

II-210

フラップゲート越流水膜の振動特性

建設省 土木研究所 正員 角 哲也
三菱重工業(株) 横浜研究所 正員 大久保 精二

1.はじめに 越流水膜の振動現象について、ダムの洪水吐き等に設置されるフラップゲートを取上げ、前報¹⁾で示した鉛直落下型の水膜モデルとの相違を考察する。また水膜放出部であるゲートの振動が水膜単独の振動に対していかなる影響を持つかを、ゲートを強制加振できる装置を用いて水膜への応答を見ながら検討する。

2.水膜振動機構 図1に水膜振動機構のブロック図を示すが、発生源としては①放出部の乱れ(せん断渦、放出部振動)、②落下音圧(衝撃)、また増幅機構として④水膜の固有値、⑤空洞の固有値が存在する。さらに、前報で指摘されるように水膜の流速に大きく依存する水膜の不安定性も振動の発生にとって重要と考えられる。いずれにしてもゲート越流水膜の場合には、ゲートの振動が放出部の振動につながり、その場合の水膜に与える影響は余りにも大きいため、水膜の振動を考える際には、その発生源としてのゲート振動の有無により現象を区別する必要がある。

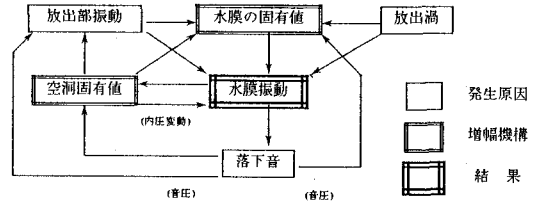


図-1 水膜振動機構 ブロック図

3.フラップゲート越流水膜の振動実験(ゲート固定)

図-2に実験に用いたフラップゲート模型を示す。ゲートの越流面は直線とし、支えのロッドによりゲート角度が調節可能である。実験条件は(1)越流高 h 20~74mm、(2)落下高 H 1300、1800mm、(3)給気 有・無、(4)ゲート角度 20、40°とし、微差圧計により空洞内の圧力変動、超音波距離センサにより水膜振動(表、裏)、低周波レベル計により音圧レベル、またゲート上面の圧力を圧力変換器により計測した。またゲートの振動を測定するために加速度センサを使用している。

(越流水膜の落下軌跡) 図-3に軌跡を示すが、空洞に給気をして圧力を開放している場合には、ナップ下面の最高点(x_0, y_0)を原点とし、越流高 h_0 で無次元化された座標で同一の軌跡を描く。一方、給気無の場合には空洞内部の圧力が低下するために図のように水膜が壁側に引き込まれた軌跡となり空洞容積が減少する。

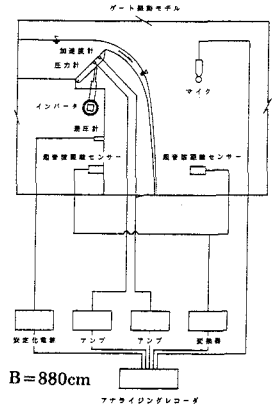


図-2 実験装置 概要

(水膜振動特性) 写真-1に越流高約30mm、落下高1800mm、給気無、ゲート角度40°の場合の水膜振動状況を示す。鉛直落下水膜がスリット出口からすぐに振動が観察されるのに比べて、この越流水膜は700~800mm落下してから急に振幅が増大するのが特徴である。図-4に越流高と超音波距離センサで測定した水膜振動(表)の周波数特性を示す。給気無の場合には越流高が6.81cmまで振動が確認されるが、発生周波数はほとんど変化しない。また、給気有の場合には越流高2.81cmで振動は停止してしまうが、この周波数は給気無の場合より若干高いものの同様と考えられる。

以上により、これらの水膜振動は空洞容積と水膜

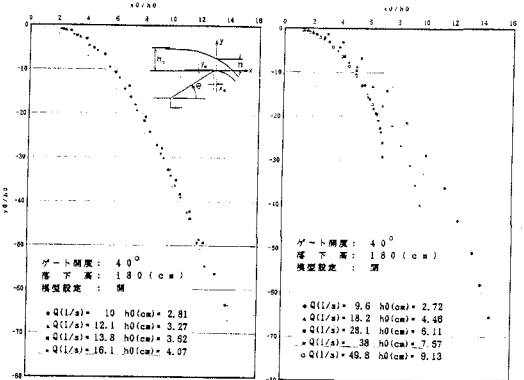


図-3 越流水膜 落下軌跡

質量に依存した空洞固有値を発生源とするものではなく、鉛直落下水膜で確認された水膜の流速に依存する水膜の固有値(不安定性)に従うものと考えられる。越流高によって周波数が変化しないのは、越流水膜の場合には落下初速が大きく変化していないからであろう。もし、水膜の流速による不安定性が振動の原因と考えるならば、越流水膜が途中から急に振幅を拡大している事実を水膜の加速によりうまく説明できる可能性がある。一方、給気をすれば振動が早く停止することから、空洞は周波数を決定するための固有値としてではなく、水膜振動を圧力変動の形で増幅する機能を有しているものと考えられる。

4. フラップゲート越流水膜の振動実験(ゲート加振)

図-2に示したゲート模型のロッドはスライド式のディスクによりモータ軸と直角に連結されており、モータの回転数により周波数を、またディスクの偏心スライド量により振幅を可変可能である。ゲート加振実験の目的

は、実機のゲートが有する本体と支持機構の系の固有振動数によるゲート面の振動が、水膜にいかなる影響を与えているかを確認するためである。おそらく水膜単独の振動は非常に不安定であり、空洞や構造物の固有振動数が近傍に存在すれば容易に引っ張られてしまうことが予想される。予備実験によれば、ゲートの振動振幅の影響がかなり大きく、水膜の固有値と考えられる振動が現れるには0.1mmの振幅まで小さくする必要があり、これより大きいと加振振動数がそのまま水膜振動数になってしまう結果となった。図-5に越流高4.93cm、落下高1800mmの場合の5Hz間隔の加振応答を給気有と無に分けて示している。加振振動数0Hzがゲート固定を示し、給気有では水膜振動は発生しないが、加振振動数を上昇させるにつれて20~30Hzでピークを有する応答を示した。一方、給気無ではゲート固定で約20Hzの水膜振動を生じており、加振振動数が低い場合には変化はなく、15Hz程度から強制加振の振動数に引っ張られる(Locking-in現象)。さらに加振振動数が大きくなって45Hz以上になれば、水膜固有値による水膜振動が復活してくる。

5. おわりに 今回の越流水膜の振動についても、いわゆる水膜の固有値に依存する薄膜の振動の領域と考えられる。またゲート振動により放出点が動けば容易に水膜振動につながり、その周波数と振幅によってはロックイン

現象が生じることが確認された。今後は、水膜の不安定現象を明確にするために、水膜の流速と共に空気

の速度、すなわち風速との相対速度の考え方を導入して整理してみる必要があると思われる。
[参考文献]1)大久保,角;"鉛直落下水膜の振動特性",第43回土木学会年講,1988
2)Hagerty,W.W.et al.;"Study of the Stability of Plane Fluid Sheets", J. of Applied Mechanics, Dec., 1955
3)Schwartz , H.I.; "Nappe Oscillation", J.Hyd.Div. ASCE, 90, 1964

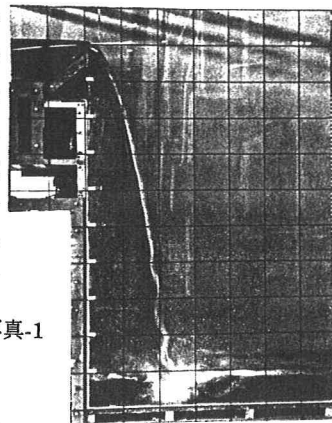


写真-1

越流水膜振動(ゲート固定)

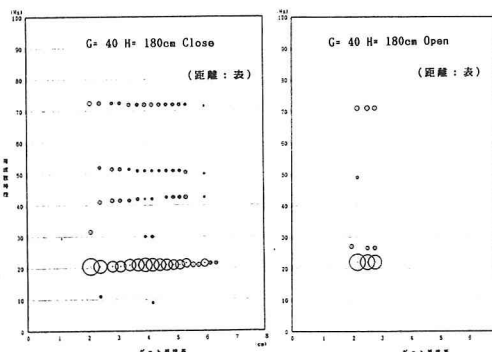


図-4 ゲート越流高と周波数特性

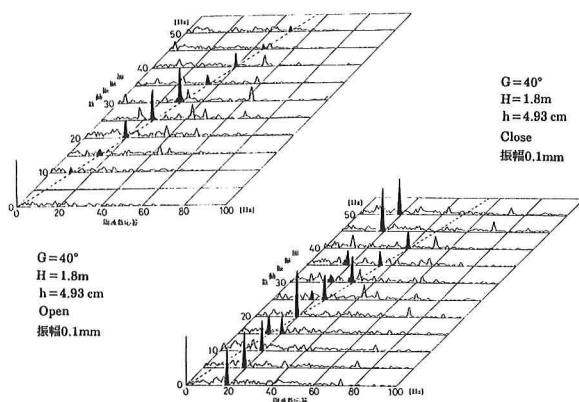


図-5 ゲート強制加振と水膜振動の応答周波数特性