

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12842

研究課題名（和文）伝統的河川構造物の有するグリーンインフラ機能

研究課題名（英文）Green infrastructure functions of traditional river structures in Japan

研究代表者

林 博徳 (Hayashi, Hironori)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：00599649

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では伝統的な河川構造物のもつグリーンインフラとしての機能を、環境・治水の両側面から評価した。得られた成果の概要は以下の通りである。

伝統的な河川構造物は、自然の瀬と同等の水生生物の生息場として機能し、コンクリートタイプの河川構造物と比べて優位に優れた環境機能を有する。洪水時の現地観測および水理実験により、伝統的な河川構造物の洪水時の水の流れや、エネルギー減勢機能を定量的に示した。水理実験により、伝統的河川構造物は、コンクリート製の構造物と比較して、越流時の流速低減効果を有することを示した。本研究の成果を災害復旧事業に反映し、河川管理者や住民と協働で野鳥川における石造り構造物を復元した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の特色は伝統的河川構造物をグリーンインフラという新しい概念で捉え、環境機能と防災機能の両側面から評価を行う点である。これまで知られていなかった伝統的河川構造物の環境機能と治水機能を定量的に明らかにするという学術的な意義を有する。その成果は、伝統的河川構造物の価値をわかりやすく示し、河川構造物の整備手法をグリーンインフラ的手法から伝統的技術を活用したグリーンインフラ的手法へ転換させることに寄与するという社会的意義を有する。さらに歴史文化的価値と併せることで、伝統的河川構造物の文化財指定や文化的景観指定などの可能性を高めるものと推測される。そのため地域の価値の向上させる地方創生の意義を有する。

研究成果の概要（英文）：In this study, the function of the traditional river structure as a green infrastructure was evaluated from both sides of environment and flood control. The outline of the obtained results is as follows.

The traditional river structure functions as a habitat for aquatic organisms equivalent to natural rivers, and has an environmental function superior to that of a concrete type river structure. Field observations and hydraulic experiments during floods have quantitatively shown the water flow and energy depletion function of traditional river structures during floods. The hydraulic experiments showed that traditional river structures have the effect of reducing flow velocity when overflowing compared to concrete structures. The results of this research were reflected in the disaster restoration project, and the stone structures in the Notori River were restored in collaboration with river managers and residents.

研究分野：河川環境

キーワード：河川構造物 伝統工法 グリーンインフラ 堰 川づくり 災害復旧 環境再生 河川環境

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、社会資本整備における特筆すべき新たな概念としてグリーンインフラが注目を集めている。グリーンインフラは1990年台に欧米中心に台頭してきた概念であり、従来のコンクリート等の人工構造物を中心としたインフラをグレーインフラとして、それに対応する自然資本を活用した国土形成手法として認識されている(中村2015)。

本邦には、多くの伝統的な治水技術が存在する。河川における伝統的構造物については、過去に広く研究がなされており、技術思想から個別の構造物に至るまで多くの研究がみられる。一方で、伝統的河川構造物の有する多機能性(特に環境機能)についても、多くの研究者や行政機関からその可能性が指摘されており、伝統工法は重要なグリーンインフラの一手法として認識されつつある。しかし、伝統的河川工法をグリーンインフラとして位置付け、具体的かつ定量的に評価を行った研究は少なく知見は不足している。特に、伝統的河川構造物の環境機能と治水機能の両側面から同時に定量的に評価した研究は見られない。ところで、海外と比較しても日本の治水技術の歴史は古く、現存する伝統的河川構造物の有する価値は極めて高いものと思われる。その一方で、一部の著名な構造物を除き、本邦の伝統的河川構造物の多くはその価値が認知されておらず、近年頻発する洪水により被災し、そのまま放棄されるか、コンクリート構造物等の代替施設に置き換えられてきた。

2. 研究の目的

上記に述べてきたように、伝統的河川構造物はその多機能性(特に環境機能や治水機能)からグリーンインフラの一手法として認識されている。一方で、その機能について定量的な評価がなされた知見が少なく、その本質的な価値が世間に知られないままコンクリート構造物(グレーインフラ)に改変されつつある。このように伝統的河川構造物がグレーインフラに置き換えられる理由については、グレーインフラに対する優位性(特に環境機能と治水機能)が定量的に評価されていないため、その価値が十分に認識されていないことが大きい。その価値を科学的に評価し明らかにすることが、伝統的河川構造物の保全・再生導入の促進、ひいては河川環境の改善に大きく寄与すると思われる。

本研究では、伝統的な河川技術によりつくられた河川構造物のもつグリーンインフラとしての機能を、環境(生物多様性)・治水(防災・減災)の両側面から評価し、環境と治水を両立する河川管理手法の確立に資する知見を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 研究対象地

研究対象地は福岡県朝倉市を流れる一級河川小石原川の支川の野鳥川である。野鳥川には、空石積み護床工(堰)、空石積み護岸などの伝統的河川構造物が数多く現存している。本研究で対象とした区間には、全17個の護床工が存在する。各地点を下流から順にNo.1~17とした。その17地点の護床工を、野鳥川の伝統的な工法の空石積みタイプ(TypeA)、伝統的な工法を模倣した練積みタイプ(TypeB)、従来のコンクリートタイプ(TypeC)の3つのタイプに分けた(図-1)。TypeAはNo.7, 11, 15, 17で、TypeBはNo.3, 4, 6, 9, 10, 13, 14で、TypeCはNo.1, 2, 5, 8, 12, 16である。TypeAは4地点で、TypeBは7地点、TypeCは6地点である。



図-1 野鳥川の護床工の分類 (TypeA: 空石積み、TypeB: 練り石積み、TypeC: コンクリート)

野鳥川の石積み堰の流速減勢機能を明らかにするため、水理実験をフルード相似に従い、野鳥川の石積み堰の模型(縮尺1/30)を用いて実施した。なお堰の形状は現地での測量結果に基づき、石の積み方や使用石材寸法などについても正確に再現した。実験では一定流量の下で水深を上流方向に10cm間隔で測定し、得られた水深と流量から各計測点における断面平均流速を算出した。さらにマニング式より粗度係数を算出した。石積み堰の減勢効果について通常のコンクリート堰と比較するために、石積み堰と同じ勾配で石を積まずに板を張った斜路(コンクリート製斜路堰を想定)、堰天端から下流側河床まで垂直落差を設けた段落ち堰(コンクリート製の垂直落差を持つ堰を想定)の2タイプの堰でも同様の実験を行った。流れは1次元と仮定し、河床勾配1/50、フルード相似で現地の1/30のスケールで実施した。流量は6.1L/sと3L/sの2ケースで行った。6.1L/sが大規模洪水時、3L/sが通常の洪水時を想定している。また、堰以外の区間の水路の粗度付けは棧粗度を用い、水路に5mm角の板を5cm間隔で敷き詰めた。実験は、最下流端を原点として上流側に向けてx軸をとり、各測点の水深をポイントゲージで測定を行った。測点は下流から堰の天端付近までは10cm間隔で設定し、それより上流は特に変化はないと考えられ

(2) 環境機能の評価

伝統工法(石造りの護床工(堰))の環境機能について、①水生昆虫の生息場としての機能、②魚類の生息場としての機能について調査を行った。何れも上記のTypeA, B, Cごとに調査を行い、それらを比較する形で評価を行った。

(3) 治水機能の評価

野鳥川の石積み堰の流速減勢機能を明らかにするため、水理実験をフルード相似に従い、野鳥川の石積み堰の模型(縮尺1/30)を用いて実施した。なお堰の形状は現地での測量結果に基づき、石の積み方や使用石材寸法などについても正確に再現した。実験では一定流量の下で水深を上流方向に10cm間隔で測定し、得られた水深と流量から各計測点における断面平均流速を算出した。さらにマニング式より粗度係数を算出した。石積み堰の減勢効果について通常のコンクリート堰と比較するために、石積み堰と同じ勾配で石を積まずに板を張った斜路(コンクリート製斜路堰を想定)、堰天端から下流側河床まで垂直落差を設けた段落ち堰(コンクリート製の垂直落差を持つ堰を想定)の2タイプの堰でも同様の実験を行った。流れは1次元と仮定し、河床勾配1/50、フルード相似で現地の1/30のスケールで実施した。流量は6.1L/sと3L/sの2ケースで行った。6.1L/sが大規模洪水時、3L/sが通常の洪水時を想定している。また、堰以外の区間の水路の粗度付けは棧粗度を用い、水路に5mm角の板を5cm間隔で敷き詰めた。実験は、最下流端を原点として上流側に向けてx軸をとり、各測点の水深をポイントゲージで測定を行った。測点は下流から堰の天端付近までは10cm間隔で設定し、それより上流は特に変化はないと考えられ

たため 40cm 間隔とした。実験は堰の種類 3 ケース、流量 2 ケースの計 6 ケースで実施した。

4. 研究成果

(1) 環境機能の評価

①水生昆虫の生息場所としての機能

底生動物の調査は夏季と冬季の 2 回に分けて行った。サンプリング方法は、50cm 四方のコドラートを各地点 4 か所設定し、メッシュサイズ 0.25mm の D フレームネットを用いた 1 分間のキック&スイープ法と礫のブラッシングにより行った。なお、冬期の調査のみ 3 つのタイプの護床工に加えて自然区間においても採捕を行った。ここで、自然区間とは、野鳥川における伝統的河川構造物の環境機能を自然の状態と比較するために設定したもので、比較する地点にできるだけ近く、流況が類似している瀬とした。その結果、全 63 種、20620 個体を確認した。得られた結果を TypeA, TypeB, TypeC の護床工毎の出現種数および出現個体数について整理し比較を行った。図-2 に Type 毎の出現種数の比較を、図-3 に Type 毎の出現個体数の比較を示す。なお、紙面の都合上冬期の結果のみを示す。出現種数、出現個体数のいずれにおいても、TypeA (空石積み護床工) はほかの 2Type に比べて優位に多く、自然区間と同等であるという結果が得られた。

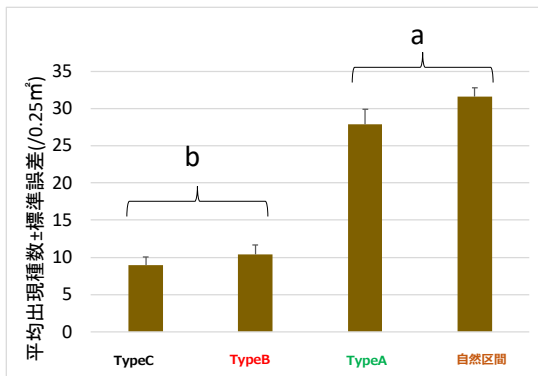


図-2 護床工 Type 毎の水生昆虫の平均出現種数：TypeA (空石積み) の護床工は他の工法に比べて優位に出現種数が多い。

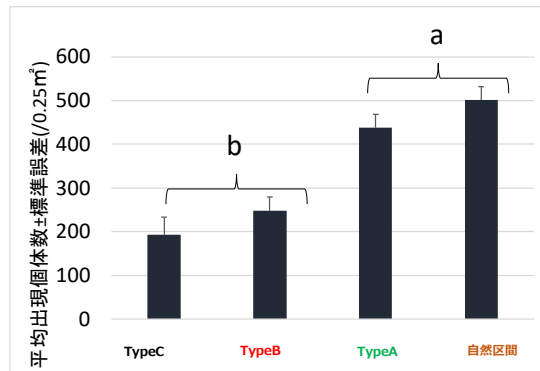


図-3 護床工 Type 毎の水生昆虫の平均個体数：TypeA (空石積み) の護床工は他の工法に比べて優位に出現個体数が多い。

②魚類の生息場所としての機能

全 17 基の護床工とその上下流 30m を対象とし、生息する魚類を電気ショッカーにより採捕同定を行った。全 15 種、4062 個体が確認された。各地点における出現魚種および個体数を図-4 に示す。さらに、護床工の Type 毎の平均生息密度について図-5 に示す。TypeA (空石積み) の護床工はそのほかの比べて優位に生息密度が大きいことが確認された。

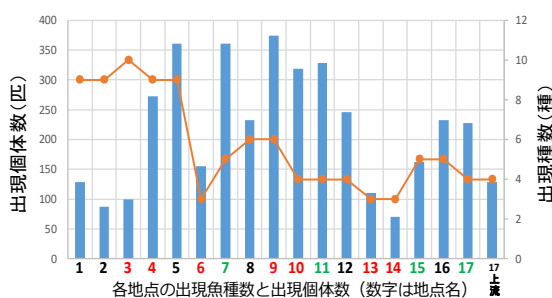


図-4 調査地点ごとの魚類調査結果 (横軸の色は護床工の Type を指す。TypeA: 緑、TypeB: 赤、TypeC: 黒)

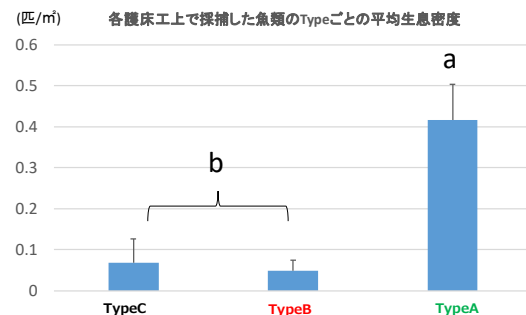


図-5 護床工 Type 毎の平均生息密度：TypeA (空石積み) の護床工は他の工法に比べて優位に生息密度が大きい。

(2) 治水機能の評価

図-6 に流量 6.1L/s の実験におけるエネルギー (水頭) の測定結果、図-7 に流速の測定結果を示す (図-7 に関しては実際の縮尺に換算して示す)。両図共通して、堰区間およびその付近で大きな変化が生じていることが確認できるが、最下流端付近ではどの堰タイプでもほぼ同程度の値となった。一方で、図-7 をみると堰区間において石畳と他 2 つではエネルギーの配分が大きく異なっている。段落ちと斜路では堰区間で速度水頭が増大するのに対し、石畳では微増程度におさまっている。図-7 をみると石畳によって流速が大きく減勢されていることが分かる (段落ちに対し 32%、斜路に対し 29%の減勢効果)。図に示す流速 5m/s と 8m/s ラインは護岸の設計流速 (美しい山河を守る災害復旧基本方針: 国土交通省 (2014)) であり、それぞれ野面空石積護岸、コンクリートブロック練積護岸の設計流速である。設計流速は、護岸が正常に機能し得る最大の

流速である。石畳以外では、野面空石積護岸の設計流速である 5m/s ラインを堰区間において大きく超えている。そのため、石畳堰であれば流速を超過洪水時であっても 5m/s 以下に抑えることができ、空石積護岸の損壊を防ぐことができると考えられる。

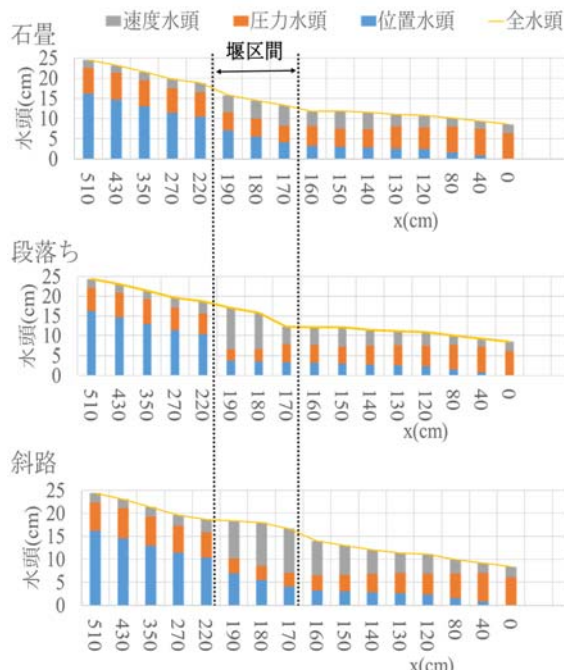


図-6 流量 6.1L/s 時の実験結果(水頭変化)

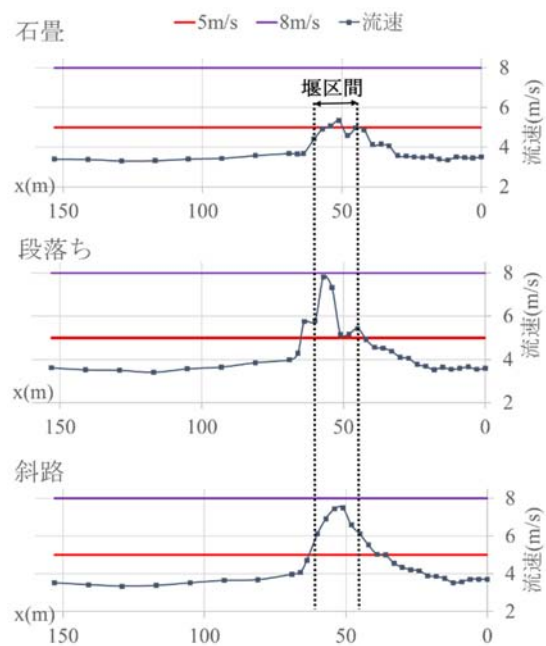


図-7 流量 6.1L/s 時の実験結果 (流速の縦断分布：現地換算)

(3) 平成 29 年 7 月九州北部豪雨災害時に発現された治水機能に関する現地観測

平成 29 年 7 月九州北部豪雨災害時に撮影された画像 (図-8 ※元データは動画) をもとに、空石積み護床工近傍の流況を確認し、平水時の画像 (図-9) との比較により、その治水機能について考察を行った。対象は No. 7 の護床工である。なお、本護床工は河道が右曲りの水衝部に位置し、堰としての機能も兼ねている。動画をもとに想定した洪水時の水の流れを平面的に図示した航空写真を図-10 に示す。最も大きな特徴としては、勾配の変化点において跳水が発生している点である。また、勾配の変化点の下流には水制 (荒籠) が設けられており、下流側の橋梁 (眼鏡橋) に洪水流が直撃しないようになっていることが確認された。また水制によって生じた二次流が逆流して、洪水流にぶつかるようになっており、洪水流の勢いを削ぐ機能も有するものと思われる。護床工の表面では水の流れは射流であるものの、常に乱れて流れており、減勢機能を有するものと推測された。なお、護床工の天端は限界流であることから、その水深をもとに撮影時の流量を算出すると概ね 60m³/s 程度であった。更に、射流部の諸元について測量結果および推定流量から算出すると、粗度係数が概ね 0.05、射流分の水深が 60 cm 程度、流速が 6m/s 程度と見積もられた。動画より読み取った水位をもとに、堰天端、射流部、堰下流部 (跳水下流) におけるエネルギー変化を図-11 に示す。グラフから見ても明らかなように、石の上下流で大きくエネルギーが減勢されていることがわかる。堰上と堰下の全水頭を比べると約半分まで減勢されている。この結果は (2) における水理実験の結果ともよく一致する。水面形や洪水時の動画と併せて考えると、射流部では堰が石造りであることにより粗度が大きくなり摩擦損失により減勢されていること、更に下流の堰下部では跳水が発生し跳水により減勢されていることが伺えた。このように、洪水時の水の流れの分析により、野鳥川の堰が優れた治水機能を有していることが洪水時における現地観測からも確認された。



図-8 H29 年 7 月豪雨災害時における出水状況 (護床工 No. 7)



図-9 平水時における状況 (護床工 No. 7) : 写真中青線は出水時の水面形

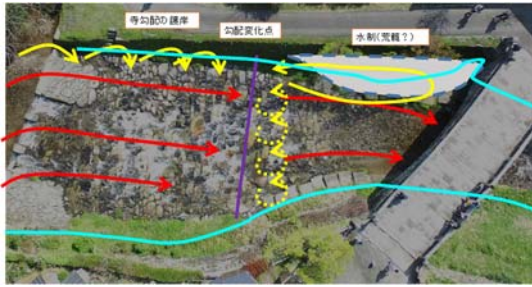


図-10 護床工 No. 7 の航空写真に出水時の流れを追記

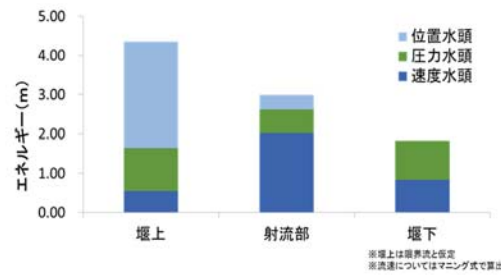


図-11 洪水時の水面形をもとに算出した護床工 No. 7 上下流でのエネルギー変化

(4) 災害復旧工事への摘要

本研究の助成期間 (H29~31 年度) において、研究対象地では、実に 2 回もの大規模出水があった。うち 1 回は H29 年 7 月九州北部豪雨、もう 1 回は H30 年で災害こそなかったものの、当該地区における降雨量 (秋月観測所) は前年を上回るものであった。いずれの洪水においても、野鳥川に現存する石造りの護床工 (堰) が 1 基ずつ被災してしまった (そのうち一基は図-8~10, 12 に示した No. 7 の護床工)。しかし、本研究による測量調査や環境調査が既に行われた後であったので、形状や石の積み方などを忠実に再現し、復旧することが可能であった。環境機能についても形状のみを模倣した練り積みでは担保できないことが本研究により示されていたので、河川管理者との協議の空石積みにての施工を可能とする強い根拠となった。さらに、本研究実施に際し、地元住民と河川管理者との合意形成や価値観の共有がなされていたので、復旧事業も円滑に進み、臨みうる最善の形で復旧ができたと考えている。図-12 に災害復旧を行った護床工の被災直後と復旧後の比較写真を示す。竣工後の地元住民や観光客の評判も良好である。なお、竣工後の水生生物の生息場としての機能等については引き続き今後検証したいと考えている。このように、3 年という短い研究期間内において、調査→調査地が被災→復旧というイベントが起こったことは想定外であり、極めてまれなケースであると思うが、本事業による研究支援があり、体制が整っていたことで、野鳥川の石造りの護床工という貴重な伝統建造物の復旧ができたことは極めて幸運なことであったと考えている。



図-12 左) 被災直後の護床工の写真。右) 災害復旧事業により復旧された同護床工の写真。被災前に行っていた本研究の測量、被災直後の詳細な構造調査、治水機能や環境機能の定量的評価の成果が復旧事業に大いに活かされた。

<参考文献>

- ① 中村太士 (2015) : グレーインフラからグリーンインフラへ : 自然資本を生かした適応戦略 (進行する気候変動と森林 : 私たちはどう適応するか), 森林環境, 89-98
- ② 国土交通省 (2014) : 美しい山河を守る災害復旧基本方針

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1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 大石銀司、竹内えり子、林博徳、池松伸也、島谷幸宏	4. 巻 63
2. 論文標題 水理実験による空石積み護岸の吸い出し現象と防止策に関する基礎的研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 水工学論文集	6. 最初と最後の頁 I_847-852
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 林博徳、兒嶋力也、寺村淳、島谷幸宏	4. 巻 38
2. 論文標題 野鳥川に現存する伝統的河川構造物	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木史研究講演集	6. 最初と最後の頁 85-88
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 -

〔学会発表〕 計0件

〔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
研究協力者	兒嶋 力也 (Kojima Rikiya)		
研究協力者	兒玉 健佑 (Kodama Kensuke)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	寺村 淳 (Teramura Jun)		
研究協力者	竹内 えり子 (Takeuchi Eriko)		
研究協力者	島谷 幸宏 (Shimatani Yukihiro)		