

地すべり地形分布図の全国刊行完了と その危険度評価の試み

内山庄一郎
防災科学技術研究所
災害リスク研究ユニット & 自然災害情報室

ストーリー

1. トピックの位置付け
2. 地すべり地形分布図の全国刊行完了
3. 危険度評価の試み

災害直後の迅速な状況把握と情報提供の実現

- 広域災害における被災状況の把握の難しさ
- 実例、多数
- 実現するための試みが存在しない
- 喫緊の課題：迅速な状況把握とその情報共有技術の確立

災害直後の迅速な状況把握と情報提供の実現

1. 災害脆弱地域の把握と監視
2. 現地状況の収集と解析
3. 情報発信・情報活用

災害直後の迅速な状況把握と情報提供の実現

1. 災害脆弱地域の把握と監視

A) 地域における災害脆弱性の把握

- 過去の災害特性の把握
 - 地すべり地形分布図
 - 災害事例データベース(地域防災計画、市町村史)
 - 歴史災害資料の解析
 - 年代測定による過去の自然現象の解明
- 既存の成果の統合
 - ハザードマップ、災害実績図、地形分類図等
 - 専門家の経験知の形式知化

B) 外力の観測

C) シミュレーション

- 様々な自然災害現象のハザード・リスク解析
 - 斜面安定解析
 - J-SHIS

災害事例データベース：西暦679年～2009年までの約30,000件



災害直後の迅速な状況把握と情報提供の実現

2. 現地状況の収集と解析

A) 概略的・広域的な状況把握技術の開発

- 災害時にも安定的なデータ供給が見込める手法
 - リモートセンシング
 - 空中写真のSfM解析

B) 航空機・UAVによる各種データの取得と解析

- 中・広域の高解像度データ取得
 - 「くにかぜ」
 - UAVの活用

C) 現地調査による災害発生地での情報収集

- 古典的・確実な手法

D) 関連組織との連携

- 情報連携
- 調査連携

UAVの活用



石巻市雄勝町立浜地区



UAV & SfM

航空機レーザ測量
(国土地理院5mメッシュデータ)
費用:1,000万円~、工期:1か月

UAV撮影画像のSfM処理
費用:出張費、撮影1時間・処理半日

いずれも等高線間隔0.5m、陰影図+傾斜分級図

- ・ 範囲、面積、体積などの変化を精密に測定・抽出
- ・ 多時期の航空写真の活用
- ・ 高精度地形モデルの取得
- ・ 変動変位地形の精密計測
- ・ 道路構造物の防災点検
- ・ 雪崩危険斜面の積雪深測定

台風による大規模植生被害

災害直後の迅速な状況把握と情報提供の実現

3. 情報発信・情報活用

- A) 各フェーズの情報を提供するWebシステム
 - 自然災害発生時の総合的な情報発信と利活用ツールの提供
 - ・ クライシスレスポンスWebサイト
 - ・ 地図ベースの情報共有Webシステム& API
- B) 自然災害・防災に関する資料・情報のアーカイブ
 - アーカイブ: 情報の収集・整理・保管・提供
 - ・ 自然災害情報の総合窓口
 - ・ 災害資料データベース(マルチメディア、新聞、Web)
 - ・ 国内外のWebベースの自然災害情報の収集
- C) 情報利用者を対象とした人材育成
 - ・ 自治体防災担当
 - ・ 学校、病院、公共施設
 - ・ 自主防災組織、自治会

防災科研クライシスレスポンス情報プラットフォームの確立

自然災害発生時における総合的な情報発信と利活用ツールの提供

【現状の問題点】
 防災科研に対し、自然災害に関する迅速な科学的情報発信が求められている(社会の要請)
 →総合的に災害分析、調査対応する体制が存在しない
 →各ユニットで独自に行い、情報の共有が無い
 →総合的なWebサイトの構築、発信に至らず

【提案】
 災害が発生した際に所内から発信する情報を、利活用ツールとともに統合的に公開するプラットフォームの実現。

平成26年台風第99号による災害について

発生: 1999年mm月ss日 hh時mm分ss秒
 現象名称: 平成〇年(20xx年)つ(ば水害)
 災害名称: 筑波大水害
 災害の規模
 災害の発生範囲 etc...

検索

- センサーネットワーク情報
 - リアルタイム観測モニタ
 - (地震、火山、風水害、斜面災害、雪害)
- 災害現地連絡
 - 避難命令発令状況
 - 政府の動き
 - 自治体の動き
 - 各関連機関のリンク
 - 国、県、地方公共団体
 - 警察
 - 消防etc...
- 災害時の対応
 - 非常時の心得
 - 避難場所情報
 - 被災地支援
 - ボランティア情報
- 災害関連資料
 - 災害資料の閲覧
 - 災害資料所蔵リスト

【情報発信の流れ】
速報
 -各ユニット内から
集約情報の発信
 -自然災害情報室から
 防災情報システムで発信
 -過去資料や他災害の情報も付加
 -数日以内に出せる簡易レポート(pdf)
 -調査隊や災害現場でそのまま利用できるツールを提供(eコミ)
災害情報の集約
 -eコミに災害情報や調査結果を登録
 -主要災害調査で報告

【DLにおけるH25の取り組み】
 平成25年台風26号伊豆大島災害
 →水、土砂、災害リスクで共同調査を実施
 →災害対応ML(nied-drt-ml)の構築
 →情報共有の大容量FTPサービスを構築

○センサーネットワーク情報
 地震、火山、風水害

○被害予測データベース群
 風水害、地震、火山

○災害に関する基礎データ群
 新聞災害、災害事例

過去の取り組み



長野県南木曾町:先遣隊



災害直後の迅速な状況把握と情報提供の実現

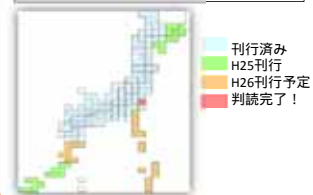
1. 災害脆弱地域の監視
 - A) 地域における**災害脆弱性の把握**
 - 過去の災害特性の把握
 - ・ **地すべり地形分布図**
 - B) 外力の観測
 - C) シミュレーション
 - 様々な自然災害現象のハザード・リスク解析
 - ・ **斜面安定解析**
2. 現地状況の解析
3. 情報発信・情報活用

地すべり地形分布図の刊行状況およびH26年度計画

平成25年度まで

- 1) 地すべり地形分布図第1～57集の刊行と
同地域のシームレス**地すべり地形GISデータ**を
公開
- 2) 関東中央部の地すべり地形判読

未刊行地域について:
国土地理院の地形図データ刊行が予定
(H25.6)より遅れているため、以下の2地域に
ついて地図の印刷のみ後年度へ、
・第58集(鹿児島)
・第59集(伊豆・小笠原諸島)



地すべり
判読
研究の
進捗

平成26年度計画

- 1) 地すべり地形分布図第58・59集の印刷
予定時期: 国土地理院の地形図ベクタデータが
刊行され次第。
- 2) 地すべり地形分布図第60集()の刊行
予定時期: 上記と同様、同地域の地形図ベクタ
データが刊行され次第。
- 3) 地すべり地形判読総括論文の執筆
地すべり地形判読、および地すべり地形GISデータ
に関する総括論文の執筆。

地すべり地形分布図の当初予定には含まれていないが、
H25より着手。これにより、地形図・空中写真が存在する国
土全域を網羅する。

地形図・空中写真が存在する国土全域について、
地すべり地形の判読とデータ化を網羅



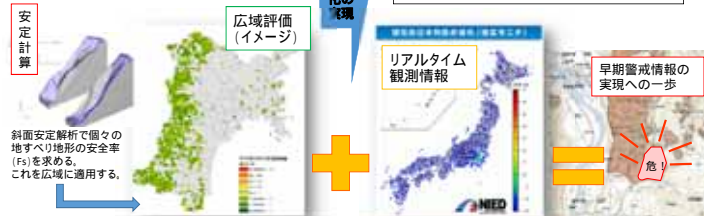
広域における地すべり地形の安定性評価

短期目標

- 地すべり地形の定量的な安定度評価
- 1) **地すべり地形GISデータ**に対し**斜面安定解析**
を適用し、広域において地すべり地形のす
べりやすさを定量的に評価する
 - 2) 降雨や地震などの外的要因による**安定度**
の**低下**をシミュレートする。
 - 3) 解析計算に必要な各種パラメータを高精度
に推定・取得する手法を検討する。

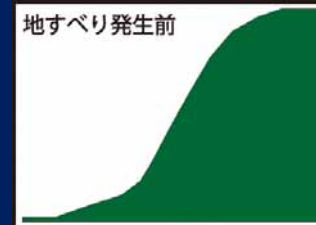
社会への展開・影響

- ・ 自治体等の斜面防災業務への活用
地すべり性斜面の**安定・不安定傾向**を示すことで、
斜面防災業務における点検や対策、避難経路の
立案等の意思決定に資する。
- ・ **地すべり早期警戒情報**に向けた一歩
地すべり斜面の安定度低下シミュレーションと各
種リアルタイム観測データとの連携により、地震や
豪雨によってハイスルク状態にある斜面を即時抽
出し、早期警戒情報を発報する仕組みの実現に向
けて大きく前進する。



1:50,000地すべり地形分布図(全60集)
&
地すべり地形GISデータ

過去に地すべりが発生した
場所や周辺地域で起きている



1. すべり面の形成
2. 変形, 破壊を受けた移動体は壊れやすい
3. すべり面が形成されやすい地質構造, etc.



地すべり発生場所の予測・評価には、
地すべり地形の分布状況の把握が有効

実際に起きた地すべり災害と
地すべり地形分布図



秋田の地すべり現象
過去にも発生した

1997年5月に発生した澄川地すべりは、地すべり地形分布図で図示していた地すべり地形とほぼ同じ箇所が発生した

実際に起きた地すべり災害と
地すべり地形分布図



2008年岩手・宮城内陸地震により発生した「荒砥沢地すべり」

過去の地すべりが発生した地域(地すべり地形)の中で発生した

実際に起きた地すべり災害と地すべり地形分布図

栗平 平成23年台風第12号によって発生した紀伊半島における斜面変動

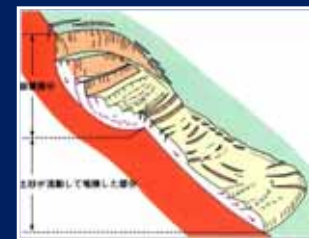
大規模崩壊地20箇所
地すべり地形分布図で示した地すべり地形と
ほぼ一致している:35%
一部一致している:60%

熊野 分布図に図示していなかった箇所
1箇所(長殿谷)のみ
変動域面積10ha以上の地域(8箇所)のうち

清水

写真提供:朝日航洋(株)

マッピングの対象とする地すべり地形



幅:150m以上の地すべり地形
使用する空中写真の縮尺(140,000)

表層クリーブ、表層すべり、表層崩壊、土石流、落石などは含まれない

地すべり地形の判読方針

- **範囲を実形で記載**
 - ・ 基図には5万分の1地形図を用いる
- **基本的構造を記載**
 - ・ 滑落崖と移動体を明確に区別する
- **新旧の程度を表す目安**
 - ・ 新鮮度・開析度を数段階で示す
- **新旧の相互関係**
 - ・ 相互の位置的・時間的關係を表現する
- **航空写真による実体視判読**
 - ・ すべて人間の眼で判読する



地すべり地形の判読方針

「地すべり地形分布図」の刊行プロセス



判読と判読原図の作成

- 使用写真: 4万分の1モノクローム航空写真
- 撮影年代: 1970年代
- 判読手法: 航空写真实体視と地形学的考察
- 判読原図: 2万5千分の1地形図に手書き



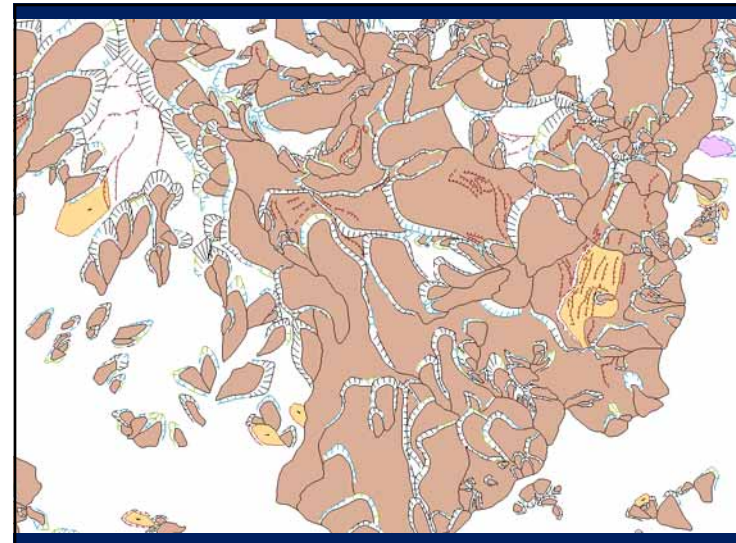
- DEMやコンピュータによる自動判読は使用していない

地すべり地形GISデータ作成

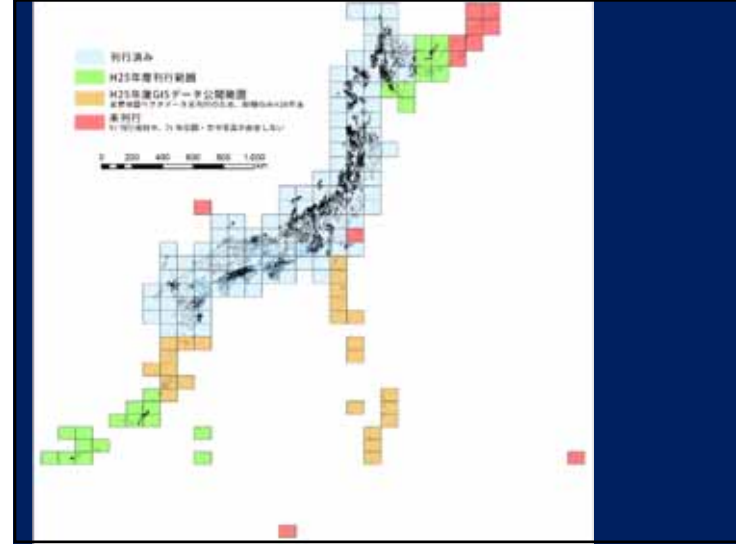
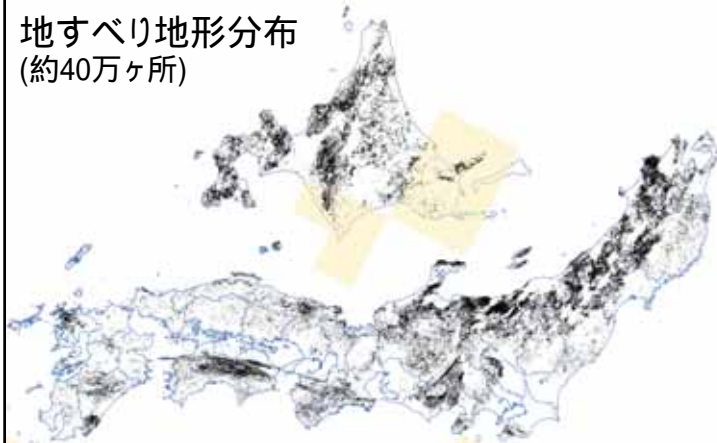
- 判読原図のスキニングA1スキャナ、200dpi
- 4枚を接合し、5万分の1相当サイズの画像を作成
- デジタル入力: 「地すべり地形分布図編集・解析システム」(Solaris 10)
 - 独自フォーマット(DLSファイル)データ



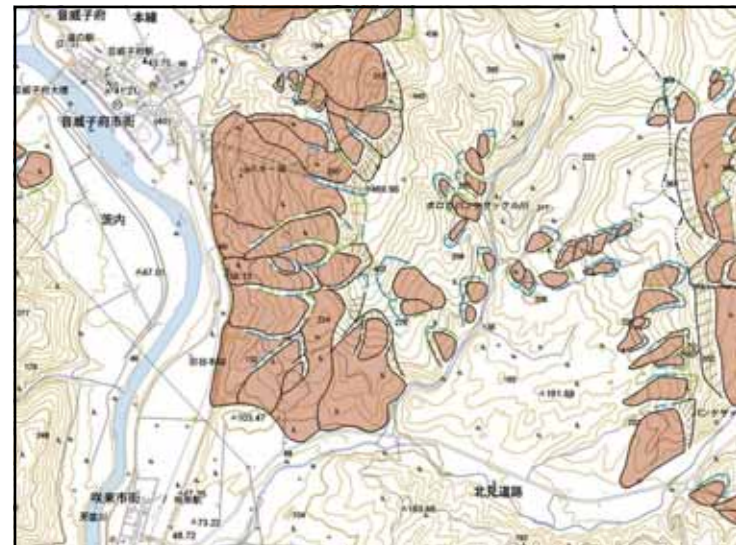
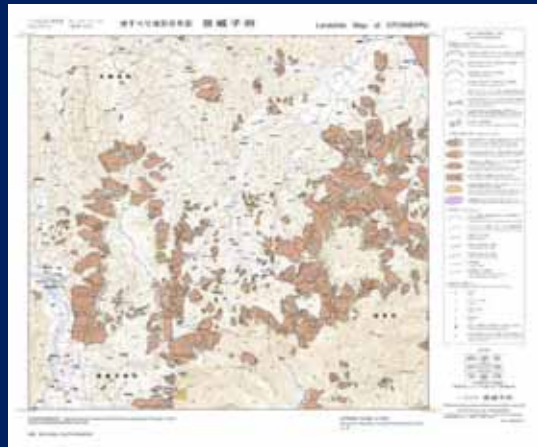
- シェープファイルに変換
 - 「地すべり地形ベクトルデータ変換アプリケーション」
- 変換エラー修正: デスクトップGIS
- 地すべり地形GISデータの完成



地すべり地形分布 (約40万ヶ所)



印刷原図の作成

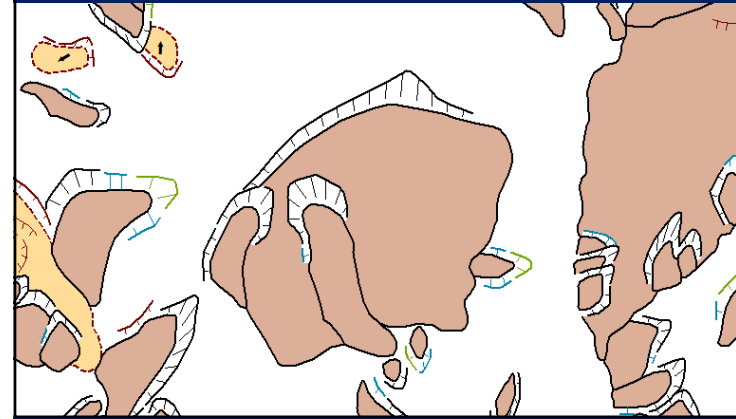


地すべり地形GISデータの問題点

- 1) 滑落崖がポリゴン化されていない
- 2) データが地形図境界で分割される
- 3) 地すべり地形判読基準の変化

地すべり地形GISデータの問題点

- 1) 滑落崖がポリゴン化されていない



地すべり地形GISデータの問題点

- 1) 滑落崖がポリゴン化されていない
 - 地形学的には滑落崖は領域(ポリゴン)が望ましい
 - 独自編集システム開発当時の技術的検討の不足
 - 地図表現(ケバ線の表示)を優先
- 修正は困難
 - 自動的に修正することは、現状のシステムでは不可能

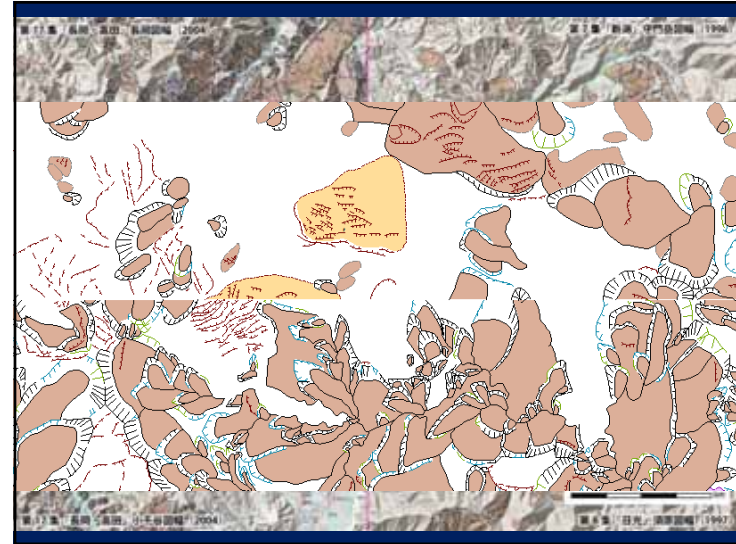
地すべり地形GISデータの問題点

- 2) データが地形図境界で分割される
 - シームレス化の障害
- DLSからシェープファイルへの変換プログラムの改善を実施
- 手作業による2003年以前のDLSデータの修正を実施



地すべり地形GISデータの問題点

- 3) 地すべり地形判読基準の大幅な変化
 - 30年以上の長期にわたるプロジェクト
 - 判読技術の向上も一つの要因
 - 地すべり地形がシームレスに連続しない
 - 判読時期が新しい: 単一地すべり地形のサイズがより小さくなる
 - 地形や地質による地域差よりも, 判読基準の差のほうが有意に大きいことがある
 - 修正は困難



地すべり地形GISデータの留意点

- 地すべり地形GISデータ:
 - 以下の2点に留意する必要がある
 - 1) 滑落崖がポリゴン化されていない
 - 2) 判読基準の大幅な変化がある
 - 単一地すべり地形のサイズ
 - 微地形認定の精度

地すべり地形分布図のWeb公開

- 公開開始: 2000年度
- 公開コンテンツ
 - 地すべり地形GISデータのダウンロード
 - Web-GIS (Webブラウザによる地図表示)
 - WMS (マッシュアップのためのプロトコル配信)

地すべり地形分布図のWeb公開



1:50,000地すべり地形分布図(全60集) & 地すべり地形GISデータ

- ◆ 地すべりの特徴
 - ・ 同じ場所やその周辺で繰り返し発生する
 - ・ 斜面崩壊・土石流などとは異なる
- ◆ 地すべり地形分布図の特徴
 - ・ 地すべり地形の形状、構造を地図化
 - ・ 幅150m以上の地すべり地形が対象
 - ・ 1981年度から完成まで33年間
 - ・ 世界でも類を見ない広域・大縮尺図
- ◆ 成果物:
 - ・ 全60集の印刷図
 - ・ 地すべり地形GISデータ
- ◆ 課題:
 - ・ 判読基準の変化
 - ・ GISデータの構成(滑落崖がポリライン)

地すべり地形GISデータを用いた 広域における斜面安定解析の適用に向けて

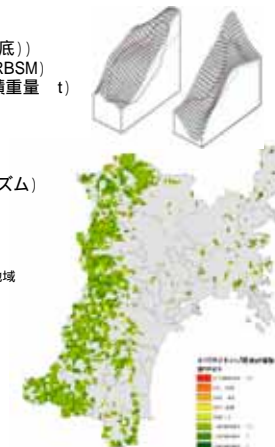
地すべり地形GISデータを用いた 広域における斜面安定解析の適用に向けて

課題:

1. すべり面モデル(楕円体、並進(椅子)、並進(船底))
2. 斜面安定解析式の評価(ホフランド、ヤンプー、RBSM)
3. 物性値推定(粘着力c、内部摩擦角、単位体積重量 t)
4. 推定地下水水頭:地下水水位推定モデル
5. 推定地震動:既存研究の成果活用

計画:

- SSA適用の妥当性検証(実績ベース、他アルゴリズム)
- 各種パラメータ取得:推定手法の検討と実践
- 県単位、地方単位における評価
- 1. バッチ処理可能な三次元解析システム
 - ・ 小地域について計算適用
 - ・ 地域適用:四国三波川帯地域および紀伊半島四万十帯地域
 - ・ 外部に研究会を創設
- 2. 地域・地すべり地形によって異なる物性値:
 - ・ DIL-SLDBの活用
 - ・ 簡易推定手法の開発
 - ・ 現地サンプル採取と計測:簡易にできる?
- 3. 自動すべり面生成アルゴリズム
 - ・ 円弧すべり、岩盤すべり(船底型、椅子型)
- 4. 解析データ生成
 - ・ 作業プロセスの確定



斜面安定解析

• 極限平衡法

- すべり面をあらかじめ過程
- モール・クローン則の破棄基準
- 応力の極限平衡により安定性を考える
- 変位を扱えない

• 極限解析法

- 要素分割
- 応力歪みの関係
- 応力の分布特性を考える
- 難易度・計算コストが高い

斜面安定解析

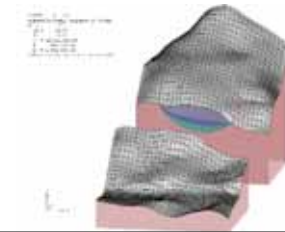
• 極限平衡法

- Janbu3D: 側方での力の釣合いを概ね満足。解析精度は高い。
- Hovland (Fellenius法の三次元拡張): 解析実績が最も多い。JAMBU3D、RBSM3Dに比べるとカラム柱の不静定を無視している分、厳密性にややかける。
- 簡易RBSM3D: 側方ばかりでなく前後のカラムの力の釣合いが満足されている。

➤ 初期パラメータの設定

➤ 計算コスト

➤ 現況との兼ね合い



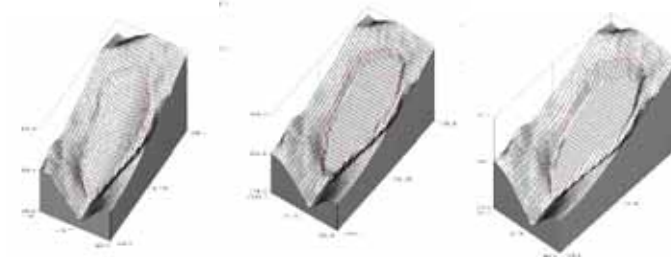
必須パラメータ

1. 地形表面 (標高): 国土地理院DEM
2. すべり面形状 (標高): **自動生成**
3. 斜面安定解析式: **適切な式を選定**
4. 物性値: **推定** (地質図、文献、経験値)
 1. 粘着力 c
 2. 内部摩擦角
 3. 単位体積重量 t

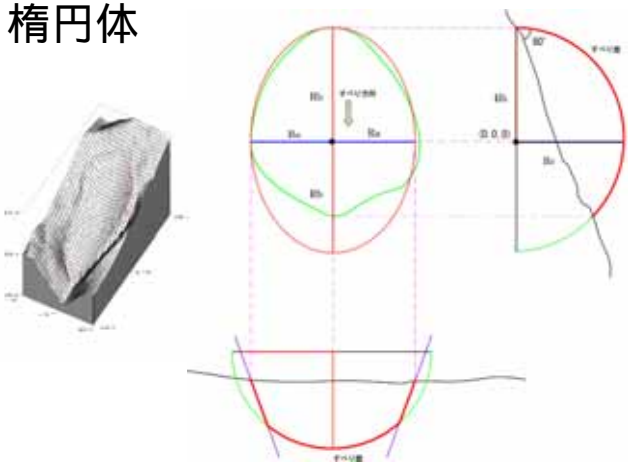
- 地下水面 (すべり面までの深さの割合)
- 水平震度 (K_h)

2. すべり面形状 (標高): **自動生成**

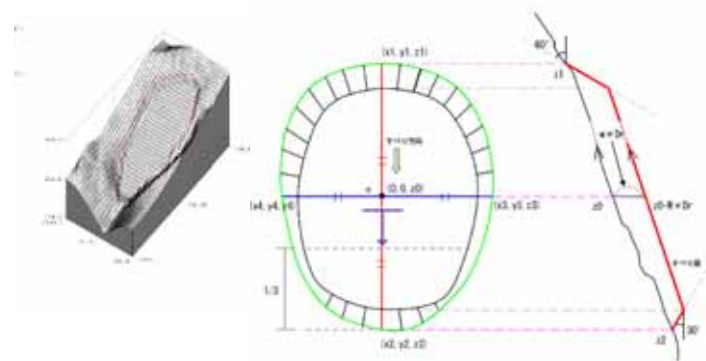
- 左: 楕円体
- 中: 並進 (船底)
- 右: 並進 (椅子)



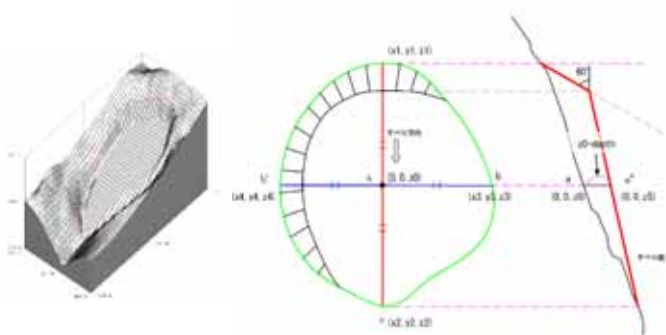
楕円体



並進 (船底)



並進 (椅子)



2. すべり面形状 (標高) : 評価

LSD	楕円体 (R)			船底型 (Tb)			椅子型 (Tc)		
	flg	Ds	Fs	flg	Ds	Fs	flg	Ds	Fs
0001-wak30-204720	Success	0.15	1.03	Success	0.15	1.03	Success	0.05	1.15
0002-wak30-204758	Success	0.25	1.23	Success	0.30	1.54	Success	0.25	1.23
0003-wak30-204731	Success	0.10	0.83	Success	0.45	1.54	Success	0.35	1.22
0004-wak30-204716	Success	0.10	1.12	Success	0.85	5.23	Success	0.50	1.34
0005-wak30-204752	Success	0.15	0.81	UnSuccess	0.00	-	Success	0.65	0.88
0006-wak30-204753	Success	0.15	1.14	Success	0.10	1.19	UnSuccess	0.05	-
0007-wak30-204729	Success	0.23	0.93	Success	0.30	1.10	Success	0.05	1.20
0008-wak30-204718	Success	0.15	1.00	Success	0.45	1.86	Success	0.20	1.15
0009-wak30-204755	Success	0.10	1.28	Success	0.60	6.03	Success	0.35	1.46
0010-wak30-204751	Success	0.15	1.36	Success	0.75	3.73	Success	0.50	1.77
0011-wak30-204747	Success	0.10	1.22	Success	0.90	1.46	Success	0.65	1.77
0012-wak30-204749	Success	0.10	1.07	Success	1.05	3.10	Success	0.80	1.65
0013-wak30-200073	Success	0.05	1.13	UnSuccess	0.00	-	Success	0.95	2.14
0014-wak30-204745	Success	0.05	1.05	Success	0.20	1.13	UnSuccess	0.00	-
0015-wak30-204832	Success	0.20	1.06	Success	0.35	1.22	Success	0.05	1.31

深さを変化させ最低Fsを検索

3. 斜面安定解析式: 適切な式を選定

- Janbu3D:
 - 側方での力の釣合いを概ね満足。解析精度は高い。
- Hovland:
 - 解析実績が最も多い。JAMBU3D、RBSM3Dに比べるとコラム柱の不静定を無視している分、厳密性にややかける。
- RBSM3D:
 - 側方ばかりでなく前後のカラムの力の釣合いが満足されている。

3. 斜面安定解析式: 評価

LBD	土質条件			RBSM3D				JAMBU3D				HOVLAND			
	C	φ	γ	安全係数	平均値	最大値	最小値	安全係数	平均値	最大値	最小値	安全係数	平均値	最大値	最小値
1	140-01201	共通値	20 20 18	0.15 1.11	0.89	0.75	0.76	0.15 0.91	0.72	0.60	0.66	0.15 0.89	0.73	0.62	0.63
2	140-00026	共通値	20 20 18	0.15 1.05	0.86	0.74	0.73	0.15 1.00	0.81	0.68	0.71	0.15 0.92	0.76	0.65	0.65
3	140-03192	共通値	20 20 18	0.15 1.23	1.02	0.89	0.83	0.15 1.14	0.95	0.82	0.79	0.15 1.09	0.93	0.81	0.75
4	140-03399	共通値	20 20 18	0.15 1.19	0.94	0.78	0.78	0.15 0.98	0.77	0.62	0.69	0.15 0.93	0.75	0.63	0.64
5	140-04001	共通値	20 20 18	0.15 1.06	0.87	0.74	0.74	0.15 0.98	0.79	0.66	0.71	0.15 0.90	0.75	0.64	0.64
6	140-01110	共通値	20 20 18	0.15 1.28	1.01	0.84	0.82	0.15 1.02	0.81	0.67	0.73	0.15 0.95	0.77	0.65	0.65
7	140-01221	共通値	20 20 18	0.15 1.07	0.87	0.74	0.74	0.15 0.94	0.76	0.64	0.68	0.15 0.90	0.75	0.65	0.64
8	140-01220	共通値	20 20 18	0.15 1.05	0.85	0.71	0.71	0.15 0.93	0.75	0.63	0.66	0.15 0.90	0.74	0.63	0.62
9	140-01261	共通値	20 20 18	0.15 1.10	0.90	0.76	0.74	0.15 0.98	0.79	0.67	0.69	0.15 0.94	0.78	0.67	0.65
10	140-00030	共通値	20 20 18	0.15 0.98	0.77	0.65	0.67	0.15 1.07	0.84	0.69	0.80	0.15 0.84	0.66	0.54	0.59

4. 物性値: 推定 (地質図、文献、経験知)

LBD	地質図	地質図	地質図		地質図	地質図	地質図
			地質図	地質図			
新第三紀	Q	0	0	0	0	0	0
		23	23	23	23	23	23
	P	18	18	18	18	18	18
		20	20	20	20	20	20
		13	13	13	13	13	13
		19	19	19	19	19	19
		7	7	7	7	7	7
		23	23	23	23	23	23
		20	20	20	20	20	20
		5	5	5	5	5	5
中生代	24	24	24	24	24	24	
	22	22	22	22	22	22	
	1	1	1	1	1	1	
古生代	24	24	24	24	24	24	
	23	23	23	23	23	23	

4. 物性値: 対象地域に含まれる地質

地質図	地質図		地質図		地質図	
	地質図	地質図	地質図	地質図	地質図	地質図
新第三紀	9	8				
中生代			34	1347		
古生代						

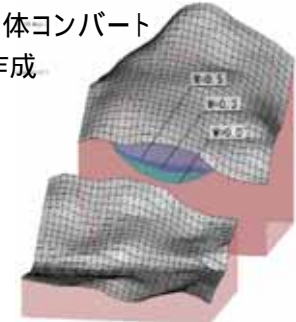
三波川変成岩の泥質片岩

四国中央部: 1,293個、2ha以上



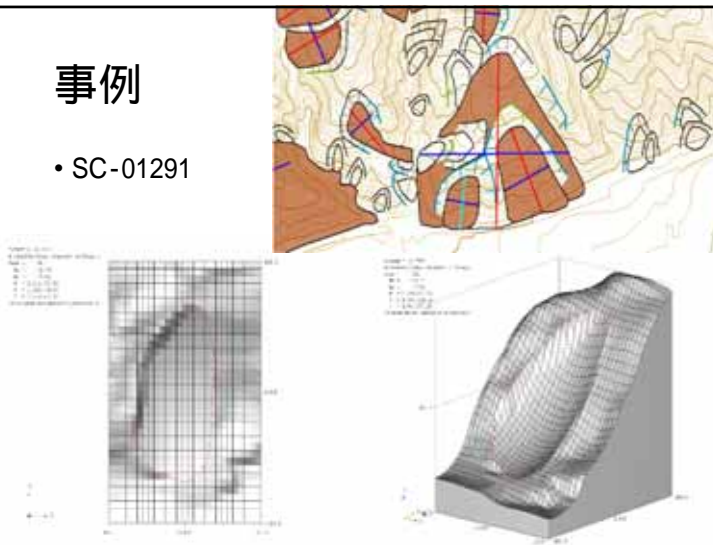
解析フロー

1. 国土地理院DEMコンバート
2. 産総研地質図: ラスタ化 & 物性値推定
3. 地すべり地形GISデータ移動体コンバート
4. 移動体の長軸・短軸ライン作成
5. 斜面安定解析式決定
6. 水条件・水平震度決定
7. 計算

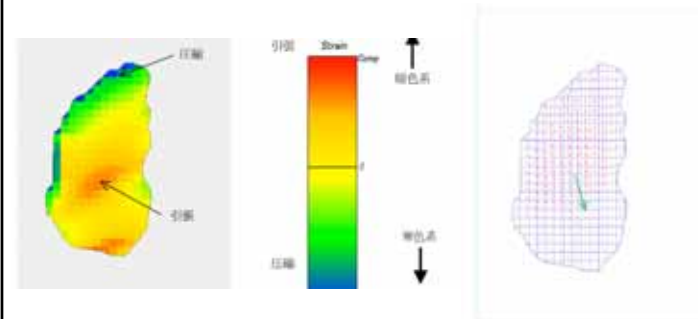


事例

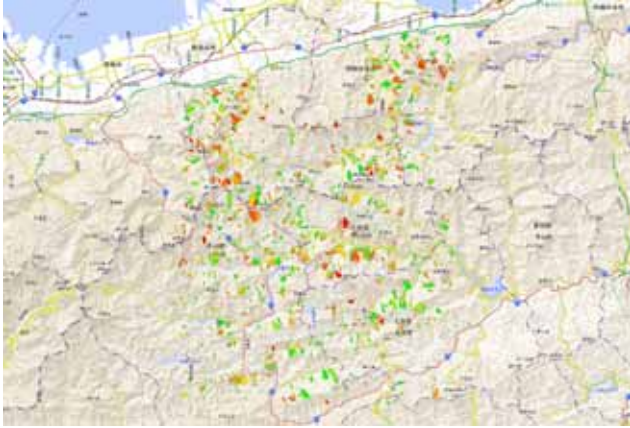
• SC-01291



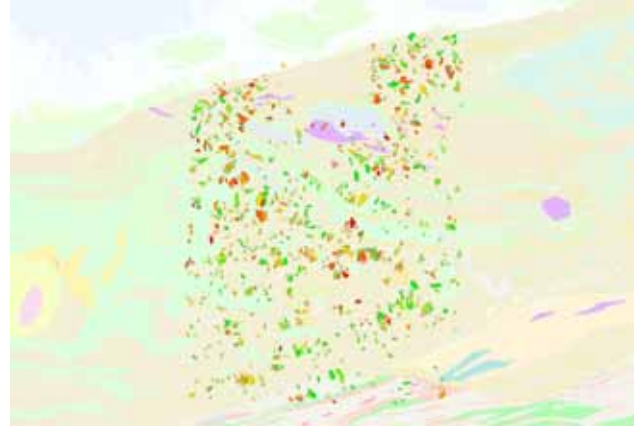
歪みとベクトル



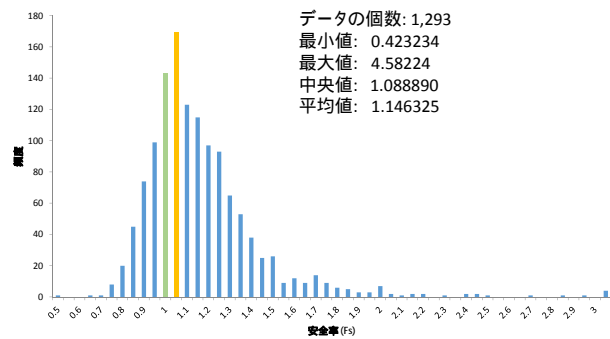
四国中央部: 1,293個、2ha以上



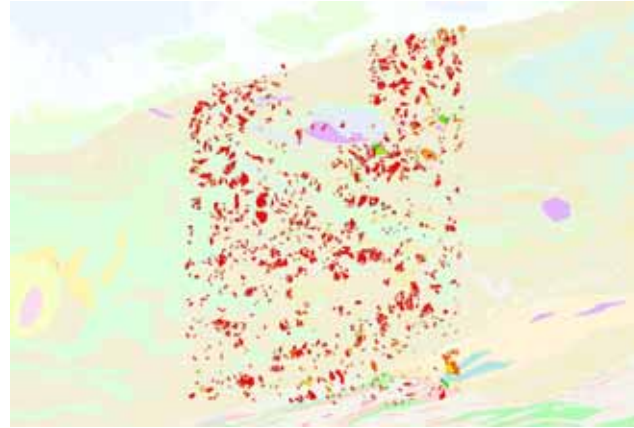
四国中央部: 1,293個、2ha以上



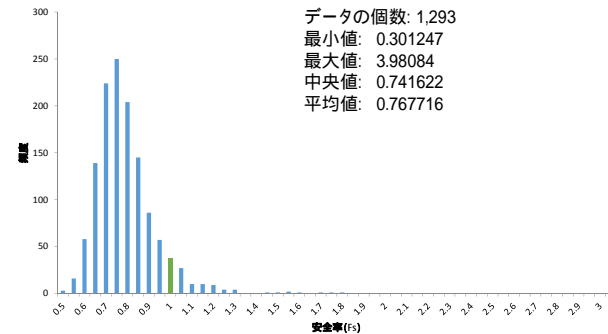
四国中央部: 1,293個、2ha以上



四国中央部: 1,293個、2ha以上



四国中央部: 1,293個、2ha以上

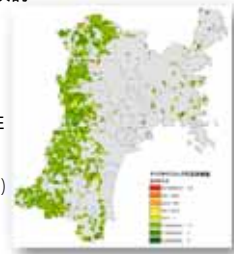


結果と考察

- 安定計算: 9割以上が収束
 - 1割は地すべり地形ポリゴンの形状に問題
 - 浸食された領域の復元
 - 地すべり地形GISデータの精度 (1:50,000)
- すべり面形状: 楕円体型
 - オーソドックスな推定すべり面
 - 深さ、角度の決定: 滑落崖領域の活用
 - その他のアルゴリズムは要調整、あるいは使い分け
 - 空中写真判読または地域や規模で使い分けるかどうか
- 斜面安定解析式: RBMSM3D
 - 収束性が高い
 - 現況値のまとまりの良さ
 - 不静定力の釣り合いや側方拘束が評価できる

結果と考察

- 土質常数 (物性値): 要検討
 - 砂防で用いる値 (逆解析) と現況との乖離
 - 文献調査 (LSDB)、経験値の形式知化
- 水平震度: 妥当性の評価
 - 現状: もっとも滑りやすい方向に加震
 - 想定される水平震度・方向に関するデータで検討
- 地下水面: さらなる検証
 - 感度分析に応用できるか
- 地質構造: 導入の検討
- 安定計算結果: さらなる検証
 - 地質ごとの地すべり発生率 (面積) との妥当性
 - 災害実績との比較対応
 - 他のアルゴリズム (AHP等) との比較
 - 結果の表現手法 (単体色塗り、メッシュ色塗り)



地すべり地形GISデータを用いた 広域における斜面安定解析の適用に向けて

- 災害脆弱性の把握
- 地すべり地形GISデータ (40万ヶ所) の活用
 - どこにあるから、どこが危ないへ
 - 広域を対象とした評価
- 斜面安定解析 (RBMSM3D) を四国中央部に適用
 - おおよそ妥当なすべり面の自動生成
 - 土質常数の推定
 - 水条件、水平地震力、地質構造の検証
 - 計算結果の検証
 - 結果の表現方法
 - 対象が地すべりだけ