

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18710158
 研究課題名（和文） 定点連続観測と地表面計測の融合による地すべり土塊の移動－変形機構の解明
 研究課題名（英文） Study on a relationships between displacement and deformation of a landslide mass by fixed point monitoring and surface geometry measurement
 研究代表者
 岡本 隆（OKAMOTO TAKASHI）
 独立行政法人森林総合研究所・水土保持研究領域・主任研究員
 研究者番号：30353626

研究成果の概要：地すべりの移動にともなう土塊の変形機構を明らかにするため、新潟県の再活動型地すべり地において、地上型レーザスキャナによる面的計測と多層移動量計による定点連続観測を用いて変形過程を解析した。その結果、地すべり土塊の運動は面的には周辺地形に規制され隆起帯と沈降帯が交互に現れることや、積雪前に活発な移動と引張変形を表していた土塊が、積雪期には積雪荷重の影響を受けて一体化して運動することが明らかとなった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,200,000	0	1,200,000
2007年度	800,000	0	800,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	300,000	3,300,000

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：浅層地すべり、地上型レーザスキャナ、自動観測、変位、変形、新潟県中越地震

1. 研究開始当初の背景

我が国に多く分布する第三紀層の再活動型地すべりは、活動と休止を反復しながら長期間にわたって緩慢な速度で下方へ移動するクリープ的挙動を示すものが多く、その移動過程でしばしば土塊の変形を生じる。地すべり土塊は変形の拡大によって間隙比が増加するため、時には降雨や融雪などの外的要因を誘因として急速な運動へ変化したり、流動化へ至ったりする場合がある。そのため、防災的な見地からクリープ挙動を示す地すべりの変形機構の解明が早急に求められているが、現状では未だに不明な点が多い。この理由として、地すべりの移動－変形過程に

関する有効な観測手法が確立されていないことが挙げられる。例えば、地中伸縮計などの地すべり移動観測装置は、地すべりの10分間隔の移動量など時系列的に密な観測が可能であるが、地すべり地の中の1点の情報のため、面的な広がりを持つ地すべりの動きを全て表現することができない。また地すべり地に設置した移動杭の光波測量は、多量の杭を設置することで、地すべりの動きを面的に追うことができるが、作業量を考えると時系列的に高密度な計測は困難である。本研究は、これまで個別に行われてきた地表面計測（二次元ベクトル、時間的に低密度）と、移動量計による連続観測（スカラー、時間的に

高密度)を融合することで、地すべりの面的な変形挙動を時系列的に明らかにすることが可能になると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、次の2項目を研究目的とする。

(1) 移動量計の連続的な観測結果(点情報)を用いて、地すべりの地表面測量結果(面情報)を時系列的に展開する手法を開発する。

(2) 地すべりの移動・変形過程を面的かつ時系列的に解明するとともに、誘因である降雨・融雪との関係性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 地上型レーザスキャナによる地すべり地の地表面形状計測

過去に発生した大規模地すべりによる崩積土が再活動している新潟県上越市の伏野峠地すべり試験地を対象として、地上型レーザ計測を用いた地表面変位分布の現地計測を複数回実施した。計測に先立ち、地すべり活動の比較的活発な中部ブロックおよび下部ブロックにて5m刻みのメッシュおよび300点のメッシュ交点を設定した。この全交点に移動杭を打設したうえでその三次元座標を地上型レーザスキャナを用いて計測した。計測に当たっては移動杭先端に取り付けた球状の計測球を測り、逆算によって地表面の位置座標を求めた。計測は2006年10月および同年12月の2回実施し、両期間の間に生じた地すべり地表面の変位方向、変位量を求めた。

(2) 自動観測による地すべりの長期動態観測

継続的な変動が認められる伏野地すべり地の中部ブロックを主な対象として観測を行った。当地すべり地は冬季の積雪深が3-5mと豪雪地域に属することに加え、地すべりの年間移動量が一部では1m以上になるなど特殊な環境下にあるため、従来型の地表伸縮計ではワイヤーが積雪の圧縮やグライド等の影響を受けるため正確な観測が困難であった。そこで、積雪状況下でも安定して長期変位量を計測可能な孔内多層移動量計を中部ブロックの2カ所(E3、E4)に設置した。本計器は、先端にアンカーを取り付けた15~20本のガイドチューブ付きステンレスワイヤーを、ボーリング孔内の地表面付近から不動層にかけての0.5~1.0m間隔で埋設し、地上部ボックスまで引き上げたワイヤーの伸びをボックス内のポテンシオメータで計測する構造になっており、1カ所に付き複数深度の変位量を計測できる。孔内には周辺地盤と同程度の固さを有したベントナイトモルタルを充填して周囲と密着させ、地すべり変位の伝達性を高めた。最大観測変位量は約7,500mm、このうちポテンシオメータのリセットをとまなわれない連続観測変位量は約

3,140mmであり、計測精度は0.3mmである。多層移動量計の計測部である地上部ボックスは防水耐圧構造のため積雪による影響を受けず、ワイヤーは全て土塊内に埋まるため、動物による嚙害の心配もない。各ボックスからの信号ケーブルは地すべり地脇の小屋内にあるデータロガーと接続され、全て10分間隔で記録され、平均化ルーチン等を経て日単位の観測値に変換される。

また地すべり地近傍の不動平坦地に約300m²の面積をもつ気象観測露場を整備し、積雪環境を中心とした気象観測を行った。観測項目は、降水量、融雪水量、積雪深である。降水量計にはヒータが内蔵されているため積雪時および氷点下時の観測も可能である。

4. 研究成果

(1) 地すべり地における地表面形状の変化を図1に示す。水平方向の変位については、全300点の地表面変位量は最小1mm-最大456mm、平均42mmとなった。変位方向は主として斜面下方に向けてやや「く」の字を描くように緩く屈曲しており、これは地すべり土塊の周辺地形に規制された運動を表していると考えられた。また下部ブロック末端のガリー付近では、地表面の一部がガリー方向へ大きく引っ張られるような大変位が認められた。この動きは地すべり全体の動きから独立していることから地すべりの全体的な動きを示すものではなく、地すべり土塊が細分化していく過程における予兆的現象と捉えることができた。鉛直方向の変位は、最大+34mm、最小-169mm、平均-3mmで全体としては沈下傾向にあった。しかし中部ブロックの末端および下部ブロックの中央では、斜面方向に直交する隆起帯が認められた。隆起帯の幅は15-20mで、沈下帯と隆起帯が交互に現れていることが確認できた。

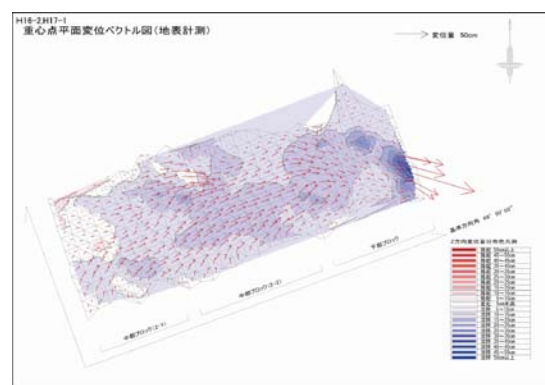


図-1 地表面形状の変化

(2) 地すべりの移動にとまなう土塊の長期変形機構

地すべりの移動観測結果を図2に示す。地すべり移動は、降雨と融雪の増加する秋期から積雪初期にかけて増大し、それにとまなうて土塊は引張側に変形(膨張)した(図3)。

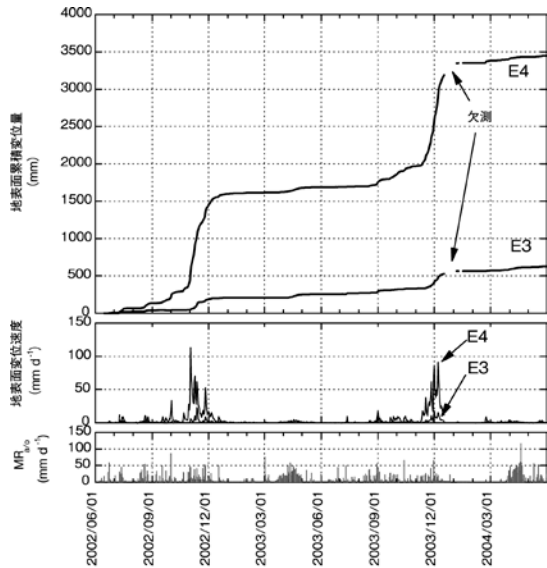


図-2 地すべり変位量の経時変化

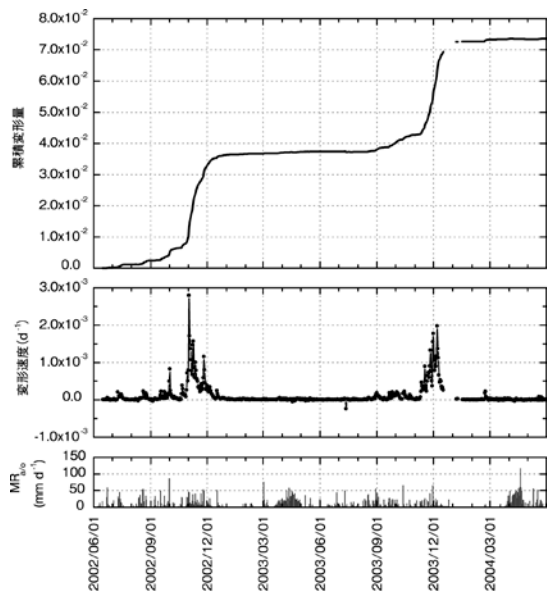


図-3 地すべりの変形量および変形速度の経時変化
積雪期になり積雪層が発達すると地すべりは一時的に停止するが、続く融雪期には再び緩慢な変位が生じた。しかしこの時の変位量は、土塊の上部-下部間でほぼ等しく、地すべり土塊は変形せず一体となってすべり面上を滑動した。このように地すべりの移動にともなう土塊の変形は、秋期から積雪初期にかけてと融雪期の2期間で対照的な様相を示した。移動にともなう地すべり変形特性が期間によって異なる要因を明らかにするため、降雨、融雪量と変形量の応答特性を全期間にわたって解析した結果、秋期から積雪初期にかけての引張変形の増大要因は、誘因である絶対降雨、融雪量に加え、降雨、融雪に対する応答変形が鋭敏化するためと考えられた(図4)。

地すべりの変形が積雪環境に強く影響を受ける観測結果を踏まえ、その変形機構を無限長斜面の安定解析等による物理的側面から検討した。その結果、地すべりの変位、変

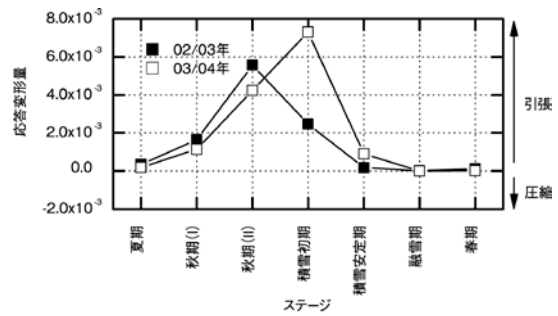


図-4 降雨・融雪に対する地すべりの応答変形量
形を抑制する要因は以下の3点によると考えた。a) 積雪荷がすべり面のせん断強度の増加をもたらし、積雪期の変位、変形を抑制する(図5)、b) 積雪層が地表面を間接的に連結するネット効果を発揮し、積雪期の変形を抑制する、c) 積雪期の長期的な積雪荷がすべり面を圧密し、これにともなって回復したせん断強度の効果が春期から夏期にわたって継続的に発揮され、同期間の変位、変形を抑制する。

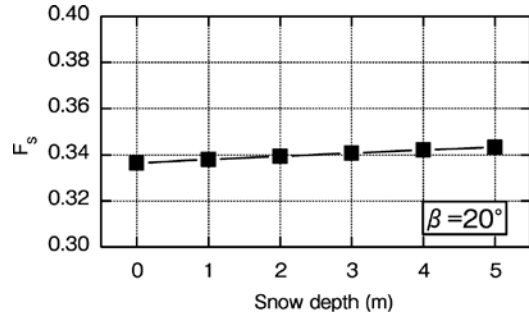


図-5 積雪深の増加にともなう斜面安全率の変化(すべり面勾配 $\beta=20^\circ$ の場合)

(3) 地震時の地すべり変形機構

伏野地すべり地では、2004年に発生した中越地震によって最大震度5強(推定)の地震動が発生した。地震時における地すべり土塊の変形を明らかにするため、地すべりに設置した3基の孔内多層移動量計から得た10分間隔の観測データを基礎として、一次元変形解析および軌跡解析によって新潟県中越地震発生時に運動した地すべり土塊の変形過程を解析した。

地震直後における地すべり土塊の変形過程は斜面の勾配によって異なった。急勾配斜面では地震直後に鋭い圧縮変形が生じたが、地震後1時間が経過すると逆に引張方向に転じ、約12時間後に 4.0×10^{-5} 程度の引張変形量をもって変形を停止した(図6)。これに対して緩勾配斜面では地震直後に大きな引張変形が発生し、その後のわずかな圧縮変形を経て約12時間後に約 1.5×10^{-4} (引張方向)の総変形量をもって変形を終了した。中越地震による土塊変形量は秋期から積雪初期にかけての降雨、融雪による総変形量(約 3×10^{-2})の約0.5%であった。このように、地震時の地すべりの変形運動は地震後0~12時間にわたって継続し、若干の圧縮変形と引張変形の双方で構成されていることが明らかと

なった。

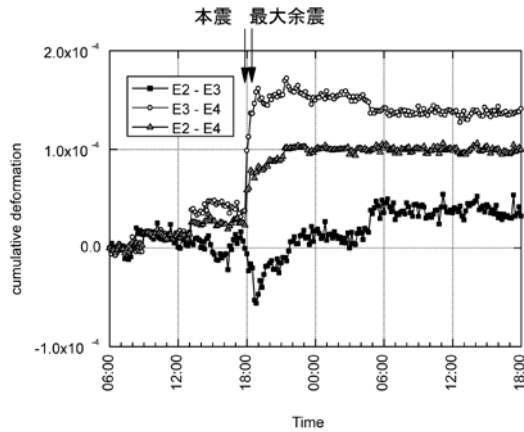


図-6 中越地震発生時の変形量の経時変化

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4件)

- ① Matsuura, S., Asano, S., Okamoto, T., Relationship between rain and/or meltwater, pore-water pressure and displacement of a reactivated landslide, Engineering Geology, 101, 49-59, 2008、査読有り
- ② Okamoto, T., Matsuura, S., Asano, S., Coseismic movement of an active landslide resulting from the Mid-Niigata Prefecture Earthquake, Japan, Landslides and Engineered Slopes From the Past to the Future, 10, 1439-1445, 2008、査読有り
- ③ 岡本隆、松浦純生、浅野志穂、積雪地域における浅層地すべりの変形機構、日本地すべり学会誌、44巻6号、20-30、2008、査読有り、http://www.jstage.jst.go.jp/article/jls/44/6/358/_pdf/-char/ja/
- ④ 岡本隆、松浦純生、浅野志穂、活動中の地すべり地における中越地震発生時の移動および間隙水圧特性、日本地すべり学会誌、43巻1号、20-26、2006、査読有り、http://www.jstage.jst.go.jp/article/jls/43/1/20/_pdf/-char/ja/

[学会発表] (計5件)

- ① 岡本隆、浅野志穂、松浦純生、異なる地震動に対する地すべり変動の比較、第45回日本地すべり学会研究発表会、2008年8月27日、神奈川県箱根町
- ② 中川康一、塚偉、山田茂伸、川添栄計、吉岡真弓、岡本隆、ガウジのせん断分極特性(SIP)と野外への適用、日本応用地質学会平成19年度研究発表会、2007

年10月12日、大阪市

- ③ 岡本隆、松浦純生、浅野志穂、地上型レーザー測量による第三紀層地すべりの高密度変位・変形計測、日本地球惑星科学連合2007年大会、2007年5月20日、千葉市
- ④ 岡本隆、松浦純生、浅野志穂、大丸裕武、航空レーザスキャナを用いた山地の積雪深分布計測における異常値の発生要因、第118回日本森林学会発表会、2007年4月3日、福岡市
- ⑤ 岡本隆、松浦純生、浅野志穂、中越地震によって発生した再活動型地すべりの長期変動観測、第45回日本地すべり学会研究発表会、2006年8月30日、鳥取市

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

独立行政法人森林総合研究所研究成果データベース

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/kouho/seika/2006-seika/p26-27.pdf>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡本 隆 (OKAMOTO TAKASHI)

独立行政法人森林総合研究所・水土保持研究領域・主任研究員

研究者番号：30353626

(2) 研究分担者 なし

()

(3) 連携研究者 なし

()