

平成 22 年 5 月 28 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19760326
 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
 数値・理論解析
 研究課題名（英文）Numerical and Theoretical Studies 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）
 神戸大学・自然科学系先端融合研究環都市安全研究センター・准教授
 研究者番号：6031176

研究成果の概要（和文）：本研究では、不連続面破壊の力学に関する理論研究を進め、異種材料間に位置する不連続面の動的破壊伝播などについて考察を行った。物理特性が極端に異なる材料間に存在する不連続面の破壊の形態を、破壊速度に着目して追跡したほか、破壊により発生した波動の伝播が周囲の環境、地盤や構造物に与える影響を定量的に評価した。具体例として、1978年宮城県沖地震の際に仙台市の住宅地で見られた斜面の動的被害などを取り上げた。考察の結果として、そのような被害が、地震波の普遍的な性質に加え、日本の東北地域における地震学（テクトニクス）的な特徴も重なったために誘起された可能性があることを指摘した。

研究成果の概要（英文）：In this research project, a theoretical study on the fracture mechanics of planes of weakness has been promoted. For example, the dynamic fracture propagation on a plane of weakness located between materials with extremely different physical properties has been considered in light of rupture propagation speed. The effect of waves, generated by fracture of planes of weakness, on the surrounding environment, the ground and structures has been quantitatively evaluated. As a concrete instance, the dynamic slope failure generated by the 1978 Miyagi-ken-oki, Japan, earthquake in the residential area of Sendai City has been studied. It has been pointed out that such slope failure may be possibly induced not only by the universal mechanical characteristics of seismic waves but also by the local seismological (tectonic) conditions under the Tohoku region of Japan.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	0	1,500,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	510,000	3,710,000

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：不連続面のすべり、地震のモデル、斜面崩壊、トンネル崩落、界面不安定現象、
 変分法、非線形すべり弱化則、異種材料間不連続面

1. 研究開始当初の背景

地震や斜面崩壊などの深刻な自然・人的災害の原因とされる、断層面や節理面などの地質学的不連続面の破壊の物理的性質については未だ不明な点が多い。とりわけ、不連続面の破壊領域が比較的安定な準静的成長段階（いわゆる「ゆっくりすべり」の段階）から力学的に不安定となり、地震現象に代表される動的状態へと遷移していく過程についての研究は、世界的にみても今なお初期段階であり、原因や解決法を明らかにすべき問題が少なくない。不連続面の力学に関する理解をさらに深化させる必要があると考えられている。

2. 研究の目的

本研究では、上述のような、不連続面が比較的安定で準静的な破壊発達段階から不安定化し、動的状態へと遷移した後、衝撃的な波動を放射するという一連の物理過程について力学的な考察を進めることを目的としている。地盤の力学と物理に関する本質的な理解を研究の究極的な目標とし、その中でも、地震や斜面の突発的な崩壊、不連続面の挙動の時間的、空間的複雑性の理論的解明を目指している。

3. 研究の方法

研究は、準解析的、あるいは有限差分法に基づいた数値計算的手法を用いて理論面を中心に進められた。既往のすべりや亀裂の破壊問題に関する解析の多くは、無限に広がる単一媒質内を伝わるものを対象としていることが多いが、有限な大きさかつ複雑な幾何形状の異種材料間の不連続面（界面）の影響を考察していることが本研究の特色のひとつとなっている。

また、従来の研究の多くは、特異積分で表された力学的平衡条件式をそのままの形で直接解こうとするため、特にすべり領域端において解析が複雑（ときには「曖昧」となっているが、研究代表者が不連続面に関わる一連の理論研究で行っているように、系全体でのエネルギー・バランスを考慮すれば、変分法により安定条件を評価でき、特異積分を直接評価する手間を省くことが可能となる。結果として、より一般的な摩擦構成則に従う不連続面の力学的安定性という数学的により

煩雑な問題も比較的容易に解析可能となっている。この点も本研究の流れの中で大きな特長のひとつとなっている。

4. 研究成果

まず、物理特性が極端に異なる異種材料間に存在する不連続面の破壊の形態を、破壊速度に着目して追跡、評価した。その結果、不連続面内外の異方性の影響、破壊靱性やアスペリティが不均一に分布する材料における破壊進展メカニズム、不連続面の挙動と実際の断層域周辺の動きの類似点などが明らかとなった。

また、波動の伝播が周囲の環境、地盤や構造物に与える影響に関する定量的な理論解析を行った。例として、1978年宮城県沖地震の際に仙台市の住宅地で見られた斜面の動的被害などを取り上げた。考察の結果として、そのような被害が、地震波（表面波）の普遍的な性質（図1）に加え、日本の東北地域における地震学（テクトニクス）的な特徴も重なったために誘起された可能性があることを指摘した。

以上に代表される研究成果は、第22回理論・応用力学に関する国際会議（オーストラリア・アデレード）、第7回アジア国際地震学連合総会（つくば）、第12回岩の力学国内シンポジウム（宇部）、第2回構造動力学と地震工学における計算手法に関する国際会議（ギリシア・ロードス）、日本地球惑星科学連合2009年大会（千葉）および日本地震学会秋季大会（京都）などで発表されているほか、米国土木学会 American Society of

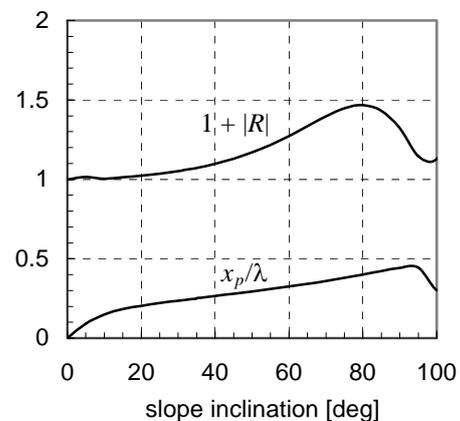


図1 斜面傾斜角と斜面肩からの距離 x_p/λ .

の関係図（ポアソン比 0.25）。斜面肩からの距離 x_p の地点で表面波（波長 \cdot ）の反射による引張亀裂が入りやすい。その地点での変位（粒子速度、加速度など）は入射波の $(1 + |R|)$ 倍に増幅される。

Engineers (ASCE) の発行する雑誌「International Journal of Geomechanics (IJOG)」に単著の研究論文が掲載されることが決定している。

また、一連の研究に対して、平成 20 年 10 月に「IACMAG (International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics: 地盤力学における計算手法とその進歩に関する国際協会)」から「Excellent Contribution Award (優秀貢献賞)」が授与されるなど、国外からも高い評価を頂いている。本成果を基に、さらに不連続面破壊の力学に関する研究を推進する必要がある。

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 17 件)

[1] Uenishi, K. (2010). On a Possible Role of Rayleigh Surface Waves in Dynamic Slope Failures. *International Journal of Geomechanics*, DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000057 (査読有、登載決定)

[2] Rossmannith, H.P., K. Uenishi, and V. Hochholdinger-Arsic (2009). Waves, Fractures and Boundary Effects Associated with Blast Experiments Conducted in Cylindrical and Block Type Specimens. *Proceedings of the 9th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, pp. 407-414. (査読有)

[3] Uenishi, K., and I.R. Ionescu (2009). On the Dynamic Interaction between the Ground and a Group of Structures Subjected to Seismic Disturbances. *Proceedings of the ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, 8 pages. (査読有)

[4] Uenishi, K. (2009). On the Mechanical Destabilization of a Three-Dimensional Displacement-Softening Plane of Weakness. In: *Proceedings of the 38th Symposium on Rock Mechanics*, pp. 332-337. (査読有)

[5] Uenishi, K., and S. Sakurai (2008). Recent Developments in Rock Mechanics as Applied to Earthquake Dynamics. *Geomechanik und Tunnelbau (Geomechanics and Tunneling)*, **1(5)**, pp. 368-373. (査読有)

[6] Uenishi, K. (2008). The Effect of Rayleigh Surface Waves on Dynamic Slope Stabilities. *Geomechanics in the Emerging Social and Technological Age*, pp. 2926-2933. (査読有)

[7] Rossmannith, H.P., and K. Uenishi (2008). The Cuña Problem - Reconsidered. *Geomechanics in the Emerging Social and Technological Age*, pp. 4229-4235. (査読有)

[8] Uenishi, K. (2008). Rupture Instability on a Nonlinear Slip-Weakening Plane of Weakness. *Proceedings of the 12th Japan Symposium on Rock Mechanics and the 29th Western Japan Symposium on Rock Engineering*, pp. 379-384. (査読有)

[9] Uenishi, K. (2008). Mechanical Characteristics of Seismic Waves Estimated from Earthquake-Induced Structural Failures. *Proceedings of the 22nd International Congress of Theoretical and Applied Mechanics*, 2 pages. (査読有)

[10] Uenishi, K. (2008). On a Simple Way of Simulating Wave Propagation in Complex Geometries. *Report of the Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University*, **12**, pp. 23-32. (査読無)

[11] Uenishi, K. (2007). The Role of High Frequencies in Earthquake-Induced Failures of Underground Structures. *Proceedings of the ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, 10 pages. (査読有)

[12] Uenishi, K., and K. Tsuji (2007). On the Mechanical Properties of a Dual Tunnel Subjected to a Vertical Disturbance. *Report of the Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University*, **11**, pp. 35-42. (査読無)

[学会発表] (計 7 件)

[1] Uenishi, K., and S. Doi (2009. 10. 22). Formation of a Dip-Slip Rupture Plane: Boussinesq's Paradox in Fault Mechanics. *2009 Seismological Society of Japan Fall Meeting* (Kyoto, Japan).

[2] Uenishi, K. (2009. 5. 18). The TOWN EFFECT and the 2007 Noto Peninsula, Japan, Earthquake. *Japan Geoscience Union Meeting 2009* (Chiba, Japan).

[3] Uenishi, K. (2008. 11. 26). On the Formation of Dip-Slip Fault Planes. *The 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and the 2008 Fall Meeting of Seismological Society of Japan* (Tsukuba, Japan).

[4] Uenishi, K., and K. Tsuji (2008. 5. 29). The Dynamics of Collapsing Granular Columns and Its Implications in Earthquake Mechanics. In: *Proceedings of the Japan Geoscience Union Meeting 2008* (Chiba, Japan).

[5] Uenishi, K., and K. Tsuji (2007. 5. 22). Dynamic Rupture Propagation in Extremely Heterogeneous Media. *Japan Geoscience Union Meeting 2008* (Chiba, Japan).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上西 幸司 (UENISHI KOJI)

神戸大学・自然科学系先端融合研究環都市
安全研究センター・准教授

研究者番号：6031176