

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580325

研究課題名(和文)多雪地帯における再活動地すべりの誘因と対策

研究課題名(英文)Cause and countermeasure of reactive landslide in heavy snow region

研究代表者

奥山 武彦 (OKUYAMA, Takehiko)

山形大学・農学部・教授

研究者番号：20343767

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：多雪地帯の大規模採活動地すべり地で大雨，融雪による間隙水圧の上昇実態と土層の特性，積雪状況の観測調査を行った。間隙水圧測定は埋設型間隙水圧計と，大深度既設観測孔に適用可能な深度別測定用ゾンデを使用した。すべり面間隙水圧は浅層の水頭とは異なる挙動を示し，亀裂などによる流動層の関与が考えられる。集水井などによる地下水排除効果も水頭分布に現れた。積雪貯水は1000mmになり，地すべりへの供給を防ぐためには休耕水田の浸透防止が効果的である。

研究成果の概要(英文)：Observations of pore water pressure, soil characteristics and snow density were conducted at a reactive landslide area in Tsuruoka, Yamagata Prefecture, where the snow lay more than 2 meters deep every winter. Specially designed equipment was used for pore water pressure measurement and water sampling in deep wells. Subsurface pressure gauges were also used for pore water pressure recording. Pore water pressure at the depth of slip surface showed changes in a different cause of that at a shallow layer. It may be caused by water flow through cracks and the effect of groundwater drainage works. Water storage by snow layer was estimated up to 1,000 mm. Infiltration prevention works at abandoned paddy field is effective to decrease water charge on a landslide slope.

研究分野：農学

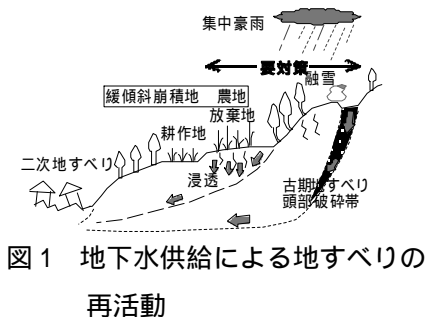
科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：土壌保全 防災 農地地すべり

1. 研究開始当初の背景

わが国は国土の約 73% が山地、丘陵地からなり、耕地面積の 43% は中山間地域にある。地殻変動帯に位置していて豪雨、地震が多いわが国には 7 千個以上の地すべり防止区域が指定され、地すべりや山崩れなどの土砂災害の被害が毎年発生している。古い時代に発生した大規模な崩壊によって形成された緩傾斜斜面は湧水や粘土質土壌に恵まれていることもあって古くから農地として利用されて集落が立地しており、「棚田百選」に選定された地区の多くは地すべり防止区域にあることが知られている。農地は洪水防止や土砂崩壊防止等の国土保全機能を発揮していることが広く認識されているが、耕作放棄地が中山間地域のような条件不利地域等で増大し、本年は全国で 40 万ヘクタールを超えたとされている。中山間地、山間地の農業農村はもともと土砂災害ポテンシャルが高いが、農林業の衰退、近年の気温上昇や豪雨の発生等の気象要因等、地すべりが起こりやすい条件が高まっている。

地すべりは地下水に起因する地盤の強度低下が主因であり、融雪期、梅雨期の発生が多く、対策工としては地下水排除工が中心になっている。地すべり対策を確立するためには、斜面の力学的安定性の評価とともに、地表・地中の水循環を解明することが必要である。地下水の状態は観測孔内の水位として測定、評価されることが多いが、地すべり斜面では、地下水の賦存状態は複雑化した地層構造に支配されており、すべり面に参与している地層の地下水の水頭や流動性を的確に観測・評価する必要がある。



2. 研究の目的

わが国に多数存在する古期に発生した大規模地すべり地では、破砕帯等を通して降水、融雪水が浸透しやすい。地すべり斜面は農地として利用されてきたが、耕作放棄された場所は浸透性が高まり、地下水の供給源となって二次地すべりの誘因になりうる。観測対象の深度別に地下水の水頭測定、採水を可能にするゾンデを使用して、大規模地すべり地帯における再活動地すべりの誘因を解明する。多雪地帯の融雪期における耕作放棄農地からの地下水涵養を低減させる保全的な管理

方法を検討し、気候変動に伴う土砂災害増加の防止に資することができる。

すべり面に作用する間隙水圧の測定は、地すべりの解明に必須でありながら、一般的な地下水位観測では得られない。本研究では深度別の水頭測定や水質分析を 100m 程度の大深度まで、既設観測孔を利用して行うことができるゾンデを製作し、大規模地すべり地の地下水流動状況を明らかにする。これにより、施工された地下水排除工の効果を調べることも可能になる。山形県内の多雪地に試験地を選定して、特に融雪期における地すべり活動の誘因になる地下水供給状況を明らかにする。地すべりブロック内外の農地、林地について、浸透能測定や間隙水圧のモニタリングを行って、浸透防止工による涵養抑制能力を検証し、多雪地すべり地域の農地の保全的な管理手法を提案する。

3. 研究の方法

(1) 試験地の選定

山形県には東北地方で最も多い地すべり防止区域があるが、その多くが出羽山地およびその周辺に集中している。同地域は有数の多雪地であるとともに、火山灰質の海成層から構成されており、現在も隆起が続いていて崩壊ポテンシャルが高い。古くから地すべり被害が続き、多くの地すべり防止区域が指定されて対策が実施されている。試験地として鶴岡市東部に位置する七五三掛地区を選定した。同地区は 1991 年に指定された地すべり地であり、地区内に棚田が分布しているが、周辺には耕作されなくなった農地が多い。2009 年に活動したブロック(最大約 700 × 800 m) は地下水排除工の施工によって沈静化しているが、隣接ブロックで大深度に変状が発見され、GPS や孔内傾斜計による移動量モニタリングや地質資料の集積がすすんでいる。試験地区の地形と観測地点を図 2 に示す。



図 2 試験地の位置

(2) 大深度観測孔用ゾンデの製作

地すべり対策において実施される調査ボーリングは、その点数に限りがあり、特に大深度のものは少ない。1本のオールストレーナ孔で深度別の観測、採水が可能なゾンデ（図3）は、任意の深度における水頭測定や採水を随時行えるものであり、限られた調査ボーリングを活用するうえで極めて有効である。これまで、深度50mまでの口径40~75mmの観測孔に応じたタイプのもを製作し、地すべり斜面や扇状地の帯水層の地下水頭、水質の観測を実施してきた。この方式を100m程度の大深度観測孔に適用するために、観測孔内で測定区間の上下を遮断するためのゴムパッカーの耐水圧と遮断性能を向上させるとともに、水圧測定センサーのケーブルが長くなることによる誤差の低減を図り、軽量化の改良を加えたゾンデを製作した。

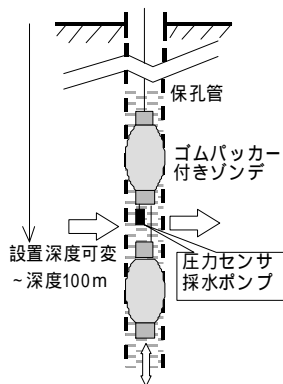


図3 深度別測定用ゾンデ

(3) ボーリング試料の採取と間隙水圧計設置

地すべりブロック後背地からの地下水流入による間隙水圧変動を観測するために、ボーリングを2孔掘削して間隙水圧計の埋設（深度12m）と、深度4, 6, 8mに開口をもつ観測孔の設置を行った。観測位置は微地形解析、表層踏査ならびに地温探査、自然電位探査を行って決定した。ボーリングでは不攪乱試料を採取して物理性試験に供した。浅部（1.5m）の間隙水圧測定には、正負圧を通して測定できる高感度・高応答タイプの間隙水圧計を使用した。

(4) 土質・浸入能の調査

地すべり斜面の多くは棚田として利用されており、畦畔による水貯留は流出抑制効果が期待できる。しかし、耕作されずに浸透性が高まると、特に融雪期には連続的な地下水涵養を促すことになる。地すべりブロック上部は引張域にあたり、亀裂ができやすい。試験地ならびに周辺の林地において円筒浸入計による浸入能の測定を行った。地すべり対策として表土扱いと浸透防止工が実施されたほ場では、施工前後の比較を行った。スウ

エーデンサンディングにより表土層深度を調べるとともに、不攪乱試料を採取して透水試験を行った。

地すべりブロック内及び後背地で積雪深と積雪密度調査を実施した。

4. 研究成果

(1) 深度別水頭分布

ゾンデは一般的な内径40mmの保孔管に使用できるように小型化した。測定区間の遮断用ゴムパッカーは、遮断性能を高めるために長さを1~3mにした。水頭測定用センサーは長尺ケーブルによる誤差を低減するように、内蔵アンプで圧力に応じた高レベル電圧信号を出力するタイプを採用した。採水用ポンプは最大揚程35mの細径直流ポンプを使用した。

大規模地すべりブロック中上部に位置する35mの観測孔における1~5月の深度別水頭と水温を図4に示す。水頭変動が大きい深度10mまでと、変動が小さい26mまでの層、以深の水頭が低い層に分かれている。初冬が多雨・融雪後の1月、融雪後期の5月に水頭が増大している。

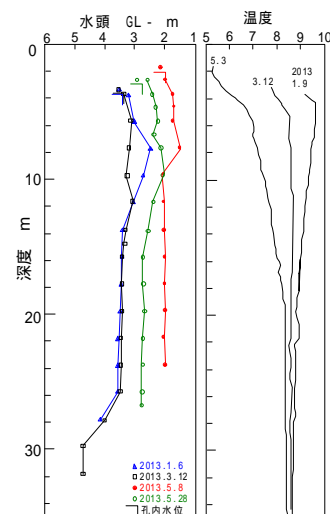


図4 融雪期前後の深度別水頭と水温

深度90mの大深度オールストレーナ孔の地すべりによって変形が生じている深度66mまでの水頭分布を図5に示す。周辺で地下水排除工が稼働しているために孔内水位は50m前後まで低下している。降水量が少なかった6月直後の7月2日に比べて、降水量が多かった10~12月直後の1月5日には、本格的な降雪期の前であるのに、孔内水面直上の亀裂が多い強風化玄武岩層中の深度40~50mで水頭が高まっているとともに、水圧に脈動が生じていた。一方で深部では水頭が孔内水位より低く、負の水圧を示している。これらの現象は亀裂等を通じた地下水の連通による上流域の高水頭の伝播と、下流側にある深度50mの集水井による地下水排除効果を反映しているものと考えられる。

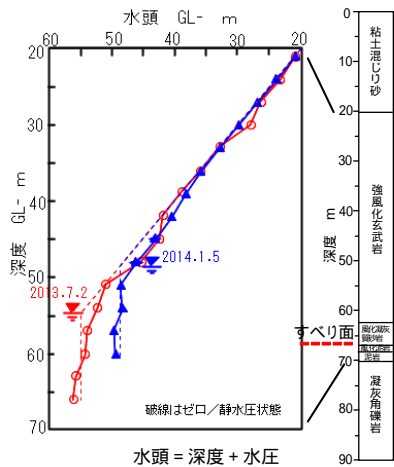


図5 大深度孔の水頭分布

(2) 試験地の土質と間隙水圧

2009年に活動したブロックの北西冠頂に位置する試験地点の表層は風化が進んだ砂質土からなり、 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ cm/sの比較的大きな透水性を示す。地下水水頭は図6, 7に示すように、浅部では高水準にあるが、6m以深では季節変化が大きく、融雪期は高い状態が続く。低透水性の土層による遮断効果により、浅層と下層の水頭変化は独立していると考えられる。2012年12月のように積雪初期にも降雨、融雪による水頭上昇が起こる。2013年は7, 8月の豪雨に続いて10~12月に長雨があり、-8m程度の高水準が2014年融雪期まで続いた。2013年7月の降雨に対する1.5m深水頭の変化の時間遅れは1時間と短く、12m深水頭は9時間であった

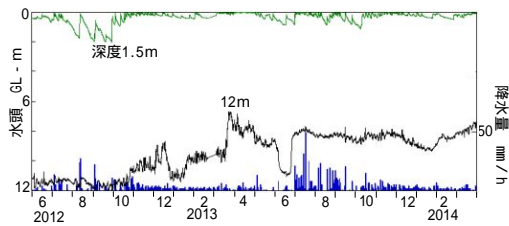


図6 観測地点の地下水水頭変動

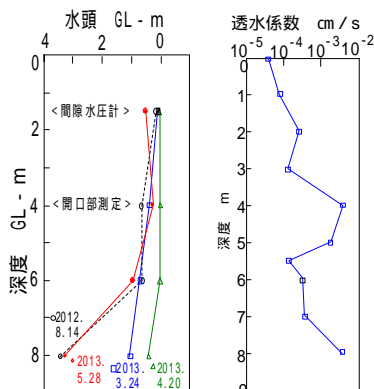


図7 観測地点の深度別水頭

地区内北方斜面上部に位置する観測孔では、通常は深度20m以深にある孔内水位が融雪期に急上昇する。水位上昇を融雪による涵養量増大の指標にとると、図8のように、3月上旬(2010年)~4月上旬(2011年)に水位上昇が始まり、下がるのは5月中下旬である。水位上昇は1~2日間で起こり、高水位は安定している。孔内水の電導度は低水時には9mS/m程度であるが、水位上昇に先行して短時間増大してから5.5mS/m程度まで低下する。融雪浸透水によって地下水の押し出しがあり、それから融雪水の浸透が連続することが考えられる。

2013年春は、斜面上部での孔内水位上昇は3月10日に始まったが、観測地点深度12mの水圧上昇は3月22日から顕著になった。2014年は斜面上部では3月19日に水位上昇が起こったが、高水準にあった試験地点では明瞭な水頭上昇は見られなかった。傾斜地では下部への浸透集中が生じることは安定性を損なう要因となる。浅層の高水頭は法面崩れや肌落ちの原因となる。

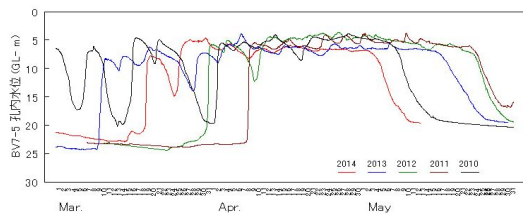


図8 斜面上部の観測孔内水位

(3) 積雪調査

調査地区の積雪は12月から4月まで続く。近年の最大積雪深は2001年2月の3.8m(鶴岡市観測)である。2013年3月と2014年2, 3月に調査地区中部と上部で断面掘削とサンプラー法による積雪密度調査を行った(図9)。平均密度は0.48g/cm³であり、融雪が始まる

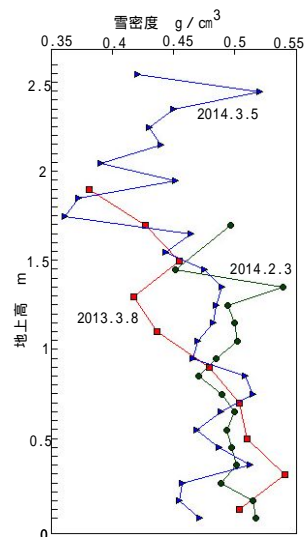


図9 積雪密度

3月上旬でおよそ1,000 mmの相当貯水量になる。12~2月の降水量は1,000~1,200 mmなので、降水の大半が積雪として残り、1.5~2ヶ月の融雪期間に集中的に流出することから、日流出高は16~26 mmになる。

(4) 棚田、林地の浸入特性

直径30 cmの円筒浸入計を地表面に打ち込んで浅く湛水させる方法で測定した浸入能を図10に示す。90分経過時点の浸入速度は、林地は432 mm/hと大きな値であり、休耕中の田では浸透防止工施工前は524 mm/hであったが、施工後は6 mm/hまで大きく低下した。地すべりブロック上部における休耕中の田が林地以上の浸入能をもつ原因は、表土層の乾燥亀裂に加えて地すべりによる引張作用でクラックができやすいことである。中山間地では斜面上部ほど休耕されやすい条件にある。融雪期には連続的な涵養源になるので、休耕地では畦を切ったり傾斜方向に排水溝を設けるなどの措置で湛水を防ぐ営農的管理は実行しやすい。火山灰質の土は締固めによる透水性低下効果が出やすいので、クラックの充填処理や転圧による浸透防止は特別の資材を使わずに施工可能である。

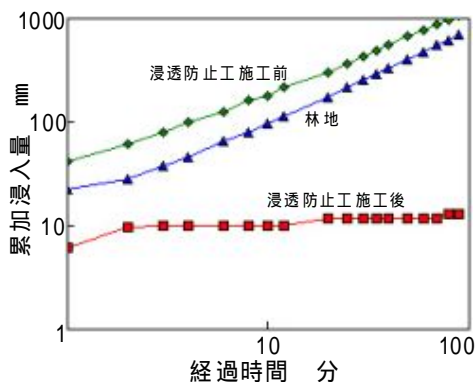


図 10 浸透防止工施工前後の棚田及び林地の浸入能

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 3件)

奥山武彦, 地すべり斜面浅層地下水の深度別観測, 第52回日本地すべり学会研究発表会講演集, 2013年8月30日, 松江市

奥山武彦, 地すべり地の地下水流動に関する調査, 斜面防災対策技術協会「地すべり防止工事士」技術講習会, 2012年7月15日, 仙台市

奥山武彦, 七五三掛地すべり後背部の地下水, 第51回日本地すべり学会研究発表会講演集, 2012, 札幌市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥山武彦 (OKUYAMA, Takehiko)

山形大学・農学部・教授

研究者番号: 20343767

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: