

○ 京都大学防災研究所 正員 宇民 正
 〃 〃 〃 上野 鉄男

1. 研究の目的

平滑な固定床をもつ一般的な開水路において、その横断方向に一定の高さの障害物を設けた場合、水路側面近傍を除けば幾何学的な境界条件はいくまでも二次元的である。それにもかかわらず、障害物周辺の流れは三次元的な特性を示すことが認められる¹⁾。本報告の目的は、このような二次元的な幾何学的境界条件の下で発生する流れの三次元的な特性を明らかにすることにある。

実験は、まずこのような特性をもつ流れの基本的なパターンを把握しようとする立場から、低レイノルズ数の下でさらに水深およびそれに対する段上り(潜り)の高さの比を比較的大きくした条件の下で行なった。低レイノルズ数としたのは、このような流れの三次元的な特性は低周波数領域の乱れ特性に基づくものと考えたためであり、同時に低レイノルズ数の下では水素気泡法による流れパターンの把握が比較的容易であるからである。段上りおよび水深を大きくしたのは、三次元的な流れの発生スケールを大きくしてその現象把握を容易にしようとしたためである。

2. 実験条件および方法

水中に若干のグリセリンを混入して動粘性係数を 0.0127 poise (25.5°C) とし、かつ接近流も図-1の実線で示されるような低流速として実験を行なった。実験水路は幅 20 cm で勾配は $1/500$ に設定されており、その $1/3$ 中程に高さ 5 cm の段上り(潜り)板を設けた。水路の下流端を上げたため、段上り部付近での水深は 8.3 cm でほぼ一定である。実測は段上り部前方の流れに関して、水素気泡法を用いて行なわれた。すなわち、白金線の陰極を段上り部直前方およびそれより約 15 cm 上流側にそれぞれ水路横断方向かつ同一の高さに張り、そこから流下する水素気泡列が描く模様を水路の下から写真撮影した。写真1はその一例で、白金線は段上り部より上流側 15 cm および 15 cm で水路床からの高さ 2 cm の位置に設置されている。

3. 三次元的な流れの発生機構

先に示した写真撮影結果をけじめとする一連の実測から次のことが明らかになった。すなわち、

- ① 段上り部の直前方には図-2に示されたようなU字型の軸をもつ渦がいくつか連なっている。この渦軸の位置は水路横断方向にゆっくり変動しており、しかもこの渦にまかれた流体は渦軸のまわりの回転運動と同時に渦軸に沿った方向の流速成分をもつて段上り部を越える位置に導かれている。
- ② 水路横断面内の接近流速分布は水平方向に一様ではなく、いくつかのくねれた部分を有している。このようなくねれは段上り部を設けたために発生したものではなく、主流の中に既に存在していたものと考えられる。実際、図-1に示されている接近流の流速分布は、段上り部を除き一様流の条件の下で実測された結果を示したものであるが、その状態の下でも同様にくねれが認められた。すなわち、くねれてない部分の平均的な流速分布は図-1の実線のようになるが、くねれ

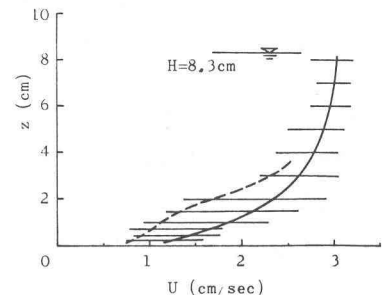


図-1 接近流の流速分布

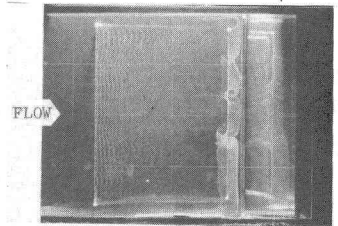


写真-1 水素気泡法による流れパターンの実測例

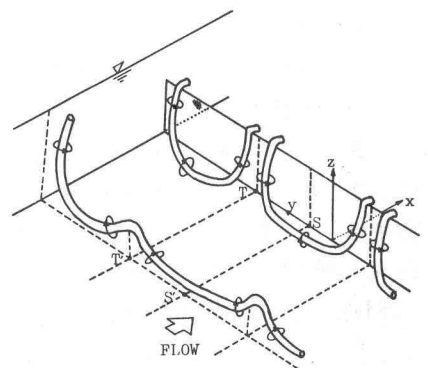


図-2 三次元的な流れの発生機構の概念図

た部分での流速分布はたとえば図-1の破線のようになる。

③ 段上り部の直前方のU字型渦軸が立上っている位置(図-2ではTで示されている)は、接近流の流速分布がくびれている位置と対応していることが一連の写真から認められた。すなわち両者共に時間の経過とともに水路横断方向に変動しているから、それらは互に対応して変動していることが認められた。

④ 図-1中の水平方向に引かれた線分は、接近流速分布中のくびれの位置の変動にもなう接近流速の変動範囲を示しているが、この図から接近流中のくびれは水路床面から2cmまでの高さで顕著に現われることが認められる。

⑤ 接近流中に含まれる渦度 ω の水路横断面内での重心の高さ $z_g = \int_0^H \omega z dz / \int_0^H \omega dz$ は、接近流がくびれている位置で若干高い位置になり、その状態は図-2のように概念的に示される。

⑥ 以上の実験結果および考察をまとめると、段上り部直上流の横方向に連続した若干のU字型渦運動で特徴づけられる3次元流的な流況は、接近流中に既に含まれている一定の分布特性をもつ渦度の変形過程と考えられる。

4. U字型渦り内部機構

段上り部直前方のU字型渦の特性は、図-2のTT'を通る鉛直面とSS'を通る鉛直面との間に含まれる流れの場の部分を1つの単位として変化していると考えてよいであろう。もちろんこれら2つの面の位置は時間的に変動しているが、各面内およびその近傍の流況はたとえば図-4に示されるようにありあり変化しないのである。

そこでつぎにこれら2つの面に挟まれた領域内の流れの概略的なパターンを明らかにする。すなわち、図-5は単位領域の境界面(TT'を通る鉛直面、段上り部の前面、水路床面)における流線パターンを示したものであり、PおよびRの位置に結節点、Qの位置に鞍形点が生じることがわかる。以上の実験およびそれに関する考察に基づいて、単位領域内の3次元流的な流線パターンの概念図を示すと図-6のようであると考えられる。本図は、段上り部の直前方の渦運動の領域は閉領域ではなく、渦を構成する流体は主流のうち水路床近傍の部分から供給されているという興味ある現象を示している。さらにこのような現象が橋脚前方の馬蹄型渦²⁾と類似していることが指摘され、このことから、段上り部前方の渦運動も主流中に含まれていた渦度が算中させられた結果発生するものと推察される。

参考文献 1) 上野鉄男: 波状路床上の流れの路床近傍の流況特性について, 土木学会年報 II-149, pp. 326-327, 1974.
2) 宇民正: 層流実験に基づく橋脚前面の渦所流の研究, 土木学会論文報告集, 第228号, pp. 65-76, 1974.

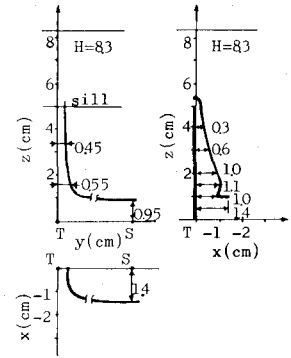
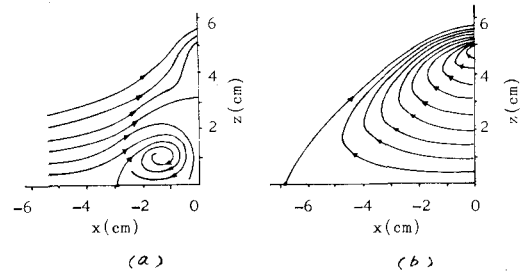
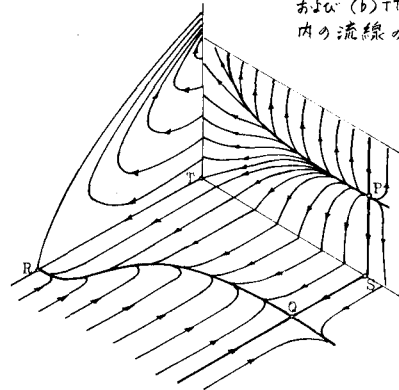


図-3 渦軸の位置の立面図および平面図



↑ 図-4 (a) SS'を通る鉛直面および(b) TT'を通る鉛直面内の流線のパターン



← 図-5 単位領域の境界面上の流線パターン

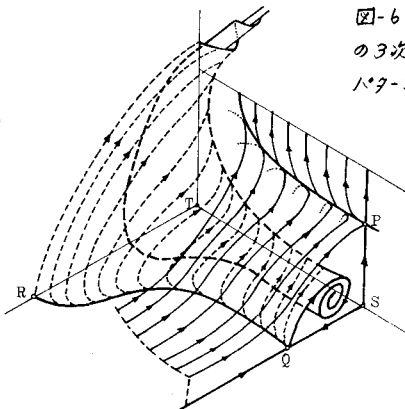


図-6 単位領域内の3次元流的な流線パターンの概念図