

令和 5 年 5 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04680

研究課題名（和文）三次元不連続面の動力学の時空間的複雑性と破壊形態の多様性

研究課題名（英文）Spatiotemporal Complexity of Three-Dimensional Dynamics of Planes of Weakness and Diversity of Fracture Patterns

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） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：三次元不連続面の動的挙動の複雑性および破壊の多様性について解析、室内破壊実験を通して考察し、不連続面破壊に関わる物理現象、特に、準静的破壊が動的状態へと遷移する現象の多様性の評価に努めた。脆性固体材料中にあらかじめ分布させた亀裂群の集団的振る舞いと個別の亀裂の力学的干渉の関係、そして脆性固体材料中の亀裂群の一見複雑無秩序な破壊挙動が、生成される波動を考えれば順序立って理解できることなどを明らかにしている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

平成30年9月の北海道胆振東部地震では道内全域停電のほか、大規模な土砂崩れが多数発生するなど、地震の発生の複雑性と関連する破壊現象の多様性について力学的により深く考察する必要があることがあらためて示された。本研究で実施した理論・数値解析や室内実験を通し、多次元に広がる不連続面の動力学の複雑性ならびに破壊の多様性に関わる諸現象の学術的背景の一端が明らかとなったが、この研究成果は社会の防災・減災対策を考える上でも有用なものであると思われる。

研究成果の概要（英文）：The complexity of the dynamic behavior of three-dimensional planes of weakness and the fracture diversity are considered through analyses and laboratory fracture experiments to try to evaluate the physical phenomena involved in fracture of planes of weakness, in particular, the diversity of phenomena of transition of quasi-static fracture to dynamic one. The relation between the collective behavior of pre-distributed groups of cracks and the mechanical interaction of individual cracks in brittle solid materials has been clarified. Also, it has been shown that the seemingly complex and disordered fracture behavior of groups of cracks in brittle solid materials can be understood in an orderly manner by considering the generated wave motion.

研究分野：破壊動力学

キーワード：地震 地盤工学 動力学 破壊力学 防災

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

平成30年9月の北海道胆振東部地震では道内全域停電のほか、大規模な土砂崩れが多数発生するなど、地震の発生の複雑性と関連する破壊現象の多様性について力学的により深く考察する必要があることがあらためて示された。これらの災害の多くは、断層面や節理面等のいわゆる地質学的不連続面の運動により引き起こされると考えられているが、その動力学の複雑性ならびに破壊の多様性については未解明点が多数残されている。

2. 研究の目的

本研究課題では、これまでの研究代表者の研究内容をさらに深化させ、多角的に広がる不連続面の力学挙動の複雑性ならびに破壊の発生と進展の多様性を理論・数値解析、実験で再現することにより、不連続面破壊に伴う付近の構造物群の被災リスクを評価し、減災対策技術を提案することを目的としている。

3. 研究の方法

研究開始年度の令和2年度は、より精密な振動の計測が可能となるように既設の破壊実験システムの改良を図り、より高精度で変形や破壊も観察できるように順次作業を推進した。同時に、地盤類似材料である粒状体の力学的不安定化や動的変形の観察を行った。研究中間年度の令和3年度は、構築した数値解析システムと室内破壊実験装置を併用し、粒状体を用いた地震や斜面の突発的な動的大変形、崩壊に関する観察、そして断層面を模するために脆性固体材料中にあらかじめ多角的に分布させた亀裂群の集団的振る舞いと個別の亀裂の力学的干渉の関係についての考察を進めた。研究最終年度の令和4年度は、前年度に続き、本課題で構築した室内破壊実験装置と数値解析システムを駆使し、衝撃荷重を受ける層構造粒状体の動力学や崩壊に関する観察を行ったほか、脆性固体材料中にあらかじめ分布させた亀裂群の力学挙動についての考察をさらに推し進めた。

4. 研究成果

多角的に広がる不連続面の動的挙動の複雑性および破壊の多様性についての解析、室内破壊実験を通し、不連続面破壊に関わる物理現象、特に、準静的破壊が動的状態へと遷移する現象の多様性の評価に努めた結果、これまで解析的取り扱いが困難であった縦ずれ断層の破壊の動力学、そして脆性固体材料中にあらかじめ分布させた亀裂群の一見複雑無秩序な破壊挙動（図参照）が、生成される波動を考えれば順序立って理解できること、などが目に見える形で明らかになっている。

上で代表例を述べた研究成果については、新型コロナウイルス感染症の影響を受け、オンラインで学会場とつなぐ形が多くはなかったものの、Seismological Society of Japan Fall Meeting（オンライン・令和2、3年、北海道・札幌市・令和4年）、American Geophysical Union Fall Meeting（オンライン・令和2、3、4年）等の影響力の強い国際会議などにおいて発表している。このほか、Elsevier社等の有力な出版社が発行する国際学術誌などにおいて英文論文7編の形で公表している。

本研究課題で行った理論・数値解析や室内実験を通して、多角に広がる不連続面の動力学の複雑性ならびに破壊の多様性に関わる諸現象の学術的背景の一端が明らかとなった。ここで簡潔に紹介した本研究課題の成果は社会の防災・減災対策を考える上でも有用なものになると考えられる。

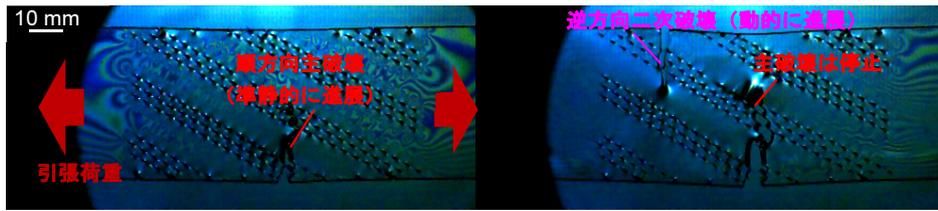


図 傾斜した微小亀裂群の層が徐々に増加する引張荷重を受ける場合、まず上面（地表面）に向かって上向き（順方向）の主破壊が準静的に進展する（左図）。しかし、主破壊は上面に達する前に停止し、代わって上面上、しかも主破壊から離れた場所から下向き（逆方向）に二次破壊が動的に進展しうることがわかった（右図）。左右の写真の時間差は 240 マイクロ秒である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Uenishi, K., Y. Fukuda, and K. Nagasawa	4. 巻 28
2. 論文標題 Dynamic Fracture Development in a Multiply Cracked Solid	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Procedia Structural Integrity	6. 最初と最後の頁 2072-2077
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.prostr.2020.11.031	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 -
1. 著者名 Uenishi, K., and K. Nagasawa	4. 巻 -
2. 論文標題 On the Development and Dynamic Characteristics of Multiple Fracture Regions in a Brittle Solid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 15th Japan Symposium on Rock Mechanics	6. 最初と最後の頁 495-498
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Uenishi, K.	4. 巻 861
2. 論文標題 Dynamics of Dip-Slip Fault Rupture	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	6. 最初と最後の頁 042085, 8 pages
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1755-1315/861/4/042085	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Uenishi, K., and K. Nagasawa	4. 巻 37
2. 論文標題 Global and Local Fracture Behavior in a Brittle Solid with a Set of Pre-Existing Small-Scale Cracks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Procedia Structural Integrity	6. 最初と最後の頁 397-403
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.prostr.2022.01.101	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 -

1. 著者名 Uenishi, K., and D. Xi	4. 巻 37
2. 論文標題 The Effect of Confinement and Material Heterogeneities on the Dynamics of a Granular Medium Subjected to Impact Loading	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Procedia Structural Integrity	6. 最初と最後の頁 404-409
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.prostr.2022.01.102	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 -

1. 著者名 Uenishi K., and K. Nagasawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Brittle Fracture Development through Sets of Preexisting Small-Scale Cracks under Quasi-Static and Dynamic Impact Loading	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mechanics of Advanced Materials and Structures	6. 最初と最後の頁 11 pages
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15376494.2022.2081748	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Uenishi, K., and D. Xi	4. 巻 2
2. 論文標題 On the Multi-Dimensional Granular Dynamics and Stress Transfer under Impact of External Loading	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Rock Dynamics: Progress and Prospect	6. 最初と最後の頁 6 pages
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件(うち招待講演 0件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Uenishi, K.
2. 発表標題 Spatiotemporal Complexity of Rupture Evolution in a Fault Damage Zone with Multiple Small-Scale Cracks
3. 学会等名 2020 Seismological Society of Japan Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Uenishi, K.
2 . 発表標題 Rupture Development in Fault Damage Zones Consisting of Sets of Preexisting Small-Scale Parallel Cracks
3 . 学会等名 2020 Fall Meeting, American Geophysical Union (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Uenishi, K.
2 . 発表標題 Existence of Weak Zones: Enhancing Dynamic Rupture or Not?
3 . 学会等名 2021 Seismological Society of Japan Fall Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Uenishi, K.
2 . 発表標題 On the Dynamic Stability of a Granular Slope
3 . 学会等名 2021 Seismological Society of Japan Fall Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Uenishi, K.
2 . 発表標題 Rupture Absorbing Weak Zones
3 . 学会等名 2021 Fall Meeting, American Geophysical Union (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 Uenishi, K.
2. 発表標題 What Actually is the Vertical Shock Verbally Reported for Shallow Earthquakes?
3. 学会等名 2022 Seismological Society of Japan Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Uenishi, K.
2. 発表標題 Dynamic Stress Transfer in a Layered Granular Slope
3. 学会等名 2022 Seismological Society of Japan Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Uenishi, K.
2. 発表標題 Abrupt Vertical Shock Arising from Shallow Earthquakes
3. 学会等名 2022 Fall Meeting, American Geophysical Union (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------------------------	-----------------------	----

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0件

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
---------	---------