

令和 2 年 4 月 15 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H02262

研究課題名(和文) 伏在断層の地表への到達過程と重要構造物の損傷・崩壊過程の統合解析手法の開発

研究課題名(英文) Development of integrated numerical analysis method for propagation of hidden faults and collapse of structures

研究代表者

小國 健二 (OGUNI, KENJI)

慶應義塾大学・理工学部(矢上)・教授

研究者番号：20323652

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、原子炉建屋などの最重要構造物の敷地近傍の伏在断層が構造物の安全性に及ぼす影響を定量的に評価することを最終目標とし、伏在断層が地震時に地表に到達する過程と、これに伴う構造物の損傷・崩壊過程を統合的に解析する手法の開発を行った。
具体的には、伏在断層の動きと断層近傍の地表面変位との非自明な関係を正しく表現・予測する動的破壊進展解析手法を完成させ、この手法と構造物の損傷・崩壊過程の解析手法を統合し、相互作用を及ぼしあう複数の伏在断層が敷地直下や近傍に存在する原子炉建屋の地震時の挙動を、損傷・崩壊過程まで含めて解析する手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、原子炉建屋などの最重要構造物の敷地近傍の地中深くに隠れている伏在断層が構造物の安全性に及ぼす影響を定量的に評価するために、伏在断層が地震時に地表に到達する過程と、これに伴う構造物の損傷・崩壊過程を統合的に解析する手法の開発を行った。
伏在断層の動きと断層近傍の地表面変位との非自明な関係を正しく表現・予測する動的破壊進展解析手法を完成させたことに、学術的意義がある。
また、地表面に現れていない断層に対する最重要構造物の安全性を定量的に評価する手法の開発は、地震に対する社会の安全・安心の向上に貢献するという社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research project is the development of integrated numerical analysis method for propagation of hidden faults and collapse of structures.
The targets of the numerical analysis are the important facilities in nuclear power plant. The analysis of the propagation process of the hidden faults under these facilities and the quantitative evaluation of the damage on these facilities was performed.

研究分野：計算力学

キーワード：計算力学 地震工学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

原子力発電所の再稼働の是非の判断における最重要ファクターのひとつが「敷地直下や近傍の伏在断層が原子炉建屋などの最重要構造物に及ぼす影響」の定量的評価・予測である。しかし、

- ・伏在断層が地震時に動いた際に、最重要構造物の基礎に到達する変位ギャップ
- ・伏在断層の断層面の破壊進展速度や複数の断層の動的破壊進展過程における相互作用

の正しい予測を与え得る「完全な動的破壊進展解析手法」は、研究開始当初の時点でこの世に存在しなかった。

伏在断層の動きと断層近傍の地表面変位との関係は、横ずれ断層上の地表面に表れる雁行状の亀裂群(リーデル剪断)のように、意外かつ非自明な関係である。「正しい値は分からないが、これより悪くなることはないであろう」という工学的判断を下すことさえ難しい対象である。また、断層面の動的破壊進展速度を支配する物理は不明であり、現存する「断層の動的破壊進展解析」の全てにおいて、断層面の進展速度は入力パラメータとして与えられている。複数の伏在断層の動的破壊進展過程における相互作用も、影響範囲をあらかじめ設定するなどのトリックにより処理されている。工学的判断も不可能であり、正しいと思われる解析手法も存在しないという研究開始当初の時点での状況を踏まえ、原子力発電所の再稼働の是非に関する議論においては「断層の動的破壊進展過程の解析手法が存在しないこと」が再稼働を否とする最大の理由のひとつに挙げられていた。つまり、「わからないので、ダメということにしておきましょう」という結論に落ち着いていた。

次に、本研究開始当初の技術的背景について述べる。

研究代表者と研究開始当初の分担者は、固体の破壊進展過程の解析手法 PDS-FEM (Particle Discretization Scheme Finite Element Method: 粒子離散化有限要素法)を 2004 年に発案した。以降、この手法の礎となる粒子離散化の理論と固体連続体の破壊進展過程の粒子系シミュレーション手法を進展させ、i) 弾塑性問題への拡張、ii) RC 構造物の崩壊過程の解析手法として整備、iii) 破壊面の進展速度を入力パラメータとして与えることなく動的破壊進展過程を扱う基礎理論と解析手法を提案、などの形で、本研究が目的とする伏在断層の地表面への到達の過程から原子炉建屋の損傷・崩壊過程までを解析しつづ統合解析手法の開発の準備を進めてきた。

研究代表者が研究開始当初の時点までに既に終えていた「伏在断層の地表面への到達の過程」の予備解析の結果を図 - 1 に示す。この解析においては、亀裂の方向や発生間隔などの恣意的な条件設定は行っていない。均一な線形弾性体の板の底部に、板の中心線に沿って逆向きに水平方向の強制変位を加えたときに、亀裂面が底面から地表面に向かって成長する過程を PDS-FEM を用いて解析したのみである。にもかかわらず、底面から成長する亀裂群は、成長を続けるものと途中で止まるものを自動的に選択し、成長するものはその角度を変えていく。そして、最終的に地表面まで到達した亀裂は「リーデル剪断」として知られる雁行状の特徴的なパターンを形成する。この結果は、PDS-FEM が「固体連続体における幾何学的対称性の階層的喪失の構造」を的確に表現する能力を有しており、「伏在断層の動きと断層近傍の地表面変位との間の複雑な関係」の本質を捉えていることを示唆している。恣意的な条件を導入することなく、リーデル剪断をこれほど的確に再現した解析事例は、研究開始当初の時点において他に存在しておらず、現在においても他に存在しない。

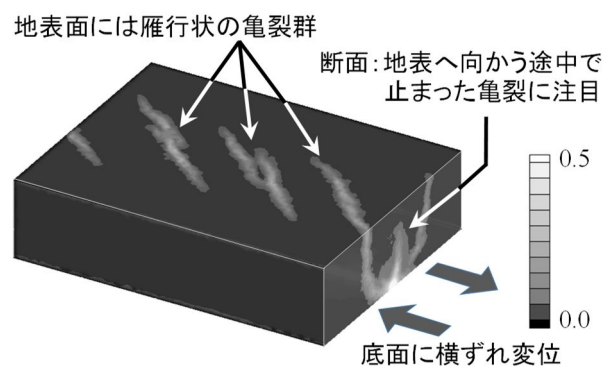


図 - 1 : リーデル剪断の相当ひずみ分布

以上、独自に開発した解析手法 PDS-FEM を用いて行った「伏在断層の地表面への到達の過程の予備解析」の良好な結果と「RC 構造物の損傷・崩壊過程の解析手法」の技術的裏付けが、本研究の開始当初、本研究の成功を相当高い確度で見込んで開始した技術的背景である。

2. 研究の目的

本研究の全体構想は、原子炉建屋などの最重要構造物の敷地近傍の伏在断層が構造物の安全性に及ぼす影響を定量的に評価することを最終目標とし、伏在断層が地震時に地表に到達する過程と、これに伴う構造物の損傷・崩壊過程を統合的に解析する手法の開発を行うことである。伏在断層の動きと断層近傍の地表面変位との関係は自明ではない。これを正しく表現・予測する動的破壊進展解析手法を完成させることが本研究の具体的な目的のひとつである。また、この

手法と構造物の損傷・崩壊過程の解析手法を統合し、相互作用を及ぼしあう複数の伏在断層が敷地直下や近傍に存在する原子炉建屋の地震時の挙動を、損傷・崩壊過程まで含めて解析する手法を開発することも具体的な目的のひとつである。

3. 研究の方法

本研究課題が対象とする「伏在断層の地表面への到達過程」および「地震外力を受ける重要構造物の損傷・崩壊過程」の解析のために、動的破壊進展解析手法が必要不可欠であることは明らかである。本研究開始当初の時点までに、動的破壊進展の解析結果は多く発表されてきていた。しかし、いずれの手法にも破壊進展の物理についての理論的裏付けがなく、研究代表者の知る限り、全ての解析例において、i) 破壊進展速度を考慮せず静的釣合い状態での破壊を逐次的に解析して破壊進展を模擬、ii) 破壊進展速度についての恣意的パラメータを導入して破壊進展アニメーションを作成、など、破壊進展の物理の取り扱いは回避されてきていた。つまり既存手法の中には、破壊進展の加速・減速・停止や枝分かれなど、動的破壊進展の本質的現象を正しく表現できるものは存在していなかった。この、研究開始当初の時点での状況に対して、研究代表者が独自に提案した「破壊進展のエネルギーバランス方程式」を用いて、「動的破壊進展の新しい理論」を構築し、その理論に基づく動的破壊進展解析手法を開発した。

手法開発は以下の時系列で進めた。

【平成 27 年度】

1本の亀裂がまっすぐに進展する問題を対象として、動的破壊進展の基礎理論の構築を進めた。この動的破壊進展の基礎理論を適宜更新しながら、横ずれ断層型の伏在断層変位を与えた時に、断層変位が表層地盤を通して地表面のどの位置にどのような形で現れるかを予測する数値解析を行った。

原子炉建屋の損傷・崩壊過程を解析するためのRC構造物を対象とした動的弾塑性PDS-FEMに、動的破壊進展過程の支配メカニズムに基づく解析手法を実装し、RC構成則と弾塑性動的破壊進展則を兼ね備えた、より高度な構造物損傷・崩壊過程の解析手法の開発を進めた。また、解析対象となるサイトを選定し、構造物、基礎、伏在断層、周辺地盤などの有限要素モデルの作成に着手した。さらに、残留応力場の中での動的破壊進展解析手法の開発に着手した。

【平成 28 年度】

単純な横ずれ断層だけではなく、横ずれ+逆断層型の伏在断層基盤変位を与えた時に、断層変位が表層地盤を通して地表面のどの位置にどのような形で現れるかを予測する数値解析を行った。最初のトライとして、この時点では、単一の伏在断層のみを対象とした解析を行った。

引き続き、原子炉建屋の損傷・崩壊過程を解析するためのRC構造物を対象とした動的弾塑性PDS-FEMに、動的破壊進展過程の支配メカニズムに基づく解析手法を実装し、RC構成則と弾塑性動的破壊進展則を兼ね備えた、より高度な構造物損傷・崩壊過程の解析手法を開発した。

また、残留応力場の中での動的破壊進展解析手法の開発を進めた。

【平成 29 年度】

動的破壊進展解析手法に改良を加えつつ、様々な伏在断層の動きに対して、表層地盤に到達する断層変位の位置・形状を予測する解析を行った。これらの解析結果を、他の研究者らによる既存のリーデル剪断実験などの結果と比較検討し、伏在断層の地表面への到達過程の解析結果の妥当性を検証した。

さらに継続して、原子炉建屋の損傷・崩壊過程を解析するためのRC構造物を対象とした動的弾塑性PDS-FEMの高度化と、これを用いた原子炉建屋の損傷・崩壊過程の解析を行った。

また、残留応力場の中での動的破壊進展解析手法を大幅に改良しつつ開発を進めた。

【平成 30 年度】

周辺地盤・伏在断層・重要構造物の統合解析モデルを作成した。ここでは、注意すべきポイントとして、「重要構造物の基礎と、伏在断層を含む構造物近傍の地盤との間の境界条件を正しく設定すること」および「周辺地盤も含めて解析領域を十分広くとり、かつ、外部境界条件を適切に考慮することにより、伏在断層が動いた時に発生する地震波を正しく表現できる解析領域を設定すること」の2点に留意しつつ解析モデルを作成した。

【令和元年度】

粒子離散化有限要素法(PDS-FEM)への、非弾性ひずみの影響を加味する改良をさらに進めた。具体的には、非弾性ひずみが分布する場において、非弾性ひずみの再分配と動的破壊進展が同時に発生する問題、つまり非弾性ひずみの分布と亀裂動的進展が相互作用を及ぼしながら発展する場に対する数値解析をさらに進めた。

伏在断層の変位が表層地盤を通して地表面のどの位置にどのような形で現れるか、さらにそれが原子炉建屋などの重要構造物の損傷・崩壊過程にどのような影響を与えるかを評価する統合的な数値解析手法を開発した。

4. 研究成果

研究の主な成果は、「伏在断層が地震時に地表に到達する過程と、これに伴う建造物の損傷・崩壊過程を統合的に解析する手法」の開発に成功し、原子炉建屋などの最重要建造物の敷地近傍の伏在断層が建造物の安全性に及ぼす影響を定量的に評価することを可能とするという、当初に設定した最終目標を達成したことである。これを実現できる統合解析手法は国内外には他に存在しない。

また、研究開始当初には予期していなかった重要な研究成果として、i) 固体内部において非弾性ひずみの不均一な分布によって生じる残留応力場が、その固体の中での動的破壊進展に多大な影響を与えることを発見し、ii) 残留応力場における動的破壊進展の解析手法の開発に成功したことが挙げられる。この予想外の研究成果を踏まえた今後の展望として、i) 残留応力場における動的破壊進展としての全く新しい地震断層モデル、ii) 部分的に損傷を受けた建造物の残余耐力や崩壊過程の定量的予測、など理学・工学両方の観点で重要度が高い問題への取り組みが挙げられる。

以下、年度ごとの研究成果をまとめる。

【平成 27 年度】

動的破壊進展の基礎理論を構築し、これを粒子離散化有限要素法 (PDS-FEM) に組み込むことにより、動的破壊進展の数値解析コードを作成した。この数値解析コードを用いて、横ずれ断層型の伏在断層変位を与えた時に、断層変位が表層地盤を通過して地表面のどの位置にどのような形で現れるかを予測する数値解析を行った。

原子炉建屋の損傷・崩壊過程を解析するための RC 建造物を対象とした動的弾塑性 PDS-FEM を改良し、RC 構成則と弾塑性動的破壊進展則を兼ね備えた、より高度な建造物損傷・崩壊過程の解析手法の開発を行った。これとあわせて、建造物、基礎、伏在断層、周辺地盤などの有限要素モデルの作成に着手した。さらに、粒子離散化有限要素法 (PDS-FEM) に、熱膨張や乾燥収縮にともなう非弾性ひずみの影響も扱うことができる改良を加えることにより、より複雑な表層地盤の構成則を扱えるようになった。

【平成 28 年度】

前年度に引き続き、動的破壊進展の基礎理論を整備し、これの粒子離散化有限要素法 (PDS-FEM) への組み込みをさらに進めた。この数値解析コードを用いて、横ずれ+逆断層型の伏在断層変位を与えた時に、断層変位が表層地盤を通過して地表面のどの位置にどのような形で現れるかを予測する数値解析を行った。

原子炉建屋の損傷・崩壊過程を解析するための RC 建造物を対象とした動的弾塑性 PDS-FEM の改良に平成 28 年度も継続して取り組み、RC 構成則と弾塑性動的破壊進展則を兼ね備えた、より高度な建造物損傷・崩壊過程の解析手法の開発を行った。これとあわせて、建造物、基礎、伏在断層、周辺地盤などの有限要素モデルの作成も進めた。

さらに、初年度に行った粒子離散化有限要素法 (PDS-FEM) への、熱膨張や乾燥収縮にともなう非弾性ひずみの影響を加味する改良をさらに進め、複数の亀裂の相互作用の影響に関する知見を得るために、多数の亀裂が網目状に発生してネットワークを形成する乾燥亀裂のパターン形成の数値解析にも取り組んだ。

【平成 29 年度】

前年度に進めた粒子離散化有限要素法 (PDS-FEM) への、非弾性ひずみの影響を加味する改良をさらに進め、非弾性ひずみが分布する場における動的破壊進展に際して非弾性ひずみの分布が亀裂の進展経路に及ぼす影響まで正確に予測することが可能な数値解析手法を開発した。この数値解析コードを用いて、非弾性ひずみが分布する表層地盤に対して横ずれ+逆断層型の伏在断層変位を与えた時に、断層変位が表層地盤を通過して地表面のどの位置にどのような形で現れるかを予測する数値解析を行った。

さらに、初年度から引き続き、原子炉建屋の損傷・崩壊過程を解析するための RC 建造物を対象とした動的弾塑性 PDS-FEM の改良に本年度も取り組み、RC 構成則と弾塑性動的破壊進展則を兼ね備えた、より高度な建造物損傷・崩壊過程の解析手法の開発を行った。これとあわせて、建造物、基礎、伏在断層、周辺地盤などの有限要素モデルの作成も進めた。

【平成 30 年度】

前年度に大幅に改善された粒子離散化有限要素法 (PDS-FEM) への、非弾性ひずみの影響を加味する改良をさらに進め、非弾性ひずみが分布する場において、非弾性ひずみの再分配と動的破壊進展が同時に発生する問題を取り扱えるようにした。このことにより、非弾性ひずみの分布と亀裂動的進展が相互作用を及ぼしながら発展する場に対する数値解析を行うことが可能になった。この数値解析コードを用いて、非弾性ひずみが分布する表層地盤に対して横ずれ+逆断層型の伏在断層変位を与えた時に、非弾性ひずみの分布と断層進展との相互作用の結果として、断層変位が表層地盤を通過して地表面のどの位置にどのような形で現れるかを予測する数値解析を行った。

さらに、初年度から引き続き行っている、原子炉建屋の損傷・崩壊過程を解析するための RC

構造物を対象とした動的弾塑性 PDS-FEM の改良に本年度も継続的に取り組み、鉄筋とコンクリートを別々に扱う詳細な RC 構成則と弾塑性動的破壊進展則を兼ね備えた、より高度な構造物損傷・崩壊過程の解析手法の開発を行った。さらに、周辺地盤・伏在断層・重要構造物の統合解析モデルを作成した。

【令和元年度】

最終年度は、粒子離散化有限要素法(PDS-FEM)への、非弾性ひずみの影響を加味する改良を完了し、非弾性ひずみが分布する場において、非弾性ひずみの再分配と動的破壊進展が同時に発生する問題、つまり非弾性ひずみの分布と亀裂動的進展が相互作用を及ぼしながら発展する場に対する数値解析をさらに進めた。その結果、非弾性ひずみが分布する表層地盤に対して横ずれ+逆断層型の伏在断層変位を与えた時に、非弾性ひずみの分布と断層進展との相互作用の結果として、断層変位が表層地盤を通過して地表面のどの位置にどのような形で現れるか、さらにそれが原子炉建屋などの重要構造物の損傷・崩壊過程にどのような影響を与えるかを評価する数値解析手法も開発した。

以上を以って、伏在断層の地表への到達過程と重要構造物の損傷・崩壊過程の統合解析手法の開発を完了した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hirobe Sayako, Oguni Kenji	4. 巻 359
2. 論文標題 Modeling and numerical investigations for hierarchical pattern formation in desiccation cracking	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physica D	6. 最初と最後の頁 29 ~ 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.physd.2017.08.002	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 Sayako Hirobe and Kenji Oguni	4. 巻 -
2. 論文標題 Modeling and Simulating Methods for the Desiccation Cracking	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Computational Methods	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1142/S021987621840011X	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 Sayako Hirobe and Kenji Oguni	4. 巻 307
2. 論文標題 Coupling analysis of pattern formation in desiccation cracks	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering	6. 最初と最後の頁 470-488
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1016/j.cma.2016.04.029	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 廣部紗也子・小國健二	4. 巻 72
2. 論文標題 乾燥破壊現象における亀裂パターン形成の数値解析	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2 (応用力学)	6. 最初と最後の頁 38-48
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 廣部紗也子・小國健二	4. 巻 72
2. 論文標題 乾燥破壊現象における亀裂パターン形成の数値解析	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 38-48
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26件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 21件)

1. 発表者名 Sayako Hirobe and Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical analysis for crack path transition in quenched glass plate
3. 学会等名 4th Polish Congress of Mechanics and 23rd International Conference on Computer Methods in Mechanics (PCM-CMM) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sayako Hirobe and Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical simulation for transition of crack path under thermal loading
3. 学会等名 The 5th ECCOMAS Young Investigators Conference (YIC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sayako Hirobe and Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical simulation for crack instabilities in quenched glass plates
3. 学会等名 The 10th International Conference on Computational Methods (ICCM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sayako Hirobe, Yasumasa Kato, Kazushige Yoda, Kazutaka Yanagihara, Yutaka Kitajima, Shingo Urata and Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical simulation for fracture of thermally tempered glass sheets by dynamic loading
3. 学会等名 25th International Congress on Glass (ICG2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Boyang Zhang, Sayako Hirobe, Yuta Nakagama, Tatsuya Nakada and Kenji Oguni
2. 発表標題 Modeling and Numerical Investigations of Momentum Transmission Process on Fracture Phenomenon
3. 学会等名 7th Asia Conference on Earthquake Engineering (7ACEE 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sayako Hirobe and Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical Analysis of Crack Propagation in Tempered Glass Plate
3. 学会等名 The 13th World Congress in Computational Mechanics (WCCM XIII) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sayako Hirobe and Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical Simulation of Riedel Shear in Surface Earthquake Faults
3. 学会等名 The 9th International Conference on Computational Methods (ICCM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sayako Hirobe and Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical analysis for fracture process in thin plate of thermally tempered glass with in-plane stress distribution
3. 学会等名 ICG Annual Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sayako Hirobe and Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical analysis for quasi-static crack propagation in a heated glass plate
3. 学会等名 55th Annual Technical Meeting of the Society of Engineering Science (SES2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sayako Hirobe, Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical analysis for diffusion induced crack patterns
3. 学会等名 The 2017 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM 17) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sayako Hirobe, Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical Analysis for Propagation Process of Diffusion-induced Cracks
3. 学会等名 Fifth International Conference on Computational Modeling of Fracture and Failure of Materials and Structures (CFRAC 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Oguni, Shinnosuke Noso
2. 発表標題 Dynamic Crack Propagation Analysis based on Particle Discretization Scheme Finite Element Method (PDS-FEM)
3. 学会等名 Fifth International Conference on Computational Modeling of Fracture and Failure of Materials and Structures (CFRAC 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sayako Hirobe, Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical Analysis for Diffusion-Induced Cracks
3. 学会等名 14th U.S. National Congress on Computational Mechanics (USNCCM 14) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shinnosuke Noso, Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical Investigations on Dynamic Fracture in Linearly Elastic Solids
3. 学会等名 the 2nd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Boyang Zhang, Sayako Hirobe, Yuta Nakagama, Tatsuya Nakada, Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical Investigations on Fracture Phenomenon Due to a Projectile Impact
3. 学会等名 the 2nd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sayako Hirobe, Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical analysis for the pattern formation in diffusion-induced cracks
3. 学会等名 the 2nd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 廣部 紗也子、貝原 悠希、中釜 裕太、中田 達也、小國健二
2. 発表標題 剛飛翔体の衝突による破壊現象の数値解析
3. 学会等名 第20回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 廣部紗也子、小國健二
2. 発表標題 拡散による破壊現象のモデル化と数値解析
3. 学会等名 第20回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 廣部紗也子、小國健二
2. 発表標題 拡散による破壊現象における亀裂パターン形成の数値解析
3. 学会等名 平成29年度土木学会全国大会 第72回年次学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sayako Hirobe and Kenji Oguni
2. 発表標題 Numerical Analysis of Pattern Formation in Desiccation Crack Phenomenon by Coupling of Diffusion and Failure
3. 学会等名 The 12th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XII) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sayako Hirobe and Kenji Oguni
2. 発表標題 Modeling and simulating methods for the desiccation cracking
3. 学会等名 The 7th International Conference on Computational Methods (ICCM2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sayako Hirobe and Kenji Oguni
2. 発表標題 MODELING AND NUMERICAL ANALYSIS METHODS FOR THE DESICCATION CRACKS
3. 学会等名 40th Solid Mechanics Conference (SolMech 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 廣部紗也子, 小國健二
2. 発表標題 乾燥破壊現象における亀裂パターン形成のモデル化と数値解析
3. 学会等名 第21回計算工学講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 廣部紗也子, 小國健二
2. 発表標題 乾燥亀裂形成過程の数理モデルと数値解析
3. 学会等名 平成28年度土木学会全国大会 第71回学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sayako Hirobe and Kenji Oguni
2. 発表標題 The Experiments and Modelling for the Desiccation Cracking
3. 学会等名 International Conference on Mechanics, Materials and Structural Engineering (ICMSE 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Sayako HIROBE and Kenji OGUNI
2. 発表標題 Numerical Analysis of Desiccation Crack Formation in Soils
3. 学会等名 International Conference on Civil, Transport and Urban Engineering (CTUE2015) (国際学会)
4. 発表年 2015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
研究 分担者	堀 宗朗 (HORI MUNEO) (00219205)	東京大学・地震研究所・教授 (12601)	