

地すべり地における地下水流動調査の高度化に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 27～平 30

担当チーム：雪崩・地すべり研究センター

研究担当者：秋山一弥、金澤瑛

【要旨】

地すべり調査での地下水検層や地下水追跡調査は、予算や作業手間等の事情で実施される回数が限られ、地すべりに影響する流動層を的確に捉えられていないことから、地すべりの発生に寄与する流動層を限られた調査回数で的確に把握できる地下水調査法を確立する必要がある。本研究では、雪崩・地すべり研究センターが従前に開発した加熱式地下水検層器の改良を行い、地下水検層の更なる省力化と高精度化を図った。

キーワード：地すべり、地下水流動、加熱式地下水検層法

1. はじめに

地すべり調査では、地下水排除施設の配置のために地下水流動層の深度や規模、流下経路を把握する地下水検層や地下水追跡調査が実施されている。しかし、地下水排除施設からの排水量が想定していた量に達しない、水が出ないなどの施設が数多く存在する。この原因として、地下水検層や地下水追跡調査が適切に実施できていなかったことが考えられ、地すべりに影響を及ぼす地下水流動層の具体的な動態を把握する必要がある。地下水検層は予算や作業手間等の事情により通常は1回しか実施されていないが、流動層の深度や流動量は豪雨や融雪水の影響で季節によって変化するため、地すべりに影響する流動層を的確に捉えていないと考えられる。また、地下水追跡調査は予算や作業手間等の事情から実施されないことが多い。

このため、地すべりの発生に寄与する地下水流動層の深度や流動経路について、限られた調査回数で的確に把握することが可能で、環境に負荷をかけずに現場での調査が短時間で済む地下水追跡調査法の開発が必要である。そこで本研究では、地下水の流動状況を的確に把握する手法の確立を目的に、雪崩・地すべり研究センターが従前に開発した加熱式地下水検層器の改良を行うことで、地下水検層の更なる省力化と高精度化を図ることを目的とした。

2. 加熱式地下水検層器の改良

2. 1 加熱式地下水検層法の概要

地すべり対策における地下水調査では、一般的に食塩を用いた地下水検層が行われている。この調査法

は、計測に時間がかかることや環境負荷の懸念、調査結果の判読が難しい場合があるなどの課題がある。このため、地下水検層の省力化と高精度化を目的として、ボーリング孔内の地下水の水温と加熱したヒータの温度分布から地下水流動層を調査する加熱式地下水検層器の開発を行っており¹⁾、本機器を用いた地下水流動調査を実施している²⁾。

加熱式の地下水検層は、プローブのヒータを加熱して等速度でボーリング孔内の地下水中を降下させて、地下水の温度やヒータの温度を常時計測することで地下水の流動層を調査する手法である。加熱式地下水検層器の機器は図-1と図-2のとおりで、ヒータと温度計を配置したプローブ、プローブを等速度でボーリング孔内の地下水中に降下させる昇降機、温度を計測・記録する計測器、プローブと計測器をつなぐケーブル、電源のバッテリーから構成される。

地下水の流動層が存在する場合、加熱したヒータがボーリング孔の保孔管の有孔部（ストレーナ）から流入した地下水の流れで冷却され、ヒータの温度が低下する。このため、ボーリング孔にプローブを等速度で降下させることでヒータの温度が低下する深度を検出して、その深度に地下水流動層の存在を推定することが可能である。プローブはボーリング孔内の地下水中を1cm/secの速度で降下させることから、10分間でボーリング孔内の6m分の水柱が計測可能である。

2. 2 従来の加熱式地下水検層器の課題と改良点

従来の加熱式地下水検層器では地下水温の計測に課題が残されていたことから、温度を計測するプロー

ブに改良を施した新たな加熱式地下水検層器の開発を行った。

従来の加熱式地下水検層器は、プローブにヒータと3つのセンサを装備していた¹⁾。センサは地下水温を計測する地下水温センサ、ヒータの温度を計測するヒータ温度センサ、ヒータで温められた地下水の温度を計測する加熱地下水温センサの3つである(図-2)。地下水の流動層は各センサの計測値の関係式から推定していたが、ヒータと地下水温センサや加熱地下水温センサの位置が近すぎたため、ヒータの熱が各センサの計測に影響を及ぼしていた。そのため、各センサが必ずしも正確に計測できておらず、地下水流動層を明瞭に検出できない場合があった。

このため、改良型ではセンサの数を減らすとともにヒータやセンサの配置を見直し、プローブにはヒータおよび地下水温とヒータ温度を計測する2つのセンサを備える方式とした。改良型のプローブは図-2のとおり長さは360mm、直径は21mmで、プローブの先端(下端)に地下水温センサ、上端にヒータとヒータ温度センサを配置した。

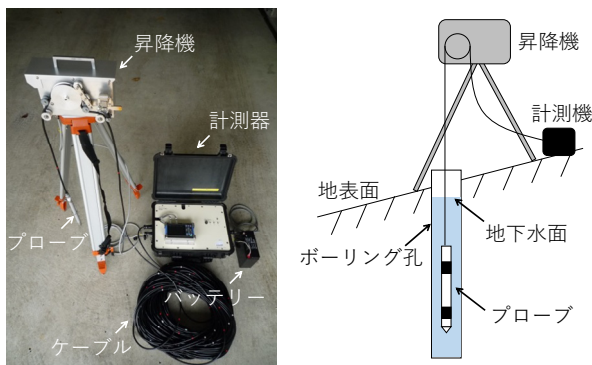


図-1 加熱式地下水検層器一式と使用イメージ

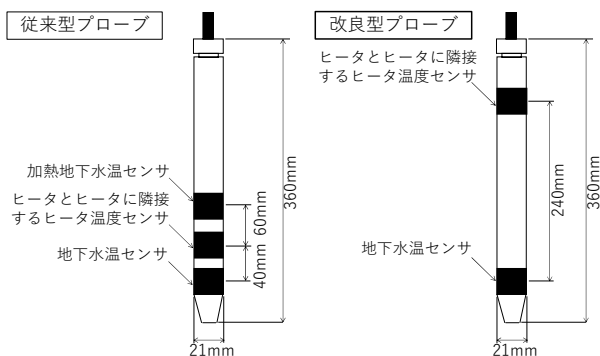


図-2 従来型と改良型プローブの模式図

2. 3 改良型加熱式地下水検層器の性能確認試験

プローブを改良した加熱式地下水検層器の精度を検証するため、室内の試験装置を用いて性能確認試

験を実施した。試験の装置は図-3のとおりで、鉛直に立てた管(長さ4m、直径40mm)をボーリング孔、充填した水を地下水として、地下水の流入は管の側部に設けた1箇所の流入孔(管の上端から2.15mの位置)に流量を調節した水を注入する方法とした。

試験は流量を100ml/minと200ml/minに設定し、管内の水位を管の上端から1mに保ちながらプローブを等速度で低下させて、管の上端から1.0~3.5mの区間で計測を行った。なお、試験は閉鎖された環境の室内で2017(平成29)年6月28日と29日に行った。

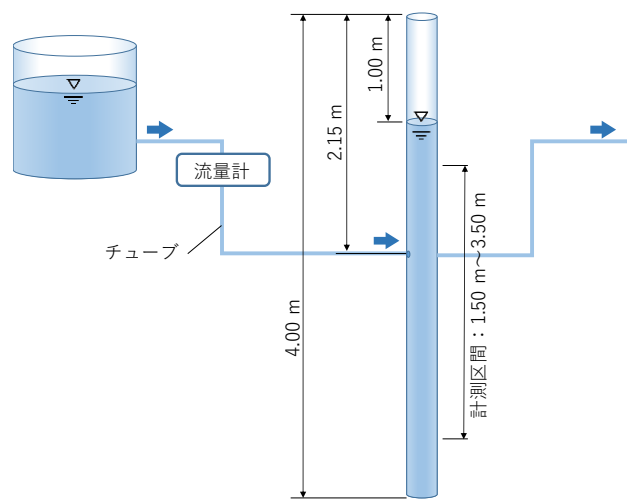


図-3 性能確認試験装置

2. 4 性能確認試験の結果

試験装置で流量を100ml/minと200ml/minに調節して実施した深度別の地下水とヒータの温度分布について、それぞれ図-4と図-5に示す。いずれの図も左図が地下水温、中図がヒータの温度で、右図はヒータ温度と地下水温の図を地下水温付近で重ね合わせた図で、地下水温とヒータ温度で囲まれた部分が、流動層が存在すると考えられる部分である。

いずれの試験においても、流入孔のある深度2.15m付近でヒータ温度にスパイク状の凸型形状がみられるが、これはヒータが流入水によって冷却されていることを示していて、改良型のプローブで側方からの水の流れを正確に検知できたと確認された。また、深度2.15m付近のヒータ温度の低下幅は流量100ml/minでは約0.8°Cであったのに対し、流量200ml/minでは約1.9°Cで、側方からの流入水の流量の大小とヒータ温度の低下幅が概ね比例関係で対応していることが

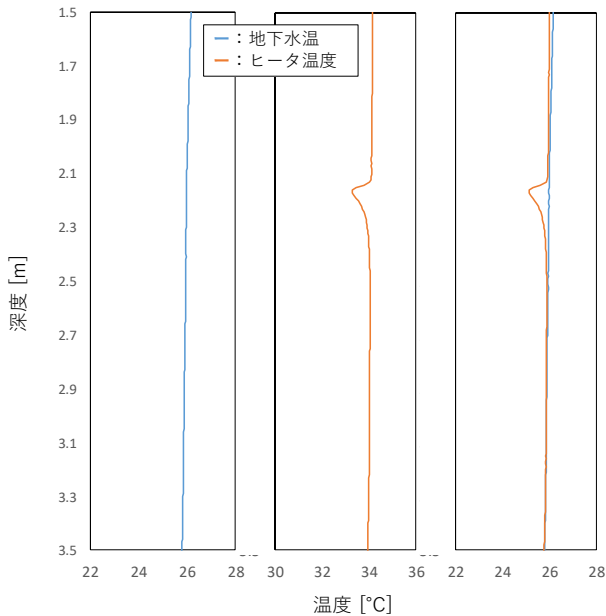


図-4 流量を 100ml/min にした場合の地下水温・ヒータ温度と深度の関係

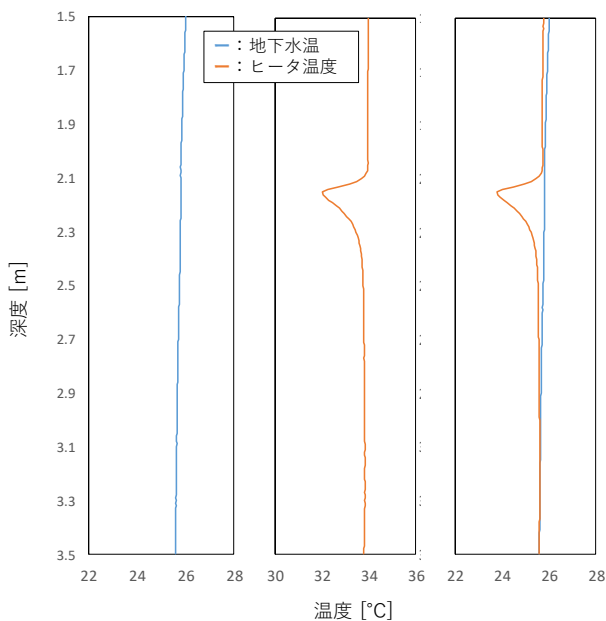


図-5 流量を 200ml/min にした場合の地下水温・ヒータ温度と深度の関係

確認された。

この結果より、プローブを改良した加熱式地下水検層器が側方からの地下水の流動層を明瞭に検知できており、改良型の有効性が示された。

3. 改良型加熱式地下水検層器を用いた地下水流動の推定

3.1 調査地

改良型の加熱式地下水検層器を用いた地下水検層

と溶存イオン濃度の類似性指標を用いて、地すべり地の地下水流動を推定した。

調査は新潟県上越市清里区に位置する鈴倉地すべりの C-2 ブロックおよび D-2(1)ブロックで実施した。鈴倉地すべりと調査を実施した地すべり地内のボーリング孔の位置図を図-6 に示す。鈴倉地すべりは、全国でも有数の地すべり多発地帯である東頸城丘陵の西側山麓斜面に位置する。鈴倉地すべり周辺の地質は、新第三系中新統の堆積岩と第四系の碎屑性堆積物に大別される。新第三系は樽田層と呼ばれる泥岩層、凝灰岩層（松之山凝灰岩）である。樽田層は、調査地を通過する断層（木成断層）の影響を受け全般に破碎されており、また全体が著しく風化し粘土化している。第四系は、河川堆積物と基盤岩起源の礫を含む土砂を主体とする地すべり移動土塊である。C-2 ブロックおよび D-2(1)ブロックは、基盤をなす新第三系樽田層相当の泥岩を起源とする地すべり土塊で構成されている。

鈴倉地すべりの C-2 ブロックおよび D-2(1)ブロックの断面図を図-7 に示す。調査を実施したボーリング孔は、C-2 ブロック中腹に位置する No.1 ボーリング孔、C-2 ブロック下部に位置する No.2 ボーリング孔および D-2(1)ブロック上部に位置する No.3 ボーリング孔で、それぞれの深度は 22.45m、15.00m、9.00m である。

3.2 調査方法

改良型加熱式地下水検層器を用いた地下水検層は、No.1～3 のそれぞれのボーリング孔において、プローブを 1cm/sec の等速度で降下させて実施した。なお、計測は No.1 ボーリング孔は深度 2.0～22.0m、No.2 ボーリング孔は深度 2.0～14.0m、No.3 ボーリング孔は深度 3.0～9.0m の区間で実施した。

3.3 結果

鈴倉地すべりの No.1 ボーリング孔で行った加熱式地下水検層の結果は図-8 のとおりで、図-4 と同様に左図が地下水温、中図がヒータの温度、右図がヒータ温度と地下水温を地下水温付近で重ね合わせた図である。地下水温は表層付近で約 11°C で、深度約 6.0m 付近にかけて上昇して約 14°C 程度となった。その後、深度が増すとともに温度が低下して、約 13°C 程度に落ち着いた。なお、ヒータ温度についても地下水温とほぼ同様の傾向を示したが、ヒータ温度は深度 10m 付近から深部にかけて地下水温の傾向からわずかに外れて

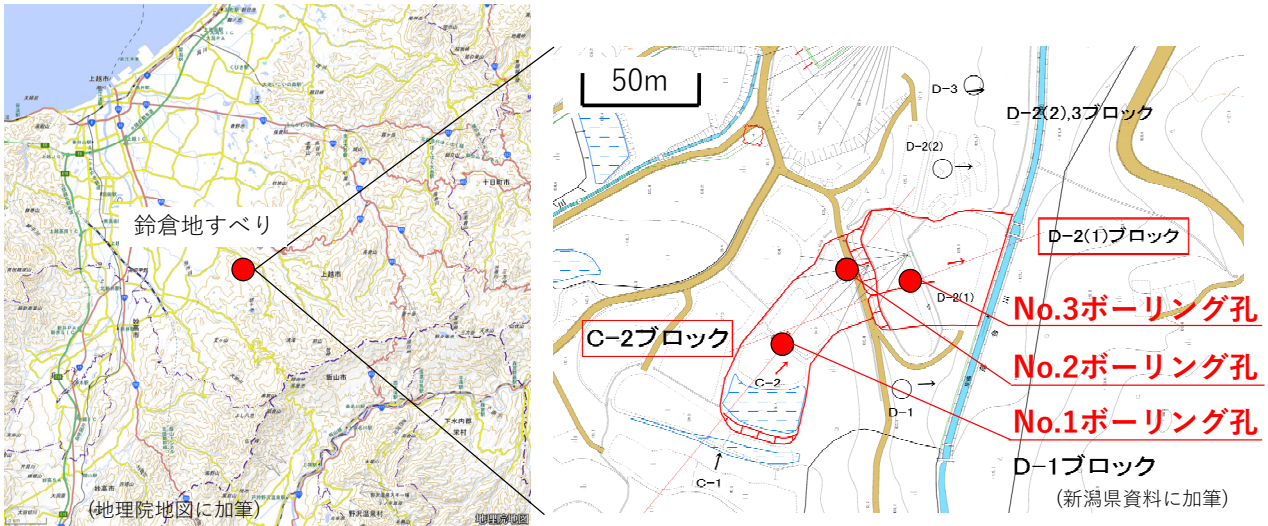


図-6 鈴倉地すべりと調査を実施したボーリング孔の位置図

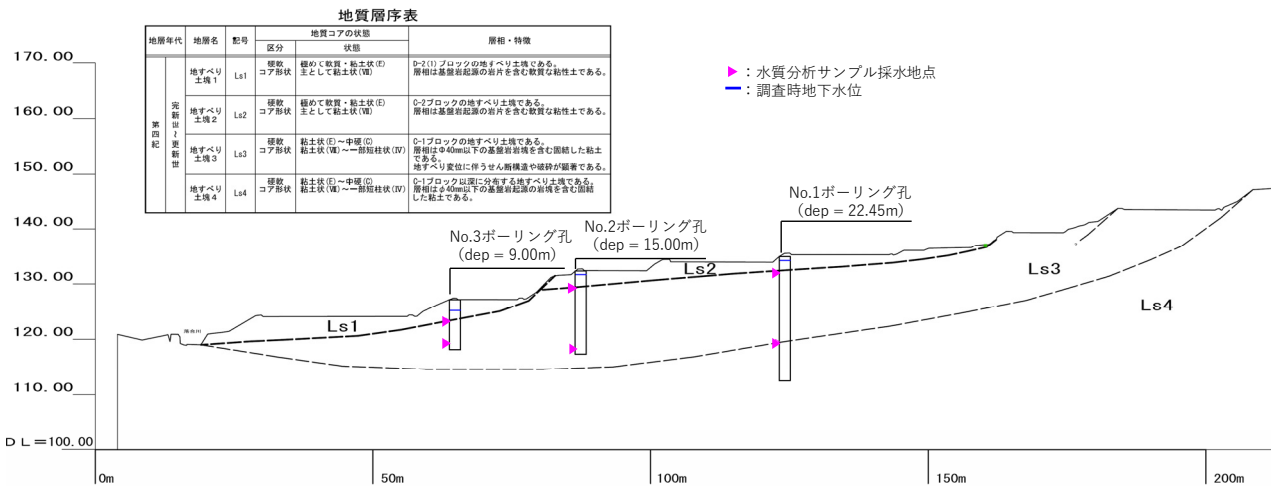


図-7 鈴倉地すべり C-2 ブロックと D-2(1)ブロックの断面図

おり、微量の地下水流入があると考えられた。

加熱式地下水検層の結果と新潟県が実施したボーリング孔掘削時の簡易揚水試験の結果の比較について、図-9に示す。なお、簡易揚水試験はボーリング孔掘削の際に、地表から3m掘削毎に実施している。簡易揚水試験では深度9m以深で揚水量が増加して地下水の流入量が増加しているが、加熱式地下水検層の結果と概ね一致していた。以上から、No.1ボーリング孔では、流入量は多くはないものの、深度約10m以深の全深度に渡って地下水の流入があるものと推定された。

次に、No.2ボーリング孔で行った加熱式地下水検層の結果を図-10に示す。地下水温は表層付近で約12°Cで、No.1ボーリング孔と同様に深度約6.0m付近にかけて上昇し約14°C程度となり、深度が増すとともに温度が低下して約13°C程度となった。なお、ヒータ温度についても地下水温とほぼ同様の傾向を

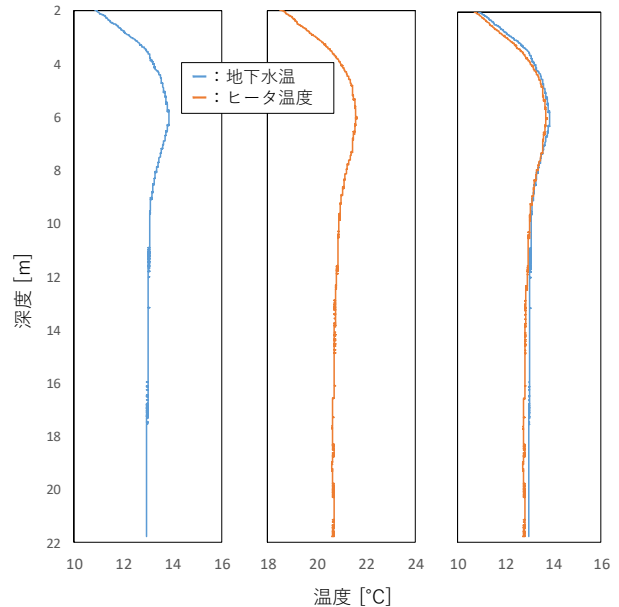


図-8 No.1 ボーリング孔の地下水地下水温・ヒータ温度と深度の関係

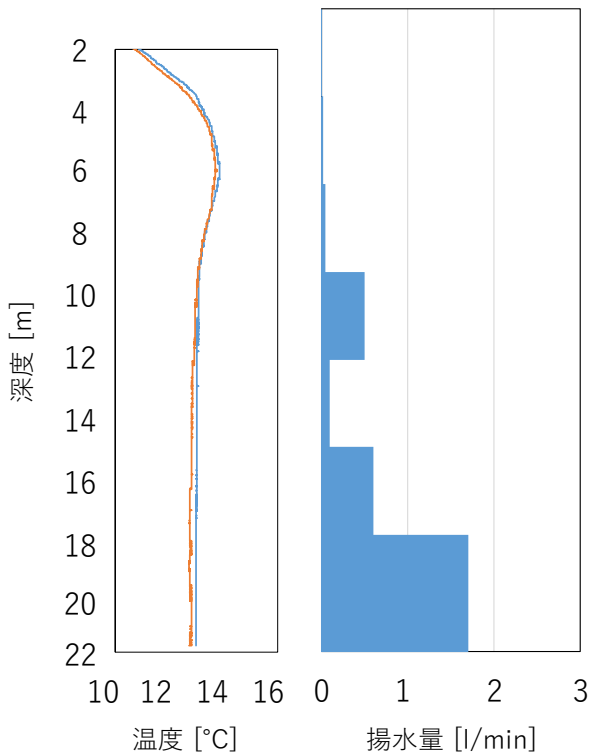


図-9 No.1 ボーリング孔の地下水検層結果と簡易揚水試験結果の比較

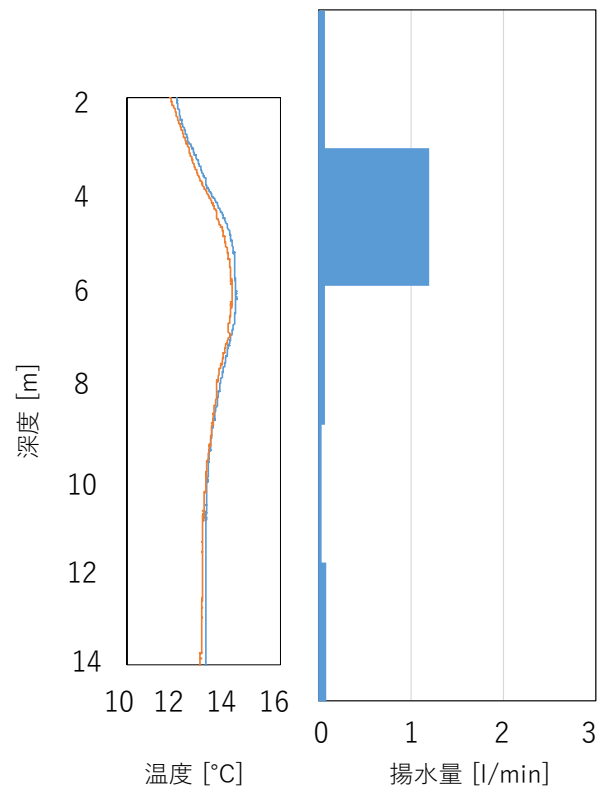


図-11 No.2 ボーリング孔の地下水検層結果と簡易揚水試験結果の比較

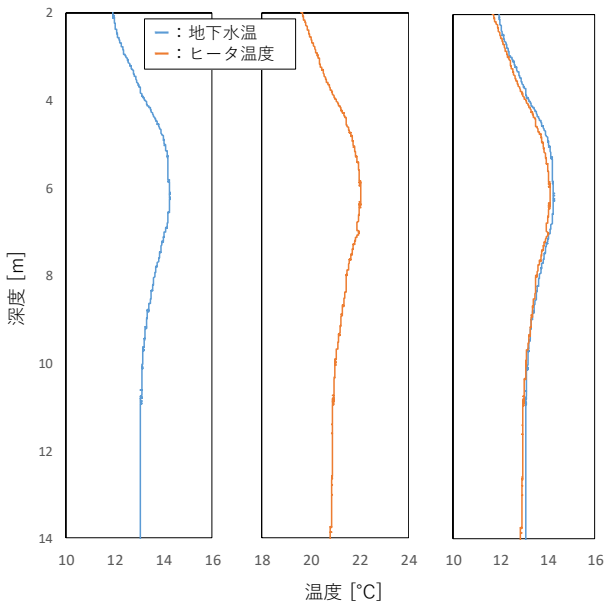


図-10 No.2 ボーリング孔の地下水地下水温・ヒータ温度と深度の関係

示したが、深度約 4.0m から 7.0m から付近にかけてヒータ温度が低下していることから、この付近に地下水の流入があることが示唆された。

加熱式地下水検層の結果と新潟県が実施したボーリング孔掘削時の簡易揚水試験の結果との比較について、図-11 に示す。簡易揚水試験の結果では深度

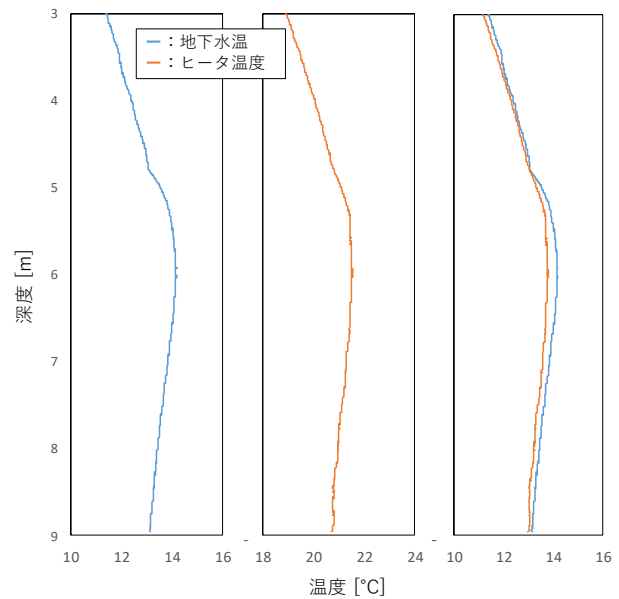


図-12 No.3 ボーリング孔の地下水地下水温・ヒータ温度と深度の関係

3.0 から 6.0 m の間に比較的大きな地下水の流入があると考えられ、加熱式地下水検層の結果と概ね一致していた。

以上から、No.2 ボーリング孔では深度約 4.0 m から 7.0m の間に地下水の流入があると推定され

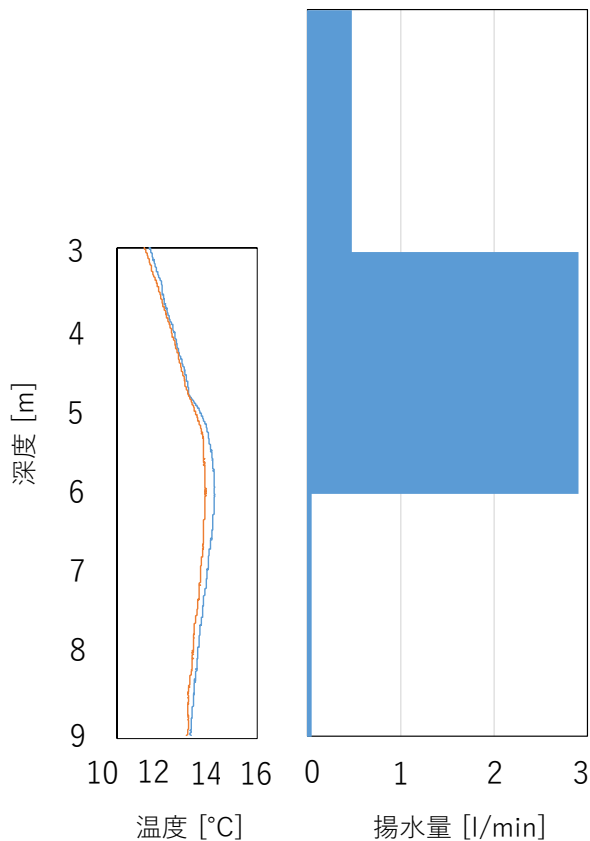


図-13 No.3 ボーリング孔の地下水検層結果と簡易揚水試験結果の比較

た。

次に No.3 ボーリング孔で行った加熱式地下水検層の結果を図-12 に示す。地下水温は表層付近で約 12°C で、No.1 と 2 のボーリング孔と同様に深度約 6.0m 付近にかけて上昇し約 14°C 程度となり、深度が増すとともに温度が低下して約 13°C 程度となった。なお、ヒータ温度についても地下水温とほぼ同様の傾向を示したが、深度約 5.0m 付近から深部にかけてヒータ温度が低下していることから、この付近に地下水の流入があることが示唆された。ヒータ温度の低下幅は、No.1 と 2 のボーリング孔で計測されたヒータ温度の低下幅よりも大きかった。

加熱式地下水検層の結果と新潟県が実施したボーリング孔掘削時の簡易揚水試験の結果との比較について、図-13 に示す。簡易揚水試験の結果では深度 3.0m から 6.0m の区間で大きな地下水の流入が見られ、流入量は他の 2 孔よりも大きく、加熱式地下水検層の結果と概ね一致していた。以上から、No.3 ボーリング孔では深度約 5.0m 以深で地下水の流入があるものと推定された。

4. まとめ

本研究では地下水の流動状況を把握する手法の確立を目的として、雪崩・地すべり研究センターが開発した加熱式地下水検層器の改良を行った。この機器を用いることで、地すべり地内の地下水の流動状況調査を作業手間や環境負荷を抑えて実施することが可能となり、地下水の流動状況を的確に把握できる手法として有効と考えられた。ただし、本研究では限られた事例のみであることから、今後は調査事例を増やすことで推定結果の精度検証をさらに進める必要がある。

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、第 49 巻、第 5 号、pp.41～47、2012
- 2) 桂真也、丸山清輝、池田慎二、石田孝司：「繰り返し加熱式地下水検層により顕在化した積雪期の地すべり地における地下水動態」、日本地すべり学会誌、第 54 巻、第 3 号、pp.25～31、2017

RESEARCH ON IMPROVED INVESTIGATION OF GROUNDWATER FLOW IN LANDSLIDE SITE

Research Period : FY2015-2018

Research Team : Erosion and Sediment Control
Research Group (Snow Avalanche
and Landslide Research Center)

Author : AKIYAMA Kazuya

KANAZAWA Akito

Abstract : The investigation of groundwater flow and groundwater tracing are not very often conducted due to the cost and time. Therefore, the situation of groundwater flow which affect the landside movement is not grasped adequately and we must establish the investigation of groundwater flow easily. In this research, we improved thermal groundwater logging equipment which we developed before for labor-saving and high-accuracy.

Key words : landslide, groundwater flow, thermal groundwater logging equipment