

ハイドロバリヤー水制を用いた 河川横断形状の二極化の低減に関する研究

REDUCTION OF COMPOUND CHANNELIZATION OF RIVER CROSS-SECTION SHAPE USING HYDROBARRIER SPUR DIKE

中村 創¹・竹林 洋史²
Hajimu NAKAMURA and Hiroshi TAKEBAYASHI

¹正会員 大日本コンサルタント(株) インフラ技術研究所 川づくり研究室
(〒170-0003 東京都豊島区駒込3-23-1)

²正会員 博(工) 京都大学防災研究所准教授(〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

Prevention method of compound channelization using a hydrobarrier spur dike is discussed in the paper. A hydrobarrier spur dike is a permeable spur dike which has some wide slits for the water flow. It is considered that the hydrobarrier spur dikes can erode the deposited sediment in the downstream area and deform the compound channel cross-section. A hydrobarrier spur dike is installed on the bar which is formed in the Azuma River, Aichi Pref. and the effect of the hydrobarrier spur dike is surveyed after the installation. In addition, two-dimensional bed deformation analysis is performed to discuss the suitable location and shape of the hydrobarrier spur dike. The results show that the hydrobarrier spur dike prevented the sedimentation more than the case of the normal spur dike.

Key Words : compound channelization, hydrobarrier spur dike, two-dimensional bed deformation analysis, TVD-Mackormack method

1. はじめに

減する効果が高いと思われるためである。

(1) 背景

わが国の河川では、ダム・砂防事業等による上流からの土砂供給の減少に加え、落差工などの横断構造物により、河床勾配が緩められて掃流力が低下し、土砂が移動する頻度が減少している。その結果、砂州の河床位の高い領域に植生が繁茂し、植生域に土砂が堆積することの繰り返しの結果、滞筋と陸地の高低差が広がる「二極化」が発達し、河積の減少や河原の生物環境の消失等の問題が生じている。これらへの対策は、砂州の切り下げ¹⁾、砂州上に分派流路を設ける²⁾等、直接的な河道掘削を行うものがよく実施されている。

一方、我が国では、「水制」により、流れや河床変動をコントロールして川筋を安定させる伝統的な治水の手法・考え方がある³⁾。本研究では、通常の水制ではなく、水制胴部に通水路を持つ「ハイドロバリヤー水制⁴⁾」を用いて二極化を低減する方法を検討する。これは、ハイドロバリヤー水制が、砂州への土砂の堆積を低

(2) 通常のハイドロバリヤー水制の機能

通常のハイドロバリヤー水制は、水制胴部に設けられた通水路を通った速い流れと、水制先端部で回折して河岸側に入り込む流れを河岸付近で衝突させ、流速を低減することにより、そこに土砂を堆積させて川岸を保護する目的で用いられる⁴⁾。

(3) ハイドロバリヤー水制の機能を応用して土砂の堆積を抑制する試み⁵⁾

河道横断形状の二極化は、ダムによるピーク流量低減や砂利採取による河床低下などが、その原因として考えられる。これらの影響が最も早く現れるのは、固定砂州を有する河道湾曲部である。

大分県の一級河川・番匠川水系久留須川の水口地区では、固定砂州上流域に水制胴部に通水路を持つハイドロバリヤー水制を設置し、通水路を通った速い流れによって土砂堆積を抑制する試みがなされている(写真-1)。



写真-1 胸部に通水路を持つハイドロバリアー水制
(番匠川水系久留須川水口地区 2015年5月18日撮影)



写真-2 河床横断形状の二極化の状況（施工前）
(2013年10月15日撮影)

2. 阿妻川における土砂の堆積を防ぐ目的のハイドロバリアー水制設置後の河床変化

(1) 設置目的

愛知県豊田市浅谷町の一級河川・阿妻川における魚道設置の対象区間は、当初、帯工のみが設定されていたが、帯工地点の上流側で右に大きく湾曲しており、流れが左岸側に寄りやすく、右岸側に連続的に土砂が堆積し、その上に植生が繁茂することにより、河道横断形状の二極化が生じていた(写真-2、図-1)。また、その影響により、洪水時の強い流れが左岸側に集中し、帯工下流の護床工が流失したため落差が生じ、魚類の移動阻害が発生していた(写真-2)。そこで、左岸側に魚道を設置するとともに、右岸側に土砂が堆積しにくくなることを防ぎ、河床横断形状の二極化を防止するためにハイドロバリアー水制を設置する計画とした(図-1)。

(2) 設計内容

対象区間全体の河道計画としては、湾曲の影響で左岸に寄る強い流れを河心方向に移動させるため、水制状の根固工を左岸側に設置し、帯工下流に生じた落差を帯工

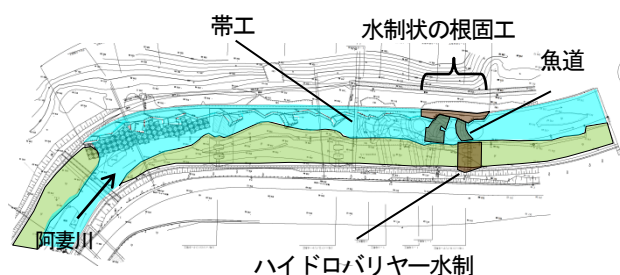


図-1 河道計画全体平面図

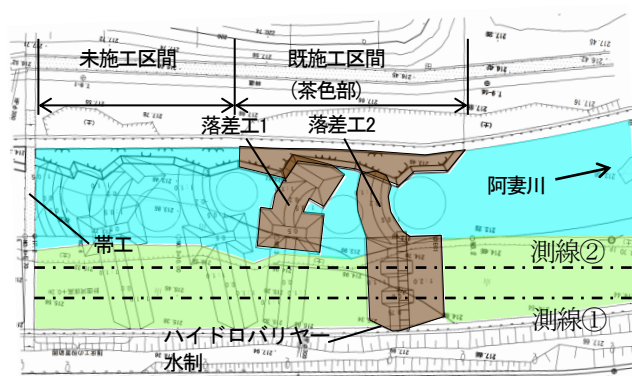


図-2 魚道およびハイドロバリアー水制の配置図

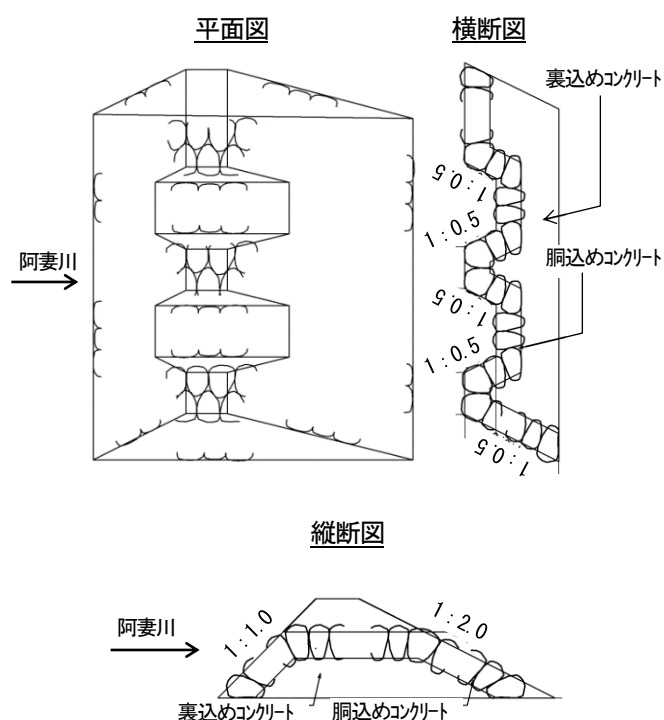


図-3 ハイドロバリアー水制構造図（平面・縦断・横断面図）

で分割して魚道工とした(図-1)。

対象区間の河道の右岸側には、ハイドロバリアー水制を3基設置し、土砂を堆積しにくくすることを試みた(図-1)。

魚道およびハイドロバリアー水制の設計平面図(図-1)

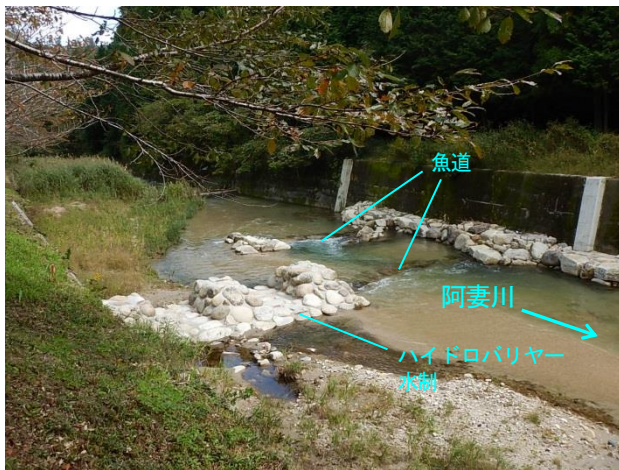


写真-3 ハイドロバリアー水制施工後の状況
(2016年10月12日撮影)



写真-5 ハイドロバリアー水制施工後の状況
(2016年10月12日撮影)

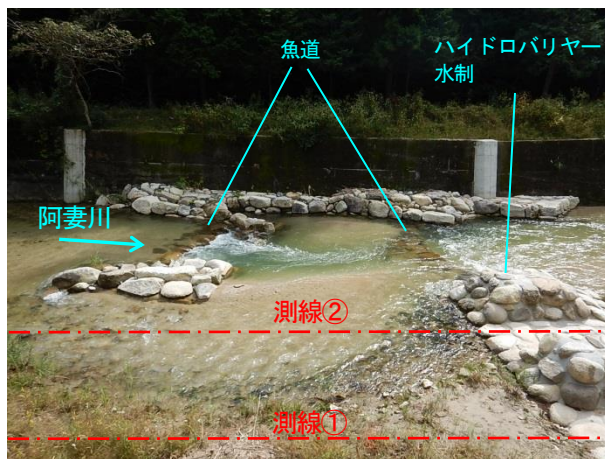


写真-4 ハイドロバリアー水制施工後の状況
(2016年10月12日撮影)



写真-6 ハイドロバリアー水制下流の状況
(2016年10月12日撮影)

2) および構造図を示す(図-3)。写真-3は、施工後の様子である。既設の帯工に生じた約1.0mの落差の一部を2基の落差工で分割し魚道としての役割を持たせた。最下流の落差工の右岸側には、二極化を防止するためのハイドロバリアー水制を設置した。

(3) 設置後の河床変化

a. 水制周辺の河床変化

水制設置(2016年3月)から約7ヵ月後の河床の変化を以下の写真に示す(写真-4, 5)。

また、水制の通水路下流の洗掘状況および、水制根部への堆積状況を確認した(写真-6)。

施工後の現地調査より、ハイドロバリアー水制上に土砂は堆積していないことを確認した(写真-5)。一方、水制よりも上流域(右岸側)は土砂が堆積している(写真-4)。つまり、ハイドロバリアー水制による背水効果によって、ハイドロバリアー水制上流域に土砂が堆積するため、水制通水路への土砂流入量が減ったことと、ハイドロバリアー水制通水路内の摩擦角が小さいため、ハイドロバリアー水制上に土砂が堆積しなかったと考えられる。

また、ハイドロバリアー水制の通水路直下流が、最も河床が洗掘されている。これは、上述の背水効果によってハイドロバリアー水制通水路内の流砂量が少ないことに加え、通水路直下流の高速流によってその部分から流出する流砂量が多くなるため、河床が低下したと推測される。

b. 水制下流の洗掘深

ハイドロバリヤー水制が河床に与える影響を確認するため、縦断測量を行った。

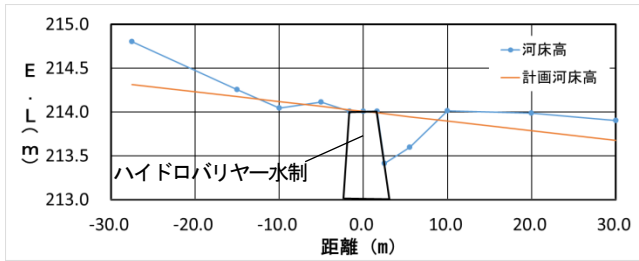


図-4 測線①の河床高さ

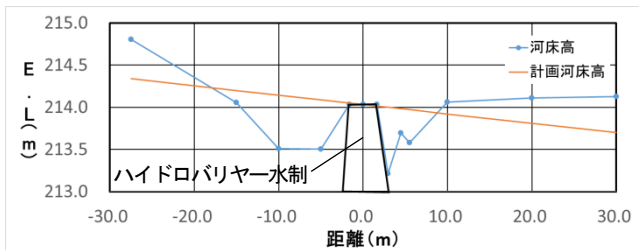


図-5 測線②の河床高さ

測線は、ハイドロバリヤー水制の2箇所の通水路の中央部を通って河川の中心線と平行に設置した(図-2)。

測線①および②について、河床の高さを下図に示す(図-4, 5)。この図において、ハイドロバリヤー水制の通水路の上面から上下流に河床勾配1/90で計画河床高を表示した。

図より、ハイドロバリヤー水制の直下流において最も河床が洗掘されていることがわかる。水制下流の河床が洗掘されているのは、ハイドロバリヤー水制から約8.4mの範囲である。また、ハイドロバリヤー水制より上流左岸側の落差工(写真-4)の影響により、ハイドロバリヤー水制の上流側に水が回ってきている。そのため、測線②の水制上流側の河床が計画河床より低下している。これは、落差工の効果であるが、流心をハイドロバリヤー水制側に寄せており、ハイドロバリヤー水制の効果を促進している。

以上より、阿妻川に設置したハイドロバリヤー水制は、土砂が堆積しやすい右岸側において、土砂の堆積を抑制する機能を発揮していることがわかる。

3. 河床変動解析を用いた検討

現地調査によって見られた水制設置による二極化低減機能を明らかにするため、河床変動解析を実施する。

3.1 ハイドロバリヤー水制の機能の検討

(1) 解析手法

解析には、平面二次元の河床変動解析の基礎方程式を用いた⁶⁾。固定床領域であるハイドロバリヤー水制工や落差工を通過する流砂量を評価する必要があるため、Loc X. L., Egashira S. and Takebayashi H. (2004) の掃流砂層モデルを用いて流砂量を評価した⁷⁾。掃流砂層モデルにおいて、河床位方程式は以下のように表される⁷⁾。

$$\frac{\partial c_b E_b}{\partial t} + (1 - \lambda) \frac{\partial Z_b}{\partial t} + \left(\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}}{\partial y} \right) = 0$$

$$E_{sd} \geq E_{be} \frac{c_b}{1 - \lambda} \quad (1)$$

$$\frac{\partial Z_b}{\partial t} = 0 \quad E_{sd} \leq E_{be} \frac{c_b}{1 - \lambda} \quad (2)$$

$$E_b = E_{be} = \frac{d_m}{c_b \cos \theta (\tan \phi - \tan \theta)} \tau_{*m} \quad (3)$$

ここで、 Z_b は河床位、 E_b は掃流砂層の厚み、 E_{be} は平衡状態の掃流砂層の厚み、 E_{sd} は粘着力が無い層の厚み、 C_b は土砂濃度、 λ は河床材料の空隙率、 d_m は平均粒径、 θ は局所的な河床勾配、 ϕ は内部摩擦角、 τ_{*m} は平均粒径の無次元掃流力である。

流砂量は、以下の(4)～(7)式を用いて計算する。

$$q_{bx} = q_b \cos \beta, q_{by} = q_b \sin \beta \quad (4)$$

$$q_{bx} = 17 \frac{\rho u_{*e}^3}{(\rho_s - \rho)} \left(1 - \sqrt{K_c} \frac{u_{*c}}{u_*} \right) \left(1 - \sqrt{K_c} \frac{u_{*c}^2}{u_*^2} \right) r_b \quad (5)$$

$$r_b = 1 \quad \left(\because E_{sd} \geq E_{be} \frac{c_b}{1 - \lambda} \right) \quad (6)$$

$$r_b = \frac{E_b}{E_{be}} \quad \left(E_{sd} \leq E_{be} \frac{c_b}{1 - \lambda} \right) \quad (7)$$

ここで、 q_{bx} はx方向の掃流砂量、 q_{by} はy方向の掃流砂量、 q_b は流下方向の掃流砂量、 ρ_s は河床材料の密度、 r_b は土砂の堆積層厚に関連し、流砂量を減少させるパラメータ、 u_{*e} は有効摩擦速度、 u_{*c} は限界摩擦速度、 K_c は勾配の影響を考慮した場合の限界摩擦速度の補正係数である。

表-1 解析条件

項目	設定値
粗度係数： n	0.03
対象流量： Q	39.2m ³ /s, 23.4 m ³ /s
川幅： B	18.0m
平均粒径： d_m	3.0cm
水制の天端高さ	0.55m
河床勾配： I	1/90
解析時間	60.0s

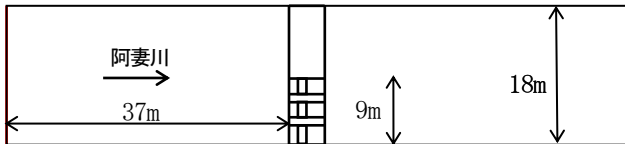


図-6 解析モデル

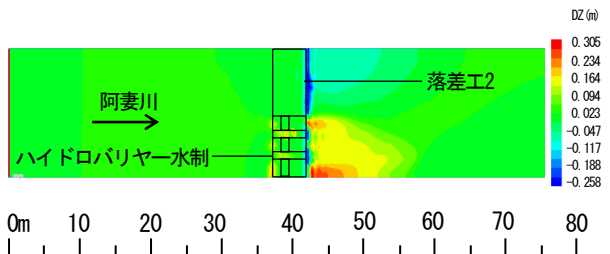


図-7 河床変動量の平面分布 (Case1)

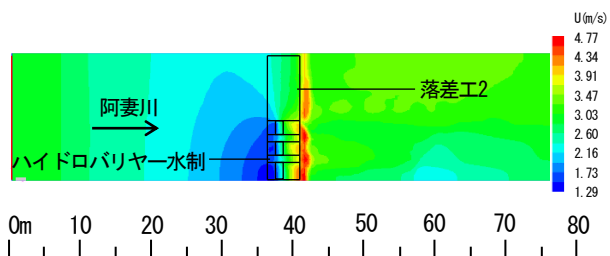


図-8 流下方向の水深平均流速の平面分布 (Case1)

また、水制周辺の常・射流混在流れを取扱えるよう、基礎方程式はTVD-MacCormack法を用いて離散化した⁶⁾。

(2) 解析条件および解析モデル

解析条件は、阿妻川の河道条件を元に、表-1のとおり設定した。

流量については、水制の天端高さより20cm上げた水深75cmの時の流量：39.2 m³/sに設定した。

対象河道が直線河道に近いことと、ハイドロバリヤー水制の影響をわかりやすくするため、河道平面形状は直線とした(図-6)。

(3) 結果および考察

解析結果を図7～9に示す。

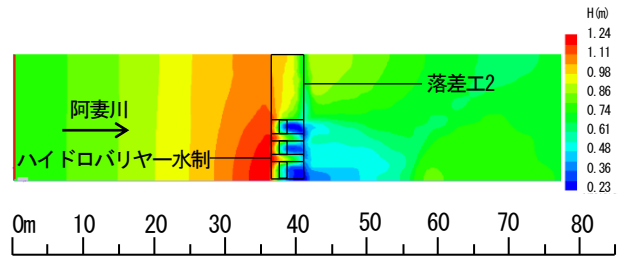


図-9 水深の平面分布 (Case1)

表-2 解析ケース

水制	流量： Q (m ³ /s)	
	39.2	23.4
解析モデルの配置(図-7)	Case1	Case2
左岸の帯工が無い配置	Case3	—

図-7に示すように、阿妻川の現地状況同様に、ハイドロバリヤー水制上に土砂はほとんど堆積していないことがわかる。さらに、ハイドロバリヤー水制の直下流が最も河床が掘れていることがわかる。

これは、図-8および図-9に示すように、ハイドロバリヤー水制による背水効果によって、水制上流の移動床領域に低流速域を形成し、ハイドロバリヤー水制に流れ込む流砂量を減らされるとともに、通水路が固定床であるため、流砂量が平衡流砂量よりかなり小さくなり、通水路下流への上流からの流砂量が少なく、河床が洗掘された結果である。

このような現象は、固定床領域の流砂量を適切に評価することにより再現されたと考えられる。

以上より、定性的には、ハイドロバリヤー水制周辺に生じた実河川の河床変動の傾向をある程度表していると考えられる。

3.2 ハイドロバリヤー水制の設置方法の検討

(1) 解析条件

ハイドロバリヤー水制の設置方法を変化させた解析により、二極化を低減する最適なハイドロバリヤー水制の設置方法を検討した。(表-2参照)。流量については、水制の天端高さより20cm上げた水深75cmの時の流量：39.2 m³/sおよび、水制天端高さの水深の流量：23.4m³/sに設定した。

治水安全上の観点から、高水時の河積の3.0%～5.0%の阻害率とするため、ハイドロバリヤー水制の高さは、0.55mに設定した。

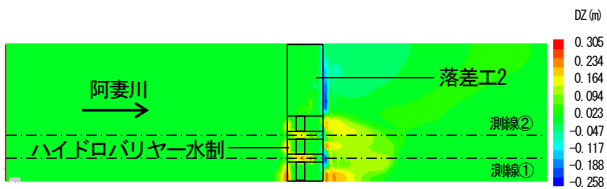


図-10 解析結果(dz:河床位の変化) Case2

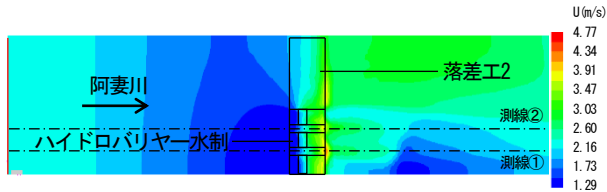


図-11 解析結果(U:流下方向の流速) Case2

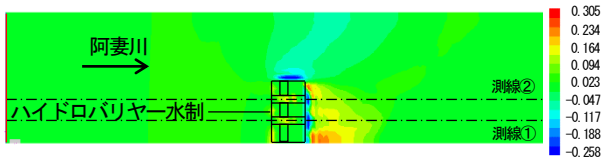


図-12 再現結果(dz:河床位の変化) Case3

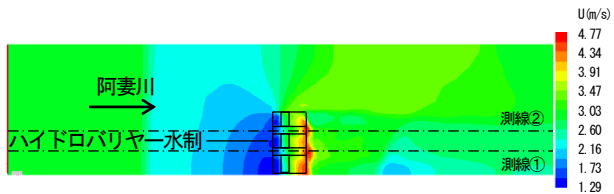


図-13 再現結果(dz:河床位の変化) Case3

また、愛知県の降雨強度式を用い、ラショナル式で1年確率の流量を算出すると、 $31.7 \text{ m}^3/\text{s}$ である。二極化を防ぐためには、毎年の大雨程度で効果を発揮することが必要だと思われるため、解析ケースは、水制の高さを基準に1年確率の流量の前後の $39.2 \text{ m}^3/\text{s}$ および $23.4 \text{ m}^3/\text{s}$ に設定した。

(2) 結果および考察

解析結果を図-10～13に示す。

Case1とCase2を比較すると、測線②の通水路の下流が洗掘されており、Case2は測線①の通水路の下流が洗掘されている。

これは、それぞれ洗掘量が多い通水路の下流に置いて流速が大きくなっていることに起因すると思われる。また、Case3は、Case1およびCase2と比較すると通水路の下流が洗掘される割合が同程度である。これは、Case1、Case2とCase3は配置が大きく異なるが、水制上下流の流況に大きな違いが見られないため、水制周辺の流砂量分布にも大きな差が無いと推測される。

4. おわりに

本研究により、以下のような知見が得られた。

- ・土砂を堆積しにくくする目的のハイドロバリヤー水制を阿斐川に適用し、その効果を確認した。
- ・水制設置後に現地を確認し、縦断測量を行ったところ、水制の直下流において、最も洗掘深が大きかった。
- ・水制胴部2か所の通水路の下流において、8.4m付近まで、土砂の堆積を防いでいた。
- ・掃流砂層モデルによる河床変動解析のモデルを用い、ハイドロバリヤー水制周辺の河床変動特性を検討したところ、定性的には水制周辺の流れ及び河床変動特性を表現していた。
- ・河床変動解析結果によると、水制の天端高+20cmの水深の流量より、水制天端高程度の水深の流量の方が土砂堆積抑制の効果が大きかった。
- ・水制の配置は、単体と水制と帯工を横断方向に連続して配置したものを比較したが、土砂堆積を防ぐ効果に大きな違いは見られなかった。

謝辞：

本論文を作成するに当たり、愛知県豊田加茂建設事務所足助支所に許可およびご協力いただいたので、謝意を表明する。また、現地測定の際は、弊社の中部支社の伊東主幹、橋本係長、海老原主任にご協力いただいたので、ここに謝意を表明する。

参考文献

- 1) 河川生態学術研究会多摩川研究グループ：多摩川の総合研究—永田地区を中心として—, 2000.
- 2) 清水義彦, 岩見収二, 大山修：固定砂州の掘削による中小洪水営力を用いた樹林化抑制と水衝部対策について, 河川技術論文集, 第21巻, pp. 295-300, 2015.
- 3) 福留脩文：近自然の歩み—共生型社会の思想と技術—, 信山社サイテック, pp. 75-79, 2004
- 4) イヴァン・ニキティン, 福留脩文：水制の理論と計算—近自然河川工法の発想を助けるために—, 信山社サイテック, pp. 56-62, 1995
- 5) 岡林厚, 大原英樹：四万十川における水制による堆積土砂除去と侵食防止対策について, 土木学会四国支部技術発表会講演概要集, 第3巻, pp. 428-429, 1997.
- 6) 竹林洋史：河川中・下流域の河道地形, ながれ, 第24号, pp27-36, 2000.
- 7) Loc X.L., Egashira S., Takebayashi H.: Investigation of Tan Chau Reach in Lower Mekong Using Field Data and Numerical Simulation, Proceedings of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 48, No. 2, pp. 1057-1062, 2004.

(2017. 4. 3受付)