

II-175 斜面上を流下する鉛直渦と上昇流

- 東京大学工学部 正員 池田裕一
- 清水建設（株） 正員 大迫一也
- 東京大学工学部 正員 玉井信行
- 東京大学工学部 正員 浅枝 隆
- 東京大学工学部 正員 廣沢佑喃

1. はじめに 河川においては、分合流部、急縮・急拡部、構造物の背後などで、鉛直方向に軸を持つ大規模な渦が多数発生している。その様な渦のなかでもボイル現象は、河床波の谷部で顕著に発生し、上昇流によって大量の土砂を巻き上げるので、浮遊砂発生メカニズムや河床形状の変化に、多大な影響を与えるものと考えられている。しかし、その発生原因や物理機構については未だに不明な点が多く、実証的な研究が殆どなされていないのが現状である。^{1), 2)}

本研究は、ボイルの基本的性質を捉えることを目的とし、河床地形をモデル化した下り斜面上に単一の鉛直渦を流下させ、流下に伴う渦の変形と上昇流の発生に関して、実験を行い若干の考察を試みたものである。

2. 実験装置および方法 実験は、長さ20m・幅40cmの可変勾配水路にて行った。水路の上流端から約8mのところに、長さ50cm・高さ6.5cmの下り斜面を設置した。斜面の上・下流側は共に平坦とした。斜面上端より25cm上流側に図1のようなvortex generatorを取り付けた。これは、平板を流れの片側半分を遮るように鉛直に約0.5秒差し込むことによって、単一の鉛直渦（図2）をつくりだすものである³⁾。平板の差し抜きは機械的に行い、同じ渦を何度でも再現できるようにした。

3. 下り斜面による上昇流の増強効果 図3は、底面に塗布したコンデンスミルクにより流れを可視化し、それを側方から撮影したものである。渦軸に沿う上昇流によって、ミルクが巻き上がっているのがわかる。上昇流の強さを定量的に捉えるために、レーザードップラー流速計を用いて、その鉛直成分を測定した。図4は、その際のパネルレコーダの記録を示したもので、渦が通過すると

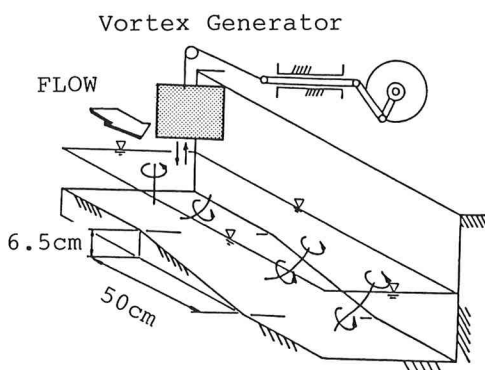


図1 実験装置模式図

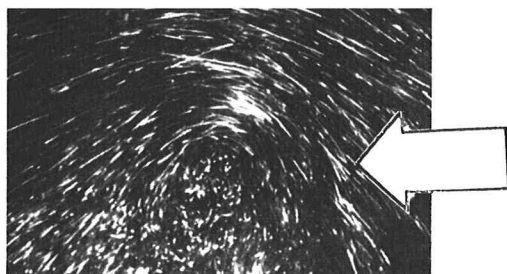


図2 水平面内の流跡写真

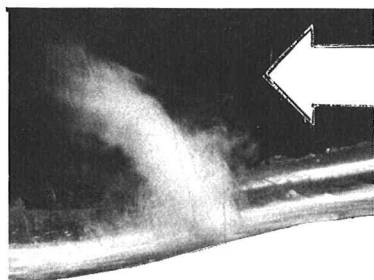


図3 鉛直渦による巻き上げ

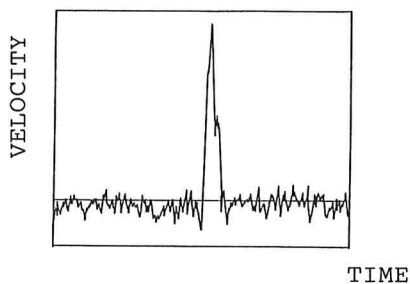


図4 上昇流の測定記録

きに極めて鋭いピークが現れるのがわかる。このピーク値は、斜面下端の水深中央部において9.0~16.0 cm/sにも達し、驚くべきことに、斜面上流側の平均流速と同等のオーダーである。なお、斜面上端における上昇流の強さは3.5~4.5 cm/s程度であり、下り斜面による上昇流の増強効果は、今回の実験では3~4倍にもなった。

4. 上昇流の発生原因 上昇流の発生原因を探るために、水面を固定壁で置き換えて実験を行った。図5(a)・(b)は、上面が自由水面であるときと固定壁であるときの流況をアルミ粉末で可視化し、それを側方から撮影したものである。この図を見ると、下の固定壁からは上昇流が、上の固定壁からは下降流が生じていることがわかる。

一般に、固定壁上に回転流が存在する場合には、境界層の影響により上昇流が発生することが知られており⁴⁾、今回見られたような上昇流の発生には、河床面上の境界層が密接に関係していることが推測される。

5. 渦の流下に伴うcore半径の変化 鉛直渦と上昇流の関係を定量的に捉えるために、渦軸周りの角速度について検討を加える。鉛直渦は下り斜面上を流下するにしたがって、平均流場により引き伸ばされ、粘性や乱れによりそのcoreが拡散する。この両者の効果を考慮し、渦の流速分布をOseen渦で近似すると、渦が発生してから時間 t 後のcore半径 r_m は、次式で示される。

$$r_m = 2.24 \sqrt{\nu_T t} / \Gamma_{st} \quad (1)$$

ここに、 ν_T は渦動粘性係数であり、今回は実験結果から、 $\nu_T = 0.0029\Gamma$ (Γ は渦の循環)とした⁵⁾。また Γ_{st} は、平均流場による引き伸ばし率である。図6は、core半径の計算値と実験値との比較を示したもので、両者は良い一致を見せている。さらに、流下時間に伴う4つの相対水深位置でのcore半径の変化を計算すると、図7のようになる。これによると、渦の中心軸周りの角速度は流下とともに減少し、固定壁上の回転流により生ずる上昇流は弱まることになる。すなわち、下り斜面による上昇流の増強効果は、単に河床面上の境界層と回転流という概念だけでは説明できず、そのメカニズムについては今後、詳細な検討が望まれる。

参考文献

- 1) 柘津・中川・天野・藤本(1987) 第31回水講, 413-418
- 2) 福岡・福嶋・奥津(1980) 土木学会論文集, 298, 41-52
- 3) 大西・西村(1979) 第23回水講, 123-130
- 4) Schlichting, H. (1968) "Boundary Layer Theory"
- 5) Squire, H.B. (1965) Aeronaut. Quart., 16, 302-306

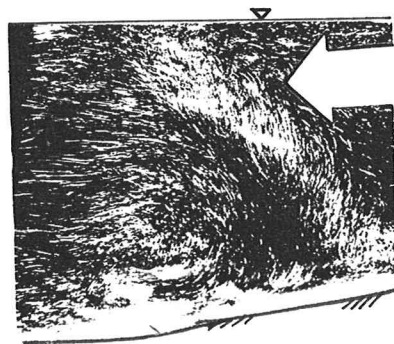


図5(a) 上面が自由水面

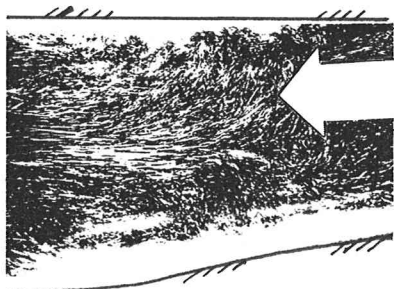


図5(b) 上面が固定壁

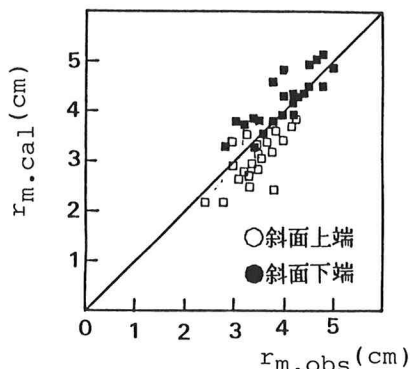


図6 core半径の測定値と計算値

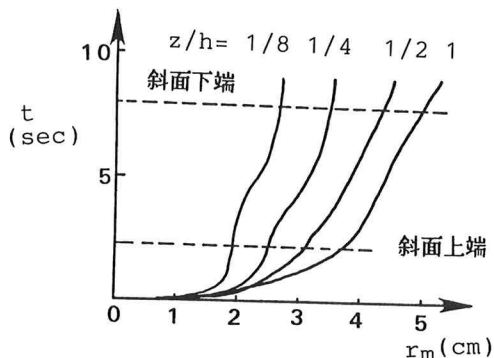


図7 core半径の時間変化の計算例