

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	大澤 光
論文題目	Seasonal transition of a hydrological regime in a reactivated landslide underlain by weakly consolidated sedimentary rocks in a heavy snow region (豪雪地帯の堆積軟岩を基盤とする再活動型地すべり地における水文過程の季節的遷移)		
(論文内容の要旨)			
<p>最近の研究によって、積雪地帯における地すべりは融雪期のみならず積雪開始期の前後などにも発生するなど、多様な発生パターンを示すことがわかってきた。したがって、季節積雪層の形成・消失が地表近傍および地下深部に至る水文過程や間隙水圧の変動特性などに与える影響を明らかにする必要がある。このため、本研究は積雪層及び斜面地盤の不飽和帯と飽和帯の水文学的連結性の観点から実証的かつ統合的に明らかにすることを目的とした。そのため、豪雪地帯に位置する新第三紀の堆積軟岩を基盤とする再活動型地すべり地を対象に、表層地盤の透水性に関する現地試験や室内実験を行うとともに、融雪水量や土壌水分、間隙水圧などの気象・水文観測を実施した。</p> <p>定点で繰り返し行った3年間の浸透能試験から、地表面の透水性は消雪後から夏季にかけて上昇し、秋季から冬季にかけて低くなることを明らかにした。浸透能が季節的に変化する理由として、気温および地温の変動に伴う、土壌動物や植生による生物活動の活性化と沈静化が考えられた。積雪期間中には最大22kN/m²に及ぶ積雪荷重が、地表面に緩速載荷することで透水性が低下する可能性が考えられた。このため、圧密透水試験機を新たに考案し、現位置から採取した乱さない試料および再構成試料を用いて室内実験を実施した。その結果、荷重の載荷に伴い土が圧密されることで間隙率が減少し、飽和透水係数が指数関数的に低下することを明らかにした。これは、粘性土で構成された地盤表層の残積土が過圧密状態にあることに起因する。以上のことから、積雪荷重による透水性の低下が、融雪期における地表流の発生に関係する可能性があると考えられた。</p> <p>地すべり地内で深さ2mのピットを掘削し、原位置から採取した試料を用いて室内実験を行い、水理的物性の鉛直分布を調べた。その結果、最表層土の礫混じり運積土は高透水性で低保水性、その直下の凝灰質な残積土は低透水性で高保水性と特徴づけられた。ボーリングコアの観察により、残積土層から深度約5.2mのすべり面までは、亀裂の多い風化岩で構成されることがわかった。このような水文地質構造を有する場における気象・水文観測の結果、地表への水の供給に対する間隙水圧の応答が、無積雪期に比べ積雪期に鈍くなることがわかった。積雪期に間隙水圧の上昇量が抑制される理由として、積雪下の地表面でパッチ状に発生する地表流により地中浸透量が減少すること、また、地下水位が高くなるため最上位の高透水性の崩積土層中で効率的な排水が生じることが示唆された。一方、地下深部における間隙水圧の素早い応答は、飽和に近い状態にある残積土層の上面に、雨水あるいは融雪水が供給されることで圧力伝播が生じることによると推定される。また、被圧状態にある基盤岩の地下水は基本的に上向きのフラックスで流れ、土壌水分量が上昇する秋霖期や融雪期により強化され、この時期に斜面の不安定性が増すことを示唆している。最寒期のフェーン現象に伴う融雪では、顕著な間隙水圧の上昇が観測された。この現象は、融雪水が積雪層内を選択的に流れ、局所的に地表面へ流出したことによると解される。</p>			

すべり面付近での間隙水圧のピークを作り出す降水及び融雪の個別イベントに対して、間隙水圧の経時変化を鉛直一次元の圧力拡散モデルによって再現計算した。その結果、フィッティングパラメータとして得られる透水係数と圧力拡散係数は無積雪期に低く、積雪期に高くなる季節性を示した。これらの値は、イベント開始前の間隙水圧の経験関数として表現することができ、不飽和帯の緩衝機能を経験的な水理パラメータとして特徴づけることで、地すべりの運動開始に関わる短期的な間隙水圧の変動を高い精度で予測できることを示した。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

日本海側の中山間地では、新第三紀の弱固結した堆積岩が広く分布することに加え、冬期に季節積雪層が厚く堆積することから、断続的に融雪水等が地表面へ供給される融雪期に地すべりが多発する傾向がある。これは融雪水の浸透に伴う間隙水圧の上昇が、地すべり土塊の有効応力を減少させ、斜面を不安定化させるためと考えられている。このような理由により、従来の研究は融雪期を主とした融雪水と間隙水圧の関係についての議論がされていた。しかし、積雪期中の地すべりは、融雪期のみならず積雪開始期の前後にも発生するなど、発生パターンは多様性に富む。したがって、季節積雪層の形成・消失が地盤表層から地下深部までの水文過程に与える影響を明らかにする必要がある。

申請者は、冬期に3～5mもの積雪層に覆われる新潟県の中山間地に位置する新第三紀の堆積軟岩を基盤とする再活動型地すべり地を対象に、移動体表層の水理学的性質の時間変化を明らかにするため、現地試験や室内実験を実施するとともに、斜面変動の誘因となる間隙水圧などの水文観測や積雪環境、融雪水量などの気象観測を長期にわたって実施した。積雪期も含めた数年にわたる原位置浸透能試験からは、地表面の透水性が夏季に高く、冬季に低くなるといった季節性を持つことを検証した。このため、積雪期間には積雪荷重が緩やかに載荷されることで、地表面付近の透水性が低下するとの仮説を提案するとともに、独自に考案した圧密透水試験機を使用し、現場で採取した試料を用いた室内実験を行った。その結果、荷重の載荷に伴い飽和透水係数が指数関数的に減少することを明らかにした。

申請者は通年にわたる間隙水圧の変動特性を明らかにするため、気象および水文観測のデータを詳しく解析した。その結果、地表に供給される水分に対する間隙水圧の応答は、無積雪期に比べ積雪期に低くなることがわかり、パッチ状の地表流の発生に伴う浸透量の現象、および地盤浅層の水文地質構造が影響することを明らかにした。また、厳寒期のフェーン現象により多量の融雪水が生じた場合には、積雪層内での選択的な流れに起因する局所的な融雪水の供給によって、間隙水圧が顕著に上昇することを明らかにした。これらの季節ごとに異なる間隙水圧の応答は、水文モデルを用いた計算によって再現でき、不飽和帯の緩衝機能を経験的なパラメータとして取り込むことで、斜面変動に強い影響を及ぼす間隙水圧の変動を予測可能なことを示した。

本研究は、長期的な現地観測や現地試験、室内実験などを通して、これまで地すべり研究において扱われることが少ない、積雪層および不飽和帯の浸透過程の季節変化が地下深部の飽和帯における間隙水圧変動に強く影響することを明らかにした点で、積雪地帯の地すべり地における水文学的研究として高く評価される。また、最寒期におけるフェーン現象の際に引き起こされた著しい間隙水圧の上昇は、積雪地帯の斜面安定および警戒避難を考える上で重要な知見をもたらした。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成30年1月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、(公開は未定)当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公表可能日： 平成 年 月 日以降