

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—

吉田 昭 治**・ 佐藤 修**・ 中野 俊 郎***
長崎 明***・ 稲葉 一成****・ 中沢 武 司****

Investigations of groundwater by automatic observation system at Matunoyamakoshi landslide

by

Shōji YOSHIDA, Osamu SATŌ, Toshiro NAKANO, Akira NAGASAKI,
Kazunari INABA and Takeshi NAKAZAWA

(Abstract)

Investigations of groundwater at Matunoyamakoshi landslide in Niigata Prefecture were made in 1986-87 after the occurrence of the reactivated landslide in the spring 1985 by the developed automatic observation system. This system can automatically record several months observation data into an IC card even under deep snow in winter. The results obtained are as follows.

Unconfined groundwater level which exists in old landslide debris of thickness up to about 6 m below the ground surface has been nearly constant near the ground surface in all seasons and was scarcely influenced by both water supply due to rainfall and drainage due to boring works. Conversely, groundwater pressure in the weathering mud rock underlying below the unconfined groundwater decreased with the drainage works. Pressure of groundwater outside the area of the slip was easily influenced to the rise by rainfall, in contrast with groundwater within the area of the slip. From the above and other results, it may be assumed that the slip surface clay which had been produced during the preceding slip constitutes a nearly impermeable layer.

Key words : landslide, groundwater level, groundwater pressure, automatic observation system, artesian groundwater, slip surface clay

キーワード: 地すべり, 地下水位, 地下水圧, 自動観測システム, 被圧地下水, すべり面粘土

*本研究の研究費の一部は、文部省科学研究費（一般研究B）によった。また、本研究の一部は地すべり学会第26回研究発表会で発表した。

**新潟大学積雪地域災害研究センター

***新潟大学農学部

****新潟大学農学部大学院生

I ま え が き

地すべり地の地下水位、地下水圧分布や地下水流動状態を調査する目的で、地下水位や間隙水圧の観測が行われるが、目的とするデータをとるのには、観測孔の構造・設置の仕方、観測孔網の取り方などが適切であることが必要である。また、HC-40などにみられる最近のマイコンの軽量・小型化、低廉化を伴う急速な進歩によって、電源の得難い山間地や長期積雪下の地すべり地においても地下水などの自動連続観測が可能となってきた。

筆者らは、新潟県松之山越地すべり地において、多点の地下水観測孔を設け、試作した自動連続観測システムによって、地下水調査をした。本報告は、これらの観測システムの概要の紹介とともに、観測結果の一部から得られた現地の地下水状態についての知見と地すべり地の地下水観測上の問題点、留意点についてまとめたものである。

II 松之山越地すべりの概要

松之山越地すべり地は、新潟県東頸城郡松之山の南東部、町役場から5 kmの位置にある。調査報告書（北陸農政局他、1986）によると、この地すべりの概要は次の通りである。

1984年融雪後に農道に亀裂が生じ、同年末頃には、ここに数10 cmの落差を生ずる程になった。これらの前兆のあと、翌年の1985年融雪後に今回の幅40～50 m、長さ約200 m（面積約1.0 ha）の範囲にわたって地すべりが発生した。

地すべり地を横切る農道約100 mが約1 m陥没し、水田約1 haに凹凸、亀裂、境界での0.3～0.5 mの段差、最大で約2 mのズレなどが生じ、水田は耕作不能となった（図-1）。頭部の滑落崖の落差は約1.0 mであり、地すべりの方向は、頭部から約120 m区間では東南東（図-1のA-E）であるが、この末端部から地すべりの方向は南東方向（図-1のE-B'）変わる。

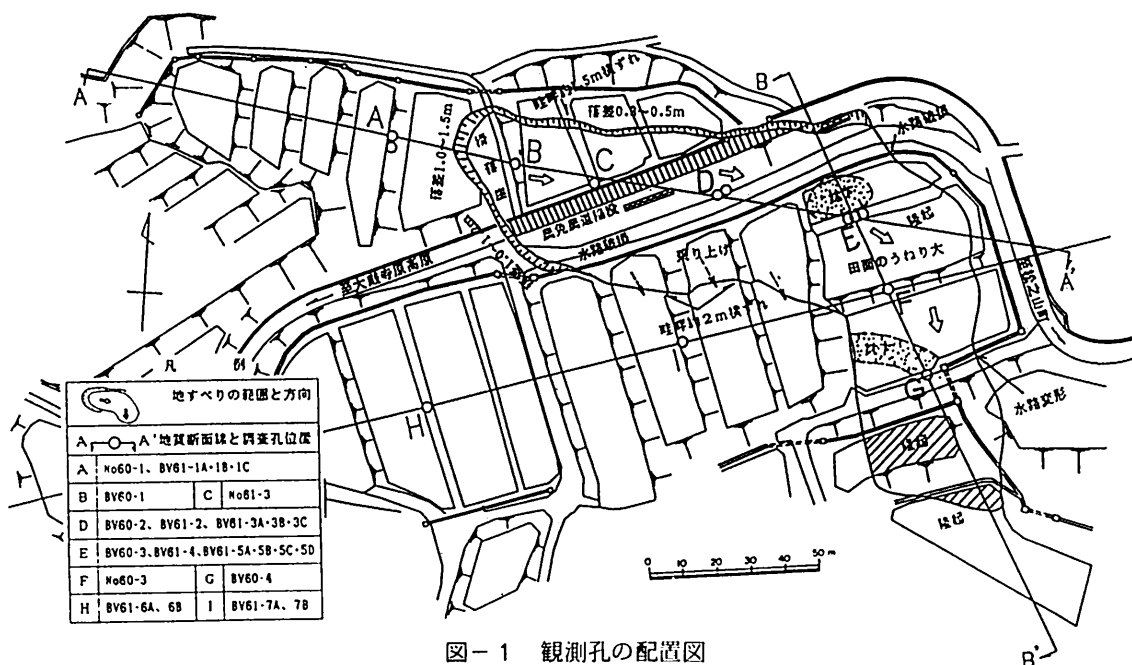


図-1 観測孔の配置図

Fig.1 Locations of the observation holes.

この地すべり斜面を含む地域で、1978～1979年にかけて圃場整備が行われたが、この工事施工中から徐々に移動が始まり、1980年に今回とほぼ同じ範囲で地すべりが発生している。地すべり対策工として28本の抑止杭と水抜きボーリングが施工され、地すべりは一旦は落ちついていた。しかし、その後、1982年～1983年にかけて中腹から末端付近の水田に波打つなどの変状がみられ、今回の地すべりにつながっている。このような地すべりの前歴は、今回の地すべりを考察する上で重要な前提条件となろう。

Ⅲ 地下水観測孔網について

1985年11月に北陸農政局、新潟県農地部によって図-1のA、B、D、E、F、Gの各地点に地下水調査用観測孔が、D点に孔内傾斜計用に1孔が設置され、一連のボーリング調査、貫入試験、揚水試験、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、翌1986年に地下水状態を立体的に把握する目的で、さらにA、D、E、H、Iの各点に深度を違えた観測孔、2箇の間隙水圧計などを設置した(表-1)。孔番号のつけ方は、農地関係と新潟大学との両方を併記してある。

観測孔の構造：災害研で設置した観測孔には、いずれも測定目的とする深度に長さ1 mまたは1.5 mのストレーナ加工をしたVP-40の塩ビ管を挿入した。ストレーナ部の上・下部には、ストレーナ部以外からの地下水の流入を防ぐために、水を含むと膨脹するナイスシールを約4 cm幅に巻いて遮水した。

A地点では、すでに深度9～13 mにストレーナ部を設けたチャート式自記水位計用観測孔(Na60-1)があったので、1孔はそれより深い15 m±0.5 mにストレーナを設けた観測孔BV61-1 A (BV 1-1)、浅い自由地下水位を観測する目的で6 m (BV 1-2)、3 m (BV 1-3) 深度の観測孔を設置した(表-1)、(図-2)。

D地点では、深度9.70～12.5 m区間から湧水が認められた(1985年調査)ので、図-2(3)のように、深度11.8 mに間隙水圧計を埋設した。この地点の孔内傾斜計用観測孔BV60-2によって深度9.5 m付近で、1985年12月6日から23日までの17日間で約19 mmの移動量が認められていた。ボーリングコアでも深度9.30 mから20 cm厚さの軟い粘土層が認められたことから、この付近がすべり移動層であると想定して、この部分に相当する孔内のモルタル部の上方約0.5 m間にベントナイトの充填層を設け、間隙水圧計のコードをこの部分でたるませて、地すべり移動によってコードが切断されるのを防ぐようにするとともに、上方の孔内埋め戻し部からの地下水を遮水するようにした。その後の観測結果からみて、この遮水目的は達成されたようである。(E点の間隙水圧計BV61-4 (BV 3-1)も同様の配慮をして16 m深度に埋設した。)被圧水層より上の地層間隙水圧を測定する目的で、深さ8.5 mの観測孔(BV 2-2)を設けたが、この深さでもなお被圧しており、地表から立上り50 cmの塩ビ管観測孔口より湧水がみられた(1986年5月～)。この被圧水の間隙水圧を測定する目的で、1986年8月9日に塩ビ管を1.04 m継ぎたして観測を継続した。その後、水圧も低下したので積雪下の観測に備え地表部の塩ビ管を同年12月2日に短くカットした。

E地点では、1985年10月の調査で、深度9.70～12.50 m間に5.0 ℓ/minの湧水が認められたので、深度15.3 mに間隙水圧計(BV 3-1)を埋設し、それより浅い層の間隙水圧を測定するために深度13 mの観測孔(BV 3-2)を設けた。この地点のボーリングコアから地すべり面粘土(想定)が深度9.30 m付近にみられたので、これを狭む深さの間隙水圧を測定するために深度9 mの観測孔(BV 3-3)を設けた。さらに浅い不圧地下水面を知るために、深度5 m (BV 3-4)、3 m (BV 3-5)の観測孔を設けた。この地点には、以上の他に1985年11月に設置された全長ストレーナ式の観測孔BV60-3(深度18 m)がある。

表-1 調査項目と観測施設の仕様

Table 1 Observation items and specifications of the observation equipments.

位置	孔 番 号 農 地 関 係	新 潟 大 の 孔 番 号	調 査 深 度 (m)	孔口標高 (m)	調 査 仕 様		標準口 入試験	簡易揚 水試験	地下水 検 層	電気伝 導度・ 水 温	観測施設の 名称・機器	地下水位観測孔の仕様				設置 年・月
					口径 (mm)	区分						管径 (mm)	ストレーナ ー区間(m)	無孔区間 (m)	測定方式	
A	NO60-1		20.0	628.33	86	コア	○	○	○		地下水位	75	9.0～13.0	0.0～9.0 13.0～20.0	自記水位計	60・11
	BV61-1-A	○BV1-1	15.5	628.63	66	ノー コア		○		○	地下水位	40	14.5～15.5	0.0～14.5	自記水圧計	61・5 (兼携帯)
	BV61-1-B	○BV1-2	6.0	628.63						○			4.0～5.0	0.0～4.0 5.0～6.0		
	BV61-1-C	BV1-3	3.0	628.65						○			2.0～3.0	0.0～2.0	携帯水位計	
B	BV60-1		20.0	622.06	66	コア	○	○	○	○	地下水位	40	1.0～20.0	0.0～1.0	携帯水位計	60・11
C	NO61-3		20.0		86	コア	○	○			孔内傾斜計					61・10
D	BV60-2		15.0	613.35	66	コア	○	○	○		孔内傾斜計					60・11
	BV61-2	○BV2-1	12.0	613.35	66	ノー コア		○		○	間隙水圧				自記間隙 水圧計	61・5
	BV61-3-A	○BV2-2	8.5	613.32	66	ノー コア				○	地下水位	40	7.5～8.5	0.0～7.5	自記水圧計 (兼携帯)	61・5
	BV61-3-B	BV2-3	5.0	613.38						○			4.0～5.0	0.0～4.0	携帯水位計	
	BV61-3-C	BV2-4	3.0	613.23						○			2.0～3.0	0.0～2.0		
E	BV60-3		18.0	609.68	66	コア	○	○	○	○	地下水位		1.0～18.0	0.0～1.0	携帯水位計	61・11
	BV61-4	○BV3-1	16.0	609.84	66	ノー コア		○			間隙水圧				自記間隙 水圧計	61・5
	BV61-5-A	○BV3-2	13.0	609.90	66	ノー コア				○	地下水位	40	12.0～13.0	0.0～12.0	自記水圧計 (兼携帯)	61・5
	BV61-5-B	BV3-3	9.0	609.87						○			8.0～9.0	0.0～8.0	携帯水位計	
	BV61-5-C	BV3-4	5.0	609.90						○			4.0～5.0	0.0～4.0		
	BV61-5-D	BV3-5	3.0	609.89						○			2.0～3.0	0.0～2.0		
F	NO60-2		20.0	608.61	86	コア	○	○	○		地下水位	75	9.0～13.0	0.0～9.0 13.0～20.0	自記水位計	60・11
G	BV60-4		20.0	605.32	66	コア	○	○	○	○	地下水位	40	1.0～20.0	0.0～1.0	携帯水位計	60・11
H	BV61-6-A	外1-1	20.0	623.29	66	コア	○	○	○	○	地下水位	40	1.0～20.0	0.0～1.0	携帯水位計	61・5
	BV61-6-B	外1-2	8.0	623.30		ノー コア				○			7.0～8.0	0.0～7.0		
I	BV61-7-A	○外2-1	18.0	615.41	66	コア	○	○	○	○	地下水位	40	1.0～18.0	0.0～1.0	自記水圧計	61・5 (兼携帯)
	BV60-7-B	○外2-2	8.0	615.36		ノー コア				○			7.0～8.0	0.0～7.0		

地すべり区域外の地下水位・水圧を知る目的で、H、I 地点に予算の関係で、県農地建設課で設置した全長ストレーナ式の観測孔、外 1-1（深度 20 m）、外 2-1（深度 18 m）を利用することの協力を得たが、さらにこれ以外に深度 8 m の観測孔（外 1-2、外 2-2）をそれぞれの地点に 1 本ずつ増設した。

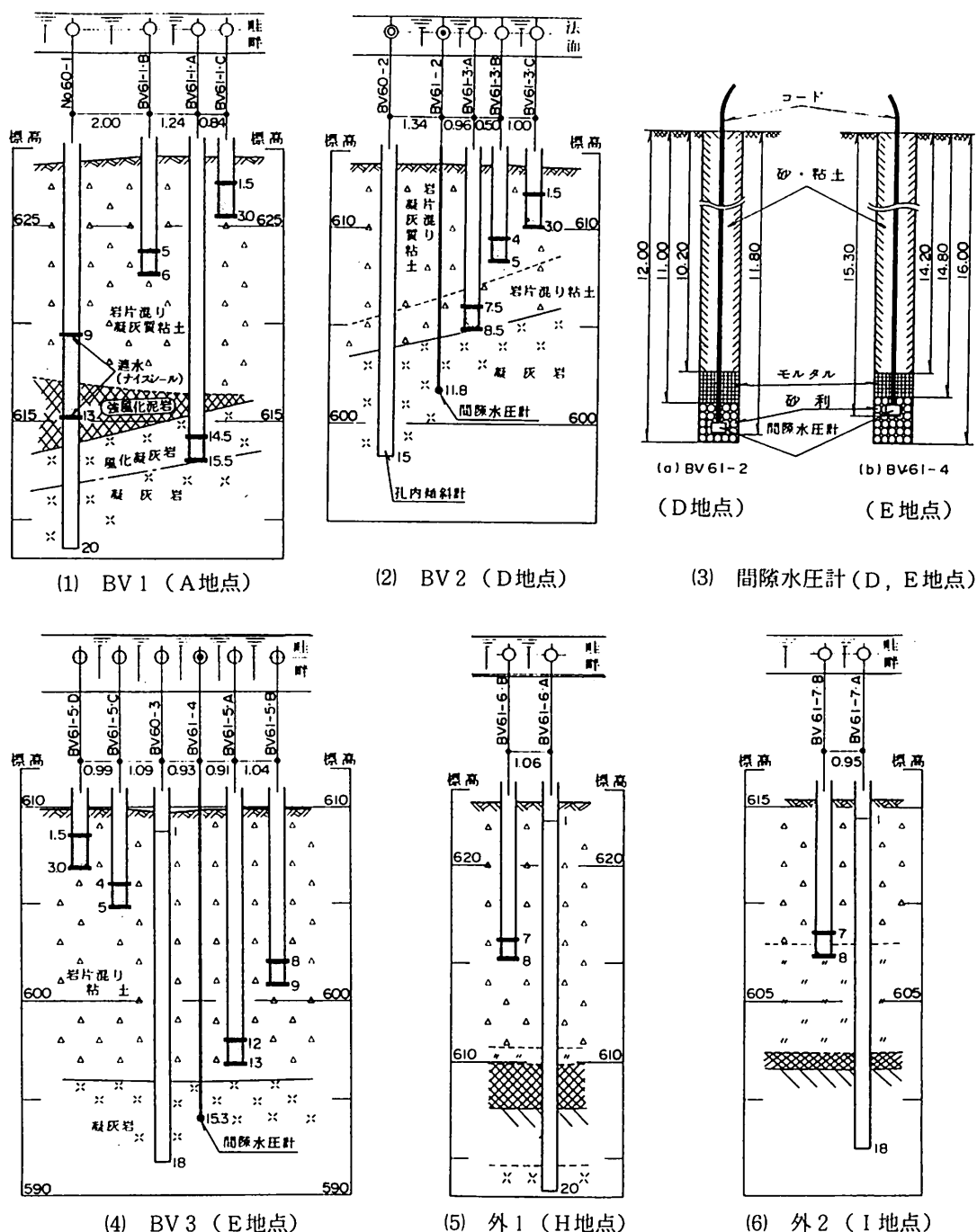


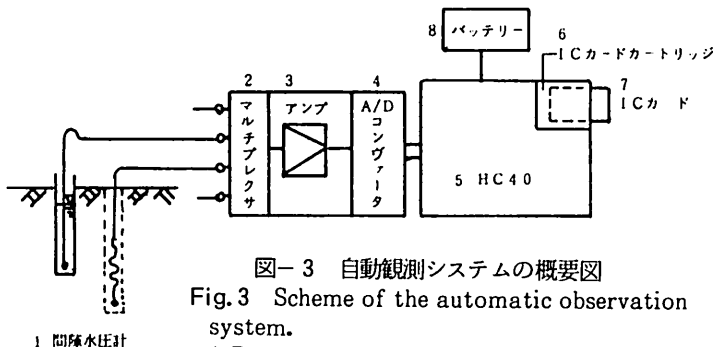
図-2 観測孔と間隙水圧計の仕様

Fig. 2 Specifications of the observation holes and the pore pressure sensors.

IV 地下水位、間隙水圧の自動観測システム

新潟県のように数mの積雪のため半年近く雪にうもれたままの地すべり地の地下水調査には、無人の長期自動観測システムが不可欠である。すでに小川ら（1986）によってこの種の観測が行われているが、筆者らは、多点測定データを長期間連続記録可能でかつ低廉なシステムの開発を越後電気の協力を得て行った。

システムの概要は図-3に示すように、センサー増幅部-A/D変換部-演算記録部（コンピュータ）-ICカード、電源部からなる。この特徴はハンドヘルドコンピュータEPSON HC-40に装着されるICカード（メモリ-64KB）に観測値を収録できる点である。1985年5月の設置当初は、データはHC-40のRAMディスク（64KB）に逐一収録し、必要に応じ、約1ヶ月に1度ほど着脱可能なIC RAMカードカートリッジ（ICR-E64）をICカードとともに現地に持参して、現地でデータをICカードに転



送する方式をとっていた。しかしこの方式では、HC-40の電源が切れるなどの故障があった場合には、データはバックアップ電源（Hi-Ca電池）によって1週間程は保存されるが、それ以上はもたないということに気付き、86年10月16日以降は、データの収録システムのソフトを改良し、カートリッジとICカードは現地のHC-40に装着したまま、データはICカードに逐一自動収録することにした。この改良によって、長

期にわたる積雪冬期中に万一故障が生じたとしても、消雪後ICカードを回収すれば、少なくとも故障以前のデータは確保することができるようになった。

ICカードに収録されたデータは、研究室のHC40のRAMディスクに転送し、これを更にRS-232Cインターフェイスを通してホストコンピュータ（MULTI 16, PC-9801VMなど）のフロッピーディスクに収納される。このようにしてデジタルのデータファイルが作成されると、データの図化や種々の電算処理加工が簡単に可能となる点で、ICカードによるデータの野外自動収録方式は大変便利である。電源は、HC40がもつメイン、サブ電池（4.8V）の充電用に自動車用のバッテリーを用いた。A/Dコンバータのチャンネル数は当初は8であったが、後に倍の16チャンネルに拡充した。実際に収録したデータの数には予算上用意できた圧力センサー数の制約から最大で10箇所であったが、採録時間間隔を1時間としても、補助バッテリー1箇で1カ月は充分もった。システムの消費電力は小さいが、バッテリーの自己放電による消耗が懸念されたので、点検が不能となる積雪冬期は余裕をみて、自動車用のバッテリー4箇所を並列に接続した。実際には1986年12月18日にセットし、翌年4月27日までの約4ヶ月間の積雪中の連続データを採録することができた。

・圧力センサーと気圧

本システムの圧力センサーには、ひずみゲージ式の間隙水圧計（共和電業）（間隙水圧測定用のBV2-1, BV2-2には5kgf/cm², その他の孔内水位測定用には2kgf/cm²のもの）を用いた。この圧力

センサーはゲージ圧測定用になっておらず、測定圧は 大気圧+(間隙) 水圧=総圧 である。本システムで読みとるデジタル値は、圧力センサーからの入力電圧値(0~5 mV程度)そのものでなく、適当にとった変換値であるため、圧力センサーに与える水圧値とデジタル値の間の較正係数を実測で求める必要があった。すなわち水圧の水頭値をH (cm)、デジタル値をXとして、 $H = A \cdot X + B$ のA、Bをキャリブレーションで求める必要がある。新潟大学(標高20m)と現地の松之山越(標高620±10m)では、標準気圧で約70mb=71cm水頭の差がある。したがって、両地点で求めた較正直線には、勾配Aはほぼ同じであるが切片Bは約70cm程度の違いがみられるのは当然である(図-4の下側の直線)。

そこで、アネロイド気圧計による気圧 P_A を水圧Hに加えて、総圧 $P = H + P_A$ に対する

デジタル値との関係を見ると、図-4の上の直線のように、ほぼ1本の直線となる。これは気圧を考慮した方がよいことを示す。また普通にやられているように、現地で求めた較正係数を用いる場合は、標高は問題にならなくなるから、気圧のデジタル値に及ぼす影響は気圧の時間的変動分だけとなる。しかし、同一地点でも、低気圧が通過するときは、30mb程度の変動が1~2日の間に起るし、また通常の気象状態でも、1ヶ月の間には20mb程度変動するのが普通である。したがって、最小単位として0.1m=10cm程度の水位・水圧変動を問題にする場合には気圧を計測し、これを考慮しなければならないことになる。意外に、この点に注意を払われたものは見受けられない。すなわち気圧を計測・考慮しない場合には、水位・水圧の計測値に0.2~0.3mの小さい変動波形が得られても、これが水圧変動によるのか気圧変動によるのか区別できないことになる。したがって、現在普通にやられているように、気圧を計測せず、この変動を考慮しない場合は、少なくとも0.2~0.3mの水位変動は、たとえ他の要素の測定精度がこれより高いとしても、計測できないものとしなければならない。

そこで、本システムでは、気圧の連続計測データをとるために、他の水圧センサーと同タイプ(容量2 kgf/cm²)のものを1箇所これにあてた。表-3に、本システムに用いた9箇の圧力センサーの較正係数を示す。なお、市販の圧力センサーの検査成績表には、検査時の温度、湿度の記録があるが、気圧の記録がないのは、上記の考察に照らしてみるとき、片手落ちといわざるを得ない。

・観測システムの温度依存性の問題

地すべり地の地下水位などの観測値に日周期を示す例がよく報告されているが、観測値の真の日周期変化から、温度ドリフトによる部分を分離・区別するために、圧力センサーやそのコードを含むシステムの各部位の温度依存性をチェックしておく必要がある。本システムの場合、圧力センサーの出力は

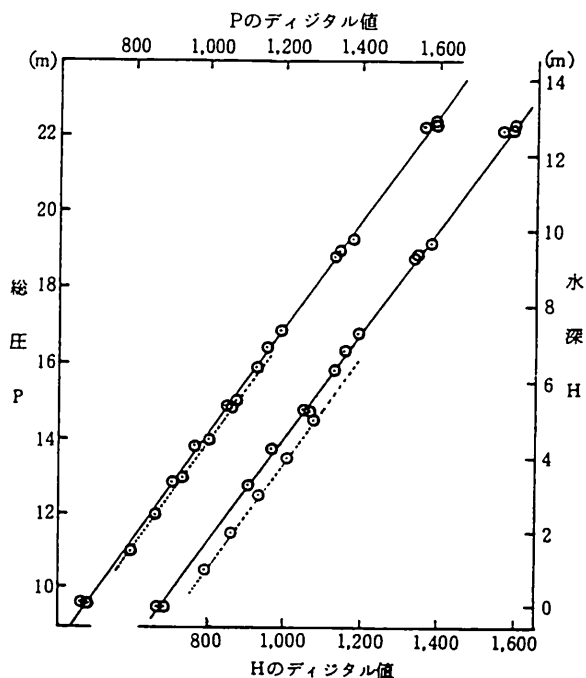


図-4 水深H、総圧Pとデジタル値の関係(BV3-2)

Fig. 4 Water depth H and total pressure P (=water pressure + atmospheric pressure) versus digital values.

表－２ 自動観測用調査孔・圧力センサーの仕様

Table 2 Specifications of the observation holes and the pressure sensors.

位置	孔番号	表盤標高 EG	期 間	管の立上 り表 m	管頭標高 ET	圧力センサーの位置		圧力セン サー番号	備 考
						深度 D	標高 Es		
A	BV1-1	628.63	86.5.23 ～6.23	1.02	629.65	16.70	612.95	MD2271	D：管頭からの深さ。 Es=ET-D
		"	86.6.23 ～12.2	"	"	16.00	613.65	"	
		"	86.12.2 ～87.8.12	0.15	628.78	14.00	614.78	MG0940	86.12.2 圧力センサー取替
	BV1-2	628.63	86.5.23 ～6.23	0.63	629.26	6.58	622.68	MD2272	
		"	86.6.23 ～12.2	"	"	6.00	623.26	"	
		"	86.12.2 ～87.8.12	0.19	628.82	6.00	622.82	MG0939	86.12.2 圧力センサー取替
D	BV2-1	613.45	86.5.23 ～	—	—	13.30	600.15	MD2274	D=EG-Es
	BV2-2	613.34	86.5.23 ～8.9	0.88	614.22	8.00	606.22	MD2273	86.8.9：1.04mの 塩ビ管を継ぎ足し た。 86.12.2：立上り 管を短くカット
		"	86.8.9 ～12.2	1.92	615.26	9.04	"	"	
		"	86.12.2 ～8.12	0.05	613.39	7.40	605.99	"	
		"	86.8.12 ～87.8.12	"	"	6.00	607.39	"	
E	BV3-1	609.87	86.5.23 ～	—	—	15.30	594.57	MD2275	D=EG-Es
	BV3-2	609.95	86.5.23 ～6.23	0.49	610.44	13.60	596.84	MD2268	
		"	86.6.23 ～12.2	"	"	13.40	597.04	"	
		"	86.12.2 ～11.19	0.33	610.28	13.30	596.98	"	
		"	86.11.19 ～87.8.12			8.00	602.28		
H	外1-1	623.28	86.5.23 ～12.2	0.89	624.17	—	—	—	
		"	86.12.2 ～87.8.12	0.16	623.44	—	—	—	
	外1-2	623.31	86.5.23 ～12.2	0.42	623.73	—	—	—	
		"	86.12.2 ～	0.15	623.46	—	—	—	
I	外2-1	615.41	86.5.23 ～12.2	1.05	616.46	14.00	602.46	MD2269	
		"	86.12.2 ～87.8.12	0.26	615.67	13.20	602.47	"	
	外2-2	615.38	86.5.23 ～6.23	1.10	616.48	9.16	607.32	MD2270	
		"	86.6.23 ～12.2	"	"	9.00	607.48	"	
		"	86.12.2 ～						
		"	86.12.2 ～87.8.12	0.32	615.70	8.23	607.47	"	

表-3 圧力センサーの校正係数

($P=A \cdot X+B$: P 総圧 (単位cm), X デジタル値)

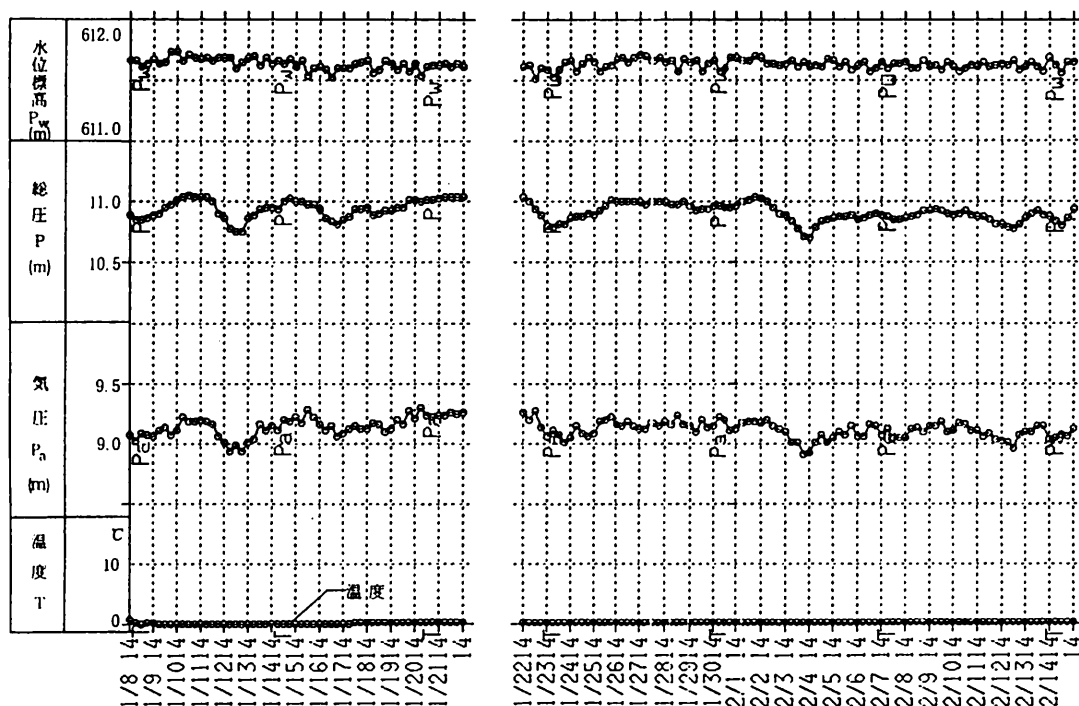
Table 3 Calibration coefficients.

位置	観測孔	チャンネル	圧力センサー番	校正係数		備考
				A	B	
A	BV1-1	0	MD 2271	1.425	- 11.5	破損により 86.12.2 に取替
	BV1-2	1	MD 2272	1.424	- 28.0	
D	BV2-1	2	MD 2274	3.008	- 1130.0	埋込み
	BV2-2	3	MD 2273	1.457	- 100.0	
E	BV3-1	4	MD 2275	2.778	- 1030.0	埋込み
	BV3-2	5	MD 2268	1.396	+ 16.6	
I	外2-1	6	MD 2269	1.378	- 78.8	
	外2-2	7	MD 2270	1.471	- 9.1	
D	大気圧	8	MB 4755	0.4707	+ 1294.8	



図-5 観測データの一例: (1) BV2-2, (2) 外2-2 (1986.11.10~11.20)

Fig. 5 Examples of observation data.(R=amount of rainfall, Pw=water-level elevation, Pa=atmospheric pressure, T=temperature).



図－6 積雪下冬期の観測例：BV 2－2 (1987.1.14～)

Fig. 6 Examples of observation data obtained under snow in winter.

0～5 mVに対して、A/Dコンバータの変換可能入力アナログ値は0～4 voltのため、A/Dコンバータの前段にアンプを設け、計測入力値を増幅してやる必要がある。この直接のデジタル値は、図－5のように日周期変動が大きく、これは温度の、特にアンプ部への影響であることが分った。そこでアンプ部の温度の記録をとるために、半導体温度センサーによってこの測定値をICカードに同時に収録することにした。図－5にその一例を示してある。測定値が温度にはほぼ平行に変動している。この時期のシステムを収納した観測小屋は、ベニヤ製の簡易なものであったので、小屋内の温度は日射によって激しく上昇し、温度の日較差は気温以上となって、デジタル値は一層大きな日変動を受けてしまった。なお積雪冬期に向けては、断熱性の高いウレタンフォーム材料による観測小屋を特注製作したもの（KKサンテック製）を使用した。この観測小屋とともにシステム全体が積雪下になった1986年12月20日頃から1987年3月20日頃までは、積雪下のため温度がほぼ0℃で一定のときの記録が得られた。この記録の一部を図－6に示す。この時期のデータは温度によらない変動を示すものといえる。このグラフも、総圧の変動（最大で0.3 m程度）は気圧の変動によることを示し、総圧から気圧を差引いて求めた水位の変動は少ないことが分る。

この温度ドリフトの補正法としては、次の方法が考えられる。

(1) 気圧のデジタル値自体にも温度ドリフトが含まれるから、水圧 P_w は総圧(P)－気圧(P_a)により求められるので、温度ドリフト分はほぼ相殺されるとみなせる。このようにして求めた水圧 P_w を水位標高で表わしたものを図－5、図－6に示す。温度の影響がほぼなくなっているのが読みとれる。

(2) 特定の温度（望ましいのは、較正時の温度20～22℃であるが）の時のデジタル値 X による計算値 $P (= A \cdot X + B)$ が正しい値を示すものとして、その時刻の前後数時間のデジタル値による計

算値がすべて温度によらず、先のP値になるよう、A、Bがそれぞれ温度の線型式になるものとして、その係数を最少自乗法で求める。このようにして求めた一例を図-7に示す。水深Hはもちろんのこと気圧 P_a 、総圧Pにも温度の影響がよく消去されているのが分るが、気温が低く先の基準温度を20℃以下にしかとれない時期では、換算値は低めに出て、その絶対値の評価が難しい難点があるが、水圧の長期の変動傾向については十分につかむことができる。

(3) この地すべり地の地下水位の日変動は小さいので、一日一点のデータで十分であることから、温度が20℃近くを示すと思われる時刻を季節によって固定して、その時刻のデータのみを採用する方法は最も簡単である。これは連続的溫度データがとれない場合でも有効である。ただ、誤差は40～50cmは覚悟しなければならないが、長期の変動特性は、これによっても十分つかむことができる。

以上の温度補正法のいずれによっても換算値の絶対値の評価が難しいことから、1987年8月に、システムのアンプを改良することとした。これによる一例を図-8に示すが、温度の影響はほぼなくなっている。アンプの変更に伴って較正係数A、Bは求め直した（一覧表の記載は省略）。ただ、埋め殺しの間隙水圧計BV2-1とBV3-1は再較正はできないので、止むなく旧アンプをそのまま使うこととした。

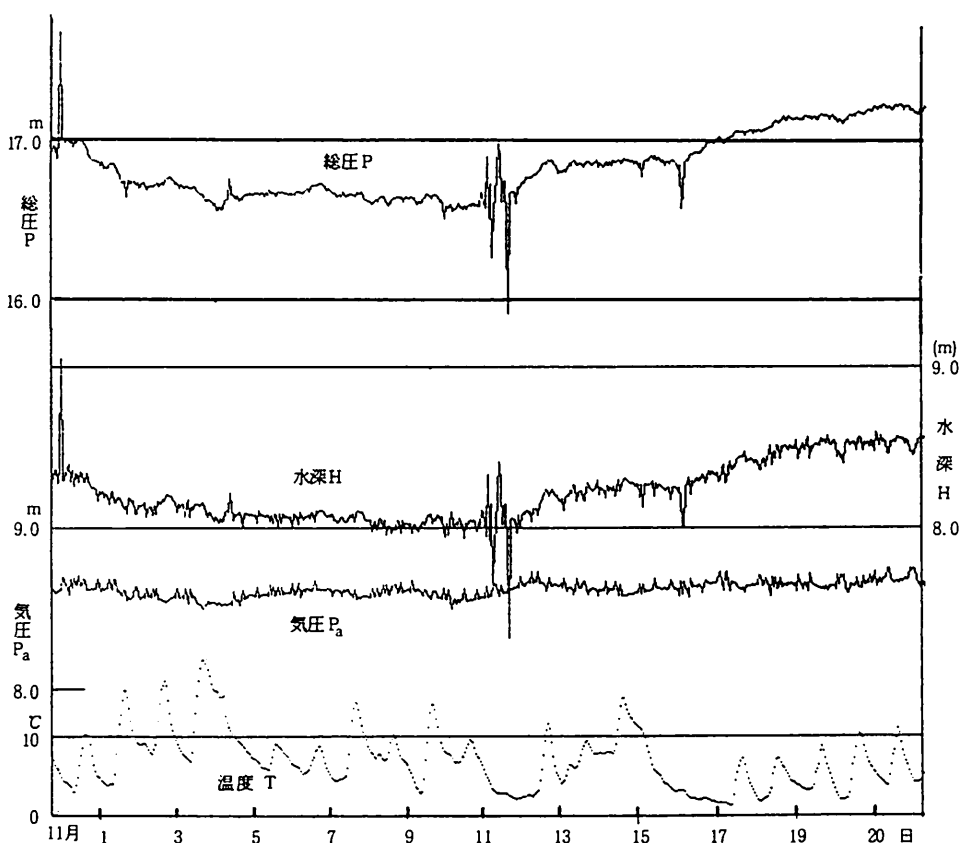


図-7 温度補正した気圧、総圧、水深のグラフ例：BV2-2（1986.11.1～）

Fig. 7 Correction values of atmospheric pressure P_a , total pressure P and water depth H in the holes for temperature.

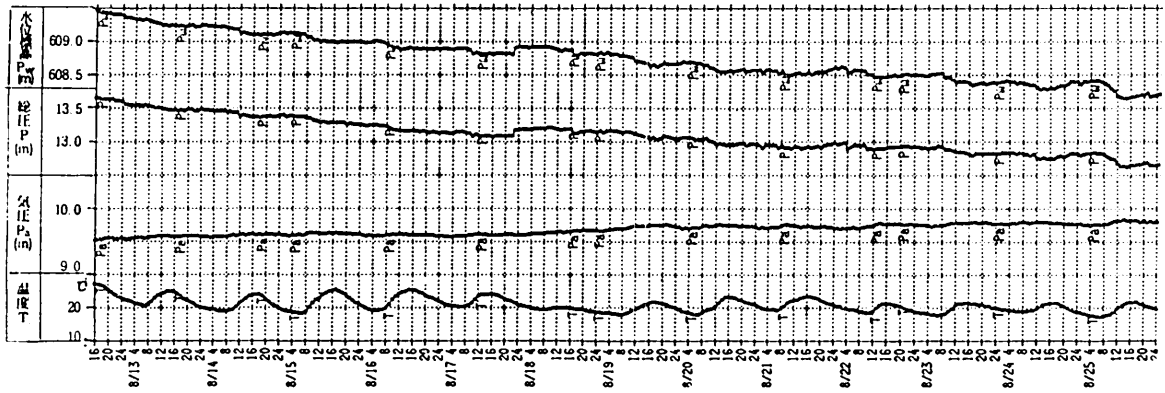


図-8 アンプ改良後のデータ例：BV 2-2 (1987.8.13～)

Fig. 8 Examples of observation data obtained after improving the amplifier of the recording system.

V 間隙水圧分布，地下水位

以上の観測網から得られた観測値の一部を示して，この地すべり地の間隙水圧分布や地下水状態について考察する。

1. 間隙水圧分布：ストレーナー部位の深度の異なる観測孔内水位（水圧）の観測値から，鉛直方向の間隙水圧分布をBV 1号孔（A地点），BV 2号孔（D地点），BV 3号孔（E地点）についてみたのが図-9である。これらから各地点の間隙水圧分布の特徴的な点や，全体を通しての傾向を上げると次の通りである。

(1) 不圧地下水位：全体を通して，地表から3～5 m間の崩土内では，三地点ともほぼ静水圧分布をなし，この自由地下水位は地表面に近く，しかも降雨や集水ボーリングなどの排水工によってもほとんど影響を受けず，年間を通してほぼ一定である。

(2) A地点のBV 1-1号孔（深度16.0 m）は，A地点とD地点の間に施工された集水井の下段集水ボーリング（工事期間 1986年9月3日～9月17日）の影響を強く受け8月13日から9月11日の約1カ月間で約3.7 mの水圧低下を生じ，さらに10月13日までの間に2 m近く低下している（図-9(1)）。

D地点のBV 2-1（深度13.3 m）では，8月13日から9月11日間の低下（約1.0 m）よりも，9月11日から10月13日の低下（約3.6 m）の方が大きい。この下り方はBV 1の傾向と異なる。またBV 2-1より浅いBV 2-2（深度9.3 m）の変動は，BV 2-1より小さいが，低下の時期的傾向は似ている。このBV 2-2はいわゆる被圧しており，8月13日では孔内水位が地表より約1.8 m上にあったものが，水抜き工によって次第に低下し，10月13日では地表より約0.7 m上となっている（図-9(2)）。

E地点では，深さ13 mぐらいまでもほぼ静水圧分布を示し，深度13～15 mで，8月13日から10月13日の約2カ月間で0.5 m弱しか水圧は低下していない。これは水抜き工の影響がこの点にまで及ばなかったことを示している。また13 m以浅の水圧分布は，静水圧分布より僅かではあるが勾配は大きく，地下水流速に上向きの速度成分があるとみなすことができる（図-9(3)）。

以上のことから総合的に分ることは，BV 1（A地点），BV 2（D地点）の下層の地下水は集水ボーリングによる水抜き工の影響を受け，顕著な水圧低下をきたすが，地表から数 m間の崩土内の地下水は，

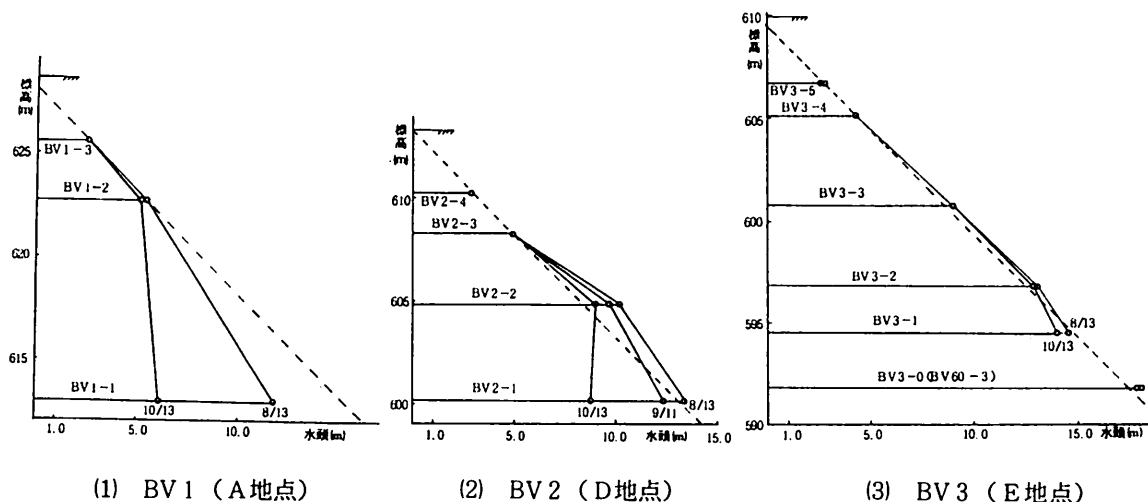


図-9 鉛直方向の間隙水圧分布 (破線は静水圧分布)

Fig.9 Distributions of pore water pressure at vertical section.

この水抜き工の影響をほとんど受けず、地表に近いほぼ一定の地下水位をもつ不圧地下水をなしていることである。このことからまた、地表から数mの崩土とそれ以深の土層では地下水流動に差異があること、さらにこれをまでの地すべりによって生成されたであろう地すべり面粘土が難透水層を形成していると想定される。もっとも、この仮定の妥当性を確めるには、水位・水圧の連続観測データの深さによる変動の相関性などをもっと詳しく分析的にみることで、またこの仮定を満すような簡単な地層モデルを想定して地下水流動解析を行い、観測データの変動をよく説明できないかどうかを検証することが必要である。

2. やや深い地層の地下水の水頭分布：地表から数mの崩土内の不圧地下水より深い層の地下水の水頭分布をみるために、BV 1-1, BV 2-2, BV 3-2の水頭（水位標高）を連ねたのが図-10である（不圧地下水は地表に近く時間的に変化しないので、ここには示していない）。この図の水頭線は、深度で地表から12~13mの地層の地下水頭線であるとみなすことができる。ここで面白いのは、BV 1の地表から数m前後の深さに位置する地下水頭と、BV 2（E地点）における被圧的な地表面より上にてている地下水頭とは、無理なく連続的につながるということである。このことから、数m以深の地下水は一つの連続した流動系をなしていて、BV 2に被圧的地下水がみられるのは、地表の地形・標高差の関係で生じたものであって、この地点で局部的に特に高い被圧状態になっていることによるのではない、という見方が可能となると考えられる。

3. 地すべり面付近の間隙水圧の求め方について：斜面の安定解析によって安全率を求める場合、すべり面の間隙水圧は、普通自由地下水位からの深さで求められているが、この実測例からも確かめられるように、深い層まで地下水は静水圧分布をなしていないのが一般であるから、注意を要する。この例では、BV 1では深い層の間隙水圧は静水圧として求めた値より小さく、BV 2では逆に大きい。また、深い観測孔によって地すべり面付近の間隙水圧を求めようとする場合でも、普通に用いられるような全長ストレーナ式の場合は、その孔内水位とすべり面付近の水圧との関係は簡単ではないから、その関係の分析なしには、すべり面付近の間隙水圧は正しくは求まらなとみるべきであろう。地すべり斜面の安定解析に用いるすべり面の間隙水圧を実測で求める好ましい方法は、すでによく指摘されているよう

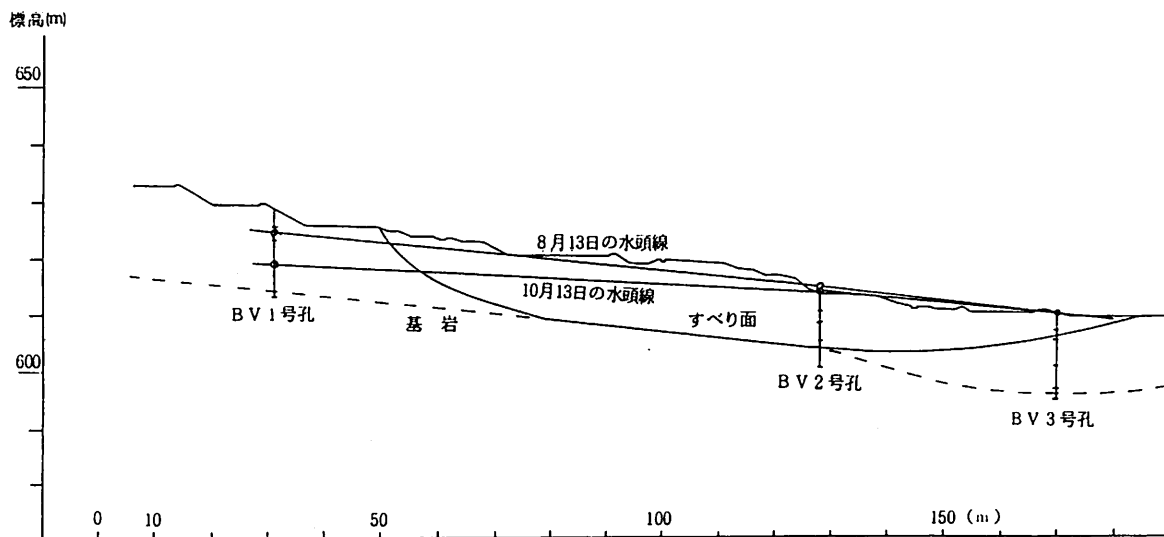


図-10 12～13 m地層の地下水頭線 (1986)

Fig.10 Lines of piezometric head of groundwater along a depth of 12-13 m.

に想定地すべり面下部にストレーナを設けた観測孔か、この点に埋設した間隙水圧計による観測を実施することであろう。そして、できれば浅い自由地下水面を確認するために、浅い観測孔を加えることであろう。これによって、自由地下水位と深い点の間隙水圧との異同を判断することができる。いずれにしても、自由地下水位からの深さで、すべり面の間隙水圧を求める方式をとる場合、その地下水位はどのような観測方法で求められたのか、求められた地下水位は一体何を表わしているかを明確にしておく努力が必要であろう。

4. 地すべり区域外の地下水圧変動との比較：地すべり区域外のI地点の観測孔（外2-2）による地下水圧の変動をみると（図-5の外2-2のPw）、I地点では水圧の変動は大きく、特に降雨による上昇（11月11日～）と降雨停止後の減少という変動は著しく、地すべり区域内では降雨によって地下水圧の変動がほとんど見られない（たとえば図-5のBV2-2のPw）のと明らかな対比を示す。このことから、地すべり区域内ではすべり面が難透水性の層を形成し、降雨が地下水圧に影響を及ぼしにくくなっているのに反し、すべり区域外では、このような難透水層がないために、降雨の影響が強くでるものと推定される。すなわち、このことも、地すべり区域内では地すべり面粘土が面的な拡張をもった難透水層を形成していることの証左の一つになっていると考えられる。

V あ と が き

松之山越地すべり地において、長期の積雪下においても無人で連続観測が可能なシステムを廉価な条件下に試作して、地下水の観測を1986年春から行った。この際に、予算上の制約の中でも、観測孔の構造、仕様、設置にもいくつかの点に留意して、これらを設置した。こうした経験や観測結果から得られたことで、まだ必ずしも十分常識とはなっていない地下水観測法についての留意すべき点や、この地すべり地の地下水状態について知り得た点を要約してあげると次の通りである。

1. ICカードによる自動記録方式は、消費電力も少なく、長期積雪下で多数のデータを採るのに好適であり、またデータの電算処理が容易な点でも優れている。

2. ゲージ圧用になっていない圧力センサーや間隙水圧計を用いる場合は、気圧を別途計測して、この値を差し引いて水圧値を求めるべきであって、このような考慮を払わないときは、水頭で少なくとも0.2～0.3m程度の変動は観測不能とみるべきである。

3. 地すべり面付近など、特定の深さの地下水圧は、長さ1m程度のストレーナ部を設けた塩ビ管によって十分観測できることが確かめられた。

4. 現地で鉛直方向の地下水圧分布を求めたものはあまり見受けられないが、浅い不圧地下水と深い層の地下水圧との関係、異同を明確にするために、浅い観測孔も設置することが望ましい。このことは、斜面安定解析に必要なすべり面付近の間隙水圧を正しく評価するのに役立つであろう。

5. 観測孔内水位や間隙水圧の測定値を地下水流動の傾向を知ることやその解析に役立てるには、これらの水圧値を水位標高に変換してデータ整理をすべきであるが、このことは意外にやられていない。

6. 特定の深さにストレーナを設けた観測孔網による地下水観測によって、現地の地すべり地の地下水圧分布や地下水流動について次のような立体的把握が可能であることを確かめることができた。

① 地表から数mの崩土内の不圧地下水は、その地下水位は地表に近く、年間変動も少ない。下層からの水抜き工の影響もほとんど受けない。

② 不圧地下水より深い層の地下水は、不圧水とは明らかに異なる挙動を示し、水抜き工によって水圧の低下を示した。

③ 地表から12～13mの地層の地下水の示す地下水頭線が斜面方向に連続的であることから、この地層の地下水は、これより浅い不圧地下水とは異なる一つの連続した流動系をなすとみられる。また斜面中腹部の湧水がみられた被圧地下水は、この地点の局所的な被圧状態によるのではなく、先きの地下水頭線が、たまたまこの地点で地表より高いことによると推定された。

④ 地すべり区域外の地下水圧の挙動は、区域内のそれと明らかに異なり、降雨に対する反応も敏感で大きい。このことや、地すべり区域内での浅い不圧地下水とより深い層の地下水の挙動に差異（上記の①、②、③）があることから、地すべり区域内では、これまでの地すべりによる地すべり面粘土が難透水層を形成していると想定することができる。

謝 辞

本報告は、北陸農政局川崎敏地質官、新潟県東頸城農地事務所小松秀夫係長、春田隆宏技師、北日本技術コンサルタント岩永伸博士、小川猛技師らによる事前の調査（1985年5月）や、本調査についての協力、援助によるところが多い。新潟県農地建設課や同西村俊彦課長補佐からは種々の協力を得た。また地元の松之山町小酒井土地改良係長や地すべり地の耕作者の方々からは多くの協力をいただいた。十日町林業試験場からは、気圧の観測データを提供していただき、また越後電機からは自動観測システムの開発に協力を得た。以上を記して深く感謝の意を表わします。

文 献

北陸農政局・新潟県農地部・東頸城農地事務所・北日本技術コンサルタント（1986）：松之山越地すべり調査報告書，昭和61年5月。

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。

吉田昭治・佐藤 修・中野俊郎・長崎 明・川崎 敏・小松秀雄・春田健一・小川 猛・岩永 伸・稲葉一成・中沢武司（1987）：地すべり地の地下水観測について－松之山越地すべり地を例として－，第26回地すべり学会研究発表予稿集，1987年8月，110－111。