集水量制御実験におけるすべり面付近の間隙水圧の挙動

Pore Water Pressure Fluctuation on the Landslide Slip Surface
Based on Controlling Drainage Experiment of Drainage Wells

曹 崇 銘* 太 田 猛 彦* 竹 内 美 次*
Tsung-Ming TSAO Takehiko OHTA Yoshitsugu TAKEUCHI
松 浦 純 生** 落 合 博 貴**
Sumio MATSUURA Hirotaka OCHIAI

Abstract

The purpose of this paper is to examine the mechanism of pore water pressure fluctuation and to grasp the environment of underground hydrology in the landslide by controlling drainage experiment. At first in this paper, the results of experiments on the pore water pressure fluctuation at the slip surface are explained. The second, the drainage effects of horizontal borehole are confirmed as quantitative grasp in drainage wells. Finally, the environment of underground hydrology in Tairasawa landslide area is cleared. The data was collected at Tairasawa landslide area during 1986~1987. The results are as follows:

- 1) In this natural slope, the geological structure of hydrology around the No. 1 drainage well has three confined groundwater strata with a three-stratum (upper, middle and lower) underground structure. It is proved that the confined groundwater in the upper and middle stratum is fluid mutually, but exclusively in the lower stratum. Furthermore, the dropping velocity of pore water pressure in the lower stratum is slow than other strata, and the pore water pressure fluctuation in the upper and middle stratum responds to rainfall.
- 2) To compare with the upper stratum, the dropping volume of pore water pressure in the middle stratum (strong weathering rock stratum) at No. 1 drainage well is larger, but the drainage volume is smaller. It is also found out that the increase of drainage volume and pore water pressure fluctuation due to rainfall are difference from weathering degree of rock stratum and depth of the observation borehole.
- 3) The No. 1 drainage well is a three-stage structure design. Each stage drains groundwater away from horizontal boreholes. The distribution of drainage volume has a tendency to concentrate groundwater at the lower stage. The drainage effects of No. 2 drainage well is partial at some horizontal boreholes of lower stage, and the drainage volume of each horizontal borehole is clearly different.

キーワード：集水井，間隙水圧，集水ボーリング，すべり面

1. はじめに

地すべり発生の原因としては、降雨あるいは融雪によるすべり面付近に作用する間隙水圧の上昇があげられ、それに伴う地すべりの移動量増大が報告されている。したがって、すべり面付近の間隙水圧が重要な役割を果たしていると考えられ、降雨などに伴う間隙水圧の変動と地すべり移動の観測・解析が行われている¹⁻⁴⁾。しかし、一般に地すべり地は土塊が攪乱されているため水文地質条件が複雑で、地下水の挙動は個々の調査地点や深度において異なった挙動を示すことが多い。特にすべり面付

近の間隙水圧の挙動を明確に捉えることは困難である。その問題を克服するための試験地には①現在行われている地下水位の観測を間隙水圧の観測に切り替えること、②すべり面付近に集水ボーリングによって地下水排除を行い、これと合わせて施工前後の間隙水圧の変化も測定することが必要であると考えられる。

著者らは埼玉県児玉町平沢地すべり地を試験地とし、すべり面付近の間隙水圧の変動特性を把握するためすべり面付近に部分ストレーナー区間を設け、層別水位計を用いた圧力水頭（間隙水圧）の測定と、それに対応する深度に集水井から部分ストレーナーによる集水ボーリングを施工し、集水ボーリング施工前後の圧力水頭の変動を観測した。これらの結果を基に、集水ボーリングの施

* 東京大学大学院農学生命科学研究科
** 農林水産省林野庁森林総合研究所

工が圧力水頭の変動特性に与える影響を明らかにし、さらに圧力水頭の時系列変動と集水ボーリング孔の掘削延長・方向との関係を検討して集水井の施工効果の評価を試みた。これらについては、前報³⁾で報告した。

今回、前報で述べたと同じ平沢試験地に設置された同じ集水井の集水ボーリング孔を利用して集水量制御実験を実施した。この集水井は通常の集水井機能と違って井筒の外周壁にモルタルを注入して周辺の地下水及び集水井内部の水の周辺への漏水を防ぐ工夫がなされている。また集水ボーリング孔口にはバルブを取り付けておき、集水井の施工後に集水井の排水機能を一時的に停止させて集水井施工前に類似した地下水条件を再現して、その時の降雨量、バルブの開閉操作による圧力水頭と集水量の変化などを観測し、その相互関係について考察した。

本研究は集水量制御実験を行うことにより集水井の集水

ボーリング孔の排水効果を定量的に把握すると共に、地すべり地内の地下水文環境を明らかにすることが目的である。

2. 実験方法

今回の観測対象とした平沢試験地の概要及び観測方法は、前報⁵⁾に示した図を参照されたい。集水井1号と集水井2号の観測方法は図-1と図-2に示す。

集水井1号(三段)と集水井2号(二段)に掘削した集水井ボーリング孔口のバルブの取り付けが1985年2月25日(2月15日から2月25日まで)に完了した。その後はじめてバルブの閉止操作実験を行った。その結果、集水井1号の三層孔の圧力水頭の変動はバルブを閉止した影響で圧力水頭が鋭敏に上昇した。バルブを開放するまでの上昇幅はそれぞれ1.97 m, 3.35 m, 2.38 m が認められた。なかでも中層孔に対応する強風化片岩層の圧力水頭の上昇量が最も

図-1 集水井1号の部分ストレーナー集水ボーリングの観測方法

図-2 集水井2号の部分ストレーナー集水ボーリングの観測方法

表-1 各段のバルブ閉止時における実験の
許容最高圧力水頭 (HWL)

集水井 (GL-m)	集水井施工前後			実験 許容 HWL
	HWL	LWL	変動幅 (m)	
集水井 1号 上層孔	-0.38	-4.24	3.86	-1.6
中層孔	-5.12	-12.89	7.77	-7.7
下層孔	-8.9	-26.64	17.74	-14.8
集水井 2号 上層孔	-9.94	-18.64	8.7	-12.8
下層孔	-12.83	-21.1	8.27	-15.5

大きい。一方、集水井 2号については、バルブの取り付けが完了した後、集水ボーリング孔からの流出量がほとんどみられないので、バルブは完了当初から全開状態にしておいた⁵⁾。

以上のことから集水ボーリング孔口に取り付けたバルブの閉止によって集水井 1号三層孔の圧力水頭が変化し、集水井施工前の状態に類似した状態を再現できる見通しがついた。しかし、バルブ操作による圧力水頭の上昇は地すべり現象を助長する原因になり得るため、バルブの開閉方法・期間及び各集水ボーリング孔からの集水量などについても検討しなければならないと考えた。

そこで、1986 年 4 月から各集水井のバルブの操作実験を計画的に実施した。この実験は、試験地における地すべり抑制工の施工前後の最高と最低圧力水頭データに基いて、各集水ボーリングの排水口に取り付けたバルブを長・短期に開閉することにより排水を停止・再開させたものである。集水量の測定は 2 基の集水井内で各段ごとに三角ノッチを設置して集水ボーリング孔からの総流出量を自記的に測定した。この実験の利点は、バルブ操作によって任意の時期に施工前の環境に近いデータを得ることができるので集水井の施工効果の判定が容易で確実に行うことができる点である。しかも降雨による圧力水頭の上昇・低下を自由にコントロールすることができる。

一方、次のことに留意して実験を行った。①バルブ操作の開始前後及び試験期間中に安全を確保するために層別水位計、パイプひずみ計、地盤傾斜計の数値をモニターする。②表-1 に示すようにバルブ閉止期間中の許容最高圧力水頭は、集水井施工前後の最高と最低圧力水頭を参考にし、変動幅の 3 分の 2 に設定した。バルブの閉止期間中はこの値以上にならないように留意した。

3. 集水量制御実験 (1986 年と 1987 年の実験) の結果及び考察

この平沢試験地では、集水井の施工効果を判定することを目的とした調査が 1981 年から 1990 年にかけて森林総合研究所によって行われた。本研究は 1986 年から 1987 年まで集水井 1 号と集水井 2 号における実験データ^{6,7)}を基に、各集水井における圧力水頭の変動特性、集水ボーリング孔群からの排水特性、降雨によるそれらの変動特性を解析し、集水井集水工法による地下水低下の実態と地すべり地内の地下水文環境を把握し集水井の排水効果を検討した。

現在、地すべり地における地下水位の観測には、全長ストレーナー式観測孔か、埋込み式間隙水圧を用いるのが通常であるが、本研究では部分ストレーナー式観測孔を用いて特定の深さ (すべり面付近) の地層の水圧を孔内水位計で測定した。

3.1 各集水井のバルブ操作と圧力水頭の変動関係

まず、図-3 に示す集水井 1 号の 1986 年の実験結果を検討する。1986 年の実験は、平常時、バルブを閉止状態にしておき、実験時、バルブの一部を開放した。各バルブの開閉の組合せは①下段だけバルブを開ける、②上段だけバルブを開ける、③中段だけバルブを開ける、④上・中・下段のバルブを全部開ける、⑤上段と下段だけバルブを開ける、⑥中段と下段だけバルブを開ける、の 6 ケースを実施した。開放期間は⑤と⑥の操作の時だけ 4 週間、他の場合は 2 週間とした。以下、①～⑥のバルブの開放操作に対応する圧力水頭の変動状況を検討する。

下段だけバルブを開ける①の操作は 4 月と 11 月に二回行った。4 月の操作では下層孔 (風化片岩層) での圧力水頭の低下が見られたが、中層孔 (強風化片岩層) と上層孔 (礫混じり粘土化層) での圧力水頭変動は連続降雨の影響によりむしろ上昇したことが認められた。一方、11 月下旬の降雨量が少なかった期間では、上層孔と中層孔での圧力水頭へのバルブ操作の影響は認められなかった。

上段だけバルブを開ける②の操作によって 5 月中旬バルブを開けた直後に、上層孔と中層孔の水頭が 0.47 m と 0.55 m 低下し、その後、連続降雨量 69 mm が降り、圧力水頭が少し上昇した。しかし、下層孔の水頭変動はほとんどない。次に、12 月下旬の降雨量が少ないときに同じ操作を行ったところ、やはり上層孔と中層孔の圧力水頭がそれぞれ 1.38 m、1.83 m 低下した。これより、上層での排水は中層孔の圧力水頭にも影響することが明らかになった。

中段だけバルブを開ける③の操作では、上層孔の水頭低下が 6 月と 1 月の二回とも平均で 0.36 m 低下した。しかし下層孔の水頭に変化はなかった。すなわち、中層での地下水排除は上層孔の水頭に多少影響する程度であった。

全部のバルブを開ける④の操作では三層の観測孔の水頭はともに低下した。特に下層孔での水頭の低下が他の①～③の操作の時より大きいことが認められた。また水頭低下の速度は上、中層孔に比べて下層孔の方が遅かった。

8 月から 9 月にかけて行った上段と下段のバルブを開ける⑤の操作では、三層とも観測孔の水頭が低下した。9 月上旬には連続降雨量 171 mm が降り、上層孔と中層孔の水頭上昇が見られたが、下層孔の水頭はほぼ同様な値のままであった。なお、連続降雨量と圧力水頭の上昇関係については、8 月上旬に、三段ともバルブを閉じた状態の時、129 mm の降雨があり、その影響により圧力水頭が上層孔で 0.38 m、中層孔で 0.36 m 上昇したが、

図-3 集水井1号のバルブ操作による集水量及び圧力水頭の変動関係

下層孔では顕著な変化は見られず、バルブ操作の影響に吸収されているようにみえる。

中段と下段のバルブを開ける⑥の操作では、中層孔及び下層孔の水頭は著しく低下しているが、上層孔の水頭低下は小さい。

以上の観測結果より、三層それぞれの圧力水頭の変化特性は以下のようにまとめられる。

- 1) 上層での排水は、中層孔の圧力水頭に影響する。しかし、下層孔の水頭には影響しない。
- 2) 中層での排水は上層孔の圧力水頭に多少影響する程度であり、下層孔の水頭に影響しない。
- 3) 下層での排水は上層孔、中層孔での圧力水頭に影響しない。
- 4) 圧力水頭低下の速度は上、中層孔に比べて下層孔では遅い。
- 5) 降雨の影響で上層孔、中層孔での圧力水頭の変動が認められる。

次に、図-3の中の1987年の実験結果(番号⑦, ⑧, ⑨)を検討する。1987年の実験はバルブ操作として開放から閉止し、水頭の変化する過程を観測した。閉止期間は主に8週間を設定した。

⑦の操作で上段のバルブを閉止したことに伴い、集水井1号の上層と中層の観測孔で水頭の上昇があった。

⑧の操作で中段のバルブを閉止すると、上層孔と中層

孔ともに水頭がそれぞれ1.14 m, 1.6 mと大きく上昇している。ただし、上層孔の水頭上昇は9月上旬連続降雨138.5 mmの影響を受けていることも考えられる。

⑨の閉止操作期間において、11月中旬から大量の地下水が現れたので、対策としてバルブを半開放(集水ボーリング孔の奇数番号のみ開放)にした。12月中旬のバルブ操作で上段と中段のバルブの開閉を切り替えたが、上層孔と中層孔の水頭はそれぞれ0.93 m, 1.01 m低下した。つまり上段バルブの開放の影響が中段の閉止操作より大きいことがわかった。さらに1月中旬に今度は中段と下段のバルブ開閉を切り替えた。その結果として、中層孔の水頭が低下し、下層孔の水頭の上昇が認められた。以上のようにバルブの開閉操作期間の長短によって1986年と1987年圧力水頭の変動の仕方も変わることがわかった。

次に、図-4に示す集水井2号の1986年と1987年の観測結果を検討する。集水井2号の実験は平常時、バルブを開放状態にしており、実験時、バルブの一部を閉止する。まず、1986年の実験ではバルブ閉止期間を4月と10月の2回だけ4週間、他の場合は2週間とした。その結果、全体的にバルブ操作は圧力水頭にあまり影響していない。上段と下段バルブを開ける①の操作では初期に上層孔と下層孔の圧力水頭がやや低下した。しかし、8月上旬の連続降雨量129 mmの影響で上層孔の水頭のみが上昇した。その後のいくつかの降雨によっても水頭上昇が認められた。

次に、図-4の中の1987年の実験結果(番号②, ③)を検討する。7月上旬の②の操作で上段と下段のバルブの開閉を切り替えたが、上層孔の水頭は1.44m上昇した。下層孔の水頭は1.80m低下した。その後、降雨の影響で上層孔と下層孔の圧力水頭が著しく上昇した。前述した1986年のバルブ操作では集水井2号の降雨による水頭変化の影響は見られなかったが、今回のバルブ操作では影響が認められた。

③の操作では、9月上旬の連続降雨138.5mmの影響で各観測孔の水頭が大幅に上昇した。特に下層孔の水頭は急激に4.34m上昇してから、そのままの水頭を保っている。その原因としては、集水ボーリング孔の目詰まりの影響で地下水の排出が断たれた、あるいは斜面の上部土層から伝達された地下水圧の増加に伴い圧力水頭が急激に上昇したなどの場合が考えられる。

3.2 集水ボーリング孔からの流出特性

図-3と図-4に示す1986年と1987年の実験で得られた集水量のデータにおいて、降雨の影響による集水量の違いが検出されたのでそれを次に検討する。ここでいう集水量とは各段の集水ボーリング孔からの総流出量のことである。

第一に、図-3に示した1986年8月からの⑤の操作による上段と下段の集水量の急増に着目する。バルブを開けた直後に、流量はピークに達し、その後一旦集水量が急減した後、また集水量の著しい増加があり、ピークが現れた。初期のピーク集水量に関わる現象は集水ボーリング管内に蓄積した水が急に排出されたためと考えられる。後者のピーク集水量に関わる現象は、9月1日から3日の間に171mmの連続降雨があり、その影響と思われる。

第二に、図-3に示す1987年の集水井1号の実験は平常時、バルブを開放状態にしており、実験時、バルブの一部を閉止した。しかし、11月中旬から大量の地下水が現れたので、対策として⑨の閉止実験期間にバルブ操作を変更して半開放にした。⑨の操作以前の9月から10月までの総降雨284mmの影響で圧力水頭が急激に上昇し、大量の地下水が排出されたものと考えられる。一方、バルブ操作による集水量への影響は少ない。すなわち、9月29日から10月26日まで上段バルブのみを開放した直後の集水量をみると、以前の集水量と比較してあまり多くない。雨水が土層に浸透水として蓄積されたと予想される。

第三に、図-4に示した集水井2号の降雨量、圧力水頭、集水量をみると、特に1987年11月中旬からの集水量は以前より多く、しかも下層孔の圧力水頭の上昇現象と一致することが認められる。なお、同じ時期のひずみ計と地盤傾斜計に地すべり性の変動が認められた。

3.3 降雨量、集水量、圧力水頭の相互関係

1986年と1987年における降雨量、集水井1号三段の集水量(各段の総流出量)、三層孔の圧力水頭変動の結果を基に、その相互関係を以下に検討する。まず、図-5に示した連続降雨量と集水量の関係をみると、降雨量の増加は集水量の上昇関係が認められる。特に上段に対応する礫混じり粘土化層での集水量が最も多い。また、深いほど集水量が少ない。つまり表面からの深さ及び風化程度によって集水量が異なる。

次に、図-6に示したバルブ閉止日数と圧力水頭上昇量(最高圧力水頭とバルブ閉止開始時の圧力水頭の差)との関係をみると、三層ともに明瞭な直線関係をもって

図-4 集水井2号のバルブ操作による集水量及び圧力水頭の変動関係

いる。圧力水頭上昇量は上、下層孔よりも中層孔（強風化片岩層）の方が大きい、集水量が多い上層孔では水頭の上昇量が小さい。今回のバルブを長・短期に開閉することにより圧力水頭上昇量の影響は中層孔の方が大きい、それは前報の結論と一致する。

また、図-7に示した集水量と圧力水頭低下量の関係を見ると、集水量が多い上層孔では圧力水頭の低下量が中層孔より小さいことが認められる。以上の相互関係の結果から、降雨による集水量の増加及び圧力水頭の変動の仕方は地すべり地内の土層の風化程度や観測地点の深度によって異なることがわかった。この地すべり地においては、圧力水頭の低下のみを考慮すると、中層での集水が有効であるといえる。

図-5 連続降雨量と集水量の関係

図-6 バルブ閉止日数と圧力水頭上昇量の関係

3.4 圧力水頭変動の応答時間 (1986 年)

ここでいう応答時間は、圧力水頭がバルブの開閉操作によって操作の開始時間から圧力水頭の上昇・低下の変動反応までかかる時間である。バルブ操作による圧力水頭の応答時間の長短は、岩層の風化程度によって異なることを以下の実験から検討する。

表-2は、集水井1号の上段(礫混じり粘土化層)、中段(強風化片岩層)、下段(風化片岩層)におけるバルブの開閉操作によって得られた圧力水頭の応答時間である。表-2のA, B, Cの操作、すなわち一段だけバルブを開けた状態から閉じた状態にする操作では、下段のバルブのみを閉じた時の水頭上昇の応答時間(10時間)が最も長い。透水性のよい強風化の中層では、水頭上昇の応答時間(2時間)は短い。

逆にバルブを閉じた状態から開けた状態に変えるD, E, Fの操作では、下段の応答時間は開から閉にするCの操作と同じ10時間であった。しかし、上段と中段で閉から開にするDとEの操作では、開から閉にするAとBの操作に比較して半分の時間しかかかっていない。一方、Gの操作で全バルブを閉じた状態から同時に開けた場合の下層孔の水頭低下の応答時間は、Fの下段だけの操作の場合に比べて2倍以上の時間(23時間)がかかった。すなわち、上層と中層の地下水排除によって下層への地下水流動速度にも影響が出ることがわかった。Hの操作からも同様な現象が認められた。以上の調査結果から多層地盤中の地下水の浸透は、岩層の風化程度によって大きな違いを示すことが判明した。特に、風化が進行している中層の強風化片岩層ではき裂が多数存在するので、

図-7 集水量と圧力水頭低下量の関係

表-2 集水井1号のバルブ開閉操作により計測した圧力水頭の応答時間

操作	A	B	C	D	E	F	G	H
バルブ操作の開閉状況	前→後	前→後	前→後	前→後	前→後	前→後	前→後	前→後
上段	○→×	×	×	×	×	×	×	×
中段	×	○→×	×	×	×	×	×	×
下段	×	×	○→×	×	×	×	×	×

○→○：バルブを開けたままから開けた状況

○→×：バルブを開けたままから閉じた状況

×→×：バルブを閉じたまま状況で変わらない

前→後：バルブの操作前・後状況

○：開けた状況

×：閉じた状況

(単位：時)

地下水が流れ易く浸透流速も速いものと推察される。

3.5 集水ボーリング孔別集水量 (1986 年)

各集水井における集水量の測定は集水井から扇状に配置した集水ボーリングによって行った。各段の集水ボーリング数及び位置関係は表-3と図-8に示す通りである。

集水量の測定日は、集水井1号では他の地下水流動層からの集水がお互いに影響を及ぼさないように集水する層のバルブのみを開放し、集水量の少ない集水井2号では上、下層を同時に開放して、2週間後のバルブ閉止前に各集水ボーリングから集水された量を測定した。

その結果として、表-3に示すように、集水井1号では9孔の上段ボーリングのうちNo.7の集水割合が上段集水量の44.5%を占め、次いで10%以上の孔はNo.5(16.1%)、No.8(11.1%)となり、この3孔の合計は71.7%である。No.3(0.6%)、No.6(1.2%)は特に少なく両者あわせてわずか1.8%である。

表-3 集水ボーリング孔別集水量

孔号	集水井1号			集水井2号		
	上段集水量 ボーリング 深度15m cc/min (%)	中段集水量 ボーリング 深度25m cc/min (%)	下段集水量 ボーリング 深度35m cc/min (%)	上段集水量 ボーリング 深度18m cc/min (%)	下段集水量 ボーリング 深度27m cc/min (%)	
1	360(7.4)	180(7.6)	560(43.7)	0(0.0)	0(0.0)	
2	390(8.0)	80(3.4)	20(1.6)	0(0.0)	0(0.0)	
3	30(0.6)	80(3.4)	200(15.5)	0(0.0)	0(0.0)	
4	300(6.2)	80(3.4)	400(31.2)	0(0.0)	20(1.1)	
5	780(16.1)	120(5.1)	10(0.8)	0(0.0)	0(0.0)	
6	60(1.2)	570(24.2)	10(0.8)	0(0.0)	10(5.6)	
7	2180(44.5)	70(3.0)	10(0.8)	0(0.0)	0(0.0)	
8	540(11.1)	10(0.4)	0(0.0)	0(0.0)	120(66.6)	
9	240(4.9)	20(0.8)	10(0.8)	0(0.0)	20(11.1)	
10		50(2.1)	20(1.6)	0(0.0)	10(5.6)	
11		40(1.7)	10(0.8)	0(0.0)	0(0.0)	
12		300(12.7)	10(0.8)		0(0.0)	
13		760(32.2)	20(1.6)			
計	4860(100.0)	2360(100.0)	1280(100.0)	0(0.0)	180(100.0)	
測定日	7.0	3.4	1.8	0.0	0.26	
二週間	5/14~5/27	6/11~6/24	4/16~4/29	5/13日	5/13日	
累積雨量	100.0mm	21.0mm	51.0mm	31.0mm	31.0mm

図-8 集水井別の集水ボーリング孔配置図

中段では全集水量2360cc/minのうち、10%以上の孔はNo.6(24.2%)、No.12(12.7%)、No.13(32.2%)の3孔でその割合は69.1%を占めるが、5%以下の孔が13孔のうち、No.2、3、4、7、8、9、10、11の8孔(18.2%)もある。下段ではNo.1(43.7%)、No.4(31.2%)の2孔が多く、次いでNo.3(15.5%)で90.4%をこの3孔で占め、残り10孔はいずれも2%以下となり集水割合はかなり低い。

集水井2号は上段11孔、下段12孔であるが全体に集水量が少なく、上段集水ボーリングからの集水量は認められない。下段はNo.8の集水量が120 cc/minで最も多く、全体の66.6%に相当する。

集水割合が10%以上の孔を図-9に図示する。集水井1号は上・中・下段別にみると集水割合の高い孔は偏る傾向が見られ、上・中・下段間で比べると段によって集水割合の高い孔の方向が異なっており、下段ほど集中する傾向がある。

一方、図-10に示すように集水井2号では上段は該当する孔はなく、下段はNo.8方向のみである。いずれにしても集水割合の高い孔は少なく、しかもそれらは各

図-9 集水井1号での集水割合の高い孔

図-10 集水井2号での集水割合の高い孔

段で同一方向に集まる傾向が見られる。以上の結果からみると、地すべり斜面の水文地質構造は一様でなく、地下水がかなり分散しているため、集水ボーリング孔からの集水量にかなりの差が出てきたものと考え⁹⁾。

4. まとめ

バルブ開閉実験における圧力水頭変動特性、集水ボーリング孔群からの排水特性、降雨によるそれらの変動特性を解析し、集水井集水工法による地下水低下の実態と地すべり地内の地下水文環境を把握し、次のような結果が得られた。

- 1) この地すべり斜面の水文地質構造は、集水井1号付近において3つの滞水層がある三層の地下構造で構成される。集水量制御実験よりそれらの圧力水頭変動の相互関係について、上層(礫混じり粘土化層)での排水は、中層孔の圧力水頭に影響する。しかし、下層孔の水頭には影響しない。中層(強風化片岩層)での排水は上層孔の圧力水頭に多少影響する程度であり、下層孔の水頭に影響しない。下層(風化片岩層)での排水は上層孔、中層孔での圧力水頭に影響しない。圧力水頭低下の速度は上、中層孔に比べて下層孔では遅い。降雨の影響で上層孔、中層孔での圧力水頭の変動が認められる。
- 2) 各段の集水ボーリングからの集水量と圧力水頭低下量の関係をみると、集水井1号の中層(強風化片岩層)は上層に比べて集水量の少ない割には低下量が多い。降雨による集水量の増加及び圧力水頭の変動の仕方は地すべり地内の土層の風化程度や観測地点の深度によって異なることがわかった。この地すべり地においては、圧力水頭の低下のみを考慮すると、中層での集水が有効である。

3) 集水井1号及び集水井2号の集水ボーリング孔別集水量の効果をみると、集水井1号の集水割合の高い孔は、偏る傾向が見られ、下段ほど集中する傾向がある。また、集水井2号の下段では地下水の流動が部分的に集中し、集水量が明瞭に異なる。

今回の研究の中で集水ボーリング孔別集水量の結果と、前報の結果で得られた集水ボーリング孔の施工前後における圧力水頭の低下効果を比較すると、地下水の流動が部分的に集中する下段では、集水井集水工法による深層(集水井1号の下層孔と集水井2号の下層孔)の圧力水頭の低下量も大きいことがわかった。すなわち、前報の考察では、集水井1号の掘削延長・方向による圧力水頭の変動において、集水井1号の西側に掘削した下段のNo.1孔からNo.5孔までの5本の集水ボーリング孔が三層孔の水頭の変動に関わっていることを述べた。その結果は今回の集水ボーリング孔別集水量の実験で集水井1号下段のNo.1孔からNo.5孔までの集水量が92.8%を占めたことと一致する。

以上のことから平沢地すべり斜面の地下水はかなり分散していることがわかる。しかも降雨から伝達される地下水圧の影響は全体に平均的ではなく、斜面の水文地質構造によって土層の一部に強く作用していると考えられる。

謝 辞

この研究を進める上で森林総合研究所地すべり研究室から観測データ・調査報告書などを提供していただいた。北海道支所梁瀬秀雄所長にいろいろお世話いただいた。また、東京大学の鈴木雅一教授、執印康裕助手に多大な御助言を戴いた。以上の方々に対し深く感謝の意を表すとともに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小川正二・池田俊雄・亀井健史・佐野博昭：地すべり発生に及ぼす間隙水圧の影響，地すべり，Vol.24，No.2，pp.2～9，1987
- 2) 檜垣大助・丸山清輝・吉田克美・吉松弘行：地すべり地における間隙水圧変動の観測，地すべり，Vol.28，No.3，pp.9～16，1991
- 3) 丸山清輝：地すべり地における間隙水圧の変動タイプ，地すべり，Vol.30，No.1，pp.27～35，1993
- 4) 丸山清輝：口坂本地すべりにおける間隙水圧の変動，地すべり，Vol.31，No.2，pp.32～40，1994
- 5) 曹 崇銘・太田猛彦・竹内美次・松浦純生・落合博貴：集水井集水工法によるすべり面付近の間隙水圧の変動特性-埼玉県児玉郡児玉町平沢地すべり地を例として-，地すべり，Vol.35，No.3，pp.24～33，1998
- 6) 埼玉県農林部林務課：平沢地区の地すべり調査(観測)報告書，1986～1987
- 7) 林野庁森林総合研究所：地すべり対策調査報告書(埼玉県児玉郡児玉町平沢地区)1986～1987
- 8) 梁瀬秀雄・落合博貴・松浦純生・紀平潔秀：地すべり地における地下水の排水量調査，第38回日本林学会関東支部大会発表論文集，pp.209～210，1986

(原稿受付 平成10年4月9日)

AHPによる新しい斜面崩壊調査法の提案

「地すべり」Vol. 36, No. 1 (通巻第 137 号) pp. 4~11, 1998 年 (平成 10 年) 6 月
津田秀典

AHP により、斜面崩壊調査の一連のプロセスについて階層構造モデルを構築し、また、経験的な技術的判断のウエイト付けによる数値化を試みた。斜面崩壊の定性的な地形地質要因は野外観察により 5 段階評価した。斜面崩壊の予知と対策のため (レベルⅠ)、各崩壊要因の寄与度の算出 (レベルⅡ)、崩壊の発生予知 (レベルⅢ)、崩壊の規模予測 (レベルⅣ)、対策工の基本方針選定 (レベルⅤ) について、程度問題として判断プロセスの客観的な検討が可能である。

降雨浸透に伴う急勾配砂質土斜面のせん断変形の解析

「地すべり」Vol. 36, No. 1 (通巻第 137 号) pp. 12~19, 1998 年 (平成 10 年) 6 月
笹原克夫

本論文では、斜面の降雨浸透に伴うせん断変形・破壊を追跡するために、1 次元鉛直不飽和浸透流解析と、不飽和土の構成式を 2 次元一般応力・ひずみ状態に適用した無限遠斜面のせん断変形モデルを組み合わせた、降雨浸透に伴う斜面変形モデルを提案した。そして解析と崩壊実験の対比によりその妥当性を示した。

地すべり粘土の物性に関する一考察 一東北地方、グリーンタフ地域の地すべりについて一

「地すべり」Vol. 36, No. 1 (通巻第 137 号) pp. 20~27, 1998 年 (平成 10 年) 6 月
川原谷 浩, 阿部真郎, 荻田 茂

東北地方グリーンタフ地域の地すべり地より採取したすべり面粘土、すべり層粘土に関して、その土質工学的、鉱物学的観点から調査・考察を行った。その結果、モンモリロナイトが最も多くの地域で同定され、しかもその定量値は比較的低い、塑性図中でほとんどの試料が A 線の上側に並行し、泥質起源の試料が液性限界、塑性指数が大きい傾向を示すこと、およびすべり面粘土、すべり層粘土は統成作用、その後の陸域での風化作用によって形成された可能性が高いこと等が判明した。さらにモンモリロナイトに関して、地域、時階、構成岩石により特徴的傾向を示し、これはモンモリロナイト (スメクタイト) の組成に依存している可能性が高いことが判明した。

地すべり土の残留強度包絡線の湾曲化と強度定数決定法

「地すべり」Vol. 36, No. 1 (通巻第 137 号) pp. 28~34, 1998 年 (平成 10 年) 6 月
中村真也, 宜保清一, 周 亜明, 江頭和彦

残留強度は、再活動型地すべりおよび地質弱面を潜在すべり面とする初生型地すべりの安定度評価において必要不可欠である。しかし、実験で得られる残留強度包絡線に湾曲化現象が認められるため、強度定数が一義的に決まらない。本研究は、地すべり土の残留強度測定試験を行い、残留強度定数の決定手法の確立を試みたものである。

残留摩擦係数は、高い垂直応力レベルではほぼ一定となり、低い垂直応力レベルでは垂直応力が小さくなるほど増大し左上がりの曲線となった。この残留摩擦係数変化を基に有効垂直応力を大小二つのレベルに分け、残留強度包絡線を描いて強度定数を決定することを試み、高い垂直応力レベルにおいて $\alpha = 0$ 、低い垂直応力レベルで $\alpha \neq 0$ であること、および ϕ が高い垂直応力レベルより低い垂直応力レベルで幾分か大きくなることを明らかにした。この手法は、垂直応力の大小に応じて残留強度定数を決定しようとしたものであり、合理的かつ実際的な方法である。

集水量制御実験におけるすべり面付近の間隙水圧の挙動

「地すべり」Vol. 36, No. 1 (通巻第 137 号) pp. 35~42, 1998 年 (平成 10 年) 6 月
曹 崇銘, 太田猛彦, 竹内美次, 松浦純生, 落合博貴

本研究では、埼玉県児玉町平沢地すべり地にある山腹斜面に設置された集水井を利用して集水量制御実験を実施した。この集水井は通常の集水井機能と違って井筒の外周壁にモルタルを注入して周辺の地下水及び集水井内部の水の周辺への漏水を防ぐ工夫を行った、また集水ボーリング孔口にはバルブを取り付けておき、集水井の施工後に集水井の排水機能を一時的に停止させて集水井施工前に類似した地下水条件を再現して、その時の降雨量、圧力水頭 (間隙水圧)、集水量などを観測した。これらの結果を基に、集水井の集水ボーリング孔の排水効果を定量的に把握すると共に、地すべり地内の地下水文環境を明らかにした。

三浦半島中部の急傾斜地崩壊危険区域と地すべり防止区域

「地すべり」Vol. 36, No. 1 (通巻第 137 号) pp. 43~48, 1998 年 (平成 10 年) 6 月
中山 康

横須賀市・逗子市・葉山町は起伏に富む第三系の地域で、急傾斜地崩壊危険区域は神奈川県全 1,156 箇所のうち 425 箇所および地すべり防止区域は全 16 箇所のうち 12 箇所が集まっている。防止工事の実施に伴って指定区域内の安全性は向上した。そこで地形・地質・活断層・植生・防止工事について県および市・町に蓄積されているデータと現地踏査からその概要を紹介する。現地踏査からその概要を紹介する。