

蛇行する岩床河川において河川改修によって造成された淵の維持管理

MAINTENANCE OF IMPROVED CHANNEL WITH POOL CONSTRUCTION IN MEANDERING ROCK-BED RIVERS

早川 博¹・夏井皓盛²・崇田徳彦³

Hiroshi HAYAKAWA, Kosei NATSUI and Norihiko MUNETA

¹正会員 博(工) 北見工業大学准教授 工学部社会環境工学科 (〒090-8375 北海道北見市公園町165)

²正会員 修(工) 和光技研株式会社 技術部水工課 (〒063-8507 北海道札幌市琴似3条7丁目5-22)

³正会員 博(工) 北海道開発局網走開発建設部治水課 (〒093-8544 北海道網走市新町2丁目6番1号)

For preserving a comfortable river ecosystem, it is important to protect and restore the riffle and pools within engineered channels, where should play a role in the habitat diversity and complexity. It will be no easy task to restore and preserve the pool-riffle in flat rock-bed river which is lightly covered with gravels, as contrasted with in the gravel river. In the Abashiri River, the improvement by channel deepening projects with rock-bed has been carried out, in which was introduced to construct artificial pools.

We investigate the restoration of the riffle and pools by constructing artificial pools. By field survey in the Abashiri River, the state of sediment on the improved channel is indicated. By undistorted model experiment, we investigate the deposition of artificial pools. As a result, it shows that the artificial constructed pools are corresponded to the location of generated ones in a mobile bed.

Key Words : *rock-bed river, meandering channel, riffle and pools, river improvement, pool construction, deposition and scouring*

1. はじめに

近年の河川改修では、河川に生息する動・植物の生態系に配慮した環境の保全が重要視されており、治水機能と環境機能を調和させた多自然川づくりが推し進められている¹⁾。特に、瀬・淵は魚類や水生昆虫類の成育環境となる他、河川景観上からも川らしさをイメージさせるのに不可欠である。北海道東部を流れる網走川の中流域(KP39.0~KP48.4)では、1992年9月の洪水を契機に河川の流下能力を向上させるために河床掘削による河道改修工事が行われ、河床面が基岩まで掘り下げられた²⁾。一般に、河床が厚い砂礫の堆積層からなる礫床河川では、河川改修により横断方向に一様で平坦な河床とした場合でも、多様な河床形態が形成されるため瀬と淵は容易に再生される。一方、網走川のように岩床まで掘り下げた岩床河川では河床形態が形成され難く、河川改修後に瀬や淵などを再生するのは容易でない。そこで、網走川のKP45.8~KP47.6(新SP6400~SP7900)の区間では、蛇行部の外岸側の河床を掘削して人工的に淵を造成し、そ

れをきっかけに瀬を再生させる多自然川づくりが2007年に行われた(図-1)。

早川・宮本³⁾はこの網走川の改修区間を対象に、河床を礫河川と仮定した室内小型歪模型実験並びに河床変動シミュレーション等によって瀬や淵の形成箇所を特定し、改修工事で造成した淵位置とほぼ一致していることを示した。しかしながら、人工的な淵造成は、淵の位置を固定化するため、その影響によって前後の区間での瀬の形成や淵部分の土砂堆積などへの影響が懸念されている。



写真-1 KP46.0淵造成区間の右岸からの河道状況

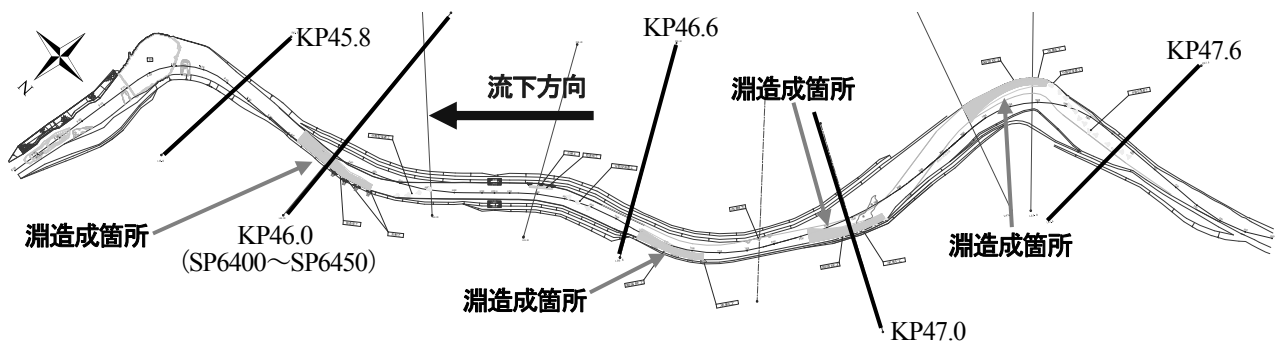


図-1 淵造成区間 (KP45.8~KP47.6, 新SP6400~SP7900) の平面図

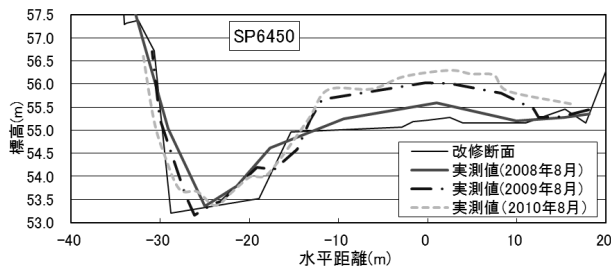


図-2 KP46.0(SP6450)における河床堆積状況の経年変化

写真-1は改修工事4年後の2011年10月にKP46.0左岸に造成した淵の対岸、右岸から撮影した河道の状況である。右岸河床には土砂が堆積し、ヤナギ等の樹木も侵入している。このKP46.0の河床横断の経年変化を図-2に示すと、右岸河床は改修後の3年間で約1.5 mも砂礫が堆積しており、淵造成によって砂礫の堆積を促す効果があることが確認できる。ただし、河道改修から現在までの期間では、2009年7月28日における最大流量165 m³/sと同年10月9日における最大流量176 m³/s以外に大きな出水はなく、低水路満杯流量350 m³/sを越えるような大規模な洪水は一度も生起していない。

そこで、本研究はKP46.0付近（改修工事区間SP6400～SP6450）の淵造成区間を対象とし、低水路満杯流量規模の洪水が生じた場合に、この淵造成部周辺の砂礫の挙動に注目し、淵を造成したことによる淵部分周辺の砂礫堆積状況と融雪出水、夏期洪水との対応関係を明らかにし、長期的な淵部分の維持・保全が可能かを、水理模型実験により検討するものである。

2. 水理模型実験の概要

(1) 実験水路の概要

実験で使用する模型水路(写真-2)は、網走川のKP45.8～KP46.6（新SP6400～SP7000）の約800 m区間を原型とし、淵造成箇所であるKP46.0付近（SP6400～SP6450）における砂礫の堆積状況を再現・検証するものである。模型水路の縮尺は1/80で、水平縮尺と鉛直縮尺が等しい無歪模型としたので、河床勾配は原型河川と同じく $I=1/227$ である。模型水路に設定した河床横断面は、

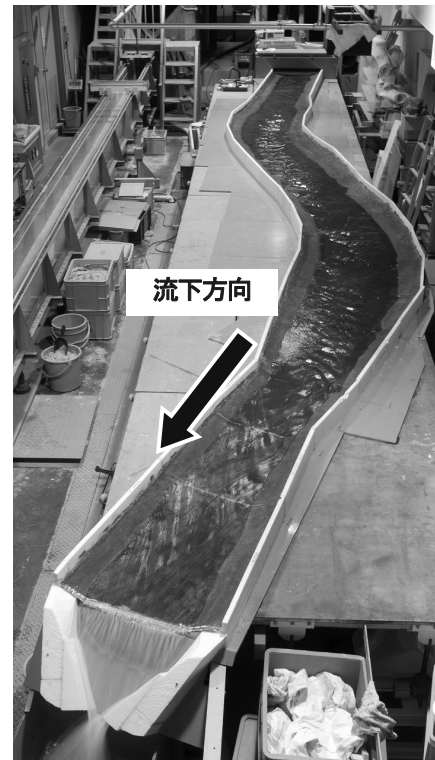


写真-2 網走川模型水路（低水路満杯流量通水時）

河川改修で掘り下げた河床断面である。なお、図-1に示す淵造成区間は改修断面より更に掘り下げてある。実験では上流から砂礫を給砂することによって、徐々に河床に砂礫が堆積し、砂州も形成し始める。

(2) 相似条件

模型水路において原型河川の流れを再現するために、模型と原型でフルード数を一致させるフルード相似則を適用すると、次式が成り立つ。

$$\frac{u_P}{\sqrt{g_P h_P}} = \frac{u_M}{\sqrt{g_M h_M}} \quad (1)$$

ここで、添え字 P は原型値を、添え字 M は模型値を表しており、 u : 流速、 g : 重力加速度、 h : 水深である。「縮尺＝模型値／原型値」とし、縮尺の添え字を R とすると、水深の縮尺は $h_R = h_M / h_P = 1/80 = S_l$ となる。 S_l は長さの縮尺を表している。同様に、流速の縮尺 u_R 、

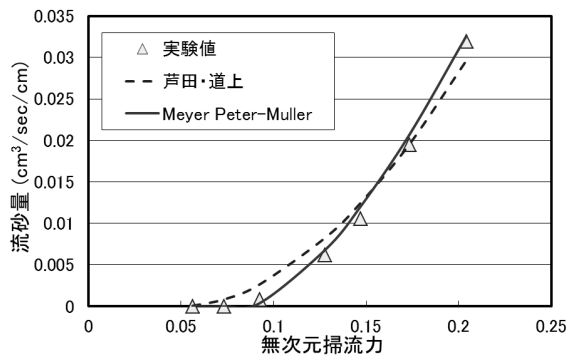


図-3 流砂量の検討

流量の縮尺 Q_R ，時間の縮尺 t_R を， S_l を用いて表すと $u_R = S_l^{1/2}$ ， $Q_R = S_l^{5/2}$ ， $t_R = S_l^{1/2}$ となる．また，原型と模型で無次元掃流力を一致させると，

$$\frac{h_P I_P}{s_P d_P} = \frac{h_M I_M}{s_M d_M} \quad (2)$$

となる．ここで， I ：河床勾配， d ：河床材料の粒径， s ：河床材料の水中比重である．無歪模型なので $I_R = 1$ であり，原型と模型の河床材料の水中比重 s が等しいとすると $s_R = 1$ なので， $d_M/d_P = h_M/h_P$ となる．

対象とした網走川の中流域における河床材料の平均粒径 d_P は $d_P = 25.5\text{mm}$ であるので，模型における河床材料の粒径 d_M は $d_M = 25.5/80 = 0.32\text{mm}$ となる．したがって，模型水路実験には平均粒径が 0.321mm である6号珪砂を使用することにした．

また，固定床における流砂量式はまだ確立されていないため，予備実験で6号珪砂による無次元掃流力と流砂量の関係性を求めた結果，図-3に示すようにMeyer Peter-Muller式に近い傾向を示したので，実験の給砂量は上流端の無次元掃流力に対応した流砂量をMeyer Peter-Muller式から算出して給砂する．

(3) 粗度係数の検証

模型水路の河床は写真-2のように6号珪砂を混ぜたモルタルで仕上げ，砂礫の堆積状況を確認し易くすると粗度係数を調整するためにペンキを塗布している．原型水路の河道計画で設定している対象区間の低水路粗度係数は $n_F = 0.034$ であり，フルード相似から模型の粗度係数は $n_M = 0.016$ となる．

模型水路が原型河川の粗度を再現しているかを検証するために，2009年11月6日に北海道開発局網走開発建設部が調査したSP6400～SP7000の滞筋における観測水位と模型水路の水位データを比較した．なお，模型水路に通水する流量は，調査日の日流量 $Q_F = 16.08\text{ m}^3/\text{s}$ を模型値に換算した $Q_M = 0.281\text{ l/s}$ である．原型値に換算した模型水路の水位と原型河川における実測水位を比較すると，図-4に示すようにほぼ一致した結果が得られた．また，

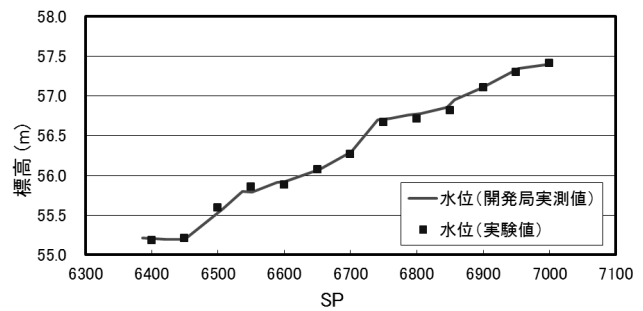


図-4 粗度係数の検証 (原型と模型の水位比較)

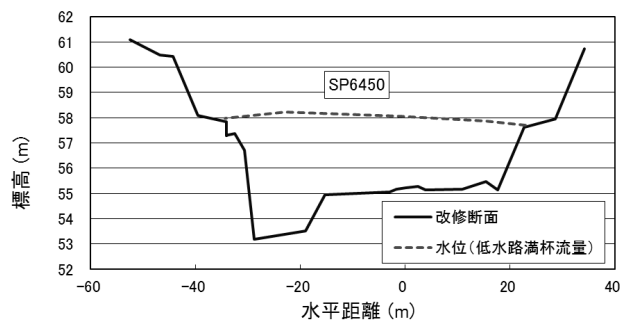


図-5 低水路満杯流量時の水位 (KP46.0(SP6450))

改修後最大の出水であった2009年10月9日の $Q_F = 176\text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_M = 3.075\text{ l/s}$) の痕跡水位から1次元不等流計算によって粗度を逆算すると $n_F = 0.030$ となり，フルード相似から $n_M = 0.014$ となる．実験水位から同じく逆算した粗度も $n_M = 0.014$ と一致した．したがって，模型水路の粗度は $n_M = 0.014 \sim 0.016$ と推定され，原型河川の粗度を良好に再現していると判断した．

なお，改修後まだ経験していない低水路満杯流量 $Q_F = 350\text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_M = 6.114\text{ l/s}$) 相当を通水した場合の各断面(SP6400～SP7000)の水位を測定したところ，高水敷まで溢れることなく低水路に収まって流下していた（一例として，図-5にSP6450の観測水位を示す）．

3. 砂礫の堆積・洗掘実験結果と考察

前述したように，KP46.0付近（改修工事区間SP6400～SP6450）の河道横断面図（図-2）から左岸淵造成部の対岸，右岸河床に砂礫が堆積している．実験Ⅰではこの堆積状況の再現を試みる．次に，実験Ⅱでは，将来経験するであろう低水路満杯流量を通水した場合の砂礫の堆積・洗掘状況を検討する．

(1) 実験Ⅰ

まず，2008年8月の現地観測による横断面データを基に河床面まで砂を敷き均し，それを初期状態とした（写真-2）．この状態から，2009年10月の降雨出水 $Q_M = 2.475\text{ l/s}$ を $t_M = 1$ 時間50分通水し，その後，2010年の融雪出水 $Q_M = 0.788\text{ l/s}$ を $t_M = 10$ 時間通水した（写真-3）．ちなみに，

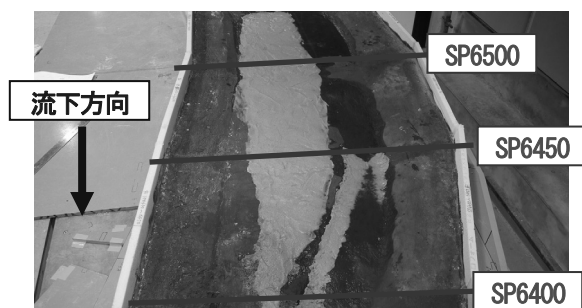


写真-2 初期状態 (SP6400～SP6500)

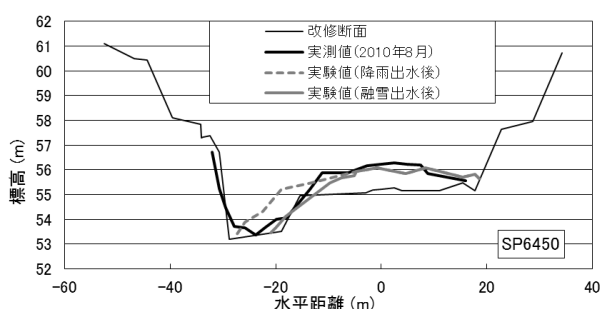


図-6 河道横断形状 (SP6450, 降雨出水後と融雪出水後)

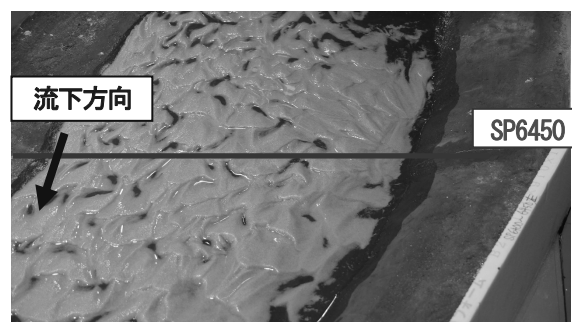
これらを原型値に換算すると、 $Q_P=141.7 \text{ m}^3/\text{s}$ と $Q_P=45.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $t_P=16$ 時間30分と $t_P=89$ 時間30分である。

図-6は2009年10月の降雨出水、2010年の融雪出水後の砂の堆積状態を、2010年8月に行った横断測量データと比較したもので、2010年融雪出水後の実験結果は現地とほぼ同様な堆積状態を再現している。2009年10月の降雨出水では右岸内岸の瀬の部分だけでなく、外岸の淵造成部でも堆積し始め、出水後には淵部の約半分に堆積していた(写真-3)。その堆積は融雪出水の淵外岸への流れの集中によって徐々に洗掘されて下流へと押し流され、終に淵部の堆積が解消されている。その際の水位は右岸の堆積部分を僅かに被る位で流れがないため、その堆積は維持される。この右岸部分は緩い蛇行部の内岸にあたり、 $Q_P=150 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度の降雨出水規模になると右岸を流れ、砂礫の堆積が出水の度に増加していくようである。

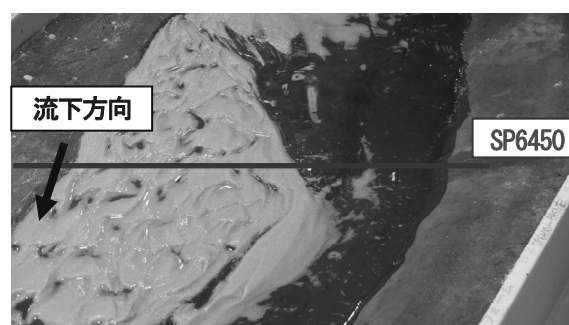
写真-1は現在の右岸の状況であり、堆積砂礫の上面は侵入してきた樹木が繁茂している。

この実験から、降雨出水により淵造成箇所の対岸、内岸だけではなく、外岸の淵部分にもある程度、砂礫が堆積すると推定される。しかし、融雪出水規模の流量が流れた場合、もしくは洪水の減水期に淵部分に流れが集中すると、堆積した砂礫が洗掘され、淵の深さが維持されと考えられる。

本実験で用いた6号珪砂(平均粒径 $d_M=0.32 \text{ mm}$)は砂漣の形成条件⁴⁾である砂粒レイノルズ数 Re_s が10～20以下の場合に該当する。確かに実験中は、写真-3にあるような砂漣が砂面に形成され、形状抵抗を増やしている。砂漣を発生させないためには砂礫径を大きくし、比重の軽



降雨出水通水後 (上)



融雪出水通水後 (下)

写真-3 SP6450付近の堆積状況 (降雨出水後と融雪出水後)

い軽量骨材を用いる歪模型実験にすることがある。内島ら⁵⁾は実験スペースを制限した小縮尺の歪模型実験を試みているが、掃流力相似を与えて河床形状の再現は可能であるものの、流れの条件がフルード相似を満たさないため、水位の原型換算が難しくなる。したがって、本研究では砂漣の発生は避けられないものの、岩床河川のどこに砂礫が堆積し、流況に応じてその増減がどのように推移するかを把握することは可能である。一般に、砂漣の波長、波高は砂礫径に関係し、波長が砂礫径の500～1,500倍である。砂漣の形状は写真-3のように3次元的であり水深の浅い瀬の部分では砂漣の峰々を縫うように流れるため砂礫の移動は遅く砂漣の変形もゆっくりである。したがって、砂漣は流れが集中する淵部分の土砂流送より水深の浅い瀬部分の土砂流送に影響を与えるものと考えられる。

(2) 実験Ⅱ

本実験も2010年8月における堆積状況を初期状態におき、低水路満杯流量である $Q_P=350 \text{ m}^3/\text{s}$ を通水した後、洪水減水期に相当する $Q_P=200 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ の順に減水して通水した。なお、模型における流量はそれぞれ $Q_M=6.114 \text{ l/s}$ 、 3.494 l/s 、 1.747 l/s 、 0.873 l/s である。また、 $Q_P=350 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ のときの通水時間は既往の洪水波形を参考にして、それぞれ $t_P=30$ 分間で、 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ のときは $t_P=4$ 時間とした。

低水路満杯流量を通水すると、図-7に示したように淵造成箇所とその対岸、右岸側の堆積量も多く、横断面の全体に堆積している。その状態から、流量を減少させて

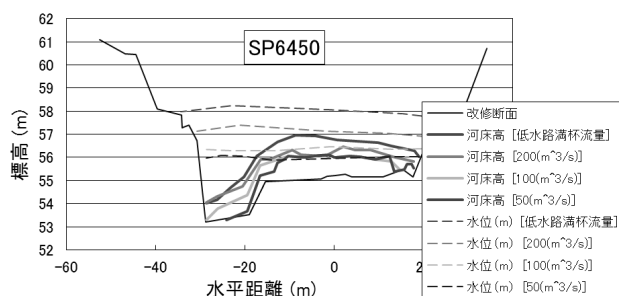
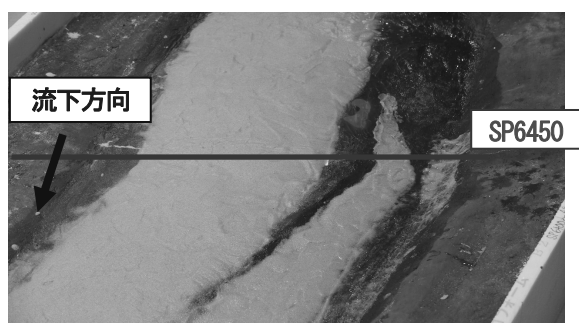
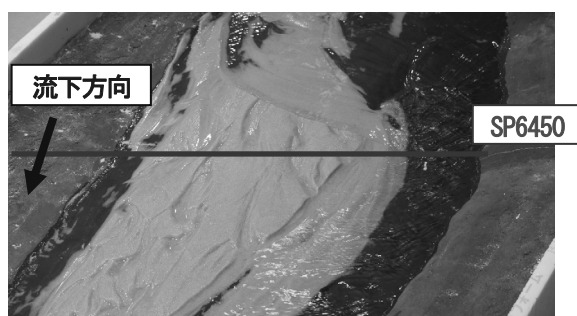


図-7 河道横断形状 (SP6450, 降雨出水後と融雪出水後)



2010年8月の初期状態 (上)

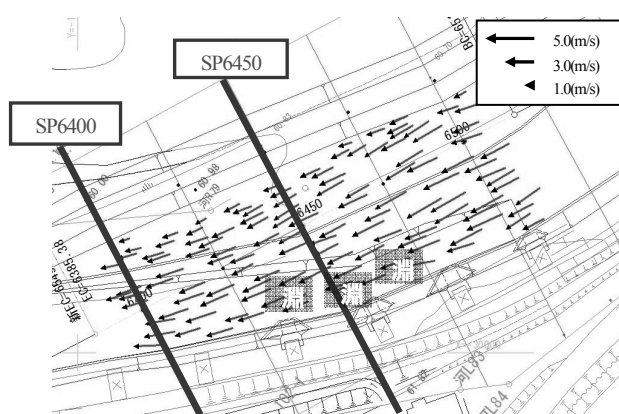


全ての流量を通航後 (下)

写真-4 SP6450付近の堆積状況 (低水路満杯流量通航)

いくと、流れが外岸側の淵部分へ引っ張られるように落ち込み、右岸側の砂礫もその流れによって少しずつ砂面が洗掘され、河床が低下していく様子が確認できた。また、 $Q_F=100 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下になると流れは淵部分を主に流れるため、右岸の砂州は大きく変化することなく維持され、融雪出水期規模の $Q_F=50 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度になると、実験Ⅰと同様に淵に堆積していた砂礫が下流へ押し流されて、堆積状況は実験の初期状態に近い状態になった (写真-4)。

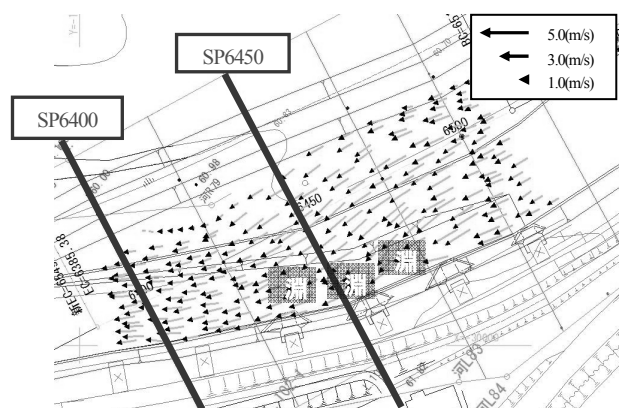
本実験ではSP6400～SP6450区間の流速ベクトルを計測するため、トレーサを流下させて、デジタルカメラで0.1秒間隔毎に撮影した。撮影した画像をアンフィニ変換して画像のゆがみを補正し、トレーサを追跡して移動量から流速ベクトルを描いたのが図-8である。前述したように、流量の減少に伴って流れが淵造成部に集中する様子を表している。水位低下に伴い、流れが淵部分へ集中していくため、淵対岸側に過剰に堆積していた砂が淵部分の流れに引っ張られるように洗掘されていったと考えられる。



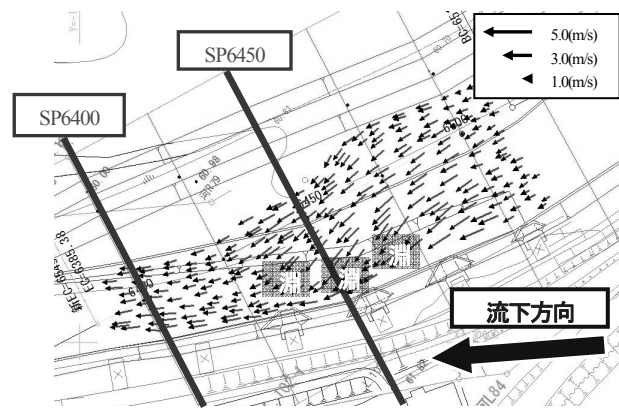
(1) 低水路満杯流量 $Q_F=350 \text{ m}^3/\text{s}$ 通航時



(2) $Q_F=200 \text{ m}^3/\text{s}$ 通航時



(3) $Q_F=100 \text{ m}^3/\text{s}$ 通航時



(4) $Q_F=50 \text{ m}^3/\text{s}$ 通航時

図-8 SP6400～SP6450区間の流速ベクトル

したがって、低水路満杯流量規模の出水の場合、洪水中は河床が堆積するものの、洪水後の流量減少と共に砂礫掃流・洗掘されて、この淵造成区間に過大に堆積し続ける可能性は低いと判断できる。

4. おわりに

今後、低水路満杯流量規模の出水が発生した場合、淵造成箇所とその対岸、右岸側における堆積量はかなり増加することが予想されるが、 $Q_p=100\text{ m}^3/\text{s}$ 程度まで減水していく際に、淵の対岸側に過剰に堆積した部分が削りとられ、そこからさらに減水していくと淵部分に堆積している砂礫が洗掘されるため、淵造成部分は当初の形状を維持できることが期待される。

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) 早川博・宮本大：岩床河川における瀬と淵の再生に関する研究，河川技術論文集，第15巻，pp.219-224，2009.
- 4) 水理委員会移動床流れの抵抗と河床形状研究小委員会：移動床流れにおける河床形態と粗度，土木学会論文報告集，第210号，pp.65-91，1973.
- 5) 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.

(2012. 4. 5受付)