光学式液面傾斜角計を用いた水膜流表面形状の測定

Measurement of surface deformation of water sheet
using an optical liquid surface inclinometer

○知念 正太(信州大) 正 佐々木篤史(信州大)

Syota CHINEN, Faculty of Engineering, Shinshu University, Wakasato 4-17-1 Nagano.
Atsushi SASAKI, Faculty of Engineering, Shinshu University, Wakasato 4-17-1 Nagano.

Key Words: Liquid sheet, Inclinometer, Disturbance, Air entrainment

1. はじめに

静止した水面に水流が突入すると、突入した流れによって大気中の空気が気泡として水中に取り込まれる。自然界においても、滝などでその現象は確認することができる。取り込まれる気泡の数や体積などは突入する水膜の表面形状に依存していることがわかっている⁽¹⁾。比較的流速が遅く、表面の乱れが少ない水流が水面に突入した時には気泡の取り込みも少なく、流速が速く表面が乱れている時は気泡の取り込み量が増えることが知られている⁽²⁾。また流速が遅く気泡が取り込まれない状態の水流に人工的なかく乱を与えられ、それによって水流が乱れて気泡が取り込まれることがある。しかし、与えられたかく乱の性質によってどのような気泡が発生するかは明らかにされていない。

本研究では水槽に突入する水膜流に攪乱を与え、気泡を作成するメカニズムを理解することを目的としている。かく乱を与えたことで起こる水膜流の表面変形を、レーザーシート光とフォトダイオードから成る光学式液面傾斜角計を用いた測定を試みた。

2. 装置概要

装置の全容を Fig.1 に示す。高さが 3mm、幅が 100mm のチャンネル出口から噴出される水膜流は水槽の壁面に沿って、水槽の水面に突入する。チャンネル流よりも上流には整流部と縮流部が設けられており、水膜流の初期かく乱が小さくなるように配慮されている。本実験では、流速を 1.0m/s と設定した。座標系は水槽壁面上のノズル出口を原点として流れ方向に x 、壁面垂直方向に y を考える。かく乱を与えた水膜の背後にカメラを設置し、壁面のガラスを通して気泡の取り込み過程を撮影している。

強さと周波数が制御されたかく乱を水膜流に与えるため、出力 75W、最低共振周波数 40Hz のスピーカーによってつくられる間欠的な空気噴流を水膜流の水面に衝突させる。スピーカーへの入力信号として正弦波を断続的に与えており、入力電圧を変えることでかく乱の強さを、またスピーカーの駆動時間を変えることで水面変形の時間を制御している。本実験では正弦波の周波数を 100Hz と設定した。かく乱噴出口の内径は 1.5mm とし、精密移動ステージによって $x=5\text{mm}$ 、 $y=5.00\text{mm}$ の位置に設置されている。

本装置では水膜表面の変形を角度の時間的変化として測定することを試みた。レーザーとセンサは図の位置に設置した。レーザーからはシリンダリカルレンズを通した焦点距離 50mm の水平なシート状の光が出ている。水面を通過した光は水膜表面でその形状に応じて屈折するため、透過光の方向が変化する。変位を計測するためのフォトダイオードが

1.5mm の間隔で 64 個取り付けられている。光が当たっていない時には 5V の出力をし、光が当たった時には 0V の出力信号が得られる。光源にレーザーポインタを使用せず、シート状のレーザー光を用いることによって、水膜スパン方向の変位によってレーザーがはじかれてもセンサで読み取ることのできるようになっている。

3. かく乱の挿入と変位の計測

かく乱の振幅と変動時間を変えて気泡が発生する条件について調べた。スピーカーの駆動電圧と駆動時間を変えることでかく乱の振幅と変動時間を制御した。スピーカーの駆動電圧 E を 1~6V、駆動時間 T を 1.0~3.0ms に変えた時の結果を Fig.2 に示す。図中の四角は気泡が発生しなかった点、白丸は気泡が発生した点を表している。これより駆動電圧を高くし、駆動時間を長くすることで気泡が発生することが分かった。

スピーカーの駆動電圧と駆動時間を変えてカメラによって気泡の取り込み状況を観察した。 $E=3\text{V}$ 、 $T=1.0\text{ms}$ としたとき画像を Fig.3(a)に、 $E=3\text{V}$ 、 $T=2.0\text{ms}$ としたときの画像を Fig.3(b)に示す。カメラはかく乱を与えた部分の真下に設置しており、 $x=30\text{mm}$ に示す黒線が水槽の水面となっている。Fig.3 に示す写真と同じ流速で、初期かく乱を全く与えないと水面に大きな変化は見られず、気泡は全く発生しない。Fig.3 (a)の場合ではかく乱が水槽水面に衝突することによって水面が大きく変形し、気柱が形成される。画像に見られる気柱は長さ約 4mm まで伸ばされたあと、表面張力によって

Fig.1 Water sheet system.

Fig.2 Relation between disturbance condition of water sheet and air entrainment.

Fig.3 Surface deformation due to water sheet disturbance. Signal condition for loudspeaker; (a) $E=3.0V$, $T=1.0ms$, (b) $E=3.0V$, $T=2.0ms$.

Fig.4 Periodic change of inclination angle on the water sheet surface. (a) $E=0.75V$, 100Hz, (b) $E=1.0V$, 100Hz, (c) $E=1.25V$, 100Hz.

水面の変形はもとに戻る。そのためこの条件で気泡が発生することはなかった。Fig.3 (b)の場合ではスピーカーの駆動時間を長くしたため(a)の条件よりも幅広い気柱を形成する。この気柱も下流方向に伸ばされた後、水面に戻るがその過程において気柱の先端から直径 1mm 程度の小さい気泡を水中に取り込んでいる。 $E=3V$ の条件のもとスピーカーを連続して駆動させ続けると Fig.3(b)と同様の過程を経て、気泡の取り

Fig.5 Time sequence of inclination angle on the water sheet surface (a) Signal condition for loudspeaker, (b) $E=1.0V$, $T=1.5ms$, (c) $E=1.25V$, $T=1.5ms$.

込みが周期的に観察された。与えたかく乱の強さを定量的に評価するため、かく乱の強さを変えて、水面の角度変化をレーザー装置を用いて計測した。計測位置はかく乱を与えている点の下流 10mm の位置で行っている。Fig.4 は連続したかく乱を与え続けた場合の水膜表面の変位をレーザー装置で観察した結果である。測定された変動の周期は 10ms となり、これはかく乱を与えているスピーカーの周波数と対応していることがわかる。出力電圧を大きくすると振幅が大きくなる。

スピーカーの駆動時間を $T=1.5ms$ で一定にし、駆動電圧を達した場合の測定結果を Fig.5 に示す。Fig.5(a)はスピーカーへの入力信号であり、傾斜角の測定と同期している。Fig.5(b)に $E=1.0V$ とした結果を示す。 $t=0ms$ においてスピーカーはまずダイヤフラムを押し出し、それから縮めるので、水面は凹状に変形すると考えられる。そのため水膜表面の傾斜角が負の値として計測されたと考えられる。 $t=10\sim50ms$ の部分では、駆動させたスピーカーの変動を伝播しているのが分かる。この部分の周期は 10ms となっており与えた周波数と対応している。またこの時の水面の最大傾斜角度は 10deg 程度となっている。これよりも後の時刻では水膜表面は減衰振動となり、傾斜角度は 0deg となっている。 $E=1.25V$ としたかく乱を与えた時の計測結果を Fig.5(c)に示す。 $t=10\sim50ms$ の部分での変形の周期は 10ms となり、与えたかく乱の周波数と対応している。最大振幅角は 13deg 程度となっており、出力電圧を上げると振幅角も増していることが確認できる。

4. まとめ

壁面に沿う水膜流が静止水面に突入する流れにおいて、初期かく乱を与えた際の気泡の発生について調べた。かく乱を与えるスピーカーの駆動時間と駆動電圧を調節することで、初期かく乱の強さと周波数を変化させることができることを示した。気泡が発生する条件について整理し、水膜流水面の傾斜角を光学式液面傾斜角計によって計測することでかく乱の性質を定量的に示した。

5. 参考文献

- (1) 馬場, 佐々木, 東海支部講演論文集, No.063-1(2006), 329-330.
- (2) 水谷ら, 機構論, No.047-1 (2004), 59-60.