

開水路弯曲部における水流の流下方向への変化について

立命館大学 理工学部 正会員 小沢 功一

1. はじめに 開水路弯曲部における水流には遠心力が作用するために、流れに螺旋流の要素が入ってくる。そのうちの水平横断方向への成分に着目するとき、それは弯曲部を流下するにつれて大きさ等が変化してくる。

弯曲部の前後に直線部が接続しているような水路の場合、その二次流は直線部から弯曲部へ入った当初の位置から発生し徐々に発達してくる。そして弯曲部を過ぎて直線部を流下するにつれてそれは衰退してくる。

一般河川の曲線部においても同様に二次流が存在する。水平横断方向成分の向きは河床付近で外岸から内岸へ向っている。その二次流によって河床の土砂は外岸側から内岸側へ運ばれることになる。したがって外岸側に深掘れ部が生ずることもある。

このように河道の曲線部では土砂の横断方向への移動が起るため、河道が不安定となりやすい。二次流の発生・発達・衰退の状況を把握することによって河道安定のための基礎資料を得ることが出来るものと思われる。

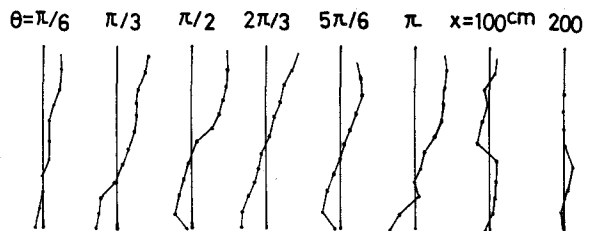
2. 二次流 水平横断方向の二次流成分については、水路幅や曲率半径が水深に比較して相当大きい水路の中央部におけるものを対象としている。

直線部から弯曲部へ流入するとこの二次流が発生し徐々に発達する。そして完全に発達した状態においては、水流は流下方向へ変化しないものとする。そして流れが直線部へ出ると二次流はやがて衰退してくる。

これらの二次流が発達・衰退するに必要な水路長については、半径方向の運動方程式を簡便化することによってその概略値を求め $\theta = \pi/6 \quad \pi/3 \quad \pi/2 \quad 2\pi/3 \quad 5\pi/6 \quad \pi \quad x=100\text{cm} \quad 200$ 関係式が得られる。弯曲部における水面の横断勾配は流下方向へ一様である等の仮定をすると、発達するのに要する水路長を求める基礎式と衰退するのに必要な水路長を求める式とは同型となる。

二次流が完全に発達する近に必要な水路長については、横断方向の運動方程式を積分して得られる計算式によるものと実験値とを比較して検討を行なった。

今回は二次流が衰退するのに要する水路長について検討した。概略値を求める式から得られたその値を実験的に確かめようとした。すなわち弯曲部とその出口からの直

図-1-1 二次流の変化 ($Q = 4.55 \text{ l/s}$)図-1-2 二次流の変化 ($Q = 9.3 \text{ l/s}$)

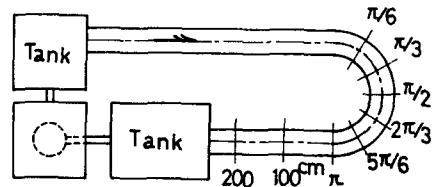
Koichi OZAWA

線部とも流下する水流の二次流について、水路中央における鉛直分布を適当な間隔で測定した。衰退するのに必要な水路長の位置までには二次流はほとんど衰退していることも実験的に確認しようとした。

3. 実験的検討 弯曲部およびその後の直線部を水流が流下する際二次流がどのように変化するかを示すと図-1のようである。比較のために流量が4.55 l/s、9.3 l/sの二通りについて示してある。鉛直線より左の部分は内岸向きの流れであり、右の部分は外岸向きの流れである。測定断面については、図-2のような水路において弯曲部では30度づつの位置、それに続く直線部では1mごとの位置の水路中央で測定した結果である。

鉛直方向には5mm間隔で10点程度測定した。弯曲角が120度の断面での二次流の鉛直分布の測定値を計算値と比較すると図-3のようである。この測定値は図-1-2における対応断面のものと同じである。計算値としては二次流の完全発達域での値として、次のような式によって得られたものである。

$$\frac{v_r}{v_m} = \frac{1}{k^2} \frac{h}{t} \left(\int \frac{2 \ln \eta}{\eta - 1} d\eta - \frac{\sqrt{g}}{kC} \int \frac{\ln^2 \eta}{1 - \eta} d\eta \right) \quad \text{①}$$



ここに、 v_r は二次流、 v_m は主流の鉛直方向についての平均値、 k はKarman定数、 h は水深、 t は曲率半径、 η は鉛直方向の無次元座標、 C はChézy式の係数を示している。

二次流が衰退するのに要する水路長については、横断方向の運動方程式を単純化し積分すると得られる。弯曲部から直線部に接続している位置を原点としてその結果を示す次のようである。^{1), 2)}
 $x = (2.3h / 2k)(C / \sqrt{g}) \quad \text{②}$ この概略値は、完全発達域における二次流の大きさの1割程度にまで衰退するのに必要な水路長の値として得られている。

4. おわりに 河道曲線部には二次流が発達し、それによって河床の土砂が横断方向に運ばれる。この方向には土砂の補給が円滑にはなされないで、外岸側が洗掘され河道の安定上不都合な事も生じやすい。弯曲部において二次流が発生し発達、衰退する状況は水路実験によると図-1のようである。すなわち直線部から弯曲部へ流入するにしたがい、比較的急激に発生・発達し、下流の直線部での衰退は徐々に行われようである。二次流が弯曲部を流下して完全に発達するまでの弯曲角は図-3からも明らかなようにこの場合、150度程度と見られる。これは式②と同型の計算式からの概略値ともよそ一致することは既に示した。¹⁾ 下流の直線部で二次流が衰退するのに必要な水路長を、図-1の場合の実験条件である下流直線部の平均水深3.44 cm、5.02 cmの値を式③に代入して求めると145 cm、210 cm程度となる。図-1の最下流の実験結果の断面が200 cmの位置であるから、計算式からほぼ妥当な値が求められたと言える。

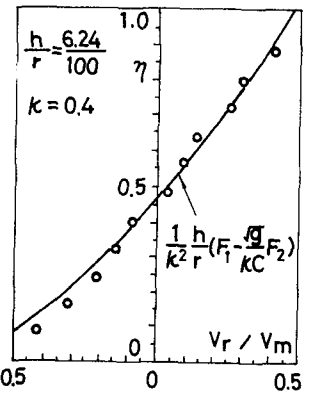


図-3 二次流の鉛直分布

参考文献 1) 開水路弯曲部において二次流が発達するのに要する水路長、2) Flow of Water in Bends of Open Channels.