

構造物前面の局所流と大規模乱流構造との関連について

京都大学防災研究所 正員 今本 博 健
 京都大学防災研究所 正員 宇 民 正
 京都大学防災研究所 正員 上 野 鉄 男
 鹿 島 建 設 正員 ○日紫喜 剛 啓
 大 成 建 設 正員 仲 井 公 哉

局所流については従来より内部構造も含めて多くの研究がなされているが、多くの場合接近流に含まれる横断方向の流況変化は無視されている。しかしながら、実際の河川流には並列らせん流のような大規模乱流構造が存在し¹⁾、局所流の特性に影響を与えるものと考えられる。そこで、本研究は局所流と大規模乱流構造との関連を解明するための基礎として、境界条件が横断方向に一樣な段上り部を1モデルとし、主として前面の渦構造の特性および大規模乱流構造との関連について水素気泡法を用いた計測より実験的に検討したものである。

1. U字型渦の平均スケール； 流れの可視化による一連の計測の結果、段上り部直前方には図-1の模式図で示されるようなU字型の軸をもつ渦が形成され、3次元流況を示すことが認められた。この渦はU字型渦と名付けられ接近流の低速縞(Low Speed Streaks)との対応が推測されているが²⁾、ここではまずU字型渦の平均スケール $\bar{\lambda}_u$ と段上り高さ Z_0 との関係について検討する。

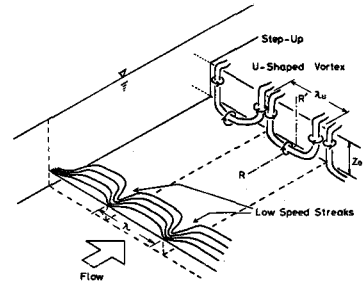


図-1

図-2は3種の R^* ($=U_*H/\nu$; U_* :摩擦速度, H :水深, ν :動粘性係数)の流れについて、 Z_0 と $\bar{\lambda}_u$ との関係をそれぞれ H で無次元化して示したものであり、図-3は U_* と ν により無次元化して示したものである。これらの図より、いずれの R^* の流れにおいても Z_0/H および Z_0^*/H の増加とともに $\bar{\lambda}_u/H$ および $\bar{\lambda}_{u^*}$ が増加する傾向が認められる。また、 Z_0^* が小さくなるにつれ R^* に関係なく急速に $\bar{\lambda}_{u^*} \approx 100$ に近づくようすがわかれるが、 Z_0^* が大きくなると R^* により異なった傾向を示すことがわかる。このことは、 Z_0 が粘性底層の厚さのオーダーになると $\bar{\lambda}_u$ は内部パラメータに規定されるが Z_0 が大きくなると内部パラメータにより一義的に規定されなくなることと意味し、接近流の低速縞の平均スケール $\bar{\lambda}$ と類似した特性である³⁾。このように、横断方向に一樣な段上り部であるにもかかわらずU字型渦ができ横断方向に現象が変化するという特性が見い出され、物理的に妥当な説明を与えるためには接近流の構造との関係を明らかにする必要がある。

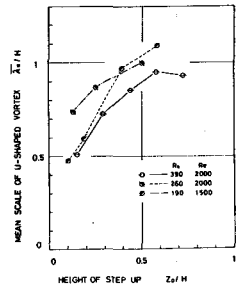


図-2

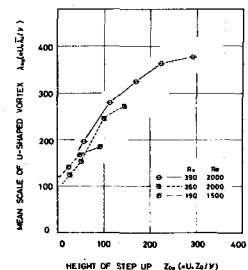


図-3

2. 低速縞とU字型渦との対応性； 図-4は $R^*=190$ の流れにおける接近流の低速縞の平均スケール $\bar{\lambda}/H$ と Z/H の関係ならびに同水理条

件下で z_0 を変化させた場合の $\bar{u}/H$ と z_0/H との関係と同時に示したものである。この図より、ある z_0 に対応する $\bar{u}$ の値はその z_0 のほぼ 0.4~0.5 倍に等しい高さ z の $\bar{u}$ の値とほぼ一致していることが認められ、このことは、 $\bar{u}$ が z_0 の 0.4~0.5 倍の地点の接近流の構造に規定されることを意味する。また、路床に稜粗度を適切に配列すると二次流が安定するという従来の成果⁴⁾を応用し、上記とほぼ同じ水理条件において二次流が安定する場合 (Controlled) および通常の場合 (normal) について低速縞の位置および U 字型渦の境界の位置の横断方向の相対度数分布を示したものが図-5 であり、図中の矢印は稜粗度の配置を示している。この図より、低速縞の分布が稜粗度の位置に集中すると U 字型渦の境界もそれにほぼ対応した位置が発生し、U 字型渦の渦軸の立ち上り部分は接近流の低速縞を要因とするものと言えるが、どの程度の強さの低速縞により形成されるかといった問題が今後の課題である。

3. U 字型渦の内部構造； 上記とほぼ同様の水理条件で路床に稜粗度を配列し、U 字型渦の位置を安定させるという手法を用いて図-1 の R-R' 断面に相当する断面の流線パターンを示したものが図-6 であり、図-7 は実測された流速分布より計算された渦度の Y 方向成分 $\omega_y (= \partial U / \partial z - \partial W / \partial x$ ；U：流速の X 方向成分、W：流速の Z 方向成分) と同じ断面内の接近流の U および ω_y の分布と、図-8 は二次元発散 $-(\partial U / \partial x + \partial W / \partial z)$ の分布を示したものである。これらの図より、渦を構成する流線は主流から連なっていること、 ω_y および二次元発散の値は渦軸に近づくに従って急激に増大していることが認められる。これらのことは U 字型渦が接近流のうちの水路床近傍の部分の流体を巻き込むことにより構成され、その巻き込み過程は接近流中に存在する渦度が段上りという障害物により集中せられる過程と一致し、渦の内部の流体はらせん運動をしながら両端の渦軸の立ち上り部分に吸い込まれることを意味している。このような機構は橋脚前面の馬蹄型渦と同様であり、横断方向に一樣な段上り部においても局所流は 3 次元のとなっておりことは注目すべきことと言える。

参考文献

- 1) 木下良作；河理測量, Vol. 6, No. 1, 1967. 2) 宇良正・上野鉄男；防災研年報, 第 19 号 8-2, 1976.
- 3) Kline, S. J.；J. Fluid Mech., Vol. 30, 4) 宇良正・上野鉄男；京大防災研年報, 第 20 号 8-2, 1977.

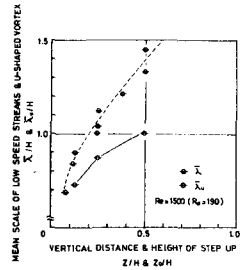


図-4

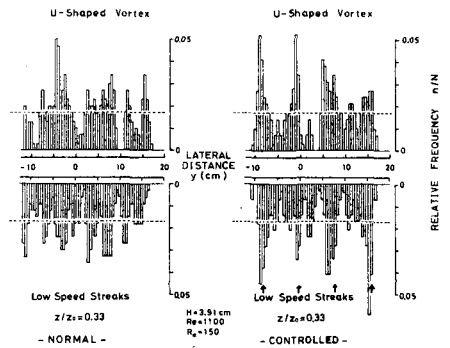


図-5

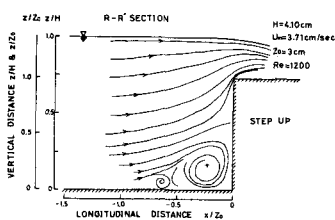


図-6

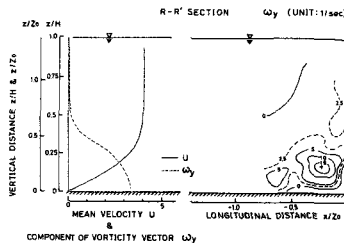


図-7

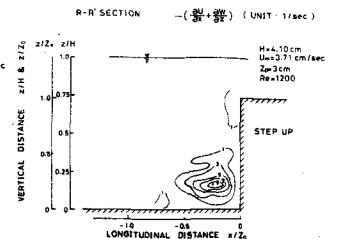


図-8