7. 振動流による水槽底面上の ridge のまわりの二次流れ

九大 応力研 辰野正和

Secondary flow around ridges on the bottom floor
in an oscillatory water tank

Masakazu TATSUNO*

Circular cylinders, flat plates or a rigid wavy wall was fixed on the bottom floor of a water tank.

When the fluid in the tank was performed in sinusoidal oscillations along the floor, the secondary flows induced around the ridges were investigated experimentally by means of flow visualization techniques.

In the case of a single ridge, another circulatory streaming is induced near the bottom floor besides what is called the inner one and the outer.

In the case of several ridges at regular gaps, there exist two circulatory streamings in each gap.

1. まえがき

正弦的に振動している広い流体中におかれた円柱、角柱、球等のまわりに誘起される二次流れについてはかなり調べられている。その場合、一般に、二次流れは、内部循環流と外部循環流とからなっている。特に、円柱、球の場合、流れ場は対称的である。

ところで、円柱等が水槽の底面に置かれ、いわゆる ridge を形成している場合、その上の流体が正弦的に振動する際の物体まわりの流れについては、ほとんど調べられていない。この場合、水槽の底、および物体まわりに振動境界層が形成されるのであり、そこに誘起される二次流れも複雑なものとなる。本研究では、単独の円柱、平板および複数の円柱、平板を水槽底面に並べ、そのまわりに誘起される二次流れを可視化して調べた。合わせて、固定した波面上の二次流れも調べた。

2. 実験方法

実験は、Fig. 1 に示すように、断面 $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ の透明アクリル樹脂製の水槽

*Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, 6 - 10, Hakozaki Higashiku, Fukuoka, 812 Japan

中の流体をピストンにより正弦的に振動させて行った。水槽のテストセクションの底面に、円柱、平板、波面板を固定した。円柱等は、振動流を横切るように配置されている。使用した円柱は、直径 1.53 cm , 1.05 cm の二種類、平板は、厚み 0.105 cm で水槽底面に垂直に立てて固定した。その高さは、 1.05 cm であり、先端は鋭角に削られている。波面板はジュラルミン製で、波高 0.9 cm , 波長 9.7 cm である。作業流体は、水または水とグリセリンの混合液を使用した。実験を行った流体の振動数は 1.5 Hz 以下、振幅は 1.6 cm 以下であった。

流れの可視化のために流体中にはアルミ粉末が混入されている。また、二次流れのみを観察するために、光源として使用したスライドプロジェクターの前方にシャッターを設け、これを流体を振動させるピストンの運動と同期させて電氣的に開閉させ、流体の一振動毎に一回、流体の振動運動のほぼ中央位置で流れに光があたるようにしている。カメラのシャッターを一定時間開放にして、フィルム上に流体運動の二次流れのみを記録する。

3. 実験結果

物体の底面からの高さを $h\text{ cm}$, 物体の中心間距離を $a\text{ cm}$, 流体振動の振動数を $f\text{ Hz}$, 振幅を $s\text{ cm}$, 流体の動粘性係数を $\nu\text{ cm}^2/\text{s}$ とする。二次流れを特長づける無次元量は、 $R_h = \omega h^2/\nu$ と $R_s = \omega s^2/\nu$ である。ここで $\omega = 2\pi f$ である。

3.1. 円柱製 ridge の場合

無限振動流体中におかれたい本の円柱の場合と同様、 R_h によって流れのパターンは変化する。つまり、 R_h が小さいと振動境界層が厚く、そこに形成される内部循環流の層も厚い。Fig. 2 は、 $R_h = 13.9$ であって、円柱の上面から直角に流れ出す向きを持った内部循環流が見られる。そのまわりに弱い外部循環流も誘起されている。さらに、底面近くの、内部循環流と底面との間にも循環流が形成されている。Fig. 3 は、 R_h が大きく、内部循環流は極く薄いためほとんど見ることはできず、外部循環流が明瞭

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

Fig. 2 Secondary flow around a circular cylinder ridge.

$h = 1.27\text{ cm}$, $f = 0.850\text{ Hz}$, $\nu = 0.618\text{ cm}^2/\text{s}$, $s = 0.40\text{ cm}$, $R_h = \omega h^2/\nu = 13.9$, $R_s = \omega s^2/\nu = 1.38$, exposure time $t_e = 180\text{ sec}$.

Fig. 3 Secondary flow around a circular cylinder ridge.

$h = 1.27\text{ cm}$, $f = 0.505\text{ Hz}$, $\nu = 0.0115\text{ cm}^2/\text{s}$, $s = 0.45\text{ cm}$, $R_h = 445$, $R_s = 55.8$, $t_e = 60\text{ sec}$.

に見られる。この場合も、底面との間にさらにもう一つの循環流が形成されている。この循環流は、無限流体中では形成されないものである。

Fig. 4 は、複数の円柱を並べた ridges のまわりに形成される二次流れの例である。この場合、五本の円柱の中央部三本が写っている。 R_h の小さい場合の例であって、各円柱まわりに内部循環流に相当する流れが形成され、円柱間の隙間は、この循環流で満たされている。Fig. 5 は、同じ ridges だが、 R_h が大きい場合の例である。各円柱まわりには、薄い内部循環流の層があり、その外側に強い外部循環流が形成されている。円柱間の隙間は、外部循環流で占められている。そのため、Fig. 4 と Fig. 5 とでは、隙間の中の流れの向きは逆になっている。

3.2. 平板製 ridge の場合

平板の厚みが 0.105 cm と薄いため、流体の一振動毎に先端で流れの剥離が起っているが、二次流れのパターンは、剥離のない円柱の場合と基本的に同等である。Fig. 6 は、 R_h の小さい場合で、内部循環流に相当する流れが大きく張り出している。Fig. 7 は、 R_h の大きい場合で、内部循環流、外部循環流の二重構造が明瞭に見られる。ところで、ここに写真は示していないが、平板の場合、 R_h, R_s が大きくなると流れに三次元性が現れやすくなる。

Fig. 8, Fig. 9 に、平板による複数の ridges のまわりの流れを示す。Fig. 8 は、 $a/h = 2.0$ 、Fig. 9 は、 $a/h = 4.0$ の場合である。いずれの場合も、平板間には、二個の逆向きの循環流が形成されている。

3.3. 波面板の場合

ゆるやかな波面板上にも、振動流によって、二次流れが形成される。Fig. 10 は、 R_h の適当な大きさの場合であって、波面に接

Fig. 4 Secondary flows around circular cylinder ridges.
five cylinders, $h = 1.05\text{ cm}$, $a = 4.20\text{ cm}$, $a/h = 4.0$, $f = 0.505\text{ Hz}$,
 $\nu = 0.155\text{ cm}^2/\text{s}$, $s = 0.15\text{ cm}$, $R_h = 22.5$, $R_s = 0.459$, $t_e = 180\text{ sec}$.

Fig. 5 Secondary flows around circular cylinder ridges.
five cylinders, $h = 1.05\text{ cm}$, $a = 4.20\text{ cm}$, $a/h = 4.0$, $f = 0.913\text{ Hz}$,
 $\nu = 0.034\text{ cm}^2/\text{s}$, $s = 0.50\text{ cm}$, $R_h = 185.6$, $R_s = 42.1$, $t_e = 240\text{ sec}$.

Fig. 6 Secondary flow around a flat plate ridge.
 $h = 1.05\text{ cm}$, $w = 0.105\text{ cm}$, $f = 0.495\text{ Hz}$, $\nu = 0.624\text{ cm}^2/\text{s}$, $s = 0.25\text{ cm}$, $R_h = 5.49$, $R_s = 0.311$,
 $t_e = 180\text{ sec}$.

した内部循環流とその外側に誘起される外部循環流との二重構造が明瞭に見られる。Fig. 11 は、クント管中に入れられた燈油の層が、音の定在波の圧力分布に従って、液面が波面状に変形した場合である。この場合の液面上部の空気中に誘起される二次流れをたばこの煙で可視化している。この場合、 R_h が大きいので、外部循環流に相当する流れしか人の目には見えない。

Fig. 7 Secondary flow around a flat plate ridge.
 $h = 1.05$ cm, $w = 0.105$ cm, $f = 0.859$ Hz, $\nu = 0.0795$ cm²/s, $s = 0.25$ cm, $R_h = 74.7$, $R_s = 4.25$, $t_e = 180$ sec.

Fig. 8 Secondary flows around flat plate ridges.
 nine flat plates, $h = 1.05$ cm, $w = 0.105$ cm, $a = 2.10$ cm, $a/h = 2.0$, $f = 1.01$ Hz, $\nu = 0.183$ cm²/s, $s = 0.12$ cm, $R_h = 38.1$, $R_s = 0.499$, $t_e = 180$ sec.

Fig. 9 Secondary flows around flat plate ridges.
 five flat plates, $h = 1.05$ cm, $w = 0.105$ cm, $a = 4.20$ cm, $a/h = 4.0$, $f = 0.545$ Hz, $\nu = 0.184$ cm²/s, $s = 0.15$ cm, $R_h = 20.5$, $R_s = 0.417$, $t_e = 240$ sec.

Fig. 10 Secondary flows around a rigid wavy wall.
 $h = 0.9$ cm, $a = 9.7$ cm, $a/h = 10.8$, $f = 1.21$ Hz, $\nu = 0.191$ cm²/s, $s = 0.25$ cm, $R_h = 32.3$, $R_s = 2.49$, $t_e = 120$ sec.

Fig. 11 Secondary flows in a Kundt's tube included paraffin oil.
 1.73 cm x 1.73 cm x 99.2 cm closed pipe, smoke of cigarettes, $f = 1803$ Hz.