

孔内水位の連続観測と水質調査を併用した 地すべり斜面の地下水解析 — 東虫亀地区を例として —

Analysis of the characteristics of groundwater by observations of the fluctuation
of groundwater levels and water quality in Higashimushigame landslide area

稲葉 一成* 吉田 昭治**
Kazunari INABA Shoji YOSHIDA
佐藤 修*** 中野 俊郎**
Osamu SATO Toshiro NAKANO

Abstract

This paper deals with the characteristics of groundwater at different depth in a landslide slope and the mechanism of water level fluctuation in the observation borehole with a screened section along all its length.

The groundwater levels and meteorological conditions have been observed at Higashimushigame landslide area since 1986. Sampled waters from the borehole were analyzed for major ion constituents. Two types of the observation borehole with a screened section only at the desired depth and along all the length, were used to measure water level and to collect water samples.

Analyzing the observed data, the results are as follows:

- 1) The characteristics of groundwater in the investigation site are divided into three groups according to the fluctuation patterns of groundwater levels and water quality.
- 2) Though the groundwater level in the borehole with a screened section responds to the rainfall, water quality does not change.
- 3) In the borehole with the screened pipe, the groundwater level observed is a function of potential and permeability in each aquifers.

キーワード: 地すべり, 地下水, 観測孔, 水質

1. はじめに

一般に、地すべり斜面の地下水は、斜面の土層状態に対応していくつかの層を成して存在し、地下水の賦存状態も層ごとに異なる。従って、地すべりに直接関連するすべり面の間隙水圧の挙動を把握するには、斜面の地下水を帯水層ごとに区別し、その相互の関連性を把握することが必要となる。

そのため、地すべり地の地下水観測には、問題の多い全長ストレーナ式観測孔に代えて、目的とする測定深度にのみストレーナを設けた観測孔（以下、部分ストレーナ式観測孔と呼ぶ）を用いるべきだという指摘^{1),2),3)}が多い。しかしながら、現場サイドでは経済的な問題などや層ごとの地下水挙動の把握の重要性が十分理解されてい

ないことから、依然として全長ストレーナ式観測孔が用いられているのが現状である。

一方、地下水相互の関連性の有無やその地下水の起源を把握するには、ボーリング孔内の水位の連続観測データだけでは不十分な場合が多い。これを補うものとしては、孔内水の水質調査を併用することが有効である。地すべり地区内外の地下水の水質に関する報告例は多く見られるが、孔内水位の連続観測などと水質調査を併用して、地下水相互の関連性を考察したような報告例は少ない。

以上の観点から、本報告では東虫亀地区⁴⁾を例に、部分ストレーナ式観測孔による孔内水位の連続観測とその孔内水の水質調査を併用して、地すべり斜面中に存在する層ごとの地下水の特質と地下水相互の関連性の解明を試みる。また、全長ストレーナ式観測孔の問題点とされるその孔内水位の形成について、孔内水位の変動と水質の変化の関係から考察する。

* 新潟大学大学院自然科学研究科
** 新潟大学農学部
*** 新潟大学復讐地域災害研究センター

2. 地すべり地の概要

観測を行っている地すべり斜面は、新潟県古志郡山古志村東虫亀地区内にあり、標高300~600mの小起伏山地に位置する。地質は新第三紀中新世の椎谷層に区分される泥岩、砂岩の互層を基盤とし、これを地すべり崩土

または崖錐等の被覆層が覆っている。観測を行っている地すべり斜面は、地形、地すべり歴から上・下部の2ブロックに区分され、これらが組み合わされて、全体として平均傾斜20°、高低差約90m、斜面長約250mの一連の地すべりブロックを形成している(図-1)。ボーリングの結果から、地質的に大別して崩積土、風化泥岩、泥岩の3層に区分され、すべり面は深い所で14m、浅い所で4m程度である(図-2)。この地すべり斜面の移動は、最近のものとしては、1961、78年の集中豪雨時、86年の融雪期に記録されている。また88年12月には、南東隣接斜面において約3万m³規模の地すべりが発生している。

なお、本報告はBV-1~3が設置されている上部ブロック(図-2)での観測結果について検討したものである。

3. 観測の概要

3.1 観測孔の配置・構造と水圧測定方法

この地すべり斜面には、筆者らが観測を始める前に既に、新潟県農地部によって全長ストレナ式観測孔(BV2-1, BV5-1)が設置されていた。その時に作成された地質断面図⁹⁾から土層状態を考慮して、すべり面下とその上の崩土層の地下水頭を区別して測定できるように、部分ストレナ式観測孔(BV1-1, BV1-2, BV2-2, BV3, BV4, BV5-2)を1986年に追加した(図-2)。

これらの部分ストレナ式観測孔は、孔底から1mの区間のみストレナが切られており、ストレナ区間の上部はシール材によって遮水されている(図-3)。従って、この区間以外からの孔内への水の出入りはなく、特定の層の水圧が測定できる。

各観測孔内には水圧測定用のセンサー(市販の間隙水

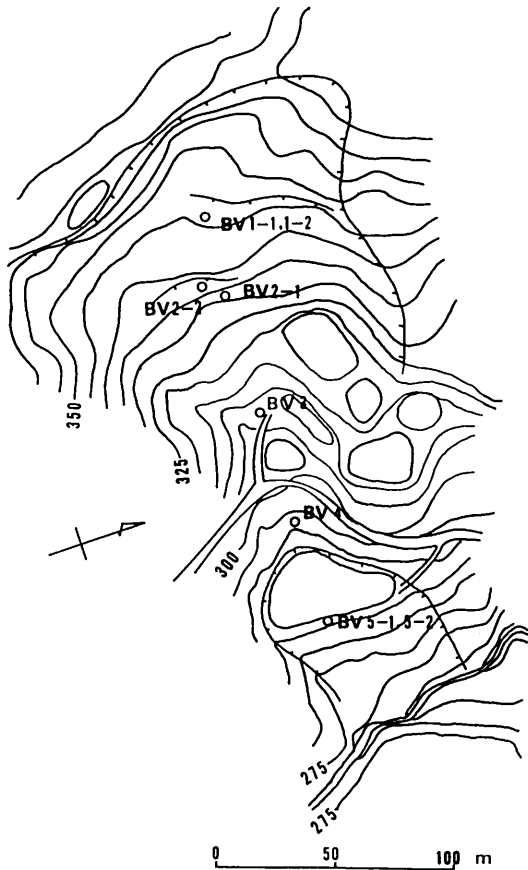


図-1 地すべり平面図

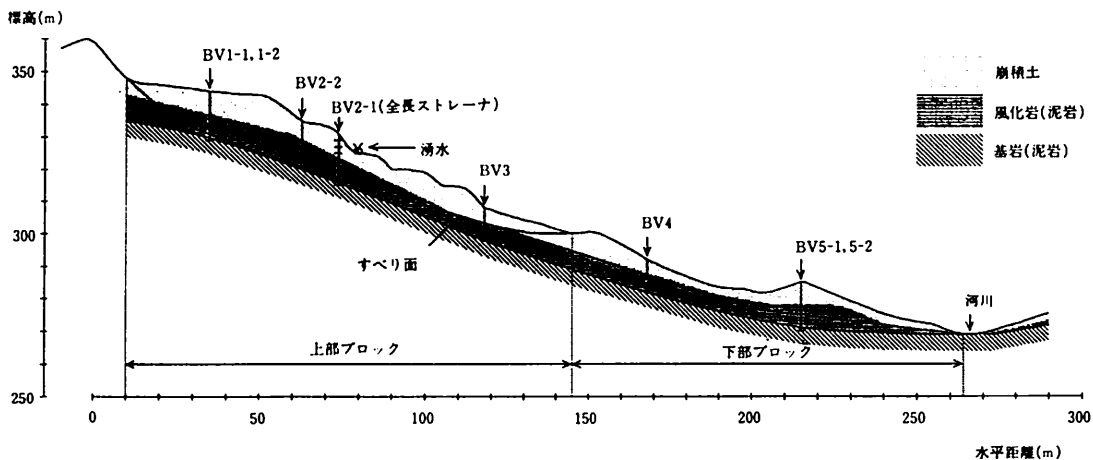


図-2 地すべり断面図

圧計)を設置して水圧を測定している。この方式は間隙水圧計を直接埋設する方式と比較した場合、

- 1) センサーの校正係数の変動に対応できる、
- 2) センサーの故障時にはたやすく交換ができる、
- 3) 手動による水位測定が可能であり、これをセンサーの校正係数のチェックに利用できる、
- 4) 水質分析のための採水ができる、

といった多くの利点がある。しかし、その反面、欠点としては降雨等によって地下水頭が急激に変動する場合には、実際にある程度の水が孔内に入ってきて、観測孔のストレーナ部分の内外の水圧がつり合うことによって、初めて、孔内水位の変化として水圧変動が測定可能になるため、降雨等に対する反応が遅れる恐れがある。

3.2 自動観測システム

図-4に自動観測システム⁶⁾の概要を示す。この観測地区は冬季には最大積雪深が3mにも達するような気

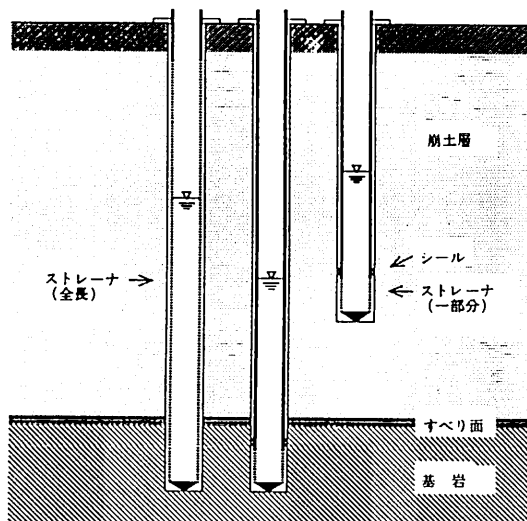


図-3 部分ストレーナ式観測孔と全長ストレーナ式観測孔

象条件下にさらされる。冬季も含めた年間を通しての観測を可能にするために、コンピュータ、ADコンバータ、アンプ、モデム等の機器は、コルゲート鉄板製の観測小屋内に設置されている。

この観測システムの電源はAC100Vで、停電時にはバックアップ電源の12Vバッテリーによって計測が継続される。地すべり斜面に設置された、地下水圧、積雪深、気温、雨量の各観測機器によって一定時間毎に自動計測されたデータは、ケーブルでこの観測小屋内に送られ、コンピュータ(HC-40)に接続したICカードに保存される。この保存されたデータは、約80km離れた新潟市の大学構内に設置してあるホストコンピュータ(PC-9801VM)を操作することによって、モデムと電話回線を経由させて、随時に大学内へ転送することができる。

従来の観測システム(松之山越地すべり地での観測方式⁷⁾)と比較した場合、現場にICカードを交換しに行くことなしに即時に現場のデータが得られ、また、定期的にデータの転送を行うことにより、観測システムの故障等のチェックやそれに対する即時の対応も可能になるといった利点がある。ただ、電話回線と電灯線が得られるような地すべり地に限定されるという問題がある。

3.3 水質分析の意義と分析方法

これまでに筆者らが行った、地すべり地の地下水の水質に関する研究結果⁸⁾から、泥岩起源の第三紀層地すべり地の水質に関する特徴をまとめると、

- 1) 地下水中の高濃度の塩化物イオンや炭酸水素イオンは、化石塩水に由来し、これらのイオンに富む水は、地すべり斜面中の深い部分に分布する。
- 2) 硫酸イオンは泥岩中の黄鉄鉱の酸化に由来し、このイオンに富む水は、地すべり斜面中の地表近くの浅い部分に分布する。

以上の知見を生かして、各観測孔内水の水質分析を、

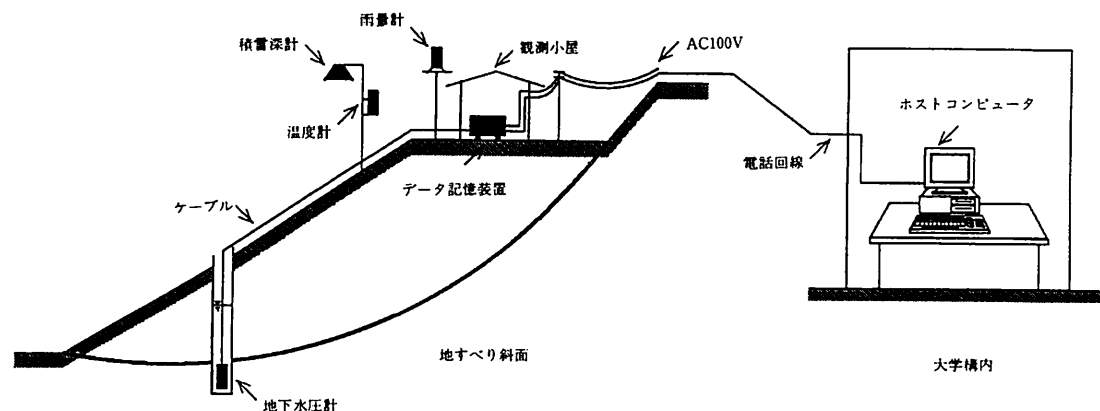


図-4 自動観測システムの概要

孔内水位の連続観測結果と結び付けることによって、より正確にその水の起源や地下水相互の関連性を把握することが可能となる。

水質の分析方法は、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} の各イオンについて、イオンクロマト法で行ない、 HCO_3^- についてはpH 4.8 アルカリ度を測定し、これを HCO_3^- とした。

4. 各地点の孔内水位の変動と水質の変化

新潟県下の地すべりは、融雪期に最も多く、ついで雨期に多発する。この報告では観測期間のうちから、1989年2~3月の融雪期と9~10月の秋の長雨の時期の観測

結果を取り上げて、孔内水位の変動と水質の変化について考察する。

図-5に1989年2~3月の斜面頭部、中腹部、末端部の各観測孔の孔内水位、日融雪量+日降雨量、積雪深の観測結果を示す。図-6に1989年9~10月の斜面頭部の孔内水位、日降雨量の観測結果を示す。各観測孔内の水質はヘキサダイアグラムにして図-7、9、10、12に示す。なお、各観測孔における孔内水位は標高で表示し、以下ではこれを地下水頭（あるいは単に水頭）と呼ぶことにする。

まず、斜面頭部(BV 1-1、BV 1-2)、中腹部(BV 2-1、BV 2-2)、末端部(BV3)の各地点での地下水頭の

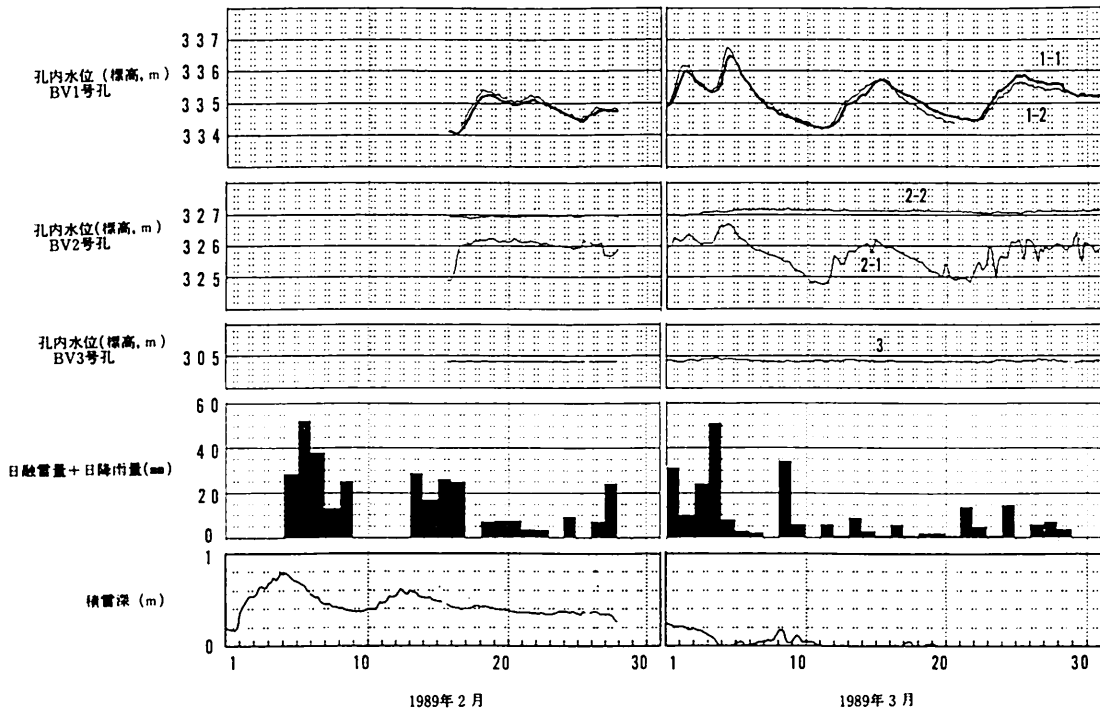


図-5 融雪期の観測データ

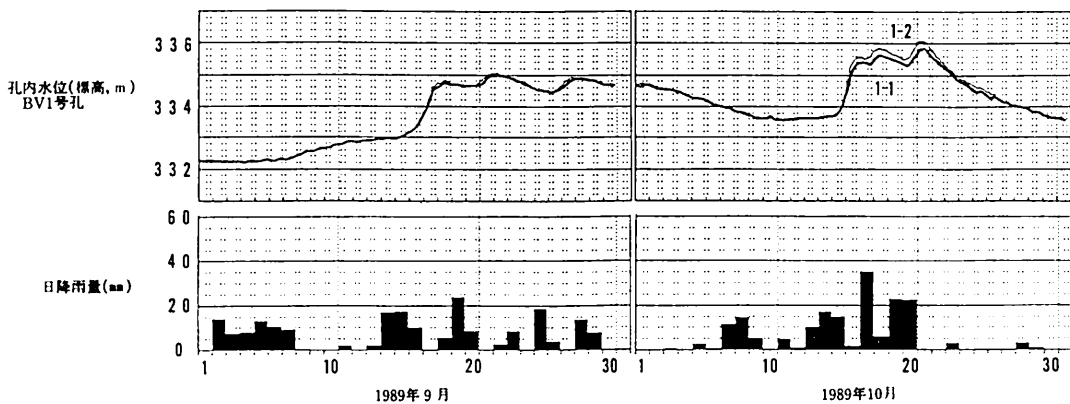


図-6 秋の長雨時の観測データ

孔内水位の連続観測と水質調査を併用した地すべり斜面の地下水解析 - 東虫亀地区を例として -

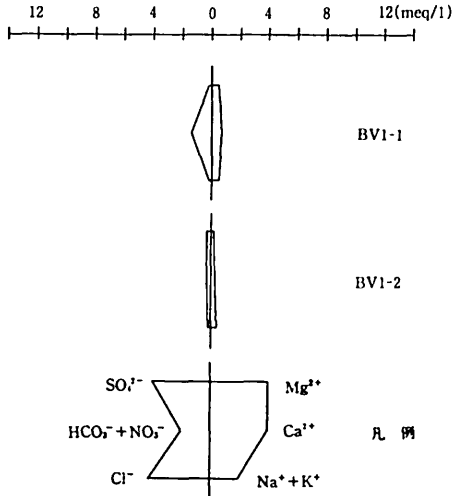


図-7 部分ストレーナ式観測孔BV1-1とBV1-2の水質

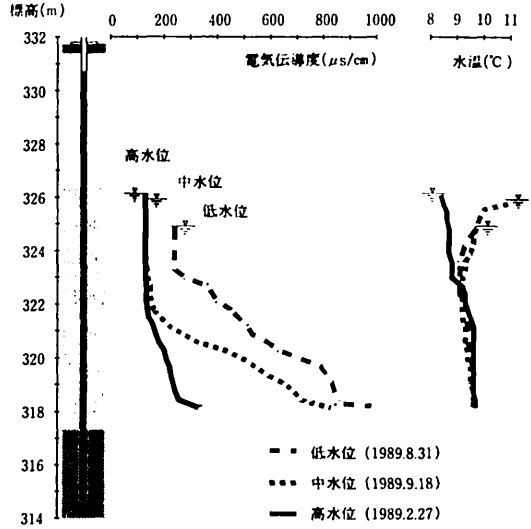


図-8 全長ストレーナ式観測孔 BV 2-1 における鉛直方向の電気伝導度と水温の分布

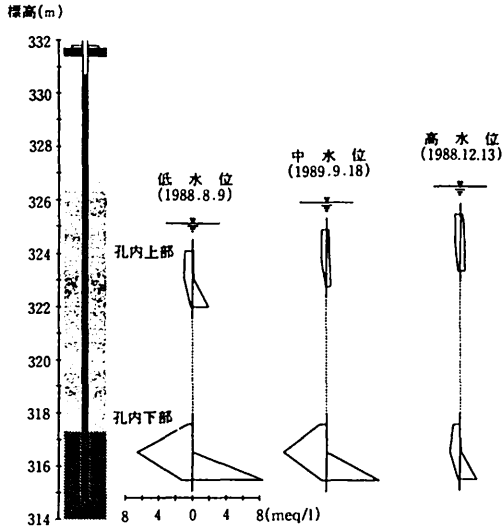


図-9 全長ストレーナ式観測孔 BV 2-1 における水位変動に伴う水質の変化

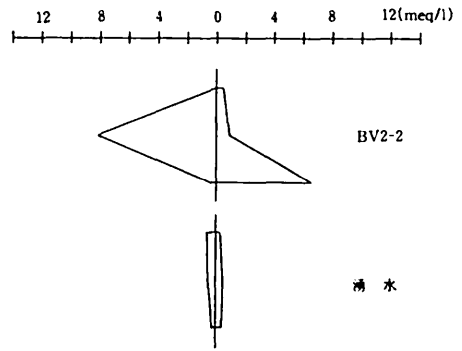


図-10 部分ストレーナ式観測孔 BV 2-2 と湧水の水質

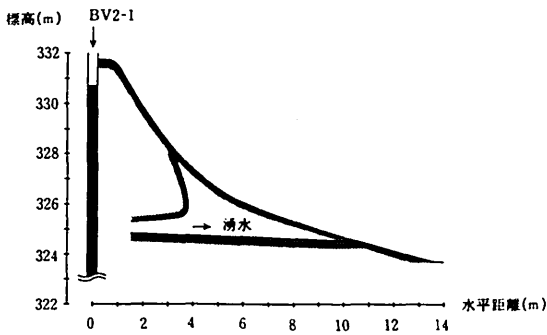


図-11 湧水地点の断面図

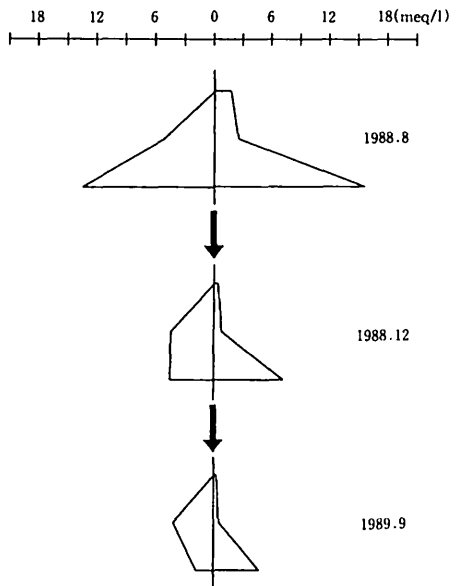


図-12 部分ストレーナ式観測孔 BV 3 の水質

変動と水質の変化を考察した後、上部ブロックの斜面全体の地下水相互の関連性を考察する。

4.1 斜面頭部

斜面頭部ではすべり面の深さは約14mと想定されたので、観測孔は、すべり面より下の、地表面から深さ14~15mにストレーナを切ったBV1-1と、崩土層の深さ9.5~10.5mにストレーナを切ったBV1-2の2本を設置した(図-2)。

斜面頭部のBV1-1(深度15m)は、融雪水や降雨に対して敏感に反応し、孔内水位は急激に上昇する(図-5の3月上旬)。BV1-2(深度10.5m)もBV1-1と大変よく似た水位変動を示し、孔内水位の標高もほぼ等しい。降雨がしばらくないと、BV1-1は標高約332.4mの最低水位を維持するが、BV1-2は水位が孔内の最低部よりも低下し、孔内の水が涸れる(図-6の9月上旬や10月上旬)。この上下2点の水圧値の比較から、深さ方向の圧力分布は、静水圧分布か、若干の被圧状態を呈することがわかる。地形から判断して、地下水流は全体としては下向きの傾斜流であるにもかかわらず、深いBV1-1の水が被圧状態を呈することは、すべり面をはさんだ上下層の異なる帯水層があることを示す。これらの帯水層の水は、水頭の変動パターンが一致することから、水圧的にはつながっていると考えられる。

両観測孔の水のヘキサダイアグラムは全く違っており(図-7)、水質は異なっている。この水質の相違からもBV1-1(深度15m)の水とBV1-2(深度10.5m)の水は、異なる帯水層の水であることがわかる。BV1-1の水(図-7)は、土壌の表層に由来する硫酸アルカリ土類型の水と、深い層に由来する炭酸水素イオン型の水が混合したものである。BV1-2の水(図-7)は、BV1-1よりも全イオン濃度は低いが、硫酸イオンの濃度が高いことから、土壌の表層に由来する水の影響が大きいとみなされる⁹⁾。この水質組成から、上下2つの帯水層の水は降雨や融雪水が単純に直接そこに浸透してきたものではないことがわかる。また、これまでのところ両観測孔ともに、降雨や融雪水による水頭変動に伴っての水質の変化は観測されていない。

以上、水頭変動と水質のデータから斜面頭部ではすべり面をはさんだ上下層に異なる帯水層があり、この上下2つの帯水層の水頭変動は、降雨や融雪水が単純に直接そこに浸透してきたことによるものではなく、斜面最上部の亀裂などを通じて浸透し、間接的に地下水の圧力を高めることによって生ずるものとみなされる。

4.2 斜面中腹部

斜面中腹部ではすべり面の深さは約14mと想定されたので、観測孔は、深さ1~17mにストレーナを切った全長ストレーナ式観測孔BV2-1と、崩土層の深さ

9~10mにストレーナを切ったBV2-2の2本を設置した。

斜面中腹部のBV2-1(深度17m)は斜面頭部のBV1-1(深度15m)やBV1-2(深度10.5m)と類似した孔内水位の変動を示し(図-5の3月)、また微小な変動も示す(図-5の3月下旬)。年間を通じた観測値によると最低水位は標高324~5m付近に存在し、降雨がない場合でもこの水位を維持する。また、水位が上昇する時は、326mで一旦その上昇が鈍る(図-5の2月や3月上旬)。

全長ストレーナ式観測孔のBV2-1(深度17m)は、孔内に水質の異なる2種類の水が分布し、孔内水位の変動に対応してその分布位置も変動する。図-8は水位が低水位(標高325m以下)、中水位(標高326m)、高水位(標高326m以上)の時の鉛直方向30cmごとの電気伝導度、水温の分布をそれぞれ示したものである。いずれの場合も標高321~323m付近を境にして、それ以深では電気伝導度が深さと共に高くなる傾向が見られ、この付近を境に上下で水質が異なることを示している。また、孔内水位が低くなると、電気伝導度が孔内全体にわたって高くなることがわかる。図-9は孔内水位が低水位(標高325m以下)、中水位(標高326m)、高水位(標高326m以上)の時の孔内上部、下部の水質をそれぞれ示したものである。図-9から、図-8で示したように、孔内上部、下部では水質が異なっており、孔内上部には電解質濃度の低い水が分布し、孔内中部から下部には電解質濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水が分布する。この水質の異なる2種類の水は、孔内水位の変動に対応してその分布位置も変動する。即ち、低水位の時は、電解質濃度の低い水は孔内の上部に分布し、電解質濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水は孔内中部から下部に分布している。しかし、中水位、高水位と孔内水位が上昇するに従って、電解質濃度の低い水は孔内上部から孔内下部へとその分布位置を広げ、電解質濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水を孔外へと押し出すようになることがわかる。

図-8と図-9から、斜面中腹部の全長ストレーナ式観測孔(BV2-1)で見られた孔内水位の変動と水質の変化の関係は、次のように考えられる。降雨がなく、孔内水位が一定の最低水位時には、孔内中部の標高323mより下では電気伝導度は急激に高くなる(図-8の低水位)。この時は孔内中部から下部には電解質濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水が分布し、この水は孔内上部にまで影響を与えている(図-9の低水位)。従ってこの時の孔内水位は、比較的深い土層中に分布するこの電解質濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水によって支配されており、また、標高324~5mの最低水位があることから、こ

の水は一定の水頭（標高 324~5 m）を持っているとみられる。

孔内水位が上昇し、中水位になると、低水位の時と比べて、孔内上部では電気伝導度は低くなるが、孔内中部の標高 321 m より下では依然として高い値を示す（図-8 の中水位）。この時は斜面頭部の BV 1-2（深度 10.5 m）の水質（図-7）と同じ電解質濃度の低い水が孔内上部から孔内中部まで分布し、電解質濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水は孔内の下部に押し下げられる（図-9 の中水位）。

さらに水位が上昇し、高水位になると、孔内全体にわたって電気伝導度は低くなる（図-8 の高水位）。この時は電解質濃度の低い水が孔内上部から下部まで分布し、電解質濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水は孔外へと押し出される（図-9 の高水位）。斜面頭部にある部分ストレーナ式観測孔の BV 1-1（深度 15 m）の観測では、この程度の水位変動では深い水の水質の変化は観測されていない。このことから、BV 2-1（深度 17 m）においても、深い水である電解質濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水自身の水質が変化するのではなく、電解質濃度の低い水によって孔外へと押し出されるものと考えられる。従って、この時の孔内水位はこの電解質濃度の低い水によって支配されている。この時、電解質濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水の地下水頭も高まったとしても、電解質濃度の低い水が比較的透水性の高い層中に存在し、この透水量が相対的に大きいために、電解質濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水は孔内にとどまることができないものと考えられる。

以上のことから、帯水層が 2 層以上ある所に全長ストレーナ式観測孔を設置した場合、各帯水層の透水性と地下水頭の相対的大小関係によって孔内を通じて水の移動が生じ、一種の平衡状態に達した結果、孔内水位が決まるものと考えられる。

川上⁹が指摘したように、孔内水位の決定にはそれほどの影響を与えないような、透水量の少ない地層の水（この観測例では電解質濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水）が地すべり活動と関連している場合、孔内水位の変化を観測しても、地すべり対策に有効なデータは何等得られないことになる。この点が全長ストレーナ式観測孔の問題点であり、全長ストレーナ式観測孔を用いるに当たっては、その孔内水位の形成機構をよく考慮することが必要になる。従って、全長ストレーナ式観測孔が有効なのは、土層が均一で、かつ浅い不圧地下水位を計測する場合に限られる。

斜面中腹部の BV 2-2（深度 10 m）は、孔内水位はほぼ一定である（図-5）。他の観測孔と比較して、水を汲み上げた後の水位の回復は非常に遅く、80 cm の低下を

回復するのに約一ヶ月かかる。

この BV 2-2 の水は、その水質から BV 2-1（深度 17 m）の孔内下部付近に存在している炭酸水素ナトリウム型の水に由来すると考えられる（図-10）。深い所にある炭酸水素ナトリウム型の水が、難透水層を通じて徐々にしみだして、BV 2-2 のストレーナの位置付近（深度 9~10 m）に溜ったものと考えられる。

図-11 に示すように、斜面中腹部の BV 2-1 下方の崖下には古い横孔があり、融雪期や降雨時にはここから湧水が見られる。図-10 に湧水の水質のヘキサダイアグラムを示す。この湧水の水質は斜面頭部の BV 1-2（深度 10.5 m）や斜面中腹部の BV 2-1（深度 17 m）の水位上昇時に孔内上部に入ってくる水の水質（図-7 や図-9 の中水位と高水位の孔内上部）と同じものである。従って、これらの電解質濃度の低い水は、斜面頭部から中腹部の深さ約 7~10 m の土層中を流れて、BV 2-1 下方の崖下で横孔から湧水となって地表に流れ出ていると考えられる。BV 2-1 の水位上昇が標高 326 m で一旦鈍ることは、この水位になると地下水の一部が横孔から湧水として排水され、これによって孔内水位が調整されていることによるものと考えられる。

以上から、斜面中腹部では 3 つの帯水層が存在し、それぞれ上から、BV 2-1 孔内上部の電解質濃度の低い水（図-9 の中水位の孔内上部と高水位の孔内上部）、BV 2-2 の水（図-10）、BV 2-1 孔内下部の電解質濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水（図-9 の低水位の孔内下部）が分布する土層の順で対応する。ストレーナの位置と土層の状態から判断して、これらの帯水層の深さは、それぞれ、約 7~10、9~10、14~17 m 程度と考えられる。

4.3 斜面末端部

斜面末端部ではすべり面の深さは約 4 m と非常に浅いと想定されたので、観測孔は深さ 4~5 m にストレーナを切った BV 3 の 1 本を設置した。BV 3 では孔内水位はほぼ一定であり、融雪水や降雨に対する変動は見られなかった（図-5）。ところが、1988 年 12 月に水質の変化が確認された。1988 年 8 月の採水時までは、水質は典型的な塩化ナトリウム型の水⁹であり、融雪水や降雨とのつながりはなく、また、斜面頭部、中腹部、末端部に存在するどの水ともつながりがないことを示していた（図-12）。ところが、88 年 12 月（図-12）、89 年 9 月（図-12）と経過するに従って、この水の電解質濃度が低下し始めている。特に、塩化物イオンの濃度低下が著しい。このことは、この水が降雨などの電解質濃度の低い水とつながりを持ったことを示している。

88 年 12 月に南東隣接斜面において約 3 万 m³ 規模の地すべりが発生していることから、この地すべりによつ

て亀裂が入り水ミチに変化が起り、その結果、斜面中に閉じ込められていた塩化ナトリウム型の水が降雨などの電解質濃度の低い水とつながりを持つようになったことが予想される。しかし、孔内水位は依然としてその変動が見られないことから、ストレナーナの位置に相当する帯水層の地下水の水理的な流動条件はあまり変わらなかったものと思われる。

4.4 地すべり斜面の地下水相互の関連性

各地点の地下水頭の変動、水質分析の結果から、この地すべり斜面の地下水相互の関連性と水の移動は、以下のように考えられる。

- 1) 崩土層内を流れる水 (BV 1-2 の水, BV 2-1 孔内上部の水, 湧水): 融雪水や降雨が斜面に供給された時に存在し、融雪水や降雨がしばらくの間供給されないと涸れる。融雪水や降雨による影響が大きいが、これらの水が単純に浸透したものではない。斜面頭部から中腹部の深さ約 7~10 m の土層中を流れて、中腹部崖下で湧水となって地表に流れ出ている。
- 2) すべり面下層の水 (BV 1-1 の水, BV 2-1 孔内下部の水): 最低水位があり、常にある一定以上の水頭を持っている。融雪水や降雨とは亀裂を通じて圧力的なつながりだけを持つ。水質は深い水の特徴をもち、1) の崩土層内の水と比べて地下に滞留している時間が長い古い水である。1) の崩土層内の水とは難透水層によって隔てられているが、圧力的なつながりがある。
- 3) 難透水層によって閉じ込められている水 (BV 2-2 の水, BV 3 の水): 宙水状に分布していて動きはほとんどない。融雪水や降雨との直接的なつながりはない。(BV 3 の水は以前はこのような水であった。)

5. まとめ

目的とする測定深度にのみストレナーナを設けた、部分ストレナーナ式観測孔による孔内水位の連続観測と、孔内水の水質分析を併用した調査法によって、従来から広く用いられている全長ストレナーナ式観測孔のみによる地下水観測からは、解明しにくい地下水の層別の賦存状態や相互の関連性をより明らかにできることがわかった。具体的には、

- 1) この地すべり斜面の地下水は、水位変動、水質から 3 つの水に分類される。融雪水や降水による影響が

大きく、斜面中の浅い崩土層内をある程度の流量を持って流れる水。すべり面下にあり、常にある一定以上の水頭を持っており、融雪水や降雨とは圧力的なつながりだけを持ち、斜面中の流れは非常に遅い水。宙水状に分布していて動きがほとんどなく、融雪水や降雨とのつながりはない。

- 2) 崩土層内の水とすべり面下の水は融雪水や降雨によって水圧が高まるが、それは、融雪水や降雨が亀裂を通じて浸透し、間接的に地下水の水圧を高めるものである。
- 3) 2 つ以上の帯水層がある場所に全長ストレナーナ式観測孔を設置した場合、孔内水位は、各帯水層の透水性と地下水頭との違いによって、孔内を通じた水の移動が起り、平衡状態に達した結果形成される。

謝 辞

本研究に対し降水量のデータを提供して下さいだった新潟大学積雪地域災害研究センターの和泉 薫助教授、野外調査の面で協力して下さいだった新潟大学積雪地域災害研究センターの鈴木幸治技官に心からの謝意を表明します。また、現地での便宜をはかって下さいだった新潟県農地部長岡農地事務所と(株)新協地質の川島隆義氏に心からの謝意を表明します。なお、本研究の一部は文部省科学研究費によった。

参考文献

- 1) 川上浩(1986): 地すべり調査における 2, 3 の問題, 地質学論集, 第 28 号, 87-95
- 2) 岸本良次郎(1969): 地下水圧観測施設の一例 - 地すべり調査用 -, 農業土木学会誌, 第 36 巻第 10 号, 23-28
- 3) 農林水産省構造改善局(1989): 土地改良事業計画設計基準「計画・農地地すべり防止対策」, 43
- 4) 稲葉一成・吉田昭治・佐藤修(1988): 東虫亀地すべり地の融雪期地下水の特性について, 新潟大災害研年報, 第 10 号, 61-75
- 5) 新潟県農地部・新協地質調査事務所(1987): 昭和 61 年度地すべり対策事業東虫亀地区地質調査委託報告書(総論編)
- 6) 佐藤修・青木滋・吉田昭治・仲川隆夫・鈴木幸治(1987): 地すべり地地下水の自動観測システムの開発, 新潟大災害研年報, 第 9 号, 115-124
- 7) 吉田昭治・佐藤修・中野俊郎・長崎明・稲葉一成・中沢武司(1987): 自動観測システムによる地すべり地の地下水観測と地下水挙動について - 一松之山越地すべり地を例として -, 新潟大災害研年報, 第 9 号, 99-114
- 8) 佐藤修・青木滋(1990): 地すべり地内外の水質の特徴 - 第三系泥岩地帯の地すべりを例として -, 地すべり, 第 27 巻第 1 号, 27-33

(原稿受理日 平成 3 年 8 月 19 日)