

地すべり地における地下水調査法について

—— 新しい地下水調査法の必要性和試み ——

竹 内 篤 雄

ON THE INVESTIGATION METHOD OF UNDERGROUND WATER IN LANDSLIDE AREA

—— The New Investigation Method of Underground Water and Its Try ——

By *Atsuo* TAKEUCHI

Synopsis

It was cleared by the existing investigated results that the underground water was existent as the vein-stream condition in and around the landslide area. By the results, the author was aware that it was very difficult to obtain the information which was concerned with the existent location of the underground water vein-stream using the present tracer method. As it was considered a good method that the existent location of the underground water vein-stream was assumed in advance before carrying out the present tracer method, and the present tracer method was carried out, the author try to use the underground temperature survey which utilized at the hot-spring survey according to assumed the existent location of the underground water vein-stream. By the results, it was cleared that this survey method obtained excellent results.

1. 序

地すべりが特殊な地質条件を持った地域で数多く発生していることは衆知の事実である。しかし単に特殊な地質条件を備えた地域であるということだけでは地すべりは発生しない。つまり特殊な地質条件は地すべりを発生させる素因には成り得るが、それだけでは地すべりは発生せず、それを起こさせる誘因が何か存在するはずである。ある誘因が地すべり現象を起こすか否かの臨界状態にある所に作用して始めて地すべりの発生を見る。

地すべり発生の誘因には種々の自然的・人工的因子を挙げることが出来るが、いずれの場合においても地すべり地内外に存在する地下水が地すべり発生の引き金としてきわめて重要な役割りを演じる場合が多いことは改めて述べるまでもない。したがって、地すべり活動の防止対策を考える場合、まず地すべり地内外の地下水の動静に関する情報が求められることは当然のことであろう。地下水に関して一番始めに明らかにしなくてはならない事柄は地すべり地への地下水の流入経路である。地下水がどこから地すべり地に流入し、どのような経路をたどって流出してゆくか、又その経路は何種類存在するか、地すべり地内に流入している地下水が何種類存在しているか、さらにこれらの地下水が地すべり活動にどのような形で影響を与えているか等に関する情報を得る必要がある。これらの点が解明されて始めて地すべり活動に対する地下水の貢献度が明らかになり、地すべりを防止するために地下水に主眼を置いた防止対策工事の適否を判断することが出来る。もしそれが適切であるとされた場合、地下水をどこで、どれだけ、どのような方法で処理することが最も効果的でありかつ合理的であるかを検討することが出来、地すべり防止対策を計画する上での重要な資料を提供することになる。

このように地下水に関する諸情報を得るための調査は地すべり調査の中で重要な位置を占めているにもかかわらず、少なくとも今日実施されている地下水調査法特に薬品投入による地下水追跡調査法に関してはもう一つ足りない点が存在すると考えられる。そこで筆者はこの不足している点は何にかを地すべり地内外の地下水の存在状態から追求して見た。その結果、現行地下水追跡調査を行なう前にもう一つ新しい地下水調査を実施する必要性のあることが明らかにされた。今回は新しい地下水調査法の必要性について述べると共に、その実施例を簡単にのべる。

2. 地すべり地内外の地下水の存在状態

一般に地すべり地における地下水の供給源としては、その地すべり地が存在する部分も含めた集水域の降雨・降雪及び融雪水等の浸透あるいは、地すべり地内外に散在する沼地・湧水などからの逸水、あるいは河川・緩流・用排水路からの漏水などが考えられている、又集水域に関係なく、遠方より地下水として地すべり地に流入して来るものも相当存在すると思われる。

このように種々の形で地すべり地に供給される地下水はどのような形で地すべり地内に流入し流出して行くのであろうか。

経験によれば、排土による地すべり防止工事を行なった後の切り取り斜面又は急激に滑動した地すべり地の滑落崖の斜面などに地下水が脈状に流出しているのをよく見ることがある。

今まで筆者及び他機関により実施された各地の地すべり地での地下水追跡調査結果によれば、地すべり地内外の地下水流速は **Table 1** に示すように $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/sec の数字が得られている。もし地すべり地内外においてこのような流速が保持される程度の地下水層が存在すると仮定するならば、そのために必要な土質状態は **Table 2** によれば、きれいな砂又はきれいな砂利混りの砂ということになる。このような地層が地すべり地全体に分布している時に始めて上記の如き流速を持った地下水層が存在し得るのである。しかし、現実に地下水追跡調査の際に薬品投入孔及び地下水採水点として用いられた試錐孔の柱状図を見ると多くの

Table 1 Velocity of underground water stream at each landslide.

name of landslide	velocity of underground water stream (cm/sec)
Kushibayashi	2.2 -0.2
Kamioogi	3.0 -0.3
Matsunoyama	0.42-0.1
Miza	3.4 -0.63
Kamenose (1)	0.18-0.1
Kamenose (2)	2.6 -0.26
Chausuyama	0.17-0.06
Kuranami	0.04-0.02
Mikage	1.2 -0.48
Kitasoo	0.04-0.001
Tando	0.3 -0.19
Kuroiwa	0.017
Kebioka	0.6 -0.17
Kawai	0.39
Kusugami	0.28-0.22
Engyouji	0.11
Nishikawa	0.94-0.33

Table 2 Permeability and drange characteristics of soils.
Coefficient of permeability k in cm/sec (log scale)

	10^2	10^1	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
Drainage			Good				Poor		Practically Impervious		
Soil types	Clean gravel	Clean sands, clean sand and gravel mixtures			Very fine sands, organic and inorganic silts, mixtures of sand silt and clay, glacial till, stratified clay deposits, etc.			“Impervious” soils, homogeneous clays below zone of weathering			
		“Impervious” soils modified by effects of vegetation and weathering									

場合、粘土分の多い地層や頁岩・泥岩・砂岩あるいは種々の岩質の崖層などからなっていることが非常に多い。これらの地層について透水係数を求めた結果によると、多くの場合、 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ cm/sec という低い値を示している。例えば、滋賀県上仰木地すべりの場合、現地における地下水追跡調査結果より求められた地下水流速は $10^0 \sim 10^{-1}$ cm/sec であるのに対して、実験室において求めた透水係数は $10^{-4} \sim 10^{-7}$ cm/sec という非常に小さな値を示している。

つまり現場で求めた値と実験室で求めた値との間に非常に大きな差が生じている。もし実験室で求められた値に基づいて地下水に主眼を置いた地すべり防止対策工事を行なおうとすれば、現実的には地すべり地内の水を抜くことは、非常に難しいものとなる。しかし一方現場で得られた結果を採用するならば、地すべり地内外の地下水を排除することは集水井、横穴排水試験孔等により容易に行ないうる。実際には、多くの地すべり地において実施されている地下水に主眼を置いた防止対策工事の結果を見ると、地下水が効果的に排除されているのを見ることが出来る。このことは、地すべり地内外の地下水が、実験室で得られたような低い値の透水係数を持つ地層のみでなく、そのような地層の中でも特に透水係数の大きな部分が存在し、そこを地下水が流れていることを示している。このような地下水流路に地すべり防止工事の施工物が設けられたために多くの地下水を排除することが出来たと思う。つまり、地すべり地内外の試験柱状図にしばしば捉えられているように、地すべり地内外の一部に流通性のよい所（地層を構成しているマトリックスが失なわれて礫のようなものが残されている所や、地層がもまれて流通性のよくなっている所）が存在し、それらがお互いにつながり合って1つの地下水流脈を形作っているものと考えられる。そしてこの地下水流脈を流れる地下水の流速が Table 1 に示すような値となるものと推測される。

この考えを裏づける観測結果として次の報告がある。松林・望月^{1)~4)} は長野市茶臼山地すべり地における地下水調査結果として茶臼山地すべり地上部地域の地下水は豊水期には比較的浅い層に多いが、この浅層の地下水は水平方向には一様に広がっており、みずみちを作って流下していると同時に所々に散在する砂層中に水槽状に貯留された水がみずみちにより、複雑に連絡を取り合っているようで、近接地でしかも相似している深度に帯水層が存在していてもお互いに直接的に連絡しているとは限らないとしている。又渇水期に実施した調査結果からも、豊水期には地下通路となりうる地すべり土塊内の浅い砂層中に層状・脈状に流下しているものが少なく、地層内を脈状に流れるものが主体となっておりと述べており、このことはトレーサー検出の濃度曲線が殆んどの場合、亀裂型であることから推定出来るとしている。このため、地区による系統的なトレーサーの検出は見られず、検出された孔に隣接している孔でさえもトレーサーが検出されない場合が多く、求められた地下水流速も 1.7×10^{-1} cm/sec と明らかに密な地層内を流れて来たものではなく、地層の弱部（亀裂部）を流下して来たものであることを示している。

田中⁵⁾ は新潟県松之山地すべり地の地下水調査結果に基づいて当地すべり地の地下水流動経路は上部兔口

部落より下方の光間部落までの一連の関連を有しており、地下水は 10^{-1}cm/sec もの流速を有していることから、亀裂の多い地層や断層を通路としていていると考えている。

大平・岸本・菅野は長野県下湯ノ入、郷原地区⁶⁾、島根県下大黒山、地合地区⁷⁾における地下水調査の結果から地下水がみずみちを形成しているという考えを述べると共に、このみずみちが大雨によりしばしば変化したり、開閉されることがあることを地下水位の観測結果に基づいてのべている。

山口・高田・竹内は兵庫県神影地すべり地⁸⁾、相岡地すべり地⁹⁾、奈良県人知地すべり地¹⁰⁾において食塩及びウラン投入による地下水追跡調査の結果、かなり明確な地下水流脈を捉らえている。又大平等が指摘した地下水流域の閉鎖については、滋賀県串林地すべり地¹¹⁾において、大平等の指摘した大雨によるものではないが、従来存在していた地下水流脈がある種の原因により閉鎖された例を地下水調査の結果見出ししており、地下水流脈の閉鎖現象というものがあり得て、それが原因で地すべりが発生する可能性のあることを述べている。

このような例は他の多くの報告書に示されているが、それらを総合すると、地すべり活動に関係する地下水は地下水層として存在するよりむしろ地下水流脈として存在する可能性が強いことを暗示している。全ての地すべり地にこのような推測が適応出来るとは言えないが、少なくとも地下水が層状に存在する地層の中に水が集中して流れ易いところがあり、これが発達して流脈状の一連の地下水流路を形成していると考えた方が現場の諸現象を解釈する上にも便利である。

前述した串林地すべり地の如く地下水流脈の一部が何等かの原因により閉鎖された場合、そこに被圧地下水が貯まりはじめてそのために局部的に間隙水圧力が上昇して地すべり土塊のすべり力に対する抵抗力が減少し、これが地すべり発生の発端となり、この局部的な地すべり土塊の滑動が臨界状態にある全地すべり土塊に急速に波及し、大きな地すべり滑動に連なることは充分考えられる。従ってこのような局部的な地下水の異常状態にある地区を早急に探り出し、そこに貯まっている水を排除することは、地下水に起因する地すべり活動の防止に取っては非常に重要なことであると共に、大地すべりを未然に防ぐもっとも効果的な方法である。このためには地下水排除を目的とした何らかの工事を行なうために予め地下水流脈を探り出す必要がある。(Fig. 1)

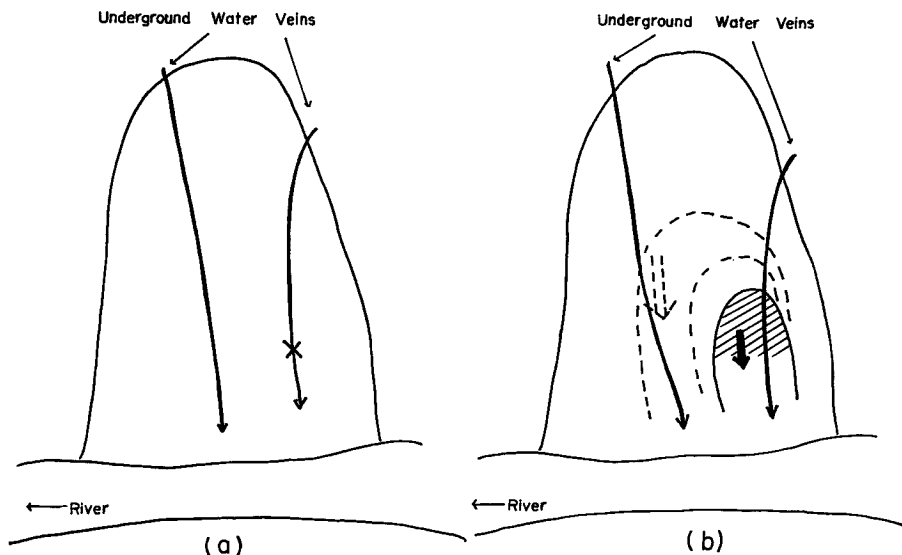


Fig. 1 (a) A model case of closing condition of underground water vein.
(b) Occurring condition of partial landslide movement.

3. 現行地下水追跡調査法の欠点

上述の如く地すべり地内外の地下水が帯水層という形とは別に地下水流脈という形をとる可能性が強いことが考えられ、しかもこの地下水流脈が何らかの原因で異常を来たすことが大地すべりに発展する可能性を秘めているとなると、この地下水流脈をさぐり出すことが非常に重要性を帯びてくる。しかし現行の地下水追跡調査法を考えると正確にこの地下水流脈の流水経路に関する情報をうのには難かしい面が多々存在していることに気付く。今日実施されている多くの地下水調査方法では、いづれも何等かの方法により地下水を直接採水・観測しなくてはならない。化学薬品投入による地下水追跡、陸水学的水質検査、地下水流層検層、地下水位変動調査、地下水揚水試験などいづれの調査法も地下水流路及び地下水の水塊分析に関する情報を得るために実施される調査法であるが、どの調査を行う場合にも地下水湧水点、試錐孔、沼地、井戸等の水を採水又は観測する必要がある。このことは、これらの調査法により得られる情報の精度が採水点の多少により左右される可能性の存在することを意味している。湧水点、井戸、沼地などの少ない地すべり地や経済的理由で多くの試錐孔を設けられない地すべり地では正確な地下水に関する情報を期待することは難かしい欠点を有している。

例えば、Fig. 2 に示す如く、地形的に見て地下水追跡調査を行なうに適當と思われる場所に化学薬品投

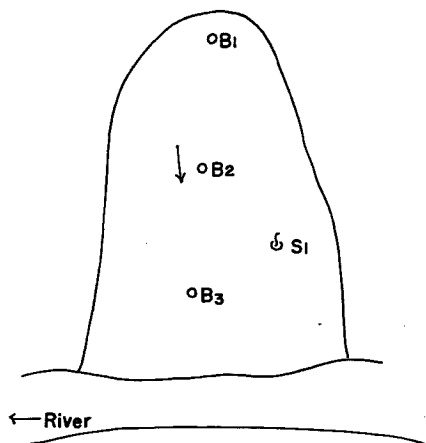


Fig. 2 Model landslide area for underground water investigation.

入用の試錐孔を掘り、さらにある測線上に2本の試錐孔をすべり面調査用も兼ねて掘ったとしよう。又地すべり地内には採水可能な湧水点が1カ所存在すると仮定する。この場合投入孔1、採水箇所3ということになる。投入孔にトレーサーとして適当な化学薬品を投入して、下方の各採水点で網を張ってトレーサーの到来による水質変化を捉らえるべく観測を継続していた所、採水点である B_2 と B_3 にトレーサー到来による水質変化が検出され、湧水点 S_1 にはそれらしきものが検出されなかったとする。その結果から従来の解釈法では B_1 の下を流れる地下水流は試錐孔 B_2 , B_3 を通ってさらに下方へ流下しているとするであろう。しかし、ここで考えなくてはならない点は、投入孔を掘った地点に地下水流脈が存在しているという裏付けがないということである。つまり投入孔に投入したトレーサーは確かに B_2 , B_3 を通ってさらに下方へ去ったかもしれないが、と言って地下水流脈もそのような経路を成しているとは言えないのである。ただ一つ言えることは投入孔付近に水を供給した場合、それは地下に浸透して B_2 , B_3 を通るということが証明されたにすぎないということである。従って、投入孔 B_1 と採水点 B_2 , B_3 とが地下水追跡調査の結果相互に連絡し合っていることが判明したことをもってそこに地下水流脈が存在しているとは言いきれない。実際に地下水

追跡の結果得られた地下水経路と一致して地下水流脈が存在することも有りえようが、場合によっては、投入孔の下には地下水流脈は存在せず、投入した薬品がたまたま投入孔 B_1 付近を流下している地下水流脈に流入し、それが採水点 B_2 , B_3 に到来したにすぎないとも推測出来る。(Fig. 3 (a)) 又、トレーサー投入の際多くの場合多量の水を投入孔に注入するために、その水が、地下水流脈の本流よりそれで採水点 B_2 , B_3 に検出されたとも推測出来る。(Fig. 3 (b)) さらに Fig. 3 (c) に示す如く現存する地下水流脈とは全く無関係に単に B_1 と B_2 , B_3 との間の地下水追跡調査の関係を求めたにすぎないとも推測される。このように小さな範囲の地すべり地においても地下水流脈の存在位置を推定する裏付け調査なしに、地下水追跡調査を実施した場合には、様々な推測が可能であり、地下水流脈がどのような経路をとっているのか容易に判断出来ない状態になる。ましてや広大かつ複雑な地形を有する地すべり地での地下水流脈存在位置推定には非常な困難と莫大な費用が伴うであろうことは論を待たない。

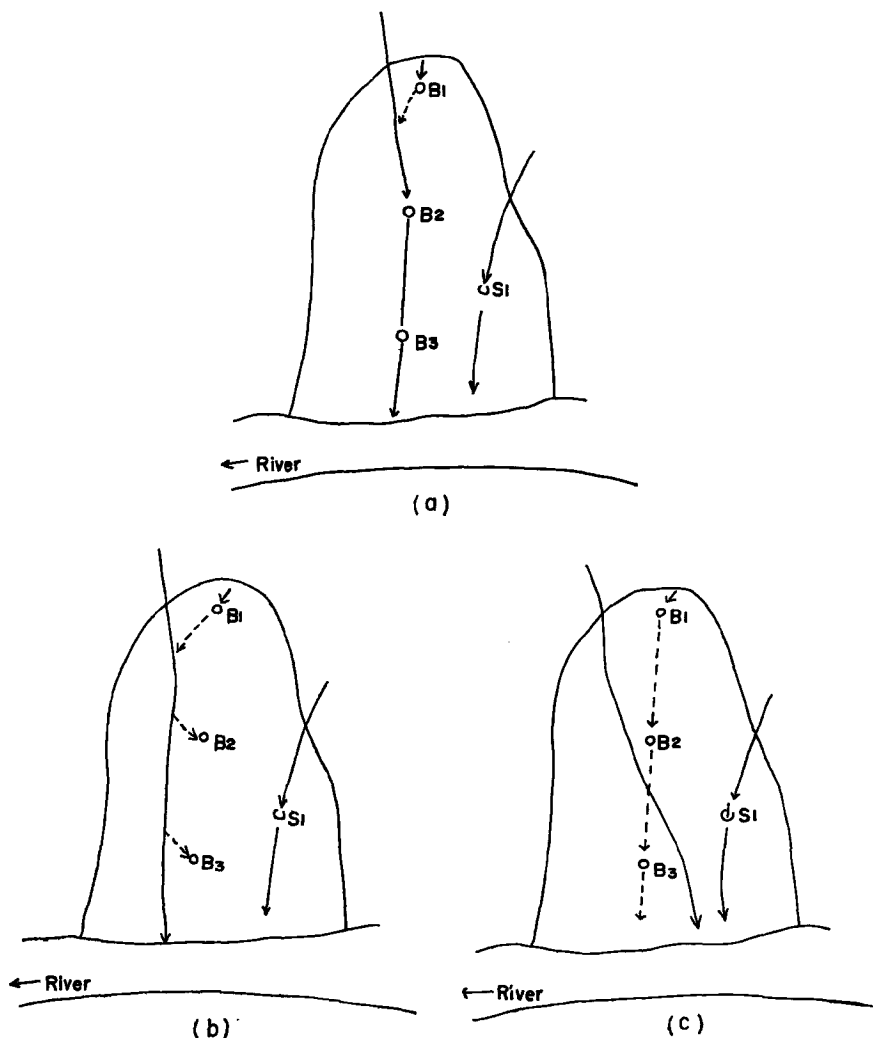


Fig. 3 (a)-(c) Relation between underground water veins and underground water investigations.

Fig. 2で示した地すべり地の場合、投入孔 B_1 に投入したトレーサーは湧水点 S_1 には到達していないことから、投入孔 B_1 と S_1 とは地下水流路としてのつながりはないことになる。すると湧水点 S_1 に流出している水は別の地下水流脈が地すべり地内に流入して来ている水であることになる。現行の地下水追跡調査法ではこの別の経路を通して流出して来る地下水流脈を捉られるには別にトレーサー投入孔を適当な場所に設けて、前回と同じ調査を繰り返し実施しなくてはならない。しかも今回設けた投入孔が湧水点 S_1 に流出している地下水流脈に当たっているか否かは判断しかねるため、投入したトレーサーが湧水点 S_1 に到達するか否かは全く判らないことになり、 S_1 に流出している地下水流脈を捉られることが大変難かしいことになる。

従って、このようにトレーサーを用いて数少ない採水点で観測を行ない、その結果に基づいて地すべり地内外の地下水流経路について論ずることは危険であることが多いと考えられる。もしこのような方法による調査結果に基づいて地すべり防止工事の一環として地下水排除に関する工事を行なう場合はその効果に対して確信を安易に抱くことが出来ないことになる。

4. 新しい地下水調査法の必要性和その試み

4.1 新しい地下水調査法の必要性

3. へのべたような状態において多大な費用を必要とする地下水に関する地すべり防止工事を実施することは、出来るだけ避けなくてはならない。そのためには、出来るだけ正確な地下水流脈の経路に関する情報を得る必要性が生じて来る。

つまり現行の地下水追跡調査方法はかなりの時間と費用を要するものであり、得られる情報も貴重なものであるため、この貴重な情報を有効に生かすためにもこの調査を行なう前に予じめ地下水流脈の経路を推定し、いくつかの地下水流脈が推定された場合は各地下水流脈の地すべり活動におよぼす重要性を検討した後、重要度の高い地下水流脈の存在する所に諸地下水調査のための試錐を行ない、推定された地下水流脈を確認する意味で現行の地下水追跡調査を実施することが、この調査法の特長を生かした効果的な調査実施方法であると考ええる。また後続する諸地下水調査も上記の結果に基づいて行なえば、地すべり移動機構と直接的に結びついた資料を得ることが出来ると共に、効果的な地下水に関する地すべり防止工事を行なえるものと考ええる。そこで、予じめ地すべり地内外の地下水流脈の存在位置を推定する一つの方法として筆者はすでに温泉探査法などに多くの成果を上げている地温探査法が地すべり地内外の地下水流脈調査に適用出来ないものであろうかと考えた。

4.2 地温測定による地下水流脈調査の試み

大地は日中太陽より熱エネルギーを受けて一様に熱せられ地温の上昇をもたらす。この地温の上昇は時間と共に地下深部にも伝達されるが、その際に熱エネルギーが大地深部にも伝達されるが、その際に熱エネルギーが大地に吸収されてゆくので、深部における地温変化は非常に小さなものとなる。

今ある一定の温度を保ちうる地下水流脈が存在すると仮定した場合、その上部の地表面近くの地温分布状況に地下水流脈により剝奪（供給）された熱エネルギーの損失（増加）により生ずる地温の低下（上昇）を示すことが考えられる。夏の場合を例にとると、地下水流脈の水温は地表面近傍の地温に比べてかなり低いために、地下水流脈は水脈の周囲の岩石や土壌からたえず熱エネルギーを奪ってゆく、このために地下水流脈の周囲は他の部分に比べて地温が低くなる。従って、適度の深さの地温を適当な間隔において測定すれば、地下水流脈による熱エネルギー剝奪の影響による地温の低下部を捉らえることが出来る、そしてその結果から地下水流脈の存在位置は推定出来るものと考ええる。

上記の考えに基づいて今日まで新潟県松之山地すべり地¹²⁾をはじめいくつかの地すべり地^{13)~17)}で地温測定による地下水流脈調査を実施して来ており、かなりの成果を挙げている。一つの例として滋賀県大津市上仰木地すべり地での実施例をのべる。

上仰木地すべり地は滋賀県大津市雄琴町に位置し、滋賀丘陵の中央より南南西に寄った高度約 200m の所

に発生した崩壊性地すべりである。昭和 40 年度より京都大学防災研究所の手により地すべり調査が実施されており、その研究成果も発表されている¹⁸⁾。その調査結果に基づいて種々の地すべり防止工事がなされている。この中で当地すべり地活動の主因の一つと推定されている地下水に関する情報を得るために食塩投入による地下水追跡調査、揚水試験が実施され大まかな地下水に関する知識を得ることが出来ている。それによれば、当地すべり地の地質は古琵琶湖層とそれをおおう上仰木砂礫層とにより構成されている。古琵琶湖層は主としてシルト層と粘土層とからなり、南庄粘土層と言われる灰青色の固結粘土で良好な不透水層である。地下水調査結果ではこの不透水層をおおっている上仰木砂礫層の中に地下水流脈の存在が推定された。この結果に基づいて滋賀県当局の手で、集水井 2 基 (径 3 m, 深さ 15 m) が設けられた。(Fig. 4 の㊤印の個所) しかし集水井からは当初計画していた排水量をかなり下まわる量しか排水することが出来なかった。そこで目的排水量を得るためにより正確な地下水流脈の流動経路を確実に把握する必要があると考えて、当地すべり地で地温測定による地下水流脈調査を電気探査と平行して実施した。

地温測定を実施した範囲は Fig. 4 に示す範囲で、測線方向は既存の資料に基づいて主地下水流脈が存在すると思われる方向を直角に切るような形で 3 測線設けた。測点間隔は 5 m とし、測線長さは平均約 60 m である。地温測定方法は径 25 mm の鉄棒で深さ 1 m の孔を開け、そこに試作のサーミスター温度計を挿入して 5~10 分後にその温度を読み取りその測点の地下 1 m の地温とした。測定結果は Fig. 5 に示す。この A-C 測線において得られた結果を見ると、局地的な他の原因により生じたと考えられる異常低温および高温を示す測点は少し見られるが、全体としては大したむらもなく、地下流脈により生じたと思われる地温低下部を捉えている。この地温低下部沿いに地下水流脈が存在すると推定されたので、電気探査結果も考慮

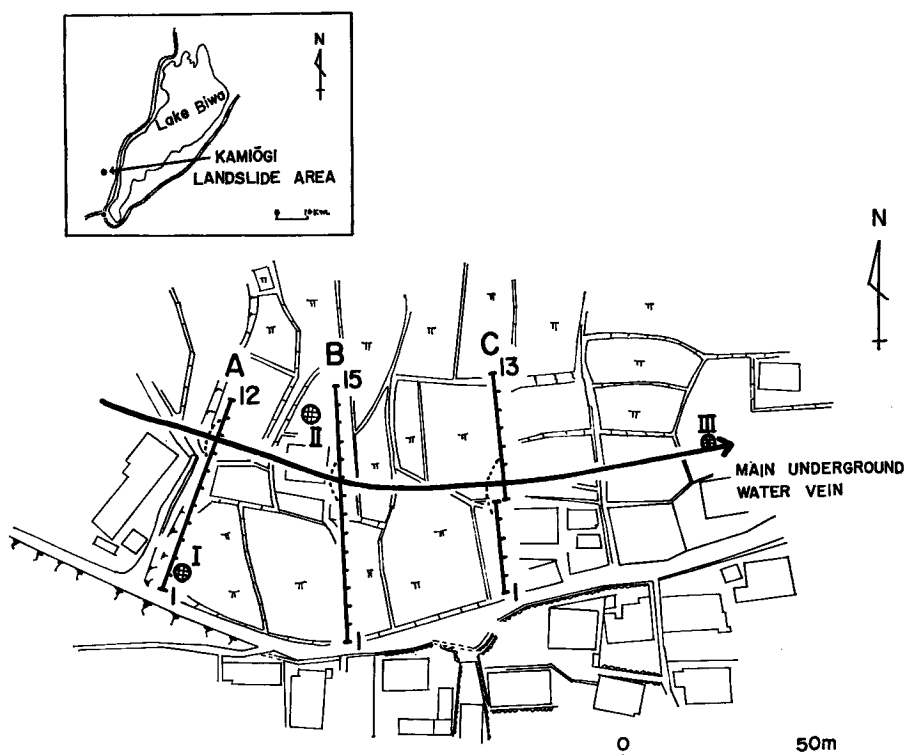


Fig. 4 Location of the Kamiogi landslide area and measuring points of underground temperature, and results of the investigation.

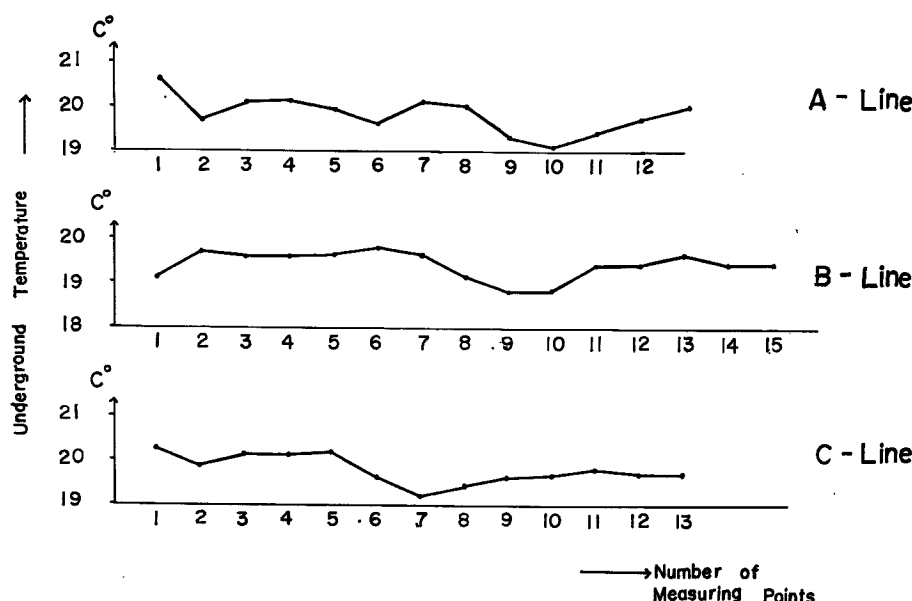


Fig. 5 Results of the measuring of underground temperature.

して滋賀県当局の手により Fig. 4 に示す ㊥_{III} の地点に直径 3 m, 深さ 15 m の集水井が設置された。その結果地下 3.5 m~13 m 付近より多量の地下水の排出を見ることが出来た。この量は既存の集水井 2 基の排水量の合計を上まわるものであり、かつ集水井 ㊥_I, ㊥_{II} は排水個所に方向性が見られたのに対し、集水井 ㊥_{III} は方向性が見られず、全面的に地下水が排出しており、この地下水流脈がかなり大きなものであることが示された。

この事実を考えると、地温測定による地下水流脈調査法はかなり有望な地下水調査法の一つに成り得るのではないかと考えられる。その後同調査法を滋賀県大津市串林地すべり地及び岐阜県土岐市山神地すべり地において実施し、上記と同様な成果を挙げている^{16), 17)}。

5. ま と め

地すべり地内外の地下水の存在状態について検討した結果、地すべり地内外の地下水は地下水層という形で存在すると同時に地下水流脈状に存在する可能性が強く、しかもこの地下水流脈が地すべり活動に大きな影響を与えることが推定された。このように地すべり活動に影響を与える地下水が流脈状に存在しているとすれば、現行の地下水追跡法では満足出来る調査結果は得られないのではないかという疑問が生じ、現行の調査法を行なう前に予じめ地下水流脈の存在位置を推定し、これを確認する意味で貴重な資料の得られる現行地下水追跡調査法を実施する方が得策であることに気付いた。そこで予じめ地下水流脈を探り出す方法を考え出す必要にせまられて、温泉探査法によく使用されている地温測定調査法が地すべり地内外の地下水流脈調査法として適用出来ないものと考えた。

滋賀県上仰木地すべり地等でこの調査法を実施した結果、現象的に相当有益な資料を提供してくれることが後述して行なわれた防止工事の成果により判明した。今後はこの測定法による地下水流脈調査法の適応性をさらに追究すると共に、地況の影響等のノイズをいかに分離したらよいかを検討し、合わせて地下水流脈の規模及び存在深度をある程度推定出来るか否かを理論的に検討して行く予定である。

謝 辞

当研究を行なうに当りましては山口真一教授並びに高田雄次助教授に終始適切なる御指導を賜りましたことをここに記し謝意を表します。又図表の作製に当りましては倉内洋子氏の手を煩わせましたことをここに記し謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 松林正義・望月巧一：茶臼山地すべり地上部の地下水調査について，地すべり研究，第11集，昭42. 7, pp. 66-77.
- 2) 松林正義・望月巧一：茶臼山地すべり地上部の地下水について(I)，地すべり，Vol. 5, No. 3, 昭44. 3, pp. 8-12.
- 3) 松林正義・望月巧一：茶臼山地すべり地上部の地下水について(II)，地すべり，Vol. 6, No. 3, 昭45. 2, pp. 1-10.
- 4) 防災研究協会：茶臼山地りすべ機構の解析研究報告書，昭44. 3, pp. 33-65.
- 5) 田中憲一：松之山地すべりについて，砂防及び地すべり防止講義集VI，昭41. 8, 8, pp. 35-50.
- 6) 大平成人，岸本良次郎，管野勇新：長野県地すべり対策調査報告(2)，農業土木試験場技報C第3号，昭41. 3.
- 7) 大平成人，岸本良次郎，管野勇新：島根県地すべり対策調査報告(1)，農業土木試験場技報C第2号，昭41. 3.
- 8) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄・那倉明通：神影地すべり地の特性，京都大学防災研究所年報，第9号，昭41. 3, pp. 359-373.
- 9) 山口真一・高田雄次：中村三郎・竹内篤雄：兵庫県祖岡地すべりについて，地すべり研究，第9集，昭40, pp. 3-18.
- 10) 防災研究協会：大滝ダム調査報告書.
- 11) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄：串林地すべり地について，京都大学防災研究所年報，第12号B，昭44. 3, pp. 25-45.
- 12) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄：松之山地すべり地の地下水観測について，京都大学防災研究所年報，第8号，昭40. 3, pp. 567-577.
- 13) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄：御殿山地すべりの移動機構，京都大学防災研究所年報，第9号，昭41. 3, pp. 339-358.
- 14) 8) に同じ.
- 15) 防災研究協会：上仰木地区地すべり調査報告書，昭43. 3.
- 16) 11) に同じ.
- 17) 防災研究協会：山神地すべり調査報告書，昭43. 3.
- 18) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄・古谷尊彦：上仰木地すべり地について，京都大学防災研究所年報，第10号A，昭42. 3, pp. 467-477.