

5. 応急調査・応急対策工の計画

Plan of emergency landslide investigations and mitigation measures

山崎 勉／国土防災技術株式会社

Tsutomu YAMAZAKI／Japan Conservation Engineers & Co., Ltd.

キーワード：調査測線，すべり面調査，地下水調査

Key words：survey control line, evaluation of slip surface, groundwater level measurement

5.1 調査ボーリングと配置計画

ここでは，3章および4章に述べられた地表踏査や初期動態観測結果をもとに，応急対策（工事）を立案するために実施される調査ボーリングと動態観測の配置計画について解説する。

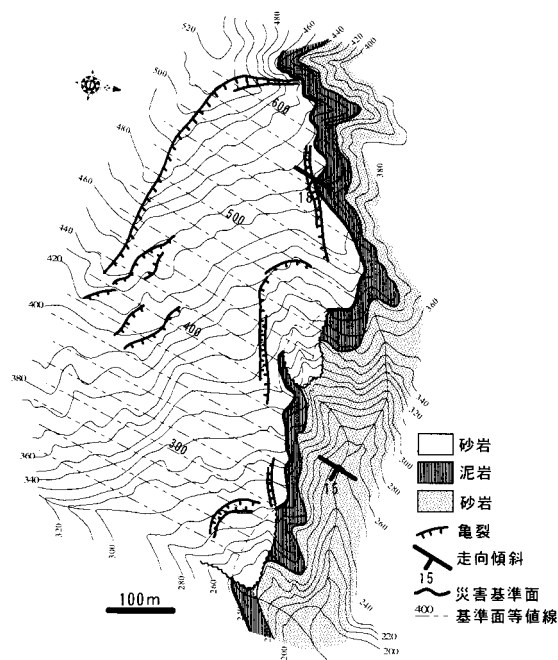
5.1.1 災害基準面の推定

すべり面は，多くの場合，層理面や片理面・基岩上面などの地質的不連続面に沿って形成されている（3.1.2 写真－1）。地すべり地周辺を踏査すると，すべり面と関連する地質や地質構造がみえてくる（3.1.2 図－1）。このような，特にすべり面を規制する面を災害基準面と呼ぶ（写真1）。災害基準面は，それ以深にはすべり面が存在しない面であり，その特性を明らかにすることが，特に調査初期におけるボーリング配置や掘り止め判定に必要不可欠である。

災害基準面が把握できれば，その性状を把握しつつ，横方向に追跡し，その構造を明らかにする。災害基準面を平面図に展開すれば，地すべりの可能性を示す範囲となる。単純な単斜構造の地層からなる平板すべりでは，災害基準面がそのまますべり面となる場合もある（図－1）。

5.1.2 すべり面形の推定

すべり面は，平面と円弧の組み合わせで構成されてい



図－1 災害基準面の調査事例

る。すべりの形態により，3.3.1に示すような様々な土塊の変形（回転や並進，引張り・圧縮等）が生じ，地表の立木や構造物には土塊の変形に対応した変化が生じる。これらの地表面現象を丹念に調査し，まずその位置におけるすべり面の形状が円弧か直線かを推定する。

円弧頭部では地盤の傾動・立木の傾倒が生じ，その傾斜角から土塊の回転角が得られる。移動量が把握できれば円弧の半径も推定可能である（図－2）。頭部亀裂の平面分布は馬蹄形状になる。

直線すべり部分では陥没や開口亀裂が発達し，立木や構造物は傾倒しない。またすべり面傾斜と地表面傾斜の関係から地表に生じる側部形状に違いが現れること（図－3）や構造物等の移動角度，側方崖の擦痕の傾斜（3.1.2 写－3），地質構造などからすべり面傾斜に関する情報が得られる。

すべり面の傾斜が変化する部分では地表部に，圧縮亀裂群（すべり面は下に凸）や引張り亀裂群（すべり面は



写真－1 災害基準面の例

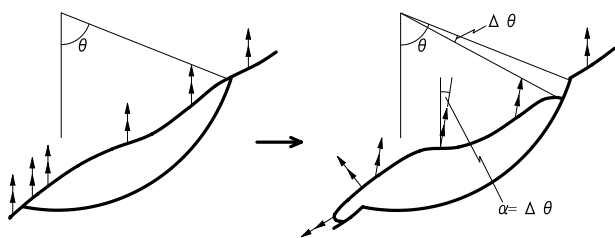


図-2 円弧すべりの回転運動による変形

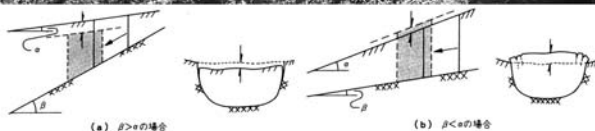


図-3 すべり面傾斜と地表傾斜による変形の違い



写真-2 水田表面の圧縮変形（上）と開口亀裂群（下）

上に凸)が形成され、ときに転倒亀裂などの現象が現れる(写真-2)。

また岩盤すべりの場合には、滑落崖や側方崖は断層や節理などの不連続面の構造を反映していることもある(写真-3)。亀裂面が平面的な構造と考えられる場合には、地表に現れる亀裂分布は図-4に示すように地表面と亀裂面の構造により決まるので、亀裂分布からすべり面の構造を検討することも可能である。

末端や頭部が露出していれば、その位置・構造を必ず計測する。末端や頭部を基準とし、地質構造等を参考に



写真一 3 滑落崖を規制する節理系の例

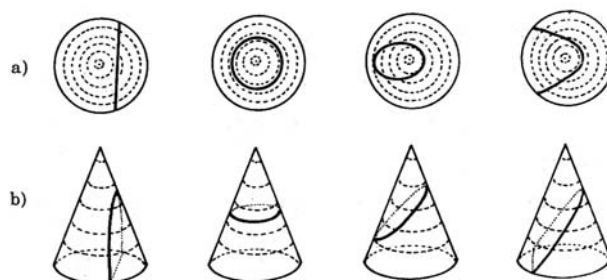
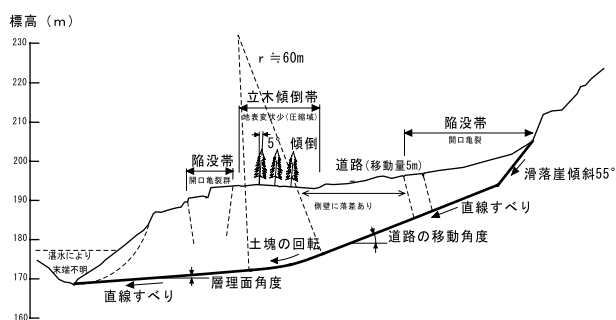


図-4 亀裂面が作る平面と地形との関係



図一5 地表面現象によるすべり面の推定事例

し、地表面現象をもとに想定したすべり面の形態を想定される傾斜で繋ぐことで想定すべり面が得られる。

5.1.3 測線の設定

(1) 方向の設定

縦断測線の方向は、地すべり移動方向に平行に設定する。移動方向を決定するには、3.1や3.2に示された移動方向の指標となる現象を総合的に判断して決定する。すなわち、すべり面の擦痕・樹木の幹割れ（写真－4）・構造物のずれ・側方亀裂の開口性などで、様々な情報を

収集して移動方向を確定することが重要である。

側方亀裂の開口性では、一方の亀裂が開口で他方が密着している場合には、移動方向は密着した側方亀裂とほぼ平行となり、ともに開口亀裂の場合は両側方亀裂の伸張方向の間で、すべり面の最大傾斜方向となる（3.2.1 図-2）。

災害発生時には、できるだけ初期段階で丁張りなどの簡易な観測機器（4.1 参照）を設置しておくことで、移動方向を推定できる場合が多い。移動量が多い場合は空中写真の比較でも推定が可能となる場合がある（写真-5）。

移動方向はブロックごとに大きく異なる場合があるので、測線の設定にあたって注意しなければならない（図-6）。

(2) 測線配置

調査測線は、地すべりブロックの中央をとる縦断測線・横断測線と、これらの上下左右に副測線を設けた格子状測線を基本とし（図-7）、物理探査や交点での調査ボーリングを実施して解析断面とする。標準的な測線間隔に関する明確な基準はないが、小規模地すべりでは30m前後、中規模地すべりで50m前後、大規模地すべりで50～100m程度を目安にし、後述するボーリング配置（5.1.4）を検討して決定する。

(3) 測線設定の留意点



写真-4 亀裂により生じた樹木の幹割れ



図-6 長崎県平山地すべりの移動方向（申，2000）



写真-5 空中写真による指標物の移動判読例

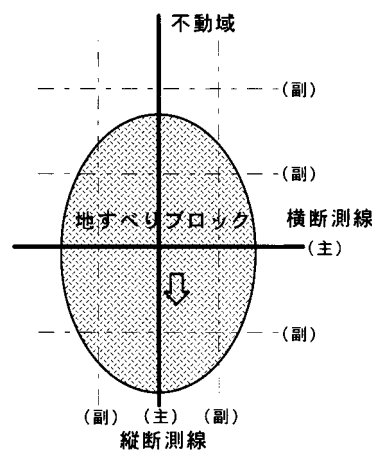


図-7 調査測線の設定

応急対策を検討するための調査では、解析に用いる断面は1測線であることが多く、通常は中央の縦断測線を用いるが、次のような場合は注意が必要である。

幅の狭い小規模な地すべりで、二次元解析で検討する場合には、主測線は地すべり土塊の断面積が最も大きな位置（最大推力を与える位置）に設定する。例えば一方の側方亀裂にのみ圧縮性の現象が認められる地すべりの場合はその側部寄りに設定する（3.2.1 図-2）。

測線位置により末端の形状や斜面長が大きく異なる地すべりでは、平均的な断面が得られる位置に解析測線を設定する。

冠頂や側部へ地すべりが拡大する恐れがある場合は、地すべりブロック外にも測線を配置する（図-8）。特に災害基準面が冠頭部下などに地すべり地と同様な構造で広がる場合には、その確認と背後斜面の監視を行うため、必ずボーリングを計画する。

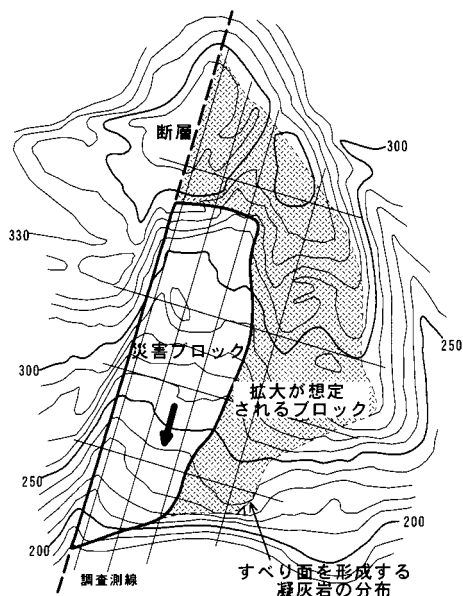


図-8 周辺地域の不安定化が想定される事例

5.1.4 調査ボーリング

(1) 調査位置と優先順位

直線区間や円弧区間のすべり面を決定するためには、少なくとも3点でのすべり面の確認が必要である(図-9)。

そのため、地表現象から想定されるすべり面形が、標準測線配置により確定できるかどうかの観点から、調査の過不足を検証する。

調査点数が不足しすべり面を確定するに至らない状況が予想される場合は、調査測線を追加する必要がある。特に末端や頭部ではすべり面が大きく変化することが多く、安定解析や対策工の選定に大きな影響を与えるので、十分な検討が必要である。横断測線についても同様に検討を行い、測線の配置間隔を決定する。

頭部亀裂や地すべり末端が明瞭な場合には、調査本数はそれに応じて減じることができる。また直線性を有していることが想定される区間では、地表現象等からすべり面に折れ点がないとか、傾斜が推定できるといった情報により、調査点数を3点→2点→1点と減らすことが可能である。そこで、地表踏査による情報の確度を考慮して優先度を設定する(図-10)。

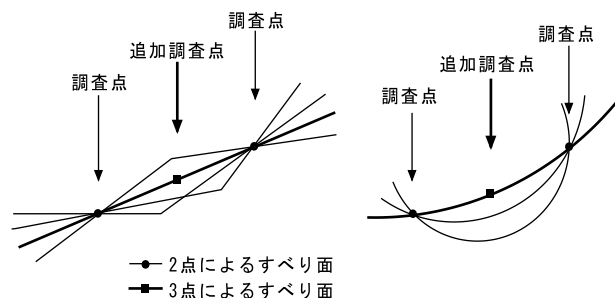


図-9 すべり面の決定に必要な調査点数

応急対策のため実施される調査は、主測線を主体に2～3本実施されることが多い。想定すべり面に対応した的確な本数のボーリングが実施されない場合や、本数が制限された場合に適切な位置にボーリングが実施されないと、誤ったすべり面が想定されることがあるので、調査位置と数量は慎重に検討したうえで決定する。

またすべり面の立体形を把握するため、横断位置での調査についても必ず実施しておく必要がある。

(2) 深度

すべり面確認のためのコアボーリングは、踏査から想定されるすべり面深度に5～10mを加えた長さを計画深度とする。想定すべり面の確度が低い場合には、地すべりの規模に関する統計データを参考にして調査ボーリングを計画する(3.3.3 図-11)。

(3) 基準調査孔

最初の調査孔は、その地すべりの代表的な地質構成が把握できる位置で掘削し、災害基準面の確認を行い、想定した地すべり層序が妥当かどうかの判断、さらにはより深い位置でのすべり面の有無の検証を行う。破碎帯や岩盤クリープなどにより基準面以深の岩盤が深部まで劣化している場合は、すべり面傾斜角と残留強度には関連があるので、対象とする地質の残留強度などを参考に下限線を設定し、掘削深度を決定することもある。

(4) ボーリングの掘止め

単に「CM級コアが5m連続」を掘止め基準とすると、特に大規模な岩盤地すべりのような場合にすべり面を見誤る可能性が高くなる。図-12は、大規模な岩盤地すべりの深度約100m付近のボーリングコアである。CH級の棒状コアが連続するが、すべり面はこれより下(深度165m)にあり、単純な岩級による基準ではすべり面を見誤る可能性がある。

踏査と基準調査孔に基づく、層序・岩相・岩級からなる掘止め基準を作成する。例えば、「泥質粘性土下位のCL級の〇〇礫岩の確認」のようなものである。予定深度まで掘削して基準を満たさない場合、その原因を明らかにし、掘削深度を慎重に検討する。

(5) 削孔径

ボーリング孔は、普通、地すべり動態観測に用いられ

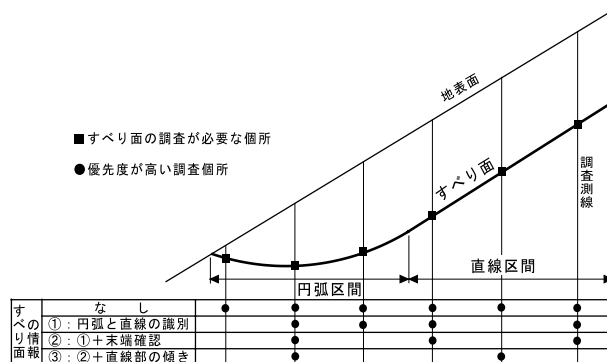


図-10 すべり面情報に基づく優先度の設定

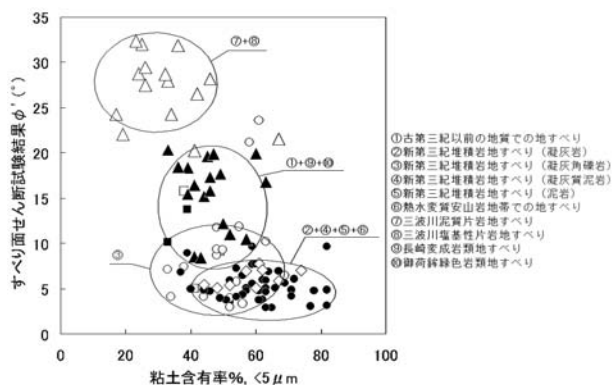


図-11 すべり面の残留強度 (眞弓ほか, 2003)

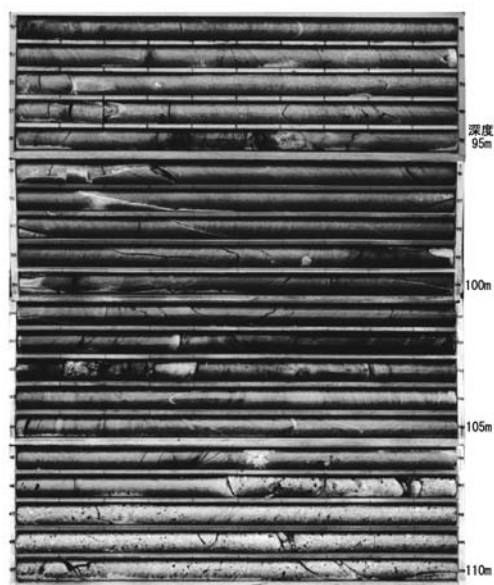


図-12 大規模岩盤地すべりの移動土塊の良質コア

るほか、各種の原位置試験・サンプリングも行われる。動態観測の種類・仕様・深度や試験の種類等によって、削孔径が異なるので、あらかじめこれらについて十分検討したうえで削孔径を決定しなければならない。

5.2 ボーリングに付随する調査および動態観測

5.2.1 調査ボーリングに伴う調査

(1) 試錐日報

試錐日報は、ボーリング掘進において、掘削終了後の水位と掘削開始前の水位を比較することにより、裸孔区間の透水性と水頭を推測する。コア判定および地下水検層とあわせ、①ボーリング地点の水文構造を把握し、②水位観測孔の仕様の検討を行う。

掘進中のコアと水位変化からすべり面付近の地下水帯の水頭と他の流入・漏水層との関係を考察する。すべり面の上か下に著しい漏水箇所がある場合や、浅層部に優勢な透水層などがある場合、全孔ストレーナの地下水位観測孔ではすべり面付近の地下水帯の水頭と孔内水位は一致しないこともあるので、掘削中の水位データを十分に検討して、地下水位観測孔の漏水・流入防止対策を計

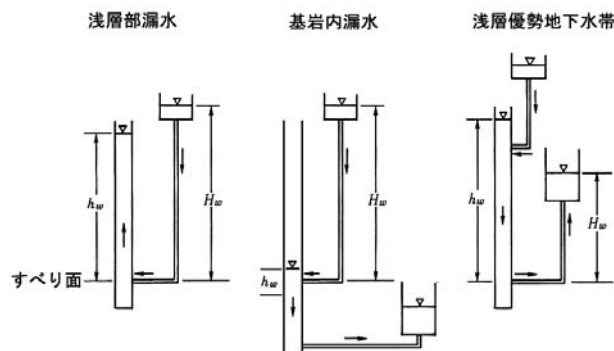


図-13 すべり面の水頭と全深度ストレーナ孔水位

画する (図-13)。

すべり面に関連する水頭を知るためには、ケーシングにより漏水・流入層の遮水を確認に行いながら、想定すべり面までを慎重に掘削する。すべり面深度が浅い場合には留意する必要がある。

(2) 地下水検層

地下水検層は、電解質を孔内に投入し、それが希釈される状況からボーリング孔付近の水文状況を把握し、集水ボーリング計画や観測孔計画に用いる。

観測孔設置後は、観測孔の仕上げ状況によって、必要な区間の検層が実施できない場合がある。例えば、基岩内漏水によって孔内水位がすべり面以下への落ち込み水位が回復しない場合や、浅層部の流入・漏水層の遮水を施した場合などである。

そのため、地下水排除工の計画に必要な地下水流入層の情報を得るため、試錐日報データをもとに、裸孔時において検層を実施することも検討しなければならない。

(3) 標準貫入試験

すべり面判定においては、崩積土層の地すべりや盛土の地すべりなど、移動層が軟質な場合には、すべり面を挟んだ上下でN値に差が認められることが多く、有効なことが多く認められる。

しかし、衝撃で試料は著しく乱された状態になるため、すべり面判定には有効ではなく、試験区間にすべり面があった場合には、地すべりボーリングコアとして最も重要なすべり面の情報を得られない。このため、標準貫入試験は、コアボーリングとは別に実施することが重要である。

5.2.2 動態観測種の選定と留意点

(1) 動態観測種の選定

地すべりの動態観測は、地表変動観測・地中変動観測・水文観測が主体である (図-14)。動態観測は、観測の目的を明確化し、適切な観測方法を導入する。その主な目的は、①すべり面計測、②移動量計測、③移動方向計測、④地下水位計測であり、これらの変動観測と水文観測結果から、⑤地すべりの発生・停止条件を把握することが挙げられる。

設置する機器は、その目的を達成するため、地すべり

の活動性・規模・形態と機器特性（感度・測定範囲・耐久性・自動化）を考慮し、最終的に「経済性」も考慮して決定される。ここでは、代表的な観測種について特徴を示す。

①地表伸縮計

地すべりの移動量を計測することを目的として設置する。機器による計測誤差は1mm以下と比較的高感度であり、測定範囲も比較的大きいため、活動的な地すべりから緩慢な地すべりまで幅広く用いることができる。また容易に自動化できることから、地すべりの滑動開始や停止の判定に有用であり、監視や予測が必要な地すべりに使用することができる（4.1.2 参照）。

地表伸縮計は、インバー線の伸び方向に直角方向（例えば沈下）の移動に対してはほとんど感度がないため、実際の変位量と計測値は、設置位置のすべり面の傾斜や土塊の厚さによって異なってくる。したがって設置にあたっては移動方向・移動形態を確認し、適切な移動量を反映できるような設置が必要となる。平板すべりの場合では、予想されるすべり面傾斜に平行に設置する必要があるし、円弧すべりにおけるすべり面に沿う土塊の移動量は設置位置のすべり面傾斜を考慮する必要がある、また設置位置の土塊の厚さによっても異なる（写真－6）。



写真－6 実移動量と差が生じる地表伸縮計設置例

伸縮計では停止と判断されても、より感度の高いパイプひずみ計では変動が続いていることがあるので、正確な移動量計測のためには適切な設置が欠かせない。

②パイプひずみ計

パイプひずみ計は、保孔管に対するひずみゲージを貼付し、管に発生した曲げひずみによる微小な電気抵抗の変化を計測してひずみ量に換算して、すべり面を検知する。感度が非常に高いためすべり面の検出に適しており、極めて緩慢な地すべりのすべり面検出に向いている。また容易に自動化できるため、地すべりの滑動開始や停止の判定に有用である。

反面、測定範囲が狭いので、変動が大きい地すべりでは、すべり面検出後、早期に計測が不能となることがあるので、地表伸縮計や地中伸縮計のデータで代替できる手段を整えておく。耐久性がやや低いことから、潜在的な地すべりなどの長期観測には向かない。

すべり面がゲージの中間であった場合には変動を捉えられないこともあり、設置間隔に留意する。その際、掘削径66mmの場合で、設置可能な点数は約30点ほどであるので、掘削径・設置間隔・設置点数をあらかじめ十分に検討しておく必要がある。

地下水観測孔と併用される場合には、孔壁との間は透水性を確保するため砂充填されるが、砂詰めが不完全であると、データに変調が現れるほか、計測値がばらつくなどの状態が現れる。このため砂詰めはできる限り念入りに行う必要があるが、緩慢な地すべりや潜在的な地すべりではグラウトによって固定し、より良いデータが得られるようにする必要がある。

③孔内傾斜計（挿入型）

専用ガイドパイプのたわみを、傾斜センサーを内蔵したプローブを挿入して計測する。測定による誤差は3mm/10m（測定区間）程度と高精度であり、耐用年数もひずみ計より長く、移動量も推定することができる。このため、緩慢な地すべりのすべり面検知や、潜在的な地すべりの長期観測、杭などの施工後の効果確認に有効である。



図－14 地すべりの動態観測（地すべり観測便覧編集委員会，1996）

表－1 主要な観測機器一覧表（地すべり観測便覧編集委員会，1996）

計測項目	計測機器名	感度	測定範囲	耐用年数	計測の保守点検	一般に用いられている機器	採用程度
地表の傾斜変動	地盤傾斜計	1秒	(±1度)	10	1回/年	地盤傾斜計	○
地表すべり面の変位変動	地表伸縮計	0.2mm	(±10cm)	数年	1～2回/年	地表伸縮計	○
すべり面位置	パイプひずみ計	10×10 ⁻⁶	10,000×10 ⁻⁶ 以上	1～3	1～3回/年	ひずみ指示計	○
〃	地中伸縮計	5～10秒	±5～30度	約5	2～4回/年	挿入型傾斜計、設置型傾斜計	○
構造物の傾動	構造物傾斜計	1～10秒	±1～30度	±5	1～2回/年	水管式傾斜計、傾斜計	△
構造物の変位	構造物変位計	0.01mm	±5mm～30cm	±5	1～2回/年	変位計、ダイヤルゲージ	○
構造物の応力	土圧計	0.05%FS	各種	±5	1～3回/年	ひずみ指示計他	△
地下水位	地下水位計	1cm 0.05%FS	10～(20m) 2～30m各種	数年 約5	1～2回/年	リシャル式水位計、 水圧式水位計	○
間隙水圧	間隙水圧計	0.05%FS	1～20kg/cm ² 各種	±5	1～3回/年	ひずみ指示計他	△
降水量	雨量計	0.5mm		±10	1～2回/年	傾斜計雨量計	○
地盤の変位	移動杭					光波測距機、トランシット、 セオドライト、レベル	○

注 1) 保守点検は、上表のほか測定時または1回/月程度の程度の日常点検を行う
2) 耐用年数は、正常の状態での標準年数
3) 採用程度 ○非常に多い △多い △少ない
4) 傾斜計器（パイプひずみ計、挿入型傾斜計、土圧計、間隙水圧計）本体は、保守点検不可能であるが、ケーブルの絶縁抵抗等の日常点検を要する。

一方で、自動化が容易ではないこと（特にすべり面検出を目的とした場合）から、滑動開始や停止の判定が困難であるのが最大の課題である。また測定範囲が狭いことから、パイプひずみ計と同様に移動量の大きな地すべりでの測定に問題が生じるほか、地すべり推力以外で孔口等が変形しないよう配慮が必要である。

活発な地すべりでは、グラウト硬化までに時間を要するため、観測開始前に挿入不能となることもある。

④多層移動量計

多層移動量計は、地中の各深度に固定したワイヤーを地上に誘導し、ワイヤーの伸び量を測定する。比較的高感度であること（実用上1mm程度）、測定範囲が大きいことから、移動量の大きな活発な地すべりの移動量を長期に観測することができるほか、すべり面判定も行うことができる。また自動化が容易にできる利点がある。

しかしパイプ内に設置した場合や砂詰め部に設置した場合などには、計測ワイヤーと保孔管ないし孔壁との間のクリアランスにより初期無感帯が生じるため、緩慢な地すべりや潜在性の地すべりの計測には向かない。また保孔管の抜け上がりが生じることが多く、一般的に地すべりの移動量よりもかなり小さい変位量しか計測されないことが多い。

設置点数が少なければ、被覆されたワイヤーの先端にアンカーを着けて、ボーリング孔内に直接グラウトで固定し、無感帯や抜け上がりを防止することも行われる（写真7）。移動量の大きな地すべりで、パイプひずみ計や孔内傾斜計に併設し、これらが計測不能となった後の移動量の計測を行うことが可能である（4.1.3）。

⑤地下水位観測

地すべりの安定解析における水圧は、すべり面での間隙水圧でなければならないが、地下水位を用いるのはあくまで簡便的な手法であるが、応急対策に関わる調査では経費や維持管理面からボーリング孔内水位を用いることが多い。

地下水位観測は、自動化が容易であることから、動態

観測結果と対比して、地すべり滑動開始や停止の条件を把握することができる。孔内水位であっても、観測すべき地下水帯を確認し、漏水箇所等はその対策を講じる必要がある。

地下水位観測専用孔の場合、試錐日報や地下水検層で観測区間を決定し、上下からの地下水の流入を遮断するため、グラウト（パッカー方式や吸水固化式）やベントナイトなどによる遮水を行う。遮水方法の一例として、パッカー方式を写真-8に示す。

水位計は、予想される水位変動幅に対応できる測定範囲を有するものを使用する。また定期的に手測りによるデータチェックを行う。

5.2.3 応急対策工との関連

地すべり災害が発生した場合、ボーリング調査に先立って盛土工・排土工や集水ボーリング工などの応急対策が実施されることも多い。この際に必要なことは、滑動停止時の地形・地下水条件を得るために、土工の進展と移動量の関係について観測しておくこと、集水ボーリング工実施による地下水位の低下を観測しておくことが重要である。応急対策によって滑動が停止すると、これ以後、発生・停止条件を把握することができる機会はほとんどなくなる。

応急集水ボーリング工実施時には地下水位観測孔がないことが多いが、極力、施工実施前に観測孔を設けることが望ましい。

このような場合に、ロータリー式に較べて掘進速度の速いロータリーパーカッションボーリングを用いて、動態観測孔を設置することも行われている。

参考文献

- 1) 地すべり観測便覧編集委員会（1996）：地すべり観測便覧，（社）地すべり対策技術協会，pp. 39-291
- 2) 申潤植（1989）：地すべり工学－理論と実践－，山海堂，1002p
- 3) 網木亮介（2000）：地すべり防止技術研修テキスト－調査技術全般－，（社）地すべり対策技術協会，60p
- 4) 眞弓孝之・柴崎達也・山崎孝成（2003）：すべり面せん断試験によるすべり面のせん断強度評価，日本地すべり学会誌，Vol. 40，No. 4，pp. 15-24
（原稿受付2006年12月25日，原稿受理2007年2月14日）



写真-7 測定不能後の孔内傾斜計内に設置した多層移動量計の事例



写真-8 パッカー式地下水位観測専用孔