

沖縄県二級河川奥川における自然再生と その評価

AN ASSESSMENT OF EFFECTS AND DURABILITY ON NATURE
RESTORATION OF OKU-RIVER IN OKINAWA ISLAND

宮良工¹・赤松良久²・湯野剛志³・宮本真琴⁴・神谷大介⁵・島谷幸宏⁶
Koh MIYARA, Yoshihisa AKAMATSU, Tsuyoshi YUNO, Makoto MIYAMOTO,
Daisuke KAMIYA, Yukihiro SHIMATANI

¹正会員 沖縄県環境科学センター 生活科学部 (〒901-2111 沖縄県浦添市宇経塚720)

²正会員 博(工) 山口大学大学院准教授 理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

³正会員 (株)建設技術研究所 九州支社河川部 (〒810-0041 福岡市中央区大名2-4-12 CTI福岡ビル)

⁴非会員 沖縄県環境科学センター 環境科学部 (〒901-2111 沖縄県浦添市宇経塚720)

⁵正会員 博(工) 琉球大学助教 工学部環境建設工学科 (〒903-0213 沖縄県西原町千原1)

⁶正会員 博(工) 九州大学大学院教授 工学府 (〒819-0395 福岡市西区元岡744番地)

A nature restoration project has been conducted in the Oku River in the northern part of Okinawa Main Island. The purpose of this project is to restore the habitat of Ryukyu-ayu, which is extinct in the wild in Okinawa Main Island. The removal of drop structure and the restoration of pool by withdrawing the river bank were conducted to prevent the water leak as subsoil water and revive the structure of riffle and pool. The restoration for fish habitat was indicated by the results of investigation on fish and riverbed forms. These river improvements were evaluated in terms of bed deformation using numerical simulation. The results of numerical simulation indicate that the removal of drop structure induces the change of the longitudinal profile into original one, and the restored pool maintains the function as a pool over the next ten years.

Key Words : *nature restoration, habitat of fish, numerical simulation, bed deformation*

1. はじめに

沖縄県は1972年に日本本土復帰し、その前後から大量のインフラ整備が始まる。急流河川が多く勾配修正等のための落差工が多数設置され、河道の直線化とともに河川の構造は大きく変化した。また、農地開発、人口増加等に伴い河川への赤土等や汚濁水の流入も合わせて河川環境は著しく劣化し、その象徴としてアユの亜種リュウキュウアユが1980年代初頭に沖縄島で絶滅した。

沖縄県管理の二級河川奥川(図-1)では、2009年の奥川自然再生協議会結成、2011年の河川生態系再生実施計画策定を経て、河川環境の変化とともに最初に絶滅したリュウキュウアユが再び定着するような河川環境を取り戻すことを目標に再生事業が進捗中である。

奥川では河川改修前には数か所の水深2mを越す淵が存在していたが河川改修によって河道は直線化し、落差工の設置や河道拡幅によって大規模な淵は形成され

なくなっている。夏季水温は30℃以上になるため、低水温を維持できる淵の存在は生物にとって重要である。また、落差工への土砂堆積に起因すると考えられる瀬切れが頻発している(写真-1)。以上のことから、瀬切れの解消・流水の連続性を確保するために2010年9月に3基ある落差工のうち第二落差工を撤去し、その後2011年9月に第三落差工下流で引堤によって淵を整備している。

本研究では、落差工撤去約4年後および引堤による淵整備約3年後の河床の変化状況を測量結果から把握し、



瀬切れの状況(平成17年9月)



平常時の奥川(平成15年10月)

写真-1 奥川における瀬切れの状況



図-1 奥川（沖縄県指定二級河川）における河川生態系再生のための施策とモニタリング地点

魚類モニタリング調査結果を用いてこれらの施策の現状評価を行うこと、河床変動予測によって魚類評価結果の持続性を検討することを目的とする。

2. 河床形状・魚類の生息状況から見た現状評価

奥川における落差工の撤去および引堤による淵整備後の環境モニタリング項目は表-1に示すとおりであり、本研究ではこのうち流量（水位）観測、河川測量、魚類調査の結果に基づいて自然再生施策による生物環境の改善効果进行评估する。

(1) 施策実施後の河床変化と評価

図-2に第二落差工の撤去とその後の河床縦断形状の変化を示す。撤去直後の2010年12月は大規模な出水を受けた後であるが、撤去前と比較して変化は少ない。その後、3年を経過した2013年12月には、落差工の上流側の堆積

土砂が下流側に移動して縦断形状が平滑化している。これによって表流水の伏流が減少し、瀨切れが緩和されるものと期待される。ただし、2013年夏季の小雨傾向により大規模な瀨切れが再度発生したことから、更なる検討が必要となることが明らかとなった。

図-3に引堤による淵整備後の横断形状の変化を示す。2013年12月において整備後2年以上を経過しているが、地域の古老へのヒアリングによる河川改修前の淵の水深

表-1 奥川生態系再生における調査内容

	計画段階(各1回)	モニタリング段階
河川形状	河川測量	河川測量:4回/年
河床材料	粒径分布分析	無し
河川流量	連続自動水位観測	連続自動水位観測
地下水位	水位・水温観測	河道内地下水位観測
河川水質	水温, BOD, SS等調査	水温, BOD, SS等分析
河川生物	魚類, 底生動物, 付着藻類調査	魚類: 定点調査: 1回/年 潜水目視観察1回/月 底生動物: 1回/年 付着藻類: 1回/年

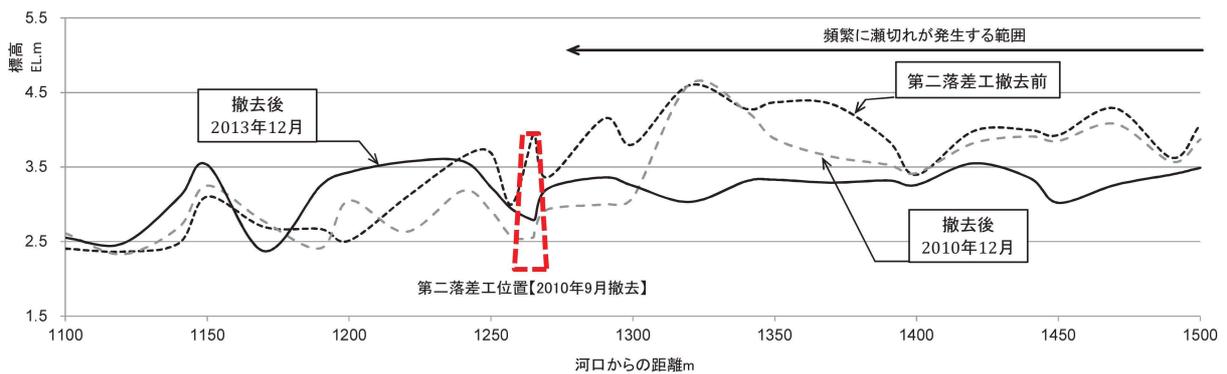


図-2 第二落差工の撤去と河川縦断形状の変化 ※図中の河床高はいずれも平均河床高

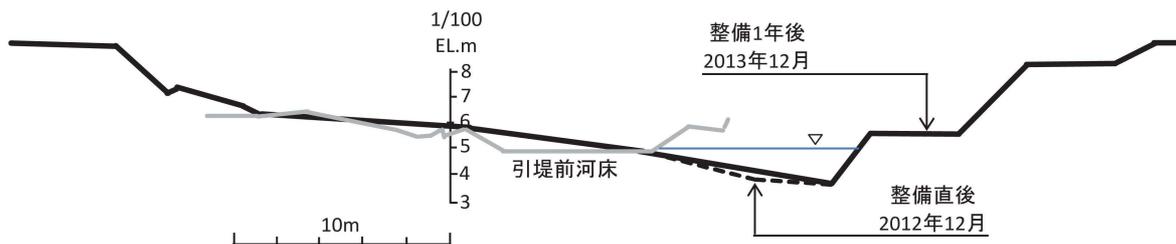


図-3 引堤による整備淵と横断形状の変化

2m を整備直後から維持しており、生物の避難場所、生活場所として期待できることが明らかとなった。

(2) 施策実施後の魚類相の変化と施策の評価

魚類による淵の利用状況結果を用いて落差工撤去による流水の連続性確保、引堤整備淵による魚類の生息場所確保に関する効果評価を行う。

図-4 に淵における魚類群集の動態を示す。前述のとおり奥川自然再生事業は絶滅したリュウキュウアユが再定着可能な河川環境を取り戻すことを目的としており、海から遡上する遊泳魚の状況が効果の指標となるため、表-2 に海から遡上する遊泳魚の個体数の動態を示す。

St.2 は撤去された第二落差工下流側の小規模な淵、St.3 は第二落差工の直上流の淵、St.4 は引堤整備前の小規模な淵、整備後は引堤による整備淵を対象としている。

撤去前の調査が少ないため明瞭ではないが、撤去前にはいずれの地点でも出現していなかったボラ類が、撤去後にはSt.3およびSt.4で確認され、2013年には最大30個体、平均して11個体程度がSt.4の引堤による整備淵で確認されるようになってきている。また、St.3の淵ではギンガメアジ類が撤去後に確認されている。遊泳性の魚類が第二落差工撤去後に上流側で確認されるようになり、これらが

引堤による整備淵で多く確認されるようになったことから、第二落差工の撤去は大規模な瀬切れ発生時以外には流水の連続性を確保できているものと考えられる。また、遡上してきた魚類の生活場所として引堤による整備淵は効果があるものと評価できる。大規模瀬切れ発生時には、引堤による整備淵で平均して110個体のユゴイ類が確認されている。これはその他の時期の2倍以上に当たり、当該淵を避難場所として利用したものと考えられることから、引堤による整備淵は魚類の重要な避難場所としても効果があるものと評価できる。

3. 施策の長期的評価のための河床変動予測

(1) 河床変動シミュレーションの概要

本研究では、一般座標系二次元不定流河床変動計算モデル (RIC-Nays) を用いて数値シミュレーションを行った。RIC-Naysは河道内の植生作用を考慮した水位、流速、河床変動の数値シミュレーションが可能である。本モデルでは粒径分布は一様粒径を仮定し、平均粒径を与える。掃流砂は二次元流れの場の流線方向とこれに直交する方向成分が計算され、流線方向は芦田・道上の式¹⁾、流線と直交する方向には長谷川の式²⁾を使用している。2次流強度は水深平均流の流線の曲率を考慮したものから算出

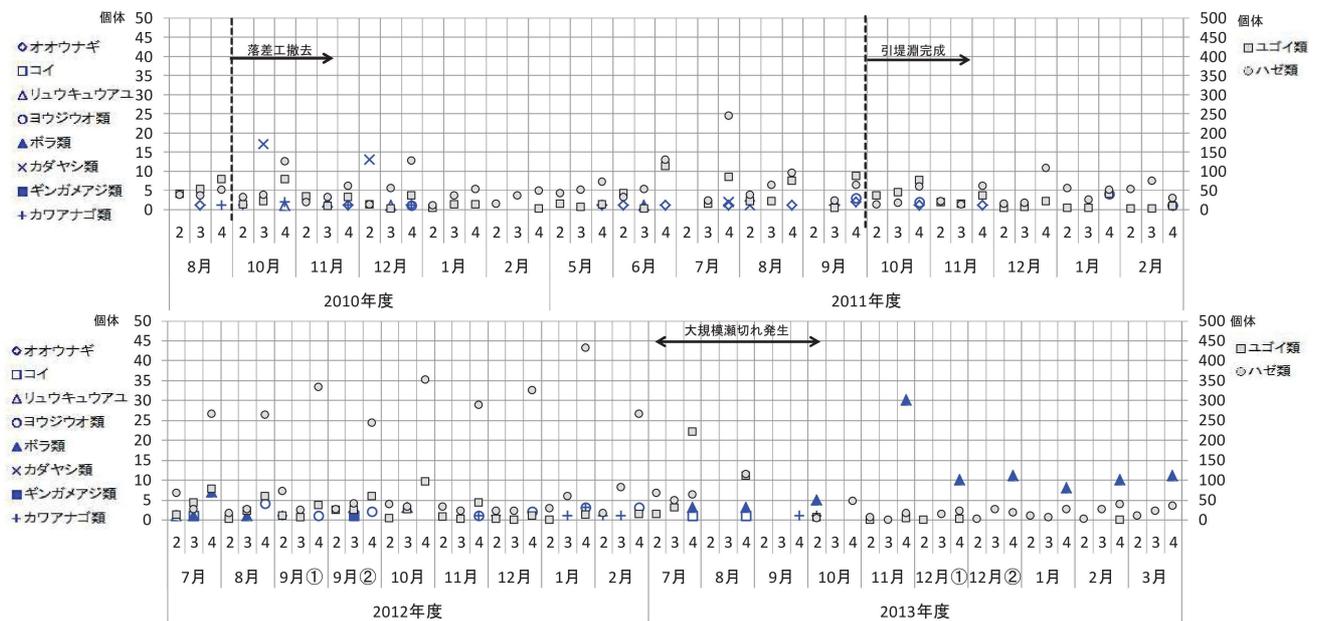


図-4 淵における魚類群集の動態 ※ 2:St-2, 3:St-3, 4:St-4

表-2 海から遡上する遊泳魚平均個体数の変化

第二落差工撤去 引堤淵整備 大規模瀬切れ発生	前			後			後			後					
	前	前	後	後	後	後	後	後	後	後	後				
期間	2010, 8			2010, 10~2011, 9			2011, 10~2012, 2			2012, 7~2012, 9			2013, 10~2014, 3		
淵番号	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
ボラ類	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.6	0.5	0.0	0.0	2.0	0.7	0.0	11.4
ギンガメアジ類	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ユゴイ類	41.0	53.0	78.0	14.0	9.5	53.1	9.3	14.2	42.4	5.0	10.0	110.0	5.1	13.9	29.3

している。浮遊砂の浮上量は板倉・岸の式³⁾、浮遊砂の沈降量はRubeyの式⁴⁾を使用している。

(2) 計算条件

落差工の撤去区間と引堤による淵整備区間の2つの区間を対象として河床変動シミュレーションによる解析を行った。落差工の撤去による瀬切れの解消・小規模化についての解析対象区間は、第一落差工上流から第三落差工下流の約650mとし、引堤による淵の維持・形成についての解析対象区間は第三落差工上流から第二落差工上流までの約400mとした(図-1)。

粒径は現地調査から得られた平均粒径(D₅₀)の9.5mmを用い、植生密度の阻害率は0.5とした。境界条件は以下のように与えた。流れに関しては、上流端では観測された流量を与え、下流端では等流条件とした。掃流砂量に関しては、上流端では平衡流砂量を与え、下流端では掃流砂量の流下方向勾配をゼロとした。浮遊砂に関しては上流端ではゼロとして、下流端では流下方向勾配をゼロとした。

a) 河床変動シミュレーションの再現性の検討

第一落差工上流から第三落差工下流の設計断面と2回の測量データ(2010年9月, 2010年11月)を基に河床形状を作成し、その測量の期間中に発生した出水(2010年10月22日)を対象として、河床変動シミュレーションの再現性の検討を行った。計算格子を図-5に、計算対象と

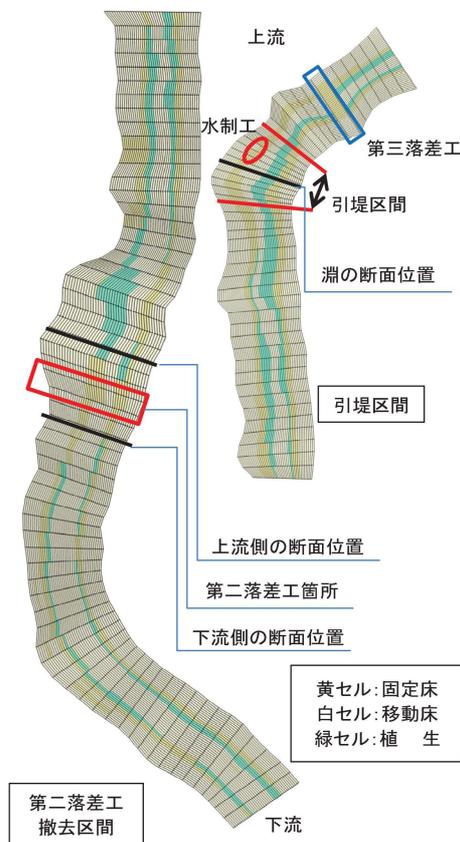


図-5 計算格子

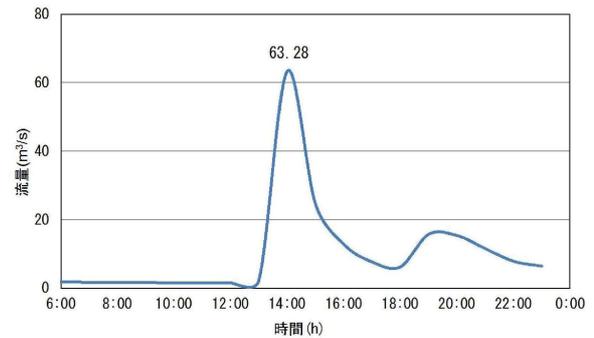


図-6 2010年10月22日の流量

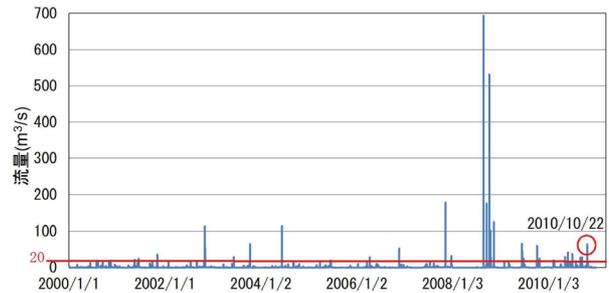


図-7 2000~2010年の流量

した2010年10月22日の出水の流量を図-6に示す。

b) 第二落差工撤去による河床縦断形状の変化

落差工撤去が河床縦断形状に与える影響を検討するために長期間の複数の出水を与えて落差工撤去後の長期的な河床変動について解析を行った。与えた流量は過去11年間(2000~2010年)の実績流量のうち、ピーク流量が20m³/s以上の複数の出水である。計算対象とした2000~2010年にかけての流量を図-7に示す。

c) 引堤・水制工による淵の再生

引堤・水制工設置による淵の長期間の維持・形成についての検討を行うために第三落差工直上から第二落差工上流までの区間で設計断面と2011年11月の測量データを基に河床形状を作成した。計算格子を図-5に示す。この河床形状を初期条件として過去11年間(2000~2010年)の実績流量のうちピーク流量が20m³/s以上の複数の出水(図-7)を与える解析を行い淵の堆積状況を検討した。

(3) 計算結果及び考察

a) 河床変動シミュレーションの再現性の検討

第二落差工撤去直後および出水後の測量から得られた河床高コンターを図-8に示す。また、河床変動シミュレーションから得られた出水後の河床高コンターも図-8に同時に示す。第二落差工撤去直後と出水後の測量結果を比較すると、落差工撤去箇所の直下の掘れた部分で顕著な堆積傾向が見られる。また、シミュレーションの結果でも同様の堆積傾向が見られ、平面的な堆積傾向も測量結果とほぼ一致している。さらに、落差工撤去箇所の上流と下流の断面(図-5)での河床形状の横断分布についての検討を行う。両断面についての出水前後の測量結果とシミュレーションの比較をそれぞれ図-9, 10に示す。

なお、設計断面とシミュレーション出水前で横断面形状に関する測量結果と数値シミュレーションの断面が一致していないのは計算上でスムージングされているためであり、同様の理由で実際の出水後の測量とシミュレーション出水後も一致していない。図-9の上流の断面では、左岸で洗掘が起こり、右岸では堆積する傾向にある。シミュレーションでは右岸の堆積傾向は見られないものの、右岸における洗掘の傾向は再現できている。また、図-10の下流の断面では河道の中央に堆積する傾向にあり、

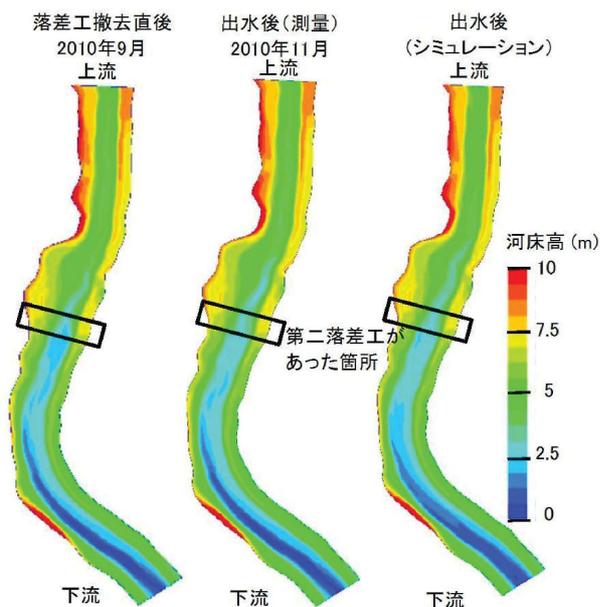


図-8 河床高コンターの測量結果と計算結果の比較

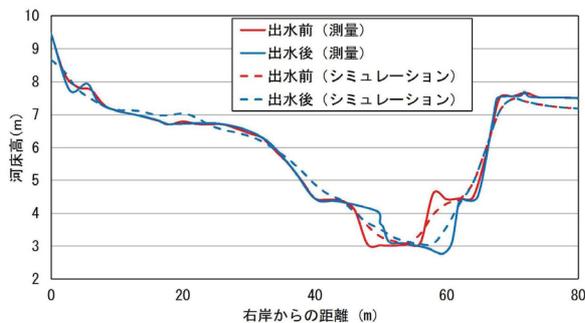


図-9 第二落差工上流の横断面形状の測量結果と計算結果の比較

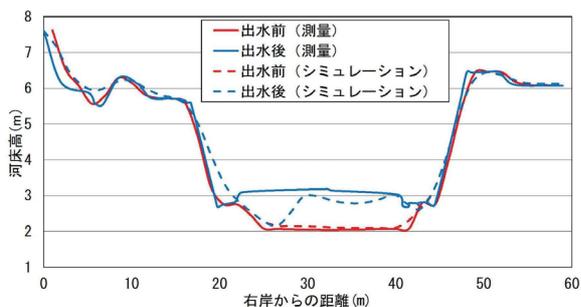


図-10 第二落差工下流の横断面形状の測量結果と計算結果の比較

シミュレーションでもその傾向は再現出来ており、さらに、堆積厚もほぼ一致している。

以上の結果から、河床変動シミュレーションによって、落差工撤去後に見られた落差工下流部での土砂堆積を再現可能であることが明らかとなり、本モデルの有効性が確認された。

b) 第二落差工撤去による河床縦断形状の変化

第二落差工撤去が河床縦断形状に与える影響を検討した。2010年10月22日の出水を与えた場合の出水前後の河床勾配と過去11年間の複数の出水を与えた場合の出水前後の河床縦断形状をそれぞれ図-11, 12に示す。図中で10月22日の出水後は撤去1ヶ月後であり、過去11年間における複数の出水後は撤去11年後である。なお、河床高として低水路内の平均河床高を用いている。落差工撤去直後と落差工撤去1ヶ月後の河床勾配を比較すると、10月22日の出水により落差工があった箇所の下流に土砂が堆積し、落差工が存在した際の階段形状の河床形状からほぼ一定の勾配の河床形状になっている(図-11)。落差工撤去直後と落差工撤去11年後で比較してみると落差工があった箇所の下流に堆積し続けることなく、河床勾配が一定の形状で安定していることがわかる。また、落差工上流の顕著な土砂堆積が消失したことにより、伏流が無くなると考えられ、瀬切れの解消・小規模化が期待できる。

c) 引堤・水制工による淵の再生

河床変動シミュレーションから得られた出水前後の河床高コンターを図-13に示す。図中で出水前を、引堤淵

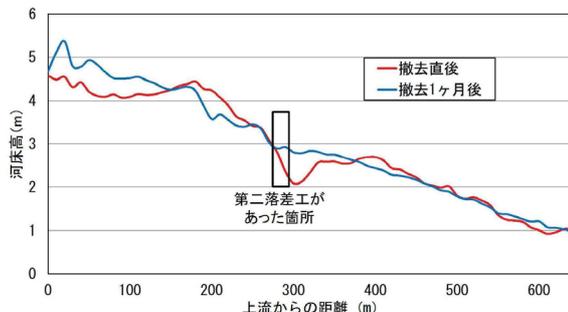


図-11 第二落差工撤去直後と落差工撤去1ヶ月後の河床縦断形状

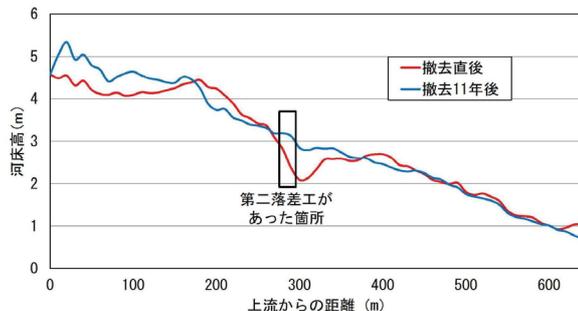


図-12 第二落差工撤去直後と落差工撤去11年後の河床縦断形状

整備直後、および2010年10月22日の出水を与えた10月22日の出水後を引堤1ヶ月後とした。また、過去11年間の複数の出水を与えた河床変動シミュレーションから得られた河床高コンターも図-13に示す。図中で過去11年間の複数の出水後は引堤11年後とした。引堤1ヶ月後の計算結果では淵の深い部分なくなり、引堤11年後の計算結果では淵の部分に全体的に堆積が進んでいることがわかる。しかし、引堤直後と引堤11年後を比べると、引堤直後には直線的な水路となっていた淵の下流部分に、引堤後には瀬淵構造に近いものが見られることがわかる。また、引堤直後と引堤1ヶ月後の淵の断面(図-5)での河床横断形状の比較を図-14に示す。2010年10月22日の1回の出水により淵には約1m堆積しており、淵の部分が縮小していることがわかる。さらに引堤直後、引堤8

年後、引堤11年後の河床横断形状の比較を図-15に示す。引堤8年後はもっとも淵の堆積が進んだ状態であるが、その後の大きな出水によって引堤11年後には淵の最深部では洗堀が進んでいる。これはある程度まで堆積すると堆積土砂が掃流されるためと考えられる。以上のことから出水により淵への堆積と洗堀を繰り返すことで長期間の複数の出水後も淵が持されるということが分かった。

4. 結論

沖縄島北部に位置する奥川では自然再生事業が進捗中であり、瀬切れ解消のための落差工の撤去と淵再生のための引堤が行われている。本研究では、環境モニタリングにおける魚類調査結果、河川測量結果と河床変動シミュレーション結果を用いて落差工撤去による瀬切れ解消と引堤による淵の再生について現状評価と将来評価を行った。

その結果、海から遡上する多くの遊泳魚が落差工上流側の特に引堤による整備淵で確認されことから、落差工撤去による瀬切れの緩和効果があり、また瀬切れ時の避難場所としての引堤整備淵の効果があったものと評価された。更にRIC-Naysを用いた河床変動シミュレーションは落差工撤去後の河床変動を再現可能であることが明らかとなり、瀬切れに関しては落差工を撤去することで堆積傾向が低下し、瀬切れの解消が期待できることが示唆された。また引堤区間においては、引堤・水制による流れの制御によって堆積と洗堀が繰り返されることで、長期間にわたって淵が維持されることが分かった。このため、将来にわたっても落差工撤去と引堤による整備淵の効果は維持されるものと考えられる。

今後は、河床材料調査を行い、第二落差工撤去後における堆積土砂の粒径変化の有無を確認するとともに、複合粒径でのシミュレーションを行い予測精度の向上を図ることとしたい。

謝辞：本研究における流量観測結果、河川測量結果、生物調査結果等は全て沖縄県北部土木事務所、沖縄県河川課より提供を受けた。心より謝辞を述べる。

参考文献

- 1) 芦田和男, 道上正規: 移動床ながれの抵抗と掃流砂に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, Vol.206, pp.59-69, 1972.
- 2) 長谷川和義: 沖積蛇行の平面および河床形状と流れに関する水理学的研究, 北海道大学学位論文, 1983.
- 3) Itakura, T. and Kishi, T.: Open channel flow with suspended sediments, *Proc. ASCE*, Vol.106, No.HY8, pp.1325-1343, 1980.
- 4) Rubey, W. W.: Settling velocities of gravel, sand and silt particles, *Amer. Jour. Sci.*, Vol.25, pp.325-338, 1933.

(2014. 9. 30受付)

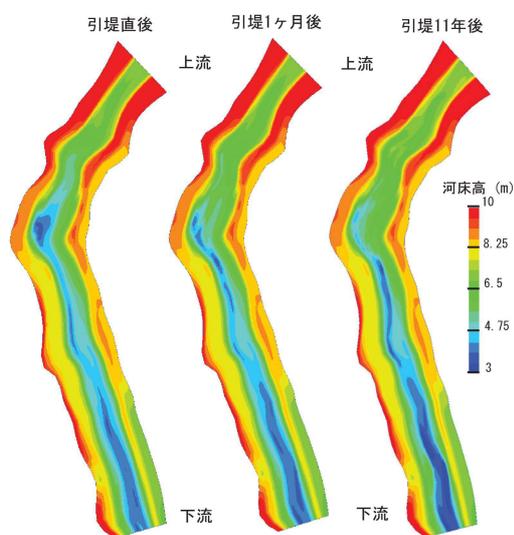


図-13 河床高コンターの測量結果と計算結果の比較

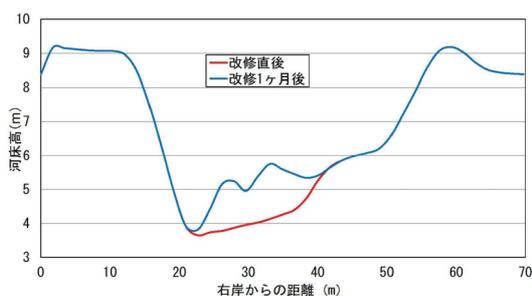


図-14 引堤直後と引堤1ヶ月後の淵の河床横断面の比較

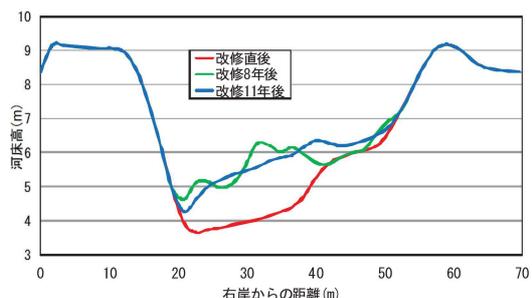


図-15 引堤直後、8年後、11年後の淵の河床横断面の比較