

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 4 月 25 日現在

機関番号：17102

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2023

課題番号：19KK0121

研究課題名（和文）連鎖性を考慮した地震による土砂災害予測手法の高度化と実用化研究

研究課題名（英文）Practical study on advanced techniques for estimating earthquake induced landslide initiated chain disasters

研究代表者

陳 光齊（Chen, Guangqi）

九州大学・基幹教育院・教授

研究者番号：50293882

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、2008年四川大地震およびその他の災害関連データを分析し、地震や降雨による斜面崩壊の予測と分析手法を開発した。特に、新しい外力指標「パルス地震動（PLGM）」の提案と、それを用いた斜面安定解析手法を確立した。また、既存の数値シミュレーション手法の改良開発、特に、不飽和土のサクションを取り入れたDDAプログラムの開発や、DDAとSPHを組み合わせた土石流シミュレーション手法の開発も進展した。これらの成果を統合した次世代土砂災害予測システムを構築し、資料の収集、斜面や流域のモデルの作成から、安定解析、崩壊土砂や土石流の運動特徴の予測、構造物への衝撃影響評価などをより正確に実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究による土砂災害の予測システムの開発は、地震による斜面崩壊や土石流の理解を深め、予測精度を高めることに寄与しました。3D不連続変形法DDAモデルと粒子法（SPH）の統合により、自然ダム形成や破壊の過程を詳細にシミュレートすることが可能となり、実際の災害時のリスク評価や防災計画の精度向上に貢献しています。

また、この技術は国際的な学術誌に多数掲載され、土砂災害予測の新たな標準を築くことで、学術界における地質学および災害科学の発展に寄与しています。さらに、土砂災害のリアルタイムな監視と迅速な警告システムへの応用により、地域社会の安全性向上と経済的損失の削減に繋がることが期待されます。

研究成果の概要（英文）：This study analyzed data related to the 2008 Sichuan earthquake and other disasters, developing prediction and analysis methods for slope failures due to earthquakes and rainfall. Particularly, it proposed a new external force indicator, "Pulse Ground Motion (PLGM)," and established a slope stability analysis method using it. Improvements were also made in existing numerical simulation techniques, especially in developing a DDA (Discontinuous Deformation Analysis) program that incorporates the suction of unsaturated soil, and in advancing a debris flow simulation method that combines DDA with SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics). These results were integrated into a next-generation system for predicting geohazard events, enhancing the accuracy in data collection, model creation for slopes and watersheds, stability analysis, prediction of the characteristics of failing soil and debris flows, and the assessment of impacts on structures.

研究分野：防災工学、数値シミュレーション

キーワード：地震 土砂災害 メカニズムの解明 不連続変形法DDA 粒子法（SPH） 予測 リスク評価 防災計画

## 1. 研究開始当初の背景

日本は地震が多い国であり、近年では住宅の耐震化に注力してきました。その結果、建物の倒壊による人的被害は減少しましたが、地震による土砂災害(以下、地震土砂災害)の人的被害は依然として悲惨なものが残っています。特に昨年の北海道胆振東部地震では大規模な斜面崩壊が発生し、多くの尊い命が失われました。中国では、2008年の四川大地震のように、地震土砂災害による被害がさらに甚大です。このような背景から、活断層の状態に基づく確率論的な地震予測が進んでいるものの、「地震予知」による警報の実現は困難です。

## 2. 研究の目的

### 斜面崩壊のメカニズムの解明

パルス性地震動(PLGM: Pulse like ground motion)を焦点に、地震による斜面崩壊のメカニズムを明らかにし、その理論を構築する。また、地震と降雨の複合影響を調べるために、不飽和土の特性を焦点に、降雨による斜面崩壊の解析手法を確立する。

### 活断層における予測地震による斜面崩壊を予測する実用的な手法の確立

パルス性地震動の発生条件、伝達経路の地盤特性や斜面地形などの影響を明らかにし、活断層における予測地震による PLGM の推定手法を提案し、PLGM による斜面崩壊の予測手法を確立する。

### 崩壊土石の運動および建造物への破壊力における予測手法の確立

不連続変形法(DDA: Discontinuous Deformation Analysis)を用いて、斜面崩壊による被害予測、対策工の効果検証を行う。

### 地震後の土石流災害を予測する手法の確立

DDA と SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) による流体・固体の連成プログラムを開発し、土石流災害の予測を試みる。

### 既存の数値解析手法の改良による次世代・統合型土砂災害予測システムの構築

各手法を統合したプリ・ポストプロセッサを開発し、土砂災害の予測の精度向上と実行の容易化を図る。

## 3. 研究の方法

以上の目的を達成するために、日本国内外の研究機関(日本4校、中国10校)と協力して研究を行い、具体的な方法は以下の通りです。

### PLGM に関する研究(目的、のため)

まず、データ収集と分析: 国内外の地震(特に四川大地震)時に記録された地震波データを用いて、PLGM の特徴を識別するために、速度パルスの抽出と分析を行い、パルス地震動データを収集します。そして、既存の PGA 依存の DDA を改良し、エネルギーによる斜面崩壊手法を開発します。土砂崩れを引き起こす地盤運動の影響を評価するために、異なる条件下での斜面の安定性を評価し、PLGM の影響を定量的に分析します。さらに有限差分法(FDM)のシミュレーションを用いて、断層の予想地震による PLGM の発生状況を予測します。実際の地震データを基に、地震動の数値シミュレーションを実施。

### 不飽和土のサクションによる斜面崩壊メカニズムに関する研究(目的、のため)

まず、結合水モデルの開発と DDA プログラムへの統合: 不連続変形解析(DDA)法に基づき、毛細管吸引と吸着吸引を考慮した結合水モデルを開発します。このモデルを用いて、広い吸引範囲にわたる土壌-水特性曲線(SWCC)の数値シミュレーションを行います。そして、実験データとの比較検証: 細砂とカオリン混合土壌を用いた実験データと、DDA プログラムによるシミュレーション結果を比較します。毛細管吸引と吸着吸引の影響を別々に解析し、土壌のせん断特性に関する理解を深めます。さらに、降雨による地滑りの解析: マトリックス吸引モデルを拡張 DDA 法と組み合わせ使用し、降雨による地滑りのシミュレーションを行い、地滑りの開始と進行に対するマトリックス吸引の影響を評価します。

### DDA の改良に関する研究(目的、のため)

主に接触検出の精度と有効性の向上、並列計算プログラムの開発による計算効率の向上などに関する方法を提案し、引っ張り効果を考慮した破壊モデルやエネルギーを考慮した斜面崩壊モデルを導入した DDA を開発します。

### DDA と SPH による流体・固体の連成プログラムの開発に関する研究(目的、のため)

DDA と SPH を組み合わせた連成手法 DDA-SPH を開発します。DDA-SPH は、岩石構造と土壌の間の動的相互作用をシミュレートするために用いられます。DDA は岩石や柔軟な構造の解析に適しており、SPH は土壌などの流体の挙動を研究するのに適しています。連成スキームでは、DDA の大規模変形機能と SPH の連続体シミュレーションの利点を組み合わせ、新しいスプリングダンパー接触モデルとモール・クーロン破壊基準を通じて相互作用をシミュレートします。この数値手法には、土壌に適したドラッカー・ブラーガー弾塑性構成モデルが含まれています。

### 土石流シミュレーションに関する研究(目的、のため)

下記の土石流シミュレーション手法； SPH 法による土石流シミュレーション手法、 物理情報 (PINN) に基づく Deep Learning モデル、 流体力学および地形学に基づいたセルオートマトンモデルを使用した手法を開発し、それぞれの効果を検証します。

#### 4. 研究成果

##### 1) 資料収集と分析

2008 年の四川大地震に関連する資料 (地震波データ、斜面崩壊と土石流におけるデータ、地形・地質データ) を収集し、大規模斜面崩壊と土石流の詳細なデータを分析しました。

##### 2) 地震による斜面崩壊に関する研究成果

斜面崩壊メカニズムの解明: 地震のエネルギーを示すパルス地震動 (PLGM) を新たな外力指標として提案しました。従来の地表面最大加速度 (PGA) に加えて PLGM を用いることで、地震動の特性をより正確に捉えることが可能になりました。この新しい指標を用いた斜面安定解析手法が開発され、特に PGA が低い PLGM が高い地震動での斜面崩壊を正確に予測できるようになりました。また、この新しい分析手法を用いて、2016 年熊本地震や 2018 年北海道胆振東部地震の斜面崩壊現象を解析し、それぞれ異なる斜面が崩壊した理由を明らかにしました。

PLGM の特性の解明、判定方法と予測方法の確立: PLGM の速度パルスがランドスライドを引き起こす主要因であることが確認されました。この速度パルスは、地震による地盤運動のエネルギーの大部分を占めており、特に震源断層上破壊の前進で顕著です。これに基づいて PLGM の予測手法を確立しました。

##### 3) 降雨による斜面崩壊に関する研究成果

不飽和土のサクシオンを外力として DDA に取り入れた DDA\_c プログラムを開発しました。DDA\_c は、単純な滑動シナリオに対する限界平衡法と、複数ブロックの滑動モデルにおける走行距離の実験結果と良好な一致を示しました。

DDA\_c モデルは、特定の雨量誘発型ランドスライドのケースをシミュレートするために適用されました。特に、日本のケーススタディでは、モデルが土壌の飽和度と走行距離の関係を実験的に捉え、水分含有量がランドスライド行動に与える影響の重要性を確認しました。

毛管吸引と傾斜安定性に関する解析的洞察: 斜面安定性に効果量の影響を与える毛管吸引の重要な役割を確認しました。DDA\_c による斜面崩壊と土砂運動シミュレーションプロセス全体で毛管吸引とその見かけの粘着力への影響を動的に更新することが可能となり、土壌の水分含有量の変化がランドスライドダイナミクスにどのように影響するかの理解が深まりました。

##### 4) 数値シミュレーション手法に関する研究成果

地震のエネルギーを有するパルス地震動 (PLGM) と地表面最大加速度 (PGA) を組み合わせた新しい斜面崩壊判定基準を DDA に取り入れ、新しい地震による斜面安定解析手法を確立しました。

不飽和土のサクシオン特性を解析する改良 DDA 手法を確立し、サクシオン外力を取り込んだ改良 DDA プログラム DDA\_c を開発し、地震と降雨の複合影響を考慮できる斜面安定解析手法を確立しました。

DDA の並列計算プログラムを開発し、計算効率を大幅に向上しました。

接触ベクトル法の導入や厳密なアルゴリズムの採用などにより、DDA の接触検出の精度と有効性を向上させました。

土粒子 SPH のプログラムを開発し、SPH による土斜面安定解析手法を確立し、解析結果は極限平衡法より検証されました。

岩石構造と土壌の間の相互作用問題に対する新しい数値解析手法として、DDA と土粒子 SPH を組み合わせる方法が開発されました。この手法では、DDA を用いて岩石と構造物を離散的なブロックとしてモデル化し、SPH を用いて土壌の流動的な挙動をシミュレートします。

DDA と粒子法 (SPH) をカップリングし、岩盤と土粒子の連成プログラムを開発し、より現実的な斜面安定解析と土石流シミュレーションを実現しました。

##### 5) 崩壊斜面運動に関する成果

改良 DDA を用いて、崩壊土砂の運動特徴、到達距離、構造物への衝撃力を解析し、防災計画に必要な情報提供するアプローチを確立し、防災対策の効果を検証する方法を確立しました。

DDA-SPH を用いて、土石混合体斜坡 (SRM) の安定解析と破壊後の挙動に関する数値解析アプローチを確立し、岩石の割合による崩壊土砂の到達距離、構造物への衝撃力の予測手法を確立しました。

##### 6) 土石流運動シミュレーションに関する研究成果

GIS ベースに SPH 法による土石流シミュレーションアプローチを確立しました。

物理情報 (PINN) に基づく Deep Learning モデルによる土石流シミュレーションアプローチを確立しました。

流体力学および地形学に基づいたセルオートマトンモデルを使用した土石流シミュレーションアプローチを確立しました。

2008年四川大地震による土石流災害と2010年に日本で発生した与蓋川土石流現象をケーススタディとして使用し、現場データとの比較を行いました。その結果、流体力学および地形学に基づいたセルオートマトンモデルは複雑な動的プロセスをシミュレーションする上で優れた性能を発揮することが示されました。土石流の運動範囲と浸食挙動をより適切にシミュレートでき、災害の予測と評価におけるこの方法の可能性を示しました。さまざまなパラメーターに対するモデルの応答性と調整の重要性は、さまざまな感度分析を通じてさらに検証されました。

7) 次世代統合型土砂災害予測システムの構築：

以上の成果を統合し、実用化に向けた高度な基盤を構築しています。資料収集からシミュレーションまでを統合した新しい予測システムを開発し、斜面や流域のモデルの作成から、安定解析、崩壊土砂や土石流の運動特徴の予測、構造物への衝撃力影響評価などをより正確に、実現しました。これらの方法を通じて、地震による土砂災害の予測の精度を向上させ、現実の地質状況に即したシミュレーションの可能性を広げました。

上述の研究成果は下記の37編の論文としてインパクトファクターの高い国際誌に掲載された。

1. An extended 3D discontinuous deformation analysis method considering bolt supports and its application in tunnels, *Computers and Geotechnics*, 10.1016/j.compgeo.2024.106219, 2024
2. Implementation of Viscoelastic Artificial Boundary and Seismic Motion Input Method in Three-Dimensional Discontinuous Deformation Analysis Method, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 10.1007/s00603-024-03793-x, 2024
3. Frictional rheology-based 3D SPH numerical method for simulating landslide dynamics of granular flow type, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 10.1007/s10064-024-03579-z, 2024
4. A micro frost heave model for porous rock considering pore characteristics and water saturation, *Computers and Geotechnics*, 10.1016/j.compgeo.2023.106029, 2024
5. The influence of pulse-like ground motion caused by the directivity effect on landslide triggering, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 10.1007/s10064-023-03514-8, 2024
6. Extension of discontinuous deformation analysis method for coupled reactive transport problems, *Computers and Geotechnics*, 10.1016/j.compgeo.2023.105839, 2024
7. Dynamic modeling of block-in-matrix rock (bimrock) focusing on tensile behavior based on the modified 2D DDA-SPH method, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 10.1016/j.ijrmms.2023.105611, 2024
8. Verification of 3D DDA-SPH coupling method and its application in the analysis of geological disasters, *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 10.1016/j.engabound.2023.10.013, 2024
9. Numerical modeling of the failure process of the heterogeneous karst rock mass using the DDA-SPH method, *Underground Space*, 10.1016/j.undsp.2023.02.015, 2023
10. Application of DDA Coupling Simulations in the Evolution of Water Inrush Disaster, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 10.1007/s00603-023-03546-2, 2023
11. A new coupled depth-integrated model incorporating 3D DDA on debris flow with large boulders, *INTERNATIONAL JOURNAL OF ROCK MECHANICS AND MINING SCIENCES*, 10.1016/j.ijrmms.2023.105496, 2023
12. Physical information-fused deep learning model ensembled with a subregion-specific sampling method for predicting flood dynamics, *Journal of Hydrology*, 10.1016/j.jhydrol.2023.129465, 2023
13. Study on the effect of hydro-chemical dissolution on shear properties of rock fractures using the improved discontinuous deformation analysis, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 10.1002/nag.3523, 2023
14. Representation of brittle rock plasto-elastic behaviour based on tangible cracks in discontinuous deformation analysis, *Engineering Fracture Mechanics*, 10.1016/j.engfracmech.2023.109214, 2023
15. Improved discontinuous deformation analysis method for modeling tensile cracking in quasi-brittle materials, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 10.1016/j.tafmec.2022.103748, 2023
16. Coupled hydro-mechanical analysis for water inrush of fractured rock masses using the discontinuous deformation analysis, *Computers and Geotechnics*, 10.1016/j.compgeo.2023.105247, 2023
17. An improved 3D DDA method considering the unloading effect of tunnel excavation and its application, *Computers and Geotechnics*, 10.1016/j.compgeo.2022.105178, 2023
18. Robustness evaluation of the probability-based HTCA model for simulating debris-flow run-out extent: Case study of the 2010 Hongchun event, China, *Engineering Geology*, 10.1016/j.enggeo.2022.106918, 2023
19. Numerical simulation of full desiccation process of clayey soils using an extended DDA model with soil suction consideration, *Computers and Geotechnics*, 10.1016/j.compgeo.2022.105107, 2023
20. Dynamic modelling of soil-rock-mixture slopes using the coupled DDA-SPH method, *Engineering Geology*, 10.1016/j.enggeo.2022.106772, 2022
21. Slope stability and post-failure analysis of soil-rock-mixture using the modified 2D DDA-SPH

- method, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 10.1016/j.ijrmms.2022.105170,2022
22. Extended DDA with rotation remedies and cohesive crack model for simulation of the dynamic seismic landslide, *Engineering Fracture Mechanics*, 10.1016/j.engfracmech.2022.108395,2022
  23. Proposal of a chemical weathering model for mechanical analysis of cemented sandstone using DDA, *Computers and Geotechnics*, 10.1016/j.compgeo.2022.104661,2022
  24. Spatiotemporal assessment of landslide susceptibility in Southern Sichuan, China using SA-DBN, PSO-DBN and SSA-DBN models compared with DBN model, *Advances in Space Research*, 10.1016/j.asr.2022.01.043,2022
  25. Generation of homogeneous slope units using a novel object-oriented multi-resolution segmentation method, *Water (Switzerland)*,10.3390/w13233422,2021
  26. Spatiotemporal landslide susceptibility mapping incorporating the effects of heavy rainfall: A case study of the heavy rainfall in august 2021 in kitakyushu, fukuoka, Japan, *Water (Switzerland)*, 10.3390/w13223312,2021
  27. A bound water model for numerical simulation of SWCC in the wide suction range based on DDA, *Computers and Geotechnics*, 10.1016/j.compgeo.2021.104378, 2021
  28. Micro-scale analysis on shear characteristics of unsaturated soil by considering capillary suction and adsorption suction based on DDA, *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 10.1016/j.enganabound.2021.08.008, 2021
  29. Gis-based three-dimensional sph simulation for the 11 april 2018 yabakei landslide at oita nakatsu, japan, *Water (Switzerland)*, 10.3390/w13213012,2021
  30. Development of coupled DDA-SPH method for dynamic modelling of interaction problems between rock structure and soil, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 10.1016/j.ijrmms.2021.104890, 2021
  31. Analysis of Rainfall-induced Landslide Using the Extended DDA by Incorporating Matric Suction, *Computers and Geotechnics*, 10.1016/j.compgeo.2021.104145, 2021
  32. Improvement of vertex-to-vertex contact processing in two-dimensional DDA, *Computers and Geotechnics*, 10.1016/j.compgeo.2021.104200, 2021
  33. Verification and application of 2-D DDA-SPH method in solving fluid–structure interaction problems, *Journal of Fluids and Structures*, 10.1016/j.jfluidstructs.2021.103252, 2021
  34. Hydrodynamic and topography based cellular automaton model for simulating debris flow run-out extent and entrainment behavior, *WATER RESEARCH*, 10.1016/j.watres.2021.116872,2021
  35. Implementation of a J-integral based Maximum Circumferential Tensile Stress theory in DDA for simulating crack propagation, *ENGINEERING FRACTURE MECHANICS*, 10.1016/j.engfracmech.2021.107621,2021
  36. Improvement of DDA with a New Unified Tensile Fracture Model for Rock Fragmentation and its Application on Dynamic Seismic Landslides, *ROCK MECHANICS AND ROCK ENGINEERING*,10.1007/s00603-020-02307-9, 2021
  37. A possible mechanism of earthquake-induced landslides focusing on pulse-like ground motions, *LANDSLIDES*,10.1007/s10346-020-01597-y, 2021

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計29件（うち査読付論文 29件／うち国際共著 29件／うちオープンアクセス 29件）

1. 著者名 Fan Hongyun, Li Liping, Chen Guangqi, Liu Hongliang, Ji Xiaoyu, Jiang Xinbo, Zhou Shen	4. 巻 154
2. 論文標題 An improved 3D DDA method considering the unloading effect of tunnel excavation and its application	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Computers and Geotechnics	6. 最初と最後の頁 105178 ~ 105178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compgeo.2022.105178	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Ma Yangfan, Han Zheng, Li Yange, Chen Guangqi, Wang Weidong, Chen Ningsheng, Hu Guisheng, Zhao Lianheng, Dou Jie	4. 巻 312
2. 論文標題 Robustness evaluation of the probability-based HTCA model for simulating debris-flow run-out extent: Case study of the 2010 Hongchun event, China	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Engineering Geology	6. 最初と最後の頁 106918 ~ 106918
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.enggeo.2022.106918	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Guo Longxiao, Chen Guangqi, Ding Luqiang, Zheng Lu, Gao Jingyao	4. 巻 153
2. 論文標題 Numerical simulation of full desiccation process of clayey soils using an extended DDA model with soil suction consideration	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Computers and Geotechnics	6. 最初と最後の頁 105107 ~ 105107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compgeo.2022.105107	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Peng Xinyan, Liu Jianfeng, Cheng Xiao, Yu Pengcheng, Zhang Yingbin, Chen Guangqi	4. 巻 307
2. 論文標題 Dynamic modelling of soil-rock-mixture slopes using the coupled DDA-SPH method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Engineering Geology	6. 最初と最後の頁 106772 ~ 106772
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.enggeo.2022.106772	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Peng Xinyan, Yu Pengcheng, Cheng Xiao, Chen Guangqi, Zhang Yingbin, Zhang Hong, Li Changze	4. 巻 127
2. 論文標題 Dynamic simulation of the water inrush process in tunnel construction using a three-dimensional coupled discontinuous deformation analysis and smoothed particle hydrodynamics method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tunnelling and Underground Space Technology	6. 最初と最後の頁 104612 ~ 104612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tust.2022.104612	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Li Changze, Chen Guangqi, Guo Longxiao, Gao Jingyao, Peng Xinyan, Yu Pengcheng	4. 巻 157
2. 論文標題 Slope stability and post-failure analysis of soil-rock-mixture using the modified 2D DDA-SPH method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences	6. 最初と最後の頁 105170 ~ 105170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijrmps.2022.105170	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Gong Shilin, Hu Chengbao, Guo Longxiao, Ling Daosheng, Chen Guangqi, Zhang Xiuli	4. 巻 266
2. 論文標題 Extended DDA with rotation remedies and cohesive crack model for simulation of the dynamic seismic landslide	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Engineering Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 108395 ~ 108395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engfracmech.2022.108395	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Gao Jingyao, Chen Guangqi, Mitani Yasuhiro, Li Changze, Guo Longxiao	4. 巻 145
2. 論文標題 Proposal of a chemical weathering model for mechanical analysis of cemented sandstone using DDA	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computers and Geotechnics	6. 最初と最後の頁 104661 ~ 104661
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compgeo.2022.104661	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Li Jiaying, Wang Weidong, Chen Guangqi, Han Zheng	4. 巻 69
2. 論文標題 Spatiotemporal assessment of landslide susceptibility in Southern Sichuan, China using SA-DBN, PSO-DBN and SSA-DBN models compared with DBN model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advances in Space Research	6. 最初と最後の頁 3071 ~ 3087
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.asr.2022.01.043	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Xia Mingyao, Chen Guangqi, Guo Longxiao	4. 巻 135
2. 論文標題 Improvement of vertex-to-vertex contact processing in two-dimensional DDA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computers and Geotechnics	6. 最初と最後の頁 104200 ~ 104200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compgeo.2021.104200	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Guo Longxiao, Chen Guangqi, Gong Shilin, Sun Hao, Chantat Krisadawat	4. 巻 135
2. 論文標題 Analysis of Rainfall-induced Landslide Using the Extended DDA by Incorporating Matric Suction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computers and Geotechnics	6. 最初と最後の頁 104145 ~ 104145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compgeo.2021.104145	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Guo Longxiao, Chen Guangqi, Gao Jingyao, Li Changze	4. 巻 132
2. 論文標題 Micro-scale analysis on shear characteristics of unsaturated soil by considering capillary suction and adsorption suction based on DDA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Engineering Analysis with Boundary Elements	6. 最初と最後の頁 321 ~ 334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.enganabound.2021.08.008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する



1. 著者名 Guo Longxiao, Chen Guangqi, Li Changze, Xia Mingyao, Gong Shilin, Zheng Lu	4. 巻 139
2. 論文標題 A bound water model for numerical simulation of SWCC in the wide suction range based on DDA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computers and Geotechnics	6. 最初と最後の頁 104378 ~ 104378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compgeo.2021.104378	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Peng Xinyan, Chen Guangqi, Fu Haiying, Yu Pengcheng, Zhang Yingbin, Tang Zhicheng, Zheng Lu, Wang Wei	4. 巻 146
2. 論文標題 Development of coupled DDA-SPH method for dynamic modelling of interaction problems between rock structure and soil	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences	6. 最初と最後の頁 104890 ~ 104890
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijrmmms.2021.104890	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yu Pengcheng, Chen Guangqi, Peng Xinyan, Zhang Yingbin, Zhang Hong, Wang Wei	4. 巻 102
2. 論文標題 Verification and application of 2-D DDA-SPH method in solving fluid?structure interaction problems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Fluids and Structures	6. 最初と最後の頁 103252 ~ 103252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jfluidstructs.2021.103252	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Chen Guangqi, Xia Mingyao, Thuy Dao Thanh, Zhang Yingbin	4. 巻 18
2. 論文標題 A possible mechanism of earthquake-induced landslides focusing on pulse-like ground motions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Landslides	6. 最初と最後の頁 1641~1657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10346-020-01597-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Xia Mingyao, Chen Guangqi, Yu Pengcheng, Peng Xinyan, Zou Jinfeng	4. 巻 54
2. 論文標題 Improvement of DDA with a New Unified Tensile Fracture Model for Rock Fragmentation and its Application on Dynamic Seismic Landslides	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Rock Mechanics and Rock Engineering	6. 最初と最後の頁 1055 ~ 1075
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00603-020-02307-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Han Zheng, Ma Yangfan, Li Yange, Zhang Hong, Chen Ningsheng, Hu Guisheng, Chen Guangqi	4. 巻 193
2. 論文標題 Hydrodynamic and topography based cellular automaton model for simulating debris flow run-out extent and entrainment behavior	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Water Research	6. 最初と最後の頁 116872 ~ 116872
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.watres.2021.116872	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Cungen, Wang Shuhong, Chen Guangqi, Yu Pengcheng, Peng Xinyan	4. 巻 246
2. 論文標題 Implementation of a J-integral based Maximum Circumferential Tensile Stress theory in DDA for simulating crack propagation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Engineering Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 107621 ~ 107621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engfracmech.2021.107621	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wu Yanqiang, Chen Guangqi, Jiang Zaisen, Zhang Hong, Zheng Lu, Pang Yajin, Guo Nannan, Zhang Long	4. 巻 20
2. 論文標題 Three-Dimensional Numerical Manifold Method Based on Viscoelastic Constitutive Relation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Geomechanics	6. 最初と最後の頁 20161 ~ 20161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001798	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Gong Shilin, Ling Daosheng, Chen Guangqi, Niu Jiajun, Hu Chengbao	4. 巻 20
2. 論文標題 Remedies for Distortion and False Volume Expansion Problems with Large Rotation in Discontinuous Deformation Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Geomechanics	6. 最初と最後の頁 20216 ~ 20216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001860	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nian Ting-kai, Zhang Yan-jun, Wu Hao, Chen Guang-qi, Zheng Lu	4. 巻 57
2. 論文標題 Runout simulation of seismic landslides using discontinuous deformation analysis (DDA) with state-dependent shear strength model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Canadian Geotechnical Journal	6. 最初と最後の頁 1183 ~ 1196
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1139/cgj-2019-0312	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yu Pengcheng, Peng Xinyan, Chen Guangqi, Guo Longxiao, Zhang Yingbin	4. 巻 20
2. 論文標題 OpenMP-Based Parallel Two-Dimensional Discontinuous Deformation Analysis for Large-Scale Simulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Geomechanics	6. 最初と最後の頁 20083 ~ 20083
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001705	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yu Pengcheng, Chen Guangqi, Peng Xinyan, Zhang Yingbin, Zhang Hong	4. 巻 121
2. 論文標題 Exploring inelastic collisions using modified three-dimensional discontinuous deformation analysis incorporating a damped contact model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computers and Geotechnics	6. 最初と最後の頁 103456 ~ 103456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compgeo.2020.103456	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yu Pengcheng, Chen Guangqi, Peng Xinyan, Zhang Yingbin, Zhang Hong	4. 巻 121
2. 論文標題 Exploring inelastic collisions using modified three-dimensional discontinuous deformation analysis incorporating a damped contact model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computers and Geotechnics	6. 最初と最後の頁 103456 ~ 103456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compgeo.2020.103456	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Peng Xinyan, Chen Guangqi, Yu Pengcheng, Zhang Yingbin, Zhang Hong, Guo Longxiao	4. 巻 118
2. 論文標題 A full-stage parallel architecture of three-dimensional discontinuous deformation analysis using OpenMP	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computers and Geotechnics	6. 最初と最後の頁 103346 ~ 103346
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compgeo.2019.103346	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wu Hao, Nian Ting-kai, Chen Guangqi, Zhao Wei, Li Dong-yang	4. 巻 265
2. 論文標題 Laboratory-scale investigation of the 3-D geometry of landslide dams in a U-shaped valley	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Engineering Geology	6. 最初と最後の頁 105428 ~ 105428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.enggeo.2019.105428	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Peng Xinyan, Yu Pengcheng, Chen Guangqi, Xia Mingyao, Zhang Yingbin	4. 巻 77
2. 論文標題 CPU-accelerated explicit discontinuous deformation analysis and its application to landslide analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Mathematical Modelling	6. 最初と最後の頁 216 ~ 234
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apm.2019.07.028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yu Pengcheng, Chen Guangqi, Peng Xinyan, Guo Longxiao, Zhang Yingbin	4. 巻 123
2. 論文標題 Extension and application of Discontinuous Deformation Analysis with a damped contact spring model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences	6. 最初と最後の頁 104123 ~ 104123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijrmmms.2019.104123	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Guangqi CHEN
2. 発表標題 Development of numerical simulation techniques for multiphase materials and practical applications in geo-disaster prevention
3. 学会等名 International Frontier Forum on Geotechnical Engineering & Disaster Prevention Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Guangqi CHEN
2. 発表標題 Development of numerical methods for analyzing landslide initiated chain disasters
3. 学会等名 The 11th Asian Rock Mechanics Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Guangqi Chen
2. 発表標題 A New Failure Criterion of DDA for Slope Stability Analysis Considering Seismic Energy
3. 学会等名 The 11th Asian Rock Mechanics Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Guangqi CHEN
2. 発表標題 Improvements on DDA by Incorporating Seismic Energy Failure Criterion
3. 学会等名 the 15th International Conference on Analysis of Discontinuous Deformation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Guangqi CHEN
2. 発表標題 DDA coupled numerical methods and applications
3. 学会等名 CHINA ROCK 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mingyao Xia, Guangqi Chen
2. 発表標題 Simulation of Crack Initiation and Propagation Using the Improved DDA
3. 学会等名 1st International Symposium on Construction Resources for Environmentally Sustainable Technologies. (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Longxiao GUO, Guangqi CHEN
2. 発表標題 Microscopic Analysis of the Influence of Pore Size Distribution on SWCC Using Extended DDA. Advances in Sustainable Construction and Resource Management
3. 学会等名 1st International Symposium on Construction Resources for Environmentally Sustainable Technologies (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Yanqiang WU, Guangqi CHEN 他2名	4. 発行年 2021年
2. 出版社 地震出版社(中国)	5. 総ページ数 91
3. 書名 三次元マニフォールド法の理論とモデリング(中国語)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>陳光齊 論文 (Researchmap)  <a href="https://researchmap.jp/Guangqi-CHEN/published_papers">https://researchmap.jp/Guangqi-CHEN/published_papers</a></p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	東畑 郁生 (Towhata Ikuo) (20155500)	関東学院大学・理工学部・客員教授  (32704)	
研究分担者	王 功輝 (Wang Gonghui) (50372553)	京都大学・防災研究所・准教授  (14301)	
研究分担者	L u M i n (Lu Min) (60750007)	九州大学・基幹教育院・助教  (17102)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	谷口 説男 (Taniguchi Setsuo)  (70155208)	九州大学・基幹教育院・教授  (17102)	
研究分担者	若井 明彦 (Wakai Akihiko)  (90292622)	群馬大学・大学院理工学府・教授  (12301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 International Frontier Forum on Geotechnical Engineering and Disaster Prevention & Mitigation	開催年 2022年～2023年
--	--------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------