えた斜面変動が発生しても崩壊に至らなかった原因として有力である。

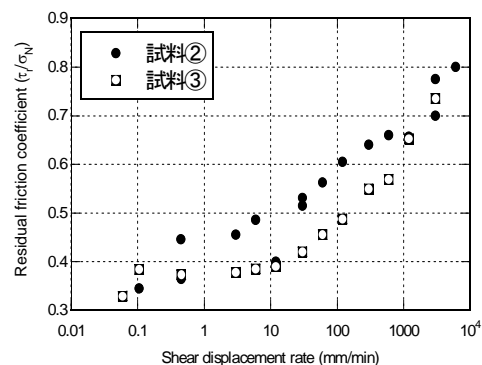


図1 白石地すべり地のすべり面付近から採取した試料のせん断速度と残留断強度
(3) 2004年台風10号による豪雨で発生した阿津江地すべり地の上方に形成した未崩壊大規模不安定斜面において斜面変動と地下

水位などについての長期観測を行った結果、この再活動した地すべり土塊が粗な状態となっているため、透水性が高く、深層地すべりにもかかわらず、地すべり変動が降雨に素早く反応したことが分かった。

(4) 再活動地すべりの発生・運動機構をより理解するため、古くから地すべり変動が生じており、現在も移動している高知県高岡郡仁淀村の長者地すべりと米国コロラド州 Hinsdale 県 San Juan Mountains に位置する大規模な Slumgullion 地すべりに対して、現地調査と土質実験研究を行った。長者地すべりのすべり面付近から採取した蛇紋岩においては、その残留強度がせん断速度に依存し、せん断速度が増大すると、せん断抵抗が大きくなる傾向が確認された。Slumgullion 地すべり地に対しては、すべり面付近から採取した試料においては速度効果が確認できたが、源頭部および移動土塊の表層からの試料において確認できなかった。これはせん断に伴ってすべり面付近の土が粘土化したことだと考えられる。さらに Slumgullion 地すべり地に対して、潮汐による大気圧の変化、地下水位の変動および斜面変動について高精度観測を行い、斜面変動を大気圧の変動から解明した (図2)。

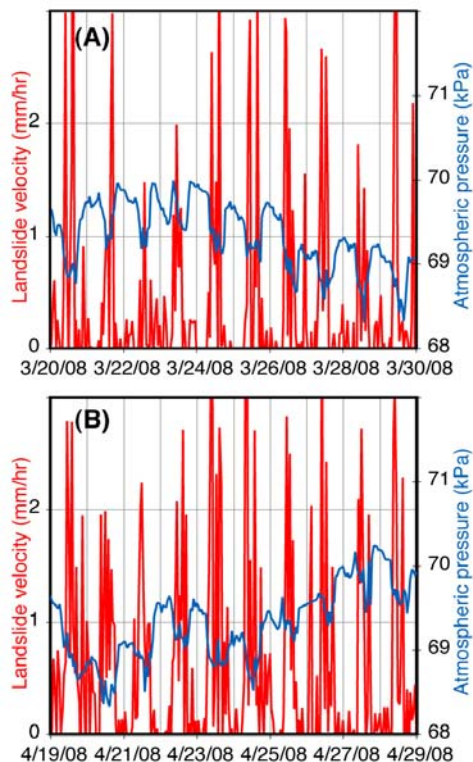


図2 Slumgullion 地すべり地において観測された地すべり変動と大気圧変化

(5) 高精度表面波探査による再活動とする地すべり移動土塊の範囲とその力学特性を同定する手法を開発するため、京都大学防災研

究所が長年に渡って綿密な計測を行っている徳島県三好市池田町西井川地すべり地において表面波探査を行い、この手法の有効性を確認できた。この手法の有効性が中越地震により発生した尼谷地地すべり地への応用でも確定できた。また、北九州市内の地すべり地において高精度表面波探査および簡易貫入試験を行い、急斜面における地すべり地で地すべり移動土塊を調べて、降雨による再活動地すべり地において土砂災害の発生危険度について評価した。

(6) 四川大地震により発生した東河口大規模地すべり地において崩壊の堆積域と未崩壊斜面の二か所で余震観測を行った。観測された余震の記録を検討した結果、以下の二つの特徴が認められた。

① 崩壊の堆積域での加速度に比べて、未崩壊斜面での加速度の方が大きい (図3)。

② フーリエスペクトルをとると、両者の卓越周波数に大きな違いがある。すなわち、卓越周波数は、崩壊の堆積域では 5~10Hz であるのに対し、未崩壊斜面では 2Hz である (図4)。近く地震観測点により記録された本震の地震動は、2Hz 程度にも大きなパワーを有していたため、本震において広範囲で斜面の共振が発生し、大規模な崩壊に至ったと考えられる。

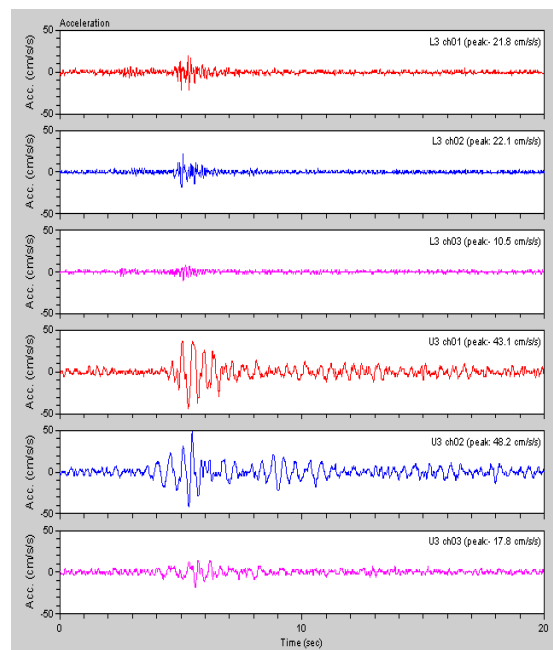
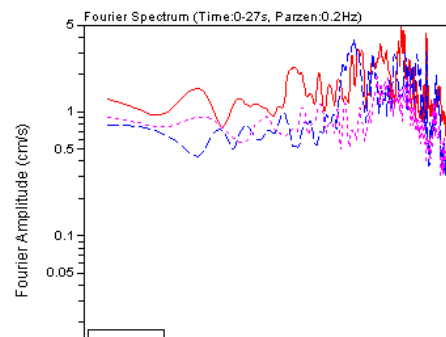


図3 東河口地すべりにおける余震記録 (2008.7.24) L3 は、堆積域。U3 は、未崩壊域における加速度記録



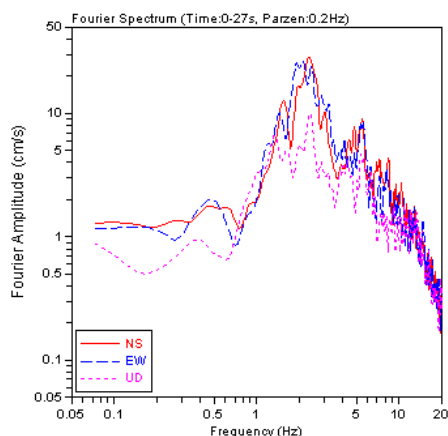


図4 東河口地すべりにおける余震(2008.7.24)のフーリエスペクトル。上は堆積域(L3)、下は未崩壊斜面(U3)に対応する

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 12 件)

- ① Gonghui Wang, Akira Suemine, and William Schulz (2009): Residual shear strength characteristics and mechanism of a rainstorm-triggered landslide in Tokushima Prefecture, Japan. *Earth Surface Processes and Landforms* (in press) (査読有)
- ② 王功輝・末峯章 (2009): 徳島県那賀町白石地すべり地における蛇紋岩の残留強度特性について. *日本地すべり学会誌* (出版中) (査読有)
- ③ Dexuan Zhang, Gonghui Wang, Chunyong Luo, Jun Chen, Yunxi Zhou (2008): A rapid loess flowslide triggered by irrigation in China. *Landslides* 6(1): 55-60 (査読有)
- ④ Gonghui Wang, Kyoji Sassa (2008): Seismic loading impacts on excess pore water pressure maintain landslide triggered flowslides. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(2):232-241 (査読有)
- ⑤ Huabin Wang, Gonghui Wang, Fawu Wang, Kyoji Sassa and Yuping Chen (2008):

Probabilistic modeling of seismically triggered landslides using Monte Carlo simulations. *Landslides* 5(4): 387-395 (査読有)

- ⑥ Dexuan Zhang, and Gonghui Wang (2007): Study of the 1920 Haiyuan earthquake-induced landslides in loess (China). *Engineering Geology* 94: 76-88 (査読有)
 - ⑦ 佐々恭二・福岡浩・汪発武・王功輝 (2007): 平成 16 年新潟県中越地震により発生した再活動地すべりにおける高速地すべり発生・運動機構. *日本地すべり学会誌*, 44(2): 40-47 (査読有)
 - ⑧ Gratchev I., Sassa K., Osipov V., Fukuoka H., Wang G. (2007). Undrained cyclic behavior of bentonite-sand mixtures and factors affecting it. *Geotechnical and Geological Engineering*, 25(3): 349-367 (査読有)
 - ⑨ Gonghui Wang, Kyoji Sassa, Hiroshi Fukuoka, and Takahiro Tada (2007): Experimental Study on the Shearing Behavior of Saturated Silty Soils Based on Ring Shear Tests. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 133(3): 319-333 (査読有)
 - ⑩ Hiroshi Fukuoka, Kyoji Sassa, Gonghui Wang (2007): Influence of shear speed and normal stress on shear behavior and shear zone structure of granular materials in naturally-drained ring shear tests. *Landslides* 4(1): 63-74 (査読有)
 - ⑪ Hiroshi Fukuoka, Kyoji Sassa, Gonghui Wang, Ryo Sasaki (2006): Observation of shear zone development in ring-shear apparatus with a transparent shear box. *Landslides*, 3(3): 239-251 (査読有)
 - ⑫ Lourenco S.D.N., Wang G., Sassa K., Fukuoka H. (2006): Volumetric behavior of saturated sands under poor drainage conditions. *Journal of Geophysical Research*, VOL. 111, F03004, doi:10.1029/2005JF000324 (査読有)
- [学会発表] (計 15 件)
- ① Wang G., Kamai T., Chigira M., Wu X.Y., Zhang D.X. (2009): Some rapid and long traveled landslides triggered by the May 12, 2008 Sichuan earthquake, China. European Geosciences Union General Assembly, Vienna, April 23, 2009 (査読無)
 - ② Chigira M., Wu X.Y., Inokuchi T., Wang G. (2009) : Distribution and features of landslides induced by the 2008 Wenchuan Earthquake, Sichuan, China. European Geosciences Union General Assembly, Vienna, April 23, 2009 (査読無)
 - ③ Wang G., Kamai T., Chigira M., Wu XY (2008) : Some catastrophic landslides triggered by the May 12, 2008 Sichuan

- earthquake. Proc. 1st World Landslide Forum, Tokyo, Vol.1, pp: 647-651 (査読無)
- ④ Wang G., Suemine A. (2008): Geotechnical properties for a rainstorm-triggered landslide in Kisawa Village, Tokushima Prefecture, Japan. In: Landslides and Engineered Slopes (eds Chen, Zhang, Li, Wu, Ho). Proceeding of the 10th ISL conference, 2008 in Xi'an, China, pp: 1669-1673 (査読無)
- ⑤ Wang H.B., Wu S.R., Wang G., Wang F.W. (2008): Probabilistic hazard mapping of earthquake-induced landslides. In: Landslides and Engineered Slopes (eds Chen, Zhang, Li, Wu, Ho). Proceeding of the 10th ISL conference, 2008 in Xi'an, China, pp: 1469-1474 (査読有)
- ⑥ 王功輝・末峯章 (2007): 徳島県那賀町白石地すべり地の変動特性とそのメカニズムについて。斜面災害における予知と対策技術の最前線に関するシンポジウム論文集、地盤工学会、福岡 (査読無)
- ⑦ Wang G., Sassa, K., Fukuoka H. (2007): A flowslide during the 2003 Sanriku-Minami earthquake, Japan. Proc.4th Intel. Conf. Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment. October 2007, Chengdu (査読有)
- ⑧ Wang G., Zhang D.X., Furuya G., Sassa K. (2007): A long-traveled loess landslide triggered by the 1920 Haiyuan earthquake in China and its mechanism. Proceedings of the First North American Landslide Conference, Landslides and Society: Integrated Science, Engineering, Management, and Mitigation (Editors: V.R. Schaefer, R.L. Schuster, and A.K. Turner), Vail, Co. AEG Special publication No. 23 (on CD) (査読有)
- ⑨ Wang G., Suemine A., Furuya G., Masahiro K. (2006): Rainstorm-induced landslides in Kisawa village, Tokushima Prefecture, Japan. Proc. IAEG 2006 in Nottingham (paper available on CD) (査読有)
- ⑩ Wang G., Sassa K. (2006): Physical modeling of landslides in ring shear tests and flume tests (Keynote paper). In Physical Modeling in Geotechnics -6th ICPMG'06 (Ng, Zhang, Wang eds), Hong Kong, 2006, pp.113-125 (査読有)
- ⑪ Wang G., Zhang D.X., Furuya G., Sassa K. (2006): On the mechanism for a long-travel loess landslide triggered by the 1920 Haiyuan Earthquake in China. In Proceeding of INTERPRAEVENT 2006 in Niigata. Vol. 1, 3-12 (査読有)
- ⑫ 蔣景彩・王功輝 (2008) : 2008年四川大地震災害現地調査報告—斜面崩壊・地すべり被害を中心として—, (社)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pp.69-70 (査読無)
- ⑬ Sassa K., Fukuoka H., Wang F.W., Wang G., et al. (2006): Landslide Disasters Triggered by the 2004 Mid-Niigata Prefecture Earthquake in Japan. 京都大学防災研究所年報, No.49 B, pp.119-136 (査読有)
- ⑭ Sassa K., Fukuoka H., Wang F.W., Wang G. (2007): Landslides Induced by a Combined Effect of Earthquake and Rainfall. In: Progress in Landslide Science (Sassa, Fukuoka, Wang, Wang, eds.), Springer Verlag, pp. 193-226 (査読有)
- ⑮ 王功輝・末峯章・佐々恭二(2007):徳島県那賀町白石地すべり地における蛇紋岩の残留強度特性。第46回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 125-128 (査読無)

[図書] (計 1 件)

- ① Sassa K., Fukuoka H., Wang F.W., Wang G. (eds.): Progress in Landslide Science. Springer Verlag, Heidelberg, 375 pages, 2007

6. 研究組織

(1)研究代表者

王 功輝 (GONGHUI WANG)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号 : 50372553

(2)研究分担者

末峯 章 (SUEMINE AKIRA)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号 : 00109092
汪 発武 (FAWU WANG)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号 : 10324097