

奨励研究助成実施報告書

助成実施年度	2019 年度
研究課題（タイトル）	高速道路斜面災害に対する通行規制基準の高度化
研究者名※	橋詰 遼太
所属組織※	大阪大学大学院 工学研究科社会基盤工学コース 社会基盤マネジメント学領域
研究種別	奨励研究
研究分野	その他
助成金額	64 万円
概要	我が国の高速道路は全供用区間で 10 万か所以上の法面が存在し、降雨による斜面災害に対して十分な対策が求められる。斜面災害による道路利用者の被災を防止するため、降雨時には通行規制が実施されている。一定の雨量を超過した時点で通行規制が開始され、降雨終了から一定期間経過後に解除される。一方で、近年の集中豪雨や局所的豪雨の増加といった降雨傾向の変化に伴い、通行規制基準に達する前に斜面災害が発生する「見逃し」や、通行規制時間の増大が報告されている。本研究では、蓄積された降雨データ、差異が履歴データを用いて降雨中に発生する災害及び降雨終了後に発生する災害に対して予測モデルを作成する。それぞれの予測モデルの予測値に基づいた通行規制基準の設定によって、道路利用者の安全性確保と交通機能確保を両立できるような交通規制基準の策定を試みる。
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

（ ）は、報告書提出時所属先。

大林財団 2019 年度奨励研究助成実施報告書

所属機関名 大阪大学大学院工学研究科

申請者氏名 橋詰 遼太

研究課題	高速道路斜面災害に対する通行規制基準の高度化
我が国の高速道路は全供用区間で 10 万か所以上の法面が存在し、降雨による斜面災害に対して十分な対策が求められる。斜面災害による道路利用者の被災を防止するため、降雨時には通行規制が実施されている。一定の雨量を超過した時点で通行規制が開始され、降雨終了から一定期間経過後に解除される。一方で、近年の集中豪雨や局所的豪雨の増加といった降雨傾向の変化に伴い、通行規制基準値に達する前に斜面災害が発生する「見逃し」や、通行規制時間の増大が報告されている。本研究では、蓄積された降雨データ、災害履歴データを用いて降雨中に発生する災害及び降雨終了後に発生する災害に対して予測モデルを作成する。それぞれの予測モデルの予測値に基づいた通行規制基準の設定によって、道路利用者の安全性確保と交通機能確保を両立できるような通行規制基準の策定を試みる。	

1. 研究の目的
高速道路では、過去の降雨履歴や災害履歴、道路構造に基づいて IC 区間単位で雨量基準が設定されている。IC 区間内に複数設置された雨量計で通行規制基準値を超える雨量を観測した時点で通行規制が開始され、降雨終了から一定期間経過後に通行規制が解除される。しかしながら、近年集中豪雨や局所的豪雨の増加といった降雨傾向の変化に伴い、通行規制実施前に斜面災害が発生する見逃しや通行規制実施中に斜面災害が発生しない空振りが報告されている。通行規制基準の設定においては、道路利用者の安全性確保と交通機能確保の両立が求められる。図-1 に示すように、斜面災害の見逃しを低減させるために安全性確保を極度に重視した場合、降雨初期での通行規制開始や、降雨終了後の通行規制の長時間継続によって通行規制時間の長期化が懸念される。一方で、通行規制時間を低減させるために交通機能を極度に重視した場合、通行規制開始の遅れや早期の通行規制解除によって斜面災害の見逃しが増大する。双方はトレードオフの関係にあるため、両者の定量的な評価が必要となる。 このような背景から、本研究では道路利用者の安全性と交通機能を定量評価し、双方を担保できるような通行規制基準の設定を試みる。具体的には、まず降雨中に発生する斜面災害に着目し、降雨開始時点を基準時点、災害発生までの時間を目的の事象とした生存時間解析を行い、斜面の安定性変化をモデル化する。斜面災害の発生には法面の条件、雨量が影響を及ぼすと考え。一般に、斜面災害の発生時点は不可観測となっている場合が多いが、定期巡回データを活用することによって、ある期間内に災害が発生したという情報を得ることができる。さらに定期巡回で災害が発見されなかった場合は、経験した降雨では災害が発生しないという情報が得られる。このように災害発生・非発生の情報を用いて斜面災害発生確率モデルを定式化する。次に、降雨終盤

や降雨終了後に発生する遅れ災害に着目し、通行規制解除の判断に活用できるような指標の作成を試みる。遅れ災害は事例毎に発生要因が大きく異なり、特に予測が難しい。雨量データ・法面データを用いた斜面災害発生確率モデルでは多くの遅れ災害が見逃しとなっている。一方で、遅れ災害発生前には周辺地域で複数の災害が発生している場合が多く、災害履歴データの活用が期待できる。過去に発生した災害との関連性に着目して、雨量データ、法面データに依存しない遅れ災害発生予測モデルを定式化する。最後に、斜面災害発生確率モデルと遅れ災害予測モデルを組み合わせた通行規制基準を提案する。実データを用いた実証分析を行い、見逃し件数と通行規制時間を指標として提案手法の施策を評価する。現行基準を用いて通行規制を実施した場合と比較し、本研究で提案する手法の有用性を検証する。

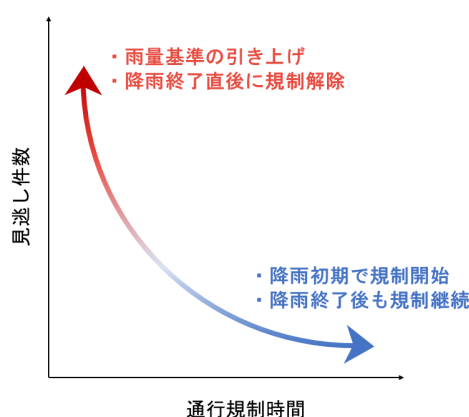


図-1 現行基準より改善可能な施策変数の範囲

2. 研究の経過

① 斜面災害発生モデルの作成

斜面災害発生確率を算出するモデルを作成する。また、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いたパラメータ推定手法を開発する。雨量データ、斜面情報、災害発生データを整理し、必要な情報を用いて斜面災害発生モデル化を試みる。

② 遅れ災害予測モデルの作成

斜面災害発生モデルでは捕捉できない降雨終了後に発生する災害に着目し、災害履歴データを活用した予測モデルを作成する。

③ 通行規制基準値設定モデルの作成

斜面災害発生モデルと遅れ災害予測モデルの予測値に基づく通行規制基準値設定モデルを作成する。実データに適用できるような手法を開発する。

④ 解析プログラムの作成

それぞれのモデルの解析プログラムを作成する。

⑤ 実データを用いた実証分析

実データをモデルに適用し、パラメータの推定を行う。複数のモデルを比較し、統計的に最も適切なモデルを決定する。

⑥ 学会発表

第 62 回土木計画学研究発表会にて、ここまでの研究成果の発表を行い、研究者や実務者からの意見を研究に反映させる。

3. 研究の成果

生存時間解析を用いた斜面災害発生予測

斜面崩壊の発生は、大きく分類すると 1) 風化の進行, 2) 地震・降雨による複数回にわたる大規模な損傷, 3) 降雨による地盤含水量増加による一時的な土塊駆動力の増加の 3 つに分けられる。高速道路上では定期的な点検や地震後、降雨後の補修工事が実施されているため 1), 2) による斜面災害の発生は稀であると考えられる。本研究では, 3) の降雨による一時的な斜面安定性の減少に着目する。具体的には, 災害の発生を目的の事象, 降雨開始時点を基準時点とする生存時間解析を行う。生存時間解析は目的の事象が発生するまでの時間に着目した分析である。各時点において, 目的の事象が発生していない確率, 生存確率が求められる。時間の経過とともに生存確率は徐々に低下する。生存関数を求めるためにある時点において目的の事象が発生する瞬間的な確率であるハザードを定義する。斜面災害の発生には, 内的要因として地質・地形・植生といった法面データと外的要因として土壌中の水分量を近似するような雨量指標が影響を及ぼしていると仮定し, これらをハザードの変数の候補とした。

一般に, 斜面災害の正確な発生時刻は不可観測であり, 既往研究の多くは降雨イベント中の最大雨量を災害の発生と関連付けている。しかしながら, 降雨イベント中の最大雨量と災害発生時刻の真の雨量値との不整合性によって推計結果に影響を及ぼす可能性があり, 適切な雨量指標の選定も難しくなる。そこで本研究では, 高速道路上で定期的に行われている巡回時のデータを活用する。図-2 に示すように, 巡回時に災害が発見された場合, 前回の巡回時刻と今回の巡回時刻間に災害が発生したと考えることができる。一方, 災害未発生の事象に対しては, 経験した雨量では災害が発生しないという情報が得られる。このように災害発生・非発生データを用いて尤度関数が定式化される。ハザードの未知パラメータはマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC 法) を用いて推定し, 情報量基準 AIC を用いてパラメータの組み合わせを決定した。内的要因として法面延長・湧水有無, 外的要因として時間雨量・半減期 48 時間実効雨量が選定された。推定されたモデルによって得られる生存関数を用いて, 災害発生確率を定義した。実在データに適用し, 災害発生確率に基づく通行規制手法を提案した。通行規制開始・解除基準は同一の値 u とした。

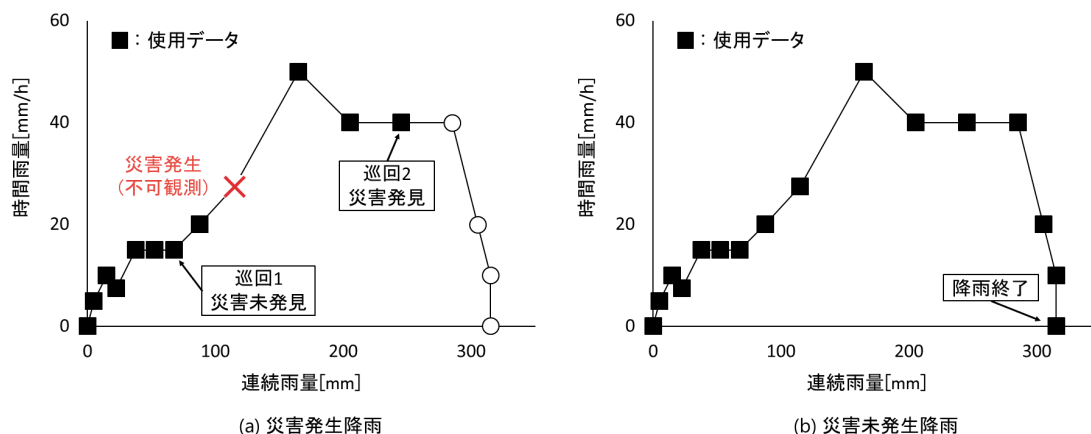


図-2 生存時間解析で使用する雨量データ

図-3 に u を操作したときの見逃し件数，通行規制時間を示す．黒矢印で示す u の範囲において，現行基準と比較して有用性が示された．

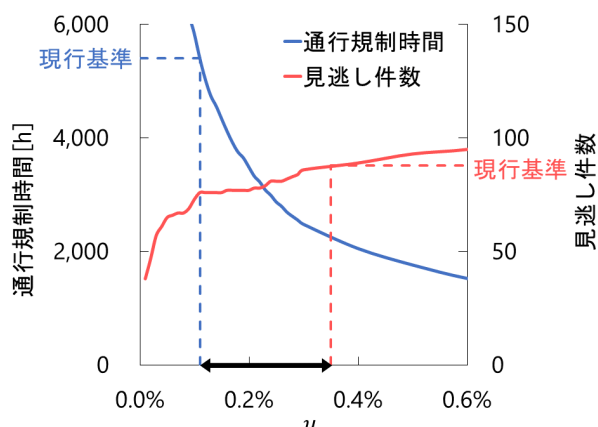


図-3 現行基準より改善可能な施策変数の範囲

災害履歴を活用した遅れ災害発生予測

生存時間解析を用いた災害発生予測モデルでは，雨量が一定以上観測された災害については捕捉可能であるが，降雨終盤や降雨終了後に発生する「遅れ災害」については捕捉が難しい．本章ではこのような遅れ災害に着目し，予測モデルの作成を試みた．既往研究によると，遅れ災害は地下水に起因していると考えられているが，発生メカニズムは明らかになっていない．地盤中の地下水位に影響を及ぼす因子として，降雨量・地質・地下水の集中性等が考えられ，複数の因子が複雑に作用して発生する．そのため，土壌中の水分量を近似するような雨量指標や降雨ピークからの遅れ時間，降雨終了からの遅れ時間等の指標で整理しても個々の事例でばらつきが大きく，簡易に得られる情報からは予測が難しい．一方で，力学的なメカニズムに基づいて予測を行う場合，地点毎に詳細な調査を実施し地下水位と雨量の関係性を分析する必要があるが，広範囲にわたってこのような調査を実施することは費用・労力の観点から現実的ではない．そこで本研究では，遅れ災害の発生前には周辺地域で複数の災害が発生していることが多いことに着目し，雨量や地形・地質データに依存しない遅れ災害予測モデルの作成を試みた．**図-4**に示す災害発生地点間の距離と災害発生間隔を集計したヒストグラムからは距離的・時間的な集積性が確認できる．

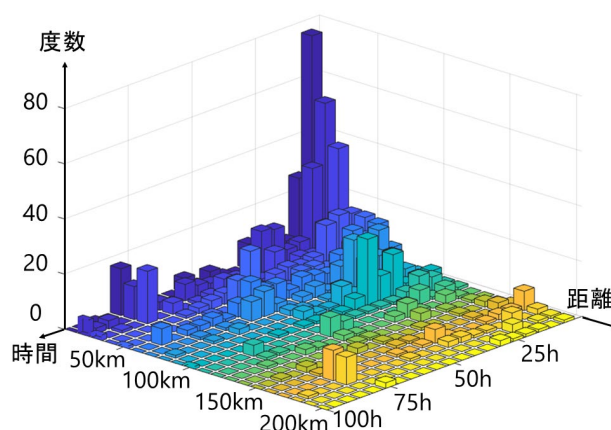


図-4 全災害間の距離的・時間的關係

災害発生地点から距離が近いほど、経過時間が短いほど次の災害が発生しやすいことが示唆される。また、過去に発生した災害が多いほど、次の災害が発生しやすいと考えることができる。これらから、過去に発生した災害の距離的な影響、時間的な影響が指数関数的に減衰すると考え、それらを加算した影響度指標を作成した。これを通行規制解除条件として用いることとする。

通行規制開始基準・解除基準の設定

斜面災害発生確率モデルと影響度指標を組み合わせた通行規制手法を提案する。災害発生確率の閾値 u 、影響度指標に用いるパラメータとその閾値を操作変数として、各パラメータの組合せ毎に見逃し件数と通行規制時間を算出したものを図-5に示す。黒丸が斜面災害発生確率モデルのみで通行規制を行った場合、青丸が影響度指標を通行規制判断指標として追加したものである。現行基準、斜面災害発生確率モデルと比較して有用性が確認できた。また、具体的にある施策に着目すると、図-6に示すように斜面災害発生確率モデルと比較して影響度指標によって7件の遅れ災害が捕捉可能となった。

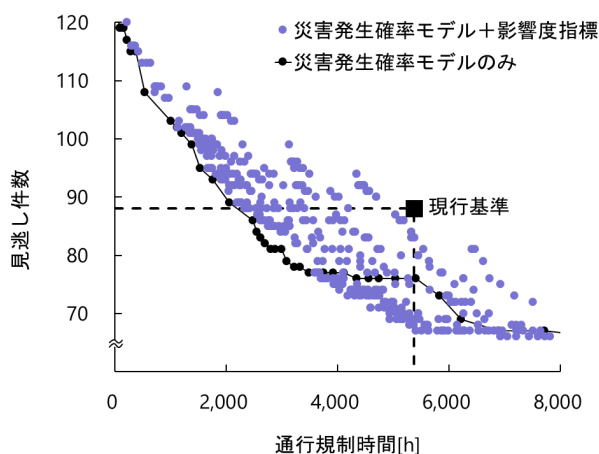


図-5 各施策の通行規制時間・見逃し件数

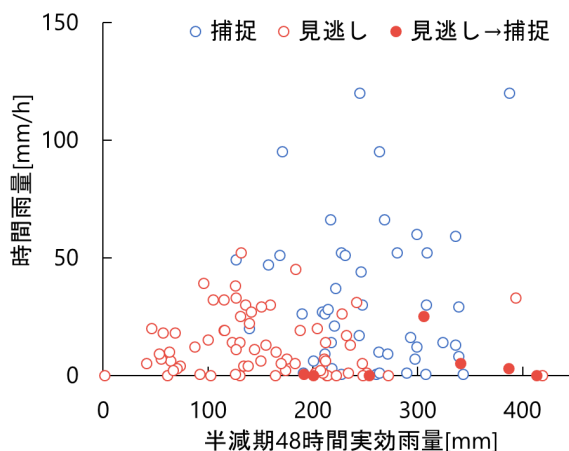


図-6 影響度指標によって捕捉可能となった災害

4. 今後の課題

今後の課題を以下に述べる．第1に斜面災害発生モデルに採用する変数を法面延長・湧水有無以外に考慮する必要がある．詳細な地質や傾斜角といった地形情報をモデルに取り入れ，推計精度の高度化を図ることが求められる．第2に降雨開始直後に発生する斜面災害を捕捉できるようなモデルの作成が必要である．本研究では1時間雨量のデータを用いたが，今後10分雨量データを用いて発生要因の分析を行い，モデルを検討する必要がある．第3に本研究で提案したモデルは十分な災害発生データが獲得されている場合に有効な方法である．災害発生データが限られている場合は，パラメータの推定が不安定になる可能性が考えられる．最後に，遅れ災害予測モデルのパラメータの設定は，実在データに適用して，探索的に決定する必要があるという点に課題が残る．今後，遅れ災害データが蓄積し，パラメータの推定方法を検討する必要がある．さらに，十分な災害データが得られた場合にはデータ分割を行い，モデルの汎化性能の検証が必要である．