

道路政策の質の向上に資する技術研究開発 【研究終了報告書】

①研究代表者		氏 名（ふりがな）		所 属	役 職
		岸田 潔（きしだ きよし）		京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻	教 授
②研究 テーマ	名称	局地的大雨に対応した事前通行規制基準の『時間的』・『空間的』高度化			
	道路行政 技術開発 ニーズ	No.	HDs2, SDs7, SE6	政策 テーマ	
		項目名	土砂崩落等を自動検知が可能となる技術, 災害時に道路利用者にプッシュ型で情報を通知する技術, 道路交通マネジメントの実践・高度化を可能とする技術		
③研究経費（単位：千円） ※端数切り捨て。実際の研究期間に応じて記入欄を合わせることに		令和5年度	令和6年度	令和7年度	総 合 計
		21,892	15,158	8,923	45,973
④研究者氏名（研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）					
氏 名			所属・役職（※令和8年3月31日現在）		
鳥居 宣之			神戸高専・教授		
小山 倫史			関西大学・教授		
須崎 純一			京都大学・教授		
藤本 将光			立命館大学・准教授		
山口 弘誠			京都大学・教授		
石井 順恵			京都大学・助教		
宮崎 祐輔			関西大学・准教授		

⑤研究の目的

局地的大雨により激甚化・広域化する斜面災害を背景に、幹線道路網における事前通行規制基準の適正化が迫られている。従来の連続雨量法は、降雨の累積量を主たる判断指標としているため、地形・地質条件、先行降雨、土中水分等を十分に反映できず、斜面崩壊の発生メカニズムとの合理性に課題がある。その結果、災害の見逃しや空振りの発生が懸念され、近年の局地的大雨に対応した基準の高度化が求められている。

このような背景のもと、申請者らは、60分間積算雨量と土壌雨量指数による履歴曲線を用い、道路災害発生領域と非発生領域をRBFネットワークにより分離する道路用土砂災害警戒基準線（道路用CL (Critical Line)）を提案してきた。しかし、局地的大雨に対応するためには、降雨の空間代表性、予測雨量の不確実性、斜面ごとの地形・地質特性、および潜在的に危険な斜面の空間的把握を考慮した基準へ発展させる必要がある。

本研究は、数値解析、原位置計測、解析雨量、衛星解析、AIを活用し、事前通行規制基準を「時間的」および「空間的」に高度化することを目的とした。具体的には、素因（地形・地質）、誘因（降雨）、衛星解析による地盤変動量、災害履歴等を統合して「潜在的危険斜面」を抽出し、規制区間内の監視レベルを階層化する。さらに、抽出された斜面に対して浸透流・円弧滑り統合解析を行い、降雨量と安全率の経時変化をAIに学習させることで、予測安全率に基づく通行規制および解除判断の高度化を図る。

⑥これまでの研究経過、目標の達成状況

本研究では、事前通行規制基準の高度化を、単一の雨量基準の置換ではなく、道路管理者の意思決定を支援する技術体系として整理した。研究開始当初は、潜在的危険斜面に対する浸透流・円弧すべり統合解析結果を学習したAIによる規制判断の高度化と、衛星解析・解析雨量による潜在的危険斜面抽出を中心的な開発目標としていた。研究の進捗に伴い、実務導入には、個別斜面の安全率評価、規制区間全体の降雨リスク評価、予測雨量の利用条件、重点監視箇所への抽出を一体的に整理する必要があることが明確となった。

このため、本研究では、当初目的を変更するのではなく、実務導入に必要な判断要素へ具体化する形で、4つの技術目標を設定した。規制判断の時間的高度化として、1. 浸透流・円弧すべり統合解析のサロゲート化による個別斜面の安全率のリアルタイム評価、2. 道路用土砂災害警戒基準線、3. ローカル予測雨量モデルの構築を通じて、規制の発令・解除に必要な時間的猶予を考慮した規制基準の構築を行った。さらに、規制判断の空間的高度化として、4. 地形・地質、降雨履歴、干渉SAR時系列解析等を用いた潜在的危険斜面の抽出により、区間内における監視レベルの階層化を目指した。

年度別の研究経過を表1に、技術目標別の達成状況を表2に示す。令和5年度は、原位置計測、災害履歴整理、サロゲートモデル、道路用CL、予測雨量分析、潜在的危険斜面抽出に関する基礎的検討を実施した。令和6年度は、中間評価で指摘された研究目的と技術目標の対応関係、各成果の適用場面、道路管理者ニーズを整理し、実務導入に向けた課題を明確化した。令和7年度は、炬口地区および観音峠地区を中心に各手法の検証を進め、4つの技術目標を相互に接続した運用イメージを整理した。達成状況としては、浸透流・円弧すべり統合解析のサロゲート化、道路用CLの構築・評価、潜在的危険斜面の抽出については、対象地区における適用性と実務上の活用可能性を確認した。ローカル予測雨量については、予測雨量と実測雨量の乖離、予測時間に伴う精度低下、周辺メッシュの雨量情報の活用可能性を整理し、実務利用に向けた条件と課題を明確化した。以上より、本研究は、事前通行規制基準の時間的・空間的高度化に向けた技術体系を概ね構築したと評価できる。

図1に研究体制図、表3に研究者および研究協力者（外注先）の主な役割を整理した。

表1 研究経過

年度	主な研究内容	主な成果
令和5年度	観音峠・炬口の原位置計測を継続し、観音峠を中心として、浸透流・円弧すべり統合解析のサロゲート化、道路用CLの基礎検討、土壌雨量指数のローカル化、ローカル予測雨量モデルの基礎検討、潜在的危険斜面抽出の概念整理、SAR画像シミュレータの検討を行った。	研究全体の基礎データ取得・解析環境を整備し、道路用CL、安全率サロゲート、土壌雨量指数ローカル化、潜在的危険斜面抽出のプロトタイプを構築した。
令和6年度	観音峠・炬口のモニタリングを継続し、災害事例分析、道路用CLの評価手法検討、道路管理者アンケート、ローカル予測雨量の精度評価、素因・誘因・マスマーブメント情報を用いた潜在的危険斜面抽出例の整理を行った。	研究目的と4つの技術目標との関係を明確化し、道路用CLの運用課題、ユーザーニーズ、各成果の適用場面を整理した。また、観音峠・炬口、大阪府管轄地区群、福井豪雨事例等を対象に、複数事例に基づく適用性検証を進めた。
令和7年度	炬口地区へのサロゲート解析の展開、道路用CL評価手法の高度化、ローカル予測雨量の実務適用性評価、Cバンド・LバンドSARの適用性整理、SAR画像シミュレータ・GNSS活用方法の検討、監視システムの導入・運用、成果の統合整理を行った。	観音峠・炬口に道路用CLを用いた監視システムを導入し、原位置計測データをリアルタイムに蓄積・Web閲覧可能な状態とした。また、干渉SAR解析手法を近畿地方整備局道路防災連絡会議における要対策工事候補箇所の分析に活用するなど、研究成果を道路管理実務へ接続した。

表2 目標の達成状況

研究目標	達成状況	根拠となる成果
浸透流・円弧すべり統合解析のサロゲート化	達成	重点的に監視すべき個別斜面を対象として、浸透流・円弧すべり統合解析により得られる安全率時系列を機械学習により高速に再現するモデルを構築した。特に、炬口地区ではMAE・RMSEがいずれも0.003以下となるモデルを構築し、降雨に伴う斜面安定度の変化を実務的な時間内で把握できる可能性を示した。また、観音峠地区への適用により、他地点展開における有効性と、地質条件・斜面形状・水分応答特性を反映したモデル更新の必要性を整理した。
道路用CLの構築・評価	達成	連続雨量法、砂防CL、道路用CL、予測雨量を用いたCLfct法を比較し、混同行列、規制期間、災害捕捉性能、空振り、規制回数、規制回数の観点から評価する方法を構築した。また、観音峠・炬口において、本研究で提案した道路用CLを用いた監視システムを導入し、現場での確認・運用に接続できる基盤を構築した。
ローカル予測雨量モデルの構築	概ね達成	テレメータ雨量が点の観測情報であり、局地的大雨の空間分布や将来降雨を直接把握できないという課題に対し、降水短時間予報、解析雨量、雨量計による実測雨量を用いて、予測雨量と実測雨量の乖離、予測時間に伴う精度低下、強雨時の過小評価・過大評価の傾向を分析した。さらに、周辺メッシュの解析雨量との相関を用いて、局所雨量予測に活用できる可能性を示した。
潜在的危険斜面抽出	達成	危険斜面と潜在的危険斜面の定義を整理し、地形・地質に基づく素因、降雨履歴に基づく誘因、干渉SAR時系列解析等により把握される変動量を重ね合わせる抽出方法を構築した。また、国道8号大谷地区、国道9号観音峠地区、国道28号炬口地区を対象に、CバンドおよびLバンドの干渉SAR解析を用いた潜在的危険斜面の抽出可能性を検討した。加えて、干渉SAR解析手法は近畿地方整備局主催の道路防災連絡会議における要対策工事候補箇所の分析に活用されている。
研究成果の実務反映	達成	道路用CL、安全率サロゲート、潜在的危険斜面抽出を相互に関連付け、通行規制の発令、継続、解除、重点監視、詳細調査、対策優先順位付けに資する技術体系として整理した。また、観音峠・炬口に道路用CL監視システムを導入し、雨量計・土中センサーの観測データをリアルタイムにサーバ蓄積し、Web閲覧・グラフ表示可能な運用基盤を構築した。

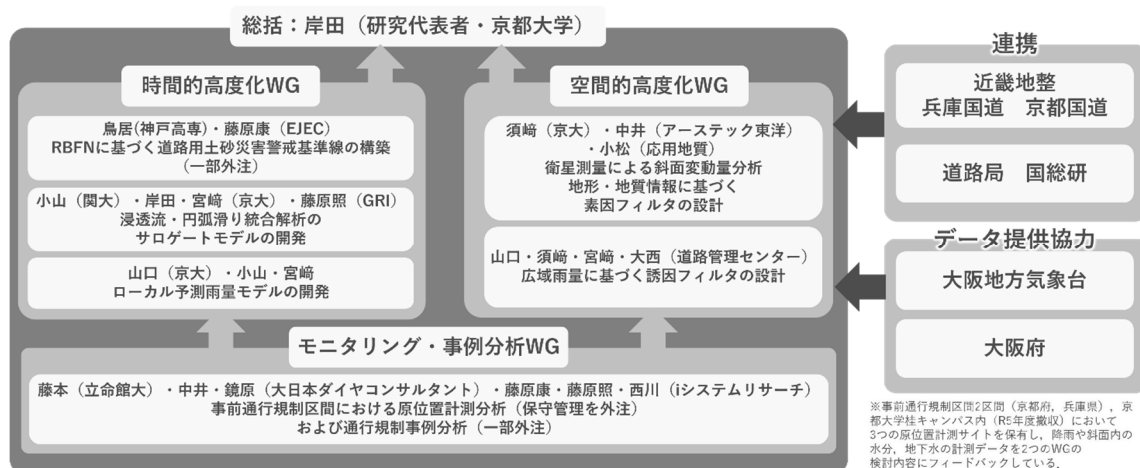


図1 研究体制図

表3 研究者および研究協力者（外注先）の主な役割

区分	氏名・機関	主な役割・貢献
研究代表者	岸田 潔	研究全体の統括，事前通行規制基準の時間的・空間的高度化に関する研究方針の設定，道路行政への成果反映に向けた総括。
研究者	鳥居 宣之	道路用土砂災害警戒基準線の構築，土砂災害警戒基準の運用検討，実務適用性の整理。
研究者	小山 倫史	浸透流・円弧滑り解析，ローカル予測雨量モデル，降雨予測情報の通行規制判断への活用検討。
研究者	須崎 純一	干渉 SAR 解析，空間情報解析，三次元変動推定，潜在的危険斜面抽出手法の高度化。
研究者	石井 順恵	干渉 SAR 解析，SAR 画像シミュレータ，空間情報処理，衛星データに基づく地盤変動量評価。
研究者	藤本 将光	原位置計測，斜面モニタリング，土壌水分・地下水挙動，災害事例分析。
研究者	山口 弘誠	水文気象解析，ローカル予測雨量モデル，降雨予測精度評価，広域雨量解析。
研究者	宮崎 祐輔	研究幹事，研究全体の進行管理，WG 間の調整，技術開発目標の再整理，研究全体のコンセプト設計，中間評価指摘への対応方針の整理，浸透流・円弧滑り統合解析のサロゲート化，道路用 CL 評価手法の構築，ローカル予測雨量および潜在的危険斜面抽出との連携コンセプトの構築，成果報告書・事後評価資料の取りまとめ
研究協力者（外注先）	中井 卓巳・福塚 健次郎・小網 健義（株式会社アーステック東洋）	地質・地形情報，観音峠地区の現地情報，素因フィルタ，潜在的危険斜面抽出に関する実務的検討。地質調査，現地計測，観音峠地区の保守管理支援，現地情報整理。
研究協力者（外注先）	西川 啓一（i システムリサーチ株式会社）	モニタリングシステム，クラウド化，Web 閲覧環境の構築・保守・改良。
研究協力者（外注先）	藤原 照幸（一般財団法人 GRI 財団／地域地盤環境研究所）	浸透流・円弧滑り統合解析における地盤情報整理，サロゲート化支援。大阪府における事前通行規制事例の分析と整理。
研究協力者（外注先）	藤原 康正（株式会社エイト日本技術開発）	道路用 CL 作成，通行規制事例分析，災害事例整理，実務適用性検討。
研究協力者（外注先）	小松 慎二・北田 憲嗣（応用地質株式会社）	干渉 SAR 解析，C バンドの適用性整理，大谷・観音峠・炬口地区の現地情報，地質・斜面情報整理および潜在的危険斜面の抽出。
研究協力者	大西 功（一般財団法人道路管理センター／立命館大学総合科学技術研究機構）	道路管理実務，誘因フィルタの検討，運用面の助言。
研究協力者（外注先）	鏡原 聖史（大日本ダイヤコンサルタント株式会社）	炬口地区における通行規制事例分析，斜面防災情報整理，実務適用支援。
行政・実務協力	近畿地方整備局道路部（南知之，藤田 晶久，神谷 毅，有田 豊，三浦 淳，大野 文義，荒谷 芳博，大西 健一，宮腰 一也，江原 正信，八谷 耕介，仲 爾）	道路管理実務上の課題提示，事前通行規制運用に関する助言，道路用 CL・監視システムの実務適用性確認。
行政・実務協力	近畿地方整備局兵庫国道事務所（石橋 博孝，森 俊彦，小林 英彦，田中 直子，小丸 博司，畠中 俊季，板真二，安藤 一行，河野 貴司，杉田 智行）	炬口地区に関する現場情報，通行規制・点検情報，監視システム導入・運用に関する実務協力。
行政・実務協力	近畿地方整備局京都国道事務所（西田 靖志，畠中 俊季，北林 伸男，吉川 賀庸，菅沼 幸江，台蔵 憲）	観音峠地区に関する現場情報，通行規制・点検情報，監視システム導入・運用に関する実務協力。
行政・実務協力	国土技術政策総合研究所道路構造物研究部道路基盤研究室（渡辺 一弘，桑原 正明，鯨 淳司，大津 智明，道永 光夫，雨宮 智久）	道路防災・道路基盤研究の観点からの助言，研究成果の道路行政・技術基準への接続に関する確認。
行政・実務協力	国土交通省道路局環境安全・防災課道路防災対策室（佐々木 靖，大谷 篤嗣，村上 智哉，沼崎 光祥，相馬 隆示，懸川 寛史）	道路防災行政上の課題提示，政策ニーズとの対応確認，成果の道路行政への反映に関する助言。
データ提供協力	大阪府，大阪地方気象台	事前通行規制区間の規制情報，土砂災害警戒基準線，広域雨量，災害事例・関連資料の提供。

⑦中間評価で指摘を受けた事項への対応状況

・中間評価で示された「修正内容」「指摘事項」等を記載するとともに、それへの対応状況を記入下さい。

表4に指摘事項、対応状況、最終成果との関係を整理した。令和5年度中間評価では、データ取得、解析、機械学習に関して成果が得られている部分がある一方、データ不足等により今後の研究の見通しがやや不透明であるとの評価を受けた。令和6年度中間評価では、順調に進捗している技術開発項目がある一方、各項目を関連付けた実務的な成果の見通し、成果の一般化、SARの現場活用に必要な判断基準、道路管理者等ユーザーのニーズ確認、各成果を道路管理運用の具体的改善につなげる整理が課題として指摘された。中間評価で指摘された課題については、最終年度までに、研究目的と技術目標の対応関係の明確化、複数事例での検証、道路管理者ニーズの把握、監視システム導入、干渉SAR解析の実務活用を通じて対応するとともに、残された事項については実務展開に向けた課題として整理した。

表4 中間評価の指摘内容とその対応状況および最終成果との関係

評価年度	中間評価での指摘	対応状況	最終成果・実務反映
R5	開発目標と「時間的・空間的高度化」との関係が不明確である。	事前通行規制基準の高度化を、災害捕捉率、説明性、実行可能性、対策効果・見逃しリスク低減という4つの道路管理実務上の課題に分解し、各課題に対応する技術要素として、道路用CL、ローカル予測雨量、安全率サロゲート、潜在的危険斜面抽出を位置付けた。	当初目的を変更したのではなく、実務導入に必要な判断要素へ具体化したことを明確化し、統合運用モデルとして整理した。
R5	安全率の妥当性、AIが予測した安全率の学習データを示す必要がある。	観音峠・炬口において、雨量、体積含水率、地下水等の原位置計測を継続し、解析条件の妥当性確認に活用した。また、学習データ量と予測精度の関係を整理し、安全率サロゲートがどのような教師データに基づくかを明確化した。	重点的に監視すべき斜面を対象として、浸透流・円弧滑り統合解析により得られる安全率時系列を機械学習で高速に再現するモデルを構築した。特に、炬口地区ではMAE・RMSEがいずれも0.3%以下となるモデルを構築し、降雨に伴う斜面安定度の変化を実務的な時間内で把握できる可能性を示した。
R5	AIが解析結果、観測データをどのように読み解くのか、ロジックを示す必要がある。	AIを災害実績・観測データ・解析結果をブラックボックス的に一括判断するものではなく、物理解析で得られた安全率時系列を降雨指標等から高速に予測するサロゲートとして位置付けた。災害実績や観測データは、道路用CL評価、解析条件の妥当性確認、潜在的危険斜面抽出の教師情報として用いた。	物理解析、観測データ、災害履歴、AIを段階的に組み合わせる説明可能な判断支援体系として整理した。
R5	ALOS-2 (Lバンド) だけで十分か検討し、他バンド帯の衛星も検討する価値がある。	Lバンドに加え、Cバンドを含む複数の衛星データの適用可能性を整理した。また、干渉SARを単独指標としてではなく、素因、誘因、変位量、教師情報を組み合わせるフィルタ型の潜在的危険斜面抽出手法として整理した。	Cバンド・LバンドSARの適用性を整理し、衛星データの特性に応じて潜在的危険斜面抽出へ活用するための考え方を示した。特に、大谷地区、観音峠地区では、地形・地質条件、降雨履歴、干渉SAR時系列解析結果を組み合わせ、潜在的危険斜面を抽出する事例を示した。
R6	成果を一般化するには更なる学習データやケース追加が必要である。	観音峠、炬口、大阪府管轄地区群、福井豪雨事例等へ対象を拡張し、地質条件、降雨特性、災害履歴の異なる複数ケースに対して検証を進めた。	全国の全規制区間に対する標準化には今後も事例蓄積が必要であるが、複数事例に基づく適用性確認と、水平展開に向けた手順整理を行った。
R6	干渉SARについて、どの時点で措置を講じる必要があるか閾値等を示す必要がある。	地質、斜面形状、植生、観測条件により一律の全国共通閾値を設定することは困難であるため、単一閾値による自動判定ではなく、素因・誘因・変動量・災害履歴を重ね合わせて要注意箇所を抽出するフローとして整理した。	大谷地区、観音峠地区の抽出事例を通じて、干渉SAR時系列解析の変動量を、地形・地質条件、降雨履歴、防災カルテ等と組み合わせることで解釈することにより、重点的に監視すべき斜面を抽出できる可能性を示した。これにより、閾値のみで判定するのではなく、現場判断を支援する段階的な抽出・確認手順を提示した。
R6	サロゲートや衛星SARの解析について、会議論文だけでなく学術論文に	研究期間内では、現場実装、監視システム導入、道路管理者ニーズ把握、実務運用体系化を優先した。一方で、サロゲート解析、道路	学術論文文化は今後の成果普及・一般化の課題として位置付けた。一方、本研究期間内には、安全率サロゲート、道路用CL評価、ロ

	も成果をまとめるとよい。	用 CL, SAR 解析, 統合運用モデルについて、今後、査読付き論文として順次公表していく方針とした。	一カル予測雨量, 潜在的危険斜面抽出の各成果を、道路管理実務に接続可能な技術体系として取りまとめた。
R6	道路管理者等ユーザーのニーズを具体的に確認されたい。	近畿地方整備局管内の道路事務所を対象に、土壌雨量指数および道路用 CL による事前通行規制運用に関するアンケートを実施した。	規制判断, 解除判断, 班員の理解, 既存基準との整合, 他道路管理者との整合, 利用者説明等の導入課題を把握し、最終年度の成果整理に反映した。
R6	各研究開発成果の関連付けを明確にし、道路管理運用の具体的改善につながるよう成果を取りまとめる必要がある。	道路用 CL を規制区間全体の判断基盤, ローカル予測雨量を発令・解除に必要な時間的猶予の評価, 安全率サロゲートを個別斜面の力学的評価, 潜在的危険斜面抽出を重点監視・要対策箇所への抽出に位置付けた。	観音峠・炬口では道路用 CL を用いた監視システムを導入し、原位置計測データをリアルタイムに閲覧可能な状態とした。また、潜在的危険斜面抽出手法については、観音峠地区での抽出事例を示すとともに、近畿地方整備局の道路防災連絡会議における要対策工事候補箇所の分析にも活用されており、研究成果を道路管理運用の具体的改善へ接続した。

⑧研究成果

本研究では、事前通行規制判断の時間的・空間的高度化に向けて、5つの主要成果を得た。

1. 浸透流・円弧滑り統合解析のサロゲート化により、個別斜面の安全率時系列を迅速に評価する手法を構築した。高忠実度の浸透流・円弧滑り統合解析は、個別斜面の力学的安全性を評価できる一方、計算負荷が大きく、実務判断へ即時に活用しにくい。本研究では、降雨履歴と安全率時系列の関係を学習することで、斜面安全率を迅速に予測するモデルを構築した。炬口地区では高い予測精度を確認し、観音峠地区では地盤条件や安全率変動幅に応じてモデル更新が必要となることを整理した。これにより、サロゲートモデルを規制解除判断、対策工の効果評価、道路用CL更新の補助情報として活用できる可能性を示した。
2. 道路用CLの構築・評価により、現行の連続雨量法を補完する規制判断基盤を整理した。本研究では、60分間積算雨量と土壌雨量指数等を用いた道路用CLを作成し、連続雨量法、CL法、予測雨量を用いたCLfst法を比較する評価枠組みを構築した。評価にあたっては、災害捕捉性能だけでなく、空振り、見逃し、規制時間、規制回数、解除条件を含めて整理した。これにより、道路用CLを単なる新基準としてではなく、現行の連続雨量法を補完し、規制判断の説明性を高める基盤として位置づけた。
3. ローカル予測雨量モデルの構築に向けて、予測雨量の実務利用可能性と限界を整理した。事前通行規制では、発令・解除に必要な現場体制を確保するため、数時間先の降雨推移を把握することが重要である。本研究では、降水短時間予報、解析雨量、テレメータ雨量を比較し、予測時間に伴う精度低下、強雨時の過小評価・過大評価、実測雨量との乖離を分析した。さらに、周辺メッシュの解析雨量と現地雨量の相関を用いることで、局所雨量予測に活用可能な空間情報を整理した。これにより、予測雨量を道路用CLに用いる際の条件と留意点を明確にした。
4. 潜在的危険斜面の抽出により、規制区間内の重点監視候補箇所を抽出する手順を整理した。本研究では、危険斜面を、既往災害、明瞭な変状、点検結果、安定性評価等により、道路管理上の監視・規制・対策の必要性が顕在化した斜面と定義した。これに対し、潜在的危険斜面を、現時点では危険斜面として顕在化していないものの、地形・地質に基づく素因、降雨履歴に基づく誘因、干渉SAR時系列解析等による変動量の重ね合わせにより、豪雨等の外力作用時に道路交通を阻害する斜面災害へ発展し得る斜面と定義した。この定義に基づき、大谷地区、観音峠地区、炬口地区で検証を行い、災害履歴のある斜面、経過観察を要する斜面、防災対策が進展した斜面における適用性と限界を整理した。

5. 4つの研究項目を接続し、道路管理実務への運用イメージを整理した。道路用CLの構築・評価は規制区間全体の発令・継続・解除判断を支援し、ローカル予測雨量モデルの構築は数時間先の危険度推移を把握する補助情報となる。浸透流・円弧滑り統合解析のサロゲート化は、重点監視斜面や対策工を有する斜面の安全率評価に活用できる。潜在的危険斜面抽出は、平常時の重点監視、詳細調査、対策優先順位付けに活用できる。以上により、本研究は、降雨時の規制判断と平常時の斜面管理を接続する技術体系を提示した。

⑨研究成果の発表状況

査読付き国際会議論文（3編）、査読付き国内会議論文（2編）を発表した。また、国内会議における発表（2件）を行った。

【査読付き国際会議論文】

- 1) Miyazaki, Y. et al. Challenges and Innovations in Advance Traffic Control System Under Extreme Weather Events. In: Rujikiatkamjorn, C., Xue, J., Indraratna, B. (eds) Proceedings of the 5th International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG) 2024, Volume 2. ICTG 2024. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 403. Springer, Singapore, 2025. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8217-8_29
- 2) Yoshie Ishii, Junichi Susaki, Akane Kurihara, Tetsuharu Oba, Kosei Yamaguchi, Yuusuke Miyazaki, and Kiyoshi Kishida: Landslide Risk Assessment along Roads by Using Radar-driven Land Deformation and Rainfall Data, Int. Arch. Photogram. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVIII-3-2024, 231–237, 2024. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-3-2024-231-2024>
- 3) Naoya Iwaki, Junichi Susaki, Yoshie Ishii and Tetsuharu Oba: Evaluation of deformation detection performance of highway slope using SAR image simulator, Proceedings of the 45th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS), Monarch Imperial Hotel, Sri Jayawardenepura Kotte, Sri Lanka, Nov. 17-21, 2024.

【査読付き国内会議論文】

- 1) 井宮雅裕，宮崎祐輔，小山倫史，藤原照幸，岸田潔：機械学習を用いた浸透流・円弧滑り統合解析による安全率の時系列予測，第64回地盤工学シンポジウム論文集，pp.138-143, 2024.
- 2) 黒田さくら，小山倫史，浅井奏音，宮崎祐輔，山口弘誠，岸田潔：気象レーダーに基づく解析雨量およびその予測値とテレメータ雨量の比較，Kansai Geo-Symposium 2024-地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム- 論文集，2024.

【国内会議発表】

- 1) 小松慎二，北田憲嗣，中井卓巳，石井順恵，須崎純一，宮崎祐輔，岸田潔：衛星SAR画像解析による潜在的危険斜面の抽出方法の検討，22-12-3-01，第60回地盤工学研究発表会，2025-7.
- 2) 宮崎祐輔，森谷将成，廣田安寿佳，鳥居宣之，藤原康正，藤本将光，鏡原聖史，藤原照幸，岸田潔：事前通行規制基準の高度化を目指した道路用土砂災害警戒基準線の構築（提案型），4020，第36回日本道路会議，2025-11.

⑩研究成果の社会への情報発信

社会への成果発信事例については以下のとおりである。

- 公開イベント：局地的大雨に対応した事前通行規制基準の『時間的』・『空間的』高度化成果報告会
開催日時：2024年3月19日 14:15~15:40，
開催会場：キャンパスプラザ京都 第3会議室（収容人数38名，参加者20名程度）
- 公開イベント：ハイウェイテクノフェア2023，2023年11月9日-11月10日にポスター展示として出展

- 招待講演：宮崎祐輔（研究幹事），空間情報技術の活用：事前通行規制制度とアンダーパスの地震時被害を題材に，日本写真測量学会関西支部 第123回テクニカルセミナー／空間情報話題交換会の報告，2024年2月9日．<https://www.gissoken.org/semina.html>
- 招待講演：Miyazaki, Y. “Designing Landslide Risk – An Integrated Framework for Precursory Detection Based on Analysis, Monitoring, and Decision-Making”, Invited Lecture, AFRICA-ai-JAPAN Project, 2026-3-3.

⑪研究の今後の課題・展望等

本研究の今後の課題は，得られた各成果を実務運用に耐える形へ発展させることである．特に，規制判断の時間的高度化を担う浸透流・円弧滑り統合解析のサロゲート化，道路用CLの構築・評価，ローカル予測雨量モデルの構築と，空間的高度化を担う潜在的危険斜面抽出を，どの段階で，どのデータに基づき，どのように道路管理者の判断へ反映するかを具体化する必要がある．それぞれの課題と展望を以下に示す．

1. 道路用CLは，先行降雨や土中水分状態を反映できる点で有効である一方，実務で用いるには，基準値の設定方法，解除判断，空振りで見逃しのバランス，利用者説明の方法を整理する必要がある．また，予測雨量を用いる場合には，予測時間に伴う不確実性を踏まえ，何時間先までを判断材料とするか，どの程度の誤差を許容するかを明確化する必要がある．
2. サロゲート化により安全率時系列を迅速に予測できる可能性が示された一方，解析モデルの構築には地盤条件，水理特性，対策工の情報が必要であり，すべての斜面に一律に適用することは現実的でない．したがって，潜在的危険斜面として抽出された箇所，対策工の効果確認が必要な箇所，規制解除判断で説明性が求められる箇所限定して適用する運用方針を具体化する必要がある．
3. 干渉SAR解析は広域的な変動把握に有効であるが，変動量だけで危険度を判断することは難しい．今後は，地形・地質，降雨履歴，防災カルテ，現地調査，専門家の判断との照合手順を標準化し，経過観察，詳細調査，対策優先順位付けに活用できる形へ整理する必要がある．また，新たな災害履歴や観測データが蓄積された場合に，危険度評価を更新する仕組みを構築することが重要である．

以上を踏まえ，今後は，本研究で構築した技術要素を，道路管理者が実際に利用できるマニュアル，訓練用事例，判定フロー，説明資料として整備することが望まれる．これにより，事前通行規制の安全性，説明性，実行可能性を高めるとともに，平常時の斜面管理や防災対策計画にも活用できる技術体系へ発展させることができる．

⑫研究成果の道路行政への反映

本研究の成果は，事前通行規制の発令・継続・解除判断，重点監視箇所の抽出，防災対策の優先順位付け，利用者説明の高度化として以下の通り整理できる．

1. 道路用CLの構築・評価とローカル予測雨量モデルの構築は，現行の連続雨量法を補完する判断材料として活用できる．連続雨量法は簡便で運用しやすい一方，先行降雨や土中水分状態を十分に反映しにくい．道路用CLを併用することで，降雨履歴と土壌雨量指数に基づく危険度推移を可視化でき，発令・継続・解除判断の説明性を高めることが

できる。また、予測雨量の不確実性を整理することで、事前配備や通行規制準備に必要な時間的猶予を評価する基礎情報を提供できる。

2. 浸透流・円弧滑り統合解析のサロゲート化は、個別斜面の力学的安全性を考慮した規制解除判断や対策工の効果評価に活用できる。特に、重点監視斜面や対策工を有する斜面では、降雨後の安全率回復過程を迅速に評価することで、単なる雨量低下だけに依存しない解除判断を支援できる。また、対策工の有無や地盤条件を反映した安全率評価を蓄積することで、道路用CLの更新や基準見直しの説明材料として活用できる。
3. 潜在的危険斜面の抽出は、平常時の斜面管理に反映できる。地形・地質、降雨履歴、干渉SAR時系列解析、防災カルテ等を重ね合わせることで、既往災害がない箇所や点検で明瞭に顕在化していない箇所についても、重点監視候補として抽出できる。この成果は、巡視計画、詳細調査、計測機器設置、防災対策の優先順位付けに活用できる。
4. 本研究で整理した道路管理者ニーズは、技術導入時の運用設計に反映できる。道路用CLやSAR解析の導入には、技術的精度だけでなく、確認作業の負担、解除判断の明確性、一般利用者への説明、他の道路管理者との整合性が重要となる。したがって、本研究成果を行政実務へ反映する際には、判定フロー、表示方法、訓練用事例、説明文例をあわせて整備することが有効である。

以上より、本研究成果は、異常気象時の通行規制判断を高度化するだけでなく、平常時の道路防災管理、防災投資の優先順位付け、利用者への説明性向上に資するものである。

⑬自己評価

本研究は、当初目的である事前通行規制判断の時間的・空間的高度化に対して、概ね目標を達成し、一部では当初想定を上回る成果を得たと評価する。規制判断の時間的高度化については、浸透流・円弧滑り統合解析のサロゲート化、道路用CLの構築・評価により、個別斜面の安全率評価と規制区間全体の降雨リスク評価を実務判断に接続する基盤を構築した。ローカル予測雨量モデルの構築については、予測雨量と実測雨量の乖離、予測時間に伴う精度低下、周辺メッシュ情報の活用可能性を整理し、実務利用に向けた条件と限界を明確化した段階であり、概ね目標を達成した。規制判断の空間的高度化については、潜在的危険斜面抽出を通じて、重点監視箇所の抽出と監視レベルの階層化に向けた手順を整理した。

研究成果については、時間的高度化と空間的高度化を別個の成果として扱うのではなく、降雨時の規制判断と平常時の斜面管理を接続する技術体系として整理した点に意義がある。特に、道路用CLの構築・評価と浸透流・円弧滑り統合解析のサロゲート化を組み合わせることで、従来の雨量基準では説明しにくかった対策工の効果や解除判断を補助できる可能性を示した。また、潜在的危険斜面抽出を重点監視候補箇所の抽出に位置づけたことで、平常時の道路防災管理への展開可能性を示した。

さらに、本研究では、当初の技術開発目標を超えて、行政実務への反映に関する具体的な成果を得た。研究代表者の継続的な働きかけを通じて、大阪府における事前通行規制判断に土壌雨量指数を活用する動きが進められた。また、道路用CLの監視システムを研究期間内に導入し、研究成果を道路管理者が確認可能な形へ具体化した。加えて、近畿地方整備局主催の道路防災連絡会議において、潜在的危険斜面抽出の考え方が広く土工構造物の点検や重点監視箇所の検討に活用されるなど、研究成果が実務側の判断材料として活用され複数の地点に援用されている。

道路政策への寄与については、本研究成果は、災害捕捉性能の向上、空振りの低減、規制判断の説明性向上、防災対策の優先順位付けに資するものである。ローカル予測雨量モデルについ

ては今後も改善の余地を残すものの、道路用CLの構築・評価、浸透流・円弧滑り統合解析のサロゲート化、潜在的危険斜面抽出、および行政実務への実装面で当初想定以上の成果を得た。以上より、本研究は研究費に見合う十分な成果を得たものと自己評価する。