

# 令和6年度 研究開発助成成果報告会 開催報告

(一財) 砂防・地すべり技術センター 企画部

令和7年10月14日(火)および10月29日(水)に砂防会館別館3階会議室「六甲」などにおいて「研究開発助成成果報告会(令和6年度分)」を開催しました\*。本報告会は例年、当センターの公益事業の一環である研究開発助成による研究の成果を発表し、関連事業および今後の各方面での研究活動に役立てていただくことを目的として実施しているものです。

今回の報告会では、砂防・地すべりに関する9つの助成テーマについて、それぞれの研究者に発表していただきました。研究概要についてここで紹介します。

\*10月29日(水)についてはオンラインで実施

発表  
1

## 土石流挙動に河床条件が及ぼす影響を考慮した 防災対策の検討に関する研究

なかたに かな  
中谷 加奈  
京都大学

### 1. はじめに

本研究は、滋賀県伊吹山で発生した土石流のように自然斜面から住宅地に連続的に接続する条件を想定し、自然斜面を模した粗面河床から住宅地の道路を模した滑面河床へ連続的に流下する土石流の流下過程について、実験を通し粗面と滑面や境界部での土石流シミュレーションの実施手法に関する知見を得ることを目的に実施した。

### 2. 実験の概要

実験では広島大学の水路長15m、京都大学防災研究所の水路長4.5mの施設を用いた。自然斜面から住宅地の道路へ流れ込む土石流の挙動の検討のために、上流側に自然斜面を模した凹凸を付けた粗面流路を、下流側に住宅地の道路を模した凹凸の少ない滑面流路のほか、下段に氾濫台を設置して、超音波センサによる流動深の測定、下流端での流出する土砂の採取による流量、土砂濃度を計測した。水路勾配は土石流の発生・流下区間として18°のほか、土石流警戒区域内の住宅地の道路や土石流の流下域を想定した10°とした。

### 3. 実験結果と今後の検討に向けて

実験の結果から境界部を介して流動深が下がり流速が大きくなったことから、土石流の流速分布が、粗面区間では河床付近で遅く、上層では速く、流動層内での土砂粒子の上下方向の移動が大きく衝突が卓越するのに対して、滑面区間からは斜面方向の移動が卓越する一方で、滑面のみと比較すると上下方向の粒子移動も見られた。また、18°での氾濫台の堆積形状からは、到達距離は粗面のみとほぼ同様だが、堆積範囲は粗面のみや滑面のみの中間的な形状を示した(図-1)。土砂の分級は見られたが、

粗面のみと比較すると緩やかで、先端部以外にも堆積範囲の側部や中央付近にも一部で黒色の土砂が見られ、水路付近では粗面のみと同様に細かい土砂の堆積が多かった。粗面+滑面の河床条件では、粗面のみや滑面のみと異なる挙動を示すことが明らかとなった。一方、粗面区間では本検討の流下距離で平衡状態に達したことは既往検討から明らかだが、境界部から滑面区間において平衡状態に達したか、流下距離による違いがないかは更なる検討が必要と感じた。

本研究から、粗面河床と滑面河床やその境界部からの土石流挙動に関する新たな知見が得られ、滑面河床では衝突が卓越する石礫型土石流の既往理論やモデルを採用する際は留意する必要がある、今後は新たな河床抵抗の表現方法や係数の設定等の検討を進め、効果的な防災対策の提案に繋げたい。

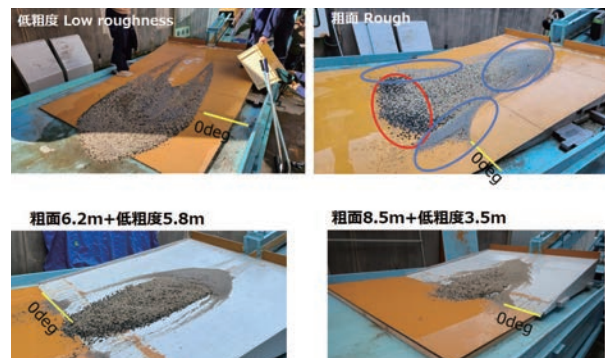


図-1 氾濫台での堆積形状18°のケース(15m水路、粗面+滑面)

### 1. はじめに

本研究では観測期間中に複数回の土石流が発生した流域を対象に、最新の流砂観測データの解析手法を適用し、大規模土砂移動現象の影響を評価することを目的に検討を行った。

### 2. 研究対象地と観測の概要

本研究の対象地は岐阜県高山市の足洗谷観測流域で、観測水路地点の集水面積は6.5km<sup>2</sup>、流域はヒル谷、割谷、黒谷、白水谷の主な支流から構成されている。解析においては2011年から2023年までの水位計およびハイドロフォン観測結果を用いた。

### 3. 解析方法

本研究ではZuecco et al. (2016) の手法に従ったヒステリシス解析の実施などを行っている。解析では12時間の無降雨期間を含まない期間を降雨イベントとして定義し、降雨イベントごとに流量と掃流砂量のヒステリシスを指標*h*として求めた。流量および流砂量はイベントごとに最小値を0、最大値を1となるように標準化し、時間*t*における標準化した流量および流砂量をそれぞれ*u(t)*、*v(t)*とすると、流量が増加(*r*)、減少する(*f*) 期間[*i, j*]の積分値は以下のように表される。

$$A_{r[i,j]} = \int_i^j v_r(u) du$$

$$A_{f[i,j]} = \int_i^j v_f(u) du$$

Zuecco et al.(2016)は $\Delta A_{[i,j]}$ の最小・最大値に基づき分類し、図-1に示す4種類のループ形状が確認された。解析対象はピーク流量が0.5m<sup>3</sup>/s以上とし、125のイベントを整理した。

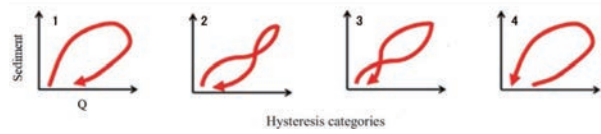


図-1 ヒステリシスループのパターン(Bonfrisco et al.(2025)に加筆)

### 4. 結果と考察の概要

対象期間を通じて明瞭なヒステリシスループを描いたイベントは少なく、複雑なループであるタイプ2、3がそれぞれ36.8%、53.6%を占めた。土石流発生後の2011年や2021年では、ヒステリシス指標やパターンに明瞭な傾向はみられなかった。ヒステリシス指標では顕著な土砂流出による流域の攪乱の影響とその継続性を評価することが難しかったため、指標の時系列的な変化を捉えることで土石流等による流域攪乱が土砂流出に及ぼす影響がみられた。

### 5. おわりに

本研究ではハイドロフォン計測結果から粒径別掃流砂量を推定する手法を適用することで、無降雨時にも比較的細かい掃流砂が流出する傾向が見られた。同様に、降雨イベント中の河川流量と流砂量のヒステリシスループを指標化し、指標の時系列変化から土石流の影響を検討した。ある程度以上の出水規模を対象とすることで、土石流後は反時計回りのループの傾向が見られた。こうした結果から土石流などによる流域の攪乱が土砂流出に及ぼす影響が確認されたため、今後は土砂動態の面で流域がどのような状態にあるかなど、流域間の比較を考える。

### 1. はじめに

自然斜面では表層崩壊を契機とした土石流災害が近年多発し、住宅地や道路などへの影響が拡大している。森林斜面における根系が斜面安定性に与える影響については数多くの研究がなされているが、根系を構成する「鉛直根」と「水平根」の役割や、斜面安定への寄与については十分に解明されていない。

本研究では根系の物理的補強効果(土壌のせん断抵抗の増加)や水文的効果に着目し、植生根系が斜面安定性に与える影響を定量的に評価し、森林管理の高度化

と斜面崩壊リスクの低減に資する手法を提案する。

### 2. 崩壊実験による植生密度と斜面安定性の関係

模型斜面を用い、根系が斜面の初期安定性および崩壊挙動に及ぼす影響を実験的に評価した。主な結果を以下に示す。

- ①植生密度を増加させるほど崩壊発生までの時刻が増加した一方で、崩壊面積は必ずしも大きく又は小さくならない(図-1)。
- ②植生密度を増加させるほどL(総移動距離) / H(土

砂の落下高さ) 比は増加し、崩壊時における土砂の流動性が増加する。

植生密度の増加は根系により崩壊発生の遅延効果をもたらすが、一旦崩壊が発生した場合、土壌中の含水率増加により土砂の流動性を高めることもある。また、根系の重なりは植生密度ごとに異なり、土壌中の水分に応じた根系発達の違いが重要である。根系を考慮した斜面安定性評価では、植生密度のみならず立地や地形による土壌水分特性と根系発達状況を考慮する必要がある。

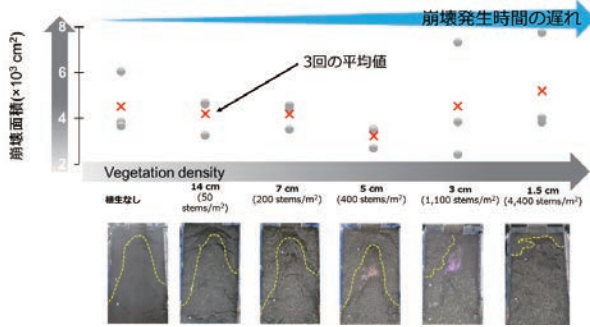


図-1 植生密度と崩壊面積の関係

### 3. 広域森林情報と組み合わせた森林密度評価と崩壊対策の提案

航空機LiDARによって広域的な高解像度の立木密度、樹高などが取得可能となった。本研究で得られた植生密度別の斜面安定性解析結果と広域的な森林構造情報を結びつけることで、実スケールの地形条件下において植生密度を軸とした斜面安定性評価を展開可能と考えられる。さらに、数値地形モデルや土砂災害履歴データと連携し、森林構造と斜面崩壊危険度の統計的関係を導出することで面的な評価を進めることができる。

### 4. おわりに

本研究の成果は斜面崩壊リスク評価において、従来の地形・地質要因に加えて森林構造を加味した新たな視点を提供するものであり、崩壊対策としての森林管理の戦略的活用に向けた科学的基盤となる。今後は、地域スケールでの実装に向け、航空機LiDARを活用した空間情報整備と、崩壊リスクに応じた森林施業計画の最適化が求められる。

発表  
4

## ヒマラヤ地域における森林等の生態系を活かした防災・減災 (Eco-DRR) の効果的展開と社会経済への影響：ネパールの事例研究

ツォウ チンイン  
鄒 青穎  
弘前大学

### 1. はじめに

Eco-DRRは低コストで、森林などの自然の回復力を活用して災害リスクを低減する手法である。開発途上国では財政・技術的な制約から、環境保全と防災を両立できる手法として関心を集めている。ネパールでは1992年から2007年にかけてJICAの協力のもとに導入された。しかし、これらの対策工の持続性や効果、住民の生活への影響については不明であった。そこで、本研究では施工から20～30年経過した試験施工地を調査し、①施工効果の検証や対策工の耐久性、②Eco-DRR導入地域における社会経済活動への影響を明らかにすることを目的とした。

### 2. 調査地の概要と方法

調査地はカトマンズから15～65km離れたPipaltar (ガリー・表面侵食対策試験施工地)、Dahachowk (砂防試験施工地)、Nallu Khola (土石流対策試験施工地) の3箇所である(図-1)。これらの地域では過去に森林伐採や過放牧、農地拡大などにより土砂災害リスクが高まっていた。

本調査では写真測量やGoogle Earth画像を用い、侵食防止対策の効果や砂防施設の変状などを確認した。また、Nallu Khola地区では2024年9月の豪雨で土石流・斜面崩壊が発生したため、災害時の対策工の機能について

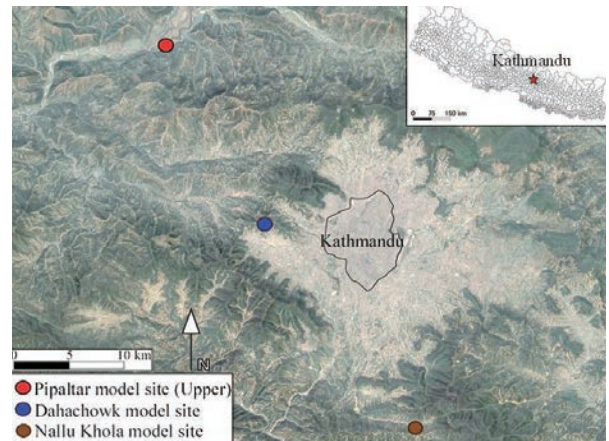


図-1 調査地の分布(Pipaltar(ガリー・表面侵食対策工法の試験施工地), Dahachowk(砂防の試験施工地), Nallu Khola(土石流対策の試験施工地))

も評価し、対策が住民に与えた影響把握を目的に聞き取りとアンケートを実施した。

### 3. 結果と考察

Pipaltarでは蛇籠谷止工と植栽によりガリー侵食が抑制され、植生が回復した。しかし、蛇籠谷止工は20～30年の経過で鉄線の腐食や堤体の変形が見られ、維持管理の必要性が浮き彫りとなった。Dahachowkでは蛇籠砂防堰堤と山腹工により森林植生が著しく回復し、土砂移動が抑制された。2024年9月のNallu Kholaの豪雨災

害では蛇籠砂防堰堤が土砂流出を食い止め、人家への被害を軽減した。

住民は植栽された草本類や竹を家畜飼料や建材などに利用することで、農業生産や生活が向上した。一方で、害虫や野生動物は増加した。現在は経済発展と生活様式の変化に伴い、利用は減少した。Dahachowkでは住民の森林保全意識が高まり、森林伐採が抑制されている。

#### 4. まとめ

Eco-DRRの蛇籠谷止工と植栽の組み合わせは土砂流出抑制と侵食防止に効果的で、減災効果を発揮していた。しかし、構造物の経年劣化と社会経済状況の変化に伴い、植生の利用が減少している。今回の調査・研究の結果から、地質や気候などが類似する地域ではEco-DRRが社会に貢献、有効的であることが確認された。

発表  
5

## 高精細多層地表情報計測と地下水動態観測のリンクに基づく活発な地すべりの動態把握

かさい みお  
笠井 美青  
北海道大学

### 1. はじめに

地すべり多発地域では植生が被覆しているため、活動的な地すべりを遠隔から抽出することは困難である。そこで、本研究では無人航空機搭載型のレーザーセンサ等を用いた高精細かつ面的な地形、地表温度、植生活性の計測を活用し、地すべり地を抽出する。さらに、活発な移動を示す地すべりにおいては各種センサによる高精細多層地表情報計測と高密度地下水動態観測とを組み合わせ、両者を総合的に解析することで、地下と地表の詳細な情報を立体的にリンクさせる技術を検討した。

### 2. 対象地

対象地は北海道平取町のオタリマップ川左岸に位置する幅60m、長さ280m、深さ5m程度の活動的な地すべりである。対象地一帯は1956年にカラマツが植栽され、カラマツの樹幹の傾きや倒木が多い場所である。

### 3. 高精細多層地表情報計測と広域を対象にした活動的な地すべりの抽出

広域から活動的な地すべりを抽出するのみならず、地すべりブロックの移動量も推定できる手法を図-1に提案する。手法・検討を進めるにあたっては、①レーザー測量、②マルチスペクトル計測、③有人航空機によるデータ等を含めた地すべりブロックの移動量の把握、④カラマツ（立木）の樹幹の傾きの把握、⑤NDVI（植生の分布状況や活性度を示す指標）の算出、⑥地すべり動態とNDVI比

との比較、を実施した。

### 4. 高密度地下水動態観測と高精細多層地表情報計測のリンク

対象地すべり地では高密度地下水動態観測もあわせて実施し、観測結果と高精細多層地表情報計測結果をリンク・解析することで、複雑な地すべり活動を把握した。

高精細多層地表情報計測の結果に基づき、顕著な地すべり滑動時の滑動距離を地すべり地内全域にわたって詳細を解析し、各地すべりブロックの圧縮／引張の変形を推定したところ、圧縮と判断されたブロックでは実効雨量法の半減期が増加、引張と判断されたブロックで半減期が減少した。高密度地下水動態観測もあわせて解析することで、複雑な地すべり活動を把握することが可能と判断した。

### 5. まとめ

今回の研究で高精細なレーザー測量データと高密度地下水動態観測を統合して解析することで、地すべり移動によって発生する土塊の圧縮や引張が土塊の透水性に影響を及ぼすことが実証された。また、今回の結果から将来的に空からの観測データから地下水動態の推定が可能となることが示唆された。

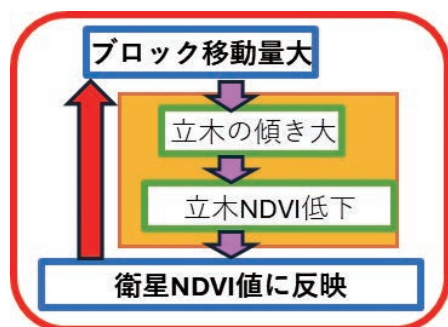


図-1 立木のNDVI値を用いた地すべりブロック移動量推定のための概念図

発表  
6

## 弾塑性FEMと観測地表面変位ベクトルに基づくすべり面形状推定とその三次元化

わか い あきひこ  
若井 明彦  
群馬大学

### 1. はじめに

地すべり斜面中のすべり面の形状推定手法として図式解法が有名だが、主測線における二次元断面での適用性に主眼が置かれてきた。一方、LiDAR地形データは面的かつ高解像度なものとなり、地表面変位ベクトルを三次元的に扱うことも容易となった。本研究では地表面変位ベクトルに基づき、地すべりのすべり面形状推定手法の精度向上と三次元化を目的に、弾塑性FEMを援用した新たな解析手法を開発する。

### 2. 弾塑性有限要素解析の概要

簡易な弾塑性構成則の一つに弾完全塑性モデルがあり、本研究でもこれを採用する。また、三次元解析における数値計算安定化のため、使用する構成モデルは、土・岩の降伏条件を高精度で再現するMohr-Coulomb式で表現しつつ、降伏後の変形特性を支配する塑性ポテンシャルにはDrucker-Prager式を採用する(MC-DP混合モデル)。

### 3. 解析的取り組み

本研究では、最大せん断ひずみが小さい箇所よりも下方に最大せん断ひずみが大きい箇所が線状に表れているようなひずみ分布が見られたとき、すべり面が形成されたと定義する。

#### 3.1. 二次元単純斜面のケース

実際の斜面を単純化した仮想的な斜面A1をせん断強度低減法で変形させ、形成されたすべり面を推定対象とした。また、その変形により得られた変位を仮想斜面B1に与えてすべり面を求めた。2ケースの最大せん断ひずみ分布図では、概ね同じ位置にひずみが集中している。よって、本解析手法を用いて仮想斜面でのすべり面位置の推

定を行えたといえる。

#### 3.2. 三次元単純斜面のケース

3.1と同様の手順で、仮想的な三次元斜面において、すべり面推定が実施できることを確認した。

#### 3.3. 実斜面(三次元)のケース

秋田県大館市の陣場地区で発生した地すべりを再現した斜面モデルにおいて、観測結果に基づく地表面変位を与え、すべり面推定解析を実施した。ボーリング調査に基づくすべり面と比較した結果、単一材料の仮定の下でも比較的精度良く推定された(図-1)。

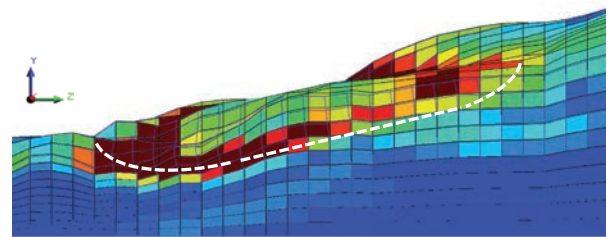


図-1 解析結果と実際のすべり面との比較  
(白破線:ボーリング調査に基づくすべり面)

### 4. おわりに

地表面変位ベクトルに基づく地すべり斜面中のすべり面の形状推定するための弾塑性FEMにおけるモデル化の精度が大幅に向上し、多様な地すべり対象への適用性が高まることが期待される。今後は解析モデルの有効性向上だけでなく、観測データの取得方法ならびにその活用方法・調整方法などについても引き続き検討が必要である。

発表  
7

## 能登半島地震による輪島・珠洲地域の斜面変動現象の解明と減災施策の検討

ふるや げん  
古谷 元  
富山県立大学

### 1. はじめに

2024年1月1日に発生した能登半島地震により、能登半島北部では多数の斜面崩壊等の土砂移動現象が発生した。本研究は能登半島地震に関与した斜面変状現象に関する基礎データの収集・解析、実測値の計測と土質試験による地すべりの発生機構の解明を試みるとともに、現時点の結果を踏まえて減災施策を検討した。

### 2. 数値地形データと強振動観測値を用いた斜面安定解析

輪島市～珠洲市にかけての斜面に対して、長大斜面モ

デルの安全率算定式を用いた安定解析を実施し、安全率分布と実際の崩壊箇所との比較を行った(図-1)。その結果、斜面崩壊は北西-南東方向の斜面に多く、実際の崩壊分布と調和的であった。本解析結果についてROC曲線を用いて適合性を検討したところ、解析手法としては、崩壊・非崩壊をある程度再現できていると評価した。

### 3. 斜面振動特性の計測

2024年能登半島地震により地すべり、斜面崩壊が発生した地点において、H/Vスペクトル比観測を行った。その

結果、地すべり土塊においては概ね卓越周波数が観測されたが、2023年5月の地震で斜面変状が生じていた大谷ループと珠洲市正院町の斜面では、複数のピーク値が計測された。これは、作用した地震動の周期帯の違いや、2023年の地震による斜面内での微小な破壊が及ぼした強度の低下による可能性が考えられる。

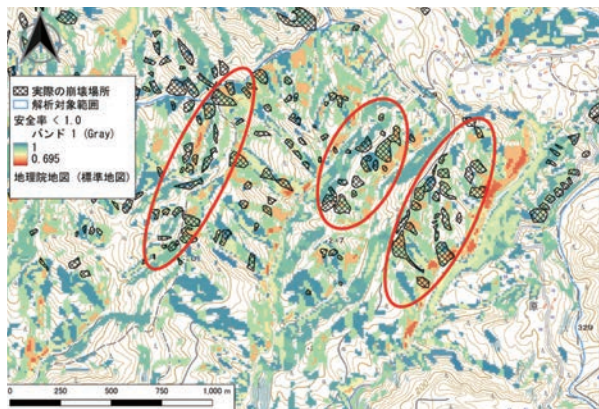


図-1 実際の崩壊場所と最小安全率の比較図

#### 4. 室内土質試験による地すべりの移動現象の解明

地震時地すべりを再現する土質試験機は、実際の土質試料を用いた地震時地すべりの発生機構やその後の土砂の長距離運動特性に関する評価を実測できる長所がある。本研究では、逢坂トンネル（栗蔵層）、および市ノ瀬地すべり（縄又層）の事例に適用し、地すべりの滑動に強震動が関与した可能性が高い結果が得られた。

#### 5. 減災施策と留意点・課題

数値解析においてはパラメータ精度の向上に課題があるが、より広域かつ詳細な計算が可能であるため、地震時の概略的な斜面崩壊のリスク予測やハザードマップ整備に有用である。また、軽量かつ機動性に優れた常時微動計測は、ボーリング調査との併用により斜面内部の構造をより詳細に把握することが期待できる。土質試験では地下水の挙動や繰り返しの地震に関するデータの蓄積が今後の課題であるが、数値解析や常時微動計測に基づく条件設定を土質試験に展開することにより、土砂移動特性を高精度かつ定量的に評価することが期待できる。

発表  
8

## SPH-DEM解析による土砂流動中の粒子群と 間隙水の力学的相互作用に関するミクロスケール評価

まつだ たつや  
松田 達也  
豊橋技術科学大学

### 1. はじめに

本研究は、土砂流動速度に応じた粒子群と間隙水の挙動を定量的に把握することを最終目的とし、透明粒子を用いて土砂流動中の粒子群と間隙水の相互作用を分析するための実験を実施した。また、SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法とDEM (Distinct Element Method) 法によるSPH-DEM連成解析を行い、土砂流動における粒子群と間隙水の振る舞いに関する力学的相互作用をミクロスケールで評価した。

### 2. 模型実験による検討概要

実験では粒子群単体での挙動を把握するため、円筒容器内に乾燥状態での透明粒子を堆積させた条件で実施したほか、粒子と流体の相互作用を踏まえた流動特性を把握するため、容器内を水で満たし飽和状態で透明粒子を堆積させた条件で実施した。

実験の結果から、およそ安息角(36°)で粒子が傾斜しながら流動し、また飽和状態においてもおよそ安息角で粒子が傾斜・流動(図-1)していた、ことなどが分かった。

### 3. 数値実験による検討概要

本研究ではAnsysの粒子解析ソフトRockyを用い、数値実験を行った。DEMでは円柱体粒子のモデル化を行い、挙動の妥当性を確認するため、粒子群崩壊実験の

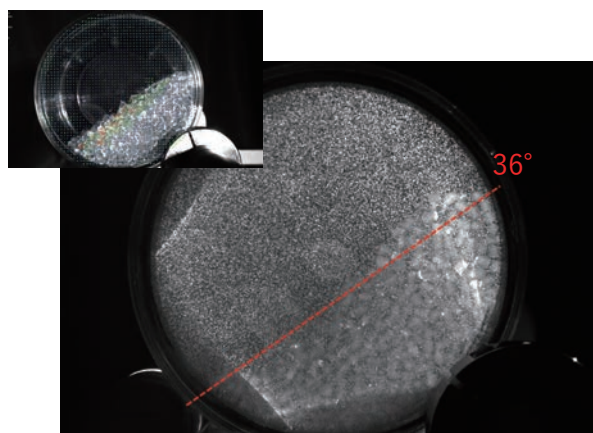


図-1 乾燥(上)・飽和状態(下)における円柱体粒子の流動挙動

再現解析を行った。粒子群崩壊実験では所定の容器内に粒子を堆積させ、容器を急速で取り除き、粒子群が重力によって崩壊する現象を考察するものである。また、SPH-DEM連成解析ではSPH法の要素サイズが相互作用に及ぼす影響を評価し、飽和状態での透明粒子の流動挙動の再現解析を実施したほか、飽和状態での透明粒子の流動挙動の再現解析を実施した。

### 4. おわりに

本研究を通して、以下の結論を得た。

- ①DEMにより粒子群崩壊実験の再現解析を実施した結果、粒子形状等を考慮することで、崩壊挙動や堆積

形状を概ね再現できた。

- ② SPH-DEM連成解析において、SPH法の要素サイズが相互作用に及ぼす影響を調べた結果、要素サイズに伴って不自然な挙動を引き起こす可能性があることが分かった。
- ③ SPH-DEM連成解析による流動現象について、実験の再現結果から流動中の円柱体粒子の挙動を定量的に再現することに成功した。

④ 回転に伴う流体挙動を調べたところ、空間の圧力変化とは別に、土砂群が存在する領域においては非常に複雑な圧力変化が生じ、流速も空間的に不均一となっていることが明らかとなった。

今後は、粒子間隙流の高解像流れを定量的に計測するとともに、SPH-DEM連成解析による高精度な数値シミュレーションにおいて、詳細なメカニズムが分析できるよう継続的な検討を行う。

発表  
9

## デジタルツインを活用した土砂災害のソフト対策に関する研究

ハザリカ ヘマンタ  
九州大学

### 1. はじめに

近年、豪雨の激甚化に伴い土砂災害の発生件数は増加傾向にあり、ソフト対策が重要になると考えられる。本研究は豪雨によって誘発される斜面崩壊の前兆を検出し、最適なタイミングでの避難を可能にする低コスト型早期警報システム (Early Warning System : 以下、「EWS」という) の構築を目的とし、室内模型実験および数値シミュレーションを行った。

### 2. 室内模型実験

EWSの性能評価のため、標準砂と現地土 (2018年7月豪雨により北九州市内で発生した斜面崩壊現場より採取) を使用し、異なる降雨強度 (45、70、100mm/h) および鉛直クラックの有無を組み合わせ、全7条件で人工的に斜面崩壊を誘発する実験を実施した。斜面の土層内にはWi-FiおよびLPWAの両通信方式に対応した土壌水分計、間隙水圧計、加速度計を設置した。実験の結果、降雨強度の増加および鉛直クラックの存在が間隙水圧の上昇を加速させ、斜面の不安定化を早期に引き起こすことが確認された。特に鉛直クラックが存在する場合、崩壊までの時間が著しく短縮され、危険性が顕著に高まることが示された。本研究では、実験結果におけるリスク評価を踏まえ、「臨界含水比」、「間隙水圧」、「傾斜速度」を重要な警戒指標とした早期警報段階を提案する (図

1)。また、Wi-FiおよびLPWA通信方式による土壌水分計について、土壌条件やセンサーの校正精度の差異により一定の誤差が生じるものの、実用上許容範囲内であると評価できる。

### 3. 模型実験に対する数値シミュレーション

模型実験により観測された斜面崩壊に先行する変状挙動を数値的に再現するため、二次元有限要素法 (FEM) を用いた不飽和・非定常浸透流解析を実施した。数値解析により、降雨に伴う体積含水率の時間的・空間的变化が再現され、実験結果との傾向は概ね一致した。ただし、一部に初期値の不整合や不自然な上昇傾向が見られた。

### 4. まとめ

本研究では、多様な条件下で模型実験を実施し、取得したデータに基づいて豪雨時の斜面安定性および危険度を評価した。本研究で得られた各警戒閾値は特定の条件に基づくものであり、今後は多様な土質条件下で同様の実験を実施し、それぞれに適合した警戒指標の設定と適用範囲の拡張が求められる。また、数値シミュレーションにより斜面崩壊に先行する前兆現象の詳細を明らかにした。今後は実験結果との整合性を高めるため、適用した透水係数および不飽和特性のさらなる精度向上と、実験結果との比較検証が必要である。

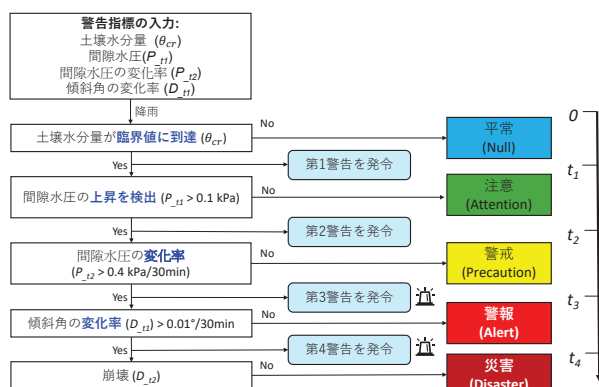


図-1 早期警報段階のフローチャート