

京都大学工学部 正 員 棚津家久

京都大学大学院 学生員 門田章宏

労働省 正 員 〇高津昌夫

1.はじめに キャビティーが存在する流れ場は剥離せん断層の不安定性に特徴づけられ、形成された不安定波は初期線形領域において増幅され、周期的な渦列が発達する非線形領域へと移行する。本研究では、このような開水路キャビティーせん断層における組織渦の特性について、染料を用いた可視化計測とファイバーレーザ流速計を用いた乱流計測を行うことにより実験的に考察する。

2.実験方法 長さ10m, 幅50cm, 側壁高さ56cmの水路に図-1に示すようなキャビティーを設置した。実験は、流量を $Q=1.2(l/s), 1.6(l/s)$ の2通り、水深を $h=2(cm), 4(cm), 6(cm)$ の3通り、キャビティー高さを $H=5.0(cm), 10.0(cm)$ の2通り、キャビティー幅を $L=15.0(cm), 25.0(cm)$ の2通りにそれぞれ変化させた合計24ケースについて行った。FLDAによる乱流計測は、キャビティー界面付近に重点をおいて行った。

3.組織渦の可視化計測 図-2は開水路キャビティー流れを35mmカメラで写真撮影したものである。キャビティー上流端において渦が巻き上がろうとする様子、渦が発達していく様子、渦がキャビティー下流端に衝突して崩壊する様子が観察でき、渦が周期的に発生していることが確認できる。一方、

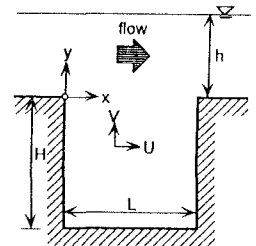
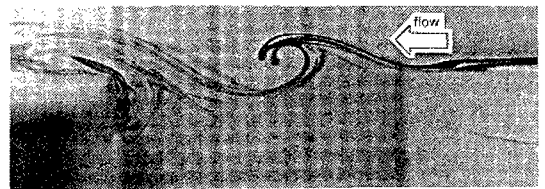
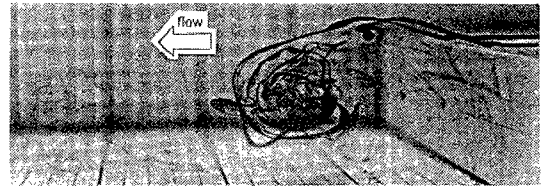


図-1 座標系

図-3に示すように、水深が大きくフルード数が非常に小さいケース($h=6.32cm, Fr=0.048$)においては、キャビティー内部において停留し、非常に大規模な渦が形成される。これは図-2の渦の形態とは大きく異なるものであり、本研究においてはこのような渦の形態を'cavity eddy'と呼ぶことにした。図-4は可視化映像から観測した、渦の発生状況を示したものである。剥離渦は、水深とキャビティー高さの比 h/H 、初期運動量厚さ θ_0 で無次元化されたキャビティー幅 L/θ_0 がともに小さいときに明瞭に観察することができた。また、可視化映像より、レイノルズ数 Re が小さいときに渦が明瞭に観察されることが確認された。

図-2 渦の様子 ($h=1.96(cm), Fr=0.28, Re=2400$)図-3 渦の様子 ($h=6.32(cm), Fr=0.05, Re=2400$)

4.キャビティー界面の不安定性 剥離せん断層で形成される不安定波の基本周波数は、可視化映像、変動流速のスペクトル、変動流速の時系列、変動流速の自己相関係数から評価することができる。ここではその一例として図-5にキャビティー界面における変動流速 u, v のスペクトルを示す。これより、変動流速はピーク周波数を持ち、水深が大きくなるに従ってその値は小さくなっていることがわかる。

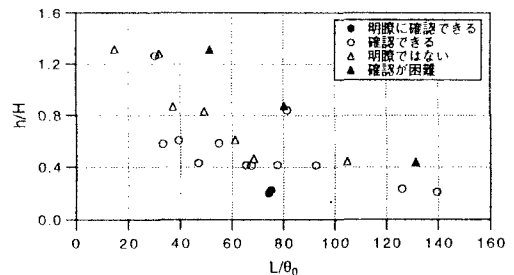


図-4 渦の発生状況

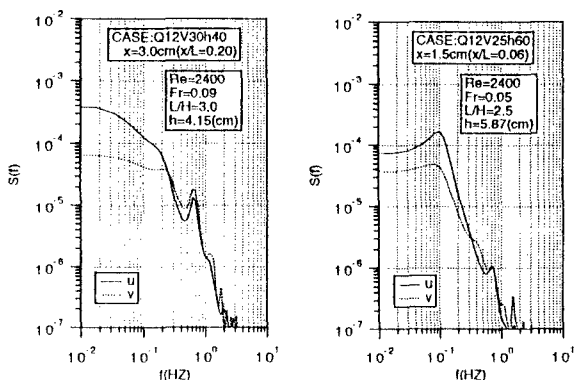


図-5 キャビティー界面付近のスペクトル分布

図-6は以上で述べた方法より総合的に評価した、基本周波数 f と平均流速 U の関係を示したものである。これより、基本周波数と平均流速はほぼ比例関係にあることがわかる。ただしcavity eddyはこの関係を満たしておらず、このケースにおいては組織渦の特性が他のケースと異なることがわかる。

次に、剥離直後の線形領域において不安定解析の手法を用いることにより、擾乱の成長について考察を行う。Michalkeは¹⁾、平均流速分布を

$$\hat{U} = 0.5 \{1 + \tanh(y/L)\} \quad (1)$$

と仮定して初期線形領域の不安定性について検討した。図-7は擾乱の空間的成長率 $-\alpha_i$ を示したものである。ここで擾乱の空間的成長率は瞬間流速のスペクトルから基本周波数成分 u_f の流下方向変化を算定し、次式から計算した。

$$-\alpha_i = \frac{d}{dx} \ln \left(\sqrt{u_f^2} / U \right) \quad (2)$$

図中にはMichalkeの計算結果¹⁾、Freymuthの実験

結果²⁾および八木のデータ³⁾を併示した。Michalkeはストローハル数が $f\theta_0/U = 0.016$ の時に擾乱の空間的成長率が最も大きくなると与えている。本研究での実験結果も $f\theta_0/U = 0.016$ 付近で擾乱の空間的成長率の値が大きくなっており、彼らのデータと同様の傾向を示している。図-8はストローハル数 $f\theta_0/U$ と L/θ_0 の関係を示したものである。 L/θ_0 が大きくなるに従い、ストローハル数が減少するが、 $L/\theta_0 \cong 75$ 付近で値がジャンプする、いわゆる周波数ジャンプが発生していることが確認された。

5.おわりに 本研究では、水理条件、キャビティーの形状比を系統的に変化させてキャビティー上流端で剥離したせん断層に形成される組織渦の特性について考察した。その結果、これらの諸条件の変化によって、組織渦の特性も変化することが確認された。

<参考文献>

- 1) Michalke, A. (1965) : J. Fluid Mech., vol. 23, part3, pp. 521-544
- 2) Freymuth, P. (1966) : J. Fluid Mech., vol. 25, pp. 683-704
- 3) 八木俊策 (1984) : 京都大学学位論文

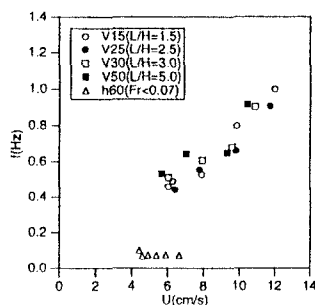


図-6 基本周波数 f と平均流速 U の関係

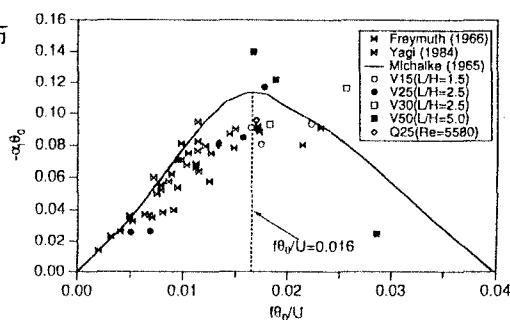


図-7 擾乱の空間的成長率 $-\alpha_i$

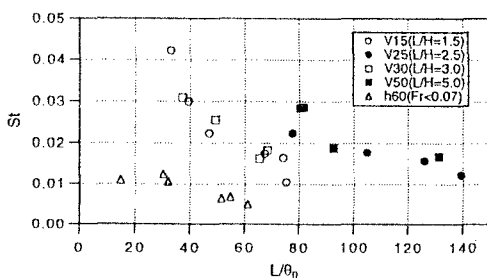


図-8 ストローハル数 $f\theta_0/U$ と L/θ_0 の関係