

〔農工研技報 204〕  
273~280, 2006

## 環境配慮型水路工法における水路床変動の実験

向井章恵\*・田中良和\*・島 武男\*\*・樽屋啓之\*・中 達雄\*\*\*

目 次			
緒 言 .....	273	1 流砂量が0の場合 .....	275
水路工法の概要 .....	273	2 流砂量が一定の場合 .....	276
実験の概要 .....	274	3 流砂量が変動する場合.....	277
1 上流からの流砂の流入条件 .....	274	4 水路勾配が変化する場合 .....	278
2 実験水路 .....	274	結 言 .....	278
3 実験条件と測定内容 .....	275	参考文献 .....	279
実験結果 .....	275	Summary .....	280

### 緒 言

昭和30年代から始まった生産性向上を目的とした圃場整備事業によって、土水路がコンクリート三面張り水路に整備されたことなどから、生物の生息場としての水路環境は悪化した。しかし、近年、生物保全に対する社会の要請が高まり、平成13年に改正された土地改良法では、水路を施工する際に環境との調和に配慮することが定められた。このような時代背景から、多くの環境配慮型的水路工法が考案されている。例えば、圃場整備によって分断された水田と水路をつなぎ、水路から水田に遡上して産卵する魚類を保全するための魚道がある(端, 1999; 鈴木ら, 2000)。これらの魚道を施工した場合、水路は魚類の移動経路となるため、移動中に敵に襲われることなどを想定して、水路内に隠れ場となる深みなどをつくる必要があると考えられる。一方で、このような工法を導入することが技術面、経済面などから難しい場合は、分断された水路において、生物の産卵場所や、流れの多様性をつくり出し、生物のライフサイクルを維持することが一つの案として考えられる。

そこで、河川工学の分野において、早くから生物の生息空間として注目されている瀬と淵、洲に着目し、これらを水路内に形成する工法(以下、瀬淵工法)を考案し

た。瀬や淵、洲の形成過程については、河川を対象として、環境面において重要であるという視点から実験によって検討された例があるが(三輪ら, 2004)、農業用排水路を対象として検討された例はほとんどない。

以上のことから、本報では、とくに水路がコンクリートライニングされると、流れが速く単調になり、底質が流され、瀬や淵、洲が形成されなくなる可能性の高い傾斜地、かつ、工法の導入による通水機能への影響が少ない排水路を対象として、瀬淵工法による水路床変動の過程を実験によって考察した結果を報告する。

本報は、プロジェクト研究「流域圏における水循環・農林水産生態系の自然共生型管理技術の開発」及び農林水産研究高度化事業「自然再生のための住民参加型生物保全水利施設管理システムの開発」の成果の一部をまとめたものである。

### 水路工法の概要

瀬淵工法は、組立柵渠の棧(アーム)に切り欠きを千鳥状につけたものである(Fig.1)。組立柵渠は、近年では現況が三面張りの排水路の環境配慮型改修工法として分類されているが(農土学会, 2004)、従来の排水路整備で使用されてきた工法であり、多くの排水路で見られる。よって、瀬淵工法は、既存の水路に簡易な改良を加えるだけの低コストな工法といえる。

瀬淵工法の想定される機能を以下に示す。1) 棧によって底質の移動が抑制される。2) 棧につけた切り欠きに沿って水みちができ、瀬が形成される。3) 切り欠き直下で段落ち流が生じ、淵が形成される。4) 流れが変化することで底質が移動し、洲が形成される。

\*水工部水路工水理研究室

\*\*地域資源部土地資源研究室

\*\*\*水工部上席研究官

平成18年1月10日受理

キーワード：排水路、傾斜地、環境配慮型工法、瀬と淵、水路床変動

実験の概要

1 上流からの流砂の流入条件

水路床の形状をコントロールする瀬淵工法の機能を確認するには、上流からの流砂の影響を考慮する必要がある。そこで、瀬淵工法の最上流の棧（棧1）を流入境界とし、境界における流砂量を 0, 一定, 変動（交互砂州が流下）の3つに設定して実験を行う（Fig.2）。

境界条件は、Fig.3に示す交互砂州が、瀬と淵、洲を形成しながら横断方向に凹凸を持って下流へと移動する状態とする。よって、土砂の供給源を十分に確保した上で、平坦床から交互砂州を発達させ、交互砂州の第一波が境界に到達してから実験を行う。

2 実験水路

境界条件（流砂量が0）の実験は、水路工実験棟内のコンクリート水路（幅1.0m、高さ1.0m、長さ63m）で行った。勾配は1/20とし、切り欠きをつけた木製の棧を等間隔で6つ設置し、均一粒径砂を敷き詰めて厚さ30cmで均した。これを水路とする（Fig.4）。底質の粒径は茨城県石岡市の組立柵渠で採取した土砂の平均粒径0.64mmに合わせた。棧の間隔は茨城県規格の組立柵渠（溝型柵渠B型）の長さ1.34mとした。

境界条件（流砂量が一定）と（流砂量が変動）の実験は、水路工実験棟内の可変勾配水路（幅0.6m、高さ0.7m、長さ50m）で行った。勾配は1/50と1/25とし、切り欠きをつけた木製の棧を等間隔で6つ設置し、均一粒径砂を敷き詰めて厚さ20cmで均した。これを水

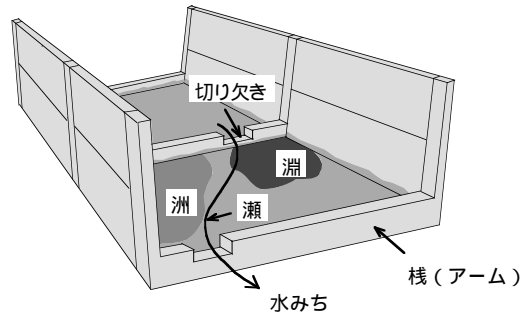


Fig. 1 瀬淵工法の概念図  
Definition scheme of riffle and pool method

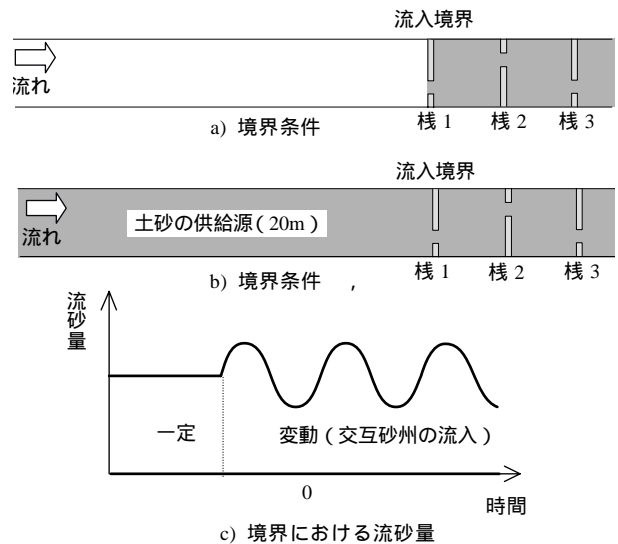


Fig. 2 流砂量の境界条件  
Boundary condition of bed-load transport rate

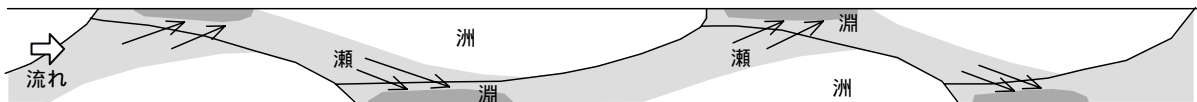


Fig. 3 直線水路に形成される交互砂州  
Alternate bar formed in straight canal

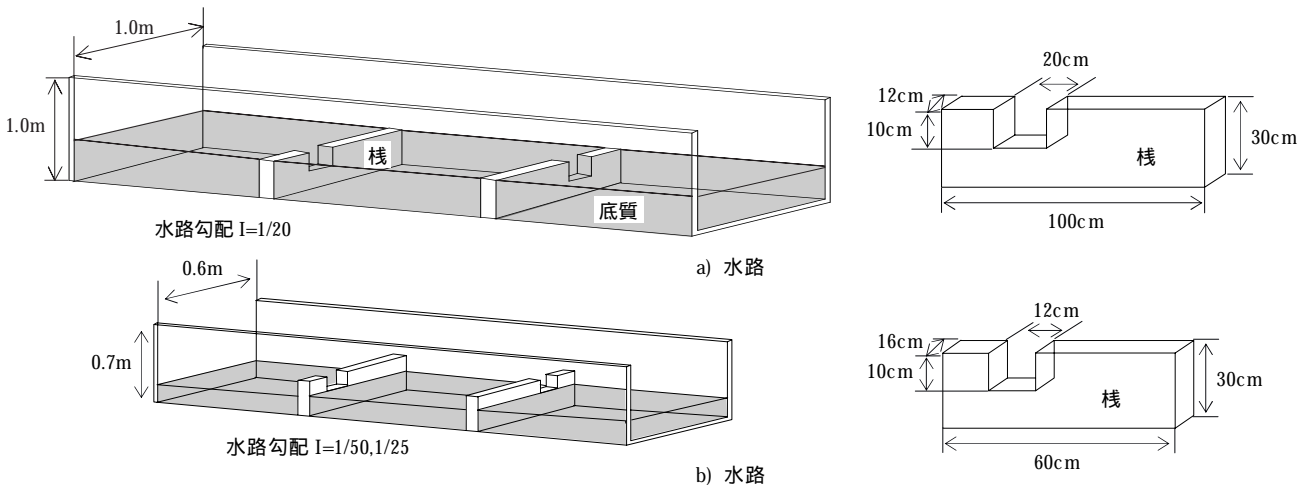
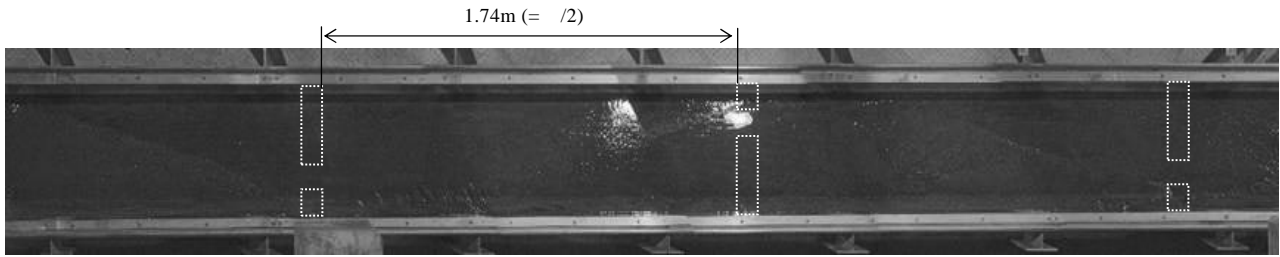


Fig. 4 実験水路  
Experimental apparatus



水路幅B=0.6m, 底質の平均粒径d=0.64mm, 流量Q=5.0l/s, 等流水深h=2.0cm, h/d=35.1, B/h=30.0

Fig. 5 実験水路に形成された交互砂州とその半波長  
Alternate bars and the half-wave length formed in canal

Table 1 実験条件  
Experimental conditions

流砂量の境界条件	棧間隔 (m)	水路 勾配	流量 (l/s)	水位(測定位置) (cm)	底質の平均粒径(mm)	無次元掃流力 (m/s)	無次元限界掃流力	初期水路床位
Case 1	0	1.34 (組立柵渠) I 1/20	3.8	6.0 (切り欠き底)	0.64	0.22	0.03	平坦 (30cm厚)
Case 2	0	1.34 (組立柵渠) I 1/20	1.7	4.5 (切り欠き底)	0.64	0.19	0.03	平坦 (30cm厚)
Case 3	一定	1.74 (交互砂州の/2) II 1/50	5.0	2.0 (棧1の上流)	0.64	0.38	0.03	平坦 (20cm厚)
Case 4	一定	0.77 (類似製品) II 1/50	5.0	2.0 (棧1の上流)	0.64	0.38	0.03	平坦 (20cm厚)
Case 5	変動*	1.74 (交互砂州の/2) II 1/50	5.0	2.0 (棧1の上流)	0.64	0.38	0.03	Case 3終了後
Case 6	変動*	0.77 (類似製品) II 1/50	5.0	2.0 (棧1の上流)	0.64	0.38	0.03	Case 4終了後
Case 7	変動*	1.74 (交互砂州の/2) II 1/25	5.0	1.6 (棧1の上流)	0.64	0.60	0.03	平坦 (20cm厚)
Case 8	変動*	0.77 (類似製品) II 1/25	5.0	1.6 (棧1の上流)	0.64	0.60	0.03	平坦 (20cm厚)

\* 交互砂州の流下による

路 とする (Fig.4)。棧の間隔は, 交互砂州の半波長の長さ1.74mと組立柵渠に類似した製品の長さ0.77mとした。交互砂州の半波長の長さについては, 事前に棧を設置しない状態で実験を行って決定した (Fig.5)。

3 実験条件と測定内容

水路 では, 流量を通水開始1時間後に棧頂部分が非越流状態となる3.8l/sと1.7l/sに設定した。これらは現地の柵渠排水路で観測した平水時の流量の範囲内にある。水位は, 通水開始1時間後に切り欠き底部を原点としてそれぞれ6.0cm, 4.5cmの高さになった。水路 では, 流量を村本・藤田 (1978) の砂州の形成領域区分図で交互砂州が発生する領域にある5.0l/sに設定した。水位は, 通水開始5分後に棧を設置していない上流において 2.0cm (勾配1/50), 1.6cm (勾配1/25) となった。これらの実験条件をTable 1に示す。

測定内容は, 水路床形状, 表面流速分布である。水路床形状は, 形状が安定するまで通水した後, 通水を停止し, 切り欠き底部の中心を原点としてレーザ変位計を縦横断方向に4cm間隔で移動させて測定した。表面流速分布は, 浮子を流してその軌跡をビデオカメラで撮影したのち画像を分析して測定した。

実験結果

1 流砂量が0の場合 (Case 1, Case 2)

Case 1の水路床の形状をFig.6に示す。淵は切り欠きの直下の段落ち流が水路床を侵食して形成され, 切り欠きの底部 (原点) から-10cmの深さになった。洲は棧2-3間では右岸, 棧3-4間では左岸に浮洲となって形成され, 切り欠き底部から2~6cmの高さになった。表面流速の分布をFig.7に示す。瀬は棧3の切り欠き部分に集

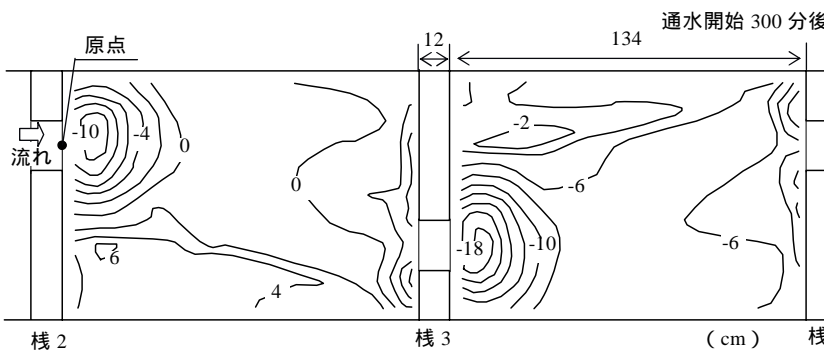


Fig. 6 水路床形状 (Case 1)  
Shape of canal bed (Case 1)

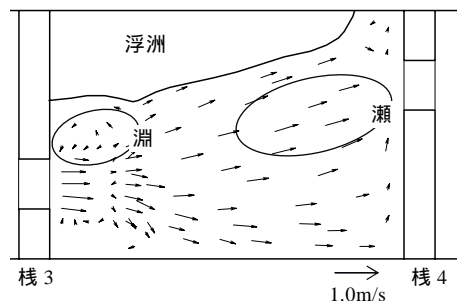


Fig. 7 表面流速分布 (Case 1)  
Flow velocity (Case 1)

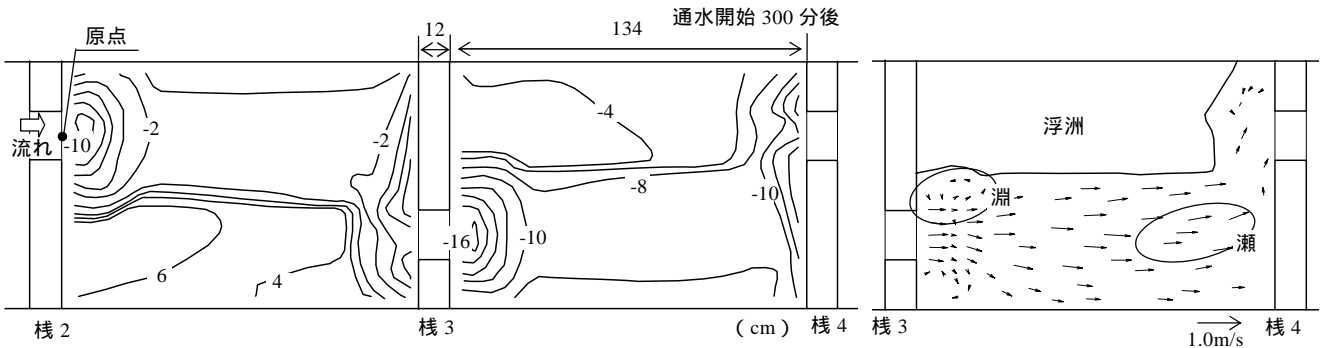


Fig. 8 水路床形状 (Case 2)  
Shape of canal bed (Case 2)

中する流れによって形成され、約50cm/sとなった。淵の流れは約15cm/sとなった。

Case 2の水路床の形状をFig.8に示す。淵はCase 1と同様に切り欠き底部から-10cmの深さになったが、侵食の範囲は小さくなった。洲はCase 1よりも広範囲で形成され、切り欠き底部から4~6cmの高さになった。表面流速の分布をFig.9に示す。瀬は棧3の切り欠き部分に集中する流れによって形成され、約42cm/sとなった。淵の流れは約15cm/sとなった。

Case 1, Case 2とも、まず、切り欠きを通過する水みちが形成された。つぎに、水みちにおいて水路床の侵食が生じて淵が形成され、そして、水みち以外の部分で水路床の堆積が生じて浮洲が形成された。Case 2では、流量がCase 1の約1/2となったため、段落ち流が十分発生せず、淵における侵食がCase 1と比べて小さくなった。一方で、水みちにおける水路床の侵食が大きくなり、ここで侵食された水路床が堆積することで、Case 1と比べて広範囲で浮洲が形成された。これらのことから、本ケースでは、棧2-3 (棧3-4) 間で侵食と堆積の収支が一定に保たれる状態で瀬と淵、洲が形成され、水路床

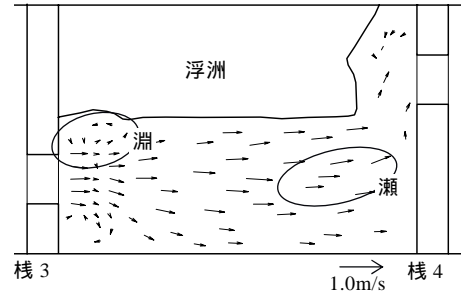


Fig. 9 表面流速分布 (Case 2)  
Flow velocity (Case 2)

が安定することが確認された。

2 流砂量が一定の場合 (Case 3, Case 4)

Case 3の水路床の形状をFig.10に示す。淵は切り欠き直下の段落ち流によって形成され、切り欠きの底部から-8cmの深さになった。洲は棧2-3 (棧3-4) 間で前縁を張り出す形で形成され、切り欠き底部から2cmの高さになった。表面流速の分布をFig.11に示す。瀬は、棧3の切り欠き部分に集中する流れによって形成され、約60cm/sとなった。淵の流れは約20cm/sとなった。

Case 4の水路床の形状をFig.12に示す。淵はCase 3とほぼ同様の深さと範囲で形成された。洲は棧の間隔が狭くなったため、Case 3よりも範囲が小さくなった。その分、波高が2cm程度高い状態で形成された。表面流速の分布をFig.13に示す。Case 2とほぼ同じ分布、流速となった。

Case 3, 4では、淵の深さと範囲から、水路床の侵食の程度はほぼ同様であると判断できる。一方、棧の間隔が異なることで洲の波高と範囲に変化が生じたが、堆積の程度はほぼ同様であると判断できる。よって、Case 1, 2と同様に、棧2-3 (棧3-4) 間で侵食と堆積の収支

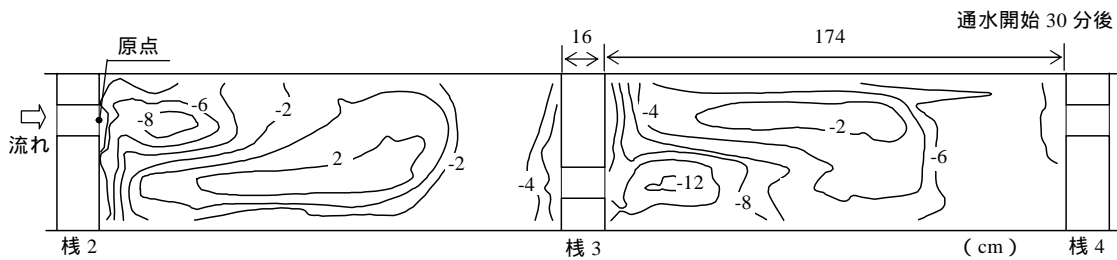


Fig. 10 水路床形状 (Case 3)  
Shape of canal bed (Case 3)

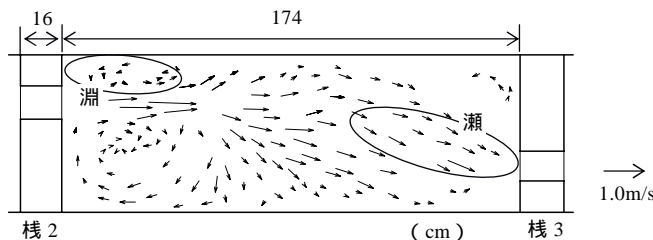


Fig. 11 表面流速分布 (Case 3)  
Flow velocity (Case 3)

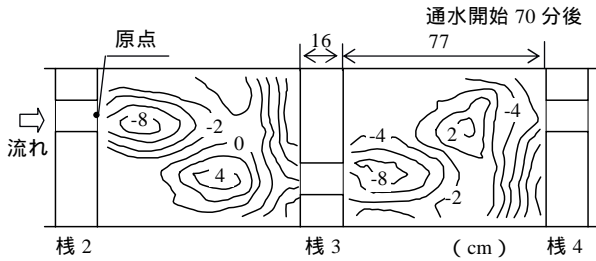


Fig. 12 水路床形状 (Case 4)  
Shape of canal bed (Case 4)

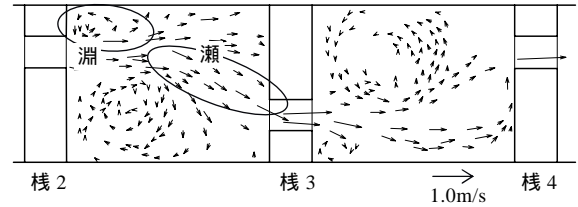


Fig. 13 表面流速分布 (Case 4)  
Flow velocity (Case 4)

が一定に保たれる状態で瀬や淵、洲が形成され、水路床が安定することが確認された。また、Case 1, 2と比較して、洲が水路幅を横断的に発達する形状となったのは、上流から一定量の流砂が流入したためと考えられる。

3 流砂量が変動する場合 (Case 5, Case 6)

Case 5の水路床の形状をFig.14に示す。通水初期は、交互砂州が棧や切り欠きを乗り越えて移動し、淵や洲の形状は明確に現れなかった。通水後期になると、水路床形状が安定し、深さや波高は小さいが淵や洲が形成された。表面流速分布をFig.15に示す。水路床形状の凹凸が小さいことから、流速の多様性に乏しいが、60cm/s程度の瀬の流れや20cm/s程度の淵の流れが見られた。

Case 6の水路床の形状をFig.16に示す。通水時間を通じて交互砂州が移動し続けたため、水路床は安定せず、淵や洲の形状は明確に現れなかった。表面流速分布をFig.17に示す。流れ(60cm/s以下)が切り欠きに集中せず、拡散する傾向が見られた。

Case 5では、通水後期になると棧や切り欠きの影響が卓越し、瀬や淵、洲が形成されたが、Case 6では通水時間を通じて交互砂州の影響が卓越し、水路床形状は安定しなかった。よって、瀬淵工法では棧の間隔を交互砂州の半波長とするのが適当であると考えられる。これらの結果は、三輪(1980)が検討を行った交互砂州を安定化させる天バ傾斜ゼキの機能とほぼ同じであることを示している。

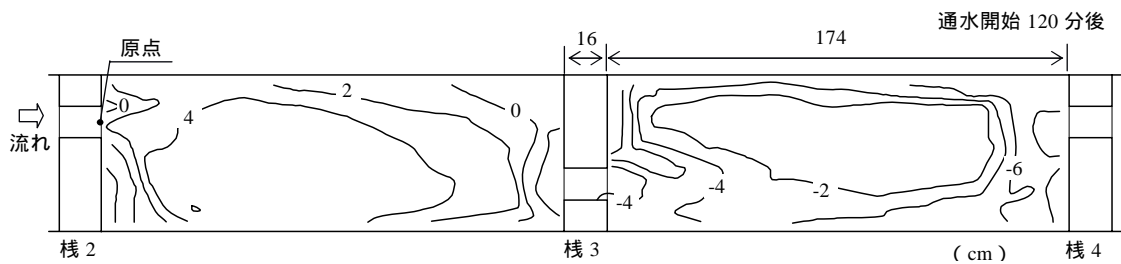


Fig. 14 水路床形状 (Case 5)  
Shape of canal bed (Case 5)

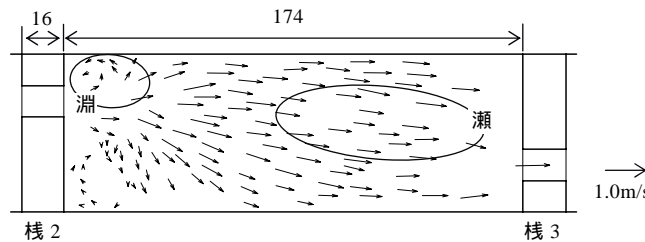


Fig. 15 表面流速分布 (Case 5)  
Flow velocity (Case 5)

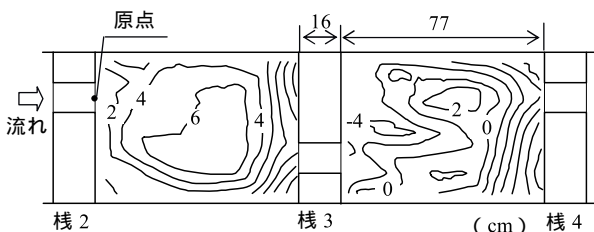


Fig. 16 水路床形状 (Case 6)  
Shape of canal bed (Case 6)

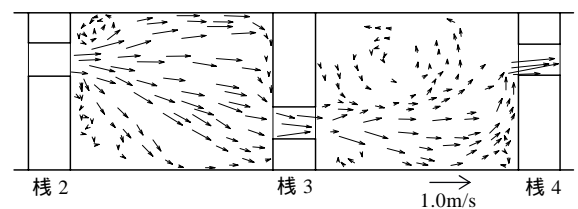


Fig. 17 表面流速分布 (Case 6)  
Flow velocity (Case 6)

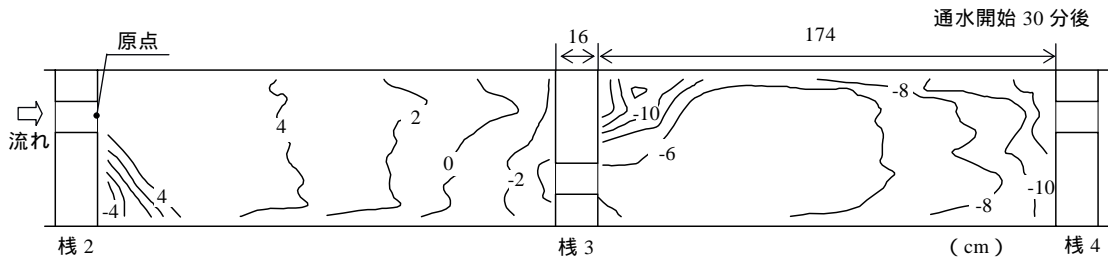


Fig. 18 水路床形状 (Case 7)  
Shape of canal bed (Case 7)

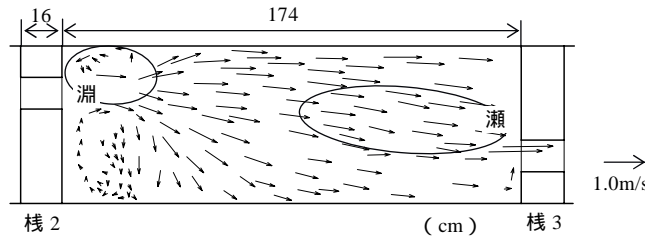


Fig. 19 表面流速分布 (Case 7)  
Flow velocity (Case 7)

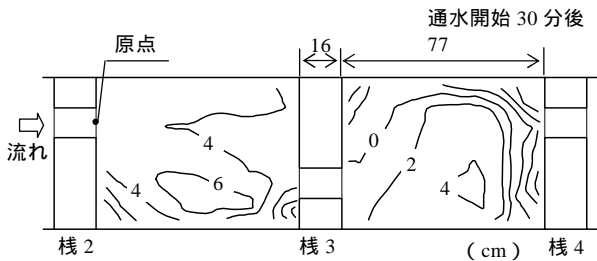


Fig. 20 水路床形状 (Case 8)  
Shape of canal bed (Case 8)

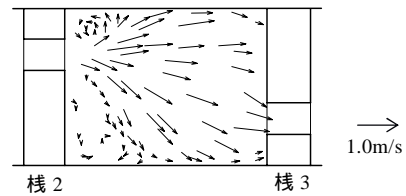


Fig. 21 表面流速分布 (Case 8)  
Flow velocity (Case 8)

4 水路勾配が変化する場合 (Case 7, Case 8)

Case 7の水路床の形状をFig.18に示す( 通水停止時に底質が流出し、洲の前縁が崩れて淵が埋められたため、測定した地形は実際よりも平坦化している)。Case 5と同様に、通水初期は水路床形状が安定しなかったものの、通水後期は水路床形状が安定し、淵や洲が形成された。また、勾配が急になり掃流力が大きくなったために底質が流され、Case 5に比べて水路床全体が2cm程度低下した。表面流速分布をFig.19に示す。Case 5とほぼ同じ分布となったが、瀬の流れは80cm/s程度と速くなった。

Case 8の水路床の形状をFig.20に示す。Case 6と同様に、水路床形状は安定しなかった。また、水路床はCase 6よりも2cm程度低下した。表面流速分布をFig.21に示す。ここでもCase 6と同様に、流れ(70cm/s以下)は切り欠きに集中せずに拡散する傾向が見られた。

このように、勾配が急になることで、水路床が全体的に侵食され、流れが速くなったが、瀬と淵、洲の形成過程に変化はないと判断できる。

結 言

水路内に瀬や淵、洲を形成させる瀬淵工法について、上流からの流砂量を変化させた実験を行い、棧と切り欠きの機能や適当な棧の間隔などについて以下の知見が得られた。

- 1) 流砂量が0の場合、柵渠の棧につけた切り欠きの影響が最も大きく、水路床は安定し、瀬や淵、洲が形成された。
- 2) 流砂量が一定の場合、棧や切り欠きの影響によって、水路床は安定し、瀬や淵、洲が形成された。
- 3) 流砂量が変動する(交互砂州の流入による)場合、棧や切り欠きの影響よりも交互砂州の影響が卓越する状況が見られ、水路床は安定しなかった。
- 4) 3) について、棧の間隔を交互砂州の半波長の長さ に設定すると、一定時間後に水路床は安定し、瀬や淵、洲が形成された。
- 5) 水路を勾配1/50から1/25に変化させて実験を行った結果、勾配1/50の時に比べて水路床が全体的に侵食されるものの、瀬や淵、洲の形成過程に変化はないと判断された。

また、実験で得られた瀬淵工法の流速分布は瀬で50～80cm/s、淵で20cm/s以下となった。底生魚の代表種であるドジョウの突進速度は100～130cm/s、巡航速度は10～20cm/sであることから（農士学会，2004），瀬淵工法により生じる流速分布は，ドジョウが生息可能な範囲内であると判断できる。

#### 参考文献

- 1) 端憲二（1999）：小さな魚道による休耕田への魚類遡上試験，農士誌，65(5)，P.497-502
- 2) 鈴木正貴・水谷正一・後藤章（2000）：生態系保全のための小規模水田魚道の開発，農士誌，68(12)，P.19-22
- 3) 三輪浩・大同敦之・横川純（2004）：水みちの変形と交互砂州の形成過程，水工学論文集，48，P.1021-1026
- 4) 農業土木学会（2004）：環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の手引き1 - 基本的な考え方・水路整備 - ，p.69,P.173
- 5) 村本嘉雄・藤田裕一郎（1978）：中規模河床形態の分類と形成条件，第22回水理講演会論文集，P.275-282
- 6) 三輪弑（1980）：天バ傾斜ゼキによる砂レキ堆の安定化に関する実験，農士論集，85，P.42-48

## Experiment of drainage canal bed variation in environment-conscious method

MUKAI Akie, TANAKA Yoshikazu, SHIMA Takeo, TARUYA Hiroyuki and NAKA Tatsuo

### Summary

In case concrete lining canals are constructed in the sloping land, flow quickens and the bottom sediment is run. For aquatic organisms, it is difficult to inhabit. A new environment-conscious method is developed to make riffles and pools, sandbank artificially in the drainage canal which consists of concrete arms, panels and sediment. The method is making stagger patterned notches in arms. The effects of the method were verified by hydraulic experiments. These hydraulic experiments were conducted with the concrete canal which has 0.6-m wide, 0.7-m height, 50-m long, and 0.05 to 0.02 grades. The wood patterns imitated as arms were installed on the bottom of canal and sand with a  $d(50)$  of 0.054mm was laid 0.2-m thick. The discharge was set 3.8 to 5.0-l/s. Canal bed variation by the difference in bed-load transport rate was determined. The results indicate that as no bed-load transport rate, effect of the notches in arms the most greatly appeared. Therefore, canal bed was stabilized, riffle and pool, sandbank was formed. The results also indicate that as changing bed-load transport rate (by the inflow of the alternate bar), effect of the alternate bar the most greatly appeared. Therefore, canal bed was not stabilized. As an exception, if interval of the arm is set at the length of the half-wave length of alternate bar, canal bed was stabilized, riffle and pool, sandbank was formed.

Keywords : drainage canal, slope land, environment-conscious method, riffle and pool, canal bed variation