

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2023

課題番号：19KK0118

研究課題名（和文）バングラデシュ農村地域における水防災と環境共生技術の開発に関する研究

研究課題名（英文）Research on water-related disaster mitigation and environment symbiosis technology in rural Bangladesh

研究代表者

川池 健司（Kawaike, Kenji）

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：10346934

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：河岸浸食防止対策としてのバンダル型水制工の改良に関する検討を行った。その結果、日本の伝統的工法である聖牛構造物との融合を提案し、構造物周辺の地形変動と構造物の順応性に関する基礎水理実験を実施した。また、構造物周辺の局所洗掘軽減対策として、これまで提案した群杭に続き、ベーン工の効果に関する検討も行った。また、湾曲部における河床変動・側岸侵食の3次元数値解析モデルを開発し、水制間隔の最適配置や側岸侵食の再現計算において良好な結果が得られた。さらに、メグナ川下流域において、産業地域が浸水することによる有害物質の推定拡散域を可視化し、地下への浸透の考慮が物質輸送解析に及ぼす影響を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

バングラデシュをはじめとするベンガル地域で長年用いられてきたバンダル型水制に対して、洪水流への耐性を考慮して聖牛と融合した構造を提案することで、現地でのバンダル型水制の機能向上が期待でき、今後の水制の機能に関して新たな学術的知見が得られた。また、河床変動・側岸侵食に関する3次元解析モデルを構築したことで、水制の設置による河床地形の応答特性や、洪水流による側岸侵食の抑制効果を検討することが可能になった。産業地域の浸水による汚染物質の拡散は世界各地で発生しているものの研究事例は少なく、その拡散地域を予測して可視化する手法を提案したことは学術的にも社会的にも大きな意義を持つと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Improvement of Bandal-like structures has been considered as countermeasures against river bank erosion. As a result, assimilation with Seigyu-structure, Japan's traditional groin methodology, is proposed, and fundamental hydraulic experiments have been implemented on morphology around the structures and their adaptation to the surrounding environment. In addition, the effectiveness of Vane works as well as group piles ever proposed has been discussed. Three-dimensional numerical model was developed to consider the riverbed deformation and river bank erosion along meandering channels, and reasonable results were obtained about optimal installation pattern of the groins and reproduction of river bank erosion phenomena. Furthermore, in the downstream area of the Meguna River, the estimated affected areas of pollutant material due to inundation of industrial areas were visualized, and the effects of underground infiltration on the pollutant material propagation was evaluated.

研究分野：防災水工学

キーワード：洪水災害 河岸侵食 水制工 バンダル 水質汚濁

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

バングラデシュ農村地域では水防災インフラの整備水準は低く、6~9月のモンスーン期になると、田畑・住宅への浸水や巨大河川等からの洪水で毎年のように被害を受け、多くの人命と財産が失われている。近年、地球温暖化に伴う降雨特性の変化と農村開発に伴う人口分布・土地利用の変化によって、災害リスクはますます増加傾向にある。さらに、深刻な河岸浸食(図1)によって土地が流亡し、土地を失った農家が貧困に陥いるという問題がある。貧困に陥れば安くて危険な土地に住まざるを得なくなり、より不利な生活を強いられるばかりでなく、毎年の水害によって生命の危険にもさらされるという「被災と貧困のスパイラル」が生じている。特に、外部からの予算が少なく、政策上の優先度が低い農村地域には、地元の伝統的な知恵を生かした現地適応型防災減災技術の構築が求められる。

また、農村地域特有の施肥、殺虫剤、家畜排泄物、農業系廃棄物による面的水質汚染、そして、洪水時における汚染物質の流出・拡散・堆積による二次被害や健康・福祉・女性の役割といった面から様々な社会問題等が懸念される。バングラデシュの農村では、ゴミ処理や下水処理水準は低く、廃棄物の無秩序な放棄、川・池へのゴミの投棄や未処理廃水の河川への放流等によく見られる光景である。近年農村地域の開発に伴い、国のシンボル産業である縫製工場、食品加工工場やEPZ(輸出加工区)等の農村への進出は増えている。汚染源の量的増加と多様化に対応した排水処理技術開発、汚染物質の挙動特性解明、ならびに廃棄物の利活用技術の確立が求められる。

中でも、人命にかかわる堤防決壊や、農村地域の貧困を引き起こす土地流亡を防止させるための側岸侵食対応、対策としての水制工の機能評価、汚染物質の流出・拡散・堆積によるリスクの予測と可視化は喫緊に解決すべき重要な問題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、バングラデシュ農村地域における現地適応型水防災減災技術の構築と洪水時における水質汚染の抑制と環境保全技術の開発を行い、災害レジリエンスと環境共生の融合した持続可能な農村づくり手法の確立を目指し、以下の項目を目的として研究を実施する。

- 1) 降雨による内水氾濫と河川増水による外水氾濫の発生要因と被災特性を解明し、激変する農村地域の災害脆弱性を評価する。
- 2) バングラデシュを代表とする伝統的河川工法の検証と改良を行い、現地適応型タイムライン式防災行動計画手法を開発する。
- 3) 農村廃棄物に起因する水質汚染の実態と洪水時における汚染物質の流出・輸送特性を解明し、水質汚染抑制技術を開発する。

3. 研究の方法

研究期間中に、1年に1~2回程度の現地渡航を予定していたが、2020年春ごろから新型コロナウイルスの影響で現地への渡航が困難な状況になり、その間はメールやオンライン会議でのやり取りが続いた。また、関連する研究を日本国内のフィールドを対象とするなどして研究を進めざるを得なくなったが、日本国内の研究機関で関連する室内水理実験や、数値シミュレーションによる検討などを行った。上記の目的に対して、それぞれ下記の方法で研究を進めた。

- 1) 外水氾濫の主要な原因となっている堤防決壊について、日本の研究機関で非粘性土砂を用いた実験研究を行い、破堤プロセスについてのメカニズムを解明する。
- 2) バングラデシュ型水制を対象として、資料収集と日本の研究機関における実験研究を通してその機能評価と改良を試みる。また、水制を設置することによる河床応答や側岸侵食の防止抑制効果を検討するための3次元数値解析モデルを開発し、日本の対象河川に適用する。
- 3) バングラデシュのメグナ川下流域を対象として、汚染物質の拡散予測を数値解析を通して実施する。

4. 研究成果

上記の課題1)~3)に対して、得られた成果は以下のとおりである。

1) バングラデシュでは、国土の大部分が低平地であるという地形的な要因に加えて、雨水排水システムの容量不足等による内水氾濫や、河川堤防の決壊による洪水氾濫が常態化している。

本研究では、とくに河川堤防の越水破堤に着目して、2次元的な氾濫台の上で非粘性土砂による堤防モデルを作成して室内水理実験を行い、河川洪水が堤防を越流した後、どのように堤体形状を変形させていくかを観察した。その結果、越流が始まった直後に堤体が下方に侵食され、その後に破堤口が拡幅していく過程がみられた(図-1)。また、実際の堤防がかさ上げをくり返して作られている状況を想定して、粒径の異なる複数の堤体材料を組み合わせたときの堤体侵食の特性についても考察を行ったところ、粒径の粗い堤体材料の部分は侵食が進む速度が速いことなどがわかった。

例: Case Aの破堤プロセス

Breaching process in Case A

越流開始時刻を $t = 0$ s とする

The start time of overflow is $t = 0$ s

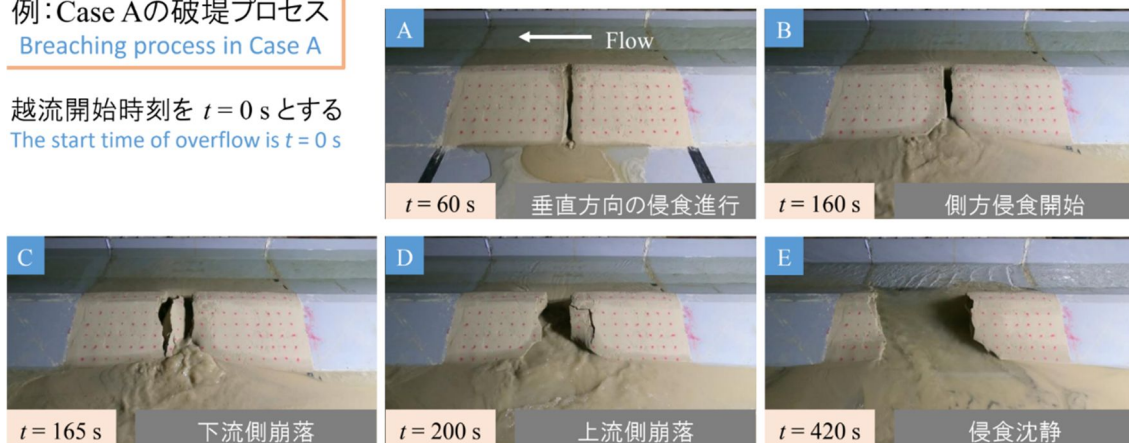


図-1 河川堤防の越流破堤実験における堤体の変形過程

2) 河岸浸食防止対策としてのバンダル型水制工の改良に関する検討を行った。

まず、既往の研究プロジェクトにおいて、バングラデシュのジョムナ川の現地に設置したバンダル型水制工が流失した原因分析を行った。河川の地形変動に順応し、数多くの急流河川で有効性が確認された日本の伝統的河岸浸食防止対策工である聖牛型水制に関する現地調査と資料収集を行い、安定性を向上させるための構造物の地形への順応性が重要であることが明らかになった。その結果を踏まえ、洪水時におけるバンダル型水制工の安定性の向上に関する検討を行い、上部工と下部工の改良版に関する提案を行った。

つぎに、洪水時における流体力の制御と局所洗掘の軽減に着目し、バンダル型水制工の安定性の向上に関する実験的検討を行った。実験結果を踏まえ、バンダル型水制工をはじめ、石積み水制工、石かご水制工、杭出し水制工、聖牛型水制工等自然材料を活かした伝統的水制工周辺の洪水流構造及び乱れ特性の抽出と比較を行った。バンダル型水制工の不透過なシート部による流れの剥離、強い乱れの生成や活発な運動量交換が主な特徴であることが確認された。また、構造物周辺の局所洗掘軽減対策として、杭出しを用いた様々な導流工を提案し、その効果の検証に関する基礎水理実験を行った。特に、導流工の長さや幅が洗掘体積や最大洗掘深に与える影響を明らかにした。導流工の最適化によって、流れが最も効果的に制御され、洗掘防止につながることを期待される。これに加えて、構造物周辺の局所洗掘軽減対策として、ベーン工の効果に関する検討も行った。

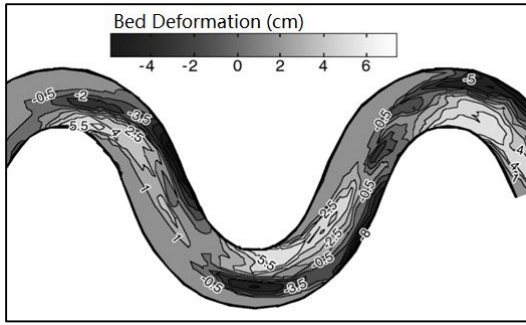
また、高知県国分川に設置された水制群を対象とし、平水時及び洪水時における農業排水が河川水制群周辺の流れに与える影響を数値シミュレーションにより検討した。上記のような河床地形の変動予測を精度良く行うための、3次元数値解析モデルを構築し、浮遊砂が卓越する流れ場における河床変動の実験結果を精度よく再現できることを確認した。

さらに、研究成果の社会実装と社会還元に向けて、通水物理模型を活用した水災害防災減災教育ツールを開発した。ケーススタディの結果から、水害現象と防災対策に対する理解度が深まったことや、防災意識の向上や防災減災につながる自発的な行動を促すことに有効であることがわかった。

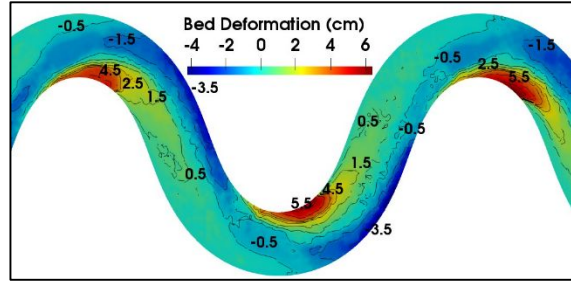
上記と並行して、湾曲河道における河床変動・側岸侵食とその対策について検討を加えるため、3次元数値解析モデルをOpenFOAMで開発した。既往研究での実験結果と比較することで、モデルの適用性を検証した結果、水位、流速、河床変動位のいずれも実験結果を良好に再現することができた(図-2)。

湾曲河道の外岸側に1基の水制を設置する場合、その設置位置と蛇行度に応じて水制周辺の局所洗掘深や流れの再付着距離等の特性が変化することを確認した。設置位置が下流にいくほど流れの再付着距離は短くなり、蛇行度が大きい水路ほど流れの再付着距離が長くなることわかった。複数の水制を設置した場合、最上流の水制周辺ならびに蛇行が最大に振れた箇所周辺の最も洗掘深が大きくなることわかった(図-3)。水制の効果を経験的に評価するため、側岸の保護、安定性、設置費用、生態環境への影響の4つの指標を定量化する手法を提案し、蛇行度によって結果は変わるものの、おおむね水制長の2~4倍が最適な間隔になることがわかった。

また、側岸土砂の崩壊要素を組み入れることで側岸侵食の解析ができるように上記モデルを改良した。このモデルを既往研究における直線水路、水制のない蛇行水路、水制のある蛇行水路の3種類の実験に適用して解析結果を比較したところ、河道断面形とその時間変化、侵食崖線の平面的な形状とその時間変化のいずれも良好な一致が見られた。このモデルを実河川である宇治川の一部の区間に適用し、水制を設置した場合の解析を行った。まず2016年の洪水の再現を試みたところ、水位について観測値と解析結果は良好に一致した。河床変動と側岸侵食については、実際の侵食とは異なる傾向も一部で見られたものの、おおむね良好な結果が得られた。河床近傍の流速や底面せん断応力の分布をみると、流量や水位の増加に伴って主要な流れやせん断



(a) 既往研究の実験による河床変動量
(da Silva and El-Tahawy, 2008)



(b) 本研究の解析による河床変動量
(da Silva らの実験と同条件による)

図-2 既往研究の結果との比較による解析モデルの検証

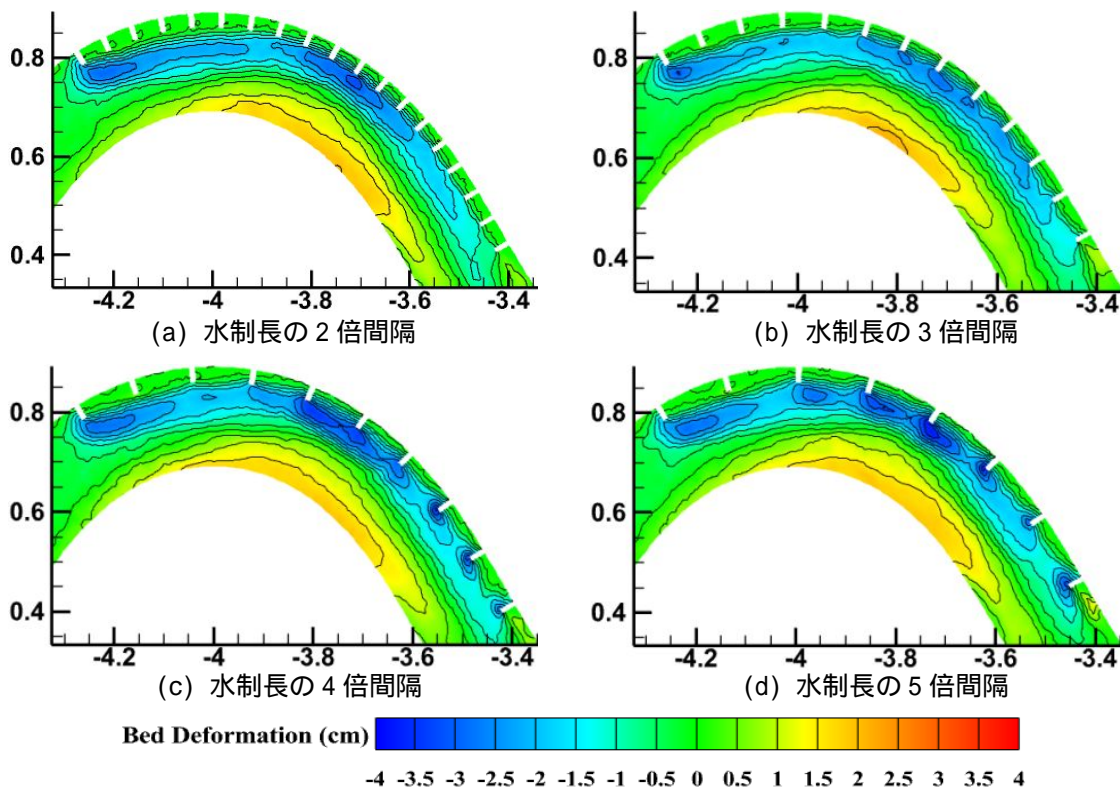


図-3 水制の設置間隔を変えた時の河床変動量の比較

応力の大きい部分が外岸側から低水路中央に移動している様子がわかり(図-4) このことから、低水時期に側岸底部が侵食され、洪水ピークならびにピーク後の強度が減少したときに崩壊が生じるというこの区間の側岸侵食過程が推測された。水制長の2倍と4倍の間隔で水制を設置した解析を行ったところ、水制が外岸側の流向を効果的に変えており、側岸底部の流速を低減する様子が見られた。

3) 農村内に立地する産業地域が浸水することで汚濁物質が拡散するリスクを予測するために、物質輸送解析を行った。

研究計画書作成当初はバングラデシュ北東部のシラジガンジ周辺を対象フィールドとすることを予定していたが、現地共同研究者でも国内の移動に制限があることから、首都ダッカからのアクセスが良いメグナ川下流地域を新たに選定した。当該地において、水環境問題に関する文献調査を行った。また、洪水氾濫および物質輸送解析を行い、産業地域が浸水することによる有毒物質の推定拡散域を可視化した(図-5)。さらに、氾濫水の地下への浸透の考慮が物質輸送解析結果へ及ぼす影響を評価した。また、成果を国際学会(第 39 回国際環境水理学会世界大会, 第 8 回水・洪水管理に関する国際会議) で発表した。これらの技術を用いて有害物質拡散ハザードマッピングを行うための、可視化手法についても検討を加えた。

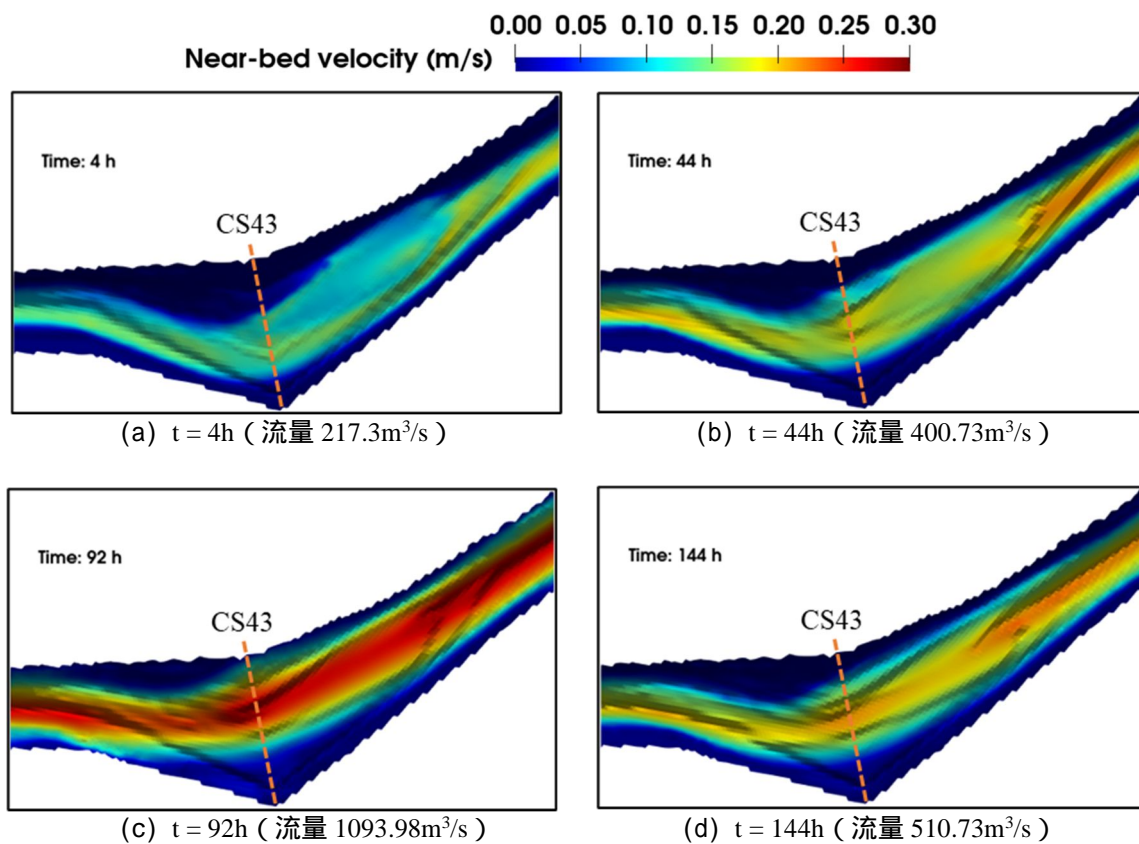


図-4 宇治川における河床近傍での流速の分布

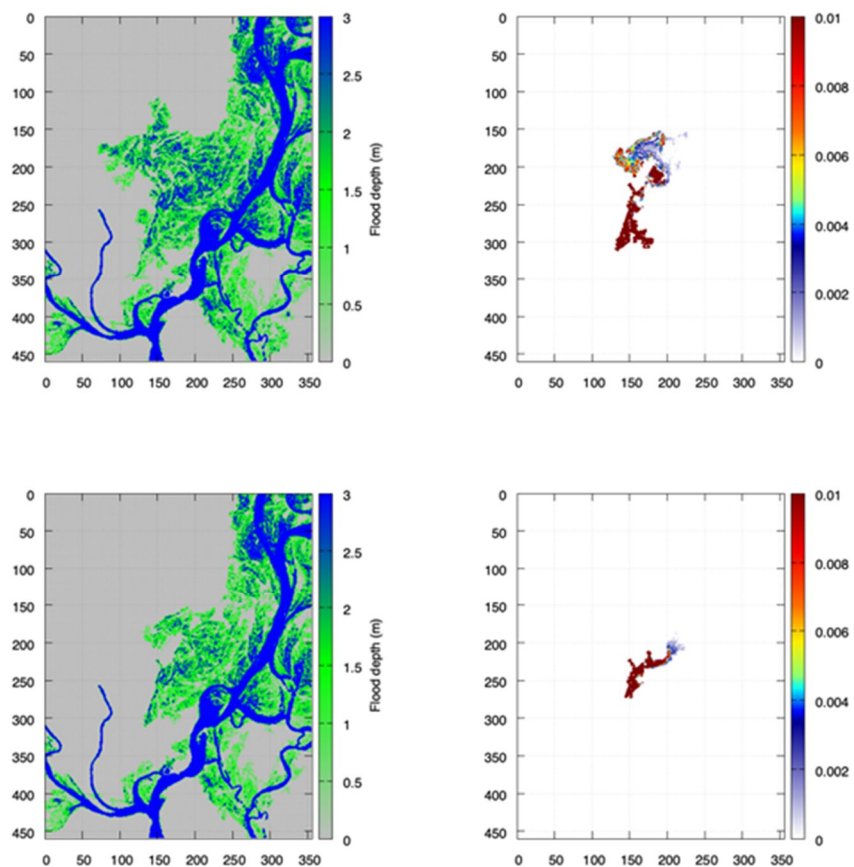


図-5 洪水氾濫数値解析結果[浸水深] (左) 物質輸送解析結果[濃度] (右)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Koshiha Takahiro, Ono Shunsei, Yamanoi Kazuki, Kawaike Kenji	4. 巻 18
2. 論文標題 Overtopping-induced levee breaches considering heterogeneous levee materials and outside flow	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Hydrological Research Letters	6. 最初と最後の頁 22 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3178/hrl.18.22	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 YU Heli, KAWAIKE Kenji, YAMANOI Kazuki, KOSHIBA Takahiro	4. 巻 12
2. 論文標題 3D SIMULATION OF THE EFFECT OF SPUR DIKES SPACING ON BED DEFORMATION, FLOW AND PERFORMANCE EVALUATION IN MEANDERING CHANNELS	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of JSCE	6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/journalofjsce.23-16178	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 YU Heli, YAMANOI Kazuki, KAWAIKE Kenji	4. 巻 78
2. 論文標題 3D SIMULATION OF FLOW AND LOCAL SCOUR AROUND A SPUR DIKE WITH DIFFERENT LOCATION IN MEANDERING CHANNELS WITH DIFFERENT SINUOSITY	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1207 ~ I_1212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.78.2_I_1207	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 Hashimoto Masakazu, Kawaike Kenji, Deguchi Tomonori, Haque Shammi, Paul Arpan, Salehin Mashfiqus, Nakagawa Hajime	4. 巻 -
2. 論文標題 Multi-scale flooding hazards evaluation using a nested flood simulation model: case study of Jamuna River, Bangladesh	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of River Basin Management	6. 最初と最後の頁 1 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15715124.2021.1935977	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 該当する

1. 著者名 Shampa, Hasegawa Yuji, Nakagawa Hajime, Takebayashi Hiroshi, Kawaike Kenji	4. 巻 12
2. 論文標題 Three-Dimensional Flow Characteristics in Slit-Type Permeable Spur Dike Fields: Efficacy in Riverbank Protection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 964 ~ 964
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w12040964	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 該当する

1. 著者名 Karki S., Nakagawa H., and Kawaike K.	4. 巻 75, 2
2. 論文標題 Meandering Channels Response to a Series of Permeable and Impermeable Structures under Different Sinuosity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, B1 (Hydraulic Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_1021-I_1026
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6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 瀧砂翔, 張浩, 大本照憲
2. 発表標題 導流工を有する橋脚周辺の流れと洗掘特性に関する実験的検討
3. 学会等名 日本流体力学会年会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 張浩, 植原捺月, 竹林洋史, 竹門康弘, 石田裕子
2. 発表標題 洪水時における伝統水制工周辺の流れ構造に関する研究
3. 学会等名 令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masakazu Hashimoto, Ahmed Ishtiaque, Amin Chowdhury, Shampa, Zhang Hao, Kenji Kawaike, Anisul Haque, Munsur Rahman
2. 発表標題 Flood and Substance Transport Analysis with Consideration of Ground Water: Case Study of the Lower Meghna River in Bangladesh
3. 学会等名 第39回国際環境水理学会世界大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Heli YU, Kenji KAWAIKE, Kazuki YAMANOI, Takahiro KOSHIBA
2. 発表標題 Modelling of Bank Erosion Using a 3D Numerical Mode
3. 学会等名 令和4年度京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Heli YU・Kazuki YAMANOI・Kenji KAWAIKE・Hajime NAKAGAWA
2. 発表標題 Study on the Effect of Super Dikes on Riverbed Deformation in Meandering Channel Employing 3D Numerical Simulation
3. 学会等名 京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masakazu Hashimoto, Ahmed Ishtiaque Amin Chowdhury, Zhang Hao, Kenji Kawaike, Shampa, Anisul Haque and Munsur Rahman
2. 発表標題 Flood and substance transportation analysis with consideration of groundwater: case study of the lower Meghna River in Bangladesh
3. 学会等名 8th International Conference on Water and Flood Management (国際学会)
4. 発表年 2021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	中川 一 (Nakagawa Hajime) (80144393)	京都大学・防災研究所・教授 (14301)	
研究分担者	藤原 拓 (Fujiwara Taku) (10314981)	京都大学・工学研究科・教授 (14301)	
研究分担者	張 浩 (Cho Hiroshi) (90452325)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・教授 (17401)	
研究分担者	橋本 雅和 (Hashimoto Masakazu) (80814649)	関西大学・環境都市工学部・准教授 (34416)	

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
---------	---------