

令和元年5月24日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06487

研究課題名(和文) 三次元不連続面破壊の複雑性の動力学研究

研究課題名(英文) Dynamic Study on the Complexity of Three-Dimensional Fracture of Planes of Weakness

研究代表者

上西 幸司 (UENISHI, Koji)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：60311776

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：未だ力学的不明点が多く存在する地震などの災害に関し、地質学的不連続面における破壊、なかんずく、三次元的に広がる不連続面の破壊の複雑性に関わる諸々の現象について動力学的手法を用いて実験や理論、数値解析を実施し、さらに、それらの考察に基づき、破壊の複雑性が周囲の環境、構造物群に与える影響を評価した。今まで認識されてこなかったが単純明快な三次元脆性固体破壊パターンや粒状体における二種の異なるエネルギー伝達機構などを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

史上初めて震度1以上の揺れを47都道府県全てで観測した平成27年5月の小笠原諸島西方沖深発地震、震度7の揺れが二度も続いて観測された平成28年4月熊本地震、大規模な斜面崩壊や道内全域停電が発生した平成30年9月北海道胆振東部地震など、まだ完全には理解されていない地震の発生機構、特に震源の物理を探ることは学術的に重要であるばかりではなく、防災、減災面上、社会的にも非常に大きなインパクトをもつものと思われる。

研究成果の概要(英文)：Fracture on geological planes of weakness related to disasters like earthquakes whose mechanics is still unknown in many aspects has been considered. In particular, complex phenomena associated with three-dimensional fracture of planes of weakness have been dynamically studied using experimental, analytical as well as numerical methods. Based on the theoretical and experimental considerations, the influence of fracture complexities on the surroundings, natural and artificial structures has been evaluated. As a result, previously unrecognized facts such as generation of simple three-dimensional fracture patterns in brittle solids and two different ways of energy transmission in multi-dimensional granular media have been revealed.

研究分野：破壊動力学

キーワード：地震 地盤工学 防災 破壊力学 動力学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

平成27年5月の小笠原諸島西方沖深発地震時には、史上初めて気象庁震度階級震度1以上の揺れを47都道府県全てで観測した。この異常震域発生や震度7を二度も観測した平成28年4月の熊本地震、さらに平成23年3月東北地方太平洋沖地震被害などで再認識されたように、地震破壊(の影響)の複雑性については未だ力学的に不明な点が多い。

2. 研究の目的

このように未だ力学的に不明な点が多数存在する地震などの災害は、断層面や節理面等のいわゆる地質学的不連続面における複雑な破壊により引き起こされることが往々にしてあると考えられているが、本研究課題では、研究代表者のこれまでの不連続面破壊の発生機構の解明及び影響の定量的評価法の確立に向けた研究をさらに発展させ、三次元的に広がる不連続面の破壊の複雑性に関わる諸々の現象を動力学的手法を用いて実験や理論、数値解析で再現し、さらに破壊の複雑性が周囲の環境、構造物群に与える影響の評価を行うことを目的としている。

3. 研究の方法

研究開始年の平成28年度は、三次元的解析に必要となる条件を満たす実験・計算機システムを構築するため、非接触計測器等を活用して既存の破壊実験システムの改良を行い、より精密な高速度かつ高解像度の計測が可能となるように努めた。研究第二年度の平成29年度は、前年度までに構築した破壊実験・計算機システムを利用し、三次元脆性固体における衝撃的破壊、弾性体における不連続な亀裂群の動力学的作用や粒状体における破壊や波動の伝播などの破壊の時空間的複雑性に関するより高精度な実験観察や解析を推し進めた。研究最終年度である平成30年度は、本研究課題で構築した破壊実験・計算機システムを引き続き使用し、脆性固体における衝撃的な三次元破壊進展や粒状体模擬斜面、亀裂群が不連続に存在する弾性体における波動や動的破壊の干渉など、不連続面破壊の時空間的複雑性について、より厳密な実験計測や理論考察を進めた。

4. 研究成果

三次元形状の固体不連続面の複雑かつ多様な破壊の実験観察、多次元連続体や粒状体の破壊に関する動力学考察の結果、例えば、今まで認識されてこなかったが単純明快な三次元脆性固体破壊パターンや粒状体における二種の異なるエネルギー伝達機構などが明らかとなっている(次ページの図参照)。

代表例を上に掲げた研究成果は、Seismological Society of Japan Fall Meeting(愛知・名古屋・平成28年、鹿児島・鹿児島・平成29年、福島・郡山・平成30年)、American Geophysical Union Fall Meeting(米国・サンフランシスコ・平成28年、ワシントンDC・平成30年)、Fourteenth International Conference on Fracture(ギリシャ・ロドス・平成29年)、Joint Scientific Assembly of the International Association of Geodesy and the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior(兵庫・神戸・平成29年)、22nd European Conference on Fracture(セルビア・ベオグラード・平成30年)などの影響力の大きな国際会議などにおいて発表されているほか、Elsevier社の発行するインパクトファクターの比較的大きな学術誌「Journal of the Mechanics and Physics of Solids」や伝統ある雑誌「Annual Review of Earth and Planetary Sciences」などにおいて論文が公表されている。本研究成果を基として、三次元不連続面破壊の動力学に関する研究をさらに推し進めていく必要があると思われる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計14件)

[1] Uenishi, K., and T. Goji (2019). Dynamic Failure of Granular Slopes: Due to Unidirectional Stress Transfer or Multi-Dimensional Wave Propagation? *Structural Integrity*, 2 pages. (査読有、登載決定)

[2] Uenishi, K., Y. Fukuda, and N. Kame (2019). Individual Mechanical Interaction of Multiple Cracks and Its Relation with the Collective Behavior: Experimental Observations under Quasi-Static Loading Conditions. *Proceedings of the Third International Conference on Structural Integrity and Durability*, 2 pages. (査読有、登載決定)

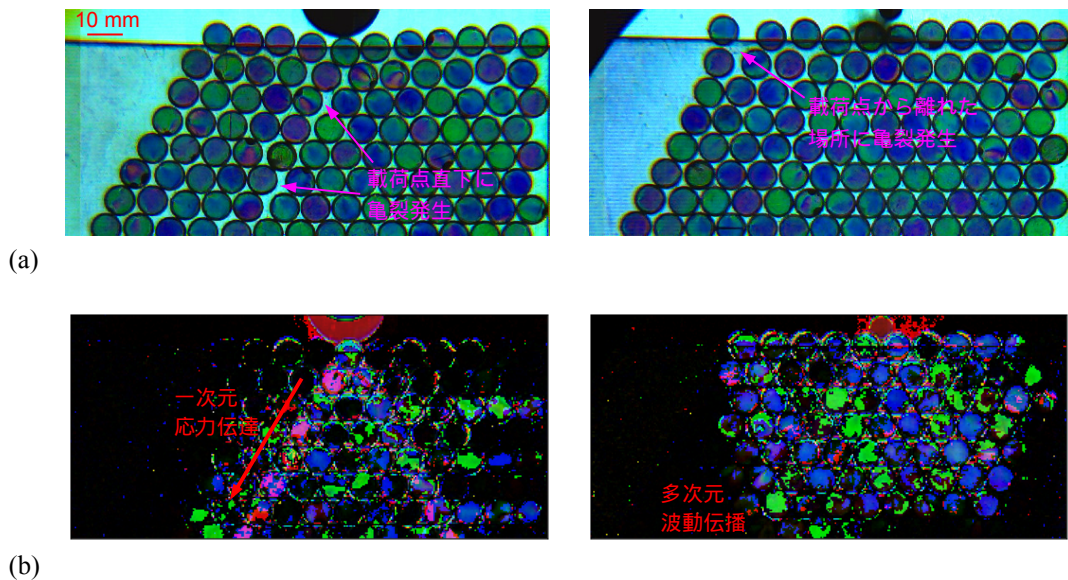


図 衝撃荷重を受ける二次元粒状体斜面モデルにおける個々の粒子の動的なふるまい。(a) 高速度デジタルビデオカメラおよびポリカーボネート粒子を用いた動的弾性実験の結果（各粒子内に生じる面内最大せん断応力の分布および粒子の動き）の例が示されている。衝撃荷重の与え方の違いにより、載荷点直下（左）あるいは載荷点から離れた斜面肩付近（右）に引張亀裂が生じる。(b) 実験画像の解析により、破壊は粒状体における二種の異なるエネルギー伝達機構、すなわち、載荷点直下の亀裂は準静的な場合に類似した一次元応力伝達（左）、斜面肩付近の引張亀裂は多次元波動伝播（右）により発生することがわかった。

[3] Uenishi, K., and T. Goji (2019). Failure Patterns of Granular Slopes Subjected to Dynamic Impact: Experimental Observations. *Proceedings of the 2019 Rock Dynamics Summit in Okinawa*, pp.466-471. (査読有)

[4] Uenishi, K. (2018). Application of Rock Mechanics to Geophysical Problems of Earthquakes. *Rock Mechanics in Infrastructure and Resource Development*, Keynote 5, 6 pages. (査読有)

[5] Uenishi, K., and T. Goji (2018). Dynamic Fracture and Wave Propagation in a Granular Medium: A Photoelastic Study. *Procedia Structural Integrity*, **13**, pp.769-774, DOI: 10.1016/j.prostr.2018.12.127. (査読有)

[6] Uenishi, K., T. Yoshida, I.R. Ionescu, and K. Suzuki (2018). Dynamic Fragmentation of Ice Spheres: Two Specific Fracture Patterns. *Procedia Structural Integrity*, **13**, pp.670-675, DOI: 10.1016/j.prostr.2018.12.111. (査読有)

[7] Uenishi, K., Y. Fukuda, T. Yoshida, S. Sakaguchi, and I.R. Ionescu (2018). Collective Mechanical Behavior and Stability of a Group of Cracks in Brittle Solids. *Structural Integrity*, **5**, pp.244-245, DOI: 10.1007/978-3-319-91989-8_55. (査読有)

[8] Uenishi, K., T. Hasegawa, T. Yoshida, S. Sakaguchi, and K. Suzuki (2018). Dynamic Fracture and Fragmentation of Ice Materials. *Structural Integrity*, **5**, pp.242-243, DOI: 10.1007/978-3-319-91989-8_54. (査読有)

[9] Uenishi, K. (2018). Three-Dimensional Fracture Instability of a Displacement-Weakening Planar Interface under Locally Peaked Nonuniform Loading. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, **115**, pp.195-207, DOI: 10.1016/j.jmps.2018.03.012. (査読有)

[10] Uenishi, K. (2018). Physics of Earthquake Disaster: From Crustal Rupture to Building Collapse. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **46**, pp.387-408, DOI: 10.1146/annurev-earth-082517-010217. (査読有)

[11] Uenishi, K. (2017). On Three-Dimensional Wave and Crack Propagation in Brittle Solids. *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Fracture*, Submission ID: 576, 2 pages. (査読有)

[12] Uenishi, K., T. Yoshida, S. Sakaguchi, and K. Suzuki (2017). Dynamic Fracture Patterns Formed in Transparent Ice Spheres by Impact Loading. *Proceedings of the M&M 2017 Materials and Mechanics Conference*, pp.1828-1829. (査読有)

[13] Uenishi, K. (2017). Rupture, Waves and Earthquakes. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, **93**, pp.28-49, DOI: 10.2183/pjab.93.003. (査読有)

[14] Shigeno, N., K. Uenishi, S. Sakaguchi, R. Yano, and K. Suzuki (2016). On the High-Speed Fracture of Ice Spheres Subjected to Impact Loading. *Proceedings of the M&M 2016 Materials and Mechanics Conference*, pp.879-881. (査読有)

[学会発表] (計 13 件)

[1] Uenishi, K. (2019). On the Mechanical Relation between Individual Interaction and Collective Behavior of Multiple Fault Sets Subjected to Quasi-Static Loading. *Japan Geoscience Union Meeting 2019* (幕張メッセ、千葉県千葉市) .

[2] Uenishi, K. (2018). Earthquake-Induced Dynamic Rupture in a Slope: Due to Mass Flow or Wave Propagation? *2018 Fall Meeting, American Geophysical Union* (Washington, D. C., The United States of America).

[3] 上西幸司 (2018). 固体材料の衝撃的破壊現象としての地震. 国立大学法人東京大学大学院新領域創成科学研究科学融合セミナー (国立大学法人東京大学大学院新領域創成科学研究科基盤棟、千葉県柏市) (招待講演) .

[4] Uenishi, K. (2018). Wave Propagation and Dynamic Rupture in a Granular Slope. *2018 Seismological Society of Japan Fall Meeting* (ビッグパレットふくしま、福島県郡山市) .

[5] Uenishi, K. (2018). Multiple Cracks in Brittle Solids: Individual Mechanical Interaction versus Collective Behavior. *2018 Seismological Society of Japan Fall Meeting* (ビッグパレットふくしま、福島県郡山市) .

[6] Uenishi, K. (2018). Wave and Rupture Propagation in a Brittle Solid Sphere. *Japan Geoscience Union Meeting 2018* (幕張メッセ、千葉県千葉市) .

[7] Uenishi, K. (2017). On the Collective Behavior of a Group of Cracks in Brittle Solids and Its Implications in Earthquake Source Physics. *2017 Seismological Society of Japan Fall Meeting* (かごしま県民交流センター、鹿児島県鹿児島市) .

[8] Uenishi, K. (2017). Photoelastic Study of Dynamic Stress Transfers in Granular Media. *Joint Scientific Assembly of the International Association of Geodesy and the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior* (神戸国際会議場、兵庫県神戸市) .

[9] Uenishi, K. (2017). How Do Cracks Propagate in Three-Dimensional Brittle Solids? *Fourth Japanese-German Workshop on Computational Mechanics* (東北大学、宮城県仙台市) (招待講演) .

[10] Uenishi, K. (2017). On Dynamic Fracture Development in Three-Dimensional Brittle Solids. *Galilee Institute, University Paris 13 (Villetaneuse, France)* (招待講演) .

[11] Uenishi, K. (2017). Fracture Dynamics of Dip-Slip Earthquakes. *Department of Urban Management, Kyoto University* (京都大学、京都府京都市) (招待講演) .

[12] Uenishi, K. (2016). One- / Two-Dimensional versus Three-Dimensional Rupture Propagation in Brittle Solids. *2016 Fall Meeting, American Geophysical Union* (San Francisco, The United States of

America).

[13] Uenishi, K. (2016). On Generation and Propagation of Three-Dimensional Rupture in Brittle Solids. *2016 Seismological Society of Japan Fall Meeting* (名古屋国際会議場、愛知県名古屋市).

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：---

ローマ字氏名：---

(2)研究協力者

研究協力者氏名：---

ローマ字氏名：---

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。