

II-105 落差を有する開水路キャビティー流れに関する研究

岐阜大学工学部 正会員 藤田 一郎
協和設計（株） 遠松 篤
岐阜大学大学院 岩橋 亮

1. はじめに

開水路に凹部を設置したときに生じるキャビティー流れは、流れの剥離や大規模な循環流などを伴う非常に複雑な局所流れであり、これまで画像解析や数値解析による研究が行われてきている¹⁻⁶⁾。これらの研究では、キャビティー上下流の落差がなくしかもフルード数の小さな流れを対象としてきたために、凹部における水面はほとんど平坦であり、開水路流れの本質的な特徴でもある自由水面の変形は無視されてきた。これは、数値解析等の境界条件を単純にするためでもあったが、開水路におけるキャビティー流れを体系的に調べる次のステップとしては、水面の大変形を伴う流れを取り扱う必要がある。そこで、本研究では上下流で河床高に落差のあるキャビティー流れを対象として検討を行った。

2. 実験方法

実験は水路幅 15cm、長さ 6m のアクリル樹脂製循環水路で行った。凹部は厚さ 1cm、幅 14.9cm、長さ 1.8m の帯状のアクリル板を水路上下流の区間の底面に 1 枚ないし複数枚重ねて敷くことで形成した。ステップの高さ（上流側のステップ高を D_1 、下流側を D_2 とする）は 1～3cm の範囲、凹部長さ（ L ）は 0～10cm の間で変化させ、各ケースにおいて流況の観察および鉛直縦断面内の流速分布測定を行った。水理条件を表-1 に示す。

表-1 水理条件

流量(Q (l/s))	0.73
上流水深 H_1 (cm)	2.27
勾配	1/466
流入平均流速(cm/s)	26.9
レイノルズ数	3400

3. 画像解析手法

流れの可視化は空冷式アルゴンレーザー（出力 200mW、日本レーザー製）からのビームをビームイクスパンダーで厚さ 3mm 程度の光膜にし、それを凹部中央の鉛直縦断面に照射して行った。可視化画像の撮影には高速ビデオカメラ（DITECT 製 HAS_200R）を用い、200fps でキャプチャーした 4500 枚程度の画像（約 20 秒間）に PTV（二値化相関法）を適用して流速分布等を求めた。平均流速等は、流れ方向に 2.5mm 間隔、鉛直方向に 1mm 間隔のメッシュを想定し、この局所空間内で検出された流速ベクトルをすべてメッシュ中心点での値とみなして算出した。なお、各メッシュで検出されたベクトル数は 2000 個程度であった。

4. 水面流況

表-2 に $D_1=2\text{cm}$ 、 $D_2=1\text{cm}$ のケースにおける定性的な流況を記述した。これより、目視で確認する限り $L/D_2=0\sim4$ では凹部内部は二次元的な定常渦が卓越しているが、 L の増大とともに凹部下流における跳水の発生位置が凹部に近づいていることがわかる。これは、 L の増大に伴って凹部におけるエネルギー損失が増大することを間接的に示したものと考えられる。ここまでの

表-2 流況の概要($D_1=2\text{cm}$ 、 $D_2=1\text{cm}$)

L/D_2	水面変動	内部流況
0	約25cm下流で定常跳水	2次元定常渦
1	約25cm下流で定常跳水	2次元定常渦
2	約25cm下流で定常跳水	2次元定常渦
3	約20cm下流で定常跳水	2次元定常渦
4	約17cm下流で定常跳水	2次元定常渦
5	直後の下流で定常跳水	2次元定常渦
6	振動跳水発生	3次元非定常渦
7	振動跳水	3次元非定常渦
8	振動跳水	3次元非定常渦
9	振動跳水が小さくなる	3次元非定常渦
10	再び定常跳水	2次元定常渦

キーワード：局所流、キャビティー流れ、画像解析、跳水

連絡先：（〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1, Tel. 058-293-2433, Fax. 058-230-1891）

L の範囲では跳水の位置に時間的な変化は見られないが、 $L/D_2=6$ とすると突然跳水は凹部区間で規則正しく振動を始めるとともに、剥離域内部の定常渦が三次元的な非定常渦へと変化することが確認できた。振動の周波数は 1Hz 程度であった。この状況は $L/D_2=8\sim 9$ まで見られた。 $L/D_2=6$ という幾何形状は、上流側ステップから剥離した流線が再付着する地点よりも少し上流側に下流側ステップを設置した形状とも言える。跳水に振動を与える要素としては、凹部内部の大規模渦（底面剥離渦）の揺動に伴う圧力変動と水面との相互干渉が考えられる。 L がさらに増すと振動現象は消失し、定常な流れが回復する。

図-1 に水面流況の領域区分を示す。ここで用いた無次元量 $L/(D_1-D_2)$ では、まだ振動跳水の領域を統一的にまとめることができていないが、これは落差の増大に伴って流況が大きく変化することにも起因している。

5. 画像解析結果

図-2 に PTV 解析結果の一例を示すが、平均流速ベクトルが良好に計測できていることがわかる。ただし、水面の極近傍に関しては、手前側壁に表面張力で付着する水面がビデオカメラの視野内に入ってしまうために、明瞭な水面の識別が難しく、流速ベクトルがぼらつくなどの問題が見られた。図より $L/D_2=6$ のケースは $L/D_2=4$ と比較して下流端ステップ背面での渦の規模、循環流速とも大きくなっていることがわかる。上流端下部における二次渦も $L/D_2=6$ の方が明瞭に現れている。このように、キャビティ内で生じる一対の大規模循環渦の相互作用が水面変動と複雑に干渉し合い、振動跳水が生じたのでないかと考えられる。

6. おわりに

落差のあるキャビティ内

の流れは振動跳水などの興味深い現象を引き起こすことを明らかにした。ただ、今回の実験では水路の規模が非常に小さかったため、Froude 数や Reynolds 数の影響については、スケールの異なるモデルを用いて詳細に検討する予定である。また、画像解析における水面の識別方法や非定常流に対する PTV アルゴリズムに関しても今後の検討が必要である。

参考文献

- 1) 藤田・河村・森田：LES による三次元トレンチ流れの解析，可視化情報，Vol.13, Suppl. No.1, pp.51-54, 1993.
- 2) 藤田・神田・河村・矢野・森田：高速ビデオカメラを用いた開水路凹部流れの画像解析と LES による数値解析，水工学論文集，Vol. 37, pp. 481-486, 1993.
- 3) Fujita, I., Kanda, T. and Komura, S.: Measurements of Turbulent Flow in a Trench Using Image Processing Technique, Proceedings 5th International Symposium on Refined Flow Modeling and Turbulence Measurements, pp.309-316, 1993.
- 4) Fujita, I., Kanda, T., Morita, T. and Kadowaki, M.: Numerical and Image Analysis of Turbulent Flow in Open Channel Trench, Proceedings of the 26th Congress of IAHR, Vol.1, pp.284-289, 1985.
- 5) 藤田・神田・門脇・森田：開水路凹部流れの PIV 及び LES による解析，土木学会論文集，No. 539/II-35, pp. 79-88, 1996.
- 6) 楠津・山本：DNS を用いた開水路キャビティ流れの乱れの生成機構とその輸送過程の解析，水工学論文集，Vol. 43, pp. 377-382, 1999.

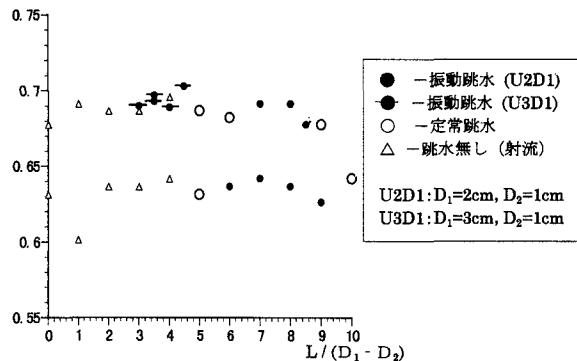


図-1 凹部区間内における水面流況分布

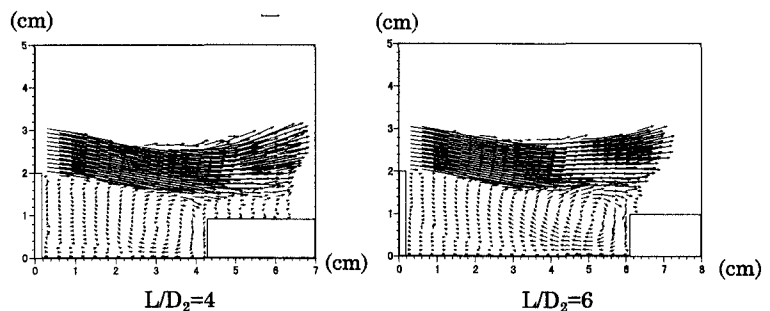


図-2 平均流速分布