地下水位測定による地すべりの予知

——主として信越線豊野～牟礼間の地すべり——

Landslid Prediction by Ground Water Table Measurement

—An Example of Landslide between Toyono and Mure on Shin-etsu Line—

森野 亮宏* 草野 国重** 山崎 和彦***
Akihiro MORINO Kunishige KUSANO Kazuhiko YAMAZAKI

Abstract

It is very important to predict the landslide behaviour in prior to its occurrence, especially for the traffic safety. The authors measured the landslide movement and groundwater table variation in a landslide between Toyono and Mure on Shin-etsu line. The measured data show that after water tables in the landslide area keep high level during long period in snow melting or rainy season the distinct landslide movements occur.

1. まえがき

地すべりの予知が的確に行なわれると、地すべりによって惹きおこされる被害を最小限度に押えることができる。被害が起きたあと常に問題になるのは、いつ、どこで、どの程度の規模のものが生ずるかを明らかにできなかったかということである。地すべりは、長期間かかって斜面土塊が破壊していく現象である。力学的には、すべり面を構成するせん断面のせん断抵抗力の低下が影響する。これは、地質構造に基因する運動が関係し、一方、地下水位の上昇によって、有効応力の減少が生じせん断抵抗力が低下するという両面があって、かなり複雑な問題である。土質工学的には、地すべりの安定度を正しく評価することは現実には、土質常数 c, ϕ の評価が困難であるため、極めて難しい。特に、長期間にわたって、繰り返しすべり出すような斜面の安定の解析法は確立されていない。したがって、地すべりの発生を予知する技術によって災害を事前に防止することが非常に重要になってくる。

地すべり地を、地形的特徴から判定しておくことはある程度可能である。次に問題になるのが、いつ、どのような規模ですべるか（予知）することである。この問題は、移動の前兆現象を知り、且つ滑落時期を予知することである。前者の地形的な地すべりの予測は地すべりの持つ形態的特徴を空中写真判読や、地形図を用い、同時に現地調査を行ない、その地形的な特徴から、地すべり運動を把握する¹⁾。更に、地すべり新旧の問題

についても、滑落崖の状況、移動土塊の変形関係などからも判定が可能であるとされている。

通常の保守領域を越える地すべりの発生時期の予知の問題は、鉄道の場合、列車の運行の抑止時間を極力短くすることが必要であるため、発生時期を予測することが非常に重要な問題となる。

地すべりの前兆現象としてはいろいろな徴候が現われる²⁾。徴候が現われる時はすでに地すべりが発生していることになる。列車の抑止等の必要性を判断するためには、きめ細かな変状の観測が必要である。

地すべりの初期現象としては、一般的に、地表面の亀裂や、局部的な陥没や隆起が生じる。地すべり地内に構造物がある場合には、その構造物に変状が現われる。又、地すべり地内に鉄道線路がある場合には、線路の通り狂いとなって観測される。また、線路構造物である側溝や擁壁に亀裂や変状が現われるので明瞭に判断ができる。崩壊が近づくと、これらの変状は次第にその変状の速度を上げる。これらの現象を予知に結びつけるには、動き（変状の速度）を崩壊発生時期と如何に結びつけるかということにある。通常行なわれているのは、地表面の伸縮、亀裂の進行を経時的に伸縮計によって測定を行ない、そのデータから、崩壊時期を予知する方法である。この方法は、斉藤博士³⁾によって提唱され、幅広く利用されている。地すべり現象の場合の妥当性については、今後の実証的な裏付けが必要と思われる。

本文で扱っている降雨量と地下水位、移動量の間には密接な関係があると思われるので⁴⁾、これらを長期間にわたり観測することにより、地すべりの予知を行うことが可能である。

地すべりの予知に対しては、地すべり機構の解明^{5), 6)}、

* 前鉄道技術研究所地盤・防災研究室 現ビーエスコンクリート K. K

** 鉄道技術研究所地盤・防災研究室

*** 前鉄道技術研究所地盤・防災研究室 現金沢鉄道管理局工事課

がなされることが必要である。このためには、系統的な地すべり調査を行なって、形態毎に、必要な観測体制を整え、資料の蓄積を行うことが、予知技術の発展に欠かすことができない。

2. 信越本線豊野～牟礼間の地すべり

2.1 これまでの地形変動の経緯

信越本線豊野～牟礼間 129k300m 付近の地すべりは元禄6年(1693年)の日影用水開きにつづく秘話から推察すると、地すべりの発生は実に300年に達する。この間の記録に残る災害歴は表-1のごとくである。

表-1の主な災害記録をみても、大きく動く周期は、およそ5～10年のピッチとみられる。昭和30年には大規模な集水工事と、表面排水処理工事の結果、ほぼ安定したとみられていた。その後、昭和51年8月にかなりの規模の地すべりが発生したと思われる現象が現われた。この事実は、一時的に止まったかに見える移動もその工法によっては、その効果を喪失する時期があることを示している。

2.2 信越本線とのかかわりあい

昭和51年8月31日に発生した地すべり兆候としては129k200mと129k400mの2箇所。昭和9年、昭和27年の時と全く同じパターンで、線路の隆起、沈下の現象が発生した。129k200m 付近は隆起、129k400m 付近が沈下と動きは全く別の形態を示している。この動きをみる

写真-1 信越本線 129k300m 付近

と、129k200m 付近は地すべりの舌端部、すなわち、すべりの圧縮部に相当し、129k400m 付近はすべりの引張部ということになる。

2.3 地すべりの概要

地すべりは長野市街地の北東約12kmの千曲川支流の鳥居川の右岸に位置している。ここで、鳥居川は西北西～東南東に流下し、調査地の下流約3kmの上水内郡豊野町浅野でその流路はやや南に向けて千曲川に合流する。鳥居川の河岸沿いに現河床からの比高2～3mの低位段丘と、現河床からの比高10～15mの中位段丘が分布し、それらは主に水田に利用されている。鳥居川西岸の山地は標高500m～600mを頂点とする丘陵状山地地形を呈しており、山腹には、小さな谷が数多く存在する。

地すべり地の全景を写真-1に示す。地すべり地の頭部域の滑落崖は比高約30mを有し、地すべり地の両側面に良く連結し、地形図の上においても容易に異常地形であることが明瞭である。

地質は固結度の弱い凝灰質礫岩からなる第三紀鮮新世の猿丸砂岩、礫岩上部層を基盤とし、上位に火山砕屑物からなる第四紀更新世の飯縄凝灰角礫岩層が分布し、それからを被覆する未固結な地層として、中位段丘堆積物、低位段丘堆積物、崩積土層、崖錐堆積物および、現河床堆積物が分布している。猿丸砂岩礫岩上部層は固結度の低い凝灰質礫岩からなる直径5～20cmの亜円礫を多く含み基盤は凝灰質砂まじり粘土を主体とし、色調は、新鮮部では青緑灰色を呈し、風化部では褐灰色を呈す。風化部ではN値30～50程度を示すが、新鮮部ではほとんどN値は50以上である。崩積土層は、地すべり地内に広く分布する。ボーリングコアでみると断続的に基盤岩の組織が残存している部分と、その上位に存在する崖錐堆積様の部分がある。後者の層は地表から4.5～10.0mで、N値5～30程度で、

表-1 信越本線 129k300m 付近の主な災害記録

発生年度	災害の概要
弘化4年(1847)	大震発生に伴い左側山腹大崩落
明治4年	山頂付近が大鳴動とともに30m陥没
" 14年	山腹の地盤陥没、鳥居川を26m押出す
" 22年	信越線開通、日影用水を西側へ移す
" 39年	大雨のため地すべり発生(列車不通20日間)
大正4年6月	大雨のため日影用水氾濫(列車不通2時間)
" 9年3月	地すべりのため付近の構造物、のり面に大きなき裂発生
" 10年4月	鳥居川の増水のため聖牛流失
" 11年3月	線路にき裂発生、線路の沈下150mm
" 12年5月	土留石垣のき裂補修
" 13年6月	線路150mm沈下、構造物のき裂補修
" 14年3月	第3浅野用水拱に大きなき裂発生
昭和2年3月	線路約900mm沈下、川側へ300mm移動、日影用水崩壊
" 4年6月	大雨のため日影用水氾濫、のり面崩壊
" 5年3月	地盤変動のため、日影用水トンネル崩壊(列車不通80日間)
" 6年	浅野用水暗渠破壊
" 9年4月	線路沈下105mm、約200mm起点方で隆起55mm
" 10年4月	129k230m 付近のり面崩壊
" 13年7月	129k200m 付近 (列車不通12時間)
" 25年2月	129k200m 付近線路隆起77mm、同400mm 付近線路沈下43mm 移動175mm
" 26年7月	129k400m 付近線路移動川側へ203mm
" 27年3月	129k300m 付近線路隆起100mm、同400mm 付近線路沈下140mm
" 7月	129k560m 付近山腹(左側)土砂崩壊70m ³
" 31年2月	129k080m 付近 1500m ³ (列車不通3日間)
" 3月	129k200m 付近線路移動100mm(但し、30年3月からの累計) (信工局施工の排水設備工事完了)
" 51年8月	129k200m 付近線路隆起300mm、日影用水流路工及び通水トンネル変状 129k400m 付近線路沈下70mm、路盤に深層き裂3箇所

前者の層厚はその下位に 0~7.9m でN値は30以上である。

崩積土層のうち基盤岩の組織を全く有しない部分は、崖堆積物であるとも考えられるが、滑落崖の地形が新鮮であり、地すべり地外で厚く崖堆積物が堆積している傾向もみられないことから考えると、地すべり運動により移動したブロックの内、表層部に近い部分がより破碎され、より強く風化された結果であると考えられる。別の考え方としては、基盤岩の組織を断続的に残している部分と、崖堆積様を呈する部分とでは、すべり面が違い、下位のすべり面では、大きな移動は生じていないので、ブロック化があまり進行せずに基盤岩の組織が断続的に残存し、上位のすべり面ではかなり活発に移動を生じているのでブロック化が進行し、崖堆積様を呈しているものとも考えられる。

3. 地すべりの実態把握

地すべりの実態を把握するため移動観測と地下水の実態観察を行った。

3.1 地すべり計による地表移動の観測

地すべり計は坂田式の1ヵ月巻を使用した。当地すべり地では、当初クラックの発見された場所、および路盤の通り、高低の変状が現われた場所付近に重点的に設置した。

3.2 挿入式傾斜計による地中変動

使用した挿入式傾斜計は高精度の孔内傾斜計で、OYO-TERRA TECHNOLOGY CORP. 製である。従来の挿入式傾斜計に比し分解能 1/100mm と高精度であり、測定範囲も±23.5度と大きな容量を有している。

3.3 パイプひずみ計によるすべり面の観測

パイプひずみ計による測定の目的はすべり面の把握にある。ボーリング孔に深さ2mピッチにストレインゲージを貼りつけた内径40mmの塩化ビニールパイプを挿入し固定したものである。

3.4 地下水位

地下水位測定は降雨、融雪が地すべりに与える影響を知る上で重要で、すべて自記式の水圧計を用いた。融雪期、降雨期には、簡易水圧計（テスター使用）による人為水位観測のひん度を高め、観測精度の向上に努めた。

3.5 地下水の分布

地すべり地上部のボーリング孔を利用し

て追跡剤を投入し、地すべり地の下方において薬品検出を行なって地下水の分布状態を把握することに努めた。この方法の実施に当って特に注意しなければならないのは薬品汚染による公害問題である。追跡剤にはフローレンセンソーダを使用した。

3.6 地すべり崩土の透水性

回復法による現場透水試験を行なった。

3.7 流速分布

垂直ボーリング孔内の地下水の流入出を測定し、流量および流速分布からすべり面との関連と深さ方向の透水係数を把握するために2種類の試験を行なった。

第一の試験は孔内微流速計（OYO-SOCOSOR CORP. 製）を用いて平水位時と揚水（または注水）時について流速を測定すれば De Dupuit の式から透水係数を求めることも可能である。

第二の試験は、地下水検層器を使用して水の流動状況を調べた。

試験は電解物質として食塩を孔内に投入し、所定の時

図-1 信越本線 129k200m 付近地すべり平面図

間隔で測定を行なって経時変化曲線を作成することにより、地下水の流動分布が明確となり、すべり面との関連を知ることができる。以上の各観測位置を図-1に示す。

4. 観測記録

4.1 地すべりの動き

地すべりの全体の動きを図-2～図-6に示した。これは、孔内挿入式の傾斜計によるすべり面付近の合成移動量の動きと地下水位、降雨量、降積雪量と関係を経時的に表したものである。

この中で特筆できるのは、融雪あるいは降雨による影響で増減する地下水位とすべり面付近の移動量の間には関連性の強いことが明らかとなったことである。1～4月の間に斜面下方への動きが、5～7月の渇水期には逆方向に戻る動きのあることも判明した。挿入式傾斜計による地すべり面付近の動きの観察結果から、地すべりはいくつかのブロックにわかれていて、上方から下方に向けて動きが生じ、各ブロックのバランスは、上方からの土塊の重みを受けてくずれ、これが連鎖反動的に生ずるいわゆる前進性段階的地すべりであることも明らかになった。

又、地下水位の異常な上昇が（例えば、豪雪等の影響）、急激な地すべりに重大な影響を及ぼしていること

図-3 観測データの経時変化 (その2)

図-2 観測データの経時変化 (その1)

図-4 観測データの経時変化 (その3)

図-5 観測データの経時変化 (その4)

が明らかになった。

4.2 地下水の流動観察

使用した微流速計は、測定範囲が $2 \sim 200 \text{ cm/s}$ のものである。測定結果は、各孔とも自然水位状態および注水状態においても微流速計の最低測定限界の 2 cm/s 以下の流速であることがわかった。

孔内微流速測定実施後、No. A号孔にフローレンセンソーダを投入し、No. B号孔、No. C号孔、および水平水抜きボーリング孔等で定期的に採水し、各孔の蛍光光度を蛍光光度計で測定した。蛍光光度計の検出範囲は、 0.01 ppm 程度であり、いずれの測定値も検出限界の中に納まるものである。全体の傾向からみると、未だバックグラウンド内の値とみることができる。

一方、投入孔から最も至近距離にある No. B号孔で $l=119 \text{ m}$ 、最も遠い No. 1号孔で $l=213 \text{ m}$ (いずれ水平距離) であり、検出の結果から推定すると、地下水の流速は $2.03 \sim 3.62 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 以下であると推定されよう。3月1日の降雪が3月5日から融け出し、3月13日までの間に地下浸透を行なったと仮定すると地下浸透に約9日間を要したことになる。この地下浸透が最短距離である各水位測定孔直近から鉛直方向へ行なわれたとすると、深度5mまで9日間を要したことは $6.4 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ の流速となる。このことから当調査地の地盤の透水性は極めて低いものと考え得る一つデータとなりうる。

図-6 観測データの経時変化 (その5)

これとは別に No. A, B, C, BVW 5, 6号孔を用いて地盤の透水性を調べた。その結果当地区の地下水が滞留性のものであり、地下水の移動が非常に少ないか、ある時期に流動する程度と考えられる。

この地区の地下水の流動が、鉛直方向の如何なる深度で動いているのかを探るために地下水流動調査を行なった。地下水検層の結果は、いずれの孔も、水位の表面付近、 $2 \sim 4 \text{ m}$ の部分でのみ変動のあることが明らかになった。

5. 地すべりの考察

5.1 地すべりの移動速度と地下水位

先に、地下水位の異常な上昇(豪雪時の融雪期)に伴って、地すべりの移動速度も早まることを概括的に述べた。図-7・図-8に地すべり面付近の合成移動速度 (mm/d) と観測孔に最も近い水位孔の位置の地下水位 (m) との関係を表わした。移動速度は観測孔に定期的(活動期、1月～10月には週1回)に挿入した傾斜計による測定値をその測定間隔で除して平均値を求めた値である。なお、BVS 3号孔の値のうち昭和56年の1月以降と、BVS 2号孔の値のうち昭和55年1月～4月と5月～10月の測定値は地すべり面付近に固定された設置型傾斜計による連続記録値を1日当りに整理したものである。

BVS 1号孔とNo. A号孔は昭和57年の月1～4月に変

図-7 移動速度と水位 (その1)

動があった。No. A 号孔の地下水位は G. L-1m ~ -4m の範囲である。しかし、5月~10月の動きは地下水位が G. L-1m に接近してもけん著な動きはない。BVS 2 号孔と No. B 号孔はけん著な動きはみられない。No. B 号孔の地下水位の上昇も G. L-2m が最高水位である。BVS 4 号孔と BVW 6 号孔の関連をみると、BVW 6 号孔の地下水位は G. L-0.5m まで上昇するが BVS 4 号孔付近の動きはけん著でない。

BVS 3 号孔と BVW 5 号孔の関連をみてる。昭和56年1月~4月、地下水位が G. L-4m 位から徐々に移動が始まり、G. L-3m になると移動はけん著になって、最高の移動速度は 14mm/d を記録した。昭和53年にも地下水位が G. L-3m に上昇したが、この時には昭和56年の動きに比べて微かな動きに止っている。同じ年の5~10月には G. L-4m で移動が発生、最高で 3mm/d を記録した。しかし昭和56年の同期間には、地下水位が G. L-3m に上昇してもけん著な動きはみられなかった。昭和56年の1月~4月における、他の観測孔の動きは孔の傾斜がすすみ観測は不能であったので実態は不明である。以上のことから、当地区の地すべりは、地下水位が G. L-4m ~ -1m の範囲が移動を起こす注意域と考えて差支えない。

この付近の1月~4月は冬期の積雪の融雪の影響の出る時期である。そこで、移動の特徴的な昭和56年と、比較的变化のない昭和53年について、地下水位、水位の上昇速度、降積雪量、あるいは、冬期の異常な高温による融雪速度の移動に及ぼす影響について検討を加えてみる。図-9にすべり面付近の移動量と移動速度、地下水位、水位の上昇、下降速度、降雨量、降積雪量との関連

図-8 移動速度と水位 (その2)

図-9 昭和53年と昭和56年の比較

を示した。地下水位の最高位は昭和53年3月と昭和56年3月のいずれも G. L. -2.5m を記録している。様子の異なるのは昭和53年は11月から3月の間約5ヵ月、G. L. -6.2m から-2.5m に至るまで徐々に上昇しているのに対して、昭和56年は11月の下旬には既に G. L-4m, 12月末には G. L-3m にまで達しており、それ以降、3月末の大移動に至る間、ほぼ3ヵ月間、かなりの高水位を長時間持続していることが異なっている。このことは、昭和53年と昭和56年の1月~3月の間の積雪量をみると、この間の全体の雪の量が大幅に異なり、必然的に融雪により滲透する水の量の総量も大幅に異なることと

図-10 積雪深と積算温度

関係が深いと思われる。

一方、地下水位の上昇速度は、ピーク値はむしろ昭和53年の方が大きい。しかし、昭和56年は上昇速度の高い山がいくつかみられる。又、融雪に影響のあると思われる積雪深と積算温度（0℃以上の日平均気温を1月～4月にわたり累計したもの）の関係を表わしたのが図-10である。昭和53年と比較して昭和56年が特に積算温度が大きいとはいえない。

以上の検討の結果、移動に関する高位の地下水位の持続時間が重大な関係をもつと思われる。この持続時間は、流下する水量に匹敵する流量が供給されることが必要で言い換えれば、長雨（梅雨時）とか、長期間の降雪による融雪水がその供給源と考えられる。すなわち、単純に地下水位の上昇のみでなく、時間の要素を加味した予知法を考えることが必要と思われる。このことは、高水位が持続する地域で、ほぼ一定量の地すべりをおこしている事実と良く符号する。

5.2 地すべり発生の周期性

地すべりの動態を観察すると当地区の動きは、いくつかのブロックに分かれて動いており、上方から下方に向かって動くことにより、上方の土塊の重みを受けて、下方ブロックの安定性がくずれ、下方のブロックが滑動をおこす、いわゆる前進性段階的^{8),9)}な地すべりであることは既に述べた。一度、大きく滑動をし、安定した地すべりが、同一規模の再滑動をするためには、滑動のエネルギーを十分に蓄積しなければならない。このエネルギーは、年々くり返えられる融雪、降雨の影響による微動現象が、力学的にバランスをくずす方向に向い、大規模な移動の源泉になっているものと思われる。

6. 地すべりの地下水位による発生の予知手法

地すべりの発生を地下水位によって予知をすることが可能と思われる代表的な例として、信越本線、豊野～牟

礼間の地すべりを挙げた。地すべりの総移動量は、昭和52年11月から昭和55年2月の28ヶ月間に2.5～3.0cmと極めて少ない移動量である。昭和52年11月から昭和55年2月の間に線路から上部の斜面で移動が見られるが、線路への影響はなかった。従って、線路に影響の現われる、地すべりの予知の適切な方法を見出すことが重要である。

線路に著しく影響の現われたのは昭和56年1月～4月の間で、BVW5号孔の水位はG.L-4m～-2mの範囲にあった。同様な地下水位の範囲で他の年次がどうであったかを検討してみる。昭和53年の1月～4月、5月～10月、昭和56年の5月～10月にはほぼ3mm/dの移動があった。G.L-4m以深の地下水位

の場合には、昭和53年から昭和58年のいずれの時期にも移動はない。このことからBVW5号孔における警戒水位はG.L-4m～-2mとなる。昭和56年3月20日前後（線路に水平移動と隆起が見られた）の移動の約10日前頃から、測定している地下水位孔のいずれもが、急上昇を始め、すべりの発生した日の前後に、観測を始めた昭和53年以後の最高水位を示した。この時期には測定各水位孔の水位が一樣に上昇している。このことは、局地的に水位が上昇することはあっても、大きな、全体的なすべりに発展することはないと思われる。その後の昭和57年～58年の融雪時期の、地下水位の上昇と移動の関係をみても、この条件に合致するケースは見当たらない。

従って地下水位による地すべりの予知は、局地的な地下水位の上昇を把握するのではなく、全体的に同じタイミングで水位が上昇したり長い期間高い水位を持続する条件を見出すことが必要であると思われる。又、その水位レベルは、地すべりを発生する時期によっても、異なると思われるので、長期にわたる観測の記録から、水位の或る範囲で予想することになろう。

7. 地すべり発生機構及び発生の予知

当地区の地すべりは、その範囲が広範にわたっており、又、地形から判断すると、全体が一樣にすべっているとは限らず数ブロックに分かれ、互いにその方向も一定せず干渉しながら動いていることが判る。

地すべり機構の解析に当っては、観測孔を連ねた一断面を指定して、その断面について、地形、地質、地下水位、すべり面位置等の観測データを用いて地すべり発生機構の解析を行なった。

計算に必要なすべり面の両端の円弧の範囲及び中間円弧の半径の値は、想定すべり面の安全率が最小になるように設定した。又、地層はボーリングコアより崩土、不確定層、不動層の三層に区分し、土質定数は、崩土は粘

図-11 縦断略図

着力 $c=20\text{kN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi=20^\circ$ と設定した。なお不確定層については、すべり面が存在するため、昭和56年3月末の移動時の水位における各想定すべり面の安全率が1であると仮定し、不確定層の粘着力、内部摩擦角を可変パラメーターとして、各ケースの安全率が1となるようにトライアルを行ない、 $c\sim\phi$ 関係図を作成して求めた。

安定計算の結果、すべり面の形状は図-11に示す形状となり、想定すべり面の安全率の大小から斜面下端部にあたるケース1が最もすべりやすいことが判った。

次に、地下水位変化に対する安全率の検討を行なってみると、計算に必要な諸数値は、昭和56年3月の基本水位におけるすべりの最小安全率の根拠となっている値を用いて、昭和57年2月と昭和58年3月の地下水位における安全率の検討を行なった。

計算結果は表-2、表-3に示すとおりで、地下水位低下に伴う安全率の向上が確認できる。このことは、図-4、図-5に示す昭和57年、昭和58年の融雪期の動きが鈍化していることから立証できる。なお、表-2、表-3中の c, ϕ は不確定層の値を示す。

更に、昭和59年4月の地下水位において、すべり面粘土をリングせん断試験によって求めた残留強度の c と ϕ を用いて、同様なすべり面における安全率を計算すると表-4のごとくなる。又、安全率の比較として、昭和56年3月の安全率を1とした場合の比率を同表に追記した。

一方、昭和56年の融雪期と昭和59年の融雪期の観測結果からも地下水位が長期にわたって高水位を維持しており、昭和56年の融雪期の傾斜計による測定では急激に地

表-2 S57.2の水位に対する安全率(S56.3を $F_s:1$)

ケース	$c(\text{KN/m}^2)$	$\phi(^{\circ})$	F_s
1	10	15.9	1.053
2	10	10.7	1.094
3	10	12.4	1.220
5	10	14.75	1.170

表-3 S58.3の水位に対する安全率(S56.3を $F_s:1$)

ケース	$c(\text{KN/m}^2)$	$\phi(^{\circ})$	F_s
1	10	15.9	1.045
2	10	10.7	1.154
3	10	12.4	1.312
5	10	14.75	1.226

表-4 S59.4の水位に対する安全率
(c, ϕ はリングせん断試験による)

ケース	$c(\text{KN/m}^2)$	$\phi(^{\circ})$	F_s	安全率の比*
1	9	12.6	0.858	1.05
2	9	12.6	1.266	1.18
3	9	12.6	1.308	1.32
5	9	12.6	1.577	1.25

*56年の安全率を1とする。

すべり速度が上昇しているが、昭和59年の融雪期では、地下水位、地すべり速度とも微動に推移しており、移動についてのシミュレーションの結果が実態に近い結果を示しているものと考えられる。

以上の検討の結果、地すべりの発生機構は、降雨あるいは融雪等による地下水位の上昇に伴う長期的な間げき水圧の増大によって、有効応力が低下することが地すべり発生の主要因であることが立証できた。

又、地下水位と地すべり速度との関係を見た場合、排水工法等により地下水位の低下を図ることによって、地

すべり速度の抑制が可能となり、地下水位及び地すべり移動速度を時系列的に観測することによって、地すべり発生の予知を行なうことが可能であると思われる。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：土木建造物の取替標準に関する研究報告書，1974.3.
- 2) 森野亮宏；斜面崩壊などの徴候が現われた場合の応急対策と調査，基礎工 Vol.11, No.19, 1983.8
- 3) 斉藤迪孝；斜面崩壊発生時期の予知に関する研究，鉄道技術研究所報告，No.626, 1982.2
- 4) 谷口敏雄；地下水位の地すべり移動速度に及ぼす影響について，1957.6
- 5) G. Ter-Stepanian 大八木訳；第二回地すべりと対策に関する国際研究討論会，土のレオロジー特性と地すべりの挙動との対比，地すべり学会，1977.7
- 6) 森野亮宏，他；地すべりの変動形態とその対策，主として信越線豊野～牟礼間の地すべり，鉄道技術研究所報告 No.1151, 1980.8.
- 7) N.N. マスロフ，大草訳；地すべり工学，森北出版，1980.11.
- 8) 土質工学会北陸支部；George Ter-Stepanian, Analysis of involved Cases of Landslides, 国際地すべり特別講演会，1977.7.
- 9) 森野亮宏，草野国重；地すべり滑動の一形態，第14回土質工学研究発表会，1979.

(原稿受理日 昭和60年3月19日)