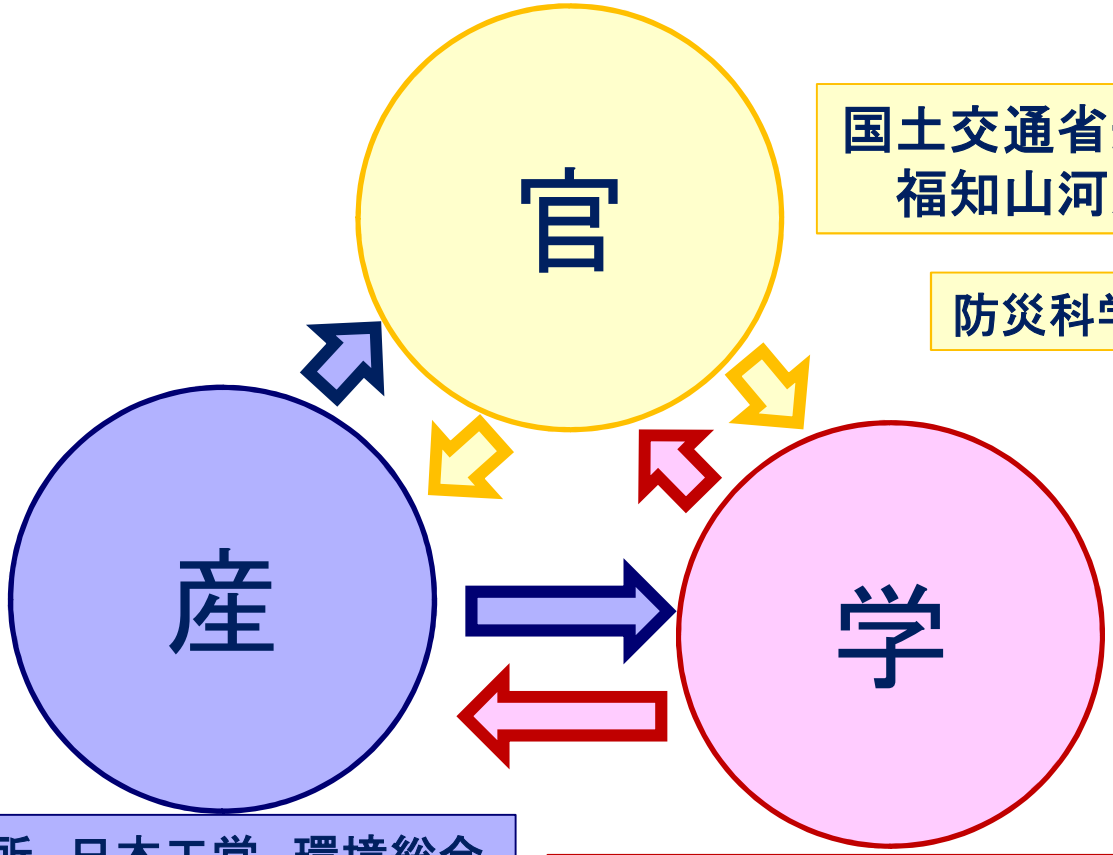
ゲリラ豪雨時における道路斜面安定性評価に関する研究

京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
小山　倫史

第10回新都市社会技術セミナー, 2013年9月9日,
大阪合同庁舎1号館 第1別館 2階大会議室

ゲリラ豪雨時における道路斜面安定性評価に関する研究



国土交通省近畿地方整備局
福知山河川国道事務所

防災科学技術研究所

建設技術研究所，日本工営，環境総合テクノス，川崎地質，アーステック東洋，水文技術コンサルタント，地層科学研究所，地球観測，計測技研，日鐵住金建材，三菱電機

京都大学，京都大学防災研究所，大阪大学，神戸大学，立命館大学，名古屋工業大学，岐阜大学

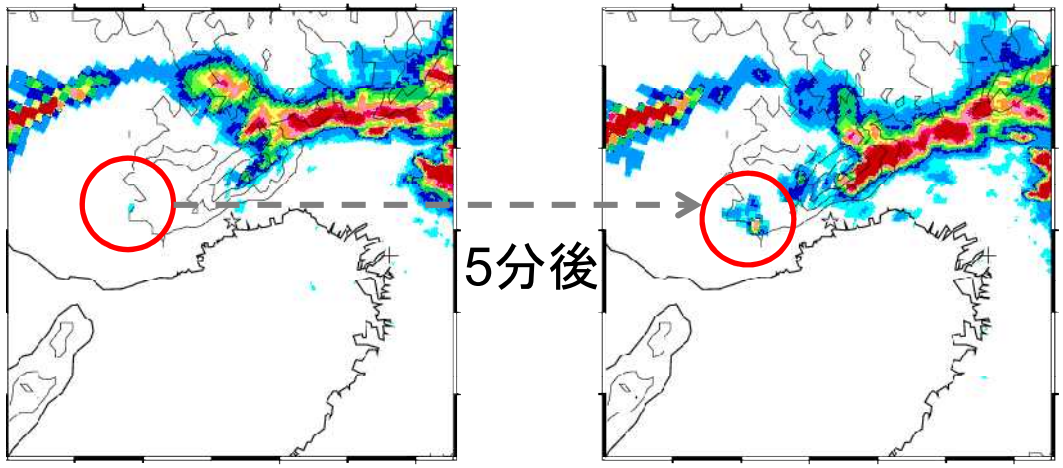
ゲリラ豪雨とは？

「ゲリラ豪雨」は、メディアなどで用いられる造語であり、**未だ学問的に明確な定義は無い**。気象学分野においては、「言葉のイメージが良くない」、「一般的に“ゲリラ”は予測できないことに対して用いる＝ゲリラ豪雨は予測できないと認めることになる」といった理由から、**局地的大雨**と呼ぶ。しかしながら、水文学分野（土木分野）においては、**「人への警告の意味合いから強烈なインパクトを与える」**といった理由からあえて、ゲリラ豪雨と呼ぶ。

３つのキーワード

局地的
（～数10km^{2}程度）

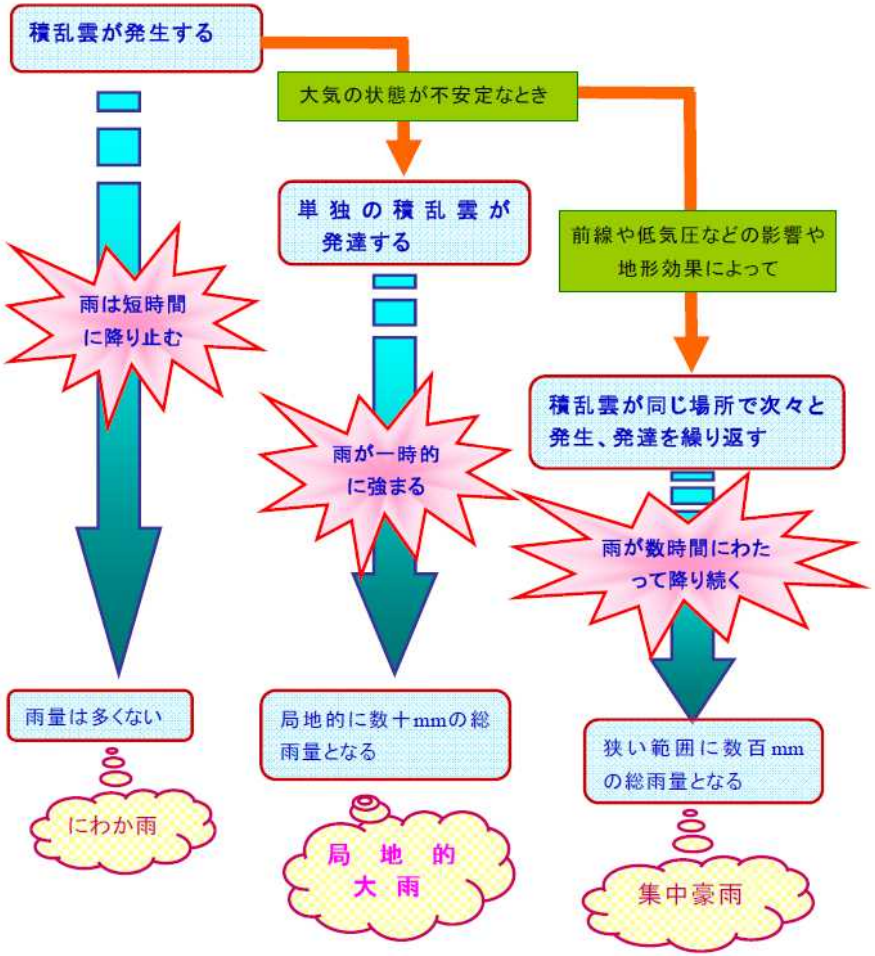
短時間
（～数時間程度）



×
（掛ける）

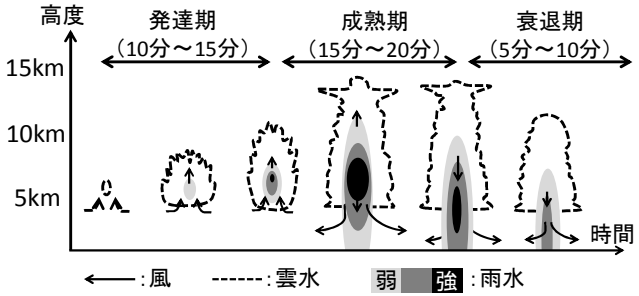
人間社会・人命

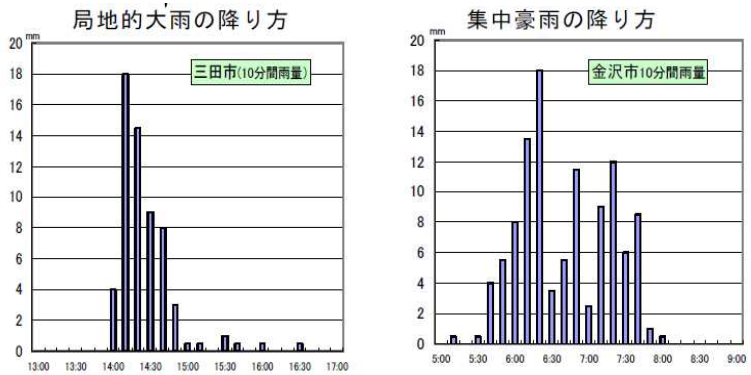
積乱雲とゲリラ豪雨・集中豪雨



気象庁防災気象情報の活用の手引き「局地的大雨から身を守るために」（平成21年2月）より引用

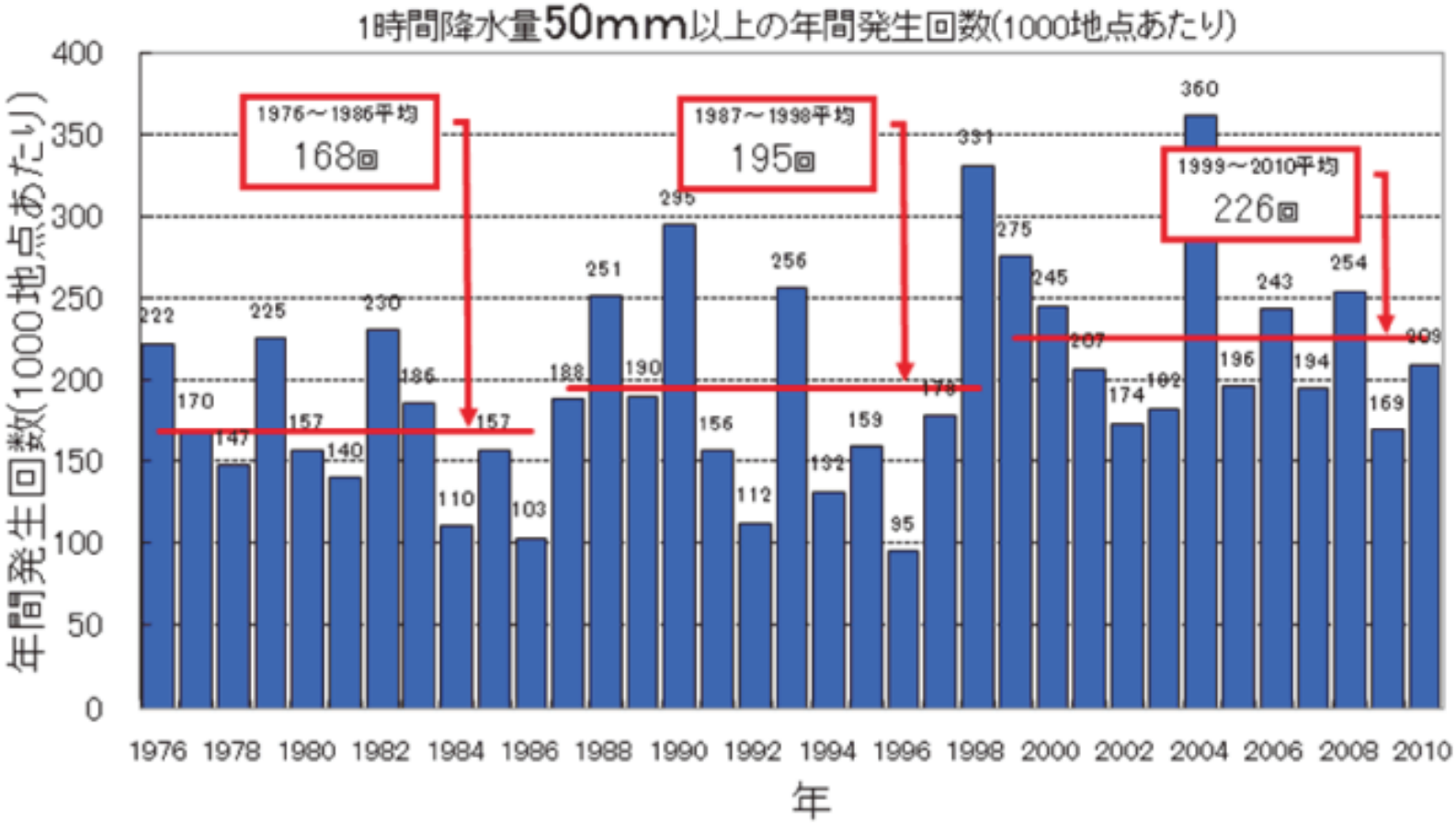
積乱雲の成長過程について





大気の状態が不安定な場合、積乱雲が発達。
局地的大雨は、単独の積乱雲が発達することによって起きるもので、一時的に雨が強まり、局地的に数十mm程度の総雨量である。
集中豪雨は、前線や低気圧などの影響や雨を降らせやすい地形の効果によって、積乱雲が同じ場所で次々と発生・発達を繰り返すことにより起きるもので、激しい雨が数時間にわたって降り続き、狭い地域に数百mm の総雨量である。（いずれも明確な数字の定義は無い。）

短時間強雨の増加傾向



出典：気象庁資料（気候変動監視レポート）に基づき内閣府作成

平成24年度版防災白書HPより

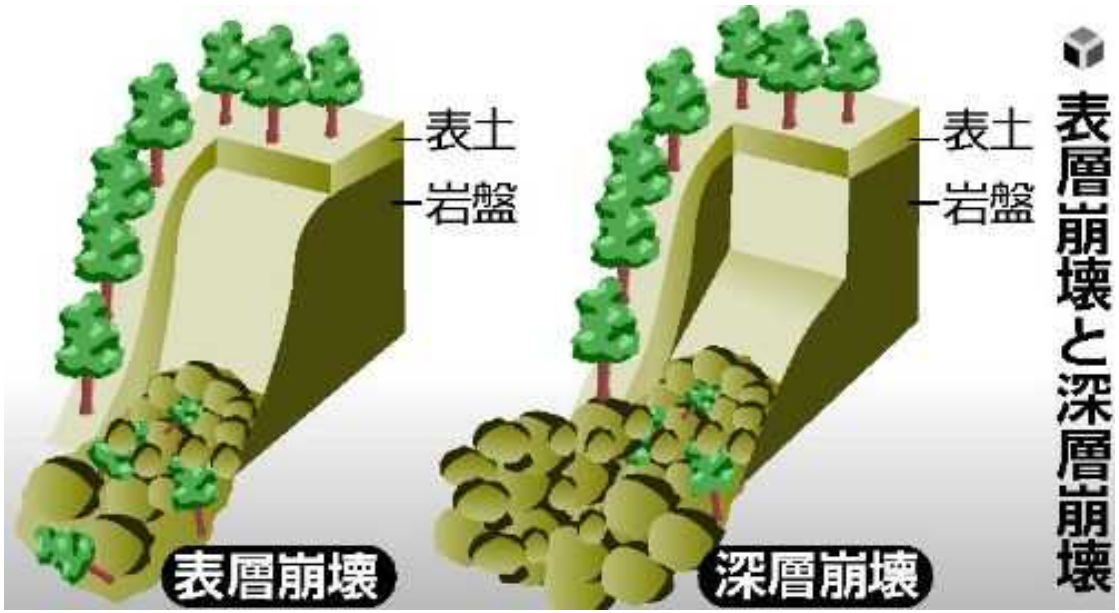
豪雨：80㎜以上/24時間，20㎜以上/1時間　（災害手帳）

表層崩壊と深層崩壊

「改訂 砂防用語集」によると

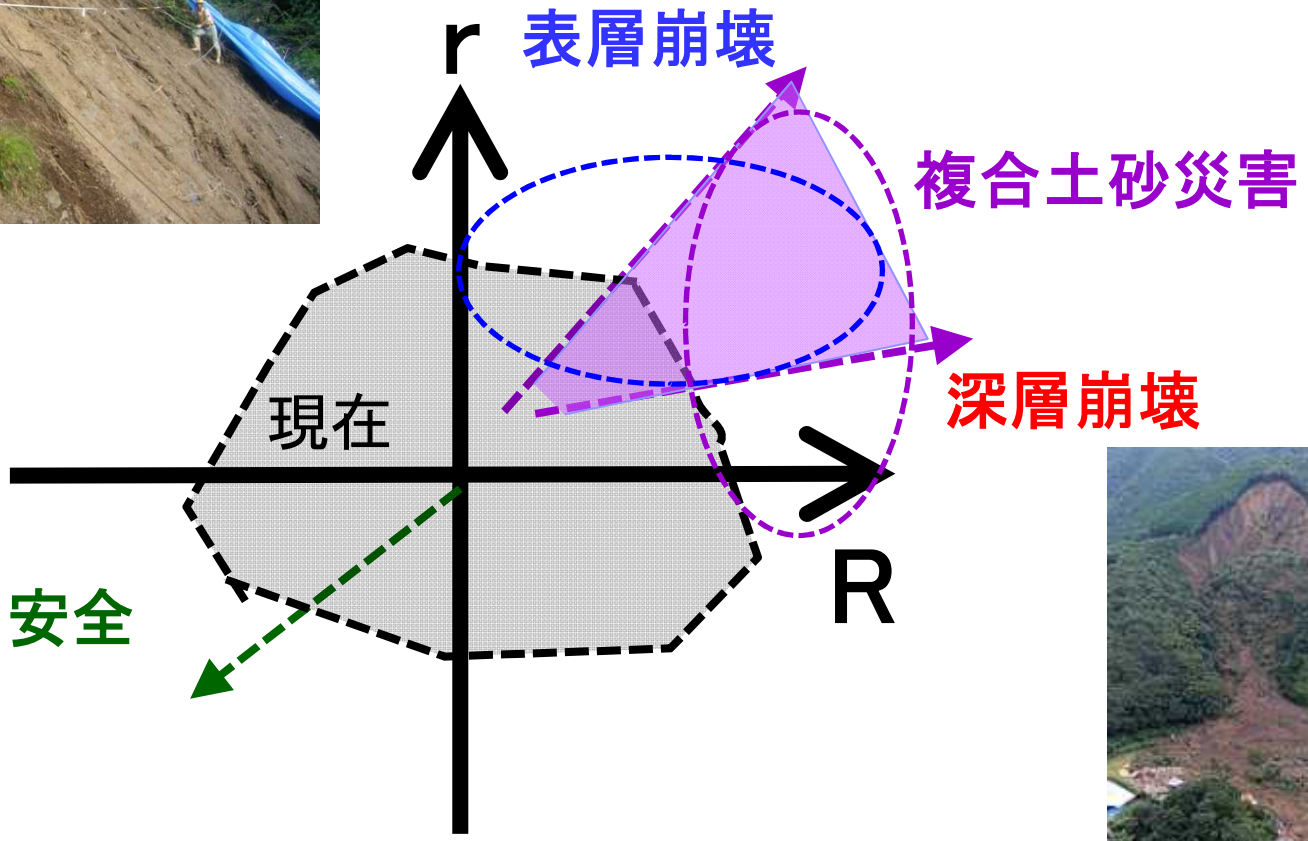
「深層崩壊」：山崩れ・崖崩れなどの斜面崩壊のうち，すべり面が表層崩壊よりも深部で発生し，**表土層だけでなく深層の地盤までもが崩壊土塊となる比較的規模の大きな崩壊現象**.

「表層崩壊」：山崩れ・崖崩れなどの斜面崩壊のうち，**厚さ0.5～2.0m程度の表層土が，表層土と基盤層の境界に沿って滑落する比較的規模の小さな崩壊**のこと.



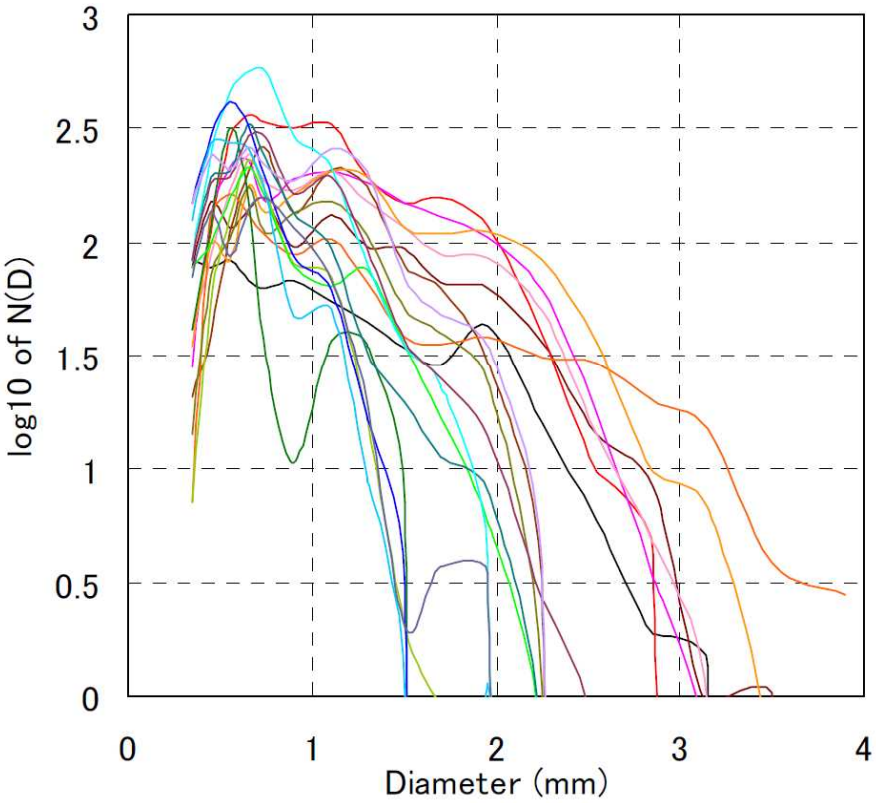
読売新聞HPより

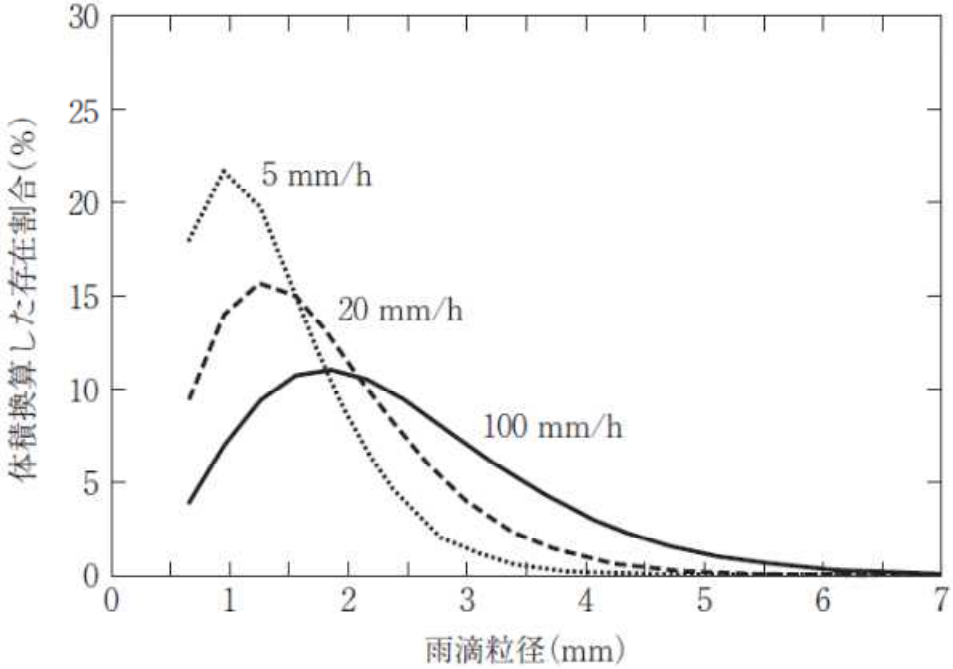
表層･深層崩壊と雨量の関係



R: 連続雨量　　r： 時間雨量

自然界の雨滴粒径分布





Marshall Palmerの雨滴粒径分布

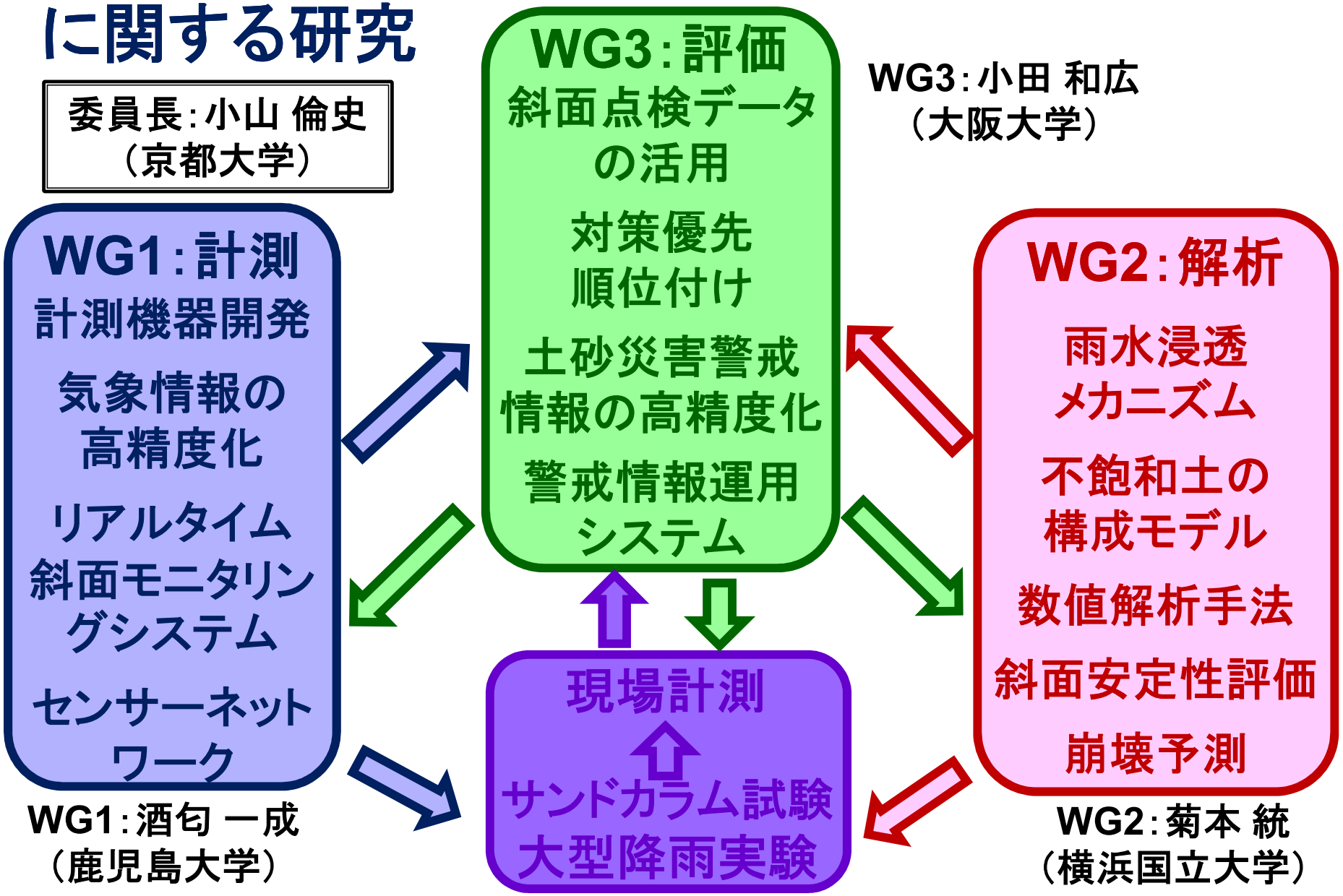
ゲリラ豪雨の雨滴粒径：大（数mm）

雨滴粒径の違いが雨水浸透挙動に与える影響？？

豪雨による斜面災害事例（国道9号線，福知山，H20/8/10）

ゲリラ豪雨時における道路斜面安定性評価に関する研究

委員長：小山 倫史
（京都大学）



WG3：小田 和広
（大阪大学）

WG1：酒匂 一成
（鹿児島大学）

WG2：菊本 統
（横浜国立大学）

研究成果（WG1:計測ワーキング）

- **Task 0: 斜面計測・モニタリング手法のレビュー**
  - ゲリラ豪雨の特徴（短時間・高降雨強度）を踏まえた計測の
    ⇒ リアルタイム計測
  - ゲリラ豪雨時の斜面における雨水浸透メカニズムおよび斜面内における水収支の把握の必要性 ⇒ 間隙空気圧の計測，表面流の計測
- **Task 1: 新たな計測機器の開発・改良**
  - リアルタイム雨量計，表面フラックスメーター，雨滴計，間隙水圧・空気圧計
  - XバンドMPレーダー（高精度な気象情報）の活用 ⇒ 降雨波形が重要!!
- **Task 2: サンドカラムを用いた降雨実験（雨水浸透現象の把握）**
  - 降雨強度，地盤の不飽和特性，雨滴粒径，排気・排水条件が雨水浸透挙動に与える影響 ⇒ 高降雨強度・雨滴粒径：大では地盤内の空気圧の上昇
- **Task 3: 現場計測に向けた計測機器の開発・改良**
  - 大型降雨実験による検証
- **Task 4: 現場斜面計測・モニタリング**
  - 国道9号線雨量通行規制区間の自然斜面にて現場計測・モニタリングを実施

研究成果（WG2:解析ワーキング）

- **Task 0: 従来の解析手法の特徴の整理**
  - 連続体解析⇔不連続体解析，微小変形⇔有限変形，大変形
    ⇒目的に応じた解析手法の選択が重要
  - 境界条件（特に，降雨境界条件，斜面内の水収支に着目した水位変動境界）の取り扱い
- **Task 1: 雨水浸透メカニズムの解明．応力ー浸透（ーガス）連成解析手法の開発**
  - 不飽和地盤の浸透・変形連成解析手法のベースとなる不飽和土の構成モデルと水分特性曲線モデルの開発
  - 一次元浸透カラム試験に対する飽和-不飽和地盤の浸透流解析の実施
  - ゲリラ豪雨を想定した水理境界条件下での地盤の雨水浸透挙動の検討
- **Task 2: 大型降雨実験のシミュレーション**（H24年度実施）
- **Task 3: 現場斜面のシミュレーション**
  - 表層崩壊事例に対する再現解析（飽和ー不飽和浸透流解析＋斜面安定解析）
  - 現場計測・モニタリング対象斜面に対する危険度予測解析

研究成果（WG3:評価ワーキング）

- **Task 0: 従来の評価手法のレビュー**
  - 国土交通省近畿地方整備局福知山河川国道事務所におけるヒアリング（平成18年度防災点検要領の概要）
  - 切土斜面の管理事例（NEXCOおよびJR）の収集
- **Task 1: 道路斜面点検データの活用法の提案**
  - 自己組織化マップ(SOM)によるのり面のクラスタリングおよびのり面の変状・安定性に大きな影響を及ぼすと考えられる要因の抽出
  - 福知山河川国道事務所管轄下の道路のり面についてSOMを用いた分析を実施し，モニタリング対象斜面を決定.
- **Task 2:　警戒情報運用システムの提案**
  - 雨量通行規制およびその解除に関わる判断支援システムの提案

    ⇒ <u>数値解析と現場計測・モニタリングを組み合わせた統合的なシステム</u>

自己組織化マップ（SOM）を用いた道路のり面の健全性評価

- 道路法面を管理するにあたり、専門技術者がつけた点検表（“**安定度調査票**”）を基に、道路管理者が斜面の安定性評価、危険箇所を抽出することが可能となる評価方法の考案
- 対策優先順位付けに関する情報提供
- 対策決定を行う上で、崩壊要因を特定するための手法の考案
- 既存の点検結果を有効活用

現在の国土交通省の道路の維持･管理手法

施設管理番号 ： ： ： ： ： ： ：

様式－6　安定度調査表（落石・崩壊）

点検者	
所属機関	

[要因] (Ai)

項目		要因	のり面 評点区分	のり面 配点	のり面 評点	自然斜面 評点区分	自然斜面 配点	自然斜面 評点
地形	崩壊性を要因とする地形	G１：崖錐地形 G２：崩壊跡地 遷急線明瞭 G３：台地の裾部，脚部浸食，ｵｰﾊﾞｰﾊﾝｸﾞ，集水型斜面，土石流跡地など G４：尾根先端など凸型斜面，ｵｰﾊﾞｰﾊﾝｸﾞ	G1に該当する	3		G2の内 複数地形該当	3	
						G2の内 1地形該当	2	
			G1に該当せず	0		G2には 該当なし	0	
			G2, 3の内 複数地形該当	3		G1, 3の内 複数地形該当	3	
			G2, 3の内 1地形該当	2		G1, 3の内 1地形該当	2	
			G2, 3には 該当なし	0		G1, 3には 該当なし	0	
			G4に該当する		(6)	G4に該当する		(6)
土質・地質・構造	崩壊の土質性	浸食に弱い土質 水を含むと強度低下しやすい土質 その他	顕著	8		顕著	2	
			やや顕著	4		やや顕著	1	
			該当せず	0	(8)	該当せず	0	(2)
	崩壊の岩質性	割れ目や弱層の密度が高い 浸食に弱い軟岩 風化が速い岩質　その他	顕著	12		顕著	8	
			やや顕著	[illegible]		やや顕著	4	
			該当せず	0	(12)	該当せず	0	(8)
	崩壊性の構造	流れ盤（層理面，弱線）	該当する	8		該当する	2	
			該当せず	0		該当せず	0	
		不透水性基盤上の土砂 上部が硬質／脚部が脆弱な岩 その他	顕著	6		顕著	4	
			やや顕著	4		やや顕著	3	
			該当せず	0	(14)	該当せず	0	(6)
表層の状況		表土及び浮石・転石の状況	不安定	12		不安定	24	
			やや不安定	[illegible]		やや不安定	12	
			安定	0		安定	0	
		浮石・転石が不安定 ～ やや不安定	該当する		(12)	該当する		(24)
		湧水状況	湧水あり	8		湧水あり	4	
			しみ出し程度	4		しみ出し程度	2	
			なし	0	(8)	なし	0	(4)
		表面の被覆状況	裸地～植生主体	5		裸地～植生（草本）	16	
			複合(植生・構造物)	3		複合(裸地・草本・木本)	10	
			構造物主体	1	(5)	木本主体	6	(16)
形状		勾配（i），高さ	土砂 H ＞ 30m	[illegible]		高さ H≧ 50m	10	
			土砂 H ≦ 30, i ＞標準	15		高さ 30≦H＜50m	8	
			土砂 i ≦標準, 15≦H<30	[illegible]		高さ 15≦H＜30m	6	
			土砂 i ≦ 標準, H＜15	5		高さ H＜15m	4	(10)
			岩 H≧50m	18		勾配 i ≧ 70°	10	
			岩 30≦H＜50m	16		勾配 45° ≦ i ＜ 70°	10	
			岩 15≦H＜30m	12		勾配 i ＜ 45°	5	(10)
			岩 H＜ 15m	10	(18)			
変状		当該のり面斜面の変状 (肌落ち・小落石・ガリ浸食・洗掘・ﾊﾟｲﾋﾟﾝｸﾞ孔・陥没・はらみ出し・根曲り・倒木・亀裂・開口亀裂・その他対策工の変状)	複数該当・明瞭なものあり	12		複数該当・明瞭なものあり	10	
			あり・不明瞭なもの	8		あり・不明瞭なもの	5	
			なし	0	(12)	なし	0	(10)
		隣接するのり面・斜面等の変状 (落石・崩壊・亀裂・はらみ出し・その他の変状)	複数該当・明瞭なものあり	5		複数該当・明瞭なものあり	4	
			あり・不明瞭なもの	[illegible]		あり・不明瞭なもの	2	
			なし	0	(5)	なし	0	(4)
合計			のり面： 83 点 (A1)			自然斜面： 点 (A2)		

注）（ ）は各項目の満点を示す。
該当する場合は配点欄に○印をつけると共に点数を記入する。
不明な場合は中間的な値を採用する。

[対策工] (Bi)＝(Ai)＋αまたは(Ai)×0

既設対策工の効果の程度	点数(α)	評点 のり面	評点 斜面
想定される落石・崩壊を十分に予防している。もしくは、それが発生したとしても十分に防護し得る。	×０点		
想定される落石・崩壊をかなり予防している。もしくは、それが発生した場合、かなり防護しているが万全ではない。	－20点		
想定される落石・崩壊を一部予防している。もしくは、それが発生した場合、かなり防護しているが、その他に対しては効果がない。	－10点	○	
対策がなされていない。もしくは、なされていても、効果が全くない。	±０点		
合計		(B1:のり面) 点	(B2:斜面) 点

[履歴] (C)

＊最近の対策実施以降、落石・崩壊が当該のり面・斜面等で発生していない場合には、履歴からの評価は実施する必要なし。
→(C)を０点とする。

被災の頻度・程度区分	配点	評点
最近の対策以降、道路交通への支障が生じたことあり。〈対策工の効果なし〉	100点	
交通への支障はないが路面に達する比較的大きな落石・崩壊の履歴あり。〈対策工が万全ではない〉	70点	
のり面･斜面先にとどまる程度の小規模な落石･崩壊の履歴はあり。〈対策工の効果はあるが、追加対策工が必要と思われるもの〉	40点	○
	(c) 点	

[総合評価]

対応	判定
対策が必要と判断される。	○
防災カルテを作成し対応する。	
特に新たな対応を必要としない。	

73

安定	
不安定	

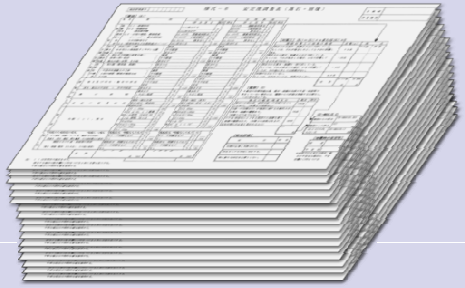
＊地形でG４または浮石・転石が不安定な場合は、不安定欄に○印をつける

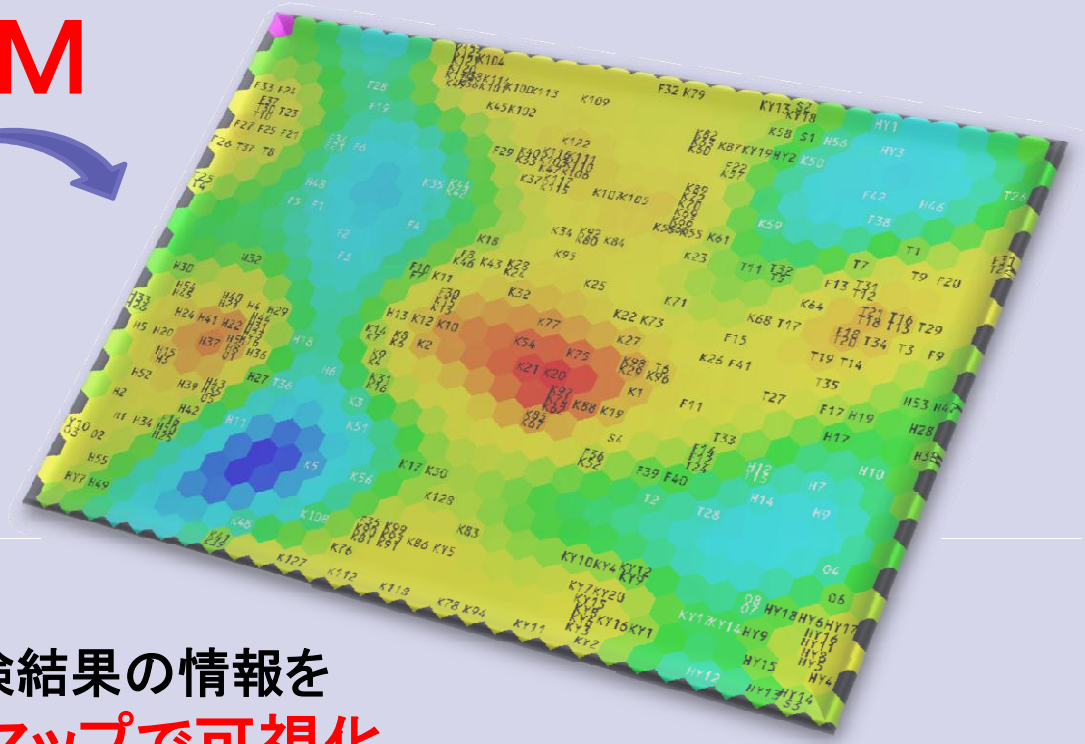
対策が必要!!

SOMを用いた道路のり面のクラスタリング

SOM

膨大な数の点検結果





全点検結果の情報を
1枚のマップで可視化

- **のり面ごとに作成**
- 地質調査の専門家によって作成
- **点検項目ごとに重みづけ**
- **のり面の健全度を得点で表示**

- **のり面の特徴ごとに分類**
- 全のり面の情報を**1枚のマップで可視化**
- **各点検項目の寄与度がわかる**
  ⇒**“点検項目の見直し”**
- **道路管理者が各種意思決定に利用**

入力ベクトル（入力項目）と入力方法

項目	入力ベクトル	入力方法
地形	X_1：崖錐地形	1：該当する　0：該当せず
	X_2：崩壊跡地	1：該当する　0：該当せず
	X_3：遷急線明瞭	1：該当する　0：該当せず
	X_4：台地の裾部	1：該当する　0：該当せず
	X_5：脚部浸食	1：該当する　0：該当せず
	X_6：オーバーハング	1：該当する　0：該当せず
	X_7：集水型斜面	1：該当する　0：該当せず
	X_8：土石流跡地	1：該当する　0：該当せず
	X_9：尾根先端等凸型斜面	1：該当する　0：該当せず
土質地質	X_{10}：崩壊性の土質	1：顕著　0．5：やや顕著 0：該当せず
	X_{11}：崩壊性の岩質	1：顕著　0．5：やや顕著 0：該当せず
表層の状況	X_{12}：表土及び浮石・転石の状況	1：不安定　0．5：やや不安定 0：安定
	X_{13}：湧水状況	1：あり　0．5：しみ出し程度 0：なし
	X_{14}：表面の被覆状況	1：裸地～植生主体　0．5：複合（植生・構造物）　0：構造物主体

質的項目の数値化

変状	X15：当該法面の変状	1：複数該当・明瞭なものあり 0．5：あり・不明瞭なもの 0：なし
	X16：隣接する法面・斜面等の変状	1：複数該当・明瞭なものあり　0．5：あり・不明瞭なもの 0：なし
形状	X17：勾配（i）、高さ（H）	1：土砂（H＞30m） 岩（H≧50m）　0．8：岩（30≦H≦50m）　0．6：土砂（H≦30m）　0．4：岩（15≦H＜30m）　0．2：土砂（i≦標準、15≦H＜30m） 岩（H15m） 0：土砂（i≦標準、H＜15m）
構造	X18：崩壊性の構造｛流れ盤（層理面、弱線）｝	1：該当する　0：該当せず
	X19：崩壊性の構造｛不透水基盤上の土砂、上部が硬質/脚部が脆弱な岩｝	1：顕著　0．5：やや顕著 0：該当せず

自己組織化マップの利用方法

全体マップの利用方法

類似性の高いデータをクラスタリング

↓

過去の崩壊箇所と類似性の高い斜面を抽出

↓

同じ崩壊要因を持つ可能性があるとみなし、優先的に対策すべき斜面として抽出

要素マップの利用方法

要素マップと全体マップを比較

↓

各クラスタに分類された**データの共通点**を見いだすことができる（高い類似性の原因）

↓

過去の被災箇所と同じクラスタに分類されたデータの特徴を把握することができる

使用したデータ

福知山河川国道事務所

安定度調査表
落石・崩壊を点検対象とする斜面の点検結果

- 平成8年度の安定度調査表： 36箇所
- 平成19年度の安定度調査表：18箇所

計　54箇所

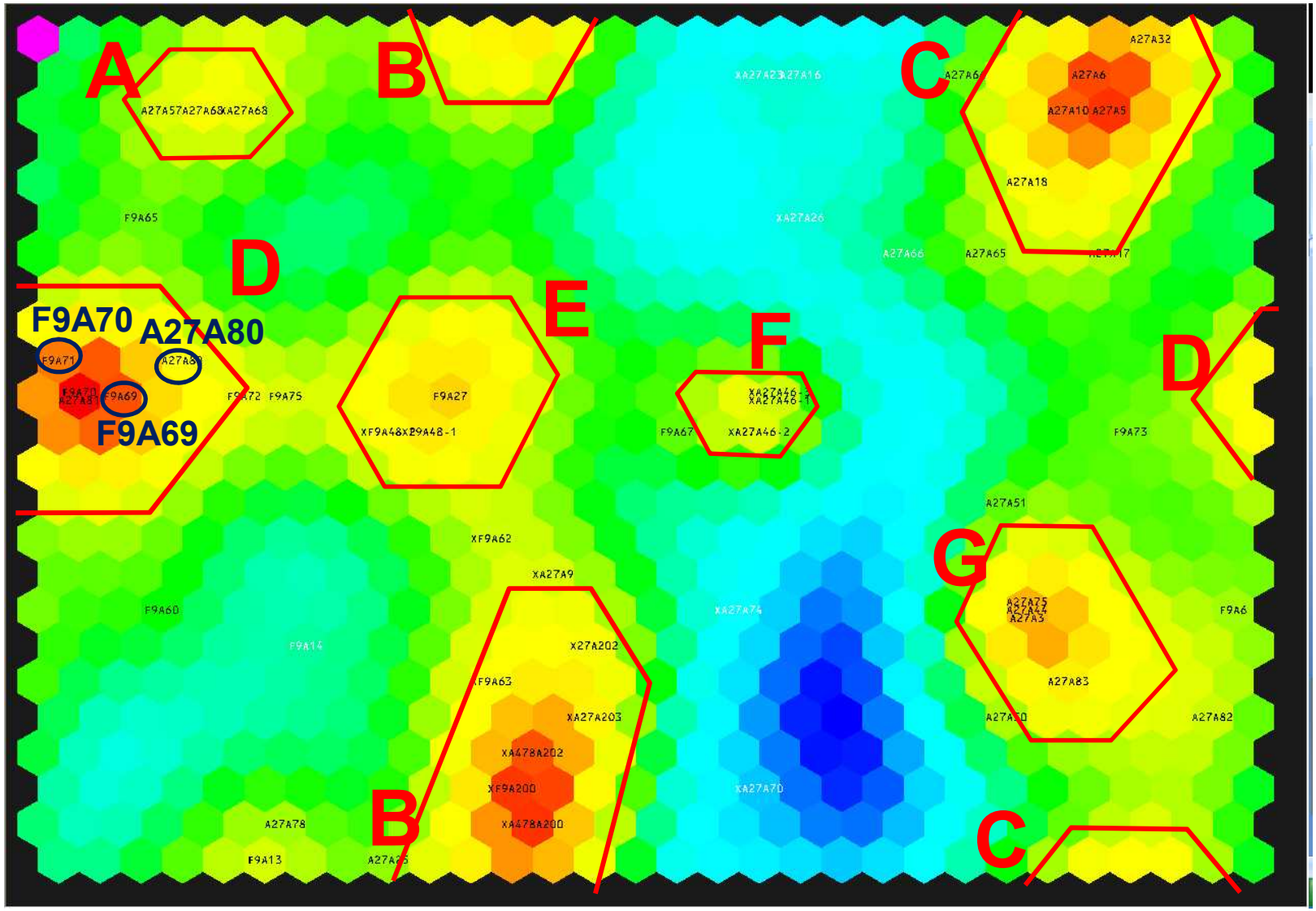
健全性（危険度）の基準 （過去の崩壊個所　全3箇所）

過去の崩壊箇所	場所	原因
F9A69	額田	平成21年8月の台風9号
F9A70	日置	同上
A27A80		平成9年7月の降雨

解析結果（全体マップ）

SOMマップ凡例

←低い　類似性　高い→

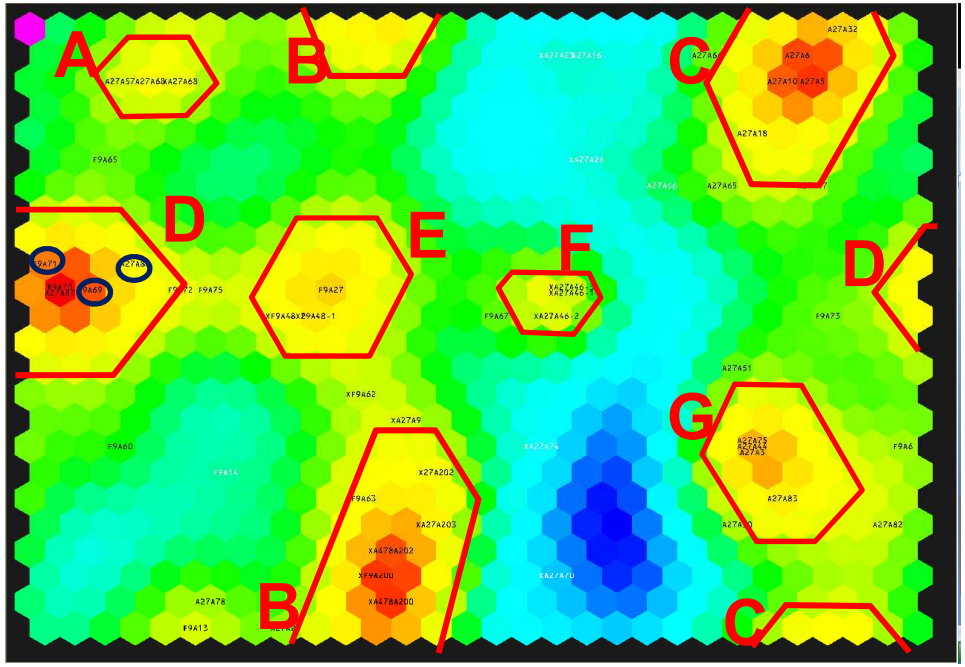


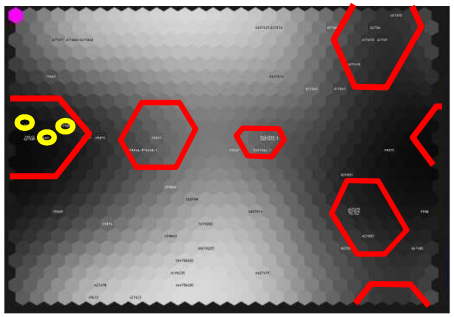
クラスタD　:過去の被災箇所3箇所が分類 → クラスタDに分類された斜面は崩壊箇所と類似した斜面を抽出できる

クラスターの感度分析

SOMマップ凡例

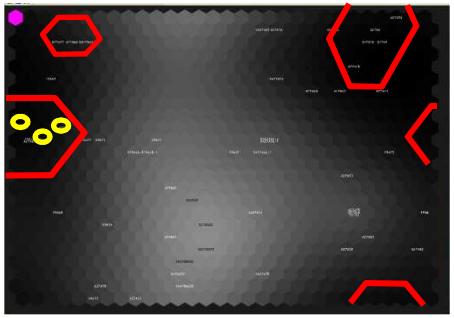
←低い 類似性 高い→



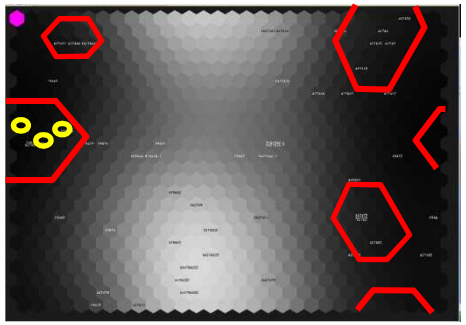


崩壊跡地

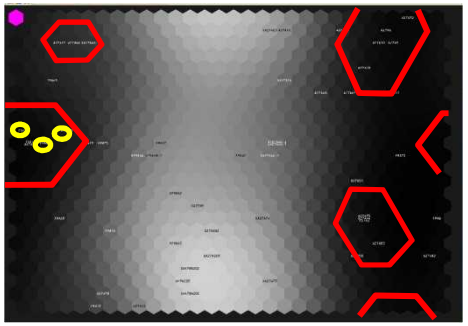
崩壊性の土質



崩壊性の岩質



表土及び浮石・転石の状況



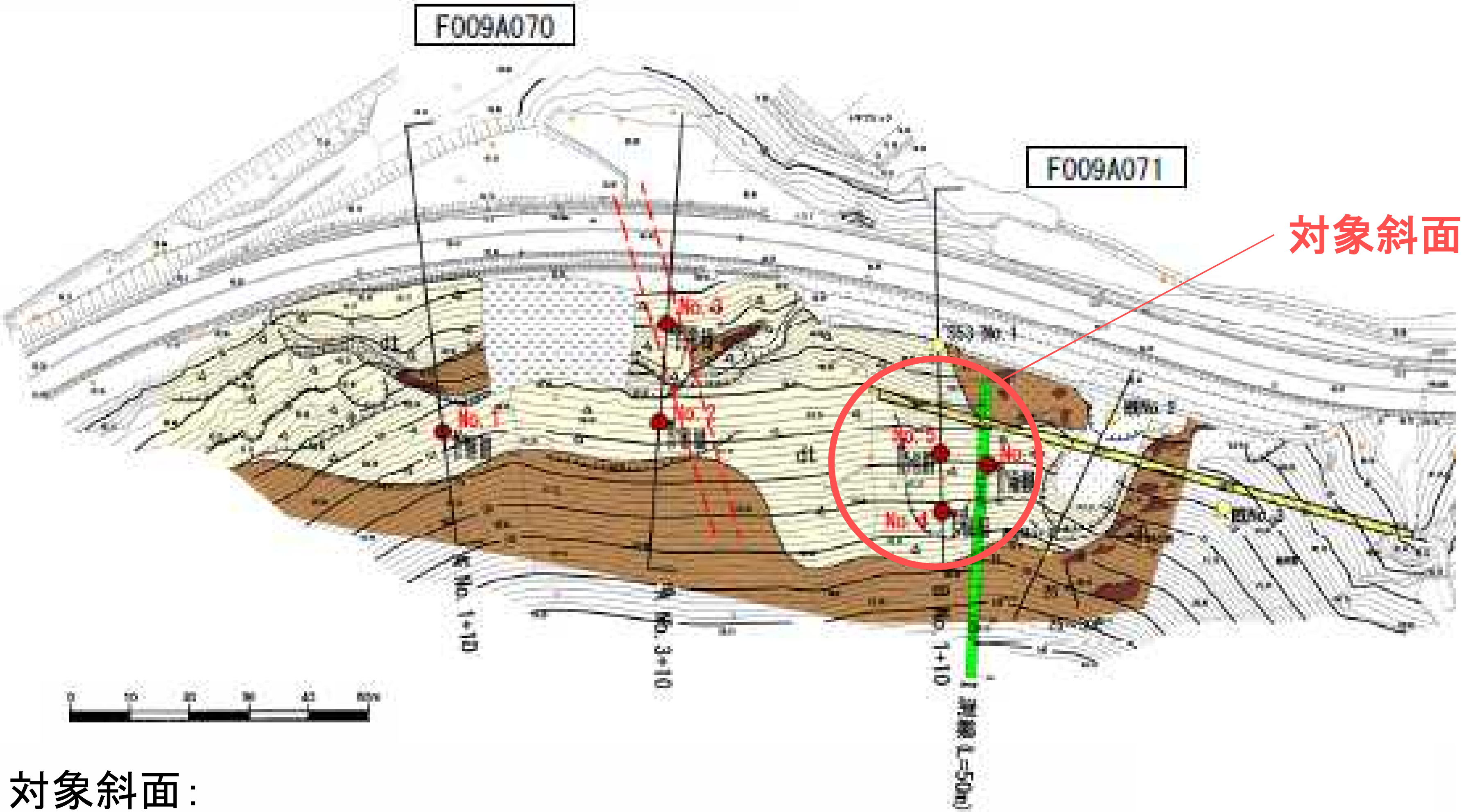
当該斜面の変状

高さ

クラスタD

- X_2：崩壊跡地
- X_{10}：崩壊性の土質
- X_{11}：崩壊性の岩質
- X_{12}：表土及び浮石・転石の状況
- X_{15}：当該斜面の変状
- X_{17}：高さ
- X_{18}：勾配
- X_{18}：不透水基盤上の土砂

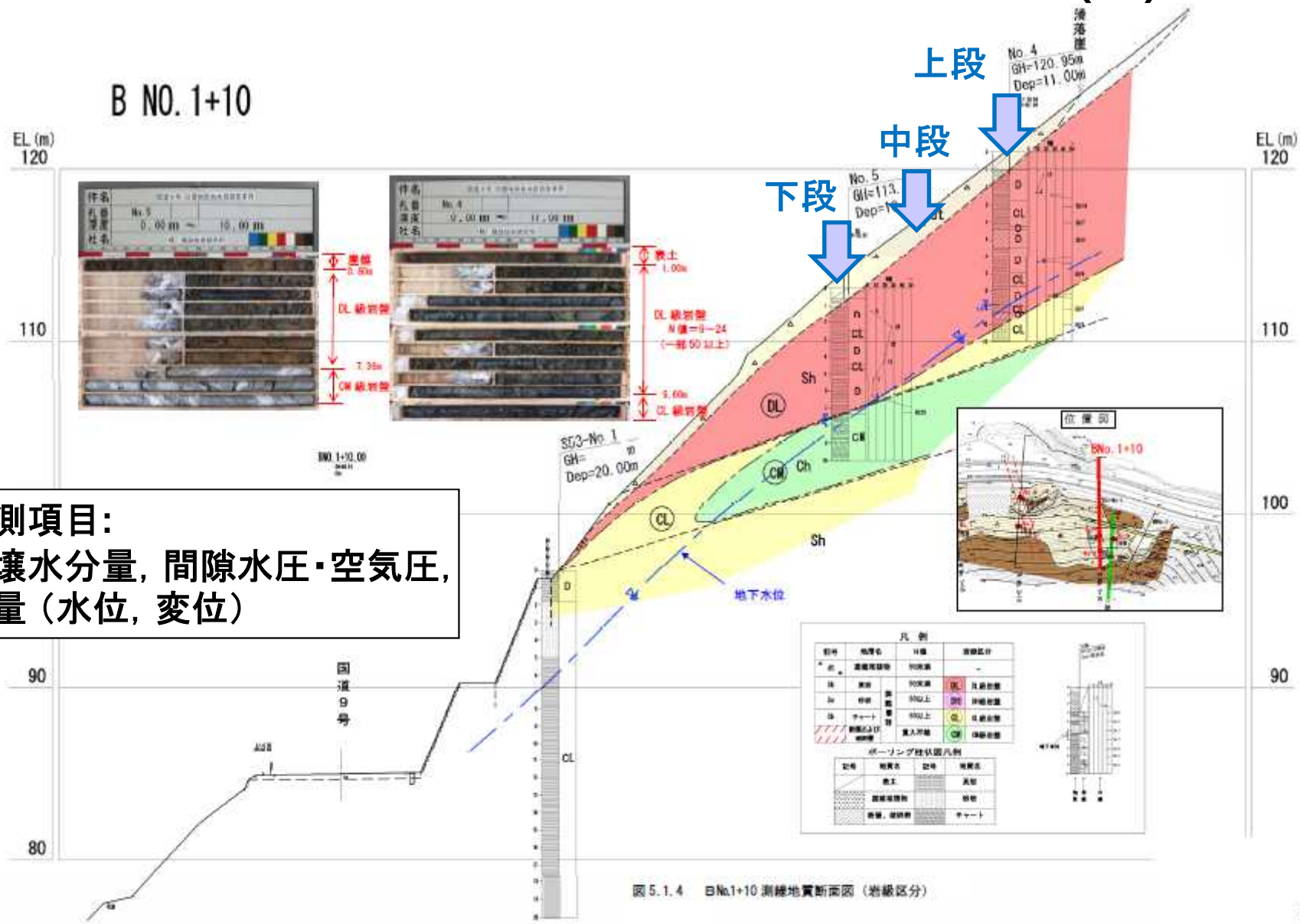
現場斜面計測・モニタリング(1)



対象斜面：

京都府福知山市天田郡夜久野町日置，国道9号線（**雨量通行規制区間**）に沿った斜面（F009A071）

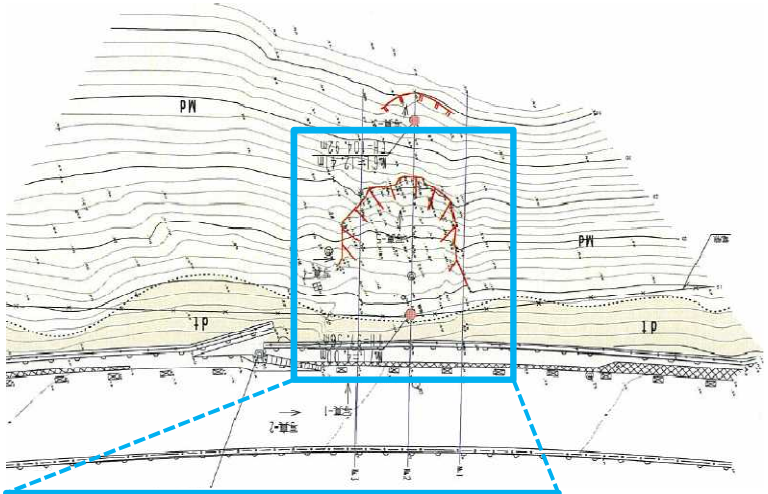
現場斜面計測・モニタリング(2)

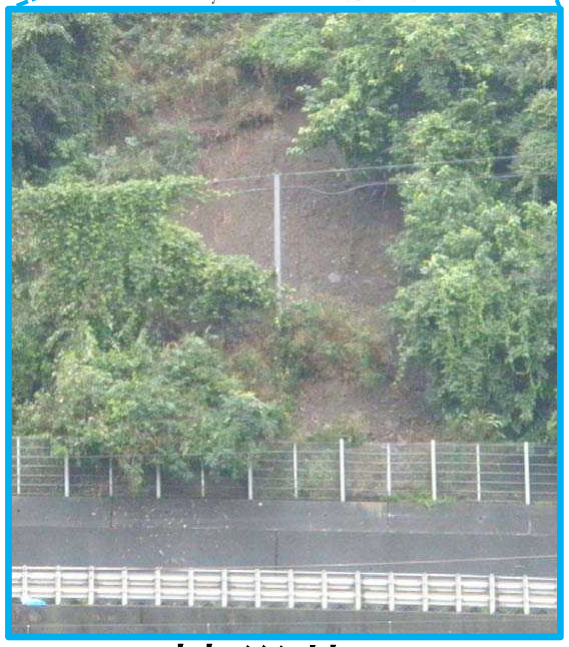


計測項目:
土壌水分量，間隙水圧・空気圧，
雨量（水位，変位）

現場斜面計測・モニタリング(3)

豪雨に起因した表層崩壊の再現解析（WG2）

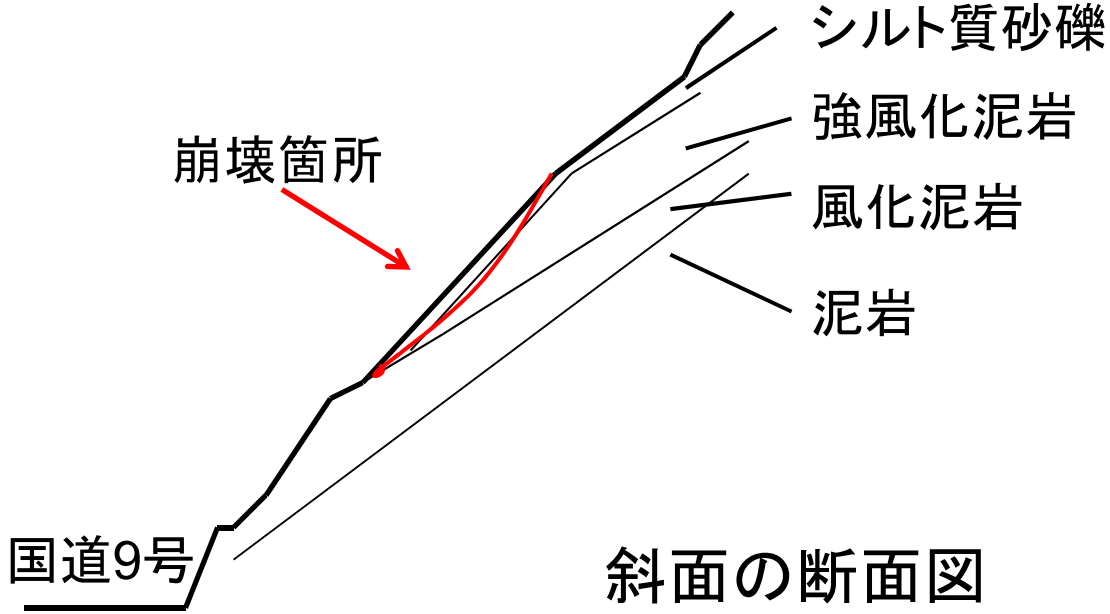




被災状況

京都府福知山市夜久野町額田（国道9号線）
平成21年8月10日の豪雨により表層崩壊
被災規模: 幅約11m × 被災延長約12m

表層崩壊はシルト質砂礫層と強風化泥岩層の境界をすべり面として発生



斜面の断面図

飽和･不飽和浸透流解析

支配方程式

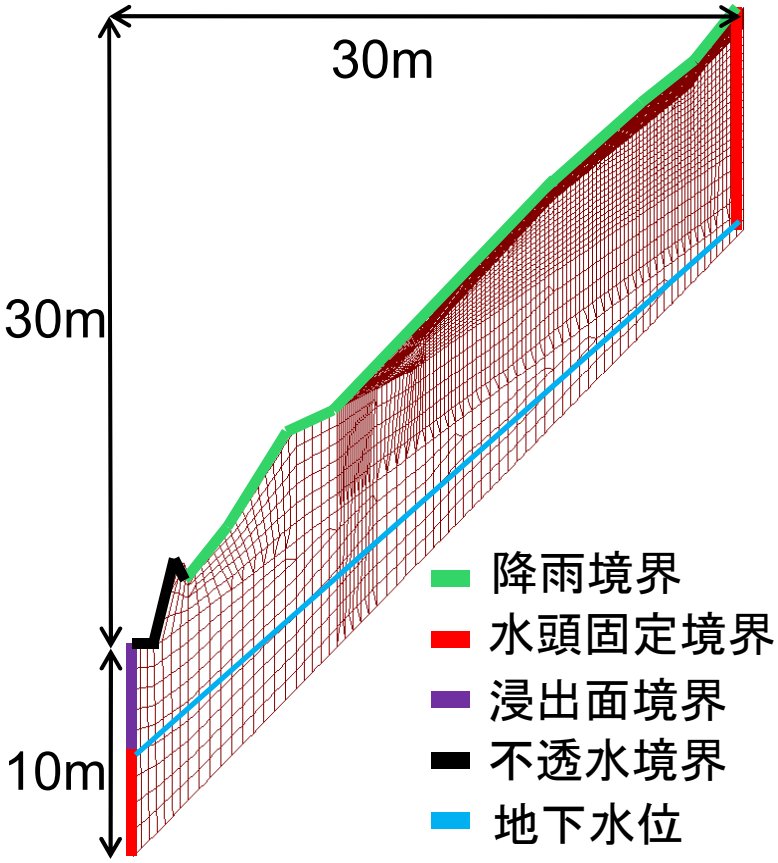
$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(K_r(\theta)\left(K_{ij}^s\frac{\partial\psi}{\partial x_j}+K_{i3}^s\right)\right)-q=\left(\alpha S_s+\beta c(\psi)\right)\frac{\partial\psi}{\partial t}$$

i, j=1,2,3 (1:x, 2:y, 3:z)

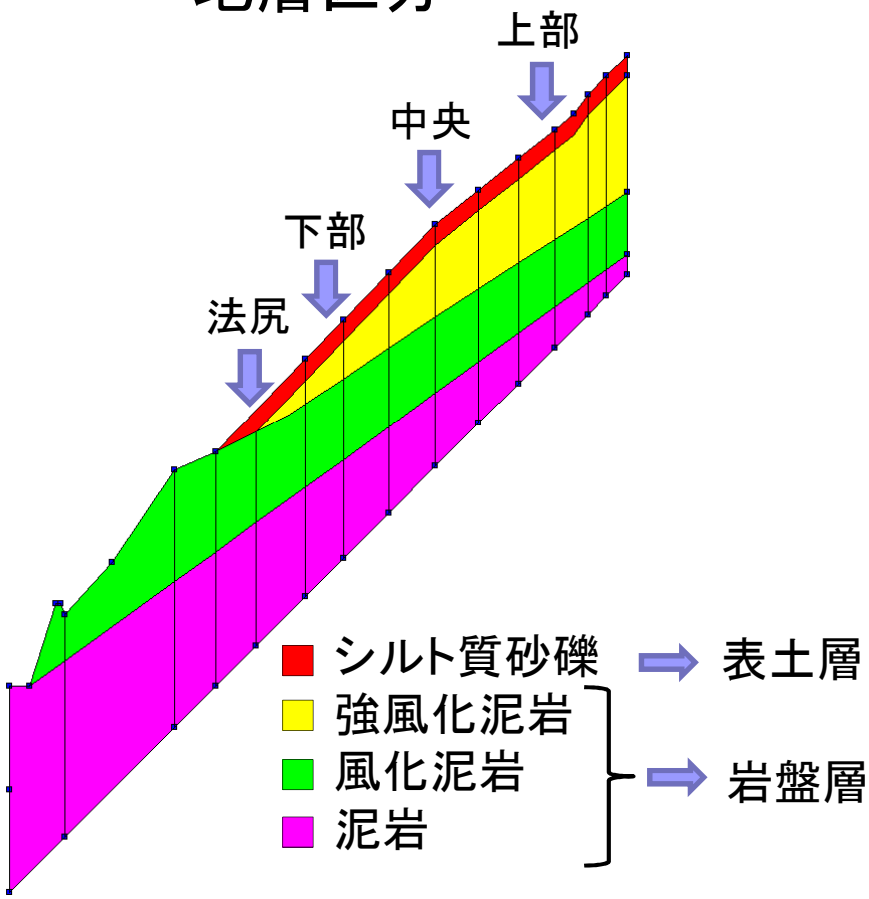
θ: 体積含水率
ψ: 負の圧力水頭(マトリックサクション)
q: 単位体積当たりのシンク/ソース流量
K_r: 相対透水係数比
K^s: 飽和透水係数
S_s: 比貯留係数
$c(\psi)$: 比水分容量
α: 飽和領域=1，不飽和領域=0
β: 飽和領域=0，不飽和領域=1

解析モデル

境界条件図

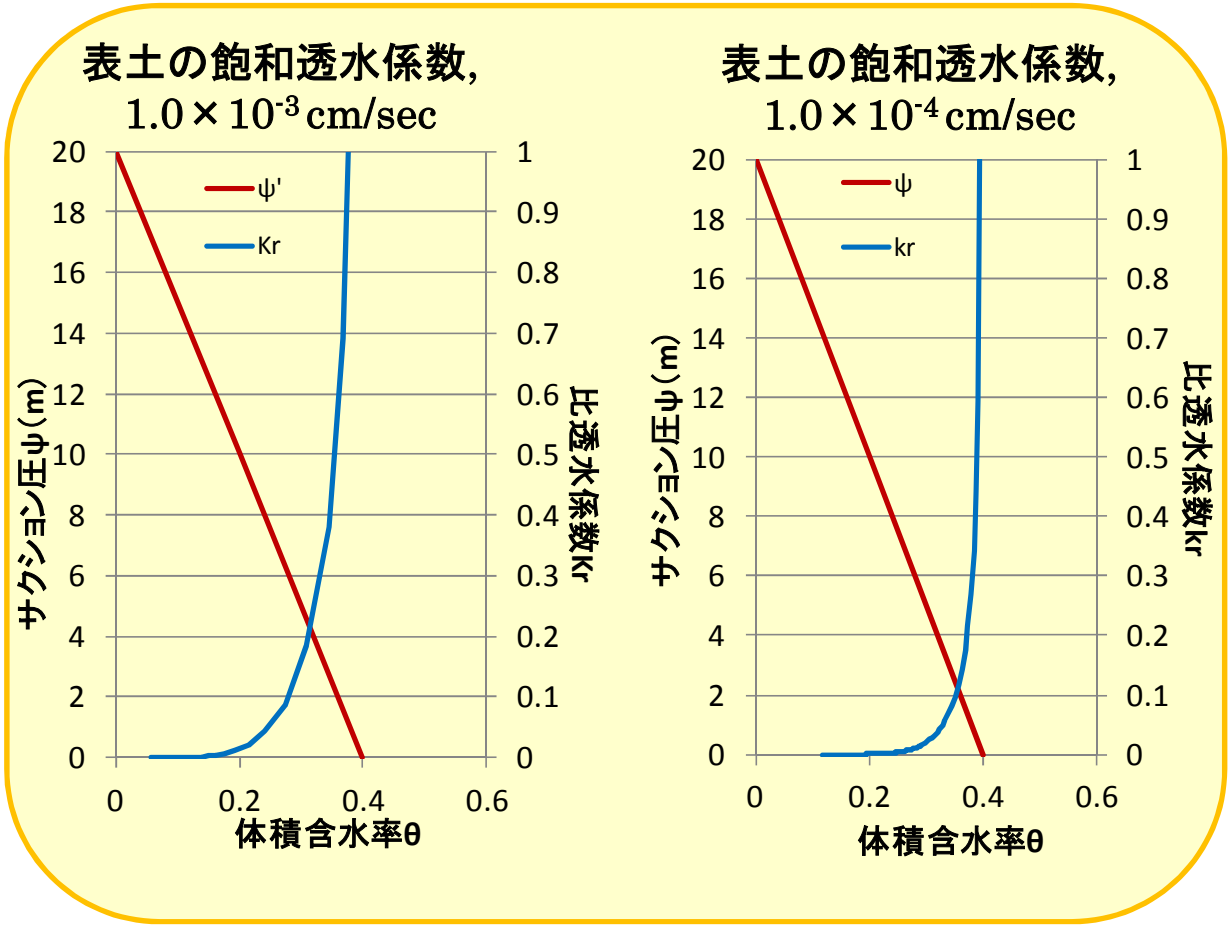


地層区分

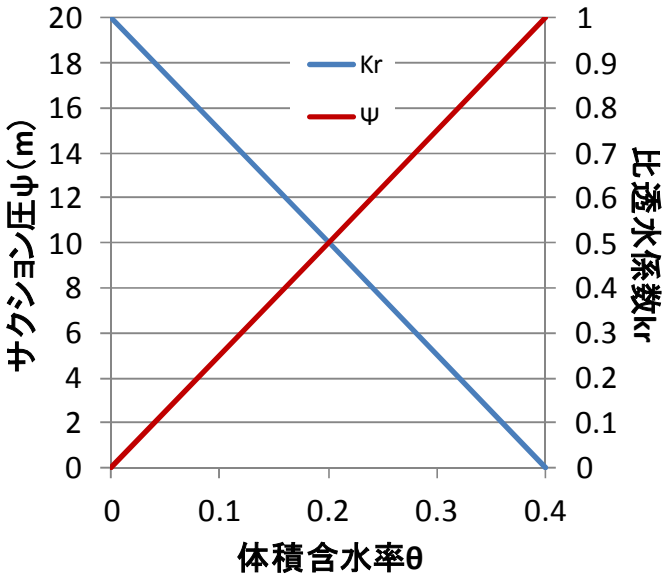


地層区分	シルト質砂礫	強風化泥岩	風化泥岩	泥岩
透水係数 (cm/sec)	**1.0×10^{-3}, 1.0×10^{-4}**	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-6}

表土・岩盤層の不飽和浸透特性



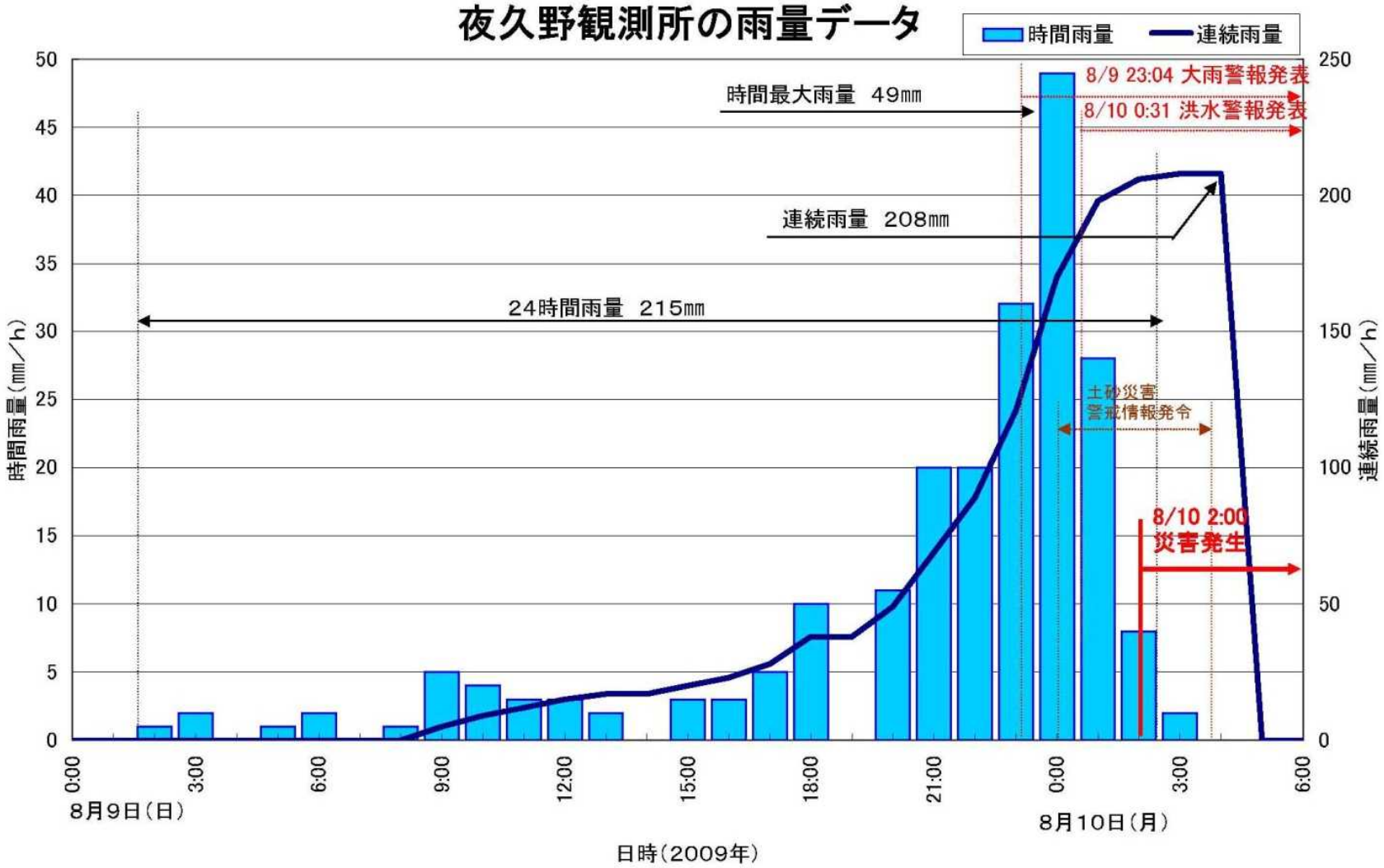
表土



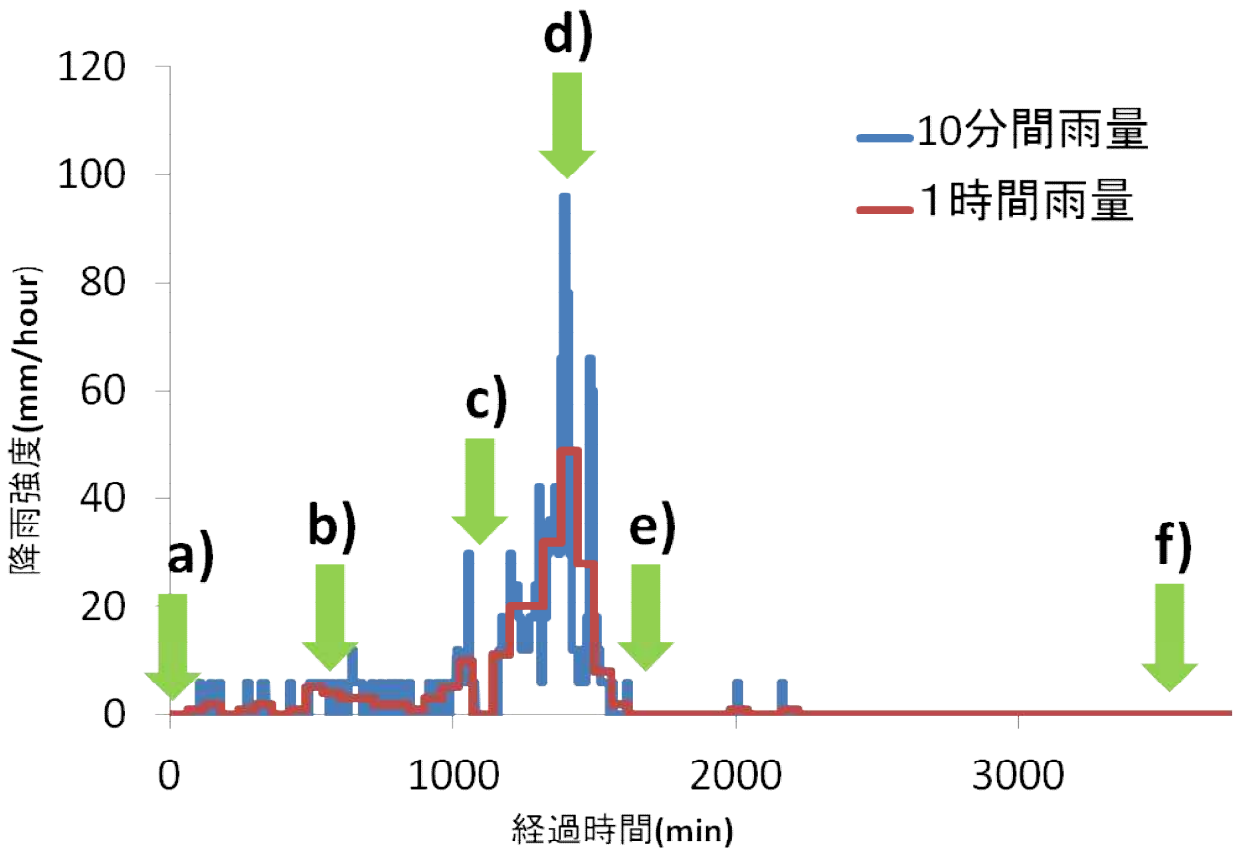
岩盤層

雨量観測データ

平成21年8月9日～10日の京都府福知山市夜久野町の降雨記録



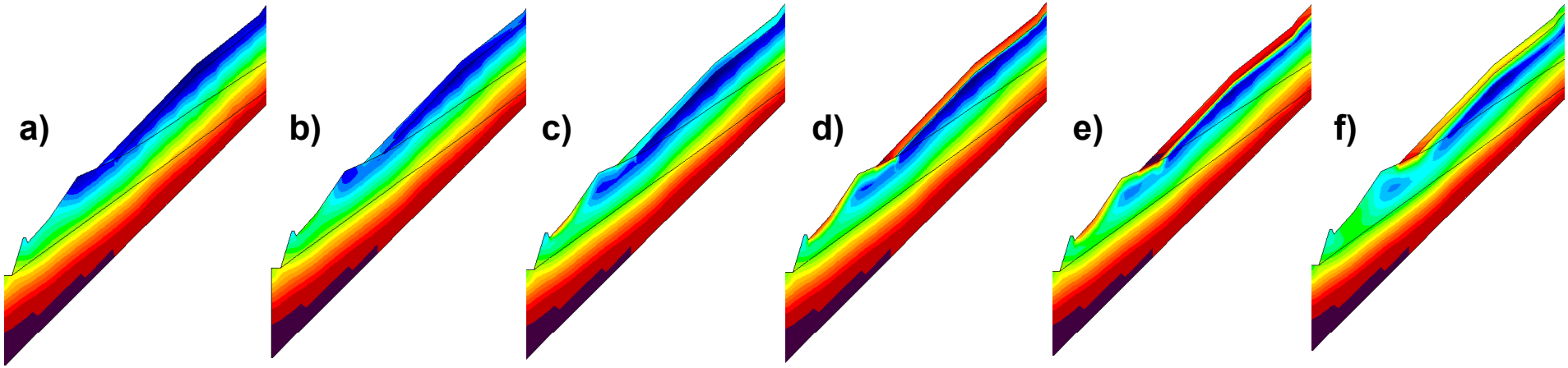
降雨境界条件～2種類の降雨強度



降雨強度の取り扱いの違い⇒雨水浸透挙動の違い
⇒**斜面内の飽和度分布**の違い

斜面内の飽和度分布（10分間雨量）

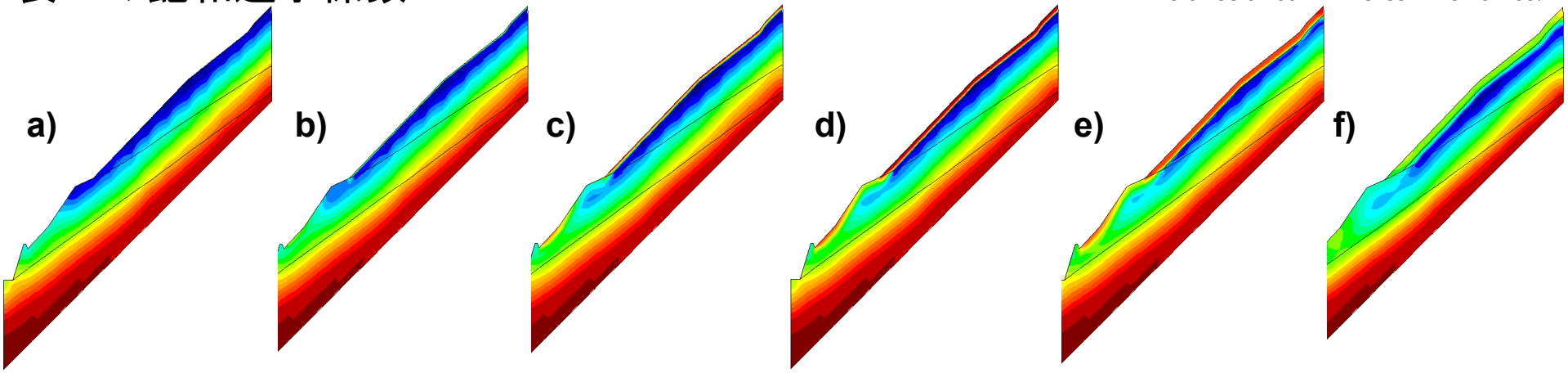
表土の飽和透水係数=1.0×10^{-3} cm/sec



0 min　600 min　1200 min　1400 min　1700 min　3720 min

49.6　58.0　66.4　74.8　83.2　91.6　100%

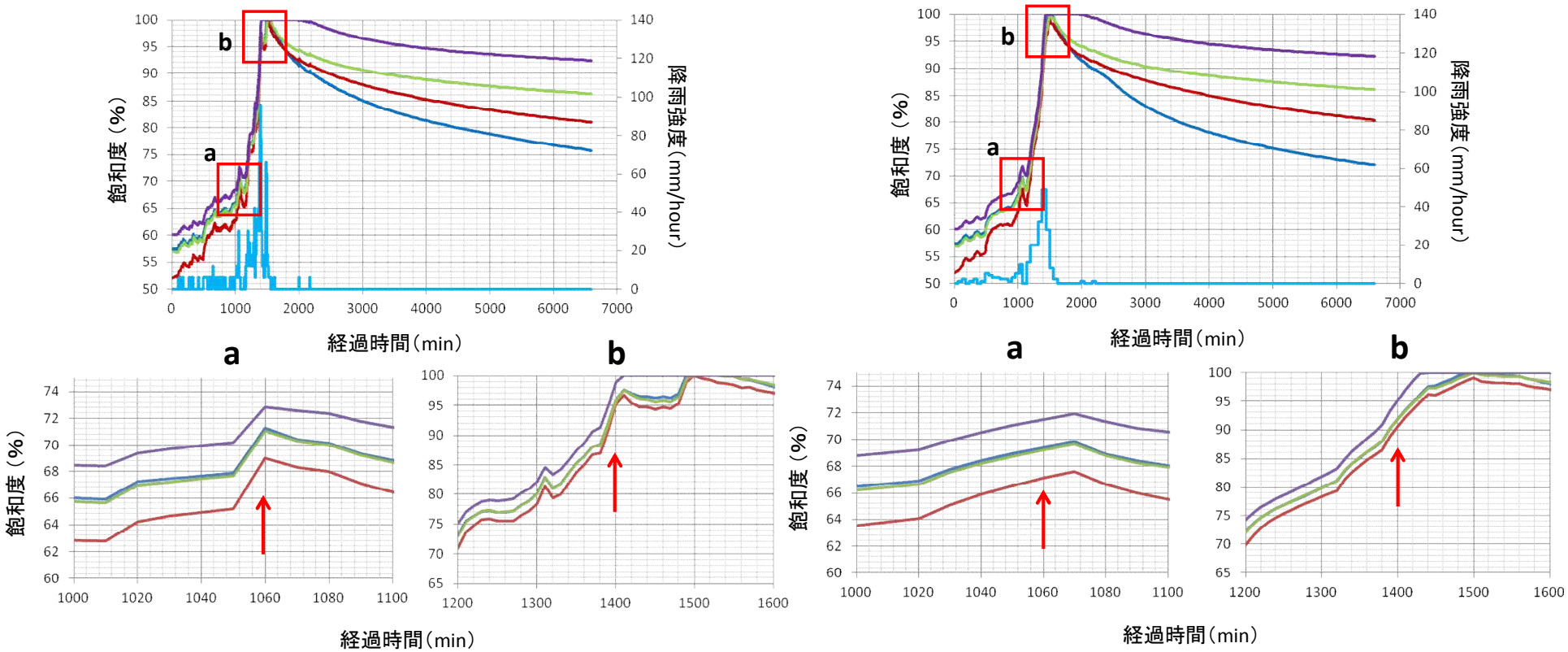
表土の飽和透水係数=1.0×10^{-4} cm/sec



0 min　600 min　1200 min　1400 min　1700 min　3720 min

深さ10cmにおける飽和度の経時変化

表土の飽和透水係数=1.0×10^{-3} cm/sec



10分間雨量

1時間雨量

斜面の安定解析

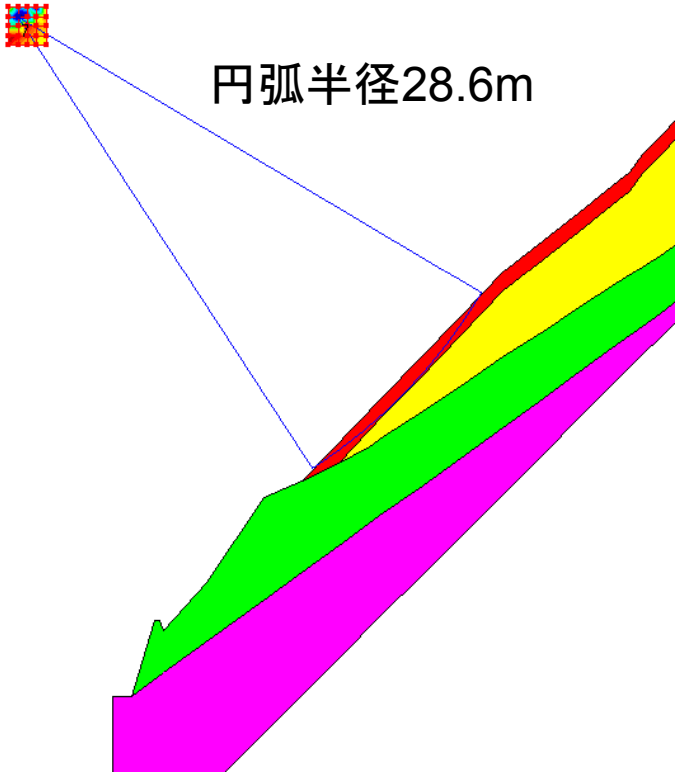
円弧すべり安定解析（フェレニウス法）

各層の設定物性値

	γ (kN/m³)	c (kN/m²)	φ (°)
表土	18	7.2	30
強風化泥岩	23	750	36
風化泥岩	24	1000	37
泥岩	25	1500	38

$$F_S = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(c_i l_i + N_i \tan \varphi_i \right)}{\sum_{i=1}^{n} W_i \sin \theta_i}$$

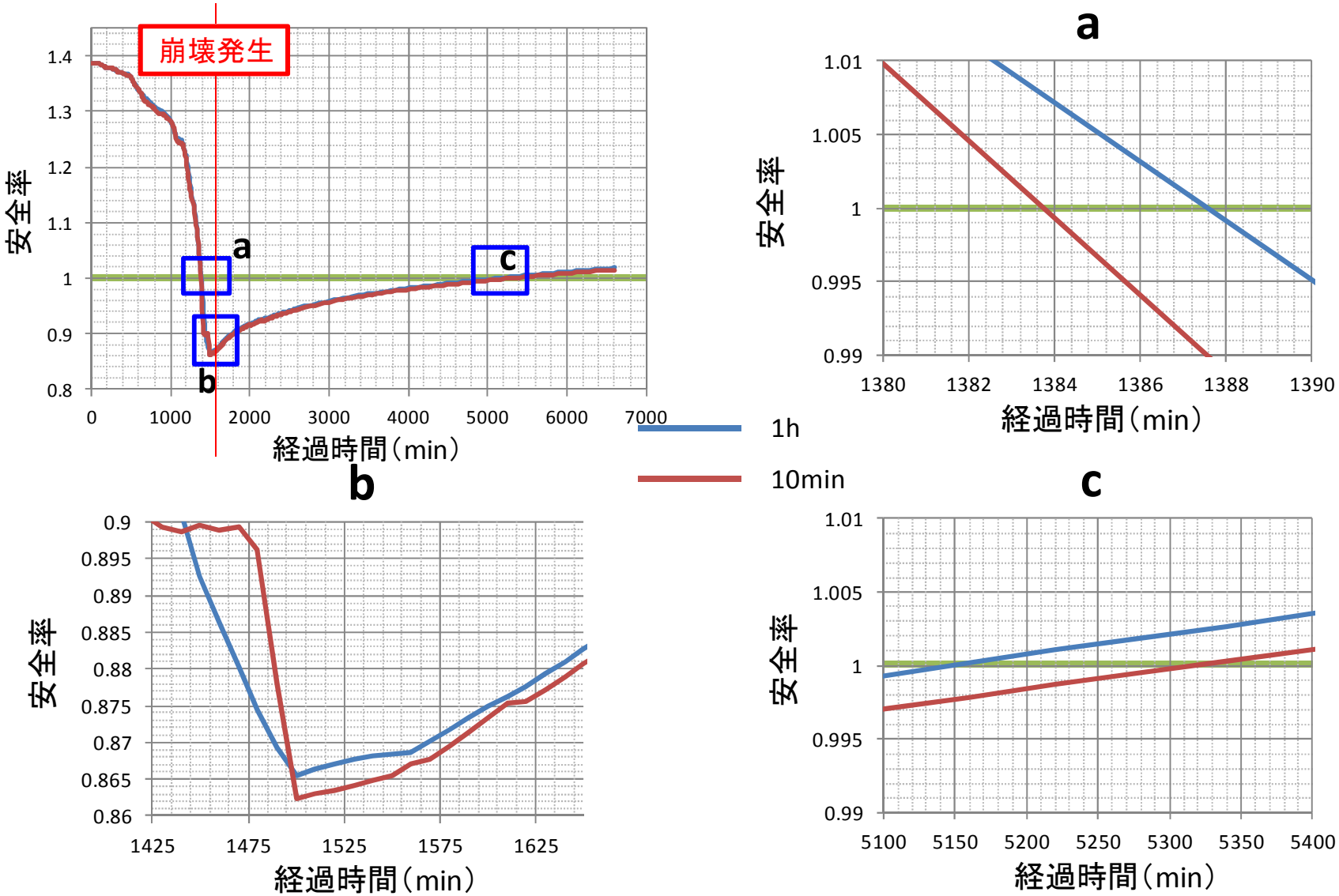
$$N_i = W_i \cos\theta_i - U_i$$



シルト質砂礫と強風化泥岩の境界付近にすべり面を想定

斜面の安全率の経時変化(1)

表土の飽和透水係数=1.0×10^{-3} cm/sec



まとめ（表層崩壊の再現解析）

- 解析結果より，降雨に伴う雨水浸透により，**表土の飽和度が上昇**し，**表土の単位体積重量の増加**および**間隙水圧の増加**による**すべり面付近**（**シルト質砂礫層と強風化泥岩層の境界**）**の有効応力の減少**が起こり，**表層崩壊**は発生したと考えられる
- 雨水浸透挙動および斜面の安定性（安全率）は**表土の飽和透水係数のオーダー**および**不飽和特性**に大きく支配され，表土の飽和透水係数が小さい場合，雨水の浸透は表土の浅部に留まり，想定したすべり面付近の飽和度があまり上昇せず，その結果安全率は1を下回らない結果となった．一方，**表土の飽和透水係数が大きい場合**は，**斜面の深度方向への雨水浸透**および**浸透した雨水の斜面勾配方向への流下**が発生し，想定したすべり面付近の飽和度が上昇する．特に，**法尻付近の飽和度は降雨の初期から上昇し，常に高い飽和度を示す**．その結果、斜面の安全率は1.0を下回り表層崩壊が発生する．
- 今後，**ゲリラ豪雨時のより精度の高い斜面安定性評価，危険度予測および早期警戒情報の発令・解除**のためには，**現状把握のためのリアルタイム計測・モニタリング**および**高精度な降雨情報**（例えば，Xバンドレーダーの情報など）が必要不可欠であり，これらを反映させた数値解析手法の確立が必要である．

雨量通行規制発令･解除を目的とした豪雨時の斜面安定解析
～数値解析の活用法～

（国道9号線，福知山市夜久野町日置地区の例）

背景

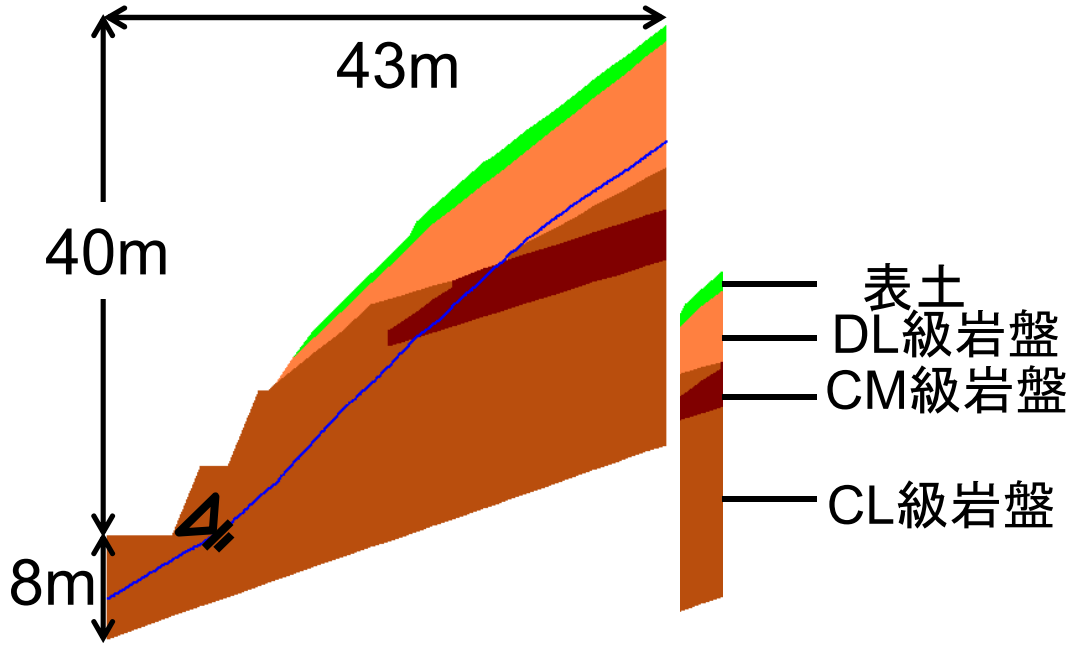
- 豪雨時における国道を対象とした道路通行規制の発令には，**事前通行規制区間**において**連続した時間雨量の累積を基準**としているため，**降雨特性に対応したきめ細やかな事前通行規制**ができないのが現状である．
- 道路斜面は**多種多様な地形，地質構造，土質・岩質，地下水**を有しており，斜面への**豪雨時の雨水浸透・崩壊メカニズム**を考慮することなく，**降雨量の情報のみで，斜面安定性・崩壊危険度の評価・予測は困難**であり，交通規制を発令することは可能であっても，降雨終了後の交通規制の解除を行うことはできない．
- そこで，**降雨特性**（**降雨強度・降雨波形**など）や斜面の**地形・地質**などに応じた，**「きめ細やかで安全かつ最小限の事前通行規制」**を行う必要がある．

対象斜面（雨量通行規制区間内）

福知山市夜久野町日置
国道9号線沿い

地形

長さ40m，幅20mの浅い**崩壊地形**で上部には**滑落崖**が認められる．
傾斜は40度前後．

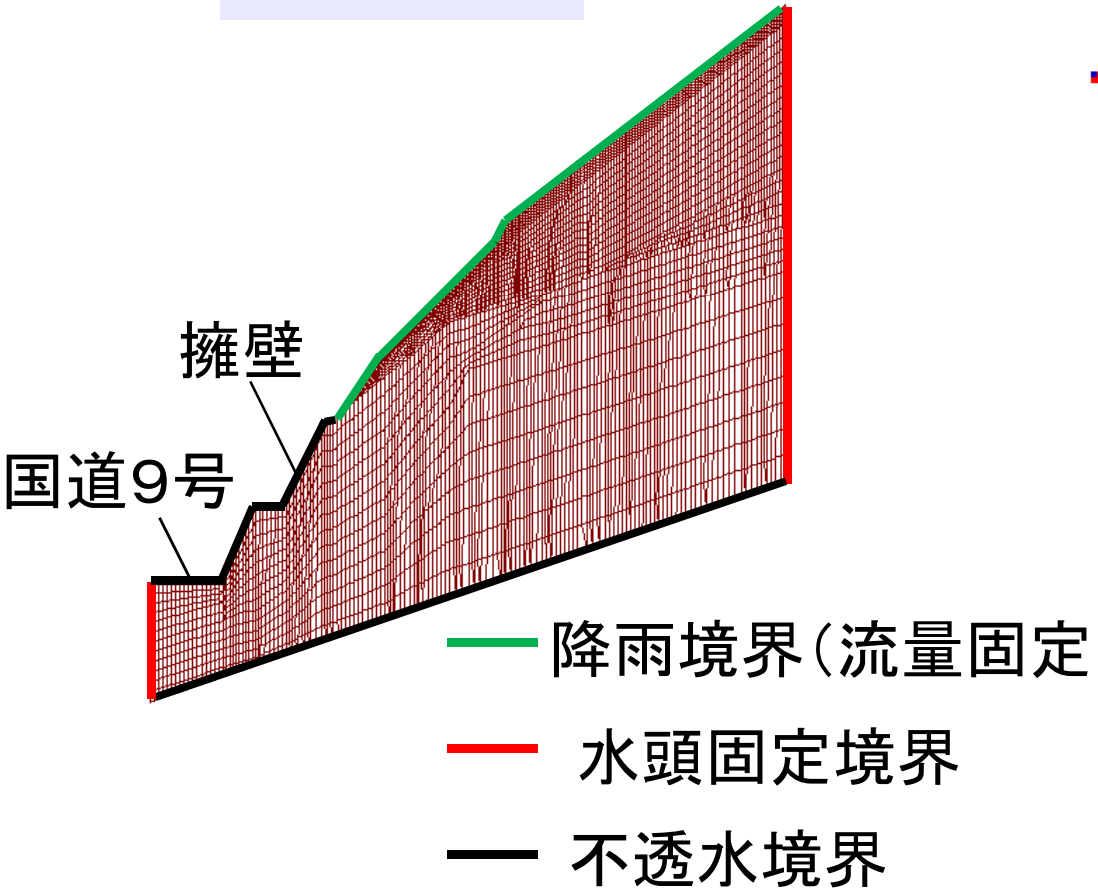


岩盤状況

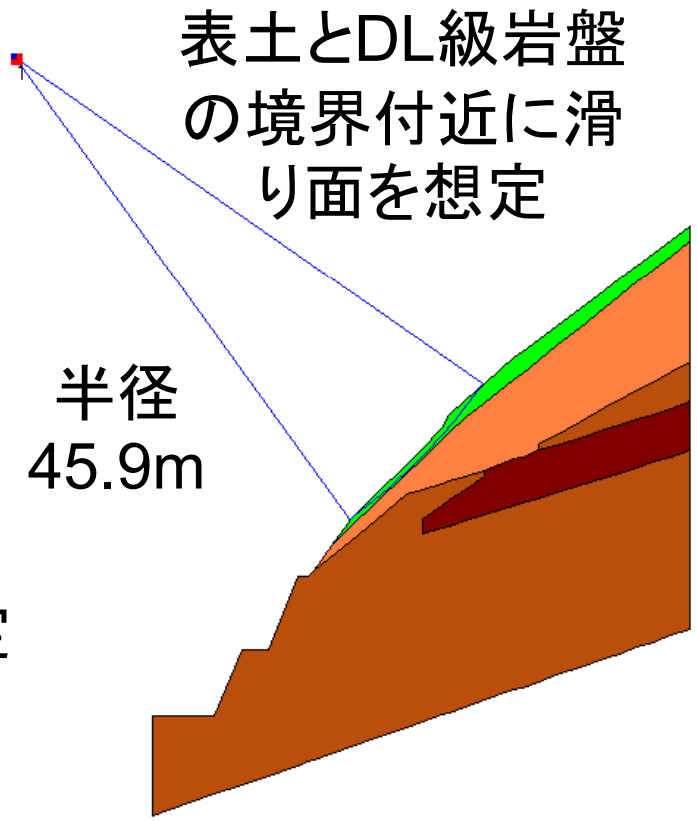
表土：**礫混じり土砂**，**厚さ0~1.5m程度**．
表層より深部の**岩盤層**は**舞鶴層群の頁岩およびチャート**で岩盤状況はDL級岩盤が8～10mで分布している．
地下水位は**深度8～9m付近**に位置している．

解析モデルおよび境界条件

境界条件



検討した円弧の位置



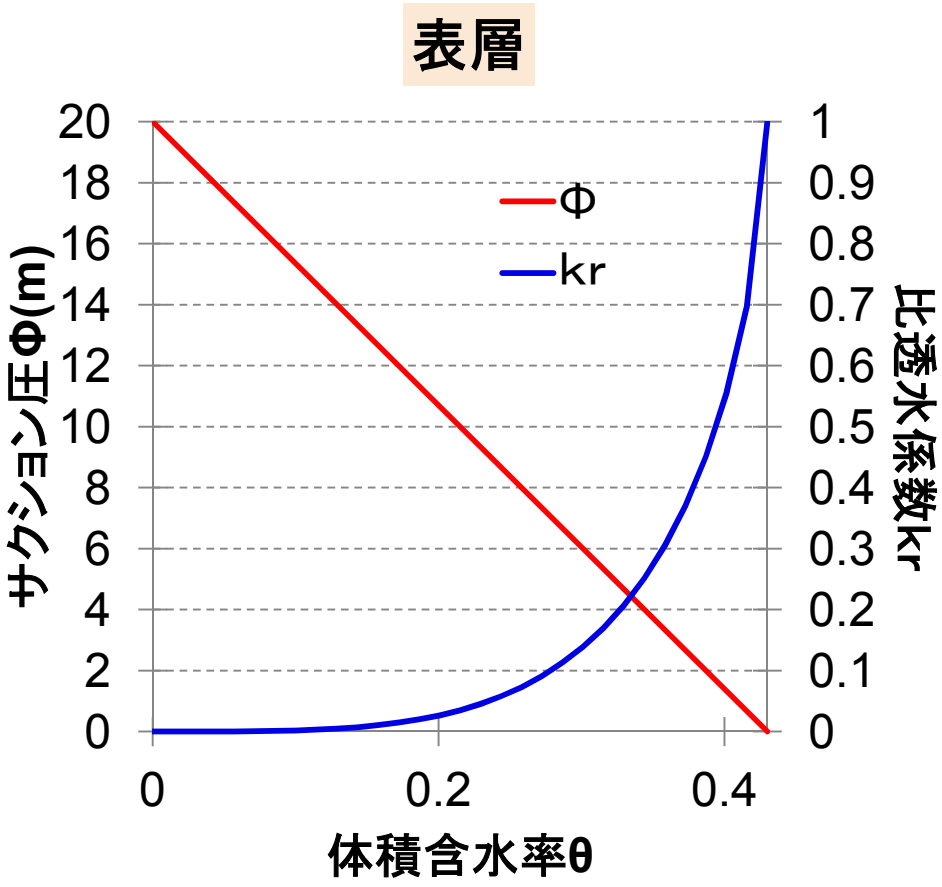
地盤物性

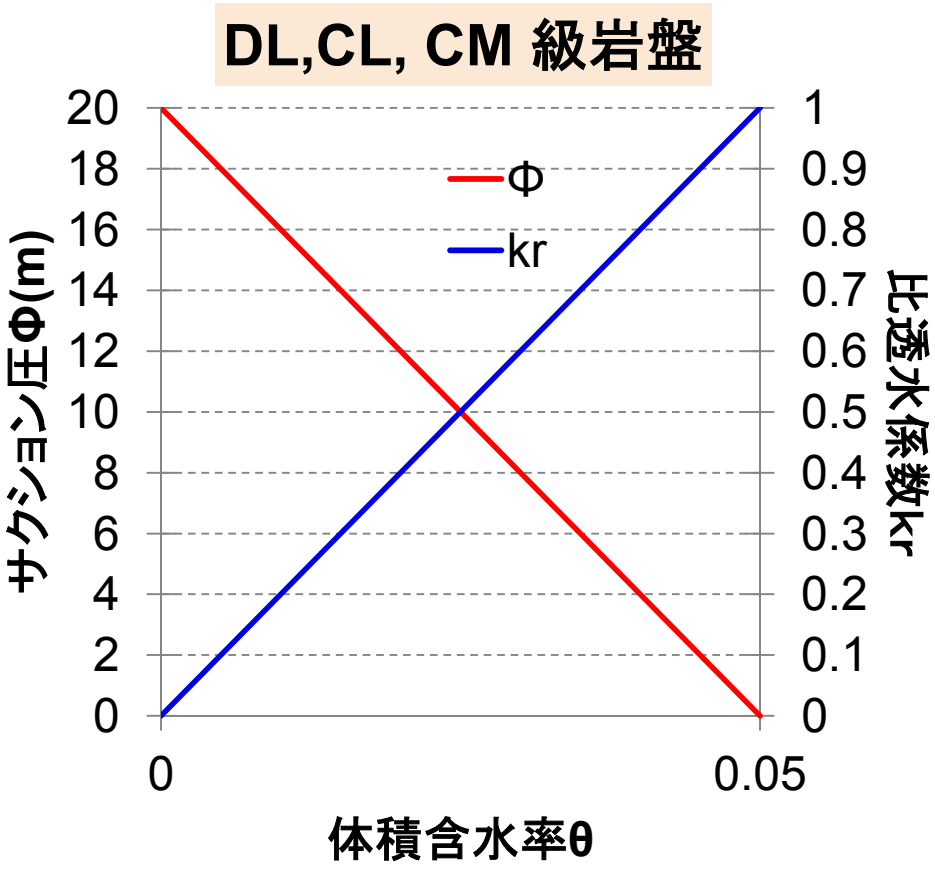
γ:土の単位体積重量　，c:粘着力
φ:内部摩擦角　，k:飽和透水係数

	γ (kN/m^3)	c (kN/m^2)	φ (°)	k (cm/sec)
表土	18	2	33.72	9.62×10^{-3}
DL級岩盤	20	100	30	1.0×10^{-5}
CM級岩盤	25	1000	40	5.0×10^{-6}
CL級岩盤	22	500	40	1.0×10^{-6}

- ✓ 表土層については地質調査・原位置透水試験の結果から設定.
- ✓ 岩盤層については換算N値および文献から推定.

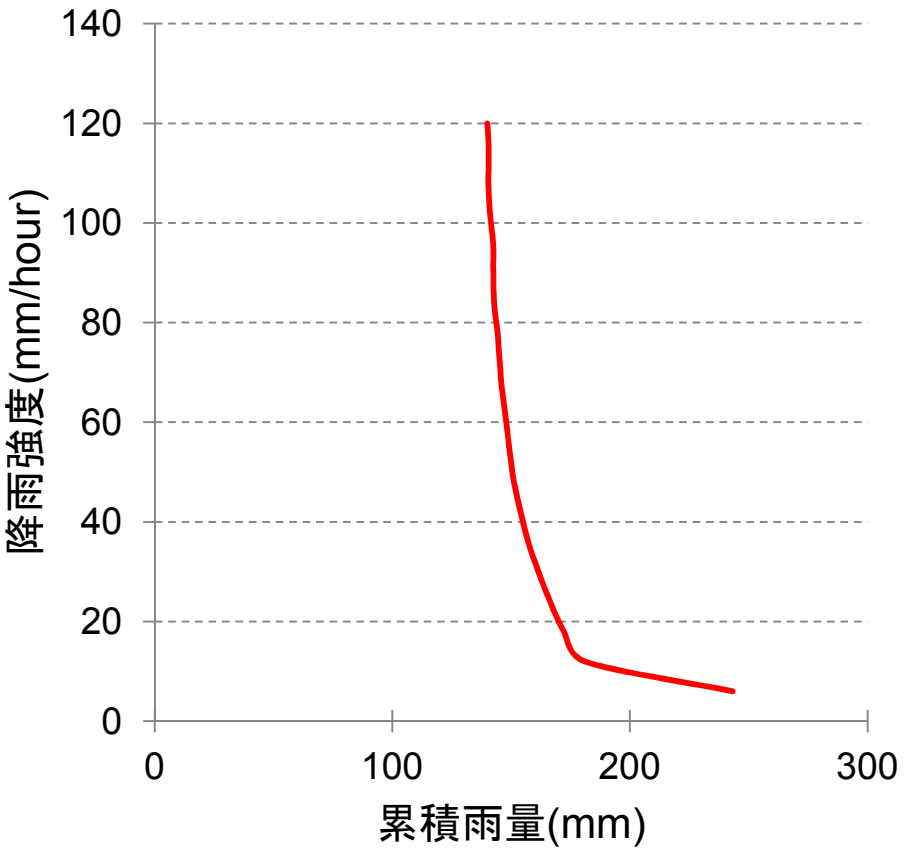
不飽和特性


表層
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
サクション圧Φ(m)
Φ
kr
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
比透水係数kr
0
0.2
0.4
体積含水率θ


DL,CL, CM 級岩盤
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
サクション圧Φ(m)
Φ
kr
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
比透水係数kr
0
0.05
体積含水率θ

通行規制基準線の設定

降雨強度一定のもとで浸透流解析および円弧すべり解析を行い，**安全率が1を下回った時点での累積雨量**を考察した．降雨強度は6～120mm/hourの20通りを検討．



•降雨強度が大きいほど累積降雨量は小さくなる．

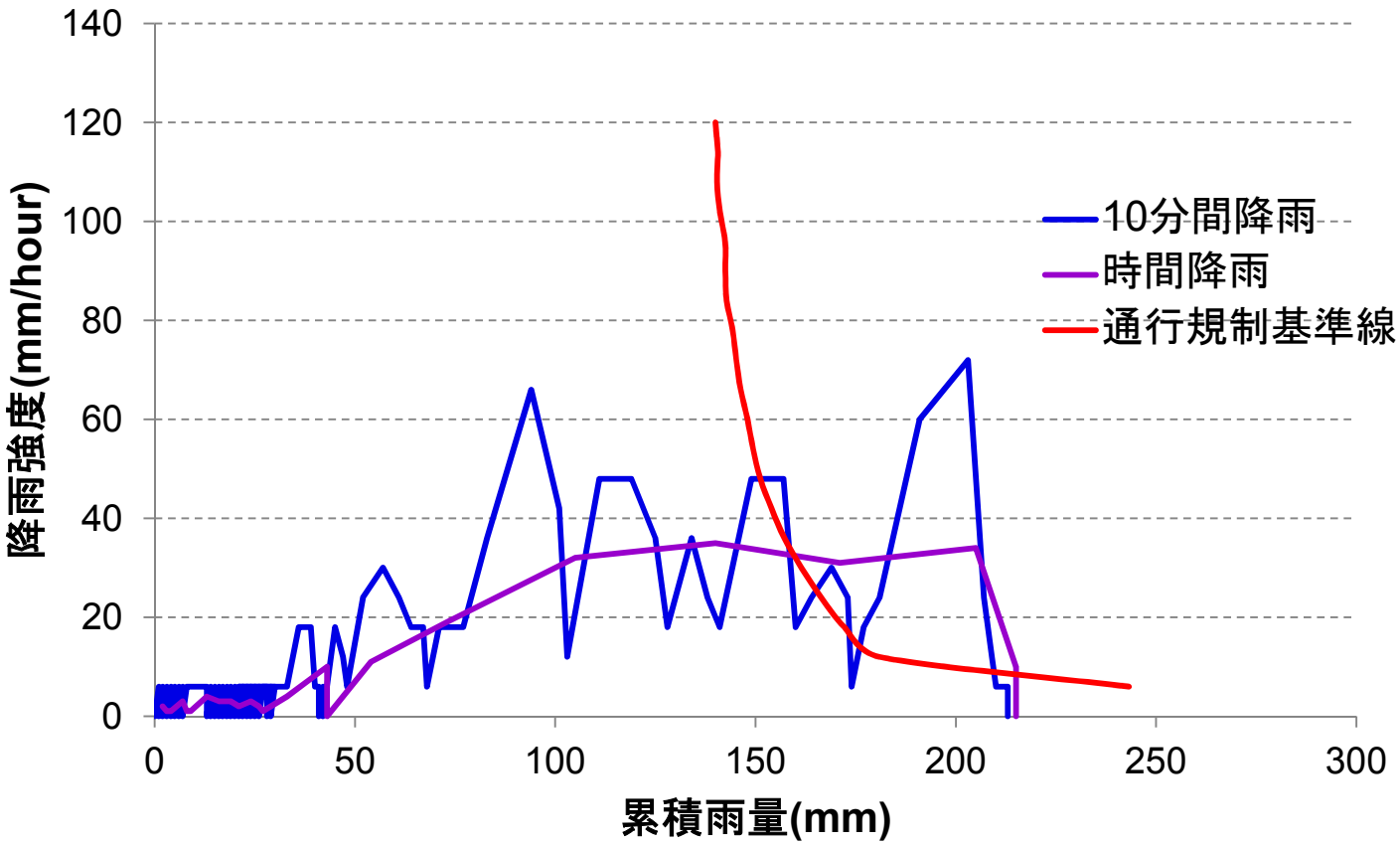
➡ 降雨強度が大きいほど，雨水の供給量が多く，浸透が速い

•降雨強度が非常に大きいと累積雨量はほぼ一定となる．

➡ 斜面の浸透能よりも降雨強度が大きい

斜面の危険度評価(1)

2009年8月9日の降雨（集中豪雨）

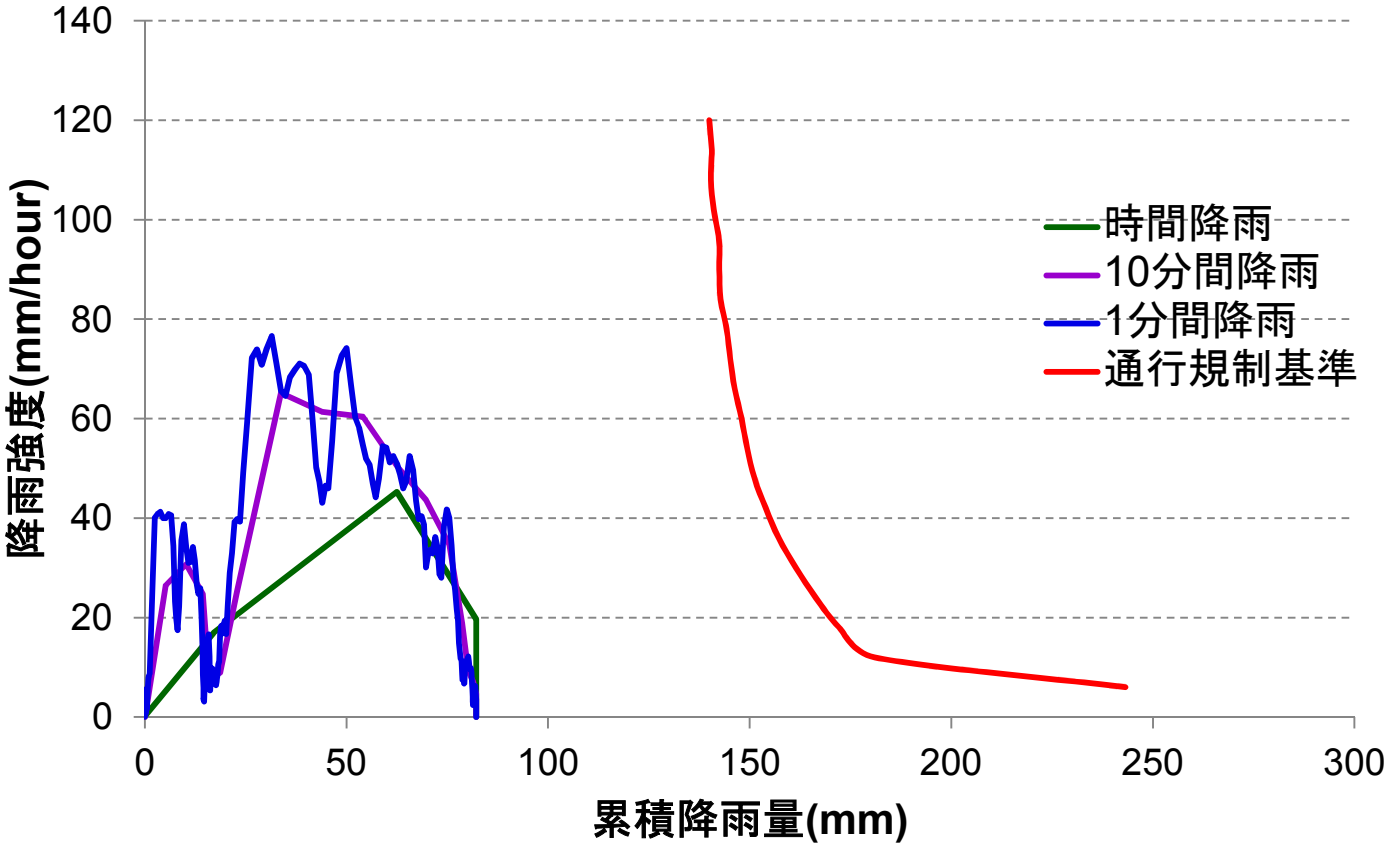


	10分間降雨	時間降雨
累積雨量	151.0mm	160.0mm

10分間降雨での評価の方が累積雨量は少ない

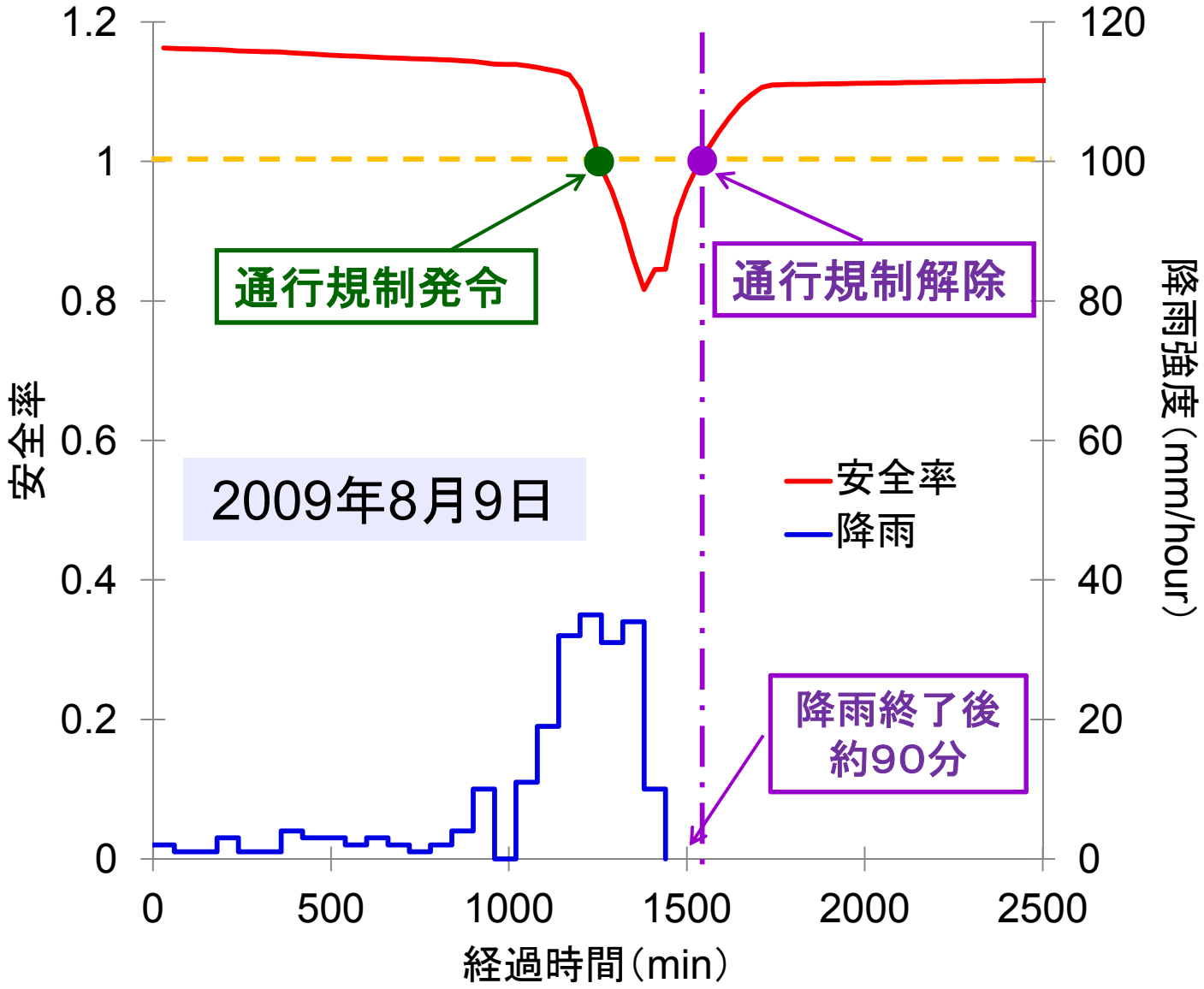
斜面の危険度評価(2)

ゲリラ豪雨

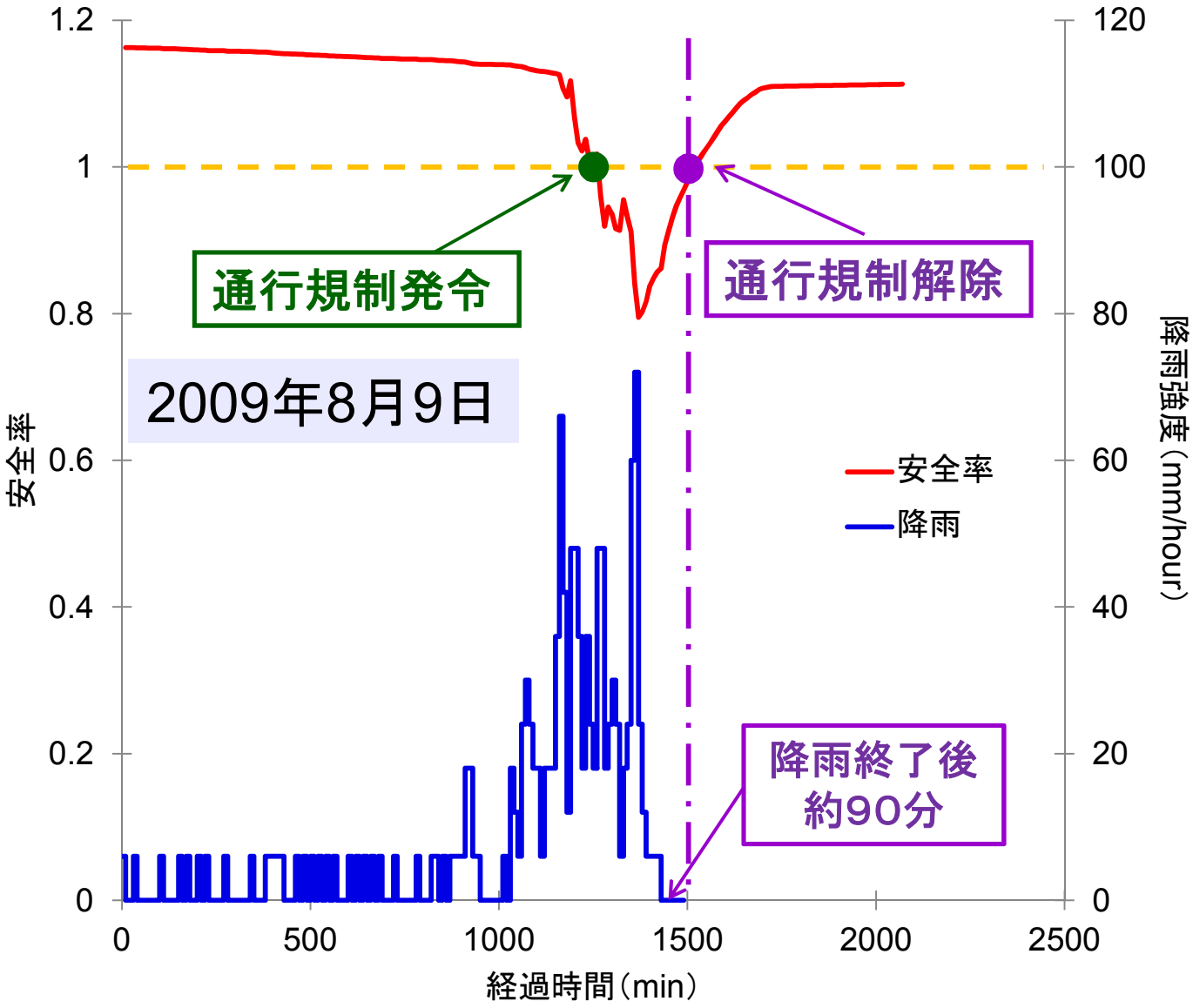


- ✓ 降雨強度が大きくても，累積雨量が少なければ危険度は低い.
- ✓ しかし，先行降雨の影響が残っている場合，降雨強度のインパクトが大きなゲリラ豪雨が斜面の安定度を著しく損ねる可能性がある.

安全率の経時変化(1)


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
安全率
120
100
80
60
40
20
0
降雨強度(mm/hour)
0
500
1000
1500
2000
2500
経過時間(min)
通行規制発令
通行規制解除
2009年8月9日
安全率
降雨
降雨終了後
約90分

安全率の経時変化(2)


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
安全率
120
100
80
60
40
20
0
降雨強度(mm/hour)
0
500
1000
1500
2000
2500
経過時間(min)
通行規制発令
通行規制解除
2009年8月9日
安全率
降雨
降雨終了後
約90分