

岡山県 正会員 ○瀬島 美香
日建工学株式会社 正会員 倅熊 公子
岡山大学 正会員 前野 詩朗

1. 序論

近年、河川環境において、ダムによる下流域への土砂供給の減少、洪水頻度・規模の低下による滞筋の固定化、河道の樹林化など、多くの問題が発生している。河川改修にあたり、従来の河川環境特性を把握した上で施工後の河川の変化を予測することが出来れば、より効果的な河川の改修が可能となる。

手取川では、河床全幅に渡る岩盤の様な露頭、滞筋の固定化等の問題が発生しており、現在、礫河原を取り戻すことを目標に自然再生事業が行われている。事業の当面の目標は「十八河原区間の礫の捕捉」であり、段階的な実証試験（試験施工）を行っている。河道内には自然石を用いた水制（連結石水制）がいくつか設置されており、施工前と比較して礫の堆積が確認された区間もある。今後も水制を設置する計画であることから、効果的な水制の設置が望まれる。そこで、本研究では、河床に作用する流体力を解析的に検討することにより、既設の水制による河床の変化と将来的な河床変動の予測を行い、水制の機能を検証する。

2. 解析内容

本研究で対象とする手取川は流路延長 72km、流域面積 809km²の一級河川である。解析区間は、写真 1 で示す手取川の 14.3km 付近～15.2km である。鶴来水位観測所（14.3km 付近）を区間の下流端に設定し、そこから上流に約 900m の間を解析区間とした。

解析は、水制の効果と河床の状態変化を知るために水制の設置前後の河川を再現した。水制の設置前の河川を再現したケースを過去の河川モデルとし、現在施工済みの水制を含んだケースを現在の河川モデル、今後施工が予定されている水制を含んだケースを将来の河川モデルとした。各モデルの違いは、河床高、粗度係数、水制の設置位置である。水制の位置と名称を写真 2 に記した。水制は下流側から施工されており、現在施工済みの水制群（水制 3 から水制 12 まで）を水制群 1、今後施工予定の水制群（水制 13 から水制 16）を水制群 2 と呼ぶことにする。

解析条件は、河床勾配:1/108、粗度係数:0.025～0.05、流量: 100m³/s、200m³/s、600m³/s、計算時間:4 時間に設定した。解析区間のメッシュ設定は、横断面は上流から下流方向へ 248 断面、縦断面は右岸から左岸方向へ 51 断面とした。解析ケース名を表 1 に示す。

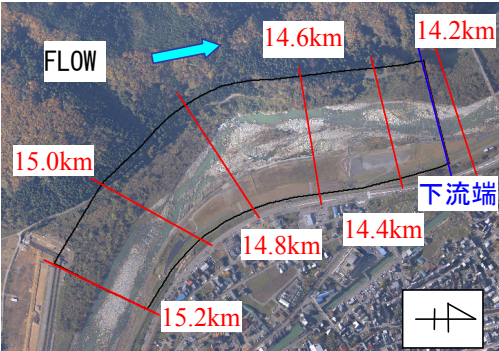


写真 1 手取川の解析範囲 (H18 航空写真)

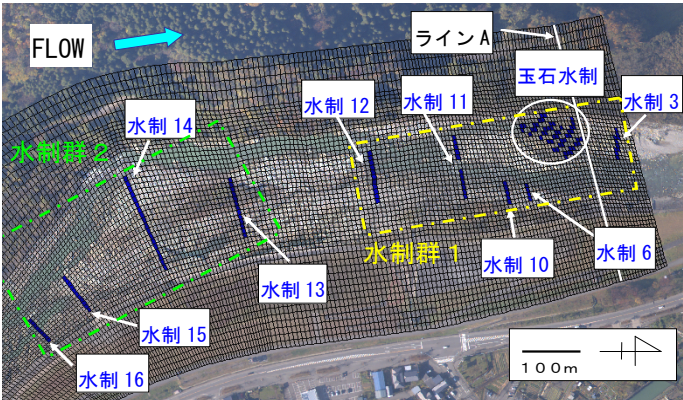


写真 2 水制位置

表 1 解析ケース

	将来	現在	過去 (水制無)	過去 (水制有)
100m ³ /s	f-100	n-100	p-s0-100	p-s1-100
200m ³ /s	f-200	n-200	p-s0-200	p-s1-200
600m ³ /s	f-600	n-600	p-s0-600	p-s1-600

3. 解析結果の検討

3.1 解析結果の再現性

まず、過去モデルの結果により本解析の再現性を検証した。解析は、水制箇所の河床高のかさ上げ及び粗度の変更以外の箇所の河床高・粗度係数は等しい条件で行った。本解析では、得られた結果を無次元抗力で評価する。無次元抗力は、次式により求めた。

$$\frac{D}{W} = \frac{\rho}{2} C_D A v^2 / \{(\rho_s - \rho) g V\} \quad (1)$$

ここに、 D : 抗力、 W : 代表粒径に対する重量、 ρ : 水の密度、 C_D : 抗力係数（本解析では 1 とした）、 A :

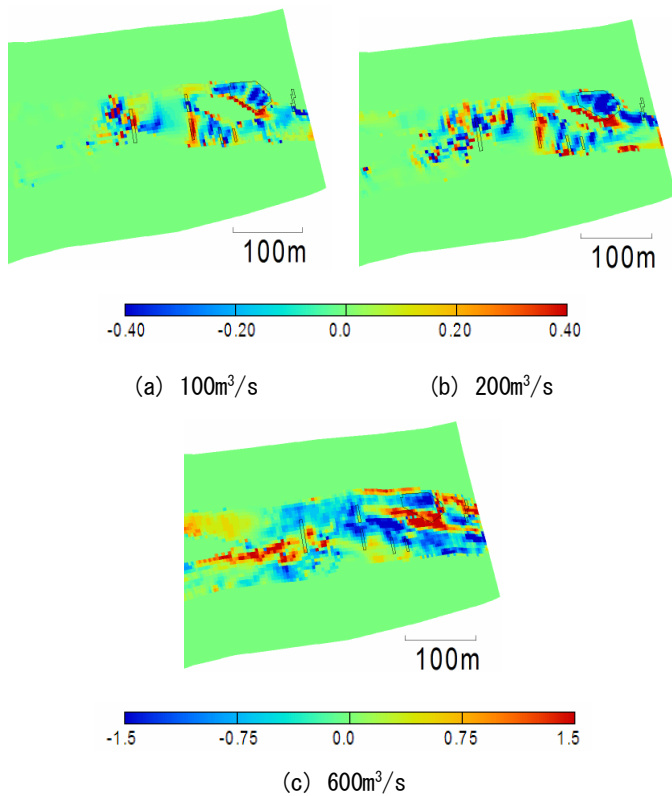


図1 s0を基準としたs1の無次元抗力の増減

投影面積, v : 流速, ρ_s : 粒子の密度, g : 重力加速度, V : 代表粒径における体積である. なお, 面積算出に用いた粒径は代表粒径 d_{80} ($=225\text{mm}$) の値を, 流速は解析4時間後の結果で得られた値を使用した. 図1(a), (b), (c)は, 各流量における p - $s0$ の無次元抗力を基準とした際の p - $s1$ の無次元抗力の増減を示している. 図1(a), 図1(b)より, 滞筋周辺で無次元抗力の減少(青色部分)が見られる. 流量が大きなケース図1(c)では, 無次元抗力の減少の範囲が拡大する. 無次元抗力の違いが明確に現れたことから, 本解析は水制の有無を反映した結果になっていると判断できる.

3.2 水制群1の効果

ここでは, $600\text{m}^3/\text{s}$ のケースで水制群1の効果を検討する. 図2は, 現況 n -600 の無次元抗力を示している. また, 図3(a), (b), (c)は現況 n -600 を基準として, それぞれ将来 f -600, 過去の河床条件で水制群1が有る場合 p - $s1$ -600 と無い場合 p - $s0$ -600 の無次元抗力の増減を示している. 図3(c)より, 水制群1を設置する前の箇所が赤色になっていることから, 過去の河床では現在よりも大きな流体力が作用していたと推定できる. これは, 水制群1の設置以前この付近は土丹が露出していたためと考えられる.

図3(b), (c)より, 水制群1の効果により, 水制付近の抗力の減少が確認できる. 図4に示す水制群1周辺の無次元抗力から, 水制群1を設置することにより抗

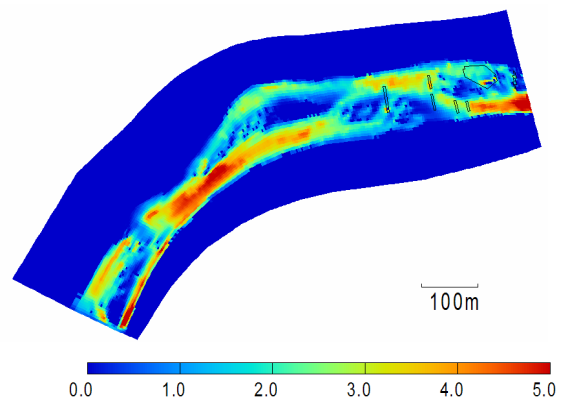
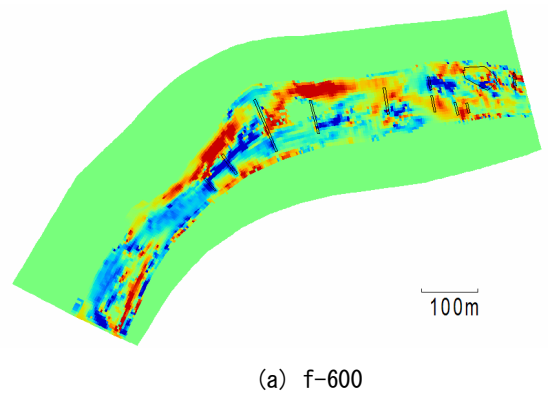
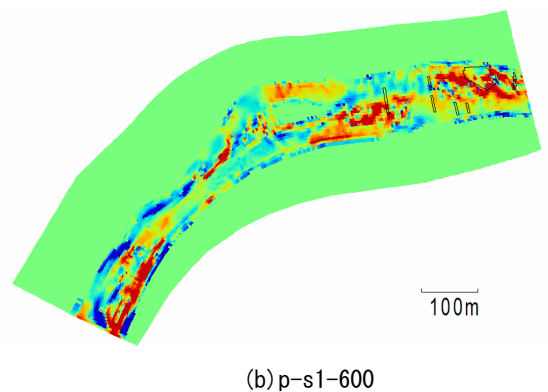


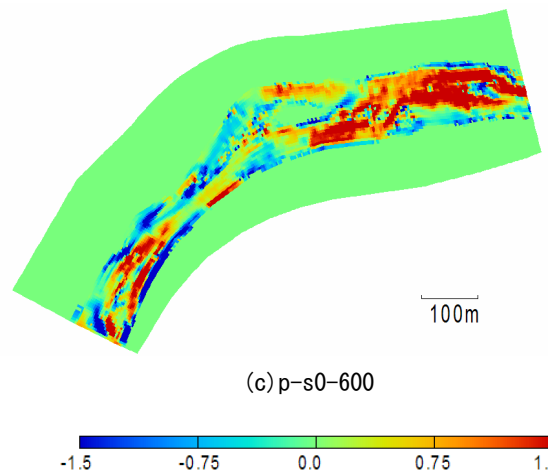
図2 n-600の無次元抗力



(a) f-600



(b) p-s1-600



(c) p-s0-600

図3 $600\text{m}^3/\text{s}$ での無次元抗力の増減

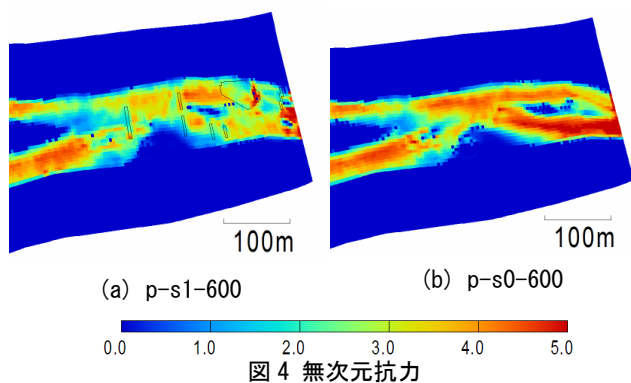


図4 無次元抗力

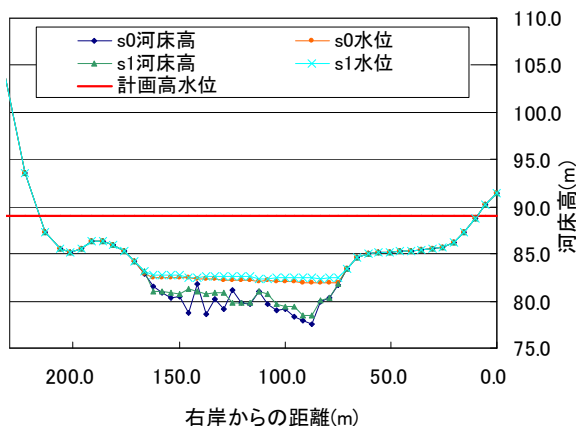


図5 600m³/s 時の河床横断面図 (写真2中のラインA)

力が抑えられていることがわかる。図5は、玉石水制(写真2参照)の直下の河床変動後の河床横断を表したグラフである。これを見ると、水制が無いp-s0-600では河床の凹凸が目立つのに対し、p-s1-600では河床がやや平坦になっており、水制の効果により滞筋部に集中していた流れが河床全体に拡散することで滞筋部分の洗掘が抑えられたと考えられる。

以上の解析結果から、水制群1の設置による土丹の露出が懸念される河床周辺への礫の捕捉効果が確認できた。

3.3 水制群2の効果

水制群2による効果の検討を現在モデルと将来モデルにより行う。図6に示す解析結果では、どの流量に関しても水制群2の設置部分に抗力の減少がはっきりと見られた。また流量が大きいケースでは、左岸滞筋部での抗力が増加している。次に図7は、水制16直下の横断流速分布である。水制を設置した箇所での流速が抑えられている。一方で、水制の無い左岸滞筋部で抗力が増加している箇所では流速も増加していることがわかる。図8は、600m³/sの場合のf-600、n-600の河床変動状況である。青い部分は河床低下を、赤い部分は河床の堆積を表している。この結果によると、水制群2付近の洗掘箇所が減少し、堆積箇所が見られることから、水制群2の設置によって土砂堆積が促進されることがわかる。

図9はf-600、n-600の縦断方向の水位と流速分布であ

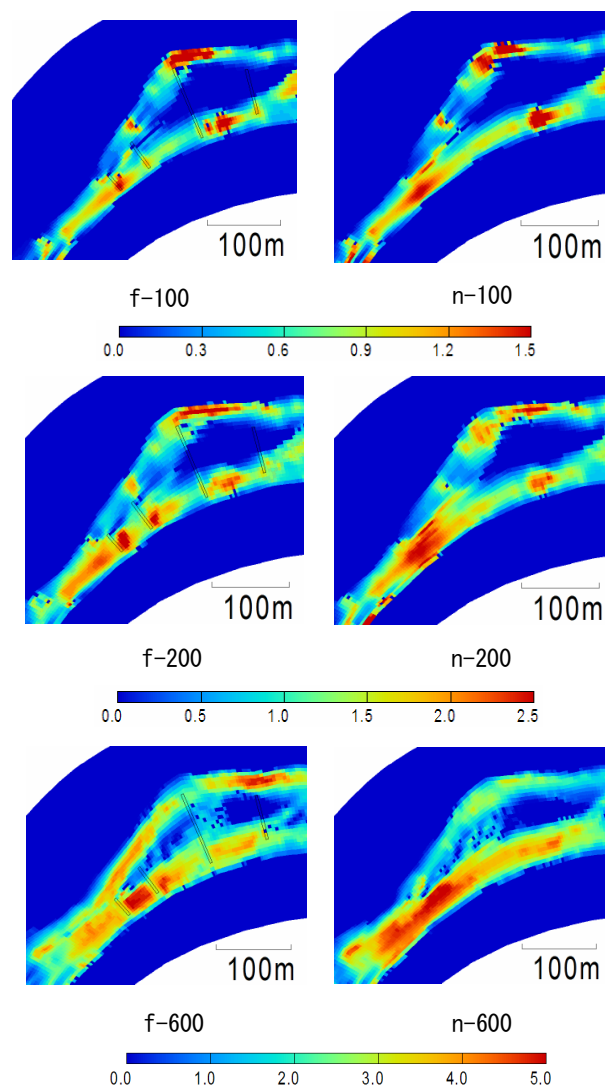


図6 無次元抗力(100m³/s), (200 m³/s), (600 m³/s)

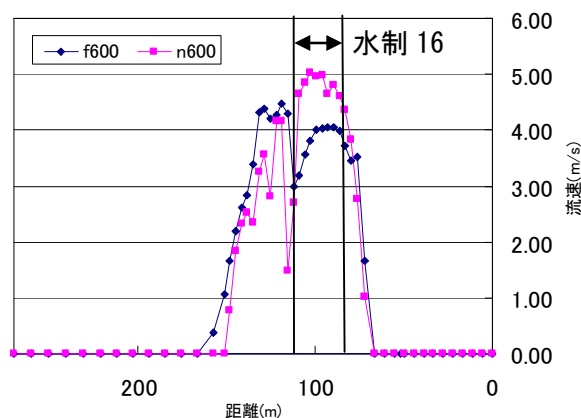


図7 f-600 での水制16直下の横断流速分布

る。図中には水制位置も合わせて示している。f-600の水制群2を設置したケースで、水制の上流側に水位の上昇と流速の減少が見られるため、水制が機能していることが確認できる。

現在の河川では、上流の水制付近に土丹が露出して

るが、水制を設置することで抗力の減少と河床への堆積という結果が得られたため、土丹の回復効果が期待できる。

図 10 は、移動限界粒径の分布を示している。図中では、直径が 2m を超える粒径も確認される。このように大きな流体力の働く場所に直径が 2m を超えるような巨石を設置することは現実的に困難である。したがって、適切な大きさの玉石を連結するなどして、掃流抵抗を向上させた連結石水制等を用いることは、砂礫の遮蔽効果と水制の破壊に対して有効的といえる。

3. 4 河床形状の将来予測

図 3 (a) に示した河床の将来における無次元抗力の変化より、水制群 2 付近では抗力は減少していることから、礫の堆積が期待できる。f-600 で抗力の増加が見られるが、これは水制群 1 付近で礫が溜まり、水制が埋没していくものと考えられる。また、図 6 の f-600 を見ると、水制群 2 付近の湾曲部で左岸側の流速が増加していることから、今後この箇所では河床の洗掘が予想され、場合によっては水制の形状や設置場所を変更する必要があると考えられる。

4. 結論

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- 1. 河床に働く無次元抗力値の増減を調べることで、河床への流体力の変化と水制の効果が確認できた。
- 2. 流速、河床変動量のグラフより、水制の設置は滞筋部分の河床低下の抑制に効果的であることが示された。
- 3. 移動限界粒径分布より、水制を設置した範囲で限界粒径が小さくなっていることから、水制の効果が示された。

今回の解析により、礫河原回復の傾向が確認できたが、大規模な洪水でも水制の機能を維持できるかは不明確であるため、今後はさらに流量を上げて解析を行う必要がある。

参考文献

前野詩朗・藤原実咲・富田晃生・山村明・忒熊公子 (2007)：連結石礫の流体力評価に関する研究，水工学論文集，第 51 巻，p.679-684.

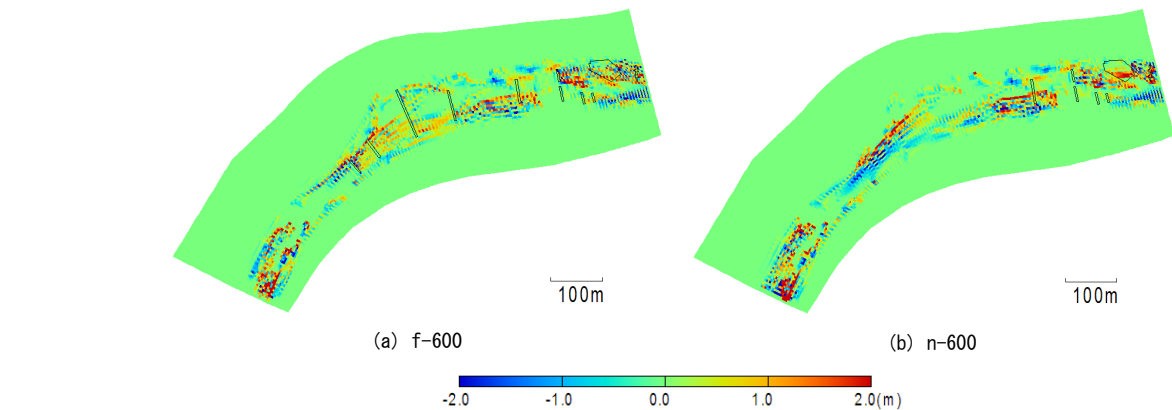


図 8 河床変動量 (600m³/s)

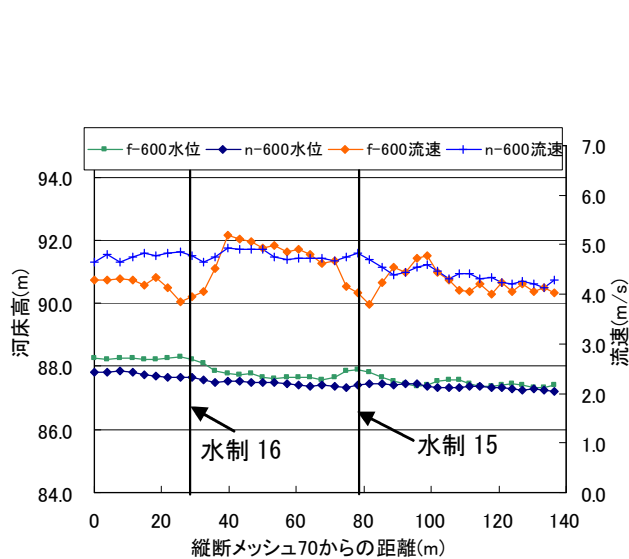


図 9 縦断方向の水位・流速分布

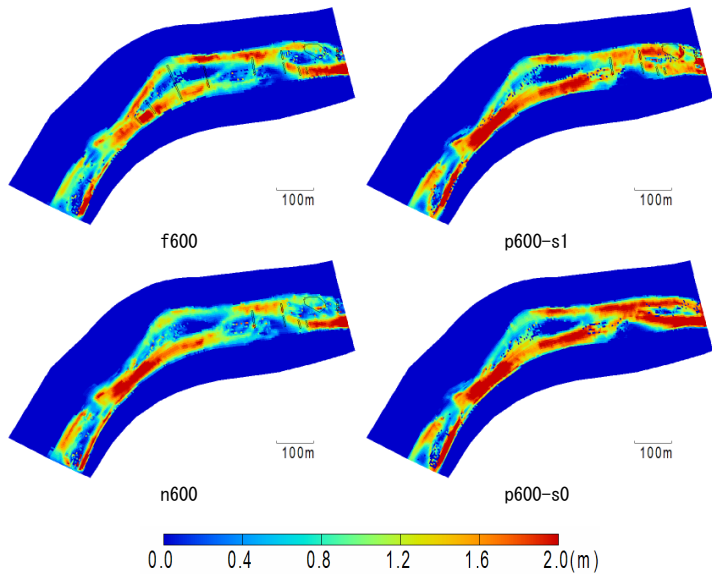


図 10 移動限界粒径