

Ⅱ-175

越流水膜の低周波振動 ～水膜軌跡特性について～

建設省土木研究所 正員 ○菅原崇之
 建設省土木研究所 正員 柏井条介
 建設省土木研究所 正員 安達孝実

1. はじめに

ダム・堰において特定の放流条件のもとで越流水膜の振動現象・低周波空気振動現象が発生することがある。この振動機構を解明し、水膜振動を防止することは工学的に重要な課題であり、これまでに水膜背部の共鳴モデルや閉空間内の圧力差モデルが提案されているが、いまだ統一の見解に至っていない。

本研究では越流堰を対象とした実験を行い、上流側越流水深を変化させた場合の水膜軌跡形状の水理特性について運動方程式を活用した検討を行った。

2. 実験装置および実験方法

実験模型の概要を図-1に示す。模型は総落下高2.87m、越流幅3.90mの越流型模型で、越流部は刃型堰を45°の起立角で固定した。両側には側壁を設置して越流水膜背部に閉空間を形成させた。水膜軌跡は透明アクリル製とした側壁部において、背部壁面からの平均・最大・最小の各水平距離を測定した。なお、対象とした越流水深 h_0 は2.5～8.5cmであり、4.5～7.5cmにおいて、屈曲波形による25.0～25.5Hzの卓越周波数(音圧1μPa)の発生が確認されている¹⁾²⁾。

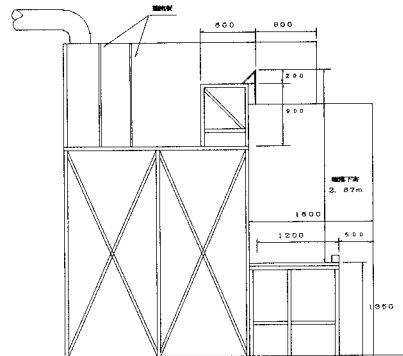


図-1 越流水膜実験装置

3. 水膜の軌跡特性

3-1. 水膜の軌跡特性

最初に、内部閉空間の圧力特性を考慮した水膜の落下軌跡の検討を行った。図-2に示す微小体積 $\delta A \cdot h$ についての運動方程式は式(1)～(2)である。閉空間内外の圧力差 Δp は水脈軌跡と垂直に作用する。ここでは、水平方向において閉空間内部の平均圧力にほとんど変化がないという実験結果¹⁾²⁾より、 Δp を背部壁面の平均圧力値として使用した。

$$\rho h \delta A \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{\Delta p \delta A}{\sqrt{1 + (dy/dx)^2}} \quad (1)$$

$$\rho h \delta A \frac{d^2 y}{dt^2} = +\rho g h \delta A - \frac{\Delta p \delta A}{\sqrt{1 + (dy/dx)^2}} \quad (2)$$

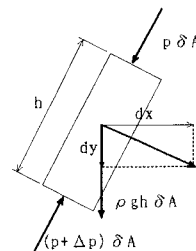


図-2 水膜微小体積に作用する力

ここに、 ρ :水の密度、 g :重力加速度、 h :水膜厚である。

運動方程式より導いた水膜軌跡と水膜の水平方向平均距離の測定結果を図-3～5に示す。上流端の刃型堰での流れは急変流であるがここでは、上流端では初速度 v_0 で水平に放流されると仮定し、 v_0 に補正係数 α を乗じて水面形実測値が表現できるように求めた。図-6は v_0 と上流端での平均流速の比を示したものであるが、 α は1.26～1.55程度となっており、越流水深 h_0 が増加とともに、やや減少する傾向を示している。 α が1より大きいのは越流時の縮流の影響によるものと考えられ、計算値は実験値をよく表している。図-3～5では、閉空間圧力の影響のない場合の計算結果を同時に示しているが、 Δp の影響は越流水深 h_0 の増加とともに小

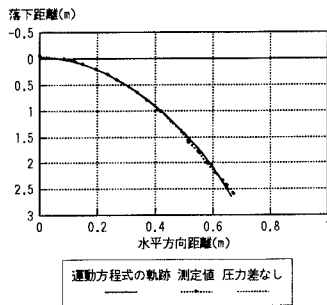


図-3 越流水膜の落下軌跡
越流水深 $h_o=2.5$ cm

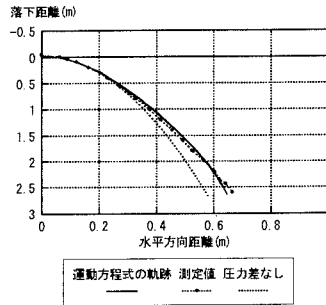


図-4 越流水膜の落下軌跡
越流水深 $h_o=4.5$ cm

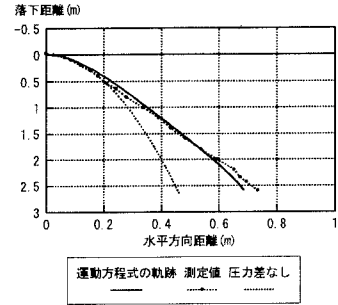


図-5 越流水膜の落下軌跡
越流水深 $h_o=6.5$ cm

さくなり、越流水深 $h_o \geq 6.5$ cm では内外の圧力差が軌跡形状にほとんど影響を与えないことがわかる。

3-2. バネ・マスモデルによる低周波数分析

次に、3-1で算出した水膜軌跡形状から周波数分析を行った。式(3)は、水膜背後閉空間と水膜重量によるバネ・マス系の固有周波数(1次)である。

$$f = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho_a S_w}{V \rho_w h}} \quad (3)$$

ここに、 C :空気中の音速、 ρ_a :空気の密度、 ρ_w :水の密度、 V :空洞の容積、 S_w :水膜の面積、 h :水膜厚である。なお、水膜厚 h は平均水膜厚を使用した。

表-1に、式(3)による周波数分析結果を示す。表-1より、越流水深の増加とともに周波数 f は増加し、音圧レベルの卓越周波数が認められた越流水深帯での周波数はほぼ同程度の値が得られている。

4. おわりに

本研究の成果は以下のとおりである。

- ・初速度 v_0 を適切に評価すれば、水膜の軌跡形状が閉空間内部圧力の影響を考慮した運動方程式により表現できる。
- ・水膜落下軌跡に対する閉空間圧力の影響は越流水深が増加するにつれて小さくなり、 $h_o \geq 6.5$ cm では影響がほとんど無視できる。
- ・屈曲波形による音圧レベルの卓越周波数は、バネ・マスモデルでの計算値と同程度の値となる。

今後は、総落下高を変更した場合について検討を進めるとともに、新たな振動モデルの開発を行う方針である。

参考文献

- 1) 安達・高須・河合:越流水膜に生じる低周波振動の発生機構に関する実験的考察, 第49回年次学術講演会講演概要集第2部, 1994
- 2) 菅原・柏井・安達:越流水膜の低周波振動現象における背部閉空間内の圧力特性, 第22回関東支部技術研究発表会概要集, 1995

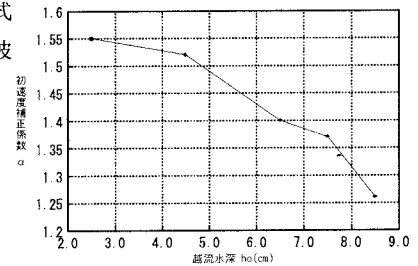


図-6 越流水深 h_o と初速度補正係数 α

越流水深 h_o (cm)	式(1)による 周波数(Hz)	音圧レベルの 卓越周波数
2.5	64.43	
4.5	41.83	25.0
6.5	31.41	25.0
7.5	27.57	25.5
8.5	23.31	

表-1 音圧レベルの卓越周波数と
周波数分析結果