

## 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18年5月に沖縄県中城村で発生した地すべり  
平成19年7月に静岡県伊豆市で発生した地すべり (国道136号 土肥地区)

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

## 発表内容

1. すべり面推定手法の開発イメージ
2. すべり面推定手法を開発した背景
3. 本手法の概要と理論
4. すべり面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

## すべり面推定手法の開発イメージ

地表面変位ベクトルより地すべりのすべり面形状を推定

滑落崖

押出し

光波測距儀

## すべり面推定手法を開発した背景

斜面遠隔監視システム

地すべり災害時の応急対策工事の最適化手法(提案)

すべり面推定手法

災害直後には、まず地すべりの規模を把握することが重要

## すべり面推定手法を開発した背景

地すべり災害発生

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)からすべり面を推定することが可能

安全 迅速

応急緊急対策

恒久対策

## すべり面推定手法を開発した背景

既往の手法※ ……  
解析に時間を要するため、災害対応時等緊急を要する場合の適用が困難 等の課題あり

↓

地表面変位ベクトルからすべり面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面形状の推定が可能

※例えば 吉澤, 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

## すべり面推定手法を開発した背景

### 開発にあたってのポイント

- 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)
- 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)
- 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)

## すべり面推定手法の概要と理論

基礎理論の前提となる考え方※

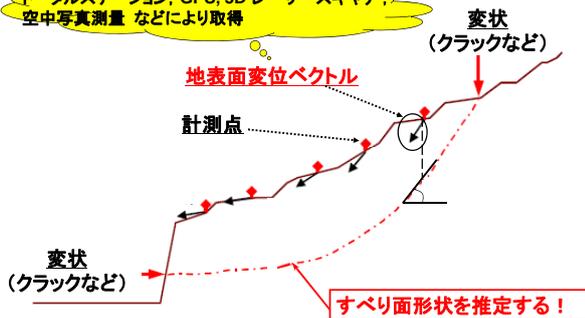
- 地すべりの発生により、地山は亀裂や段差で分断されていくつかの移動土塊となる。
- 個々の移動土塊は剛体的に挙動し、それ自体に大きな変形を生じることなくすべり面上を滑動する。移動土塊の変形量は滑動量に比べて無視し得る。
- 従って、移動土塊の地表に設定された変位追跡点の奇跡は、鉛直下方に形成されているすべり面と平行になる。



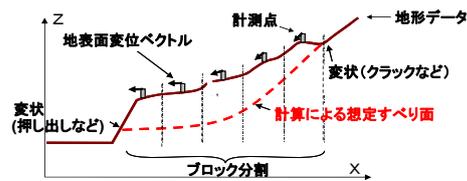
※例えば、吉澤幸和: 多角形法による地下すべり面の推定 地すべり25-2, pp.10-17, 1988

## すべり面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



## すべり面推定手法の概要と理論

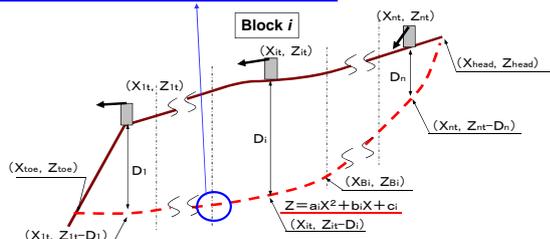


すべり面推定プログラムへの入力データ

- 地形データ, 計測点の座標
- 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)
- 計測点における地表面変位ベクトル

## すべり面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。



## すべり面推定プログラムの操作(基本情報入力)



### 1.地表面線を入力

【入力方法を選択可能】

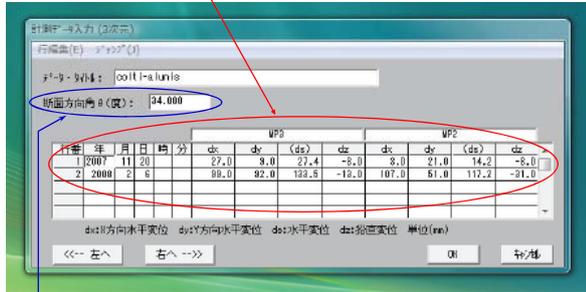
- (1)座標値をキー入力
- (2)DXFファイルの読み込み
- (3)マウスで直接入力

### 2.地表面計測点の位置を入力

### 3.地表面境界点の位置を入力

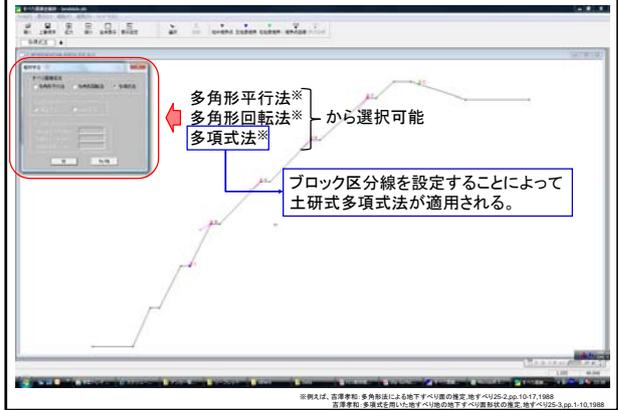
## すべり面推定プログラムの操作(計測データ入力)

計測データを入力

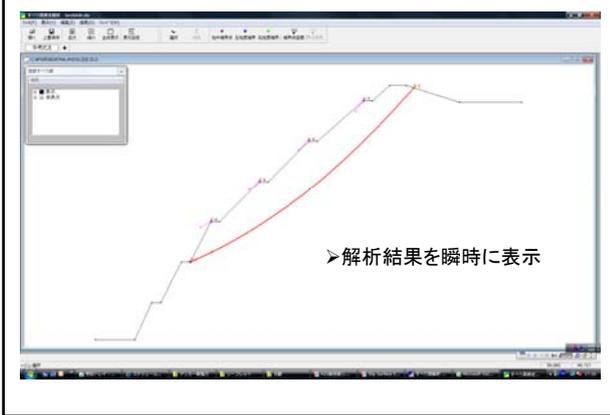


3次元の変位ベクトルデータ(dx, dy, dz)を入力する場合には、解析断面の方向を入力することにより、解析断面に投影した変位ベクトルが自動的に計算される。

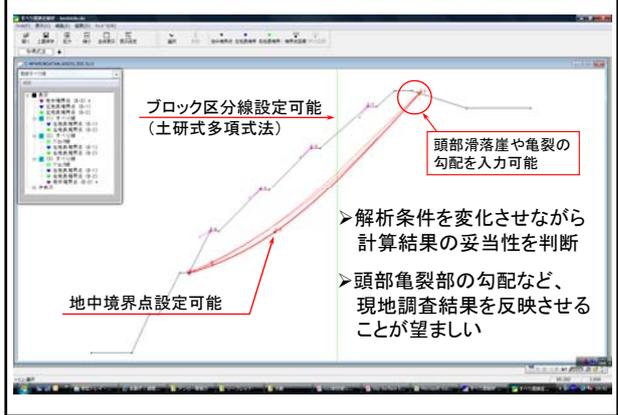
## すべり面推定プログラムの操作(解析条件選択)



## すべり面推定プログラムの操作(解析)

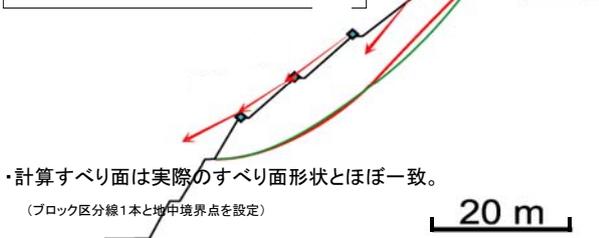


## すべり面推定プログラムの操作(特徴)



## 適用事例(1)

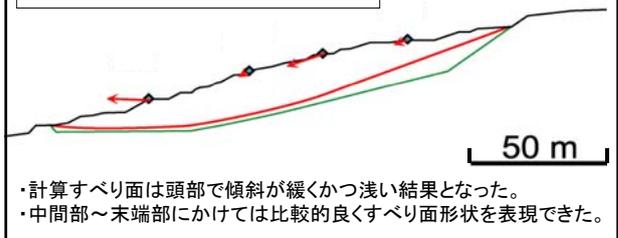
- 調査によって確認されたすべり面
- すべり面推定プログラムによるすべり面
- 地表面変位ベクトル



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)

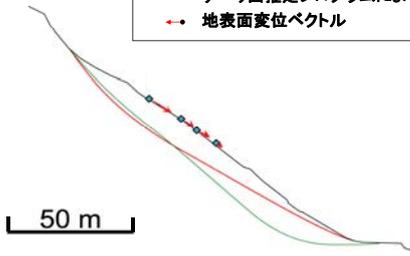
- 調査によって確認されたすべり面
- すべり面推定プログラムによるすべり面
- 地表面変位ベクトル



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)

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



・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

地すべり発生前の地形(破線)

地すべり発生後の地形(実線)

実際のすべり面

すべり面推定結果

地中境界点を設定

➤ 適切にブロック区分線や地中境界点を設定することで、実際のすべり面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。

### 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

- すべり面推定プログラムのリリース(フリーソフトを予定)
- 地表面変位計測に基づくすべり面形状推定マニュアル発刊



- 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。