

第17回シンポジウム

地すべりと地下水について

1989. 5. 12

主催 地すべり学会新潟支部
土質工学会北陸支部
後援 新潟県地質調査業協会
地すべり対策技術協会新潟支部
新潟

~~~~~ 目 次 ~~~~~

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| I 融雪期における地すべり地内の地下水の<br>挙動 .....    | 1  |
| II 猿供養寺地すべりにおける地下水調査 .....          | 9  |
| III 地すべり地地下水の水位・水圧調査法の<br>問題点 ..... | 20 |
| IV 地すべり活動と地下水 .....                 | 36 |



## 序

当支部が昭和48年6月に設立されて以来、今年で17年目を迎えました。第2回以降は総会とともに地すべりに関するシンポジウムを開催し、今までに地すべりの安定解析、地下水との関係、工事の効果、計測技術、そして昨年は雪と地すべり等のテーマをとりあげ、その都度熱心に討論を重ねてまいりました。その結果、多くの成果が得られ、地すべり対策技術の進捗に大きく貢献してまいりました。そして、地すべり対策工事も年々増加し、その効果も現われて来ております。

近年地すべりによる人命財産の被害の未然防止のために地すべり発生の予知予測技術の開発が強く望まれております。又、計測技術の向上とともにエレクトロニクスを駆使した自動観測システムの開発もなされつつあり、これによる予知予測も可能であると思われれます。

地下水は、地すべり発生の主要因であり、古くから研究がなされているところではありますが、ここで改めて「地下水」を今回のシンポジウムのテーマとして取り上げ、地すべり発生の解明と予知予測に役立たせようということでもあります。

本日は、日頃これらの問題に取り組んでおられる先生方の貴重な提言をいただき、活発な討論がなされ、大きな成果が得られることを心から期待しております。

地すべり学会新潟支部長

松 郷 文 人

# I 融雪期における地すべり地内の地下水の挙動

青木 滋<sup>※</sup>・佐藤 修<sup>※</sup>

## 1. まえがき

新潟県のような積雪地域においては、融雪期における地すべり発生頻度の高い事が、従来から知られている。これは、多量の融雪水が地下に浸透し、地すべり地内の地下水に変化を与え、その変化が地すべり発生につながるためと考えられているが、そのメカニズムについては、まだ十分に明らかになっていない。この事は、積雪期、融雪期における観測の困難さと関係がある。

筆者らが、1980年頃から観測を開始する時点において、これらの観測データがほとんど皆無にひとしかった事をみてもわかる。以下、筆者らによる観測結果を中心に、地すべり地内の地下水について考察する。

## 2. 山古志村虫亀地区の観測

1980年4月に発生した虫亀地すべり地滑落崖直下のボーリング孔を使用して、1982年5月より、水位（水圧水位）、水温、水質の観測を行った。水質は、深さ5mの水を、自動採水器によって約17時間ごとに採水した試料を分析した。

### 1) 地下5m深の水質の変化<sup>1)</sup>

1982年5月から6月の22日間で、図-1、2のような変化がみとめられた。この期間は、融雪水、降水の影響がない時期であるが、期間中に、電導度（導電率EC）の低い水と高い水が交互にあらわれた。図-3、4のECとアニオン、カチオンの組成変化の関係からみてわかるように、水位が変動しないのに、5mの深さのところに水質の異なる水が交互にあらわれる事を意味している。

### 2) ボーリング孔内の水質の垂直変化

深さ5mのところに、比較的濃度の低い水が存在した時、ボーリング孔内の水を層別に採水して各イオンの分布を図-5に示した。各曲線によってかこまれた空間が、各イオンの存在量を示し、黒丸の線と縦軸にかこまれた空間は、それぞれ全カチオン、全アニオンに相当する。

これによると、この孔内は、浅層にECの低い（2.21～2.43ms/cm） $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$ 、を主成分とする塩類濃度の低い水と、深層にECの高い（5.09～5.13ms/cm）

---

※ 新潟大学積雪地域災害研究センター

$\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、を主成分とする塩類濃度の高い水が存在する事がわかる。

### 3) 水の起源

(1) 浅層水：硫酸イオン  $\text{SO}_4^{2-}$  は、地すべり地の表層で生成される。虫亀地すべり地の泥岩には、空気により容易に酸化される微粒の黄鉄鋼が含まれており、酸性条件下で鉄酸化細菌も存在するので、泥岩の一部で活発な硫酸が生成されていると予想される。

(2) 深層水：NaCl濃度の高い水は、人間活動によって表層から混入したものではない。当地には、 $\text{Cl}^-$ を供給するような火山活動は、知られておらず、ガス・石油の付随水は、高濃度の NaCl を含むことが知られており、 $\text{I}^-$ の含量も高く、深層水から分離したガスに濃度の高い  $\text{CO}_2$ を含んでいるので、この水は、ガス・石油塩水に由来するものと考えられる。

### 4) 長期観測結果<sup>2)</sup>

結果を図-6に示す。水位変化はほとんどみとめられなかったが、深さ5mの位置の水質変化が4回みとめられる。ECが高くなったときは、深層水が上昇した事を意味し、降水との関係は不明だが、2層の境が、何らかの原因で上下する変動を示す動きをしている事が推定される。

なお、11月12日からの水位の急低下は、近接集水井による排水がすすんだため、冬期間の観測は、融雪水が機器の収納容器に入り、失敗であった。

### 3. 長岡市濁沢地区の観測<sup>2)</sup>

上記の観測にあたって、計器類にも種々問題のある事がわかったので、1981年の正月に地すべりが発生した濁沢地すべり地において、県の小屋と井戸(深さ18m)を借りて、デジタル記録・演算システムによる地下水位、EC、水温の測定を、1983年12月27日から約5ヶ月間行った。水温とECは、7.5m、10m、18mの深さで測定した。

#### 1) 観測結果(図-7)

水位は、12月末の深さ6mから低下を続け、2月初めに、10m以下に低下しすべてのセンサが地下水面上に露出し、測定不能になった。3月18日頃には、水位センサの位置が(8.25m)まで水位が上昇した。

水位の上昇は滑らかでなく、時々短期間に急上昇する事をくり返して、全体として水位が上昇している。また、4月初めまでの水位の上昇期には深い方のECが(一部水温も)上昇し、深層水が上昇しているとみなせる。その後の水位横ばい期には、ECも水温も、ほぼ横ばいを続け、水位の下降期には、浅いところの水温が上昇する。横ばい期の解釈は

まだ不確定要素を含んでいるが、融雪期の地下水位上昇が、融雪水の直接浸透によるものでない事は確かである。

#### 4. 地すべり地地下水の湧出状況

##### 1) 安定期における湧水<sup>3)</sup>

山古志村一帯の湧水、(自然湧水、集水井排水、横穴ボーリング排水など)の地すべり非発生期の水質をみると、不動地をのぞいて、大半が、硫酸イオンで特徴づけられる浅層水であった。不動地のそれは、電解質濃度の低い水である。

##### 2) 地すべり発生時の湧水<sup>4) 5)</sup>

虫亀地すべりなど、地すべり発生直後の地内の湧水は、電解質濃度の高い硫酸ナトリウムを主成分とする水がみられ、中位の付近では、NaClの濃度の高い水がみられた。これは浅層水と深層水の混合水と考えられる(図-8)。

#### 5. 地すべり地地下水の流動状況

以上の結果をまとめると次の通りである。

1) 地すべり地地内の地下水は、水質の異なる2層の水が存在する。

2) 浅層水は、常時、地表に湧出し、流動的な地下水で、深層水は、地表に流出しにくい停滞水である。

3) 融雪期などには、地すべり地外における融雪水の浸透によって、深層水の水圧がたかまり、すべり面に対して揚圧力が働く。地すべり発生時には、深層水が地表に流出する。

4) 融雪水等の浸透は、地すべり地地内では、ほとんど発生せず、滑落崖上方の亀裂を通して行われる(Nの存在から)。融雪水の直接浸透という形ではなく、浸透による裂か水の圧力伝播により、深層水の水圧をたかめる。(この点では、小川(1988)<sup>6)</sup>の意見と一致する)。

5) 今後は、滑落崖上方の亀裂内と、下方の地すべり地内の地下水変動の比較観測を行う必要がある。

6) 地すべりによって深層水が排出され、ある期間をへて深層水が貯留され、水圧がたかまると、再び地すべりが発生する可能性がある。これが地すべりの周期性であろう。この点をたしかめるのに、地下水のトリチウム濃度の測定も有効である。

7) 地すべり防止対策として、亀裂内排水(アスファルトパイプなどによる)を積極的に施工し、地下水の排水工は、深層水を対象とする事がのぞましい<sup>7)</sup>(効果は、排水

のECの測定で判断できる)。

#### 文献

- 1) 佐藤修・青木滋・鈴木幸治(1983)：虫亀地すべり地の地下水のアニオンの起源  
新大災害研年報, 5号, p.33 -42.
- 2) 佐藤修・青木滋・吉田昭治・中川隆夫・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, 新大災害研年報, 9号, p.115 -143.
- 3) 佐藤修・青木滋・矢沢茂伸・鈴木幸治(1984)：虫亀地すべり地周辺の湧水の水  
質, 新大災害研年報, 6号, p.63-72.
- 4) 佐藤修(1981)：地すべり地の陸水の水質1, 虫亀・高倉地すべり, 新大災害研  
年報, 3号, p.47-58.
- 5) 佐藤修(1982)：地すべり地の陸水の水質2, 濁沢, 上馬場地すべり, 新大災害  
研年報, 4号, p.77-86.
- 6) 小川正二(1988)：雪と地すべり, 「雪と地すべりについて」(16回シンポジ  
ウム, 地すべり学会新潟支部, 土質工学会北陸支部, p.1 - 6.)
- 7) 青木滋・佐藤修(1984)：地すべり地の地下水に関する最近の話題, “ちかすい”  
日本地下水学会, p.209 -211.

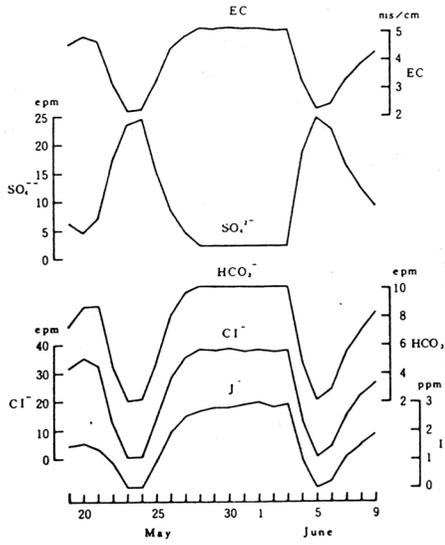


図-1 虫亀地すべり地地下5 mの地下水のアニオン組成変化

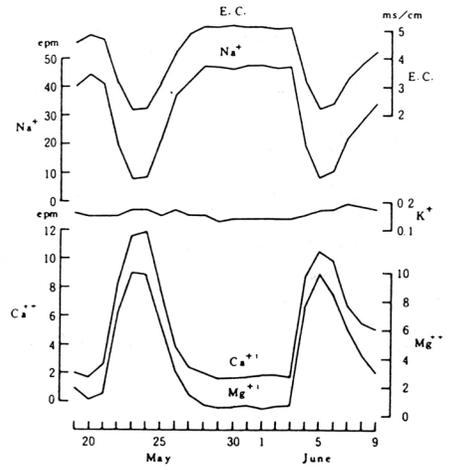


図-2 虫亀地すべり地地下5 mの地下水のカチオン組成変化

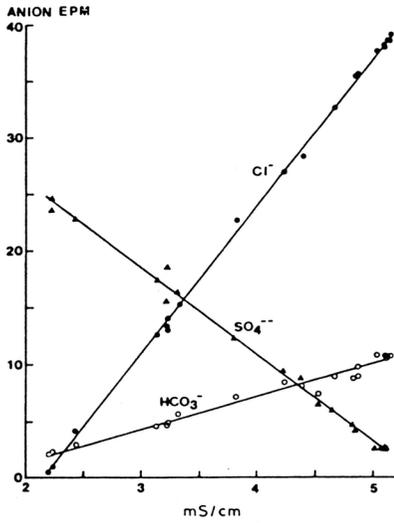


図-3 虫亀地すべり地地下水のアニオンと導電率

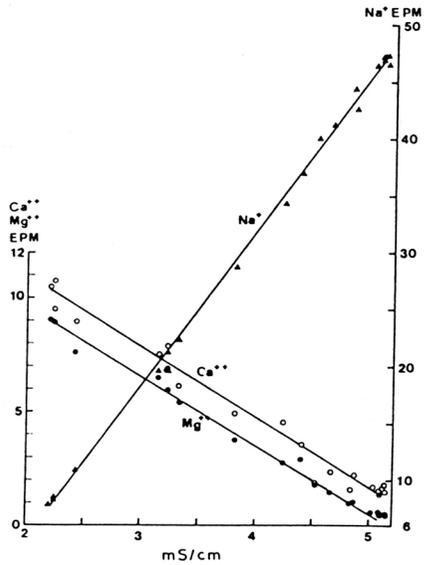


図-4 虫亀地すべり地地下水のカチオン濃度と導電率

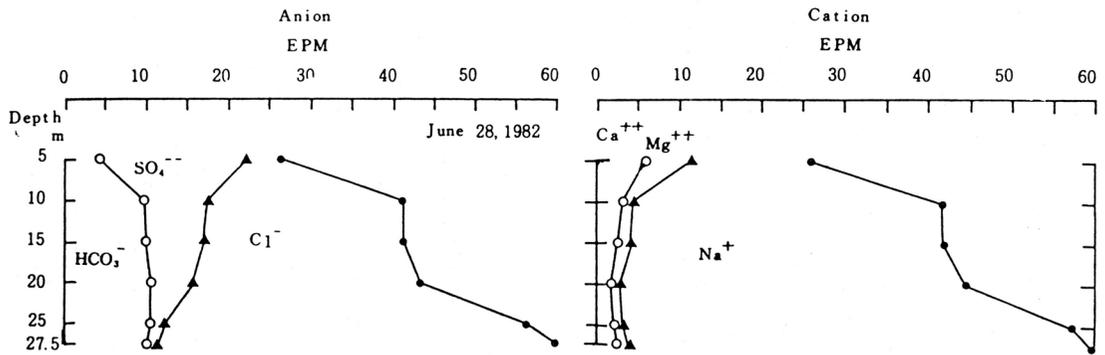
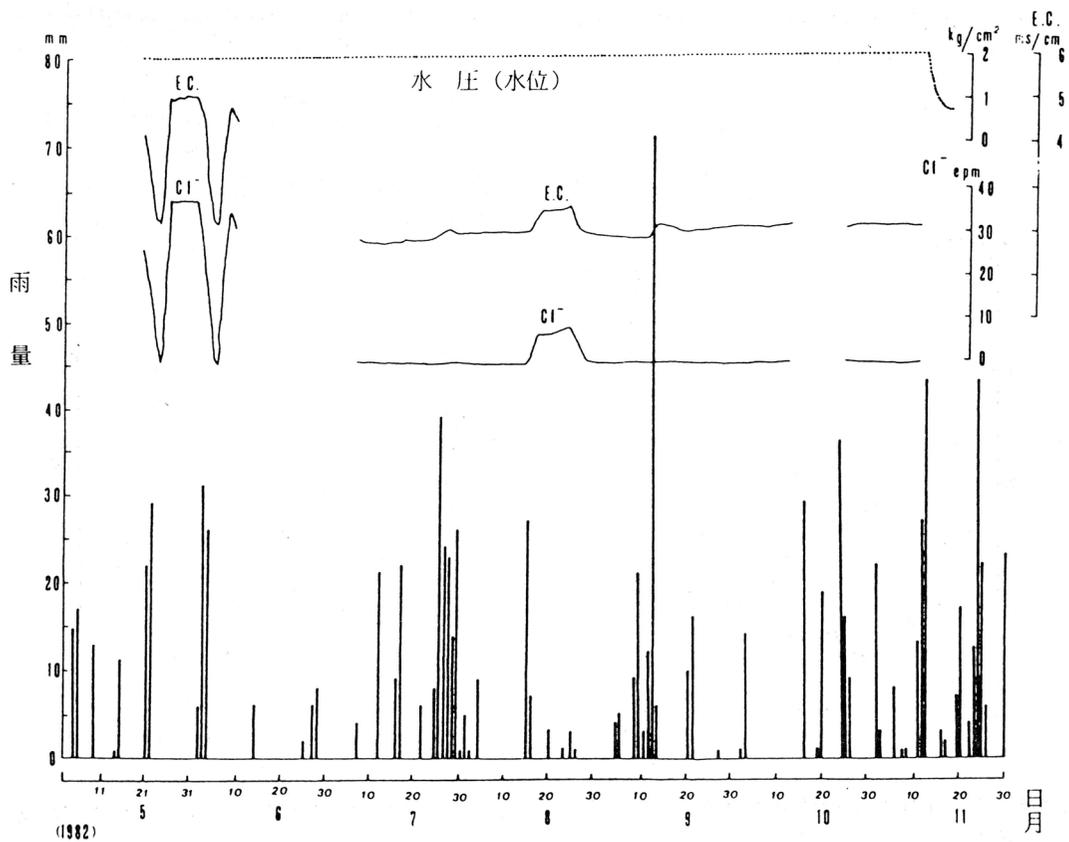


図-5 ボーリング孔内水のアニオン，カチオンの垂直分布



アナログ記録計による観測結果（新潟県長岡市虫亀地すべり地）

図-6

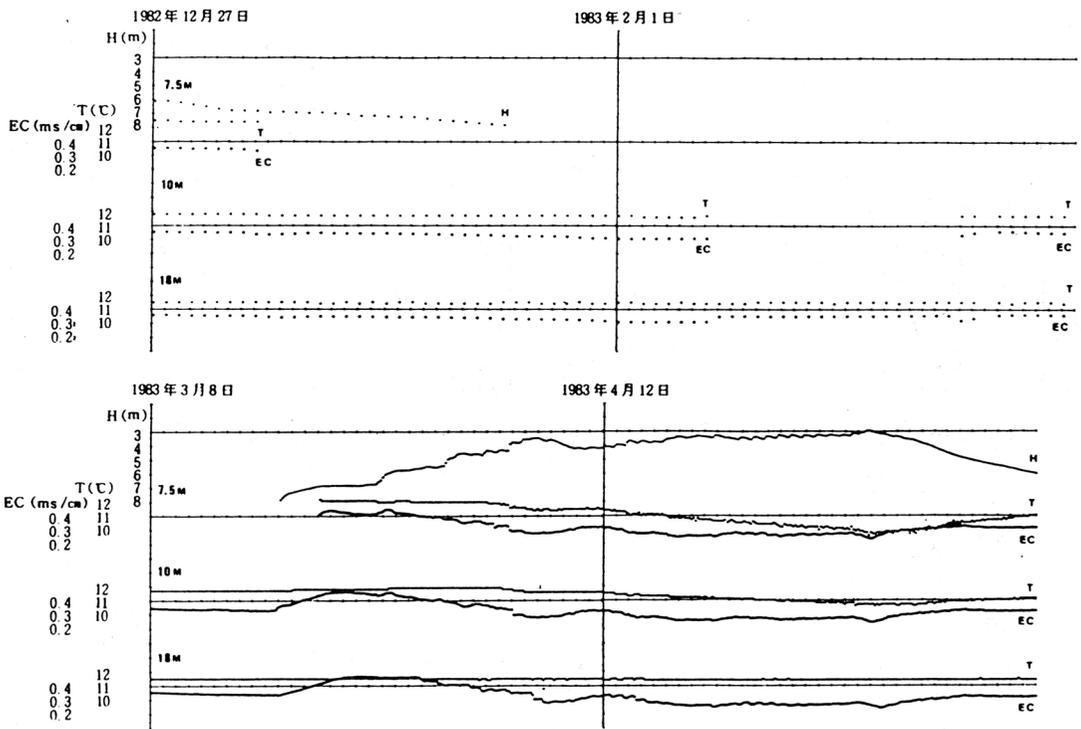


図 7 デジタル記録・演算システムによる観測結果（新潟県長岡市濁沢地すべり地）  
 H: 水位 (m), T: 水温 (°C), EC: 電導度 (mS/cm)

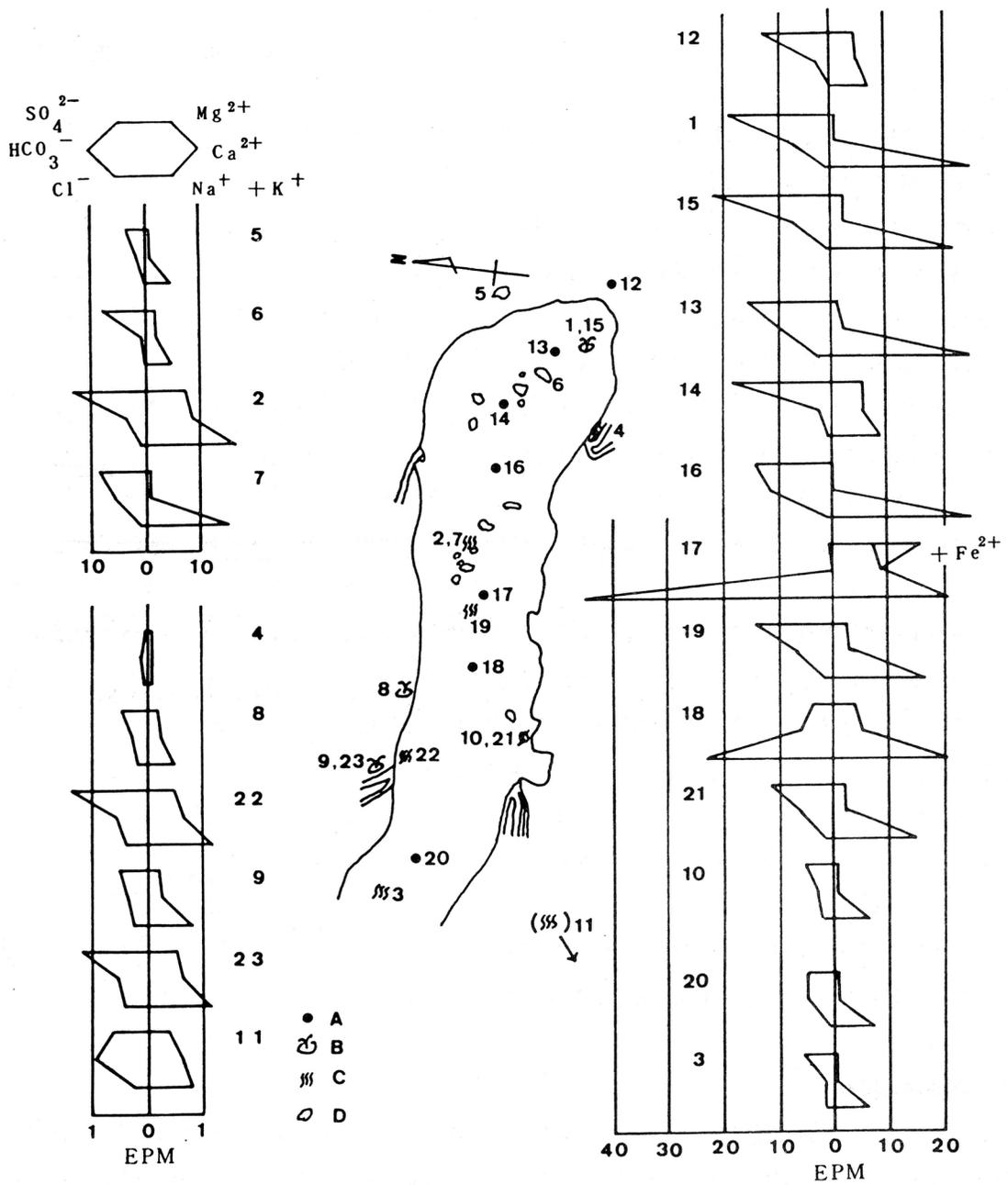


図 - 8

虫亀地すべり地の採水位置と水質のヘキサダイアグラム

A. ボーリング孔 B. 湧水 C. 表流水 D. 池

## II 猿供養寺地すべりにおける地下水調査

白石 一夫<sup>※</sup>

### 1. はじめに

地すべり地における地下水調査は次の3つの目的をもって一般的に行われる。

- ①安定解析のための地下水調査
- ②地下水排除工の計画・設計のための地下水調査
- ③地下水排除工の効果判定のための地下水調査

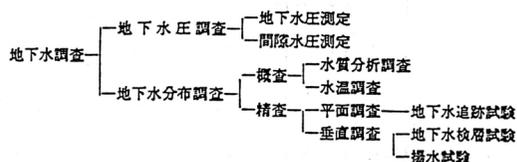
安定解析のための地下水調査は、一般にすべり面に作用する間隙水圧の分布を知るために行われ、計測手段として地下水位の測定や間隙水圧を直接測定することにより行われている。

地下水排除工の計画、設計のための地下水調査は、地下水の平面的、垂直的な分布調査が主となる。このような地下水調査結果等をもとにして地下水排除工の計画、設計が行われる。そしてこれにもとづいた地下水排除工の施工によって、すべり面における間隙水圧分布や地すべり土塊に作用する浸透圧、水圧にどの程度影響を与えるかについては地下水排除工の効果判定のための地下水の挙動の計測によらねばならない。この計測には、ボーリング工を利用した地下水位や間隙水圧の測定、あるいは地下水排除工施設より排水される地下水量の計測が考えられる。すなわち、地下水調査によって地すべり活動に重大な影響を及ぼす地下水帯の実態把握をすることが必要である。したがって、地すべり地における地下水の調査は、地すべり地内地外における地下水の分布状況と供給経路、流動経路が地すべりに対する影響度合についての諸項目が必要で通常表-1の調査が実施される。

当調査地の猿供養寺地すべり地では、表-1にもとづく調査を実施し、その調査結果にもとづき上記した①②③の項目について検討した。

図-1は、調査平面図に各種調査位置および計器の設置位置を示した。図-2は主測線の縦断図を示した。

表-1 地下水調査



### 2. 調査地の概要

猿供養寺地すべり地の地質は、新第三紀中新世の寺泊層にあたる黒色泥岩で、地すべり地の地形的位置はシソ輝石安山岩の岩脈が黒色泥岩層を貫入し、ドーム構造をなす丈ヶ山山体の南西斜面に位置する。地すべりは、丈ヶ山から猿供養寺集落を経て大熊川に達する延長約1.5km、高低差約260mの区域であり、地すべり地上部において不動地によって東部と西部の2つのブロックに分離されている。当調査地は、東部ブロック中間部の東翼に位置する。調査ブロックの地すべり規模は、延長約150m、幅50m、高低差3

※ 建設省土木研究所新潟試験所

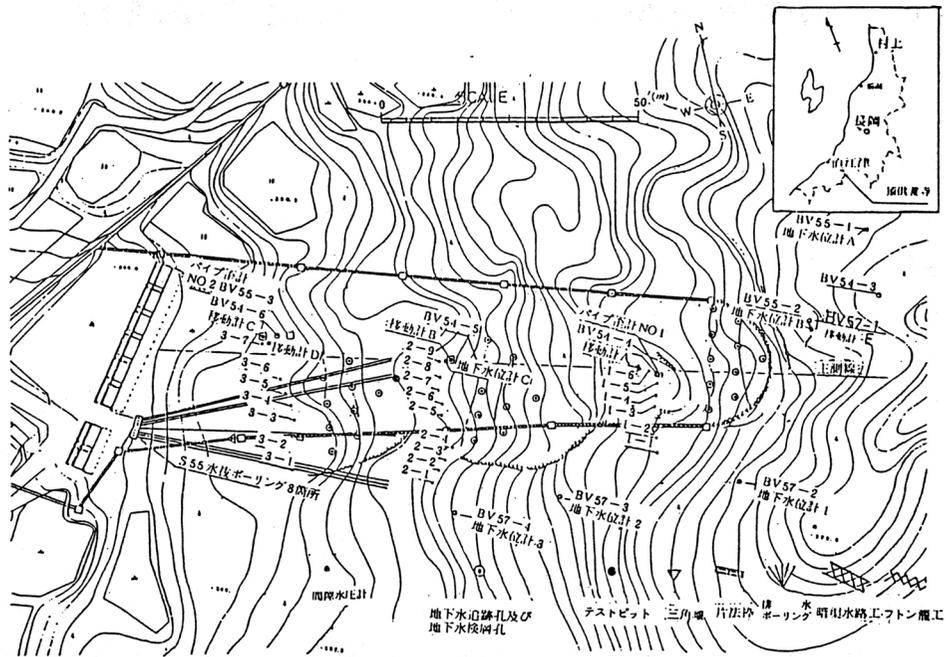


図-1 地すべり平面図および各種調査位置図

30mで平均勾配12°の地すべり斜面を形成している。地形を概括すると、当ブロックの冠頭部を囲うように落差約4mの崖が、北東方向

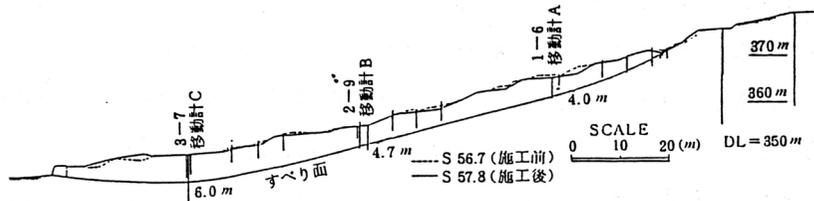


図-2 地すべり主測線縦断面図

に連続する尾根の西翼を削ぐように見られ、その尾根から当ブロックの左岸側（西方向）に分岐し張り出す尾根で終端し大きな馬蹄形状を有す。冠頭部は崖までの奥行きが20m程で引張亀裂跡と思われる地溝が見られ起伏に富むが全体としては平坦な形状でみられる。当ブロックはこのような旧滑落崖と思われる崖に囲まれた中の1つのブロックで、地すべり特有の馬蹄形状を形成されている。当ブロック頭部から左岸側には落差1~2mの崖が明瞭にみられるが、特にブロック左岸側のサイドクラックが明瞭にみられ20cm程の落差が生じている。また、このサイドクラックの中間部と末端の左岸側尾根筋には引張亀裂が見られた。一方右岸側は、側方崖はみられず、地すべり地塊は押し付けられるような状況で発生するせん断亀裂が見られた。地すべり斜面の地塊は多少の断差、亀裂を伴い末端部では隆起現象が見られるが、移動により極端に攪乱された様子は少ない。湧水、湿地はこの隆起部の始点に位置する勾配変換点（凹地）の地すべり両サイド付近で見られ、特に左岸側クラック沿いに顕著な湧水が見られた。この左岸側クラック沿いの湧水地点は、前述した左岸側尾根筋に見られた引張亀裂に対応する位置で、発生地点が符合する。このような状況から、地下水の流動経路としては、旧滑落崖に沿って冠頭部の亀裂を連結し

で頭部に流下するものと、さらに左岸側尾根の北翼に沿って流下する経路が推定された。地すべり地塊の土層構成は、柱状図から概ね崩積土層は5.0m程度の厚さで存在し、色調は0～3mでは赤褐色、3～5mでは暗灰色を呈し、構成土塊は泥岩片混じりの粘性土層である。その下部には強風化泥岩層が3～7mの厚さで存在する。色調は暗灰色を呈し全般に軟質な泥岩からなる。さらに下層位には風化泥岩、新鮮な泥岩層が続いている。現在活動している地すべりは、深度約5mの崩積土と強風化泥岩層の境界をすべり面としているのがパイプ歪計およびテストピットで確認された。

### 3. 地下水位調査

地下水位計による地下水位調査は、地すべりの活動と地下水位変動の相関から地すべり活動を低減させるべき地下水位標高の把握と間隙水圧の現地測定が非常に困難なことより、簡便的に地下水包蔵帯自身の静水圧を測定し、これをもって間隙水圧とみなし斜面の安定度を評価する資料を得ることにある。それにしても、地すべり活動に影響を与える地下水モデルを考慮して観測深度を決定する必要がある。したがって、地すべり面の間隙水圧を代表している地下水帯での水位変動観測を実施することが必要であれば、観測孔全深度にわたってストレナを設置することは望ましくない。また、地すべり地塊の透水性を配慮する必要がある。すなわち、透水性の低い地塊では観測孔内水位変動に遅れが生じる等問題点がある。

当調査地の地下水位計の設置位置は図-1に示す。

地下水位計 (A), (B) は調査斜面の冠頭部、地下水位計 (C) は地すべり斜面の中間部で、斜面の移動量分

布で判断するとテンションゾーンからコンプレッションゾーンに遷移する位置にあたる。また、地すべり斜面の左岸側不動地に3台の地下水位計 (1), (2), (3) を設置した。それぞれの地下水位 (A), (B), (C) と対策工事の進捗状況、降雨等および移動量 (A) との関係を図-3に示した。

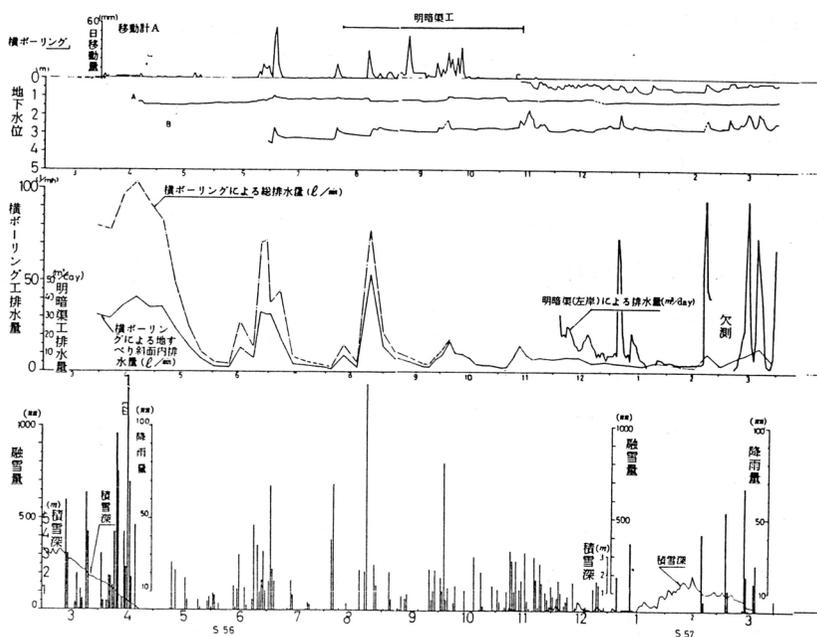


図-3 地下水位、排水量、日移動量 (A) と

対策工事の進捗状況及び降雨量との関係

)にある観測孔Aでは地表から1.0～1.5mの深度で認められるが降雨との応答はそれほど敏感でない。この地下水変動層における揚水試験結果から得られている透水係数が $4.34 \times 10^{-5}$  cm/secと非常に小さな値として得られており、このため透水性が悪く水位の変動幅が小さくなっているものと考えられる。

地下水位観測孔Bでは、地表から2.0～3.5mの深度で水位変動が観測され降雨、融雪と著しく応答性が高い。当箇所は地すべりの滑落崖部に当たり、その変動を地すべり頭部に設置した移動計A（設置位置は図-1に示す）との対応でみると、地すべり運動に際し地下水位の低下が見られる。したがって、当箇所の地すべり地塊はクラックの発達がよく、地下水の包蔵帯となっており、クラック等を通してすべり面に地下水の供給と静水圧としての外力が作用している地区であると考えられる。この現象を裏付けるように、地下水排除工施工の際の掘削中、露呈したすべり面から水の吹き出しが見られた。こういった現象は地すべり地でよく見られ、この箇所での地下水の排除が非常に効果的な場合が多い。

地下水観測孔Cは、地下水排除工施工後に設置した。地下水位の変動は地表より0.5m以浅の浅い深度である。この地域は地すべり末端への圧縮ブロックへの遷移地帯で台風時や初雪時期に被圧状態の地下水位が観察されている。

なお、左岸側不動地に設置した地下水位計(1)、(2)、(3)の水位変動は、地表から1.5～3.0mの深度で水位変動が観測され、降雨後でも長期にわたり水位の上昇が見られることから、地下水は長期に及び供給されていると考えられる。

#### 4. 地下水検層調査

地すべり運動の地下水流動に与える影響および地下水排除工の計画、

設計のために地下水検層を実施した。この結果、地下水流動型として次の三区分がタイプ分けされた。代表事例を図-4, 5, 6に示す。第一のタイプは、すべり土塊層全域にわたって地下水位流動脈が見られるもの(図-4に示す亀裂地下水流動型)、第二のタイプとしては移動土塊表面のみ地下水位流動脈が見られ

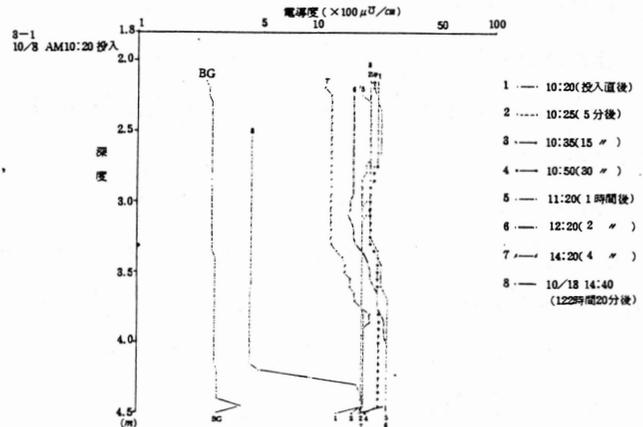


図-4 電導度柱状図(亀裂地下水流動型)

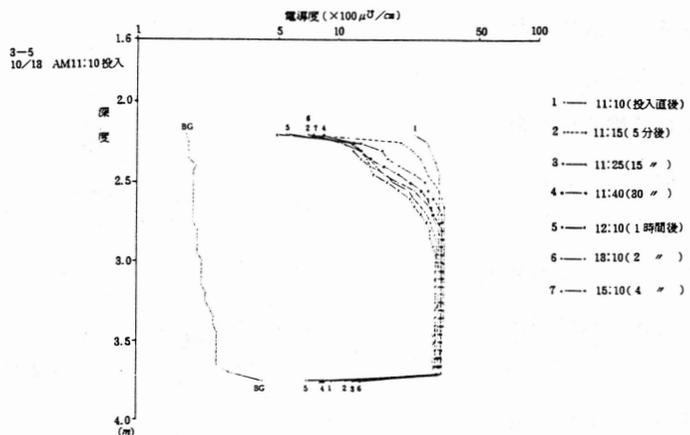


図-5 電導度柱状図(表層地下水流動型)

るもの（図-5に示す表層地下水流動型）

、第三にはほとんど地下水の流動が見られないもの（図-6に示す地下水停滞型）である。これらタイプの地すべり地での観測位置を図-7に示す。この図から、地すべり滑落部およびサイド亀裂部付近では亀裂地下水型の地下水流動形態が多くみられ、末端部では表層地下水型が多いことがわかる。この原因

については地下水位調査の項でも触れたが、地すべり運動によって滑落崖は引張応力を受け土塊に引張亀裂が発生していること、サイド部はすべりによるずれ現象のため土塊が破碎されていること等から判断して、地塊

の相対的間隙率が大きく、圧縮現象を示す地すべり末端部のそれに比較してポーラスで地下水の流動が全域にわたって観察されやすいことによるものであると思われる。これら現象は、地すべりサイドクラック部は地下水の流路となりやすく、このため地下水が非常に高く、副次的な地すべりが多発しているという地すべりの発達概念の理解を助けるところである。

なお、左岸側不動地でも地下水検層を実施しており、その結果を合わせ図-8に地下水検層横断面図を

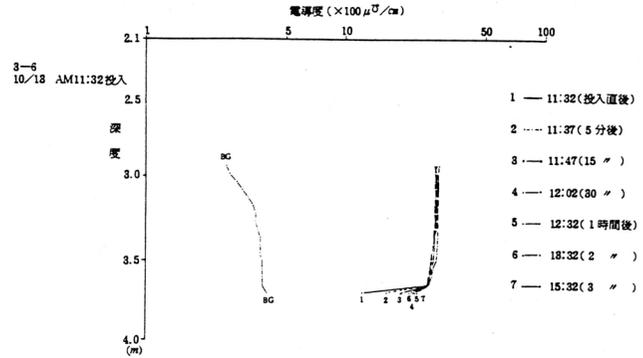


図-6 電導度柱状図（地下水停滞型）

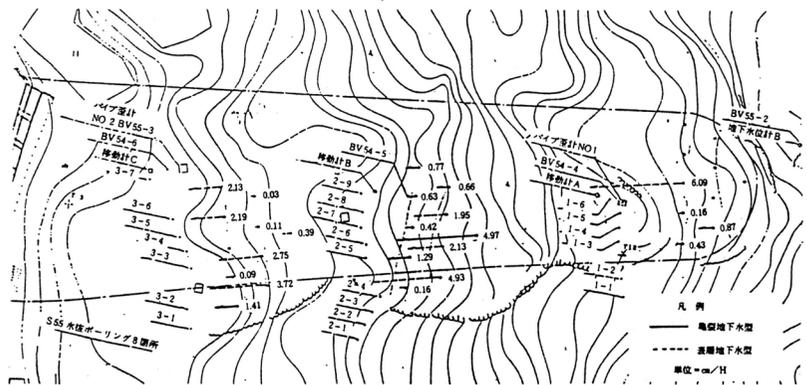


図-7 各検層孔の最大流速

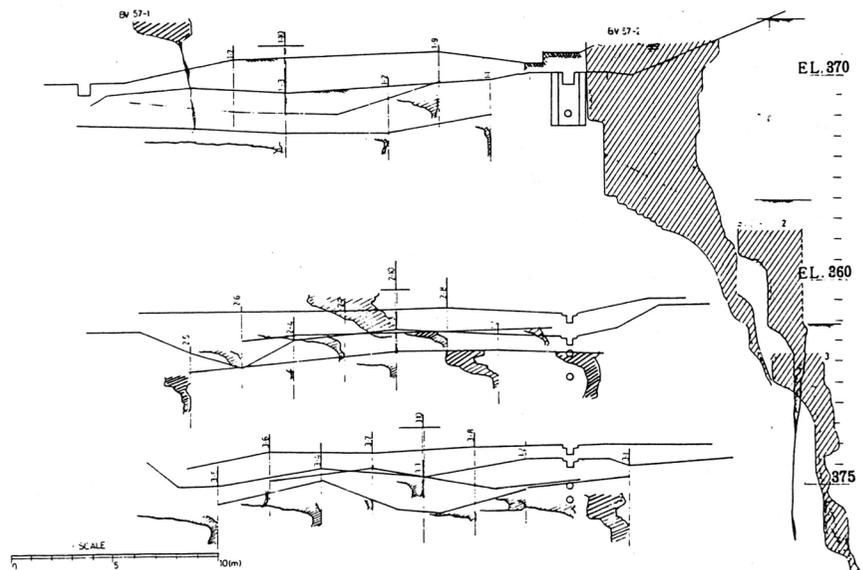


図-8 地下水検層横断面図

示した。図は検層直後から4時間経過後の流動分布を表している。このように左岸側不動地では、BV57-2,3,4とも流動層が厚く、また電解質の希釈速度が早いことから流速は大きく透水性が良いことがわかる。流動層は、ボーリング結果による地質と対比すると強風化泥岩あるいは亀裂質～破碎質泥岩層にあたる。

### 5. 間隙水圧調査

透水性の低い地すべり地でも、フロート式水位計による地下水変動の測定は容易であるが前述した理由等により問題がある。これら問題点を克服するため差動トランス型の間隙水圧計を設置し観測を実施している。間隙水圧計による主な測定目的は、地すべり排除工の効果量測定と地すべり斜面の安定計算をするため設置した。設置は、すべり面付近に行ったが、設置した年度の

の積雪期の移動で、間隙水圧計のコードが断線し一部の計測器の測定が不可能になった。急拠、破損計器位置にすべり面より浅い深度で間隙水圧計の再埋設を行い観測を開始した。

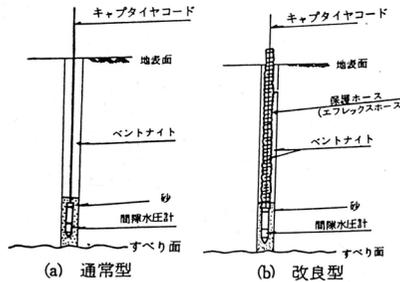


図-9 間隙水圧の設置方法

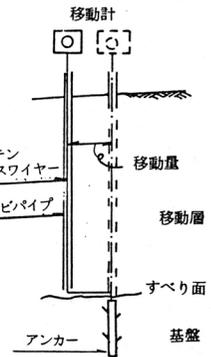


図-10 移動計設置方法

設置方法は図-9に示す。

間隙水圧計の配置は図-1に示すように、地すべり斜面を三分割して頭部（1群）に6基、中間部（2群）に9基、末端部（3群）に7基設置した。そのうち各群の地すべり地外に3～4基を配置した。調査地は無電源地であるため1週間1回の手観測で測定を行った。観測結果の1部を図-11に示した。

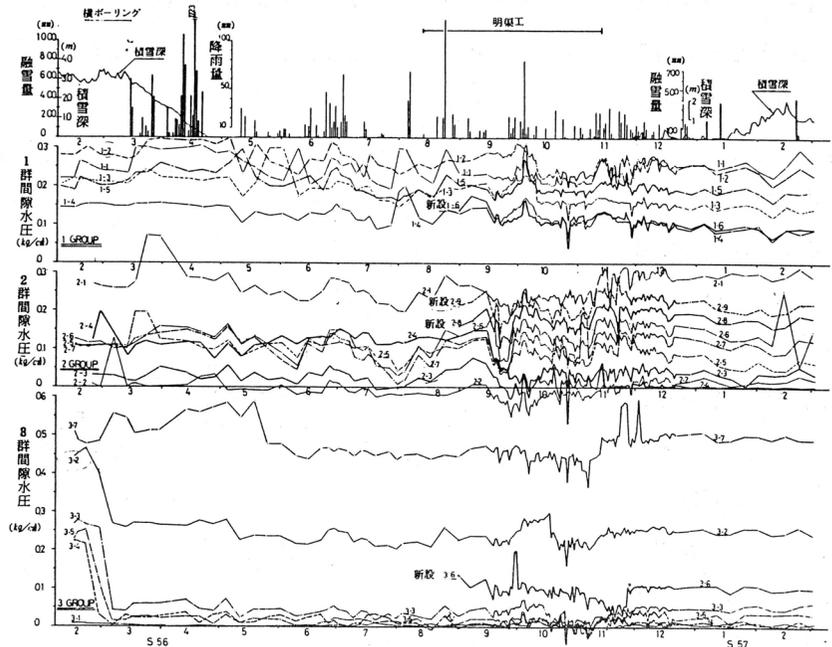


図-11 間隙水圧と対策工事進捗状況及び降雨量との関係

それぞれの間隙水圧値の変動には降雨との良い応答性が表れている。

## 6. 地下水排除工の計画・設計

前記地下水調査結果、地形特性調査結果および地下水追跡調査結果も含めて検討した結果、図-12に示す地下水流動状況を推定できた。すなわち、地すべりに関与する地下水は、左岸側尾根の比翼を流下

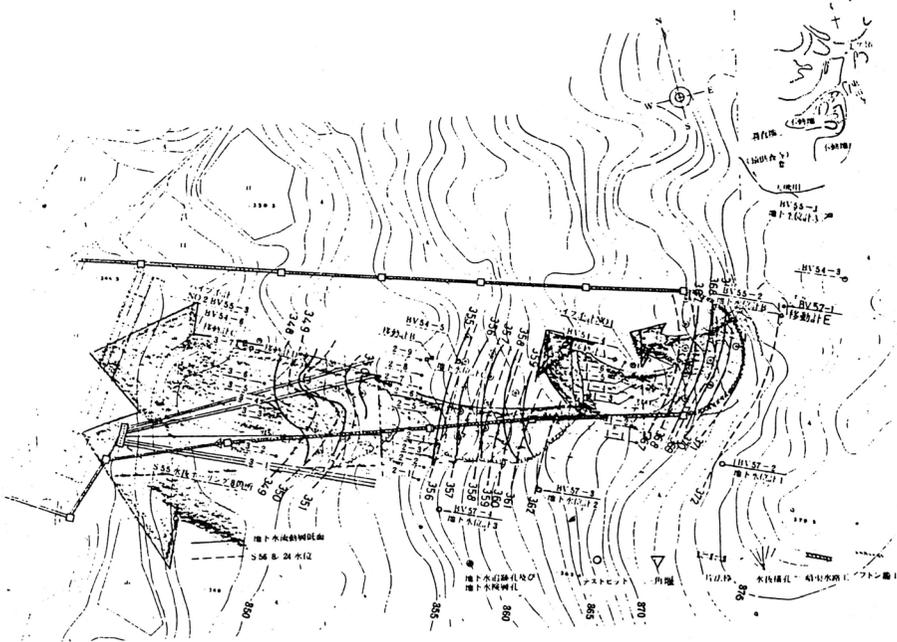


図-12 地下水流動推定図

し、サイドクラックと連続する崩積土の赤褐色部を流下する自由面地下水とサイドクラックに連続するすべり面下部の亀裂および崩積土の赤褐色部とすべり面を連絡する亀裂に働く被圧地下水として、すべり面に作用する間隙水圧を上昇せしめ、地すべり斜面の不安定化を促進させていると考えられた。このような状況から想定される地下水形態と調査地の模式図を図-13、14に示した。

また、主測線上の間隙水圧値と近傍に設置した移動計で得られた移動量の関係を図-15に示す。図によればブロック頭部に設置した1群では、間隙水圧が  $0.2\text{kg/cm}^2$  以上の値に上昇すると急激な移動量の増大がみられる。

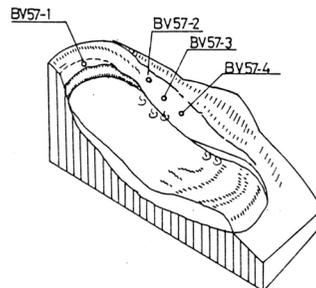


図-13 調査模式図

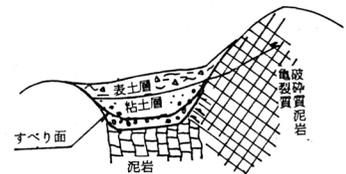


図-14 地下水形態模式図

中間部の2群では、 $0.03\text{kg/cm}^2$  以上の値に上昇すると移動量の増大がみられる。ブロック末端の3群は隆起部であり、すでに地すべりブロックの押えとして片法棒工が施工されており移動量が小さい。

このような結果にもとずき、地下水排除工としてはサイドクラックと連続してすべり面の間隙水圧を

高めるブロック地外からの地下水と、崩積土中を流下する浅層地下水の排除を目的に、地すべりブロック境界を廻廊するように図-16に示される構造を有する明暗渠工が計画された。

### 7. 地下水排除工の効果判定

図-17は、明暗渠工施工前・後の間隙水圧値変化を示した。図から1, 2群において施工後明暗渠工を中心に地すべり地内、外で0.05~0.1kg/cm<sup>2</sup>の水圧低下が明かである。3群では、明暗渠工に先立ち施工された横ボーリング工による水圧低下で設置深度の浅い明暗渠工の効果判定が出来なかった。なお、低下範囲を見ると1群では(1-1)から(1-6)の範囲、2群では(2-3)から(2-9)の範囲で幅広く認められる。この範囲を明暗渠工の施工方向でみると、地すべり地外では(1-1)と(2-3)を結ぶ、明暗渠工から約6mの範囲で水圧の低下が明かで、この範囲が明暗渠工自身による間隙水圧低下領域と考察できる。また、地すべり地外からの浅い地下水は、明暗渠工で遮断されるため地下水位低下範囲は広く認められブロック内の主測線付近にまで及んでいる。

一方、主測線上の移動量と間隙水圧値の関係では、図-15に示したように、施工前では1群、2群とも間隙水圧値に対応して活発な移動がみられるが、施工後では移動計A, B, Cいずれも間隙水圧の変化に対し移動はほとんど見られない。

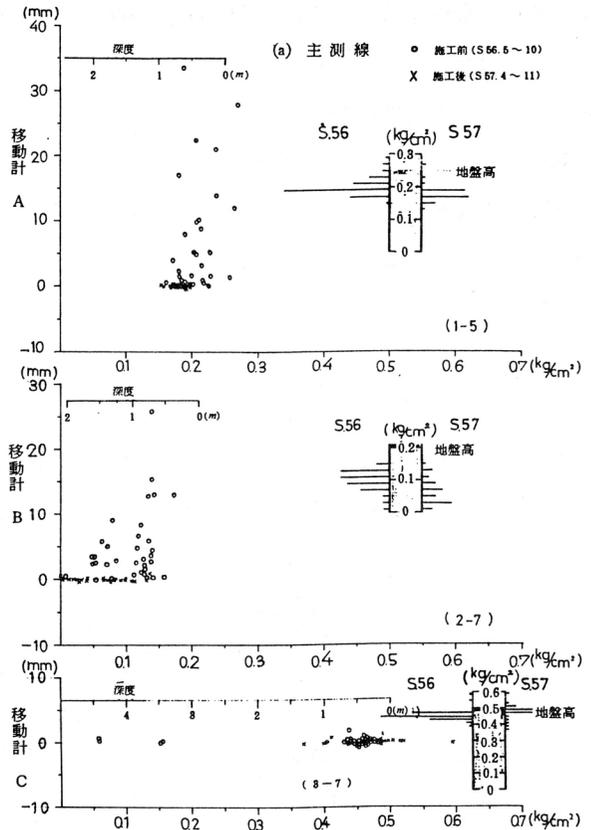


図-15 間隙水圧の発生頻度と移動との関係図

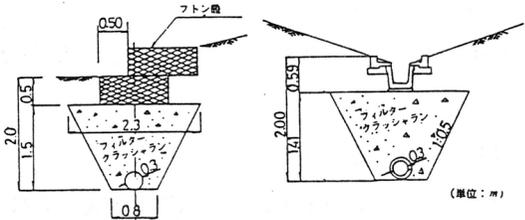


図-16 明暗渠工標準断面図

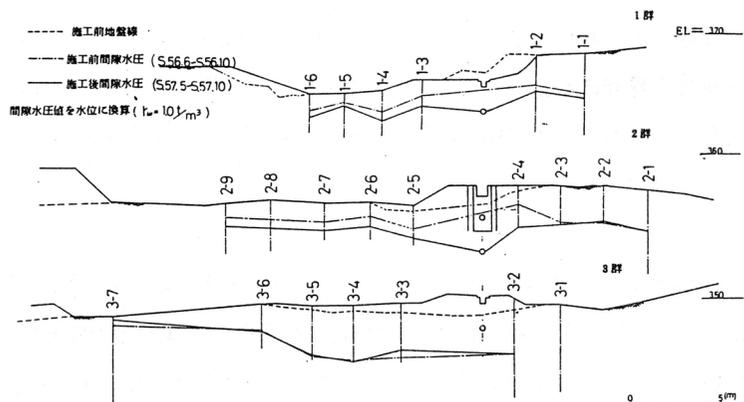


図-17 明暗渠工施工前・後の間隙水圧値変化図

地すべり運動量値としては、明暗渠施工前の昭和55年12月の移動量で、移動計Aは400mm、移動計Bは1680mm、移動計Cは380mmの値が観測されていたが、明暗渠施工後の昭和56年12月から昭和58年1月までの1年間で移動計Aで7.9mm、移動計Bで11.9mm、移動計Cで1.1mmの値が観測されたに過ぎない。

さらに、明暗渠施工前から施工直後における間隙水圧観測値を使用し、簡便式による安定計算を実施すると $F_s < 1.0$ になった（土質強度は $C_r = 0$ 、 $\phi_r = 19^\circ$ 、 $\gamma_t = 2.0 \text{ t/m}^3$ ）。施工後の間隙水圧観測値での $F_s = 1 \sim 1.1$ の値を示し、斜面の安定度が明暗渠工によって上昇していることになっており、これが移動量の結果となって表れている。

図-18に対策工事の進捗状況と累積移動量・間隙水圧値・安全率の相互関係を示した。

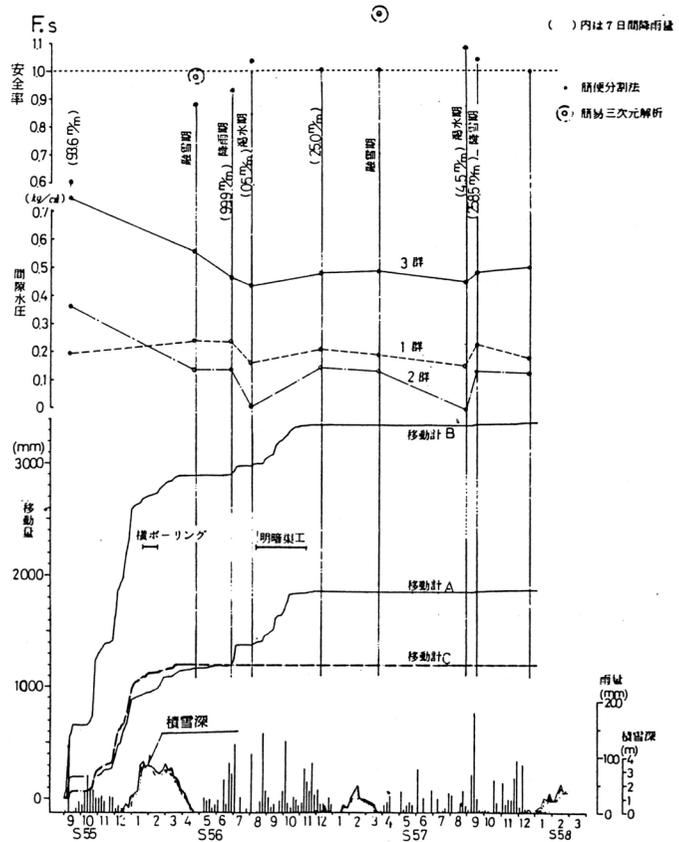


図-18 対策工事の進捗状況と

累積移動量・間隙水圧値・安全率の関係

## 8. 対策工機能の現況

前項において、明暗渠工による間隙水圧低下範囲の効果は、地すべり斜面内の主測線付近にまで及んでいることがわかった。しかし、対策工は年数を経るにしたがいフィルター層の目詰まり、構造物の部分的破損等で地下水の集水機能が低下し、地すべり地外からの地下水を対策工に取り込むことが出来ず、間隙水圧に上昇傾向が認められる場合がある。そして再び地すべり斜面に不安定化が増し活動が生じることになる。集水機能の追跡は間隙水圧および明暗渠工の排水量、横ボーリング工の排水量の変化を測定して行っている。

そこで、経年変化毎の間隙水圧値変化と降雨量の関係で明暗渠工、横ボーリング工（設置位置は図-1参照）の機能を追跡してみた。1群、2群、3群の主測線上の間隙水圧値と降雨量の関係を図-19(1)、(2)、(3)に示した。図-19(1)、(2)は地すべり斜面の頭部と中間部に位置する結果である。この図からは、各年に間隙水圧値の上昇は認められず、明暗渠工は現在も施工時に近い機能を保持しているといえる。図-19(3)は地すべり斜面末端部に位置する間隙水圧の結果である。各年毎の間隙水圧値には明ら

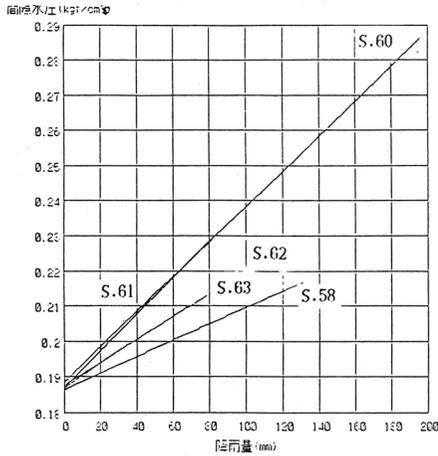


図-19(1) 降雨量と間隙水圧との関係  
(間隙水圧 1-5)

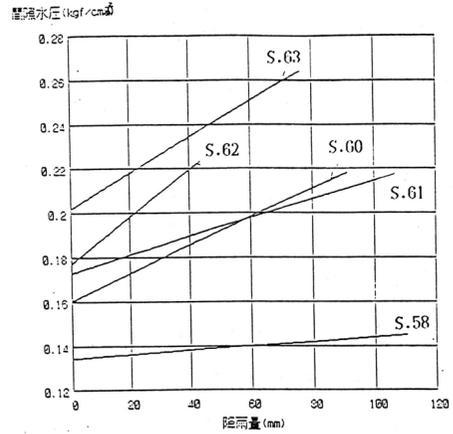


図-19(3) 降雨量と間隙水圧との関係  
(間隙水圧 3-6)

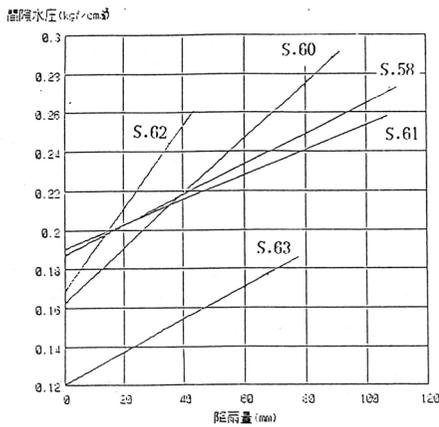


図-19(2) 降雨量と間隙水圧との関係  
(間隙水圧 2-9)

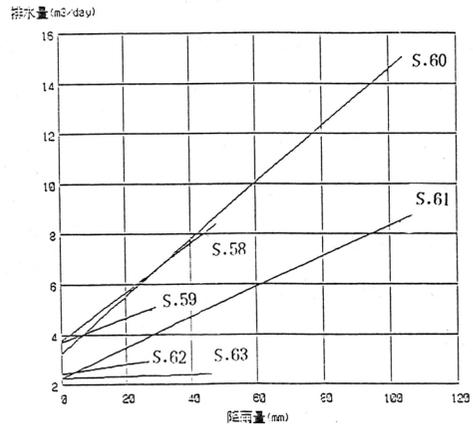


図-20 降雨量と排水量の関係

かに上昇の傾向が表れている。この末端部については、明暗渠工の施工以前の横ボーリング工によって間隙水圧値の低下が認められていること。また頭部、中間部の間隙水圧値の変化には明暗渠工に機能低下が認められない状況から判断すると、末端部の間隙水圧上昇傾向は横ボーリング工の集・排水機能が低下しているものと考察される。横ボーリング工の機能については、図-20に示す経年別の排水量（横ボーリング工孔口からの流出量）と間隙水圧値を比較すると年数の経過とともに排水量に減少傾向が認められ、これに追従して図-19(3)に示すように間隙水圧値の上昇が見られる。特に昭和62年以降の排水量は、 $3\text{m}^3/\text{day}$ 以下で降雨量の多少に関わらず一定量の排水が見られるのみである。施工当初と比較すると70%強の排水量の減少率であり、排水量の減少が著しい。したがって昭和56年の施工から6年の経過年数で横ボーリングの機能は末期的状態にあるといえる。

## 9. あとがき

当地すべり地は、地すべり土塊が5.0mと比較的薄く、しかも表層土層に地下水流動層が存在することより、浅い深度に位置する地下水を排除する機能を有する明暗渠工が実施された。これら工法の計画に際しては、地すべりに悪影響を及ぼす地下水について十分な地下水調査を実施し、その結果が十分に対策工法に反映された例である。

地すべりは、ある地質構造特性帯に多発するが、同じ地質を有する地すべりでもその発達、移行階程によっては様々な形態を示す。地下水特性もこれら地すべり特性を反映して複雑である。したがって、当地すべり地での実例が全ての地すべりに当てはまるものではなく、今回の試験調査結果を参考に十分な地下水調査を実施するとともにその地区の地すべり特性を勘案して、地下水の地すべり運動に与える影響を検討し防止対策工法の計画を実施する必要がある。

最後に、試験調査および対策工の施工等でいろいろと便宜を図って頂きました新潟県砂防課、新井砂防事務所の皆様のご協力に厚くお礼を申し上げます。

### Ⅲ 地すべり地地下水の水位・水圧調査法の問題点

吉田 昭治<sup>※</sup>

#### 1. 地下水位，地下水圧（間隙水圧）測定法の検討

##### 1. 観測孔と地下水圧（間隙水圧）

現在，地すべり地内の地下水位の測定には，全長ストレーナ式観測孔が用いられており，また特定深度の地層の地下水圧（間隙水圧）の測定には，埋め込み式の間隙水圧計が用いられている。まず，これらの観測法の問題点について検討する。

##### （1）全長ストレーナ式観測孔

これまで，全長ストレーナ式観測孔内水位でもって地下水位が測定できるものとされてきている。さらに，ここでいう地下水位も，自由地下水位を指すのか，地下水圧の水頭を指すのか区別されずに用いられているのが多い。

観測孔内水位は，ストレーナを介して，まわりの土層の水圧と孔内の水圧とが一種の平衡状態に達した結果現れる。したがって，全長ストレーナ式孔内水位で自由地下水位を正確に測定できるのは，土層内地下水圧が静水圧分布をなすか（これは地下水が静水状態か，水平方向の流れのとき実現する），静水圧分布に近いとみなせる場合（土層が均質で，水平に近い緩い傾斜流の場合）に限られる。しかも，東虫亀地区のような第三紀層地すべり地では透水性の異なる層が2，3層以上あるのが普通である。このような土層に透水性の明らかに異なる深い土層にまで達する全長ストレーナ式観測孔を設置した場合には，孔内水位は深い土層の地下水圧の影響を受けることになるから，孔内水位はもはや浅い自由地下水位に一致するとは限らなくなる。

以上の考察から，全長ストレーナ式観測孔で測定するとすれば浅い自由地下水位に限定される。しかし，この場合でも，観測孔の長さは，不圧地下水が存在する土層内にとどめるべきであり，かつ，この自由地下水位の最低水位を測定できる範囲で，できるだけ浅い方がよい，ということになる。

##### （2）間隙水圧計

間隙水圧計によって，特定の深さの土層の地下水圧を測定できるが，なお，2，3の注意が必要である。

1. ボーリング孔に間隙水圧計を埋設するとき，まわりを砂で埋める必要がある。

---

※ 新潟大学積雪地域災害研究センター

その上部はベントナイトとモルタルで十分遮水し、ボーリング孔の埋めもどし部の上方の地下水圧が間隙水圧計に伝達しないようにしなければならない（図-1）。

2. 20m や30m 程度の深さの地下水圧でも、図-2に示すように、明らかに大気圧が付加されるので、ゲージ圧用になっていない圧力センサーの場合は、別個に大気圧を測定して、それを差し引いてやる必要がある。

ゲージ圧を測定するには、大気圧を中空パイプでもって圧力センサー部に導入する必要があるが、この中空パイプが破損すると測定が不能になるから、あまり深い層の地下水圧や、特に推定地すべり面以深の水圧測定にこのゲージ圧用センサーを用いることは得策とはいえないであろう。

3. 間隙水圧計を埋めもどす砂層部の厚さが薄いほど、特定の深さの一点の地下水圧を正確に測れるように思われるが、地すべりに関係する間隙水圧は、降雨などの影響で変動するような様々な質のキレツを通じて伝達される平均的な地下水圧であるから、その深さのまわりの平均的なキレツにつながる水圧を測定できるように、1m 程度の砂層とすることが望ましいと考えられる。

4. この埋め込み式の間隙水圧計の場合は、まわりの地下水圧の変動に敏感である点が長所であるが、なにかの原因で圧力センサーが故障した場合に修復や取り替えができず、測定不能になる点が欠点となる。この点では、後に述べる特定の部位のみに1m ほどのストレーナを切った観測孔底に圧力センサーを吊して、孔内水位を測定する方式のほうが、圧力センサーが故障しても取り替えが可能な点で優れているといえよう。

5. 被圧地下水状態の水圧を測定する場合、観測孔方式によると、孔内水が自噴状態になり、測定不能になる。あえて測定するには、塩ビ管の立上がり高を大きくする必要があり、適切でなくなる。従ってこの場合は、埋め込み式の間隙水圧計によらざるを得ない。

6. 鉛直方向の水圧分布を求めたり、地下水の流動状態の考察ができるように全水頭位（piezometric level）表示するには、間隙水圧計の設置深を正確におさえておくことが重要である。

### （3）部分ストレーナ式観測孔

これは、測定しようとする深さにのみ1m 程、塩ビ管にストレーナを切った観

測孔である。測定深の上側の管壁はナイスシールで、さらにその上方の埋めもどし部は不透水性のセメント・ミルク（グラウト材）などを注入し、上方の埋めもどし部からの水圧の伝達を遮断することが重要である（図-1）。こうすれば孔内水位の測定によって特定深さの土層の地下水圧を測定することができる。

推定地すべり面より深い層の地下水圧を測定する場合で、観測用塩ビ管が破損する恐れがある場合は、埋め込み式の間隙水圧計によらざるを得ないであろう。

この部分ストレーナ式観測孔の場合には、孔底に圧力センサーをつるしておけば自動観測が可能であるばかりでなく、孔内水位を手動で測定することも可能であり、これを圧力センサーの較正值のチェックにも利用できる点は利点といえよう。

ただ、地層の水圧が急激に変動する場合には、孔内水圧がストレーナ部の地下水圧と等しくなるまで孔内への地下水の出入りを必要とするから、平衡に達するまで時間的遅れが生ずる欠点がある。しかし、この遅れは地下水圧の変動自体それほど急激には生じないから、実用上問題になる場合は少ないと考えられる。

## 2. 自由地下水位と間隙水圧鉛直分布の測定

（1）自由地下水位を測定するには、その最低地下水位を測定できる範囲で、できるだけ浅い部位にストレーナを切った観測孔によるのが良いと思われる。さらに経済上可能ならば、不圧地下水層に長短2本の観測孔を設けて深さの異なる2点の地下水圧を求め、これによる水圧分布図から水圧0点の位置を求めて、自由地下水位の位置を決める方法が考えられる（図-3、5）。

現在、ほとんどの場合、全長ストレーナ式の観測孔内水位で、自由地下水位を測定できるものとして、さらに、斜面安定解析に必要なすべり面の間隙水圧までもこのようにして求めた自由地下水位からの深さで求めている。先にも触れたように、この方法では、すべり面までの地下水圧が静水圧分布をなすか、実用的にほぼそれに近似するとみなせる場合以外は、求めることはできない。

（2）ある地点の自由地下水位ならびにすべり面の間隙水圧を最少の観測孔で求めるには、自由地下水位を求めるための不圧水帯内の浅い点、すべり面を挟んだ上、下の地点の、少なくとも計3点の地下水圧を、部分ストレーナ式観測孔または間隙水圧計によって求めることが望ましい。これによって、自由地下水位と水

圧分布の傾向、これらの相互関係などについて一定の情報も得ることができる。しかし、現状では、せっかく間隙水圧計によって特定深度の地下水圧を測定しても、鉛直方向の水圧分布の考察や、全水頭位表示による検討がなされていないために、各地点の間隙水圧の変動のみの考察に終わっている場合が多い。

この方式によって求めた松之山越地すべり地の観測例を図-3に示す。この例は、地すべり発生後は、すべり面以深は被圧状態になっていたものが、集水井による排水工施工後は減圧状態を呈した上に、浅い自由地下水位がこの間ほとんど変化しないことを実測できた例である。この例などは1本の全長ストレート式の観測孔による測定では、何を測っているかを特定できない好例であろう。

### 3. 間隙水圧の鉛直分布と層構造

透水性が一様な均質土層内を自由地下水位をもって地下水が流動する場合、間隙水圧水頭  $p/\gamma_w$  の鉛直方向の勾配  $J_p = \partial(p/\gamma_w)/\partial z$  ( $z$ は下向きに正)は、流れが斜め下向きならば  $J_p < 1$ 、流れが斜め上向きならば  $J_p > 1$  となる(図-4)。

浸透流の全水頭  $h = -z + p/\gamma_w$  ( $z$ は下向きに正)とすると、ダルシー則によって流速ベクトル  $v$  は

$$v = -k \nabla h$$

あるいは  $J_x = -\partial h/\partial x$ ,  $J_z = -\partial h/\partial z$  とすると

$$\left. \begin{aligned} v_x &= k J_x \\ v_z &= k J_z \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$

流れの傾きを  $\theta$  とすると  $v_z/v_x = \tan \theta$ , (1)より

$$\tan \theta = v_z/v_x = J_z/J_x$$

流れの方向  $s$  の  $h$  の勾配を  $J_h (= -\partial h/\partial s)$  とすると  
図を参考にして  $J_z = J_h \sin \theta$

$$\begin{aligned} \text{ここで } J_z &= -\partial h/\partial z = -\partial(-z + p/\gamma_w)/\partial z \\ &= 1 - \partial(p/\gamma_w)/\partial z \\ &= 1 - J_p \end{aligned}$$

$$\text{よって } J_p = 1 - J_z = 1 - J_h \sin \theta \text{----- (2)}$$

この式は、圧力勾配  $J_p$  は透水係数  $k$  の大小によらず、浸透流速の傾き  $\theta$  によって規定されることを示す。

傾斜角  $\theta$  がほぼ一定な斜面内の地下水流では、ほぼ平行な斜面流となる。この場合、自由地下水面の勾配もほぼ  $\theta$  に等しく、またポテンシャル勾配もこれに等しいとすると、(2)式において  $J_h \doteq \sin \theta$  となるから

$$J_p \doteq 1 - \sin^2 \theta = \cos^2 \theta \quad \text{-----} \quad (3)$$

となる。(例:  $\theta = 20^\circ$  で  $J_p = 1 - \sin^2 20^\circ = 0.88$  である)。これからわかるように、自由地下水面が  $20^\circ$  以上の急勾配でない限り、圧力勾配は  $0.9$  程度よりは小さくはならない。

鉛直方向に3~4点の地下水圧を測定して、水圧の分布図が得られた時、その勾配が(1)式で見積もられる値より明らかに異なる場合には、その斜面の土層は鉛直方向に少なくとも2~3層の透水性の異なる層構造をなすものとみなさなければならぬ。

先に示した図-3の松之山越の観測例では、以上の考察を参考にして、地点によって深さは多少異なるが、深さ約15mのところ透水性の低い難透水層(すべり面粘土層)が存在すると仮定してはじめて、図-5のような圧力分布になるものとして合理的に説明することができる。

#### 4. 冬季間の地下水位、水圧の測定

新潟県の地すべり地のように、冬季多雪下で、地下水圧の観測をするには、無人で可能な自動観測によらねばならない。この場合、積雪期の3~5ヶ月の間でもバッテリーなどの非有線電源で自動記録が可能であること、データの記憶容量が十分であること、観測システムの耐雪性などが要件となる。これらの要件をみたすシステムとして次のものが考えられる。

ハンドヘルドコンピュータ(HC-40)によってアナログデータをデジタルデータに変換し、これをICカードに記録する方式は、データの採録は現地でのICカードの取り替えですむこと、多数の、また種類の違うアナログデータを同時に扱える点で優れている。ただ、これには次のような留意すべき点がある。

(1)システムを入れる耐水、耐雪性の観測箱か観測小屋が必要である。積雪下の観測が長期にわたる場合、雪掘りをすれば保守点検が可能なように人間が入れ

る大きさの耐雪性観測小屋の方がよい。コルゲート製の小屋は耐雪性に優れているが、夏季には日射により40°C以上の高温になる欠点がある。この点ウレタンフォーム製の観測小屋の方が、保温性があり、夏季でも高温にならないので好ましいと考えられる。

(2) この方式では、1ケの記録システムに8や16の圧力センサーなどをつなぐことができるが、離れた地点のセンサーは長いコードで接続することになるので

イ. 地表にはわせたコードが積雪のグライドで切断される恐れがある。

ロ. 長いコード部のためデータが夏季には温度の影響を受け易くなる。

などの欠点があり、これらを防止する対策が必要である。

接続コードが長すぎる時は、経費がかさむことになるが、観測地点別に野外用の1~2チャンネル用のデータ記録器を設置する方法のほうがよいことになろう。

## II. 地下水位、間隙水圧の変動特性調査

### 1. 松之山越地すべり地の地下水圧の変動特性

松之山越地すべりは、1985年に発生した。その後、1986年6月から現在(1989年)にかけて観測を行っているが<sup>1)</sup>、これらの連続観測データから、主に次のような地下水圧についての変動特性が得られた。

(1) 地すべり地区内の地下水圧に比べ、これに隣接する地区外の水田の地下水圧は、降雨に対する変動(上昇)が大きい(図-6)。これは、地すべり地区内にはすべり面粘土による難透水層が形成されているが、地区外ではこれがないためと考えられる。

(2) 地すべり面は、ボーリングコアや傾斜計によるデータから12~15mの深度にあると推定されるが、これより浅い崩土内の自由地下水位、地下水圧とすべり面以深の地下水圧の変動特性は明らかに異なり、自由地下水位と地下水圧は年内を通じてあまり変動しない(図-3、図-7)。また地すべり斜面の中腹部と下腹部にそれぞれ深度12mと15mに埋め込み式の間隙水圧計によるデータは、その大きさは違うが、変動波形が酷似することから、この2点の深さの地下水はつながっているものとみなされる。このことも、すべり面がすべり面粘土に

よって一つの難透水層を形成しているという仮定が成り立つ根拠になると考えられる。

## 2. 東虫亀地すべり地の地下水圧の変動特性

東虫亀地区で図-8のような観測孔を設置して地下水圧観測を行った<sup>2)</sup>。データには、予算の関係で新潟県農地建設課による調査用の全長ストレート式観測孔によるデータも含まれている。

この場合も、浅い層の地下水圧と深い層の地下水圧の変動特性に明かな違いがみられる。この傾向が顕著にみられたのは斜面頭部BV1号孔の豪雨時のデータである(図-9)。降雨とともに深い点の地下水圧の上昇が激しく、約5m上の地点の水圧を、全水頭では約4.5mも上まわるような被圧状態となるが、降雨後は低下し、数日後にはほぼ静水圧状態にまで復する。このことから、地すべり地の地層は、透水性の異なる層が少なくとも2層以上存在し、かつその透水性は下層の方が、自由地下水面が存在する上の層より高いものと考えられる。

## III. 排水・減圧工の効果判定法

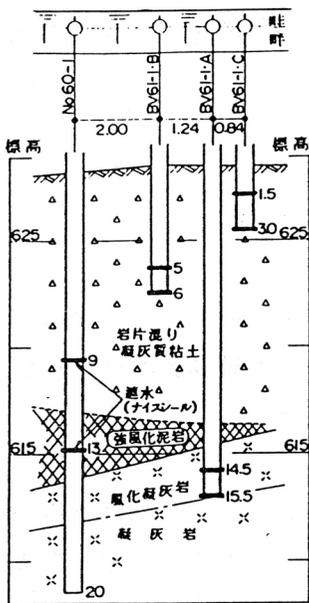
松之山越地すべり地で、1987年の集水ボーリングと、同年11月の水抜きボーリングによって、図-7のように、浅い自由地下水位はほとんど変化していないのに、推定すべり面より以深の地下水圧は、9月と11月に大きく低下した。この観測事実から、約13~15m以深と基岩との間の地層の地下水はつながっているものとして、この深さに沿った地下水頭線を描くと図-10のようになる。これは自由地下水位とは明かに異なり、一連の水抜き工の効果によってすべり面以深では減圧状態になったことを示している。

この観測から得られた地下水圧分布を考慮してすべり面の間隙水圧を求め、安定解析を行った結果は、表-1の地下水頭線法の値である。減圧後(10月13日)は前(8月13日)と比較して安全率で約0.2大きくなり、水抜き工の効果をよく評価できる。これに対し、従来の自由地下水位の深さからすべり面の間隙水圧を求める方法(静水圧法)では、この前後での安全率はほとんど変わらず、減圧効果を適確に判定できないことがわかる。従来、排水・減圧工について、

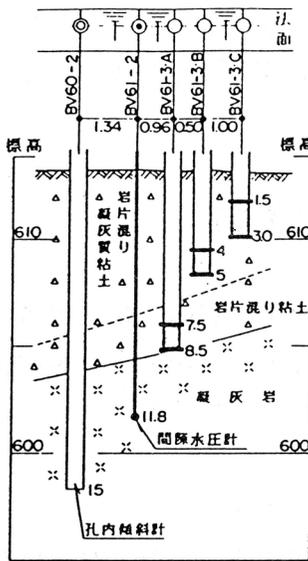
このように、地下水排除工の効果は、自由地下水位のみを測定したのでは適確に判定できず、地下水圧の鉛直分布を測定し、これに整合的な地層モデルを想定し、これからすべり面に沿った地下水圧分布を求めることによって、その判定が可能になると言える。

#### 参考文献

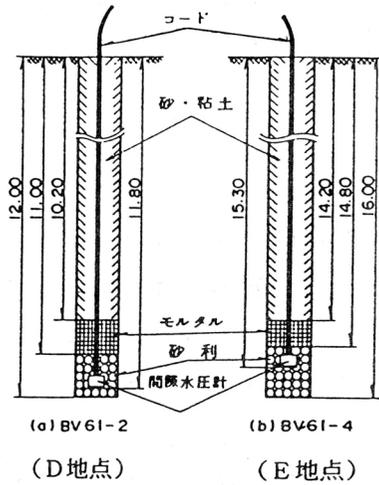
- 1) 吉田昭治・佐藤 修・中野俊郎・長崎 明・稲葉一成・中沢武司(1987)  
：自動観測システムによる地すべり地の地下水観測と地下水挙動の特性について－松之山越地すべり地を例として－. 新潟大学災害研究センター研究年報, 9, 99-114.
- 2) 稲葉一成・吉田昭治・佐藤 修(1988)：東虫亀地すべり地の融雪期地下水の特性について. 新潟大学災害研究センター研究年報, 10, 61-75



(1) BV 1 (A地点)



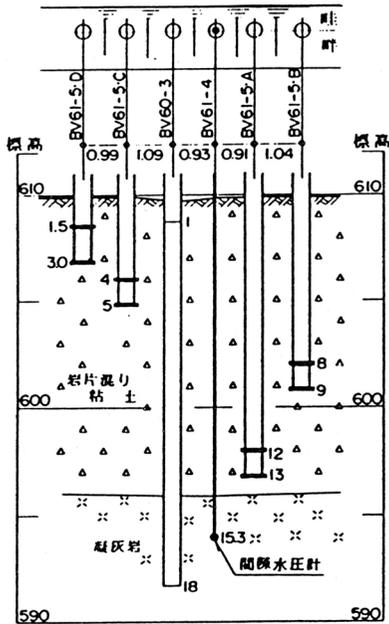
(2) BV 2 (D地点)



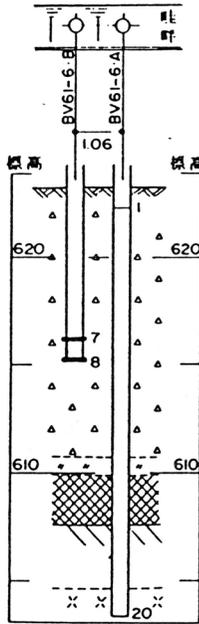
(D地点)

(E地点)

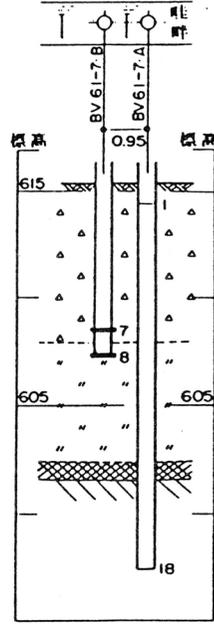
(3) 間隙水圧計 (D, E地点)



(4) BV 3 (E地点)



(5) 外 1 (H地点)



(6) 外 2 (I地点)

図一 観測孔と間隙水圧計の仕様 (松之山越)

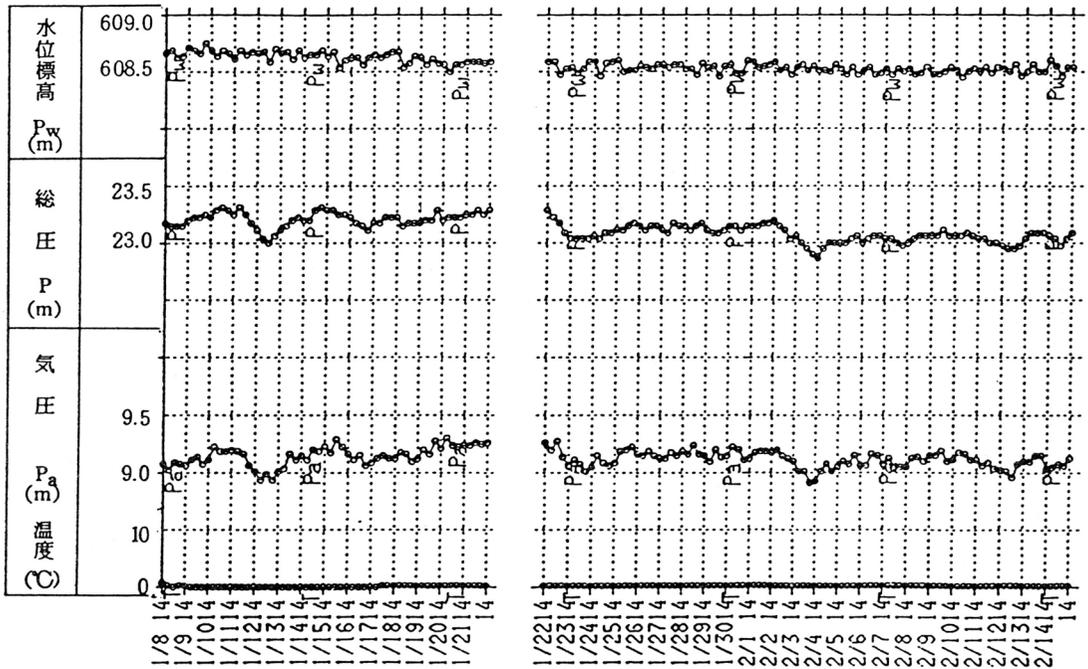


図-2 埋め込み間隙水圧計 (BV3-1) の観測例(1987. 1. 8 ~) (松之山越)

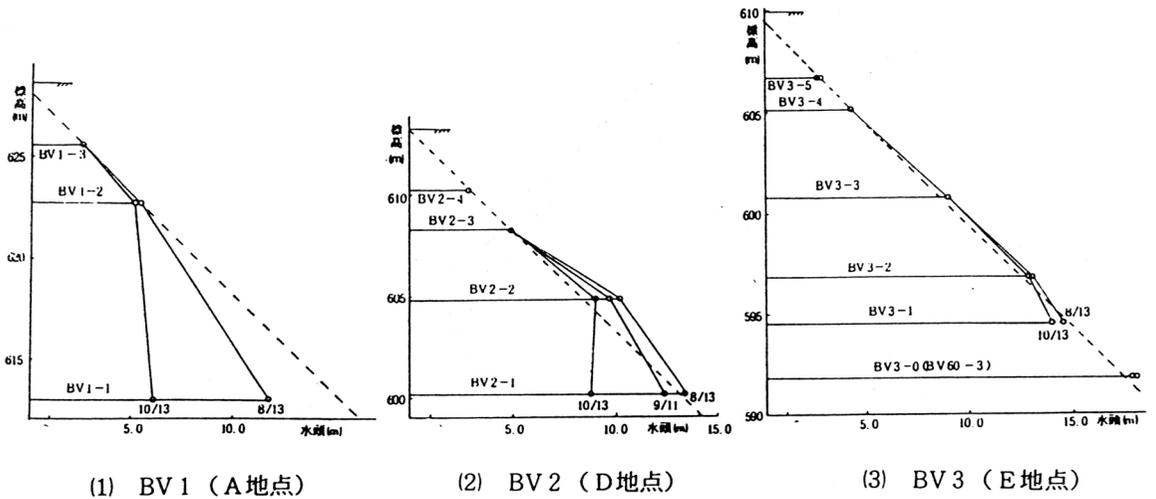


図-3 鉛直方向の間隙水圧分布 (破線は静水圧分布) (松之山越) 1986

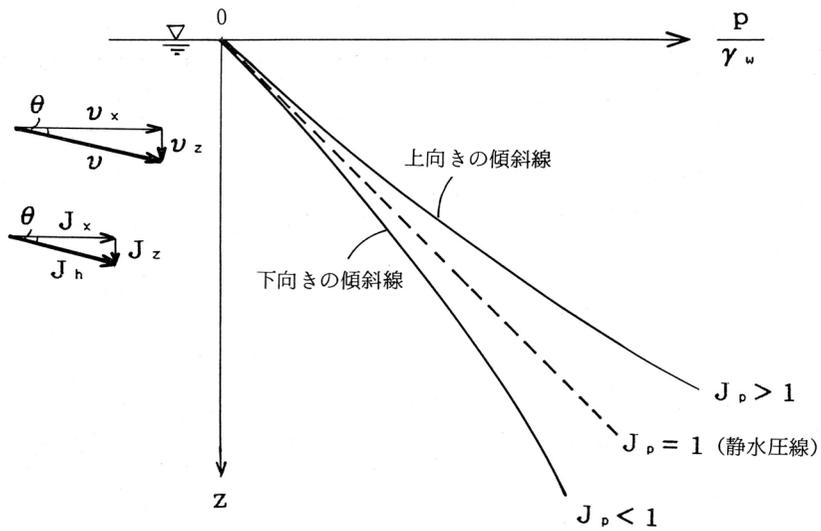


図-4 地下水圧の勾配

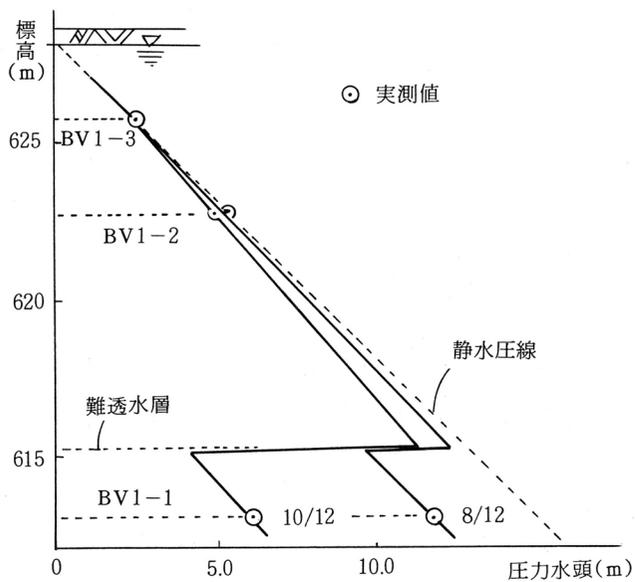


図-5 地下水圧の鉛直分布 (BV1, 松之山越, 1986)

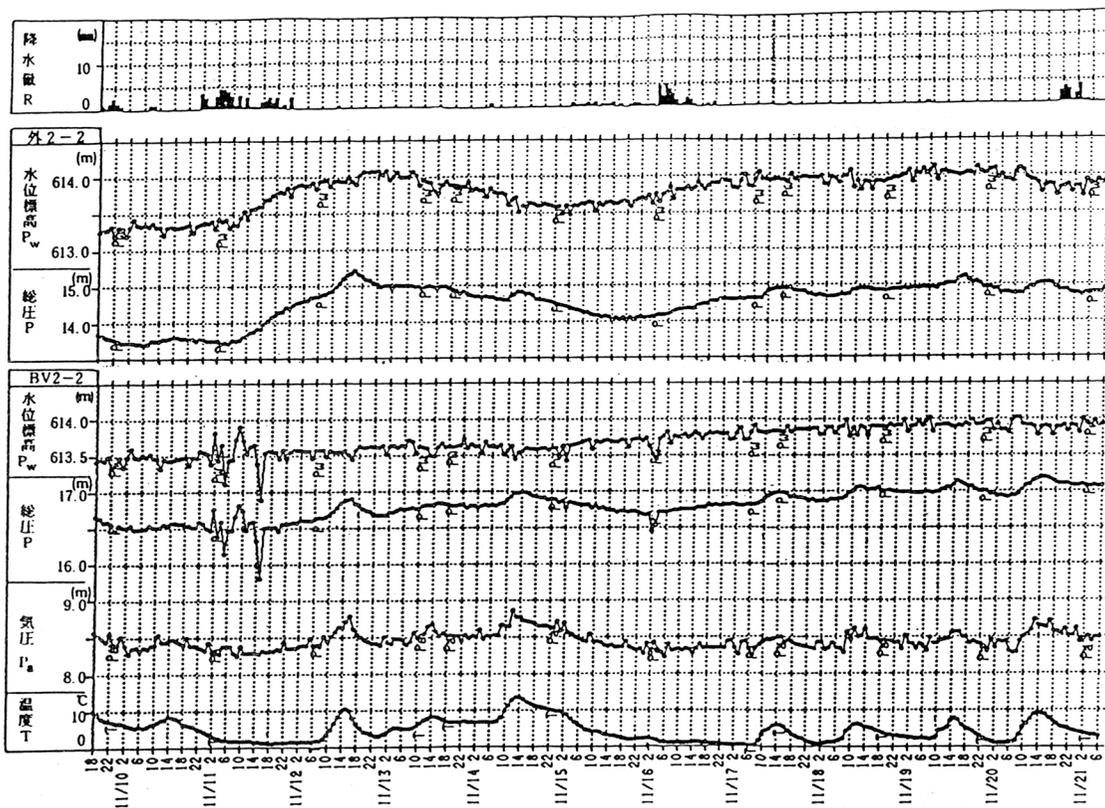


図-6 観測データの一例：(1) BV2-2 (地区内), (2)外2-2 (地区外)(1986.11.10~11.20)

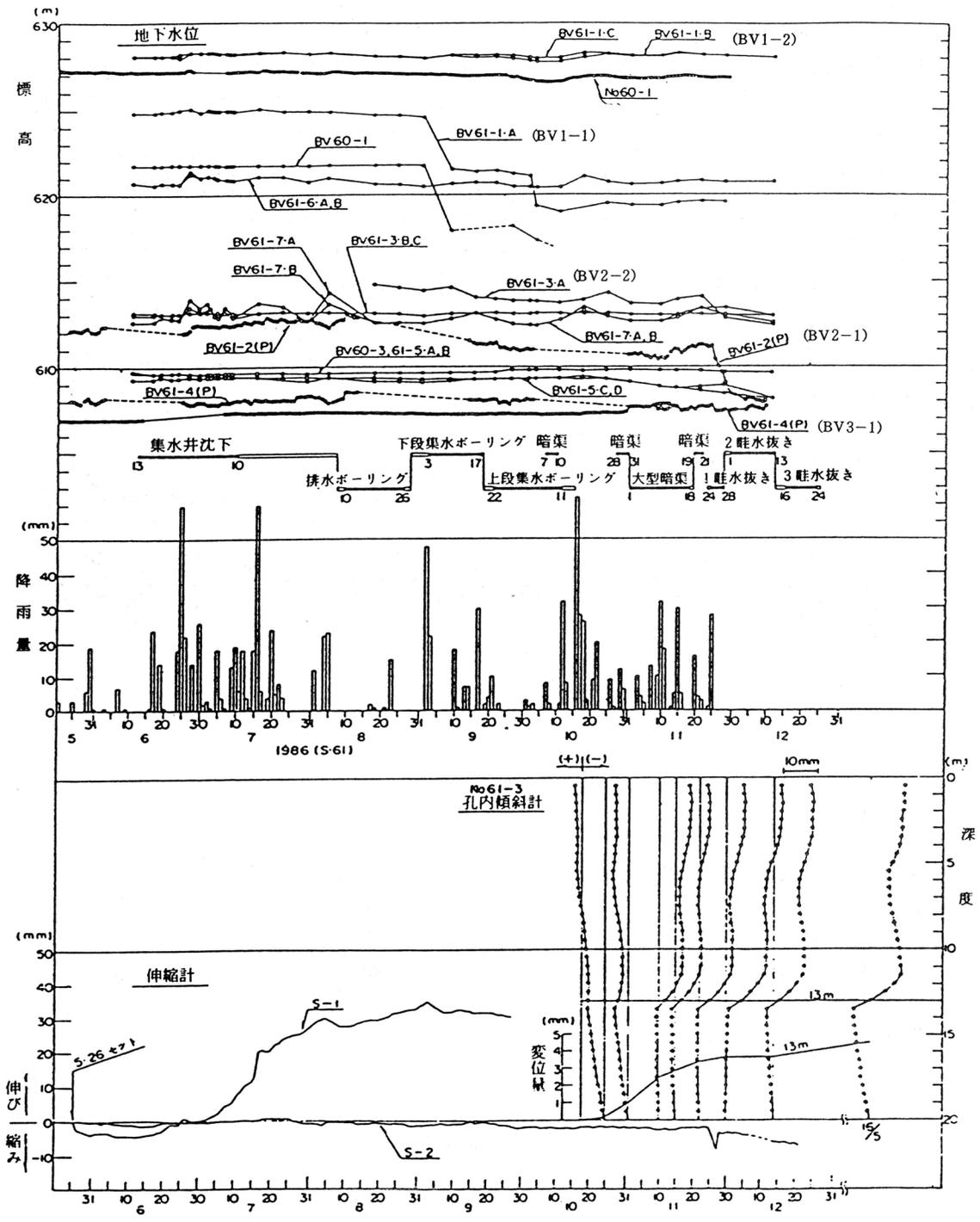
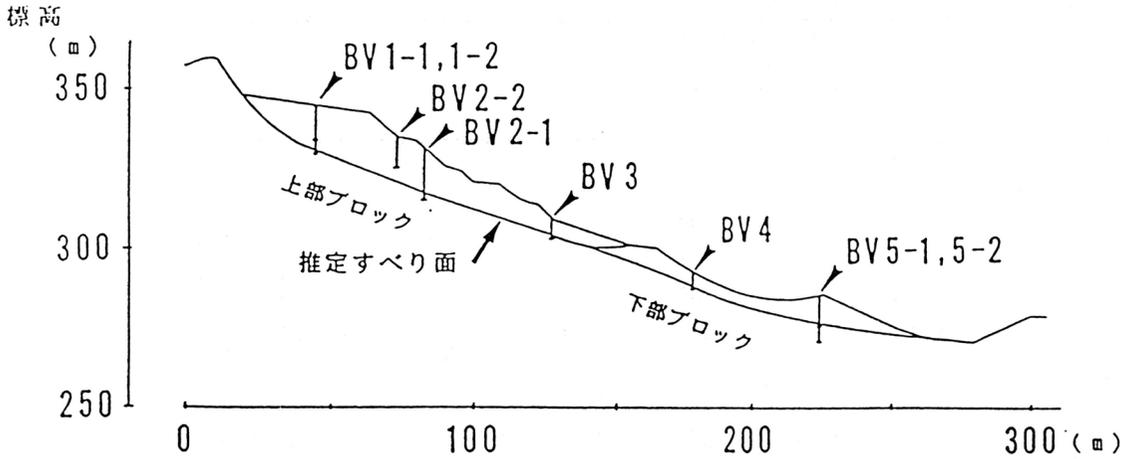


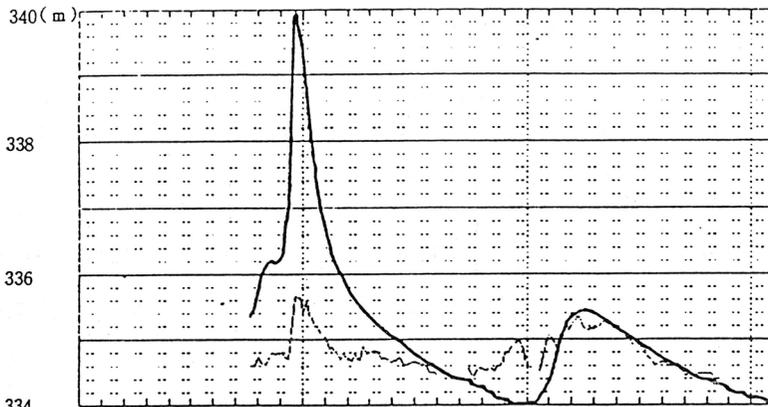
図-7 地下水位・水圧などの変動図 (松之山越, 1986)

観測孔の仕様 (東虫亀)

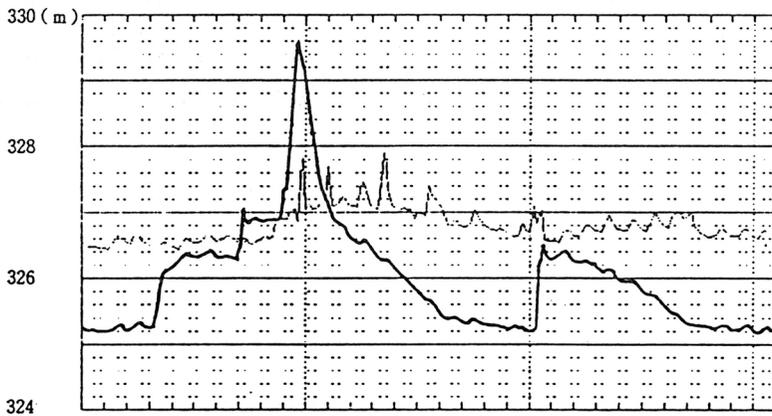
| 孔番号    | 深度<br>(m) | ストレーナー区間<br>(m) | 孔口標高<br>(m) | 地盤標高<br>(m) | 孔底標高<br>(m) | 圧力センサー標高<br>(m) |
|--------|-----------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| BV 1-1 | 15.00     | 14.00 ~ 15.00   | 344.80      | 344.40      | 329.40      | 329.40          |
| BV 1-2 | 10.70     | 9.50 ~ 10.50    | 344.43      | 344.40      | 333.70      | 334.40          |
| BV 2-1 | 17.00     | 1.00 ~ 17.00    | 331.82      | 331.74      | 314.74      | 317.82          |
| BV 2-2 | 10.00     | 9.00 ~ 10.00    | 335.15      | 335.05      | 325.05      | 325.15          |
| BV 3   | 5.00      | 4.00 ~ 5.00     | 307.72      | 307.63      | 302.63      | 302.72          |
| BV 4   | 5.00      | 4.00 ~ 5.00     | 291.79      | 291.67      | 286.67      | 287.09          |
| BV 5-1 | 15.14     | 1.00 ~ 15.14    | 284.93      | 284.74      | 269.60      | 273.93          |
| BV 5-2 | 10.00     | 9.00 ~ 10.00    | 284.92      | 284.76      | 274.76      | 274.92          |



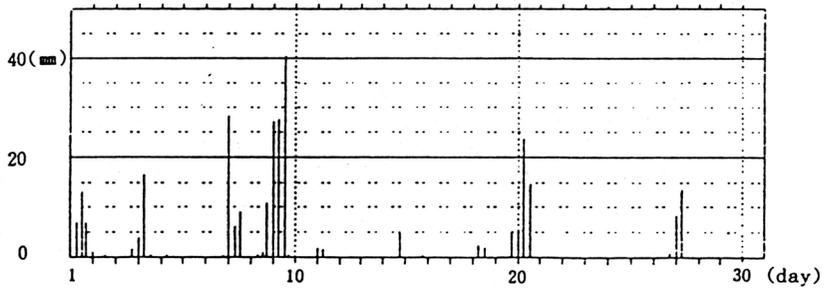
図一八 観測孔の配置図 (東虫亀)



(1)地下水頭 BV1号孔



(2)地下水頭 BV2号孔



(3)雨量

図一9 集中豪雨時の地下水頭, 雨量 (1988年7月)(東虫亀)

1. 太い実線は深い観測孔のデータを示す
2. 地下水頭は標高表示

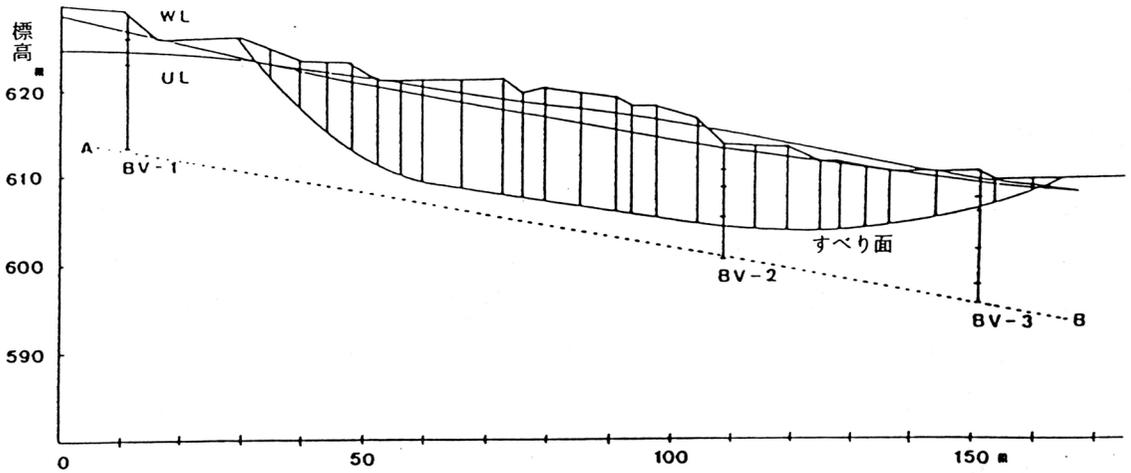


図-10-1 8月13日の地下水頭線ULと自由地下水圧WL (1986) (松之山越)

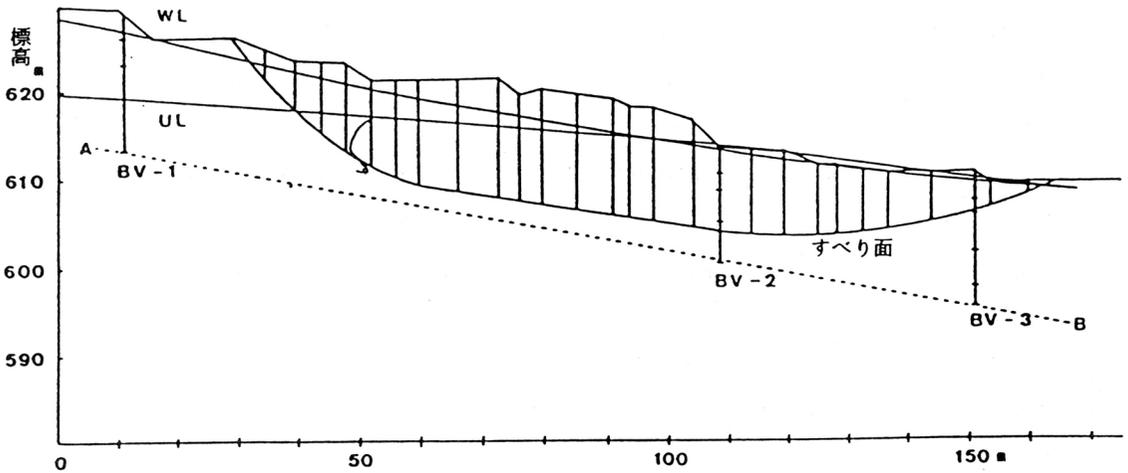


図-10-2 10月13日の地下水頭線ULと自由地下水位WL (1986) (松之山越)

## IV 地すべり活動と地下水

高野秀男<sup>※</sup>

### はじめに

地すべり活動に地下水が必ず関わりをもっているとは限らないが、大部分の地すべりは何等かの形で地下水が関与している。しかしながら地すべり活動に関わっている地下水の実態を正確に捉えることは極めて難しいことであって、そのままの状態を肉眼で見るとは到底不可能なことである。したがって以下述べようとすることは多分に推定の域を出るものではなく、信頼性の低いものであることを予めお断りして置きたい。

### 1. 間隙水圧

一般に地すべり地内の地下水は総て間隙水圧をもっているものであるかのように言われているが、間隙水というのは飽和状態の土粒子間を占める地下水のことであって、飽和状態という前提がなければならぬのであるから、地すべり地内の地下水が総て間隙水圧をもっている地下水であるとはいえない。

地すべりの移動層の中には自由面地下水として土粒子の間を占める地下水もあるが、多くの地下水は亀裂面に沿って流れていたり、水脈のように細い孔内を流下しているものであって、このことは集水井工の掘削時や、揚水試験、地下水検層などで実証されていることである。このような地下水は地層の空隙を占めてはいるが間隙水とは言えないものであり、裂か水と言われているものであり、それが水圧をもっている間隙水とは言えない。

地すべりの中にはすべり面上に自由面地下水があつて、すべり面に対して間隙水圧の働いているものもあるが、多くの地すべりは移動層と基岩面の僅かな空隙を占める地下水の水圧によって活動しており、間隙水圧に基づいてすべりの運動をしている地すべりは特殊な地すべりに限られる。あえて特殊な地すべりと言ったのは、すべり面がベントナイトのような摩擦抵抗力が著しく低い地すべりでない限り、間隙水圧に基づいてすべりの運動をしている地すべりは殆どないようであつて、大方はすべりの運動ではなくて流れの運動をしている地すべりであり、厳密な意味からは地すべりとはいえないものである。

調査ボーリング等で間隙水圧に基づいている地すべりであると判定するためには、すべり面から上のコアが総て飽和状態であるという証拠が必要であり、便宜上すべり面まで掘進している過程で孔内

※ 高野技術士事務所

水面位置が変わらないということで判定することもできる。

要するに間隙水圧に基づく地すべりもないわけではないが、極めて稀な地すべりであり、殆んど大部分は地すべりとは言っても流れの運動をしている地すべりであると言える。

## 2. 地すべり地内の地下水

地すべりの移動層の中を地下水が流れていても、宙水というようにとじ込まれている地下水であっても、それがすべり面に直接接していない限り地質、土質と同じように荷重として地すべり活動に関与しているだけであって、法面圧力を軽減させることにはならない。

すべり面に接していない地下水は、安定計算に用いられている  $(W-U) \tan \phi + C$  の  $W$  に参加しているのであって、 $U$  の部類ではないということである。 $U$  というのはいうまでもなく法面圧力に反発する力のことであるからすべり面上にある自由面地下水荷重か、被圧地下水圧のことであって、地すべり活動を対象として考える場合には、すべり面に接している地下水と、接していない地下水とは全然異質な地下水であるといえる。即ち  $W$  地下水か、 $U$  地下水かをはっきりと区別しなければならないといえる。

移動層の中には種々雑多な形式の地下水のあることは掘進中のボーリング孔内水位の変化や、地下水検層を始め、集水井や、排水トンネル掘削中に認められることである。

国の技術基準などで  $U$  とされているボーリング孔内水位は、大方これら雑多な地下水をボーリング孔で貫いたものであって、何を表わしているものか説明できるものではない。ただ  $U$  と認めることのできるのはすべり面上に自由面地下水のある場合だけに限られる。

一般的な地すべり活動は、基岩面と、移動層底面との接触している僅かな空隙を占める地下水の水圧に基づいて移動しているものであり、 $W$  地下水が増量すれば  $U$  地下水圧も共に上昇しているのであるが、中には後に述べるように  $W$  地下水が増量した時期に移動量が減少したり、停止する地すべりもあり、秋の  $W$  地下水量が減少した時期に必ず再活動する秋型地すべりや、夏型地すべりもあって  $W$  地下水と  $U$  地下水とは異質のものであることがよくわかる。更にボーリング孔にすべり面付近までケーシングパイプを降ろし、しばらく放置した場合に孔内水位が地表よりも高くなる場合もあり、すべり面上に間隙水圧計を設置した場にその水頭高が地表よりも遥かに高くなる場合もある。このようなことも  $W$  地下水と  $U$  地下水とは異質のものであることを裏付けるものである。

## 3. すべり面上の地下水

地すべり活動に直接的に関与している  $U$  地下水には自由面地下水と被圧地下水の2種類があり、これも全然異った性格をもつものであり、はっきりと区別しなければならない。前者を  $F$  地下水、後者を  $P$  地下水と呼ぶことにすると、すべり面上に若干の厚さに透水層があり、その上に不透水層があれば、普段は  $F$  地下水であるが、水量が増加すると  $P$  地下水となる場合が考えられる。即ち純粋の  $F$  地下水、 $P$  地下水のほかに  $F$  地下水から  $P$  地下水に移化する地下水の3種類があるということになる。

実際にこのような区別をした調査をしたことはないのですがどの形式の地下水による地すべりが最も多

いのかは明らかではないが、F地下水からP地下水に移化する形式の地下水による地すべりが最も多いのではないかと推定される。

地すべりの移動形式には、すべりの運動をしているものと、流れの運動をしているものと、すべりの運動から流れの運動に移化するものがあるが、それは上述のP地下水による地すべりと、F地下水による地すべり、P地下水からF地下水に移化する地すべりがあることとよく符合するのではないかと思われてならない。

すべり面上のP地下水の実状については僅かに200ヶ所程度のすべり面を見ただけであるので普遍的なものと言えるかどうか疑問であるが、見た限りにおいてはすべり面上に多量の地下水が認められたものは皆無であって、地すべり活動を促している被圧地下水は量的には極めて少ないものであるといえるようである。

数々の地すべりのすべり面上には全く地下水の認められないものもあって、再活動の際には地下水が進入し、水圧がかかると同時に含水比の増大もあって粘着力が低下するものもあると思われるが、これを実証できるような資料はもっていない。

すべり面上にF地下水のある場合でも大量の地下水が湧出しているようなものはなく、せいぜい滴り落ちる程度のものであって、大量の地下水流は移動層内の亀裂面に沿って流下しているものに限られている。

#### 4. 地下水の供給源

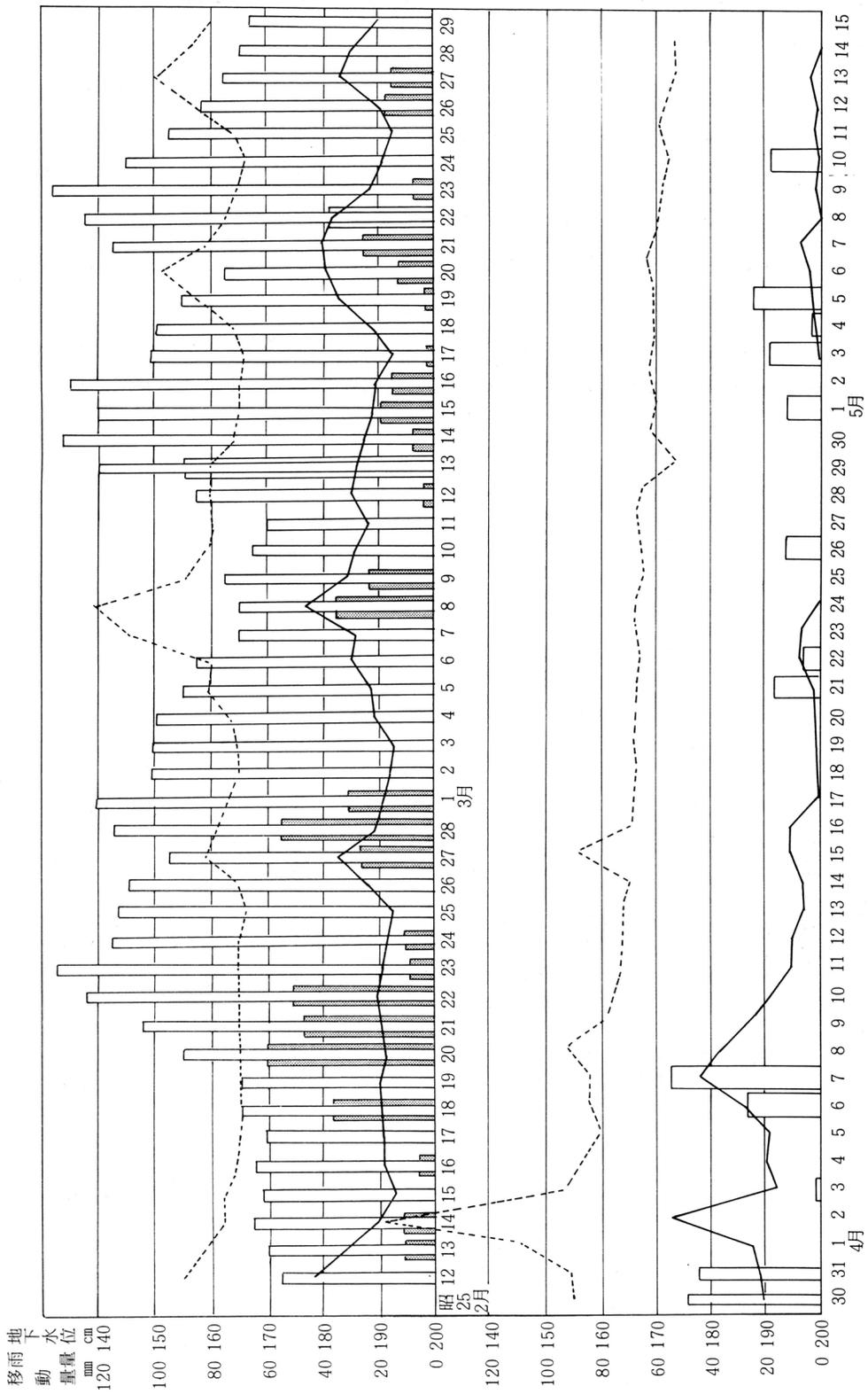
地すべり地内の地下水の供給源としては、区域内に降った降雨、融雪水と、地すべり地周辺からの供給、基岩からの供給の3つの供給源が考えられる。

この中、地区内の降雨、融雪水は、地内に広い凹地があり、無数の亀裂があるような特別の場合を除いてあまり大きな供給源とはならないのではないかと思われる。最も大きな供給源とみられるのは地すべり地周辺であって、透水層は言うまでもなく、断層、亀裂、及び地表水等が周辺境界亀裂を経由して供給されているものと考えられる。あえて周辺境界亀裂経由というのは、この亀裂によって地層は切断され、水平、又は垂直に変位したことになるので、ここで経由しない限り周辺から地内に流入することができないからである。移動層内の地下水も大部分はこの境界亀裂を経由した地下水であり、すべり面上の地下水も大部分は境界亀裂面経由のもののみでさしかえないものとする。

地すべりが大きく移動し、広いすべり面が露出したものの中には、基岩面の亀裂から地下水が湧出しているものもある。したがって活動前にはU地下水として滑動を促していたものと推定される。しかしどんな水圧をもっていたのかなどについては不明である。

#### 5. 自由面地下水と地すべり活動

排水による地すべり防止工法が確立されたのは、昭和23年から27年にわたり、新潟県神谷地すべりで行われた地下水位と移動量の関係に基づいて、移動層内の地下水位を下げれば地すべりは止まるという説を裏付け得る観測結果を得たことによるものであり、(図1参照)これが全国各地の地すべり



凡例 ■ 降水量 □ 積雪量 — 日移動量 - - - - 地下水位

図1 神谷地すべり観測例

防止工事の主流となって今日に至っているのである。しかしこの測定された地下水位は図2①に示したような浅い観測井の水位であり、測定された移動は平面的に見れば図2②のように短い区間であるがジグザグの移動をしており、断面的に見ると③のようなすべりの運動ではなくて流れの運動をしている場所の移動量である。③の掘出した杭の下方は垂直に60 cm移動しているのであるからすべりの運動もしているのであって、神谷地すべりの観測結果から得られた地下水位と移動量との関係は自由面地下水と移動量との関係であり、先に述べたように厳密な意味の地すべりではなくて流動というべきものである。筆者はあまり馴染まない名称であるこのような流れの移動をしているものを地流れと呼び、地すべり末端の流動部分を末端流と名付けて純粹の地すべりと区別している。

移動層内の地下水位を下げれば移動は停止するということが通用するのは地流れや、末端流であって、本質的な地すべりにおいては移動層内の地下水を排除した場合にはすべりを助長することもあり得る。

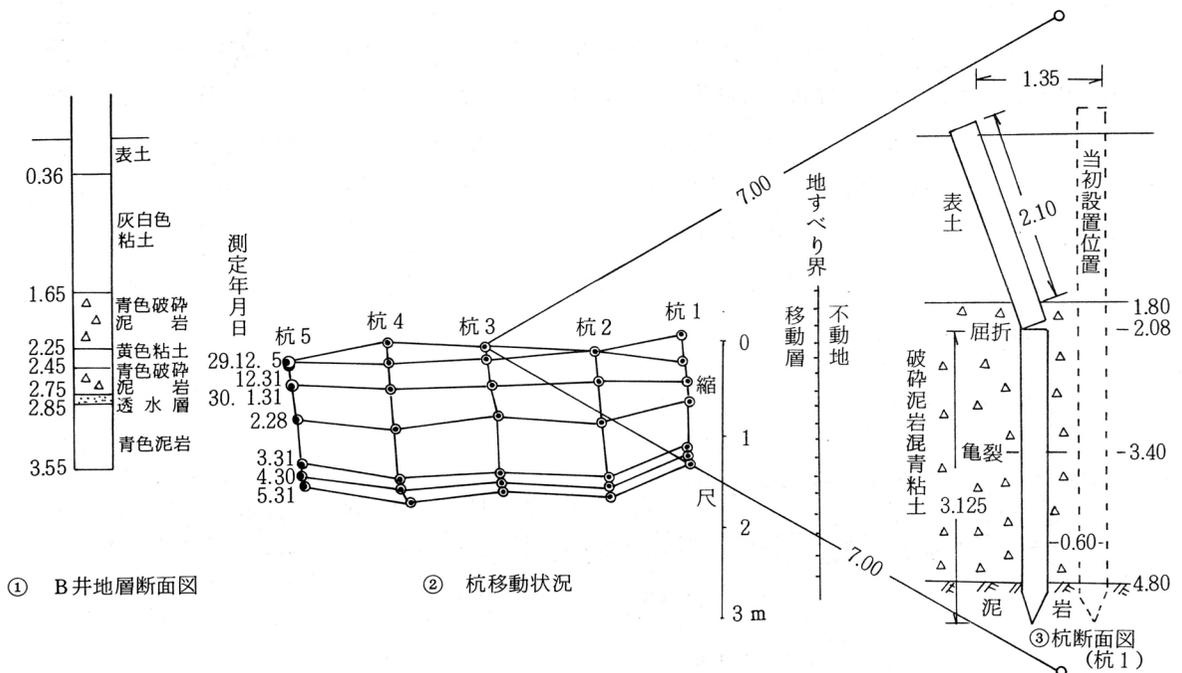


図2 神谷地すべり

## 6. 被圧地下水と地すべり活動

ほとんど大部分の地すべり活動は、すべり面上の被圧地下水の水圧に基づいて活動しているとみてよいのではないと思われるが、遺憾ながらこの被圧地下水だけを分離して測定するようなことは行われておらず、実験的に1・2の試験地で調査され、すべり面上には被圧地下水があるということが実証されているに過ぎない。

さりながら実際問題として極めて薄いすべり面上の地下水の水圧を測定しようとするのは容易なことではなく、特に移動しつつある地すべりについてこれを測定することは極めて困難なことであろうと思われる。実験的に捉えることができたという被圧地下水も大方は、一部袋状に拡がっている地下水溜りとでもいべき場所で捉えられているものと推定される。

たまたま捉えられたこれらのすべり面上の被圧地下水の中には、先に述べたように水面高が地表面よりも高くなるものや、水頭高が地表面よりも高くなるような強い水圧をもっているものもあるが、地すべりを横断カットしてすべり面を露出させても、すべり面から地下水が吹出すようなことはなく、僅かに濡れている程度の部分が大部分を占めている。(図3参照) このことは例え大きな水圧をもっているとしても量的には微々たるものであり、又流速も極めて小さなものであることを示しているものと考えられる。

しかしながらすべり面を横断カットし、水圧を解放した場合には移動している地すべりを完全に停止させることができることは新潟県猿供養寺地すべりで実証されている。つまりすべり面を完全に横断カットするような工事でなければ被圧地下水の水圧を解除するようなことは困難であるということであり、集水井を移動層中間で止め、これから集水ボーリングですべり面上の被圧地下水の水圧を軽減しようというようなことは到底不可能なことであるといえる。

この被圧地下水の水圧を生ずる機構については未だに調べられたことはない。しかし常識的に言って落差の問題と水収支の問題であろうと思われる。

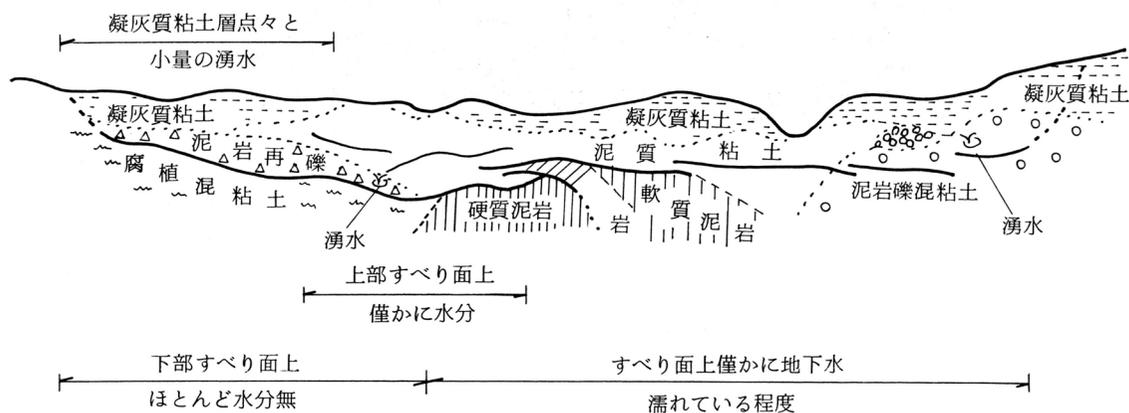


図3 猿供養寺地すべり横断面図

落差の点からいえば、それは供給源の問題であって、先に述べたように大部分が周辺から境界亀裂を経てすべり面に達するものとすれば境界亀裂内の水面高が落差を決定するものとみてよいのではないかと思われる。地内の降雨、融雪水であるとするれば当然頭部亀裂内の水面高といえるであろう。

水収支の点からいえば、周辺からの供給が多くて狭い境界亀裂や、すべり面上の空隙では流下しきれず、大部分は移動層内へ流入しているものと推定され、流下の面ではすべり面上のどこかで空隙が閉塞されるような現象があって水圧が上昇するということであろう。この閉塞の問題は後に述べるところであるが、最も重要な問題ではないかと思われる。

## 7. 溶脱と膠結

前項の地下水の流下を妨げ水圧の上昇を来たすという要因が溶脱と膠結である。

すべり面上の地下水に限らず、地すべり地内の地下水の流動によって水溶成分の溶脱があることは様々な現象で示されている。先ず最も多いのは横孔ボーリング排水に伴って起る地盤沈下があり、場所によっては延長100m、幅数10mもの範囲が2m近く沈下することもある。次いで目につくのは集水井周辺であって、集水井を残し周辺半径10m内外が摺鉢状に陥没しているものが見られる。(写真1参照)



写真1 集水ボーリングを行った結果陥没を起した神谷地すべり

地下水流上部に径1mから10数mに達するような摺鉢状の陥没を生ずることは各地の地すべり地で見られる現象であって、千葉県地すべり地ではボラと呼ばれている。千葉県ではこのボラの数が多くなると地すべり再活動が起るものとみて、予知として役立てている。

横孔ボーリング排水の水を蒸溜し、残留物重量から年間の溶脱量を推定した例は、KK興和によって新潟県神谷地すべり、蓬平地すべりで実施されたことがあり、多いボーリング孔では年間数 $m^3$ の土量が溶脱されていることが確認されている。

すべり面粘土があって、その上に地下水が流下していたとしたら当然すべり面粘土は溶脱するはずであり、広い範囲が溶脱し、大きな空隙ができれば移動層は沈下し、空隙は閉鎖されるであろう。このことが地下水の流下を妨げ、水圧を上昇させることになるのではないかと推定される。水圧が上昇すれば地すべり活動が始まり、移動に伴って新たな空隙が生じ、再び地下水の流下が容易になって水圧が低下する。したがって移動は緩和されたり、停止するというようなことが繰返されているのではないと思われる。

継続移動している新潟県神谷地すべりの年間最大移動量となるのは地下水の最も少なくなる10月か、11月であり、地下水が最も多くなるであろうとみられる3月、4月の頃は移動量が減少している。同様のことは猿供養寺地すべりにおいても認められており、地下水位の低い11、12月頃が最も移動量が多く、3、4月の融雪期にはほとんど停止することが土木研究所新潟試験所によって観測されている。(図4参照) 更に雁平地すべりにおいてもこのような傾向のあることが北日本技術株式会社水岩永氏によって確かめられている。

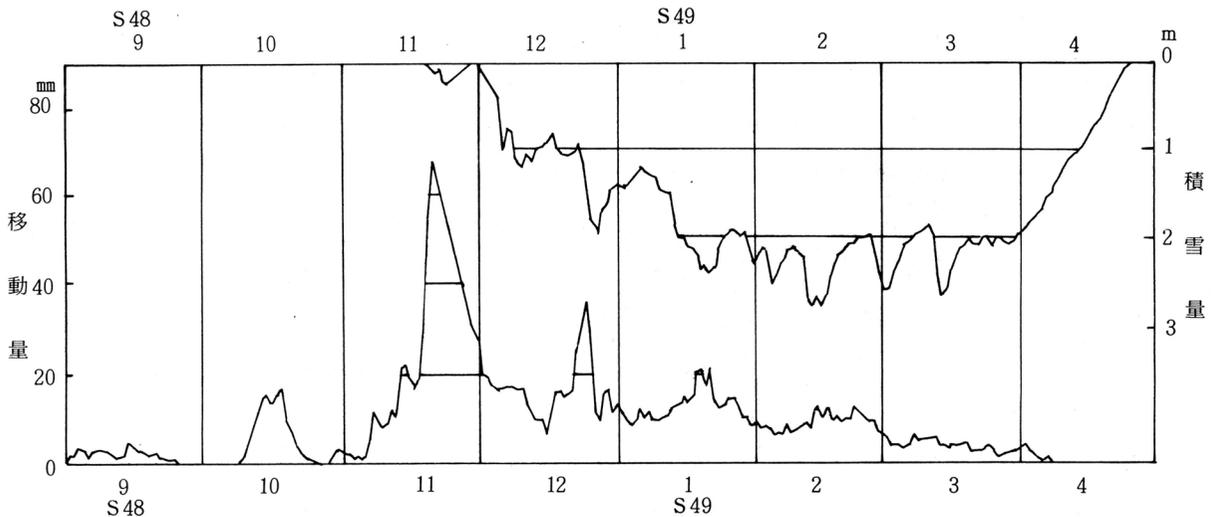


図4 猿供養寺地すべり積雪量と移動量 (新潟試験所資料による)

先に述べた秋だけに周期的に起る地すべりや、夏だけに起る地すべりなどについても同様な機構であると推定され、溶脱、沈下、地下水流下阻止、水圧上昇、地すべり活動、地下水流下再開というようなことを考えなければ説明できないのではないと思われる。勿論一般的には地下水量の増加が地すべり活動を促している場合が多いのであるが、それはすべり面上に自由面地下水がある場合であり、水量が著しく増加した場合には被圧地下水になるというような形式の地すべりが多いためではないかと推定される。

膠結とここで言うのは普通水垢といわれているもののことであって、集水ボーリングの孔詰まりが起って掃除を余儀なくされるといふ鉄分などによる空隙の閉塞を指しているのである。

すべり面上の地下水の流れもボーリング孔と同様に水垢で閉塞される場合のあることも当然考えられることであり、これが地下水流を妨げ、水圧の上昇を招く場合もあるものと推定される。この場合においても水圧の上昇が地すべり活動を促し、活動によって水垢を取除くようなことがあるものと考えられる。

## 8. 地流れと末端流

地すべりと言われているものの中、最初から流動形式をとっているものを先に述べたように地流れと呼んでいるのである。これは斜面を流動している地下水に異常な水圧が発生し、地表を破って放出し、これに伴って崩れた表土層が流動を始め、次々に表土を巻き込みながら流動して行くものであると推定される。

冠頭部を見た限りにおいては単なる崩壊と区別し難く、進行状況を見ると土石流と区別することも難かしいようである。昭和36年4月8日に発生した新潟県新井市猪野山地すべりなどはその典型的なものであり、昭和26年2月16日に発生した佐賀県石倉山地すべり、同じく31年7月6日に発生した人形石山地すべり等もこの部類の地すべりである。

この発生原因となった異常な地下水圧の成因には様々なことが考えられるが、斜面上に落差のある亀裂が発生していたことからすると、この食違いによって地下水流下が止められたためであろうと推定され、いわば地流れに先立って小規模ながら地すべりが発生し、その結果地流れとなったものであろうと思われるので実質上末端流と同じものではないかとみることもできるようである。後刻この食違い亀裂を滑落崖とした地すべりが発生する場合があって、流動部分の表面をすべり面として急速な後追地すべりともいうべき現象が見られることもある。

末端流は地すべり活動によって破碎された移動層の中に地下水、地表水が流入攪乱され泥濁化したものの流動であって、最先端部は単なる濁水となっている場合も少なくない。しかしどこまでがすべりで、どこから末端流であるかというようなはっきりとした境界があるわけではなく、すべりから次第に流れの状態に移り変わって行くものである。それにしても対策を考える場合にははっきりと区別してそれぞれに適した工法を選ばなければ大きな効果を期待することはできない。特に地すべりによる被害はほとんどこの末端流に限られるといってもよいほどであって、地域住民にとっては最もその対策を望むところであろう。しかしながら現在のところ拱手傍観の状態であって、せいぜい避難誘導をさせる程度である。調査、研究も敬遠していて未だに末端流などと言っても適用さえしない状況である。

防止工事の方に深く立入るつもりはないが、対策として考えられることは、移動しながらも排水が可能な施設の開発と、流動層の誘導の2つについて実験的な工事を行って早急に工法の確立を望みたい。

地流れについては発生前に異常な地下水圧の排除が必要であって、何時発生するか予想することが難かしいので危険のないように十分注意して排水工事を施工する必要がある。

## お わ り に

防止工事を前提にして地すべり活動と地下水について述べてきたのであるが、現在地すべりに係わっている人々の多くは、地質関係者や、土質関係者であるためか、地質土質については著しく研究調査が進んでいるように思われるが、地すべり活動に深く係りをもっていると思われる地下水についてはあまり関心が向けられておらず、せいぜい地すべり地内の地下水は間隙水圧などという名称で一括されていて、調査研究から放り出されているように思われる。工事関係者もまた水さえ出せばいいという井戸屋式考えで工事を行っているようであって、それで効果の上っている地すべりも多いかも知れないが、全く効果のない地すべりもあり、稀には地すべり活動を助長しているものもある。

このような結果を招いた大半の責任は神谷地すべりによって得られた移動層内の地下水位を下げることができれば地すべりは止まるという裏付け資料であって、それが図1である。しかし実は但し書きがあって、流れの運動をしているものに限るというのであり、それが図2であるがこれは公表を差控えた。今更その責任逃れの言訳をするつもりではないが、当時としてはともかくも排水による地すべり防止が可能であるという証拠がなければ地すべり対策事業を新たに公共事業として認定してもらうことができなかつたのであり、但し書きの部分はいずれ明らかにされるであろうと思っていたのである。しかし但し書き抜き態勢が定着したためか、不都合があるためか、但し書き部分は葬り去られているのである。

地すべり対策を対象として考える場合には、移動層の地質が何であるとか、土質が何であるかというようなことは何等関係のないことであって、その重量と、すべり面との間にある地下水の水圧だけである。したがって地すべり断面図を作るとしたら、大変難かしいことではあるが、地下水断面図を作るべきであり、被圧地下水部分、自由面地下水部分、流下経路等が表示される必要があるものと思われる。

もしもこのような地下水断面図が作成できるとしたならば従来の防止工事は大きく変わることであろうし、更に効果的な防止工事が行われるのではないかと思われる。