

神戸大学工学部 正員 松梨順三郎
 ○ 京都府庁 正員 石田清一
 日本リクルートセンター 正員 山下 昭
 日立造船Kk 正員 柴田 弘

1. まえがき

著者らは従来から攪拌池および噴流を対象にして乱流の数値シミュレーションを実施し、若干の成果を得てきた。本実験では、これらの成果を検証するため、鉛直噴流を対象として水理実験を実施したので、その概要を報告する。

2. 実験装置

図-1は水路の概要を示す。実験装置は、給水部と整流部と開水路とから構成されている。開水路は幅40cm、高さ25cm、長さ600cmのアクリル樹脂製で、上流端より120cmの底部に幅1cmのスリットを開水路全幅に設けた。水路の下流端に越流堰を設け、実験のはじめに水路内に水を貯留した。給水は、整流装置を通して水路底部のスリットから鉛直上方向に送られ、これによって噴流を再現した。

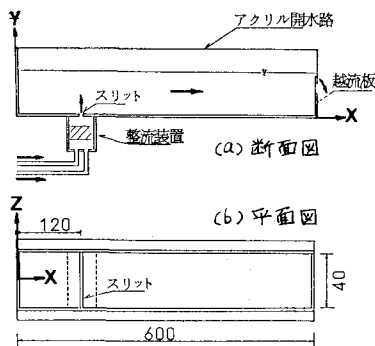


図-1 水路概略図, 単位 cm

3. 実験方法

噴流およびそれに伴う流れ模様の変化を計測するため、二段階に分けて実験した。第1段階は水路全体の流れを把握するために、可視化実験を行なった。水路内に一定流量を送り定常とする。図-2に示す、直線形とキンク形の白金線($\phi = 60 \mu m$)を張り、センサーを用いて、水素気泡法により水路中央鉛直線上の流速分布を測定した。また、これと平行して、ベンゼンの比重0.88、四塩化炭素の比重1.598、したがって体積比5:1で混合すると、水の比重に非常に近い非水溶性の混合液をうるがこれをトレーサとして流れ模様を検索した。第2段階としてスリット付近での噴流による鉛直方向の流速をプロベラ流速計を用いて測定した。これは、図-3に示すように、側壁に1cmの格子を入れ、 α, y を変化させて順次(α, y_0)の位置にプロベラ流速計を設置して行なった。各段階について流量は3ケース(A, B, C)に分けて実施した。各ケースの実験水理量を表-1に示す。

表-1 実験水理量

水 理 量	記 号	A	B	C
流量 (cm^3/s)	Q	320	480	600
水 温 ($^{\circ}C$)	T	5.0	5.0	5.0
水 深 (cm)	H	7.7	7.8	7.9
水深幅 (cm)	B	40.0	40.0	40.0
路床こう配	I	0	0	0
平均流速 cm/s	U	1.04	1.54	1.90
レイノルズ数	Re	381	570	710
フルード数	Fr	0.12	0.18	0.22

4. 実験結果と考察

図-4は各ケースについて、第1段階の実験結果による流速分布を示す。図-5は対応する流れ線図である。これらの図によって次のことがわかる。スリットの上下流に大きいスケールの渦が形成される。 α, y 方向の渦の最大径を l_x, l_y とすると、スリットより上流側では $l_x = 20 \sim 30 cm$, $l_y = 7 \sim 8 cm$ の渦領域となる。その領域より上流側は死水領域となっている。また、渦領域の大きさは流量が増大するにつれて成長していく。次にスリットより下流側では、上流側と同じように、 $l_x = 40 \sim 60 cm$, $l_y = 7 \sim 8 cm$ の渦領域が形成され、流量の増大とともに

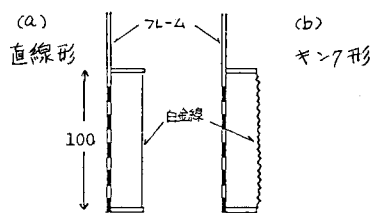


図-2 白金電極形状, 単位 mm

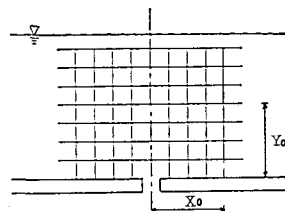


図-3 鉛直流速の測定

に、この渦領域が下流に伸びていく傾向のあることがわかる。そして、3ケースとも $x=220\text{ cm}$ 付近より流れは安定し、 $x=320\text{ cm}$ 以降では等流状態となる。

図-6は、各ケースについて $y=y_0$ 上の噴流の鉛直流速分布を示す。上流端が壁面であるため、噴流軸が上流側からの流速の影響を受けて、下流側へ傾いた状態になっている。また、 y_0 が増加するとともに最大鉛直流速は減り、その分布は水平方向に広がる。

噴流の再現に關して設定した条件および問題点をあげると、

1) 数値シミュレーションを二次元で実施しているので、水理実験もこれに対応する噴流現象を再現する必要がある。このために、開水路の幅を広く水深を小さくする必要がある。一方、噴流にターンの可視化のためには、水深の深い方がよい。これらの要請から本実験では水路幅を水深の5.2倍(10倍程度必要)にした。しかし、これでは十分に図-4の下流断面附近の流速分布に示されるように、最大流速点が水面下2~3cmに位置しており、若干の側壁の影響を受けている。

2) 路床勾配が水平の鉛直噴流では、必然的に水面勾配が形成される。なお水深に対して噴流流速が大きいと、スリット上の水面に水位の局所上昇がおこる。数値シミュレーションでは水深の変化を無視しているので、実験でも上記の影響が大きくなるよう噴流流速を設定した。なお本実験では形成された平均の水面勾配 $\approx 1.5 \times 10^{-4}$ 、水位の局所上昇高さ $\approx 0.5\text{ mm}$ であった。

3) 図-4、5の作製について、流速が非常に小さく $1 \sim 2\text{ cm/s}$ 程度であるので、水素気泡法を適用したわけである。 $x > 220\text{ cm}$ の領域では流れも安定しており明確な可視化が可能であったが、それより上流部、特に噴流部では困難であった。この付近では水面附近で流速が過大であり、水底附近で弱い逆流となり、水路幅方向へのゆらぎなども発生していた。

参考文献

1) 武井行政、阿部孝考：自由表面をもつ二次元鉛直鉛流噴流の数値解析(2方程式 $K-\epsilon$ 鉛流モデルを用いて)、第4回流れのFEM解析シンポジウム、1983年8月。

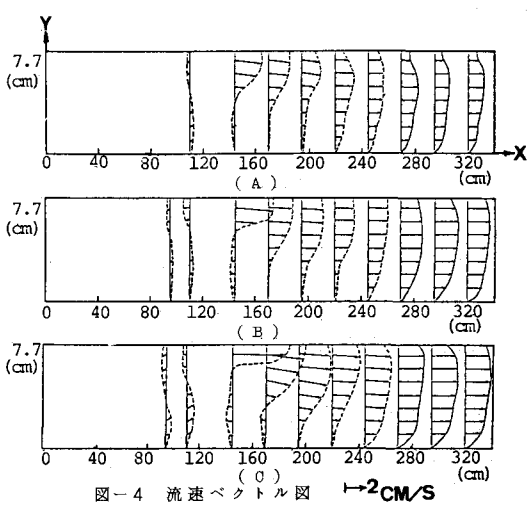


図-4 流速ベクトル図 $\rightarrow 2\text{ cm/s}$

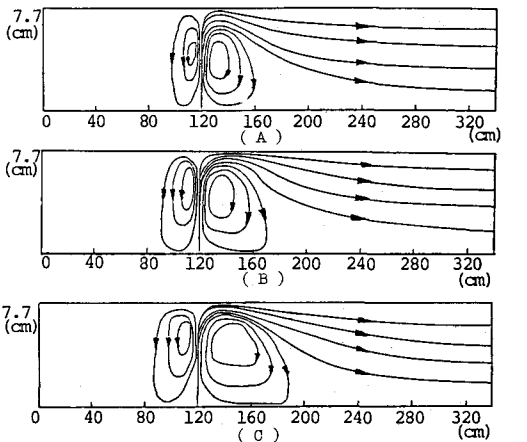


図-5 流線図

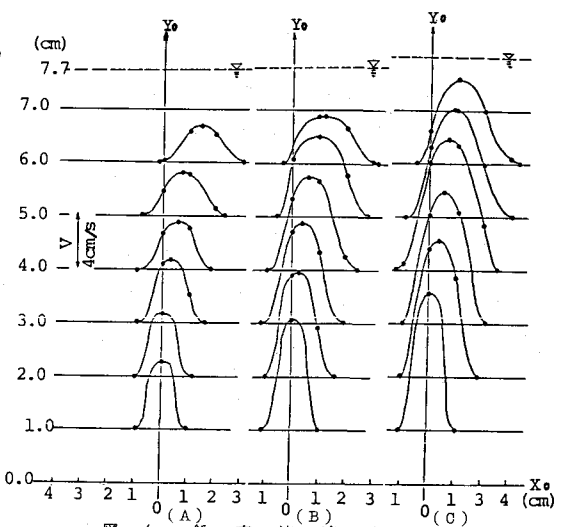


図-6 鉛直流速分布