

筑波大学基礎工学類 学生員 加瀬 直人
 筑波大学機能工学系 正会員 京藤 敏達
 筑波大学機能工学系 正会員 西村 仁嗣

1. はじめに

越流水膜の自励振動はダムや堰などにおける水流落下時の低周波音の発生に関与し、水膜破碎後の水滴の生成はダムからの放水に伴う熱交換を促進するため環境問題の点からも注目されている。本研究の目的は、水膜破碎に到る不安定メカニズムを実験的に調べることで、水域と大気との相互作用の素過程を検討することである。さらに、その結果をもとに水膜振動のモデル化および水膜破碎位置の予測およびその制御を行うことにある。

2. 実験概要

2.1 実験装置

水膜が自由落下し、空気との相互作用により不安定となる過程を詳細に調べるため、以下のような鉛直落下型の水膜流発生装置を作成した。

パイプ架台の上に整流水槽を設置し、45mm の給水管に調節弁を付け流量を調節した。また、落下した水膜は下段の水槽に入り、ポンプにより上段の水槽に運ばれる。水膜流出部は幅 3mm のステンレス製の刃先からなり、そこから自由落下水膜が形成される構造とした。特に、水膜幅が表面張力によって減少することを防ぐために、水膜両端に側壁を設置した。(図 1)

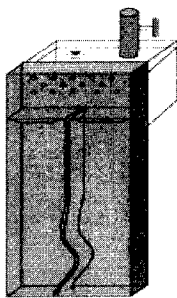


図 1: 実験装置の概略

2.2 実験方法

実験は 1.7m の高さから水を落下させ、水膜が側壁

に沿って自由落下するときの水膜の水平変位をレーザー変位計(超ロングレンジ ccd 変位センサ: (キーエンス・LK-500)) により計測した。サンプリングタイムは 1/500 秒である。

図 2 に本実験の水膜流速、水膜厚さ、水膜内部流のレイノルズ数、空気流のレイノルズ数を理論から概算した値を示す。ここで、水膜流速および厚さはベルヌーイの定理にしたがい粘性域の影響がないとして算出した。また、図のレイノルズ数は、水膜流出部から粘性層流境界層が流下方向に発達したとして境界層厚さを $\delta = 1.2\sqrt{2\nu_a x/V_w}$ より見積もり、

$$Re_w = \frac{(V_{w,max} - V_w)h}{\nu_w}, \quad Re_a = \frac{V_w \delta}{\nu_a}$$

ここで、h は水膜厚さ、 ν_a および ν_w は空気および水の動粘性係数、 V_w は水の落下速度、 $V_{w,max}$ は水膜内の流速分布がボアズユ流れであるとして求めた水の最大流速である。

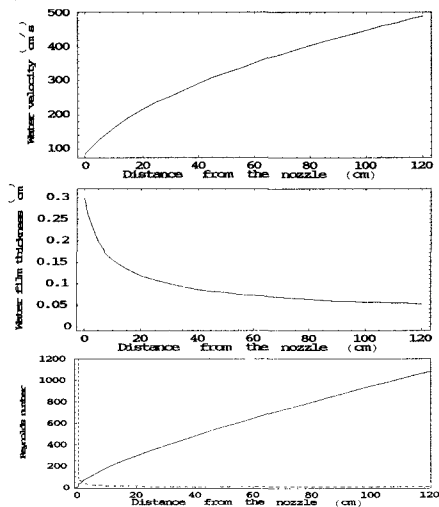


図 2: 水膜の落下速度、厚さ、水および空気のレイノルズ数
 (— 空気の Re
 水の Re)

キーワード: 落下水膜, せん断不安定, 空気流

連絡先: 〒305-8573, 筑波大学 機能工学系 水工学研究室, Tel: 0298-53-5486

2.3 実験結果

図 3 は水膜の各高さにおける時間変動のパワースペクトルをプロットしたものである。図の x 軸は水膜流出部を原点として鉛直下方を正とした時の距離を示している。パワーのピークがいずれの計測点においても、周波数 20Hz 付近に現れている。また、周波数 20Hz のパワースペクトルとその対数を落下距離の関数としてプロットしたのが図 4、図 5 である。

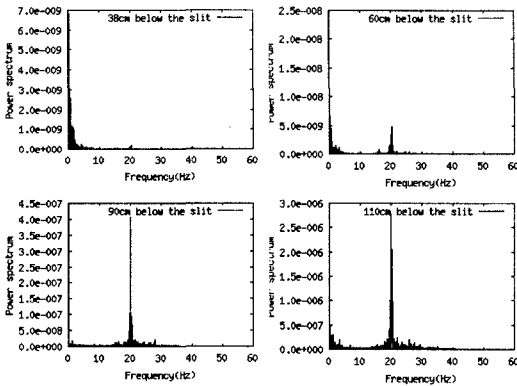


図 3：水膜振動のパワースペクトル

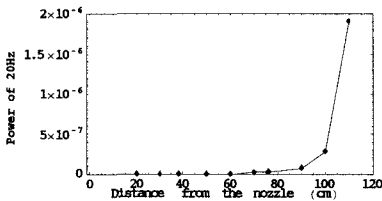


図 4：20Hz のパワースペクトル

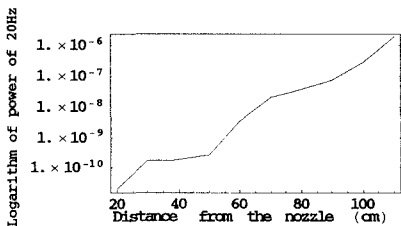


図 5：20Hz のパワースペクトル(対数)

図 4、図 5 より水膜振動のパワースペクトルは、ほぼ指数的に増加していることが分かる。図 5 の曲線の勾配は増幅係数をあらわすが、この図から落下距離が 60cm 辺りから下流に向かって水膜振動は急激に増幅されている。この 20Hz の振動の波長を、波速と流速がほぼ等しいとして $L=V_w T=V_w/20$ を用いて概算した

のが図 6 である。この図から水膜振動の増幅が始まる落下距離 60cm 辺りでは、波長はおよそ 20cm であり表面張力が原因で発生した不安定波ではないことがわかる。

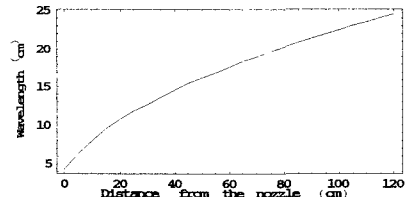


図 6：20Hz の振動の波長

3. 考察

落下水膜の振動が、空気とのせん断による不安定性に原因があると仮定すると、臨界レイノルズ数 $Re_{cr}=520$ 付近で生じた空気流の乱れが振動の原因になったと考えられる。これは、図 2 より流出部から 50cm 付近に当たる。また、流出部より 60cm 付近からパワースペクトルが大きくなっていることが図 4 からわかる。これは 50cm 付近で生じた空気流の乱れが、水膜に伝わり増幅され生じたものと考えられる。

4. まとめ

落下水膜の振動の発生原因は、水脈と空気とのせん断不安定性であると考えられる。今後は空気流の可視化を含め、水膜破碎位置の予測、および水膜破碎後の水滴の生成過程について研究を進める予定である。

謝辞

本研究を行うに当たり、筑波大学技官 中島孝、小島篤志、飯高稔の諸氏には実験装置の製作にご協力いただきました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 逢澤正行, 篠原修: 自由落下型と越流型の落水表情についての実験的研究, 土木学会論文集, 第 43 巻, pp105-115, 1998.
- 2) 本間仁, 荻原国宏: フラップゲートの振動についての理論解析, 土木学会論文報告集, 第 238 号, pp43-53, 1975.