

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2010

課題番号：19206052

研究課題名（和文） 固液連成型流域洪水土砂流出数値モデルの開発

研究課題名（英文） Solid-liquid recursive hydraulic model for flooding river flows

研究代表者

清水 康行（SHIMIZU YASUYUKI）

北海道大学・大学院公共政策学連携研究部・教授

研究者番号：20261331

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、集中豪雨に伴う洪水氾濫流及び河川流域内の表面及び浸透流とそれらに駆動される土砂流及び流動地盤を連成して評価し得る数値モデルを構築し、近年中小河川流域で頻発している異常流出が原因となる河道や河床だけでなく流域の地形をも大きく変化させる大規模な土砂流動の予測法を確立することである。

研究成果の概要（英文）：

This research presents numerical and analytical models describing sediment transport occurring at wide-ranging scales in flooding river flows; local sand-laden turbulent flow, river-bed evolution at meandering length scale, morphological effects of permeable groundwater, and responses of flood to multiple-scaled watersheds.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	17,700,000	5,310,000	23,010,000
2008年度	10,100,000	3,030,000	13,130,000
2009年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2010年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
年度			
総計	37,300,000	11,190,000	48,490,000

研究分野：水工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：土砂災害・水工水理学・減災・洪水

1. 研究開始当初の背景

近年頻発化、大規模化が進行しているといわれている台風に起因する極めて強い集中豪雨により過去の災害形態とは異なる大規模な洪水が発生し、毎年深刻な被害が後を断たず人的経済的に多大な損害を与え続けている（例えば、沙流川2003年台風10号出水など）。特に河川整備が十分でない中小河川流域では堤外への氾濫による住宅、農地の冠水や河岸の局所的な侵食だけではなく、浸透流による地滑りや斜面崩壊等の大規模土砂流

動を伴い流域地形の変化さらにこれに応じた流路の再形成が誘発される事例が報告されている。また、多くの中小河川が位置する谷低平野では、集中豪雨に伴い谷底全面に渡って流下する洪水流の発生及びそれに伴う大規模な地形変化もまた異常出水に起因する特徴的な災害形態である。一方、浅水流方程式をベースとした洪水流の計算は古くから数多く行われ、その流況をインプットとした流砂量式を基本とした掃流砂の移動、河床形状の変化についても多くの研究例がある。

しかしながら、洪水時には流速及び乱れが著しく強化され、河道を構成する地盤が液化化する流動層が発達すると共に流れによりこの流動層ごと削り取られ大規模な河床及び河岸侵食が発生し、大量の土砂が放出される。この様な土砂流動層では地盤内浸透流速もまた顕著に発達し、通常の浸透流解析で基本となるダルシー則の仮定を逸脱するため固液混相流として取り扱う必要があり、流れ-土砂-地盤相互作用が極めて重要になる。さらに、流域スケールにおいても豪雨時に顕著に発達する地表流、地盤内の浸透流の両者は、流路スケールの侵食とこれに伴う側岸斜面崩壊を繰り返し発生させ、大規模地形変化を誘発すると共に大量の侵食土砂を下流へと放出する。この様に洪水時に特に顕著となる流れ-地盤相互作用は、地盤構成材料の土質及び土粒子の粒度分布に大きく依存し、地盤のレオロジーと深く関係している。洪水下の大規模土砂侵食及び輸送、流動地盤の大変形を評価、予測するためにはこの相互作用を含めた洪水流と河床及び側岸土砂及びそれらを取り巻く地盤との連成計算が必要となるが、この様な研究が国内外で行われた例はない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、集中豪雨に伴う洪水氾濫流及び河川流域内の表面及び浸透流とそれらに駆動される土砂流及び流動地盤を連成して評価し得る数値モデルを構築し、近年中小河川流域で頻発している異常流出が原因となる河道や河床だけでなく流域の地形をも大きく変化させる大規模な土砂流動の予測法を確立することである。これは以下の要素研究を統合することによって実現できる。

(1) 移動床河川の河床形態のうちの重要な要素である、小規模河床形態と中規模河床形態について、流れの形態、流砂形態、抵抗の状態、境界条件の違いなど様々な局面からその特徴を分析して形成機構を解明し、河川工学上の問題との関連を明らかにする。

(2) 洪水波形状と水みちの形状との関係の定量化をすすめる。流量と川幅の関係をさらに明確にするため、安定川幅の理論解析を進める。また、これらの知見を利用し、流域規模での地形形成の機構を解明する。浸透流によって発生する地形の大変形過程を水理実験により、明らかにする。透水層で構成される斜面下流端では湧水が発生し、浸透水の湧出による斜面下流端の侵食と水路の形成との関係を解明する。浸透流によって発生する水路群の形成モデルを基に理論解析を行う。

(3) 浮遊砂輸送の確率モデルを、河床上のラグランジュ固液混相乱流数値モデルにより多様な流れについてパラメータスタディを行う。再現計算結果と実験結果とを比較

し、その再現性、不確実性について定量化する。

(4) 非粘着性土の流砂が粘着性土の侵食速度に与える影響を考慮した河床変動解析モデルを構築し、河床の侵食特性の違いが流砂及び河床変動特性に与える影響を明らかにする。

3. 研究の方法

上記それぞれの要素研究に対して実施した研究の方法を以下に示す。

(1) 河床波の形成・消失といった遷移現象は洪水時に現れるため、洪水時に見られるような流量の非定常性が河床形状の変化に対してあたえる遷移的影響を実験で再現し、その水理特性を明らかにした。蛇行水路の河床変動に関して、今までは主に均一粒径の河床材料における特性が検討されてきたが、2009年度は混合粒径、さらには蛇行水路における2流の算定方法との関係について、新たなモデルの開発を行うとともにその特性の検討を行った。

(2) 浸透流による侵食によって発生する地形形成過程を明らかにする。透水層で構成される斜面下流端では湧水が発生し、浸透水の湧出による斜面下流端の侵食が進行する。その際、流れは場所的に一様に生じることはなく、微小な擾乱に応じて流れの集中する箇所が現れる。そこでは侵食が活発になるため更なる流れの集中が発生し、水路が形成される。浸透流によって発生する水路群の形成モデルを構築し理論解析を行う。同時に実験を行って理論の検証を行う。

流域規模の地形と河川形状との関係を解明するため、大規模洪水で流域規模の地形が形成される谷底平野に焦点を当て、水理実験及び地形の形成に関する理論解析を実施する。具体的には、水理実験は大流量時に形成される地形に小規模の流量を通水させ、地形の変化を把握し、理論解析では新たな理論の検討を行うとともに既往の理論がどの程度まで現象を再現できるかを明らかにする。

研究期間においては大きく分けて以下の二つの研究課題の解決と解明に取り組んだ。ひとつは、複雑な形状を呈する自然河川に適した直交座標系を基本とした境界適合法とその格子生成法の開発である。もうひとつは、最大水面幅が有限の流路における大規模出水時の中規模河床波の形成過程の解明である。

(3) Super-resolution PIVによる小規模河床波上の固液乱流中の砂、流体の同時計測により、浮遊砂が与える乱流の変調と乱れが砂輸送に与える統計的特徴を水理実験により抽出する。同時にラグランジュ固液混相乱流数値モデルにより混相乱流場を再現し、実験パラメータとの検証を経て、浮遊砂の輸

送、河床の局所侵食と堆積を記述する統計モデルを開発する。

(4) 水路実験及び現地調査により現象の把握を行うとともに、数値解析モデル構築のための基礎データを得た。数値解析では、これらのデータを利用し、河床材料の粒度特性が砂州地形に与える影響を明らかにするとともに、粘着性・非粘着性混在場における流路・河床変動解析が可能な平面二次元モデルを構築した。

4. 研究成果

それぞれの要素研究に対する研究成果を以下に示す。

(1) 個液連成型流域内土砂流出モデルにおける要素モデルとして、浮遊砂が卓越する低平地湿原内の自由蛇行河川の長期変動に関する実験的研究および数値計算モデルの開発を行った。特に、従来不明であった河川の河幅維持機構に着目し、粘性河岸からの落下土塊が外岸の侵食抑制に貢献し、その結果内岸の堆積を促進し、結果的には河幅の維持機構に重要な役割を果たしていることを明らかにした。

また、流域内土砂輸送モデルの中の要素モデルとしての合流点モデルを開発し、土砂輸送の河川合流点における挙動を明らかにした。

(2) 実験によって、ガリ群は浸透流の湧出によって発生した表面流による表面侵食と、ステップ脚部が侵食されることによって発生する斜面崩壊によって発生することがわかった。浸透流によるガリ形成モデルを構築し、それを基に線形安定解析を行いガリ形成間隔の決定機構を明らかにした。

発達した水路は頭部を分岐させながら複雑な水路網を形成していく。分岐のメカニズムを明らかにするために、斜面下流端に円形の切り欠きを作り、上流から一様流を発生させ、円形の切り欠きが侵食によって変形していく様子を調べる実験を行った。その結果、切り欠き部の半径が水深に比べて十分大きくなると分岐が発生することが確かめられた。

氾濫流の波形と河道幅との関係について、様々な場合を想定した水理実験を実施し、洪水波形の減水速度が地形形成に大きく影響を及ぼすことを示した。また、減水期の掃流力が一時的に増大する際（水みち形成流量流下時）に、川幅が決定されることを定量的に明らかにした。さらに、定常状態を仮定した流砂の平衡状態から導かれた安定横断形状が氾濫流の減水期に形成される河道形状をも表現できることを示した。実際の火災では、さらに植生の侵入時期と洪水の発生時期との関係も地形形成に大きな影響を与えていることを確認した。

自然河川は複雑な形状を呈するためのその

形状を数値計算に的確に反映するために何らかの境界適合法が導入されることがほとんどで、その代表的な境界適合法として一般座標系がある。一般座標系は自由度が高く柔軟性に富む。その一方で、格子構成のパターンが無限に存在するために格子構成が煩雑になることや、湾曲部などで平面曲率が大きい場合では適当な数値解が得られない問題がある。これらの問題の解消のために、直交座標系を基本としながら境界適合法が必要な場所のみに任意多角形を適用する部分境界適合法の開発を行った。さらに、部分境界適合法を発想の端緒として四分木構造格子による境界適合法を導入した浅水流方程式の数値計算法の開発を行った。四分木構造格子を導入した計算法では境界適合法が必要となる縁部のみならず河川地形の急変点などに対しても局所的な高解像度化を容易に実現可能とする特徴がある。

中規模河床波の動態把握においては、一つに変形過程におけるモード減少、もう一つに砂州の形成流量の非定常性が重要であることが理解されるようになり、新たな展開の時期を迎えている。これまでの同問題に関する研究では、流路の平面形状は河床波の動態に従属的であるとの考え方から直線水路が用いられてきた。しかし、谷底低地などでは大規模出水時の最大水面幅は有限となり、このような条件下では流路平面形状は拘束されることになるものの、過去に十分な検討は行われていない。このことに着目した数値実験を行った。この実験では流路の平面形状として、直線、sine-generated-curve で定義した蛇行流路、流路中央で河岸平面形を反転させたひょうたん型流路の3つを考え、同様の土砂水理学的な条件を与えて中規模河床波を形成させた。これらの数値実験から、中規模河床波は流路平面形状に支配的な影響を受けることが示唆される解析結果が得られた。

(3) Super-resolution PIV による小規模河床波上の固液乱流中の砂、流体の同時計測により、浮遊砂が与える乱流の変調と同時に乱れが砂輸送を修正する相互力学作用が存在する。これは、従来河川流れのパラメータとして用いられてきた流量と水深では決定できなく、浮遊砂の拡散を記述する乱流統計量と砂の流体への追従性を与えるストークス数、抗力を定義する粒子レイノルズ数を導入することで、統計的な流れ場を特徴化できる。デューン背後の剥離渦による砂の輸送効果は大きく、流下方向へ減衰振動する侵食、堆積パターンを模擬する統計モデルを開発した。固液 two-way 数値解析により、浮遊砂が励起する3次元的構造を持つ乱流の発生を模擬し、重力下の浮遊砂のラグランジュ的輸送を記述するモデルのチューニングを行った。これらの一連の研究により、デューン上

の固液乱流中の局所的な乱れの寄与を含む再現計算が可能となる。

(4) ベトナム・サイゴン川及びカンボジア・チャトムック領域における河岸浸食域と河床材料の調査を行い、粘着性・非粘着性混在場における流路変動特性に関する現地データを得た。また、これらのデータを利用し、河岸の上層が粘着性土・下層が非粘着性土を有する場における河岸浸食モデルを構築した。さらに、開発した河岸浸食モデルを平面二次元河床変動解析モデルに導入し、河床及び河岸材料が粘着性土と非粘着性土が混在した場の河床・流路変動モデルを構築した。また、非粘着性土による粘着性土の浸食過程について水路実験で明らかにした。また、土砂と水の混層流を一流体モデルとして扱い、河床面の摩擦速度を予測し、非粘着性土による粘着性土の浸食過程を理論的に説明した。

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 31 件)

1. G. Parker, Y. Shimizu, G. V. Wilkerson, E. C. Eke, I. J. D. Abad, J. W. Lauer, C. Paola, W. E. Dietrich and V. R. Voller: A new framework for modeling the migration of meandering rivers, *EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS*, Vol. 36, pp. 70-86, 2011. 査読有
2. Atinkut Mezgebu WUBNEH and Norihiro IZUMI: Channels formed on steep slopes, *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 55, S_127-S_132, 2011. 査読有
3. 笠原孟, 清水康行, 木村一郎, 山口里実: DEM-URANS カップリングアプローチによる Dune 発生過程の数値シミュレーション, *土木学会水工学論文集*, 第 55 巻, pp. 835-840, 2011. 査読有
4. 禅野浩貴, 岩崎理樹, 清水康行, 木村一郎: 平面二次元モデルを用いた実物大越流破堤実験の再現計算, *土木学会水工学論文集*, 第 55 巻 pp. 853-858, 2011. 査読有
5. 岩崎理樹, 清水康行, 木村一郎: Tidal Creek の発達に関する実験と数値計算, *土木学会水工学論文集*, 第 55 巻, pp. 859-864, 2011. 査読有
6. 田中甫幸, 清水康行・木村一郎・岩崎理樹: 札幌市における河道改修と氾濫形態の変化, *土木学会水工学論文集*, 第 55 巻, pp. 895-900, 2011. 査読有
7. 井上卓也・清水康行・木村一郎・川村里実: 1次元ブシネスク方程式モデルを用いた豊平川における三角状水面波列の数値計算, *土木学会水工学論文集*, 第 55 巻, pp. 997-1002, 2011. 査読有
8. 佐々木章允・渡邊康玄: 常呂川における地形と植生による土砂輸送への影響, *水工学論文集*, 第 55 巻, 889-894, 2011. 査読有
9. 益本孝彦・渡邊康玄: 洪水減水期における水みちの形成, *水工学論文集*, 第 55 巻, 799-804, 2011. 査読有
10. Ichiro Kimura, Shinichiro Onda, Takashi Hosoda, Yasuyuki Shimizu: Computations of suspended sediment transport in a shallow side-cavity using depth-averaged 2D models with effects of secondary currents, *Journal of Hydro-environment Research* 4, pp.153-161, 2010. 査読有
11. Wandee Thaisiam, Yasuyuki Shimizu and Ichiro Kimura: THE INFLUENCE OF NONUNIFORM SEDIMENT ON DUNE EVOLUTIONS, *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering*, vol. 28, No1, pp. 69-85, 2010. 査読有
12. Mung Dinh Thanh, Ichiro Kimura, Yasuyuki Shimizu and Takashi Hosoda: Numerical simulation of flow at an open-channel confluence using depth-averaged 2D models with effects of secondary currents, *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 13, pp. 769-780, August, 2010. 査読有
13. Krishna Prasad Dulal, Kensuke Kobayashi, Yasuyuki Shimizu, Gary Parker: Numerical computation of free meandering channels with the application of slump blocks on the outer bends, *Journal of Hydro-environment Research*, pp. 239-246, 2010. 査読有
14. Krishna Prasad Dulal, Yasuyuki Shimizu: Experimental simulation of meandering in clay mixed sediments, *Journal of Hydro-environment Research*, pp. 329-343, 2010. 査読有
15. Pornprommin A. and N. Izumi: Inception of Stream Incision by Seepage Erosion, *J. Geophys. Res.*, doi:10. 1029/2009JF001369, 2010. 査読有
16. A. M. WUBNEH, A. PORNPROMMIN, N. IZUMI, and J. NAGAHARA: Experiments on channel inception by surface runoff, *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 54, 151-156, 2010. 査読有
17. Hiroshi Takebayashi, Masaharu Fujita and Tetsuya Tamaki: Effect of temporal change of sediment supply conditions on bed geometry of braided channels in Tagliamento River, *Proceedings of International Symposium on*

- Ecohydraulics, Vol. 8, CD-ROM, 2010. 査読有
18. Pornprommin, A., N. Izumi, and T. Tsujimoto: Channelization on plateaus with arbitrary shapes, J. Geophys. Res., 114, F01032, doi:10.1029/2008JF001034, 2009. 査読有
 19. A. Pornprommin and N. Izumi: Linear stability analysis of escarpment planforms by groundwater sapping, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 53, 139-144, 2009. 査読有
 20. A. Pornprommin, Y. Takei, A. M. Wubneh and N. Izumi: Numerical simulation of channelization by seepage erosion, Journal of Applied Mechanics, JSCE, Vol. 12, 887-894, 2009. 査読有
 21. Hiroshi Takebayashi and Takeshi Okabe: Braided streams with vegetation presence under unsteady flow, Water Management, Institution of Civil Engineers, Thomas Telford Publishing, Volume 162, Issue 3, pp. 189-198, 2009. 査読有
 22. 益本孝彦, 渡邊康玄, 佐々木章允: 洪水減水期における水みち形成に関する実験, 土木学会河川技術論文, 15, 225-230, 2009. 査読有
 23. 山本昌慧, 渡邊康玄, 安田浩保: 標津川蛇行復元試験地における砂州の形成と樹木の生育特性, 土木学会河川技術論文集, 15, 135-140, 2009. 査読有
 24. 渡邊康玄・清水康行: 再現手法による交互砂州形状への影響, 理論応用力学講演会講演論文集, 58, 2009. 査読有
 25. 渡邊康玄, 早川博, 清治真人: 安定解析に基づく川幅の自律形成機構, 水工学論文集, 第 53 巻, 739-744, 2009. 査読有
 26. Pornprommin, A. and Izumi, N., Experimental study of channelization by seepage erosion, Journal of Applied Mechanics, Vol. 11, JSCE, 709-717, 2008. 査読有
 27. Hiroshi Takebayashi: Instability of stream geometry, Proceedings of International Conference on Scour and Erosion, JGC, Vol. 4, pp. 134-139, 2008. 査読有
 28. 安田 浩保, 清水 康行: 座標軸非依存の部分境界適合法による蛇行流路の数値計算, 土木学会 水工学論文集, 第 52 巻, pp. 1003-1008, 2008. 査読有
 29. 竹林洋史, 江頭進治: 混土砂の粒度分布形状及び粒度の予測法が交互砂州の変動特性に与える影響, 水工学論文集, 第 52 巻, pp. 595-600, 2008. 査読有
 30. 渡邊康玄: 川幅および派川の自律形成機構に関する安定解析, 理論応用力学講演会講演論文集, 57, 319-320, 2008. 査読有
 31. Hiroshi Takebayashi, Takeshi Okabe and Yusuke Shiozaki: Geometric characteristics of bars on layers with rocks or cohesive material, River Sedimentation, Vol. 10, pp. 267-277, 2007. 査読有
- [学会発表] (計 14 件)
1. 加藤宏隆, 大槻政哉, 齋藤佳彦, 清水康行, 木村一郎, 上石勲: MPS を用いた雪崩シミュレーションモデルの構築, 第 26 回寒地技術シンポジウム, pp. 78-83, 2010. 12. 8
 2. Toshiki Iwasaki, Yasuyuki Shimizu, Ichiro Kimura: Computations of bed deformation and sediment sorting in a meander channel using a depth-averaged morphodynamic model, Proceedings of 8th International symposium on Ecohydraulics 2010, COEX, Seoul, Korea, pp. 1743-1750, 2010. 9. 15
 3. Mung Dinh Thanh, I. Kimura & Y. Shimizu, T. Hosoda: Depth-averaged 2D models with effects of secondary currents for computation of flow at a channel confluence, River Flow 2010 - Dittrich, Koll, Aberle & Geisenhainer, pp. 137-144, 2010. 9. 10
 4. Eriko Yahata, Ichiro Kimura, Toshiki Iwasaki & Yasuyuki Shimizu, Jonathan M Nelson: Comparisons of Various CFD Models for Computing River Flows Focusing on Secondary Currents, River Flow 2010 - Dittrich, Koll, Aberle & Geisenhainer, pp. 219-224, 2010. 9. 10
 5. Yasuyuki Hirai, Kei Karasawa, Yasuharu Watanabe: AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE FORMATION PROCESSES OF WATER COURSE AND SANDBAR DURING THE FALLING STAGE OF FLOODING, 17th Congress of the Asia and Pacific Division of the International Association of Hydro-Environment Engineering and Research, 2010. 7. 21.
 6. Yasuharu WATANABE, Takahiko MASUMOTO, Hiroshi HAYAKAWA, Yasuyuki HIRAI, STABILITY ANALYSIS ON THE SELF-ADJUSTMENT OF RIVER WIDTH, 17th Congress of the Asia and Pacific Division of the International Association of Hydro-Environment Engineering and Research, 2010. 7. 21
 7. Masato YAMAMOTO, Yasuharu WATANABE, Hiroyasu YASUDA, THE RELATIONSHIP BETWEEN THE BAR GENERATION PROCESS AND

- TREE GROWTH AT THE MEANDER RESTORATION SITE ON THE SHIBETSU RIVER, 17th Congress of the Asia and Pacific Division of the International Association of Hydro-Environment Engineering and Research, 2010.7.21
8. Y. Hirai, S. Kawamura, Y. Shimizu & I. Kimura: An experimental study on the process of dune transition under unsteady water flow, Environmental Hydraulics-Christodoulou & Stamou (eds) pp. 801-806, 2010. 6. 24
 9. I. Kimura & S. Takimoto, K. Blanckaert, Y. Shimizu, T. Hosoda: 3D RANS computations of open channel flows with a sharp bend, Environmental Hydraulics-Christodoulou & Stamou (eds) pp. 961-966, 2010. 6. 24
 10. T. Nagata, H. Yasuda, Y. Watanabe, A Study on Flow Distribution for Maintaining Two-way Channel in an Alluvial Plain, 6th International Symposium on Environmental Hydraulics, IAHR, 2010. 6. 24
 11. Yasuharu WATANABE, Takahiko MASUMOTO, Experimental study on channel formation in low flow conditions on bars created in high flow conditions, RCEM2009, 743-749, 2009. 9. 24
 12. Pornprommin, A., and N. Izumi, Linear stability analysis of channelization by seepage erosion, Proceedings of the 6th IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Vol. 6, 195-204, 2009. 9. 24
 13. H. Yasuda, Y. Watanabe, Deformation Process Of Sandbar And Interaction Between Vegetation And Sandbar In Meandering Channel Of Shibetsu River, Proceedings of 5th ICHE Symposium, 2008. 9. 10
 14. Y. Watanabe, H. Yasuda: Observation On Behavior Of Flowing Driftwoods Around Bridge Pier, Proceedings of 5th ICHE Symposium, 2008. 9. 10

6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 康行 (SHIMIZU YASUYUKI)
北海道大学・大学院公共政策学連携研究部・教授
研究者番号：20261331

(2) 研究分担者

泉 典洋 (IZUMI NORIHIRO)
北海道大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：10260530

渡部 靖憲 (WATANABE YASUNORI)
北海道大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：20292055
渡邊 康玄 (WATANABE YASU HARU)
北見工業大学・社会環境工学科・教授
研究者番号：00344424
竹林 洋史 (TAKEBAYASHI HIROFUMI)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号：70325249
安田 浩保 (YASUDA HIROYASU)
新潟大学・災害復興価格センター・准教授
研究者番号：00399354

(3) 連携研究者 なし