

IV-6 地すべり災害箇所の応急緊急対策支援技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 17～平 20

担当チーム：土砂管理研究グループ（地すべり）

研究担当者：藤澤和範、石田孝司

【要旨】

地すべり発生直後には災害の拡大を防止するために迅速な対応が必要であり、そのためには二次災害の防止を図りつつ地すべりの性状を速やかに把握し、これを踏まえた効果的かつ効率的な応急緊急対策工の計画立案と実施が必要である。そこで本研究では、二次災害の防止を図るため、人の立ち入りが困難な危険な斜面や不安定岩塊の変位を安全かつ精度良く計測する手法の開発を行った。また、地表面変位ベクトルからすべり面形状を推定する手法の検証と改良を行った。さらに、地すべり応急対応事例の分析により、地すべり災害直後からの効果的な応急緊急対策計画を立案し実施する手法を手引き（素案）としてとりまとめた。

キーワード：地すべり、応急緊急対策、斜面遠隔監視システム、すべり面推定手法

1. はじめに

地すべり発生直後には災害の拡大を防止するために迅速な対応が求められるが、その際には地すべりの滑動状況の把握が不可欠であるとともに、速やかかつ効果的な応急緊急対策計画の立案と実施が必要である。従前は、地すべりが発生した際に地すべり規模を把握するための調査ボーリングを実施した後に対策工を計画する必要があり、地すべり土塊内での作業を伴うことから安全面での問題を含んでいたほか、調査に時間を要することから迅速な対応が困難であるという問題を有していた。

これらの問題を解決するために、本研究ではまず応急緊急対応時の不安定な斜面や岩塊の崩落に伴う二次災害を防止するため、人が立ち入って計測機器を設置することが困難な不安定斜面の変位を安全かつ精度良く計測する手法の開発を行った。次に、調査ボーリングなど現場での滞在時間を極力短くして地すべりのすべり面形状を推定する手法として、地表面変位ベクトルを基にした地すべりのすべり面形状を推定する手法（以下、「土研式すべり面推定手法」と言う。）の検証と改良を行った。さらに、過去に発生した地すべり災害と地すべり発生後の応急緊急対応手法に関する事例調査を行い、地すべりの進展に応じた効果的な調査・対策手法を整理し、前記の開発手法の活用と併せて地すべり発生時の応急緊急対策を支援する手引き（素案）を作成した。

2. 斜面遠隔監視システムの開発

2.1 概要

地すべりブロックの末端部や境界部での小規模地すべりや崩壊が継続的に発生することは経験的事実である。この地すべり末端部や境界部の崩落土砂からなる堆積物は、背後の地すべり土塊や崩壊の拡大を抑えている可能性がある。しかしながら、人命救助や道路の通行確保等のため、応急処置として一時的でも崩落土砂を除去しなければならない場合がある。このような崩落危険斜面の変動を遠隔から精度良く計測できれば、安全性を客観的に評価しながら作業を行うことができる。

遠隔から変動量を計測する手法として、画像解析やレーザースキャナ等の利用が挙げられる。しかし、これらの方法は標的（プリズム等）を使用しないため、計測精度は10cm程度¹⁾であり、再崩落の予兆となるような斜面の変動を捉えるには十分な精度とは言い難い。また、ノンプリズム型のトータルステーションも標的を用いることなく遠隔からmm単位の精度で計測することは可能であるが、同一点を正確に視準できていないために生ずる視準誤差の影響が機械誤差を上回る可能性が指摘されている²⁾。したがって、ノンプリズム型のトータルステーションを用いる場合においても何らかの標的が必要であり、さらに緊急時には夜間でも斜面を監視できる計測技術が必要である。

そこで、危険な斜面に立ち入ることなく標的を崩壊斜面に設置し、遠隔から変位を計測する手法を開発した。

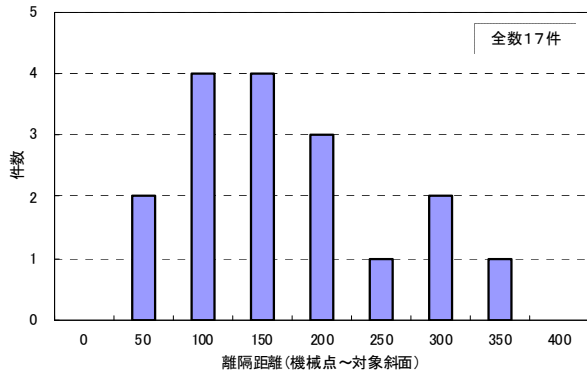


図-1 計測に必要な機械点から斜面までの距離

2.2 開発目標

遠隔地点に標的を設置する場合にどの程度の距離が必要となるかを把握するため、過去に発生した地すべり末端部の崩落事例のうち、海に面しているものを除いた17事例を対象とし、斜面对岸からの標的設置と計測作業が可能と考えられる地点から崩落斜面の頭部までの水平距離を計測した。その結果は図-1に示すとおり概ね50m～350mであったことから、標的を遠隔から設置する技術の開発目標として350m程度までは標的の設置と計測が可能であることとした。

2.3 計測に必要な条件と観測機器の選定

地すべり地末端の崩落斜面等において地盤変位を安全かつ精度良く計測するためには、次の①～③のような条件を考える必要がある。

①遠隔から標的の設置・計測が可能なこと

崩落現場は急峻である場合が多く、再崩落などの二次災害の危険があるため、作業員が立ち入ることができない場合が多い。このため、崩落地から離れた場所からの標的の設置と計測が可能である必要がある。

②緊急時に速やかに計測できること

地すべりや崩壊の発生場所や時刻を事前に予測することは困難である。また災害発生後には人命救助や被害拡大防止のため、可及的速やかな対応が必要となる。このため、観測機器は市場に流通し一般的に使用されており、直ちに手配できるものが望ましい。

③数mmの変化を把握できること

崩落斜面では、わずかな斜面変動が再崩落の徴候として現れることがある。このため、数mmの地盤変動を確実に捉える必要がある。

以上の条件を満たす機器を検討した結果、国土地理院登録トータルステーションの2級Aクラス(測距精度 $2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$)以上の機器を使用することとした。

2.4 標的およびその設置方法の開発

トータルステーションの光波およびレーザーのスポッ

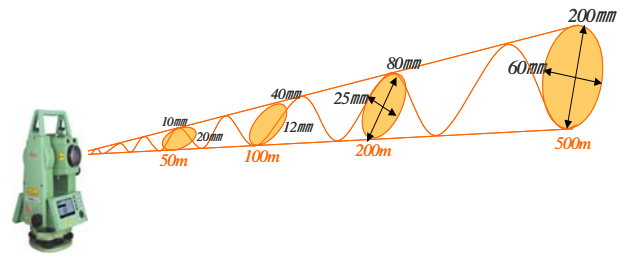


図-2 レーザースポット径のイメージ

表-1 光波およびレーザー光のスポット径

計測距離(m)	光波(mm×mm)	レーザー光(mm×mm)
10	15×26	4×7
20	29×58	7×14
50	73×145	10×20
100	145×291	12×40
200	291×582	25×80
300	437×873	38×120
500	727×1,454	60×200

ト径は、図-2に示すように、距離が遠くなるにしたがって楕円形のスポットがねじれながら拡散して進む。この楕円形のスポットの拡散は、表-1に示すように距離により楕円の短軸と長軸の長さが変わり、同じ距離でのスポット径は光波の方が大きい。300m程度の離隔地点をトータルステーションで計測する場合に用いられる標的(反射鏡)は、1素子プリズムで直径63.5mm、反射シートで60mm×60mmが規格化されている。このことを参考とし、設置する標的の大きさは直径65mm程度以上とすることとした。

標的はインクを斜面上の岩塊へ塗布することにより設置することとした。インクには、トータルステーションのレーザー光の反射率を向上させるため、再帰反射の効果を期待できる直径 $50\mu\text{m}$ のガラスビーズを混入することとした。またインクの色は、約50m離れた地点でのレーザー光の反射率が最も高かった桃色を採用した。しかし現地で使用した結果、トータルステーションで視準する際の視認性に難があることが判明した。そのため、最大300mの離隔におけるトータルステーションを用いた視認性試験を実施した。その結果、白色もしくは黄色が最も視認性が高く、また一定の反射強度を得られたことから、白色と黄色を追加し、現場条件に応じて使い分けることとした。

設置方法は、50～350mの離隔地点から精度よく設置でき、また特殊な技能や資格、許認可を必要とせず、応急緊急時に誰でも設置できる方法として、クロスボー(洋弓)を用いることとした。矢の先端にインクを封入したガラスカプセルを取り付け、これをクロスボーにより射出し、矢が対象に当たった際のガラスカプセルの破壊に

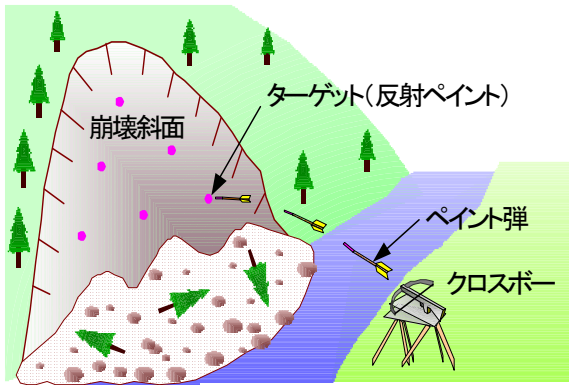


図-3 標的設置のイメージ

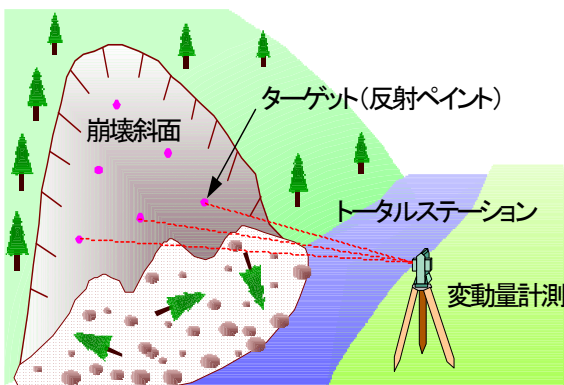


図-4 観測のイメージ

よりインクが対象に付着し標的が形成できるものとした。本手法による標的設置イメージを図-3に、また観測イメージを図-4に示す。

狙った位置に標的を設置するための射出角度を設定するために、ロックフィルダムの下流リップラップを用いて、インク入りカプセルを取り付けた矢の射出試験を実施した。試験結果を図-5に示す。図中のプロットは発射地点を水平距離0m、高さを0mとしたときのリップラップ上の到達点であり、曲線群は矢の軌跡を示す理論曲線である。この理論曲線は、空気抵抗が速度の2乗に比例すると仮定し、インク入りカプセルや矢の形状から

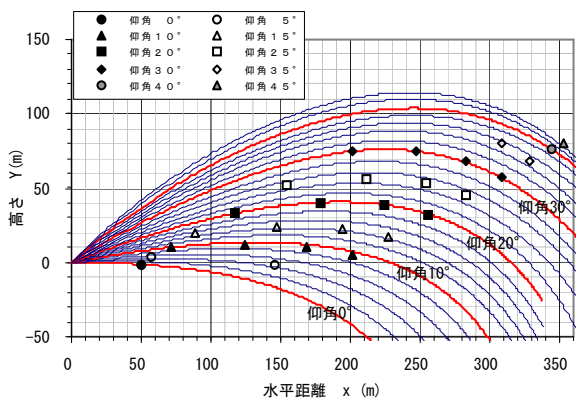


図-5 矢の軌道の理論曲線と実測データ

算出した運動方程式により導いたものである。図-5によると、矢は概ね理論曲線と一致した地点に到達しており、射出時に適切に射出仰角を設定することにより目標地点へ標的を設置できることを確認した。なお、この試験結果を基に、標的設置目標地点の見通し角と斜距離から射出仰角を求める早見表を作成した。

以上により、崩落が懸念される危険斜面に対して遠隔より安全かつ精度よく標的を設置し、ノンプリズム型トータルステーションにより斜面変位を計測する一連のシステムを開発し、また計測手法マニュアル³⁾として取りまとめた。

3. 土研式すべり面推定手法の検証と改良

3.1 概要

地すべりが発生した場合、地中のすべり面形状を的確に把握することは、地すべりの規模や特性を把握する上で重要である。なぜならば、推定したすべり面形状を基にして応急緊急対策計画の立案と施工がなされ、ひいては応急緊急対策を受けての恒久対策にも繋がるからである。そのため、地すべり発生後には、地すべり素誘因等の把握と併せて、地すべりのすべり面形状や移動土塊の範囲を速やかに推定することが何よりも重要である。そこで、過年度の研究により開発された土研式すべり面推定手法⁴⁾の検証と改良を行い、地すべり発生後、調査ボーリング等の詳細な調査を待たずに迅速に地すべりの規模を推定できる手法を確立した。

3.2 土研式すべり面推定手法の概要

土研式すべり面推定手法の概要を以下に示す(図-6参照)。

1) 一つ以上の計測点をもつ*i*ブロックにおけるすべり面形状を近似する式を①式とする。

$$Z = a_i X^2 + b_i X + c_i \quad \dots\dots\dots ①$$

a_i, b_i, c_i : 係数

2) 今、*i*ブロックにおける計測点を一カ所とした時、計測点*i*の時刻*t*における座標を(X_{it}, Z_{it})、計測点位置でのすべり面深さを D_i 、計測誤差を V_{it} とすると、①式は②式ようになる。

$$V_{it} = a_i X_{it}^2 + b_i X_{it} + c_i + D_i - Z_{it} \quad \dots\dots\dots ②$$

X_{it} : 時刻*t*における*i*ブロック内の計測点*i*の水平座標

Z_{it} : 時刻*t*における*i*ブロック内の計測点*i*の鉛直座標

D_i : *i*ブロック内の計測点*i*におけるすべり面深さ

V_{it} : 計測誤差

ここで、 a_i, b_i, c_i, D_i が未知数である。

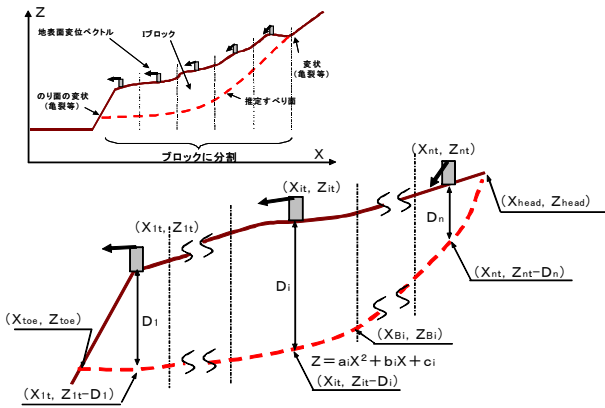


図-6 土研式すべり面推定手法の概要

3) また、計測点 i において時間を t において n 回の計測をしたときの誤差を最小とするすべり面は、③～⑥式を満たす。

$$\frac{\partial \sum_{t=1}^n V_i^2}{\partial a_i} = 0 \quad \dots\dots\dots ③$$

$$\frac{\partial \sum_{t=1}^n V_i^2}{\partial b_i} = 0 \quad \dots\dots\dots ④$$

$$\frac{\partial \sum_{t=1}^n V_i^2}{\partial c_i} = 0 \quad \dots\dots\dots ⑤$$

$$\frac{\partial \sum_{t=1}^n V_i^2}{\partial D_i} = 0 \quad \dots\dots\dots ⑥$$

ここで⑤式と⑥式は等しくなるため解は求まらない。

4) そこで、ブロック i 、 $i+1$ のブロック境界でのすべり面高さ、傾斜は等しくなることから⑦、⑧式を導入する。

(i) 等高条件

$$a_i X_{Bi}^2 + b_i X_{Bi} + c_i = a_{(i+1)} X_{Bi}^2 + b_{(i+1)} X_{Bi} + c_{(i+1)} \quad \dots\dots ⑦$$

X_{Bi} : i ブロックと $i+1$ ブロックの境界線での水平方向座標

(ii) 等勾配条件

$$2 a_i X_{Bi} + b_i = 2 a_{(i+1)} X_{Bi} + b_{(i+1)} \quad \dots\dots ⑧$$

なお、切土による地すべりでは地すべり頭部、末端部が明確な場合が多く、境界条件として地すべり頭部座標 (X_{head}, Z_{head}) 、末端部座標 (X_{toe}, Z_{toe}) が与えられるので、⑨、⑩式が成り立つ。

$$Z_{toe} = a_1 X_{toe}^2 + b_1 X_{toe} + c_1 \quad \dots\dots\dots ⑨$$

$$Z_{head} = a_n X_{head}^2 + b_n X_{head} + c_n \quad \dots\dots\dots ⑩$$

以上、③～⑤式、⑦～⑩式を用いて、これらの方程式を解くことにより a_i 、 b_i 、 c_i 、 D_i が求められる。

なお、⑧式は、滑らかなすべり面を推定するための条件であり、用いなくともすべり面は推定できる。また、土研式すべり面推定法では、不自然なすべり面の生成をさけるため、⑪⑫式で示す α 、 β を設定する事により等勾配条件を緩和できるようにしている。

$$0 < a_i \leq \alpha \quad \dots\dots\dots ⑪$$

$$\beta \geq 2 a_{(i+1)} X_{Bi} + b_{(i+1)} - 2 a_i X_{Bi} - b_i \quad \dots\dots\dots ⑫$$

3.3 土研式すべり面推定手法の検証

検証には、表-2 に示す 10 の地すべり事例のほか、FEM により構築した円弧型モデル斜面などを用いた。これらの検証結果のうち、主な事項を以下に記す。

3.3.1 計測時期と計測期間

地表面変位ベクトルを長期間観測した場合、地すべり滑動初期から定常的な滑動期までの変位ベクトルを取得することになる。その場合、特に地すべり頭部では、滑動初期の頭部陥没に伴う下向きのベクトルとその後の定常的なベクトルとが合わることから頭部のすべり面の傾きを表す地表面変位ベクトルがやや緩傾斜となり、実際よりもやや浅いすべり面が推定される(図-7 (a) を参照)。また地すべり初期の動きを捉えられない場合には、滑動初期の下向きの変位を捉えていないことからさらに浅いすべり面が推定される(図-7 (b) を参照)。そのため、精度良くすべり面形状を推定するためには、地すべ

表-2 土研式すべり面推定手法の検証に用いた地すべり事例

地区番号	地すべり分類	断面型	規模 (L:長さ, W:幅, D:最大深(m))	計測方法	計測点数			移動量 (最大)
					頭部	中部	末端部	
A	風化岩すべり	椅子型	L:300m,W:150m,D:30m	光波	0	6	0	約1m/4年
B	崩積土すべり	椅子型	L:1300m,W:700m,D:130m	光波	2	2	0	約6m/6年
C	風化岩すべり	船底型	L:60m,W:50m,D:15m	光波	1	1	1	約80cm/月
D	風化岩すべり	階段型	L:400m,W:300m,D:50m	光波	2	6	2	約40cm/年
E	崩積土すべり	階段型	L:750m,W:240m,D:60m	GPS	1	0	1	約20cm/2年
F	崩積土すべり	船底型	L:150m,W:100m,D:20m	光波	0	3	1	約2.7m/3月
G	風化岩すべり	船底型	L:80m,W:60m,D:15m	光波	0	4	0	約27m/月
H	風化岩すべり	船底型	L:150m,W:150m,D:20m	光波	0	2	1	約4cm/1.5年
I	風化岩すべり	船底型	L:300m,W:200m,D:20m	GPS	1	0	1	約30cm/4年
J	岩盤すべり	船底型	L:70m,W:60m,D:10m	光波	1	2	1	約20cm/月

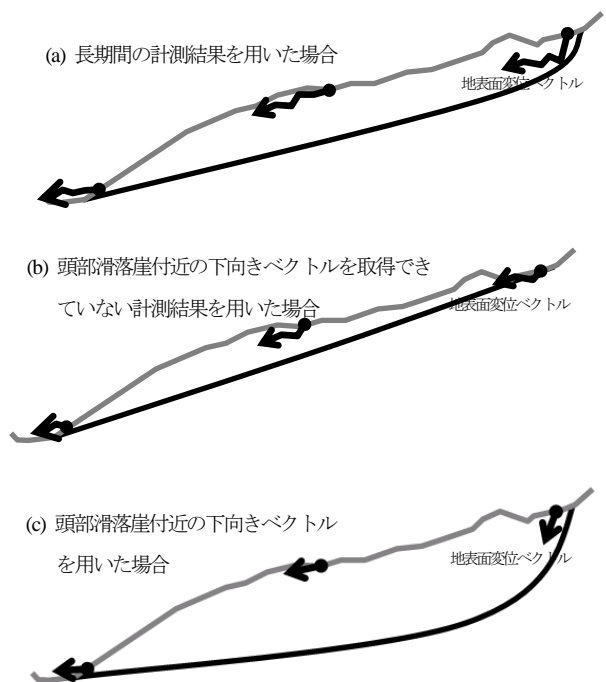


図-7 地表面変位ベクトル取得時期の違いによるすべり面推定結果の差異(イメージ)

り滑動初期の地表面変位ベクトルを計測することが重要であることがわかった（図-7(c)を参照）。

3.3.2 斜面長と地表面変位ベクトル量の比率

斜面長と、地表面変位ベクトル量（測点の平均値）の比率によって計算結果がどのように変化するかを明らかにするため、FEMにより斜面モデルを構築し、これのすべり面形状と地表面変位ベクトルを用いてケーススタディを行った。なお、FEM斜面モデルを用いるメリットは、現地での実測と異なり地表面変位ベクトルに計測誤差を含まない点にある。計算結果を図-8に示す。なお、図中の数字は斜面長に対する変位ベクトル量の比率である。この結果、比率が小さい場合は、深く、また波打つような不安定なすべり面を推定する傾向が出た。また、比率が大きい場合には浅いすべり面を推定する傾向が出た。比率を0.5%とすることにより、実際のすべり面形状とほぼ同じ適切な円弧状のすべり面を推定できることがわかった。そのため、計算プログラムでは各測点の変位ベクトル量を変えられるようにした。なお不自然なすべり面が推定される原因は、連立方程式を解く際の桁落ち、あるいはオーバーフローであることが判明した。

3.3.3 ブロック区分線等の設定手法

土研式すべり面推定手法では、地表面変位ベクトル計測点数等に応じて地すべりブロックを区分するブロック

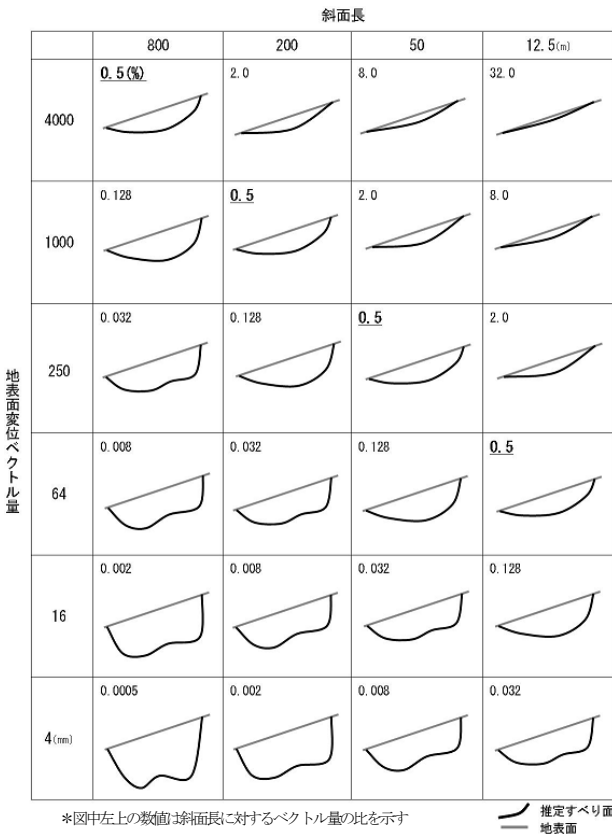


図-8 地すべり長さに対するベクトル比率を変化させた結果

表-3 ブロック区分線等の望ましい設定方法

すべり面形状	ブロック区分線の位置	地中境界点
椅子型	変曲点付近に1本	変曲点付近、もしくは設定しない
船底型	変曲点付近に1本づつ	頭部滑落崖に近い変曲点付近
円弧型	中心(中腹部)付近に1~2本	設定しない

区分線を設けることとしている。事例検証の結果、地すべりの規模にかかわらずブロック区分線が6程度以上の場合に推定すべり面が波打つ不適切な形状を推定する場合があることがわかった。これは、土研式すべり面推定手法がブロックごとの二次曲線を算出し、これらを連結してすべり面形状を表現するという構造に起因するものである。これを解決するためには、適切な位置へのブロック区分線と地中境界点の設定が必要であり、これらの望ましい設定方法を表-3のとおり整理した。

3.3.4 重み係数の入力方法

本プログラムでは、ブロック区分線で分割したブロックごとに二次曲線を算出し、これらを連結してすべり面形状を表現しているが、算出された二次曲線の連結を厳格に適用した場合、ブロック区分線上で推定すべり面の傾きが大きく変化する場合がある。この不具合を解消するために重み係数 β を設けている。 β を0とした場合にブロック区分線上で推定すべり面の角度が不自然に変化する場合があるが、 β を0.1程度にすることにより推定すべり面が滑らかに連結され、実態に近い形ですべり面を推定できる場合が多い。そのため、地表踏査や地質・地質構造から予測されたすべり面形状を表現できる β の設定手法をプログラム利用マニュアルに記載することとした。

3.4 土研式すべり面推定プログラムの改良

3.2に示した計算式をベースとし、パーソナルコンピュータ上で動作する計算プログラム（プロトタイプ）が過年度に開発されているが、2.2.3で示した検証結果を踏まえ、この計算プログラムの改良を行った。主な改良点は以下のとおりである。

- ①斜面長に対する地表面変位ベクトルの比率を任意に変更できるようにした。
- ②桁落ちによる解析誤差が少なくなるよう、ローカル座標系による解析手法に変更した。
- ③等勾配条件式に係る重み係数 β を、ブロック毎に設定できるように変更した。また、 β の入力推奨値を設定することで不適切な値の入力を防ぐこととした。
- ④入力のしやすさを考慮し、CSV形式のデータを読み込むことができるようにした。

3.5 地すべり発生前後の空中写真判読により取得した地表面変位ベクトルの活用

土研式すべり面推定手法に必要となる地表面変位ベクトルを取得する場合、地上でのトータルステーションによる計測やGPS計測によることを推奨しているが、ここではより迅速に地表面変位ベクトルを取得する手法として地すべり発生前後の空中写真を使用し、すべり面形状を推定することを試みた。

対象とした地すべりは、東北地方において平成18年4月に長さ約100m、幅約70mの規模で発生したものである。断面形状は、頭部が落差約25mをもって直線的に滑落したことで末端部の隆起が特徴的であることから、上部は並進すべり、末端部は円弧状であると想定された。

空中写真測量による地形図作成後、地すべり災害前後の地形から移動前後の地表面上の同一点を同定するため、よりビジュアルに地形の表現が可能なデジタルオルソデータを作成し、地すべり災害前後の同一点を同定できた2点のベクトルを地すべり後のオルソデータに表した(図-9)。地すべり縦断面図上に地表面変位ベクトルを表したものを図-10に示す。

図-10を基に土研式すべり面推定手法によりすべり面を推定した結果を図-11に示す。地すべり頭部と末端部のすべり面の勾配が大きく異なる椅子型のすべりが想定されたため、解析にあたっては、地すべり頭部の地表面変位ベクトルの勾配方向に任意で設定可能な地中境界点を設けた。これにより、調査ボーリングを含む現地調査によって確定されたすべり面形状に近い形ですべり面形状を推定することができた。この事例においては地す



図-9 地すべり災害前後のオルソデータ(左:災害前、右:災害後)

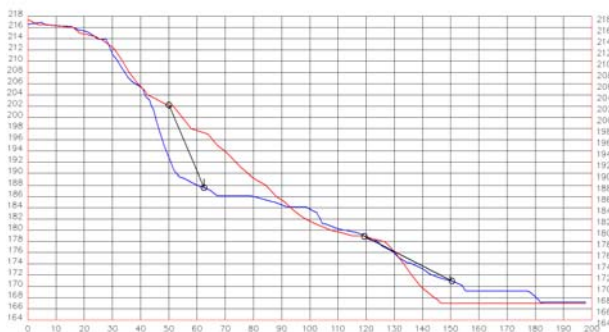


図-10 地すべり前後の地形と地表面変位ベクトル

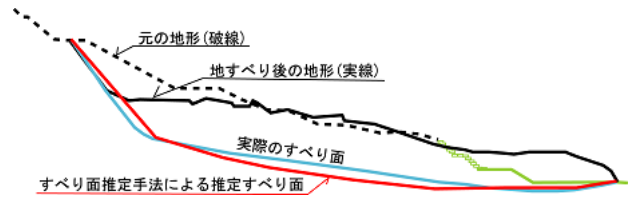


図-11 すべり面推定の結果

べり発生前後の同一点として2点しか同定できなかったが、頭部、中腹部、末端部それぞれで地表面変位ベクトルを取得できればさらに精度良くすべり面を推定することが可能と考えられる。

4. 地すべり災害時の応急緊急対策

4.1 概要

地すべり発生後の効果的な応急緊急対策手法を検討するため、過去に発生した地すべり災害を元にした事例分析を行った。地すべり災害はその規模や性状が多様多様であることから、地形や地質、地すべり滑動などを基にして地すべり形態を分類し、応急緊急対策工と効果の関係を整理するとともに、地すべりの進展に応じた調査・対策手法を整理した。これを踏まえ、応急緊急対策として主に用いられている工種である押え盛土工、横ボーリング工、地表水排除工の計画・施工事例を基にその効果を評価した。これらの検討結果や、2.および3.で開発・改良した手法を反映させ、地すべり発生後の応急緊急対策を支援する手引き(素案)を作成した。

4.2 地すべりのタイプ分類

地すべり発生直後には被害の拡大を防ぐために迅速な対応が必要であり、その際には現象を的確に把握し、それに適した対応を取ることが重要である。そのため、近年発生した地すべり災害の特徴を把握し、整理した。対象とした地すべりは、近年地すべりチームが現地調査や指導を実施した地すべりのうち、災害に関する24事例である。

これまでに提案されている地すべりタイプの分類としては、地すべりの発達過程を考慮した「渡の分類」⁵⁾が代表的であり、解析や対策工の検討にも活用されている。一方で近年には、岐阜県揖斐川町で発生した東横山地すべりや、奈良県大塔村で発生した地すべりに代表される急傾斜の岩盤斜面での地すべり事例など、「渡の分類」では明確に分類できないタイプの事例や、すべり面を推定する指標として一般的に用いられている幅/層厚比において特異値を示す事例も見られる。そこで、すべり面形状の特徴、すべり面の推定しやすさ、地形、地質的な特徴に着目し、これらを併せて考慮した新たなタイプ分類としてa.再滑動型、b.地質構造規制型、c.岩盤クリープ

型、d. 崩壊型、e. 円弧すべり型の5つのタイプに分類した⁶⁾。それぞれの特徴と併せて図-12に示す。

a. 再滑動型

「渡の分類」でいう風化岩地すべりや崩積土地すべりに該当するものであり、地すべり地形を有する斜面において発生する。すべり面頭部には平坦面が形成され、馬蹄形状の滑落崖を有する。また主導域のすべり面は地表面傾斜と概ね一致する。

b. 地質構造規制型

層理が発達した第三紀層の流れ盤斜面で発生し、すべり面は地層の走向傾斜に一致する。また、地すべり頭部のすべり面は高角度で直線的であることが多い。

c. 岩盤クリープ型

地形的には凸型の斜面で河川の攻撃斜面となっている場合、地質的には中生古生層の受盤斜面などゆるみ層が厚い斜面などで発生する。クリープ変形が進行してすべり面を形成することから、すべり面はゆるみ範囲に規制され、また後述する崩壊型も含むことから、すべり面形状の推定は比較的困難であるといえる。

d. 崩壊型

厚い風化層が形成された斜面や崩積土が分布する斜面で発生し、移動土塊は大部分が崩落する崩壊に近い現象を崩壊型とした。

e. 円弧すべり型

段丘崖や盛り土斜面で発生する 경우가多く、未固結の堆積物が移動土塊となる。

各タイプの特徴は以上のとおりであるが、我が国で発生する地すべりは、再滑動型、地質構造規制型、岩盤クリープ型に分類されるものが多く、特に先に記述した東横山地すべりや大塔村の地すべりは、岩盤クリープ型として分類した。

4.3 地すべり現象の局面と対応

地すべりは、滑動が始まると次第に加速し、最終的には崩落に至り、甚大な被害を及ぼす。現象の進展は地すべり性状によって遅速様々であるが、被害の拡大を防止するためには、現象の進展に応じた効果的な対策を行うことが望まれる。地すべり現象の局面を、1) 前兆発見段階、2) 段差拡大段階、3) 末端崩壊段階、4) 崩落段階に区分した。また、3. 2と同じ24事例を基に、それぞれの地すべり現象の局面とすべり面の推定、応急緊急対策工のポイントを整理し、図-13に示す。

前兆発見段階においては、変状が少なくブロック範囲が不明瞭であるが、現地踏査や地形、地質等から範囲や特性を把握し、滑動が活発化する前に頭部排土工や押え盛土工、横ボーリング工の計画と実施が望ましい。段差拡大段階においては、土塊の移動速度に留意しながら押え盛土工や横ボーリング工の計画と実施を行う。末端崩壊段階では、背後の土塊の崩落が懸念されることから、

タイプ名	再滑動型	地質構造規制型	岩盤クリープ型	崩壊型	円弧すべり型
模式図					
典型例	陣ヶ峰地区、米見市平地区、R488号小崎地すべり	氷見市谷屋、安庭、国道202号府沼地区	東横山地すべり、大塔村	鶴岡市国道7号	米沢市綱木地区
すべり面タイプ	船底型から椅子型まで多様。	椅子型が多い。	椅子型が多い	円弧型が多い。	円弧型。
地形的特徴	馬蹄形状の滑落崖を有する。一般的な崩積土すべり、風化岩すべり	地質構造に規制されるため、角形を呈する。	河川の攻撃斜面で凸型斜面など、ゆるみ層が厚い斜面。採石場や、切土法面など。	地形的な特徴に乏しい。凸型斜面、切土法面などでみられる場合がある。	段丘崖や、台地の縁辺で発生しやすい。
地質的特徴	強風化岩、崩積土、過去の地すべり移動土塊。一般的な崩積土すべり、風化岩すべり	層理が発達した第三紀層の流れ盤斜面。	中生古生層の受け盤構造斜面、流れ盤構造斜面など、ゆるみ層が厚く形成されている。	厚い風化層が形成された斜面や、崩積土が分布する斜面。	未固結の堆積物を移動土塊とする。
すべり面の特徴	地表面傾斜とすべり面傾斜は概ね一致。一般的なすべり面形状。地形的な特徴(傾斜など)とすべり面形状が一致することが多い。	流れ盤構造における地層の走向傾斜に一致。地質構造に規制されたすべり面といえる。横断形状も地質構造に規制される。	クリープ変形が進行し、すべり面を形成。すべり面はゆるみ範囲に規制されることが多い。崩壊形地すべりも含まれ、すべり面の推定は比較的困難といえる。	円弧状を呈し、層厚は薄い崩壊に近い形態。移動土塊は大部分崩落することが多い。	円弧。
頭部すべり面の特徴	緩斜面や平坦面が形成されている。頭部すべり面は、滑落崖の傾斜に一致することが多い。	陥没帯が形成されやすい。頭部すべり面は、高角度で直線的であることが多い。	滑落崖の傾斜に一致。頭部すべり面の占める割合が高い。	円弧状。スプーンでえぐり取ったような形状。	円弧。沈下現象がみられることが多い。
主動域すべり面の特徴	地表面傾斜と概ね一致。	地層の走向傾斜に概ね一致。	緩傾斜で直線的なことが多い。	頭部から末端まで一連の円弧状。	頭部から末端まで一連の円弧。
末端部すべり面の特徴	開放型の場合、主動域のすべり面傾斜～水平。閉鎖型の場合、水平～逆傾斜。	開放型の場合、主動域のすべり面傾斜～水平。閉鎖型の場合、水平～逆傾斜。	主動域のすべり面が連続。	頭部から末端まで一連の円弧状。	末端隆起がみられることが多い。
横断形状	対称の場合が多い。	地層の走向傾斜に規制され、非対称な	対称の場合が多い。	円弧状。	円弧状であることが多い。

図-12 地すべりタイプ分類

項目	要素	前兆発見	段差拡大	末端崩壊	主端崩壊 崩落
		現象の局面			
各局面における重要な視点	・範囲 ・すべり面形状 ・移動速度 ・精査方針 ・緊急応急対策工	・範囲 ・大きな移動層厚・すべり面形状 ・移動速度 ・精査方針 ・ブロック上方下方の土地利用状況	・範囲 ・移動速度 ・すべり面深度。特に頭部、末端位置 ・応急対策工(ブロック内・外)。特に押え盛土の適否。	・避難・通行止めのタイミング ・範囲の拡大の有無 ・復旧計画(迂回路確保、河道確保) ・応急対策(ブロック外) ・精査計画	・警戒、避難解除のタイミング ・二次災害の防止 ・範囲の拡大の有無 ・救助、復旧(通行確保、河道確保) ・応急対策(ブロック内・外) ・精査計画
ブロック範囲	変状分布 地表変位計測結果	・変状が少なくブロック範囲が不明瞭な場合、遷急線、遷緩線、沢地形、尾根地形、段差地形等の微地形をもとに、推定する。 ・尾根部まで必ず確認する。	・尾根部まで必ず確認する。	・尾根部まで必ず確認する。	・尾根部まで必ず確認する。 ・崩土が表層を被覆し、末端位置が不明瞭な場合があるので、注意が必要である。
移動土塊タイプ	移動土塊の地質	・地形、露頭の状況で判定する。	・地形、露頭の状況で判定する。	・地形、露頭の状況で判定する。	・地形、露頭の状況で判定する。
移動層厚	ブロック幅との関係(7~10分の1)	・ブロック幅との関係から大きな推定でよい(時間的に精査を実施することが可能)。	・ブロック幅との関係から推定する。	・ブロック幅との関係から推定する。	・ブロック幅との関係から推定する。
すべり面頭部形状	滑落崖の形状・高度 緩斜面の分布等 地層・節理系の走向傾斜	・滑落崖が明瞭でない場合、60~70°で想定する。	・滑落崖の傾斜をもとに推定する。	・滑落崖の傾斜をもとに推定する。	・滑落崖の傾斜をもとに推定する。
すべり面中間部形状	地層・節理系の走向傾斜 移動層厚	・流れ盤構造の場合、地層の走向傾斜から推定。 ・受け盤の場合、斜面傾斜をもとに推定。	・流れ盤構造の場合、地層の走向傾斜から推定。 ・受け盤の場合、斜面傾斜をもとに推定。 ・地表面変位ベクトルをもとに推定。	・流れ盤構造の場合、地層の走向傾斜から推定。 ・受け盤の場合、斜面傾斜をもとに推定。 ・地表面変位ベクトルをもとに推定。	・流れ盤構造の場合、地層の走向傾斜から推定。 ・受け盤の場合、斜面傾斜をもとに推定。 ・崩落前後の地形をもとに推定。
すべり面末端形状	末端崩壊、押し出しの位置	・遷急線や遷緩線等の微地形をもとに推定する。	・遷急線や遷緩線等の微地形をもとに推定する。	・遷急線や遷緩線等の微地形をもとに推定する。 ・末端崩壊等の位置をもとに推定する。	・舌端部の状況をもとに推定する。 ・崩土が表層を被覆し、不明瞭な場合があるので注意が必要である。
すべり面横断形状	亀裂・段差のモード。引張(開口)系 or 圧縮系 断層、破砕帯の有無	・亀裂段差の状況 ・地層、節理系の走向傾斜 ・断層、破砕帯の有無。 ・押え盛土のスペース有り→押え盛土工	・亀裂段差の状況 ・地層、節理系の走向傾斜 ・断層、破砕帯の有無。 ・押え盛土工のスペース有り→押え盛土工	・亀裂段差の状況 ・地層、節理系の走向傾斜 ・断層、破砕帯の有無。 ・横ボーリング工(ブロック外) ・迂回路の検討	・崩落前後の地形状況 ・地層、節理系の走向傾斜 ・断層、破砕帯の有無。 ・移動土塊の除去を検討。 ・横ボーリング工(ブロック外)、迂回路の検討
応急対策工	安全性 迅速性 効果	・横ボーリング工 ・頭部排土工(工事用道路、土砂搬出等の条件による)	・横ボーリング工 ・迂回路の検討	・横ボーリング工(ブロック外) ・迂回路の検討	・横ボーリング工(ブロック外)、迂回路の検討

図-13 地すべりの進展状況別の対応策

考えられる対策工としてはブロック外からの横ボーリング工程度となる。崩落段階では、滑落崖背後の拡大崩壊や地すべり土塊末端部の崩落などによる二次災害の防止に留意しながら、ブロック拡大防止や地外からの横ボーリング工が考えられる。

4.4 応急緊急押え盛土工

地すべり災害発生時に応急緊急対策として押え盛土工を実施した12の事例を対象とし、その規模と形状、施工範囲、施工時期、施工方法、変位速度、変動状況、管理基準値、すべり面形状、地すべりタイプなどを整理・把握するとともに、斜面安定計算により応急緊急対策工と

しての押え盛土の進捗と変位速度、安全率の推移等进行分析し、その適用条件の評価を行った。地すべり移動土塊量と押え盛土量の関係を図-14に示す。12の事例において実施し効果を発揮した押え盛土量は移動土塊量のおよ

表-4 事例評価により得られた主な事項

押え盛土工による安全率の上昇分以上に地すべり滑動が沈静化した事例がある。これは斜面形状が平面的に凸型を示し、側部の滑動力が相対的に小さく、三次元的に見たときに地すべりの規模に比して盛土の効果が大きく寄与したためと考えられる。このような地形を呈する場合には、地すべり形状を主測線だけでなく、地形を評価し、地表面変位計測を行いながら盛土形状の計画修正を行うことが効果的と考えられる。

地すべりの移動速度が大きい場合には、応急押え盛土工施工後の計算上の安全率上昇分に比して、地すべり滑動が低下・停止するまでの間に時間差が生ずる場合があることを考慮する必要がある。

応急緊急的に押え盛土工を実施する必要がある場合に、土留め柵等を暫定的に押え盛土の法留に利用することが有効な場合もある。

盛土施工ヤードの道路が片切盛で施工されている事例において、盛土エリアにかからないように応急盛土が施工されている事例がある。この事例のように道路構造についても十分に考慮の上、応急盛土を計画・施工する必要がある。

切土が地すべりの誘因となった場合には、切土高を考慮して押え盛土高さを計画・施工することが有効であり、この場合には地表面変位計測を行いながら盛土形状の計画修正を行うことが効果的と考えられる。

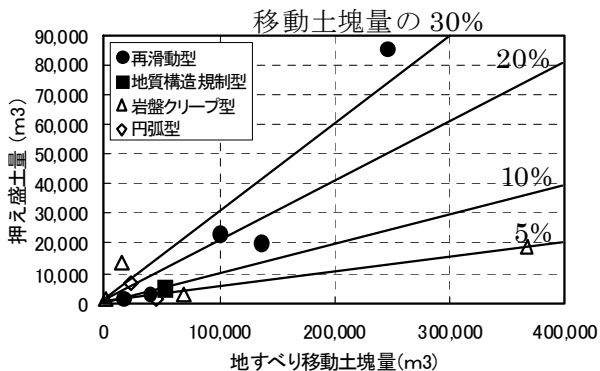


図-14 地すべり移動土塊量と押え盛土量

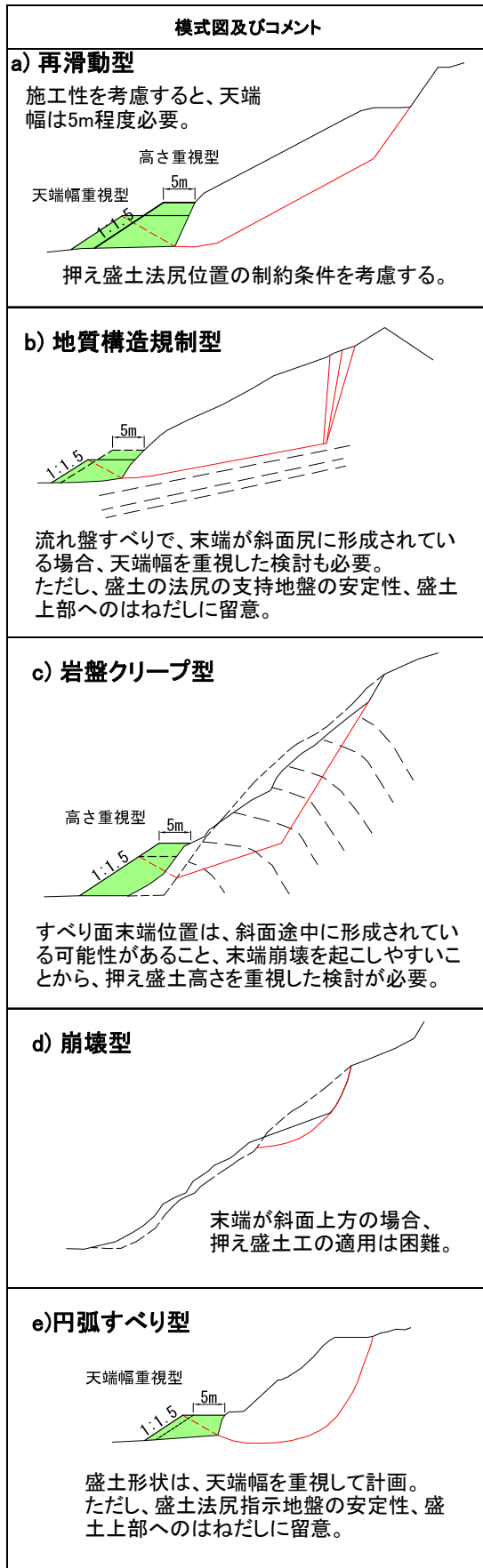


図-15 応急緊急押え盛土工の形状等決定の目安

そ5%以上であり、応急緊急的に運搬する押え盛土材料はまず移動土塊量の5%以上を目安とすることが考えられる⁷⁾。

対象とした個々の事例を分析し、応急緊急押え盛土を実施する場合の主な留意事項を表-4に示す。また、応急緊急押え盛土を計画・実施する際の形状決定の目安と留意事項を地すべりタイプ毎に整理したものを図-15に示す。

4.5 応急緊急横ボーリング工

近年発生した地すべり災害時に応急緊急対策として横ボーリング工を実施した事例または応急緊急対策と同等と扱える事例として20事例を対象とし、施工位置、施工方法等を整理することにより、応急緊急対策としての横ボーリング工の目安を提示することを試みた。

対象とした事例における横ボーリング工の施工位置(孔口位置)を見ると、地すべり地外から実施した事例が9箇所(45%)、地内と地外両方から実施した事例は5箇所(25%)、地内のみが6事例(35%)であった。ひとつの地すべり箇所に複数地点より横ボーリングを施工しているため、これらを全て抽出し、その位置を図-16に示す。なお、同じ孔口位置から角度を変えて複数削孔している場合はこれを1箇所としている。図-16によると、多くは孔口位置を地すべり地外として施工されている。これは、地すべり土塊が不安定な状況下における地すべり地内での作業を避けたことが背景にあるものと考えられる。また、孔口位置は中腹部、次いで末端部の順に多かった。これは資機材の搬入や施工性が関係していると考えられる。

横ボーリング工により排除しようとする地下水の位置をみると、地すべり地内の地下水排除を目的として計画した事例が15箇所(75%)、地すべり地内外の地下水排

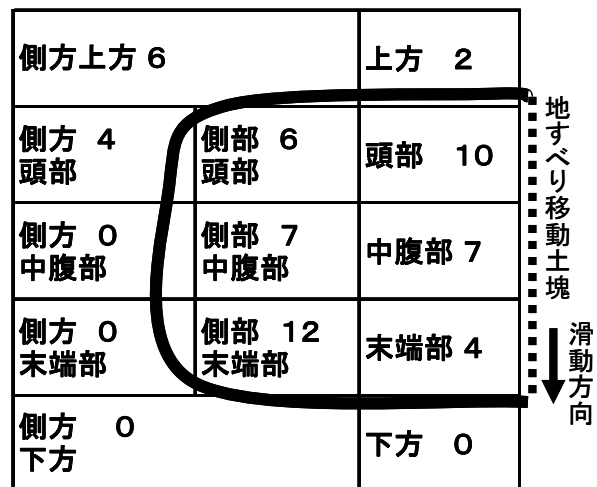


図-16 横ボーリング工の孔口位置

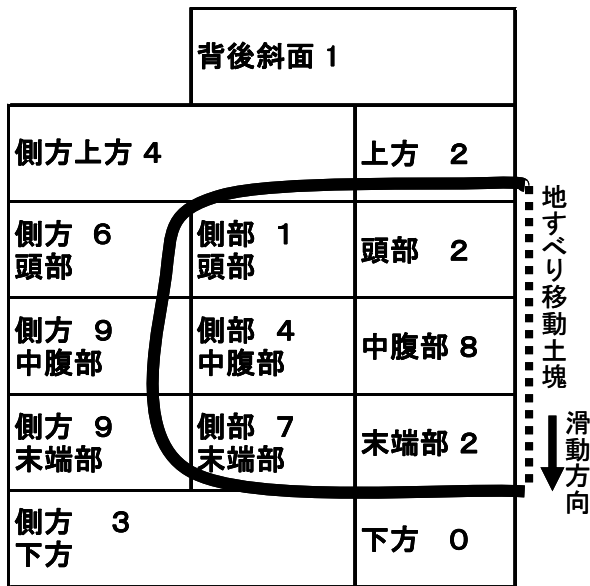


図-17 横ボーリング工で排除しようとした地下水の位置

除を目的とした事例が5箇所(25%)であった。地下水排除の効果を見込んだ位置を図-17に示す。これによると、地すべりブロック内の頭部付近より上方の地下水排除を目的とした事例が約半数を占めている。これは、斜面上方の地下水を谷側(地すべり土塊下方)へ流下させないことを意図していることが考えられる。

地中から地表へ排出された水はT字型管(チーズ管)または導水管により集められ、また横ボーリング工の孔口処理方法は、プレキャストコンクリート、フトン籠、蛇籠による処理が多かった。地中から排水され集められた水の地すべり地外への排水処理は、水路工もしくは導水管が用いられていた。

対象とした20事例、及び応急緊急対策として横ボーリング工を実施しなかったいくつかの事例分析の結果、横ボーリング工を適用しやすい地すべりの種類として以下の傾向を確認できた。

- (1) どの地すべりタイプにも適用されているが、再滑動型が比較的多い。
- (2) 地すべり型分類では風化岩地すべりが多く、次いで崩積土地すべりが多い。岩盤地すべりでの適用事例はなかった。
- (3) 横ボーリング工が適用された事例の多くは、降雨や融雪など水が直接的な誘因となって発生した地すべりであった。
- (4) 押え盛土工との併用で実施される場合が多い。

また、横ボーリング工を採用しなかった理由として以下のことが挙げられる。

- (1) 横ボーリング工を施工できるヤードがない、もしくはボーリングマシンの搬入が困難な地形条件にあった。

(2) 活発な活動を継続していることにより施工ができなかった。

(3) 物理的には施工可能であっても、地権者からの許可が得られなかった。

4.6 応急緊急地表水排除工

地すべりが発生した場合には、初動対応として亀裂部へのブルーシート設置等の地表水の地下浸透防止策が講じられることが多い。しかし応急緊急対応として地表水排除工が実施された場合の計画や施工に関する資料は残されていないことが多い。そこで、応急緊急対応として地表水排除工を実施する場合の留意事項等を、実際に対応にあたった複数の技術者より聞き取り調査を行い、整理した。その結果を表-4に示す。

この結果の中で、重要な事項、経験則的な事項を抜粋して以下に示す。

〔工種について〕

- ① 応急緊急地表水排除工は迅速性と修復の容易性が求められるため、シート張工が主となる。広範囲を対象とする場合はブルーシート、溝状・線状に敷設する場合は農業用ポリエチレンシート(幅1.35~2m)や長尺ブルーシート(幅0.9m or 1.8m)も有効。
- ② 水路工、排水管、暗渠工の場合にも応急緊急対策としては速やかな施工が必要であり、掘削部にブルーシート等を施工し、排水管、サニーホース、有孔管(暗渠の場合)の敷設と砂利・碎石埋め戻しが考えられる。

〔実施タイミングなどについて〕

- ① 現地確認の上、変位置計測による安全管理を行いながら、次の降雨の前までに完成できることが望ましい。(地すべりの規模や活動状況にもよる。)
- ② 沢水が誘因であればサニーホース、ドレン管の敷設による沢水の地すべり地外への排水を行う。降雨水(地表水)が誘因であれば地表水が集中する位置、浸透する位置への排水管・排水路の敷設を行う。現地に合わせた適切な状況判断が重要である。
- ③ 材料をストックしておくことにより迅速な対応が可能となる。

〔施工時の留意事項〕

- ① 切り回した地表水の流末処理に注意が必要。また湧水の処理を確実にを行う必要がある。
- ② 水路途中での滞留水が再浸透の原因となるため、最小限の地山整形を行い、排水勾配をしっかりと確保する必要がある。
- ③ 斜面下部での降雨時の作業、滑落崖背部域、斜面より泥流等が発生する可能性がある場合は極力作業を避ける。

表-4 地表水排除工の計画・実施に関する聞き取り調査結果

応急緊急対策としての地表水排除工の工程	地表水排除工を施工する際の注意すべき事項
<ul style="list-style-type: none"> ブルーシート張工(滑落崖・全面) 簡易水路工(素掘り水路+ビニールシートなど) 土のう積工(滑落崖周囲に配置し、地外からの表流水侵入を防止する) 排水パイプ(地すべり地内の水溜まりの排水など) 簡易暗渠工(排水材を地表浅部に埋設) 迅速性と修復の容易性が求められるため、シート張りが主体となる。 広範囲を対象とするならばブルーシート 溝状・線状に敷設するならば農業用ポリエチレンシート(幅1.35~2m、長さ100m)や長尺ブルーシート(幅0.9m、1.8m、長さ100m)。 ブロック外の水が道路側溝を通り、ブロック内に入流することを防止するための遮水対策(水路工)。 地すべり地内の内水排除のために素堀の水路工又は碎石を入りの暗渠工。 頭部亀裂に雨水などが入らないようにブルーシートで覆うのが一般的。 遮水箇所や域外からの流入がある場合は素堀の水路を掘削して排水することもある。 水路工、配水管、暗渠工⇒応急緊急対策としては、いずれも速やかな施工が必要なため、掘削部にブルーシート、ゴムシート等を施工して、排水管、サニーホース、暗渠の場合は有孔(管)パイプの敷設→砂利、碎石の埋め戻し等の工法が考えられる。 陥没帯での流末処理が不可能な場合はビニールシート+ポンプ排水を考える。 	<ul style="list-style-type: none"> 地すべり変動を地表面計測により監視して作業を実施する。 危険であれば無人化機械により地すべり地内に入り施工する。 地すべりの特性にもよるが、滑動状況をぬき板等で確認し、危険な行為は行わない。 切り回した表流水の流末処理には注意が必要。 ブルーシート張工は、シートの継目で水が漏れないような処理が必要。また、風で飛ばされないように土のうやロープ、杭等で固定する。 排水勾配をちゃんと確保すること(たまに水溜まりができています) 湧水箇所等はしっかりと処理すること。 地すべり引張ゾーンでの施工が主となるため、変形に対する修復が容易となるよう敷設する。例として、シートは小さめのものを用いる。巾は広めに、重ね代は長めに取っておく。 途中での滞留水が再浸透の原因となるので、滞留しないよう、最小限の地山整形を行ったうえでシートを敷設する。 流末は確実に地すべり範囲外に求める。 特に斜面下部での降雨時の作業、背骨域、斜面より泥流等の発生する可能性がある場合は避ける。(これらの判断は専門家にさせる。)実施する場合は監視要員を十分に配備し行う。 定量的に計測できる簡易計測機器(丁張り等)を設置することが必要と考える。 地すべり地内およびその近傍で作業することになるので、逐一地すべりの挙動を把握して安全を確保しておくことが必要。伸縮計がベストだが、監視人を立てておくことでもある程度は対応可能。 地すべり地内での作業では安全帯を使用するという場合もある。その場合ロープ固定点は地すべり地外に設置すること。
地表水排除工を実施するタイミング	地表水排除工を施工する範囲の目安
<ul style="list-style-type: none"> 現地確認をすることが重要である。 上部に亀裂がないか確認し、あれば伸縮計(丁張り)を設置して変動状況を把握して、安全確保をした上で実施する。 亀裂がなくても監視人を配置して工事に着手する。 災害発生直後が望ましいが、地すべりの規模や滑動状況にもよる。 滑動状況が活発な場合、応急対策よりも監視や警戒避難を優先すべきである。 単に、ブルーシートを張っただけでは効果的な対策にならないこともある。 現実的には、専門技術者が現地調査をし、その判断で効果的な応急対策を計画することが望ましい。 素人と専門家の対応範囲を区分することが望ましい。警戒避難などの行政判断は自治体の責任、応急対策立案などの技術判断は専門技術者の責任の範囲とする。 地すべり発見後、次の降雨が予想されるまでの間に完成するよう、地元の工務店などに依頼する。 規模、変動形態、変動状況等により異なる。例えば、沢が原因ならばサニーホース、ドレーン管の敷設による地すべり地外への沢水の排水路の施工。降雨水が原因ならば地表水の集中する箇所、浸透する箇所→排水管、排水路の敷設等の状況判断が必要である。 施工は早いほうが良いが、効率的には降雨時の雨水の流れる状況、浸透状況を見て判断する。 降雨後であるならば、水の流れた跡等から推定する必要がある。 材料をストックしておけば、迅速な対応ができるが、実際は行政担当者が状況確認後、直ちに地元建設会社や工務店に依頼する。 	<ul style="list-style-type: none"> ブロック内の処理水が必ずブロック外へ流れること。 小規模な崩壊の場合は全面被覆する。 規模が大きい地すべりの場合は亀裂への表流水流入防止を目的とする。 地外からの流入が懸念される場合は、比較的広範囲の対策を計画する。 実際には、小規模な崩壊等を除いて、地すべりの特性に応じた判断が必要。 流れ盤の第三紀層地すべりなどは、かなりの後背地から表流水が浸透している場合がある。 頭部の引張り亀裂卓越ゾーンを覆って、地すべり地外まで導くのが基本である。 地すべり地内に顕著な湧水箇所があれば、そこから地すべり地外まで導くこと。 規模・形態・変動状況等の条件により異なるため、範囲等は最小限頭部亀裂の滑落付近、陥没帯があればその付近の流入する可能性の高い箇所に簡易水路等を施工する。 崩壊性の高い地すべり、または崩壊の場合は危険性が高いため頭部域での施工は望ましくない。あくまで地すべり地の場合であること。 目安としては急傾斜となる斜面勾配35度以上の斜面は避けるほうが望ましい。 地表に亀裂が出ていなくても、緩んでいる可能性があり、地表水流入・浸透が懸念される場合は、頭部亀裂の延長部を含む。

作業する場合にも監視体制を充実させる。

〔地表水排除工を施工する範囲の目安〕

- ①崩壊性の地すべり、または崩壊の場合は危険性が高いため頭部域での施工は望ましくない。
- ②流れ盤の第三紀層地すべりなどはかなりの背後地の地表水が浸透し誘因となっている場合がある。
- ③地表に亀裂が出ていなくても緩んでいる可能性があり、地表水流入・浸透が懸念される場合は頭部亀裂の延長部を対応範囲として含めることも必要。

地すべり応急緊急対策として地表水排除工を施工する際にはこれらのことに留意しながら作業を行うことが望まれる。

4. まとめと今後の課題

本研究では、地すべり発生直後より二次災害を防止しつつ、迅速に地すべりの性状を把握した上で効果的な応急緊急対策手法を提示することを目的として進めてきた。本研究の結果は以下のとおりである。

① 地すべり地末端の崩落斜面のような二次災害の危険のある斜面において、そこへ立ち入ることなく安全かつ高精度に遠隔から地盤変位を計測できる手法として、トータルステーションの標的を遠隔から設置する手法を開

発し、計測手法マニュアルとして取りまとめた3)。これにより、ノンプリズム型トータルステーションで変位計測を行う際の視準誤差を低減させることができた。

- ② 地すべり事例やFEM斜面モデルを利用し、過年度に開発した土研式すべり面推定手法の検証を行い、この結果を基にしてすべり面推定プログラムの改良を行った。今後、これら一連の検討結果とすべり面推定プログラムの利用方法を取りまとめた書籍を出版する予定である。
- ③ 過去に発生した地すべり災害を基に、災害対応という観点から新たな地すべりタイプ分類を行い、また地すべりの局面毎に重要な視点や応急緊急対策工を整理した。
- ④ 地すべり応急緊急対応として多く用いられている押え盛土工、横ボーリング工、地表水排除工それぞれについて、施工事例の分析を行い、応急緊急対応として計画・実施する際の目安や留意点を整理した。
- ⑤ ①~④の結果を盛り込み、地すべり応急緊急対応を支援する手引きの素案を作成した。今後は意見照会と必要な見直しを行い、公表する予定である。

今後の課題を以下に記載する。

① RE・MO・TE2は危険な斜面に対して遠隔より計測の標的を設置する技術として確立したが、今後はさらなる普

及を図るとともに、使用した結果を評価していく必要がある。

② 土研式すべり面推定手法について検証と改良を行い、その計算プログラムを完成させた。今後は計算プログラムの普及と活用を促し、計算結果を基に検証を行う必要がある。また、すべり面推定結果を利用して二次元斜面安定計算ができるような拡張的改良ができれば、災害現場においてより使い勝手の良いものとなるため、検討を行う。

③ 地すべり応急緊急対応を支援する手引き(素案)を作成した。しかし対応手法や考慮すべき事項は、個々の地すべりによって異なる性状や現地条件によって異なり、画一的に決定し難い要素を多分に含んでいる。そのため、今後発生する地すべりに対して行った応急緊急対応手法やその考え方、施工後の効果などを継続して収集・分析することにより、手引きの内容をより充実させる必要がある。これについては、事例分析に必要と考えられる最低限の事項として、対応処置と実施日時、土塊変位量、対応処置決定理由を記録できる地すべり災害対応記録様式を作成した。今後、手引きと併せて意見照会と必要な見直しを踏まえ、全国の地すべり所管部署へ配布・回収することにより、応急緊急対策の手引きの改訂に資するよう努めていく。

参考文献

- 1) 浅野広樹、石井靖雄、綱木亮介：「3D レーザースキャナによる地すべり移動量の検討」、第40回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp279-281、2001年8月
- 2) 樋口佳意、藤澤和範、藤平大、大川滋、下村博之、坂田岳生：「地すべり地末端の崩壊斜面における地盤変位の計測手法の開発」、地すべり学会誌、Vol.44, No.6, pp47-54、2009年3月
- 3) 藤澤和範、石田孝司、樋口佳意、池田学：「地すべり地末端の崩壊斜面における地盤変位の計測手法マニュアル」、土木研究所資料第4072号、p59、2007年7月
- 4) 藤澤和範、小嶋伸一：「高精度地表面変位計測による迅速な切土すべりの規模推定手法に関する調査(平成15年度～18年度)」、土木研究所成果報告書、2007年4月
- 5) 渡正亮、小橋澄治：「地すべり・斜面崩壊の予知と対策」、山海堂、1987年
- 6) 藤澤和範、藤平大、石田孝司、徳永博：地すべり応急緊急対策事例の分析、第46回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp31-34、2007年8月
- 7) 石田孝司、藤沢和範、徳永博、山田知寛：応急緊急対策としての押え盛土工の形状決定に関する事例分析、第47回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp45-48、2008年8月

DEVELOPMENT OF TECHNIQUES FOR EMERGENCY MEASURES OF CURRENTLY ACTIVATED LANDSLIDES

Abstract : Taking measures immediately is necessary to prevent expansion of disaster level after landslide occur. Therefore it is important to grasp characteristics and movement of landslide, and carry out the effective emergency countermeasures as soon as possible. This study aims to develop the remote monitoring system for dangerous slope, estimation method of slip surface shape using several ground surface displacement vectors, and the technique of emergency measures of landslides. In this study, we improved the remote monitoring system. And we inspected the estimation method of slip surface shape. Moreover, we made the draft manual for emergency measures which involved the results of case study of emergency countermeasures.

Keywords : landslides, emergency measures, remote monitoring system, estimation method of slip surface shape