

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技術



斜面崩落と背後に想定される地すべり
(撮影:平成23年10月)



変状が発生した切土斜面
(撮影:平成21年6月)

-  独立行政法人土木研究所(地すべりチーム)
-  国際航業株式会社
-  日本工営株式会社
-  基礎地盤コンサルタンツ株式会社
-  株式会社アイエステー
-  株式会社キタック
-  株式会社レイディック

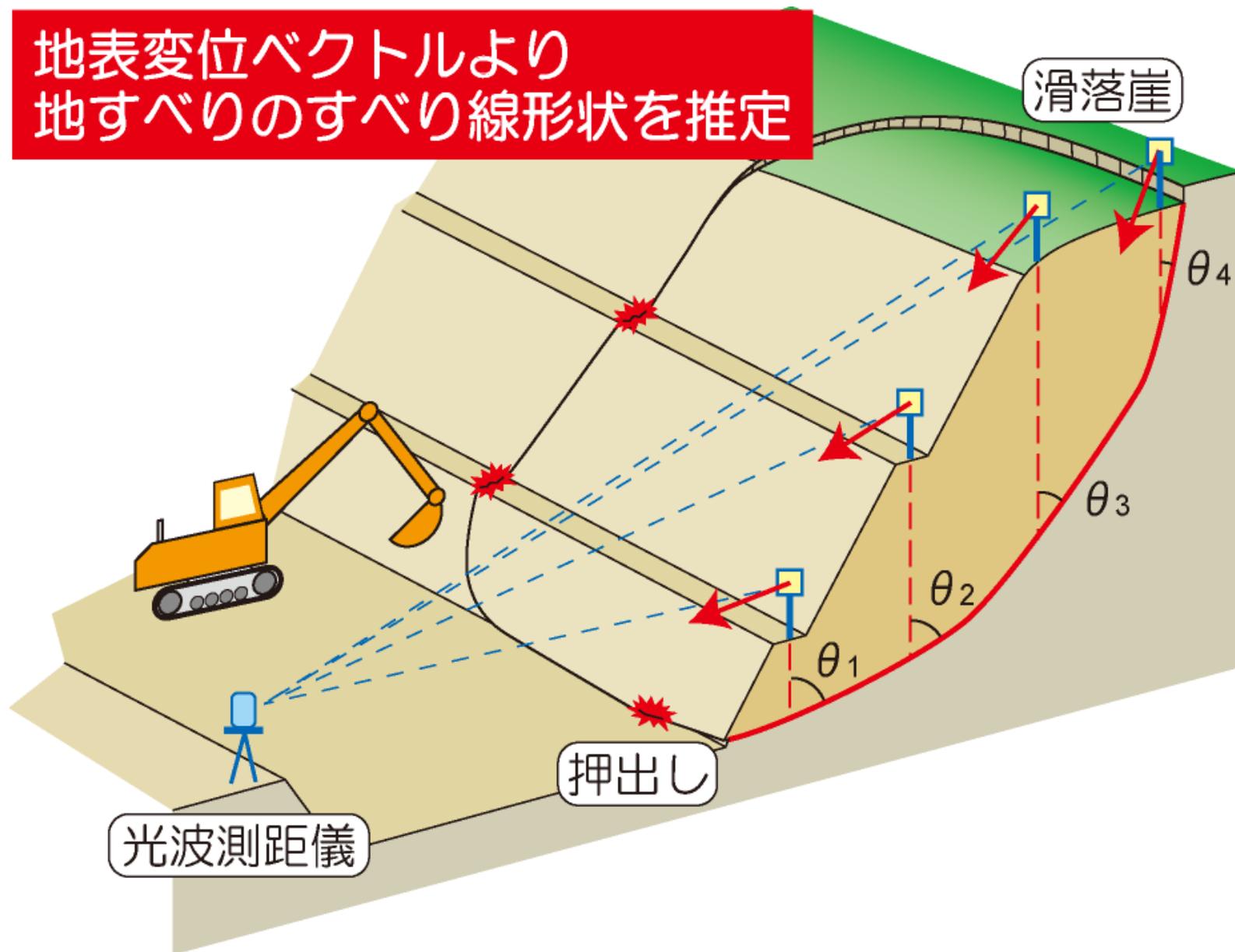
地すべり発生時に迅速に
対応するための技術

内 容

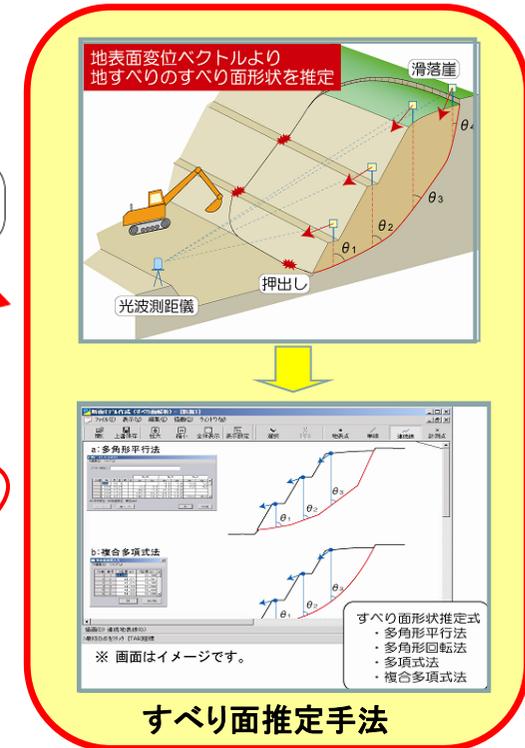
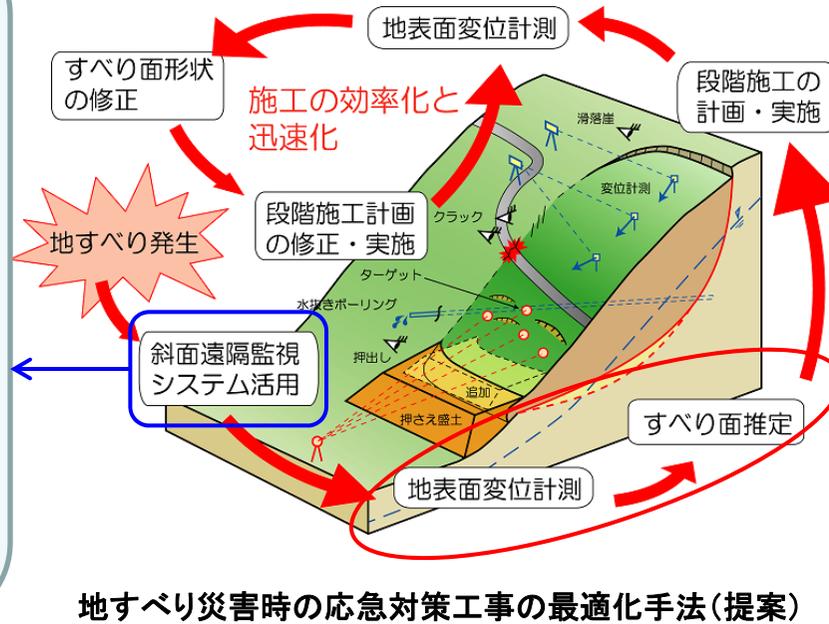
1. すべり線推定手法の開発イメージ
2. すべり線推定手法を開発した背景
3. 本手法の概要と理論
4. すべり線推定プログラムの操作
5. 適用事例紹介
6. プログラムの利用にあたって
7. プログラムのリリースと検証について

すべり線推定手法の開発イメージ

地表変位ベクトルより
地すべりのすべり線形状を推定



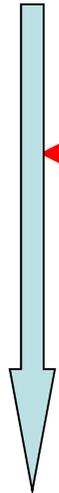
すべり線推定手法を開発した背景



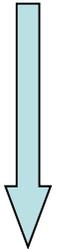
災害直後には、その後の対応を速やかに決定するために、安全管理を行いながら迅速に地すべりの規模を把握することが重要

すべり線推定手法を開発した背景

地すべり災害発生



応急緊急対策



恒久対策

必要

地すべりの特徴、すべり面位置・形状や規模を迅速に把握することが必要

【一般的には】

調査ボーリングにより把握

… 安全性や時間を要する点で問題を含む

【本手法では】

地表面変位計測結果(変位ベクトル)からすべり線形状を推定することが可能

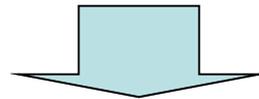
安全

迅速

すべり線推定手法を開発した背景

既往の手法※ …

災害対応時等緊急を要する場合の適用が困難 等



地表面変位ベクトルからすべり線を推定する既往の手法※に、独自の発想を加えた新しいすべり面推定手法を開発し、その計算プログラムを作成した。

||

地すべり災害時にも迅速にすべり線形状の推定が可能

※例えば 宮澤, 吉澤: 地すべり地の地表面変位測量データを利用した三次元すべり面形状の推定, 土木学会論文集, No.645/III-50, pp51-62, 2000

すべり線推定手法を開発した背景

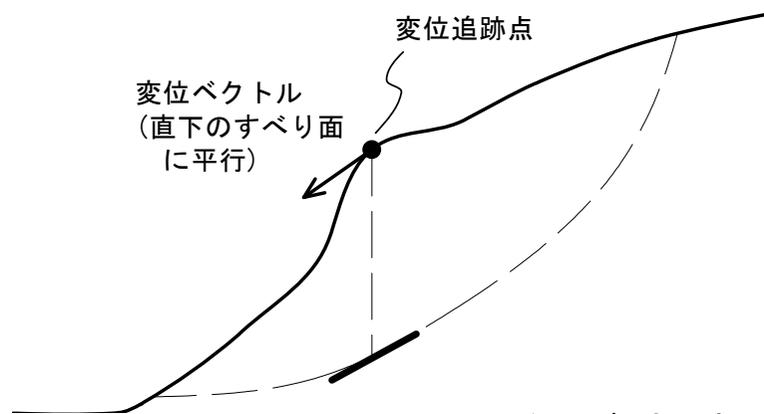
開発にあたってのポイント

1. **2次元断面**で推定できるシステムとする
(現場では主測線断面での調査・計測・検討が一般的)
2. **パーソナルコンピュータ上**で扱えるシステムであること
(現場での汎用性を考慮)
3. **地すべり発生初期**の変位量が比較的小さい段階でも適用できること (迅速な現場対応のため)

すべり線推定手法の概要と理論

基礎理論の前提となる考え方※

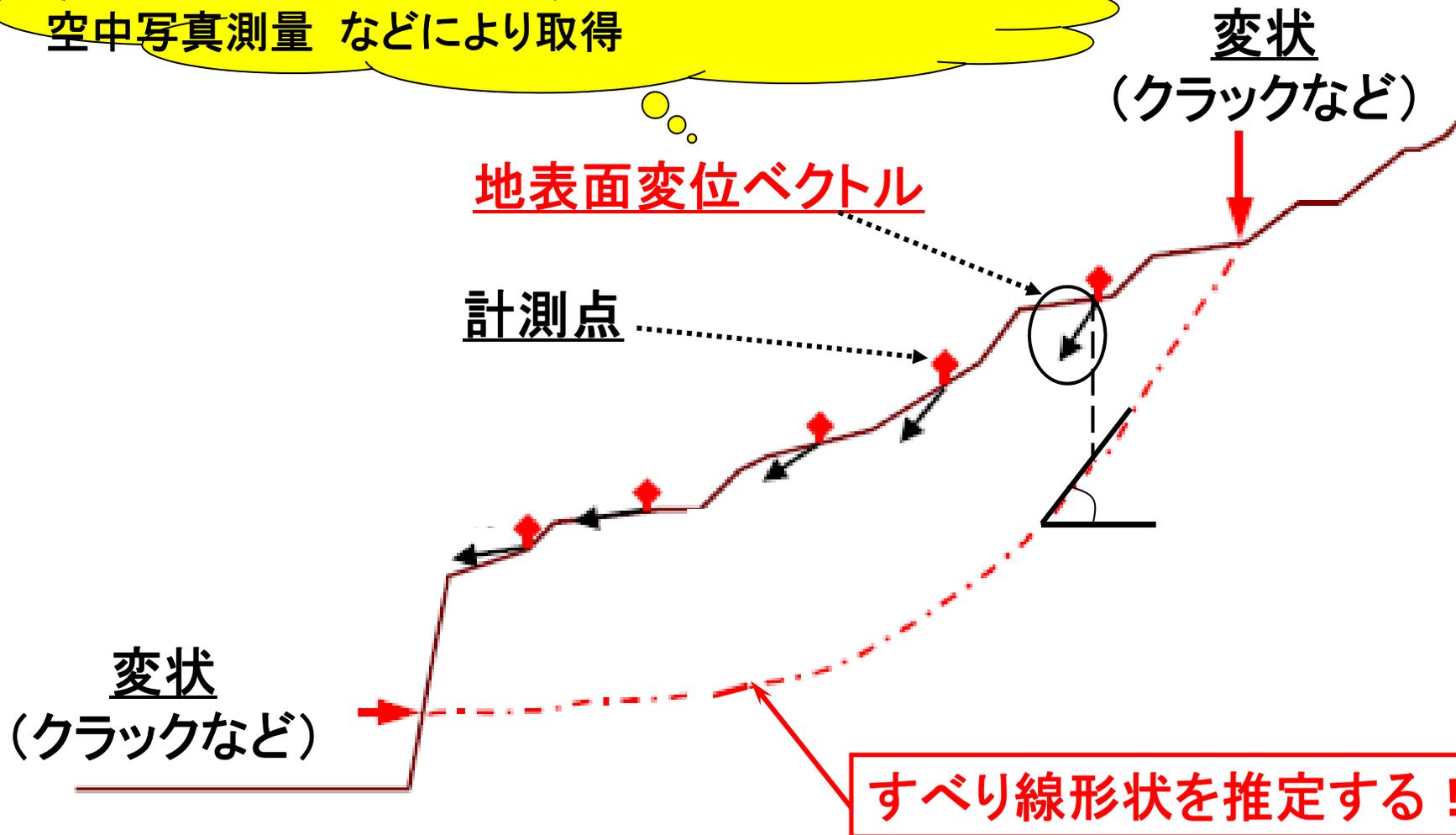
- (1) 地すべりの発生により、地山は亀裂や段差で分断されていくつかの移動土塊となる。
- (2) 個々の移動土塊は剛体的に挙動し、それ自体に大きな変形を生じることなくすべり面上を滑動する。移動土塊の変形量は滑動量に比べて無視し得る。
- (3) 従って、移動土塊の地表に設定された変位追跡点の奇跡は、鉛直下方に形成されているすべり面と平行になる。



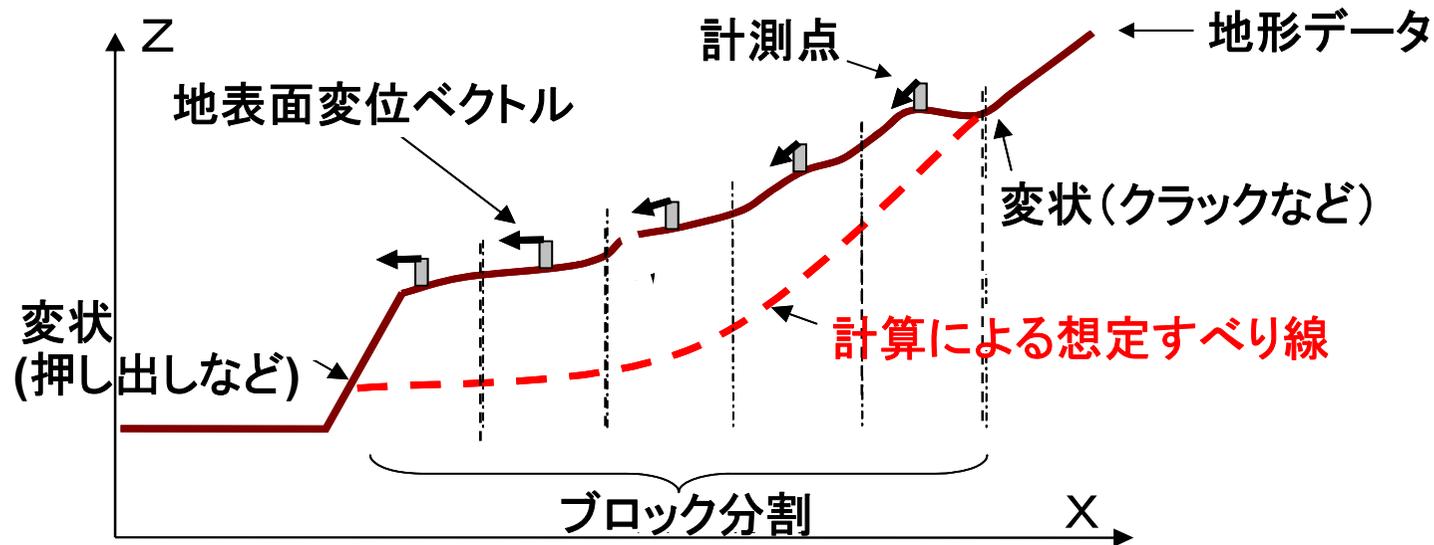
※例えば、吉澤孝和:多角形法による地下すべり面の推定,地すべり25-2,pp.10-17,1988

すべり線推定手法の概要と理論

トータルステーション, GPS, 3D レーザースキャナ,
空中写真測量 などにより取得



すべり線推定手法の概要と理論



すべり線推定プログラムへの入力データ

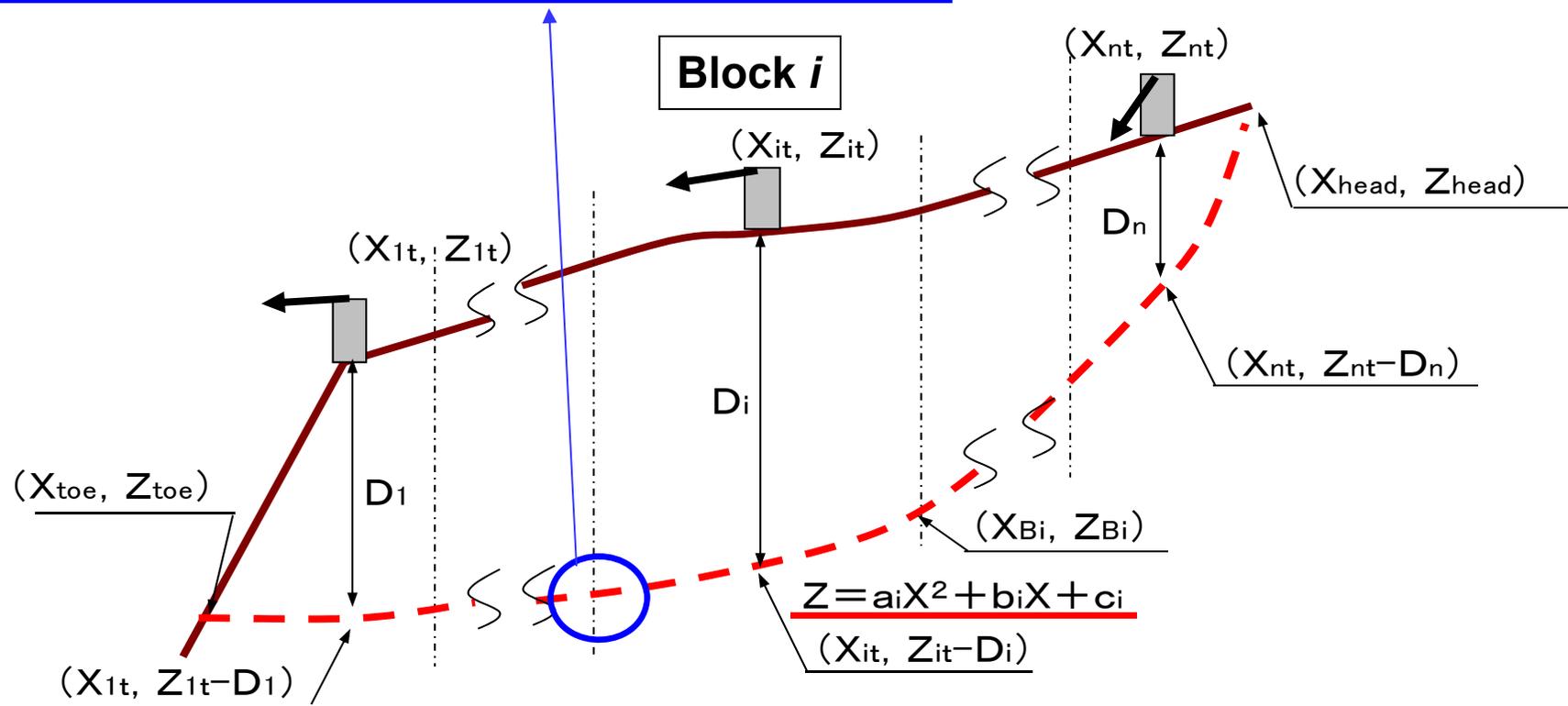
- (1) 地形データ, 計測点の座標
- (2) 変状が表れている位置の座標
(地すべりの頭部とすべり面末端の位置)
- (3) 計測点における地表面変位ベクトル

すべり線推定手法の概要と理論

✓ 地すべり土塊をいくつかのブロックに分割し、ブロック毎の多項式を設定してそれらを連ねてすべり面形状を推定する。

✓ 各ブロックは剛体的に挙動し、地表面計測点の変位方向はすべり面と平行になると仮定。

✓ ブロック境界部のすべり面の勾配と高さは等しい。



すべり線推定プログラムの操作(基本情報入力)

1. 地表線を入力

【入力方法を選択可能】

- (1)座標値をキー入力
- (2)DXFファイルの読み込み
- (3)マウスで直接入力

2. 地表面計測点の位置を入力

3. 地表境界点の位置を入力

Windows taskbar: >メニュー選択, 受信トレイ - Win..., スケジュール (...), アンカー緊張力, リーフレット, H21新技術ショー..., Slip Surface Esti..., すべり面解析 Ver..., Microsoft Excel -..., 断面作成 (す..., 85.140, 3.048, 14:47

すべり線推定プログラムの操作(計測データ入力)

計測データを入力

計測データ入力 (3次元)

行編集(E) シャット(J)

測点名: coltialunis

断面方向角 θ (度): 34.000

行番	年	月	日	時	分	WP2				WP2			
						dx	dy	(ds)	dz	dx	dy	(ds)	dz
1	2007	11	20			27.0	8.0	27.4	-8.0	8.0	21.0	14.2	-8.0
2	2008	2	6			99.0	92.0	133.5	-13.0	107.0	51.0	117.2	-21.0

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

3次元の変位ベクトルデータ(dx, dy, dz)を入力する場合には、解析断面の方向を入力することにより、解析断面に投影した変位ベクトルが自動的に計算される。

すべり線推定プログラムの操作(解析条件選択)

解析手法

すべり面推定法

多角形平行法 多角形回転法 多項式法

2境界点処理

両値平均 単純平均

すべり計算パラメータ

単位重量 γ (kN/m³):

粘着力 c (kN/m²):

剪断抵抗角 ϕ (度):

OK キャンセル

多角形平行法※
多角形回転法※
多項式法※

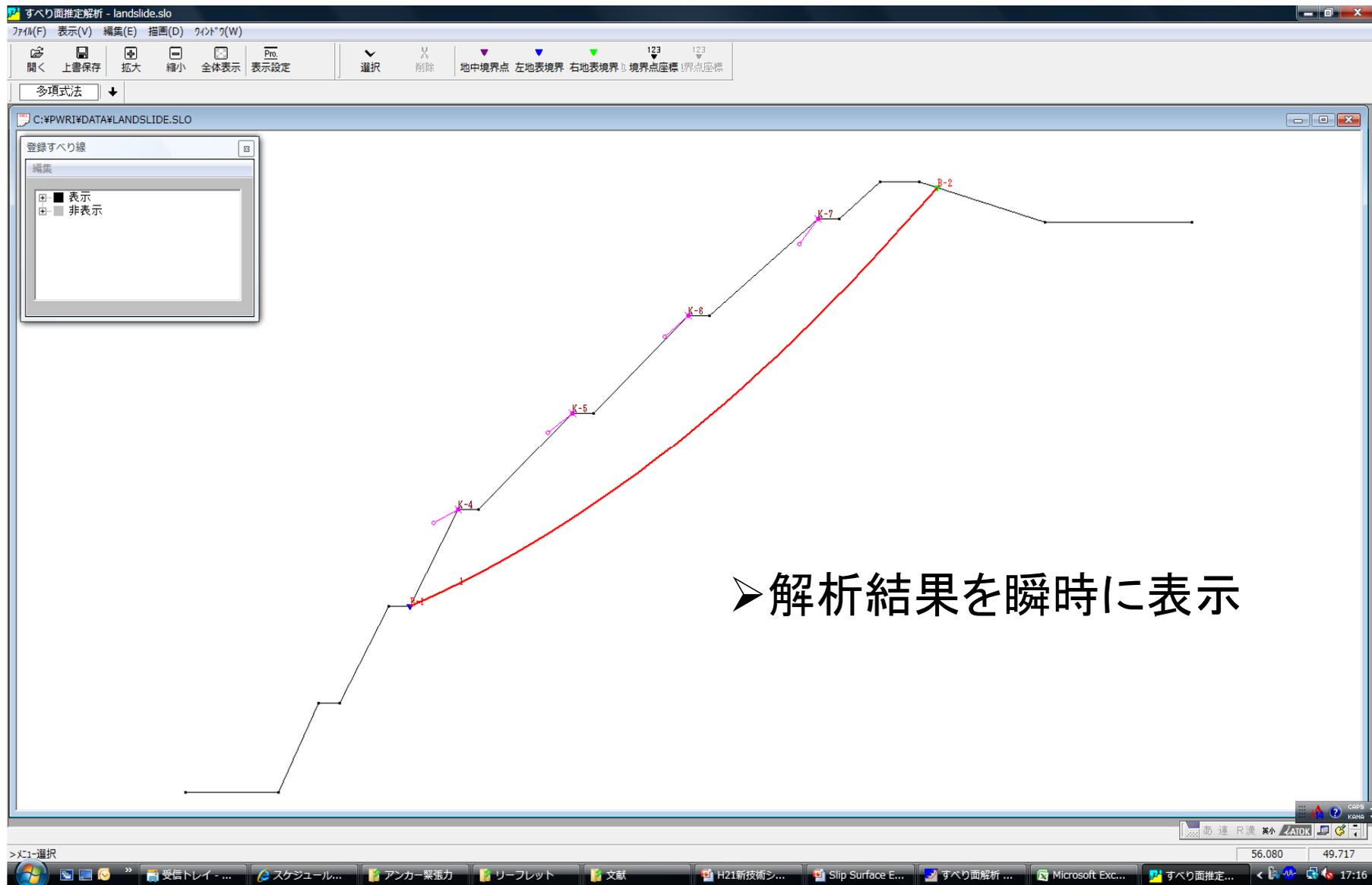
から選択可能

ブロック区分線を設定することによって土研式多項式法が適用される。

※例えば、吉澤孝和: 多角形法による地下すべり面の推定, 地すべり25-2, pp.10-17, 1988

吉澤孝和: 多項式を用いた地すべり地の地下すべり面形状の推定, 地すべり25-3, pp.1-10, 1988

すべり線推定プログラムの操作(解析)



➤ 解析結果を瞬時に表示

すべり線推定プログラムの操作(特徴)

すべり面推定解析 - landslide.slo

ファイル(F) 表示(V) 編集(E) 描画(D) ウィンドウ(W)

開く 上書き保存 拡大 縮小 全体表示 表示設定

選択 削除 地中境界点 左地表境界点 右地表境界点 境界点座標 1界点座標

多項式法

C:\PWRI\DATA#LANDSLIDE.SLO

登録すべり線

編集

- 表示
- 地中境界点 (B-3) *
- 左地表境界点 (B-1)
- 右地表境界点 (B-2)
- (1) すべり線
 - 左地表境界点 (B-1)
 - 右地表境界点 (B-2)
- (2) すべり線
 - ブロック線
 - 左地表境界点 (B-1)
 - 右地表境界点 (B-2)
- (3) すべり線
 - ブロック線
 - 左地表境界点 (B-1)
 - 右地表境界点 (B-2)
 - 地中境界点 (B-3) *
- 非表示

ブロック区分線設定可能
(土研式多項式法)

地中境界点設定可能

頭部滑落崖や亀裂の
勾配を入力可能

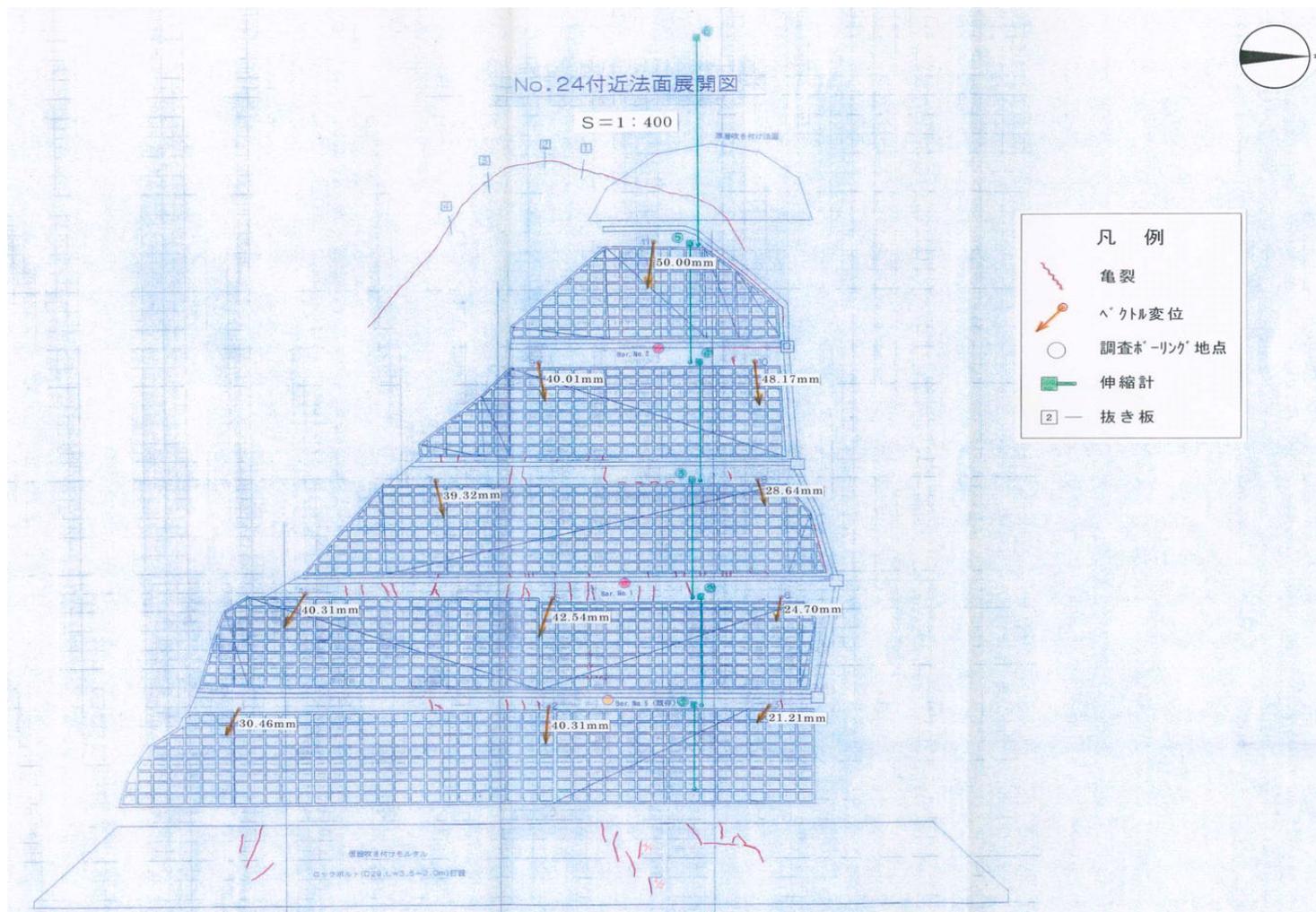
- 解析条件を変化させながら
計算結果の妥当性を判断
- 頭部亀裂部の勾配など、
現地調査結果を反映させる
ことが望ましい

69.360 3.699

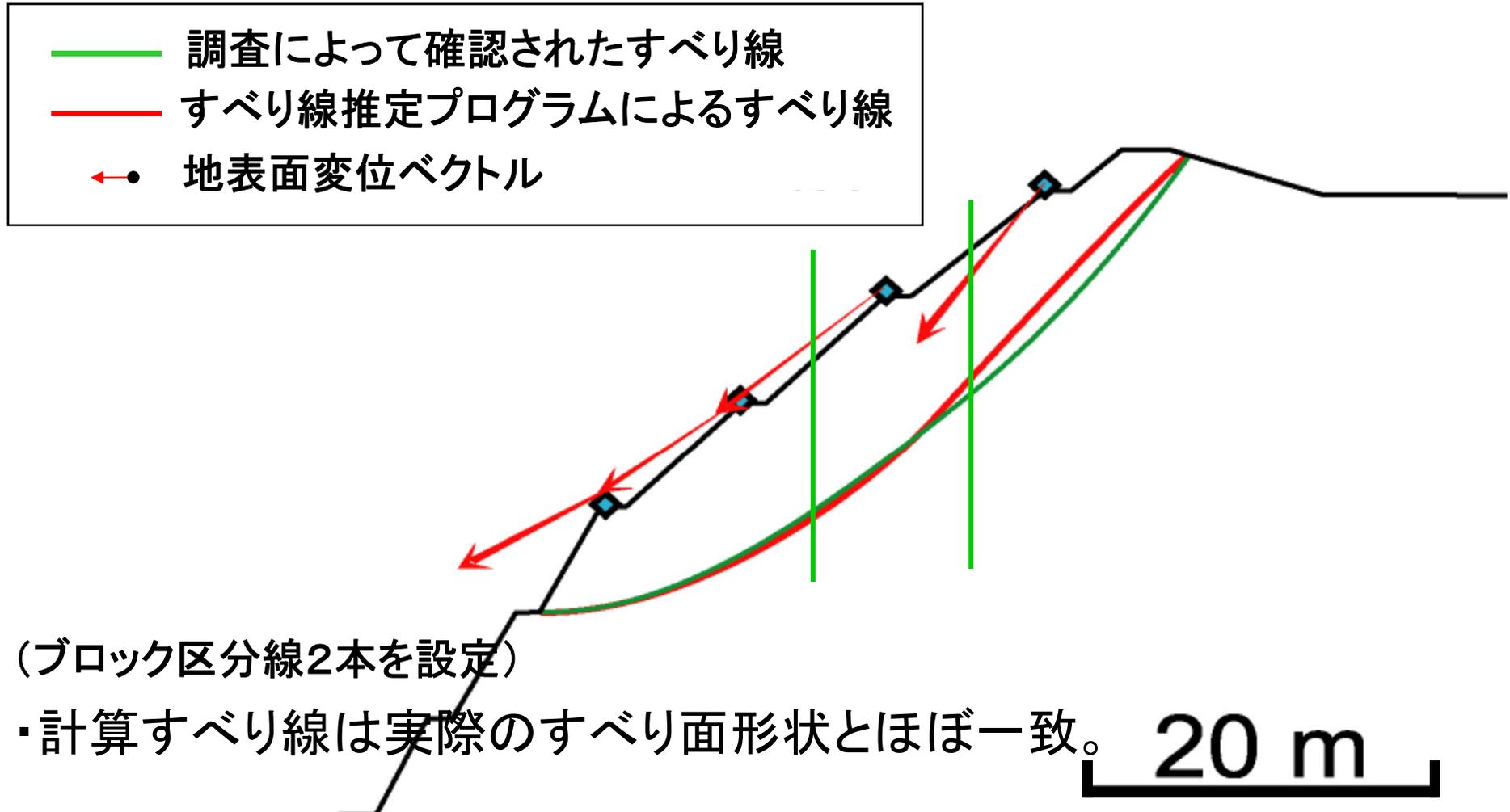
19:42

適用事例(1)

- ・切土工事中に地すべりが発生
- ・白亜紀の火山噴出岩類を基盤とする風化岩地すべり



適用事例(1)



地表面変位計測点が測線上に偏りなく分布していることが、良好な計算結果に繋がったものと考えられる。

適用事例(2)

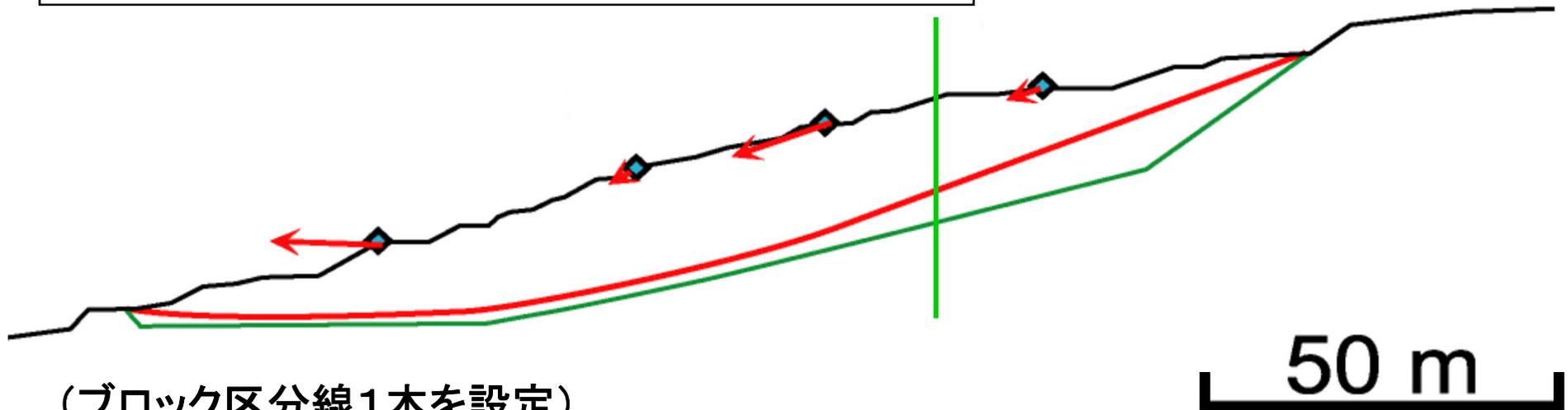
- ・新第三紀の堆積岩を基盤とする自然斜面で発生した地すべり。
- ・崩積土地すべり。



(社) 斜面防災対策技術協会HPより

適用事例(2)

- 調査によって確認されたすべり線
- すべり線推定プログラムによるすべり線
- ←• 地表面変位ベクトル



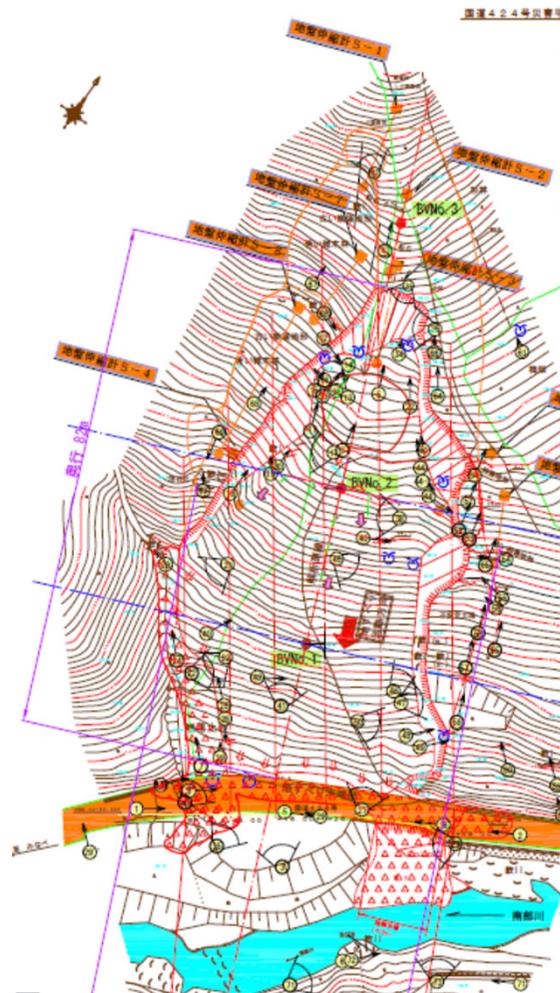
(ブロック区分線1本を設定)

- ・計算すべり線は頭部で傾斜が緩くかつ浅い結果となった。
- ・中間部～末端部にかけては比較的良くすべり面形状を表現できた。

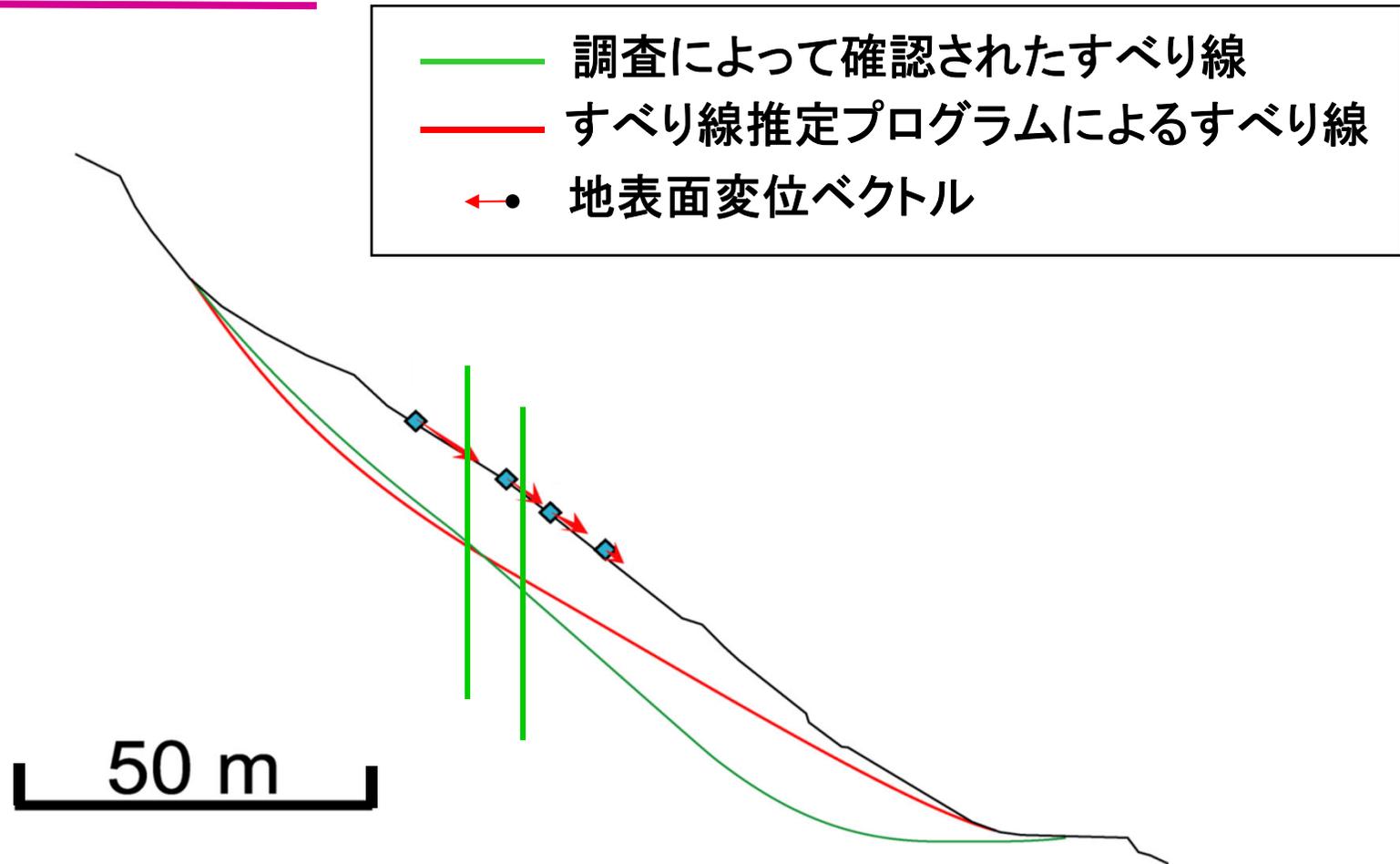
地すべり頭部の計測値がないため、頭部の形状に不一致が生じたものと考えられる。

適用事例(3)

- ・古第三紀の堆積岩(黒色頁岩)を基盤とする風化岩地すべり。
- ・国道に面する自然斜面にて発生。背後斜面には古い段差地形を伴う潜在すべりが存在。



適用事例(3)



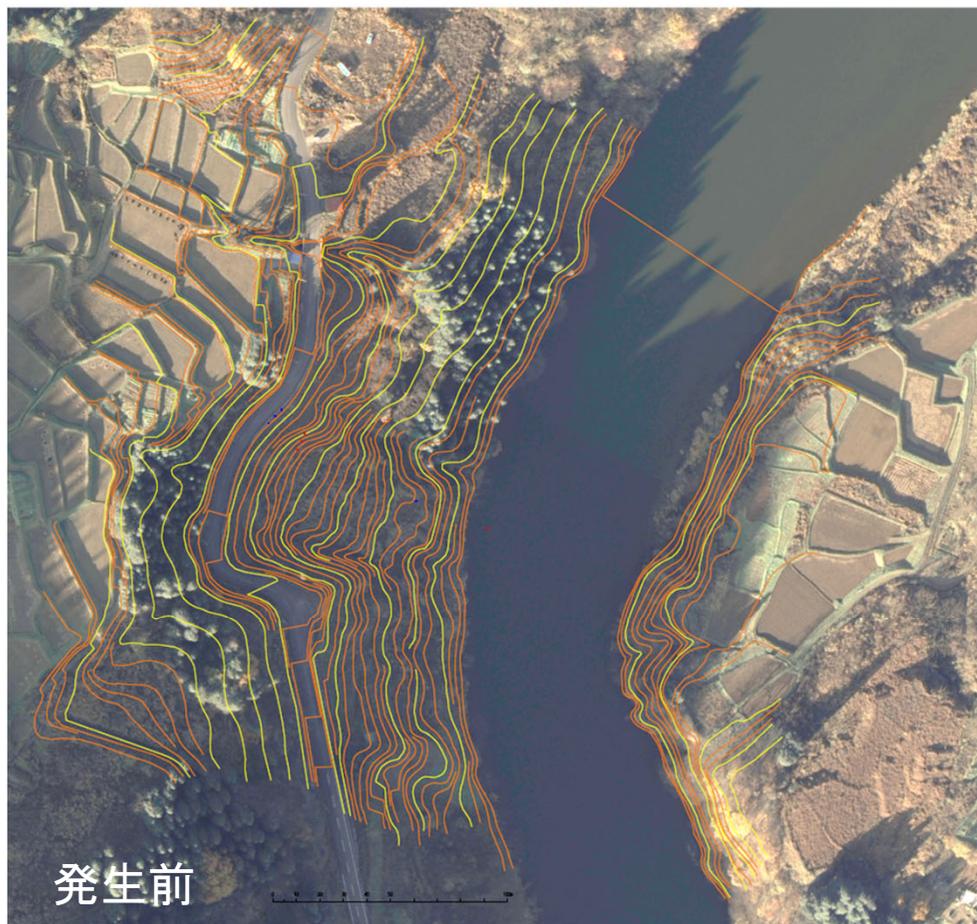
- ・中央部から末端部にかけて、実際よりも浅い計算結果となった。

地すべり頭部及び末端部に計測点がなく、計測点の配置バランスが悪いために、下部の形状不一致が生じたものと考えられる。

適用事例(4)

地すべり発生前後の空中写真より計測した地表面変位ベクトルを利用した事例





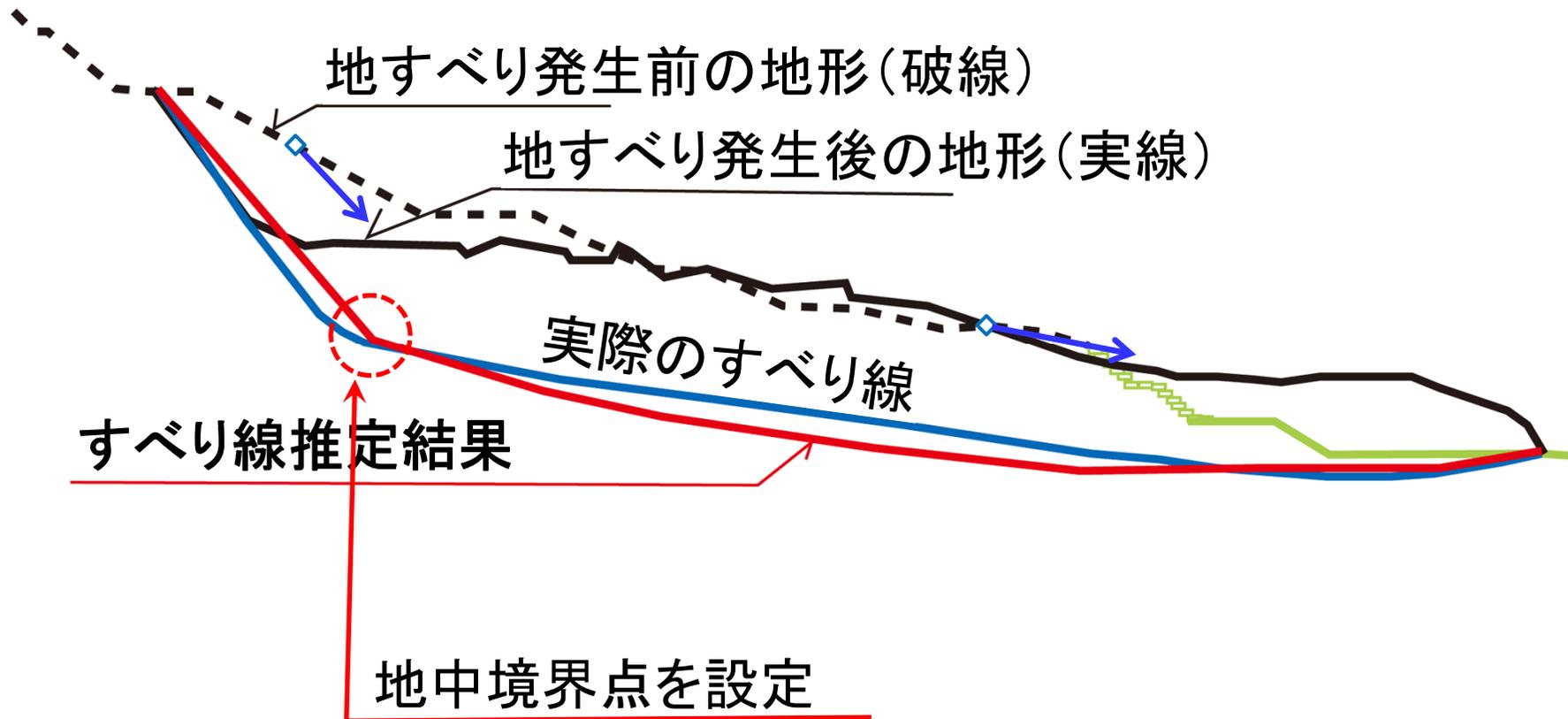
空中写真測量

↳ デジタルオルソデータ作成

↳ 地すべり発生前後の比較⇒同一移動点特定

↳ 移動ベクトルの推定

➡ すべり面推定



- 適切にブロック区分線や地中境界点を設定することで、実際のすべり線形状に近い形状を推定することができる。

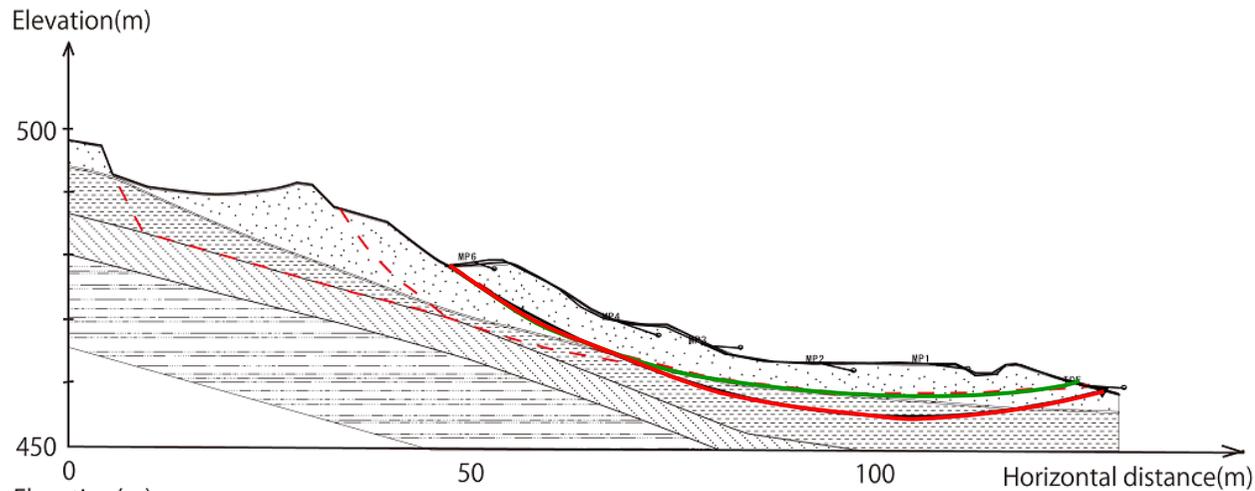
地すべり周辺の地質状況、地表面変位ベクトルの方向、滑落崖の傾斜などを基に、予めすべり面形状を予測した上で、ブロック区分線や地中境界点の設定を変えながら繰り返し解析することも必要である。

適用事例(5)



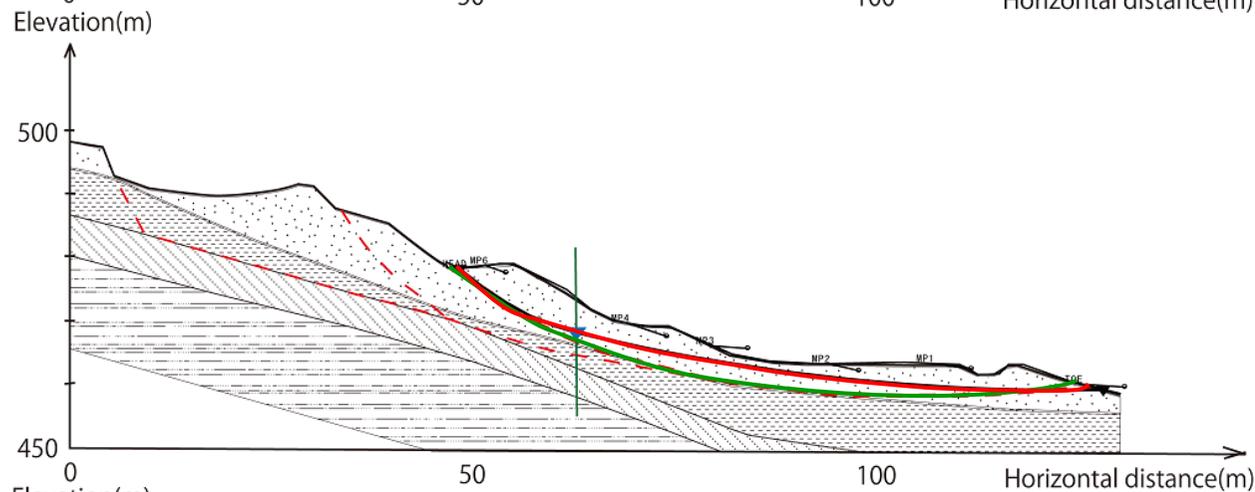
主測線





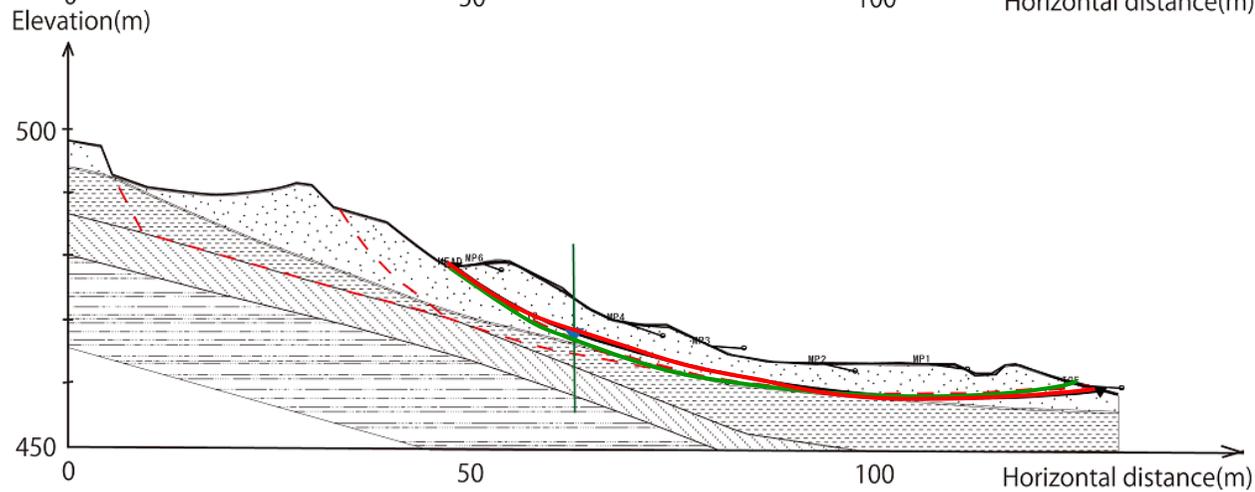
【ケース1】

- ・頭部すべり面の勾配条件:40度



【ケース2】

- ・頭部すべり面の勾配条件:なし
- ・ブロック区分線:設定
- ・地中境界点:設定



【ケース3】

- ・頭部すべり面の勾配条件:40度
- ・ブロック区分線:設定
- ・地中境界点:設定

適用事例(6)

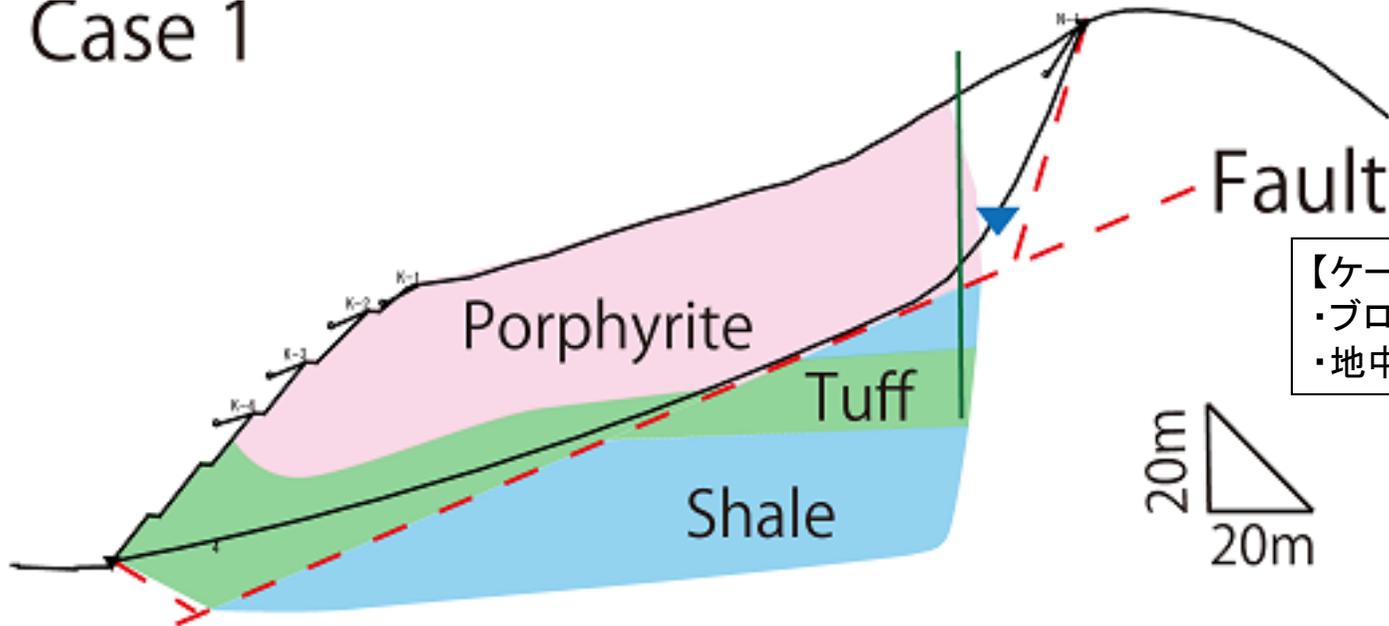




のり枠に表れたクラック
(2008年12月11日撮影)

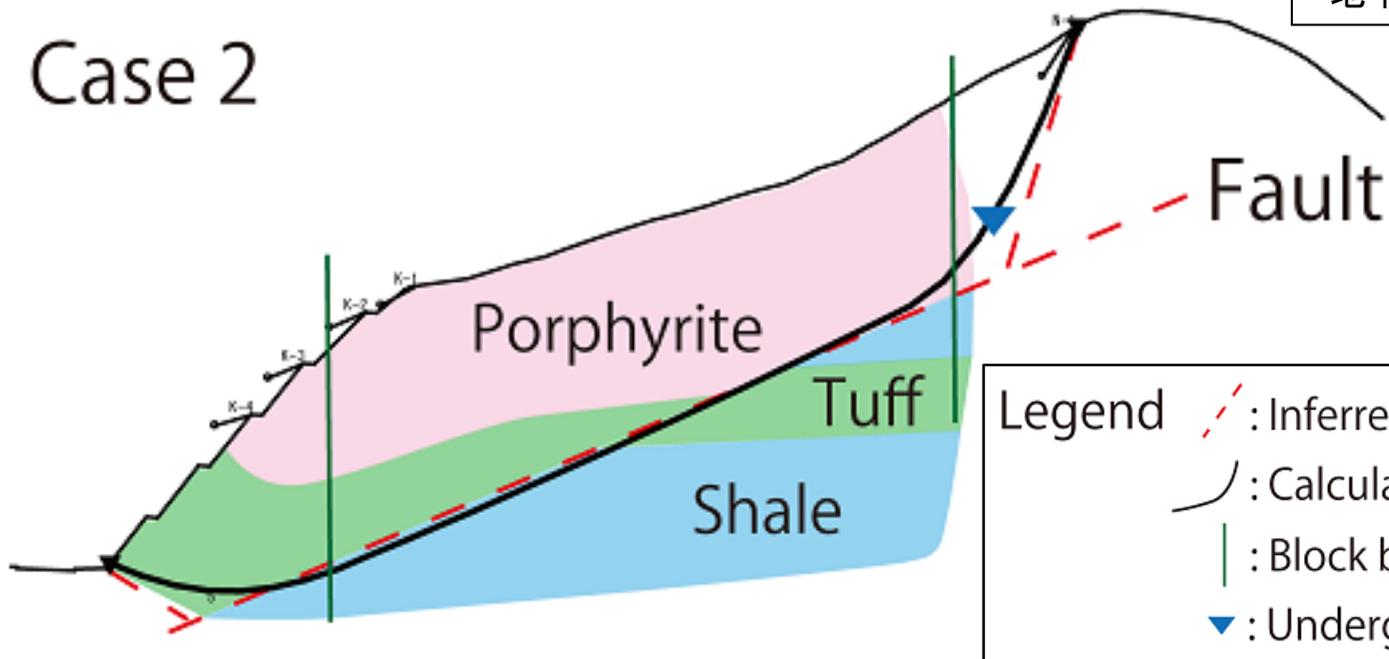
降雨後に開きが拡大したクラック
(2009年7月28日撮影)

Case 1



【ケース1】
・ブロック区分線を1箇所を設定
・地中境界点を1箇所を設定

Case 2



【ケース2】
・ブロック区分線を2箇所を設定
・地中境界点を1箇所を設定

Legend
- - - : Inferred sliding surface or fault
— : Calculated sliding surface
| : Block boundary line
▼ : Underground boundary point

プログラムの利用にあたって

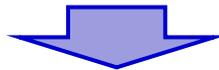
1. 本技術が想定している場面は、地すべり災害直後の応急緊急調査・対応時である。詳細な機構解析のためには、ボーリング調査等で確認する必要がある。
2. 地表面変位計測点は、地すべりの頭部と末端を含むバランス良い配置が重要。
3. ブロック境界線の位置設定や計算結果の妥当性評価に際しては、現地調査やエンジニアリング・ジャッジも必要。
4. 現場での地表面変位の計測誤差を小さくすることが大切。

プログラムのリリースと検証について

今後の予定

- すべり線推定プログラムのリリース
- 地表面変位計測に基づくすべり線形状推定マニュアル発刊

— 地表の動きからすべり線を探る —
地表面変位データを用いたすべり線の算出理論とその応用



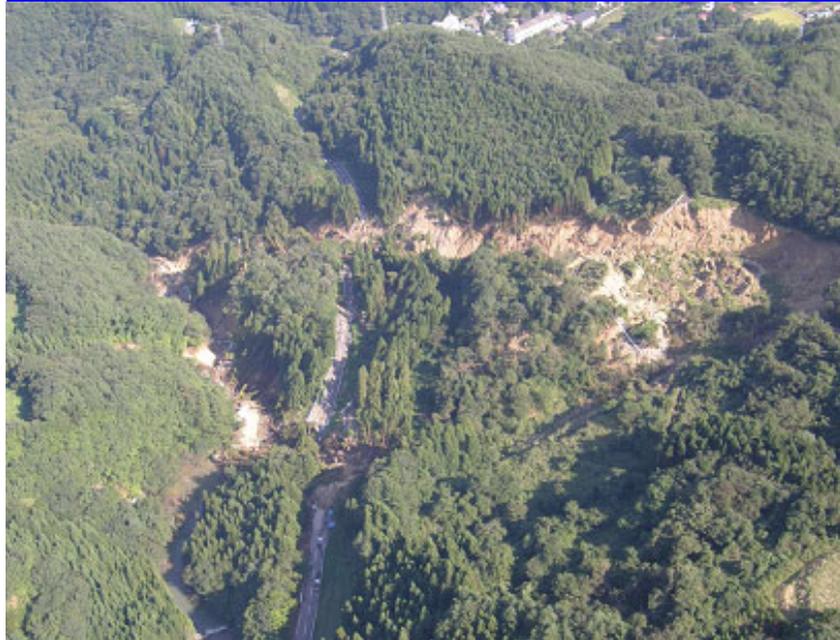
- プログラムを使用いただいた結果を収集することにより解析事例を増やし、プログラムの検証と改良を行っていきたい。

マニュアルについて(紹介)

— 地表の動きからすべり線を探る —
地表変位データを用いたすべり線の算出理論とその応用

1. はじめに
2. すべり線推定法の基礎理論
3. すべり線推定システム
4. 地表踏査によるすべり線形状の予測
5. 地表面変位計測
6. 精度良くすべり線形状を推定する方法
7. 解析事例の紹介
8. おわりに

地表面変位ベクトルから地すべりの すべり面を推定する技術



平成19年7月に宮城県で発生した地すべり



平成19年7月に静岡県で発生した地すべり
(国道136号)

-  独立行政法人土木研究所(地すべりチーム)
-  国際航業株式会社
-  日本工営株式会社
-  基礎地盤コンサルタンツ株式会社
-  株式会社アイエステー
-  株式会社キタック
-  株式会社レイディック

地すべり災害時に迅速に
対応するための技術