

積雪地域の地すべり地における繰り返し地下水流動層調査

桂 真也・丸山清輝・池田慎二・石田孝司

1. はじめに

地すべり対策施設の一種である地下水排除施設は、地すべりの主な誘因である地下水を速やかに地すべり地外へ排除することで地すべりの安定化を図るものである。地下水排除施設を効果的に計画・配置するには、地下水の流動状況を的確に把握する必要がある。流動状況を把握する手法の一つとして、水位観測孔を利用して地下水流動層の鉛直分布を調査する地下水検層が挙げられる。現在、最もよく用いられている検層法である食塩検層法は、観測孔内の地下水中に食塩を溶かし、地下水中の塩分濃度の経時変化から流動層を調査する手法である。しかし、食塩検層法は調査に時間や手間がかかり、予算・工期の都合や地すべり地内での長時間にわたる作業の安全性の問題もことから、限られた回数（通常は1回）しか検層を実施せずに地下水排除施設の計画を行っているのが現状である。

一方、地下水を誘因とする地すべりは、豪雨時や融雪期に多く発生する。特に、積雪地域である北信越地方では、春先に融雪水が地下に浸透することによって地すべりが頻発する。このことは、融雪期に流動層の規模が拡大することを示唆しており、限られた回数しか検層を実施できないことを考慮すると、地すべりの発生につながる流動層を的確に把握できる時期に検層を実施する必要があると考えられる。

以上を踏まえ、筆者らは、融雪期における流動層の変化を調査することを目的に、積雪地域に位置する地すべり地において、厳冬期から融雪期にかけて同一観測孔で検層を繰り返し実施した。上述の通り、一般的に用いられる食塩検層法では繰り返し実施するのは困難であるため、本研究では雪崩・地すべり研究センターが開発した新しい検層法である加熱式地下水検層法¹⁾を用いた。本稿ではその結果を紹介する。

2. 調査地

検層は新潟県上越市板倉区に位置する栗沢地すべり防止区域内のA-10ブロックを対象に行った(図-1)。A-10ブロックは地すべり地帯である東頸城丘陵の西部に位置し、標高は約250mである。ここから13.8kmと最も近い気象庁安塚観測所(標高126m)における年最大積雪深は、平年値で174cmに達する豪雪地帯である。A-10ブロックは勾配10°程度の山林・水田地帯に位置し、基盤地質は新第三紀中新世の塊状黒色泥岩である。すべり面は深度(GL-)約15mにあると推定され、地すべり土塊は表層に厚さ最大5mの崩積土を上載した強風化泥岩及び風化泥岩で構成されている(図-2)。

3. 方法

3.1 地下水検層

本研究で用いた加熱式地下水検層法¹⁾のセンサの模式図を図-3に示す。センサは、地下水を加熱するヒータを温度センサ②付近に内蔵し、ヒータ部及びその上下に計3つの温度センサ(①~③)を取り付けた構造となっている(本研究では④は使用せず)。

検層を行う際は、ヒータの電源をオンにし、昇



図-1 位置図(地理院地図に加筆)

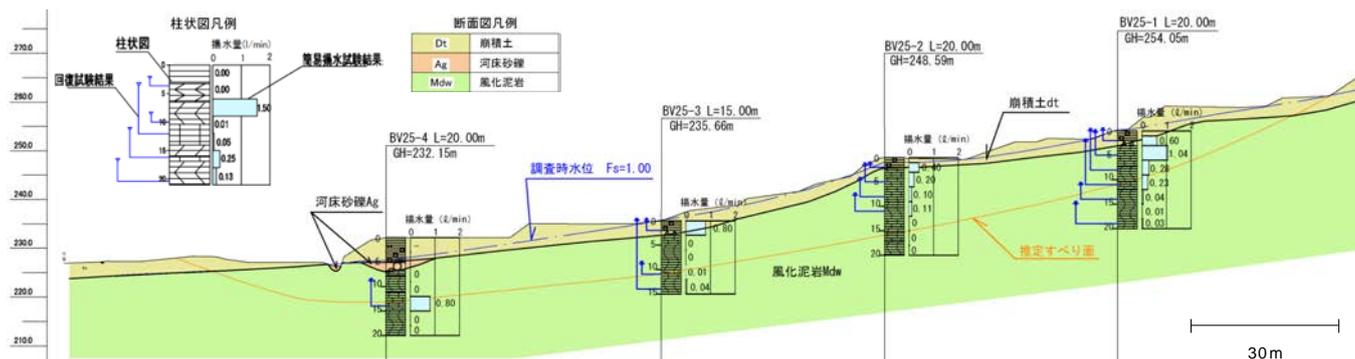


図-2 推定地質断面図 (妙高砂防事務所提供資料に加筆)

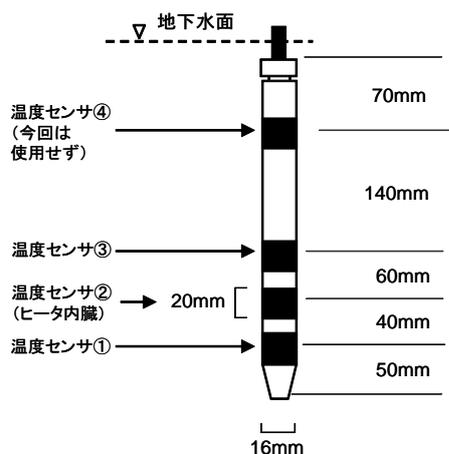


図-3 加熱式地下水検層のセンサ模式図

降機により毎秒1cmの速度でセンサを降下させながら、地下水温を温度センサ①で、ヒータにより加熱された地下水温を温度センサ②で、加熱後一定時間経過した後の地下水温を温度センサ③でそれぞれ計測する。ヒータにより上昇した地下水温は、観測孔内に流入する地下水により熱が奪われて低下するが、地下水の流れが大きいほど水温の低下量が大きくなることを利用して流動層の規模を検出する仕組みである。計測した地下水温から流量を求める実験式が提案されており、本研究でもそれに従って各深度における流量を計算した。このように、食塩検層法と比較して、非常に少ない時間・手間で実施できる検層法である。

検層は、新潟県妙高砂防事務所が掘削した観測孔のうち、地下水位やアクセス等を考慮して、BV25-1孔とBV25-2孔(図-4)を対象に実施した。掘削深度、有孔区間、すべり面深度、検層対象区間は表-1に示した通りである。検層対象区間は、地下水位や観測孔底への土砂沈積の影響を考慮して設定した。検層は2014年12月から2015年4月にかけて、20日程度毎に1回、計7回実施した。

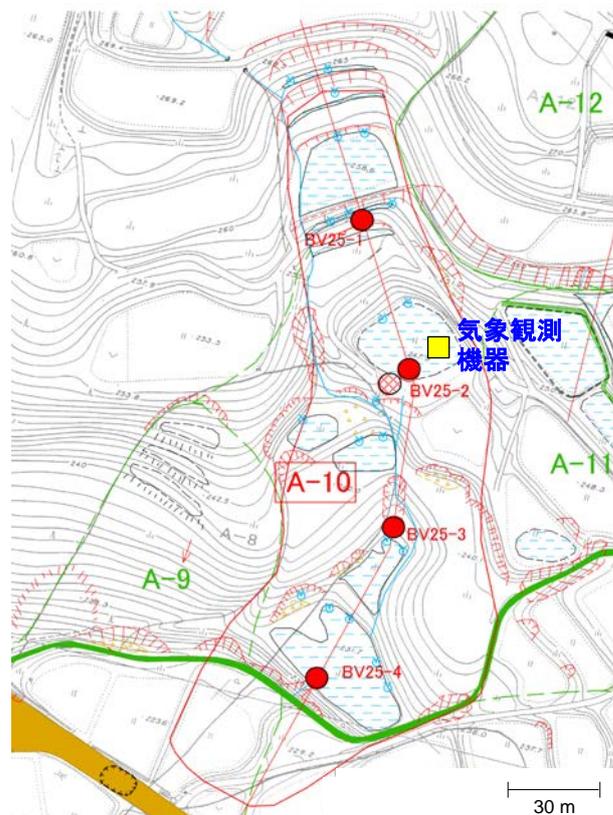


図-4 A-10ブロックの詳細平面図 (妙高砂防事務所提供資料に加筆)

表-1 検層対象観測孔

	BV25-1孔	BV25-2孔
掘削深度	20m	20m
有孔区間	GL-4~20m	GL-4~20m
すべり面深度	GL-11.0m付近	GL-16.1m付近
検層対象区間	GL-5.8~16.5m	GL-6.5~18.8m

3.2 気象・積雪・水位観測

地下への水の浸透状況を把握するため、BV25-2孔のすぐ横の平坦面に気象観測機器を設置し(図-4)、日平均積雪深と日平均気温を計測するとともに、検層の実施日に積雪水量を計測した。日降水量は気象庁筒方観測所(図-1)のデータを用

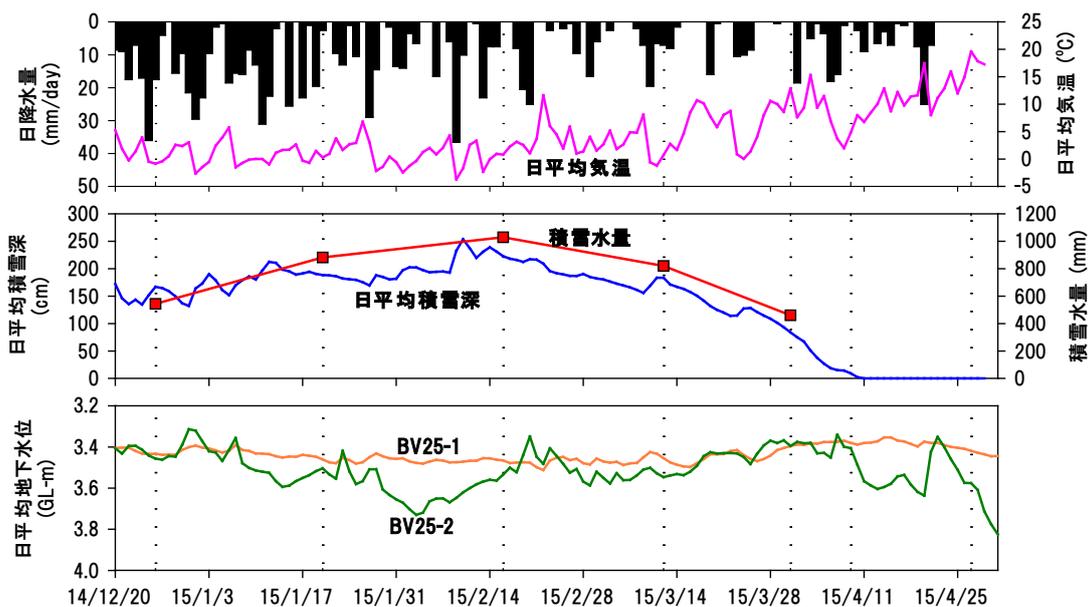


図-5 気象・積雪・水位観測結果（破線は検層実施日を表す）

いた。また、圧力式水位計を用いて日平均地下水位を計測した。観測対象期間は、2014年12月20日～2015年4月30日である。

4. 結果と考察

4.1 気象・積雪・水位

気象・積雪・水位観測の結果を図-5 に示す。観測期間中の総降水量は 971.5mm であった。気温は 2015 年 2 月中旬まで概ね 5°C 以下であったが、2 月下旬以降上昇傾向を示した。最大積雪深は 254cm（2 月 10 日）で、その後増減を繰り返したが、3 月 12 日に 183cm を記録した以降は気温のさらなる上昇とともに概ね減少傾向となり、

4 月 10 日に消雪を迎えた。

積雪水量は、2 月 16 日に最大 1029mm を記録した。3 月 31 日の積雪水量は 461mm で、3 月 12 日と比較して 359mm 減少しており、1 日平均で約 19mm の融雪水が発生していたことになる。また、3 月 31 日から消雪の 4 月 10 日までの間は、1 日平均で約 46mm の融雪水が発生していたことになる。このように、3 月中旬以降、多量の融雪水が発生していたことが分かる。

地下水位は、BV25-1 孔では観測期間を通じて大きな変動は見られなかった。一方、BV25-2 孔では、厳冬期に低下し、融雪期に上昇する傾向が見られた。

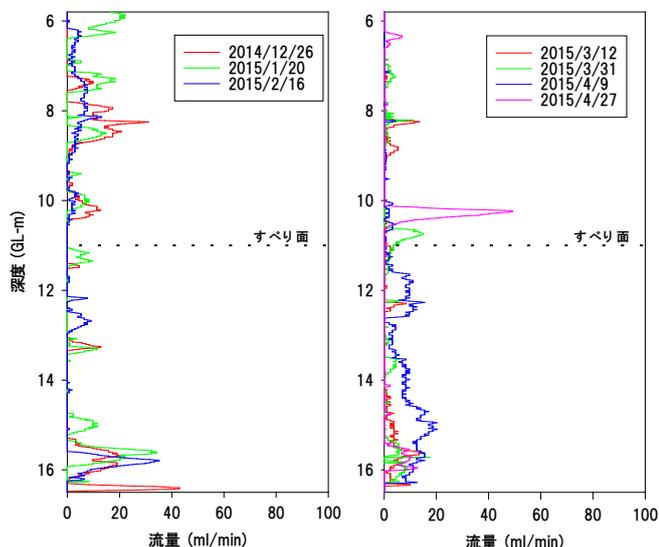


図-6 地下水検層の結果（BV25-1孔）

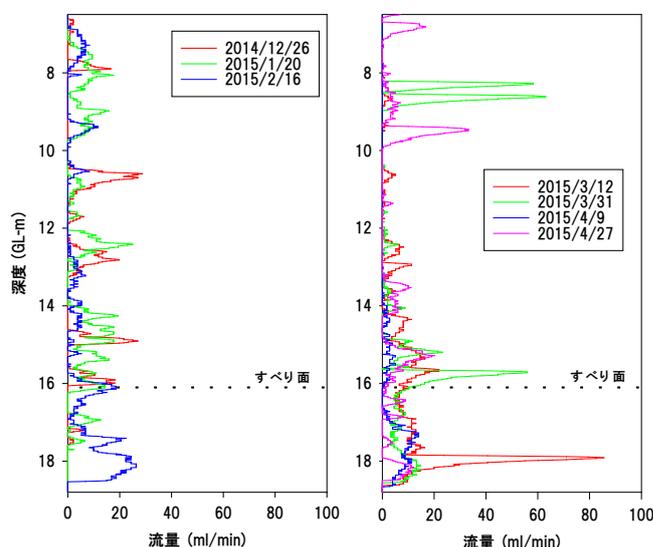


図-7 地下水検層の結果（BV25-2孔）

4.2 地下水流動層

検層の結果を図-6、7 に示す。BV25-1 孔では、最大流量が 50ml/min を超えるような顕著な流動層は検出されなかった。一方、BV25-2 孔では、2015 年 2 月までは顕著な流動層は見られなかったものの、3 月 12 日の GL-17.8~18.6m 付近に最大流量 85ml/min 程度の流動層、3 月 31 日の GL-8.2~9.0m 付近と GL-15.6~16.2 m 付近（すべり面付近）に最大流量 60ml/min 程度の流動層が検出された。これは、上述したような多量の融雪水の影響によるものと考えられる。このうち、3 月 31 日の GL-15.6~16.2m 付近に検出された流動層はすべり面深度とほぼ一致することから、このような流動層が融雪地すべりの発生に影響を与える可能性があると考えられる。

4.3 検層の実施時期

地すべり防止のために地下水排除施設を計画する場合、地すべりの発生につながると考えられる流動層を流れる地下水を排除できるように施設を配置する必要がある。「1. はじめに」で述べたように、一般的に用いられている食塩検層法では、通常は 1 回しか実施されないのが現状である。BV25-1 孔では、いずれの検層実施日においても顕著な流動層は検出されず、地下水の流動状況はほぼ一定であったため、1 回の検層をいつ実施しても地下水排除施設の配置計画に大きな影響を与えることはないと言える。一方、BV25-2 孔では、仮に 2014 年 12 月から 2015 年 2 月にかけて検層を実施した場合、3 月 31 日に検出されたような流動層を検出することはできず、地下水排除施設の効果を最大限に発揮させるためには、3 月 31 日の検層結果に基づいて施設の配置を行う必

要がある。このことから、予算・工期の都合や作業の安全性の問題により検層を 1 回しか実施できないとしても、融雪期など実施時期を適切に選択することが重要であると言える。

5. まとめ

検層を加熱式地下水検層法により同一観測孔で繰り返し実施した結果、融雪期に流動層が発生・拡大する観測区間が存在することが分かった。これは、多量の融雪水の影響によるものと考えられ、特にすべり面深度とほぼ一致する深度に検出された流動層は地すべりの発生につながる可能性が考えられた。地下水排除施設の効果を最大限に発揮させるためには、このような流動層を流れる地下水を排除する必要があり、検層を1回しか実施できないとしても、地すべりの発生につながる流動層を的確に把握できる時期（融雪期など）に実施することが重要である。

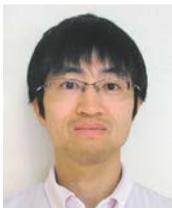
今後は、無積雪期も含めた流動層の季節変化の実態を把握するとともに、地すべりの発生につながる流動層を的確に把握できる検層実施時期の決定手法を検討していく必要がある。

最後になりましたが、本研究にご協力いただいた新潟県妙高砂防事務所にて謝意を表します。

参考文献

- 1) 丸山清輝、中村明、野呂智之：加熱式地下水検層による地すべり地の地下水調査、日本地すべり学会誌、Vol.49、No.5、pp.41~47

桂 真也



研究当時 土木研究所土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター研究員
現 北海道大学大学院農学研究院、博(農)
Dr. Shin'ya KATSURA

丸山清輝



土木研究所土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター 特任研究員、博(学)
Dr. Kiyoteru MARUYAMA

池田慎二



土木研究所土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター 専門研究員、博(理)
Dr. Shinji IKEDA

石田孝司



土木研究所土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター 上席研究員
Koji ISHIDA