

共同研究報告書

整理番号第451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

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
株式会社アイエスター
株式会社キタック
株式会社レイディック

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。

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 涉	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

1. はじめに	
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 プログ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収集	94
5.1.2	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	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。

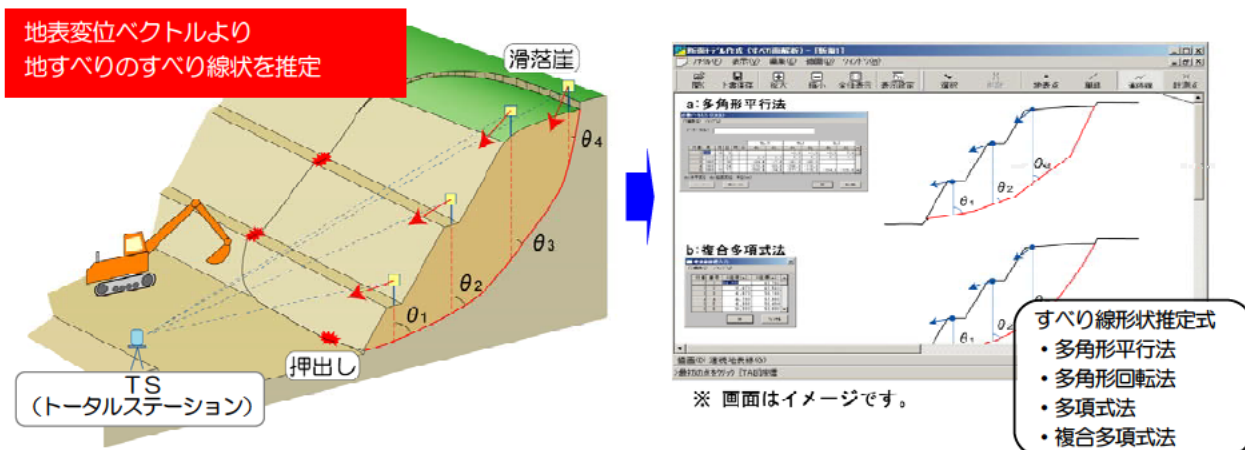


図 1.1 共同研究の成果のイメージ

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。

表 1.1 ワーキンググループ構成とメンバー

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計測手法WG)	株式会社アイエステー 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留意事項検討WG)	基礎地盤コンサルタンツ株式会社 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

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じる。また、地すべりブロックの変形の問題を考えると、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に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つた。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られられるが、本研究ではこのことについて考慮しないこととした。

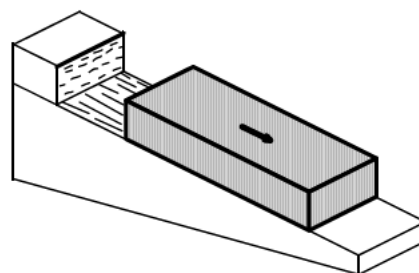


図 2.1 平面状のすべり線のモデル

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

- ① 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

① 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 WD 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)

LD 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 LD 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 LD は大きくなる傾向がある。

③ 頭部陥没帯の幅 (W_0) 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、どのよう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 4 2 4 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 / 最大区分)

整理した 10 事例の基礎データ一覧表を表 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

表 3.1 既往報告 10 事例の基礎データ一覧表

事例 No.	現地名	推すべり分類		計測位置と計測点数		地すべり現象の規模 (m)		地すべりの形態		計測手法		相関係数	土べり ^{※3} 面差	変化率 ^{※4} (%)	最終点データの時期	最大変位量		計測回数	解折使用 ^{※4} の計測点の位置	解折使用 ^{※4} の計測点の位置	ブロック区分	報告書に記載されている問題点	
		頭部	尾部	計測点	終了点	面差	ds(mm)	dZ(mm)	ベクトル量 (mm)	計測回数	解折使用 ^{※4} の計測点の位置					解折使用 ^{※4} の計測点の位置	ブロック区分						
1	切土	1	2	1	2	1	4	A	60	70	○	24.6	0.0150	-2.1	○	K-7	-125	-164	206	3 4	区画線 設置位置	・良好な解折結果となっており、中・下部で変位が少いという問題点がある。	
2	月山湖PA	3	6	0	1	5	0	6	C	150	300	○	465.8	0.0220	12.7	-	PA-13	-1,015	-200	1,055	2 6	PA-10と PA-12の間	・隣部の計測点が無いため、測りやすい側を推定している。 ・隣部の構造物が複数存在する場合には、地盤境界線の位置確定が難しい。
3	大所	2	3	0	2	2	0	4	C	700	1,300	○	246.8	0.0180	18.2	-	IA-1	-1,577	-348	1,615	2 4	IA-2と IA-3の間	・隣部の地盤境界線付近の計測結果の傾向が推定が不明である。 ・事例によってはより良い結果を得る可能性がある。 ・事例によっては計測点が存在しないが、中・下部の計測点のベクトルから良好な結果を得ている。
4	落合	1	0	1	0	1	2	B	240	750	○	254.0	0.0170	-4.3	-	GPS-4	-201	-69	212	2 2	GPS12と GPS13の間	・地すべりの傾向に対し、計測点が隣部の形状が不明なため、事例によっては推定が不明である。 ・事例によっては計測点区分しても測定可能な場合がある。 ・事例によっては計測点区分しても測定可能な場合がある。	
5	中之島	1	0	1	0	1	2	B	500	1,300	○	313.8	0.0100	6.8	○	D-3	-330	-62	336	2 2	D-3と D-4の間に 近接	・隣部の計測点が無いため、頭部に近い側を推定している。 ・事例によっては計測点があり、良好な推定結果となっている。	
6	北ノ入地区	2	6	2	2	6	2	10	A	300	400	○	1118.1	0.0270	上：-0.4 下：7.2	-	A-3	-374	-112	390	上：2 下：7 3 6	E1と F2の間 R3と R4の間 C2に 近接	・下ブロックの東端部に計測点がなく、測りやすい側を推定している。 ・地すべりベクトル量から推定しているが、事例によってはより良い結果を得る可能性がある。 ・事例によっては計測点区分しても測定可能な場合がある。
7	下石川	0	3	1	0	3	1	4	D	100	150	○	108.1	0.0190	-9.5	-	2050	-623	-4,355	4,399	2 4	2042と 2050の間	・事例によっては計測点が無い場合、頭部に近い側を推定している。 ・事例によっては計測点があり、良好な推定結果となっている。
8	国道424号	0	4	0	4	0	4	E	56	82	○	56.1	0.0320	-12.8	-	9	3,727	-2,575	4,530	3 4	9.8と 8.0の間 8.7と 8.2に 近接	・事例によっては計測点が無い場合、頭部に近い側を推定している。 ・事例によっては計測点があり、良好な推定結果となっている。	
9	仲野地区	1	2	0	2	1	3	D	150	150	○	52.3	0.0310	-2.9	○	1-3	-45	-63	77	1 3	ブロック区 分なし	・事例によっては計測点が無い場合、頭部に近い側を推定している。 ・事例によっては計測点があり、良好な推定結果となっている。	
10	町道高沢入線	1	1	1	1	1	3	A	50	60	○	597.7	0.0620	-31.6	○	10-3	849	-336	913	2 3	9.2と 9.1の間	・隣部の計測点が無いため、頭部に近い側を推定している。 ・事例によっては計測点があり、良好な推定結果となっている。	

※1 計測点位置分類について
A: 頭部、中央、末端計測点すべてをささっている
B: 頭部、末端計測点のみ (中央計測点なし)
C: 頭部、中央計測点のみ (末端計測点なし)
D: 中央、末端計測点のみ (頭部計測点なし)
E: 中央計測点のみ (頭部、末端計測点なし)

※2 相関係数 = (1-相関係数)×10000
※3 すべり面差: 地すべりブロックの長さ×面差、区分点におけるすべり面の差 (層差) を計測し、各点における層差の平均値を地すべり長 (斜距離) で除したものである。
※4 変化率 = (1-安全率) × 100
安全率: 事例すべり面の平均安全率を1.0として、推定すべり面で安全率を算出した斜面安全率
※5 ベクトル量 = $\sqrt{ds^2 + dZ^2}$ (dsとdZの合成)
※6 起点とすべり面同一現象のみ対象

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。

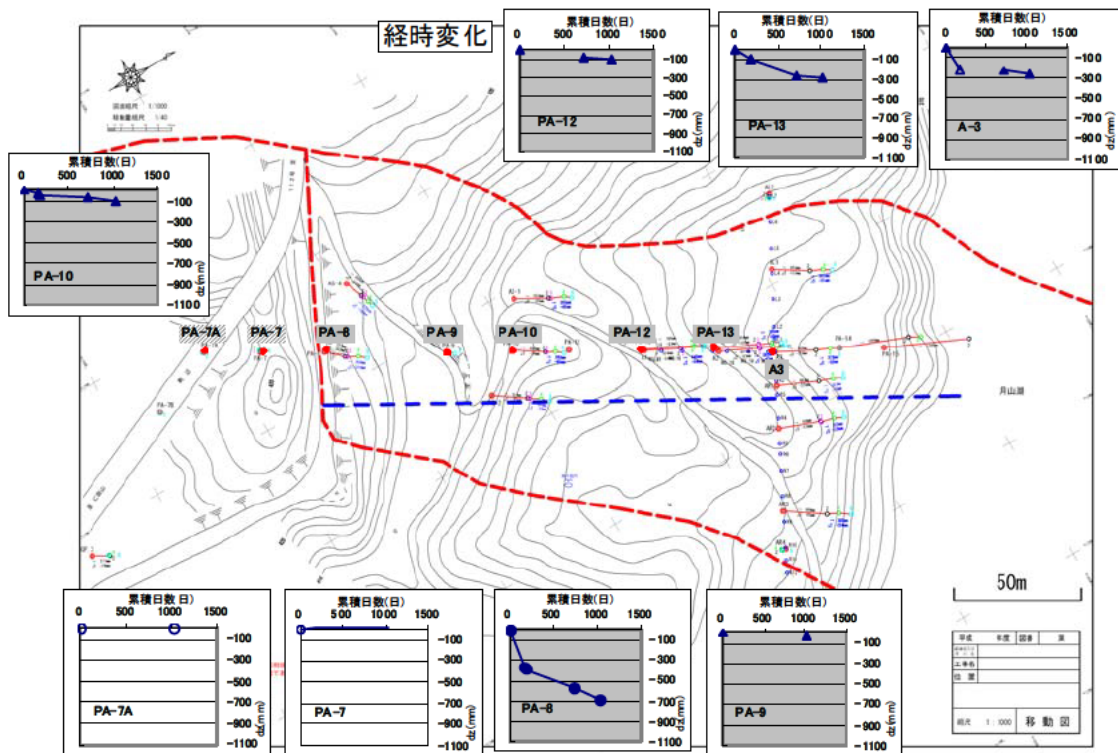
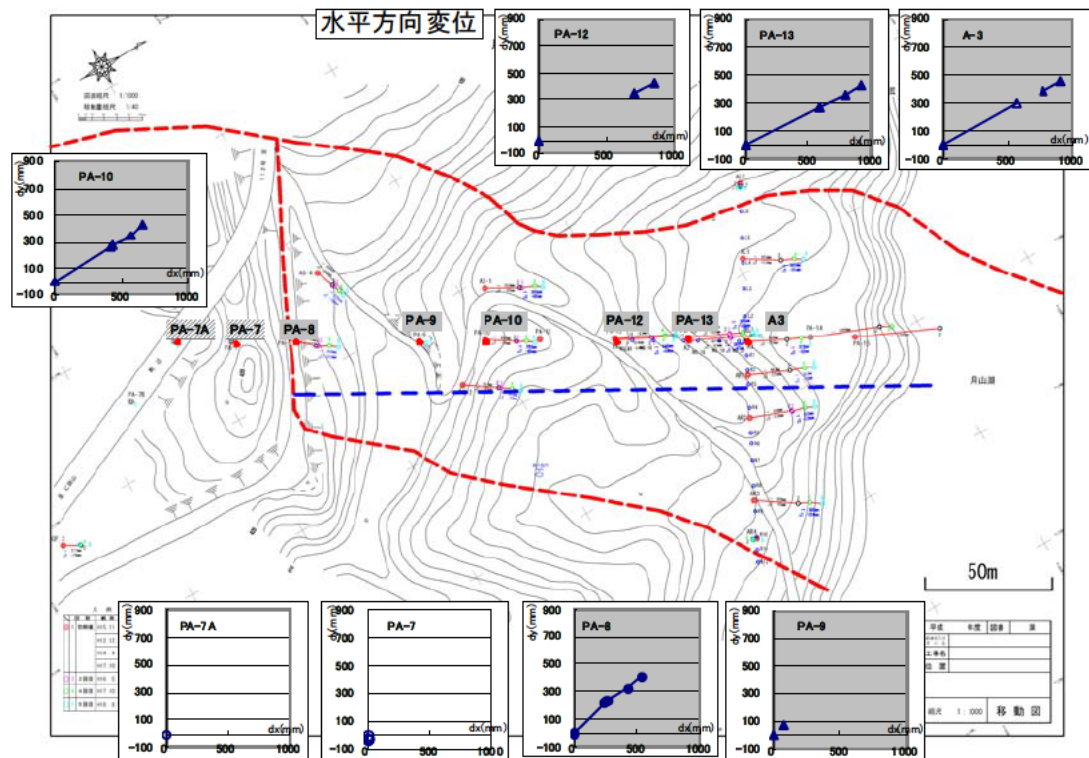


図 3.1 計測地点と地すべりブロック(1) 月山湖

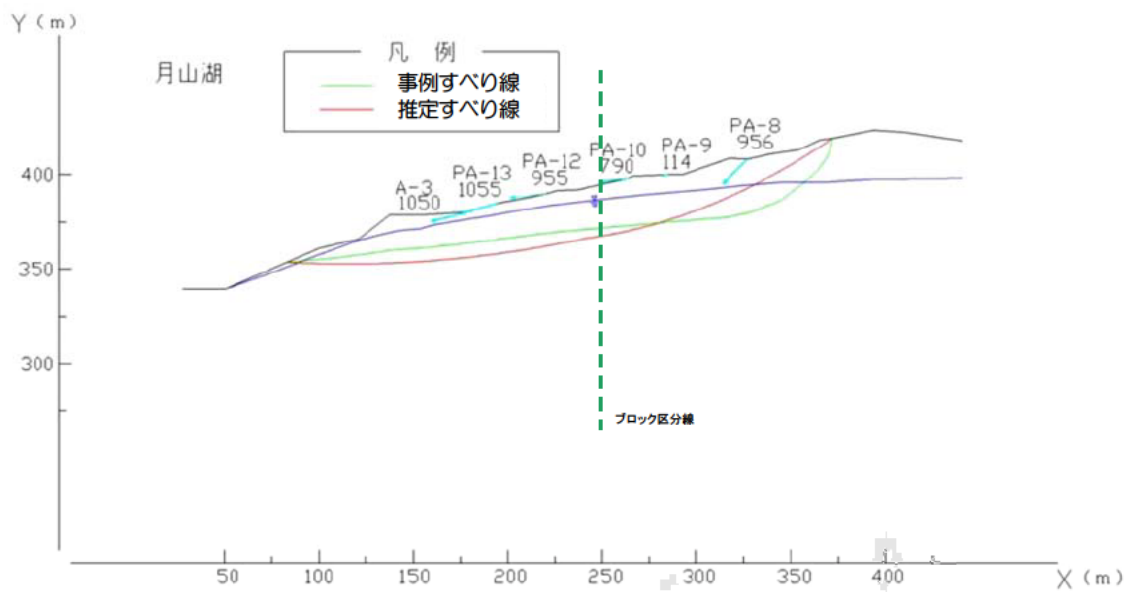
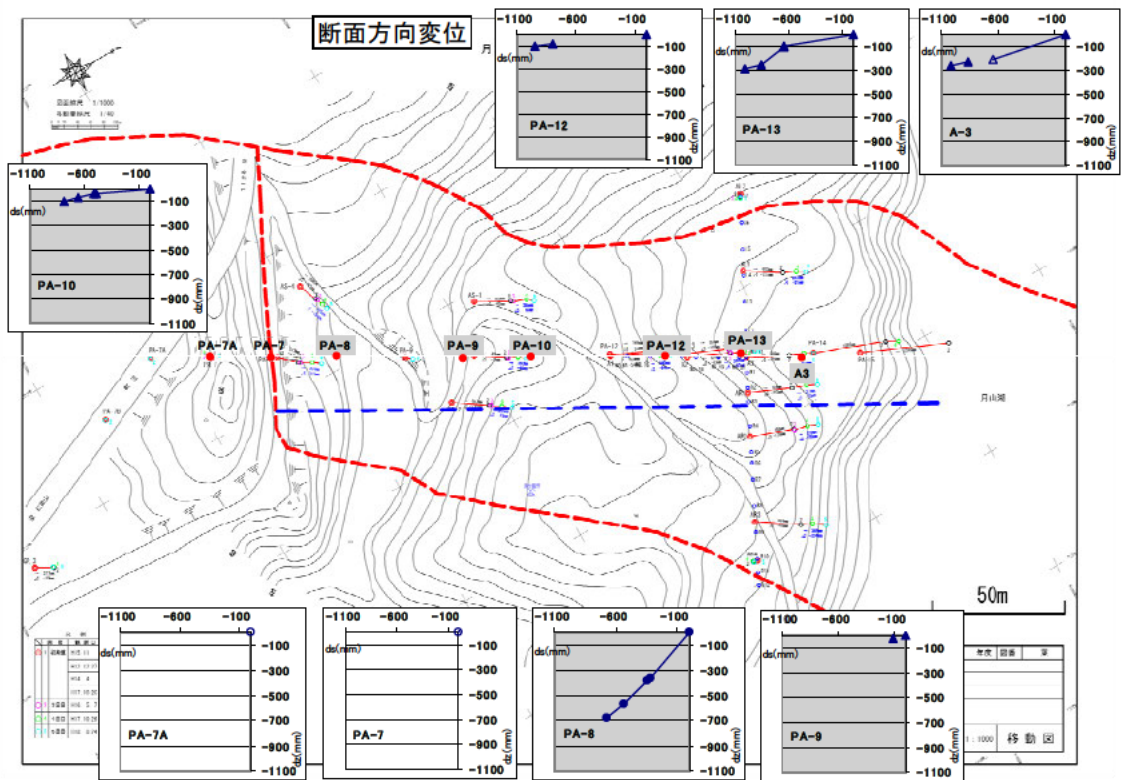


図 3.2 計測地点と地すべりブロック (2) 月山湖

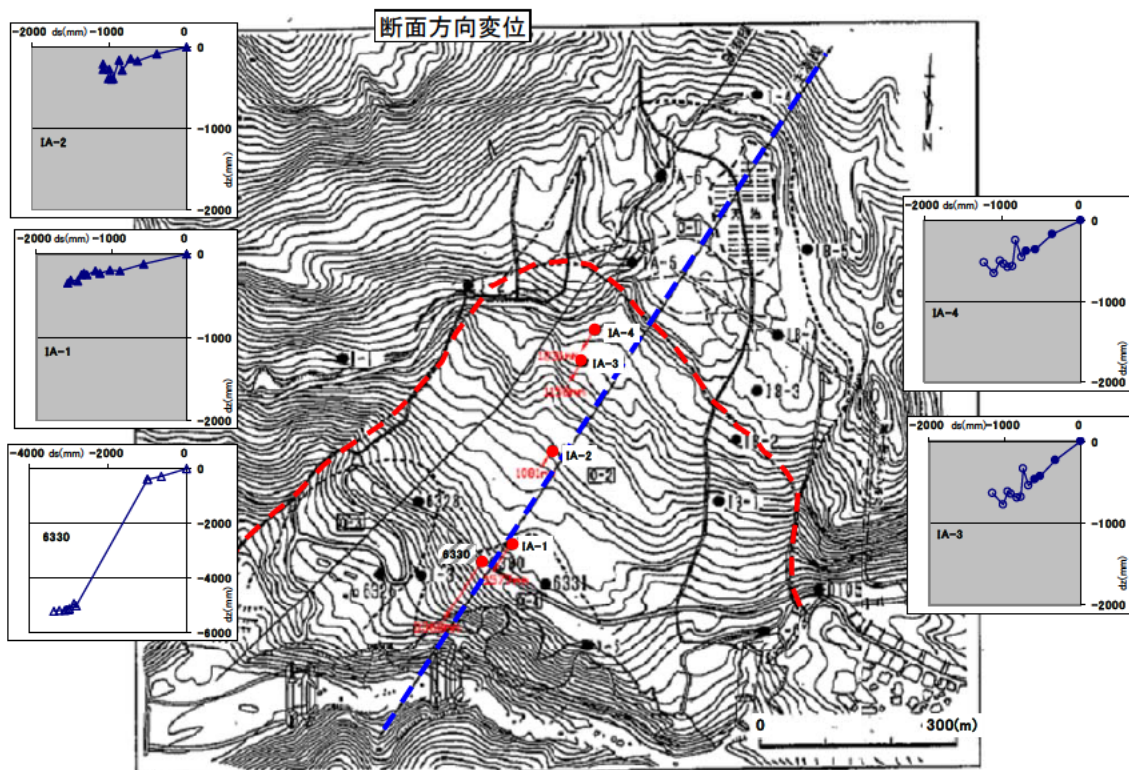
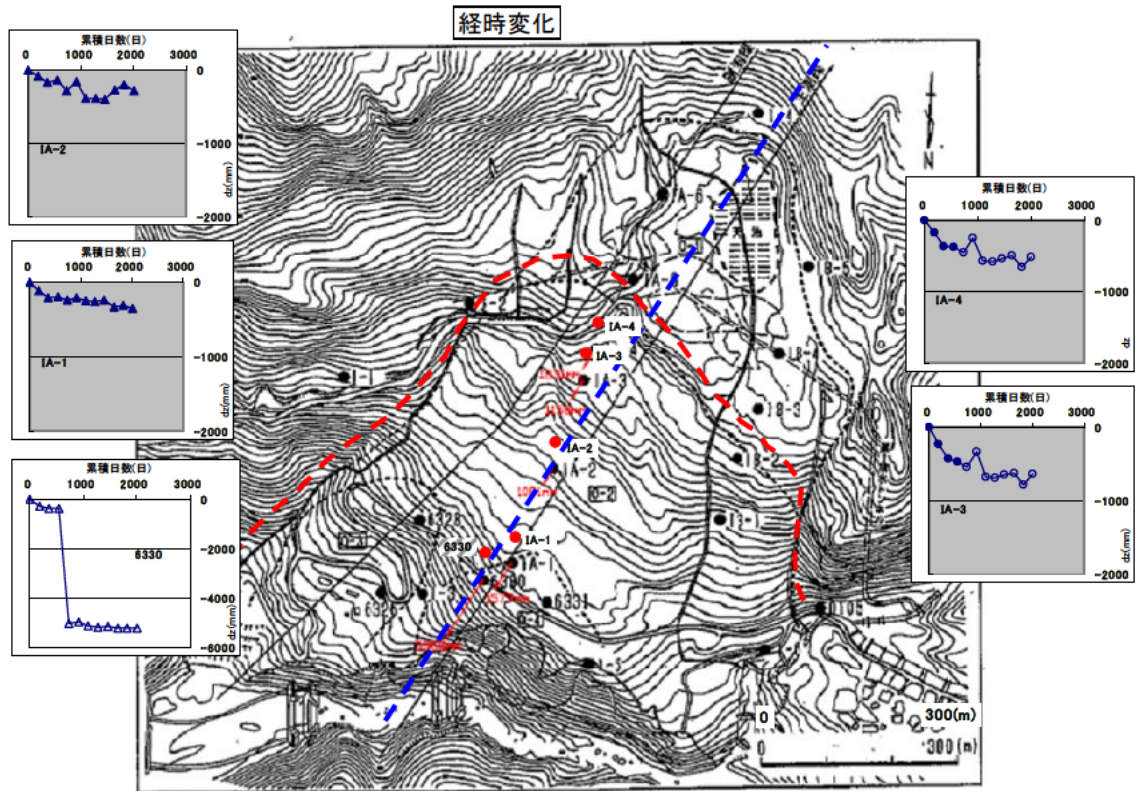


図 3.3 計測地点と地すべりブロック(1) 大所

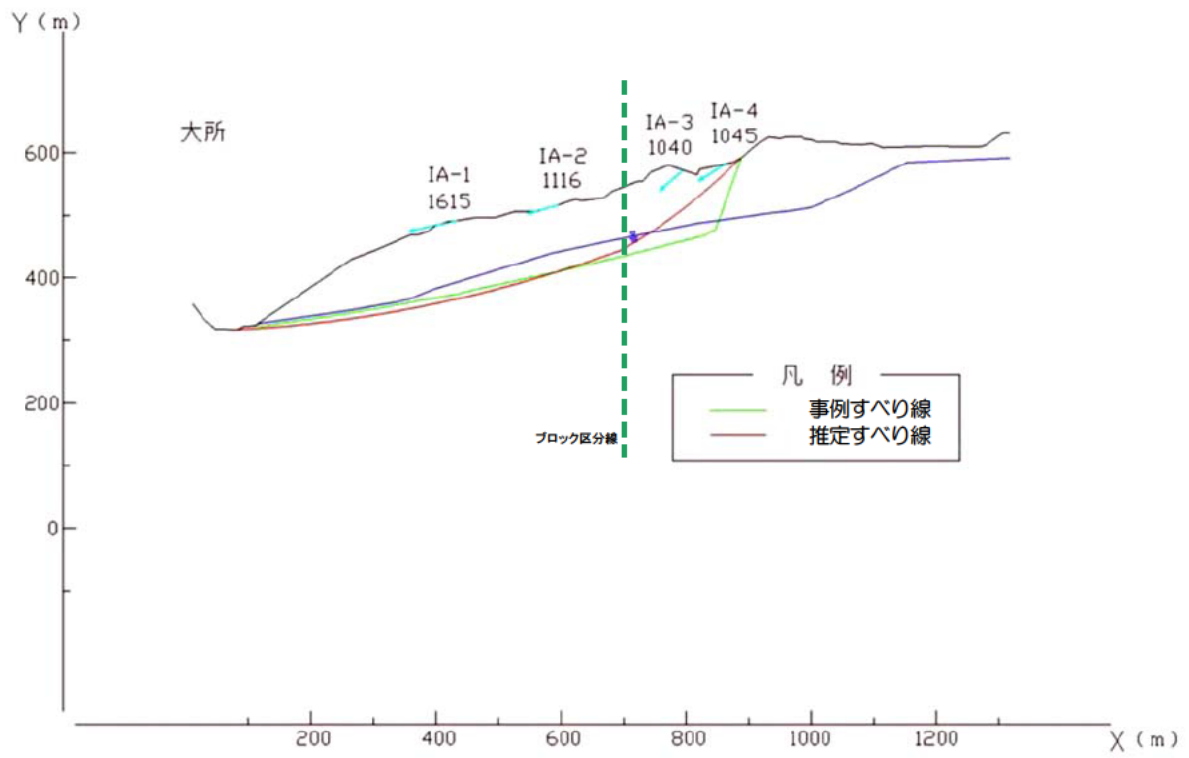


図 3.4 計測地点と地すべりブロック (2) 大所

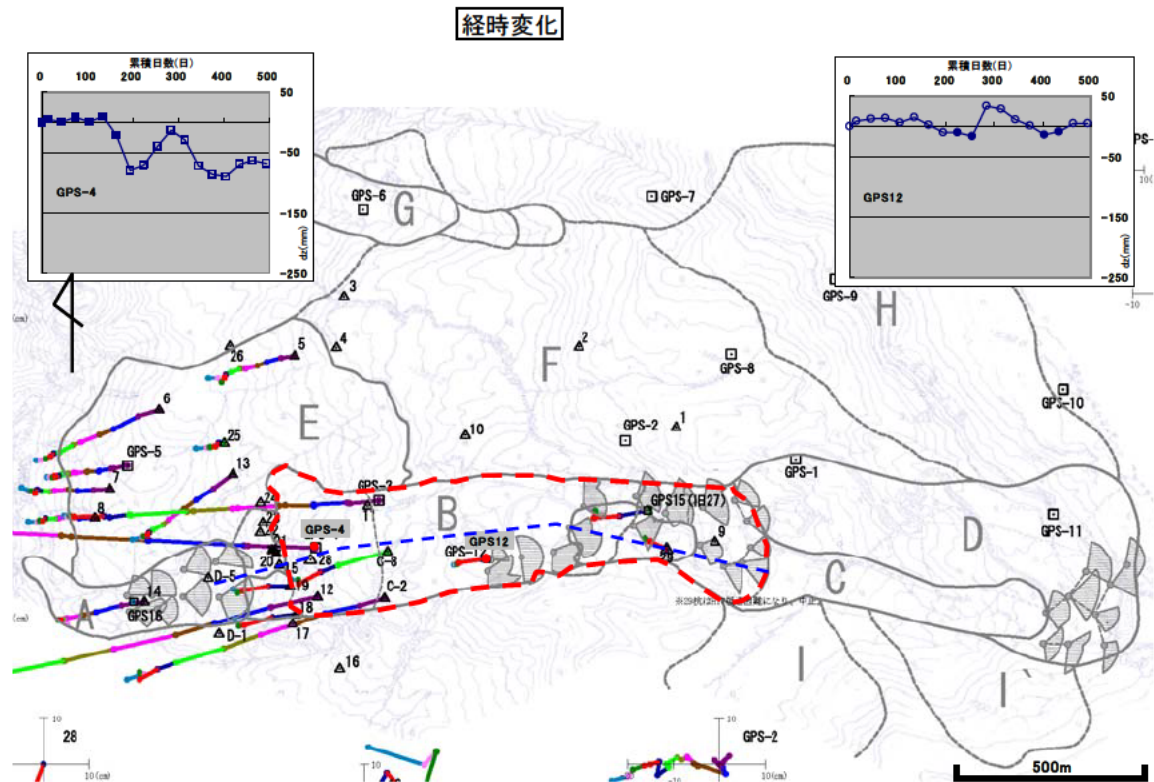
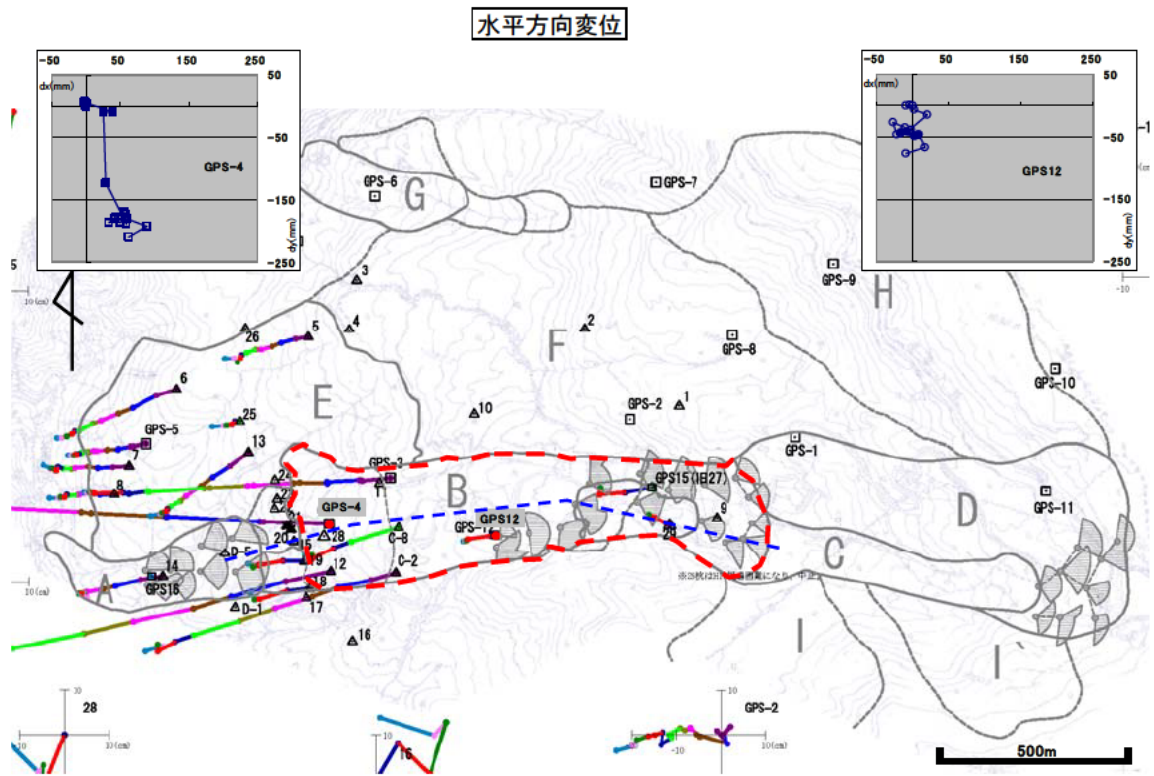


図 3.5 計測地点と地すべりブロック(1) 落合

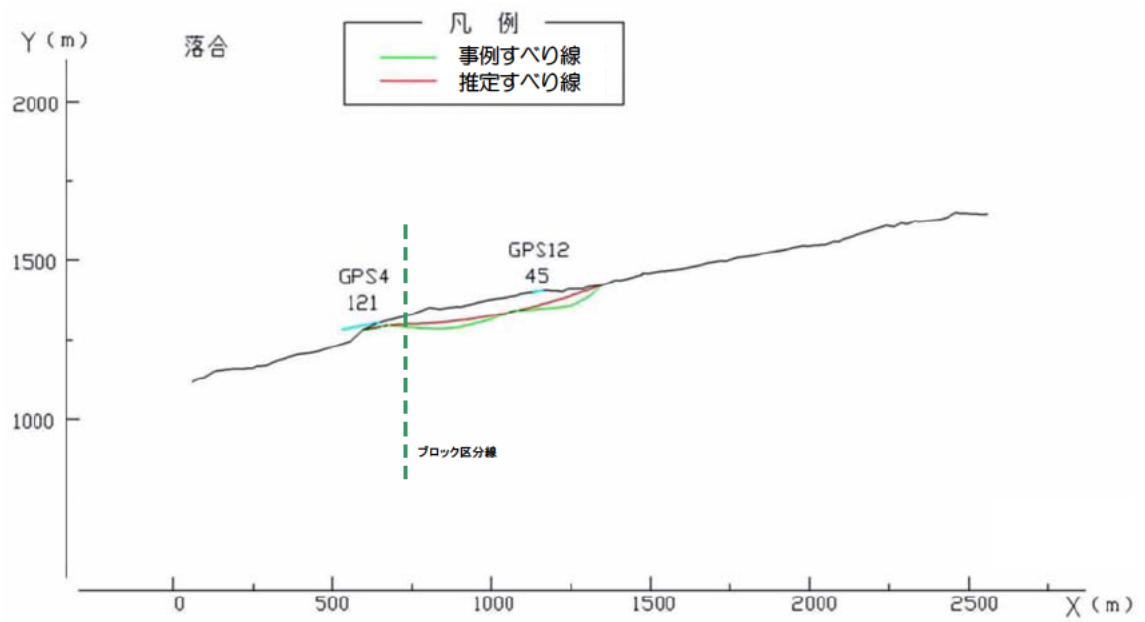
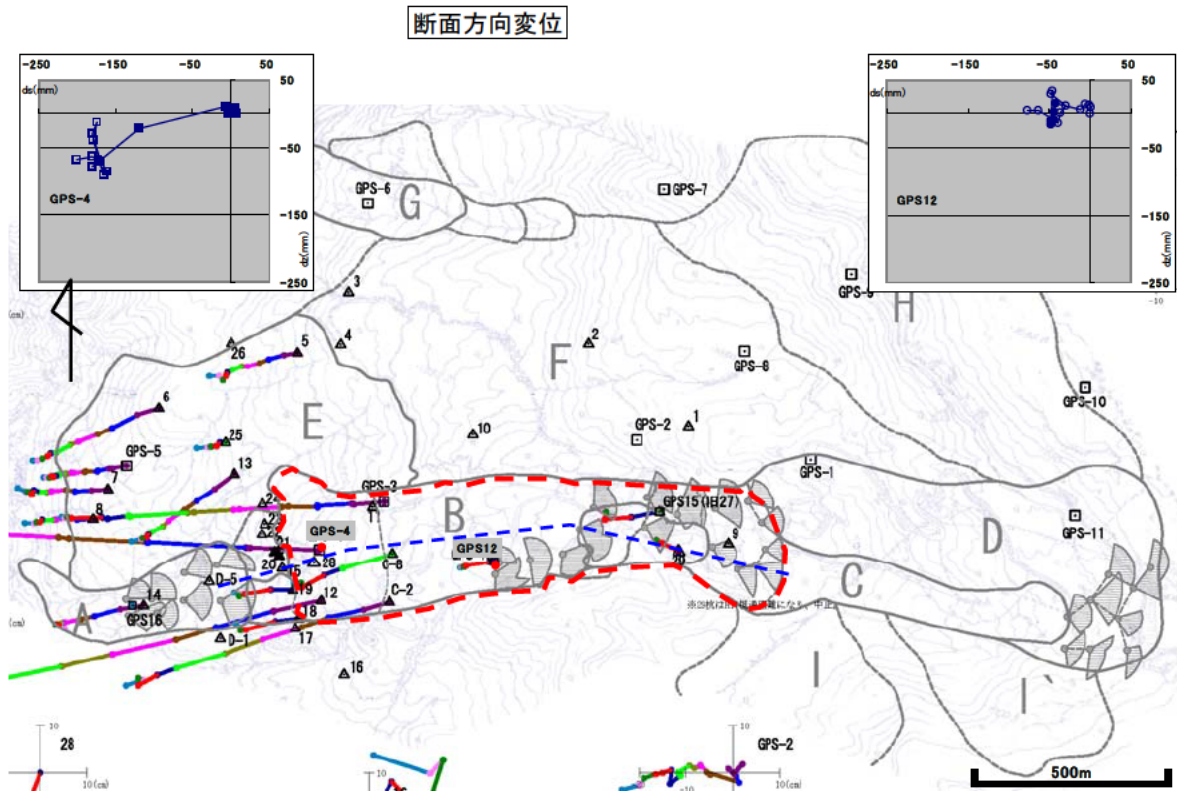
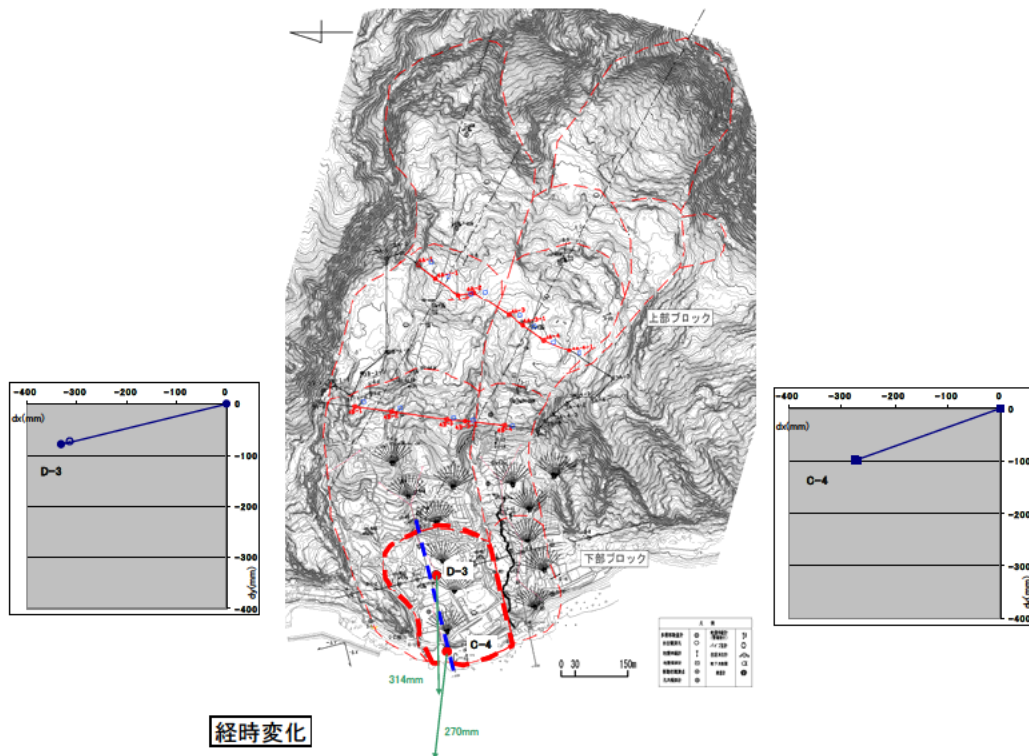


図 3.6 計測地点と地すべりブロック(2) 落合

水平方向変位



経時変化

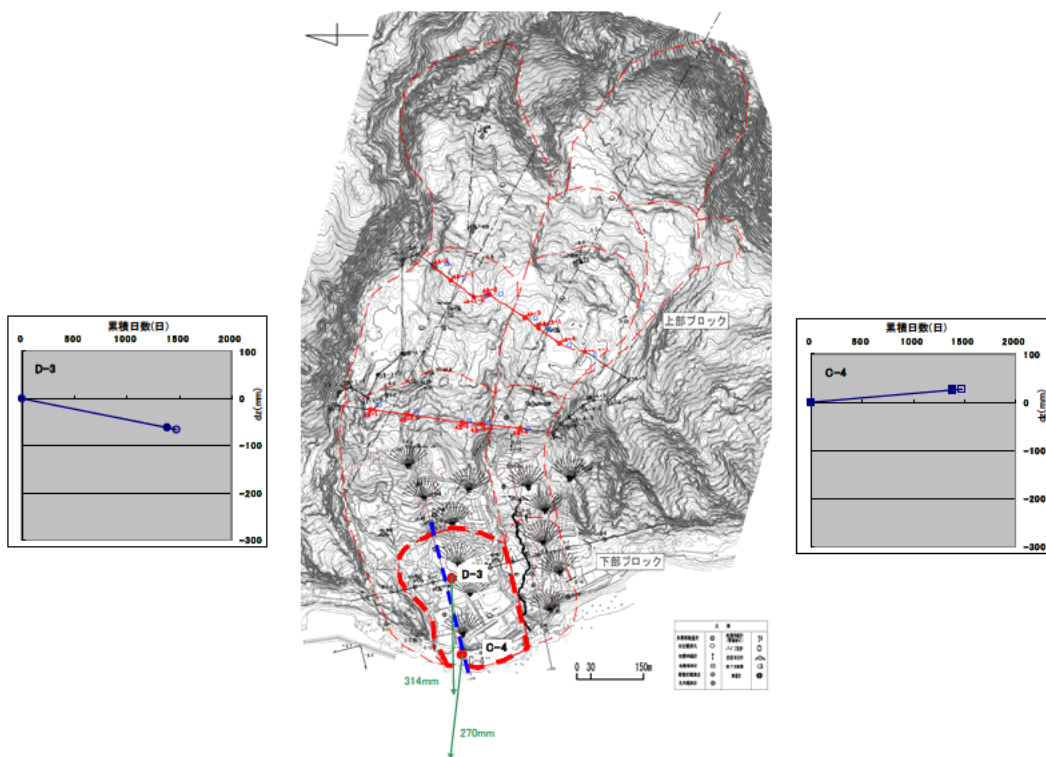


図 3.7 計測地点と地すべりブロック(1) 中之島

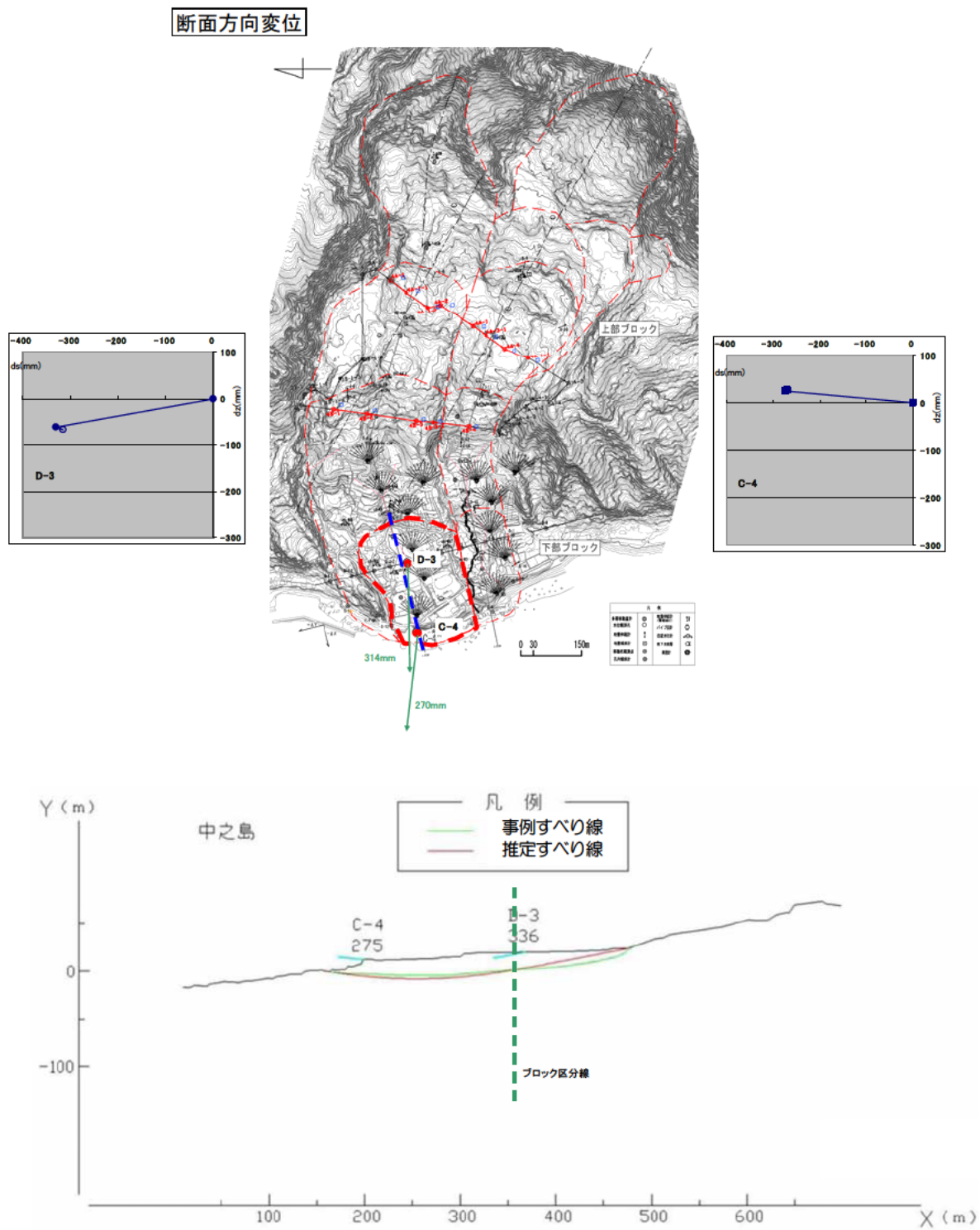


図 3.8 計測地点と地すべりブロック (2) 中之島

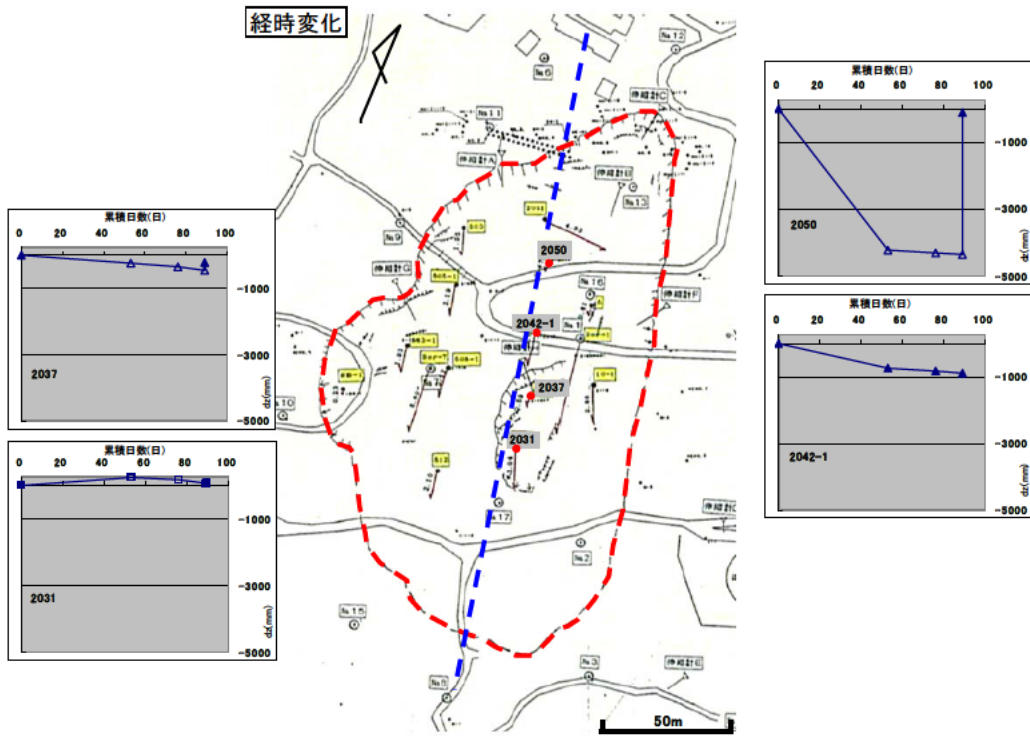
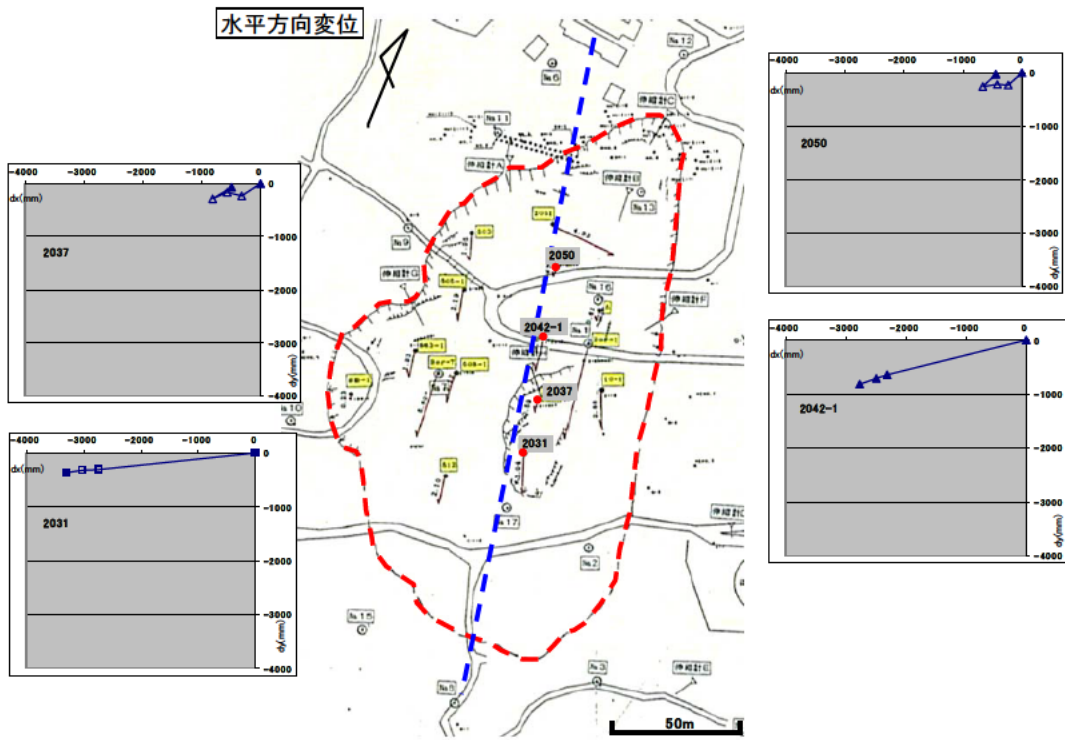


図 3.9 計測地点と地すべりブロック(1) 下石川

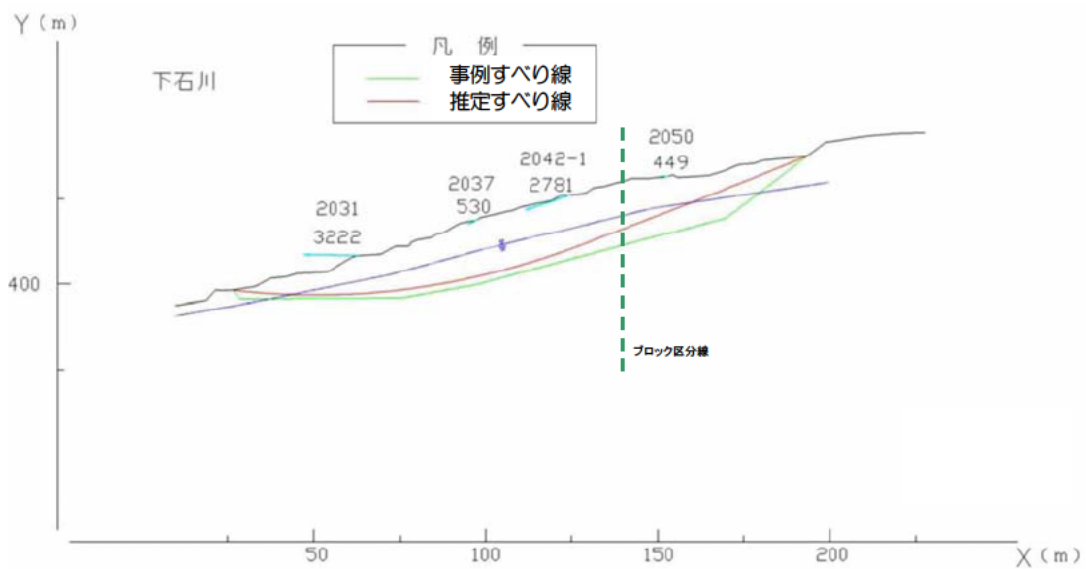
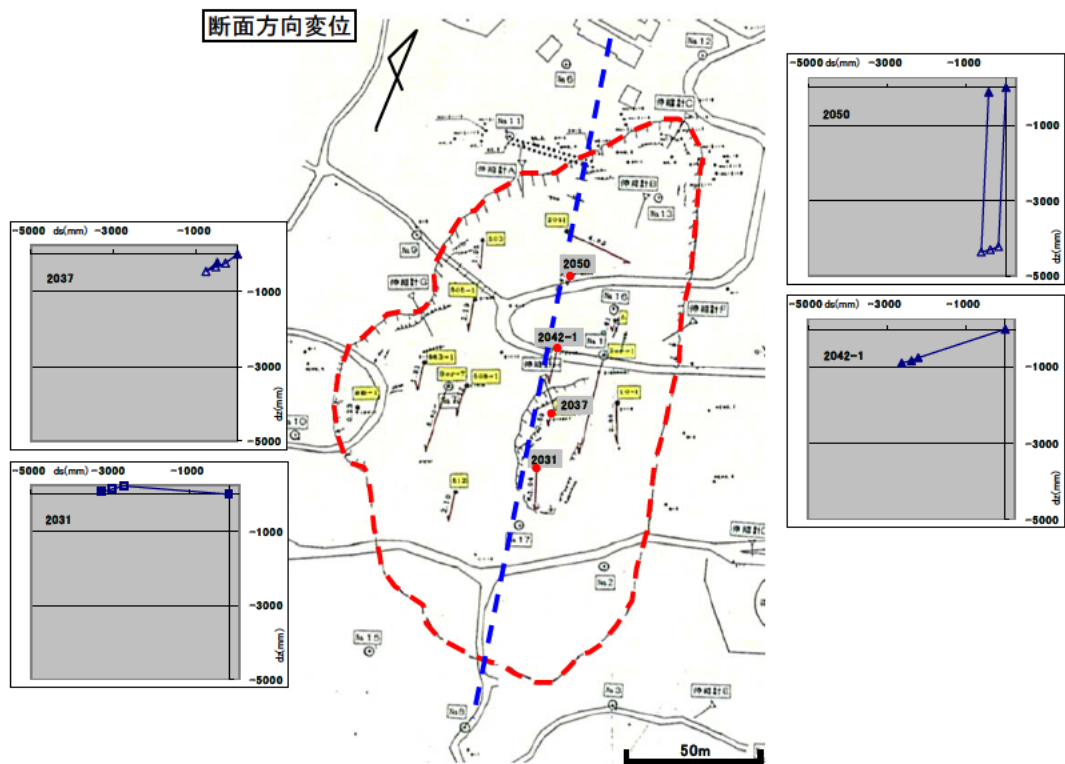


図 3.10 計測地点と地すべりブロック(2) 下石川

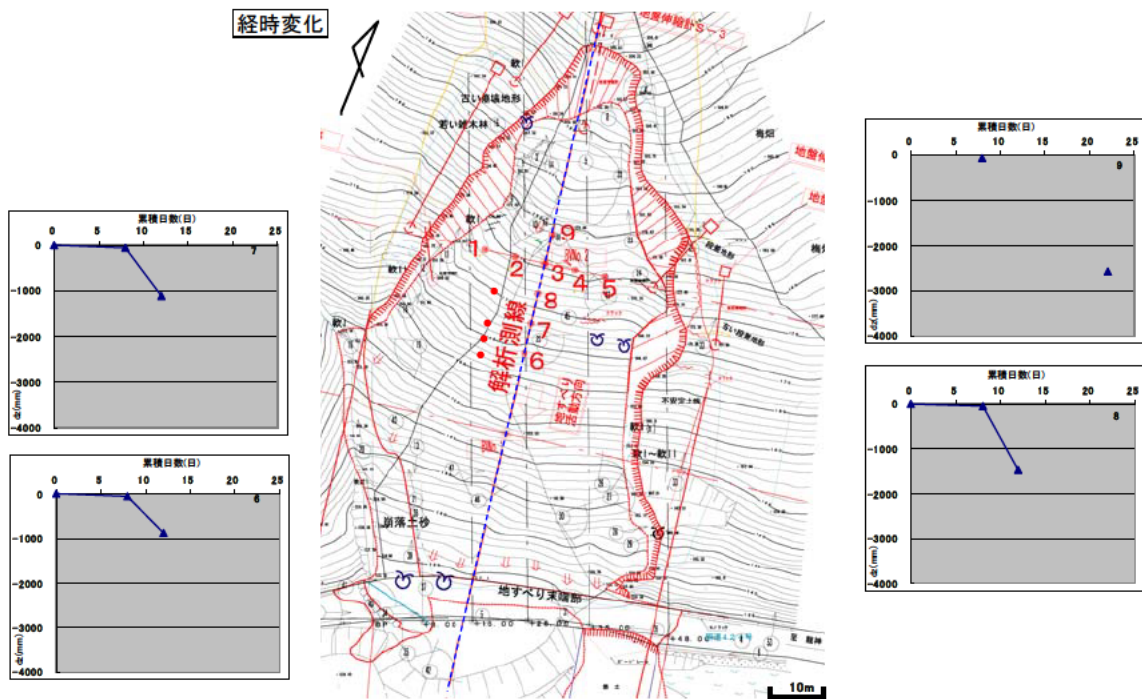
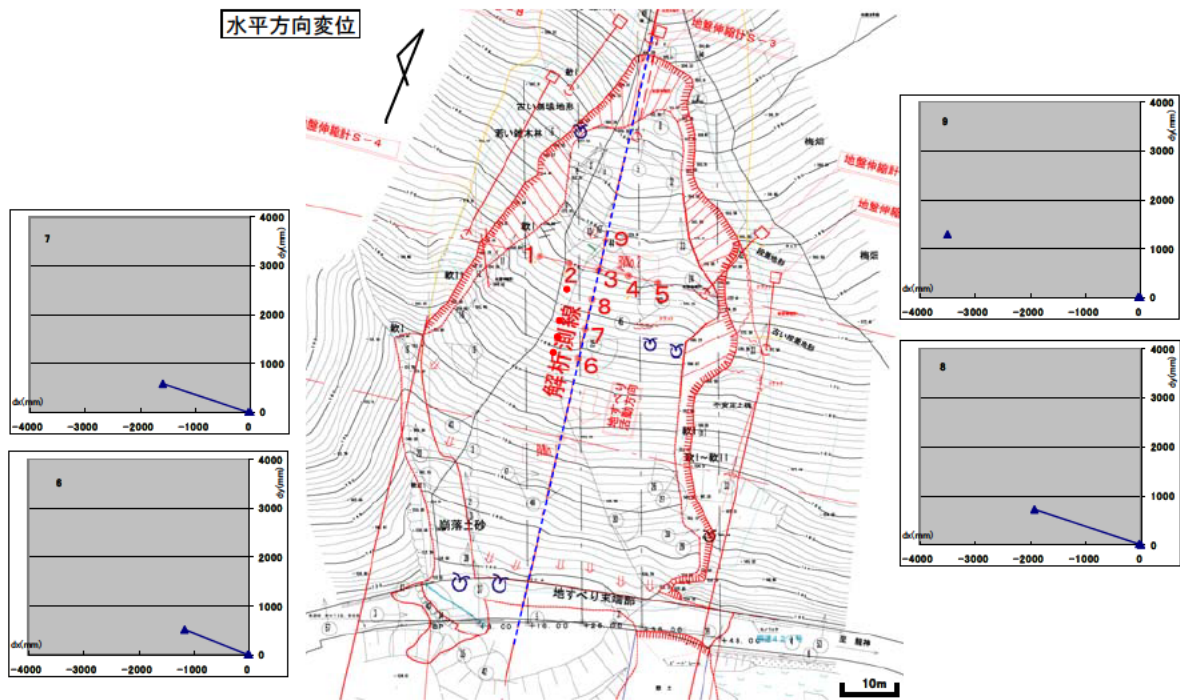


図 3.11 計測地点と地すべりブロック(1) 国道 424 号

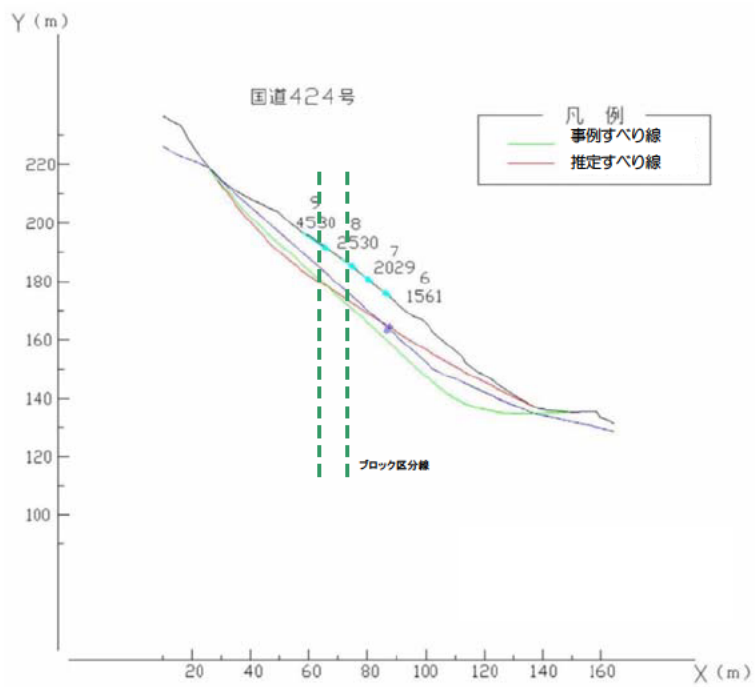
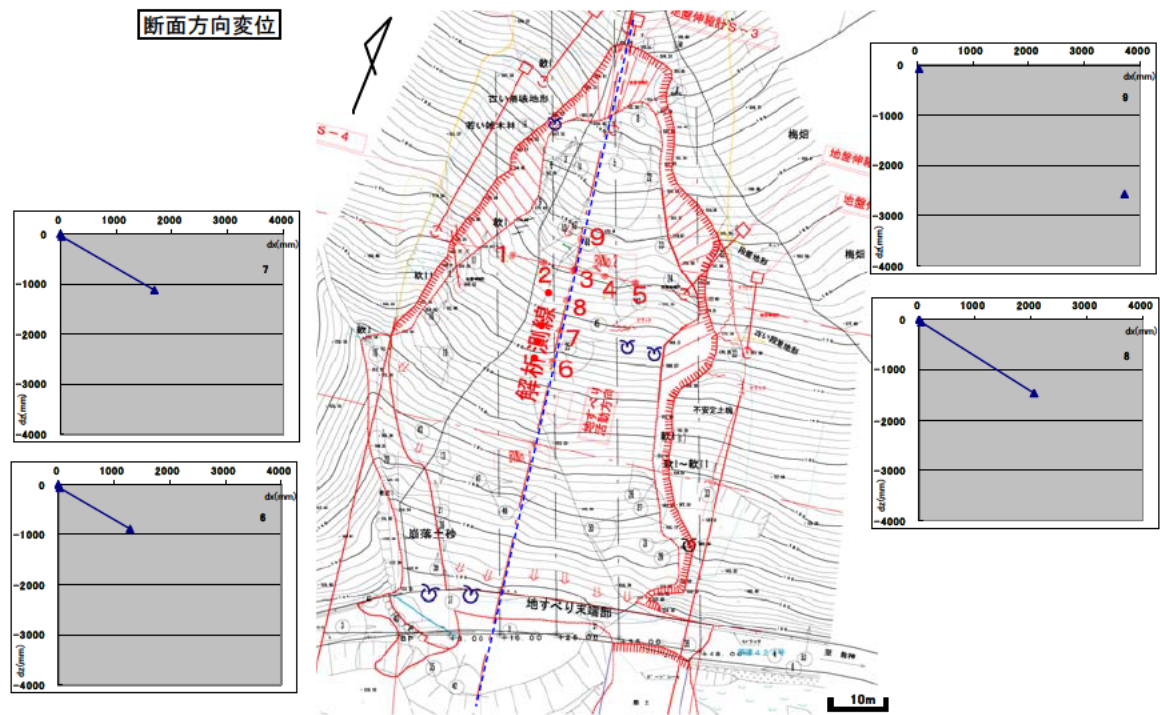
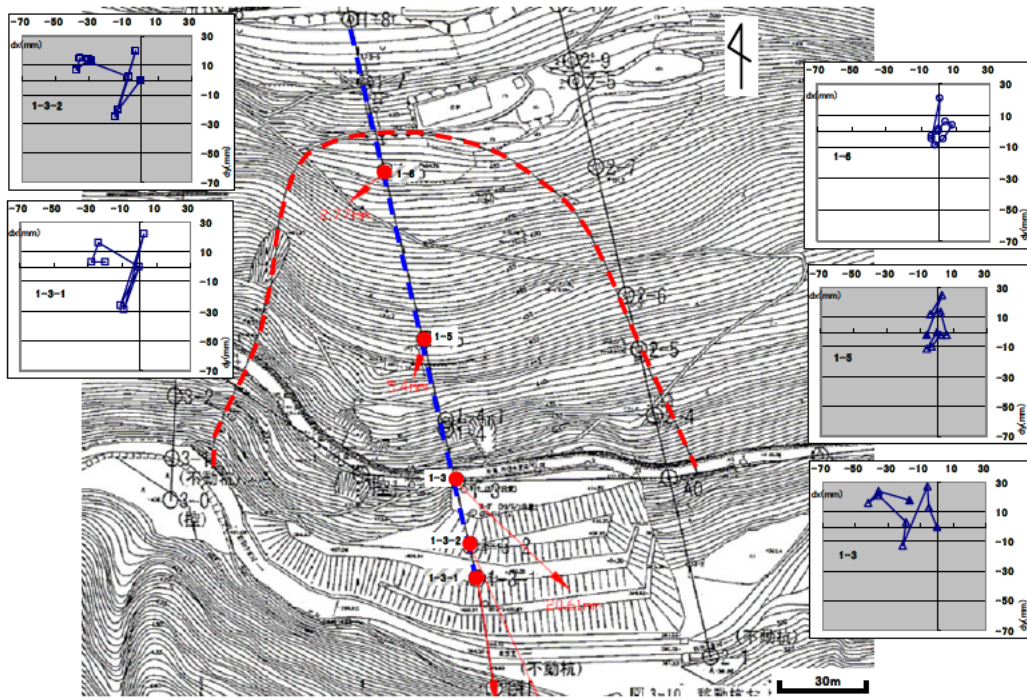


図 3.12 計測地点と地すべりブロック (2) 国道 424 号

水平方向変位



経時変化

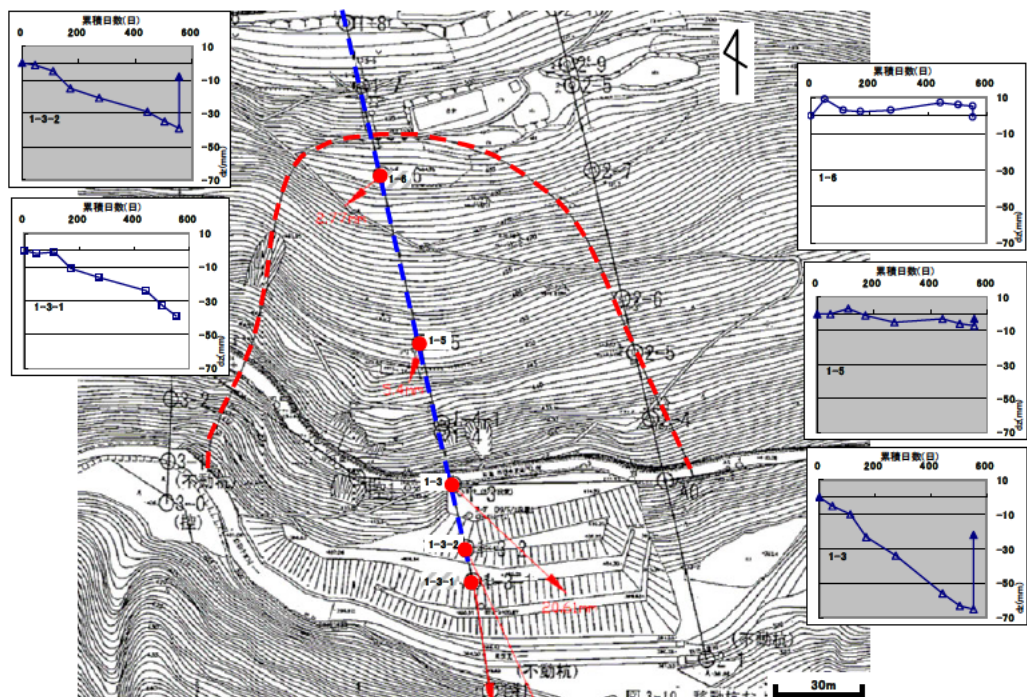


図 3.13 計測地点と地すべりブロック(1) 仲野

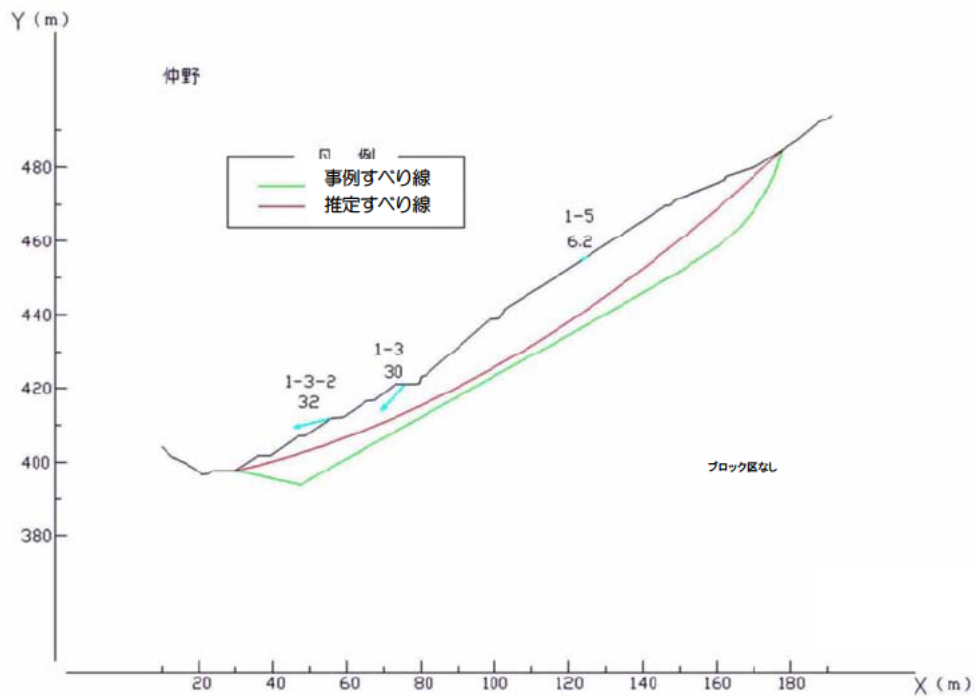
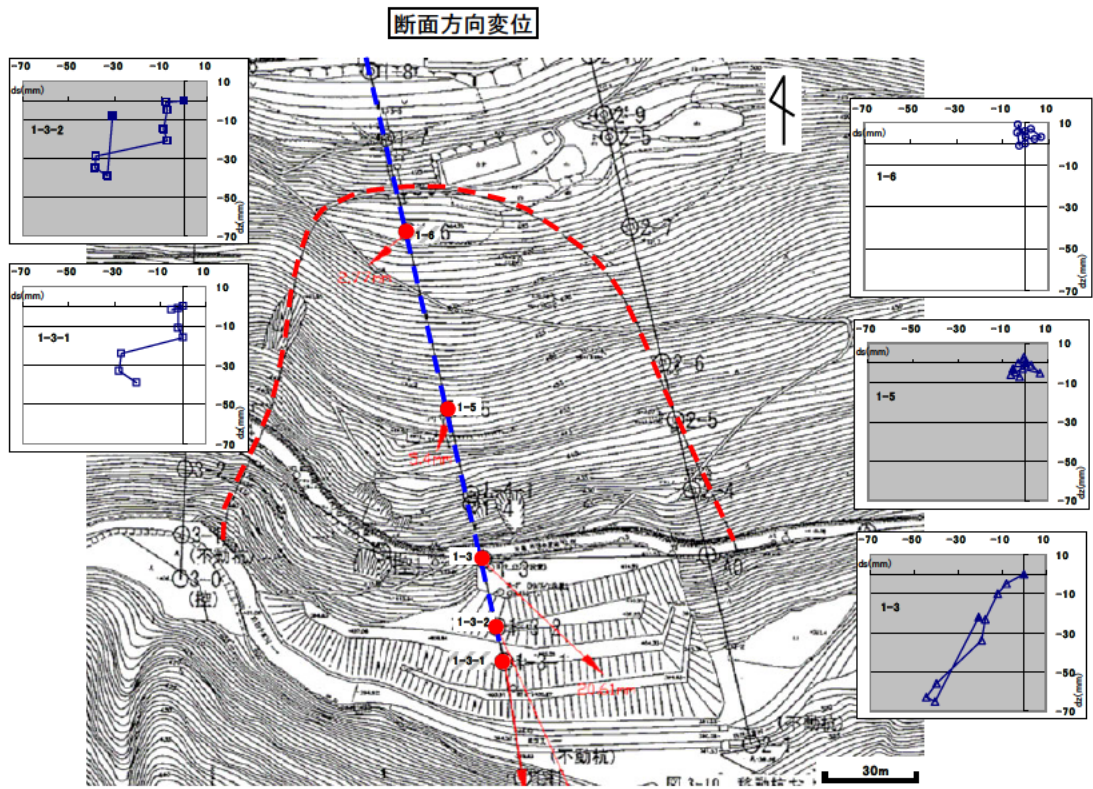
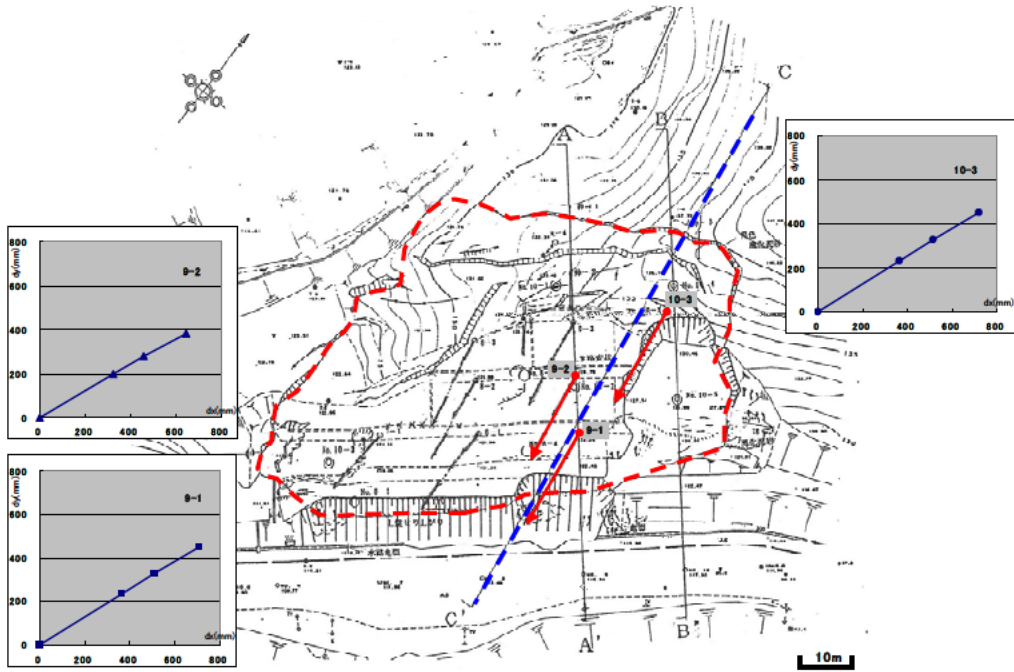


図 3.14 計測地点と地すべりブロック (2) 仲野

水平方向変位



経時変化

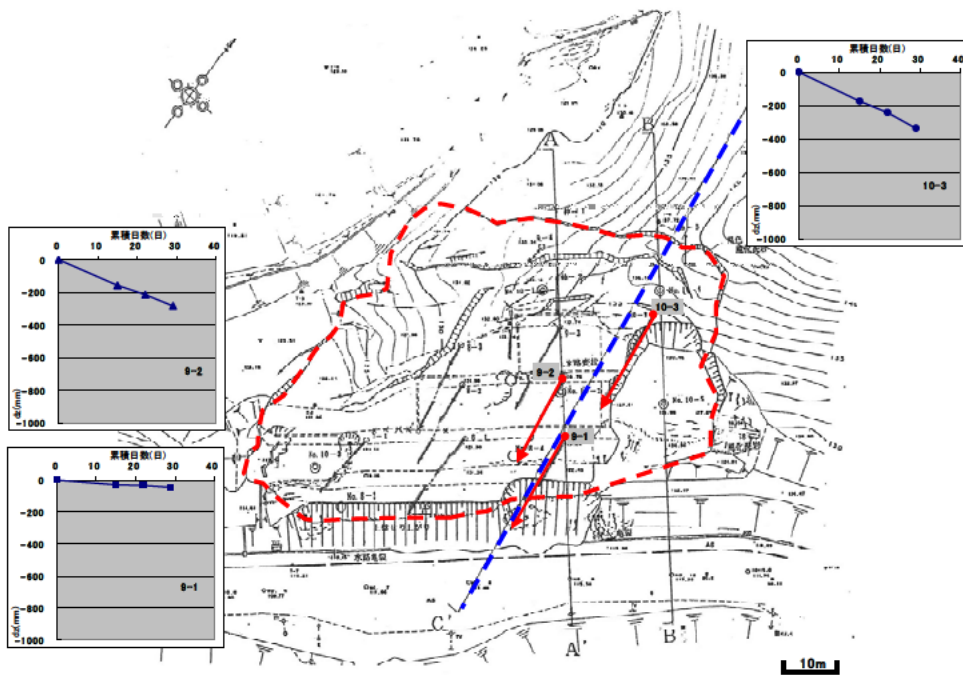


図 3.15 計測地点と地すべりブロック(1) 高沢入

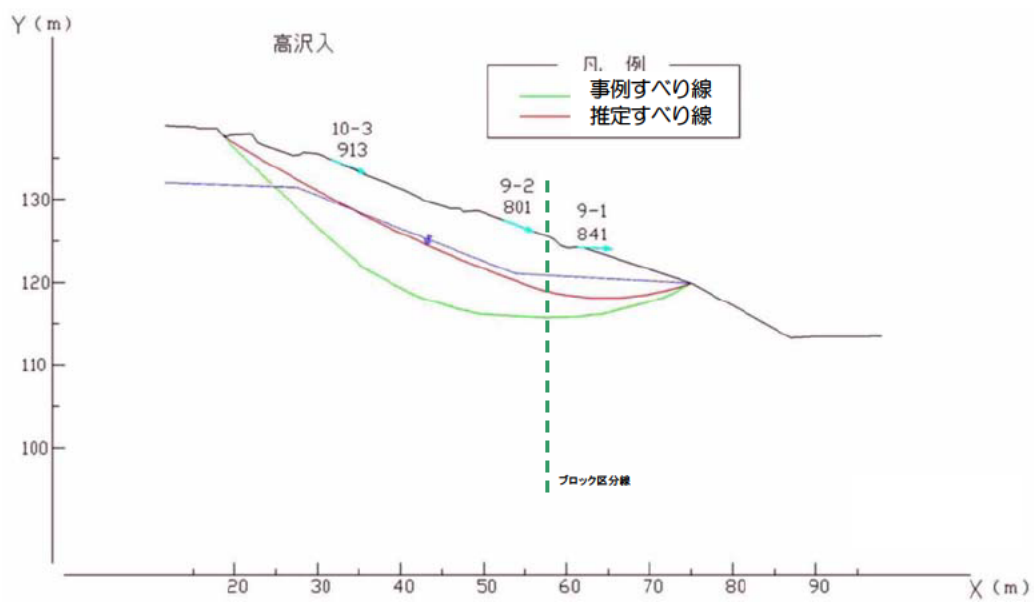
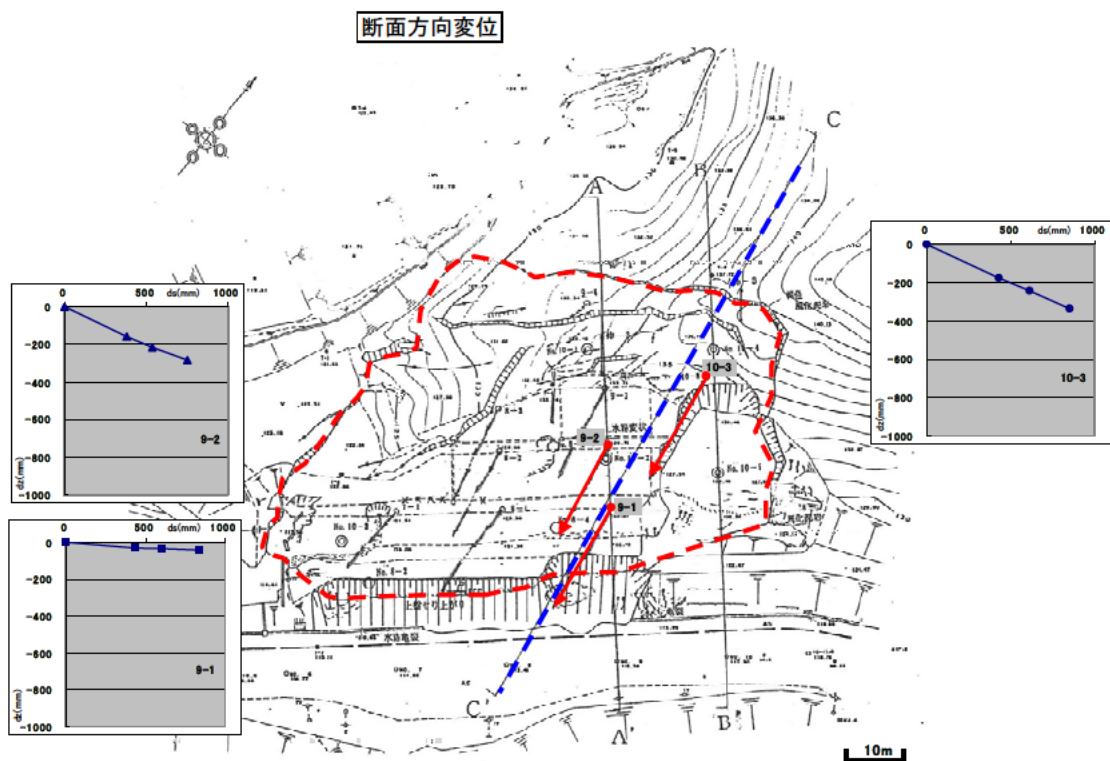


図 3.16 計測地点と地すべりブロック(2) 高沢入

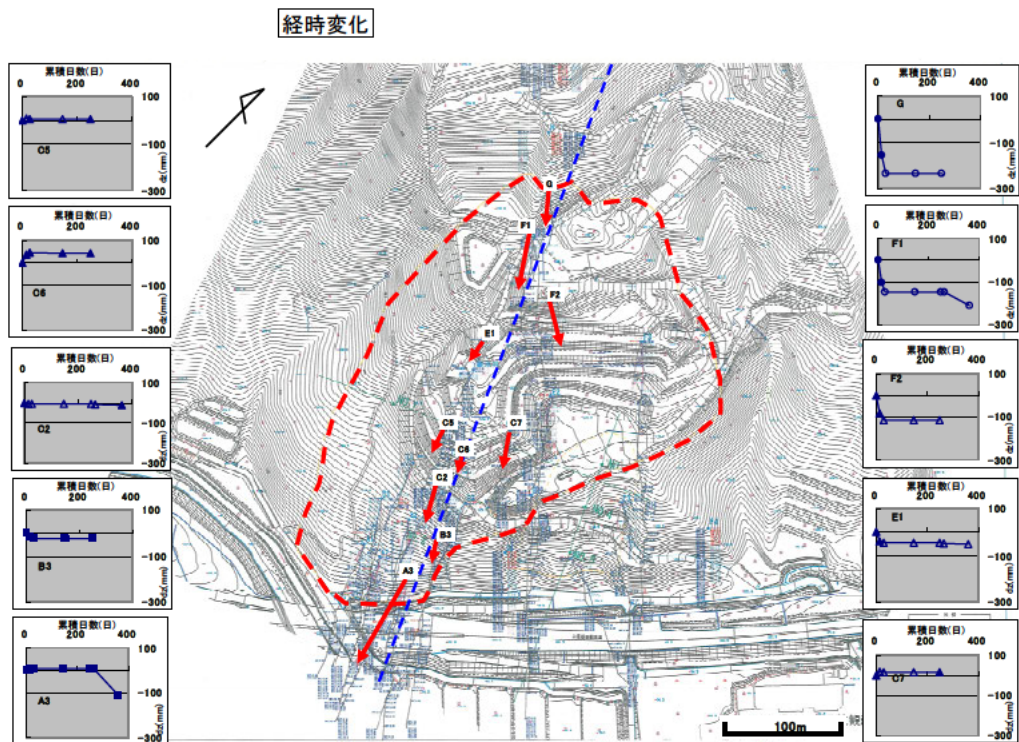
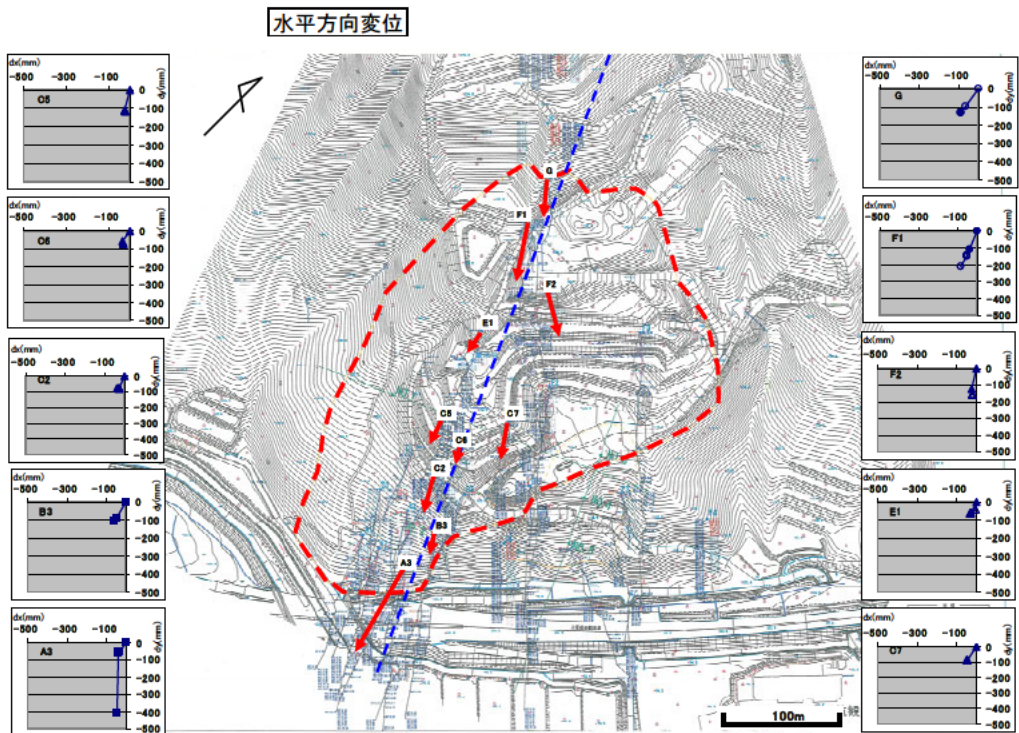


図 3.17 計測地点と地すべりブロック(1) 北ノ入

断面方向変位

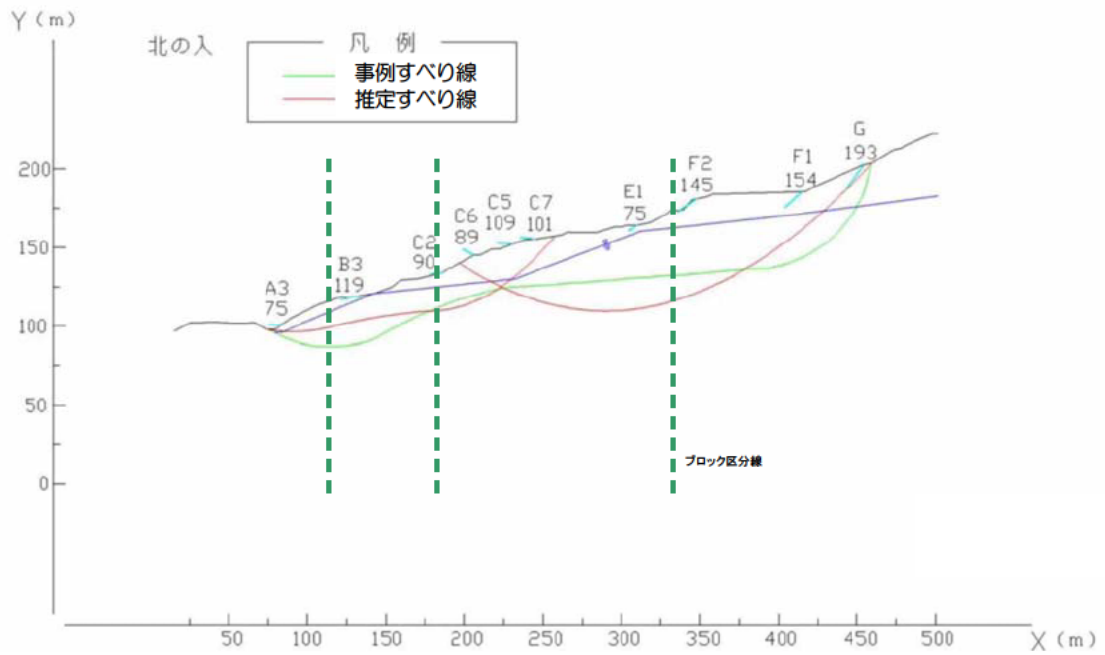
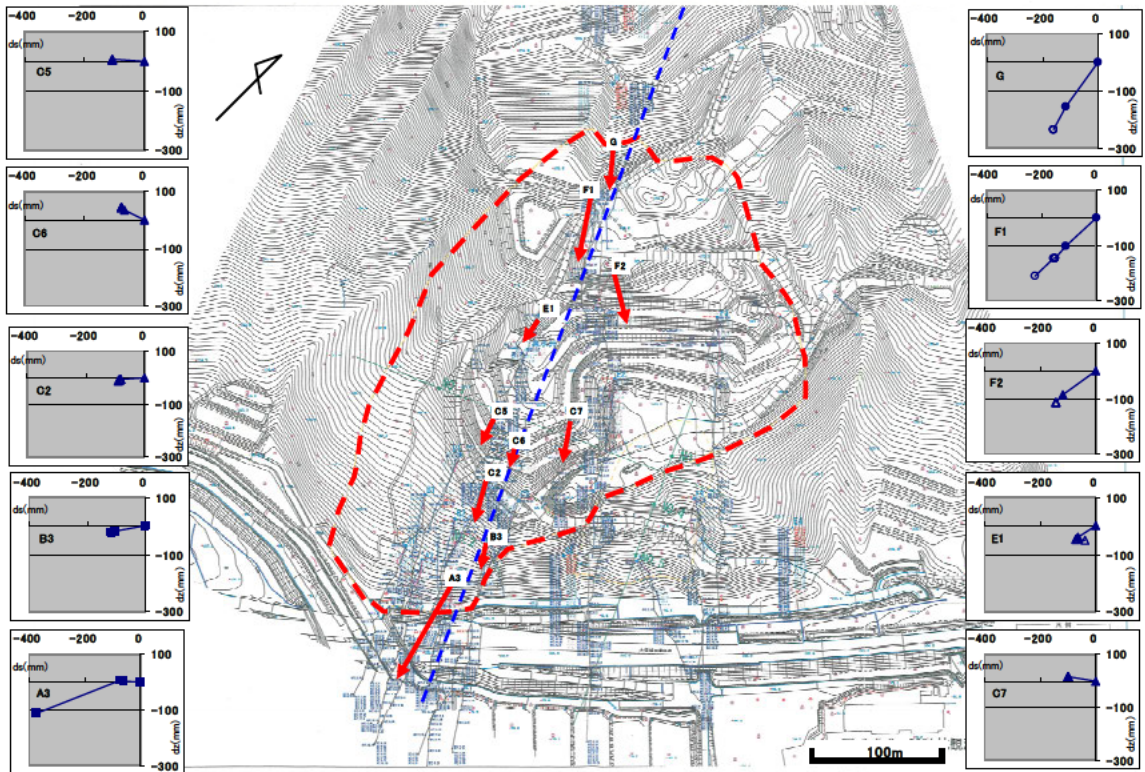


図 3.18 計測地点と地すべりブロック(2) 北ノ入

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。

表3.2 現状の問題点とその検討方針・内容

問題点		検討方針・内容
項目	内容	
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
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
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
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
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
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

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、どのような条件であれば、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

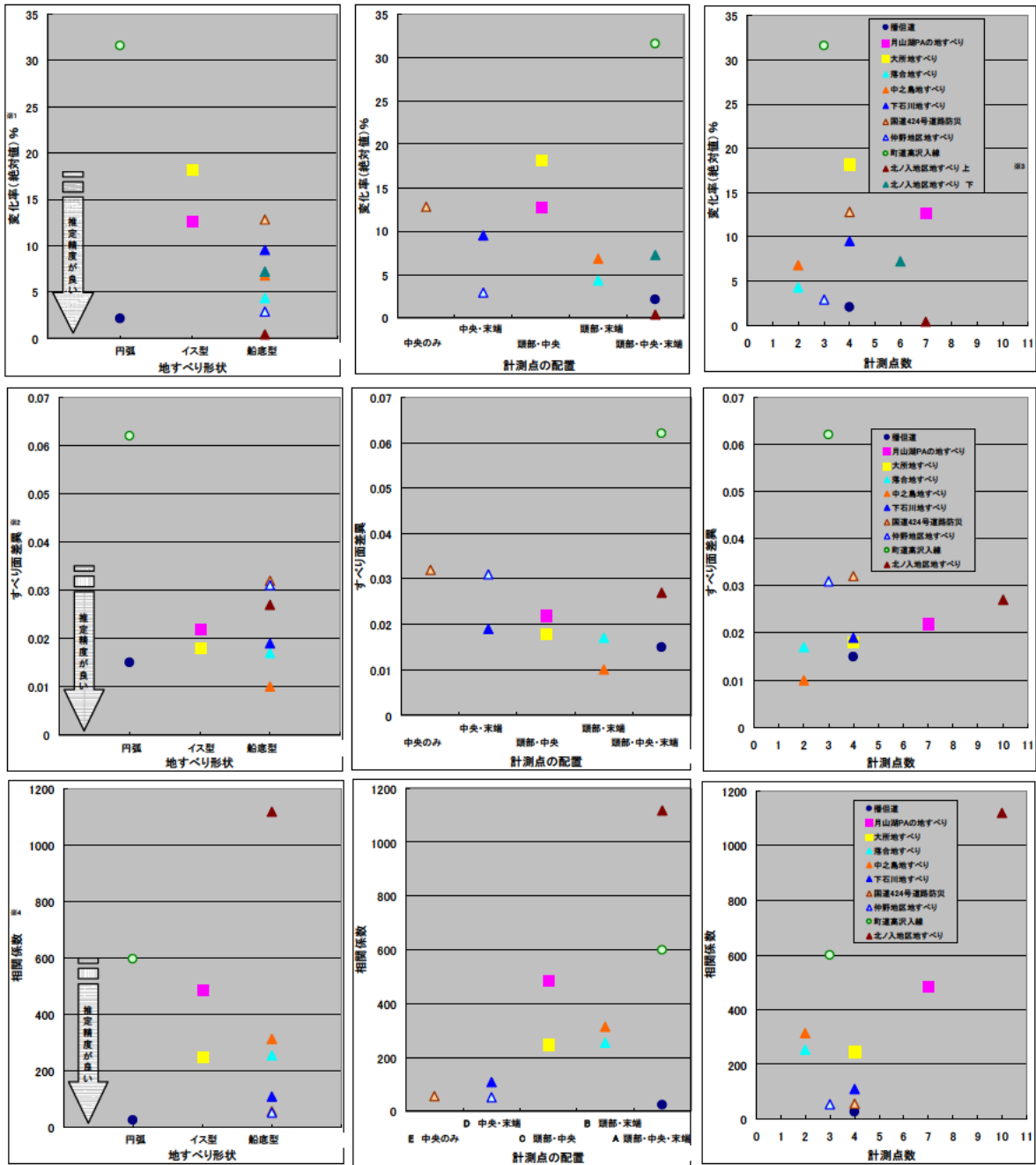
これらの比較の結果、現状のプログラムは計測点配置によりすべり線の推定精度が異なること分かった。精度良くすべり線を推定できる順番は以下のとおりでである。

- 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。



※1 変化率 = (1-安全率)×100
 安全率: 事例すべり面の斜面安全率を1.0として、推定すべり面で安定解析を実施した斜面安全率
 ※2 すべり面差: 地すべりブロックの長さを30等分し、区分点におけるすべり面の差(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)で除したものの差
 ※3 北ノ入地区の変化率は上・下に分けて表示
 ※4 相関係数 = (1-相関係数)×10000

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。

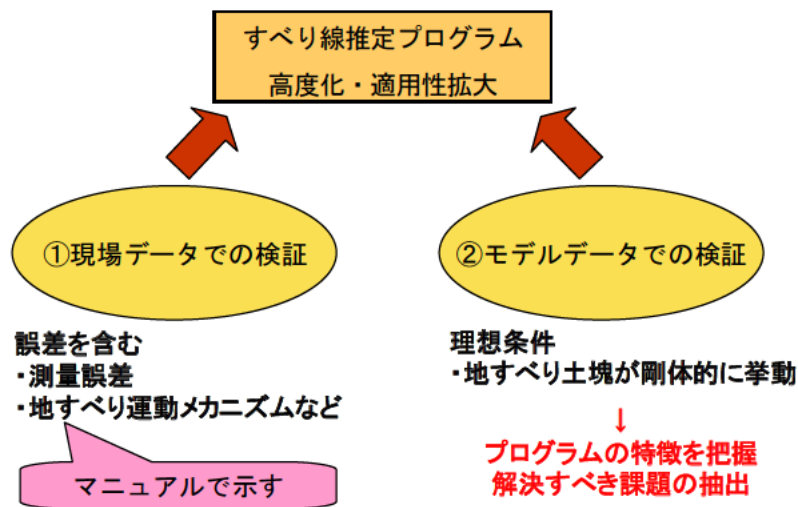


図 3.20 FEM 解析モデルで検証を行う意義

(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。

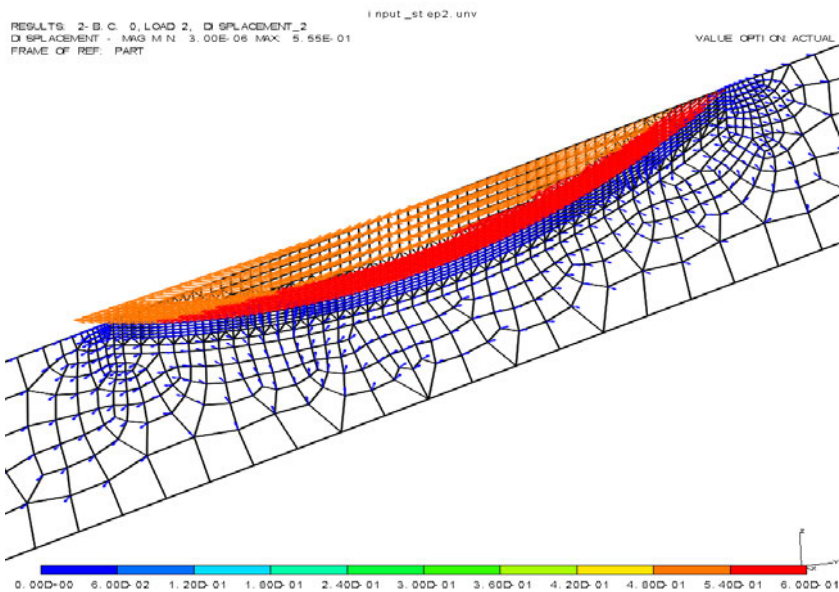
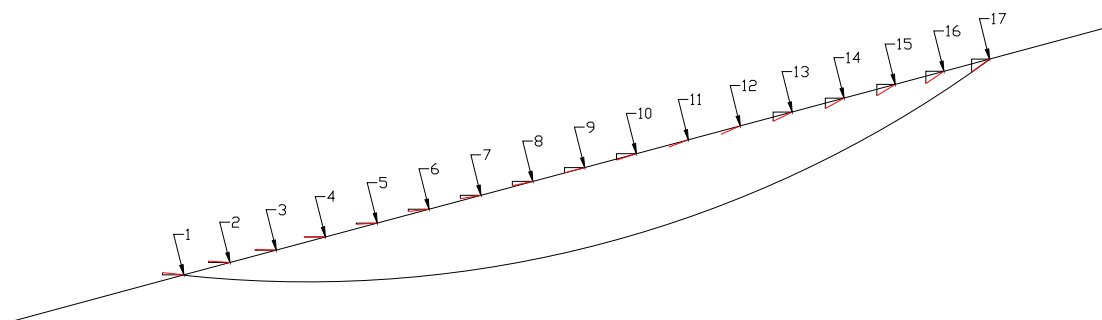


図 3.21 検討に用いた円弧型すべりの FEM 解析モデル



	X	Y
1	-5.286	0.533
2	-5.277	0.357
3	-5.260	0.155
4	-5.233	-0.071
5	-5.195	-0.313
6	-5.148	-0.564
7	-5.097	-0.817
8	-5.042	-1.070
9	-4.983	-1.322
10	-4.920	-1.575
11	-4.853	-1.827
12	-4.783	-2.078
13	-4.712	-2.328
14	-4.641	-2.568
15	-4.566	-2.802
16	-4.498	-3.026
17	-4.443	-3.207

※値はFEM解析値×10

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)

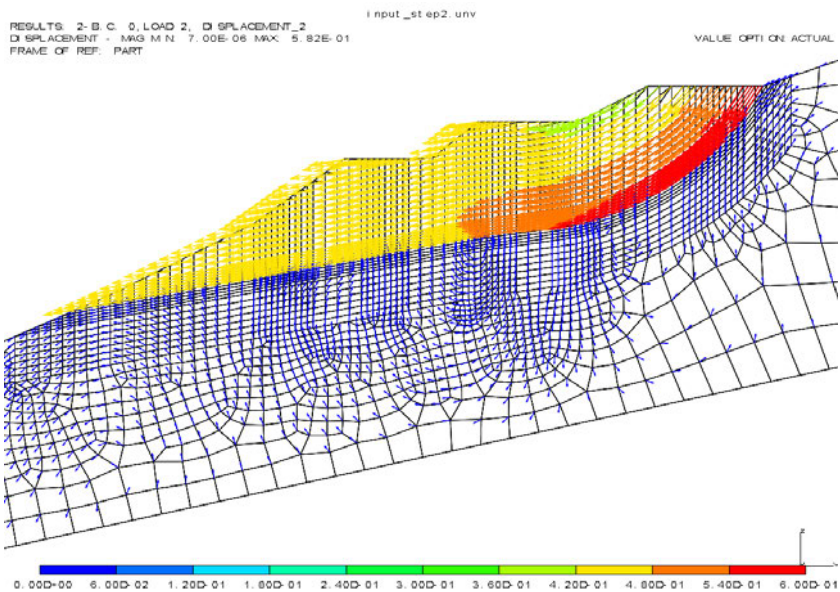
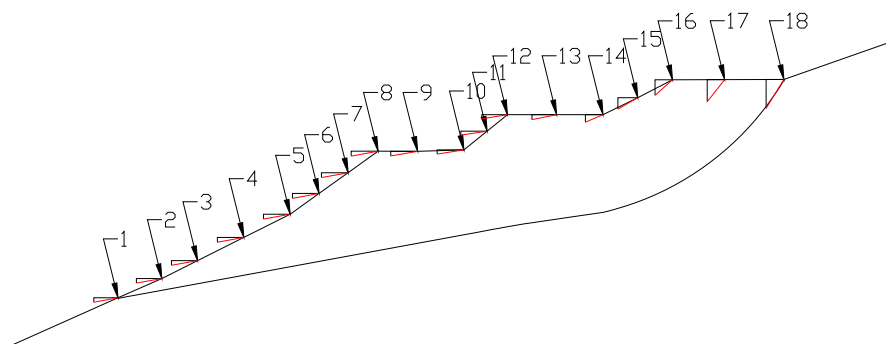


図 3.23 検討に用いた椅子型すべりの FEM 解析モデル



	X	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

※値はFEM解析値×10

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面境界点であり、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。

表 3.3 推定ケース

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 3.4 ケース名の意味（例：Case1-17-1-A）

項	Case1	17	1	A
意味	解析シリーズ	すべり線推定に使用する地表面変位ベクトルの数	左記項内における通し番号	地表面変位ベクトルの配置パターン
種類	3種類 上記表を参照	1～18	—	A：均等配置 B：偏り配置 C：ベクトル1つ

表 3.5 円弧型すべり (Case1 シリーズ) の推定ケース一覧

ケース名	計測 点数	割合(%)			下部エリア						中腹エリア					上部エリア					備考	
		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
Case1-17-1-A	17	35	29	35	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Case1-9-1-A	9	33	33	33	○		○		○		○		○		○		○		○		○	
Case1-8-1-A	8	38	25	38		○		○		○		○		○		○		○		○		
Case1-8-2-B	8	25	50	25	○			○				○		○		○		○				○
Case1-7-1-B	7	57	14	29	○	○	○	○				○			○						○	
Case1-7-2-B	7	29	43	29	○			○		○		○		○		○						○
Case1-7-3-B	7	29	14	57		○				○				○			○	○	○	○		
Case1-6-1-A	6	33	33	33				○			○		○		○		○		○		○	
Case1-6-2-A	6	33	33	33		○			○			○			○		○				○	
Case1-6-3-B	6	50	17	33	○		○		○		○			○		○				○		
Case1-6-4-B	6	33	17	50		○			○				○			○		○				○
Case1-5-1-A	5	40	20	40	○				○			○			○							○
Case1-5-2-B	5	40	60	0					○	○	○	○	○									
Case1-4-1-A	4	50	25	25		○				○			○			○						
Case1-4-2-A	4	25	50	25			○				○			○			○			○		
Case1-4-3-A	4	25	25	50				○			○				○						○	
Case1-4-4-B	4	50	50	0					○	○	○											
Case1-3-1-B	3	67	0	33	○		○															○
Case1-3-2-B	3	67	0	33	○				○													○
Case1-3-3-B	3	33	33	33	○						○											○
Case1-3-4-B	3	33	33	33	○							○										○
Case1-3-5-B	3	33	33	33	○								○									○
Case1-3-6-B	3	33	0	67	○										○							○
Case1-3-7-B	3	33	0	67	○												○					○
Case1-3-8-B	3	67	0	33		○		○														○
Case1-3-9-B	3	67	0	33		○			○													○
Case1-3-10-B	3	33	33	33		○					○											○
Case1-3-11-B	3	33	33	33		○							○									○
Case1-3-12-B	3	33	0	67		○									○							○
Case1-3-13-B	3	33	0	67		○											○					○
Case1-3-14-B	3	33	67	0						○	○	○										
Case1-2-1-B	2	50	0	50			○											○				
Case1-2-2-B	2	50	0	50			○									○						
Case1-2-3-B	2	50	50	0			○						○									
Case1-2-4-B	2	50	50	0			○					○										
Case1-2-5-B	2	50	0	50				○										○				
Case1-2-6-B	2	0	50	50						○								○				
Case1-2-7-B	2	0	50	50								○						○				
Case1-2-8-B	2	50	50	0					○	○												
Case1-1-1-C	1	100	0	0	○																	*
Case1-1-2-C	1	100	0	0			○															*
Case1-1-3-C	1	100	0	0				○														*
Case1-1-4-C	1	0	100	0						○												*
Case1-1-5-C	1	0	100	0								○										*
Case1-1-6-C	1	0	100	0									○									*
Case1-1-7-C	1	0	0	100											○							*
Case1-1-8-C	1	0	0	100													○					*
Case1-1-9-C	1	0	0	100																	○	*

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

ケース名	計測 点数	割合 (%)			下部エリア					中腹エリア					上部エリア					備考			
		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
Case3-18-1-A	18	33	33	33	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Case3-15-1-B	15	40	40	20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Case3-9-1-A	9	33	33	33	○		○		○		○		○		○		○		○		○		
Case3-9-2-A	9	33	33	33		○		○		○		○		○		○		○		○		○	
Case3-6-1-A	6	33	33	33	○		○		○		○		○		○		○		○		○		
Case3-6-2-A	6	33	33	33		○		○		○		○		○		○		○		○		○	
Case3-5-1-A	5	40	20	40	○				○				○				○				○		
Case3-5-2-A	5	40	20	40		○				○			○				○				○		
Case3-5-3-B	5	60	20	20	○		○		○			○											○
Case3-5-4-B	5	20	60	20	○						○		○		○								○
Case3-5-5-B	5	20	20	60	○						○					○		○					○
Case3-4-1-A	4	50	25	25	○					○				○				○					○
Case3-4-2-A	4	25	25	50			○				○					○							○
Case3-4-3-A	4	25	25	50	○					○						○							○
Case3-4-4-A	4	50	25	25	○					○					○								○
Case3-4-5-B	4	0	50	50						○	○					○		○					
Case3-3-1-A	3	33	33	33	○							○											○
Case3-3-2-A	3	33	33	33	○								○										○
Case3-3-3-B	3	33	67	0						○	○	○											
Case3-3-4-B	3	0	33	67						○								○	○				
Case3-3-5-B	3	0	33	67						○							○		○				
Case3-2-17-B	2	0	100	0						○	○												
Case3-2-18-B	2	0	0	100												○		○					

(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 $\alpha=0.0$ 、 $\beta=0.1$ 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。

$$\text{相関係数} = (1 - \text{数学的相関係数}) \times 10,000 \quad \dots \text{式 (3.1)}$$

※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。

$$\text{Y 軸標高差指数} = |\text{FEM すべり線の Y 座標} - \text{推定すべり線の Y 座標}| \text{の平均値} \quad \dots \text{式 (3.2)}$$

※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。

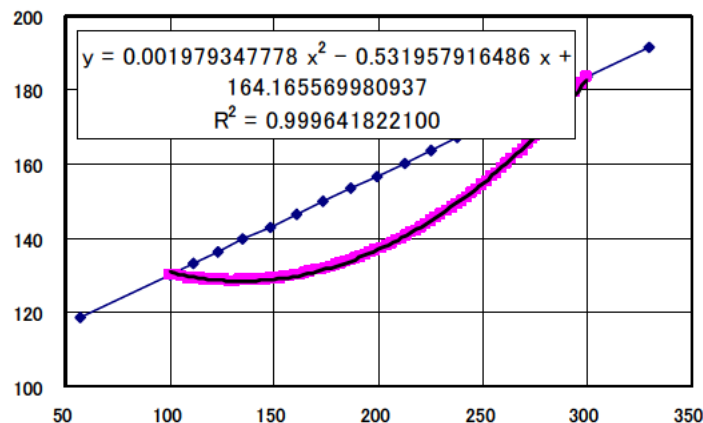


図 3.25 円弧型すべりのすべり線形状を表す数式

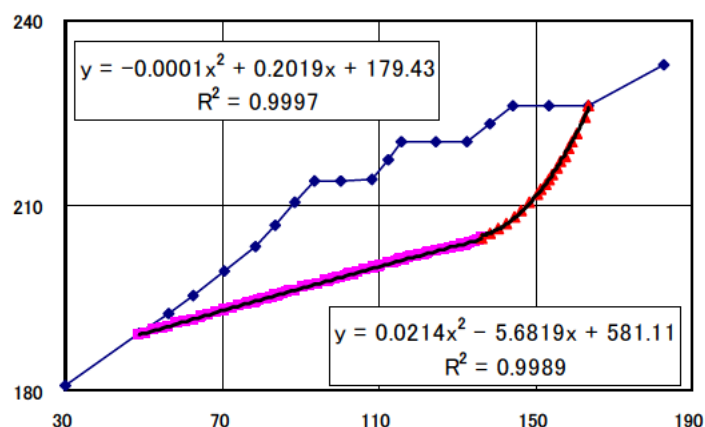


図 3.26 椅子型すべりのすべり線形状を表す数式

(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 つの状態でも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。

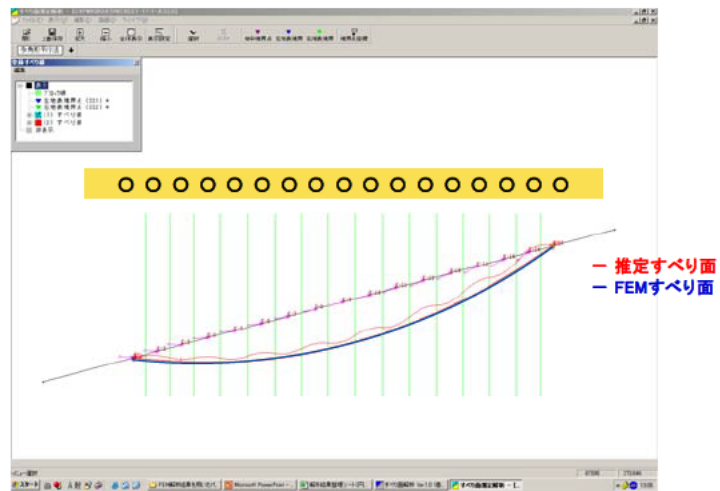


図 3.27 Case1-17-1-A の推定結果（使用ベクトル数：17（密））

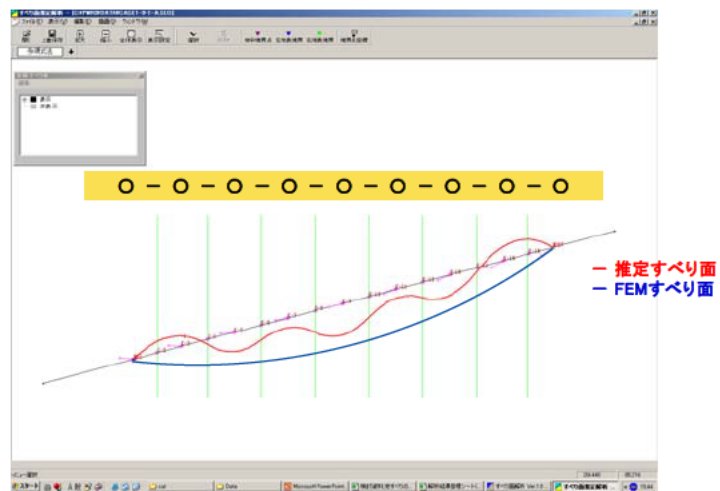


図 3.28 Case1-9-1-A の推定結果（使用ベクトル数：9（中庸））

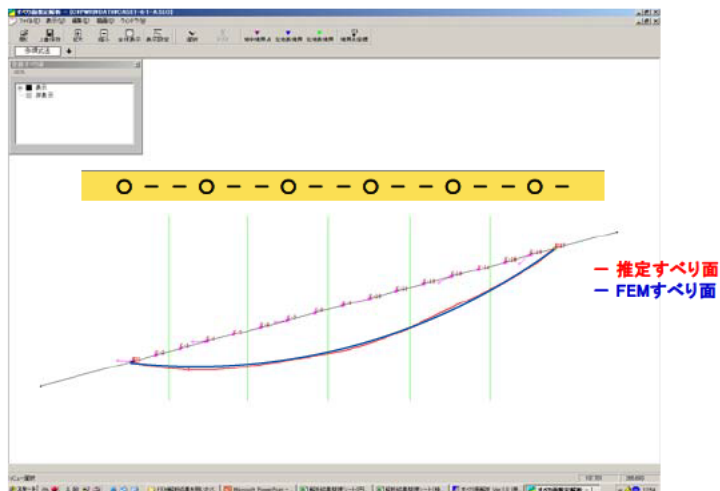


図 3.29 Case1-6-1-A の推定結果（使用ベクトル数：6（中庸））

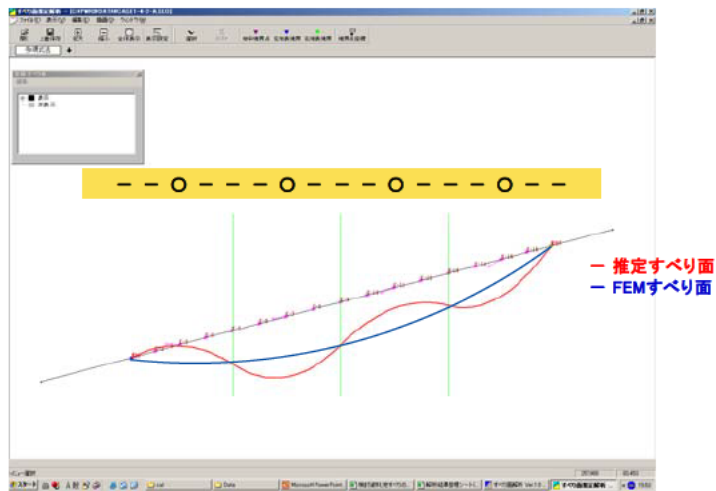


図 3.30 Case1-4-2-Aの推定結果（使用ベクトル数：4（粗））

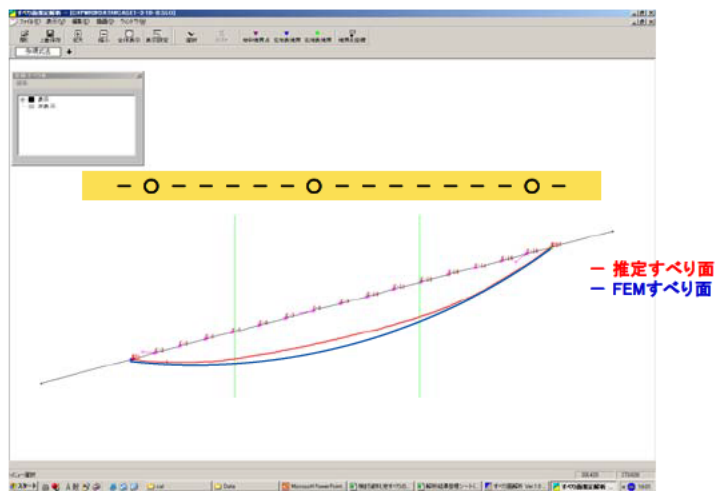


図 3.31 Case1-3-10-Bの推定結果（使用ベクトル数：3（粗））

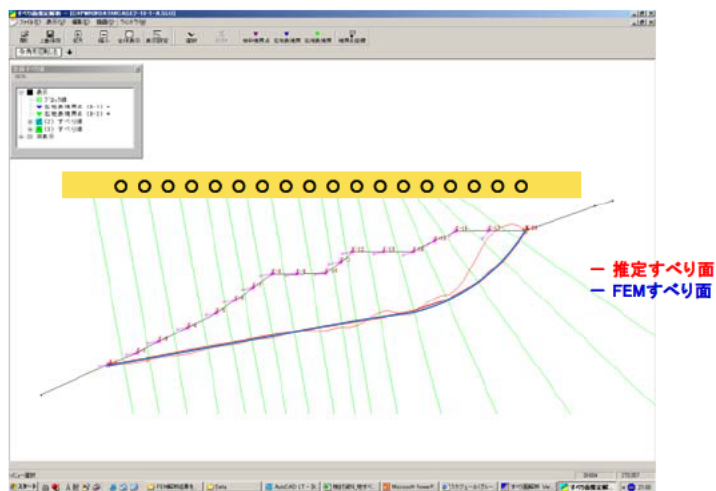


図 3.32 Case2-18-1-Aの推定結果（使用ベクトル数：18（密））

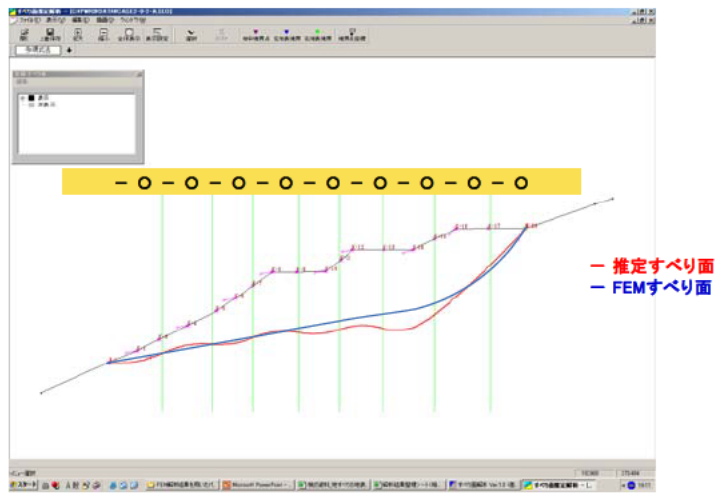


図 3.33 Case2-9-2-A の推定結果（使用ベクトル数：9（中庸））

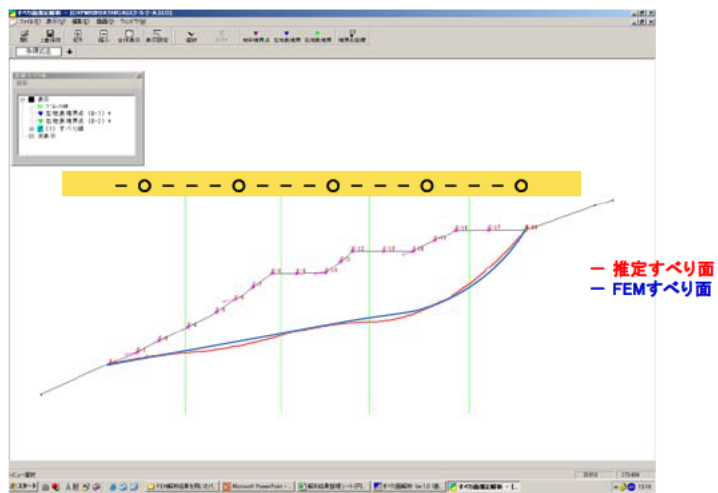


図 3.34 Case2-5-1-A の推定結果（使用ベクトル数：5（粗））

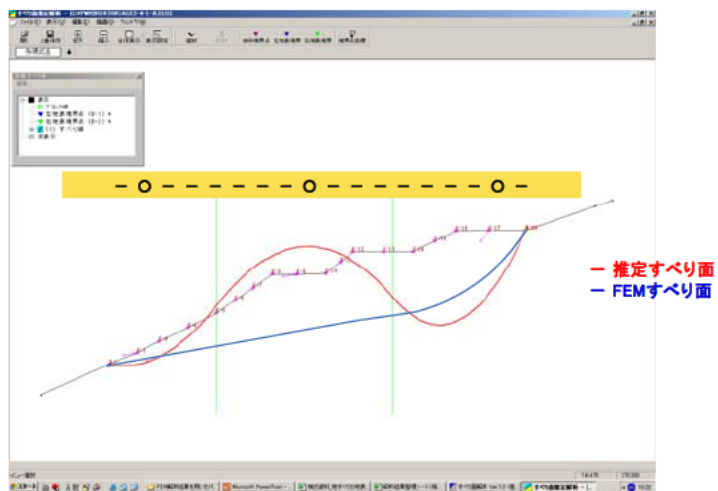


図 3.35 Case2-3-6-B の推定結果（使用ベクトル数：3（粗））

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られる。

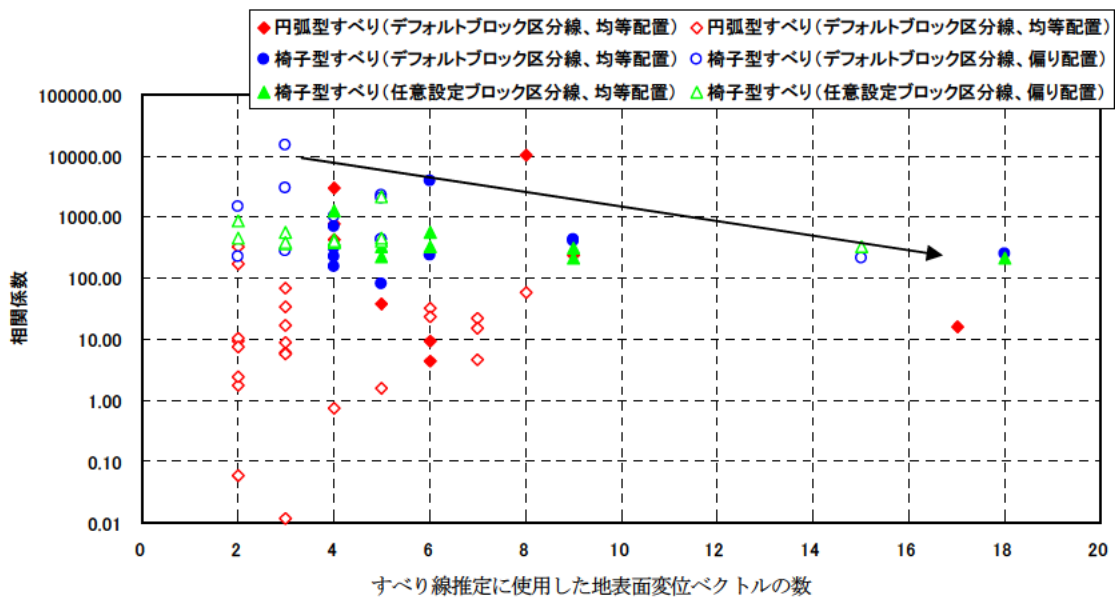


図 3.36 推定すべり線と FEM すべり線の比較 (相関係数)

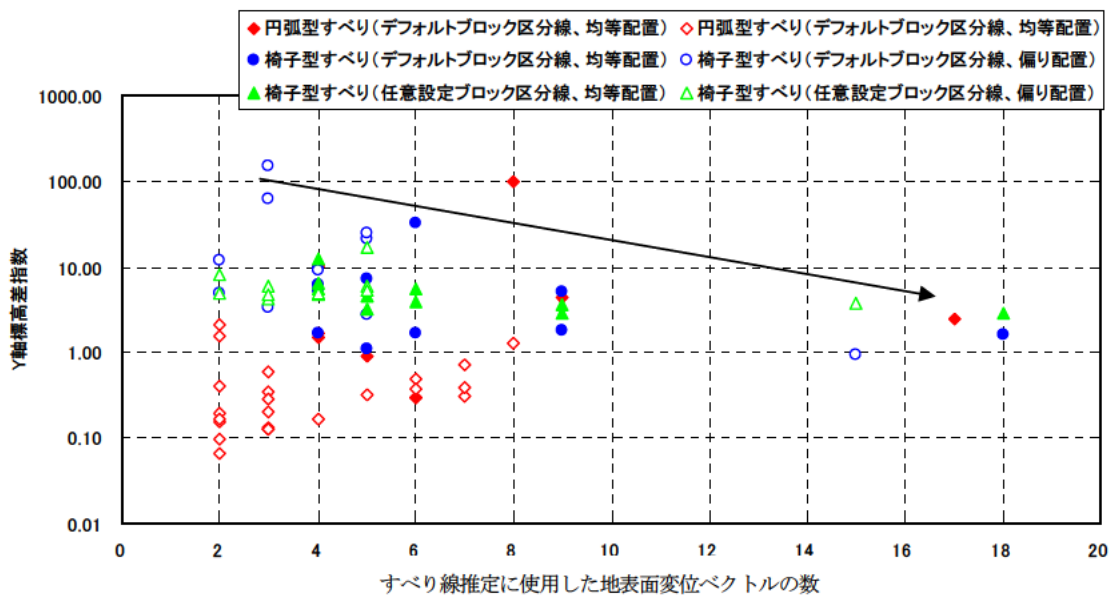


図 3.37 推定すべり線と FEM すべり線の比較 (Y 軸標高差指数)

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悪くなったケース、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

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。

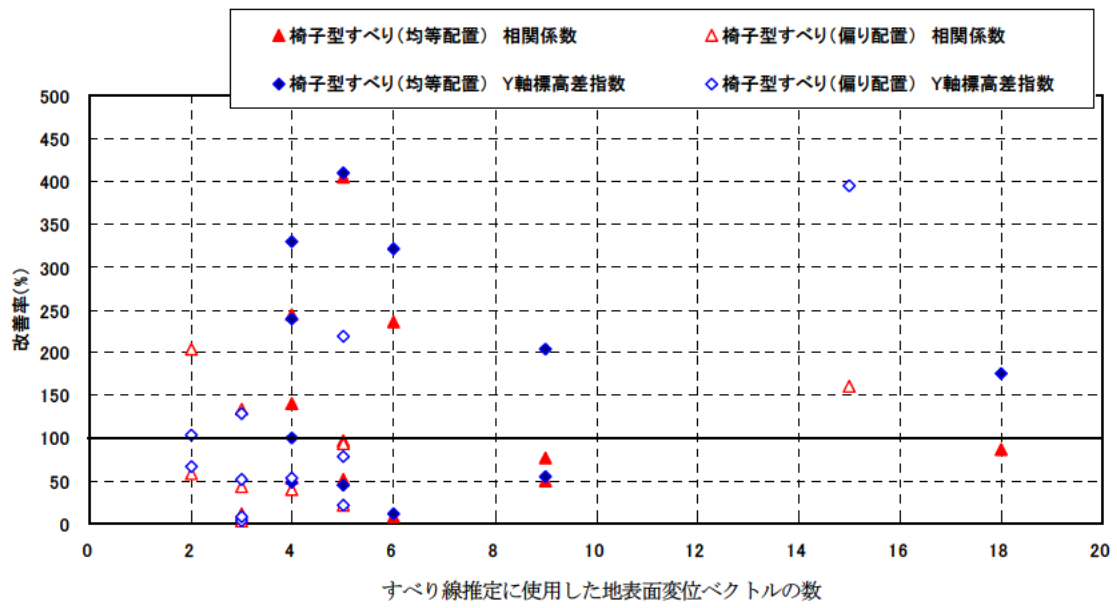
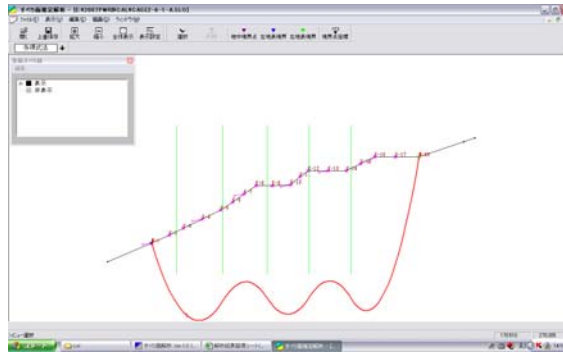
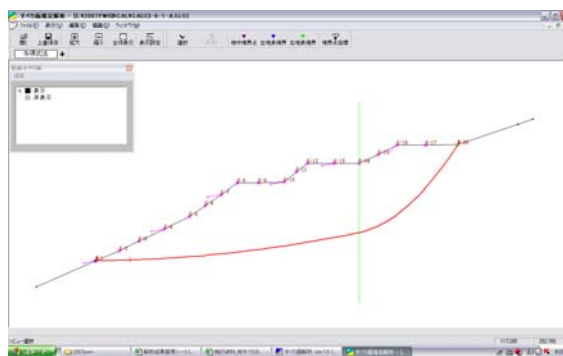


図 3.38 ブロック区分線の任意設定によるすべり線推定精度の変化

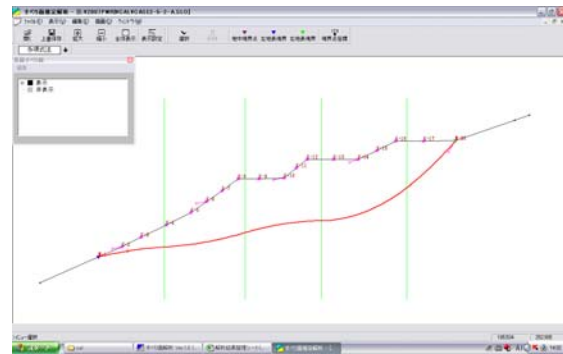


a) デフォルトブロック区分線 (Case2-6-1-A (相関係数 3,988.8, Y 軸標高差指数 32.1))

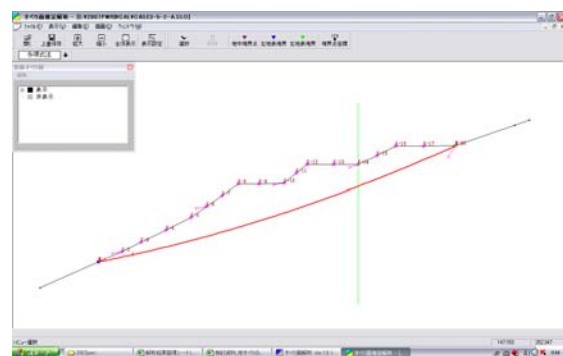


b) 任意設定ブロック線 (Case3-6-1-A (相関係数 328.2, Y 軸標高差指数 3.95))

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。

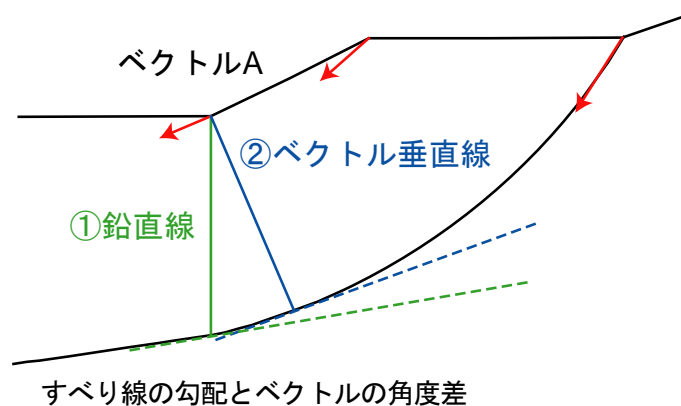


図 3.41 椅子型すべりにおける地表面変位ベクトルとすべり線の勾配の関係

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に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。

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。

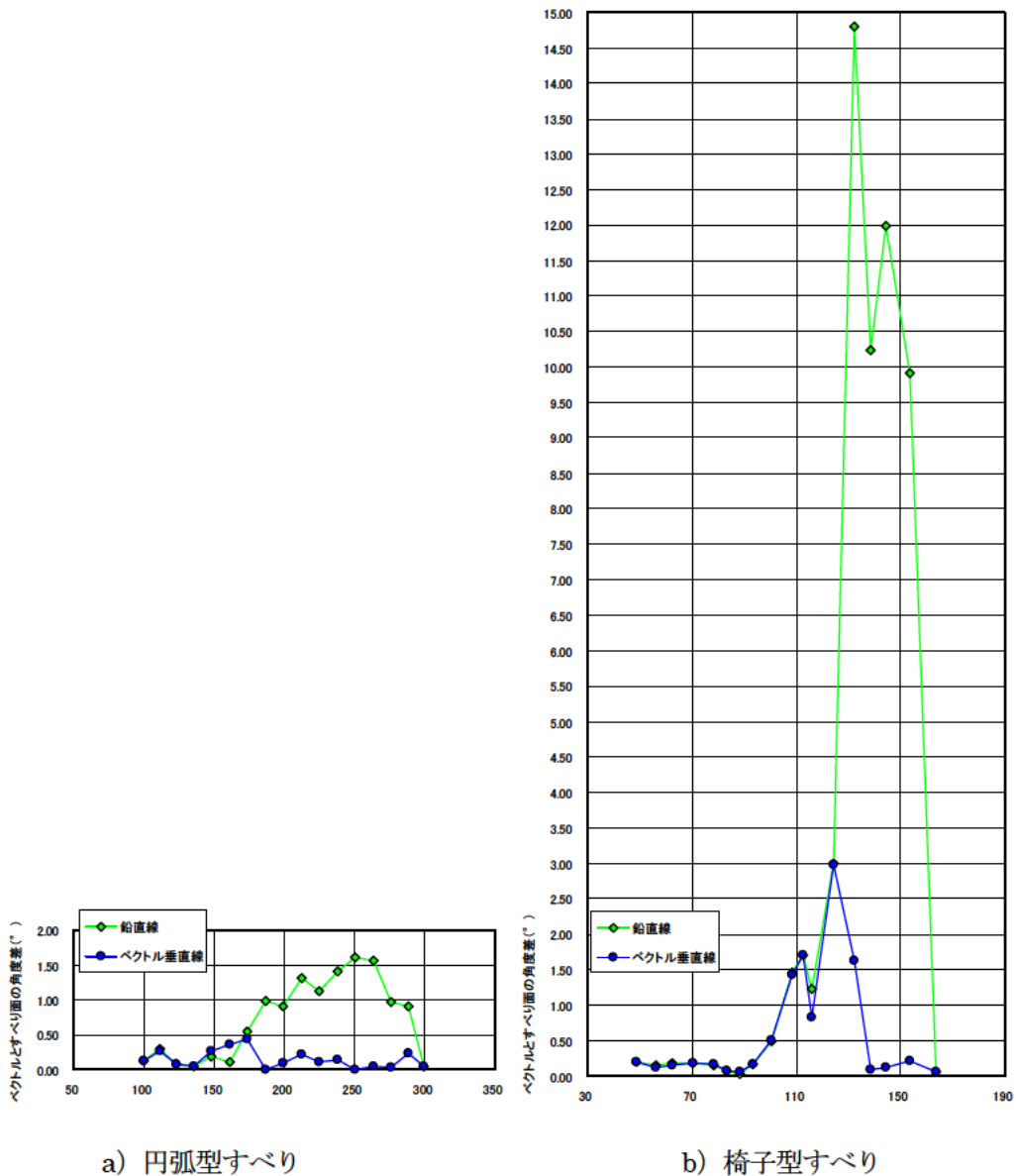


図 3.42 ベクトルの方向とすべり線勾配の差

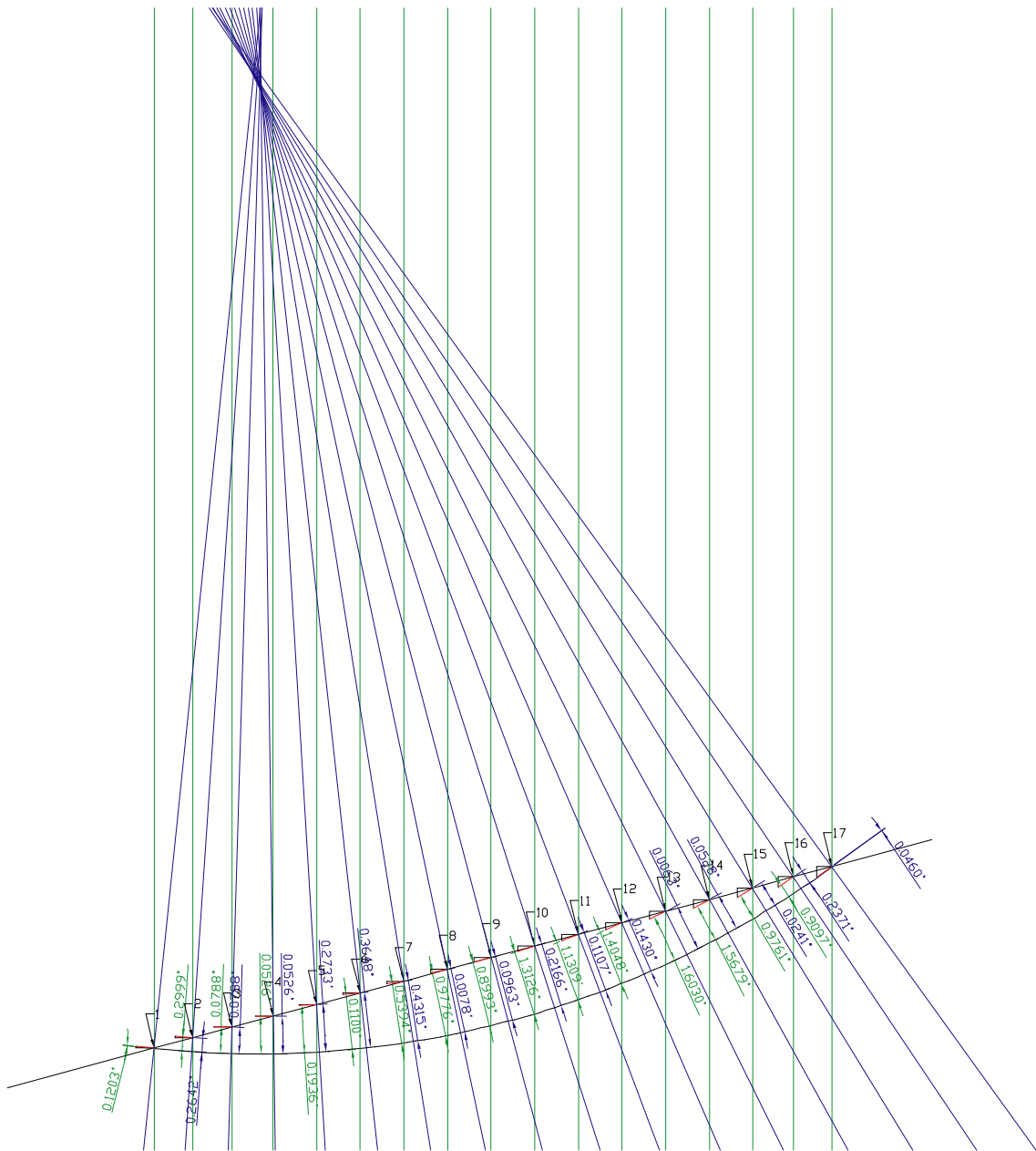


図 3.43 円弧すべりにおける鉛直線とベクトル垂直線

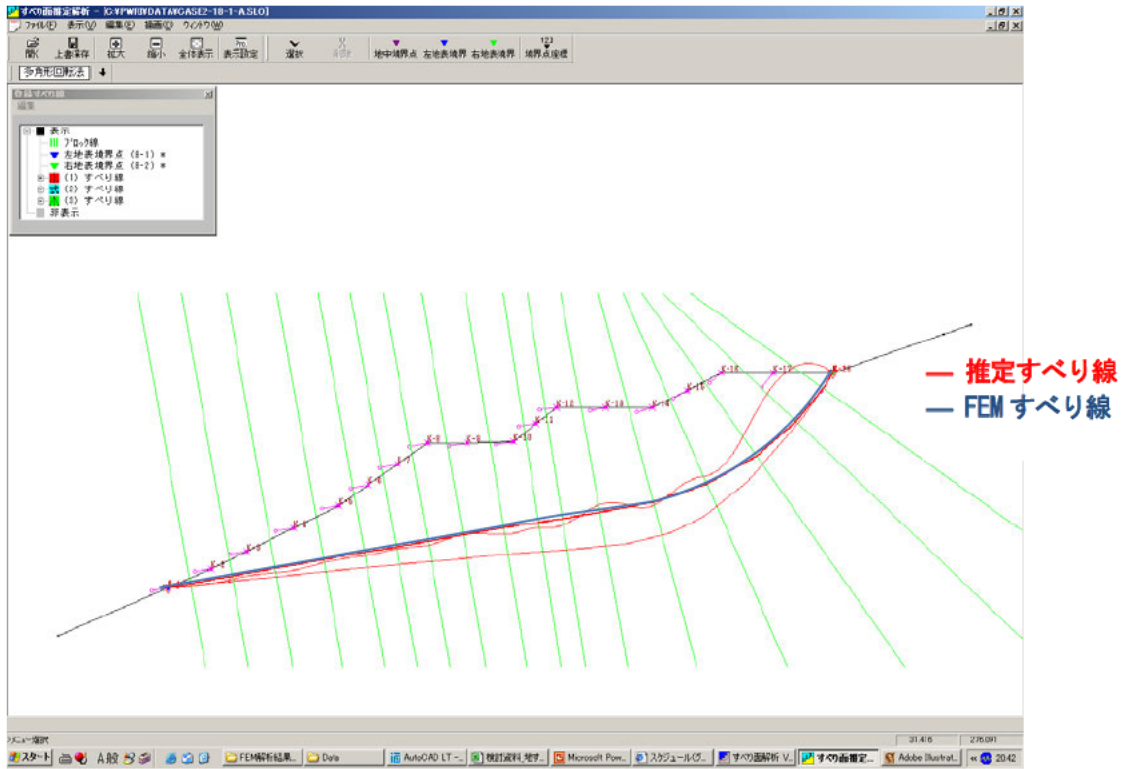


図 3.44 多角形回転法によるすべり線推定

(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。

表3.11 詳細検討の項目と結果の一覧表

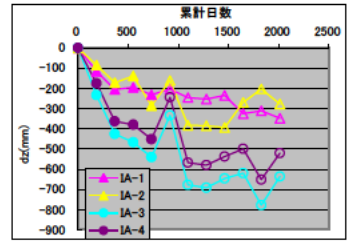
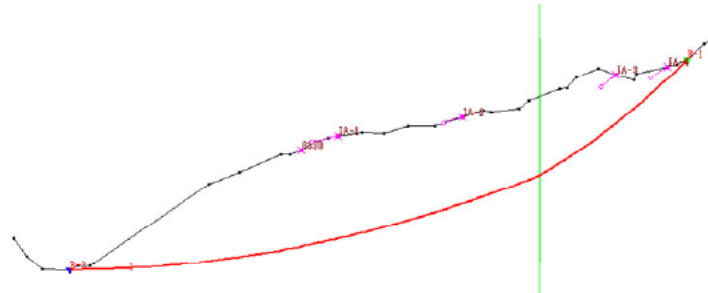
番号	問題点	対応・検討内容	検討結果	検討資料
1	理想的な地表面変位ベクトルを用いた場合でも、推定すべり線がうねり、理想的なすべり線を推定しない。	1. うねりの原因に関する検討 ①プログラム開発者による、うねりの原因の検討 ②アルゴリズムの改良(仮称:回転複合多項式法)の検討 ③ α 値、 β 値の設定方法の検討	1. うねりの原因に関する検討 ・開発者を含めたうねりの原因に関する検討会を2007年11月8日に開催した。 ・理想的な地表面変位ベクトルを用いた場合、デフォルト値の α と β で解析した時に、ある程度の精度ですべり線を推定できることが求められる。 ・プログラムの改良時期を早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 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 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 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 円弧モデル解析の例 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 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 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	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 ・初期すべりの(的)な地表面変位ベ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ベクトルを用いた場合、やや浅いすべり面が推定される。 ・滑落後の地表面変位ベクトルでは良好なすべり線を推定することができない。 円弧モデル解析の例 ・初期すべりの(的)な地表面変位ベ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ベクトルを用いた場合、やや浅いすべり面が推定される。 2つの例から ・解析に使用する地表面変位ベクトル(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 椅子型(大所)の例 図3.37 計測時期と計測期間に関する検討 円弧モデル解析の例
3	同じ斜面を用いた場合でも、ベクトル量が異なると、推定されるすべり線形状が異なる。	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) 権路検討 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 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) ・ベクトルが長い場合、推定すべり線がやや浅くなる。 ・ベクトルが非常に短い場合、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。 ・斜面長に対して、小さなベクトルが得られた場合、ベクトルを長く(拡大)すると精度良くすべり線を推定できる。 ・斜面長に対して、大きなベクトルが得られた場合、ベクトルを短く(縮小)すると精度良くすべり線を推定できる。 ・現在のプログラムの場合、ベクトル量と斜面長の適切な比率(ベクトル量/斜面長)は、概ね0.5%程度である。 補足: 小さなベクトルを与えた時に、推定すべり線が非常に深くなる原因は、連立方程式を解く過程での桁落ちが原因(アルゴリズム)に関する検討会 議事録 参照	図3.38 モデルの大きさとベクトル量に関する権路検討 図3.39 モデルの大きさとベクトル量に関する詳細検討
4	ブ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椅子型モデルの例 ・Case1-1 ブロック区分線2本(デフォルト) ・Case1-2 ブロック区分線右1本 ・Case1-3 ブロック区分線左1本 ・Case1-4 ブロック区分線なし ②円弧型(権路)の例 ・Case2-1 ブロック区分線3本(デフォルト) ・Case2-2 ブロック区分線外側1本ずつ(合計2本) ・Case2-3 ブロック区分線左側2本 ・Case2-4 ブロック区分線右側2本 ・Case2-5 ブロック区分線左1本 ・Case2-6 ブロック区分線中央1本 ・Case2-7 ブロック区分線右1本 ・Case2-8 ブロック区分線なし	4. ブ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(権路)の例) ・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。	図3.40 ブロック区分線の設定位置を変化させた検討
5	右地境界点と左地境界点上に地表面変位ベクトルを用いた検討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. 地境界点に関する検討 ①Case3-5-2-A(椅子型モデル)を用いた検討 ・計測点上にある右地境界点を右(外側)に移動 ②Case3-5-4-B(椅子型モデル)を用いた検討 ・計測点上にある右地境界点を右(外側)に移動、計測点上にある左地境界点を左(内側)に移動	5. 地境界点を移動させた検討 ・地境界点を地表面変位ベ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 地境界点上の地表面変位ベクトルに関する検討
6	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ベ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精度が良くなる可能性がある。 ・適切な箇所計測地点を配置する。 ・観測点を面的に配置して、異常値を見だし、それを除去する。 ・小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

※計測地点6330は除外

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

IA-1			IA-2			IA-3			IA-4		
日数	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz	
1995/5/1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1995/11/1	184	-572.00	-116.00	-383.00	-329.00	-234.00	-362.00	-175.00	-580.00	-363.00	
1996/5/1	366	-883.00	-206.00	-629.00	-533.00	-426.00	-694.00	-380.00	-755.00	-452.00	
1996/11/1	550	-1020.00	-195.00	-720.00	-608.00	-467.00	-831.00	-244.00	-877.00	-568.00	
1997/5/1	731	-1153.00	-233.00	-830.00	-686.00	-541.00	-933.00	-580.00	-985.00	-538.00	
1997/11/1	915	-1219.00	-205.00	-871.00	-760.00	-335.00	-1032.00	-499.00	-1105.00	-652.00	
1998/5/1	1096	-1328.00	-246.00	-955.00	-788.00	-678.00	-1158.00	-637.00			
1998/11/1	1280	-1399.00	-253.00	-1011.00	-837.00	-692.00					
1999/5/1	1461	-1364.00	-235.00	-969.00	-915.00	-646.00					
1999/11/1	1645	-1447.00	-325.00	-997.00	-959.00	-620.00					
2000/5/1	1827	-1545.00	-311.00	-1080.00	-1025.00	-780.00					
2000/11/1	2011	-1577.00	-348.00	-1081.00	-1158.00	-637.00					

解析に使用したベクトル



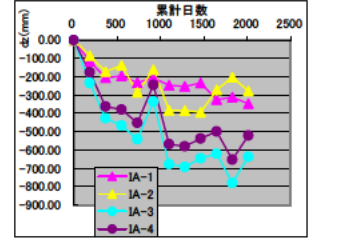
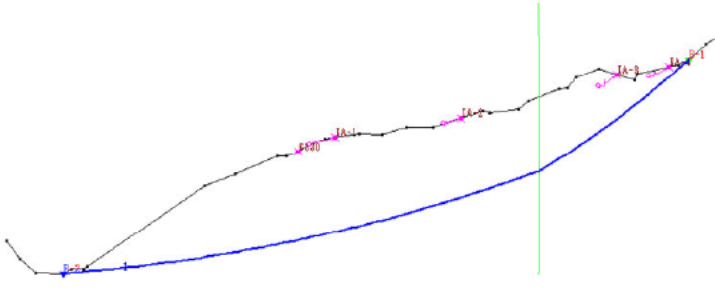
○: 頭部 △: 中部
塗りつぶし: 解析に使用したデータ 白抜き: 除外データ

(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			IA-3			IA-4		
日数	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz	
1995/5/1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1995/11/1	184	-572.00	-116.00	-383.00	-329.00	-234.00	-362.00	-175.00	-580.00	-363.00	
1996/5/1	366	-883.00	-206.00	-629.00	-533.00	-426.00	-694.00	-380.00	-755.00	-452.00	
1996/11/1	550	-1020.00	-195.00	-720.00	-608.00	-467.00	-831.00	-244.00	-877.00	-568.00	
1997/5/1	731	-1153.00	-233.00	-830.00	-686.00	-541.00	-933.00	-580.00	-985.00	-538.00	
1997/11/1	915	-1219.00	-205.00	-871.00	-760.00	-335.00	-1032.00	-499.00	-1105.00	-652.00	
1998/5/1	1096	-1328.00	-246.00	-955.00	-788.00	-678.00	-1158.00	-637.00			
1998/11/1	1280	-1399.00	-253.00	-1011.00	-837.00	-692.00					
1999/5/1	1461	-1364.00	-235.00	-969.00	-915.00	-646.00					
1999/11/1	1645	-1447.00	-325.00	-997.00	-959.00	-620.00					
2000/5/1	1827	-1545.00	-311.00	-1080.00	-1025.00	-780.00					
2000/11/1	2011	-1577.00	-348.00	-1081.00	-1158.00	-637.00					

解析に使用したベクトル



○: 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

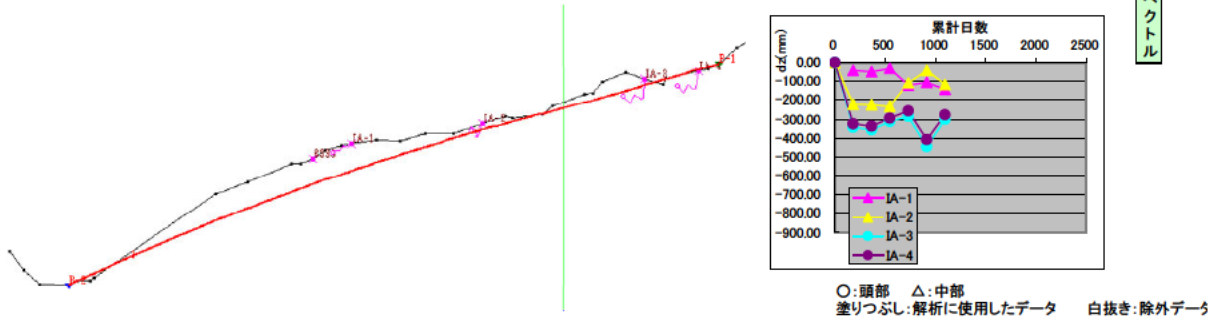
(b) Case2 すべり線推定結果

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

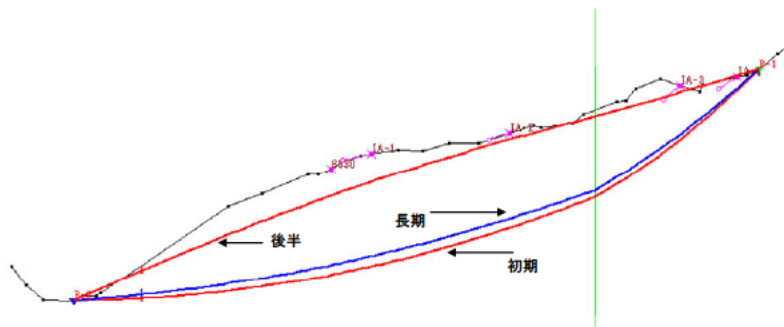
③ 滑落後の地表面変位ベクトルを用いてすべり線を推定

日数	IA-1		IA-2		IA-3		IA-4	
	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz
1997/11/1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1998/5/1	181	-109.00	-84.00	-221.00	-28.00	-343.00	-46.00	-324.00
1998/11/1	365	-180.00	-140.00	-223.00	-77.00	-357.00	-102.00	-336.00
1999/5/1	546	-145.00	-98.00	-232.00	-155.00	-311.00	-154.00	-294.00
1999/11/1	730	-228.00	-126.00	-109.00	-199.00	-285.00	-201.00	-255.00
2000/5/1	912	-326.00	-209.00	-41.00	-265.00	-445.00	-274.00	-408.00
2000/11/1	1096	-358.00	-210.00	-116.00	-398.00	-302.00	-400.00	-277.00

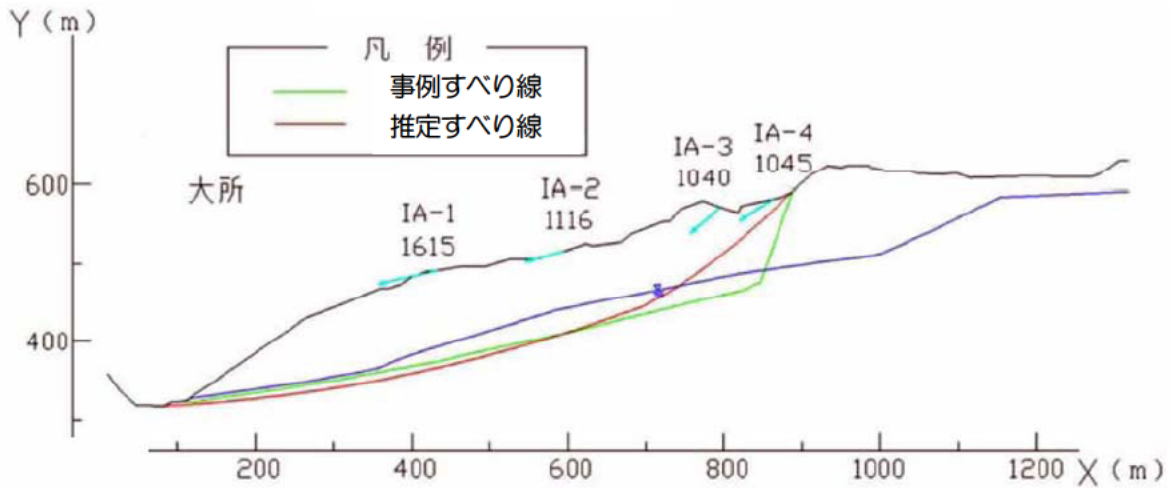
解析に使用したベクトル



(c) Case3 ずべり線推定結果



(d) Case1, 2, 3 の推定ずべり線重ね合わせ図



(e) 事例ずべり線と推定ずべり線

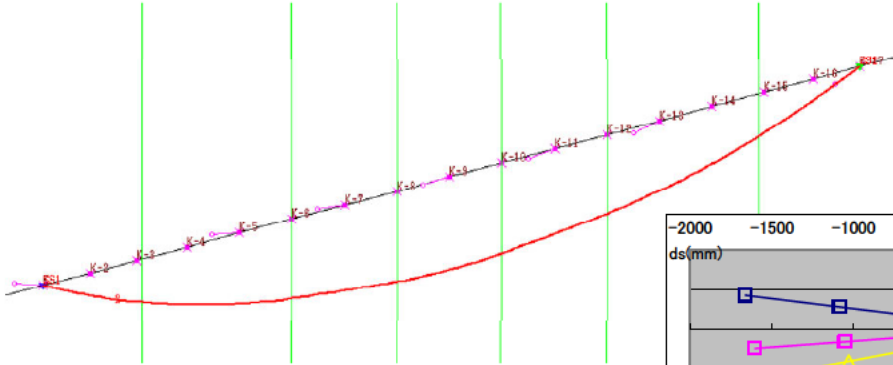
図 3.47 計測時期と計測期間に関する検討(2) 椅子型(大所)の例

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

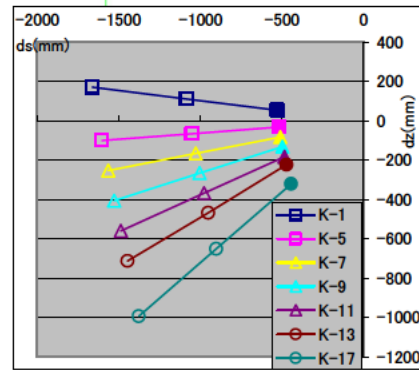
Case1-7-2-b-step1

	K-1		K-5		K-7		K-9		K-11		K-13		K-17	
	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz
1	-529	53	-519	-31	-510	-82	-498	-132	-485	-183	-471	-223	-444	-321
2	-1085	111	-1052	-65	-1029	-166	-1004	-267	-978	-368	-951	-468	-903	-652
3	-1661	170	-1602	-100	-1565	-253	-1527	-406	-1487	-559	-1447	-712	-1376	-993

解析に使用したベクトル



(a) Step1 すべり線推定結果



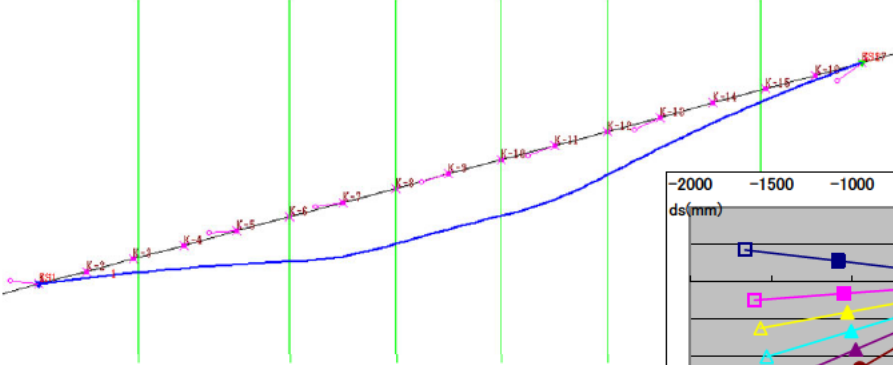
○:頭部 △:中部 □:下部
塗りつぶし:解析に使用したデータ 白抜き:除外データ

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

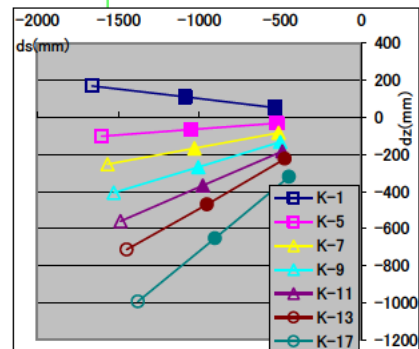
Case1-7-2-b-step2

	K-1		K-5		K-7		K-9		K-11		K-13		K-17	
	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz
1	-529	53	-519	-31	-510	-82	-498	-132	-485	-183	-471	-223	-444	-321
2	-1085	111	-1052	-65	-1029	-166	-1004	-267	-978	-368	-951	-468	-903	-652
3	-1661	170	-1602	-100	-1565	-253	-1527	-406	-1487	-559	-1447	-712	-1376	-993

解析に使用したベクトル



(b) Step2 すべり線推定結果



○:頭部 △:中部 □:下部
塗りつぶし:解析に使用したデータ 白抜き:除外データ

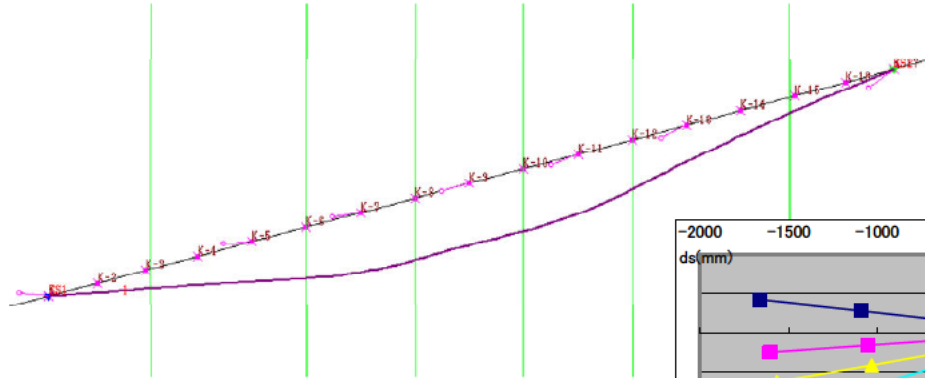
図 3.47 計測時期と計測期間に関する検討(1) 円弧モデル解析の例

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

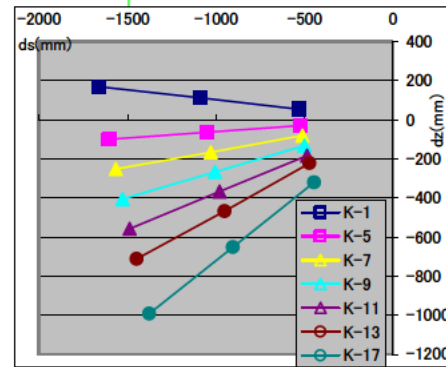
Case1-7-2-b-step3

	K-1		K-5		K-7		K-9		K-11		K-13		K-17	
	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz	ds	dz
1	-529	53	-519	-31	-510	-82	-498	-132	-485	-183	-471	-223	-444	-321
2	-1085	111	-1052	-65	-1029	-166	-1004	-267	-978	-368	-951	-468	-903	-652
3	-1661	170	-1602	-100	-1565	-253	-1527	-406	-1487	-559	-1447	-712	-1376	-993

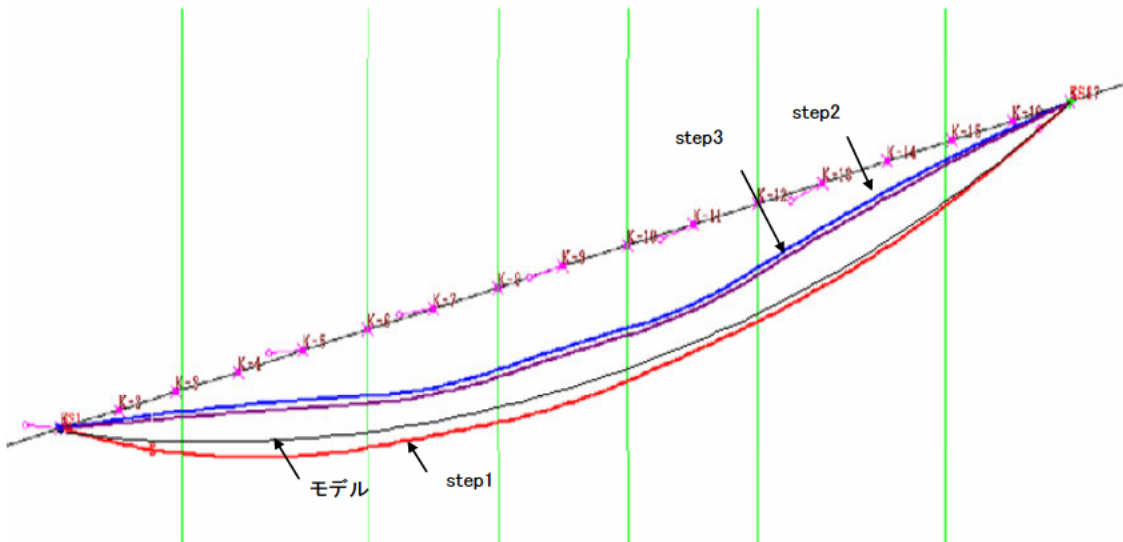
解析に使用したベクトル



(c) Step3 すべり線推定結果



○:頭部 △:中部 □:下部
塗りつぶし:解析に使用したデータ 白抜き:除外データ



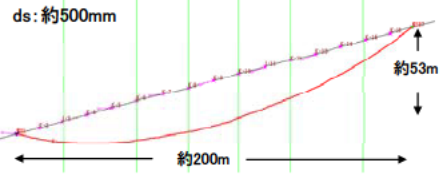
(d) Step1. 2. 3 の推定すべり線とモデルすべり線の重ね合わせ図

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

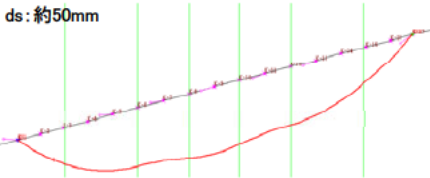
(case1-7-2-b)

Case1 解析条件		ファイル
地形	1/1	case1-17-1-a.sec
ベクトル	1/1	case1-17-1-a.dis
ブロック線産權	123.988	case1-7-2-b.slo
	160.822	
	186.529	
	212.243	
	237.970	
	275.300	
β	0.1	
		case1-7-2-b.slf
		case1-7-2-b.log



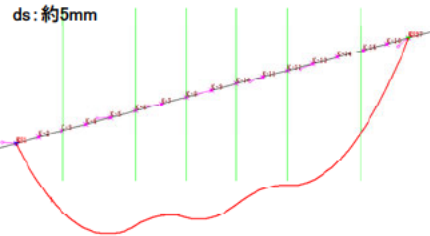
case1 すべり線推定結果

Case2 解析条件		ファイル
地形	1/1	case1-17-1-a.sec
ベクトル	1/10	case1-17-1-a.dis1-10.dis
ブロック線産權	123.988	case1-7-2-b.dis1-10.slo
	160.822	
	186.529	
	212.243	
	237.970	
	275.300	
β	0.1	
		case1-7-2-b.dis1-10.slf
		case1-7-2-b.dis1-10.log



case2 すべり線推定結果

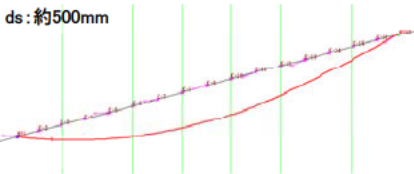
Case3 解析条件		ファイル
地形	1/1	case1-17-1-a.sec
ベクトル	1/100	case1-17-1-a.dis1-100.dis
ブロック線産權	123.988	case1-7-2-b.dis1-100.slo
	160.822	
	186.529	
	212.243	
	237.970	
	275.300	
β	0.1	
		case1-7-2-b.dis1-100.slf
		case1-7-2-b.dis1-100.log



case3 すべり線推定結果

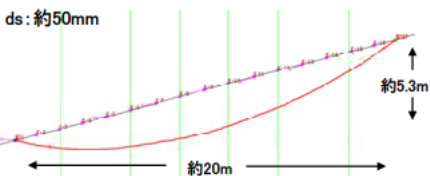
②斜面長を1/10に縮小し、ベクトル量を1/1、1/10、1/100に変更してすべり線を推定し検討
地形を1/10にした場合

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
ブロック線産權	12.399	case172b-s1-10_d1-1.slo
	16.082	
	18.653	
	21.224	
	23.797	
	27.530	
β	0.1	
		case172b-s1-10_d1-1.slf
		case172b-s1-10_d1-1.log



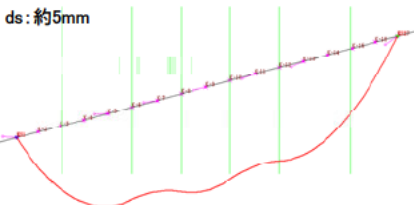
case4 すべり線推定結果

Case5 解析条件		ファイル
地形	1/10	case1-17-1-a.sec1-10.sec
ベクトル	1/10	case1-17-1-a.dis1-10.dis
ブロック線産權	12.399	case172b-s1-10_d1-10.slo
	16.082	
	18.653	
	21.224	
	23.797	
	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

Case6 解析条件		ファイル
地形	1/10	case1-17-1-a.sec1-10.sec
ベクトル	1/100	case1-17-1-a.dis1-100.dis
ブロック線産權	12.399	case172b-s1-10_d1-100.slo
	16.082	
	18.653	
	21.224	
	23.797	
	27.530	
β	0.1	
		case172b-s1-10_d1-100.slf
		case172b-s1-10_d1-100.log



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

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)

		斜面長								
		長い			短い					
		8	4	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$	
ベクトル量		1600	800	400	200	100	50	25	12.5	m
大きい	8	4000	0.2500	0.5000	1.0000	2.0000	4.0000	8.0000	16.0000	32.0000
	4	2000	0.1250	0.2500	0.5000	1.0000	2.0000	4.0000	8.0000	16.0000
	2	1000	0.0625	0.1250	0.2500	0.5000	1.0000	2.0000	4.0000	8.0000
	1	500	0.0313	0.0625	0.1250	0.2500	0.5000	1.0000	2.0000	4.0000
	1/2	250	0.0156	0.0313	0.0625	0.1250	0.2500	0.5000	1.0000	2.0000
	1/4	125	0.0078	0.0156	0.0313	0.0625	0.1250	0.2500	0.5000	1.0000
	1/8	63	0.0039	0.0078	0.0156	0.0313	0.0625	0.1250	0.2500	0.5000
	1/16	31	0.0020	0.0039	0.0078	0.0156	0.0313	0.0625	0.1250	0.2500
	1/32	16	0.0010	0.0020	0.0039	0.0078	0.0156	0.0313	0.0625	0.1250
	1/64	8	0.0005	0.0010	0.0020	0.0039	0.0078	0.0156	0.0313	0.0625
小さい	1/128	4	0.0002	0.0005	0.0010	0.0020	0.0039	0.0078	0.0156	0.0313
	1/256	2	0.0001	0.0002	0.0005	0.0010	0.0020	0.0039	0.0078	0.0156

mm

すべり線推定結果

		斜面長								
		長い			短い					
		8	4	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$	
ベクトル量		1600	800	400	200	100	50	25	12.5	m
大きい	8	4000								
	4	2000								
	2	1000								
	1	500								
	1/2	250								
	1/4	125								
	1/8	63								
	1/16	31								
	1/32	16								
	1/64	8								
小さい	1/128	4								
	1/256	2	すべり面が描かれない							

mm

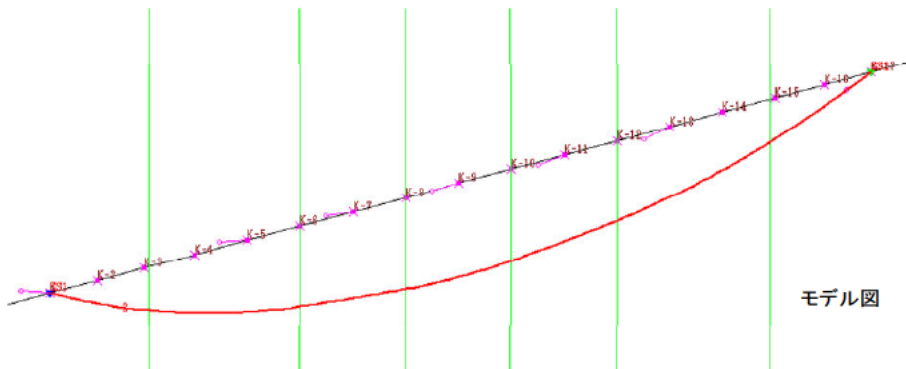
図 3.49 斜面長とベクトル量の比率に関する詳細検討(1)

モデルすべり線との相関 (相関係数)

		←長い 斜面長 短い→								
		8	4	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$	
ベクトル量倍率		1600	800	400	200	100	50	25	12.5	
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
ベクトル量	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
小さい	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

地形			ベクトル量				β	
ファイル名: case1-17-1-a.sec			ファイル名: case1-17-1-a.dis				ブロック線産標	
地点名	X(m)	Y(m)	計測地点名	ds(mm)	dz(mm)	使用ベクトル		
	56.731	118.586	K-1	-529.00	53.00	○		0.1
K-1	100.004	130.274	K-2	-528.00	36.00		123.988	
K-2	111.431	133.32	K-3	-526.00	15.00		160.822	
K-3	122.931	136.389	K-4	-523.00	-7.00		186.529	
K-4	135.122	139.647	K-5	-519.00	-31.00	○	212.243	
K-5	147.971	143.085	K-6	-515.00	-56.00		237.970	
K-6	160.822	146.522	K-7	-510.00	-82.00	○	275.300	
K-7	173.674	149.958	K-8	-504.00	-107.00			
K-8	186.527	153.393	K-9	-498.00	-132.00	○		
K-9	199.383	156.826	K-10	-492.00	-157.00			
K-10	212.241	160.26	K-11	-485.00	-183.00	○		
K-11	225.103	163.693	K-12	-478.00	-208.00			
K-12	237.968	167.13	K-13	-471.00	-223.00	○		
K-13	250.836	170.569	K-14	-464.00	-257.00			
K-14	263.71	174.012	K-15	-457.00	-280.00			
K-15	276.39	177.407	K-16	-450.00	-303.00			
K-16	288.484	180.648	K-17	-444.00	-321.00	○		
K-17	299.764	183.673						
	329.231	191.585						



基本モデル(地形:1倍、ベクトル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)

①椅子型モデルの例

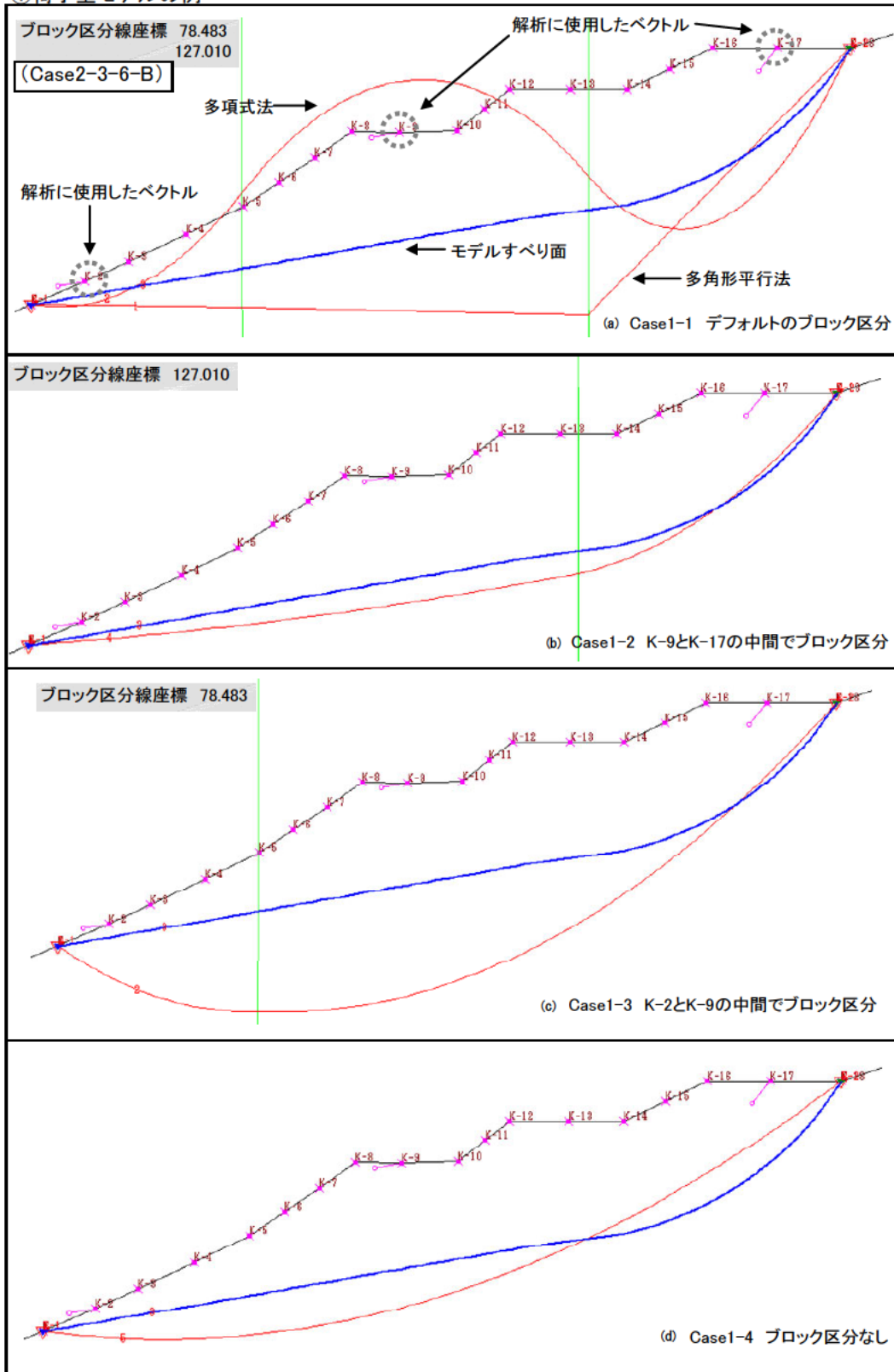


図 3.50 ブロック区分線の設定位置を変化させた検討(1)

②円弧型(播但道)の例

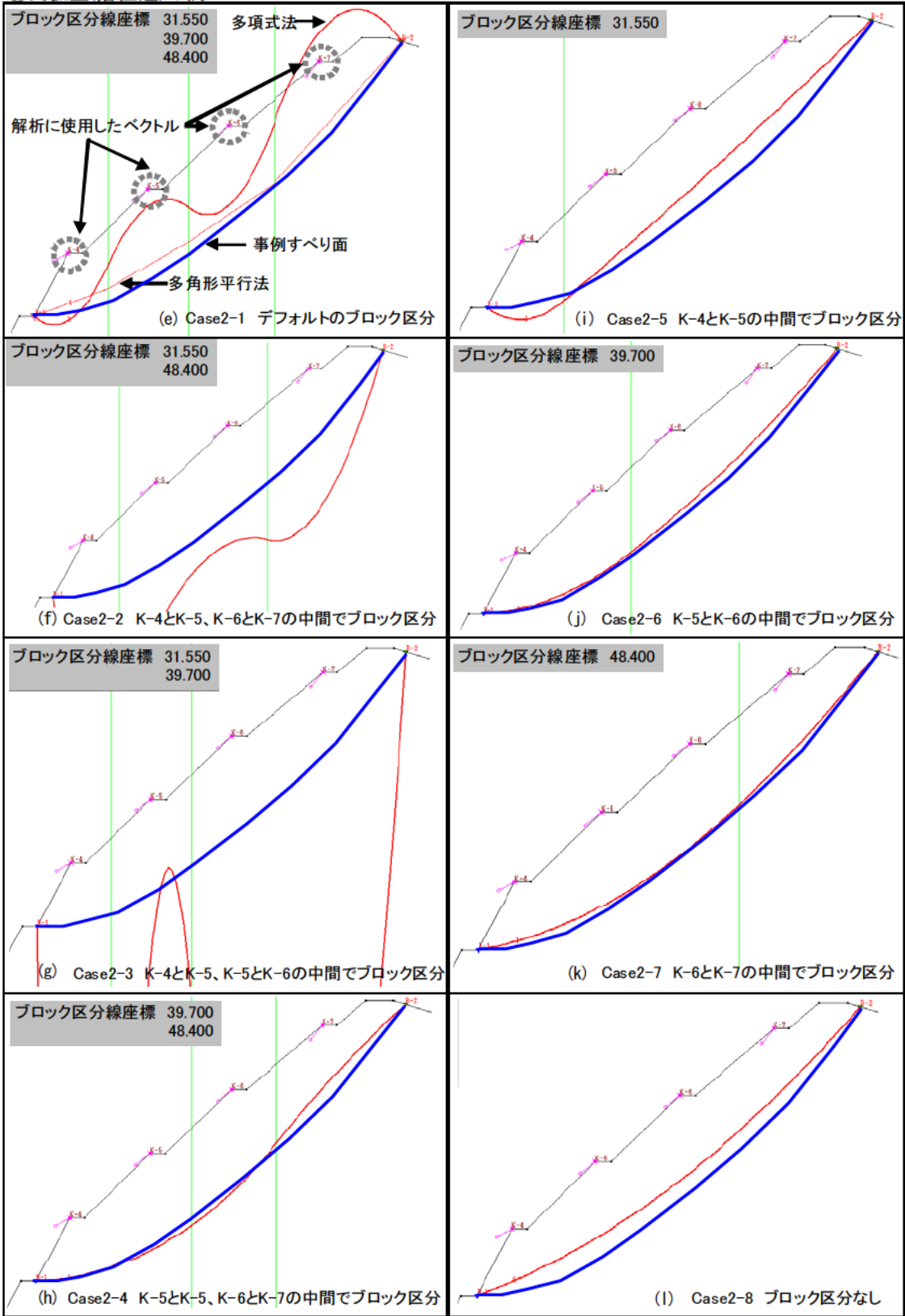
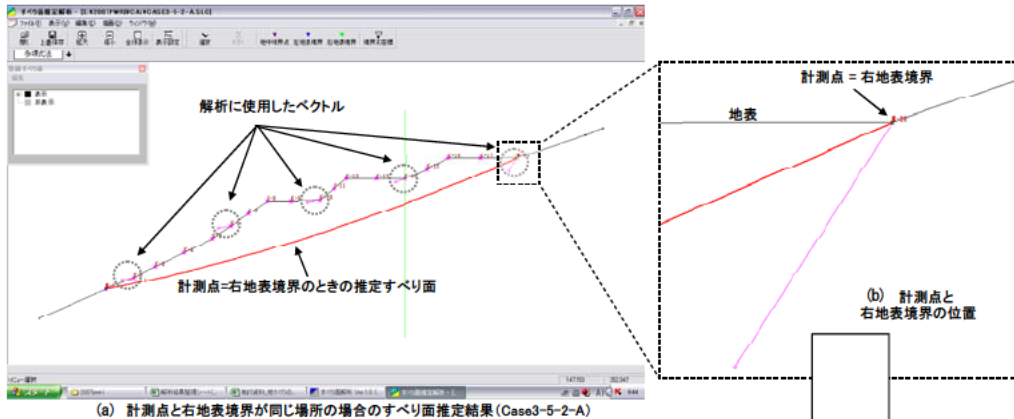


図 3.50 ブロック区分線の設定位置を変化させた検討(2)

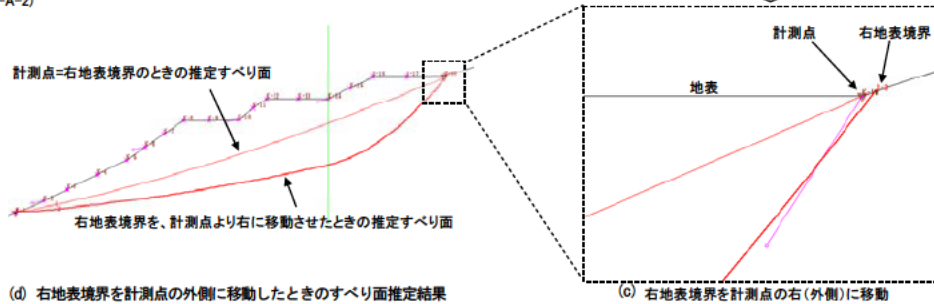
- ・頭部に下向きの地表面変位ベクトルがある
- ・すべり面の勾配が変化する位置近くにブロック区分線を設定

精度良くすべり面を推定できる条件がそろっているはずであるが、うまくすべり面を推定できていない場合がある

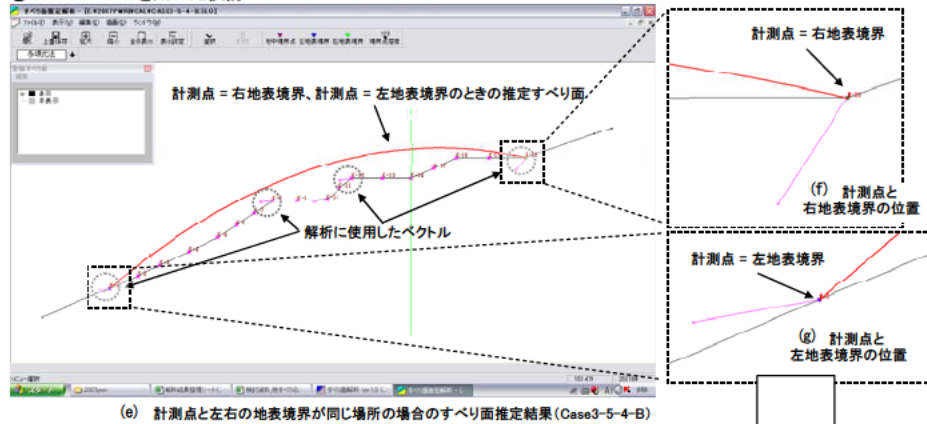
①Case3-5-2-Aを用いた検討



(Case3-5-2-A-2)



②Case3-5-4-Bを用いた検討



(Case3-5-4-B-2)

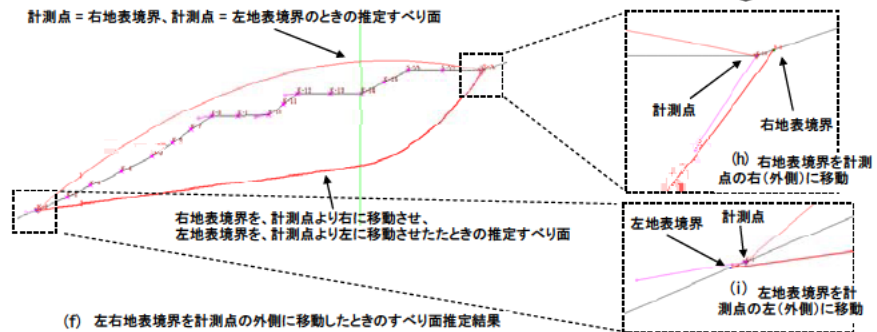


図 3.51 地表面境界点上の地表面変位ベクトルに関する検討

(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。

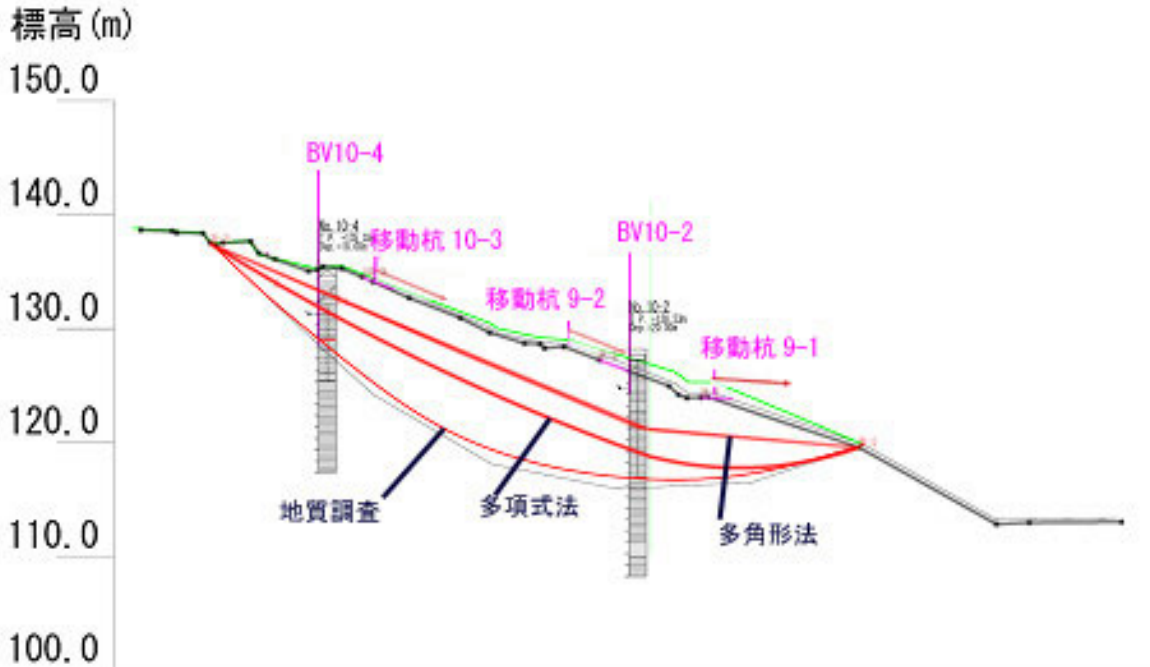


図 3.53 C 測線断面図の検討結果

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 測線の横断面図を図 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。

- ① 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。

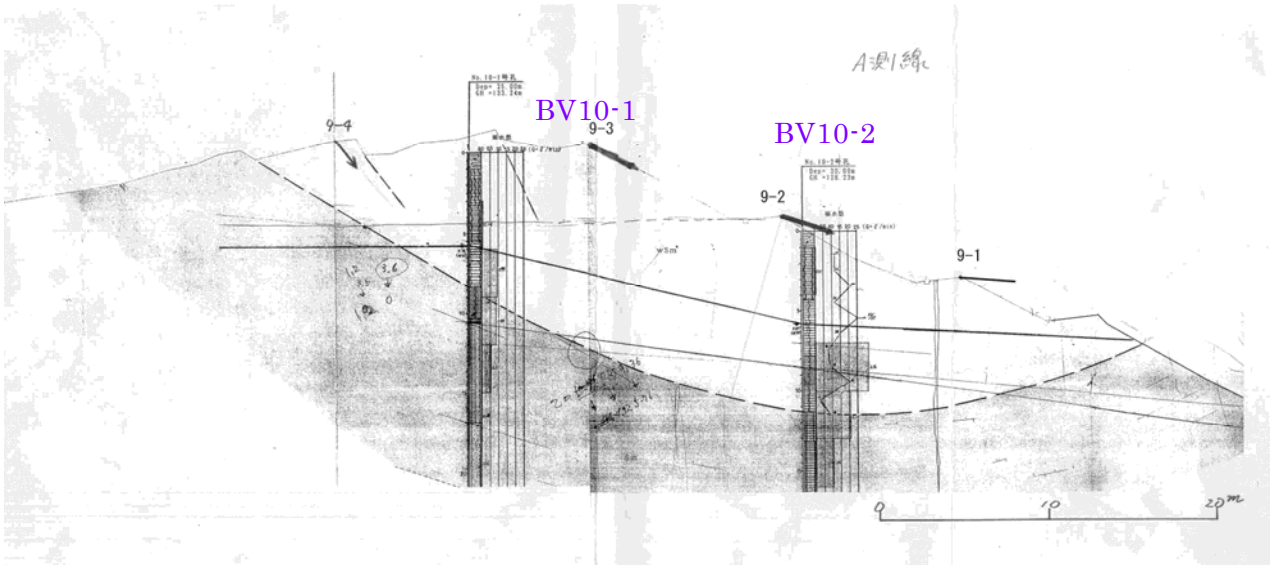


図 3.54 A 測線断面図と地表面変位ベクトル（ベクトルの傾斜補正はしていない）

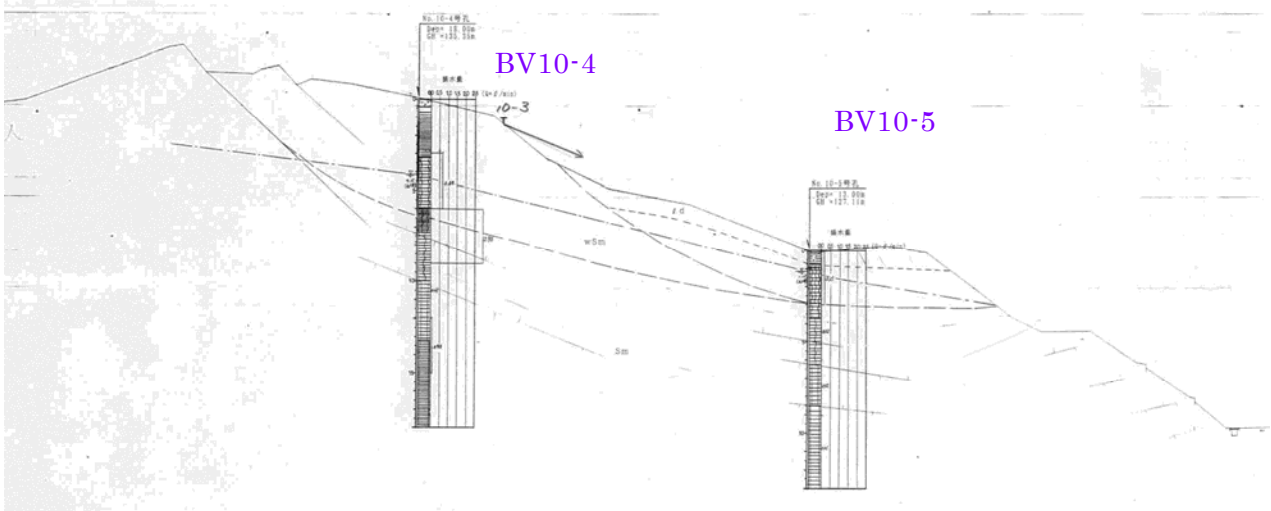


図 3.55 B 測線断面図と地表面変位ベクトル（ベクトルの傾斜補正はしていない）

(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なものである。

- 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。
- ④ 3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。

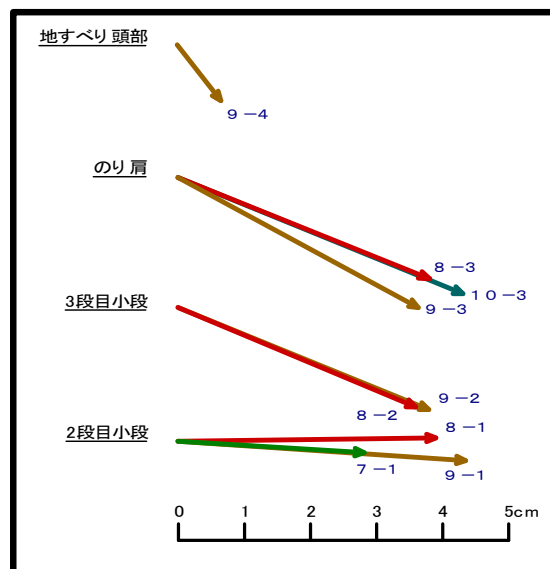


図 3.56 地表面変位ベクトル (第一回観測時)

(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なものである。

- 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。

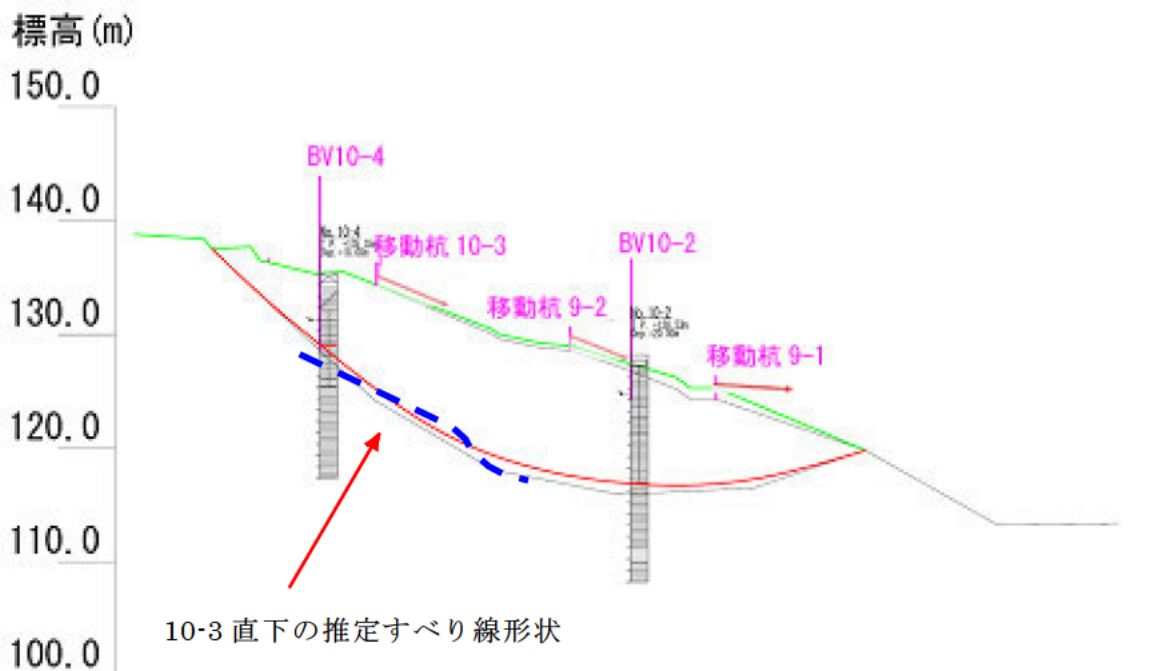


図 3.57 10-3 の地表面変位ベクトルが上向きになった原因(可能性の一つ)

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り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。

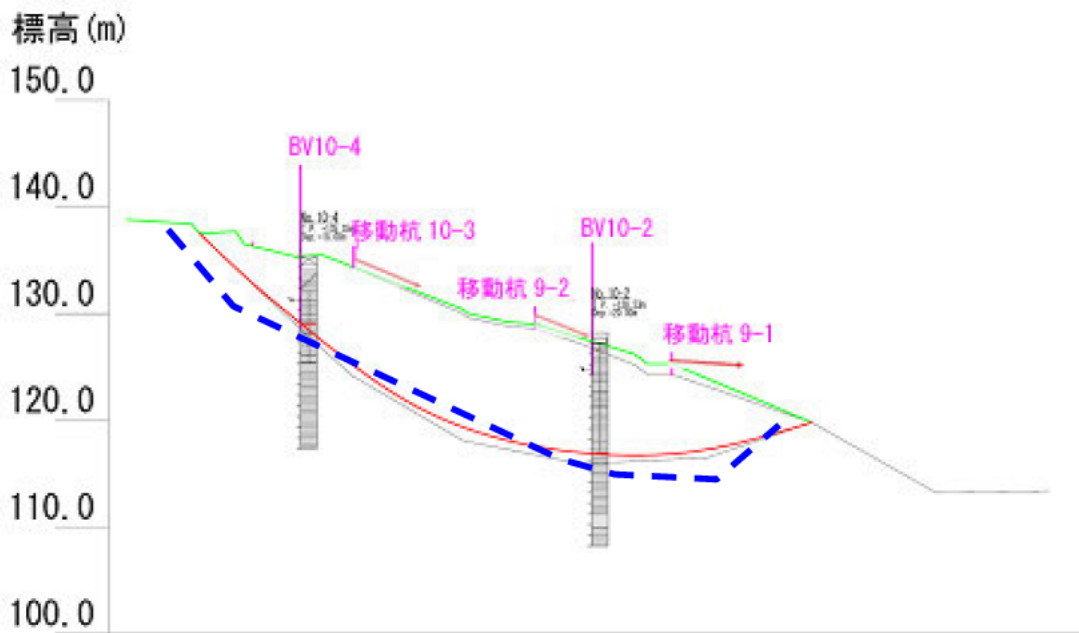


図 3.58 主測線のすべり線修正案

(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、小段のり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り肩は避け、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、どのような条件であれば、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。

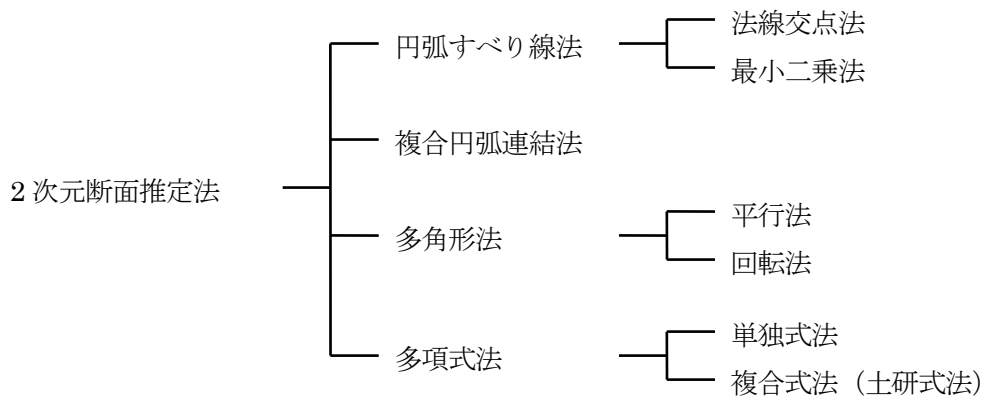


図 4.1 2次元断面推定法

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の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 a_i, b_i, c_i, D_i 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。

播但道(多項式法)

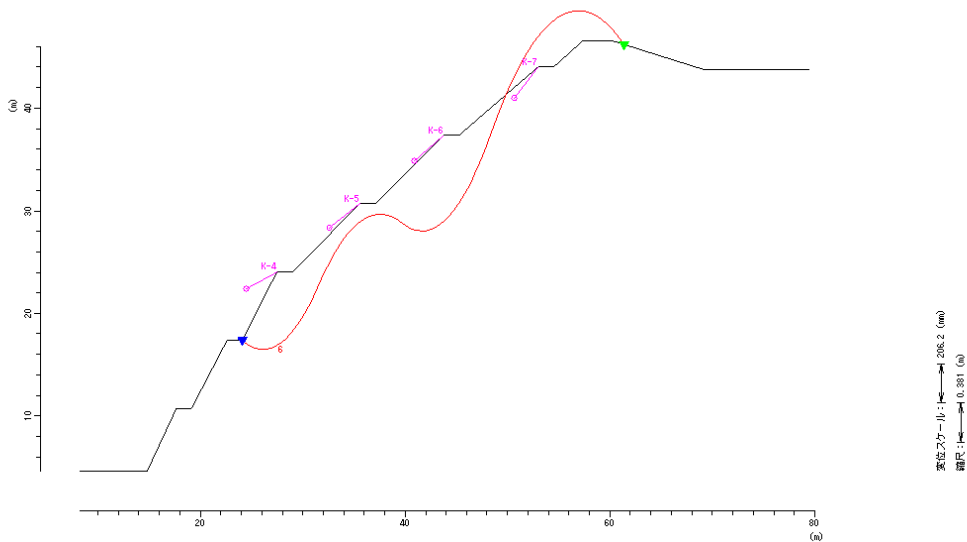


図 4.2 不適切なすべり線推定事例

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。

$$\{A\} = [S]^T [W] \{Z\} \quad [W] : \text{重み係数マトリクス}$$

$$[W] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \alpha & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \beta & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

例えば、重み係数行列を用いた場合の全体方程式は

$$\begin{bmatrix}
x_1^2 & x_1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\
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 & \cdots & 0 \\
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 & \cdots & 0 \\
S_{11}^2 + S_{12}^2 & S_{11} + S_{12} & 3 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\
X_1^2 & X_1 & 1 & 1 & -X_1^2 & -X_1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\
2\beta X_1 & \beta & 0 & 0 & -2\beta X_1 & -\beta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 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 & \cdots & 0 \\
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 & \cdots & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & S_{21}^2 + S_{22}^2 & S_{21} + S_{22} & 3 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & X_2^2 & X_2 & 1 & 1 & -X_2^2 & -X_2 & -1 & -1 & \cdots & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 2\beta X_2 & \beta & 0 & 0 & -2\beta X_2 & -\beta & 0 & 0 & \cdots & 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_{32}^2 & \cdots & 0 \\
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_{32} & \cdots & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{31}^2 + S_{32}^2 & S_{31} + S_{32} & 3 & 3 & \cdots & 0 \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1
\end{bmatrix}
\begin{Bmatrix}
a_1 \\
b_1 \\
c_1 \\
D_1 \\
a_2 \\
b_2 \\
c_2 \\
D_2 \\
a_3 \\
b_3 \\
c_3 \\
D_3 \\
\vdots \\
D_k
\end{Bmatrix}
=
\begin{Bmatrix}
y_1 \\
S_{11}^2 Z_{11} + S_{12}^2 Z_{12} \\
S_{11} Z_{11} + S_{12} Z_{12} \\
Z_{11} + Z_{12} \\
0 \\
0 \\
S_{21}^2 Z_{21} + S_{22}^2 Z_{22} \\
S_{21} Z_{21} + S_{22} Z_{22} \\
Z_{21} + Z_{22} \\
0 \\
0 \\
S_{31}^2 Z_{31} + S_{32}^2 Z_{32} \\
S_{31} Z_{31} + S_{32} Z_{32} \\
Z_{31} + Z_{32} \\
\vdots \\
y_2
\end{Bmatrix}$$

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。

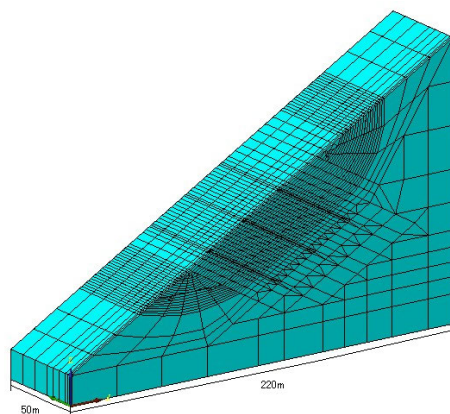


図 4.3 船底型モデル要素分割図 (要素数 12,555)

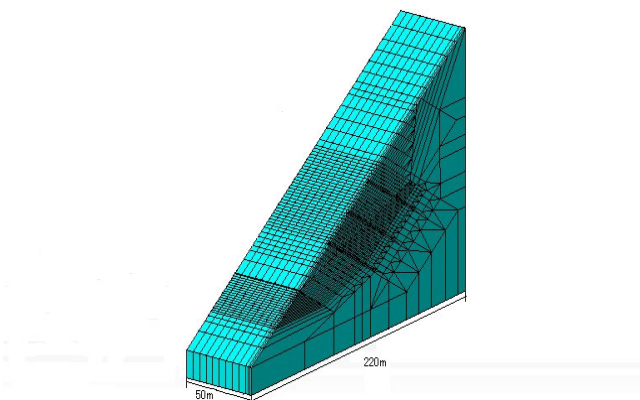


図 4.4 椅子型モデル要素分割図 (要素数 11,943)

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、全体的に船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)

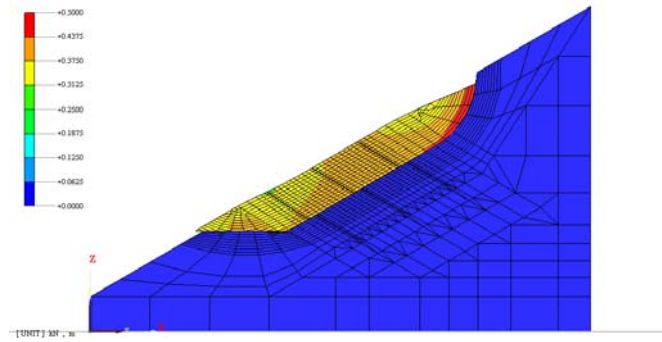


図 4.5 船底型モデルの変形図

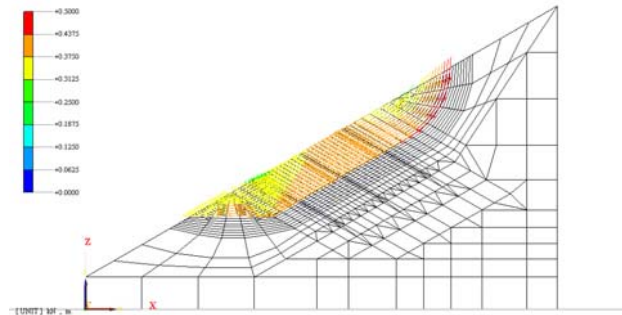


図 4.6 船底型モデルの変位ベクトル図

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)

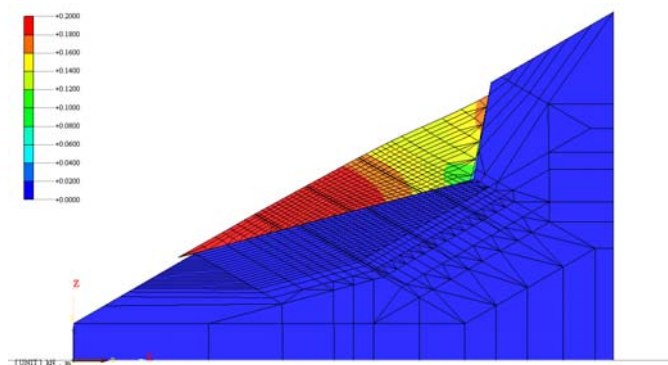


図 4.7 椅子型モデルの変形図

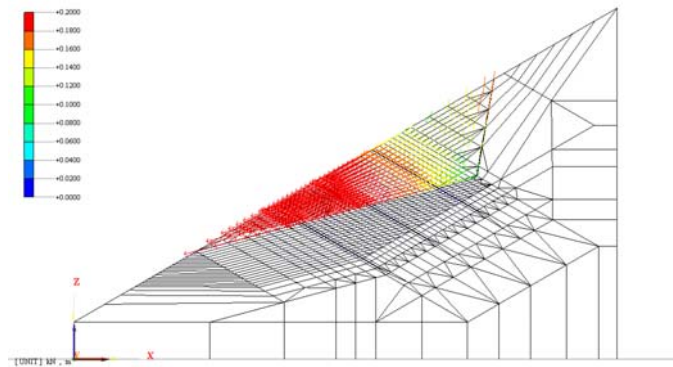


図 4.8 椅子型モデルの変位ベクトル図

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。

① 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面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。

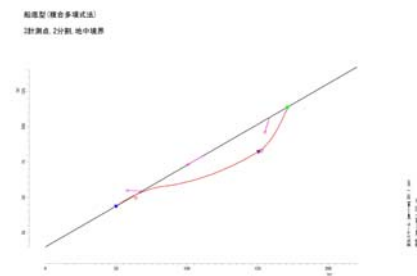


図 4.9 船底型の推定すべり線 (推定精度低い)

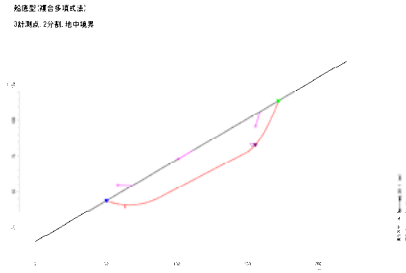


図 4.10 船底型の推定すべり線（推定精度高い）

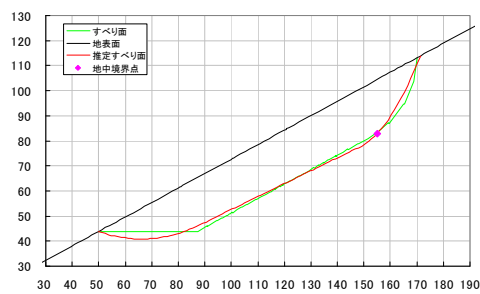


図 4.11 解析モデルと推定値の比較（船底型）

② 椅子型すべり

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 $\beta = 0$ として計算した。（なお、等勾配変化率条件式の重み係数 $\alpha = 0$ ）

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。

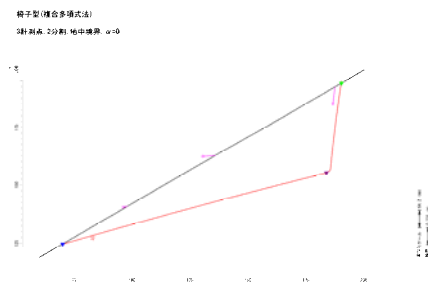


図 4.12 椅子型の推定すべり線

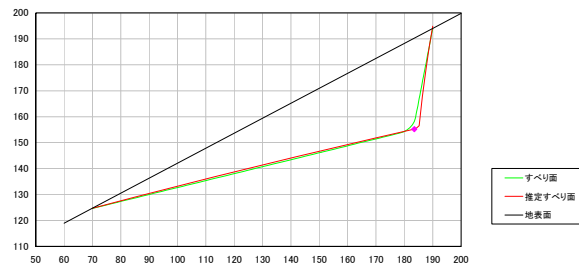


図 4.13 解析モデルと推定値の比較（椅子型）

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（打ち切り誤差）、③桁落ち誤差であるが、特に丸め誤差（打ち切り誤差）、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。

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り組む必要がある。

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組み込んでいた。

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（ $\beta = 0$ ）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	54.933	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座標(m)	地点名
1	1	75.944	67.468	No.16
2	2	80.683	70.177	No.8
3	3	113.198	78.505	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。

行番	番号	X座標(m)	Y座標(m)	地点名	フラグ	種類	重み係数β	勾配α(度)
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	

フラグ 0:地中 1:左地表 2:右地表
注) 地表境界点はX座標のみ指定して下さい。

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。

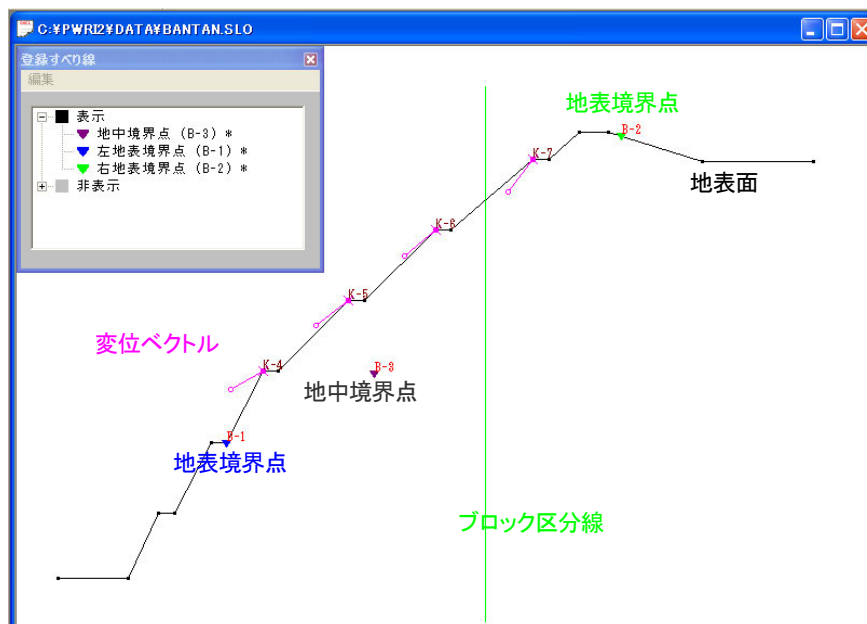


図 4.17 断面モデル入力地表境界点表示画面

(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）。
- ② テキストファイルに入力したものを読み込む。

計測データ入力 (2次元)
行編集(E) ジャンプ(J)

データ・タイトル:

行番	年	月	日	時	分	No.16		No.8		No.2		▲
						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	▼

ds:水平変位 dz:鉛直変位 単位(mm)

<<- 左へ 右へ -->> OK キャンセル

図 4.18 2次元計測データの入力画面

計測データ入力 (3次元)
行編集(E) ジャンプ(J)

データ・タイトル:

断面方向角 θ (度):

行番	年	月	日	時	分	No.16				No.2				▲
						dx	dy	(ds)	dz	dx	dy	(ds)	dz	
1	2000	10	3			-62.0	-45.0	-76.2	-20.0					
2		11	5							-51.0	-25.0	-56.7	-32.0	

dx:X方向水平変位 dy:Y方向水平変位 ds:水平変位 dz:鉛直変位 単位(mm)

<<- 左へ 右へ -->> OK キャンセル

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。

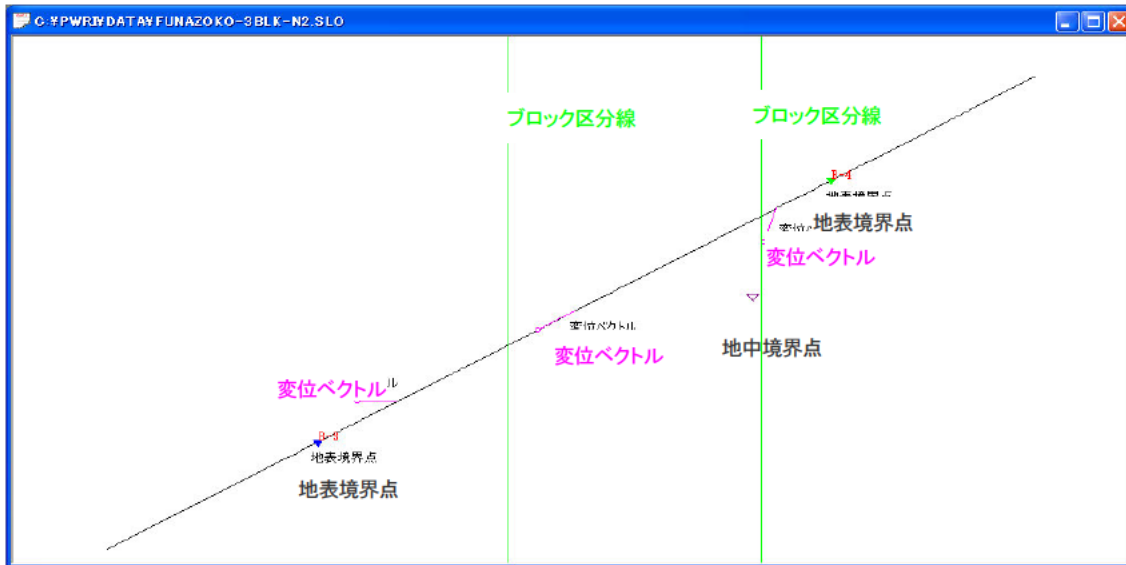


図 4.20 ブロック区分線の入力 (3 ブロックの場合)

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 ($\beta=0\sim 1$) に設定できる。 $\beta=0$ 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)。

■ 境界点座標入力

行番	番号	X座標(m)	Y座標(m)	地点名	タイプ	種類	重み係数 β	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	

タイプ 0:地中 1:左地表 2:右地表
注) 地表境界点はX座標のみ指定して下さい。

OK キャンセル

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。

■ 境界点座標入力

行番	番号	X座標(m)	Y座標(m)	地点名	タイプ	種類	重み係数 β	勾配 α (度)
1	1	24.100	17.405	B-1	1	左地表	1.0000	
2	2	61.334	46.181	B-2	2	右地表	1.0000	
3	3	38.032	23.945	B-3	0	地中	1.0000	

タイプ 0:地中 1:左地表 2:右地表
注) 地表境界点はX座標のみ指定して下さい。

OK キャンセル

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。

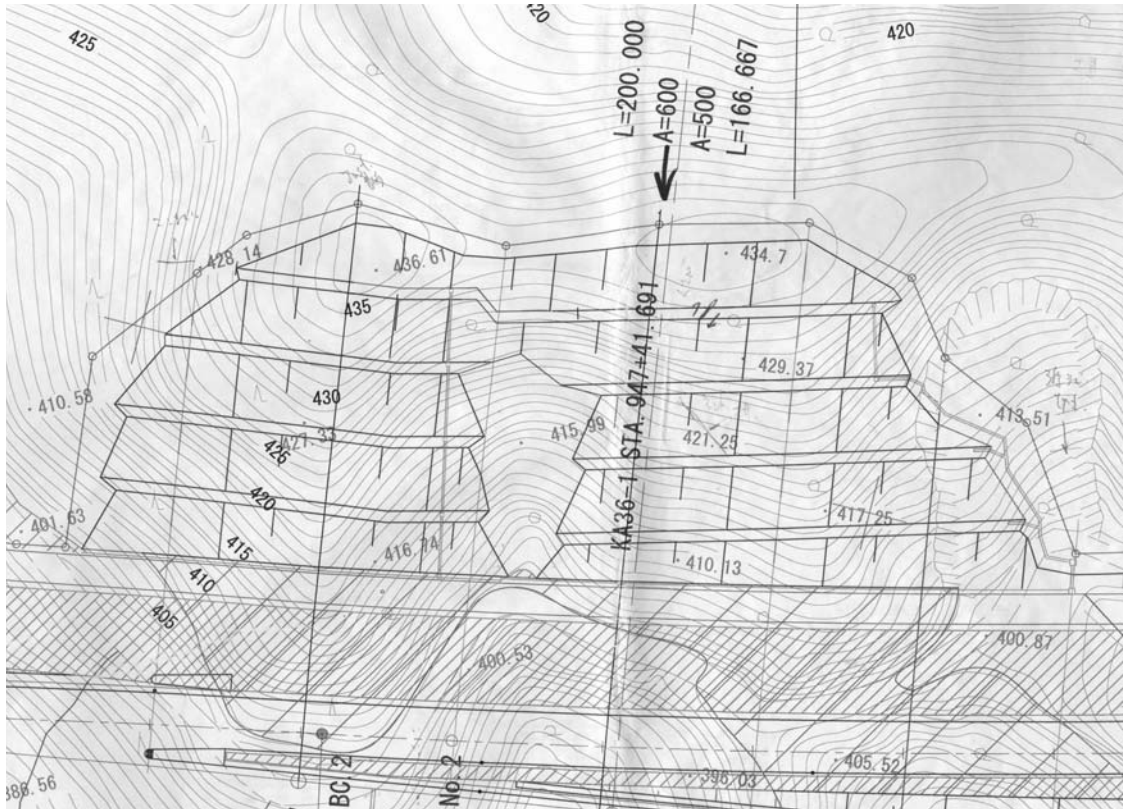


図 5.2 川尻地区平面図(S=1 : 1000)

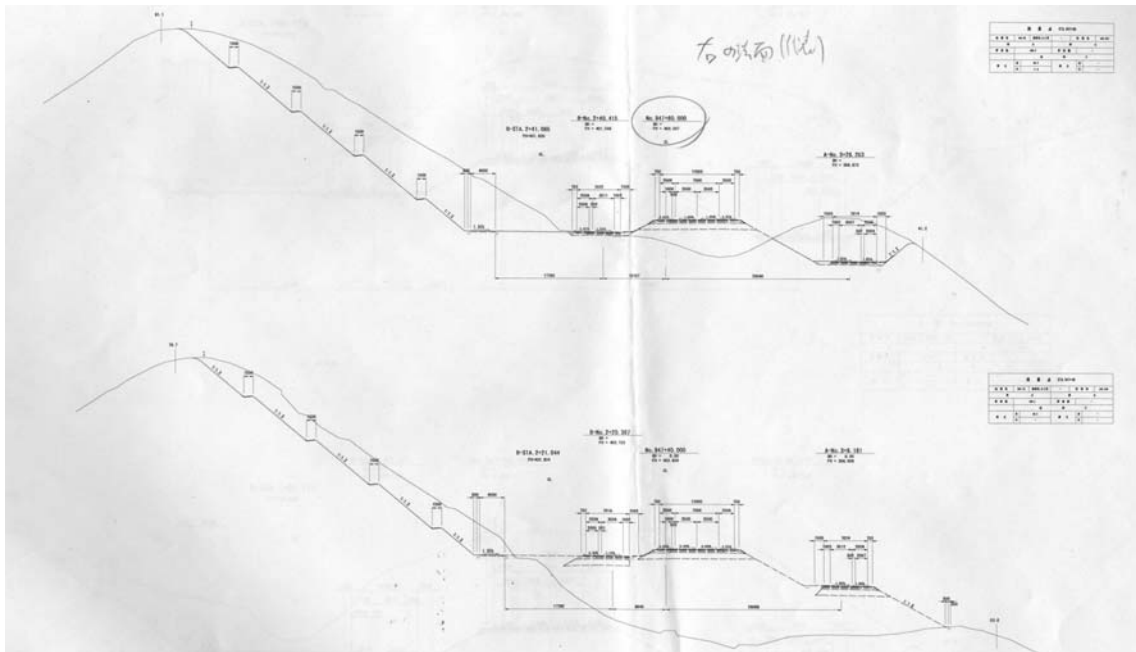
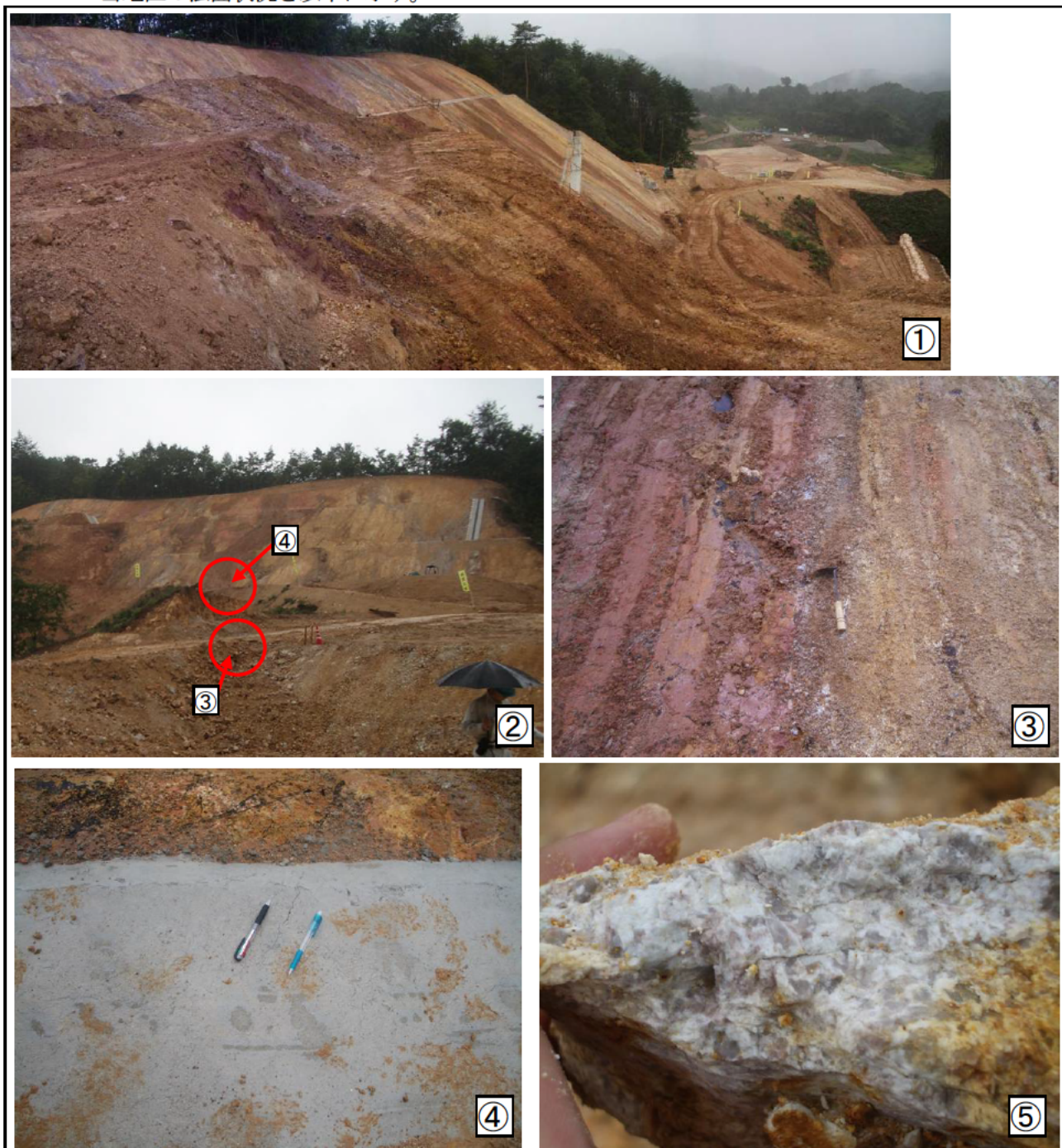


図 5.3 川尻地区断面図(S=1 : 1000)

当地区の法面状況を以下に示す。



- ① のり面全景
- ② のり面を正面から望む。のり面中央は割れ目が密集しており、風化や変質が著しい。
- ③ 写真②中央部の拡大写真。割れ目密集部の主要な割れ目は、のり面の右奥側に差している流れ盤方向。割れ目面は鏡肌となっている（小規模なくさび形崩壊が懸念される）。
- 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+40													
		計測データ (m)													
日付	観測回	H20							H21						
		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	
法 段 数	5 段 目	X	0	-0.001	-0.003	-0.002	-0.001	0	-0.008	-0.008	-0.006	-0.005	-0.005	-0.008	-0.001
		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
		Z	0	-0.002	-0.003	-0.002	0	-0.002	-0.017	-0.001	0	0.001	0.001	-0.001	-0.003
	4 段 目	X	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
		Y	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
		Z	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
	3 段 目	X	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
		Y	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
		Z	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
	2 段 目	X					0	-0.002	0.009	0.007	0.011	0.013	0.015	-0.004	-0.003
		Y					0	0	-0.006	-0.006	-0.006	-0.005	-0.008	-0.005	-0.004
		Z					0	-0.001	0.015	-0.002	0.011	0.009	0.009	0.007	-0.002
	1 段 目	X						0	-0.003	-0.003	0.001	0.003	0.011	-0.001	0.006
		Y						0	0.004	0.005	0.006	0.002	-0.002	0.007	0.005
		Z						0	0.017	0	0	0	-0.001	0	0

表 5.2 に示した計測データをグラフ化した。そのグラフを図 5.4 に示す。

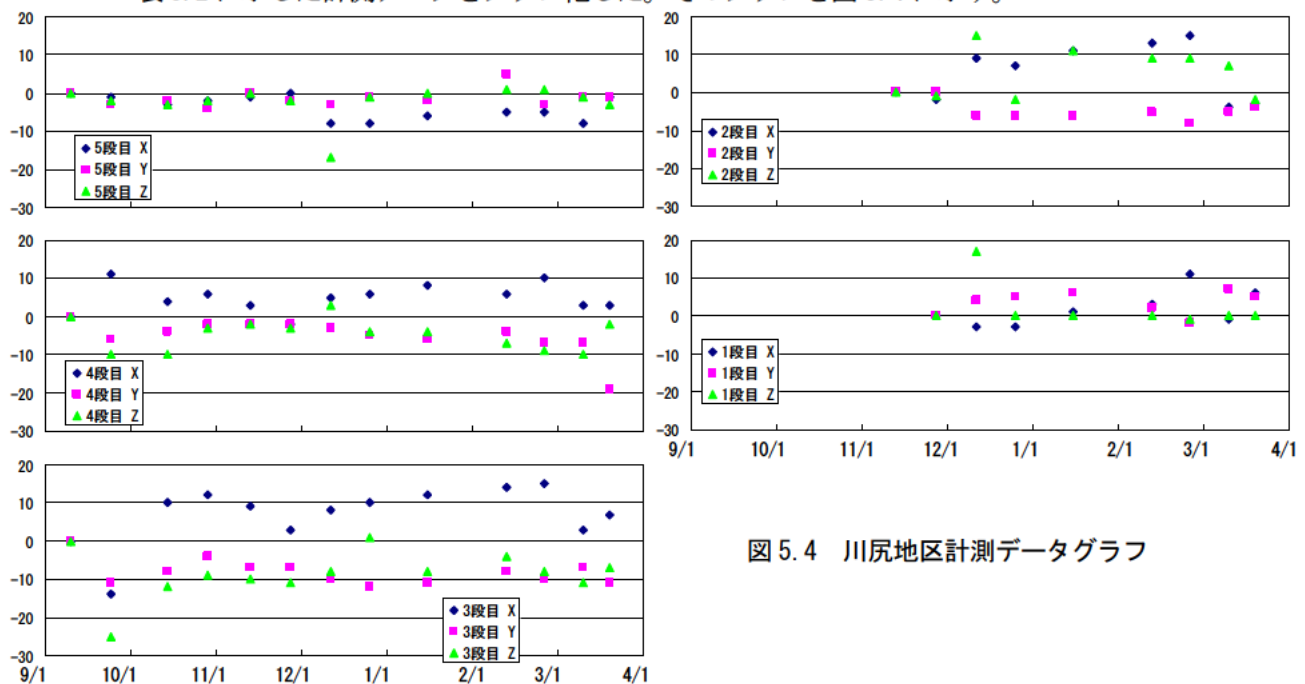


図 5.4 川尻地区計測データグラフ

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、切土時の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。



図 5.5 竹地本地区位置図

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 5.6 竹地本谷地区平面図 (S=1 : 1500)

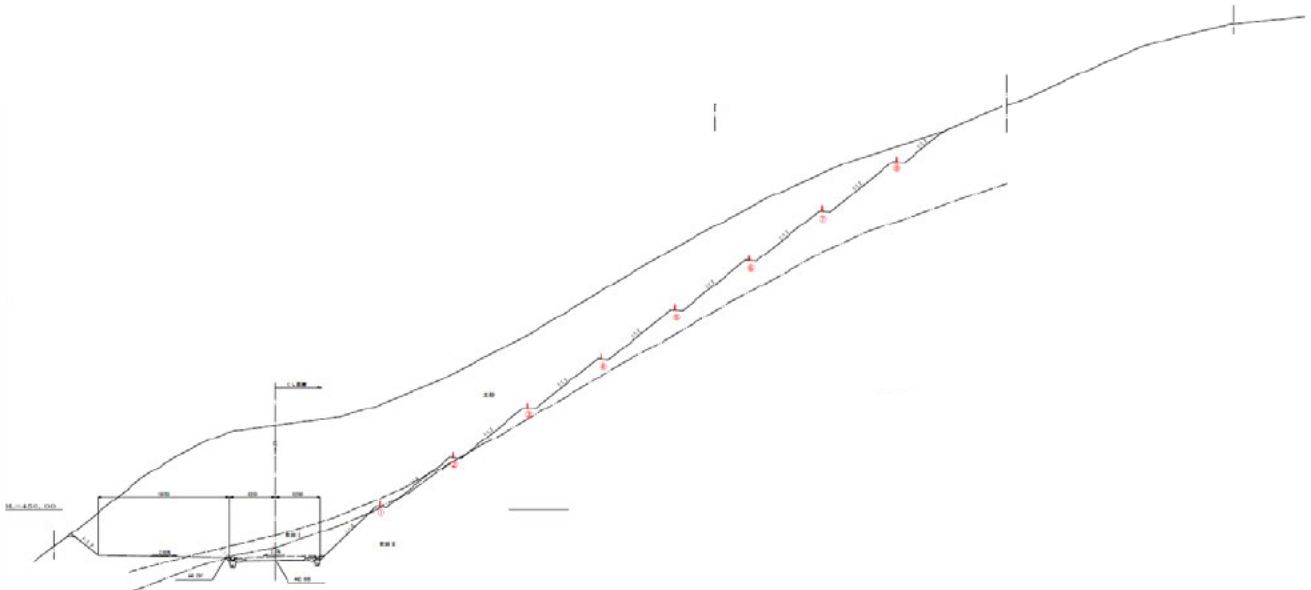


図 5.7 竹地本谷地区断面図 (S=1 : 500)

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。

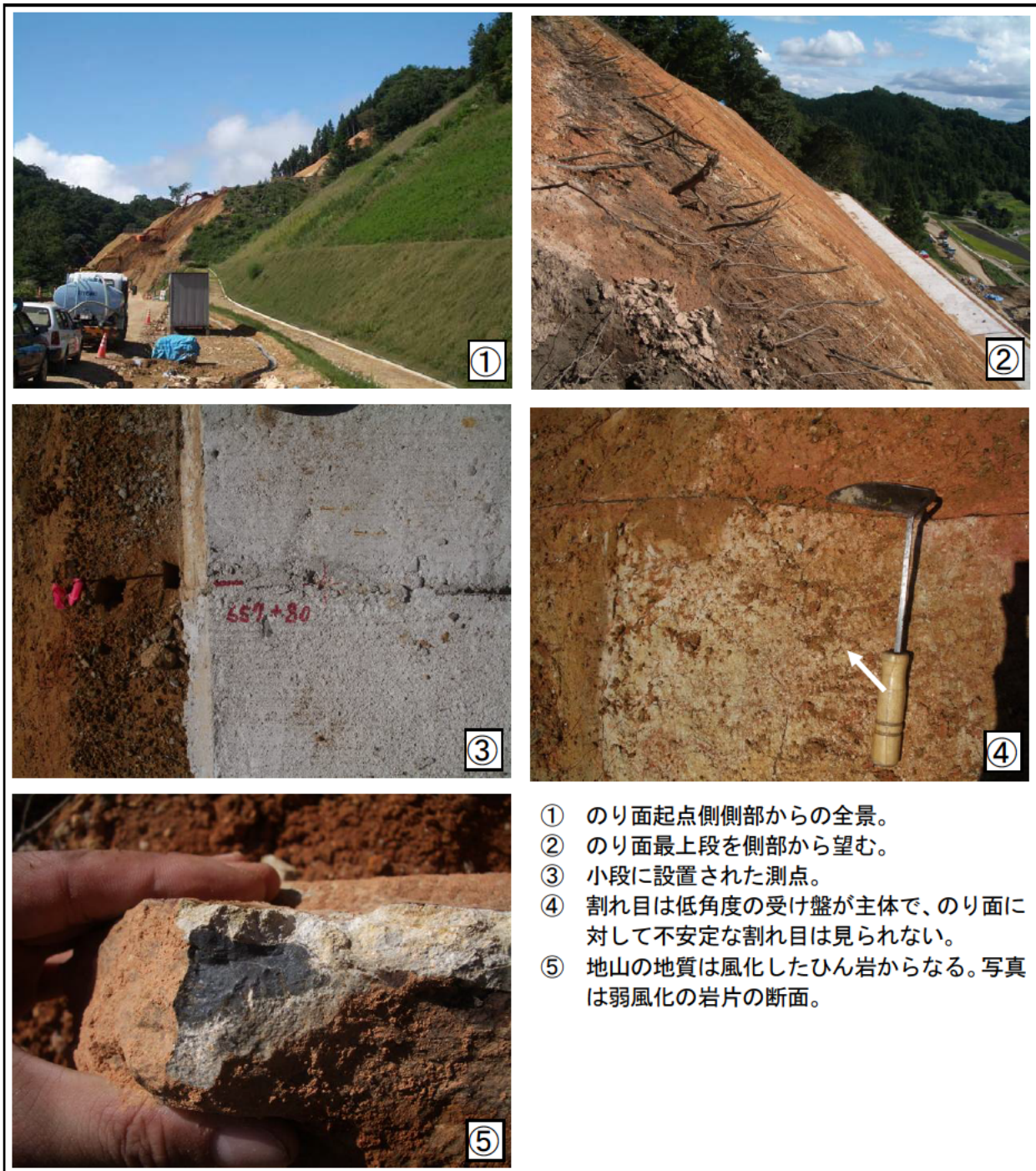


写真 5.2 竹地本谷地区のり面状況

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。

表 5.3 竹地本谷地区計測データ

測線		STA57+80							
		計測データ (m)							
日付		H20					H21		
		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	
法 段 数	8段目	X	0	0	0	0	0	-0.001	-0.001
		Y	0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.002
		Z	0	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002
	7段目	X	0	-0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
		Y	0	0	0	0	0	0	0
		Z	0	0	0	0	0	-0.001	-0.001
	6段目	X	0	0	0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002
		Y	0	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001
		Z	0	0	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002
	5段目	X		0	0	0	0	0	-0.001
		Y		0	0	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
		Z		0	0	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
	4段目	X			0	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
		Y			0	0.001	0.001	0.001	0.001
		Z			0	0.002	0.002	0.002	0.002
	3段目	X				0	0.001	0.001	0.001
		Y				0	-0.002	-0.002	-0.002
		Z				0	-0.001	-0.001	-0.001
	2段目	X					0	-0.003	-0.002
		Y					0	0.002	0.002
		Z					0	-0.001	-0.001
	1段目	X						0	0
		Y						0	0
		Z						0	0

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。

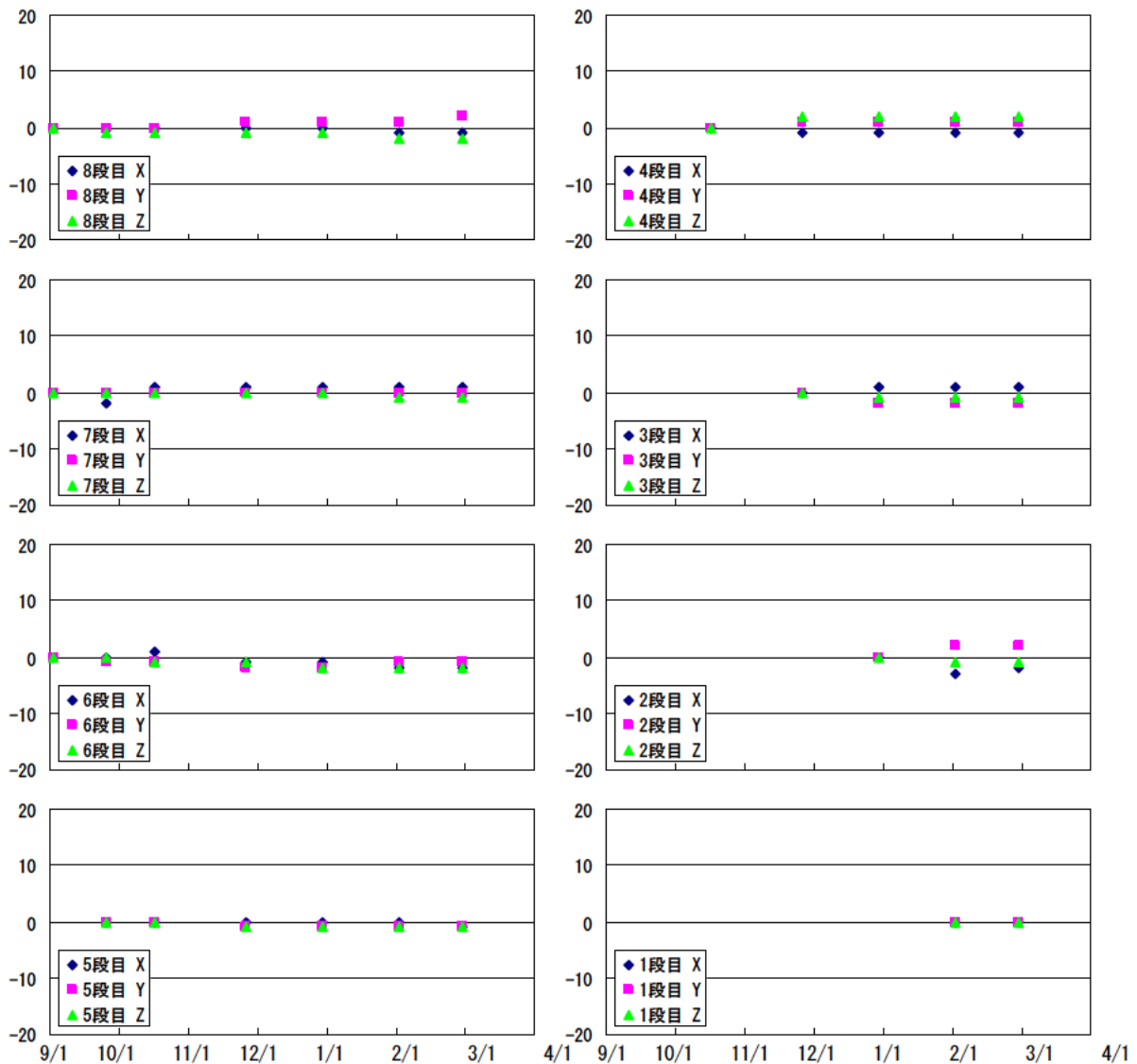


図 5.8 竹地本谷地区計測データグラフ

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。

表 5.4 自然斜面における計測候補地

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

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

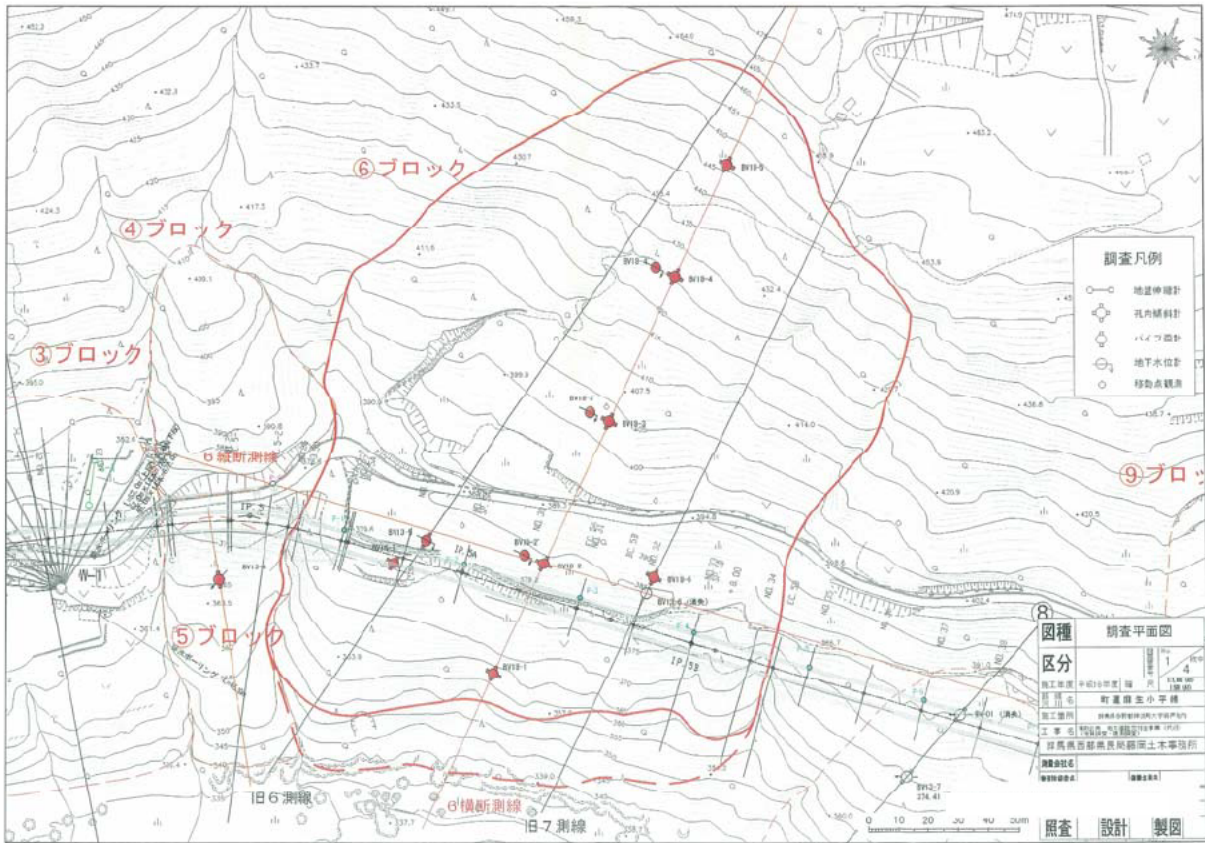


図 5.10 麻生小平地区平面図 (S=1 : 2500)

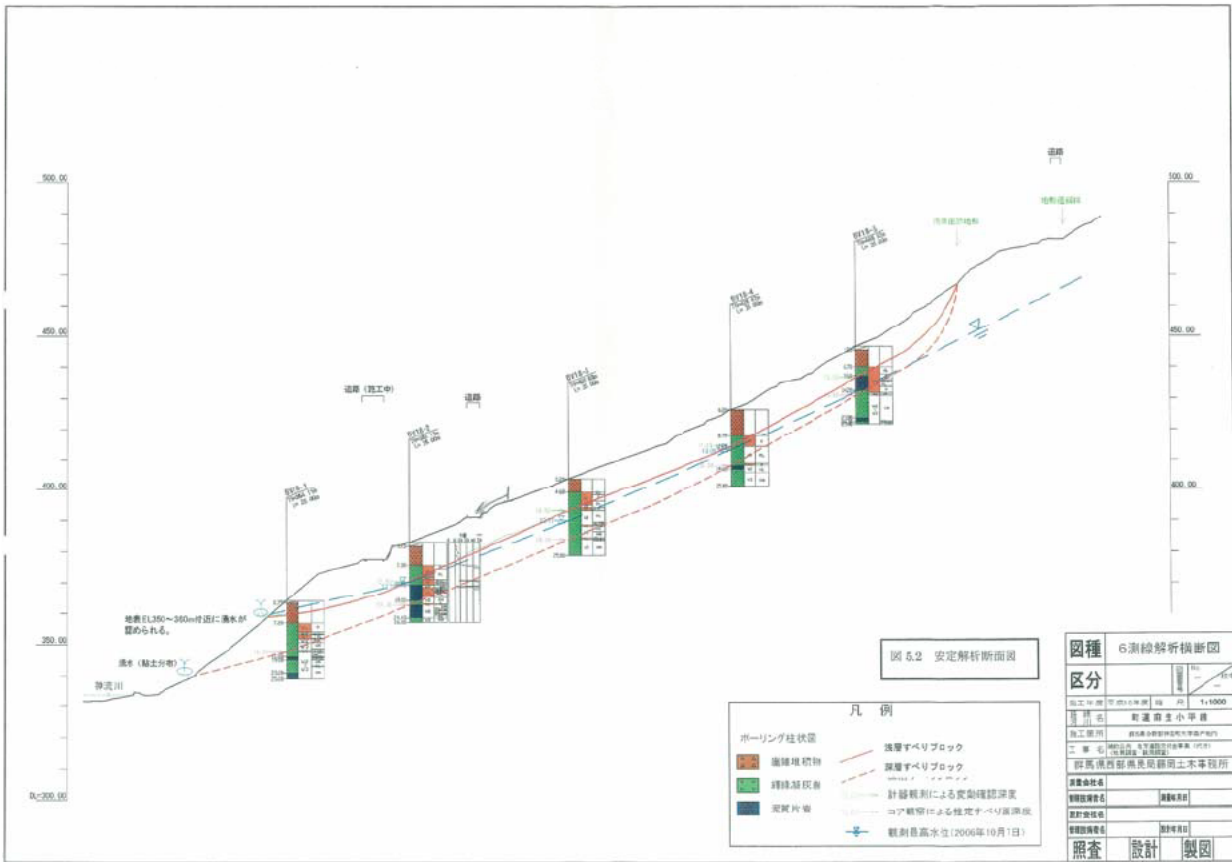
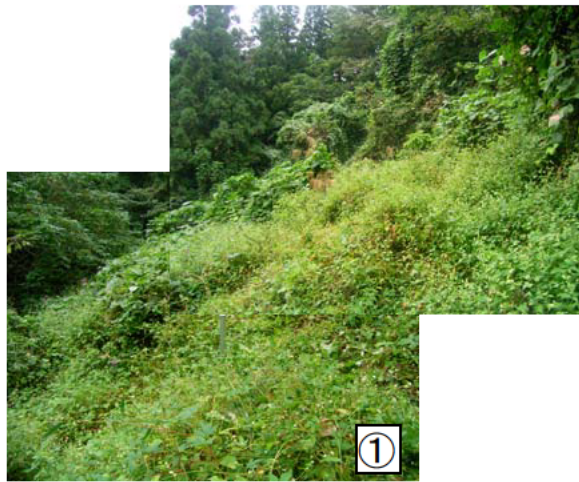


図 5.11 麻生小平地区地質断面図 (S=1 : 2500)



- ① 地すべり頭部付近の斜面状況。
- ② 地すべり中腹部の斜面状況。
- ③ 地すべり中腹部～末端部の斜面状況。
- ④ 地すべり中腹部を横断している道路状況。
- ⑤ 地すべり末端部を横断している道路状況。

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。

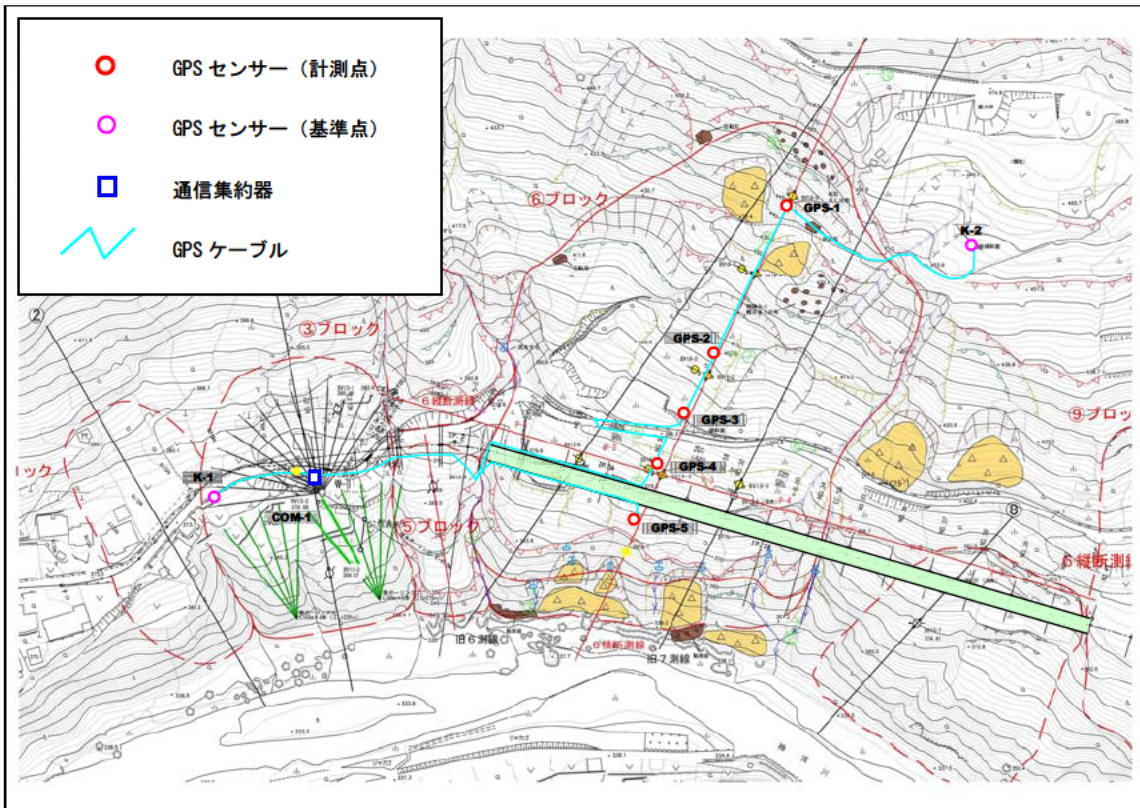


図 5.12 麻生小平地区 GPS 設置計画図



① GPS 設置状況 (末端部 GPS-5)
② GPS 基準点設置状況 (K-2)

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。

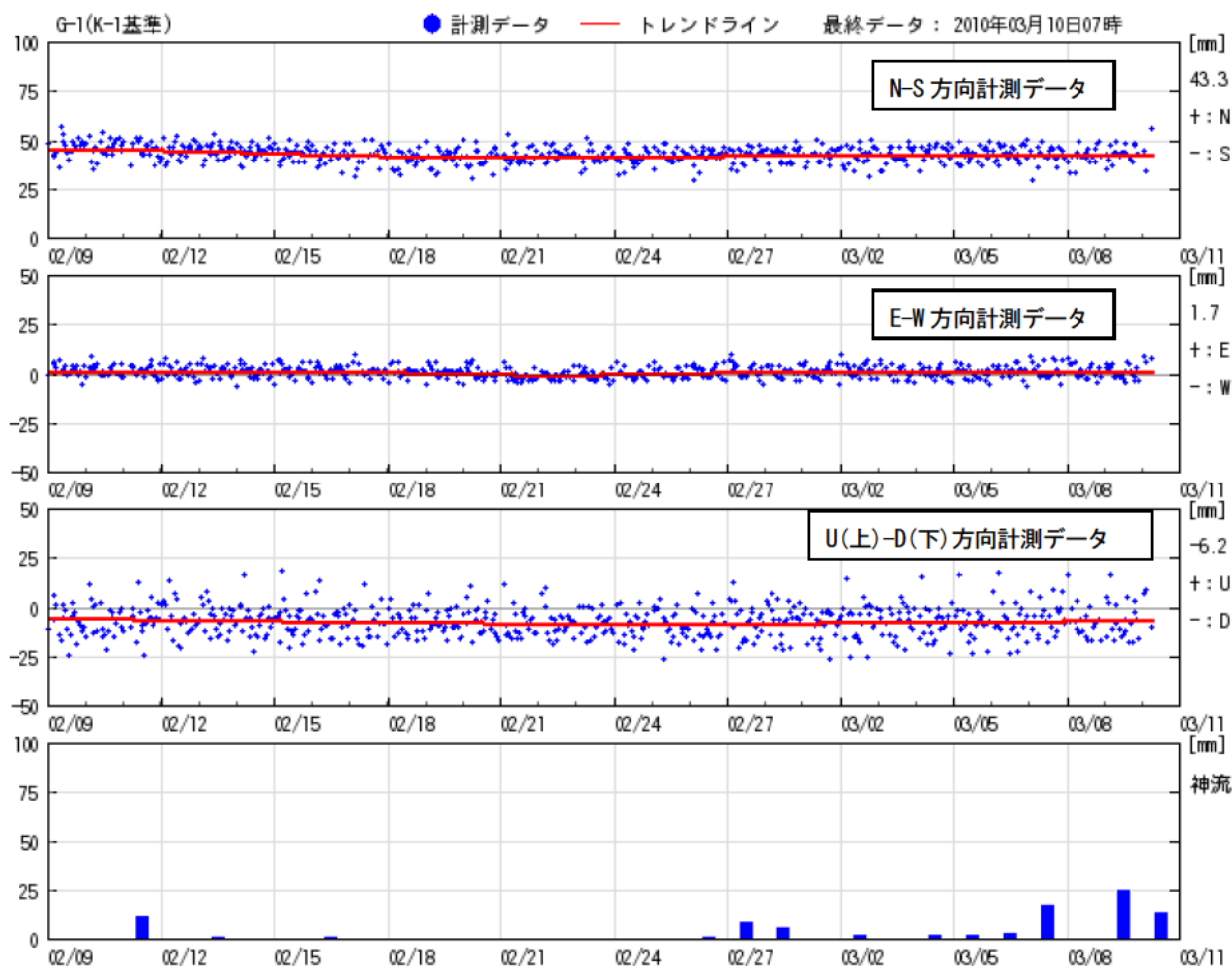
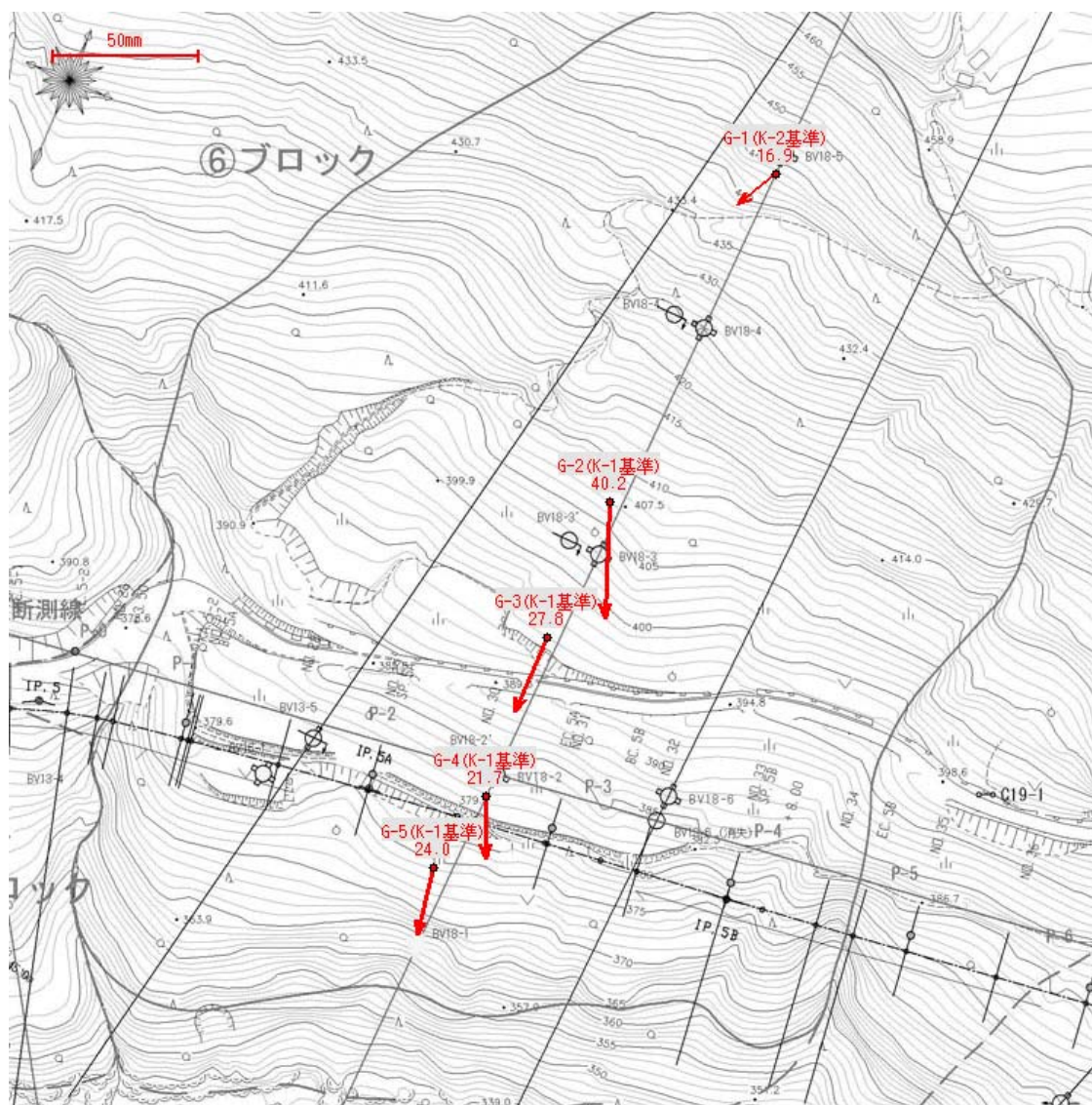


図 5.13 G-1 (K-1 基準) 観測グラフ (2010/2/10～2010/3/11)

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。



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 5.14 変動ベクトル平面図(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。

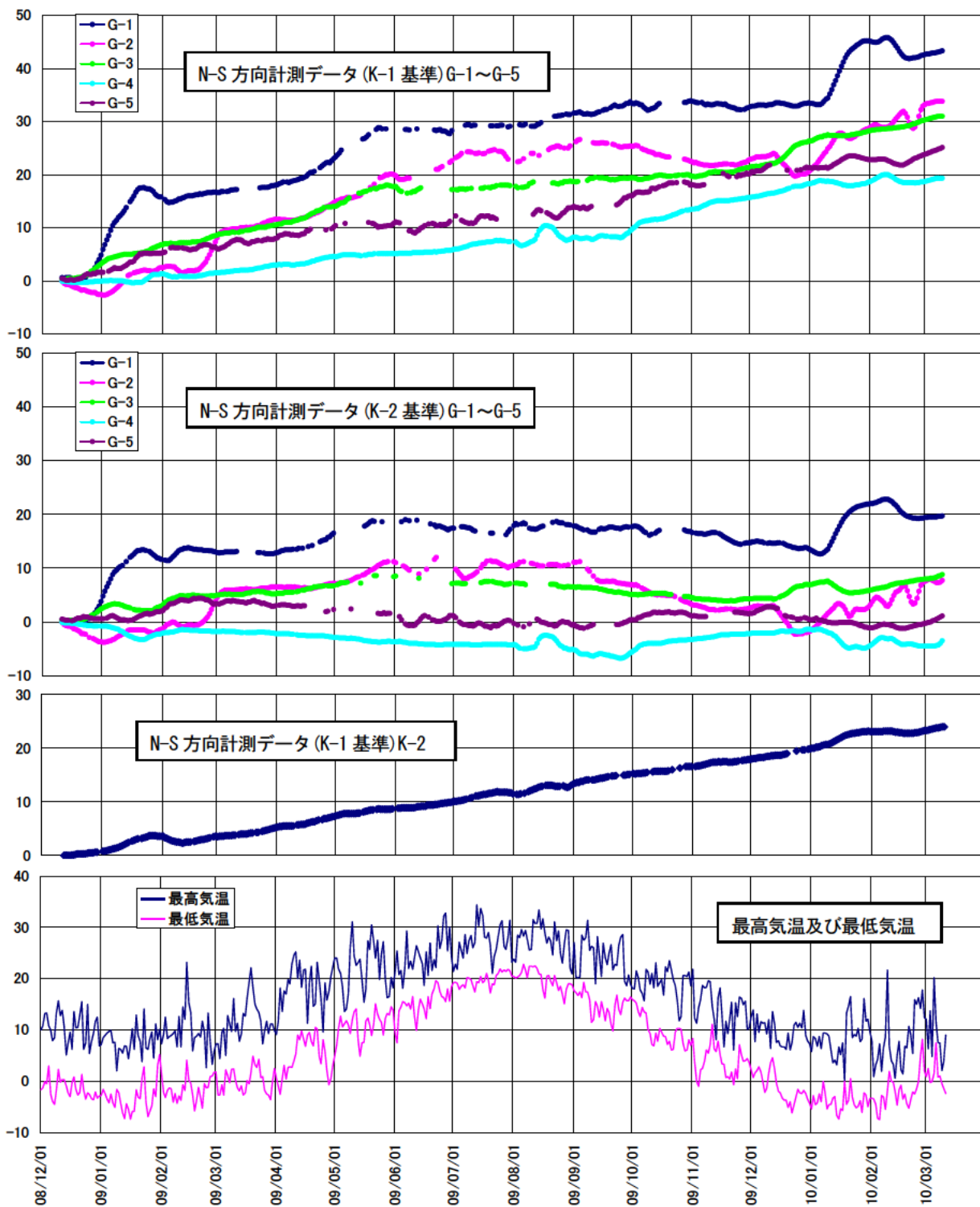


図 5.16 G-1~G-5, K-2, N-S 方向観測グラフ及び気温変動グラフ (2009/12~2010/3)

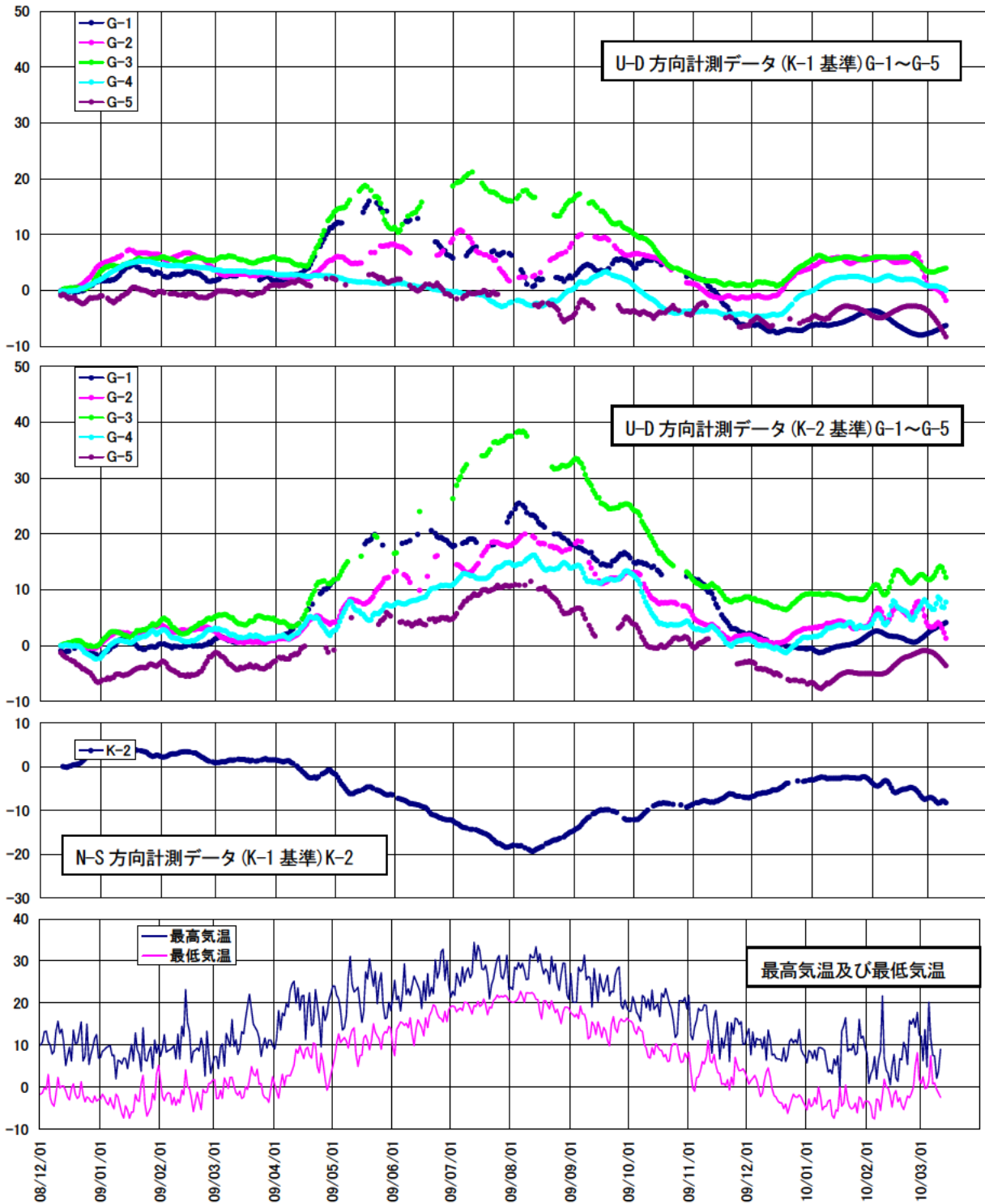


図 5.17 G-1~G-5, K-2, U-D 方向観測グラフ及び気温変動グラフ (2009/12~2010/3)

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。

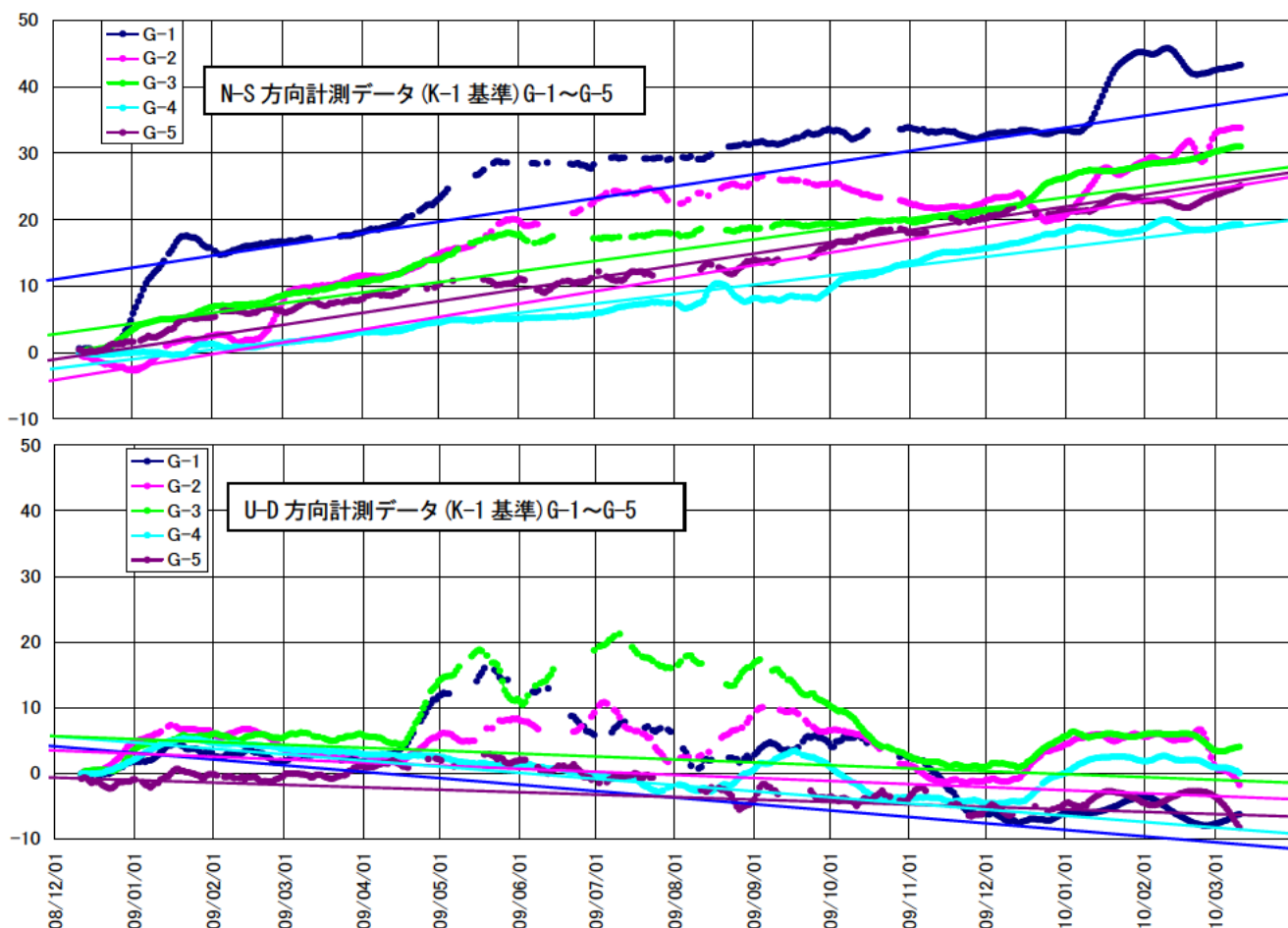


図 5.18 G-1~G-5 の N-S, U-D 方向観測グラフと近似線 (2009/12~2010/3)

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。

表 5.6 G-1~G-5 の直線方程式に基づいた 1 日の変動量

	N-S 方向近似式(x : 日, y : mm)	U-D 方向近似式(x : 日, y : mm)
G-1	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 5.7 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について解析を行った。解析結果を図5.19に示す。

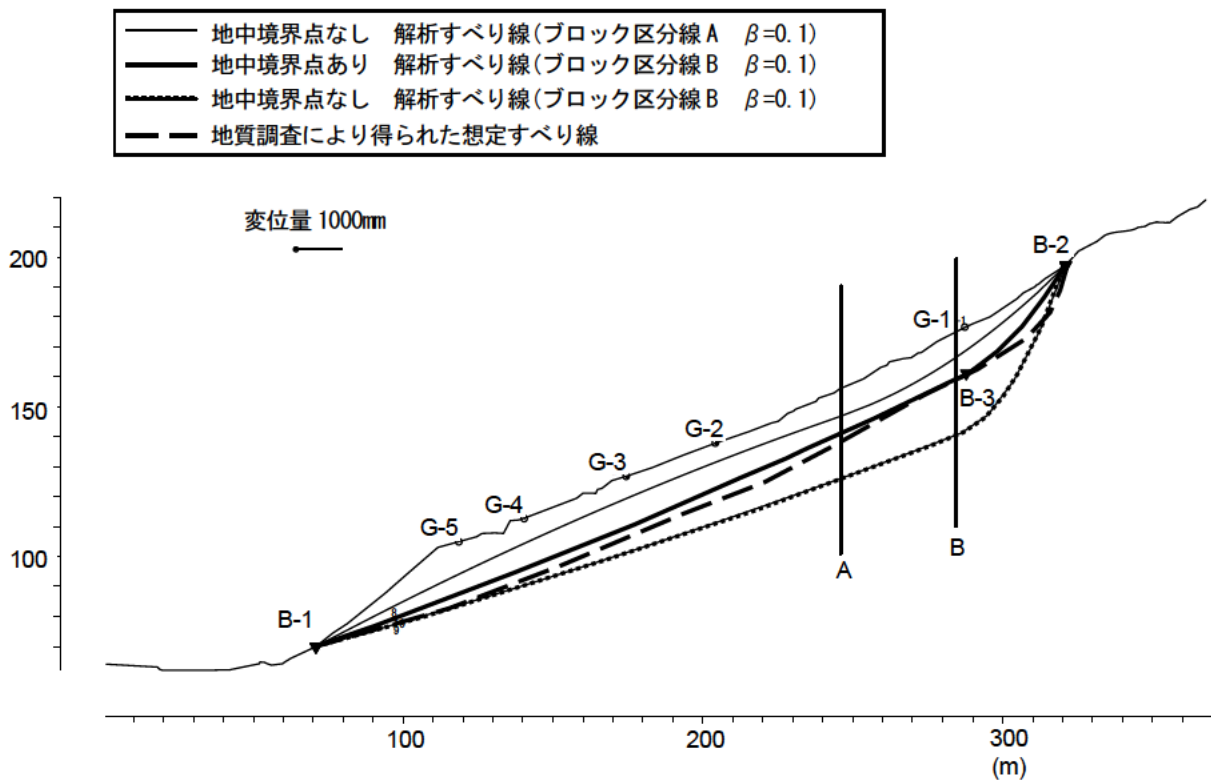


図 5.19 麻生小平地区解析結果(変位量は1年経過後の推定変動量を採用)

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%としたケースに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。

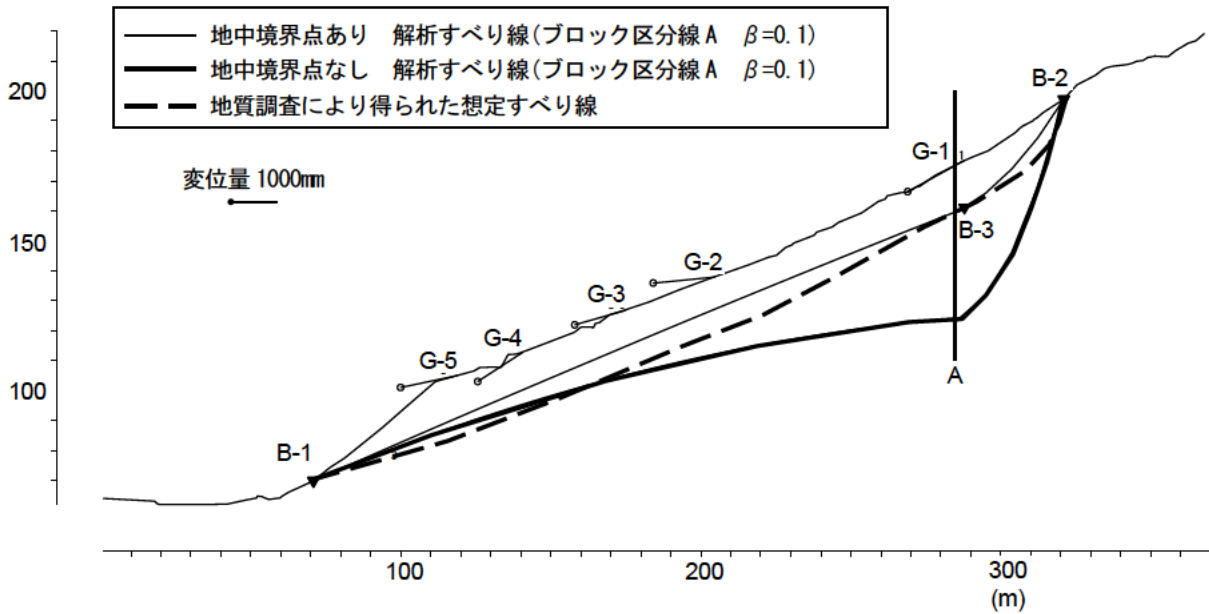


図 5.20 麻生小平地区解析結果 (変位量は1年経過後の推定変動量×58を採用)

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。

表 5.9 地すべり概要が判明している事例

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

表 5.10- (2) 地表面変位計測事例

項目	項目の概要			測定の概要			測定の概要			測定の概要			測定の概要			測定の概要		
	項目名	出先	用途	測定の概要	測定の概要	測定の概要	測定の概要	測定の概要	測定の概要	測定の概要	測定の概要	測定の概要	測定の概要	測定の概要	測定の概要	測定の概要	測定の概要	測定の概要
63	長谷川	山形県	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然
64	長谷川	山形県	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然
65	長谷川	山形県	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然
66	長谷川	山形県	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然
67	長谷川	山形県	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然
68	長谷川	山形県	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然
69	長谷川	山形県	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然
70	長谷川	山形県	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然
71	長谷川	山形県	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然
72	長谷川	山形県	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然
73	長谷川	山形県	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然
74	長谷川	山形県	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然
75	長谷川	山形県	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然
76	長谷川	山形県	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然	自然

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。

表5.11 月山湖PA地すべり概要

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
<p>概要</p> <p>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。</p> <p>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。</p>				

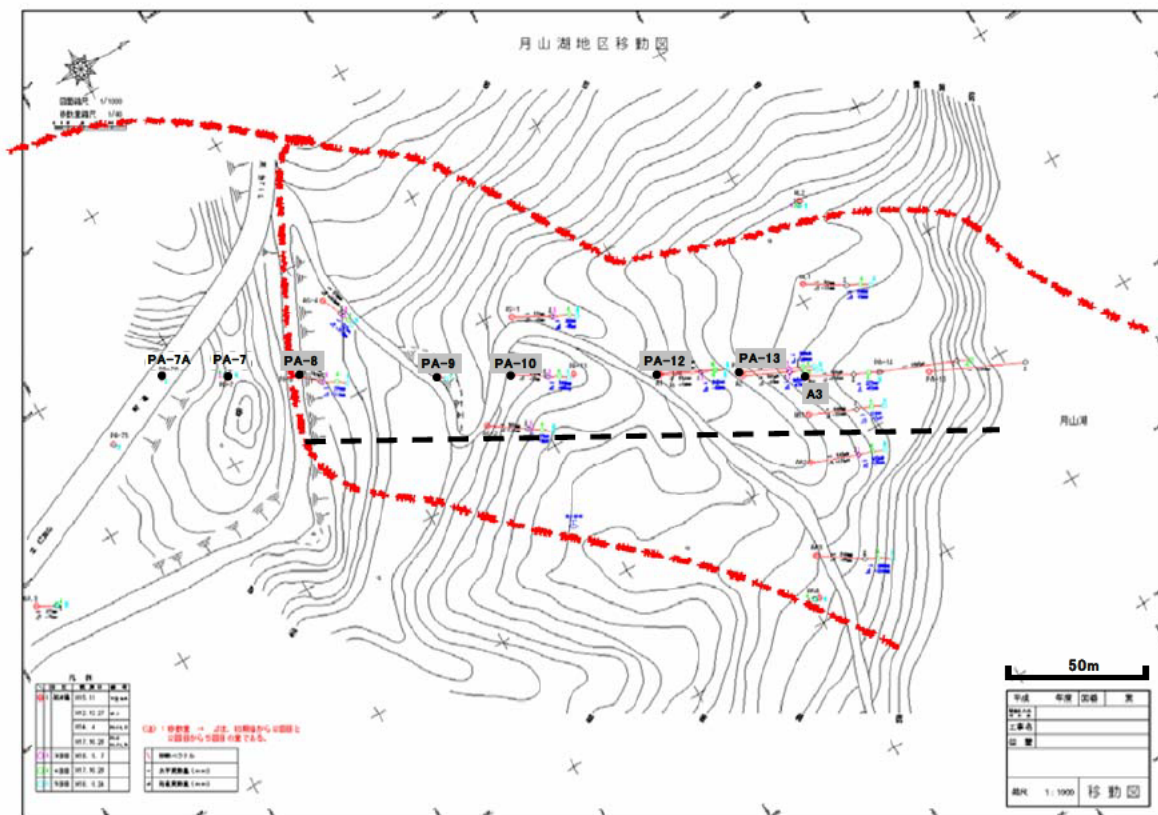


図5.21 月山湖PA地すべりの変位ベクトル図

(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に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。

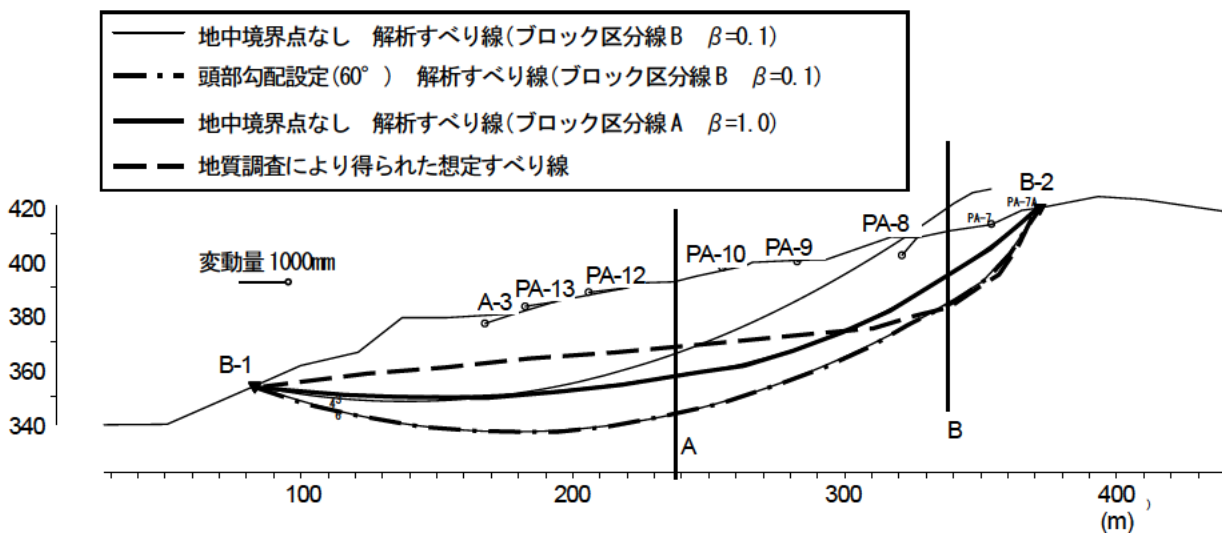


図 5.23 月山湖PA地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

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。

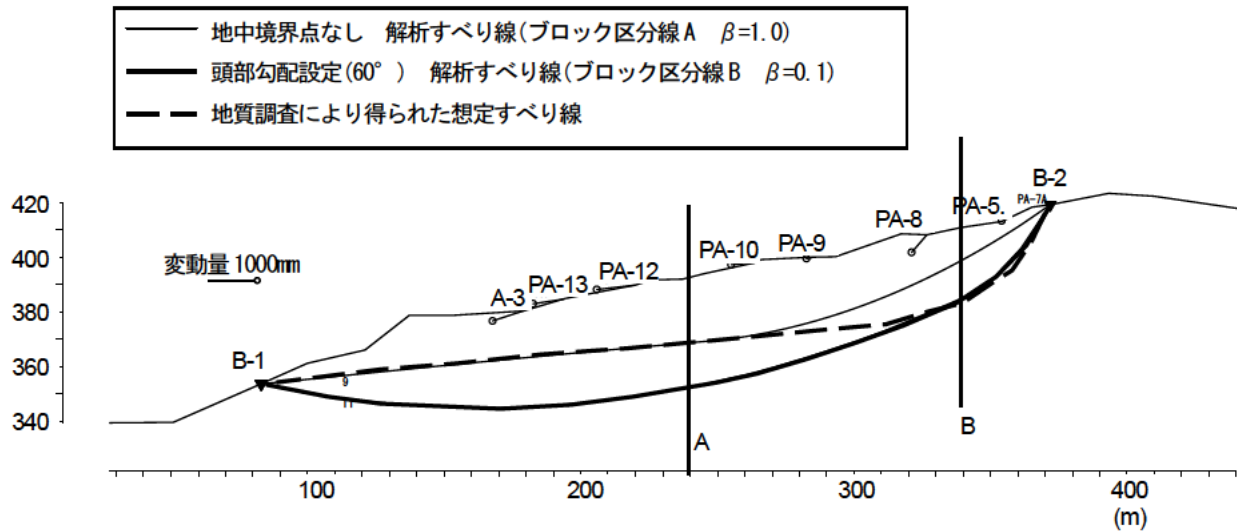


図 5.24 月山湖 PA 地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

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。

表 5.13 大所地すべり概要

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
概要				
<p>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、山体の深部まで破碎が進んでいるため、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。</p> <p>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。</p>				

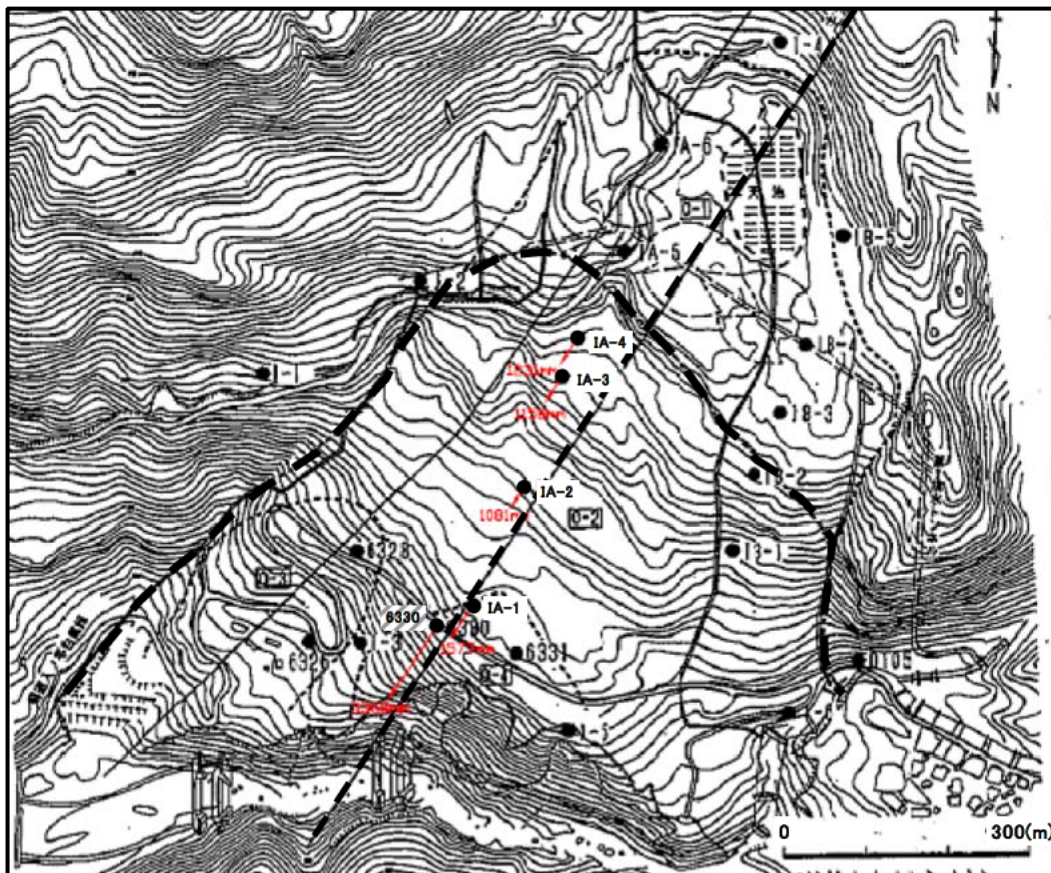


図 5.25 大所地すべりの変位ベクトル図

(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)の値が多く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に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。

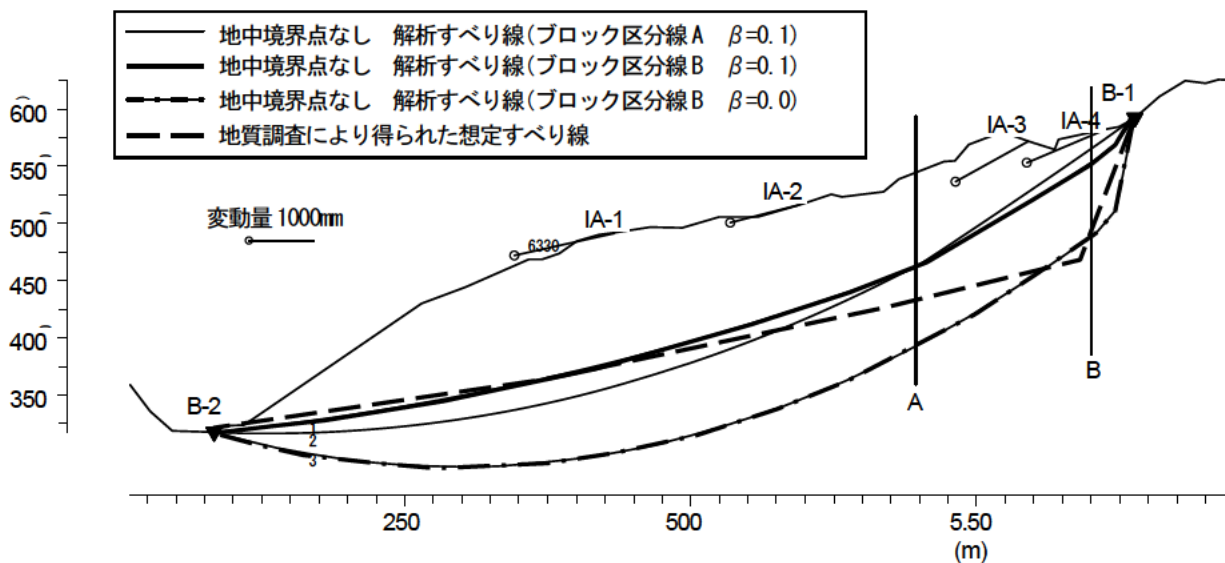


図 5.27 大所地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

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 $\beta=0.0$ 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。

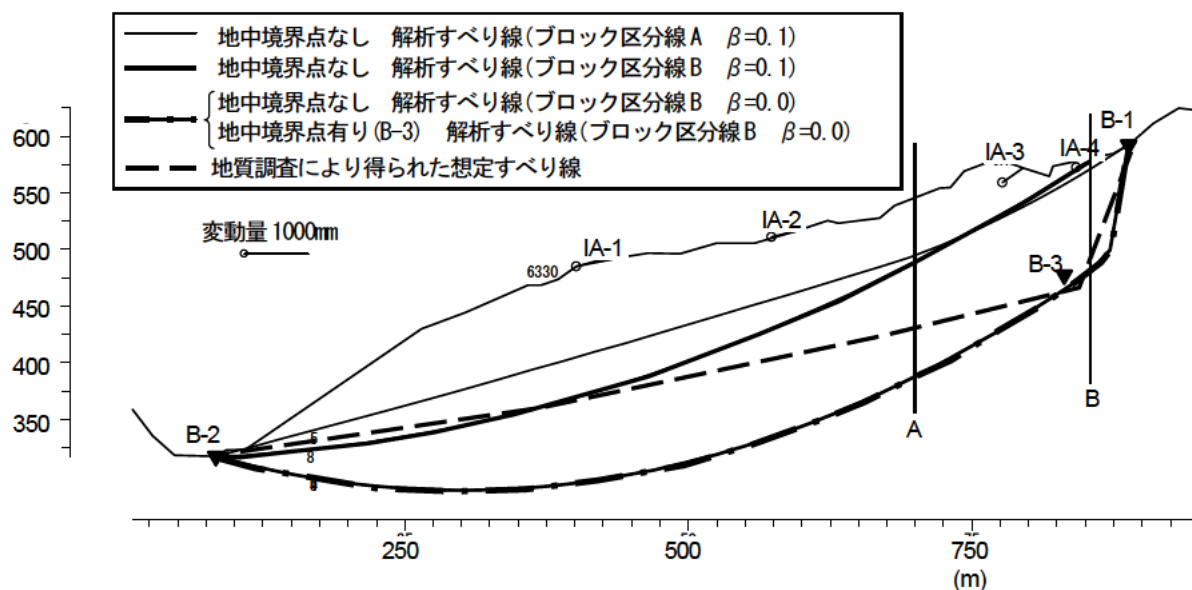


図 5. 28 大所地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

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 $\beta=0.0$ 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。

◆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% としたケースに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。

表 5. 15 解析に用いた変位量

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

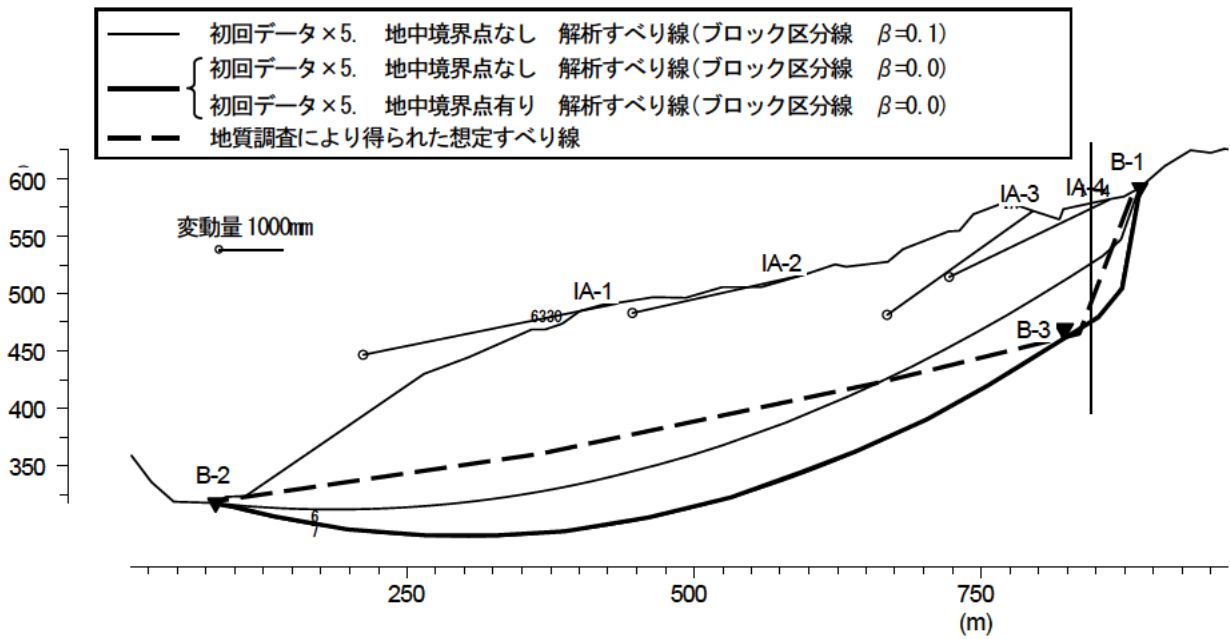


図 5.29 大所地すべり解析結果(変位量は初回値×5.を採用)

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 $\beta=0.0$ 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。

表 5.16 町道高沢入線すべり概要

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・砂岩互層	移動杭 (光波)	20日	3点	ボーリング
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。				

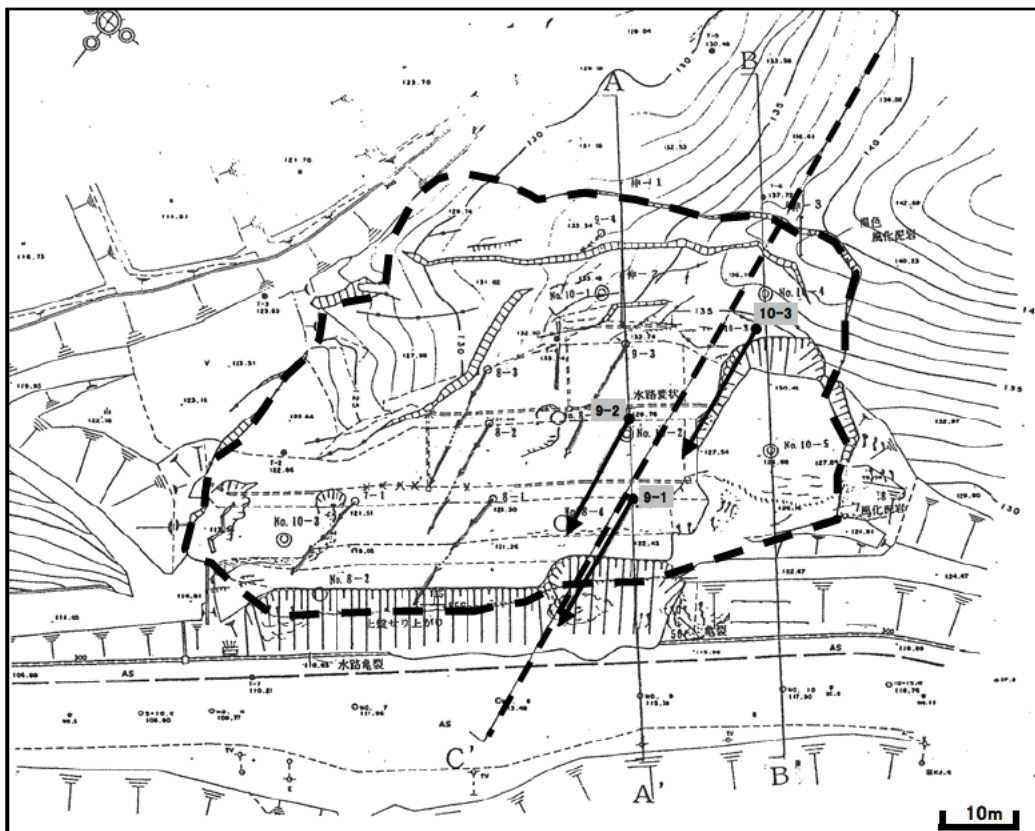


図 5.30 町道高沢入線すべりのベクトル図

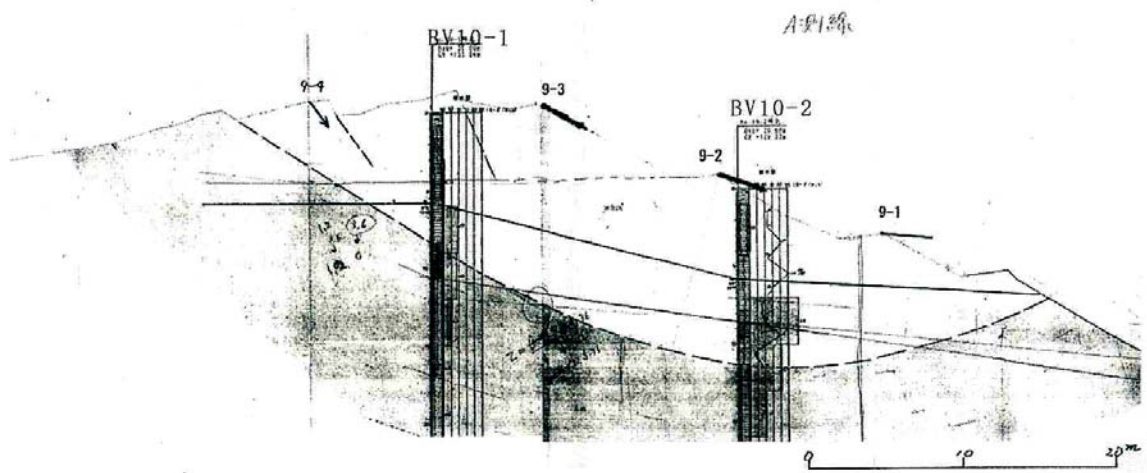


図 5.31 町道高沢入線すべり断面図

表 5.17 町道高沢入線すべりの計測結果（移動杭） 単位：mm

計測点	10-3				9-1				9-2			
	Δxy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy
成分	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H10.5.20	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に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。

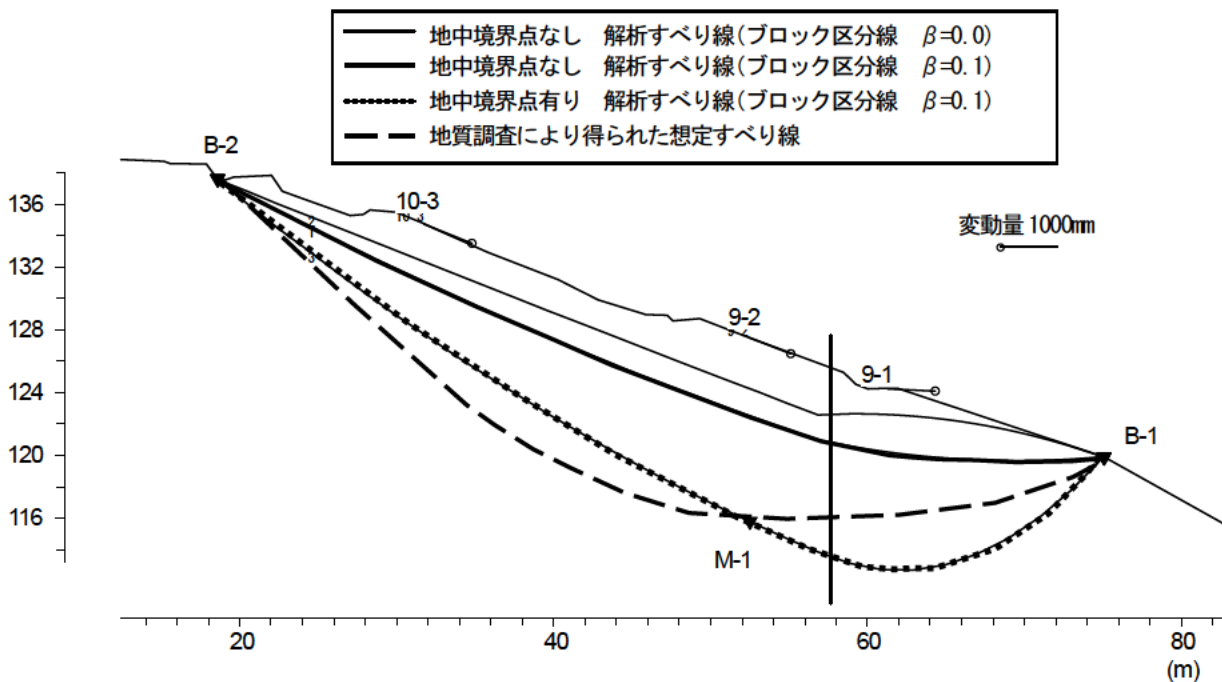


図 5.32 町道高沢入線すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

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。

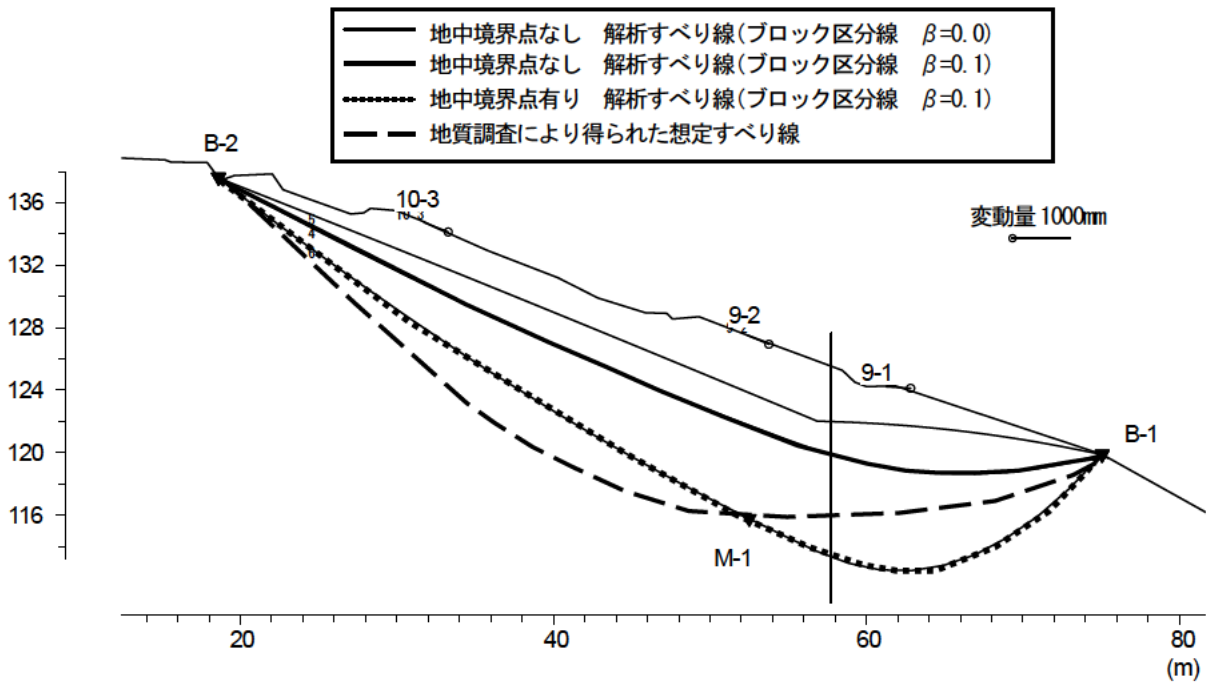


図 5.33 町道高沢入線すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

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かったが、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。

表 5.18 町道高沢入線すべり概要

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

概要
<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>

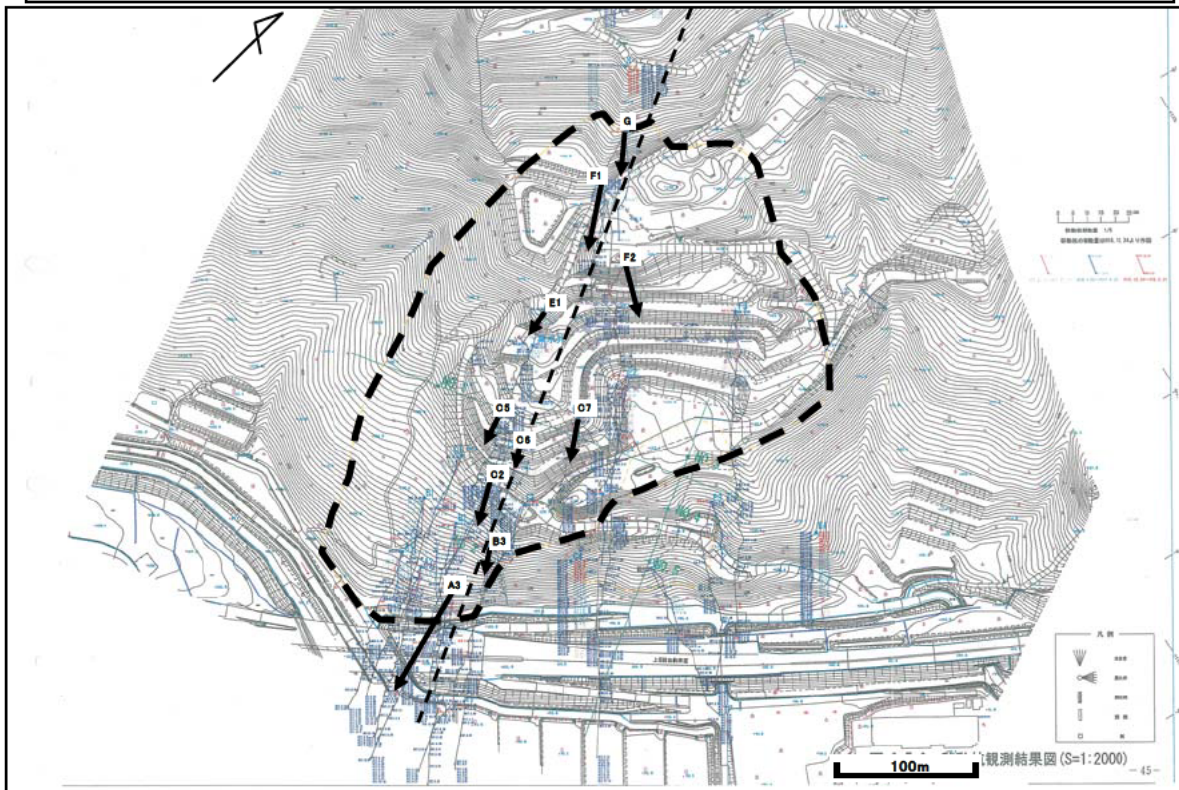


図 5.34 北ノ入地区地すべりのベクトル図

4 北ノ入地区地すべり : 断面図

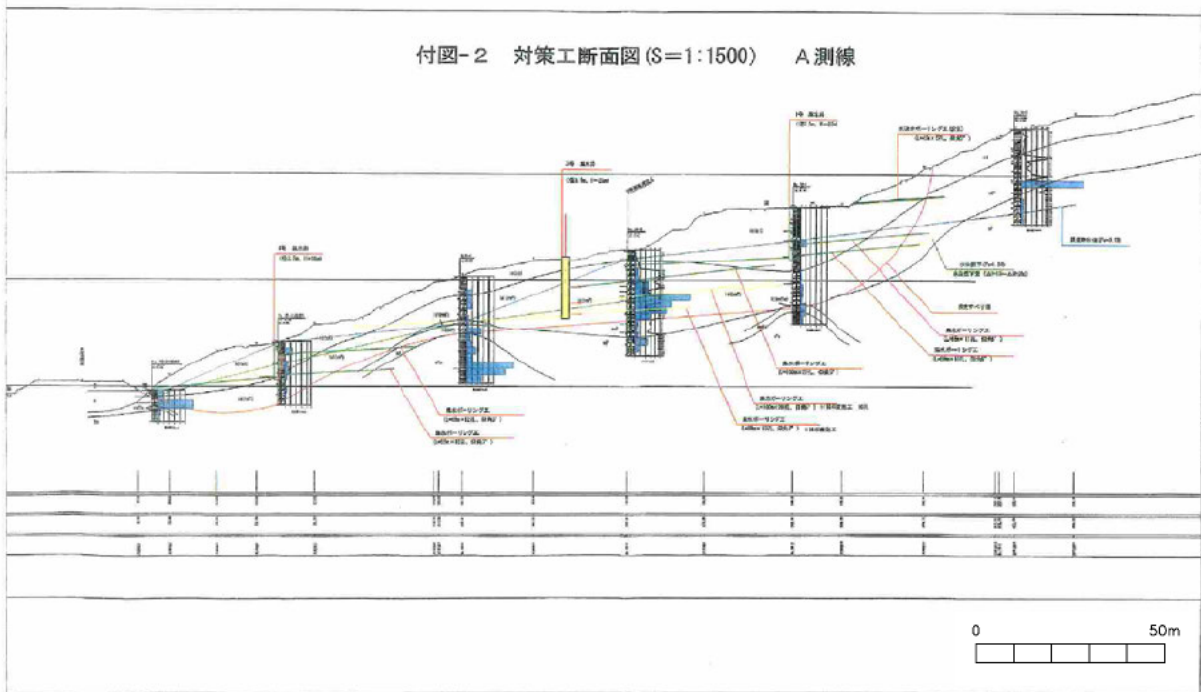


図 5.35 北ノ入地区地すべりの断面図

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	C7				C5				C6			
	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												

計測点	C2				B3				A3			
	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	-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			
	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に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。

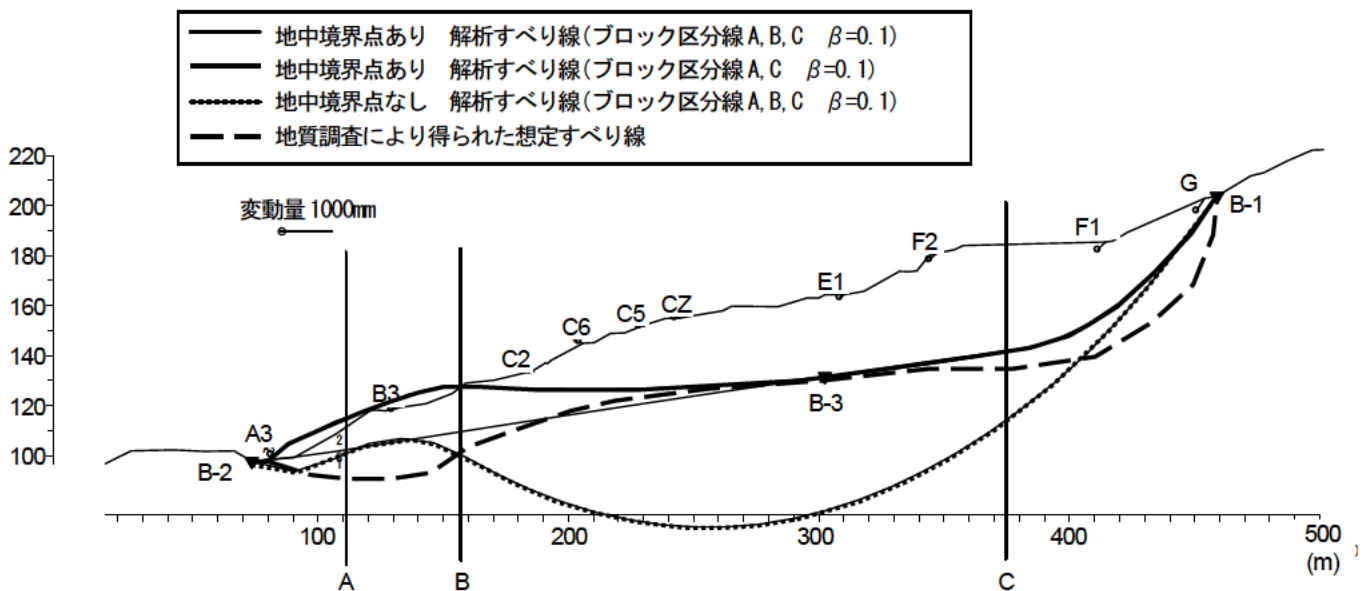


図 5.36 北ノ入地区すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

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。

初回データを採用した場合の解析結果を図 5.37 に示す。

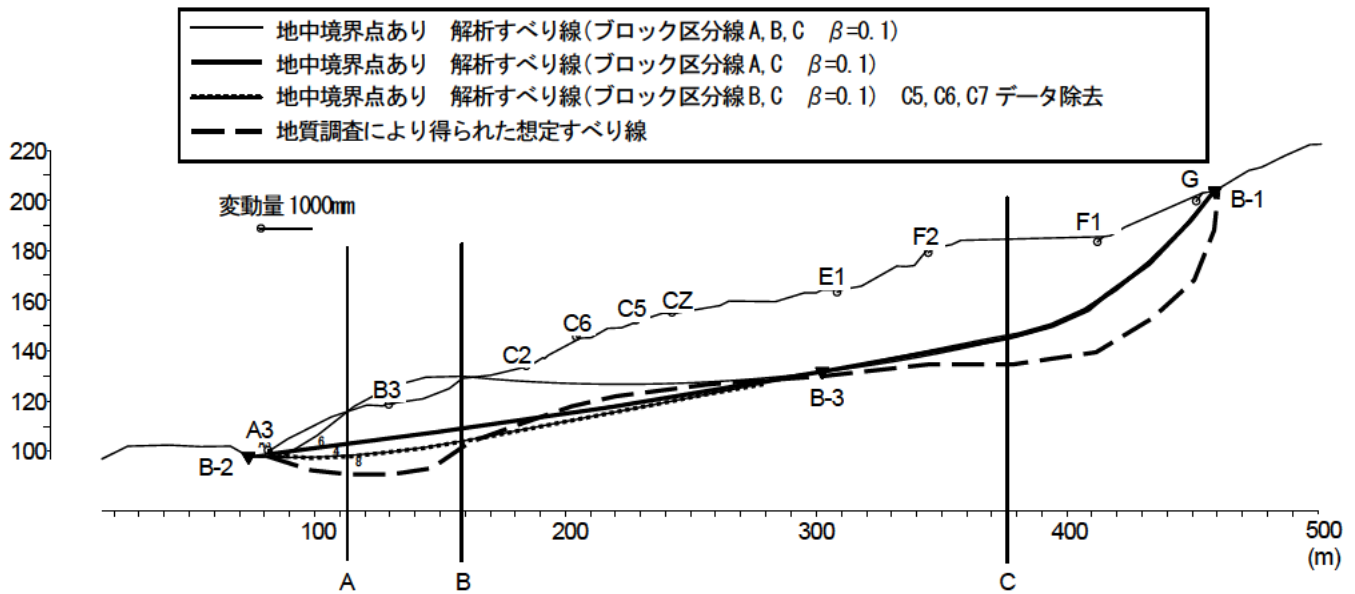


図 5.37 北ノ入地区すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

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%としたケースに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。

表 5.20 解析に用いた変位量

計測点	変位量(初回データ×18)(mm)		
	dx	dy	dz
G	-1152	-1728	-2790
F1	-684	-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
B3	-864	-1638	-324
A3	-594	-900	72

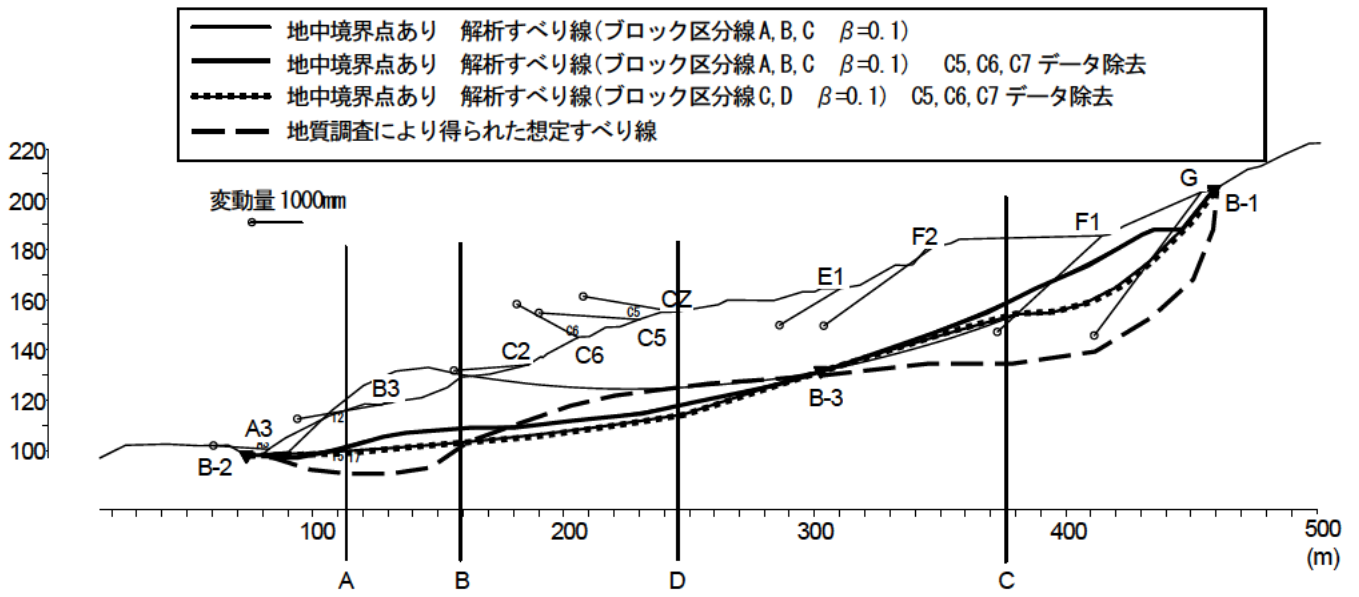


図 5.38 北ノ入地区すべり解析結果(変位量は初回データ×18(すべり線長の0.5%))

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。

表 5.21 落合地すべり概要

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

概要
<p>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。</p> <p>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。</p>

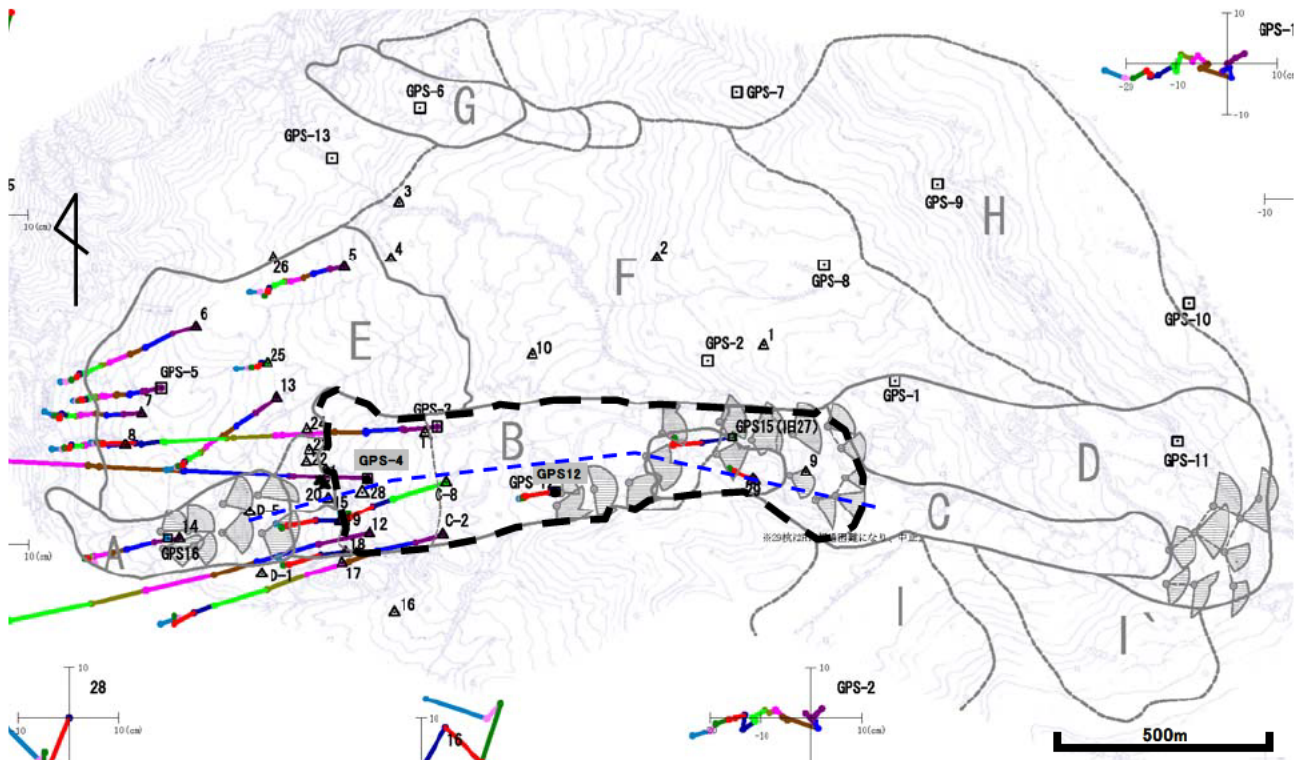


図 5.39 落合地すべりのベクトル図

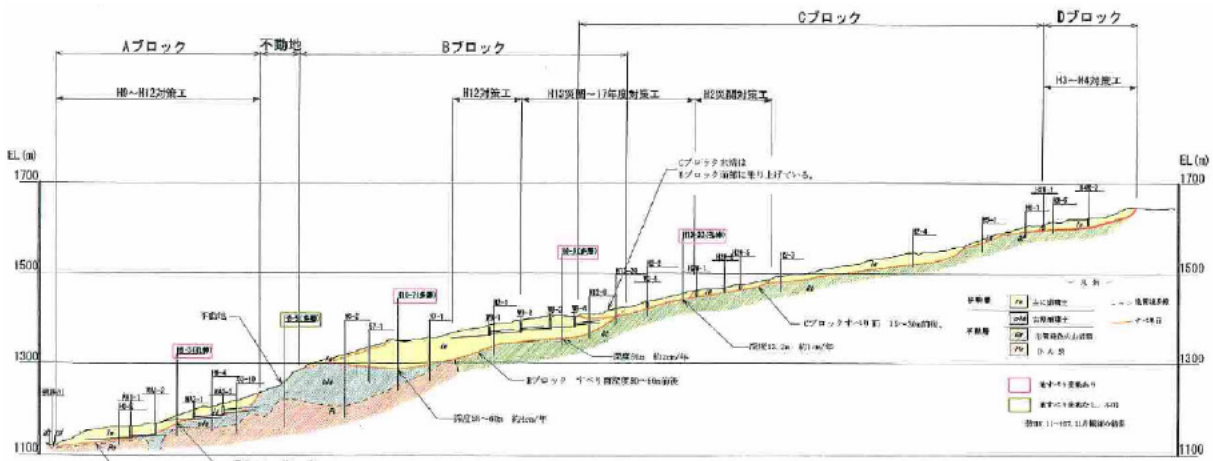


図 2.4 落合地すべり主測線断面図 (S=1:8,000)
0 200m

図 5.40 落合地すべりの断面図

表 5.22 落合地すべりの計測結果 (移動杭) 単位 : mm

計測点 成分	GPS12				GPS-4			
	Δxy	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

(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について解析を行った。解析結果を図 5.41 に示す。

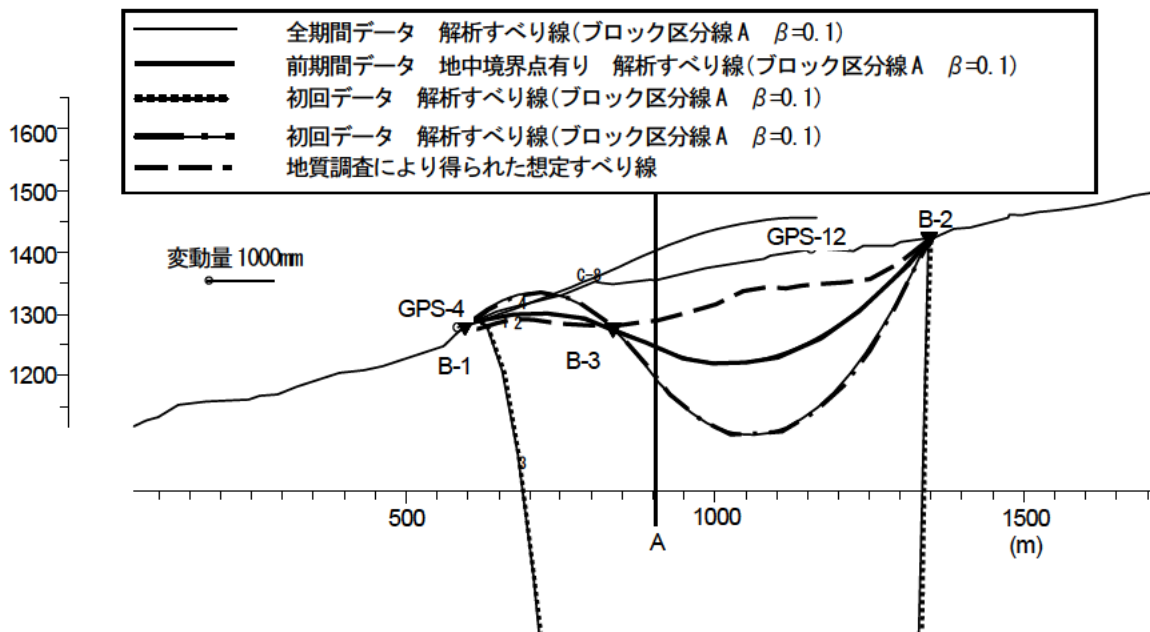


図 5.41 落合地すべり解析結果(変位量は観測値を採用)

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。

表 5.23 下石川地すべり概要

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	
概要				
<p>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。</p> <p>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。</p>				

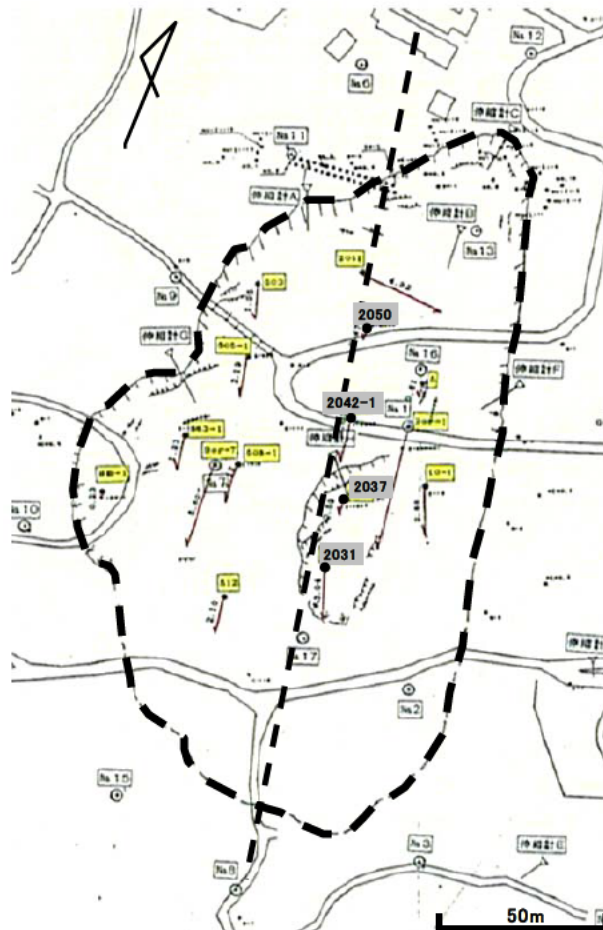


図 5.42 下石川地すべりのベクトル図

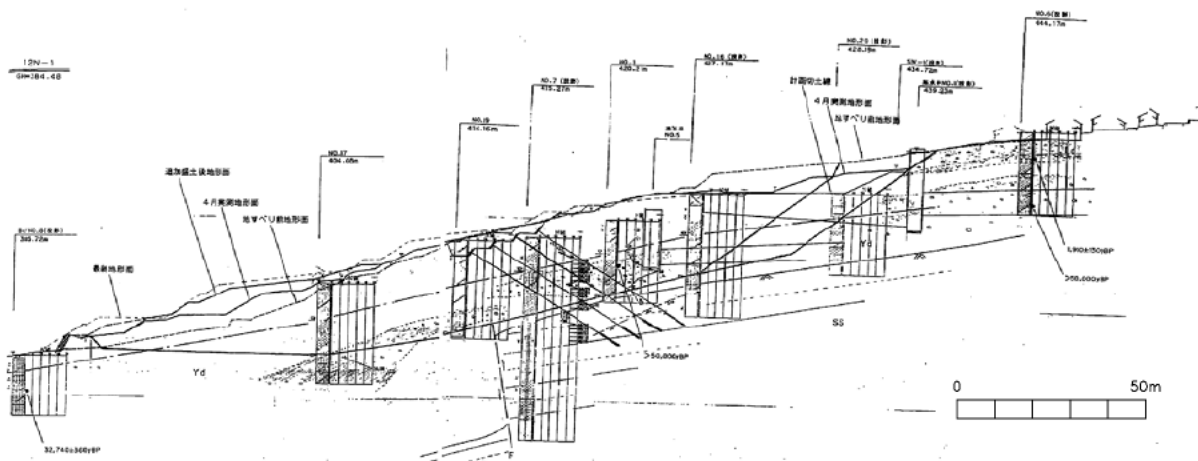


図 5.43 下石川地すべりの断面図

表 5.24 下石川地すべりの計測結果（移動杭） 単位：mm

計測点 成分	2031				2037				2042-1			
	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				

計測点 成分	2050			
	Δxy	Δz	Δx	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

(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に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。

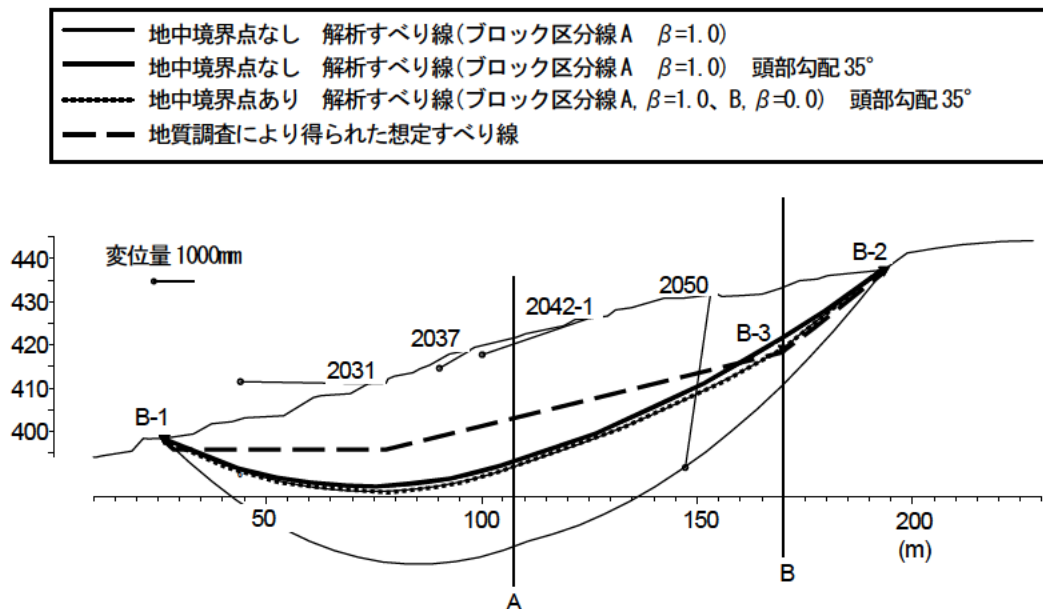


図 5.44 下石川地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

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。

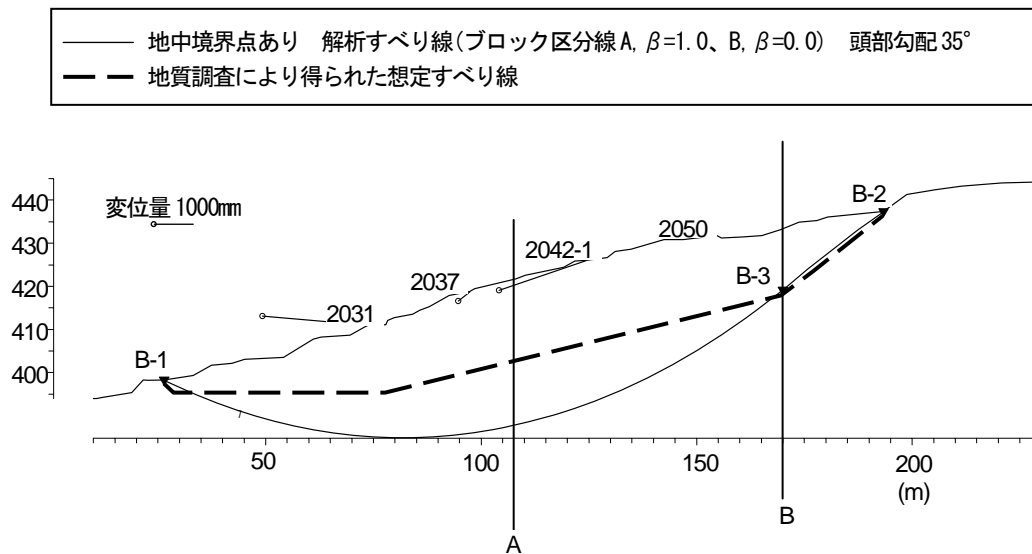


図 5.45 下石川地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

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%としたケースに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。

表 5.25 解析に用いた変位量

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

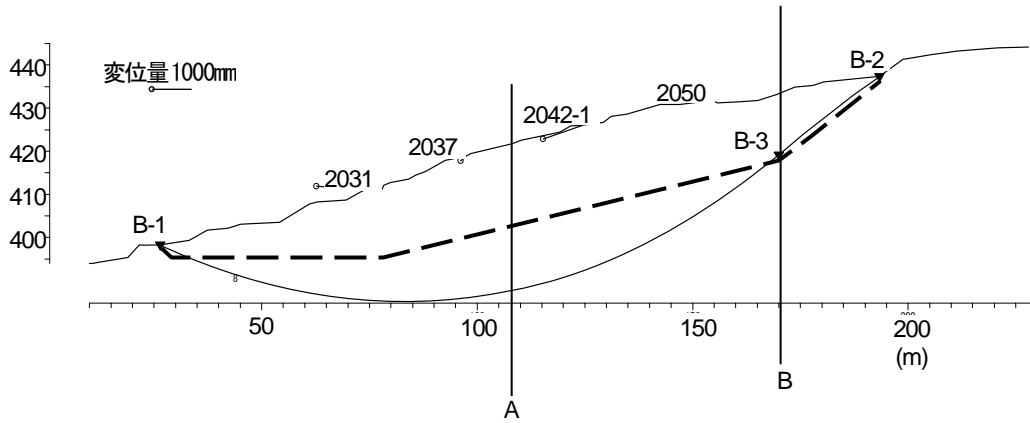


図 5.46 下石川地すべり解析結果(変位量は初回データ×0.45(すべり線長の0.5%))

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。

表5.26 国道424号道路災害概要

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)	すべり線 推定根拠
黒色頁岩	移動杭 (光波)	50日(4回)	4点	ボーリング

概要
<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>

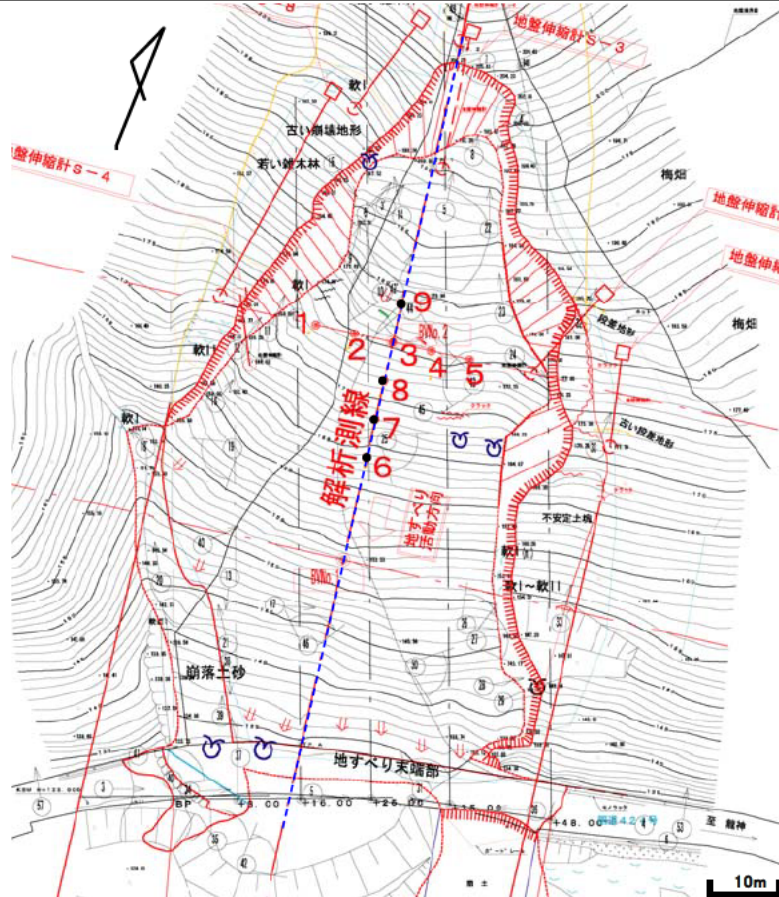


図5.47 国道424号道路災害のベクトル図

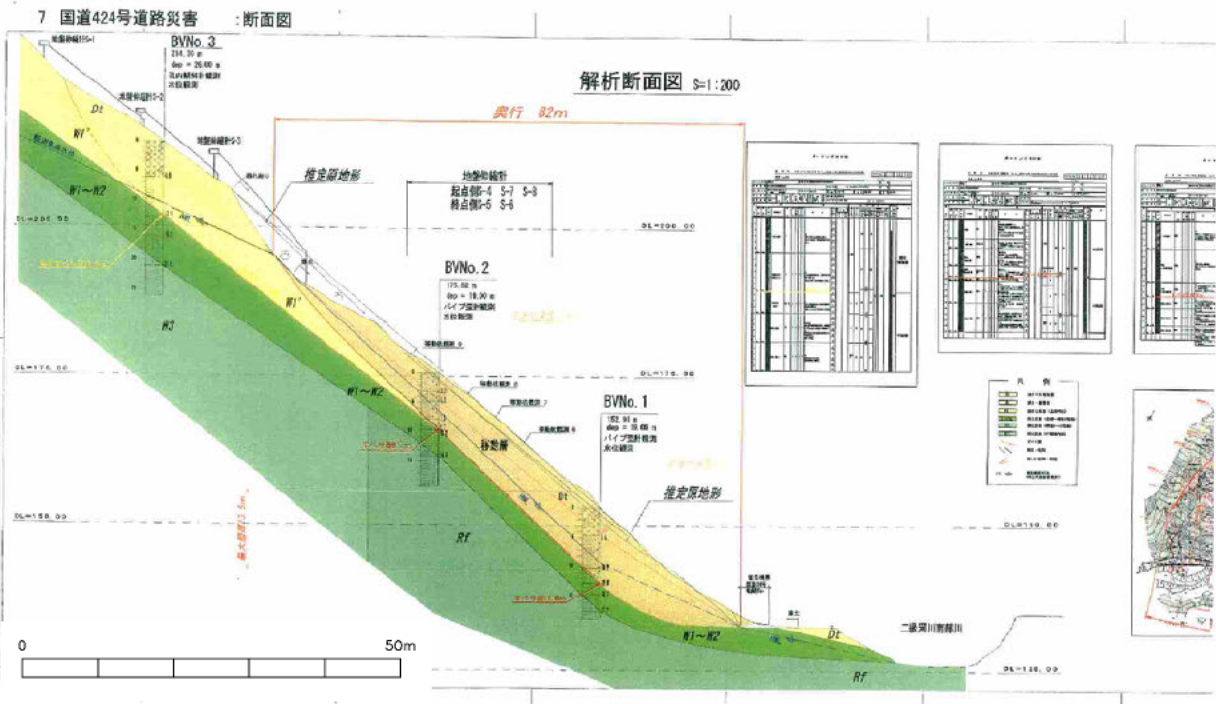


表 5.27 国道 424 号道路災害の計測結果 (移動杭) 単位 : mm

計測点	19				18				17			
成分	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	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								

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				

(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に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。

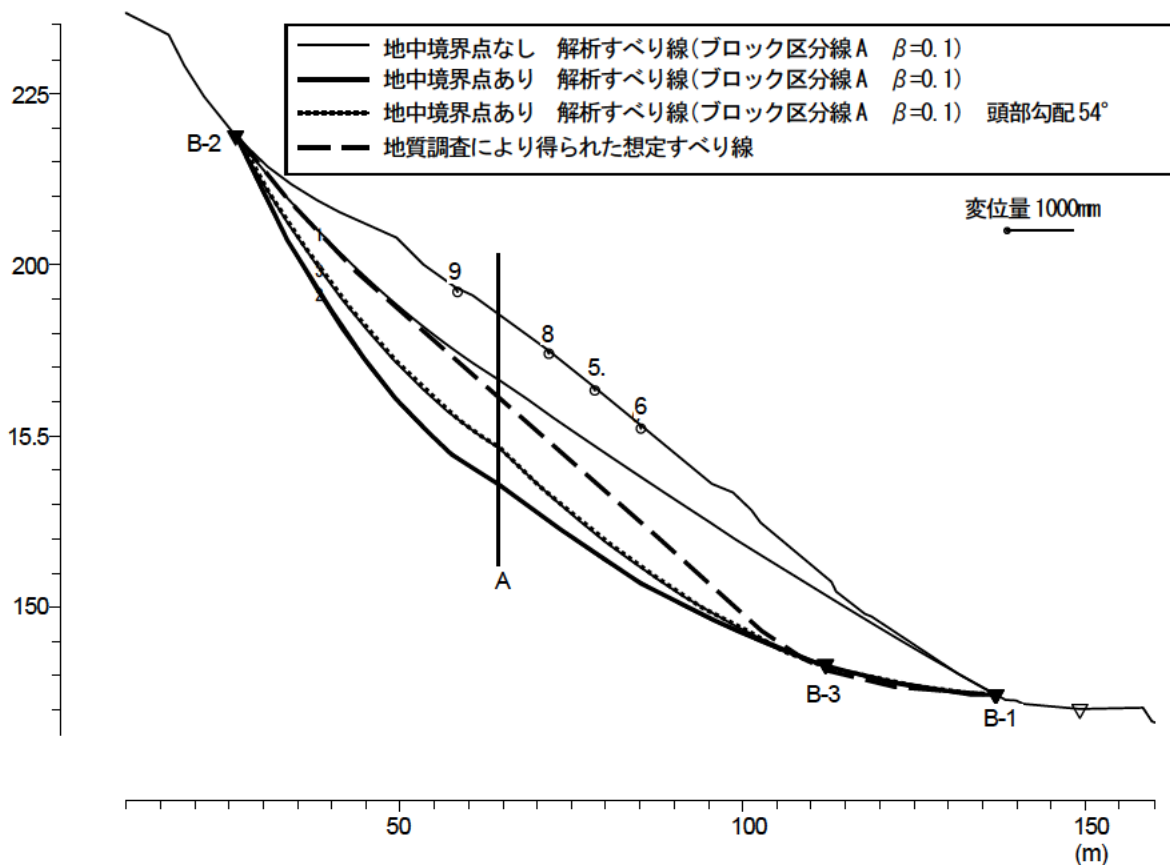


図 5.49 国道 424 号道路災害解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

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。

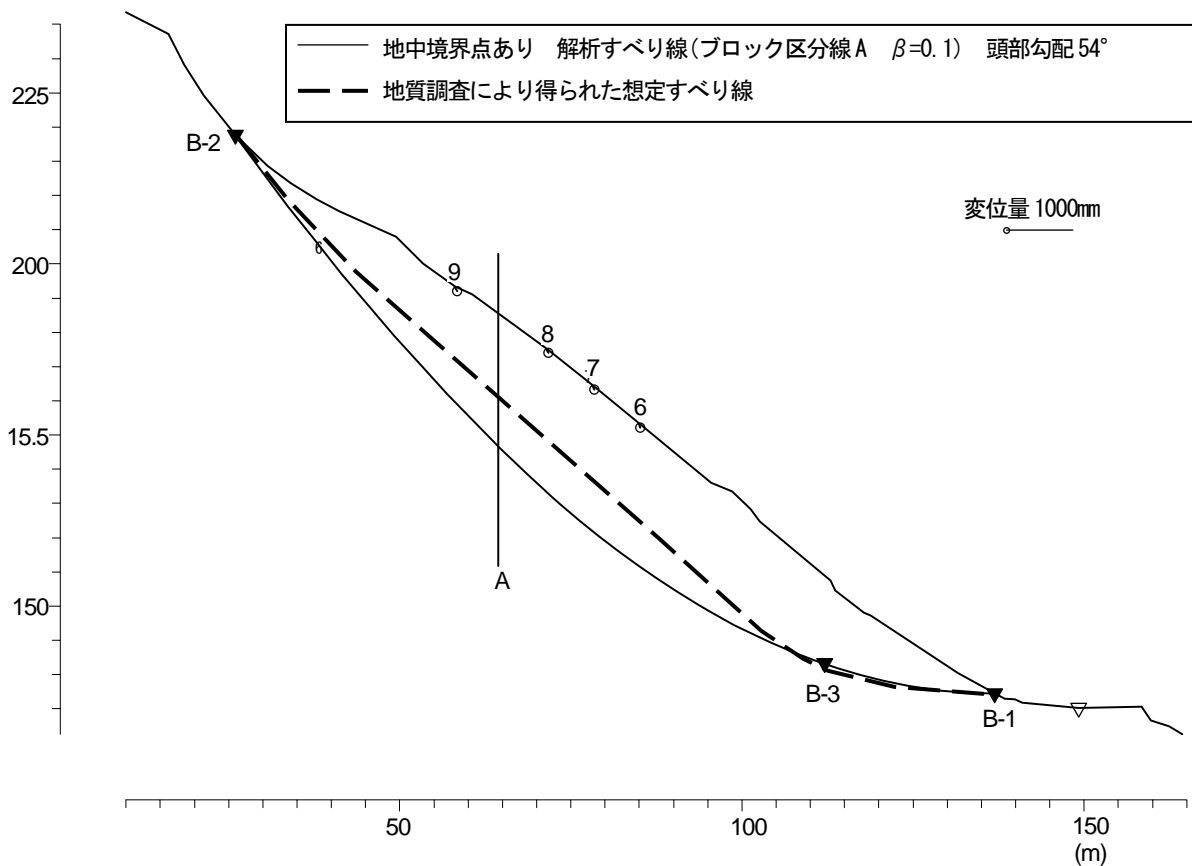


図 5.50 国道 424 号道路災害解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

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%としたケースに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。

表 5.28 解析に用いた変位量

計測点	変位量(初回データ×18)(mm)		
	dx	dy	dz
9	-198	90	-444
8	-186	66	-312
7	-186	6	-342
6	-150	6	-378

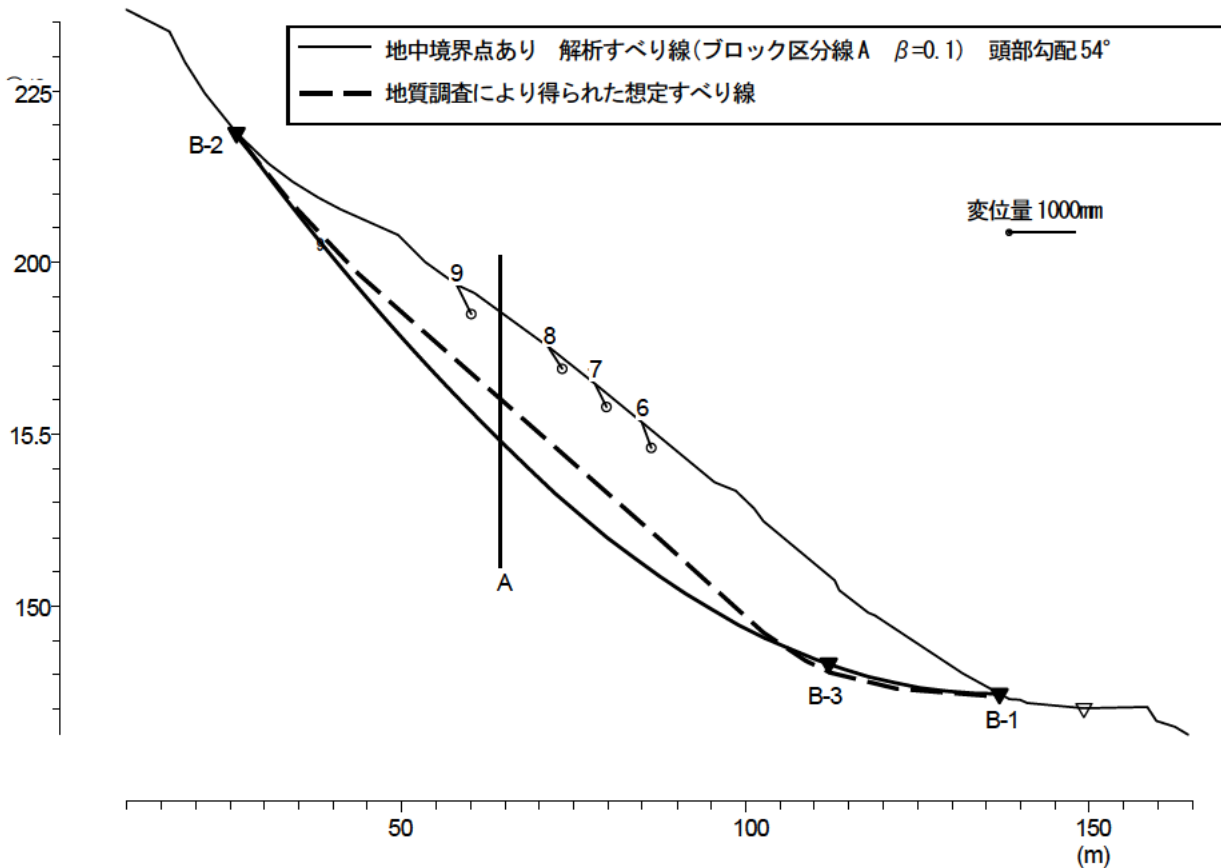


図 5.51 国道 424 号道路災害解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ×6(すべり線長の 0.5%))

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 5.50)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。

表 5.29 仲野地区地すべり概要

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	
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。				

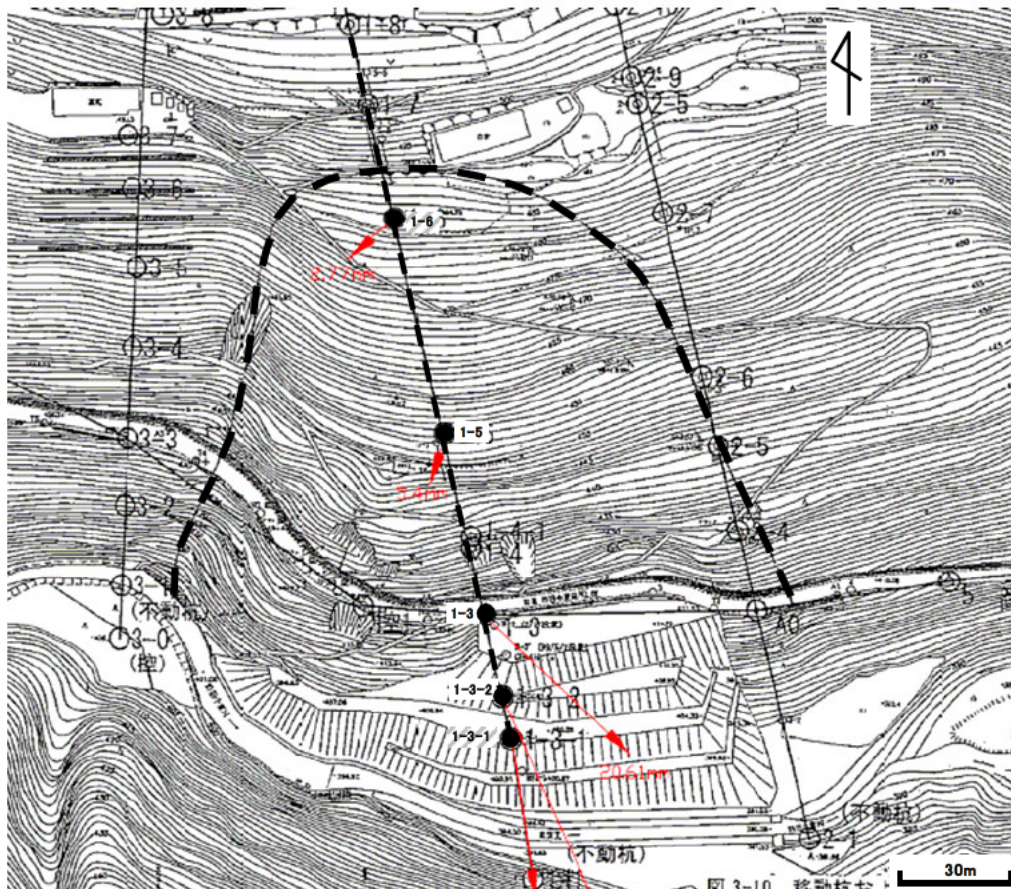


図 5.52 仲野地区地すべりのベクトル図

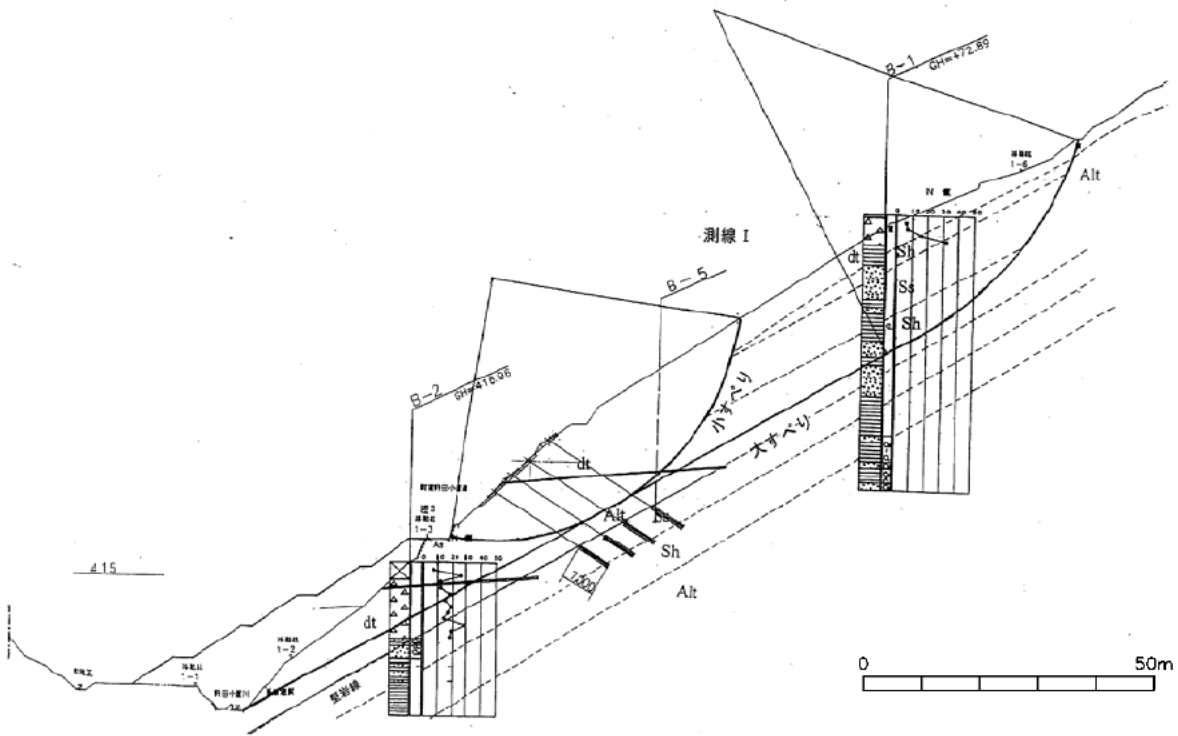


図 5.53 仲野地区地すべりの断面図

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 成分	11-6				11-5				11-3			
	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	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

計測点 成分	11-3-2				11-3-1			
	Δx	Δy	Δxy	Δz	Δx	Δy	Δxy	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				

(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に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、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。

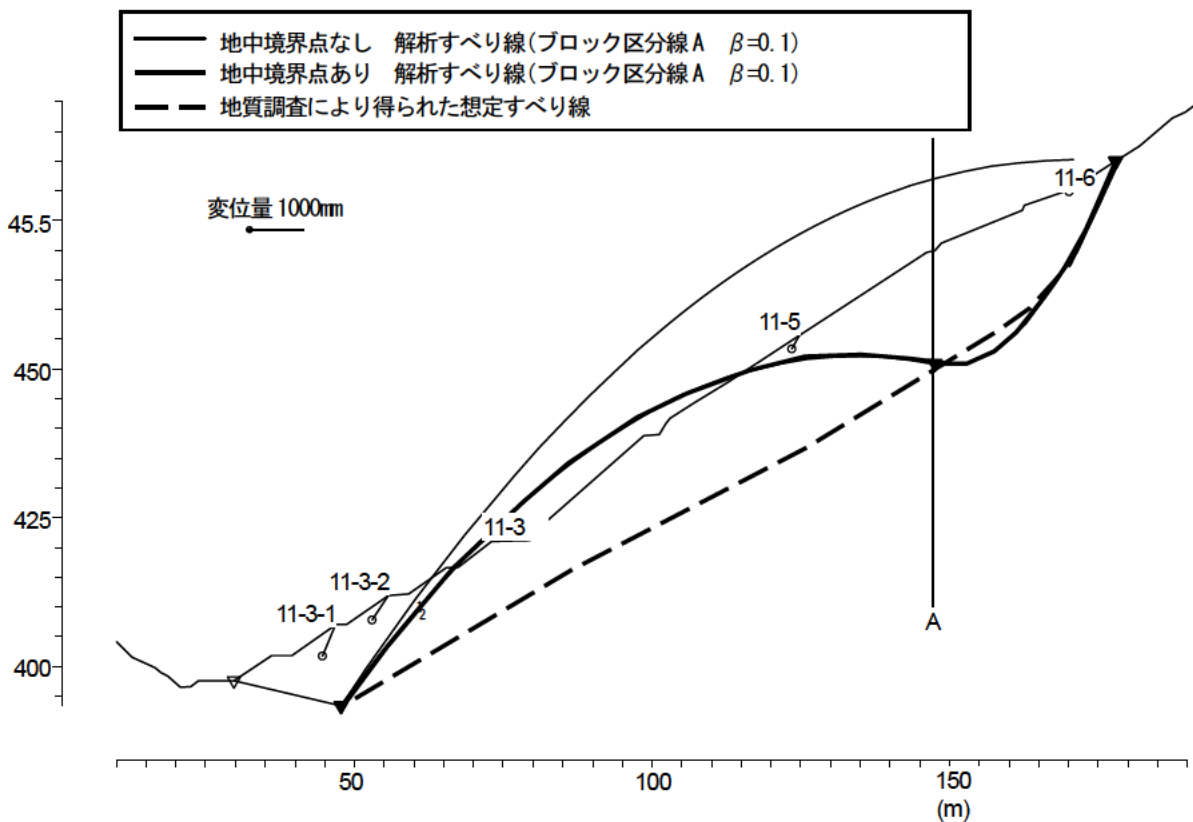


図 5.54 仲野地区地すべり解析結果(変位量は観測値を採用)

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。

表 5.31 中之島地すべり概要

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
概要	<p>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4km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。</p> <p>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。</p> <p>地すべり動態観測(地表面計測)は、19箇所で行われているが、4年間で最大約30cm程度移動している。</p>			

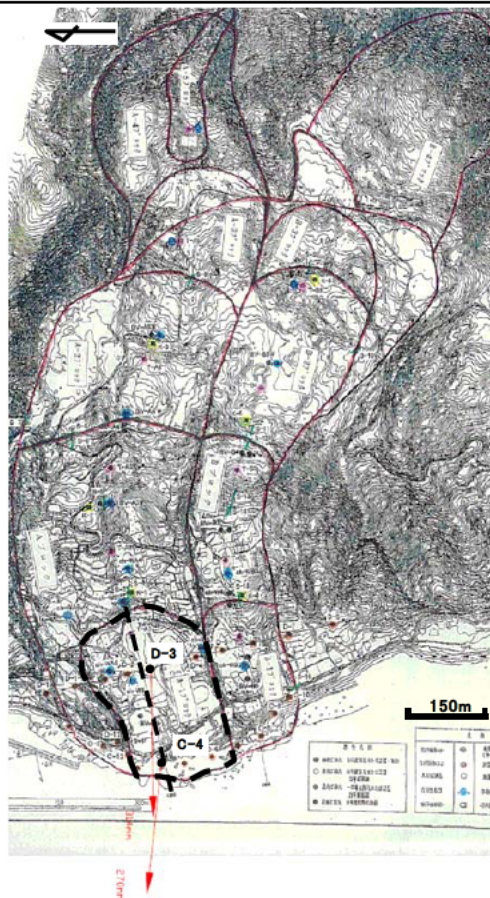


図 5.55 中之島地すべりのベクトル図

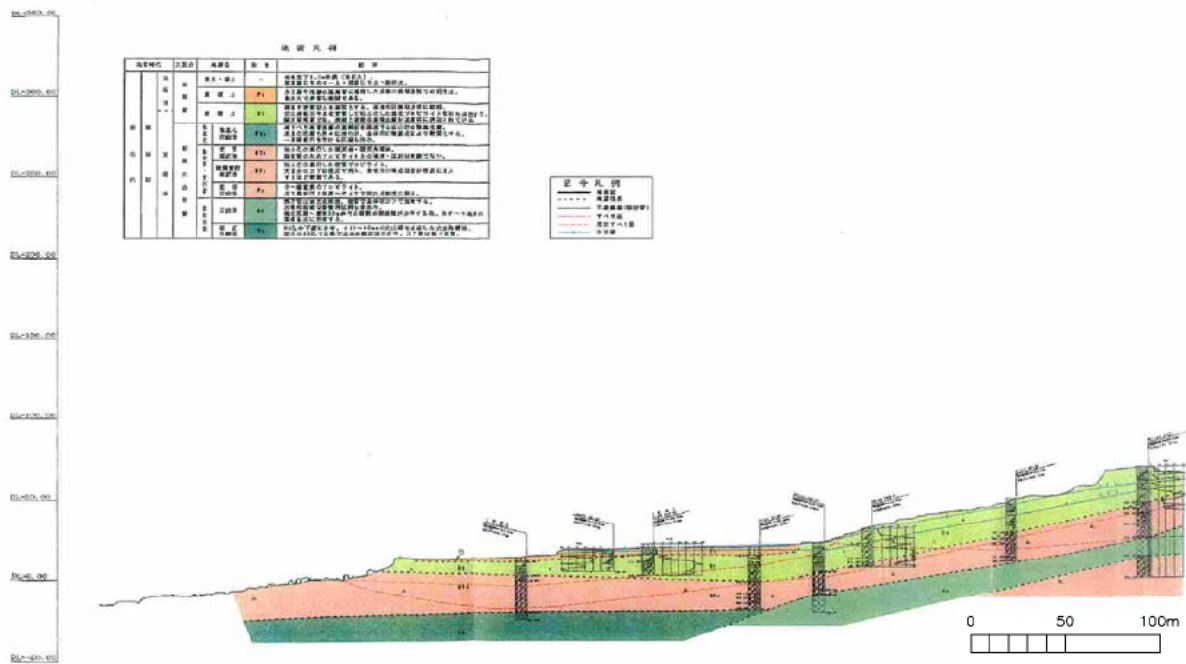


図 5.56 中之島地すべりの断面図

表 5.32 中之島地すべりの計測結果（移動杭） 単位：mm

計測点 成分	1C-4				1D-3			
	Δx	Δy	Δxy	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

(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に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。

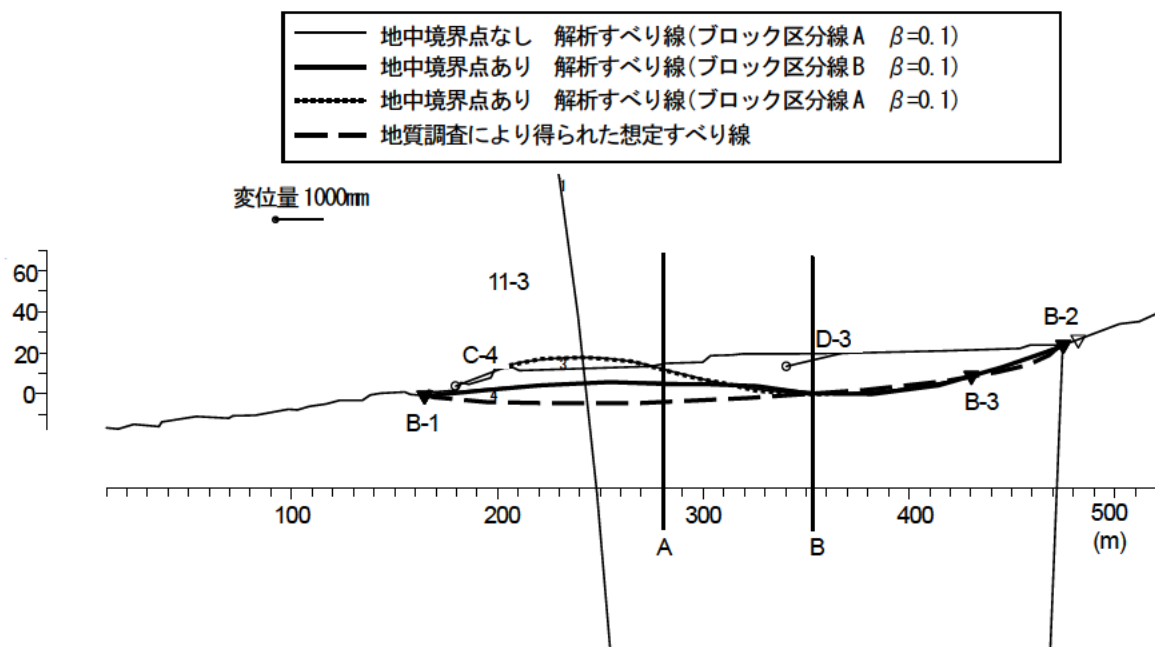


図 5.57 中之島地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

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。

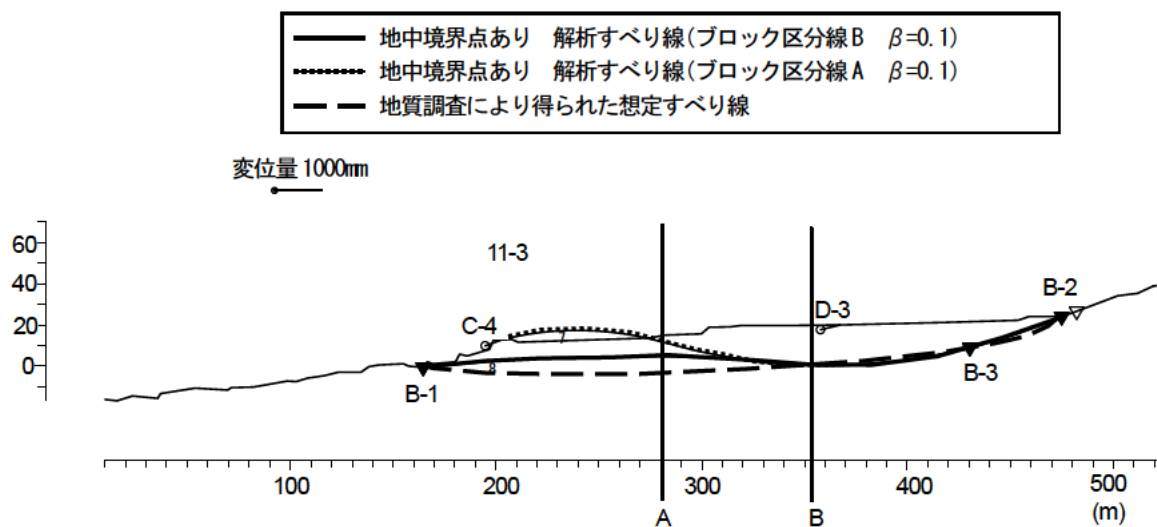


図 5.58 中之島地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

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%としたケースに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。

表 5.33 解析に用いた変位量

計測点	変位量(初回データ×18)(mm)		
	dx	dy	dz
C4	-1370	125	-495
D3	-1650	-310	-370

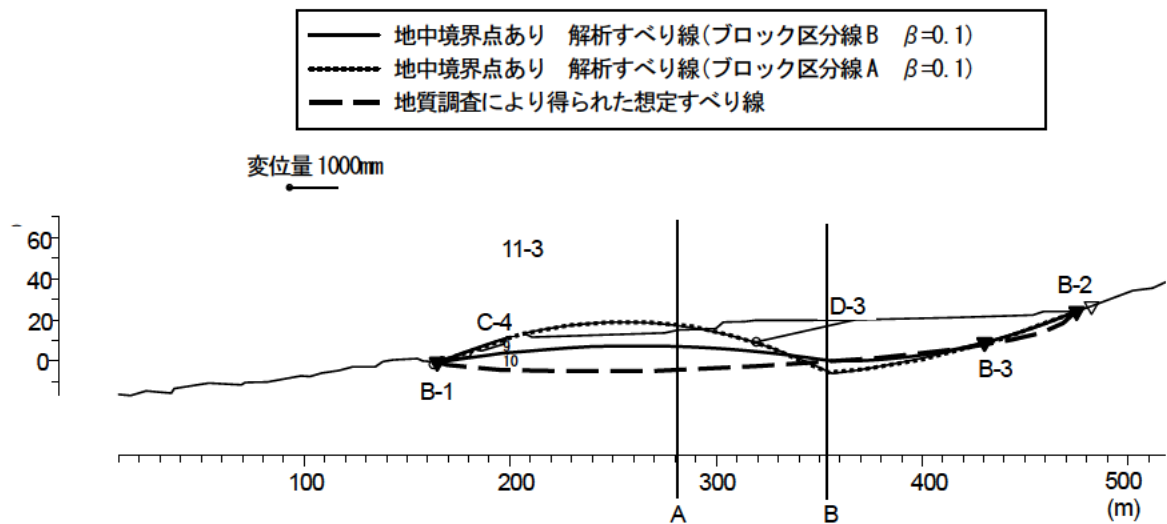


図 5.59 中之島地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ×5(すべり線長の0.5%))

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 5.58)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。

表 5.34 摺上ダム(中津川地区)概要

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	岩盤すべり (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 (ノンブリ)	3ヶ月(11回)	5点	ポーリング

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、3ヶ月間移動杭観測が行われている。

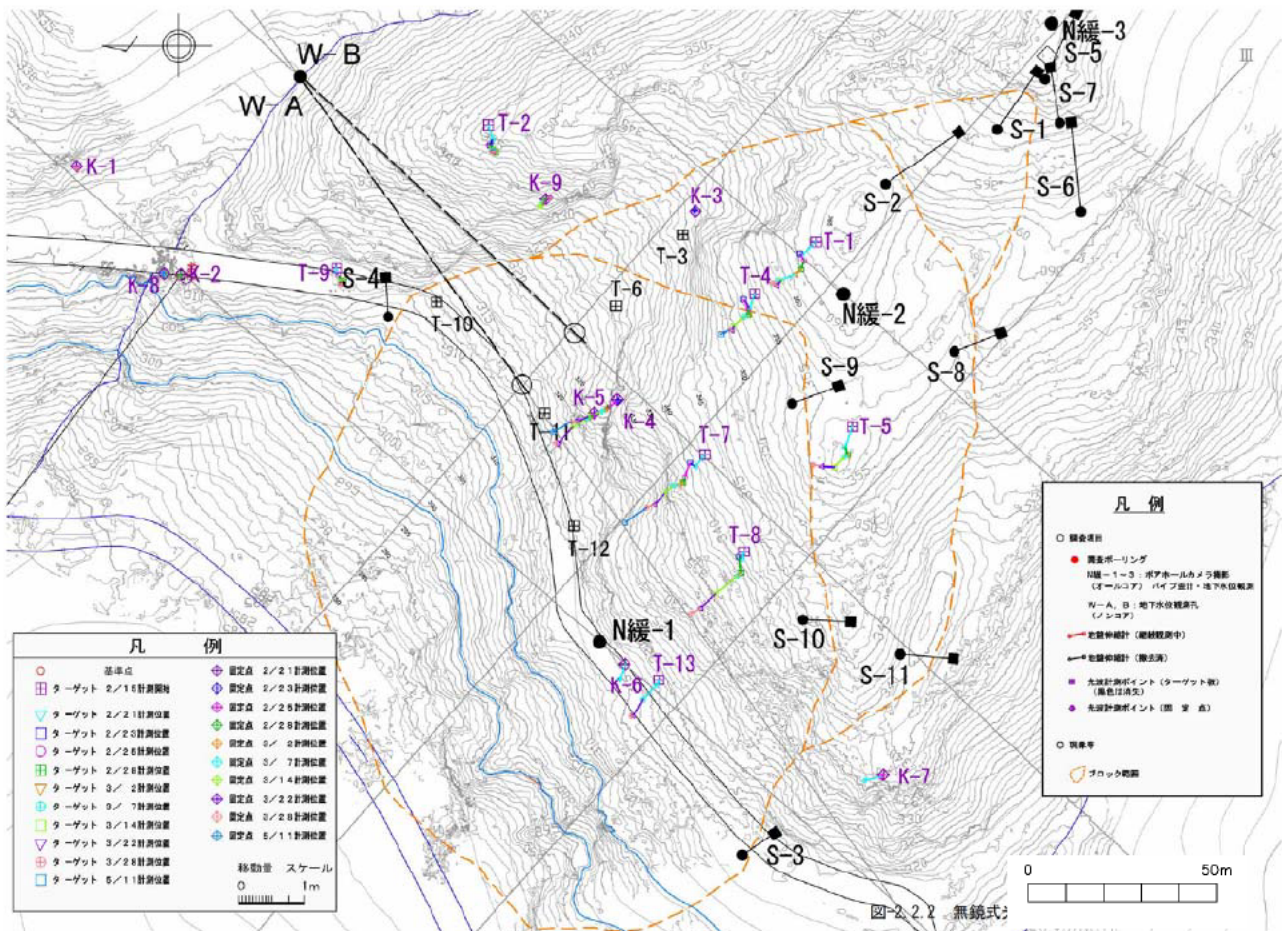


図 5.60 摺上ダム中津川地区すべりのベクトル図

(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に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。

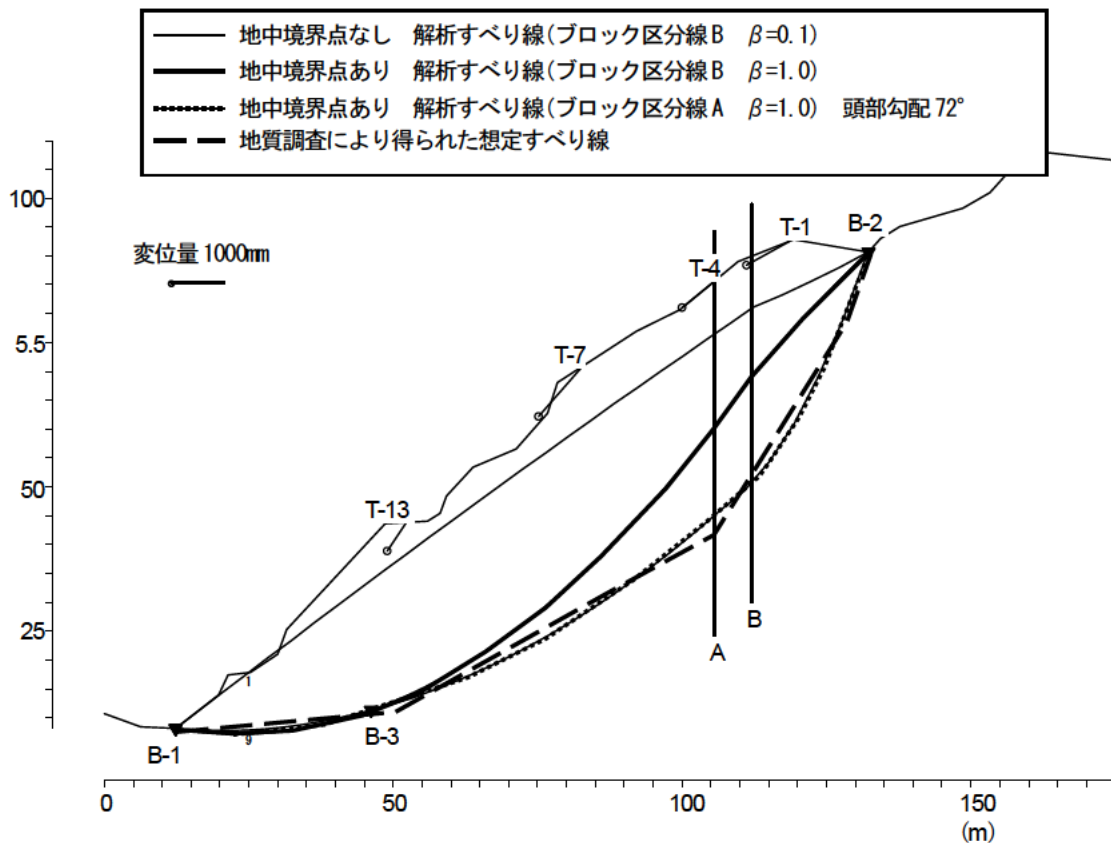


図 5.62 摺上ダム地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

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。

初回データを採用した場合の解析結果を図 5.63 に示す。

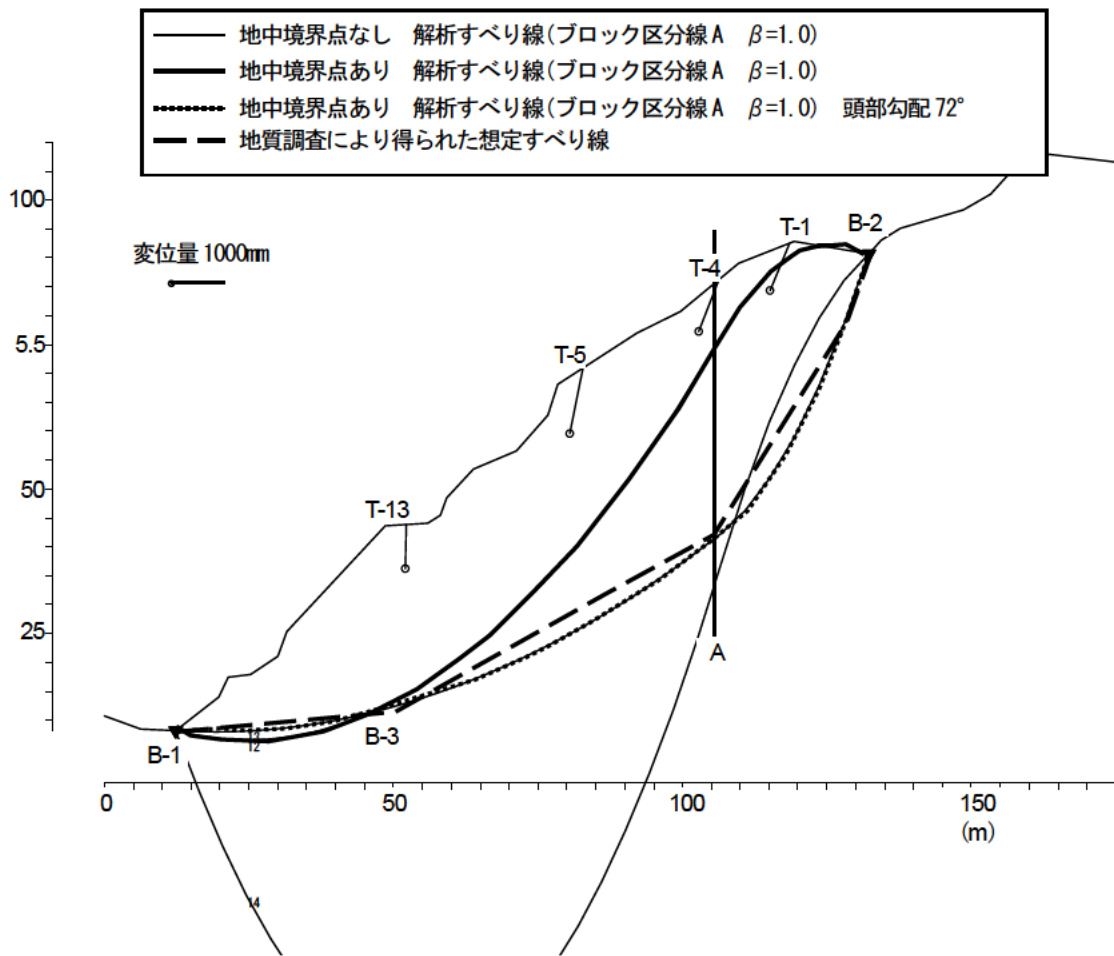


図 5.63 摺上ダム地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

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%としたケースに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。

表 5.36 解析に用いた変位量

計測点	変位量(初回データ×0.6)(mm)	
	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

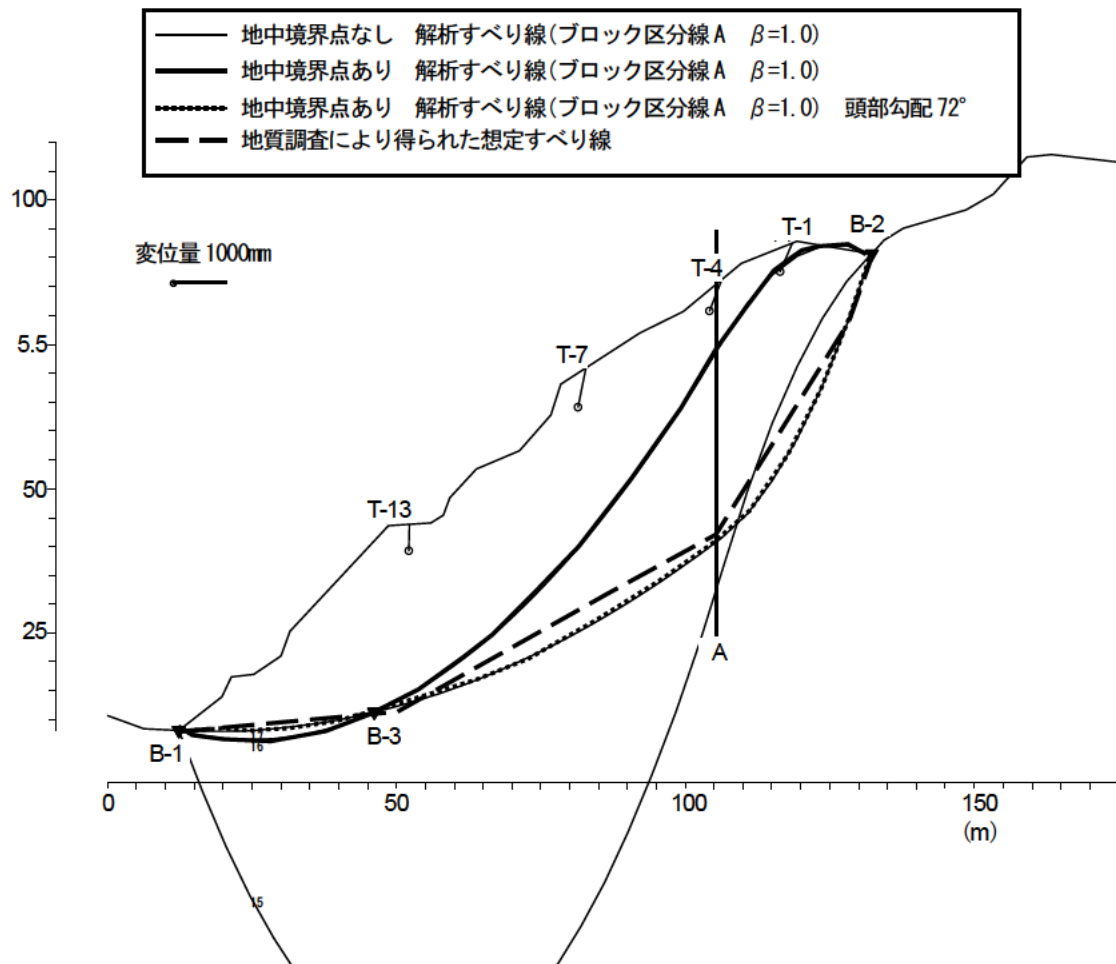


図 5.64 摺上ダム地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ×0.6(すべり線長の0.5%))

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。

表5.37 滝沢ダムL-22ブロック概要

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
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。				

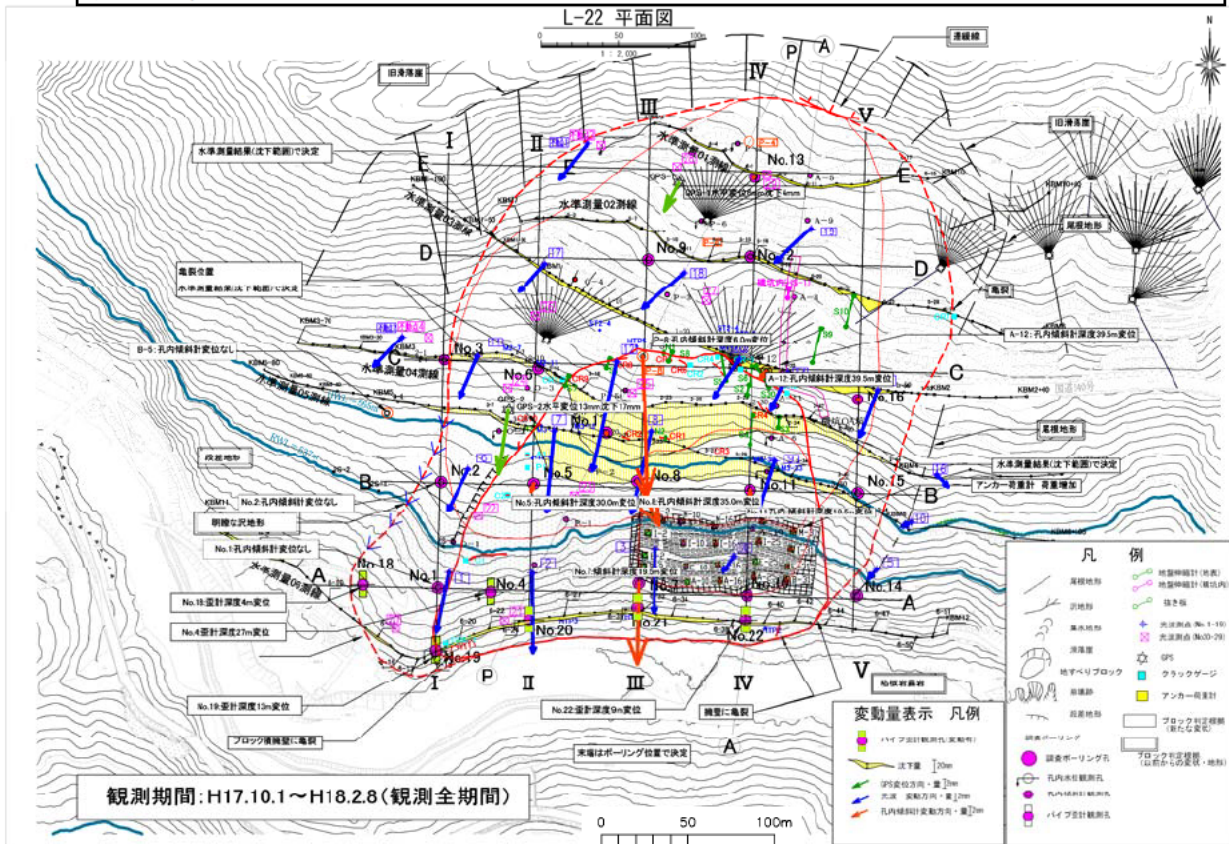


図5.65 滝沢ダムL-22ブロックのベクトル図

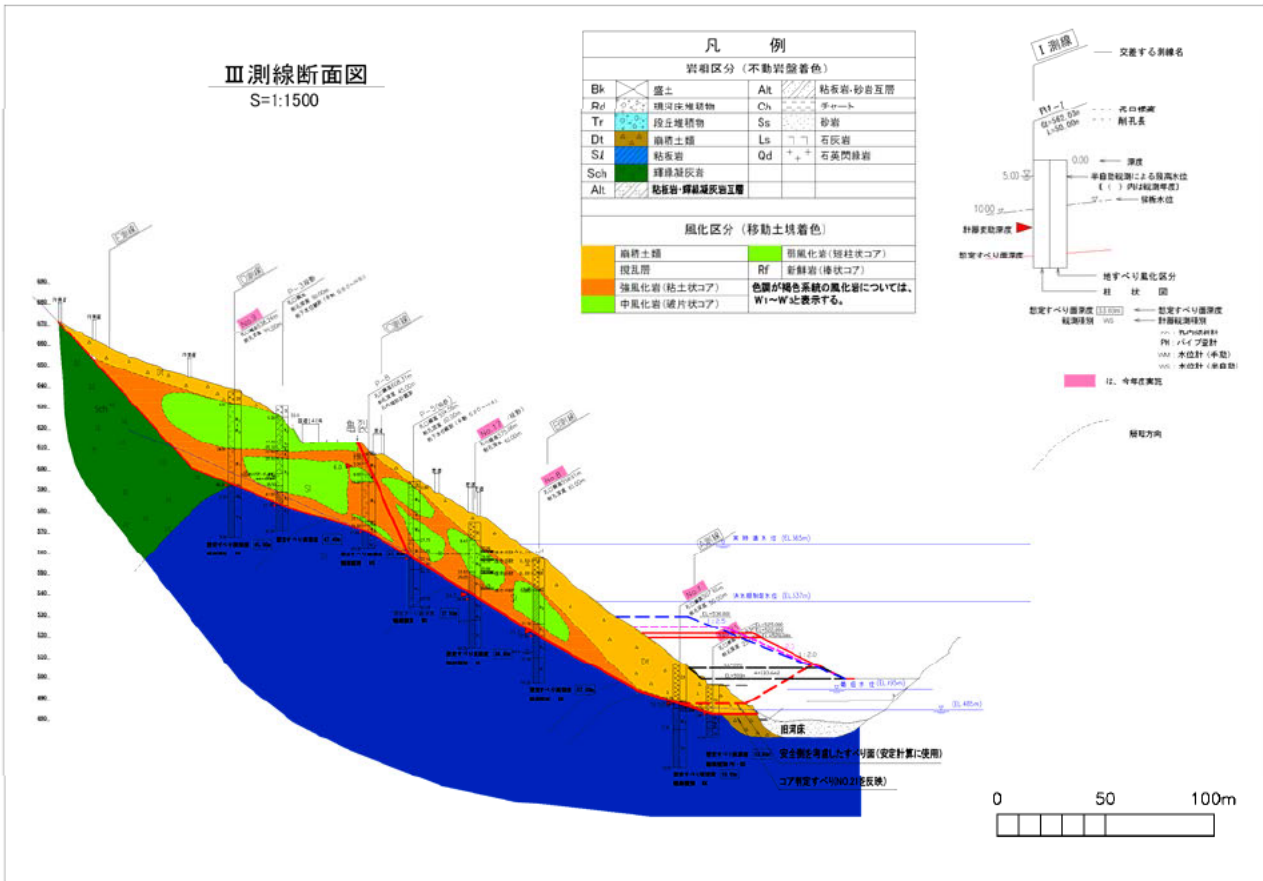


図 5.66 滝沢ダムL-22 ブロックの断面図

表 5.38 滝沢ダムL-22 ブロックの計測結果 (移動杭) 単位: mm

合成変位(X)		観測位置																				
観測位置	観測値	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
初期値	196 168	209 0951	244 7369	254 6588	284 8681	261 8773	300 4988	316 0836	316 1027	298 7519	336 0461	355 715	377 7782	376 9185	380 5204	318 8431	408 811	428 6364	478 1743	499 0063	337 5737	
2006/1/10	0.00	-7.68	-13.66	-11.47	-2.28	-1.07	-6.15	-14.08	-16.19	-9.77	-0.28	-7.13	-19.28	-7.68	-7.47	-8.18	-1.73	-5.92	-6.12	-6.88	-5.9	-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	-17.58	-11.7	-0.68	-7.62	-21.88	999999	-7.63	-9.11	-2.1	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	-0.4	-0.31	-1.47	-0.15	-	-1.07	-0.15	-1.47	-0.12

合成変位(Y)		観測位置																				
観測位置	観測値	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
初期値	343 8119	291 336	218 5211	167 7846	75 2953	347 7775	300 046	238 6054	156 5593	60 8126	359 3337	270 7979	193 8838	161 2056	102 0642	111 3603	331 6506	242 0928	169 1235	322 3761	409 4948	
2006/1/10	0.00	-0.28	1.58	0.67	-0.37	-2.15	-0.81	1.28	-3.81	-1.28	-2.58	-1.87	-2.08	-2.88	-2.87	-2.8	1.04	-6.14	-3.85	-5.74	-3.06	-4.41
2006/1/31	0.00	-2.77	1.18	0.78	999999	-1.94	-3.05	-1.45	-3.49	-3.63	-2.22	-3.71	-2.33	-2.92	-3.41	-3.27	2.73	999999	-8.03	-4.83	-4.53	-4.65
2006/1/30	0.00	-1.88	1.58	0.49	-1.18	-2.15	-3.32	-0.38	-3.62	-4.47	-2.54	-2.38	-3.64	999999	-3.66	-1.41	1.05	999999	-7.12	-4.55	-5.9	-4.93
1/10-1/31の変位量		-2.91	-0.4	0.09	-0.81	0.21	-2.14	-2.74	0.32	-2.39	0.98	-1.83	-0.24	-0.03	-0.43	-0.77	1.68	-	-4.18	0.91	-1.47	-0.34

合成変位(Z)		観測位置																				
観測位置	観測値	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
初期値	-44 3502	-43 1598	-45 6215	-45 6298	-26 8431	-14 6566	-3 0652	9 0829	-4 0277	-2 5807	19 0853	32 9625	41 5828	42 188	45 5845	9 4245	47 8377	70 3584	87 92	95 1764	25 9676	
2006/1/10	0.00	-1.16	-4.96	-2.2	2.04	-4.5	13.45	-1.35	-1.97	1.78	6.12	6.93	-4	-1.78	2.25	6.69	8.1	0.79	2.22	7.52	13.25	12.37
2006/1/31	0.00	0.66	-4.43	-4.37	999999	0.2	11.7	-3.18	-0.08	4.2	6.12	8.4	-7.22	-0.78	5.18	12.22	6.47	999999	7.12	14.55	22.25	20.7
2006/1/30	0.00	2.43	-3.78	-1.2	6.98	-0.43	13.77	-2.42	1.07	3.34	3.84	10.79	-5.03	999999	4.06	10.38	7.29	999999	5.47	8.6	13.38	12.08
1/10-1/31の変位量		1.82	0.53	-2.17	4.94	4.7	-1.79	-1.83	1.89	2.42	0	1.47	-3.22	0.99	2.93	5.53	-1.63	-	4.9	7.03	9	8.33

(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に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。

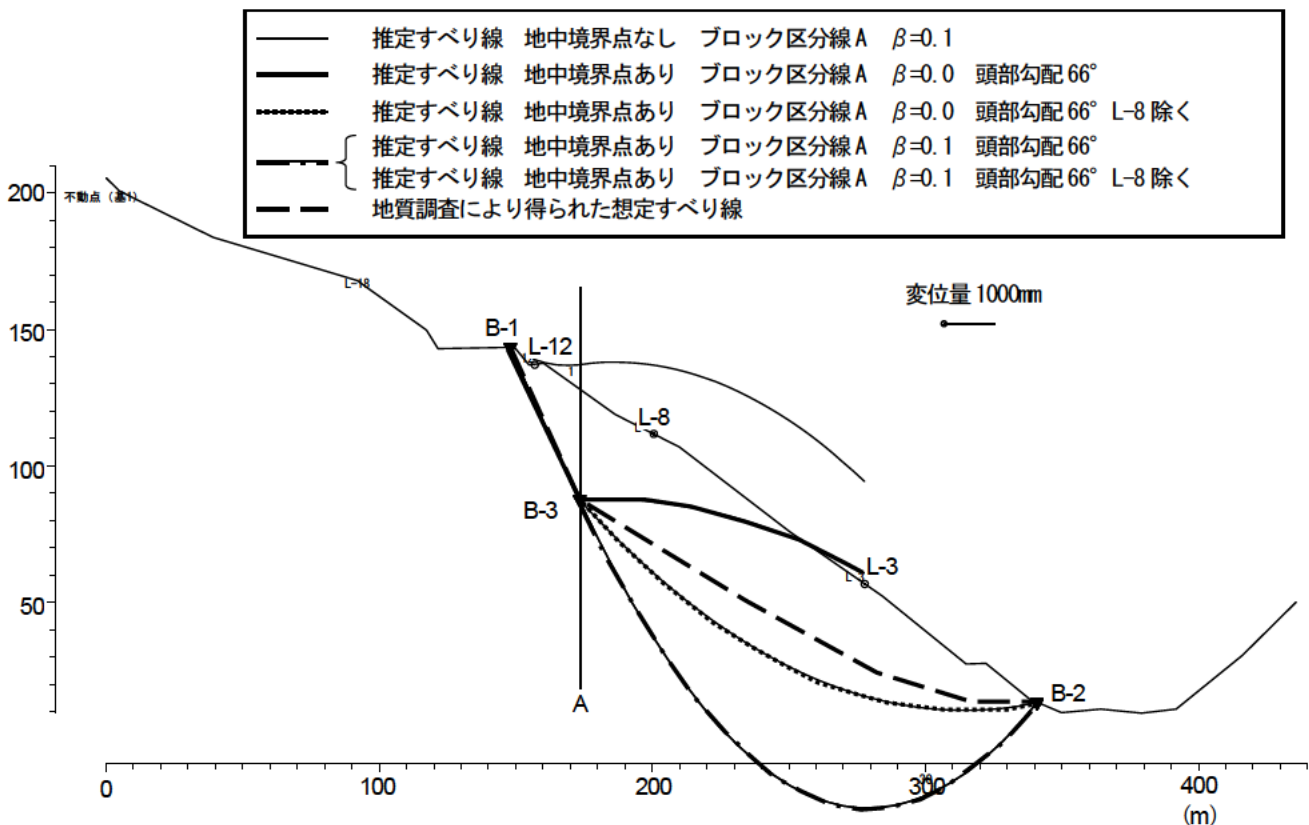


図 5.67 滝沢ダムL-22 ブロック解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

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、 $\beta=0.0$ 、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。

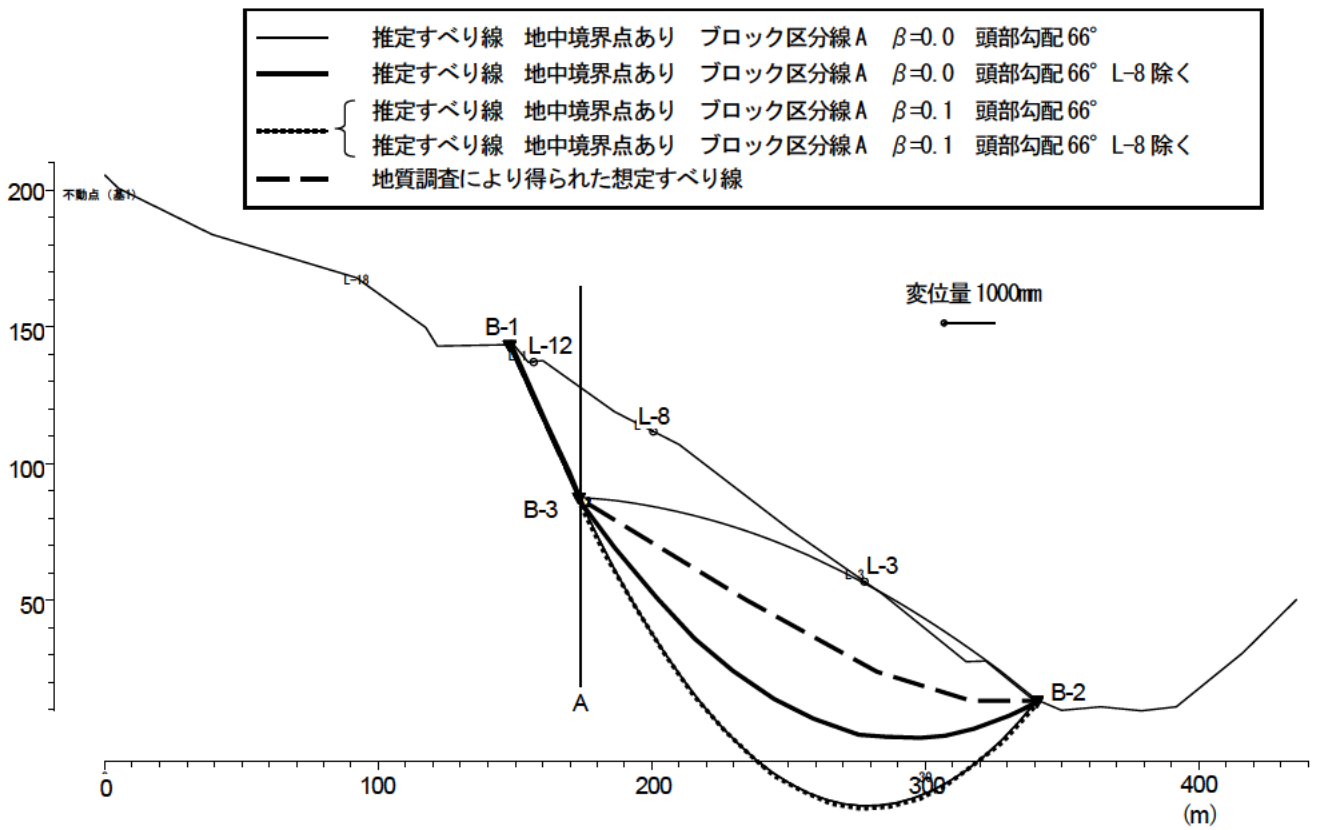


図 5.68 滝沢ダム L-22 ブロック解析結果 (変位量は観測値を採用、初回データ)

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、 $\beta=0.0$ 、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%としたケースに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。

表 5.39 解析に用いた変位量

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

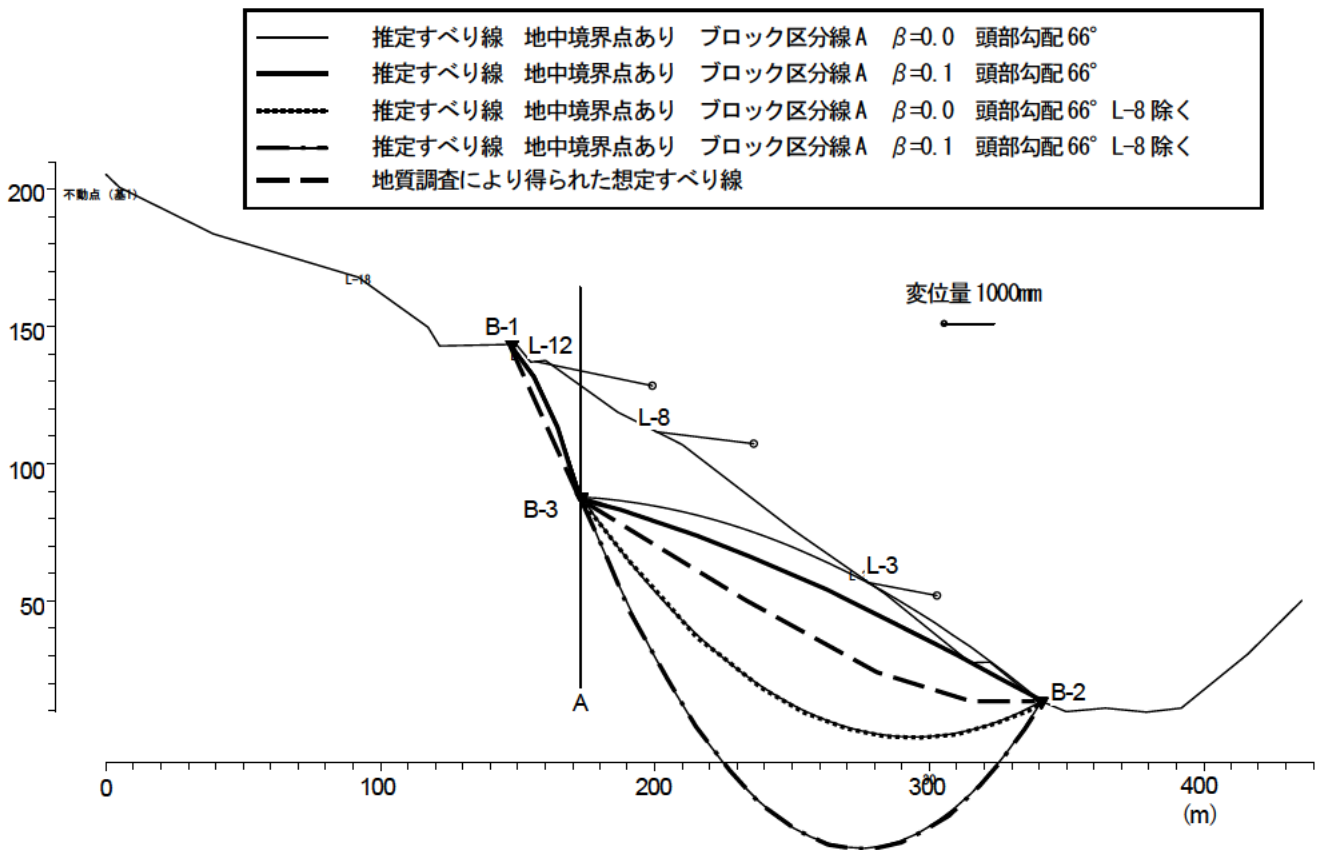


図 5.69 滝沢ダム L-22 ブロック解析結果

(変位量は観測値を採用、初回データ×120 (すべり線長の 0.5%))

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。

表 5.40 長知内(DV測線)地すべり概要

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×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
<p>概要</p> <p>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。</p>				

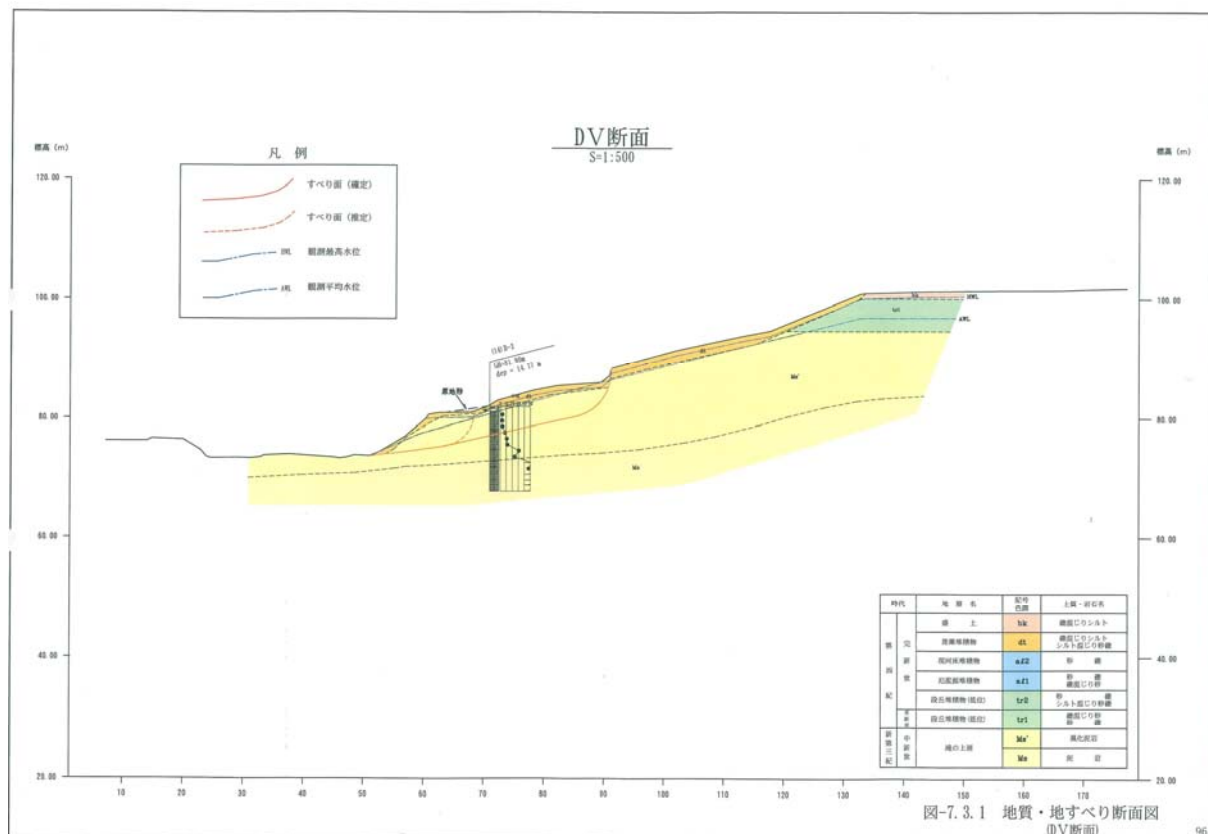


図 5.70 長知内 DV 測線の断面図

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。

表 5.41 長知内(E-Ⅲ測線)地すべり概要

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×W55
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)		7	ボーリング 踏査
<p>概要</p> <p>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。</p>				

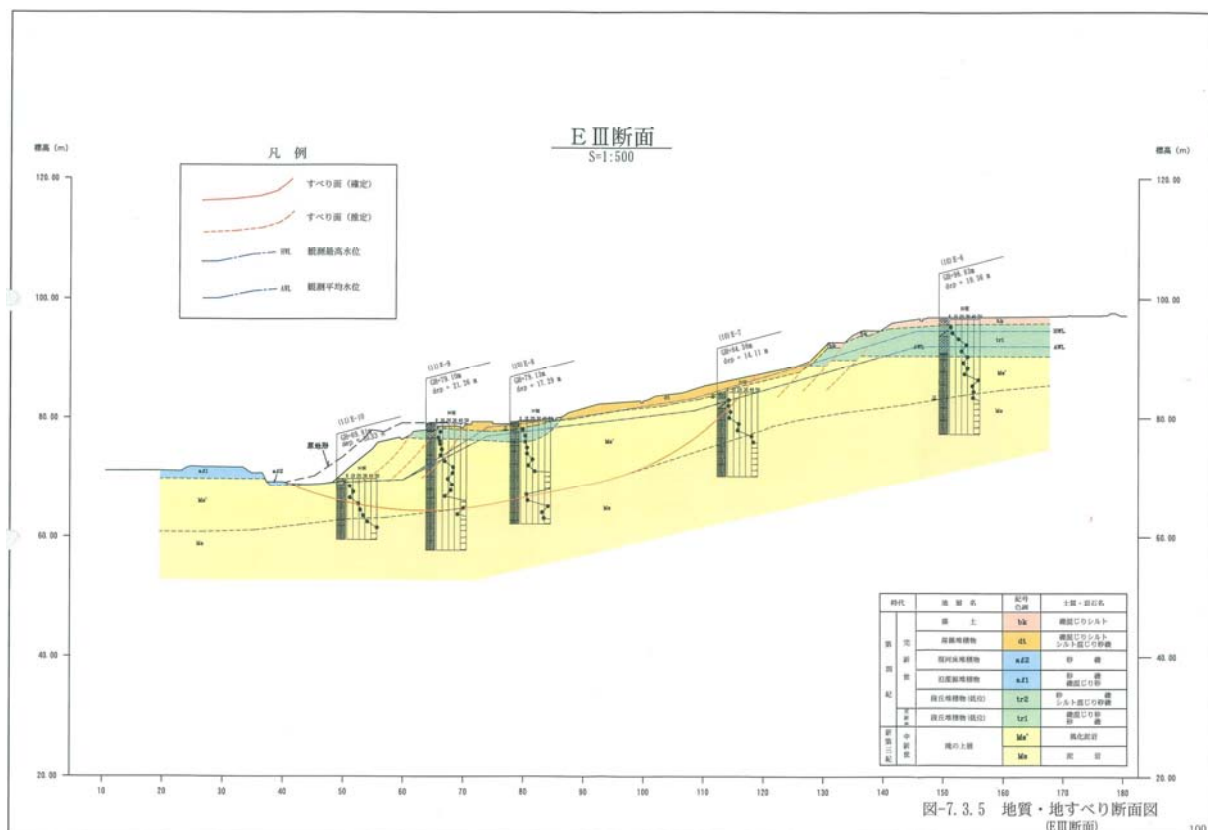


図 5.71 長知内 E-Ⅲ測線の断面図

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。

表 5.42 共和地区(B-1 測線)地すべり概要

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)	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 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箇所移動杭観測が行われている。				

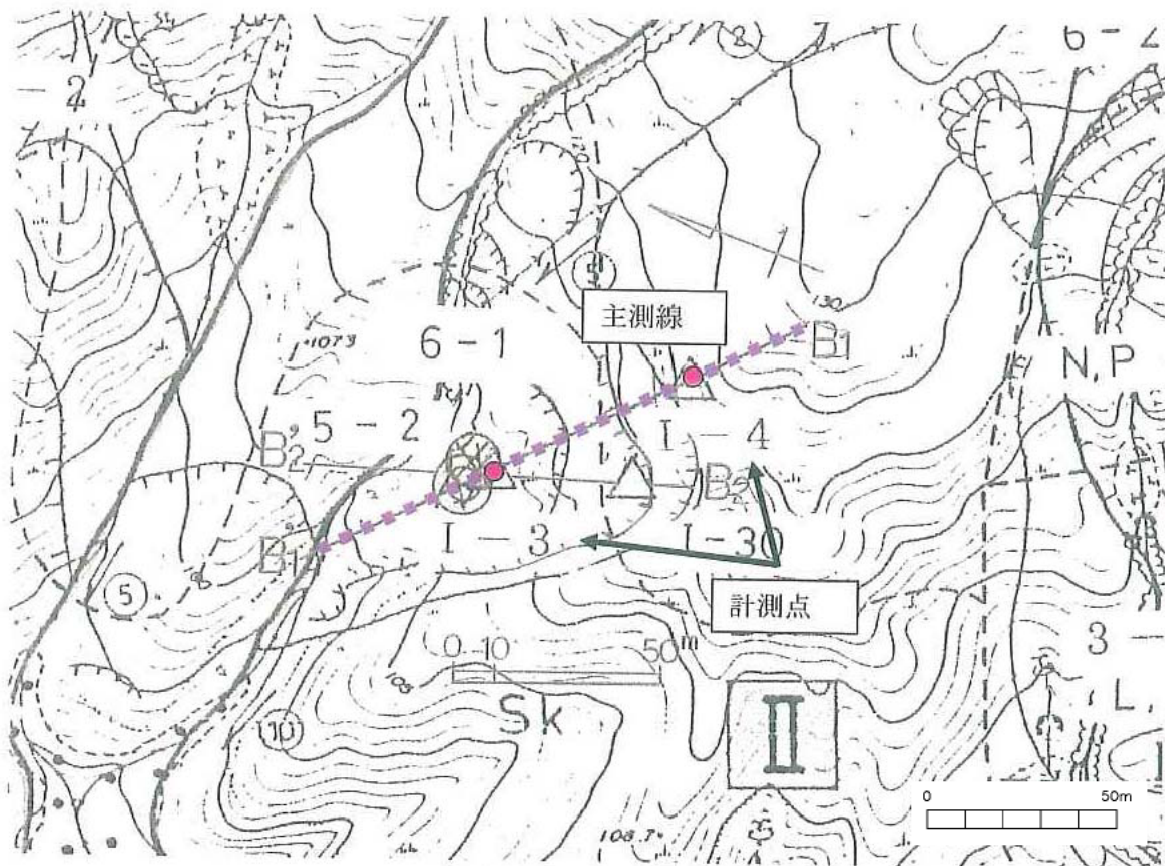


図 5.72 共和地区 (B-1 測線) のベクトル図

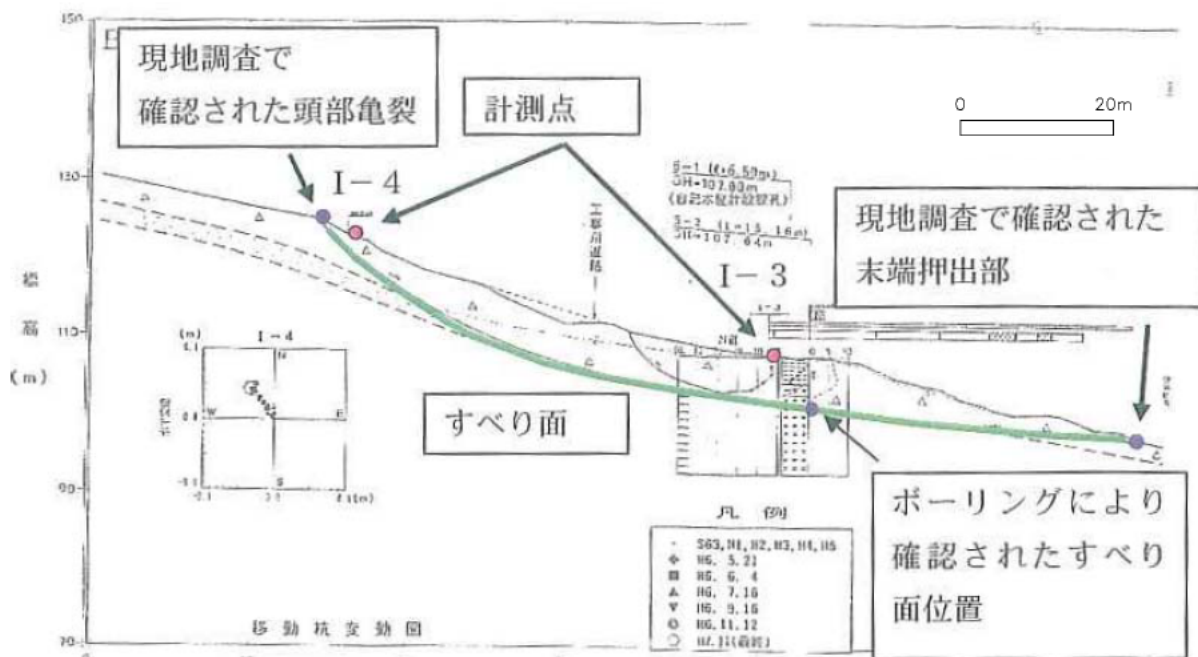


図 5.73 共和地区 (B-1 測線) の断面図

表 5.43 共和地区 (B-1 測線) の計測結果 (移動杭) 単位 : mm

年	月	日	I-4			I-3		
			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

(1998年8月12日からの累積移動量)

(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に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。

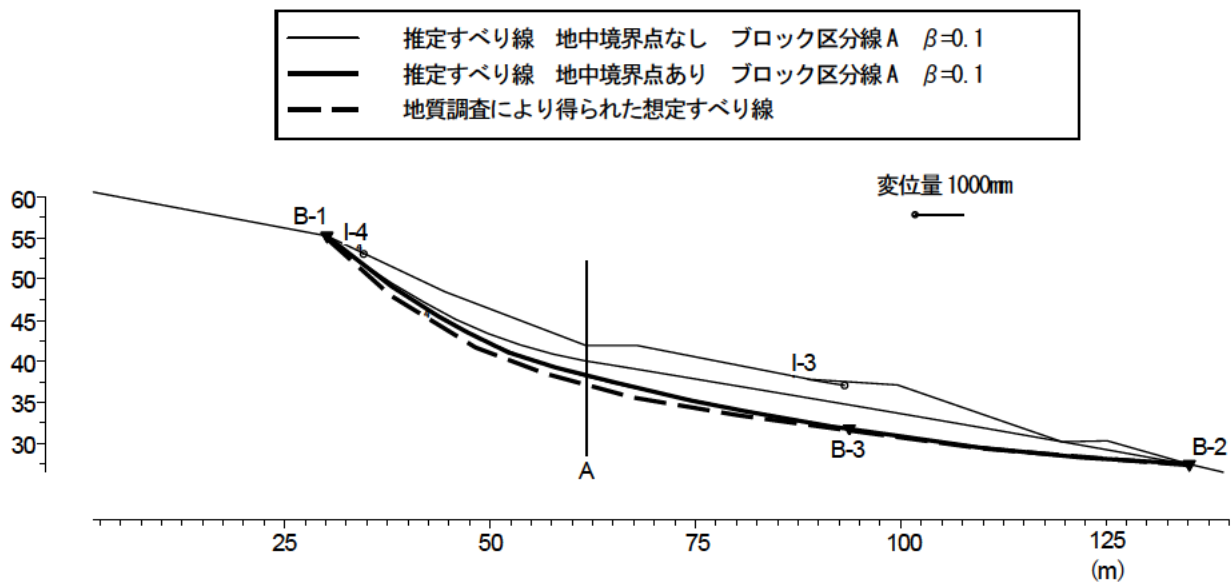


図 5.74 共和地区(B-1 測線) 解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

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。

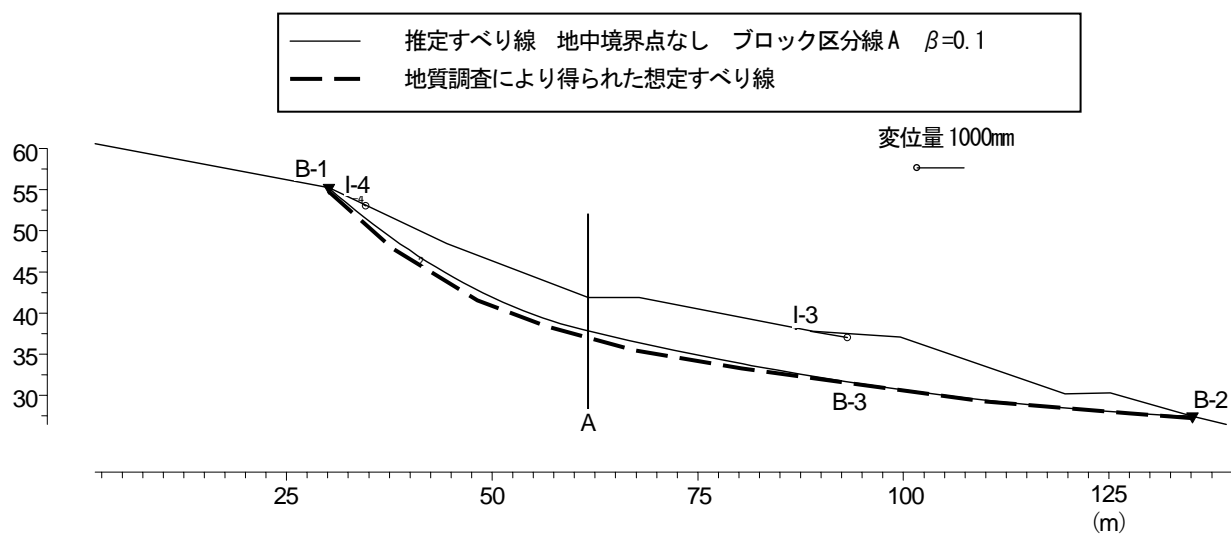


図 5.75 共和地区 (B-1 測線) 解析結果 (変位量は観測値を採用、初回データ)

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。

表 5.44 共和地区 (B-2 測線) 概要

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・頁岩	移動杭 (測量)	4ヶ月	2	ボーリング 踏査
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。				

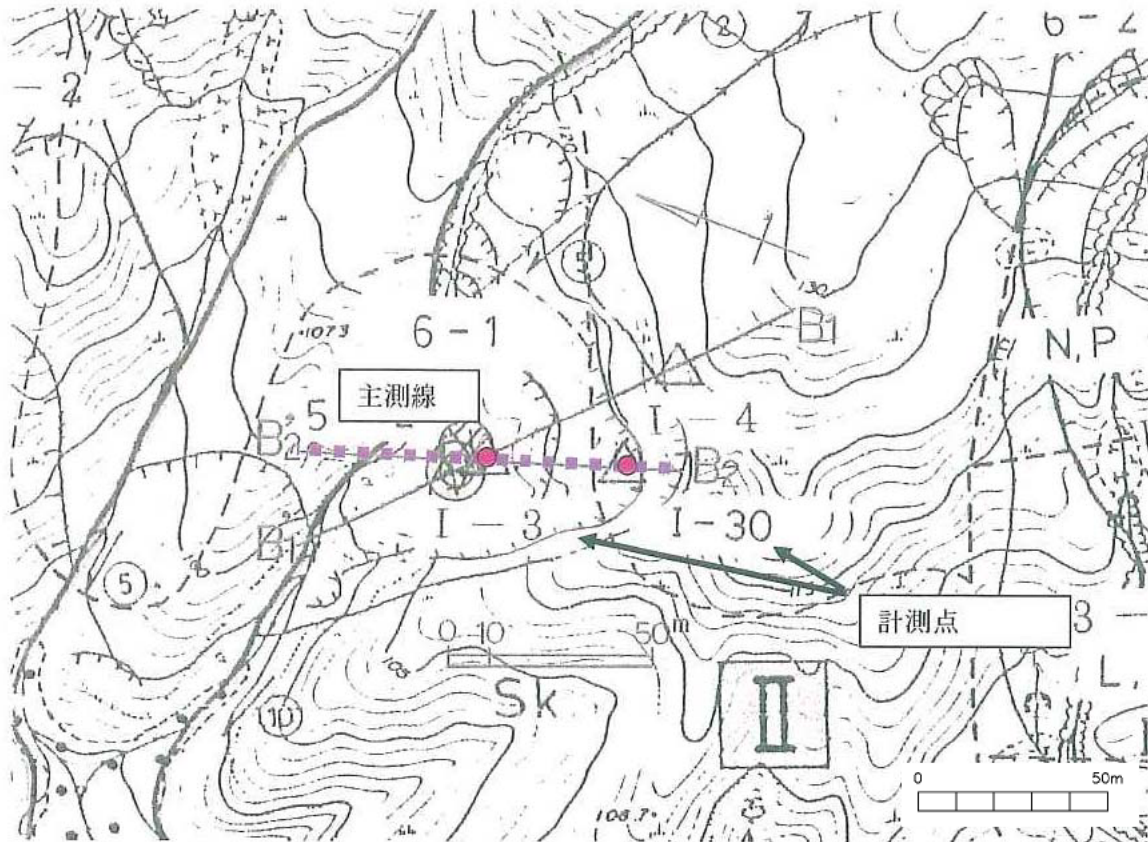


図 5.76 共和地区 (B-2 測線) のベクトル図

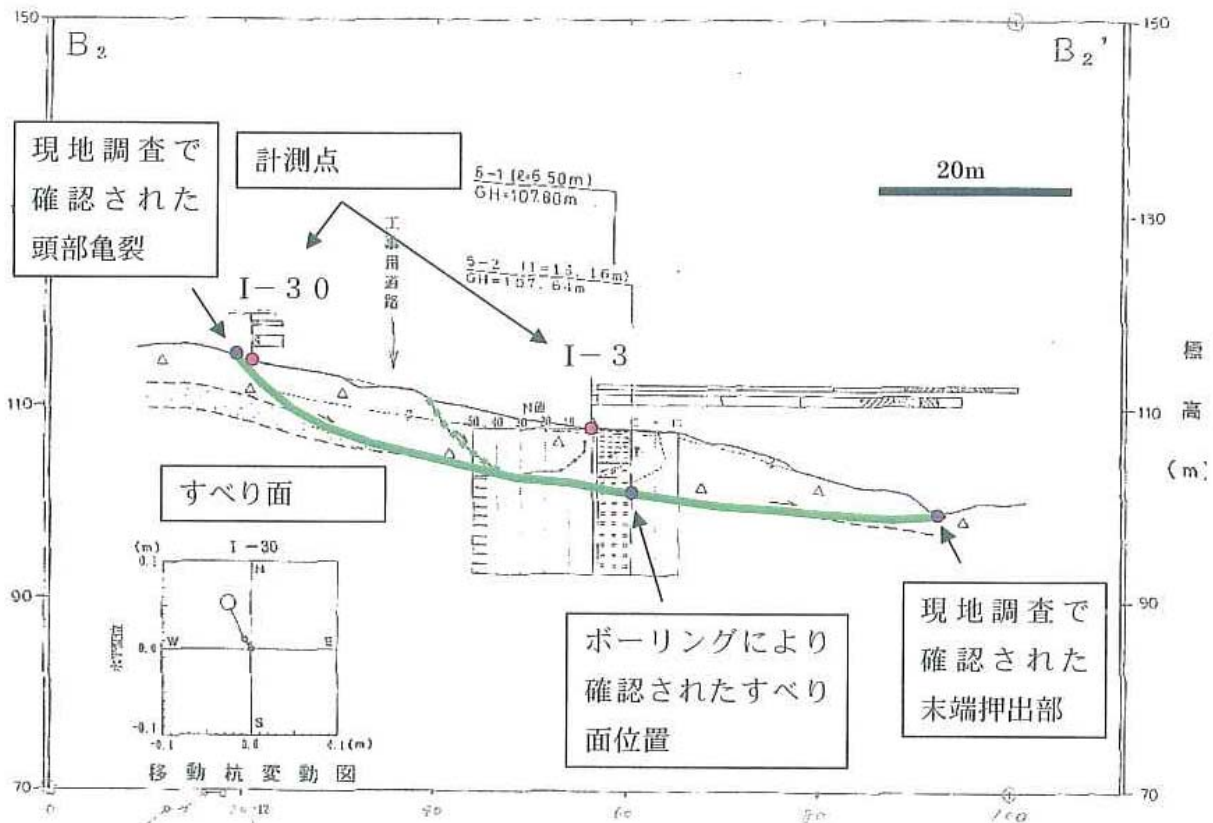


図 5.77 共和地区 (B-2 測線) の断面図

表 5.45 共和地区 (B-2 測線) の計測結果 (移動杭) 単位 : mm

年	月	日	I-30			I-3		
			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

(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に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。

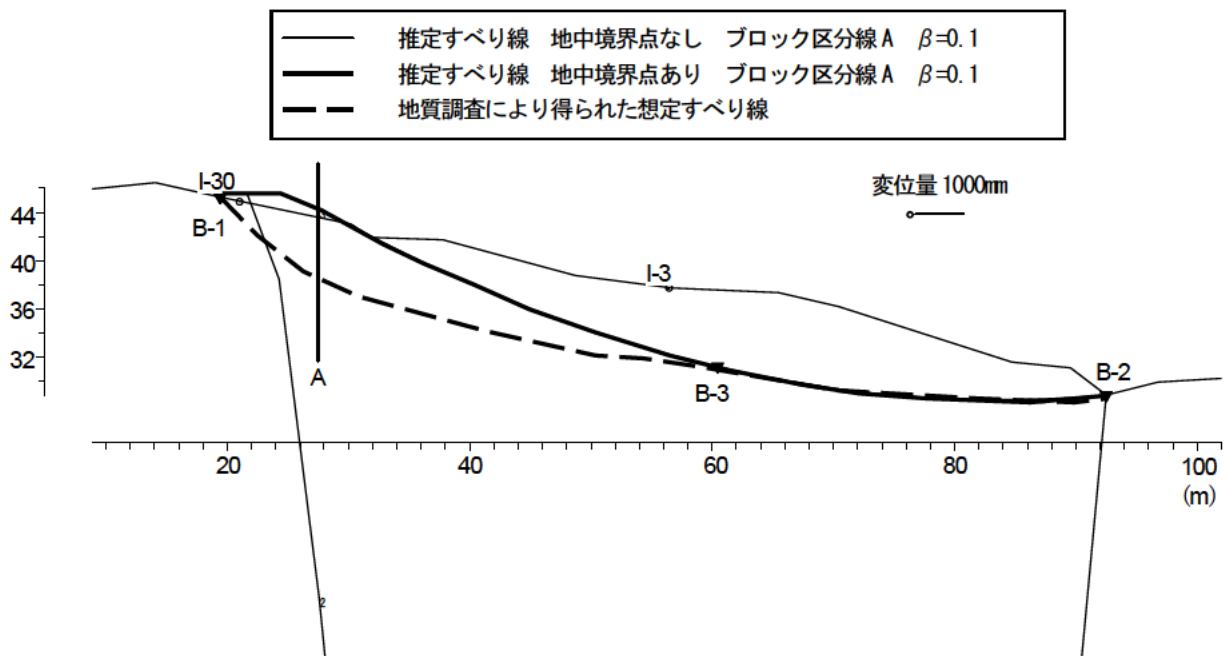


図 5.78 共和地区(B-2 測線) 解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

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。

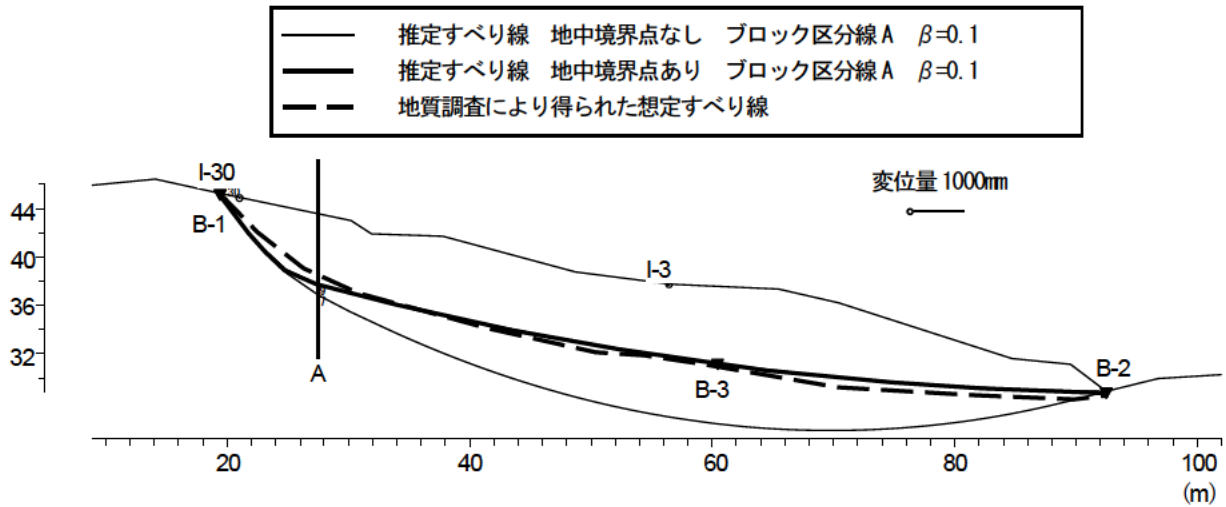


図 5.79 共和地区 (B-2 測線) 解析結果 (変位量は観測値を採用、初回データ)

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%としたケースに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。

表 5.46 解析に用いた変位量

計測点	変位量(初回データ×0.6)(mm)		
	dx	dy	dz
I-30	180	-60	-240
I-3	360	60	-60

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

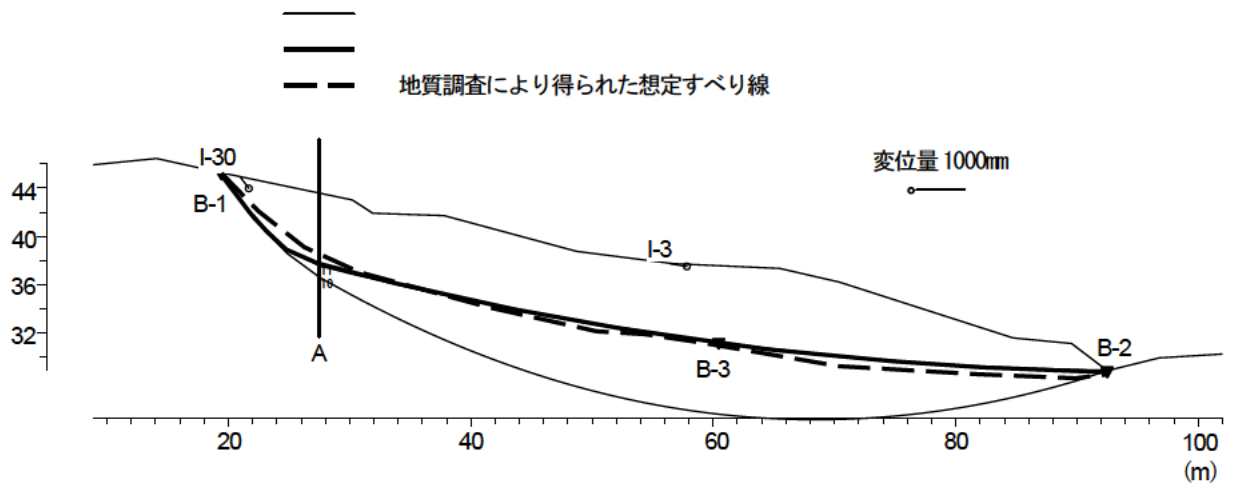


図 5.80 共和地区 (B-2 測線) 解析結果 (変位量は観測値を採用、初回データ $\times 60$ (すべり線長の 0.5%))

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。

表5.47 細越地すべりA概要

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
概要				
<p>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。</p> <p>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。</p>				

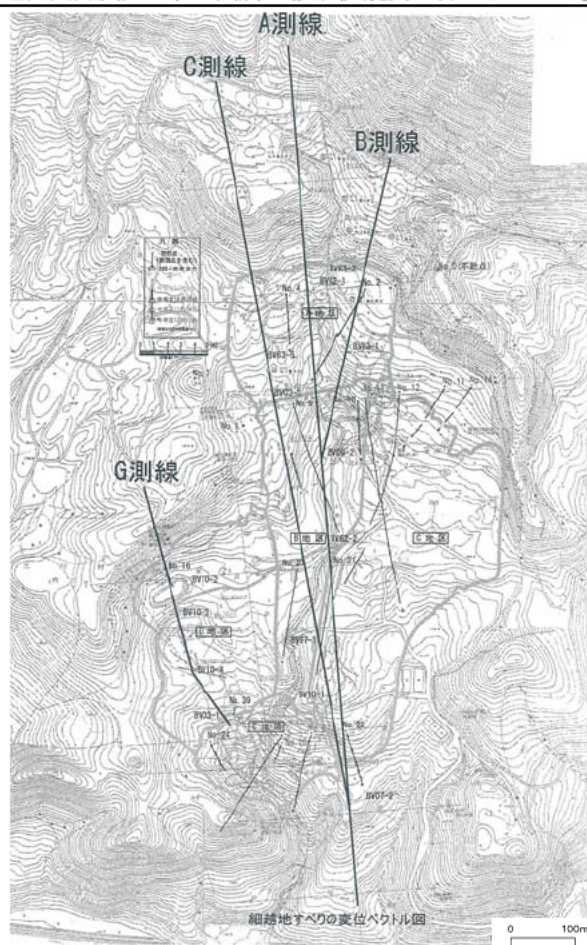


図5.81 細越地すべりのベクトル図

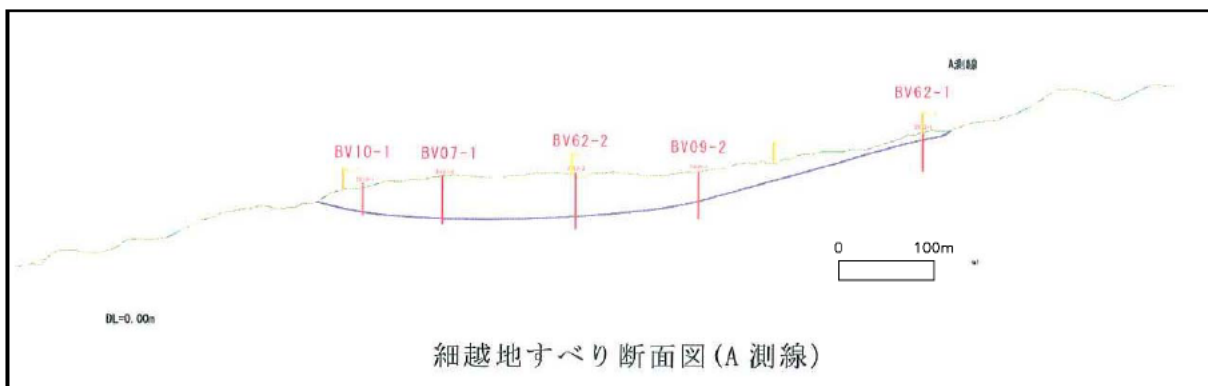


図 5.82 細越地すべり(A測線)の断面図

表 5.48 細越地すべり(A測線)の計測結果(移動杭) 単位: mm

計測点	No.28		No.21		No.9		No.4	
	Δs	Δz	Δs	Δz	Δs	Δz	Δs	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

(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に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。

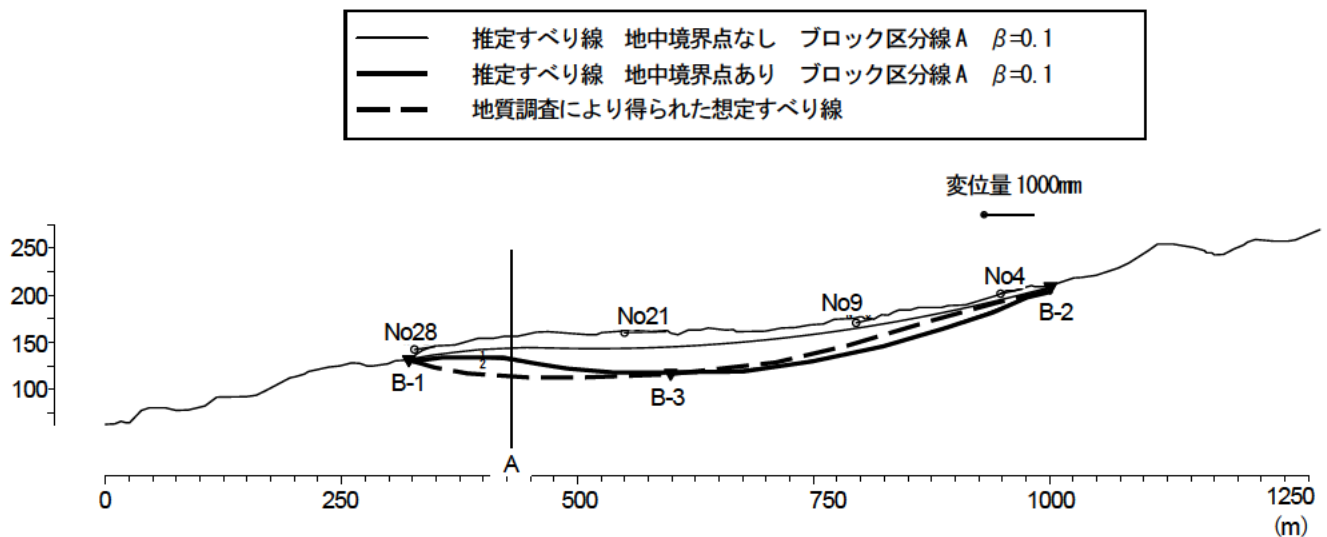


図 5.83 細越地すべり (A 測線) 解析結果 (変位量は観測値を採用)

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%としたケースに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。

表 5.49 解析に用いた変位量

計測点	変位量(初回データ×7)(mm)	
	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

- 推定すべり線 地中境界点なし ブロック区分線 A $\beta=0.1$
- 推定すべり線 地中境界点あり ブロック区分線 A $\beta=1.0$
- 推定すべり線 地中境界点あり ブロック区分線 A $\beta=0.1$
- - - 地質調査により得られた想定すべり線

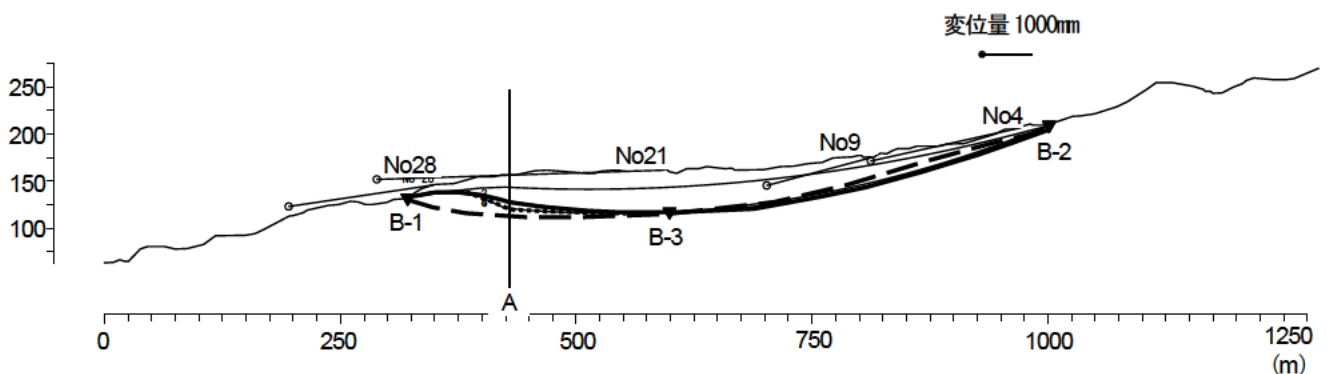


図 5.84 細越地すべり(A 測線)解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ×7(すべり線長の0.5%))

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。

表 5.50 細越地すべり(G測線)概要

斜面区分	運動様式	すべり線形状	地すべりタイプ	規模
自然	複合すべり	末端開放型	風化岩すべり(青年期)	L300×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・泥岩	移動杭(光波)		2	ボーリング
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箇所移動杭観測が行われている。				

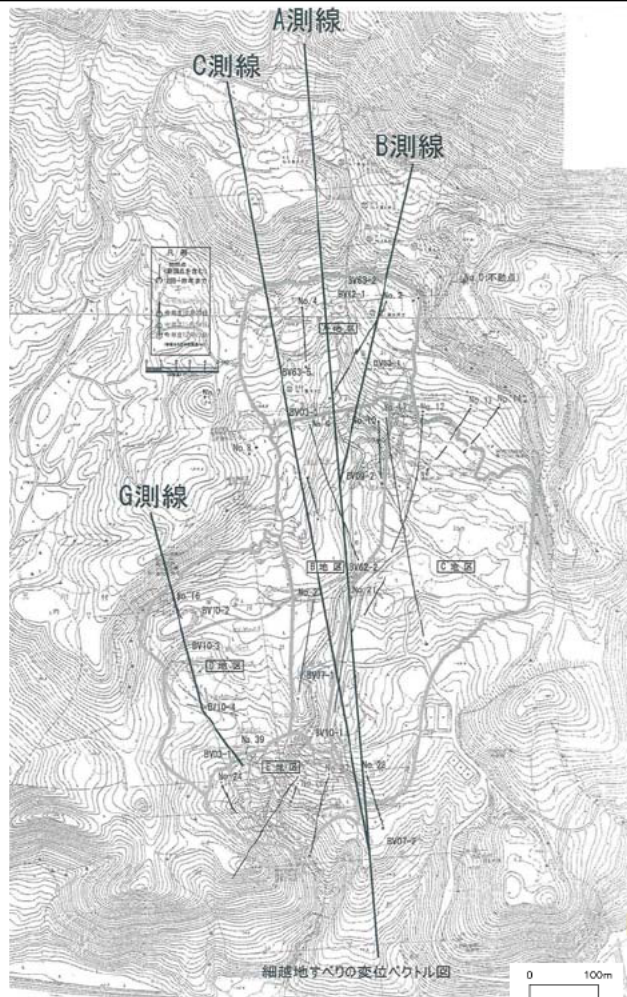


図 5.85 細越地すべりのベクトル図

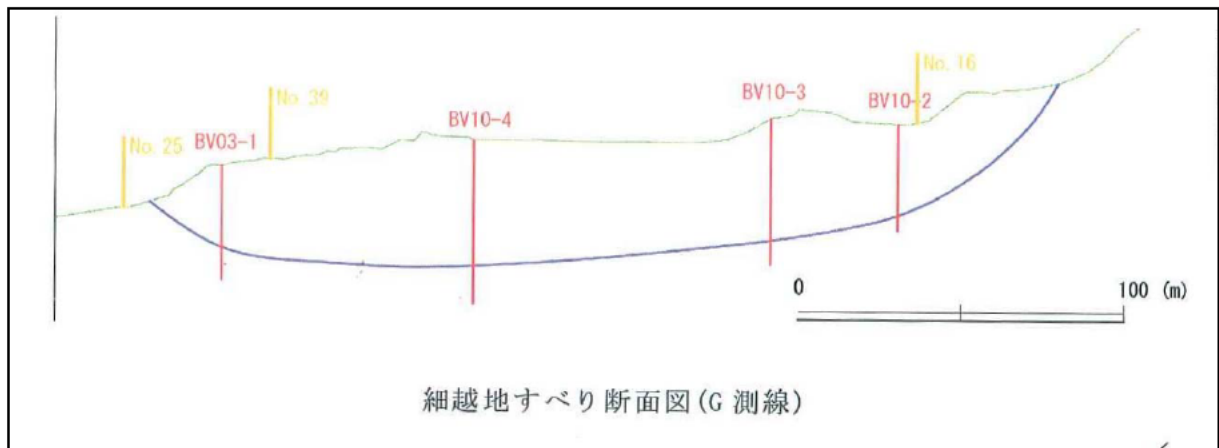


図 5.86 細越地すべり G の断面図

表 5.51 細越地すべり (A 測線) の計測結果 (移動杭) 単位 : mm

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

(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に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。

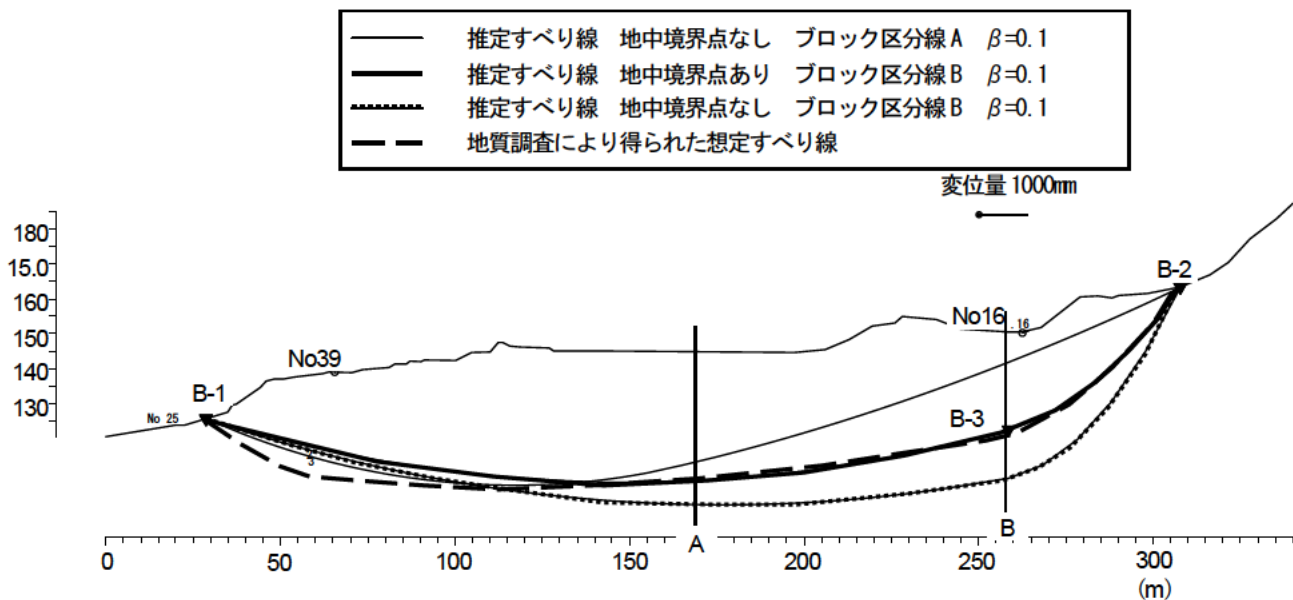


図5.87 細越地すべり(G測線)解析結果(変位量は観測値を採用)

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%としたケースに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。

表 5.52 解析に用いた変位量

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

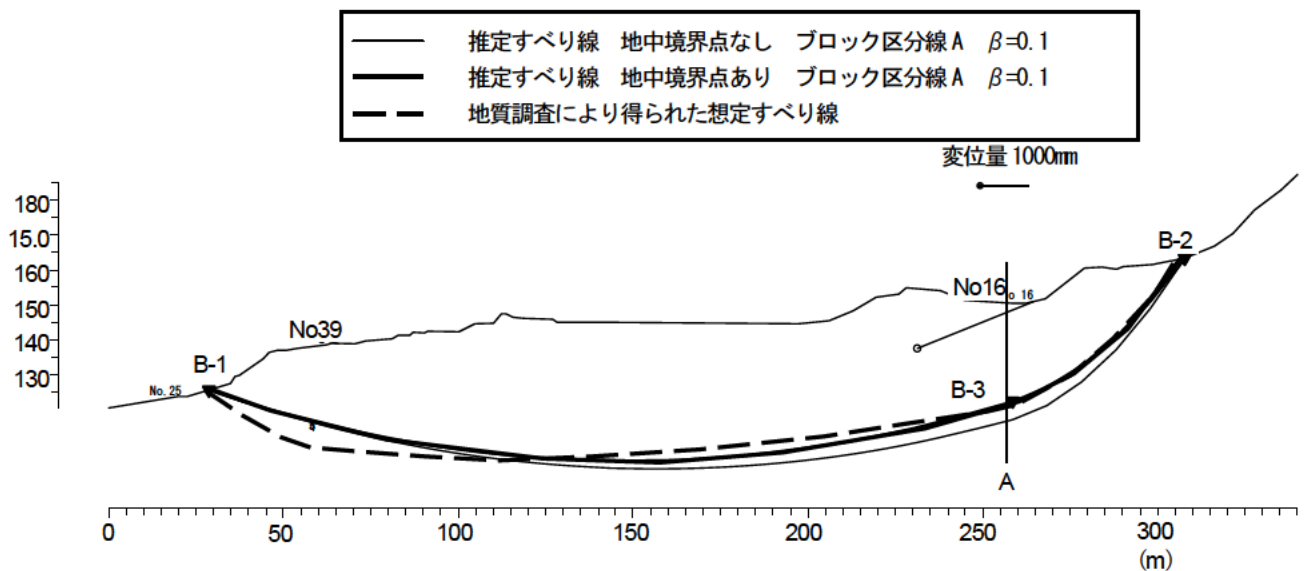


図 5.88 細越地すべり(G 測線)解析結果(変位量は初回データ×18(すべり線長の 0.5%))

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。

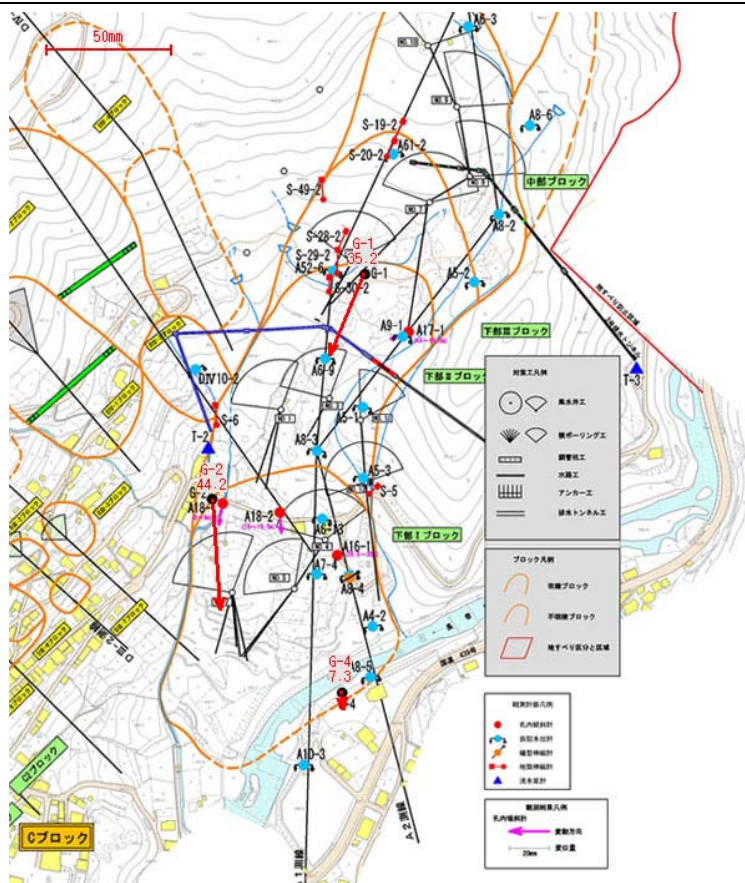
5.3.18 長者地すべり

(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。

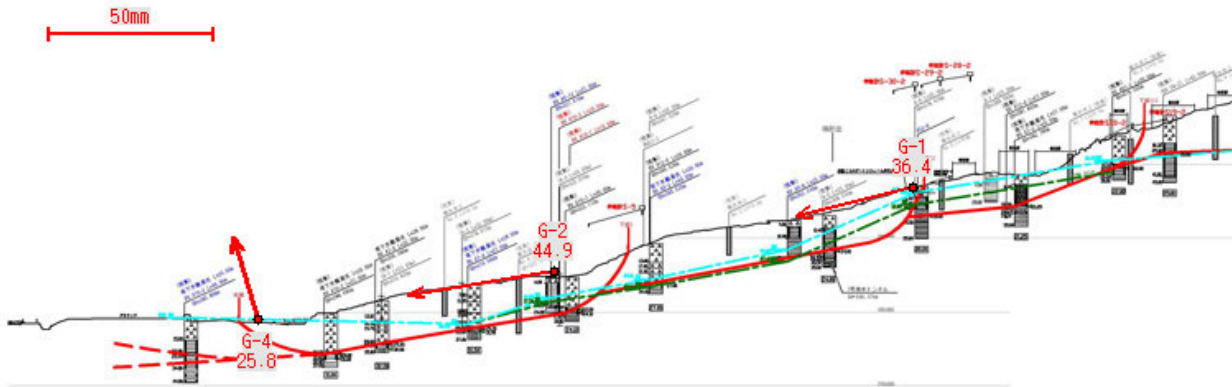
表 5.53 長者地すべり概要

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
<p>概要</p> <p>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。</p> <p>地すべり動態観測（地表面計測）は、3箇所ですべり線推定根拠</p>				



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 5.89 長者地すべりのベクトル図



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

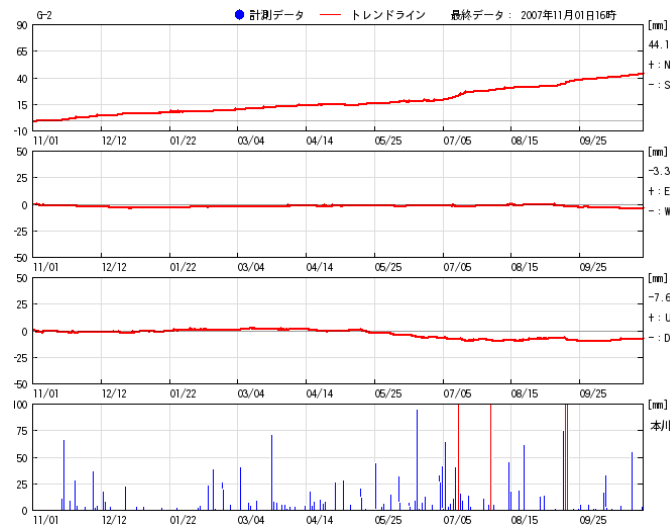


図 5.91 G-2 観測グラフ

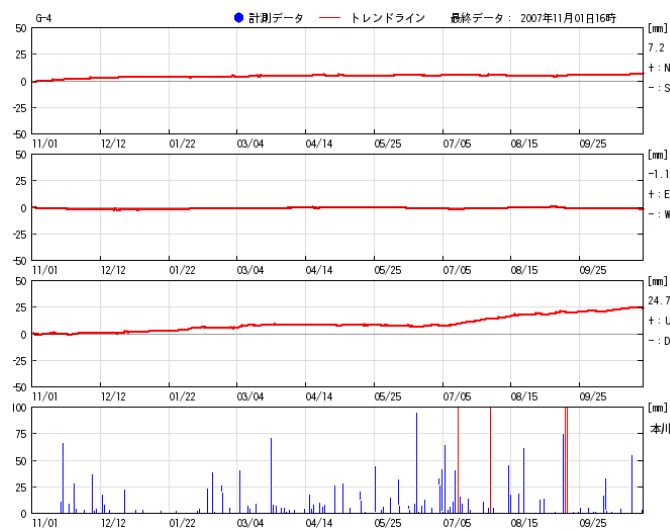


図 5.92 G-4 観測グラフ

表 5.54 長者地すべりの計測結果 (GPS 観測値) 単位 : mm

計測点	G-4			G-2		
	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

(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に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。

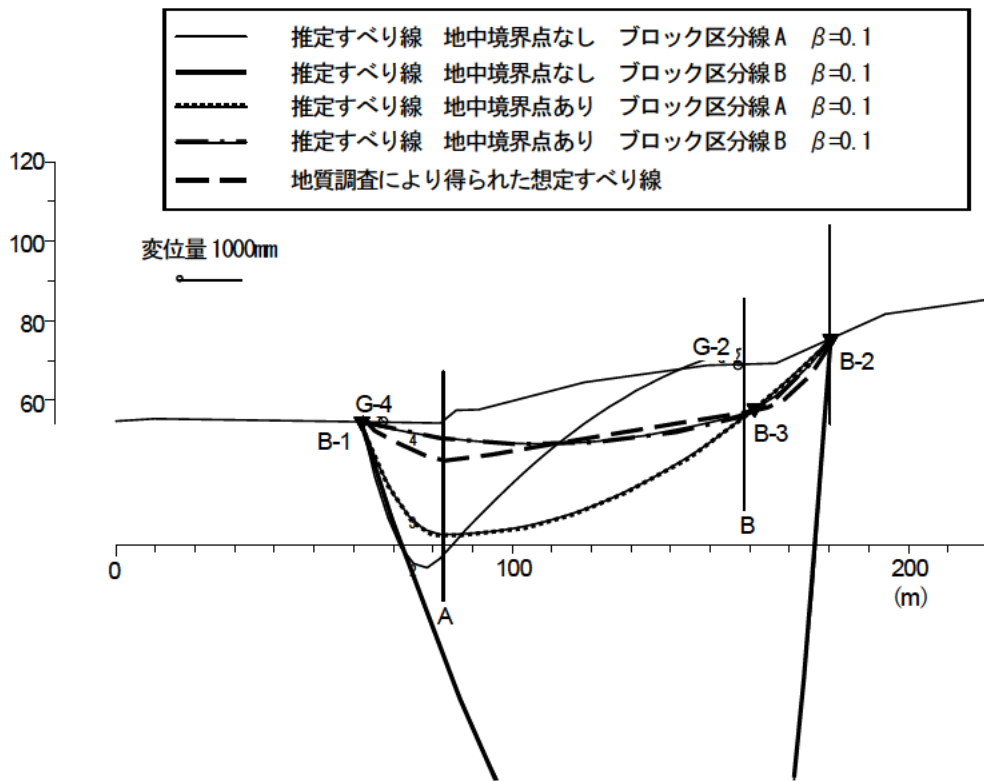


図 5.93 長者地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、全期間データ)

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。

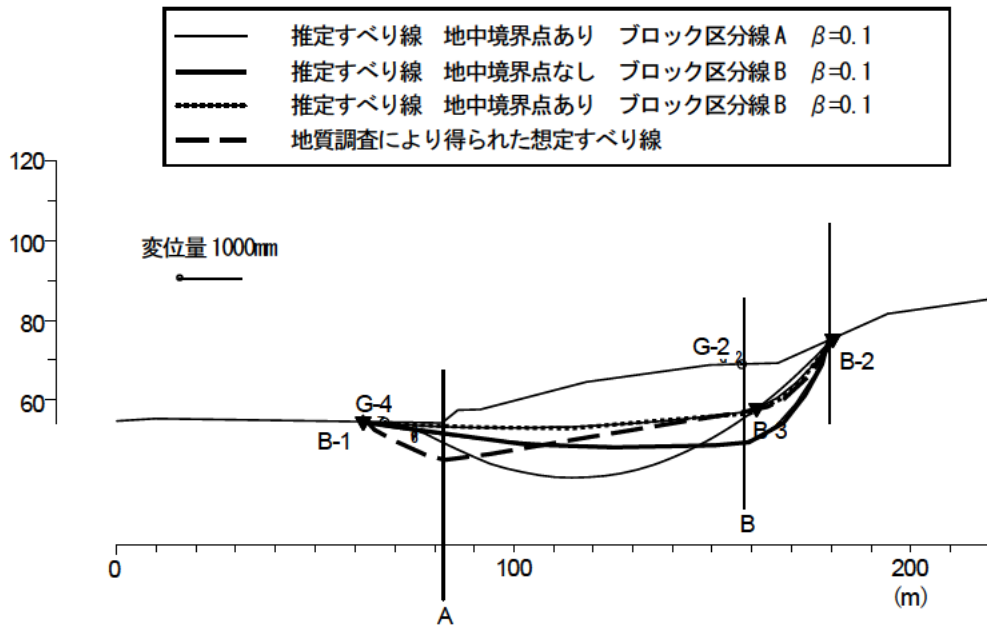


図 5.94 長者地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ)

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%としたケースに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。

表 5.55 解析に用いた変位量

計測点	変位量(初回データ×40)(mm)		
	dx	dy	dz
G-4	-144	-68	24
G-2	-212	-52	-24

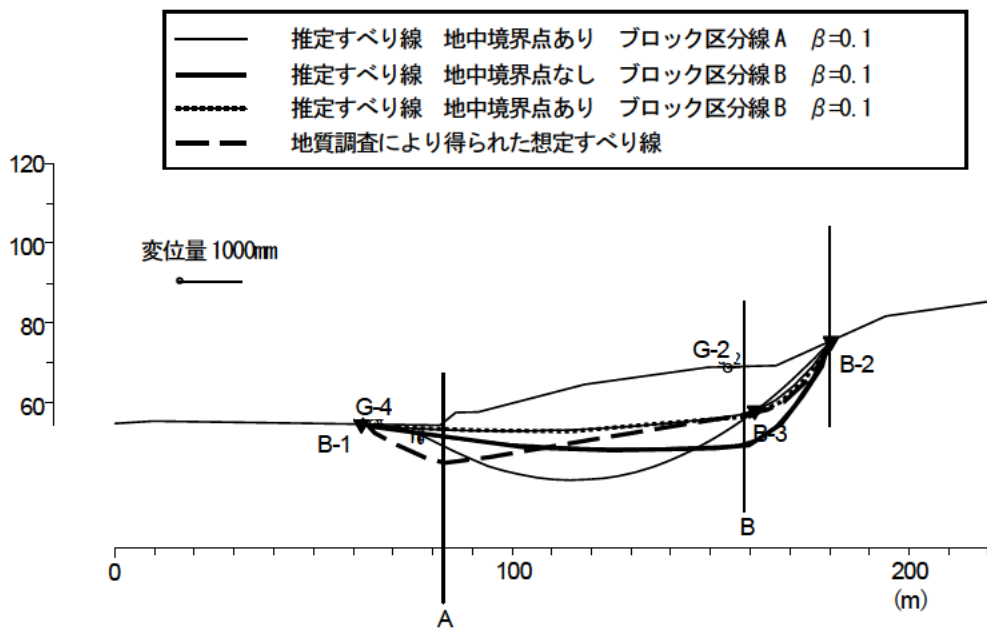


図 5.95 長者地すべり解析結果(変位量は観測値を採用、初回データ×40(すべり線長の0.5%))

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

地区番号	地区名	斜面区分	計測データ	解析の実施	解析を行った変動量データ			考察
					全期間	初回	すべり線長の0.5%	
実証実験現場	麻生小平地区	自然	○	○	○	○	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、すべり線長の0.5%の変動量で解析した場合は、想定すべり線に近い推定すべり線は得られなかった。	
1	月山崩 PA の地すべり	自然	○	○	○	×	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。	
2	大所地すべり	自然	○	○	○	○	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。	
3	町道高沢入り線地すべり	自然	○	○	○	×	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	北ノ入地区地すべり	自然	○	○	○	○	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。	
5	落合地すべり	自然	○	○	×	×	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。	
6	下石川地すべり	自然	○	○	○	○	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度の差はなかった。	
7	国道 424 号道路災害	自然	○	○	○	○	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。	
8	仲野地区地すべり	自然	○	○	×	×	仲野地区地すべりは末端部で盛土が施工されており、表層の変動が盛土の影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ある。そのため解析不能である。	
9	中之島地すべり	自然	○	○	○	○	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	○	○	○	×	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、想定すべり線とほぼ一致するすべり線が得られた。	
11	摺上ダム	自然	○	○	○	○	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	○	○	○	○	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に近いすべり線が得られた。	
13	長知内 (DV 測線)	自然	×	×	×	×	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。	

収
集
事
例

15	共和地区 (B-1 測線)	自然	○	○	○	○	○	○	×	全期間データ、初回データの解析とともに、想定すべり線に近いすべり線が得られた。
16	共和地区 (B-2 測線)	自然	○	○	○	○	○	○	○	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、想定すべり線とほぼ一致する想定すべり線が得られた。
17	細越地すべり A	自然	○	○	○	○	○	○	○	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、想定すべり線に近い想定すべり線が得られた。
18	細越地すべり G	自然	○	○	○	○	○	○	○	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、想定すべり線に近い想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、より精度の良い想定すべり線が得られた。
19	追久保地すべり	自然	○	○	○	○	○	○	○	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。想定すべ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想定すべり線が得られた。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。
20	長者地すべり	自然	○	○	○	○	○	○	○	各変動量データにおける想定すべり線は、地中境界点を設定した場合、比較適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ログラムを作成した。
- (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、本システムの使用の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