

横断勾配を持つ粗石付き緩斜路魚道について

A STUDY ON A GENTLE SLOPE FISH WAY WITH COBBLES ON THE BED

八田哲郎¹・鈴木辰規²・村山久一³・福井吉孝⁴・荻原国宏⁵

Tetsuro HATTA, Tatsunori SUZUKI, Hisakazu MURAYAMA,
Yoshitaka FUKUI and Kunihiro OGIHARA

¹正会員 工修 東京コンサルタント 技術部 (〒920-0901 金沢市彦三町2-10-13)

²学生会員 東洋大学工学部 大学院 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

³東京建設(株) (〒121-0815 東京都足立区島根3-20-17)

⁴正会員 工博 東洋大学教授 工学部 環境建設学科 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

⁵フェロー会員 工博 東洋大学教授 工学部 環境建設学科 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

This study reports the factors involved and the experiment results about the hydraulic characteristics of a fish way with a mild slope with cobbles on the bed. This fish way has longitudinal and lateral slope. By using cobbles, the appearance of the fish way is similar to nature. Since channel slope is mild, fish can move easily upstream. And as the channel bed has a lateral slope, this fish way responds flexibly to change of flow. After all, this fish way is beneficial to the fish and the surrounding landscape. As a result the experiments show the following:

- ① This fish way presents an adequate water depth for fish even though there is little discharge
- ② By adding more cobbles, and reducing the space between the cobbles, the area behind the cobbles has a low velocity and therefore allows fish to rest.

As a discharge increases the turbulence of flows behind the cobbles become bigger. But if the discharge is less, the problem of turbulence is not so severe.

Key Words: fish way, cross slope, longitudinal slope, cobble

1. はじめに

近年、河川においても、自然環境の保護が重要視されるようになってきており、構造物の建造に当たっては、動植物、魚類への配慮が大きな部分を占める様になってきた。

生態系に対する配慮は必要であるが、人間の安全で快適な生活を守るためためには、環境に十分配慮した上ではあるが、ダムや堰堤等を建設しなければならないこともある。

著者らが本研究で対象とした横断勾配を持つ粗石付き緩斜路魚道は、河川の上流部の堰などの横断構造物に敷設されるものを想定している。

粗石を用いることで、自然に近い景観が得られ、緩勾配にすることで遡上しようとする魚類への負担が軽くなり、横断方向に勾配を持たせることで少流量から大流量まで流量の変化に柔軟に対応できる様になる。つまり、環境にも魚にも優しい魚道となる。

2. 実験

実験は、幅60cmの開水路に縦断勾配が1/15及び1/20、横断勾配が1/5の緩傾斜路を設け、水路底面に直径4.0cmの一樣粒径の球を設置した。

粗石でなく一樣粒径の球を用いた理由は、先ずは、基本的な水理特性を調べるのが目的であるからである。実験の一覧は表-1に示す。球の配置は図-3に示すような4通りである。①は、球一つずつを一樣に規則正しく配置、②は、①のケースで球間に更に球を配置し、三個を一単位としたケース、①より球の数は多くなっている。③は、②のケースから所々の球を取り除いたケース。これは、粗石が流水等によって流されてしまった場合を想定している。④は、②のケースに更にレーン間を球で埋めたケースである。この場合粗石の数が増し、水位は上がる。

流量は、各ケースに対し5 (l/s)、10 (l/s)、20 (l/s)、30 (l/s)であり、流速は電磁流速計を用いてu、v、wを

表-1 実験一覧

Run	配置 (Case)	縦断勾配	横断勾配	流量 (l/s)
1	1	1/15	1/5	10
2				20
3				30
4		1/20		5
5				20
6	2	1/15		10
7				20
8				30
9	3	1/15		10
10				20
11				30
12	4	1/15		10
13				20
14				30
15		1/20		5
16				20

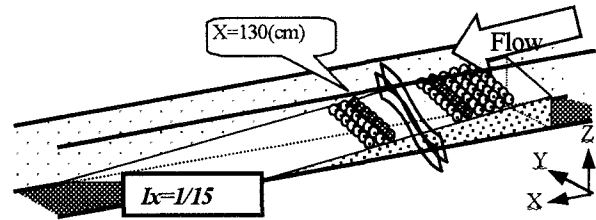


図-1 実験水路概略 (全体図)

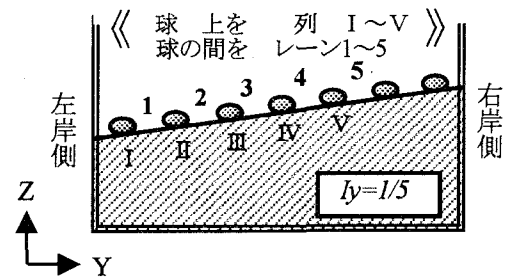


図-2 実験水路概略 (横断図)

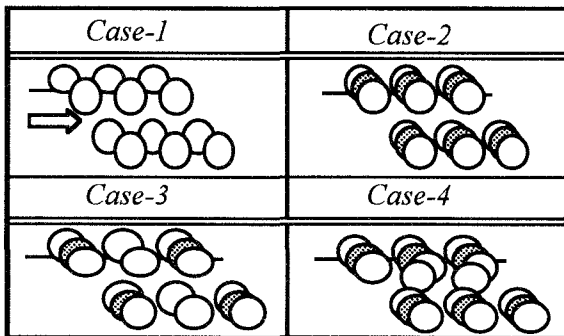


図-3 球 (粗石) 配置図

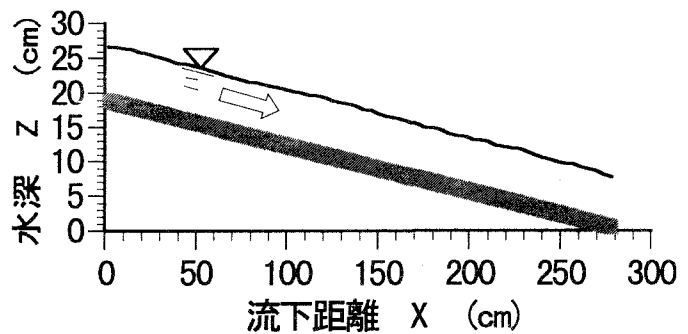


図-4 流下方向水位変化図

Case-1

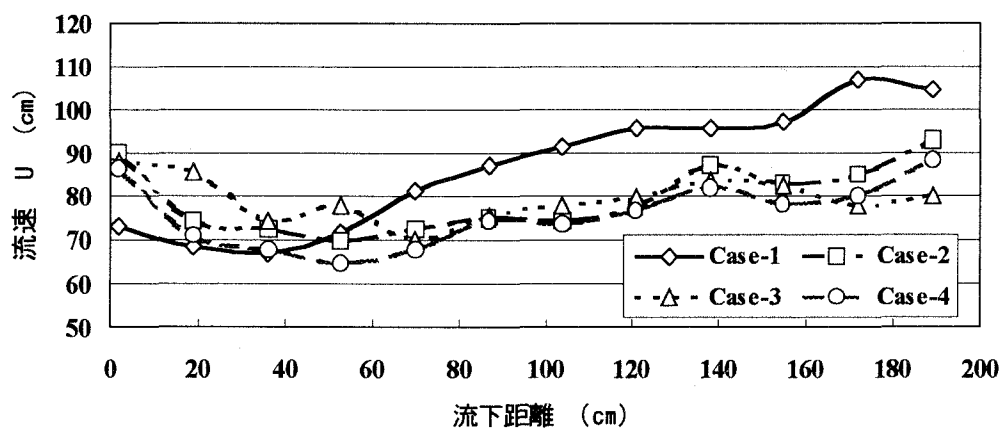


図-5 流下方向流速変化図 $Q=20(l/s)$

の3成分を計測した。

なお図-2に示したように、ケース1において、球と球の間の帯状部をレーン、球が含まれる帯状部を列と

呼ぶ。ケース2以降で球がレーン部に設置されるが、そのままレーンと呼ぶ。例えばケース2においてはレーン1に球が置かれるが、レーン1としたままである。

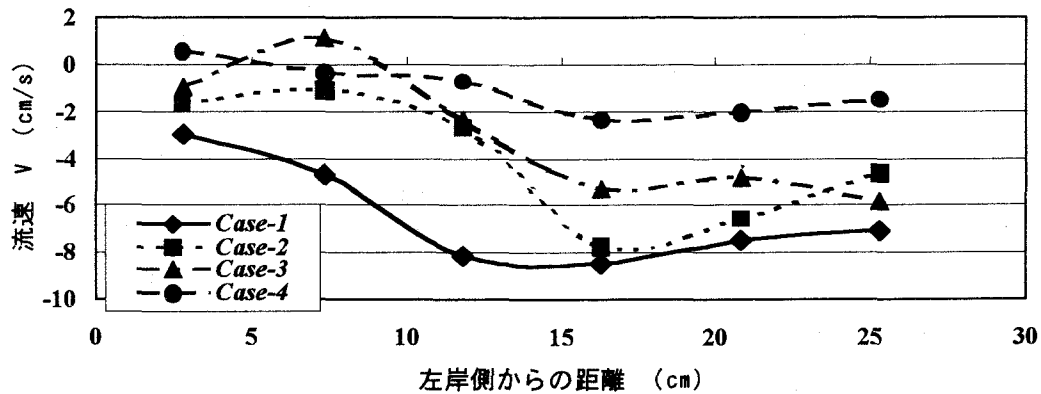


図-6 横断方向流速分布 $Q=20(l/s)$

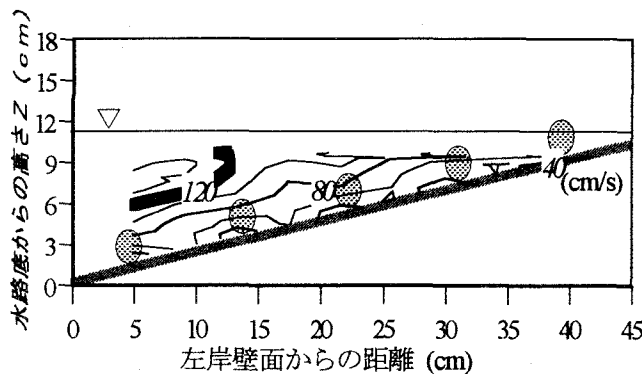


図-7 流速Uのコンター図 Case-1

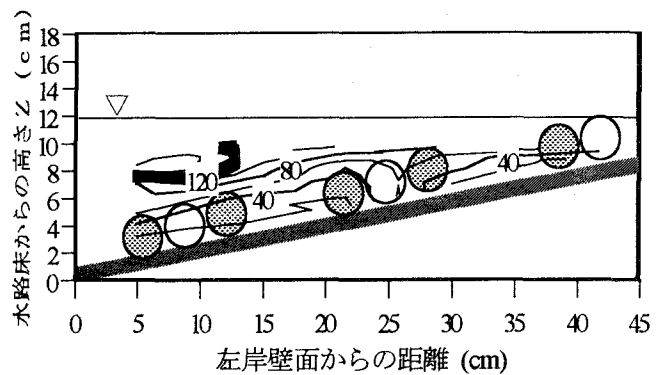


図-8 流速Uのコンター図 Case-2

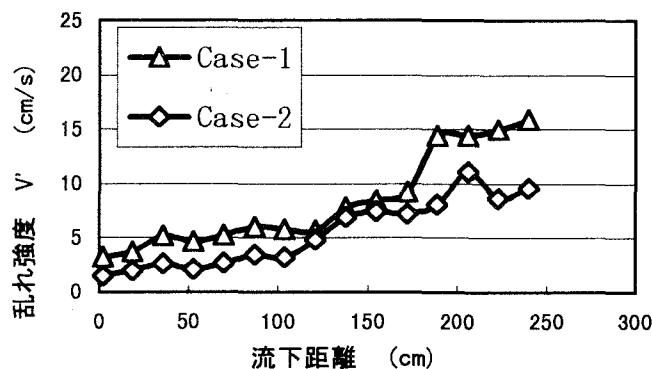


図-9 乱れ強度 V' の変化 $Q=20(l/s)$

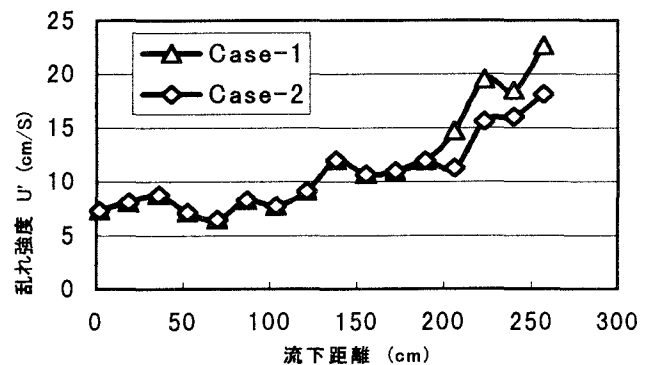


図-10 乱れ強度 U' の変化 $Q=20(l/s)$

3. 実験結果

(1) 水位

図-4はレーン1での縦断方向の水位変化を示している。水位が大きくなり球より充分上に水面が来ると、水路の上流端、下流端では水位が変化する。しかし、どのケースをでも $x=100\text{ cm}$ 付近では、水位の変化は殆どなく、等流状態になっている。しかし、水位が小さいときは水面の動揺は激しい。

(2) 流速の縦断変化

図-5は、魚の主な遡上ルートと見なせるレーン1内の $z=2\text{ cm}$ における流速Uの縦断方向の変化を示している。ケース1での値が大きくなっており、ケース4が最小の値を示している。ケース1は粗石の数は少なくて済むが、流速が大きくなるので魚への負担が大きくなり、魚の遡上を考える上ではあまり望ましくない。水路下流端で大きな流速が生じているが、呼び水の役目を果たして、魚を寄せる効果が期待できる。

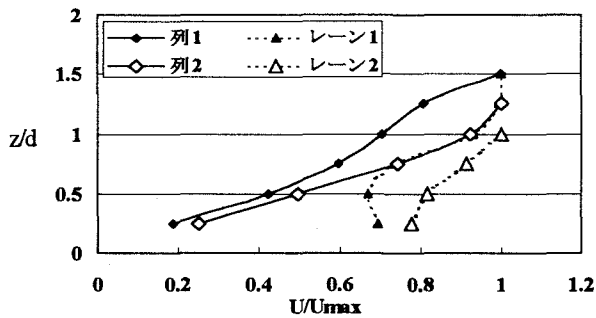


図-1 11 流速 U の深さ方向分布 Case-1 $Q=10(l/s)$

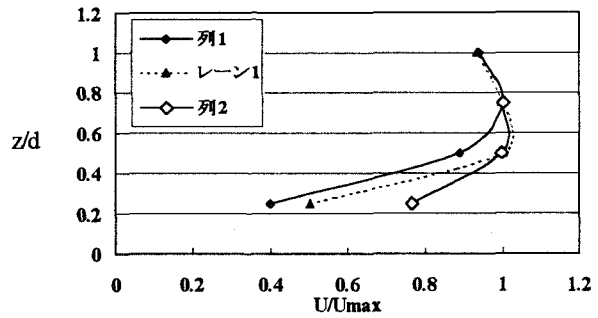


図-1 12 流速 U の深さ方向分布 Case-4 $Q=5(l/s)$

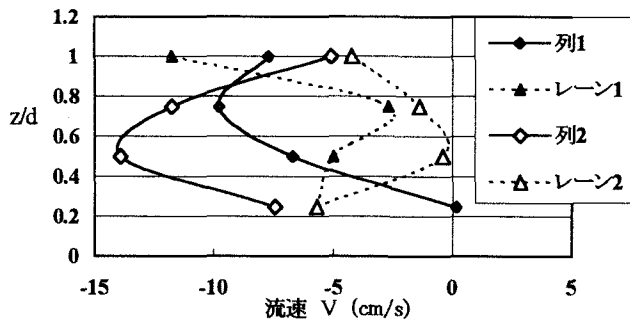


図-1 13 流速 V の深さ方向分布 Case-1 $Q=20(l/s)$

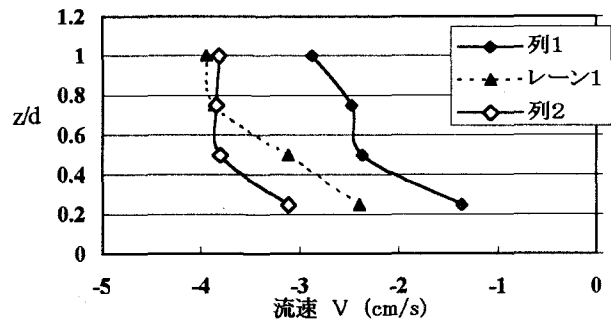


図-1 14 流速 V の深さ方向分布 Case-4 $Q=20(l/s)$

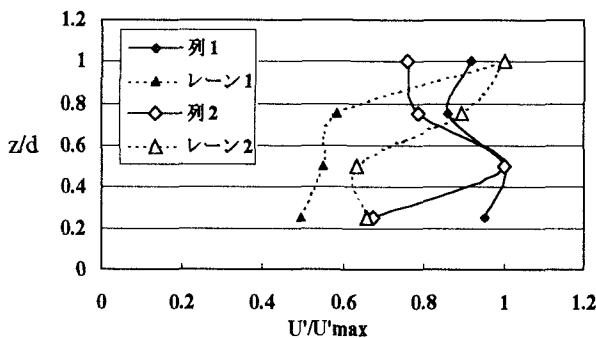


図-1 15 乱れ強度 U' の深さ方向分布 Case-1 $Q=20(l/s)$

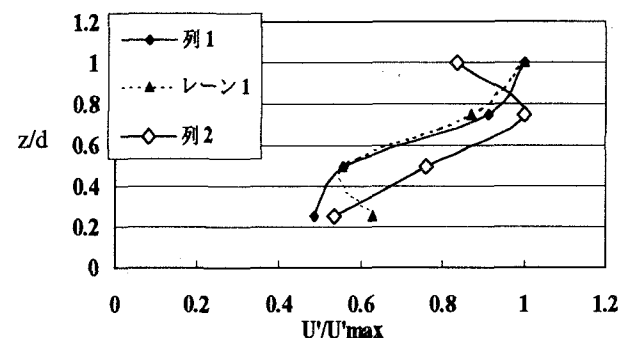


図-1 16 乱れ強度 U' の深さ方向分布 Case-4 $Q=20(l/s)$

(3) 水路横断方向の流速 V

図-6 は横断方向の流速 V を示しており、右岸側から左岸側へ向かう流れをマイナスとしている。水路の横断方向に $1/5$ の勾配が付いているので、右岸側から左岸側へ向かう流れが生じる。ケース1ではこの流れの速度が大きな値になっている。これは球を回り込む流れがその横断勾配に従って流れ込むためである、一方ケース4では左岸側へ向かう流速が小さくなっているのが判る。

(4) 流下方向の乱れ強度 U' 、 V' の変化

レーン1内の各測点での流速 U 、 V の変化を見たのが図-9,10であり、下流に行くに従って乱れが大きくなっている。ケース2では、レーン内での流れの直進性が卓越し、 V の変化が少ないことが判る。

(5) 流速 U の深さ方向の分布

図-1 11 はケース1の時の流速 U を各測点の最大

流速で基準化した流速分布である。球が設置されていないレーンと、球が置かれている列、ここでは球の背後部とでは水路床近傍で明らかに流れの性質が異なっていることが判る。ケース4の場合(図-1 2)は、レーンと列とが、はっきり分かれていないのでレーンと列とでの流速分布形状も似通っている。

(6) 流速 V の深さ方向の分布

流速 U の場合と同様に、ケース1の場合(図-1 3)、レーン内と列内とは明らかに異なる流れになっている。一方、図-1 4に示すように、ケース4では、ケース1と流量が同じにもかかわらず分布形状は異なり、流速の値も小さくなっている。

(7) 乱れ強度 U' の深さ方向分布

乱れ強度 U' を見てみるとケース1では、列とレーンとは全く異なる分布形状になっている(図-1 5)。列では球の半径程度の深さで乱れが大きくな

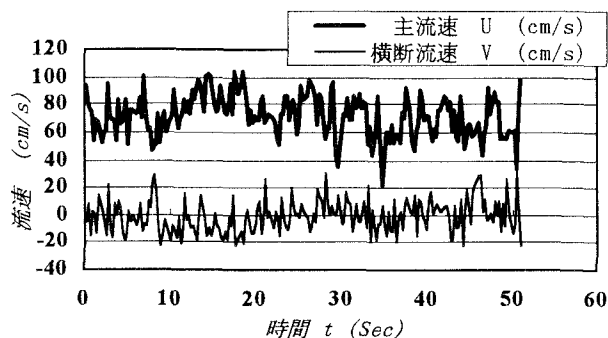


図-17 流速 (U,V)の時間変化

Case-1 $Q=20(l/s)$

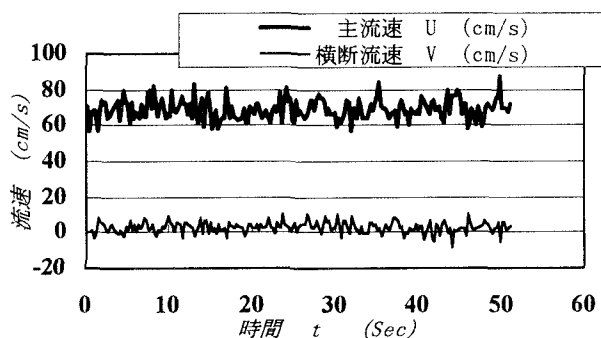


図-18 流速 (U,V)の時間変化

Case-4 Case-1 $Q=20(l/s)$

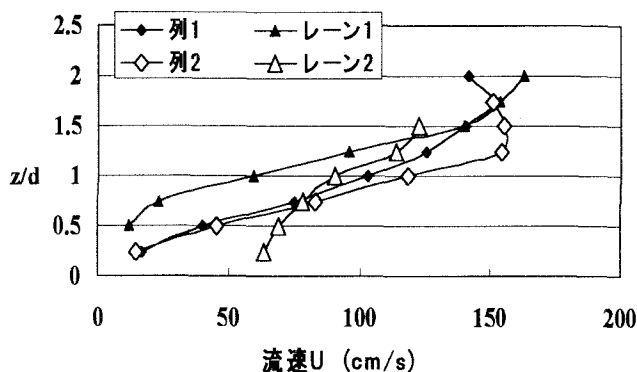


図-19 流速Uの深さ方向分布 Case-2 $Q=20(l/s)$

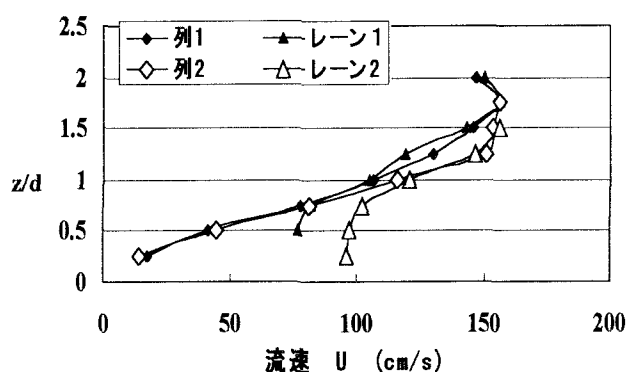


図-20 流速Uの深さ方向分布 Case-3 $Q=20(l/s)$

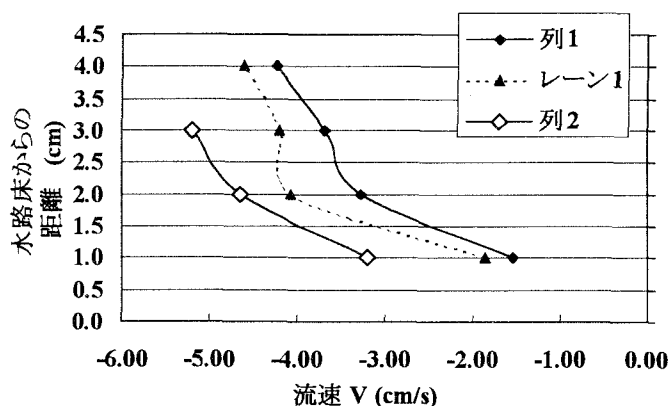


図-21 勾配1/15の時の流速Vの分布

Case-4 $Q=20(l/s)$

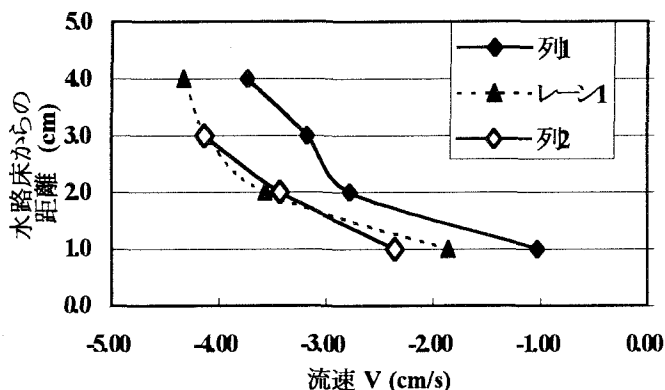


図-22 勾配1/20の時の流速Vの分布

Case-4 $Q=20(l/s)$

っている。これは列では球を越えて来た下向きの流れが、横から来た流れと激しく混合するためである。それに対し、レーンでは球の直径程度の深さで最大値がでている。しかしケース4ではレーンと列との違いがでていない(図-16)。

(8) 流速の時間変化

$x = 130 \text{ cm}$, $z = 2 \text{ cm}$ の球の背後での U, V の値の時間変化を示したのが、図-17, 18である。ケース1に比しケース4の乱れが少ないことが判る。Uの変動は粗石の安定性、Vの変動は休憩しようとする魚への影響の面で問題となる。そういった観点からもケース1はあまり良いとは言えない。

(9) Case2, 3流速分布の比較

図-19と図-20はケース3の $x = 130$ における流速分布である。ケース3はケース2の粗石のいくつか、何らかの理由で流失した場合を想定しており、ここではレーン1に置いた球を飛び飛びに取り除いている。従ってケース3ではレーン1での流速が所々でケース2の場合より、大きくなっている。つまりケース2で $h/d = 1$ の点で 60 cm/s の流速 u であったのが、ケース3で流速 u は、 100 cm/s 以上になっている。現地での粗石の流失は局所的な流速の増加など流況を大きく変えてしまうので、流失防止に注意を払う必要がある。

(10) 勾配の影響

縦断方向の底勾配が1/15の場合と1/20の場合とでの比較をする。(図-21,22) 球の後ろでの v の値を比較すると,1/20にすると横断方向流速 v の値は小さくなるが,深さ方向の分布形状は似ている。このことは,流速は,測点と球との位置関係に強く依存する,つまり球の配置法が流速分布を支配しているということを示している。

4. 球の配置と抵抗係数

流量が20(l/s),勾配が1/20の時のCase-1,case-4における抵抗係数について次の式(1)により検討した。

$$F_x = \frac{\rho}{2} \cdot C_D \cdot A \cdot v^2 \quad (1)$$

ただし(A=検査域内全球の投影面積, v =平均流速, C_D =抵抗係数),とする。

Case-1 Run-2の抵抗係数は $C_D=1.095$,Case-4 Run-13の抵抗係数は $C_D=0.78$ となった。

ここでの C_D 値は,球を群とみなして求めたものである。しかし現地での粗石の安定性を考えるならば,個々球にかかる力を見積もる必要がある。

5. 魚の挙動について

魚道であるから利用するのは魚である。従って事前に魚の性向,挙動を把握しておく必要がある。しかし,我が国では,地方地方で異なる魚が棲息しており,また魚毎に挙動・性向が異なるという厄介な問題がある。

表-2 魚の遊泳力¹⁾

魚種	体長(cm)	巡航速度(cm/s)	突進速度(cm/s)
アユ	14.4	110.0	178.0
ニジマス	17.2	80.0	170.0
コイ	15.3	70.0	150.0
ブルーギル	10.3	55.0	120.0
カワムツ	8.0	8.0	16.5

ここでは,魚の挙動について,U川(福井県)上流の魚道の現地観測結果を記しながら検討していく。

U川ではウグイ,アブラハヤ,カジカ,などが見られる。表2を見て判るように,一般に魚は,巡航速度は体長の3~5倍程度であり,体長の10倍程度の突進速度を持っている。現地では,ウグイは流速1.0(m/s)位のレーン内を遡上していく。ウグイに比べて遊泳力の弱いアブラハヤは,水深の小さな所で流

速が0.5(m/s)以下の流れのレーンを遡上する。カジカは,0.6(m/s)以下の流れの中を,底面を縫うようにして0.2mから0.3m/回の移動を繰り返しながら遡上していく。平均遡上速度は0.87~1.2(m/s)であった。水深が浅く,例えば1~2cmの所でも遡上していく。

いずれにしても魚は,一気に魚道内を遡上するのではなく休み休み遡上するので,休憩できる場所が必要である。

6. 実験と実際の魚の挙動との比較

本実験では,粗石でなく球を用いている。それでも球の背後では,流速 U は非常に小さな値となった。特にその底層部では, U,V とも小さくなっており,魚が休憩できる場所を提供できることが判った。粗石を用いれば,抵抗が増し,流速がさらに遅くなるので,魚の絶好の休憩所ができる。

7. まとめ

粗石の配置法次第で,流れは大きく変わる。ケース4は流速の制御,粗石の下流部に魚の休憩所を提供するといった利点を持っていることが判った。また勾配が大きい場合に生ずる高速流を制御できることも利点である。ただ多量の粗石が必要となる。

勾配は流速に大きな影響を及ぼすので,1/15勾配水路では,流量が増すと流積が大きくなり,高速流になるので,ケース4を採用するとしても緩勾配の1/20の方が好ましい。しかし1/20にすると流路延長が大きくなり,対象としている魚の遊泳持続力の点から別の問題が生じる可能性がある。

今回は一様径の球を用いて実験を行って,粗石水路の有効性を見いだしたが,実際に自然の粗石を使うと,形状が一様でないので,粗石近傍の流れは複雑さを更に増す。特に粗石の安定性に深く関係する局所的な流速変動の検討が要求される。

参考文献

- 1) 財団法人 ダム水源地環境整備センター：魚道の設計 pp.170.
- 2) 玉井信行・水野信彦・中村俊六：河川生態環境工学.
- 3) 中村・辻本・清水：水工学論文集,第34巻,pp.475-480,1990.
- 4) 池田・太田・長谷川：土木学会論文集,No.433/II-18,pp.47-54,1992.

(1999.4.26受付)