

ゲリラ豪雨時における道路斜面安定性評価に関する研究

(プロジェクトリーダー：京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 助教 小山 優史)

背景：近年、梅雨前線や台風、異常気象などによる「ゲリラ豪雨」（局所的かつ短時間に多量に降る雨）に起因する斜面崩壊が数多く発生し、山地斜面に隣接している道路や住宅地域などにおいて多大な被害をもたらしており、道路斜面防災システムの整備が急務である。

必要性：気象庁が提供する土砂災害警戒情報は、これまで、「ゲリラ豪雨」（局所的かつ短時間に多量に降る雨）を正確に計測し、その斜面安定に与える影響を的確に把握する必要がある（従来の降雨強度の考え方では、精度よい斜面の安定性評価は難しい）。そのためには、ゲリラ豪雨時の斜面への雨水浸透メカニズムの解明が重要である。また、従来の降雨の情報のみによる警戒情報運用システム（例えば、雨量判定図などを用いたもの）に代わり、斜面の計測・モニタリングによる情報、力学・浸透特性も反映したシステムが必要である。

目的：社会的・経済的に影響の大きいゲリラ豪雨による斜面崩壊による災害を監視・予測・低減する技術を確立し、X バンドレーダーによる降雨量予測など組み合わせ、気象庁が提供する土砂災害警戒情報の高精度化を図り、降雨データのみならず、斜面の雨水浸透特性および力学特性を考慮した統合的な道路斜面防災システムの立ち上げを目的とする。

内容：上記の目的に基づいて、大きく 2 つの WG (WG1: 計測, WG2: 解析, WG3: 評価) に分けて以下の点について検討を行う。

《WG1: 計測ワーキング》

(目的)

1. ゲリラ豪雨時のリアルタイム斜面モニタリングシステムの構築
2. 現場計測・長期斜面モニタリング

(検討項目)

Task 0: 豪雨時における斜面計測・モニタリング手法のレビュー

Task 1: 新たな計測機器の開発・改良（気象情報取得の高精度化）

Task 2: サンドカラムを用いた室内降雨試験および模擬斜面を用いた大型降雨実験

Task 3: 現場斜面モニタリングシステム（自己発電型ワイヤレスシステム、多点計測センサーネットワーク）の構築

Task 4: 現場計測・長期斜面モニタリング

《WG2: 解析ワーキング》

(目的)

1. ゲリラ豪雨時の雨水浸透挙動・メカニズムの把握および数値解析モデル・手法の構築
2. 斜面安定性評価および崩壊予測シミュレーション

(検討項目)

Task 0: 従来の解析手法の特徴の整理（物性、境界条件など）

Task 1: 雨水浸透メカニズム解明、応力-浸透（-ガス）連成解析手法の開発（サンドカラムを用いた室内降雨試験のシミュレーション）

Task 2: 模擬斜面を用いた大型降雨実験のシミュレーション

Task 3: 現場斜面のシミュレーション（斜面安定解析、崩壊予測）

《WG3: 評価ワーキング》

(目的)

1. 斜面点検データ活用法及び対策優先順位付けに関わる意思決定のための評価・分析手法の提案
2. 土砂災害警戒情報の高精度化および道路斜面災害の軽減に向けた判断支援システム（警戒情報運用システム）の構築

(検討項目)

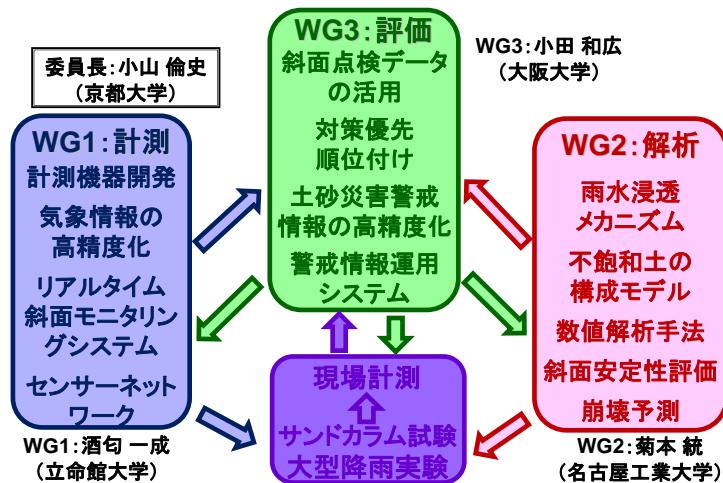
Task 0: 従来の評価手法のレビュー

Task 1: 斜面点検データの活用法の提案

Task 2: 土砂災害警戒情報の高精度化・判断支援システムの構築

Task 3: 現場斜面の崩壊シナリオの分析および対策工の提案

本プロジェクトの構成およびスケジュールは以下のとおりである。



	2010年度			2011年度			2012年度					
	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3
WG1: 計測	Task 1											
	Task 2											
	Task 3											
	Task 4											
	報告書											
WG2: 解析	Task 0											
	Task 1											
	Task 2											
	Task 3											
	報告書											
WG3: 評価	Task 0											
	Task 1											
	Task 2											
	Task 3											
	報告書											

2011 年度の成果 :

- WG1 : 改良型サンドカラム試験を用いた雨水鉛直浸透降雨実験を行い、深度ごとの間隙圧、間隙空気圧、水分量および溢流量のリアルタイムに計測を実施した。また、降雨時における表層崩壊に対して、崩壊を食い止める効果を発揮しながら地盤内の挙動を計測する NNS (ネイリングセンサネットワークシステム) の開発および検証を行った。さらに、ゲリラ豪雨時の道路斜面の気象データや浸透挙動等を把握するためのモニタリングシステムの設置計画を行った。
- WG2 : 異方応力下の浸水破壊現象の観察を目的とした三軸せん断・浸水試験を実施し、解析に必要な不飽和土の構成則および水分特性について検討を行った。また、過去の豪雨による斜面崩壊（福知山市夜久野町額田地区に位置する実斜面）の再現解析を実施した。
- WG3 : 定性的な指標を使って定量的な評価を可能とする数量化 II 類と自己組織化マップ(SOM)を組み合わせることにより、道路斜面に対する新たな安定性評価手法を開発しその適用性を検証した。また、福知山河川国道事務所より提供いただいた点検データを用いて SOM により豪雨による崩壊危険度の高い斜面を抽出し、2012 年度の計測対象斜面とした。

2012 年度の予定 :

- ①原位置計測・モニタリングの実施、②斜面を模擬した大型降雨実験の実施、③モニタリングと解析を組み合わせた統合的な斜面の崩壊・危険度予測手法の提案およびその検証。

«WG1»

- Task 0: 豪雨時における斜面計測・モニタリング手法のレビュー
- Task 1: 新たな計測機器の開発(気象情報取得の高精度化)
- Task 2: サンドカラム試験及び模擬斜面を用いた大型降雨実験
- Task 3: 現場斜面モニタリングシステム(自己発電型ワイヤレスシステム、多点計測センサーネットワーク)の構築
- Task 4: 現場計測・長期斜面モニタリング

«WG2»

- Task 0: 従来の解析手法の特徴の整理(物性、境界条件など)
- Task 1: 雨水浸透メカニズム解明、応力-浸透(-ガス)連成解析手法の開発(サンドカラム試験のシミュレーション)
- Task 2: 模擬斜面を用いた大型降雨実験のシミュレーション
- Task 3: 現場斜面シミュレーション(斜面安定解析、崩壊予測)

«WG3»

- Task 0: 従来の評価手法のレビュー
- Task 1: 斜面点検データの活用法の提案
- Task 2: 土砂災害警戒情報の高精度化・判断支援システムの構築
- Task 3: 現場斜面の崩壊シナリオの分析および対策工の提案

グレーのハッチ部分は、防災科学技術研究所における斜面を模擬した大型降雨実験の実施予定期間。
ただし、震災後の節電対策により 2011 年度の実施は不可能となつたため、本年度 10 月中旬に実施予定

WG1：計測ワーキング（概要）

1. はじめに

WG1 では、サンドカラム実験や室内土槽実験による現地計測へ向けた計測技術の検証実験を実施した。また、Task0 および Task1 で検討したグリラ豪雨時の道路斜面モニタリング技術に関する検討結果をもとに、現地斜面への適用（Task3, Task4）について計画を行った。以下に、サンドカラム試験、室内土槽試験結果および現地斜面への適用計画についてまとめる。

(検討項目)

Task 0: 豪雨時における斜面計測・モニタリング手法のレビュー

Task 1: 新たな計測機器の開発・改良（気象情報取得の高精度化）

Task 2: サンドカラム試験および模擬斜面を用いた大型降雨実験

Task 3: 現場斜面モニタリングシステム（自己発電型ワイヤレスシステム、多点計測センサーネットワーク）の構築

Task 4: 現場計測・長期斜面モニタリング

2. サンドカラム実験および室内土槽実験（Task2）による検討

2.1 サンドカラムを用いた降雨実験

豪雨時の一次元雨水浸透メカニズムを把握するため、サンドカラムを用いた降雨実験を実施した。過去の実験では、表面流の再現ができておらず、また、計測位置が互い違いになっていたことから、水収支を正確に把握できなかった上、間隙圧と間隙空気圧から間隙水圧を求めることができなかった。本研究では、実験装置を改良し、降雨実験を行った。降雨実験中には深さごとの間隙圧、間隙空気圧、水分量および溢流量をリアルタイムに計測することができたことから、次の結果を得ることができた。

- ①試料の透水性が小さい場合、間隙空気圧の上昇が見られ、浸潤域が浅いうちに溢流が開始された。
- ②試料の透水性が小さい条件においては、降雨強度が大きいほど溢流開始時間は早いのに対し、降雨強度が小さいほど間隙空気圧の上昇が大きくなるといった現象が見られた。
- ③溢流量および排水量から、水収支を考慮した場合、透水性の大きい試料において総降雨量に対する貯留量の割合は約 90%であったのに対し、透水性の小さい試料においては約 20%と、前者に比べ約 4 分の 1 程度の割合になるといった現象が見られた。

今後の課題としては、以下の点が挙げられる。

- ①サンドカラムの高さが約 1m という比較的小さいスケール、サンドカラムの空気を封入しやすい構造、サンドカラムの壁と試料との接触部分における局所的な空気の抜け道に対応したカラムの改良が必要である。
- ②間隙空気圧と間隙水圧の混合圧として間隙圧を計測していることから、今後は混合圧の分離を試みることで、降雨実験中における間隙水圧の挙動にも着目する必要がある。
- ③十分な雨滴の落下高さ（2m 以上）の確保による終端速度の考慮が必要である。

2.2 NNS（ネイリングセンサネットワークシステム）の実用化に向けた室内土槽試験

ハード対策とソフト対策の双方の長所を活かすような、降雨時における表層崩壊に対して、崩壊を食い

止める効果を発揮しながら地盤内の挙動を把握することで、崩壊発生時間を見ると同時に、斜面の危険度を把握するような NNS（ネイリングセンサネットワークシステム）について、室内土槽試験を利用して、想定すべり面付近のひずみ計測の有効性の確認と、ひずみ発生に及ぼす素因のうちネイリングセンサの設置間隔によるひずみの挙動の評価を行った。結論として、以下の知見が得られた。

- ①補強材間隔を広げることで補強材に貼付したひずみの出力は減少し、地盤の拘束力は減少する。しかししながら、設置間隔 300mm でもネイリングセンサ付近の土塊は拘束されていたことから、斜面を抑え込む力が発揮されていた。
- ②斜面の崩壊現象を想定すべり面付近に設置しているひずみセンサが斜面のひずみを最も捉えていた。

3. ゲリラ豪雨時の道路斜面モニタリングシステムの現地適用に向けた計画

本年度は、ゲリラ豪雨時の道路斜面の気象データや浸透挙動等を把握するためのモニタリングシステムの設置計画を行った。設置予定箇所および設置設備の概要を以下に示す。

設置箇所として、国道 9 号額田（ヌカタ）～日置（ヘキ）地区事前通行規制区間の F009A070 地点を予定している。図-1 に計測予定箇所を示す。オーバーハング状になっている部分の上部および下部において、浸透挙動を計測するためのセンサ（テンシオメータおよび土壤水分計）、気象ユニットなどを設置する。また、NNS の現地斜面における検証試験および数種類の物理探査を計画している。

システム設置地点では、すでに測量が実施されており、今回のシステムは、測線 ANO.4 に沿って設置する予定である。また、測線 ANO.4 沿いでは、ボーリング調査も行われており、図-1 中に示す No.2 および No.3 の調査結果が利用可能である。計測データは、情報 box 内にデータロガおよびパソコンを設置することで取得する。情報 box および気象ユニットは、アンカー付きのり枠工が施された斜面の法先部分に設置予定である。また、杭式ひずみ計（NNS）の設置を検討しているが、設置面積がある程度必要であるため、状況によっては、図-1 中に示すボーリング No.5 および No.6 付近の斜面で実施する予定である。

計測システムに用いる電源については、国道沿いにある電柱から得る。本年度は、対象斜面に最も近い「才谷 51」から電源を得るために、電源工事を実施した。また、斜面上部への足場は、アンカー付きのり枠工沿いに設置し、機器の設置やメンテナンスをしやすくする予定である。機器類の設置は、雪の影響が無い時期に行う。



図-1 国道 9 号額田（ヌカタ）～日置（ヘキ）地区事前通行規制区間（F009A070 地点）

3章 ゲリラ豪雨時の斜面崩壊に関する室内試験と数値解析

WG2（解析 WG）では、豪雨による斜面崩壊メカニズムの解明や被害予測法の高度化を目指して、要素試験やモデル実験、現地計測による分析を進めるとともに、不飽和地盤の雨水浸透現象や浸水時の変形・破壊現象の解析手法の開発と検証を行っている。初年度に実施した室内要素試験（圧密・浸水試験や締固め試験）と一次元浸透カラム試験に加えて、2年目は異方応力下の浸水破壊現象の観察を目的とした三軸せん断・浸水試験や斜面崩壊事例の分析と数値シミュレーションを実施した。

3.1 三軸せん断・浸水試験と数値シミュレーション

地盤内の応力状態が異方応力下にある斜面では、浸水に伴う変形特性が水平堆積地盤とは大きく異なると予想される。そこで、密度や応力条件を変化させて異方応力下の浸水試験をパラメトリックに実施するとともに、初年度に開発した不飽和土の構成則と水分特性曲線による数値解析を行った。

三軸せん断・浸水試験は、試料の種類（粘土・砂・混合土）や密度（密・緩）、浸水時の応力条件（偏差応力、圧縮・伸張）を変えて実施した。試験では含水比を調整した不飽和土を所定の応力比までせん断した後、飽和に至るまで偏差応力一定（全応力一定）条件下で浸水させる。試験結果の一例として、図1に密詰めおよび緩詰め混合土の三軸圧縮・浸水試験の結果を示す。図中には飽和および不飽和試料を単調にせん断した結果も示している。不飽和土は飽和土に比べて高いせん断強度を発揮することや、せん断の途中で偏差応力を一定に保って浸水させると、全応力が一定に保たれているにも関わらず、体積変化を伴ってせん断変形が進行することが示された。このとき、飽和試料の限界応力比より低い応力比で浸水した試料は飽和まで試験が進行し、限界応力比より高い応力比で浸水した試料は浸水途中で破壊する傾向にあった。また、浸水時の体積変化は試料によって異なり、密な試料では浸水時に膨張する傾向にあった。さらに、浸水時の変形量は緩い試料ほど、主応力比が高いほど大きく、浸水時の変形・破壊挙動には地盤の密度や応力状態が大きく影響を及ぼすことがわかった。

初年度に開発した不飽和土のモデルによるシミュレーション結果の一例を図2に示す。なお、解析には試料の密度によらない共通（土固有）のパラメータを用いている。図からもわかるように、解析は試料の密度や浸水時の応力比による浸水時のせん断変形量や圧縮・膨張変形の違いを的確に捉えた。

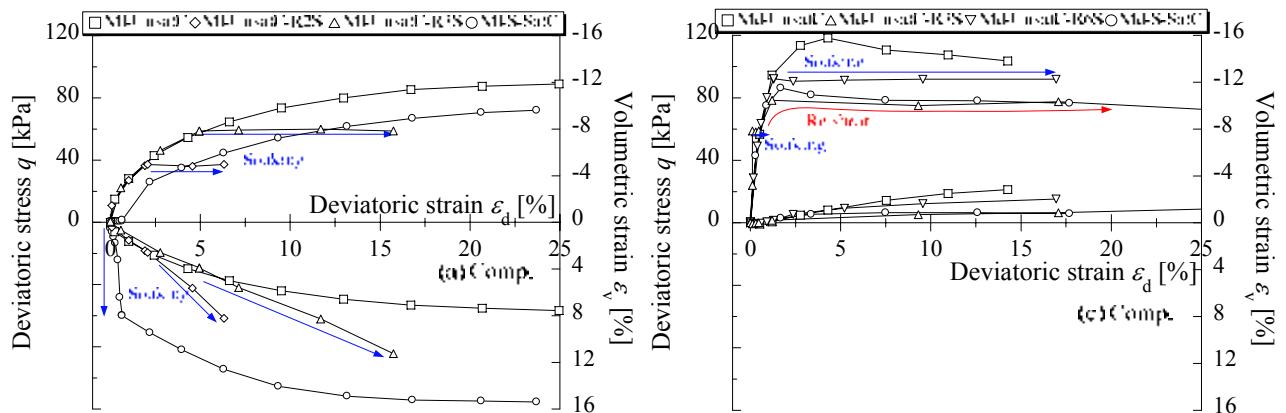


図1 混合土の三軸圧縮・浸水試験（左：緩詰め、右：密詰め）

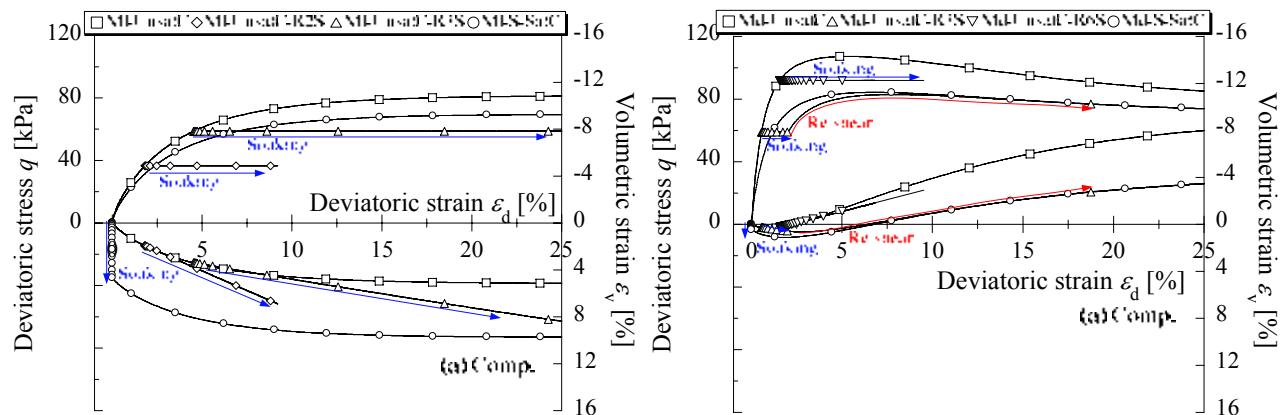


図2 混合土の三軸圧縮・浸水試験のシミュレーション（左：緩詰め、右：密詰め）

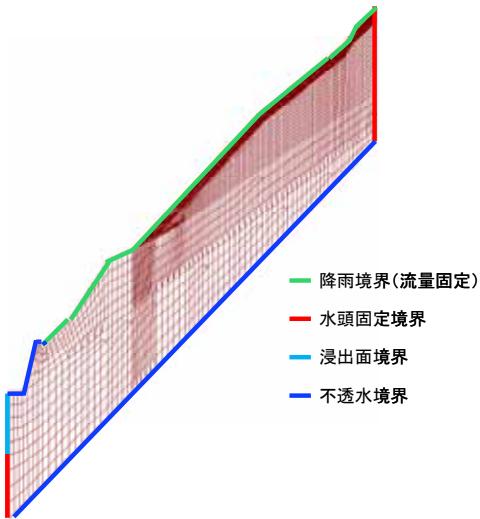


図3 頓田地区の斜面の幾何条件と要素分割、
および境界条件

3.2 豪雨時の実斜面の雨水浸透現象の数値シミュレーションと安定解析

斜面の雨水浸透・斜面崩壊メカニズムの解明を目的として、豪雨による斜面崩壊現象の再現解析を試みた。解析は飽和・不飽和浸透流の支配方程式を2次元の有限要素法(FEM)により解き、得られた浸透流解析の結果をもとに円弧すべりを想定したフェレニウス法による斜面安定解析を行った。ここでは、特に雨水浸透に伴う斜面の安全率の低下および降雨後の回復について調べるとともに、降雨強度の取り扱い方(降雨境界条件の入力方法)および表土の地盤物性(飽和透水係数および不飽和浸透特性)が雨水浸透挙動および斜面安定性評価に与える影響について着目した。

解析対象は福知山市夜久野町頓田地区に位置する実斜面であり、平成21年8月の台風9号に伴う大雨による斜面崩壊(表層崩壊)時の再現解析を試みる。雨水浸透過程は水分特性曲線をvan Genuchten式により簡易に考慮した不飽和浸透現象の有限要素法(図3)により解き、得られた結果とともに円弧すべりに対する安定性をフェレニウス法により評価した。解析では、図4に示すように降雨の条件を10分毎雨量で取り扱った場合と1時間雨量で取り扱った場合について比較し、降雨強度の取り扱いの違いによって斜面内の飽和度分布(図5に一例を示す)や安全率に違いがみられ、正確な危険度予測には10分間雨量を用いた評価が望ましいことが示された。また、降雨強度だけでなく地盤の物性(透水係数)の影響についても比較検討し、適切な値を設定しなければ正しい解は得られないことが示された。また、降雨終了後についても浸透流解析と円弧すべり解析を実施することで、安全率が1.0まで回復する時間を計算した。これは交通規制の解除のための判断材料であり、暫定的な指標として用いることができる。しかし、本解析においてはモデル、境界条件、透水係数や不飽和特性などの物性値について、今後現場における詳細な地質調査や土質試験を行い再度検討する必要があると考えられる。

3.3 まとめと今後の展望

WG2の2年目の活動状況と成果をまとめた。本年度は、不飽和地盤の浸透・変形連成解析手法のベースとなる不飽和土のモデルの検証と地盤の雨水浸透・変形・破壊メカニズムの更なる解明を進めるとともに、豪雨時の斜面の浸透・変形・破壊・流動解析を遂行する際に必須となる飽和・不飽和浸透流解析の適用性やフェレニウス安定解析法と組み合わせた簡易な斜面安定性評価手法の有効性が示された。次年度は昨年度と本年度の研究成果をさらに発展させた数値解析とWG2の参加各グループが鋭意開発を進めている力学モデルや数値解析コードにより新たな知見が得られるものと大いに期待される。

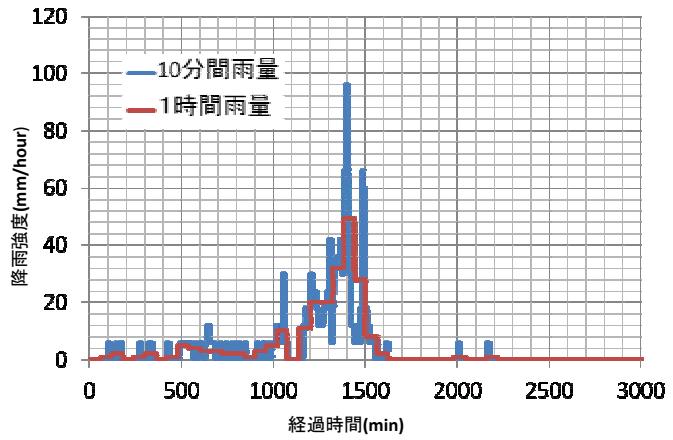


図4 降雨条件(平成21年8月の斜面崩壊前後)

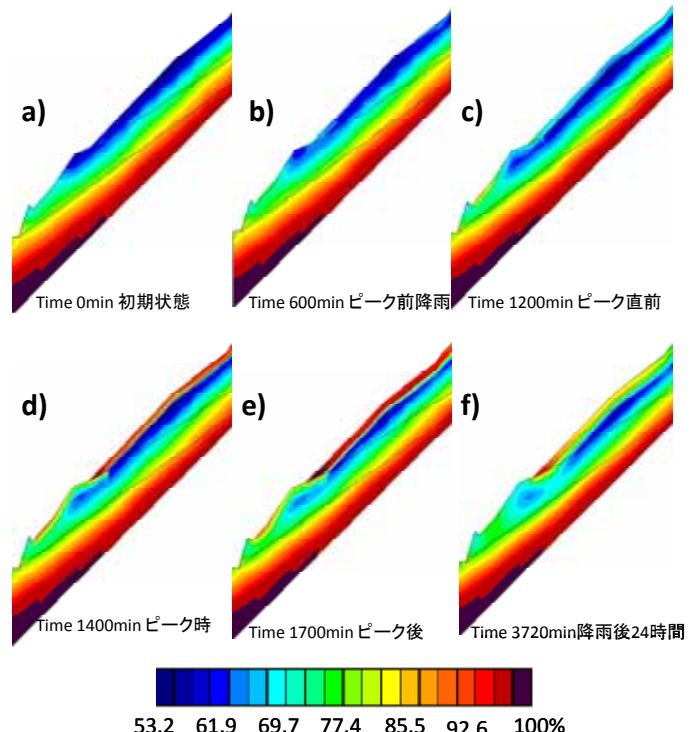


図5 斜面内の飽和度分布の時系列変化(10分間雨量、透水係数 $k = 1.0 \times 10^{-3}$)

4章 評価ワーキング（WG3）の報告（要約版）

4.1 はじめに

道路防災総点検は、過去30年間に10回実施されている。これらの結果は、一種のデータベースであるが、当該年度の点検以外に用いられるることは希であった。しかし、道路防災総点検の対象となった斜面は、災害の発生の確立が高いと判断されるものである。実際に、道路防災総点検の対象となった斜面は災害の発生件数が多い。したがって、道路防災総点検によって得られた斜面の情報を効果的に活用できれば、道路斜面の安定度を効率的に評価できると考えられる。本WGではこの点に着目し、蓄積された道路防災総点検の情報を、人工知能技術の一つである自己組織マップ（以下、SOM）を用いて分析した。その結果、斜面の特徴に応じたクラスタリングや災害との関係、災害と密接に関連する因子の抽出などが可能であることを明らかにした。しかしながら、道路防災総点検の情報は定性的なものである。このため、この研究プロジェクトが目的としている、土砂災害警報情報の高精度化・判断支援システムの構築、現場斜面の崩壊シナリオの分析および対策工の提案といった課題に対しては、何らかの定量的な指標を導入することが必要である。

このような観点から、定性的な指標を使って定量的な評価を可能とする数量化II類とSOMを組み合わせることにより、道路斜面に対する新たな安定性評価手法を開発することを平成23年度の具体的な研究目標とする。

4.2 提案手法の概要

4.2.1 自己組織化マップの概要

SOMは競合学習型ニューラルネットワークの一種であり、入力層と出力競合層の2層から成っている。高次元データの分類・解析に効果的な技術として知られており、図-1に示すように高次元のベクトル集団を2次元に写像し、視覚的に理解しやすくすることができる。つまり、似ているベクトルは2次元のマップ上の近い位置に配置され、似ていないベクトルは遠い位置に配置されるという特徴を持つ。これにより、高次元ベクトルの集団であっても、特徴の類似したもの同士を容易抽出することが可能となる。

4.2.2 数量化II類の概要

数量化II類は性質的な要因から性質的な外的基準を予測するための判別分析の一種である。つまり、道路斜面においては表-1の上表のようなデータから、下表に示したカテゴリースコアと判別区分点を算出する手法である。このカテゴリースコアと判

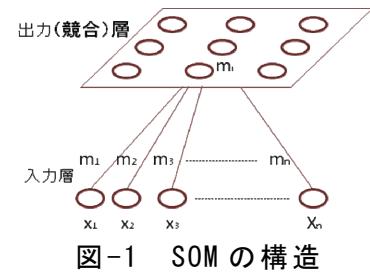


図-1 SOMの構造

表-1 カテゴリースコアと判別区分点

	道路斜面の特徴					外的基準
	地形	...	高さ	...	崩壊	
道路斜面	集水地形	無し	...	H≥30	30>H	
1	1	0	...	1	0	1
2	0	1	...	1	0	1
...
n	1	0	...	0	1	0

	地形		...	高さ	
	集水地形	無し	...	H≥30	30>H
カテゴリースコア	b ₁₁	b ₁₂	...	b _{n1}	b _{n2}
判別区分点	P				

別区分点が抽出基準となる。カテゴリースコアは項目毎の重みのようなものであり、道路斜面毎に該当する項目のスコアを足し合わせることによって道路斜面の危険度が算出され、その危険度と判別区分点を比較することにより、その斜面が崩壊を起こすかどうかが判定される。

4.2.3 提案手法の概要

図-2 は数量化II類のみを使った従来型の評価手法と併せて提案手法を示している。通常、崩壊斜面（Xヶ所）と非崩壊斜面（Yヶ所）の情報を一つの集まりとして数量化II類に適用し、抽出基準が作成される。しかし、崩壊斜面の特徴は必ずしも一種類ではない。そこで、提案手法では、まず崩壊斜面に対して SOM を適用する。そして、崩壊斜面の特徴に応じて崩壊斜面 Xヶ所を複数のクラスタに分類する（ $X_{(ヶ所)} = a + \dots + n_{(ヶ所)}$ ）。これにより、各クラスタ内の崩壊斜面の特徴は統一される。その結果、斜面の特徴に関して非崩壊斜面とのコントラストが強くなると考えられる。そして、各クラスタの崩壊斜面と非崩壊斜面 Yヶ所の情報を一つの集まりとして数量化II類に適用する。その結果、N 個の抽出基準が作成される。抽出基準毎に崩壊の危険性が高い斜面が算出される。そして、いずれかの基準に 1 つでも崩壊の危険性が高いと判断された斜面すべてを危険性の高い斜面として判断する。

4.3 提案手法の適用性

4.3.1 解析資料

本研究では H8 年度防災総点検の実施された道路法面（切土）のうち、以下の調査結果を使用した。

①国道の道路斜面 511ヶ所（うち、崩壊 115ヶ所）

②舞鶴若狭自動車道の道路斜面 128ヶ所（うち、崩壊 8ヶ所）

また、表-2 で示した評価項目については H8 もしくは H13 年度防災総点検で実施されたデータを使用した。舞鶴若狭自動車道についてはすべての道路斜面に対して、防災総点検が実施されている。国道に関しては以下の条件にあてはまる道路斜面に対して、防災総点検が実施されて

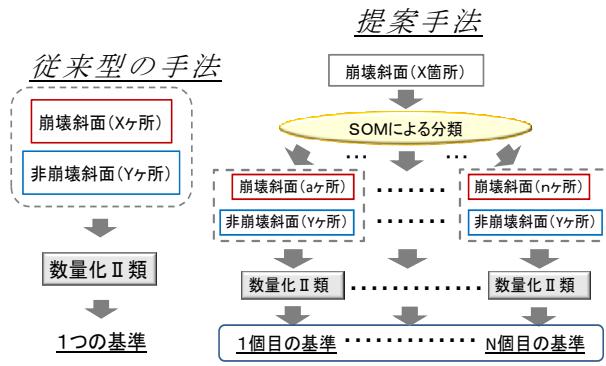


図-2 従来型の手法と提案手法

表-2 道路斜面の評価項目

崩壊性の地形 (集水地形、脚部侵食etc)	2つ以上(もしくは崖錐)
	1つ
	0
崩壊性の土質	顕著
	やや顕著
	該当せず
崩壊性の岩質	顕著
	やや顕著
	該当せず
流れ盤	該当
	該当せず
	顕著
不透水性基板上の土砂	やや顕著
	該当せず
	不安定
表土及び浮石・転石	やや不安定
	安定
	湧水有
湧水状況	しみ出し
	無し
	裸地～植生
法面の被覆状況	複合
	構造物
	H ≥ 50
道路斜面の高さ	50 > H ≥ 30
	30 > H ≥ 15
	15 > H

いる。

4.3.2 検討ケース

研究では、3つのケースについて解析を行ったが、本稿では、Case3を紹介する。

【Case2】教師用データ…	国道	62ヶ所	(うち、崩壊	81ヶ所)
	舞鶴若狭自動車道	90ヶ所	(うち、崩壊	6ヶ所)
検証用データ…	国道	27ヶ所	(うち、崩壊	34ヶ所)
	舞鶴若狭自動車道	38ヶ所	(うち、崩壊	2ヶ所)

4.3.3 従来型の方法による結果

表-3は教師データに従来型の手法を適用して得られた結果を示している。ここで実績群とは実際の事象であり推定群とは数量化II類によって判断されたそれを示している。例えば、実績群が崩壊、推定群が非崩壊は当該斜面が実際には崩壊しているのに数量化II類の推定では非崩壊と判断したことを示している。表-3から数量化II類では実際に崩壊している斜面 26ヶ所のうち 20ヶ所(76.9%)を崩壊と判断している。次に、検証データを抽出基準Aに適用すると表-4の推定結果が得られる。実際に崩壊している斜面 11ヶ所中 7ヶ所(63.6%)を捕捉できている。当然のことながら教師データに対する推定精度よりも低下している。

4.3.4 提案方法による結果

次に同じデータに対して提案手法を適用する。まず、崩壊斜面をその特徴に応じて複数個のクラスタに分類するため、教師データに対してSOMを適用する。図-3は教師データに対する自己組織化マップを示している。図から分かるように4つのクラスタに区分される。このことは崩壊斜面の特徴は主に4種類に大別できることを意味している。そして、各クラスタの崩壊斜面と教師データの非崩壊斜面 126ヶ所を一つの集まりとして数量化II類に適用することにより、4つのクラスタから4つの抽出基準B~Eを作成した。教師データ段階における抽出基準B~Eの推定結果を表-5~8に示す。抽出基準B~Eは実際に崩壊している斜面のすべてを捕捉できている。このことから教師データの段階では、従来の手順で作成された抽出基準Aよりも精度が高いことが分かる。表-9は検証データに対し提案手法を適用した結果を示している。表-3の結果と比較すると、提案手法は11ヶ所中 9ヶ所(81.8%)を捕捉できている。また、崩壊と推定した斜面の数は従来型の手法が16ヶ所であるのに対し提案手法は25ヶ所である。このことは危険性の高い斜面を安全側に評価していることを示している。また、実績群で非崩壊でありながら崩壊と推定した箇所が16ヶ所ある。これは斜面の持つ特徴としては崩壊する斜面と判断されたことを示している。すなわち潜在的に崩壊の危険性を有す

表-3 推定結果(教師データ、抽出基準A)

		実績群	
		全体	非崩壊
推定群	全体	152	126
	非崩壊	111	105
	崩壊	41	21
		26	20

表-4 推定結果(検証データ、抽出基準A)

		実績群	
		全体	非崩壊
推定群	全体	65	54
	非崩壊	49	45
	崩壊	16	9
		11	7

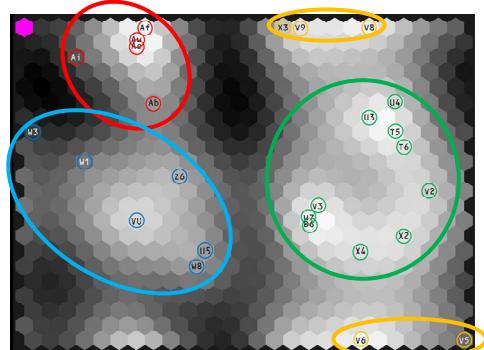


図-3 教師データのSOM

る斜面である。

表-5 推定結果(教師データ, 抽出基準B)

	実績群			
	全体	非崩壊	崩壊	
全体	131	126	5	
推定群	非崩壊	97	97	0
	崩壊	34	29	5

表-6 推定結果(教師データ, 抽出基準C)

	実績群			
	全体	非崩壊	崩壊	
全体	132	126	6	
推定群	非崩壊	122	122	0
	崩壊	10	4	6

表-7 推定結果(教師データ, 抽出基準C)

	実績群			
	全体	非崩壊	崩壊	
全体	131	126	5	
推定群	非崩壊	124	124	0
	崩壊	7	2	5

表-8 推定結果(教師データ, 抽出基準E)

	実績群			
	全体	非崩壊	崩壊	
全体	136	126	10	
推定群	非崩壊	126	126	0
	崩壊	10	0	10

表-9 推定結果(検証データ, 抽出基準B～E)

	実績群			
	全体	非崩壊	崩壊	
全体	65	54	11	
推定群	非崩壊	40	38	2
	崩壊	25	16	9

4.4 提案手法の適用性

WG3 では数量化II類と SOM を併用する手法を提案し、その適用性について検証した。以下に得られた知見を示す。

- 自己組織化マップで崩壊斜面をクラスタリングした後に数量化II類を適用すると推定精度が高くなる。
- 自己組織化マップと数量化II類を組み合わせることにより、個々の道路斜面に対して安定度を定量的に評価できる
- 提案手法は崩壊の危険性の高い斜面の抽出において安全側の評価を与える。
- 本研究で提案した安定度評価方法は有効である。