

地すべりと地下水(メモ)
—氷河の流動をヒントに—

2018.5

〈地すべり粘土層内の間隙水圧について…素朴な疑問〉

〈地すべり滑動に関与する地下水について…現場観察より〉

〈地すべりはなぜ動くか〉

〈地下水流動と地すべり面の形成について〉

〈地すべりを誘発する外力としての地下水について〉

〈地すべり粘土の分布形態〉

〈地すべりを誘発する地下水の形態〉

〈安定解析について〉

〈水位観測孔について〉

(地下水排除工について)

〈ついでに, 納得のいかないことについて〉

〈地すべり粘土層内の間隙水圧について…素朴な疑問〉



写真1 裂ヶ水…ずいぶん地下水検層をやってきたが、実態としてはこのようなものを検出していたのかも

間隙水とは“堆積物中の土粒子間を満たしている水”と定義されています。地すべり対策において“間隙水圧”が常套句のようになっていますが、氷河（南米パタゴニア）を視察して感じたことを書いてみました。

- ① “地すべり粘土付近に地下水はない”という話があり、文献でもそれを裏付けるような資料（スケッチ図等）が多い。自らも、いくつか集水性を掘削（管理）したが、同様である。
- ② 文献等によれば、集水性等で確認された地すべり粘土はある厚さを有すゾーン的なものであり、その中に断続的なせん断面が形成されている。地すべり面の透水係数の実測例として $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm/s}$ （テストピット：移動層が開放された状態）があり、実質“難透水層”である。
- ③ webに掲載されている写真（露頭、集水井内）等でも、一部“濡れた”あるいは“浸み出す”ようなものがあるが、大半が“湿気”程度の含水状態に見受けられる。あるいは、摩擦熱で“焼けた”ような印象を受ける。
- ④ 写真2は蛇紋岩の節理面に介在する粘土層である。現時点では“地すべり粘土”ではないが、水が容易に通るような状態にはない。降雨時に“節理面を伝う裂ヶ水により粘土層内の間隙水圧が短時間に一様に上昇し…”というようなことは想像し難い。論文には“飽和状態の場合、音速で伝わる”といったものがあるが…。

一方で、水を多く含んでおり、岩塊がそのまま沈下した場合、“過剰間隙水圧が発生する”といったイメージは受ける。地すべりに関与するとすれば、後者のケースと思われる。



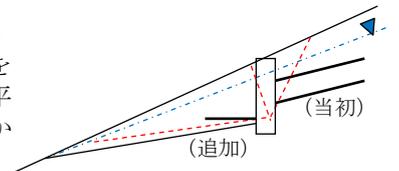
写真2 節理面に介在する粘土層（蛇紋岩）

〈地すべり滑動に関与する地下水について・・・現場観察より〉

- ⑤ 想定すべり面に近くなるほど、有圧水が増大し、集水性の掘削が困難となったことがある（地すべり冠頭部の側壁付近）。
- ⑥ すべり面付近に連続する地下水排除（集水井）により、地内や末端付近の湧水（池等）が枯渇したことがある。
- ⑦ 岩盤地すべりが豪雨時に大きく滑動した直後、調査孔内の水（全孔）がすべり面以下に消滅したことがある。
- ⑧ 揚水試験時の地下水検層により、地すべり地内の調査孔に面的なつながりが確認されたという報告がある。
- ⑨ 一般に地すべり末端部に湧水が観察されることがあり、地下水がすべり面（破断面）を伝っている可能性は高い。ただし、全面的に湧水するケースはないことから、パイプ（空洞状の地下水経路）状のものと思われる。
- ⑩ 地すべり側壁部（末端付近）での崩壊などから、同破断面沿いの地下水も確実に存在する。

- ⑪ A 岩盤地すべり（板状。地すべり幅 1km, 斜面長 0.8km, 最大層厚 140m-平均 40m）の水位観測（移動斜面下部の側壁に近い位置、10 年以上の通年観測）では、降雨（地下水）と連動した地すべり変動が認められる。
- ⑫ ただし、同地すべりでは、冠頭部陥没帯内の地下水排除（集水井、排水トンネル）では、多量の排水と工事効果（地すべり変動の抑制）が認められるが、移動層本体内部での排水量は少なく工事効果もほとんど認められない。
- ⑬ B 岩盤地すべり（A 地すべりに準じた規模）の地下水排除工効果判定業務（10 年以上の通年観測）において、徐々に地下水位が回復すると共に、地盤傾斜計の変動が大きくなる現象が認められた。いつ、どのような事態を招くかなどは指摘できなかったが、5~6 年以上経ってから大崩落を起こした（マスコミ報道で知る）。
- ⑭ 地すべりの講義において、北松型すべりの地下には例外なく炭坑があると聞いたことがある。岩盤掘削（たぬき堀）により上位地盤に歪みをもたらし、“キレツの誘発→地下水の侵入→凝灰岩層等特定層の脆弱化→地すべりの発生”といった内容であったように思う。

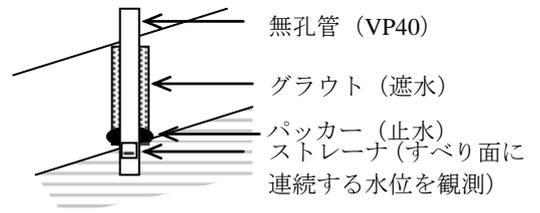
- ⑮ C 岩盤地すべり（板状。初生地すべり、幅 150m, 斜面長 100m, 最大層厚 30m 程度）において、冠頭部キレツより上部斜面内に層状の優勢な裂ヶ水帯が確認され、供給源を絶つ目的で右図のように集水ボーリングを密に打設した。多量の地下水排除とともに平常時水位が大きく低下したが、まとまった降雨時の水位上昇を抑制することはできなかった。そのため、安易な考えのもと、集水井下流側にも追加ボーリングを打設した。



“安易”とは、集水井下流側で確認された地下水流動（有圧水）はすべり面付近（層厚 1m 前後の泥岩層）のみであり、しかも“すべり面に連続する地下水を排除する”という鉄則？に反する層準（砂岩層）に打設したからである。

結果的に、集水井内から幅広く全円状（面的）に集水ボーリングを打設した形となり、動水勾配の関係から、当該斜面全体の水位が大きく低下した。このことから、“すべり面の地下水はキレツを介して立体的につながっていること、初生地すべりでは冠頭部付近を境に、移動土塊側で相対的に透水性が悪く、揚圧力等を受けやすい”といった印象を受ける。後者については、上記⑫の例にも沿う。

- ⑯ D 岩盤地すべりにおいて、すべり面付近の間隙水圧を測定するための専用孔を右図のように設置した。しかし、グラウト（セメントミルク）が孔底までまわりこみ、失敗した。



このことから、地すべり移動層は“良透水層”をなし、すべり面に至るまで“地下水制限床などないのでは？”と実感した。

ちなみに、年間 10m 程度の滑動があったとされる上記 A 岩盤地すべり（すべり面傾斜 2~3°）は、その上空写真において、デコレーションケーキを 1m 程度の高さから落下させたような“グシャッと壊れた”状態をなす。

したがって、すべり面に至るまで面的に広がる不透水層（地下水制限床）など形成されるはずがない。むしろ、上記⑫に示したように、“壊れた移動土塊”内の地下水は相対的に劣勢であり、全体として地すべり頭部陥没帯の地下水に対する“堰”のような状態がイメージされる。

※杭工施工後、地内の地下水を堰上げる現象があり、場合によっては再滑動（杭工の倒壊）を招く。

- ⑰ E 岩盤地すべり（A 地すべりと同等規模）も、冠頭部付近は氷河のクレパス（写真 3）に似た変状を示し、面的な地下水制限床の形成はあり得ない。・・・地元民は“山に登った犬が帰ってこなくなる”ほど危険な場所と認識している。



写真 3 ペリト・モレノ氷河（アルゼンチン）

- ⑱ “すべり面に働く間隙水圧”を測定するための議論がなされているが、そこには、常に面的に広がる地下水制限床の概念を前提としている。しかし、初生地すべりならいざ知らず、大きく滑動した地すべり土塊内でそのような環境があり得るだろうか。実際には写真 1 に示したような裂ヶ水の立体的なつながりであり、制限床を伴う地層水のような概念を採り入れるのは、基本的に間違いのように思われる。

結論として、“地すべり滑動に関与する地下水”とは、すべり面のみを流下するのではなく、多様なキレツを介して連動する有圧～不圧状態のものであり、基本的に“移動土塊に対する静水圧や揚圧力”として取り扱うべきと考えられる。あるいは、後述するような、二次的にすべり面に閉じ込められるもの（封圧水とする）が想定される。

当然ながら、地震等により移動層が大きく変位することで、これらの賦存形態も変化し、複雑きわまりない状態（観測等で把握できない／まともな安定解析ができない）が想定される。さらに、後述するように、すべり面を形成する粘土層も一様に分布しないことが想定され、こうしたことが“地すべりがなぜ動くか分からない・・・”といったことにつながるのではなからうか・・・

※氷河のすべりについて（写真4）

- 氷河には多様な破断面が形成され、細ブロック化した状態で全体がおよそ一様に流動している（幅数キロメートル、延長数十キロメートル）。その外力として地下水が考えられるが、それは氷河全体に一様に働くのではなく、ブロック化した個々の氷河に対して異なる条件（環境）で作用し、それらの総和として全体の流動化を招いているように思われる。
地すべりもこのような状態が想定され、特定の地下水層やすべり面粘土（強度）を想定するのは無理があるのでは…
- コア観察で想定すべり面より高角度の粘土層を介在することがあり、頭をひねったことがあるが、氷河のような移動層内の破断面であった可能性がある。歪計における複数層準の変動も同様であろう。
- 地すべりでは深層部以外に表層すべりを伴う場合があり、深層すべりに対する“頑丈なせん断杭”が、規模の小さな表層すべりにより大きく傾くことがある（曲げ）。
“すべり面は、二つはない”とお叱りを受けたことがあるが、“物”が壊れるのに決まりはないのでは…。 “断層がなぜ同じところでしか動かないのか、新たな断層はなぜ発生しないのか”，専門家に聞いても返答がなかった…



写真4 ビエドマ氷河（アルゼンチン）先端部：階段状に細ブロック化し、多様な破断面を形成

〈地すべりはなぜ動くか〉

- ① 数十年前、著名な先生の講義を受けた際、いきなり“地すべりがなぜ動くか分からない”と発言され、衝撃を受けたことがある。それまでは“間隙水圧云々…”と分かったつもりでいたが、“赤面”する思いであった。
同じ頃、自らが設定した主断面（斜面最大傾斜方向）を、F岩盤地すべり（斜面長 50～60m、幅 30～40m、層厚 5～10m）が横切するという事件があり、クライアントから“地すべりは動いてみなければ分からない”と慰めていただいたこともある。…この時痛感したのは“地すべりは地質構造に支配される”ということである。
- ② 一般的な地すべりは、移動層頭部への盛土や移動層末端部での切土時、豪雨時、地震時等に発生することが多い。その仕組みとして、
 - ・盛土：接線力の増大による不安定化
 - ・切土：切土による地山の緩みが順次後方斜面に伝搬し、すべりを誘発。写真4のような延長数十キロに渡る氷河が流動するのも、主にこのような仕組みと考えられる。写真5は岩盤崩落の例であり、岩塊末端部より破断面が形成されていることが分かる。
ちなみに高速道路調査会による地すべりの発生事例によれば、盛土より切土が圧倒的に多い。
 - ・豪雨時：降雨の浸透で土塊重量が増し、接線力と法線力のバランスが崩れることで滑動。あるいは浸透水圧や揚圧力、または滑材などとして関与。
 - ・地震時：地震により移動土塊が大きく変位する場合、その底面に地下水が回り込み、“封圧水の発生→せん断抵抗の消滅→流動化”といったことが考えられる。すべり面に飽和状態の粘土層があれば、過剰間隙水圧が発生する。
大分県耶馬溪の地すべり（尾根斜面）は無降雨時に発生（2018.4.11. AM3:40）したことで話題になっている。地元民によれば、その2～3日前に、普段見ない湧水やミミズの出現が確認されている。これと関連する現象として、地すべり発生の日前に震度1～2の地震（2018.4.9.AM1:32. 震源地：島根県大田市、震度5強）を記録している。当該地すべりは尾根斜面に位置しており、熊本地震で相当なダメージを受けていた土塊のバランスが崩れ、封圧水や過剰間隙水圧をもたらした可能性がある。



写真5 岩盤崩落
すべり面下部半分程度が変色しており、末端部から徐々に破断面が形成されていたことが分かる（島根県出雲市）。

〈地下水流動と地すべり面の形成について〉

かつて、第三紀層内の地下水検層において、多くの場合、砂岩より粒子の小さい泥岩層内で地下水流動（有圧水）が検出されることに違和感があった。文献では“泥岩の方が空隙率が高く、透水係数は低い”とされており、“スレーキング”が関与しているように思われる。すなわち、泥岩等のスレーキングを起こしやすい地層（軟岩）で地すべりが発生しやすい仕組みとして「地殻変動等により地層にキレツ発生／キレツ拡大→地下水の侵入→特定層での地下水による浸食→徐々に裂ヶ水帯を形成→揚圧力の高まり→地すべりの発生→地すべり粘土の形成」・・・（第三紀層すべり）

これに対して、付加体や深成岩などは長期的に地殻変動の影響を受けており、すでに、すべり面となりうる破断面（規制条件）が形成されている（破砕帯地すべり）。火山岩類はそうした影響がほとんどなく、岩体内部での地すべりは発生し難いが、変朽安山岩など特殊地盤で発生（温泉地すべり）。・・・小出博士の分類に沿う

※地すべり面が形成されても、その面に地下水が連続するとは限らない。例えば、地すべり斜面内において、頭部付近を横断する断層（地下水供給原）があり、この付近の調査孔（全5孔）ではすべり面付近に地下水流動が認められるが、これより下部斜面の観測孔（全6孔）では認められないという報告がある。

〈地すべりを誘発する外力としての地下水について〉

地すべり踏査において、冠頭部キレツは確認できるが、側壁や末端が不明なものが大半である。このことは地すべりを誘発する外力が冠頭部付近に集中することを示す。地すべり移動層が、あらかじめ断層等の断裂で縁切りされた状態にあるとすれば、その外力として“断断面に作用する静水圧”や、これを介して伝わるすべり面への揚圧力と考えるのが最も妥当である。

ちなみに、キレツ分布形態において、冠頭部および末端部は明瞭であるが、側壁部が不明なものもたまにある。これは移動層中央部の流動が側方部より顕著な場合であり、集水井が移動方向に長く伸びる例などがある。例えば、側壁部の移動層厚が薄い場合は、相対的に側方部の移動が小さい（地表キレツとして現れにくい）。あるいは側壁部を規制する不連続面がない／未発達の場合などが想定される。

末端現象等は明瞭であるが、冠頭部や側壁部が不明（／不明瞭）なものも3件ほど記憶がある。そのうち、二つは尾根を越えた位置に冠頭部を形成するもので、立木の傾きが線状に並ぶこと（異常天然現象）で認識される。他は溪流沿いのもの（堰堤が破壊）であり、冠頭部も側壁部も不明である。これらは、移動層の側方（断層等）から外力（地下水）が作用し、全体として退行性すべりの形態をなすものと推定される。

〈地すべり粘土の分布形態〉

地すべり粘土は、層厚の薄い地すべりであれば、末端付近に極軟状の粘土層（灰白色、数cm厚）を目にすることがある。層厚の厚い地すべりでは、すべり面深度が既知の場合、ボーリングコアで採取することができる。一般には、調査段階におけるすべり面深度は不明であり、固い層に挟まれた薄い弱層を採取することは困難である。

一方、webでは以下のような記載があり、地すべり粘土は、氷河のすべり（写真7）と同様、必ずしも面的（一様）に分布しないようである。

○すべり面付近の地質の違いにより、地すべり粘土を形成する領域と、粘土層のない礫状領域があるという報告。

○テストピットによる浅い地すべりについて、“地すべり粘土はミシンホールのように断片的につながっている”という報告

○すべり面の観察などから、“すべり面構造は不連続かつ不均質である”という報告

ところで、前述した地すべり面深度が明瞭なA岩盤すべり（板状すべり）の“すべり面等高線図”は単斜面でなく、起伏を伴う形態をなす。主断面上でのすべり面傾斜は2~3°と緩いが、複雑な地表キレツはこれを反映するものと思われる。起伏を伴うことで、移動層と基盤面との接地圧にバラツキが生ずることが考えられる。そのため、地すべり粘土を形成し難い領域が発生し、その領域でのボーリング調査や集水井では、すべり面の認知も困難となる。

※写真7は氷河の流下跡であり、地すべり面のような“擦痕”や粘土薄層が認められる（相対的に中央部の流れが速い）。当氷河の後退は概略“50m/年”であり、写真の氷河すべり粘土が露頭化したのは数十年以内と思われる。その粘土は面的に一様に付着しておらず（縞状をなす）、上記に示した地すべり面粘土の実態と整合する。さらに、すべり面において地下水の流れやすいところ（粘土層がなく空隙を形成＝揚圧力が発生しやすい）と、流れにくいところ（すべり面粘土層の形成＝外力としての水圧が働き難い）の存在が示唆される。



写真6 ビエドマ氷河：かつて1000m程度の厚さがあったが、現在は、氷河湖（深さ300~400m）の湖面より上60m、下140m（計200m）。かつては、立っている位置（湖面より数十メートル高い）を乗り越えて流下。



写真7 同左、氷河のすべり面跡（擦痕：花崗岩）表面の汚れは1mm程度厚の粘土層（現在は乾燥状態）。氷河湖の濁りが絶えないのは、氷河底面に介在する当粘土層の溶出による。

現場例として、写真 8 は幅 20m, 斜面長 20m, 層厚 3~5m 程度の古い地すべり末端部状況である。その側面には、すべり面(破断面)と判断される開口 3~5cm の空隙(局部的)と、わずかな湧水が認められるが“地すべり粘土”といったものはない(あるいは浸食された可能性がある)。



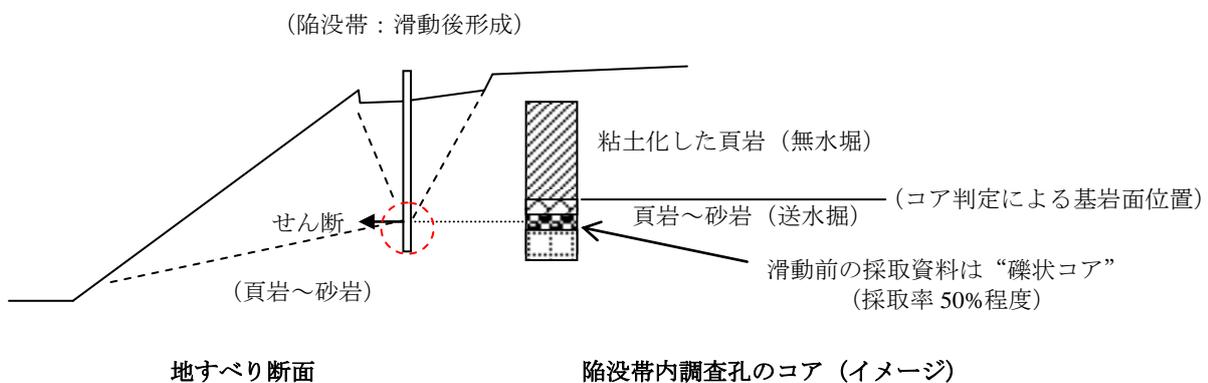
写真 8 地すべり面(末端部崩壊地内)

集水井掘削においても、地すべり粘土は元より、“すべり面自体”が明瞭に確認される訳ではなく、前述した C,D,F 岩盤地すべりもその例である。当然、すべり面の想定に誤りのあるもの等が考えられるが、上記写真 8 のような状態であれば、見逃している(判断がつかなかった)可能性がある。

次図は上記⑩に示した、丘陵斜面を横切った F 岩盤地すべりの例である。当初は“丘陵肩部が徐々に沈下する”ということで、単なる“造成盛土のすべり”と予想していたが、梅雨末期の記録的豪雨により大きく滑動した(岩盤すべり:幅 30~40m, 斜面長 50~60m, 層厚 5~10m)。

踏査段階で、斜面中腹の等高線沿いに古い崩壊跡が連っており、当該地すべりと無関係と考えていたが、結果的にこれに沿って滑動(側壁部)した。したがって、かなり古い時期から微少な滑動を生じていたものと判断されるが、冠頭部陥没帯は新たに形成されたものであり、“初生すべり”に近いものと思われる。

既設調査孔がせん断されことにより、測棒ですべり面深度を確認することができた。当該深度のコアは“礫状”(固い岩盤面から 1m 程度下位)であり、当初は単なる風化帯と判断した層準である(ボーリングオペが、多少の異常に気付いていた可能性はある)。



移動土塊中央に集水井を掘削したが、担当者からは“すべり面粘土らしきものはなかった”と聞いた。確認できなかった要因として

- ⑦ たまたま、集水井掘削地点のみなかった。
 - ⑧ 明瞭なすべり面粘土を形成しない地すべりであった。
 - ⑨ 見落とした。
- 初生地すべりに近いものと考えられることから、上記⑧の可能性が高い。⑨はすべり面深度が明瞭であり、その可能性は低い。

※ボーリングコアによるすべり面の判定: $\phi 3.5m$ の集水井に比べ、針の穴のようなボーリングコア ($\phi 6.5cm$) で判定するのがいかに難しいか……。

※地すべり周期説: 上記 F 岩盤地すべりでは滑動直後に孔内水が消滅しているが、この状態で放置した場合、すべり面(破断面)での自然排水が目詰まりすることが想定される。前述の⑬に示した B 岩盤すべりでの水位回復(ボーリング暗渠による排水機能低下)がこれに相当し、目詰まりによる水位上昇(再滑動)に要する期間が周期的と見なされる。

※裂ヶ水について: 研究報告によれば、写真 8 等に見る裂ヶ水は面的に流下するのではなく、基本的にパイプ流の状態と考えられており、現場実態(湧水状態)としてもそのように見受けられる。

坑道において“水圧で岩盤が裂ける”といったようなことを聞いたことがあるが、揚圧力の増大とキレツ等の拡大が相まって、地すべりを誘発するものと考えられる。

〈地すべりを誘発する地下水の形態〉

1. 浸透水の場合

前述したように、移動層が浸透水を含むことで重量を増し、接線力と法線力の関係で安全率低下を招く可能性は高い。

単純な試算では、“移動層厚が薄いほど、内部摩擦角が小さいほど、すべり面傾斜が急なほど”不安定化しやすい。

写真9は豪雨災害時に発生した地すべりの断面であり、すべり面らしき粘土層も湧水もない。内部に揚圧力が働いていないとすれば、移動層の重量変化による可能性が高い。

※渡博士によれば、“滑動後の土塊は攪乱により地表水が浸透しやすく、したがって地すべりが変動しやすくなる”としている。

2. 間隙水圧の場合

現場実態として、“すべり面に働く間隙水圧”といった現象は、基本的にないように思われる。すなわち、

①岩盤すべり（初生地すべり）の地すべり粘土は、母岩から形成されたものであり、その後の滑動により十分圧密され、地下水が容易に浸透する環境にはない。

②古い地すべりでも、移動層は風化岩の様相をなすものが大半で、いわゆる“崩積土”地すべりといったものはあまり記憶にない。

写真9はその一例であり、地すべり移動層は“崩積土”より“密”であり、自由地下水帯を形成する可能性は低い。

③逆に、崖錐（崩積土）のようにルーズな状態であれば、地下水は自然排水され、地すべりを誘発するような間隙水圧を生じにくい。

④写真10, 11は、花崗岩内に発生した板状地すべり末端部におけるすべり面（破断面、層厚5～10cm）である。“風化岩”の状態（密）であり、間隙水圧が働く様相にはない。

その代わりに、破断層内には径1cm程度のパイプ（地下水流路）が認められ、移動層に揚圧力をもたらすことはできる。

3. 浸透水圧の場合

崩積土でも“パイプ”が観察されることから、ルーズな砂層のような状態以外では、基本的に発生しないように思われる。

※文献でも“パイプ”を基本とした考え方がなされている・・・

4. 揚圧力の場合

①前述した写真8や写真11のように、すべり面には空洞が形成され、揚圧力が短時間で容易に発生する状態にある。

②写真12は、しばしば見られる崩壊地内頭部の地下水の噴出孔（パイプ）である。1箇所からの噴出で幅10m程度の崩壊をもたらしており、その力は大きい。

③写真13は氷河底面に形成されたトンネル状の空洞（巨大なパイプ）であり、最近では同様のものが氷河中層部にも確認されている。これらが、クレパスを通した縦穴（ムーラン）などと立体的につながり、氷河の流動を助長する役割（地下水供給）をなすことが考えられる。

※シラス斜面でも同規模のパイプと、これに伴う崩壊が確認されている。

※写真13の状態では氷河は流動しており（移動層準は不明）、揚圧力等が働いているとした場合、移動層全体に一樣に働くわけではないことが示唆される。

※チューブで見える“氷河のすべり（氷河底面にて直接観察）”では、滑動状態のすべり面に、目視できるような地下水はない。

※前述したように、地すべり移動層が“地下水堰”のような状態をなす例（⑤の項）や、地すべり中腹から下部斜面ではすべり面に連続する地下水がない状態が確認された例（〈地下水流動と地すべり面の形成について〉の項）などから、揚圧力等は地下水供給源を中心に作用し、必ずしも移動層全体に一樣に作用するものではないことが分かる。

さらに、その発生領域は地すべりの滑動（/休止）状態によって常に変化することが考えられる。



写真9 地すべり断面（豪雨災害時に発生）



写真10 末端部すべり面（花崗岩）



写真11 同上、拡大



写真12 崩壊地頭部の地下水噴出孔
パイプから流入した地下水が何らかの形で盛土内に形成された不連続面に浸透し、面的な水圧をもたらした？





写真 13 氷河底面のトンネル状空洞
 …雪氷学博物館展示資料（アルゼンチン-カラファテ）

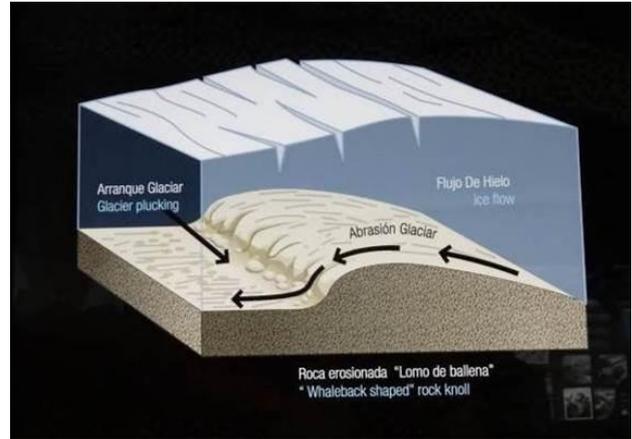


写真 14 氷河の流動断面
 …雪氷学博物館展示資料

5. 封圧水の場合

氷河底面では圧力により氷が溶けるとされている。これに伴い氷河は局部的に沈下し、写真 4 に示した細ブロック化した氷河を形成する。その際、氷河底面を流下する地下水を“封圧”することでせん断抵抗を失い、全体として凸状斜面を越えるような（写真 6, 14）大きな推進力を確保するものと思われる。

地すべり土塊も細ブロック化することで、このような状態となる可能性がある。具体例として、前述した A 岩盤地すべり (⑩, ⑪項) では、観測孔の水位上昇に伴い滑動を開始するが、水位低下後も 1 ヶ月程度これを持続する（移動量は指数曲線的に減少：伸縮計観測より）。その仕組みとして、

①細ブロック化した岩盤の変位と同時に、一部の岩盤底面（すべり面）に地下水が流入（封圧水の発生）

②移動層全体の平均的せん断抵抗が減少することで、その滑動を助長

③その後 1 ヶ月程度を要して封圧水が消散。移動層全体の平均的せん断抵抗を確保することで地すべりの停止に至る。

無降雨時の地すべり発生も、その数日前に地震を記録した例が報告されており、移動土塊の変位とともに、その底面での“封圧水”をもたらした可能性が考えられる。

〈安定解析について〉

上記のように、地すべり滑動の要因となる揚圧力が面的かつ均等に作用せず、さらに、これに加えて封圧水が関与するような状態とすれば、斜面の安定解析はおよそ不可能である。

地すべり対策はこうした曖昧さを踏まえた対応が必要であり、“厳密解”よりも、とりあえず“簡便法”とこれに基づく“経験的目標安全率”を用いることが適当のように思える。

※封圧水の発生場所（領域）やその水圧を測ることも不可能？

※地すべり粘土が均一に分布しない可能性があることから、安定計算に採用する強度は試験によるものでなく、見掛け値として取り扱うことが妥当では…

※地震（封圧水の発生）により抑止工が破壊される危険性がある。渡博士の講義では、“抑止工の破壊は被害が甚大となりやすいため、対策工は抑制工を主体にすべきである…”

※三次元解析を行う前に、地すべりを立体的（特に側壁部形態）に把握する調査手法の普及が先では…

〈水位観測孔について〉

上記問題を踏まえ、地すべり対策を建設的に進めるとすれば、少なくとも観測孔を密に配置し、観測データの取捨選択が可能なおよぎしておく必要がある。設置密度は地すべり地外（特に冠頭部付近等、地下水供給源方向）を含め、5~10m 程度の格子状配置とする。

観測孔は、地表水等が直接観測孔に流入しないよう、例えば、移動層の上位 1/2 をパッカーで止水する。推定すべり面以深も同様に止水し、逸水を防ぐ。

※地すべり主断面上の、わずか 10m 程度しか離れていない二つの観測孔（傾斜 40° 前後。すべり面深度 5m 程度、良透水層）でトレーサを行ったが、半日程度、大量の食塩水を投入したものの、いっこうに検出できなかった。結局、ボーリング孔間のキレツが連続していないものと判断せざるを得なかった。

〈地下水排除工について〉

○地下水排除のポイントは地すべり地内へ流入する前にこれを遮断することであり、一般には冠頭部や側壁キレツ付近に集中する地下水の排除が重要である。

○“すべり面に連続する地下水の排除”を目指して、これを貫くようにボーリング暗渠を設置するよりも、外力が作用する前の、透水性の良い領域（地下水供給原）を対象とすべきであろう。

○あるいは、針の穴のようなボーリング暗渠で、地すべり地内の地下水を恒久的に低下せしめるのは困難であり、現状では“目詰まりによる排水機能低下→洗浄工の実施”を招いている。

○例えば、地下水流入を遮断する形での落とし込みボーリング（大口径。排水トンネルとの組み合わせ）により、下流域の地下水が大きく低下した例があり、少し発想を変える必要があるのでは…

○仮に“封圧水”のようなものが関与するとすれば、その発生を防ぐには、すべり面付近の移動土塊の破碎（爆破による）しかない。“地すべり主断面上を連続して破碎することで、揚圧力の発生を防ぐ”といった実験をやる価値があるのでは…、

〈ついでに、納得のいかないことについて〉

1. 森林による崩壊防止機能について
 - “浅根性と深根性の両方の樹木を植えることで、ルーズな土塊を立体的に固定できる”といった説明があるが、
 - 森林土壌の厚さは、多くの場合数十 cm 以下であり、現実問題としてあり得ない（…まさしく机上の空論）。
 - 植物の根系は、固い地盤に達した段階でそれ以深に侵入できない。そのため、その面で不連続面（崩壊面）を形成し、むしろ崩壊等を助長しやすくする。
2. アンケートによる分析について
 - すべり面深度等について、アンケート結果に基づき分析する報文があるが、ほとんど信用できない。なぜなら、通常、すべり面は不明な場合が多く、それを判定した技術者レベル（アルバイトかも？）も不明だから…
3. シミュレーションについて
 - φ1.5m 大の転石が、わずかに φ5cm 程度の灌木（ヤブツバキ）に衝突後方向転換し、数メートル程度斜面をかけ上がり隣の沢に転落したことがある。現状におけるシミュレーション技術にどの程度の信頼を置くべきか、留意すべきであろう。
4. グラウンドアンカーの打設角
 - 以前は、グラウトのブリージングによる影響を避けるため、水平面に対して ±10° の範囲を避けるように明記されていたが、近年は ±5° に緩和されている。その根拠が不明であるが、“ロータリーボーリングは上向きに曲がりやすい”といったことから、かなりきわどい基準と思われる。…改訂理由がないのは技術の進歩に対して障害となる。
5. グラウンドアンカーの定着長
 - 地盤工学会の基準書では定着長は 3~10m としているが、これは未固結地盤の例であり、岩盤ではそのように長く伝わるはずがない。伝わるとすれば、引張側より順次“引き抜けている”場合である。したがって岩盤において、定着長を長く設計しているアンカーは危険である。…経済性比較は、品質を保証した上でなされなければならない。
 - ちなみに、建築地盤アンカーでは、定着長が長くなる場合低減係数を採り入れており、こちらの方が多少優れている。
6. グラウンドアンカーの定着地盤
 - 地盤工学会のグラウンドアンカー設計・施工基準・同解説では、未固結地盤での定着を想定しているが、地盤工学ハンドブックでは、永久アンカーは“岩盤”、仮設でも“固結状の地盤”に定着するよう明記している。
7. グラウンドアンカーの締付効果について
 - アンカーの荷重が半年で 5 割程度落ちる例があることは、地すべり対策に採用しだした昭和 50 年頃に分かっていた。それには定着部のクリープなどもあり、荷重低下を防ぐことはできない。“締付効果は無視すべきである”といった文献はあるが…。締付効果が働くとした場合、すべり面に連続する水圧を高めることにならないか、そうしたことも言及がない。
 - 上記 4, 5 を含め、そのせいかな否か不明ではあるが、数年前に“永久アンカー”という用語が抹消された。
8. グラウンドアンカーの引止効果
 - 引止効果を分母と分子のいずれに入れるかについて、道路土工では両方が提示されている。分子に入れる方が安全（／過大設計）となる。関係する先生の講習会で“計算式としては、分母の接線力から控除するのが正しいようだ”という話があった。分子に入れる式について、別の図書では“良く分からないが…”としながらも、これを“正当化”するようなコメントがあり、混乱が混乱を招いている。
9. ロープ掛工の設計（落石発生源対策）
 - 便覧の設計例によれば、岩塊の全接線力を対象に、水平（縦断上）かつ斜交（平面上）方向の引張力で固定するようになっているが、わざわざ水平方向に引張力を与えること等の根拠が不明である。明らかに不合理な設計であり、引張荷重が大きくなり設計不能に陥るケースが多い。
 - “便覧はバイブルであり、これに違う設計は認められない”、“会検で説明しやすい”といった意識が強く、引き込み角 30°（設計例どおり）での定型文的设计書ができあがっている。当然ながら、現場と合わない事例が発生し、困っている人達がいる。
 - ※ “マニュアルは技術を高めていく上でのステップであり、常に更新されていくものである”といった教えを受けたことがある。マニュアルや指針にないことを一様に禁止されれば、技術の進歩はない。
 - “指針等”と“現場実態”との乖離もある。技術者のあり方として、理論と現場とを境する“塀の上を歩くがごとし”とは申博士の教えである。不合理な主張が数十年もまかり通っていることに憤慨されていたが、しばらく続きそうである…
10. その他、改善が必要と思われる項目として
 - “地すべり末端部の跳ね上げすべり”の描き方：荷重軸を基本とすべきである。
 - 目標安全率の設定がない落石発生源対策、および目標安全率が異なる工法間の経済性比較
 - 落石対策における土砂用アンカー：ポケット式防護網工で抜けている実態が分かっても改善されない。抜ける頃にはネットの改修が必要となるから…？、全体が吹っ飛んだネットも見かけられるが、極一部かも…
 - 転落が懸念される岩塊に安全対策としての監視用センサーを設けること（落石は秒単位の現象であり、逃げる余裕はない！）
 - 鉄筋挿入工の適応斜面の選定：関連する講義では“現場での応急対策（計算根拠なし）”をヒントにしたとのこと。予防工であり“キレツ等のある斜面”には適用すべきではない（JH 基準）。
 - 鉄筋挿入工の打設方向：JH 基準に反し、地山面に直角とする例…場合によっては崩壊促進対策に思える。
 - グラウンドアンカーの 1 本引き（PC 鋼より線：定着部マンションなし）：かつての指針では“撚り戻し”による剥離を防ぐため、複数本とするように明記されていた。
 - 尊敬できる先生は、足下がおぼつかないながらも“自らが現場を確認”しようとされる…。現場に行かないで GPS 等で判定しようとする試み（研究）がなされているが、
 - ・ 地すべりの場合、その本体の変動とは別に地表の局部的変位がある。
 - ※特に地盤傾斜計などは、その設置場所の妥当性から吟味する必要があり、地盤の乾湿等の影響（季節変動）を受けるなど、感度と精度（信頼度）の問題がある。
 - ・ 地表面変位からすべり面形状等を推定する技術の可能性？