

東北大学工学部 学生員○西村元男
東北大学工学部 正会員 首藤伸夫
東北大学大学院 学生員 藤間功司

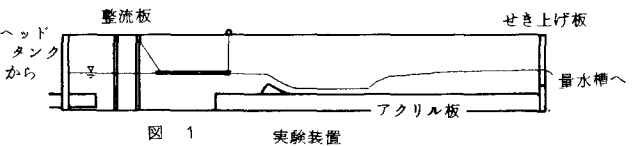
1. はじめに

跳水内部の乱流構造については、必ずしも十分に解明されているとは云えない。跳水は、移動座標から見た段波状碎波とも云え、両者の構造には類似点があるかも知れない。しかし、底面境界層の発達等は、両者では明らかに異なるものと考えられる。ここでは、両者の比較の資とする為に、LDVを使用して詳細な測定を行った。

2. 実験方法

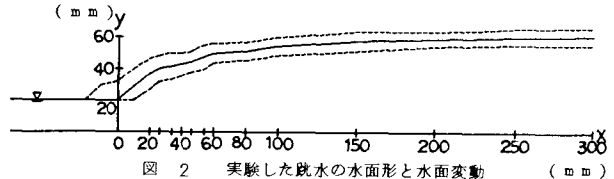
実験装置を図-1に示す。水路は水平床である。流入流量などを調節して適当な跳水を発生させる事が出来るが、本実験では1ケースのみ行った。実験条件を表-1に示す。測定点は、跳水先端を $x=0$ とし下流方向に0.6-5cm間隔で $x=30$ cm迄、底面 $y=0$ から鉛直方向に0.5-15mm間隔で配置した。平均流速 $\bar{u}$, $\bar{v}$, レイノルズ応力 $\overline{u'^2}$, $\overline{v'^2}$, $\overline{u'v'}$ を測定した。

表 1 実験条件	
全流量	$2.3 \times 10 \text{ m}^3/\text{s}$
単位幅流量	$0.023 \text{ m}^3/\text{s}$
水路幅	10 cm
フルード数	2.6
せき上げ板高	17 mm
同期時間間隔	10 ms
Number of Data	30000

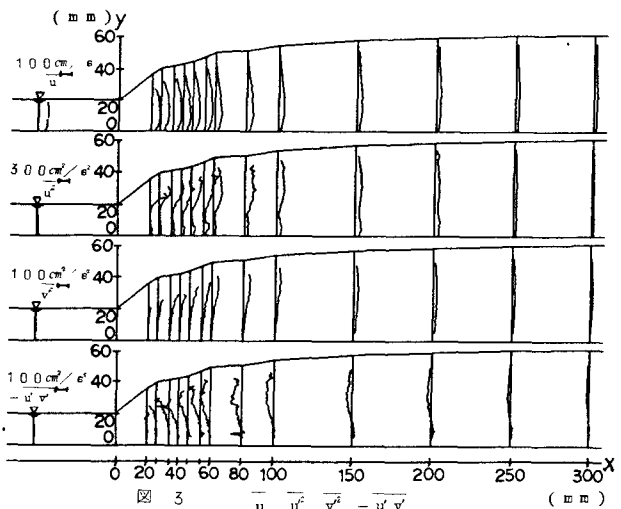


3. 結果と考察

得られた水面波形、水面変動の範囲を図-2に示す。点線が上下限を示す。その中点を跳水の水面形とした。水面変動の下限より上では、LDVが旨く働かず、流速測定は出来なかった。また、跳水先端付近でも空気混入の為、レーザー光が散乱され、データ取得の効率が悪かった。



平均流速、レイノルズ応力を図-3に示す。水表面付近でのデータが無いのは、水面変動の為である。平均流速から得られた等流量線を図-4に示す。跳水先端にはsurface rollerが存在するが、その寸法は水平長15cm、最大厚さ1.4cmである。



乱れには、跳水先端での水の混合に起因するものと、底面摩擦に起因するものがある。上部では $\overline{u'^2}$, $\overline{v'^2}$ とも大きい、下部の底面境界層では $\overline{u'^2}$ に比べ $\overline{v'^2}$ は小さい。

所で、図-3の $\overline{u'^2}$ の分布で見ると、上と下の乱れの大きな部分にはさまれて乱れの極めて小さい中間層がある事がわかるであ

ろう。この中間層は、いわゆるポテンシャルコアに対応する。その上側境界の高さを $B(x)$ 、下側境界の高さを $\delta(x)$ とする。 $x=54\text{mm}$ において、 $B(x)$ と $\delta(x)$ とは交わるが、それまで $B(x)$ は直線的に変化する。この間で $B(x)$ 上で $E=\bar{u}^2/2+gH$ を求めるとほぼ一定で、エネルギー損失が生じていないことから、ポテンシャルコアの外縁という見方が裏付けられる。

$x=54\text{mm}$ 以降では上下二つの乱れの大きな領域は干渉しあい、 $x=100\text{mm}$ より下流では $\bar{u}^2$ で見ると両者の区別はつかなくなるが、 $\bar{u}^2 \bar{v}^2=0$ の線は図-5の一点鎖線のようになり水平に伸び、両境界層の境界にあたるのではないかと考えられる。

図-6を参照しながら、ポテンシャルコアが存在している範囲での、跳水上層の平均流速分布について考察する。 $B < y < H$ の流量 Q_s 、ここでの断面平均流速 $U=Q_s/(H-B)$ 、高さ $y=B$ での流速を u_b とする。無次元流速 $(u-u_b)/(U-u_b)$ 、無次元高さ $\eta=(y-B)/(H-B)$ との関係は $x=20\sim 40\text{mm}$ について整理したのが図-7である。多少バラツキがあるが、相似則が成立すると仮定し、無次元流速が $f(\eta)$ と表せるとする。Madsen & Svendsen、松富にならって、 $f(\eta)$ を η の三次式とし、次の諸条件 $\eta=0$ で $f(0)=0$ 及び $f'(0)=0$ 、 $\int_0^1 f(\eta) d\eta=1$ を満たし、さらにこれらの実験点を良く表現する様に決める。 $f(\eta)=a\eta^3+3(1-a/4)\eta^2$ となる。 $a=1.1$ の場合が最適で、図中の実線である。Madsen & Svendsen ($a=-2.4$, 彼らの $A=1$)、松富 ($a=-4$, 彼の $A=2$) の場合を、点線、一点鎖線で示す。 $x=40\text{mm}$ 位までは相似則が成立するとしても良い。その後は、実際の流速は相似則で与えられるよりも、小さなものとなっている。

$B(x)$ 、 $\delta(x)$ が交わってしばらくすると、平均流速はほぼ一様分布に近いものになる。最大流速の位置は $\bar{u}^2 \bar{v}^2=0$ の線よりやや高い場所に生じている。

4. おわりに

跳水内部の詳細な測定を行った。先端部上部の激しい混合の生じている層は、底面境界層と出会うまで水平と角 13° を保ちながら直線的にその下層境界を広げる。この領域での平均流速を相似則で与えた。

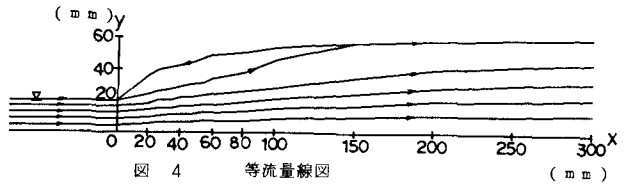


図 4

等流量線図

(mm)

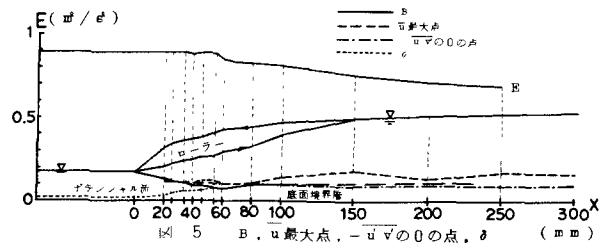


図 5

B , u 最大点, $-u^2 v^2$ の 0 の点, δ

(mm)

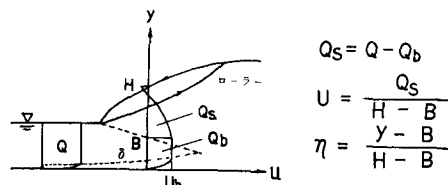


図 6

流速分布のモデル化

$$Q_s = Q - Q_b$$

$$U = \frac{Q_s}{H - B}$$

$$\eta = \frac{y - B}{H - B}$$

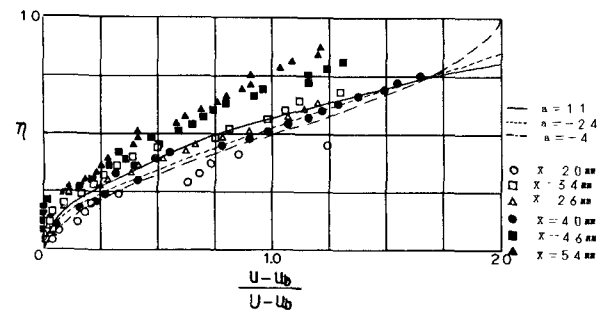


図 7

無次元高さ と 無次元流速 と の 関 係