地表面変位計測による地すべり規模 推定システムに関する共同研究

共同研究報告書

平成25年1月

独立行政法人土木研究所
国際航業株式会社
日本工営株式会社
基礎地盤コンサルタンツ株式会社
株式会社アイエステー
株式会社ドイディック

Copyright © (2013) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したもの である。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法 人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共 同 研 究 報 告 書 整理番号第 4 5 1 号

地表面変位計測による地すべり規模推定システムに関する共同研究

共同研究報告書 執筆者名簿

武士俊也	(独) 土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム	上席研究員
藤澤和範	(独) 土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム	元上席研究員*1
三輪賢志	(独) 土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム	主任研究員
石田孝司	(独) 土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム	元主任研究員※2
阿部大志	(独) 土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム	研究員
小嶋伸一	(独) 土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム	元 研究員*3
奥田慎吾	(独) 土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム	元 交流研究員*4
千葉伸一	(独) 土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム	元 交流研究員*5
九田敬行	(独) 土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム	元 交流研究員*6
田中 尚	(独) 土木研究所 土砂管理研究グループ 地すべりチーム	元 交流研究員*7
岩崎智治	国際航業株式会社 海外事業部防災水資源部	
武智国加	国際航業株式会社 東日本事業本部事業推進部	
佐藤 渉	国際航業株式会社 東日本事業本部第二技術部	
武石 朗	国際航業株式会社 技術センター	
小俣新重郎	日本工営株式会社 技術本部	
児玉 浩	日本工営株式会社 新潟支店長野事務所	
山下孝之	日本工営株式会社 流域・防災事業部	
杉崎友是	日本工営株式会社 名古屋支店技術部	
福井謙三	基礎地盤コンサルタンツ株式会社 保全・防災センター	
松村真一郎	基礎地盤コンサルタンツ株式会社 保全・防災センター	
大森融	基礎地盤コンサルタンツ株式会社 関西支社地質部	
伊計秀明	基礎地盤コンサルタンツ株式会社 元保全・防災センター	
若林秀嗣	基礎地盤コンサルタンツ株式会社 元保全・防災センター	
藤田壽雄	元 株式会社アイエステー 代表取締役	
木村隆俊	元 株式会社アイエステー 取締役	
横山 昇	元 株式会社アイエステー 技術部	
内田直樹	元 株式会社アイエステー 技術部	
大塚政伸	元 株式会社アイエステー 技術部*8	

- 大谷政敬 株式会社キタック 取締役副社長
- 伊藤克己 株式会社キタック 技術第一部調査役
- 江川千洋 株式会社キタック 技術第一部課長
- 石坂周平 株式会社レイディック 研究員
- 後藤知英 株式会社レイディック 総括主任研究員
- 樋口佳意 株式会社レイディック 主任研究員
- 永江 祐 株式会社レイディック 研究員
- 和田博治 株式会社レイディック 課長

※1:株式会社 高速道路総合技術研究所, ※2:四国地方整備局, ※3:関東地方整備局, ※4:奈良県吉野土木事務所 ※5:応用地質株式会社, ※6:ライト工業株式会社, ※7:日特建設株式会社, ※8:株式会社九電工

(平成 25 年 1 月現在)

【要旨】

建設現場で地すべりが発生した場合、発災時の対応の遅れが被災規模の拡大を招くことか ら、発生初期の緊急対応が重要である。そのためには変状の発生及びその規模を早期に把握す る必要があるが、通常のボーリング調査等では一般に日数を要し、しかも地すべり地内での作 業であるため安全確保の点からも慎重な対応が求められる。したがって、地すべり地表面変位 ベクトルを計測し、その結果からすべり線形状を推定するシステムを開発することにより、地 すべりの発生初期において、地すべり地内での作業を縮減しながら変状規模の迅速な把握を可 能とすることを共同研究の目的としている。

本稿は、土木研究所地すべりチームと民間企業6社が、平成18年度から平成20年度にかけ て実施した共同研究「地表面変位計測による地すべり規模推定システムに関する共同研究」に おいてすべり線推定プログラムの課題及び改良と現場での解析事例の内容をとりまとめたも のである。

キーワード: 地すべり、緊急対応、地表面変位、すべり線推定、地すべり規模

共同研究報告書 目次

Ξ

1.1	研究背景	1
1. 2	研究の目的 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
1.3	研究の進め方・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
1.4	達成目標	2
1.5	活動履歴	2

2. 地すべり変動における地表面変位特性

2. 1	地形・地質的知見を抽出する目的	 4
2. 2	すべり線形状を推定するポイント	 5

3. すべり線推定プログラムの課題

3.1 プロ	グラムの問題点の抽出 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	8
3. 1. 1	既往報告 10 事例の基礎データの整理	8
3. 1. 2	計測地点とベクトル量の整理	10
3. 1. 3	問題点の整理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	29
3.2 検討	結果の評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	30
3. 2. 1	既往報告 10 事例のすべり線推定精度の比較	30
3. 2. 2	モデルデータを用いたプログラム特性の検証 ・・・・・・・・・・・・・・	32
3. 2. 3	問題点に対する詳細検討	54
3. 2. 4	高沢入地すべりの検証結果	69
3.3 プロ	ダラムの改良に向けた課題の抽出	75
3. 3. 1	既往報告 10 事例のすべり線推定精度の比較	75
3. 3. 2	プログラムの特性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	75

4. すべり線推定プログラムの改良

4.1 プロ	コグラムのアルゴリズム ・・・・・	77
4. 1. 1	基本の演算手順・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	77
4. 1. 2	重み係数マトリクスについて ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	78
4.2 プロ	コグラムの課題と改良方針 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	80
4. 2. 1	すべり運動様式別の事例による検証	80
4. 2. 2	すべり線のうねりについて ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	84
4. 2. 3	解析誤差について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	84
4. 2. 4	椅子型すべりへの適用	85

4.3 プロ	コグラムの改良 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	86
4. 3. 1	桁落誤差	86
4. 3. 2	重み係数の設定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	86
4. 3. 3	地中境界点の設定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	87
4.3.4	地表境界点のすべり線勾配の設定	87
4. 3. 5	データ入力方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	87
4.4 今後	後の課題	93

5. 事例解析結果と評価

5.1 計測	事例収集	94
5.1.1	大規模切土工事箇所の収集	94
5.1.2 J	川尻地区の計測・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	94
5.1.3	竹地本谷地区の計測	99
5.1.4	自然斜面地すべりの収集 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	104
5.1.5	麻生小平地区の計測	104
5.2 事例	解析箇所の選定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	118
5.3 計測	事例収集	121
5.3.1	月山湖 PA 地すべり ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	121
5.3.2	大所地すべり ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	125
5.3.3 E	町道高沢入線すべり ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	130
5.3.4	北ノ入地区地すべり ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	134
5.3.5	落合地すべり ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	139
5. 3. 6	下石川地すべり ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	142
5.3.7	国道 424 号道路災害 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	147
5.3.8	仲野地区地すべり ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	152
5.3.9	中之島地すべり ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	155
5. 3. 10	摺上ダム(中津川地区) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	160
5. 3. 11	滝沢ダム L−22 ブロック ·····	166
5. 3. 12	長知内(DV 測線) ···································	171
5. 3. 13	長知内(E-Ⅲ測線) ·····	172
5. 3. 14	共和地区(B−1 測線) · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	173
5. 3. 15	共和地区(B−2 測線) · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	177
5.3.16	細越地すべり A	182
5. 3. 17	細越地すべり B ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	186
5. 3. 18	長者地すべり ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	190
5.4 解析紙	結果のまとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	196

6. まとめ

6. 1	共同研究の成果と課題	 199
6. 2	研究成果の普及について	 199

- 1. はじめに
- 1.1 研究の背景

地すべりの平面形状や縦断形状は、周辺を取り巻く地形や地質状況によって様々であり、発生原因についても切土工事によるものや豪雨等を誘因として発生するものなど様々である。地すべりは現場ごとにその規模や滑動形態が異なるため事態の進展に対する予測が難しく、臨機応変で的確な判断が求められることが多い。そのため、地すべり災害が発生した場合には、できるだけ速やかに地すべりの規模や特性を把握して対策工を実施することによって、災害規模の拡大や二次災害の危険性を回避・軽減することができる。

地すべりの規模や特性を把握するには、すべり線の形状を把握する必要がある。すべり線形状を基にし て応急対策やその後の恒久対策の立案が行われる。そのため、地すべり発生の素誘因等の把握とともに、 地すべりのすべり線形状や移動土塊の範囲を速やかに推定することが重要となる。従来、すべり線の位置 を推定する際には、地すべり土塊内での調査ボーリングや孔内傾斜計による動体観測等の調査を行ってき た。しかし、こうした方法は調査に時間を要するだけでなく、地すべり発生直後の不安定な地すべり土塊 内における作業が続くことから安全面で課題を有することになる。

一方、独立行政法人土木研究所では、平成 18 年度までの研究により地表面変位ベクトルから地すべり のすべり線形状を推定する手法(以下、「本手法」という)について検討してきた。すべり線形状を把握 する手段として、これまでの検討結果と土木研究所並びに民間企業各社の経験・ノウハウ・技術力を有機 的に活かしながら、本手法の検証と改良を加え、地すべり現場において広く活用できるようにすることが、 前述した課題を解決するものと考えた。

1.2 研究の目的

本共同研究では、地表面変位ベクトルから地すべりのすべり線形状を推定するシステム(以下、「本シ ステム」という)を開発する。また、本システムを活用する際の留意事項をとりまとめる。こうした成果 を基に、地すべりの発生初期において地すべり地内での作業を縮減しながら地すべり規模の迅速な把握を 可能とすることを目的とする。





1.3 研究の進め方

1.2 に示した目的を達成させるため、本共同研究においては以下の項目に分けてそれぞれ検討を行うこととした。

① 地すべり変動における地表面変位特性の把握と計測手法の確立

- ② 精度良くすべり線形状を推定するための留意事項の検討
- ③ 解析対象現象の収集・解析とシステム適用範囲の検討
- ④ すべり線推定プログラムの改良

1.4 達成目標

1.3 に示した各項目の検討成果を関連づけてとりまとめ、地表面変位計測からすべり線形状推定までの 一連の作業手法をマニュアル化し、一般公開できることを目標とする。最終年度に作成する著作物として 以下の資料を予定している。

- ① 共同研究成果報告書
- ② 地表面変位計測に基づくすべり線形状推定マニュアル
- ③ すべり線推定プログラム

1.5 活動履歴

本共同研究は、平成18年11月13日に共同研究協定書の締結をもってスタートし、平成21年3月31 日を末日としている。平成18年度は、共同研究によって解決しようとする諸問題、及び既往研究・検討 結果の整理、研究成果の普及方法等に関する議論を行うと共に、独立行政法人土木研究所が過年度に作成 したすべり線推定プログラムを共同研究メンバーに配布し、扱い方の習得を行った。平成19年度は、表 1.1に示すワーキンググループを構成し、地表面変位計測実施時の課題抽出と整理、事例収集と解析、す べり線推定手法の検証、及びすべり線推定プログラムの改良手法の検討を行った。平成20年度は、改良 したすべり線推定プログラムの検証と再改良、本システムを活用する際の現地踏査時、地表面変位計測時、 システム使用時などの留意事項をとりまとめた。

ワーキンググループ名	メンバー企業
WG-A(地すべり変動における地表面変位特性と	株式会社アイエステー
計測手法WG)	株式会社キタック
	株式会社レイディック
	(代表者)
	株式会社キタック 伊藤
	(事務局)
	独立行政法人土木研究所
	国際航業株式会社
WG-B(精度良くすべり線形状を推定するための	基礎地盤コンサルタンツ株式会社
留意事項検討WG)	日本工営株式会社
	(代表者)
	基礎地盤コンサルタンツ株式会社 福井
	(事務局)
	独立行政法人土木研究所
	国際航業株式会社
WG-C (事例収集・事例解析WG)	全社
	(代表者)
	日本工営株式会社 児玉
WG-D(すべり線推定プログラム改良WG)	全社
	(代表者…平成21年度9月以前)
	株式会社アイエステー 横山
	(代表者…平成 21 年度 10 月以降)
	国際航業株式会社 武智

表1.1 ワーキンググループ構成とメンバー

2. 地すべり変動における地表面変位特性

2.1 地形・地質的知見を抽出する目的

図2.1のように、すべり線の形状が椅子型直線すべりであって、地すべりブロックが均質かつ等圧の場合、地すべりブロックはほとんど変形することなく斜面を滑り落ちて行くと考えられる。

しかし、実際のすべり線には凹凸があり、材質は均質ではな く層厚も異なる。3次元的に複雑な形状の地すべりブロックが 滑動した場合、土塊内の応力状態が変化するのに応じて、移動 ブロックには変形が生じ、地表面には特有の地すべり地形を生



図 2.1 平面状のすべり線のモデル

じる。また、地すべりブロックの変形の問題を考えるとき、物質の変形特性やその異方性も含めて考慮す る必要がある。

したがって、すべり線の形状を推定するには、地すべり地形や、地質構成、地質構造等の情報が重要と なると考えられる。

地すべり対策を行う場合、すべり線の形状は、ボーリングコアの観察結果や地中移動量調査に基づいて、 検討されることが多い。この場合、ボーリング孔間等の形状は地表踏査や物理探査等の情報にもとづいて 補間されるが、推定精度は担当技術者の能力や経験によるところが多く、現状では、すべり線の描き方に ついて系統的な手法は普及していない。

すべり線形状推定システムの用途は、すべり線の正確な深さついての情報が少ない中ですべり線形状を 推定するというものであり、推定結果の精度を評価することについては困難が予想される。このため本研 究では、検証材料を得る目的で、地すべり変動と地表面変位との関係について地形・地質的アプローチか らの検討を行うこととした。

従来、地表面の変位ベクトルを計測する主な目的は、事業実施前・事業中の地すべりに対する活動状況 の把握や、主測線設定の参考資料とすることにあった。前述のように地表面の変位は、地下における土塊 の運動や変形の結果生じるものであるから、地すべりの縦断方向(あるいは面的)に配置した計測点の地 表面変位ベクトルを知ることにより、地すべりの運動像をより理解しやすくなると考えられる。

このメリットは、すべり線形状推定システムの利用の際だけでなく、精査の段階においてボーリング孔 間の形状を補間することにも利用できると考えられる。

なお、間隙水圧等の外力による応力状態の変化も地すべりブロックの変形に影響を与えると考えられる が、本研究ではこのことについて考慮しないこととした。

2.2 すべり線形状を推定するポイント

本章でおこなった検討結果から、地表踏査で得られる情報に基づいてすべり線形状を推定するポイントを まとめる。

- (1) 地すべりの運動様式の区分
 - 現地踏査では、地すべり区域の内外の地形・地質状況を調査する。特に滑落崖の状況、側部の 状況、地表面の状況、移動体・基礎地盤の地質構成や地質構造などから地すべりの運動様式を 区分する。スライドと判断できる場合は、並進すべり・回転すべり・複合すべりの細区分を行 う。こうした確認を行うことにより、すべり線形状をおおよそ推測することができる。
 - ② トップルやクリープ等の現象は、場合によってはスライドと誤認する可能性がある。ただし、 これらの現象の中には将来地すべりに進展する可能性のある現象が含まれているため留意が必要である。
- (2) 応力解放に伴うリバウンド

切土に伴う応力解放によって、地盤が地表面に向かって押し出される現象(リバウンド)が見られ ることがある。リバウンド量が大きくなると斜面が不安定化することになり、地すべりに発展する恐 れがある。また、切土のり面で発生した地すべりの地表面変位を計測する際に、計測値にリバウンド による変形量が含まれている可能性があるため注意する必要がある。

(3) 地すべり変形構造

- ① 変形構造は地すべりの移動体がすべり線上を滑動する際に様々な応力を受け、その結果変形を 生じたものである。そのため、地すべりが発生する前後の地形を比較するとともに、変形構造 を詳細に観察し、どのような応力を受けて変形構造が生じたのかを確認することが重要である。
- ② 地すべりの頭部付近では、滑落崖の形状とせん断の有無、地表面の傾斜、陥没帯の有無とその 形状、副次滑落崖の分布、開口亀裂の形状と分布などに着目する。
- ③ 中腹では、地表面の傾斜、側方崖の形状と条線の有無、切断された構造物の移動ベクトルなど に着目する。側方崖にせん断が生じているか否かは地すべりの滑動方向を知る手がかりとなる。
- ④ 末端部では移動体がすべり線下端を乗り越えているかどうかを確認する。乗り越えている場合は、周辺の地形・地質状況等を手がかりにすべり線下端を推定する。隆起がみられる場合は、回転によるものか圧縮によるものかあるいはスラストによるものかを検討する。またスラストの場合には、覆瓦構造となっているか否かに着目する。
- ⑤ ただし、末端部の現象を正しく理解するためには、地すべりの深さや地下構造等の情報が重要であり、地表からの観察のみでは困難が伴うことも多い。
- (4) 地すべりの平面形状と深さの関係
 - 地すべり幅(W)と深度(D)

W/D 比は、自然斜面については 7~10 程度、切土のり面などの人為的に発生した地すべりを含め

ると 3~10 程度である。地質区分による差異はほとんどない。ただし、北陸地方の第三紀層の切土のり面で発生した地すべりの W/D は平均 4 程度となり、その他の既往文献の平均値よりも小さな(すなわち地すべりが深めに見積もられる)値となっている。

② 地すべり斜面長(L)と深度(D)

L/Dは、切土のり面を含めて 3~19 程度であり、地質区分による差異はほとんどない。地質構造 に規制され尾根部で発生した初生すべりの L/Dは小さく、移動体が崩積土や粘性土などの均質に近 い地質からなる地すべりの L/Dは大きくなる傾向がある。

③ 頭部陥没帯の幅(Wo)と深度(D)

陥没帯幅(W_0) は深度(D)のほぼ等倍($W_0/D = 0.9 \sim 1.0$)となる。ただし、地すべりが進行 し陥没帯が拡大した場合は、実際の深さより大きく見積もることになるため、頭部土塊の転倒の有 無や移動ベクトルの変化に注意する必要がある。

(5) 横断形状が非対称の地すべり

層理面や節理面などの地質構造や断層などにすべり線が規制されている場合、すべり線の横断形状 が非対称となることがある。これは、横断面の地形が非対称であることや断層などの地質構造にすべ り線が規制されていること、あるいは地すべりの移動層となる風化帯等の強度が不均質であることが 起因となって、すべり線の横断形状が非対称になっているものと考えられている。基盤の地質や変形 構造等からすべり線の横断形状が非対称であると考えられる場合は、主測線を設定する際に留意が必 要であり、これが正しくなされない場合は縦断方向のすべり線形状の推定が困難となることが考えら れる。

(6) 課題

一般的な地すべり調査では、地すべり主測線上の調査ボーリングは数か所程度とされることが多い。 調査孔間のすべり線形状は直線やなめらかな曲線によって描かれることが多い。しかし、地すべり線 には段差を生じていることもあると考えられる。地すべり線の真の形状を把握するには実際地すべり 土塊を掘削して確かめる以外に有効な手段はない。本章でとりまとめた内容の多くも、必ずしも十分 な検証がなされているとはいえず、仮説の域を出ていないものもある。

今後、実務において地表面における諸現象を注意深く観察し、地表踏査から推定されるすべり線と 詳細調査の結果とを比較することによって、地表面の変位特性をからすべり線形状を推定する方法を 確立するとともに、データを蓄積して推定精度を向上させてゆく必要がある。

本章では、地すべりの末端における変形構造の例をいくつか示した。圧縮リッジやスラストに伴う 隆起など末端では、地表面が著しく乱れてしまうことが多い。すべり線形状推定システムを利用する 際には、末端で計測された地表面変位ベクトルがどのような現象によるものなのか、十分注意する必 要があると思われる。

3. すべり線推定プログラムの課題

3.1 プログラムの問題点の抽出

3.1.1 既往報告 10 事例の基礎データの整理

はじめに既往報告 10 事例について、基礎データの整理を行うこととした。その整理結果をもとに、 どの様な条件の場合に精度良くすべり線を推定できているかを検討し、現状の問題点を抽出した。既 往報告書において、すべり線推定結果が報告されている 10 事例を以下に示す。

1.	月山湖	2. 大所	3. 落合	4. 中之島	5. 下石川
6.	国道424号	7. 仲野	8. 高沢入	9. 北ノ入	10. 播但道

10事例の基礎データは、次の項目で整理した。

- ・斜面の分類(切土 / 自然斜面)
- ・地すべり分類(円弧 / 椅子型 / 舟底型)
- ・計測点の位置と計測点数
- ・地すべり規模
- ・地すべり形態(岩盤 / 風化岩 / 崩積土 / 粘質土)
- ·計測手法(GPS / 移動杭 / 伸縮計 / 空中写真)
- 相関係数^{※1}
- ・すべり線差異^{※2}
- ・変化率^{※3}
- ・起終データの時期(同一 / 不一致)
- ・最大変位量(計測点 / ds / dz / ベクトル量)
- ·計測日数
- ・計測回数(解析使用計測回数 / 実際の計測回数)
- ・解析に使用した地すべりブロックの位置(単独 / 上部 / 中央 / 下部)
- ・ブロック区分(解析使用区分数 / 最大区分数)

整理した 10 事例の基礎データー覧表を表 3.1 に示す。

※1 相関係数 = (1 - 数学的相関係数)*10,000

数学的相関係数は1に近いほど相関があるという指数である。本報告で用いる相関係数は、ゼロに近いほど相関があるという意味である。

^{※2} すべり線差異:地すべりブロックの長さを30等分し、区分点における推定すべり線と事例すべり線の高度差(層厚差)を計 測。各点における層厚差の絶対値の平均を地すべり長(斜距離)で除したもの

^{※3} 変化率 = (1・安全率)×100 安全率:事例すべり線の斜面安全率を1.0として、推定すべり線で安定解析を実施した斜面安全率

— 瓢 表
\mathcal{U}
テ
閥
基
6
阌
빠
10
衵
駺
÷.
既
-
с.
表

に問義されている問題点			軒結果となっている。 5下部で形状が少しずつ異なっ	代測点が無いため浅いすべりを 1-3。 1-5年 1-5年が複数存在する場合に 1-3月点の位置道定が難しい。	お実施界点付近の計測結果の構 「べり面の構製を決定してこる すくり面より緩くなってい には計測点が存在しないが、中 しばのくクトレジの良好な結果 しる。	1の規模に対し、計測点が2箇 いため、事例地すべりのような 代はフロック区分しても推定不 の大部分を計測点1点で推定 、の大部分を計測点1点で推定 、も本にに洗い円弧状の地す している。	†測値が無いため、顕部で浅い 住亡している。 +測値があり、良好な推定結果 +る。	クの末端部に計測点がなく、 い地官されている。 デロアンテを2つに分けるか。 デロックを2つに分けるか。 するゆらには決発界点位置 1まである。	↑測値が無いため、頭部で浅い 住宅している。 ▶測値があり、良好な推定結果 >る。	こる未端の撮影点が計算上の 2.9、すべり面をうまく推定で 2.9、すべり面をうまく推定で 1.4回ては未端のは発点を約面側 1.4回の計測点だけで、かつは 1.4点の計測点だけで、かつば 1.4点の計測点だけで、かしば 1.4点の計測点だけで、もつば	国部に計測点が無いためすべり ご推定される。 い程さえ盛士の変位がすべり面 している。 い目でさる。 い目でなるり、盛士を いり扱うかが難しい。	†測点が無いため、事例すべり いすべりを推定している。 1は計測値があり、良好な推定 た。	
	医分線 報告書	8定位 商	-5とK- ・良好な解 、K-6と ・上部と中 7の中間 ている。	A-10と -12の中 正記の中 -12の中 -12の中 -12の中 -12の中 -12の中 -12の中 -12の中 -12の中	 ・ 圏舎の准 やが描だす やから、 市の の 中田 ・ 米諸舎に ・ 米諸舎に ・ 米諸舎に ・ 米諸舎に でおって 	 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	-3とC-4 ・頭部の計 すべりを推 間でD-3 ・未端は計 に近接 となってい	 : E1と : Fブロッ 20中間 満いすべり : A3と : B3と : B3 <li: b3<="" li=""> : B3 : B3 : B3<td>142-1と ・ 運動の計 350の中 ・ 未端は計 でなっんし</td><td>た を 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8</td><td>ロック区 画が浅めに 回が浅めに 一 大 本端的 の 市 大 本 端 の の し の い 、 本 端 の し の い え の に の に の に の し い え ん に の に の に の し 、 、 来 、 、 、 来 、 、 来 、 、 、 来 、 、 来 、 、 来 、 、 来 読 の に の し の に の に の に の に の に の に の に の に の に の に の に の に の に 、 来 、 来 読 の に の 、 、 来 読 の に の 、 、 来 、 の 、 、 来 読 の に 、 、 来 、 、 来 読 の に 、 、 来 、 来 読 の に 、 、 来 読 の に 、 、 来 読 の で 、 、 来 読 の で 、 、 来 読 の で 、 、 来 読 部 の で 、 の 読 一 、 、 来 読 の に 、 、 、 来 の 読 の 、 、 、 来 、 の 、 、 、 の 、 、 の 、 の 、 っ 、 、 の 、 の 、 、 、 、 の 、 の 、 の 、 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の の の 、 の 、 の 、 の 、 の の 、 の の の の の の 、 の の の の の の の の の の の の の</td><td>-2と8-1 画より送い の中間 ・未端部に が果となっ</td><td>_</td></li:>	142-1と ・ 運動の計 350の中 ・ 未端は計 でなっんし	た を 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8 1.8	ロック区 画が浅めに 回が浅めに 一 大 本端的 の 市 大 本 端 の の し の い 、 本 端 の し の い え の に の に の に の し い え ん に の に の に の し 、 、 来 、 、 、 来 、 、 来 、 、 、 来 、 、 来 、 、 来 、 、 来 読 の に の し の に の に の に の に の に の に の に の に の に の に の に の に の に 、 来 、 来 読 の に の 、 、 来 読 の に の 、 、 来 、 の 、 、 来 読 の に 、 、 来 、 、 来 読 の に 、 、 来 、 来 読 の に 、 、 来 読 の に 、 、 来 読 の で 、 、 来 読 の で 、 、 来 読 の で 、 、 来 読 部 の で 、 の 読 一 、 、 来 読 の に 、 、 、 来 の 読 の 、 、 、 来 、 の 、 、 、 の 、 、 の 、 の 、 っ 、 、 の 、 の 、 、 、 、 の 、 の 、 の 、 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の 、 の の の 、 の 、 の 、 の 、 の の 、 の の の の の の 、 の の の の の の の の の の の の の	-2と8-1 画より送い の中間 ・未端部に が果となっ	_
ブロック区分	解析使用 区分数	最大区分数 デフォルト値)	3 - 4 - K	2 - 6	2 - 4 3	0 0 0	- 0 - 0 - 0	н н 1 - 2 6 - 3 7 - 2 8 - 3 7 - 7 8 - 4 8 - 4 8 8 - 7 8 - 7 8 8 - 7 8 - 7 8 8 8 - 7 8 8 - 7 8 8 8 - 7 8	- 7 - 7	€. π. 4 0. π. 6	- ' 00	0 1 10	_
解析に で かた の の 位 開 の の 位 開 の の の で に 一 の の た が た の の の た が た の の の た が た の の の た が た の の の ひ た 始 す の の ひ た 始 す へ の ひ た 始 す へ の ひ た 始 す へ た の の ひ た の の ひ に の の の ひ に の の の ひ に の の の の の の の の の の の の の			複数ブロッ クの下部	複数ブロッ クの下部	複数ブロッ クの中央	複数ブロッ クの下部	武 谢	東	使	英	ブロッ に値数の沿 路庫	_	
計通回数	\$竹使用*(計画回聲	実際の 計道回数	- 1 -	-	1 =	≏	- ~	0	+	۱œ	- ∞	~ ~	
世 東 御 御 御 御 御 御		1		1,027	2,011	494	1,476	361	83	52	553	29	_
		ベクトル ^{#5} 量(mm)	206	1,055	1,615	212	336	330	4,399	4,530	77	913	6
単の	ŧ	iz(mn)	-164	-290	348 勝外	69-	-62	-112	-4,355	-2,575	-63	-336	「除したも(
市大市(14/2/34	ds(nn)	-125	-1,015	-1.577 ***********************************	-201	-330	-374	-623	3,727	-45	849	- ベリ長(斜距離) 1
		計測点	K-7	PA-13	IA-1	GPS-4	0-3	A-3	2050	0	1-3	10-3	平均を地す
総 (() () () () () () () () ()		回 [1] [1] [1] [1] [1] [1] [1] [1] [1] [1]	0	1	1	I	0			L	0	0	絶対値の
##10 ##10 **		-2.1	12.7	18.2	-4.3	6.8	-0.4	-9.5	-12.8	-2.9	-31.6	3層厚荒0	
F へり ^{第3} 画差異 (0.0150	0.0220	0.0180	0.0170	0.0100	0.0270 <u>F</u>	0.0190	0.0320	0.0310	0.0620	11週,各点におけ	
相関 ^{#2} 係教			24.6	485.8	246.8	254.0	313.8	1118.1	109.1	56.1	52.3	597.7	- の差(層厚差)を言
地	道線 風化岩 超線士 総第十 のトク のトク の中の 御路 御花 見中写真												2 すべり面
稟市			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 1942)単
arco () 観					0	0			0				
2 2			70 0	00.	8		00	00	50	83	20	09	を30等分
道徳(三)	端 波 望				1.3	2	1,3	4	-		-		0*10000 ックの展さ 10
46			90	150	200	240	200	300	100	26	150	90	- 相関係数 - ベリブロ:, (全率) ×1,
	推 一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一		۲	U	o	ň	۵	۲	٥	ш	۵	۲	を 第 = (1- 単語:地す = (1-仮
「点数	解析に使用した	型 一 一 一 一 一 一 一	4	9	4	2	2	10	4	*	e	e	相関係業 すべり 一面 一一一一一一一一
聞と詳3	業務の 離析に 使用した 計測点 計測点	末端	-	0	•	-	-	5	-	•	-	-	× × ×
自点位も		憲部 年 史	- 7	- 2	2	-	-	2		4	0 2	- ~-	-
*		★ 端	-	0	0	-	-	7	-	0	5	-	-
		₽₩	7	œ	n	0	0	۵	m	4	5	-	2Cluz
) 王 王	-	e	5	-	-	8	0	0	-	- ~	て くてそろ 単単売
現場 場の が オオベリ分類			播但道	a M A M A M A M A M A M A M A M A M A M	× 下 王 王	4回 楔	曲之島	ポノノ格区	来 石川 川	国道424 号	中野地区	寸道高沢入線 □	点配置分類(こつい) 点配置分類(こつい) 央、未端計測点がすべ 雑計測点のみ(中央5
瀬面の分類		\$F +					自然	<u> </u>			Ħ	1 副部部	
₩ <u>₹</u>		-	2	^{oo}	4	n	ω	~	00	5	10		

安全率:事例すべり面の斜面安全率を10として、推定す^ ※5 ベクトル 量 = 「d^{2+d2²(dsとdzの合成) ※6 起終点データ期間同一現場のみ対象}

○:頭部、中央計測点のみ(末端計測点なし) D:中央、木端計測点のみ(頭部計測点なし) E:中央計測点のみ(頭部、末端計測点なし)

3.1.2 計測地点とベクトル量の整理

基礎データの整理とともに、10事例の計測地点と地表面変位ベクトルの整理も行った。計測地点は、 平面図・断面図上に位置を示した。平面図には、地すべりブロックの形状と、主測線の位置を描き、 現場状況が把握できる資料を作成した。地表面変位ベクトルは、次の3項目について整理し、平面図 周辺に示した。

①水平方向変位(dx / dy)

②断面方向変位 (ds / dz) $ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$

③経時変化(累積日数 / dz)

ただし、播但道の事例については、詳細な平面図が得られなかった。そのため、9事例について資料を作成した。整理結果を図3.1~3.18に示す。



図3.1 計測地点と地すべりブロック(1) 月山湖





図 3.2 計測地点と地すべりブロック(2) 月山湖



図 3.3 計測地点と地すべりブロック(1) 大所



図 3.4 計測地点と地すべりブロック(2) 大所



図 3.5 計測地点と地すべりブロック(1) 落合





図 3.6 計測地点と地すべりブロック(2) 落合



図 3.7 計測地点と地すべりブロック(1) 中之島



図3.8 計測地点と地すべりブロック(2) 中之島





図3.9 計測地点と地すべりブロック(1) 下石川





図 3.10 計測地点と地すべりブロック(2) 下石川



図 3.11 計測地点と地すべりブロック(1) 国道 424 号





図 3.12 計測地点と地すべりブロック(2) 国道 424 号



図 3.13 計測地点と地すべりブロック(1) 仲野



図 3.14 計測地点と地すべりブロック(2) 仲野





図 3.15 計測地点と地すべりブロック(1) 高沢入





図 3.16 計測地点と地すべりブロック(2) 高沢入

水平方向変位 dx(mm) -500 -300 -100 O5 tx(mm) -500 -300 -100 0 -100 -200 -300 -400 -500 -10 -200 -300 dx(mm) -500 -300 -100 500 M(mm) -100 -300 C6 FI -100 -200 -300 -400 -500 dx(mm) -500 -300 -100 O2 -500 -300 -100 0 200 -100 -200 -300 -400 F2 dx(mm) -500 -300 B3 -500 -100 -300 -100 EI -100 -200 -300 20 -300 -400 500 dx(mm) -500 -300 -100 100 A 10 -200

経時変化



図 3.17 計測地点と地すべりブロック(1) 北ノ入

断面方向変位



図 3.18 計測地点と地すべりブロック(2) 北ノ入

3.1.3 問題点の整理

基礎データの整理と、計測地点と地表面変位ベクトルの整理から、6 つの問題点を抽出した。抽出 した問題点を表 3.2 に示す。

なお、計測地点と地表面変位ベクトルを整理した結果、多くの事例ですべり線を検討断面とした測 線に対して、計測地点が離れていたり、地表面変位ベクトルの水平成分が測線と一致していないこと が分かった。また、断面を作成した測線上に計測地点がなく、離れた場所の地表面変位ベクトルを使 用する事例も存在する。これらの場合、プログラム上では地表面変位ベクトルを断面図に投影して、 すべり線を推定することになる。この場合、投影の仕方によっては、異なったすべり線を推定するこ とが考えられる。今回この課題については、模式的な事例を用いて検討し、**巻末資料**に掲載した。

		問題点	検討方針 • 内容				
項目		内容	快的力到 的合				
1	計測時期	計測時期の違いによる すべり線推定精度の差異の確認	 ・左記のような事例が収集された場合には、計測時期の 違いによるすべり線推定精度の差異について検証す る。 				
2	計測点の 配置	計測点の配置の違いによる すべり線推定精度の差異の確認	 ・解析事例を計測点の配置で分類し、計測点の配置の違いにより、すべり線推定の精度に差異があるかを比較検討する。 ・各解析事例にて計測点の配置を変化させて(頭部の計測点を削除等)推定すべり線と事例すべり線との比較を行い、その際すべり線推定の精度に差異があるかを検証する。 				
3	計測点数	計測点数の違いによる すべり線推定精度の差異の確認	 ・解析事例を計測点数で分類し、計測点数の違いにより、 すべり線推定の精度に差異があるかを比較検討する。 ・各解析事例にて計測点数を変化させて(中央の計測点数 を減らす等)推定すべり線と事例すべり線との比較を行い、その際すべり線推定の精度に差異があるかを検証 する。 				
4	計測精度	計測手法の違いによるすべり線 推定精度の差異の確認	 ・解析事例を計測手法で分類し、計測手法の違いにより、 すべり線推定の精度に差異があるかを比較検討する。 				
5	計測データ の 取捨選択	データの取捨選択の違いによる すべり線推定精度の差異の確認	 ・2時刻以上の計測データを有する解析事例にてデータの取捨選択を行い、その際のすべり線推定の精度に差異があるかを比較検討する。 				
6	解析に必要 な ベクトル量	ベクトル量を変化させたときの すべり線推定精度の差異の確認	 各解析事例にてベクトル量を変化させ、その際に推定 されるすべり線の差異を確認する。 				

表3.2 現状の問題点とその検討方針・内容
3.2 検討結果と評価

3.2.1 既往報告 10 事例のすべり線推定精度の比較

既往報告 10 事例を整理した結果、様々な条件の事例が含まれていることが分かった。そのため、どの様 な条件であれば、精度良くすべり線を推定できているかを、比較検討することとした。比較検討した項目は、 すべり線形状・計測点の配置・計測点数である。推定精度の良し悪しの指標とした目的変数は、変化率・す べり線差異・相関係数である。すべり線推定精度の比較図を図 3.19 に示す。

(1) すべり線形状

既往報告 10 事例のすべり線形状について、変化率・すべり線差異・相関係数で比較した(図 3.19)。すべり線形状は以下の3種類に分類される。

a. 円弧型 b. 椅子型 c. 舟底型

これらを比較した結果、現状のプログラムはすべり線形状により推定精度が異なり、a. 円弧型の推定精 度が最も良いことが分かった。精度よくすべり線形状を推定できる順番は以下とおりである。

a. 円弧型 > b. 椅子型 > c. 舟底型

(2) 計測点の配置

既往報告 10 事例の計測点配置について、変化率、すべり線差異、相関係数で比較した(図 3.19)。 計測点配置は以下の 5 種類に分類される。

A. 頭部・中央・末端 B. 頭部・末端 C. 頭部・中央

D. 中央・末端E. 中央のみ

これらの比較の結果、現状のプログラムは計測点配置によりすべり線の推定精度が異なること分かった。 精度良くすべり線を推定できる順番は以下のとおりである。

A. 頭部・中央・末端 > B. 頭部・末端 > C. 頭部・中央

> D. 中央・末端 > E. 中央のみ

(3) 計測点数

既往 10 事例の計測点数について、変化率、すべり線差異、相関係数で比較した(図 3. 19)。比較した結果、 現状のプログラムでは、3 点以上の計測点数がある場合に精度良くすべり線を推定できることが分かった。

また、これら 10 事例の整理結果から、すべり線形状・計測点の配置・計測点数について精度良くすべり 線形状を推定できる条件が判明した。ただし、現時点では事例数が少ないため、定量的な判断を下すことは 難しい。また、主測線が地すべりブロックの中心にあるケースや、中心からやや外れているケースなど、各 事例には特有の条件を含んでいる。さらに、計測された地表面変位ベクトル自体に誤差を含んでいる可能性 も考えられる。そのため、一律に比較することに対しての問題はあるが、定性的な判断材料を事例整理から 得ることができた。



図 3.19 すべり線推定精度の比較図

3.2.2 モデルデータを用いたプログラム特性の検証

(1)検討の目的

概略検討では、FEM 解析により求められた地すべり土塊の変位(地表面変位ベクトル)を用いて、す べり線推定プログラムの特性及び精度よくすべり線を推定するためのポイントの抽出を行った。すべり線 推定プログラムの高度化及び適用性の拡大については、プログラムの特徴を把握し、プログラムの解決す べき課題を抽出して改良していく必要がある。そのためには、理想的な地表面変位ベクトルが得られ、ま たすべり線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られる。そこで、数値解析(FEM 解 析)の結果を用いた検証を行った。

なお、プログラムの高度化や適用性の拡大においては、現場で得られた地表面変位ベクトルを用いた検 証も必要であるが、これらは測量誤差や地すべり運動メカニズムに起因する変位が含まれていることや、 推定したすべり線と比較するための実際のすべり線形状を明確に把握することができない。したがって、 このような検証だけでは、的確なプログラム改良の検討は難しい。しかしながら、実現象である地すべり 滑動から得られる地表面変位ベクトルを用いてすべり線形状を推定することが本プログラムの用途である ため、現場における計測誤差や地すべり運動メカニズムが影響した上で得られる地表面変位ベクトルから は、計測手法や、地すべり変動における地表面変形特性を考慮した上で、できる限り誤差を取り除く必要 がある。



図 3.20 FEM 解析モデルで検証を行う意義

(2)検証に用いた FEM 解析データ

検討に用いた FEM 解析データは、地すべりチームで別の研究課題において検討したものである。FEM 解析のモデルは、単純斜面の円弧型すべりモデルと実際の地すべり地をモデル化した椅子型すべりモデル である。各地すべりモデルでは、地下水の上昇によって地すべりが滑動する解析を行っている。具体的に は、地下水位の上昇に伴ってすべり線に作用する鉛直方向の間隙水圧によりすべり線のせん断抵抗が減少 し、それによって地すべり土塊が不安定化して滑動が生じる。それぞれの断面形状及び地すべりを滑動さ せた時の変位ベクトルを図 3.21、図 3.23 に示す。

本検討では、FEM 解析モデルの地すべり滑動の前と後の地表面座標を比較することにより得られる地

表面変位ベクトルを用いてすべり線を推定した。各モデルの地表面変位ベクトルを求めた位置は、図3.22 及び図3.24 に示す通りである。なお、FEM 解析モデルはメッシュが細かく切られており、それぞれ座標 を持っている。本検討では、地表面変位ベクトルの計測点が均等になるように、地すべり土塊内において 地表面変位ベクトルの計測点が 17~18 点となるようにピックアップした。



図 3.21 検討に用いた円弧型すべりの FEM 解析モデル



図 3.22 FEM 解析結果から求めた地表面変位ベクトル(円弧型すべり)



図 3.23 検討に用いた椅子型すべりの FEM 解析モデル



	х	Y
1	-4.180	-0.771
2	-4.397	-0.785
3	-4.489	-0.799
4	-4.555	-0.807
5	-4.586	-0.815
6	-4.595	-0.825
7	-4.607	-0.832
8	-4.624	-0.825
9	-4.633	-0.800
10	-4.609	-0.720
11	-4.518	-0.684
12	-4.427	-0.708
13	-4.248	-0.846
14	-3.923	-1.288
15	-3 432	-1 920
16	-3.021	-2 637
17	-3 013	-3 740
18	-3.088	-4 872
※値	UCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC	
	1041 E 10//JT1	

図 3.24 FEM 解析結果から求めた地表面変位ベクトル(椅子型すべり)

(3) すべり線推定ケース

すべり線推定は、すべり線を推定するために設定する地表面変位ベクトルの数(以下、「ベクトル数」 という)と配置バランスをパラメーターに、円弧型すべり(Case1 シリーズ)と椅子型すべり(Case2 シリーズ)について実施した。この時のブロック区分線の設定は、プログラムのデフォルトである地表 面変位ベクトル計測点の中間とした。また、椅子型すべりについて、ブロック区分線をすべり線の勾配 変化点(すべり線の上1/3付近)に任意設定し、ベクトル数と配置バランスをパラメーターに検討した ケース(Case3 シリーズ)を実施した。表 3.3 に推定シリーズの分類を、表 3.4 にケース名の意味を、 表 3.5~表 3.7 に各推定シリーズにおける推定ケースを示す。

なお、表中備考の*はすべり線が推定できなかったケースである。推定できなかったケースについて は、プログラムのアルゴリズム上、次の理由があることが判明した。すべり線推定プログラムでは、地 すべり頭部及び末端の点は地表境界点であり、そこに地表面変位ベクトルを設定しても、それは推定の ためのベクトルとして扱われない。すなわち、地表面変位ベクトルは無いものとされる。また、プログ ラムでは、地表面変位ベクトルが2つ以上必要である。したがって、地表面変位ベクトルを1つしか設 定しないケース及び、地表面変位ベクトルが2~3つあっても、それらの1~2つを地すべり頭部及び末 端の点に設定するケースについては、すべり線を推定することができない。

推定シリーズ	すべり線形状	ブロック線の設定方法
Case1 シリーズ	円弧型すべり	デフォルト(地表面変位ベクトルの中間)
Case2 シリーズ	椅子型すべり	デフォルト (地表面変位ベクトルの中間)
Case3 シリーズ	椅子型すべり	任意設定(すべり線の勾配変化点)

表 3.3 推定ケース

表 3.4 ケース名の意味(例: Case1-17-1-A)

項	Case1	17	1	А
		すべり線推定に使用	左記項内に	地表面変位ベク
意味	解析シリーズ	する地表面変位ベク	おける通し	トルの配置パ
		トルの数	番号	ターン
	9. 秳 粨			A:均等配置
種類	3 性短	$1 \sim 18$	—	B : 偏り配置
	上記衣を参照			C:ベクトル1つ

	計測	害	川合(%))			下部	エリア				中	腹エリ	リア				上部	エリア			1# +
ケース名	点数	下	中	上	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10	K-11	K-12	K-13	K-14	K-15	K-16	K-17	1 偏 考
Case1-17-1-A	17	35	29	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Case1-9-1-A	9	33	33	33	0		0		0		0		0		0		0		0		0	
Case1-8-1-A	8	38	25	38		0		0		0		0		0		0		0		0		
Case1-8-2-B	8	25	50	25	0			0			0	0	0	0				0			0	
Case1-7-1-B	7	57	14	29	0	0	0	0				0				0				0		
Case1-7-2-B	7	29	43	29	0				0		0		0		0		0				0	
Case1-7-3-B	7	29	14	57		0				0				0				0	0	0	0	
Case1-6-1-A	6	33	33	33	0			0			0			0			0			0		
Case1-6-2-A	6	33	33	33		0			0			0			0			0			0	
Case1-6-3-B	6	50	17	33	0		0		0			0				0				0		
Case1-6-4-B	6	33	17	50		0				0				0			0		0		0	
Case1-5-1-A	5	40	20	40	0				0				0				0				0	
Case1-5-2-B	5	40	60	0					0	0	0	0	0									
Case1-4-1-A	4	50	25	25		0				0				0				0				
Case1-4-2-A	4	25	50	25			0				0				0				0			
Case1-4-3-A	4	25	25	50				0				0			-	0				0		
Case1-4-4-B	4	50	50	0					0	0	0	Ó										
Case1-3-1-B	3	67	0	33	0		0														0	*
Case1-3-2-B	3	67	0	33	Õ				0												Õ	*
Case1-3-3-B	3	33	33	33	Õ						0										Õ	*
Case1-3-4-B	3	33	33	33	Õ								0								Õ	*
Case1-3-5-B	3	33	33	33	Õ										0						Õ	*
Case1-3-6-B	3	33	0	67	Õ												0				Õ	*
Case1-3-7-B	3	33	0	67	Õ												-		0		Õ	*
Case1-3-8-B	3	67	0	33		0		0												0		
Case1-3-9-B	3	67	0	33		Õ				0										Õ		
Case1-3-10-B	3	33	33	33		Õ						0								Õ		
Case1-3-11-B	3	33	33	33		Õ								0						Õ		
Case1-3-12-B	3	33	0	67		Õ										0				Õ		
Case1-3-13-B	3	33	0	67		Õ												0		Õ		
Case1-3-14-B	3	33	67	0		-				0	0	0										
Case1-2-1-B	2	50	0	50			0												0			
Case1-2-2-B	2	50	0	50			Õ										0					
Case1-2-3-B	2	50	50	0			Õ								0							
Case1-2-4-B	2	50	50	0			0						0									
Case1-2-5-B	2	50	0	50					0										0			
Case1-2-6-B	2	0	50	50							0								Õ			
Case1-2-7-B	2	0	50	50									0						Õ			
Case1-2-8-B	2	50	50	0						0	0											
Case1-1-1-C	1	100	0	0	0					Ŭ	Ŭ											*
Case1-1-2-C	1	100	0	0			0															*
Case1-1-3-C	1	100	0	0			Ŭ		0													*
Case1-1-4-C	1	0	100	0			1				0				1				1			*
Case1-1-5-C	1	0	100	0							Ŭ		0									*
Case1-1-6-C	1	0	100	0											0							*
Case1-1-7-C	1	0	0	100													0					*
Case1-1-8-C	1	0	0	100													Ŭ		0			*
Case1-1-9-C	1	0	0	100															Ŭ		0	*

表 3.5 円弧型すべり(Case1 シリーズ)の推定ケース一覧

	計測	害	判合(%)				下部	エリア	,				中腹	エリア					上部	エリア			/# *
- 7 一 人名	点数	下	中	上	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10	K-11	K-12	K-13	K-14	K-15	K-16	K-17	K-18	1冊 右
Case2-18-1-A	18	33	33	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Case2-15-1-B	15	40	40	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0			
Case2-9-1-A	9	33	33	33	0		0		0		0		0		0		0		0		0		
Case2-9-2-A	9	33	33	33		0		0		0		0		0		0		0		0		0	
Case2-6-1-A	6	33	33	33	0			0			0			0			0			0			
Case2-6-2-A	6	33	33	33			0			0			0			0			0			0	
Case2-5-1-A	5	40	20	40	0				0				Ō			-	0				0		
Case2-5-2-A	5	40	20	40		0				0				0				0				0	
Case2-5-3-B	5	60	20	20	0		0		0						0			-				Õ	
Case2-5-4-B	5	20	60	20	Õ							0		0		0						Õ	
Case2-5-5-B	5	20	20	60	Õ							Õ						0		0		Õ	
Case2-4-1-A	4	50	25	25	Õ					0					0					Õ			
Case2-4-2-A	4	25	25	50			0					0					0					0	
Case2-4-3-A	4	25	25	50	0						0	Ŭ					Õ					Õ	
Case2-4-4-A	4	50	25	25	Õ					0	Ŭ					0	Ť					Õ	
Case2-4-5-B	4	0	50	50	-					-	0	0						0		0			
Case2-3-1-A	3	33	33	33	0								0					-		-		0	*
Case2-3-2-A	3	33	33	33	Õ									0								Õ	*
Case2-3-3-B	3	33	67	0	Ŭ					0	0	0										Ŭ	
Case2-3-4-B	3	0	33	67							Õ								0	0			
Case2-3-5-B	3	0	33	67							Õ							0		Õ			
Case2-3-6-B	3	33	33	33		0					-		0								0		
Case2-2-1-A	2	50	0	50	0	Ť																0	*
Case2-2-2-B	2	50	0	50	Õ															0		Ť	*
Case2-2-3-B	2	50	0	50	õ													0					*
Case2-2-4-B	2	50	50	0	Õ											0		-					*
Case2-2-5-B	2	50	50	0	Õ									0									*
Case2-2-6-B	2	50	50	0	Õ							0											*
Case2-2-7-B	2	100	0	0	Õ					0													*
Case2-2-8-B	2	100	0	0	Õ			0															*
Case2-2-9-B	2	0	0	100	-														0			0	*
Case2-2-10-B	2	0	0	100													0					Õ	*
Case2-2-11-B	2	0	50	50											0							Õ	*
Case2-2-12-B	2	0	50	50									0		Ť							Õ	*
Case2-2-13-B	2	0	50	50							0		-									Õ	*
Case2-2-14-B	2	50	0	50					0													Õ	*
Case2-2-15-B	2	50	0	50			0															Õ	*
Case2-2-16-B	2	50	0	50	0																	Õ	*
Case2-2-17-B	2	0	100	0							0	0											
Case2-2-18-B	2	0	0	100														0		0			
Case2-1-1-C	1	100	0	0	0																		*
Case2-1-2-C	1	100	0	0			0																*
Case2-1-3-C	1	100	0	0					0														*
Case2-1-4-C	1	0	100	0							0												*
Case2-1-5-C	1	0	100	0		1		1	1				0								Ì		*
Case2-1-6-C	1	0	100	0		1		1	1		Ì	1			0						1		*
Case2-1-7-C	1	0	0	100		1		1	1		1			1			0						*
Case2-1-8-C	1	0	0	100		1		1	1		1			1					0				*
Case2-1-9-C	1	0	0	100		1	1	1	1						1		1				0		*
Case2-1-10-C	1	0	0	100		1	1	1	1						1		1					0	*

表 3.6 椅子型すべり(Case2 シリーズ)の推定ケース一覧

	計測	害	削合(%))			下部	エリア					中腹	エリア					上部	エリア			/# *
クーへ名	点数	下	中	F	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10	K-11	K-12	K-13	K-14	K-15	K-16	K-17	K-18	順方
Case3-18-1-A	18	33	33	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Case3-15-1-B	15	40	40	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0			
Case3-9-1-A	9	33	33	33	0		0		0		0		0		0		0		0		0		
Case3-9-2-A	9	33	33	33		0		0		0		0		0		0		0		0		0	
Case3-6-1-A	6	33	33	33	0			0			0			0			0			0			
Case3-6-2-A	6	33	33	33			0			0			0			0			0			0	
Case3-5-1-A	5	40	20	40	0				0				0				0				0		
Case3-5-2-A	5	40	20	40		0				0				0				0				0	
Case3-5-3-B	5	60	20	20	0		0		0						0							0	
Case3-5-4-B	5	20	60	20	0							0		0		0						0	
Case3-5-5-B	5	20	20	60	0							0						0		0		0	
Case3-4-1-A	4	50	25	25	0					0					0					0			
Case3-4-2-A	4	25	25	50			0					0					0					0	
Case3-4-3-A	4	25	25	50	0						0						0					0	
Case3-4-4-A	4	50	25	25	0					0						0						0	
Case3-4-5-B	4	0	50	50							0	0						0		0			
Case3-3-1-A	3	33	33	33	0								0									0	*
Case3-3-2-A	3	33	33	33	0									0								0	*
Case3-3-3-B	3	33	67	0						0	0	0											
Case3-3-4-B	3	0	33	67							0								0	0			
Case3-3-5-B	3	0	33	67							0							0		0			
Case3-2-17-B	2	0	100	0							0	0											
Case3-2-18-B	2	0	0	100														0		0			

表 3.7 椅子型すべり(Case3 シリーズ、任意設定ブロック区分線)の推定ケース一覧

(4) すべり線推定式

本検討では、複合多項式法を用いた。ブロック区分線は、前述した通り、Case1 シリーズ及び Case2 シリーズではプログラムのデフォルトである地表面変位ベクトル位置の中間とした。また Case3 シリー ズでは、すべり線の勾配変化点(すべり線上 1/3 付近)に1本設定した。パラメーター値(α、β)は、 全ケース共通でα=0.0、β=0.1 とした。

(5) 推定結果の評価方法

推定されたすべり線の評価は、①描かれたすべり線の形状を目視で評価する方法と、FEM 解析のす べり線の形状(以下、「FEM すべり線」という)を数式化し、推定したすべり線の形状(以下、「推定 すべり線」という)との座標的相関を②独自の相関係数で評価する方法、両すべり線の同一X座標にお けるY座標(標高)の差の絶対値平均値を③Y軸標高差指数として表して評価する方法で行った。なお、 本検討で用いた相関係数は、通常の数学で用いる相関係数をもとに、ゼロに近いほど高い相関があるこ とを示す係数に変換している。式(3.1)及び式(3.2)に各指標の算出方法を示す。

相関係数=(1-数学的相関係数)×10,000 ・・・ 式(3.1)

- ※数学的相関係数は1に近いほど相関があるという指数であるため、今回の相関係数はゼロに近い ほど相関があるということになる。
- Y 軸標高差指数=|FEM すべり線のY座標-推定すべり線のY座標|の平均値 ・・・ 式(3.2) ※FEM すべり線と推定すべり線のY座標のズレの大きさを示す指標であり、ゼロに近いほど両者 は類似していることとなる。

FEM すべり線の形状を表す数式(近似式)は、円弧型すべりについては単純円弧に近い形であるため、1つの数式で表現した。椅子型すべりについては、底面のすべり線と背面のすべり線を分け、2つの数式で表した。図 3.25 及び図 3.26 に、それぞれの近似式を示す。



図 3.25 円弧型すべりのすべり線形状を表す数式



図 3.26 椅子型すべりのすべり線形状を表す数式

(6) 推定結果及び考察

すべり線推定の結果について、以下にまとめる。なお、項末に示す表 3.8~表 3.10 に、全ケースの推定結果を示す。一部の推定ケースについては、複合多項式法ではすべり線が推定できないものがあったため、それらについては推定不能と表記した。

①目視評価による推定精度の評価

ここでは、目視の評価により、すべり線推定に使用するベクトル数の密度の違いが、推定結果に及ぼ す影響についてまとめる。図 3.27~図 3.31 に円弧型すべりの解析結果を、図 3.32~図 3.35 に椅子型す べり(Case2 シリーズ、デフォルトブロック区分線)を示す。

これらの図を見ると、一概にベクトル数が多いほど精度良くすべり線が推定できる訳ではない結果と なっている。多くのケースで、推定したすべり線形状にうねりが見られ、FEM すべり線と大きくこと なる形状を推定しているケースもある。

円弧型すべりで、地表面変位ベクトルを17つ(最大値)使用した Case1-17-1-A では、うねりが見ら れるが、大局的なすべり線形状としては FEM すべり線に近い形状となっている。ベクトル数が9つの Case1-9-1-A ではうねりがおおきく、FEM すべり線とはかなり違う形状となっている。使用ベクトル が6つの Case1-6-1-A では、かなり精度良くすべり線形状を推定している。

これらの結果を鑑みると、推定に使用するベクトル数と推定されるすべり線形状の精度はあまり関係 がないように思われる。椅子型についても同様な傾向であり、使用するベクトル数が少なくても、上手 く推定(プログラム上の何かがうまくいっている)できれば、精度良くすべり線形状を描くことができ ると考えられる。

なお、これらの推定結果は、各地表面変位ベクトル位置の中間にブロック区分線を設定し、ブロック 区分されたブロック内には推定に用いる地表面変位ベクトルが1つの状態で求められたものである。こ のような設定の仕方が、推定したすべり線形状にうねりが発生したり、推定に使用するベクトル数が多 くても精度良くすべり線形状が推定できない原因の1つと考えられる。

41







図 3.28 Case1-9-1-Aの推定結果(使用ベクトル数:9(中庸))



図 3.29 Case1-6-1-Aの推定結果(使用ベクトル数:6(中庸))







図 3.31 Case1-3-10-Bの推定結果(使用ベクトル数:3(粗))



図 3.32 Case2-18-1-Aの推定結果(使用ベクトル数:18(密))





図 3.33 Case2-9-2-Aの推定結果(使用ベクトル数:9(中庸))

図 3.34 Case2-5-1-Aの推定結果(使用ベクトル数:5(粗))



図 3.35 Case2-3-6-Bの推定結果(使用ベクトル数:3(粗))

②使用する地表面変位ベクトルの数とすべり線推定精度

前項では、いくつかのケースを抽出して、推定に使用するベクトル数と推定精度の関係を述べた。ここでは、推定を行った全てのケースについて、本検討で提案した指数を用いて傾向をみる。推定すべり線と FEM すべり線について、相関係数を用いて比較したものを図3.36 に、Y 軸標高差指数で比較したものを図3.37 に示す。

各図を見ると、ベクトル数が多いほど、相関係数やY軸標高差指数の値が大きくなる推定精度が悪い ケースが出現しなくなることが分かる。特にその傾向は椅子型すべりでよく分かる。しかしながら、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小さいにも関わらず、相 関係数やY軸標高差指数が小さくなる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 べりのすべり線形状は単純であり、プログラム上において上手く推定できる位置に地表面変位ベクトル を結果的に与えることができたため、その数が少なくても精度良く推定できたと考えられる。このこと を考えると、これは適切な位置に地表面変位ベクトルを与えれば精度良くすべり線形状を推定できるこ とを示していると思われる。しかしながら、反面、不適切な位置に地表面変位ベクトルを与えればすべ り線推定に用いる情報(地表面変位ベクトル)が少なく上手く推定できないこともある。すなわち、推 定に用いる地表面変位ベクトルの数が少ない場合、推定されるすべり線形状の精度はバラツキが大きい ことを示唆しているものと考える。



図 3.36 推定すべり線と FEM すべり線の比較(相関係数)



図 3.37 推定すべり線と FEM すべり線の比較(Y 軸標高差指数)

③ブロック区分線の位置とすべり線推定精度

椅子型すべりでは、地すべりの底面を規定しているすべり線と背面を規定しているすべり線があり、 その間にすべり線の勾配が大きく変化する変化点が存在する。すべり線推定プログラムにおいては、ブ ロック区分線の位置ですべり線形状の数式が変化する。そこで、椅子型すべりについて、すべり線の勾 配変化点にブロック区分線を任意設定してすべり線を推定した(Case3シリーズ)。ここではブロック 区分線をデフォルトで設定した場合(Case2シリーズ)と任意設定した場合(Case3シリーズ)の違い について比較する。なお、Case3シリーズ全ケースの推定結果を項末の表 3.10 に示す。

図 3.38 に、推定すべり線と FEM すべり線の比較を行うために設けた指標(相関係数、Y 軸標高差指数)を用いて、Case2 シリーズから Case3 シリーズになってどの程度すべり線の推定精度が改善されたのか、改善率(%)を用いて示す。なお、改善率(%)とは、Case2 シリーズの指標÷Case3 シリーズの百分率である。そのため、改善率が 100%を切っているものはすべり線の推定精度が良くなったケース、100%を越えているものは推定精度が悪くなったケースを表す。

図を見ると、すべり線の推定精度に変化があったことが読み取れ、精度良くすべり線が推定できるようになったケースがあることが分かる。しかしながら、推定精度が悪くなったケースもあることが分かる。改善率とベクトル数との関係は認められない。

そこで、推定精度が大きく変化したケース(改善率が最良のケースと最悪のケース。ただし、Case2 シリーズで極端に推定精度が悪かった Case2-3-4-B と Case2-3-5B は除く)をピックアップしてその変 化を見る。図3.39 に改善率が良かったケースを示す。図3.39 のa)に示すデフォルトブロック区分線 での結果は、すべり線形状が深く推定され、さらにうねりが発生していた。それに対して、図3.39 のb) に示す任意設定ブロック区分線では、FEM すべり線に近い椅子型のすべり線形状を推定することがで きている。一方、図3.40 に改善率が悪かったケースを示す。図3.40 のa)に示すデフォルトブロック

46

区分線での結果は、少しのうねりが見られるが、概ね FEM 解析のすべり線形状に似たすべり線を推定 している。それが、図 3.40 の b) に示す任意設定ブロック区分線では、地すべり頭部と末端をほぼ直線 で結ぶようなすべり線の形状を推定した。

このように、任意設定ブロック区分線とすると直線的なすべり線を推定するケースがいくつかある。 それらを列挙すると、Case3-5-2-A、Case3-5-3-B、Case3-5-4-B、Case3-4-2-A、Case3-4-3-A、Case3-4-4-A である。これらの共通する事は、地すべり頭部の地表面変位ベクトル(K-18)を使ってすべり線を推定 するケースである。そして、すべり線の勾配変化点に設けたブロック区分線の山側にはこのベクトルし かない状態になっている。すなわち、前述したように、プログラムの特性として、地すべり頭部の地表 境界点に与えられる地表面変位ベクトルはすべり線推定には用いられないということから、これらの ケースはブロック区分線の山側において、すべり線形状を推定する地表面変位ベクトルがないまま推定 したということになる。

このような特殊な事情があるケースを除くと、多くのケースで FEM すべり線に近い椅子型のすべり 線を推定できていることが分かる。このことから、ブロック区分線の設定位置は重要であり、すべり線 の勾配変化点に設定するとすべり線の推定精度が向上することが分かった。

本項において、ブロック区分線をすべり線の勾配変化点に設定すると、すべり線の推定精度が向上す るケースがあることが分かったが、その一方で、推定精度が悪くなるケースもあることが分かった。推 定精度が悪くなる原因の1つとして、プログラムでは地表境界点に与えられる地表面変位ベクトルはす べり線推定には用いられないという特殊な状態になっていたことがあるが、それ以外にも推定精度が悪 くなっているケースがある。今後、これらの原因を追求してプログラム改良に反映させる必要がある。

ここで注意しておかなければいけないのは、本検討はすべり線形状が既知であるデータを使った検証 を行っているためにすべり線の勾配変化点にブロック区分線を任意設定できるのであって、実際の地す べりにおけるすべり線推定では、答えとなるすべり線形状を知らない状態でプログラムを使用するとい うことである。そのため、ブロック区分線の任意設定については、地すべりの現地踏査から得られる情 報や、地表面変位ベクトルの配置や方向などを勘案して決定できるような技術的判断材料を整える必要 がある。

47





a) デフォルトブロック区分線(Case2-6-1-A(相関係数3,988.8,Y軸標高差指数32.1))



b) 任意設定ブロック線(Case3-6-1-A (相関係数 328.2, Y 軸標高差指数 3.95))

図 3.39 改善率が良かったケース



a) デフォルトブロック区分線(Case2-5-2-A(相関係数80.0, Y軸標高差指数1.10))



b) 任意設定ブロック線(Case3-5-2-A (相関係数 324.2, Y 軸標高差指数 4.50))
 図 3.40 改善率が悪かったケース

④FEM 解析から得た地表面変位ベクトルの特徴とそこから考えられるすべり線推定手法

FEM 解析から得た地表面変位ベクトルについて、ベクトルの方向とベクトルから鉛直線下にあるす べり線の勾配との角度差、及びベクトル垂直線下にあるすべり線の勾配との角度差について検討した。 図3.41 に椅子型すべりのすべり線勾配変化点付近の地表面変位ベクトル及びすべり線を示す。図からは、 ①鉛直線下にあるすべり線の勾配よりも②ベクトル垂直線下にあるすべり線の勾配のほうが、地表面変 位ベクトルの方向と類似していることが分かる。すなわち、前者はベクトルとすべり線勾配の角度差が 大きく、後者では小さいということである。



すべり線の勾配とベクトルの角度差 図 3.41 椅子型すべりにおける地表面変位ベクトルとすべり線の勾配の関係

このベクトルの方向とすべり線勾配の差について、円弧型すべりと椅子型すべりについて、すべり線 全体における値を求めた(図3.42)。図3.42のa)に示す円弧型すべりを見ると、全体を通してベクト ル垂直線との角度差は小さいことが分かる。一方、鉛直線は、すべり線の上3/4 あたりの位置をピーク として角度差が大きくなる傾向にある。図3.42のb)に示す椅子型すべりでは、円弧型すべりと比較す るとベクトル垂直線でもすべり線の勾配変化点付近で角度差が大きくなる。しかしながら、それ以上に 鉛直線では大きな角度差が生じ、最大で約15°の角度差が発生している。

この現象について円弧型すべりの各地表面変位ベクトルに対して、鉛直線とベクトル垂直線を描いて みた(図3.43)。すると、円弧型すべりについて、すべり線下1/3よりも上側で鉛直線とベクトル垂直 線で角度差が異なってきた原因ついて読み取ることができる。すなわち、すべり線下1/3付近では鉛直 線とベクトル垂直線はほぼ同じような角度となるのに対し、徐々に地すべり頭部に向かうにしたがって 両者の角度に違いができ、それが角度差となって現れているということが分かる。椅子型についても、 すべり線の底面については、鉛直線とベクトル垂直線は同じような角度となるが、すべり線の勾配変化 点付近になると両者の角度には大きな違いが生じる。

このようなことを考えると、FEM 解析から得た地表面変位ベクトルはベクトル垂直線下のすべり線 の勾配を示していると言え、すべり線推定プログラムですべり線形状を求める場合においては鉛直なブ ロック区分線ではなく、ベクトルに垂直なブロック区分線を設定することが、より精度良くすべり線を 求めるポイントと考えられる。

50

そこで、椅子型すべりについて、地表面変位ベクトルを 17 つ使用して多角形回転法ですべり線を推定した(図3.44、図中、FEM 解析のすべり線に最も近い赤い線)。すると、非常に FEM 解析の結果と類似したすべり線形状を推定することができた。このことから、スムーズなすべり線形状を推定することができる複合多角形法においても、ブロック区分線をベクトル垂直方向に設定すれば、スムーズかつ精度良いすべり線が推定できると考える。既往の推定手法のミックスということであり、名称としては回転複合多項式法と呼ぶような推定手法と思われる。









(FEM すべり線に最も近い推定すべり線が多角形回転法で求めたすべり線)

3.2.3 問題点に対する詳細検討

既往報告 10 事例の整理結果から抽出された「現状の問題点」について、詳細な検討を行った。検討を行う際、10 事例のデータと共に、3.2.2 節で検証したモデルデータを使用した。

既往報告 10 事例のデータは、計測誤差など、すべり線推定精度に影響を及ぼすと考えられる要因が含ま れている可能性がある。一方、FEM 解析により求められた地表面変位ベクトルは、計測誤差が含まれてい ない、理想条件での地すべりブロックの滑動状況を示している。そのため、既往報告 10 事例のデータと FEM 解析から求められたモデルデータの両方を用いることにより、詳細検討の精度を上げられると考えた。

なお、「現状の問題点」について、モデルデータを用いた検討の結果、新たな問題点も発見された。その ため、当初の検討内容に追加した、以下 6 項目の詳細検討を行った。

- 1. "うねり"の問題
- 2. 計測時期と計測期間
- 3. 斜面長とベクトル量の比率
- 4. ブロック区分線の設定位置
- 5. 地表境界点上の地表面変位ベクトル
- 6. 特異な事例

上記の問題点とその対応・検討内容、検討結果を表3.11に示し、以下各検討内容について記述する。

(1) "うねり"の問題

モデルデータを用いてすべり線の推定を行った場合、理想的な地表面変位ベクトルを用いているにもかか わらず、推定すべり線がうねり、理想的なすべり線を推定しない結果が多く存在する。この問題について、 プログラムの開発者を含めた検討会を開催した。

検討会では以下のことが話し合われた。

- ① "うねり" を消す方法
- ・数学的テクニックをプログラムに組み込み、うねりを消すことが可能である。
- ・ブロック区分線を移動させることにより、うねりを消すこともできる。
- αを大きくすることにより、うねりを消すこともできる。ただし、曲率の大きな二次曲線を仮定することになる。そのため、円弧状のすべり線は対応できる可能性はあるが、椅子型や、舟底型のすべり線をうまく推定できるかどうか、わからない。
- ・上に凸のすべり線が推定された場合にエラーとして処理する方法もあるが、局所的に上に凸のすべり線 が存在する地すべりが実際にあるため得策ではない。オプションで制限すべきではないか。
- ・現在の複合多項式法は区分されたブロックごとに二次曲線を算出している。境界部は不連続となり多少のうねりが発生しやすい。いくつかのブロックを一つのブロックとみなし、二次曲線を算出すると、うねりが発生しにくくなるのではないか。

②プログラムの設計思想

- ・現状のプログラムは、全て自動設定ではない。主なプロセスでは技術者の判断を必要とし、これにより さまざまなすべり線が推定できるようになっている。
- ・デフォルトのブロック区分線は消去するための線であり、入力するより削除するほうが簡単という使いやすさを考慮し表示させている。
- ・α、βのデフォルト値は、工学的な根拠からではなく、経験的な数値である。そのため、検討の余地が ある。
- ③プログラム改良方針の検討
- 小さなベクトルを与えた場合、推定すべり線が非常に深くなるのは、連立方程式を解く過程での桁落ちが原因。64 ビットのコンピュータを使用しても、有効桁数に限界があり、桁落ちを防ぐ方法はなかなか難しい。現在のプログラムの中では、できるだけ桁落ちしないように連立方程式を解くテクニックを用いているが、もっと考える必要がある。
- ・[多角形回転法+複合多項式法]多角形回転法で出力されるブロック区分線を用いて複合多項式法の計算を行う方法を考えたが、ブロック区分線が交差すると、複合多項式法の計算が行えないためうまく計算できないケースがあった。多角形回転法である程度形状の見当を付け、その後はトライアルですべり線推定を行う方法がよい。
- ・プログラムの解析精度として、理想的な地表面変位ベクトルを取得できた場合は、デフォルト値のα、 βの使用で事例すべり線に近似する精度が求められる。
- ・α、βが各地すべりブロックで同一値が適用されることを改良する。
- ・ベクトルの重複使用時のケースでも、解析が可能となるよう改良すべきではないか。

以上のように検討会を開催した結果、うねりの原因やうねりを消す方法が提案され、プログラムの設計思 想が明らかとなった。また、プログラムの改良方針についても検討した。

(2) 計測時期と計測期間

異なる計測時期・計測期間の地表面変位ベクトルを使用した場合、すべり線推定精度が異なる。そのため、 椅子型のすべり線である大所の例と、円弧モデル解析の例を用いて検討を行い、精度良くすべり線を推定で きる計測時期と計測期間を検討した。検討結果は以下に記すとともに、**表 3.11** にまとめた。

<椅子型(大所)の例を用いた検討の結果>(図3.46参照)

- ・初期すべり(的)な地表面変位ベクトルを用いて、すべり線を推定した場合、精度良くすべり線を推定できる。
- ・長期間の大きな地表面変位ベクトルを用いてすべり線を推定した場合、推定すべり線が若干浅くなり、すべり線の推定精度があまり良くない。
- ・ 滑落後の地表面変位ベクトルを用いてすべり線を推定した場合、非常に浅いすべり線が推定され、良好な すべり線を推定できない。

<円弧モデル解析の例を用いた検討の結果> (図3.47参照)

- ・初期すべり(的)な地表面変位ベクトルを用いて、すべり線を推定した場合、精度良くすべり線を推定できる。
- ・長期間の大きな地表面変位ベクトルを用いてすべり線を推定した場合、推定すべり線が若干浅くなり、すべり線の推定精度があまり良くない。

これらの検討結果から、解析に使用する地表面変位ベクトルは、その取得時期が重要であることが分かった。

(3) 斜面長とベクトル量の比率

斜面長とベクトル量の比率により、すべり線の推定精度が異なる。そのため、様々な大きさの地表面変位 ベクトルと、様々な長さの斜面長を用いてすべり線を推定した。

はじめに、斜面長約200m、ベクトル量約500mmの円弧モデルを基本とし、すべり線を推定した。次に、 基本モデルの地表面変位ベクトルを1/10(約50mm)に縮小したモデルと、地表面変位ベクトルを1/100(約 5mm)に縮小したモデルを作成し、すべり線を推定した。検討結果は、図3.48に示す。

次に、基本円弧モデルの斜面を 1/10(約 20m)に縮小したモデルを作成した。そして、基本モデルのベクトル量 500mm と、1/10(約 50mm)、1/100(約 5mm)のベクトル量を用いて、すべり線を推定した(図 3.50 参照)。

これらの概略検討から、斜面長とベクトル量の比率により、すべり線の推定精度が異なることが判明した。 そのため、さらに詳細に検討し、精度良くすべり線を推定できる比率を求めることとした。

検討に用いたモデルは、概略検討と同じ、斜面長約 200m、ベクトル量約 500mm の円弧モデルである。 この円弧モデルを基本とし、斜面長を 1/2、1/4、1/8、1/16 に縮小した斜面と、2 倍、4 倍、8 倍に拡大した 斜面、合計 8 種類の斜面を作成した。最大斜面長は 1600m、最小斜面長は 12.5m である。ベクトル量は、 円弧モデルを基本とし、1/2、1/4、1/8、1/16、1/32、1/64、1/128、1/256 に縮小した地表面変位ベクトルと、 2 倍、4 倍、8 倍に拡大した地表面変位ベクトル、合計 12 種類の地表面変位ベクトルを作成した。最大のベ クトル量は 4000mm、最小のベクトル量は 2mm である。

これら8種類の斜面長と12種類のベクトル量を用いて、合計96種類のすべり線推定を行った。検討結果は、表3.11および、図3.49に示す。

以上の検討の結果、以下のことが判明した。

・斜面長とベクトル量の比率(ベクトル量 / 斜面長)を概ね 0.5%にすると、精度良くすべり線を推定できる

検討の結果、現状のプログラムでは、精度良くすべり線を推定できる、斜面長とベクトル量の比率が存在 することが判明した。

(4) ブロック区分線の設定位置

ブロック区分線の設定位置により、推定すべり線形状が異なる。そのため、ブロック区分線の設定位置を 変化させ、すべり線を推定した。検討には、椅子型のモデルと、円弧型のすべり線である播但道の例を使用 した。

検討結果は、表3.11および、図3.50に示すとともに、以下にまとめる。

・ブロック区分線の設定位置を変化させることにより、形状の異なるすべり線が推定される。

・椅子型すべりの場合、すべり線の変曲点付近に1本のブロック区分線を設定すると、精度良くすべり線を 推定できる。

・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。

以上のように、ブロック区分線の設定位置により、すべり線推定精度を向上させることが可能であり、ブ ロック区分線の設定位置が重要であるといえる。ただし、今回推定したすべり線は、推定前に答えとなるす べり線形状が判明している場合の検討である。実際に、すべり線推定プログラムを利用する場合は、すべり 線形状が分からない状況で、使用しなければならない。したがって、実際の利用状況を考慮すると、地すべ りに関する経験的知見も含めた適切なブロック区分線の設定位置を検討しなければならないと考えられる。

(5) 地表境界点上の地表面変位ベクトル

右地表境界点と左地表境界点上に地表面変位ベクトルが設定されていた場合、解析に反映されていない可能性がある。この問題については、3.2.2項「モデルデータを用いたプログラム特性の検証」の中で得られた知見である。この問題を解決するために、椅子型モデルを使用して検討した。検討結果は、表 3.11 および、図 3.51 に示すとともに、以下にまとめる。

・地表面変位ベクトルの位置を極わずかに外側にずらすと、計算に反映され、精度良くすべり線を推定できる

以上のように、地表境界点上の地表面変位ベクトルに注意することによって、精度良くすべり線を推定す る方法が判明した。しかし、実際の現場では、滑落崖が地表境界点となる。そのため、地表境界点上に、地 表面変位ベクトルを入力することは稀であると考えられる。そのため、地表境界点上の地表面変位ベクトル については、プログラム使用における注意事項として扱うことになった。

(6) 特異な事例

既往報告 10 事例の中の1 つである高沢入地すべりは、計測点が頭部・中央・末端にそれぞれ1 点ずつあ り、円弧型のすべり線形状を示している事例である。そのため、精度良くすべり線を推定できる条件がそろっ ていると考えられる。しかし、相関係数やすべり線差異、変化率を算出した結果、推定精度が良くないこと が判明した。この事例は、現場特有の状況があると判断したため、すべり線の三次元形状や、地表面変位ベ クトルの測定結果などについて、詳細な検討を試みた。検討の概要を表3.11 に示し、検討結果は、3.2.4 項 「高沢入地すべりに関する検討」に示す。これらの検討の結果、高沢入地すべり特有の状況や、計測地点に ついての注意事項が判明した。

番号	Ÿ 蝁詛	趢ᅛ槹斔・迎桜	検討結果	検討資料
-	理想的な地表面変位ペケトルを用いた場合でも、推定すいを用いた場合でも、推定すくり線がうおり、理想的なすくり線を推定しない。	 うおりの原因に関する検討 ①プログラム開発者による、うおりの原因の検討 ②アルゴリズムの改良(仮称:回転複合多項式法)の検討 3 α 値、8 値の設定方法の検討 	 うねりの原因に関する検討 ・開発者を含めたうおりの原因に関する検討会を2007年11月8日に開催した。 ・開発者を含めたうおりの原因に関する検討会を2007年11月8日に開催した。 ・理想的な地表面変位ベクトルを用いた場合、デフォルト値のαβで解析した時に、ある程度の精度ですべり線を推定できることが求められる。 ・プログラムの改良時期を早められるか検討する。 	
2	異なる計測時期・計測期間 の地表面変位ベクトルを使用 した場合、推定されるすべり 線形状が異なる。	2. 計測時期と計測期間に関する検討 椅子型(大所の例)の例 ①初期の大らの地表面変位ペクトルを用いてすべり線を推定 ②振期間の大きひ地衝変位ペクトルを用いてすべり線を推定 ③清落後の地表面変位ペクトルを用いてすべり線を推定 ③清落後の地表面変位ペクトルを用いてすべり線を推定 ①初期すべりの地表面変位ペクトルを用いてすべり線を推定 ②長期間の大きな地表面変位ペクトルを用いてすべり線を推定 ③きらに長期間の大きな地表面変位ペクトルを用いてすべり線を推定	2. 計測時期と計測期間に関する検討(大所の例、円弧モデル解析の例) 椅子型(大所の例)の例 一期有マシ(16)な地表面変位ペクトルを用いた場合、比較的良好なすべり線が推定される。 長期間の大きな地表面変位ペクトルを用いた場合、やや浅いすべい面が推定される。 ・澤落後の地表面変位ペクトルを用いた場合、やや浅いすべい面が推定される。 ・澤落後の地表面変位ペクトルを用いた場合、比較的良好なすべり線が推定される。 ・初期すべり(的)な地表面変位ペクトルを用いた場合、比較的良好なすべり線が推定される。 ・ む期すくし(的)な地表面変位ペクトルを用いた場合、やや浅いすべい面が推定される。 ・ 長期間の大きな地表面変位ペクトルを用いた場合、やや浅いすべい面が推定される。 ・ 長期間の大きな地表面変位ペクトル(観測データ)の取得時期が重要となる。	図3.36 計測時期と計測期間に関す る検討 埼子型(大所)の例 図3.37 計測時期と計測期間に関す る検討 円弧モプル解析の例
σ	同じ斜面を用いた場合でも、べったい屋が異なると、推定、ベクトル屋が異なると、推定さされるすべり線形状が異なる。	 第面長とベクトル量の比率に関する検討(円弧モデル解析の例) 概路検討 ①ベクトル量を1/1、1/10、1/100に変更してすべり線を推定し検討 ②約面長を1/10に縮小し、ベクトル量を1/1、1/10、1/100に変更してすべり線を推定し検討 ②12種類のベクトル量と8種類の斜面長を用いて、96種類の比率を検討 ③12種類のベクトル量と8種類の斜面長を用いて、96種類の比率を検討 	3. 斜面長とベクトル量の比率に関する検討(円弧モデル解析の例) 3. 斜面長とベクトル量の比率に関する検討(円弧モデル解析の例) ベクトルが長い場合、推定すべり線が非常に深くなり、不適切な推定結果になる。 ・ベクトルがまに回い場合、推定すべり線が非常に深くなり、不適切な推定結果になる。 1. 4. 4. 4. 4. 4. 4. 4. 4. 4. 4. 4. 4. 4.	図3.38 モデルの大きさとベクトル量 に関する概略検討 図3.39 モデルの大きさとベクトル量 に関する詳細検討 に関する詳細検討
4	プロック区分線の設定位置 により、推定されるすべり線 形状が異なる。	 4. ブロック区分線の設定位置を変化させた検討 (1) 柿子型モデルの例 (2) 6ase1-1 ブロック区分線右1本 (3) 6ase1-1 ブロック区分線右1本 (3) 50 - 3 ブロック区分線右1本 (5) 50 - 3 ブロック区分線右1本 (5) 50 - 4 ブロック区分線右1本 (5) 50 - 4 ブロック区分線右し (5) 50 - 4 ブロック区分線右し、 (5) 50 - 4 ブロック区分線右側2本 (5) 51 - 5 ブロック区分線右側2本 (5) 51 - 5 ブロック区分線右1本 	 4. プロック区分線の設定位置を変化させた検討(椅子型モデルの例、円弧型(播但道)の例) ・プロック区分線の設定位置を変化させることにより、形状の異なるすべり線が推定される。 ・椅子型すべりの場合、すべり線の変曲点付近に1本のプロック区分線を設定すると、精度良くすべり線を推定できる。 ・地すべりタイプごとに、適切なプロック区分線の設定位置が存在する可能性がある。 	図3.40 ブロック区分線の設定位置を 変化させた検討
5	右地表境界点と左地表境 界点上に地表面変位ペクトル が設定されていた場合、解析 に反映されていない可能性 がある。	5. 地表境界点上の地表面変位ペクトルに関する検討 ①Case3-5-2-A(椅子型モデル)を用いた検討 - 計測点上にある石地表境界点を有い側に移動 ②Case3-5-4-B(椅子型モデル)を用いた検討 - 計測点上にある石地表境界点を右(外側)に移動、 計測点上にある石地表境界点を右(外側)に移動	5. 地表境界点を移動させた検討 ・地表境界点を移動させた検討 ・地表境界点を地表面変位ペクトルの外側に極わずかに移動させた場合、推定されるすべり線形状・ が大きく変化する(解析に反映され、精度良くすべり線を推定できる)。	図3.41 地表境界点上の地表面変位 ペクトルに関する検討
Q	特異な事例について、なぜ そのような結果になったか、 検討する必要がある。	6. 高沢入地すべりの検討 ・主測線断面だけでなく、三次元形状や、測定された地表面変位ペクトルについて検 討	6. 高沢入地すべりの検証 ・地すべり頭部の計測地点、9-4の計測データを解析に反映させると推定構度が良くなる可能性が ある。 ・適切な箇所に計測地点を配置する。 ・適切な箇所に計測地点を配置する。 ・観測点を面的に配置して、異常値を見いだし、それを除去する。 ・状段のり肩には計測地点を配置せず、小段の中央、あるいは、山側に設置する。	検討資料3.1 高沢入地すべりに関す る検討

表3.11 詳細検討の項目と結果の一覧表

※計測地占6330け論外	
のかますよりのかまますかけなら	しょうロレイナイリ始く地方
①別別タヘッの地衣面変位ヘク	トルを用いしりへり線を推正

	IA	-1		2/110 67	IA-2			IA-3		IA-4				
	日数	ds	dz		ds	dz		ds	dz		ds	dz		
1995/5/1	0	0.00	0.00	1995/5/1	0.00	0.00	1995/5/1	0.00	0.00	1995/5/1	0.00	0.00	6 7	
1995/11/1	184	-572.00	-116.00	1995/11/1	-383.00	-85.00	1995/11/1	-329.00	-234.00	1995/11/1	-362.00	-175.00	折	
1996/5/1	366	-883.00	-206.00	1996/5/1	-629.00	-172.00	1996/5/1	-533.00	-426.00	1996/5/1	-580.00	-363.00	≻ iË	
1996/11/1	550	-1020.00	-195.00	1996/11/1	-720.00	-139.00	1996/11/1	-608.00	-467.00	1996/11/1	-694.00	-380.00	100	
1997/5/1	731	-1153.00	-233.00	1997/5/1	-830.00	-285.00	1997/5/1	-686.00	-541.00	1997/5/1	-755.00	-452.00	甬	
1997/11/1	915	-1219.00	-205.00	1997/11/1	-871.00	-162.00	1997/11/1	-760.00	-335.00	1997/11/1	-831.00	-244.00	L	
1998/5/1	1096	-1328.00	-246.00	1998/5/1	-955.00	-383.00	1998/5/1	-788.00	-678.00	1998/5/1	-877.00	-568.00	te	
1998/11/1	1280	-1399.00	-253.00	1998/11/1	-1011.00	-385.00	1998/11/1	-837.00	-692.00	1998/11/1	-933.00	-580.00	~	
1999/5/1	1461	-1364.00	-235.00	1999/5/1	-969.00	-394.00	1999/5/1	-915.00	-646.00	1999/5/1	-985.00	-538.00	ク	
1999/11/1	1645	-1447.00	-325.00	1999/11/1	-997.00	-271.00	1999/11/1	-959.00	-620.00	1999/11/1	-1032.00	-499.00	F	
2000/5/1	1827	-1545.00	-311.00	2000/5/1	-1080.00	-203.00	2000/5/1	-1025.00	-780.00	2000/5/1	-1105.00	-652.00	ル	
2000/11/1	2011	-1577.00	-348.00	2000/11/1	-1081.00	-278.00	2000/11/1	-1158.00	-637.00	2000/11/1	-1231.00	-521.00		
7				AND ADD				and the second s	0 -00 -200 -300 -300 -500 -700 -800 -900 -800 -900	500 10 	累計日数 0 1500	2000 2500 入 夕 白抜き:		
				(a) Case1	すべり線推	定結果								

 ②長期間の大きな地表面変位ベクトルを用いてすべり線を推定

 IA-1
 IA-2

 日数
 ds
 ds
 IA-3 IA-4 A ds 0.00 dz 0.00 -116.00 -206.00 -295.00 -205.00 -246.00 -253.00 -253.00 -325.00 -325.00 -311.00 -348.00 1995/5/1 1996/5/11/1 1996/5/1 1997/5/1 1997/5/1 1997/11/1 1998/5/1 1999/5/1 1999/5/1 1999/11/1 2000/5/1 2000/11/1 dz 0.00 -85.00 -172.00 -139.00 -285.00 -383.00 -385.00 -394.00 -271.00 -203.00 -278.00 1995/5/1 1996/5/1 1996/5/1 1997/5/1 1997/5/1 1997/5/1 1998/5/1 1998/5/1 1999/5/1 1999/5/1 1999/11/1 2000/5/1 2000/11/1 1995/5/1 1995/11/1 1996/5/1 1996/5/1 1997/5/1 1997/11/1 1998/5/1 1998/5/1 1999/5/1 1999/11/1 2000/5/1 2000/11/1 1995/5/1 1995/11/1 1996/5/1 1996/11/1 1997/5/1 1997/11/1 1998/5/1 1998/5/1 1999/5/1 1999/11/1 2000/5/1 2000/11/1 ds 0.00 -572.00 -883.00 -1020.00 -1153.00 -1219.00 -1399.00 -1399.00 -1364.00 -1447.00 -1545.00 -1577.00 ds 0.00 -329.00 -533.00 -608.00 -686.00 -760.00 -788.00 -837.00 -915.00 -959.00 -1025.00 -1158.00 dz 0.00 -234.00 -426.00 -541.00 -335.00 -678.00 -692.00 -692.00 -646.00 -780.00 -780.00 -637.00 dz 0.00 -175.00 -363.00 -380.00 -452.00 -568.00 -580.00 -580.00 -588.00 -582.00 -652.00 -521.00 ds 0.00 -383.00 -629.00 -720.00 -871.00 -955.00 -1011.00 -969.00 -997.00 -1081.00 0 184 366 550 731 915 1096 1280 1461 1645 1827 0.00 -362.00 -580.00 -755.00 -831.00 -831.00 -933.00 -985.00 -1032.00 -1105.00 -1231.00 解析に使用したベクトル 2011 累計日数 1000 1500 2000 500 2500 IA-8 -200.00 -300.00 400.00 22 -500.00 • 1234 600.00 -700.00 -IA-1 IA-2 IA-3 -800.00 -900.00 14-4 ○:頭部 △:中部
 塗りつぶし:解析に使用したデータ 白抜き:除外データ (b) Case2 すべり線推定結果

図3.46 計測時期と計測期間に関する検討(1) 椅子型(大所)の例

③滑落後の地表面変位ベクトルを用いてすべり線を推定



図3.47 計測時期と計測期間に関する検討(2) 椅子型(大所)の例



①初期すべりの地表面変位ベクトルを用いてすべり線を推定

図 3.47 計測時期と計測期間に関する検討(1) 円弧モデル解析の例



③さらに長期間の大きな地表面変位ベクトルを用いてすべり線を推定

図 3.47 計測時期と計測期間に関する検討(2) 円弧モデル解析の例

①ベクトル量を1/1、1/10、1/100 に変更してすべり線を推定し検討 (case1-7-2-b)



case3 すべり線推定結果

(2)斜面長を1/10に縮小し、ベクトル量を1/1、1/10、1/100に変更してすべり線を推定し検討 地形を1/10にした場合

ds:約500mm

Case4		
解析条	:件	ファイル
地形	1/10	case1-17-1-a_sec1-10.sec
ベクトル	1/1	case1-17-1-a.dis
ブロック線座標	12.399	case172b-s1-10_d1-1.slo
	16.082	

18.653 21.224 23.797 27.530 0.1 case172b-s1-10_d1-1.slf case172b-s1-10_d1-1.log



解析条	件	ファイル	do:約50m
地形	1/10	case1-17-1-a_sec1-10.sec	us. #9500
ベクトル	1/10	case1-17-1-a_dis1-10.dis	
ブロック線座標	12.399	case172b-s1-10 d1-10.slo	
	16.082		
	18.653		
	21.224		
	23.797		E Is Is
	27.530		
β	0.1		
		case172b-s1-10_d1-10.slf	
		case172b-s1-10_d1-10.log	



case5 すべり線推定結果

t

Ļ

Case

Case5



case6 すべり線推定結果

図3.48 斜面長とベクトル量の比率に関する概略検討

					●長	<u>ر ا</u>	料囬長		湿い→		
		借料	斜面長	8	4	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	1 8	1 16
	ベクトル	量倍率		1600	800	400	200	100	50	25	12.5
	8		4000	0.2500	0.5000	1.0000	2.0000	4.0000	8.0000	16.0000	32.0000
ţ	4	ł	2000	0.1250	0.2500	0.5000	1.0000	2.0000	4.0000	8.0000	16.0000
大寺	2	:	1000	0.0625	0.1250	0.2500 ^{月1}	D.5000	1.0000		4.0000	8.0000
	1		500	0.0313	0.0625	0.1250	0.2500	0.5000	1.0000	2.0000	4.0000
	17	2	250	0.0156	0.0313	0.0625	0.1250	0.2500	0.5000	1.0000	2.0000
11-	17	4	125	0.0078	0.0156	0.0313	0.0625	0.1250	0.2500	0.5000	1.0000
ベクト	17	8	63	0.0039	0.0078	0.0156	0.0313	0.0625	0.1250	0.2500	0.5000
	17	16	31	0.0020	0.0039	0.0078	0.0156	0.0313	0.0625	0.1250	0.2500
	17	32	16	0.0010	0.0020	0.0039	0.0078	0.0156	0.0313	0.0625	0.1250
いせ	17	64	8	0.0005	0.0010	0.0020	0.0039	0.0078	0.0156	0.0313	0.0625
	17	128	4	0.0002	0.0005	0.0010	0.0020	0.0039	0.0078	0.0156	0.0313
	17	256	2	0.0001	0.0002	0.0005	0.0010	0.0020	0.0039	0.0078	0.0156
			mm								•

ベクトル量と斜面長の比率 (ベクトル量/斜面長 を百分率で表示)

すべり線推定結果

		**		8	4	2	1	1 2	1 	1 8	1 16
	ベクトル目的	*		1600	800	400	200	100	50	25	125
	8	40	00								
←小さい ペクトル量 大きい→	4	20	00								
	2	10	00								
	1	5	00								
	1 / 2	2	50								
	1/4	1	25								
	1/8	(63								
	1 / 16	;	31								
	1 / 32	1	16								
	1 / 64		8								
	1 / 12	8	4								
	1 / 25	6	2	すべり面が描かれない							

図3.49 斜面長とベクトル量の比率に関する詳細検討(1)

			←長い			斜面長		短い→			
	倍		8	4	2	1	1	1	<u>1</u>	1	
	くわしい単位的	長	1600	800	400	200	2	4	8	16	1
ベクトル量 大きい→	8	4000	4.7	0.2	1.5	4.9	13.2	39.7	122.6	313.0	
	4	2000	24.2	4.7	0.2	1.5	4.9	13.2	39.7	122.4	
	2	1000	68.5	24.3	4.7	0.3	1.5	5.0	13.2	39.7	
	1	500	133.1	68.7	24.3	4.7	0.2	1.5	5.0	13.2	
	1 / 2	250	197.8	132.9	68.8	24.3	4.7	0.2	1.5	5.0	
	1/4	125	179.6	146.3	97.2	49.0	16.6	2.8	0.2	1.6	
	1 / 8	63	320.2	332.2	262.6	180.5	96.4	35.3	7.8	0.5	
	1 / 16	31	252.2	80.4	64.2	48.8	31.2	13.4	3.2	0.2	
いた小→	1 / 32	16	181.4	146.9	177.2	138.0	113.6	73.4	36.2	11.6	
	1 / 64	8	12180.1	696.8	125.6	156.3	147.6	113.1	71.9	33.6	
	1 / 128	4	49.1	45.0	10518.1	1769.7	2104.7	2089.5	1814.6	1406.1	
	1 / 256	2	すべり面が描かれない	79.0	3.3	3088.6	6559.1	6802.1	6175.4	5513.2	
		mm									

モデルすべり線との相関(相関係数)



基本モデル(地形:1倍、ペクトル1倍)についての基礎データ

図3.49 斜面長とベクトル量の比率に関する詳細検討(2)


図 3.50 ブロック区分線の設定位置を変化させた検討(1)



図3.50 ブロック区分線の設定位置を変化させた検討(2)



図3.51 地表境界点上の地表面変位ベクトルに関する検討

3.2.4 高沢入地すべりの検証結果

(1) はじめに

すべり線推定プログラムの事例解析の結果、推定精度が極端に低いとされた高沢入地すべりについて、調査結果を検証し、精度が低い原因を究明することを目指す。調査位置平面を図3.52に示す。



(2) 調査経緯

山岳道路の拡幅のため、南東向きの既往斜面で切土を行ったところ、のり肩の背後を頭部とする地すべり が発生し、1段目のり面中間部でせり出しが発生した。

当初、道路横断方向にA,Bの2測線を設けて地質調査を実施したが、移動杭観測の結果、地すべりの移動 方向は横断方向とは30°程度斜交する方向で移動していることが判明したため、ペーパーロケーションによ りC測線の断面図を作成した(図3.53)。

(3) 主測線地質断面図の検証

本研究での解析断面とした C-C'測線はペーパーロケーションであることから、地形線に誤りがないか見 直すとともに、ボーリングの投影方法についても検証を行った。



図 3.53 C 測線断面図の検討結果

緑色の地表面はペーパーロケーションをやり直した結果。プログラムによるすべり線の推定結果は修正前の地形面(黒)を基準としている

検証の結果、C-C'測線の地形線やすべり線の形状については、地質調査の結果と大きな相違は認められないといえる。

(4) 地質調査に基づくすべり線の三次元形状の検討

道路横断方向のA測線、B測線の横断図を図3.54、図3.55 にそれぞれ示す。いずれにも、地表面変位ベクトル(補正なし)の値を記入した。

10-2 孔のすべり線は、歪計観測結果から妥当なものである。その他のボーリング孔におけるすべり線判定 も妥当と考えられる。

地すべり活動の初期において、地すべり下端はおおむね1段目ののり面の上部〜中間付近に抜けていることが確認されている。No7+10m付近における地すべり線下端は35°勾配でせり上がっていたとされる。なお、道路縦断は、終点側に向かって約9.5%の上り勾配となっている。

A 測線よりも終点側(北東側)では1段目よりも上部に抜けており、北東側部においてはブロックの下部 に二次崩壊を起こしていた。この二次崩壊付近は、A 測線よりも起点側と比較して急激にすべり線が浅くな り、段差が生じていたと推定される。

以上の諸状況から、すべり線形状に関して以下の状況が特筆すべき事項として確認される。

- Ⅰ A−B 測線の間において、地すべり横断方向の深さが急変する(終点側が高くなっている)と推定される。
- ② 1 段目ののり面に 35°で抜けあがっているとすると、A 測線および C 測線の斜面下部におけるすべり 線形状は多少修正が必要である。



図3.54 A 測線断面図と地表面変位ベクトル(ベクトルの傾斜補正はしていない)



図3.55 B測線断面図と地表面変位ベクトル(ベクトルの傾斜補正はしていない)

(5) 地表面変位ベクトルの測定結果

設置後、初回観測時までの 9 点の地表面変位ベクトルを、地すべり縦断方向の位置毎に整理して図 3.56 に示す。

傾向を整理すると以下のようである。

① 9-4 を除く地表面変位ベクトルの長さはおおむね 4cm 前後を示す。

② 頭部の 9-4 においては、水平よりも垂直方向に大きな変動を観測している。

③ 末端では水平に近い地表面変位ベクトルが観測されており、8-1 においてはわずかに上向きとなっている。

④3段目小段の2点と、のり肩付近の3点はおおむね同一の傾向を示す。

⑤のり肩の3点のうち9-3はやや垂直方向の移動量が大きい。

なお、初回以降の地表面変位ベクトルも、おおむね初回と同一の傾向であったことがWG-Bから報告されている。



図 3.56 地表面変位ベクトル(第一回観測時)

(6) 想定断面形状と地表面変位ベクトルの傾向

断面図上にプロットした移動ベクトルの変動傾向と、すべり線形状の関係について考察すると以下のよう である。

- ① A 測線における 9-2 および 9-3 の地表面変位ベクトルを、回転中心からすべり線に投影したと考えた場合、すべり線の接線方向とおおむね一致している。
- ② A 測線における 9-1 (2 段目小段) および 9-4 (頭部) は断面形状から予想されるものよりも下向きとなっている。また、C 測線の 9-1 (2 段目小段) および 9-2 も下向きとなっている。
- ③ 10-3 の地表面変位ベクトルはB測線ではすべり線形状よりも下向きであり、C測線上では上向きとなっている。
- (7) 考察

C 測線において、多項式法による推定結果と地質調査結果が大きく異なる原因は次の点にあると考えられる。

① 10-3の地表面変位ベクトルが、予想されるよりも上向きとなっている。(図 3-57)

- ② 9-1、9-2の地表面変位ベクトルが、予想されるよりも下向きとなっている
- ③ 地すべり頭部のすべり線は急勾配で傾斜していると想定されるが、それを代表する測点が離れた位置 にあるため解析に用いられていない。

①の原因の可能性の一つとして以下のような考えがある。

10-3 は地すべりの側部に位置し、主測線よりもすべり線が浅くなっている位置と考えられる。したがって、 C 測線で想定されるよりもやや緩傾斜のすべり線を反映した地表面変位ベクトルが観測された可能性がある。



図3.57 10-3の地表面変位ベクトルが上向きになった原因(可能性の一つ)

②の原因は以下の可能性が想定される。

- a) 当該地すべりはすべり線下端付近では 35°という急角度でのり面にせり上がった様子が観察されている。地質調査結果から想定した断面図では、末端の勾配はこれよりも緩く表現されている。9・1 でやや下向きの地表面変位ベクトルが観測されている状況も考え合わせると、実際の地すべり線の「底」の位置は、多項式法から推定されるようにもっと道路側にある可能性がある。
- b) 9-2 測点の観測結果でもやや下向きのすべり線形状が想定されるが、a)の状況も考え合わせると、主測線においては現想定よりも、並進に近い形状であった可能性がある。また頭部の 9-4 測点では 45°を超える急傾斜の地表面変位ベクトルが測定されていることと考え合わせると、主測線の断面図は図 3.58のように推定することもできる。
- c) 観測点は観測の便宜上、主に小段の肩に設置されている。肩の位置は不安定であり、表層のわずかな 変動が発生しやすい。実際の現地状況は確認できないが、得られているデータには、このような誤差を 含んでいる可能性がある。



図 3.58 主測線のすべり線修正案

- (8) 推定精度の向上に向けて
 - ① 解析に用いた 10-3 の測定位置は、主測線よりもすべり線が浅いと想定される側部に位置しており、 その誤差が、推定プログラムの適用上誤差の原因となった可能性がある。地表面変位ベクトルを投影し てすべり線形状を解析する場合、解析位置に想定されるすべり線形状と同一の条件の観測点を選定する 必要がある。
 - ② ①を確実にするためには、現地調査により適切な測点を配置することが必要なほか、観測点を面的に 配置して異常値を見いだし、これを除去するなどの対処が有効と考えられる。
 - ③ 高沢入地区では、高さ方向に4段の計測を実施している。このうち水平よりも垂直方向の移動の大きい、いわゆる頭部といえる位置は9-4の1箇所のみである。実際に頭部においては急傾斜のすべり線が想定されるが、現解析において、これは反映されていないことも、推定精度が低い原因となっている可能性がある。9-4のデータや、滑落崖の傾斜方向等を参考として主測線における地表面変位ベクトルを想定し、解析することにより精度向上が図れないか追加検討する余地はある(図3.59の修正すべり線は、多項式法で推定したすべり線形状の頭部付近を深めに修正した形状といえる)。しかし、その結果が妥当かどうかについては、すべり線形状が複雑であり検証することは困難と考えられる。
 - ④ 地表面変位ベクトルそのものに観測誤差や、他のノイズがないか、解析に当たって検討が必要である。 高沢入では小段のり肩に測点が設置されていたが、小段の肩は崩壊しやすいほか、クリープ変形も想 定されることから、測点を配置する際には小段の肩は避け、小段の中央ないし山側に設置すべきと考え る。

3.3 プログラムの改良に向けた課題の抽出

3.3.1 既往報告 10 事例のすべり線推定精度の比較

既往報告 10 事例について、どの様な条件であれば、精度良くすべり線を推定できているか、比 較検討した。比較検討した項目は、すべり線形状・計測点の配置・計測点数である。その結果、 次の事が判明した。

すべり線形状

・円弧型 > 椅子型 > 舟底型 (左にいくほど、精度良くすべり線を推定できる)

計測点の配置

・頭部・中央・末端 > 頭部・末端 > 頭部・中央 > 中央・末端 > 中央のみ
 (左にいくほど、精度良くすべり線を推定できる)

計測点数

・3 点以上の計測点数がある場合に、精度良くすべり線を推定できる。

精度良くすべり線を推定するためには、上記のような条件が必要であることが判明した。しか し、統計的に判断するには事例数が少ないと考えられる。そのため、今後多くの事例が集まれば、 それらを含めて検討することが考えられる。

3.3.2 プログラムの特性

(1) "うねり"の問題

モデルデータを用いた計測誤差を含まない、理想的な地表面変位ベクトルを用いた場合であっ ても、推定すべり線がうねり、理想的なすべり線を推定しない場合があることが判明した。この 問題を検討した結果、うねりの原因は、アルゴリズムに関係している事が判明した。また、プロ グラムを改良することにより、改善できる可能性も示された。そのため、次年度に予定されてい たプログラムの改良計画を早め、この問題に対応することとなった。

(2) 計測時期と計測期間

初期すべり(的)な地表面変位ベクトルを用いてすべり線を推定した場合、精度良くすべり線を 推定できることが判明した。一方、長期間の大きな地表面変位ベクトルを用いた場合には、推定 すべり線が若干浅くなり、すべり線推定精度があまり良くないことも分かった。検討結果を含め、 マニュアルに記述する内容を検討する。

(3) 斜面長とベクトル量の比率

斜面長とベクトル量の適切な比率が存在することが判明した。検討により算出された比率(ベ クトル量/斜面長)は、約0.5%である。そのため、プログラムを使用するときの注意事項として マニュアルに記載することとなった。

(4) ブロック区分線の設定位置

すべり線形状に応じた適切なブロック区分線の設定位置が存在する可能性が判明した。ただし、 どのようなすべり線形状の場合に、どのように設定すれば良いかについては、現在検討中である。 そのため今後は、地表踏査や計測された地表面変位ベクトルの分布状況をもとに、すべり線形状 に応じた適切なブロック区分線の設定位置を検討する必要がある。

(5) 地表境界点上の地表面変位ベクトル

地表境界点上に地表面変位ベクトルを設定した場合、解析に反映されていない可能性が判明した。この問題は、地表境界点を地表面変位ベクトルの外側に移動させることにより、解決する。 しかし、実際の現場状況を考えると、地表境界点上に地表面変位ベクトルを設定することは稀で ある。そのため、プログラムを使用するときの注意事項としてマニュアルに記載することとなった。

(6) 特異な事例

精度良くすべり線を推定できる条件がそろっているにもかかわらず、うまく推定できない場合 があることが分かった。この問題に対して、すべり線の三次元形状や、地表面変位ベクトルの測 定結果などを調べた。その結果、現場特有の状況が関係していると判明した。この検討内容は、 注意すべき事例として、マニュアルの補足資料の中で記載する。

4. すべり線推定プログラムの改良

4.1 プログラムのアルゴリズム

4.1.1 基本の演算手順

地すべりの滑動方向の鉛直断面に投影された地表面変位ベクトルと地表境界点(上端境界点や下端境界 点)から、投影断面内でのすべり線形状を推定する手法には、図4.1に示す4手法(細かくは7手法)があ る。



図 4.1 2 次元断面推定法

これらの4手法は、全て吉沢らの同一グループから提案されている。しかし、各手法の特徴や適用上の留 意点は述べられているが、その優劣や適用基準はあまり明確にされていない。そのため、すべり線形状を推 定する際には、取得した地表面変位ベクトルの数量、データの精度、計測点の密度と分布、ベクトルの一様 性などを考慮して推定手法を判断するか、いくつかの推定手法を試行的に実施して、その中から適切な結果 を選択することが必要である。

ここで、4 手法の特徴を整理する。円弧すべり線法と複合円弧連結法は、すべり線形状を円弧に限定する ことから円弧以外のすべり線形状への適用は難しい。多角形法は図解法として明解で解析も容易であり、す べり線の概略形状を把握できる点と、地表面変位データとすべり線形状の相関を確認しやすい点で優れてい る。ただし、すべり線形状を折れ線で近似するため不自然さが残る。結果として、多項式法が様々なすべり 線形状を表現するのに最も適した手法であると考えられる。単独式多項式法は一つの多項式ですべり線を近 似させるのに対して、複合式多項式法(以下、「土研式多項式法」という)は地すべり土塊をいくつかのブロ ックに分割してブロック毎に多項式を設定し、それらを連ねてすべり線形状を推定するため、単独式法と比 べて大規模で複雑なすべり線形状をより的確に推定できると考えられる。

4.1.2 重み係数マトリクスについて

複合式多項式法では、計測変位を用いて各ブロック毎の最小二乗法による正規方程式とブロック境界線上の等高さ条件式(ブロック間連成方程式)およびブロック境界線上における隣接多項式の等勾配条件式と等 勾配変化率条件式(ブロック間連成方程式)によって、全ブロックの全体方程式に組み込むことで各2次方 程式のパラメータ ai,bi,ci,Diを求める。

しかし、等勾配式等を厳格に適用すると、拘束条件が厳しいためブロック間の変位ベクトルの違いによっては、あるブロックでは上に凸のすべり線が推定されるなどの問題が発生する。



図 4.2 不適切なすべり線推定事例

この課題を解決するため、ブロック境界毎に等勾配条件式および等勾配変化率条件式に重み係数行列を付加した。

$$\{A\} = [S]^{T} [W] \{Z\} \qquad [W] : 重み係数マトリクス [W] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \alpha & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \beta & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

例えば、重み係数行列を用いた場合の全体方程式は

x_1^2	x_1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		Γ	
$S_{11}^4 + S_{12}^4$	$S_{11}^3 + S_{12}^3$	$S_{11}^2 + S_{12}^2$	$S_{11}^2 + S_{12}^2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$\begin{bmatrix} a_1 \end{bmatrix}$		$S_{11}^{2}Z_{11} + S_{12}^{2}Z_{12}$
$S_{11}^3 + S_{12}^3$	$S_{11}^2 + S_{12}^2$	$S_{11} + S_{12}$	$S_{11} + S_{12}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b_1		$S_{11}Z_{11} + S_{12}Z_{12} \\$
$S_{11}^2 + S_{12}^2$	$S_{11} + S_{12}$	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	c_1		$Z_{11} + Z_{12}$
X_{1}^{2}	X_1	1	1	$-X_{1}^{2}$	$-X_{1}$	- 1	- 1	0	0	0	0	0	D_1		0
$2\beta X_1$	β	0	0	$-2\beta X_1$	$-\beta$	0	0	0	0	0	0	0	a_2		0
0	0	0	0	$S_{21}^4 + S_{22}^4$	$S_{21}^3 + S_{22}^3$	$S_{21}^2 + S_{22}^2$	$S_{21}^2 + S_{22}^2$	0	0	0	0	0	b_2		$S_{21}^2 Z_{21} + S_{22}^2 Z_{22}$
0	0	0	0	$S_{21}^3 + S_{22}^3$	$S_{21}^2 + S_{22}^2$	$S_{21} + S_{22}$	$S_{21} + S_{22}$	0	0	0	0	0	$ c_2 $	_	$S_{21}Z_{21} + S_{22}Z_{22}$
0	0	0	0	$S_{21}^2 + S_{22}^2$	$S_{21} + S_{22}$	3	3	0	0	0	0	0	$ D_2 $		$Z_{21} + Z_{22}$
0	0	0	0	X_{2}^{2}	X_{2}	1	1	$-X_{2}^{2}$	$-X_{2}$	- 1	- 1	0	<i>a</i> ₃		0
0	0	0	0	$2\beta X_2$	β	0	0	$-2\beta X_2$	$-\beta$	0	0	0	b_3		0
0	0	0	0	0	0	0	0	$S_{31}^4 + S_{32}^4$	$S_{31}^3 + S_{32}^3$	$S_{31}^2 + S_{32}^2$	$S_{31}^2 + S_3^2$	2····0	<i>c</i> ₃		$S_{31}^2 Z_{31} + S_{32}^2 Z_{32}$
0	0	0	0	0	0	0	0	$S_{31}^3 + S_{32}^3$	$S_{31}^2 + S_{32}^2$	$S_{31} + S_{32}$	$S_{31} + S_3$	₂ …0	D_3		$S_{_{31}}Z_{_{31}}+S_{_{32}}Z_{_{32}}$
0	0	0	0	0	0	0	0	$S_{31}^2 + S_{32}^2$	$S_{31} + S_{32}$	3	3	0	1 :		$Z_{31} + Z_{32}$
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	$[D_n]$:
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			Y_2

となり、等勾配条件式および等勾配変化率条件式の重みが緩和される。

重み係数行列の適用に際しては、地表変位ベクトルの数(量)やその特性(データの精度、観測点の密度 と分布、ベクトルの一様性等)を評価して判断することが必要になるが、特に隣り合うブロックの変位ベク トルの勾配変化が大きい場合は、そのブロック境界の等勾配条件式を考慮しない方が精度の高いすべり線を 推定できる。

現状では等勾配変化率条件式の重み係数 α および等勾配条件式の重み係数 β は推奨値として $\alpha = 0.1, \beta$ =0.1が組み込まれているが、上記のような場合は重み係数行列の $\alpha = 0, \beta = 0$ とすることで等勾配変化率条 件式および等勾配条件式を適用しないことを可能にしている。

また、地中境界パラメータを導入することによって、複合すべり(椅子型)や並進すべりへの適用も可能 とした。

4.2 プログラムの課題と改良方針

4.2.1 すべり運動様式別の事例による検証

これまでの検討結果を概観すると、実際の現場における事例検証が十分に行われているとは言えないのが 現状である。その原因としては、3次元ベクトルで変位を計測する習慣がなかったことが大きく起因してい る。したがって、すべりの運動様式別に数値解析によるシミュレーションによって事例検証の不足を補い、 ブロック境界線や重み係数αの使用方法について検討を行った。

改良プログラムの検証では、すべり線形状を船底型(図4.3)、椅子型(図4.4)とした FEM 解析の結果と 比較を行った。解析モデルは3次元とし、地すべりの発生の誘因は、地下水位上昇としてモデル化した。



図 4.3 船底型モデル要素分割図(要素数 12,555)



図 4.4 椅子型モデル要素分割図(要素数 11,943)

FEM 解析結果において、船底型モデルの合成変位量は、移動層内部で概ね 30~40cm 程度の変位が発生して おり、頭部のすべり線近傍で 50cm 程度の合成変位が卓越している。ベクトル分布が示す地すべり土塊内部の 移動方向は、全体的に舟底型すべり線に沿う方向に向いており、特に深度の深いすべり線付近で卓越してい る。(図 4.5,図 4.6)



図4.6 船底型モデルの変位ベクトル図

また、椅子型モデルの合成変位量は、すべり線の傾斜が急な箇所では移動層が沈み込むような変形となり、 すべり線の傾斜が緩やかな箇所では、移動層が滑り落ちるような変形となっている。合成変位量としては移 動層中腹から頭部にかけては概ね14~16cm程度の変位が発生しており、中腹から末端にかけては約20cm程 度の変位が発生している。(図4.7,図4.8)



図 4.7 椅子型モデルの変形図



図4.8 椅子型モデルの変位ベクトル図

FEM 解析の結果は、崩壊直後の初生すべりの変位を示しており、船底型、椅子型のいずれも地すべり頭部の変位が沈み込むような変形となり、移動土塊の末端部や中腹の変位ベクトルとは大きな違いがある。そのため、地中境界パラメータを用いて改良プログラムの検証を行った。

船底型すべり

計算条件として、頭部、中腹、末端部の3節点の地表面変位ベクトルを用いた。また、等勾配変化率条件 式の重み係数 $\alpha = 0$ 、等勾配条件式の重み係数 $\beta = 0.1$ 、ブロック数は3ブロックに分割して計算した。

計算手順は、境界条件として地すべり土塊の頂部と端部に地表面境界点を設定し、地中境界パラメータを 用いて推定すべり線を求めた。

地すべり頂部の地表境界点から地すべり頭部の変位ベクトルの方向に地中境界パラメータを任意に移動 させると図4.9のような明らかに精度の低いすべり線がいろいろ描けるが、適当な地中境界点を選ぶことに よって図4.10のように精度の高いすべり線を推定することができる。

図 4.11 には、解析モデルのすべり線と推定すべり線との比較を示しているが、推定値はほぼ解析モデル と調和的である。



図4.9 船底型の推定すべり線(推定精度低い)



図4.10 船底型の推定すべり線(推定精度高い)



図 4.11 解析モデルと推定値の比較(船底型)

 ⁶ 荷子型すべり

計算条件として、船底型すべりと同様に、頭部、中腹、末端部の3節点の地表面変位ベクトルを用いた。 なお、椅子型すべりは地すべり頭部の変位ベクトルと中腹、末端部の変位ベクトルに大きな違いがあるため、 等勾配条件式の重み係数β=0として計算した。(なお、等勾配変化率条件式の重み係数α=0)

計算手順は、船底型すべりと同様に、境界条件として地すべり土塊の頂部と端部の地表面境界点を設定し、 地中境界パラメータを用いて推定すべり線を求めた(図 4.12)。

図 4.13 には、解析モデルのすべり線と推定すべり線との比較を示しているが、推定値は船底型すべりと 同様に、ほぼ解析モデルと調和的である。



図 4.12 椅子型の推定すべり線



図 4.13 解析モデルと推定値の比較(椅子型)

以上のように地表面変位ベクトルからすべり線形状を推定するプログラムの実用化に向けて改良を行い、 FEM解析で得られた変位ベクトルを用いて改良プログラムの検証を行ったが、重み係数行列や地中境界パ ラメータを用いることによって、船底型すべり、椅子型すべりのいずれもほぼ解析モデルと調和的なすべり 線が推定できた。

4.2.2 すべり線のうねりについて

すべり線推定プログラム(複合式多項式法)は、各2次方程式の連続式のため、変位ベクトルの方向やブ ロック数によってはすべり線のうねりが発生する。このうねりを極力抑制するため、うねりの原因ともいえ る等勾配条件式に重み係数 β を適用することを提案した。しかし、この重み係数 β に任意の値を入れて繰り 返しすべり線を推定することは適当ではなく、変位ベクトルからすべりの運動様式を推定し、指定された重 み係数 β を決定することが肝要である。

また、ブロック数やブロック境界線の位置によって、すべり線のうねりの問題は極力抑制できるためさら なる創意工夫が必要である。そのため、すべりの運動様式別の事例による検証が必要である。

一方、すべり線推定プログラムは幾何学的解法であるため限界があり、将来的には力学を考慮した新たな 指標の導入も検討の余地がある。

4.2.3 解析誤差について

数値解析の解析誤差で問題になるのは、①データ誤差、②丸め誤差(打切り誤差)、③桁落ち誤差であるが、 特に丸め誤差(打切り誤差)、桁落ち誤差は解析手法に起因するため問題となる。

コンピュータは、10 進数を2 進数になおして記憶する。このとき、小数点以下を含む 10 進数は、2 進数 に変換される時に変換誤差を生ずる。このように、コンピュータの制限のために、特に大きな桁数の演算は 演算のたびに毎回丸め誤差を発生し、計算が進むに従って誤差が伝播していく。

逆に、十分大きな n の値から、n を下げる方向に計算していけば、誤差も 1/n ずつ小さくなっていき、誤差の拡大を防ぐことができる。

すべり線推定プログラム(複合式多項式法)の係数マトリクス[S]で大きな桁数が発生するが、桁数を下 げるための工夫をプログラムの中で行っている。このように、計算の仕方を工夫することによって、誤差を 小さくすることも、数値計算では重要なことである。

84

また、有効数字のうち、大きい方がそろっている2つの数を引いてしまうと、結果の有効数字が極端に少 なくなる。この数がかけ算などに出てくると、全体の誤差が増大してしまう。これが桁落ち誤差である。桁 落ち誤差を防ぐためには、近い数の引き算はなるべくしないよう、計算を工夫する必要がある。

4.2.4 椅子型すべりへの適用

椅子型すべりは、実際の斜面崩壊で一番多く発生するすべりの運動様式であるため、この運動様式への適 用が必要不可欠である。現状では地中境界条件(パラメータ)を用いてすべりを推定しているが、等勾配条 件式の重み係数 β の高度利活用によっても適用可能と判断している。

ここで、重み係数βの高度利活用とは、ブロック境界線毎に重み係数βを考慮できるようにすることである。この点に関しては早急にプログラムの改良に取組む必要がある。

また、複合式多項式法(土研式)はブロック毎に2次多項式を用いているため、椅子型のすべり線形状は 推定が難しい。また、ブロック境界線上の等勾配条件式を満足する必要性があるため、隣り合うブロックの 変位ベクトルの方向が極端に違う場合は、地表境界点の位置を満足する解が得られず解不定となる場合もあ る。そこで、新たに地中境界パラメータ(滑落涯の方向に移動する任意境界点)を導入することによって椅 子型のすべり線形状を推定することが可能になる。 4.3 プログラムの改良

4.3.1 桁落誤差

4.2.3の解析誤差で述べたように、すべり線推定プログラム(複合式多項式法)の係数マトリクス[S]で大きな桁数が発生するため、桁数を下げるための工夫をプログラムの中で行っている。しかし、地すべりの場合は規模が大きいすべりも珍しいことではないため、上記の工夫だけでは桁落誤差が解決できない場合があり、地形座標の取り方に工夫が必要であった。

そこで、本プログラムでは、ブロック毎のローカル座標系による解析を行った上で、最終的に全体座標系 に座標変換する方法に変更した。この改良によって、規模の大きな地すべりでも地形座標の取り方に留意す ることなく計算が可能となった。

一方、得られている地表変位ベクトルが微小な場合には、解析上桁落ち誤差が発生する可能性がある。この場合には、地表変位ベクトルをデフォルメすることで解析誤差を少なくすることも一案である。しかし、 地表変位ベクトルの数(量)やその特性(データの精度、観測点の密度と分布、ベクトルの一様性等)を評価し て判断することが肝要であるため、ユーザー対応にすることが適当である。

4.3.2 重み係数の設定

すべり線推定プログラムは、滑動土塊をいくつかのブロックに分割してブロック毎の多項式を設定し、それらを連ねてすべり線形状を推定することで、大規模で複雑なすべり線形状をより適格に推定し得ることが 特徴である。

その際全体方程式の行列式が特異にならないように、当初ブロック境界線上毎に等高さ条件式、等勾配条 件式、等勾配変化率条件式を新たにプログラムに繰み込んでいた。

しかし、等勾配変化率条件式、等勾配条件式は、その条件式の拘束条件が厳しい場合は、ブロック間の変 位ベクトルの違いによって非現実的なすべり線が推定されるため、それぞれの条件式に重み係数α、βを掛 けて拘束条件を緩和する方法を適用していた。

共同研究を通して等勾配変化率条件式、等勾配条件式の重み係数 α 、 β について検証してきたが、等勾配 変化率条件式を適用しなくても満足な解を得ることができ、また理論上も等勾配変化率条件式を用いなくと も問題ないため、プログラムにこれらの条件式(等勾配変化率条件式および重み係数 α)を組み込むことを 取りやめた。

一方、隣り合うブロックの変位ベクトルの勾配変化が大きい場合は、等勾配条件式を適用しない方(β= 0)が現実的なすべり線を推定可能となる場合があるため、ブロック境界毎に等勾配条件式を適用できるよう に改良した。

なお、現状では等勾配条件式の重み係数 β はデフォルト値として $\beta = 0.1$ が組み込まれているが、 $\beta = 0$ とすると全てのブロックで等勾配条件式を適用しないようになる。

また、地表境界点においても、地すべり末端部等の位置が定かでない場合があるため、地表境界点にも重み 係数行列を付加した。

4.3.3 地中境界点の設定

ボーリング調査等ですべり線の位置が確認できた場合や複合式多項式法(土研式)ですべり線形状は推定 が難しい椅子型すべりの場合の対応として、新たに地中境界点を導入することにした。

この地中境界点を活用することによって、ボーリング調査等の結果を反映することができるばかりでなく、 椅子型すべりのすべり線形状の推定が可能となる。

なお、地中境界点についても定かでない場合もあるため、地中境界点に重み係数行列を付加した。

4.3.4 地表境界点のすべり線勾配の設定

地すべりの場合は、地表踏査によって地すべり頭部のすべり線勾配(滑落崖の勾配等)が明確な場合があ るため、すべり線勾配の設定を可能にすることによって、この情報を解析に反映させることを可能とした。

4.3.5 データ入力方法

(1) 地表線データの入力

地表線データは複数の地表点とそれらを連結する線で構成される。地表線データは以下の3方法のいずれ かで入力する。

- ① 表形式の入力画面により地表線の座標値をキー入力する(図4.14)。
- ② DXF ファイルデータを読み込んで入力する。
- ③ 点と線を描画するコマンドを選択してマウスで直接入力する。

行番	番号	X座標(m)	Y座標(m)	
1	1	34.200	62.780	
2	2	35.671	62.581	
3	3	42.873	58.166	
4	4	44.703	57.968	
5	5	46.996	56.494	
6	6	54.333	53.000	-

図 4.14 地表線データの入力画面

(2) 計測点の入力

計測点の座標を入力する。入力した計測点には自動的に地点名が付加されるが(計測点 K-XX: XX には既存の最大番号の次の番号になる)、任意の名称に変更することができる。計測点と変位データの対応付けを地 点名で行っているため、同じ地点名でない場合には後で修正する必要がある。計測点データは以下の2方法のいずれかで入力する。

- ① 表形式の入力画面により座標値をキー入力する (図 4.15)。
- ② 点と線を描画するコマンドを選択してマウスで直接入力する。

行番	番号	X座標(m)	Y座櫄(m)	地点名	-
1	1	75.944	67.468	No.16	
2	2	80.683	70.177	No.8	
3	3	113.198	76.505	No.2	
4	4	65.712	58.190	No.15	
5	5	45.000	60.000	K-5	

図 4.15 計測点座標の入力画面

(3) 地表境界点の入力

すべり線の上端境界点と下端境界点の2点を入力する。片方のみを入力してもすべり線形状を推定することはできるが、解析の精度を上げるためには両方入力することが望ましい。入力した地表境界点には自動的に地点名が付加され、地中境界点の地点名と併せて管理される(境界点 B-XX: XX には既存の最大番号の次の番号になる)。地表境界点のデータは以下の3方法のいずれかで入力する。

- ① 表形式の入力画面により座標値をキー入力する (図 4.16)。
- ② 点と線を描画するコマンドを選択してマウスで直接入力する。
- ③ テキストファイルに座標値を入力して読み込む。

1 1	24.100		D 4		+ 10 +	1 0000		
	04.004	17.405	B-1	1	<u> </u>	1.0000	<i></i>	
				-				_
			-					

図 4.16 地表境界点座標の入力画面

地表線データ、計測点データおよび地表境界点データを入力した後の表示例(断面モデル作成後の表示例) を図4.17に示す。



図 4.17 断面モデル入力地表境界点表示画面

(4) 計測データの入力

地表面変位データを入力するには、2次元の変位ベクトルデータ(ds, dz)を入力する方法と3次元の変位 ベクトルデータ(dx, dy, dz)を入力する方法の2種類がある。3次元の変位ベクトルデータを入力した場合 には、解析断面の方向を入力することで3次元変位ベクトルを解析断面に投影した変位ベクトルデータが自 動的に計算される。

多角形法によるすべり線推定解析では、変位ベクトルの方向のみが用いられるので、計測データが時刻歴 で得られている場合には、それらを一つのベクトルに変換する必要がある。本システムでは、この変換にも 最小二乗法を用いているが、その過程で異常値が認められた場合はそれを除外することができる。多項式法 によるすべり線推定解析では、解法自体に最小二乗法が適用されているので、上記のような変換の必要はな いが、入力した計測点データや時刻歴データをすべり線推定解析の段階で取捨選択することができる。また、 計測点自体が破損した場合などを考慮して、ある計測点のすべてのデータを除外することもできる。地表面 変位計測が長期にわたって実施されている場合には、滑動初期や終期などある特定期間における計測データ をすべり線推定解析に適用できるように、期間を指定して計測データを抽出することもできる。

なお、計測データは以下の2方法のいずれかで入力する。

- ① 表形式の入力画面によりキー入力する(図4.18、図4.19)。
- テキストファイルに入力したものを読み込む。

*-5.5	7₩: [_	_	_	_						
	_					No.	16	No	.8	No	.2
行番	年	月	B	時	分	ds	dz	ds	dz	ds	dz
1	2000	10	3			-		-3.0	-1.0	-3.0	7.0
2	2000	10	24			-2.0	0.0	-5.0	-5.0	-5.0	4.0
3	2000	11	16			-84.0	-7.0	-81.0	-30.0		
4	2000	11	24	· · · · ·		-270.0	-63.0	-266.0	-110.0	-	
5	2000	12	11			-288.0	-74.0	-277.0	-119.0	-164.0	-125.0

図 4.18 2 次元計測データの入力画面

計測 行編	データ入 譲(E)	、 力(3) ジャンプ	欠元) ℃												
$\bar{\tau}^{*}$	-2 • 241	₩: [
断	面方向的	角θ(度):	30	.000										
							-	No.	16			No.	2		
[行番	年	月	Β	時	分	dx	dy	(ds)	dz	dx	dy	(ds)	dz	
	1	2000	10	3			-62.0	-45.0	-76.2	-20.0					
3	2		11	5							-51.0	-25.0	-56.7	-32.0	
		<u> </u>			-						2				
Ŀ															-
	C	ix:X方向	动水平	F変化	ά d	ly:Y≯	5向水平变(位 ds:水	平変位 d:	z:鉛直变位	ī 単位(mm)			
	<<	左へ		ŧ	5	>>							ОК	++)til	

図 4.19 3 次元計測データの入力画面

(5) ブロック区分

解析手法で土研式多項式法を選択した場合には、地すべり土塊を鉛直方向の分割線によって複数のブロックに分割する必要があるため、ブロック区分線を設定する。ブロック区分線は以下の2方法のいずれかで入力する。

- ① 表形式の入力画面により座標値をキー入力する。
- ② ①の入力画面のときに、画面上をマウスで直接指定する。



図 4.20 ブロック区分線の入力(3ブロックの場合)

計測点が多数ある場合、計測点の数だけブロックを分割することができるが、ブロック数が多すぎると拘 束条件が厳しくなり不適切なすべり線形状を推定してしまうことが多い。また、地表面変位計測点の軌跡は、 鉛直下方のすべり線形状を表していることになるため、ブロック毎に複数の計測点や時刻暦データがあれば すべり線の推定精度は向上する。

(6) パラメータ設定

i) 重み係数β

解析手法で複合式多項式法を選択した場合には、等勾配条件式および地表境界条件式の重みを緩和するために重み係数 β を設定している。地表境界条件式の重み係数 β は地表境界点ごとに、等勾配条件式の重み係数 β はブロック区分線ごとに任意(β =0~1)に設定できる。 β =0のとき、それぞれの条件式は適用されない。 β の初期設定値は 0.1 である。

重み係数βは、ブロック区分線や地表境界点、地中境界点を設定する際に入力する(図4.21)。

う 番	番号	X座標(m)	Y座標(m)	地点名	755	種類	重み係数月	勾配α(度)
1	3	49.901	43.811	B-3	1	左地表	0.1000		
2	4	171.363	113.937	B-4	2	右地表	0.1000		_
			S		5	s	-		-
_			<u> </u>		3	s			_
* 1):地中	1:左地表:	2:右地表						

図 4.21 重み係数 β の入力画面

ii)地中境界点

地すべりの滑落崖や末端部の位置などからすべり線形状がある程度想定できる場合に、地中におけるすべ り線の通過地点を任意で設定することができる。また、ボーリング調査等ですべり線の位置が明らかな場合 にも設定することができる。なお、この地中境界パラメータにも重み係数βを導入している。

入力した地中境界点には自動的に地点名が付加され、地表境界点の地点名と併せて管理される(境界点 B-XX:XXには既存の最大番号の次の番号になる)。地中境界点のデータは以下の2方法のいずれかで入力 する。

- ① 表形式の入力画面により座標値をキー入力する (図 4.22)。
- ② 地注境界点のアイコンを選択して画面上でマウスで直接入力する。

宁番	番号	X座標(m)	Y座標(m)	地点名	755	種類	重み係数8	勾配α(度)	2
1	1	24.100	17.405	B-1	1	左地表	1.0000		
2	2	61.394	46.181	B-2	2	右地表	1.0000		
3	3	38.032	23.945	B-3	0	地中	1.0000		4
	-			×				e	4
				<u>.</u>				·	
°. 0	:地中	1: 左地表 2: 右	地表						

図 4.22 地中境界点座標の入力

iii) 地表境界点のすべり線勾配

地すべりの滑落崖や末端部の現地調査から地表境界点におけるすべり線の方向が想定できる場合に任意で 設定することができる。地表境界点のすべり線勾配は、地表境界点を設定する際に入力することができる。

4.4 今後の課題

本プログラムにおいて各種入力パラメータの利活用や適切な計測点配置の選定によって、壮年期や老 年期の地すべり及び崩壊に至る前の斜面変状について、精度の良いすべり線形状が推定できると考えら れる。

しかし、さらに精度の良いすべり線形状を定量的に選定するためには、力学的な判断機能を追加する ことで実現できると考えられ、今後の課題である。

地すべりでは今まで3次元変位を計測する習慣がなかったため、3次元変位データも少なく事例検証が十 分に行われているとは言えない。したがって、今後さらなる事例検証を行ない、プログラムの使用方法や適 用範囲の検討および災害時での検証を行い、迅速な初動対応手法の提示と対応が可能なシステムとして 実用化を進めていくことが肝要である。

5 事例解析結果と評価

5.1 実証実験現場における計測

5.1.1 大規模切土工事箇所における計測

大規模切土工事箇所において、地表面変位量の計測を行うにあたり、日本全国の道路管理者に問い合わ せたところ、表 5.1 に示す 2 箇所の大規模切土工事において計測候補地が示された。

表 5.1 大規模切土工事箇所における計測候補地

No.	計測候補地	管理者
1	川尻地区	中国地方整備局 松江国道事務所
2	竹地本谷地区	中国地方整備局 三次河川国道事務所

次項から各地区について示す。

5.1.2 川尻地区の計測

(1) 川尻地区の概要

川尻地区は現在施工中である新規高速自動車道尾道・松江線の松江国道事務所管轄箇所である。川 尻地区位置図を図 5.1 に示す。



図 5.1 川尻地区位置図

測線はSTA947+40とし、計5段の小段に側点を設置しており、測量は反対側の法面から放射観測 を行っている。



川尻地区の平面図と断面図をそれぞれ図5.2、図5.3に示す。

図 5.2 川尻地区平面図 (S=1:1000)



図 5.3 川尻地区断面図(S=1:1000)

当地区の法面状況を以下に示す。



- ④ 写真②中央部の拡大写真。小段のシールコンに発生した右横ズレの亀裂。本亀裂の延長には地山の 割れ目が繋がっており、その割れ目は左下と同じ系統である。
- ⑤ 地山の地質はマサ(風化した花崗岩)からなる。写真は弱風化の花崗岩の断面。

写真 5.1 川尻地区のり面の状況

川尻地区の切土規模は、切土幅約 130m、比高差約 35m であり、切土は 5 段である。切土法面勾配 は 1:1.2 であり、1 法面の比高差は 5.0m である。

当のり面では施工上の安全管理を兼ねて、地表面計測を実施した。

(2) 川尻地区の計測データ

計測データを表5.2に示す。

表 5.2 川尻地区計測データ

	測線								STA947+4	0					
		(計	測データ	(m)					
	미서					H	20						H21		
	נירם		9/10	9/24	10/14	10/28	11/12	11/26	12/10	12/24	1/13	2/10	2/23	3/9	3/18
	観測回		第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回
		Х	0	-0.001	-0.003	-0. 002	-0. 001	0	-0. 008	-0. 008	-0.006	-0.005	-0. 005	-0.008	-0.001
	5段目	Y	0	-0.003	-0.002	-0.004	0	-0.002	-0.003	-0.001	-0.002	0.005	-0.003	-0.001	-0.001
		Ζ	0	-0.002	-0.003	-0. 002	0	-0.002	-0. 017	-0.001	0	0.001	0.001	-0.001	-0.003
		Х	0	0.011	0.004	0.006	0.003	-0.002	0.005	0.006	0.008	0.006	0. 01	0.003	0.003
	4段目	Υ	0	-0.006	-0.004	-0. 002	-0. 002	-0.002	-0. 003	-0.005	-0.006	-0.004	-0. 007	-0.007	-0. 019
		Ζ	0	-0. 01	-0. 01	-0. 003	-0.002	-0.003	0.003	-0.004	-0.004	-0.007	-0.009	-0. 01	-0.002
法		Χ	0	-0.014	0. 01	0.012	0.009	0.003	0.008	0. 01	0.012	0.014	0.015	0.003	0.007
段	3段目	Υ	0	-0.011	-0.008	-0.004	-0.007	-0.007	-0. 01	-0. 012	-0.011	-0.008	-0. 01	-0.007	-0.011
数		Ζ	0	-0. 025	-0.012	-0.009	-0. 01	-0.011	-0. 008	0.001	-0.008	-0.004	-0. 008	-0.011	-0.007
		X					0	-0.002	0.009	0.007	0.011	0.013	0. 015	-0.004	-0.003
	2段目	Υ					0	0	-0.006	-0.006	-0.006	-0.005	-0. 008	-0.005	-0.004
		Ζ					0	-0.001	0.015	-0.002	0.011	0.009	0.009	0.007	-0.002
		X						0	-0.003	-0.003	0.001	0.003	0.011	-0.001	0.006
	1段目	Y						0	0.004	0.005	0.006	0.002	-0. 002	0.007	0.005
		Ζ						0	0.017	0	0	0	-0. 001	0	0



図 5.4 から、計測データは累積傾向を示しておらず、観測データに波があることから、切土時にの り面は変動していないと判断した。

(3) すべり線推定解析

当のり面で地表面計測を行った結果、のり面は変動していないと判断した。そのため、すべり線推 定解析は実施しなかった。

5.1.3 竹地本谷地区の計測

(1) 竹地本谷地区の概要

竹地本谷地区は現在施工中である新規高速自動車道尾道・松江線の三次河川国道事務所管轄箇所で ある。竹地本谷地区位置図を図5.5に示す。



竹地本谷地区の平面図と断面図をそれぞれ図5.6、図5.7に示す。



図 5.7 竹地本谷地区断面図(S=1:500)

測線は STA657+80 とし、計 8 段の小段に側点を設置した。側点は小段端部から 0.5m のり面側の シールコン上面とし、測量方法は延長 500m 程度のトラバースを組んで測定した。 当地区の法面状況を以下に示す。



写真5.2 竹地本谷地区のり面状況
竹地本谷地区の切土規模は、切土幅約 50m、比高差約 50m であり、切土は 9 段である。切土法面 勾配は 1:1.2 であり、1 法面の比高差は 7.0m である。

当のり面では施工上の安全管理を兼ねて、地表面計測を実施した。

(2) 竹地本谷地区の計測データ

計測データを表5.3に示す。

	測線					STA57+8	0		
/		(計	測データ	(m)		
	D/+				H20			H2	21
	נין 🗖		9/2	9/25	10/16	11/25	12/28	1/30	2/27
	観測回		第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回
		Х	0	0	0	0	0	-0.001	-0.001
	8段目	Y	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.002
		Ζ	0	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002
		Χ	0	-0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	7段目	Y	0	0	0	0	0	0	0
		Ζ	0	0	0	0	0	-0.001	-0.001
		Х	0	0	0.001	-0.001	-0. 001	-0.002	-0.002
	6段目	Y	0	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001
		Ζ	0	0	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002
		Х		0	0	0	0	0	-0.001
洪	5段目	Y		0	0	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
四四		Ζ		0	0	-0.001	-0. 001	-0.001	-0.001
数		Х			0	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
~~	4段目	Y			0	0.001	0.001	0.001	0.001
		Ζ			0	0.002	0.002	0.002	0.002
		Х				0	0.001	0.001	0.001
	3段目	Y				0	-0.002	-0.002	-0.002
		Ζ				0	-0.001	-0.001	-0.001
		Х					0	-0.003	-0.002
	2段目	Y					0	0.002	0.002
		Ζ					0	-0.001	-0.001
		X						0	0
	1段目	Y						0	0
		Z						0	0

表 5.3 竹地本谷地区計測データ



表5.3に示した計測データをグラフ化した。そのグラフを図5.8に示す。

図 5.8 竹地本谷地区計測データグラフ

図 5.8 から、計測データは累積傾向を示しておらず、観測データに波があることから、切土時にの り面は変動していないと判断した。

(3) すべり線推定解析

当のり面で地表面計測を行った結果、のり面は変動していないと判断した。そのため、すべり線推 定解析は実施しなかった。

5.1.4 自然斜面地すべりにおける計測

自然斜面において、地表面変位量の計測を行うにあたり、候補地の検討を行った結果、以下の地すべり において計測を実施することとした。

No.	計測候補地		管理者		
1	麻生小平地区	群馬県	藤岡土木事務所	万場事業所	

表 5.4 自然斜面における計測候補地

5.1.5 麻生小平地区の計測

(1) 麻生小平地区の概要

麻生小平地区は群馬県多野郡神流町森戸地区に位置し、神流川に接する地すべりである。森戸地区 の地質は秩父帯北帯に属し、岩相によって3つのユニットに区分され、変成岩が露出する地域である。 麻生小平地区の露頭状況、ボーリング結果から輝緑凝灰岩や泥質片岩が確認されている。地形的には 斜面全体に緩やかな斜面を形成しており、河川に向かって急斜面となる。地すべり末端部は神流川に 接していることから、河川浸食が地すべり発生の誘因の1つとなっている。位置図を図5.9に示し、 平面図を図5.10に示し、地質断面図を図5.11に示す。地すべりブロックの大きさは長さ約250m、 幅約160m、層厚約20mであり、滑動方向はほぼ南北方向である。



図 5.9 麻生小平地区位置図



図 5.10 麻生小平地区平面図 (S=1:2500)



図 5.11 麻生小平地区地質断面図(S=1:2500)



写真5.3 麻生小平地区の斜面状況

(2) 麻生小平地区での GPS 設置状況

麻生小平地区では地表面変位の計測方法として、GPS による観測を実施した。GPS による計測方 法を選択した理由として、現場に行かなくてもデータが収集可能であるという点にある。GPS 設置計 画図を図 5.12 に示す。GPS 計器は G-1~G-5 の 5 基、基準点として K-1、K-2 の 2 基設置した。計測 は平成 19 年 12 月以降、継続して現在まで行っている。



図 5.12 麻生小平地区 GPS 設置計画図



写真 5.4 麻生小平地区 GPS 設置状況

GPS は斜面内に 5 基設置し、末端から頭部に向かって G-1~G-5 とした。また基準点は 2 箇所、地 すべりブロック中腹部の道路の東方向に K-1、地すべりブロック頭部西方向の斜面内に K-2 を設置し た。

(3) 麻生小平地区の計測データ

計測はGPSにより観測を行っている。例として、G-1(K-1基準)の観測グラフ(2010/2/10~2010/3/11) を図に示す。計測データは●で示される。その計測データのトレンド方向を結んだのが-のトレンド ラインである。



図 5.13 G-1 (K-1 基準) 観測グラフ (2010/2/10~2010/3/11)

計測点の変動ベクトルが示された平面図を図 5.14 に、断面図を図 5.15 図に示す。図 5.14 から、麻 生小平地区は滑動方向に最大で 40mm 程度変動していると言える。



図 5.14 変動ベクトル平面図(2009/1/1-2010/3/11)



2009年01月01日00時~2010年03月11日11時(435日間)の変位量を示しています。

図 5.15 変動ベクトル断面図 (2009/1/1-2010/3/11)

トレンドラインをグラフ化したものを図 5.16、図 5.17 に示す。図 5.16 は G-1~G-5 の N-S 方向の 観測データを K-1, K-2 各基準から示したものと K-2 の N-S 方向観測データを K-1 基準で示したもの、 観測期間の気温変動図である。図 5.17 は G-1~G-5 の U-D 方向の観測データを K-1, K-2 各基準から 示したものと K-2 の U-D 方向観測データを K-1 基準で示したもの、観測期間の気温変動図である。

図 5.16、図 5.17 によると、GPS 観測データは気温の温度変化の影響を受けやすいことがわかる。 これらは夏の暖かい時期の地盤の膨脹、冬の寒い時期の地盤凍結による地盤の膨脹等の影響を受けて いると考えられる。また、図 5.16 によると、K-1 基準の場合の G-1~G-5 の変動が K-2 の変動と同傾 向を示している。 加えて、K-2 基準の場合の G-1~G-5 の変動が観測期間を通じて大きな変動は認め られなかったことから、K-2 の基準点は G-1~G-5 の計測点とともに変動している可能性がある。し たがって、当項では K-1 基準の G-1~G-5 の変動について解析を行うこととする。





図 5.17 G-1~G-5, K-2, U-D 方向観測グラフ及び気温変動グラフ(2009/12~2010/3)



次に、気温等の影響をなるべく排除したいため、各計測データの気温の影響等がない場合の変動を 推定し、それに沿う直線について検討を行った。各計測点の直線位置を図 5.18 に示す。

図 5.18 G-1~G-5の N-S, U-D 方向観測グラフと近似線 (2009/12~2010/3)

各直線の方程式を表に示す。

表 5.5 G-1~G-5の計測データに沿った直線の方程式

	N-S 方向近似式(x:日,y:mm)	U-D 方向近似式(x:日,y:mm)
G-1	y=0.05735x+11.084	y=-0. 03138x+5. 0586
G-2	y=0. 06220x-3. 647	y=-0. 01493x+4. 4504
G-3	y=0. 05096x+3. 339	y=-0. 0145. 0x+6. 6008
G-4	y=0. 04563x-2. 080	y=-0. 03011x+6. 5927
G-5	y=0. 05721x-0. 546	y=-0. 01216x+0. 4198

表 5.6 に示す直線方程式で、1日の変動量を表に、1年経過した場合の推定変動量を表 5.7 に、すべり線長の約 0.5%変動した場合の変動量を表 5.8 に示す。当地すべりブロックのすべり線長は 250m であるので、その 0.5%は 1250mm となるため、1年経過の変動量を 58 倍した。

	N-S 方向近似式(x : 日, y : mm)	U-D 方向近似式(x:日, y:mm)
G-1	0. 05735	-0. 03138
G-2	0. 06220	-0. 01493
G-3	0. 05096	-0. 01470
G-4	0. 04563	-0. 03011
G-5	0. 05721	-0. 01216

表 5.6 G-1~G-5 の直線方程式に基づいた1日の変動量

表 5.7 G-1~G-5の直線方程式に基づいた1年経過後の推定変動量

	N-S 方向近似式(x:日, y:mm)	U-D 方向近似式(x:日,y:mm)
G-1	20. 9	-11.5
G-2	22. 7	-5. 4
G-3	18. 6	-5. 4
G-4	16. 7	-11.0
G-5	20. 9	-4.4

表 5.8 G-1~G-5の直線方程式に基づいたすべり線長の 0.5%の変動量

	N-S 方向近似式(x : 日, y : mm)	U-D 方向近似式(x:日, y:mm)
G-1	1212. 2	-667
G-2	1316. 6	-313. 2
G-3	1078. 8	-313. 2
G-4	968. 6	-638
G-5	1212. 2	-255. 2

表5.7、表5.8に示す変動量を用いてすべり線推定解析を行った。

(4) すべり線推定解析

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。

①地形座標

②計測点座標

③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)

④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)

⑤地表面変位

◆変位量に1年経過後の変動量を採用したケース

変位量に1年経過後の変動量を採用したケースついて解析を行った。解析結果を図5.19に示す。



図 5.19 麻生小平地区解析結果(変位量は1年経過後の推定変動量を採用)

地質調査により得られた想定すべり線に形状が似ているすべり線が得られた。想定すべり線により 近いすべり線を推定するには、地中境界点の設定が必要である。

◆変位量をすべり線長の 0.5%としたケース

変位量をすべり線長の0.5%としたケースついて解析を行った。すべり線長は250mであるから、0.5% は 1250mm である。したがって1 年経過後の推定変動量を 58 倍して解析を行った。解析結果を図 5.20 に示す。



図 5.20 麻生小平地区解析結果(変位量は1年経過後の推定変動量×58を採用)

解析の結果、地中境界点を設定しなかった場合は、想定すべり線より深い推定すべり線が得られ、 地中境界点を設定した場合は想定すべり線より浅いすべり線が得られた。

5.2 事例解析箇所の選定

地表面変位計測による地すべり規模推定システムの解析事例を増やすことにより、システムの汎用性の 確認、問題点・課題の抽出を行う目的で、事例解析地の収集を行った。

事例解析地の収集を行った結果、**表** 5.10 に示す事例を抽出した。**表** 5.10 に示す事例の中で地すべり概 要が判明している地区を**表** 5.9 にまとめた。

5.3節では表5.9に示す各地すべりの中で、データが揃っている地すべりについて解析を行った。

地区番号	地区名	斜面区	計測データ	解析の実施
		分		
1	月山湖 PA の地すべり	自然	0	0
2	大所地すべり	自然	0	0
3	町道高沢入り線地すべり	自然	0	0
4	北ノ入地区地すべり	自然	0	0
5	落合地すべり	自然	0	0
6	下石川地すべり	自然	0	0
7	国道 424 号道路災害	自然	0	0
8	仲野地区地すべり	自然	0	0
9	中之島地すべり	自然	0	0
10	播但道	切土	0	0
11	摺上ダム	自然	0	0
12	滝沢ダム L-22 ブロック	自然	0	0
13	長知内(DV 測線)	自然	×	×
14	長知内(E-Ⅲ測線)	自然	×	×
15	共和地区(B-1 測線)	自然	0	0
16	共和地区(B-2 測線)	自然	0	0
17	細越地すべり A	自然	0	0
18	細越地すべり G	自然	0	0
19	追久保地すべり	自然	0	0
20	長者地すべり	自然	0	0

表 5.9 地すべり概要が判明している事例

表 5.10 - (1) 地表面変位計測事例

	の部分があたりまた。	小田の美国の日本主要		● 「「「」」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「」、「	The second s	「明治学会会」	小田の東京などの主要	小田の東西において			日本時間部であ		(第四回の日本日に日本日本日本にした」」という 次のし、	at 1946 F. Hallows	THE REAL PROPERTY AND A DESCRIPTION OF A	Understeinen mannen mit seinem	EE Terrester montheautres	22			の時間のないない		A STRUCTURE AND			日本的にたった。	「「「「「「「「」」」」」」	川田市田学校の方	APPENDIA MALLUCKY	「「「「「「「「「」」」」」	「日本語」の	非常国家部分の	「日本のない」というないである。		THE STATES			「小田橋を行きていた」				The second s			「「「「「「」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」	 Transferrers Personales Transferrers Personales Transferrers Personales 	構成者的ないのでの変換的に そのというとのとなるがない。 自己に、				日本の「「「「「「「「「「「」」」」	escolarse and an and a state of the second s
				-10					-		18		ξi d			Ŷ) 		£	2	- <u>F</u>	1	1.12	19	62	5.9	iπ e	2.75 5-75 		<u>ě</u>	22.		143 1	8		15 4, 8				8 18 1	6 13 I		- Highly Y		<u>1</u> 9	1982667754	2002962804 2004341	1080411 1080411	00011	<u></u>
		「「「「「「」」」		Res Sec.	77926-	「「「」			1	i bi	- Secure								G I		Turker.																	- - - -				2				-		- A RC	- See	* 10		
	Contraction of the Contract of Contract		CONTRACTOR CONTRA	andra andra and an	の「日本のないないない」を見ていた			三世の時代日本は日常	- 正憲課後子県職品階	学校学校学校でいたのであり	Person Property and	ALCONDUCT.			And A State Stat	STATES STATES					The local transfer and	中國國際常義的	The second s	1.000000000000000000000000000000000000	「「「「「「「「「「」」」」」」	「「「「「「「「」」」」」」「「「」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」	「「「「「」」」	[1] [1] [1] [1] [1] [1] [1] [1] [1] [1]	山南市市市である	非物質	国際国家の	三世代のないない	ana ana aona aona aona aona aona aona a			The second s			1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.	STATE:	「日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日	「私言語に生活」の課題が	Present.		1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.1.		「「「「「「「」」」」」	LITTER OF DESIGNATION OF DESIGNATIONO OF DESIGNATIONO OF DESIGNATIONO OF DESIGNATIONO OF DESIGNA	「「「「「「「」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」	A CONTRACTOR - CALIFORNIA - CAL	A LOSS	
67 14 1 44	100	Set all				See the	0373 (198 28)	(A) 554.03	東韓和国との	「「「「「「」」」の	10023400	日本の			0.61 Ama a-1			記支は第二				Laboratoria -	Contraction of the second	Cardina de C	THE STREET	「「「「「「「」」」」	COLORADO DE LA COLORA			100 M		COMPACT.		THE THE		8-7-53(÷	E CERCIT	語語で	- TRUE	112 M	「「「「「」」」	ALC: USE		日間の時に、ロン	Support (1)			HEADER	Contraction (Contraction)	CHERK STREET		
		3		8 8	5	8	8	8	. 50	Se	99.	22	(3 8 89)					-1000			197																		1										「「「「「」」	3		
				Ş 9	5 5	5	5	5	50 1.	3	90-	XaX I		È.	570	È.	2	ş :	5. 		9 Ø	201 L		20	NeX 2002	NeX NeX	200 100		ŝ.		NEX		280 280	12		<u>\$</u>	(433.4		50	1	2		100 (US)	9	Ę		50	[] wav[ġ	NBC 1	10	<u>ş</u>
BARRY 14-1				1997-1992													Rod and A CONSTRUCT	CONTRACTOR OF	LI COMPLET LARGE																		のころのなどのです。		A SAFET AND REAL PLANES AND		1					AND TANK AND	(J. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1.					
														1																			1							S.A. (2014) (C. Schulder, M. S. Sandari, S. Sa	Contraction of the											0.0000000
				. jî	Supple	1										THE REAL PROPERTY IN																								ATLANT I												an the second
THE REPORT OF			のないないでした。	の一般の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の日本の	4月1日の1月1日。 1月1日日(日本市市日)を1月1日)	は何日のから、「日本のため	上に協調性上は必要なな																																				CORRECT.	USTREE FI	土地を							
A REPORT OF		100	1		61 / C	1		4	乙								1	1788		1																					and the second	-	11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-	Appendiate States	10		1				 	
1988) 1988 - Andrew States, 1988 1989 - Andrew States, 1988	REPORTING.	10.40542.040544.1		1399922 (9502x) 810382 (560/568)	AF AF AF (2000)	251 20734/	01074/1018670 10000	ustation in the statement	mainten heteorem	the Schulze Schulzer	2.000 million	1.14544	14431-842. 6146855								100+																					1 March Construction	Canado Englis		-							
100,000	5.0 No.	1		12. 1. 1981 Anno 1. 1982	2021 L 1202	1	5	142 142	3	and the			200 201 201 201 201															- 								- - - - - - - - - - - - - - - - - - -																
en i hander	1000 TOUR			Cumr .	1000		14880	- Interna	95400 U	147 (JR)	200	45 1	1102		9			ĝ d	8 i															ġ							111	S.	1 3	34	44	::: 						8
						日本語の	100000 - 010	10000		24			1000 1000			ř			1100	(ALL)																	「「「「」」		2000 E		90007 100000	1	1			11 E	ě	Bath Fi				
200 L	1								10	. 5			語						四橋	20																	10		214	5 7		*	帮		1	10 C		数数時はいか。 約6-13年、198	静	RUNAL	101	\$8
4.48 9 9.47			and second over the sec								11-200624-1																															林田大部務院家			「日本のないのです」			(1978) (1978)		4 - nutri		
	1000465535011	110004590		LONGON OF STREET	TSOMOROD	E -FIAS - DESISAREST	1.05.8248246.11	1.55594652500	-1-85 MG1 (1204-02040-000	00666600	NEWTONO GARANT	THE REPORT OF								100000000000000000000000000000000000000																			141209093			CONSIGNATION OF THE PARTY OF TH	Stockids - 141-	- Andrewski - Andrewski	の14年(14年) 1998年8月20日 - 1997) - 中永	の調整調査性の思	EXAMPLE NAMES					
1945 Historyczaw	「「「「」」		States and	101454	States and	の近たりの	1000 COLOR	11.5	AND A LOUGH	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1620%	8	1254.42			123.03.04		39 39		-																			10025				2	8	0- 01/48	3	100					
12 memorado (1943 un	HERRIC CON	HERE AND		ALL CALLER	100 C	1998年1999日	THE PARTY OF	HERE'S ALL	NUME STATE		19		幹																					and the second	Server S				- AND			1	1	い対応								
T REAR AND LOSS	ALL AND ALL ALL ALL ALL ALL ALL ALL ALL ALL AL	現下の1454萬市 品		ALCONTRACT OF		「「「「「「」」」	8771 (31.4-500) - 10	R 1314-004- 13	(1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	State	18: 					494-062		「「「「「なく 和山谷」」	Contraction of	Contraction of the second														, Ri	1 ft							「田原水水の市」	「「「「「」」、その事業	「「「「「「「「」」」」」	第24 121 日本の	「「「「「「」」」」」」」」」」」」」」」」」」						
Ř.		1			i 1	1	1	1			- B E			-588.0	-2004-	新聞市		響日		-																		-1921- -1921-	·····································	- 1	変現し	- - 		単数型				200	1		2	<u>6</u>
	0-1 (0100)	ant scillers		ALL REAL CONTRACT			i and a	P	北韓新	「「「「「」」	는 Mich		1.11 1.11		- SA	TUNCT RANGE		1020-						1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1			E SANGEL	21564012						-	-	AND	THE LOCAL DESIGNATION OF THE PARTY OF THE PA		Trues.	Å		NA TA	1		Called State Street	STATE OF STATE		THECH PROFESSION	18/02/14/20/18/	「「「「「「」」」	THE CONTRACT OF A	ř.
	Tatistications	10.1014941914 12.		ALL	She amprendities	(0)1 (SE28(3)14(9))	7// 3.4448.451.4546.454	Traditional Vice	大学学校教育 新田市 (116)		1111 (17)的代表的 (17)	11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-	STREET WEIGHT VIEL	1345 25444	ALTENNIS SILE	1117 House 1	14300 1430				SARAGERTERE TT.		201 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 1	10次に「東京」が出た。	2000 24200 44	1010 1000 1000 1000 1000	10000 (11000)(1000) 10000 (11000)(1000)(1000) 10000 (10000)(10000)	2015年11月後後後に10条約254 2425年11月後後後に10条約254	1881. 日本記載和中国法学学校》 1881. 法部位副務会	- 1957 - 1957年11930日 - 1957 -	Entrantia Con	THE PARTY PROPERTY OF THE PARTY	1941 - 189 (1980) - 1941 - 1945 - 194	inder Marrison	the second	1122 - 20 10 22 22	1111-4-000 BOOR INCOM	1111	TAN SAN AND THE SA	10000 10000 10000 10000	121 Market Constant	2820 H 50280	(1983) 1995年1998年1996年1996年1		1022 0000000000000000000000000000000000	国内(1888年)(121-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-	STAL BURNESSTAND	1980 1989 1984 1984	1058 Judgebright 49,0	BERE PARAMENT STRUMMENT 1995年の日本 1995年 1995年の 1995年 1995年 1995年 1995年 1995年 1995年 1995年 1995年 1995年 1995年 1995年 1995 1995年 1995年 1995 1995 1995 1995 1995 1995 1	1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 11	(AR)

阆
빠
픴
誯
臼
変
国
夷
튄
_
ତ
, ,
ò
Ξ.
വ
表

Filling Relief Controlation Relief Relief <thr< th=""><th>1940.000歳歳 1921 1941.000歳歳 193.000歳歳 193.000歳 193.0000 193.00000 193.00000 193.00000 193.00000 193.000000000000000000000000000000000000</th><th>80.2015 193.2015 10</th><th></th><th>関連学</th><th></th><th></th><th>123 くりの焼炭</th><th>10000000</th><th>同社会</th><th>10 H H</th><th>144</th><th>CT:004000</th><th>18 J 18</th><th></th><th>別語を見ていた。</th><th></th><th></th><th>牛人工修設会は違</th><th>1</th><th>IN FERE</th><th>- Tel al</th><th>e</th><th></th><th>1 1 1 1 1 1</th></thr<>	1940.000歳歳 1921 1941.000歳歳 193.000歳歳 193.000歳 193.0000 193.00000 193.00000 193.00000 193.00000 193.000000000000000000000000000000000000	80.2015 193.2015 10		関連学			123 くりの焼炭	10000000	同社会	10 H H	144	CT:004000	18 J 18		別語を見ていた。			牛人工修設会は違	1	IN FERE	- Tel al	e		1 1 1 1 1 1
Image: control in the state of the	日本語の 接通 地先 芝加 運動影響 すくり回ぶが 地すくリタイノ 英張 地震 加雪 電光 1.5450000 1.1550000 1.05500000 1.155000000 1.155000000 1.155000000 1.155000000 1.1550000000 1.1550000000000	春道 地名 英国 運動振転 すべり面形状 地すイリタイプ 放戦 岩質 編者 温和 24年回客灯 17843497 18943497 18943497 18943497 18943497 18943497 1894341	「おお」「茶酒」「「「「「「」」」」「「「「」」」」「「「」」」「「「」」」「「「」」」」「「「」」」「「「」」」」	24回 連動励機 すんり面形式 指すんりタイプ 模模 地質 講者 「4後回探试」「1994年17 回教) - 「1995年14」	「御夢勝」すんり回波な「おすんりかん」 強振 「「「「「「「」」」「「「「」」「「「「」」「「「」」「「「」」「「「	国形は「おさくリタイレ」 数据 活賞 「「「「「」」」 「「「」」」 「「「」」」 「「」」」 「「」」」 「「」」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」	リタイプ 規模 地質 編光 昭後回院10 11200月100	規模 地質 編考 ^坦 微固定位 訂選例面	編考 PE装加度T2 EE2200 EE220 EE	地数加度位 計測手法 (回数)			(無相用) (無相田)	計測点名	移動量	その他の観測	行場	9 へり回転た供給	Ko	転送	事務所名		を	*
Image: control in the state of the	長老的すべり 第50 自然 GPS	S-8 単位 時期	5d3	目然 目	S40	5d0	Sc8	SdB	SdD	SdD			e				帰勤方向がやや回転		Ā					解析は難しいか? クが細分化
(1) (1) <td> 石法地すべり 宮崎 自然 </td> <td></td> <td>. 1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>10</td> <td>第中</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>	石法地すべり 宮崎 自然											. 1							10	第中				
Technolic function Section for the section base in the sectin base in the section base in the section based based base in the	MARはオメリ 長野 自然	長野 自然	※ 型	※									참				主道線沿いに2箇所の移動杭計 道(三次元)あり(下部プロッ ク)		⊲		長野県砂防課			大規模、機構はよ いない、
No. Control Co	13.2.2 (2) (14.2) (14	13.2.1 (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2)	111.2/2 (111)2	自然 義合サペリ 勉強級 (1-55,00m) 日本 (1-55,00m) 日本 (1-55,00m) 日本 (1-52,0m) 11	12) ~ C (2H) 文字 C (2H) (1137~(王 11864-000-10 1186-100-10 1186-10-10 1186-10-10	11137~(1111日) 11日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日	日本1000mm - 10000mm - 10000mm	田3.7~(主 113.7~(主 113.7~(主 15.3点は 15.3点は 15.3点は 15.3点は	H13.7~(主 田3.7~(主 ち3点は H19.5~)	13.7~(注 11歳4点のう ち3点は 19.5~)		15		X90mn. Y338mn, 218.6mm(务56年)		プロックは上部・下割に分かれ るが、測線に4箇所の移動杭あ り(三次元)		-# 0	新聞	建设设计图案	業	064-1 30-1	21- 下部の3測点はH10 21- の計測開始であり 4 今番積が必要。
····································	※山谷宮 商務 自然	経営	※ 毎	※ 回 ※ 回								-	2				プロックの越にて2箇所の印S 計測点あり		1	新 田 田 田	斷誤線			お属下のの第五で る。彼位計測デー 入手(整理されが は、
一 一 一 0.0 1001114AAB901 1001114AB901 1001114A9901 1001114A9901 1001114A99014484981484	送津444 山野 福村山田町川町 自然 あいまいで あいまいで あいまま (1997)	山路 西村山郡西川町 自然 金休線が見えないた (4) 志建地の (4) 更確認。	村山郡西川町 東地内 自然 6. 夏融記。 6. 夏融記。	自然 自然 め、要確認。	全体構が見えないため、要確認。	全体構が見えないため、更確認。	全体儀が見えないため、要確認。	全体儀が見えないため、要確認。	全体儀が見えないた め、要確認。				4				ほぼ稼動方向に沿って2箇所 0PS計測あるが、確認必要。		×	ഷി	東北地登			
日 日	議院地すべり 群馬 自然	武禹	¥4	自然									10, 7				2地区で計測あり。それぞれ、 懇様に2地点のGPS計測あり		е 0	n 🕅	和我川水系够防			
日 国際(1-2)-5-5-5-5-5-5-5-5-5-5-5-5-5-5-5-5-5-5-	入谷地すべり 長野 自然 コロックが置かれて アロックが置かれて ており、着菜。	正路 自然 自然 自然 ており、	自然 自然 (たち)、施強。 (たち)、施強。	自然 「プロックが第分化し 「たちり、施設。	ノロックが低水合し、人から、盛水合し、人がら、盛菜。	プロックが着かたしており、施業。	プロックが観分化しており、 権強。	プロックが描分化しており、菌菜。	ブロックが描分化しており、複雑。				8				潮機に沿った複数箇所の計測点 なし		×	<u>∩∰</u>	天竜川上流			
1 170-2000 1 170-2000 1 170-2000 1 170-2000 1 170-2000 1 170-2000 1 170-20000 170-20000 170-20000	此田地すべり 長野 自然 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一	「「「「」「」「」「」「」「」「」「」「」「」「」「」「」「」「」」「」「」「」											4				連線に沿った複数箇所の計測点 なし		×	0	天龍川上流			
BODSom 世界へものたるアフラーントは高の部分目に回帰 〇 〇 〇 〇 100-100 市 100-100-100 100-100-100 100-100-100 100-100-100 100-100-100 100-100-100 100-100-100 100-100-100 100-100-100 100-100-100 100-100-100-100 100-100 100-100-100 100-100-	由止地すべり 韓国	諸国 自然 急速はほと んどなし。	自然 自然 (2444) (244) (244) (244) (2	自然 (急速はほと) (急速はほと) (人どなし)	26歳約4、勤舎はほと んどなし。	急ば鉄。動きはほと んどなし。	急機能。動きはほと んどなし。	急極執。動きはほと んどなし。	念価料。動きはほと んどなし。				13				1 ブロックのみ追魏に2箇所の BPS機器あり		×	ഷി	中部地整塞士砂筋事務所			
一 ●	山中美図 大牛 非強市日中美図 由然 横向すより 随意・可認 酸酸三基酸钒酸酶准 18 (フロック)は濃酸が良 H18 6~ 118 19 単 118 19 単	大学 本験市山中地図 由然 横曲すえり 直義・円弦	様号三中法図 由然 養命すべり 損害・日気 単葉 111.5 6~ 113.6 111.5 111.5 112.5 113.5 112.5 113.5	由語 繊小すべい 開墾~田崎 整督に進載双貨業 語 プロシムは避難が同 H18.6~ 単語 第二連載双貨業 語 「このシンロック」「 15 H18.6~ 単語 「このシンロック」「 15 H18.10	14年×49 損益・日後の11日の11日の11日の11日の11日の11日の11日の11日の11日の1	・田30 整練三基礎保全業計 品「フロック注意業が同 計量にののションロックに 15 H18 6~ 当時にののションロックに 15 H18 10 当時には、「おかちもの」	整解三基語民意審測: 語・プロック兵部議び回 市にののシックロックに 北 北部、兄がかたる。	整練に直接保倉優准, 治「フロックは逆義方向 1180~シロックに 北 北 10 1180~シロックに 128~10	1. 出しつつは器製方向 1. 出しこの小ブロックに 分かれる。 日本10	TS H18.6~	H18.6∼ H18.10		ę		\$920~50m		地すべりの長さ方向に3箇所程 度の測点あり		е 0	ഷി	大分県移防課	茶坊	097-50	-487
ド国点少ない × (0) 2地道階級局量重勝連 の 年記時より の 年記時より 10 年記時より	2014編山橋地区 北海道 目高时 自然 使 燃	2011年3月 日高町 日高町 日高町 日高町	高时 自然	战 城(以不明) · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	機構は不明瞭	機械は不明瞭	機構は不明瞭	機構は不明瞭	機構は不明瞭				1				各プロック 1 地点のGPS計測程 度。TS等による計測がないか要 確認。		×	ഷി	北海道開発局室囊間建			
の 一般 調査 に の に の に の に の に の に の に の に の に の に	16214編LU地図 北海道 日本町 自然 自然 建立水碱因子	- 19第1日高田 - 1985年2月 - 1985年20100000000000000000000000000000000000	毛町 自然 盛士が勝困?	自然 専業 (1997) (1	2.昭朝197十五	と昭額が干蓄	産土が総因?	る国際な主要	る主が認識が主要				1.1.1				計測点少ない		×	ഷി	北海道開発局室蘭開建			
	野田地すべり「酸湯																		0 #8	や航	新潟県上越地域振興局上越東進 管理事務所工務課	£13		

5.3 事例解析結果

5.3.1 月山湖 PA 地すべり

(1) 地すべり概要

月山湖 PA 地すべりの地すべり概要を表 5.11 に、変位ベクトル図を図 5.21 に、断面図を図 5.22 に示 す。表 5.12 に移動杭観測結果を示す。

斜面区分	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
自然	複合すべり	椅子型	風化岩すべり (青年期)	L300×W150
地質	地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠
第三紀層の 火山性堆積物	移動杭 (光波)	3年 (4回)	6点	ボーリング
概要				
山形県では、最	上川流域の月山周辺。	と米沢小国盆地周辺に	第三紀層地すべりが	分布して特に月山周

表 5.11 月山湖 PA 地すべり概要

山形県では、最上川流域の月山周辺と米沢小国盆地周辺に第三紀層地すべりが分布して特に月山周辺の滑動が活発である。特に月山 PA 地すべりは、月山 IC と湯殿山 IC を結ぶ全長 25km の月山道路の月山湖 PA 付近の地すべりで、安全岩溶岩を覆う火山性堆積物の地すべりである。 地すべりの動態観測(地表面計測)は、22箇所で光波測量(移動杭)が行われているが、移動量

は年度によって差があるものの、平成15年~平成18年の4年間で最大約1.0m程度移動している。



図 5.21 月山湖 PA 地すべりの変位ベクトル図



図 5.22 月山湖 PA 地すべりの断面図

		表	5.12 F	引山湖 PA	地すべり	の計測網	語果(移	動杭)	単位: п	m		
計測点		A	-3			PA-	-12			PA	-10	
成分	Δxy	Δz	Δ×	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δ×	Δy
H15.11.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H16.4.22	-645.1	-209	574	296					-490.67	-36	413	266
H16.5.7									-513.39	-39	430	282
H17.10.26	-862.17	-227	775	382	-792.84	-83	714	349	-656.97	-68	560	344
H18.8.24	-1016.58	-261	910	457	-949.45	-105	855	418	-783.21	-101	659	425

成分	Δxy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δv	Δxy	Δz	Δx
計測点		PA	-9			PA	-8			PA	-7
H18.8.24	-1016.58	-261	910	457	-949.45	-105	855	418	-/83.21	-101	65
H17.10.26	-862.17	-227	775	382	-792.84	-83	714	349	-656.97	-68	56
H16.5.7									-513.39	-39	43

成分	Δxy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy
H15.11.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H16.4.22					-315.61	-362	238	219	4.8	11	6	-20
H16.5.7					-344.03	-381	261	236	6.17	11	5	-21
H17.10.26					-532.29	-568	427	325	12.9	5	3	-31
H18.8.24	-111.98	-23	86	75	-671.06	-681	537	412	11.63	5	1	-25

計測点		PA	-7A		PA-13						
成分	∆xy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy			
H15.11.1	0	0	0	0	0	0	0	0			
H16.4.22	0				-651.02	-102	597	268			
H16.5.7					-648.69	-103	592	272			
H17.10.26					-861.53	-256	791	353			
H18.8.24	9.89	0	-12	1	-1014.67	-290	928	422			

(2) すべり線推定解析

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。
①地形座標
②計測点座標
③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)
④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)
⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。全期間のデータを採用した場合の解析結果を図 5.23 に示す。



図 5.23 月山湖 PA 地すべり解析結果 (変位量は観測値を採用、全期間データ)

地質調査により得られた想定すべり線はやや椅子型であるが、どの推定すべり線も、想定すべり線より 深いすべり線となった。また、すべり頭部の勾配を入力した場合、すべり線が深くなる傾向が認められた。 初回データを採用した場合の解析結果を図5.24に示す。



地質調査により得られた想定すべり線はやや椅子型であるが、椅子型の形状を示すのは難しかった。初 回データを用いた解析結果は全期間データを用いた解析結果よりも浅い推定すべり線となることがわかっ た。初回データを用いて、ブロック区分線をAに設定し、解析を行った結果、想定すべり線に近い推定す

べり線が得られた。

地中境界点については、設定し解析を行ったが、良い結果が得られなかったため、記述しない。

◆変位量を地すべりの長さ×0.5%程度にしたケース

変位量を地すべりの長さ×0.5%程度にしたケースについては、斜面長が 260m であり、その 0.5%は 1300mm となる。観測値のオーダーが A-3、PA-12、PA-13 で 1000mm 程度であるため、変位量を斜面 長の 0.5%に補正した解析は実施しない。

5.3.2 大所地すべり

(1) 概要

大所地すべりの地すべり概要を表 5.13 に、変位ベクトル図を図 5.25 に、断面図を図 5.26 に示す。移動杭観測結果を表 5.14 に示す。

斜面区分	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
自然	複合すべり	椅子型	崩積土すべり (壮年期)	L1300×W5.00
地質	地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠
蛇紋岩	移動杭 (光波)	5年	4点	ボーリング 孔内傾斜計

表 5.13 大所地すべり概要

概要

大所地すべりは、一級水系姫川の合流地点から約 1km 西の大所川沿いに位置する。大所川とその流 域は、糸魚川・静岡構造線の西側近傍に位置しており、山体の深部まで破砕が進んでいるため、大規模な 崩壊地や地すべり地が多く分布している。大所地すべりは基盤の古生層(蛇紋岩、珪化頁岩等)を覆う 崩積土地すべりである。

地すべりの動態観測(地表面計測)は19~28箇所で光波測量(移動杭)が行われている、移動量は 平成7~12年の6年間で最大約6.0m程度移動している。



図 5.25 大所地すべりの変位ベクトル図



図 5.26 大所地すべり断面図

計測点	IA-1		6330		IA-2		IA	-3	IA-4		
成分	∆xy	Δz	∆xy	Δz	∆xy	Δz	∆ху	Δz	∆xy	Δz	
H7.5.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
H7.11.1	-572	-116	-647	-295	-383	-85	-329	-234	-362	-175	
H8.5.1	-883	-206	-1001	-387	-629	-172	-533	-426	-580	-363	
H8.11.1	-1020	-195	-1001	-387	-720	-139	-608	-467	-694	-380	
H9.5.1	-1153	-233	-2800	-5030	-830	-285	-686	-541	-755	-452	
H9.11.1	-1219	-205	-2873	-4962	-871	-162	-760	-335	-831	-244	
H10.5.1	-1328	-246	-2980	-5144	-955	-383	-788	-678	-877	-568	
H10.11.1	-1399	-253	-3058	-5191	-1011	-385	-837	-692	-933	-580	
H11.5.1	-1364	-235	-3000	-5172	-969	-394	-915	-646	-985	-538	
H11.11.1	-1447	-325	-3102	-5220	-997	-271	-959	-620	-1032	-499	
H12.5.1	-1545	-311	-3239	-5222	-1080	-203	-1025	-780	-1105	-652	
H12.11.1	-1577	-348	-3368	-5237	-1081	-278	-1158	-637	-1231	-521	

表 5.14	大所地すべりの計測結果	(移動杭)	単位:mm
--------	-------------	-------	-------

(2) すべり線推定解析

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。

①地形座標

②計測点座標

③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)

④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)

⑤地表面変位

なお、当解析では計測点 6330 の鉛直方向の変位(Δz)の値が多の計測点と比較して極端に大きいため、 解析に採用しなかった。

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。全期間のデータを採用した場合の解析結果を図 5.27 に示す。



図 5.27 大所地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

地質調査により得られた想定すべり線は椅子型であるが、どの推定すべり線も、想定すべり線のような 椅子型を呈さなかった。ブロック区分線をBに設定し、重み係数β=0.0 とした場合、想定すべり線より深 いすべり線となった。 初回データを採用した場合の解析結果を図5.28に示す。



図5.28 大所地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

地質調査により得られた想定すべり線は椅子型であるが、どの推定すべり線も、想定すべり線のような 椅子型を呈さず、全期間データを用いて解析した推定すべり線より浅いすべり線が得られた。ブロック区 分線をBに設定し、重み係数β=0.0 とした場合、地中境界点を設定した場合と設定しなかった場合とでホ ボ同一の推定すべり線が得られ、想定すべり線より深いすべり線となった。

◆変位量をすべり線長の0.5%としたケース

変位量をすべり線長の 0.5%としたケースついて解析を行った。採用した変位量は初回観測データを用いた。すべり線長は 650m であるから、0.5%は 3250mm である。したがって初回データを 5.倍して解析 を行った。用いた変位量を表に示し、解析結果を図 5.29 に示す。

計測占	変位量(初回デ	ータ×5.)(mm)
可側尽	ds	dz
IA-1	-4004	-812
6330	-4529	-2065
IA-2	-2681	-595
IA-3	-2303	-1638
IA-4	-2534	-1225

表 5.15 解析に用いた変位量



解析の結果、想定すべり線より浅い推定すべり線が得られた。椅子型形状を示すのも困難である。 地質調査により得られた想定すべり線は椅子型であるが、どの推定すべり線も、想定すべり線のような 椅子型を呈さなかった。ブロック区分線を IA-4 付近に設定し、重み係数 β=0.0 とした場合、地中境界点 を設定した場合と設定しなかった場合とでほぼ同一の推定すべり線が得られ、想定すべり線より深いすべ り線となった。

5.3.3 町道高沢入線すべり

(1) 概要

町道高沢入線すべりの地すべり概要を表 5.16 に、変位ベクトル図を図 5.30 に、断面図を図 5.31 に示 す。移動杭観測結果を表 5.17 に示す。

斜面区分	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
切土	回転すべり	円弧	風化岩すべり (青年期)	L50×W50
地質	地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠
新第三紀 泥岩・砂岩五層	移動杭 (光波)	20 日	3点	ボーリング

表 5.16 町道高沢入線すべり概要

概要

町道高沢入線すべりは、新潟県中頸城郡吉川町大字山直海地内であり、吉川町役場の南東約 6km に 位置している。周辺地域は林野庁指定の地すべり防止区域内で、概ね標高約 50~200m のやや緩やかな 壮年~老年期地形を呈する丘陵地となっており、周辺には地すべりブロックが多数認められる。

町道高沢入線すべりは、新第三紀(黒色泥岩)の切土に伴う風化岩地すべりで、運動様式は円弧すべりである。

地すべり導体観測(地表面計測)は9箇所で光波測量(移動杭)が行われている。移動量は1ヶ月で 最大 80cm 程度移動している。



図 5.30 町道高沢入線すべりのベクトル図



図 5.31 町道高沢入線すべり断面図

表 5.1/ 町道高沢人線すべりの計測結果(オ	移動杭)	単位:mm
--------------------------	------	-------

計測点		1()-3			9	-1		9–2				
成分	∆xy	Δz	Δx	Δy	∆xy	Δz	Δx	Δy	∆xy	Δz	Δx	∆у	
H10.5.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
H10.6.4	431.65	-174	364	232	433.03	-30	365	233	380.19	-158	324	199	
H10.6.11	611.12	-241	515	329	604.13	-34	508	327	538.11	-215	459	281	
H10.6.18	849.04	-336	720	450	839.44	-44	708	451	748.97	-285	644	383	

(2) すべり線推定解析

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。
①地形座標
②計測点座標
③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)
④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)
⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。全期間のデータを採用した場合の解析結果を図 5.32 に示す。



図 5.32 町道高沢入線すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

地中境界点を設定せずに解析した推定すべり線は、地質調査により得られた想定すべり線よりも浅く なった。地中境界点を設定した場合については、解析により得られる推定すべり線は地質調査により得ら れた想定すべり線と形状が異なり、深いすべりとなった。 初回データを採用した場合の解析結果を図5.33に示す。



図 5.33 町道高沢入線すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

地中境界点を設定せずに解析した推定すべり線は、地質調査により得られた想定すべり線よりも浅く なったが、全期間データを用いて解析した推定すべり線よりやや深い。地中境界点を設定した場合につい ては、解析により得られる推定すべり線は地質調査により得られた想定すべり線と形状が異なり、深いす べりとなった。

◆変位量を地すべりの長さ×0.5%程度にしたケース

変位量を地すべりの長さ×0.5%程度にしたケースについては、斜面長が 5.0m であり、その 0.5%は 350mm となる。観測値のオーダーが 10-3、9-1、9-2 の初回データで 400mm 程度であるため、変位量を 斜面長の 0.5%に補正した解析は実施しない。

5.3.4 北ノ入地区地すべり

(1) 概要

北ノ入地区地すべりの概要を表 5.18 に、変位ベクトル図を図 5.34 に、断面図を図 5.34 に示す。移動 杭観測結果を表 5.19 に示す。

斜面区分	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
自然	複合すべり	舟底型	風化岩すべり (青年期)	L400×W300
地質	地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠
新第三紀 泥岩・砂岩 互層、ひん岩	移動杭 (光波)	9ヶ月	10 点	ボーリング

表 5.18 町道高沢入線すべり概要

概要

北ノ入地区地すべりは、標高 100~200m にあたる斜面である。斜面勾配は 20~30°で、地すべり末 端部には上信越自動車道、国道 18 号が存在する。

地すべりブロック内は、昭和 61 年頃より採石作業を実施していたこともあり、地形形状は複雑で、 ブロックのほとんどが裸地〜草地となっている。一方、地すべりブロックの西側の未開発部分は広葉樹 等の低木〜高木が植生している。

北ノ入地区地すべりは、砂岩泥岩互層を覆うひん岩の風化岩すべりである。

地すべり動態観測(地表面計測)は、25箇所で光波測量(移動杭)が行われている。移動量は1年 間で最大約39cmである。



図 5.34 北ノ入地区地すべりのベクトル図





計測点	C7					C	5		C6			
成分	Δxy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy
H17.3.31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H17.4.14	-98.95	17	-44	-89	-108.88	7	-25	-112	-66.37	36	-34	-57
H17.4.28	-99.64	15	-47	-88	-108.71	4	-23	-113	-76.48	45	-32	-70
H17.8.25	-99.64	15	-47	-88	-108.71	4	-23	-113	-78.2	43	-32	-72
H17.12.5	-99.64	15	-47	-88	-108.71	4	-23	-113	-78.2	43	-32	-72
H17.12.19												
H18.3.27												

表 5.19 北ノ入地区地すべりの計測結果(移動杭)	単位:mm
----------------------------	-------

計測点	C2				B3				A3			
成分	Δxy	Δz	Δ×	Δy	∆xy	Δz	Δx	Δy	∆xy	Δz	Δx	Δy
H17.3.31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H17.4.14	-80.25	-6	-26	-78	-102.72	-18	-48	-91	-59.85	4	-33	-50
H17.4.28	-80.25	-6	-26	-78	-116.96	-24	-59	-101	-69.63	5	-42	-56
H17.8.25	-80.25	-6	-26	-78	-116.96	-24	-59	-101	-69.63	5	-42	-56
H17.12.5	-80.25	-6	-26	-78	-116.96	-24	-59	-101	-69.63	5	-42	-56
H17.12.19	-85.39	-7	-26	-84					-74.78	7	-42	-62
H18.3.27	-88.66	-13	-39	-80					-373.93	-112	-47	-408

計測点	F1						
成分	Δxy	Δz	Δx	Δy			
H17.3.31	0	0	0	0			
H17.4.14	-113	-104	-38	-109			
H17.4.28	-151.07	-148	-52	-145			
H17.8.25	-151.07	-148	-52	-145			
H17.12.5	-151.07	-148	-52	-145			
H17.12.19	-155.53	-148	-54	-149			
H18.3.27	-224.13	-211	-84	-211			

(2) すべり線推定解析

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。

①地形座標

②計測点座標

③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)

④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)

⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。全期間のデータを採用した場合の解析結果を図 5.36 に示す。



図5.36 北ノ入地区すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

全期間データを用いて解析した推定すべり線は、地質調査により得られた想定すべり線より形状が異なる結果となった。地中境界点 B-3 を設定した場合は、推定すべり線の形状が想定すべり線に比較的近いすべり線となった。



初回データを用いて解析した推定すべり線は、地中境界点 B-3 を設定した場合、全期間データを用いて 解析した推定すべり線とほぼ変化はなかった。地中境界点 B-3 を設定した場合、推定すべり線の形状が想 定すべり線に比較的近いすべり線となった。

◆変位量をすべり線長の0.5%としたケース

変位量をすべり線長の 0.5%としたケースついて解析を行った。採用した変位量は初回観測データを用いた。すべり線長は 400m であるから、0.5%は 2000mm である。したがって初回データを 18 倍して解析を行った。用いた変位量を表 5.20 に示し、解析結果を図 5.38 に示す。

A 0.20 /肝//10/に反性生						
計測占	変位量(初回データ×18)(mm)					
P 1 (R)	dx	dy	dz			
G	-1152	-1728	-2790			
F1	-6 84	-1962	-1872			
F2	-414	-2214	-1530			
E1	-468	-1062	-702			
C5.	-792	-1602	306			
C5	-450	-2016	126			
C6	-612	-1026	648			
C2	-468	-1404	-108			
B 3	-864	-1638	-324			
A3	-594	-900	72			

仪 5.20 所们に用いて変化量	表	5.	20	解析	に用し	た変位量
------------------	---	----	----	----	-----	------


図 5.38 北ノ入地区すべり解析結果(変位量は初回データ×18(すべり線長の 0.5%))

解析の結果、想定すべり線とは異なる形状の推定すべり線が得られた。地中境界点B-3を設定した場合、 推定すべり線の形状が想定すべり線に比較的近いすべり線となった。

5.3.5 落合地すべり

(1) 概要

落合地すべりの概要を表 5.21 に、変位ベクトル図を図 5.39 に、断面図を図 5.40 に示す。移動杭観測 結果を表 5.22 に示す。

斜面区分	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
自然	複合すべり	舟底型	崩積土すべり (壮年期)	L750×W240
地質	地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠
火山岩類	GPS	2年4ヶ月	2(38?)点	ボーリング

耒	5	21	落合地すべり	概要
1 X	υ.	~ •		100.55

概要

落合地すべりは、志賀高原北西部に位置し、横湯川沿いに地獄谷野猿公園から約 2km 上流の竜王沢 との合流点付近から西館山とダイヤモンドスキー場にかけて広がる西向き斜面である。地すべり地の頭 部は、標高 1700~1650m 付近のダイヤモンドスキー場南側の尾根から西館山にかけて連続する急斜面 に囲まれているが、この急斜面は、落合地すべりの頭部滑落崖と考えられ、かつて巨大な地すべりが発 生して生じたものと考えられる。落合地すべりは、新第三紀鮮新世~第四紀更新世の火山岩類を覆う崩 積土地すべりである。

地すべり動態観測(地表面計測)は、GPSが6箇所、光波測量(移動杭)が28箇所で行われているが、GPSの結果では2年4ヶ月で最大約20cm程度移動している。



図 5.39 落合地すべりのベクトル図



図 5.40 落合地すべりの断面図

計測点		GPS	S12		GPS-4				
成分	∆xy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy	
H16.11.1	0	0	0	0	0	0	0	0	
H16.11.15	0.57	9.09	-4	1.07	5.99	4.57	0.3	6	
H16.12.15	-0.8	12.78	-9.37	0.34	6.69	0.88	-2.67	7.07	
H17.1.14	-5.86	13.7	2.86	-6.26	4.95	7.87	2.41	4.69	
H17.2.13	-11.47	5.8	20.88	-14.12	-3.44	1.28	38.59	-8.2	
H17.3.15	-42.51	14.8	-6.73	-42	-6.75	10.28	25.08	-9.88	
H17.4.14	-44.61	2.5	-15.11	-43.09	-119.37	-21.72	28.41	-123.75	
H17.5.14	-47.68	-9.79	3.79	-48.5	-180.32	-79.49	58.97	-188.91	
H17.6.13	-45.65	-10.4	7.88	-46.96	-170.04	-71.32	56.88	-178.3	
H17.7.13	-48.51	-16.2	2.44	-49.17	-179.65	-39.52	49.53	-187.08	
H17.8.12	-46.63	33.69	-15.9	-45.03	-174.58	-12.9	42.3	-181.08	
H17.9.11	-48.48	28.9	-21.09	-46.25	-180.99	-29.7	32.96	-186.4	
H17.10.11	-29.42	11.68	-27.19	-26.3	-169.87	-72.1	42.79	-176.4	
H17.11.10	-36.84	1.49	-9.96	-35.89	-161.4	-86.21	55.39	-169.41	
H17.12.10	-39.28	-14.09	-1.74	-39.36	-165.4	-90.42	57.75	-173.73	
H18.1.9	-44.41	-9.3	8.99	-45.85	-171.97	-70.22	59.66	-180.59	
H18.2.8	-63.94	5	17.23	-66.54	-180.16	-64.02	88.94	-192.43	
H18.3.10	-77.09	5	-9.06	-76.56	-200.8	-68.9	61.86	-209.9	

表 5.22 落合地すべりの計測結果(移動杭) 単位:mm

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。
①地形座標
②計測点座標
③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)
④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)
⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。解析結果を図5.41に示す。



図5.41 落合地すべり解析結果(変位量は観測値を採用)

全期間データ及び初回データを用いて解析した推定すべり線は、地質調査により得られた想定すべり線 と全く形状が異なる結果となった。地中境界点 B-3 を設定した場合も同様である。このような結果になっ た原因としては、計測データの不正確性等が考えられる。なお、観測値のデータを用いて良い解析結果が 得られなかったため、計測データをすべり線長の 0.5%に変換したとしても良いデータは得られないと判 断し、計測データをすべり線長の 0.5%としたときの解析は行わなかった。

5.3.6 下石川地すべり

(1) 概要

下石川地すべりの概要を表 5.23 に、変位ベクトル図を図 5.42 に、断面図を図 5.43 に示す。移動杭観 測結果を表 5.24 に示す。

斜面区分	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
自然	複合すべり	舟底型	崩積土すべり (壮年期)	L150×W100
地質	地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠
砂岩・泥岩	移動杭 (光波)	1年	4点	

表 5.23 下石川地すべり概要

概要

下石川地すべりは長野盆地(善光寺平)の西方に連なる山地の東端に位置し、盆地に面した急斜面で 発生している。下石川地すべりは、新第三紀中新世〜鮮新世の堆積岩を覆う崩積土地すべりである。 地すべり動態観測(地表面計測)は、29箇所で光波測量(移動杭)が行われているが、平成12年に は3ヶ月で最大約2.7m程度移動している。



図 5.42 下石川地すべりのベクトル図



図 5.43 下石川地すべりの断面図

<u>単位</u>:mm

計測点	2031			2037				2042-1				
成分	Δxy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy
H12.1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H12.2.23	-2658.46	238	-2729	-316	-284.16	-232	-319	-228	-2198.45	-754	-2310	-640
H12.3.17	-2945.95	153	-3021	-328	-532.02	-340	-561	-169	-2375.73	-842	-2499	-711
H12.3.30	-3221.34	58	-3305	-370	-767.7	-448	-816	-290	-2630.9	-901	-2772	-820
H12.3.30					-483.53	-216	-497	-62				

表 5.24 下石川地すべりの計測結果(移動杭)

計測点	2050							
成分	Δxy	Δz	Δ×	Δy				
H12.1.1	0	0	0	0				
H12.2.23	-192.36	-4227	-227	-233				
H12.3.17	-387.54	-4301	-421	-211				
H12.3.30	-623.04	-4355	-665	-255				
H12.3.30	-430.68	-128	-438	-22				

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。 ①地形座標 ②計測点座標 ③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標) ④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度) ⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。全期間のデータを採用した場合の解析結果を図 5.44 に示す。





図 5.44 下石川地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

全期間データを用いて解析した推定すべり線は、地質調査により得られた想定すべり線よりやや深いす べり線となった。計測点「2050」データの下向きの成分がかなり大きいため、解析から取り除いた場合、 より想定すべり線に近づくことがわかった。 初回データを採用した場合の解析結果を図5.45に示す。



図 5.45 下石川地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

初回データを用いて解析した推定すべり線は、地中境界点 B-3 を設定した場合、全期間データを用いて 解析した推定すべり線よりやや深めとなった。

◆変位量をすべり線長の0.5%としたケース

変位量をすべり線長の 0.5%としたケースついて解析を行った。採用した変位量は初回観測データを用いた。すべり線長は 170m であるから、0.5%は 850mm である。したがって初回データを 0.45 倍して解析を行った。用いた変位量を表 5.25 に示し、解析結果を図 5.46 に示す。

計測占	変位量(初回データ×18)(mm)						
司側尽	dx	dy	dz				
2031	-1228.05	-142.2	107.1				
2037	-143.55	-102.6	-104.4				
2042-1	-1039.5	-288	-339.3				

表 5.25 解析に用いた変位量



図 5.46 下石川地すべり解析結果(変位量は初回データ×0.45(すべり線長の 0.5%))

解析の結果、推定すべり線は、初回データを用いた推定すべり線(図 5.45)とほぼ同じ推定すべり線になることがわかった。想定すべり線に近い推定すべり線は得られなかった。

5.3.7 国道 424 号道路災害

(1) 概要

国道 424 号道路災害の概要を表 5.26 に、変位ベクトル図を図 5.47 に、断面図を図 5.48 に示す。移動 杭観測結果を表 5.27 に示す。

斜面区分	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
自然	複合すべり	舟底型	風化岩すべり (青年期)	L82×W56
地質	地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり <i>線</i> 推定根拠
黒色頁岩	移動杭 (光波)	50日(4回)	4 点	ボーリング

表 5.26 国道 424 号道路災害概要

概要

国道 424 号道路災害(平成 18 年 6 月)の発生場所は、和歌山県日高郡みなべ町清川地内の国道 424 号線脇の自然斜面で、背後斜面には古い段差地形を伴う潜在すべりが存在している。

国道 424 号道路災害のすべりは四万十層群(新第三紀始新世)の堆積岩(黒色頁岩)の風化岩すべり である。

地すべり動態観測(地表面計測)は9箇所で光波測量(移動杭)が行われており、1ヶ月で最大約2.0m 程度移動している。





表 5.27	国道 424 号道路災害の計測結果	(移動杭)	単位:mm
--------	-------------------	-------	-------

計測点	19			18				17				
成分	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δ×	Δy	Δxy	Δz	Δ×	Δy	Δxy	Δz
H18.6.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H18.6.12	36.22	-74	-33	15	32.86	-52	-31	11	29.12	-57	-31	1
H18.6.16					2055.67	-1474	-1925	723	1692.24	-1120	-1590	582
H18.6.26	3727.46	-2575	-3499	1290					v			

計測点	16						
成分	Δx	Δy	Δxy	Δz			
H18.6.4	0	0	0	0			
H18.6.12	23.55	-63	-25	1			
H18.6.16	1284.24	-887	-1175	520			
H18.6.26							

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。
①地形座標
②計測点座標
③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)
④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)
⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。全期間のデータを採用した場合の解析結果を図 5.49に示す。



図 5.49 国道 424 号道路災害解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

全期間データを用いて解析した推定すべり線は、地中境界点やすべり線の頭部勾配を入力せずに解析す ると、地質調査により得られた想定すべり線よりかなり浅いすべり線となった。地中境界点、すべり線頭 部勾配を入力すると、想定すべり線よりやや深いすべり線が得られた。 初回データを採用した場合の解析結果を図5.50に示す。



初回データを用いて解析した推定すべり線は、全期間データを用いて解析した推定すべり線より想定す べり線に近いすべり線となった。

◆変位量をすべり線長の0.5%としたケース

変位量をすべり線長の 0.5%としたケースついて解析を行った。採用した変位量は初回観測データを用いた。すべり線長は 82m であるから、0.5%は 410mm である。したがって初回データを 6 倍して解析を行った。用いた変位量を表 5.28 に示し、解析結果を図 5.51 示す。

⇒↓泪□占	変位量(初回データ×18)(mm)						
日内示	dx	dy	dz				
9	-198	90	-444				
8	-186	66	-312				
7	-186	6	-342				
6	-150	6	-378				

表 5.28 解析に用いた変位量



解析の結果、推定すべり線は、初回データを用いた推定すべり線(図 5.50)とほぼ同じ推定すべり線になることがわかった。さらに想定すべり線に近くなるような推定すべり線は得られなかった。

5.3.8 仲野地区地すべり

(1) 概要

仲野地区地すべりの概要を表 5.29 に、変位ベクトル図を図 5.52 に、断面図を図 5.53 に示す。移動杭 観測結果を図 5.30 に示す。

斜面区分	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
自然	複合すべり	舟底型	風化岩すべり (青年期)	L150×W150
地質	地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠
砂岩頁岩互層	移動杭 (光波)	48ヶ月	3点	

表 5.29 仲野地区地すべり概要

概要

仲野地区地すべりは、土器川上流支川野田小屋川左岸の南向き斜面に位置し、周辺は砂岩頁岩の岩質 の差を反映したケスタ地形をなしている。仲野地区地すべりは、和泉層群の砂岩頁岩互層の流れ盤で発 生した風化岩地すべりである。

地すべり動態観測(地表面計測)は、11箇所で光波測量(移動杭)が行われており、1年6ヶ月で最 大約4cm 程度移動している。







図5.53 仲野地区地すべりの断面図

計測点		11	-6		11-5 11-3							
成分	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δ×	Δy	Δxy	Δz
H12.6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H12.7.18	-3.22	9	-4	-3	-3.37	0	-6	-11	-7.8	-5	-5	13
H12.9.20	0.08	3	-2	-9	-0.67	3	-3	-10	-11.92	-10	-6	27
H12.11.18	4.05	2	3	-5	2.4	-1	2	-2	-17.54	-23	-21	-13
H13.3.2	6.9	3	8	4	6.3	-5	6	-2	-19.19	-34	-19	3
H13.8.18	2.55	7	4	6	-1.2	-3	2	14	-39.8	-56	-36	21
H13.10.18	-0.22	6	0	1	-6.6	-6	-4	12	-44.52	-63	-42	16
H13.12.7	-3.75	5	1	21	-2.7	-7	3	25	-40.48	-65	-36	24
H13.12.7	-2.77	-1	-4	-5	-5.4	-3	-6	-2	-20.61	-22	-17	18

表 5.30	仲野地区地すべりの計測結果	(移動杭)	単位:mm
--------	---------------	-------	-------

計測点		11-	3-2					
成分	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	∆y	∆xy	Δz
H12.6.2	0	0	0	0	0	0	0	0
H12.7.18	-8.17	-1	-13	-20	-4.87	-2	-11	-26
H12.9.20	-7.42	-5	-3	20	-2.03	-1	3	22
H12.11.18	-8.99	-15	-15	-25	-2.25	-11	-9	-29
H13.3.2	-7.27	-21	-7	2	0	-16	0	0
H13.8.18	-38.45	-29	-36	15	-26.98	-24	-24	16
H13.10.18	-38.6	-35	-38	7	-27.96	-33	-28	3
H13.12.7	-33.35	-39	-31	14	-20.16	-39	-20	3
H13 12 7	-31.18	-8	-29	13		1	1	-

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。
①地形座標
②計測点座標
③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)
④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)
⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。全期間の計測データを用いた解析は変位ベクト ルの方向のせいか、解析不能であった。初回データを用いて解析を行った解析結果を図5.54に示す。



図5.54 仲野地区地すべり解析結果(変位量は観測値を採用)

解析を行った結果、地すべりのすべり線らしい推定すべり線を得ることはできなかった。この原因として末端の盛土の変位量、方向等がすべり線の挙動をうまく表せていなかった可能性がある。したがって、 仲野地区地すべりについては解析不能と判断した。

5.3.9 中之島地すべり

(1) 概要

中之島地すべりの概要を表 5.31 に、変位ベクトル図を図 5.55 に、断面図を図 5.56 に示す。移動杭観 測結果を表 5.32 に示す。

斜面区分	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
自然	複合すべり	舟底型	風化岩すべり (青年期)	L1300×W500
地質	地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠
凝灰岩	移動杭 (光波)	9ヶ月(4回)	2点	ボーリング

表 5.31 中之島地すべり概要

概要

中之島地すべりが位置する斜面は、屋久島の南西約70km地点に位置する長径9.5km・短径4.kmの 火山島の南東斜面で、温泉による熱水変質や風化作用などにより巨大崩壊や地すべりが発生している。 中之島地すべりは、中新世のグリーンタフ滑動及び鮮新世〜前期更新世以後に形成された安山岩質溶 岩と凝灰角礫岩類の風化岩すべりである。

地すべり動態観測(地表面計測)は、19箇所で光波測量(移動杭)が行われているが、4年間で最大 約30cm 程度移動している。



図 5.55 中之島地すべりのベクトル図



図 5.56 中之島地すべりの断面図

計測点		1C	-4		1D-3							
成分	Δx	Δy	∆xy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz				
H13.4.22	0	0	0	0	0	0	0	0				
H17.2.5	-274	25	-274	-99	-330	-62	-330	-79				
H17.5.7	-270	26	-270	-101	-314	-67	-314	-74				

表 5.32	中之島地すべりの計測結果	(移動杭)	単位:mm
--------	--------------	-------	-------

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。
①地形座標
②計測点座標
③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)
④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)
⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。全期間の計測データを用いた解析は変位ベクト ルの方向のせいか、解析不能であった。初回データを用いて解析を行った解析結果を図5.57に示す。



図5.57 中之島地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

解析を行った結果、地中境界点がないと、満足のいくすべり線形状は得られなかった。地中境界点を設定した場合でも、地すべりブロック末端部付近は浅い推定すべり線となった。これは計測点 C-4 の変位ベクトルが下方向に向いているためだと考えられる。また、ブロック区分線を移動すると推定すべり線形状が大きく変化した。

初回データを採用した場合の解析結果を図5.58に示す。



図 5.58 中之島地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

初回データを用いて解析した推定すべり線は、全期間データを用いて解析した推定すべり線とほぼ同じ ようなすべり線となった。

◆変位量をすべり線長の0.5%としたケース

変位量をすべり線長の 0.5%としたケースついて解析を行った。採用した変位量は初回観測データを用いた。すべり線長は 300m であるから、0.5%は 1500mm である。したがって初回データを 5 倍して解析 を行った。用いた変位量を表 5.33 に示し、解析結果を図 5.59 に示す。

計測占	変位量(初回データ×1	18)(mm)
可例示	dx	dy	dz
C4	-1370	125	-495
D 3	-1650	-310	-370

表 5.33 解析に用いた変位量



解析の結果、推定すべり線は、初回データを用いた推定すべり線(図 5.58)とほぼ同じ推定すべり線になることがわかった。さらに想定すべり線に近くなるような推定すべり線は得られなかった。

5.3.10 摺上ダム (中津川地区)

(1) 概要

摺上ダム(中津川地区)の概要を表 5.34 に、変位ベクトル図を図 5.60 に、断面図を図 5.61 に示す。移動 杭観測結果を表 5.35 に示す。

斜面区分	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
自然	複合すべり	椅子型	<mark>岩盤</mark> すべり (初生)	L140×W90
地質	地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠
火山岩類	移動杭 (ノンプリ)	3ヶ月(11回)	5 点	ボーリング

表 5.34 摺上ダム(中津川地区)概要

概要

摺上川ダムは、阿武隈川水系摺上川の中流部、飯坂温泉の上流約 6km の福島市飯坂町茂庭地内に 位置する中央コア型ロックフィルダムである。

摺上ダム貯水池内の中津川地区では平成16年11月、試験湛水中の貯水位上昇時に岩盤地すべりが 発生した。中津川地区のすべりは新第三紀の火山岩類から構成される。

すべり動態観測(地表面計測)は、17箇所で、3ヶ月間移動杭観測が行われている。



図 5.60 摺上ダム中津川地区すべりのベクトル図



図 5.61 摺上ダム中津川地区すべりの断面図



表 5.35 摺上ダム中津川地区すべりの計測結果(移動杭) 単位:mm

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。
①地形座標
②計測点座標
③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)
④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)
⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。全期間データを用いた解析結果を図 5.62 に示す。



図 5.62 摺上ダム地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

地中境界点を設定しない場合の推定すべり線は、地質調査により得られた想定すべり線よりかなり浅い、 表層付近のすべり線となった。地中境界点及びすべり線頭部勾配(72°)を設定した場合の推定すべり線は ほぼ想定すべり線に近いすべり線となった。



図 5.63 摺上ダム地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

地中境界点を設定しない場合の推定すべり線は、地質調査により得られた想定すべり線とかなり異なる 推定すべり線となった。地中境界点及びすべり線頭部勾配(52°)を設定した場合の推定すべり線は、ほぼ 想定すべり線に近いすべり線となったが、全期間データで推定したすべり線よりやや深いすべり線となっ た。

◆変位量を地すべりの長さ×0.5%程度にしたケース

変位量をすべり線長の 0.5%としたケースついて解析を行った。採用した変位量は初回観測データを用いた。すべり線長は120m であるから、0.5%は600mm である。したがって初回データを 0.6 倍して解析 を行った。用いた変位量を表 5.36 に示し、解析結果を図 5.64 に示す。

計測上	変位量(初回データ×0.6)(mm)						
可例尽	ds	dz					
T 1	-220.957	-544.200					
T 4	-227.983	-590.400					
T ·5.	-153.921	-748.800					
T ·13	-9.487	-502.200					

表 5.36 解析に用いた変位量



図 5.64 摺上ダム地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ×0.6(すべり線長の0.5%))

解析の結果、推定すべり線は、初回データを用いた推定すべり線(図 5.63)とほぼ同じ推定すべり線になることがわかった。さらに想定すべり線に近くなるような推定すべり線は得られなかった。

5.3.11 滝沢ダムL-22 ブロック

(1) 概要

滝沢ダム L-22 ブロックの概要を表 5.37 に、変位ベクトル図を図 5.65 に、断面図を図 5.66 に示す。移動杭観測結果を表 5.38 に示す。

斜面区分	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
自然	複合すべり	椅子型	風化岩すべり (青年期)	L340×W250
地質	地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠
緑色岩・粘板岩	移動杭 (光波)	4ヶ月	19 (3)	ボーリング 孔内傾斜計

表5.37 滝沢ダムL-22 ブロック概要

概要

滝沢ダムは埼玉県秩父市大滝に位置する重力式コンクリートダムである。

平成17年10月から試験湛水が開始され、その後、平成17年11月2日,滝ノ沢地区L-22ブロック地 すべりが発生した。

地すべりが発生した L-22 ブロックは、中古生層の緑色岩・粘板岩から構成される風化岩すべりで、 国道下部に頭部が存在する一次すべりと、尾根付近を頭部とする二次すべりに区分される。

地すべり動態観測(地表面計測)は、19箇所で移動杭観測が行われており、16日間で最大2cm程度 移動した。



図 5.65 滝沢ダムL-22 ブロックのベクトル図



図 5.66 滝沢ダム L-22 ブロックの断面図

合成変位(X)																						
	較正係数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	初期値	196 168	209 0951	244 7366	254 6588	264 8681	261 8773	300 4998	316 0836	316 1027	298 7519	336 0461	355 715	377 7782	376 9165	380 5204	318 8431	408 811	428 6364	479 1743	499 0063	337 5737
日付	時間	L-1X	L-2X	L-3X	L-4X	L-5X	L-6X	L-7X	L-8X	L-9X	L-10X	L-11X	L-12X	L-13X	L-14X	L-15X	L-16X	L-17X	L-18X	L-19X	基1-X	基2-X
2006/1/10	0:00	-7 68	-13 66	-11.47	-2.28	-1 07	-615	-14 08	-16 19	-977	-0.28	-713	-19 29	-766	-7 47	-8 16	-1 73	-5 92	2 -6 12	-6 88	-59	-4 85
2006/1/31	0:00	-11.31	-15.68	-12.75	999999	-1.1	-7.21	-16.83	-17.47	-11.51	-0.04	-8.41	-21.82	-8.06	-7.78	-9.63	-1.88	999999	-7.19	-7.03	-7.37	-4.97
2006/1/30	0:00	-10 94	-15 34	-13	-2 92	-1 55	-7 88	-16 34	-1756	-117	-0 68	-762	-21 88	999999	-763	-9 11	-21	999999	-7 95	-7 49	-7 52	-5 49
1/10-1/31の変位量		-3 63	-2 02	-1 28	-0 64	-0 03	-1 06	-2 75	-1 28	-1 74	0 24	-1 28	-2 53	-04	-0 31	-1 47	-015		1 07	-0 15	-1 47	-012
合成変位(Y)																						
	較正係数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	較正係数 初期値	1 343 81 19	1 291 336	1 218 521 1	1 167 7646	1 75 2953	1 347 7775	1 300 046	1 238 6054	1 156 5593	1 60 6126	1 359 3337	1 270 7979	1 193 8838	1 161 2056	102 0642	111 3603	331 6506	1 1	1 169 1235	1 322 5761	1 409 4948
日付	較正係数 初期値 時間	1 343 81 19 L-1Y	1 291 336 L-2Y	1 218 5211 L-3Y	1 167 7646 L-4Y	1 75 2953 L-5Y	1 347 7775 L-6Y	1 300 046 L-7Y	1 238 6054 L-8Y	1 156 5593 L-9Y	1 60 6126 L-10Y	1 359 3337 L-11Y	1 270 7979 L-12Y	1 193 8838 L-13Y	1 161 2056 L-14Y	102 0642 L-15Y	1 111 3603 L-16Y	331 6500 L-17Y	1 5 242 0926 L-18Y	1 169 1235 L-19Y	1 322 5761 1-Y	1 409 4948 2-Y
日付 2006/1/10	較正係数 初期値 時間 0:00	1 343 81 19 L-1Y -0 26	1 291 336 L-2Y 1 56	1 218 5211 L-3Y 0 67	1 167 7646 L-4Y -0 37	1 75 2953 L-5Y -2 15	1 347 7775 L-6Y -091	1 300 046 L-7Y 1 29	1 238 6054 L-8Y -3 81	1 156 5593 L-9Y -1 28	1 60 6126 L-10Y -2 58	1 359 3337 L-11Y -1 87	1 270 7979 L-12Y -2 09	1 193 8838 L-13Y -2 89	1 161 2056 L-14Y -2 97	1 102 0642 L-15Y -2 5	1 111 3603 L-16Y 1 04	331 6500 L-17Y -6 14	1 242 0926 L-18Y 4 -3 85	1 169 1235 L-19Y -5 74	1 322 5761 1-Y -3 06	1 409 4948 ▲2-Y -4 31
日付 2006/1/10 2006/1/31	較正係数 初期値 時間 0:00 0:00	1 343 8119 L-1Y -0.26 -2.77	1 291 336 L-2Y 1 56 1.16	1 218 5211 L-3Y 0 67 0.76	1 167 7646 L-4Y -0 37 999999	1 75 2953 L-5Y -2 15 -1.94	1 347 7775 L-6Y -0 91 -3.05	1 300 046 L-7Y 1 29 -1.45	1 238 6054 L-8Y -3 81 -3.49	1 156 5593 L-9Y -1 28 -3.63	1 60 6126 L-10Y -2 58 -2.22	1 359 3337 L-11Y -1 87 -3.7	1 270 7979 L-12Y -2 09 -2.33	1 193 8838 L-13Y -2 89 -2.92	1 161 2056 L-14Y -2 97 -3.4	1 102 0642 L-15Y -2 5 -3.27	111 3603 L-16Y 1 04 2.72	331 6500 L-17Y -6 14 999999	1 5 242 0926 L-18Y 4 -3 85 9 -8.03	1 169 1235 L-19Y -5 74 -4.83	1 322 5761 321-Y -306 -4.53	1 409 4948 2-Y -4 31 -4.65
日付 2006/1/10 2006/1/31 2006/1/30	較正係数 初期値 時間 0:00 0:00 0:00	1 343 81 19 L-1Y -0 26 -2.77 -1 88	1 291 336 L-2Y 1 56 1.16 1 56	1 218 5211 L-3Y 0 67 0.76 0 49	1 167 7646 L-4Y -0 37 999999 -1 18	1 75 2953 L-5Y -2 15 -1.94 -2 15	1 347 7775 L=6Y -0.91 -3.05 -3.32	1 300 046 L-7Y 1 29 -1.45 -0 36	1 238 6054 L-8Y -3 81 -3.49 -3 62	1 156 5593 L-9Y -1 28 -3.63 -4 47	1 60 6126 L-10Y -2 58 -2 22 -2 54	1 359 3337 L-11Y -1 87 -3.7 -2 36	1 270 7979 L-12Y -2 09 -2.33 -3 64	1 193 8838 L-13Y -2 89 -2.92 999999	1 161 2056 L-14Y -2 97 -3.4 -3.6	1 102 0642 L-15Y -2 5 -3.27 -1 41	111 3603 L-16Y 1 04 2.72 1 05	331 6500 L-17Y -6 14 999999	1 5 242 0926 L-18Y 4 -3 85 9 -8.03 9 -7 12	1 169 1235 L-19Y -5 74 -4.83 -4 55	1 322 5761 306 -4.53 -5 9	1 409 4948 2-Y -4 31 -4.65 -4 93
日付 2006/1/10 2006/1/31 2006/1/30 1/10-1/31の更位重	較正係数 初期値 時間 0:00 0:00 0:00	1 3438119 L-1Y -026 -277 -188 -251	1 291 336 L-2Y 1 56 1.16 1 56 -0 4	1 218 5211 L-3Y 0 67 0.76 0 49 0 09	167 7646 L-4Y -0 37 999999 -1 18 -0 81	1 75 2953 L=5Y -2 15 -1.94 -2 15 0 21	1 347 7775 L=6Y -0 91 -3.05 -3 32 -2 14	1 300 046 L-7Y -1.45 -0 36 -2 74	1 238 6054 L=8Y -3 81 -3.49 -3 62 0 32	1 156 5593 L-9Y -1 28 -3.63 -4 47 -2 35	1 60 6126 L-10Y -2 58 -2.22 -2 54 0 36	1 359 3337 L-11Y -1 87 -3.7 -2 36 -1 83	1 270 7979 L-12Y -2 09 -2.33 -3 64 -0 24	1 193 8838 L-13Y -2.89 -2.92 999999 -0.03	1 161 2056 L-14Y -2 97 -3.4 -3.66 -0 43	1 102 0642 L-15Y -2 5 -3.27 -1 41 -0 77	111 3603 L-16Y 2.72 1 05 1 68	331 6506 L-17Y -6 14 999999 999999	1 1 5 242 0926 L-18Y 4 -3 85 9 -8.03 9 -7 12 - 4 18	1 169 1235 L-19Y -5 74 -4.83 -4 55 0 91	1 322 5761 31-Y -3 06 -4.53 -5 9 -1 47	1 409 4948 2-Y -4 31 -4.65 -4 93 -0 34
日付 2006/1/10 2006/1/31 2006/1/30 1/10-1/31の更位量	較正係数 初期値 時間 0:00 0:00 0:00	1 343 8119 L-1Y -0 26 -2.77 -1 88 -2 51	1 291 336 L-2Y 1.56 1.16 1.56 -0.4	1 218 5211 L-3Y 0 67 0 76 0 49 0 09	1 167 7646 L-4Y -0 37 999999 -1 18 -0 81	1 75 2953 L-5Y -2 15 -1.94 -2 15 0 21	1 347 7775 L-6Y -0 91 -3.05 -3 32 -2 14	1 300 046 L-7Y -1.45 -0 36 -2 74	1 238 6054 L-8Y -3 81 -3.49 -3 62 0 32	1 156 5593 L-9Y -1 28 -3.63 -4 47 -2 35	1 60 6126 L-10Y -2 58 -2 22 -2 54 0 36	1 359 3337 L-11Y -1.87 -3.7 -2.36 -1.83	1 270 7979 L-12Y -2 09 -2.33 -3 64 -0 24	1 193 8838 L-13Y -2 89 -2.92 999999 -0 03	161 2056 L-14Y -2 97 -3.4 -3 66 -0 43	1 102 0642 L-15Y -2 5 -3.27 -1 41 -0 77	1 111 3603 L-16Y 1 04 2.72 1 05 1 68	331 6500 L-17Y -6 14 999999 999999	1 242 0926 L-18Y 4 -3 85 9 -8.03 9 -7 12 4 18	169 1235 L-19Y -5 74 -4.83 -4 55 0 91	1 322 5761 ▲1-Y -3.06 -4.53 -5 9 -1 47	1 409 4948 2-Y -4 31 -4.65 -4 93 -0 34

表 5.38 滝沢ダム L-22 ブロックの計測結果(移	多動杭) 単位 : r	m
------------------------------	-------------	---

合成変位(Z)																						
	較正係数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	初期値	-44 3502	-43 1598	-45 6215	-45 6299	-26 8431	-14 6566	-3 0852	9 0829	-4 0277	-2 5807	19 0853	32 9625	41 5628	42 188	45 5645	9 4245	47 8377	70 3594	87 92	95 1764	25 9676
日付	時間	L-1Z	L-2Z	L-3Z	L-4Z	L-5Z	L-6Z	L-72	L-8Z	L-9Z	L-10Z	L-11Z	L-12Z	L-13Z	L-14Z	L-15Z	L-16Z	L-17Z	L-18Z	L-19Z	▲ 1−Ζ	¥2-Z
2006/1/10	0:00	-1 16	-4 96	-22	2 0 4	-45	13 45	-1 35	-1 97	1 78	6 1 2	6 93	-4	-1 78	2 25	6 69	81	0 79	2 22	7 52	13 25	12 37
2006/1/31	0:00	0 66	-4 43	-4 37	999999	02	117	-318	-0 08	42	612	84	-7 22	-0 79	5 18	12 22	647	999999	7 12	14 55	22 25	207
2006/1/30	0:00	243	-3 78	-12	6 98	-0 43	13 77	-2 42	107	3 34	3 84	10 79	-503	999999	4 06	10 38	7 29	999999	5 47	86	13 38	12 08
1/10-1/31の変位量		1 82	0 53	-217	4 94	47	-1 75	-1 83	1 89	2 4 2	0	147	-3 22	0 99	2 93	5 53	-1 63	-	49	7 03	9	8 33

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。

①地形座標

②計測点座標

③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)

④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)

⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。全期間データを用いた解析結果を図 5.67 に示す。



図 5.67 滝沢ダム L-22 ブロック解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

ブロック区分線はすべり線の屈曲点付近に設定した。地中境界点、すべり線の頭部勾配を設定しない場合の推定すべり線は、すべり線の形状を呈さなかった。地中境界点及びすべり線頭部勾配(66°)を設定した場合の推定すべり線は、ブロック区分線の重み係数βの値で変化するが、β=0.0、L-8のデータを除いたとき、想定すべり線に近いすべり線となった。L-8のデータは水平成分が大きいため、データの除去を試みた。

初回データを採用した場合の解析結果を図 5.68 に示す。



図 5.68 滝沢ダム L-22 ブロック解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

地中境界点及びすべり線頭部勾配を設定して解析を行った。地中境界点及びすべり線頭部勾配(66°)を 設定した場合の推定すべり線は、ブロック区分線の重み係数βの値で変化するが、β=0.0、L-8のデータ を除いたとき、最も想定すべり線に近いすべり線となったが、全期間データを用いた推定すべり線より深 いすべり線となった。L-8のデータは水平成分が大きいため、データの除去を試みた。

◆変位量を地すべりの長さ×0.5%程度にしたケース

変位量をすべり線長の 0.5%としたケースついて解析を行った。採用した変位量は初回観測データを用いた。すべり線長は 380m であるから、0.5%は 1900mm である。したがって初回データを 120 倍して解析を行った。用いた変位量を表 5.39 に示し、解析結果を図 5.69 に示す。

計測占	変位量(初回データ×0.6)(mm)					
可使以示	ds	dz				
L-3	1376.4	264.0				
L-8	1942.8	236.4				
L-12	2314.8	480.0				

表5.39 解析に用いた変位量



解析の結果、想定すべり線に近い推定すべり線は得られなかった。

5.3.12 長知内(DV測線)

(1) 概要

長知内(DV 測線)地すべりの概要を表 5.40 に、断面図を図 5.70 に示す。なお、長知内(DV 測線)については、計測データがないため、解析は実施しない。

斜面区分	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
自然	複合すべり	椅子型	風化岩すべり (青年期)	$L40 \times W25$
地質	地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠
泥岩	移動杭 (光波)		3	ボーリング 踏査
概要長知内地すべりばの泥岩の地すべりて	は日高支庁管内平取町: ごある。	長知内地域に位置する	ら地すべりであり、白	亜紀および新第三紀

表 5.40 長知内 (DV 測線) 地すべり概要



図 5.70 長知内 DV 測線の断面図

5.3.13 長知内(E-Ⅲ測線)

(1) 概要

長知内(E-Ⅲ測線)地すべりの概要を表 5.41 に、断面図を図 5.71 に示す。なお、長知内(E-Ⅲ測線)については、計測データがないため、解析は実施しない。

斜面区分		運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模			
自然		複合すべり	舟底型	風化岩すべり (青年期)	$L65 \times W55$			
地質		地表面変位 計測手法	地表面変位 計測期間 計測手法		すべり線 推定根拠			
泥岩		移動杭 (光波)		7	ボーリング 踏査			
概要 長知内地すべりは日高支庁管内平取町長知内地域に位置する地すべりであり、白亜紀および新第三紀 の泥岩の地すべりである。								

表 5.41 長知内(E-Ⅲ測線)地すべり概要



図 5.71 長知内 E-III測線の断面図

5.3.14 共和地区(B-1測線)

(1) 概要

共和地区(B-1 測線)地すべりの概要を表 5.42 に、変位ベクトル図を図 5.72 に、断面図を図 5.73 に示す。 移動杭観測結果を表 5.43 に示す。

斜面区分	•	運動様式	地すべり分類	<mark>地</mark> すべり タイプ	規模	
自然		複合すべり	椅子型	崩積土すべり (壮年期)	L105×W40~50	
地質		地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠	
砂岩・頁岩		移動杭 (測量)	4ヶ月	2	ボーリング 踏査	
概要						

表 5.42 共和地区 (B-1 測線) 地すべり概要

共和地区は、北海道の中央部北端の中川町佐久市街から約10km南下した共和に位置する。この地域の地形は標高200~700mの壮年山地と河川に発達する河岸段丘及び沖積地に分けられる。調査地は、安平志内川の中流の左岸斜面一帯で、沖積地、河岸段丘、比高140m程度の丘陵性山地にあたる。当調査地を構成する地質は中部蝦夷層群の佐久層であり、砂岩・頁岩を主体とする。 地すべり動態観測(地表面計測)は、2箇所で移動杭観測が行われている。






図 5.73 共和地区 (B-1 測線) の断面図

		I-4			I-3			
年	月	日	dx	dy	dz	dx	dy	dz
1993	7	15	32	19	-25	737	195	-122
1993	9	22	35	32	-22	750	206	-119
1993	11	16	38	26	-26	765	206	-132

表 5.43 共和地区(B-1 測線)の計測結果(移動杭) 単位:mm

(1998年8月12日からの累積移動量)

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。
①地形座標
②計測点座標
③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)
④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)

⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。全期間データを用いた解析結果を図 5.74 に示す。



図 5.74 共和地区 (B-1 測線) 解析結果 (変位量は観測値を採用、全期間データ)

ブロック区分線はすべり線の屈曲点付近に設定した。地中境界点なしで解析した場合、想定すべり線より浅い推定すべり線が得られた。地中境界点を設定し解析した結果、想定すべり線とほぼ同じ推定すべり 線が得られた。 初回データを採用した場合の解析結果を図5.75に示す。



図 5.75 共和地区 (B-1 測線) 解析結果 (変位量は観測値を採用、初回データ)

初回データを用いて解析した推定すべり線は、地中境界点を設定しなくても想定すべり線に近いすべり線となった。

◆変位量を地すべりの長さ×0.5%程度にしたケース

変位量を地すべりの長さ×0.5%程度にしたケースについては、斜面長が 100m であり、その 0.5%は 500mm となる。観測値のオーダーが平均で 400mm 程度であるため、変位量を斜面長の 0.5%に補正した 解析は実施しない。

5.3.15 共和地区(B-2測線)

(1) 概要

共和地区(B-2 測線)地すべりの概要を表 5.44 に、変位ベクトル図を図 5.76 に、断面図を図 5.77 に示す。 移動杭観測結果を表 5.45 に示す。

斜面区分	•	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
自然		複合すべり	椅子型	崩積土すべり (壮年期)	L75×W30~40
地質		地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠
砂岩・頁ね	믑	移動杭 (測量)	4ヶ月	2	ボーリング 踏査
概更					

表 5.44 共和地区 (B-2 測線) 概要

共和地区は、北海道の中央部北端の中川町佐久市街から約10km南下した共和に位置する。この地域の地形は標高200~700mの壮年山地と河川に発達する河岸段丘及び沖積地に分けられる。調査地は、安平志内川の中流の左岸斜面一帯で、沖積地、河岸段丘、比高140m程度の丘陵性山地にあたる。当調査地を構成する地質は中部蝦夷層群の佐久層であり、砂岩・頁岩を主体とする。 地すべり動態観測(地表面計測)は、2箇所で移動杭観測が行われている。



図 5.76 共和地区 (B-2 測線) のベクトル図



図 5.77 共和地区 (B-2 測線) の断面図

				I-30			I-3	
年	月	日	dx	dy	dz	dx	dy	dz
1994	5	21	0	0	0	0	0	0
1994	6	4	0	0	0	2	1	-8
1994	7	16	3	-1	-4	6	1	-1
1994	9	16	6	3	-2·	13	5	-6
1994	11	12	12	7	-1	28	8	-8
1995	5	13	16	7	-4	38	8	-17
1995	6	23	14	0	-4	31	5	-13
1995	7	20	21	4	-2	87	0	-77
1995	9	14	36	15	-3	95	12	-77
1995	11	13	53	26	-4	107	16	-97

表 5.45 共和地区(B-2 測線)の計測結果(移動杭) 単位:mm

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。 ①地形座標

②計測点座標

③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)

④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)

⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。全期間データを用いた解析結果を図 5.78 に示 す。



図 5.78 共和地区 (B-2 測線) 解析結果 (変位量は観測値を採用、全期間データ)

ブロック区分線はすべり線の屈曲点付近に設定した。地中境界点あり、なしで解析した場合、想定すべり線に近い推定すべり線は得られなかった。

初回データを採用した場合の解析結果を図5.79に示す。



図 5.79 共和地区 (B-2 測線) 解析結果 (変位量は観測値を採用、初回データ)

初回データを用いて解析した推定すべり線は、地中境界点を設定しない場合は、想定すべり線より深いすべり線が得られた。地中境界点を設定した場合は、想定すべり線とほぼ同じ推定すべり線が得られた。

◆変位量を地すべりの長さ×0.5%程度にしたケース

変位量をすべり線長の 0.5%としたケースついて解析を行った。採用した変位量は初回観測データを用いた。すべり線長は 70m であるから、0.5%は 350mm である。したがって初回データ(1994/7/16)を 60 倍して解析を行った。用いた変位量を表 5.46 に示し、解析結果を図 5.80 に示す。

計測店	変位量(初回データ×0.6)(mm)				
可例示	dx	dy	dz		
I-30	180	- 6 0	-240		
I-3	360	60	-6 0		

表 5.46 解析に用いた変位量

推定すべり線 地中境界点なし ブロック区分線 A β =0.1 推定すべり線 地中境界点あり ブロック区分線 A β =0.1



図 5.80 共和地区 (B-2 測線) 解析結果 (変位量は観測値を採用、初回データ×60(すべり線長の 0.5%))

解析の結果、推定すべり線は、初回データを用いた推定すべり線(図 5.79)とほぼ同じ推定すべり線になることがわかった。

5.3.16 細越地すべり(A測線)

(1) 概要

細越地すべり(A 測線)の概要を表 5.47 に、変位ベクトル図を図 5.81 に、断面図を図 5.82 に示す。移動 杭観測結果を表 5.48 に示す。

斜面区分	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
自然	複合すべり	舟底型	粘質土すべり (老年期)	L800×W200
地質	地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠
グリーンタフ・流 紋岩類	移動杭 (光波)		4	ボーリング

表5.47 着	細越地すべり	A概要
---------	--------	-----

概要

細越地すべりは新潟県津川町に位置する。地質は新第三紀津川層(グリーンタフ)とこれに貫入する 流紋岩類が分布する地域である。斜面変動はクリープによるものと考えられる。A ブロックは約5°傾 斜の流れ盤構造を持ち、長さ800m、幅200m、層厚10~40mの、園長と比較して幅が狭くすべり線深 度の浅い粘質土地すべりである。

地すべり動態観測(地表面計測)は、4箇所で移動杭観測が行われている。



図 5.81 細越地すべりのベクトル図



図 5.82 細越地すべり(A 測線)の断面図

計測点	No	.28	No	.21	No	o.9	No	o.4
成分	Δs	Δz	Δs	Δz	Δs	Δz	∆s	Δz
H1.4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H18.12.13	-405.1	-59.6	-800.9	-26.9	-287.6	-77.8	-419.1	-93.5

表 5.48 細越地すべり (A 測線)の計測結果(移動杭) 単位:mm

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。

①地形座標

②計測点座標

③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)

④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)

⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。当地区の地表面計測は1回しか実施していないので、その計測データを用いた解析結果を図5.83に示す。



図 5.83 細越地すべり (A 測線) 解析結果 (変位量は観測値を採用)

ブロック区分線はすべり線の屈曲点付近に設定した。地中境界点なしで解析した場合、想定すべり線より浅い推定すべり線が得られた。地中境界点を設定し解析した結果、想定すべり線とほぼ同程度の深度の 推定すべり線が得られたが、すべり線の婉曲の形状が異なる。

◆変位量を地すべりの長さ×0.5%程度にしたケース

変位量をすべり線長の 0.5%としたケースついて解析を行った。採用した変位量は初回観測データを用いた。すべり線長は 680m であるから、0.5%は 3400mm である。したがって初回データ(H18/12/13)を 7 倍して解析を行った。用いた変位量を表 5.49 に示し、解析結果を図 5.84 に示す。

計測占	変位量(初回データ×7)(mm)			
时例示	ds	dz		
No.28	-2835.7	-417.2		
No.21	-5606.3	-188.3		
No.9	-2013.2	-544.6		
No.4	-2933.7	- 654.5		

表5.49 解析に用いた変位量





図 5.84 細越地すべり (A 測線) 解析結果 (変位量は観測値を採用、初回データ×7(すべり線長の 0.5%))

ブロック区分線はすべり線の屈曲点付近に設定した。地中境界点なしで解析した場合、想定すべり線よ り浅い推定すべり線が得られた。地中境界点を設定し解析した結果、想定すべり線とほぼ同程度の深度の 推定すべり線が得られたが、すべり線の婉曲の形状が異なる。

5.3.17 細越地すべり(G 測線)

(1) 概要

細越地すべり(G 測線)の概要を表 5.50 に、変位ベクトル図を図 5.85 に、断面図を図 5.86 に示す。移動 杭観測結果を表 5.51 に示す。

自然 複合すべり 末端開放型 風化岩すべり (青年期) L300×V 地質 地表面変位 計測手法 計測期間 測点数 (解析用) すべり 推定根	
地質 地表面変位 計測手法 計測期間 測点数 (解析用) すべり	7200
	線 拠
グリーンタフ・泥 移動杭 2 ボーリン 岩 (光波) 1 1	

表 5.50 細越地すべり (G 測線) 概要

概要

細越地すべりは新潟県津川町に位置する。地質は新第三紀津川層(グリーンタフ)とこれに貫入する 流紋岩類が分布する地域である。G ブロックは約 5°傾斜の流れ盤構造を持ち、長さ 300m、幅 200m、 層厚 30~40m の風化岩地すべりである。

地すべり動態観測(地表面計測)は、4箇所で移動杭観測が行われている。





図 5.86 細越地すべり G の断面図

計測点	No	.39	No	.16
成分	∆s	Δz	∆s	Δz
H12.12.21	0	0	0	0
H13.11.21	-18.8	4.7	-128.4	-51.9

表5.51 細越地すべり(A測線)の計測結果(移動杭) 単位:mm

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。

①地形座標

②計測点座標

③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標)

④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度)

⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。当地区の地表面計測は1回しか実施していないので、その計測データを用いた解析結果を図5.87に示す。



ブロック区分線はすべり線の屈曲点付近に設定した場合(B)と、計測点 No.16 と No.39 の中間地点に設定(A)し比較した。ブロック区分線は B に設定した場合の方が、想定すべり線に近い推定すべり線が得られた。地中境界点なしで解析した場合、想定すべり線より深い推定すべり線が得られた。地中境界点を設定し解析した結果、想定すべり線とほぼ同程度の深度の推定すべり線が得られたが、地すべり末端部分のすべり線が想定すべり線と異なる形状となった。

◆変位量を地すべりの長さ×0.5%程度にしたケース

変位量をすべり線長の 0.5%としたケースついて解析を行った。採用した変位量は初回観測データを用いた。すべり線長は 280m であるから、0.5%は 1400mm である。したがって初回データ(H13/11/21)を 18 倍して解析を行った。用いた変位量を表 5.52 に示し、解析結果を図 5.88 に示す。

計測上	変位量(初回データ×5.)(mm)				
时例示	ds	dz			
No.39	-338.4	84.6			
No.16	-2311.2	-934.2			

表 5.52 解析に用いた変位量



図 5.88 細越地すべり(G 測線)解析結果(変位量は初回データ×18(すべり線長の 0.5%))

ブロック区分線はすべり線の屈曲点付近に設定した。地中境界点なしで解析した場合、想定すべり線よ り深い推定すべり線が得られたが、初回データのみのときより想定すべり線に近い推定すべり線が得られ た。地中境界点を設定し解析した結果、想定すべり線とほぼ同程度の深度の推定すべり線が得られたが、 地すべり末端部分のすべり線が想定すべり線と異なる形状となった。

5.3.18 長者地すべり

(1) 概要

長者地すべりの概要を表 5.53 に、変位ベクトル図を図 5.89 に、断面図を図 5.90 に示す。GPS 観測グ ラフを図 5.91、図 5.92 に示す。変位量を表 5.54 に示す。

斜面区分	運動様式	地すべり分類	地すべり タイプ	規模
自然	複合すべり	舟底型	風化岩すべり (青年期〜老年期)	L900×W200
地質	地表面変位 計測手法	計測期間	測点数 (解析用)	すべり線 推定根拠
砂岩・粘板岩 輝緑凝灰岩	GPS	1ヶ月	3	ボーリング

表 5.53 長者地すべり概要

概要

長者地すべりは、北〜北北東に延びる舌状の押し出し地形を呈し、湾曲しながら長者川方向へ断続的 に滑動している。地すべり末端は長者川を越えて対岸に達している。地質は西南日本外帯の秩父類帯古 生層二畳紀に属し、近傍を黒瀬川構造体が横たわる。地質は砂岩・粘板岩及び輝緑凝灰岩より構成され る。

地すべり動態観測(地表面計測)は、3箇所でGPS観測が行われている。





2006年11月01日16時~2007年11月01日16時(365日間)の変位量を示しています。 図 5.90 長者地すべりの断面図



計測点		G-4			G-2	
成分	dx	dy	dz	dx	dy	dz
H18.11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H18.12.12	-3.6	-1.7	0.6	-5.3	-1.3	-0.6
H19.1.22	-4.5	-1.4	2.6	-8.7	-2.6	0.0
H19.3.4	-4.5	-1.0	5.5	-11.1	0.0	1.2
H19.4.14	-5.4	0.0	8.1	-14.9	0.0	2.5
H19.5.25	-5.4	0.0	8.1	-16.9	0.0	-1.3
H19.7.5	-6.2	-1.0	7.4	-20.1	0.0	-6.4
H19.8.15	-5.1	-0.6	15.8	-31.6	0.0	-8.2
H19.9.25	-6.3	-1.1	20.1	-39.1	-2.4	-9.3

表 5.54 長者地すべりの計測結果(GPS 観測値) 単位:mm

解析を行うにあたり、すべり線形状推定システムへの入力項目は以下である。 ①地形座標 ②計測点座標 ③地表境界点座標(地すべり頭部、末端部の座標) ④地中境界点座標(調査ボーリング等によって得られるすべり線深度) ⑤地表面変位

◆変位量に観測値を採用したケース

変位量に観測値を採用したケースついて解析を行った。全期間データを用いた解析結果を図 5.93 に示す。



図 5.93 長者地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

ブロック区分線はすべり線の頭部と末端部の屈曲点付近に設定した(末端部-A,頭部-B)。地中境界点 を設定しない場合、妥当性のある推定すべり線は得られなかった。地中境界点を設定した場合は、ブロッ ク区分線をBとして解析した方が、想定すべり線に近いすべり線を推定した。 初回データを採用した場合の解析結果を図5.94に示す。



図5.94 長者地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

初回データを用いて解析した推定すべり線は、地中境界点を設定すると、より想定すべり線に近い推定 すべり線となったが、想定すべり線と形状が異なる。

◆変位量を地すべりの長さ×0.5%程度にしたケース

変位量をすべり線長の 0.5%としたケースついて解析を行った。採用した変位量は初回観測データを用いた。すべり線長は 120m であるから、0.5%は 600mm である。したがって初回データ(H18/12/12)を 40 倍して解析を行った。用いた変位量を表 5.55 に示し、解析結果を図 5.95 に示す。

計測店	変位量(初回データ×4	40)(mm)
可例示	dx	dy	dz
G-4	-144	-68	24
G-2	-212	-5 2	-24

表 5.55 解析に用いた変位量



図 5.95 長者地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ×40(すべり線長の 0.5%))

解析の結果、推定すべり線は、初回データを用いた推定すべり線(図 5.94)とほぼ同じ推定すべり線になることがわかった。さらに想定すべり線に近くなるような推定すべり線は得られなかった。

5.4 事例解析結果の評価

本章において 21 事例において事例解析を実施した。解析結果一覧を表 5.56 に示す。表 5.56 によると、事 例解析を行った結果、以下の事項が判明した。

- ・椅子型すべり線は、当解析により推定することは難しい。
- ・盛土表層など、すべり線の挙動をうまく地表面の動きとして伝搬できていないと考えられる場 合、解析を実施することは困難である。
- ・計測データの精度、特に鉛直方向(z 方向)の変動量の精度が高くなければ、精度の良い推定すべり面を得ることは難しいと言える。
- ・推定すべり線は変動量を初回データ、またはすべり線長の0.5%とした方が、比較的推定すべり面の精度が良くなる傾向がある。

これらの結果から、今後さらに精度の良いすべり線が得られるよう、解析ソフトの改良を実施していく必要があると考えられる。

表 5.56 地すべり概要が判明している事例

니셔머	日本	文之寺	斜画	制制	解析の		解析を行っ	と変動量データ	兴大
1704	△街々		区分	データ	実施	全期間	初回	すべり線長の 0.5%	与深
実証	実験現場	麻生小平地区	自然	0	0	0		0	麻生小平地区の観測データは気温の影響が大きいため、変動量を推定して解析した。ただし、すくり線長の0.5%の変動量で解析した場合は、想定すくり線に示い4番ですくり線にすい4番ですくり線は得られなかった。
	1	月山湖PAの地すべり	自然	0	0	0	0	×	解析により、椅子型すべり線の形状を推定することは困難であった。大部分の 推定すべり線は想定すべり線より深くなる傾向があった。
	63	大所地すべり	自然	0	0	0	0	0	解析により、椅子型すべり線の形状を推定することは困難であった。椅子型すべり線の底部の直線部分を表現できる推定すべり線は得られなかった。初回データを採用した推定すべり線とすべり線長の 0.5%の変動量で解析した推定すべり線は比較的想定すべり線に近い推定すべり線が得られた。
	ς	町道高沢入り線地すべり	自然	0	0	0	0	×	地中境界点を設定しない推定すべり線は想定すべり線より浅い形状となった。 地中境界点を設定した場合は深いすべり線が得られるが、想定すべり線とは異 なる形状となった。
	4	北ノ人地区地すべり	自然	0	0	0	0	0	複雑なすべり線形状を持つ想定すべり線を推定するのは困難であった。初回デ ータのみの解析が最も想定すべり線に近い推定すべり線が得られた。
	2	落合地すべり	自然	0	0	0	×	×	想定すべり線に近い 推定すべり線は得られなかった。これは観測データの精度 が悪かったため、うまく解析ができなかったと判断する。
Ц.	9	で石川地すべり	自然	0	0	0	0	0	解析により、椅子型すべり線の形状を推定することは困難であった。推定すべり線は全て想定すべり線より深いすべりとなった。各変動量データにおける推定すべり線の精更の差はなかった。
集事例	7	国道 424 号道路災害	自然	0	0	0	0	0	初回データ及びすべり線長の0.5%の変動量を用いた解析結果は、比較的精度の良い推定すべり線が得られた。
	œ	仲野地区地すべり	自然	0	0	0	×	×	伸野地区地すべりは未端部に盛士が施工されており、表層の変動が盛土の景響 を受けている可能性が高い。そのため、変動ベクトルが地すべり変動を性格に 表現していない可能性が高い。そのため解析不能である。
	6	中之島地すべり	自然	0	0	0	0	0	各変動量データにおける推定すべり線は、ほぼ同じ推定すべり線が得られたが、 想定すべり線の形状より浅いすべり線となった。
-	10	播但道	切土	0	0			×	解析の結果、想定すべり線より浅い推定すべり線が得られた。地中境界点を設定した場合、想定すべり線とはまデー致するすべり線が得られた。
	11	摺上ダム	自然	0	0	0	0	0	各変動量データにおける推定すべり線は、地中境界点を設定しない場合、想定 すべり線とは形状が大きく異なる推定すべり線しか得られなかった。地中境界 点を設定した場合は、想定すべり線に近いすべり線が得られた。
	12	滝沢ダムL-22 ブロック	自然	0	0	0	0	0	解析により、椅子型すべり線の形状を推定することは困難であった。推定すべり線は想定すべり線の形状とかなり異なる形状となった。全期間のデータの解析が最も想定すべり線が得られた。
	13	長知内(DV測線)	自然	\times	×	\times	×	×	計測データがないため解析不能。
	14	長知内(E-Ⅲ測線)	自然	×	×	×	×	×	計測データがないため解析不能。

									人物間点 ヵ 如回点 カスのない シュー 相点子 ぶりぬいい 子 ぶりるぶると
	15	共和地区(B-1 測線)	自然	0	0	0	0	×	出地画フータ、か回フータの時付 こもに、沿た 9、つ 旅に近い 9、つ 旅が中じします
	U F		<i>44</i> 7 ワ	C	C	C	C	C	初回データ、すべり線長の0.5%の変動量を用いた解析結果は、想定すべり線と
	οī		× I)))))	「まぼ一致する推定すべり線が得られた。
	5	V Q V +++++HPV	<i>नेथ</i> प्र	C	C		-	C	初回データ、すべり線長の0.5%の変動量を用いた解析結果は、想定すべり線に
	Τ (Ш)))	近い 推定すべり線が得られた。
									初回データ、すべり線長の0.5%の変動量を用いた解析結果は、想定すべり線に
	18	維載地 すべり C	自然	0	0	U	0	0	近い推定すべり線が得られた。中でもすべり線長の0.5%の変動量を用いた解析
									結果は、より精度の良い推定すべり線が得られた。
-									解析により、椅子型すべり線の形状を推定することは困難であった。推定すべ
	¢,	、白巾 /日十十一、 N	44 Q	((C		(り線は想定すべり線の形状とは異なるものの、想定すべり線に近い推定すべり
	ГЯ	迫へ休望り、り	※ □)	C	ر)	線が得られた。初回データを用いたすべり線形状の方が想定すべり線に近いす
									べり線が得られた。
	00		44 F	(((C	C	各変動量データにおける推定すべり線は、地中境界点を設定した場合、比較適
	07	灰 4 地 9 、 り	∭ □)	C)))	精度の高いすべり線が得られたが、すべり線形状は一致しない。

6. まとめ

本共同研究は、土木研究所が平成17年度から18年度にかけて開発した地表面変位ベクトルから地すべ りのすべり線形状を推定する手法をベースとし、精度向上を図るためのデータ取得方法の検討やプログラ ム改良を行い、地すべり災害現場等において広く活用を図ることを目的として研究活動を行ってきた。ま た、本共同研究成果の一つであるすべり線形状推定プログラムは特許出願中である。本章では、本共同研 究で得られた成果と今後の課題、本共同研究終了後の取り組みについて整理する。

6.1 共同研究の成果と課題

本共同研究で得られた成果と現時点における課題について、以下にとりまとめる。

- (1) 地すべりの地表面変位からすべり線形状を推定する手法の前提となる考え方を整理し、この前提条件を基に本手法が適用できる地すべりの条件を示すことができた。
- (2) 地すべりの地表面変位からすべり線形状を推定する手法のうち、複合多項式法(土研式多項式法) と多角形法を演算するプラグラムを作成した。
- (3) すべり線の勾配が急変する場合など実際の現場では様々なすべり線形状が想定されるため、より精度良くすべり線形状を推定する方法について検討した結果、プログラムにいくつかのパラメータを取り入れることとした。パラメータを設定する際の補助とするべく、現地踏査の段階ですべり線のおおよその形状を推定するための着目点について、既往文献等を基にとりまとめた。ただし、パラメータ設定はユーザーが行うため、現状ではプログラムの解析結果はユーザーの技術的判断に左右されやすい。
- (4)本手法を活用するためには、地すべり地表面における3次元変位ベクトルが必要となる。地表面変 位の計測結果に誤差を含んでいると、すべり線形状の推定結果に大きく影響するため、本手法の活 用に適していると考えられる計測手法を示し、各計測手法の特徴と留意事項についてとりまとめた。
- (5) プログラムによるすべり線形状の推定結果と、地表面変位が得られている過去の地すべりや簡易な 地すべりモデルにおける FEM 解析結果との比較を行い、概ね調和的なすべり線形状を推定できる ことを確認した。
- (6) プログラムによる解析結果の検証には、限られた数の地すべりでしか実施できなかった。これは、 すべり線形状を推定するには地すべり発生直後の3次元の地表面変位ベクトルが必要になるが、こ れに適合する現場のデータがあまり得られなかったためである。

6.2 研究成果の普及について

(1) マニュアルの作成

本共同研究の成果を広く普及していくことを目的に、本システムの使用する際の手引書として書籍化を 予定している。

(2) プログラムの提供

プログラムとプログラムの操作方法は、土木研究所のホームページにてβ版を無償で提供する予定であ

る。また、プログラムをダウンロードする際には、使用者の基本情報(組織名、名前、メールアドレス等) を入力したうえ、使用条件・免責事項に同意していただく予定である。

共同研究報告書 Cooperative Research Report of PWRI No.451 January 2013

編集·発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754