ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究

プロジェクトリーダー　小田和広　大阪大学准教授

■研究の目的又は背景

近年，様々なタイプの集中豪雨が多発している．これにより，道路通行規制区間（防災点検箇所）だけでなく，それ以外の箇所においても斜面災害が発生し，道路通行の障害となっている．

集中豪雨の中でもゲリラ豪雨に代表される突発的かつ局所的な集中豪雨は，空間的にも時間的にも発生の予測が非常に難しい．このため，このような集中豪雨に対する道路のり面の監視方法を新たに策定する必要がある．

本研究では，①豪雨時におけるのり面災害の事例を収集整理，分析する．②道路パトロールの実態を把握する．③のり面防災の観点からゲリラ豪雨を定義する．そして，ゲリラ豪雨によってもたらされる現象（崩壊パターンおよび予兆現象）を検討・整理する．④ゲリラ豪雨に対応した道路のり面のモニタリング監視システムを検討する．最後に，⑤ゲリラ豪雨を対象とした道路パトロールの着目点の整理を行い，道路パトロール要領（案）策定に資する技術資料を作成する．

ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究

プロジェクトリーダー　小田和広　大阪大学准教授

■研究の内容

- 豪雨時におけるのり面災害の事例の収集整理，分析
  - 過去の豪雨とそれによる崩壊事例データの収集整理，分析する．特に短時間雨量が強い場合に発生する現象に着目して整理を行う．また，最新の気象予測技術の動向に関する情報収集に努める．
- 豪雨時の道路パトロールの実態把握
  - 近畿地方整備局内道路パトロールの実態把握を目的に，パトロール日誌などの資料収集整理，ヒアリングならびに実際のパトロール状況を確認することによって，道路パトロールの実態把握を行う．
- ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測（崩壊パターン及び予兆現象）の検討
  - 過去に豪雨によるのり面災害が生じた道路を対象とし，ゲリラ豪雨時に発生する現象の整理，シミュレーション降雨による現象の予測を行う．さらに，解析結果に基づきハザードマップを試作する
- モニタリング監視システムの検討
  - 道路パトロール時に有効な指標についての検討に加え，その指標を迅速に監視するためのモニタリング監視システムならびにOSV技術との連携について検討する．
- 豪雨時道路パトロールの着目点の検討
  - これまでの研究によって得られた知見をもとにゲリラ豪雨に関する道路パトロールの着目点について整理し，道路パトロール要領策定のための技術資料を作成する

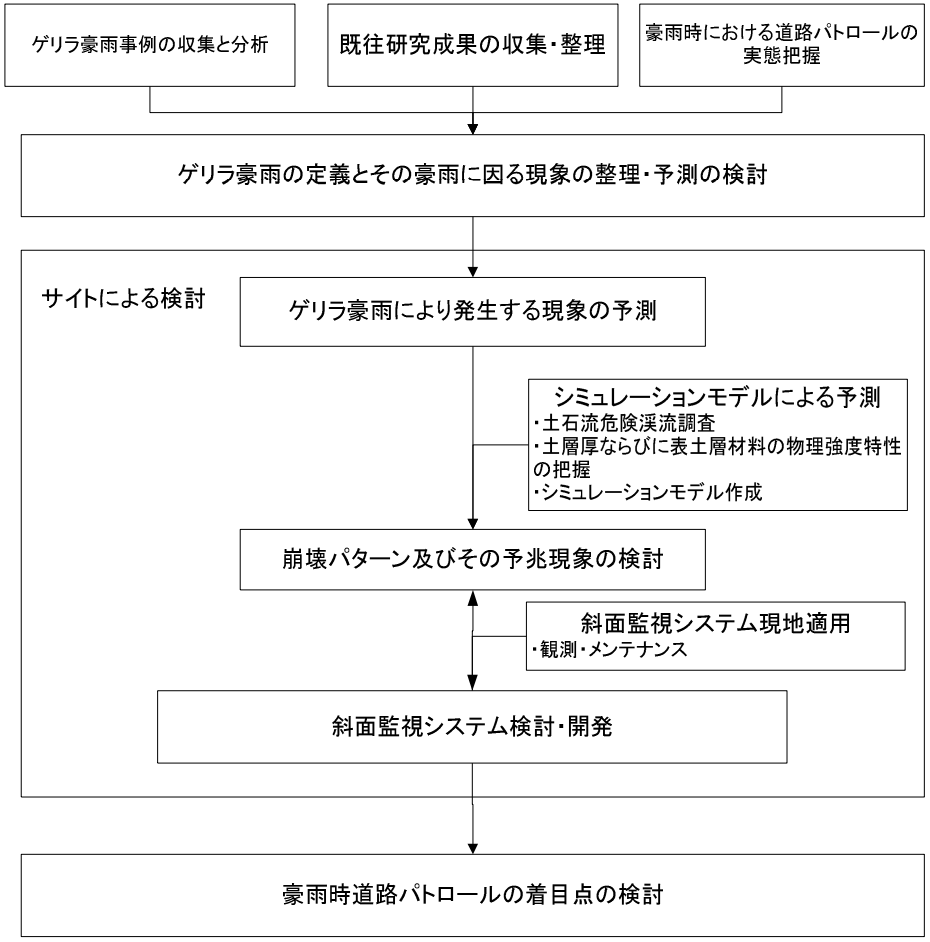
ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究
プロジェクトリーダー　小田和広　大阪大学准教授

■研究スケジュール

- 平成25年度
  - 過去ののり面災害の事例の収集整理，分析
  - 豪雨時の道路パトロールの実態把握
  - ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測（崩壊パターンおよび予兆現象）の検討
- 平成26年度
  - ゲリラ豪雨による現象の整理・予測（崩壊パターンおよび予兆現象）の検討
  - モニタリング監視システムの検討
- 平成27年度
  - ゲリラ豪雨による現象の整理・予測（崩壊パターンおよび予兆現象）の検討
  - モニタリング監視システムの検討
  - 豪雨時道路パトロールの着目点の検討

■参加予定メンバー（体制）

- 【顧問】 沖村　孝　神戸大学名誉教授（（一財）建設工学研究所）
- 【学】小田和広准教授（PL），小泉圭吾助教（大阪大学），鳥居宣之准教授（神戸市立高専），芥川 真一教授（神戸大学），中谷加奈助教（京都大学）
- 【産】国際航業（株），（株）ダイヤコンサルタント，パシフィックコンサルタンツ（株），川崎地質（株），東亜エルメス（株），気象工学研究所



ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究
プロジェクトリーダー　小田和広　大阪大学准教授

研究計画

	検討項目	平成25年度	平成26年度	平成27年度
1	ゲリラ豪雨事例の収集と分析			
2	既往研究成果の収集・整理			
3	豪雨時における道路パトロールの実態把握			
4	ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測（崩壊パターン及び予兆現象）の検討			
	モデル地区での概略検討			
	モデル地区の土石流危険渓流調査			
	モデル地区のサンプリングおよび室内試験			
	モデル地区のシミュレーションモデル作成			
	モデル地区の想定降雨によるハザード検討			
5	斜面監視システム検討・開発			
	監視システム検討・開発			
	観測・メンテナンス			
6	豪雨時道路パトロールの着目点の検討			

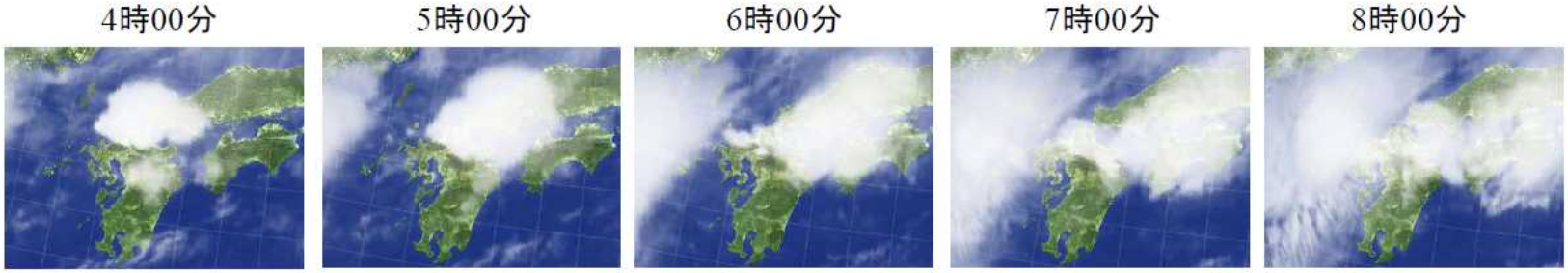
①豪雨時におけるのり面災害の事例の収集整理，分析

近年発生した10の災害事例を収集し，ゲリラ豪雨による気象，災害状況について，整理

年月	名称	地域	降雨形態	時間雨量	24時間雨量	主な被害
2013年10月	伊豆大島土砂災害	伊豆大島	集中豪雨	118.5	800	多数の表層崩壊→土石流として流下
2013年8月	秋田・岩手豪雨災害	秋田県	集中豪雨	108.5	293	土石流も含むがけ崩れが204箇所
		岩手県	集中豪雨	78	264	がけ崩れ9件，土石流11件
2013年7月	山口・島根豪雨災害	山口東部と島根西部	集中豪雨	91.5	381	狭い範囲で数多くの土石流
2013年7月	山形豪雨災害	山形県	集中豪雨	70	249	堆積土砂が流下した土石流と斜面崩壊による土石流
2013年7月	新潟県で発生した土砂災害	長岡市		3日間で403mm		比較的大規模な崩壊や通行止め
2012年7月	九州北部豪雨	熊本県阿蘇市	集中豪雨	108	507.5	①表層崩壊→土石流　②比較的大規模な斜面崩壊
		福岡県八女市	集中豪雨	91.5	486	
		大分県日田市	集中豪雨	85	396	
2011年9月	紀伊半島豪雨災害	奈良県南部	長雨	46	1808	深層崩壊が多数発生し河道閉塞
		和歌山県田辺市	長雨		1998	大規模崩壊が多数
		和歌山県新宮市	集中豪雨	132	832	崩壊土砂の流動化による土石流
2011年7月	高知県東部の土砂災害	高知県東部	長雨	64	755	狭い範囲で深層崩壊が3箇所
2010年9月	神奈川県北部豪雨災害	神奈川と静岡の県境	集中豪雨	70.5	495	表層崩壊や土石流
2010年7月	広島県庄原市の土砂災害	広島県庄原市	集中豪雨	72	3時間で173	狭い範囲で土石流が頻発

被害をもたらす豪雨の特性

- 毛筆型もしくはにんじん型（いわゆる逆三角形）をした発達した積乱雲（テーパリングクラウド）によってもたらされることが多い．
- テーパリングクラウドが線状に並ぶことで降雨帯が形成され，停滞することで，このゲリラ豪雨が繰り返し集中して発生し，数時間の豪雨となる場合がある（バックビルディング型）



九州北部豪雨で確認されたテーパリングクラウド

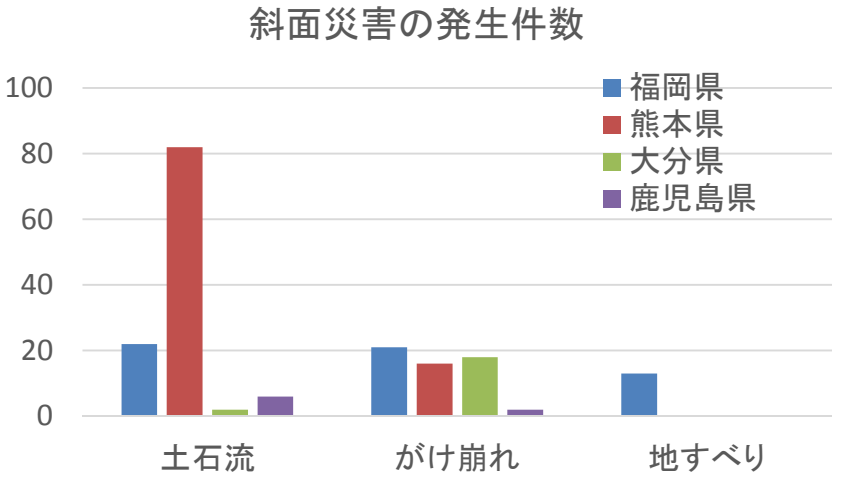
①豪雨時におけるのり面災害の事例の収集整理，分析

ゲリラ豪雨による土砂災害の特徴

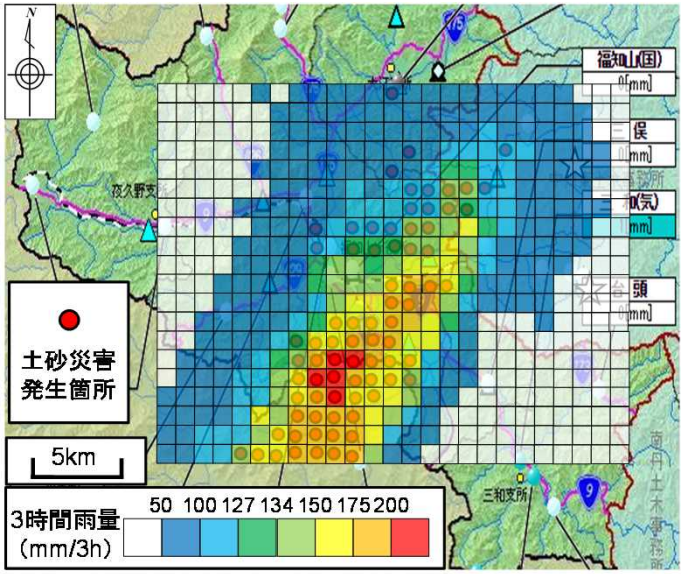
- 渓流からの土砂流出・土石流の被害が多数である．
- その中でも，斜面上部で表層崩壊が発生し，その崩壊土砂が多量の表面流によって流下する土石流の事例が多く，これらは大災害となる傾向がある

ゲリラ豪雨の局所性と降雨予測

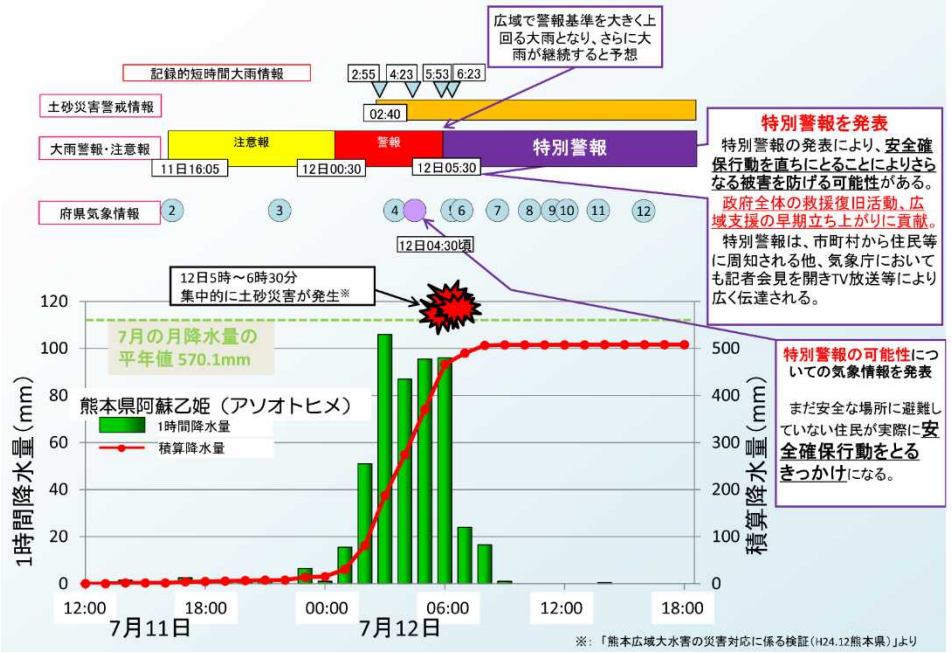
- 集中豪雨は局所的・突発的に発生している．豪雨の発生場所・時刻を数時間前に予測することは現在の気象予測技術では非常に困難である．
- テレメータ設置箇所に雨域の中心があるとは限らず，場合によっては降雨を過小評価するおそれがある



平成24年九州北部豪雨での斜面災害の発生件数

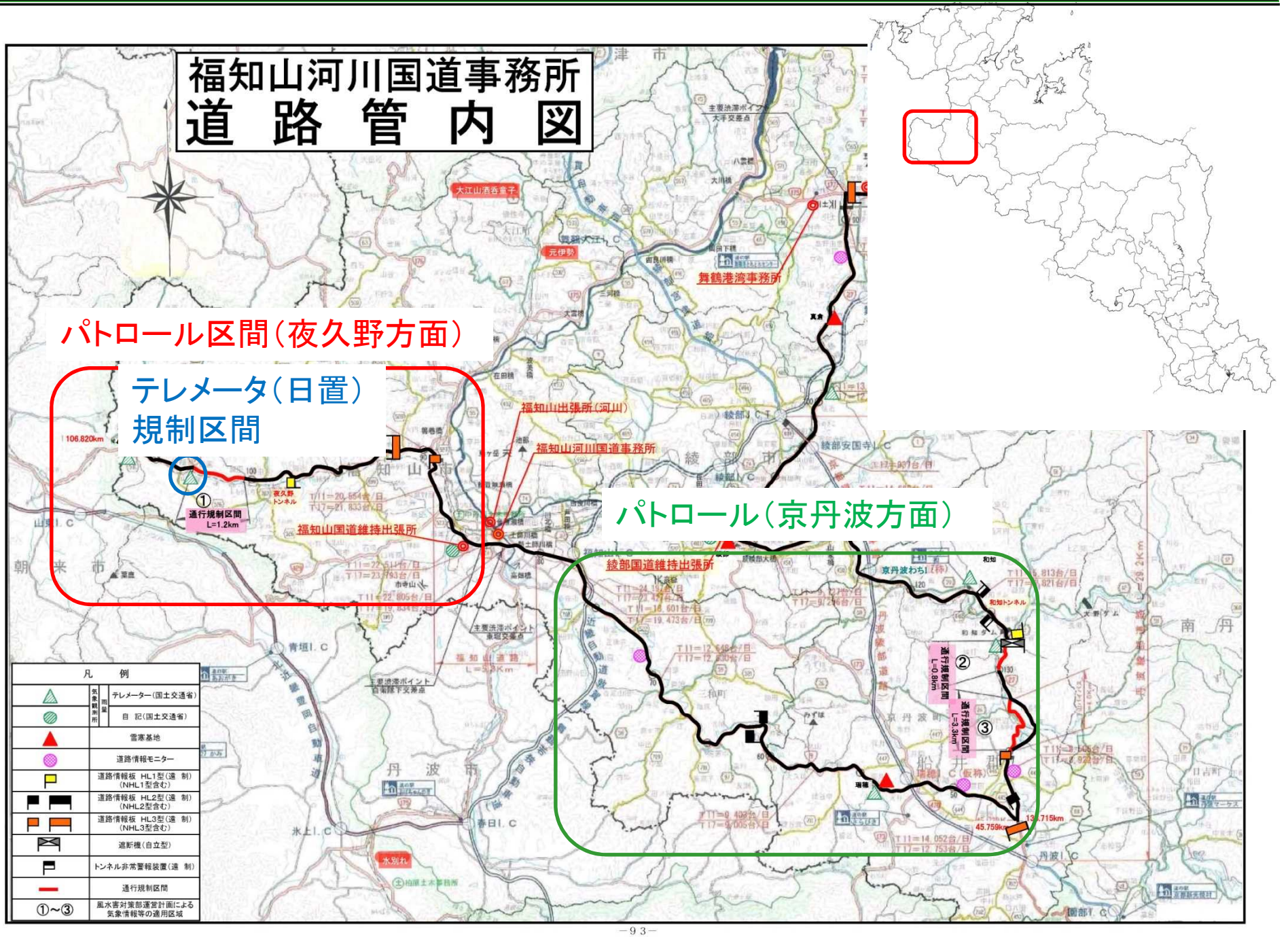


平成26年8月豪雨（於福知山）における最大3時間雨量の分布



平成24年7月九州北部豪雨における降雨履歴の一例

②豪雨時における道路パトロールとその実態



②豪雨時における道路パトロールとその実態

平成25年台風18号時（典型的な広域な大雨）における道路パトロール

雨量観測

台風のような広域に比較的均等な降雨の場合，テレメータによってパトロール区間内で雨量を代表できる．

パトロールの範囲

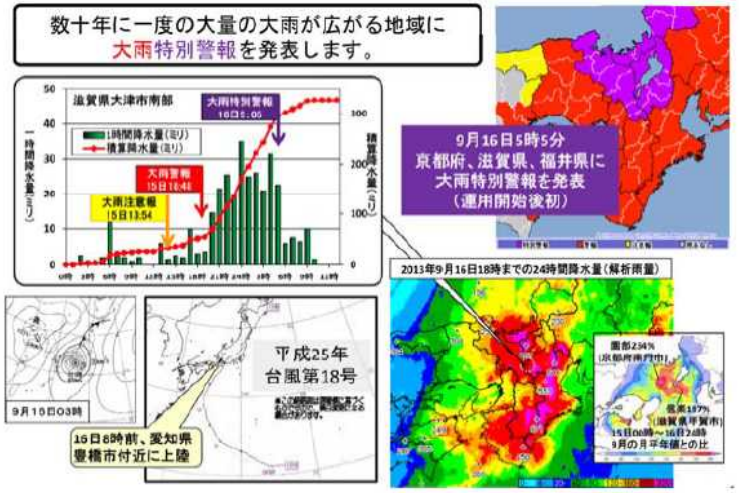
パトロール区間内で比較的均等に降雨が降っており，パトロールは適切であった．

累積雨量に基づく警戒体制

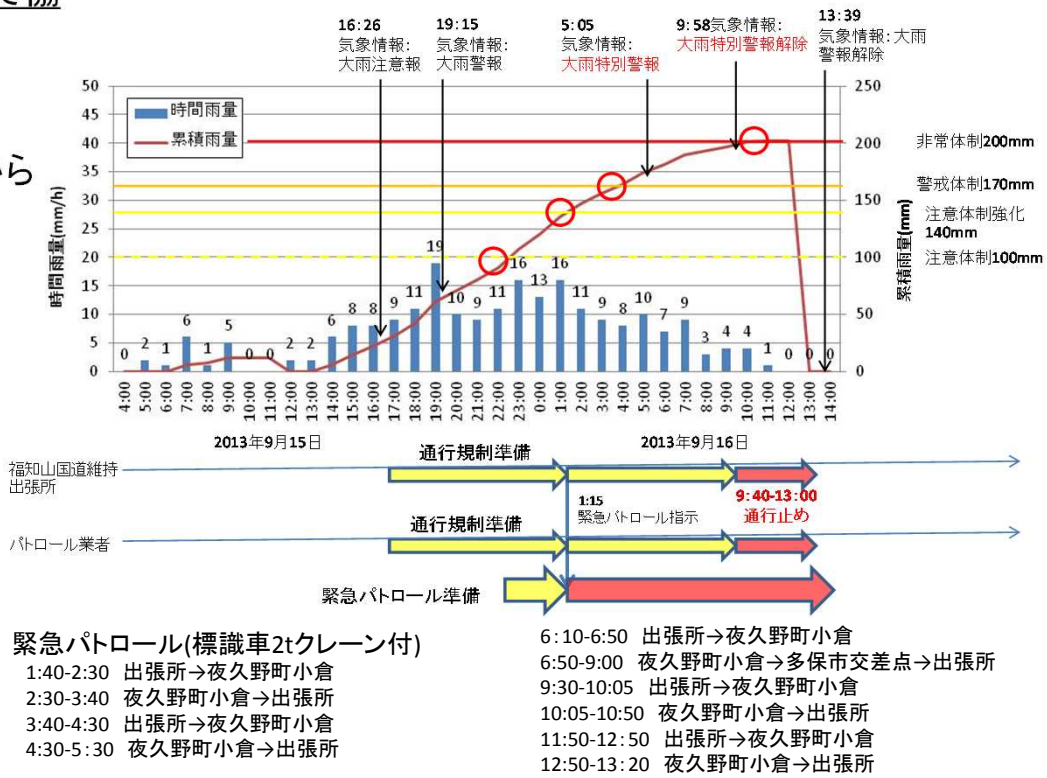
時間雨量がそれほど強くないため，体制の移行に関する時間的余裕があり，事務所，出張所，維持業者で協力し，災害に対し，対応できる．

車中からの視認

降雨中，夜間等視界の限られた状況では，車上から目視によるパトロールには限界があった．



平成25年台風18号の特徴



緊急パトロール(標識車2tクレーン付)

1:40-2:30　出張所→夜久野町小倉
2:30-3:40　夜久野町小倉→出張所
3:40-4:30　出張所→夜久野町小倉
4:30-5:30　夜久野町小倉→出張所
6:10-6:50　出張所→夜久野町小倉
6:50-9:00　夜久野町小倉→多保市交差点→出張所
9:30-10:05　出張所→夜久野町小倉
10:05-10:50　夜久野町小倉→出張所
11:50-12:50　出張所→夜久野町小倉
12:50-13:20　夜久野町小倉→出張所

雨量（福知山市街地）と体制・パトロール

②豪雨時における道路パトロールとその実態

平成26年8月豪雨（典型的なゲリラ豪雨）時の課題

雨量観測

ゲリラ豪雨は局所的であるため，それを一つのテレメーターで捕らえることは困難であった．

パトロールの範囲

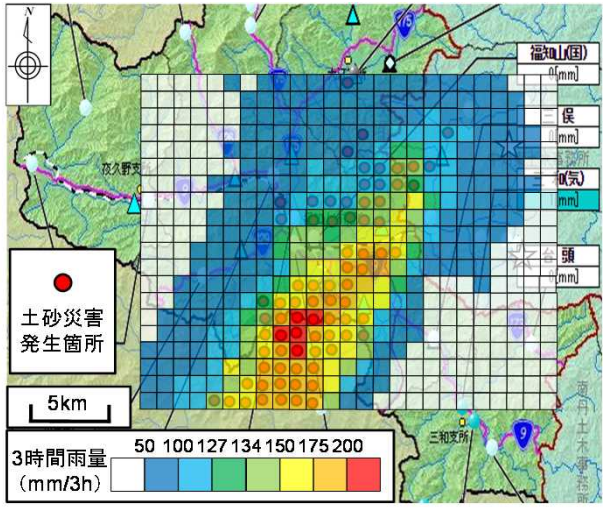
国道9号線上で雨が降っていたのは10km程度であるにも関わらず，管内全体のパトロールを行っていた．

累積雨量に基づく警戒体制の限界

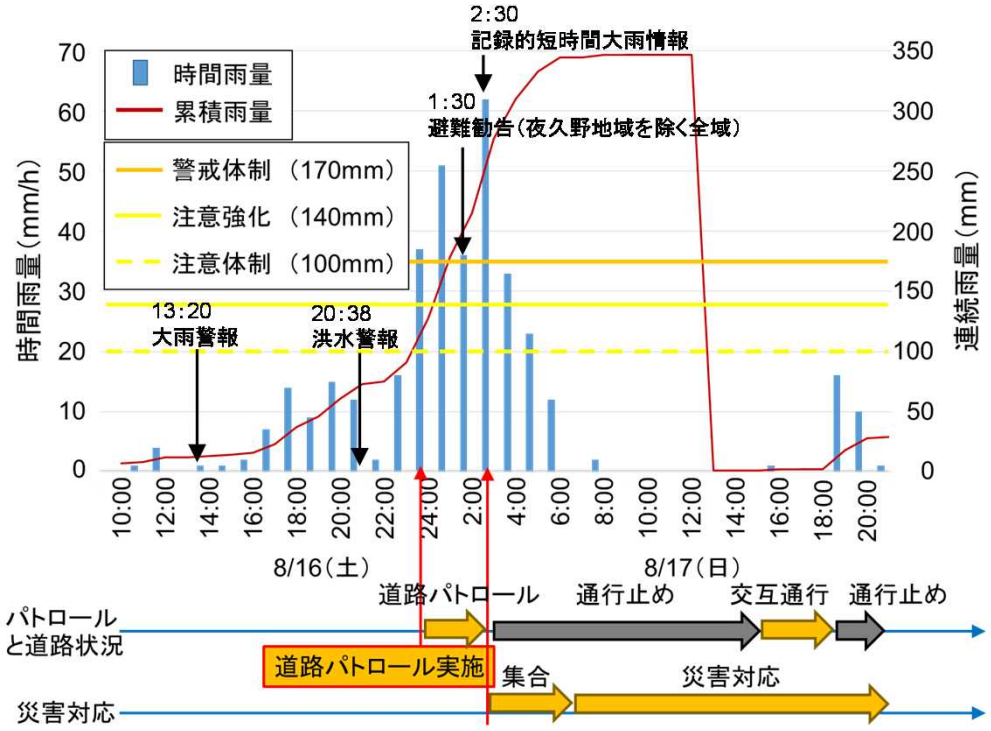
雨量が急増するため，累積雨量に基づく警戒体制では対応が困難であった．

車中からの視認

降雨中，夜間等視界の限られた状況では，車上からの目視によるパトロールには限界があった．



平成26年8月豪雨（於福知山）における最大3時間雨量の分布



20:30 福知山河川国道事務所が注意強化体制
23:49 事務所係長から福知山出張所にパトロール要請
0:33 京丹波方面パトロール出発、夜久野方面準備中
1:21 夜久野方面パトロール報告 異常なし

2:45 下水道課の方から情報提供 長田野で土砂崩れ発生
3:07 長田野状況報告
14:46 長田野片側交互通行
19:40 雨により再度通行止め

雨量（福知山市街地）と体制・パトロール

②豪雨時における道路パトロールとその実態

集中豪雨時の道路パトロールに対する提案

雨量予測の高度化

- 高解像度降水ナウキャスト等や気象サービス会社からの降雨予測の利用することにより，①近未来の予測降雨，②降雨の面的な分布を把握する．
- 近未来の予測降雨に基づき，パトロール体制を準備し，パトロールを実施する．降水量の時間変化が急であるので，基準雨量に達した時点で活動を実施するには時間的余裕がない．また，パトロールの対象となる箇所への移動時間も考慮する必要がある．
- 降雨の面的な分布情報に基づき，降雨が激しい部分だけをパトロールする．
- 意志決定は事務所で行う．ただし，情報は意思決定者とパトロール実施者が共有することが必要である．

ハザードマップの活用

- 事前に起こると予想される現象を事前に想定しておく．
- 迅速かつ効率的なパトロールのため，すべての道路のり面を監視するのではなく，予め災害発生の危険性が高いのり面に着目する．そして，発生する災害のシナリオについても予め推定しておく．
- ゲリラ豪雨時において研究対象サイトにおける現象を数値シミュレーションによって再現し，崩壊パターン及びその予兆現象を検討する．
- 局所的な降雨特性を独自の雨量計によって観測することによってより適切なハザードの推定が可能となる

直接目視に頼らない監視方法

- 昼夜や降雨状態に関わらず危険性を迅速かつ効果的に知らせる方法の開発
- OSVを活用することにより，車中からでものり面の状況を迅速に監視できる方法の開発
- 局所的な降雨情報と連動させることにより，実際の雨量に基づく警戒情報を発信する
- 意思決定者とパトロール実施者の間での情報の共有が必要．現場で起こっていることの情報共有

③ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測の検討

ゲリラ豪雨の定義

特別警報の基準を参考として3時間雨量が50年に1回程度の雨量

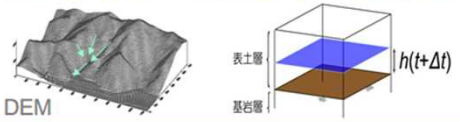
ゲリラ豪雨による現象の予測方法

・のり面崩壊→集水モデルを用いた無限長斜面安定解析による土砂災害危険度評価手法

・土砂流出＆土石流→「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）H19.3」

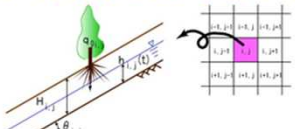
「集水モデルを用いた無限長斜面安定解析」
INSSAM：Infinite Slope Stability Analysis Method

表土層内の浸透水（降雨）が集まって，斜面内あるいは谷部で地下水位が形成される過程をシミュレート



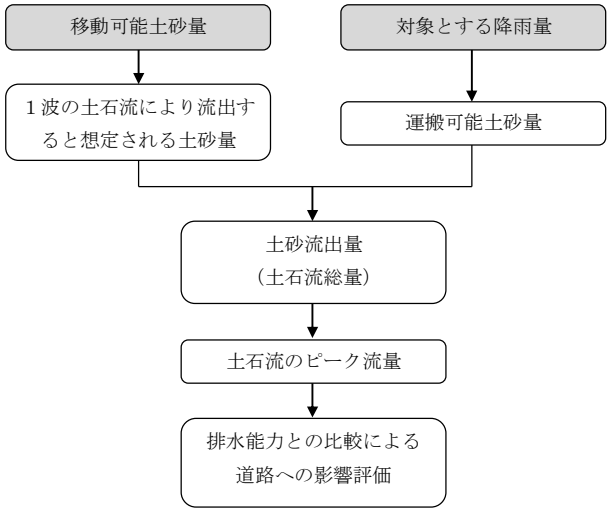
・・・集水モデル

地下水位の上昇に伴う単位体積重量の増加，間隙水圧の上昇（有効応力の低下）に伴う安全率の変化を算定

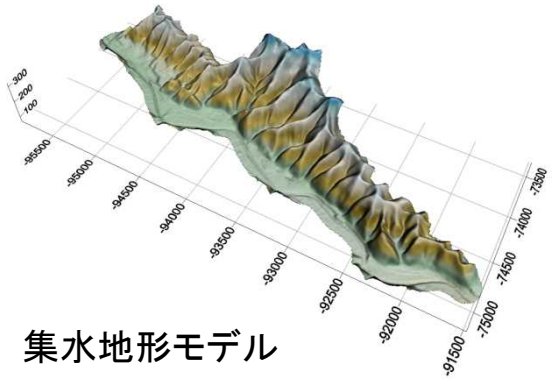


・・・無限長斜面安定解析

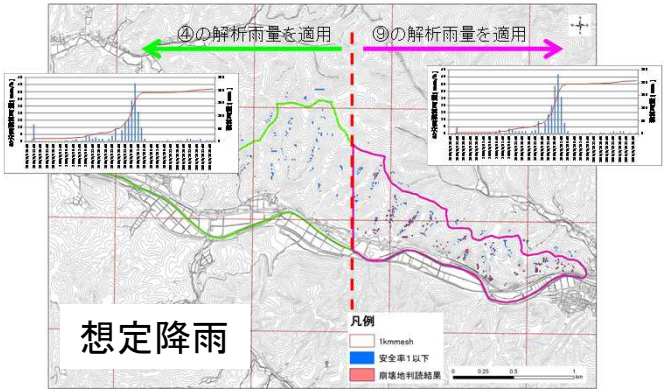
集水モデルを用いた無限長斜面安定解析



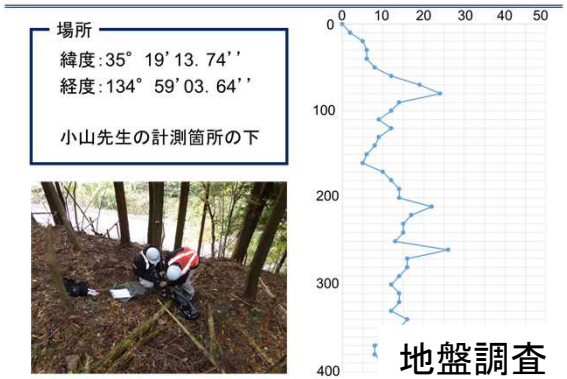
「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）H19.3



集水地形モデル



想定降雨



地盤調査

③ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測の検討

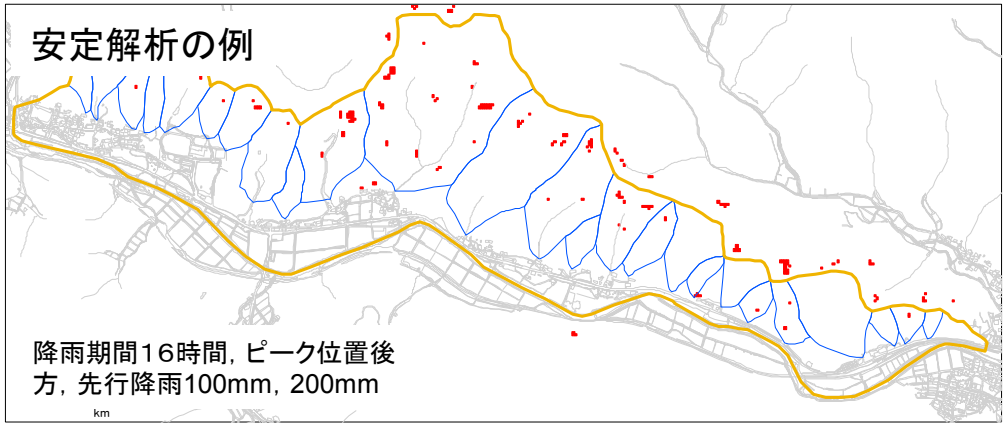
ゲリラ豪雨の定義

特別警報の基準を参考として3時間雨量が50年に1回程度の雨量

ゲリラ豪雨による現象の予測方法

・のり面崩壊→集水モデルを用いた無限長斜面安定解析による土砂災害危険度評価手法

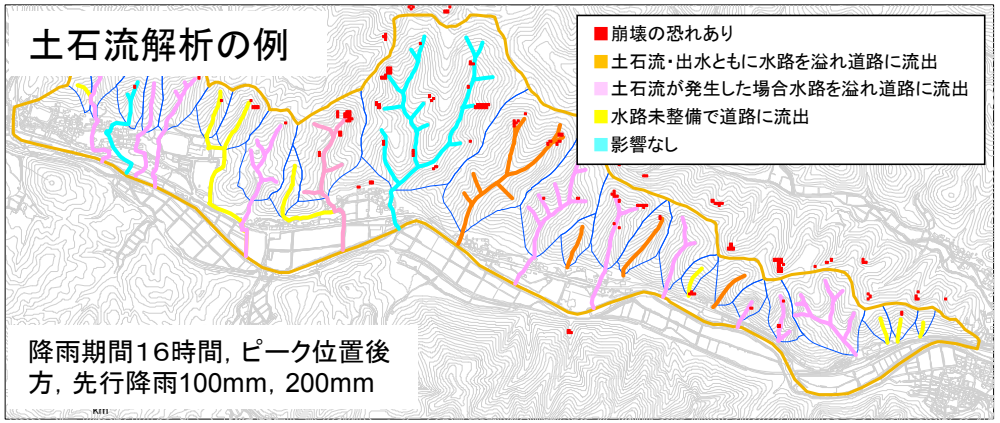
・土砂流出＆土石流→「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）H19.3」



主要な解析ケース

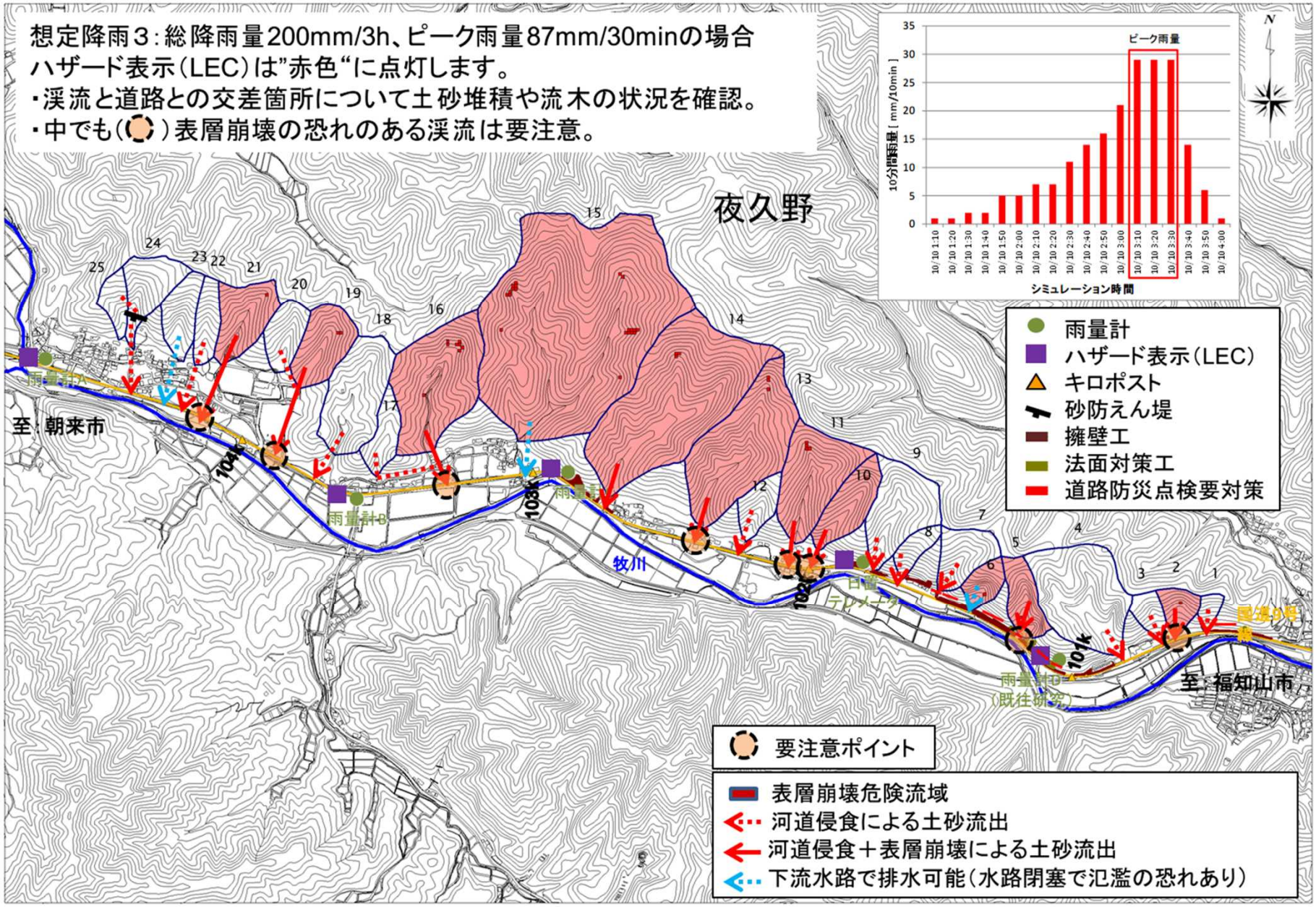
降雨期間	ピーク位置	先行降雨	非ゲリラ豪雨	ゲリラ豪雨		
			100mm	140mm	170mm	200mm
1時間	中央	なし	100-0	140-0	170-0	200-0
3時間	前方	なし	100-1	140-1	170-1	200-1
3時間	中央	なし	100-2	140-2	170-2	200-2
3時間	後方	なし	100-3	140-3	170-3	200-3
14時間	中央	100mm	-	140-4	170-4	200-4
16時間	後方	100mm	-	140-5	170-5	200-5

- ゲリラ豪雨時における道路のり面での現象の再現において本研究による解析手法は有効
- 降雨波形の違いによる崩壊予測箇所の分布に変化が見られない．
- 先行降雨があるとき崩壊予測箇所が多く，雨量の増加に応じて崩壊予測箇所が急増する．
- 流出する水のピーク流量は1時間未満のピーク雨量によって支配される．水のピーク流量には，降雨波形や先行降雨の有無の影響はない．
- 土石流のピーク流量は，ほぼ全ての渓流で降雨量と連動しない移動可能土砂量によって規定される．



解析結果から得られた知見 ⇒ ハザードマップとして取り纏め実用化

③ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測の検討

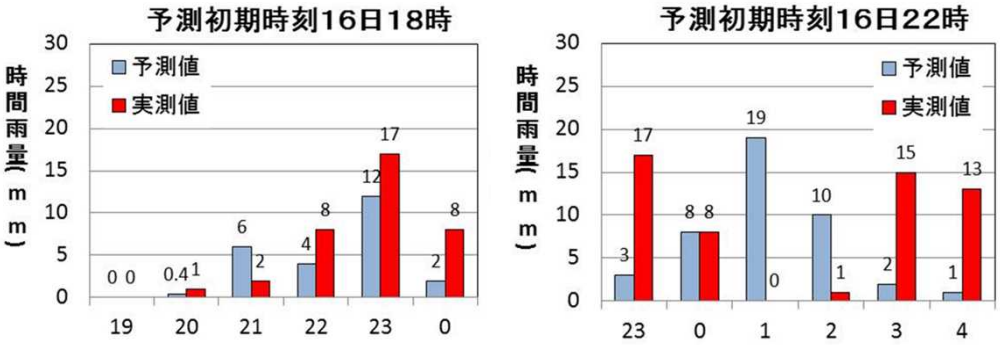


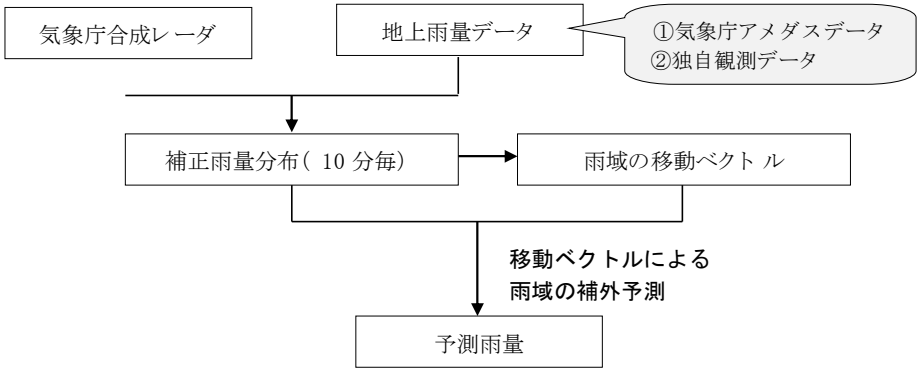
ハザードマップの例

④モニタリング監視システムの検討

独自の高密度の雨量観測網による雨量予測の精度向上

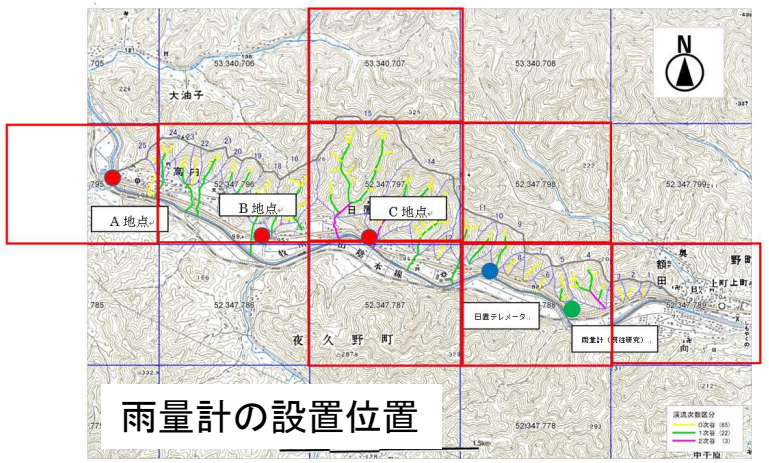
- 降水短時間予報（6時間先）の予測値(計算による予想)は必ずしも実測値と一致しない
- 独自の雨量計による観測データや雨域の移動なども考慮した気象予報士による雨量の予測精度向上に関する検討



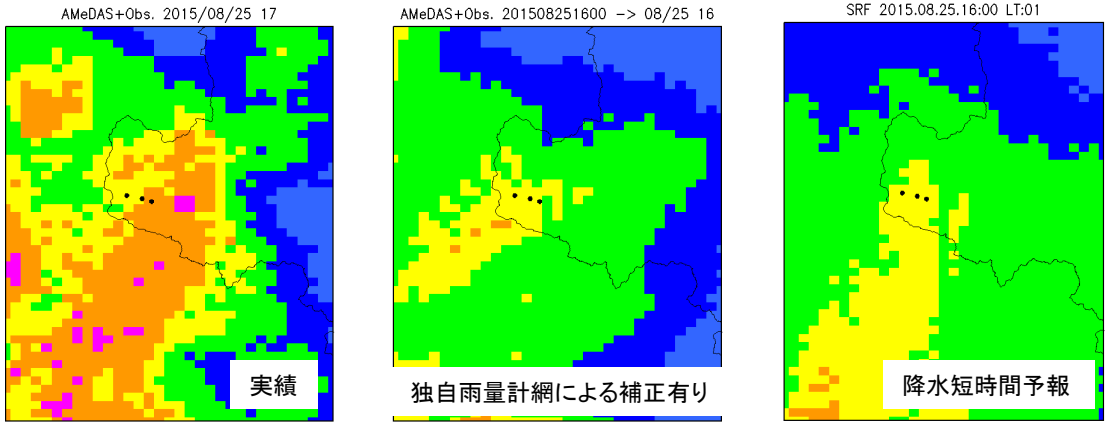


短時間予測手法の計算フロー

降水短時間予報の例



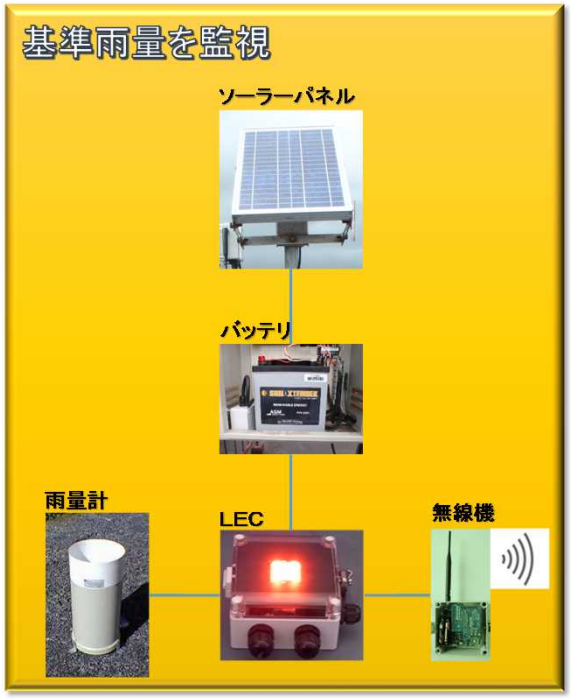
- 独自雨量計の観測記録を考慮し，予測を行うことで雨量の予測の精度が改善される
- 降雨予測には，気象予報計算結果のみではばらつきが大きいため，気象予報士による周辺の気象状況を考慮した精度の高い予報の活用が望まれる．

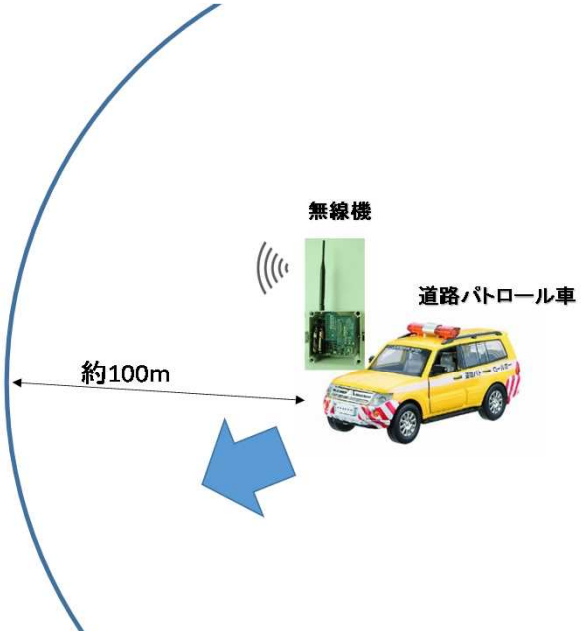


④モニタリング監視システムの検討

直接目視に頼らない監視方法

- パトロール時に車上から変状を認識する仕組みとして，光で変化量を示すOSV（On-Site Visualization）技術の一つ（LEC：Light Emitting Converterとセンサ）と無線通信技術を用いた監視システムを開発.
- 日中の降雨時における車上から視認性の確認を通じ，本システムの有効性を確認
- 現状の国道の通行規制は雨量によって行われることから，センサとして雨量計を選び，それとLECを連携させハザードを表現する方法を提案（想定降雨に応じて光の色の設定）
- LECは表示機器であるので，雨量計以外のセンサとも連携することが可能.
- 土砂災害現象とその予兆を計測するセンサを調査し，連携できるセンサを整理.





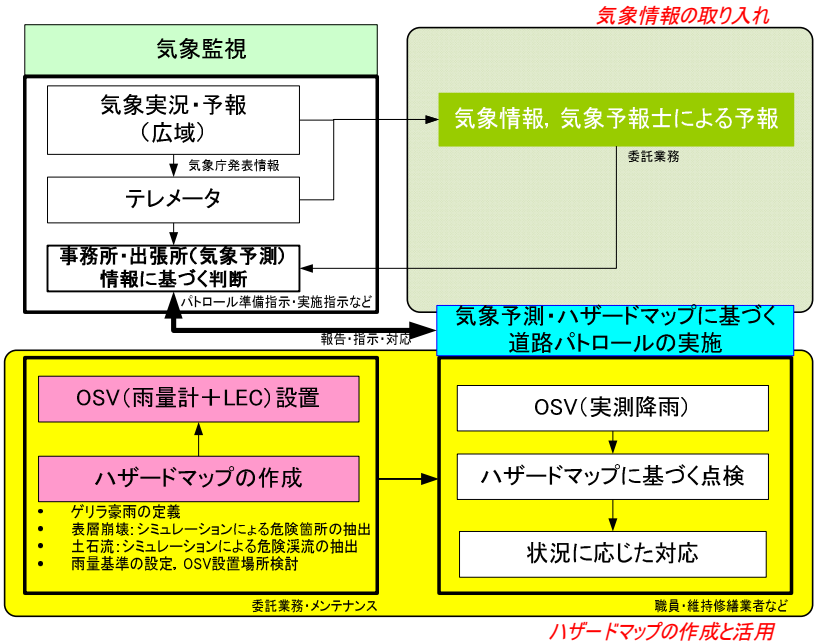
無線LEC（雨量計）を活用した道路パトロール支援システム

⑤豪雨時道路パトロールの着目点の検討

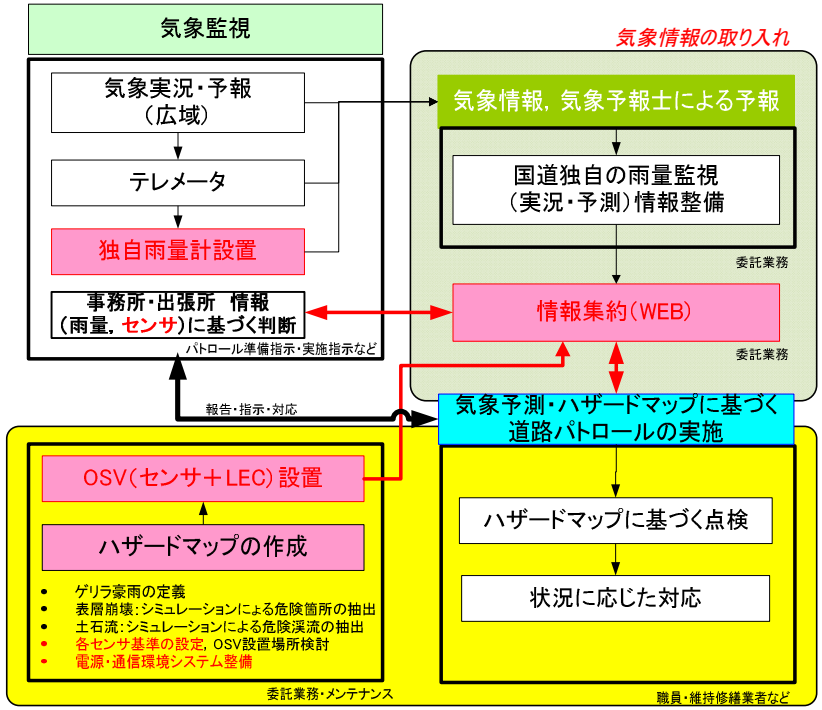
（平時）
- 豪雨時の危険箇所および危険度の把握
- ゲリラ豪雨時に生じる崩壊・土砂流出等の危険箇所の把握と対策
- 危険箇所における対策の実施（ハード対策：防災対策工事，ソフト対策：検知センサなど）
- センサ・パトロールによる変状の早期発見の仕組みづくり
- 法面や流路の排水能力の維持，強化
- 日頃からの排水能力の維持強化
- ハザードマップとLECを連携させたハザードの表示方法を提案

（ゲリラ豪雨発生時）
- 国道周辺の降雨状況の把握ならびに予測
  - ✓ 独自の高密度の雨量観測網による雨量予測の精度向上，（近未来の予測降雨＆降雨の平面的な分布）
- パトロールによる変状の早期発見と通行止などの対応
  - ✓ 数値シミュレーションによるゲリラ豪雨における現象の予測とハザードマップによる実用化
- 車上より豪雨時・夜間に変状を確認できる仕組みづくり
  - ✓ OSV技術と無線通信技術を用いた監視システムの活用とハザードマップとの連携

（ゲリラ豪雨発生後）
- 険箇所の早期点検と通行の安全確認や応急復旧対応



豪雨時における道路パトロール要領（案）
（プロトタイプ）



豪雨時における道路パトロール要領（案）
（将来構想）

ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究

プロジェクトリーダー　小田和広　大阪大学准教授

■研究のまとめ

- 豪雨時におけるのり面災害の事例の収集整理，分析
  - 毛筆型もしくはにんじん型（いわゆる逆三角形）をした積乱雲（テーパリングクラウド）によってもたらされることが多い．テーパリングクラウドが線状に並ぶことで降雨帯（線状降水帯）が形成され，停滞することで，このゲリラ豪雨が繰り返し集中して発生し，数時間の豪雨となる（バックビルディング型）
  - 渓流からの土砂流出・土石流の被害が多数である．その中でも，斜面上部で表層崩壊が発生し，その崩壊土砂が多量の表面流によって流下する土石流の事例が多く，これらは大災害となる傾向がある
- 豪雨時の道路パトロールの実態把握
  - 台風のような広域に比較的均等な降雨の場合，テレメータによってパトロール区間内で雨量を代表できる．また，時間雨量がそれほど強くないため，体制の移行に関する時間的余裕があり，事務所，出張所，維持業者で協力し，災害に対し，対応できる．
  - ゲリラ豪雨の場合，降雨域が局所的であるため，それを一つのテレメーターで捕らえることは困難である．また，降雨区間だけパトロールを行う必要がある．雨量が急増するため，累積雨量に基づく警戒体制では対応が困難である
  - 降雨中，夜間等視界の限られた状況では，車上からの目視によるパトロールには限界がある

ゲリラ豪雨に対応した道路のり面監視方法に関する研究

プロジェクトリーダー　小田和広　大阪大学准教授

■研究のまとめ

- ゲリラ豪雨の定義とその豪雨による現象の整理・予測（崩壊パターン及び予兆現象）の検討
  - ゲリラ豪雨時における道路のり面での現象の再現において本研究による解析手法は有効である
  - 降雨波形は崩壊予測箇所の分布に対して影響を与えない．一方，降雨があるとき崩壊予測箇所が多く，雨量の増加に応じて崩壊予測箇所が急増する．
  - 流出する水のピーク流量は1時間未満のピーク雨量によって支配される．水のピーク流量には，降雨波形や先行降雨の有無の影響はない．土石流のピーク流量は，ほぼ全ての渓流で降雨量と連動しない移動可能土砂量によって規定される．
- モニタリング監視システムの検討
  - 開発した監視システムは，光で変状の有無を表現することが可能であり，それによって車上からでも視認できる．
  - LECは表示機器であるので，雨量計以外のセンサとも連携することが可能である．
- 豪雨時道路パトロールの着目点の検討
  - 解析結果を通じ，累積雨量を基準指標としたハザードマップを作成することが可能である．
  - 累積雨量を基準指標として，LECの色の表示を変更することが可能である．
  - ハザードマップとLECを累積雨量を基準指標として，連携させることにより，夜間のゲリラ豪雨時においても効率的なパトロールが可能である．