

木津川における竹蛇籠水制の生息場形成効果

Installation of Bamboo Gabions as a Groin to Create Fish and Invertebrate Habitats in the Kizu River, Japan

狩野幹太・竹門康弘・小林草平・角哲也

Kanta KANO, Yasuhiro TAKEMON, Sohei KOBAYASHI and Tetsuya SUMI

Synopsis

Groins are usually installed to prevent bank erosion and levee damages. In Japan, gabions made by bamboo and gravels, called bamboo gabions in this paper, have been used traditionally in the construction works of rivers, however they are not frequently used recently due to the cost and high efforts of their production. Many rivers in Japan and world are now facing environmental problems associated with channel degradation or aggradation. The Kizu River, which flows north in Kyoto Prefecture, Japan, is a granite sandy river, and invertebrate and fish species were originally poor due to the fine bed materials and very flat and uniform topography. Due to constructions of dams upstream, beds became coarser and species richness became higher in the river during several decades. However, river managers are planning to sluice of sediments through the reservoir outlet to prevent over-degradation of the channel, which can induce re-appearance of fine and simple bed conditions unsuitable for river biota. Thus, we should take any measures to keep and improve more preferable condition. In the floodplain and riverside area, bamboo forest has been expanding due to reduction in flood disturbance and harvesting. The local residents and municipality are now seeking to better utilize bamboo again to stop expansion of the bamboo forest. This paper main objectives are to: 1) focus on the specific features of bamboo gabions, which fit in nature and ecosystem, from views of maintaining suitable river habitats and well-utilizing bamboos; 2) examine the effect of bamboo gabions as groin on riverine invertebrate and fish habitats, we installed the gabions and monitored the changes in bed topography, bed materials and animal community in a lower reach of the Kizu River.

キーワード: 竹蛇籠, 水制, 木津川, 生息場, 生態系, 止水部, 河床

Keywords: Bamboo gabion, groin, The Kizu River, Habitat, ecosystems, stagnant, riverbed

1. はじめに

1.1 日本の伝統的工法

(1) 水制

我が国では, 自然地理的な特徴によって昔から昨今に至るまで幾度となく洪水被害を被ってきた。そ

のため, 治水事業は極めて重要であり, 多くの河川工法が生み出されてきた。その中の一つに, 水制がある。

水制にはおおまかに二つの機能があり, 一つは流路を規制する機能, もう一つは流速を減殺する機能である。水制は, すでに上代に杭工や棚工などの護

岸水制として施工されていたことが万葉集や古事記にも書かれており、奈良時代には灌漑用水引き入れのためにも、聖牛などに代表される牛類が使用されていたとされている（富野，2002）。その後も各時代における背景を反映しながら経験的に改良されていき、明治時代には輸送手段としての舟運の改善に寄与した。昭和に入ると舟運は鉄道・道路運送との競争に負け、追い打ちをかけるように高度経済成長期から河川管理技術の統制化・マニュアル化が求められ、加えて、より安価で効果を発揮しやすいコンクリートが護岸工事に使われるようになった。こうして水制は、河川処理工法として終焉時代を迎えた。しかしその後、公害問題などを経て、国民の注目は利水・治水面に加えて河川環境にも向き始め、今度は逆にコンクリートより環境に優しく景観面でも優れた水制が再び注目されるようになった（水野，2011）。

国土交通省は、1990年に「多自然型川づくり」を提唱した。当時の建設省河川局によると「“多自然型川づくり”とは、河川が本来有している生物の良好な生育環境に配慮し、あわせて美しい自然景観を保全あるいは創出する事業の実施をいう」と定義されている（建設省河川局，1990）。2005年には、有識者を中心とした多自然型川づくりレビュー委員会が設けられ、15年間取り組まれてきた「多自然型川づくり」の現状と課題を検討し、新たに「多自然川づくり」を提唱した。同委員会によると、多自然川づくりは「河川全体の自然の営みを視野に入れ、地域の暮らしや歴史・文化との調和にも配慮し、河川が本来有している生物の生息・生育・繁殖環境、並びに多様な河川風景を保全あるいは創出するために、河川の管理を行うこと」と定義されている（多自然川づくりレビュー委員会，2005）。多自然型川づくりでの取り組みで問題点として挙げられていた、場所ごとの自然特性への配慮を欠いた改修や他の施工区間の工法を真似ただけの画一的で安易な川づくりなどの項目を反省し、生物の生息場も考慮に入れた河川全体の自然環境を考慮し、それぞれの地域の特徴に合わせた河川管理を行っていかうとする提言である。こうした背景の中で、水制などの先代達が生物に馴染みやすい自然素材を用い経験的に発展させてきた伝統的河川工法の価値がますます見直され、現在では、全国各地で水制の設置や復元が行われている。

（2）竹蛇籠

伝統的河川工法の一つに竹蛇籠がある。竹を籠状に編んでいき蛇のように長くしたものの中に、穴からこぼれ落ちない程度の大きめの石を詰めたもので

ある。竹蛇籠は、堤防を法覆し河川の流れによる洗掘を防いだり、牛類と併用することで流れを抑える減勢としての役割を担ったり、その用途は多岐にわたる。制作する際には、詰石が飛び出さないように籠の網目は12～15cm程に細かくすることが必要とされ、竹は耐久面を考慮した腐朽や虫食いのない唐竹を使用し4～6つに割って幅を2.5～3cmにすると籠状にしやすい（富野，2002）。竹蛇籠は人の手で容易に作ることができ、軽いため簡単に運びだせる。加えて、竹や中に詰める石材が現地で手に入れやすく、特に近世では藩や大名によって大規模に川除普請に使われていた（安達・後迫，1998）。それらの施工性、経済性の利点に加え、屈撓性や透過性にも優れているため、河川の流れを自然な形で変えることができ、河川に生きる水生動物の棲み処になる可能性を持っている。また、竹素材のため朽ちても自然に帰るため環境にも優しい。現在では、耐久性の優れた亜鉛アルミニウム合金めっき鉄線（アルミニウム含有率10%、めっき付着量300g/㎡以上）が機械生産され、竹と打って変わって蛇籠の材料として使用されており、「竹」蛇籠ではなく、「鉄線」蛇籠（以下、蛇籠）が主流として使われている（国土交通局東北整備局，2015）。[Table 1]に竹蛇籠と蛇籠の特徴を比較した。竹蛇籠は環境、景観面で大きな利点があるが、蛇籠は手間がかからず耐用年数が長いなど、管理面の利点がある。どちらにも長所、短所があり、設置する地域の特性に合わせてどの工法が良いか選択していく必要があると考えられる。

Table 1 comparison between bamboo gabion and iron wire gabion

	材料	メリット	デメリット
竹蛇籠	竹、石	・茂りすぎた竹を利用できる ・人の手で作れる ・自然素材のため生物に馴染みやすい ・朽ちても自然に戻る ・景観面で優しい	・手間がかかる ・人手が必要 ・経年劣化が早い（数年） ・技術が必要 ・多くの竹が必要 ・破損による石の流出の危険性
蛇籠	鉄線、石	・機械による大量生産が可能 ・耐用年数が長い（10年以上） ・破損にくい	・必ず運搬が必要 ・回収、廃棄処理が必須

1.2 水制に関する既往研究

実際の河川では水の流れが複雑で理論的な解明が難しい。加えて、自然条件に左右されやすいため調査への制約が厳しく、満足な研究をすることが困難である。水制研究では、実験水路を用いた現象理解が王道となっており、国内では1960年頃から盛んに行われてきており、2000年以降、より複雑な構造を対象とする水制実験を用いた研究が増えてきている（水谷，2011）。本研究では、模型実験を用いた既往の研究を参考とし、水制の設置方法を決定した。

水制の分類を[Table 2]（水谷，2011より引用）に示す。透過性については、不透過型では、主流の剥離により水制下流部に大きな剥離渦が形成され、渦による逆流が水制頭部の洗掘を引き起こすが、透過型では、水制の流れの抵抗を弱め、透過率次第で不透過型と同等かそれ以上の循環流域を背部に作る事ができる。また、透過方向を水制頭部に向けてやれば頭部の洗掘を弱め、背部の渦を安定して保つことができる（富永ら，2000）。形状については、形状によって、局所洗掘や水制下流域での局所堆積、河床波の発達等の特性が変わることが分かっている（鈴木ら，2010）。配置角度については、配置角度により、洗掘、堆積特性、粒度分布変化に影響がある。最大洗掘は直角形型に比べ、下流向きは小さく、上流向きは大きい（B. W. Melville et al., 1992）。また、上流向き水制が最も背部への堆積を促す効果があり、水制全面域と水制頭部の下流に伸びる粗粒化領域を最も顕著に形成されると予想される（水谷ら，2013）。水路主流部の水深は、上向き水制で最も大きくなり、下向き水制で最も小さくなる。水制域内に生じる水面振動は下向き水制で最も抑えられる傾向がある（大本ら，2005）。また、Zhouら（2000）は上流から60°，90°，120°の角度の水制の流れ場の解析を行った結果、120°で最も水制背後の流速低下域が長くなることを示している。基数については、連続型にした際、最大洗掘は1基目先端付近に確認され、そのやや下流に堆積する傾向がある。また、水路主流部の流速は流下に従い大きくなる（平川ら，2011）。

Table 2 Classification of groins

項目	分類
透過性	不透過型、 透過型
形状	直線型 、L型、T型、etc
配置角度	直角形型、上向き型、 下向き型
越流状態	非越流型 、越流型(洪水時越流)
基数	単独型、 連続型
配置形態	片岸型、 両岸型

1.3 木津川について

淀川水系の木津川は三重県下に源を発し、京都府に入ってから府下南部の市町村のほとんどを通過し、京都府と大阪府の堺付近で宇治川、桂川と共に淀川に合流する流域面積1596km²、幹川流路延長99kmの一級河川である。京都府下有数の河川である。主な流入支川には、上流から、三重県下では前深瀬川、拓殖川、京都府下では名張川、布目川、打滝川、和束川、赤田川、山田川、青谷川、普賢寺川、手原川などがある（京都府衛生部公害対策室，1980；国土交通省，オンライン）。流域には風化花崗岩の地質が卓越し、豊富な土砂供給によって砂河床が形成され、多様な河床地形を持つ典型的な砂河川として知られている（堤ら，2014）。供給された砂は主に、川幅が広く勾配の緩やかな下流区間で堆積し、主に三川合流地点から上流25kmまでの区間がそこに該当する（吉村ら，2010）。安土桃山時代に豊臣秀吉による淀川治水事業によって河道に堤防が築かれ、江戸時代においては、幕府によって管理され改修されてきた。山城盆地の支川では、堤防による流路の固定作用に加えて、流域からの著しい土砂供給によって、急速に河床上昇が進行し、特に下流区間の富野・田辺あたりから南にみられる河川で天井川化が生じた（植村，2008；堀井，1955）。

一方、木津川下流域において昭和46年まで多量の砂利採取が行われ、さらに、1969年、最大支川である名張川と木津川本川との合流地点に高山ダムが建設され、その後も、室生ダム等が相次いで建設され、本来下流に流れるはずの土砂がダムに堆砂するようになり、1960年代から河床低下が生じている（国土交通省，2015）。また、上流のダム群の治水操作によって大規模出水の頻度が減少し攪乱頻度が減少したことで、河道内に高低差が生じている場所で急激に植生が繁茂し始めており、下流区間においては1960年以前と比べると河道内の裸地面積は半分以下に減った（山本ら，2003；河川生態学術研究会木津川グループ）。こうした背景によって、かつてはうろこ状、網状、複列砂州などの多様な砂州形態が多く見られた木津川であるが、近年では単列砂州が優占して多くみられ、植生繁茂による流路の固定化と河床が低下により、ますます単調な流れになっている（Choi. M et al., 2013；Choi. M, 2014）。

また、木津川は砂河川であるため、河床材料が掃流されやすく不安定である。そのため、河床材料の表面や空隙を生息場として利用する底生無脊椎動物（以下、底生動物）にとっては適さない環境であり、特に粒径の細かい下流区間では、底生動物相は貧弱であった（京都府衛生部公害対策室，1980；小林ら，2010）。しかし、高山ダムをはじめとする上流のダ

ム群が建設されて以降、本川への砂の流入が抑えられ瀬を中心に河床に粗い底質が現れ、石裏の空隙に生息する底生動物の生息場は増えつつある（小林・竹門，2013）．ところが今後、高山ダムにおいて、ダムの堆砂問題を解消し、本川における河床低下や植生の繁茂を抑制することを目的とした土砂還元が行われる可能性がある．それによって、再び砂が大きく優占し、粗い底質の早瀬を好む底生動物の生息場の質が低下する可能性があるため、生息場環境の向上が維持できるように対策を講じる必要がある．

加えて、木津川では、河川敷で竹林の過剰繁茂が問題となっている．昔から水防竹林が河川敷に分布しており、堤防を中心に覆い、河道の洗掘の起こりやすい湾曲部では堤防の決壊の危険性を和らげてきた（堀井，1955）．ところが、現在の木津川市では、ダムの建設による河道の平滑化の影響もあり、河川敷に竹が過剰に繁茂してしまっている（吉村ら，2010）．しかし、繁茂した樹林を抑制し、管理していくためには除去作業が必要となり、伐採や徐根はもとより運搬・処分に莫大なコストがかかってしまうため、地域の枠組みの中で活用していくことが有効な手段の一つであると考えられている（佐貫ら，2010）．そこで、木津川では過剰繁茂した竹を有効活用することが求められている．

1.4 研究の目的

前述の背景を踏まえて自然環境を考慮すると、今後の木津川においては、単調化した流れ構造に多様性を持たせ、底生動物や魚類を含めた水生動物の生息場となる瀬や淵を創出することの必要性が高まると予想される．そこで、やましろ里山の会、ならびに京の川の恵みを活かす会では、2015年10月17、18日に木津川の下流区間に河川敷に繁茂する竹で制作した竹蛇籠を用いて全6基の竹蛇籠水制を設置する実験を行った（協力：国土交通省淀川河川事務所、淀川河川レンジャー、後援：京都府）．この事業には、本論文の著者も活動メンバーとして参加した．本事業には、竹蛇籠水制を流路の水際付近に設置することで、流路の流速を速めて瀬を保全するとともに、竹蛇籠水制の背部に流れの緩い場所を作る狙いがある．また、竹蛇籠周辺の河床低下を抑制することも期待される（やましろ里山の会、京の川の恵みを活かす会，2015）．

そこで、本研究では、上記の事業によって生じる木津川の河床地形や水生動物群集の変化をモニタリングし、生息場形成効果を明らかにすることを目的とした．具体的には、竹蛇籠水制周辺の水深、河床高、流速、河床特性を調査し、定性採集した水生動物の種の同定し、水制の設置による変化を考察した．

2. 竹蛇籠の設置

2.1 竹蛇籠の設置

(1) 設置場所

やましろ里山の会、京の川の恵みを活かす会ならびに国土交通省淀川河川事務所は木津川の京都府井出町玉水橋下流（三川合流場所から上流に向かって15.5km地点、勾配：1/600、平水時の川幅：約50m、流量：25m³/s）を竹蛇籠水制の設置場所に選定した（Fig. 1）．この地点に関しては以下の3つを特徴がある．

(1) 勾配が緩く遠浅のため河川沿いが単調な環境になっている．

(2) 国土交通省淀川河川事務所が管轄する施設として、直上流に水位と流量を観測している飯岡観測所、直下流に設置場所を望める上之浜樋門がある．本研究では、上之浜樋門にて、定点カメラを設置し30分毎に撮影をし、竹蛇籠の様子を確認することができるようにしている．

(3) 竹蛇籠水制を設置することを考慮したときに、大勢の人が入ることが可能で、なおかつ重機等が入ることのできる拓けた場所である．

(2) 設置方法

2015年10月17、18日に竹蛇籠水制設置事業が行われ、府、他県の職員や市民、漁協組合員や建設会社員など総勢120名が参加した．本事業で我々は竹蛇籠水制の流れに対し逆ハの字になるように右岸2基、左岸3基ずつ設置した．本研究においては、右岸の上流から2基目の竹蛇籠水制は12月中旬に設置されたため考慮されていないが、その水制設置地点を含め全6ヶ所の水制設置地点を中心に調査を行った．

各水制は、竹蛇籠を下段に2つ本並べ、その上に1本のせたものを1基としており、臀部には施工時に用意された石の余りを積み上げ水制の基部が作られている．基部は石を積み上げただけのため、出水時には流出する可能性が高い．各水制の流れに対する設置角度は右岸では第1水制は7°、第3水制は20°、左岸では第1水制は30°、第2水制は39°、第3水制は25°となっている（Fig. 2）．また、各水制に対して10本前後の木杭を竹蛇籠の網目を通して地中約1mの深さまで打ち込んで固定されている．



Fig. 1 Location of installation of groins

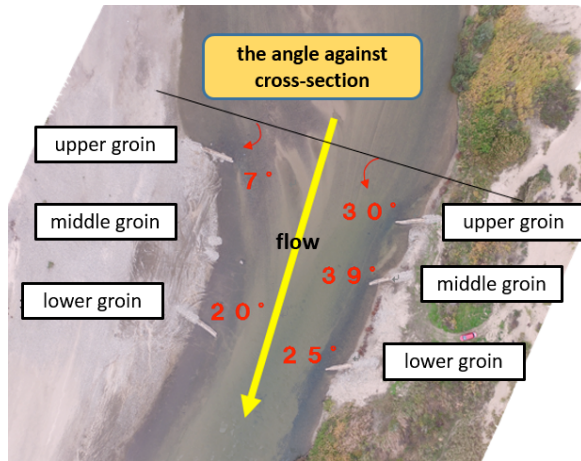


Fig. 2 Installation angles of groins

(3) 各水制のスケール

各水制のスケールについて、主要部は長さ6.0～9.0m、幅1.0m～1.2m、高さ0.8～1.1m、基部は長さ5.0～8.0m、幅1.5～2.5m、高さ0.5～1.0mとなっている。流出の恐れのある基部のスケールに関しては設置10日後の2015年10月27日に計測したものを採用している。

2.2 調査手法

(1) 調査日程

現地調査は竹蛇籠水制の設置前の2015年10月12日、10月17日に事前調査を行い、設置後の2015年10月27日、10月31日、11月22日に事後調査を行った。各調査日における調査項目を[Table 3]に示す。

Table 3 Survey items in each survey

日付	調査項目
10月12, 17日	水深, 流速, 河床軟度, 河床材料, 水生動物採集
10月27日	水深, 流速, 河床軟度, 河床材料, 水生動物採集
10月31日	水深, レベル測量, 生物採集
11月22日	水深, 流速, 河床軟度, 河床材料

(2) 調査地点

(a) 水制周辺の流れ場と地形を理解するための調査に関して

10月12, 17日の調査では、各水制設置予定地点の上流側, 下流側において、右岸側では岸から2m, 4m, 6m地点, 左岸側では岸から1m, 2m, 3m(第1水制設置地点では2.5m)で水深, 流速, 河床軟度, 河床材料の調査を行った。右岸第2水制, 第3水制地点では上流側と下流側で変化が見られなかったため、上流側のみ計測を行った。

10月27日, 11月22日の調査では、水に浸かっている水制回りにおいて、水制から0.5m地点を上流側下流側それぞれ2～4点、水制頭部においては10月27日には先端から0.5m地点、右岸側ではその点から水制に対して垂直に上下に1.5m地点、11月22日には両岸ともに先端から0.5m, 1.5m地点、それらの点から水制に対して垂直に上下に1.5m地点で水深, 流速, 河床軟度, 河床材料の調査を行った。

加えて、11月22日では、右岸, 左岸それぞれで竹蛇籠頭部を基準として等間隔になるようにグリッド状に水制周辺区間の岸近傍で水深・流速・河床材料を調査した。瀬が形成されていた右岸第1水制周辺では、特に注目して河床軟度も調査した。また、各項目に関して、流れが強く水深の深い左岸部では計測が困難である地点もあり、そのような地点では可能な範囲で計測をした。

(b) 水制設置区間全体の地形を理解するための調査に関して

10月31日の調査では、水制設置場所を中心として縦断方向約150m範囲を約25m間隔、横断方向約100m範囲を5～10m間隔でグリッド状になるように水深とレベル測器を用いて河床高を測量した。

(c) 水生動物採集地点に関して

各水制設置予定区間において、事前調査として、10月12日に左岸の止水部3か所と流水部3ヶ所、別途下流に存在していた天然ワンド部1か所、10月17日に右岸の止水部3ヶ所と流水部3ヶ所、両日合わせて計13ヶ所で水生動物の採集を行った。事後調査として、水制設置から10日後の10月27日に各水制に対して、上流側, 下流側, 先端部の3地点(未設置の右岸第2水制においては、岸から近い順に石積み地点, ワンド地点, 杭先地点の3地点)の計18地点について水生動物の採集を行った。各水制の上流側, 先端部は流水環境, 下流側では止水環境であった。ただし、右岸側の第2水制, 第3水制においては、3地点とも流れがほとんどなく止水環境であった。

(3) 調査項目

(a) 水深

物差しを河床に垂直になるように立て、河床からの水面の高さcm単位で計測をした。

(b) 流速

計測にはコスモ理研製のプロペラ式流速計(CR-11型)を使用し、水面から60%の深さで5回測定しその平均を測定値とした。10月12, 17日, 27日の調査においては、流れの流下方向に対して流速を測定し流線図を記帳した。11月22日においては、各水制において垂直な方向と平行な方向に対する二軸の流速を各5回測定し平均を測定値とした。

(c) 河床軟度

計測にはシノを用いた。シノを河床に対して垂直に一定の荷重をかけて突き刺し、シノに刻まれた目盛りを読むことで貫入深さを測定した。各地点で5回繰り返して、その平均値を測定値とした。シノによる測定では、厳密な河床軟度の評価はできないが、多くの地点で簡易的に測定できるメリットがある。

(d) 河床材料

各地点において、占める割合が大きい河床材料を多い順に記した。本調査地点では、比較的細かい河床材料が多いため、河床材料を以下の5種類に区分し各地点の河床材料について評価した(小林・竹門, 2012)。

16mm以下の大きさの河床材料

Fs: 細かい砂 (fine sand:<1mm)

Cs: 粗い砂 (coarse sand:1-2mm)

G: 砂利 (gravel:2-16mm)

16mm以上の大きさの河床材料

H: はまり石 (hamariishi:>16mm)

U: 浮石 (ukiishi:>16mm)

(e) レベル測量

パワーレベル測器(SOKKIA SDL30)を用いて水準測量をした。測量した各地点ではGARMIN社製の交感度GPSナビゲータ(eTrex Vista HCx)に座標点を記録させ、Google Earth上で測量地点を確認した。

(f) 水生動物採集

各地点において、Dフレームネット(目合300 μ m)を用いて約5分間の定性採集を行い、得られた底生動物サンプルは、地点毎にふるいによって4mmメッシュ以上とそれ未満のサイズに分け、実態顕微鏡を用いて4mmメッシュ以上の水生動物の種を同定した後、各種、エタノールで固定・保存した。現地での採集に

際しては、底泥を掘り起こす、石の表面に付着しているものをはがす、魚類などは誘導して捕まえる、などのバリエーションに富んだ採集方法を行うことで、できる限り多くの種類が集まるように採集した。

(4) 調査結果の補正

飯岡観測所では、水位データはリアルタイムに公表されているが、2014年以降の流量データがなかったため、各調査日の水位を2013年の水位データとみなし、それに対応する流量を各調査日における流量とした^[31]。水制設置地点の水位に関しては、河床形状を下に凸の二次関数であると仮定し、11月24日における水制設置区間の平均河川幅50mを挿入し河川形状を定め、各調査日の流量を代入して水位を求めた。また、水深の計測結果をコンター図に表す際には、各計測日と10月31日の異なる日付に測定したデータが混在する形になってしまうため、全ての測量値に対して、測量した日の水位と11月24日の水位の差し引き分を補正し、全データを11月24日の水位に統一して比較を行った(Table 4)。

Table 4 Correction of water level data - adjust the water level on November 24

日付	飯岡水位 (m)	流量 (m^3/s)	水制地点 最大水深 (cm)	11月24日 との水位 差 (cm)
10月12日	-2.59	35.9	96.6	19.1
10月17日	-2.71	27.2	80.1	2.6
10月27日	-2.75	24.5	74.8	-2.6
10月31日	-2.75	24.5	74.8	-2.6
11月22日	-2.69	28.6	82.8	5.3
11月24日	-2.73	25.8	77.5	0

3. 竹蛇籠水制周辺の流れ場・地形の調査結果

3.1 水深・河床高の変化

(1) 計測結果

水深に関しては、兩岸ともに上流の第1水制の先端部に大きな変化があり、また第2水制、第3水制付近ではあまり変化は見られなかった。右岸第1水制先端においては、10月12, 17日の水制設置前と10月27日、11月22日の水制設置後の水深を比べると後者の方が大きい値をとり、先端部に集中するような洗掘孔が確認できた。ただし、10月27日と11月22日の水深を比べると前者の方が先端部の水深が大きかったが、洗掘がより集中しているのは後者であった。左岸第1水制先端でも水制設置前に比べて設置後の方が先端部の水深がより深くなり、10月27日と11月22日の水

深を比べると後者の方が先端部の水深が大きく、徐々に洗掘孔が大きくなったことがわかる。

(2) 考察

最上流の水制とそれ以外の水制で大きな違いが見られた。第1水制に水衝したながれが拡散し、下流側の水制への影響が少なかったことが原因とみられる。また、水制を設置したことで、河床洗掘が進行していくか、ある程度洗掘し、平衡状態に移行するのが自然な流れであると予想であるが、右岸において、11月22日より10月27日の方がより大きな洗掘孔が確認できた。この原因として、10月27日と11月22日の出水により河床変動が起こった可能性がある。実際、11月18日に約100m³/sの出水があり、翌日の11月19日に現地にて様子を確認した際、右岸側竹蛇籠水制を陸側に回り込むように流れが見られ、11月22日の調査では流れがあった陸地において河床が侵食された形跡が見られた。この侵食により、先端部の河床洗掘部に掃流砂が流れ込んだ可能性があるが、流れが複雑であるために詳細な調査をする以外に、推測の域を出ることはない。しかし、左岸側ではこの現象が確認できなかったことから、可能性の一つとして十分考えられる。

3.2 流速・流れ構造の変化

(1) 計測結果

右岸第2、第3水制については、水制設置前後で際立った変化は見られなかった。右岸第1水制においては、設置前の時点である程度滞り側に流れが集中していたことが分かるが、設置後の10月27日、11月22日の計測では水制先端部への流れの集中が明確に確認でき、先端部では10月27日では最大130cm/s、11月22日では最大107cm/sの流速を確認した。また、水制設置後には後背部へ透過した一部が瀬に近い流れを生み出していることが現地で確認でき、10月27日には右岸第1水制で最大77cm/s、11月22日には同水制にて最大20cm/sの流速が確認できた。左岸各水制においては、設置後には水制先端部への流れの集中が見られ、後背部では流れが弱まった。特に第1水制では先端部への流れの集中が顕著にみられた。左岸第1水制背部では右岸第1水制同様、流れが透過していたことが現地で確認できたが、大きな流速を持つ流れは形成されていなかった。11月22日に観測した流速ベクトル図を同日の最大流速のコンター図にクリギング法を用いて示す (Fig 3)。右岸第3水制を除く、各水制の先端部から下流の岸側に回り込むように先端から剥離した流れが形成されていることがわかる。兩岸の第1水制後背部では、反転流が形成されており、特に左岸ではくっきりとしたものが確認できた。

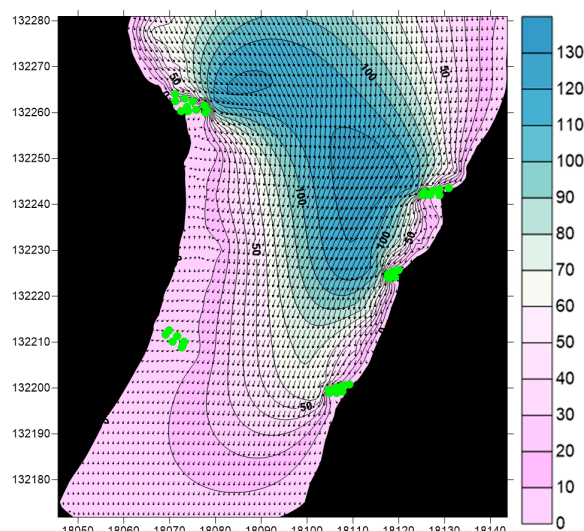


Fig. 3 Flow velocity vector (November 22 investigation minutes): green indicates the location of the bamboo gabions

(2) 考察

水制の設置によって、兩岸の第1水制において大きな変化がみられた。前節と同様に第1水制に水衝した流れが主流部に偏向したために、下流側の水制への影響が少なかったことが原因とみられる。右岸第1水制背部の透過流について、11月22日に比べ、10月27日の方が最大流速はかなり大きい。流量はむしろ11月22日の方が大きく、これほど違うことには疑問が残る。原因としてはいくつかの可能性があるだろうが、前節の考察でも述べた、11月18日の出水によって、竹蛇籠の前面と特に背部の河床形状が変化したことが考えられる。それにより、動水勾配が変化し透過流速が変化した可能性がある。また、測定地点は竹蛇籠水制の先端からの距離で固定しているため、河床形状が変われば、各測定地点の透過流が非常に緩くなるなど、測定値も大きく変わる。今後、後背部への透過流の流速を定量的に評価するためには、一番流速の大きい地点を別途に計測する必要がある。

右岸第3水制では水制背部への先端部からの剥離した流れはほぼ確認できなかった。右岸側では第1水制より下流では水制設置前から止水環境であり、水制への流れの衝突がほとんどなかったためであると考えられる。また、左岸第1水制の後背部で明確な反転流が形成された原因としては、強い流れが衝突していたことに加え、剥離した流れが第2水制の上流側に当たり、岸際を伝って逆流したことが考えられる。

3.3 河床軟度の変化

(1) 調査結果

右岸側では、岸側より滞筋側の方の河床が柔らかい傾向がみられた。左岸側では、特に岸側、滞筋側どちらも同じ程度の河床軟度であった。また、計測値の平均値を各水制の上流側、下流側でまとめたものを[Fig 4]，[Fig 5]に示す。右岸に比べて左岸の方の河床軟度が全体的に大きかった。まず、右岸について、第1水制では、上流側で設置後徐々に河床が硬くなり、下流側では反対に柔らかくなっていた。第3水制では設置前後で大きな変化は見られなかった。続いて左岸について、第1水制の下流側を除く全ての計測域で水制設置前に比べて設置後の方の河床が柔らかくなり、特に上流側ではその傾向が強かった。

次に、11月22日に調査した右岸第1水制周辺の河床軟度と専有している河床材料を[Fig 6]に示す。水制直近の河床軟度が小さく、水制から遠ざかるにつれて上流側にも下流側にも河床軟度は大きくなっていることが分かる。水制近傍について見てみると、水制の先端方向に河床軟度は徐々に小さくなっており、また、下流側より上流側の方が小さく、一番小さい値をとったのは上流側の先端であった。各地点の河床材料を見てみると竹蛇籠直上流では、はっきりと粗粒化していることが分かる。また、全体の傾向として一番岸際において細かい砂や粗い砂が専有していることが分かる。

(2) 考察

竹蛇籠設置後に右岸第1水制上流側で徐々に河床軟度が小さくなっている原因として、水深が浅いために流れが先端に集中した結果、粒径の細かい砂が流され粗い河床材料が残ったことが挙げられる。右岸第1水制下流部において河床軟度が徐々に大きくなっている原因としては、前節で述べた背部の反転流によって細かい河床材料が堆積し、河床が柔らかくなったことが挙げられる。

左岸各水制の上流部において河床軟度が徐々に大きくなっている原因としては、竹蛇籠水制によって流れてきた河床材料がトラップされ上流側に堆積していることが挙げられる。加えて、水制の設置により剥離した流れが発生し、止水環境が形成され始めている影響で堆砂が進んでいる可能性がある。

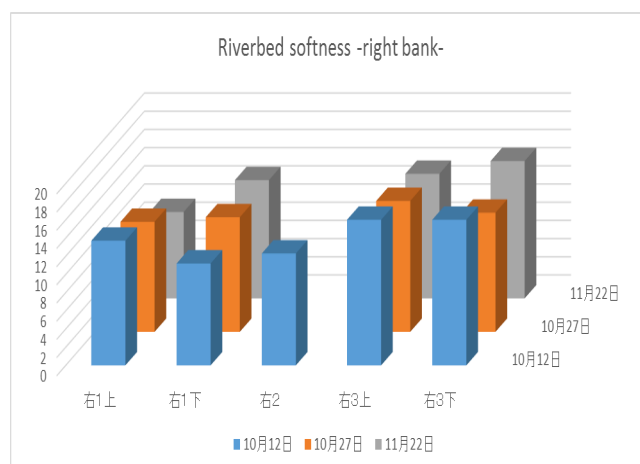


Fig. 4 Comparison of the riverbed softness of each point
-right bank-

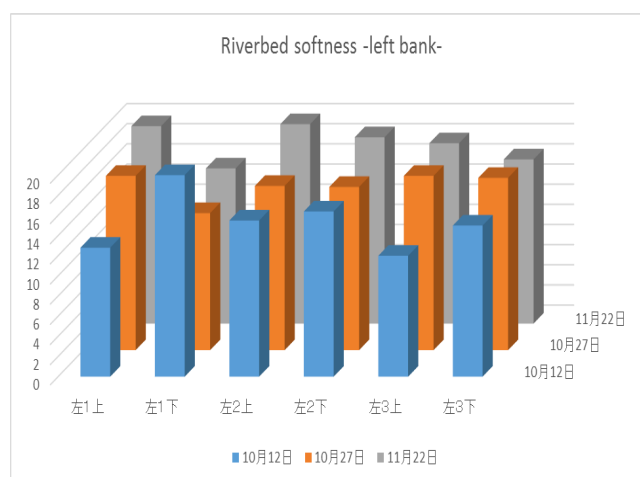


Fig. 5 Comparison of the riverbed softness of each point
-left bank-

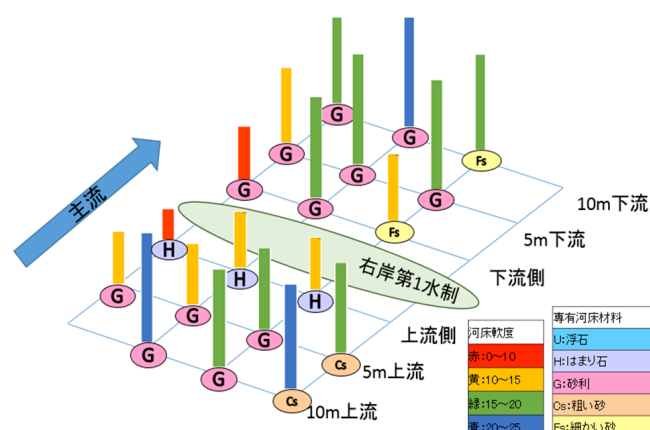


Fig. 6 Riverbed softness and bed material of the right bank near the first groin on November 22

3.4 河床材料の変化

(1) 調査結果

各水制周辺で河床材料を調査した結果を[Table 5]に示し、その地点を占める割合が一番多かった河床材料を水制の設置前後で比較した。水制の設置前では、右岸の第2水制、第3水制、左岸の第3水制下流において、砂利や粗い砂などの粒径の小さい河床材料が多く、それ以外の場所では比較的是り石が多い傾向にあった。右岸上流側においては、一番岸に近い地点ではグラベルが専有していたが、水制設置後の10月27日にははまり石が専有した状態となり、11月22日には上流側全ての地点で粒径の大きな河床材料のみとなった。一方、同じようにはまり石が専有していた右岸第1水制下流、左岸第2水制上流、下流、第3水制の上流では、水制を設置したことで砂利が多くなったことがわかる。さらに11月22日の調査では、第1水制下流、第2水制において細かい砂が専有する地点が確認できた。

(2) 考察

竹蛇籠水制を設置したことで、右岸の第1水制上流では粗粒化した。これは、前節に述べたように流れが先端部に集中したことにより細かい砂が流され大きな粒径の河床材料が残ったためであると考えられる。また、第1水制下流、第2水制、左岸では、第2水制上流、下流、第3水制上流で粒径の小さい河床材料が堆積したことがわかった。これらの地点は、水制先端から剥離した緩い流れが衝突している地点であり、剥離した流れによって細かい河床材料が堆積したと考えられる。

3.5 周辺の河床地形

(1) 地形概要と考察

10月31日に測定した河床高をクリギング法を用いて示し、また、11月24日の水位の時を0cmとして、水位がそれぞれ0cm, 60cm, 100cmとなったときの水没域を示した結果、60cmの水位では、右岸の水制のさらに岸側まで水没し、100cmの水位では右岸の岸全体が水没することがわかった。実際に、11月22日の調査では、11月19日の出水時に流れていたと考えられる流路において、河床が削られその痕跡が残る場所が確認された。出水によって、右岸では水制よりさらに岸まで河川の流路となるため、今後の調査では岸の河床形状の変化も追う必要があると考えられる。

Table 5 Bed materials in each water system (colored by riverbed material ratio: Fs yellow, Cs orange, G thin red, U purple and H blue)

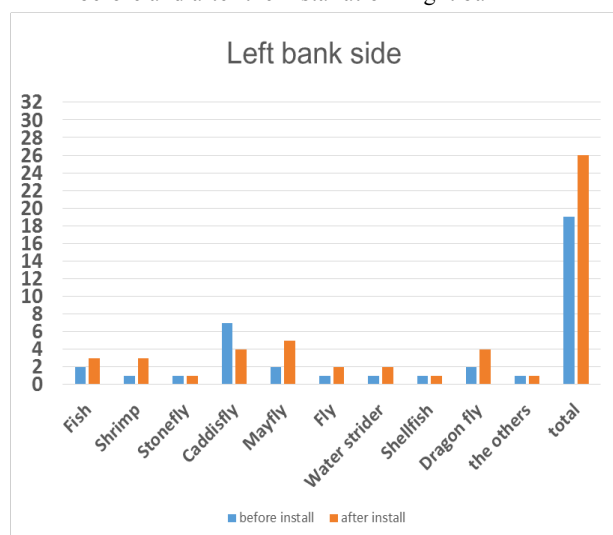
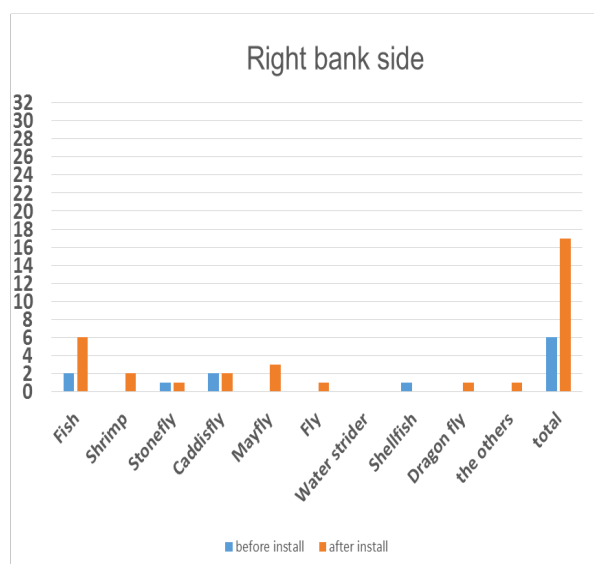
	地点(岸から近い順)	10月12, 17日	10月27日	11月22日
R1上	1	GH	HGU	HU
	2	HG	HUG	HU
	3	HUG	HGCs	HU
R1下	1	HGsG	GHUCs	FsUG
	2	HGCs	GCsH	GHUFs
	3	HGsG	CsG	GHGs
R2	1	HGCs		FsGCs
	2	CsGH		FsCsG
	3	CsGH		CsGFs
R3上	1	CsGH	GCs	CsGU
	2	GCsH	GCs	CsH
	3	CsG	CsG	CsUG
R3下	1	CsGH	GCsH	CsUGFs
	2	GCsH	GHGs	GCsFsH
	3	CsG	CsGH	GCsFsH
L1上	1	GHGs	GCs	CsGH
	2	HGCs	HGCs	HGCs
L1下	1	HUG	HGCsU	HGCsU
	2	GCsH	CsGHU	CsGUH
L2上	1	HG	GHUCs	GHUCs
	2	HGCs	GUHCs	HUGCs
	3	HUG	HGCs	UHCsG
L2下	1	HUG	GCsHU	GHFsCs
	2	HGCs	GHGsU	GHUCs
L3上	1	HUG	GHUCs	HGCs
	2	HGCs	GCsHU	UGH
	3	HGCs	HGCs	CsG
L3下	1	CsGH	GCsHU	UHCs
	2	GHGs	UGHCs	UHCs

4. 現地水生動物採集結果

4.1 水制設置前後の採集結果

(1) 種類数の変化

10月12, 17日の事前調査と設置10日後の10月22日に採集した水生動物のうち、4mmメッシュサイズを通らない比較的大型の水生動物だけを取り出し実態顕微鏡を用いて種を同定した。水制の設置前後の種類数を比較する上で、事前調査でのみ採集した下流の天然ワンド部を省き、右岸左岸の各水制それぞれで種類数をまとめた。右岸、左岸、両岸の設置前後で魚類、エビ類、カワゲラ目、トビケラ目、カゲロウ目、ハエ目、アメンボ目、貝類、トンボ目、その他の10項目でそれぞれ種類数をまとめた(Fig 7)(Fig 8)。右岸では、設置前の6種類に対し、設置後は17種類であった。特に魚類、エビ類、カゲロウ目が増えていたことがわかる。左岸では、設置前の19種類に対し、設置後は26種類であった。トビケラ目は種類数が減ったが、多くの項目において種類数が増え、特に魚類、エビ類、カゲロウ目、トンボ目が増加した。両岸合わせると、設置前の19種類から、設置後は32種類に増えた。魚類、エビ類、カゲロウ目、ハエ目、アメンボ目、トンボ目においては、水制設置前に比べて二倍以上に増えていることが分かる。



(2) 新たに増えた種と生息場の対応

次に各調査地点を流水環境と止水環境に区別し、設置後に新たに確認できた水生動物はどの環境で採集されたのかを確認した (Table 6) . 流水環境では、テナガエビ、Jコカゲロウ、ウスバガガンボ、カワニナなどの底生生物が水制設置後に新たに確認できた。止水環境では、モツゴ、タモロコ、ドジョウ、ヌマチチブ、メダカ属の5種の魚類に加え、ハエ目では、ガガンボ属、ミギワバエの2種、トンボ目では、クロスジギンヤンマ、ミヤマサナエ、シオカラトンボの3種、それに加えてウスバカゲロウ属、オオアメンボが新たに確認できた。流水環境、止水環境の両方で新たに確認できたのは、エルモンヒラタカゲロウ、ヒメヒラタカゲロウ、キブネタニガワカゲロウなどのカゲロウ目3種とスジエビであった。

Table 6 Aquatic animals observed before and after the installation (flow fast area is pink, stagnation area is blue)

[illegible]

4.2 考察

水制設置後に新たに確認された種を水制毎にみてみる。右岸において新たに確認された種は、第1水制では、流水環境でスジエビ、エルモンヒラタカゲロウ、ヒメヒラタカゲロウ、止水環境でタモロコ、ドジョウ、ヌマチチブ、ヒメヒラタカゲロウ、第2水制では、止水環境でスジエビ、ミギワバエ、第3水制では、止水環境でモツゴ、ヌマチチブ、スジエビ、キブネタニガワカゲロウであった。右岸の各水制通じて新たに確認されたスジエビは左岸下流の天然ワンドでも確認されたが、それ以外の種はワンド部では確認できなかったことから、竹蛇籠水制による生息場形成効果がワンド部とは違った新たなものであった可能性が大きい。

左岸において新たに確認された種は、第1水制では、流水環境でスジエビ、テナガエビ、エルモンヒラタカゲロウ、ヒメヒラタカゲロウ、止水環境でメダカ属、キブネタニガワカゲロウ、ウスバコカゲロウ、ミヤマサナエ、第2水制では、流水環境でエルモンヒ

ラタカゲロウ、キブネタニガワカゲロウ、Jコカゲロウ、止水環境でエルモンヒラタカゲロウ、ガガンボ属、シオカラトンボ、第3水制では、流水環境でエルモンヒラタカゲロウ、Jコカゲロウ、ウスバガガンボ、カワニナ、止水環境でスジエビ、エルモンヒラタカゲロウ、ガガンボ属、オオアメンボ、クロスジゲンヤンマであった。左岸でも右岸と同様に、左岸下流の天然ワンドでも確認され各水制通じて新たに確認されたのはスジエビのみで、それ以外の種は全てワンド部では確認できなかったことから、竹蛇籠水制による生息場形成効果がワンド部とは違った新たなものであった可能性が大きい。

そこで、各水制における種の増加数について着目して、第3章で論じた流れ場・地形の調査結果を踏まえて考察してみる。

右岸においては、第1水制に比べて、第2水制、第3水制の種類数は大きく増加していないことがわかる。原因としては、水制の設置前から流れが緩く、水制の設置による流れ構造の変化がほとんどなかったために、新たな生息場がそこまで多く形成されなかったのではないかと推測できる。それでも、第1水制を含めて魚類やエビ類が新たに多く確認されている。右岸は左岸に比べると、もともと流れが弱い。しかし、浅いために魚類などの遊泳型の水生動物が休む場所としては水鳥などの天敵に対して避難する場所がなく、捕食される危険があったと考えられる。実際に、調査中に水鳥が餌を求めて飛んできたことがあった。そこに、水制を設置したことによって、竹蛇籠の中に籠められた石を比較的大型の水生動物が隠れ処として利用し始めた可能性が高い。実際に現地で竹蛇籠内部に潜む魚類が確認できた。

左岸では、各水制で新たな生息場が多く創出されたといえる。もともと強い流れが当たっていたため、竹蛇籠の設置によって後背部に明確な止水環境が創出されたことが原因として考えられる。また、粒径の小さい河床材料が堆積し始めていることも新たな生息場の創出に寄与している可能性がある。

5. 結論

本研究では、竹蛇籠設置地点を中心に全6ヶ所の流れ場構造・河床特性について調査結果をまとめ、考察した。次に、水生動物の採集結果をまとめ、新たに確認された種がどのような生息場環境で確認されたのかを、流れ場構造・河床特性の結果を踏まえて考察した。本研究で得られた竹蛇籠水制による効果を以下にまとめる。

5.1 流れ場構造・河床特性について

(1) 河床形状（竹蛇籠直近）

両岸の第1水制の先端部にて顕著な河床洗掘が確認された。右岸では、増水時、水制の後背部に回り込むような流れが生じて、先端の洗掘孔を埋め立てている可能性があり、洗掘孔の深さは動的に変動している可能性がある。

(2) 流れ場

両岸の第1水制にて、先端部への流れの集中が顕著に確認され、先端部から下流方向に剥離した流れは岸に向かった。特に左岸第1水制背部では剥離した流れが第2水制に衝突して逆流し、はっきりとした反転流が確認された。右岸の第2水制、第3水制では、水制設置前から流れがほとんどなかったため、設置後の流れの変化はほとんどなかった。

(3) 透過流

両岸の第1水制にて、後背部への透過流が確認された。左岸では大きな流れを形成するに至らなかったが、右岸では大きな流速を持った透過流が形成された。透過流は後背部の河床形状に大きく左右される可能性があり、増水時の背部の河床変動により流速や流路が変化している可能性がある。

(4) 河床軟度

右岸第1水制において、上流側では水制設置後、河床軟度が徐々に小さくなった。逆に下流側では徐々に大きくなった。左岸では、水制の上流側でいずれも河床軟度が徐々に大きくなっており、粒径の小さな河床材料が水制の上流側にトラップされ始めていると考えられる。また、左岸第2水制、第3水制の下流においても河床軟度が大きくなっており、先端から剥離した流れによって細かい河床材料が堆積した可能性がある。

(5) 河床材料

右岸第1水制の上流側では水制の設置によって粗粒化が起こった。一方、水制の設置前には、粒径の大きなはまり石が優先していた右岸第1水制下流、左岸第2水制上流と下流、第3水制の上流では、水制の設置によって細粒化が起こった。この結果は、河床軟度の変化に対応しているところが多く、河床材料と河床軟度を合わせて調査することが有効であると考えられる。

(6) 増水時の周辺地形への影響

河床の形状を測定した結果、水位が上がると右岸側の岸は容易に水没してしまうことが分かった。増水時には水制の頭部と臀部に流れが分かれ、臀

部側から水制後背部に流れこんでいた。後日の調査で、右岸第1水制の臀部側において、増水時の流路となっていた場所で河床が削れている所が確認された。

5.2 水生動物について

水生動物は竹蛇籠水制の設置前後で、右岸では6種から17種に、左岸では19種から26種に、両岸合わせると19種から32種に増加した。設置後、新たに確認された種は事前に調査した下流の天然ワンド部で確認された種とはほとんど異なり、竹蛇籠水制の生息場創出効果が新たなものであることが確認できた。竹蛇籠後背部にできた止水環境や、竹蛇籠内部の透過流が流れる間隙や石表面を基質とする流水環境が水生生物の新たな生息場として機能している可能性がある。

謝辞

本研究は京の川の恵みを活かす会、やましろ里山の会、淀川河川事務所、淀川河川レンジャーの皆さまおよび木津川市の方々を中心に大勢の方の協力を得た。いであ株式会社の加藤様には、木津川の航空写真やドローンによる写真など本研究を進めるにあたり重要な資料を提供していただいた。また、河川レンジャーの田中様、菊池様には、11月22日の現地調査にご協力いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

安達實・後迫政道（1998）：治山治水のための森林保護と竹蛇籠に関する研究—加賀藩の林制—，土木史研究，第18号，pp.217-226。

植村善博（2008）：京都盆地南部，木津川・宇治川の水害地形，文学部論集，第92号，pp.29-43

大本照憲・平川隆一・渡邊訓甫（2005）：非越流型水制群の向きが河床変動と流れ構造に及ぼす影響，応用力学論文集，Vol.8

河川生態学術研究会木津川グループ（2003）：木津川の総合研究—京田辺地区を中心として—，河川生態学術研究会木津川グループ

京都府衛生部公害対策室（1980）：自然環境保全基礎調査報告書 木津川の水生生物—付着藻類と底生生物—

建設省河川局（1990）：「多自然型川づくり」実施要領

国土交通省（オンライン）（引用日：2015年1月20日）：河川概要 木津川

http://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/nihon_kawa/85060/86060-6.html.

国土交通省（オンライン）（引用日：2015年1月20日）：水文水質データベース，飯岡

<http://www1.river.go.jp/>.

国土交通省（2015）：木津川土砂環境検討部会 第1回WG資料，p.5

国土交通省 東北地方整備局（2015）：土木工事共通仕様書，2-19

小林草平・竹門康弘（2012）：土砂量と河床材粒径に着目した生息場評価，京都大学防災研究所年報，第55号B，pp.537-545

小林草平・竹門康弘（2013）：木津川における底生動物生息場としての瀬の形態の歴史の変遷，京都大学防災研究所年報，第56号B，pp.681-689

小林草平・中西哲・尾嶋百合香・天野邦彦（2010）：愛知県豊川における瀬の物理特性と底生動物現存量，陸水学雑誌，71，pp.147-164

佐貫方城・大石哲也・三輪準二（2010）：全国一級河川における河道内樹林化と樹木管理の現状に関する考察，河川技術論文集，第16巻，pp.241-246

鈴木幸一・門田章宏・重松和恵・田中健治（2010）：T型L型水制に起因する河床形状変化特性，水工学論文集，第54巻，pp.817-822

多自然型川づくりレビュー委員会（2005）：一多自然川づくりへの展開—（これからの川づくりの目指すべき方向性と推進のための施策）—，pp.1-10

富永晃宏・長尾正志・長坂剛（2000）：水制背後の流れ構造に及ぼす透過流の影響，水工学論文集，第44巻，pp.1035-1040

富野章（2002）：日本の伝統的河川工法Ⅰ，信山社サイエンス，p.108

堤大三・藤田正治・竹門康弘・角哲也・泉山寛明（2014）：木津川流域の土砂生産ポテンシャルの推定，砂防学会誌，Vol.66，No.5，pp.13-14,22

平川隆一・渡邊訓甫・大本照憲・松本祥平（2011）：連続水制周辺の河床変動と流れ構造に及ぼす水深の影響，土木学会論文集A2（応用力学），Vol.67，No.2（応用力学論文集 Vol.14），pp.635-644

堀井篤（1955）：木津川流域の天井川と“うち水”について—特にその発達過程—，地理学評論28巻，11号，pp.569-577

水谷英朗（2011）：越流型および非越流型水制がもたらす局所洗掘と粒度変化に関する研究，pp.1-7,11-23

水谷英明・中川一・川池健司・張浩・Quentine, L.（2013）：設置角度の異なる単独水制周辺の粒度分布変化に関する研究，京都大学防災研究所年報，第56号B，pp.485-494

やましろ里山の会・京の川の恵みを活かす会
(2015) : 木津川下流の環境改善に向けた取り組み
～竹じゃかごの設置～, 竹蛇籠設置事業パンフレッ
ト

やましろ里山の会・京の川の恵みを活かす会
(2015) : 木津川の竹蛇籠水制制作・設置活動概要,
木津川竹蛇籠設置活動資料

山本有二, 森吉尚, 樋村正雄 : 河川生態学術研究
会について (報告) (2003)

—木津川研究グループの研究—, 「川の自然環境
の保全・再生」に関する研究報告, pp.78-85

吉村真・丸岡昇・内藤正彦 (2010) : 木津川の樹
林化メカニズムに関する研究, リバーフロント研究
所報告, 第21号, pp.49-56

B. W. Melville (1992) : Local scour at bridge abutments,
Hydraul. Eng, 118(4), pp.615-631

Choi, M., Takemon, Y. and Sumi, T. (2013) : Roles of
disturbance in structuring geomorphology for riverine
animal communities

Choi, M. (2014) : Studies on ecological evaluation of
reach-scale channel configuration based on habitat
structure and biodiversity relations, PhD dissertation of
Kyoto University

Zhou, Y., Michiue, M., Hinokidani, O. (2000) : A
numerical method of 3-D flow around submerged
spur-dikes, JSCE, Vol.44

(論文受理日 : 2016年6月13日)