

## 7. 地すべり地における地下水調査技術の高度化に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 20

担当チーム：雪崩・地すべり研究センター

研究担当者：石井靖雄、丸山清輝

### 【要旨】

地すべり地内における地下水流動帯の分布深度は主に食塩を用いた地下水検層により調査されるが、食塩を用いているため計測に時間を要することや、ボーリング孔内に密度流が生じることによって計測結果の解釈が難しい場合があることが課題としてあげられる。また、平面的な地下水分布の調査には、食塩をトレーサーとした地下水追跡が用いられることが多いが、食塩が周辺の環境に与える影響が懸念される場合があることなどが課題となっている。

そこで、本研究では、食塩を用いない地下水調査手法の開発を行った。地下水流動帯の分布深度を把握する方法として、経時的な熱変化を計測し地下水流動帯の深度を判定する加熱式地下水検層法を開発したほか、調査ボーリング中の給水量と排水量の差から地下水流動帯の深度を判定する調査ボーリング給排水量計測法を提案した。また、地下水流動帯の平面分布を把握する方法として、溶存酸素をトレーサーとする酸素溶解式地下水追跡手法を開発した。これらの調査法は、従来の調査手法に比べて簡便に調査できることが示された。また、これらの調査を用いることで、効率的な地下水排除施設の配置が可能となる。

**キーワード**：地すべり、地下水調査法、加熱式地下水検層法、酸素溶解式地下水追跡法

### 1. はじめに

効率的に地すべり防止工事を実施するためには、地すべりの機構を解明し適切に地下水排除施設を配置することが重要であり、特に地下水流動帯の分布をより適確に調査する手法の確立が望まれている。現在用いられている地下水検層（深さ方向の地下水流動帯の調査法）、地下水追跡（平面的な地下水流動経路の調査法）は計測に時間を要すること、計測結果の解釈が難しい場合があること、地すべり地の周辺環境への影響等に対する懸念があることなど食塩を用いることに付随した課題がある。そこで、以下の開発目標をあげ、食塩を用いない地下水調査法の開発を行った。

- (1) 計測作業が簡便であること
- (2) 計測精度が高いこと
- (3) 環境への負荷が小さいこと

その結果、鉛直方向の地下水流動帯計測技術として加熱式地下水検層法及び調査ボーリング給排水量計測法を、平面方向の地下水流動帯計測技術として酸素溶解式地下水追跡法を開発した。

### 2. 研究目的

本研究では、食塩を用いない地下水流動帯調査技術（地下水検層法、地下水追跡法）と地下水流動帯を把握した効率的な地下水排除施設計画手法の提案を達成目標とする。

### 3. 研究方法及び結果

#### 3.1 食塩を用いない地下水流動状況調査技術

##### 3.1.1 鉛直方向の地下水流動帯計測技術

###### 3.1.1.1 加熱式地下水検層法<sup>1), 2), 3)</sup>

###### (1) 計測原理

加熱式地下水検層法の原理は、ボーリング孔内に「検層器」を挿入し降下させ、ヒータに通電し発熱させておき、地下水流動帯で流入した地下水に接触すると発熱しているヒータの熱が奪われ温度が低下することを利用して、温度低下の状況から地下水流動帯の深度を調査するものである。

図-1には、加熱式地下水検層器の使用機器の構成を示した。使用機器は、加熱式地下水検層器（センサ）、計測器、データ収集用ロガー、パソコン、検層器昇降機、発動発電機

である。図-2は、加熱式地下水検層器（センサ）の構造を示したものである。大きさは、長さ36cm、直径1.6cmであ

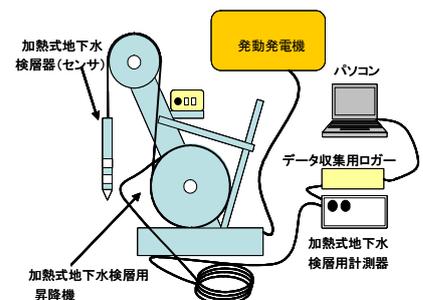


図-1 加熱式地下水検層器使用機器

る。センサは、地下水温を計測する下部温度センサと上部温度センサ、ヒータの温度を計測する下部ヒータ温度センサと上部ヒータ温度センサが配置されている。地下水流動帯の計測には、下部の温度センサとヒータ温度センサを用いる。上部のものは地下水の鉛直流の検出に用いるために設けたが、検出できないことが分かり、調査には使用していない。

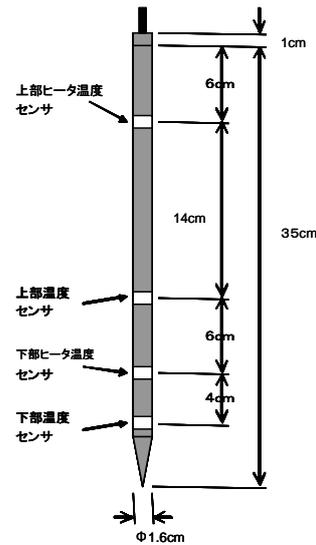


図-2 加熱式地下水検層器

(2) 計測手順

計測は、以下に示す順序で行う。

- ① 検層器を地下水面直下まで降ろす。
- ② ヒータに通電し発熱させ、5分程度保持する。
- ③ 検層器を昇降機により約1cm/secの速度で降下させながら、深度1cmピッチでヒータ温度と地下水温を自動計測する。
- ④ 検層器がボーリング孔底まで達したら、計測を終了する。

なお、②の「5分程度保持」については、センサの動作を安定させるために必要である。③の「降下速度」はセンサの応答性と計測時間の短縮を考慮し、また計測ピッチは計測装置の性能とデータ整理のしやすさをそれぞれ考慮して決定した。

計測回数は食塩による地下水検層（以下食塩検層という）が1孔あたり5～8回になるのに対し1回で完了し、現地作業の省力化が図られる。

(3) 性能検証試験

図-3には、加熱式地下水検層法の基本性能を調べるために製作した試験装置を示した。試験装置は、水槽（長さ2.0m、幅2.0m、高さ1.5m）、ボーリング孔に相当するストレーナ管（φ40mm）、地下水流動帯とみたてたパイプ（φ4mm）とか

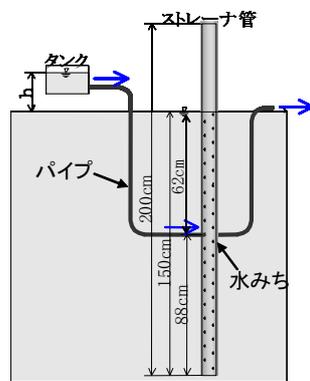


図-3 試験装置

ら構成されている。この装置により、深度約60cmにパイプを接続して200ml/minの水を供給し、加熱式地下水検層により検知可能かを調べた。

図-4は検証試験結果として、下部ヒータ温度と、下部温度センサによる水温(以下、水温という)の深度方向の分布を示したものである。深度方向ではヒータ温度は地下水流動帯とした深度60cm付近で左に凸状に変化しており、地下水流動帯からの水の流れが発熱させたヒータの温度

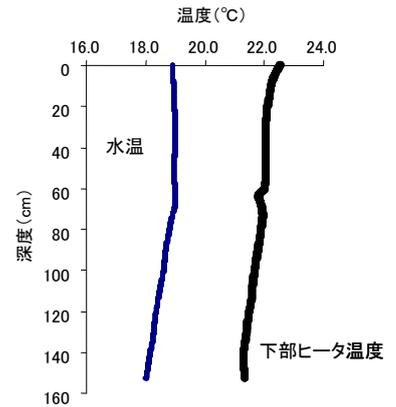


図-4 温度計測結果

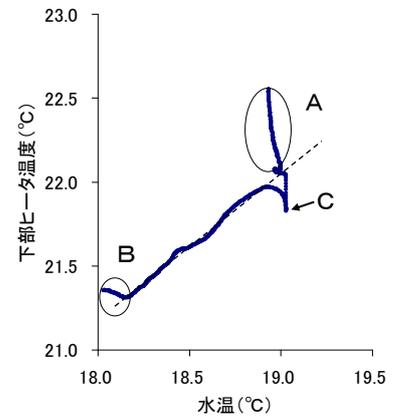


図-5 水温と下部ヒータ温度の関係

図-5には、水温と下部ヒータ温度との関係を示した。Aは水面付近、Bは底部付近の計測データである。A及びBのデータを除くとヒータ温度と水温はほぼ線形関係にあり、ヒータ温度は水温の変化に応じて変化していることが分かる。一方、Cの地下水流動帯（深度約60cm）付近の計測結果は、水温が他の深度より低下していることが分かる。したがって、地下水流によるヒータ温度の変化は、ヒータ温度と地下水温から(1)式により求めることができる。

$$\Delta T_f = T_h - T_{hw} \quad (1)$$

ここで、 $\Delta T_f$  : 地下水流によるヒータ温度変化(°C)

$T_h$  : ヒータ温度 (°C)

$T_{hw}$  : 水温の変化に追従したヒータ温度

$a + b T_w$  (°C)

$T_w$  : 地下水温 (°C)

a、b : 定数 (図-5に示す線形関係の切片 a と勾配 b)

図-6には、(1)式から求めた地下水  
 水流によるヒータ温度  
 の変化  $\Delta T_f$  の深度  
 方向の分布を示した。  
 地下水流動帯の深度  
 60cm付近では、  
 ヒータ温度がその上  
 下の深度での値に比  
 べて約  $0.4^\circ\text{C}$  低下し  
 ており、地下水流動

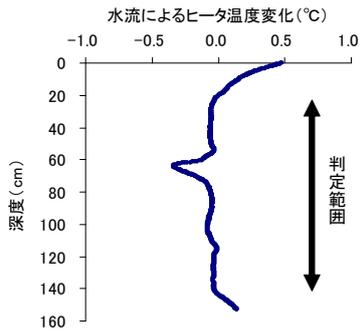


図-6 地下水水流による地下水  
 流動

帯の深度が判定できることが分かる。深度 20cm 以浅  
 と深度 140cm 以深の温度変化は図-5のA、Bのデ  
 ータであり、地下水流動帯の判定では図-5で示され  
 る水温と下部ヒータ温度が線形関係にある範囲のみ用  
 いることにする。なお、A、Bの温度変化はセンサの  
 降下速度の変化によるものと考えられる。Aはセンサ  
 を水面下で5分間停止させた後のため、停止中にヒータ  
 温度が上昇した影響があるためと推定される。Bは  
 センサが底部に達し、センサ下部は停止し上部のみが  
 傾動したことにより、ヒータ温度が上昇したためと推  
 定される。

(2) 現地試験

加熱式地下水検層の現地試験は、赤崎地すべりで実  
 施した。赤崎地すべりは、新潟県阿賀町の阿賀野川の  
 右岸に位置している。地すべりの規模は、長さ約1,000  
 m、幅約500m、面積約53ha、斜面勾配約8度である。  
 地質は、基岩が新第三系の津川層に相当する凝灰岩と  
 アルコース質砂岩から成り、地すべり左岸側には流紋  
 岩の貫入岩帯が存在している。現地試験は、地すべり  
 斜面末端の既設ボーリング孔で実施した。

図-7には、加熱式地下水検層、食塩検層の各結果  
 と地質柱状図を示した。食塩検層における比抵抗値は、  
 検層開始から5分後には深度24~33mで比抵抗が大き  
 くなり、さらに時間の経過とともに深度10~33mにお  
 いて比抵抗値が増大している。このことから、深度約24  
 ~33m付近に地下水流動帯が分布していることが推定  
 される。この区間の比抵抗値の増加量は経過時間120  
 分で約  $1\text{ k}\Omega\text{cm}$  であり、表-1に示す藤原の流動層の  
 種別では「準確定流動面」に区分される。

一方、加熱式地下水検層については、地下水水流によ  
 るヒータ温度変化  $\Delta T_f$  は深度34m (図中A) で最も低  
 下 ( $-0.23^\circ\text{C}$ ) しており、最も流量の大きな地下水流  
 動帯であることが推定される。この地下水流動帯は、

食塩検層の深度約25~33mの地下水流動帯 (準確定流  
 動面) の最深部と、深度35mのすべり面 (軟質粘土が  
 挟在) の間にあたる。地質的には、深度31.0~33.0mの  
 間は凝灰質砂岩の粗粒部でややルーズであり、透水性  
 が高くなっている。また、深度23mの  $\Delta T_f$  (図中B)  
 は2番目の大きさで低下 ( $-0.2^\circ\text{C}$ ) しており、食塩検層  
 の深度25m以浅の地下水流動帯 (準確定流動面) の下  
 部に位置した地下水流動帯となっている。この他、深  
 度37m (図中C) では、 $\Delta T_f$  (図中C) が3番目の大  
 きさで  $0.17^\circ\text{C}$  の低下を示している。食塩検層では経過  
 時間120分で比抵抗値が約  $0.1\text{ k}\Omega\text{cm}$  の増大であり、表-  
 1に示した潜在流動面としても判定されない。このこ  
 とから、加熱式地下水検層における  $\Delta T_f$  の  $0.17^\circ\text{C}$  程  
 度の低下は、食塩検層では地下水流動面として判定さ  
 れないことが明らかになった。

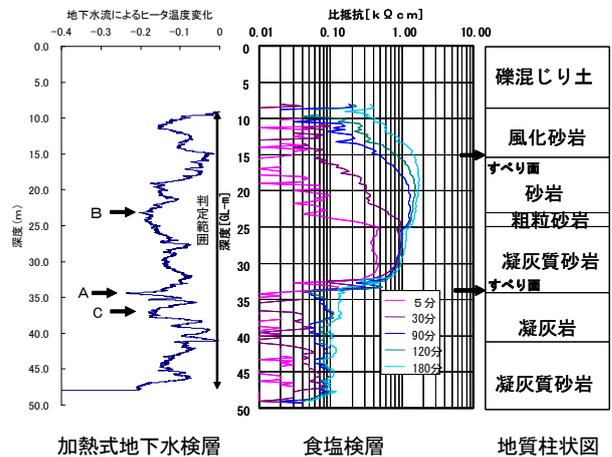


図-7 加熱式地下水検層、食塩検層の各結果

表-1 流動面の種別 (藤原による)<sup>4)</sup>

種別	比抵抗値増大 ( $\text{k}\Omega\text{-cm}$ )				増大値の 累積傾向	流動面存在の 地質的可能性
	30分以内	60分	120分	240分		
確定 流動面	1.0以上	還元(真水)	-	-	顕著	有
準確定 流動面	0.2以上	0.5以上	1.0以上	-	やや顕著	有
潜在 流動面	0.1以上	0.2以上	0.3以上	0.5以上	ややあり	有

(3) 判定基準

図-8は、赤崎地すべりの他に長野県の4箇所の地  
 すべり地でも同様に計測を行い、食塩検層における藤  
 原の地下水流動面判定基準と加熱式地下水検層での地  
 下水水流によるヒータ温度変化量とを対比し、その関係  
 をとりまとめたものである。地下水水流によるヒータ温  
 度の変化量は、潜在流動面から確定流動面になるにし  
 たがい大きくなる傾向が認められる。

赤崎地すべりと長野県の4箇所の地すべりの調査結  
 果をもとに作成した、加熱式地下水検層の地下水流動  
 帯の判定基準を以下に示す。

- ①地下水流動帯の判定に用いるデータは、地下水温と下部ヒータ温度との関係図（図-5の関係図）において両者が線形関係を示す範囲とする。
- ②地下水流動帯は、地下水流によるヒータ温度変化  $\Delta T_f$  の深度方向の分布図において、ヒータ温度が  $0.15^\circ\text{C}$  以上低下する極小値（図-6で左側に凸の部分）の深度とする。
- ③地下水流動帯の判定は、集水管を設置する段数を考慮して、極小値の大きさで上位1～3位程度とする。
- ④極小値の間隔が  $0.5\text{m}$  未満の場合には、一つの地下水流動帯とみなす。

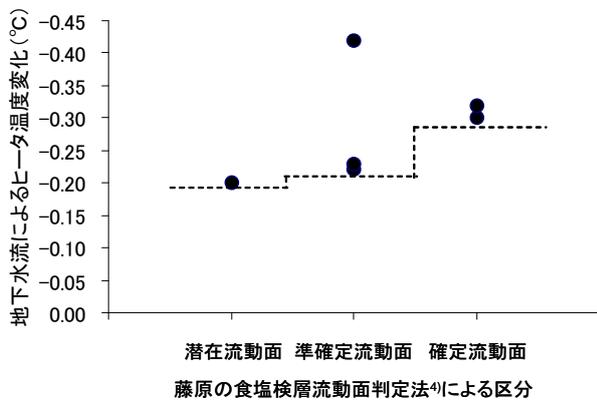


図-8 食塩検層と加熱式地下水検層の各結果の関係

図-8に示した潜在流動面での地下水流によるヒータ温度変化量は、約 $-0.2^\circ\text{C}$ であった。データが6事例と少ないことから判定の見逃がないようにするために、②ではヒータ温度が $0.15^\circ\text{C}$ 以上低下する場合に地下水流動帯として判定することにした。また、③については、集水管の設置段数は多くても3段程度であることを考慮した。④については、地下水流動帯の間隔が $0.5\text{m}$ 未満のものは亀裂が繋がる一つの地下水流動帯と考えられることを考慮した。

図-7に示したように、赤崎地すべりでは加熱式地下水検層により判定された地下水流動帯が食塩検層により判定された地下水流動帯と概ね一致したことから、加熱式地下水検層により地下水流動帯が調査できることが示された。また、食塩検層では地下水流動帯がある程度の区間として判定されるのに対して、加熱式地下水検層では地下水流動帯の深度が明瞭に判定できることが明らかとなった。なお、加熱式地下水検層における地下水流によるヒータ温度変化による地下水流動帯の種別（確定、準確定、潜在）の判定法については、さらに現地試験データを蓄積し、改良を加えていく必要がある。

### 3.1.1.2 ボーリング給排水量計測法

ボーリング給排水量計測法は、地すべり斜面内に被圧地下水が存在する場合に、調査ボーリング中の給水量と排水量を計測することで、地質調査ボーリングをしながら地下水流動帯の分布を調査することを目的に考案したものである。

#### (1) 計測原理

図-9は、調査ボーリング掘進中における給排水量の収支を示したものである。調査ボーリングで地すべり斜面内に被圧地下水が存在する場合、調査ボー

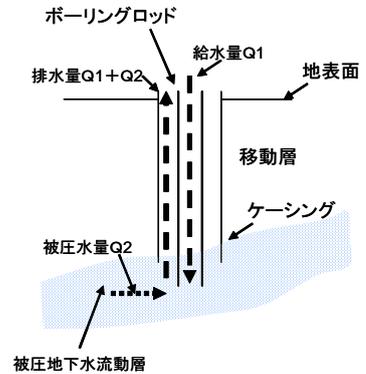


図-9 給排水量の収支

リング中の給水量 ( $Q_1$ ) と排水量 ( $Q_1+Q_2$ ) を計測することで、地下水流動帯を調査できると考えられる。すなわち、排水量が給水量より大きい場合、排水量は給水量に地下水流動帯からの被圧された地下水の水量 ( $Q_2$ ) が加わったものとなり、排水量と給水量の差から地下水流動帯の規模が求められる。また、排水量が給水量より小さい場合、顕著な被圧地下水流動帯は存在しないことになる。

これらのことから、調査ボーリング掘進中の給排水量を連続的に計測することにより、調査ボーリングをしながら地下水流動帯の深度と規模を調査できると考えられる。

#### (1) 給排水量計

図-10には、試作した給排水量計を示した。給排水量計には、通水部に可動部や障害物が全くない完全貫通構造の電極非接液型電磁式流量センサを用いた。

図-11は、給排水量計の配置を示した。給水量は送水ポンプからの水量を送水ポンプとボーリングマシン間で、排水量はボーリング孔から排水された泥水を沈砂容器の排水口で、それぞれ給排水量計を取り付け計測する。

#### (2) 給排水量計による泥水の計測結果

図-12は、給排水量計による泥水（比重  $1.06$ ）の計測結果を示したものである。流量計表示値は実測値と一致しており、給排水量が精度良く計測できることが分かる。

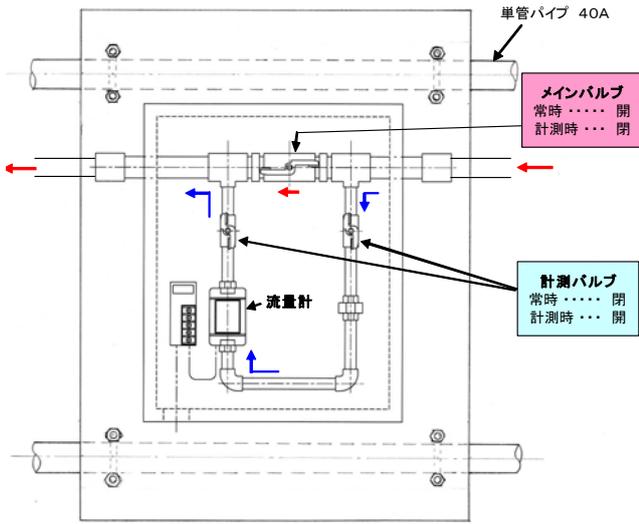


図-10 給排水量計

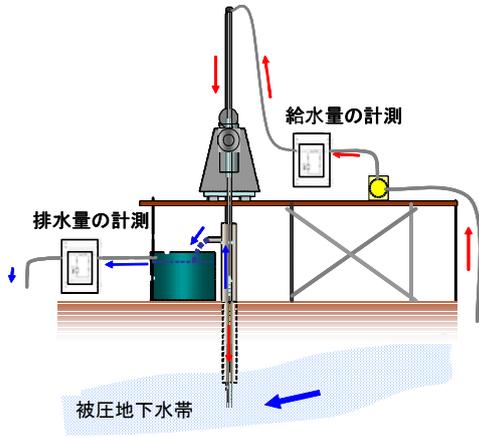


図-11 給排水量計の配置

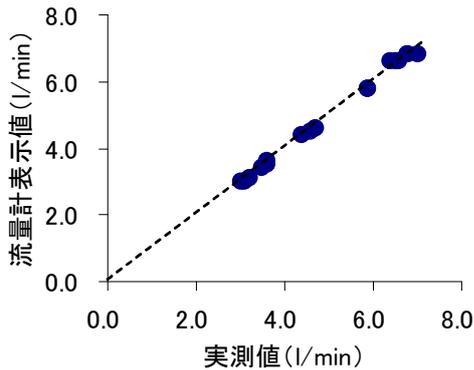


図-12 計測結果

3.1.2 平面方向地下水流動帯把握技術

3.1.2.1 酸素溶解式地下水追跡法<sup>2), 5), 6), 7)</sup>

(1) 調査方法

図-13 には、酸素溶解式地下水追跡法の調査原理を示した。酸素溶解式地下水追跡法は、トレーサーに酸素を高濃度に溶解させた地下水を用いるものである。

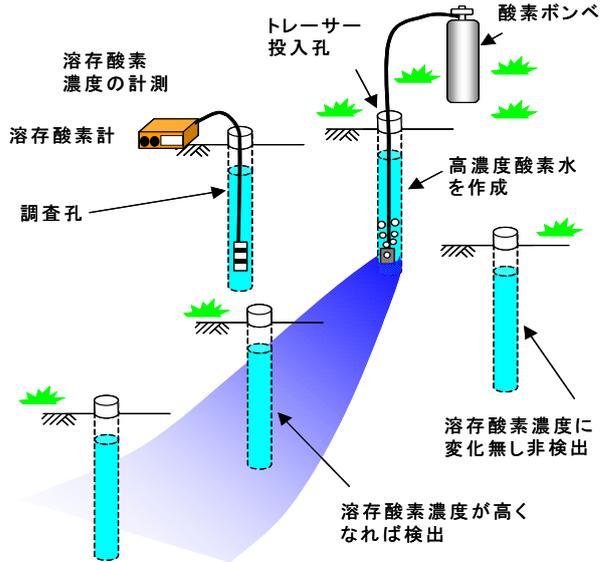


図-13 酸素溶解式地下水追跡法の調査原理

トレーサーは、地すべり斜面上部に位置するボーリング孔内の地下水に酸素を溶解させるためのパイプを挿入、パイプを酸素ポンプに接続して酸素を孔内水中に溶解させる。地下水流下経路は、斜面下方に位置するボーリング孔で溶存酸素濃度が高い地下水が流下してきたか否かを深度毎に計測することで、どの深度を流れているかが分かる。これに対して、従来の方法はトレーサーに食塩を用いる。地下水流下経路の調査は、地すべり斜面上部に位置するボーリング孔内の地下水に大量の食塩を溶解させ、地下水流下経路の斜面下方に位置するボーリング孔で塩分濃度の高い地下水が流下してきたか否かを計測する方法で実施する。

酸素溶解式地下水追跡法のメリットとしては、以下のことがある。

- ①食塩による地下水追跡法は数十 kg の食塩を運搬するのに比べて、トレーサーとなる酸素の運搬は、重量が 10kg 程度の酸素ポンプの運搬で済み、調査資材の運搬労力が軽減される。
- ②酸素は地下水を汚染することが少なく、植物への影響も少ない。
- ③トレーサーとしての応答性が良く、地下水流下の判定が容易である。
- ④トレーサーの沈降や粘土吸着がなく、食塩と比べて到達距離が長い。

図-14 は、試験により水に溶かした塩分及び酸素の経過時間に伴う濃度変化を求めた結果を示したものである。試験では、塩ビ管 (直径 10cm、高さ 150cm) 内に約 10l の蒸留水を入れ、食塩を溶解させた場合と酸素を溶解させた場合について、溶解後の経過時間に対

する濃度変化を塩分濃度は水面付近で酸素濃度は管底付近で各々計測した。なお、各濃度の計測は塩分については水面付近で、酸素については孔底付近で行った。塩分濃度は約 240 時間経過時点で 0% になったが、溶存酸素濃度は 240 時間経過時点でも約 8mg/l になっている。これらのことから、トレーサーの到達距離は、トレーサーを酸素にした場合の方が食塩の場合より長いと考えられる。

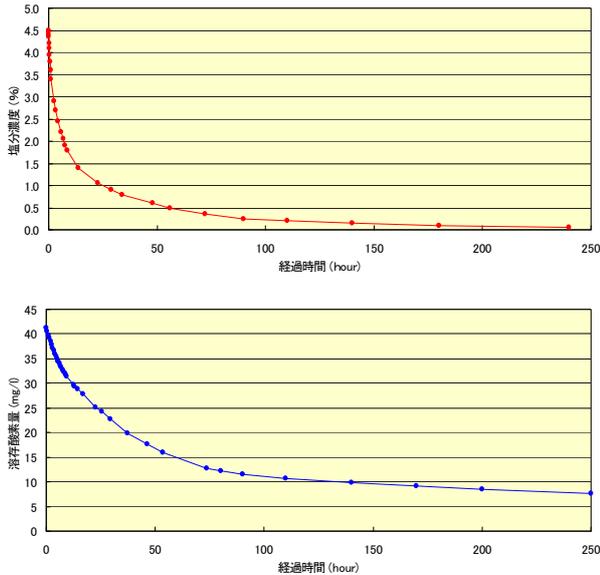


図-14 塩分及び酸素の経過時間に伴う濃度変化

(2) データ整理方法

データ整理は、以下のように行う。

- ①各ボーリング孔におけるトレーサー投入後の溶存酸素濃度の時系列変化図を作成する。
- ②各ボーリング孔での溶存酸素濃度の時系列変化図からトレーサーの検出の有無を判定する。
- ③各ボーリング孔でのトレーサー検出の有無の判定結果をもとに、平面図上に地下水流下経路を推定し矢印で記入する。

(3) 現地試験

1) データ整理結果

滝坂地すべり松坂地区における調査データの整理結果を、以下に示す。

図-15には、ボーリング孔の配置を示した。トレーサー投入孔は松坂地区全体での地下水流下経路を把握するため、斜面上部に位置するBV17-274、BV-236、斜面中腹部に位置するBV17-233、BV-231とし、調査は各トレーサー投入孔とその下方に位置する各ボーリング孔において約10日間毎に実施した。なお、トレーサー投入深度は加熱式地下水検層結果をもとに決め、酸素

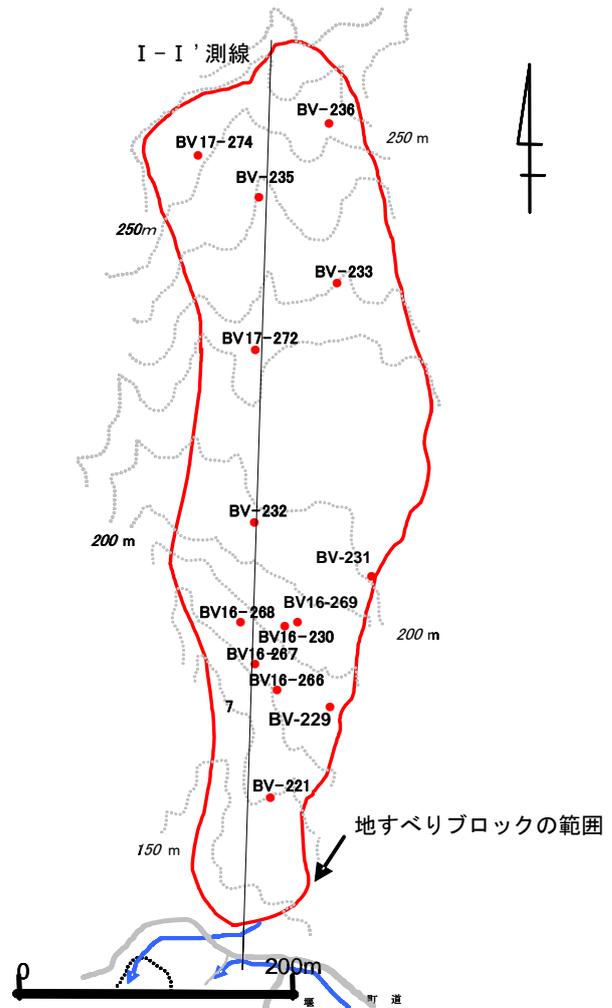


図-15 ボーリング孔の配置

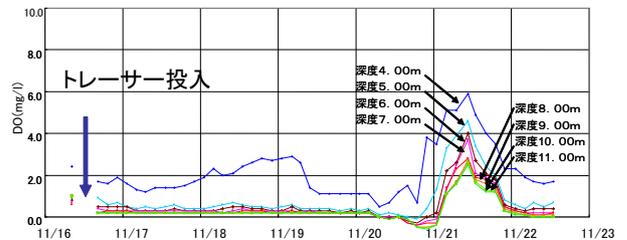


図-16 ボーリング孔内水の溶存酸素濃度変化 (トレーサーが検出された場合)

を5時間供給した(用いた酸素ポンプ1本の容量をもとに決めた)。また、トレーサーの検出の判断は酸素を投入した後、バックグラウンド値の経時変化をもとに判定した。

図-16は、トレーサーが検出された場合のBV-229におけるボーリング孔内水の溶存酸素濃度(DO)の計測結果を示したものである。溶存酸素濃度は、トレーサー投入後の11月16日から20日まで地下水表面付近の深度4mを除いて2.0mg/l以下を示し、21日から2.0mg/l以上に上昇しており、トレーサーが検出されたと判断される。

図-17には、トレーサーが検出されなかった場合のBV-269におけるボーリング孔内水の溶存酸素の計測結果を示した。溶存酸素濃度は、トレーサー投入後の11月16日から22日まで6.0mg/l以下を示し、溶存酸素濃度の上昇が認められないことから、トレーサーが検出されなかったと判断される。

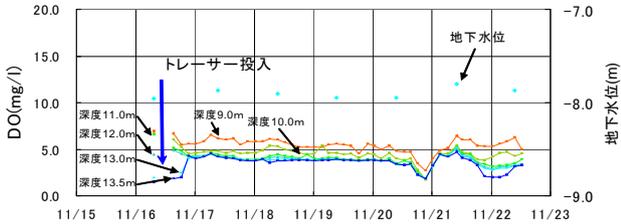


図-17 ボーリング孔内水の溶存酸素濃度変化 (トレーサーが検出されなかった場合)

図-18は、各ボーリング孔でのトレーサー検出の有無をもとに地下水流下経路を推定し、矢印で示したものである。地下水流下経路は、6つの経路が推定された。なお、流下経路1、2はトレーサー投入孔BV17-274、BV-236、流下経路3～6はトレーサー投入孔BV-233、BV-231の各調査結果をもとに推定したものである。

2) 地下水流下経路の推定

ブロック頭部の西方 (BV17-274) と東方 (BV-236) にトレーサーを投入した結果では、地下水が谷地形沿いを流下し、BV17-272 付近で合流した後、ブロックの中央を地すべり移動方向沿いに流下していることが推定される (経路1、2)。一方、ブロック上部中央の東側に位置するBV-233にトレーサーを投入した結果では、ブロックの東側を流下する経路 (経路3) とさらに地すべり移動方向と斜交する南西方向へ流下する経路が推定された (経路4、5)。ブロック下部東方のBV-231に投入した結果では、浅層 (BV-231, GL-14m) の経路は南西方向の谷部へ向かい、深層 (BV-231, GL-27m) の経路は地すべり移動方向にBV-229に至ると推定される (経路6)。

表-2には各経路毎の投入深度、地下水流下深度との関係を、図-19には地下水検層と地下水追跡の結果をもとにした地下水流動帯の断面分布をそれぞれ示した。地下水の流下深度は4～20mにある。また、ブロック上部の経路1、2、3は全て地下水表面付近に位置している (図-19)。ブロック下部の南西方向の経路5はブロック上部の経路3と同じく地下水表面付近に位置しており、経路の連続性が伺える (表-2)。

図-20は、これらの地下水追跡結果を、すべり面のみを表示した立体図に示したものである。すべり面形

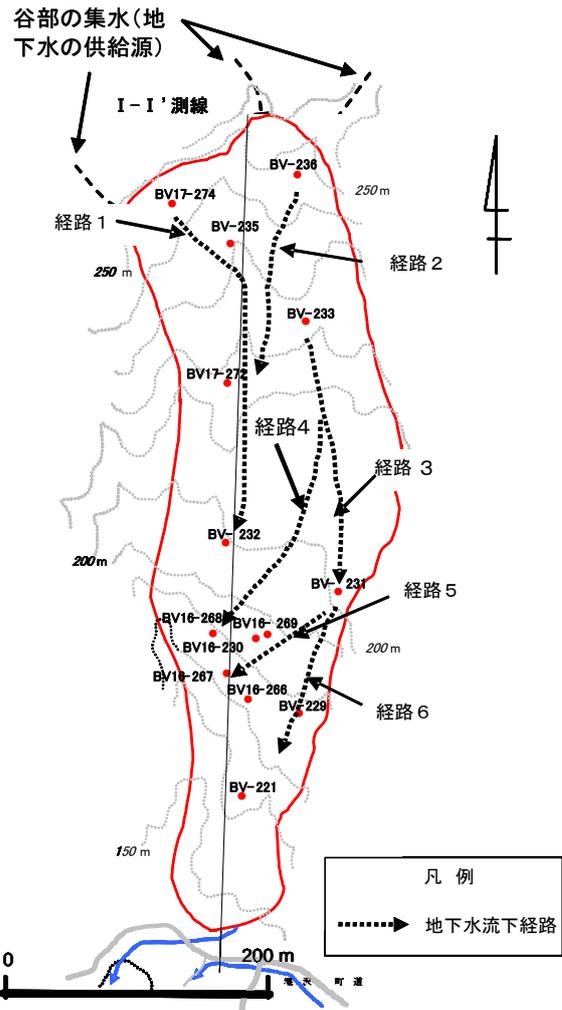


図-18 地下水流下経路推定結果

表-2 各経路毎のトレーサ投入深度、地下水流下深度

	トレーサー投入孔及び投入深度	地下水流下深度
経路1	BV-274 (GL-12m)	GL-4～13m
経路2	BV-236 (GL-18m)	GL-5～18m
経路3	BV-233 (GL-13m)	GL-5～15m
経路4	BV-233 (GL-13m)	GL-5～15m
経路5	BV-231 (GL-14m)	GL-5～14m
経路6	BV-231 (GL-27m)	GL-10～20m

状は、概ね谷状を呈している。ブロック頭部では、特に谷形状が鮮明である。地下水流下経路1、2は背後の谷地形から連続するすべり面の谷部に沿って流下し、BV-272 付近で合流する。ブロック中腹部のBV-267 付近では、すべり面の標高が高くなり基盤岩の高まりが存在すると考えられる。経路3はすべり面の凹部を流下し、東側から伸びている基盤岩の高まりに沿って経路4のように西側に向かっている。BV-267 付近の基盤

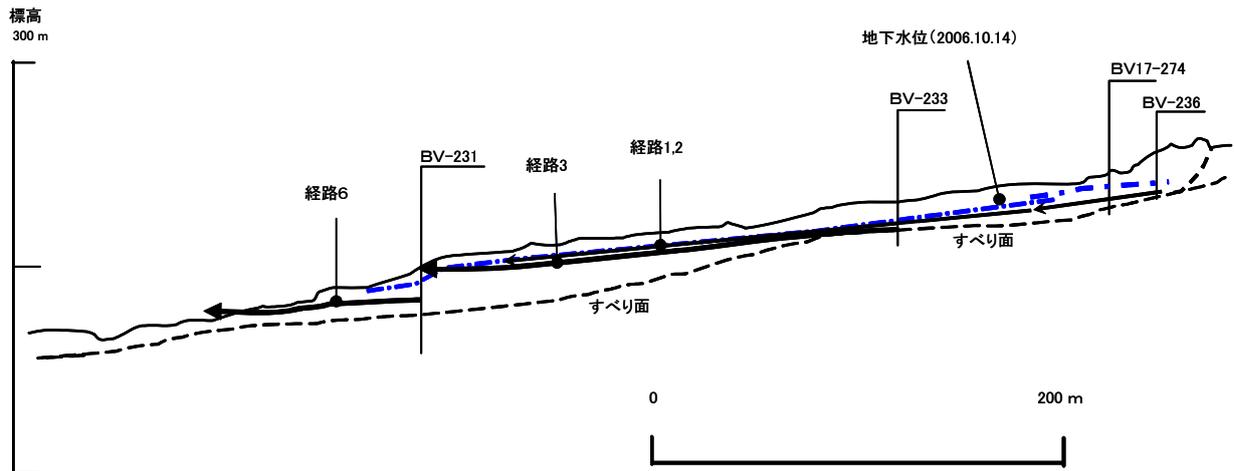


図-19 主測線縦断面における地下水流下経路推定結果

岩の高まりは地下水の流下を阻害し、上位の地盤内に地下水が溜まりやすい環境を形成していると考えられる。これにより、ブロック頭部から中腹部までは深層部の地下水流下が妨げられると推定される。これらの地下水の流動は、ブロック上部では概ねすべり面の形状に沿って凹部を流下し、中腹部では基盤岩の高まりによって形成された地下水の貯留部を経由して西側に流下していると推定される。

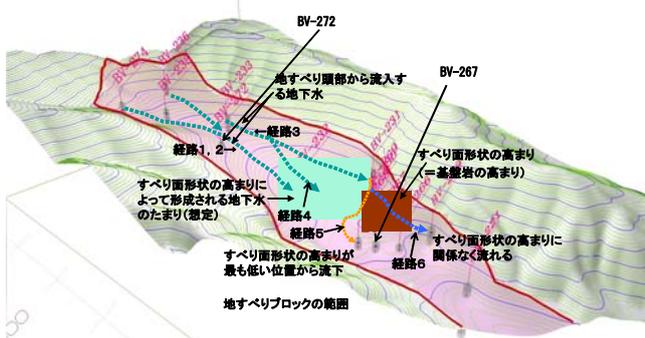


図-20 地下水流下経路立体図

### 3. 1.3 地下水流動帯を把握した効率的な地下水排除施設設計画

#### (1) 地下水排除計画の立案

滝坂地すべり松坂地区の現地試験結果から推定された地下水流下経路をもとに、地下水排除施設設計画の立案を試みた結果を示す。地下水排除施設設計画の立案上の基本的な考え方は、地下水流下経路を遮断するように施設を配置することである。このため、施設は、地下水追跡により求められた平面的な地下水流下経路において、地下水検層により求められた鉛直方向の地下水流動帯に集水管を挿入し、地下水を排除できるように配置する。

図-21 には、地質調査ボーリング及び地下水検層結

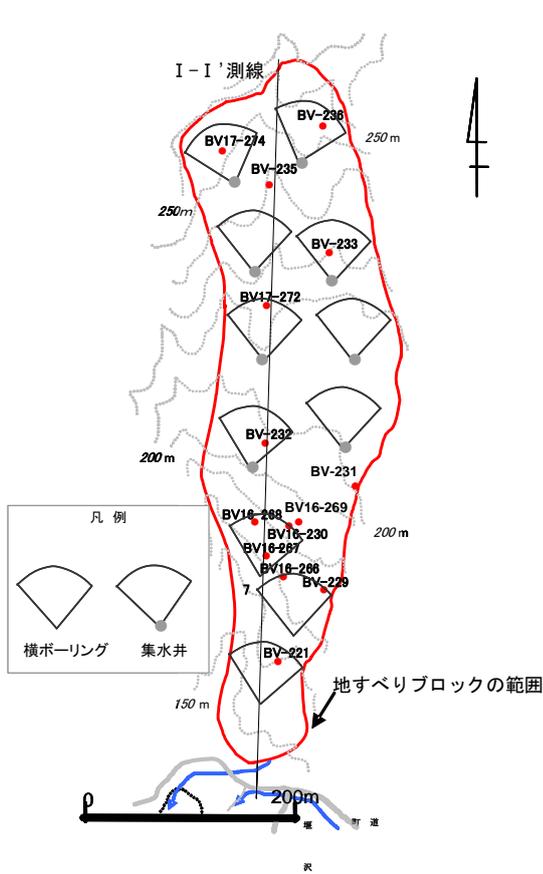
果をもとにした平面的な地下水排除施設の配置例を示した。一般に、地下水排除施設は斜面全体に配置されるように配置されることが多い。

図-22 は、地質調査ボーリング、地下水検層、地下水追跡の各結果をもとにした地下水排除施設の平面的な配置例を示したものである。集水井W2は経路2、W3は経路1と2の合流部、W5は経路1と2の合流後、W6は経路3の各地下水排除のために配置されている。また、横ボーリングは浅層の地下水流下経路を対象に、H1は経路4、H2は経路6の各地下水排除のために配置されている。図-21と図-22の配置を比較すると、図-22では地下水流下経路の把握により施設が効果的に配置されるようになり、地下水排除施設の基数を減らす(集水井2基、横ボーリング1基)ことが可能となっている。

#### 4. まとめと今後の課題

本研究は、簡便で調査精度が高く、環境への負荷が小さい地すべり地の地下水調査法を提案することを目的として調査法の開発を行ってきた。以下に、その結果を示す。

- (1) 食塩を用いない地下水流動状況調査技術については、加熱式地下水検層法、調査ボーリング給排水量計測法、酸素溶解式地下水追跡法を提案した。
- (2) 食塩検層では地下水流動帯が区間として判定されるのに対して、加熱式地下水検層では地下水流動帯の深度が明瞭に判定できることが分かった。
- (3) 加熱式地下水検層法では、赤崎地すべりと長野県の4箇所の地すべりの調査結果をもとに検層結果から地下水流動帯を判定する基準を作成した。
- (4) 地下水流動帯を把握した効率的な地下水排除施設設計画については、事例として加熱式地下水検層法



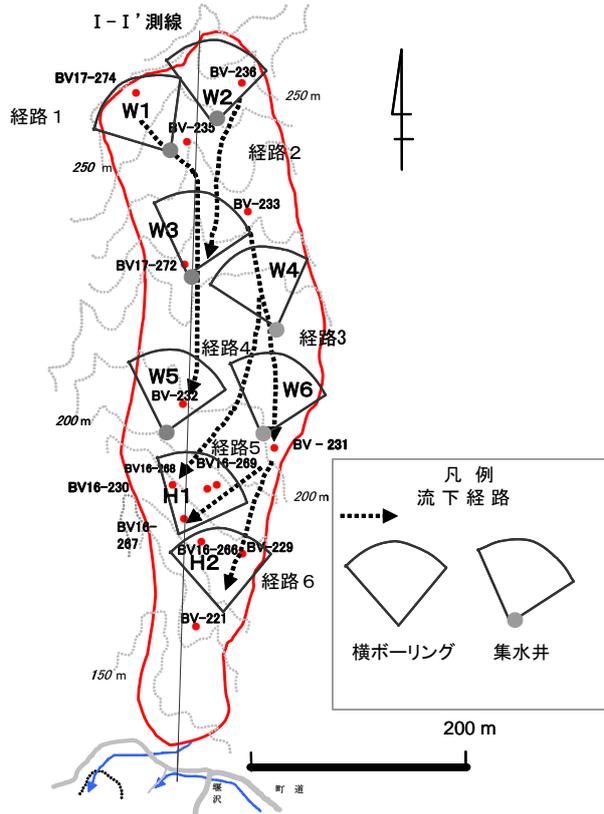
図一 調査ボーリング、地下水検層結果による施設の配置例

と酸素溶解式地下水追跡法を用いた滝坂地すべりでの調査結果を用いて、地下水排除計画の立案を試み、地下水流動帯を把握することで、効率的な地下水排除施設の配置が可能となることを示した。今後は、加熱式地下水検層器の軽量小型化と技術の普及を図る計画である。

最後に、本研究を進めるに際しては、国土交通省北陸地方整備局湯沢砂防事務所及び新潟県にご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 丸山清輝ほか：加熱式センサを用いた地下水検層法の現地試験、第46回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp. 241-244、平成19年8月
- 2) 丸山清輝ほか：大規模地すべり地の地下水流動帯追跡調査の高度化、土木技術、Vol163 No.1、pp. 77-83、2008年1月
- 3) 丸山清輝ほか：加熱式地下水検層による地すべり地の地下水調査、2008年秋季講演会講演要旨、pp. 244-247、2008年11月
- 4) 藤原明敏：地すべり調査と解析－実例に基づく調査・解析



図二 調査ボーリング、地下水検層、地下水追跡結果を基にした地下水排除施設配置例

法一、pp. 106-108、理工図書

- 5) 鈴木聡樹ほか：溶存酸素をトレーサーとした地下水追跡調査の適用、平成20年度砂防学会研究発表会概要集、pp. 174-175、平成20年5月
- 6) 鈴木聡樹ほか：高濃度酸素水を用いた地下水追跡調査について、第47回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp. 163-164、平成20年8月
- 7) Souki Suzuki, Kiyoteru Maruyama, Has baator, Masaaki Hanaoka : The groundwater tracing investigation with high density oxygen as a tracer. Proceedings of The First Landslide Forum, The International Programme on Landslides(IPL).2008

## **Research on Development for Advanced Groundwater Investigating Techniques in Landslide Site**

### **Abstract**

The investigation for distribution depth of groundwater flowing zone in a landslide site is mainly depending on groundwater logging by salt. However, it takes long measurement time, and the measuring result is difficult to be interpreted because of the influence of the density current in the borehole in some cases. Moreover, since salt is usually used as tracer to investigate the plane distribution of groundwater, salt gave the influence to the environment around the investigating sites.

Therefore, in this study, we developed groundwater investigation techniques which not using salt. As a technique for catching distribution depth of groundwater flowing zone, we developed a method by measuring the thermal of groundwater. Also, we proposed a method to determine the groundwater flowing zone by measuring the difference between the supply water and pump out water amount volume while drilling. We also developed dissolved oxygen groundwater tracing technique for determine the plane distribution of groundwater. The results of this study show that these investigating techniques are simple and easy method compared with usual methods, and moreover, it is possible to effectively arrange the groundwater drainage facilities by using these methods.

Key words: landslide, groundwater investigation technique, thermal groundwater logging, dissolve oxygen groundwater tracing