

島原振興局 建設部 道路第一課 ◎寺尾 健太郎
○柳原 浩二

1 はじめに

一般国道 251 号の雲仙市南串山町赤間～南島原市加津佐町権田（以下、赤間権田区間）は、島原半島及び熊本天草地域と諫早長崎地域を結ぶ主要な道路であるが、急崖・急斜面が連続し土砂災害多発区間として昭和 46 年に事前通行規制区間に指定され、昭和 57 年、平成 5 年には大規模な法面崩壊が発生し、内 1 件は死亡事故となった区間である。その対策として、昭和 57 年よりロックシェッド工法、平成 8 年より法枠、アンカー工法をハード対策として実施している。また、平成 22 年より大規模な法面崩壊を予見するため地盤傾斜計や GPS 等を用いた斜面監視システムによるソフト対策を実施している。ハード・ソフト対策により赤間権田区間での災害発生回数は減少しているものの、近年の多発する降雨により通行規制時間は増加していることから、令和 2 年度に通行規制基準の検討を行った。結果、令和 4 年度に通行規制解除基準の変更を行った。その変更の経緯を取りまとめると共に、変更後の効果や課題について考察したい。



図 1 位置図

2 旧規制解除基準の課題

旧規制解除基準は①大雨警報解除②3時間無降雨③現地異常なし（現地パトロール）であった。変更時に着目されたのが、②3時間無降雨であり、この基準により小雨でも規制の長期化があった。図2のような大雨警報解除後も少雨が継続する場合は規制解除を行わず、また、3時間無降雨を確認した後にパトロールに出動する際、夜間になると法面状況や路面について安全性の確認ができないことから、翌日早朝まで規制時間が延長するという状況も発生した。

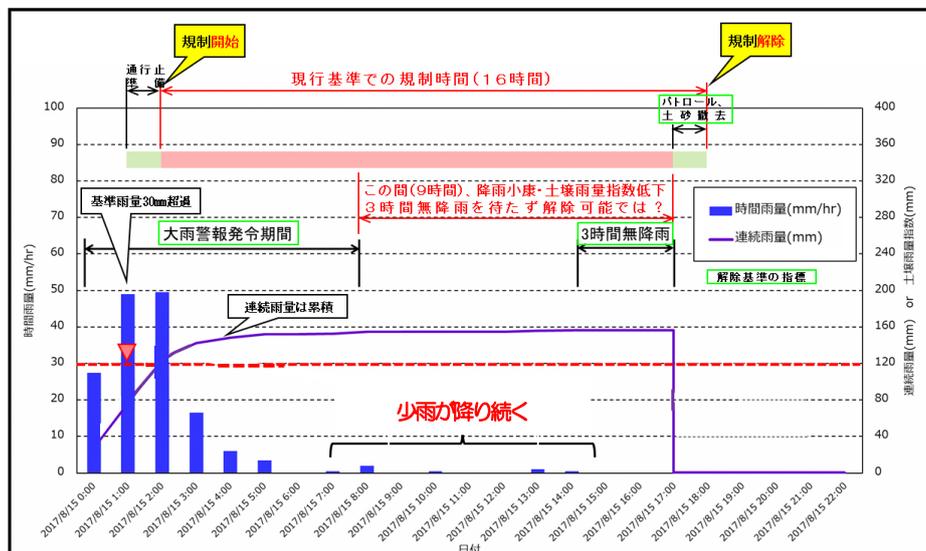


図 2 少雨での規制長期化例

3 規制解除基準の変更

旧規制解除基準は降雨と災害の関連を経験則で判断し決定していた。そのため、科学的根拠に基づき判断出来るよう、降雨と法面崩壊の相関関係をより適確に捉えることが出来る土壤雨量指数を規制解除指標に取り入れた。また、過去の雨量データや被災回数、規制回数を評価し土壤雨量指数の基準雨量の設定を行い、安全性を確保しつつ規制時間の短縮を図れないか検討を行った。

3-1 土壤雨量指数

土壤雨量指数とは、降った雨による土砂災害危険度の高まりを把握する指標であり、降った雨が土壤中に水分量としてどれほど溜まっているかを、タンクモデルを用いて数値化したものとなる。雨が弱まるほどタンク内の貯留より流出・浸透が上回ることになり、値は相対的に減少していく特徴がある。

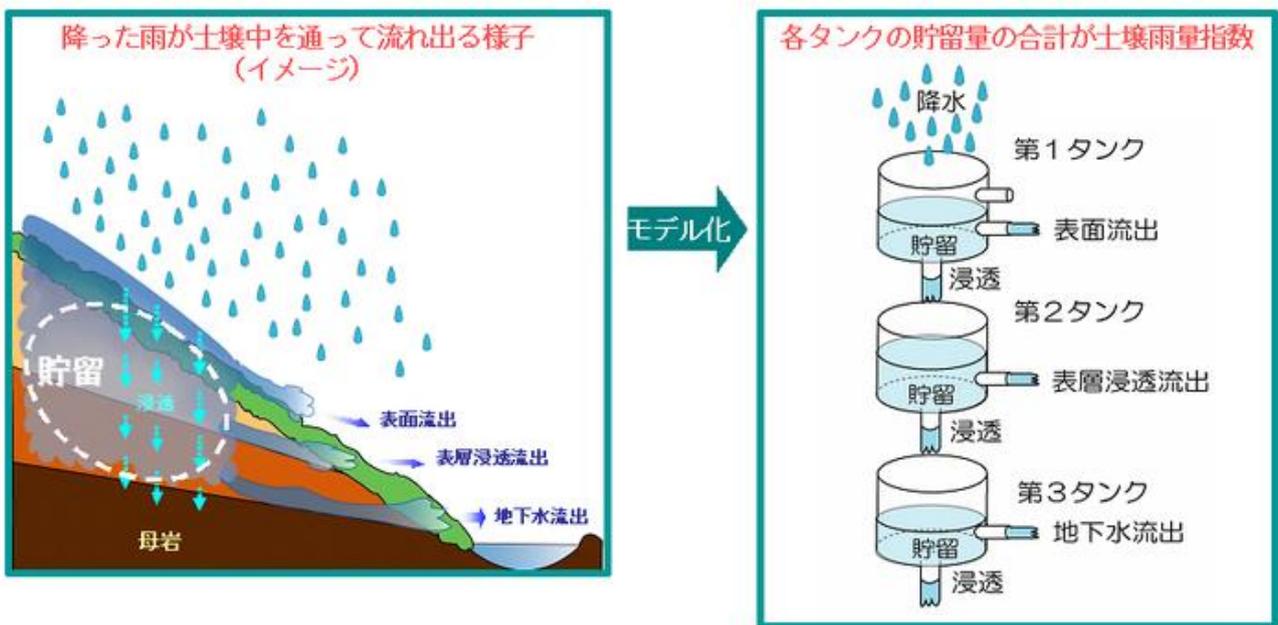


図 3-1 土壤雨量指数のタンクモデル

3-2 土壤雨量指数を用いた基準雨量線の設定

砂防分野において土砂災害警戒情報の発令基準となっている土砂災害発生危険基準線 (Critical Line : 以下「CL」という。) の設定を実施し、赤間権田区間の規制解除基準へ適用した。この CL の設定手法は、砂防のソフト対策として開発された技術で気象庁でも運用実績があり、RBF ネットワークという数学的手法を用いており、客観性が高く、説明性が優れる。

RBF ネットワークはデータ補間手法の一つで、有限個のデータから確率分布を求める手法であり、入力層、中間層、出力層の3層からなる階層構造をなすものである。入力層となる降雨データを、中間層の基底関数により処理し、重み付けと重ね付けによって得られた出力を z 軸にとり、x 軸を長期降雨指標として土壤雨量指数、y 軸を短期降雨指標として時間雨量として図示したものが図 3-2-1 の

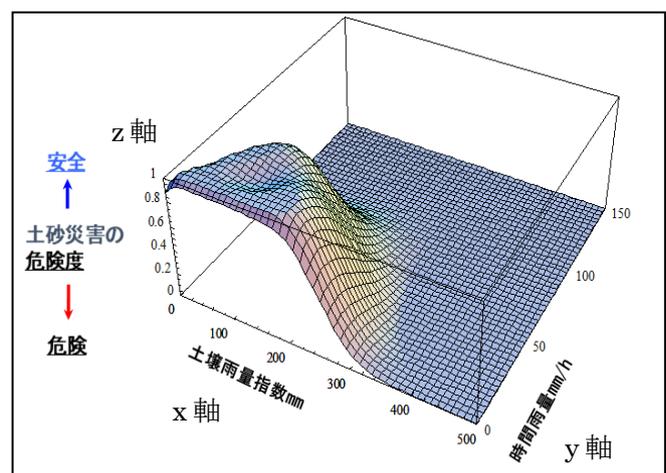


図 3-2-1 RBF ネットワークによる出力図

ように3次元表示される面となる。この3次元出力は、山の高い部分は災害の起きにくい安全な領域を表し、高さが低い部分は災害発生への恐れのある危険な領域を表す。

3次元出力を2次元表示したのが図 3-2-2 である。ここに示される等高線がそのまま非線形の「土砂災害の警戒避難基準線 (CL)」として使用される。複数ある等高線のそれぞれについて、防災的観点から最も妥当と判断されるものを CL として採用する。

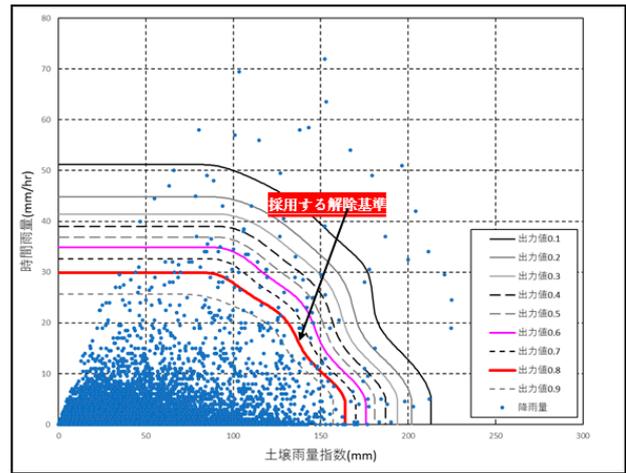


図 3-2-2 RBF ネットワーク出力図の2次元化

4 効果

4-1 過去 11 年間の雨での規制時間について検証

規制解除基準の変更にあたり、過去 11 年間での大雨警報の記録がある平成 22 年～令和 2 年の降雨で新旧規制解除基準の解除時刻を比較した。その結果、11 年間で規制となった 36 回の降雨のうち 14 回の降雨で規制時間が短縮となった。規制時間で検証すると、旧規制解除基準では 631 時間だったが、新規規制解除基準では 516 時間となり、115 時間の短縮、1 回あたりでは 17.5 時間から 14.3 時間と約 3 時間の短縮となった。さらに図 4-1 のように、旧規制解除基準の課題であった少雨による規制時間が延長する場合も、新規規制解除基準で検証すると 5 回改善され、1 回あたり平均 15 時間の短縮となった。

これにより、安全性を確保したこれまで同様の規制をかけつつ、大雨警報が解除された後にも少雨が降り続く場合の規制長期化を減少させることで、早期の通行規制の解除が期待される。

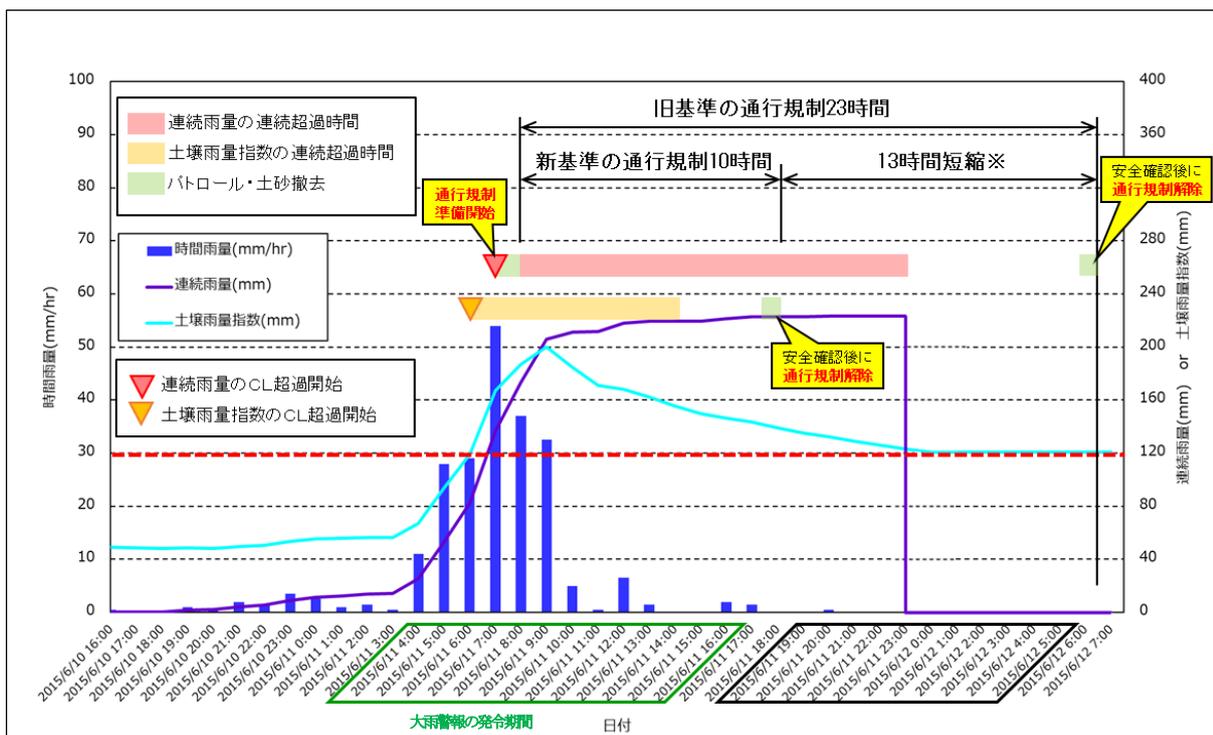


図 4-1 新基準で解除した場合の規制時間が短縮される事例

4-2 新規制解除基準の検証

令和4年度から現在（令和6年度9月末）までの運用実績は表4-2のとおりである。

表4-2 運用実績（令和4年～令和6年9月時点）

| | 降雨発生日時 | 降雨終了日時 | 最大時間雨量 mm/hr | 連続雨量 mm/hr | 大雨警報発令期間 | | 旧規制解除基準の通行規制期間 | | | 新規制解除基準での通行規制期間 | | | 短縮時間 |
|----|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|-------|-------|
| | | | | | 発令 | 解除 | 開始 | 解除 | 時間 | 開始 | 解除 | 時間 | |
| R4 | 2022/4/26 13:20 | 2022/6/20 12:00 | 32 | 111.5 | | | 2022/4/26 15:15 | 2022/4/27 6:00 | 14:45 | 2022/4/26 15:15 | 2022/4/27 6:00 | 14:45 | 0:00 |
| | 2022/6/20 21:00 | 2022/6/21 12:00 | 31.5 | 83.5 | 2022/6/21 6:12 | 2022/6/21 9:28 | 2022/6/21 7:20 | 2022/6/21 16:00 | 8:40 | 2022/6/21 7:20 | 2022/6/21 12:00 | 4:40 | 4:00 |
| R5 | 2022/7/15 9:00 | 2022/7/16 3:00 | 91 | 135 | 2022/7/15 23:22 | 2022/7/16 4:51 | 2022/7/15 16:30 | 2022/7/16 6:00 | 13:30 | 2022/7/15 16:30 | 2022/7/16 6:00 | 13:30 | 0:00 |
| | 2024/2/21 2:00 | 2024/2/21 15:00 | 35 | 87.5 | | | 2024/2/21 9:00 | 2024/2/22 6:00 | 21:00 | 2024/2/21 9:00 | 2024/2/21 16:30 | 7:30 | 13:30 |
| R6 | 2024/3/24 0:00 | 2024/3/24 18:00 | 46 | 150 | 2024/3/24 4:16 | 2024/3/24 8:16 | 2024/3/24 4:40 | 2024/3/25 6:00 | 25:20 | 2024/3/24 4:40 | 2024/3/24 16:00 | 11:20 | 14:00 |
| | 2024/4/29 2:00 | 2024/4/29 12:00 | 41.5 | 93 | | | 2024/4/29 8:00 | 2024/4/29 15:00 | 7:00 | 2024/4/29 8:00 | 2024/4/29 14:00 | 6:00 | 1:00 |
| | 2024/6/20 5:00 | 2024/6/24 0:00 | 13.5 | 128.5 | | | 2024/6/20 23:10 | 2024/6/21 6:00 | 6:50 | 2024/6/20 23:10 | 2024/6/21 6:00 | 6:50 | 0:00 |
| | 2024/7/14 0:00 | 2024/7/15 13:00 | 17.5 | 142 | | | 2024/7/15 6:00 | 2024/7/15 16:00 | 10:00 | 2024/7/15 6:00 | | | |
| | 2024/8/13 20:00 | 2024/8/14 0:00 | 33.5 | 39.5 | | | 2024/8/13 21:30 | 2024/8/14 6:00 | 8:30 | 2024/8/13 21:30 | 2024/8/14 6:00 | 8:30 | 0:00 |

令和4年度に3回、令和5年度に2回、令和6年度9月時点で4回と計9回の規制を行った。短縮効果があったのが4回であり、最も効果があったのが令和5年3月24日の大雨で、14時間の短縮であった。これは前章で確認した少雨による規制長期化を避けられた場合であり、旧規制解除基準の場合は解除基準を満たすのが夜間の21時となり、早朝のパトロール後に解除となるが、新規制解除基準の場合は当日中の規制解除が出来た。この時、法面からの土砂が道路へ流出したが、早期にパトロールを実施したため撤去作業含めても夜間を跨ぐことは無かった。このことから、土壌雨量指数により法面の安全性を確認しながら現地パトロール及び現地作業の時間を確保した上で規制の早期解除が行え、通行規制による経済損失及び道路利用者への負担を軽減出来た。

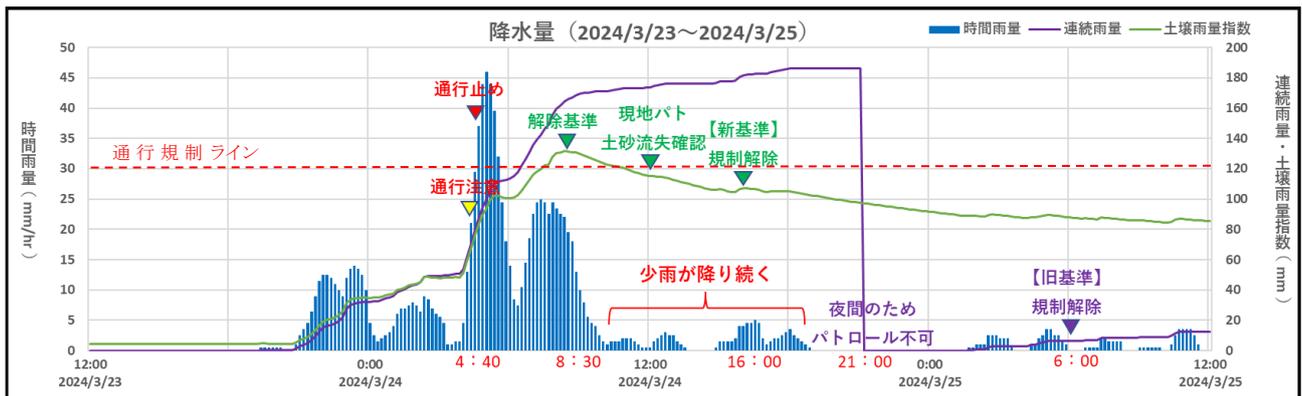


図4-2-1 降雨量（令和6年3月23日～24日）

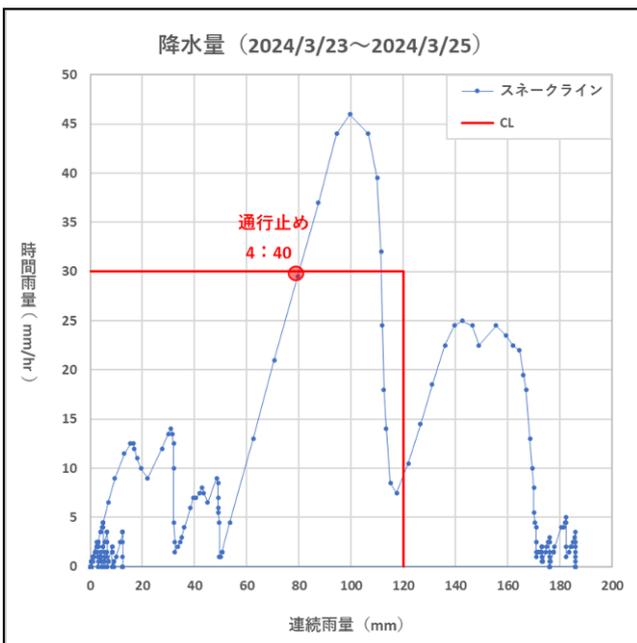


図4-2-2 通行規制基準（令和6年3月23日～24日）

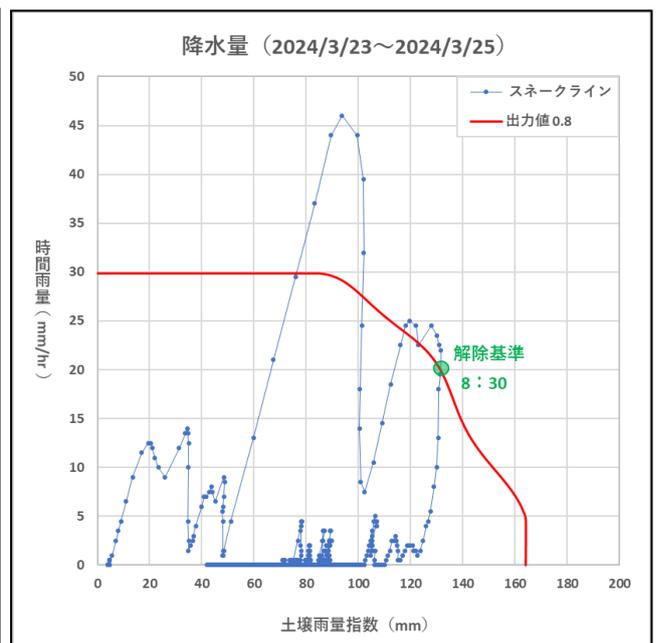


図4-2-3 規制解除基準（令和6年3月23日～24日）

また、新規解除基準の運用前は、雨量計は雨量監視システム、斜面計、GPS、伸縮計は斜面監視システムと別回路でデータを収集していたが、土壌雨量指数を解除基準に取り入れるにあたり、赤間権田区間のソフト対策を一括化するため、雨量データを斜面監視システムに統合した。その際に、これまでは職場 PC からでしか確認できなかった斜面監視システムを、職場外でもアクセスできるよう外部閲覧へ向けたネットワーク設定を行った。Web ページ上で閲覧可能となったことから、時間外や休日でも班員全員が職場用携帯電話で土壌雨量を共有できるようになり、突発的な規制の見落とし防止や規制状況の共有が行えるようになった。また、従来の斜面監視システムで確認していた、傾斜計、GPS、伸縮計の変動図も職場用携帯電話から確認できるようになった。

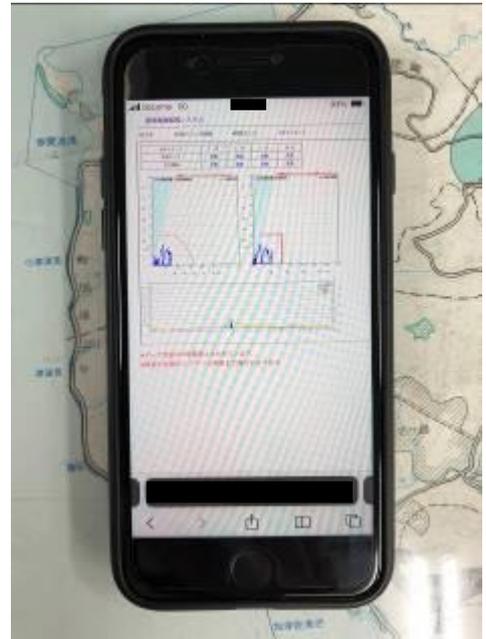


図 4-2-4 携帯電話から見る斜面監視システム

5 課題

5-1 運用上の課題

運用する中で課題もあった。それが、今年度の令和 6 年 7 月 15 日の規制である。規制基準の連続雨量 120 mm を超えたため規制を開始したが、開始時点ですでに土壌雨量指数は解除基準を満たしており、CL を超えることは無かった。これは規制開始基準に連続雨量という常に単調増加する値を採用しているのに対して、規制解除基準は土壌雨量指数という時間経過で増減する値を用いていることが起因する。そのため、今後も土壌の貯留量が流出量未満の少雨が長期間続く場合は、同様の事象が発生すると想定される。



図 5-1 南串山赤間第 1 ロックシェッド付近の
表層崩壊

また、同様の令和 6 年 7 月 15 日の雨により南串山赤間第 1 ロックシェッド付近で図 5-1 のように表層崩壊（高さ 20m、幅 10m 程度）がパトロールの際に発見された。被災箇所は平成 5 年にも小規模な表層崩壊があった。この時は待受け擁壁のポケット 4m のうち 3m ほど土砂が堆積したが、現道への土砂流出を防げた。しかし、雨だけで有れば過去に何度も経験がある程度なので、雨以外の他の被災誘因（表面風化など）が考えられる。そのため、赤間権田区間の早期のハード対策完了が求められる。

5-2 今後の課題

長期的な課題として一番大きいのは規制基準の検討である。現在の規制基準は平成 5 年度から運用される①時間雨量 30 mm 以上もしくは②連続雨量 120 mm 以上であるが、近年の気象変動の影響により当時と現在では雨の降り方が大きく変化している。今後のハード対策による耐久性向上、異常気象による降雨強度の増加や多発する線状降水帯、それらに伴う災害発生件数などを検証し、

定量的な規制基準を策定することで、規制の空振り率（通行規制をしたにも関わらず、災害が発生しなかった割合）を低下させる必要がある。

また、今回の解除基準の変更では②3時間無降雨に着目したが、①大雨警報解除についても課題が残っている。これは、大雨警報が島原半島という広域で発令されるためである。赤間権田区間とは別の地点に雨域が移り、その地点では大雨警報の基準を超過している場合、大雨警報が解除されていないため規制解除できない。そのため、現在の雨量が赤間権田区間で大雨警報を超過しているか、解析雨量を用いて判定できる NACSS（長崎県河川砂防情報システム）を規制解除に導入することも検討出来る。また、気象庁では「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」に基づき、AI技術の導入による気象観測・予測技術の高度化に向けた研究を行っており、その中に、今後の雨量の高精度な量的予測や確率情報を提供することを目的とした研究を行っている。今後の気象庁の動きに注視しつつ、NACSS と気象庁からの情報を組み合わせるなど、多様な視点から改善が行えないか検討を行っていくことが必要である。

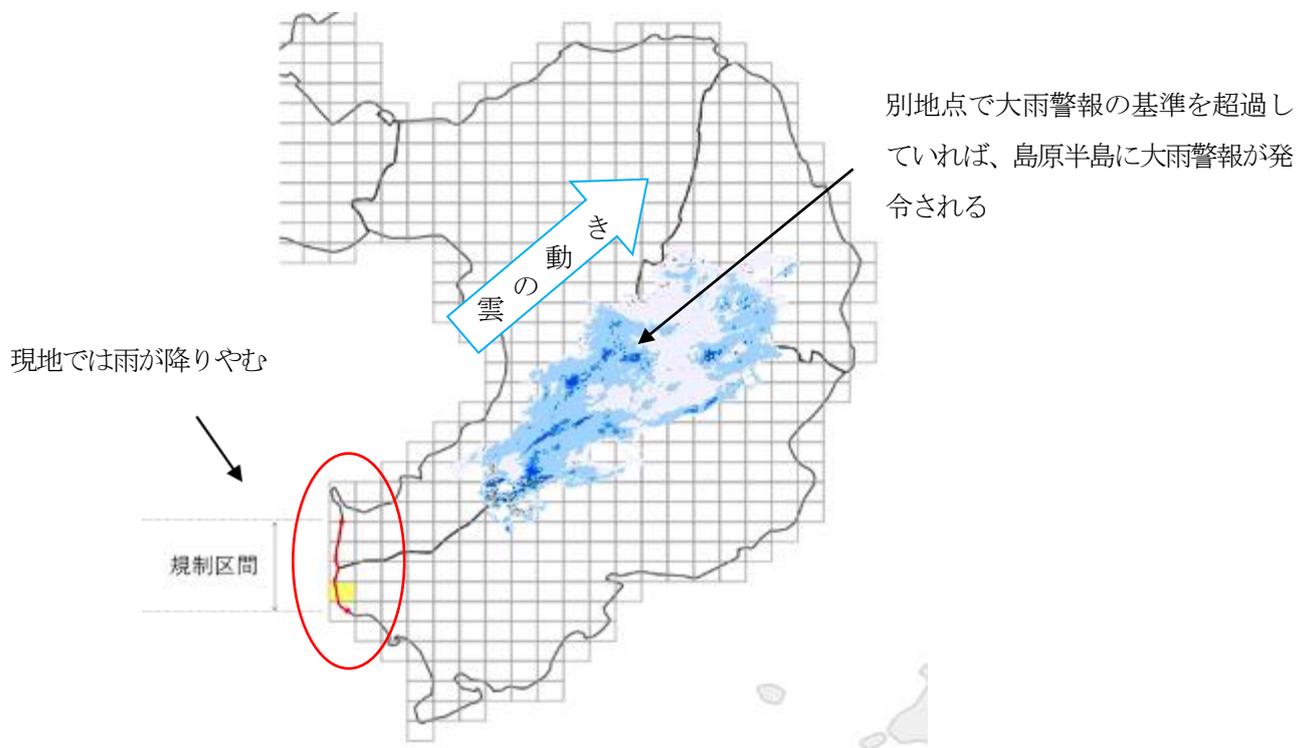


図 5-2 現地では雨が降りやんでいるが大雨警報が発令されているイメージ

6 おわりに

今回は赤間権田区間の規制解除基準に土壌雨量指数及びCLを設定することで、規制時間の軽減という効果を確認し、運用上と今後の課題について考察した。今後も通行規制基準及び規制解除基準の見直しをしていく必要があるが、その際に大事なのがデータの蓄積である。見直しには数年単位でのデータでは無く、十数年単位でのデータで検討が必要である。今後のハード対策完了を一つのゴールとするのであれば、そのタイミングまでデータは確実に整理をする必要がある。そのためには、計測器のメンテナンスはもちろん、班員の防災強化へ向けた意識付けが大事と感じた。