

1. 序 矩形 cavity 周辺の流れは、水理学分野では主流域に対する死水域のモデル、水理構造物に与える振動という点から、航空学分野では騒音源、抵抗力への影響という点から、また楽器音響学では純音発生と空洞共鳴という点から古くより関心がもたれ、現在もなお研究が進められている。また最近の乱流研究において注目をあつめているコヒーレントな渦構造を形成する流れの場としても興味ある対象である。本報はこの種の流れにみられる特徴的な実験事実を提示し、それに理論的説明を与えることを目的としたものである。

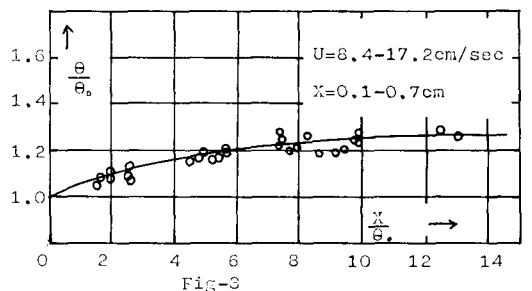
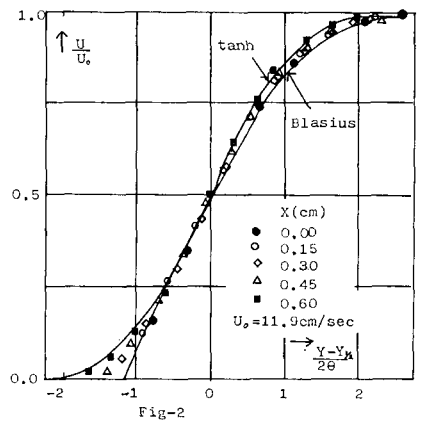
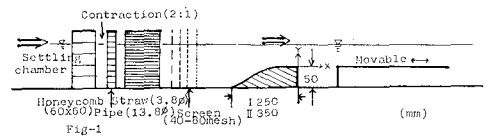
2. 実験装置 水路は透明塩ビ製で全長4m、幅25cm、深さ25cmであり、その内部に整流部、測定部を設けている。整流はハニカム、パイプ、ストロー、スクリーンにて行い、はくり点直前より縮流部上部の Free stream 中の乱れ強度は $u'/u \approx 0.5\%$ 程度であった。この部分の乱れには顕著な周波数成分はみられなかった。縮流部の形状は、はくり点での境界層厚みを変えるため2種類のもの (Type I, II) を用いた。測定用凹部の深さは5cmで、幅12cm、流下方向の長さは可変になっている。流速測定にはホットフィルム流速計と小型フロベラ流速計を使用した。フロベラの位置の同定は精度 $1/100$ の読み取り顕微鏡によった。装置の概要を Fig-1 に示す。

3. 実験結果 1) 流速分布 はくり点上流0.1cm付近での流速分布は、今回のすべての実験条件に対してほぼブラジウス型であり、その形状係数は2.5~2.6であった。Fig-2は、はくり点から流下方向の各断面における流速分布の変化の一例を示したものである。この部分で流速分布は層流境界層型から自由せん断層型に移行している。Fig-3は運動量厚さ、

$$\theta = \int_0^{\infty} \frac{u}{u_0} (1 - \frac{u}{u_0}) dy$$

の流下方向の変化を示したものである。Fig-2の流速分布の変化に対応して θ はゆるやかに増加している。

2) 流速変動 Fig-4は、 $U_0 = 12.6 \text{ cm/sec}$ 、cavity長さ $L = 6 \sim 20 \text{ cm}$ とした場合の $x = 4.0 \text{ cm}$ 、 $\bar{u}/u_0 = 0.9$ の位置における流速変動 u' の周波数スペクトルである。これは0.04秒間隔のデータ512個を用いてFFTにより計算したものである。その基本周波数 f の変化を cavity 長さ L 、 U_0 に対してプロットしたのが Fig-5、6である。周波数 f は L の増加につれて次第に減少するが、ある位置までくるとジャンプし、そして再び減少する。それびれをステージ I, II, III, ... とよぶことにすれば、今回はステージ IIIまで観測された。ここでの f と L 、 U_0 の間には jet-edge tone のようなヒステリシスの関係はみられない。さらに L を増加すると sub-harmonic があらわれる。これは渦の coalescence によるものである。また L が大きくなるにつれ凹部下流端付近の速度変動には高調成分があらわれ、流れの遷移が生じていることがわかる。



3) 界面の不安定波の諸性質 Fig-7a, bは界面に形成された不安定波の位相速度 U_c , 波数 α と角周波数 $\beta = 2\pi f(20m)/u$ との関係である。 θ_m は $\alpha_m = 10\theta$ なる位置での運動量厚さである。¹³⁾この不安定波がroll-upして渦を形成する。波長は流下方向に1~2cmはなれた位置に流速計プローブをおき、それぞれの波形の位相のズレから求めた。位相は流れの横断方向にも変化するので、その方向にトウバースした結果をもとにして、次式で計算した。 $\lambda = 2\pi(x_1 - x_2) / (\phi_1 - \phi_2)$ $\phi_{1,2}$ は断面1,2での位相。Fig-7cは、 L と波長入の比を角周波数に對してプロットしたものである。値に若干のバラツキがあるがステージI, IIに對してほぼ、

$$L/\lambda = n + \frac{1}{2} \quad n = 1, 2$$

の関係がみられる。

4. 実験値の理論的説明 非粘性線形安定性理論によれば、流速分布 $U(y)$ が与えられれば、自由せん断層中の不安定波の諸性質は次のRayleigh方程式

$$[U - \beta/\alpha] \{ \psi'' - \alpha^2 \psi \} - U'' \psi = 0 \quad \psi(\infty) = \psi(0) = 0$$

の固有値、固有関数として与えられる。ここに、 $\psi(x, y, t) = R \{ \phi(y) e^{i(\alpha x - \beta t)} \}$ で ψ は流れ関数、 $\alpha = \alpha_r + i\alpha_i$ は複素波数、 β は角周波数である。流速分布が、

$$U(y)/U_0 = 0.5 (1 + \tanh y/20m)$$

の場合の計算値³⁾を実験値と比較したのがFig-7a, bである。Cavityタイプの場合にも比較的よく合っていることがわかる。自由せん断層の場合には、特に外乱(ラウドスピーカ)のない場合、じょう乱の空間的成長率 $-\alpha_i$ が最大となるような $\beta \approx 0.207$ が出現する。しかし、Cavityタイプの場合には、下流壁の存在によるfeedbackが作用するために必ずしもそうはならない。したがってこのことを表現するしに条件が必要となる。この条件として、 $L/\lambda = n + \frac{1}{2}$ ($n=1, 2, 3$)を用いて求めた、ストローハル数 fL/U_0 と $L/20m$ の関係がFig-8の実線である。この図が示すように、Fig-5, 6に示される f と L , U_0 のバラバラな関係は、 fL/U_0 , $L/20m$ という無次元パラメータで統一的に表現できることがわかる。

5. 結論と今後の課題 Cavityタイプの流れの界面に形成される渦の周波数の決定に線形安定性理論が適用できる見通しがつき、Cavity長さ L と波長 λ の関係を連立させることにより周波数を求めることがわかった。さらに、現在、周波数のjumpの条件、feedback機構の明確化、乱流はくりの場合との比較、交換速度との関係について実験を進めている。

本研究の遂行に助力を賜、た末石冢太助教授に謝意を表します。

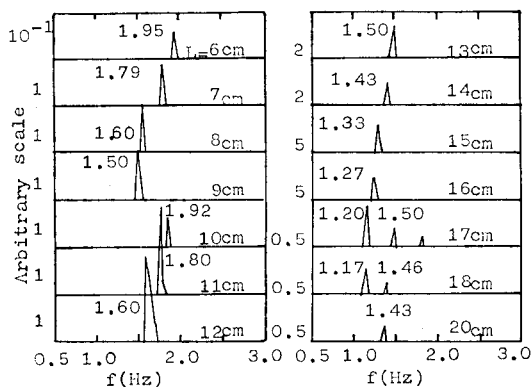


Fig-4

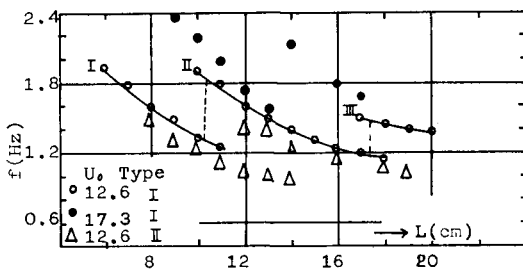


Fig-5

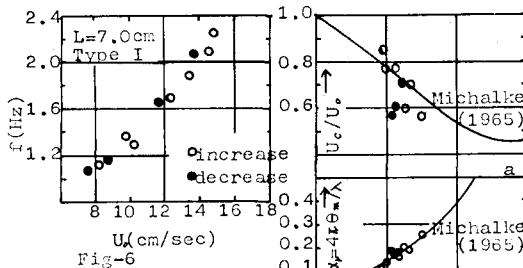


Fig-6

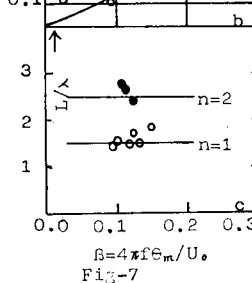


Fig-7

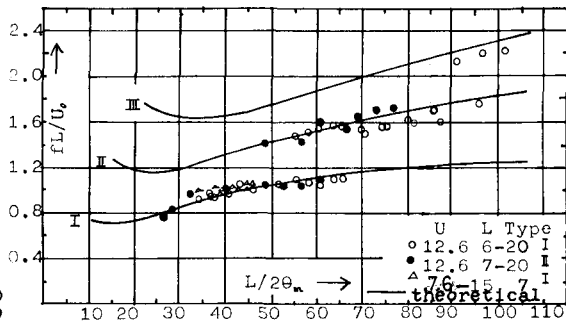


Fig-8