

都市河川における捨て石を活用した 河道内自然再生工法の導入と評価

IN-STREAM RESTORATION WORK USING STONES IN URBAN STREAM

林博徳¹・中津彰太²・大野拓摩³・島谷幸宏⁴

Hironori HAYASHI, Shota NAKATSU, Takuma OHNO, Yukihiko SHIMATANI

¹正会員 工博 九州大学大学院工学研究院 (〒814-0395 福岡市西区元岡 744)

²非会員 (独) 都市再生機構宮城・福島震災復興支援本部 (〒970-8044 福島県いわき市中央台飯野 4-2-4)

³学生会員 九州大学大学院工学府 (〒814-0395 福岡市西区元岡 744)

⁴フェロー会員 工博 九州大学大学院工学研究院 (〒814-0395 福岡市西区元岡 744)

The aim of this study is to evaluate in-stream restoration method that made of stones in Kamisaigo river. We conducted fish sampling survey from 2014 (before restoration) through 2015(after restoration). We also conducted physical environment survey and habitat classification survey to assess the environmental condition change of the stream. Following results are obtained. In terms of the number of species of fish and the number of individuals that emerged, the effect of introducing the environmental method was not recognized. However, it was confirmed that the number of individuals increased after restoration such as eels, which utilize gaps between gravels, and it was suggested that it may have certain effects. When introducing the environmental stone method into the sand river, it was confirmed that the sediment around the riprap was moved, the riprap gradually settled and buried in about a year.

Key Words : *in-stream restoration, river management, Stone structure, habitat improvement structure*

1. 背景および目的

2006年の多自然川づくりの通達, 2008年の中小河川の技術基準(2010年改訂)の制定により, 本邦における環境に配慮した河川技術論は一応の体系化がなされた¹⁾. 多自然川づくりでは, 基本的な考え方として, 川幅を広げることにより, 流速を低減するとともに環境再生のための空間を確保することを推奨している. しかし, 環境再生のために確保できる空間が少ない都市河川では, 河道内で環境に配慮する技術が求められる. この技術については, 海外で, In-stream restoration, Small restoration, Habitat Improvement structures などと呼ばれ, 欧米を中心に広く取り込まれている^{2),3)}. たとえば, 自然石を活用した落差工や, 木材を利用した水制状の構造物などが報告されている⁴⁾. 本邦においても“小さな自然再生“や”水辺のこわざ“等と呼ばれ, 安価かつ手軽に導入が可能な点や市民参加で取り組める点などが注目され, 各地で積極的に取り組まれ始めている. 具体的には, 北海道, 岐阜県, 兵庫県, 山口県, 福岡県などにおいて先行事例や研究開発の取り組み^{5),6),7),8),9)}が見られる.

一方でこれらは見直しで取り組まれることが多く, 十

分な検証が行われないことから技術的に開発途上の段階にある. そのため, 先駆的な事例の導入とその科学的評価が求められる. 本研究では, 効果的な河道内自然再生手法の確立を目的として, 福岡県の上西郷川において, 2面張りコンクリートで整備された区間において, 捨て石を活用した河道内自然再生工法(環境捨石工法と呼ぶ)を導入し, その効果について評価した結果を報告する.

2. 研究対象地の概要

本研究の研究対象河川は, 福岡県福津市を流れる西郷川の支川上西郷川である(図-1). 調査対象区間は, 西郷川合流地点から約1km上流に位置しており, 河岸は両岸がコンクリート護岸によって整備されている典型的なコンクリート2面張り河川の様相を呈している. 河床勾配は1/350程度で, 川幅が概ね5m程度である. 流域の地質は花崗岩が卓越しており, 河床材料は真砂土を多く含む砂礫で構成されており, いわゆる砂河川である. なお, 上西郷川では, 西郷川合流地点から約1km上流部までは, 先進的な多自然川づくりの手法を導入した河川改修がなされており, 良好な河川環境が形成されている. 一方で



図-1 研究対象区間の位置 (国土地理院地図に追記)



図-2 研究対象地の景観



図-3 導入した環境捨石工法

当該区間は従来型のコンクリート二面張りの改修区間であり、当該調査区間の流況は導入区および対照区ともに、ほとんどの水の流れが“とろ”と呼ばれる緩やかで変化に乏しい流れが卓越しており、環境改善が求められている(図-2)。

3. 研究方法

(1) 導入した環境改善工法

今回導入した工法は、人頭大程度(長径30~40cm)の自然石をコンクリート護岸前面に複数並べることにより、水の流れに変化を与え、魚類等の隠れ処など多様なハビタット創出することを目標としている。導入した工法の

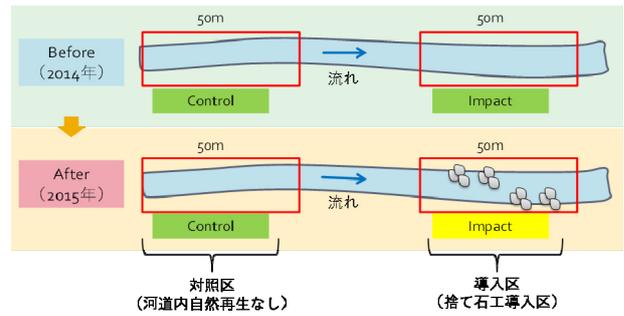


図-4 調査デザイン

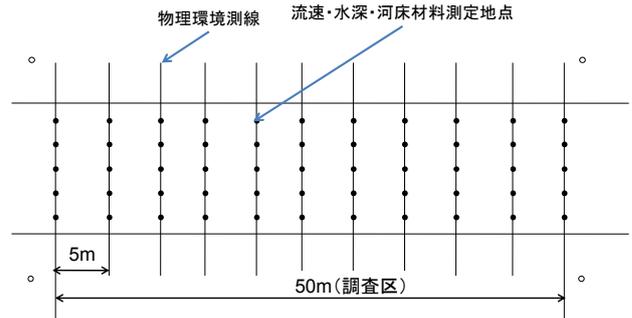


図-5 物理環境調査測点 (一つの調査区50m内に11本の横断測線を設け、一つの横断測線内に5つの計測点を設けた)

写真を図-3に示す。なお、環境捨石工法の施工導入作業は、2015年の春季調査を開始する直前の2015年4月にすべて人力で行った。河道内自然再生において、人力で簡易に施工導入が可能であるという点は重要な点である。

(2) 研究デザイン

捨て石工の効果を検証するために、ハビタット変化、魚類生息状況、物理環境変化について調査を行った。対象河川内に延長50mの調査区(魚類調査では50mをさらに3つのブロックに分割)を、捨て石工導入区と比較対照区(捨て石工を導入しない区)について、それぞれ1区間ずつ設け、それぞれの調査区で同内容の調査を実施するいわゆるBACI(Before-After-Control-Impact)手法で行った。図-4に調査デザインを示す。調査期間は、導入前(2014年)、導入後(2015年)の2カ年間とし、調査は各年ともに春夏秋冬各シーズンに1回、計6回実施した。

(3) 現地調査方法

前述の研究デザインに基づき、下記の通り調査を実施した。

a) ハビタット区分調査

対象区間の環境を、景観的特徴をもとに、早瀬・平瀬・とろ・よどみ・淵の5つのハビタットに分類し、現地踏査により調査対象区間のハビタットマップを作成した。なお、本論で定義するハビタットの特徴を表-1に示す。

表-1 本研究でのハビタット分類

名称	特徴
早瀬	流速が速く、白く波立っている速い流れ
平瀬	波立っている流速が速い流れ(白く波立っていない)
淵	周囲のハビタットに比べて明らかに水深が深くなっている場所(瀬の下流や水衝部に多い)
とろ	波立っていない単調な流れ
よどみ	ほとんど流速がなく、止水に近い流れ

b) 魚類調査

魚類の採捕にはエレクトリックショッカーを用いた。ブロックネットを用いて各調査区を3つのブロックに分け、ハビタットごとに生息している魚種を採捕した。採捕した魚類の魚種・標準体長を記録したのち、速やかに放流した。

c) 物理環境調査

各調査区内で、縦断方向に5m間隔で横断測線(計11測線)を引き、各測線の横断方向に5点測点を設け、水深・流速・河床材料を計測した(図-5)。流速は、6割水深で計測を行い、計測にはプロペラ式流速計(KENEK電子社)を用いた。河床材料は、計測点直下にある河床材料を採取し、粒径(長軸径)を、定規を用い目視により計測した。

4. 調査結果

(1) ハビタット区分調査結果

ハビタット区分調査の結果を図-6に示す。環境捨石工法導入前の2014年は、夏に右岸側に植生が繁茂した以外は、年間を通じて大きな変化は確認できなかった。環境捨石工法導入後の2015年には、導入した捨て石により巨礫(捨て石)が重なり合った環境が創出され、水の流れについても一部の環境捨石工法導入部の周りには、流水による洗掘を受けたことによる淵の形成が確認された。なお、この時点で環境捨石工は20か所確認できた。その後、夏期の調査時には、導入された環境捨石工法が確認できる地点は右岸側4地点のみに減少していた。特に左岸側に導入した環境捨石工はすべて確認することができなくなった。水の流れについても“とろ”が卓越していた。さらに秋期の調査では、右岸側に1地点のみ環境捨石工が残存していることが確認されたが、それ以外の環境捨石工は確認できなかった。水の流れについてもすべてが“とろ”であった。対照区においては、調査開始当初の水の流れは“とろ”が卓越した流れとなっている。その後2014年夏期～2015年夏期にかけて、右岸側に局

所的な淵が形成されているのが確認された。それ以外は、大きな変化は確認されなかった。

導入区と対照区のハビタット区分調査結果を比較すると、導入区において環境捨石工の導入に伴い、一時的に巨礫(捨て石)が重なり合った環境が創出された以外は、大きな違いは確認されず、季節によっては局所的な淵が形成されるものの多くの箇所は“とろ”が卓越する流れであるという特徴を呈していた。

(2) 魚類調査結果

2年間計6回の調査により、計13種1612個体の魚類が採捕された。調査結果を表-2に示す。なお、結果の表には、過去に西郷川水系で筆者らが行った調査(未発表)でこれまで確認されたすべての種(全18種)を掲載している。河川中流域に一般的にみられる魚種が中心に出現し、ニホンウナギ(絶滅危惧ⅠB類)、ヤマトシマドジョウ(絶滅危惧Ⅱ類)など環境省のレッドリストに掲載されている希少種も確認された。

続いて、図-7に平均出現種数、図-8に平均採捕個体数のグラフを示す。なおここでの平均は各年ごと(2014年と2015年)の春期・夏期・秋期で確認された種数・個体数の平均を指す。環境捨石工法導入区、対照区ともに、種数については2014年と2015年の間に有意差は確認されなかった。個体数についても同様に2014年と2015年の間に有意な差は確認されなかった。

(3) 物理環境調査結果

図-9および図-10に流速・水深のプロットを示す。環境捨石工法導入区においては、流速および水深の分布範囲は、流速が0～25cm/s程度、水深が0～50cm程度となっており、2014年と2015年との間で大きな変化は見られない。一方、対照区においては、流速が0～45cm/s程度、水深が0～40cm程度となっており、同様に2014年と2015年との間に大きな変化は見られない。導入区と対照区とを比較しても、導入区が対照区に比べて流速が遅く水深が大きい傾向があることが確認できるが、流況や流れのハビタットが変わるほどの差異ではなく、概ね同等の物理的特徴を有していると考えられる。

図-11および図-12に水深・河床材料粒径のプロットを示す。環境捨石工法導入区においては、河床材料の分布範囲は、1～5mm程度となっており、2014年と2015年との間で大きな変化は見られない。一方、対照区においても、河床材料の分布範囲は1～5mm程度となっており、同様に2014年と2015年との間に大きな変化は見られない。導入区と対照区とを比較しても、河床材料の特徴や、変化についてもよく類似した傾向を示した。導入当所は捨石によって、水の流れが変化し土砂が分級される効果を期待したが、今回の施工ではそのような効果は認められなかった。

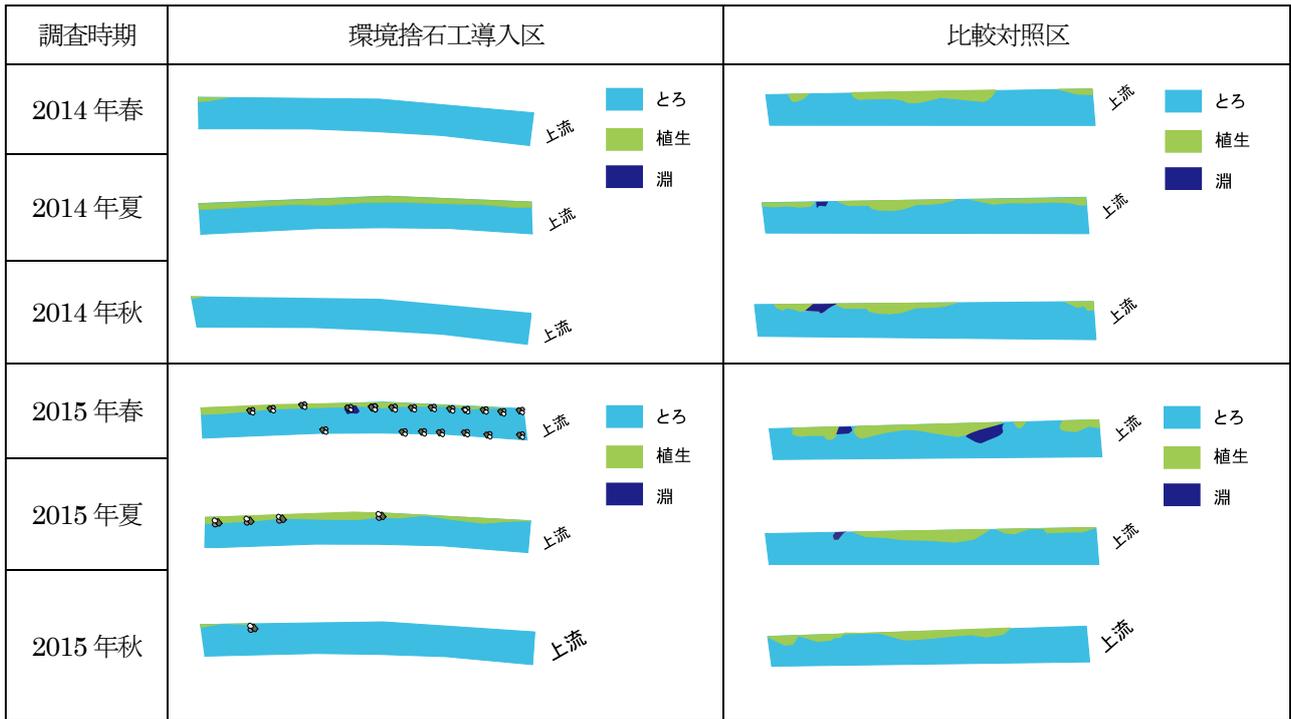


図-6 ハビタットマップ調査結果

表-2 魚類調査結果

和名	学名	環境捨石工導入区						対照区						
		2014			2015			2014			2015			
		春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋	
ウキゴリ	<i>Gymnogobius urotaenia</i>	0	0	0	9	2	0	0	0	0	0	0	2	0
ニホンウナギ	<i>Anguilla japonica</i>	0	1	1	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0
オイカワ	<i>Zacco platypus</i>	0	83	49	2	7	0	0	20	5	2	0	1	
オオキンブナ	<i>Carassius auratus buergeri</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
カマツカ	<i>Pseudogobio esocinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
カワムツ	<i>Zacco temminckii</i>	0	8	1	5	5	0	0	0	2	10	1	0	
ギンブナ	<i>Carassius auratus langsdorfi</i>	0	4	4	1	0	0	1	4	0	9	0	0	
コイ	<i>Cyprinus carpio</i>	0	2	1	3	13	0	0	5	0	0	0	0	
ゴクラクハゼ	<i>Rhinogobius giurinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
シマヨシノボリ	<i>Rhinogobius sp. CB</i>	5	3	8	2	0	2	3	6	1	0	3	1	
スミウキゴリ	<i>Gymnogobius petschiliensis</i>	0	8	7	0	0	0	0	5	4	0	0	0	
タカハヤ	<i>Phoxinus oxycephalus jouyi</i>	0	0	0	7	12	0	1	32	20	36	14	0	
トウヨシノボリ	<i>Rhinogobius sp. OR</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ドジョウ	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ドンコ	<i>Odontobutis obscura</i>	0	1	3	4	8	19	1	11	13	3	17	0	
メダカ	<i>Oryzias latipes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
モツゴ	<i>Pseudorasbora parva</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	
ヤマトシマドジョウ	<i>Cobitis matsubarae</i>	45	67	161	84	70	110	14	61	163	51	171	95	
	出現個体数	51	177	235	117	117	134	20	147	208	111	208	97	
	出現種数	3	9	9	9	7	4	5	10	7	6	6	3	

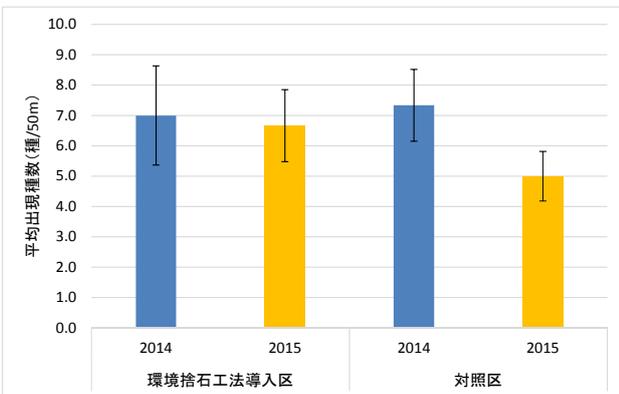


図-7 平均出現種数の比較 (平均±SE)

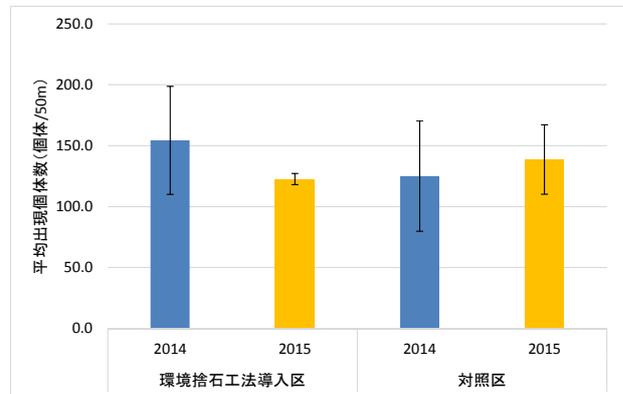


図-8 平均採捕個体数の比較 (平均±SE)

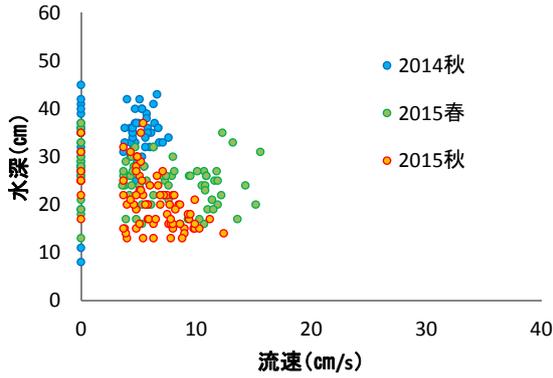


図-9 環境捨石工導入区の流速-水深の変化

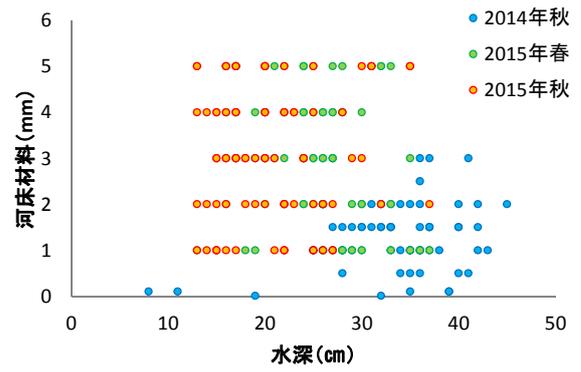


図-11 環境捨石工導入区の河床材料粒径-水深の変化

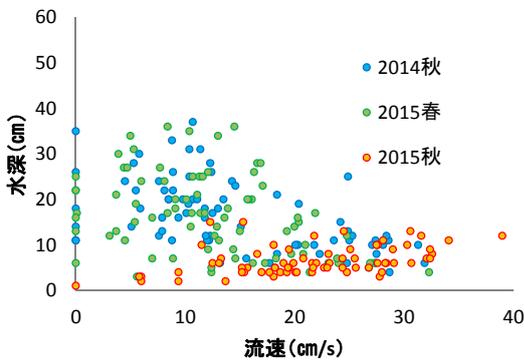


図-10 比較対照区の流速-水深の変化

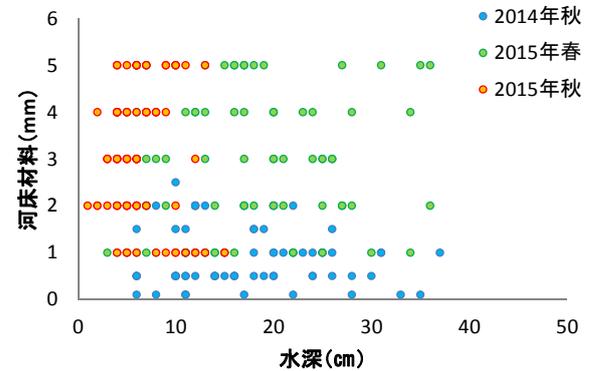


図-12 比較対照区の河床材料粒径-水深の変化

5. 考察

本章では、4章で得られた魚類調査及び物理環境調査の結果を照合することにより、本工法の効果や今後の河道内自然再生手法の課題などについて考察を行う。

(1) 環境捨石工法の効果について

本調査の結果(図-7, 図-8)をみると、平均値においては魚類の種数および個体数の点においては、環境捨石工法導入の効果は認められなかった。しかしながら、個別の種に着目すると、ウナギ、カワムツ、コイ、タカハヤ、ドンコ、ウキゴリなどの種は、環境捨石工法導入後に個体数が増加している(図-13)。とりわけウナギ、ドンコ、コイについては、環境捨石工法導入区のみで個体数が増加している(図-13, 図-14)。ウナギ、ドンコ、ウキゴリ等は今回導入したような巨礫の礫間にできる隙間を生息場所とする種であり、本工法の導入によって個体数が増加した可能性がある。実際の調査時もこれらの種の多くが巨礫の隙間近傍で採捕された。したがって、礫間を利用する種のハビタット創出という点において、本工法は一定の効果を発揮したものと推測される。

流れのハビタット区分や物理環境(流速, 水深, 河床

材料の多様性)という点においては、本調査の結果からは本工法の効果は認められなかった。環境捨石工法導入直後に捨石の周りに淵が形成される等、一時的に流れのハビタットを多様化させたこともあったが、その後の経過では徐々に捨石工は砂の中に埋没し、2015年秋期の調査ではほぼ消失していることが確認された。環境捨石工の材料として導入した自然石はいずれも直径30cm以上であり、本対象河川の掃流力では流失しない計算となっている($d=30\text{cm}$ とした場合、 $\tau^*=0.01$ 程度)。しかしながら、対象河川の河床材料はほとんどが $\phi 5\text{mm}$ 以下の砂礫であるため、それらが頻りに移動することによって、導入した自然石の多くは河床下に埋没してしまったものと考えられる。環境捨石工法が特定の場所に留まり続けることができるような工夫(例えば、支持層まで基礎を導入する、木材などの浮力を有する材料と合わせて施工する等)を施すことができれば、瀬淵の創出や土砂の分級などハビタットを多様化させる機能を発揮するものと推測される。砂河川における環境捨石工法の生態的な効果を発揮させるためには、捨石部の根入れの構造を工夫するなど、捨て石そのものの沈降防止策の導入が必要である。

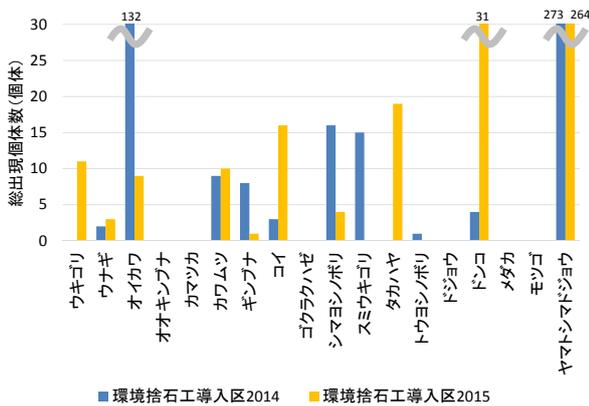


図-13 環境捨石工導入区における魚種毎の年別の出現個体数

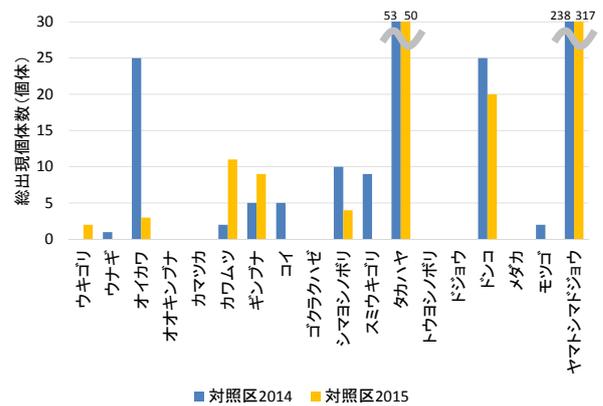


図-14 対照区における魚種毎の年別の出現個体数

(2) 当該地区の環境について

今回の調査では、オオキンブナ、カマツカ、ゴクラクハゼ、ドジョウ、メダカについては、確認されなかった。しかしこれらは、上西郷川の同一流呈における筆者らの過去の調査によって生息が確認されている種である。そのため、これらの種については、環境改善によって当該調査区間においても再生が可能な種であると思われる。ドジョウ、メダカについては流れが緩やかで細かい粒径の河床材料が堆積する環境が必要であり、ワンド等の止水環境の創出あるいは川幅を広げるなどの工夫が必要と思われる。また、ゴクラクハゼについては回遊魚であることや、直近の下流区間には生息が確認されていることから、縦断的な連続性の再生を行うことができれば、当該区間でも確認される可能性がある。現状では、本研究の対象区間の直下流に落差1.5m程度の堰があるため、それによって移動が制限されている可能性もある。縦断的な連続性の再生は、当該地区を含む上西郷川の再生課題である。

6. 結論

本論は、都市河川における河道内環境再生技術を構築するための知見を蓄積することを目的として、自然石を活用した環境捨石工法の導入とその評価を試みた。得られた知見は以下のとおりである。

- ・出現する魚種の種数および個体数の点においては、環境捨石工法導入の効果は認められなかった。
- ・しかしながら、礫間等の空隙を利用するウキゴリ、ウナギ、ドンコなどの種については導入後に一時的に個体数が増加したことが確認され、一定の効果をもつことが示唆された。
- ・環境捨石工法を砂河川に導入すると、捨石周りの土砂が移動することにより、捨石が徐々に沈降し、1年程度で埋没することが確認された。

- ・砂河川で環境捨石工法を導入する場合、捨石部の根入れの構造を工夫するなど、捨て石そのものの沈降防止策の導入が必要である。

謝辞

本研究は、H26-27年度に河川整備基金の支援を受けて実施されました。

参考文献

- 1) 多自然川づくり研究会：多自然川づくりポイントブックⅢ中小河川に関する河道計画の技術基準・解説、公益社団法人日本河川協会、2011
- 2) Whiteway S.L., Biron P.M., Zimmermann A., Venter O., Grant J.W.A.: Do in-stream restoration structures enhance salmonid abundance? A meta-analysis, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Vol. 67, Issue 5, pp.831-841, 2010
- 3) Kail J., Hering D., Muhar S., Gerhard M., Preis S.: The use of large wood in stream restoration: Experiences from 50 projects in Germany and Austria, Journal of Applied Ecology, Vol. 44, Issue 6, pp.1145-1155, 2007
- 4) Dave Rosgen: Applied river morphology, Wildland Hydrogy, 1996
- 5) (独) 土木研究所 自然共生研究センターHP, http://www.pwri.go.jp/team/kyousei/jpn/research/m3_04_48.htm
- 6) 原田守啓, 高岡広樹, 大石哲也, 萱場祐一：新しい河道安定工法の実用化に向けた調査研究の取り組み, 河川技術論文集, Vol.19, pp.87-92, 2013.
- 7) 水辺のフィールドミュージアム研究会HP, <http://ameblo.jp/mizubefmk/>
- 8) 浜野龍夫, 伊藤信行, 山本一夫編：水辺の小わざ, 山口県土木建築部河川課, 2007
- 9) 林 博徳, 服部実佳子, 新希一, 岩瀬広継, 島谷 幸宏：上西郷川における間伐材を用いた河道内自然再生工法の導入と評価, 河川技術論文集, 20, pp.121-126, 2014.

(2017. 4. 3 受付)