

氏名	まつ やま ひろ ゆき 松 山 裕 幸
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論工博第 3846 号
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	降雨ハザードに対する切土のり面管理支援システムに関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 大西 有三 教授 大津 宏康 助教授 西山 哲

### 論 文 内 容 の 要 旨

道路防災に関して、異常気象時、特に降雨における事前予防的な通行規制の最大の課題は、道路利用者の安全を確保するための見逃し災害の回避と道路の機能を最大限に発揮させるための通行止めの空振りを減らすことという相反する2つの対策を如何に調整するかである。例えば、通行止めの基準値の設定は、過去の災害の履歴より決定するが、同等な災害を見逃さないように基準値を低く設定すると通行止めの空振りが増加し、空振りを減らすために高い基準値をすると見逃し災害の可能性が高まるという矛盾がある。さらに、降雨指標と災害発生の相関関係は明確ではなく、通行止め解除の基準値の設定に関しても、先行降雨の影響が無くなるまで待つと解除時期が遅くなり、解除時期を早めるといわゆる遅れ災害の可能性が高くなる。これまでの規制解除の時期については、予測降雨の情報等を考慮して経験的に決定し、現地で安全確認を行う手法を採用しているが、客観的で科学的根拠に乏しい手法のために、交通への影響を軽減させる工夫が出来ず、また管理体制上においても大きな負担を要しているのが実情である。本研究はこのような背景を鑑み、降雨によるのり面の表層崩壊に対して、その発生機構に着目し、適切な通行規制および解除時期を行うための決定支援のためのシステムを構築しようとするものであり、序論と結論を含めて5章から成っている。

第1章は序論であり、本研究の背景である異常気象時の道路防災の現状について記述し、まず降雨による表層崩壊事例が多発していることを事例で示す。その上で、当災害に対して道路利用者の安全を確保しながらも交通機能を最大限に発揮させるための事前予防的な通行規制と規制の解除が必要になるが、その時期の判断が災害の事例に基づいた経験に頼っているという問題点を指摘し、本研究は表層崩壊のメカニズムに基づいて、効果的かつ効率的に通行規制および解除時期を決定することができるシステムを構築するものであることを論じている。

第2章では、崩壊の危険性の高い斜面を抽出することにより、個別のり面に対する降雨時の対策を効率的に実施するための手法を開発する。具体的には、未崩壊切土のり面に対しては、切土のり面の素因データと最大経験連続雨量を基にして決定される限界雨量ランク、そして崩壊切土に対しては崩壊前の切土のり面の素因データと崩壊時の連続雨量を基にして決定される限界降雨量ランクを用いて、崩壊の危険度を判定する階層型ニューラルネットワーク法を開発する。本章では、逆誤差伝播型の学習法による3階層型ニューラルネットワーク法を用いた感度解析の結果を通して、切土のり面の安定性に影響を及ぼす素因とその度合いを定量的に評価し、次のような成果を得ている。

1) 数量化Ⅱ類などの線形近似式で判別するよりも高い精度でのり面の安定性が判別できることを事例において実証する。

また従来の数量化理論を用いた崩壊危険のり面の抽出法は、切土のり面の素因の変化や新たな崩壊事例が多くなった場合、再度判定表を作成する必要があるが、本手法ではそれらを考慮した安定性の再評価が容易である利点も示されている。

2) 個別のり面に対して、どの程度の連続雨量で崩壊の危険が生じるのかという判断ができる。

3) のり面保護工の効果を適切に評価することが可能である。

第3章は、これまでののり面での計測事例に基づいて、のり面内の飽和度や間隙水圧の変化と降雨の関係を体系的にまと

め、通行規制解除のための指標を定量化するモニタリング手法について論じる。まず、モニタリングのための計測機器の特性を把握するための実験を行い、封入空気を考慮した現場計測水分計のデータに着目した間隙水圧モデルを検討し、空気圧から考えた間隙水圧変化の予想と現場計測結果が一致していることから、降雨と不飽和帯の間隙水圧の関係を明らかにする。また、いくつかの現場において、積算降雨量および気温変化による融雪と飽和度の関係を求め、のり面内の飽和度の減少特性を定量化できることも明らかにする。さらに、これらの結果とこれまでの通行規制解除例を分析した結果、連続降雨上昇過程での飽和度および間隙水圧の変動は、降雨に鋭敏に反応して上下動を繰り返すが、連続降雨が最終的にリセットされる減少過程では、低強度の降雨が続いていても安定的に減少する傾向をもつことを実例で示し、間隙水圧が上昇する降雨条件は、連続雨量の時間に対する勾配が急激に変化する時に対応しており、勾配が緩やかになると、当間隙水圧は減少過程に入ることを明らかにした。これにより、のり面の安定管理における通行規制解除を行う場合、水分計および間隙水圧計の計測データの減少開始時、ある閾値以下になる時、そして半減期以下になる時の3項目に注目し、半減期を一つの管理上の閾値と設定し、これに降雨強度のパターンを加えることによって管理条件を決定する試みを考察する。これら本章の研究によって、のり面内の水分減少過程を合理的に判断するための計測システムの構築が可能になり、気象情報として入手できる超短時間降雨予測データを利用することで、現行手法に比較して数時間早く通行規制解除を実施できることを実証している。

第4章では、まず前章で考察した飽和度および間隙水圧の変動特性に基づいて、実際ののり面に対する計測計器の最適配置を考察したのり面監視システムの構築法を提案する。具体的には、1測線だけの観測ではのり面の特徴を把握できない現場あるいは不均質な地質構造からなる現場における最適な観測機器の配置法を検討し、前者においては後背地の集水地形およびのり面内での湧水の考慮、後者の場合には道路建設前の集水地形に留意し、複数の測線を配置するための簡易貫入試験等による地質構造の確認などの有用性を現場実験において実証する。

次にのり面の表層崩壊に注目した浸透流解析を構築し、予測降雨情報に対するのり面安定性を定量的に評価できるシステムの構築を試みる。表層崩壊という現象に対して不飽和特性を決定するためのpF試験結果を含めた土質試験法を整理し、当試験によって現場観測データを再現できない場合は、1次元浸透流を実施することにより前記不飽和特性を設定する。その後、2次元の浸透流解析の結果を利用して、個別ののり面に対して極限平衡法安定解析を行い、降雨に対する安全指標を計算することを考案する。ここでの安全指標とは、連続計算によって経時的な変化傾向でのり面の安定度を評価するために導入する考え方で、降雨継続と共に低下し、降雨強度の減少時あるいは降雨停止後には、その値が上昇傾向に転じる傾向をもつ。本研究では、降雨に対する安全指標の時系列分析を行い、減少から上昇傾向に転じる変曲点の出現時刻により通行規制のおよび解除時期を決定することの有用性を実証している。

以上、本研究は表層崩壊を生じる危険度の高いのり面をニューラルネットワーク法で抽出し、管理対象となつたのり面に対して、飽和度、間隙水圧あるいは地下水位などの最適な現地計測を実施する手法および、それら計測データと実況降雨あるいは超短時間降雨予測データを用いた浸透流解析による安定性評価法を提案し、それによって効果的かつ効率的な降雨に対する通行規制および解除を決定するシステムを構築するものであり、現地での検証結果によりその有用性を実証する研究内容である。

## 論文審査の結果の要旨

道路利用者の安全を確保し、かつ道路の機能を最大限に発揮させるために、異常気象時には事前予防的な通行規制を行うが、例えば当通行規制の解除においては、先行降雨の影響が無くなる時期を待てば解除時期が遅くなり、解除時期を早めると遅れ災害の危険性が高くなるという、相反する利害を調整する必要がある。しかしながら解除時期の決定は、予測降雨の情報等を考慮して経験的に決めながら現地での安全確認を行うという、客観的あるいは科学的根拠に乏しい手法に頼らざるを得ず、交通への影響を軽減させる工夫が出来ないだけでなく、管理体制上においても大きな負担を要するものとなっている。本研究はこのような背景を鑑み、頻繁に発生しながらも、予防対策が困難である降雨による切土のり面の崩壊に対して、その発生機構に着目した通行規制解除時期の決定支援システムの構築に関する研究成果をまとめたものであり、その主な内容は以下のとおりである。

- (1) 地形・地質条件が複雑な我が国では、区間単位で災害履歴を分析すると、降雨と崩壊の因果関係が不明瞭になること

が示されてきた。従って、個別の斜面に対して崩壊の危険性と安定の回復を解析することが求められるが、効率的なシステムの運用を可能にするために、崩壊の危険性の高い斜面を抽出し、優先的に対策を行うことを可能にする手法を組み込む必要がある。そこで本研究においては、ニューラルネットワーク法を用いた崩壊危険のり面の抽出法を開発する。特に、ニューラルネットワーク法の感度解析を通して、安定性に影響を及ぼす素因とその度合いを定量的に評価し、従来の数量化Ⅱ類等の線型近似式で判別するよりも高い精度で降雨量と崩壊の危険性の関係を論じることを可能にし、さらに保護工の効果をも適切に評価する形でのり面安定性の判別法を完成させた。

- (2) 土壌水分計あるいは間隙水圧計を用いた数多くののり面での計測事例に基づいて、のり面内の飽和度や間隙水圧の変化と降雨の関係を体系的にまとめ、通行規制解除のための指標を定量化するモニタリング手法の研究を行った。その結果、個々ののり面の事例に合わせて、超短時間降雨予測情報と組み合わせて水分減少過程を高精度で予測するための計測法を具体的に示し、当手法を用いることで現行手法に比べて数時間早く通行規制解除を発令することが可能であることを実証した。
- (3) のり面の表層崩壊に注目した浸透流解析を構築し、予測降雨情報に対するのり面安定性を定量的に評価するシステムを構築した。具体的には、表層崩壊という現象に対して不飽和特性を決定するための土質試験法を整理し、当試験によって現場観測データを再現できない場合は、1次元浸透流を実施することにより不飽和特性を設定する。その後、2次元浸透流解析の結果を利用して、個別ののり面に対して極限平衡法安定解析を行い、降雨に対する経時的な変化傾向でのり面の安定度を評価する安全指標という考え方を導入する。本研究では、降雨に対する当安全指標の時系列分析を行い、減少から上昇傾向に転じる変曲点の出現時刻により通行規制のおよび解除時期を決定するシステムを開発した。

以上、要するに本論文は、降雨ハザードに対する切土のり面の表層崩壊に対して、これまで経験に頼って行っていた通行規制あるいは規制解除の時期の決定を、その崩壊メカニズムに基づいて効率的かつ効果的に行うための手法の開発に取り組み、各のり面の現場においてその有用性を実証したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

本論文は、よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成17年1月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。