

安定した砂礫帯内で形成される伏流水の流速場に関する実験的検討

Experimental investigation on velocity fields of subterranean stream inside stabilized gravels

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田陽一

日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 ○学生会員 植村 恵

1. はじめに

河川生態系の形成や維持において、伏流水が大きな役割を果たしている¹⁾²⁾。川岸や砂州内に形成される止水域である「わんど」や「たまり」は、緩やかな流れを好む水生生物の棲息場となっており、これらの水域の水溫・水質は、本川からの伏流水の流入の影響を受けることが分かっている²⁾。また、アユは産卵床として伏流水の湧出する環境を好むことが知られている。河川整備においては、治水が優先され、かつ土木技術者の河川技術力が極端に低下している。特に、生態系への配慮した河川技術力は皆無に近い状態である。その結果、露岩の形成、河床低下の形成、人災につながる流れの形成などが生じている。また、水産事業として産卵できる砂礫を産卵床として暫定的に河床に敷くことが試みられているが、出水とともに掃流され産卵環境が失われている。

ここでは、増水時でも安定した大礫、玉石、碎石を複合したマウントを設けて、マウントを越える流れおよび碎石中の伏流水の流速場について実験的に検討した。

2. 実験概要

実験は、水路幅 0.40 m、高さ 0.6 m、長さ 17 m の矩形断面式水路に 3.6 m にわたって、写真 1 のようなマウント状の模型を設置した。模型設置区間の水路床全面に碎石（平均粒径：0.016 m）を敷き、河床内部を伏流水が形成されるようにマウント状にした。マウント上流部では、増水時に砂礫が容易に掃流されないように安定性を高めるため大礫（平均長辺：0.15 m）による石組みを左右に設置した。中流部では、全面的に石組み構造とし、その下流側では、玉石（直径：0.05 m）を設置した。流量は、0.0141m³/s (Case1)、0.0452m³/s (Case2) の種類とした。流量は水路下流端の全幅刃型堰、流速は KENEK 社製の I 型プローブを有する二次元電磁流速計

間隔で測定した。河床形状と水面形はポイントゲージで、流下方向に 5 cm と 10 cm 間隔で測定した。床の凹凸形状の測定には、ポイントゲージを、流速の測定は KENEK 社製 2 次元 I 型電磁流速計（1 測点当たりの測定時間 30sec、採取間隔 20Hz）および KENEK 社製プロペラ式流速計（測定時間 20sec）を用いた。射流区間であるので、電磁流速計で計測が困難な水面付近までの測定をプロペラ流速で補った。x は水路中央部に設置されたゲートからの流下方向の水平座標、y は水路中心より左岸側を正とする横断方向の座標、z は水路底面を基準とした鉛直上方の座標である。

河床内部の流速を測定するため、写真 2(a)に示すエナメルコートした 2 種類のコイル（コイル大：長さ 10.9 cm、巻き数 11、間隔 1 cm、内径 21mm、コイル小：長さ 5.2 cm、巻き数 9、間隔 0.7 cm、内径 16 mm）を河床に埋めて、I 型プローブを挿入し、計測できるようにした。また、計測する場合は写真 2(b)に示されるように、コイルの空間内に河床上部の流れによって乱されないように、コイル上部をゴム栓で閉塞した。伏流水の計測箇所は、水路中央の上流から下流にかけての 5 か所（碎石上流部、玉石設置区間、巨礫設置箇所、玉石設置箇所、碎石箇所）とした（図 1 参照）。なお、下流部の碎石箇所のみコイル小を用いた。



写真 1 巨礫、玉石、碎石によって構成されたマウント

（測定時間 30 秒、測定間隔 50 ms）で流下方向に 10 cm

キーワード 伏流水、流速場、礫の安定、棲息場、産卵環境

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 TEL:03-3529-0409 E-mail: yasuda.youichi@nihon-u.ac.jp

3. 碎石内を含めた流速の鉛直分布

$x = 215 \text{ cm}$ での Case 1, Case 2 の x, y 方向の流速（標準偏差を含む）の鉛直分布を図 2 に示す。なお、流速測定はほぼ水路中央（ $y = 20 \text{ cm}$ ）で行った。図中、縦軸 $z(\text{cm})$ は水路底面を基準とした鉛直上方の座標である。 u は流下方向の時間平均流速、 u' は x 方向の標準偏差、 v は横断方向の時間平均流速、 v' は y 方向の標準偏差を示す。また、図 2 から、 $x = 215 \text{ cm}$ では $z = 9 \text{ cm}$ 以下の箇所がコイルで測定した河床内部の流速を示す。図に示されるように、碎石内部と碎石上部とを比較すると、境界付近をのぞいて河床内部（ $z \leq 9 \text{ cm}$ ）では時間平均流速は小さく、乱れ（標準偏差）はほとんどない。また、流量変化による水面勾配は変化しているが、碎石内部の流速の変化はほとんどない。このことから、碎石内部では伏流水の流れが形成され、時間平均流速は常に小さく、乱れがほとんどない。図 3 は $x = 294 \text{ cm}$ での Case 2 の x, y 方向の流速（標準偏差を含む）の鉛直分布を示す。巨礫および玉石が設置されていない箇所であるため、図 2 に示す結果とは異なり、伏流の時間平均流速が大きくなる。ただし、乱れは小さい。

4. まとめ

伏流が形成されやすいように、碎石をマウント状にし、巨礫によって碎石の流出を防ぎ、玉石を碎石上部に設置し、流量を変化させて検討した結果を以下に示す。

碎石内部に埋め込んだコイルを用いて伏流の流速 1 型の 2 次元電磁流速計を用いて測定可能にした。碎石内部で伏流が認められ、流量変化に伴い水面勾配が変化した状態を確認した。碎石内部の流れは碎石上部と比べて抑えられ、大礫、玉石が設置されている箇所では時間平均流速が常に小さくなることを示し、流量変化による違いがほとんどないことを示した。また、碎石のみの箇所では、伏流の時間平均流速のみ大きくなった。碎石内部では常に乱れがほとんどないことが分かった。

参考文献

- 1) 泉 公裕, 竹門 康弘, 兵頭 誠, 喜多村 雄一, 角 哲也: 天竜川における副流路の湧水環境創出によるアユ産卵床の造成実験, 土木学会論文集 B1 (水工学), 72(4), I 439-I 444, 2016.
- 2) 松本 健作, 宮崎 基浩, 野中 航太, 大友 悠大: 河川近傍砂礫層の透水性と河川伏流水の流動特性に関する考察, 土木学会河川技術論文, Vol. 21, pp.389-394, 2015.



(a) コーティングしたコイル (b) 使用したゴム栓
写真 2 コイルとその上部に装着するゴム栓

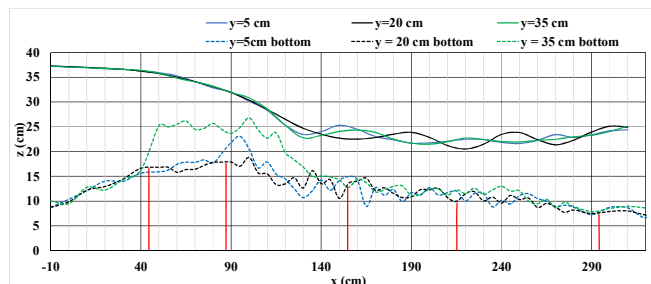
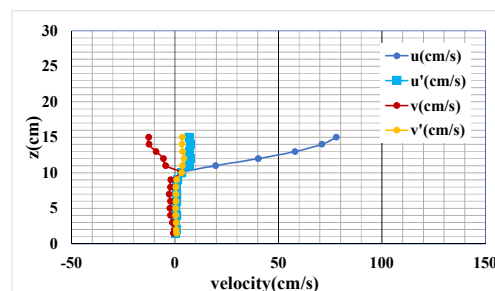
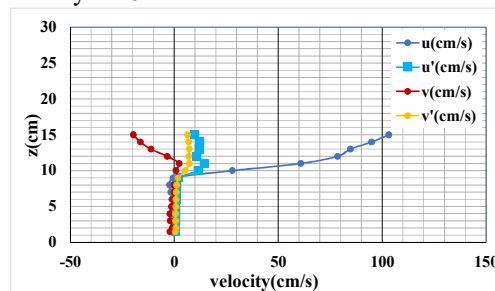


図 1 Case 2 の水面形および河床形状



(a) Case 1 at $y = 20 \text{ cm}$



(b) Case 2 at $y = 20 \text{ cm}$

図 2 $x = 215 \text{ cm}$ での流速と乱れの鉛直分布

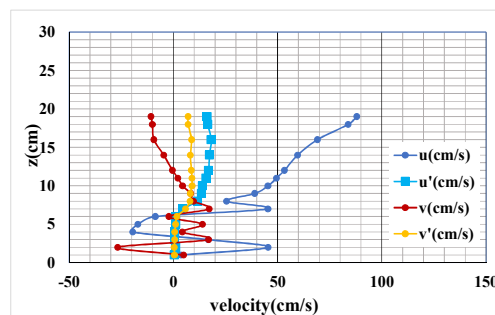


図 3 $x = 294 \text{ cm}, y = 20 \text{ cm}$ での流速と乱れの鉛直分布