

11. 管理に関する事例

地すべりに関する管理は多岐に渡るため、制約条件や地域特性を踏まえた上で関係機関等との連携も含め十分検討していくことが必要である。また、長寿命化に向けた取組が進行中であるとともに、持続可能なインフラメンテナンスサイクルの実現に向け、維持管理に関する技術が日々進歩している状況にある。こうした背景から、ここではこれからの各種地すべり防止施設・区域管理に関して参考となる事例を紹介する。

11.1 個別施設計画策定方針の事例

平成26年8月に「インフラ長寿命化計画（行動計画）」（農林水産省農村振興局、令和3年3月改定）が策定され、施設管理者は個別施設計画（長寿命化計画）を策定し、これに基づいて地すべり防止施設を管理することになった。地すべり防止施設は、地すべりによる被害をなくすことが目的であるため、必然的に周辺の地すべり地域の管理も同時に行うことが求められている。

上記の中では、地すべり特性、地すべり防止区域内の保全対象及び周辺の土地利用を踏まえた検討がされており、個別施設計画策定にはこのような地域特性の調査が不可欠となっていることが分かる。こうした考え方は、「地すべり防止施設の個別施設計画（長寿命化計画）策定の手引き」（農林水産省）（以下「長寿命化手引き」という。）にも示されているところであり、基本的な部分は「長寿命化手引き」に準じていることが理解できる。また、地すべり特性を把握するためには、過去の地すべり変位や災害履歴等の把握も重要であり、こうした情報の保存・活用がより関係者に納得を得やすい計画になっていくものと考えられる。

土地利用状況については、個別施設計画の策定後も、現地状況に応じて、柔軟に対応しながら更新していくことが求められる。

11.2 地すべり防止施設・区域管理の事例

地すべりは、対策工の実施によって確実に停止するものとは限らず、将来にわたって地すべり防止施設の機能を十分に発揮させながら、その活動性についても適宜把握していくことが望まれる。ここでは、こうした地すべり防止施設の管理事例や地すべり活動の監視事例について示す。

11.2.1 地すべり防止区域の監視・観測事例

笹ヶ峰地区（新潟県）では、対策工施工完了後において、地すべり活動の完全収束する時期が事業完了以後になる見通しの地すべりブロック、異常気象等による地すべり再活動が懸念される地すべりブロックが存在することから、事業完了後の監視・観測体制を検討することとなった。また、事業完了後の地すべり防止施設の機能維持が必要との判断から、定期的な維持管理・点検計画についても併せて検討することとなった（表-4.11.1）。

点検計画については、2回/年を基本として春期（融雪直後）、秋期（貯水位低下後）に実施するものとし、対象とする施設は地すべり活動の抑制・抑止（計画安全率の確保）を目的とした施設（かつ危険なく目視点検可能）とした。点検内容については、事業完了前の施設状況を踏まえ、点検で確認すべき事項に着目して決定した（表-4.11.2）。

表-4.11.1 点検対象とするブロック・施設の選定

ブロック	施設の種類	点検対象・対象外の区別	(対象としない施設について) 対象としない理由
A	3	集水井、護岸工	点検対象
	4～6	杭	対象外
B	B-m 3	集水井（排水口）	点検対象
		アンカー、集水井（本体）	対象外
		植生工、護岸工（法枠）	対象外
	その他	水抜ボーリング、植生工、護岸工（法枠）	対象外
G	1～3	集水井	点検対象
		杭	対象外
I		集水井	点検対象
		杭	対象外
L	1、3	擁壁（鋼製）、排水路	点検対象
		水抜ボーリング	対象外
M	M-m 2	集水井（排水口）、水抜ボーリング、アンカー	点検対象
		集水井（本体）	対象外
		植生工	対象外
	その他	杭、集水井、水抜ボーリング	対象外
		植生工、護岸工	対象外

表-4.11.2 点検対象ブロック・施設ごとの点検内容

ブロック	点検対象施設	H 17 時点の施設の状況	点検で確認すべき事項
A	集水井 ・本 体 ・排水口	1 基 1 孔口 ・本体坑口の振止めコンクリートにクラック発生（現時点では進行性ではない）。 ・排水口に水アカ等の付着あり。	・本体坑口の振止めコンクリートのクラックの進行。 ・蓋、施錠の破損。 ・排水の枯渇（孔口の詰まりによるものか否かを問わず）、排水口の詰まり。
	護岸工	・腐蝕・破断、変形などの異状はない。	・沈下や湾曲などの変形、番線破損による崩壊。
B	集水井 ・排水口	1 孔口 ・毎分 20～80 ℓ の排水あり。 ・排水口の詰まり・付着物等は認められず、排水も清浄。	・排水の枯渇、著しい減少（糸を引く程度以下の量）。 ・排水口の詰まり・排水の混濁。
	B-m 3 ブロックの頭部斜面	・毎年春の融雪期に、小規模な表層崩壊が発生。	・新たな崩壊の発生。 ・崩壊範囲の拡大。
G	集水井 ・本 体 ・排水口	2 基 2 孔口 ・毎分 2～5 ℓ の排水あり。 ・排水口に水アカ等の付着あり。 ・本体坑口には特に変状なし。	・本体の異状（コンクリート基礎のクラック、周囲の陥没など）。 ・蓋、施錠の破損。 ・排水の枯渇（孔口の詰まりによるものか否かを問わず）、排水口の詰まり。
I	集水井 ・本 体 ・排水口	7 基 5 孔口 ・毎分 1～10 ℓ の排水あり。 ・排水口に軽微な水アカの付着あり。 ・本体坑口では、満水面下に位置する 3 号坑・4 号坑の周辺地盤に、小規模な陥没あり。	・本体の異状（コンクリート基礎のクラック、周囲の陥没など）。 ・蓋、施錠の破損。 ・排水の枯渇（孔口の詰まりによるものか否かを問わず）、排水口の詰まり。 ・排水放流部の崩壊。
L	擁壁（鋼製）	L=42 m ・腐蝕・破断、変形などの異状はない。	・鋼製枠の損壊。 ・湾曲などの変形。
	排水路 （道路側溝）	・変形、破損などの異状はない。	・目地の開き、漏水。 ・不同沈下、滞留。
M	集水井 ・排水口	2 孔口 ・2 号集水井のみ融雪期に毎分 1～20 ℓ の排水あり。	・排水の枯渇。 ・配水管の損壊。
	アンカー	201 基 ・アンカーヘッド、受圧板ともに損傷・異状なし。	・受圧板のずり落ち、受圧板周囲の崩壊。
	水抜ボーリング ・排水口	2 孔口 ・8 号水抜ボーリング工のみ、毎分 1～5 ℓ 程度の排水あり（平成 17 年秋期時点）。 ・積雪・融雪期の経験なし。	・排水の枯渇。 ・配水管の損壊。

(注) 図中の

着色は春期点検の対象

着色は秋期点検の対象

現場へのアプローチが困難な地すべりブロックに対しては、ダム管理所でデータ確認可能な自動観測システムを構築し、管理基準値を設定した上での監視体制を構築した。観測データの回収・整理は、気象状況を考慮した時期(4回/年)に実施する計画とした(表-4.11.3、表-4.11.4、図-4.11.1、図-4.11.2)。

表-4.11.3 各対象ブロックにおける監視・観測体制

ブロック	観測地点	観測計器と数量	観測方式	電 源	観測頻度
Bブロック (B-m3)	B-すべり面観測	単線ワイヤ式孔内伸縮計	[全自動観測] データ回収も自動・ 有線でデータ送信	ダム管理所から 送電	1時間間隔で測 定
Mブロック (M-m2)	M-すべり面観測	孔内傾斜センサー7点			
	M-アンカー荷重7地点	アンカー荷重計 1基/1地点(計7基)			
Iブロック	I-すべり面観測-1	孔内傾斜センサー3点	[半自動観測] データは人手で回 収・ICカードを 媒体	リチウム電池(1 年程度は交換不 要)	1日間隔で測定
	I-すべり面観測-2	孔内傾斜センサー3点			

表-4.11.4 観測データの回収・整理時期と主たる目的

時期	5月下旬～6月上旬	7月	9月	11月上～中旬
気象条件等	融雪直後	梅雨末期	ダム貯水位の低下期 秋雨・台風期	積雪前 (笹ヶ峰ダム管理所の 冬季閉鎖直前)
主たる目的	融雪期に滑動するMブロック・Iブロックの動向を確認 積雪・融雪期を経て観測計器・ケーブル類に異常がないか確認(特にBブロック・Mブロック)	豪雨によって滑動する恐れがあるBブロック・Mブロックの動向を確認	ダム貯水位低下によって滑動するIブロックの動向を確認 豪雨によって滑動する恐れがあるBブロック・Mブロックの動向を確認	翌春のデータ回収時までのデータ未確認期間を、可能な限り短くするため

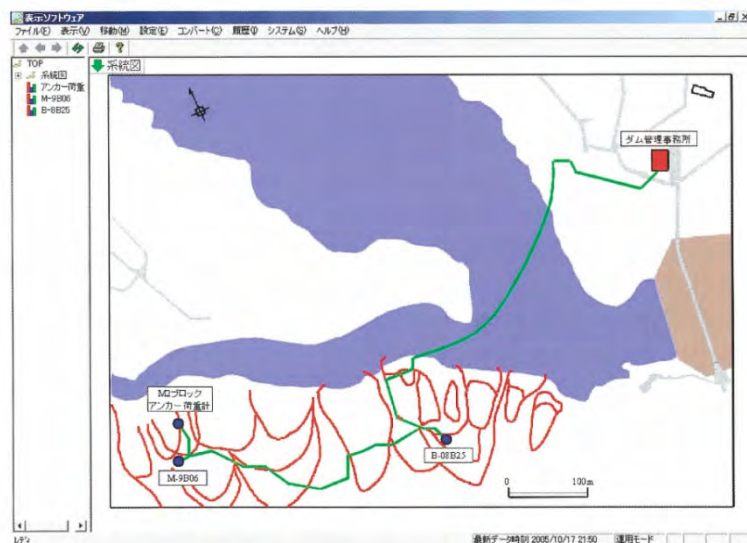


図-4.11.1 観測データ処理用パソコンの通常時の画面

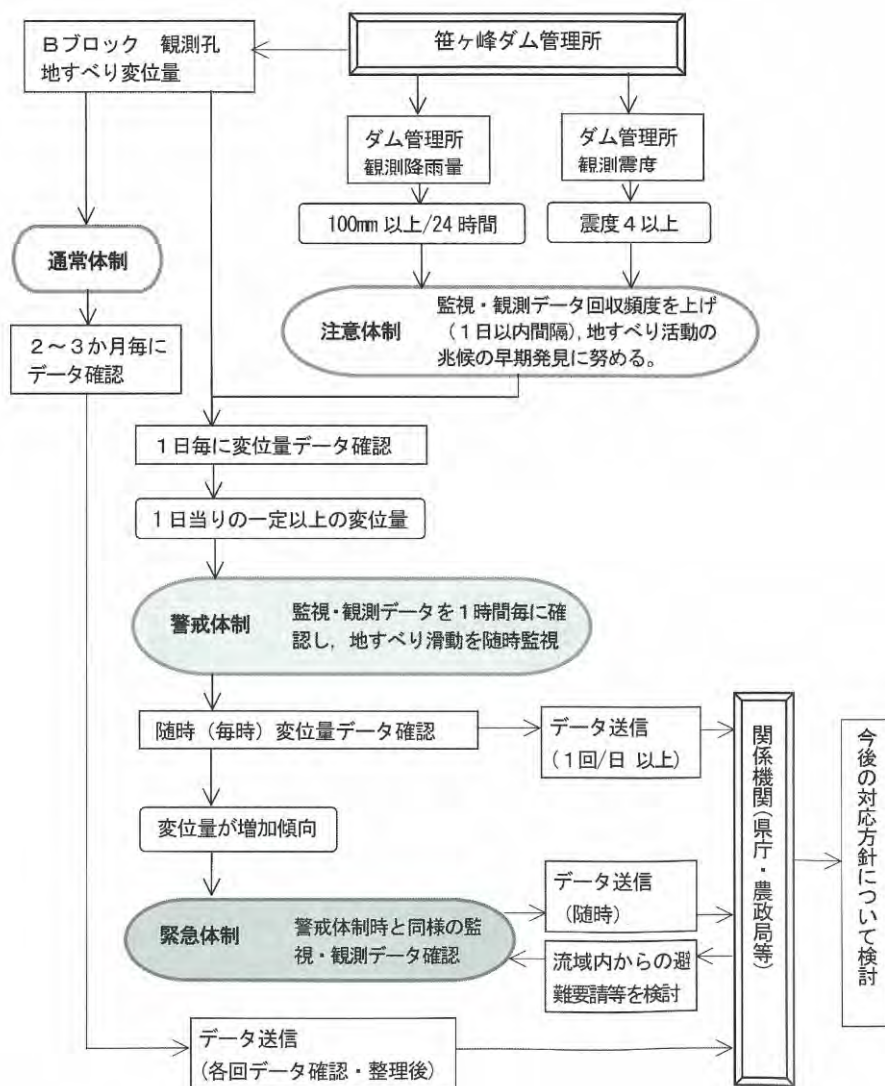


図-4.11.2 管理基準(案)フロー図の例

11.2.2 アンカー工の管理事例

笹ヶ峰地区(新潟県)では、地すべりブロックの末端部に施工されたアンカーの効果監視を目的としてアンカー荷重計を設置し地すべりの監視を行うことにした(図-4.11.3)。

現地の観測計器は現場へのアプローチが困難であることに加え、貯水池の狭窄部に面しているため、万が一崩落した場合、貯水池への影響が大きいこと、融雪期に活動していること等を踏まえ、自動観測方式による監視を採用し、維持管理等による頻繁な立入りを減らすために、必要な電力は笹ヶ峰ダム管理所から送電される方式とした(長期間(5年程度)にわたってメンテナンスなしに使用可能)。

アンカー荷重計と併せてすべり面観測(孔内傾斜計センサー)も実施する計画とした(図-4.11.3、図-4.11.4)。

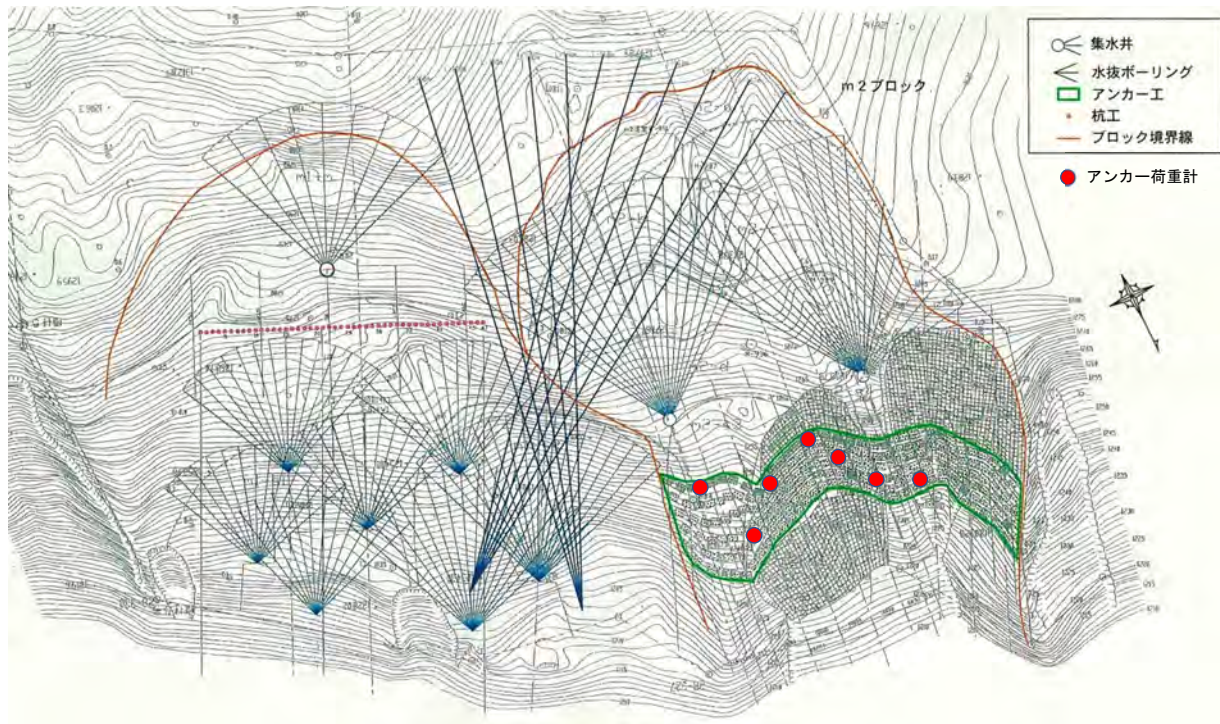


図-4.11.3 アンカー荷重計の配置

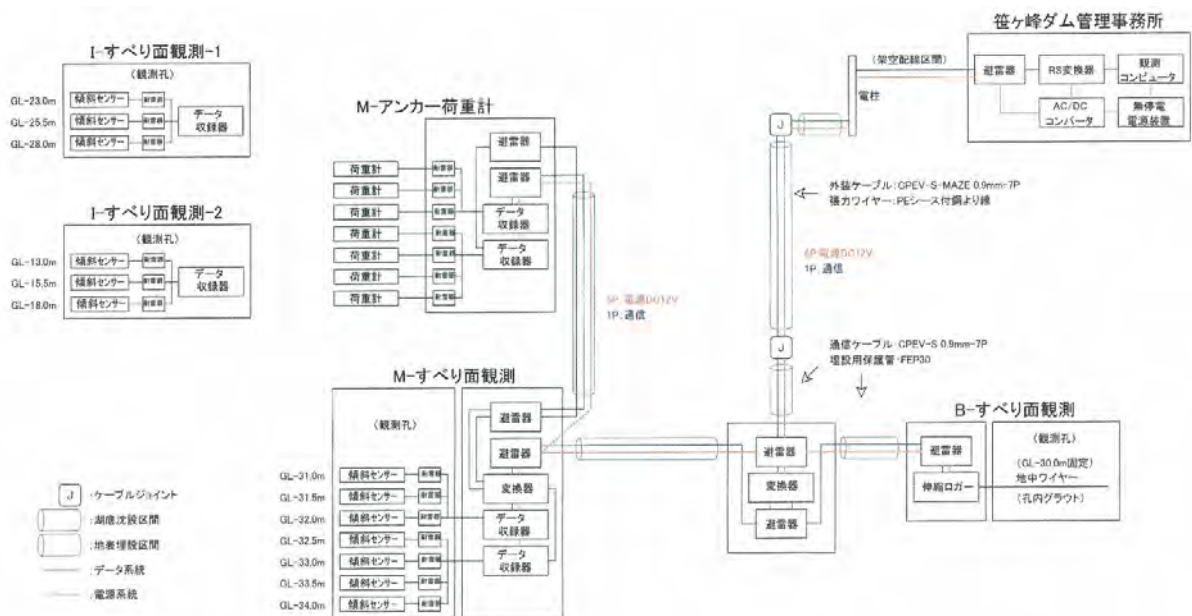


図-4.11.4 笹ヶ峰地区の地すべり監視・観測体制 システム系統

11.2.3 排水トンネル工の管理事例

高瀬地区（高知県）に設置された排水トンネルでは、トンネル覆工であるアーチ部の吹付けコンクリートにおいて部分的に落下、剥離や変形が発生しており、一部地山が露出していた。

吹付けコンクリートの落下・剥離は鋼製支保工(H-100×100×6×6 @1.20m)の間で発生しており支保工の変状は認められなかった（図-4.11.5）。剥離対策（補強対策）は、「鋼製支保工によるセン



図-4.11.5 トンネル覆工部の変状

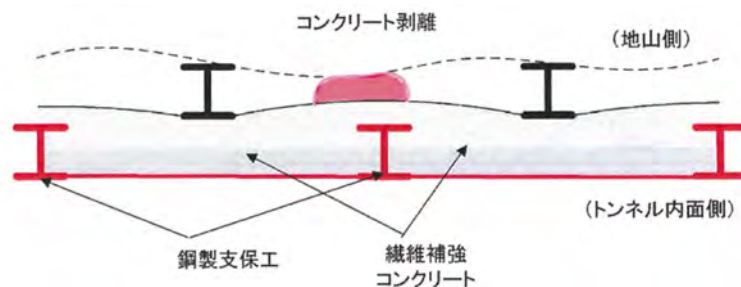


図-4.11.6 覆工補強計画断面図

11.3 水抜きボーリング工の孔閉塞対策事例

水抜きボーリング工等の地下水排除工では、崩土、植根等の進入及びゼラチン状物質を分泌する鉄細菌が原因で保孔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。

全国における農林水産省農村振興局所管の地すべり防止区域内の水抜きボーリング工を対象に目詰まり構成物質を調査した結果、ボーリング孔口の目詰まり物質の多くは鉄細菌を含むものであり、その割合は目詰まりが認められた孔全体の約6割を占める結果となった（図-4.11.7）。

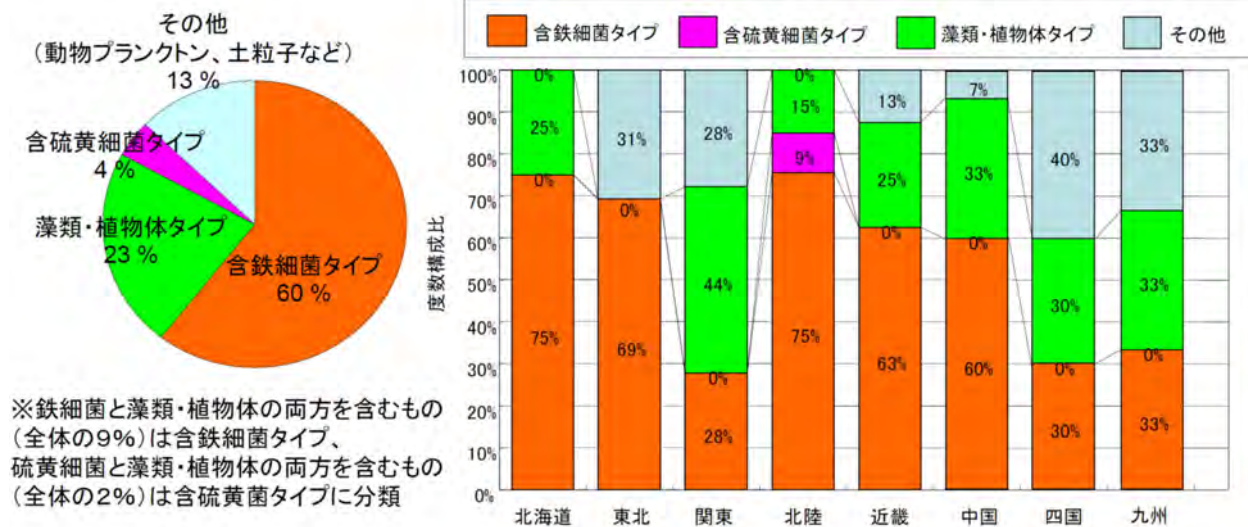


図-4.11.7 目詰まり物質の種類

水抜きボーリングの集排水機能を回復・向上させる方法としては、保孔管内を洗浄する方法がある。その方法は、柔軟なホースの先端に高水圧で逆噴射するノズルを取付け、逆噴射の推力でストレーナ部の目詰まりを洗浄しながら孔内に挿入するもので、洗浄後には洗浄水がストレーナ外部から保孔管内部に吸込まれ、礫・砂のみがストレーナ外部に留存し、フィルター層が形成され集排水機能が上がる方法である。また、高水圧と回転するブラシ（不回転のブラシもある）を併用する工法等もある。

一方、目詰まり物質の多くを占める鉄細菌は、地下水中等に生息し、水中に溶けている鉄（溶存鉄）の酸化（ $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ）を利用して増殖し、その際に水酸化鉄等の沈殿物を生成すると考えられている。また、鉄細菌の生息には、溶存鉄の存在とその状態（ Fe^{2+} 、 Fe^{3+} ）が関係しており、その溶存鉄の状態は、水質（水素イオン濃度（pH）と酸化還元電位）で決まると考えられる。

ここで、図-4.11.8に示すようにpHと酸化還元電位に対する鉄の安定領域図に、目詰まりが生じている水抜きボーリング孔から排水される水質をプロットし、目詰まり物質の種類ごとに分類すると、 Fe^{2+} 安定領域には、含鉄細菌タイプの排水が多く分布し、逆に水酸化鉄安定領域には、藻類・植物体タイプの排水が多く分布する傾向が認められ、水質によって目詰まり物質の種類が異なることが明らかとなった。

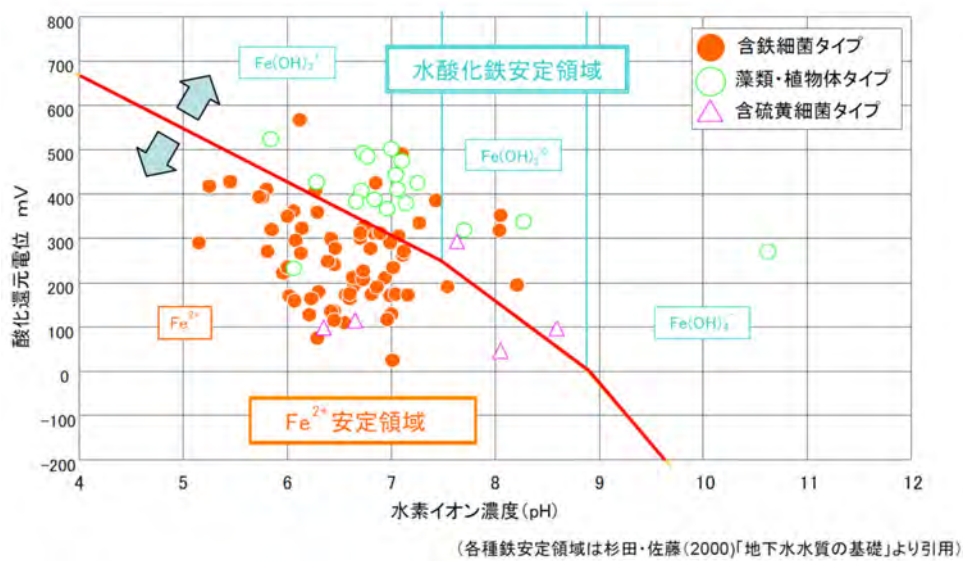


図-4.11.8 目詰まり物質別に分類した排水の水素イオン濃度と酸化還元電位との関係

上記の性質を利用し、酸素濃度を抑制することで水抜きボーリングの目詰まりを抑制する手法が考案されている。この手法は、水抜きボーリングの孔口に図-4.11.9に示すアタッチメントを設置することで、地下水を大気中の酸素と接しにくくし、鉄細菌の増殖を抑制するものである。



図-4.11.9 目詰まり対策アタッチメント

11.4 日常管理における地元との連携事例

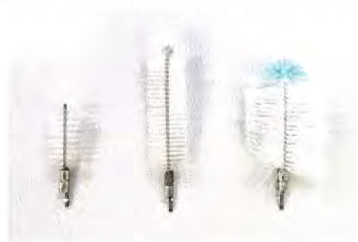
地すべり地域の管理は、日常的に実施されるべきものであるが、様々な制約条件がある中でこうした作業を施設管理者のみで対応することは困難な場合が多い。そのため、地元周辺地域や関係機関の協力を得ながら日常管理を実施しているケースも多く、今後もこのような事例を積極的に活用していくことも必要となってきた。

多くの県で実施されている地元との連携事例としては、地域の住民を巡視員として選任し、地すべり防止区域等のパトロールや簡単な施設点検に当たらせるものである。

地元巡視員等と維持作業を契約し、より具体的に地元連携を進めている自治体もある。例えば、「棚田地域保全施設管理事業」として県が市町村と管理委託契約を結び、市町村が選出した地すべり巡視員が決められた回数を目安に地すべり防止区域の点検を実施している例や、水路の泥上げ等の簡易な作業について市町村を通じて地すべり巡視員に委託する等して地すべり防止区域の管理に努めている例がみられる。その他、市町村や地すべり管理組合等との合同点検等、地すべりに関心を持たせつつ地元と一体で管理に取り組んでいる事例もある。こうした実例を踏まえ、「機能保全手引き」では、施設管理者を対象とした点検方法（日常管理）が取りまとめられ、点検に必要な調査表（点検様式）も整備されている。

地すべり協議会を設置し、市が事務局となって地すべり管理を行っている例がある。そこでは、地元で開発された水抜き孔洗浄ブラシ（図-4.11.10）を使って、水抜きボーリングの洗浄を行う等の取り組みも行われている（図-4.11.11）。

右の蛇腹式のホースに、200kg に耐えられるコードを30m 巻き、先端に市販のワイヤーブラシを取り付けた物である。先端部は取替えが容易に可能である。



簡易孔内洗浄器（φ65cm、1.5kg）

図-4.11.10 地元で開発された水抜きボーリング洗浄器具

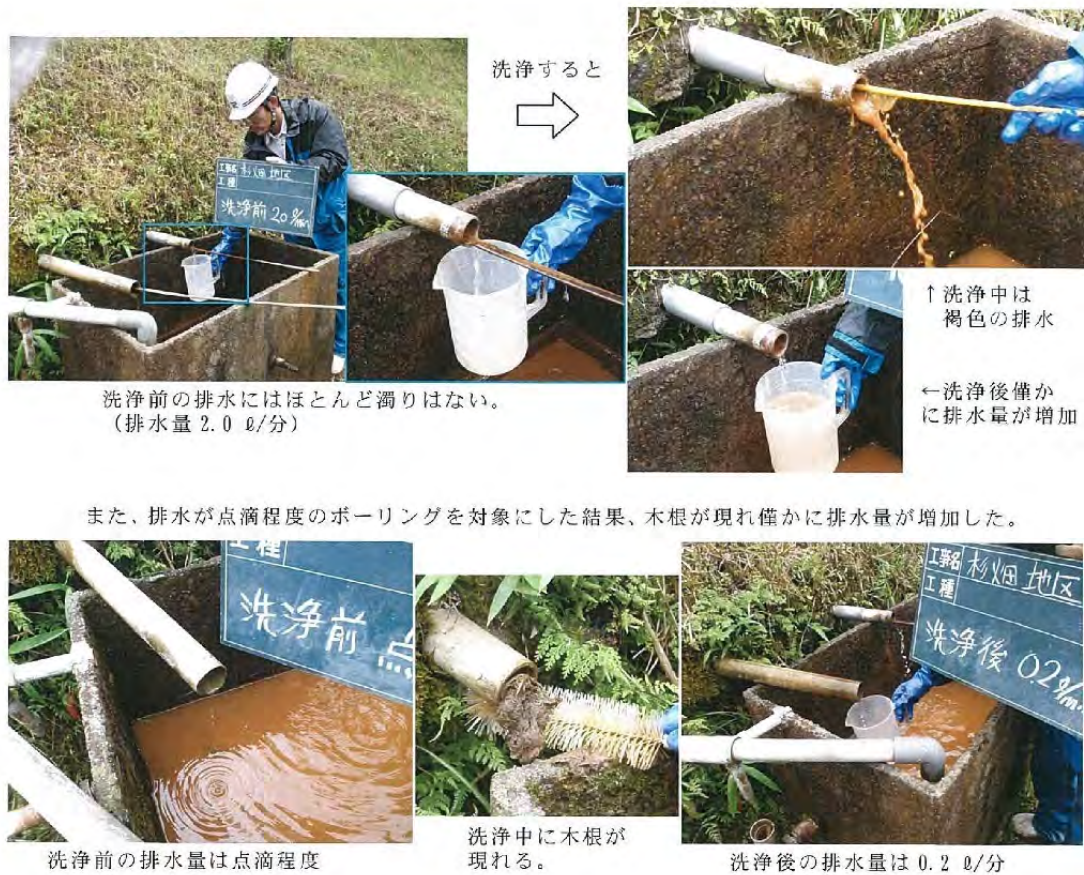


図-4.11.11 地元で行われている水抜きボーリングの孔内洗浄作業

また、地すべり防止施設の適切な維持管理に当たって不可欠である草刈り作業について、地域住民等に参画を促す取り組みも実施されてきている。草刈り作業を地元団体に委託することは、地域住民の目を、異常の有無の監視に活用することにつながり有効であるが、草刈り作業はボランティアではできないため、草刈り機の歯や燃料費の実費や日当を支出することが必要である。また、農家団体に委託する場合には農作業の繁忙期を避けることや、急斜面での安全対策等に留意する必要がある。広範囲の草刈りについては、建設業者の活用も検討する必要がある。

11.5 GISによる施設管理事例

地すべり区域や地すべり防止施設を適切に管理するためには、多くの情報を扱う必要がある。これらの情報を一元的に管理するためにGISを活用することは非常に有効であり、GISを使ったシステムの導入は今後さらに増加していくものと考えられる。

これまでは、紙媒体での情報管理が主体であったため、情報の整理が煩雑であった。このため維持管理に必要な情報が整理されず活用しきれていないといった課題があった。

施設情報（位置、施工年度）や工事台帳（出来形図面）、補修履歴を、GISを用いて一元管理できるようにした事例を図-4.11.12に示す。これまで個別に管理されていた情報を集約し、システム上で運用することにより、点検の効率化が図られ情報管理が容易に行われるようになっている。将来的に県全体が運用する統合GISシステムに移行することで、より積極的な情報活用を図ろうという検討が進んでいる。

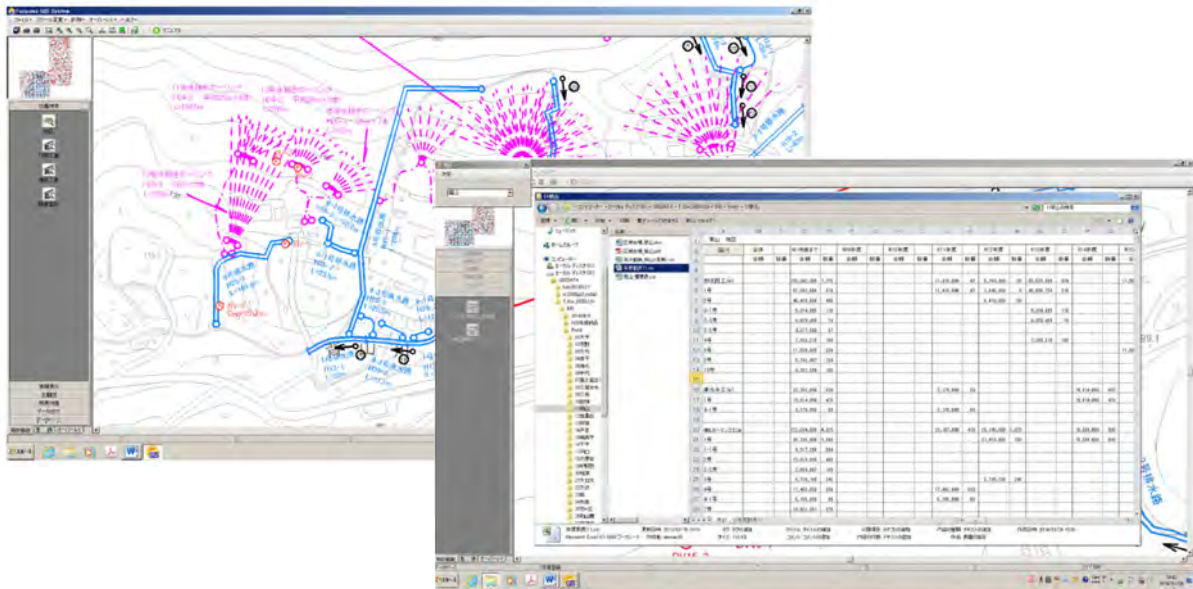


図-4.11.12 GISを活用した施設台帳管理システムの導入例

11.6 新技術を活用した管理事例

メンテナンスの高度化、効率化のために、積極的に新しい技術を活用していくことは重要であり、そのための技術開発や社会実装へ向けた取り組みも進められている。ここでは、地すべり防止施設に対する点検技術や地すべり活動の監視技術に対して、平成29年度からはじめた実証調査の事例について示す。

11.6.1 施設点検事例

(1) 長大法面におけるUAVを使った点検

切土法面保護工の機能診断を実施するに当たり、小型無人飛行機（以下「UAV」という。）を用いた点検を実施し、目視主体の点検との対比により結果の精度及び経済性について検証することを目的として実証調査を実施した（図-4.11.13、図-4.11.14）。

調査対象とした現場は、奈良県川上村に位置する大迫ダム周辺に位置する切土法面と兵庫県三木市に位置する北水上地すべり防止区域にある排土法面である。



大迫ダム左岸ブロック

大迫ダム人見谷ブロック

北水上区域Kブロック

図-4.11.13 調査対象法面の状況（UAVによる空撮写真）

UAVによる点検は、以下の条件で実施した。

1) 低空飛行による点検（近接撮影）

対象施設に低空（5～15m以内）で接近して撮影を行う。

使用カメラはレンズ焦点距離が35mmフィルム版カメラ換算で20mmのものとした。

2) 高性能カメラによる点検（遠望撮影）

点検対象施設から30m以上離れた上空から高性能カメラで撮影を行う。

使用カメラはレンズ焦点距離が35mmフィルム版カメラ換算で90mmのものとした。

なお、UAVの飛行は、設定したルート上では自動飛行で行い、離着陸時のみ手動により操縦することとした。

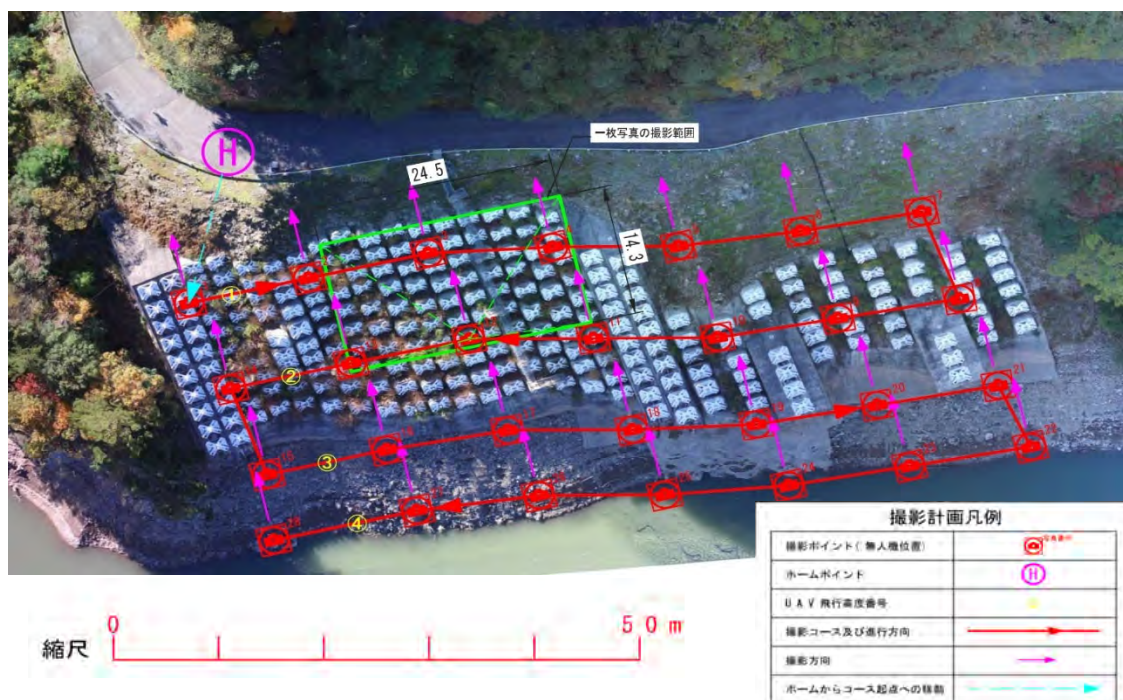


図-4.11.14 大迫ダム人見谷ブロックのUAVによる詳細点検飛行計画図例（近接撮影）

取得データの精度について、目視点検結果とUAV撮影写真を対比して、変状等の抽出状況を比較した。

大迫ダム左岸・人見谷ブロックについては、全30箇所の変状箇所のうち22箇所で目視点検と結果が一致した。

結果が一致した点……22 箇所（全箇所に対する割合73%）

- ・ロックボルトキャップの緩み（支圧プレートの回転を確認）
- ・規模が比較的大きく（幅と長さ）、コンストラストが強い場所に発生したコンクリートのひび割れ
- ・法枠表面の剥離
- ・承水路モルタルの剥離や排水溝の落葉の堆積等、比較的広い範囲の変状
- ・法枠内の吹付けモルタルのふくれ
- ・アンカー受圧板といった比較的大きい構造物のコールドジョイント
- ・比較的広い範囲に発生した斜面の侵食

結果が相違した点…… 8 箇所（全箇所に対する割合27%）

- ・法枠工に発生したひび割れと法枠表面の浮き（吹付工法で施工された法枠工であるため、判読がより難しい）
- ・真横から目視しか確認できないロックボルトキャップの緩み
- ・樹木と隣接するアンカー受圧板側面のコールドジョイント

また、北水上区域Kブロックでは、全 9 箇所の変状箇所のうち 4 箇所で目視点検と結果が一致した。

結果が一致した点…… 4 箇所（全箇所に対する割合44%）

- ・法面に確認された連続した割れ目
- ・承水路の土砂や落葉の堆積
- ・承水路に発生した目地開き
- ・法面保護工法尻に発生した湧水

結果が相違した点…… 5 箇所（全箇所に対する割合56%）

- ・高い樹木の直下の変状箇所(承水路の土砂等堆積は樹木によって変状箇所が確認できない)
- ・承水路に発生したせん断破壊、ひび割れ、目地段差
- ・承水路の縦断方向に発生した沈下

次に、近接撮影と遠望撮影の写真精度の比較を行った。図-4. 11. 15は、人見谷ブロックのコンクリートひび割れに対し、近接撮影と遠望撮影の写真を対比したものである。

遠望撮影の場合、撮影距離は遠いにもかかわらず、長焦点レンズとサイズの大きい感光センサーを用いていることから、調査対象を大きく明瞭に捉えられている。

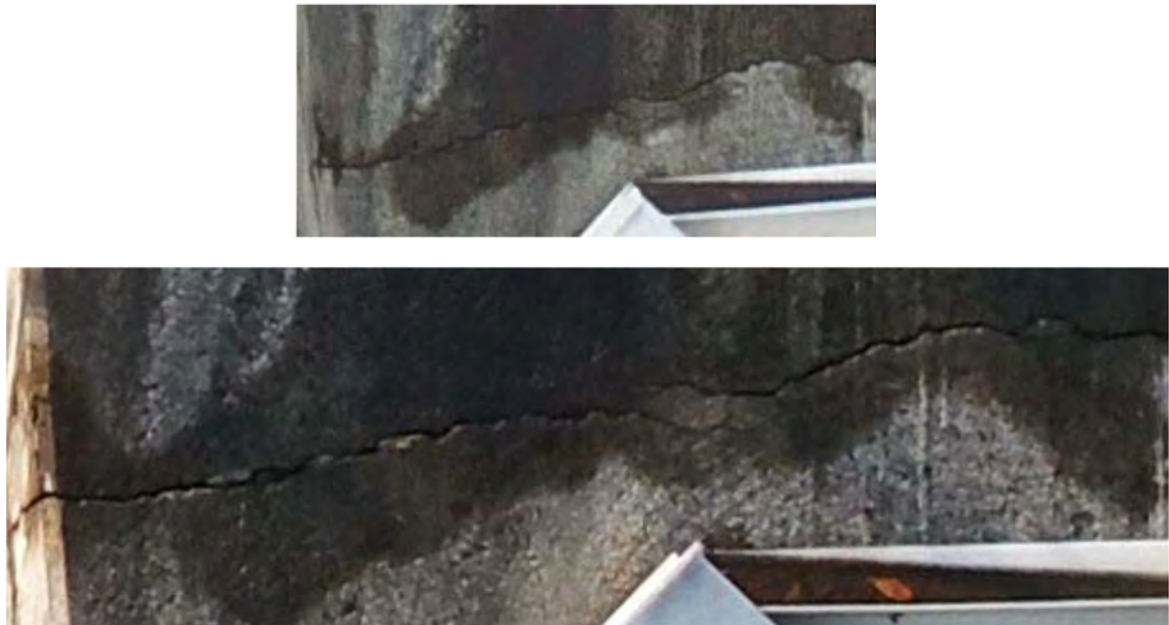


図-4.11.15 人見谷ブロックコンクリートひび割れ状況写真
(上：近接撮影1200万画素等倍表示 下：2080万画素等倍表示)

(2) 全方位カメラを用いた集水井内画像撮影

集水井工は地中に設置された施設で、点検を実施する場合は、一般にタラップ等を使用して、井内に入り壁面を観察する等して健全度診断を実施する。ただし、タラップ等に腐食や取り付けの不具合があった場合や集水井内の酸素濃度が低い場合は、点検者の安全を考慮して井内作業を中止することもある。

こうした事態を想定し、井内への立入を伴わない方法で簡易に集水井壁面の観察を行うため、全方位カメラを使った画像診断の実証実験を行った。

井内状況を画像で判断するためには、照明の確保と画像の撮影深度を確認することが求められる。これに対し、本調査ではランタンと全方位カメラをリボンロッドに吊るし、井筒状況が画像で判断しやすいように工夫を行った。

全方位カメラを用いた集水井内の井筒写真を図-4.11.16に示す。カメラの画像では井筒の劣化状況を把握することが可能であることから、点検者の安全性等を考慮した調査手法として有効であることが分かった。なお、集水井内では気流の流れにより撮影機材の回転や傾きが発生する場合があることから、回転防止対策等を別途検討しておく必要がある。

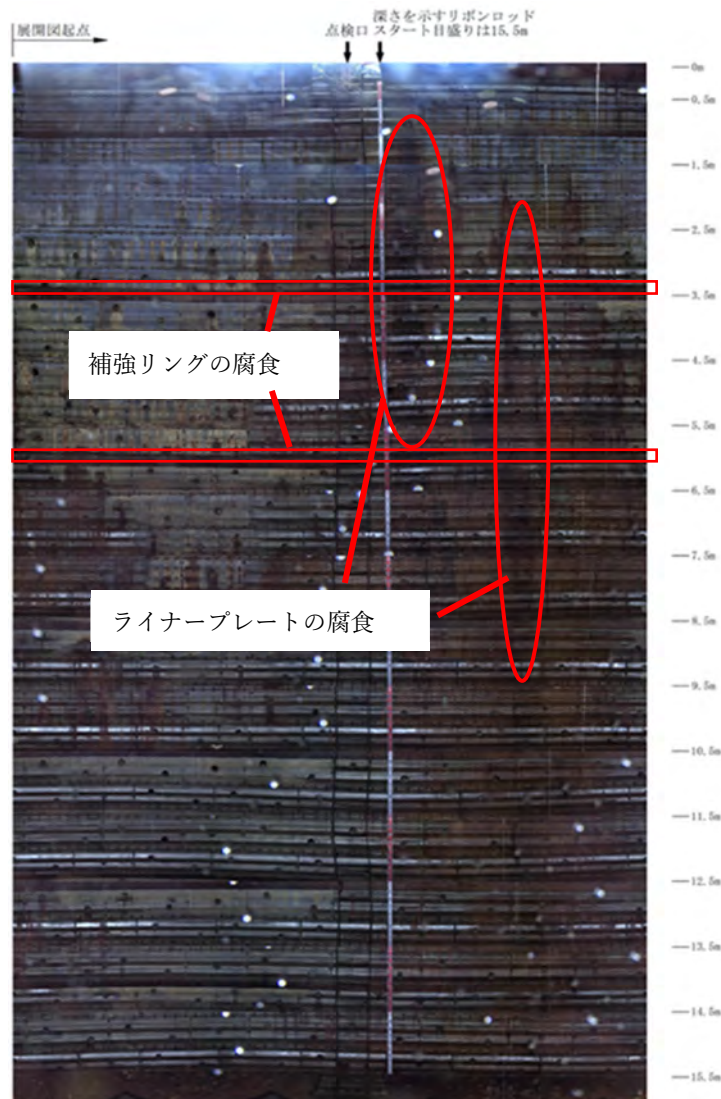


図-4.11.16 集水井内の展開写真（ライナープレート状況）

11.6.2 地すべり活動の監視事例

一般に、UAVレーザ計測は航空レーザ計測に比べ照射密度が高く、植生が繁茂していても地表面のデータ取得が期待できるため、精度の良いデータを効率的に得ることができる。また、飛行高度が低いため、下層雲より下からでも計測が可能であり、計測機会が増える等の利点がある。こうした点を踏まえ、地すべり活動を監視する目的で、UAVレーザ計測による高精度三次元数値地表モデルを2時期で作成し、その地形変化量（数値差分）から地表変化を把握する試みが行われている。

また、近年幅広い分野で活用されているMEMS（Micro Electro Mechanical System）技術を採用したセンサーが地すべり分野でも使用されつつある。MEMS加速度センサーは構造物等の微小な振動が把握できるため、地すべり分野での適用性も高いと考えられている。

(1) UAVレーザ計測^{*1}

図-4.11.17は上蛇田地区（秋田県）を対象に、平成29年度と平成30年度に実施した、UAVレーザ計測による三次元地形モデルを標高差分段彩図で示したものである。本地区では、地すべり活動は沈静化しており大きな変動は示していない。図-4.11.18に示すように平成29年度のデータに比べ平成30年度では5 cm程度の標高差が生じているがこのような傾向は地域全体で生じているため、この程度の変化については有意な地形変化として扱うことは適当ではない。一方、局所的に生じた地表変状や地形改変等の箇所については、図-4.11.19に示すようにUAVレーザ計測で的確に捉えていることが確認された。

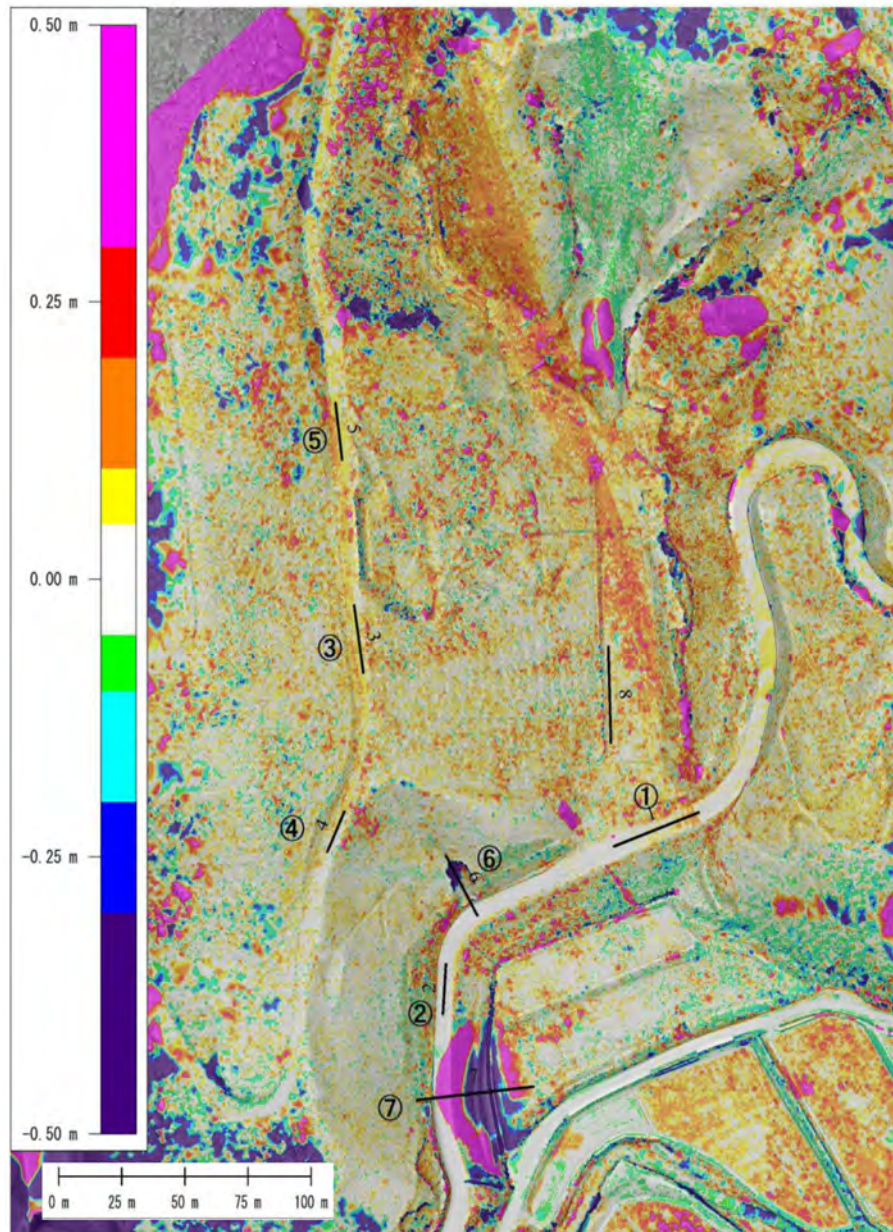


図-4.11.17 上蛇田地区標高差分段彩図（平成29年度と平成30年度の差分）

*1 山田ら（2021）：中山間地域の農地防災のためのUAVを活用した微地形判読、農業農村工学会誌第89号第5号、pp. 31～34を引用（一部変更）

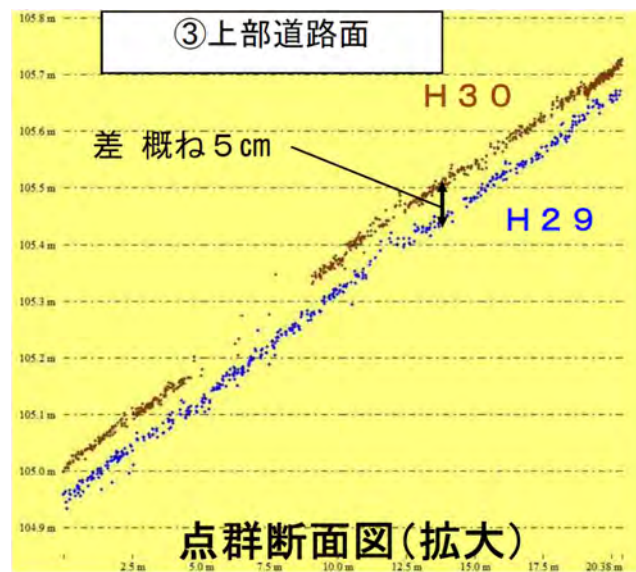


図-4.11.18 道路面を対象にした点群断面図 (③地点)

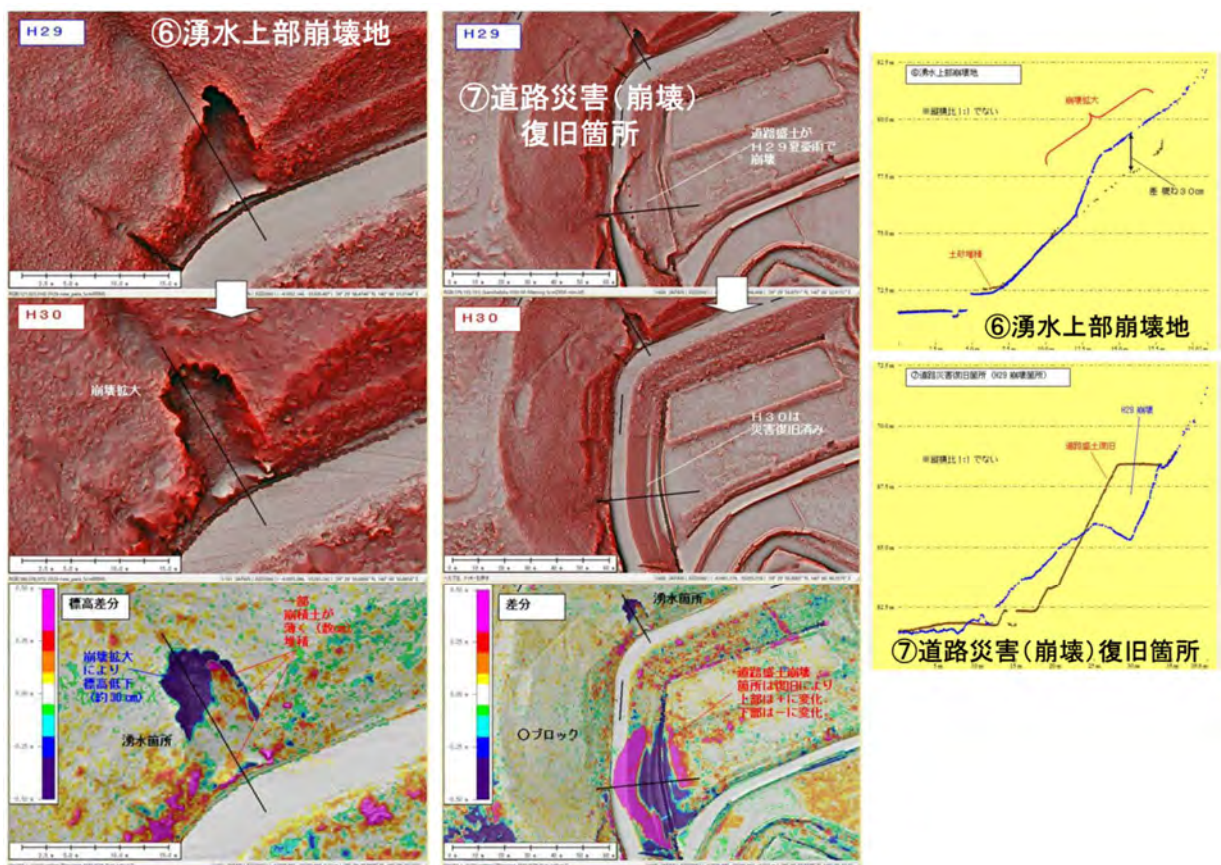


図-4.11.19 地形変化と標高差分

⑥地点：崩壊拡大地点、⑦道路復旧（盛土）地点

ここで行った実証調査を参考に、UAVレーザ計測を行うにあたっての知見をまとめると、概ね次のように述べるができる。

なお、UAVに関する技術は、現在急速に発展しているとともに、汎用性も向上しており、将来的な有効活用が期待される。

- ・ UAVレーザ計測でより精度の良く地盤面の状況を把握するためには、植生繁茂した時期よりも落葉期に実施することが望ましいが、植生繁茂した状態であっても木本類主体の草地であれば、ある程度地盤までレーザ光が到達するため、地盤面の地形データを取得可能である。
- ・ UAVレーザ計測データ（点群）は高密度なため、従来の航空機によるレーザ計測データでの地盤点抽出のためのフィルタリング処理のパラメータ設定だと、逆に地盤点を高密度に抽出できない恐れがあるため、高密度点群に適した設定にする必要がある。
- ・ UAVレーザによって、比高10cm以上の段差等の微地形が識別・認識可能であり、地すべり活動の痕跡を詳細に把握することが可能。
- ・ 計測時期の異なる2時期のデータを比較することによって、少なくとも数十cmレベルの比較的大きな地形変化をした領域があれば、崩壊や活動、土砂の堆積を把握することができる。

(2) MEMS加速度センサー

地すべり活動を監視する目的で、長岩村地区（長野県）内にある地すべりブロックにMEMS加速度センサー（図-4.11.20）を計7基設置しその挙動を調査した（図-4.11.21）。設置は、地中に打ち込んだ支柱（L形アンクル）にセンサーモジュールを地表下約50cmの位置で固定するとともに、別の支柱（単管パイプ）に無線モジュールを固定し耐雪対策として雪囲いも設置した（図-4.11.22）。



図-4.11.20 MEMS加速度センサー概要

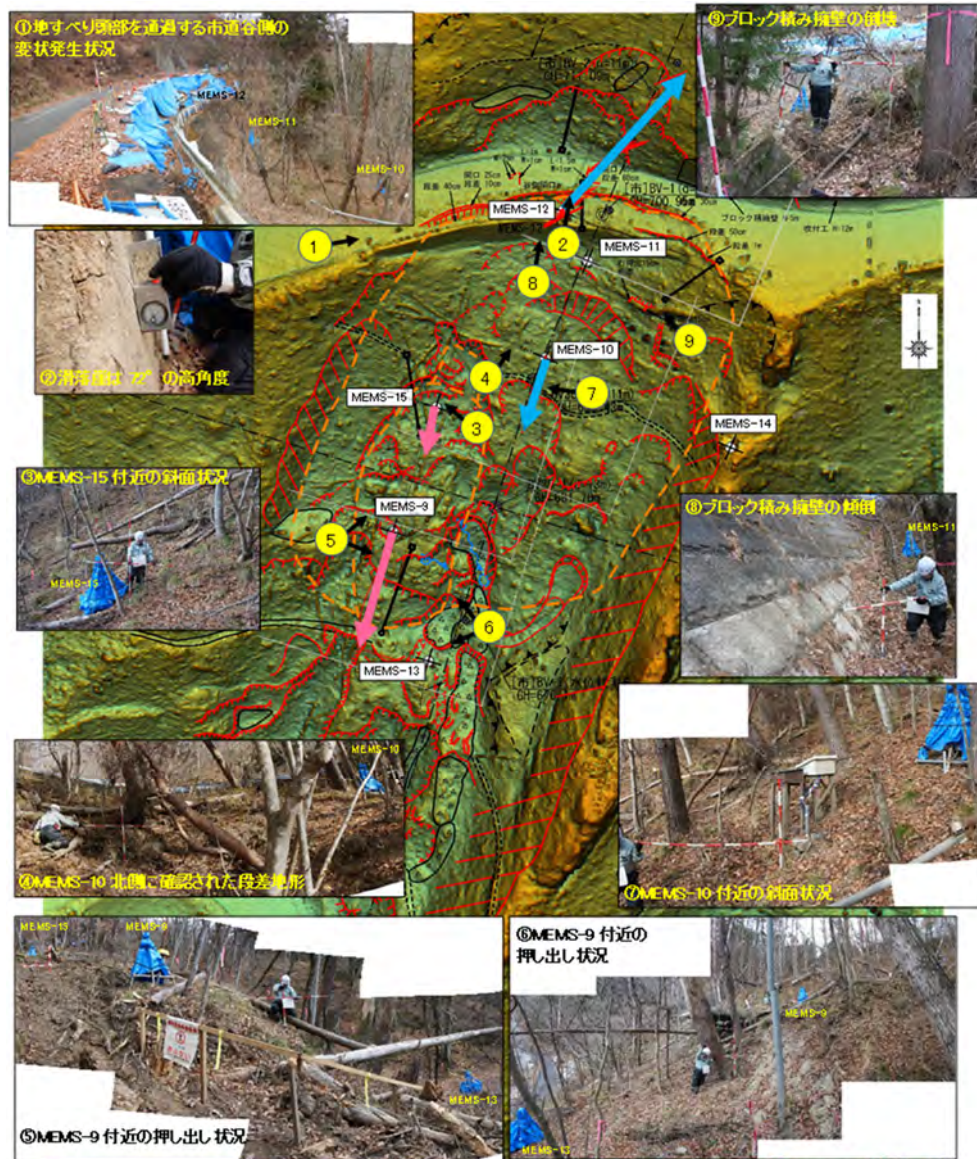


図-4.11.21 MEMS加速度センサー傾斜方向平面図

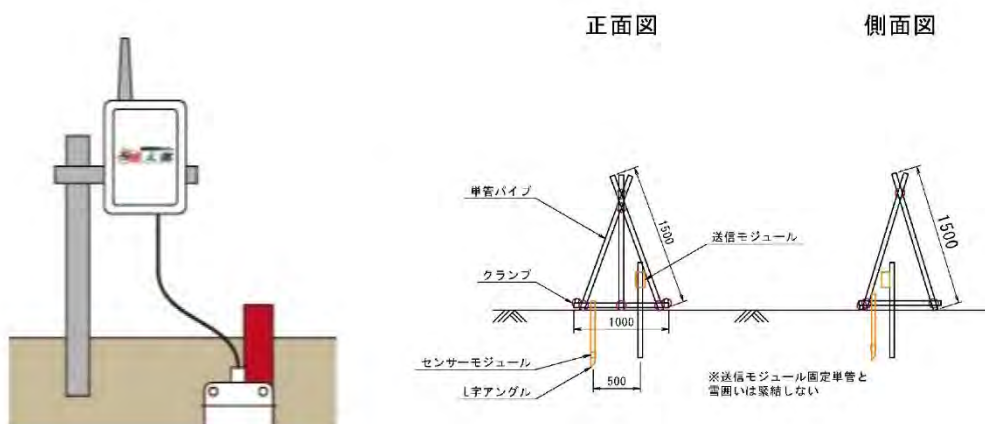


図-4.11.22 MEMS加速度センサーの設置方法

MEMS加速度センサーの傾動方向は、地すべり頭部（MEMS-12）で山側、中央部から末端部（MEMS-10, 15, 9）で谷側に傾動しており、斜面の後方回転と前方転倒からなる円弧すべりが示唆された。ただし、円弧内のMEMS-11でも谷側に傾斜しており、地すべり性の変動だけでなく地表面付近の影響も受けると考えられる。

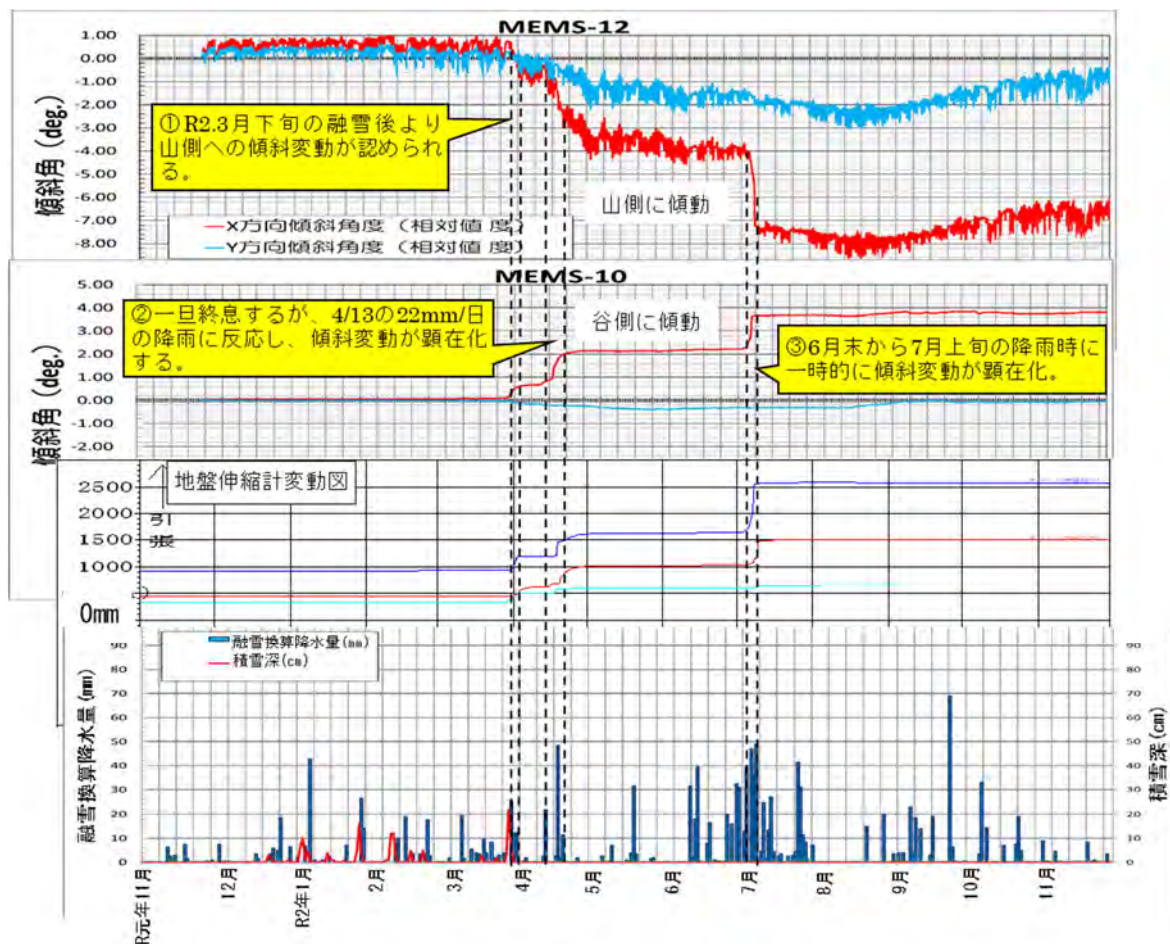


図-4.11.23 MEMS加速度センサー（MEMS-10, 12）と地盤伸縮計の観測結果

図-4.11.23は、MEMS加速度センサーと地盤伸縮計の観測結果を示したものである。この図から変動の時期は令和2年3月下旬、4月中旬、6月末から7月上旬であり、それぞれ融雪、大雨の時期と一致した。また、地盤伸縮計変動時期とMEMS加速度センサーの変動時期についても一致した。これらの結果、地表変状の進行性等のその他の調査結果と併せて判断すると、MEMS加速度センサーは地すべりに関連する変位を観測できているものと考えられる。

MEMS加速度センサーは他の観測機器に比べて、比較的簡易な作業で設置することができ、経済性でも有利である。また、データは高頻度(数分～1時間)での取得が可能であり、地すべり活動の監視や警報発令等に用いることができるほか、他のシステムを組み合わせることで遠隔監視も可能となる。

なお、本手法の適用に当たっては、MEMS加速度センサーの観測値が地すべり変位に関連するものであると判断できることが条件となる。MEMS加速度センサーは地盤傾斜計の一種であり、観測

原理上、地すべり以外の要因で変動する場合がある。例えば、設置直後機器が安定するまでの変動、気温変動、地盤の緩み、地下水位変動等、回帰性の変動があると言われている。また、地すべりと関連しない侵食・小崩壊等に伴う変動等を捉える場合もあると考えられる。

したがって、上記による変動を除去して解釈するためには、複数のセンサーを設置してその傾向を解析するか、他の調査結果を併せた総合的な判断が必要である。