

ハード対策分科会 討議資料

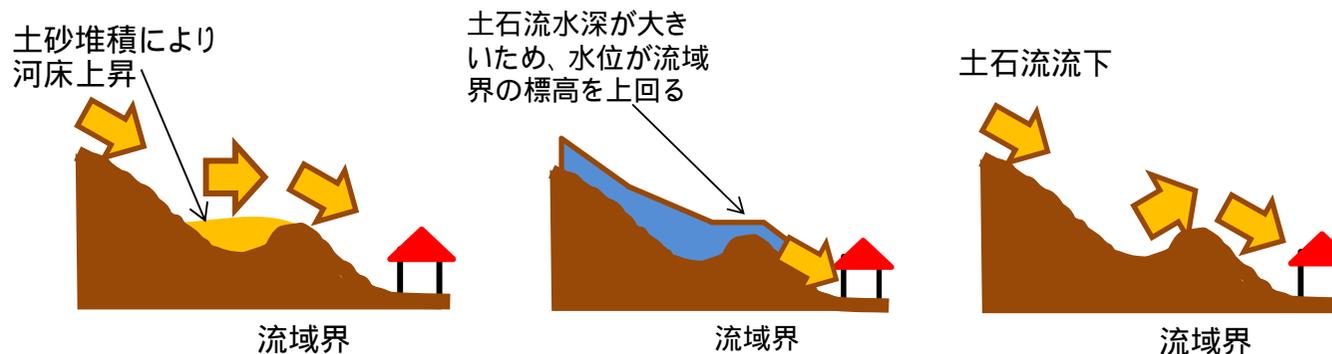
1. 流域界乗り越え現象への対応案

流域界を乗り越えた大島町の土石流の特徴と抽出方法案

現象の特徴

大島町の土石流では以下の現象が複合的に起きたと推定される。

- ・河床上昇によって流域界を埋塞
- ・水位が流域界の比高を超過
- ・土石流の直進性によって流域界を超過



問題となる箇所の特徴

- ・崩壊起因で発生するなど、土石流の堆積厚が大きい
- ・谷底と流域界との比高が小さい
- ・土石流のピーク流量が大きい
- ・流路が屈曲している
- ・縦断勾配が急で流速が大きい

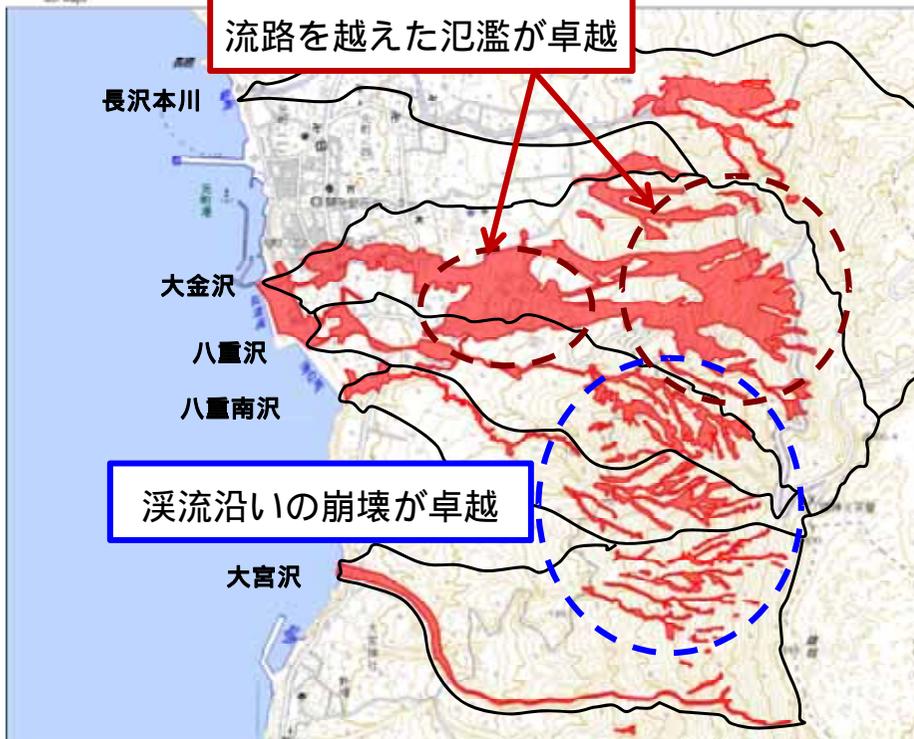
抽出方法案

- ・地形、地質的な特徴から問題となり得る流域を抽出
- ・危険流域で崩壊土砂量、河床上昇、水位上昇の数値計算を行い比高差と比較
- ・土石流流下計算により比高乗り越えを推定

伊豆大島大金沢の地形的特徴（地形的指標による検討例）

「流路を超えた氾濫」が卓越した大金沢は、隣接溪流と比較して「地形の開析度合い」が低い。

地理院地図

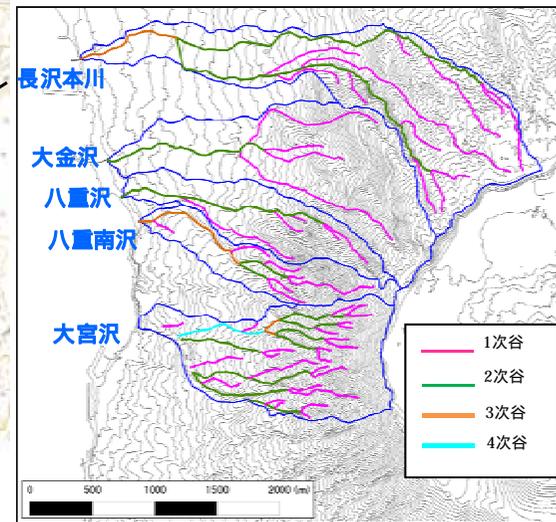


土砂流出箇所図（地理院地図 GSIMAPに加筆）

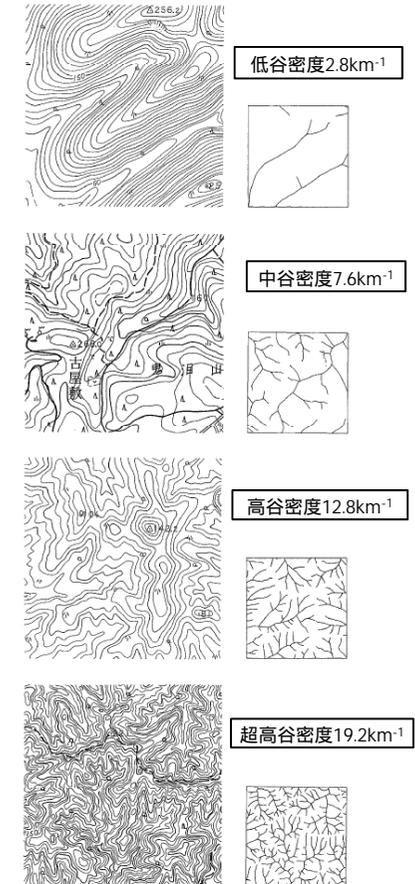
長沢本川・大金沢・八重沢・八重南沢・大宮沢の谷密度比較

流域	流路長(km)					流域面積 (km ²)	谷密度 (km ⁻¹)
	1次谷	2次谷	3次谷	4次谷	合計		
長沢本川	7.85	5.56	0.85		14.26	2.06	6.9
大金沢	3.93	1.38	0.00		5.31	1.72	3.1
八重沢	2.16	1.72	0.00		3.88	0.74	5.2
八重南沢	2.27	0.67	1.02		3.96	0.59	6.7
大宮沢		5.68	4.75	0.24	11.40	1.37	8.3

谷密度 = 1次谷以上(高次)の積算流路長 / 流域面積



東京都建設局



他地区での谷密度の算出例

1km方眼内4つの0.5km方眼平均値

(出典 鈴木隆介:建設技術者のための地形図読図入門)



元町周辺の火山地質 (伊豆大島火山地質図(川邊, 1998)に加筆)

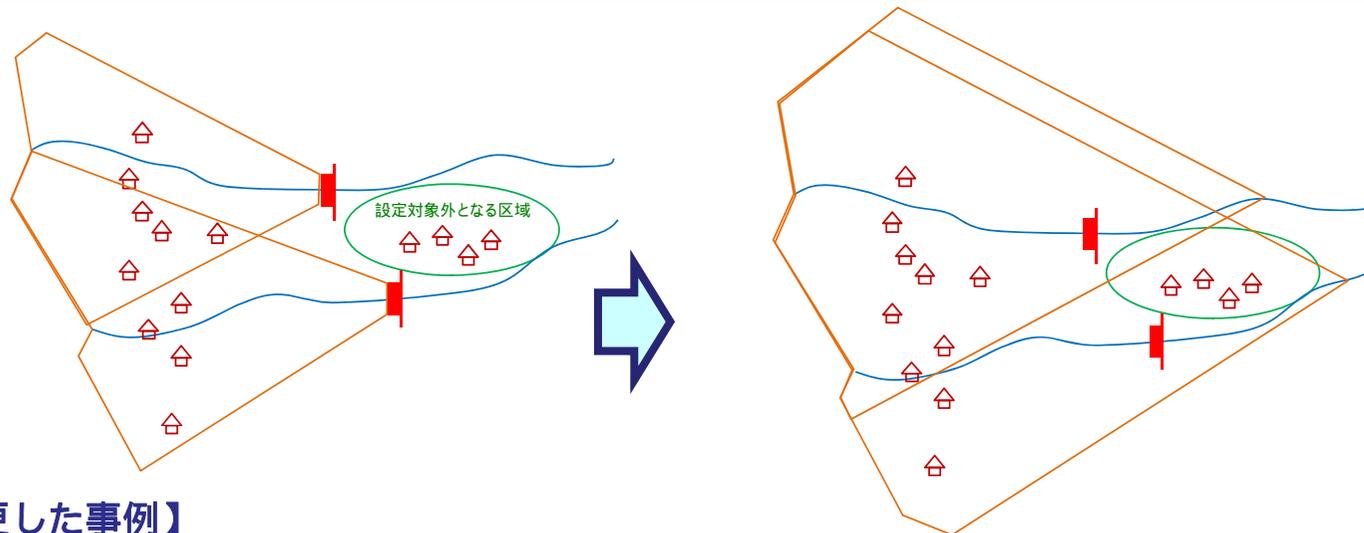
14世紀に噴出した溶岩の流下域と、地形の開析度合いの低い範囲が重なっているように見える。

開析の度合いを示す指標の一つである谷密度を計測すると、大金沢の谷密度は隣接溪流と比較して小さい。

2. 氾濫開始点の適切な設定方法に関する検討案

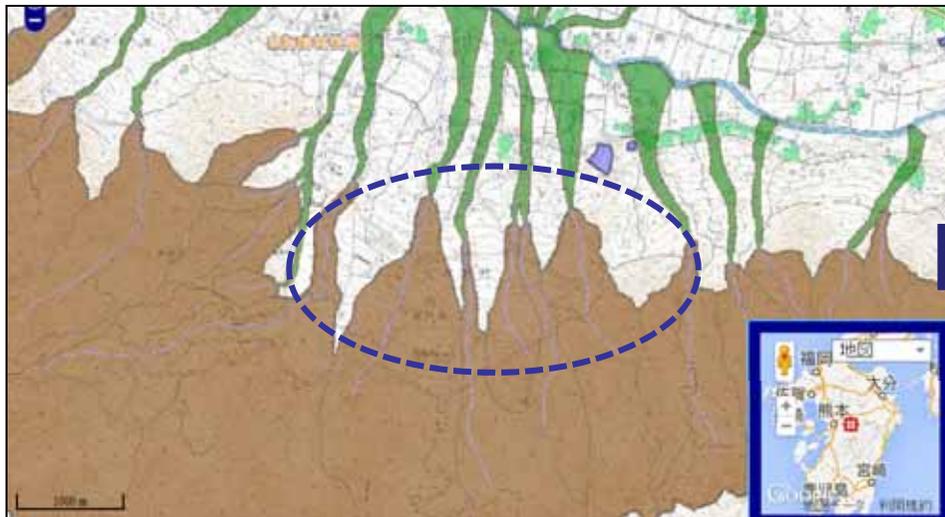
氾濫開始点の設定における課題

- ・ 既設の砂防施設からの氾濫開始を想定すると、砂防施設より上流に保全対象がある場合、氾濫想定区域に包含されない点が課題となる。
- ・ 地形的特徴から上流側より氾濫開始する想定では保全対象を包含できるものの、砂防施設の効果評価が課題。

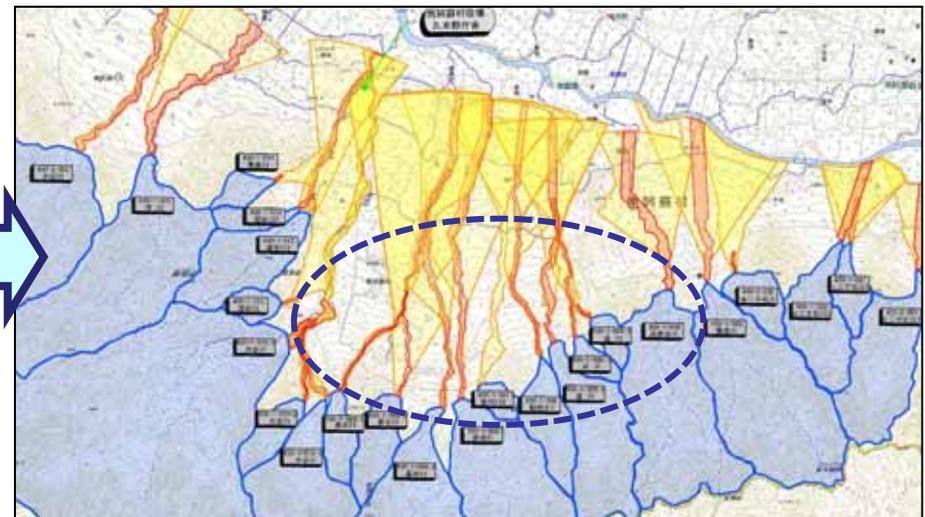


【氾濫開始点を変更した事例】

土砂災害警戒区域の氾濫開始点は、今後の開発予定、地形条件等から土砂災害危険箇所のものより上流側に設定。



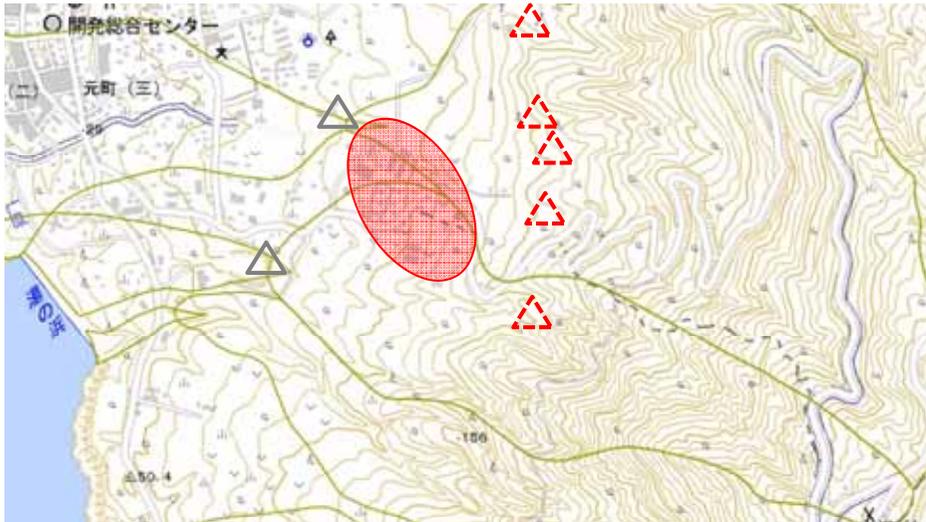
(出典) 熊本県HP土砂災害情報マップ



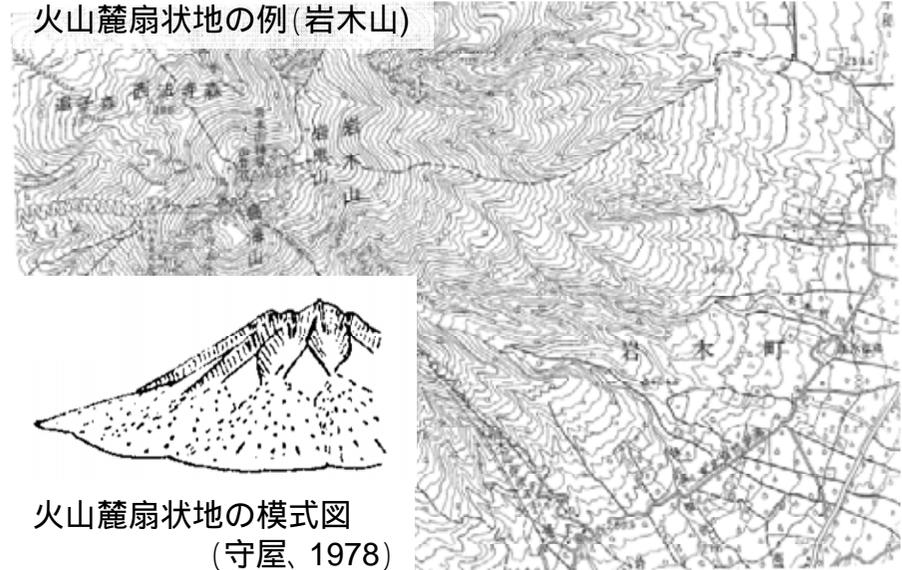
(出典) 南阿蘇村HP土砂災害警戒区域・土砂災害特別警戒区域マップ

氾濫開始点設定における見直しポイント案

1) 谷出口より上流域に保全対象(人家)が存在する場合

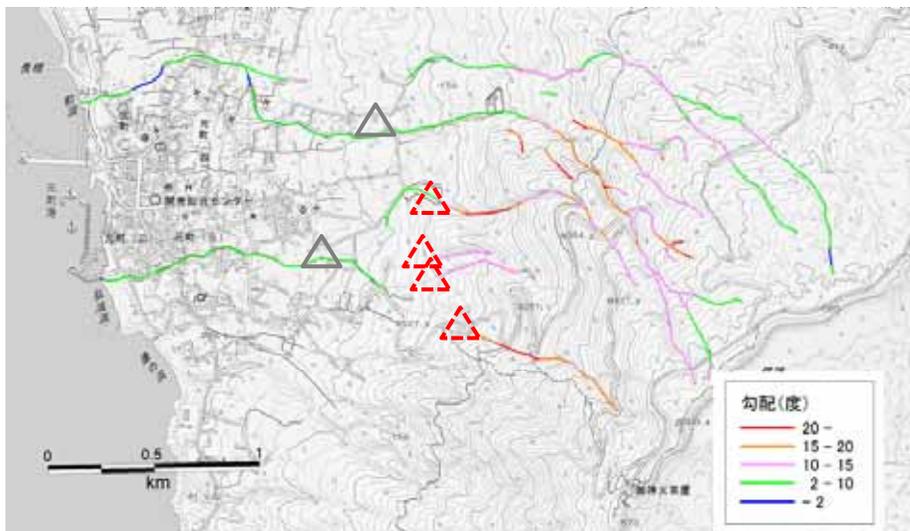


2) 水系が不明瞭な火山麓扇状地に設定されている場合
火山麓扇状地の例(岩木山)



火山麓扇状地の模式図
(守屋, 1978)

3) 谷出口が勾配10°未満に設定されている場合



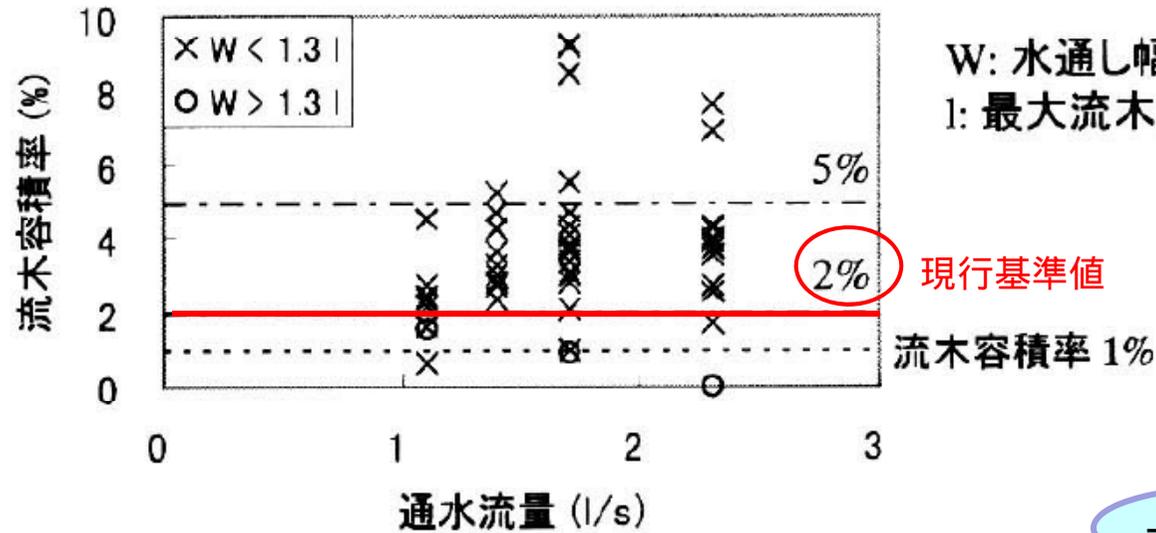
4) 水系網が不連続な場合



青 : 国土地理院 火山土地条件図の水系網
緑 : 国土数値情報 土石流危険箇所(東京)

3. 流木対策の検討

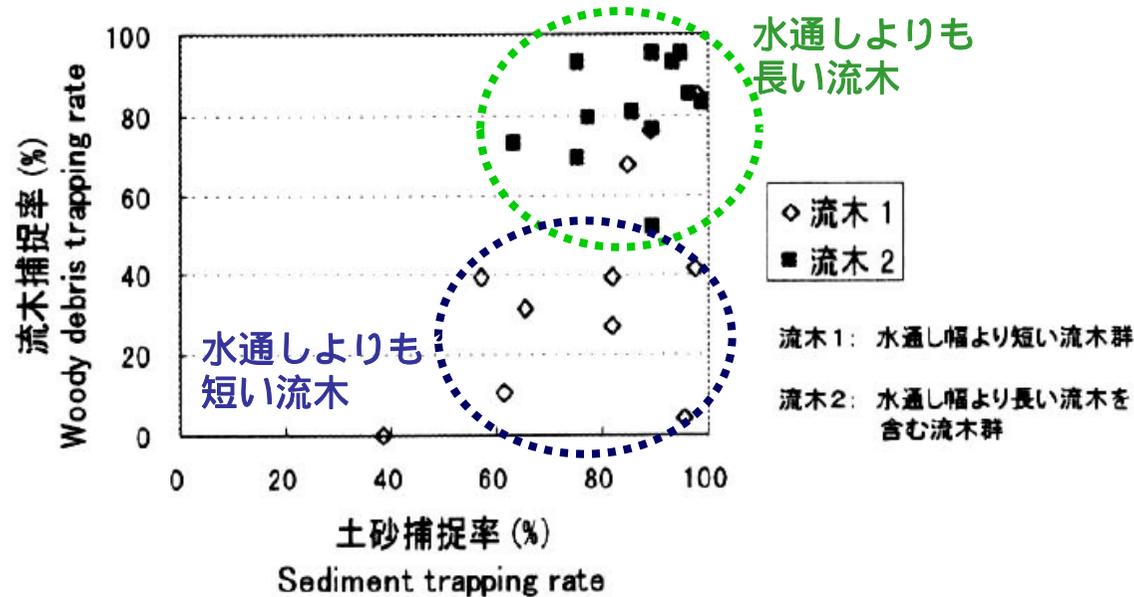
流木に関する実験結果



不透過型堰堤の流木容積率としては、概ね現行基準で定められている2%よりも大きな値となっており、基準値は妥当。

一方で、

出典 南哲行,山田孝,土井康弘(2000):不透過型砂防ダムの流木捕捉量について



不透過型堰堤の捕捉率については、流木の長さに対して

- ・水通し幅が大きい 流木が捕捉されにくい
- ・水通し幅が小さい 流木が捕捉されやすい

といった傾向が見られる。

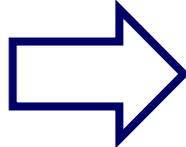
出典 山田孝,土井康弘,南哲行,天田高白(1999):不透過型砂防ダムの持つ流木捕捉能力

流木に関する実験結果

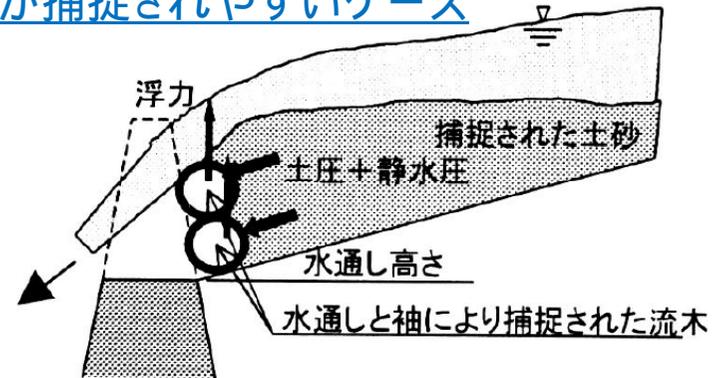
- ・ 不透過型堰堤の流木捕捉率は水通しに対する流木の長さ、土砂との混合状況等によって大きく異なると考えられる。
- ・ 流木が捕捉される場合もあるが、捕捉されない場合もある点には注意を要する。

長い流木の混入率だけでなく他の要因によっても捕捉率は変わる

他の要因の推定

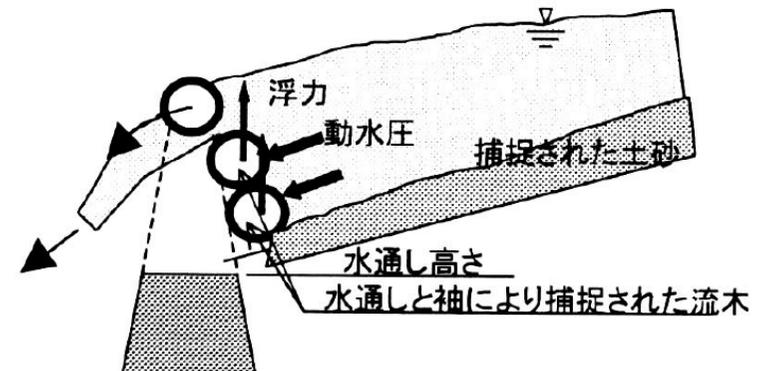


流木が捕捉されやすいケース

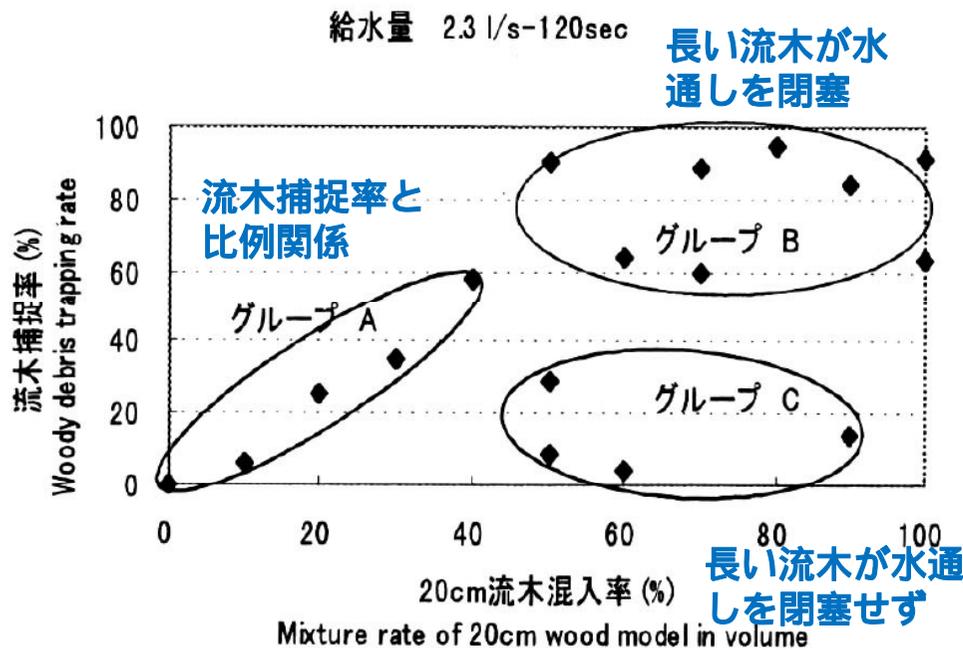


(a) 流木が土砂に覆われた場合

流木が捕捉されにくいケース



(b) 流木が土砂に覆われない場合



流木発生源対策の検討例

流木の発生源対策の例として、斜面の支障木、堆砂敷の林木を除去が考えられる。

支障木整理

作業前



作業後



堆砂敷の林木



里山砂防の推進

里山地域で、従前の砂防堰堤の整備など溪流沿いでの方策に加え、山腹工や支障木の伐採・搬出などの面的対策について地域住民の参画を図りつつ推進することで、土砂災害からの安全を図るとともに、自然環境豊かで災害に強い地域づくりを推進。

面的対策で災害に強い地域づくり

溪流保全工



集落周辺の溪流保全工
(住民の利用、環境に配慮しつつ整備)



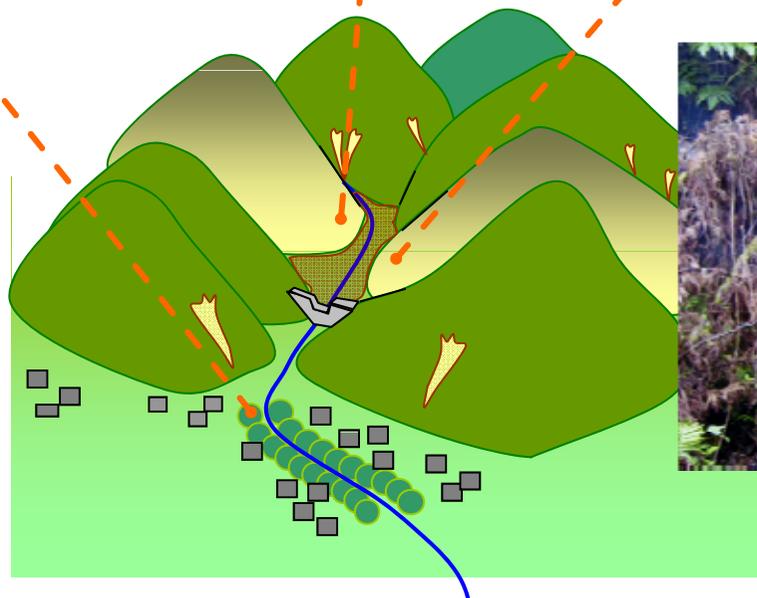
斜面对策(山腹保全工)



工事用・管理用
道路の活用

木材の活用

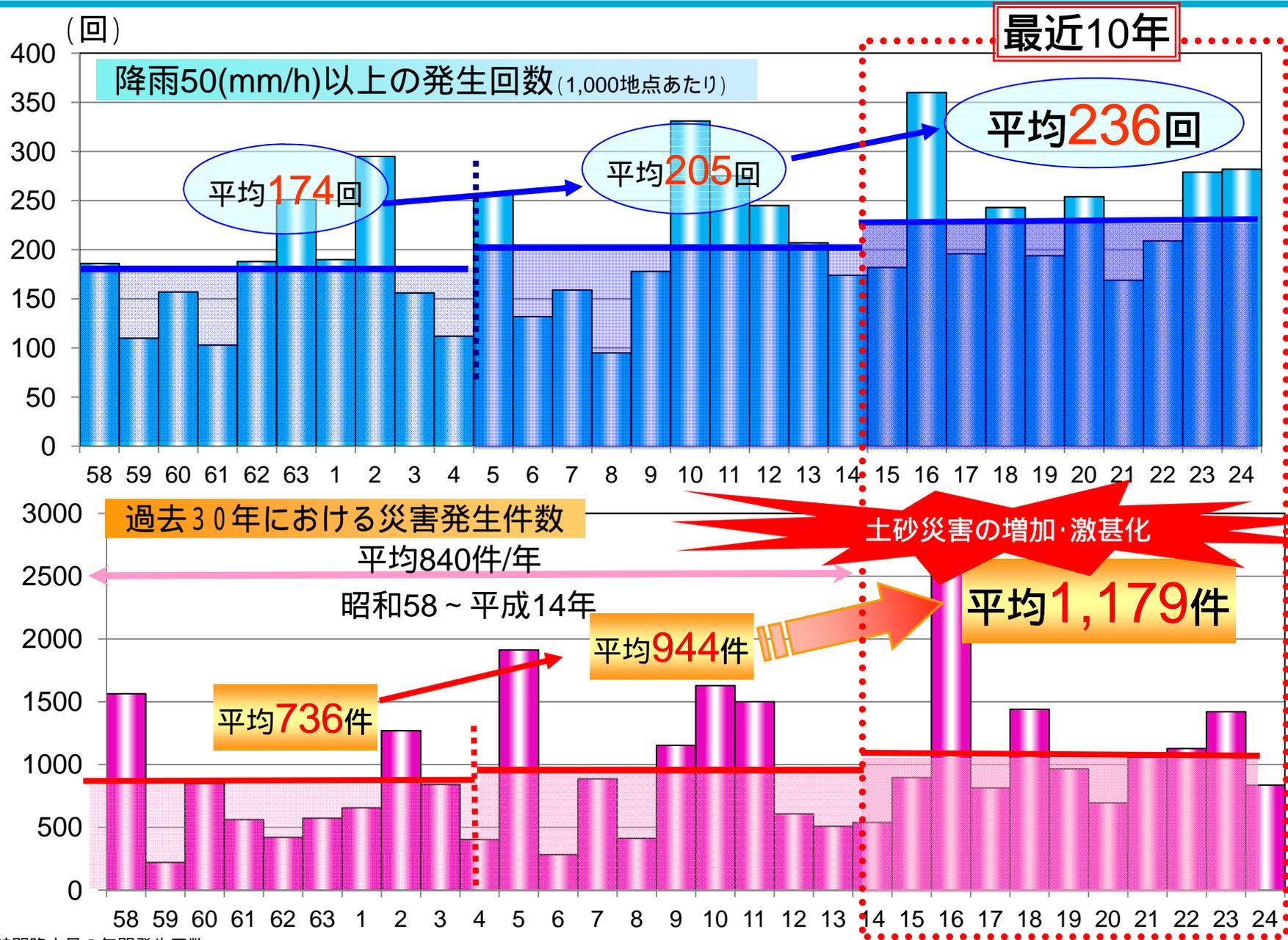
支障木の
搬出



4. 長大斜面、0次谷対策の検討

降雨規模の増大が土砂災害に及ぼす影響

雨の降り方の変化と土砂災害



・ 1時間降水量の年間発生回数
 ・ 全国のアメダスより集計した1000地点あたりの回数

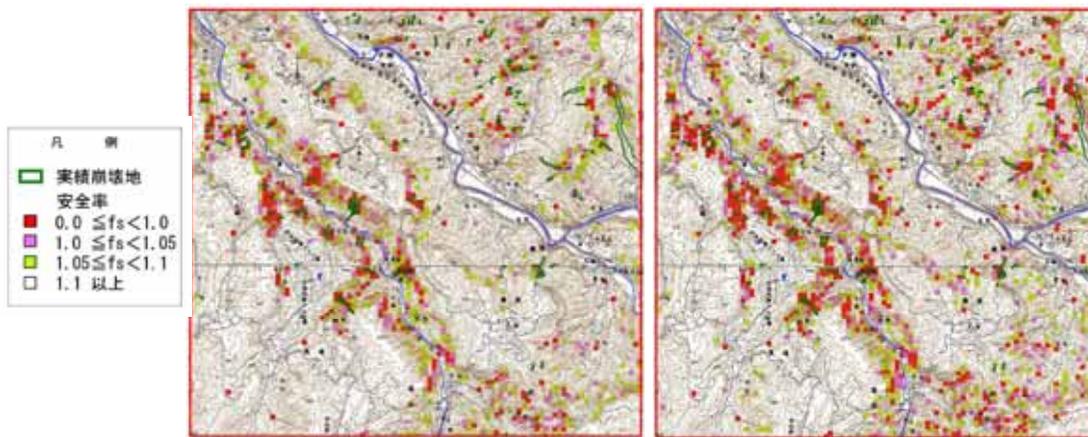
(国土交通省調べ)

雨量規模の拡大による土石流、斜面崩壊への影響

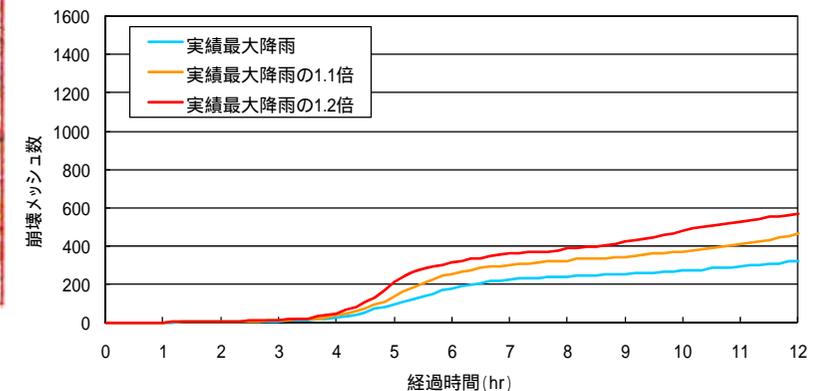
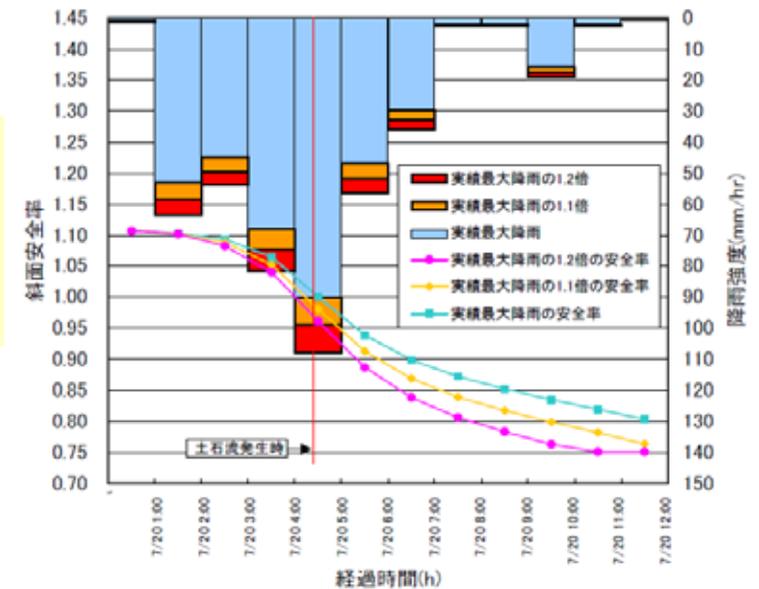
斜面崩壊の発生数・発生時刻の試算例

- 平松（1991年）の表層崩壊発生予測モデルを用いて、降雨量の変化が斜面崩壊発生に与える影響を検討
- 対象区域を50mメッシュに分割し、実際の斜面崩壊の状況を再現するように土質強度などのパラメータをフィッティング

崩壊すると判定（安全率 < 1.0）されたメッシュの分布



実績最大降雨
実績最大降雨の1.2倍
(熊本県水俣市宝川内地区、深川新屋敷地区への適用結果)



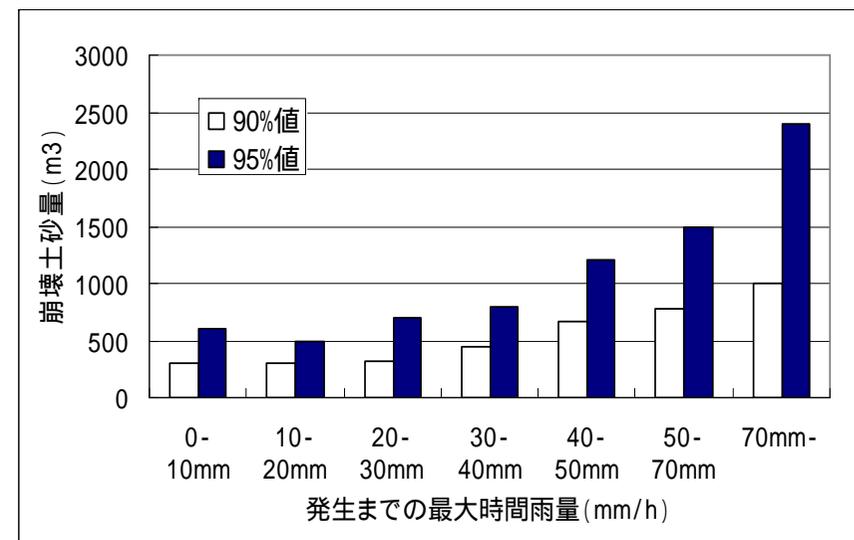
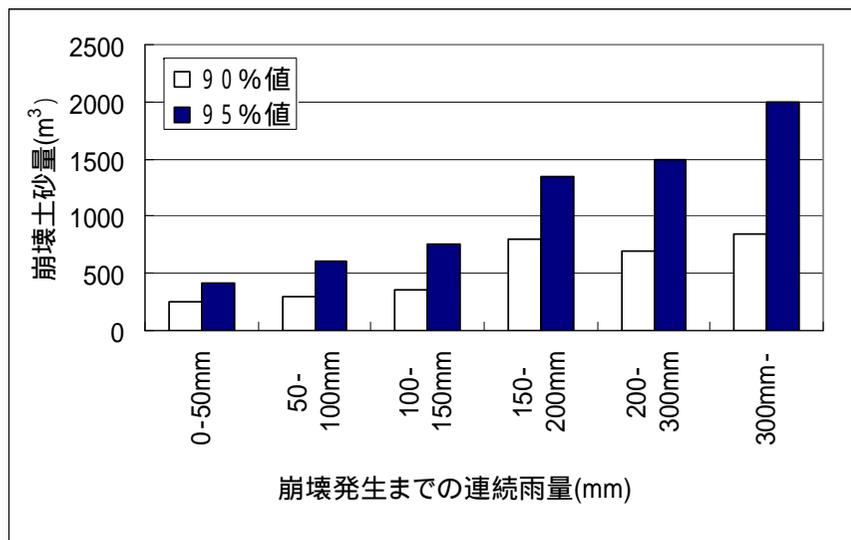
- ▶ 降雨強度を1.1倍および1.2倍にすると、実績降雨波形を与えた場合と比較して、崩壊判定されたメッシュ数（安全率 < 1.0）はそれぞれ1.4倍、1.8倍に増加した。
- ▶ 崩壊発生時刻は、それぞれ20分、30分程度早まった。

【参考文献】平松晋也（1991）：山腹表層崩壊の発生予測に関する基礎的研究

砂防学会（2011）：気候変化が土砂災害に及ぼす影響に関する研究委員会最終報告書

斜面崩壊の規模

昭和47年～平成19年までのがけ崩れ災害約19,000件について、崩壊発生までの連続雨量および最大時間雨量と90%、95%カバー崩壊土量の関係を整理したところ、いずれも雨量が増加するにつれて崩壊土量が増加する傾向が見られた。

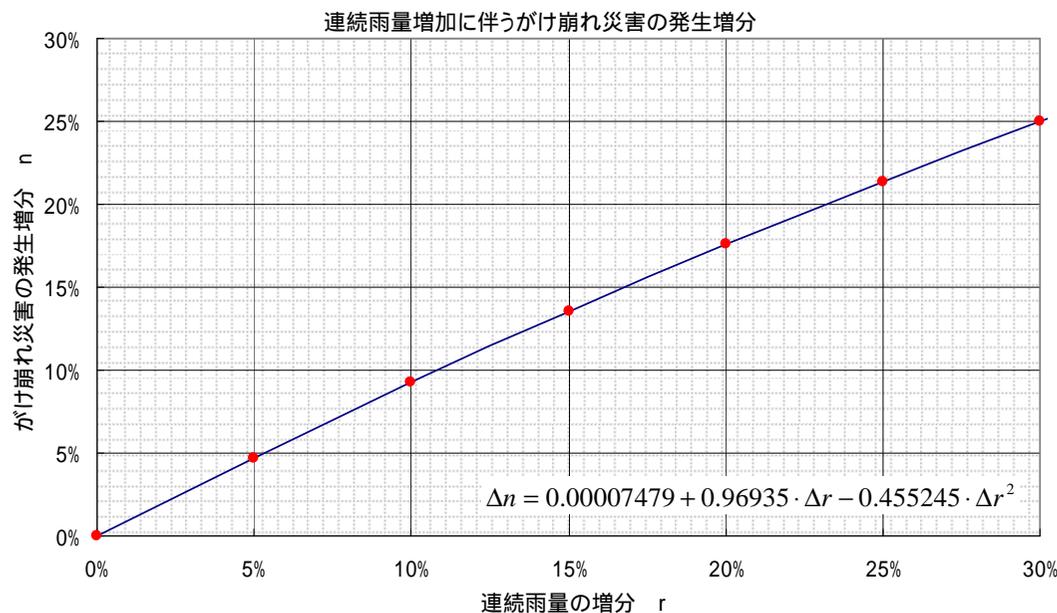


砂防学会（2011）：気候変化が土砂災害に及ぼす影響に関する研究委員会最終報告書

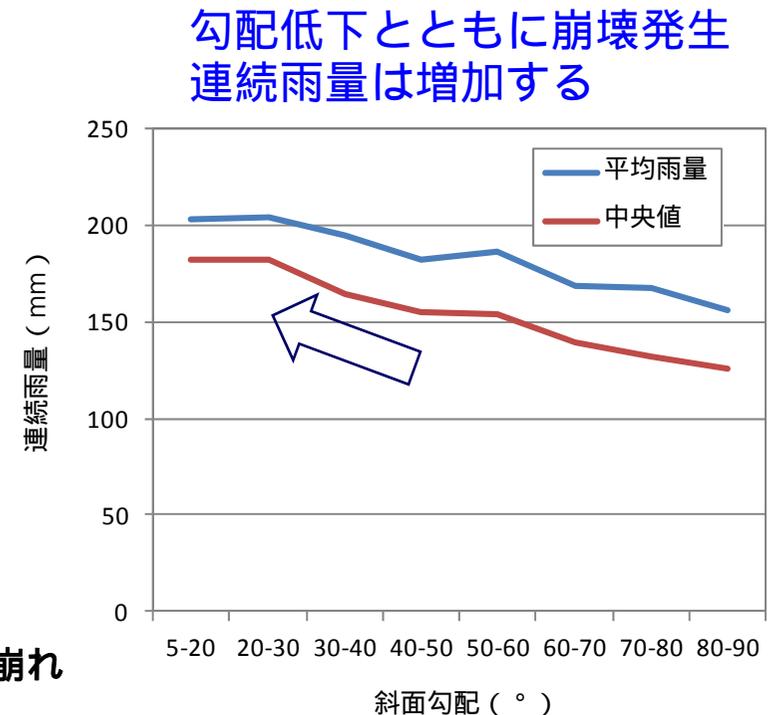
崩壊土砂量の90%値とは、各降雨量レンジに当てはまるがけ崩れの崩壊土砂量データの90%がその値以下となる値のことで、各降雨量レンジにおけるがけ崩れの90%を包含する。

斜面崩壊の発生頻度

- 連続雨量と年平均がけ崩れ災害発生件数の関係
(昭和47年～平成19年のがけ崩れ約19,000件)
- 連続雨量の増加で発生件数も増加する傾向
(連続雨量10%、20%増加で発生件数はそれぞれ9%、18%程度増加)
- 緩勾配ほど崩壊発生時の連続雨量は増加する傾向。
降雨量の増加によって、より緩勾配斜面も崩壊しやすくなる可能性がある。



がけ崩れ災害発生連続雨量の全平均187mmからの増分とがけ崩れ災害件数（その連続雨量以下の累計件数）の増分の関係



降雨が激甚化していった場合の影響事項

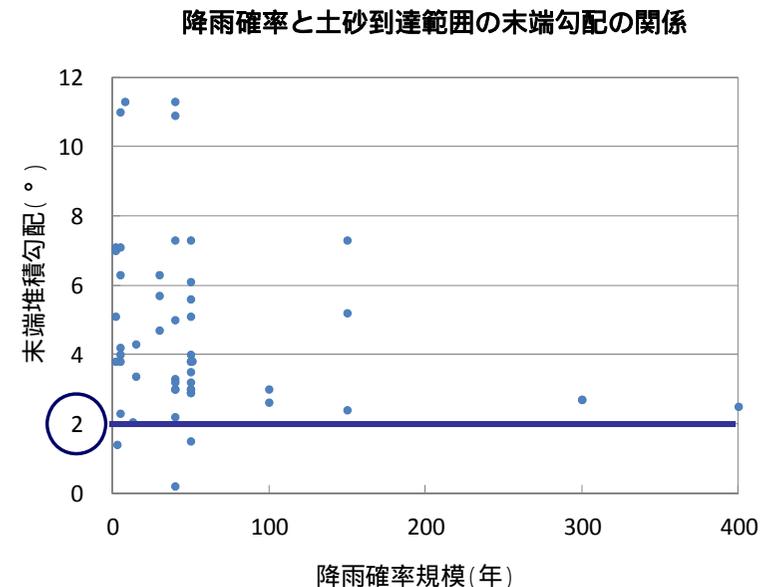
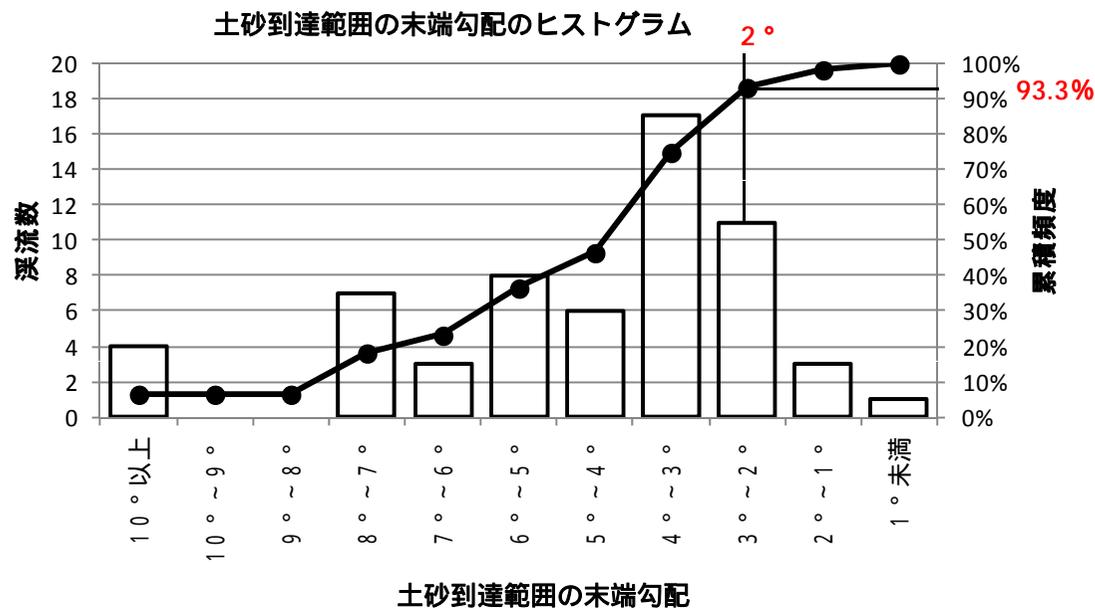
- 斜面崩壊の発生件数が増大する
- 崩壊土砂量が増大する
- それにともない土石流の頻度、規模が増大する可能性
- より緩勾配の斜面での崩壊が発生する可能性
- 災害発生時間の早期化

4. 長大斜面、0次谷対策の検討

降雨規模の増大と土砂災害警戒
区域設定方法との関係

土石流土砂到達範囲の末端部の勾配

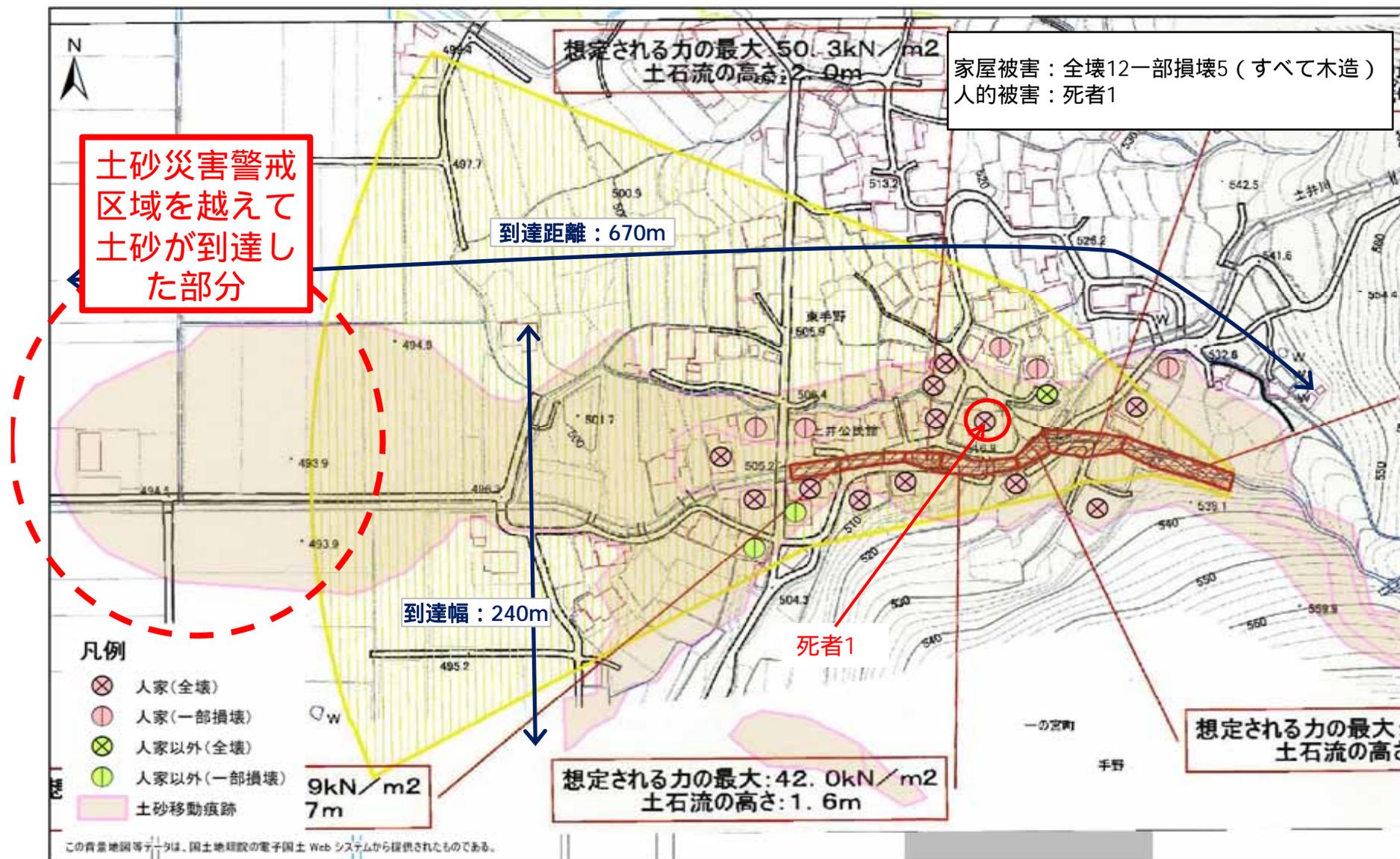
- ・土砂災害防止法の土砂災害警戒区域の指定では、土石流の土砂到達範囲は勾配2°までの範囲としている。
- ・これは、家屋被害を発生させた土石流について、平成12年当時、概ね過去10年程度さかのぼり、土砂到達範囲の下流端の土地の勾配に着目して60事例を分類した結果、土地の勾配2°以上の場所に土石等の到達した土石流が約93%を占めたことを根拠としている。
(土砂災害危険区域の設定手法について(提言)砂防学会 平成12年12月より)
- ・降雨確率規模の大きなものを含め、土砂到達範囲の末端部の勾配は概ね2°以上。
土石流の土砂到達範囲は細粒土砂が到達する範囲が想定される。



近年の土石流災害事例について調査を実施

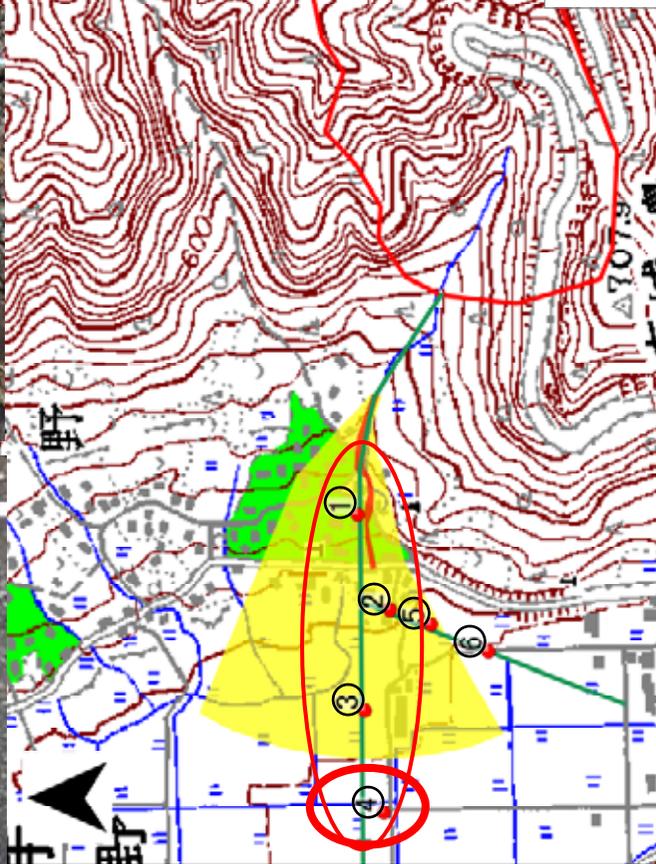
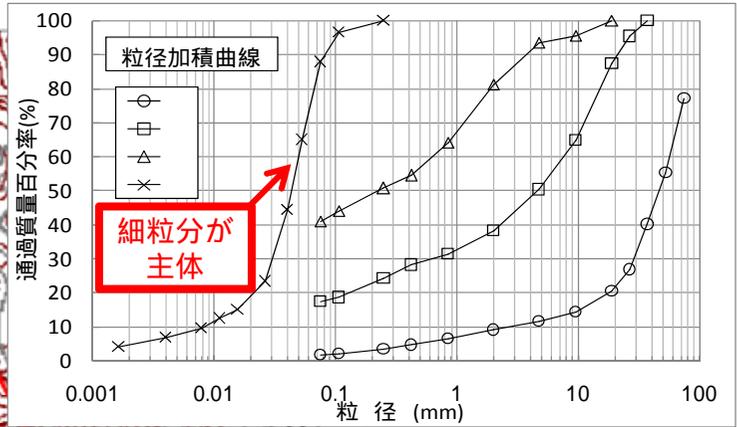
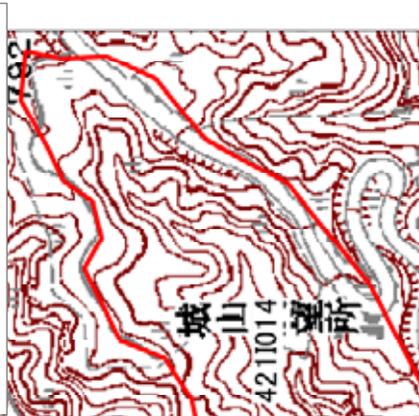
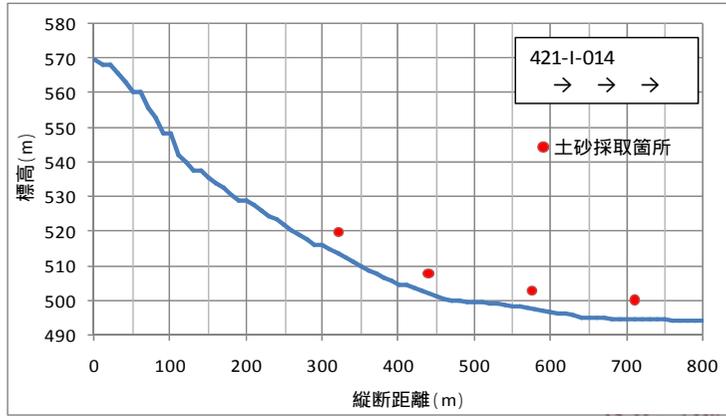
- ・ 対象期間：平成19年～24年の5カ年
- ・ 対象災害：人的被害もしくは家屋被害（全・半壊）をともなう
土石流災害416件
- ・ 土砂災害警戒区域の指定箇所で、2°未満の勾配において、人的被害・家屋被害を生じた事例はないが、土砂が到達した事例は32件中2件。
- ・ 2件とも平成24年の九州北部豪雨における阿蘇地域の近隣溪流で発生。
- ・ さらに同地域で得られた7溪流の粒度分布について分析。

近年の重大災害で2°以下まで土砂が到達した事例（阿蘇市土井川の事例）



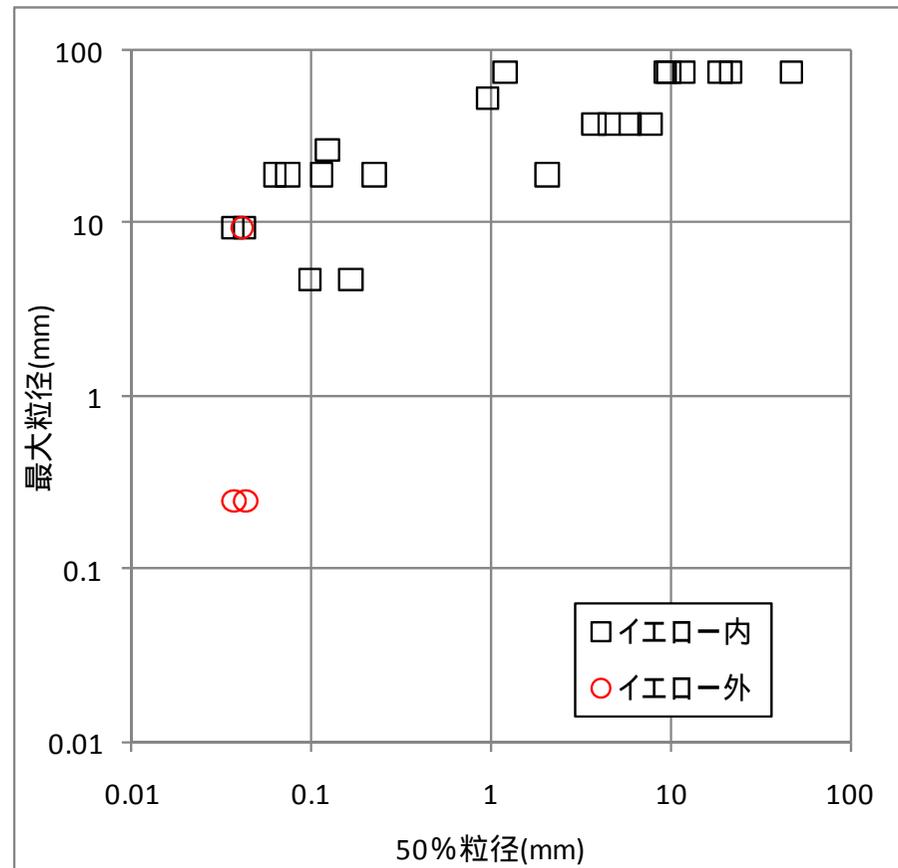
熊本県資料に加筆

粒度分布の調査結果 土井川



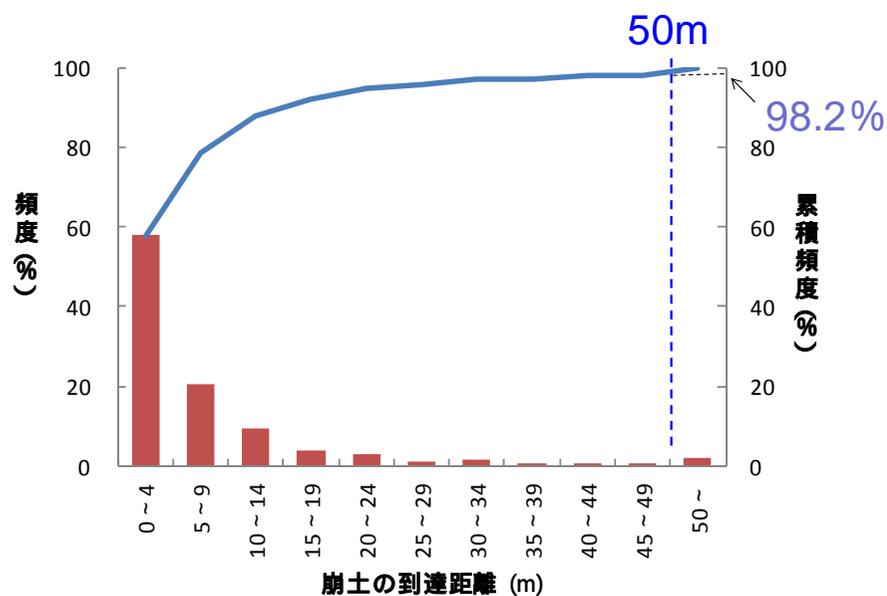
土砂災害警戒区域の内外における堆積物の粒度分布

- 土砂災害警戒区域内の堆積物は礫分(2~75mm)が主体であるのに対し、区域外の堆積物は、シルト分(0.005~0.075mm)が主体であった。
- 7溪流全体の最大粒径と50%粒径(下図)から、区域外の堆積物は50%粒径が0.04mm程度と他と比較し非常に細かいものであった。

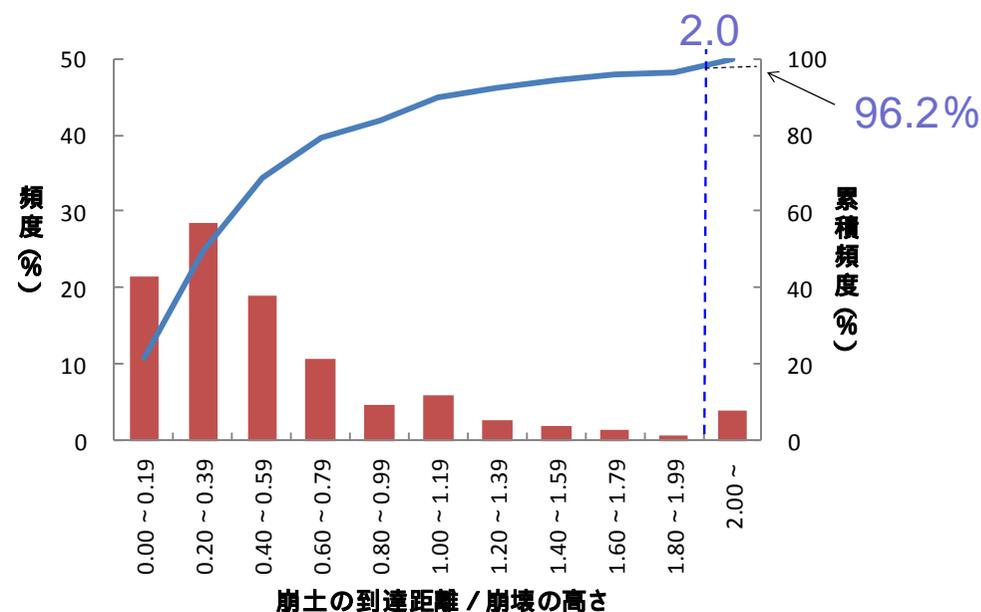


がけ崩れの崩土の到達距離

- ・ がけ崩れの土砂災害警戒区域の指定では、崩土の到達距離は斜面高さの2倍までで最大50mとしている。
- ・ S47年～H19年のがけ崩れ災害約19,000件を確認。多様な降雨確率規模のものも含め、概ね土砂災害警戒区域の指定条件で包含されている。



崩土の到達距離 50m未満:98.2%



崩土の到達距離 / 崩壊高さ 2.0未満:96.2%

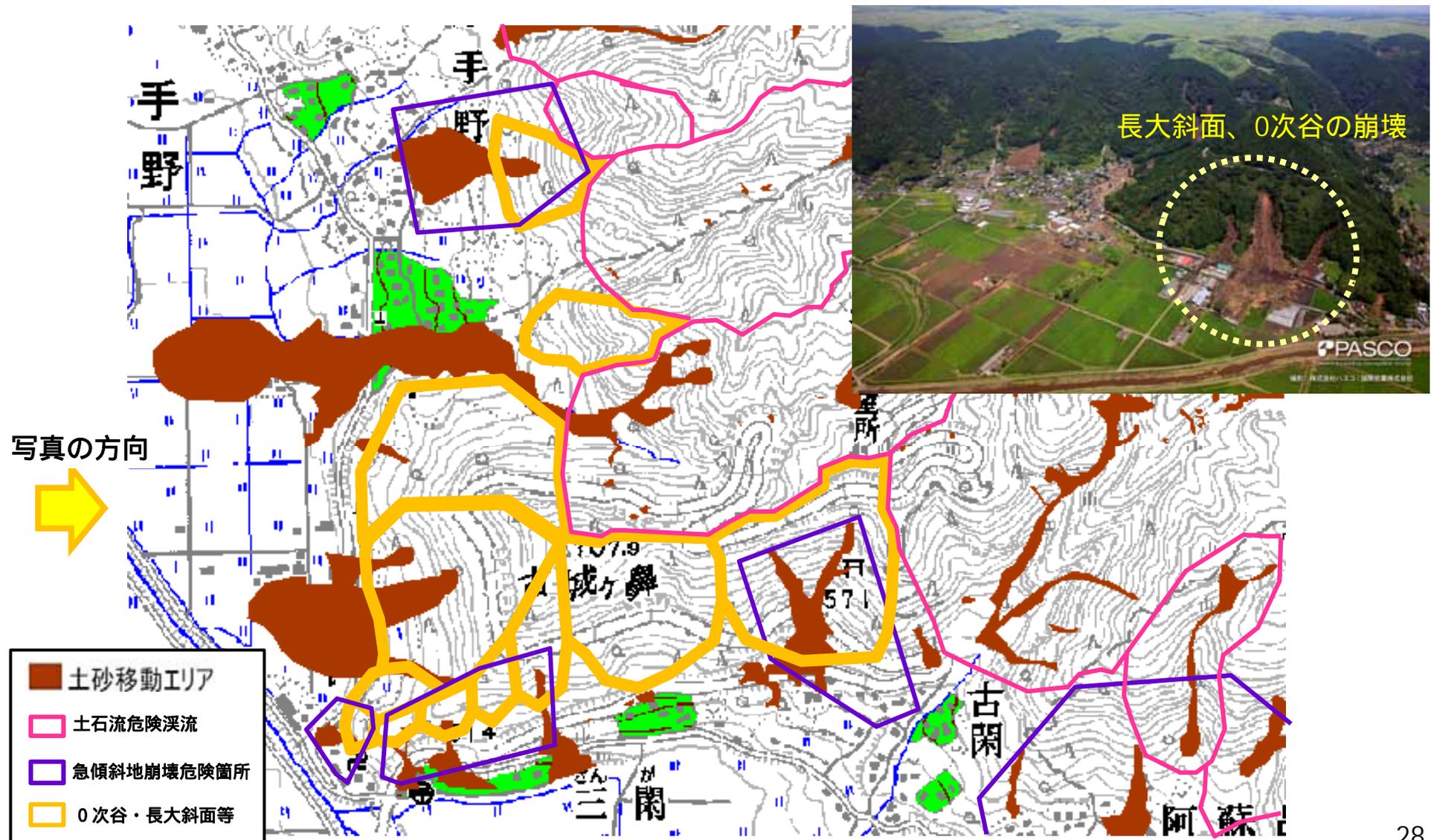
- 土砂災害警戒区域を指定する際の地形的基準について、多様な降雨確率規模を含む過去の土石流災害、がけ崩れ災害を確認。
- その結果、9割以上の災害が同基準内に含まれていることを確認。
- 最近（平成19年～24年）の人的・家屋被害をともなう土石流災害について、土砂災害警戒区域の指定箇所において、2°未満の勾配で人的被害・家屋被害を生じた事例はないが、土砂が到達した事例は32件中2件。
- 関連する粒度分布データを確認したところ、勾配2°未満での堆積物の主体は非常に細かいシルト分であった。

4. 長大斜面、0次谷対策の検討

現状の課題と検討例

長大斜面、0次谷の例

- ・土砂災害危険箇所、土砂災害警戒区域等の指定が難しい斜面があり、その多くが長大斜面や0次谷で、実際に災害も発生している。
- ・しかし、長大斜面、0次谷も指定に加えるとほとんどの斜面が危険となる。

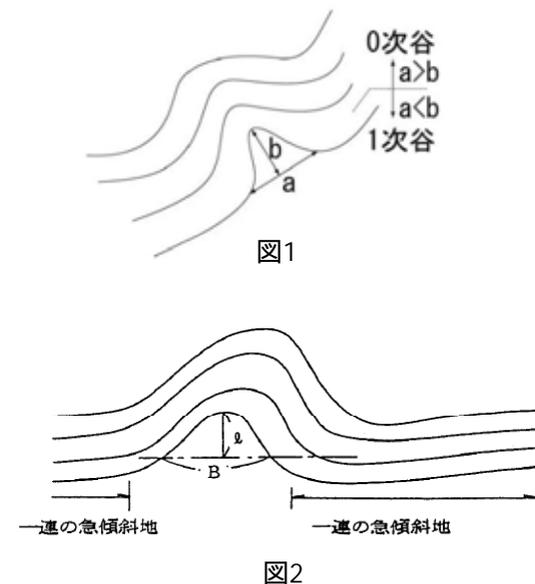
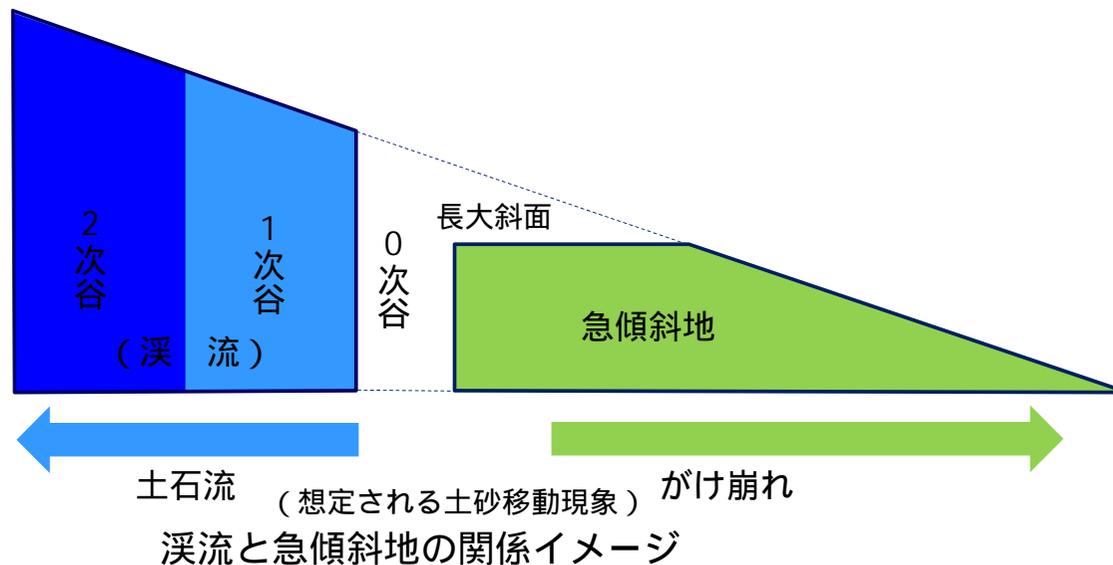


急傾斜地、長大斜面、0次谷の定義と想定される現象

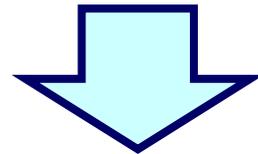
- 1次谷以上の渓流では土石流が想定される。
- 数十m以下の急傾斜地ではがけ崩れが想定される。
- 0次谷、長大斜面では定義上明確に区別することが難しい上に、土石流 / がけ崩れのどちらを想定すべきなのか判然としない。

関連する定義の記載

- 急傾斜地：「急傾斜地」とは、傾斜度が三十度以上である土地をいう。
(急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律 第二条)
- 長大斜面：急傾斜地崩壊対策事業の中では一般に直高30m以上の斜面を「長大斜面」称している。
(新・斜面崩壊防止工事の設計と実例)
- 0次谷：0次谷とは、1/25,000の地形図あるいは大縮尺の地形図を使用して等高線の凹み具合を眺めて、凹んでいる等高線群の間口よりも奥行きが小なる地形とする(図1)。
(砂防基本計画作成指針(土石流・流木対策編)解説 国総研資料364号)
- 一般に1/25000の地形図で、図2のとおり直線を引いた時に L (奥行き) $>$ B (幅) 箇所は渓流とみなし、一連の急傾斜地とはみなさない。(急傾斜地崩壊危険箇所等点検要領)



- ・ 0次谷や長大斜面は土石流危険渓流や土砂災害警戒区域（土石流）の対象とはならない。がけ崩れ対策として対策を実施している場合はあるが、地形条件によってはその対象ともならない。
- ・ 0次谷や長大斜面はがけ崩れ対策の対象となった場合でも、通常のがけ崩れより想定規模が大きくなりやすく、崩土の到達距離や崩土量の想定等について十分対応出来ていない。



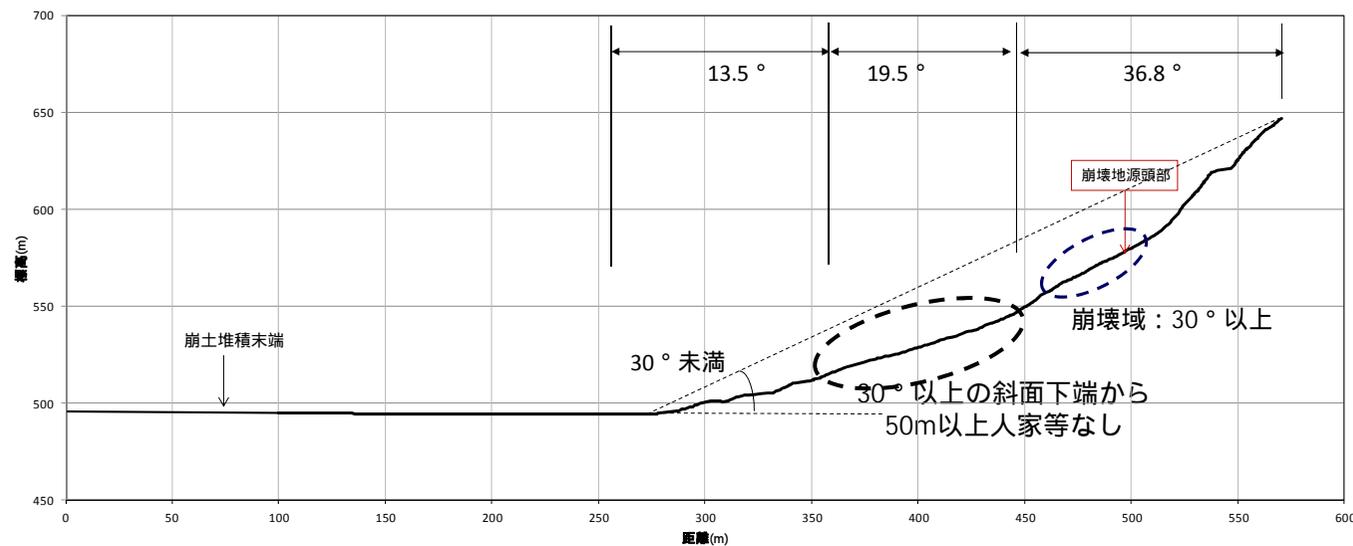
0次谷や長大斜面を対象にした対策が必要ではないか

がけ崩れ対策が難しい長大斜面の事例

- ・急傾斜地崩壊危険箇所は勾配 30° 以上の斜面が対象。
- ・長大斜面の上方に勾配 30° 以上の場所があっても斜面全体としては 30° に満たない場合は危険箇所の対象外となる。
- ・長大斜面下方の緩斜面に人家等の保全対象があれば上方だけを危険箇所に指定することは可能。しかしその場合、崩土は50mを超えて流下する可能性は残される。



PASCO

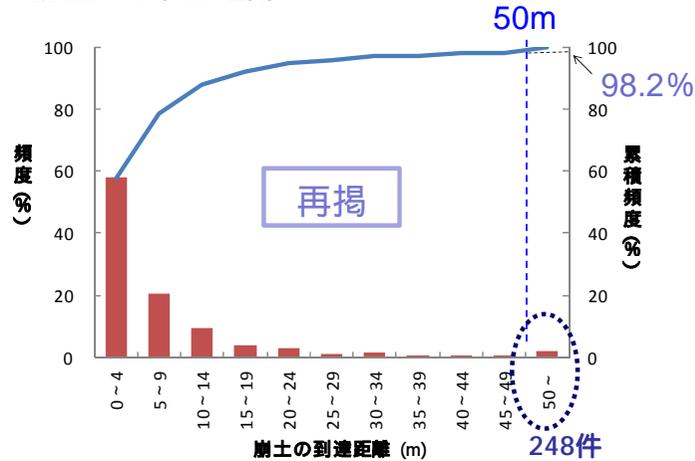


凹地形があれば0次谷なければ長大斜面として、両者とも同じ問題が生じる

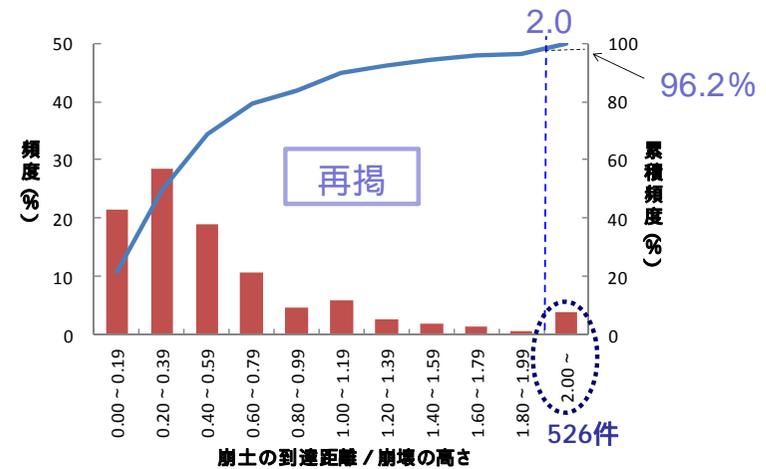
長大斜面の崩壊件数

- 崩土の到達距離 > 50mや崩土の到達距離 / 崩壊高さ > 2.0のがけ崩れ件数の割合は全体の数%であるが、それぞれ248件、526件発生。
- 斜面高さが30mを超える長大斜面で発生したがけ崩れは全体の28%だが、崩壊高さが30m以上のものは8.3%。
- 長大斜面のうちで危険性の高い箇所を絞り込む必要がある。

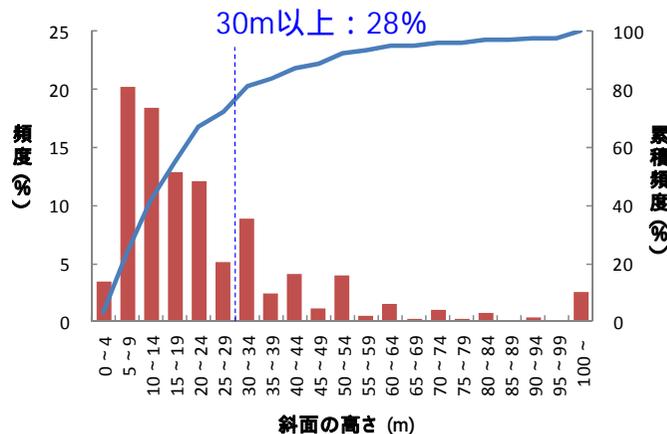
崩土の到達距離



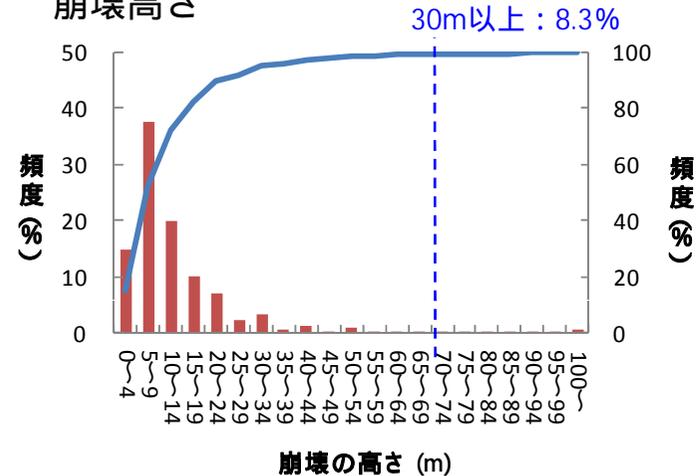
崩土の到達距離 / 崩壊高さ



斜面高さ



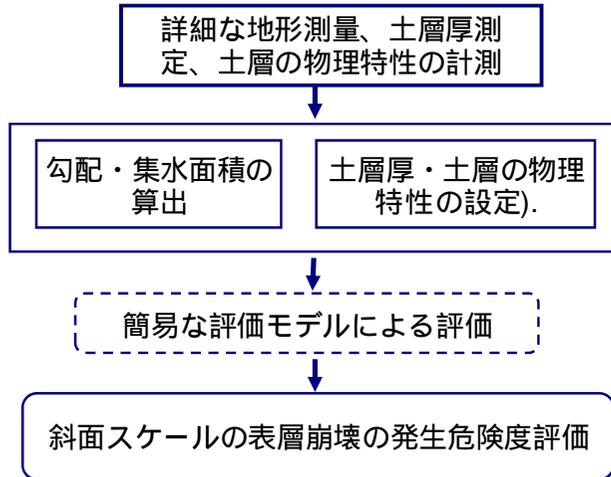
崩壊高さ



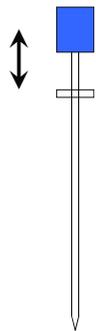
【危険度評価の例】H-SLIDER法による表層崩壊予測

定常状態を仮定した水文モデルおよび無限長斜面の安定解析を組み合わせた簡易な物理モデルに、予測結果に及ぼす影響の土層厚等の現地調査結果を入力することにより比較的精度良く表層崩壊の発生場所を予測することが可能なH-SLIDER法を開発し、広島西部山系など全国に適用し、精度を確認中。

H-SLIDER法の検討フロー

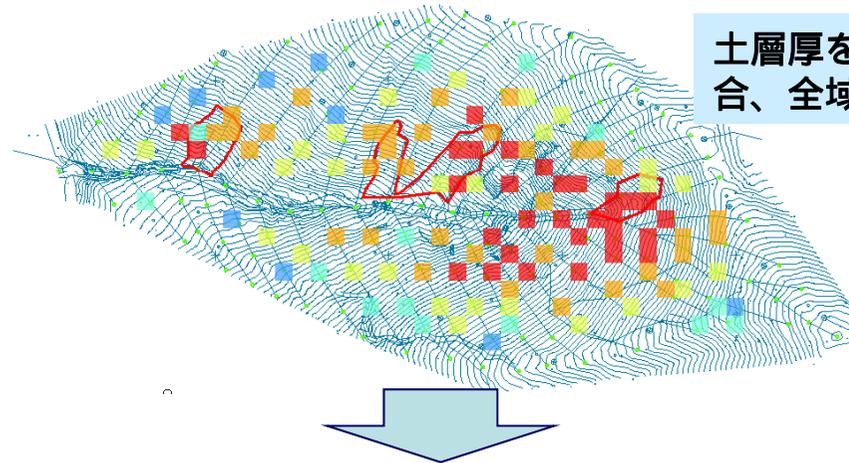


簡易貫入試験



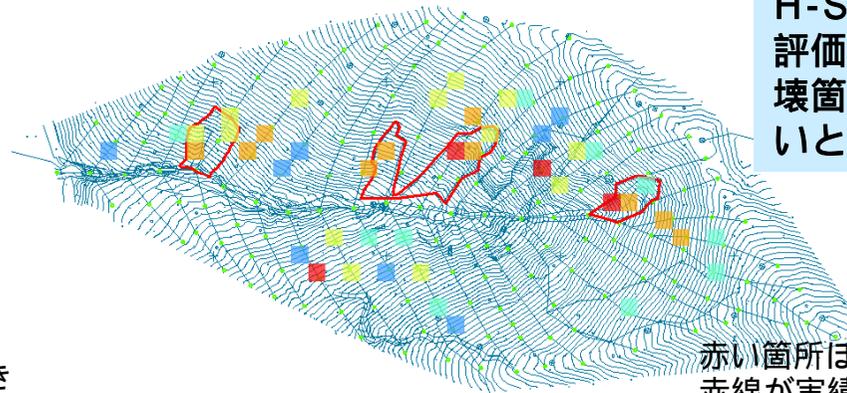
簡易貫入試験器では1打撃毎の貫入量を自動記録でき比較的簡易に安価での土層厚把握が可能。

従来多く用いられてきた土層厚を一様とした場合の評価結果



土層厚を一様とした場合、全域を危険と評価

H-SLIDER法による評価



H-SLIDER法による評価は概ね実績の崩壊箇所を危険度が高いと評価

赤い箇所ほど危険が高いと評価。赤線が実績の表層崩壊箇所。

土層厚分布を精度良く把握することで表層崩壊危険度を評価出来る可能性がある

【施設検討例】小規模溪流（0次谷等）の特徴と改良案

小規模溪流の特徴

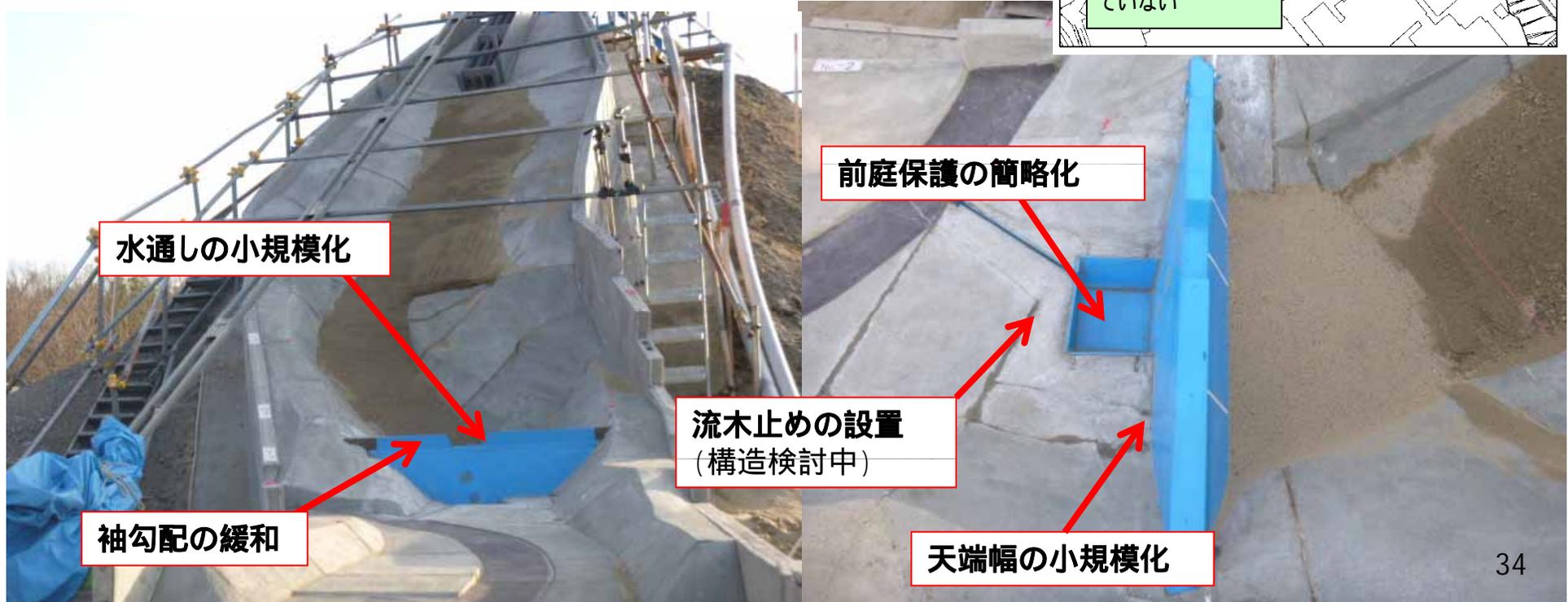
- ・ 流出土砂量が少ない。
- ・ 複数の土石流が発生する危険性が低い。
- ・ 面的な調査が可能。
- ・ 谷と長大斜面の中間的な地形条件
- ・ 崩壊にともない流木の発生

土石流が堰堤を越流する可能性は低く、前庭保護及び水通しを小規模化・袖勾配を緩和
鉄筋化など新たな構造の検討による小規模化

簡易貫入試験により生産土砂量を精査
現地踏査により最大礫径を精査

崩壊と土石流の中間的な現象を実験により確認

流木止めの設置



【危険度評価の例】阿蘇地域での検討（発生メカニズム）

阿蘇地域の土砂災害発生メカニズムを整理することで火山地域における表層崩壊リスクを評価できないか

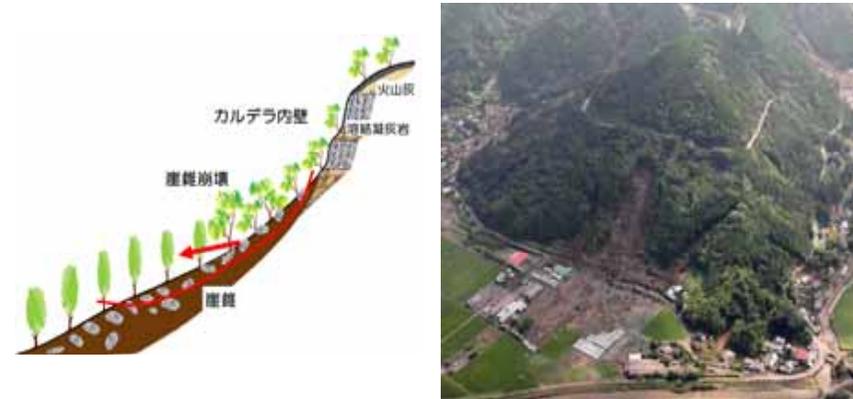
阿蘇災害の土砂移動現象のイメージ

カルデラ壁の急斜面の崩壊と土石流



- 火山灰を主体とする表層土が滑り落ちる表層崩壊
- 雨量が多かったため、流動化し、溪岸・溪流を侵食して立木等を取り込み土石流化

崖錐斜面の崩壊



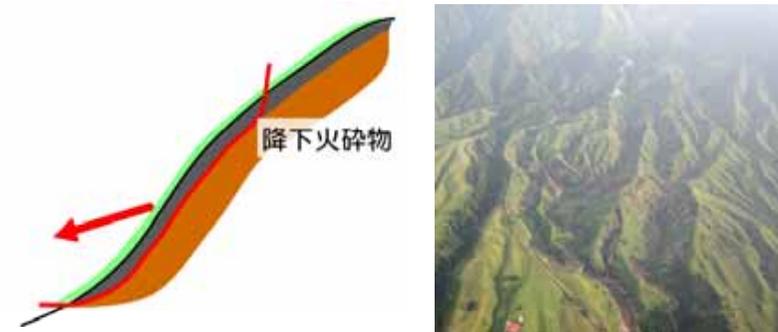
- カルデラ壁の中腹から脚部にかけて発達している崖錐斜面の崩壊。
- 箇所は多数あり、土砂や樹木の到達距離が相対的に長い。

丘陵地の降下火砕物斜面の崩壊



- カルデラ壁の裾野に厚く堆積した効果火砕物斜面において崩壊が発生
- 箇所は多くないが、4～5mの崩壊深となり被害をもたらした事例もある。

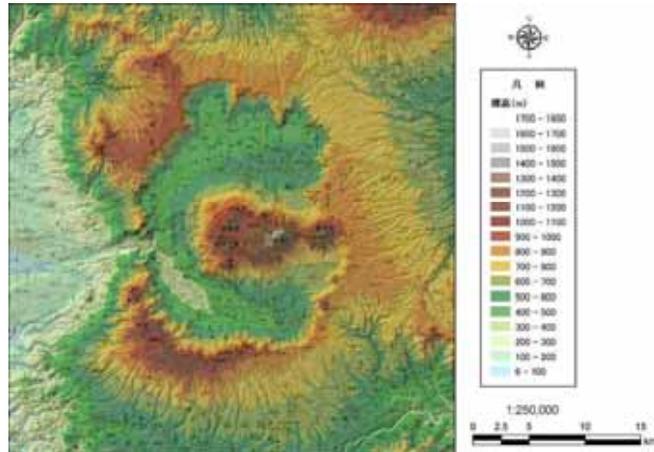
中央火口丘急斜面の崩壊



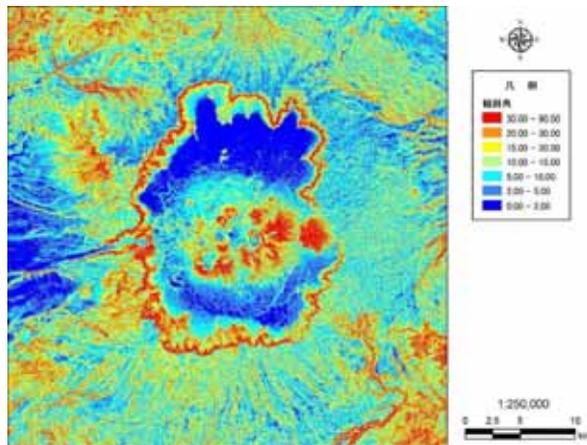
- 中央火口丘の草地や林地の急斜面で表層崩壊が発生
- 小規模だが多数発生

【危険度評価の例】阿蘇地域での検討（素因）

急峻な地形：カルデラ壁は約300m～600mの比高を有する傾斜30°以上の急崖地形



地形標高分布図



傾斜区分図

脆弱な地質構造
カルデラ壁は火山岩類の溶岩・火砕流と、その上位に位置する火砕流堆積物から構成されている

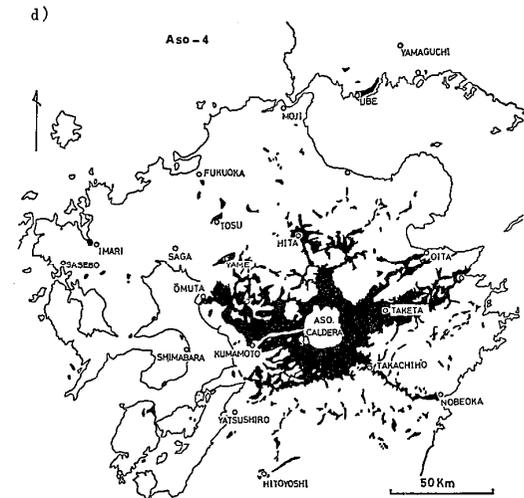
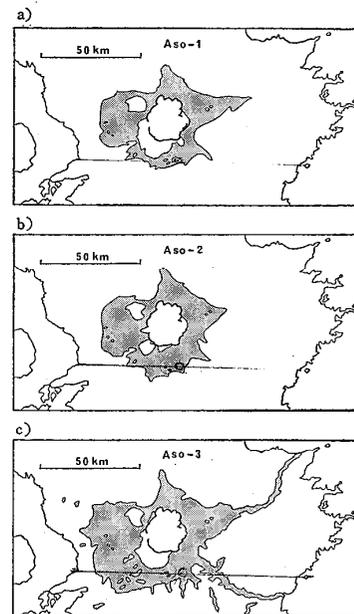


図 6 a) Aso-1, b) Aso-2, c) Aso-3, d) Aso-4 各火砕流の分布

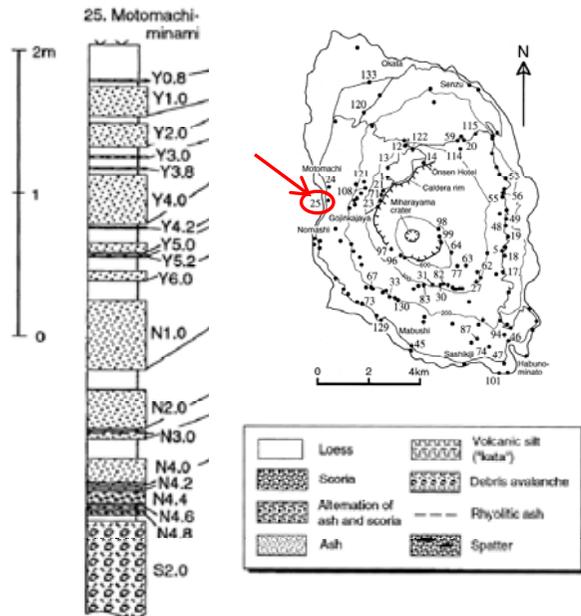
中部九州における阿蘇火砕流の分布図
(出典：月刊地球1983.2 - カルデラ - 阿蘇カルデラ、小野晃司、渡辺一徳)

【危険度評価の例】火山地域の露頭柱状図の例

露頭柱状図を比較することや地質構造の整理により、火山地域における表層崩壊リスクを評価できないか

伊豆大島内の地質は、噴火に伴う堆積物(火山灰やスコリア)とそれ以外の時期に堆積する風成層(レス)の互層となっている。(図1、2)

レス層の浸透能は噴火に伴う堆積物層に比べて低いことから、難透水層として働く可能性がある。(表1)



出典: 小山真人・早川由紀夫(1996):「伊豆大島火山カルデラ形成以降の噴火史」, 地学雑誌105

図2 伊豆大島元町付近の露頭柱状図

表1 火山灰・火砕物の粒度組成別浸透能値

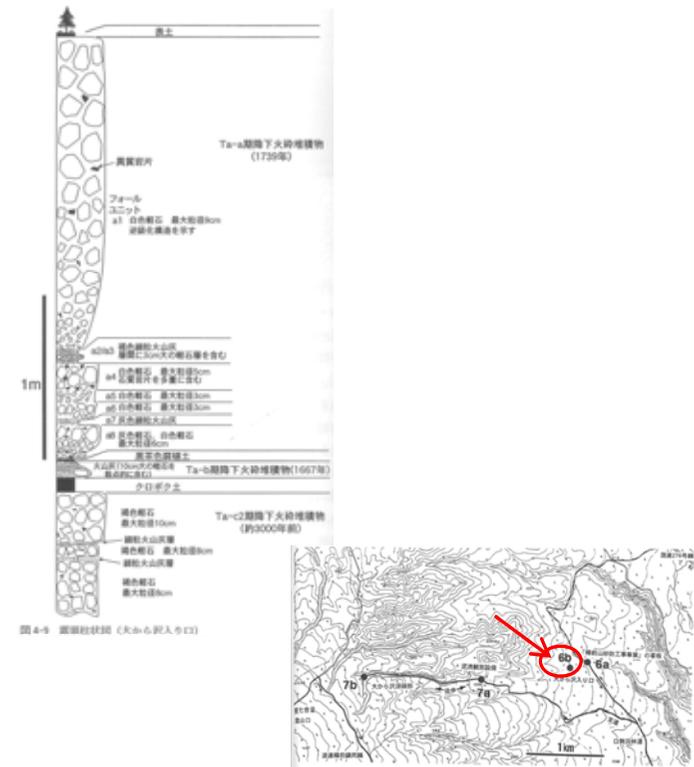
火山灰・火砕物層の種類	粒度組成 (定性的分類)	浸透能のオーダー (mm/hr)
ローム・レス	粘土～シルト質	10 ⁻² 程度
細粒火山灰	シルト質～細粒火山砂主体	10 ¹ 程度
スコリア・軽石	粗粒火山砂～火山礫主体	10 ² ～10 ³ 程度

東京都建設局



図1 伊豆大島の地層切断面の例
(噴火に伴う堆積物と、それ以外の時期に堆積する層が交互に堆積している)
東京都建設局

対照的に、上層の噴火堆積物の層が厚いと、表層崩壊は発生しにくいと考えられる。(図3)



出典: 高橋正樹・小林哲夫編, 「フィールドガイド 日本の火山3 北海道の火山」, 築地書館(株)

図3 上層の堆積厚が大きい事例 (樽前山: 大から沢入り口)

このように、透水性が異なる層が、あまり厚くない状態で重なっている火山地質は、面的広域的な表層崩壊が発生するリスクが高いと考えられる。

- すべての長大斜面、0次谷等を調査対象とした場合、膨大な区域数が対象となることが想定される。
- 長大斜面、0次谷等の抽出のための技術的手法が確立できていない。
- 地域特性や社会条件を踏まえた対象の絞り込みの検討が必要。
- 長大斜面、0次谷等における被害想定範囲を設定するための具体的な調査項目の検討が必要。
- 長大斜面、0次谷等における被害想定範囲の設定や外力の解析には、詳細な調査や技術力が必要。