

平坦な岩盤河床における瀬と淵の再生に関する実験的研究

Experimental Approach on Regenerating Riffle and Pool in Flat Rock-bed River

北見工業大学大学院 ○学生員 宮本 大 (Hiroshi Miyamoto)
北見工業大学社会環境工学科 正 員 早川 博 (Hiroshi Hayakawa)

1. はじめに

河道計画、河道の流下能力が不足している場合の河道改修として一般的なのは、河道幅の拡幅、堤防の嵩上げと河床の掘り下げが挙げられる。対象河道の自然条件、技術的および経済的諸条件を総合的に判断して改修方針は決定されるが、近年、特に動・植物の生態系に配慮した河川環境の保全が強く求められ、治水機能と環境機能を調和させた多自然型川づくりが進められている¹⁾。

河川の良好な生態系を保全していく上で、魚類や昆虫類の多様な生育環境を配慮するには河道内に瀬と淵が必要不可欠であり、瀬と淵の再生・保全が今後の河道改修において重要である。瀬と淵は礫床河川では比較的容易に回復させることができるが、本研究が対象とする網走川上流区間のように砂礫層が薄く岩盤河床を覆うような河川では、瀬と淵を再生・保全していくことは容易ではない。このような岩盤河床に瀬と淵を再生するには、上流から供給される砂礫を積極的に堆積させることが必要であり、例えば平坦な岩盤河床面を掘削して淵をつくり、そこをきっかけに瀬を創出する手法が考えられる。しかしながら、そのような手法が瀬や淵の再生・保全にとって有効であるかの検討はほとんど行われていない。

本研究は岩盤河床において多様な生態環境を保全していく上で不可欠な瀬と淵の再生・保全に取り組んだ網走川上流区間の河川改修工事(平成20年3月完工)の事後調査を始めると共に、室内小型歪模型実験によって淵の配置や水制の設置等の検討を目的に再現実験に取り組んでいる。今回はその取り組みの一部を報告する。

2. 対象河川と改修工事の概要

本研究の対象である網走川は、阿寒山系の阿幌岳(標高978m)に源を発し、津別町で津別川と合流し、中流部の美幌町で美幌川を合流して下流部の網走湖を経てオホーツク海に注ぐ流域面積1,380(km²)の一級河川である。網走川流域は大部分を丘陵地形が占めており、比較的緩勾配の河川の右岸は河岸段丘が発達している²⁾。

平成4年9月の台風17号による洪水によって上流の津別地区の無堤防区間で外水氾濫が発生し、特に屈曲した河道の決壊氾濫によって畑地が冠水する被害を受けた。これを契機に上流区間では無堤防区間の流下能力不足区間の解消を図るべく河道改修が進められてきた。網走川の上流区間は左岸の山地と右岸の河岸段丘の間を縫う様に河道が流下し、河岸近くまで耕作地として利用されている。この区間の河床は基岩が比較的脆い泥岩や頁岩で構成され、砂礫層もそれほど厚く堆積しておらず、縦断的に河道の所々で基岩の露出がみられる(写真-1)。この区間の河川改修は、新たな河川用地の確保が難しいために不足する河積を河床掘削によって確保する河道改修が



写真-1 河道の基岩露出部

進められた。その際に良好な生態系の保全・再生を目指して、平坦な河床ではなく淵と瀬を再生し水制を配置した多様な河道断面をもつ河道改修工事に積極的に取り組み、平成20年3月に改修工事は完了した。

図-1 は本研究で調査している改修区間(KP.45～KP.48, SP5800～8400)を上流から眺めた鳥瞰図で、従来の河川改修のように直線化するのではなく、現況の大きく湾曲する河道区間2箇所を残した平面河道線形になっている。湾曲部外岸側の4箇所には淵の維持・保全を目的に計画河床面よりさらに掘削した淵を作成し、淵の維持を目的に石組の水制工も併設されている。一方、淵と淵の間の区間には瀬・平瀬の再生・保全と流速等を多様化させ、生物の生育環境の改善を目指して巨礫ブロックによる分散型落差工を配置し、その下流に砂礫を堆積させて将来的には鮭の産卵床となることを期待している。

3. 現地調査

本研究では、今春の融雪出水後に改修設定河床にどの程度砂礫が堆積したかを把握するために平成20年8月7、8日と9月17日～19日にこの区間の河道横断測量を実施した。図-2 は上流区間の河道湾曲部(SP7100～SP7900)の改修設定横断面と横断測量結果だけを表示した図である。SP7450からSP7600の区間は他の区間に比べて河道中央部に堆積しているが、これは現況の河道を残存させたものであり、融雪出水で堆積したものではない。淵の設置箇所(SP7400前後とSP7750前後)は両方とも堆積が確認でき、今後の出水によってどのような挙動を示すか注目すべき箇所である。一方、SP7300より下流の瀬の区間は両岸付近がやや堆積傾向にあり、中央部の主流部にはほとんど堆積がみられない。

今回の現地調査は改修工事直後の河道横断測量であり、

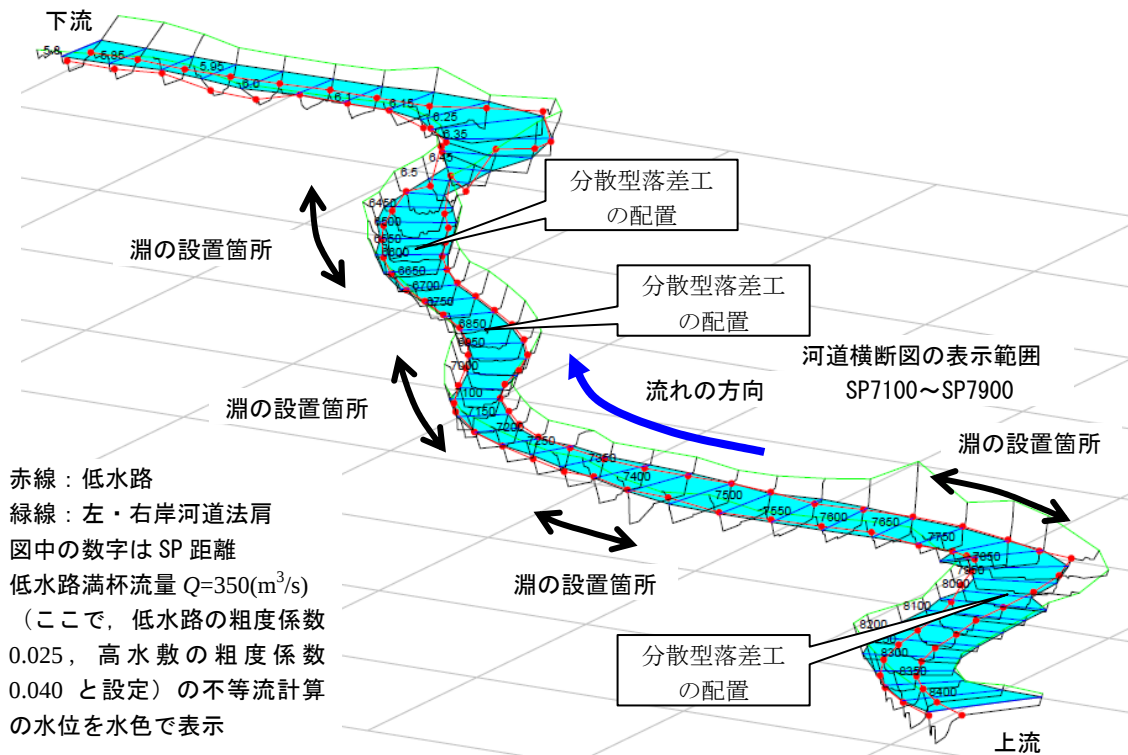


図-1 網走川上流区間 (KP. 45~KP. 48) の河川改修平面

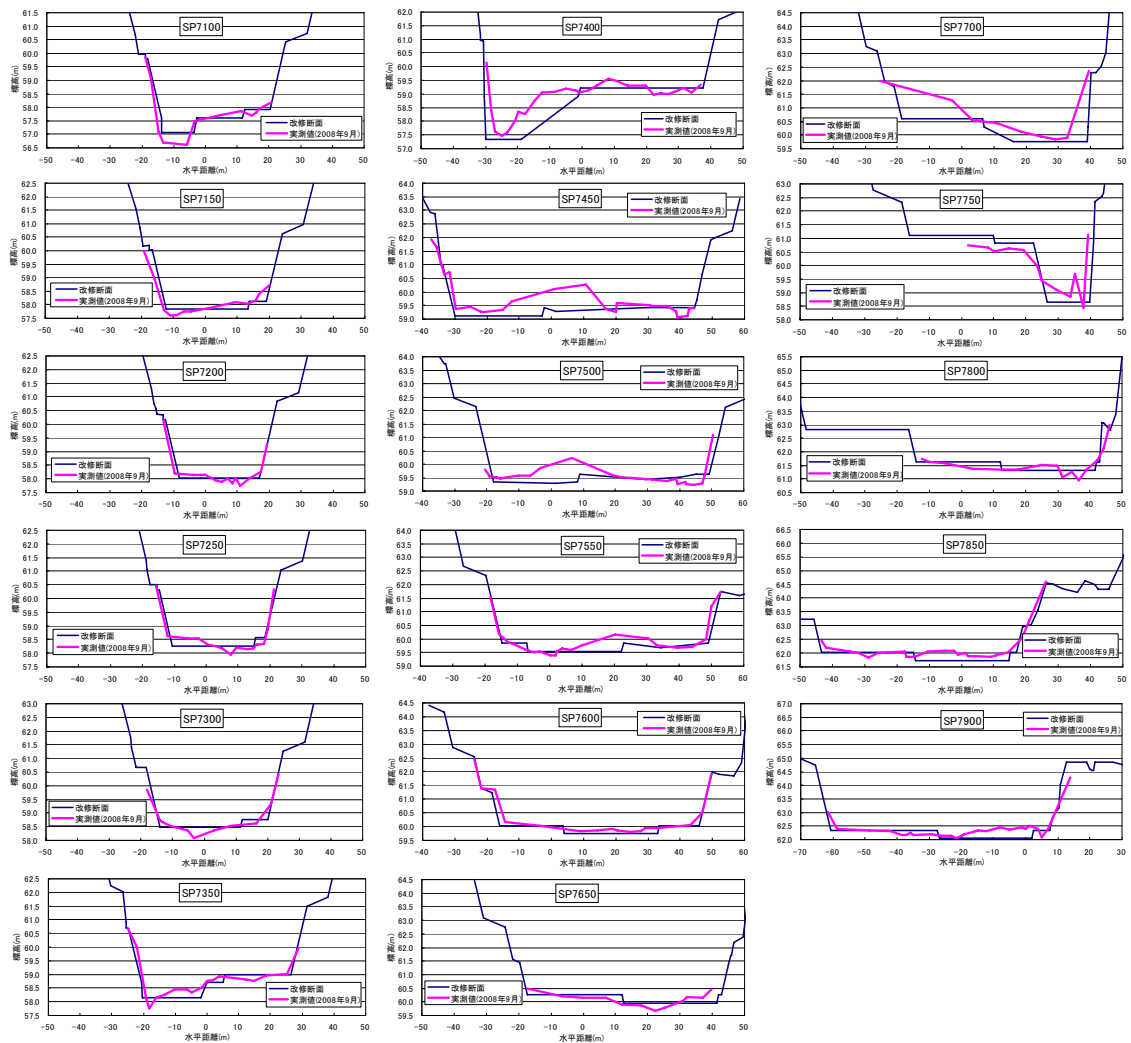


図-2 網走川上流区間 (SP7100~SP7900) の河道横断面図の比較

SP7100 より下流区間でも目立った土砂の堆積は観測されていない。H20 年は目立った出水も生じなかったもので、H21 年以降、融雪出水による河床変動の現地調査などを今後とも継続する予定である。

4. 低水路の歪模型実験

今回の網走川の改修工事では、淵の部分で低水路にどの位置に配置すると、そこに河床材料がどの程度堆積して、はたして淵は今後とも維持されるか、ということが河道の維持管理上、重要である。本研究は河道平面線形と淵の配置の関係、それと河床の洗掘・堆積箇所との検討をするために、低水路を対象とする移動床実験を試みた。実河道は岩盤からなる固定床であっても、淵を再生する場所は移動床の場合に平面線形と流れの水利条件から生成される箇所に淵を形成するのが最適と考えられる。

実河川の模型実験は一般にフルード相似が成り立つには縮尺の縮尺を 1/50 程度とする大型模型にする必要がある³⁾。室内の実験スペースを考え、小縮尺の小型模型実験を行うには水平/鉛直の縮尺比を歪める歪模型にする必要がある。内島ら⁴⁾は交互砂州が発生する条件下での移動床歪模型実験手法を提案し、礫床河川における河床変動予測に実績をあげている。本研究も内島らの歪模型実験手法にならって低水路の河床変動を予測する。

4.1 歪模型の相似則

内島らの移動床歪模型実験は礫床河川を対象に砂州形成領域区分図の無次元パラメータを原型と模型で一致させる実験手法で、模型の水平/鉛直縮尺を歪ませる歪模型である。そのためフルード相似則を必ずしも満足しないため、流れの状態の再現性には課題は残るものの、河床変動の再現性は良好である。砂州形成領域区分図は多くの研究者によって提案されているが、本研究では実河川の砂州形成判別に多く用いられる黒木・岸⁵⁾の領域区分図を採用して、歪相似則を導く。ここで、「原型値/模型値」を縮尺比と定義し、縮尺比、原型値及び模型値に対してそれぞれ添字 r, p, m を付す。水平方向縮尺比を $L_r (=B_r)$ 、鉛直方向縮尺比を $Y_r (=h_r)$ として、歪比を $n=L_r/Y_r$ と定義すると、勾配の縮尺比は $I_r=n^{-1}$ となる。

岸・黒木の砂州形成領域区分図の両軸の無次元パラメータ ($\tau_* \sim B \cdot I^{0.2}/h$) を原型と模型で一致させる条件より、相似条件は

$$\tau_{*r}=1 \quad (1), \quad \left(\frac{B \cdot I^{1/5}}{h} \right)_r = 1 \quad (2)$$

となる。ここで、 τ_* ：無次元掃流力、 B ：川幅、 h ：水深、 I ：水面勾配である。模型実験に用いる砂礫径が 3(mm) 以下になると移動限界無次元掃流力 τ_{*cm} は $\tau_{*cp}=0.05$ より小さくなるので、式(1)を次式のように修正する。

$$\tau_{*r}=\beta \quad (1)' \quad \text{ここで、} \beta=\tau_{*cp}/\tau_{*cm}$$

次に砂州上の流れの抵抗則として、Manning-Strickler 型の式

表-1 移動床歪模型の相似則(黒木・岸の場合)

相似条件式	相似則
$\tau_{*r}=\left(\frac{h \cdot I}{s \cdot d}\right)_r=\beta$ $\left(\frac{B \cdot I^{1/5}}{h}\right)_r=1$ $u_r=d_r^{-1/6} \cdot h_r^{2/3} \cdot I_r^{1/2}$	$h_r=n^{-1/5} \cdot B_r$
	$d_r=\beta^{-1} \cdot s_r^{-1} \cdot n^{-6/5} \cdot B_r$
	$u_r=\beta^{1/6} \cdot s_r^{1/6} \cdot n^{-13/30} \cdot B_r^{1/2}$
	$Q_r=\beta^{1/6} \cdot s_r^{1/6} \cdot n^{-19/30} \cdot B_r^{5/2}$

$$\frac{u_r}{u_{*r}}=6.0 \left(\frac{h_r}{d_r} \right)^{1/6} \quad (3)$$

を用い、 $u_{*r}=\sqrt{g_r \cdot h_r \cdot I_r}$ を考慮すると流れの相似条件は次式となる。

$$u_r=d_r^{-1/6} \cdot h_r^{2/3} \cdot I_r^{1/2} \quad (4)$$

したがって、水平縮尺比 B_r と勾配比 I_r (即ち、歪比 n) 及び水中比重比 s_r をあらかじめ決め、式(1)', (2)と式(4)を連立して解くと表-1 の相似則が得られる。

4.2 実験条件の設定

交互砂州を形成する模型水路の水路幅は 20(cm)以上必要⁶⁾なので、今回は水平縮尺比 $B_r=200$ に設定する。実験に用いる砂を $d_m=0.75(\text{mm})$ とすると、原型の平均砂礫径 $d_p=30(\text{mm})$ から粒径比 $d_r=40$ 、砂礫の水中比重比 $s_r=1$ 、無次元限界掃流力比 $\beta=1.471$ を表-1 の相似則に代入して歪比 n を求めると $n=2.772$ となる。模型の河床勾配 I_m は原型の河床勾配 $I_p=1/238$ とすると、歪比から $I_m=1/86$ となる。

次に、実験流量は原型の流量を低水路満杯流量 $Q_{1p}=350(\text{m}^3/\text{s})$ 、融雪期最大日流量 $Q_{2p}=84.7(\text{m}^3/\text{s})$ 、融雪期平均日流量 $Q_{3p}=47.8(\text{m}^3/\text{s})$ と設定すると、 $Q_{1m}=1.107(\ell/\text{s})$ 、融雪期最大日流量 $Q_{2m}=0.268(\ell/\text{s})$ 、融雪期平均日流量 $Q_{3m}=0.151(\ell/\text{s})$ となる。

5. 実験結果と考察

今回の実験は、初めに、低水路満杯流量を 2 分 10 秒間通水し、その後、融雪期平均日流量を 20 分間通水した。このときの低水路河床は図-3 のように変動した。SP7100 から SP7250 の左岸側及び SP7700 から SP7750 の右岸側が洗掘され、淵を形成している。その間の SP7300 から SP7650 の区間が瀬に相当し、平坦な河床面になっている。低水路満杯流量で形成された河床に融雪期平均日流量を通水すると、流れが集中する淵の部分の洗掘・埋め戻しが進むだけ、それ以外の区間に大きな差異はない。

次に、各設定流量において水深を測定 (SP7050 と SP7450) し、黒木・岸の領域区分図にプロットしたのが図-4 である。低水路満杯流量では SP7050 と SP7450 の両方とも原型値と模型値はほぼ一致したが、融雪期平均日流量と融雪期最大日流量では差異が認められる。

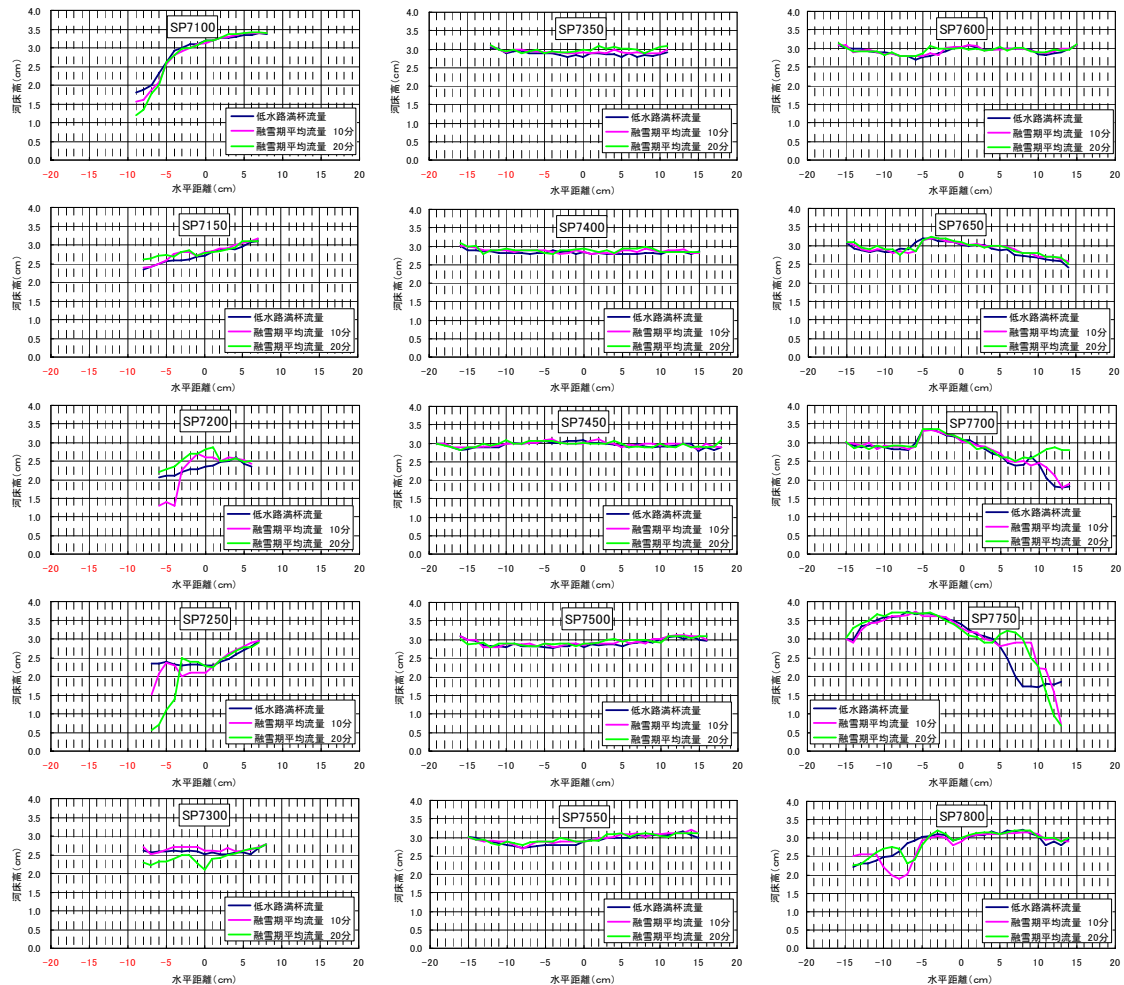


図-3 移動床歪模型実験による低水路の河床変動 (SP7100～SP7800 の区間)
(低水路満杯流量⇒融雪期平均日流量を通水)

謝 辞

本研究の一部は(財)北海道河川防災研究センター平成19年度研究助成(代表:早川博)の助成を受けた。また、北海道開発局網走開発建設部治水課と北見河川事務所の関係各位には網走川の現地調査及び改修工事図面の資料提供など多大な支援を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省多自然型川づくりレビュー委員会: 多自然型川づくりへの展開, 2006.
- 2) 国土交通省: 第19回河川分科会(平成18年3月31日)参考資料 5-1「網走川水系の流域および河川の概要(案)」, 2006.
- 3) 須賀堯三: 水理模型実験, 山海堂, 1990.
- 4) 内島邦秀・早川博: 交互砂州河床河川の移動床歪模型の相似則に関する研究, 土木学会論文集, No.479/II-25, pp.71~79, 1993.
- 5) 黒木幹男・岸力: 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, 第342号, 土木学会, pp.87~96, 1984.
- 6) 三輪 弑・杜 河清: 砂礫堆相似による河川小型模型実験, 農業土木学会論文集, No.233, pp.115-122, 2004.

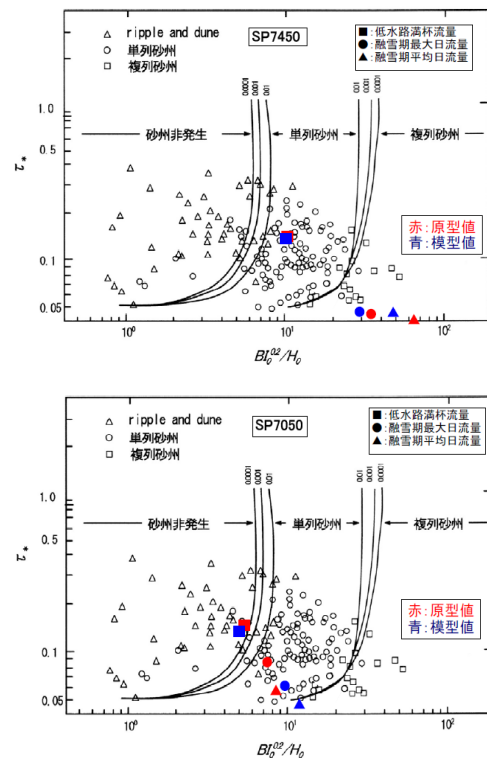


図-4 黒木・岸の領域区分図による検証