

金沢工業大学 正員 今井 悟
金沢工業大学 正員 中川 武夫

1. 緒言

跳水現象に関する研究の歴史は長く、すでに数世紀を経ている。こうした長きにわたる多くの研究者の努力にもかかわらず、跳水点付近の乱れの構造は未だ明らかではない。

過去十年間に熱線または熱膜流速計を用いて多くの跳水点付近における乱流測定が実施され、その結果、跳水点直後の主流方向と水深方向の乱れ特性がかなり明らかとなってきた。しかし、水路横方向の乱れ成分を含む三方向の乱れの同時測定が不可能であったために三次元性の高い跳水点付近の乱れの特性を完全に解明することはできなかった。本研究の目的は張糸式流速計による流速の三方向成分の同時測定を通じて、跳水点付近の乱れの三次元特性を明らかにすることである。

2. 実験

Fig.1 に本実験の概要を示した。水路中心軸上 Sluice gate 直下の水路床を原点とし、それぞれ下流へ x 、左方へ y 、そして上方へ z の正方向と座標軸を定義した。跳水点後方の流速測定は張糸式流速計により水路中心軸を含む $x-z$ 平面内において、 $x = 240, 250, 260, 270, 280, 290, 300$ 及び 350cm の各位置で z 方向へ 2cm 間隔ごとに実施した。流速計は各測定点と所定の高さとなるように支持棒を介して水路上縁レール上を動く台車に固定された。各測定点においては 2.5 秒間の時系列データが各速度成分ごと独立に記録された。これらのアナログデータはサンプリング周波数 500Hz でいったんデジタル化されたのちデータ処理が行われ、各測定点、各速度成分ごと独立に平均速度、乱れの強さ、レイノルズ応力及びエネルギー Spektrum が求められた。

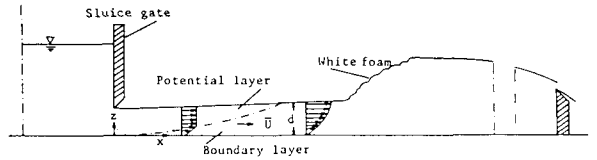


Fig.1 Schematic diagram of hydraulic jump experiment

Table 1: Hydraulic parameters

Mean velocity $\bar{U}[\text{cm/s}]$	162.11
Mean water depth $d[\text{cm}]$	2.13
Froude No. $F = \bar{U}/\sqrt{gd}$	3.55
Reynolds No. $Re = \bar{U}d/\nu$	3.57×10^4
Flume bed slope α	$3/1000$

Table 1 には本実験の主な水理パラメータの値を掲げた。ここで、 $\bar{U}$ と d はそれぞれ水路中心軸上 $x = 200\text{cm}$ における平均速度と水深である。なお、実験結果の提示にあたって乱れの強さ及びレイノルズ応力を無次元化するためにこの平均速度 $\bar{U}$ を用いた。

3. 結果

a). 平均速度: Figs. 2~4 はそれぞれ x, y, z 方向の平均速度 $\bar{V}_x, \bar{V}_y, \bar{V}_z$ の分布を示した。 $\bar{V}_x$ は大きく正負にその符号を変えるのが特徴である。特に $x = 240$ 及び 250cm の $z/d \approx 1.71$ で表面渦の逆流領域が認められる。また、 $x = 250 \sim 270\text{cm}$ の範囲の $z/d \approx 3.59$ の点では、 $\bar{V}_x$ はすべて正の値を示していることから水面近くで下流方向の流れが生じていることがわかる。 $\bar{V}_y$ は $x = 240 \sim 260\text{cm}$ の範囲では同一横断面内で正負にその符号を変えるが $x = 270\text{cm}$ より下流では、各横断面で流れがそれぞれ一定の方向を向いていることがわかる。 $\bar{V}_z$ は $x = 240\text{cm}$ 及び 250cm の $z/d \approx 3.59$ の点で大きな下方への流れが認められる。また、 $x = 270 \sim 300\text{cm}$ の範囲内の $z/d \approx 0.77$ の

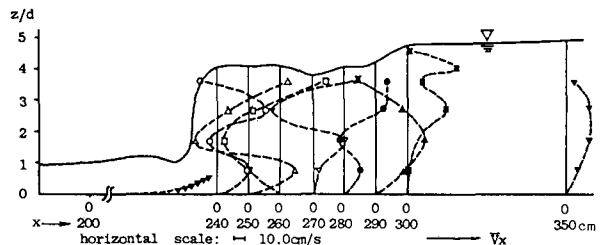


Fig.2 Mean velocity $\bar{V}_x$ vs. normalized vertical co-ordinate z/d

点では、すべて上方への流れが認められる。

b). 乱れの強さ: Figs. 5と6 はそれぞれ x と y 方向の乱れの強さを示している。Fig. 5からすべての横断面において水深方向にはかなり一般的な乱れが見られるものの、跳水点付近の $x=240$ 及び 250cm における断面の水表面近くで特に乱れが大きいことがわかる。また、Figs. 5と6 から x 方向の乱れの強さの方が y 方向の乱れの強さより全体的に大きいことがわかる。

c). レイノルズ応力: Fig. 7 にレイノルズ応力の x - z 成分を示した。 $x=240$ 及び 250cm の $z/d=1.71\sim 3.59$ の付近で、特にこの値が大きいのが特徴的である。ところがこれより下流へ行くにしたがって、この値は全体的に減少していく傾向が認められる。

d). エネルギースペクトル: fig. 8 に、 $x = 240\text{cm}$ で $z/d=0.77$ における x , y , z 方向の各速度成分 $\hat{u}$, $\hat{v}$, $\hat{w}$ のエネルギースペクトルを示した。この図から $\hat{u}$ のエネルギースペクトルは低周波数帯に多くのエネルギーを持ち、周波数の増加に伴って急減し以後は増減をくり返すことがわかる。これに対し $\hat{w}$ のエネルギースペクトルは、周波数の増加に伴って増加し、 $f \approx 8\text{Hz}$ においていったん最大値をとったのち増減をくり返す。また、 $\hat{v}$ のエネルギースペクトルは $\hat{u}$ のそれを全体的に下方へずらしたような形状をとることがわかる。

参考文献

- 1) Nakagawa
T. 1983 J.
Fluid Mech
., 126, 251
 ~ 268

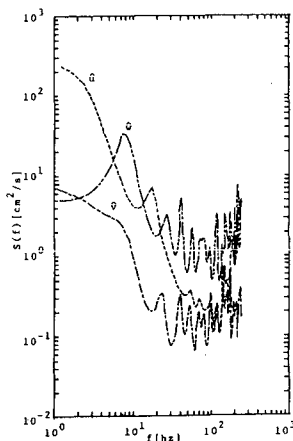


Fig. 8 Power spectral density $S(f)$ vs. frequency f at $z/d=0.77$

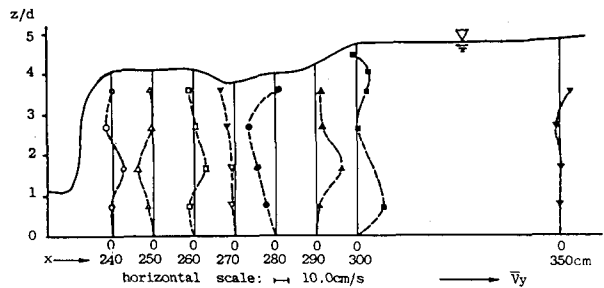


Fig. 3 Mean velocity $\bar{V}_y$ vs. normalized vertical co-ordinate z/d

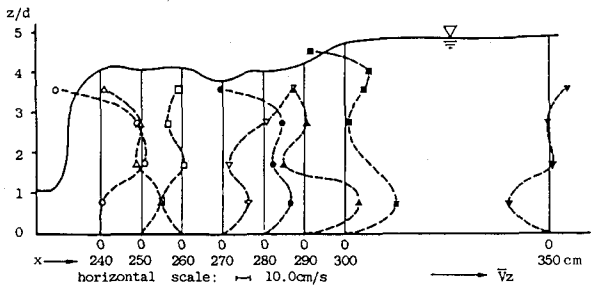


Fig. 4 Mean velocity $\bar{V}_z$ vs. normalized vertical co-ordinate z/d

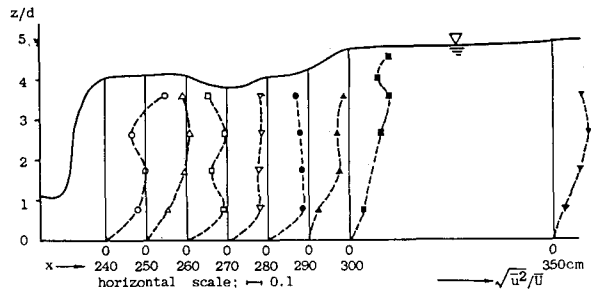


Fig. 5 Turbulent intensity $\sqrt{u^2}/U$ vs. normalized vertical co-ordinate z/d

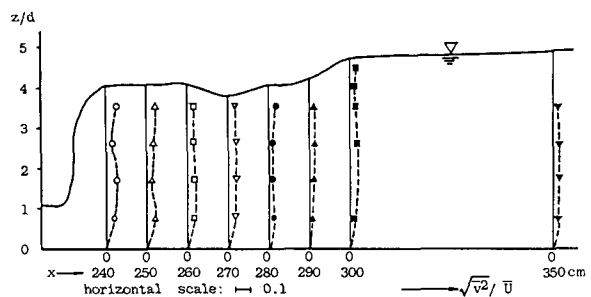


Fig. 6 Turbulent intensity $\sqrt{v^2}/U$ vs. normalized vertical co-ordinate z/d

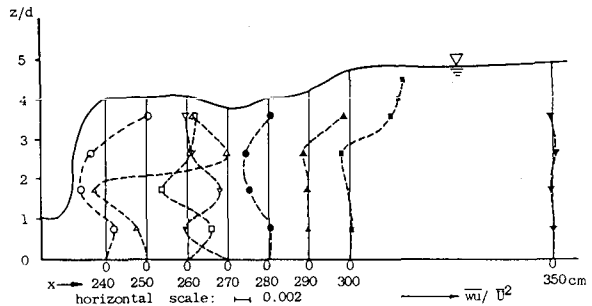


Fig. 7 Reynolds stress wu/U^2 vs. normalized vertical co-ordinate z/d