

4.6 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（治水勘定）

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、そのためには地すべりの滑動状況を速やかに把握し、これを踏まえた効果的な応急対策工の計画立案と実施が必要である。従前は調査ボーリングなど詳細な調査を実施した上で応急対策工を計画する場合が多く、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、本研究では地すべり災害発生後の効果的な応急緊急対策計画の立案手法の検討、ならびに危険斜面の遠隔監視システムの開発を行い、地表面変位ベクトルによるすべり面推定手法の活用と併せて応急緊急対策支援技術の開発を行っている。

平成 19 年度は、押え盛土工の施工事例を基にその段階施工と斜面安全率の関係等について分析を行い、計画立案時の判断材料を検討すると共に、地すべりタイプ毎に押え盛土形状の目安を示した。また、すべり面推定手法のプログラム改良に向けた検証を行った他、危険斜面遠隔監視システムの適応性の検証を行った。

キーワード：地すべり、押え盛土工、斜面安全率、斜面遠隔監視システム、すべり面推定手法

1. はじめに

地すべり発生時の応急緊急対策手法として押え盛土工が用いられる場合が多くある。その理由としては、材料を速やかに調達できること、地すべりの滑動状況に応じて速やかにすべりに対する抵抗力を付加でき、直接的に効果を発現できることなどが挙げられる。一方で、どの程度の盛土をどのような形状で施工すれば良いかという判断を行う場合に明確な基準はなく、場合によっては過大な盛土となることもあり、地すべりの規模が大きいほど過大な盛土が多くなる。

そこで本研究では、近年発生した地すべりのうち応急緊急対策工として押え盛土工を実施した事例を対象とし、それぞれの地すべり特性を把握した上で斜面安定解析を実施し、移動速度との関係等からその効果を総合的に検証した。

また、応急緊急対策を効果的に実施するためには、段階施工中の斜面変位モニタリングを実施しながらすべり面を精度良く推定し、計画の修正を加えながら実施することが必要と考えている。そのため、過年度に作成したすべり面推定プログラムの検証とプログラム改良に向けた検討を実施した。さらには、昨年度にマニュアルを発行した危険斜面遠隔監視手法の適応性評価を目的とした現場での試験運用を実施した。

2. 押え盛土工の効果

2. 1 研究方法

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施工した 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、地下水位、斜面安定計算手法、安定計算条件、すべり面強度等を整理・把握するとともに、斜面安定計算を実施し、応急対策工の進捗と変位速度、安全率の推移等を分析し、押え盛土工の適用条件の評価を行った。なお、安定計算は二次元断面で行うこととし、五大開発(株)社製の斜面安定計算システム（Power SSA PRO Version 2.01）を用い、安全率の推移（増減率）に着目して評価を行った。

2. 2 押え盛土工の効果評価結果

2.2.1 対象とした地すべりの特徴

研究の対象とした 12 の地すべりの概要を表-1 に示す。これらは、最近約 5 年間に現地指導を実施した約 220 の地すべりのうち災害に関する 35 事例から、応急緊急対策工として押え盛土工を実施した事例を抽出したものである。

対象事例の多くは風化岩地すべりであり、岩盤地すべり、崩積土地すべりがそれぞれ 1 事例である。断面

表-1 対象とした地すべりの概要

No.	型分類	断面形状	タイプ	対応時の局面	末端切土の有無	地すべり規模	盛土規模 (m ³)	盛土量/盛土幅
1	風化岩	椅子型	再滑動型	末端崩落	自然斜面	L:100m, W:100m, D:20m, V:100,000m ³	23,100	231
2	風化岩	船底型	再滑動型	段差拡大	切土	L:80m, W:50m, D:9m, V:18,000m ³	1,800	36
3	風化岩	椅子型	地質構造規制型	段差拡大	切土	L:60m, W:97m, D:18m, V:52,380m ³	5,100	53
4	風化岩	船底型	岩盤クリーブ型	末端崩落	自然斜面	L:75m, W:75m, D:25m, V:70,313m ³	2,830	38
5	風化岩	椅子型	再滑動型	末端崩落	切土	L:100m, W:110m, D:25m, V:137,500m ³	20,066	182
6	風化岩	椅子型	岩盤クリーブ型	末端崩落	切土	L:50m, W:60m, D:11m, V:16,500m ³	13,700	228
7	風化岩	椅子型	岩盤クリーブ型	段差拡大	切土	L:210m, W:100m, D:35m, V:367,500m ³	19,000	190
8	風化岩	船底型	岩盤クリーブ型	不明	自然斜面	L:30m, W:30m, D:6m, V:2,700m ³	1,200	40
9	崩積土	円弧型	円弧型	段差拡大	自然斜面	L:110m, W:140m, D:8m, V:46,200m ³	1,360	10
10	岩盤	船底型	再滑動型	末端崩落	自然斜面	L:130m, W:95m, D:40m, V:247,000m ³	85,700	902
11	風化岩	円弧型	円弧型	亀裂拡大	切土	L:40m, W:120m, D:10m, V:24,000m ³	6,900	58
12	風化岩	船底型	再滑動型	末端押出	自然斜面	L:100m, W:90m, D:9m, V:40,500m ³	3,000	33

形状は椅子型、船底型がそれぞれ5事例あり、円弧型が2事例である。

地すべりの規模を見ると、長さは30mから210mまであり、50m～100mの規模の事例が多い。幅は30mから140mまであり、50m～100m規模の事例が多い。最大層厚は6m～20mが半数以上を占め、最も大きな事例は40mである。また、地すべり移動土塊量は2,700m³から367,500m³まで様々である。なお、幅/層厚比は2.4～23と様々であるが、2.4から10までの事例が9割を占める。

2.2.2 地すべり形状と押え盛土

対象とした地すべりと施工された押え盛土の関係を整理・分析した。なお、対象とした事例は全て押え盛土が効果を発揮しており、また押え盛土工は安全率向上に直結することから、地すべりの形状や規模と押え盛土諸元の関係を分析することにより、押え盛土を計画する際の判断材料になるものと考えた。本報告における押え盛土の盛土幅、盛土天端幅、盛土高さは図-1

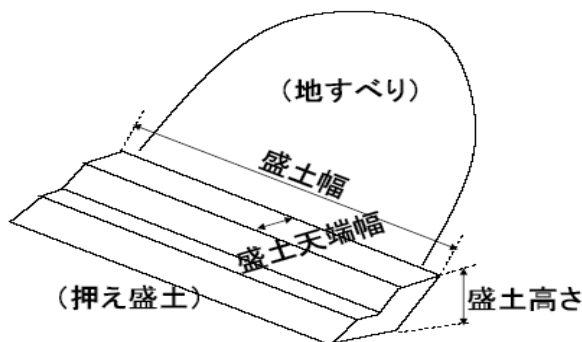


図-1 押え盛土に関する用語の定義

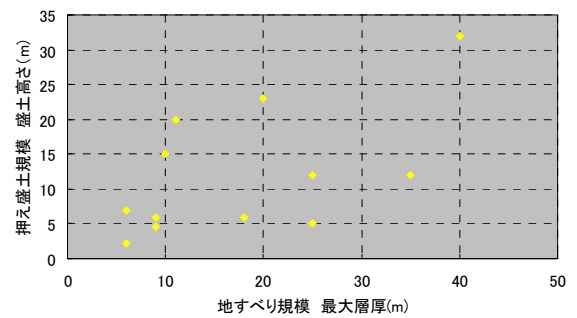


図-2 地すべりの最大層厚と盛土高さの関係

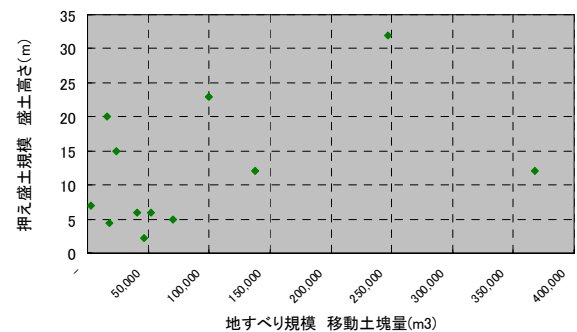


図-3 移動土塊量と盛土高さの関係

のとおり定義した。

押え盛土の高さと地すべり規模諸元（地すべり長さ、地すべり幅、最大層厚、移動土塊量、幅/層厚比）の関係を見たとき、地すべり長さ、及び地すべり幅との間に関係は見られなかった。しかし、地すべりの最大層厚、及び地すべり移動土塊量との間には、それぞれ図-2、図-3に示すようにある程度の相関が見られた。このことは、地すべりの最大層厚または移動土塊量に応じて応急押え盛土の高さを設定する必要があることを示している。

盛土天端幅と地すべり諸元との間には特筆すべき相関はないが、今回分析対象とした規模程度の地すべりであれば施工性を考慮した天端幅として施工実績の最低値である約5mを確保すれば良いと考えられる。

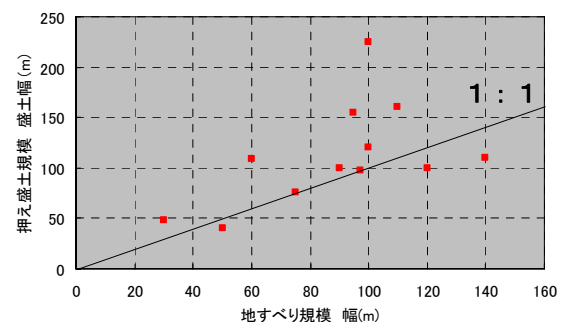


図-4 地すべりの幅と盛土幅の関係

盛土幅と地すべり諸元の間を整理すると、地すべり長さ、地すべり幅、地すべり最大層厚、移動土塊量との間にはそれぞれある程度の相関が見られ、特に地すべり幅との関係が強いことが分かった。図-4は盛土幅と地すべり幅の関係を示したものであるが、盛土幅は地すべりの幅と同等もしくはそれ以上であることから、地すべりの幅をカバーするように押え盛土を施工していることがわかる。

押え盛土量と地すべり規模諸元の間を整理すると、地すべり長さ、地すべり幅、地すべり最大層厚、移動土塊量との関係をそれぞれ図-5、図-6、図-7、図-8に示す。なお、図において他の地すべりよりも押え盛土量が突出している押え盛土量85,700m³の地すべりは表-1のNo. 10であり、地すべり幅95mに対して最大層厚40mと、幅/層厚比の値が極めて小さな値(2.4)を示す事例である。この地すべりは岩盤(～風化岩)地すべりに分類され、中新世の安山岩を主体とする地質を呈し、ダム貯水池周辺の両脇の谷に挟まれた尾根状地形において、岩盤の緩みに起因して試験湛水期間中に滑動したものであることを付言しておく。

これらの図より、押え盛土量と地すべり規模諸元の間にはそれぞれある程度の相関が認められるが、図-8より、地すべり土塊量のおよそ5%以上の盛土が実施さ

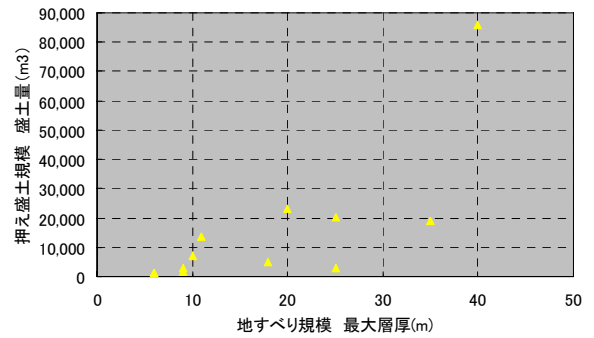


図-7 地すべり最大層厚と盛土量の関係

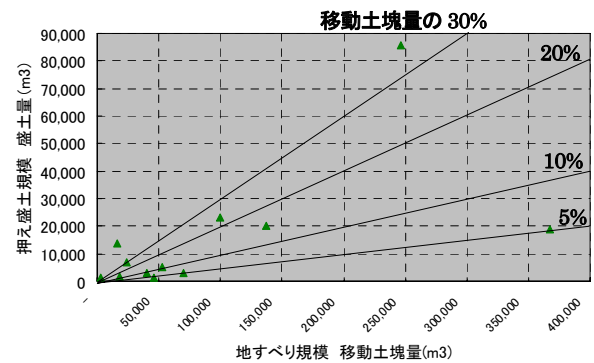


図-8 地すべり移動土塊量と盛土量の関係

れており、押え盛土量の目安とすることが考えられる。

ここで、押え盛土量と単位幅(1m)あたりの押え盛土量を比較し図-9に示す。この図より両者は線形的な相関が認められることから、単位幅あたりの盛土量を決定することにより全体の押え盛土量算出の目安とすることができると言える。そこで、地すべり移動土塊量と単位幅あたりの盛土量の間を整理し図-10に示す。押え盛土量の決定目安として、図-10より地すべり移動土塊量に応じた単位幅あたり盛土量を決定し、さらに図-9より押え盛土量を決定することが考えられる。

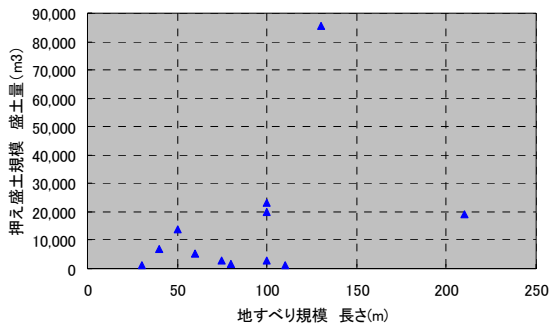


図-5 地すべり長さとの盛土量との関係

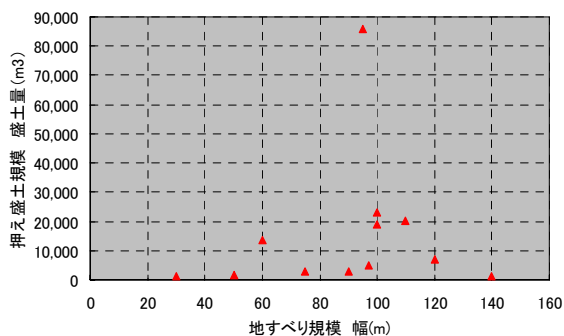


図-6 地すべり幅との盛土量との関係

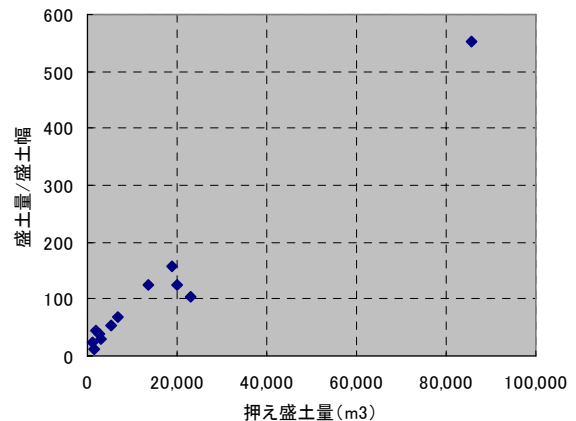


図-9 押え盛土量と盛土量(盛土幅1mあたり)の関係

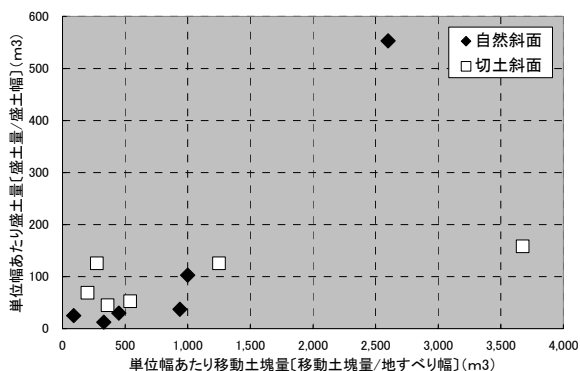


図-10 移動土塊量と単位幅あたり盛土量の関係

なお、単位幅あたり盛土量とすべり面勾配との間には明瞭な関係は認められなかった。

地すべりの規模と押え盛土形状の関係について施工事例を基に整理した結果を以下に記す。

- 1) 地すべりの最大層厚、もしくは移動土塊量に応じて、応急押え盛土の高さを設定する必要がある。
- 2) 押え盛土天端幅は施工性を考慮し、今回分析対象とした規模程度の地すべりであれば施工実績における最低値である約 5m 以上を確保すれば良いと考えられる。
- 3) 押え盛土幅は地すべり幅全体に対して施工されている。
- 4) 押え盛土量と単位幅あたりの盛土量は線形的であることから、単位幅あたりの盛土量を決定できれば盛

土総量の目安を出すことができる。また単位幅あたりの盛土量は移動土塊量から算出することが考えられる。

2.2.3 応急押え盛土工の効果

前節では、地すべりの規模と押え盛土の実態を見ることにより、現場における押え盛土量の判断時の目安とすることを検討した。本節では、前節で整理した各対象事例について、地すべり移動速度と押え盛土工、斜面安全率、地下水位等の推移状況を整理し、地すべり現象に対して実施した対策工の効果安全率の面から評価を行った。例として No. 8 地すべりの整理結果を図-11 に示す。また No. 8 地すべりの押え盛土工施工図(縦断)を図-12 に示す。

No. 8 地すべりは、道路に面した斜面に発生した小規模(幅約 5m、高さ約 5m)な崩落が発生し、その後の調査の結果、斜面上部に馬蹄形の滑落崖が認められ、幅約 35m、高さ約 25m の規模の地すべりが確認されたものである。この斜面は尾根状地形部(凸部)で傾斜約 40 度を呈しており、末端部は法高約 7m で切土され、新第三紀の火山礫凝灰岩が露出していた。

ここでは応急対策として押え盛土工が計画され、計算上、第①段階で安全率 2% 上昇、第②段階で安全率 9% 上昇により $F_s=0.98$ となり、この段階で地盤伸縮計の変動はほぼ沈静化した。しかしその後の横ボーリング

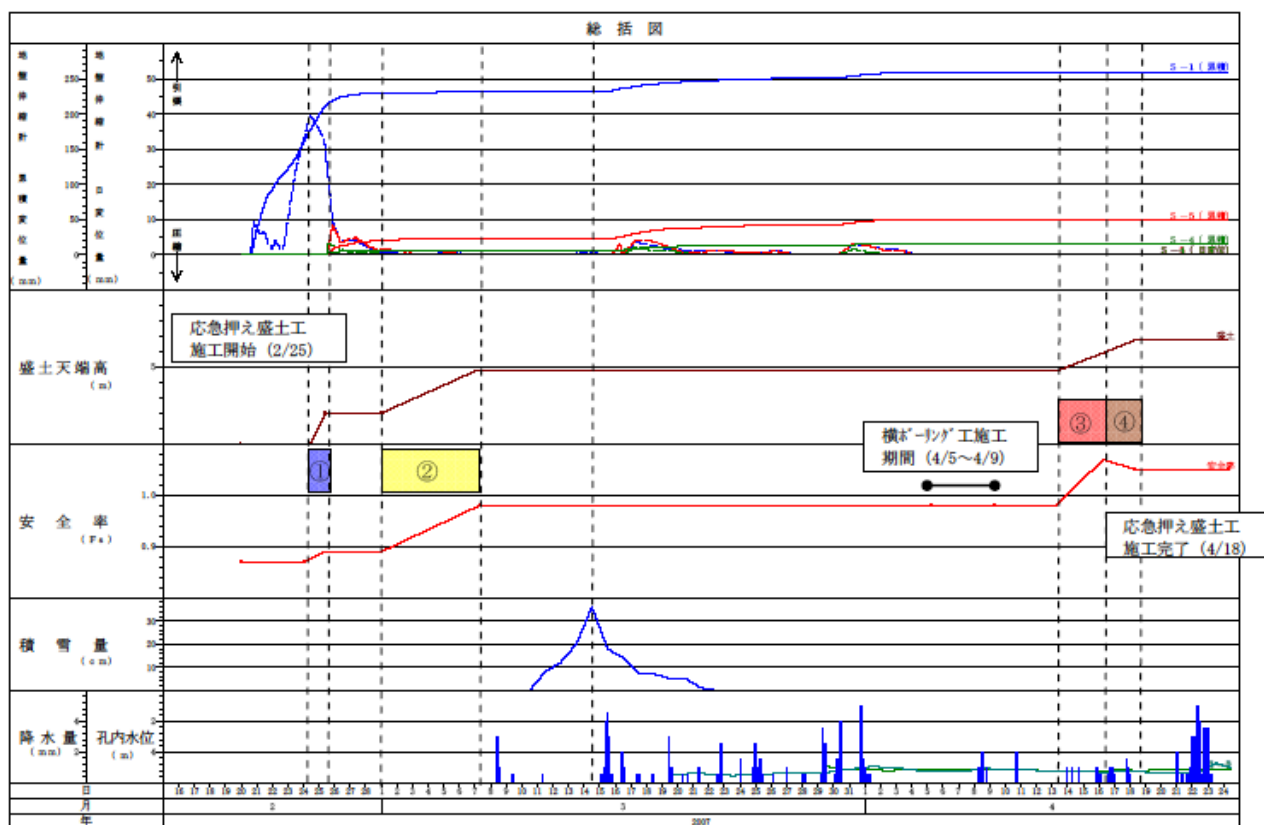


図-11 応急対策工と地すべり変位状況の関係整理例 (No.8 地すべり)

4.6 地すべり災害箇所の応急緊急対策支援技術の開発

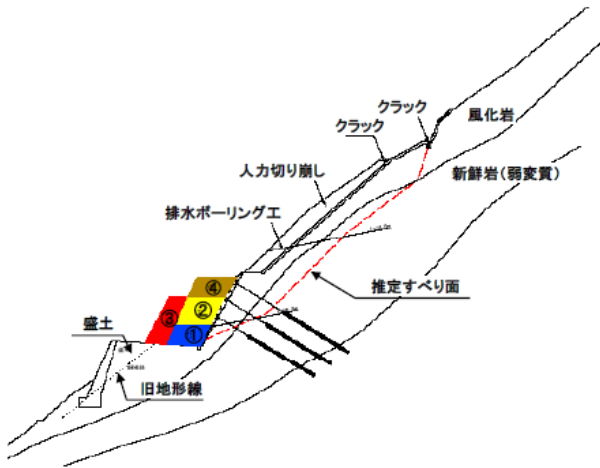


図-12 No.8 地すべりの押え盛土施工図（縦断面図）

工による地下水位低下が明瞭ではなく、降雨により軽微な変動が認められたことから、第③段階、および第④段階の盛土を実施した。第④段階の盛土は地表面形状の遷急線付近の高さまで施工されており、遷急線付近の末端崩落を抑制する効果が期待された。また、盛土施工ヤードの国道は片切片盛で施工されており、道路の盛土及び土留め擁壁に押え盛土がかからないような配慮がなされた。なお、この事例のように盛土工が施工される道路構造についても十分に配慮した上で応急盛土を計画し施工することが重要である。

前記したような形で、今回検討対象とした12事例全てについて評価を行った。その結果のうち主要な事項を抜粋し、表-2に示す。

次に、押え盛土の効果を定量的に把握することを目的として、押え盛土により上昇した安全率と、押え盛土量/移動土塊量との関係を整理し図-13に示す。この結果、一部の切土斜面を除き、切土斜面で発生した地すべりは自然斜面で発生した地すべりと比べて、移動

表-2 事例評価により得られた事項

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呈し、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た。このようなケースの場合には、地すべり形状を主測線だけでなくその形状を評価し、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。

地すべり速度が大きい場合には、計算上の安全率に対して、応急押え盛土施工後に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ことも考慮する必要がある。

応急的に押え盛土工を実施する場合、土留め柵等を暫定的に利用することが有効な場合もある。

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を計画・施工することが有効であり、このような場合には地表面変位計測を行いながら計画修正を行うことで効率的な押え盛土を行うことが可能と考えられる。

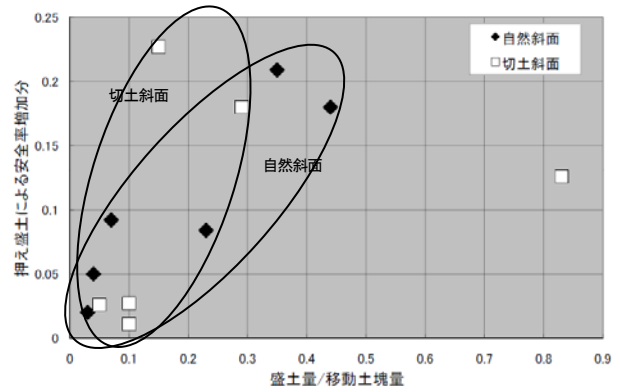


図-13 盛土量/移動土塊量比と安全率増加分の関係

土塊量比にして押え盛土量が相対的に少なくても安全率を向上させる要素があることを示唆している。なお、図-13において右側に突出してプロットされている切土斜面は、盛土施工位置の地盤高より約7m高いところにすべり面末端があったことから、移動土塊量に対して盛土量が多くなっている。

2.2.4 地すべりタイプと押え盛土形状の適用性

押え盛土形状比（天端幅/盛土高さ）のヒストグラムを図-14に示す。昨年度には近年発生した地すべり災害を基に地すべりを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つに分類したところであり、これらの地すべりタイプと押え盛土形状決定時の目安を図-15に示す。

地すべり土塊の末端が河川や道路の場合、押え盛土法尻にはそれぞれ制約があることから一概には言えないものの、相対的に押え盛土形状比が小さい盛土は高さを重視した盛土、また押え盛土形状比が大きい盛土は盛土厚み（天端幅）を重視した盛土と言える。

押え盛土工の設計に際して時間的余裕がある場合には様々な押え盛土形状を想定し、安定計算を繰り返し実施することにより最適な押え盛土形状を決定できる。

しかし応急緊急対策として押え盛土工を実施する場合には十分な時間を取ることはできない。そこで、応急緊急的に押え盛土工を実施する場合には図-11や、前

データ区間	頻度	累積%
0	0	0.00%
0.1~0.5	5	41.67%
0.6~1.0	3	66.67%
1.1~1.5	0	66.67%
1.6~2.0	1	75.00%
2.1~2.5	1	83.33%
2.6~3.0	0	83.33%
3.1~3.5	1	91.67%
3.6~4.0	1	100.00%
4.5~	0	100.00%

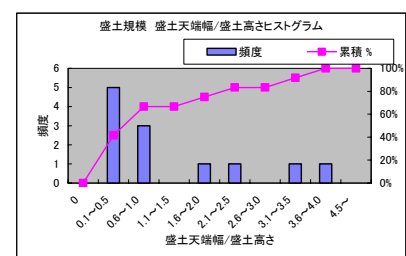


図-14 押え盛土形状比に関するヒストグラム

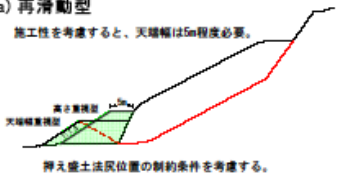
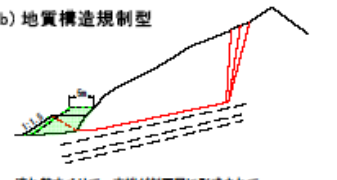
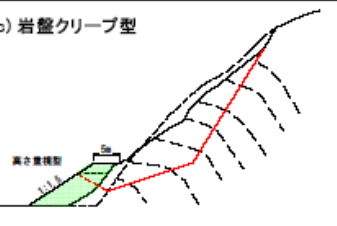
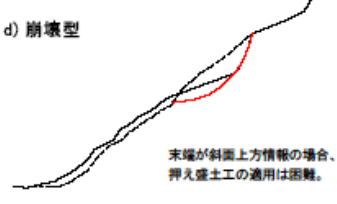
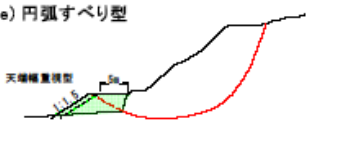
模式図	コメント
a) 再滑動型  施工性を考慮すると、天端幅は5m程度必要。 天端幅重視型 押え盛土法尻位置の制約条件を考慮する。	天端幅は施工性を考慮して計画する(5m程度は必要)。 押え盛土法尻位置の制約条件を考慮する。
b) 地質構造規制型  流れ盤すべりで、末端が斜面尻に形成されている場合、天端幅を重視した検討も必要。 ただし、盛土のりじりの支持地盤の安定性、盛土上部へのはねだしに留意。	流れ盤すべりで、末端が斜面尻に形成されている場合、天端幅を重視した検討も必要。 ただし、盛土法尻の支持地盤の安定性、盛土上部のはねだしに留意が必要。
c) 岩盤クリープ型  高さ重視型 すべり面末端位置は、斜面途中に形成されている可能性があること、末端崩壊等が発生しやすいことから、押え盛土高さを重視した検討が必要。	すべり面末端位置は、斜面途中に形成されている可能性があること、末端崩壊等が発生しやすいことから、押え盛土高さを重視した検討が必要。
d) 崩壊型  末端が斜面上方情報の場合、押え盛土工の適用は困難。	末端が斜面上方の場合、押え盛土工の適用は困難。
e) 円弧すべり型  天端幅重視型 盛土形状は、天端幅を重視して計画。ただし、盛土法尻支持地盤の安定性、盛土上部へのはねだしに留意。	盛土形状は、天端幅を重視して計画する必要がある。 ただし、盛土法尻支持地盤の安定性、盛土上部へのはねだしに留意が必要。

図-15 地すべりタイプと押え盛土形状決定時の目安

掲の地すべりの規模と押え盛土形状の整理結果を判断材料とすることが考えられる。

3. 地表面変位ベクトルによるすべり面推定手法の検証

3.1 研究方法

3.1.1 概要

本研究課題の目標として、すべり面形状の速やかな推定、応急緊急対策工の計画、段階施工、地表面変位計測、すべり面形状の修正、対策計画の修正のサイクルにより効果的・効率的な地すべり応急緊急対策立案手法の提示を掲げている。そのひとつのツールとして、

地表面変位ベクトルから幾何学的手法を用いたすべり面形状の推定技術の開発を行っている。昨年度までに、すべり面を推定するプログラムを開発した他、航空写真を用いた本プログラムの適応性の検討を実施したところである。本年度は、このすべり面推定プログラムの改良に繋げるため、10の地すべり事例、並びに単純斜面の円弧型すべり及び実際の地すべり地をモデル化した椅子型すべりそれぞれのFEM解析モデルを基に、すべり面推定プログラムの特性把握、及び精度良くすべり面を推定するためのポイント抽出を行った。

3.1.2 手法

地表面変位計測結果が3次元で行われており、すべり面形状が明らかとなっている対象10事例について、斜面の分類、すべり面形状、計測点の位置と点数、地すべり規模、地すべり形態、計測手法、調査によるすべり面形状と計算結果との相関、計測日数と時期、計測回数、ブロック区分数等を整理した上で、計測時期、計測点配置、計測点数、解析に必要なベクトル量等に関して分析を行った。

また、すべり面推定プログラムの高度化及び適用性拡大を図るためには、プログラムの特徴を把握し、プログラムが解決すべき課題を抽出・改良する必要がある。そのためには、理想的な地表面変位ベクトルが得られ、またすべり面形状が既知である事象を使った検証が有意であると考え、数値解析(FEM解析)の結果を用い、パラメトリック解析を行った。

3.2 すべり面推定手法の精度検証結果

3.2.1 事例を基にした検証結果

10の地すべり事例を基にしてすべり面推定精度を検討した結果は以下のとおりである。

- 1) すべり面形状から見ると、円弧型>椅子型>船底型の順に精度良くすべり面形状を推定できることがわかった。
- 2) 地表面変位計測点の配置については、頭部・中央・末端>頭部・末端>頭部・中央>中央・末端>中央のみの順であった。
- 3) 地表面変位計測点数については、3点以上の計測点数がある場合に良好な結果となることがわかった。
- 4) 計算に使用する地表面変位ベクトルとして、地すべりの初期、後期、長期間それぞれの計測結果を使用し比較した結果、地すべり初期の計測結果を用いることにより実際のすべり面形状に近い形を表すことが分かった。
- 5) すべり面推定プログラムを用いてすべり面を推定する際には土塊を複数のブロックに分割し、ブロック

毎にすべり面形状を描画させる。ここで、土塊を複数のブロックに分割するブロック区分線の設定位置によって推定すべり面形状が異なるが、椅子型すべりの場合にはすべり面の変曲点付近に1本のブロック区分線を設定することにより精度良くすべり面を推定できることが分かった。また、地すべりタイプごとに適切なブロック区分線の設定位置が存在する可能性があることが示唆された。

次に、FEM 解析モデルデータを使用した検討結果は以下のとおりである。

- 1) 地表面変位ベクトルを17（最大値）使用した場合にはすべり面にうねりが見られるが、大局的なすべり面形状は解析すべり面に近い形状となった。使用ベクトル数を9とするとすべり面のうねりが大きく現れ、解析すべり面と大きく異なる形状となった。しかし、使用ベクトル数を6とした場合には精度良くすべり面形状を推定できた。これらの結果を鑑みると、推定に使用するベクトル数と計算の結果得られるすべり面形状の精度との関係は少ないと考えることもできる。従って、地表面変位計測点数が多いほど精度よくすべり面形状を推定できると一概に言うことはできない。そのため、プログラムの特性に鑑み、変位計測点の設置位置と数に関する検討が引き続き必要である。
- 2) すべり面推定プログラムにより計算されるすべり面形状の精度を見るために、推定すべり面とFEM 解析すべり面とを相関指数を用いて比較した。その結果を図-16に示す。この図を見ると、使用ベクトル数

が多いほど推定精度が悪いケースが出現しなくなる傾向がある。しかしそれ以上に特徴的なのは、円弧型すべりにおいて、推定に使用するベクトル数が少ないにも関わらず相関指数が小さく推定精度が良いケースが見られることである。

これは、円弧型すべりのすべり面形状は単純であり、結果的にプログラム上で精度良く推定できる位置の地表面変位ベクトルを与えることができたためと考えられ、このことは、適切な位置に地表面変位ベクトルを与えることにより精度良くすべり面形状を推定できることを示していると考えられる。

4. 危険斜面遠隔監視手法の適応性検証

昨年度までに開発した危険斜面の遠隔監視手法（以下、RE・MO・TE2という。）の適応性検証を目的として、能登半島地震により不安定岩盤が生じた輪島市町野町曾々木地先において標的の設置と計測を行った。

9月4日に標的を計11ポイントに設置し、翌5日に初期値を確定させるための計測を実施した。その後10月11日（2回目計測）、及び11月13日（3回目計測）に計測を行い、それぞれ初期値との差分により変位量を算出した。

その結果、設置当初から誤差が大きくなると想定していた①防護ネットの背面に設置した標的、②機械点との交角が大きい点すなわち機械点の方向を向いていない面に設置された標的の2測点を除き、不安定岩盤はほとんど変位していないと判断できる観測結果を得た。

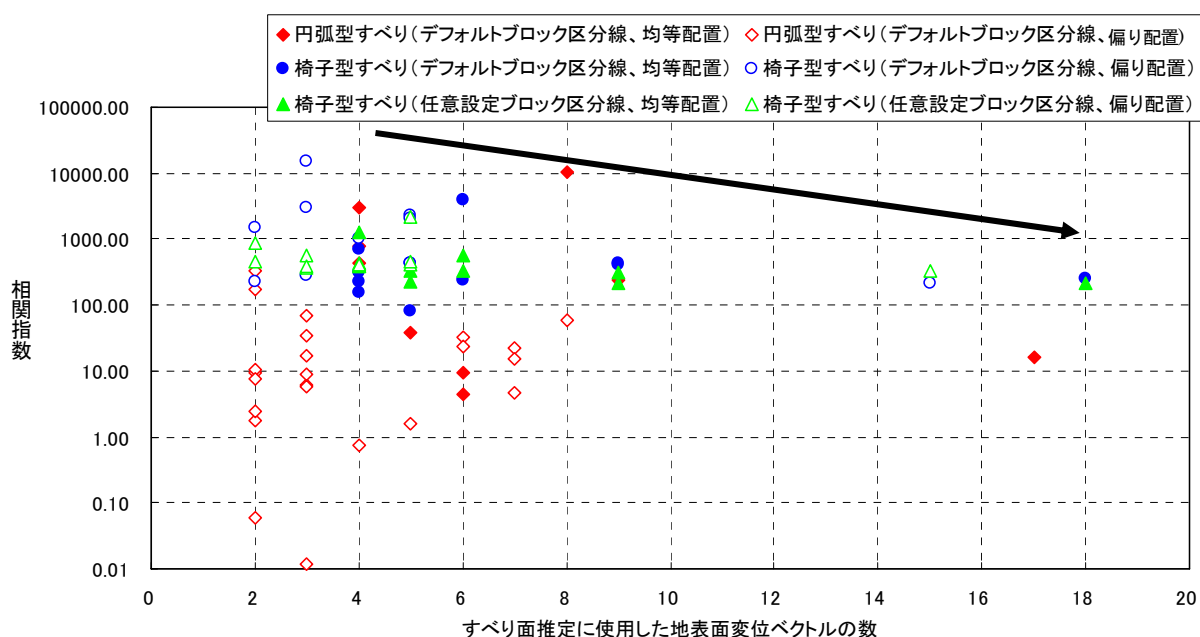


図-16 計算による推定すべり面とFEMモデルすべり面の比較による精度検証結果

注) 相関指数は、ゼロに近いほど精度が高いことを示す数値である。

表-3 斜面の形状と計測精度の関係（斜距離 110～140m の場合）

評価	期待される計測精度 (mm)	斜面の形状	実用の可否
A	±3mm	平滑な面 もしくは浅い亀裂はあるが平滑な面	可
B	±3mm	概ね平滑な面	可
C	±5mm	概ね平滑であるが、曲面となっていたり、付近に深い亀裂や凹凸のある面。	可（参考値）
D	±5mm以上	ロックネットに覆われた面 あるいは観測点に対して斜めの面	不可

前記の計測を通して、以下のことが明らかとなった。

- 1) 人手による反射シートの設置は危険かつ困難な斜面であっても RE・MO・TE2 により確実かつ安全に標的を設置でき、また従来のノンプリズムトータルステーションを用いた観測に比べて視準点をピンポイントで確認可能となるなど、精度の高い観測が実施可能であることを明らかにした。
- 2) 着弾点の斜面形状、向き、亀裂の有無などにより計測精度に違いが生ずることが明らかとなった（表-3 参照）。そのため、標的の設置に際しては、可能な限り平滑で、かつ観測点と相対する向きの斜面を狙うことが重要であることがわかった。

5. まとめ

5. 1 応急緊急対策手法

本年度は地すべり災害時の応急緊急対策手法として多く用いられ、またその効果が確実に発揮される押え盛土工に焦点を絞り、地すべりの規模と押え盛土形状の関係把握、押え盛土工の規模と安全率の関係分析等により、地すべりの規模が応急対策としての押え盛土工の形状決定のための目安となり得ることが示され、また地すべりタイプ毎に押え盛土形状決定に際しての目安を示した。

今後さらに分析を進め、現場において速やかに押え盛土規模と形状を判断できるマニュアルを作成する。また、押え盛土以外に応急緊急対策手法として多用されている横ボーリング工などの工種についても検討を加える必要がある。

5. 2 すべり面推定手法

現在のすべり面推定プログラムにより計算されるすべり面形状の精度検証を行った。その結果、精度良くすべり面形状を推定するためのポイントがいくつか明らかとなった他、プログラム上で改良できるポイントも明らかとなった。

今後はこれらの改良ポイントを押さえてプログラムの改良を行うと共に、プログラム上で改良ができない事項については、実際に現場で本プログラムを使用す

る際の留意点として、また技術者判断が必要な事項としてマニュアルにとりまとめる必要がある。

5. 3 斜面遠隔監視手法

これまでの研究と実証試験により、RE・MO・TE2 の有効性・実用性と留意事項はほぼ確認された。本手法は安全な地点から危険な斜面に立ち入ることなく確実に標的を設置可能であり、災害現場におけるリスク回避の面からも広く活用されることが望ましい。従って、本手法を斜面観測手法のひとつとして広く定着させる努力が必要である。

5. 4 総括

本研究課題では、危険斜面の遠隔監視手法、並びに地表面変位ベクトルからすべり面形状を推定する手法を有効に活用しながら、計測・すべり面推定と応急緊急対策工の段階施工時のフィードバックにより迅速かつ効率的・効果的に応急緊急対策を実施可能とすることを最終的な目標としている。そのため、今後は横ボーリング工など押え盛土工以外の工種にも焦点を当て、その効果を評価しながら応急緊急対策としての有効な計画立案・施工手法を提示し、地すべり災害時の応急緊急対策支援マニュアルとしてとりまとめることとしている。

参考文献

- 1) 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
- 2) K. Ishida, K. Fujisawa, S. Kojima, H. Tanaka: Estimation method of slip surface by ground surface displacement of landslide, AGU Fall Meeting, 2007. 12
- 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落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、2007 年 7 月

DEVELOPMENT OF MONITORING METHODS AND TECHNIQUES FOR EMERGENCY MEASURES OF CURRENTLY ACTIVATED LANDSLIDES

Abstract : Once landslides are activated, they should be treated as soon as possible to minimize damage to the environment. The features of landslides, however, are various, and the same emergency measure is not always applicable. In this project first landslides occurred in the past are classified from geomorphic and geological views, and then applied emergency measures and their effects to control the movement are examined for each landslide type. In addition, a remote monitoring system of unstable landslide surfaces is developed for the purpose of fast grasp of landslide behavior. In the F.Y.2007, the authors have investigated that the relation between size of loading embankment works and slope safety rate. In addition, the authors have also inspected the estimation method of slip surface shape by ground surface displacement, and the remote monitoring system for dangerous slope.

Key words : landslides, loading embankment works, factor of safety for slope, remote monitoring system, estimation method of slip surface