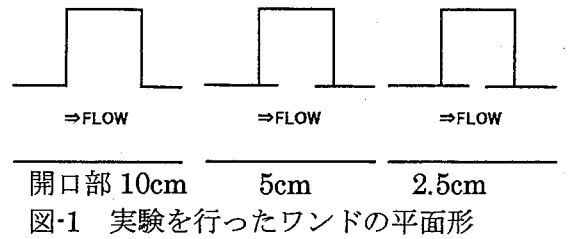


PI-27 人工ワンド近傍の流れと土砂流入

神戸市立工業高専 ○日下部重幸・辻本 剛三
鳥取大学工学部 道上 正規・檜谷 治
京都大学農学研究科 藤田 正治

1.はじめに：多自然型川づくりを意識した河川改修が各地で行われている。そこでは、魚類や水生生物の生息、植生などを考慮したさまざまな手法が取り入れられてきている。人工ワンドもそれらの一つであり、うまく機能すると種々の効果が期待できるものと思われる。人工ワンド近傍の流れや堆砂についての研究はいくつか行われているが^{1)~5)}、計画に際しての十分な指針を与えるまでには至っていない。本報告は、前報⁶⁾に続いて比較的勾配の急な河川に人工ワンドを設置した場合を想定して、中小洪水時の流速分布と土砂流入について実験を行い、前者については数値計算による再現計算を試み、後者については植生の影響を調べたものである。

2.実験方法：実験装置は、図-1 のように本流部幅 10cm、ワンド部 10cm×10cm のものを勾配可変開水路内に組み込んだ。全幅の開口部 10cm を有するものと、開口部を 5cm および 2.5cm と狭くしたものの 3 種類とした。



実験は、固定床でのワンド周辺の流速分布および移動床でのワンド内への砂の流入状況を測定した。固定床での流速分布の測定は、PIV(Particle Imaging Velocimetry)法を用いて行った。

水路縦断勾配 i は 1/100 および 1/50、流量 Q は 3.4 l/s で、本流部は常流($Fr=0.7$)および射流($Fr=1.1$)である。

移動床の実験は、本流部およびワンド内の水路底にはほぼ一様な粒径 $d_{50}=1\text{mm}$ ($\sigma/\rho=2.65$)の砂を厚さ 3cm に敷き詰め、上流端で平衡流砂量を給砂した。水理条件は固定床と同様である。通水開始時から側面より観測し、堆砂高が定常状態に達した後、給水を停止して平面的な高さを測定した。前報では、ワンド開口部の位置を中央、上流側、下流側と変化させて実験を行い、開口部の位置と大きさが土砂流入に影響することを示した。また、開口部の位置と大きさによってワンド内の流速分布の変化も見られた。そこで、今回はワンド内の流速が土砂流入特性に与える影響を見るため、ワンド内に円柱の植生模型(密度 0.009)を挿入し、その影響について調べた。

3.計算方法：基礎式は、静水圧近似を施した平面 2 次元で、連続式 (1) と運動方程式 (2) により表される。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(\beta u M)}{\partial x} + \frac{\partial(\beta v M)}{\partial y} + gh \frac{\partial h}{\partial x} = gh \sin \theta - \frac{f}{2} u \sqrt{u^2 + v^2} + \frac{\partial(-\overline{u^2}h)}{\partial x} + \frac{\partial(-\overline{u'v'h})}{\partial y} + \nu \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(\beta u N)}{\partial x} + \frac{\partial(\beta v N)}{\partial y} + gh \frac{\partial h}{\partial y} = -\frac{f}{2} v \sqrt{u^2 + v^2} + \frac{\partial(-\overline{u'v'h})}{\partial x} + \frac{\partial(-\overline{v^2}h)}{\partial y} + \nu \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right\}$$

ここに、 h :水深、 t :時間、 x :流下方向、 y :横断方向、 N, M : x, y 方向の流量フラックス、 u, v : x, y 方向の流速、 β : 運動量係数、 g :重力の加速度、 θ :水路床勾配、 f :摩擦損失係数、 ν :動粘性係数、 $-\overline{u'v'h}$:水深平均されたレイノルズ応力テンソル (i, j は 1, 2 の値をとり、 x, y 方向を意味する) で、

$$-\overline{u_i u_j} = \alpha \nu^* \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad , \quad \nu^* : \text{摩擦速度、} k : \text{水深平均乱れエネルギー、}$$

α : 定数、 δ_{ij} :クロネッカーの記号である。計算は、スタッガード格子を用い揚形式で行った。

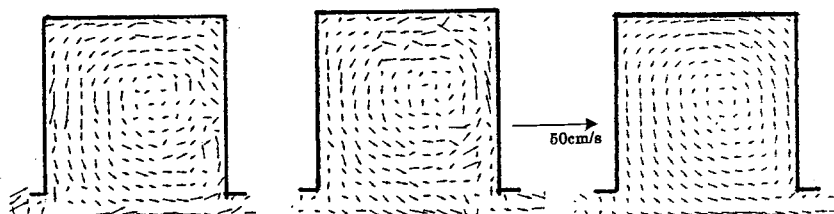


図-2 実験による流速分布 (左:瞬間、中:瞬間、右:平均)

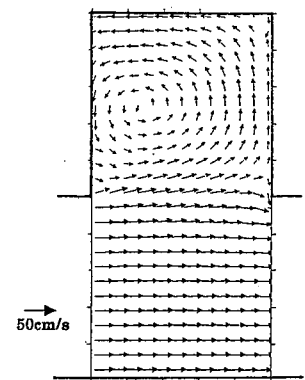


図-3 計算による流速分布 (瞬間)

4.固定床の実験・計算結果： 固定床におけるワンド内の流速は、開口部 10cm の例について図-2に示すように、平面的に見ると、反時計方向に回転する流れが計測され、従来の研究^{1),2)}で指摘されているように、回転中心は若干下流奥に位置するが、詳細に見ると瞬間的な流速分布は時間的に変動している。図-3に同条件についての計算結果として、流速分布の瞬間値を示す。回転中心や流速に若干差はあるものの、実験結果と同様に時間的な変動も得られ、妥当な係数の値を与えれば流速分布は、ほぼ再現出来るものと思われる。

5.移動床の実験結果： 移動床の実験では、上流端で平衡流砂量を給砂して、ワンド内への砂の流入状況を測定した。前報で示したように、開口部の位置と大きさによって流入土砂量に変化する。本報では、ワンド内に図-4のような千鳥状配置で、直径 3mm の円柱状植生模型を挿入し、植生が有る場合と無い場合について実験を行った。

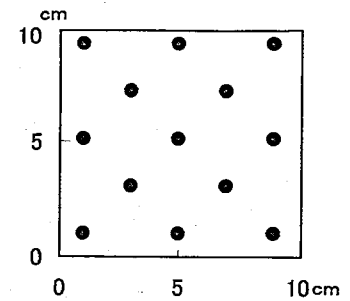
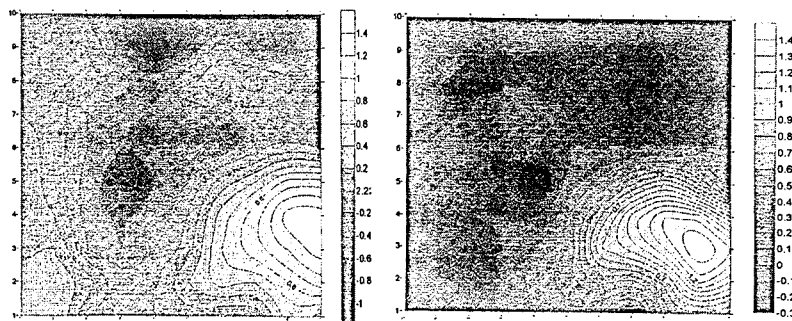


図-4 ワンド内の植生配置

流量 $Q=3.4\text{ l/s}$ 、水路勾配 $i=1/100$ および $1/50$ 、開口部 10cm、5cm および 2.5cm について実験を行い、定常状態に達した後のワンド内の堆砂高を計測した。 $i=1/100$ 、開口部 5cm の場合の実験結果を示すと、図-5 のようである。植生のない場合は、下流側手前に堆砂し、中央上流側および中央奥で洗掘が見られる。流入土砂の総量としては、若干洗掘傾向にある。植生の有る場合は、下流側手前に堆砂するが、他の部分での河床変動が小さく洗掘深も浅いので、流入土砂の総量としては、若干堆積傾向にある。

水路勾配 $i=1/100, 1/50$ 、開口部 10cm、5cm および 2.5cm の結果と合わせて流入土砂の総量について示すと、図-6 のようである。流入土砂量は、水路勾配 $1/100$ より $1/50$ の方がかなり多くなっている。しかし、全体的に見ると植生による流入土砂量の影響はあまり見られなかった。 $(i=1/50$ の開口部 2.5cm では、入り口中央付近に植生の 1 本があり、この局所的な影響で土砂流入が特に多くなったものと思われる。)



⇒ FLOW
(植生無 単位 cm)

⇒ FLOW
(植生有 単位 cm)

図-5 ワンド内の堆砂高 ($i=1/100$ 、開口部 5cm の例)

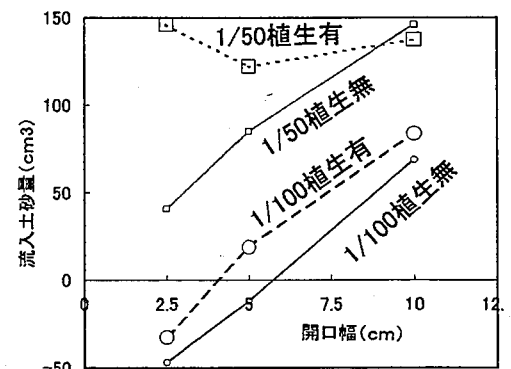


図-6 植生・勾配・開口幅による流入土砂量

6.おわりに： 固定床におけるワンド近傍の流速分布について、実験と再現計算を行い、係数など細部について検討の余地はあるが、流速分布の傾向は再現できることが分かった。流速分布の詳細な測定と、再現計算時の妥当な係数の与え方などについては、今後の課題である。土砂の流入については、まだ十分な実験データは得られていないが、今回対象としたようなワンドの前面を掃流状態で土砂が流される場合、開口部の幅や形状によっていくらか差があるものの、ワンド内への土砂流入量は比較的多くなると思われる。また、ワンド内に植生を挿入してワンド内の流速を遅くしたが、流入土砂量にはあまり変化が見られなかった。ワンド内への土砂流入は、ワンドの入り口形状と主流部の流れとの関連が強いものと思われる。人工ワンドを計画する場合、流入土砂を促進すべきか否かは現地の状況や設置目的によって決まる。したがって人工ワンドの計画に際しては、中小洪水を含めた洪水流れの予測を行った上、目的に合ったワンドの形状を計画すべきであると思われる。これらの点についても今後実験データを増して、さらに検討を続けたい。

謝辞：実験に協力していただいた神戸高専学生；山崎健司君に感謝の意を表します。

参考文献： 1) M.A.Jail, Y.Kawahara, N.Tamai, K.Kan: Experimental Investigation of Flow in Embayment, Proceedings of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.37, 503-510, 1993. 2) 木村・細田・友近：死水域を伴う開水路流れの非定常振動特性、水工学論文集、第 38 巻、pp.425-430, 1994. 3) 中川・河原・玉井：ワンド内の流れの水理特性に関する実験的研究、水工論文集、第 39 巻、pp.595-600, 1995. 4) 山坂昌成：ワンド内への土砂堆積防止法に関する研究、土木学会第 53 回年次学術講演会、pp.680-681, 1998. 5) 日下部・辻本・福田・道上・檜谷・藤田：人工ワンド内への土砂流入特性、平成 12 年度砂防学会研究発表会概要集、pp.332-333, 2000.