

II-205 流下する鉛直渦による2次流の生成

東京大学大学院 学生員○清水 光
宇都宮大学工学部 正員 池田裕一
東京大学工学部 正員 玉井信行

1. はじめに

実際の河川においては湾曲部頂部、あるいは合流部、複断面接合部などにおいてしばしば鉛直渦が発生、流下するのが観察される。しかしながら、この現象はもともと非定常なものであり、従来の時間平均量を主にあつかう解析手法ではとらえきれぬものではない。そこで本研究では、この鉛直渦が流れに及ぼす影響を解明するために、実験及び若干の考察を行なった。

2. 実験装置及び方法

実験水路は長さ3.6m、幅30cmの平坦水路で、図1に示す様なVortex Generatorにより、周期的に二次元的な速度分布をもつ鉛直渦を発生させた。このVortex Generatorからは、渦を発生させるタイミングを信号として取り出し、位相平均を求める際のトリガーとした。測定断面はVortex Generatorから流下方向に $X=20, 50, 85\text{cm}$ の3断面とし、レーザードップラー流速計を用いて流れ方向、及び鉛直方向 U, W を測定した。実験条件は表1に示す通りであり、また位相平均に用いた渦の個数は100個程度であった。

3. 実験結果及び考察

鉛直渦の発生及び流下によって主流に及ぼされる影響を見るために、渦を発生させていない状態と、渦を周期的に発生させている状態(周期 3s)のそれぞれについて測定を行なった。

1) 主流に及ぼす影響

図2に示す様に流下方向の時間平均の速度分布は、渦を発生させることで変化を受ける。この変化は渦のない場合の速度分布に、二次元的な速度分布を持つ渦が繰り返し通過すると考える事により説明することができる。

2) 断面内2次流の変化

測定した U, W と連続式から横断方向の速度 V を導き、断面1での2次流の速度ベクトルの変化を図3、4に示した。この中で注目されるのは渦ありの状態で、中心部の河床面付近で強い上昇流を生じていることである。この上昇流は渦の二次元的な速度分布だけでは説明できない。

3) 2次流による横断方向の運動量輸送 $\overline{U'V'}$ の変化

運動量輸送 $\overline{U'V'}$ の変化は図5に示す通りである。これを見ても渦が通過する中心部付近において、2次流による活発な運動量輸送が行な

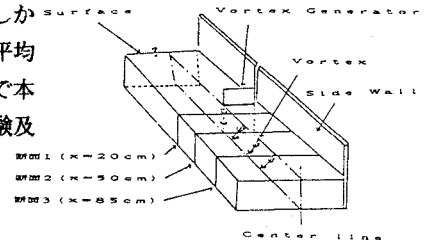


図1. 実験装置

	水深 (cm)	流速 (cm/s)
Case 1	9.0	1.0
Case 2	10.0	1.5

表1. 実験条件

表1. 実験条件

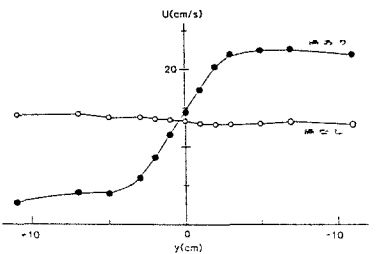


図2. 流下方向の速度分布

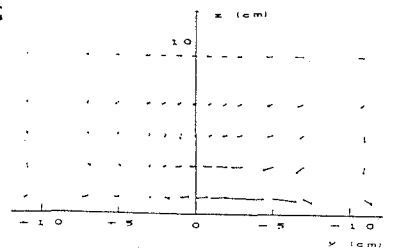


図3. 断面内2次流（渦なし）

われていることがわかる。二次元的な渦が周期的に通過する場合には、 $\overline{u'v'}$ は5倍にもなるので、このことから、もはや渦は二次元的なままで扱うことはできないことがわかる。

4) 渦の内部構造について

2), 3)に示したような理由から発生時においては二次元的な速度分布をもっていた鉛直渦も、流下する過程において3次元的な速度分布を持つ様になると考えられる。図6, 7, 8は位相平均による渦の平均流速分布を示したものである。この図を見ると、渦の中心付近で最も強い上昇流を生じており、その最大値 w_{max} は主流の流下速度に匹敵する程の大きさである。この強い上昇流のために、渦の二次元的な流れ場が変化し、これを時間平均した際に、さきに述べた二次流や運動量輸送の変化になって現われるのである。一般に平板上に鉛直渦が存在する場合には、境界層の影響により、上昇流が発生し、その大きさは層流境界層において、

$$w = c (\nu \omega)^{0.5} \quad (\nu: \text{粘性定数}, \omega: \text{角速度})$$

という関係が成り立つことが知られている。今回は、渦の速度分布にOseen渦を当てはめることにより、 ω および渦動粘性係数 ν_T を求めた。図9は $(\nu_T \omega)^{0.5}$ と w_{max} の関係を表わしたもので両者がおおよその比例関係にあると言える。これにより、上昇流の発生と渦自身の境界層が密接な関係にあることがわかる。

4. おわりに

今回の実験により明らかになったことをまとめると、まず二次元的な速度分布を持つ鉛直渦が発生すると、境界層の影響により強い上昇流を生じ、3次元的な速度分布を持つようになる。これに時間平均をほどこすと強い2次流となって表わされ、さらに2次流による横断方向運動量輸送が活発になる、と言う一連の関係が明らかにされた。

5. 参考文献

Schlichting, H. (1968) 'Boundary Layer Theory' McGraw Hill Co.

木下 (1967) '航空写真による洪水の解析' 写真測量vol. 6

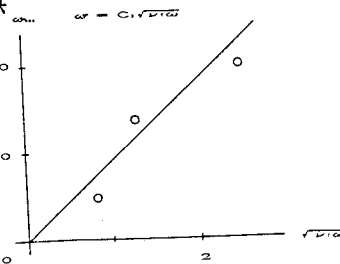


図9. 定常境界層による上昇流

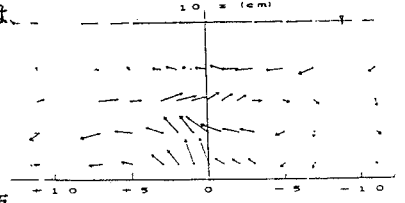


図4. 断面内2次流（渦あり）

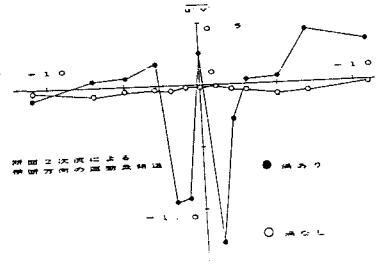


図5. 運動量輸送 u', v'

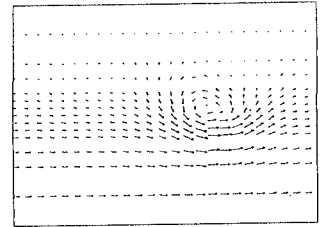


図6. 位相平均流速分布
(絶対座標)

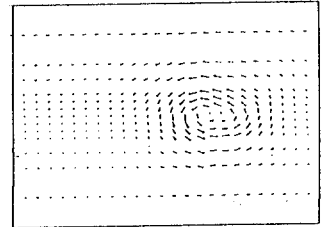


図7. 位相平均流速分布
(相対座標)

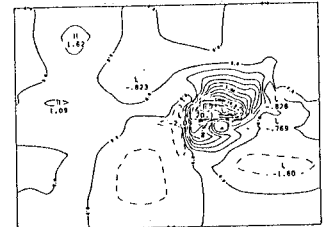


図8. 位相平均流速分布
(鉛直方向)