

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26282106

研究課題名(和文)大域的津波伝搬解析から防災に資する局所情報を抽出するマルチスケール津波遡上解析

研究課題名(英文) Multi-scale tsunami run-up analysis to extract local information contributing to disaster prevention from global tsunami propagation analysis

研究代表者

浅井 光輝 (Asai, Mitsuteru)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90411230

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,100,000円

研究成果の概要(和文)：今後の巨大地震津波に備え、様々なソフトおよびハード防災・減災対策が急速に検討・整備されている。ハード・ソフト津波防災の検討に数値解析を積極的に活用するには、最低でも10～30分間の津波遡上現象を広範囲に解析しなければならず、同時に橋梁・防波堤などの重要インフラ構造物の損傷・崩壊予測までを議論の対象とすると、十分な空間解像度(10cm程度)で、かつ地盤、構造と流体の連成挙動の3次元解析を実施することが望ましい。本研究では、これまでに実績のある大域的な津波伝搬解析の結果を入力情報とし、津波遡上時の構造物周辺での局所的なマルチフィジックス現象を予測するための多階層マルチスケール解析技術を開発した。

研究成果の概要(英文)：On March 11, 2011, the huge tsunami caused by the great east Japan earthquake devastated many infrastructures in pacific coast of north eastern Japan. Particularly, the damage of outflow of bridge girders caused a traffic disorder and these collapse behaviours led to delay of recovery after the disaster. After 2011 tsunami, disaster prevention and mitigation techniques are actively developing in coastal infrastructures and establishing prediction method for tsunami disaster is one of the severe issues toward the next millennium tsunami. In this study, a multi-level and -physics tsunami simulator based on the Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) Method has been developed. The last level (Level-2) can treat multi-physics problem, and the simulator can predict bridge wash out accidents during tsunami by using one of the modules of multi-physics simulation. Each level can be connected by a proposed virtual wave maker.

研究分野：自然災害科学

キーワード：津波 粒子法 マルチフィジックス解析

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災の津波被害の教訓から今後の津波防災の見直しが急務である。特に沿岸部に多く建設されている火力発電所、原子力発電所などの重要な施設を護る海岸保全施設(防波堤・防潮堤・水門)には、衝撃的な流体力に対しても十分な構造強度を有し、たとえ越流しても堅固な基礎地盤が耐え凌ぐ粘り強さが求められている。また、防波堤については、粘り強い構造形式が求められており、その防災機能の定量的評価が必要とされている。

2. 研究の目的

今後に危惧されている巨大地震津波(東海・東南海・南海連動地震津波など)に備え、様々なソフトおよびハード防災・減災対策が急速に検討・整備されている。ハード・ソフト津波防災の検討に数値解析を積極的に活用するには、最低でも10~30分間の津波遡上現象を広範囲に解析しなければならず、同時に橋梁・防波堤などの重要インフラ構造物の損傷・崩壊予測までを議論の対象とすると、十分な空間解像度(10~20cm程度)で、かつ地盤・構造と流体の連成挙動の3次元解析を実施することが望ましい。本研究では、これまでに実績のある大域的な津波伝搬解析の結果を入力情報とし、津波遡上時の構造物周辺での局所的なマルチフィジックス現象を予測するための多階層マルチスケール解析技術を開発し、防災・減災の検討に必要な情報提供を試みる。

3. 研究の方法

独自に開発してきた粒子法による流体解析技術によれば、スパコン上でも並列計算の効率が高く、1億粒子以上を用いた津波遡上解析に成功した。世界最大規模の粒子数を用いたとしても、建物の影響を考慮した解像度(1~2m程度)で解析すると解析可能な領域は湾内および遡上の可能性のある陸域のみに限定せざるを得なく、そのため湾の入り口に仮想の津波を流入させることで対処してきた。しかしながら、その流入条件は根拠がなく信頼性に欠けるものであった。以上の経験・反省より、十分な空間解像度にて津波遡上解析を実施するためには、解像度の異なる解析技術を多階層で連成すべきとの結論に至り、以下に示す多階層のレベルの解析をシームレスに繋ぐマルチスケール解析技術を構築する。

レベル0解析：震源から沿岸域までの津波の伝搬問題を非線形浅水長波方程式として記述し、2次元差分法で解く。(グローバル津波伝搬解析)

レベル1解析：湾内部から陸域までに遡上する津波をナビエ・ストークス方程式として記述し、3次元粒子法で解く。(ローカル津波遡上解析)

レベル2解析：構造物周辺の複雑な流れと構

造物に作用する流体力を高精度に評価するために、レベル1解析結果をズームインし、さらに土木三力分野(構造・地盤・水理)のマルチフィジックス解析を展開する。マルチレベル津波解析の概念図を下に示す。

津波伝搬解析(2D解析) レベル0解析	津波遡上解析(3D解析) レベル1解析	構造物周辺流れ(3D解析) レベル2解析
解像度10m~100m	解像度1m~5m	解像度5cm~50cm
震源~湾口	湾口~内陸部	構造物周辺

図-1 仮想造波板のイメージ

4. 研究成果

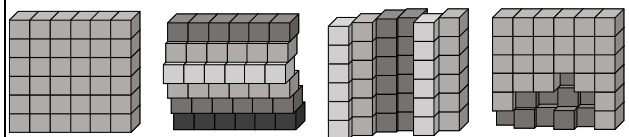


図-2 仮想造波板のイメージ

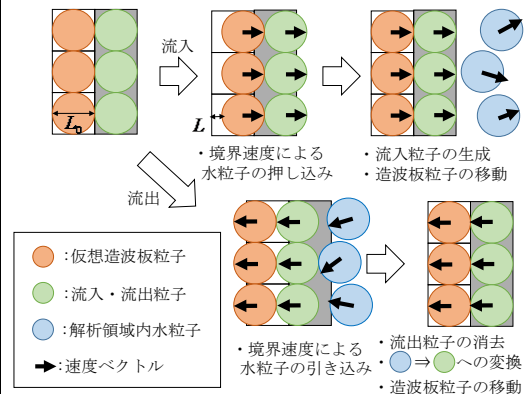


図-3 仮想造波板のイメージ

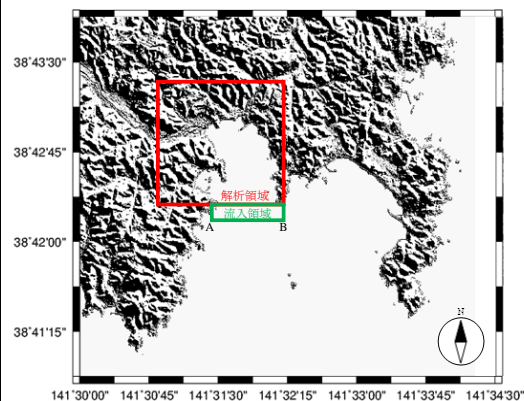


図-4 宮城南三陸町歌津地区の津波遡上解析の解析対象領域

図-1 に示した通り異なるスケールの解析をシームレスにつなぐことが本研究の主なテーマであった。そこで図-2 に示す仮想造波板を提案した。この造波板は、前スケールの解析結果を参照し、造波板を構成する各セルを動かすことで、任意の波を形成できることが特徴となる。なお、この仮想造波板は図-3 に示すような粒子の生成と消去をコントロールする機能を有しているため、異なるスケールの解析間の流入量・流出量を適切にコントロールができる。

本研究にて提案したマルチスケール津波解析の実践として、図-4 に示す宮城県南三陸町を解析対象とした。なお、レベル0 解析(2D 津波全般解析)は研究協力者の東北大学今村教授より提供いただいた。図-4 の流入領域にて観測した波(解析結果)を図-5 に示す。この解析において断層モデルには東北大学モデル Ver1.06 を用い東北地方太平洋沖地震による津波を再現した。なお、この断層モデルを用いることにより、潮位記録だけでなく浸水高や沈下量においても十分に精度が確保できていることを確認している。この信頼性のある解析結果を基にレベル1 解析を実施した例を図-6 に示す。この結果は実際の津波被害時の遡上域とほぼ一致する結果であった。

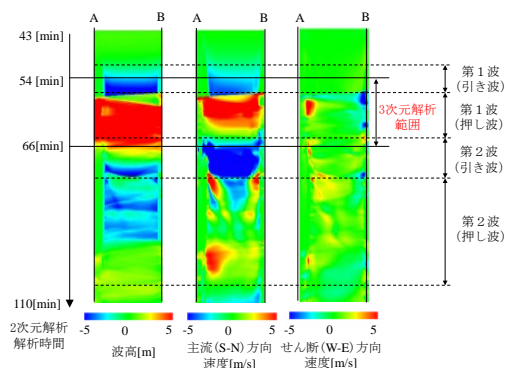


図-5 2D 津波伝搬解析結果
(図-4 に示す流入領域で観測された波)

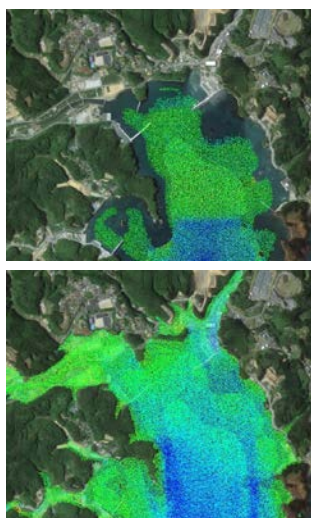


図-6 仮想造波板のイメージ

(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 Abdelraheem M. Aly, Mitsuteru Asai
「ISPH method for double-diffusive natural convection under cross diffusion effects in an anisotropic porous cavity/annulus」
International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, Vol.26. ISSUE 1, 235-268, 2017

② Masaharu Isshiki, Mitsuteru Asai, Shimon Eguchi, Hideyuki O-tani
「3D tsunami run-up simulation and visualization using particle method with GIS-based geography model」
Journal of Earthquake and Tsunami, Vol.10, Issue5, 1640020, 2016

③ Mitsuteru Asai, Yoshiya Miyagawa, Nur'Ain Idris, Abdul Muhari, Fumihiko Imamura
「Coupled tsunami simulation based on a 2D shallow water equation based finite difference method and 3D incompressible smoothed particle hydrodynamics」
Journal of Earthquake and Tsunami, Vol.10, Issue5, 1640019, 2016

④ 江口史門, 浅井光輝, 大谷英之, 一色正晴,
建物群を含む地表面詳細モデルを用いた粒子法による三次元津波遡上解析
地震工学講演会論文集(土木学会論文集 A1 特集号), Vol.72, No.4, 367-377, 2016

⑤ 宮川欣也, 浅井光輝, Abdul Muhari, 今村文彦
仮想造波板による平面 2 次元解析と 3 次元粒子法の連成型津波遡上解析
地震工学講演会論文集(土木学会論文集 A1 特集号), Vol. 72, I_473-I_481, 2016

⑥ 野上智隆, 浅井光輝, 有川太郎, Abdelreheem, Mahomound Aly
安定化 ISPH 法による離脱活動過程を有する洗掘現象の基礎検討
土木学会論文集 A2(応用力学)特集号, Vol.71, p.I_389-I_398, 2016

⑦ 宮川欣也, 浅井光輝
粒子法による多段階ズームング津波解析に向けたマトリックスアレイ状仮想造波板
土木学会論文集 A2(応用力学)特集号, Vol.71, p.I_267-I_277, 2016

⑧ Abdelraheem M. Aly, Mitsuteru Asai,
「Three-dimensional incompressible Smoothed Particle Hydrodynamics for simulating fluid flow through porous structures」
Transport in Porous Media, Volume 110, Issue 3, pp 483-502., 2015

⑨ Abdelraheem M. Aly, Mitsuteru Asai, A. Chamkha
「Analysis of Unsteady Mixed Convection in

Lid-Driven Cavity Included Circular Cylinders Motion Using an Incompressible Smoothed Particle Hydrodynamics Method」

International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow, Vol.25, 2015

⑩ Abdelraheem M. Aly, Mitsuteru Asai 「Incompressible Smoothed Particle Hydrodynamics Simulations of Fluid-Structure Interaction on Free Surface Flows」

International Journal of Fluid Mechanics Research, Vol.41, pp.471-484, 2015

⑪ 田邊将一, 浅井光輝, 宮川欣也, 一色正晴

SPH法による流体剛性連成解析とその橋梁流失被害予測への応用

土木学会論文集 A2(応用力学)特集号, Vol.70, No.2, p.I_317-I_328, 2015

⑫ 浅井光輝, 合田哲朗, 小國健二, 磯部大吾郎, 檜山和男, 一色正晴

安定化 ISPH 法を用いた津波避難ビルに作用する流体力評価

土木学会論文集 A2(応用力学)特集号, Vol.70, No.2, p.I_649-I_658, 2015

⑬ 森本敏弘, 浅井光輝, 笠間清伸, 藤澤和謙, 井元佑介

安定化 ISPH 法による拡張ダルシー則とナビエ・ストークス方程式の統一解法

土木学会論文集 A2(応用力学)特集号, Vol.70, No.2, p.I_213-I_221, 2015

⑭ Abdelraheem M. Aly, Mitsuteru Asai 「Modelling of non-Darcy Flows through porous media using an extended Incompressible Smoothed Particle Hydrodynamics」

Numerical Heat Transfer, Part B:Fundamental, Vol.67, pp. 255-279, 2014

⑮ 浅井光輝, 市村強, M.L.L.Wijerathne, 堀宗朗

スパコンを用いた自然災害被害予測シミュレーションの現状

第7回土砂災害に関するシンポジウム論文集【招待論文】, pp.199-204, 2014

〔学会発表〕(計 37 件, 国内会議は招待講演のみ)

① Mitsuteru Asai

Multi-scale -physics tsunami simulation using a particle method

International Workshop on Priority Issue 3 to Tackled by Using Post K Computer, Development of integrated simulation system for earthquakes and tsunami hazards nad disaster, Hyogo, Japan, 2016

② Keita Ogasawara, Mitsuteru Asai, Shimon Eguchi, Yi Li

Large scaled tsunami run-up analysis using explicit ISPH method

International Workshop on Priority Issue 3 to Tackled by Using Post K Computer, Development of integrated simulation system

for earthquakes and tsunami hazards nad disaster, Hyogo, Japan, 2016

③ Tetsuro Goda, Mitsuteru Asai

A coupled simulation of seepage and surface flow using a stabilized ISPH for caisson-type breakwaters collapse problems

International Workshop on Priority Issue 3 to Tackled by Using Post K Computer, Development of integrated simulation system for earthquakes and tsunami hazards nad disaster, Hyogo, Japan, 2016

④ Kensuke Harasaki, Mitsuteru Asai

ISPH-DEM coupled particle simulator for fluid-soil multiphase flow

International Workshop on Priority Issue 3 to Tackled by Using Post K Computer, Development of integrated simulation system for earthquakes and tsunami hazards nad disaster, Hyogo, Japan, 2016

⑤ Mitsuteru Asai, Shimon Eguchi, Bodhinanda Chandora

Multi-scale tsunami simulation for simulating bridge washout disaster by using a particle method

The 12th World Congress on Computational Mechanics, Seoul, Korea 【キーノート講演】, 2016

⑥ Nur Ain Binti Idris, Mitsuteru Asai, Yoshiya Miyagawa

Multi-level tsunami disaster simulation with a matrix array shaped virtual wave making plate by using the particle method

The 12th World Congress on Computational Mechanics, Seoul, Korea, 2016

⑦ Nur Ain Binti Idris, Mitsuteru Asai, Yoshiya Miyagawa

Multi-level tsunami disaster simulation by the particle method with a matrix array shaped virtual wave making plate

Proceedings of the 16th International Conference on Computation in Civil and Building Engineering, Osaka, Japan, 2016

⑧ Bodhinanda Chandora, Mitsuteru Asai, Tomoko Oya

A study of bridge washout simulation during tsunami using a particle method considering frictional contact

Proceedings of the 16th International Conference on Computation in Civil and Building Engineering, Osaka, Japan, 2016

⑨ Mitsuteru Asai, Shimon Eguchi, Nur Ain Binti Idris

Multi-Scale and -physics tsunami simulation from earthquake center to infrastructures

Proceedings of 3rd International Conference on Violent Flows, Osaka, Japan, 2016

⑩ Yoshiya Miyagawa, Mitsuteru Asai

Multi-scale bridge wash out simulation during tsunami by a stabilized ISPH method

The 3rd International Conference on Civil and

Environmental Engineering for Sustainability (IConCEES2015), Melaka Malaysia

(Best paper Award) , 2015

⑪ Tomotaka Nogami, Mitsuteru Asai, Kiyonobu Kasama, A coupling simulation between soil scour and seepage flow by using a stabilized ISPH method The 3rd International Conference on Civil and Environmental Engineering for Sustainability (IConCEES2015), Melaka Malaysia, 2015

⑫ Mitsuteru Asai, Yoshiya Miyagawa, Multi-scale and -physics particle simulation for tsunami disaster mitigation, Analysis of Continuum Mechanism and Industrial Applications (CoMFoS15), Fukuoka, Japan, 【基調講演】 , 2015

⑬ Mitsuteru Asai, Tomotaka Nogami, Yoshiya Miyagawa
Multi-level tsunami disaster simulation by a particle method

Japan-Spain Workshop on Computational Mechanics 2015, Tokyo, 2015

⑭ Mitsuteru Asai, Yoshiya Miyagawa, Tomotaka Nogami

Multi-scale and -physics tsunami disaster simulation for disaster mitigation

IWACOM-III(International Workshops on Advanced of Computational Mechanics), Tokyo 【招待講演】 , 2015

⑮ Abdelraheem M. Aly Abd Allah, Mitsuteru Asai

Application of ISPH method in fluid-structure interactions

IWACOM-III(International Workshops on Advanced of Computational Mechanics), Tokyo 【招待講演】 , 2015

⑯ Tomotaka, Nogami, Mitsuteru Asai, Abdelraheem M. Aly Abd Allah

Clarification of soil scour and seepage flow by using a particle method

IV International Conference on Particle-based Methods(Particle2015), Barcelona, Spain , 2015

⑰ Yoshiya Miyagawa, Mitsuteru Asai, Nur Ain Binti Ideis

Bridge washout simulation during Tsunami by a stabilized ISPH method, IV International Conference on Particle-based Methods(Particle2015), Barcelona, Spain, 2015

⑱ Mitsuteru Asai, Yoshiya Miyagawa
Multi-scale and -physics tsunami disaster simulation, International Symposium on Disaster Simulation, Osaka 【招待講演】 , 2015

⑲ Mitsuteru Asai, Yoshiya Miyagawa, Shoichi Tanabe

Multi-level tsunami disaster prediction by using a large scale particle simulation, 5th International Conference on Computational

Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, COMPDYN 2015, Creta Island, Greece, 2015

⑳ Yoshiya Miyagawa, Mitsuteru Asai, Shoichi Tanabe, Bridge wash out simulation during tsunami by using a particle method

2nd International Conference on Civil and Building Engineering Informatics (ICCBIE2015), Tokyo, 2015

㉑ Tetsuro Goda, Mitsuteru Asai, Abdelreheem M. Aly, Nur'Ain Idris

Numerical evaluation of tsunami force acting on tsunami refuge building by using a particle method, Proceedings of the 2014 World Congress on Advances in Civil, Environmental and Materials Research (ACEM'14) CD-ROM (7 pages), Busan, 2014

㉒ Yoshiya Miyagawa, Mitsuteru Asai and Abdelraheem M. Aly

Fundamental study for wash out simulation of bridge girders by using a particle method, Proceedings of the 2014 World Congress on Advances in Civil, Environmental and Materials Research (ACEM'14), CD-ROM (8 pages)Busan, 2014

㉓ Abdelraheem M. Aly and Mitsuteru Asai
Simulation of fluid-structure interaction using an incompressible smoothed particle hydrodynamics, Proceedings of the 2014 World Congress on Advances in Civil, Environmental and Materials Research (ACEM'14), CD-ROM (12 pages)Busan, 2014

㉔ Mitsuteru Asai, Kazuo Kashiyama, Kenjiro Terada, Shuji Moriguchi, Mao Kurumatani

Large scale tsunami simulation by a particle method and its 3D visualization, 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), Barcelona, Spain, 2014

㉕ Shoichi Tanabe, Mitsuteru Asai, Kenjiro Terada, Kazuo Kashiyama, Shuji Moriguchi, Mao Kurumatani, Numerical evaluation of tsunami impact force acted on a bridge girder during tsunami by using a particle method 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), Barcelona, Spain, 2014

㉖ Abdelraheem M. Aly and Mitsuteru Asai
Large scale simulation of fluid-structure interaction using an incompressible Smoothed Particle Hydrodynamics, 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), Barcelona, Spain, 2014

㉗ Toshihiro Morimoto, Mitsuteru Asai, Kiyonobu Kasama, Fundamental study of Fluid-Soil-Seepage flow coupled analysis by a particle method based on the mixed flow theory, 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), Barcelona, Spain,

2014

⑳ Shigenori Endo, Yoshihito Watanabe, Shunitsu Abe, Mao Kurumatani, Shinsuke Takase, Shuji Moriguchi, Mitsuteru Asai, Kenjiro Terada, Kazuo Kashiya, Fundamental Study of Free Surface Flow Analysis Using PU-Based Finite Element Method, Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE2014), Sendai, pp. 209, 2014

㉑ Shinsuke Takase, Junji Kato, Shuji Moriguchi, Kenjiro Terada, Takashi Kyoya, Mao Kurumatani, Mitsuteru Asai, Kazuo Kashiya, Masaaki Sakuraba, Kazuya Nojima, 2D-3D Hybrid Method for Tsunami Simulation Based on Stabilized Finite Element Method, Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE2014), Sendai, pp.221-222, 2014

㉒ Toshihiro Morimoto, Mitsuteru Asai, Kiyonobu Kasama, Fundamental Study for Seawall Collapse Simulation during Tsunami by Using a Particle Method, Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE2014), Sendai, pp.576-579, 2014

㉓ Abdelraheem M. Aly, Mitsuteru Asai, Simulation of Fluid-Structure Interaction in Flood Disasters Using ISPH Method, Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE2014), Sendai, pp.590-593, 2014

㉔ Shoichi Tanabe, Mitsuteru Asai, Kenjiro Terada, Kazuo Kashiya, Shuji Moriguchi, Mao Kurumatani, Numerical Evaluation of Impact Tsunami Force Acted on Bridge Girders by Using a Particle Method, Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE2014), Sendai, pp.594-597, 2014

㉕ 浅井光輝(招待講演)
津波・構造物解析の現状について
土木学会関東支部技術情報部会「京コンピュータによる地震津波シミュレーション」, 東京, 2017

㉖ 浅井光輝(招待講演)
粒子法によるマルチスケール・フィジックス津波被害予測解析
土木学会・地震工学委員会平成28年度第3回研究会「地震工学分野における高度解析技術」, 東京, 2016

㉗ 浅井光輝(招待講演)
安定化非圧縮性 SPH 法の精度検証と妥当性確認
日本応用数理学会 2016 年度会, 北九州, 2016

㉘ 浅井光輝(招待講演)
マルチスケール粒子法による構造物に作用する流体力評価
日本原子力学会 2016 年秋の大会, 久留米, 2016

㉙ 浅井光輝(基調講演)
粒子法による流体解析の現状と津波防災への応用
対津波設計のベンチマークテストに関するシンポジウム, 2016

〔図書〕(計1件)

① 「耐津波学 津波に強い社会を創る」, 森北出版 (分担執筆 担当9章), 2015

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅井 光輝 (ASAI, Mitsuteru)

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 90411230

(2) 研究分担者

笠間 清伸 (KASAMA, Kiyonobu)

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 10315111

一色 正晴 (ISSHIKI, Masaharu)

愛媛大学・理工学研究科・講師

研究者番号: 30583687

伊津野 和行 (IZUNO, Kazuyuki)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号: 90168328

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

今村 文彦 (IZUNO, Kazuyuki)

東北大学・災害科学国際研究所・教授

研究者番号: 40213243