

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 19 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22686044

研究課題名（和文） 不連続面の力学的不安定化と動的破壊伝播・波動放射に関する総合研究

研究課題名（英文） Synthetic Study on the Mechanical Destabilization of Planes of Weakness, Dynamic Rupture Propagation and Wave Radiation

研究代表者

上西 幸司（UENISHI KOJI）

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：60311776

研究成果の概要（和文）：不連続面の力学的な不安定化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ての理論研究を進展させ、実験力学的手法も交え、不連続面力学不安定化に関する一連の物理現象の発生メカニズムと励起される波動の性質について考察を行った。地震等による衝撃的な荷重を受ける一群の構造物を、個々独立したものではなく、「群」として一体的に取り扱えば、従来の解析では予想されなかった力学的挙動を示しうることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The theoretical study for clarification and quantitative evaluation of the generation mechanism of the mechanical destabilization of planes of weakness has been further extended. Together with the techniques of experimental mechanics, the generation mechanisms of physical phenomena related to the mechanical destabilization of planes of weakness and the characteristics of the destabilization-induced waves have been considered. It has been shown that if we treat the mechanical behavior of a group of structures subjected to dynamic impact as a “group” (i.e., not individually for each structure), we may systematically explain an unrecognized mechanical behavior that cannot be expected through conventional analyses.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	10,200,000	3,060,000	13,260,000
2011 年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2012 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	20,100,000	6,030,000	26,130,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：破壊力学、地盤工学、自然災害、地震、界面不安定現象、不連続面のすべり、斜面崩壊、トンネル崩落

1. 研究開始当初の背景

断層面や節理面に代表される不連続面の力学的な不安定化により、地震や斜面崩壊などの災害の多くが引き起こされると考えられているが、地質学的不連続面の力学的性質

については未だ不明な点が多い。

2. 研究の目的

研究代表者は、不連続面の力学的な不安定

化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て理論研究を進めてきたが、本研究ではこの従来の研究課題を発展させ、数値解析に加え、実験力学的手法を用いて、不連続面の力学不安定化に関わる一連の物理現象の発生メカニズムと励起される波動の性質を究明するとともに、それによる構造物や都市の被災リスクを評価し、減災のための技術的提言を行うことを目的としている。

3. 研究の方法

プロジェクト初年度（平成 22 年度）は、デジタル光弾性技術に基づいた破壊実験システムの構築を主に行い、応力分布の可視化（見える化）に必要な光弾性実験装置を導入した。また、市街地での動的破壊実験を実施可能とするために、小型 Q スイッチ Nd:YAG レーザ発生装置を利用してより安全、より操作性に優れた実験システムを設計した（次ページ図 1 参照）。同時に、理論面では、人的、物的被害をもたらすと想定されている地震波周波数の一般的な範囲よりも低周波側の地震波が引き起こした構造物（群）の損傷を例として、「想定外」の地震動記録や構造物動的挙動に関する解析を行った。

平成 23 年度は、前年度に導入した光弾性技術に基づいたデジタル破壊実験システムにさらにカラーで長時間撮影可能な高速度デジタルビデオカメラを追加し、応力分布の可視化（見える化）に必要な光弾性実験装置を構築した。開発した計算機、実験システムを並行的に利用しつつ、破壊進展に伴い解放される波動等の特性について、理論・数値解析及び脆性材料を用いた破壊実験を進めた。

研究最終年度である平成 24 年度は、前年度までに開発、整備した計算機、実験システム、すなわち、小型 Q スイッチ Nd:YAG レーザ発生装置や光弾性実験装置、カラーで長時間撮影可能な高速度デジタルビデオカメラ、を複合的に利用しつつ、脆性材料不連続面の動的破壊や地盤類似材料の高速変形の解析などを進めたほか、不連続面の挙動の計算モデルの検証を動的破壊実験により行った。

4. 研究成果

地震や発破等により発生した衝撃的な荷重を受ける一群の構造物を、個々独立したものではなく、「群」として一体的に取り扱えば、従来の解析では予想されなかった力学的挙動の存在を明らかにできることを示した一連の研究成果が代表例として挙げられる。

この研究では、1976 年イタリア・フリウリ地震や 2007 年能登半島地震による地上構造物群のユニークな被害例を通し、構造物群が「タウン効果」あるいは「シティ効果」と呼ばれる「想定外」の力学的挙動を実際に示しうることを明確にしている。また、仙台や米国西海岸で見かけられた地震波動による斜面上部の引張亀裂が、縦波や横波などの実体波よりも距離減衰の小さい表面波によって発生したと考えればより合理的に説明できることを一連の研究で指摘している。仙台市の斜面は 1978 年の宮城県沖地震被害の後、実体波に対する補強が施されたが、2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震により再び同様の「想定外」の破壊が同じ場所で生じており、2011 年クライストチャーチ地震でも海沿いの岩盤断崖斜面上部に同じ引張破壊が確認されていることから、表面波の動的影響に関するより深い研究を進めることが望まれる。

以上に代表例を挙げた研究成果は、American Geophysical Union 2010 Fall Meeting（アメリカ合衆国・サンフランシスコ）、40th Symposium on Rock Mechanics（東京）、13th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics（オーストラリア・メルボルン）、8th International Conference on Structural Dynamics（ベルギー・ルーヴァン）、Fifth International Conference on Engineering Failure Analysis（オランダ・デンハーグ）および 8th European Solid Mechanics Conference（オーストリア・グラーツ）などにおいて発表されているほか、European Structural Integrity Society（ESIS）の発行する雑誌「Engineering Failure Analysis」に単著の研究論文が掲載されることが決定している。

なお、下記一覧に記載した発表論文の他、前科学研究費補助金支援研究と本研究課題の両方の成果として、

Uenishi, K. (2010). The Town Effect: Dynamic Interaction between a Group of Structures and Waves in the Ground. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, **43(6)**, 811-819, doi: 10.1007/s00603-010-0102-9.

が本研究課題実施期間中に公表されているほか、一連の科学研究費補助金支援研究で得られた業績に対し、平成 24 年 6 月に「岩の力学連合会」より「論文賞」が与えられている。本研究成果を基に、さらに不連続面破壊の力学、特に動力学に関する研究を推進する必要があると思われる。

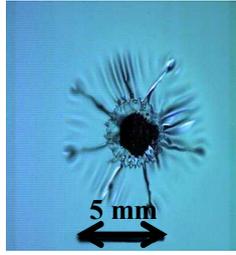


図1 小型QスイッチNd:YAGレーザパルスにより脆性材料内に発生した破壊のパターンの典型例。高速度デジタルビデオカメラにより撮影。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

[1] Uenishi, K. (2013). "Unexpected" Failure Patterns and Dynamic Collective Behaviour of an Assembly of Buildings Subjected to Horizontal Impact. *Engineering Failure Analysis*, DOI: 10.1016/j.engfailanal.2012.12.004 (査読有、登載決定)

[2] Uenishi, K., and S. Sakurai (2013). Dynamic Tensile Cracking in Slopes Possibly Induced by Rayleigh Surface Wave. *Geomechanics and Geoengineering: An International Journal*, pp.407-414. (査読有、登載決定)

[3] Uenishi, K., and S. Sakurai (2013). On the Dynamics of Generation of Seaquakes. *Proceedings of the First International Conference on Rock Dynamics and Applications*, 6 pages. (査読有、登載決定)

[4] Uenishi, K., K. Yamagami, F. Ishida, and K. Fujimoto (2013). Dynamic Fracture Associated with Shallow Dip-Slip Seismic Faulting. *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Fracture*, 10 pages. (査読有、登載決定)

[5] Uenishi, K. (2012). On Some Crack Dynamics in Inhomogeneous Solid Materials. *Proceedings of the 8th European Solid Mechanics Conference*, 2 pages. (査読有)

[6] Uenishi, K., and Y. Dohi (2012). Laser-Induced Fracture in Rock-like Solids: An Experimental Study. *Proceedings of the*

EIT-JSCE Joint International Symposium on International Human Resource Development for Disaster-Resilient Countries 2012, pp.155-158. (査読有)

[7] Uenishi, K. (2012). PC-Based Design for Preventing Dynamic Slope Failures. *Proceedings of the 2nd International Conference on Computational Design in Engineering*, p.136. (査読有)

[8] Uenishi, K. (2012). Dynamic Multiple Structure-Wave-Structure Interactions - Living Next Door to the "Town Effect"-. *International Journal of the Japanese Committee for Rock Mechanics (JCRM) of the International Society for Rock Mechanics*, **8(1)**, pp.15-18, <http://www.rocknet-japan.org/journal/Articles.html>. (査読無)

[9] Uenishi, K. (2012). Elastodynamic Analysis of Underground Structural Failures Induced by Seismic Body Waves. *ASME Journal of Applied Mechanics*, **79(3)**, DOI: 10.1115/1.4005888. (査読有)

[10] 上西幸司 (2012). 超弾性的挙動を示すゴム材料における超音速破壊現象の実験的研究. *日本機械学会論文集 A 編*, **78(789)**, pp.628-631. (査読有)

[11] Uenishi, K. (2012). On the Numerical Analysis of Solid Dynamics Using the Moving Particle Semi-Implicit (MPS) Method (Part II). *Report of the Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University*, **16**, pp.19-22. (査読無)

[12] Uenishi, K. (2011). Multiple Ground-Structure Interactions and Dynamic Collective Behaviour of a Group of Structures. *Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics*, Paper No.940, 6 pages. (査読有)

[13] Uenishi, K. (2011). Slope Destabilisation Induced by Rayleigh Surface Waves. *Computer Methods for Geomechanics: Frontiers and New Applications*, pp.1157-1162. (査読有)

[14] Uenishi, K., and S. Doi (2011). Horizontal Impact and the Dynamic Behavior of a Group of Structures. *Proceedings of the 40th Symposium on Rock Mechanics*, pp.104-108. (査読有)

[15] Uenishi, K. (2010). Shallow Dip-Slip Earthquake: Its Dynamics and the Generation of the Corner Wave. *Report of the Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University*, **14**, pp.13-22. (査読無)

〔学会発表〕(計 16 件)

[1] Uenishi, K., K. Yamagami, F. Ishida, and K. Fujimoto (2013.02.04). Dynamic Fracture Associated with Shallow Dip-Slip Seismic Faulting. *5th Aerospace Innovation Workshop* (Tokyo, Japan) (招待講演) .

[2] Uenishi, K., and S. Sakurai (2012.10.17). Seaquakes: A One Dimensional Model. *2012 Seismological Society of Japan Fall Meeting* (Hakodate, Japan).

[3] Uenishi, K. (2012.10.05). Dynamic Mechanism of Shallow Dip-Slip Faulting. *Ninth Symposium of the Kanto Branch of the Japanese Geotechnical Society* (Tokyo, Japan).

[4] 上西幸司, 土肥裕史 (2012.09.23). レーザパルス照射による固体材料の破壊の物理過程に関する基礎的実験研究. *M&M2012 材料力学カンファレンス* (愛媛大学、愛媛県松山市) .

[5] Uenishi, K. (2012.07.04). Dynamic Collective Failure of a Group of Structures Subjected to Horizontal Impact. *Fifth International Conference on Engineering Failure Analysis* (Den Haag, The Netherlands).

[6] Uenishi, K. (2012.05.14). Quakes as Shock Waves in Solids. *International Symposium "Space Explorations: Small Bodies in the Solar System"* (Kashiwa, Japan) (招待講演) .

[7] 上西幸司, 土肥裕史 (2012.03.10). レーザパルスによる固体材料の破壊に関する実験研究. 日本機械学会関東支部第 18 期総会講演会 (日本大学、千葉県習志野市) .

[8] Uenishi, K. (2011.12.05). Dynamic Tensile Cracking in Slopes and the Possible Existence of Seismic Rayleigh Waves in a High Frequency Range. *American Geophysical Union 2011 Fall Meeting* (San Francisco, The United States of America).

[9] 上西幸司 (2011.07.16). 超弾性固体材料における超音速破壊現象の実験的研究. *M&M2011 材料力学カンファレンス* (九州工業大学、福岡県北九州市) .

[10] Uenishi, K. (2011.01.20). Earthquake-Induced Structural Failures and Mechanical Characteristics of Relevant Seismic Waves. *Symposium on Mechanics in Geophysical and Materials Sciences* (Pasadena, The United States of America).

[11] Uenishi, K. (2010.12.14). Experimental Modeling of Dynamic Shallow Dip-Slip Faulting. *American Geophysical Union 2010 Fall Meeting* (San Francisco, The United States of America).

[12] 上西幸司 (2010.11.28). 引張軟化則に従うき裂の動的伝播開始条件について. 第 18 回機械材料・材料加工技術講演会 (東京大学、東京都文京区) .

[13] Uenishi, K., and Y. Tamiya (2010.10.04). On a Simpler Way of Simulating Wave Dynamics in Complex Geometrical Conditions. *7th ACES International Workshop* (Otaru, Japan).

[14] Uenishi, K. (2010.05.12). Waves, Vibrations and Structural Failures. *Advanced Conference on Seismic Risk Mitigation and Sustainable Development* (Trieste, Italy) (招待講演) .

[15] Irikura, K., N. Abrahamson, K. Uenishi, and J.U. Klügel (2010.05.12). PSHA and DSHA: Limits and Perspectives, Panel Discussion. *Advanced Conference on Seismic Risk Mitigation and Sustainable Development* (Trieste, Italy) (招待講演) .

[16] Uenishi, K. (2010.04.23). 「想定外」の地震被害、「問題外」の力学挙動. 岩盤工学研究会講演会 (神戸大学、兵庫県神戸市) (招待講演) .

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上西 幸司 (UENISHI KOJI)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：60311776

(2)研究分担者 ()

研究者番号：

(3)連携研究者 ()

研究者番号：