

改良型加熱式地下水検層器を用いた地すべり地の地下水検層

金澤 瑛・丸山清輝・石田孝司

1. はじめに

地すべり対策における地下水排除施設設置のための地下水調査では、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。そこで、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、本機器を用いた地下水流動調査も実施している²⁾。

しかし、従来の加熱式地下水検層器では地下水の温度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進めている。本稿では、新たに改良を施した加熱式地下水検層器について、性能確認試験の結果と現地で実施した地下水検層の試験結果を報告する。

2. 改良型加熱式地下水検層器の概要

2.1 加熱式地下水検層法の概要

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と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。加熱式地下水検層は、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。

地下水の流動層が存在する場合、ボーリング孔保孔管の有孔部（ストレーナ）から流入した地下水の流れで加熱したヒータが冷却され、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て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分の水柱を計測できる。

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は、プローブにヒータと3つのセンサを備えていた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、各センサの計測値の関係式から地下水の流動層を推定していた。しかし、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

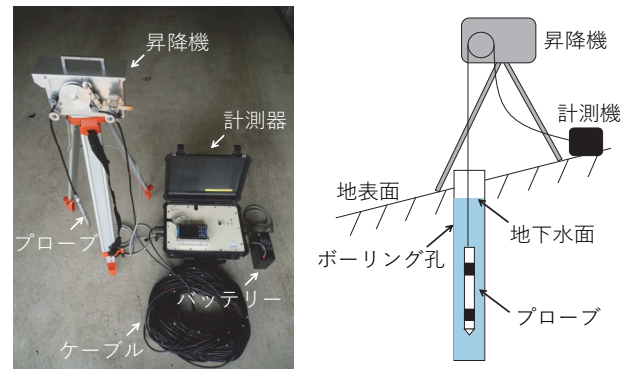


図-1 加熱式地下水検層器一式と使用イメージ

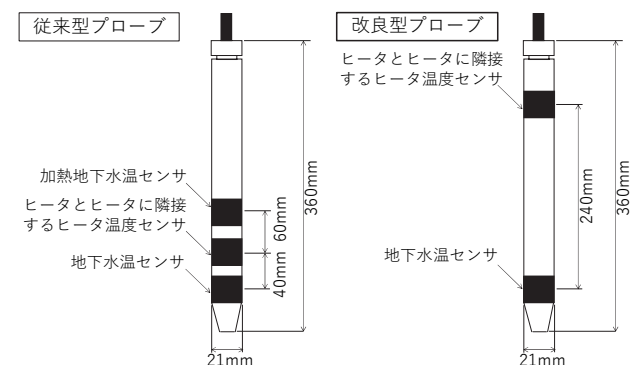


図-2 従来型プローブと改良型プローブの模式図

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。

3. 性能確認試験と現地試験の方法

3.1 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）をボーリング孔に見立てて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

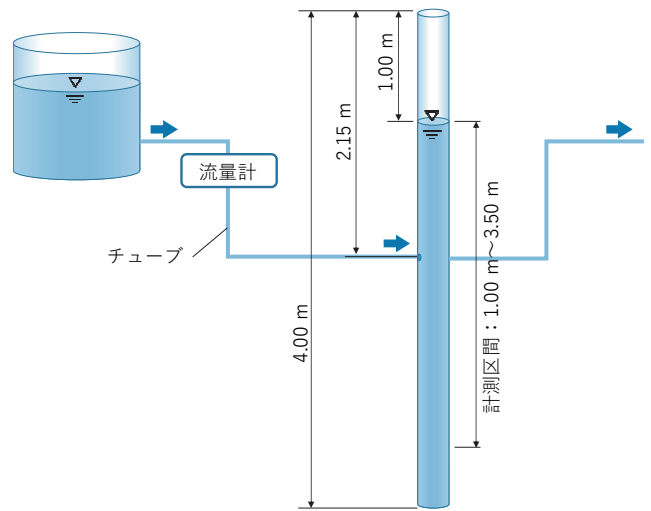


図-3 性能確認試験装置

ローブを等速度で低下させて、管の上端から1～3.5m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。

3.2 現地試験

現地試験は静岡県静岡市葵区の口坂本No.2地すべりで実施した。口坂本No.2地すべりと試験を実施した地すべり地内のボーリング孔の位置図を図-4に示す。この地すべりの地質は頁岩、砂岩、蛇紋岩から形成され、風化岩地すべりと考えられ

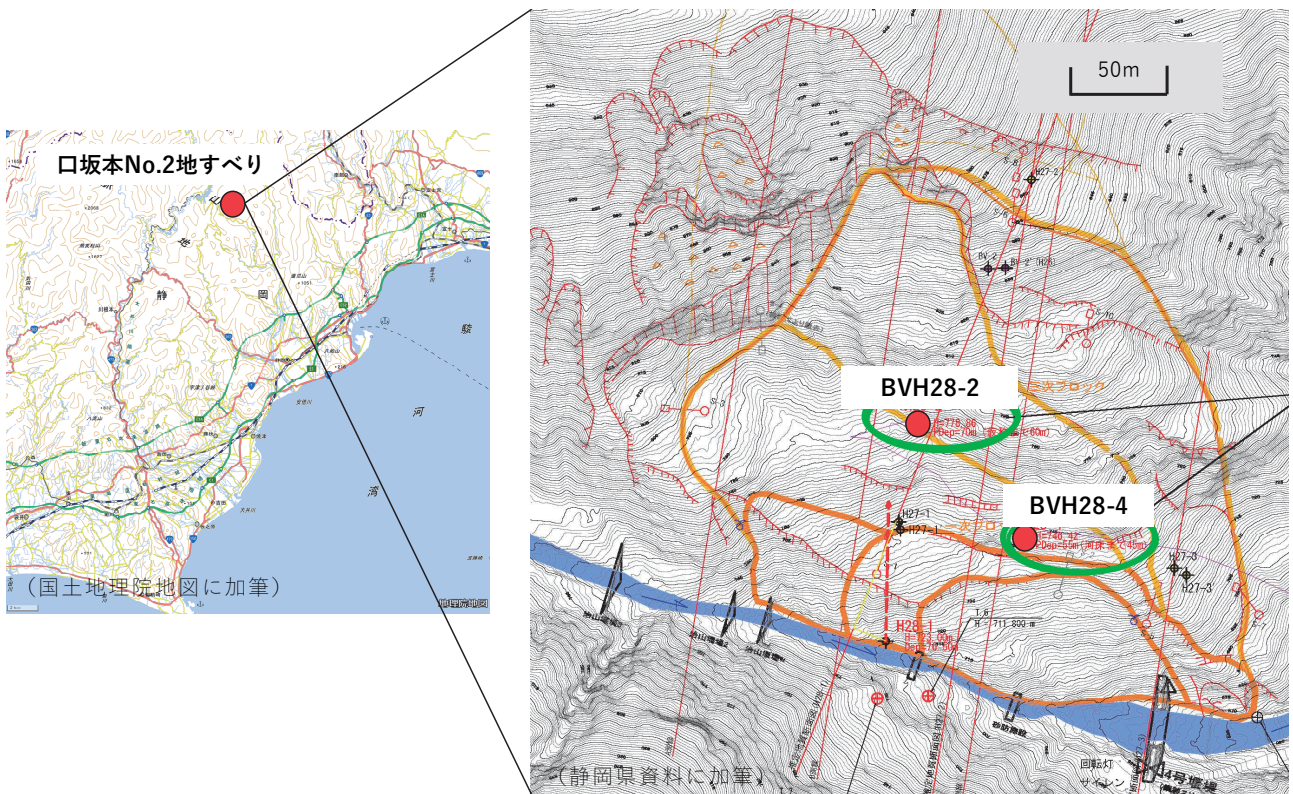


図-4 口坂本No.2地すべりと現地試験を実施したボーリング孔の位置図

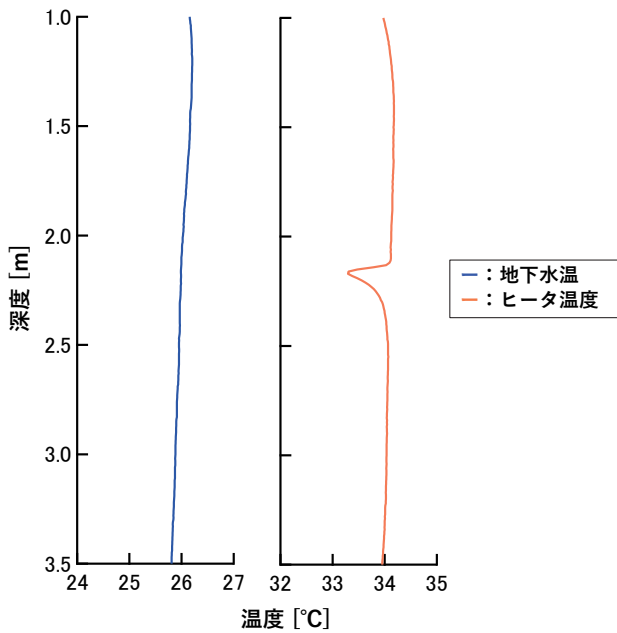


図-5 流量を100ml/minにした場合の地下水温・ヒータ温度と深度の関係

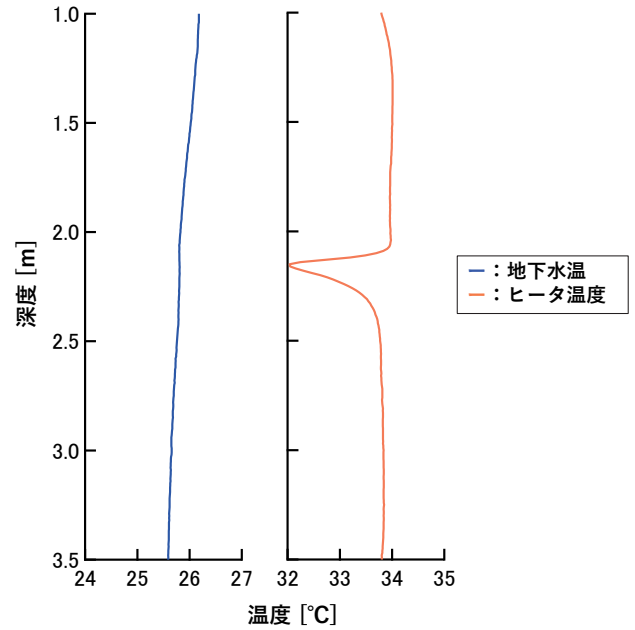


図-6 流量を200ml/minにした場合の地下水温・ヒータ温度と深度の関係

ている。試験を実施したボーリング孔は、地すべりブロックの中部に位置するBVH28-2及び下部に位置するBVH28-4で、深度はそれぞれ65.0m、55.5mである。なお、BVH28-2は深度41.0mから64.0m、BVH28-4は深度25.0mから55.0mの間で試験を実施した。

4. 結果

4.1 室内の性能確認試験

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温とヒータの温度分布について、それぞれ図-5と図-6に示す。

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確認された。

4.2 口坂本No.2地すべりの現地試験

口坂本No.2地すべりのBVH28-2ボーリング孔で試験を行った結果を図-7に示す。地下水温は13°C前後で、深度が増すとともに徐々に高くな

る傾向があった。一方、ヒータ温度は室内試験とは異なり小刻みに変動し、深度55.6m付近で大きく低下しスパイク状の凸型形状を示した。

ヒータ温度の小刻みな変動は、小規模な地下水の流動層を細かにとらえている可能性があるが、ボーリング孔内の水中のごみや泥などの不純物の影響とも考えられる。ただし、深度55.6m付近のヒータ温度の変化は非常に明瞭な凸型形状を示していることから、この部分では比較的大きな地下水の流動層があると推定された。

次に、BVH28-4ボーリング孔で試験を行った結果は図-8に示す。地下水温は13~14°C前後で、深度が増すとともに徐々に温度が高くなる傾向はBVH28-2と同様であったが、温度変化の幅は大きかった。一方、ヒータ温度はBVH28-2の結果と同様に小刻みな変動がみられるが深度41~46m付近は一定で、深度52~55mの区間で大きく低下した。

深度52~55mの区間は孔底に近いことから、沈降した泥の影響でヒータ温度の計測にエラーが生じた可能性が懸念されたが、絶対圧水位計を孔底まで沈めて水柱高を計測した結果、泥が孔底に堆積しているという事実は認められなかった。

以上から、深度52m以深には明瞭な地下水の流動層があること、深度41~46mの区間は明瞭な流動層が存在しないことが推定された。

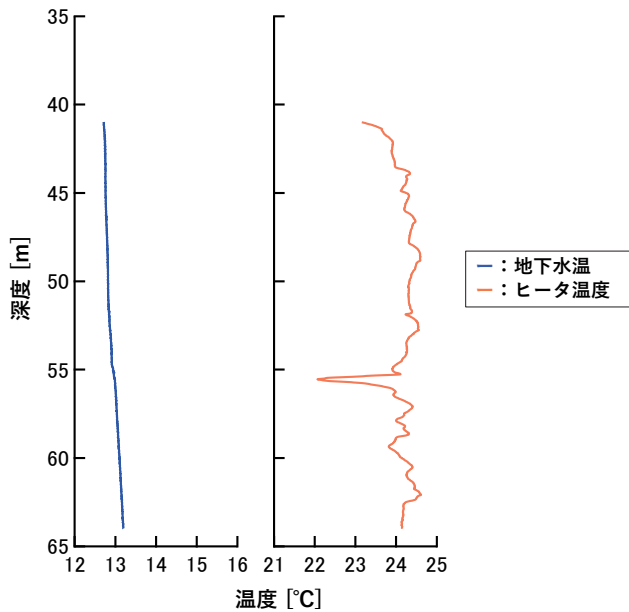


図-7 BVH28-2の地下水温度・ヒータ温度と深度の関係

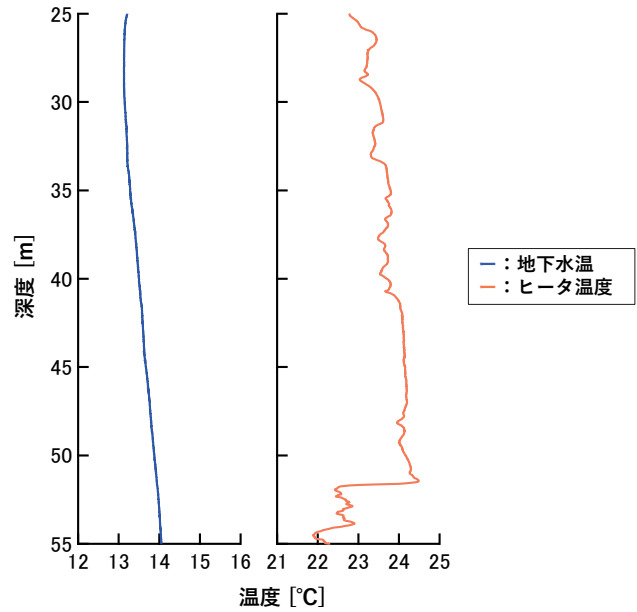


図-8 BVH28-4の地下水温度・ヒータ温度と深度の関係

5. おわりに

本稿では、地すべり地の地下水流動層を把握するための調査法として、プローブを改良した加熱式地下水検層器を用いて実施した室内試験と現地試験の結果を示した。いずれの試験においても側方からの地下水の流動層を明瞭に検知でき、改良型の有効性が示された。室内試験の結果より、側方からの流量が100ml/minでヒータ温度が約0.8°C低下したことから、側方からの流入水が概ね流量100ml/min以上であれば本機器で検知できるものと考えられる。

ただし、現地試験の結果で示されたヒータ温度の小刻みな変動については、小規模な地下水の流動層を検出したものか、水中の不純物など他の要因によるものかは現状で不明である。また、

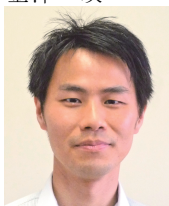
地下水温度の温度勾配が大きい場合には、ヒータ温度の変化だけでは地下水の流動層を検出できない可能性があることから、今後は他の地すべりでも試験を行い、本機器の有効性について更なる検証を進める予定である。

最後に、現地試験を行うに際しては静岡県にご支援を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

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

金澤 瑛



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
Akito KANAZAWA

丸山清輝



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
究センター特任研究員、博士
(学術)
Dr.Kiyoteru MARUYAMA

石田孝司



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
究センター上席研究員、現 国
土交通省北陸地方整備局松本砂
防事務所長
Koji ISHIDA