

平成24年度 国土技術政策総合研究所講演会

深層崩壊～その実態と対応～

平成24年12月4日

国土交通省 国土技術政策総合研究所
危機管理技術研究センター長
後藤 宏二



内 容

1.深層崩壊の実態

特徴／災害形態／発生状況

2.深層崩壊の定義

地すべり、表層崩壊、深層崩壊の区分・比較

3.深層崩壊危険地域に関するマップ

深層崩壊推定頻度マップ

深層崩壊溪流レベル評価マップ

4.改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

5.土砂災害監視システム

大規模土砂移動検知システム

衛星合成開口レーダー／降雨との関係

6.深層崩壊に対する今後の対応



内 容

1. 深層崩壊の実態

特徴／災害形態／発生状況

2. 深層崩壊の定義

地すべり、表層崩壊、深層崩壊の区分・比較

3. 深層崩壊危険地域に関するマップ

深層崩壊推定頻度マップ

深層崩壊溪流レベル評価マップ

4. 改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

5. 土砂災害監視システム

大規模土砂移動検知システム

衛星合成開口レーダー／降雨との関係

6. 深層崩壊に対する今後の対応

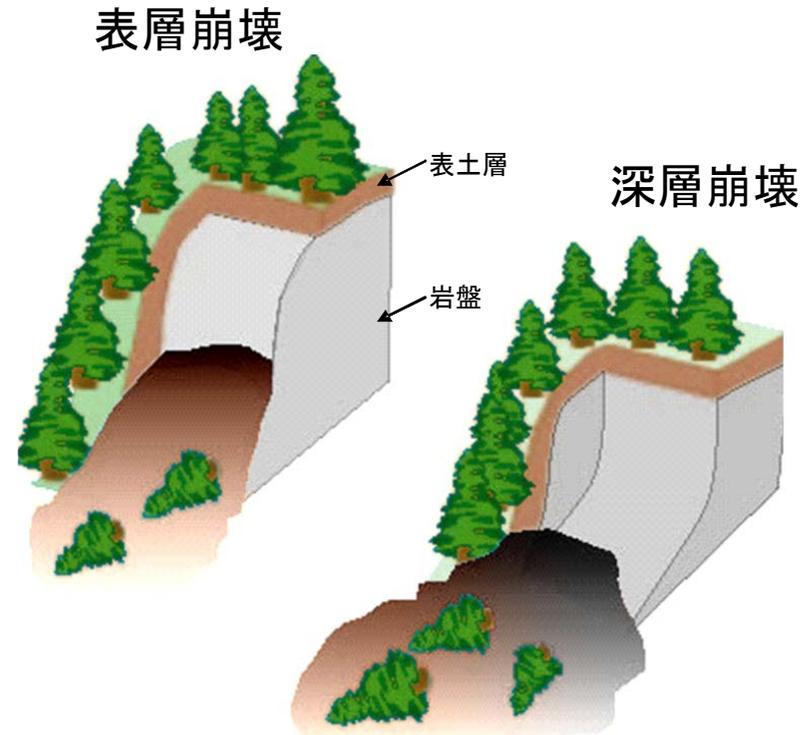


深層崩壊の実態(特徴)

「深層崩壊」

「山崩れ・崖崩れなどの斜面崩壊のうち、すべり面が表層崩壊よりも深部で発生し、表土層だけでなく深層の地盤までもが崩壊土塊となる比較的規模の大きな崩壊現象。」

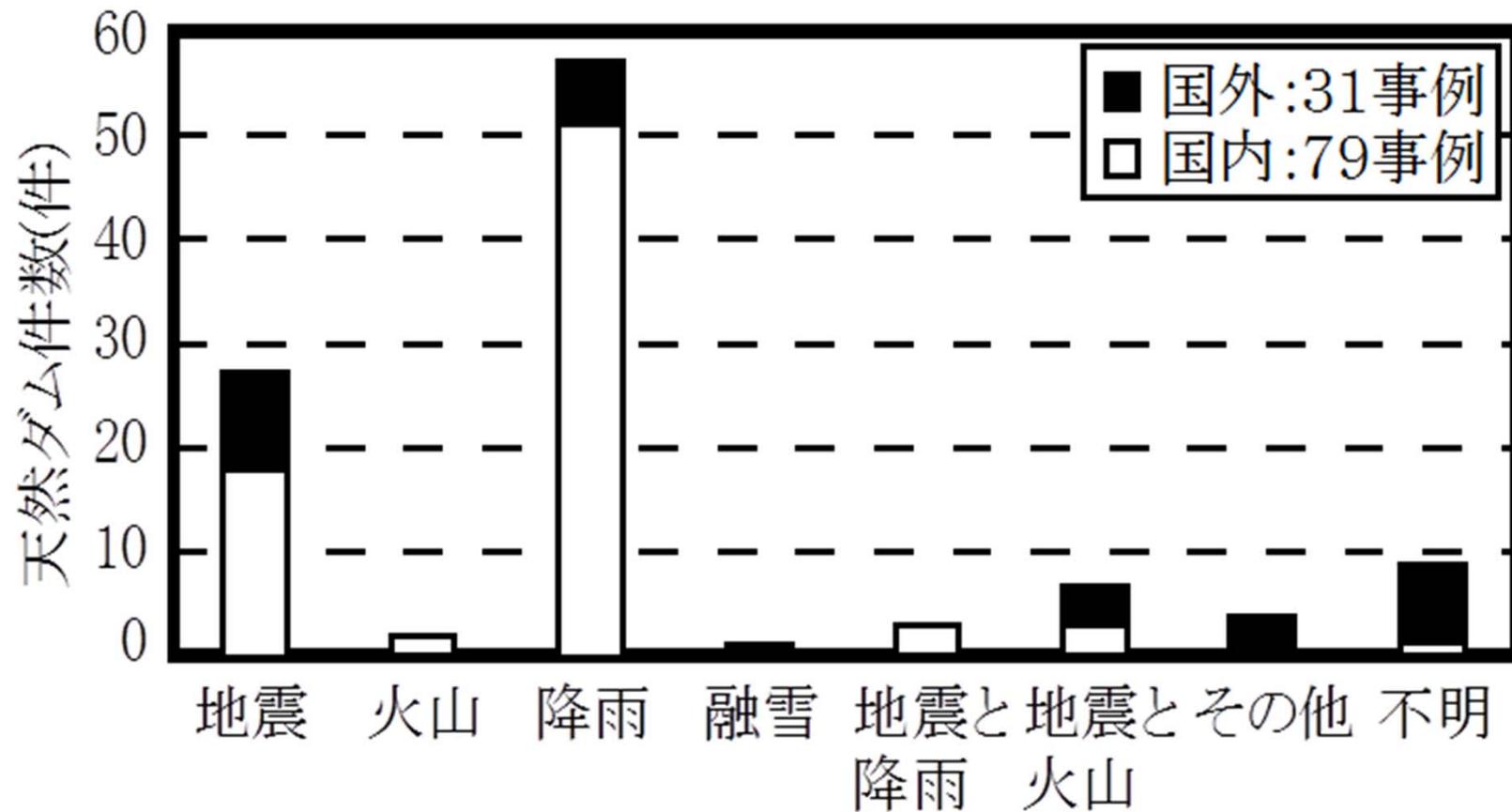
※(「改訂 砂防用語集」)



特徴

- ①斜面を構成する土塊は崩壊と同時にバラバラになって移動するか、あるいは原形を留めてすべり始めた後にバラバラになる。
- ②崩壊土塊(土砂)は高速で移動する。
- ③崩壊土塊(土砂)の大部分は崩壊範囲の外へ移動する場合が多い。

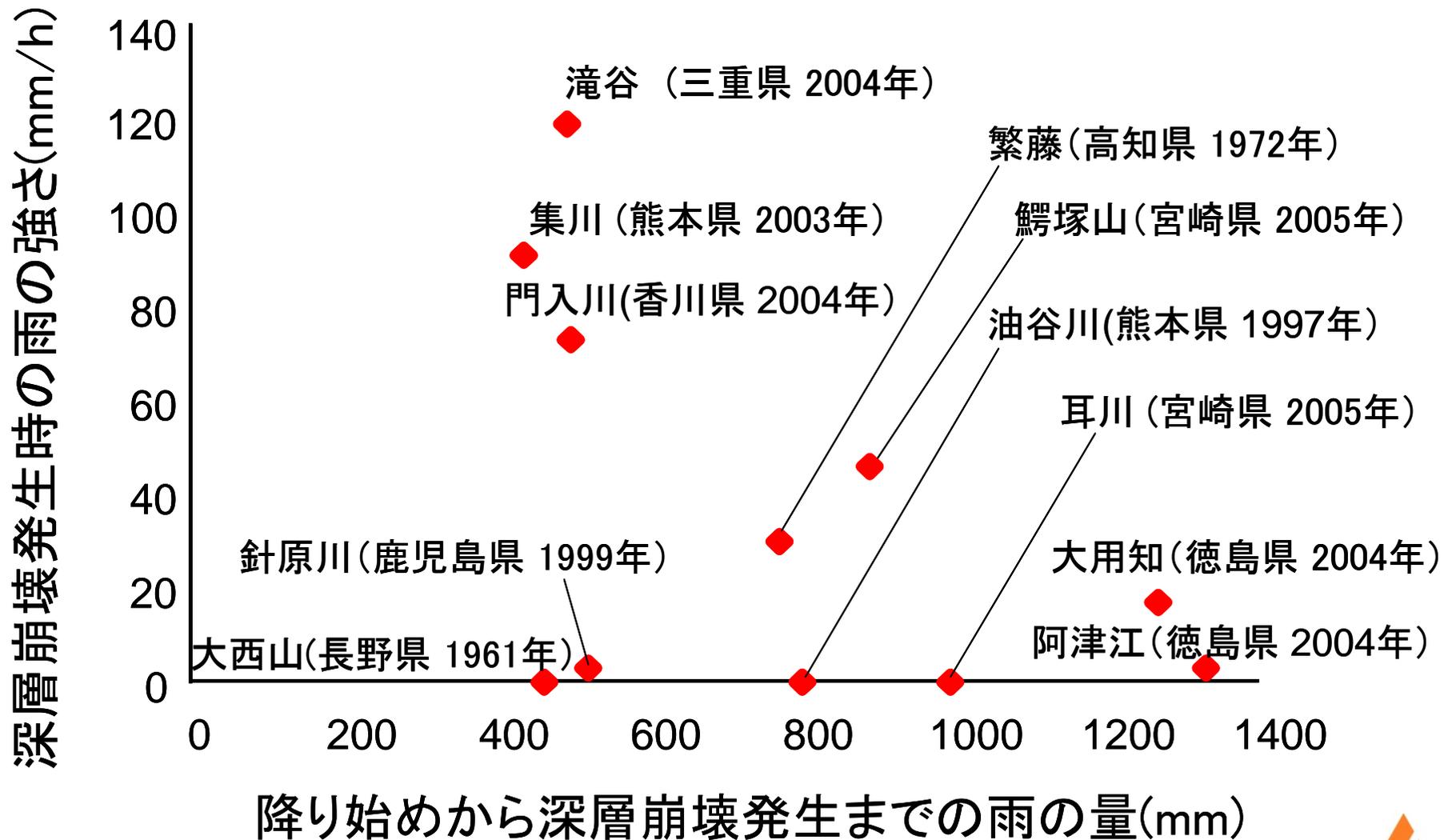
深層崩壊の実態(発生誘因)



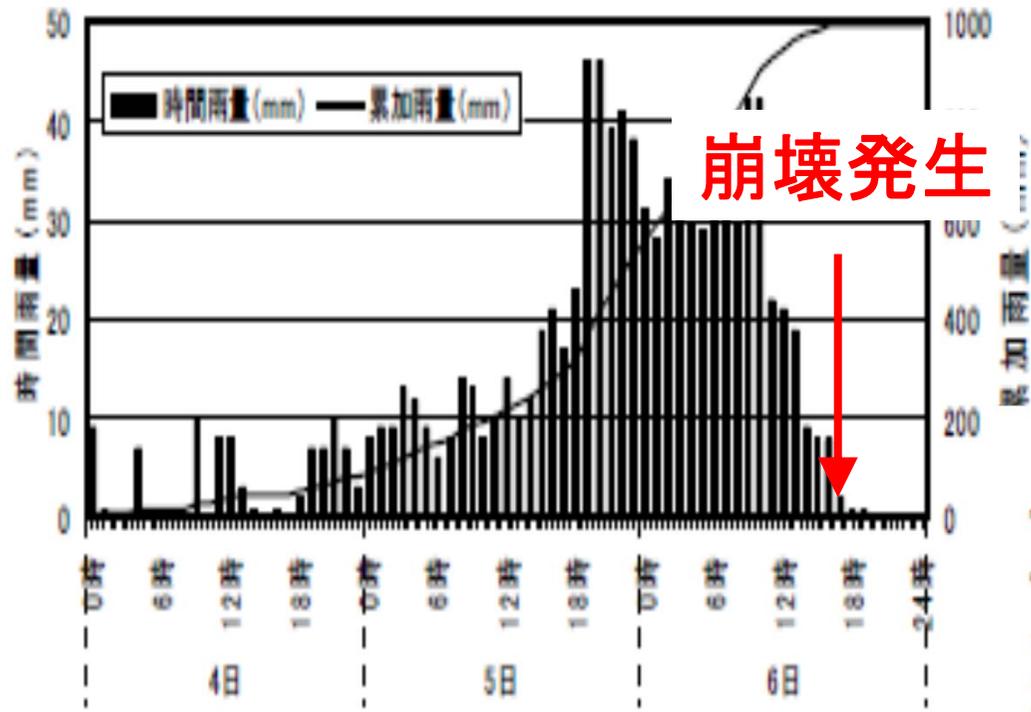
深層崩壊の発生誘因

(建設省中部地方建設局河川計画課:天然ダム調査事例集と米国土木学会Landslide damsより)

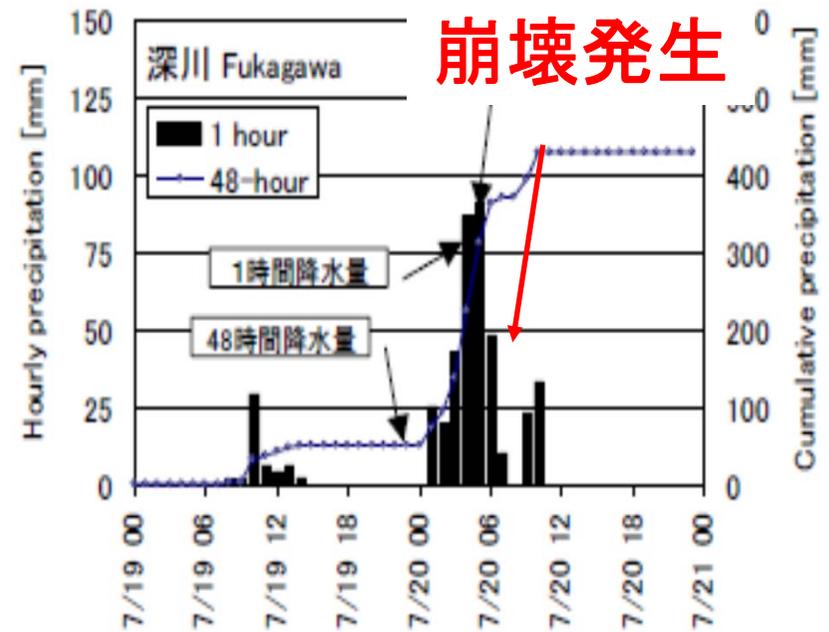
深層崩壊の実態(降雨との関係)



深層崩壊の実態(降雨との関係)



宮崎県耳川



熊本県水俣

深層崩壊の実態（豪雨による深層崩壊）



宮崎県鰐塚山（2005年）



奈良県栗平（2011年）

深層崩壊にともなう移動土塊がそのまま土石流となって
流れ下る場合や、天然ダムを形成する場合などがある

深層崩壊の実態(地震による深層崩壊)



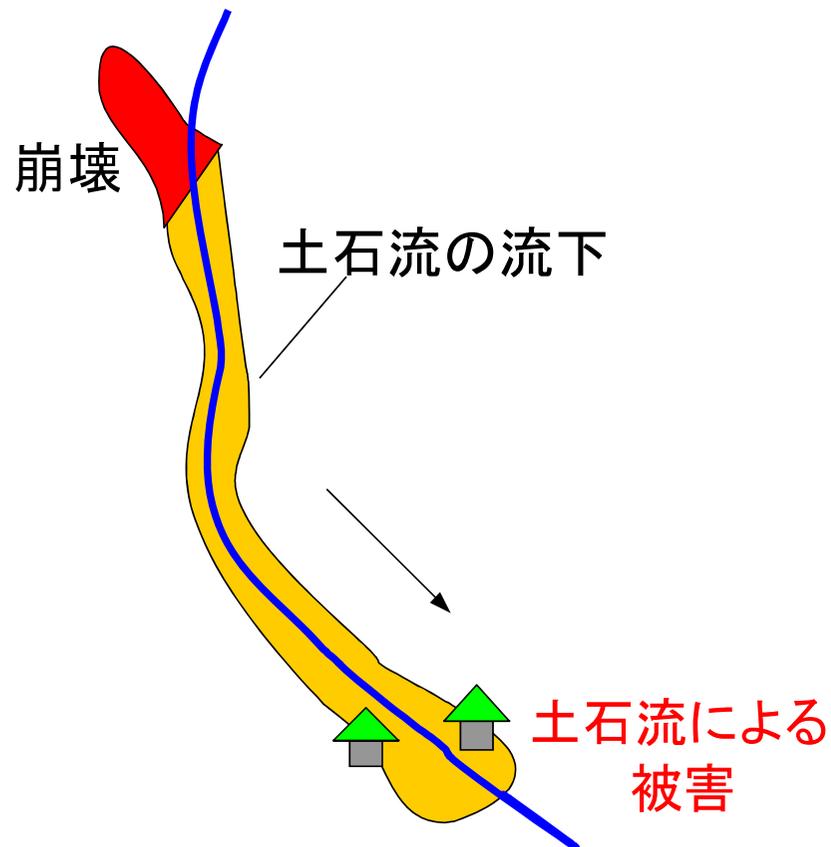
岩手・宮城内陸地震
沼倉裏沢(2008年)



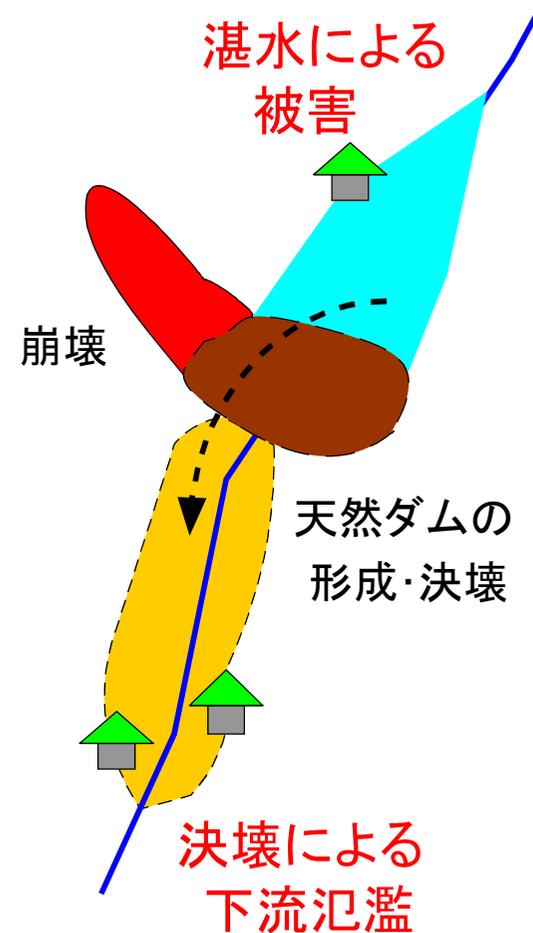
岩手・宮城内陸地震
ドゾウ沢(2008年)

深層崩壊の実態(災害形態)

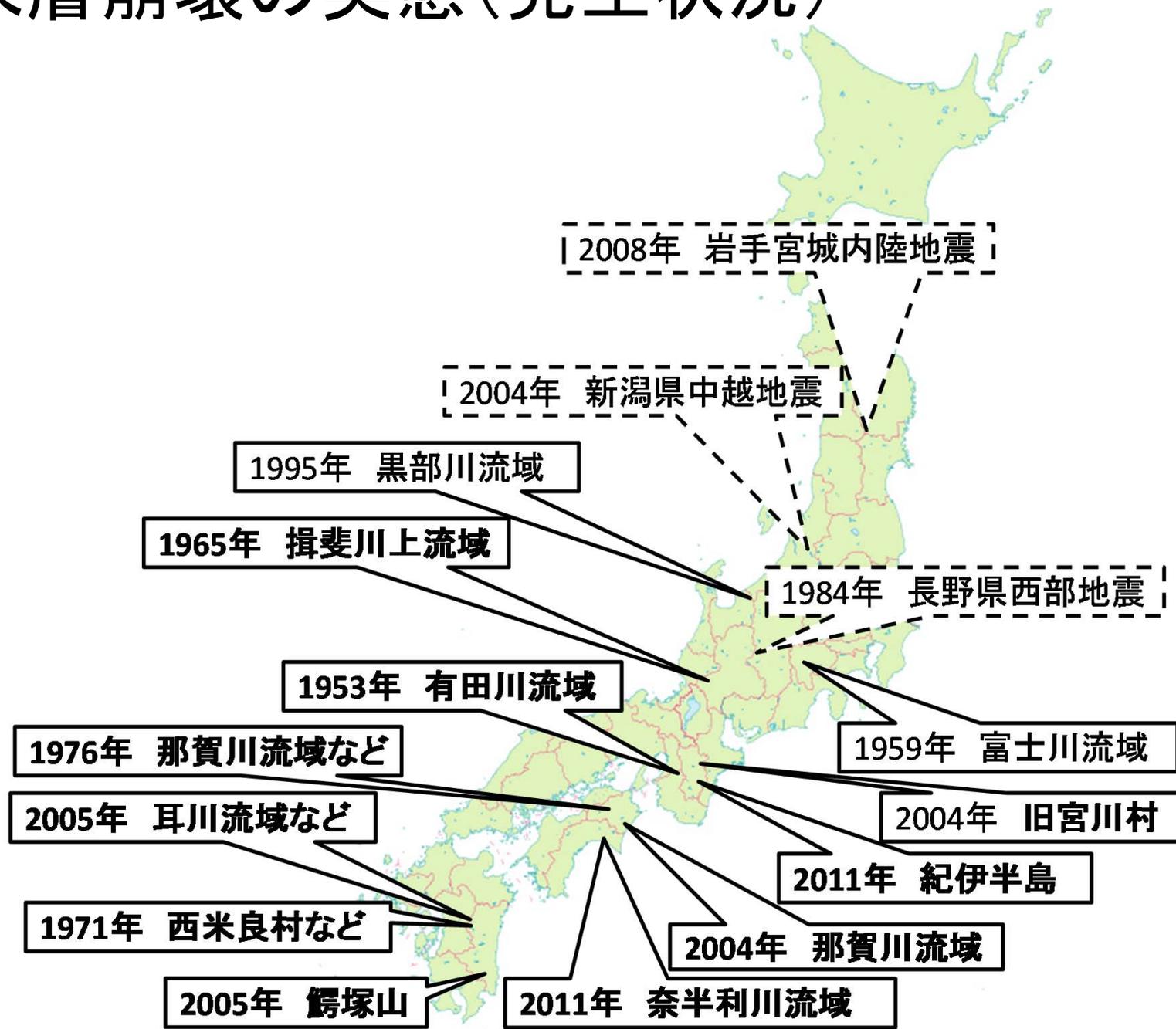
土石流の流下



天然ダムの形成・決壊

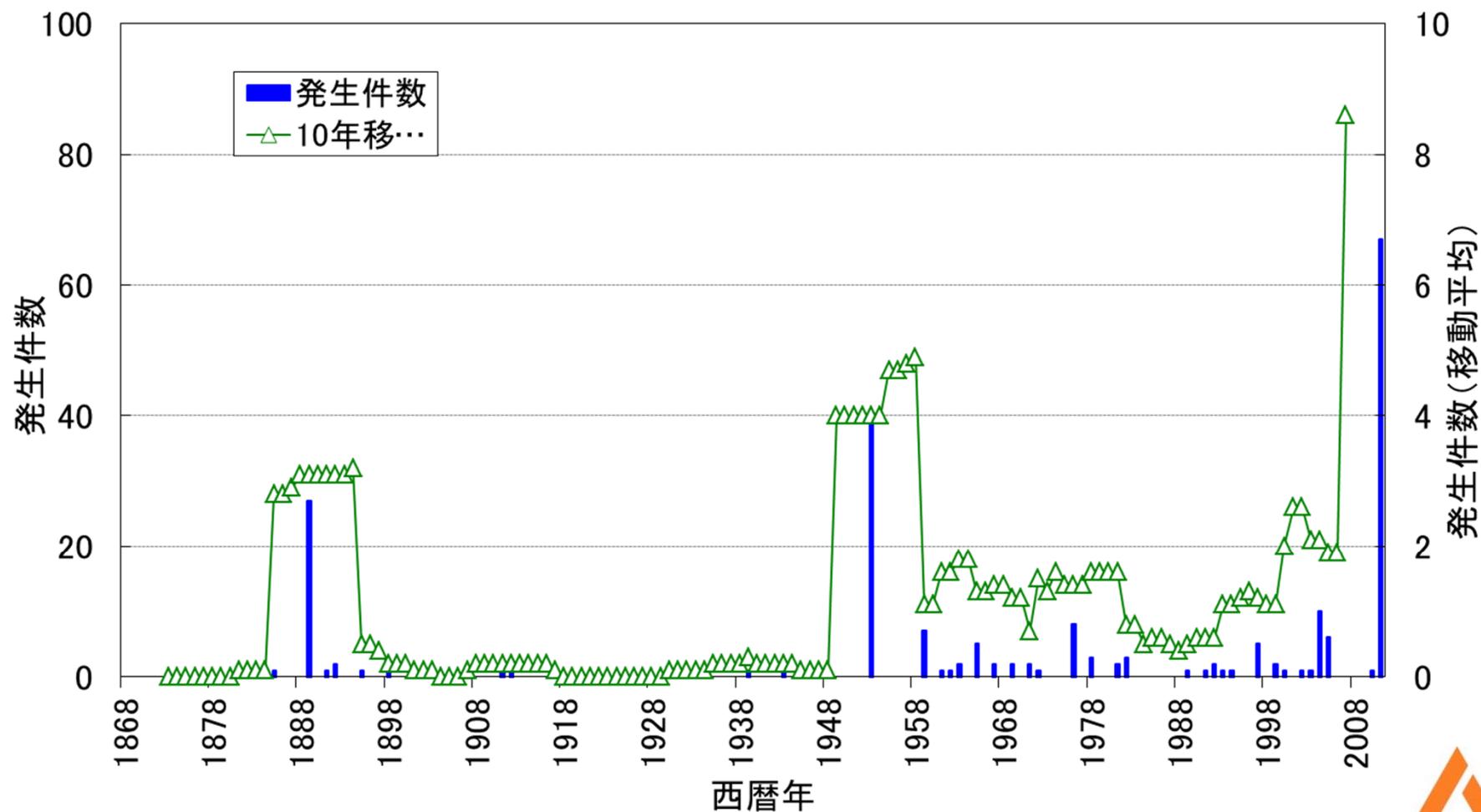


深層崩壊の実態(発生状況)

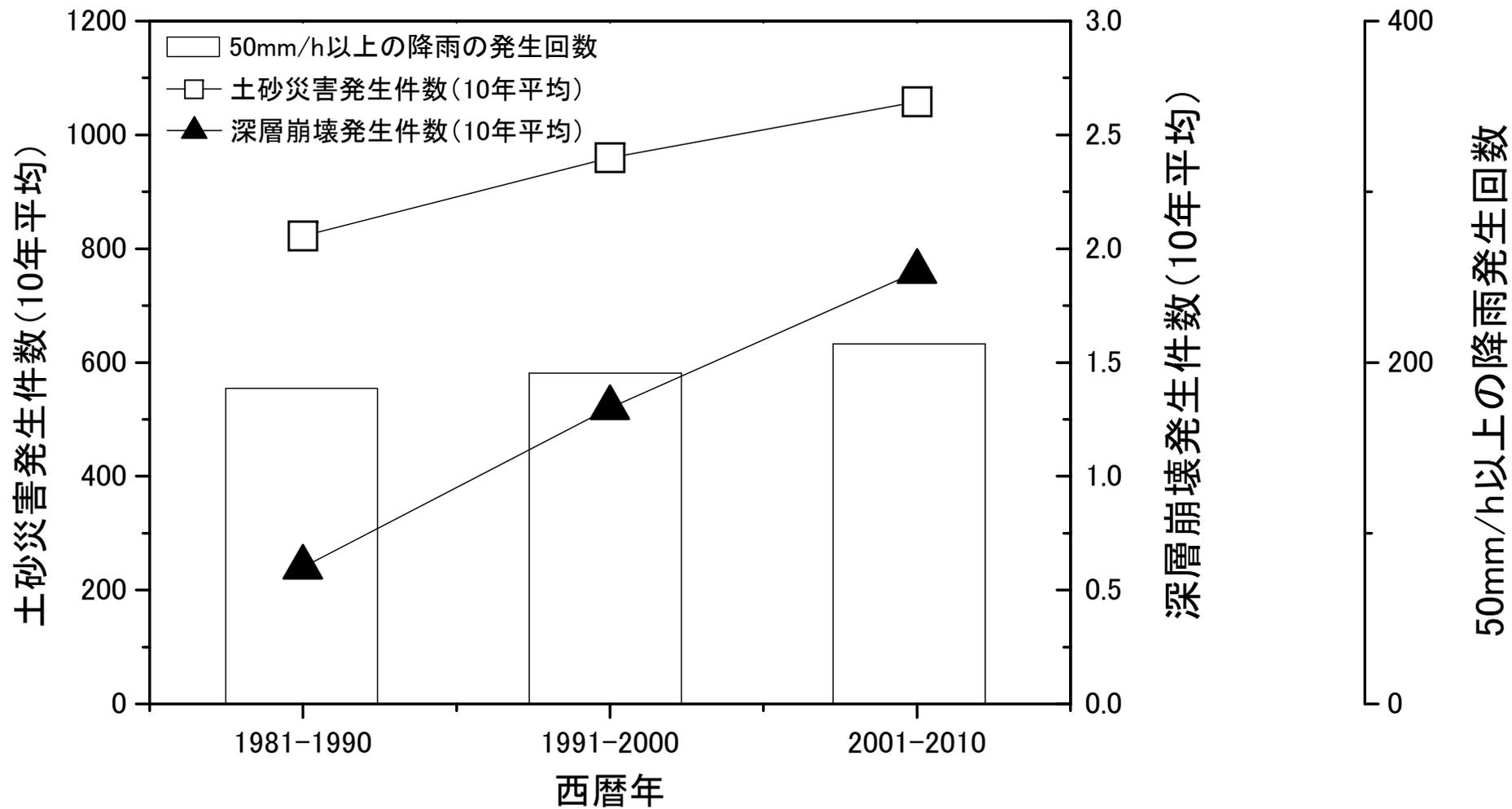


深層崩壊の実態(発生状況)

豪雨・融雪に起因する明治期以降の崩壊土砂量
10万m³以上の崩壊の発生状況



深層崩壊の実態(発生状況)



深層崩壊の実態(明治十津川災害)

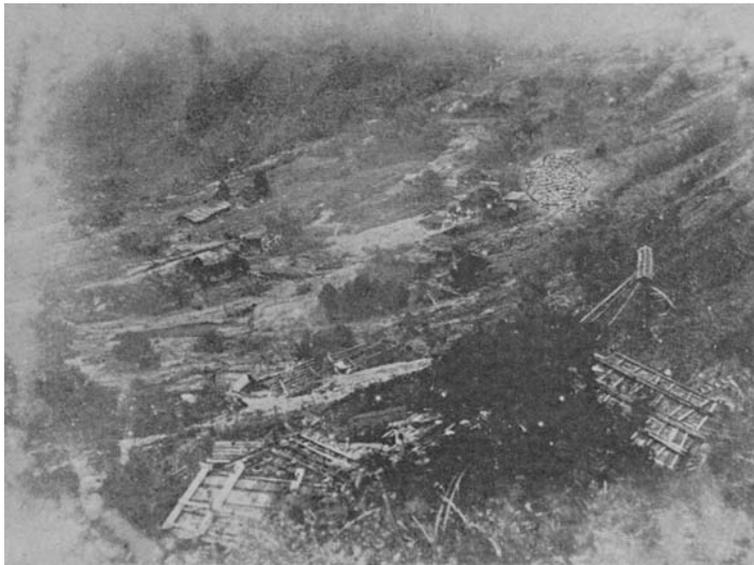
出典: 宇智吉野郡水災誌



大字辻堂の浄称寺山崩れ(旧大塔村)



谷垣内山崩れと山手新湖(旧南十津川村)



宇宮原全村の惨景(旧北十津川村)

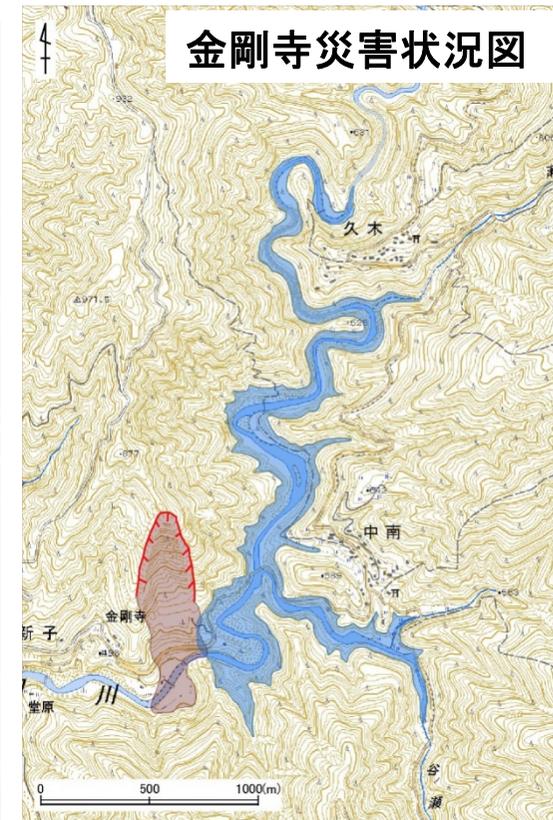
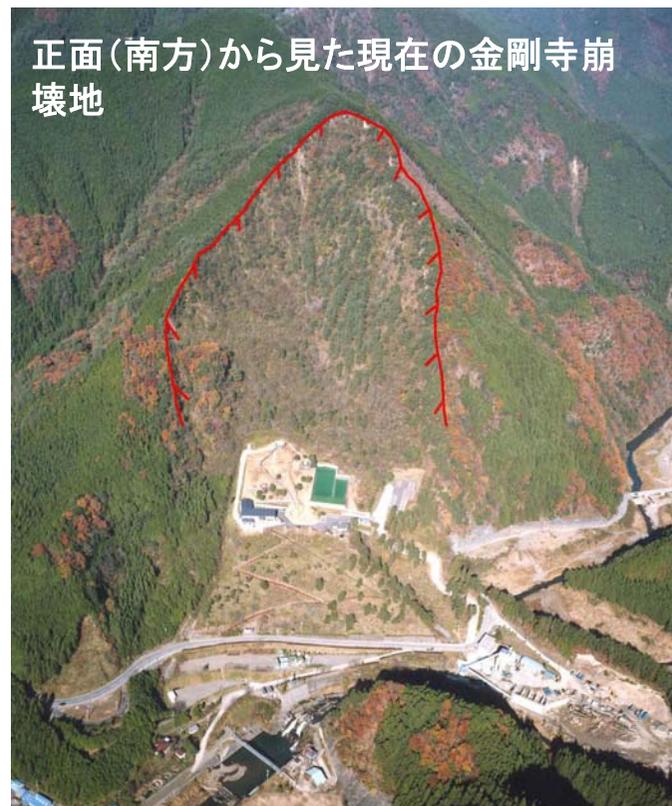


重里の山崩れ(旧西十津川村)

深層崩壊の実態(昭和28年有田川災害)

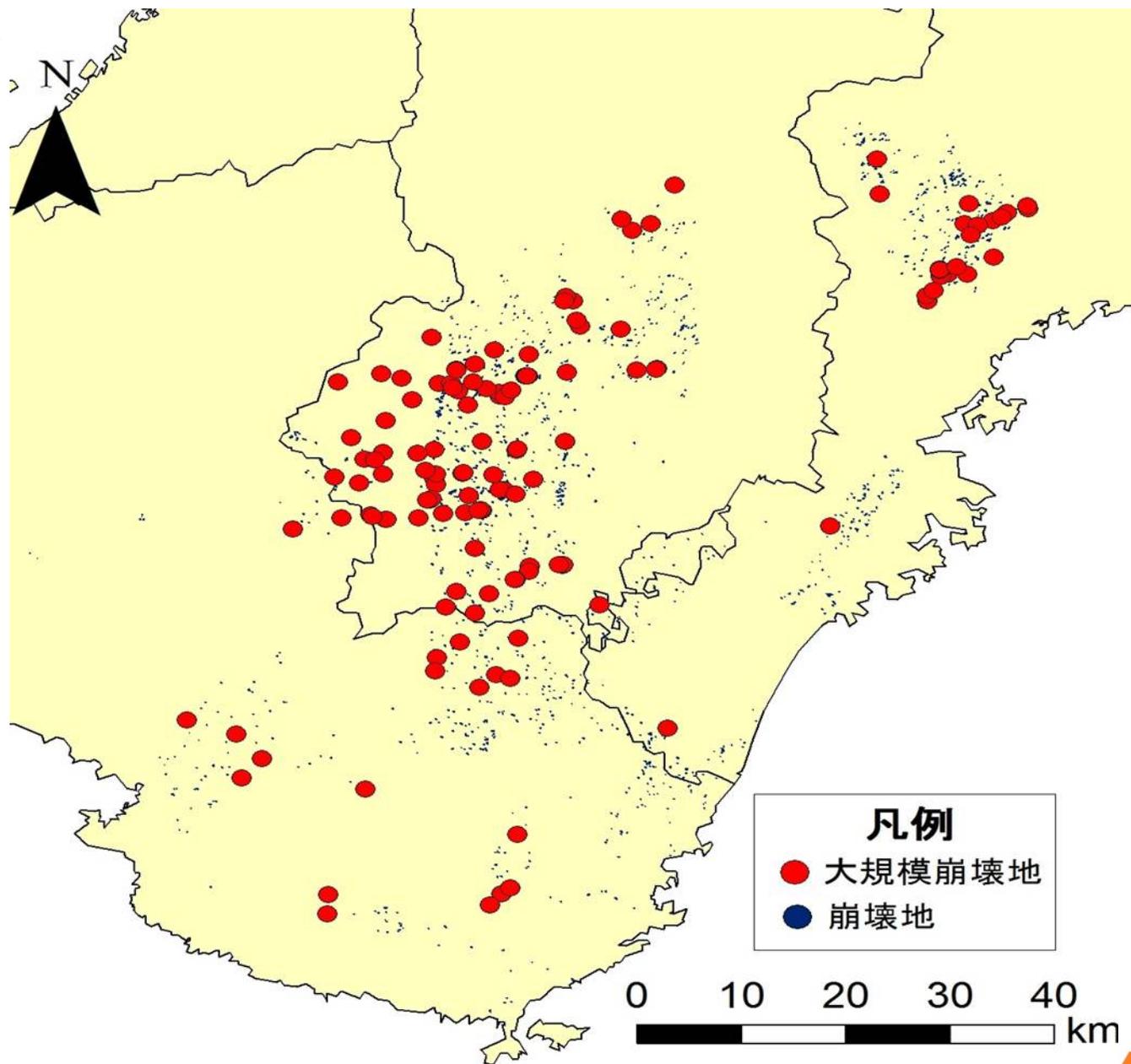
- ・花園村金剛寺では、7月20日午前1時頃、長さ600m、幅300m、崩壊土量520万m³の大規模崩壊が発生した。
- ・この崩壊により家屋4戸全壊・埋没、死者1名の被害が出た。
- ・また、崩落土砂によって高さ100m、堤頂幅600m、厚さ150mの天然ダムが形成された。
- ・天然ダムは2ヶ月後の9月25日に台風13号の豪雨によって決壊した。
- ・この決壊によって死者3名、家屋全壊・埋没6戸の被害が出た。

提供:井上公夫氏



深層崩壊の実態(平成23年台風12号災害)

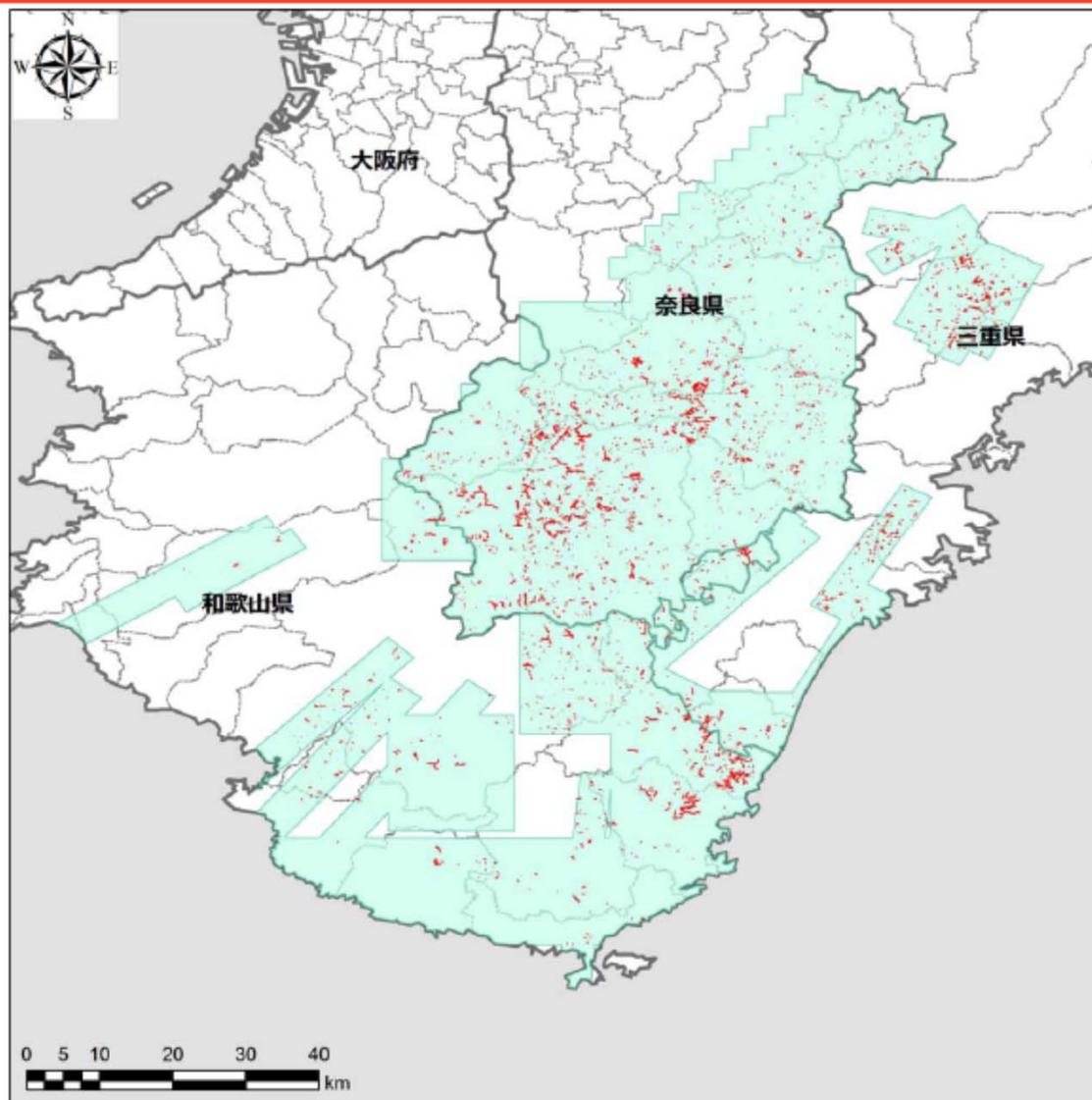
崩壊発生状況



深層崩壊の実態(平成23年台風12号災害)

空中写真判読による崩壊地(発生域)集計結果(奈良県・和歌山県・三重県)

【平成23年10月11日現在】



三県における崩壊諸元

崩壊(発生域)箇所数(N)	3,077箇所
崩壊(発生域)面積(A)	約950万m ²
崩壊土砂量(V) (うち緊急調査箇所)	約1億m ³ 約3,500万m ³
空中写真撮影範囲面積(A _T)	約48億m ²
崩壊面積率(A/A _T × 100)	約0.20%

緊急調査箇所 崩壊土砂量

十津川村 長殿	約680万m ³
十津川村 粟平	約1,390万m ³
野迫川村 北股	約120万m ³
大塔町 赤谷	約900万m ³
田辺市 熊野	約410万m ³
計	約3,500万m ³

なお、崩壊面積と崩壊土砂量の関係には、以下に示すGuzzettiの経験式を用いた。

$$V = 0.074 \cdot A^{1.45}$$

このとき、V:崩壊土砂量(m³)、A:崩壊面積(m²)

※今回の発表は速報値であり、調査未了箇所もあるため、今後修正する可能性があります。

深層崩壊の実態(平成23年台風12号災害)



奈良県長殿(2011年)



奈良県赤谷(2011年)



和歌山県熊野
(2011年)



内 容

1. 深層崩壊の実態

特徴／災害形態／発生状況

2. 深層崩壊の定義

地すべり、表層崩壊、深層崩壊の区分・比較

3. 深層崩壊危険地域に関するマップ

深層崩壊推定頻度マップ

深層崩壊溪流レベル評価マップ

4. 改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

5. 土砂災害監視システム

大規模土砂移動検知システム

衛星合成開口レーダー／降雨との関係

6. 深層崩壊に対する今後の対応



深層崩壊の定義(地すべりと崩壊)

地すべりと崩壊の区分

	地すべり	崩壊
①地形	緩勾配 地すべり地形	急勾配 非火山地域では斜面の 変形等の特徴が見られ る場合がある
②活動状況	継続的、断続的に動い ている、再発性	突発性
③移動速度	小さい	大きい
④土塊	乱れない(原型をほぼ 保つ)、斜面上にとどま る	乱れる(原型が崩れる)、 大部分が斜面から抜け 落ちる

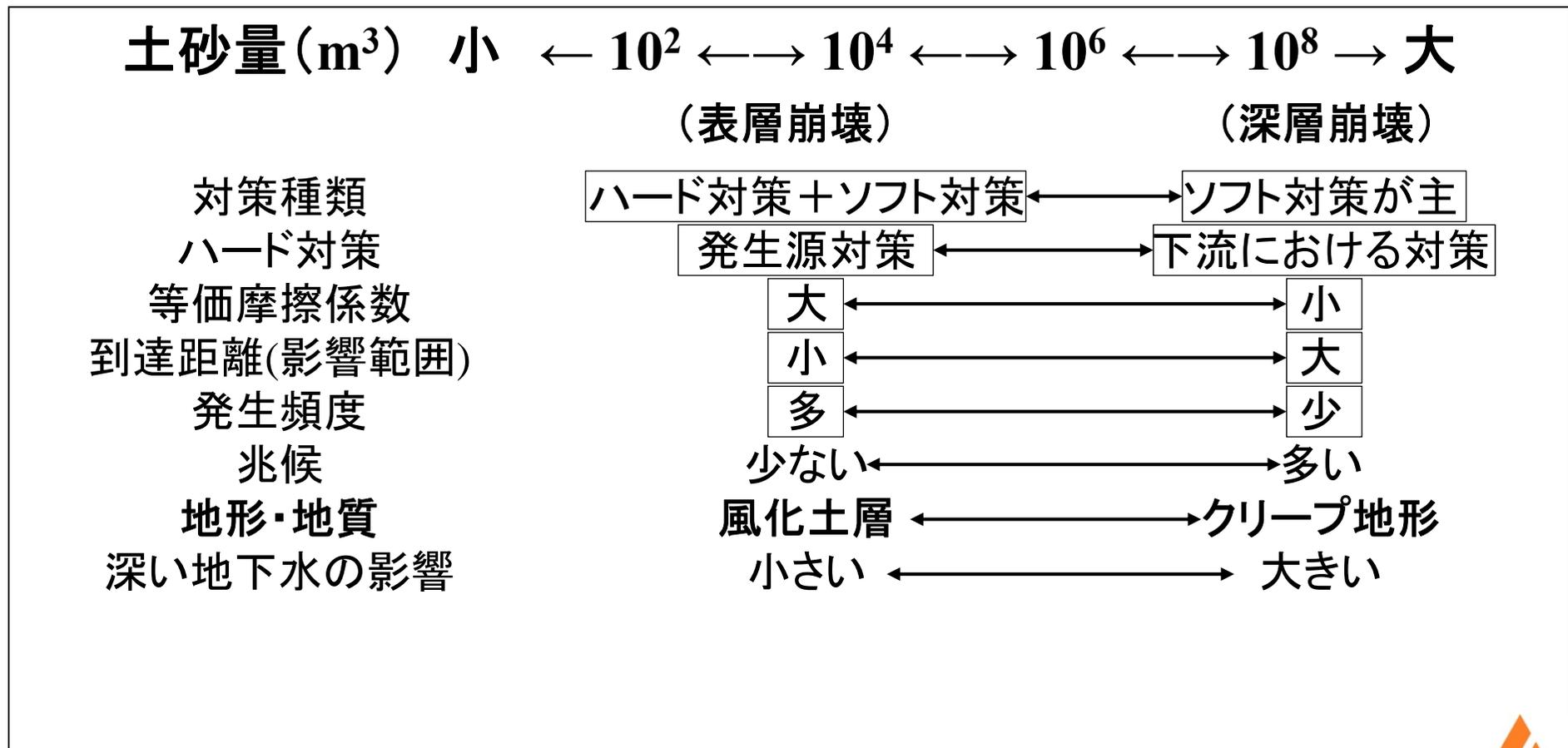
深層崩壊の定義（表層崩壊と深層崩壊）

表層崩壊と深層崩壊の比較

	表層崩壊	深層崩壊
①地質	関連が少ない	地質、地質構造（層理、褶曲、断層等）との関連が大きい
②兆候 （地形・地下水）	ほとんどない	有る場合がある、非火山地域ではクリープ、多重山稜、クラック、末端小崩壊、はらみだし、地下水位変動など
③深さ	浅い	深い
④土質	表層土	基盤
⑤植生の影響	有り	なし
⑥規模	小規模（比高小）	大規模（比高大）

深層崩壊の定義(砂防学会提言)

深層崩壊の規模と特徴



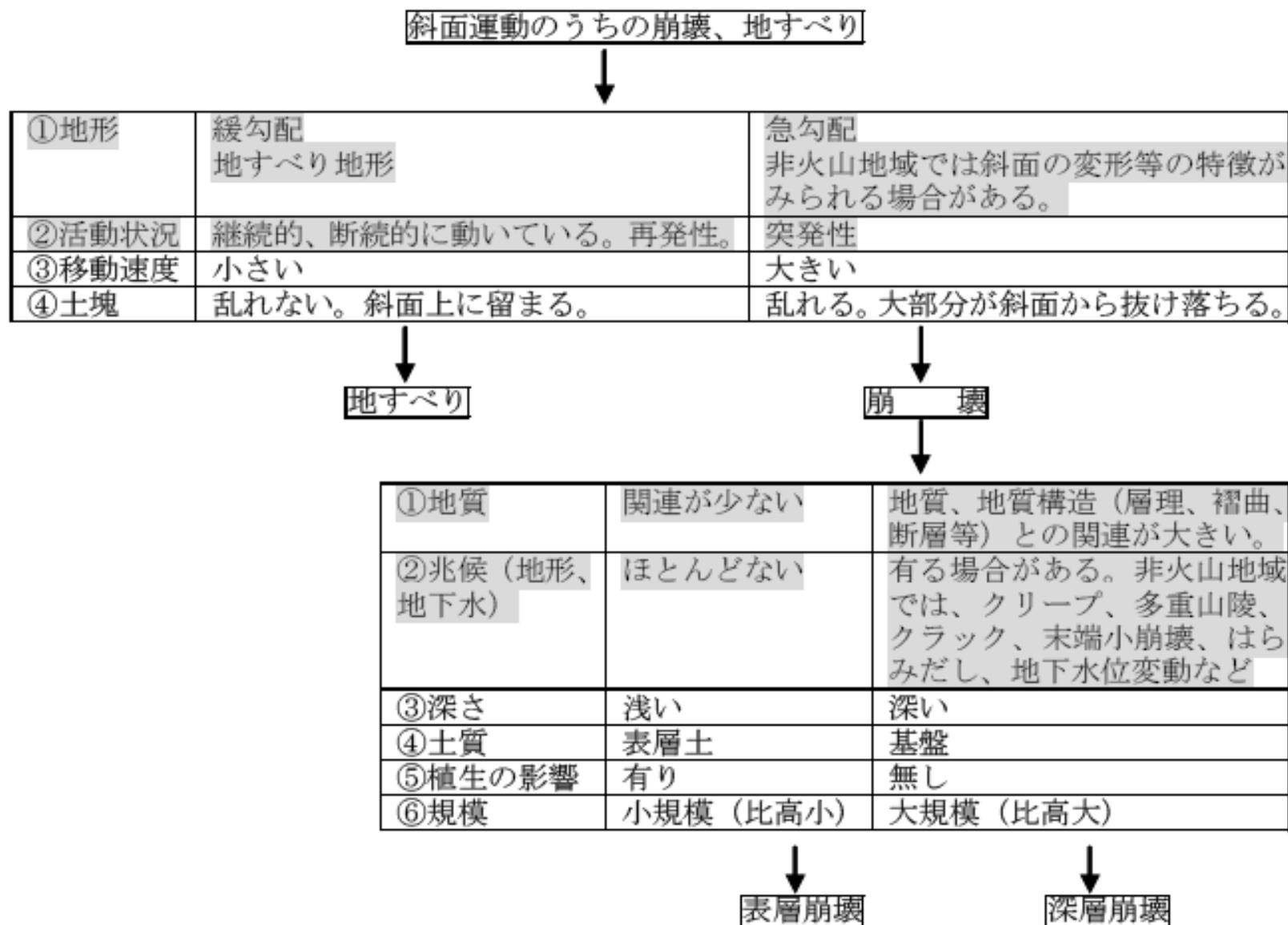
深層崩壊の定義(砂防学会提言:抜粋)

- 山地および丘陵地の斜面の一部が表土層(風化の進んだ層)のみならず、その下の**基盤を含んで崩壊**する現象
- 移動土塊、岩塊の動きは**突発的で一過性**
- 移動速度は大きく、運動中に**激しい攪乱**を受けて原形を保たない
- **特定の地質や地質構造の地域**で多く発生し、我が国では四万十帯などの**付加体**における発生頻度が高い

深層崩壊の定義(砂防学会提言:抜粋)

- すべり面の位置が深いために**樹木の根系による崩壊抑止効果は期待できない**
- 表層崩壊に比べて**土砂量は大きく、土砂量の範囲は極めて広い**
- 土砂量が大きいくほど等価摩擦係数が小さくなり**到達距離は大きくなる傾向を持つ。**
- 土砂量が大きいくほど**発生頻度は小さくなる**
- 発生誘因には、降雨、地震、融雪、火山噴火等があるが、発生件数からは、**降雨と地震**によるものが多い

深層崩壊の定義(砂防学会提言)



注) 網掛け部は発生前の予測段階で調査が比較的容易な項目。

内 容

1. 深層崩壊の実態

特徴／災害形態／発生状況

2. 深層崩壊の定義

地すべり、表層崩壊、深層崩壊の区分・比較

3. 深層崩壊危険地域に関するマップ

深層崩壊推定頻度マップ

深層崩壊溪流レベル評価マップ

4. 改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

5. 土砂災害監視システム

大規模土砂移動検知システム

衛星合成開口レーダー／降雨との関係

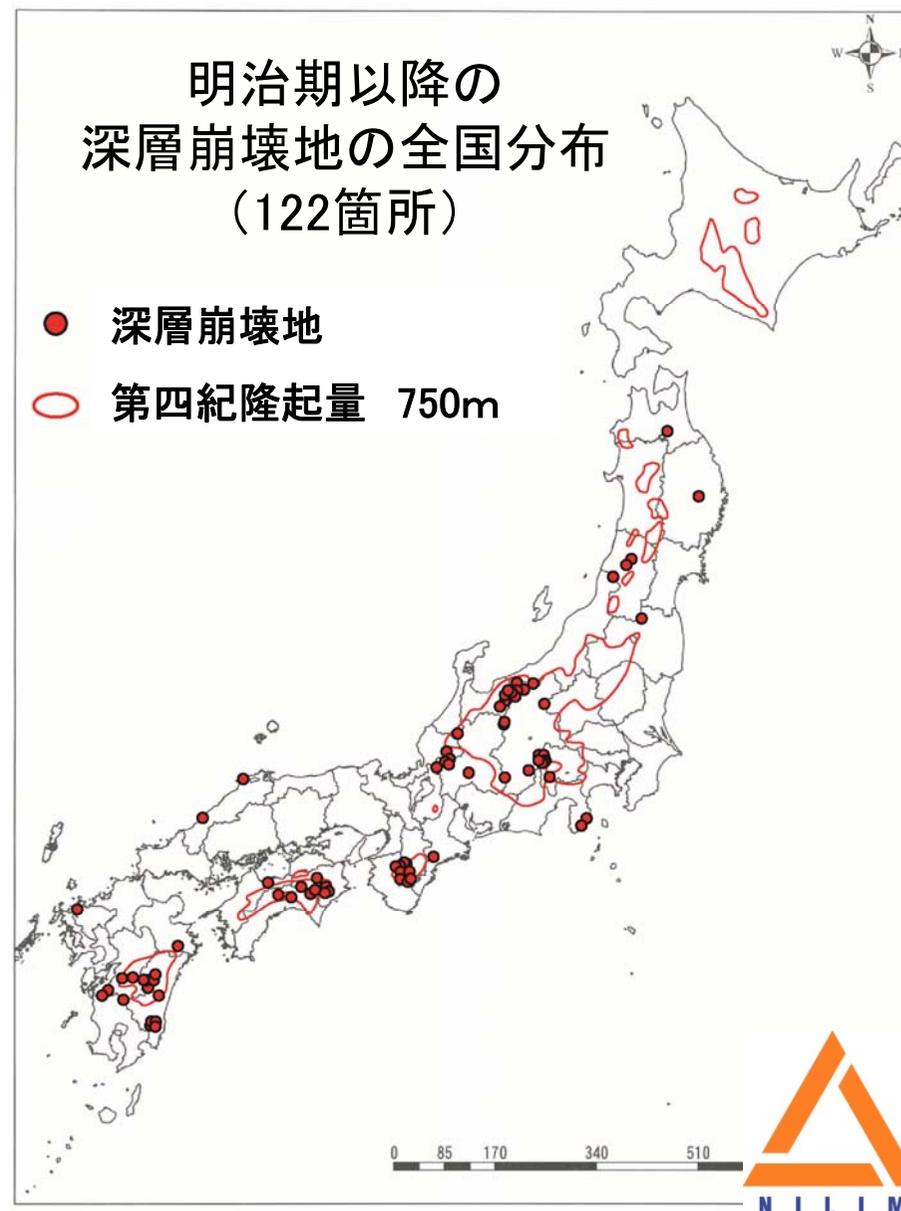
6. 深層崩壊に対する今後の対応



深層崩壊危険区域に関するマップ

深層崩壊推定頻度マップ

- ・明治期(1868年)以降
- ・豪雨(融雪)が発生誘因
- ・崩壊深 5.0m以上
- ・崩壊土砂量 概ね 10^5 m^3 以上

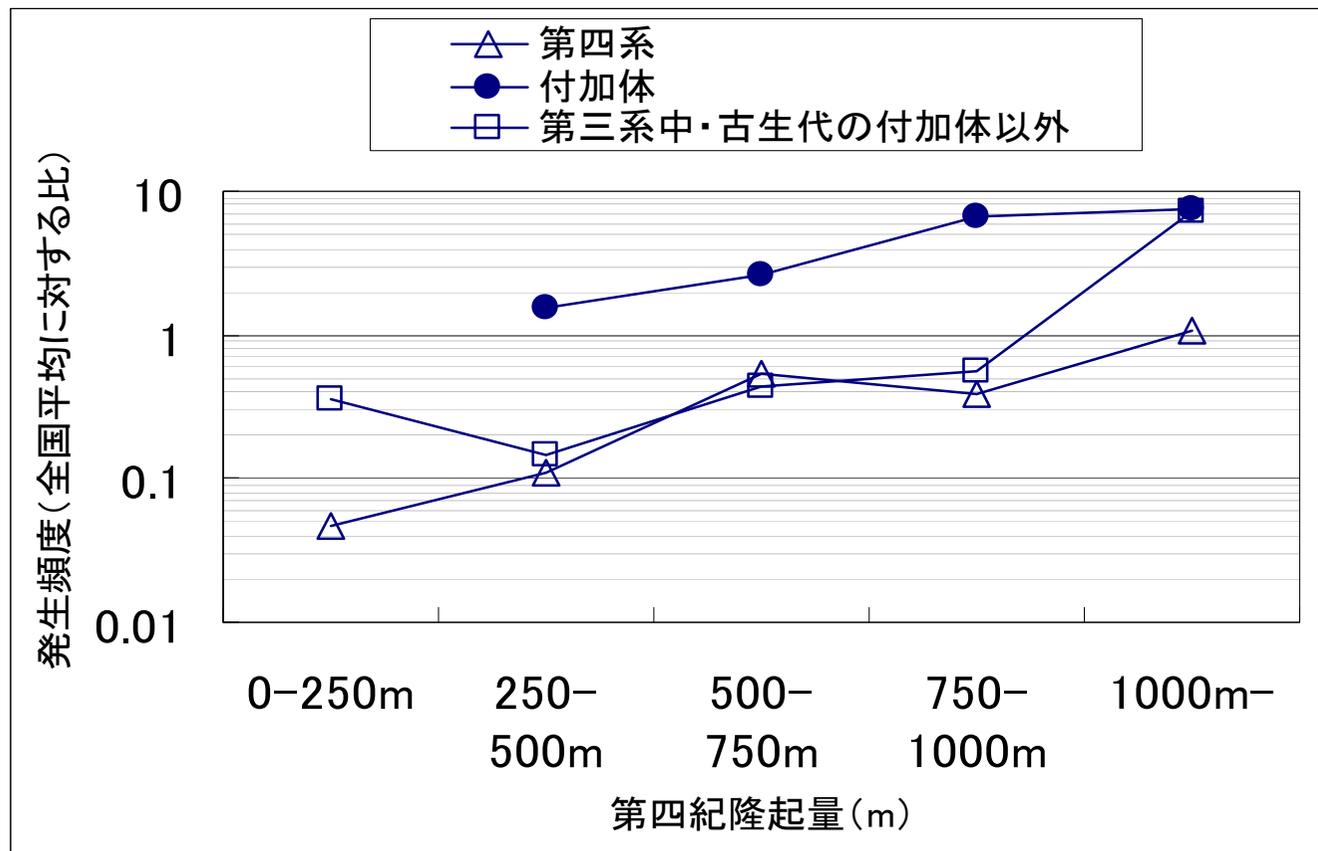


深層崩壊危険区域に関するマップ

深層崩壊推定頻度マップ

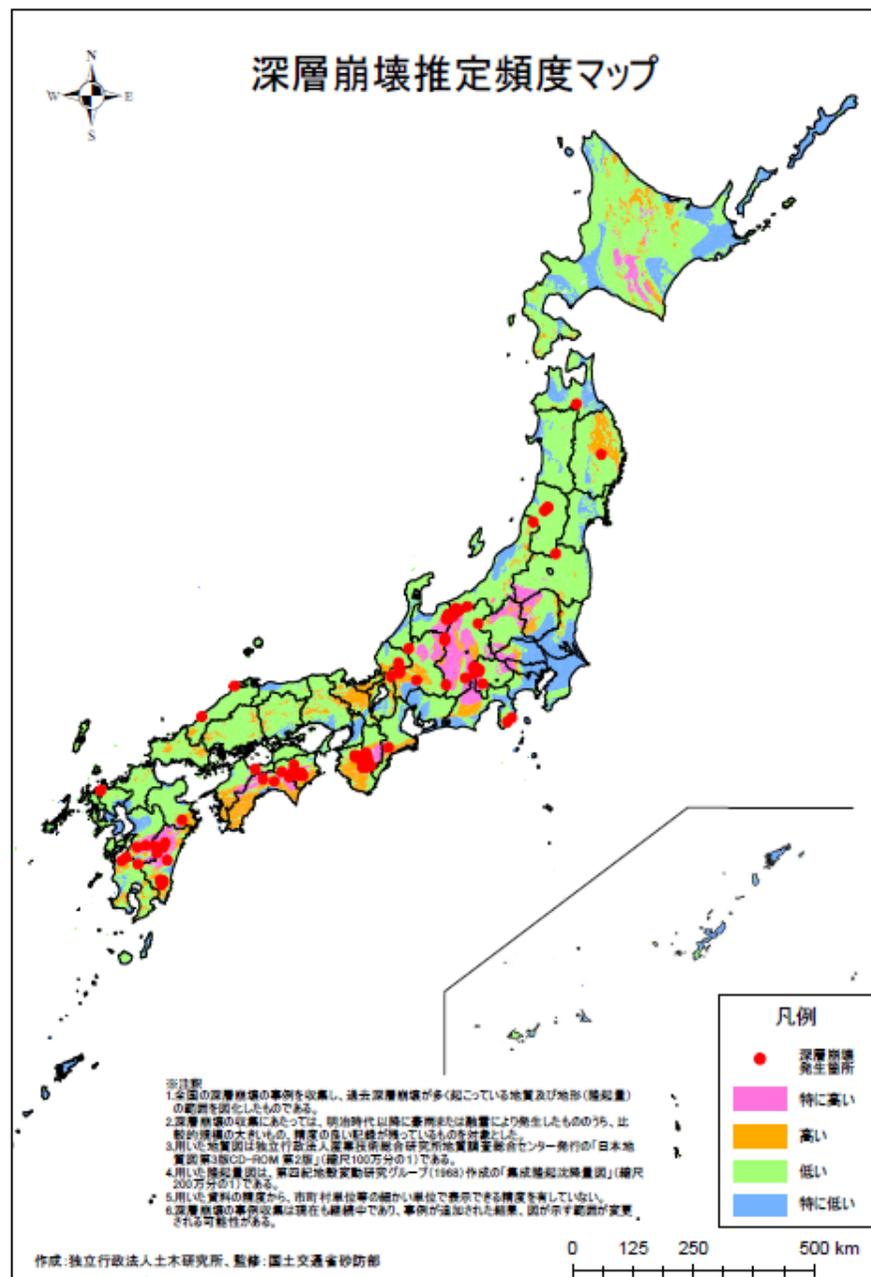
- 第四紀隆起量が大きいほど崩壊密度は大きい
- 第四系の地域では、それ以外の地域に比べて崩壊密度が小さい
- 付加体では、付加体以外に比べて崩壊密度は大きい

第四紀隆起量、地質と深層崩壊発生密度の関係



深層崩壊危険区域に関するマップ

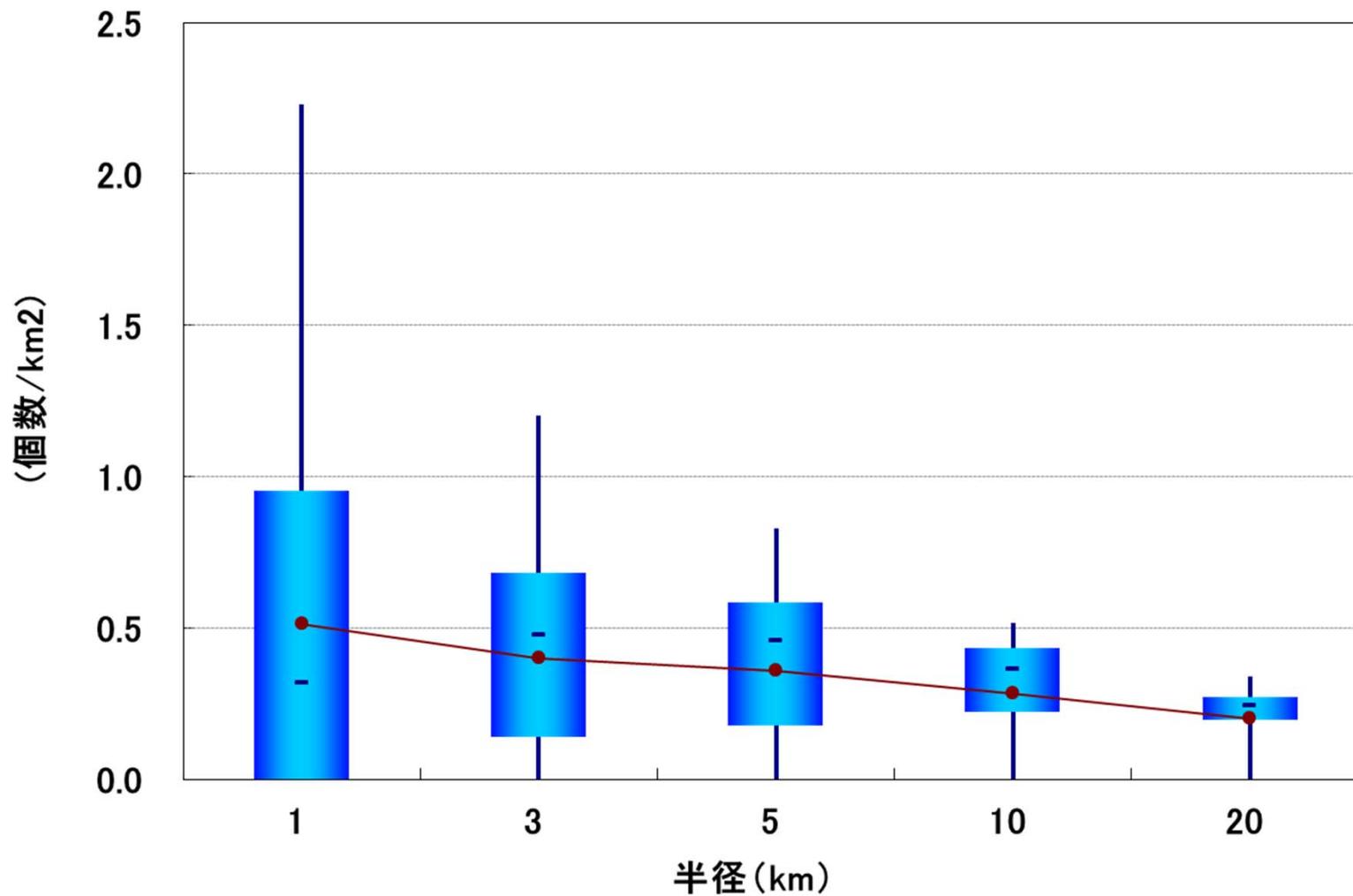
深層崩壊推定頻度マップ



深層崩壊危険区域に関するマップ

深層崩壊溪流レベル評価マップ

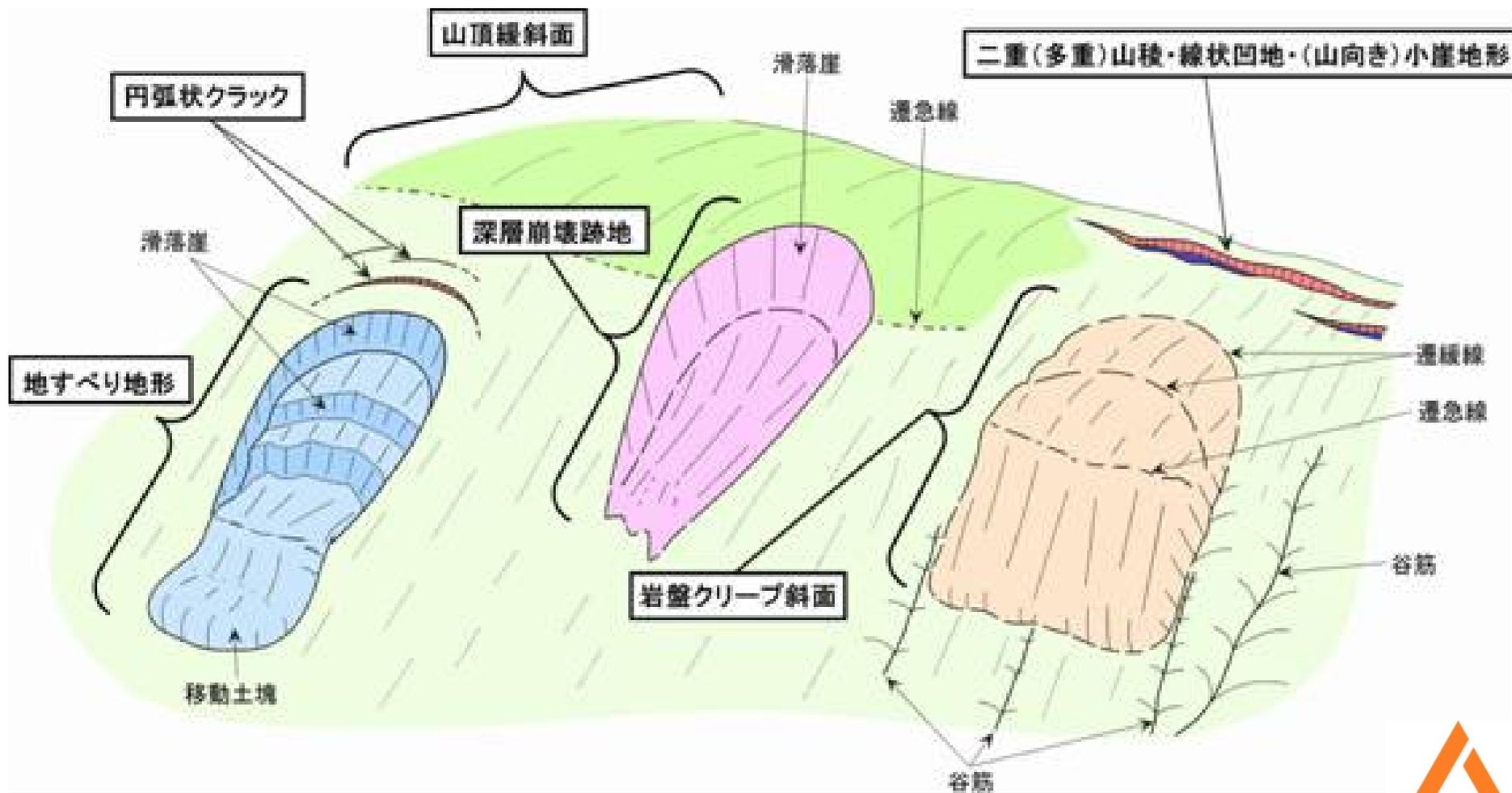
深層崩壊地から任意の距離にある深層崩壊跡地の割合



深層崩壊危険区域に関するマップ

深層崩壊溪流レベル評価マップ

深層崩壊発生と関連性の高いと考えられる地形



深層崩壊危険区域に関するマップ

深層崩壊溪流レベル評価マップ

調査手法の概念図

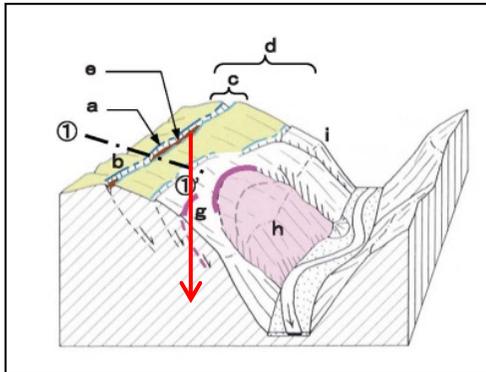
①過去に深層崩壊が発生したことがある斜面の近傍は 同じ地質で形成されていると考えられ、深層崩壊が発生する危険性が高い。

① 深層崩壊の発生実績の有無

③ 斜面が急であり、また水を集めやすい(集水面積が大きい)地形は、深層崩壊が発生する危険性が高い。

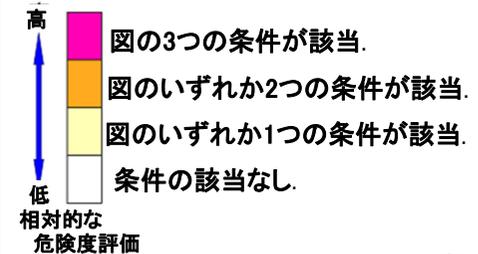
② 深層崩壊の発生と関係の強い微地形の有無

③ 重力や水による外力(勾配と集水面積)



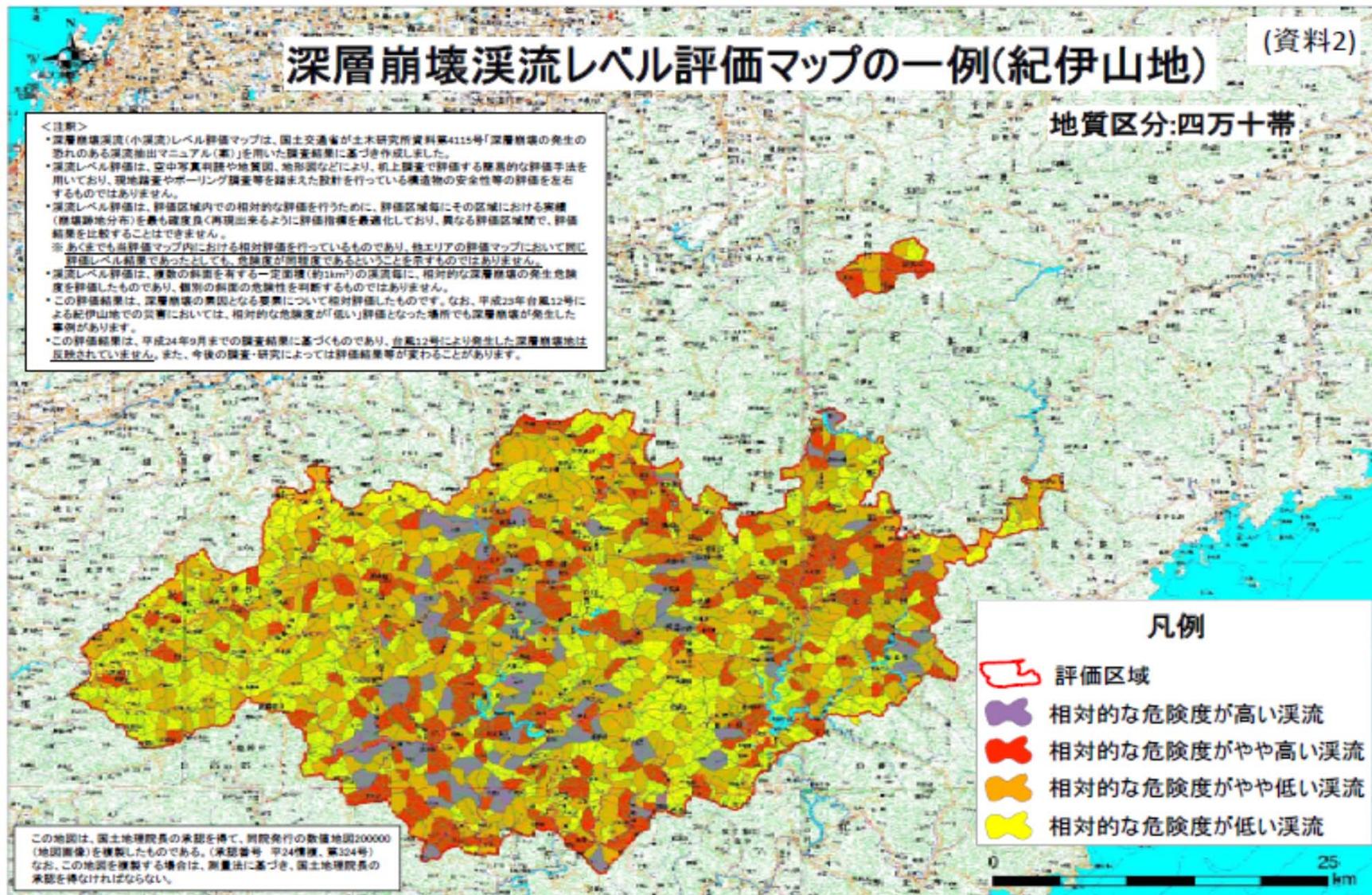
a~h
深層崩壊と関係する
微地形のイメージ

② たたとえばクラック(割れ目)のような地形は、長い年月をかけて斜面が変形したことを表していると考えられ、その近傍では深層崩壊が発生する危険性が高い。



深層崩壊危険区域に関するマップ

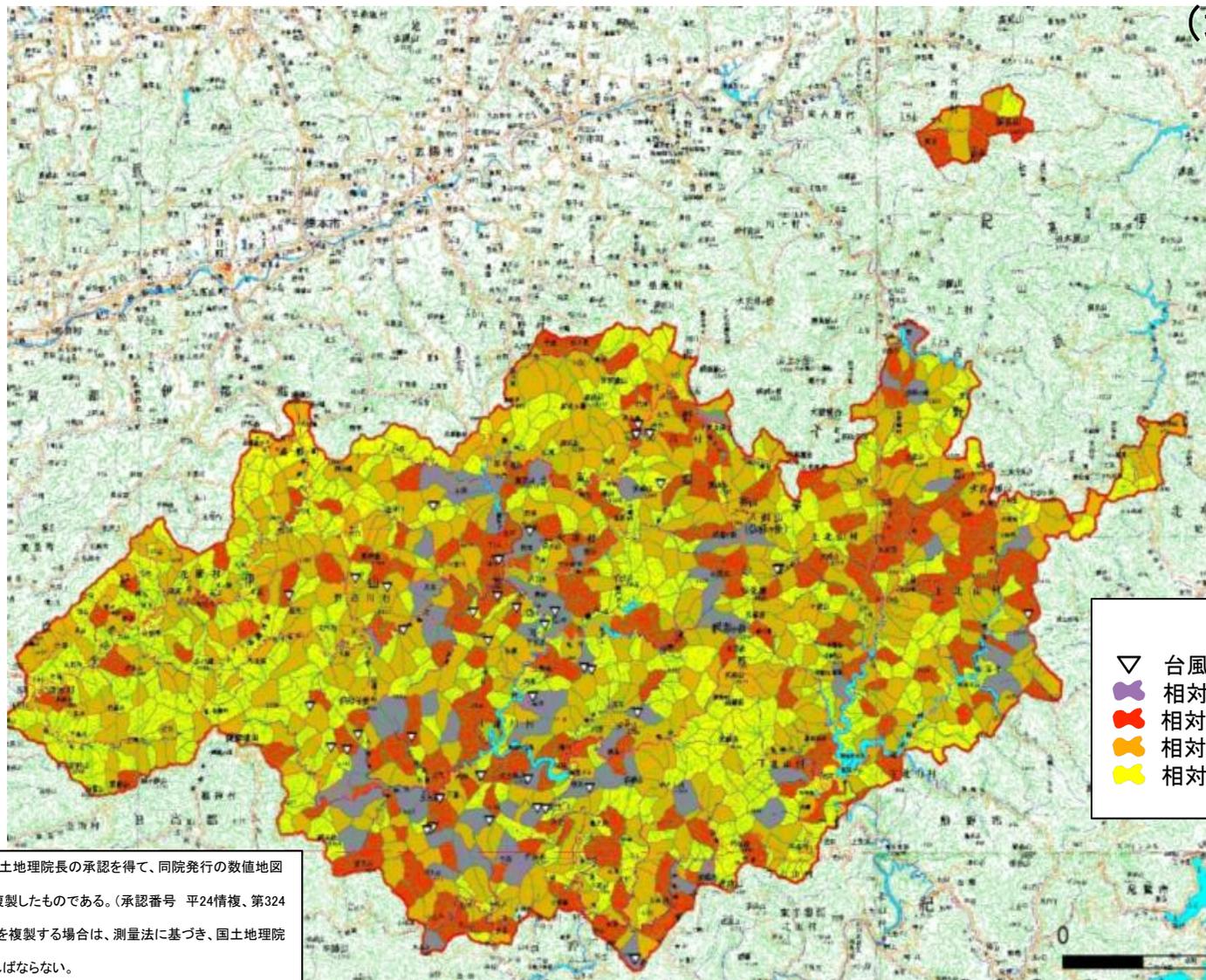
深層崩壊溪流レベル評価マップ



深層崩壊危険区域に関するマップ

深層崩壊溪流レベル評価マップ

紀伊山地における深層崩壊溪流レベル評価と台風12号における深層崩壊発生箇所
(地質:四万十帯)



凡例

- ▽ 台風12号で発生した深層崩壊
- 相対的な危険度が高い溪流
- 相対的な危険度がやや高い溪流
- 相対的な危険度がやや低い溪流
- 相対的な危険度が低い

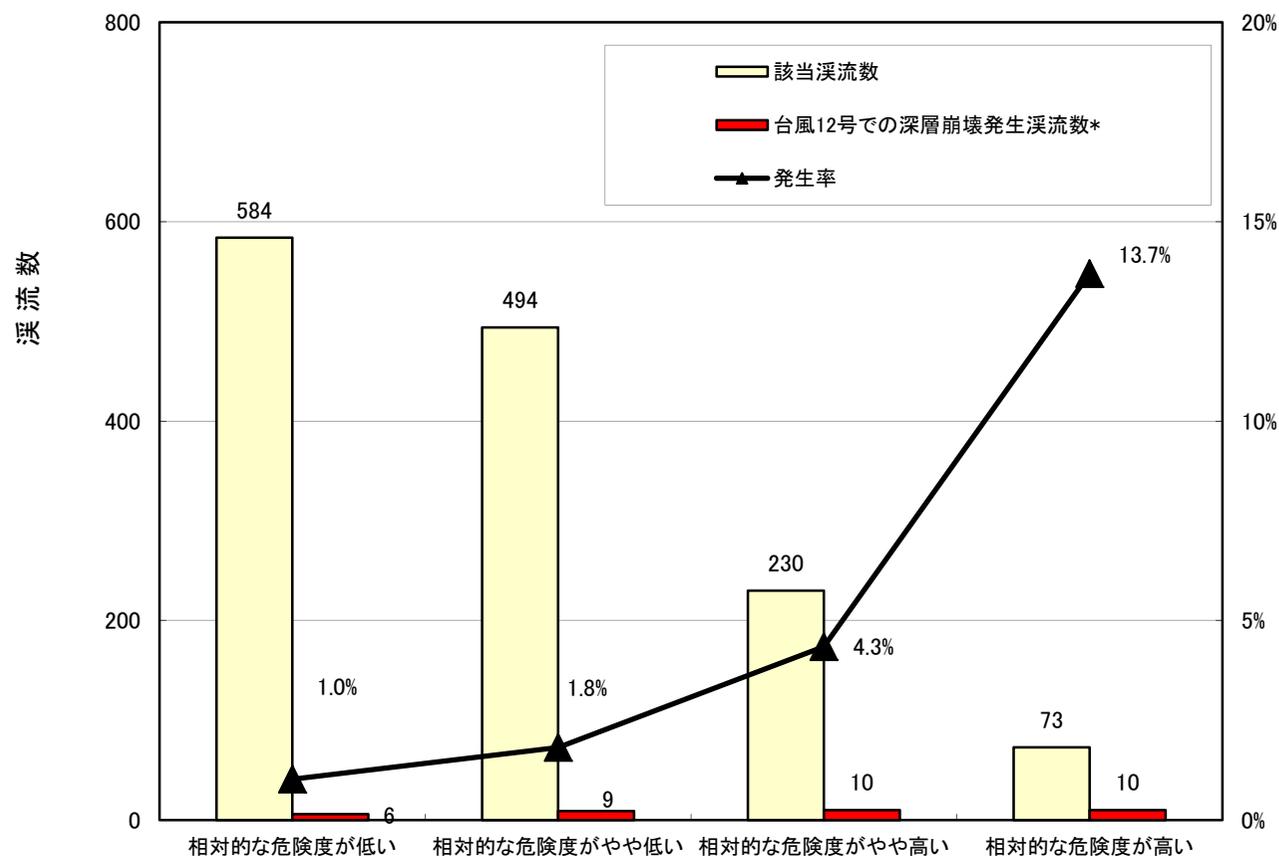
この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の数値地図200000(地図画像)を複製したものである。(承認番号 平24情複、第324号)
なお、この地図を複製する場合は、測量法に基づき、国土地理院長の承認を得なければならない。

深層崩壊危険区域に関するマップ

深層崩壊溪流レベル評価マップ

抽出結果と深層崩壊実績の比較

危険度別溪流数と台風12号による深層崩壊発生状況
(紀伊山地:四万十帯)



台風12号による深層崩壊発生率: %

内 容

1. 深層崩壊の実態

特徴／災害形態／発生状況

2. 深層崩壊の定義

地すべり、表層崩壊、深層崩壊の区分・比較

3. 深層崩壊危険地域に関するマップ

深層崩壊推定頻度マップ

深層崩壊溪流レベル評価マップ

4. 改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

5. 土砂災害監視システム

大規模土砂移動検知システム

衛星合成開口レーダー／降雨との関係

6. 深層崩壊に対する今後の対応



改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

大規模な土砂災害が急迫

河道閉塞による 湛水・土石流

- ・河道閉塞(天然ダム)の高さがおおむね20m以上ある場合
- ・おおむね10戸以上の人家に被害が想定される場合

火山噴火による土石流

- ・河川の勾配が10度以上である区域のおおむね5割以上に1cm以上の降灰等が堆積した場合
- ・おおむね10戸以上の人家に被害が想定される場合

地すべり

- ・地すべりにより、地割れや建築物等に亀裂が発生又は広がりつつある場合
- ・おおむね10戸以上の人家に被害が想定される場合

緊急調査

国土交通省

湛水又は土石流による被害が及ぶおそれがある土地の区域・時期の想定

緊急調査

都道府県

地すべりによる被害が及ぶおそれがある土地の区域・時期の想定

国土交通省又は都道府県は、**緊急調査に基づき被害の想定される区域・時期の情報(土砂災害緊急情報)**を関係市町村長へ通知するとともに、一般に周知する

市町村長が住民への避難を指示(災害対策基本法第60条)等

土砂災害から国民の生命・身体を保護

改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

現地調査

氾濫範囲把握のために最低限必要な河道閉塞(天然ダム)の位置, 形状を目視およびレーザー距離計により調査する。



ヘリによる空中調査

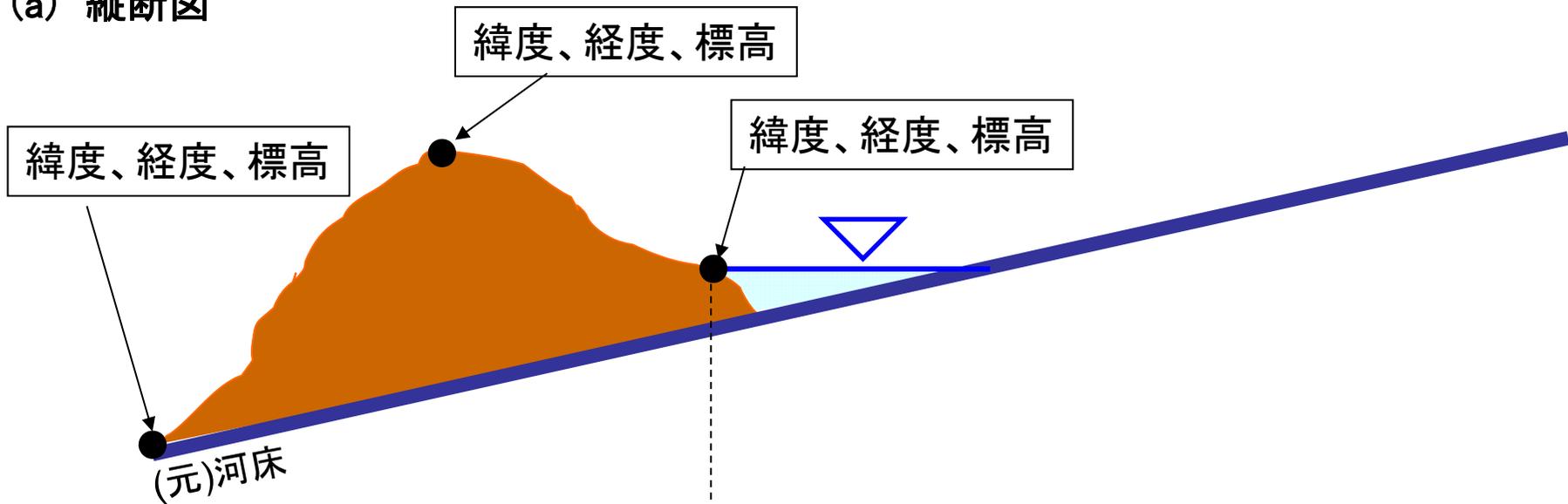


レーザー距離計による計測

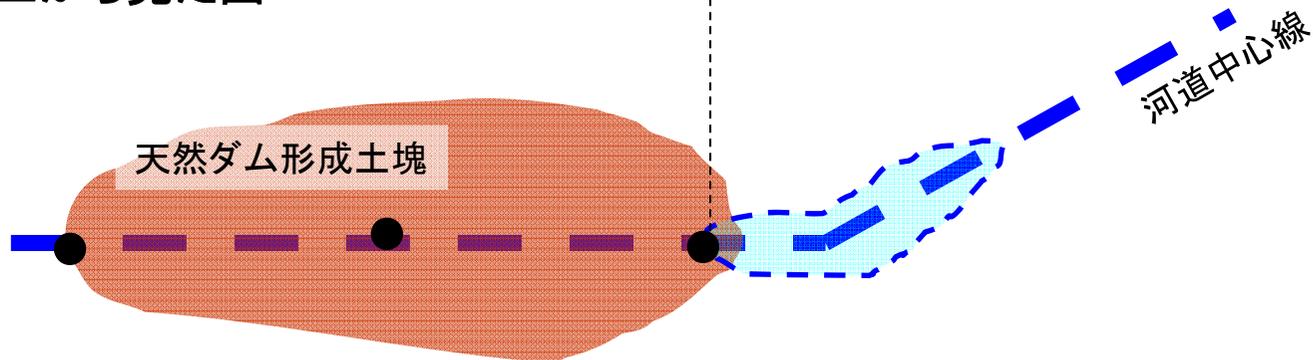
改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

具体的な測定項目

(a) 縦断面図

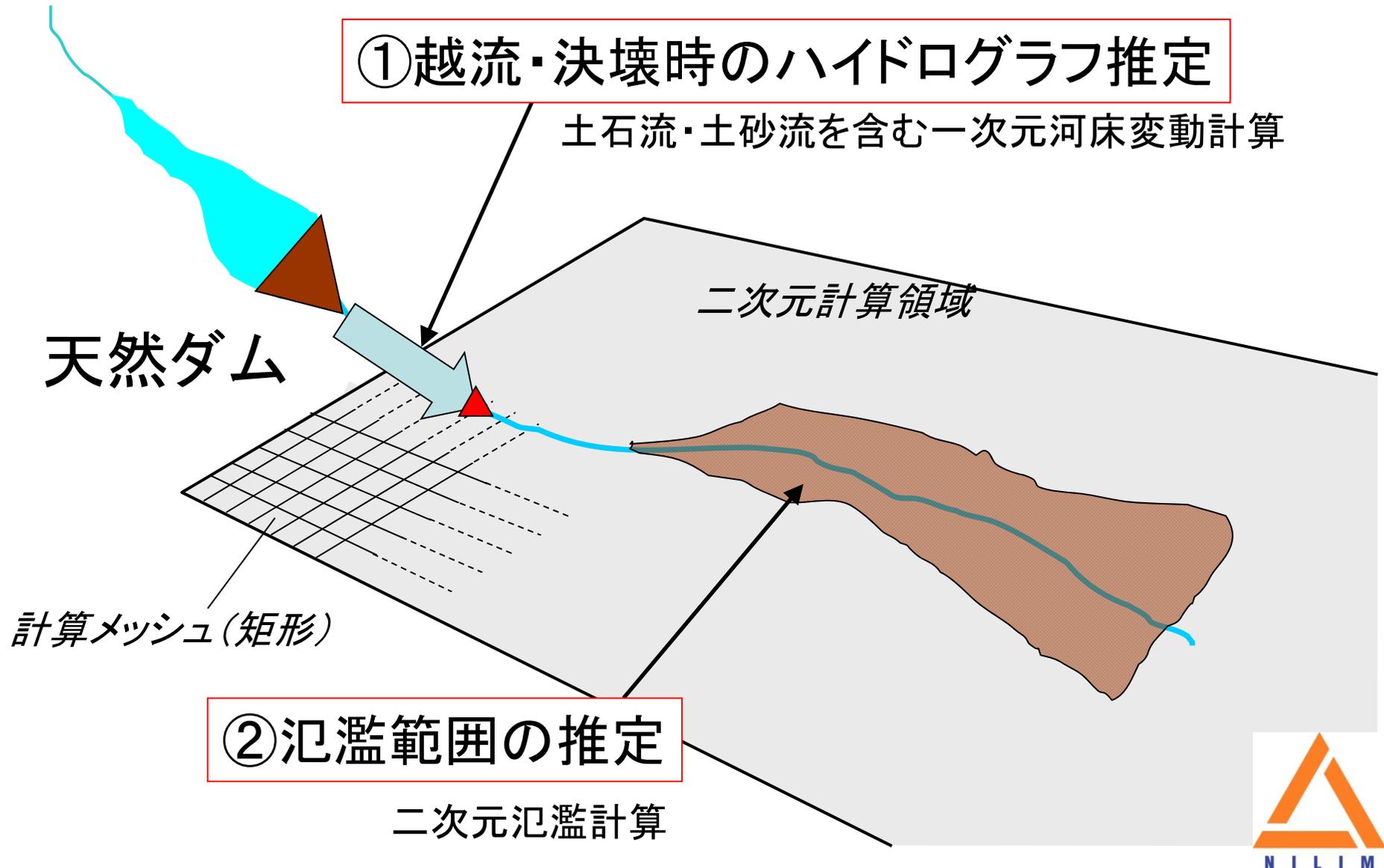


(b) 上から見た図



改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

解析方法の概要



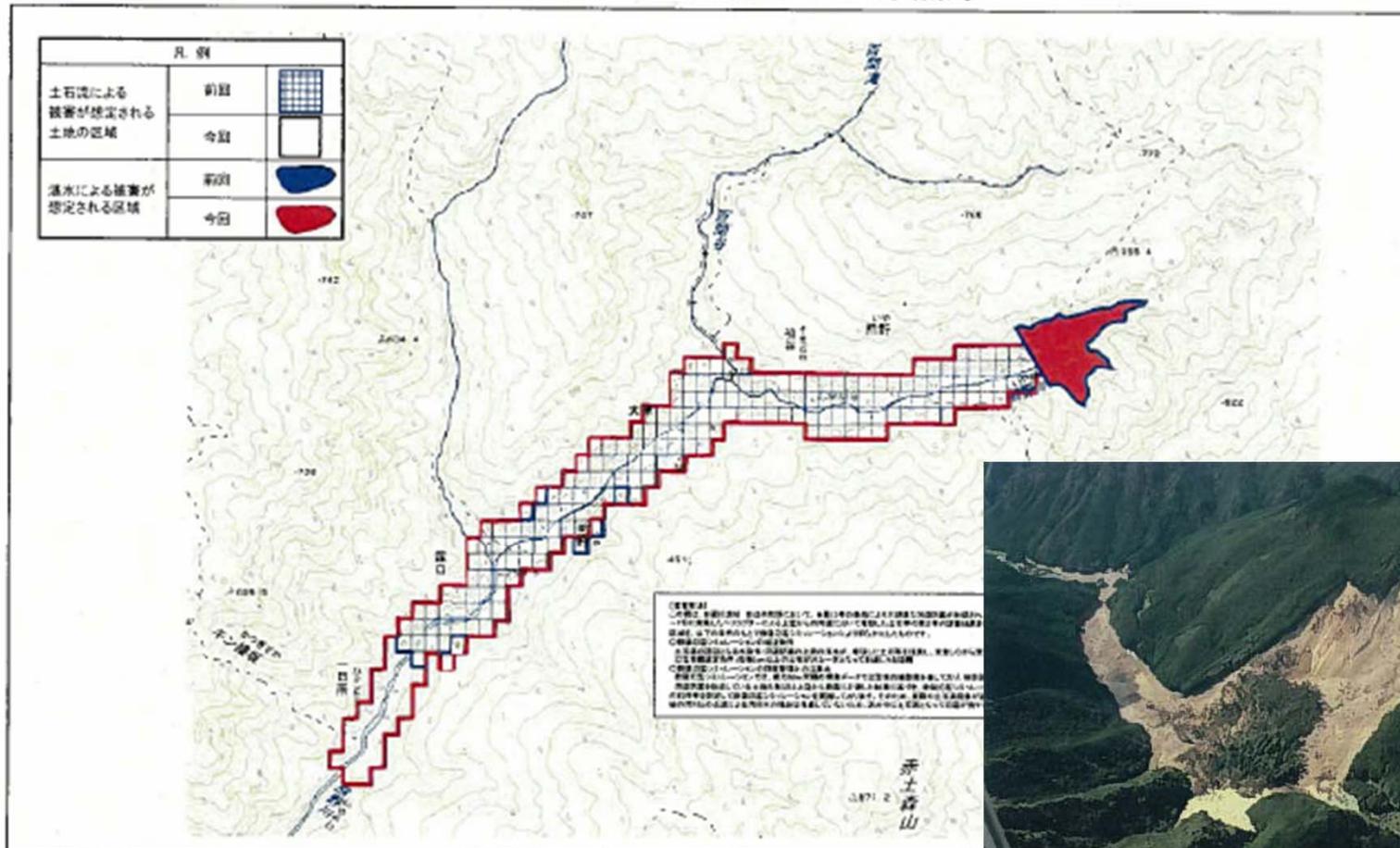
改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

シミュレーション結果(熊野地区の事例)

河道閉塞による湛水が発生原因とする土石流等による被害が想定される土地の区域

別紙1

区域名：日置川流域 田辺市熊野



詳細な調査結果をシミュレーションに反映

<緊急調査第1号> レーザー距離計を用いて天然ダム形状を迅速に計測

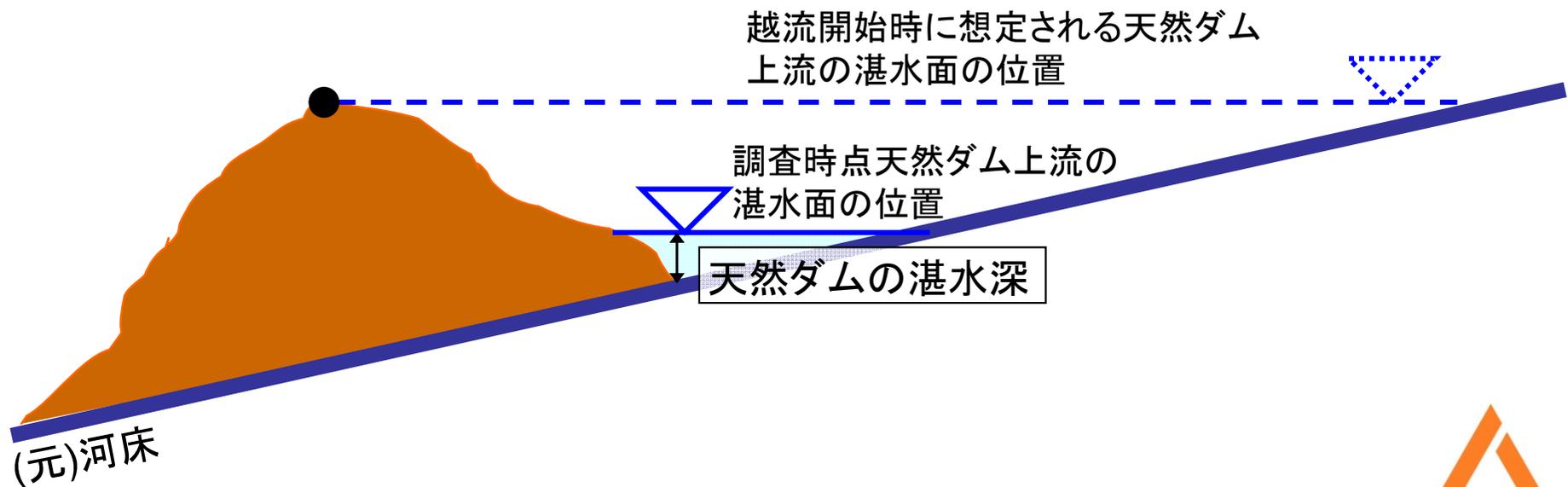
<緊急調査第2号> 空中写真等を活用して、天然ダム形状を詳細に分析

改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

土石流発生時期の推定(初動時)

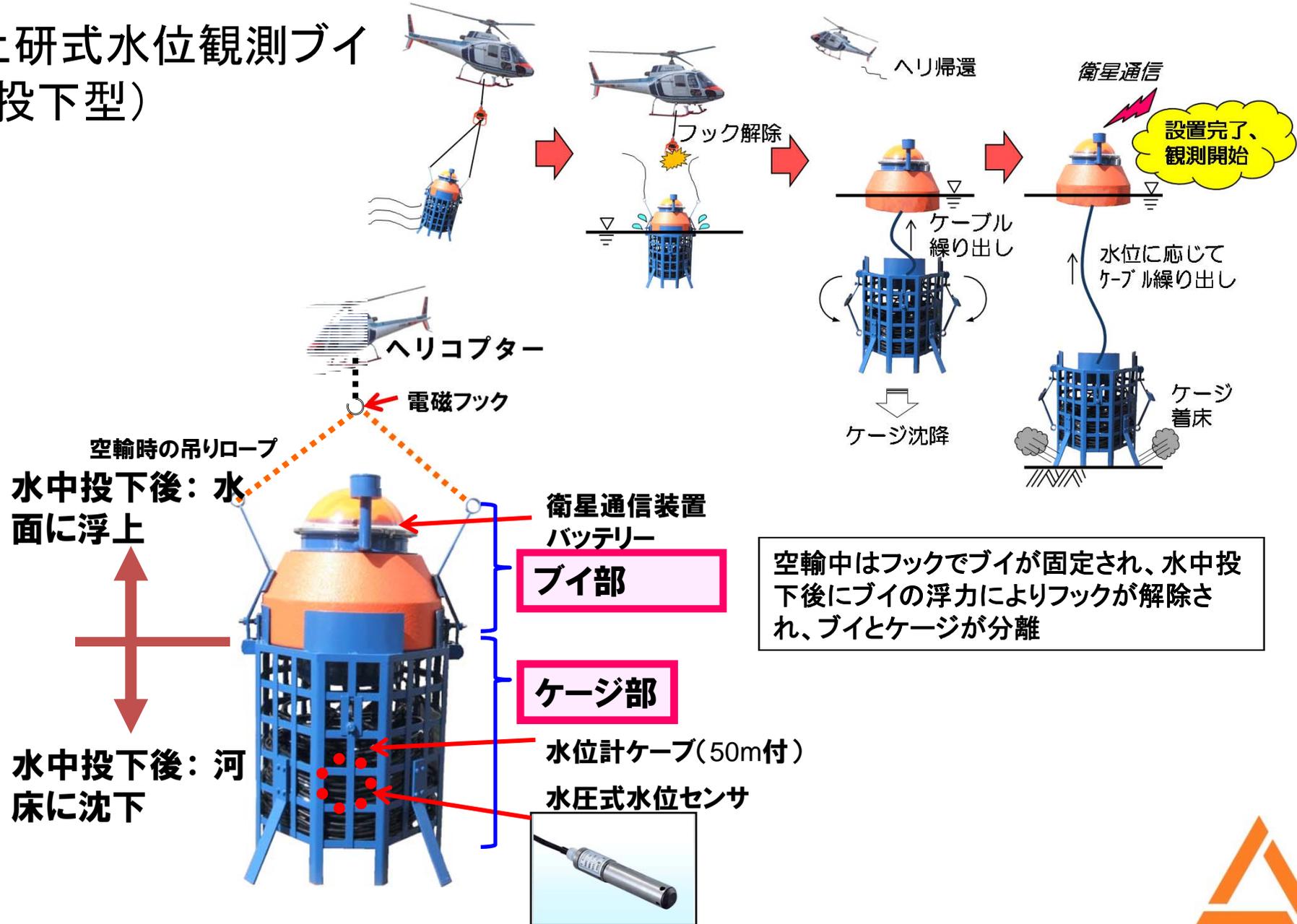
初動時の土石流により被害の生じるおそれのある時期は、天然ダムが満水し越流が開始するおそれのある時期のことであり、越流開始時に想定される湛水量と現況の湛水量の差を流入流量で除して予測する。

縦断面図



改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

土研式水位観測ブイ (投下型)



改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

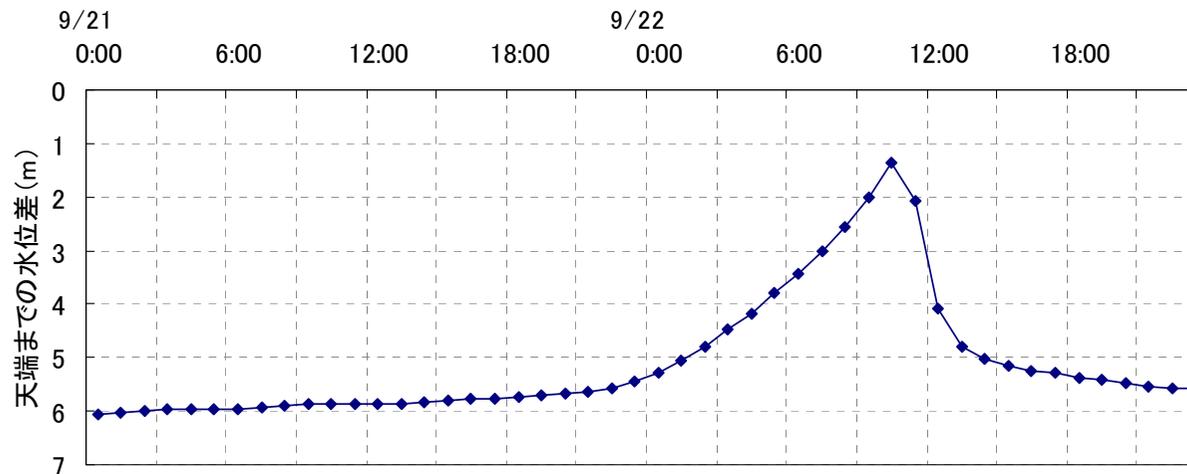
水位観測ブイによる監視



土研式水位観測ブイ(投下型)



土研式水位観測ブイの投下状況

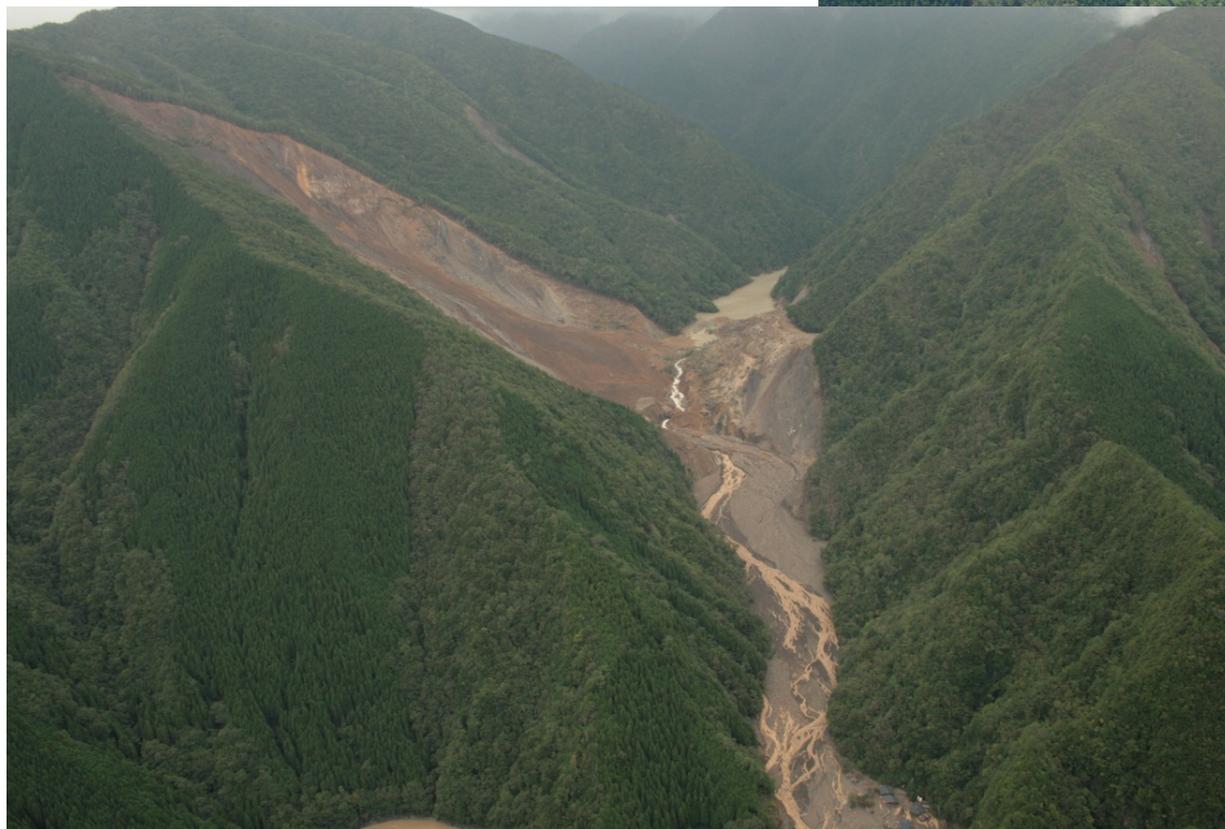


天然ダムの水位観測結果(赤谷:9/21-9/22)

改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

赤谷

9/6時点 →



← 9/22時点

台風15号通過後



内 容

1. 深層崩壊の実態

特徴／災害形態／発生状況

2. 深層崩壊の定義

地すべり、表層崩壊、深層崩壊の区分・比較

3. 深層崩壊危険地域に関するマップ

深層崩壊推定頻度マップ

深層崩壊溪流レベル評価マップ

4. 改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

5. 土砂災害監視システム

大規模土砂移動検知システム

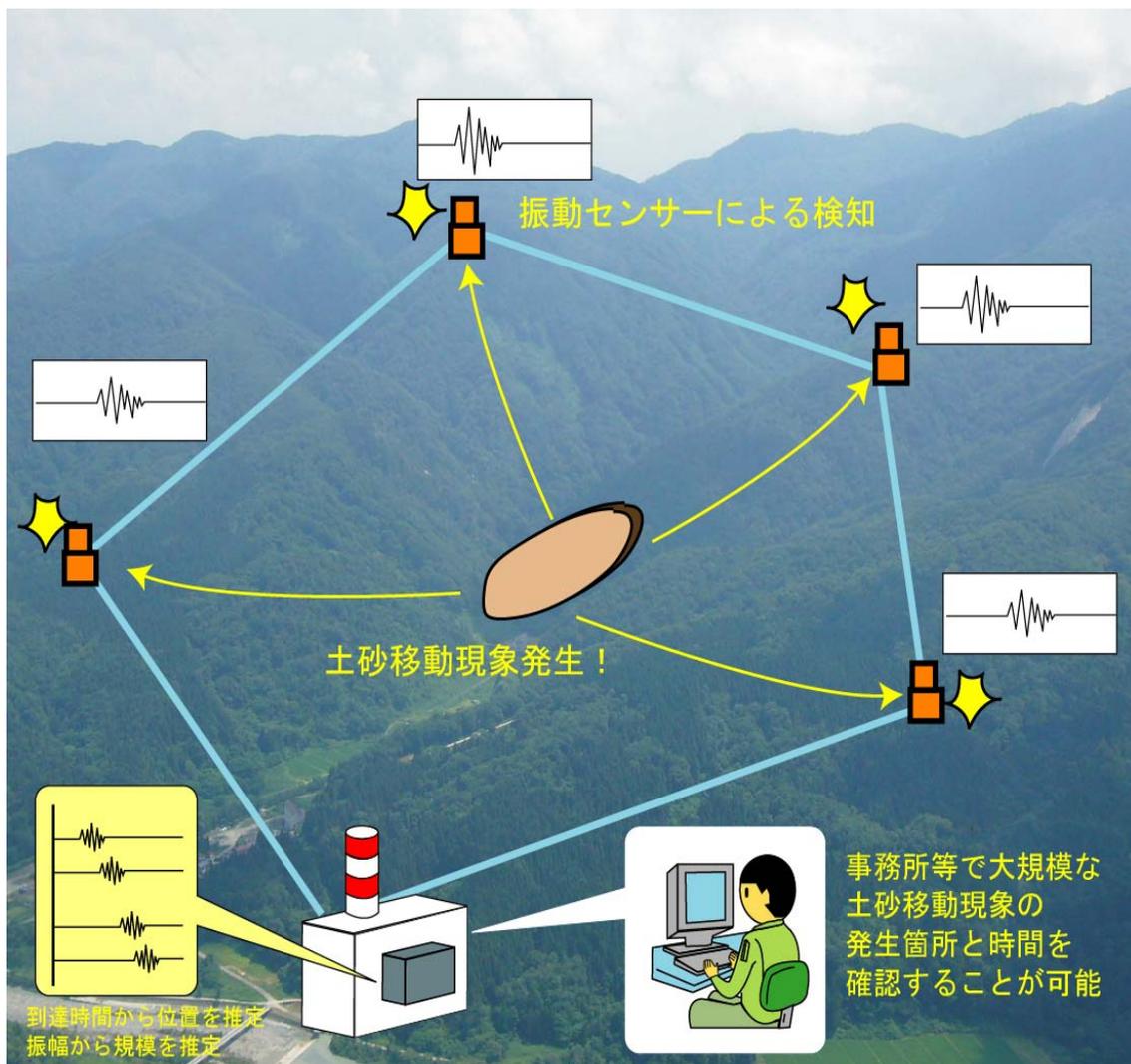
衛星合成開口レーダー／降雨との関係

6. 深層崩壊に対する今後の対応



土砂災害監視システム

大規模土砂移動検知システム



振動センサーネットワークを用いて、大規模土砂移動現象の振動を観測し、震源特定解析によって、土砂移動現象の発生箇所と時間を予測するシステム

→ 大規模な土砂移動現象を広域に監視

土砂災害監視システム

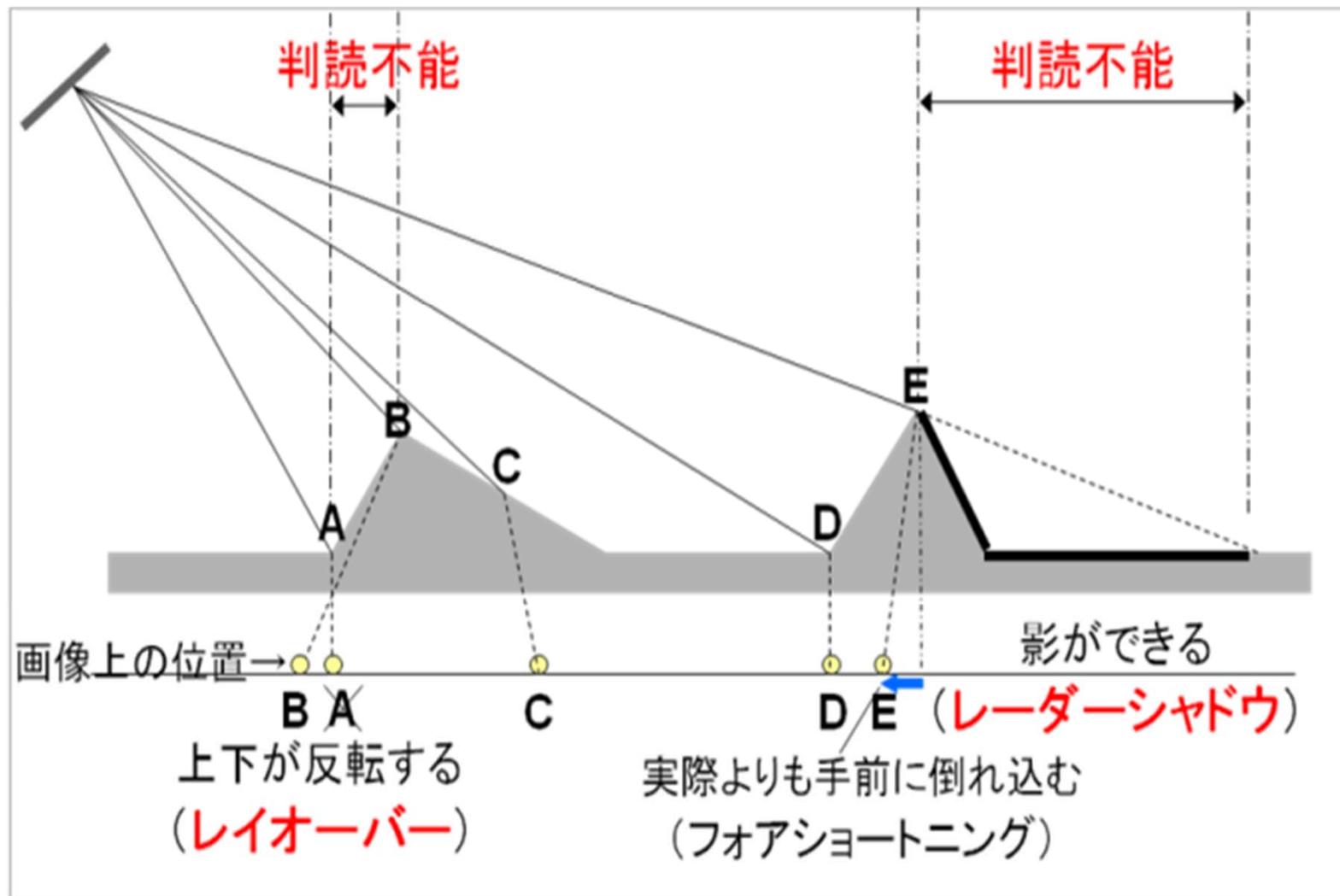
大規模土砂移動検知システム



2012年9月14日愛媛県西条市東之川で発生した崩壊は、誤差4.6kmで崩壊発生箇所を推定 ($V_s=2.0\text{km/s}$)

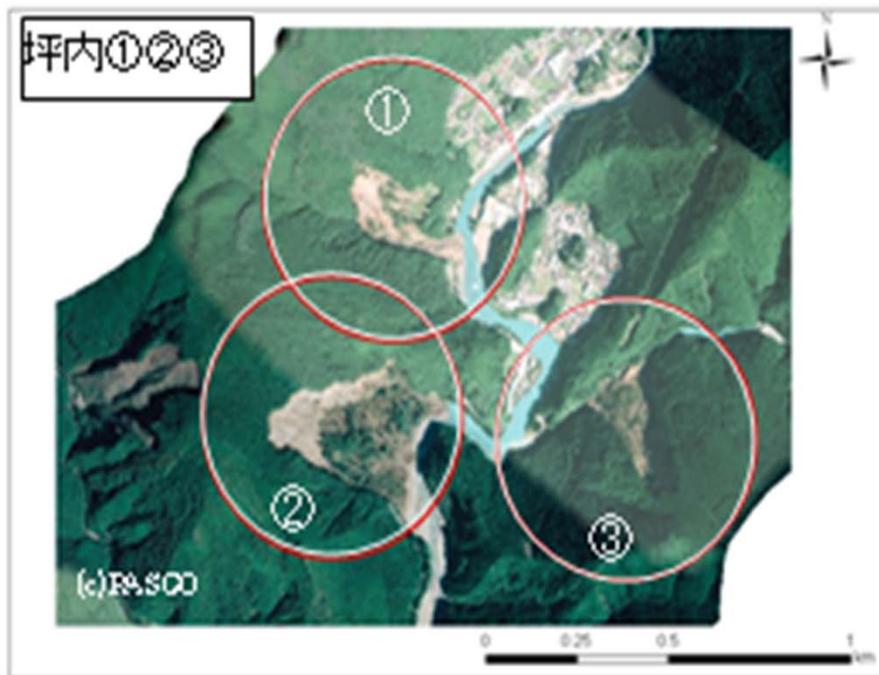
土砂災害監視システム

衛星合成開口レーダー (SAR) 判読時の特徴

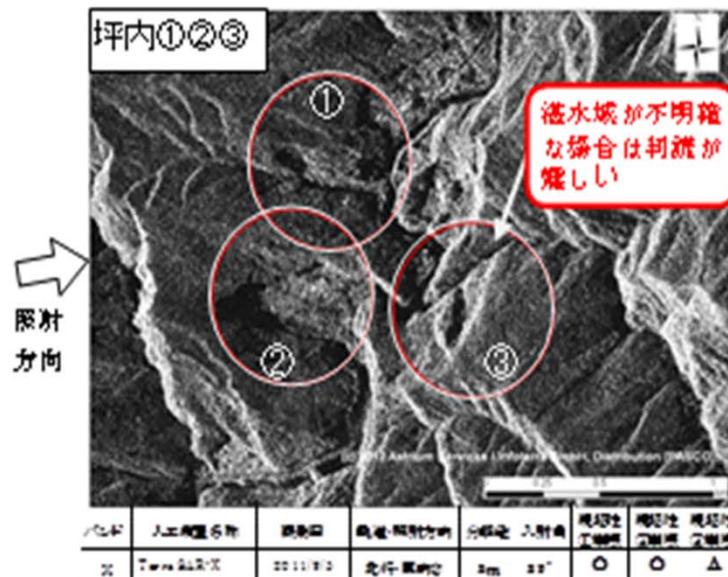


土砂災害監視システム

衛星合成開口レーダー(SAR)



奈良県天川村坪内地区
(簡易オルソ)



視認性が良好な衛星SAR画像



電波入射角と正対する斜面

土砂災害監視システム

衛星合成開口レーダー(SAR)

①電波の入射角

- ・撮影時の入射角としては、概ね**35° ~50°**の入射角が適している

②分解能

- ・衛星SAR画像の分解能は**3mより高分解能**であることが必要
- ・分解能により撮影範囲面積が大きく変化することに留意

③撮影回数

- ・片側照射：深層崩壊による天然ダムの抽出率は**50~70%程度**
- ・**東西両側**からの画像2枚を用いた場合：抽出率は**約90%に向上**

④判読する衛星SAR画像の正立配置

- ・**照射方向が上方**からとなるように回転させて画像を配置



土砂災害監視システム

衛星合成開口レーダー(SAR)

⑤判読困難箇所

- ・水平投影面積が**1ha 未満**の天然ダムは**判読困難**
- ・河道閉塞による**湛水域**が形成されていない場合には、大規模な崩壊地であっても見逃し易い

⑥画像判読の手順

- ・天然ダムの決壊にともない甚大な被害が予測される**集落上流**
- ・集水面積が大きく天然ダムが短時間で満水になると予想される**本川沿い**
- ・主要支川、支溪

⑦入手画像の選定

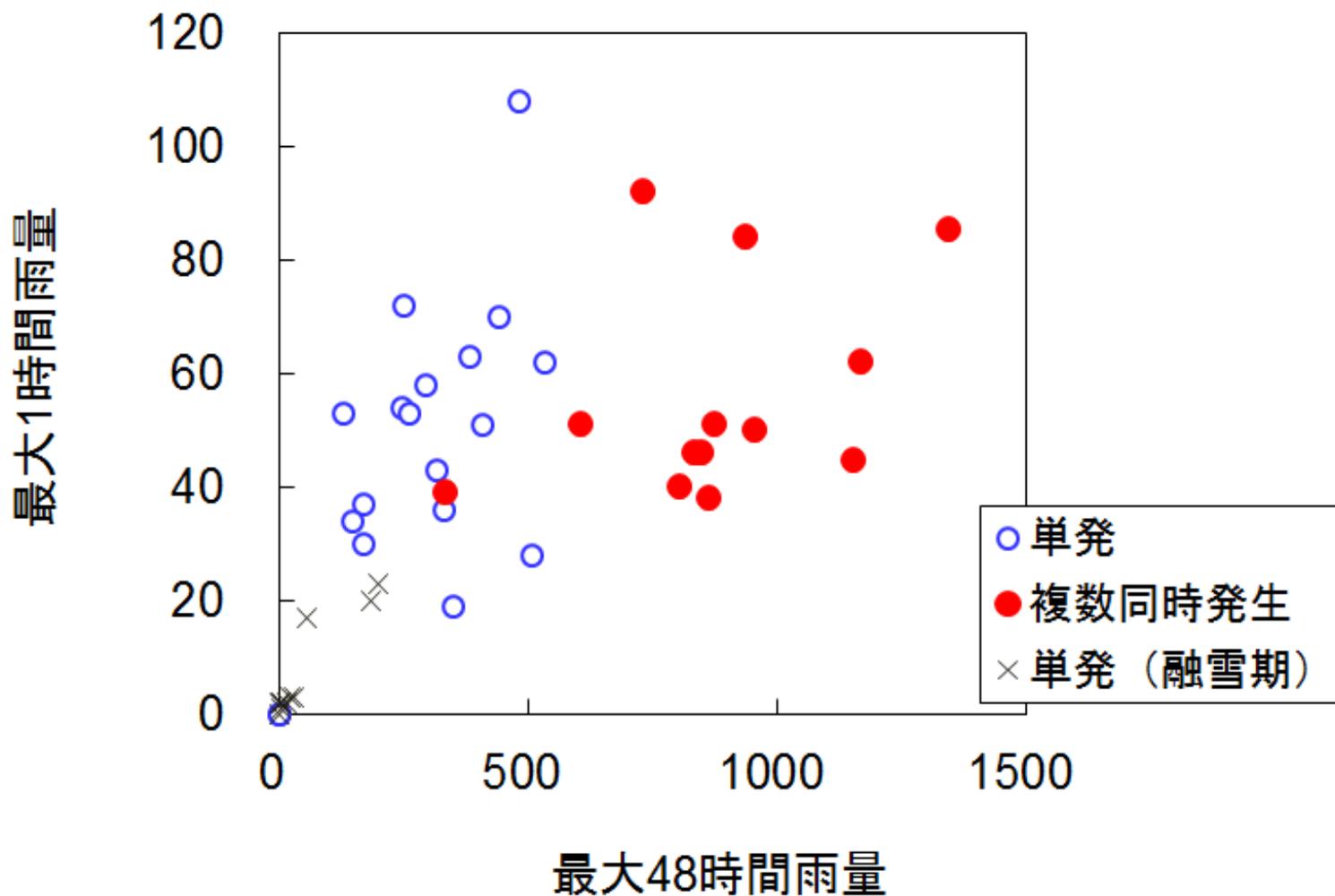
- ・衛星SAR衛星の**撮影頻度**
- ・画像撮影依頼から**画像入手までに要する時間**
- ・良好な条件、必要範囲、**最速で入手可能な衛星を選定**



土砂災害監視システム

降雨との関係

深層崩壊発生雨量



内 容

1. 深層崩壊の実態

特徴／災害形態／発生状況

2. 深層崩壊の定義

地すべり、表層崩壊、深層崩壊の区分・比較

3. 深層崩壊危険地域に関するマップ

深層崩壊推定頻度マップ

深層崩壊溪流レベル評価マップ

4. 改正土砂災害防止法に基づく緊急調査

5. 土砂災害監視システム

大規模土砂移動検知システム

衛星合成開口レーダー／降雨との関係

6. 深層崩壊に対する今後の対応



深層崩壊に対する今後の対応

調査・研究における課題

- ① 深層崩壊の発生・移動機構の解明
- ② 深層崩壊の発生予測手法の確立と精度向上
 - ・ 発生危険個所の予測
 - ・ 発生規模の予測
 - ・ 発生時刻の予測
- ③ 深層崩壊の発生頻度の評価
- ④ 深層崩壊の被害範囲および外力の推定
- ⑤ 深層崩壊対策技術の開発

深層崩壊に対する今後の対応

調査・研究における課題

1. 深層崩壊発生危険斜面の予測技術の開発

- ・航空レーザー測量等による地形変状の把握
- ・地表流、地中水等の地下深部までの移動過程の解明
- ・流出・水質データを活用した危険斜面の抽出
- ・深層崩壊発生頻度の定量化手法

2. 深層崩壊への対策技術の開発

- ・深層崩壊発生後の早期検知技術と危機管理の高度化
- ・地下水位変動等に基づく発生予測
- ・警戒避難支援のためのセンサーの開発
- ・深層崩壊による被害範囲の推定手法
- ・施設の安定性・被害軽減効果の評価

深層崩壊に対する今後の対応

深層崩壊対策の考え方

1. ハード対策

- ①作用外力に応じた柔軟な設計と被害軽減効果の評価
- ②より効果の高い対策手法の検討

2. ソフト対策

- ①深層崩壊の特性を踏まえた警報の運用
- ②安全な避難場所の確保
- ③前兆的現象の監視と避難への活用
- ④災害時の避難行動等の分析

と地域防災計画へのフィードバック



ご清聴ありがとうございました。

