

京都大学工学部 正員 中川博次

京都大学大学院 学生員 鈴木幸一

1 まえがき 段上り(シル)による跳水の安定効果はその前面に作用する力や底面せん断力の分布特性に支配される。シルの上流側では流下方向への圧力の急上昇によって境界層の剥離がおこり、剥離域内に擬定常的な渦流が発生すると考えられているが、渦の定常性と安定性は主流の乱れの状態と密接な関係をもつ。本研究では一様開水路中に設けられたシル周辺に作用する水圧の変動量を実験的に考察し、主流の乱れ強度と剥離渦との関係を明らかにすることによって、跳水の安定性に関する基礎的な知見を得ようとしたものである。

2 圧力変動強度 実験水路は幅25cm、長さ3mの長方形断面を有する透明アクリル製水路で、その途中から下流側底面を上流側のそれより5.5cm高くして鉛直シルを形成した。接流のレイノルズ数を 5.02×10^4 の一定とし、平均フルード数 F_r のみを変えた表-1に示す種の流れについて実験を行なった。水路底面に作用する圧力変動は径1mmの圧力孔からビニール管で導びき、抵抗線式圧力変換器で測定し、データーレコーダーで記録された。

シルの位置を原真とし、それより上流に向かってスモとリ、水路底各点に作用する平均圧力強度の流下方向分布を示したのが図-1であり、 F_r の大きいほど平均圧力強度が大きくなり、また圧力コウ配もシル面に近づくに従って増大する。図-2は各点における圧力変動強度 $\sqrt{p^2}$ を示したものである。明らかにシル面上で乱れが最大で、それより上流に向かって直線的に減衰し、Case 1および2では $X/D \geq 2.0$ 、Case 3では $X/D \geq 1.5$ で乱れ強度はほぼ一定となる。この一定領域は主流のせん断領域を表わすものと考えられる。また、フルード数が大きいほど乱れ強度が大きくなるという直観的認識が裏付けられている。

シルの上流面に作用する圧力の変動強度を底面から3.5cmの高さの点と1.5cmの高さの点とを比較したところ、いずれの実験条件に關しても前者が後者の(1.5~2.0)倍の値を示しており、この事実から底面より約0.6Dの高さに渦領域の終端が存在しているものと考えられる。

表-1 実験条件

Case	h (cm)	F_r	Q (l/s)
1	15.45	0.27	15.05
2	16.95	0.23	
3	19.05	0.19	

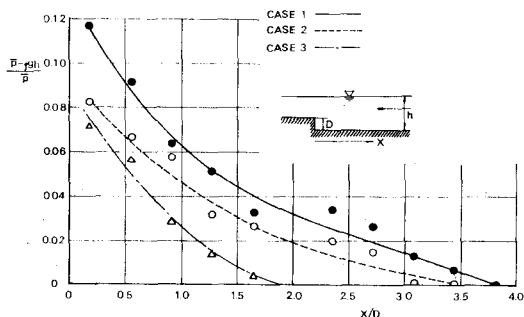


図-1 平均圧力強度の変化

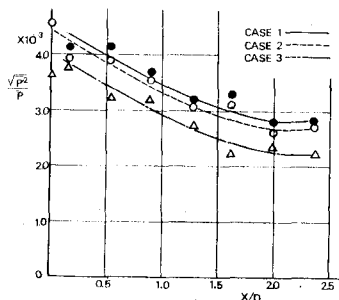


図-2 圧力変動強度の変化

3 圧力変動の場所的相関 図-3 は最大圧力変動を示す $X/D = 0.18$ の点に対する各点における圧力変動の空間的相関関数を示したものである。厳密には剥離域内の流れによる圧力変動の移動を考慮して時間的・空間的相関を検討すべきであるが、Rouse¹⁾の指摘しているように、空間的相関関数のこう配の変化によって閉鎖域内の変動スケールを推定することができる。図-3に示された曲線のこう配の変化からは圧力変動の空間スケールを適確に判定することはむずかしいが、剥離渦内ではほぼ等しい乱れ特性をもっていると仮定すれば、渦の大きさは相関が0となる横軸の寸法と等しくなくとも、それに比例しているものと考えてよい。図でCase 3では $X/D \geq 1.5$ 、Case 1および2では $X/D \geq 2.0$ で相関が0となり、この付近に剥離点が存在するものと判断される。これは図-2で乱れ強度が一定となる点に対応している。

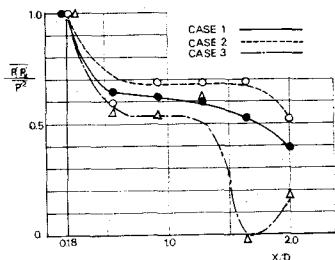


図-3 圧力変動の場所的相関

4. 圧力変動の周期性 シル前面に形成される剥離域は明確な渦流を発生するよりは、むしろよどみ領域を表わすことが実験観察によって確かめられた。したがって、剥離域内の圧力変動特性は主流と剥離域の間での乱れの発達状態を敏感に表わすものと考えられる。剥離点や渦終端の不安定性ならびに主流と剥離域の境界に発生する渦の不連続性による圧力の非定常特性を調べるために、 $X/D = 0.18$ および 2.0 の点での自己相関係数 $R(\tau)$ とパワースペクトル S_f を計算した結果をそれぞれ図-4(a),(b) および(c),(d)に示す。 $R(\tau)$ の図で F_r の大きいCase 1の場合には周期性が余り認められないが、 F_r が小さくなるにつれて周期性が顕著になり、安定した渦が形成されることがわかる。 S_f の図ではCase 2と3の場合に、9~10%の周期が卓越し、一方Case 1では10%までの種々の周期成分を含んでおり、特に卓越した周期は認められない。3ケースとも10%以上の周期成分は小さくなっている。

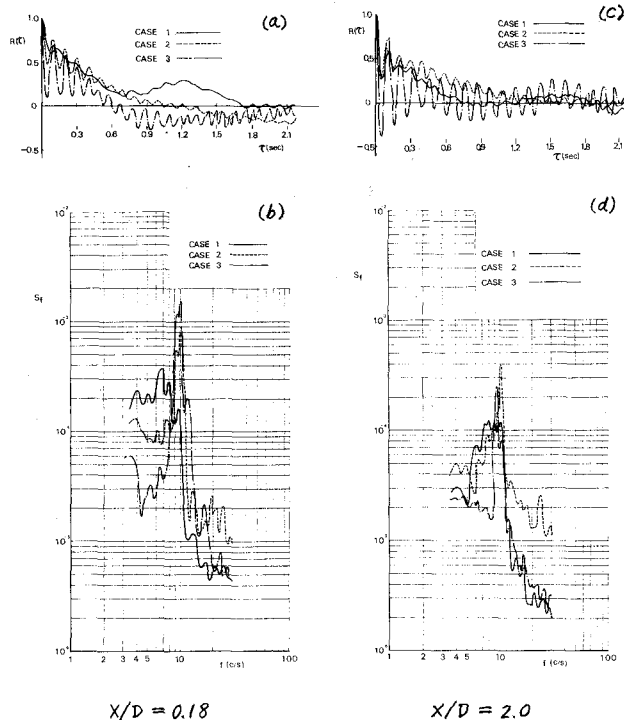


図-4 $R(\tau)$ と S_f

5 おすすめ シル前面での圧力変動測定にもとづいて主流の乱れの強さと剥離域のスケールおよび乱れ特性について考察し、 F_r が大きくなるにつれて剥離域の寸法、乱れ強度が増大し、また不安定性が増すことが明らかにされた。

1) H. Rouse 他: Fluctuation of Pressure in Conduit Expansions, Proc. ASCE, HY 3, May 1966.