

地すべり監視体制構築の手引き

-地すべり地の安全・安心のための効率的な地すべり監視体制-

農林水産省農村振興局農村環境課

平成 23 年 8 月

農林水産省

手引きのポイント

この手引きは、地すべり地の適正な管理を行うため、地すべり対策工事概成後も継続的な監視が特に必要とされる地すべり地*において、最適な地すべり監視体制を構築する上で参考とすべき事項をまとめたものである。

*再活動により重要な保全対象に影響を与える地すべりブロックや、大規模で継続的な変動が予想される地すべりブロックなどで個々の地すべり地において検討する。(P. 19 1-4 地すべり監視体制構築の流れ 参照)

1. 地すべり監視の意義

地すべり現象の予知・予測は難しく、地すべり対策工事実施後にも地すべりが発生する場合がある。地すべり災害を未然に防ぐためには、継続的に地すべりを監視することにより、地すべり現象を早期に検知し、適切な対応を行う。

地すべり監視の基本は巡回目視である。巡回目視により地すべり前兆現象の把握や制限行為の監視、地すべり防止施設の機能の評価を適切に行う。

地すべり地の管理においては、過去の地すべり機構調査結果、対策工事の仕様や数量、経年的な各種観測データ、その後の地すべり監視結果などを蓄積しておくことが極めて重要である。

継続的な監視が特に必要な地すべり地の監視体制は、①観測機器の選定、②観測機器の配置、③観測方式の選定等について検討を行って、地すべり対策事業実施中に調べておく。また、観測結果を評価しながら、構築した監視体制は適宜見直す。

2. 地すべり監視の概要

地すべりの監視は、各種の観測機器を用いて行うことから、観測手法や観測方式についての最新の動向を踏まえる必要がある。

一方で、観測コストを抑えるために、巡回目視と併用できる簡易計測手法やコストの低い観測手法を有効に活用する。

3. 地すべり監視体制の構築

地すべりの監視体制における観測は、主に地すべりの移動状況を把握する観測と地下水位の観測である。地すべりの活動状況（変動レベル）を勘案し、機器を選定する。

地すべりの観測方式（手動方式、半自動方式、全自動方式）は、コストを考慮のうえ、地すべりの活動状況等を勘案し、必要とされるデータ期間、データ密度、データ品質、即時性の可否等を検討して選定する。

地すべりの活動状況を評価し、地すべり災害を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。

目 次

地すべり監視体制構築のフローチャート	5
はじめに（手引きの目的）	6
第1章 地すべり監視の意義	8
1-1 地すべり監視の意義	8
1-2 地すべり監視の基本—巡回目視—	11
1-3 既往データ蓄積の重要性	15
1-4 地すべり監視体制構築の流れ	19
第2章 地すべり監視の概要	23
2-1 観測手法について	23
2-1-1 地表移動量	25
2-1-2 地中移動量	31
2-1-3 間隙水圧（地下水位）	34
2-1-4 気象・水文	38
2-1-5 地すべり防止施設の機能	38
2-2 観測方式について	40
第3章 地すべり監視体制の構築	42
3-1 観測機器の選定・配置	42
3-1-1 地表移動量	44
3-1-2 地中移動量	46
3-1-3 間隙水圧（地下水位）	50
3-1-4 気象・水文	52
3-1-5 地すべり防止施設の機能	53
3-1-6 その他の留意事項	55
3-2 観測方式の選定	58
3-3 観測結果の評価と活用	63
第4章 地すべり監視体制構築の事例	68
4-1 第三紀層地すべりにおける検討事例	69
4-2 破碎帯地すべりにおける検討事例	74
4-3 貯水池の地すべりにおける検討事例	79
第5章 新しい観測手法	84
5-1 ワイヤレスセンサー	85
5-2 地中移動量の併用観測手法	87
5-3 写真計測及びレーザプロファイラー計測	90
5-4 GPS計測他（豪雪地帯での検討）	94
5-5 その他の新しい観測技術の展望	97
おわりに	99
参考図書	100

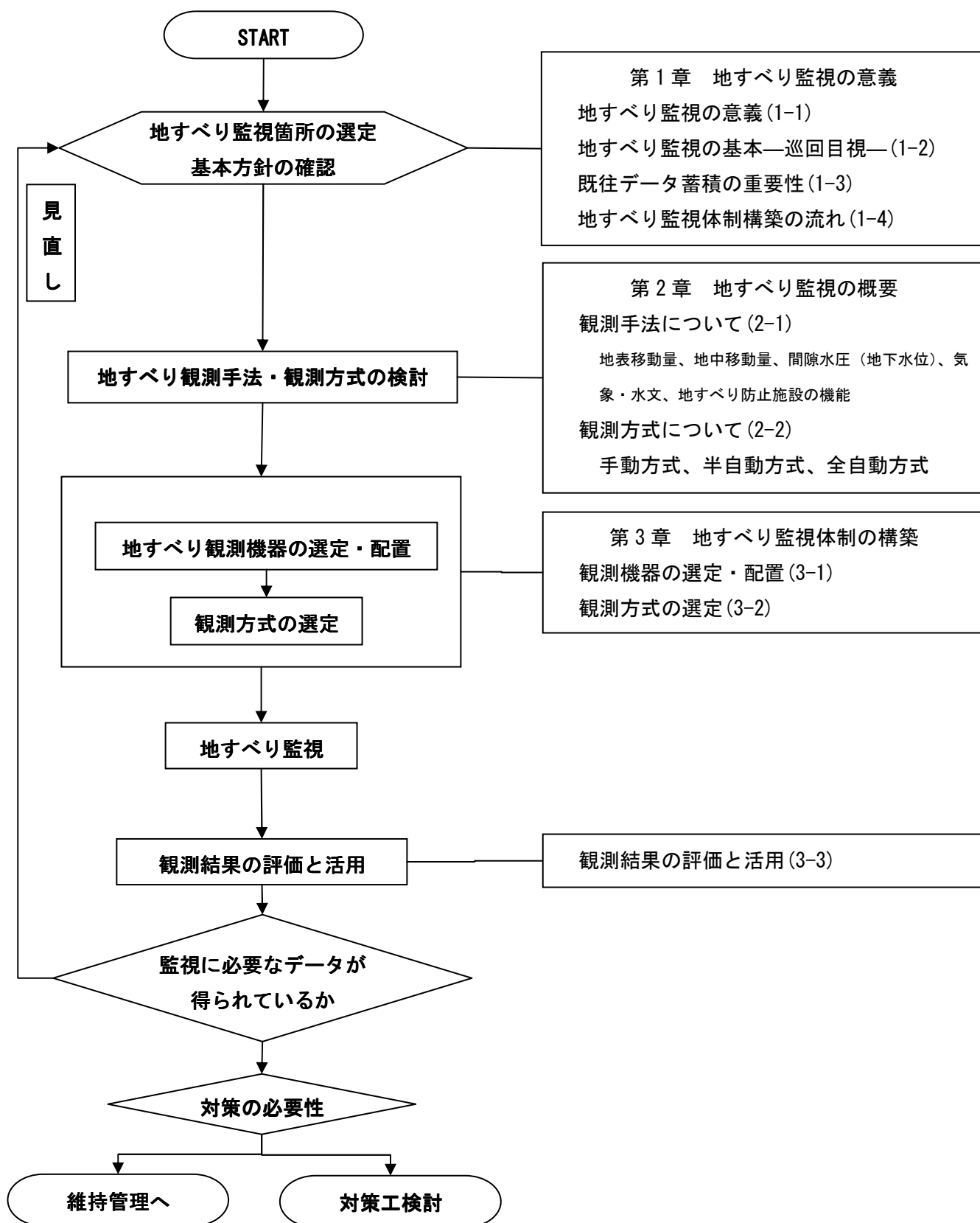
コラム一覧

農地地すべり地の維持管理の必要性と今後	9
観測データの蓄積と引継ぎの重要性	16
地すべり機構解明の観測と地すべり監視の観測の違い	21
地すべり監視における留意点	56

コストの検討事例

地表面変位置編	30
地中移動量編	33
地下水位編	37

地すべり監視体制構築をもとにした地すべり地管理のフローチャート



はじめに（手引きの目的）

この手引きは、地すべり地の適正な管理を行うため、地すべり対策工事概成後も継続的な監視が特に必要とされる地すべり地*において、最適な地すべり監視体制を構築する上で参考とすべき事項をまとめたものである。

*再活動により重要な保全対象に影響を与える地すべりブロックや、大規模で継続的な変動が予想される地すべりブロックなどで個々の地すべり地において検討する。（P. 19 1-4 地すべり監視体制構築の流れ 参照）

近年、大型台風の上陸や集中豪雨の増加、大地震の発生などにより、地すべりをはじめとする斜面災害は増加傾向にある。斜面災害は山間地などで発生するが、山間地とその周辺にある農地の約1割弱が地すべり地にある。この中山間地域の農業農村は、食料の供給とともに多面的機能を有している。多面的機能とは、国土保全、水源のかん養、自然環境の保全、良好な景観の形成などであり、農業生産活動によって発揮されているもので、多くの国民の生命・財産と安定した生活を守る公益的な役割を果たしている。地すべり等斜面災害から中山間地域の農地及び農業用施設を保全していくことは、こうした多面的機能が将来にわたって発揮されるために大切なことである。地すべり災害を完全になくすことは困難であるが、地すべり前兆現象を早期に発見することにより、被害を最小限に食い止めることができる。

前兆現象を早期に発見するためには、地すべり地に暮らす住民の日常生活や農業を営む中で行える地すべり災害から身を守るための取り組みが重要である（**地すべり災害を予防・軽減するための活動の手引き（平成20年12月）農林水産省農村振興局農村環境課**）。

一方、地すべりが発生している、または地すべりを起こすおそれの大きい場所に対しては、地すべり等防止法に基づき地すべり防止区域に指定され、被害の除去や軽減のため地すべり対策工事が行われる。しかしながら、地すべり現象は複雑であり、技術が進んだ今日においても、地すべり対策工事概成後にも地すべり斜面が活発化することがある。したがって、地すべり対策工事概成後に発生する地すべり災害の予防や被害軽減のため、保全対象が多いなどの概成後も継続的な監視が特に必要とされる地すべり地においては、監視体制を構築する必要がある。

継続的な監視の必要性は、地すべりの規模、地すべり機構、活動パターン、保全対象、対策工事等を勘案して決定し、ある程度の期間、観測機器を用いた継続的な監視を行う。地すべり監視体制の構築は、設置・観測コスト等を勘案し地すべり対策工事实施中から検討する必要がある。また、観測の結果、地すべり災害に至る兆候が発見された場合には、地すべり対策事業の再開等必要な対策に結びつける必要がある。

地すべり災害から農地及び農業用施設を保全し、安全・安心な農村地域の暮らしを実現するためには、地すべり地の適正な管理を行っていく必要がある。

手引きの構成

本手引きは、地すべり対策事業の担当者及び事業概成後の管理担当者の業務上の参考として作成したものである。また、土地改良事業実施に伴い必要となった地すべり対策工事においても参考となるものである。

第1章では、「地すべり監視の意義」として、地すべり監視の目的や監視の基本となる巡回目視の方法、データ蓄積の重要性、地すべり監視体制構築の流れについて述べた。

第2章では、「地すべり監視の概要」として、地すべり監視に用いられる様々な観測手法や観測方式についてその全般的な概要を整理した。

第3章では「地すべり監視体制の構築」として、様々な観測機器の選定・配置、観測方式の選定、観測結果の評価と活用についての方法や留意点を述べた。

第4章では、「地すべり監視体制構築の事例」として、第三紀層地すべり・破碎帯地すべり・貯水地の地すべりにおいて地すべり監視体制を検討した事例を紹介した。

第5章では「新しい観測手法」として、地すべり観測において導入されつつある新技術とその展望について紹介した。

第1章 地すべり監視の意義

1-1 地すべり監視の意義

地すべり現象は不明確な面も多く、その発生を完全に予知・予測することは難しく、地すべり対策工事实施後にも地すべりが発生する場合がある。地すべり地においては継続的に地すべりを監視することより、地すべり現象を早期に検知し、適切な対応により被害を最小規模にとどめることができる。

地すべりの観測はその目的により、①地すべり機構解明のための観測と、②地すべり監視のための観測に分けられる（表-1.1.1）。この手引きでは地すべり監視のための観測について述べるが、この二つの観測は明瞭に区分できない部分も多い。一般的に、対策工事完了後に行う監視のための観測は、対策工事实施時に行われた地すべりの機構解明のための観測を引き継ぐものであり、これら対策工事实施時に構築された観測体制を有効に活用することが重要となる。このため、対策工事完了後も引き続き継続的な監視が特に必要とされる地すべり地においては、監視体制の構築は対策工事实施中から検討する。地すべり監視のための観測では、地すべり前兆現象の早期発見、移動量の予測、地すべり防止施設の機能点検などが求められる。

なお、地すべり監視体制は地すべり防止区域管理者である都道府県、市町村、地元住民、観測業者などからなる人的体制作りについても十分考慮する必要がある。

表-1.1.1 地すべり観測の目的の区分

区 分	内 容
①地すべり機構解明 のための観測	地すべりの発生機構や滑動機構を明らかにし、地すべりの素因と誘因に対応した適切な対策計画を立てるために実施される観測。 地すべり対策事業実施中は、種々の観測が比較的短期間で実施される。
②地すべり監視 のため観測	地すべりのモニタリングにより、保全対象を地すべりの被害から未然に防いだり、地すべり発生箇所を予測したり、対策工の効果を判定するための観測。 地すべり対策事業概成後の観測や巡回目視などは、地すべり監視のための観測である。 このほかに、広域的な地すべり発生箇所の予知・予測のための観測もある。

コラム

農地地すべり地の維持管理の必要性和今後

三重大学大学院生物資源学研究科 教授 酒井俊典

日本は急峻な地形で平野部が少ないため、古来より中山間地域の急峻な場所で農業が営まれてきています。この急峻な場所で農業を行う場合、地すべり地が良好な農地となることを昔の人はよく知っていました。地すべり地が良好な農地である理由としては、長年にわたり土壌が移動することで、土層が厚くなり肥沃で耕作がしやすくなることに加えて、農業にとって最も必要な水が豊富にあることです。このように昔の人は、地すべり地の良さを理解し、自分たちで適切な維持管理をしながら自然と共生して農業を続けてきました。

ところで、農地は原生自然に人間の手が加わり、長年にわたって維持管理されてきているいわゆる2次的自然です。言い換えると、農地は人間が人工的に作り出した自然であるため、現状を維持するためには必ず定期的な管理が不可欠です。地すべり地の多くは、棚田や段々畑として利用され、美しい景観や多様な生物をはぐくむ場ともなっています。また、このような農地の多面的機能は、国民生活や経済活動の安定にとって大きな役割も果たしてきています。しかし、この農地の多面的機能を維持するためには、草刈り、水路や畦畔の補修などの定期的な管理が不可欠で、今までこれらの管理は農家の人達の多くの手によって行われてきています。現在、農家の高齢化が進み、特に地すべり地が多く存在する中山間地域では、高齢化に伴って農業に従事する人が大きく減少し、放棄された農地が目立つようになってきています。こういった中で、地すべり地の棚田や段々畑などの農地が放棄されることは、景観や多様な生物の生息空間が失われるだけではなく、長年にわたり活動し続けている地すべり地の管理にとっても大きな問題となります。

ところで、災害は人間生活に不都合を生じさせることではじめて災害と認識され、人間の生活に影響がないと災害とは言いません。地すべり地の放棄された農地において人間が関与しなくなり、生活に支障が無ければ災害とは言えないかもしれません。しかし、地すべりは、地形・地質など自然条件に依存する面が大きく、もともとはそれらの自然条件の下、放棄された農地だけではなく、それらの地点を含む広い範囲で地盤が動いている現象です。このため、放棄された農地の管理をしないと、その地点の被害だけで終わらず、徐々に地すべりの動きが拡大し、場合によっては耕作を続けている周辺を含む地域全体で地すべり活動が活発となり、住宅等が多くある下流域に大きな被害を及ぼすことも考えられま

< 1 / 2 >

す。特に、近年の集中豪雨等の異常気象の発生を考えると、中山間地域における地すべり地の適切な維持管理の継続は、国民の安心・安全な生活を確保する上で重要な課題だと思います。

現在まで生活の利便性・快適性のため各種構造物が建設され、国民の生活は大変便利になりました。しかし、これらの構造物の機能を保持するためには維持管理が不可欠で、適切な維持管理を怠ると大きな問題が発生する可能性があります。この中で2次的自然である棚田や段々畑のような地すべり地における農地の維持管理は、先に述べたように農家の人の見回りや補修などある意味ボランティアを基本に、自然とうまく共存する形で行われてきました。現在、農業人口が減少し放棄農地が増加する中、国民の安心・安全な生活を確保し、適切な国土保全を行うためには、農地保全の観点から新たな維持管理の方法を考えることが必要であると思います。地すべり地における対策や維持管理を考える場合、道路や鉄道などの施設と農地とは考え方が少し違うかもしれません。農地において地すべりの動きを止めるために地すべり対策を行う場合、水抜きなどの対策により地下水位が低下し斜面が安定しても、地下水が減少し農業に影響が出るかもしれません。また、杭やアンカーといった抑止構造物を作ることによって、耕作できる農地が減少することがあるかもしれません。このようなことを考えると、地すべり地にある農地は、道路や鉄道のように動かないことを念頭に考える維持管理ではなく、農業や自然とうまく共生し、若干の動きを許容できる維持管理であっても良いかもしれません。また、地すべりの動きは地形、地質など地域による特徴があり、地域ごとに地すべりに対する維持管理の認識も異なっています。このため、地域性を考えることも必要かもしれません。

人口が減少するとともに高齢化が進み、投資余力が減少するこれからの時代、「つくる」発想から過去に生み出した資産を「活用する」といった発想への転換が必要になってきています。2次的自然であり多面的機能を持つ農地も、過去から引き継がれた大切な資産と考え、これを活用し保全していくことが重要であると思います。特に地すべり地にある棚田や段々畑などは、農地の多面的機能の保持とともに、国土保全において大きな役割を果たしており、将来にわたって維持管理を続け保全していくことが必要です。しかし、公共投資が減少する中、これからの農地地すべりの維持管理においては、従来の地すべりを止めることを念頭に置いたハード面を中心にした維持管理だけではなく、地域性を考慮し、農業の継続や農家・農村の生活、および農地の多面的機能を基本に、自然とうまく共生できることを考えた、地域に根ざしたリスクマネジメントを取り入れるような新たな考え方による維持管理によって、将来の国民の安心・安全かつ快適な生活に繋げていくことが必要ではないかと考えます。

< 2/2 >

1-2 地すべり監視の基本—巡回目視—

地すべり監視の基本は巡回目視である。巡回目視により地すべり前兆現象の把握や制限行為の監視、地すべり防止施設の機能の評価を適切に行う。

地すべり監視を助けるために現在、様々な観測機器が開発されている。しかしながら、人手による簡単な地すべり監視手法である巡回目視が最も重要であり、地すべり監視の基本である。巡回目視は、地すべり防止区域管理者である都道府県や市町村、地元住民も含めた人的な地すべり監視体制を構築する上でも重要である。なお、巡回目視は継続的な監視が特に必要な地すべり地だけでなく、すべての地すべり地において実施する必要がある。

巡回目視では、地すべり前兆現象の有無や地すべりにおける制限行為及び地すべり防止施設の機能について点検・監視を行う。巡回目視は、年間1回～数回程度の定期点検と不定期点検（異常降雨時、大規模地震発生時等）に分けられる。

なお、地域住民にその監視を委ねる巡視員制度が設けられ、効果を上げている事例もある。

(1) 巡回目視の方法

巡回目視は特別な機器は必要ないが、下記のような道具を携行して行う。

- ・地形図
- ・筆記用具
- ・カメラ
- ・ポールや巻尺等
- ・カルテやチェックリスト

巡回目視は、現地の状況に精通した人により行われることが望ましいが、担当者の交代もあり、適切に引き継ぎが行われる必要がある。また、巡回目視の結果は経時的な変化を記録し、いつでも参照できるようにファイルなどに整理しておく。

高知県農業振興部では地すべり防止区域と地すべり危険箇所における目視点検結果を図-1.2.1に示す「**地すべり斜面カルテ**」として整理しているが、このようなカルテ形式を採用することが有効である。

巡回目視の頻度としては、年1回～数回の定期的なものと豪雨後や地震後に行う不定期なものが一般的である。さらに巡回目視時に併せて、地元住民に地すべり兆候に関する聞き取りを行うことも有効である。

(2) 地すべり前兆現象の監視

地すべり活動が始まると、下記のような前兆現象が発生する。

- ① 亀裂
- ② 段差・はらみ出し
- ③ 樹木の傾きや変化
- ④ 井戸水や湧水の変化
- ⑤ 山鳴りなどの音

これらの現象は、巡回目視やそれと併せて行う地元住民への聞き取りで確認することができる。巡回目視においては、道路、水路、家屋の土台、水田など目視で地すべり変状の判明しやすいところを中心に確認する。

後述する地表移動量の簡易計測手法や防止施設の機能点検は、この巡回目視に合わせて行うことが効果的である。簡易計測手法を併用することにより、変動量を定量的に把握することができる。

巡回目視時には、地すべり対策事業実施中に判明している変状の大きい箇所は念入りに確認する。そのためには、事業実施中に巡回目視のルートを選定し事前記録（地すべり変状を記録した「地すべり斜面カルテ」など）を整備しておく。巡回目視の実施に伴い、新たな地すべり変状や地元情報が得られた場合にはルートを追加・変更する。

巡回目視のルートについては、重要度に応じて、車上からの概査ルートと踏査による精査ルートなどを設定することも考えられる。

(3) 制限行為の監視

地すべり等防止法第 18 条により地すべり防止区域内では地すべりに対して有害となる行為には制限が設けられている（表-1.2.1 地すべり防止区域内における行為の制限の一覧表）。巡回目視では、地すべりにおける制限行為の有無についても監視する。

(4) 防止施設の機能の監視

地すべり防止施設が本来の目的である地すべり防止効果を発揮するように、巡回目視による点検を行い、施設の機能発現を妨げる原因を早期発見し、取り除く。

巡回目視により、構造物の破損や排水機能低下、浸透水の増加、浸食洗掘、施設の不法占有などが生じていないか点検・監視を行う。

表-1.2.1 地すべり防止区域内における行為の制限の一覧表

区分	許可を受けなければならない行為	許可を要しない行為
I. 地下水に関する行為	地下水を誘致する行為 } 地下水を停滞させる行為 } で 地下水を増加させるもの 地下水の排水施設の機能を阻害する行為 その他地下水の排水を阻害する行為	① 有効断面積 45cm ² 以下の管渠（漏水の少ないもの）により、区域外から地下水を引く行為 ② 一馬力以下の動力又は、知事の指定する一定の深さより上位から地下水を汲み上げる行為 ③ 水道管、ガス管の埋設（但し、有効断面積 45cm ² をこえる管きよにより、区域外から地下水を引く場合を除く） ④ その他知事が指定する軽微な行為
II. 地表水に関する行為	地表水を放流する行為 地表水を停滞させる行為 地表水の浸透を助長する行為	① 水田（地割れ等により地下浸透が発生しやすい場合を除く。②③も同じ）への地表水の放流停滞。 ② かんがいのための放流 ③ 日常生活にかかわる放流 ④ 海、河川等の公共水域又は用排水路への放流 ⑤ ため池等の貯水施設への放流 ⑥ その他知事が指定する軽微な行為
III. のり切又は切土に関する行為	のり長 3 m 以上ののり切 直高 2 m 以上の切土	
IV. 施設の新設又は改良に関する行為	用排水路 ため池、池、その他の貯水施設 載荷重 10t/m ² 以上の施設又は工作物	断面積 600cm ² 以下のもの（地割れ等により、地表水の浸透しやすいものを除く。） 容量 6 m ³ 以下のもの（地割れ等により、地表水の浸透しやすいものを除く。）
V. 上記以外の行為	地表から深さ 2 m 以上の掘さく 地すべり防止施設から 5 m（知事が指定した場合はその距離）以内の地域における掘さく 載荷重 10t/m ² 以上の土石その他の物件の集積	直径 35cm 以下のボーリング（地表水の浸透を助長するものを除く。） 地すべり防止施設から 1 m 以上離れたところにおける 50cm 未満の掘さくで、直ちに埋め戻すもの
VI. 他法と重複する行為		森林法、砂防法の許可行為と同一の内容のものについて、両方いずれかの許可を受けた行為については、新たに地すべり等防止法に基づく許可を受けることを要しない。

（注） 本表は制限行為の内容に関し、地すべり等防止法及び同法施行令を一部簡略化して作表してある。

（出典：よりよき地すべり事業の実務ガイド(平成 7 年 3 月) 農地地すべり研究会)

1-3 既往データ蓄積の重要性

地すべり地の管理においては、過去の地すべり機構調査結果、対策工事の仕様や数量、経年的な各種観測データ、その後の地すべり監視結果などを蓄積する。

地すべり地の管理においては、地すべり地における既往データを蓄積することが極めて重要である。地すべり対策事業概成後の地すべり地における既往データとしては、通常下記の資料がある。

- ・ **地すべり防止区域指定及び事業実施関係事務書類（平面図、計画平面図、実施平面図など）**
- ・ **地すべり調査設計報告書（測量、地質調査、観測、解析、設計など）**
- ・ **地すべり対策工事報告書（工事図面、工事写真など）**
- ・ **地すべり防止区域台帳（防止施設位置図、構造図など）**

資料の保管状況はまちまちで、昭和 30～40 年代の報告書は保管されていないことも多い。また、その後の報告書もその数が膨大となると処分されていることもある。近年においては、報告書は電子媒体(CD 等)として保管されるようになっている。これらの資料の中には、過去の地すべり変動の記録（図面、写真、観測データ）が残されている。地すべり地の管理を行う上で、これらの資料を既往データとして蓄積することは極めて重要である。

地すべり対策事業概成後の地すべり監視においても、その監視データ（巡回目視結果、各種観測結果）を既往データとして蓄積する。蓄積したデータは、担当者が変わっても引き継ぎを行い、継続的に整理保管する体制を構築しておく。巡回目視結果の整理保管においては、**1-2 地すべり監視の基本—巡回目視—**において紹介した「地すべり斜面カルテ」など県内で統一された様式により保管しておく。

観測機器による観測データについては、表やグラフにした紙媒体の資料のみでなく、CD などの電子媒体によりデジタルデータとして蓄積することが有効である。この時、挿入型孔内傾斜計のように個々の機器で特性が異なる計器については、観測データの連続性を確保しにくいことにも留意する。

コラム

観測データの蓄積と引き継ぎの重要性

NPO長野県地すべり防止工事士会理事長 内藤 哲

昭和33年「地すべり等防止法」が施行されて以来、積極的な地すべり防止工事が施工されて来た。しかし、より多くの地すべり地に対する手当てが急がれたことから、施工後の防止施設に対する維持管理や修復作業が後手に回っていた感は否めない。このような中、活発な動きを見せる地すべり地は少なくなったものの、公共工事の経費が圧迫され始め、施設の維持管理や修復作業への気遣いも難しい社会状況を迎えている。現在の急務は、既存施設の機能を最大限に発揮させて地すべり活動の再発を防ぐこと、活動の予兆を出来る限り早期に把握して、防災・減災に努めることであろう。このためには、各防止施設の設計思想を明確にしておくと共に、地すべり活動のメカニズムを後任者に解り易く整理しておくことが重要である。

地すべり防止施設は、計画時点での地下水状況に対応して設計されたものであり、気象条件の変化にまで対応できる安全率を保有しているものではない。従って、昨今の気象変動を鑑みると、設計時点での計画安全率が、しばしば脅かされるような状況が発生していることも懸念されるところである。

自然地すべりの発生原因の80%が地下水にあると言われることから、防止施設の計画はまず『抑制工』の検討が為され、この不足分を『抑止工』で補うという手順を取っている。施設の計画は、地すべり活動のメカニズムを把握するための各種調査・観測を経て実施されたものであり、計画時点での地下水状況に対応して設計されたものである。また、防止工事施工後の観測は工事効果を確認するだけでなく、当該地すべり活動のメカニズムを再確認する意味で重要な手段である。ここでは、【概成】後の地すべり地において「再活動の予兆」が確認された際の対策手法を述べ、観測データの保存・蓄積と引き継ぎに関する手法に言及した。

<1/3>

1. ≪再活動の予兆≫が確認された際の対策手法

• 再活動の予兆とは

ここで言う≪再活動の予兆≫とは、既に各種観測行為が中断されている【概成】後の地すべり地において、地表面に地すべり活動を疑わせる変位が発見された場合を言う。

• 対策手順と手法

まず、変位が地すべり活動によるものか否かの現地判断を行う。この際、過去の調査孔の孔内水位を測定し、過年度の観測データと比較することが重要である。孔内水位が危険なものではなく、変位が局部的で当該地すべりブロックの再活動によるものではないと判断された場合は、小規模な修復工事で様子を見る。

• 再活動による疑惑がある場合

当該地すべりブロック内にある、過去の調査孔の配置と観測手法の再開が可能か否かを現地確認する。再開できるものは直ちに再開する。この際、パイプひずみ計に関しては、指示値が限界値（10,000 μ S）を超えているか否かの確認が重要である。限界値を超えている場合には、観測の続行は意味を持たないものとして断念する。孔内水位の観測だけでも『限界水位』を見据えることで十分な監視が出来る。何れにしても、≪地すべり活動のメカニズム≫に照らし合わせて変位の重要性を判断しなければならない。この際、過去の調査報告書に網羅されている≪地すべり活動のメカニズム≫が重要な判断材料となることから、これらが簡潔に整理された『地すべり台帳』の完備が必要となる。過年度に想定された≪地すべり活動のメカニズム≫に照らし合わせて、過去の対策の配置や不足が指摘される場合、勇気を持って『地すべり台帳』の記載事項の加筆や修正を行い、不足工法を検討・設計、施工することになる。

変位が重要なものであり、かつ「すべり面」深度を確認する必要がある場合には、適切な位置に調査孔を再掘削して、新しい観測装置を設置する必要が生じる。

〈2/3〉

2. 観測データの保存・蓄積と引き継ぎに関する手法

再活動の予兆が発生した際の対応には、《地すべり活動のメカニズム》が簡潔に網羅されている『地すべり台帳』や『過年度の観測データ』が重要であることを述べた。しかし、現況では、残念ながら、これらの資料が完備されているとは言い難い。この理由のひとつとして、様式の煩雑さが挙げられるのではあるまいか。昨今の気象変動により、計画時点での地下水状況よりも悪条件の発生が予測される今、後任者は必ずしも「地すべり工学」に精通しているとは限らないのであるから、【概成】前の資料とは別に【概成】後を見据えた『簡易な資料』を整備し、後任者へと引き継ぐ必要性を痛感している。必要最小限の項目を以下に列記し、その様式の整備を促したい。

1) 平面図と断面図（様式のトップページ）

2) 孔内水位の情報；地すべりブロック名、観測孔番号、観測孔のブロック内位置（頭部外・頭部内・上部・中腹・下部など）、対策計画時の最高水位と目標水位、過年度の対策効果の有無、観測年度・期間、期間内最高水位、期間内最低水位、（可能であれば平均水位）、気象と水位変動の関係、その他（観測孔の状態など）

3) すべり面の変動情報（パイプひずみ計や孔内傾斜計等が観測可能な場合）；地すべりブロック名、観測孔番号、観測孔のブロック内位置（頭部外・頭部内・上部・中腹・下部など）、過年度の対策効果の有無、観測年度・期間、開始測定値、終了測定値、変動の有無と気象と水位変動の関係、その他（観測孔や測定値の状態など）

4) 地表面や施設の情報；観測年度・月日（状況に応じて写真を添付）

※ 観測年度以降の情報は、受託業者等の責任で追加・加筆を行うこと

1-4 地すべり監視体制構築の流れ

継続的な監視が特に必要な地すべり地の監視体制の構築にあたっては、地すべりの規模、地すべり機構、活動パターン、保全対象、対策工事等を勘案し、①観測機器の選定、②観測機器の配置、③観測方式の選定等について検討を行う。監視体制の検討と機器の設置は、基本的に地すべり対策事業実施中に行い、概成後の観測機器は必要最小限とする。また、観測結果を評価しながら、構築した監視体制は適宜見直す。

図-1.4.1に地すべり監視体制構築の流れを示した。

継続的な監視が特に必要な地すべり地は、地すべり規模・地すべり機構・活動パターン・保全対象・対策工事を総合的に勘案して決定する。

決定にあたっては、例えば、下記のような地すべりブロック（または、地すべりブロック群）について検討する。

- ① 再活動により重要な保全対象に影響を与える地すべりブロック
- ② 再活動により重要な既設地すべり防止施設へ影響を与える地すべりブロック
- ③ その再活動が周辺のブロックに対して影響を与えやすい地すべりブロック
- ④ 大規模で継続的な変動が予想される地すべりブロック
- ⑤ 異常降雨時等に突発的な滑動が予想される地すべりブロック

実際に上記のような地すべりブロックにおいて地すべり監視体制を構築した事例を第4章に記載した。継続的な監視における観測機器の選定、配置、観測方式は、対策事業実施中に検討を行う。観測孔や観測機器は、地すべり対策事業で設置したものを事業概成後に活用するのが基本である。観測は必要最低限とするが、将来の異常時等に十分な対応が可能なように観測孔等の維持管理に努める。

なお、継続的な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、監視体制を段階的に簡素化することも検討する。

図-1.4.2に継続的な監視体制検討の流れを示した。

継続的な監視体制の検討にあたっては、まず、対象となる地すべり地の特徴（形状・規模・機構・保全対象・対策工事・既観測施設・積雪条件など）を十分に把握・整理する必要がある。次に対策工事効果について評価し、概成後の課題を抽出する。これらの評価や課題を踏まえて、継続的な監視体制・観測手法・観測機器の配置について具体的に計画する。

継続的な監視体制は計画平面図や計画断面図、年次計画表などに整理する。なお、将来の監視体制の見直しも考慮し、監視体制の検討内容については一覧表に整理し保管しておく。

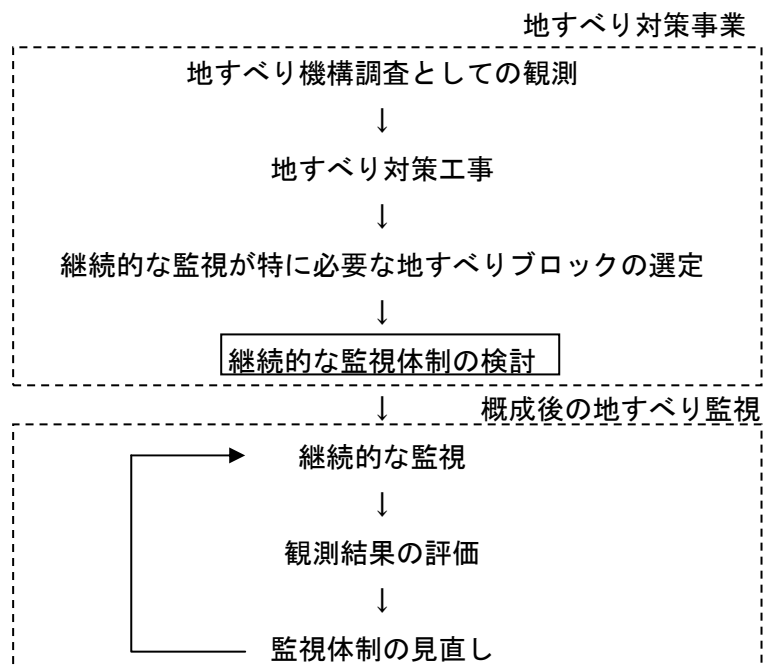


図-1.4.1 地すべり監視体制構築の流れ

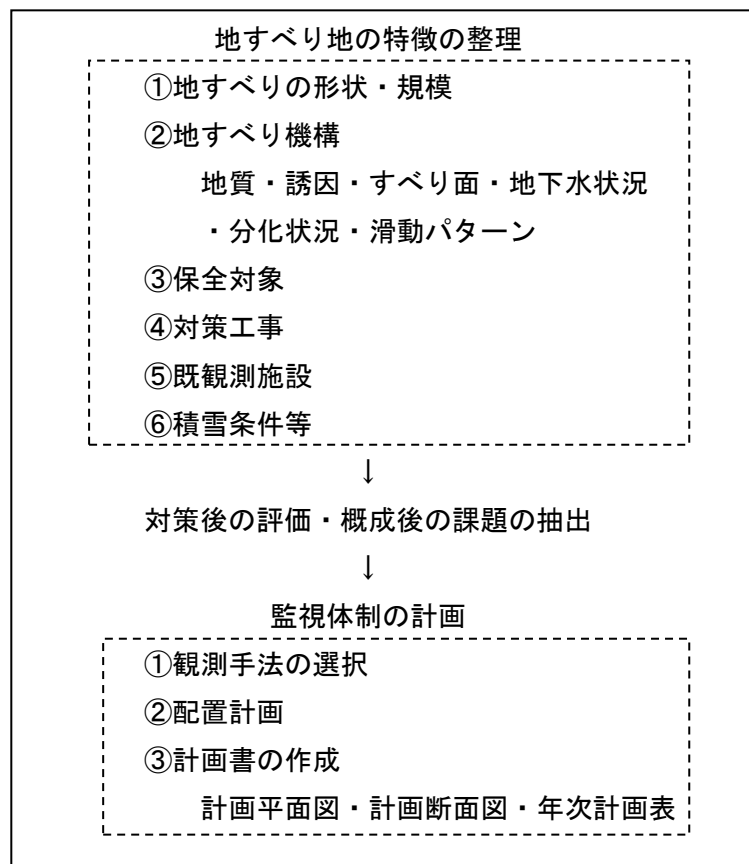


図-1.4.2 継続的な監視体制検討の流れ

地すべり機構解明の観測と地すべり監視の観測の違い

(独) 農研機構 農村工学研究所 川本 治

地すべり機構解明の観測は地すべりの発生機構や滑動機構を明らかにし、地すべりの素因と誘因に対応した適切な対策計画を立てるために実施される(表-1.1.1)。地すべり機構解析は諸調査結果を総合して斜面内部の応力状態(せん断応力とせん断抵抗力のバランス及びその変化)を生じさせている諸要因とその相互関係を明らかにするために行うものであり、応力状態の数値的な表現は安定解析により行われる。従って、安定解析を行う際に直接関連する各種調査(たとえば地すべり土塊を構成する岩・土の単位体積重量やすべり面上のせん断強度を評価するための土質調査・試験等)と併せて、すべり面の形態(測線上またはその近傍の調査点における地中変位測定によって推定されるすべり面深度等)や地下水賦存状態(測線上またはその近傍の調査点における孔内水位測定によって推定されるすべり面上での間隙水圧等)を把握するための各種観測が重要となる。地すべり機構解明の観測には、地すべり防止対策の工法選定、施工順序、地すべりの予測等の検討に先立って行われる地すべりブロックの危険度分級のための観測も含まれる。この際の観測はブロック相互間の位置づけを明らかにするために行われ、たとえば点数法を用いた危険度分級では、地すべりの素因・誘因を明らかにするための地形・地質調査に加えて地下水や移動状況の観測が必要となる。地すべり機構解析の観測でも初期段階では地盤状況の迅速な把握のために簡易的な観測が行われるが、設置・観測のコストが大きくなる高精度(または高能率)のセンサを用いた観測の結果が、最終的には採用されることが多い。

地すべり監視の観測の詳細については各章に記述されているとおりであり、地すべり監視体制は地すべり防止区域担当者である都道府県担当者、市町村関係者、地元関係者、観測業者からなる人的体制作りについても十分考慮する必要がある(「1-1 地すべり監視の意義」参照)。地すべり対策事業概成後に地すべり防止施設及び地すべり活動の兆候等について日常監視を行い、被害の未然防止を目的として地元(関係区域)関係者の代表を含む地すべり監視体制が構成される場合に、地元関係者の参加・協力は異常を監視するための巡回目視と簡易的な手法による観測が中心となる。従って、事業概成後の地すべり監視では、地すべり防止対策計画時の高精度(または高能率)手法を引継いだ観測と、簡易的な手法による観測が併行される場合があるので、両者の特性を把握した上でこれらを相補的に活用して有効な地すべり監視を行うことが重要になる。まず、各手法による測定の精度及び信頼性に留意すべきである。たとえば代表的な地表移動量調査手法については表-2.1.1.1に、地表移動量調査手法については表-2.1.2.1に示されており、実用精度は手法

<1/2>

により大きく異なっている。「3-3 観測結果の評価と活用」には管理基準値を設定される計器が示され表-3.3.1～表-3.3.3には管理基準値が設定される計器と基準値の事例が示されているが、管理基準値を超過する観測結果が得られた場合には、この結果が得られた観測手法の実用精度の範囲内にあるか確認することが重要である。第2章には各種の計器を用いる場合の注意点についても詳述されているので、測定に際してこれらが守られて十分な精度で観測が行われているかについても留意する必要がある。また、「3-3 観測結果の評価と活用」には計器の設置状態や人的な誤差、計測機の特性によって異常データが発生する場合が記述されており、この観点からのチェックも重要である。これらに加えて、地すべり監視の観測によって、地すべり土塊全体の安定性とのかわりか認められない小規模な法崩れ等が観測される場合もあり、地すべり機構解明の調査・観測結果を始めとする各種データとのクロスチェックが重要となる。

現在はある意味で情報過多の時代である。数多くの警報が発令されても何事も無く、関係者の緊張が弛緩して行く一方で、実際には後日甚大な災禍をもたらす可能性のある地盤のひずみが人知れず累積する、といった状況を回避することに留意すべきである。各種の調査・観測結果を継承・蓄積してクロスチェックを行ったうえで、最適の場所に地すべり監視の観測測器を設置し、慎重に観測結果の判断を行うことが重要である。

<2/2>

第2章 地すべり監視の概要

地すべりの監視は、各種の観測機器を用いて行うことから、観測手法、観測方式についての最新の動向を踏まえる必要がある。

2-1 観測手法について

地すべり監視における観測手法は、観測すべき対象により、地表移動量、地中移動量、間隙水圧（地下水位）、気象・水文、防止施設の機能の監視に区分される。

地すべり監視では、主に表-2.1.1に示されるような観測手法が用いられる。

地すべり監視は、複数の観測手法の組み合わせで行うことが多いため、地すべりのタイプや規模に応じた効率的な組み合わせを検討する。なお、観測技術の進歩により、様々な新しい機器も現れてきている。これら技術や機器の最新の動向も踏まえる必要がある。しかし、観測機器の選定にあたっては、いたずらに高精度のみを考慮するのではなく、3-1で後述するように観測目的を勘案し決定する。

なお、地すべり対策事業概成後の地すべり監視においては、観測コストを抑える必要があり、1-2で述べた巡回目視と併用できる簡易計測手法やコストの低い観測手法を有効に活用する。

表-2.1.1 主な地すべり観測手法の分類

項目	観測手法			観測対象 (明らかにされる 情報・数値の概要)
	大項目	名称	細目	
地表移動量	観測機器 による手法	伸縮計 (地盤伸縮計)	-	2点間の移動量
		地表面傾斜計 (地盤傾斜計)	-	地すべり地塊の回転による傾動 運動
	測量 による手法	移動杭	-	杭の水平・鉛直移動量
		G P S 測量	-	地表面の三次元移動方向と移動 量
		空中写真判読	-	空中写真内の基準点の移動
	簡易計測 による手法	抜き板 (丁張り)	-	2枚の板の水平・鉛直移動量
地中移動量	観測機器 による手法	パイプひずみ計	-	すべり面深度と移動状況
		孔内傾斜計	挿入型孔内傾斜計	すべり面深度、移動方向、移動 量
			設置型孔内傾斜計	移動量
		鉛直方向伸縮計	地中伸縮計 (縦型伸縮計)	地すべり移動量
			多段式伸縮計 (多層移動量計)	すべり面深度と移動量
	簡易計測 による手法	すべり面測定管	-	すべり面深度
間隙水圧 (地下水位)	地下水位測定	地下水位計	-	孔内水位
	間隙水圧測定	間隙水圧計	-	間隙水圧
気象・水文	-	降水量 (雨量計)	-	降水量
		積雪深	-	積雪深、融雪量
		気温 (温度計)	-	気温、急激な融雪
防止施設の 機能	-	排水量計	地下水排除工	排水量
		孔内傾斜計	杭工	杭工の変形
		緊張力計	アンカー工	アンカーの緊張力

(参考：土地改良事業計画設計基準・計画「農地地すべり防止対策」基準書・技術書(平成16年3月)農林水産省農村振興局)

2-1-1 地表移動量

地表移動量調査の手法を**表-2.1.1.1 地表移動量調査手法一覧表**に整理した。地表移動量調査の手法には、観測機器による手法、測量による手法、簡易計測手法がある。

(1) 観測機器による手法

観測機器による手法は、地表面傾斜や短区間の距離を観測する手法である。連続的な観測が可能であるため、微小な変位を監視する場合に有効である。ただし、測定箇所が限定されるため、設置場所を十分に考慮しなければならない。

① 地表面傾斜計

地表面の微小な傾斜変動を測定する手法であり、以下の特徴を有する。

- ・測定感度が高い。
- ・移動量は測定できない。
- ・地すべり傾動以外のノイズが含まれることがある。

② 伸縮計

2点間の距離を連続的に測定する手法であり、以下の特徴を有する。

- ・連続観測が可能であり、変位量の測定が容易である。
- ・移動方向と異なった方向に設置すると、正確な移動量を測定できない。
- ・亀裂や滑落崖をまたぐように設置する必要がある。

(2) 測量による手法

測量による手法は、地すべり変位を多点的、面的に監視する場合に有効な手法である。

観測機器による手法に比べて観測距離が長いいため、微小な変位の測定は難しいが、大規模な地すべりブロックや変位量が大きい地すべりブロックに対して適用される場合が多い。

① 移動杭

地すべりブロック内に杭を設置し、測量によって、杭の水平・鉛直移動量を求めることにより地すべり移動状況を把握する方法である。

- ・基準点が不動点である必要がある。
- ・測定に時間と労力がかかる。

② GPS 観測

計測は、受信機で GPS 衛星からの信号を受信し、そのデータを用いて測定対象の位置を解析することで測定する。測定地点間の距離の制約はないが、信号受信ができる上空の視界の確保が必要とされる。

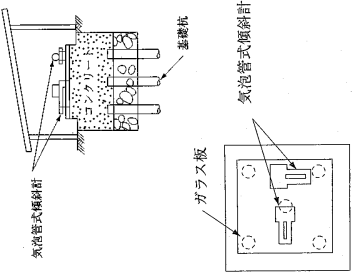
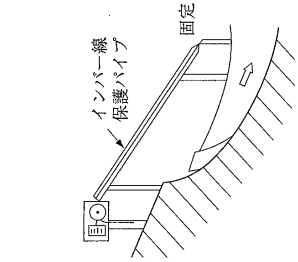
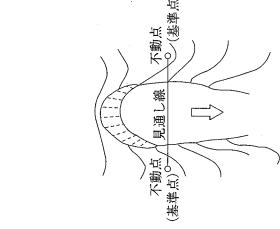
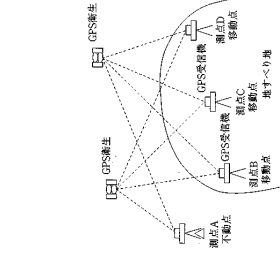
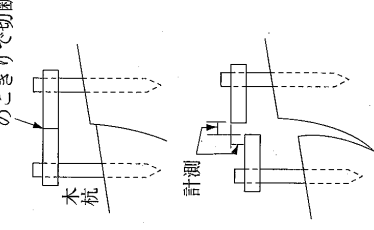
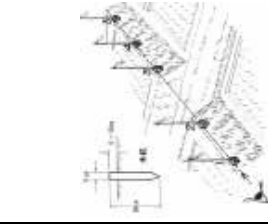
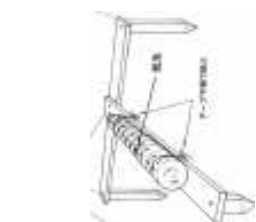
③ 写真計測

空中写真を撮影して計測するため、測定費用はやや高く、大規模かつ継続的な動きのある地すべりなどで適用される。また、近年、デジタルカメラの急速な高機能化と解析ソフトウェアの発展を受けて、地上撮影による計測方法も利用されている。

④ レーザープロファイラー

崩壊地など立ち入りが困難な場合に適用されるが、測定費用はやや高い。

表-2.1.1.1.1 地表移動量調査手法一覧表

手法	観測機器による手法			測量による手法			簡易計測手法			
	地表面傾斜計 (地盤傾斜計)	伸縮計 (地盤伸縮計)	移動杭 (見通し線法・三角測量法)	GPS 観測	写真計測	レーザ・プロファイラ (レーザースキャナ)	抜き板 (丁張り)	鉾間測定	簡易 見通し杭	簡易 地盤傾斜計
概念図					-	-				
計測対象	・地盤の変位 (方向) ・移動範囲の確認	・地盤の変位 (移動量)	・地盤の変位 (方向、移動量) ・移動範囲の確認	・地盤の変位 (方向、移動量) ・移動範囲の確認	・地盤の変位 (方向、移動量) ・移動範囲の確認	・地盤の変位 (方向、移動量) ・移動範囲の確認	・地盤の変位	・地盤の変位	・地盤の変位 ・移動範囲の確認	・地盤の変位
測定範囲	±1° (気泡管式) ※3 ±30° ±50° (電気式) ※3 ±5° ±10° (電気式) ※3	数 10cm ※4 300mm (自記式) ※3 50mm ~ (電気式) ※3	-	-	-	-	-	-	-	-
分解能	1 秒 (気泡管式) ※3 10 ~ 20 秒 (電気式) ※3	0. 2mm (自記式) ※3 0. 02 ~ 0. 5mm (電気式) ※3	-	-	-	-	1mm	1mm	1cm	-
精度	±1 秒 (気泡管式) ※3 ±0. 05 ~ 0. 5% (電気式) ※3	0. 1 ~ 0. 2mm ※4 ±1% 以内 (自記式) ※3 1% 以内、0. 5mm (電気式) ※3	トータルステーション 1 秒読み・5mm 以内 レベル 0. 01mm ※4	測位精度 (1 σ) 数 cm ※4 約 5 ~ 10mm ※5	撮影高度の 1/5000 程度 縮尺 1/4000 高度 600m で ±12cm ※4	距離 30m で 1cm 距離 100m で 10cm ※6	-	-	-	-
実用精度	±5 秒以内/日 (気泡管式) ※1	0. 5mm (自記式) ※1 測定限界 0. 2mm (自記式) ※4	±3mm ※4 測定限界 3 ~ 5mm ※4	測定限界 60mm ~ ※4 (空中写真) 数 cm (地上撮影)	-	距離約 100m で数 cm ※5	数 mm ~ 数 cm	数 mm	数 cm ~ 数 10cm	数度
耐用年数	10 年 (気泡管式) ※2	数年 ※2	数年 ~ 長期	長期	長期	長期	数年	長期	数年	数年
測定・ データ回収	手動・半自動・全自動	半自動・全自動	手動	手動・半自動・全自動	手動	手動	手動	手動	手動	手動
特徴及び 問題点	・地すべり土塊の回転運動に伴う、微小な傾斜変動の把握を目的に使用される。 ・特に、地すべり活動が活発化しラックが発生した場合に、移動状況を把握の目的で用いられる。 ・移動量は測定できない。 ・地すべり以外の要因でも変動が生じる場合がある。 ・気泡管式 (= 水管式) の場合、目盛の読取に個人差が出る場合がある。	・地すべりの移動状況を把握する目的で設置観測される。 ・特に、地すべり活動が活発化しラックが発生した場合に、移動状況を把握の目的で用いられる。 ・急傾斜面では設置が困難である。 ・地すべり移動方向と異なった方向に設置すると、正確な移動量が測定できない。	・地すべりブロックの両側の不動地に基準点を設け、両岸を吊通す直線から直角方向への杭の変位を測定する (見通し線法)。 ・不動地に基準点を設け、三角測量により地すべり地内の杭の水平及び垂直移動量を測定する (三角度測量法)。 ・広範囲の地すべり状況を把握できる。 ・測定に時間と労力がかかる。 ・高い精度が要求される。	・受信機で GPS 衛星からの信号を受信し、そのデータを用いて、測定対象の位置を解析することで測定する。 ・測定時間の距離の制約がなく、測定の移動量に制限がない。 ・受信装置の上空の見通しを十分に確保する必要がある。 ・垂直方向の移動は、水平方向の移動に比べて精度が落ちる。	・定期的に空中写真を撮影し、その写真から、複数の基準点座標を読み取り、移動量を測定するものである。 ・近年、地上からのデジタルカメラ撮影による計測方法も利用されている。 ・地表の状況を撮影できるため、地表面の経年変化をとらえることができる。 ・変位を正確にとらえるためには、対応補正を設置する必要がある。 ・天候に左右されるため、測定時期を選ぶ。	・ターゲットに向かって、レーザーパルスを照射して、反射走時を計測し、距離の変化を変位として測定する。 ・崩壊地など、立ち入りが困難な現場でも使用できるという特徴を持つ。 ・一度に広範囲が測定できる。 ・計測位置までの距離が長くなるほど変位の計測精度が落ちる。	・地すべり頭部や測端部の亀裂をまたいで丁張りを設置する。 ・地すべりに伴って生ずるズレを定期的にメジャーで測定する。 ・水平変位、鉛直変位、移動方向を確認できる。 ・変動状況を目標により直感的に判断できる。	・構造物に生じた亀裂等をまたいで鉾を設置する。 ・地すべりに伴って生ずるズレを定期的にメジャーで測定する。 ・複数設置することにより移動方向が確認できることともある。	・不動地 ~ 地すべり地に一定方向に定めた測線上にポール等を設置する。 ・定期的に見通しを行い移動範囲や移動量を求める。	・沈下や傾動の微候のある地盤上に設置する。 ・長さ 50cm 程度の 2 本の板を組み合わせた上に気泡を入れ、たべットボルトを固定する。 ・地すべりに伴って生ずる傾斜の変化を定期的に気泡の移動状況で測定する。
データ量	○ (手動) ◎ (半自動・全自動)	◎	△	△ (手動) ◎ (半自動・全自動)	△	△	△	△	△	△
感度	◎	○	○	○	△	△	△	△	△	△
耐久性	◎ (手動) ○ (半自動・全自動)	○	○	-	-	-	△	△	△	△
経済性	○	○	△	△ (手動) × (半自動・全自動)	× (空中写真) △ (地上撮影)	×	◎	◎	◎	◎
危険度の 目視判定	△	△	△	×	×	×	◎	○	◎	◎

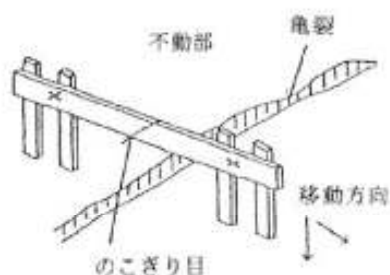
(出典：※1 地すべり観測便覧 p.73(平成 8 年 10 月)地すべり対策技術協会、※2 地すべり観測便覧 p.96(平成 8 年 10 月)地すべり対策技術協会、※3 地すべり観測便覧 p.103~106(平成 8 年 10 月)地すべり対策技術協会、※4 土地改良事業計画設計基準「農地地すべり防止対策」基準書、技術書 p.142~152(平成 16 年 3 月)農林水産省農村振興局、※5 地すべり防止対策技術指針及び同解説 p.27~33(平成 20 年 4 月)国土交通省砂防部、※6 地盤調査の方法と解説 p.622(平成 16 年 6 月)地盤工学会)

(◎~×は相対的なものであり、適否を表すものではない)

(3) 簡易計測手法

簡易計測による手法は、巡回目視により確認された地すべりの前兆現象を監視する手法として有効である。また、地すべり活動状況を目視により確認することが容易であり、移動状況を早期に把握できる。巡回目視により確認された地すべり前兆現象については、**図-2.1.1.1～2.1.1.6**（出典：地すべり災害を予防・軽減するための活動の手引き（平成 20 年 12 月）農林水産省農村振興局農村環境課）に示すような簡易計測手法でまず観測を始めることが、その後の対応に役立つ。

① 抜き板



（出典：NPO長野県地すべり防止工事士会）

亀裂を跨いで丁張を設置し、のこぎり目を入れます。のこぎり目の動きによって、亀裂の広がりや地形の隆起・沈下がわかります。

図-2.1.1.1 丁張りによる亀裂の観測

② 鉋間測定



（出典：NPO長野県地すべり防止工事士会）

擁壁や舗装路などの人工の構造物に亀裂がある場合、亀裂をはさんで頭部十字の釘を打設して釘の中心間の距離を測ることによって、亀裂が広がりを確認できます。

図-2.1.1.2 コンクリート構造物の亀裂（目開き）の観測

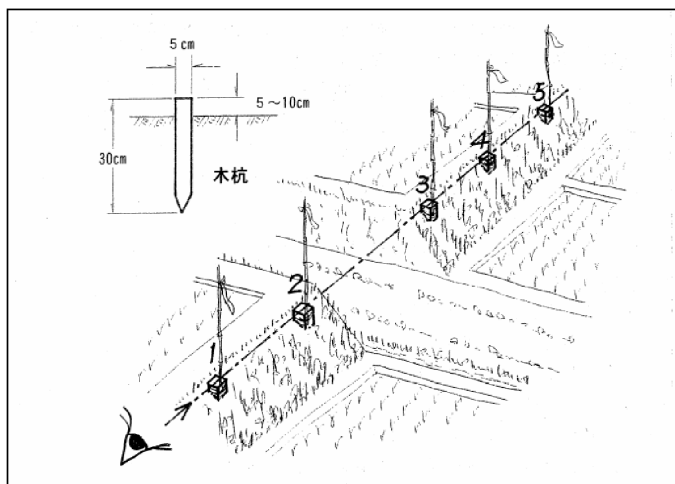
③ 亀裂測定



コンクリートなどの人工の構造物に生じた亀裂に長さを設定して十字のマークを付け、その変化を観測することによって、亀裂が広がりを確認できます。簡単に測定できますが、時間がたつと線がかすれてきてしまうので、長期の観測には不向きです。

図-2.1.1.3 クロスマーキング法による亀裂の観測

④ 簡易見通し杭

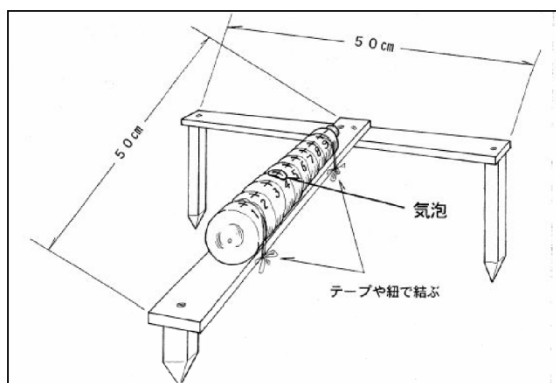


(出典：NPO長野県地すべり防止工事士会)

見通し杭を直線的に配置しておき、そのズレを観察することにより地盤の変状が容易に把握できます。

図-2.1.1.4 見通し杭による観測

⑤ 簡易地盤傾斜計



(出典：NPO長野県地すべり防止工事士会)

長さ50cm程度の2本の板を組み合わせた上に気泡を入れたペットボトル(ヒダのあるものが良く、図は醤油ボトル)を固定し、気泡の移動状況を記録します。これによって地盤の傾きが把握できます。

図-2.1.1.5 ペットボトルを利用した地盤傾斜計

⑥ 樹木移動観測



針金や伸縮性の無いロープ等で地すべりの危険が高い場所の樹木と比較的安定な場所の構造物や樹木を結び、針金やロープの状況を見ることで、樹木の移動を観測することができます。

図-2.1.1.6 針金を利用した樹木移動の観測

コストの検討事例（１）～地表面変位量編～

一般的に地表面の変位量は、地表面傾斜計（半自動・手動）ないし伸縮計（半自動）により測定することが多い。ここでは、地表面変位計測の代表的な手法である地表面傾斜計と伸縮計の観測費用を以下の事例で算出した。表-(1)に各種観測機器の設置・観測費用の比較を示す。

観測費用算出条件

観測回数 1回/月(半自動観測の場合、連続観測でデータ収録が1回/月)
 メンテナンス回数 1回/年
 メンテナンス費用 交換費用を除く
 その他 移動費用・諸経費を除く

地表面傾斜計(手動)の場合

1方向 1基
 機械損料 観測装置

地表面傾斜計(半自動)の場合

1方向 1基
 機械損料 データ読取装置・記憶媒体

伸縮計(半自動)の場合

延長 L=13m
 機械損料 データ読取装置・記憶媒体

表-(1) コスト比較一覧表

観測手法	地表面傾斜計 (手動)	地表面傾斜計 (半自動)	伸縮計 (半自動)
設置費用 (1基当たり)	89 千円	591 千円 (センサー・収録器含む)	304 千円 (センサー・収録器含む)
観測費用 (1箇所1回当たり)	7 千円	14 千円	14 千円
機械損料 (1箇所1ヶ月当たり)	11 千円	1 千円 (読取装置他含む)	1 千円 (読取装置他含む)
メンテナンス費用 (1箇所当たり)	-	3 千円	3 千円
1年当たりの 総費用(1箇所)	305 千円	774 千円	487 千円
5年当たりの 総費用(1箇所)	1,169 千円	1,506 千円	1,219 千円

※手動方式と半自動方式を比較した場合、収録データ量に違いがある。

2-1-2 地中移動量

地中移動量調査の手法を**表-2.1.2.1 地中移動量調査手法一覧表**に整理した。地中移動量の観測ではボーリング孔を利用する。

(1) 観測機器による手法

観測機器による手法は、地盤内で発生する変位をボーリング孔内に設置した計器で観測する手法であり、いくつかの手法がある。

①パイプひずみ計

ボーリング孔内に挿入したパイプに対し、一定間隔に設置したひずみ計のひずみ量を測定し、すべり面深度・すべり方向・活動状況を測定する手法であり、以下の特徴を有する。

- ・高感度であり、微小な変位をとらえやすい。
- ・移動量は直接測定できない。
- ・半自動～自動観測が容易である。
- ・数年で絶縁不良となり、測定不能となりやすい。

② 孔内傾斜計

ボーリング孔内に設置したケーシングパイプの傾斜角を測定することにより、すべり面深度・すべり方向・移動量を測定する方法である。センサーを手動でパイプ内に挿入する挿入型と、センサーをケーシングパイプ内やボーリング孔内に設置する設置型があり、以下の特徴を有する。

- ・移動の絶対量が小さいが、継続的に活動している場合に有効である。
- ・パイプひずみ計に比べて耐用年数が高い。
- ・移動量が大きくなると測定不能となる。
- ・挿入型では半自動～自動観測が難しい。(設置型の場合は可能)

③ 鉛直方向伸縮計

ボーリング孔内にワイヤーを設置し、ワイヤーの伸縮を測定することにより、すべり面深度・移動量を測定する手法である。一定区間ごとに複数のワイヤーを設置する多段式伸縮計と1本のワイヤーを設置する地中伸縮計があり、以下の特徴を有する。

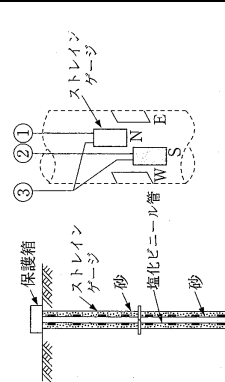
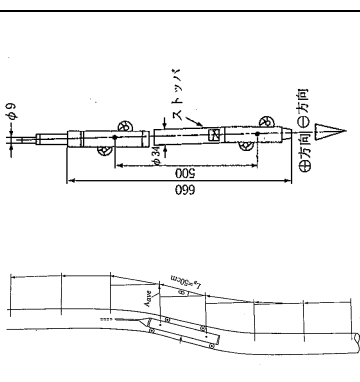
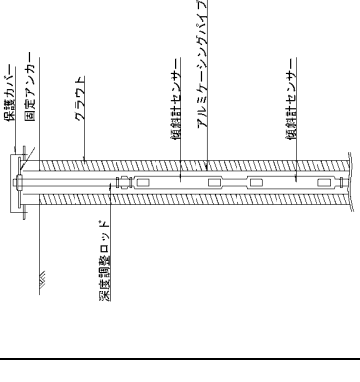
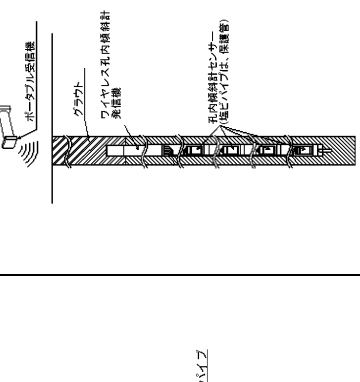
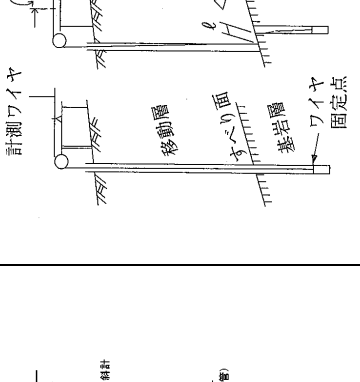
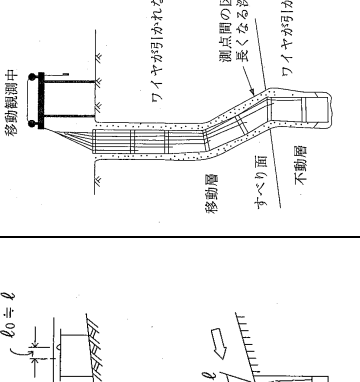
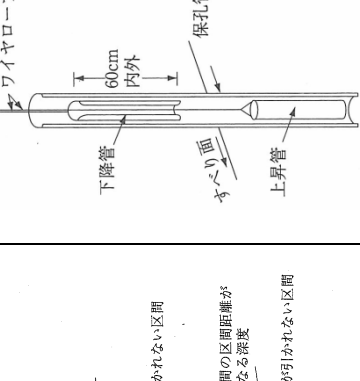
- ・移動量の大きな地すべりの観測が可能である。
- ・多段式伸縮計ではすべり面深度を測定することができる。
- ・耐用年数が高い。
- ・微小な変位の検出はワイヤーの伸びや摩擦のため困難である。
- ・初期無感期間や地盤の沈下等により良好なデータの取得ができないことがある。

(2) 簡易計測手法

① すべり面測定管

ボーリング孔に設置された保孔管と測定管を利用して、地すべり変位の有無やすべり面深度を簡易に確認する手法である。移動量の大きな地すべりのすべり面の把握に適している。

表-2.1.2.1 地中移動量調査手法一覧表

観測機器による手法								簡易計測手法
手法	孔内傾斜計				鉛直方向伸縮計		すべり面測定管	
	パイプひずみ計	挿入型	設置型		地中伸縮計 (縦型伸縮計)	多段式伸縮計 (多層移動量計)		
			有線式	無線式 (ワイヤレスセンサー)				
概念図								
計測対象	・すべり面深度 ・変位方向	・すべり面深度 ・変位方向 ・変位量	・(すべり面深度) ・(変位方向) ・変位量	・(すべり面深度) ・(変位方向) ・変位量	・変位量	・すべり面深度 ・変位量	・すべり面深度	
測定範囲	±5000～±10000×10 ⁻⁶ ※3	±30° ～±50° (サーボ加速度式) ※3 ±2.5° ～±10° (ひずみゲージ式ほか) ※3	±30° (サーボ加速度式) ※3 ±10° (ひずみゲージ式) ※3	±5°	ワイヤー余長 通常 10m ※4	ワイヤー余長 通常 10m ※4	～10cm ※4	
分解能	1×10 ⁻⁶ ※3	10秒 (サーボ加速度式) ※3 0.01mm (ひずみゲージ式ほか) ※3	10秒 (サーボ加速度式) ※3 0.01mm (ひずみゲージ式ほか) ※3	10秒以下	1mm ※4	1mm ※4	-	
精度	±0.5%以内 ※3	±0.05%以内 (サーボ加速度式) ※3 ±0.2～0.5%以内 (ひずみゲージ式ほか) ※3	±0.05%以内 (サーボ加速度式) ※3 0.5%以内 (ひずみゲージ式ほか) ※3	±0.5%	-	-	-	
実用精度	100 μ ※1	3mm 以内/10m ※1	3mm 以内/10m ※1	-	測定限界 数 mm ※4	測定限界 数 mm ※4	100mm 程度 ※4	
耐用年数	1～3年 (埋設センサー) ※2	約5年 (センサー) ※2 長期 (パイプ)	約5年 (センサー) ※2 長期 (パイプ)	5～15年 (埋設センサー) 5～15年 (内蔵電池)	数年	数年	長期	
測定・データ回収	手動・半自動・全自動	手動	半自動・全自動	半自動	半自動・全自動	手動・(半自動・全自動)	手動	
特徴及び問題点	・高感度である為微小な変動を検出できる。 ・深度が深くひずみ計の点数が増える と、リード線の本数が増加し、設置が 難しい。 ・すべり面把握のために設置間隔は1m 以内とすることが望ましい。 ・水位観測孔と併用して、砂詰めを行 った場合、観測精度が低下する。 ・移動量は把握できない。 ・耐用年数は1～3年程度と短い。 ・半自動～自動化は容易である。	・高感度である為微小な変動を検出できる。 ・ガイドパイプが正常な状態である限り測 定可能である。 ・2方向から変動方向を把握できる。 ・変動量を定量的に把握できる。 ・水位観測孔と併用して、砂詰めを行った 場合、観測精度が低下する。 ・プロープの長さが50cm程度有り、孔曲が りが進行すると測定不能となる。 ・手動計測が主体で、半自動～自動化は難 しい。	・高感度である為微小な変動を検出できる。 ・ガイドパイプに設置するタイプと埋め込 むタイプがある。 ・孔内傾斜計の設置数に制限がある。 ・変動量を定量的に把握できる。 ・自動観測で測定間隔を短く取ること によって変動をより確実に捉えることが出来る。	・高感度である為微小な変動を検出 できる。 ・センサー埋設深度付近が正常な状態 である限り測定可能である。 ・変動量を定量的に把握できる。 ・自動観測で測定間隔を短く取るこ とで変動をより確実に捉えること 出来る。 ・すべり面が複数あり、上部のすべ り変位が大きい場合でも下部の変 位を測定できる。 ・設置後のセンサー交換、移動は不 可能。	・連続して10m前後の移動を、長期 間にわたって測定することが出来る が、単独ではすべり面深度を把握で きない。 ・ワイヤーの伸び等により微小な変 位は、測定困難である。 ・保孔管のクリアランスの大きさに 対応した初期無感帯がある。 ・地盤が沈下して、ワイヤーの抜け あがり現象がある場合、移動量が測 定できない場合がある。	・連続して10m前後の移動を、長 期間にわたって測定することができ る。 ・一般的に測定深度は25～40mで あるが、100mまでの実績がある。 ・0.5～2.0mの範囲で測定間隔を 設定できるが、標準は1mである。 ・保孔管のクリアランスの大きさに 対応した初期無感帯がある。 ・地盤が沈下して、ワイヤーの抜 けあがり現象がある場合、移動量 が測定できない場合がある。	・構造は極めて単純であり測 定も簡単である。 ・移動量の大きな地すべりの すべり面の把握に適してい る。 ・特別な技術が不要である。 ・移動速度が小さい地すべり では、すべり面が検出されな い。	
データ量	○ (手動) ◎ (半自動・全自動)	○	◎	◎	◎	○ (手動) ◎ (半自動・全自動)	△	
感度	◎	◎	◎	◎	○	○	△	
耐久性	△	◎	○	○	○	◎ (手動) ○ (半自動・全自動)	○	
変位許容量	△	△	△	△	○	◎	-	
経済性	○	○	△	△	○	○	◎	
実績のある併用手法	・孔内傾斜計	・地中伸縮計	-	-	・孔内傾斜計	-	-	

(※1 地すべり観測便覧 p.73(平成8年10月)地すべり対策技術協会、※2 地すべり観測便覧 p.96(平成8年10月)地すべり対策技術協会、※3 地すべり観測便覧 p.103～106(平成8年10月)地すべり対策技術協会、※4 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.152～161(平成16年3月)農林水産省農村振興局、※5 地すべり防止対策技術指針及び同解説 p.17～26(平成20年4月)国土交通省砂防部)

(◎～△は相対的なものであり、適否を表すものではない)

コストの検討事例（２）～地中移動量編～

一般的に地中移動量は、パイプひずみ計（手動・半自動）、挿入式孔内傾斜計（手動）、設置式孔内傾斜計（半自動）ないし地中伸縮計（半自動）により測定することが多い。この項では、地中移動量観測の代表的な手法であるパイプひずみ計、設置式・挿入式孔内傾斜計と地中伸縮計の観測費用を算出した。表-（２）に各種観測機器の設置・観測費用の比較を示す。

観測費用算出条件

掘削延長 L=30m（掘削費用は除く）
 観測回数 1回/月（半自動観測の場合、連続観測でデータ収録が1回/月）
 メンテナンス回数 1回/年
 メンテナンス費用 交換費用を除く
 その他 移動費用・諸経費を除く

パイプひずみ計（手動）の場合

1方向 2ゲージ 設置間隔 2m
 機械損料 観測装置

パイプひずみ計（半自動）の場合

1方向 2ゲージ 設置間隔 2m
 機械損料 データ読取装置・記憶媒体

挿入式孔内傾斜計（手動）の場合

50cm間隔 全深度（L=30m）
 機械損料 観測装置

設置型孔内傾斜計（半自動）の場合

すべり面（GL-25m）付近 3深度
 機械損料 データ読取装置・記憶媒体

地中伸縮計（半自動）の場合

延長 L=30m
 機械損料 データ読取装置・記憶媒体

表-（２） コスト比較一覧表

観測手法	パイプ ひずみ計 （手動）	パイプ ひずみ計 （半自動）	挿入式 孔内傾斜計 （手動）	設置式 孔内傾斜計 （半自動）	地中伸縮計 （半自動）
設置費用 （1基当たり）	239千円	605千円 （センサー・収録器含む）	278千円	1,314千円 （センサー・収録器含む）	247千円 （センサー・収録器含む）
観測費用 （1箇所1回当たり）	15千円	14千円	42千円	14千円	14千円
機械損料 （1箇所1カ月当たり）	1千円	1千円 （読取装置他含む）	2千円	1千円 （読取装置他含む）	1千円 （読取装置他含む）
メンテナンス費用 （1箇所当たり）	-	3千円	-	3千円	3千円
1年当たりの 総費用（1箇所）	431千円	788千円	806千円	1,497千円	430千円
5年当たりの 総費用（1箇所）	1,199千円	1,520千円	2,918千円	2,229千円	1,162千円

※手動方式と半自動方式を比較した場合、収録データ量に違いがある。

2-1-3 間隙水圧（地下水位）

間隙水圧調査の手法を表-2.1.3.1 間隙水圧（地下水位）調査手法一覧表に整理した。

ボーリング孔に設置した保孔管内の地下水位を測定し、間隙水圧として代用することが一般に行われているが、直接間隙水圧を測定することもある。どちらもボーリング孔を利用する。地下水位観測孔の構造模式図を図-2.1.3.1 に示した。また、既設の井戸を利用する簡易計測手法もある。

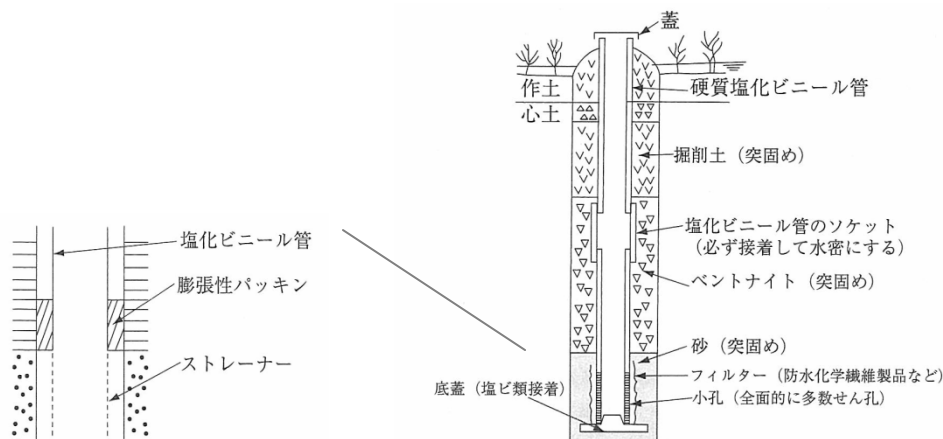


図-2.1.3.1 地下水位観測孔構造模式図

（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.134～135(平成16年3月)農林水産省農村振興局)

(1) 地下水位計

地下水位計は、すべり面にかかる間隙水圧をボーリング孔内の地下水位として測定する手法である。

① 触針式地下水位計

観測孔内に触針式地下水位計を挿入して地下水位面を測定する方法である。水の電気伝導性を利用するもので、電極が水面に着くと電流が流れ、これを記録するものである。

② 水圧式地下水位計

観測孔内のある深度に水圧センサーを設置し、測定される圧力から水位を測定する方法である。連続観測を行う場合に利用される。

(2) 間隙水圧計

すべり面付近に作用する間隙水圧を直接測定する方法である。

① 開放型間隙水圧計

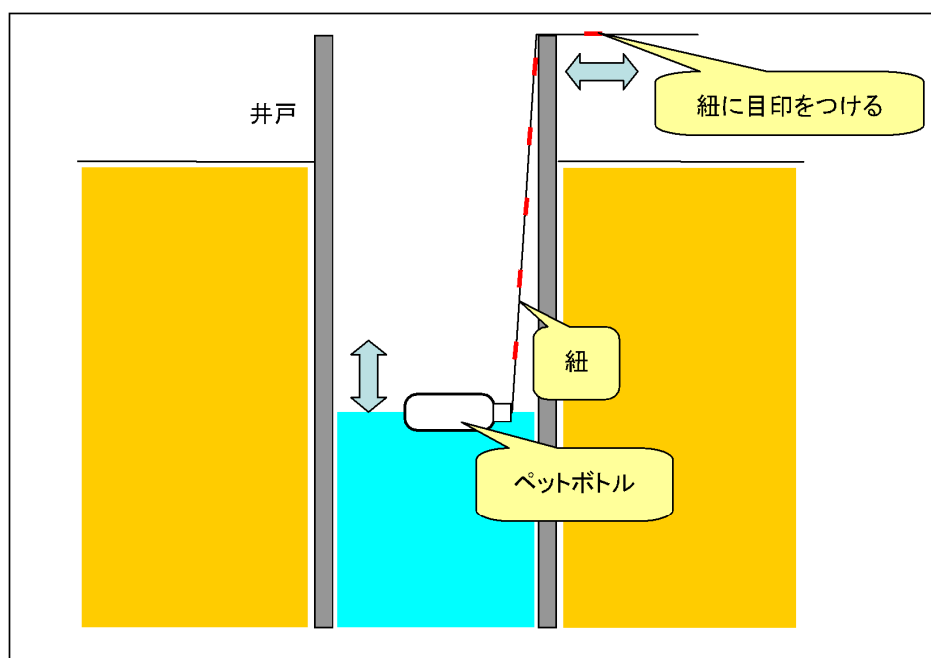
すべり面付近の水圧を細いパイプで地表まで導いて測定する方法である

② 閉鎖型間隙水圧計

すべり面付近の測定したい区間に間隙水圧計を設置し観測する方法である。

(3) 簡易計測手法

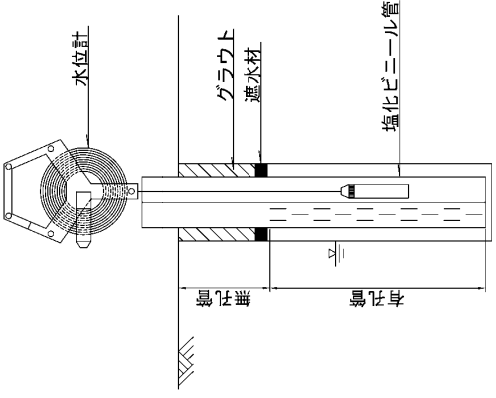
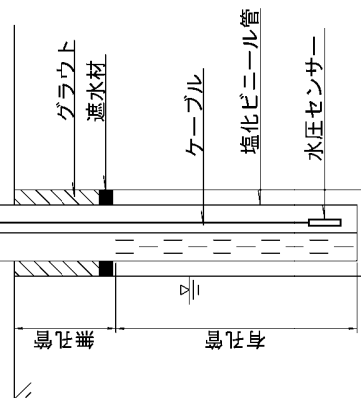
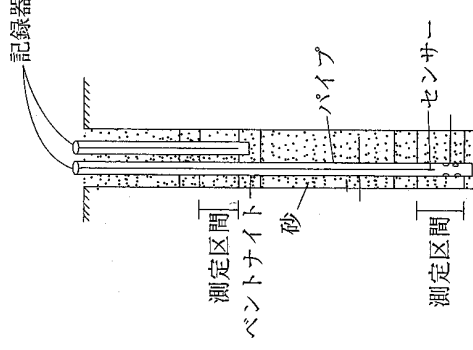
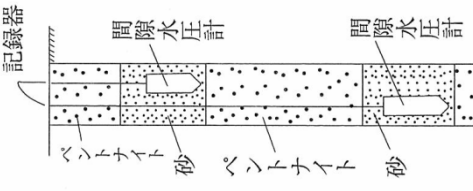
地下水位の変化については、既設の井戸において、**図-2.1.3.2（出典：地すべり災害を予防・軽減するための活動の手引き（平成 20 年 12 月）農林水産省農村振興局農村環境課）**に示すような方法で観測することができる。



ペットボトルに紐を付けたものを井戸の中に入れ、紐が井戸の縁にあたる所に印を付けることによって、水位の概ねの変化を観測することができます。

図-2.1.3.2 ペットボトルを利用した簡易水位計

表-2.1.3.1 間隙水圧（地下水位）調査手法一覧表

計器	地下水位計		間隙水圧計	
	触針式	水圧式	開放型	閉鎖型
概念図				
計測対象	・地下水位（≒すべり面の間隙水圧）の把握	・地下水位（≒すべり面の間隙水圧）の把握	・すべり面の間隙水圧の把握	・すべり面の間隙水圧の把握
測定範囲	0～100m	0～5m～0～30m※3	圧力計・水位計による※3	50-2000kPa～100-3000kPa ※3 (0.5-20kg/cm ² ～1-30kg/cm ²) ※3
分解能	1mm※1	0.1～1mm※3	圧力計・水位計による※3	0.1%FS※3
精度	5mm※1	±0.5～1%FS 以内※3 (FS: フルスケール)	圧力計・水位計による※3	±0.5～1%FS※3 (FS: フルスケール)
実用精度	5～50mm※1	5～50mm	-	-
耐用年数	長期	約5年※2	長期	約5年※2
測定・データ回収	手動	半自動、全自動	手動、半自動	半自動、全自動
特徴及び問題点	・構造は極めて単純で、保守点検性に非常に優れる。 ・測定機器が簡易で、昔から最もよく用いられている。 ・スクリーニング加工やグラウトを適切に行わないと、複数の地下水帯が有る場合には正しい水位を計測できない。 ・手動式が主体である為、観測頻度によっては解析上不十分となることが多い。	・継続的な観測が可能である。 ・計器の設置が比較的容易である。 ・スクリーニング加工やグラウトを適切に行わないと、複数の地下水帯が有る場合には正しい水位を計測できない。 ・触針式水位計でも水位を確認しておくことが必要である。 ・予測される水位変動を考慮し、適切な測定範囲や精度を有するセンサーを選定し、設置する必要がある。 ・地下水排除工の対策効果により地下水位が低下した場合などには設置深度の変更が必要となる場合がある。	・すべり面の間隙水圧を観測できる。 ・手動の場合、目読による測定である。 ・非金属性で電気回路を有していないため腐蝕に強く、長期間の観測ができる。 ・精度的に優れているが、目読による測定のためあまり使用されていない。	・測定器にかかる水圧を電氣的に変換して測定する。 ・すべり面の間隙水圧を観測できる。 ・継続的な観測が可能である。 ・変化に対する応答時間が短い。 ・機器の異常値を確認する方法はない。 ・耐用年数は開放型に比べて短い。 ・1孔のボーリング孔の複数深度に間隙水圧計を設置することも可能であり、複数のボーリング孔における地下水位計観測より経済的な場合もある。 ・ゼロ点移動やヒステリシスが測定値に影響を与えやすい。

(※1 地すべり観測便覧 p.73(平成8年10月)地すべり対策技術協会、※2 地すべり観測便覧 p.96(平成8年10月)地すべり対策技術協会、※3 地すべり観測便覧 p.103～106(平成8年10月)地すべり対策技術協会、※4 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.152～161(平成16年3月)農林水産省農村振興局、※5 地すべり防止対策技術指針及び同解説 p.17～26(平成20年4月)国土交通省砂防部)

(◎～△は相対的なものであり、適否を表すものではない)

コストの検討事例（3）～地下水位編～

一般的に間隙水圧（地下水位）は、触針式地下水位計（手動）、水圧式地下水位計（半自動）により測定することが多い。また、閉鎖型間隙水圧計（半自動）でも間隙水圧を測定することもある。この項では、間隙水圧（地下水位）観測の代表的な手法である触針式地下水位計、水圧式地下水位計及び閉鎖型間隙水圧計の観測費用を算出した。表-（3）に各種観測機器の設置・観測費用の比較を示す。

観測費用算出条件

掘削延長 L=30m(掘削費用は除く)
 観測回数 1回/月(半自動観測の場合、連続観測でデータ収録が1回/月)
 メンテナンス回数 1回/年
 メンテナンス費用 交換費用を除く
 その他 移動費用・諸経費を除く

水圧式地下水位計(半自動)の場合

機械損料 データ読取装置・記憶媒体

触針式地下水位計(手動)の場合

機械損料 観測装置

閉鎖型間隙水圧計(半自動)の場合

機械損料 データ読取装置・記憶媒体

表-（3） コスト比較一覧表

観測手法	触針式地下水位計 (手動)	水圧式地下水位計 (半自動)	閉鎖型間隙水圧計 (半自動)
設置費用 (1基当たり)	86千円	410千円 (センサー・収録器含む)	455千円 (センサー・収録器含む)
観測費用 (1箇所1回当たり)	2千円	14千円	14千円
機械損料 (1箇所1カ月当たり)	1千円	1千円 (読取装置他含む)	1千円 (読取装置他含む)
メンテナンス費用 (1箇所当たり)	-	3千円	3千円
1年当たりの 総費用(1箇所)	122千円	593千円	638千円
5年当たりの 総費用(1箇所)	266千円	1,325千円	1,370千円

※手動方式と半自動方式を比較した場合、収録データ量に違いがある。

2-1-4 気象・水文

地すべり移動に関係する気象・水文データとしては、降水量や積雪深が特に重要である。これは、地すべり活動の誘因である降水量や積雪深と地すべり移動の相関関係を明らかにすることを目的としている。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。**図-2.1.4**に山形県滝ノ沢区域における最大積雪深と地表移動量の関係を示した。最大積雪深が大きいほど変動量も大きくなっており、最大積雪深と変動量に高い相関が見られる。このように地すべり地の活動の誘因との関係を明らかにすることにより地すべり活動の事前予測に活用することが可能になる。

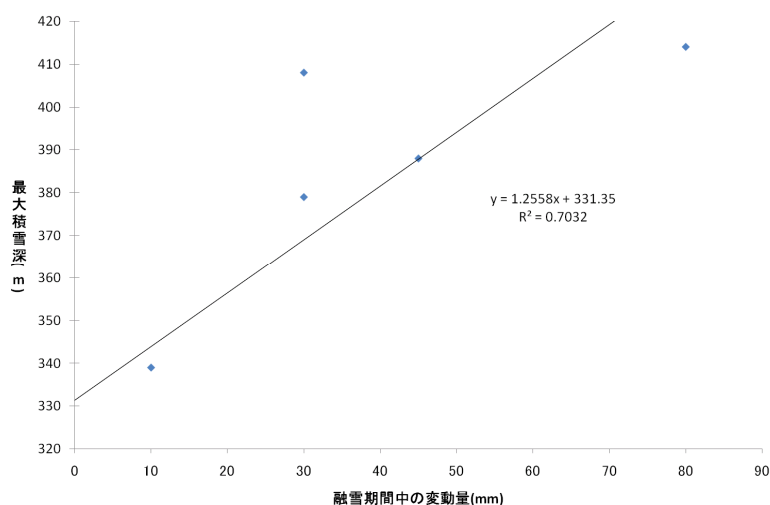


図-2.1.4 最大積雪深と地表移動量の関係の例

(山形県滝ノ沢区域における H11～20 の最大積雪深と融雪期間中の変動量より作図)

2-1-5 地すべり防止施設の機能

施工された地すべり防止施設も年月の経過とともに機能低下が生じる。機能低下には、水路工の閉塞や水抜きボーリング工の目詰まり（**「水抜きボーリングの目詰まり原因とその対策（平成 20 年 3 月）農林水産省農村振興局企画部資源課」参照**）、アンカー工の鋼材の劣化などがある。機能低下が進むと地すべりが再活動する危険性があるため、十分な点検と適切な対応をとる（詳細調査、機能回復工事など）。

地すべり防止施設の機能については、巡回目視により下記のような事項については定性的には確認できるが、機能低下の程度を定量的に把握するためには、観測や原位置試験が必要となる。

- ① 構造物の破損（継目・食い違い、傾動、転倒、沈下・埋没）
- ② 排水機能低下（堰堤工水抜き口の閉塞、地下水排除孔の孔詰り、地下水位の上昇、通水能力の不足）
- ③ 地下への浸透水増加（水路の欠損、落差工の埋没、排水管継ぎ目の漏水）

④ 浸食洗掘（水路裏込め材の洗掘、開口部付近の洗掘）

⑤ 施設の不法占拠、目的外使用

（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. 71（平成 16 年 3 月）農林水産省農村振興局）

2-2 観測方式について

地すべりの観測方式は、手動方式、半自動方式、全自動方式に区分される。

表-2.2.1 地すべり観測方式比較表に手動方式、半自動方式、全自動方式の特徴、メリット・デメリットを示す。

表-2.2.1 地すべり観測方式比較表

方式	手動	半自動	全自動
測定	現地測定	自動	自動
記録	野帳記入、測定時収録	電子データを蓄積	電子データ
データ回収	－	現地でのデータ回収	有線・無線回線による伝送
データ密度	測定時のみ	連続	連続
データ取得	測定時のみ	回収時のみ	リアルタイム
現地労力	大	中	ほとんどなし
機器コスト	安い	中間	高い
データ単価	高い	中間	安い
データ利便性	計測、整理に時間を要する	データ収集に時間を要する	リアルタイム
使用される観測機器の例	・ 地表面傾斜計（水管式） ・ 挿入式孔内傾斜計 ・ 触針式水位計	・ 伸縮計、自記伸縮計 ・ 設置型孔内傾斜計 ・ 鉛直方向伸縮計 ・ 水圧式水位計、自記水位計 （用紙交換型の自記記録計器も半自動に含めた。自記記録計器は、近年は採用が少なくなっている。）	・ 伸縮計 ・ 設置型孔内傾斜計 ・ 鉛直方向伸縮計 ・ 水圧式水位計

観測対象となる地すべりブロックの規模や活動状況、保全対象の重要度に応じて、適切な観測方式を採用する。

手動方式は、**コストの検討事例（1）～（3）**に記載したように機器の初期費用は3方式中もっとも安価であるが、観測コスト等を含めた費用では最も高くなる。しかし、巡回目視時にあわせてデータ回収を行うことで計測人件費を低減することが可能である。半自動方式は、初期費用は手動方式よりは高く、全自動よりは安い、計測管理に要する費用は、手動方式より安く全自動方式よりは高くなる。この方式は、リアルタイム計測ができないため、比較的緩慢な動きを示す地すべり地の挙動の解明や地すべり対策の効果判定を行う場合に適用される。全自動方式は、一般に初期費用は最も高くなるが、計測人件費は計器

の維持管理経費を考慮しても最も低くなる。融雪期などこれまで立ち入ることができなかった時期にもデータが得られるため、地すべり挙動に関する新たな知見が得られる。また、大規模な地すべりなど観測地点が多く、計測頻度が高い場合などに非常に有効な方式である。加えて、地すべりの活動状況が高い場合には、避難措置等の対応も必要となるため、より迅速にデータを取得できる利点がある。

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。

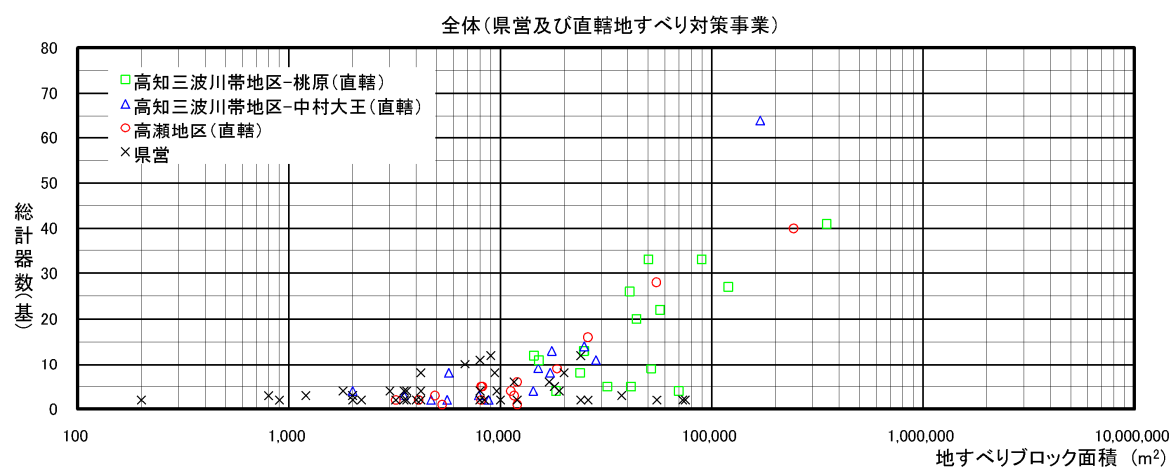


図-3.1.1 地すべりブロックの面積と総計器数の関係
(中国四国農政局管内地すべり対策事業実施中の地区)

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）や測量鉈（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。

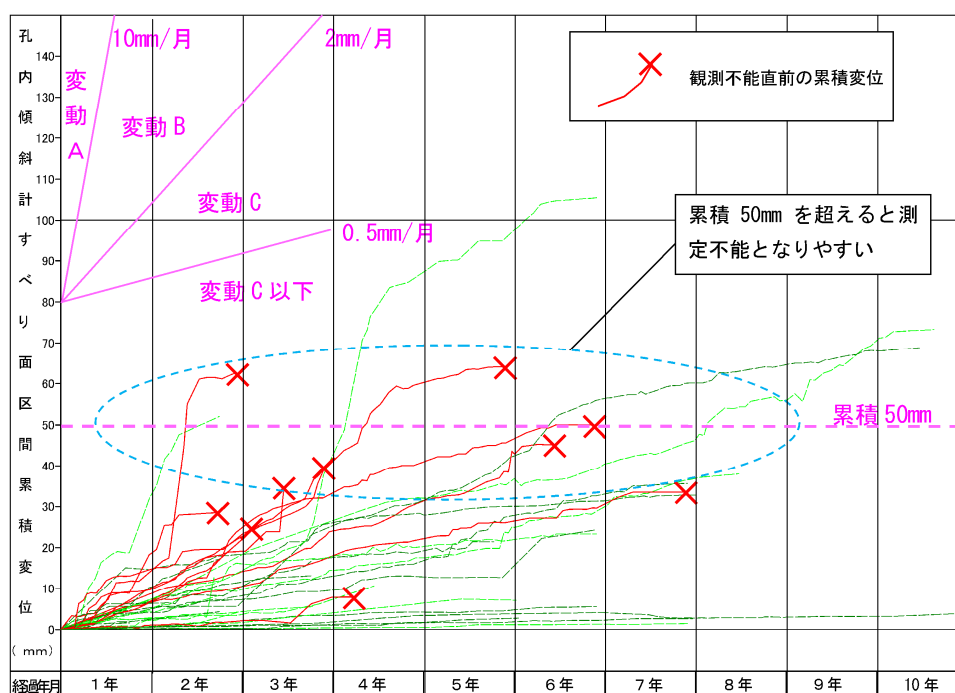


図-3.1.2.1 孔内傾斜計の経時的な累積変位の例
(高知三波川帯地区一中村大王上区域)

(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。 変位速度 24mm/年で約 2 年（≒50mm/24mm） 変位速度 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	
	変動 B	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。			
		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 C	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)。			
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) 地中移動量監視 : 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。			

(その他の留意点)

- ・ 孔内傾斜計は監視方式（挿入型、設置型）、監視精度（高精度、低精度）で細分される。変動レベルや目的に応じて選択する。
- ・ すべり面が緩急で、かつ浅層部の変動レベルが大きい場合（変動 B 以上）に、深層部の地中移動量監視には無線式の孔内傾斜計（設置型）の採用が考えられる。
- ・ パイプひずみ計・設置型孔内傾斜計などセンサー埋設型計器は耐久性が低い傾向があり、観測期間を考慮する。
- ・ 地中伸縮計は、地盤の沈下変位などにより、地すべりによる変位量を正確に捉えられないこともある。

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

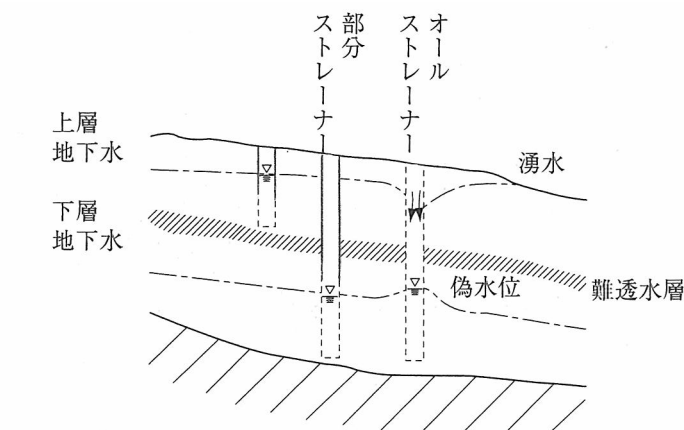
パイプひずみ計を装着した塩ビパイプにオールストレーナ加工を行い、砂等で間詰めを行い併用する方法

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。

コラム

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。

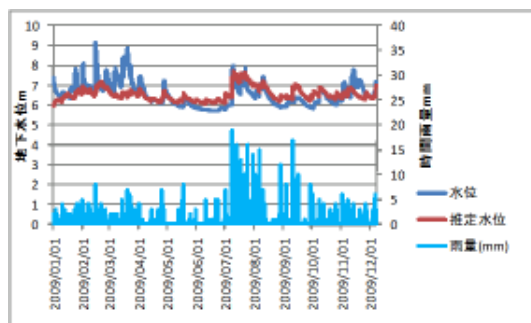


図1 第三紀層地すべりにおける実効雨量に基づく地下水位の推定

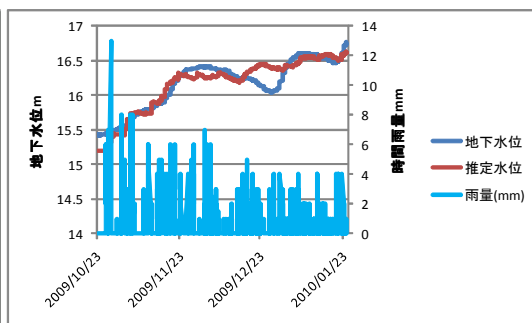


図2 破断孔内傾斜計観測孔における孔内水位と実効雨量に基づく推定水位

<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。

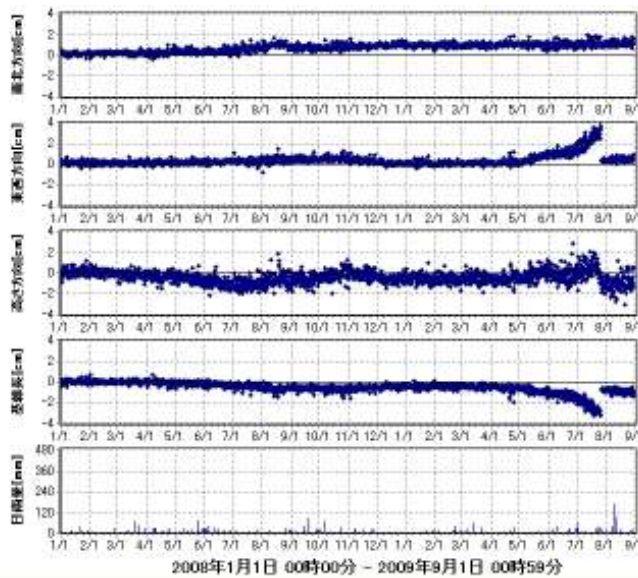


図3 GPSによる連続観測例

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。

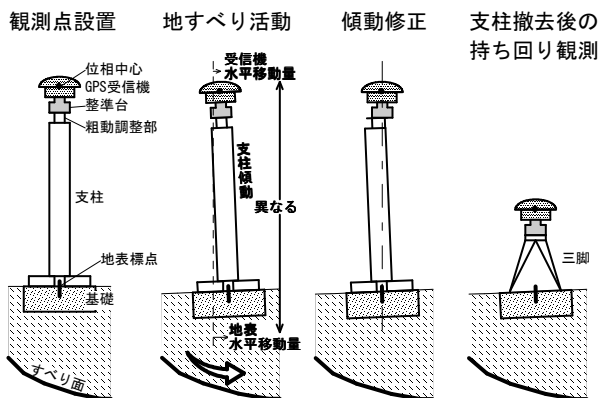


図4 地表を標点とするGPS観測点構造

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。

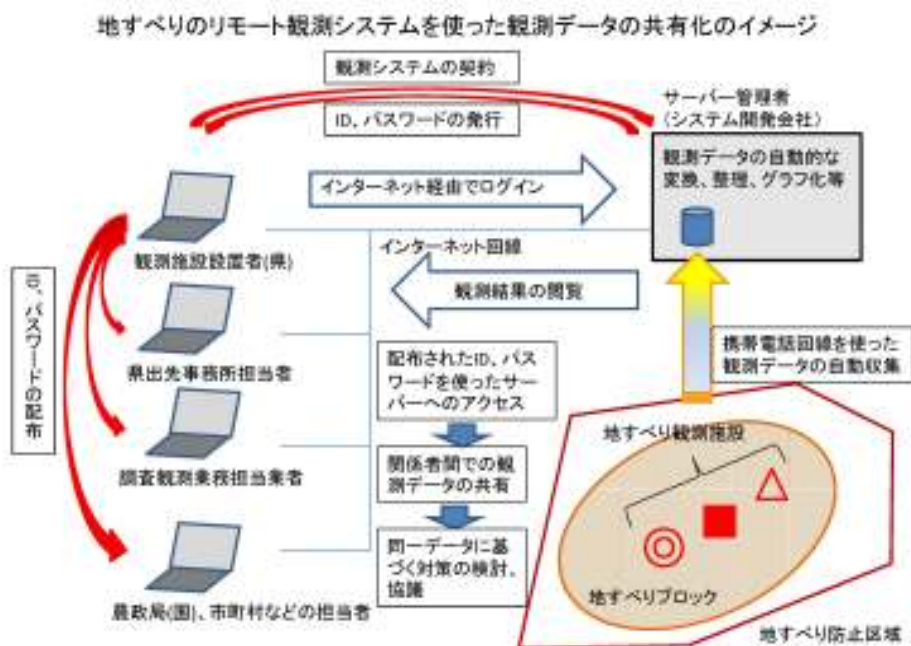
(4) 観測データの共有方法

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。



(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进行评估し、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进行评估した上で、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。

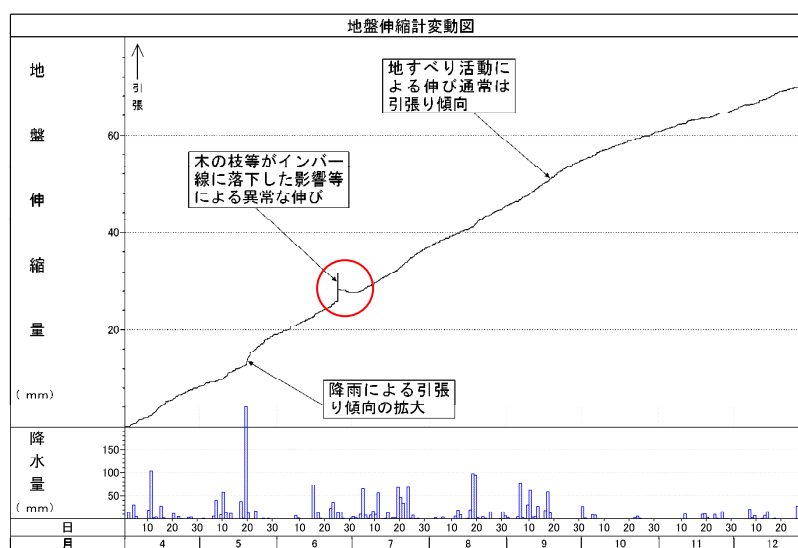


図-3.3.1(1) 地盤伸縮計の異常データの例

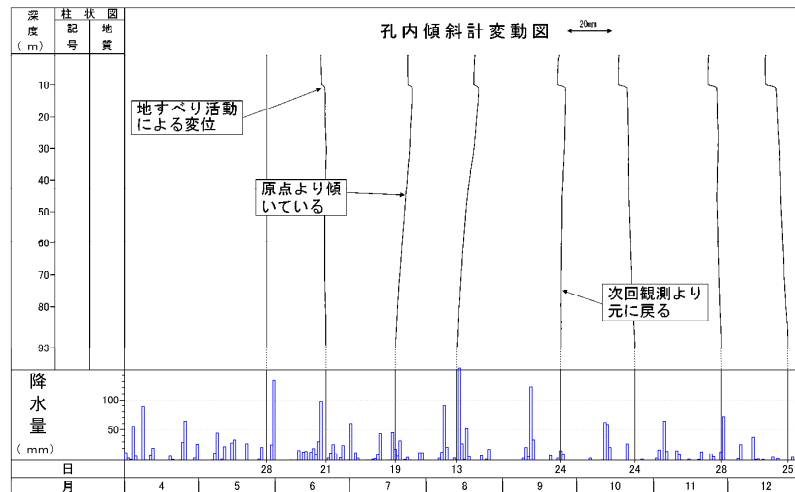


図-3.3.1(2) 孔内傾斜計の異常データの例

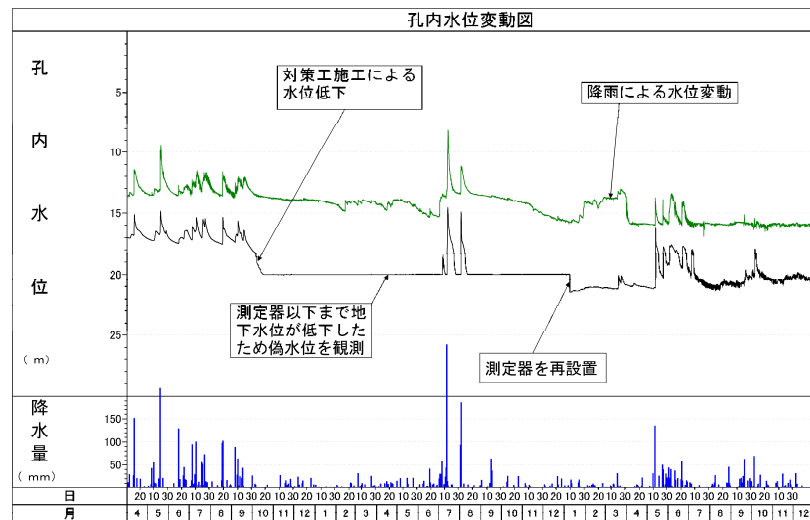


図-3.3.1(3) 水圧式孔内水位計の異常データの例

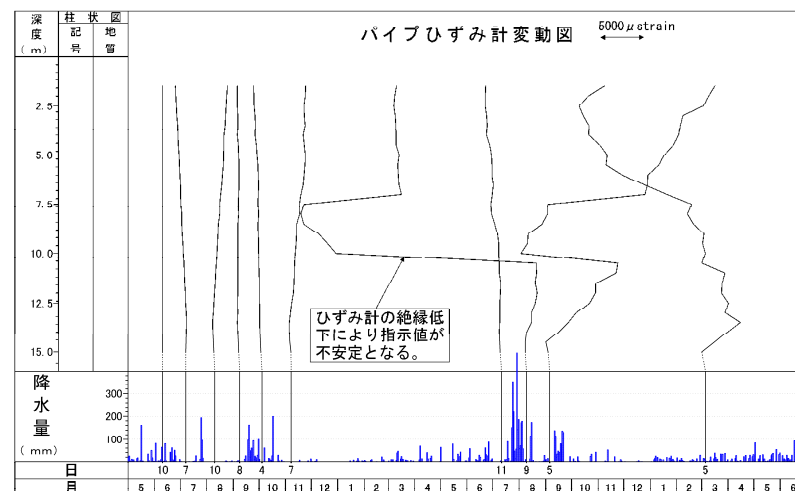


図-3.3.1(4) パイプひずみ計の異常データの例

第4章 地すべり監視体制構築の事例

地すべり監視体制を具体的に構築した事例を下記の通り紹介する。

4-1 第三紀層地すべり（東北地方）

本事例は、下記の継続的な監視が特に必要な地すべり地のモデルとした。

- ・④大規模で継続的な変動が予想される地すべりブロック

4-2 破碎帯地すべり（四国地方）

本事例は、下記の継続的な監視が特に必要な地すべり地のモデルとした。

- ・①再活動により重要な保全対象に影響を与える地すべりブロック
- ・②再活動により重要な既設地すべり防止施設へ影響を与える地すべりブロック
- ・③その再活動が周辺のブロックに対して影響を与えやすい地すべりブロック
- ・⑤異常降雨時等に突発的な滑動が予想される地すべりブロック

4-3 貯水池の地すべり（北海道地方）

本事例は、下記の継続的な監視が特に必要な地すべり地のモデルとした。

- ・①再活動により重要な保全対象に影響を与える地すべりブロック

4-1 第三紀層地すべりにおける検討事例

全国に多く分布する第三紀層地すべりは、目視確認が難しい慢性型活動を示すものが多い。特に、大規模な岩盤タイプの地すべりほど、長期にわたって活動が継続し、対策工事施工後も活動収束までに期間を要し、継続監視が必要となりがちである。こうした条件下では「長期間の継続監視が可能な監視システム」が要求される。

本事例は、山形県最上郡大蔵村「滝ノ沢地すべり区域」のCブロック（以下『滝ノ沢Cブロック』と称する。位置と外観を、**図-4.1.1**に示す）をモデル例とし、こうした条件に最適な監視システムを検討した。このブロックの選定理由を記す。

- ・ 既往の観測データの蓄積があり、対策事業概成後を想定した適・不適の判断材料が豊富なこと。
- ・ 目視確認が難しい緩慢な活動が持続しており、計器による観測への依存度が高いこと。
- ・ 深層の岩盤地すべりを有し、難易度の高い監視システムが要求され、課題が多岐にわたるため、網羅的な検討ができること。



図-4.1.1 滝ノ沢Cブロックの位置と外観

(1) 検討の流れ

滝ノ沢Cブロックは現在も抜本対策が未施工であるが、概成後の地すべり監視体制は、**図-1.4.1**、**図-1.4.2**に示すフローに従って検討を行った。

(2) 現状の地すべりブロックの状況

滝ノ沢Cブロックの現在の状況を、**表-4.1.1**に示す。また、同ブロックの平面図と主観線断面図を、**図-4.1.2**に示す（平面図上には、既往の観測地点を観測手法別に図示した）。既往の観測手法の適応性を評価するには、監視対象となる地すべりブロックの状況が重要な判断材料となる。

表-4.1.1 滝ノ沢Cブロックの現在の状況

ブロックの規模	長さ 800m、幅 500m 活動すべり面深度 20～50m、潜在すべり面深度 60～75m
地すべりタイプ	第三紀層地すべり 慢性型岩盤地すべり
活動状況	数 cm/年の活動、ただし融雪期に集中 小雪年は非活動となる
想定される誘因	融雪に伴う多量の地下水供給～間隙水圧の上昇
施工済み対策工	地表水排除工、浅層地下水排除工(水抜きボーリング) 深層地下水排除工(集水井、末端部のみ)
今後想定される対策工	深層地下水排除工(集水井群または排水トンネル)

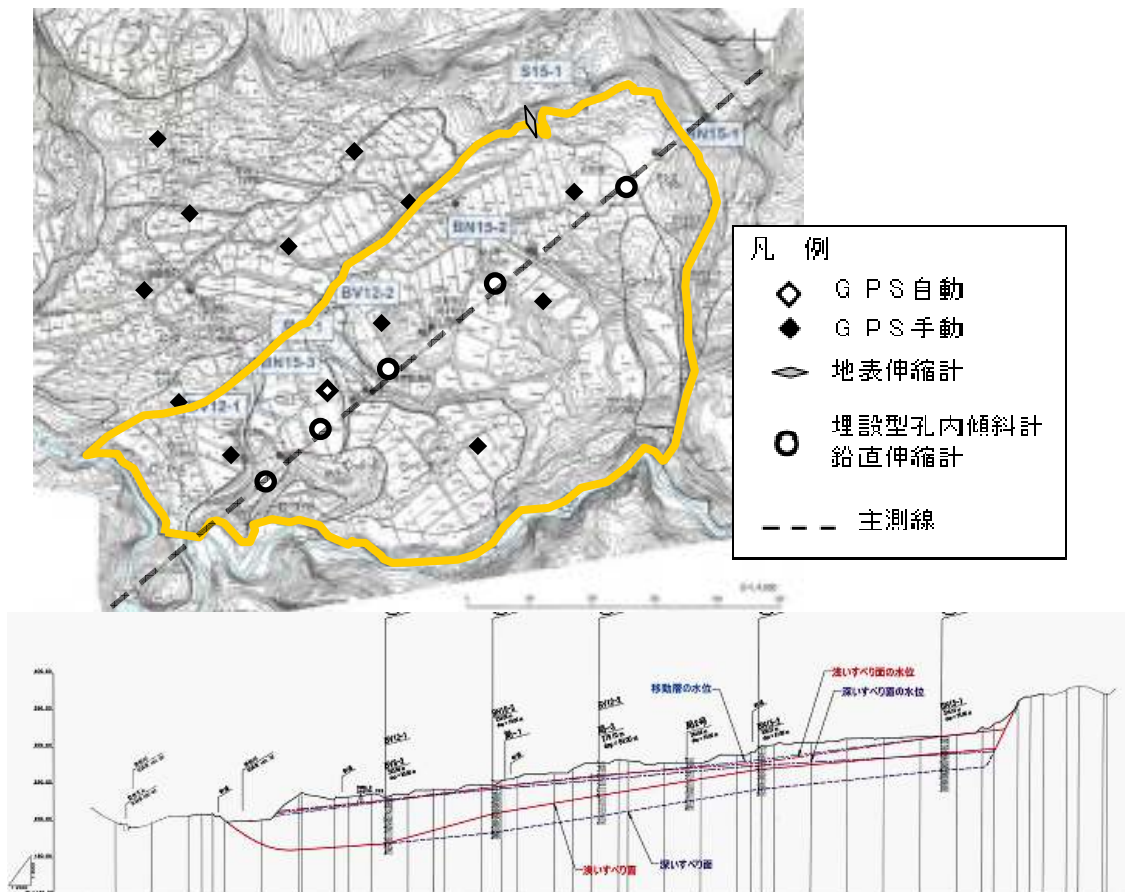


図-4.1.2 滝ノ沢Cブロックの平面図と主測線断面図

(3) 既往の監視体制の課題と評価

滝ノ沢Cブロックの既往監視体制で採用されている観測手法について、各手法の問題点を抽出したうえ、その解決策を検討し、滝ノ沢Cブロックの条件への適合性を評価した。その結果を表-4.1.2に示す。

表-4.1.2 滝ノ沢Cブロックの既往の観測手法ごとの課題、解決策、評価結果

観測手法	課題	解決策	評価
GPS	・表層地盤の傾動、表層地すべりと深層地すべりの重複による異常値発生	・架台の基礎を、 $N \geq 20$ 以上の地盤または平坦地に打設。手測りの場合は架台を設けず、測定時に三脚を持参・設置。 ・表層地すべりを避けるか(分離小丘が適地)、表層地すべり単独の変位を別計測し補正。	○
	・原理的に発生する値のばらつき、測定誤差の発生	・開空率(特に南側)を十分確保し、衛星捕捉数を向上。 ・固定点をできるだけ近傍に設定。	
地表伸縮計	・部分崩壊等の局所変動の影響による異常値	・局所変動しうる地形段差や亀裂を回避。 ・基礎部をできるだけ地下深部に設置。	×
	・活動ブロック境界からのズレによる無感応	・初期段階で長測線を分割測定するか、面的配置可能なGPS観測(手測り)により、ブロック境界を特定。 ・上記を経ても、慢性型地すべりの場合は、短スパンで正確にブロック境界を捕捉することは困難。	

設置型孔内傾斜計(有線式)	・変位の累積に伴う孔破断に起因する故障	・すべり面から若干ずらして設置(絶対変位量は得られないが、変動の有無確認は可能)。 ・完全な解決は、原理的に不可能。	○
鉛直方向伸縮計	・測定深度が深くなるほど、ワイヤ弛みによる無感応のリスクが増大	・設置時に注意。また、孔仕上げと同時に設置(仕上げ後の設置を避ける)。 ・ワイヤ固定深度を無用に深くせず、測定したいすべり面の直下とする。	△
	・一定量の変位が累積するまでの無感応期間	・保孔管の外側に、チューブに入れたワイヤを密着させて設置。 ・設置後当分の期間は、孔内傾斜計を併用。	
	・活動すべり面の深度と変位方向の特定が不可能	・設置後当分の期間は、孔内傾斜計を併用。または同一地点でGPS観測を行いクロスチェック。 ・多層移動量計の採用により、深度特定は可能。	

さらに、実際に監視システムを運用する上で課題となる事項について(表-4.1.3に示す)、各観測手法に対し評価を行い、これらの評価結果を、事業概成後の監視体制検討に反映させた。

表-4.1.3 各観測方法について評価した事項

課題となる事項	評価するうえでの着目点
耐久性(5年間を想定)	計器の自然劣化、特異気象による故障リスクなど
精度、感応性	観測値の精度・定量性、検知限界など
操作性、汎用性	計測・維持管理における労力や特殊技術の必要性
連続性、耐候性	天候等に関わらない連続データ、定時データ取得の可否
即応性	緊急時の計測・解析への即応性
設置コスト	設置、調整に要する経費
運用コスト	計測、解析、維持管理に要する経費

(4) 滝ノ沢Cブロックで事業概成後に想定される要監視事項

滝ノ沢Cブロックの形態と機構から想定される抜本対策は、深層の地下水排除工であるが、その効果発現から地すべり活動の収束までには、ある程度の年数を要する可能性がある。

このため、抜本対策工事の完了後もしばらくの期間は、融雪期において現在の変動Aレベルではなくとも、変動BないしC程度の活動が継続する可能性が否定できないことから、5年程度は挙動を監視し、活動の緩速化～収束をモニタリングすることが必要と考えられる。

(5) 滝ノ沢Cブロックの事業概成後の監視体制

滝ノ沢Cブロックの既往監視体制下の各観測手法の評価結果と、抜本対策後に想定される地すべり変動状況から、事業概成後の監視体制を表-4.1.4及び図-4.1.3～4.1.4のとおり、検討・机上構築した。

ここでの検討は、次の①～④の手順で行った。

①滝ノ沢Cブロックの現在(抜本対策未施工)の活動特性から、事業概成後(抜本対

- 策施工後)の活動特性を予測。
- ②上記①において、事業概成後の活動パターンを「対策工の効果が発現途上で、活動が収束しつつある段階」と「対策工効果が十分に発現し、活動が収束した段階」に区分。
- ③既往システムの観測手法のうち、改良によって問題点の解決が図れる場合、改良を検討。具体的には「鉛直方向孔内伸縮計」を、感度良好な「改良型多層移動量計」とする。
- ④既往システムの観測手法の評価結果に基づき、適用可能な観測手法の短所（特に解決困難な問題点）を相互補完するシステムを検討。③で改良した手法については、改良後の手法を検討対象とした。
- ⑤上記②～④の結果に基づき、事業概成後の滝ノ沢Cブロックで最も効果的・効率的な観測を行うための手法・配置を選定。

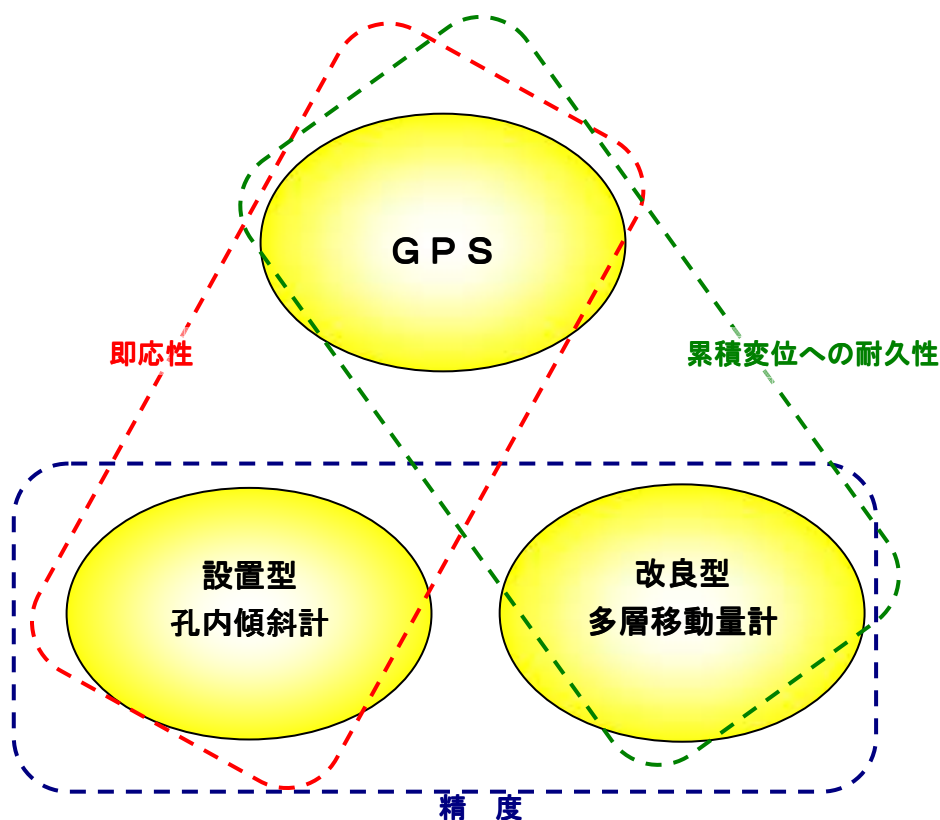


図-4.1.3 滝ノ沢Cブロックにおける観測手法の相互補完イメージ

表-4.1.4 滝ノ沢Cブロック事業概成後の観測手法の選定（案）

観測手法		活動収束中の配置	活動収束後の配置
地表変位	G P S 全自動	主測線の 1 点	G P S 手測りで変動を認めた場合のみ計測
	G P S 手測り	数点で年 2 回	数点で年 1 回
地中変位	埋設型孔内傾斜計(半自動)	主測線の 3 点 副測線の 1 点	— (耐久性低につき廃止)
	改良型多層移動量計(半自動)	埋設型孔内傾斜計に同じ	同左 (G P S 手測りで変動を認めた場合のみ計測)

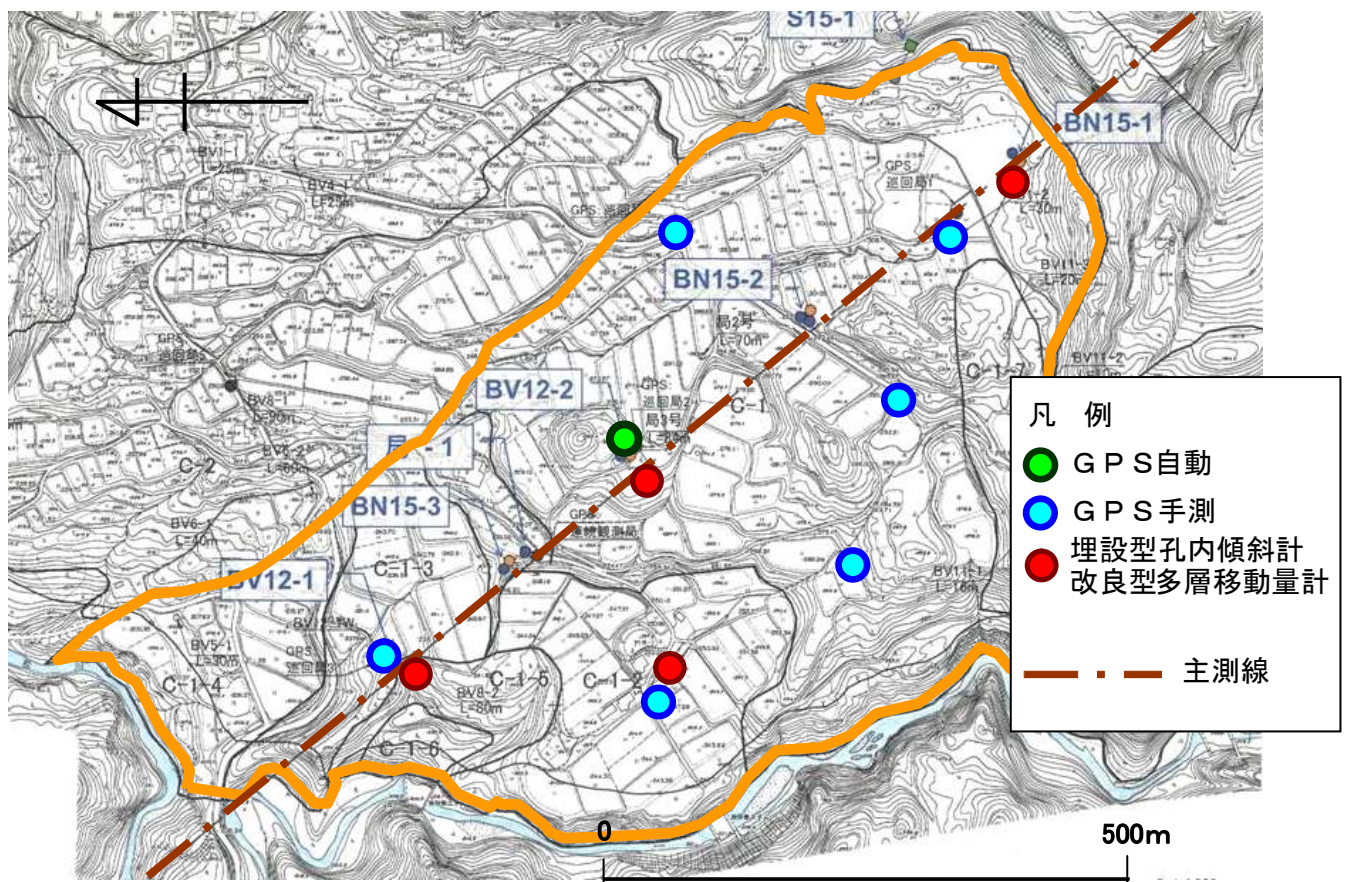


図-4.1.4 滝ノ沢Cブロックを対象とした観測機器の配置（案）

4-2 破砕帯地すべりにおける検討事例

高知県長岡郡桃原地区は三波川変成帯に属し、中生代に形成した結晶片岩が分布している。Cブロックでは深度 100m近い大規模なブロック（風化岩地すべり）から小規模なブロック（崩積土地すべり）まで多様な地すべりブロックが、一連の長大な斜面に分布している。また、これまで豪雨時に孔内傾斜計観測孔が破断するなど急激な活動のあったこと、地下水は多重構造で地すべり機構は複雑であることなど破碎帯地すべりに多く見られる特徴を有する地すべりである。

Cブロックはこれまでに排水トンネルをはじめとする対策工がほぼ完了し、概成が間近となっている。Cブロックは大きくC1～C5の5つのブロックに区分されるが、前述のように大規模なブロックがあり、現状においても若干の変動の見られるブロックがあること、また人家等重要な保全対象があることなど、概成後も継続的な監視が特に必要とされる地すべり地であると考えられる。このため、概成後の地すべり監視体制の検討を行った。

桃原地区の位置図・地質略図を図-4.2.1に示す。

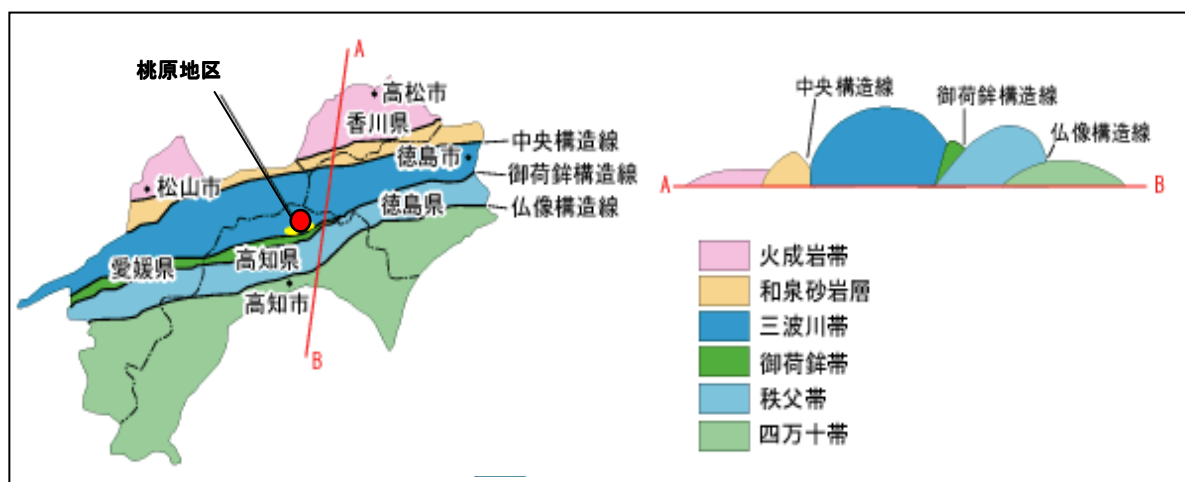


図-4.2.1 桃原地区の位置図・地質略図

(1) 検討の流れ

概成後の地すべり監視体制は、**図-1.4.1**、**図-1.4.2**に示すフローに従って検討を行った。

(2) 現状の地すべりブロックの状況

概成後の適切な地すべり監視体制を構築するためには、対象となる地すべりブロックの現状を把握する必要がある。よって、地すべりブロックの現状を**表-4.2.1**に整理した。また、地すべりブロックの平面図・断面図を**図-4.2.2**に示す。

表-4.2.1 桃原Cブロックの現在の状況

ブロック	C1	C2	C3	C4	C5
ブロックの規模	幅 750m 延長 600m 深さ 95m 大ブロック	幅 350m 延長 350m 深さ 60m 大ブロック	幅 300m 延長 300m 深さ 25m 中ブロック	幅 300m 延長 300m 深さ 35m 中ブロック	幅 200m 延長 130m 深さ 15m 中ブロック
地すべりタイプ	破砕帯地すべり 風化岩地すべり	破砕帯地すべり 風化岩地すべり	破砕帯地すべり 風化岩～崩積土地すべり		破砕帯地すべり 崩積土～風化岩地すべり
地下水状況	頭部に厚く分布	右側頭部に厚く、左側頭部に薄く貯留	頭部に約 20m と厚く貯留	頭部に約 20m と厚く貯留し、末端部は、薄く貯留	全体に地下水を貯留
分化状況	一体化して活動		2～3 ブロックに分化して活動しやすい	降雨により小ブロックに分化しやすい	
活動状況と現在の変動レベル	定常的な変位 変動レベル C 未満 (4mm/年)	定常的な変位主体 (一部降雨に应答) 変動レベル C (7mm/年)	降雨に应答する変位と定常的な変位が混在 変動レベル C 未満 (1mm/年)	降雨に应答する変位が多い 変動レベル C (10mm/年)	降雨に大きく应答する 変動レベル C 未満 (1mm/年)
対策工	集水井、排水トンネル	集水井主体	集水井、水抜きボーリング主体		水抜きボーリング主体

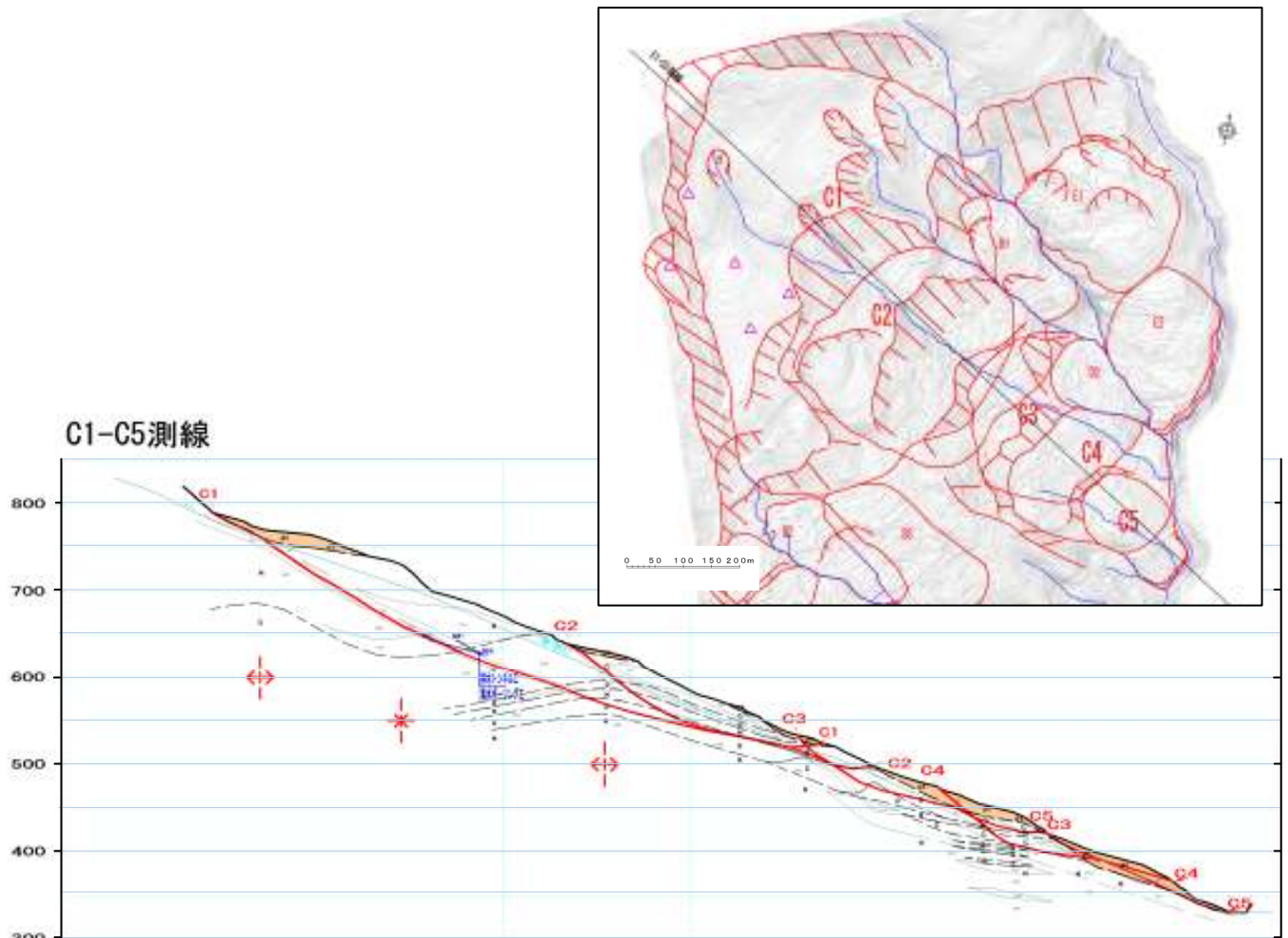


図-4.2.2 桃原Cブロックの平面図と主側線断面図

(3) 対策後の評価・観測体制の課題を抽出

(2)より桃原地区のCブロックの状況が判明したため、対策工の評価を確認し、概成後の観測を行うに当たっての課題を抽出した。表-4.2.3に対策後の評価及び概成後の課題を示す。

表-4.2.3 対策後の評価及び概成後の課題

ブロック		C 1	C 2	C 3	C 4	C 5
対策後の 評価	地下水位	水位低下あり	水位低下あり	水位低下不明瞭	水位低下あり	水位低下不明瞭
	変位	変動C未満の変位が継続	変動Cの変位が継続	変動C未満の小さい変位が継続	変動Cの変位が継続	変位停止
概成後の課題		・大規模な地すべりの定常的な小変位の評価と監視 ・大規模な地下水排除工の長期にわたる機能監視 ・監視体制の見直し方針		・中規模な地すべりの定常的な小変位の評価と監視 ・豪雨による大規模変位に対する評価と監視 ・地下水排除工の長期にわたる機能監視 ・観測計器を設置した場合の計器破損への対応 ・監視体制の見直し方針		

(4) 概成後の地すべり監視体制の方針

表-4.2.3に示した課題を解決するために、地すべり監視体制の方針を表-4.2.4のように検討した。

表-4.2.4 地すべり監視体制の方針

ブロック		C1	C2	C3	C4	C5
概成後に 求められる 監視体制方針	全体	変動の見られるブロックの継続的監視と末端ブロックの豪雨時等の監視が重要				
	巡回目視	地すべり観測の主体として実施が必要				
	変位観測	地中観測の継続的な監視が必要		巡回目視時に異常が認められた場合、地中観測等による監視が必要	地中観測による継続的な監視が必要	巡回目視時に異常が認められた場合、地中観測及び簡易な地表面観測等による監視が必要
	地下水位観測	地下水位の連続観測は実施しない。(変位に対する応答性が低い)				
	既存観測孔	概成判断に利用した観測孔を存置する(異常発生時、再観測に利用)				
	対策工機能確認	主要対策工(排水トンネル・重要な集水井及び重要な抑止工)で効果確認が必要				

(5) 地すべり観測の手法の選定・配置

表-4.2.4に示した地すべり監視体制の方針に従って、各ブロックの観測手法を選定・配置した(表-4.2.5、図-4.2.4)。コスト面が大きな課題である概成後の監視体制なので「①巡回目視を主体とする、②観測は手動方式を主体とする、③観測頻度は年に2~4回程度を想定する」ことを基本方針とした。

ただし、C2ブロックでは、観測コストとしては手動方式と半自動方式に大きな差がないが、大規模なブロックで観測深度が深く概成後の観測作業をできるだけ省力化したいことと、地下水排除工の効果に伴う変位速度の緩速化傾向を早期に把握したいことなどから、半自動の孔内傾斜計観測を選定した。

また、巡回目視中に変位が発生すると想定される箇所には、簡易計測が可能な鉈等設置することとした。

表-4.2.5 地すべり観測手法の選定・配置

ブロック	全体		C1	C2	C3	C4	C5
概成後の最適な観測手法	・観測手法 概成後は、巡回目視が主体となる。 ・観測方式 概成後は手動方式が主体となる。 ・観測頻度 定期観測は、当初年2～4回程度実施し、現地状況により観測頻度を変更する。 臨時観測は豪雨や地震後に実施する。	巡回目視	重要度に応じて、精査ルートと概査ルートの巡回ルートを設定する。 重点確認箇所などの事前記録を用意する。 変位発生予想部に、鉈等を設置し、巡回目視時に測定する。 (定期・臨時)			重要度に応じて、精査ルートと概査ルートの巡回ルートを設定する。 重点確認箇所などの事前記録を用意する。 変位発生予想部に、鉈等を設置し、巡回目視時に測定する。 精査時に、異常がないか確認する。 (定期・臨時)	
		既存観測孔	既存観測孔を存置する(孔口の保全)。				
		地表移動量	堅固な測量基準点を1～2箇所程度設置しておく(排水トンネル坑口、集水井等の対策工や堅固な構造物に設置、異常確認時の臨時観測用)。				
		地中移動量	巡回目視時に、排水トンネル内の点検・監視を行う。特に <u>すべり面位置周辺</u> 。 (定期、臨時)	孔内傾斜計観測を行う(半自動～手動)。 (定期、臨時)	異常発生時には、存置した観測孔で、孔内傾斜計観測を行う(手動)。 (臨時)	孔内傾斜計観測を行う(手動)。 (定期、臨時)	異常発生時には、 存置した観測孔で、孔内傾斜計観測を行う(手動)。(臨時観測) 変位状況に応じて、 孔内傾斜計観測孔を地中伸縮計に切り替える。
			巡回目視時に確認できるよう、簡易計測が可能なすべり面測定管等を設置する。				
		地下水位	巡回目視等で異常発生時に観測を実施。				
		地すべり防止施設の機能確認	排水トンネルからの排水量の経時観測及び巡回目視を実施。 (定期、臨時)	巡回目視を実施。 (定期、臨時)			
		監視体制の見直し	変状や変位の発生や拡大傾向が認められない場合は、必要に応じて、観測体制(測定頻度、手法)を見直す。				

(6) 観測結果の評価と活用

観測結果に基づく管理基準値と対応方針を事前に設定し、迅速に対応できるようにする。管理基準値は、当初は一般的なものを使用するが、観測状況により柔軟に見直していくこととする。また地すべり監視体制そのものについても見直していくこととする。

一般的な地すべり観測計器の耐用年数は5年程度といわれていることから、これら計器による観測は5年程度を予定する。その後は巡回目視を主体とした監視体制に移行することを想定しているが、地すべりの活動状況によっては観測計器の更新も検討する。

地元住民や関係機関への連絡体制についてもあらかじめ十分な体制を作っておくこととする。

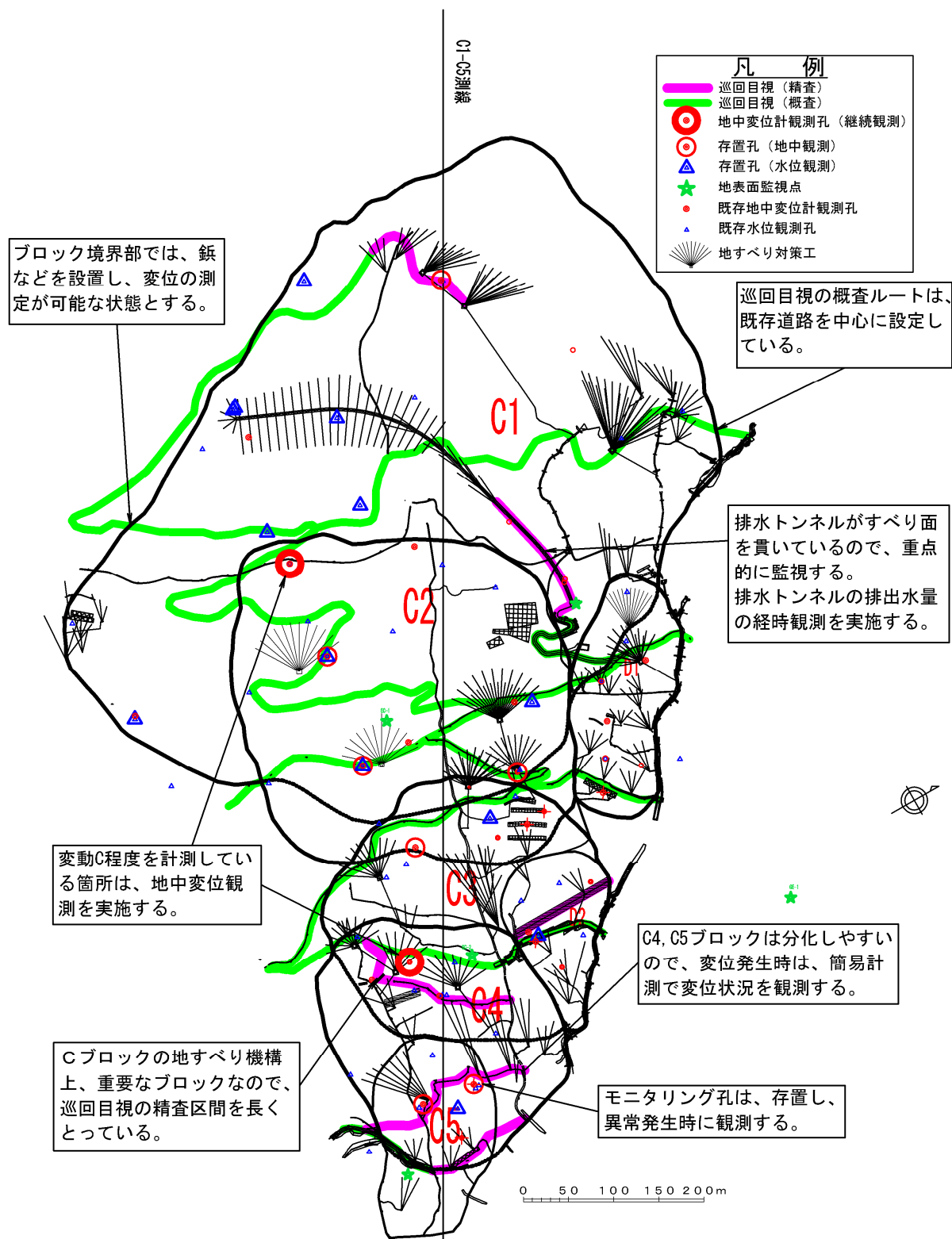


図-4.2.4 桃原Cブロックを対象とした観測機器の配置

4-3 貯水池の地すべりにおける検討事例

貯水池周辺地すべりは、再活動した場合にはダム本体及び貯水機能に大きな影響を与える恐れがあることから、地すべり対策事業概成後も継続して監視が必要である。貯水池周辺地すべりにおける最適な監視体制を明らかにするため、北海道内のAダム貯水池左岸に位置し地すべり対策事業実施中の地すべりについて、概成後における監視体制の予察的な検討を行った。Aダムは年間最大積雪深が2m 近くになる積雪地帯の農業用ダムであり、貯水池の左岸部全体が地すべり防止区域に指定されている。

(1) 検討の流れ

概成後の地すべり監視体制は、**図-1.4.1**、**図-1.4.2**に示すフローに従って検討を行った。

(2) 現状の地すべりブロックの状況

検討対象の地すべりは、長さ110m、幅約85m、最大すべり面深度約15mの規模である。地質が軟質化しやすい第三紀の泥岩から構成され、さらにブロック内の地下水位が高いことが地すべりの要因となっている。地すべりの状況を**図-4.3.1**～**4.3.3**に示す。



図-4.3.1 地すべりの全景（落水時）



図-4.3.2 地すべりの水没状況

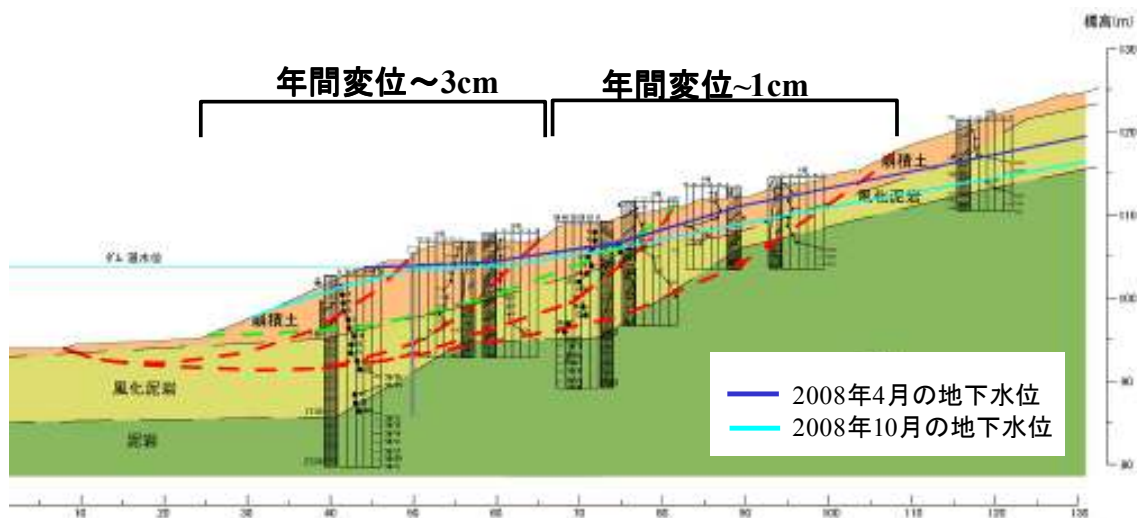


図-4.3.3 地すべりの主側線断面図

地すべり対策工として平成 11 年度までに水抜きボーリング工、杭打工、押え盛土工、護岸工等が実施されているが、その後も地すべり滑動が継続して生じている。図-4.3.3 の断面図に示すとおり、地すべりは 4 ブロック程度に区分でき、上部ブロックの動きはほとんど見られないが、中～下部ブロックは活動的で年間最大 3 cm 程度貯水池方向に移動している。現在、孔内傾斜計 10 孔、地下水位観測 5 孔、移動杭観測 7 点において地すべり観測が実施されており、今後、押え盛土による対策が予定されている。

(3) 地すべり監視体制の課題

上記のような地すべりの特徴から、地すべり監視に当たっては、ブロック毎の滑動状況を面的に把握すること、貯水池の保全のため積雪期を含め地すべりの徴候を早期に発見することが課題である。

また、北海道では、地すべり対策事業概成から 3 年間は専門技術者へ委託して計器を用いた地すべり観測を実施し、4 年目以降は市町村あるいは土地改良区等が北海道の委託を受けて巡回目視を主体とした地すべり防止区域の管理を行っている。このため、本地すべりにおいても概成後 4 年目以降は、土地改良区が地すべり監視を行うことが想定され、長期に渡って低コストで実施でき、かつ、できるだけ専門知識を必要としない観測方法が求められていた。

(4) 概成後の地すべり監視体制の方針

貯水池周辺地すべりでは、貯水位の人的操作が地すべりの安定性に影響を与え、地すべり土塊の水没による浮力の発生や地下水位の上昇、貯水位の急速な下降による残留間隙水圧の発生が地すべり発生の要因とされている。さらに、水際斜面の浸食・崩壊が地すべり土塊を不安定化させる。このような貯水池周辺地すべりの監視に当たっては、地すべり移動量の観測に加えて、貯水位変動にともなう間隙水圧の動向に着目するとともに、特に水際斜面（下部ブロック）の変状に注意する必要がある。このような貯水池周辺地すべりの特徴及び本地すべりの特徴・課題を踏まえて、地すべり監視体制を構築する。

概成後 3 年間は、既設の孔内傾斜計観測孔、地下水位観測孔・観測計器、移動杭を利用して、専門技術者が地すべり観測を行う。また、積雪期においても地すべり変位を早期に発見するために、積雪の影響を受けにくい地中移動量のリアルタイム遠隔自動観測を行う。

下部ブロックを対象として長期に渡って低コスト・簡便に面的な地すべり観測を行うため、測量手法を用いた地表移動量観測を実施する。さらに、地表変状の確認及び地すべり防止施設の点検のため、巡回目視を行う。概成後 4 年目以降の地すべり監視は、地表移動量観測、巡回目視、手測りによる地下水位観測を主体とする。

また、ダム堤体・貯水池の点検・観測と連携して地すべり監視を行い、観測データを適切に整理、蓄積、評価し、地すべり防止区域やダムの管理に活用する。

(5) 地すべり観測の手法の選定・配置

① 地表移動量観測の適用性

測量手法を用いた地表移動量観測は、ボーリング孔を利用した地中移動量観測に比較して低コストで長期に渡って面的な観測が可能である。地表移動量観測の方法には GPS やトータルステーション (TS) による多点観測、写真計測、レーザープロファイラー (LP) 計測等がある。地表移動量観測は、計測精度が特に植生の影響を受けることから、本地すべりを植生条件から図-4.3.4に示すとおり5区域に区分し、各観測方法の精度の比較を行った。その結果、植生の無い護岸構造物や抑止杭設置箇所と比較して、草地や樹木のある区域では計測精度が低くなるか、現地作業性が悪くなることが明らかとなった(表-4.3.1)。なお、地上写真計測では、観測対象範囲にターゲットを多数設置してその位置を計測するとともに基準点(座標既知点)を写真画像内に写し込む等により、計測誤差を数 cm まで低減可能である。



図-4.3.4 地すべりの空中写真と植生区分図

表-4.3.1 地表移動量観測手法の観測精度とその特徴

	区域	GPS 計測	地上写真計測	LP 計測	TS 計測
観測精度	高木	誤差：10cm 以上 開空率が不足し計測不能な場合有	植生により計測不可能	樹木によるノイズのため、誤差：50cm 以上	観測点が見通せない場合には、伐開や見通しが可能な箇所まで計器を移動させることが必要
	低木	誤差：5～10cm 開空率が不足し計測不能な場合有		樹木によるノイズのため、誤差：30～50cm	
	草地				
	抑止杭	誤差：1～2cm	誤差：10cm (計測方法の工夫により数 cm まで低減可能)	誤差：3cm	誤差：～1cm
	護岸構造物				
特徴		上空視界が必要。固定点から離れている場合等に適する。経費はやや高価。	精度はやや低い、現地作業は非常に簡便。解析には習熟が必要。経費は安価。	現地作業は非常に簡便だが、解析に技術者が必要。経費はやや高価。	精度が高い。固定点が近く視通が容易な場合に適する。経費はやや高価。

上記のように、植生の影響が小さい箇所における地表移動量観測の計測誤差は数 cm オーダーであり、移動量の大きい地すべりの観測には適用可能である。これらの方法の中でも、写真計測は、現地作業が非常に簡便であり、長期的、低コストに地すべり監視を行うのに適している。

② 検討対象地すべりににおける最適な監視体制

本地すべりにおいて、地すべり移動量が大きく、護岸構造物で覆われ植生の影響を受けない下部ブロックを面的に観測するために、測量手法を用いた移動量観測の中でも安価で容易に実施できる写真計測を採用する。計測（撮影）は、落水後の 10 月に実施する他、豪雨や地震後等にも行う。写真計測の精度を高めるためには基準点の正確な座標を与えることが望ましいため、必要に応じて TS 等により基準点の測量を実施する。

植生で覆われている上～中部ブロックでは、既設ボーリング孔を利用した挿入型孔内傾斜計観測を行う。孔内傾斜計観測は、データロガーによる地下水位観測のデータ回収と合わせて、融雪期（5 月）、夏の多雨期（7 月）、初秋の落水期（9 月）、晩秋の降雪前（10 月）の年 4 回実施する。地すべりの移動量を面的に把握するためには、GPS や TS による多点観測も有効であるが、本地すべりの規模では、写真計測と孔内傾斜計観測のみでも面的な観測は可能である。

地中移動量のリアルタイム遠隔自動観測には、比較的安価に設置できる鉛直方向伸縮計観測が適当であり、地すべり移動量が比較的大きい下部ブロックに 1 箇所設置し、ダム管理棟までデータを送信したのち、携帯電話網等を通じてリアルタイム観測を行うことが考えられる。鉛直方向伸縮計については、大深度の観測等で不具合が生じている事例もあるが、本地すべりでは最大すべり面深度が 15m 程度と比較的浅く、正常な観測が期待できる。

本地すべりでは、融雪時期と秋から冬にかけての時期に地下水位が高い傾向がある。このため、5 月と 10 月に既設ボーリング孔を利用した手測り観測を行って地下水位の状況を把握するとともに、横ボーリング工の排水量の計測を行い、排水機能を評価する。

また、植生の少ない 5 月・10 月及び豪雨・地震後に地すべり地全域の巡回目視を行う。

以上の検討を踏まえて、本地すべりににおける最適な監視体制案を表-4.3.2 と図-4.3.5 に示す。このような監視は、表-4.3.3 に示す A ダムの管理と一体的に行うこととした。

表-4.3.2 検討対象地すべりにおける監視体制（案）

観測の目的	観測方法	実施箇所	実施時期
地すべり移動層の変位の把握	挿入型孔内傾斜計観測 （手測り）	既設ボーリング孔を利用して、植生の多い上～中部ブロックを中心に観測（10孔）	概成後3年間 年4回（5,7,9,10月）
積雪期を含む地すべり変動の早期発見	鉛直方向伸縮計 （リアルタイム遠隔自動観測）	地すべり変位が比較的大きい下部ブロックで観測（1箇所）	概成後3年間 （連続観測）
地表移動量の把握	写真計測（地上撮影） 必要に応じてTS等による基準点測量を実施	地すべり変位が大きい下部ブロック造物で観測	年1回（10月） 豪雨・地震後
地表変状の確認 地すべり防止施設の点検	巡回目視	地すべり地全域 地すべり防止施設設置箇所	年2回（5,10月） 豪雨・地震後
地下水状況の把握 地すべり防止施設の機能の評価	地下水位観測 （データロガー半自動観測）	既設ボーリング孔（6孔）	概成後3年間 データ回収 年4回（5,7,9,10月）
	地下水位観測（手測り）	既設ボーリング孔（6孔）	年2回（5,10月）
	横ボーリング工の排水量計測	横ボーリング工（2施設）	年2回（5,10月）

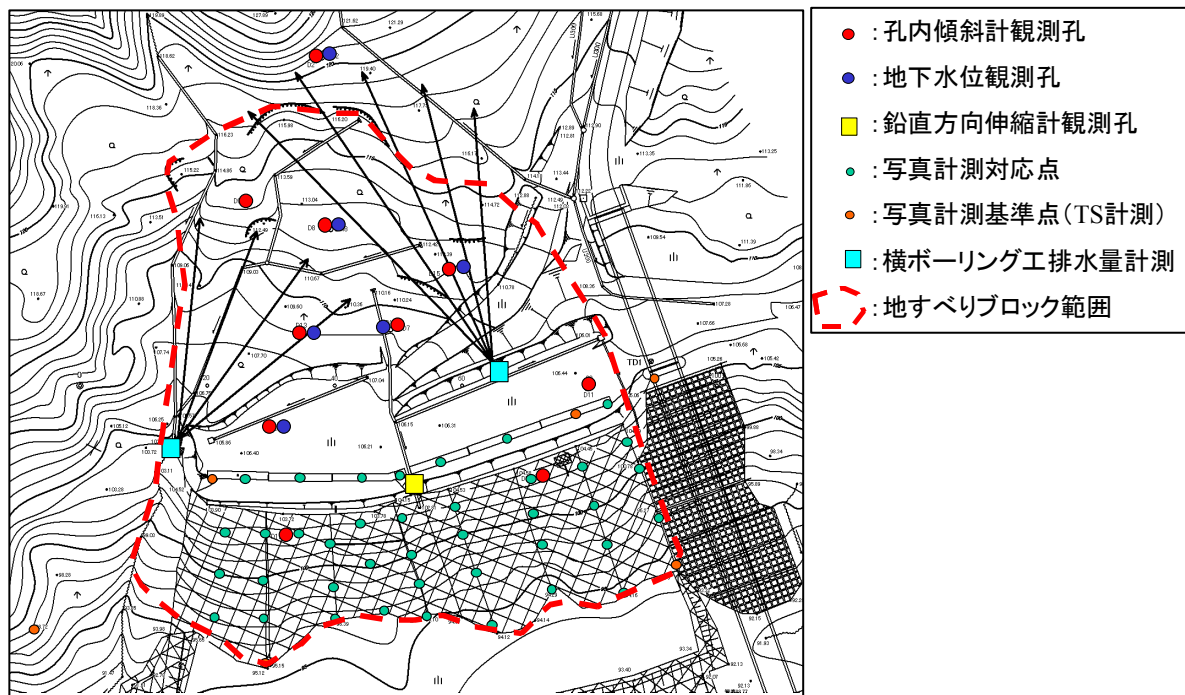


図-4.3.5 検討対象地すべりにおける観測機器の配置

参考 A ダムの管理状況（一部）

項目	内容	実施時期
ダムの変形	堤体表面変位量の測量	年4回（5,7,9,10月）
堆砂の状況	貯水池内及びその末端付近の横断測量	年1回（10月）
点検及び整備	ダム及び貯水池等の点検及び整備 （貯水池附近の土地の形状の変化の観測等を含む）	定期及び時宜 （特に洪水、暴風雨、地震等の発生後）
地震発生後の臨時点検	取付部周辺地山及び貯水池周辺地山における漏水、亀裂、崩落、地すべりの状況の点検	震度4の地震発生後

第5章 新しい観測手法

近年、地すべり観測において、導入されつつある新しい観測機器・技術とその展望について下記の通り紹介する。

5-1 ワイヤレスセンサー

5-2 地中移動量の併用観測手法

5-3 写真計測及びレーザープロファイラー計測

5-4 GPS計測他（豪雪地帯での検討）

5-5 その他の新しい観測技術の展望

5-1 ワイヤレスセンサー

ワイヤレスセンサーは、低周波電磁波を用いて地中から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。これは、デジタル通信であるため通信距離が変わっても測定値には変化が生じない特性がある。

今回、このワイヤレスセンサー（半自動観測）の地すべり観測への適用性を検討するため、高知県長岡郡大豊町の桃原地区Cブロックで検証調査を行った。

図-5.1.1にワイヤレスセンサーの概念図と使用材料を示す。このワイヤレスシステムのメリットとしては、以下のような点があげられる。

- ・ 地中、海中、水中、空気中のいずれの媒体でも送信可能である
- ・ データ送信をデジタル無線で行うため、落雷による計器の破損が発生しにくい
- ・ ケーブル切断により、観測不能となる可能性がない
- ・ 落石などの作業を行うのに危険な箇所へ近づく必要がなく観測が可能（陸上で100m程度到達）である
- ・ $\phi 66\text{mm}$ 以上のボーリング孔に設置可能である
- ・ ケーブルが不要のため、計器を多段に設置することが可能である
- ・ ケーブルを設置する必要がないため、止水作業が容易である

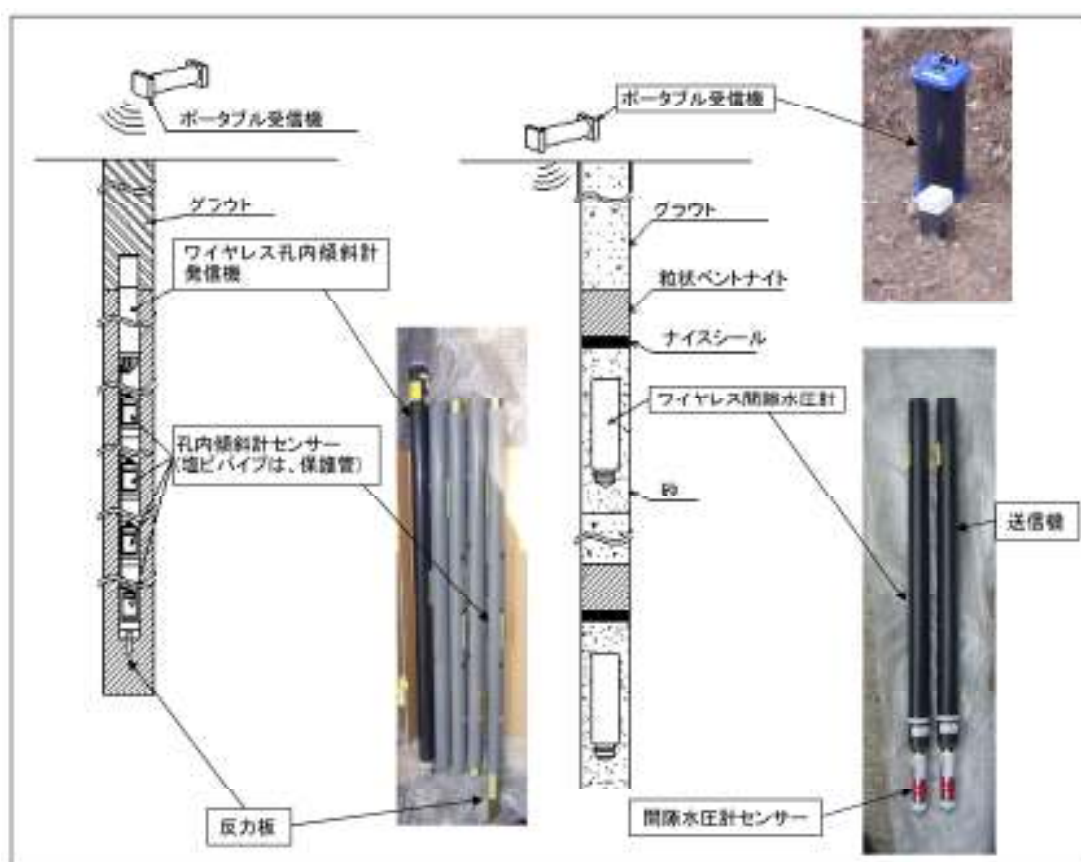


図-5.1.1 ワイヤレスセンサー概念図と使用材料

図-5.1.2 に、孔内傾斜計とワイヤレス孔内傾斜計観測結果(測定深度 GL-4.0m, 5.0m, 6.0m, 7.0m の計4箇所)及び、水圧式水位計とワイヤレス間隙水圧計の観測結果を示した。この結果より、ワイヤレス孔内傾斜計と通常の孔内傾斜計の変位量はいずれも調和的な値が得られた上に、ワイヤレス孔内傾斜計は連続観測のため、地すべり変位の変位時期の特定が可能であった。また、ワイヤレス間隙水圧計と水圧式水位計の地下水位もほぼ同様の水位変動が得られた。

今回得られた観測結果と、ワイヤレスシステムのメリットより、下記のような地すべり観測で、今後の利用が期待される。

- ・ 2 層以上のすべり面を有している場合や、地すべり変位が大きく、ケーブル切断の恐れがある箇所
- ・ 設置地点が急峻で遠距離観測を実施する必要がある箇所
- ・ 調査孔を設置後、切土等の工事により頭部が破損し、観測不能となるような場合

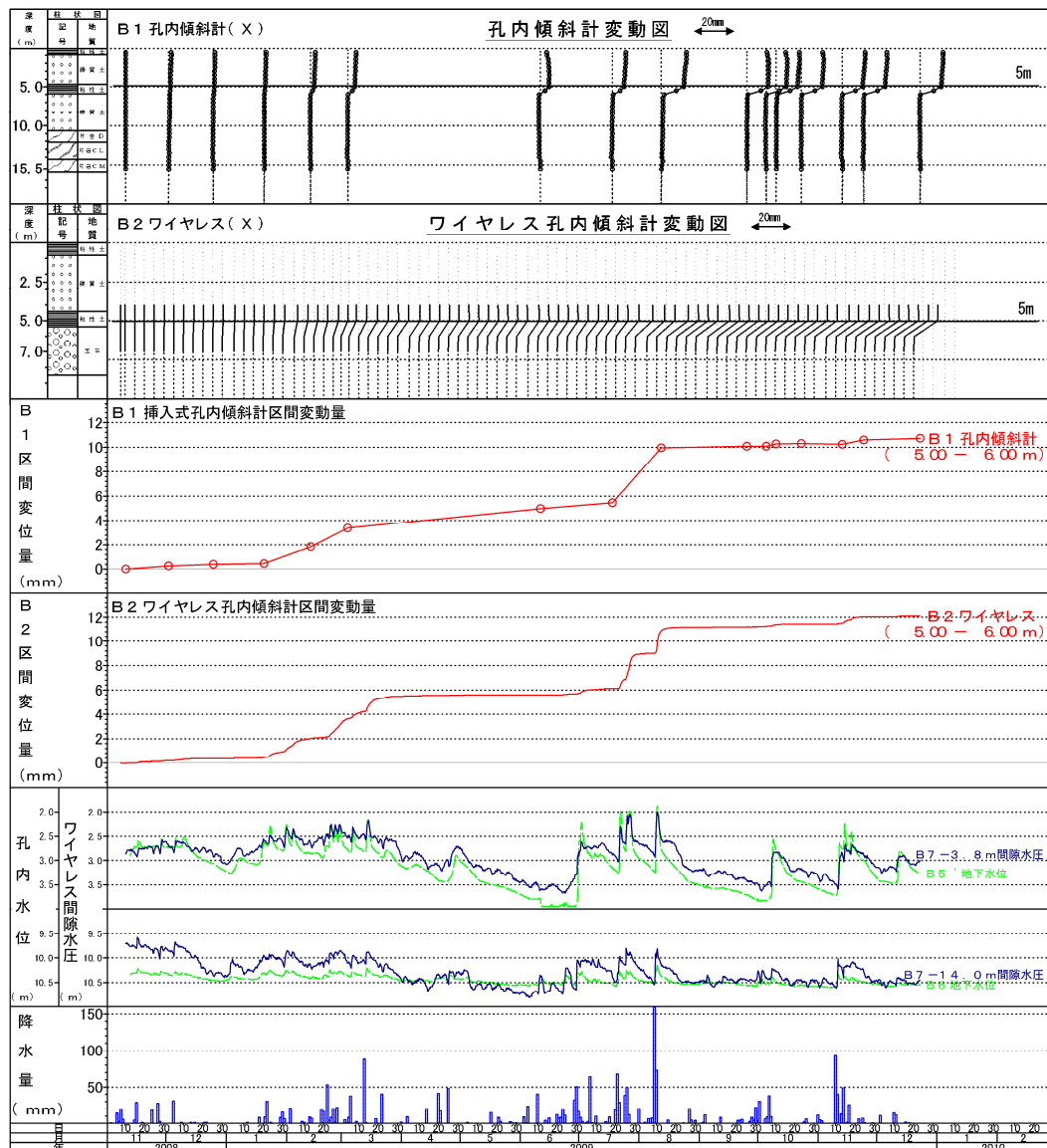


図-5.1.2 ワイヤレス孔内傾斜計・ワイヤレス間隙水圧計の観測結果例

5-2 地中移動量の併用観測手法

単一の観測手法では、地すべり監視に必要なデータが十分には得られない場合がある。そこで、より効率的なデータを取得する手法を検討するため、複数の種類の計器を同一孔に設置し、検証調査を行った。今回検討したのは下記の併用観測手法であり、高知県長岡郡大豊町の桃原地区Cブロックで現地計測を行った。

①孔内傾斜計(手動)+地中伸縮計(半自動)

②孔内傾斜計(手動)+パイプひずみ計(半自動)

図-5.2.1に併用観測手法の概念図及び使用材料を示した。

併用観測手法	概念図	使用材料と観測状況
① 孔内傾斜計 + 地中伸縮計		
② 孔内傾斜計 + パイプひずみ計		

図-5.2.1 併用観測手法の概念図及び使用材料

図-5.2.2 に、同一孔での、孔内傾斜計(単独)、孔内傾斜計+地中伸縮計(併用)、孔内傾斜計+パイプひずみ計(併用)の観測結果を示した。結果は以下の通りである。

- ・単独孔(B1)、併用孔(B3, B4)の3孔それぞれの孔内傾斜計において、GL-5.0~6.0m 付近に15mm 程度の変位が観測された。
- ・孔内傾斜計では15mm 程度の変位が確認されているが、地中伸縮計(B3)では明瞭な変位は検出されていない。
- ・パイプひずみ計(B4)では、観測開始直後の小雨で発生した変位をとらえており、変位に対する感度が高いことが確認された。
- ・図-5.2.3 に示すように併用孔(B4)のパイプひずみ計ひずみ量と孔内傾斜計変位量には高い相関があり、ひずみ量から絶対変位をある程度把握することが可能である。

併用観測手法は、以下に示す様な場合に有効と考えられる。

①孔内傾斜計+地中伸縮計（併用）

- ・すべり変位が大きく孔内傾斜計が早期に観測不能になると想定される場合
- ・対策工実施までが長期間となる場合
- ・将来的に地すべり監視は、コスト的に有利な地中伸縮計としたい場合

②孔内傾斜計+パイプひずみ計（併用）

- ・早期にすべり面を特定する必要がある場合
- ・連続的な変位データを取得するとともに、地すべりの絶対変位量を取得したい場合
- ・コスト的に高い孔内傾斜計の観測回数を減らし、普段はコスト的に有利なパイプひずみ計の観測を主体としたい場合。(観測初期において図-5.2.3 のような相関を確認する必要がある。)

併用観測手法の利点を活かすためには、パイプひずみ計や地中伸縮計は半自動計測とすることが肝要である。

なお、いわゆる地中伸縮計については保孔管内のクリアランスの大きさに見合った初期無感帯があるとされている。また、地盤の沈下変位等により良好なデータ取得ができない事例も報告されている。計器設置後に正常に変位計測データが取得できることを確認した上で地すべり監視に適用する必要がある。沈下変位の卓越する地すべり頭部などでは注意が必要と考えられる。

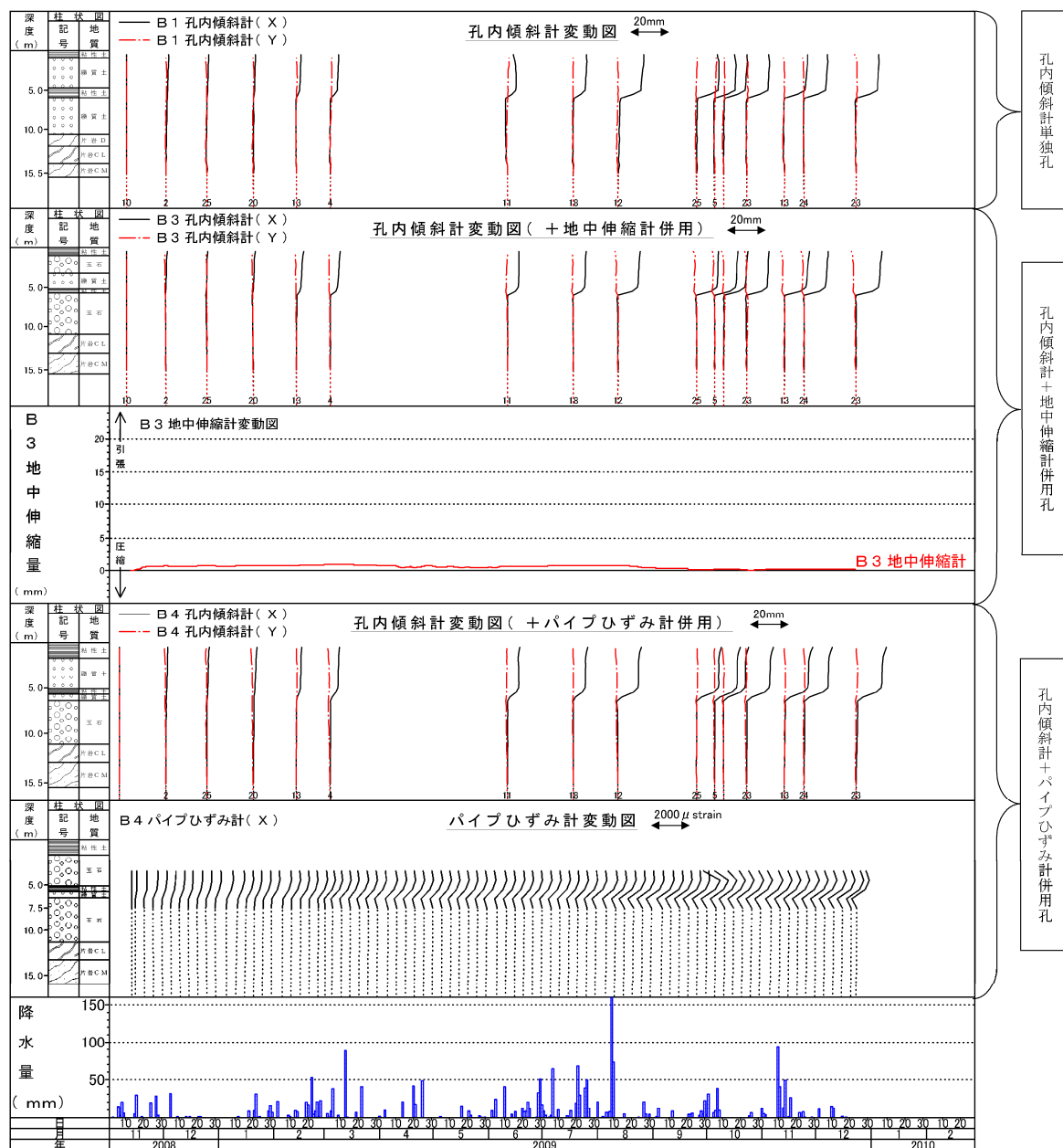


図-5.2.2 地中移動量併用観測手法による観測結果例

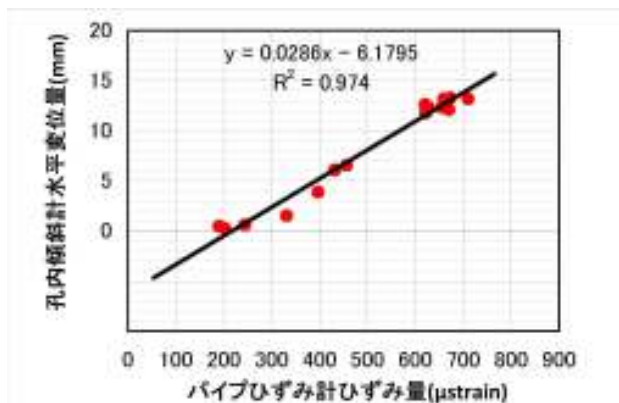


図-5.2.3 パイプひずみ計ひずみ量と孔内傾斜計変位量の相関

5-3 写真計測及びレーザプロファイラー計測

写真計測やレーザプロファイラー（LP）計測は、地表面形状を3次元座標データとして把握する方法である。定期的に地すべり地表面のデータを計測し、観測点（地物やターゲット）の座標や地表面形状を比較して差分解析を行うことにより、表面移動量の観測や変状箇所の発見が可能である。また、得られた3次元座標データを用いて、平面図、等高線図、任意の断面図、3次元画像の作成や土量等の形状計測を短時間で行うことができる。

カメラあるいはレーザ測距儀等の機器をヘリコプターや航空機に搭載し空中から計測する方法については、広域の詳細地形図の作成、微地形の把握や地すべり地形の抽出等に使われているが、ここでは、より簡便に実施可能な地上からの計測を中心に説明する。

(1) 写真計測

航空写真測量に代表される写真計測は、異なる方向から撮影したステレオ画像を使用し、カメラ、観測点、画像上の観測点の幾何学的関係から観測点の3次元座標を算出する方法である。近年のデジタルカメラの急速な高機能化と解析ソフトウェアの発展を受けて、地上撮影への応用が急速に進んでいる。地上撮影の写真計測には、市販の1,000万画素以上のデジタルカメラであれば十分使用でき、通常のパソコンで実行できる解析ソフトウェア（価格100～200万円程度）を用いる。計測原理と作業手順を図-5.3.1に示す。

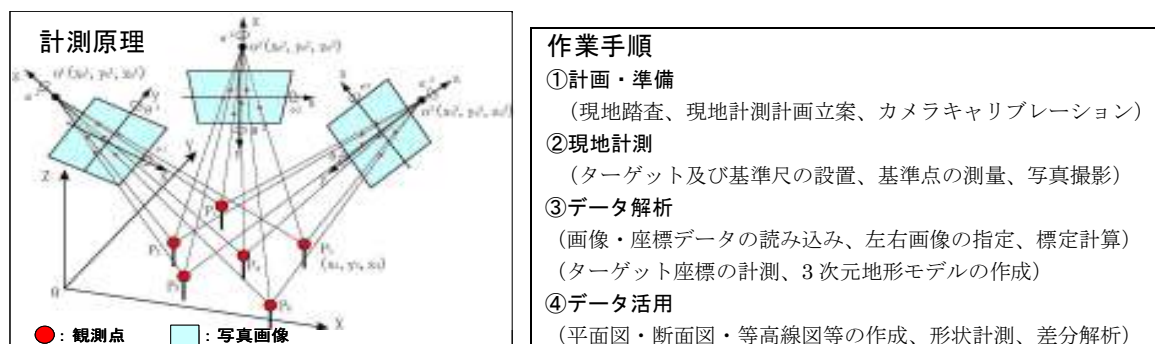


図-5.3.1 写真計測の計測原理と作業手順

写真計測では、位置を変えた複数の撮影箇所から対象物を見通せる必要があり、対象物を俯瞰する位置からの撮影が望ましい。広い範囲の計測には、分割して撮影を行い、複数のステレオ画像を解析に用いる。計測精度には、カメラの性能、観測点の形状、植生、被写体距離、撮影角度、撮影画像枚数、解析ソフトウェアの性能、解析者の習熟度等が関係している。特に、植生のある箇所では計測誤差が大きくなり、計測不能となる場合がある。

観測点としては、対象物表面にある特徴的な地物を用いることが可能であるが、中心点を確認しやすいターゲット（標識）を対象物上に設置し観測点とすることで、計測精度と解析作業の効率を向上できる。さらに、画像に基準点（座標既知点）を写し込み、観測点に座標値を与えて精度を向上させる。この場合にはトータルステーション（TS）等により基準点の測量を別途行う必要があるが、固定点（不動点）の利用や基準尺の設置により、

必要な基準点数や測量の作業量を少なくできる。

写真計測は、ターゲットの設置や基準点の測量を除けば、基本的な現地作業は写真撮影のみであり、非常に簡便な方法である。カメラや解析ソフトウェア等を購入して、自前で撮影・解析を行えば、初期投資以外のコストはほとんどかからない。

写真計測の地すべり観測への適用性を検討するため、地すべり下部の護岸構造物（高さ約 10m、幅約 85m）にターゲット 35 枚を設置して、民生用カメラ（約 1,500 万画素）と市販ソフトウェアを用いて写真計測を行った（図-5.3.2~3）。被写体距離、写真枚数、基準点数等の撮影・解析条件を変えて観測点となるターゲットの中心座標を写真計測で求め、TS 測量結果と比較し計測精度を確認した。その結果、以下の傾向が認められた。

- ・ 近距離撮影（20m）は、遠距離撮影（70m）に比較して必ずしも精度は向上しない。
- ・ 観測点となるターゲットを多く用いた方が精度が向上する。
- ・ 解析に用いる画像数が少ないほど、また、基準点数が多いほど精度が向上する。

今回の計測では、撮影距離 70m で基準点を 6 点与えて 4 枚の画像を用い観測点 20 箇所の計測を行った場合で TS 測量との座標差が最大 35mm、基準点が 4 点のみの場合で座標差が最大 50mm という結果が得られた。また、同条件で観測点間距離 1.2m を計測した場合の計測誤差は最大 5mm 程度である。

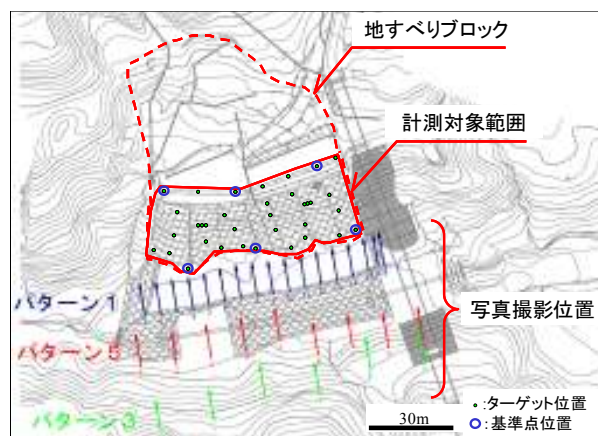


図-5.3.2 写真計測位置図



図-5.3.3 地すべり下部におけるターゲット設置状況

上記のような計測方法の特徴から、写真計測は、植生の影響を受けない箇所の面的な表面移動量を長期的に安価に観測する場合に有効である（誤差：数 cm）。また、LP 計測よりも精度が落ちるものの、立ち入りが困難な箇所の地表面形状を把握する場合や地形図等の作成・土量の計算を短時間で簡易に行う場合にも適用が期待される。

(2) レーザープロファイラー計測

レーザープロファイラー（LP）は、測定対象物にレーザーを照射し、その反射光が戻ってくるまでの時間を計測することにより距離を測定するノンプリズムタイプの光波測距儀の一種である。レーザーで地表面を高速でスキャンし、短時間に地表面の点群データ（3次元座標値、反射強度）を大量に取得できる。

LP 計測は、対象物を見通せる箇所に機器を設置する。樹木等の陰となりデータの欠損が生じる場合には、位置を変えてスキャンしデータを補う必要がある。測定速度は毎秒数百～数千点であり、1回の計測を20分程度で終わることができる。一方、データの解析では、取り扱うデータが大量であり、ノイズ除去や編集等の処理内容により作業時間が増加する。また、計器・解析ソフトウェアが高価であり、解析には専門知識が必要となる。LP 計測の状況と作業手順を図-5.3.4に示す。



図-5.3.4 LP 計測の状況と作業手順

測距性能は機器により異なるが、最長計測距離は200～1000m、測距精度は数mm～数cm程度である。ただし、2時期のLPデータの差分から地すべり表面移動量の計測を試みた事例等では、数cm～十数cmの計測誤差が報告されている。

LP 計測では、照射するレーザースポット中の最大反射率の座標を取得している。スポット径は、計測距離50mで数mm～20mm程度であり、計測距離が長くなればスポット径が大きくなる。さらに、レーザー照射方向に対し対象物面が傾いている場合には、スポット部が大きくなりスポットの中心と最大反射率の位置がずれやすく、計測誤差の原因となる。データ密度は、スキャンのステップ角度と計測距離による。対象物の形状に合わせて必要な精度を確保するためにステップ角度を調整するが、取り扱うデータ量も考慮し、数～数十cm²に1点程度の計測が行われている。また、レーザー光の帯域（近赤外～青色等）と対象物の色彩によっては反射強度が低くなり計測精度が悪くなる場合がある。

山林や草地では、レーザーが草木で反射してしまうことで計測ノイズが発生する。このような箇所では地表面形状を把握するにはノイズの消去（フィルタリング処理）が必要となるが、植生が密な箇所では計測誤差が大きくなる。このため、植生の少ない箇所の計測や落葉期の計測が適している。LP 計測は、夜間でも実施可能であるが、降雨時や降雪時に

はできず、霧の影響も受ける。繰り返し計測を行う場合には、LP 計器の設置位置やデータ密度等の条件をできるだけ同一にするとともに、天候や植生の状況に留意する必要がある。

複数の場所からスキャンしたデータを合成する場合や2 時期の計測結果を比較するためには、3 点以上の座標既知の基準点を用いて同一の地図座標系に変換することが一般的である。この座標変換においても誤差が生じやすいため、適切な箇所に基準点を配置するとともに、基準点座標の計測精度を良くする必要がある。

LP 計測の地すべり観測への適用性を検討するため、地すべりから 100m 程度離れた位置に LP 機器を設置して、地表面形状の計測を行った。20cm 間隔で地すべり表面の 3 次元座標データを取得し、基準点を 7 点使用してデータの合成を行っている。LP 計測で得られた画像を図-5.3.5 に、データに基づいて作成した 3 次元画像を図-5.3.6 に示す。調査対象地すべりでは、地すべり下部に護岸工が施工されているが、地すべり上部は樹木に覆われている。この影響で、地すべり上部では樹木のレーザー反射によるノイズの除去作業に時間を要するとともに、樹木が密な部分では計測精度が低下し、一部において地表面データが得られていない。TS 計測との比較から求めた計測誤差は、護岸工部で 3cm、地すべり上部で 30～50cm 程度である。

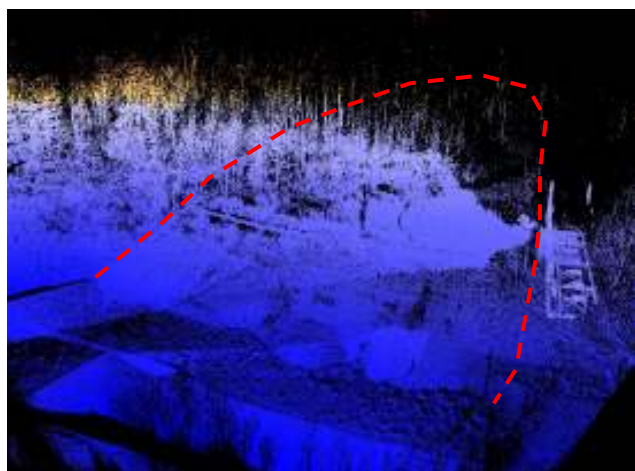


図-5.3.5 LP 計測データ画像

(赤点線は、地すべりブロック範囲)

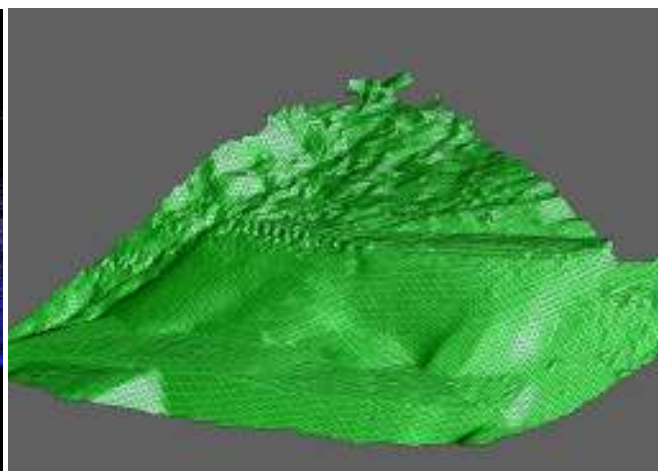


図-5.3.6 3 次元画像

上記の計測方法の特徴から、LP 計測は、次のような場合に適用が期待される。

- ・ 植生の影響の少ない箇所の面的な表面移動量観測（誤差：数 cm）。
- ・ 人が立ち入れないような崩壊箇所や崖等において安全に地表面形状の計測を行う場合。
- ・ 斜面災害発生箇所等で、詳細な地形情報（地形図、土量等）を早急に必要とする場合。

5-4 GPS計測他（豪雪地帯での検討）

(1) 豪雪地における地すべり監視

北日本から信越、北陸、北近畿、山陰にかけての豪雪地では、冬期間の地すべり監視には積雪による様々な制約が生じる一方、融雪期には多量の地下水が供給され、地すべり活動が誘発される例が少なくない。

このような地すべりに対しては、融雪期を含む積雪期間中の地すべり挙動及び誘因の監視が非常に重要である。一方で、多量の積雪は、地すべり観測に様々な支障を与えることが多いので、観測施設の構造や観測地点の選定には、積雪の影響を考慮することが求められる。

ここでは、豪雪地での積雪期の観測に当たって留意すべき点を示す。

(2) GPS観測

積雪深が1 mを超えるような豪雪地では、積雪期の手測りによるGPS観測はほぼ不可能である。即時的な観測データ取得の必要性に応じて、半自動または全自動の何れかを選択することになるが、何れにしても観測施設は耐雪型仕様にしなければならない。

一般に、GPS自動観測は支柱を建て、その頂部に受信器（レドーム）を設置することが多い。支柱の基礎部分は、積雪地・非積雪地とも共通の仕様であるが、支柱そのものについては、次の2点に留意する。

- ・ 支柱高は、当該地の最大積雪深（少なくとも過去10年程度の最大値）以上とする。
- ・ 支柱の径は、雪荷重で曲がったりたわんだりすることがないように、 $\phi 200\text{mm}$ とする（積雪を考慮しない場合、一般に $\phi 100\text{mm}$ が用いられる）。

GPS観測施設の構造を模式的に図-5.4.1に、設置例を写真-5.4.1にそれぞれ示す。

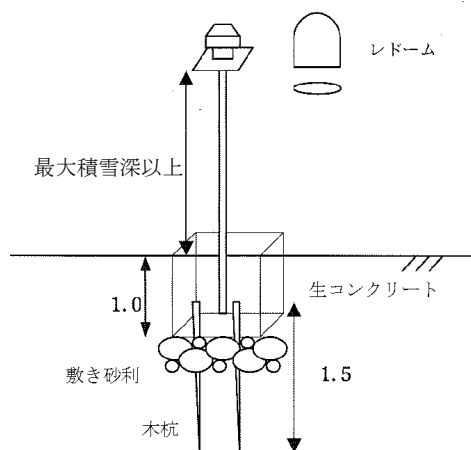


図-5.4.1 GPS観測施設の構造



写真-5.4.1 GPS観測施設の設置

また、受信器部分に積雪や着雪があると、正常な測定ができなくなる恐れがあるので、レドーム部分を円錐形など着雪しにくい形状に加工する。それでも、強風地帯では風向き

等の関係で着雪が避けられないこともあるが、架台部に電熱線を巻くなどの方法で着雪を回避する。

一方、観測地点の選定に当たって留意すべき事項は、次の2点である。

- ・ 除雪対象道路や屋根からの落雪のおそれがある建造物からは、距離を置く。
- ・ 斜面直下や（強風地帯では）風下の吹溜りになる地点は、特に積雪が深くなりやすいので避ける。法高の大きい棚田の法尻部も例外ではない。

(3) 地表伸縮計観測

積雪地での地表伸縮計観測は原理的に困難なため、無雪期に限定することが望ましいが、安全確保などの面で必要不可欠な場合は、次の点に留意する。

- ・ ワイヤを塩ビ管等で保護し、さらに合板などで「雪囲い」する（写真-5.4.2）。
- ・ 観測地点は、雪囲いが可能な場所に限られるため、大きな地形段差、急な斜面、植生の繁茂などがある場合の設置は、難しい。
- ・ 地表に密着して這わせるフレキシブルタイプ伸縮計は、保護管や雪囲いなしでも積雪に耐えられるが、表層部の微細な変状を検知してしまうため、ごく表層部の地すべりを対象とする場合を除き、観測データの信頼性に疑問が残る。



写真-5.4.2 地表伸縮計の雪囲い例

(4) ボーリング孔による地中変位・地下水位観測

ボーリング孔による地中移動量観測は、直接的な積雪の影響をほとんど受けないため、地表での観測に比べると条件はよい。

ただし、地上に設置する観測計器を保護するための「雪囲い」または頑丈な保護箱が必要なほか、自動観測データを送信するアンテナ、太陽電池を電源とする場合のソーラーパネルは、最深積雪より高い位置に設置しなければならない。また、雪に埋もれた際の目印となるポールを観測地点に立てておくと除雪が効率的である。

なお、孔内鉛直伸縮計については次の2点にも注意が必要である。

- ・ 表層地盤が軟弱なところに観測地点を設けた場合、積雪荷重による沈下と融雪時のリバウンドが発生することが多い（図-5.4.2）。この際、リバウンドによるワイヤの伸張と融雪に伴う地すべりの変位によるワイヤの伸張とが識別できないおそれがある。
- ・ 観測計器が保護箱で覆われているだけでワイヤが露出している場合、ワイヤ露出部

に雪が被り、雪荷重でワイヤが伸張することがある（**図-5.4.3**）。雪解け後には積雪前の状態に戻るが、融雪期を挟んだ正確な計測はできない。

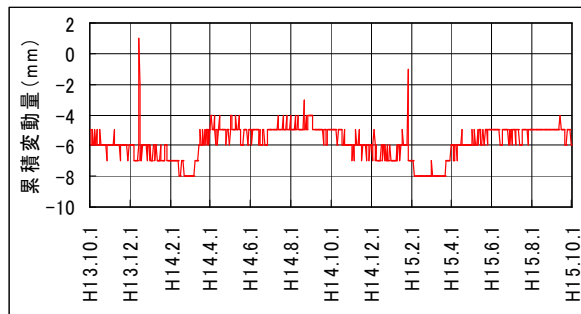


図-5.4.2 （孔内鉛直伸縮計）積雪荷重による沈下とリバウンドを計測した例

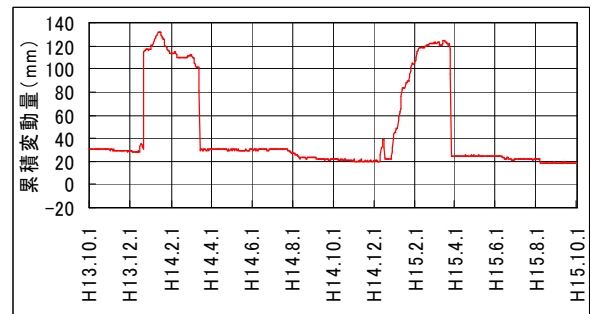


図-5.4.3 （孔内鉛直伸縮計）積雪荷重によるワイヤ伸張を計測した例

5-5 その他の新しい観測技術の展望

(1) 干渉 SAR 技術による地すべり変動の抽出

SAR（合成開口レーダー）は、人工衛星などに搭載した特殊なレーダーで地表面の詳細を調べるものである。この SAR 観測を、同じ場所に対して 2 回以上行って、その差をとる（干渉）と地表面の動きを詳細にとらえることができる。これが干渉 SAR とよばれる技術で、地震・火山活動や地盤沈下による地表の動きを宇宙から調べることができる。

干渉 SAR 技術では、目に見えないわずかな地表の変化を捉えることができるため、広域範囲での地すべり変動の発見や監視、地震後の地すべり発生範囲の把握などに有効である（図-5.5.1）。

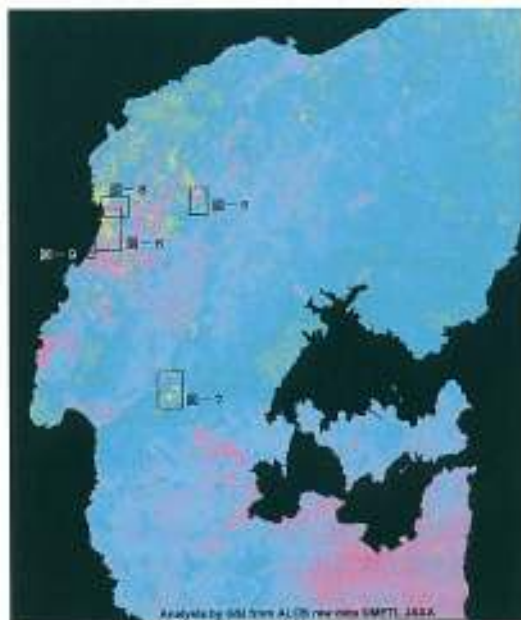


図-4 地殻変動差分画像
Fig. 4 Residual interferogram

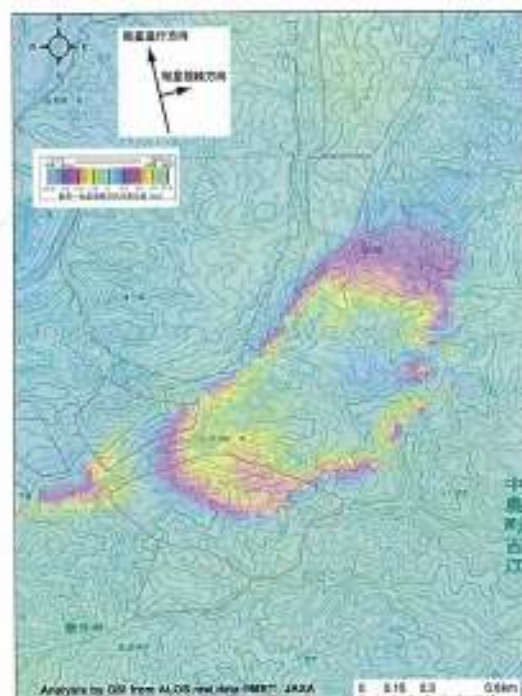


図-7-1 七尾市中島町古江の変動パターン
Fig. 7-1 Deformation Pattern in Furue

図-5.5.1 干渉 SAR により捉えられた地すべり性変動

（出典：SAR 干渉画像を用いた能登半島地震及び中越沖地震に伴う地表変動の解析（宇根ほか、平成 20 年 7 月）日本地すべり学会誌 45-2）

(2) 光ファイバーセンサーによる地すべり監視

光ファイバーは大容量通信に使われているが、光ファイバーを通過する光がひずみや屈曲により変化する特性を利用した、光ファイバーセンサーの開発が多方面で進められている。光ファイバーは下記のような特徴を持っているため、地すべり観測のような野外観測に有効である。

- ①電氣を使用しない。
- ②落雷被害を受けにくい。
- ③1本で複数地点の計測ができる。

ファイバーの特定区間の反射光の波長変化を測定する FBG 方式の伸縮計や水位計、ファイバー全区間の反射周波数変化を測定する BOTDR 方式の斜面監視センサなどが、地すべり監視分野で実用化されている。

図-5.5.1 に示すように、志河川ダム(中国四国農政局)では、光ファイバー伸縮計センサーを用いた WEB 常時モニタリングシステムが切土法面のすべり挙動監視に適用されている。

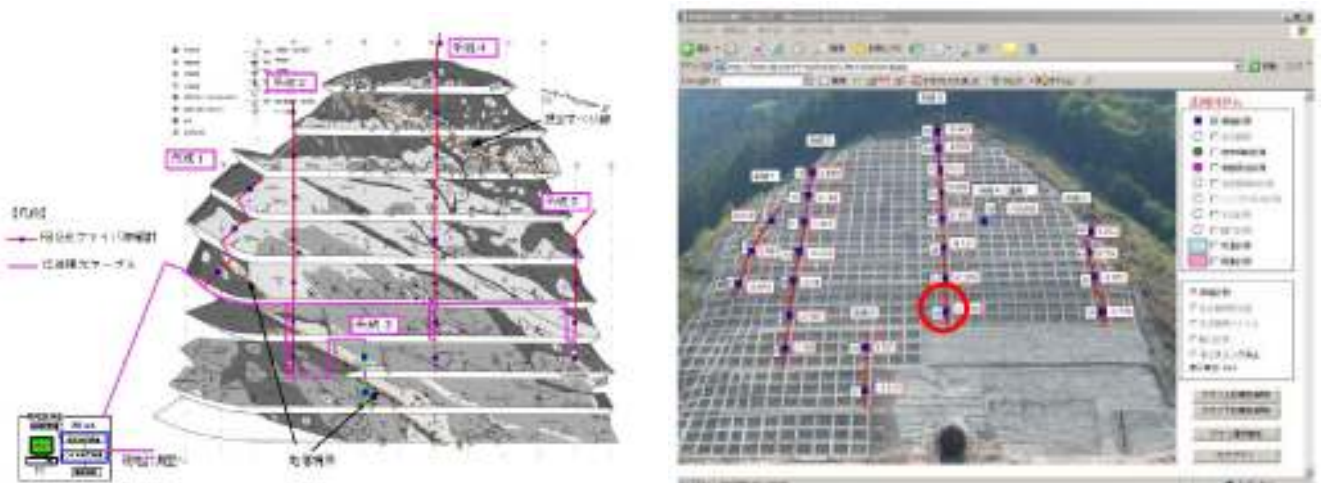


図-5.5.1 FGB 光ファイバー伸縮計センサーによる WEB 常時モニタリングシステム

(出典：ダム切土法面の動態監視への WEB 常時モニタリングシステムの適用（神谷ほか、平成 18 年 7 月）

第 41 回地盤工学会研究発表会)

おわりに

地すべり地の安全・安心のために地すべり防止工事は極めて有効な手段であるが、それだけで地すべり地の保全が完結するわけではない。地すべり現象は複雑で、技術が進んだ現在においても完全な予知・予測・対策は困難である。

そのようなことから地すべり地の継続的な監視は重要な課題であり、長期にわたる地すべり地の保全は、PDCA サイクル（Plan, Do, Check, Act）に基づくスパイラルアップを特に意識して取り組む必要がある。地すべり監視体制は、そのなかで重要な部分を占めるものと考えられる。

本手引きでは、特に地すべり対策工事概成後の監視体制構築について述べたが、これは概成後に取りかかるのではなく、対策工事实施中から意識して取り組む必要があり、地すべり地の保全という長い取り組みの中での PDCA サイクルを念頭に置くべきものである。そのようなことから本手引きはすべての地すべり地において参考になるものと考えられる。

本手引きが地すべり地の安全・安心のための一助となることを期待するとともに、本手引き自体が現場での活用の中で改善されることを願っている。

お問合せ先：

農林水産省 農村振興局農村政策部農村環境課 土地・水保全班

T E L : 03-3502-6079

参考図書

名 称	発行機関	発行年月
貯水池周辺の地すべり調査と対策	建設省河川局	平成 7 年 9 月
地すべり観測便覧	地すべり対策技術協会	平成 8 年 10 月
防災カルテ作成・運用要領	道路保全技術センター	平成 8 年 12 月
農地地すべり対策事業便覧 1997 年版	農地地すべり研究会	平成 9 年 3 月
中山間地農業と土砂災害 -地すべり地帯における農業の役割- (パンフレット) ※1	農林水産省構造改善局	平成 10 年 3 月
斜面カルテの作成要領・斜面カルテの作成要領の解説	砂防フロンティア整備推進機構	平成 10 年 6 月
グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説	地盤工学会	平成 12 年 3 月
地すべり対策事業の手引き (平成 11 年度版)	全国地すべりがけ崩れ対策協議会	平成 12 年 3 月
建設省河川砂防技術基準(案)同解説 調査・設計編	建設省河川局	平成 12 年 6 月
農業と地すべり -もうひとつの中山間地域農業の役割- (パンフレット) ※1	農林水産省農村振興局、北陸農政局	平成 15 年 4 月
治山技術基準解説(地すべり防止編)	林野庁	平成 15 年 5 月
地盤調査の方法と解説	地盤工学会	平成 16 年 6 月
農地・農業用施設災害復旧事業の手引き 2005 年度版	農林水産省構造改善局	平成 17 年 5 月
国土交通省河川砂防技術基準(案)同解説 計画編	国土交通省河川局	平成 17 年 11 月
土地改良事業計画設計基準 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
災害復旧事業における地すべり対策の手引き	全国防災協会	平成 18 年 5 月
地すべり対策技術設計実施要領	斜面防災対策技術協会	平成 19 年 11 月
全国標準積算資料 土質調査・地質調査	全国地質調査業協会連合会	平成 19 年 12 月
水抜きボ-リングの目詰まり原因とその対策 ～農村地域地すべり対策施設機能維持検討調査の概要～ (パンフレット) ※1	農林水産省農村振興局企画部資源課	平成 20 年 3 月
地すべり防止技術指針及び同解説	国土交通省砂防部	平成 20 年 4 月
「新版」地すべり鋼管杭設計要領	斜面防災対策技術協会	平成 20 年 5 月
グラウンドアンカー維持管理マニュアル	独立行政法人土木研究所	平成 20 年 7 月
地すべり地における挿入式孔内傾斜計計測マニュアル (案)	独立行政法人土木研究所ほか	平成 20 年 11 月
地すべり災害を予防・軽減するための活動の手引き ※1	農林水産省農村振興局農村環境課	平成 20 年 12 月
地すべり災害から身を守るために (パンフレット) ※1	農林水産省	平成 20 年 12 月
道路土工-切土工・斜面安定工指針	日本道路協会	平成 21 年 6 月
道路防災点検の手引き (豪雨・豪雪等)	道路保全技術センター	平成 21 年 6 月

※1 http://www.maff.go.jp/j/nousin/noukan/tyotei/t_zisuberi/ 詳細を記載。

