

## 東虫亀地すべり地の融雪期地下水の特性について

稲葉一成\*・吉田昭治\*\*・佐藤修\*\*

Characteristics of groundwater during snow-melting season in Higashimushigame  
landslide

by

Kazunari INABA, Shōji YOSHIDA and Osamu SATŌ

(Abstract)

We have developed an observation system to determine the groundwater level, water quality, snow depth, atmospheric temperature, and amount of melted snow water which occurs automatically under snow during winter. In the Higashimushigame landslide, we observed such items to research the characteristics of groundwater during the snow-melting season.

Groundwater head fluctuated in colluvial deposits upon the slip surface and in fissured mudstone under the slip surface independently. Groundwater head under the slip surface exceeded the level of the one in the deposit during the snow-melting season, especially at the end of the snow-melting season. The chemical compositions of groundwater upon the slip surface differed from those under the slip surface. Results of the stability analysis of the slope show that the slope is more unstable in such confined groundwater conditions.

Key words : landslide, automatic observation system, groundwater head, stability analysis,  
confined groundwater, chemical composition

キーワード : 地すべり, 自動観測システム, 地下水頭, 安定解析, 被圧地下水, 化学成分

### I ま え が き

融雪期に地すべりが多発していることはよく知られている。これは、多量の融雪水が地すべり斜面に供給されることによって、地下水位を高め、あるいは地すべり面域の間隙水圧を高めることが原因と考えられている。しかし、これらのことが実際に観測された例は非常に少ない。筆者らは、積雪下においても観測が可能な自動観測システムを開発し(吉田ほか, 1987; 佐藤ほか, 1987)、地すべり斜面における融雪期地下水の挙動特性をつかむことを主目的に、地下水位、水質、積雪深、気温、融雪水量の観測を1986年12月より東虫亀地区の一地すべり地において行ってきた。

ここでは、得られた観測結果のうちから、特に1988年の融雪期と集中豪雨時の地下水頭変動と、それが斜面安定に及ぼす影響について報告する。

\* 新潟大学大学院農学研究科

\*\* 新潟大学積雪地域災害研究センター

## II 東虫亀地すべりの概要

調査報告書（新潟県農地部ほか，1987）を参考に，東虫亀地区の地すべりの概要を述べる。当地区は，長岡市の南南東約10kmの古志郡山古志村の標高300～500 m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又は崖錘等の被覆層が覆っている。当地区における現在の地すべりは，古期の大規模な移動の再活動である2次すべりが大半を占めている。観測を行っている地すべり斜面はそれらのうちの一つである。この地すべり地は，地すべり履歴から3ブロックに分けられる。上部のブロックは1961年，中部のブロックは1978年，下部のブロックは1986年にそれぞれ移動している。これらの3つが組み合わされて斜面長約270 mを長軸とする一連の地すべりブロックを形成している。過去の地すべりは，融雪期や集中豪雨時に発生しており，下部のブロックについては，ブロックの末端が溪流に接しているため，侵食による地すべり発生も考えられる。また，このブロックには上部とは別な滑落崖がある。

## III 自動観測システムの概要

自動観測システムについては，すでに報告した（佐藤ほか，1987）ので，ここでは概要を述べる。地下水水位，水質，積雪深，気温，融雪水量のそれぞれの観測機器で得られたアナログデータは，デジタル信号に変換後，ハンドヘルドコンピュータHC-40に入力され，ICカードに記録される。記録されたデータは，新潟大学災害研究センターに設置したホストコンピュータPC-9801VMからの要求に応じて，電話回線を経由して大学に転送される。HC-40等の記録，転送システムは，冬期間の積雪に耐えうるコルゲート鉄板製の観測小屋（新協地質調査事務所設計）内に設置した。

## IV 地下水頭観測施設

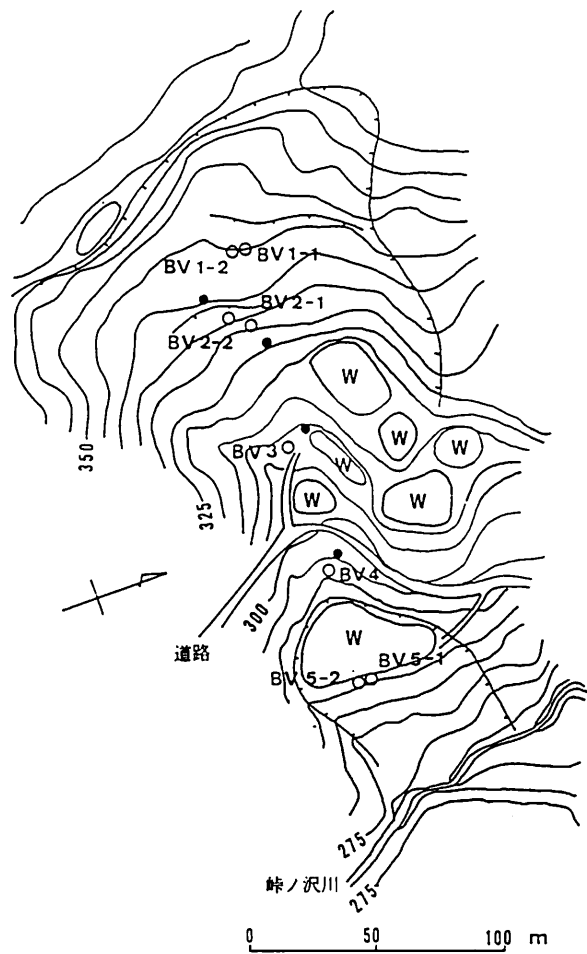
各観測孔の位置，仕様を図-1，表-1に示す。観測孔は，新潟県農地部によって1986年にBV2-1孔，BV5-1孔（この孔番号は新潟大学での表記である）のオールストレナー加工の2孔が設置

表-1 観測孔の仕様

Table 1 Specifications of observation holes.

設置場所 東虫亀地区  
設置年月 1986年11月（BV2-1，5-1は8月）

孔番号	深度 (m)	ストレナー区 間 (m)	孔口標高 (m)	地盤標高 (m)	孔底標高 (m)	圧力センサー 標高 (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



凡 例	
	滑落崖
	観測孔
	湧水
	養鯉池

図-1(1) 観測孔の位置(平面)  
 Fig. 1(1) The plane of observation holes.

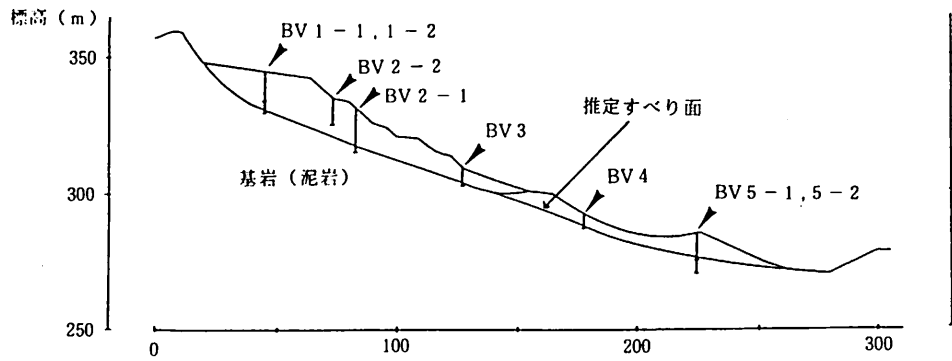


図-1(2) 観測孔の位置(断面)  
 Fig. 1(2) The cross section of observation holes.

され、ボーリング調査、貫入試験、揚透水試験、地下水検層などが実施された。この一連の調査結果を参考にして、地下水状態を立体的に把握する目的で、同年さらに6孔の観測孔を設置した。これら6孔は、従来から指摘されているように（例えば川上，1986）、目的とする層の地下水頭を観測できるように、その層の区間の1 mにのみストレーナー加工をした。

各観測孔内には、地下水圧計測センサーとして、ひずみゲージ式の間隙水圧計（以下圧力センサーと呼ぶ）を設置したが、BV 1-1 孔，BV 1-2 孔については、ソフトウェアを一部改良したC-500 形水位・水質観測システム（CTIサイエンスシステム製）を設置して、地下水頭、電気伝導度、水温を計測できるようにした。このシステムは、次に述べるような大気圧及び温度による影響を受けないように改良されている。

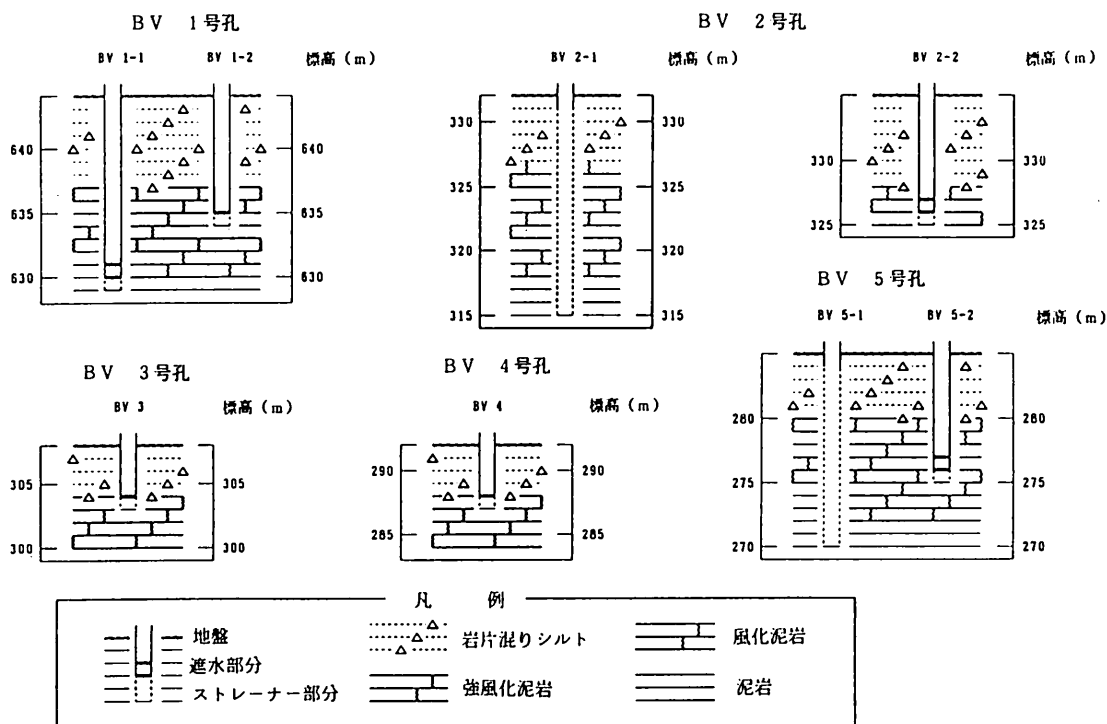


図-1(3) 観測孔付近の地質  
Fig. 1(3) The geological section of observation holes.

### V 大気圧が観測値に及ぼす影響

当地区と同時に進めていた松之山越地区における観測の結果より、大気圧の観測値に及ぼす影響が問題になることが明らかになってきたため、当地区の観測システムの設置にあたっては、この影響を最小限にとどめるように考慮した。上述した圧力センサーは、ゲージ圧測定用になっておらず、大気圧と水圧の総和（以下総圧と呼ぶ）を測定するようになっている。そのため、大気圧測定専用以外の圧力センサーと同タイプのものを用意し、このセンサーが測定した大気圧を、他の圧力センサーが測定した総圧から差し引くようにした。図-2に大気圧、総圧、水圧＝総圧-大気圧のそれぞれの一例を示す。図-2(1)、(2)に示すように総圧表示から地下水頭の変化を読み取ろうとした場合、20~30cm程度の変化は気

圧によるものか地下水頭によるものか区別するのが難しい。これに対し、図-2(3)に示すように総圧から大気圧を差し引くことによって、大気圧の影響が取り除かれ、地下水頭だけによる変化が明瞭に読み取れるようになる。従来の観測例（例えば小川ら，1986）では，このような大気圧の考慮がなされていないのが普通であった。このような措置をとらない場合，変動を開始する時刻の特定などができず，従って，融雪水，降雨などによる地下水頭変動の特性を詳細には把握できないといえる。

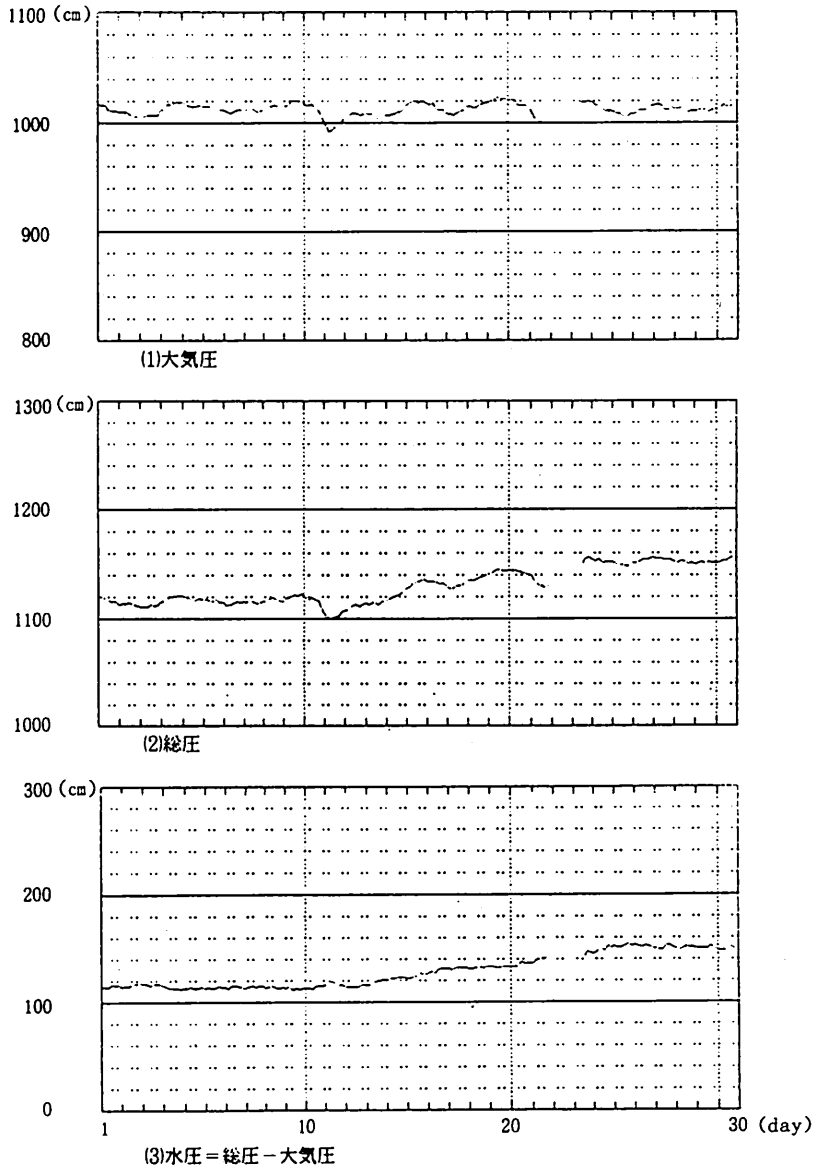


図-2 大気圧，総圧，水圧の変動（1988年3月）  
 Fig. 2 Fluctuations of atmospheric pressure, total pressure and water pressure.

## VI 温度が観測値に及ぼす影響

温度による影響については、システム設置当時には明らかになっていなかった。その後、上述した松之山越地区で、アンブ特性による温度の観測値に及ぼす影響も問題になることが明らかになった。このことへの対応策として、1987年8月にシステムのアンブを改良した。しかし、図-3に示すように夏期になると、日射によって観測小屋内の温度は40℃近くまでに達し、システムの温度の変動波形と大気圧センサーの変動波形とが類似したものになることから、温度の観測値に及ぼす影響が依然として除去できないことがわかった。地下水頭計測センサーにもこのような影響が現れたが、大気圧計測センサーと比べれば小さいものであった。この原因は、システムの改良が不十分だったことにあると考えられた。

その後、1988年7月8日に、それまで観測小屋内の地上約1 mの位置に固定してあった大気圧計測センサーを、同小屋内のBV1-2孔の地表から深さ5 mの位置（この孔は地下水位が低く、この位置ではセンサーは水中に没することはない）に設置して、センサーとコードの大部分が一定温度の状態になるようにしたところ、図-4に示すように、この日以降は大気圧の観測データから温度の影響がほぼなくなっていることが認められた。このことから、温度の影響を受けているのはシステム本体ではなく、センサーとそれに接続するコードの部分であることがわかった。

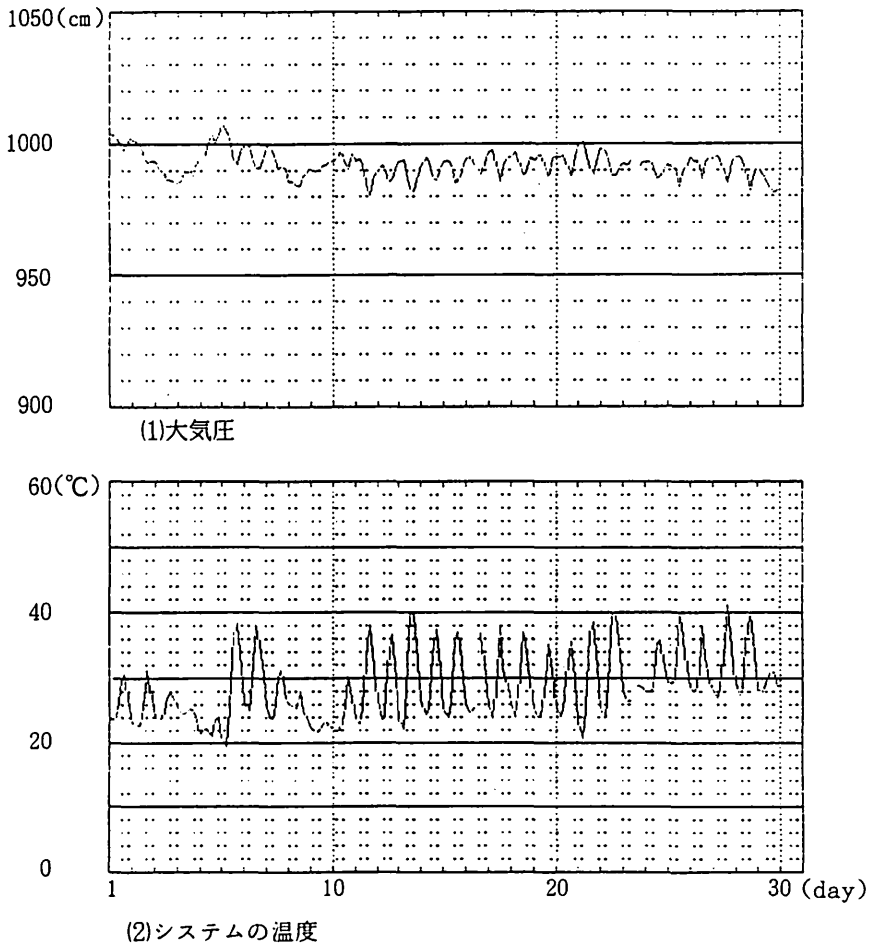


図-3 大気圧とシステムの温度の変動波形 (1988年6月)

Fig. 3 Fluctuations of groundwater head temperature of the system.

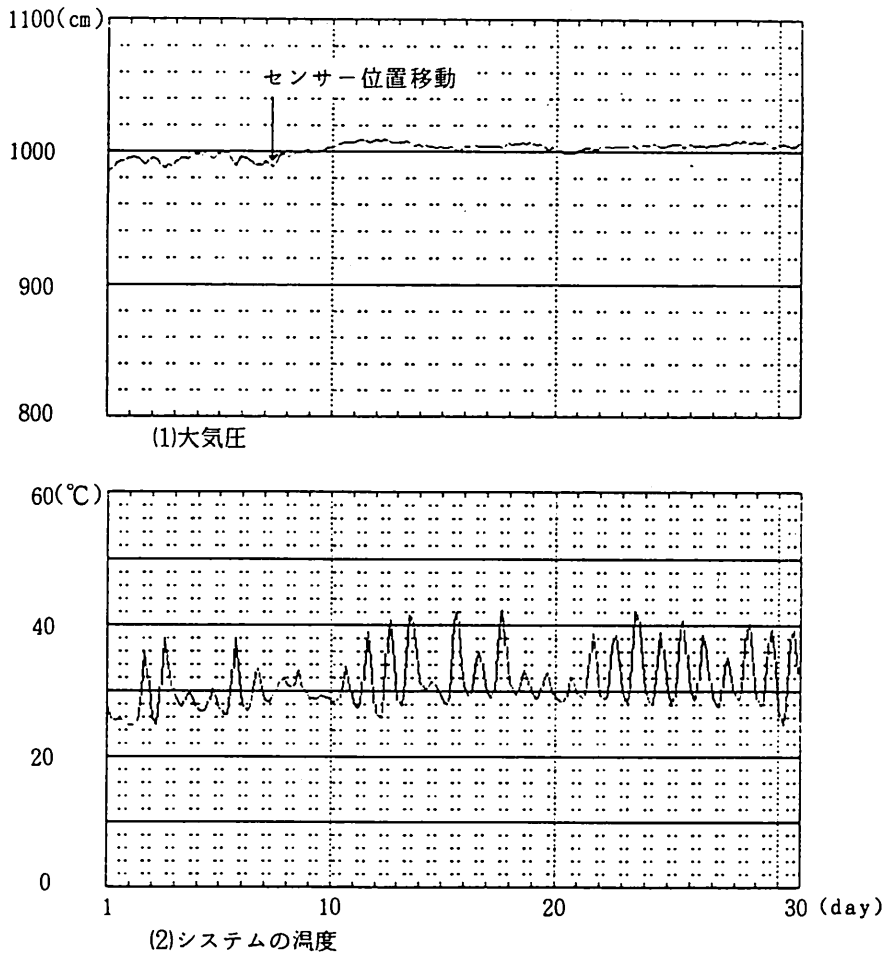


図-4 温度の影響が除去された例(1988年7月)  
 Fig. 4 Examples of observation data removed from temperature effects.

7月8日以前の大気圧の計測は、センサーとコードの両方が温度の影響を受けている状態で行われている。このため、より大きい温度の影響を受けているのである。これに対し、各観測孔の地下水頭の計測は、センサーとコードの一部分は孔内の地下水中に没しているためほぼ一定温度であり、地表に張られているコードの部分だけが温度の影響を受けている状態で行われている。このため、大気圧の計測の場合に比べ温度の影響が小さいのである。

大気圧の計測については温度による影響を除去できた。それに対して、地下水頭の計測については地表に張られたコードの部分に問題があると判断できたが、現在のところ、その影響を取り除く有効な措置をとるまでには至っていない。このことは、今後の検討課題として残されている。

#### Ⅶ 積雪期、融雪期、集中豪雨時の地下水頭変動特性

1986年12月より観測を開始したが、その後、下部のブロックのBV4孔、BV5-1孔、5-2孔に設置した圧力センサーが断線したため、これらの観測孔の地下水頭は計測不能になった。以下では、上、中部のブロックを1つのブロックとし、BV1の地点を斜面頭部、BV2の地点を斜面中腹部、BV3の地点を斜面末端部として扱うことにする。

## 1. 積雪期

図-5に積雪期の地下水頭、積雪深、気温を示す。1988年は1月になっても降雪と融雪を繰り返すように、平年より比較的温暖な気象であった。この時期には斜面中腹部のBV2-1孔で水頭変動があるが、本格的な降雪が1月末から始まり、積雪深が140cm程度に達する頃になると、それも見られなくなる。2月になると、気温が0℃以下の日が続き、本格的な降雪・積雪期間に入る。この時期の水頭変動は、斜面頭部のBV1-2孔で若干見られる以外は目立ったものはなく、ほぼ一定な状態となっている。ただBV2-2孔だけは、2月全体を通して見ればゆるやかに低下し、一ヶ月で20cmの低下を示す。

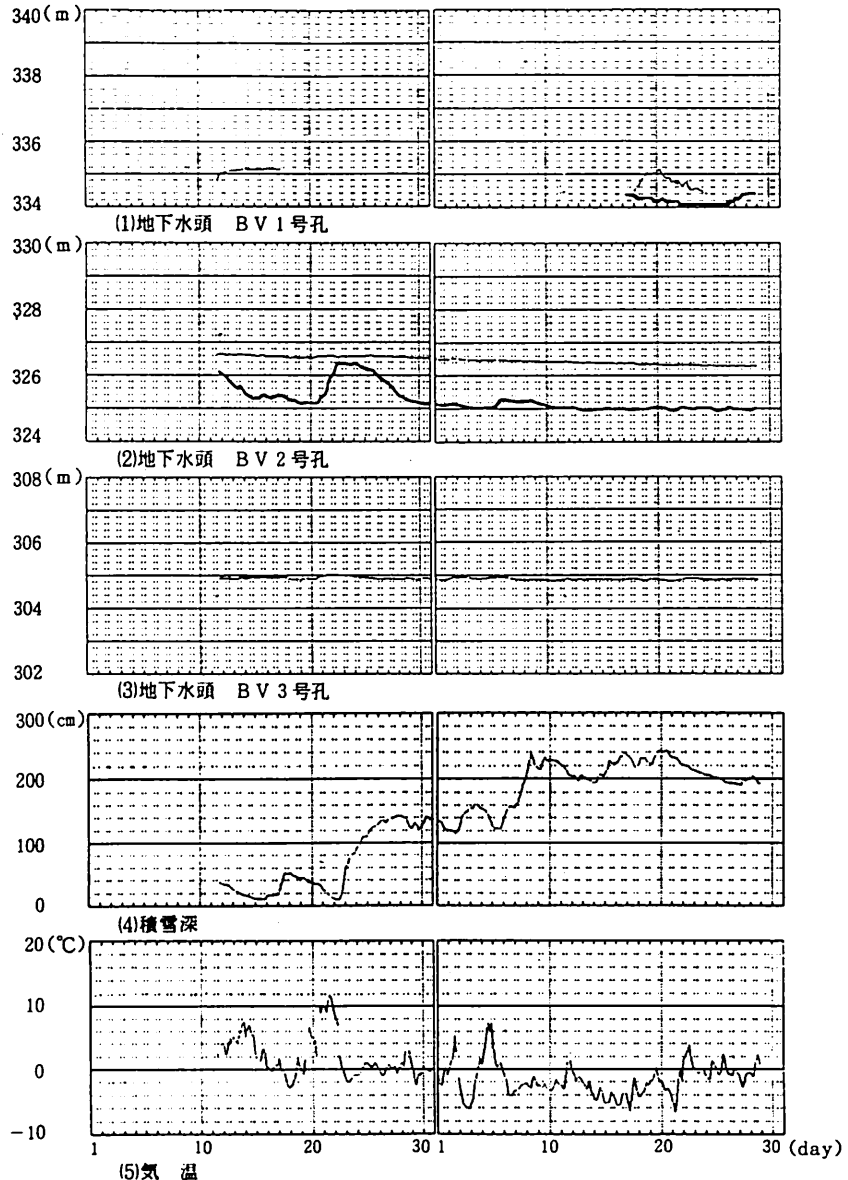


図-5 積雪期の地下水頭、積雪深、気温 (1988年1~2月)

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

Fig. 5 Groundwater head, snow depth, and atmospheric temperature during the snow season.



## 2. 融雪期

図-6 に融雪期の地下水頭、積雪深、気温、融雪水量+雨量を示す。融雪水量は、融雪開始の3月10日から融雪終了の4月20日までの期間について、積雪深の減少量と積雪密度から算定した。積雪密度

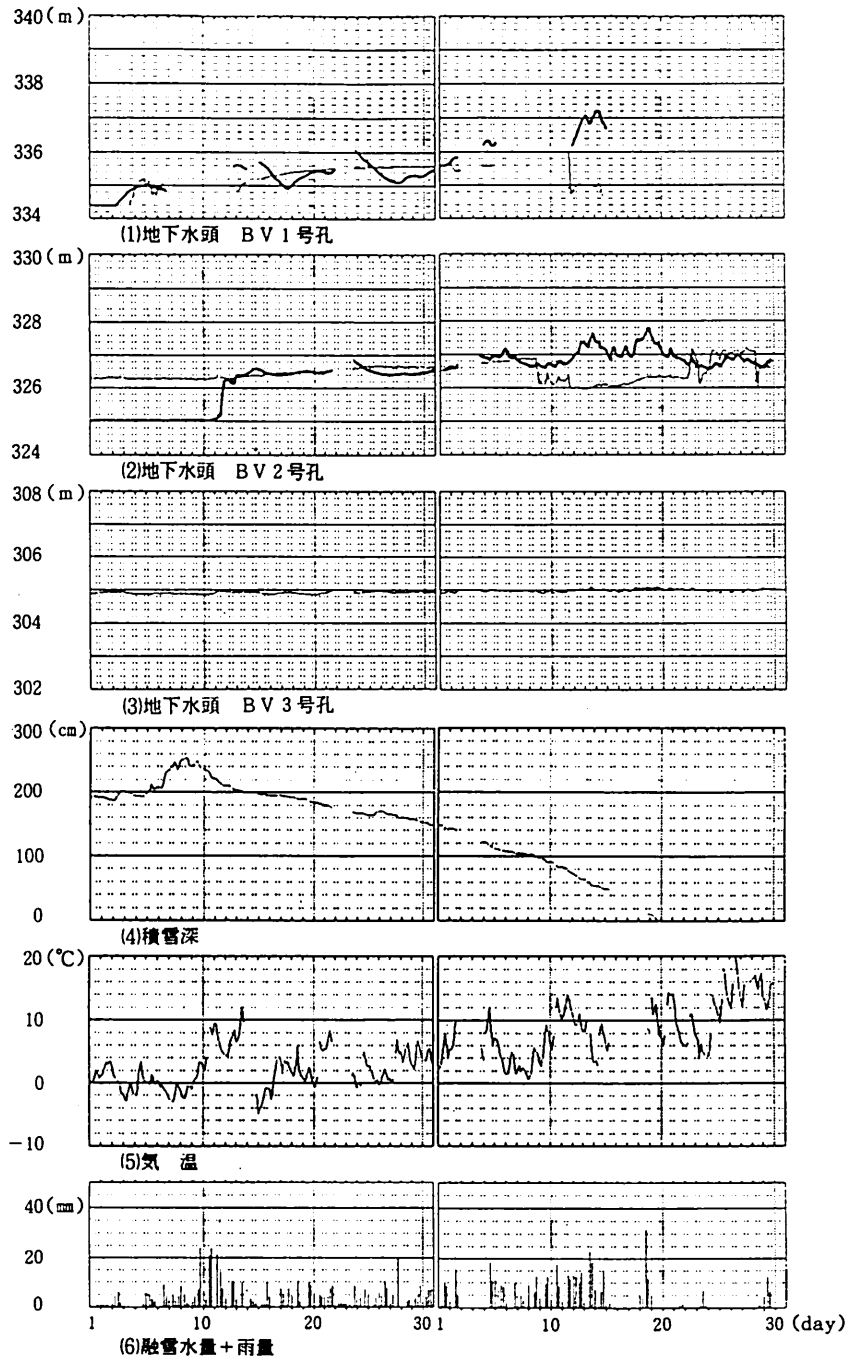


図-6 融雪期の地下水頭、積雪深、気温、融雪水量+雨量 (1988年3~4月)

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

Fig. 6 Groundwater head, snow depth, temperature, and amount of melted snow water and rainfall during the snow-melting season.

( $g/cm^3$ ) は、3月10日から17日までを0.35、18日から4月20日までを0.40とした。雨量は、当地すべり地から約2km離れた山古志中学校での観測値を用いた。3月になると、3日よりBV1の地点において、水頭の上昇開始が見られるようになるが、BV2、BV3の地点においては、この時期ではまだ見られない。

3月10日を過ぎて日中の気温が $6^{\circ}C$ 程度まで上がるようになると、積雪深の減少速度がほぼ一定になり、融雪期に入ることが明瞭になる。12日になると、BV2の地点でも水頭の上昇開始が見られるよ

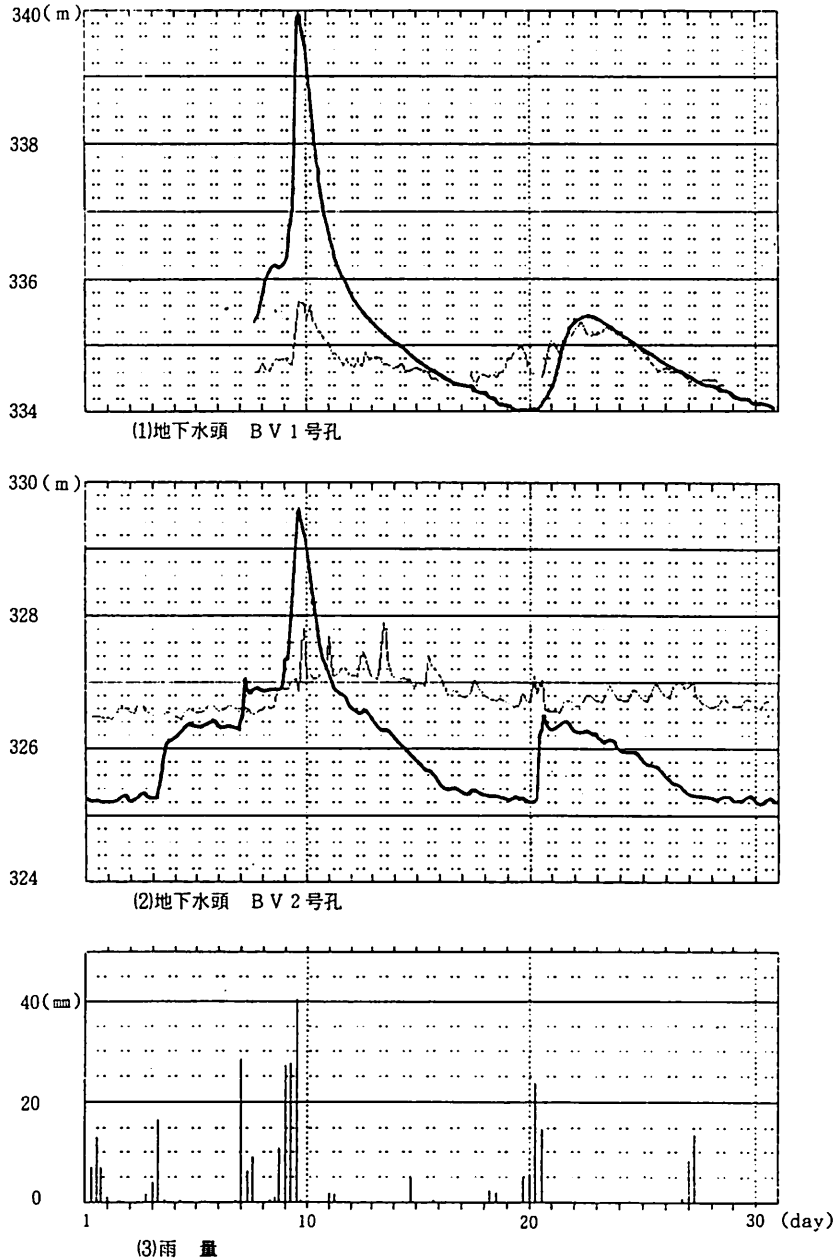


図-7 集中豪雨時の地下水頭、雨量(1988年7月)

- 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

Fig. 7 Groundwater head and rainfall during severe rain storm.

うになる。B V 2 - 1 孔では、この日一日で120cmの上昇が見られ、以後この水頭がほぼ保たれる。B V 2 - 2 孔でもこの頃より、緩やかながらも上昇が見られるようになる。12日以降は、B V 1, B V 2 の両地点での水頭変動は非常に類似していることがわかる。両地点共に浅い観測孔の水頭は緩やかな上昇を続けるのに対し、深い観測孔の水頭は上下変動を続け、15日、23~24日にピークとなる。

4月になると、B V 1, B V 2 の両地点では、深い観測孔の水頭が浅い観測孔の水頭を上回る被圧状態が続くようになる。特に融雪末期の4月の半ばには、より高い被圧状態を呈していることがわかる。これに対し、B V 3 の地点においては、3月、4月を通して水頭変動は見られない。

### 3. 集中豪雨時

図-7に集中豪雨時の地下水頭、雨量を示す。7月9日18時から18時間の連続降雨量が約100mmという豪雨によって、B V 1, B V 2 の両地点において、深い観測孔の水頭が急激に上昇し、ほぼ同時にピークに達するのが見られる。しかし、それに比べれば浅い観測孔の水頭は、若干の上昇に留まっている。一時的にはあるが、この時の被圧状態は融雪末期のをも上回るという、非常に高いものであることがわかる。また、B V 2 - 1 孔はオールストレーナー加工された観測孔ではあるが、この時の水頭変動からもわかるように、深い層の水頭の影響を強く受けている。

以上で見てきた地下水頭変動の特徴を記すと、次の通りである。

1. 積雪期には、各観測孔の地下水頭はほぼ一定な状態となり、年間を通して最低の値となる。
2. 融雪期には、斜面頭部と中腹部で地下水頭の上昇があるのに対し、末端部では上昇は見られない。また、その上昇量は浅い観測孔よりも深い観測孔のほうが大きい。
3. 融雪中期には、深い観測孔の地下水頭が浅い観測孔のそれよりも大きくなる被圧状態を呈する。特に融雪末期には、より高い被圧状態を呈する。
4. 10年に一度程度の集中豪雨時には、一時的に、融雪末期を上回る被圧状態が生じることがある。
5. B V 2 - 1 孔はオールストレーナー加工の観測孔であるが、孔内水位はその変動特性から、深い層の地下水頭の影響が支配的である。
6. 浅い観測孔と深い観測孔の地下水頭は独立に変動する（このことは、次に述べる水質分析結果からも認められる）。

## Ⅷ 水 質 分 析

地下水頭変動の特性を水質の面からも明かにするため、88年5月24日、8月9日、8月25日に観測孔内水及び湧水を採水し、水質の分析を行った。分析結果を表-2に示す。採水地点とそれぞれの水質はヘキサダイアグラムとして図-8に示す（濃度の高い試料15, 16, 17はスケールが2倍に、18は3倍に取ってある）。

ヘキサダイアグラムが小さい、言い換えれば電解質濃度が小さい水（試料1, 2, 3, 4）は全て湧水である。これらの水の陽イオンはナトリウムイオンが最も多く、陰イオンでは硫酸イオンまたは炭酸水素イオンが多い。これは山古志村付近の地すべり地帯の湧水の特徴である（佐藤ほか, 1984）。これら湧水に対し、ボーリング孔内水は電解質濃度のみならず化学組成が違っている。

B V 1 - 1 孔の上層(5)と下層(6)は、ストレーナーの位置の地下水水質を反映してほぼ同じ水質である。これは炭酸水素アルカリ土類型で他の観測孔には見られない水質である。この水是水質の組成から、土壌の表面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の混合した水

表-2 水の化学組成  
Table 2 Chemical compositions of water.

No	採水地点	水温 ℃	導電率 μS/cm	PH	Na <sup>+</sup> meq/l	K <sup>+</sup> meq/l	Ca <sup>2+</sup> meq/l	Mg <sup>2+</sup> meq/l	ΣCATION meq/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq/l	Cl <sup>-</sup> meq/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq/l	ΣANION meq/l	採水年月日
1	BV 2 畑脇湧水	5.6	67	6.15	0.272	0.020	0.188	0.133	0.613	0.266	0.168	0.201	-	0.635	1988.5.24
2	BV 2 崖下湧水	8.5	112	5.95	0.417	0.028	0.358	0.257	1.060	0.351	0.190	0.486	0.057	1.084	1988.5.24
3	BV 3 崖下湧水	8.6	89	6.71	0.326	0.025	0.309	0.210	0.870	0.406	0.187	0.271	-	0.864	1988.5.24
4	BV 4 崖下湧水	8.6	121	6.85	0.535	0.035	0.321	0.247	1.138	0.490	0.285	0.310	0.074	1.159	1988.5.24
5	BV 1-1 上層	10.9	203	6.58	0.587	0.051	0.840	0.548	2.026	1.727	0.222	0.098	-	2.047	1988.8.25
6	BV 1-1 下層	13.4	184	6.83	0.568	0.080	0.836	0.542	2.026	1.668	0.224	0.128	-	2.020	1988.8.9
7	BV 2-1 上層	10.8	218	6.76	1.886	0.061	0.122	0.078	2.147	0.972	0.196	0.900	0.056	2.124	1988.8.9
8	BV 2-2 上層	12.4	527	7.76	5.342	0.109	0.590	0.264	6.305	5.825	0.281	-	-	6.106	1988.8.9
9	BV 2-2 下層	12.6	564	7.33	6.007	0.153	0.507	0.228	6.895	6.605	0.287	-	-	6.892	1988.8.25
10	BV 4 上層	14.5	409	7.40	2.769	0.112	0.907	0.468	4.256	3.109	1.190	-	-	4.299	1988.8.9
11	BV 4 下層	13.0	421	7.38	3.462	0.118	0.782	0.419	4.781	3.445	1.147	-	-	4.592	1988.8.25
12	BV 5-1 上層	14.9	610	5.88	2.133	0.106	2.241	1.818	6.289	1.102	0.276	4.846	-	6.224	1988.8.9
13	BV 5-1 下層	13.5	586	6.07	2.882	0.112	1.732	1.338	6.064	0.287	0.254	4.723	-	5.804	1988.8.25
14	BV 5-2 上層	12.8	840	7.41	5.403	0.215	2.268	1.756	9.642	5.914	0.726	2.633	-	9.273	1988.8.9
15	BV 2-1 下層	11.0	770	8.31	8.266	0.171	0.005	0.007	8.449	6.636	1.279	0.491	-	8.406	1988.8.9
16	BV 3 上層	14.6	1,568	7.58	12.151	0.348	2.094	1.144	15.737	4.693	11.010	-	-	15.703	1988.8.9
17	BV 5-2 下層	12.8	1,181	8.08	12.269	0.294	0.526	0.390	13.479	12.161	0.644	1.032	-	13.837	1988.8.25
18	BV 3 下層	12.8	1,865	7.87	15.262	0.398	2.510	1.409	19.579	5.056	13.545	-	-	18.601	1988.8.9

と予想される。融雪期、集中豪雨時に地下水頭変動が特に深い観測孔で大きいことは、観測地点を含む、広い範囲の表面からの浸透水が急激に影響したことを示すが、地表水が深い層のどこまで実質的に浸透してきたのか、水圧のみが上昇したのかを判断するためには、今後水位変動が観測された時の水質変動を観測する必要がある。

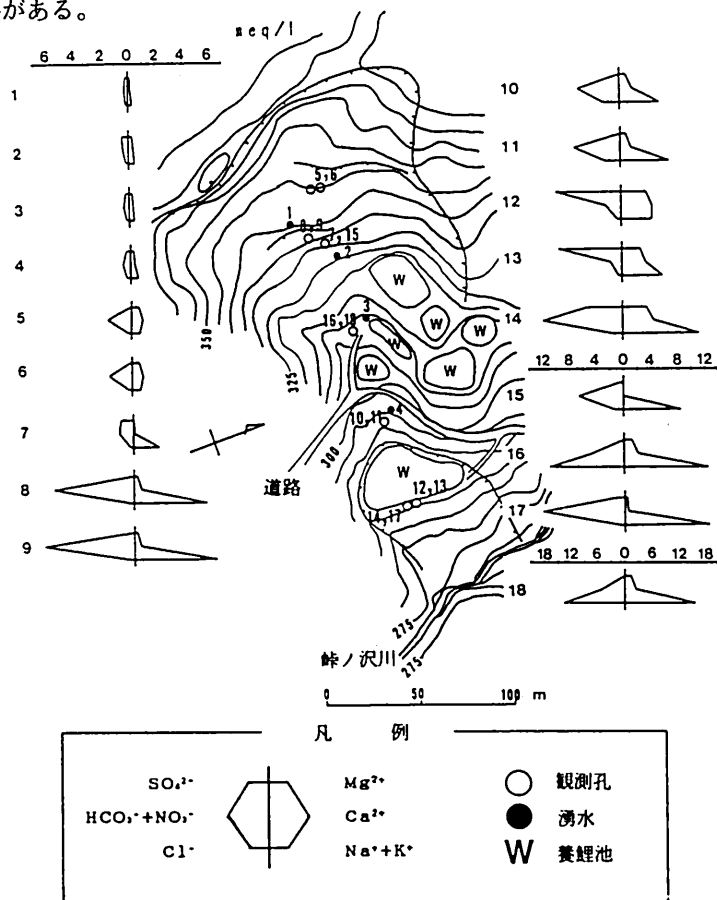


図-8 採水地点と水質のヘキサダイアグラム

Fig. 8 Sampling locations of water and their hexadiagrams of water quality .

BV2-1孔はオールストレーナー加工の観測孔であり、上層(7)には硫酸イオンと炭酸水素イオンに富む水が、下層(15)には炭酸水素イオンと塩化物イオンに富む水が分布している。この孔の水は塩化物イオンが比較的多く、深い層の古い水が関係しており、硫酸イオンは、きわめて浅い層の水か、オールストレーナーの最上部から混入したと考えられる。BV2-2孔はBV2-1孔の上層、下層のいずれとも異なった水質を示しており、硫酸イオンが見られないことから、表面の水は混入していない。従って、この地点の融雪期、集中豪雨時の地下水頭変動は、地表水が深い層に実質的に浸透したのではなく、深い層の水自体が影響したものである。

BV3孔の水質は典型的な塩化ナトリウム型(佐藤ほか, 1983)の水である。この位置では、BV2-1孔の深い層の水より更に深い層の水が、この位置では比較的浅いところに出現したのであろう。このBV3孔では融雪期、集中豪雨時に水頭変動が見られない。この塩化物イオン濃度が高い水は、融雪水や降雨などの地表からの水とはつながりがないことを示している。

BV4孔は上層も下層も水質は同じであり、ストレーナー位置の地下水質を反映している。塩化物イオンが比較的多いが、炭酸水素ナトリウム型の水である。やはり、どの観測孔の水とも水質は一致しない。

BV5-1孔はオールストレーナー加工の観測孔であるが、上下層間の水質の違いは小さい。硫酸アルカリ土類型の水である。硫酸イオンが多いのはこの観測孔に隣接して養鯉池があり、その浸透水の影響を受けている可能性がある。BV5-2孔のストレーナー位置はBV5-1孔の深さのほぼ中間に切っているが、両者の水質は違っている。BV5-1孔の上下で水質が同じで、下層でもBV5-2孔より硫酸イオンが多いが、深い水の指標である塩化物イオンはBV5-2孔の方がBV5-1孔の下層より高い。これらの、深さと水質の関係の逆転は、BV5-1孔内で上層の水が下層に移動している事を窺わせる。今後、トレーサー等を使って検討する必要がある。

### IX 融雪期，集中豪雨時における斜面安定解析

融雪期及び集中豪雨時の被圧状態が、斜面安定に及ぼす影響を見るために、簡便法とJanbu法による安定解析を行った。すべり面の間隙水圧は、BV1-1，BV2-1，BV3孔の地下水頭から求めた。 $r_{sat} = 1.85t/m^2$ ， $r_t = 1.80t/m^2$ として、積雪下で地下水頭がほぼ一定な状態の時の簡便法での安全率が1.20となるように逆算によって、 $c' = 2.0t/m^2$ ， $\phi' = 22.0^\circ$ と定めた。解析結果を表-3に示す。

表-3 融雪中期，融雪末期，集中豪雨時の安定解析結果  
Table 3 Results of stability analysis during the snow-melting season and severe rain storms.

解析法\算定期	融雪中期	融雪末期	集中豪雨時
簡便法 Fs	1.137	1.091	0.989
Janbu法 Fs	1.171	1.125	1.021

融雪中期，融雪末期，集中豪雨時に安全率でそれぞれ約0.06，0.1，0.2の低下が見られる。このことから、これらの時期には地すべり面付近の深い層の地下水圧の上昇により、地すべり発生の危険性が増すことが確かめられる。特に融雪期には、不安定な状態が集中豪雨時の一時的なものとは違い、継続的なものであることから、地すべり発生の危険性が一層高いと判断される。

### X ま と め

年間を通した観測結果から見て、融雪期には、年間を通して最も高い地下水頭、水圧状態、すなわち最もすべり易い危険な状態になっている。そこに急激な気温上昇や降雨に伴って融雪が促進される条件が重なると、自由地下水位の上昇以上に深い層の間隙水圧の急激な上昇を招き被圧状態となり、これが地すべり発生の誘因になると考えられる。

### 謝 辞

現場選定ならびに調査に際しては新潟県農地部や新協地質調査事務所の協力を得た。自動観測システムの開発に際しては越後電機の協力を得た。観測機器の設置に際しては地主の方々および山古志村役場の協力を得た。また、本研究は積雪地域災害研究センターの地すべり研究プロジェクトの一環として行われ、観測については鈴木幸治技官の助力を得、また、積雪深などの気象観測機器データの設定は雪水

研究グループに負っている。以上を記して深く感謝の意を表します。なお、研究費の一部として、文部省科学研究費（62年度重点領域研究；自然災害）を使用したことを記して深く感謝の意を表します。

## 文 献

- 小川正二・亀井健史・和田 正・橋本正樹（1986）：融雪期における地すべり地の間隙水圧・地下水位・地温の変動特性。地すべり，23，3，21-27.
- 川上 浩（1986）：地すべり調査に関連する2，3の問題。地質学論集，28，87-95.
- 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報告書。昭和62年3月。
- 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－地すべり地の陸水の水質3－。新潟大学災害研究センター研究年報，5，33-42.
- 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－地すべり地の陸水の水質4－。新潟大学災害研究センター研究年報，6，63-72.
- 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。新潟大学災害研究センター研究年報，9，115-124.
- 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.