多孔板の流体励起振動*

(渦の発生メカニズムと周波数に関する実験研究)

大久保 精二^{*1}, 幕田 宏^{*1}, 藤田 勝久^{*2}

Flow-Induced Vibration of a Perforated Plate

(An Experimental Study on the Mechanism and Frequency of Ring Vortex Shedding from an Orifice)

Seiji OHKUBO, Hiroshi MAKUTA, and Katsuhisa FUJITA

A flow past a perforated plate produces a whistle or vibration. So to elucidate such phenomena, an experimental study was conducted on the production of ring vortices from plates containing a single or some holes. The mechanism and frequency of vortex shedding was determined as a function of the Reynolds of the jet. At Reynolds numbers below 3 000, vortex rings are formed in the circular jets with a Strouhal of 0.6. This phenomena is not influenced by the hole length. At Reynolds numbers above 3 000, vertex rings with a Strouhal number of 1.6 are formed at the entrance of a hole after their formation some vortex rings combine with other in the hole of at the downstream of the hole. Hence in this way the 1/2, 1/3 and 2/3 components of original frequency $St=1.6$ are measured.

Key Words: Flow-induced Vibration, Perforated Plate, Ring Vortex, Pairing, Experimental Study.

1. 緒 言

ボイラ、反応塔あるいはストレーナなど多孔板を有する機器による振動、騒音は多孔板から発生する渦による流体励起振動と推定されている。

しかし、その渦の発生メカニズムや発生周波数については現在必ずしも明確にはなっていない。

そこでまず第1ステップとして単孔および複数孔を対象とした基礎試験を行い、可視化による発生メカニズムの解明と流れの変動の計測による発生周波数の把握を試みた。

2. 実験方法

実験は流況の観察(可視化)が容易となるよう水流により行った。

図1に装置組立図を示す。流路断面は300×300 mmで全長1500 mmを1:2に分割する上流側に供試板が取付けられている。

供試板、水槽は透明アクリルで作成されている。孔径はφ30 mmを基本とし相似則のcheckのためφ15

mmでも一部実施した。

板厚は実機トラブル事例でよく見られる直径 D と板厚 L の比が1:0.5のものを基本とし Schwirian⁽¹⁾の文献より流体励起振動の影響を受けやすいとされている直径と板厚の比が1:1のものも含めるようにした。

複数孔の場合、基本的な渦干渉のメカニズムを探るためには、二孔モデルが望ましいが、非対称性が出る恐れがあるため、3孔で実施した。また孔ピッチは3種類とした。

供試板の種類は表1のとおりである。

試験流速は、実機トラブルでのレイノルズ数範囲を

図1 実験装置組立

* 昭和63年4月1日 第65期通常総会講演会において講演、原稿受付 昭和62年10月15日。

*¹ 三菱重工業(株)横浜研究所 (〒231 横浜市中区綿町12)。

*² 三菱重工業(株)高砂研究所 (〒676 高砂市荒井町新浜2-1-1)。

カバーするよう孔部流速で、約 $0.1 \sim 1.0 \text{ m/s}$ (レイノルズ数約 $1000 \sim 30000$) を対象とした。($Re = VD/\nu$: 孔部流速, D : 孔径, ν : 動粘性係数)

渦の可視化は、孔の上流縁部よりトレーサを注入することにより行った。また、レーザライトシート法による渦の観測も行った。

渦発生周期は可能な限りビデオなどを用いカウントした。周波数の高い領域ではストロボスコープの発光間隔を渦周期に同期させることにより渦が静止して見えるようにし、この発光周期より渦発生周期を求めた。

同時に、熱線流速計(容量最大 1 m/s)による孔部流速変動、および、圧力計(容量 100 g/cm^2)による圧力変動特性も計測した。計測点は予備実験により、ノイズの影響の少ない孔部直後中央部を代表点とし、必要に応じ孔軸方向および、孔径方向にトラバースし、位置の影響を把握した。

3. 結果および考察

3.1 単孔による実験 本実験の可視化の一例を図2に示す。可視化による渦の観察および熱線流速計による速度変動成分の把握を行った。孔径 D を代表寸法とした場合のレイノルズ数-ストローハル数の関係の $L/D=0.5$ の例を図3に示す。計測位置により検出される成分が異なるため一部重ね書きしてある。

$L/D=0.5 \sim 1.5$ および Sharp Edge のオリフィス(以下単にオリフィスと呼ぶ)の主な成分を表2にまとめて示す。

図3中、 L : 板厚, D : 孔径, f : 発生周波数;

表1 供試板

	with single hole	with three hole
finite thickness	(1) $D = \phi 30$ $L/D = 0.5, 1.0, 1.5$ (2) $D = \phi 15$, $L/D = 1.0$	(1) $D = \phi 30$, $L/D = 0.5$ $S/D = 1.5, 2.0, 3.0$
sharp edge	$L/D = 0.5$

D : 孔径 L : 板厚 S : 孔ピッチ

図2 渦の可視化の例

$St(D)$: 孔径換算によるストローハル数, $Re(D)$: 孔径換算によるレイノルズ数を表す。

これより以下の事項が明らかとなった。

(1) レイノルズ数 3000 以下では、孔内で渦は発生せず、孔から放出後に渦巻く。このときのストローハル数は、いずれも $St(D)=0.6$ である。オリフィスプレートにおいても、 $Re < 3000$ では $St(D)=0.6$ となっており、板厚に影響を受けない部分であることが想像される。オリフィスの結果は Bearvers⁽²⁾ の実験値 ($St=0.63$) とよく一致している。このレイノルズ数範囲では、粘性効果が大きく、たとえ孔入口部で乱れが大きくても、減衰し層流となり、孔から出た後、渦として巻き上がるためオリフィスとの差が現れないものと思われる。

(2) レイノルズ数 $3000 \sim 15000$ では孔内で渦を生じ、図4に示すようにこの渦が孔を出た後に先にできた渦に追いつき一つにまとまる現象 (Pairing) を生じ、数種の周波数成分を持つようになる。ここでは、孔内部流は乱流に変化しており、流体粒子の持つ運動エネルギーも大きくなっていると考えられる。

図5は $L/D=0.5$ におけるストローハル数と位置との関係を示したもので、 0.4 は孔後方全領域で、 0.8 は $0.5D \sim 3D$ で、 1.6 は $1D$ で発生している。渦発生の基本

表2 代表的ストローハル数 $St(D)$

L/D	$Re < 3000$	$3000 < Re < 15000$	$15000 < Re$	$St(D) = \frac{f \cdot D}{V}$
0.5	0.6	0.4, 0.8, 1.6	0.4, 1.6	f: 周波数 D: 孔径 V: 孔部流速
1.0	0.6	0.2, 0.8, 1.6	0.2, 0.8	
1.5	0.6	0.55, 1.1, 1.6	0.55, 1.1	
0.0 sharp edge Orifice	0.6 ~ 0.65	0.6 ~ 1.3 unstable	1.1

図3 単孔の $Re(D)-St(D)$ の関係 ($L/D=0.5$)

成分は、 $St(D)=1.6$ であり、孔より $D/2$ 後方で渦の追いつきにより一つの渦にまとまり $St(D)=0.8$ 成分を生ずる。孔直後では基本成分とまとまったものが混在するが、少し後方ではまとまった成分のみとなる。

$L/D=1.5$ の場合は、孔内でより複雑なまとまり方を見せ、3個の渦が一つになることより基本成分の $1/3$ 成分を生じ、2個の渦のまとまりと、基本成分の渦が交互に放出されることにより $2/3$ 成分を生じ、 $St(D)=0.55, 1.0$ が観測される。

このような渦の Pairing については、福岡・佐藤⁽³⁾ からも報告しており最大4回まで Pairing を生ずる場合があるとしている。

また、 $L/D=0.5, 1.0$ で観測される $St(D)=0.2, 0.4$ 成分は孔入口部からのはく離流線の不安定性に基づく主流の‘揺らぎ’によるものと考えられる。これは、はく離点の安定しているオリフィスで生じていないこと、また、主流方向への整流効果があると考えられる $L/D=1.5$ の孔、および後述する入口部に面取りを施した $L/D=1.5$ のケースではこの成分が観測されなかったことにより推測される。

(3) レイノルズ数 15 000 以上では渦強さも大きくなり、最も支配的成分のみ残留する。

$L/D=0.5$	$St(D)=1.6$
$L/D=1.0$	$St(D)=0.8$
$L/D=1.5$	$St(D)=0.55$

図4 渦の Pairing

図5 孔後方の卓越成分の遷移 ($L/D=0.5$)

いずれも孔内でまとまった成分であり、 L を基準としたストローハル数 $St(L)=f \cdot L/V$ で整理すると $St(L)=0.8$ に統一される。同様に‘揺らぎ’の成分も孔長さにより整理すると、 $St(L)=0.2$ でまとまる。

3.2 複数孔による実験 図6に直線状に配置した複数孔の孔ピッチを変えたそれぞれの場合のレイノルズ数-ストローハル数の関係をまとめて示す。図6より $S/D=1.5, 2.0, 3.0$ いずれの場合も $St(D)=0.4, 1.6$ 付近の成分が計測され、単孔の場合と大差ない結果となっている。

図7に隣り合う孔からの渦発生位の相関係を圧力計により同時計測した結果を示す。波形は $St(D)=1.6$ 相当の圧力変動を示しており、 $S/D=1.5$ の場合渦が発生し始めるレイノルズ数領域では約 90° の位相ずれがあり、明確な圧力変動が生ずるレイノルズ数領域では 180° 位相がずれ隣り合う孔から交互に渦が発生している。 $S/D=2.0, 3.0$ と孔間隔が開くにつれ相関は徐々にくずれてゆく。

図6 複数孔の $Re-St$ の関係 ($L/D=0.5$)

図7 複数孔の渦の位相 ($L/D=0.5$)

図 8 面取り孔の $Re(D)$ - $St(D)$ の関係 ($L/D=0.5$)

4. 今後の課題

本研究により、多孔板励振の基本特性が明らかとなったが、今後の課題としては、発生防止法の検討が必要である。

過去に孔入口部に面取りをして効果を上げた例があるため今回この効果を再確認するため供試板に面取りを施し、周波数特性を把握した。この結果を図 8, 9 に示す。

図 8 は $Re(D)$ に対する $St(D)$ の関係を示したもので○の大きさは速度変動の大きさを表している。

孔出口部では面取りにより $Re > 15\,000$ の流速域では卓越成分がなくなり、 $Re < 15\,000$ でも卓越成分の絶対値が極端に減少することがわかる。

図 9 は渦の発生状況を示したもので、面取りにより、渦の巻き上がる位置は後流側にずれ $1D \sim 2D$ 後流で、 $St(D)=0.6$ 成分が卓越している。本来生ずるはずの孔入口部ではなく離が押さえられ孔内部で渦が生じない

図 9 孔後方への面取りの影響

ため低レイノルズ数領域の特性がそのまま残るものと思われる。しかし、この位置においても変動レベルは面取りなしの場合の半分となっている。

5. 結 言

多孔板の流体振動特性を明らかにする目的で、単孔および複数孔による渦発生メカニズムの解明と発生周波数の把握を行った。さらに振動防止策の一例としての孔の面取りについても検討を加え、その効果を明らかにした。

文 献

- (1) Schwiriah, R. E. A Mathematical for orifice, *Flow Induced Vibration, of Power Plant Components*, Aug., (1980), ASME.
- (2) Beavers, G. S, and Wilson, T. A. Vortex growth in jets, *J. Fluid Mech.*, 44, part 1 (1970), 97-112.
- (3) 福岡・佐藤, 二次元噴流中のオーガナイズドモーションの構造とその水理学的役割, 土木学会論文報告集, 277 (昭 62-9).