

第3章 地すべり監視体制の構築

3-1 観測機器の選定・配置

地すべりの監視体制における観測の中心となるのは、地すべりの移動状況を把握する観測である。また、地下水位と地すべり変動に明確な関係の見られる地すべりでは、地下水位の観測も有効である。地すべりの活動状況によっては、短期間で観測が不能になるものもあり、耐用年数やデータの精度、分析の難易、コストを勘案し機器の選定を行う。積雪地帯では、冬期の対応についても検討する。

地すべりブロックの変動は一律でないことも多いので、最も変動の大きい箇所に設置するのを基本とする。また、保全対象との位置関係も考慮する。地下水位の観測は、地すべり変動との関係が明瞭な観測孔を選定する。

これら観測機器は地すべり対策事業実施中のものを引き継ぐのを基本とし、必要最小限とする。このため観測機器の選定・配置は事業実施中に行うこととする。また、観測結果を評価し、適宜、監視体制の見直しを行う。

観測機器は地すべりの規模、地すべり機構、活動パターン、活動状況、保全対象、対策工事等を考慮して選定する。また、移動量・間隙水圧・降水量・地すべり防止施設の機能など複数の観測手法を効率的に組み合わせる。

図-3.1.1 に地すべり対策事業実施中の**地すべりブロックの規模と観測計器数の関係**を示した。地すべり規模が大きくなるに伴い観測計器数は多くなっており、小規模な地すべりブロックでは少数の観測計器により監視できるが、大規模な地すべりブロックでは多数の観測計器が必要である。概成後の観測計器は必要最小限に減らす必要があるものの、大規模な地すべりブロックほど多くなると考えられる。

継続的な監視が特に必要とされる地すべり地において監視を行う場合、対策工事実施時に最も変動の大きかった箇所に重点的に観測機器を配置する。また、人家や公共施設などの保全対象に対する影響が大きいと判断される箇所に配置する。

地下水位の変化を監視する場合には、地すべり変動との関係が明瞭な観測孔を選定する必要がある。また、積雪地帯では観測機器の配置や保護方法についても考慮する（**5-4**にて後述）。

なお、概成後の観測期間を検討し、その間に観測機器やボーリング孔が耐用年数を迎えると考えられる場合は、事業実施中に更新作業を行っておくことが望ましい。

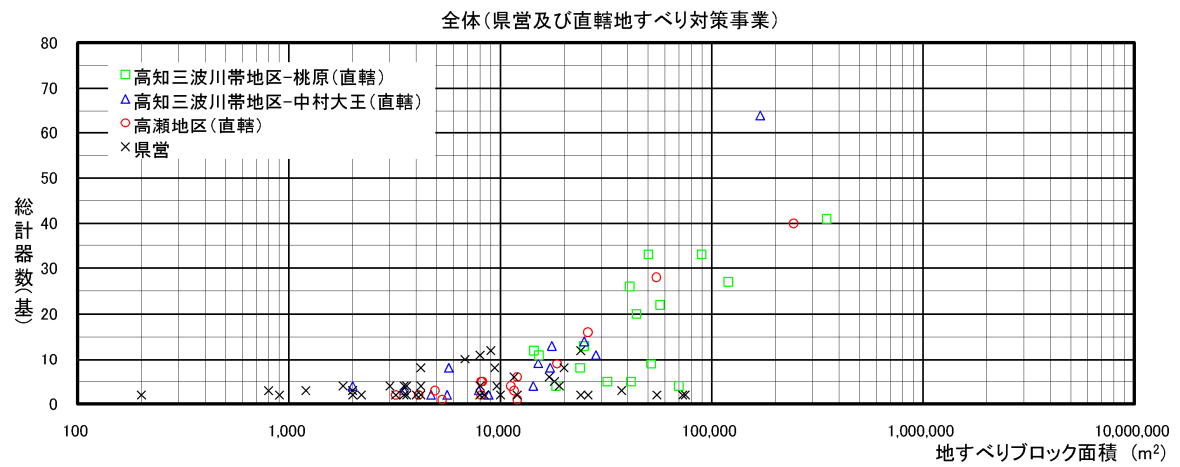


図-3.1.1 地すべりブロックの面積と総計器数の関係
(中国四国農政局管内地すべり対策事業実施中の地区)

3-1-1 地表移動量

地表移動量観測は、事業実施中の観測地点の中から移動量が大きく、重要度の高い地点を選定する。

大規模な地すべりでは、測量による多点観測（トータルステーション測量や GPS 測量）などの手法も検討する必要がある。測量による地表移動量調査では、人為的改変の恐れのない箇所に耐久性のある測量杭が設置されていることが重要である。積雪地帯においては、積雪時の観測を考慮して観測地点を選定する。

地表移動量観測機器の選定上の着眼点、メリット、デメリット、コスト等については表-2.1.1.1に整理した。

一般的な管理基準値は、移動量に基づき設定されており、移動量による滑落予測も可能であるため、監視の主体は移動量である。

地すべり規模が大きい場合は、広い範囲をできるだけ面的に監視できる観測機器を選定する必要がある（GPS、レーザプロファイラー、空中写真などの測量手法による観測）。

また、広い範囲の監視を迅速に行うためには全自動方式の機器が有効である。一方、地すべり規模が小さい場合には少数の機器により監視することができるため、手動～半自動の機器の採用が経済的となる。

大きな変動が予想される地すべりでは、移動量に対応できる機器を選定する（伸縮計など）。変動が小さい地すべりでは感度の高い機器を選定する（地表面傾斜計など）。

地すべり活動には、緩慢な継続的変動や地下水位の上昇下降に伴う断続的変動などの活動パターンがある。活動パターンを詳細に把握するためには、半自動～全自動方式の機器を選定する（伸縮計、鉛直方向伸縮計、設置型孔内傾斜計など）。

保全対象の重要度が高い場合、異常変動時には避難措置などの対応が必要になるため、変位の絶対量がわかり、自動化できる機器を選定する（伸縮計など）。

(1) 地表移動量観測機器

地表移動量観測機器としては、地表面傾斜計、伸縮計が一般的である。採用する機器により精度や耐久性が異なるため、目的に応じた機器を選定する。

伸縮計は、明瞭な亀裂を挟んで測定することが一般的である。

地表面傾斜計は、地すべり土塊の回転運動に伴う傾動運動を測定するもので、円弧すべりなどの回転運動に伴う地すべりでは効果的である。

(2) 測量による手法

測量による手法として、移動杭（見通し線測量）による手法がしばしば用いられる。

近年、地すべり地の地表移動量調査手法として、測量分野における新技術を応用した GPS 観測・レーザプロファイラー計測・写真計測などが用いられるようになってきている。これらの手法は、地すべり規模や活動状況・植生・気象などの条件によっては適用性が高い場合がある。

GPS 観測は、地すべりの範囲が広く地すべり範囲が特定できない地すべり、従来の移動杭観測が適用しにくい地すべりなどで適用される。大規模な地すべりでは GPS 自動観測がしばしば採用されている。

レーザプロファイラー計測や、地上撮影による写真計測は、面的な測定が可能のため、変位が大きく、植生の影響を受けない箇所での面的な移動量を長期間監視する場合に有効である（5-3 にて後述）。

継続的な観測までは要しないと考えられる地すべりでも耐久性のある測量杭（移動杭）や測量鉋（堅固な施設）を設置し、事業完了時に測量を行っておくことで、後年なんらかの兆候があった際にその間の移動量を把握することができる。

(3) 地表移動量の簡易計測

巡回目視により地すべり前兆現象が認められた場合、応急的に抜き板（丁張り）などの簡易計測が行われることがある。簡易計測は地すべり前兆現象の初期段階において迅速に地すべりの移動方向や活動状況を把握し、その後の観測機器による観測計画を作成する上で重要である。また、変動レベルの低い地すべり地における巡回目視に簡易計測を追加することにより定量的な評価が可能となる。

3-1-2 地中移動量

地中移動量観測は、事業実施中の観測地点の中から、移動量が大きく、重要度の高い箇所を選定する。

規模の大きな地すべりブロックでは地表変状が現れにくいこともあり、地中移動量の監視が有効である。積雪地帯においては、積雪時の観測を考慮して観測地点を選定する必要がある。

地中移動量観測機器の選定上の着眼点、メリット、デメリット、コスト等について表-2.1.1.2に整理した。

(1) 地中移動量調査手法

地すべり機構調査においては、ボーリング孔を利用して地中移動量調査が行われる。

地中移動量調査の目的は、すべり面の判定と地中移動量の監視の2つに大きく分けられる(この他の目的として、すべり方向の確認もある)。

概成後の監視段階では地中移動量の監視が主目的となることが多いが、地すべりによっては新たな位置に地すべり兆候が現れることもあり、すべり面の判定が必要となることもある。このため、地すべりの活動状況に応じて、この2つの目的の相方を満足する観測手法を採用する必要があるが、地中伸縮計・孔内傾斜計・パイプひずみ計などの主要計器には、それぞれ以下の特性がある。

1) 地中伸縮計

- ・大きな変位の監視は可能だが、すべり面の判定はできない。
- ・複数の地中伸縮計からなる多段式伸縮計では、すべり面の判定が可能である。
- ・ワイヤーが切断されない限り計測は可能であり、大変位への追従性が高く、耐用年数も長い。
- ・観測初期に変位が発生しない初期無感期間や地表面の沈下による圧縮変位の検出など観測結果の解釈が困難な場合がある。
- ・半自動～全自動観測とすることが容易である。

2) 孔内傾斜計

- ・すべり面の判定ができ、計器の高精度化により微小なすべり面変位も検出できるようになっている。
- ・挿入型孔内傾斜計観測では、50mm 程度までの変位の監視はできるが、大きな変位が生じると測定不能となる(図-3.1.2.1 参照)。
- ・すべり方向の確認も可能である(2軸方向を測定)。
- ・変動が小さい場合には、耐久年数は長い。
- ・半自動～全自動観測とすることは可能であるが他方式に比べてコストが高い。

3) パイプひずみ計

- ・すべり面の判定はできるが（高感度）、実変位の監視はできない。
- ・ひずみゲージやリード線は劣化しやすいため耐用年数は1～3年と短く、5年程度の監視期間を予定するケースでの選定は難しい。
- ・半自動～全自動観測とすることが容易である。
- ・2軸方向にひずみゲージを貼布することにより、地すべり移動方向を把握できる。

地すべりの規模（深度）や活動状況、気象条件等を考慮して適用性の高い手法を選定する。

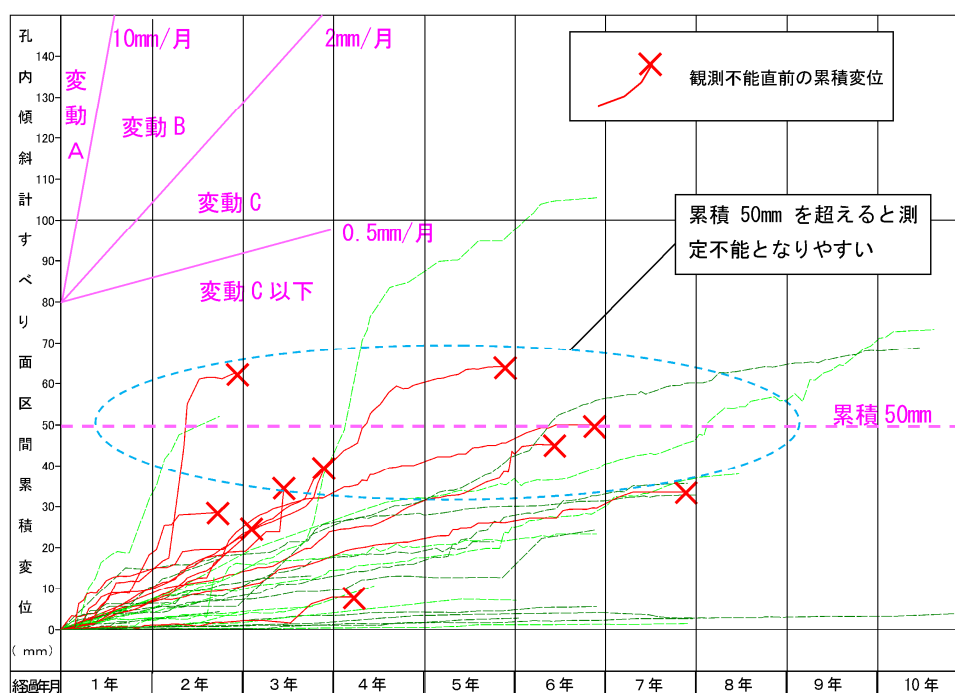


図-3.1.2.1 孔内傾斜計の経時的な累積変位の例
(高知三波川帯地区一中村大王上区域)

(2) 地中移動量調査における変更手法と併用手法

変動レベルの高い地すべりでは、孔内傾斜計観測孔の破断現象がしばしば生じる。このような場合、計測不能となった孔内傾斜計観測孔の地中伸縮計への変更が行われることがある。また、変動レベルが高いと判断される場合には当初から孔内傾斜計と地中伸縮計の併用が行われることもある。一方、変動レベルの低い地すべりでは、すべり面判定のため孔内傾斜計とパイプひずみ計の併用が行われることもある。このように、単一の手法では2つの目的を満足できない場合に変更手法や併用手法が用いられている。地中移動量の併用手法について検証調査を行った結果を **5-2** で紹介する。

(3) その他の地中移動量調査手法（ワイヤレス孔内傾斜計）

ワイヤレス孔内傾斜計は、低周波電磁波を用いてデータを伝送できる地中無線通信システムを採用している。通常の設定型孔内傾斜計（有線）における落雷やケーブル切断等の問題が発生しない利点がある。検証調査の事例を **5-1** で紹介する。

(4) 規模及び変動レベルによる地中移動量調査手法の提案

ボーリング孔の設置を伴う地中移動量調査は、地すべり機構調査の主要部分であり、地すべりの状況に応じた観測機器の選定が求められる。

観測機器は、その時点での変動レベルや将来予想される変動レベルに応じて、選定するが、変更手法や併用手法についても検討する。

表-3.1.2.1 に規模及び変動レベルによる地中移動量調査手法(案)を示した。

表-3.1.1.2.1 規模及び変動レベル（活動状況）による地中移動量調査手法（案）

		地すべり規模			備 考
		大	中	小	
変動レベル（活動状況）	変動 A 以上	幅 300～1000m	幅 100～300m	幅 100m 未満	・ 変動 A 以上の変動が生じている場合、ボーリング掘削中に孔曲りが生じる。 ・ 設置作業の容易な観測機器を選定する。 ・ 挿入型孔内傾斜計はすべり面の確定のために、計測不能になる前に設置後の計測を密に行う。 ・ 変動 B 以上の変動が生じている場合、観測孔が設置後短時間で切断される可能性がある。 ・ すべり面深度やすべり方向の確認に加えて、継続的に変位を監視できる地中変位計が必要である。 ・ 切断後の計器の変更手法、切断発生を考慮した併用手法の採用が必要である。 ・ 変動 C～変動 C 未満の変動であれば、挿入型孔内傾斜計により数年間観測可能である。 変動速度 24mm/年で約 2 年（≒50mm/24mm） 変動速度 6mm/年で約 8 年（≒50mm/6mm） ・ すべり面深度や変位方向の検出に加えて、変動レベルが上昇した場合に実移動量を監視するためには併用手法の採用が必要である。 ・ パイプひずみ計は半自動計測とすることで累積傾向を早期に捉えることができる。 ・ 変動 C 未満での長期間の変位監視には挿入型孔内傾斜計が適している。 ・ 変動 C 未満でのすべり面深度や変位方向の検出には高精度の挿入型孔内傾斜計が適している。 ・ 変動 C 未満でのすべり面深度や変位方向の検出には感度の高いパイプひずみ計が適している（半自動計測が望ましい）。 ・ パイプひずみ計では、実変位量（絶対値）の計測はできない。
		すべり面深度 40～150m	すべり面深度 15～40m	すべり面深度 15m 未満	
		すべり面の判定 ： 孔内傾斜計（挿入型） ○ r （多段式伸縮計）（すべり面測定管） 地中移動量監視 ： 地中伸縮計 ○ r （多段式伸縮計） * 最初から孔内傾斜計＋地中伸縮計（併用）とする。			
	変動 B	変動速度 10mm/月（120mm/年）	すべり面の判定 ： 孔内傾斜計（挿入型） 地中移動量監視 ： 孔内傾斜計（挿入型）→地中伸縮計 * 孔内傾斜計→地中伸縮計（変更）による変位監視。 * * 最初から孔内傾斜計＋地中伸縮計（併用）が望ましい。 * * * すべり面確定後は孔内傾斜計（設置型）での変位監視も考慮（地すべり規模大～中）。		
		変動速度 2mm/月（24mm/年）	すべり面の判定 ： 孔内傾斜計（挿入型） 地中移動量監視 ： 孔内傾斜計（挿入型）		
変動 C	変動速度 0.5mm/月（6mm/年）	すべり面の判定 ： 孔内傾斜計（挿入型） 地中移動量監視 ： 孔内傾斜計（挿入型）			
変動 C 未満		すべり面の判定 ： 孔内傾斜計（挿入型） 地中移動量監視 ： 孔内傾斜計（挿入型） すべり面の判定 ： パイプひずみ計＋孔内傾斜計（挿入型）（併用） 地中移動量監視 ： パイプひずみ計＋孔内傾斜計（挿入型）（併用） すべり面の判定 ： 孔内傾斜計（挿入型） ○ r パイプひずみ計 地中移動量監視 ： 孔内傾斜計（挿入型） ○ r パイプひずみ計			
備 考		・パイプひずみ計は、観測孔深度が深く、歪ゲージの点数やリード線が多くなると、小口径のボーリング孔では挿入設置が困難となり、埋め戻しグラウトが不確実になりやすい。			

3-1-3 間隙水圧（地下水位）

間隙水圧（地下水位）観測は、事業実施中の観測において地すべりの移動と間隙水圧（地下水位）の関係が明瞭な箇所を選定する。

間隙水圧（地下水位）観測機器の選定上の着眼点、メリット、デメリット、コスト等については表-2.1.3.1に整理した。

(1) 間隙水圧（地下水位）調査機器

間隙水圧計については、設置経費がかかることや耐久性が低いなどから採用されることはまれで、すべり面付近にストレーナ（スクリーン）加工をした地下水位観測孔の孔内水位をすべり面の間隙水圧として代用することが多い。

地すべり変位と間隙水圧（地下水位）変化との相関の高い観測孔がある場合は、この間隙水圧（地下水位）を監視することが有効である。特に、地すべり変動が起こる臨界水位が明瞭な場合などには、間隙水圧の監視により地すべり移動の予測を立てられることもある。また、大規模な地下水排除工を実施し、間隙水圧（地下水位）の低下に伴い、地すべり移動の緩速化～停止などが確認された場合、その間隙水圧（地下水位）を監視することが斜面の安定度の確認となる。

一般に地すべり機構調査においては、ボーリング調査後ただちに地中移動量観測機器や間隙水圧（地下水位）観測機器が設置されることが多い。つまり、ボーリングコア等から推定されたすべり面に関係する間隙水圧（地下水位）を観測するための観測孔が設置される。この時、1つのボーリング孔において複数のすべり面が推定される場合には、複数の間隙水圧（地下水位）観測孔が必要となる。その後の地中移動量観測により当初推定していたすべり面と異なる深度において地すべり変位が確認され、観測された間隙水圧（地下水位）が安定解析に使用できないこともしばしばある。

第三紀層地すべりに比べると破碎帯地すべりの地下水構造は複雑である。また、第三紀層であっても火山岩が含まれる地すべりでは複雑な地下水構造を示すことがある。これらの地すべりでは、多重地下水構造が確認されることが多く、ボーリング調査時点で適切な間隙水圧（地下水位）観測孔を設置することが非常に難しい。このような地すべりでは、適切な位置にストレーナが設置されている間隙水圧（地下水位）観測結果から、安定解析に使用できる観測結果を抽出する。

(2) その他の間隙水圧（地下水位）調査手法（ワイヤレス間隙水圧計）

ワイヤレス間隙水圧計は、低周波電磁波を用いてデータを伝送できる地中無線通信システムを採用している。通常の間隙水圧計（有線）における落雷やケーブル切断等の問題が発生しない利点がある。検証調査の事例を5-1で紹介する。

(3) 地中移動量調査との併用の問題

地すべり対策事業では、調査費用節減のため下記の併用がしばしば行われている実態がある。

① パイプひずみ計と地下水位計の併用

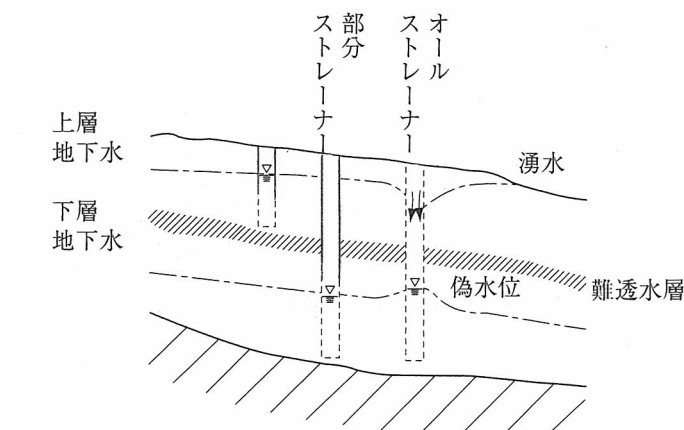
パイプひずみ計を装着した塩ビパイプにオールストレーナ加工を行い、砂等で間詰めを行い併用する方法

② 孔内傾斜計と地下水位計の併用

孔内傾斜計パイプにオールストレーナ加工を行い、砂等で間詰めを行い併用する方法

これらの併用については、従来より下記の問題が指摘されている

- 1) 地中移動量検出の感度や精度が低下する。
- 2) すべり面付近の滞水層の間隙水圧に相当する地下水位でない偽水位を観測しやすい（図-3.1.3.1 参照）。



注) この図では、オールストレーナを入れて誤った地下水位を測定する例を示している。

図-3.1.3.1 多層地下水の概念図

(出典：土地改良事業計画設計基準「農地地すべり防止対策」基準書、技術書

p.133(平成16年3月)農林水産省農村振興局)

オールストレーナ加工の観測孔による地下水位観測は、破碎帯地すべりなどの複雑な地下水構造を示す地すべりにおいては、特に問題が大きく、設置に十分注意する。

3-1-4 気象・水文

降水や融雪水は地すべりの誘因となることも多く、これらのデータは地すべり監視における基礎的なデータとして重要である。また、地すべりの移動量（移動速度）と降水量や融雪量の相関が明瞭な場合は、これらの観測は地すべり活動を推定するうえで有効である。

(1) 降水量

地すべり地域内に1箇所以上自記雨量計を設置して観測を実施することが望ましい。ただし、落ち葉の埋積、強風による破損等機器の劣化等を防ぐ維持管理が必要である。

なお、近傍の気象観測所、アメダス（地域気象観測システム）等のデータで代替する場合には、そのデータが当該地すべり地の降水量と見なしうるかを検討しておく。

(2) 積雪深

積雪地帯においては融雪量を推定するために積雪深を測定する。地すべり地域内あるいは積雪条件が類似した近傍地点を選定し測定する。

また、気温の上昇で融雪が進み地すべりの誘因となる場合も多く、積雪地では気温データ（午前9時の気温及び最高・最低気温）の把握・活用も重要である。

なお、近傍の気象観測所、アメダス（地域気象観測システム）等のデータで代替する場合には、そのデータが当該地すべり地の降水量と見なしうるかを検討しておく。

気象データについては、インターネット上の下記のサイトで公表されている。その他にダム管理施設、市町村役場、消防署などの公的機関におけるデータについても確認する。

- ・国土交通省気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jma/>
- ・国土交通省防災情報提供センター <http://www.mlit.go.jp/saigai/bosaijoho/>
- ・その他各都道府県の総合防災情報システムなど

3-1-5 地すべり防止施設の機能

地すべり防止施設の特性に応じて、施設機能の監視・点検を行い、地すべり防止施設の機能の評価を行う。

(1) 抑制工

地表水排除工としての水路工については、流水断面の変形や閉塞が発生すると、漏出した地表水により地すべり活動が誘発される恐れがある。巡回目視により顕著な異常箇所が確認された場合には、速やかに対応する。

水抜きボーリング工や集水ボーリング工などの地下水排除工では、崩土及び植物根等の進入、ゼラチン状物質を分泌する鉄酸化バクテリアの繁殖等が原因で集水管の目詰まりが生じて集排水機能の低下を引き起こす場合がある。このような場合、地下水位が上昇し地すべりが再活動する恐れがあるため、機能低下が顕著な場合は集水管内の洗浄などの機能回復工事を実施する。目詰まりしやすい水質では、経時的な排水量の減少や目詰まり状況をチェックする（出典：水抜きボーリングの目詰まりとその対策(平成 20 年 3 月)農林水産省農村振興局企画部資源課）。

地下水排除工の機能低下の程度を定量的に把握するためには、排水量の定期的な観測が必要である。大規模な地下水排除工（集水井工や排水トンネル工）が施工された箇所では、その流末の排水量を観測することが望ましい。排水を地元で利用しているところでは、測定を利用者に依頼することも考えられる。

(2) 抑止工

杭工は地中構造物であるため、その機能を詳細に確認することは難しい。しかし、施工時に杭工内に孔内傾斜計パイプが設置されている場合、杭の変形状況から機能を確認することができる。また、杭頭に移動杭を設置し見通し測量により変位を確認することができる。規模が大きく重要度の高い箇所では、これらの設置を検討する。

アンカー工については、緊張力計（センターホール型ロードセル）が施工時に設置されている場合、定期観測によりアンカー荷重の増減を監視することができる。

緊張力計が設置されていない場合や損耗している場合には、緊張力を確認することができない。このような場合には、残存緊張力確認試験（リフトオフ試験）を実施する方法がある。近年、リフトオフ試験専用の小型・軽量ジャッキも開発されており緊張力の面的な分布も容易に調査できるようになっている（出典：SAAM ジャッキを用いたアンカー残存引張力の調査方法（酒井ほか、平成 20 年 12 月）地盤工学会誌 56-12）。

アンカー工については、「二重防食」の十分でない旧タイプアンカーの機能低下が問題となっている。斜面や構造物の安定のみならず、住民の生命・財産に危険を及ぼすことも予想されるため、巡回目視により外観上の機能低下が認められた場合には、十分な調査が必

要となる。

3-1-6 その他の留意事項

観測計器の選定・設置にあたっては、その地域特有の課題を確認した上で、有効なデータが得られるよう配慮する。

地すべり観測を実施する場合、観測地特有の課題がある場合がある。この課題の十分な検討なく観測を開始した場合、十分なデータが得られないことがある。特有の地質条件や地すべりタイプ・気象条件や地形条件などについても十分検討する。

(1) 地質条件や地すべりタイプ

地質条件（第三紀層地すべり、破碎帯地すべり、温泉地すべり）や地すべり土塊タイプ（岩盤地すべり、風化岩地すべり、崩積土地すべり、粘質土地すべり）により、観測機器の適用性は異なるため、採用実績等も考慮して地すべりの特性に応じた機器を選定する。

たとえば、孔内傾斜計は粘稠型地すべりにおいては適用性に優れるが、崩壊型地すべりでは観測孔の破断等により計器挿入が不能になることが多いため適用性に劣ると言われている。加えて、火山地帯や温泉地帯などの地すべり地では強酸性の地下水によりアルミ性の孔内傾斜計パイプが腐食されるため、腐食されない材質のパイプを選定する必要がある。また、岩盤地すべりなどでは、地すべり土塊中に大きな開口亀裂や空洞が発達することもあり、布パッカー等を用いた特殊な観測孔の孔壁充填が必要な場合もある。

近傍の地すべり対策事業地区において採用されている観測機器を参考に機器を選定する。

(2) 気象条件や地形条件

積雪地帯では、融雪を誘因とした地すべりがしばしば発生することから、融雪期を含む積雪期間中の地すべり監視が重要である。地すべり監視を行う上で、積雪に対する特別な対応が必要となる。豪雪に伴い立ち入り困難となる場合には、冬季に手動方式の観測（挿入型孔内傾斜計観測など）を実施することが困難となる。春先の融雪時に地すべりを監視するためには、設置型孔内傾斜計やパイプひずみ計などを用いた全自動方式の観測あるいはデータ収録地点を人家等に設けた半自動観測が必要となる。また、地表部に設置する観測装置は、「雪囲い」などの耐雪仕様にするとともに、除雪等のため目印となるポール等を設置しておく。豪雪地の監視に関しては、別途 **5-4** でも記載している。

海岸に面する地すべり地においては、潮風などにより観測機器が腐食しやすいことなどにも配慮する。

地すべり監視における留意点

(独) 農研機構 農村工学研究所 中里裕臣

地すべり監視では、主にすべり面に作用する間隙水圧としての地下水位と地表及び地中変位が対象となる。ここでは、いくつかの監視手法の現地適用において得られた留意点を紹介する。

1. 地下水観測

監視が必要となるような活動的もしくは保全対象への影響が大きい地すべりブロックでは安定解析が行われ、安全率が1となる間隙水圧に相当する地下水位が求められる。最近では絶対圧測定タイプの自記水位計が6万円程度の価格となっており、デジタルデータが得られることから導入コストとデータ整理にかかる労力を抑えた監視が可能となっている。さらに、観測を通じて地下水位と実効雨量等の降雨指標との相関が得られれば、降雨量から安全率を推定することも可能になる。図1は第三紀層地すべりにおける水位観測記録（オールストレーナ孔）であり、相関の高い実効雨量（半減期 161h）から得られる推定水位を同時に示した。降雨に対する推定水位変化の再現性は高いが、水位の高い1月～3月の積雪～融雪期の再現性は低く、積雪地域の地すべりでは積雪～融雪期における水位観測の重要性が指摘できる。

地下水観測による監視では、すべり面付近のみを観測対象とする部分ストレーナ孔の設置が望ましいが、専用孔設置にはコストがかかる。ここで、活動的ブロックにおいて破断した孔内傾斜計観測孔（ガイドパイプ外周がグラウトされているもの）に着目すると、破断部以深を遮水することですべり面に作用する間隙水圧を観測できる可能性がある。図2は第三紀層地すべりの深度51mで破断した孔内傾斜計観測孔内の水位記録で、孔内水位は半減期 769hの実効雨量と相関が高く、近傍で深度48.6mに設置した間隙水圧計と同程度の水位を示すことを確認した。破断した孔内傾斜計観測孔を利用してコストをかけずに精度の高い安全率推定が可能な手法の検討を進めている。

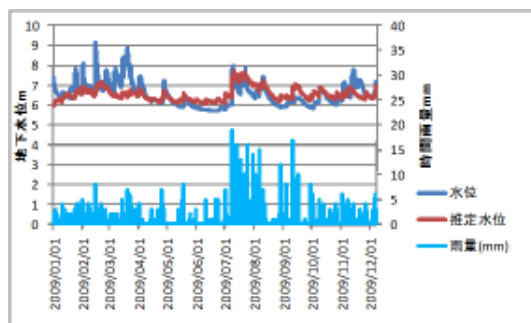


図1 第三紀層地すべりにおける実効雨量に基づく地下水位の推定

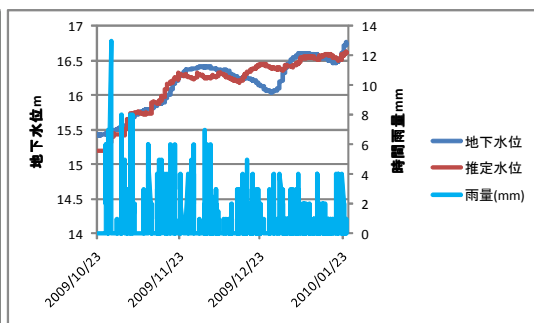


図2 破断孔内傾斜計観測孔における孔内水位と実効雨量に基づく推定水位

<1/2>

2. GPS による地表変位観測

GPS による地表変位観測は基準点との視通が不要であることから特に大規模地すべりの監視に適しているが、原理的に $\pm 5\text{mm}$ 以上（水平成分）の誤差を含むため、特に対策工施工後の監視では移動量が小さくなることから連続観測により変位のトレンドを把握することが望ましい。ここで、長期にわたる観測では観測点周辺の植物の成長により誤差が増大するケースがあり、観測点周辺の管理が重要である（図3）。

地すべり観測におけるGPS観測の測位点は地表に設置した標点とし、連続観測用の架台は地すべりにより地盤が変位してもGPS受信機は標点上に調整できる構造を提案してきた（図4）。地表を標点とすることで、架台を撤去した後も随時測位が可能であり、必要に応じて連続観測を復活させることも可能である。要監視ブロックでは事業実施中に長期的に利用可能で視界の良い地点に工事基準点兼GPS観測点を配置し、豪雨や地震等のイベント後に一斉観測を行い、目視では把握できないような地すべり兆候を検出することが期待される。

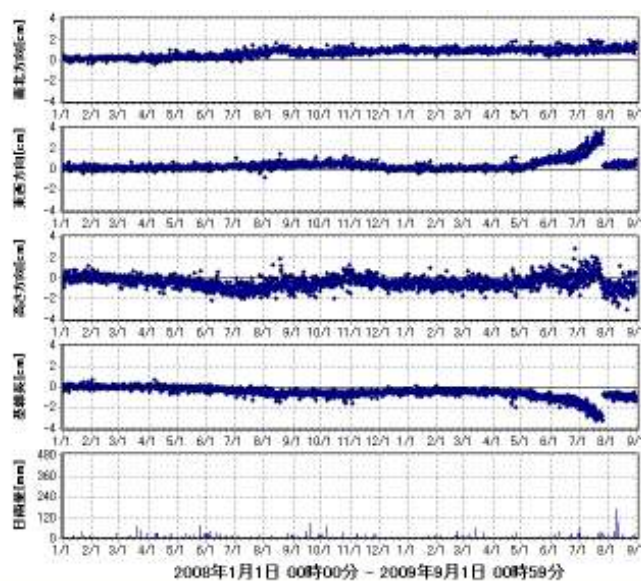


図3 GPSによる連続観測例

2009年5月～7月にかけて大きな変位が観測されたが、観測点西側の樹木伐採により元に戻っている。

これは、樹木の生育により、観測点上空の見通しが悪くなったことが原因。

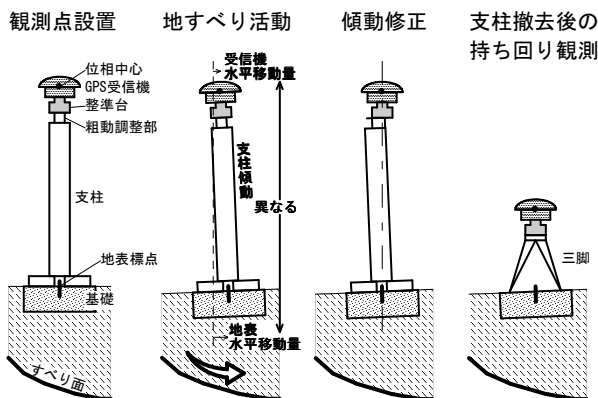


図4 地表を標点とするGPS観測点構造

3-2 観測方式の選定

地すべりの観測方式（手動方式、半自動方式、全自動方式）は、地すべりの規模、地すべり機構、活動パターン、保全対象、対策工事の内容等を勘案し、必要とされるデータ期間、データ密度、データ品質、即時性の要否等を検討し決定するが、観測方式によるコストの違いも十分に考慮して選定する。

(1) 事業実施時の観測方式

観測方式は、地すべりの規模と危険度を考慮して選定する。

大規模な地すべりが高いレベルで変動し保全対象に被害を及ぼす恐れがある場合には、手動方式の観測では地すべり変動の全貌を把握するのに時間がかかりすぎ、避難措置等の対応が遅れる危険性もある。このような場合、リアルタイムで大規模な地すべりの全貌を把握することができる全自動方式が適している。

地すべりは中～小規模であっても変動レベルが高く、人家等の保全対象に被害を及ぼす可能性がある場合には伸縮計警報装置（サイレン・ブザー・ランプ付き）などの半自動～全自動方式のシステムを採用する。近年では、インターネットや携帯電話により警報伝達を行う小規模な全自動方式の警報システムもしばしば採用されている。

一方、地すべり規模が小さく危険度が小さい場合には、手動方式の観測でも十分な場合が多い。さらに、大規模な地すべりであるが変動レベルが小さいものについては、定期的な測量による手動方式が適している。

(2) 地すべり対策事業概成後の観測方式

事業概成後の観測方式については、ランニングコストを考慮する。

全自動方式の観測を継続するためには、観測機器の維持管理（機器の修理や更新、草刈り、不要施設の撤去等）に多くのコストを要することがある。全自動方式システムの縮小（計器数の絞り込み）や半自動方式や手動方式への変更についても検討する。

なお、各種計器の耐用年数は、ほぼ5年が限度と言われており（出典：地すべり観測便覧 p. 109(平成8年10月)地すべり対策技術協会）、ランニングコストの検討期間は5年間程度を想定することが適当と考えられる。

さらに、監視により地すべり前兆現象等が確認されない場合は、概成後の経過時間に応じて段階的に監視方式を簡素化することも検討する（例えば、1年目：全自動方式→2年目：半自動方式→3～4年目：手動方式→5年目以降：巡回目視のみなど）。機器を使用しない巡回目視であれば長期間の監視も可能である。

(3) 規模及び危険度による地すべり監視観測方式の提案

直轄地すべり対策事業や都道府県営地すべり対策事業において採用されている観測方式を参考に、**表-3.2.1 に規模及び危険度による地すべり観測方式(案)**を作成した。

地すべり地域には、複数の地すべりブロックが存在することが多い。各々の地すべりブロックは、固有のすべり面と活動特性を持っており安定度もそれぞれ異なる。

地すべりブロックの危険度分級は、地すべりブロックの運動の状況、履歴、地形等から判読される斜面そのものの安定度と想定される地すべり被害の影響を考慮した保全対象の重要度を組合せて行う（出典：土地改良事業計画設計基準「農地地すべり防止対策」基準書、技術書 p. 32, 33, 342-344(平成 16 年 3 月)農林水産省農村振興局）。

地すべりの規模と危険度に応じた観測方式を選択する。

表-3.2.1 規模及び危険度による地すべり観測方式（案）

			地すべり規模			
			巨大	大	中	小
			幅 1000m 以上	幅 300～1000m	幅 100～300m	幅 100m 未満
危険度（重要度評価を含む）	特大	変動 A 以上	直轄地すべり対策事業 全自動方式			都道府県営地すべり対策事業 全自動方式 （小規模な警報システムなど） ～ 半自動方式
	大	変動 B	全自動方式 ～ 半自動方式			半自動方式
	中	変動 C	半自動方式			手動方式
		変動 C 未満	手動方式 ～ 測量による 広域的観測			手動方式 ～ 簡易計測 事業概成後の地すべり監視
	小					

注）簡易計測は、地すべり発生 of 初期段階における応急調査手法としても重要である。

(4) 観測データの共有方法

携帯電話やインターネットを利用する全自動方式の観測では、遠隔地においてデータの閲覧が可能なシステムが増えている。

このようなシステムは、複数の関係者（管理者、現地関係者、観測業者、現場担当者）が必要に応じて、いつでも観測データを閲覧できるため、緊急時等には迅速に対応できる利点がある（図-3.2.1）。

基本的には地すべり活動が活発で常時監視体制を取る必要がある地区や、緊急時に現地に近寄ることが困難な地区などに向けて整備されたシステムであり、インターネット経由でほぼリアルタイムで（正確には通信頻度により若干のタイムラグがある）観測データが閲覧できる。これにより、大雨など地すべり災害の発生が懸念されるような際に、現地に行く前に事務所から地すべり活動状況を把握し、適切な初動体制を取ることが可能である。

また、複数の関係者間でのデータ共有を可能にすることから、複数の調査や事業を平行して実施している際の観測結果の整理や解析の労力軽減に役立てることができる。

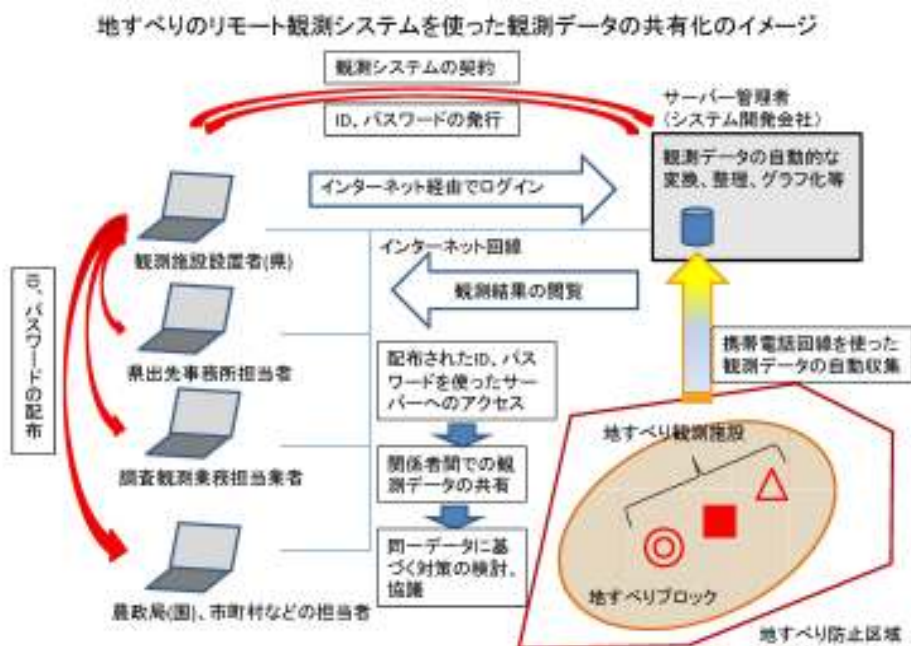


図-3.2.1 インターネット上で観測データを共有する事例

(5) 観測要領（案）

巡回目視や手動方式、半自動方式では、観測頻度や観測時期を設定する。

表-3.2.2 に地すべり対策事業概成後の観測要領（案）を示した。

概成後の観測頻度や観測時期については、事業実施期間中の実績等をもとに設定する。

また、地すべり変動が発生しやすい降雨期や融雪期などに重点を置く。なお、地すべり前兆現象の有無や概成後の経過時間に応じて、頻度を見直す。

表-3.2.2 事業概成後の観測要領（案）

（参考：土地改良事業設計基準計画「農地地すべり対策」基準書、技術書（農林水産省農村振興局）平成 16 年 3 月）

観測機器		観測機器の配置	観測回数 (参考)		備考
			定期 (降雨期、融雪期)	不定期 (異常時)	
巡回目視		地域の全域（概査ルート） 重要箇所（精査ルート）	1 回以上/年	随時	すべての地すべり地で実施
地表移動量	簡易計測	重要箇所 (顕著な変状箇所)	1 回以上/年	随時	巡回目視と合せて実施
	測量による方法 (GPS、写真計測を含む)	重要箇所 (広範囲)	-	随時	
	伸縮計	重要な保全施設の近傍など	2 回以上/年(半自動)	随時	
地中移動量	孔内傾斜計	大規模ブロック重要箇所	1 回以上/年(手動) 2 回以上/年(半自動)	随時	
	鉛直方向伸縮計	大規模ブロック重要箇所	2 回以上/年(半自動)	随時	
	すべり面測定管	主要観測孔	-	随時	
間隙水圧 (地下水位)		重要観測孔 (移動量と相関)	2 回以上/年(半自動)	随時	
防止施設の機能		地下水排除工 (重要施設の排水量)	1 回以上/年(手動) 2 回以上/年(半自動)	随時	
		杭工（孔内傾斜計）	1 回以上/年(手動)	随時	
		アンカー工（緊張力計）	1 回以上/年(手動)	随時	

1) 当表は事業概成後の地すべり監視における巡回目視、手動方式、半自動方式の観測頻度や観測時期を示しており、全自動方式の観測は対象としていない。

2) 異常時とは、異常豪雨時（地区ごとに設定）や大地震発生時（震度 4 以上など）を示す。

3-3 観測結果の評価と活用

地すべりの活動状況の評価し、地すべり災害の予防あるいは被害を最小規模にとどめるため、観測結果による評価と活用の基準を事前に設定しておく。

観測結果に基づき地すべりの活動状況の評価した上で、地すべり災害の予防あるいは被害を最小規模にとどめるために適切な措置を講じる必要があるが、その緊急性が高い場合には、避難の措置や応急対策工事なども必要となる。得られた観測結果のみでは地すべりの状況を十分に把握できない場合には、追加調査や追加観測を行う。

また、必要に応じて、地すべり観測結果をもとに新たな地すべり対策事業の検討を行う。

(1) 管理基準値の設定

適切な対応を迅速に行うためには、観測結果による管理基準値と対応方針を事前に設定しておく。各々の地すべりで地すべり機構や変動特性が異なるため、管理基準値は各々の地すべり地毎に設定する。なお、事前に設定された管理基準値は、地すべりの状況に応じて柔軟に見直していく。さらには、地すべりの状況に応じて地すべり監視体制そのものを見直す。

表-3.3.1～表-3.3.3 に代表的な管理基準値の事例を示した。

管理基準値を設定される計器には地表伸縮計が多いが、その他にパイプひずみ計、地中伸縮計、地盤傾斜計、孔内傾斜計、光波測距儀、雨量計、まれに地下水位計などにおいても設定される。

(2) 監視体制作り

地すべりの監視は、地すべり防止区域の管理の一環として都道府県が主体で行うが、監視内容の一部は市町村や巡視員（地域住民）、あるいは観測業者等に委託されることが考えられる。観測結果の伝達や管理基準値を超えた場合の対応方針については、あらかじめ十分な連絡体制を作っておく。

表-3.3.1 代表的な管理基準値(伸縮計)

(出典：地すべり観測便覧 p.371～372(平成8年10月)地すべり対策技術協会)

計測器種類	機関名または研究者	管理基準値				備考	
地表伸縮計	渡 (1985)	警戒態勢/必要に応じて避難		1 mm/day 以上が 5～10 日継続 または 1cm/day 以上が 2 日以上継続			
		緊急避難・地区内立入り禁止		2～4mm/h 以上			
	西嶋 (1991)	警戒体制		5～10mm/日以上		農水省技術検討委員会「緊急時に於ける地すべり対策」で発表分。延15年間の長野県下の地すべり調査・対策・施工結果のまとめ。	
		避難体制		2～3 mm/h 以上			
	(財)高速道路調査会 昭和 63 年 2 月	調査・設計段階 の管理基準値	・異常値と認められる最小値	0. 5 mm/日		計測誤差を超えた計測値を「異常値」という。	
			・活動中地すべりと判定すべきとき(上記に加えて) (1) 計測値に経時的な累積性が認められる場合 (2) 複数の計測機器で同時に同様な変動傾向を示す場合 (3) 降雨・降雪に関連して累積変動を繰り返す場合(回転・回帰変動を含む) (4) とくに、パイプひずみ計や地中傾斜計など地中変位計測ですべり面と認定できる計測結果が得られた場合				
		施工段階 の管理基準値	・点検・要注意または観測強化	5 mm以上/10 日			
			・対策の検討	5～50 mm以上/5 日			
			・警戒・応急対策・通行止検討	10～100 mm以上/1 日			
		維持管理段階 の管理基準値	・厳重警戒・通行止め	100 mm以上/1 日			
			・点検・要注意または観測強化	10 mm以上/30 日			
			・対策の検討	5～50 mm以上/5 日			
			・警戒・応急対策・通行止検討	10～100 mm以上/1 日			
		・厳重警戒・通行止め	100 mm以上/1 日				
	斉藤 (1972)	日常変化		10 ⁻² /分以下		単位は地表歪速度	
		要注意		10 ⁻³ /分以上			
		要警戒		10 ⁻⁴ /分以上			
		厳重警戒		10 ⁻⁵ /分以上			
	建設省 河川砂防技術(案) ・調査編	警報		4～1 mm/h 以上		市販の警報器について	
		地すべりの運動形態の予測(一部のみ抜粋)					
		新鮮又は弱風化の岩盤突発性			突発性		
風化岩盤			急速性, 1cm/日以上になる				
礫混じり土砂			断続性, 1 mm～10cm/日				
粘土性継続性, 1 mm～1cm/日			断続性, 1 mm～1cm/日				
藤原 (1979)		地盤変動種別一覧					
	変動種別	日変位量 (mm)	累積変動量 (mm/月)	一定方向への累積傾向	変動形態 (引張り・圧縮、断続)	総合判定	
						変動判定	活動性ほか
	変動 A	1 以上	10 以上	顕著	引張り	確定	活発に運動中 表層・深層すべり
	変動 B	0. 1～1	2～10	やや顕著	引張り・断続	準確定	緩慢に運動中 粘質土・崩積土すべり
	変動 C	0. 02～0. 1	0. 5～2	ややあり	引張り・圧縮	潜在	継続観測必要
	変動 D	0. 1 以上	なし	なし	規則性なし	以上	局所的な地盤変動・ その他

表-3.3.2 代表的な管理基準値(パイプひずみ計)

(出典：地すべり観測便覧 p. 373～374(平成 8 年 10 月)地すべり対策技術協会)

計測器種類	機関名または研究者	管理基準値				備考		
パイプひずみ計	西嶋(1991)	警戒体制		10 ⁻⁴ strain /日以上		農水省技術検討委員会「緊急時に於ける地すべり対策」で発表分。延15年間の長野県下の地すべり調査・対策・施工結果のまとめ。		
		避難体制		2×10 ⁻³ strain /日以上				
	(財) 高速道路調査会 昭和63年2月	調査・設計段階の管理基準値	・異常値と認められる最小値	50～100μstrain / 7日		計測誤差を超えた計測値を「異常値」という。		
			・活動中地すべりと判定すべきとき(上記に加えて) (1) 計測値に経時的な累積性が認められる場合 (2) 複数の計測機器で同時に同様な変動傾向を示す場合 (3) 降雨・降雪に関連して累積変動を繰り返す場合(回転・回帰変動を含む) (4) とくに、パイプひずみ計や地中傾斜計など地中変位計測ですべり面と認定できる計測結果が得られた場合					
		施工段階の管理基準値	・点検・要注意または観測強化	10 ⁻⁴ strain 以上(累積)				
			・対策の検討	10 ⁻³ ～5×10 ⁻³ strain(累積)				
			・警戒・応急対策・通行止検討	-				
			・嚴重警戒・通行止め	-				
	藤原(1979)	地盤変動種別一覧						
		変動種別	日変位量 (μstrain/月)	変動形態		すべり面の存在の地形・地質学的可能性	総合判定	
				累積傾向	変動状態		変動判定	活動性ほか
		変動A	5,000 以上	顕著	累積変動	あり	確定	活発に活動している岩盤・崩積土すべり
		変動B	1,000 以上	やや顕著	〃	〃	準確定	緩慢に活動しているクレープ型地すべり
		変動C	100 以上	ややあり	累積 断続 擾乱 回帰	〃	潜在	すべり面存在有無を断定できないため、継続観測が必要
		変動D	1,000 以上 (短期間)	なし	断続 擾乱 回帰	なし	異常	すべり面なし。地すべり以外の要因

表-3.3.3 代表的な管理基準値(孔内傾斜計)

(出典：地すべり観測便覧 p. 374(平成 8 年 10 月)地すべり対策技術協会)

計測器種類	機関名または研究者	管理基準値		備考	
孔内傾斜計 (挿入型)	西嶋(1991)	警戒体制	5mm / 日以上	農水省技術検討委員会「緊急時に於ける地すべり対策」で発表分。延15年間の長野県下の地すべり調査・対策・施工結果のまとめ。	
		避難体制	10mm / 日以上		
	(財)高速道路調査会 昭和63年2月	調査・設計段階 の管理基準値	・異常値と認められる最小値	1mm~10mm/ 回	計測誤差を超えた計測値を「異常値」という。
			・活動中地すべりと判定すべきとき(上記に加えて) (1)計測値に経時的な累積性が認められる場合 (2)複数の計測機器で同時に同様な変動傾向を示す場合 (3)降雨・降雪に関連して累積変動を繰り返す場合(回転・回帰変動を含む) (4)とくに、パイプひずみ計や地中傾斜計など地中変位計測ですべり面と認定できる計測結果が得られた場合		
		施工段階および 維持管理段階の 管理基準値	・点検・要注意または観測強化	1mm 以上 / 日	
			・対策の検討	5~50mm 以上 / 日	
・警戒・応急対策・通行止検討	-				
	・嚴重警戒・通行止め	-			

(3) 異常データの扱い

観測中には、計器の設置状態や人為的な誤差、計測器の特性により、瞬間的に大きな値やブレ等の通常観測値とは異なったデータが発生することがある。これらについては、地すべり変動によるものか否かを検証した上で、異常データの場合には原因を追及し、設置状態や作業手順の改善を行う。異常データの判定には、1種類の観測計器のデータだけではなく、他の計器の観測結果と対比して吟味する。

特に、発生しやすい異常データとしては下記のようなものがある。

- ①伸縮計周辺の草木の繁茂による異常データ
- ②挿入型孔内傾斜計における振動・衝撃や温度変化による異常データ
- ③水圧式水位計の設置深度が浅いためにおきる異常データ
- ④ひずみゲージないしリード線の被覆部の劣化により水が浸入し絶縁低下が発生した影響による異常データ

図-3.3.1 に異常データの例を示した。

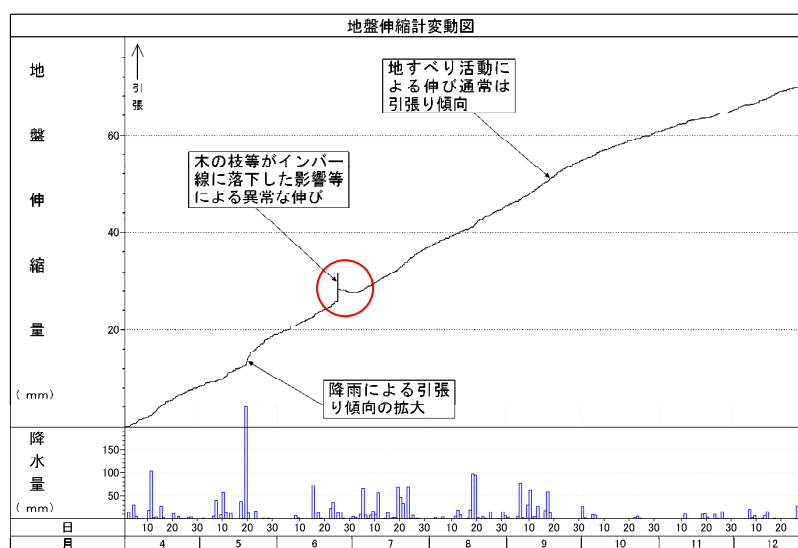


図-3.3.1(1) 地盤伸縮計の異常データの例

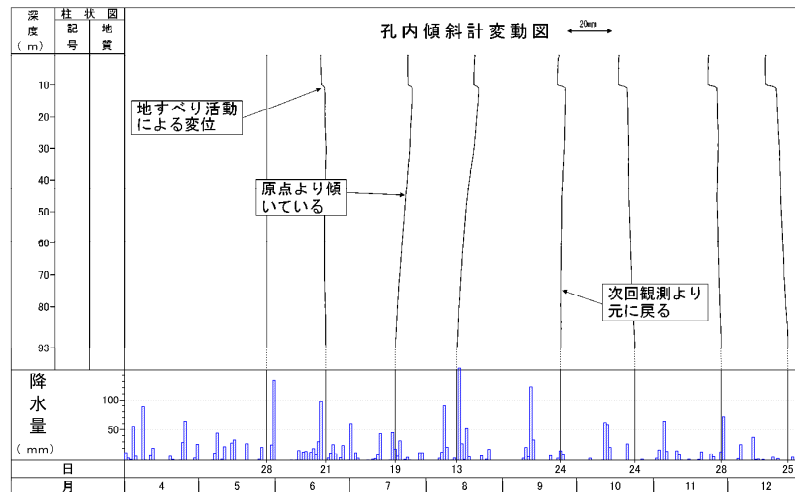


図-3.3.1(2) 孔内傾斜計の異常データの例

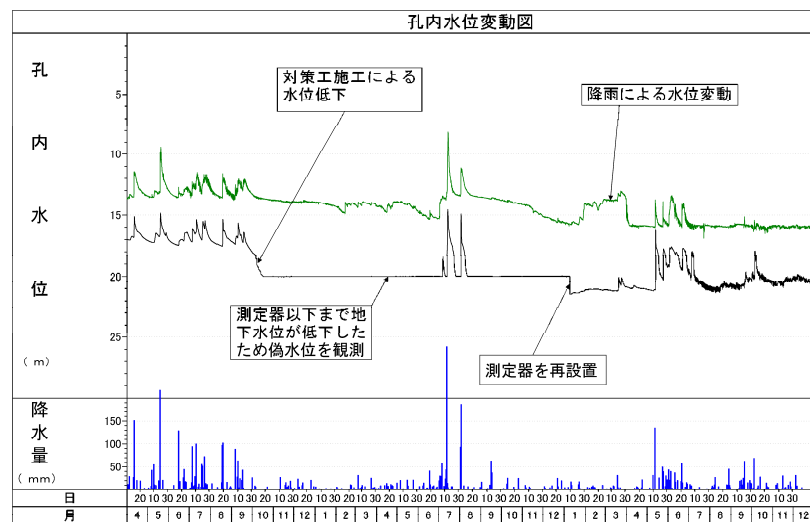


図-3.3.1(3) 水圧式孔内水位計の異常データの例

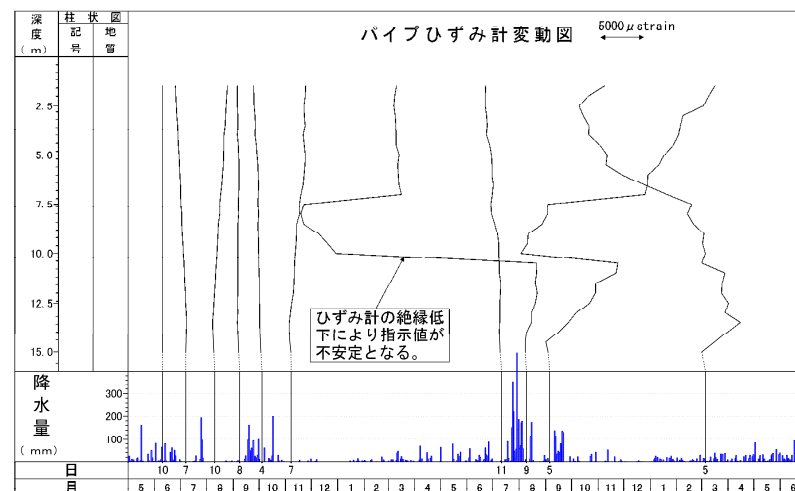


図-3.3.1(4) パイプひずみ計の異常データの例