

豪雨時の斜面災害発生リスクの 軽減と規制緩和・解除への適用

「土壌水分を考慮した斜面監視システムの実装」

京都大学大学院工学研究科 都市社会工学専攻
プロジェクト代表 岸田 潔

京
都
大
学

KYOTO UNIVERSITY



研究背景：道路交通における斜面災害リスクの緩和

降雨量のみを判断指標とする連続雨量による通行規制では、**「見逃し」**となった事例

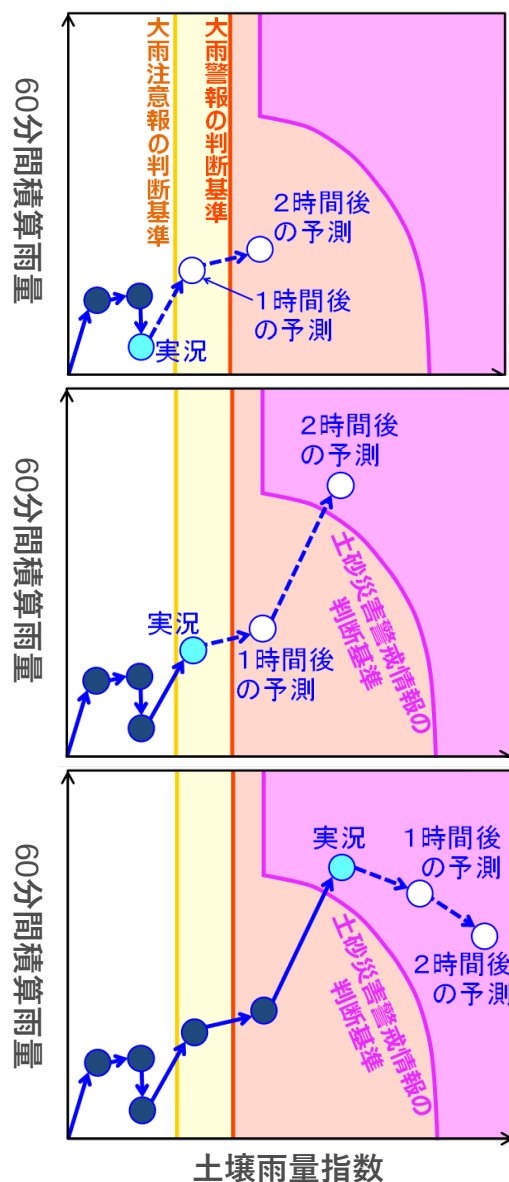
斜面内の水分量指標を用いた土砂災害警戒情報に基づく
パトロールによって**「見逃し」**を防いだ

累積の雨量だけでなく、**時々刻々と変化する斜面の水分状態を補足した監視**が必要

「令和2年7月8日の早朝、枚方亀岡線において、道路の山側法面の土砂・倒木が崩落し、延長約50メートルにわたって2車線を塞ぐとともに、道路を越えて谷側の民有地にも到達。」

(引用元；大阪府：<http://www.pref.osaka.lg.jp/ibarakidoboku/xyz/index.html>)

土砂災害警戒情報を道路監視用へ昇華させる



土砂災害警戒情報 運用例

2時間先までに大雨警戒
(土砂災害) の
基準に到達すると予測

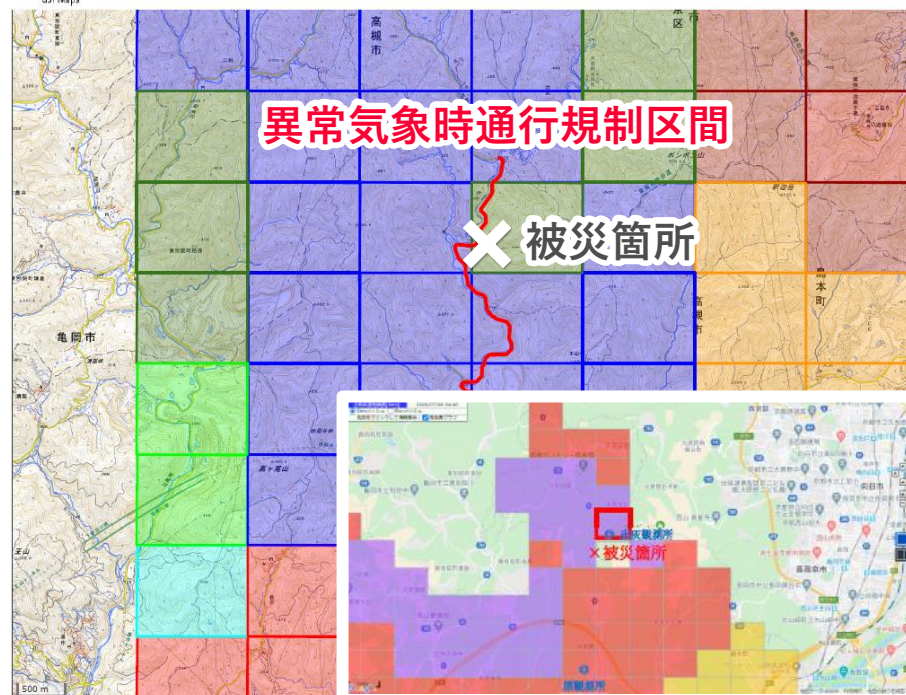
大雨警戒
(土砂災害) 発表
高齢者等は避難開始

2時間先までに
土砂災害警戒情報の
基準に到達すると予測

土砂災害警戒情報発表
避難開始

既に
土砂災害警戒情報の
基準に到達

地理院地図
GSI Maps



異常気象時通行規制区間への適用のイメージ

規制区間を含む各メッシュに対して、

1. 左図のスネーク曲線を地域性を考慮して描画し、
2. 道路用の警戒基準に基づき、監視して、
3. 通行規制の発令・解除の判断を行う。

土砂災害警戒情報を道路監視用へ昇華させる

道路監視への適用上の課題

1. 土壌雨量指数の妥当性の把握

- 異常気象時通行規制区間を対象に斜面を最小システムによりモニタリング
- Ishihara & Kobatake (1979)の直列3段タンクモデルに、監視区間の地質条件を考慮

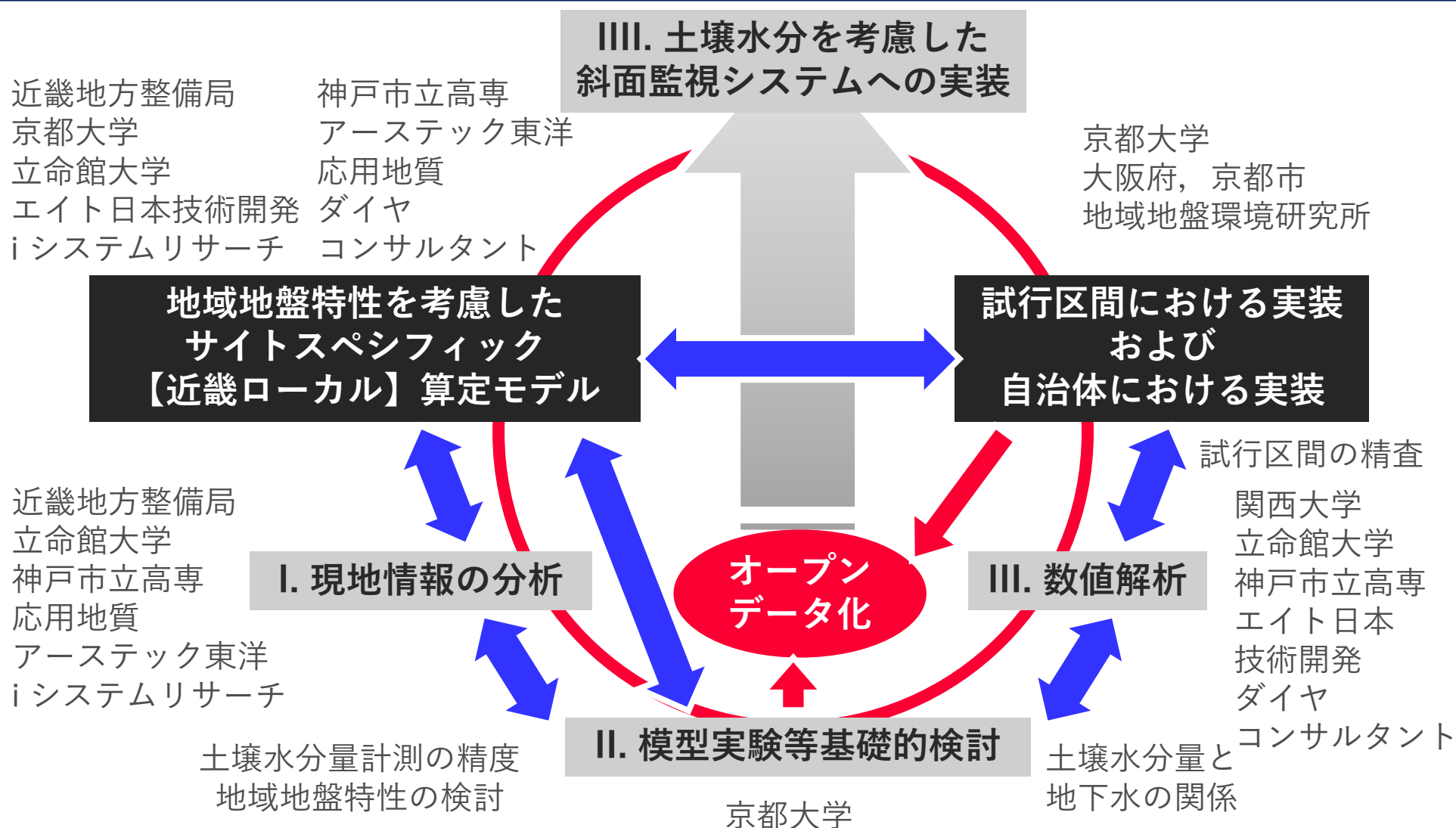
2. 道路斜面に相応しい警戒基準の設定

- 道路通行規制非発生降雨データに切り替えた道路用警戒基準へ
- 対策工を施した道路斜面に対する警戒基準の更新方法を検討

3. 警戒体制の社会実装

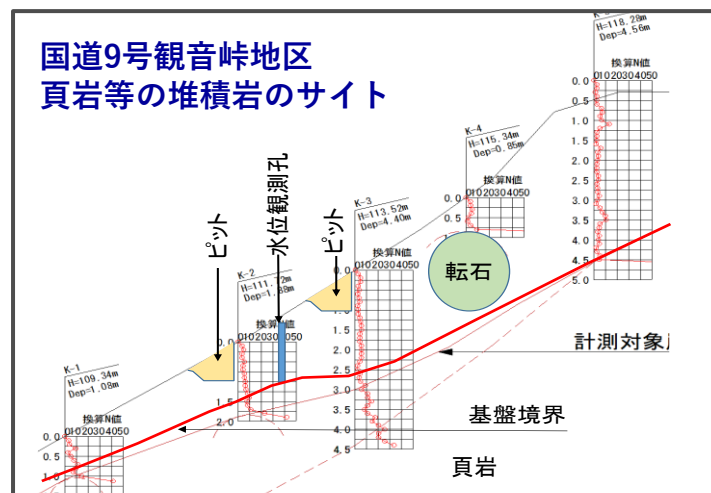
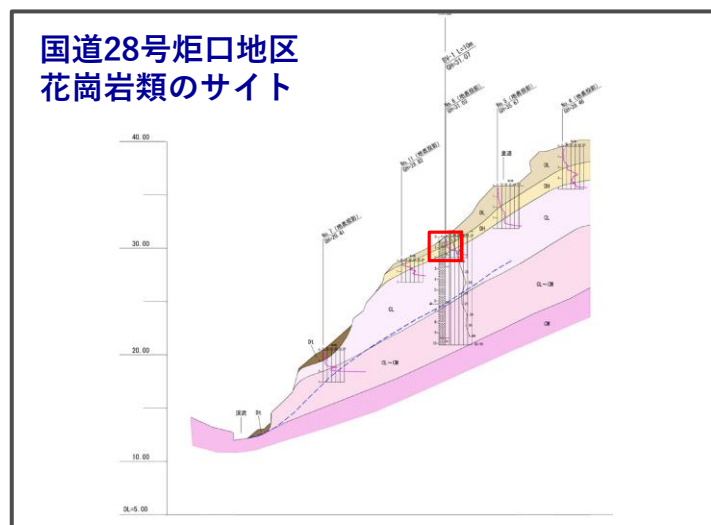
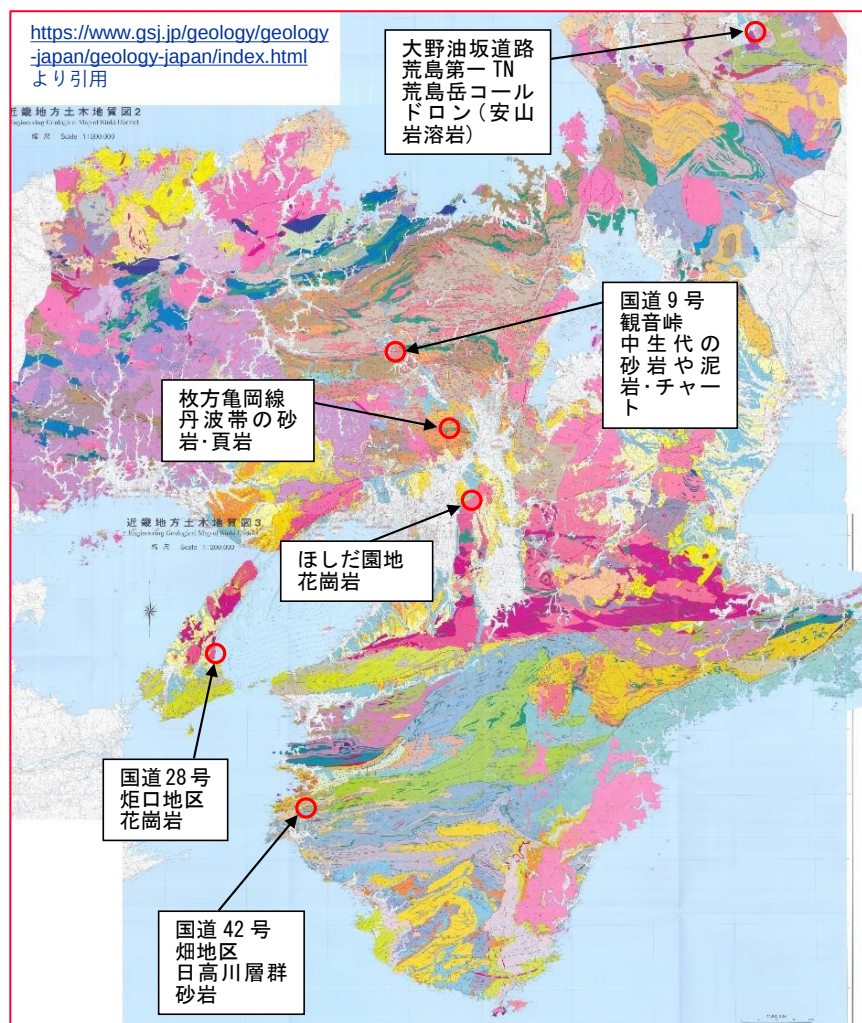
- 即時に実装可能な範囲から、システムの合理化を図る
- 土砂災害警戒情報と従来の連続雨量による規制の併用から施行を開始

実施体制：国道事務所・府・市との連携



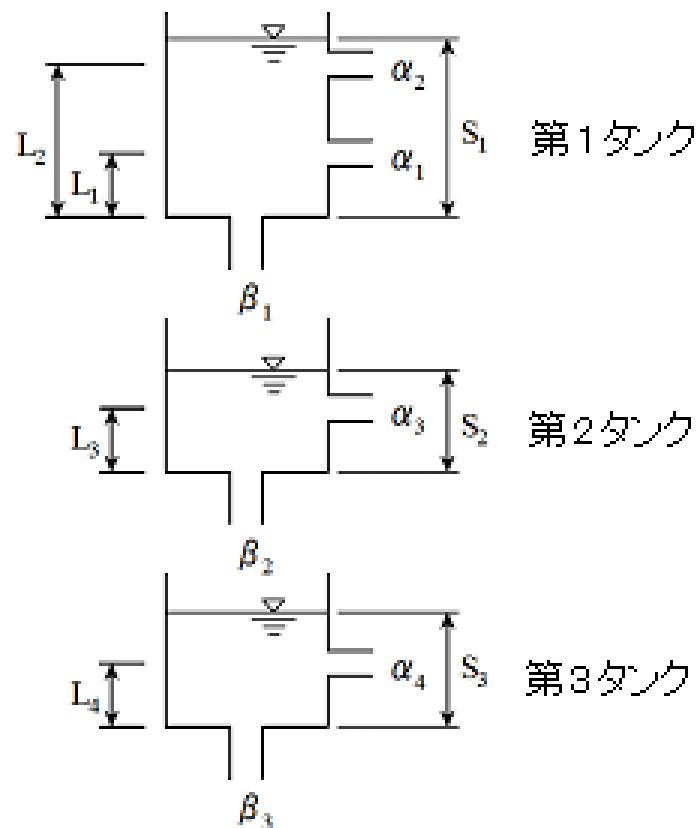
1. 土壌雨量指数の妥当性の把握

- 近畿の代表的地質構成の斜面2サイト（花崗岩類、堆積岩）において、最小計測システムによるモニタリング開始



1. 土壌雨量指数の妥当性の把握

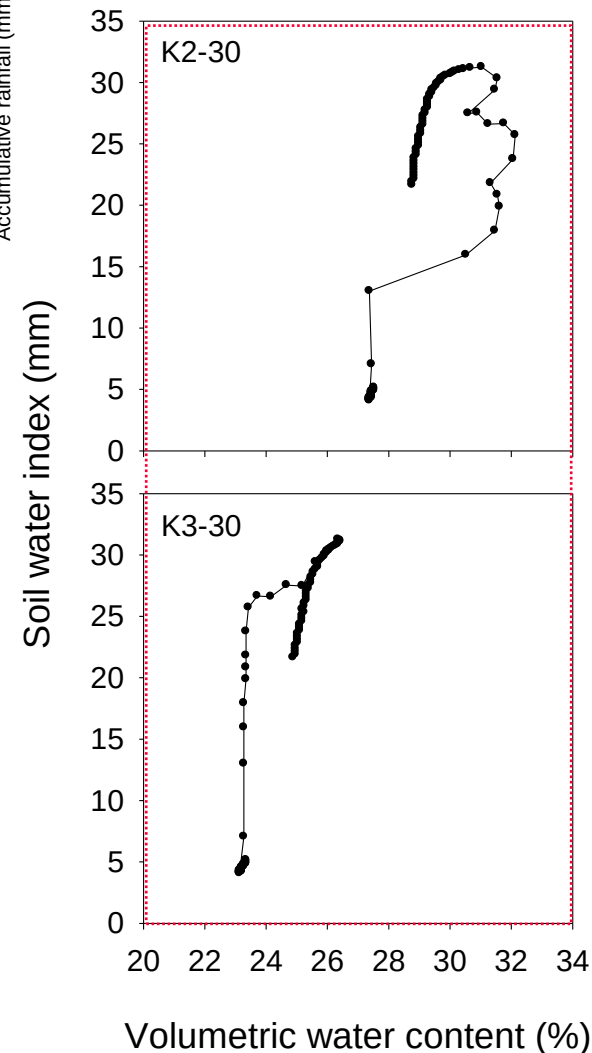
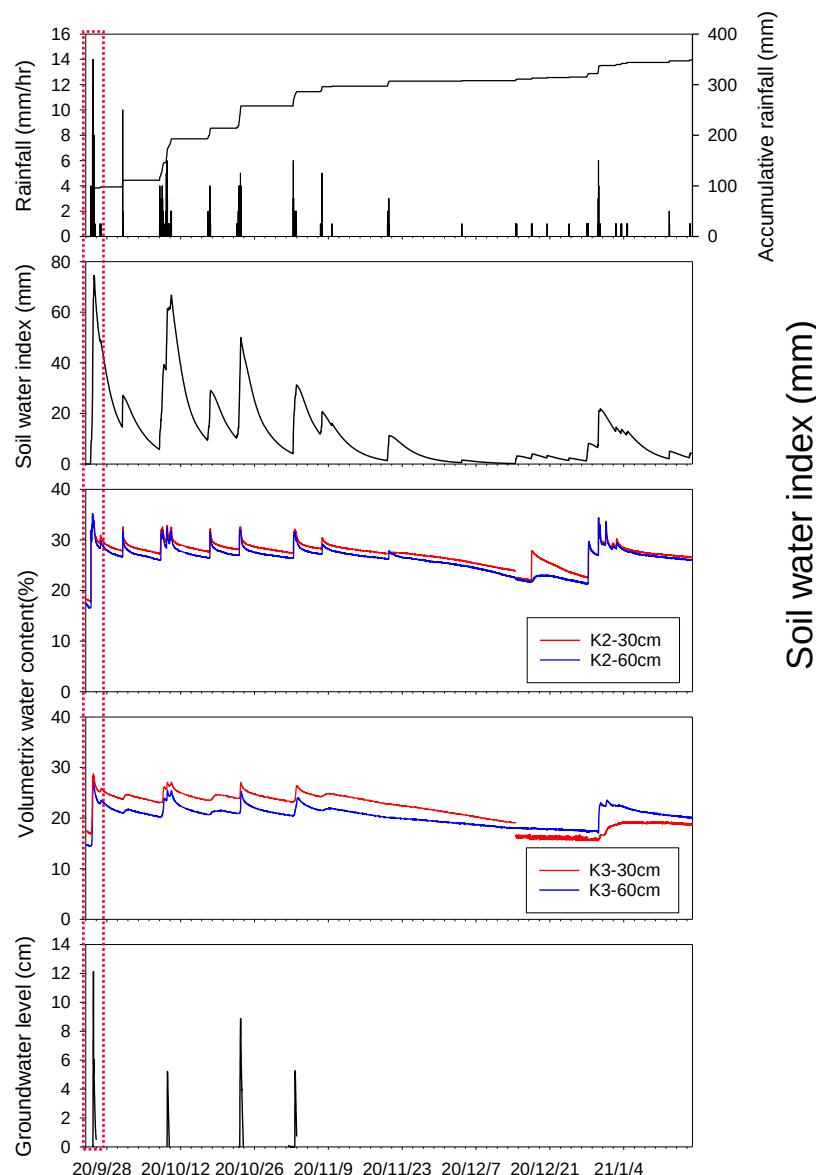
- Ishihara & Kobatake (1979)の直列3段タンクモデルに、監視区間の地質条件を考慮



- 土壌水分量の変動は第1タンクの貯留高さとの関係性が良い？
- 乾燥状態を含めた長期変動では第3タンクを修正する必要があるか？
- 上記の2点を同時に修正して実挙動を捕捉可能か？

1. 土壌雨量指数の妥当性の把握

- 観音峠地区において、2020年9月23日からモニタリングを開始
- サイトスペシフィックモデルの開発を目標に直列3段タンクモデルにより計算される土壌雨量指数と、土壌水分量の計測値を比較
- 計測される土壌水分量の変動に対して、土壌雨量指数の変動が遅れる傾向が明確であることを確認した。

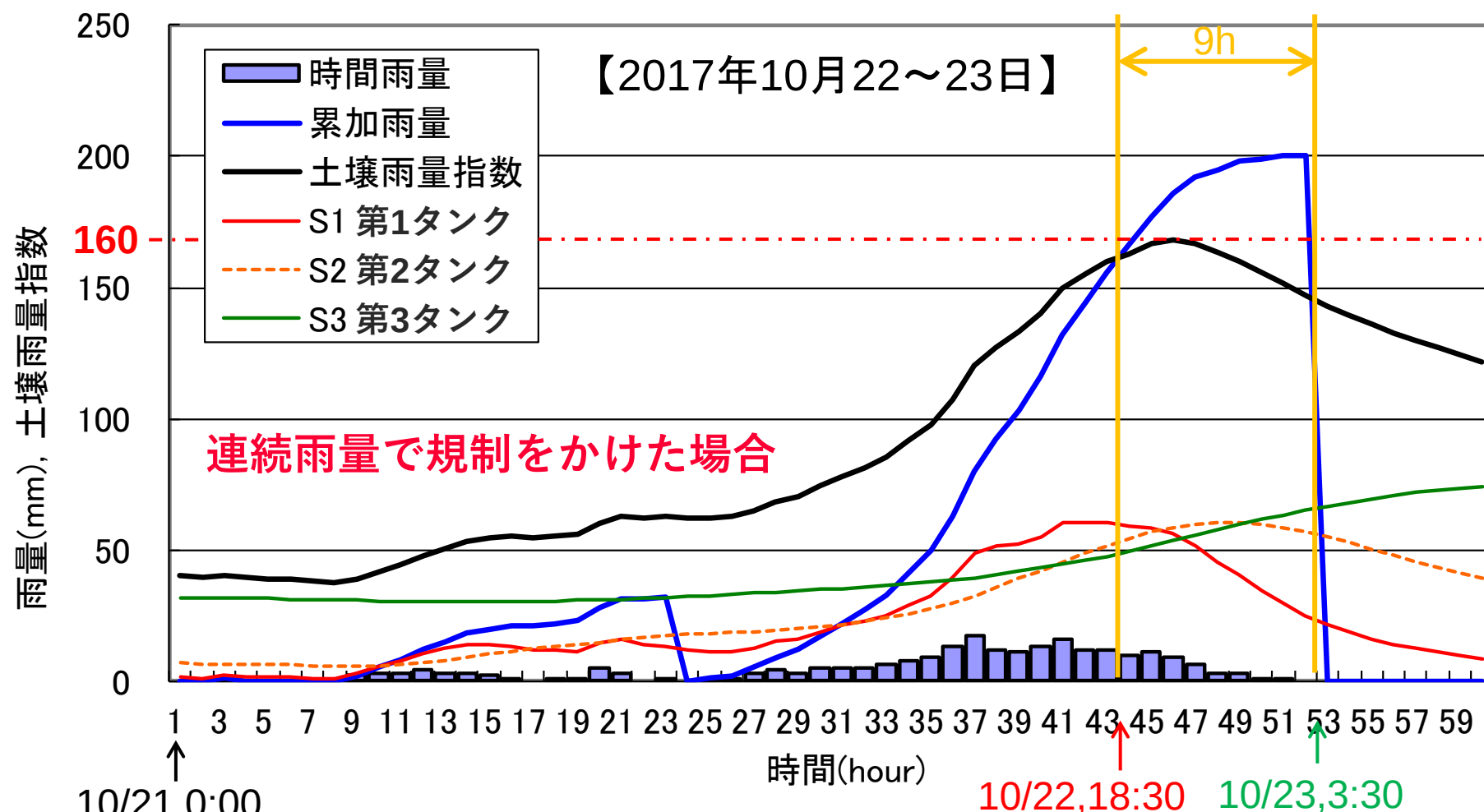


2021/9/14

8/24

2. 道路斜面に相応しい警戒基準の設定

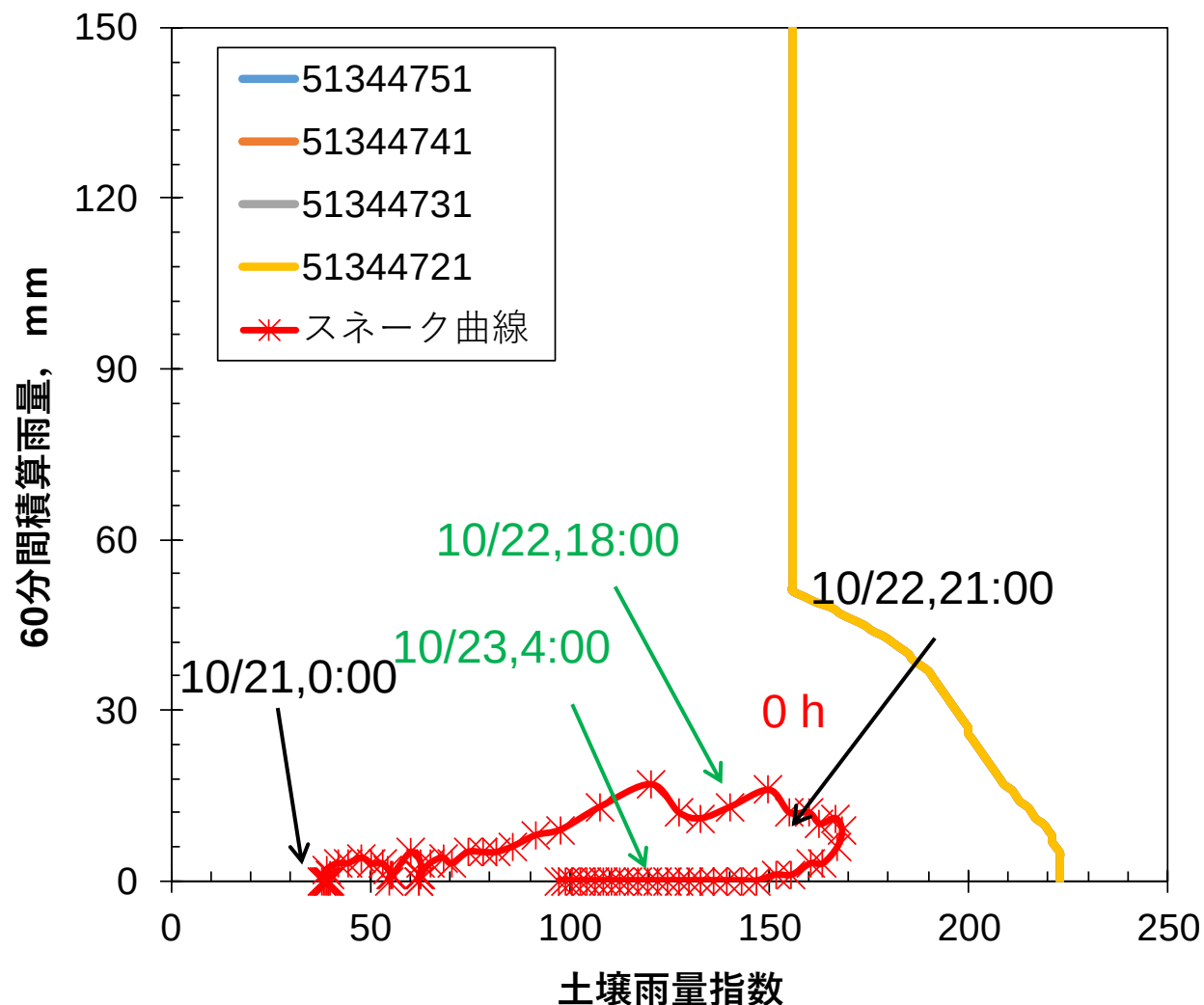
- 近畿地方整備局管内において，従来法と提案法の比較



2. 道路斜面に相応しい警戒基準の設定

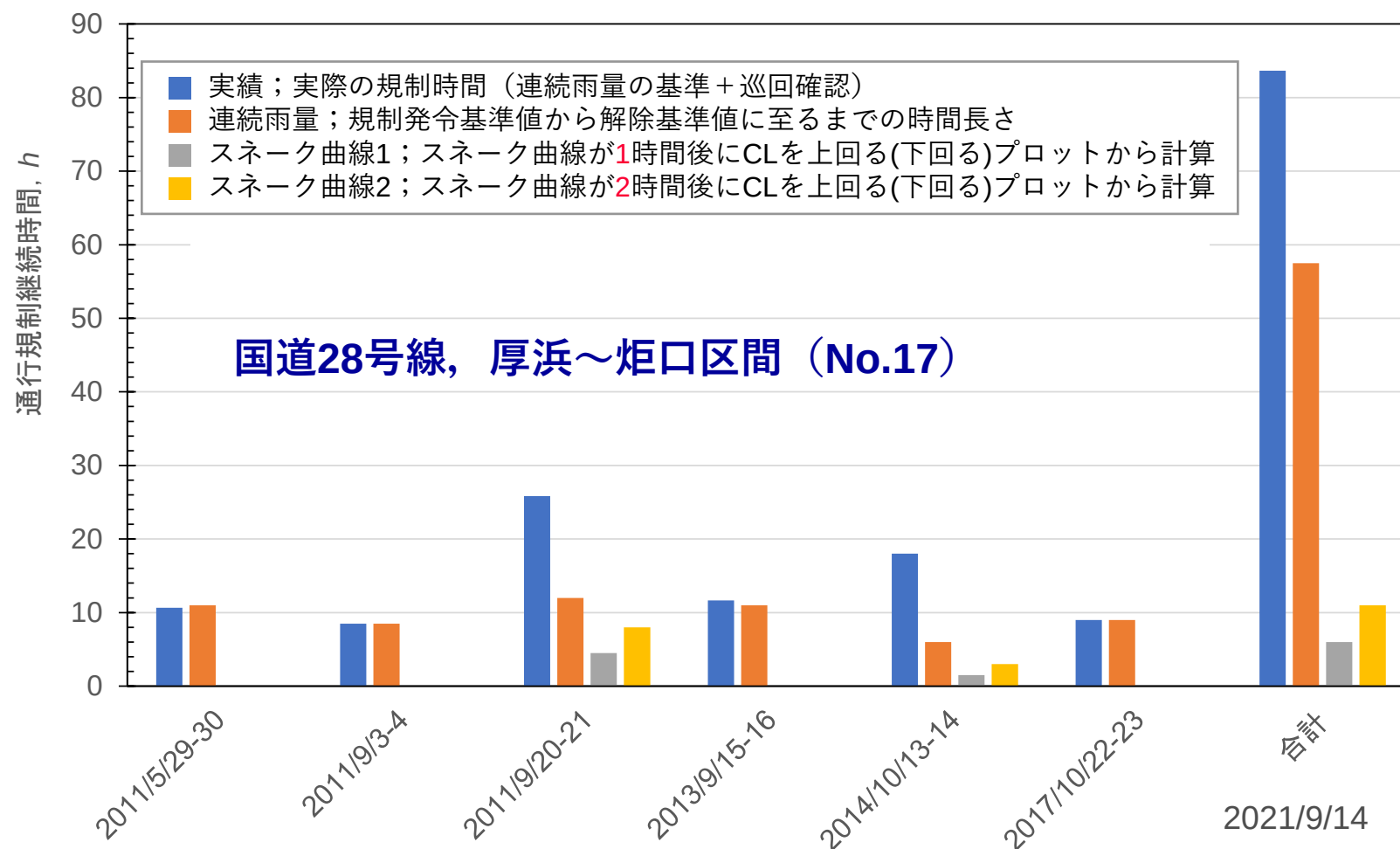
【2017年10月22～23日】

- 土砂災害警戒基準線（CL）のみで規制を発令した場合
- 連続雨量で規制を発令した場合と比較して、「空振り」を回避した事例
- 傾向としては、規制時間が短くなる



2. 道路斜面に相応しい警戒基準の設定

- CLのみを規制・解除の判断に用いると、規制時間短期化
 - CLを繰り返し超過する例が課題；予測雨量による整理が必要



2. 道路斜面に相応しい警戒基準の設定

- 道路通行規制非発生降雨データに切り替えた道路用警戒基準へ；道路用CL（Critical Line）の策定
- 10分間降雨を基に2種類提案

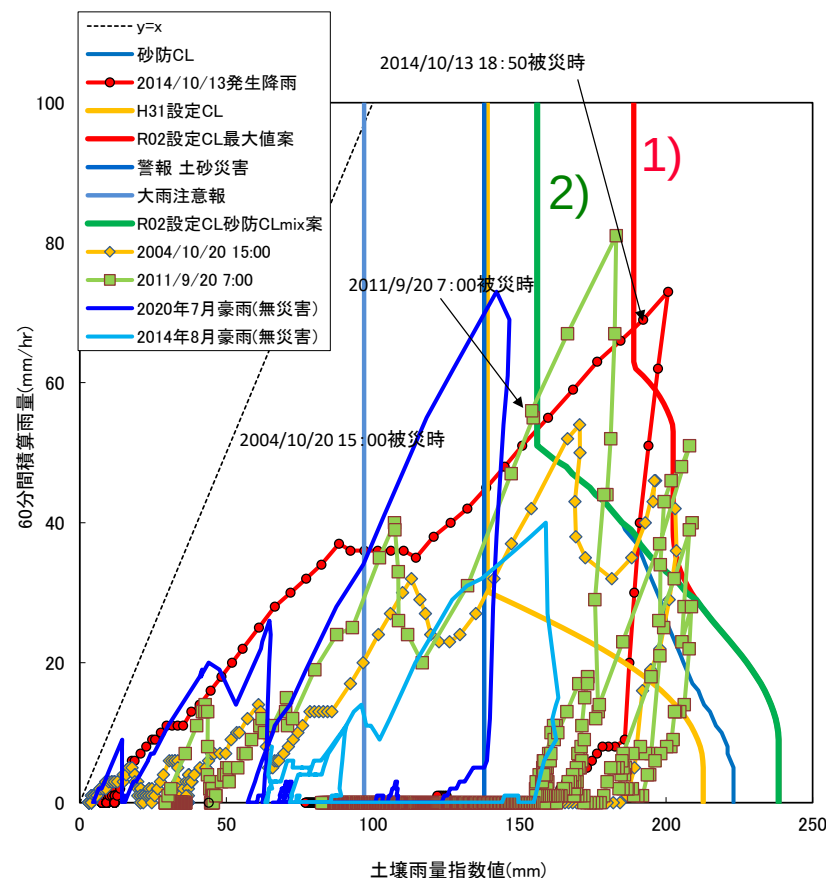
国道28号炬口地区に関して,

1. 被災実績を考慮した最大CL

災害発生降雨（2014年10月20日）時の土壌雨量指数と60分積算雨量がCLを超過する条件でCLを設定

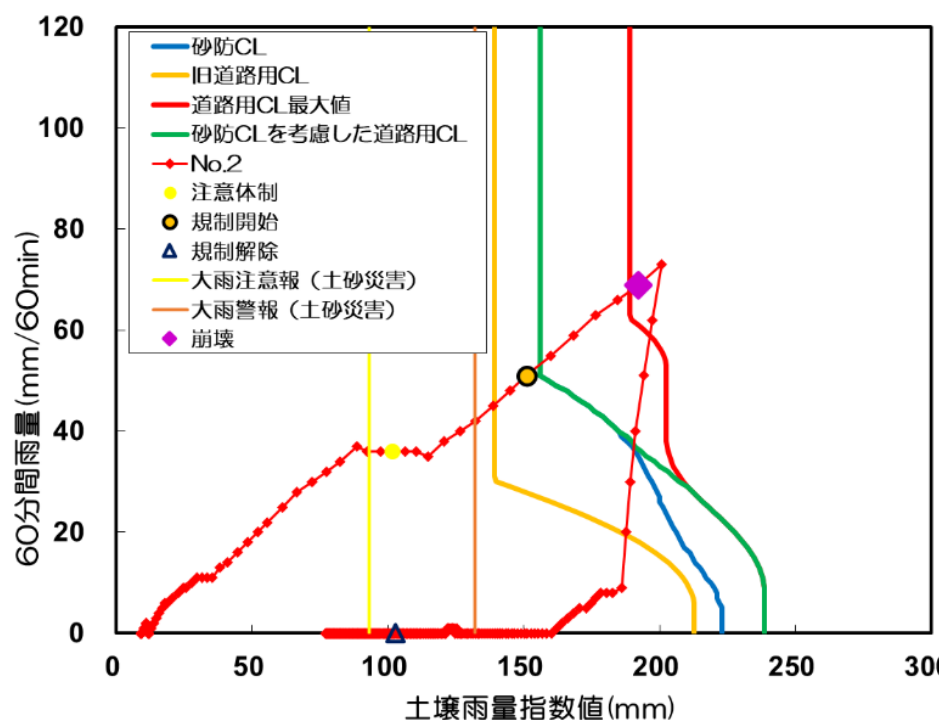
2. 砂防CLを考慮したCL

これまでの無被災の降雨を包括したうえで、小規模な土砂流出現象も評価できるように、1)のCLをやや低めに設定した案

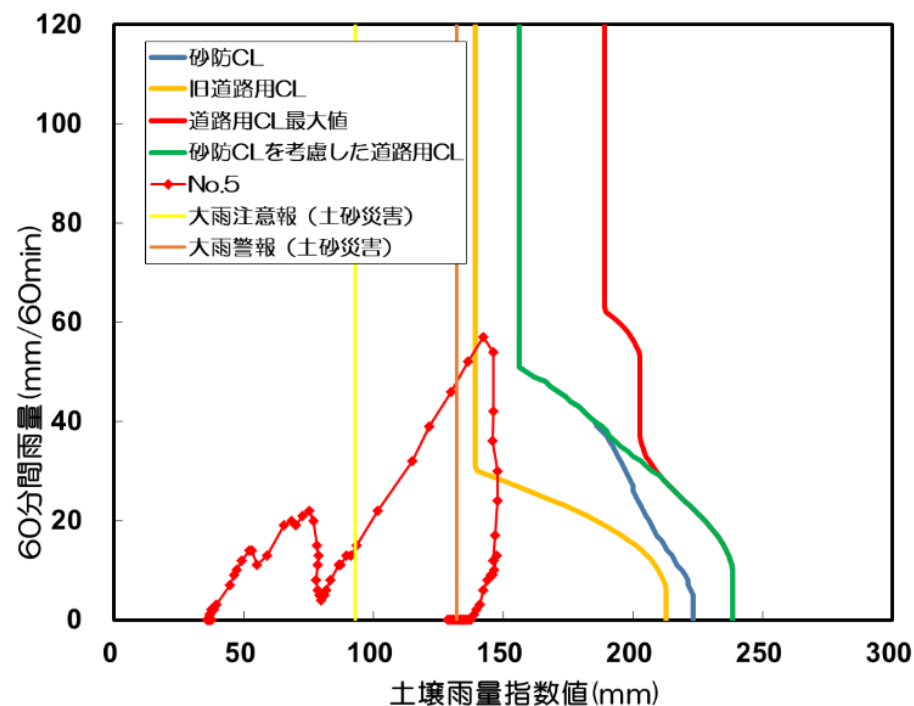


2. 道路斜面に相応しい警戒基準の設定

- 改善を加えた2種CLは、旧道路用CL（H31 CL）と比較し、被災実績を包括しつつ、過去の「空振り」を回避



被災実績あり（2014年10月13日）



通行規制なし（2016年9月20日）

3. 警戒体制の社会実装

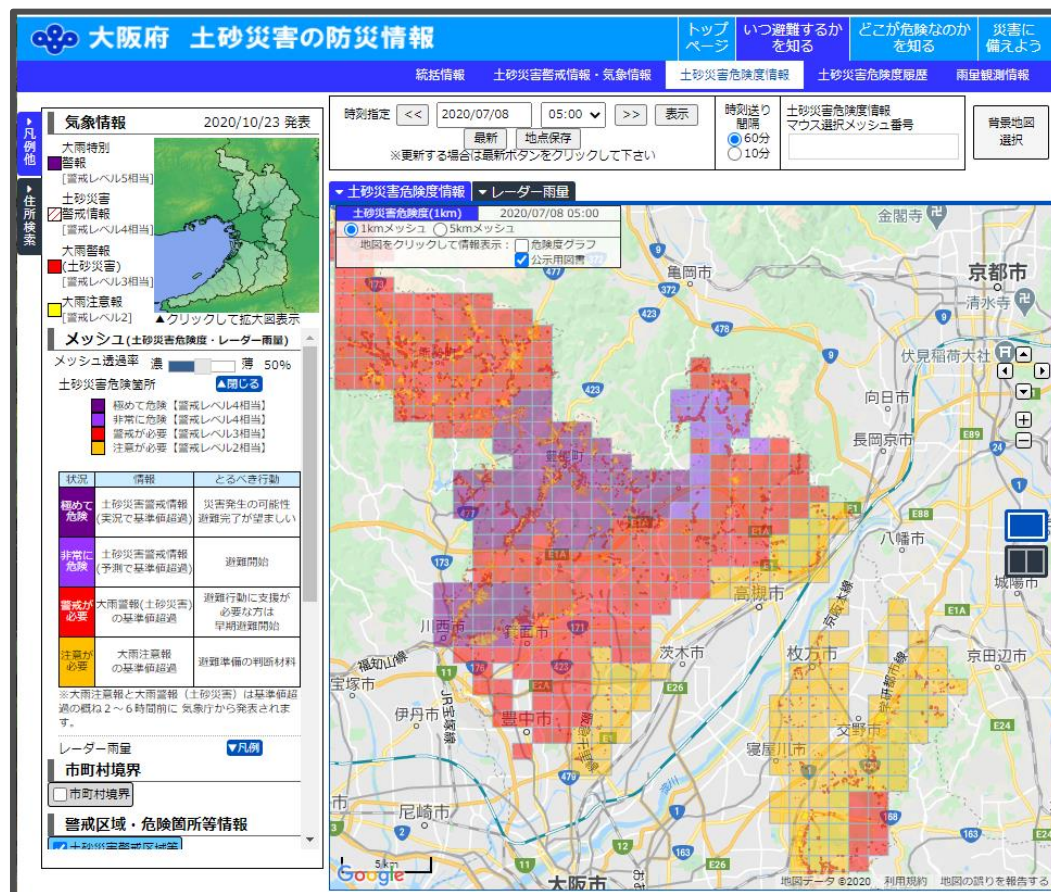
- 本プロジェクトで計画する各国道事務所の実装段階

	実装段階	活用システム	テレメータ 雨量活用	解析雨量活用 (現時刻降雨)	解析雨量活用 (予測降雨)	CLのタイプ
短期  長期	I.	既往HP活用	×	△	△	砂防
	II.	専用	○	△	△	砂防
	III.	専用	○	○	○	道路

×：取得不可，△：既往HPを活用した手動取得，○：完全自動取得，
 砂防：従来の土砂災害発生危険基準線，道路：道路用の土砂災害発生危険基準線

3. 警戒体制の社会実装：大阪府 実装段階Ⅰ.を実現

実装段階	活用システム	テレメータ 雨量活用	解析雨量活用 (現時刻降雨)	解析雨量活用 (予測降雨)	CLのタイプ
短期導入	Ⅰ. 既往HP活用	×	△	△	砂防

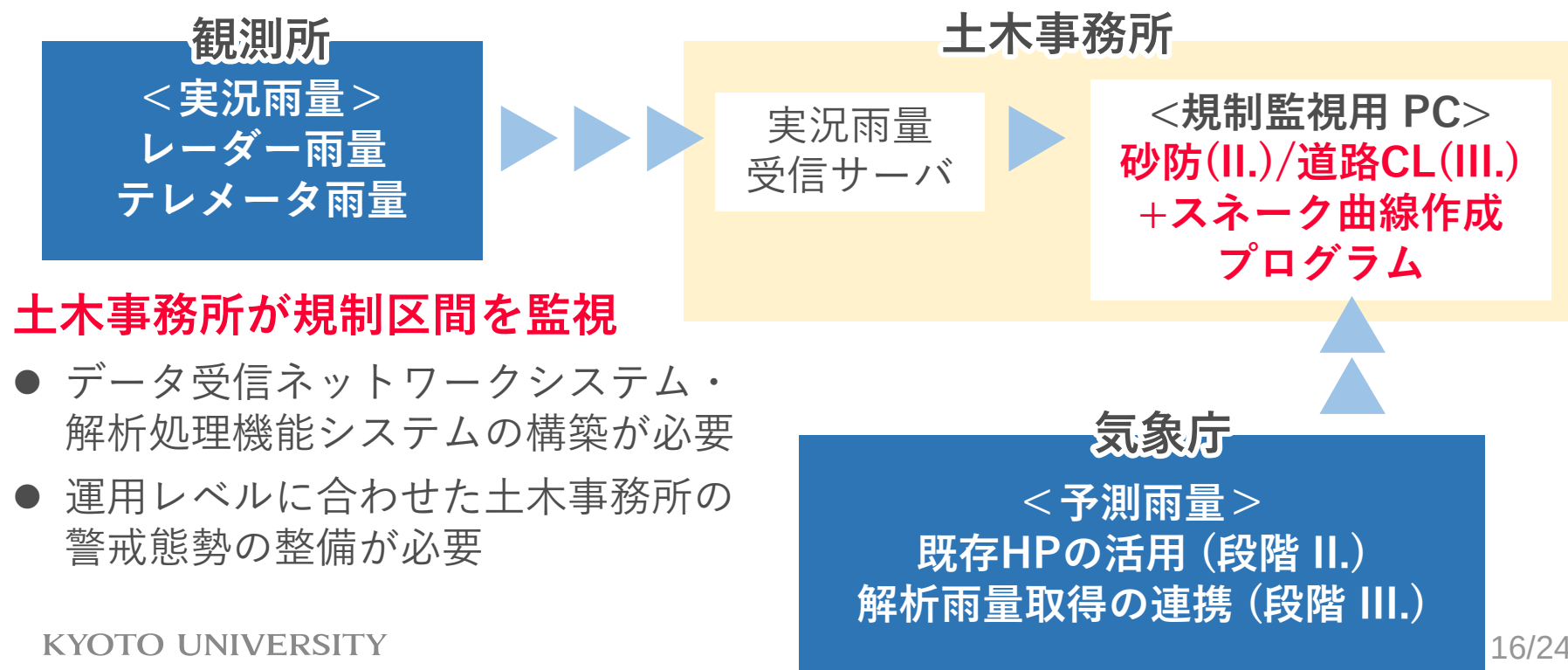


大阪府 土砂災害の防災情報HPの例 (自治体により表現方法が異なる)

- 5 (or 1) kmメッシュごとの60分間積算雨量時系列グラフ、降雨データが取得可能
- 3時間後までの予測が可能
- 事前通行規制区間内に「非常に危険（薄紫）」に到達するメッシュを確認次第、パトロール（茨木土木事務所の例）
- 昨年7月豪雨で従来の規制条件で捉えられなかった被害を捉えた
- 砂防用CL基準に合わせた規制/解除体制を実現した例

3. 警戒体制の社会実装：炬口においてIII. を実現

	実装段階	活用システム	テレメータ 雨量活用	解析雨量活用 (現時刻降雨)	解析雨量活用 (予測降雨)	CLのタイプ
中長期 導入	II.	専用	○	△	△	砂防
	III.	専用	○	○	○	道路



3. 警戒体制の社会実装：試行運用ルール

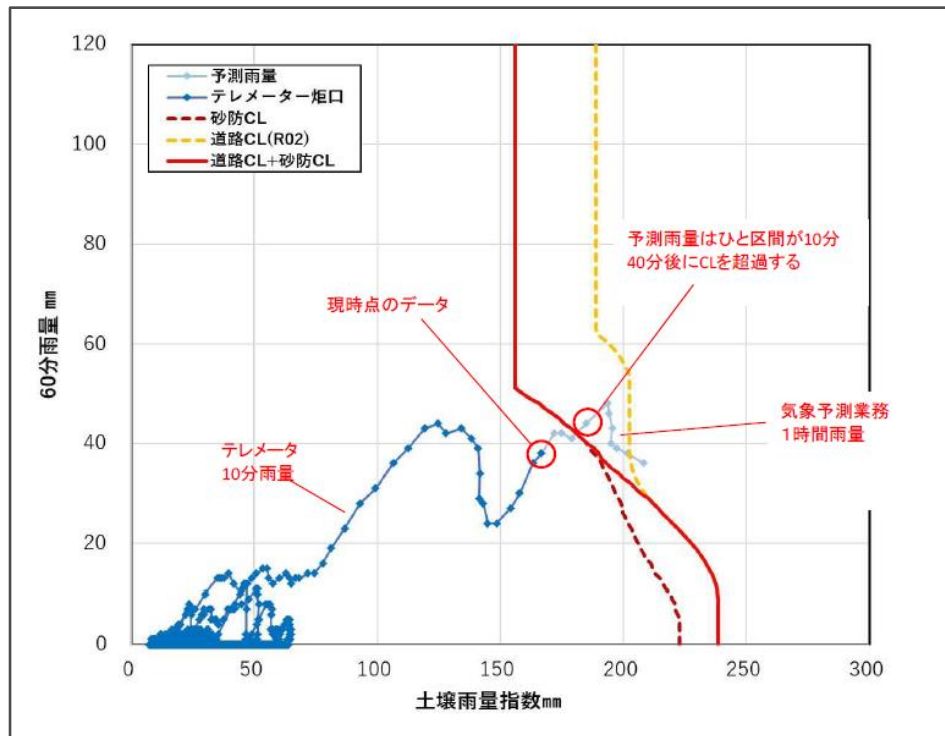
- 試行予定の炬口地区の規制ルール；従来法との併用型

通行止め基準	現行	試行運用
注意体制	100mm	同左
(運用) 注1)	上記 又は	気象庁の「大雨注意報」相当の土壌雨量指数基準 注2)
注意強化体制	連続雨量: 60mm以上 かつ 時間降雨量: 50mm/h以上 連続雨量: 70mm以上 かつ 時間降雨量: 40mm/h以上 連続雨量: 80mm以上 かつ 時間降雨量: 30mm/h以上	—
(運用) 注3)	上記 又は	3時間後に土壌雨量指数の土砂災害発生危険基準線※(CL)を上回る予測の時点
警戒体制	120mm	—
(運用) 注4)	上記 又は	2時間後に土壌雨量指数の土砂災害発生危険基準線※(CL)を上回る予測の時点
非常体制	160mm	—
(運用) 注5)	上記 又は	土壌雨量指数の土砂災害発生危険基準線※(CL)を上回った場合、通行止め 開始することができる
解除	時間降雨2mm以下が3時間連続した後、巡回等により安全が確認された場合に解除する	—
(運用) 注6)	上記 かつ	降雨予測がなく、点検等による安全性が確認でき、土壌雨量指数が土砂災害発生危険基準線※(CL)を下回り、3時間後の降雨予測が土砂災害発生危険基準線※(CL)を上回らない場合、通行止めを解除する注7)

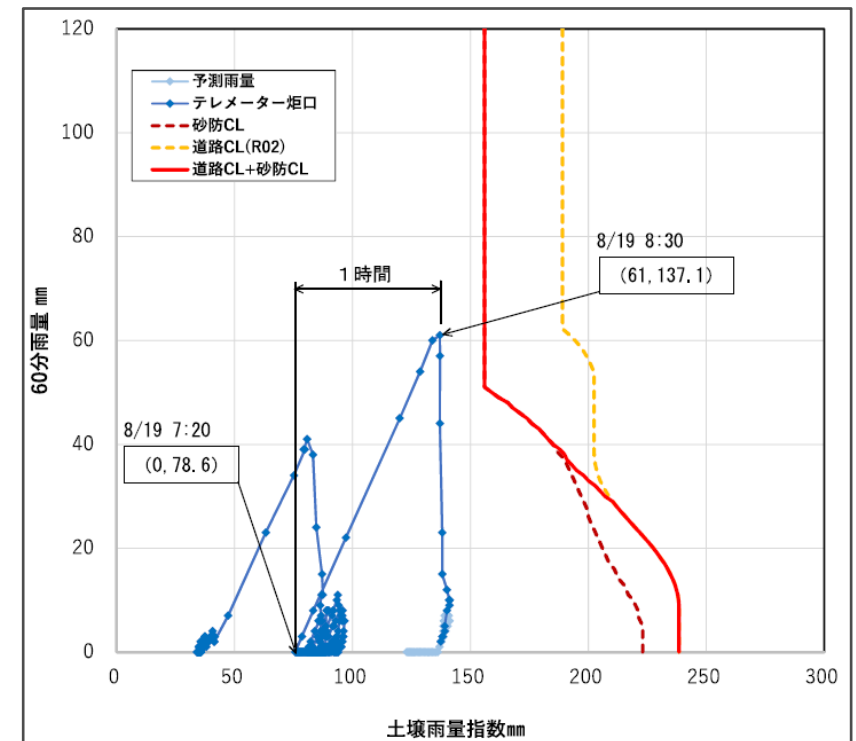
※ 本プロジェクトのCLは、土砂災害警戒情報と同様に土砂災害発生危険基準線(砂防CL)であり、土壌雨量指数だけでなく60分間雨量の組合せからなる基準

3. 警戒体制の社会実装：炬口(兵庫県)においてIII. を試行

- データ受信ネットワークシステム・解析処理機能システムの構築が必要
- 運用レベルに合わせた土木事務所の警戒態勢の整備が必要



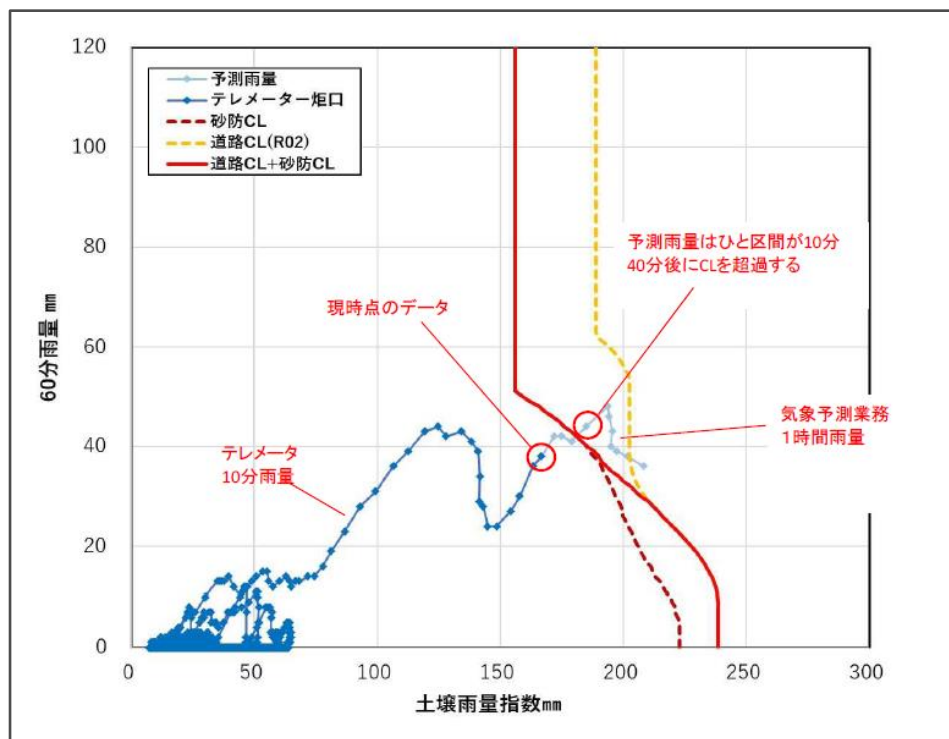
システム仕様



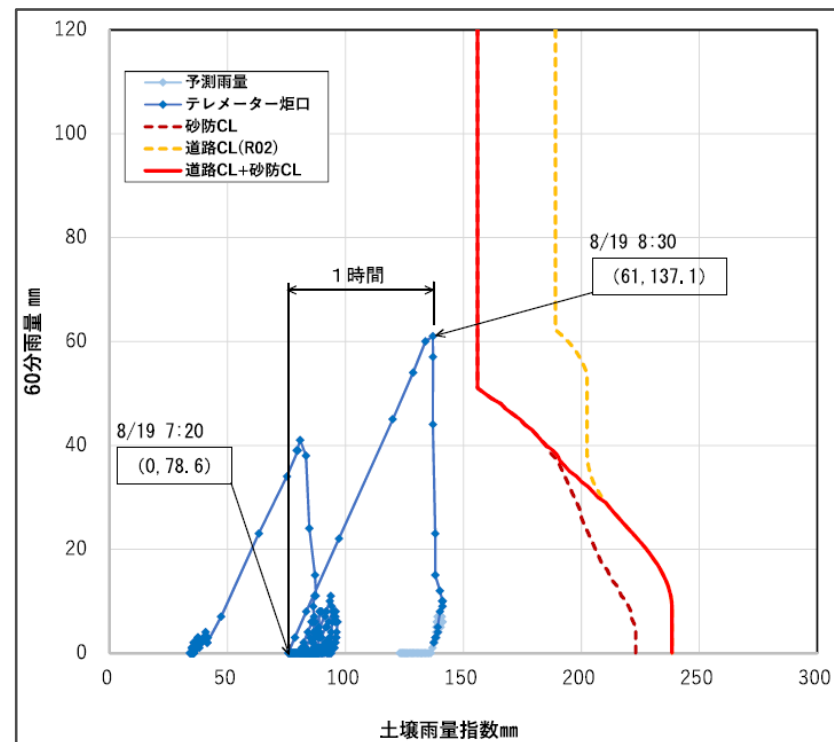
8/17 ~ 8/19 の監視事例

3. 警戒体制の社会実装：炬口(兵庫県)においてIII. を試行

- 炬口テレメータ・気象庁提供の予測雨量データをスネーク曲線として可視化
- 令和3年8月11日から的大雨に対して、本システムにより監視
結果的に通行規制は必要なし ➡ 一方で、**従来法により規制はかからない危険な雨**



システム仕様



8/17 ~ 8/19 の監視事例

2020年度の成果と課題

1. 土壌雨量指数の妥当性の把握

成果

- 異常気象時通行規制区間の2地区（花崗岩系 炬口地区，堆積岩系 観音峠地区）において斜面の最小の計測システムによるモニタリングを開始
- 計測される土壌水分量の変動に対して，土壌雨量指数の変動が遅れる傾向が明確であることを確認した。

課題

- これは，土壌雨量指数の計算に用いる3段タンクモデルの特性によるため，タンクのチューニングによる改善が課題となる。また，土壌雨量指数が実際の斜面内の水分移動より遅れた挙動を捕捉しているということを前提に，通行規制の発令・解除のタイミングを検討すべきである。

2020年度の成果と課題

2. 道路斜面に相応しい警戒基準の設定

成果

- 異常気象時通行規制の発令・解除に関して、従来の連続雨量と土壌雨量指数を用いた方法による規制時間の比較を行った結果、**土壌雨量指数による規制の方が、規制時間が短くなる傾向がみられた。**
- 道路通行規制非発生降雨データに基づく、道路用の土砂災害警戒基準線（道路用CL）の策定を炬口地区において行い、10分間降雨を用いて2種類の道路用CLを提案した。結果、**CLのみを用いて、規制の発令・解除判断を行う場合、過去の被災実績を包括しつつ、「空振り」を回避した。**
- 二次元浸透解析および円弧滑り解析に基づき対策工効果を仮定して算出された安全率について、2018年7月の降雨により計算されたスネーク曲線上の推移と現行のCLの超過状況を比較すると、**安全率1を下回ることがなく、対策工効果を加味した災害非発生降雨データを収集できた。**これにより、現行のCLを更新する一手法を提案した。

2020年度の成果と課題

2. 道路斜面に相応しい警戒基準の設定

課題

- CLを用いて通行規制の発令・解除判断を行う際、CLを繰り返し超過するケースに関しては、依然として課題が残る。過去の規制事例に対して、予測雨量を用いた分析を進めることで、規制の発令・解除タイミングを適切に設定することを目指す
- 水平展開を加速するため、炬口地区に関して策定された道路用CLについて、同様に観音峠地区においても検討を進める。
- 対策工済みの道路用CLの更新に関して、二次元解析を行う場合、異常気象時通行規制区間に対して逐次的な解析が必要になるが、対策工を施された斜面に限定的に実施し、ケース数を増やすことで、解析範囲の妥当性を検討する。
対策工の劣化状況に関する評価については課題が残る。
- いずれの検討においてもどの降雨データを用いるか、という課題を有し、Xrain、モニタリングサイトの打刻式雨量計、国交省設置のテレメータ等既存の降雨データを包括的に分析し、適切な降雨データを選定する

2020年度の成果と課題

3. 警戒体制の社会実装

成果

- 大阪府において、既存の土砂災害警戒情報と従来の連続雨量による規制の発令・解除方法を併用することで、砂防用CL基準に合わせた規制/解除体制を実現した。
- 炬口区間において、土砂災害警戒情報に基づく体制の試行を2021年8月から開始。令和3年8月11日からの大雨に対して、本システムにより監視を行ったが、土砂流出といった被害は生じず、結果的に通行規制は必要なかった。
一方で、従来法により規制はかからない危険な雨であった。

課題

- 観音峠地区に関しては、次年度1年間の検討を経て試行を開始予定である。
- 今回令和3年8月11日からの大雨に対して、貴重な監視事例を蓄積できた。過去の予測雨量データに基づき、警戒態勢・運用ルールの見直し、高度化を行う。

主たる参考文献

- Ishihara, Y. and S. Kobatake (1979): Runoff Model for Flood Forecasting, Bull.D.P.R.I., Kyoto Univ., 29, 27-43
- 国土交通省道路局国道・防災課道路防災対策室：ゲリラ豪雨に対応した新しい事前通行規制の施行，2015.
- 松四雄騎：豪雨と崩壊；山地の斜面災害を知る，京都大学防災研究所公開講座
- 小山倫史：降雨特性に応じた道路通行規制のあり方に関する研究，2016.
- 小山ら：国道沿い斜面を対象とした数値解析と実効雨量を組み合わせた雨量通行規制基準の提案，2015.
- 鳥居宣之：事前通行規制区間の解除の在り方に関する研究，2018.
- 小原公克：土砂災害発生危険度の解析・予測技術，2018.

3. 警戒体制の社会実装；補足

・ 炬口の試行ルールに関する注記

- 注1) (現行) 連続雨量基準と(試行運用) 気象庁の「大雨注意報」相当の土壌雨量指数基準以上のいずれか早いタイミングで発令する。
- 注2) 土砂災害警戒情報(気象庁)の洲本市「大雨注意報」の判断基準雨量(97mm)この時点より「気象予測業務」において、土壌雨量指数を算出し報告を行う。
- 注3) (現行) 連続雨量基準と(試行運用) 土砂災害発生危険基準線※(CL)を上回る予測の3時間前のいずれか早いタイミングで発令する。
- 注4) (現行) 連続雨量基準と(試行運用) 土砂災害発生危険基準線※(CL)を上回る予測の2時間前のいずれか早いタイミングで発令する。
- 注5) (現行) 連続雨量基準と(試行運用) 土砂災害発生危険基準線※(CL)の、いずれかを上回った場合に発令する。
- 注6) (現行) 連続雨量基準と(試行運用) 土砂災害発生危険基準線※(CL)の、双方が下回った場合に解除する。
- 注7) 3時間降雨予測で土砂災害発生危険基準線※(CL)を上回らない場合に解除するが、気象庁の「大雨注意報」相当の土壌雨量指数基準以上の場合、またはその後の3時間降雨予測で大雨警報基準値(CL)を上回る場合は、再度、「注意」または「注意強化」体制に入る。