

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04576

研究課題名(和文)プレキャスト構造システムの復旧性・冗長性評価のための劣化・崩壊解析手法の開発

研究課題名(英文) Deterioration and collapse simulation method for evaluating the restorability and redundancy of precast structural systems

研究代表者

山本 佳士 (Yamamoto, Yoshihito)

法政大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：70532802

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)：プレキャスト部材および新しい継手・定着工法を適用したコンクリート構造物の冗長性や耐久性までを高解像度で評価可能な数値解析手法を開発した。すなわち、筆者が既開発している、コンクリートの破壊、鉄筋腐食、ASR等による劣化、大変位・大回転倒壊挙動までを再現可能な剛体バネモデル(RBSM)を以下の点で拡張した。(1)任意の継手・定着機構の形状を高解像度で再現し、かつその弾塑性、大変位挙動を再現可能な幾何学的非線形を考慮したソリッド要素FEMと、前述のRBSMとを結合した手法を開発した。さらに同手法を(2)倒壊過程において破壊片同士が大変位・大回転挙動を経て接触する挙動も再現できる手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した解析手法は、コンクリート構造物の破壊・崩壊過程を再現する上で重要ではあるが、既存の数値解析技術では再現できない、破壊局所化挙動および破壊局所化後の大回転、接触挙動までを国内外で唯一再現できる。また、劣化・時間依存変形モデルと上記の崩壊解析手法とを統合しており、力学的な想定外作用のみならず劣化に対する構造システムの冗長性も評価できる。さらに、同手法は継手・定着機構等の複雑な形状を高解像度で再現できる。今後同手法を用いて数値実験を行うことにより、各種新工法の、復旧性、冗長性を含む高度な安全性の評価や、寸法・形状の最適化等が可能になると考えられる。

研究成果の概要(英文)：A numerical simulation method is developed to evaluate the redundancy and even durability of concrete structural systems with precast members and new joint and anchorage methods at high resolution. In other words, the rigid-body spring model (RBSM) that the author has already developed, which can reproduce concrete fracture, deterioration due to rebar corrosion, ASR, etc., and collapse behavior with large displacements and large rotations, is extended in the following aspects:(1) A coupling method of solid element FEM with geometric nonlinearity and the above RBSM is developed to reproduce the geometry of arbitrary joints and anchorage mechanisms with high resolution, and to reproduce their elasto-plastic and large displacement behavior. Furthermore, a new method is developed that can reproduce (2) the contact behavior of fracture fragments with each other in the collapse process through large displacement and large rotation behavior.

研究分野：構造工学、計算工学

キーワード：RBSM 幾何学的非線形 大変位・大回転 接触 倒壊解析

1. 研究開始当初の背景

少子高齢化、労働人口の減少に伴い、我が国では生産性向上のための技術開発投資が活発になっている。土木学会、コンクリート委員会では、例えば、プレキャスト (PCa) 部材の形状規格化、高密度配筋箇所への機械式定着の適用、全数継手の適用拡大など、品質を確保したうえで生産性を向上するためには何をすべきか、発注者の仕様、学会の示方書、指針類あるいは研究開発に対する具体的な提案を行っている。また、建設現場における生産性向上を目的として設置された国土交通省 i-Construction 委員会では、施工の効率化を図る技術・工法の普及、導入促進を目的として、機械式継手・定着工法、埋設型枠、鉄筋のプレハブ化、あるいは PCa の適用範囲拡大のためのガイドラインの整備等が進められている。いずれにしても、新しい工法の適用により、工期短縮、省力化、品質の向上等が見込まれる半面、これまでにない新たな脆弱性が生じる可能性も十分に考えられる。一方、近年、設計時の想定を超える作用が生じた場合に対しては、構造物が、単体またはシステムとして致命的な崩壊に至らないようにする、あるいは崩壊に至るプロセスを考慮し、社会への影響が小さくなるように対策するなど、構造物の復旧性に加えて冗長性の評価も重要な課題になってきている。以上のような背景から、上記の新しい工法を適用した構造物の、部材レベルの安全性、使用性、耐久性の評価のみならず、構造システムとしての復旧性、冗長性を合理的に評価することは重要な課題である。その評価のために、現状の構造細目を前提としない、新しい継手・定着工法を含む PCa 構造物の、材料・部材の細部の破壊挙動から、構造システム全体の倒壊挙動までを高解像度で再現できる数値解析手法は有用なツールになると考えられる。PCa 構造を対象とした数値解析的研究はこれまでも多く行われており、近年では非線形 FEM を用いて静的載荷試験における最大荷重までは概ね再現できている。しかしながら、詳細なひび割れの進展挙動や、変形性能、特にコンクリートの変形・破壊の局所化挙動が生じる最大荷重以降の応答、いわゆるポストピーク挙動までは再現できていない。なお、鉄筋コンクリート (RC) 部材では、引張応力が卓越する領域に鉄筋等による補強が施されるため、終局時には鉄筋による拘束効果を含むコンクリートの圧縮破壊が支配的となるケースが多い。しかしながら、RC を対象とした現状の非線形 FEM 解析技術では、拘束効果を含む圧縮軟化・局所化現象を定量的に再現することができていない。すなわち、PCa 部材以前に RC 部材であっても現状の数値解析技術ではポストピーク挙動を再現することは難しい。さらに、ひび割れの進展、圧縮破壊の局所化挙動に加えて、鉄筋の座屈、継手・定着機構の破壊を経て、大変位・大回転挙動を伴って、構造システムが倒壊するまでを再現することはより一層難しい問題であり、そこまで再現できる数値解析手法は未だに存在していない。一方、著者は、ひび割れ、破壊の局所化等の不連続挙動の再現に利点を有する剛体バネモデル (RBSM) を、有限回転が考慮できるように拡張しており、国内外で唯一、コンクリートのひび割れ進展挙動および拘束効果を含む圧縮軟化・局所化挙動を定量的に再現し¹⁾²⁾³⁾(図-1, 2)、さらにそこから大変位・大回転挙動を伴って破壊が進展する挙動の再現に成功している⁴⁾⁵⁾(図-3)。ただし、鉄筋は梁要素を用いて簡単にモデル化しているため、現状の構造細目を前提としない、任意の継手・定着機構を有する部材の破壊挙動評価は難しい。その評価のためには、鉄筋、継手、定着機構の形状から高解像度でモデル化し、その弾塑性挙動、座屈挙動および界面の不連続挙動を表現可能な手法に拡張する必要がある。また、地震等の力学作用のみならず、各種の劣化に対する構造システムの冗長性の評価も重要な課題である。しかしながら、RC および PCa 構造物の倒壊シミュレーション手法が確立していない現状では、各種劣化現象が構造システムの安全性、耐久性、復旧性に加えて冗長性に及ぼす影響までを数値解析で評価することは当然難しい問題である。

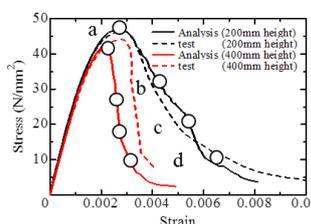


図-1 コンクリートの圧縮軟化・局所化挙動解析



図-2 RC はりの破壊局所化挙動解析

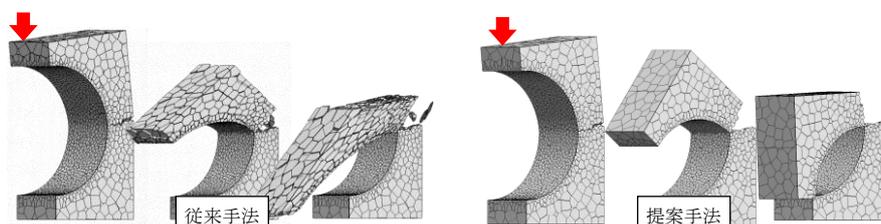


図-3 大変位・大回転挙動解析の例

2. 研究の目的

以上のような背景から、本研究では、PCa 構造および新しい継手・定着工法を適用した RC 構造の、部材レベルの性能評価に加え、構造システム全体の冗長性までを評価可能な数値解析手法を開発する。具体的には、1)コンクリートの拘束効果を含む圧縮破壊局所化挙動、2)鉄筋、継手、定着機構の弾塑性挙動および座屈を含む大変位・大変形挙動、3)収縮、クリープ、鉄筋腐食、ASR 等の各種時間依存変形・劣化現象、ならびに 4)大変位・大回転・大変形を伴う部材およびシステム全体の倒壊挙動までを、5)鉄筋の節、継手・定着機構の形状から高解像度で再現可能な数値解析手法を開発する。

3. 研究の方法

本研究では、2.で示した解析手法の性能うち、申請者が既に開発している、コンクリートの拘束効果を含む圧縮破壊局所化挙動、熱伝導・水分移動等の各種拡散現象との連成解析、収縮、クリープ、鉄筋腐食、ASR 劣化挙動、大変位・大回転挙動を再現可能な、RBSM をベースとした手法を以下の点で拡張する。まず、(1)鉄筋の節、継手・定着機構の形状から高解像度でモデル化し、かつその弾塑性応答を精度良く再現するために、有限変形理論に基づいたソリッド要素 FEM と、RBSM とを連成統合した手法を開発する。さらに、(2)同手法を、倒壊過程において各部材片同士が大変位・大回転挙動を経て接触・衝突する挙動（桁間衝突や変位制限装置の挙動も含む）も再現できるよう手法を拡張する。

4. 研究成果

(1) 幾何学的非線形性を考慮した RBSM およびソリッド要素 FEM との連成解析手法の開発

本研究では、Voronoi 分割によるランダム多面体要素を用い、さらに大変位・大回転挙動を再現できるよう拡張した 3次元剛体バネモデル(RBSM)によりコンクリートをモデル化した。RBSM は Kawai⁶⁾により提案された離散体解析手法の一つであり、対象を剛体要素とバネの集合体としてモデル化し、要素間に分布するバネのエネルギーを評価することにより、対象の力学的挙動を追求する手法である。バネに非線形構成モデルを導入することで、ひび割れ、すべり等の不連続挙動を簡便に表現することができる。図-4 に示すように、3次元 RBSM では、剛体要素内の代表点に並進 3、回転 3 の計 6 自由度を設定し、要素内に剛体変位関数を仮定する。一般的な RBSM では、要素の剛体変位関数に、微小回転の仮定に基づく回転マトリクスを用いているが、本研究では、RBSM と低減積分ティモシェンコはりの等価性に着目して新たに開発した、有限回転を含む幾何学的非線形性を考慮した手法を用いた⁴⁾⁵⁾。

図-5 に提案手法の概要を示す。提案手法では、2つの剛体要素間の力学モデルとして、図中の青線で示すように、Voronoi 面を断面を持つ、幾何学的非線形性および有限回転を考慮した低減積分ティモシェンコはり要素を仮定する。ここで、Voronoi 分割の性質上、Voronoi 面は2つの母点を結ぶ線分の垂直二等分面になる。Toi⁷⁾は、RBSM の積分点位置が2つの剛体要素の自由度設定点のちょうど中間の断面に位置している場合、その要素剛性マトリクスは、同様に軸方向中央断面に積分点を持つ 1 点積分線形ティモシェンコはり要素の要素剛性マトリクスと、完全に一致することを明らかにしている。すなわち、断面を Voronoi 面とし、Voronoi 母点を節点とする、低減積分ティモシェンコはり要素のネットワークからなる構造は、要素配列に Voronoi 分割を適用し、Voronoi 母点を自由度設定点とした RBSM と、微小変形の仮定のもとでは完全に一致する。紙面の都合上、結果は省略するが、検証解析によりこれらは実際に一致することを確認している。すなわち、2つの剛体要素間の力学モデルとして低減積分ティモシェンコ梁を仮定すれば、微小変形領域においては、従来の微小回転の仮定に基づく RBSM と等価になり、さらに、有限回転を含む幾何学的非線形性を考慮することで、大変位・大回転挙動の再現が可能になる。

また、提案手法では、低減積分ティモシェンコはり要素の断面内の積分点は、従来の手法と同様に、Voronoi 面の重心と頂点からなる三角形の重心に配置(図-5)する。さらに、提案手法では、積分点で得られる Green-Lagrange ひずみの、はり軸方向の垂直ひずみ成分および軸方向を含むせん断ひずみ成分(2成分)を、従来の RBSM における垂直バネおよびせん断バネのひずみと仮定し、著者らが提案している従来の構成モデルを適用して応力を算定し、これを第 2Piola-Kirchhoff 応力として評価して内力計算を行った。

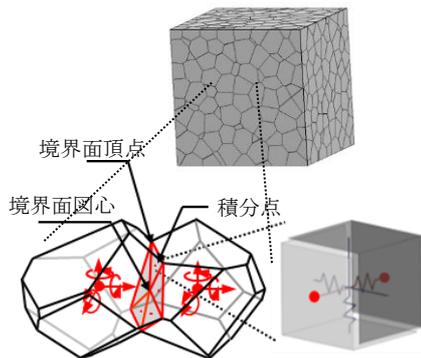


図-4 RBSM の概要

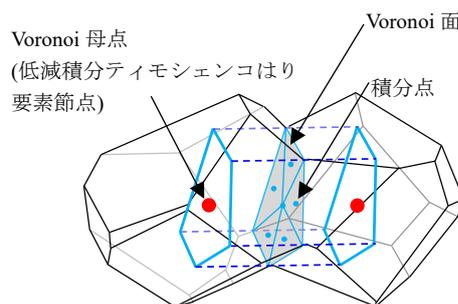


図-5 RBSM と等価なティモシェンコ梁要素

異形鉄筋あるいは継手機構等の鋼材は、幾何学的非線形性を考慮した8節点6面体ソリッド要素FEMを用いてモデル化した。構成則には等方硬化型von-Misesモデルを適用した。なお本研究では、大変位微小ひずみを仮定し、微小変形弾塑性構成則をそのまま適用した。RBSM要素とFEM要素の相互作用は、リンク要素を配置することによりモデル化した。リンク要素はRBSM-FEM要素境界面に対して法線方向のバネおよび接線方向のせん断バネを2成分からなる。リンク要素のバネのひずみは、初期配列においては同一点となる、RBSMおよびFEM側のリンク要素配置点の相対変位から算出する。ここで、提案手法の時刻 t における境界面の法線方向および接線方向は、RBSM側の境界面とFEM要素側の境界面の法線および接線方向の平均と仮定した。また、本研究では、RBSM要素の境界面を、重心と頂点からなる三角形に分割し、その三角形の重心一つ一つにリンク要素を配置した。このような配置によって、FEMの任意点に対して結合することが可能となり、また、界面に対して法線あるいは接線方向への応力の伝達だけでなく、モーメントの伝達も可能となる。

図-6に提案手法によりシミュレートした解析結果の一例を示す。提案手法は、コンクリートの圧縮破壊局所化挙動ならび鋼材の座屈挙動までを再現していることが分かる。

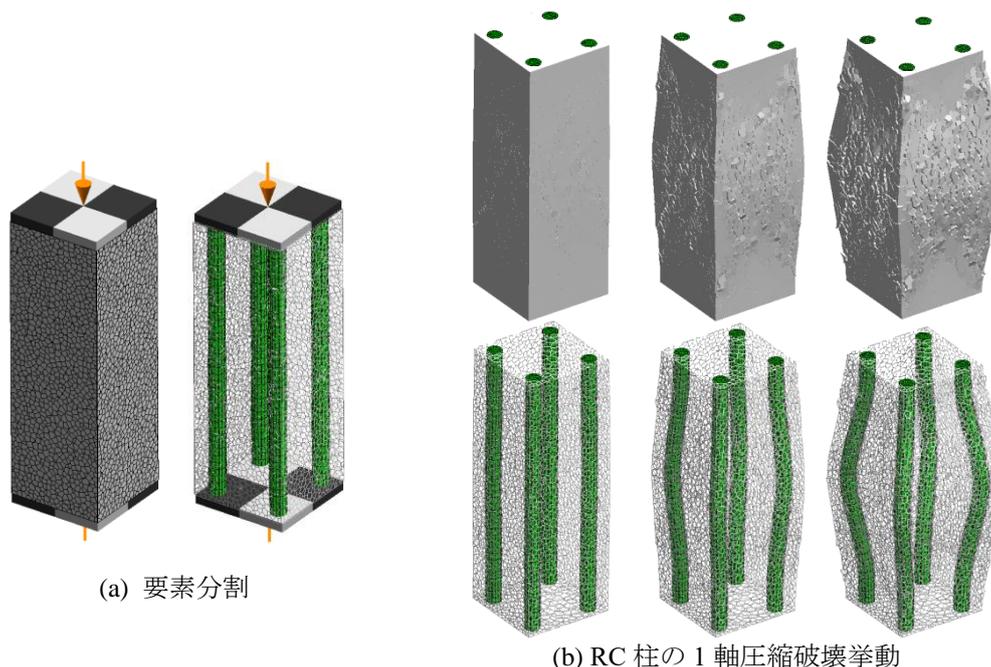


図-6 RC 柱の 1 軸圧縮破壊解析例

(2) 接触挙動を再現可能な RBSM の開発

従来の RBSM は DEM のように接触判定は行わず初期のネットワークを参照し続けるが、提案手法では、以下のように要素ネットワークを更新する。まず、剛体要素 (Voronoi 多面体形状) 間の接触判定を行う。多面体要素同士の接触判定の方法としては、Common Plane 法⁸⁾や、GJK 法⁹⁾など多くの手法が提案されているが、本研究では、Matsushima らが提案している動的最適化法¹⁰⁾を適用し、複数の球形要素で Voronoi 多面体の形状を近似して接触判定を行う方法を選択した。解析時間ステップ毎にこの複数の接触判定球を用いて接触判定を行い、新たに接触と判定された場合には、その要素母点間に新たに低減積分ティモシェンコはり要素を配置した。

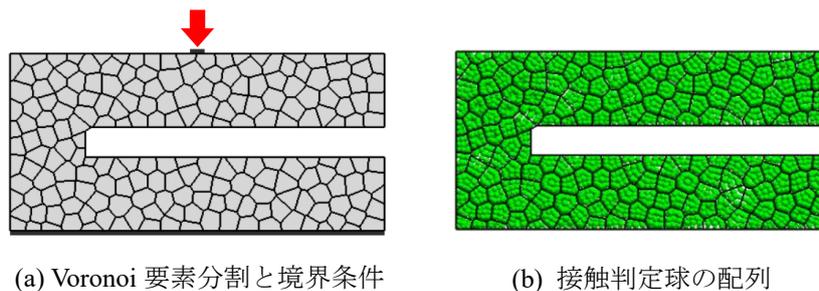


図-7 要素分割モデル

ここでは、コンクリートにひび割れが発生し、大変位・大回転が生じた後に部材同士が接触するという解析例を示す。図-7に要素分割図を、図-8および図-9は解析により得られた変形図を示している。提案手法は、最初のひび割れの進展とともに上部材が回転して下部材に接触し、その後接触面が増加している挙動、および接触反力によりコンクリートにあらたにひび割れが進展する様子を再現していることが分かる。



図-8 変形図

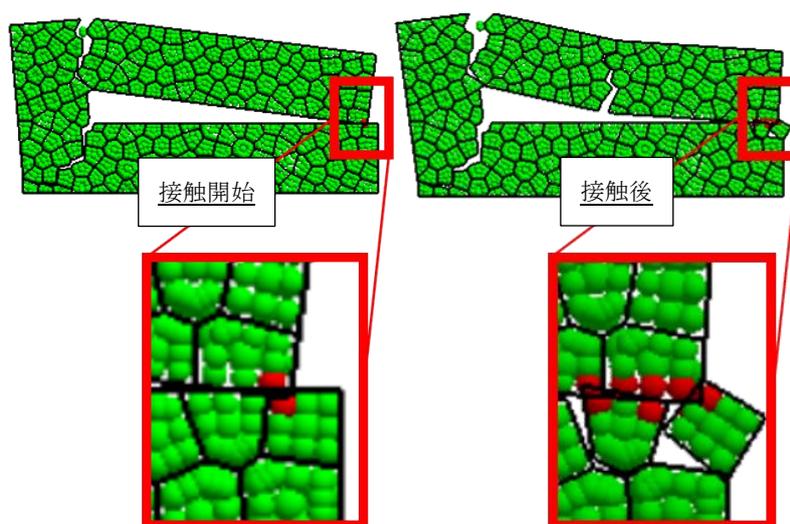


図-9 接触判定球の変位および接触の状況

参考文献

- 1) Numerical Evaluation of Localization and Softening Behavior of Concrete Confined by Steel Tubes, R. J. Mendoza, Y. Yamamoto, H. Nakamura and T. Miura, Structural concrete, Journal of the fib, 2018.
- 2) 3次元RBSMによる横拘束コンクリートの1軸圧縮破壊解析, 山本佳士, 中村光, 黒田一郎, 古屋信明, 土木学会論文集 E, Vol.66 No.4, pp. 433-451, 2010.
- 3) 3次元剛体バネモデルによるコンクリート供試体の圧縮破壊解析, 山本佳士, 中村光, 黒田一郎, 古屋信明, 土木学会論文集 E, Vol.64, No.4, pp.612-630, 2008.
- 4) 幾何学的非線形性を考慮した離散鉄筋要素を導入した3次元RBSMによるRC部材のポストピーク挙動解析, 伊佐治優, 山本佳士, 中村光, 三浦泰人, コンクリート工学年次論文集, Vol. 39, No. 2, pp.67-72, 2017.
- 5) 破壊の局所化および大回転変位を伴うRC構造物の破壊シミュレーションのための新しい離散体解析手法の開発, 伊佐治優, 山本佳士, 中村光, 三浦泰人, 計算工学講演会論文集, Vol.22, 2017.
- 6) Kawai, T. : New discrete models and their application to seismic response analysis of structures. Nuclear Engineering and Design, 48, pp.207-229, 1978.
- 7) Toi, Y. : Shifted Integration Technique in One- Dimensional Plastic Collapse Analysis Using Linear and Cubic Finite Elements, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol.31, pp.1537-1552, 1991.
- 8) Cundall, P. A. : Formulation of a three-dimensional distinct element model—Part I. A scheme to detect and represent contacts in a system composed of many polyhedral blocks, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Volume 25, Issue 3, pp. 107-116, 1988.
- 9) Gilbert, E. G., Johnson, D. W., and Keerthi, S. S. : A fast procedure for computing the distance between complex objects in three-dimensional space, IEEE Journal on Robotics and Automation, Volume: 4 Issue: 2, pp. 193-203, 1988.
- 10) Matsushima, T. and Saomoto, H. : Discrete element modeling for irregularly-shaped sand grains. Proc. Numerical Methods in Geotechnical Engineering, pp. 239-246, 2002.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Li Fu, Hikaru Nakamura, Shunyuan Chi, Yoshihito Yamamoto, Taito Miura | 4. 巻 19/12 |
| 2. 論文標題 Numerical Evaluation of Shear Strength Degradation Mechanism Dependent on the Size Increase of RC Deep Beams with Height up to 1.5 Meter by Using 3D Rigid-Body-Spring-Method | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Advanced Concrete Technology | 6. 最初と最後の頁 1245-1263 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3151/jact.18.211 | 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 山本佳士, 坂敏秀, 車谷麻緒 | 4. 巻 26 |
| 2. 論文標題 RBSMを用いた鉄筋コンクリート部材の破壊シミュレーションにおける不確かさ評価と妥当性確認 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 計算工学講演会論文集 | 6. 最初と最後の頁 1-6 |
| 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 無 |
| 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 山本佳士, 中島達也 | 4. 巻 26 |
| 2. 論文標題 要素ネットワークの更新を考慮したRBSMによるコンクリート部材の倒壊シミュレーション | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 計算工学講演会論文集 | 6. 最初と最後の頁 1-4 |
| 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 無 |
| 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 T. Miura, H. Nakamura, Y. Yamamoto | 4. 巻 260 |
| 2. 論文標題 Impact of origination of expansion on three-dimensional expansion crack propagation process due to DEF evaluated by mesoscale discrete model | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Construction and Building Materials | 6. 最初と最後の頁 119911 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.conbuildmat.2020.119911 | 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 M. S. Karam, Y. Yamamoto, H. Nakamura, T. Miura | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Numerical Evaluation of the Perfobond (PBL) Shear Connector Subjected to Lateral Pressure Using Coupled Rigid Body Spring Model (RBSM) and Nonlinear Solid Finite Element Method (FEM) | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Crystals | 6. 最初と最後の頁 743 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst10090743 | 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 Y. Yang, H. Nakamura, Y. Yamamoto, T. Miura | 4. 巻 247 |
| 2. 論文標題 Numerical simulation of bond degradation subjected to corrosion-induced crack by simplified rebar and interface model using RBSM | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Construction and Building Materials | 6. 最初と最後の頁 118602 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.conbuildmat.2020.118602 | 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 P. Srimook, Y. Yamamoto, H. Nakamura, T. Miura | 4. 巻 42 |
| 2. 論文標題 Air leakage simulation on cracked concrete material using RBSM | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集 | 6. 最初と最後の頁 551-556 |
| 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 M. S. Karam, Y. Yamamoto, K. Ikuma, H. Nakamura | 4. 巻 42 |
| 2. 論文標題 Developmmt of Voronoi meshing method capable of reproducing arbitrary shape for RBSM analysis | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集 | 6. 最初と最後の頁 541-546 |
| 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 無 |
| 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 Y. YANG, H. NAKAMURA, Y. YAMAMOTO, T. MIURA | 4. 巻 65A |
| 2. 論文標題 NUMERICAL INVESTIGATION OF EFFECT OF CORROSION-INDUCED CRACK ON BOND-SLIP RELATIONSHIP | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 構造工学論文集 | 6. 最初と最後の頁 589-599 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/structcivil.65A.589 | 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 北川晴之, 山本佳士, 中村光, 三浦泰人 | 4. 巻 41-2 |
| 2. 論文標題 RBSMによる曲げ破壊するRCはりのポストピーク挙動評価 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集 | 6. 最初と最後の頁 73-78 |
| 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 KARAM Muhammad Shoaib, 山本佳士, 小倉大季, 田中博一 | 4. 巻 41-2 |
| 2. 論文標題 Performance Evaluation of Horizontal Loop Joints in Precast Concrete Beams using RBSM | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集 | 6. 最初と最後の頁 655-660 |
| 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 Yizhou YANG, Hikaru Nakamura, Taito Miura, Yoshihito Yamamoto | 4. 巻 20-6 |
| 2. 論文標題 Effect of corrosion induced crack and corroded rebar shape on bond behavior | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Structural concrete, Journal of the fib | 6. 最初と最後の頁 2171-2182 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/suco.201800313 | 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6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 Y. Yamamoto, Y. Isaji, H. Nakamura, T. Miura |
| 2. 発表標題 Failure simulation of reinforced concrete including damage localization and rebar buckling by extended RBSM |
| 3. 学会等名 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2020) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 P. Srimook, Y. Yamamoto, H. Nakamura, T. Miura |
| 2. 発表標題 Crack propagation and air leakage simulation of concrete using RBSM |
| 3. 学会等名 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2020) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 S. Atik, Y. Yamamoto, H. Nakamura, T. Miura |
| 2. 発表標題 Mesoscale Simulation of Localized Failure of Fiber-Reinforced Concrete under Impact Loading |
| 3. 学会等名 3rd International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2020) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshihito Yamamoto, Yu Isaji, Hikaru Nakamura, Taito Miura |
| 2. 発表標題 Collapse Simulation of Reinforced Concrete Including Localized Failure and Large Rotation Using Extended RBSM |
| 3. 学会等名 10th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures (FramCoS-10) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 KARAM Muhammad Shoaib, Yoshihito Yamamoto, Hikaru Nakamura, Taito Miura |
| 2. 発表標題 Mesoscale Analysis for the Bond Behavior of Concrete under Active Confinement Using Coupled RBSM and Solid FEM |
| 3. 学会等名 10th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures (FraMCoS-10) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshihito Yamamoto |
| 2. 発表標題 Modeling of Localized Damage and Collapse Behavior on Concrete Material and Structure for Evaluation of Restorability and Redundancy |
| 3. 学会等名 19th ASEP (Association of Structural Engineers of the Philippines) international convention "Structural Engineering for Infrastructure Resilience" (招待講演) |
| 4. 発表年 2019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 |
|---------|---------|
| | |